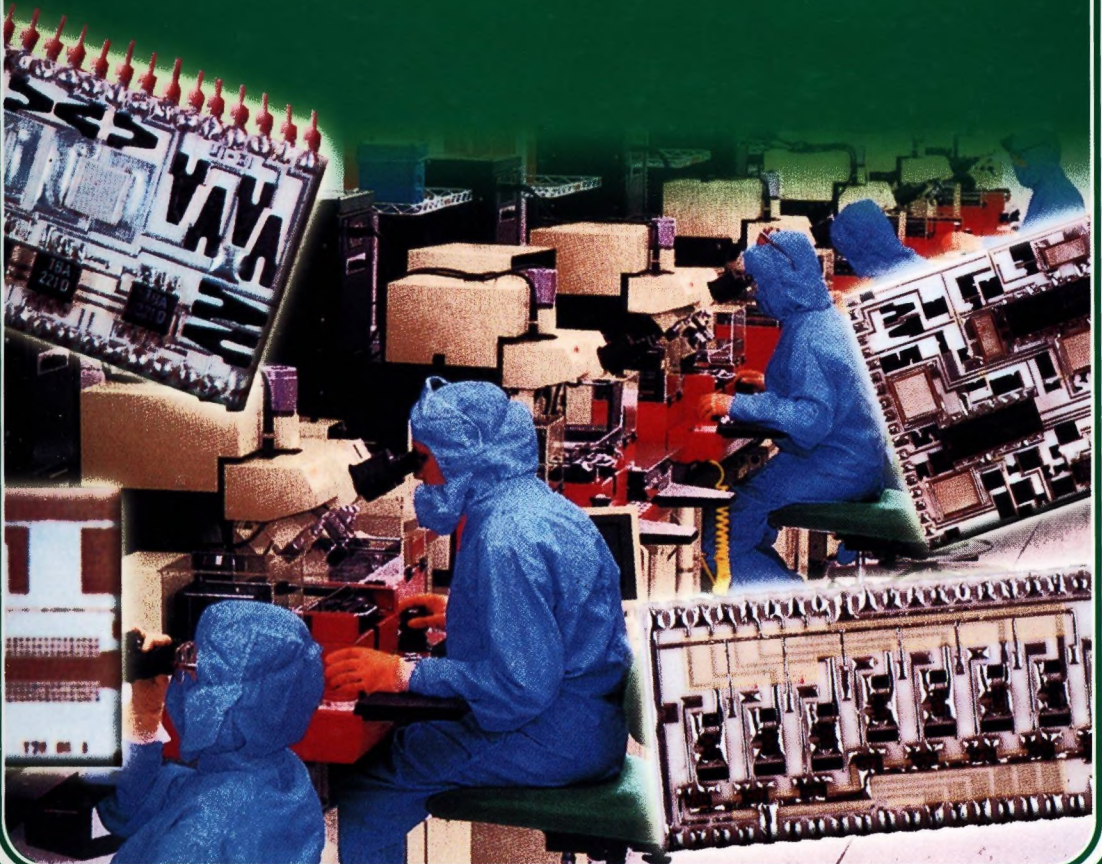


FEJEZETEK A MAGYAR MIKROELEKTRONIKA TÖRTÉNETÉBŐL

SZERKESZTETTE:
DR. MOJZES IMRE



**FEJEZETEK
A MAGYAR MIKROELEKTRONIKA
TÖRTÉNETÉBŐL**

A kötet szerzői:

Dr. BARNA ÁRPÁD okleveles villamosmérnök, műszaki tudomány doktora
Dr. GERGELY GYÖRGY okleveles gépészmérnök, fizikai tudomány doktora
Dr. GIBER JÁNOS okleveles vegyész, kémia tudomány doktora
Dr. GYULAI JÓZSEF akadémikus, okleveles fizikus, MTA rendes tagja
Dr. HAHN EMIL okleveles villamosmérnök, fizika tudomány kandidátusa
Dr. HERMAN ÁKOS okleveles kohómérnök, műszaki tudomány kandidátusa
Dr. KERESZTES PÉTER okleveles villamosmérnök, műszaki tudomány kandidátusa
Dr. KOLONITS PÁLNÉ okleveles vegyészmérnök, műszaki tudomány kandidátusa
Dr. KORMÁNY TERÉZ okleveles vegyész, műszaki tudomány kandidátusa
Dr. KOVÁCS FERENC okleveles villamosmérnök, műszaki tudomány doktora
Dr. LIGETI RÓBERTNÉ okleveles villamosmérnök
Dr. LOHNER TIVADAR okleveles fizikus, fizikai tudomány kandidátusa
LŐRINCZY ANDRÁS okleveles tanár
MAJOR GYULA okleveles vegyészmérnök
Dr. MÁTRAI GÉZA okleveles vegyész, egyetemi doktor
Dr. MOJZES IMRE okleveles villamosmérnök, műszaki tudomány doktora
PAPP KÁROLY okleveles villamosmérnök, félvezető elektronikai szakmérnök
RIBÉNYI ANDRÁS okleveles villamosmérnök
Dr. RICHTER PÉTER okleveles fizikus, műszaki tudomány doktora
Dr. RIPKA GÁBOR okleveles villamosmérnök, egyetemi doktor
Dr. SZÉKELY VLADIMÍR okleveles villamosmérnök, műszaki tudomány doktora
Dr. SZENTGYÖRGYI ZSUZSA okleveles villamosmérnök, egyetemi doktor
Dr. SZÉP IVÁN okleveles vegyész, műszaki tudomány doktora
Dr. VÁGÓ GYÖRGY okleveles fizikus, műszaki tudomány doktora
Dr. VECSESNYÉS LAJOS okleveles vegyész, műszaki tudomány kandidátusa
ZANATI TIBOR okleveles vegyész
Dr. ZSOLDOS LEHEL okleveles fizikus, fizika tudományok kandidátusa

A könyvben közölt vélemények, álláspontok a szerzők egyéni véleményét tükrözik.

FEJEZETEK
A MAGYAR MIKROELEKTRONIKA
TÖRTÉNETÉBŐL

SZERKESZTETTE: DR. MOJZES IMRE

Budapest, 2001.

A kötet a Miniszterelnöki Hivatal Informatikai Kormánybiztossága által kiírt és hírközlési célú fejezeti kezelésű előirányzat-csoportból célfeladatokra odaitélt pályázat támogatásával készült.

Kiadó: ALAPÍTVÁNY a MIKROELEKTRONIKAI MŰSZAKI
TUDOMÁNYOS KULTÚRÁÉRT

Szerkesztette: Dr. Mojzes Imre

ISBN 963 00 8434 1

Nyomda: Innova-Print Kft.
Budapest – 2001.

Tartalom

	Előszó (Dr. Mojzes Imre)	11
1.	A mikroelektronika tudomány-történeti előzményei (Dr. Mojzes Imre) ...	13
2.	Hazai előzmények (Dr. Kormány Teréz)	19
3.	A hazai mikroelektronika (Dr. Giber János és Dr. Richter Péter)	21
3.1.	K+F tevékenység a TUNGSRAM-ban	22
3.2.	Optikai kutatások	24
3.3.	Kristályfizikai, kristálynövesztési tevékenység	29
3.4.	K+F tevékenység a Magyar Postánál	32
3.4.1.	A Békésy György-iskola	33
3.4.2.	Tomits Iván-iskola	33
3.4.3.	A Lajtha György-iskola („optika”)	35
3.4.4.	Magyari-iskola	35
3.4.5.	Mályusz-iskola	35
3.5.	A Siemens hazai története	36
3.5.1.	A KuK időszak	36
3.5.2.	A két világháború között	37
3.5.3.	Kényszerszünet és újrakezdés	38
3.6.	K+F tevékenység a mikroelektronika terén	38
3.7.	A debreceni kísérleti fizikai iskola	41
3.8.	Vákuumtechnika	42
3.9.	Felületanalitika	42
3.9.1.	A Schay-iskola	43
3.9.2.	A BME Atomfizikai Tanszék	44
3.9.3.	BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék	45
3.9.4.	Különleges félvezető eszközök	46
3.9.5.	A Solymosi-iskola	47
3.10.	A nukleáris energiához kapcsolódó alkalmazott fizikai kutatások	49
3.10.1.	A reaktorfizikai és technikai oktatás megteremtése	50
3.10.2.	A BME Oktatóreaktora	51
3.10.3.	A Budapesti Kutatóreaktor	51
3.10.4.	Reaktorfizikai számítások	51
3.10.5.	Reaktorkinetika és fluktuációk	52
3.10.6.	A magyar atomerőmű	52
3.10.7.	Aktivációs analitikai kutatások	52

3.10.8.	További eredmények	53
3.10.9.	Újabb eredmények	53
3.11.	Fémfizikai kutatások	54
3.11.1.	A Vasipari és Fémipari Kutató Intézet	55
3.11.2.	Alumínium-, könnyű-fém és anyagtudományi kutatások a Fémipari Kutató Intézet (később ALUTERV-FKI)-ban	58
3.11.3.	Színesfémkohászati és fémfizikai háttérkutatások a Csepeli Fémműben	61
4.	Félvezetőgyártás a TUNGSRAM-ban (Zanati Tibor)	65
4.1.	A Tungstram Rt. félvezetőgyártása számokban	65
4.2.	Félvezetők kutatása-fejlesztése az EIVRT M.E. osztályán	70
4.2.1.	Az EIVRT termisztorokutatása, fejlesztése, gyártása	71
4.2.2.	A termisztorgyártás 1956 őszétől az 1963. évi átszervezésig	71
4.2.3.	A mikrohullámú szilíciumdióda	72
4.2.4.	A germánium eszközök kutatása-fejlesztése-gyártása	73
4.2.5.	Az aranytűs dióda	75
4.2.6.	A germánium tranzisztorok fejlesztése és gyártása	75
4.2.7.	A drift tranzisztor fejlesztése és gyártása	77
4.2.8.	A mesatranzisztor fejlesztése és gyártása	78
4.2.9.	A germánium egykristály gyártás	79
4.3.	A Gyöngyösi Félvezető és Gépgyár születése	80
4.4.	A planár eszközök gyártása	81
4.5.	A szilícium szubminiatűr és varicap diódák fejlesztése és gyártása	84
4.6.	Az integrált áramkör fejlesztés 1971. végéig	85
4.7.	A Félvezető Fejlesztési Főosztály szervezeti átalakulása	86
4.8.	Az IC tömeggyártás felépítése	90
4.9.	Az IC chipgyártás kálváriája	93
4.10.	A Konverta félvezetőgyártási tevékenysége	96
4.11.	A szilícium egyenirányító gyártás	97
4.12.	A félvezető eszközök minőségi felügyelete	98
4.13.	Az Alkalmazástechnikai Laboratórium félvezető-technikai működése	99
4.14.	A félvezetők értékesítése, a hazai és nemzetközi kapcsolatok	99
5.	A HIKI–MEV story (Dr. Herman Ákos)	107
5.1.	Előzmények	107
5.2.	A HIKI megalapítása	109
5.3.	Kezdeti évek	112
5.4.	Új téma: az integrált áramkör, 1963–1966.	117
5.5.	Profilváltás, 1967–1976.	121
5.5.1.	Rétegtechnológiák	123
5.5.2.	RTL	124
5.5.3.	A technológiai gyártó és mérőeszközök	126
5.5.3.1.	Az ICOMAT család	127
5.5.3.2.	Technológiai berendezések fejlesztése és gyártása	130
5.5.4.	A profilváltás	131
5.5.5.	Hogyan tovább?	134
5.5.6.	Lépések a gyártási szemlélet felé	134
5.5.7.	Tudományos ülészek	136

5.6.	Az IC gyártás megalapozása 1977–1981.	139
5.6.1.	A nagybonyolultságú IC-k Kutató Fejlesztő Társasága – LSI KFT vagy a „kolhoz”	145
5.6.2.	Sikerek a hibrid IC gyártásban	150
5.6.3.	Szakmai sikerek	151
5.6.4.	A tudományos munka helyzete	151
5.7.	A Mikroelektronikai Vállalat	153
5.7.1.	Személyi változások	158
5.7.2.	Indul a szelettechnológiai üzem	160
5.7.3.	Tűz a MEV-nél	160
5.8.	(És újra) hogyan tovább?	162
6.	A mikroelektronikai kutatás hazai kezdetei	167
6.1.	Alapozó kutatások a félvezetők területén <i>(Dr. Szép Iván)</i>	167
6.2.	Tranzisztorkutatás hazánkban: a kezdetek <i>(Dr. Szép Iván)</i>	170
6.3.	A Távközlési Kutató Intézet félvezető eszközökkel kapcsolatos rövid története <i>(Dr. Vecsernyés Lajos)</i>	174
6.4.	Germánium szénből <i>(Major Gyula)</i>	178
7.	Vékonyrétegkutatás Magyarországon <i>(Dr. Hahn Emil)</i>	183
7.1.	Történelmi előzmények és háttér	183
7.2.	Vékonyrétegek Magyarországon	183
7.3.	Konferenciák	187
8.	A magyar mikroprocesszor története <i>(Dr. Keresztes Péter)</i>	189
8.1.	Vegyes érzelmek a magyar mikroprocesszor iránt	189
8.2.	Csináljunk nyolcvanra nyolcvan–nyolcvanatot!	190
8.3.	Gigantikus mikroprocesszor-csip a Hortobágyon	191
8.4.	Az elektronok viselkedése éles kanyarban	192
8.5.	Szilícium-alapú százlábúak mikroszkóp alatt, avagy hozzá! nekem bontott IC-t ...	193
8.6.	Nagyszámítógépek a mikroszámítógép megvalósításának szolgálatában	194
8.7.	Vita az ionimplantáció szükségességéről	195
8.8.	A magyar mikroprocesszor megszületése	196
8.9.	Hogyan mérjük meg egy mikroprocesszort?	197
8.10.	Epilógus	197
9.	A hibrid integrált áramkörök kutatásának kezdetei a BME Villamosmérnöki Karán <i>(Dr. Ripka Gábor)</i>	199
10.	A mikroelektronika oktatása a BME Villamosmérnöki Kara Elektronikus Eszközök Tanszékén <i>(Dr. Székely Vladimír)</i>	203
10.1.	Ágazatok, szakok, hol a helye a mikroelektronikának?	203
10.2.	Félvezető labor, IC technológia	205
10.3.	IC konstrukció, gépi tervezés	206
10.3.1.	A hőskor	206
10.3.2.	Az első nekifutás: REMIX, TPA-i tervezőrendszer	207
10.3.3.	Második nekifutás. Mikroelektronikai Kormányprogram	209
10.3.4.	Harmadik nekifutás. Nyugat felé leomló falak, EUROCHIP, TEMPUS	210
11.	Integrált áramkörök fémezése <i>(Dr. Vágó György)</i>	213
11.1.	Bevezetés	213

11.2.	Az elektronsugaras párolgatás	214
11.3.	A Penning-porlasztás	218
11.4.	A porlasztás menete	221
11.5.	A porlasztási hozam	221
11.6.	A porlasztási szél	222
11.7.	A reaktív porlasztás	224
11.8.	Rádiófrekvenciás porlasztás	224
12.	Optoelektronika az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetben <i>(Lőrinczy András)</i>	227
13.	Informatika, számítástechnika, elektronika, mikroelektronika <i>(Ribényi András)</i>	233
13.1.	Történelem	233
13.2.	Technológiai helyzetkép	234
13.3.	Hazai helyzet	235
14.	A magyar szilíciumvölgy (Dr. Mátrai Géza)	239
	Bevezető (a szerző személyes vallomása)	239
14.1.	Gyöngyös, a szőlő, a bor, (és a félvezetők) városa	240
14.2.	A mikroelektronika három évtizede	240
14.2.1.	A hőskor	240
14.2.2.	Húsz év a fénycsövek árnyékában	241
14.2.2.1.	Az őskor	241
14.2.2.2.	A nagy korszakváltás	249
14.2.2.3.	A népgazdaság elektronizálása	249
14.2.3.	A hét szűk esztendő	251
14.3.	Tervek és remények	253
15.	Nyugati kapcsolatok (Dr. Gyulai József)	257
16.	Hibrid áramkörüi technológiák fejlesztése, vékony- és vastagréteg kutatások (Dr. Kolonits Pálné)	263
16.1.	Vékonyréteg hibrid integrált áramkörök	264
16.2.	Vékonyrétegek kutatása	275
16.3.	Vastagréteg hibrid integrált áramkörök	279
16.4.	Egyéb, nem áramkörüi célt szolgáló eszközök és eljárások	282
16.4.1.	Lakkréteg potenciometerek, nyomtatott lakkréteg ellenállások	282
16.4.2.	ELAKONT, csak nyomás-irányba vezető gumi	283
16.4.3.	Cermet beállító potenciométer	283
16.4.4.	Hőírók	283
16.4.5.	Különleges ellenállások	283
16.4.6.	Ultraprecíziós ellenállások	283
16.4.7.	Plazma kijelző	284
16.4.8.	Szítanyomtatható forraszpasztá	284
16.4.9.	Érzékelők	284
16.5.	Vastagréteg kutatások	286
16.6.	Zárszó	291
17.	Vastagréteg áramkörök gyártása (Kolonits Pálné, Papp Károly)	293
17.1.	Hibrid integrált áramkörök a REMIX-ben	293

17.2.	Vastagréteg áramkörök a HIKI-MEV-ben	300
17.3.	Vastagréteg gyártás a VIDEOTON-ban	303
17.4.	Vastagréteg gyártás Bicskén	303
17.5.	Zárszó	304
18.	Magyar elektronikai ipar: meghalt vagy megölték? <i>(Dr. Szentgyörgyi Zsuzsa)</i>	305
18.1.	Piaci helyzet, piaci stratégiák	306
18.2.	Szellemi háttér (kutatás-fejlesztés, oktatás)	309
18.3.	Az összeomlás összetevői	312
18.3.1.	Gazdaságpolitikai és kormányzati tényezők a rendszerváltás előtt	313
18.3.2.	A rendszerváltozás utáni átalakulás és átalakítás hibái	316
18.4.	Következtetések	318
18.5.	Epilógus	319
18.6.	Köszönetnyilvánítás	319
19.	Félvezetők mérés technikája <i>(Dr. Kovács Ferenc)</i>	321
19.1.	Diszkrét eszközök mérőberendezései	321
19.2.	Integrált áramköri mérőautomaták	321
19.3.	Az első hazai fejlesztésű IC-mérőautomata	322
19.4.	Memóriatesztetek	323
19.5.	Hazai VLSI teszterek	324
19.6.	Analóg mérőautomaták	325
20.	Kvantitatív felület és vékonyréteg analízis, valamint szerkezetvizsgálatok <i>(Dr. Gergely György)</i>	327
20.1.	Felület- és vékonyrétegelemzés, elektron spektroszkópia <i>(Dr. Gergely György és Dr. Barna Árpád)</i>	327
20.2.	Szerkezetvizsgálat, elektronmikroszkópia <i>(Dr. Barna Árpád, Dr. Gergely György)</i>	328
20.3.	Tömegspektrometria <i>(Dr. Gergely György)</i>	329
20.4.	Optikai módszerek <i>(Dr. Gergely György)</i>	329
20.5.	Ionsugaras analitika (RBS) <i>(Dr. Lohner Tivadar)</i>	330
20.6.	Röntgen (diffrakciós) topográfia és többkristályos diffraktometria <i>(Dr. Zsoldos Lehel)</i>	331
20.7.	Kitekintés	333
21.	Érzékelők <i>(Dr. Ligeti Róbertné)</i>	339
22.	Utószó	343
23.	Rövidítés jegyzék	345

Előszó

*Dr. Mojzes Imre
h7328moj@ella.hu*

Sokan talán meghökkentőnek tartják a mikroelektronika történetéről beszélni. Olyan dinamikus változó dolog a mikroelektronika, hogy az ember a fiatalságot asszociálja e fogalom hallatán.

A könyv tárgya szempontjából azonban ez egy iparág, s ennek hazai történeti vázlatát tartja kezében az Olvasó. Az eltelt közel száz év alatt sokminden megváltozott, az egyes események általában nem segítették a fejlődést. Az új azonban utat tör. Áttörheti a szervezeti korlátokat, nehézségeken keresztül is érvényesül.

Az iparág jellemzője az, hogy igen nagymértékben támaszkodik más szakterületek eredményeire. Innen általában a legjobb eredményeket veszi át sok esetben a másik szakterületen is stimulálja a fejlődést. A szorosan kapcsolódó területek közül ki kell emelni a szilárdtestfizikát és -kémiaát, – tágabb értelemben a szilárdtestekkel kapcsolatos tudományokat, a száraz- és nedveskémiái eljárásokat, az optikát a fotolitográfia területén valamint – ma még elsősorban a tokozással kapcsolatban – a műanyagokkal és kerámiákkal foglalkozó területek széles körét.

Lényeges megemlíteni még, hogy az iparág igen jelentős kutatási ráfordításokkal dolgozik. A ráfordítások mind anyagi eszközökben, mind szellemi tőkében jelentősek. Az anyagi ráfordítások erkölcsi elévülése nagyon gyors. Ez részben a terület gyors fejlődésével van kapcsolatban, másrészt a szilícium alapú mikroelektronikában a szilícium szeletek átmérője növelésével a berendezésparkot is rendre lecserélik.

A mikroelektronikával kapcsolatban ma még meglehetősen élesen elkülönülnek az egyes anyagokhoz kapcsolódó ismertek és szakemberek. Be kell azonban látni, hogy ez az elkülönülés csak árthat mindenkinek, hiszen akkor amikor e sorokat írom, már bejelentették a nyolchüvelykes szilícium szeletre növesztett gallium-arzenid epitaxiás szelet előállítását és sikeres kipróbálását távközlési eszközökben használható integrált áramkörökben.

A mikroelektronikai K+F tevékenységgel kapcsolatos nagy ráfordítások megtérülésére igazán csak a versenyben első helyeket elfoglaló néhány cégnek van lehetősége, a verseny talán ezért is öldöklőbb. Az ár egyébként is szokatlanul alakul, mivel általában csökken, szemben más iparágak termékeivel. A verseny általában nem a klasszikus piaci szabályok szerint zajlik, tekintettel az iparág kulcsfontosságú gazdasági és védelmi szerepére, az államok sokszor érvényesítik protekcionista eszköztáruk szinte valamennyi eszközét.

A mikroelektronika terén széleskörű kooperáció alakult ki, különösen a termelés befejező szakaszában. Öröm, hogy ebben hazánk is egyre növekvő mértékben vesz részt.

A hazai mikroelektronikai szakterület alakulásának vázlatát tartja kezében a T. Olvasó. Az egyes területek eltérő mértékben vannak képviselve, más fontos műhelyek – így például a Központi Fizikai Kutató Intézet, Szeged – ebből az összeállításból még hiányoznak, illetve nem kellő részletességgel bemutatottak. Hiányoznak olyan területek is, mint a buborékmemória fejlesztése, az erősáramú félvezető eszközök fejlesztése és gyártása, a napelemekkel kapcsolatos, több szervezetet is érintő tevékenység leírása. Nem sikerült még megnyugtatóan analizálnunk, tisztáznunk „keleti” kapcsolatainkat, annak a fejlesztésre és a gyártásra gyakorolt hatásának több aspektusát, hatását. Megírásra vár még a központi irányítás, az egyes kormánysszervek tevékenysége is. Különösen fontos lenne több olyan kutató véleménye, akik hosszabb idő után tértek haza külföldi tanulmányútjaikról. Tágabb értelemben fontos lehetne a csatlakozó területek szere-

pe, gondolunk itt például az elektromechanikus alkatrészek, a nyomtatott huzalozású áramkörök fejlesztése és gyártása. Talán külön tanulmány tárgya lehetne a felhasználók szerepe.

E felsorolás – amely korántsem törekedett teljességre – jelzi azt, hogy folytatni kellene ezt a kötetet. Reméljük, hogy ez a történeti fejezetek első részét tartalmazza csak. A szándék komolyságát jelzi, hogy e sorok írója úgy érzi, maga is adós a – kétségtelenül sikeres – mikrohulámú félvezető eszközök és szerelvények kutatásáról-fejlesztéséről szóló adatok összegyűjtésével. Reméljük, hogy e gyűjteménnyel hozzájárulunk más kutatóhelyek tudománytörténeti leírásának stimulálásához.

Ezek így együtt talán még meggyőzőbben mutathatnák azt, amit mi e munka fő tanulságának tartunk, hogy egy élenjáró ipar is gyökereket verhet hazánkban. Magától azonban nem fog fejlődni, az ilyen ritka virágokat gondosan ápolni kell, mert csak így hozzák azt a termést, ami a sajátosságuknak megfelelően a gondos kertész jutalma lesz. E kötet ötlete még 1993 karácsonyán született. Ezt először Dr. Kormány Terézszel osztottam meg, aki sokat segített a korábban aktívan tevékenykedő kollégák felkutatásában. A kötethez nyújtott hozzájárulását külön is köszönöm.

Nagy öröm volt számomra, hogy a felkért kollégák közül senki nem vitatta egy ilyen munka megszületésének szükségességét. Voltak azonban olyanok, akik úgy gondolták, hogy az őket érintő részek megírására még nincs meg a megfelelő történelmi távlat.

A jelen kötetben közölt dolgozatok nagy része – ma már tudjuk – a hazai mikroelektronikai ipar mélypontjának közelében, és – sok esetben hatása alatt – születtek. A szakma erejét és képességét is tükrözi az, hogy e mélypontot magunk mögött tudhatjuk. Így van ez akkor is, ha ma már látjuk, hogy a mikroelektronika egy olyan széles terület, amelynek minden ágát egyenszilárd-ságúan művelni egyetlen országban sem lehet, gyengén viszont egyetlen területet sem szabad.

A korábban is e területeken tevékenykedő intézmények közül azok tudták legyőzni az akadályokat, akik megfelelő szaktudással, kooperációs készséggel, piacismerettel rendelkeztek. Sokat segített a korábbi, valós műszaki együttműködésen alapuló kooperáció.

Az új cégek helyzetének vizsgálata egy külön, nem kevésbé érdekes, tanulmány tárgya lehetne.

A korábbi és az újonnan alapított cégek együtt alakították ki azt a helyzetet, hogy e terület ma igen jelentős mértékben járul hozzá a hazai GDP-hez. Megítélésünk szerint ez azonban nem eléggé közismert, ma is sokan még egy tüzesettel jellemzik e terület helyzetét. Bízunk abban, hogy e kötet is hozzájárul ahhoz, hogy a szakterület műszaki-gazdasági eredményei közismertebbek legyenek. A jelen kötet kézírata sokáig feküdt, nem sikerült forrásokat találni a megjelenítéshez. Több helyen próbálkoztunk, de talán a terület akkori, a kilencvenes évek közepét jelentő, megítélése is szerepet játszott abban, hogy a kéziratot nem tudtuk megjelentetni. A kéziratok jelentős része tehát valahol a kilencvenes évek közepén fejeződik be. Nincs mechanikusan meghatározott korszakhatár, hiszen a szerzők egy része is akkor fejezte be aktív életpályáját. Ez is alátámasztja azt, hogy további szerzőkkel érdemes lenne folytatni a történeti fejezetek elkészítését. A kézirat megjelentetését a Miniszterelnöki Hivatal Informatikai Kormánybiztosságánál megpályázott és elnyert támogatása valamint az Alapítvány a Mikroelektronikai Műszaki-tudományos Kultúráért eszközei és közreműködése tette lehetővé. Köszönjük ezeket a támogatásokat, reméljük az Olvasó is azt gondolja, hogy azokat megfelelő célra használtuk fel. Külön köszönjük Dr. Kolonits Pálnének a kötet kiadásában nyújtott értékes és fáradhatatlan segítségét. Az egyes fejezetek szerzői által összeállított kéziratokat Villy Éva gondozta, e tevékenységét köszönjük. Reményeink szerint lesznek majd vélemények, észrevételek a kötet anyagával kapcsolatban. Kérjük az Olvasót, hogy ezeket ossza meg velünk, hiszen bizonyos múltbeli problémák tisztább megértése segítheti jövőbeni munkánkat.

Budapest, 2001. október 30.

1. A mikroelektronika tudomány-történeti előzményei

Dr. Mojzes Imre
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
mojzes@ett.bme.hu

Furcsa dolog, hogy egy ilyen gyorsan fejlődő diszciplinának, mint a mikroelektronikának a történetéről beszélünk. Érdemes visszatekinteni, hiszen a szervezett, nagy erővel folytatott, célirányos tevékenységtől a véletlen felfedezésekig igen érdekes képet kaphatunk az elmúlt, alig több mint száz évről. Ez a száz év sem volt azonban előzmény nélküli. Mint ezt a 1.1. táblázat elején látjuk, az előzmények az alkímia korába nyúlnak vissza, ekkor sikerült először egykristályt előállítani. Az csak a későbbiekben derült ki természetesen, hogy a szervesetlen egykristályos anyagokon alapuló technika ilyen lehetőséget rejt magába. A mikroelektronika mai fejlettségi fokán ugyanis kizárólag szervesetlen anyagokból építkeznek, kihasználva azok egy-, polikristályos és amorf állapotát is.

Nézetünk szerint az elektronikát, tehát a későbbi mikroelektronikát származtatni lehet egy egyszerű kísérleti tényről. Ez pedig Karl Ferdinand Braun (1850–1918) kísérlete, amelyről 1874-ben Lipcsében publikált dolgozatában számolt be – nyugodtan mondhatjuk – korszakalkotó eredményeiről, amelynek során különféle fémszulfidok és higanykontaktus áramvezetését vizsgálva az áramvezetésben irányfüggést tapasztalt, vagyis felfedezte a szilárd testekkel végzett egyenirányítást. Maga Braun nem tudott magyarázatot adni megfigyeléseire, mint dolgozatában írja, félve publikálta azokat. Tevékenységét folytatva jelentősen hozzájárult a katódsugárcső, majd a róla elnevezett csatolt rezgőkörös rádióadó megalkotásával a rádiózás fejlődéséhez. Tevékenységét 1909-ben G. Marconival (1874–1937) megosztott Nobel-díjjal ismerték el.

A szilárdtestben észlelhető egyenirányító hatást tekintjük tehát az elektronika kezdetének. Ezt a hatást nem egykristályos anyagon észlelték. A fejlődés így ment tovább, az elektronika tehát kezdetekben nem kötődött az egykristályokhoz. Ennek többek között az volt az oka, hogy a legtöbb anyagot még nem tudták ilyen formában előállítani. Maga az egykristályos állapot már az alkímisták számára is ismert volt, az igazán iparilag is alkalmazható egykristályhúzási eljárást J. Z. Czochralski (1885–1953) fedezi fel 1917-ben, amit később róla neveznek el.

Jelentős lépés volt 1897-ben az elektronika kialakulásában az elektron felfedezése, ami J. J. Thomson (1856–1940) nevéhez fűződik. (Magát az elektron szót 1891-ben G. J. Stoney (1826–1911) írta fizikus alkotta meg, más források szerint Thomson holland munkatársa H. A. Lorentz (1853–1928) volt a névadó.) Ebben a korban mind nagyobb figyelmet szenteltek a vákuumtechnikának. J. J. Thomson (1856–1940) vákuumban repülő elektron fajlagos töltését méri meg. Ő szerzi az első közvetett bizonyítékot az akkor még nem ismert relativitás elméletéhez. Felismeri, hogy az elektron gyorsítás során úgy viselkedik, mintha tömege megnövekedett volna. Ez a fokozott érdeklődés a vákuumban történő töltésáramlás iránt vezetett el a rádiócső feltalálásához. Le DeForest (1873–1961) amerikai feltaláló volt az első, aki rácsot helyezett el egy vákuumcsőben, megalkotva ezzel a vákuumtriódát, majd felhasználta

lásával a demoduláció céljára kiválóan alkalmas audion kapcsolást. Az akkor használatos detektoros rádiókban ugyanis az ólom-szulfidot (PbS) használták a demodulálást végző detektorként. Ez a galenit nevű ásvány kősó rács típusú, és ez volt tehát az első szórakoztató elektronikában használt félvezető anyag, ill. félvezető eszköz. Egy vegyületfélvezető alapú eszköz volt ez, a kristályhoz érintett fém tű volt a dióda másik elektródája.

Tovább vizsgálták a félvezető tulajdonságot mutató anyagok körét. Így fedezték fel az oxid-típusú félvezetőket, ezek legjellegzetesebb típusa a Cu_2O , amelyet cuprox márkaneven ismertek meg.

Az egyenirányítás vizsgálata során került a figyelem középpontjába a szelén. Ezt fém lapra felvíve, majd egy másik fém kontaktussal ellátva formázással alakították ki az egyenirányítót. A folyamat mechanizmusa még ma sem ismert teljes részletességében, bár a szelénnel kapcsolatos kutatások súlypontja ma már a másolástechnikára esik, a jól ismert xerox márkanev a szelénnel kapcsolatos másolási technika révén vált igazán világhírűvé.

Az igazi fejlődés azonban az elektroncsövek terén történt. Egyre több elektródával szabályozták az elektronok áramlását, sokat fejlődött a kapcsolástechnika is. Az eredetileg wolframból készített katódot különféle, például tóriummal adalékolt, oxidkatódok váltották fel, javítva a csövek hatásfokát. A csövek terén is erőteljes miniatürizálás történt, úgy tűnt, hogy elektroncsővel bármilyen feladat megoldható. Ezzel működtek az első számítógépek, radarok és természetesen az első hordozható rádiókészülékek is.

Kiütköztek viszont a korlátok is. Az első, hogy az elektroncsövek nagymennyiségű hőt termeltek, ezt elvezetni jelentős feladat volt, ez az elérhető elemsűrűséget is jelentősen lerontotta. További problémát jelentett, hogy a csöves eszközök magas működési feszültséget igényeltek, igaz, hogy magas teljesítmény kezelését tették lehetővé.

A Bell Laboratórium munkatársainak egy része nem az elektroncsövek paramétereinek tökéletesítésével foglalkozott, hanem szilárdtest erősítőelem megalkotásával kísérletezett. William Shockley (1910–1989), John Bardeen (1908–1991) és Walter Brattain (1902–1987) voltak a vezető kutatók a csoportban. Munkájukat 1948-ban siker koronázta, és megalkották a „transfer resistor”-t, a tranzisztort. A triász 1956-ban megosztott Nobel-díjat kapott. (Érdemes megjegyezni, hogy Bardeen 1972-ben L. N. Cooperrel és J. R. Schiefferrel megosztva a szupravezetés elméleti megalapozásáért – BCS elmélet – is kapott megosztott Nobel-díjat.)

William Shockley 1949-ben publikálta a tranzisztor leírását tartalmazó munkáját. Így vált lehetővé, hogy az addig csak egyenirányításra, fény- és hőérzékelésre használt félvezető anyagok és eszközök erősítésre is alkalmassá váltak. A tranzisztor felfedezésének hatását lehetetlen túlbecsülni. Hatása átformálta munkaeszközeinket, mindennapi életünket egyaránt. A kezdeti tranzisztorok anyaga az elemi félvezetők körébe tartozó germánium volt. Igen nagy hátránya, hogy a földgolyó germánium tartalma kicsi, ezért is a belőle készített félvezető eszközök tömegesen nem terjedhettek volna el. További hátránya, hogy felülete nem stabilizálható, oxidja nedvszívó, a belőle készített eszközök paraméterei a használat során romlottak.

Ennek ellenére erős versenyfutás kezdődött az elektroncsövek és a félvezető eszközök között. Mind ez a műszaki gyakorlatban szokásos, ezzel mindkét terület, de elsősorban a felhasználók nyertek. Egyre tökéletesítették az elektroncsöveket, azonban elvi hátrányait nem tudták kiküszöbölni. Sokat fejlődtek a tranzisztorok, a kezdeti anyagtudományi problémákat tisztázták, megoldották a nagyüzemi egykristálygyártást.

Az 1950-es évek elején egyetemi kutatólaboratóriumok kezdtek foglalkozni a vegyületek egy csoportjával. Kiderült hogy a periódusos rendszer V. és a III. oszlopában

található elemekből létrehozott vegyületek félvezető tulajdonságot mutatnak. Itt tehát ismét előtérbe kerültek a vegyületfélvezetők. A félvezető anyagok alkalmazásának fejlődését a 1.1. ábrán kísérhetjük végig.

Vegyület-félvezetők		Elemi félvezetők	
PbS	szulfidok	Se	
Cu ₂ O	oxidok		
InSb	bináris vegyületek		
GaAs		Ge	
InP			
GaP		Si	
GaAlAs	ternér vegyületek	SiGe	elemi félvezetők
GaAsP			vegyületei
GaInAsP	kvaternér vegyületek		
GaAs/GaAlAs	heteroátmenetek		
Vegyület-félvezető – elemi félvezető heteroátmenet			
Nanostruktúrák			

1.1. ábra. A félvezető anyagok alkalmazásának fejlődése

Intenzív kutatómunka folyt a germánium helyettesítésére is, így került sor a szilíciumra, amelynek vegyületei a Föld leggyakoribb ásványai közé tartoznak. Nincs tehát mennyiségi korlátozás az anyag alkalmazásában. További, mint a mikroelektronika fejlődése megmutatta, meghatározó előny, hogy a szilícium saját oxidja igen stabil vegyület, a félvezető eszközökben az mind funkcionális anyagként, mind a technológiában segédanyagként alkalmazható. A szilícium alkalmazása tehát mindinkább előtérbe került. További meghatározó technológiai lépés volt a planáris technika kifejlesztése, amely lehetővé tette azt, hogy a tranzisztor elektródáit ne ötvözzéssel, hanem a sokkal jobban ellenőrizhető diffúzióval alakítsák ki.

Innen már csak egy lépés volt az integrált áramkör megalkotása, ami J. Kilby nevéhez fűződik. Ő alkotta meg 1958-ban az első integrált erősítőt. Innen a fejlődés szinte töretlen. Jellemzésére a F. G. Moore által megalkotott mérőszámot szokták használni, amely szerint az egységnyi felületen kialakított tranzisztorok száma kétévenként megduplázódik.

A fejlődés várható irányát mutatja az 1.2. táblázat

1.2. táblázat. A félvezető technológia várható fejlődése

Technológia (nm)	250	180	150	130	100	70
Év	1997	1999	2001	2003	2006	2009
Tranzisztorok száma (millió db)	11	21	40	76	200	520
Chipen belüli órajel (MHz)	750	1200	1400	1600	2000	2500
Chpfelület (mm ²)	300	340	385	430	520	620
Huzalozási szintek száma	6	6–7	7	7	7–8	8–9

Forrás: National Technology Roadmap for Semiconductors 1997

Ennek a fejlődésnek köszönhető, hogy sikerült megalkotni, majd egyre olcsóbban előállítani a mikroprocesszort, amely forradalmasította a mérés technikát, a szabályozás-technikát. Ma elsősorban a memóriaáramkörök területén van jelentős fejlődés. Ennek köszönhetően a félvezető alapú memóriák a tömeges felhasználás terén lényegében a periferiára szorították az összes többi hagyományos, információ rögzítésére alkalmas eljárást.

Jelentős fejlődést mutat az elektroncsövek területe is. Az igazán nagy teljesítményű és nagy frekvenciájú eszközök ma is az elektroncsövek. Igen fontos, és szintén jelentős fejlődést mutató terület, a katódsugárcsövek területe. A számítástechnikában ma is meghatározó a katódsugárcsövek alkalmazása a monitorokban, tömegesen ezidáig nem sikerült őket helyettesíteni semmiféle más elven működő kijelzővel, különös tekintettel a megfelelő ergonómiai paraméterek elérésére. A kijelzők terén jelentős fejlődés várható, beléphetnek bizonyos nanotechnológiai eredmények is. Itt is számítani kell a szerves anyagok funkcionális alkalmazására.

Igen jelentős fejlődés történt a ma már önálló diszciplinaként kezelt optoelektronika terén. A szobahőmérsékleten is megbízhatóan működő folyamatos üzemű lézer áttörést hozott az optikai hírközlésben. Korábban elképzelhetetlenül bonyolult anyag és rétegszerkezetek kerültek megvalósításra olyan szinten, hogy a belőlük készült eszközök teljesítik a katonai megbízhatósági követelményeket. A lézeres CD lejátszó kapcsán ezek az eszközök ma már igen nagy sorozatszámokban, reprodukálhatóan állíthatóak elő.

Az aktív komponensek fejlődése igen ösztönzően hatott a passzív alkatrészek és a különféle elektromechanikai alkatrészek fejlődésére is. Általában sikerült az aktív alkatrészek fejlődési ütemét követni, mind a miniatürizálásban, mind a műszaki jellemzők fokozatos javításában.

A jelenlegi helyzet arra enged következtetni, hogy a fejlődés két irányban várható. A memóriaáramkörök terén folytatódik az elemsűrűség növelése, ez azonban a technológia költségeit igen megnöveli. Ezt az utat egyre kevesebb gyártó cég lesz képes egyedül folytatni.

A fejlődés másik vonulata az egyedi nagyértékű eszközök előállítása lesz. Itt a ráfordítási igény leginkább a szellemi erőforrások terén merül fel. Itt elsősorban bonyolultabb rétegszerkezetek alkalmazására kerül sor, a litográfiai megmunkálás inkább kiegészíti az eszközt. Gondolunk itt az optoelektronika elemeire, az érzékelőkre, nagyfrekvenciás eszközökre. E területen jelenik meg először a nanotechnológia tömeges alkalmazása, elsősorban az 1988-ban felfedezett gigantikus mágneses ellenállásváltozáson alapuló vékonyréteg eszközökben, amelyek a merevlemez leolvasást helyezik új dimenzióba.

Mindkét terület szempontjából fontos felismerés az, hogy a továbblépés feltételezi az anyagtudomány jelentős fejlődését, a méretezés, a modellezés és a szimulációs módszerek tökéletesítését.

1.1. táblázat.

A félvezetőfizika és -technológia fontosabb eseményei

1489.	Eck de Sultzbach előállítja az első egykristályt, az ezüstamalgámot
1600.	Vincenzo Cascariolo előállítja az első vegyületfélvezetőt, a „bolognai követ”
1874.	F Braun higanykontaktussal szulfid vegyületekvegyületeken egyenirányító hatást észlel
1910.	A.Thiel és H. Koelsch InP-ot állít elő
1917.	J. Z. Czochralski felfedezi a később róla elnevezett kristályhúzás módszerét
1929.	A GaAs első előállítás
1947–48.	J. Bardeen és W. H. Brattian felfedezi a tűstranzisztort.
1950.	A. N. Blum és munkatársai. N. A. Gorjunova és munkatársa beszámol az InSb félvezető tulajdonságairól.
1952.	H. Welker felismeri, hogy az A ^{III} -B ^V vegyületek félvezető tulajdonságúak
1952.	W. Shockley felfedezi a térvezérlés elvét
1954.	W. Shockley felfedezi a töltéshordozók által keltett negatív ellenállást
1958.	H. Kromer felfedezi a negatív tömeg elvén működő mikrohullámú erősítőt
1958.	J. S. Kilby felfedezi az integrált áramkört
1958.	Az első planár tranzisztort
1961–62.	B. K. Ridley T. B. Watkins és C. Hilsom felfedezi a térfogati negatív ellenállás elvét
1962.	J. B. Josephson felfedezi a szupravezetést
1963.	J. B. Gunn felfedezi a Gunn-jelenséget
1964.	G. R. Cronin és munkatársa félszigetelő GaAs-et készít
1965.	G. Moore törvénye
1966.	C. A. Mead MESFET típusú tranzisztort készít
1971.	W. Jutzi első GaAs IC-je
1972.	D. L. Spears és H. I. Smith felfedezi a röntgenlitográfiát
1972.	Az első mikroprocesszor
1974.	A Hewlett-Packard cég első GaAs IC-je
1978.	Személyi számítógép
1980.	A Fujitsu (Japán) és a Thomson-CSF (Franciaország) kutatói elkészítik az első HEMT-tranzisztort
1981.	A ballisztikus transzport felfedezése
1981.	Első 32 bites mikroprocesszor
1982.	H. Beneking és munkatársai elkészítik az első bipoláris heterotranzisztort



2. Hazai előzmények

Dr. Kormány Teréz
1025 Budapest, Vend u. 11.

A mikroelektronika kezdeteihez a fizika és a kémia adta az első indítékot. A XIX. század végén az angol Joseph John Thomson (1856–1940) a mozgó töltések elektrodinamikáját tanulmányozta. A katodsugárzás vizsgálata során 1897-ben felfedezte az **elektront**, azt a részecskét, amely minden elem atomjának alkotórésze. A Thompson-féle atommodellt az 1911-es Rutherford, illetve az 1913-as Bohr-féle klasszikus atommodell váltotta fel, amelyhez a kvantummodell már közvetlenül csatlakozhatott. A mikrovilág kvantummechanikai, kvantumtérelméleti kérdéseinek megoldásában Planck, Wien, Einstein, de Broglie, Schrödinger és Heisenberg munkássága kiemelkedő jelentőséggel bírt. Ki kell azonban emelni egy magyar tudós Selényi Pál (Egyesült Izzó Kutatólaboratórium) munkásságát is. A kvantummechanikai elmélet teremtette meg annak feltételét, hogy az anyag tulajdonságai előre tervezhetők legyenek, s a mikroelektronika szerepet kapjon az élet minden területén.

A hazai mikroelektronika az elméleti alapokon kívül arra a vákuumtechnikai ismeretanyagra és tapasztalatra épült, amely az izzólámpa és elektroncső gyártás során az Egyesült Izzólámpa Rt.-ben és annak 1922–1923-ban alapított kutatólaboratóriumában rendelkezésre állt.

A modern magyar fizikai kutatás szempontjából kiemelkedő jelentősége volt ennek az első szervezetileg különálló kutatóintézetnek, amelynek az 1920-as, 30-as és 40-es években olyan kiváló vezetői voltak, mint Pfeifer Ignác, Bródy Imre és Bay Zoltán és ahol évekig tanácsadóként dolgozott Gábor Dénes és Polányi Mihály.

Az 1940-es évek elején a kutató-fejlesztő tevékenység eredményeképpen az Egyesült Izzólámpa Rt.-ben évente már több mint 2 millió darab rádiócsövet gyártottak, így az elektroncső gyártás területén a világcégek sorába lépett. Az új eljárások kidolgozása révén pedig a nemzetközi fejlesztési versenyben is megállta a helyét (Tungram pentóda-csövek, nemesfém-rácsbevonatok, a „varázsszem”-csövek, stb). A mikroelektronikában nélkülözhetetlenek a tiszta terek. Ezek kialakítását is a rádiócsőgyártásban oldották meg először.

1947–48-ban a kutatólaboratóriumot leválasztották a gyártól és az ottani kiváló kutatók alkották később a Távközlési Kutató Intézetet, majd a Híradástechnikai Kutatóintézetet és a 60-as évek elején működni kezdő MTA-intézmény, a Műszaki Fizikai Kutatóintézet magját.

A mikroelektronika másik előzménye az RC-elemek hazai gyártásának megindulása volt a 30-as évek elején. Előzőleg ugyanis a rádióvevők és a távbeszélő technikai berendezések gyártásához szükséges RC-elemeket a Philips, a Standard, a Telefunken és a Ericson gyárak magyarországi leányvállalatai importból szerezték be, illetve néhány kondenzátorféleséget az Ericson és a Standard magyarországi telephelyén is gyártott.

Az önálló alkatrészgyártást a német Dralowid tőkeérdekeltséghez tartozó prágai Always-cég kezdte meg a Váci úton. A budapesti Always-gyár 1934-ben a Fodor család tulajdonába került akik 1937-ben Újpestről a Ferencvárosba költöztették üzemüket és ezt Remix (a „resistance mixte” francia szavak első 2 szótagjából képezve) Rádiótechnikai Kft-nek nevezték el. 1941-től azonban ez az üzem is az Egyesült Izzó tulajdonába került. Az 1948-as államosítást követően pedig a Remix – önálló vállalként áttelepült jelenlegi telephelyére a Szent László térre.

A piezoelektronikus elven működő kvarckristályok hazai előállítására a Gamma gyárban folytak a 30-as évektől kísérletek. Az itt kialakult iskola tagjai később, a 60-as évek elején résztvettek a sikeres hazai szilícium egykristály gyártásában.

A mikroelektronika fejlődésében meghatározó szerep az Egyesült Izzólámpa Rt.-nek jutott. Aschner Lipót érdeme nemcsak a kutatólaboratórium megszervezése, de egy egyetemi tanszék, az Atomfizika tanszék felállítása is. Az egyetemi és ipari kutatás kapcsolata pedig – a második világháborút követő minden ellenkező hatás ellenére – napjainkig megmaradt.

Irodalomjegyzék

- [1] Valkó Iván Péter visszaemlékezése (kézirat)
- [2] Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete, Gondolat kiadó (1978)
- [3] A magyar híradástechnika évszázada, szerkesztette Vajda Endre, HTE-kiadó, évszám megjelölése nélkül

3. A hazai mikroelektronika

műszaki-, alkalmazott-fizikai, anyagtudományi megalapozása és az ehhez kapcsolódó K+F tevékenység Magyarországon a XX. században

*Dr. Giber János és Dr. Richter Péter
BME Atomfizika Tanszék, 1111. Budapest, Budafoki út 8.*

Ami a XX. századhoz tartozik, az a kiegyezés után kezdődött. Ami a magyar alkalmazott fizikát jelenti, nem minden tevékenység kezdődött hazánkban és éppen a XX. században nehéz éveiben (1930–1970) a szétáramló magyar kutatók révén sokszor éppen Európában, illetve az USA-ban folytatódott, realizálódott. Az 1970-es évektől ismét egyre szorosabb szálak kapcsolnak minket a világhoz: a magyar szellemi tőke ismét nemzetközivé lett.

E tanulmány nem tudománytörténeti céllal íródott; a konkrét eredmények rövid leírására épül, – és megörökíteni kívánja azok nevét, akikhez ezen eredmények kapcsolhatók.

Az írás vezérlő eszménye az objektivitásra való törekvés volt. Ennek érdekében szerzők írásban bekért interjúkra, a szabadalmi tárra és egyes intézmények jubileumi emlékezéseire támaszkodtak. Nagy segítséget jelentettek a Fizikai Szemlében megjelent emlékezések.

A magyar alkalmazott fizikai kutatások történetét célszerű **Eötvös Lóránd Eötvös-ingájával**, geofizikai kutatásaival kezdeni. Eötvös munkássága szép példája az alap és az alkalmazott kutatások összefonódásának. Az alapkutatásokon (ezek eredménye pl.: a folyadékok felületi feszültségével kapcsolatos Eötvös-törvény) pallérozott agy harminc éven át dolgozott az Eötvös ingán: Süss Nándorral az 1900-as párizsi világkiállításon alkotásukat aranyéremmel jutalmazták. Mérései egyúttal alapvető kérdés eldöntéséhez adtak igen nagy pontosságú adatokat: a tehetetlen és a gravitáló tömeg egyenlőségét az Eötvös-féle torziós inga finomításával ma már 10^{-12} pontossággal bizonyították. E tény az egyik alapja Einstein általános relativitás elméletének.

A századforduló körül kiemelkedő eredeti eredményekkel a nemzetközi élvonalba küzdötte fel magát a **magyar elektrotechnika és a villamosipar**. Ha ezek az eredmények nem is voltak okozati összefüggésben *Jedlik Ányos István* bencés fizikus tanár munkásságával, – itt kell őt megemlíteni. Kétség kívül, hogy a villamos motor megalkotásával (1829) és az egyenáramot termelő dinamó másoktól független megalkotásával (1861), szellemi úttörője volt a magyar elektrotechnikának.

1885-ben *Zipernowsky Károly*, *Déri Miksa* és *Bláthy Ottó Titusz*, a Ganz és Társa Rt. Elektrotechnikai Osztályának mérnökei feltalálták a villamos erőátviteli zártvasmagú transzformátort. Déri nevéhez számos más elektrotechnikai újdonság is kapcsolódik, – így többek között az öngerjesztésű váltakozó áramú generátor és a váltakozó áramú elosztórendszer.

A Ganz Villamossági Gyár világhírnevét és a század első felében elért üzleti sikerit *Kandó Kálmán* (1869–1931) alapozta meg az indukciós motorok gyártásának bevezetésével, a róla elnevezett villamos mozdonyok megtervezésével. Őt tekinthetjük a vasútvillamosítás magyar úttörőjének.

A nagy úttörők közé tartoznak a Puskás testvérek. Edison szerint *Puskás Tivadar* (aki akkor éppen Amerikában ismerkedett a vezetékes távíróval) volt az első ember, aki a telefonköz-pont ötletét felvetette és 1879-ben Párizsban meg is valósította. Testvére, *Puskás Ferenc* szinte ezzel egyidőben itthon is elkezdte a telefonhálózat kiépítését. Puskás Tivadar nevéhez fűződik a telefonhírmondó (a rádió „előfutára”) szabadalmaztatása és Pesten való megvalósítása.

3.1. K+F tevékenység a TUNGSRAM-ban

Külön fejezet kezdődik a magyar ipar és alkalmazott kutatás történetében a **Tungsrám** (ill. jogelődjei és jogutódjai) hazánkban (1883-ban) való létrejövésével. A Tungsrám szerepe a magyar technika történetében egy kissé a Siemens németországi (1847-es) megjelenéséhez, technikai kultúrához való történelmi jelentőségű hozzájárulásához hasonlítható; egyébként a Siemens a századfordulón Magyarországon (1893; ld.alább) is megjelenik.

A Tungsrámot a bécsi Egger telefon- és távírógyár fiókküzemeként *Pintér József* alapította 1883-ban (a XX. század első negyedében ebből élt a gyár), – de igazi hírneve és fejlődése az izzólámpa gyártásban elért eredményeivel kezdődött. A világ első volfrámszálas izzólámpája Újpesten, 1903-ban készült; a lámpát Just Sándor és Hanaman Ferenc (az Egger anyavállalat kutatói) által kidolgozott szabadalmak védték. A volfrám izzószál választása igazi titelalátal volt és a TUNGSRAM betűszót nem véletlenül választotta az 1920-as évek elején márkajelül az 1918 decemberétől vezérigazgatóként működő *Aschner Lipót*. Alapvetően helyesnek bizonyult, hogy a cég megteremtette a teljes vertikumot: a Tungsrám Rt. a 20-as évek óta egyike a világ alig egytucatra tehető vállalatának, amely maga képes az ércből kiindulva előállítani a volfrám huzalt, spirált, illetve duplaspirált. Ugyanakkor nyugodtan mondhatjuk, hogy a Tungsrám aligha tudta volna megőrizni, illetve egyre növelni piaci pozícióit, ha nem állt volna mögötte saját ipari kutató laboratóriuma. A Kutató Laboratórium alapítását 1920 decemberétől számíthatjuk, amikor *Aschner Pfeiffer Ignácot* (a BME Kémiai Technológiai Tanszék vezetőjét) megnyerte a laboratórium vezetésére. A volfrám szálas izzólámpa folyamatos fejlesztést igényelt: javítani kellett termomechanikai tulajdonságait, (melegszilárdság, spiralizálhatóság), másrészt azonos (illetve növekvő) élettartam mellett növelni kellett a szálhőmérsékletet. Előbbiben nemzetközi szintű áttörést jelentett *Millner Tivadar* és *Túry Pál* 1931-es K-Al-Si adalékolt, nagykristályos (GK) volfrámhuzal, illetve dupla spirál előállítási szabadalma, melyet *Millner Tivadar Neugebauer Jenő* segítségével az adalékanalitika kidolgozásával és a szinterelés optimalizálásával egy 1954-es szabadalommal tovább finomított. *Neugebauer Jenő* nevéhez fűződik a volfrámoxid redukciós mechanizmusának részletes vizsgálata, az átmenetileg képződő vegyületek leírása s ezeken át a folyamat szabályozási lehetőségeinek kidolgozása. Egyike a volfrám szakirodalom legtöbbet idézett szerzőinek. Nevéhez fűződik a béta-volfrám máig legelfogadottabb leírása. A szálhőfok emelését *Bródy Imre* (egy, a világ-hírű Langmuirnál is mélyebb kutató munka alapján), a kripton töltet bevezetésével (1936) oldotta meg. Ehhez az akkor Manchesterben dolgozó Polányi Mihállyal együtt kidolgozták a nagyüzemi kripton gyártást is (1937). Az Izzó Kutató szerepét a volfrám kutatásban 1958 óta részben az akkor *Szigeti György* által alapított és vezetett MTA Műszaki Fizikai Kutató vette át: lényeges szerepet játszottak e munkákban *Bartha László*, *Gaál István*, *Horacsek Ottó*, *Vadasdy Károly*.

Az Izzó KL vezetését 1936-ban Pfeiffer Ignáctól *Bay Zoltán* vette át. Bay nemzetközi mércével is a XX. század kiemelkedő kutatója volt. Az Izzóban a fotoelektron-sokszorozók részecskeszámlálóként való kifejlesztésével foglalkozott; szervező és tanszék-alapító (BME Atomfizika Tanszék, 1938.) tevékenysége mellett hazai karrierje csúcsát 1946. február 6-án érte el, amikor először a világon az Izzó Kutató tetején végrehajtott a holdradar kísérletet. Bay Zoltán 1947-ben kénytelen volt az USA-ba emigrálni; ott beírta nevét a világ élvonalát alkotó fizikusok közé: kidolgozta az új méter-definíciót: „egy méter az a hosszúság, amelyet a fény vákuumban a másodperc 299792458-ad része alatt fut be.” A Nemzetközi Mérték Bizottság 1983. októberében fogadta el Bay Zoltán javaslata alapján a ma érvényes *méterdefiniációt*, melyet Bay a fénysebesség állandóságára és értékének örökké való *rögzítésére* alapozott.

Az Izzó kutatólaboratóriumában számos más nagyság is dolgozott hosszabb rövidebb ideig. Köztük említettük *Polányi Mihályt*, aki az abszolút reakciósebesség-elmélet megalkotójaként írta be nevét a fizikai kémia aranykönyvébe. Nem kisebb nagyság volt *Selényi Pál*, akit a xerografia (elektrográfia) úttörő felfedezőjeként¹, és a szelén fényelemek kutatása révén kell az alkalmazott fizika magyar történetében megemlítenünk, de legalább ilyen fontos az 1911-ben (Fröhlich Izidor mellett) elvégzett nagy szögű interferencia kísérlete, mely perdöntő bizonyíték volt Einstein túsugárzás elmélete *ellen*.

Hosszabb-rövidebb ideig a kutatóban dolgozott (munkatársként esetleg tanácsadóként) *Simonyi Károly*, *Grünwald Géza*, *Tarnóczy Tamás*, (Selényi mellett, majd az elektroncső fejlesztésén) *Valkó Iván Péter*, *Gábor Dénes*, aki az Izzó Kutatóbeli rövid tartózkodása során (1933) gázkiszülési csövekkel foglalkozott. *Winter Ernő* (különböző katódanyagokon), *Barta István* (a BME Híradástechnikai Tanszék későbbi vezetője) és itt dolgozott *Szigeti György* is, (aki később, a kutatóból 1949-ben kivált TÁKI-ban, illetve az attól elkülönült HIKI-ben volt laboratórium vezető, majd az 1958-ban megalakult Műszaki Fizikai Kutató igazgatója volt, 1978-ban bekövetkezett haláláig).

Az Egyesült Izzó (majd – 1989 után – a General Electric(GE)-Tungsram) modern történetében igen fontos esemény számos új fényforrás család kifejlesztése és az ezekhez kapcsolódó technológiák kifejlesztése.

A II. Világháború alatti és utáni technológiai elzártság időszakában nagy eredménynek számított a hazai *fénycsőgyártás* beindítása (1944) és hozzá tartozó fénypor fejlesztés, melyet az Izzóban *Kardos Ferenc*, a kutatóban *Szigeti György*, *Szabó János* és *Körös Endréné* (aki a 90-es évek fordulóján és években (a GE-Tungsram években is) a modern fénypor kutatás Izzó-s vezetője volt) nevéhez kapcsolhatunk.

A fénypor kutatásról alábbiakban még külön szólunk. A GE-Tungsram korszakban bevezetett kompakt fénycsövek kifejlesztése a GE nevéhez kapcsolódik, de a hozzájuk tartozó fénypor kutatásban *Körös Endréné* csapata kiemelkedő szerepet játszott.

Fénypor kutatás. Fényporbevonási technológiák. A fénycsövek, a nagynyomású higanygőz lámpák és legújabban a kompakt fénycsövek teljesítményét alapvetően meghatározza a bennük alkalmazott fénypor. Az 1930-as években a General Electric (GE) laboratóriumaiban kifejlesztett fénycsövek megvalósítását a gázkiszülések tanulmányozásában az oxidkatódok és a fényporok fotolumineszcenciája terén elért kutatási eredmények együttes felhasználása tette lehetővé. (A fényporok szerepe, pl. a fénycsövekben, az ultraibolya tartományú fény minél nagyobb mértékű átalakítása látható fénné.) A

¹ Sajnos az alapjelenségnek az 1920-as évek elején való felismerését nem követte az ipari alkalmazás: nem támogatták ilyen irányú kutatásait.

fénycsövekkel, illetve azok fényporaival kapcsolatos kutatómunka már 1936-ban megindult hazánkban. Az EIVRT kutató laboratóriumaiban Szigeti György és munkatársai által megkezdett munka első lépése annak eldöntése volt, hogy milyen típusú fénycsövek ígérkeznek a leghasználhatóbbnak. A munka eredményeképpen már 1939-ben megindult a fénycsövek hazai kísérleti gyártása. Néhány év alatt a tömeggyártás feltételeit is tisztázták és 1944-ben már megindulhatott az üzemi gyártás. A kutatómunka 1945-ben indult újra elsősorban a fénycsövekkel és azok fényporaival kapcsolatban. A *Szigeti György* majd *Kőrös Endréné* irányításával működő kutatócsoport (*Bodó Balázs, Gerencsér Péter, Balázs László Sajó Gábor*) lett a centruma a hazai lumineszcencia kutatásnak.

Ha elektronsugárzás éri a lumineszkáló kristályokat, azok nagy része világít, a jelenséget *katódlumineszcenciának* nevezzük. A jelenség fő alkalmazási területei a *katód-sugárcsövek*, elsősorban a *televíziós képcsövek*. Hazánkban az EIVRT Laboratóriuma, majd a belőle kifejlődött Kutató Intézetek már 1949-ben bekapcsolódtak a katódlumineszcencia kutatásába, elsősorban a katódlumineszcens fényporok vizsgálata révén. A kutatási eredményeket az 1950-es években meginduló, majd lassan elhaló hazai fekete-fehér TV-képcső gyártásban is hasznosították.

3.2. Optikai kutatások

A Siemens után (ahol az elektronmikroszkóp fejlesztésével foglalkozott) a Tungstramot is megjáró *Gábor Dénes* tevékenysége új területre, az **optikai kutatások** területére vezet át:

1934-ben Gábor Dénest a British Thomson Houston Co. Rugbyben működő kutatóintézetében alkalmazta, ahol az elektronmikroszkóp felbontóképességét behatároló leképezési hibákkal foglalkozott. A megoldást 1947-ben a (ma) holografikus módszernek nevezett eljárásban találta meg: ha tárgyat koherens fény világítja meg, akkor a tárgypontokról érkező fény (a tárgy hullám) intenzitás-eloszlásán kívül (egy koherens referenciahullámmal interferáltatva) az interferenciakép (a rögzített kép, hologram) megőrzi a tárgy hullám fázis viszonyait is. A hologramot a referencia hullámmal megvilágítva a tárgy hullám teljes információtartalmával (leképezési hiba nélkül) bármikor rekonstruálható. Munkásságáért 1971-ben fizikai Nobel-díjat kapott.

A II. világháború előtt a Ganzon és a Tungstramon kívül még két területen volt kiemelkedő (az alkalmazott fizika területén is dolgozó) kutató centruma hazánkban: az optikai kutatások terén a Gamma és a Magyar Optikai Művek (később ezekből nőtt ki az Optikai Kutató Laboratórium és még később a Bárány Nándor által megalapított Finommechanika és Optika Tanszék (BME), – és a híradástechnikai és akusztikai kutatások területén a Posta Kísérleti Állomás (Posta Kísérleti Intézet).

A magyar optikai kutatások kezdete *Petzval József* budapesti és bécsi műegyetemi tanár nevéhez fűződik (lencserendszerek kutatása, a világ első, fényerős portréobjektívének felfedezője), de az első igazi iskolateremtő egyéniség *Dr. Bárány Nándor* volt, kinek munkássága (könyvei, számos optomechanikai rendszer kifejlesztése, az Optikai Kutatólaboratórium és a BME Finommechanikai és Optikai Tanszék megalapítása), a II. világháború körüli években meghatározó volt.

Az optikai kutatók sora (*Barabás János, Majoros Sándor, Schinagl Ferenc, Tisza Sándor* (gátlózerek, MOM)), száloptika (*Hegyessy Géza, Besskó Dezső, Lisiewicz An-*

tal) nőtt ki e centrum körül és kiemelkedő tevékenységük közös jellemzője az volt, hogy a viláagsők után 1–3 év alatt voltak képesek reprodukáló gyártmányfejlesztésre és gyártmányaik gyártásba vitelére. *A klasszikus finommechanika és optika terén* ma e munka örököse a Finommechanika és Optika Tanszék (szintévesztés, ennek korrekciója: *Ábrahám György és Wenzell Klára*).

Ma e Tanszéken dolgozik *Greguss Pál* (ld. még a PKI-ról szóló fejezetben), akinek nevéhez fűződik a NASA által is felhasznált teljes térszögben látó optikai lencserendszer nemzetközileg elismert kidolgozása. Az 1983-ban hazai és számos külföldi országban szabadalmat nyert képpalkotó optika, amelyet ma Panoramic Annular Lens (PAL) optikának emlegetnek a szakirodalomban, úgy tűnik, sikeresen oldotta meg ezeket a problémákat: a PAL lencsét a NASA a világűrbe is felküldte helymeghatározási alkalmazásokra.

Az 1960-es évektől kezdve komoly alkalmazott optikai kutatások folytak a KFKI Szilárdtestkutató Intézetében *Kroó Norbert* vezetésével.

E kutatások elméleti és technikai hátterét a fény természetével foglalkozó alapkutatások (*Jánossy Lajos*), valamint az atom-és molekulaszpektroszkópiai kutatások (*Mátrai Tibor*) szolgáltatták. Főbb eredményei:

- Első hazai gázlézer (He-Ne, 1,15 μ) (1963, *Bakos József, Csillag László, Kántor Károly, Varga Péter*).
- Első hazai szilárdtestlézer (rubin, 0,69 μ) (1964, *Farkas Győző, Náray Zsolt, Varga Péter*).
- Első hazai vörös He-Ne lézer (1965, *Csillag László, Kántor Károly, Rózsa Károly, Salamon Tamás*); e lézerek kis példányszámú előállítására: 1965-től; (a MOM – a KFKI közreműködésével – 1970-től gyártott ilyen műszereket).
- Üregkátód-gerjesztésű lézerek és kisülések kutatása (Nemesgáz-keverék ion lézerek: *Jánossy Mihály* 1973, katódporlasztásos He-Cu ion lézer: *Csillag László, Jánossy Mihály, Rózsa Károly* 1974; új katódgeometriák: *Rózsa Károly* 1975; gázkisüléssel számító gépes modellezés. *Donkó Zoltán* 1992).
- folytonos és Q-kapcsolt Nd-YAG lézerek (*Kertész Iván*, 1974).

A He-Ne lézerek, a Nd:YAG lézerek, a lézeres mérőműszerek kidolgozásával, ill. kis példányszámú előállításával a KFKI jelentősen hozzájárult a korszerű optikai kultúra – ezen belül az egyetemi oktatás, az egészségügy és a korszerű ipar – hazai fejlődéséhez. Ezek közül kiemelendő:

- Különböző lézeres mérőműszerek kifejlesztése és kis példányszámú előállítása (*Czitrovsky Aladár, Jani Péter*, 1980-tól), mint pl. az interferometrikus hossz mérő, a Doppler-aneméter, és egy részecskekonzentráció- és sűrűségeloszlás mérő,
- Orvosi (sebészeti) lézeres műtőberendezések kidolgozása és egyedi előállítása (*Kertész Iván*, 1980-tól).

Külön kell említenünk az itt kialakult optikai vékonyréteg alkotó műhelyt (*Ferencz Kárpát*), melyben professzionista módon 1970-óta folyik sokrétű dielektrikum rétegrendszerek – lézertükrök, nyalábosztók, interferencia-szűrők, stb. – tervezése és kis példányszámú előállítása (*Luther András, Ferencz Kárpát*); kiemelkedő eredmény a femtoszekundumos impulzusok terén végzett munka, melynek során fáziskompenzált lézertükröket dolgoztak ki és készítettek egyedileg femtoszekundumos lézerrendszerekhez (*Ferencz Kárpát, Szipőcs Róbert*, 1995-től).

A Tungsramban (lézeres anyagmegmunkálás – *Antal Kálmán*), valamint a Tungsramból kinőtt Lasramban az orvosi és technológiai lézerek (*Kreisz István*) területén végzett alkotó tevékenység érdemel kiemelés. Szép eredmények születtek a BME Fizika Tanszékén a dinamikus rendszerek holografikus interferometriás mérés technikájában és vizsgálataiban (*Füzessy Zoltán, Gyimesi Ferenc*).

Az első hazai CO₂ lézert 1976-ban készítették *Richter Péter* (akkor MOM) és *Antal Kálmán* (Tungsram).

Az első hazai félvezető lézerdiódát *Lendvay Ödön* (MFKI) és munkatársai fejlesztették ki.

A szegedi lézerfizikai és optikai iskola. A *Budó Ágoston* akadémikus nevével fémjelzett szegedi lumineszcencia-iskola eredményeire épülve, a hatvanas évek közepén indultak meg a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékén a lézerfizikai kutatások. *Ketskemény István, Dombi József, Vize László* és *Kozma László* fémjelzi ezt a korszakot. 1969 őszén működött először Szegeden villanólámpával gerjesztett festéklézer. A hetvenes évek elején kapcsolódott be a kutatómunkába egy új, gyorsan hírnevet szerzett generáció, amelynek prominens képviselői *Bor Zsolt* és *Rácz Béla*, akikhez 1975-ben, akkor még hallgatóként csatlakozott *Szabó Gábor*. 1974-től a festéklézerek optimális pumpáló forrásából, a nitrogénlézerből – az OMFB támogatásával – több mint tíz példány épült. Az intézetben készült számos nitrogén- és excimer lézerral gerjesztett festéklézer többségét a felhasználók speciális igényeihez igazodva fejlesztették ki.

A fejlődés új útját jelölte ki *Bor Zsolt*, amikor 1978-ban, a göttingeni Max Planck Intézetben dolgozva felismerte az elosztott visszacsatolású lézerekben fellépő ön-Q-kapcsolás jelenségét, és olyan, úgynevezett akromatikus elrendezést dolgozott ki, amely lehetővé tette ezek gerjesztését kis térbeli és időbeli koherenciájú lézerimpulzusokkal. Ez vetette meg a későbbiekben kidolgozott, excimer és nitrogén lézereken alapuló, piko-, illetve femtoszekundumos lézerrendszerek kifejlesztésének alapjait.

Az impulzusüzemű festéklézerek és excimer lézerek kombinálásával *Szatmári Sándor* – aki ma a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékét vezeti – egy olyan újszerű lézerrendszert fejlesztett ki és valósított meg, amely egyesíti az excimerek rövid hullámhosszából és nagy teljesítményéből, továbbá a festéklézerek jó tér- és időbeli tulajdonságaiból származó előnyöket. A tudományos és mérnöki fejlesztőmunka ötvözeteként megalkotott lézerrendszerből, amely 248 nm hullámhosszú, tipikusan néhány száz femtoszekundumos, szub-terawattos impulzusokkal 10¹⁹ W/cm² fókuszált intenzitás elérését teszi lehetővé, a világ több mint húsz vezető laboratóriumában működnek példányok. A JATE Kísérleti Fizikai Tanszékén ma folyó kutató-fejlesztő munka fő célkitűzései az excimerek energiahatásfokának növelése, és a rövid impulzusú erősítés feltételeinek megfelelő excimer erősítők további tökéletesítése.

Osvay Károly is *Bor Zsolt* tanítvány. A nagy átmérőjű nyalábban terjedő ultrarövid UV lézerimpulzusok idejének és időbeli kontrasztjának mérésére a Rutherford Appleton Laboratory-ban, a kilencvenes években kidolgozott, főként egylövéses eljárásai máig egyedülállóak. Különösen jelentős eredménye a nagy hatásfokú, extrém sávzsélességű optikai erősítést biztosító ún. nemkollineáris optikai parametrikus erősítés kísérleti bemutatása, és a módszer alkalmazása különböző spektrális tartományokban. Erre alapozva épül a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén egy a biológiai-, kémiai- és fizikai lézer-anyag kölcsönhatások vizsgálatában új fejezetet nyitó, nemzetközi viszonylatban is egyedülálló, terawattos impulzusokat szolgáltatató femtoszekundumos lézerrendszer.

A *Bor Zsolt* vezetésével a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén működő Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoport – a szegedi optikai és lézerfizikai iskola eredményeire építve – a lézerek alkalmazásai egyik meghatározó hazai műhelyévé vált. Az excimer lézerrel végzett szaruhártyaműtétek kockázatainak csökkentéséhez jelentettek komoly hozzájárulást az eltávozó anyagfelhő és a szaruhártya fölött terjedő lökéshullámok nanoszekundum időfelbontású vizsgálata során elért eredmények, és a szaruhártya felületén terjedő felületi hullámok, illetve a szaruhártyában kialakuló akusztikus impulzusok kimutatása. A *Szörényi Tamás* körül kialakult munkacsoport nemzetközi elismerést kiváltott eredményekkel járult hozzá a nagy bonyolultságú áramkörök és a litográfiában használt optikai krómmaszkok javítására, illetve általában a (mikro)mintázatok előállítására elterjedten alkalmazott lézeres direktírás, illetve lézeres átmásolás (LIFT) technikájának tökéletesítéséhez. Vékonyrétegelőállítási és lézeres mikromegmunkálási technikák ötvözésének eredménye az integrált optikai szenzorok új generációjának nemzetközi együttműködésben történő fejlesztése és ipari méretű gyártása. 1994-től fontos alkalmazott kutatási témává nőtt a fotoakusztikus spektroszkópia. A *Szabó Gábor* és *Bozóki Zoltán* vezetésével működő munkacsoport diódalézereken alapuló rendszereket fejlesztett ki gázok nagy érzékenységgű detektálására. Ezek közül is kiemelkedik a MOL megbízásából 1998-ban készített kompakt műszer, amely vízgőz ppm szintű detektálását teszi lehetővé földgázban. A kilencvenes évek végére a vizsgálatok középpontjába a fotoakusztikus módszerek környezetkutatási és élelmiszerfizikai alkalmazásai kerültek.

Az MTA Szegedi Biológiai Központ Biofizikai Intézetét 1971-ben alapították. Igazgatói: 1971-től 1973-ig *Szalay László*, 1973-tól 1975-ig *Garay András*, 1975-től 1993-ig *Keszthelyi Lajos*, 1994 óta *Ormos Pál*. Az Intézet feladata az élő rendszerek vizsgálata a fizika módszereivel. Elsődleges az alapkutatások végzése, de jelentős erőfeszítések történnek az eredmények gyakorlati alkalmazására is. Ígéretes alkalmazott fizikai vonatkozásai vannak a bakterio-rodopszin fehérje fizikai tanulmányozásának, amelyek az Intézet Bioenergetika csoportjában (ennek vezetője korábban *Keszthelyi Lajos*, jelenleg *Ormos Pál*) folynak. A bakterio-rodopszin egy baktériumban található fehérje, amely a fény energiáját alakítja át biológiailag hasznosítható energiaformába. A bakterio-rodopszin felhasználásán alapuló optikai adattárolás, illetve az optikailag vezérelt optikai kapcsolók az optikai információfeldolgozásban (távlatilag optikai komputerek fejlesztésében) számíthatnak alkalmazásra. Igen nagy érzékenységgű és szelektivitású érzékelők, biológiai szenzorok készíthetők ebből az anyagból. A molekulán belüli elektromos töltésmozgást egyszerűen előállítható fényérzékelőkben lehet kihasználni: igen gyors (ps reakcióidejű) detektorok, kamerák fejlesztése lehetséges. Jelenleg e készülékek laboratóriumi szintű fejlesztése folyik.

A BME Atomfizika Tanszéken kialakult alkalmazott optikai iskola. *A modern optikai csúcstechnológiákban* (a műszaki fizika határterületein) az 1980-as évek elejére nemzetközileg ma is *elismert optikai iskola alakult ki a BME Atomfizika Tanszéken, amelynek vezetője Richter Péter professzor*. Az első nemzetközileg (az USA-ban is) elismert eredmények közé tartozik egy lidar rendszer² létrehozása (*Richter Péter*), valamint az akusztiooptikai (AO) eszközök széles körének K+F munkái és kísérleti gyártá-

² A koherens infravörös differenciálabszorpciós lézer-radar (LIDAR) a légszennyezések távmérésére (2–5 km-ig) alkalmas; a CO₂ lézerre alkalmazott változat 9–11 μm között dolgozik; a kisugárzott és a földfelületről reflektált hullámok differenciál abszorpcióját mérve 100 ppm x méter érzékenység érhető el.

sának teljes vertikumban való beindítása (*Giber János*, a tanszék akkori vezetője, *Podmaniczki András*, *Jakab László* és főleg a kezdeti időszakban *Behringer Tibor*). (A TeO_2 és LiNbO_3 kristályokat a *Tarján Imre*, *Voszka Rudolf* vezette MTA kristályfizikai kutatólaboratórium szállította, ld. alább.)

Az akusztóoptikai eszközök kidolgozott gyártástechnológiája lehetővé tette TeO_2 alapú korszerű akusztóoptikai eszközök, modulátorok, deflektorok, Q-kapcsolók, mode-lockerek, hangolható szűrők fejlesztését, egyedi illetve kissorozatú gyártását. Ezen a technológián számos hazai és nemzetközi ipari és tudományos együttműködés alapszik.

Richter Péter vezetésével a BME Atomfizika Tanszék (*Richter Péter*, *Jakab László*, *Szarvas Gábor*, *Lőrincz Emőke*, *Kocsányi László*, *Péczeli Imre*, *Böröcz Szilárd*, *Barócsi Attila*, *Koppa Pál*, *Barabás Miklós*) kiemelkedő eredményeket ért el az optikai jelfeldolgozás, az optikai adattárolás és az integrált optika és alkalmazott spektroszkópia számos területén is.

Az optikai jelfeldolgozás terén a kidolgozott akusztóoptikai elvű rádiófrekvenciás spektrumanalizátorok az analóg optikai számítógépek családjába tartozó különlegesen nagy sebességű készülékek, melyek a 30-90 MHz, 50–100 MHz, 1000–2000 MHz frekvenciasávban működnek, és számos kiállításon szerepeltek sikerrel (pl. kétszer az USA-ban) s az optikai jelfeldolgozás szakterületen hozzájárultak az Atomfizika Tanszék nemzetközi elismertségéhez. (Photonic Systems)

Az akusztóoptikai elvű rádiófrekvenciás iránymérő készülék saját fejlesztésű 5 csatornás Bragg-cellán alapuló berendezés a 30-90 MHz-es sávban a világon az első olyan optikai jelfeldolgozó rendszer, amely gyorsan változó, néhány msec-es jelek mérésére is alkalmas. Ilyen jelek detektálására, mérésére más módszerek mind a mai napig nem bizonyultak megfelelőnek.

Akusztóoptikai szűrő alkalmazása tette lehetővé a Max Plank Institut für Quantumoptik (Garching) együttműködésével az első hangolható sávzélességű félvezető lézer létrehozását (*Richter Péter*). Ennek az optikai távközlésben való felhasználása (koherencia-multiplexelés) napirenden van (Bell Lab.)

Az integrált optika eredményei területén a LiNbO_3 alapú integrált optikai technológia kidolgozása említendő, melynek segítségével hullámvezető, elektronlitográfiával készített felületi hullámú fényeltérítő, planár anizotróp lencsék, ki és becsatoló elemeket tartalmazó integrált optikai rendszerek előállítására lehetséges. (Samsung Advanced Institute for Technology)

Az általuk kifejlesztett, planár anizotróp lencséket, ki- és becsatoló elemeket tartalmazó integrált optikai rendszerek tervezését segítő programcsomag ma a Sinclair cég által árusított OSLO nevű optikai tervező program részét képezi.

Az anizotróp csatorna hullámvezető eszközök elméleti modellezésére gyors, pontos számítási módszereket dolgoztak ki. Ilyen például a többrétegű nemlineáris optikai polimerekből készült anizotróp rétegek optikai paramétereinek mérésére új reflektometriás mérési eljárás kidolgozása, mely lehetővé teszi a törésmutató 3–4 tizedesjegy pontosságú meghatározását. (Siemens)

Az optikai memória kutatások területén kiemelkedő a CD és magnetooptikai tároló optikai fej optikai és mechanikai rendszerének tervezése, CD-fej mintasorozat elkészítése (megrendelő VIDEOTON, OMFB), valamint a speciális optikai tároló rendszerek optikai tervezése, így pl. a lapszervezésű beírású, polarizációs-holografikus (együttműködés Optilink AB svéd és RISÖ Kutatóintézet Dánia), valamint a há-

romdimenziós két fotonos beírású (együttműködés SUNY-B USA-val), típusok működő modelljének megépítése (*Richter Péter, Szarvas Gábor, Lőrincz Emőke*).

Az optikai tervezés területén az előzőekben felsorolt eredményekhez nagymértékben hozzájárult a modern mikrooptikai, aszférikus és diffraktív elemek tervezésében nagy jártasságú optikai tervező csoport. Az egyes elemek tervezését kiegészíti a komplett optikai rendszer modellezése, hibaanalízise, gyártási toleranciáinak optimalizálása (*Szarvas Gábor, Barabás Miklós*).

Sajátságos modellt jelentett az Atomfizika Tanszék Videotonnal (*Kázmér János és Ábrahám László*) kezdeményezésére 1978-ban létrehozott közös laboratórium. Ez volt az első ilyen közös intézmény a BME-n; itt az USA-ban és az NSZK-ban folyó munkákkal egyidőben sikerült létrehozni a hazai magneoptikai memória diszkeket TbFeCo (ritkaföldfém-átmeneti fém) amorf vékonyrétegekkel (*Giber János, Cziegel Gábor, Bokor Tamás* és mások). E kutatás számos részeredményét használta fel a wiesbadeni Hoechst cég.

Az akusztóoptikai elvű gyors, hangolható spektrofotométer a látható tartományban működő saját fejlesztésű akusztóoptikai hangolható szűrőt tartalmazó készülék optikai vékonyrétegek gyors, vákuumpárolgatás közbeni minősítésére alkalmas, gyorsítja a technológia beállítását, növeli annak reprodukálhatóságát.

Az alkalmazott spektroszkópia területén a legújabb eredmények közé sorolható a Siemens-el közösen kezdeményezett és a Siemens megrendelésére a Tanszéken a gyártás megindításáig fejlesztett NIR közeli infravörös spektrométer, mely saját fejlesztésű AO-szűrővel dolgozik. (*Kocsányi László, Richter Péter, Giber János, Péczeli Imre, Jakab László, Sólyom András, Böröcz Szilárd, Barócsi Attila*).

A lézeres anyagmegmunkálások területén kiemelendő az akusztóoptikai nyaláb-kombinálón és fáziskonjugált reflektoron alapuló többszörös félvezető lézerrel pumpált YAG lézer fényforrású lézeres mikromegmunkáló (Thomson, TU Berlin) (*Jakab László, Richter Péter, Barócsi Attila, Maák Pál*). Az utóbbi évek fontos fejleménye a Lasram céggel létrehozott közös kutatólaboratórium, ahol többek között nagyteljesítményű repülőfejes megmunkáló rendszer, valamint kombinált lézer-víz sugaras vágórendszer kerülnek kifejlesztésre (*Kreisz István, Richter Péter, Péczeli Imre, Koppa Pál*).

3.3. Kristályfizikai, kristálynövesztési tevékenység

Nem lehet közel sem teljes a magyar alkalmazott fizikai kutatások ismertetése a magyar **kristályfizikai, kristálynövesztési eredmények** értékelése nélkül. A kristályfizikai kutatások kezdetei Gyulai Zoltán (BME Kísérleti Fizika Tanszék) professzor nevéhez fűződnek.

A Gyulai Zoltán iskola. Gyulai Zoltán hét éves szibériai hadifogságból 1922-ben tért haza. Csakhamar sikerült Németországba mennie két éves tanulmányútra *R. W. Pohl* mellé Göttingenbe. Akkortájt kezdett kialakulni a szilárdtestfizika és ekkor vált Gyulai Zoltán is e terület, közelebbről a kristályfizika alkotó művelőjévé.

Göttingenben *Gyulai Zoltán* az alkalihalogenid kristályokban létrehozott ponthibákkal, az ún. *színcentrumokkal* foglalkozott. A témakör Göttingenből indult el. A színcentrumok ionizáló sugárral, vagy egyéb módokon keltett kristályhibák, amik a fényt másképp nyelik el, mint az ép kristályhelyek: a színtelen kristály színessé válik. Innen kapta a témakör a nevét is. Virágkorát az 50-es és 60-as években érte el.

Ugyancsak a 20-as években kezdett egyre nyilvánvalóbbá válni, hogy a kristályos rendezettségben mindig vannak hibák, akkor is, ha ilyeneket nem keltünk szándékosan. Szennyezések, mechanikai hatások és ami különösen lényeges, *az atomok termikus mozgásai is hoznak létre hibákat*. Termikus hibák állandóan képződnek és „begyógyulnak”. Minden hőmérséklethez tartozik egy egyensúlyi hibakonzentráció. Gyulai Zoltán végezte még a 30-as években Szegeden az első tudatos kísérleteket a természetes kristályhibák vizsgálatával kapcsolatban (*Gyulai–Hartly-effektus*).

Már a 30-as, de még inkább a 40-es években (Debrecen, Kolozsvár) Gyulai Zoltán érdeklődése a *kristálynövekedés mechanizmusa* felé fordult. Előbb *W. Kossel* elméleti megfontolásait igazolta kísérletileg, kiegészítve azokat a *kristályosodási határréteg* koncepciójával, majd (50-es és 60-as évek, Budapest) a *tűkristályok és más kristályosodási alakzatok* kialakulásával kezdett foglalkozni. Ezekkel a vizsgálatokkal nemzetközi vonatkozásban is új kutatási területeket indított el a kristályosodás területén.

Munkatársai, utódai (*Tomka Pál, Boros János, Medveczky László, Jeszenszky Béla, Morlin Zoltán, Kiss József, Hartmann Ervin, Malicskó László, Vannay László*) eredményesen folytatták/folytatják Gyulai témáit. A Tanszéken ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), KDP (KH_2PO_4), TGS ($\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$) $_2$ H_2SO_4 , α -jódsav ($\alpha\text{-HIO}_3$), litiumjodát (LiIO_3) kristályok oldatból történő növesztésével foglalkoztak.

Tarján Imre kezdő diplomásként, 1936–40 dolgozott a Debreceni Tisza István Tudományegyetem Orvostudományi Fizikai Intézetében Gyulai Zoltán mellett.

A „háborús szünet” után a sors 1949-ben hozta össze őket ismét a Távközlési Kutatóintézet (TKI) jóvoltából. A TKI ui. a híradástechnikában használatos piezoelektromos etiléndiamintartarát (EDT) egykristályok növesztésével³ kapcsolatban kutatási szerződést kívánt kötni Gyulai Zoltánnal. Őt akkortájt elsősorban a tűkristályok és a kristályosodás más megjelenési formái érdekelték, a TKI-féle feladat vállalását Tarján Imre személyéhez kapcsolta. Tarján az EDT helyett a *kvarcot javasolta*. A kvarc egykristály növesztése izgalmasabb feladatnak tűnt, hiszen nemzetközileg sem volt még megoldva, és piezokristályként is előnyösebb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az EDT. Javaslatát a TKI részéről is elfogadást nyert.

A munkát Tarján gyakorlatilag egyedül kezdte el, kb. fél évvel később bekapcsolódott a feladatba a Gyulai-tanszék részéről *Zimonyi Gyula*, az Orvosi Fizikai Intézet részéről pedig, aminek vezetését Tarján akkor vette át, *Újhelyi Sándor*.

A siker hamar mutatkozott, az első kristálypéldányokat a kutatók már 1951 nyarán bemutatták *Barcza Lászlónak*, a TKI igazgatóhelyettesének. Az amerikai Bell-laboratórium munkatársainak közleménye (A.C.Walker, E.Beuhler, *Indust. Eng. Chem.*, 42, 1369, 1950), ami a témával kapcsolatban prioritást élvez, nem sokkal előbb, pontosabban 1950-ben jelent meg, illetve vált itthon ismertté. A hazai eredményekről 1952-ben a debreceni fizikus vándorgyűlésen Tarján számolt be, és cikke is a Fizikai Szemlében ugyanebben az évben jelent meg. Külföldi közlés nem jöhetett szóba, ami sajnálatos, hiszen a hazai eredmények nemzetközileg is az elsők között voltak.

Tarján Imre a vezetése alatt álló intézetben *Nagy János* munkatársával egy ideig még foglalkozott a kvarc egykristályok növesztésével; ezekről a vizsgálatokról azután 1957-ben az *Acta Phys. Hung.* egyik számában számoltak be. A BME Kísérleti Fizika Tanszéken *Zimonyi Gyula* kvarc tűkristályokat növesztett, amikről ugyancsak az *Acta Phys. Hung. c.* akadémiai folyóiratban jelent meg beszámoló.

³ Az EDT kristályok növesztésével végül a Schay-Tanszék foglalkozott (*Juhász Endre*).

A kvarc ipari gyártására a sikeres laboratóriumi vizsgálatok ellenére nem került sor. Így döntött akkor az iparügyi tárca.

A Tarján Imre iskola. Tarján Imre 1950-ben vette át a Budapesti Tudományegyetem Orvosi Fizikai Intézetének vezetését. A tudományos munkát munkatársaival az előző témái folytatásával kezdte el: *kristályhibák, különös tekintettel a színcentrumokra, kristálynövekedés mechanizmusa és gyakorlati célú kristálynövesztés*; az egykristálynövesztés bevezetésében hazánkban kezdeményező szerepük volt. Ekkor bontakozott ki egyébként az iparilag legfejlettebb országokban is az az időszak, amikor mind a tudományos kutatás, mind a gyakorlat élet különféle területei – minőségben és mennyiségben egyaránt – egyre nagyobb igényeket támasztottak az egykristály formájában előállítandó anyagok iránt. Gondoljunk a félvezetőkre, a sugárzásdetektorokra, elektroakusztikai átalakítókra, lézerekre, általában az elektronikában, automatikában, számítástechnikában felhasználásra kerülő különféle anyagokra.

Az 50-es években fejlesztették ki a röntgen- és a radioaktív sugárzások detektálására alkalmas többféle szerves és szervetlen szcintillátor egykristály előállítását, amilyen pl. a gamma- és a röntgensugárzás esetében használatos NaI(Tl), és a béta-sugárzás mérésére használt antracén kristály. Termékeik minőségükkel nemzetközileg is kitűntek. Így 1961-ben a szocialista országok Prágában megtartott „versenyén” a GAMMA-gyárnak az általuk kidolgozott módszerrel előállított NaI(Tl) kristályai első helyezést értek el.

Eredményeik kedvezően befolyásolták több területen a tudományos kutatást (különösen a fizika és az orvostudományok vonatkozásában) itthon és külföldön egyaránt. Elősegítették továbbá a nukleáris medicina műszerparkjának (GAMMA-szcintigráf) hazai kifejlesztését is.

Tarján Imre és munkatársai vizsgálatainak kedvelt anyagai voltak az alkali-halogenid kristályok: könnyen elérhetőek, egyszerű felépítésűek, számos vonatkozásban jó modellanyagok. Az alkali-halogenideken végzett színcentrumos vizsgálataik, pontosabban a fotóvezetésben mutatkozó anomáliák hívták fel a figyelmüket a szennyezések, különösen az oxigéntartalmú szennyezések szerepére.

Megállapíthatjuk, hogy a fentebb említett programokban és eredményekben alap- és alkalmazott kutatás egyaránt szerepelt, sőt, állandó kölcsönhatásban volt egymással. Ez alkalommal is elmondhatjuk, amit már többször megtettünk: nem szembeállítani kell a két kutatástípust, hanem felhasználni azokat egymás eredményessége érdekében.

A fenti vizsgálatokban Tarján Imre mellett különösen a következő munkatársak vettek részt: *Turchányi György, Voszka Rudolf, Újhelyi Sándor, Somló Ágnes, Janszky József.*

Az Akadémia Kristályfizikai Kutatólaboratóriuma. Az Akadémia vezetése 1976. január elsejével a SOTE Orvostudományi Egyetemen és a Műszaki Egyetemen működő két kristályfizikai tanszéki kutatócsoportból, munkájuk elismeréséül, létrehozta a Kristályfizikai Kutatólaboratóriumot (KFKL). Az új kutatóegység a Budaörsi úton került elhelyezésre az akkor megalakult MTA Természettudományi Kutatólaboratóriumai (TTKL) részeként.

A 40-es és 50-es években Tarján Imre által elkezdett, a gyakorlati alkalmazás szempontjából is érdekes anyagok felé való orientálódással, a célzott kristálynövesztéssel jellemezhető kutatási stratégiát tanítványa, a Kutatólaboratórium igazgatója, *Voszka Rudolf* teljesítette ki komplex anyagtudományi lánccá. Ebbe belatartozott minden művelet az alapanyag-előállításától, a tisztítástól, a kristálynövesztésen át az orientálásig és megmunkálásig, valamint a minősítésig és a tulajdonságok vizsgálatáig.

(A KFKL – amely nemrégiben a KFKI Szilárdtestfizikai és Optikai Kutató Intézettel egyesülve, annak önálló Kristályfizikai Főosztálya – mai vezetője *Janszky József*.)

A Laboratórium tudományos fő feladata *optikai kristályok* előállítása és tulajdonságainak vizsgálata lett. Ez a tematika egészült ki később, *Janszky József* kezdeményezésére a nem-lineáris anyagokban végbemenő optikai folyamatok tanulmányozásával.

Még a 70-es évek második felében sikerült jó minőségű LiNbO_3 kristályt előállítani (*Polgár Katalin*), ami rendkívül sokoldalú, számos alkalmazási lehetőséggel (felületi hullámvezető, piezoátalakító, rezgésdetektor, Q-kapcsoló, frekvenciakettőző, akusztóoptikai átalakító, optikai hullámvezető, stb.) rendelkező anyag. Előreszaladva az időben, a 90-es évek egyik kristályslágere a sztöchiometrikus összetételű, teljesen új tulajdonságú, pl. kiemelkedő lézersugár tűréssel rendelkező LiNbO_3 volt. (Normál körülmények között nem sztöchiometrikus összetételben nő!) 1981-re sikerült az ismert legjobb akusztiko-optikai TeO_2 (paratellurit) kristályt előállítani (*Voszka Rudolf, Földvári István*) és az egyes fizikai tulajdonságok, valamint a kristályok használhatósága közötti összefüggéseket tisztázni (*Péter Ágnes, Janszky József*). Utóbbi kristályokra alapozta a BME Atomfizika Tanszéke akusztóoptikai fejlesztését (ld. feljebb).

Földvári István állított elő nemzetközileg is elsőként (1990-92) nagyméretű Bi_2TeO_5 (bizmút-tellurit) kristályt, a kristályban ugyanő hosszú élettartamú holografikus memóriát tudott kialakítani.

Az utóbbi idők és a jelenkor fontos nem-lineáris optikai anyagai a ciklikus borátok. Optikai minőségben sikerült növesztetni $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$, LiB_3O_5 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ és $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ egykristályokat (*Polgár Katalin, Beregi Jelena*).

Tradicionalisan erős a laboratóriumban a kristályok tulajdonságait nagymértékben meghatározó kristályhibák kutatása spektroszkópiai, elektromos és mikroszkópiai módszerekkel (*Watterich Andre, Gorradi Gábor, Földvári István, Kovács László, Harmann Ervin, Malicskó László*).

A nem-lineáris optikai és kvantumoptikai kutatás logikus kiegészítése egy nem-lineáris optikai anyagokat növesztő és vizsgáló kutatóhely tematikájának (*Janszky József, Ádám Péter, Domokos Péter, Kiss Tamás, Kis Zsolt, Szabó Szilárd*).

A hazai kristálynövesztés története nem lenne teljes, ha nem említenénk meg a KFKI-ben az 1970-es évek közepén a magasolvadáspontú oxid egykristályok, elsősorban gadolinium-gallium-gránát sikeres növesztését Czochralski-módszerrel, 2" átmérőig, valamint a mágneses oxid vékonyrétegek folyadékfázisú epitaxiális módszerrel történő előállítása terén végzett munkát (*Konczos Géza, Paitz József, Süveges Antal, Keszei Béla, Vandlik János*).

3.4. K+F tevékenység a Magyar Postánál

Mint fentebb említettük a Tungsram kutatólaboratórium mellett egy másik területen is létrejött egy főhivatású ipari kutatólaboratórium: Baross Gábor (a magyar vasút és posta nagy formátumú mentora) 1891-ben létrehozta a **Posta Kísérleti Állomást, a mai Posta Kísérleti Intézetet (PKI)**, mely ma is az akusztikai, híradástechnikai, távközlési K+F munka nagy hagyományú (ma ismét az egyetlen) centruma. A PKI tipikus példája annak, hogy jelentős, nemzetközi élvonalban dolgozó, távlatokban gondolkodó ipari kutató intézet olyan nagy egyéniségek körül alakulhat ki, akik fejlesztőmunkájuk során visszanyúltak tudományok alapjaihoz,

ezért a PKI szinte teljes tevékenységét is iskolateremtő egyéniségekhez lehet kapcsolni: *Békési György*-, *Tomits Iván*-, *Magyari Endre*-, *Mályusz Géza*-, *Ocskay Szilárd*- és a *Lajtha György* iskolák (utóbbi a fénytechnika, fényvezetők híradástechnikai alkalmazását alapozta meg).

3.4.1. A Békésy György iskola

Az akusztikai kutatások meghonosítása az Intézetben egyértelműen *Békésy György*, később 1961-ben Orvosi Nobel díjat elnyert kutató munkásságának eredménye. A kezdetekben nem volt egyértelmű, hogy az állomásnak olyan mélységig kellett volna beszéd- és halláskutatással, elektroakusztikával, teremakusztikával és zajvédelemmel foglalkozni, ahogy az az elmúlt 60 évben megvalósult. Ezt a tudományágat *Békésy György* honosította meg 1927-ben, és irányította egészen 1947-ig.⁴ Kezdetben, mint fiatal fizikus, a telefonkészülék hallgatójának fejlesztését kapta feladatául. Tudományos alaposággal látott ennek kialakításához, és ehhez feltétlenül meg kellett ismernie a fül mechanizmusát. Igyekezett meghatározni azt a rezonanciateret, amit a fülkagyló és hallgató előtti légtér együtt hoz létre. Biológiai és anatómiai tanulmányokat végzett, melyre alapozva kidolgozta a legkedvezőbb átviteli karakterisztikát adó hallgatót.

Békésy anatómiai és biológiai érdeklődése előrevetítette későbbi Nobel díjas eredményeit. Még az állomáson megkezdte egy audiométer kidolgozását, amit azután később az Egyesült Államokban fejezett be. Érdekes megemlíteni, hogy egykori munkatársa, *Mihály József* 1956 végén szintén az Egyesült Államokba távozott, és még ma is a Békésy-féle audiométerek gyártásával foglalkozik.

3.4.2. Tomits Iván iskola

Az átvitel-technikai kutatások az állomás alapfeladatai közé tartoztak. A gyökerek 1902-ig nyúlnak vissza, amikor a vidéki CB központok és a főváros összekapcsolásához jó minőségű átviteli utakra volt szükség. Ennek elméleti alapjait a táviró-egyenlet megoldása adta, majd a táviró-egyenletben szereplő anyagállandók optimalizálásával igyekeztek az áthidalható távolságot növelni, és a hanghűséget javítani. Ezzel egyidejűleg a különböző változtatások hatását mérésekkel ellenőrizték. A mérési módszereket *Gáti Béla* dolgozta ki, munkája nyomán számos műszer készült és széleskörű vizsgálatokat végzett előbb légvezetékes, majd kábelhálózatokon. Eredményeiről angol, német és francia szaklapokban jelentek meg cikkei.

Mellette kezdett dolgozni 1913-ban *Tomits Iván*, aki az Állomáson 40 évig dolgozott távközlés-fejlesztési témákon, átvitel-technikai mérési módszerek kidolgozásában és részt vett a szakterület nemzetközi életében. 1924–1937-ig a CCIF átviteltechnikai mérési, szabványosítási munkáinak vezető szakértője volt. Kiváló fizikai, matematikai és gazdasági szakértelme lehetővé tette, hogy a felmerülő kérdéseket széles látókörűen a fizikai és gazdasági összefüggések megvilágításában vizsgálja. A Műegyetemen „Távíró és távbeszélő technika” című szaktárgyat saját kutatási eredményeivel folyama-

⁴Békésy György (1899–1972) 1923-ban, az akkor Pázmány Péter Tudományegyetemen doktorált fizikából, majd a PKI-ben dolgozott 1947-ig, közben egy évig (1926–27) a Siemens-Halske központi kutatólaboratóriumában dolgozott. 1939–1947-ig anyaegetemén a kísérleti fizika professzora volt. 1947-től (rövid svédországi tartózkodás után) az USA-ba települt, ahol a Harvard egyetemen fiziológiai akusztikai kutatásokkal foglalkozott. A „fül csigájában létrejövő ingerek fizikai mechanizmusáért” kapott Nobel-díjat.

tosan bővítve adta elő. A relativitás elméletben is járatos volt, ami az elektromágneses hullámok leírásánál már gyakorlatilag is hasznosítható volt. Megfontolásait tanulmányaiban rögzítette és számos világhírű tudóssal volt levelező kapcsolatban, ami segítette az átvitel-technikai iskola kialakulását.

Ebben a rendkívül aktív időszakban csatlakozott a Tomits iskolához *Lajtha György*, aki az egyetem elvégzése után, 1952-ben került az Állomásra. Első jelentős feladata volt az azonos oszlopsoron haladó 3- és 12-csatornás légvezetékes vivőfrekvenciás rendszerek áthallás-mentesítése. Ennek során kihasználta a Walsh-függvények digitális jellegét és ortogonális tulajdonságait. Az egymáshoz képest eltérő Walsh-függvényeknek megfelelően elhelyezett keresztvezetési pontok kioltották az elektromágneses csatolást és így tetszőleges számú berendezés áthallás mentesen volt üzembe helyezhető. A Walsh-függvények rendszerén alapuló áthallás mentesítés nemzetközileg is sikert aratott, hasonló áthallás mentesítési tervet rendelt meg a Budavox-on keresztül Kína a Kísérleti Állomástól, és 1959-ben Szíria részére kellett légvezetékes nyomvonalakat kidolgozni.

1948-ban feltalált tranzisztor első mintapéldányai 1955–56-ban jutottak el a Tomits iskola mérnökeinek kezébe. *Lajtha György* vezetésével ekkor indult meg a PKI-ban az üzemszerűen használható tranzisztoros erősítők fejlesztése. A szovjet tranzisztorokkal előállított vivőfrekvenciás erősítők első néhány darabja Eger-Füzesabony között földbe ásva – a felszínen teljesen láthatatlanul – kötésben elhelyezve működött a 12–108 kHz-es sávban és kb. 25 évig bonyolította le a forgalmat.

Bár a 60-csatornás összeköttetés kifogástalanul működött és nagyban segített a forgalmi torlódások csökkentésében, mégis számos nehézség merült fel ezen összeköttetés megvalósítása után. A Posta vezetői, akik még nem barátkoztak meg a tranzisztorokkal, igen zokon vették, hogy a külön frekvenciás, 12-csatornás elektroncsöves rendszer helyett egy annál lényegesen egyszerűbb, olcsóbb és megbízhatóbb eszközzel létesül összeköttetés. Sajnos, a műszaki érvelés helyett jogi-, és presztizs kérdések kerültek előtérbe, emiatt a hazai hálózat tranzisztorizálása lelassult és feleslegesen elköltött milliókkal folyt a csöves erősítő-állomások építése. Itt tanulta meg a Tomits iskola, hogy megváltozott időkét élnek és a kutatás mellett szakmapolitikával is kel foglalkozni. *Ocskay Szilárd* kiváló politikus és jogász is lévén, bölcs körültekintéssel vezette az Elektromos osztályt. A 60-csatornás erősítők kapcsán nehéz helyzetbe került, ugyanis a 60-csatornás tranzisztoros összeköttetés létesítéséért fegyelmi eljárást kellett lefolytatnia azon kutatók ellen, akik részt vettek a fejlesztésben, szerelésben és bemérésben. A fegyelmi eljárások eredményéről a Posta-vezérigazgatóságot tájékoztatni kellett. Mint minden nehéz esetben, maga vette kézbe az ügyet, mindenkit kihallgatott, szembesített, jegyzőkönyvet vett fel. A jegyzőkönyv végén megfogalmazta a döntést:

„Megállapítható, hogy a fegyelmi eljárás során kihallgatott személyek a vezérigazgatósági iratban leírtakat elkövették. Valamennyien bűnösnek találtak az új Szolnok-Debrecen közötti 60-csatornás összeköttetés kidolgozásában és megvalósításában. Felelősségük közvetlenül arányos beosztásukkal. Ennek megfelelően valamennyi érdekeltet félévkor a kitűzött jutalom kétszeresében részesítem.”

Az ügy ezzel véglegesen lezárult és a tranzisztor diadalmaskodott.

3.4.3. A Lajtha György-iskola („optika”)

1967-ben több kutató laboratórium elkezdte keresni a szélessávú átviteli utak megvalósítására alkalmas eszközöket. A gyorsan változó elektromágneses terek elméletére alapozva felmerült a tolerancia érzéketlen, ellipszis keresztmetszetű csótápvonal, a koaxiális kábel és a Harms-Gobeau vezeték alkalmazása több száz Mbit sebességű folyamatok átvitelére. Az elektromágneses megoldásokkal párhuzamosan felmerült a fény felhasználása is, vagyis *optikai módszerek használata a nagysebességű jelátvitelben*. A 70-es évek első felében úgy látszott, hogy szereléstechológia és tolerancia-érzéketlenség szempontjából a *fényvezető* lesz a legkedvezőbb. Ugyanakkor azonban még nagy csillapítása volt a fényvezetőnek és az első sorozatgyártásból kikerült szálak 20 dB/km csillapításuk voltak.

A technológia és az alapanyag tisztaságának növelésével a 70-es évek második felében már 2–4 dB/km csillapítású szálakat állítottak elő. Ez már annyira biztató volt, hogy a PKI-ban megkezdték a fénytechnika tanulmányozását. *Novák István* kezdeményezésére egy felmérő tanulmányt rendelt meg az OMFB, melyben a kábelgyárak, a fizikai intézetek, az egyetem és a felhasználó közösen igyekeztek ennek a technológiának a lehetőségeit vázolni. Ezzel párhuzamosan társadalmi alapon *Lajtha György* irányításával létrejött a „fényvezetőkör”, mely havi rendszerességgel összeült és kicserélték az irodalmi tapasztalatokat, megtárgyalták a várható tendenciákat és igyekeztek a magyar szellemi közéletet előkészíteni a fényvezető befogadására.

3.4.4. Magyar-iskola

Dr. Magyar Endre 1922–45. között, valamint 1957–60. között a Kísérleti Állomás kiemelkedő szakmai egyénisége volt. A hullámterjedéssel kapcsolatos kutatási a gravitáció és a rádióhullámok kölcsönhatására is kiterjedt, sőt nemzetközi kísérleteket tervezett ennek számszerű meghatározására. A világ különböző részein öt országban figyelték az antennatornyok és a rádióhullámok elhajlását egy napfogyatkozás alkalmából. A mérési eredmények alátámasztották elképzeléseit. Egyénisége alkalmassá tette arra, hogy valóban iskolát teremtsen, és a körülötte felnövő fiatalok mind elméleti, mind kísérleti szinten otthonosan mozogjanak a rádióhullámok területén.

1954-ben a televízió műsorszórás megindulásakor *Csepregi Horváth Kázmér*, *Czigány Sebestyén* és *Gubányi Mihály* alkotta *Horváth Lajos* körül azt a csapatot, amely a televízió fejlesztéssel, és a hullámterjedés vizsgálatával igyekezett az országot az URH frekvenciasávban tökéletesen lefedni.

3.4.5. Mályusz-iskola

A Kísérleti Állomáson végzett alkalmazott fizikai kutatások alapja minden esetben a mérés volt. A mérések precizitása és a műszerek megbízhatósága a Kísérleti Állomás hagyományaiból táplálkozott. Minden fizikai jellemző pontos meghatározása alapja a későbbi következtetések levonásának és általánosításnak.

Ezért merült fel, hogy az Állomáson működjék egy műszer osztály, amelynek megszervezésével *Mályusz Gézát* bízták meg. Ő korábban *Tomits Istvánnál* dolgozott, ott a gyakorlatias irányt képviselte. Riasztó rendszerek fejlesztésében, kapcsolástechnikai berendezések üzembe helyezésében szerezte meg a mérés technikai ismereteket az univerzális vonalmérőhid megalkotására. Az országosan évtizedekig használt eszköz becenevét: („Mályusz-koporsó”), nagy fekete dobozáról kapta.

3.5. A Siemens hazai története

Technika- és tudománytörténeti tapasztalat, hogy a magas színvonalú ipar és az alkalmazott fizikai kutatás kölcsönösen feltételezi egymást; az is tanulságos, hogy egy magas színvonalú (ahogy ma mondjuk „high-tech.”) ipari monokultúra ritkaság. A kutatás iránti igény csak egy sokoldalú technikai kultúrával, infrastruktúrával átszőtt nemzetgazdaságban, jelentős általános ipari háttér esetén jelentkezik. Természetesen egy szerteágazó nemzetgazdaság sehol sem épül fel kizárólag vagy többségében saját kutatási háttérre, de egy biztos: a gyökeret, szerteágazó gyökérzetet eresztett ipar előbb vagy utóbb, de mindig igényli, generálja a K+F és az oktatás, képzés iránti igényt.

Ezt a sokoldalú ipari jelenléte adta meg Magyarországnak többek között a **Siemens** 110 éve történő hazai megjelenése és a II. világháború végéig történő erőteljes, sokoldalú terjeszkedése, melyet az 1970-es évek óta hasonló időszak követett és követ.

A fenti értelemben – úgy érezzük – a Siemens hazai tevékenysége nélkül nem volna teljes a XX. századi alkalmazott kutatások története: a Siemens szerteágazó tevékenysége is hozzájárult annak a *háttérnek* a megteremtéséhez, amiről fentebb beszélünk. Ezért aztán ideiktatjuk a **Siemens hazai történetének** a magyar technikai kultúra szolgálatában végzett tevékenységének egy rövid összefoglalását.⁵

3.5.1. A KuK időszak

A Siemens magyarországi jelenléte az első cégalapítással 1887-ben kezdődött, amikor a berlini Siemens&Halske (SH) két helyi partnerrel betéti társaságot alapított az első, kísérleti városi villamos vonal (Nyugati pu.-Király utca) megépítésére. Egy évvel később a vegyes vállalat teljesen a SH tulajdonába ment át, SH Budapest néven bejegyezve. A cég a következő években mintegy 25 km-nyi további villamos vonalat épített. A budapesti villamos különlegessége pl. a berlinihez képest az ún. Budapesti rendszernek nevezett újítás volt, azaz a sin alatti áram-hozzávezetés, felső vezeték helyett.

A századvég rohamosan fejlődő Magyarországon a SH a közlekedés fejlődéséhez, a főváros világvárossá növekedéséhez további városi villamosvasutak építésével járult hozzá. Legnevezetesebb teljesítménye a millenniumra elkészült földalatti volt, amely a kontinentális Európa első ilyen létesítménye volt – maga I. Ferenc József avatta fel. Vidéki városokban is épültek Siemens villamos vasutak, majd a Budapest-Vác nagyvasúti vonal (1911) és a tátrai hegyi vasút (1912).

Siemens-technikát persze már az első cégalapítás előtt alkalmazták az országban, például az egyébként inkább francia berendezéseket alkalmazó távíróhálózatban a Siemens-féle u.n. képiró távírógépet, melyet aztán licenc-alapon 1879-től itthon is gyártott egy magyar vállalkozó. (Ez volt az első Siemens technológia-transzfer Magyarországra). Szintén a gyengeáramú elektrotechnika területén a Siemens-Frischen vasúti biztosítóberendezések 1883-tól játszottak évtizedeken át fontos szerepet. Ezek később a Telefongyár profiljának fontos részét képezve itthoni gyártásban is készültek.

⁵ A közölt anyag háttéranyagát Hetényi Péter elnök-vezérigazgató, Beke Martos Gábor igazgatósági tag támogatásával Gergely Csaba, a Siemens munkatársa és Megyesi Csaba a Siemens Telefongyár ágazati igazgatója bocsátotta a szerző rendelkezésére.

Az első Siemens ipari és energetikai létesítmények a villamos vontatás kiszolgálására létesültek: áramfejlesztő telepek jöttek létre, majd 1893-ban a villamos vasúti járművek javítására és kisebb berendezések gyártására rendezték be az első Siemens (SH) javító és gyártó műhelyt.

Az első közcélú Siemens-áramszolgáltató telep 1893-ban Szatmár városában létesült, majd az I. Világháború kezdetéig megépített kb. 70 nyilvános áramszolgáltató telep egyharmadát építette a Siemens, néhányat üzemeltetett is. A budapesti Siemens áramszolgáltatás létesítményei a konkurens rendszerrel párhuzamosan épültek. Azzal ellentétben egyenáramú energiát szolgáltatott a fogyasztóknak, de az energiaátviteli szakaszon nagyfeszültségű forgóáramú rendszert alkalmazott. Budapesten a gázvilágítási koncesszió lejártával 1909–1912 között építette ki a Siemens a fő útvonalak villanyvilágítását.

Ez már egy másik Siemens-vállalat, a Magyar Siemens Schuckert Művek (MSSM) kivitelezésében történt, amely 1904-ben alakult a Magyar Schuckert (MSM) Művekből. (A MSSM-be beolvadt a SH erősáramú részlege is.) Az MSM által létrehozott pozsonyi villamossági gyár és a *Stromszky Sándor* igazgató vezette MSSM által a Budapesti Gyömrői úton 1913-ban felépített kábelgyár akkoriban a magyar erősáramú elektrotechnikai ipar élvonalbeli egységei voltak – 1914-ben összesen 1350 főt foglalkoztatva már igazi nagyipari üzemek.

3.5.2. A két világháború között

A vesztes I. Világháború a magyar Siemens-et is tönkretette. A fejlődés 1924-től, a népszövetségi hitelfelvétel után indult meg ismét. A MSSM budapesti kábelgyára ekkor két nagy állami megrendelést kapott, a Budapest-Bécs postai távkábelre és a budapesti ELMŰ 30 kV-os erősáramú vezetékére. Ahhoz, hogy az előírt szigorú feltételeknek eleget tehesen, a gyárat néhány hónap alatt kibővítették és a technológiát a kor színvonalának megfelelő szintre hozták. Profilja pedig különleges villamos gépek gyártásával bővült ki. A gépgyár *Haraszi István* vezetése alatt jelentős fejlesztési eredményeket ért el különleges villamos forgógépek (felvonó-, daru-, hengerművi, segédüzemi és robbanásbiztos motorok) terén.

A gyengeáram területén az első rádióadók a Siemens érdekeltségébe tartozó Telefunken berendezések jöttek létre, hasonlóképpen az 1931-től a rádiókészülékek gyártása is Telefunken típusokra irányult kezdetben. 1935-ben a gyártás a Gyömrői úti telepen felépült korszerű rádiógyárba került át, később a SH saját típusait gyártva. Vezetője *Mitterholzer Béla* volt.

A gyengeáramú terület másik kiemelt ága a röntgentechnika volt. Az Odelga és a SH röntgentechnikai osztályának egyesítéséből jött létre (1930) Egressi Zoltán vezetésével és 1933-tól Magyar Siemens Reiniger Művek néven működött a harmadik jelentős Siemens vállalat, amelyből a II. Világháború után a Medicor Művek alakult. A Siemens-Reiniger együttműködött a BME Fizika Tanszékkal (*Prof. Dr. Pogány Béla*) és *Dr. Ratkóczy Nándor* radiológus professzorral röntgen és kiatermiás berendezések tökéletesítésére. A magyar röntgentechnika jelentős sikere volt a III. Nemzetközi radiológiai kongresszuson, Párizsban bemutatott szabadalom, a berendezések káros sugárzásainak kiküszöbölésére.

A hírközlési infrastruktúrában elsősorban a távírászatban majd a távgépírásban volt erős a Siemens szerepe. A SH építette meg a magyar szakasz berendezéseit a Budapest-Bécs-Prága távíró összeköttetés számára, mely az első európai többcsatornás

hangfrekvenciás átviteli rendszer volt. A távgépírásban mind a Posta, mind a MÁV Siemens-rendszert választott. A telefontechikában Siemens-eszközöket inkább magánhálózatokban használtak, így a MÁV-nál (az első automatikus kapcsolású telefonrendszer) vagy az áramszolgáltatók üzemi telefonjaihoz, a nagyfeszültségű vezetékrendszerre telepítve. Budapest-Szeged között létesült azt első nagyfrekvenciás telefonösszekötés Telefunken átviteltechnikai berendezésekkel.

A II. világháborús konjunktúra idején a Siemens-vállalatok összlétszáma elérte a 2000 főt.

3.5.3. Kényszerszünet és újratekzés

A Siemens műszaki kultúra az államhoz került egykori Siemens-vállalatoknál (Villamosgép- és Kábelgyár, Medicor) nem tűnt el teljesen, így megmaradt a Siemens-szel való későbbi kooperáció feltétele, amely a 60-as évektől vált lehetővé.

Az egyik első jelentős kooperációs projekt a MÁV új típusú villanymozdonyának kifejlesztésére és gyártására irányult. A konstrukció fődarabjait egy nyugati konzorciumtól vették át, amelyhez a Siemens a szilícium egyenirányító gyártási jogának átadásával járult hozzá. A korai kooperációk másik területe a röntgenteknika volt, ahol a Medicor először kölcsönös értékesítési, majd fejlesztési együttműködést alakított ki a Siemens orvostechikával.

Ehhez 1965-ben egy Siemens-összekötő irodát hoztak létre a Medicornál, majd 1972-ben a kooperációs kapcsolatok fejlesztésére OMFB-Siemens műszaki-tudományos együttműködési bizottságot hoztak létre. Ennek a társelnökéül a Siemens *Dr. Dax Pált* delegálta, aki a Siemens központi értékesítési szervezetének vezérigazgatója volt a későbbiekben. Magyar partnere *Sebestyén János*, az OMFB „örökös” alelnöke volt.

3.6. K+F tevékenység a mikroelektronika terén

A magyar félvezető és mikroelektronikai eszközök kutatása, fejlesztése és gyártása a TKI-ban és a HIKI-ben kezdődött. Kössük ennek kezdetét az 1950-es évek közepére, amikor is *Bodó Zalán*, *Szép Iván* és *Szigeti György* a lumineszcens anyagok és a félvezetők kutatása terén elért eredményeikért megosztott Kossuth-díjat kaptak. A TKI-ban az ötvenes években hozzákezdtek a szilícium poli- és egykristály előállításához (*Hangos István*, és a Nitrokémia). Az Egyesült Izzó legendás alakja volt *Friedrik Henrik* Kossuth-díjas mérnök (képcsőgyártás, katódsugárcsővek); nála (az u.n. ME gyáregységben) már az 1950-es évek közepén folyt a poliszilícium alapú mikrohullámú diódák gyártása és a HIKI-vel és a MÜFI-vel kooperálva az 1960-as évek legelején elkezdték a hangfrekvenciás germánium tranzisztorok alaptípusainak gyártását, – igaz, üvegtokban, szilikonzsírral töltve és igen gyenge, kb. 6%-os kihozattal.

A HIKI-ben (*Szép Iván*) és MÜFI-ben tovább folyt a kutatás. Az Izzóban 1961-ben (*Giber János* vezetésével) létrejött a főosztályi rangú Félvezető Fejlesztés, amely 1964/65-ben közel 500 főt (közte mintegy 300 fiatal mérnököt, fizikust) foglalkoztatott, amely továbbra is támaszkodott a HIKI-beli gyártmány-kutatásra és különösen sok segítséget kapott a HIKI mérőműszer fejlesztésétől (*Valkó Iván Péter*, *Házmán István*, *Kocsis Miklós*, *Kovács Ferenc*) és a HIKI-ben folyó (*Kemény Ádám*) magas színvonalú megbízhatósági vizsgálatoktól (cél: ipari nagy-megbízhatóságú tranzisztorok).

Az egy kézbe került kutatás-fejlesztés (K+F) az Egyesült Izzóban sikeres modellnek bizonyult: egy fél év alatt áttértek a fém (T018, T05) tokozásra (*Pálosi József*), az erős-sugaras deionizált vizes mosásra (*Giber-Fried*) és a száraz levegős lezárásra (*Giber-Pálosi*). Ezzel minimalizálták a mosás után még a felületen maradt adszorbeált ionok polarizációját és az ezek révén kiváltott maradékáram kúszást, elérték a 80%-os kihozatalt. Az 1960-as évek közepére a kísérleti gyártást is összevonták a K+F-el (mára ilyen struktúra alakult ki minden nagy cégnél), a gyártás gyöngyösi megszervezésével pedig egy különösen kiváló, nemzetközi formátumú mérnök foglalkozott: *Pálosi József*.⁶ 1970-re 1 milliárd forint értékű félvezető gyártás folyt az Egyesült Izzóban. 1969-ben 100 edb TTL integrált áramkört gyártottak (*Huszka Zoltán, Motál György*).

Láthatóan nyugodtan állíthatjuk, hogy ezzel hazánkban létrejött a félvezető ipar, mely számos külföldi céggel (pl.: AEG) is kooperációs kapcsolatot hozott létre. A hazai félvezető ipar létrehozását *Fried Henrik, Pálosi József, Giber János* és a későbbiekben *Huszka Zoltán*, illetve Gyöngyösön *Skultéti János* nevéhez kapcsolhatjuk.

Az integrált áramkörök gyártásához az MTA SZTAKI (*Vámos Tibor*) adott lét-számkeretet és erkölcsi támogatást.

Állíthatjuk, hogy ez az iparág sohasem jöhetett volna létre az OMFB (*Sebestyén János*) támogatása nélkül.

A félvezető ipar az embargó szorításában jött létre, versenyt futva a hazai elektronikai ipar egyre szélesedő és növekvő igényeinek kielégítésével. Speciális helyzet alakult ki: az elektronikai fejlesztők (ma kimondhatjuk: helyesen) nyugati céltípusokkal fejlesztettek, de a gyártás félvezető szükségletének kielégítését (devizahiány miatt) az Izzótól várták. Mai szemmel feltehető a kérdés: nem volt-e ezen ipar kiépítése gazdasági szempontból eleve kudarcra ítélve? Mai szemmel valószínűleg igen a válasz. Az 1970-es csúcs elérése után a gazdasági szorítás egyre erősebb lett, az Izzó fényforrás lobbyja pedig *Giber János* távozása (egyetemi tanári kinevezése) után lassan megszabadult ezen ágazatától. Az Izzó Félvezető Fejlesztését, majd a Gyöngyösi Félvezető Gyárat egy új, Izzótól független szervezet a (MEV) vette át az átalakult HIKI keretében, majd fokozatos átszervezések után darabjaira (több esetben értékes részekre) hullott. Az integrált áramkörök tervezése (*Huszka Zoltán*) önálló vállalként ma is jelentős szellemi potenciált képvisel. A félvezetőkkel meghonosított technológiákat, ismereteket számos hazai iparág (maga az Egyesült Izzó és jogutódja a GE Lighting Tungstram Rt és a Videoton jogutódja is) ma is hasznosítja.

A félvezetők kutatása a KFKI-ben, a HIKI-ben, a BME Villamosmérnöki Karán, és a MÜFI-ben (MFKI-ben) azonban tovább élt. Sikeres kisvállalkozásként ma is működik pl. a Mikrovákuum Kft (*Szendrő István és Erdélyi Katalin*), melynek jelentős nemzetközi kutatási kooperációs háttere van és jelenleg elsősorban nukleáris-, illetve bioszenzorokkal és általában vékonyréteg (pl. CVD) technológiákkal foglalkozik.

A KFKI-ben *Gyulai József* az 1980-as években – részben az Izzó Félvezető Fejlesztés szakembereire alapozva – az Implantációs Célprogram keretében önálló kísérleti gyártást hozott létre. Ennek keretében a félvezető eszközök is születtek: varicap dióda, nagyfrekvenciás tranzisztor, MOS tranzisztorok, memória chipek. Az LSI Kft idején *Keresztes Péter* és *Mohácsy Tibor* volt a 8080 mikroprocesszor architektúra kidolgozásának fő bázisa. A laborszintű félvezető sorunk üzeméért – a Tungstram ideidelegált kutatóit – *Gyimesi Jenőt*, *Schiller Róbertné*t illeti elismerés. Az alapokat *Gyulai Józsefnek* az ionimplantáció terén végzett nemzetközileg is úttörő munkássága biztosította.

⁶ Demeter Károly halála után, 1985-ben ő lett a még magyar Egyesült Izzó utolsó igazi vezérigazgatója.

Később a KFKI-ban a félvezető kutatást háttérbe szorította a Buborékmemória-program (*Krén Emil, Zimmer György*), de annak lecsengésével erős integrálódás jött létre a két kutatói állomány között, amely 1998-ig a KFKI Anyagtudományi Kutató Intézetében, majd – az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetével 1998-ban bekövetkezett integrációja után – az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézetében nyert szinergikus perspektívát.

Az intézet üzemelteti a régió egyetlen, félvezető célú tiszta (Class 100–1000) laboratóriumát. A mai célok elsősorban szenzorikai jellegűek. Jelenleg mikroelektromechanikai (MEMS) technikák állnak az érdeklődés központjában (nyomás-, gyorsulás-, gázérzékelők pórusos Si-on, stb.). Az 50 μm méretű, öntartó MEMS fűtőtest unikális és alkalmas pl. kémiai szenzorok üzemi hőmérsékletének biztosítására.

Jelentős eredmény, hogy itt működik a hazánkban egyedülálló mikromechanikai technológia bázis is.

Külön kell fogalmaznunk a KFKI Campuson félvezetők anyagtudománya témában folyó kutatásokkal, melyek szerzők véleménye szerint elsősorban Gyulai József akadémikus irányításához és nevéhez fűződnek. A KFKI 1970-ben egy ionimplantert szerzett be, amely azután már az Implantációs Célprogram keretében magjául szolgált a szilícium-alapú félvezetők kutatásának. A kutatások három irányba folytak. Az első az implanter üzembe állítását és további berendezések tervezését célozta (*Pásztor Endre*), a második az ionimplantáció félvezető alkalmazásainak kutatását (*Gyulai József*, aki 1972-től a teljes programot is vezette), a harmadik a felületanalitika magfizikai módszereinek kutatását (*Keszthelyi Lajos*). A kutatások felfutásában és eredményességében meghatározó szerepe volt a California Institute of Technology (USA), J. W. Mayer professzor vezette csoportjával való, évtizedekig tartó kutatási együttműködésnek. A jó hazai ellátottság és a kapcsolatok révén sikerült a kutatóknak olyan eredményeket elérniük, amely a szakma egyik nemzetközileg elismert iskolájává avatta a csoportot. Legjelentősebb közös eredményük az ún. előamorfizáció (kettős implantálás), valamint a többszörös hőkezelések hasznának felismerése volt (*Csepregi László*). Ezekkel egyrészt a csatornahatás hátrányait lehet kiküszöbölni, másrészt a szeletek hőkezelési igényét lehetett lecsökkenteni. A módszert az ipar az 1980-as évek óta mindmáig alkalmazza az integrált áramkörök gyártásában.

A magfizikai vizsgálati módszerek a Rutherford visszaszórás (*Gyulai József, Keszthelyi Lajos, Kótai Endre, Mezey Gábor, Szőkefalvi-Nagy Zoltán, Varga László*, később *Pászt Ferenc* és *Szilágyi Edit*), a Rugalmas Előreszórás (*Kótai Endre*) és a magreakción alapuló analitika, (*Battistig Gábor* – itt szoros kapcsolat alakult ki Georges Amsellel, CNRS Csoport, Párizs VII. Egyetem) terén is sok, alapvető metodikai eredményt értek el a kutatók. *Révész Péter* sikeressége a Cornell Egyetemen (USA) teljesedett ki.

A félvezető alkalmazások terén gyakorlati célfeladatba is eredményesen bekapcsolódtak a KFKI kutatói: az ún. LSI kutatási programban *Keresztes Péter* eredményessége volt az áramkör fejlesztési program egyik fő bázisa.

Nagyon eredményesek azok a kutatások amelyek az ellipszometria módszerét alkalmassá tették ionimplantált rétegek roncsolásmentes vizsgálatára (*Lohner Tivadar, Fried Miklós*). Ma, a biológiai anyagok magfizikai módszerekkel való analizisének kutatása is eredményes (*Szőkefalvi-Nagy Zoltán*).

A kutatócsoport eredményességét a nemzetközi közösség azzal az unikális elismeréssel illette, hogy megadta a csoportnak az ionimplantációs kutatások valamennyi fontos konferencia-sorozata egy-egy konferenciájának rendezési jogát (Ion Beam

Modification of Materials, 1978, Ion Beam Analysis, 1993, Ion Implantation Technology, 2000). A kutatások ma az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetében, valamint a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutató Intézetében keretében folynak és nagyban segítik pl. a szenzorikai kutatásokat.

A MÜFI-ben a 1980-as években kiemelkedő, nemzetközileg is elismert munkásságot folytatott *Lendvay Ödön*, *Beleznay Ferenc* és *Rónainé Pfeifer Judit* a III-V félvezető eszközök és anyagok kutatásában, mely iskolává nőtte ki magát. A Szaljut-7 fedélzetén növesztett GaSb (mely kísérletet a Skylab fedélzetén is megismételték) jelentős elismerést hozott. Jelentős eredmény volt a mikrohullámú diódák kifejlesztése.

Nemzetközi elismerést hoztak *Ferenczi György* (MFKI) mélyívó spektrométerre, *Tarnay Kálmán* és *Székely Vladimir* (BME Elektronikus Eszközök Tanszéke) számítógépes szimulációs tervezési – elemző kutatásai, *Vágó György* és *Herman Ákos* munkája az elektronsugaras Al-párolgás terén (HIKI), a vasoxíd maszkok kifejlesztése (*Pauer Magdolna*, *Izzó; Hahn Emil*, HIKI); a planáris magnetron, mint párologtató forrás kidolgozása (*Vágó György*), és a *dr. Rózsa Pálné (Mühlrad Éva)* által kidolgozott polírozási eljárás.

3.7. A debreceni kísérleti fizikai iskola

A század alkalmazások terén is kiemelkedő tudományos iskolái közül külön kiemelendő a **debreceni kísérleti fizikai iskola**, mely elsősorban az ATOMKI-hoz (a 30-as évek második felétől: *Szalay Sándor*, majd *Berényi Dénes*) de e mellett és később KLTE Kísérleti Fizikai-, (*Csikay Gyula*) illetve Szilárdtestfizikai (*Kedves Ferenc*, *Beke Dezső*) Tanszékeihez is kötődik.

A **Szalay-iskola** lényegéhez tartozott kezdettől fogva a mai napig a műszerépítés és módszerfejlesztés, új műszaki megoldások keresése és közvetlen kapcsolat a műszaki tudományokkal és a műszaki-ipari gyakorlattal. Az intézetben kifejlesztésre kerültek a modern *nukleáris elektronika moduljai*, továbbá *mágneses béta-spektrométerek*, *tömeg-spektrométerek*, *alfa-spektrométerek*, *nukleáris detektorok*. Ezek műszaki fejlesztésében különösen kitűnt *Berényi Dénes*, *Fényes Tibor*, *Balogh Kadosa*, *Csongor Éva*.

Külön ki kell emelni a *vákuumtechnikai fejlesztéseket* (ld. alább), továbbá a *hidegfizikai fejlesztéseket* és alkalmazásokat (*Fényes Tibor*, *Novák Dezső*, *Mészáros Sándor*) (pl. a világon egyedülálló nagy térszögű béta-spektrométer-kriosztát).

Az intézetben a 60-as, 70-es években nagyléptékű munka folyt a *gyorsító fejlesztés* (kaskád generátor, Van de Graaff-generátorok) területén és ezek magfizikai és anyagvizsgálati alkalmazásai területén is. Itt főleg *Koltay Ede* nevét, és *Schlenk Bálintét* kell megemlíteni.

Külön szeretném kiemelni azt a felületvizsgálatokkal kapcsolatos fejlesztési munkát, amely a 70-es években kezdődött *Berényi Dénes* kezdeményezésére: a kvadrupol-tömegspektrométer család (*Berecz István*), az elektrosztatikus elektronspektrométer család számos szabadalommal védett (*Varga Dezső*, *Kövér László*, *Kövér Ákos*) kifejlesztését. Az ATOMKI a hazai XPS spektroszkópia egyik kiemelkedő centruma. Legújabbán protonmikroszkop is működik az intézetben.

Ami az analitikai alkalmazásokat és az ezekkel elért tudományos és technológiasegítő eredményeket illeti, az XPS, a magreakciós és töltött részecskék gerjesztett röntgensugárzásos analitika széles körű alkalmazására talált mind az ipari, mind biológiai- orvosi témákban, sőt még a régészetben is.

3.8. Vákuumtechnika

A hazai **vákuumtechnika** folyamatosan magas színvonalra *Antal János, König Aladár* (BME Fizika Tanszék, mint az Optikai Kutató Laboratórium kihelyezett részlege), *Oldal Endre, Ugrósdy László, Nágel Ferenc, Zalaba János, Barla Endre, Piller György* (Egyesült Izzó), *Berényi Dénes, Berecz István* (ATOMKI), *Bori Lajos, Hárs György* (BME Atomfizika Tanszék) tevékenysége révén számos területen előkészítette a hazai felületfizikai (fizikai-kémiai), felületanalitikai kutatásokat. Különösen jelentős eredmény volt az 1948 és a 70-es évek között végzett munka, amely az Egyesült Izzóban *László Zoltán* vezetésével kezdődött a hazai (pirani-, penning-, ionizációs-) vákuummérő sorozat kifejlesztésével és a vákuumfizikai kultúra hazai megalapozása terén (*Oldal Endre, Ugrósdy László, Nágel Ferenc*). A hazai kutatást és számos modern technológia bevezetését lényegesen segítették az Izzó Vákuumtechnikai Gépgyárában (VTG) előállított különböző vákuumszivattyúk (*Holló Imre, Fleischer Bertalan*).

3.9. Felületanalitika

A hazai felületfizikai kutatások nem jöhettek volna létre a **felületanalitika** (az ion- és elektronspektroszkópia hazai meghonosítása) nélkül. 1973-ban a BME Fizikai Intézetében létesült az első felületanalitikai (SIMS) laboratórium (*Giber János, Bori Lajos*), a 70-es években létrehozták az ATOMKI-ban az XPS spektroszkópiát (*Berényi Dénes, Varga Dezső, Kövér László, Kövér Ákos*), a MÜFI-ben az Auger-spektroszkópiát *Gergely György*, majd *Menyhárd Miklós*. 1979-ben létrejött középeurópa egyik legkomplexebb felületanalitikai laboratóriuma a BME Fizikai Intézetben (*Giber János*). Ma több kiemelkedő felületanalitikai tudományos műhely működik hazánkban: az előbb említetteken kívül a hazai XPS, (ma) MTA Központi Kémiai Kutató Intézetbeli, nemzetközileg elismert központját *Bertóti Imre* vezeti, a Szegedi JATE Reaktókinetikai Csoportjában a felületanalitikában is kiemelkedő iskolát vezet *Solyosi Frigyes* és *Kis János*. E módszerek meghonosítása számos módszer-, és műszerfejlesztési eredménnyel párosult. Ezek közül kiemelkedő az Atomfizika Tanszéken kifejlesztett és kis sorozatban gyártott SIMS berendezés (*Marton Dénes, Hárs György*), *Barna Árpád* ionsugaras mintavékonyító berendezése. *Gergely György* kifejlesztette a kvantitatív elektron energia veszteségi spektroszkópiát. A hazai felületanalitikai kutatások nemzetközi elismerését jelzik a hazánkban tartott e tárgyú nemzetközi konferenciák (SIMS III. (1981., A. Benninghoven és Giber János elnökletével) és az ATOMKI-ban háromszor is (1991., 1996., 1999.) megrendezett elektronspektroszkópiai nemzetközi konferencia.

A hazai felületfizikai, (fizikai-kémiai), felülettudományi kutatások klasszikus előfutárának tekinthetők Eötvös Lorándnak a folyadékok felületi feszültségével kapcsolatos, már említett kutatásai (Eötvös-törvény). Sok tapasztalat gyűlt össze az Egyesült Izzóban a 20-as és a 30-as években az izzólámpa és a 60-as években a félvezető kutatásokkal kapcsolatban, de azt, hogy a felülettudományban hazánk nemzetközi tényező (sőt az 1980-as években az élvonal jelentős tényezője) lett, *Schay Géza* egyetemi tanári, iskolateremtő tevékenységének köszönhető (Budapesti Műszaki Egyetem, Fizikai Kémia Tanszéke). A felülettudomány az ő tanítványai révén gyökerezett meg az

1950-es években, – de az is igaz, hogy a terület számos későbbi kiváló hazai művelője, így *Solymosi Frigyes*, *Gyulai József*, (mindkettőjükéről: ld. alább) tőle független gyöke-rekből indult.

„A fizikai kémia az a tudomány, amely fizikai tételek és kísérletek alapján magyarázza az összetett testekben lejátszódó kémiai átalakulások okát.” (Az idézet Lomonoszov egy 1751-ben megjelent írásából való, melyet itt Szabadvári Ferenc akadémikus nyomán idézünk). Az alkalmazott fizika ma már egyértelműen interdiszciplináris tudomány, mely a fizika, a kémia, a fizikai kémiai, az anyag- és műszaki tudományok, a felületanalitika, valamint a matematika és informatika módszereit, ismereteit ötvözi.

Különösen érvényesek ezek a reális felületek-, határfelületek tudományára. Ezen alkalmazott tudományág a közvetlen alapjait képezi (más tudományokkal együtt) olyan alapvető iparágaknak, mint a korszerű mikroelektronika, a szenzoripar, a katalizátorokat alkalmazó iparágak; hatása kiterjed az élettudományok jelentős részére is.

3.9.1. A Schay-iskola

A Schay-iskola szakított először tudatosan a makroszkopikus szemlélet kizárólagos uralmával. A heterogén reakciókinetika oldaláról jöve felismerte, hogy a felületi folyamatok alapvető részfolyamatai a lokalizált és mozgó adszorpciós centrumokon történő adszorpciós folyamatok. *Kiemelkedő eredményeket ért el a gáz adszorpciós jelenségek és módszerek kutatása és a modern gázkromatográfia* elméleti alapjainak (Theoretische Grundlagen der Gaschromatographie, VEB Verlag, Berlin 1960) és alkalmazásának területén. E területen *Halász Istvánt* (1957 után Németországban egyetemi tanár), *Oláh Károlyt* és *Fejes Pált* kell megemlítenünk. A Schay iskola meghatározó, továbbbívó egyénisége *Nagy Lajos György*, a BME sok éven át tanszékvezető egyetemi tanára.

Schay Géza (1900–1991) életpályája tudományos eredményein túl egy alapvető tanulsággal is szolgál: pályája elejét (1922–1948-ig) az ipari alkalmazott kutatásban töltötte, – 1948 körül (1942-től) például a gumiiipar kutatásvezetője volt a Ruggyantaáurú gyárban és ott a kaucsuk és gumi reológiai tulajdonságaival foglalkozott. Új impregnálási eljárást dolgozott ki, mellyel az 1950-es államosítás után megmentette a halódó hazai gumiabroncs gyártást. Hosszú ipari tevékenysége se tartotta vissza, hogy ismételten – ösztöndíjasként – külföldön szerezzen nemzetközi tapasztalatokat; így pl. többször dolgozott 1–2 évet a berlini Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische Chemie-ben, – az 1920-as évek végén pl. a fentiekben többször is említett Polányi Mihály mellett.

Az alkalmazott kutatásra való képesség feltétele az ipari szemlélet és az interdiszciplináris megközelítés képessége: ezzel legalább az adott műhely, iskola vezetőjének rendelkeznie kell; ezen képességek megszerzése csak az iparban eltöltött kemény évekkel, nemzetközi kutatóhelyeken végzett sokoldalú munkával, megmérettetéssel lehetséges. Mondjuk úgy, ahogy Schay Géza tette.

Schay Géza tanítványának vallja magát jelen írás egyik szerzője is: *Giber János* doktori dolgozatát az ő vezetésével készítette és kapcsolatban maradt mesterével és az „iskolával” Izzós, a félvezetős munkákkal eltöltött évek alatt is. Az abban az időben a reális szilícium és germánium felületek néhány technológiailag fontos fizikai-kémiai felületi jelenségének és folyamatának tárgykörében végzett évtizedes (1972-ig tartó) intenzív kutatómunkája nagyban elősegítette a napi problémák tudományos megközelítését és gyors megoldását. A ma is intenzíven idézett eredm-

nyei közé sorolható az oxidált félvezető felületek vízgőzadszorpciójának trícium iztópos technikával történő mérése. Ennek új aktualitást ad, hogy a gázszenzorok nedves levegő környezetében dolgoznak és ennek víztartalma zavaró keresztteffektusként jelentkezik. Az 1960-as évtizedben jelentős eredmények számítottak azok az ion-adszorpciós vizsgálatok, melyek a nagymegbízhatóságú tranzisztorok technológiáját alapozták meg (ezek megkövetelték az ionos szennyezőktől mentes felületeket). Az itthon és a nyugati útjain (melyek összesen kitétek úgy öt évet) végzett alkalmazott fizikai kutatásai során szerzett tapasztalatok segítették *Giber Jánost*, hogy a BME Fizikai Intézetében az 1970-es években létrehozza az Atomfizika Tanszéken a Felületfizikai Laboratóriumot (jelenlegi vezetője *Deák Péter* professzor). A korszerű technológiákban a felületi- (határfelületi-) rétegek általában néhány atomi réteg vastagságúak, – vizsgálatuk ennek megfelelő felbontású, ppm-ppb érzékenységű felületanalitikai módszereket követelt meg. A felületfizikai Laboratóriumban sikerült a nemzetközi élvonallal egyidőben egy ilyen analitikai bázis létrehozása, SIMS, Auger és XPS módszerekkel való felszerelése. A módszereket elsősorban fém- és fém ötvözet, valamint fénoxid felületek, ill. vékonyrétegek vizsgálatára alkalmazták. Az ipar ott végezteti kutatásait, ahol az adott időszakban a legkorszerűbb infrastruktúra és tudás áll rendelkezésére: ez kikényszerítette, hogy a korszerű analitikát a felületi folyamatok alapvető kutatásával, technológiai ismeretekkel egészítsük ki. A Laboratórium szolgáltató és tanácsadó tevékenysége mellett (Csepel Fémmű, Tungstram Kutató) elsősorban a *szegregációs folyamatok* kísérleti vizsgálatában, elméleti megalapozásában (*Giber János és Mezey Lőrinc Zoltán*) ért el maradandó eredményeket. Ez tükrözi az 1981-ben hazánkban megrendezett SIMS III. Konferencia és az 1997-es Balatonföldvári nemzetközi Workshop („International Workshop on Surface and Grain Boundary Segregation (Experimental, Thermodynamic and kinetic approach)”) megrendezése és ezek megjelent anyagai is. Nemzetközi elismerést hozott az a most 10 éves tudományos K+F együttműködés, amelynek során az Atomfizika Tanszék egyenrangú partnerként félvezető típusú fénoxidok (Ga_2O_3 , CeO_2 , WO_3TiO_2) gázszenzorok kifejlesztésén dolgozik a Siemens központi kutatócentrum *H. Meixner* professzor által vezetett kutatólaboratóriumával. E munkák során jelentős eredményként tartják számon a redukáló gázokra (CH_4 , H_2), ill. a NO_2 -ra kidolgozott szenzorokat, a fémoxidok korrozív gázokkal szembeni viselkedése terén elért eredményeket (CeO_2 szinte minden korrozív gáznak ellenáll), az adalék diffúzió meggátlására vonatkozó diffúziós barrierek elméletének kidolgozását. E szenzorkutatásokban *Giber János* vezetésével kiemelkedő eredményeket ért el *Perczel Józsefné Vajasdi Irma*, *Réti Ferenc*, *Várhegyiné Bereczki Erzsébet* és *Kiss Gábor*.

3.9.2. A BME Atomfizikai Tanszék

Az Atomfizika Tanszék Felületfizikai Laboratóriumában (melynek *Giber János* után immár hat éve a vezetője) *Deák Péter* mellett, hogy eredményes alkalmazás-orientált kutatói munkát végzett a Laboratórium fentebb idézett számos programjában (így a magnetooptikai adattárolók, a gázszenzorok, a szilárd elektrolitos kondenzátorok programjában), nemzetközi hírnevet szerzett a legmodernebb területeken – nemzetközi kooperációban, európai projektekben végzett munkáival. Ezek legfontosabb eredményei a következők:

- Az oxigén és hidrogén szennyezők viselkedésének és elektromos tulajdonságokat befolyásoló hatásának felderítése kvantummechanikai szintű számítógépes szimulációval elektronikai alapanyagokban (c-Si, SiO₂, SiC, a-Ge:H),
- A kémiaileg hangolható frekvenciájú fényemisszió mechanizmusának tisztázása számítógépes modellezéssel sziloxénben, illetve amorf szilícium szuboxidokban.

FEFA és TEMPUS infrastrukturális beruházási projektek (mintegy 60 Mft) segítségével 1994 (1998 között létezhettek egy nagy teljesítményű, unikális, komplex berendezést, ami lehetővé teszi rétegelőállítási és felületkezelési eljárások során bekövetkező kémiai változások kvázi in situ nyomonkövetését mind a felületen, mind a gáztérben.

Tömegszelektív, in situ és -fluxus mérés megvalósításával a *gyémántrétegek* mikrohullámú plazma-segített kémiai gőzleválasztásának elektromos előfeszítéssel gyorsított nukleációs *fázisában* tisztázni tudtuk a nukleációs mechanizmust, és felismertük az epitaxiát korlátozó tényezőt. Túlyukmentes korrózióálló gyémántréteg-elválasztási know-howt dolgoztunk ki az MFA által kifejlesztett mikromegmunkált nyomásmérő szenzorokra és know-how transzfermegállapodást kötöttünk a BAYATI-val. Jelenleg *korróziómentes* áramlásmérő szerzoron dolgozunk.

Kvantummechanikai modellszámítások alapján tisztáztuk a hidrogén oldhatóságának, a kristálynövekedésre és az adalékolásra gyakorolt hatásának, valamint kísérleti kimutathatóságának kérdéseit a széles tiltott sávú félvezető SiC-ban. Megjósoltuk az (1120) felület simaságából és oxigénnel való teljes elektromos passzíválhatóságából következő előnyeit MOS eszközökben. Analitikai mérésekkel kimuattuk, hogy a SiC/SiO₂ *határfelület jelentős* határfelületi állapotszámot okozó szén-szigetei termodinamikai és nem kinetika okokra vezethető vissza. Szabadalmat nyújtottunk be egy egyszerű, a szilíciumtechnológiába jól illeszkedő eljárásra, amellyel szilícium felületen jó minőségű epitaxiális SiC réteg növeszthető. Együttműködést folytatunk a svéd *SiC Electronics Programmal*, valamint amerikai, német és dél-afrikai kutatócsoportokkal.

Plazmafizikai vizsgálatokat és számítógépes modellezést végzünk a Furukawa Electronics Technology Institute részére.

Felületanalitikai minősítő mérésekkel támogatjuk hazai vállalatok technológia fejlesztéseit (Pl. Kraft Kft: napelemgyártó sor fejlesztés) illetve minőségbiztosítását (pl. Siemens teljesítménykapcsoló Gyár, Bicske).

3.9.3. BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék

Itt kell megemlíteni, hogy a szenzor kutatásban nemzetközi jelentőségű munkát végzett *Pungor Ernő* akadémikus, amikor az 1909-óta ismert üvegelektrodok működési mechanizmusát újraértelmezve 1961-ban és az azóta eltelt évtizedek alatt munkatársaival az **Általános és Analitikai Kémiai Tanszéken** (*Tóth Klára, Havas Jenő, Nagy Géza, Fehér Zsófia, Lindner Ernő, Horvai György, Gratzl Miklós, Grafné Harsányi Etelke, Pólos László, Horváth Viola*) kidolgozta az **ionszelektív elektrodok** széles családját. A nemzetközi tudomány Pungor Ernőt, mint a műszeres analitika (oszcillometria és konduktometria, coulometria) kiemelkedő, megalapozó egyéniségét tartja számon. Munkásságát angol nyelvű könyvek sorozatában adta ki 1963. és 1998. között az Akadémiai Kiadó. A korszerű műszeres analitika általa képviselt korszerű irányait foglalja össze „A practical guide to instrumental analysis CRC Press, 1994” c. műve. Ugyanez a kutatócsoport úttörő szerepet játszott az áramló oldatos analitikai mérés technikák kutatásában is.

Az Általános és Analitikai Tanszékét *Pungor Ernő* előtt *Erdey László* akadémikus vezette (1949. és 1970. között). Tanszékvezetése idején a termoanalitikai mérés technikák megbízhatóságát és alkalmazási lehetőségeit gyökeresen javította a szimultán módszerek bevezetése. Az első, keresdelemben kapható szimultán termoanalitikai műszer a *Paulik Ferenc, Paulik Jenő és Erdey László* által kifejlesztett (1954) (és a MOM által 1960. után gyártott) Derivatograph volt. E műszer és alkalmazásai a magyar termoanalitikai iskolát a világ élvonalába emelték.

Az Általános és Analitikai Tanszékét ma *Pokol György* professzor vezeti.

3.9.4. Különleges félvezető eszközök

Nemzetközileg elismert nevet vívott ki a gázszenzorok kutatásában *Mizsei János* (BME, Elektronikus Eszközök Tanszék); eredményei közül kiemelendők a hidrogénre, illetve kénhidrogénre szelektíven érzékeny nanokristályos félvezető rétegekkel létrehozott gázszenzorok és a nanotechnológiával (a KFKI Anyagtudományi Intézettel közösen) kidolgozott, normál környezetben is működő Kelvin-szondája, mely gázszenzorként és általában laterálisan inhomogén felületek vizsgálatára is alkalmas.

Az 1970-ben Budapesten megrendezett hetero-konferencia új lendületet adott a hazai vegyület-félvezető kutatásnak is. Erre az időszakra már látszott az, hogy a mikrohullámú és optikai félvezető eszközök jelentős kapcsolástechnikai szerepet fognak játszani. Ugyanakkor az is világossá vált, hogy a szilícium lesz a hagyományos kapcsolástechnikai elemek alapanyaga. Ez indokolta azt, hogy az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében három tudományos osztályt szervezzenek. A Tömbeffektusok Osztálya (vezető: *Beleznay Ferenc*) elsősorban a Gunn effektusra és a felhasználásával készíthető Gunn-diódára koncentrált. A Sugárzási Jelenségek Osztálya (*Lendvay Ödön*) érdeklődése középpontjában a fénykeltésre alkalmas eszközök létrehozása és kutatása volt. A Rekombinációs Jelenségek Osztálya (*Lőrinczy András*) a szilícium alapú eszközök fizikáját kutatta. Míg az első két osztály tevékenységének alapja a vegyület-félvezetők témakörébe esett, az utóbbi szilícium alapú struktúrákat vizsgált.

A mikrohullámú elemfejlesztés első eredménye egy impulzus üzemű, 10 GHz frekvenciájú Gunn dióda kifejlesztése volt (*Beleznay Ferenc, Sebestyén Tibor*). Az alapanyag itt még a BDH angol cégtől vásárolt epitaxiás szelet volt. Az egész fejlesztési munkára összesen kb 5 cm² felületű kristály állt rendelkezésre, mivel az embargó miatt többet nem sikerült szerezni. Közben folyt a hazai, folyadékfázisú epitaxiás reaktor építése (*Bertóti Imre, Hagyó József*), de ugyanilyen tevékenység folyt az optoelektronika terén is (*Görög Tamás*).

Az eszközfejlesztés következő állomása egy folyamatos üzemű Gunn-dióda előállítás volt, amely 1975. március 8-án működött először (*Mojzes Imre, Barna B. Péter, Barna Árpád*).

A következő mikrohullámú eszköz, amit kifejlesztettek a Schottky-dióda volt (*Szentpáli Béla, Németh Tiborné*), ezt a varaktor dióda követte (*Horváth Zsolt*). Közben folytak az előkészületek az IMPATT dióda kifejlesztésére, erre azonban a felhasználói igény változása miatt nem került sor (*Pödör Bálint*). A fejlesztés eredményeképp rendelkezésre állt egy GaAs alapú mikrohullámú eszközcsalád, amely lehetővé tette, hogy önálló mérés technikai alkalmazási fejlesztést végezzünk. Így sor került mikrohullámú betörésjelző kifejlesztésére, amely az 1977-es Budapesti Nemzetközi Vásár egyik sikerterméke volt (*Mojzes Imre, Oláh Antal*). A Műszeripari Kutató Intézettel közösen kifej-

lesztésre került egy mikrohullámú kerítés, lényegében egy határőrizeti eszköz, amely a kilencvenes évek közepéig gyártásban volt, s ma is rendszerben áll (*Mojzes Imre, Szentpáli Béla, Reisinger György*). A mikrohullámú tér tulajdonságainak változását használta fel a vér in vitro folyékonyságának mérésére készített műszer (*Kazi Károly, Mojzes Imre*), a mikrohullámú bányászati járműérzékelőből kínai exportra is került (*Kazi Károly, Mojzes Imre, Oláh Antal*). Mindhárom kifejlesztett eszközünk felhasználásával készült a Magyar Optikai Művek részére a mikrohullámú távolságmérő mikrohullámú modulja, amelyből több mint 500 darab készült (*Mojzes Imre, Kazi Károly, Tichy-Rács Ádám, Tajti László, Mirk Zoltán*, a MOM részéről *Szántó Tamás*). A mikrohullámú sütők ellenőrzésére kifejlesztett műszerünk finn kooperációban készült (*Szentpáli Béla, Nagy András, Mojzes Imre, Marcus Pessa*). Közben folyamatos volt a technológia fejlődése mind a kristálynövesztés terén (*Somogyi Károly, Gyúró Imre, Mézszáros István, Varga Szilárd*), mind az eszköztechnológia terén (*Kovács Balázs, Bíró Sándor, Gottwald Péter*)

Az optoelektronikai eszközfejlesztés első mintadarabja a fényemittáló dióda volt, ez azonban a hazai ipari fogadókészség hiánya miatt nem vált termékké. Alapja lett azonban egy széleskörű kooperációnak, amit egy évtizedig folytattunk a Werk für Fernsehelektronik NDK-beli céggel (*Nagy Elemér, Ferenczy György, Schanda János, Ferenczy Sándor*). A fejlesztés a későbbiekben kiterjedt GaAs-GaAlAs lézerdioda megmintázására (*Lendvay Ödön, Püspöki Sándor, Görög Tamás, Hársy Miklós, Rónainé Pfeifer Judit*). Az osztály munkatársai később az InP-alapú eszközök irányába fordultak. Sikerült megoldani az InP – alapú epitaxiás növesztést (*Rakovics Vilmos*) és InP alapú lézerdiodákat állítottak elő (*Serényi Miklós, Vörös Katalin*). Az optoelektronikai anyagok minősítésére használt mélynívó spektroszkópia önálló tudományos területté vált, ebből született meg a SEMILAB Rt. (*Ferenczy György, Tóth Péter*).

A két osztály közös munkája eredményeképp született meg az Eötvös program keretében az első magyar-szovjet űrrepülés során egy közös űrkísérlet, amelynek során GaSb egykristályt állítottak elő súlytalansági körülmények között (*Lendvay Ödön, Görög Tamás, Gyúró Imre*). A kísérletre az Interkozmosz program keretében a Szoljut-6 fedélzetén 1980. május 26–június 3. között került sor.

A szilícium alapú eszközök kutatása a MOS technológiához kötődött. Többféle dielektrikumot állítottak elő a szelek felületén, s ezen rendszerek határfelületeit vizsgálták (*Stubnya György, Németh Tibor, Németh Tiborné, Tüttő Péter, Forgács Gábor, Horváth Zsolt*). Az MNOS szerkezetből 64 bites tárolót is előállítottak. Nemzetközileg is kiemelkedő a Schottky kontaktusok áramvezetésének vizsgálata (*Horváth Zsolt J.*)

3.9.5. A Solymosi-iskola

Solymosi Frigyes, Szabó Zoltán akadémikus tanítványának tekinti magát, jelenleg az MTA Reakciókinetikai Kutatócsoport és a JATE Szilárdtest és Radiokémiai Tanszék vezetője. A kutatócsoport a hatvanas-hetvenes években alapvetően új, és nemzetközileg is nagyraértékelt eredményeket ért el a szilárdfázisban lejátszódó reakciók katalízisének és a halogén oxisav sók szerkezete és termikus stabilitása közötti összefüggések vizsgálatában. A kinetika és a fizikai tulajdonságok analizéséből plauzibilis képet állítottak fel az egyes elemi folyamatokra vonatkozóan és ezek többségét sikerült külön-külön is tanulmányozniuk és bizonyítaniuk. A sok modell anyag közül a szilárd hatóanyagok legfontosabb oxidánsa, az ammónium-perklorát emelhető ki, amely ebben

az időszakban az érdeklődés középpontjában áll. Körültekintően és gondosan, komplex szemlélet alapján végrehajtott kísérleteik jelentősen hozzájárultak a halogénátok kémiai tisztázásához. A szeretlen vegyületek közül egyetlen egy anyagcsoport termikus stabilitására sem ismeretes ennyire kiterjedt és alapos, és ami rendkívül lényeges, legnagyobb részt ugyanabban a laboratóriumban végzett kutatómunka. Kutatási eredményeiket a legtekintélyesebb nemzetközi folyóiratokban közzé tették, majd pedig az Akadémiai Kiadó és John Wiley közös kiadásában 1977-ben megjelent monográfiában (Solymosi Frigyes: „Structure and Stability of Salts of Halogen Oxyacids in the Solid Phase”) foglalták össze.

Ezt követően a *szilárd anyagok felületén lejátszódó adszorpciós és katalitikus folyamatokkal foglalkoztak*. Az infravörös spektroszkópia alkalmazásával alapvető eredményeket értek el a technológiai szempontból is fontos katalitikus reakciók (NO redukciója, CO és CO₂ hidrogénezése, metanol szintézise) mechanizmusának felderítésében, a katalitikus reakciók felületi köztitermékei kémiaiájának megismerésében. Nemzetközileg is újszerű megállapításokat tettek a fenti reakciókban leghatásosabbnak talált katalizátor, a ródium és a CO, ill. CO₂ kölcsönhatására vonatkozóan. Infravörös spektroszkópiai módszerrel elsőként mutatták ki, hogy a CO, a hordozó OH csoportjaival együtt, előidézi a ródium krisztallitok morfológiai változását, az izolált Rh atomok és Rh⁺ ionok képződését. E témakörben közölt dologozataik keltették a legnagyobb nemzetközi visszhangot és kapták a legtöbb hivatkozást⁷ (*Erdőhelyi András, Raskó János*).

Hazai vonatkozásban úttörő munkát végeztek a modern elektronspektroszkópiai módszerek meghonosításában. Fokozatos fejlesztéssel, messzemenően támaszkodva a hazai vákuumpiparra, nemzetközileg elismert *elektronspektroszkópiai laboratóriumot* alakítottak ki, ahol Auger, LEED, UPS, ESCA, TDS, HREELS, RAIR, STM, stb. spektroszkópiai méréseket végeznek. E módszerekkel fontos megállapításokat tettek a fenti katalitikus reakciókban résztvevő gázok és a katalizátorként használatos fémek egykristályai közötti kölcsönhatásra vonatkozóan. Nemzetközileg is kiemelkedő eredményeket értek el az alkáli promotorok szerepének felderítésével. Spektroszkópiai bizonyítékot találtak különböző adszorbeátumok (CO, CO₂, NO, HCOOH, CH₃OH) és az alkáli fémek közötti vegyület képződésére. Elsőként mutatták ki fémfelületeken a CO₂ anion képződését, mely döntő szerepet játszik a CO₂ molekulák aktiválásában. (*Kiss János, Klivényi Gábor*).

Figyelemre méltó eredményeket értek el a *STM módszerek alkalmazásával*. Pász-tázó alagút mikroszkóppal (STM) felderítették, hogy a TiO₂ felülete ultranagy vákuumban történő hevítés hatására átrendeződést szenved: a [001] kristálytani irányban 5–10 nm nagyságú (1x2) szigetek, míg az [111] és [113] irányokban két különböző periodicitást mutató vonalszerkezetek alakulnak ki. STM módszerrel a világon először bizonyították, hogy a TiO₂ (110)-(1x2) felületen létrehozott ródium nanorészecskék reakcióképességét alapvetően meghatározza a fémkrisztallitok mérete. Az 1–3 nm nanoméretű Rh-krisztallitok CO hatására 300 K-en szétszakadnak, valószínűleg izolált Rh atomok képződése közben. Ugyanakkor ez a szerkezetváltozás nem történik meg, ha a Rh krisztallitok mérete meghaladja a 6–8 nm-t. Az STM segítségével kimutatták azt is, hogy magasabb hőméretekkel a CO elősegíti a kisebb méretű Rh-

⁷ Az Applied catalysis A (169, 1998)-ban megjelent kimutatás szerint az ezen a területen világszerte dolgozó közel 20.000 kutató közül a Berkley-i egyetemen dolgozó magyar származású G.A.Somorjai vezeti a publikációs listát 328 publikációval, 8958 idézettséggel és 27,31 átlagos idézettségi számmal. Ezen a listán Solymosi Frigyes és munkatársai az előkelő 11. helyet foglalják el 172 publikációval, 3300 idézettséggel, 19,19 átlagos idézettségi számmal.

szemcsék nagyméretű Rh-krisztallitokká történő átalakulását. Hasonló folyamatokat állapítottak meg a TiO_2 felületre rávitt Ir esetében is. Kidolgoztak egy új, egyszerű módszert, amelyek segítségével – ellenőrzött módon – kívánt méretű (2–50 nm) és egymástól kívánt távolságra (5–200 nm) elhelyezkedő Rh-kristallitokat lehet kialakítani. Ez az eljárás lehetővé teszi annak vizsgálatát; mennyiben befolyásolja a fémkatalizátorok mérete a katalizátorok aktivitását és szelektivitását különböző reakciókban (Berkó András).

A 90-es években legnagyobb nemzetközi visszhangot a technológiai szempontokból is fontos $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ reakcióra (szintézisgáz előállítás), valamint a metánból (és az etánból) közvetlenül benzol előállítására vonatkozó kutatásaik érték el. Az utóbbi esetben felületi spektroszkópai módszerrel bizonyították, hogy az aktív katalizátor a reakció során MoO_3 -ból képződő Mo_2C . A reakciók mechanizmusának megállapítását, a hatásos katalizátorok kialakítását nagy mértékben elősegítette a CH_x fragmentek (CH_2 , CH_3 , C_2H_5 , stb.) sajátságainak vizsgálata fémegek kristályokon és Mo_2C -on modern felületanalízis eljárásokkal.

3.10. A nukleáris energiához kapcsolódó alkalmazott fizikai kutatások

A nukleáris (atom-) energiához kapcsolódó alkalmazott fizikai kutatásoknak az 1930–1950. közötti hőskor magyar vonatkozásai közismertek, sőt beépültek a világ általános műveltséghez tartozó ismeretanyagába is.

E téren történelmi jelentőségű, hogy Szilárd Leó 1934-ben szabadalmi bejelentést tett a láncreakcióra, pontosabban annak két lényeges elemére: a 2 hatványával növekvő neutronszaporodásra és a szükséges kritikus tömegre. (Ugyanakkor az alkalmas anyagok sorát sorolta fel, köztük az uránt is, de pl. tévesen a berilliumot.)

Ez a szabadalmi bejelentés – mint tudjuk – gondolati bázisra épült, hiszen az ezzel kapcsolatos kísérleti eredmények csak 1939-ben születtek meg (O. Hahn és F. Strassmann). A sok egybecsengő visszaemlékezés alapján elfogadható, hogy e bejelentéssel Szilárd Lord Rutherford egy 1933-ban tett kijelentésére reagált („Akik az atomi átalakulásokban gyakorlatilag is használható energiaforrást szeretnének látni, délibábot kergetnek”). Természetesen Rutherford pontosan tisztában volt azzal, hogy a nukleáris bomlás energiatermelő folyamat, – de arra gondolt, hogy a kedvező ütközések száma kis valószínűségű; ez igaz is lenne, ha a primér részecske (a neutron) egyúttal nem termék is, mégpedig 2^n -el sokszorozódó termék. Ez utóbbi Szilárd Leó felismerésének lényege és újdonsága.

Hahn és Strassmann eredményéről (a Svédországba emigrált Lise Meitner értesülése révén) N. Bohr útján 1939 januárjában értesült a szabad világ és természetesnek vehető, hogy az atombomba lehetőségére először és legérzékenyebben a nációk elől az USA-ba emigrált európaiak (E. Fermi, Szilárd Leó, Wigner Jenő) reagáltak: 1939 nyarán Fermi Szilárd Leóval a Columbia Egyetemen megtervezi az első atomreaktort (atómmáglyát), melyet Fermi Wigner Jenő személyes közreműködésével (Szilárd Leó tanácsadói tevékenységével) 1942-ben üzembe is helyez.

1939 júliusában Szilárd Leó A. Einsteint is informálja a láncreakcióról és ismeretes, hogy az ennek nyomán született Einstein-levél hatására F. D. Rooseveltnak elin-

dítja a Szövetségesek atombombájához vezető Manhattan tervet. Ennek története – úgy érzem – nem tartozik jelen ismertetés keretébe.

Ide kívánczik azonban *Teller Ede* neve, aki a háború vége felé, bekapcsolódva a „bomba-tervbe”, kidolgozta a fúziós energiára épülő bombát. Tellernek azonban nem ez az alkotása szerzett nemzetközileg kiemelkedő nevet: Ő számos egyéb – ugyancsak közismert – alkalmazott fizikai eredményével (..... számos alapvető alapkutatói eredménye mellett) egyike a legnagyobb alkalmazott fizikusoknak.

Hasonlóan itt említendő *Hevesy György* Nobel-díjas magyar származású kémikus, aki Budapest, Berlinben, Freiburgban, Karlsruheban (F. Haber mellett), Manchesterben (Rutherford mellett) folytatott tanulmányai után rövid ideig a Budapesti Tudományegyetem Fizikai Kémiai Tanszékének tanára volt, majd Dániába, 1943-ban onnan Stokholmba emigrált. Nevéhez fűződik a hafnium és számos egyéb izotóp felfedezése. A Nobel-díjat 1944-ben kapta „a kémiai folyamatok kutatása során az izotópok indikátorként való alkalmazásáért”.

Kevésbé közismert a reaktorfizika közvetlen hazai vonatkozásainak története: a kezdetek kezdetét az jelentette, hogy 1959-ben üzembehelyezték a KFKI-ban a 2 MW hőteljesítményű VVRSZ reaktort. A reaktor szovjet tervezésű volt, a berendezéseket – kevés kivétellel – a Szovjetunióból szállították. Az építés és üzembe helyezés is szovjet szakemberek irányításával valósult meg. A reaktornak alapvető generáló szerepe volt a magyar reaktorfizika megteremtésében. Fogadóképességét elősegítették azok a korábbi munkák, amelyeknek két vezető egyénisége *Szalay Sándor* (Debrecen) és *Simonyi Károly* (BME) volt.

A reaktor indításakor felmerült problémák tisztázására megépült az SR-1 jelű szubkritikus reaktor, amelyen *Szabó Ferenc* vezetésével kritikussági kísérletek folytak. Ezt a berendezést 1961-ben kritikus rendszerré alakították át. Ez volt a ZR-1 kritikus rendszer, amelyen kipróbálták az alapvető reaktorfizikai kísérleti módszereket. (ZR=Zérus teljesítményű Reaktor.) A ZR-1-en szerzett tapasztalatok alapján 1963-ban helyezték üzembe a ZR-2 kritikus rendszert. Ezen meghatározták a kutatóreaktor (EK-10 típusú) fűtőelemeiből felépített reaktorrácsok fizikai tulajdonságait. Az itt kapott kísérleti eredmények már elméletileg interpretálhatóak voltak, továbbá az itt szerzett metodikai tapasztalatok a későbbi kutatások kiindulását jelentették. A kutatóreaktor 1965/67-ben végrehajtott teljesítményemelését a ZR-3 kritikus rendszeren végzett kísérletek alapozták meg. Hasonló szerepet játszott a BME oktatóreaktorának a létesítésében a ZR-5 kritikus rendszer (1970). A reaktorkinetikai kísérletek céljait szolgálta a ZR-4 kritikus rendszer (1966). E kísérletek vezetői *Gyimesi Zoltán*, *Szatmáry Zoltán*, *Túri László* és *Valkó János* voltak.

3.10.1 A reaktorfizikai és technikai oktatás megteremtése

Különösen a II. Genfi Atomenergetikai Konferencián (1958) közzétett kutatási, fejlesztési eredmények megismerése vezetett arra a felismerésre, hogy a hagyományos energiahordozó-készletekben szegény Magyarországon a közeljövőben atomerőműveket kell építeni. Világos volt az is, hogy ez megfelelő számú, jól felkészült hazai szakemberek nélkül nem sikerülhet. Amellett, hogy bizonyos számú magyar fiatalit iskoláztak be szovjet egyetemekre, meg kellett teremteni a hazai oktatási bázist is. Ebben az ELTE, a Veszprémi Vegyipari Egyetem és a Debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem is ért el eredményeket, de legszisztematikusabb oktatásfejlesztési munka a

Budapesti Műszaki Egyetemen kezdődött. Ebben részt vett *Simonyi Károly* és *Fodor György*, de vezéralakja *Lévai András* volt. Vezetésével (elsősorban *Büki Gergely*, *Csom Gyula*, *Büky Imre* részvétele mellett) a BME Gépészmérnöki Karon mind graduális, mind posztgraduális szinten átfogó reaktorfizikai, atomenergetikai képzés alakult ki. Ennek alapvető szerepe volt abban, hogy az első magyar atomerőmű építéséhez és üzemeltetéséhez jól képzett szakembergárda állt készenlétben.

3.10.2. A BME Oktatóreaktora

A reaktor 1971-ben került üzembe. Születésének alapvető jelentőségét az adta, hogy ez az első teljes egészében hazai tervezésű, kivitelezésű atomreaktor, melynek berendezései – az üzemyagyon kívül – is hazai gyártmányok. Ezt alapvetően a KFKI-ban addigra kialakult kutató gárda és az általuk megépített ZR-rendszerek (ld.fentebb), az ERŐTERV-ben megszervezett tervező gárda, valamint a BME-n lévő oktató és kutató kapacitás tette lehetővé. A gondolat felvetése alapvetően *Lévai András* és *Kökény Mihály* érdeme. A tervezési munkában, az építésben, üzembehelyezésben alapvető szerepe az ERŐTERV-ből *Raszl Károlynak*, *Szívós Károlynak* és *Diós Istvánnak*, a KFKI-ból *Gyimesi Zoltánnak*, *Szatmáry Zoltánnak*, *Valkó Jánosnak*, *Frankl Lászlónak*, *Zobor Ervinnek*, *Bolók Lajosnak*, a BME-ről *Lévai Andrásnak* és *Csom Gyulának* volt. A reaktor oktatási és kutatási munkájának tervezését, szervezését és végrehajtását *Csom Gyula* irányította. További fő résztvevői: *Keömley Gábor*, *Lévai Ferenc*, *Zsolnay Éva*, *Élő Sándor* és *Virágh Elemér*. A reaktor eredeti 10 kW maximális hőteljesítményét 1981-ben 100 kW-ra emelték. Az oktatóreaktor első vezetője *Csom Gyula* lett.

3.10.3. A Budapesti Kutatóreaktor

A KFKI-ban 1959-ben üzembe helyezett kutatóreaktor hőteljesítményét 1967-ben 5 MW-ra növelték. Ekkor tértek át a VVRSz-M típusú, 36% dúsítású fűtőelemekre. A megnövelt fluxus kiterjesztette az alkalmazási lehetőségeket, elsősorban a következő területeken: izotópgyártás, magfizika, szilárdtest-fizika, kémia (forróatom-kémia, aktivációs analízis, sugárhatás-kémia), fémek sugárkárosodása. 1991-ben újabb rekonstrukció történt: azonos fűtőelemekkel, de 10 MW hőteljesítménnyel tovább nőttek a reaktor felhasználási lehetőségei. Az említett területeken kívül új alkalmazási terület a hidegneutron-forrás alkalmazása.

3.10.4. Reaktorfizikai számítások

Magyarországon 1966-ban vált elérhetővé – az akkor – nagy teljesítményűnek minősülő számítógép, ami lehetővé tette az első reaktorfizikai számítási modell létrehozását. E munka vezetője *Szatmáry Zoltán* volt. A modell felépítése lehetővé tette a reaktorfizikai problémáknak tisztán számítási úton való megoldását. Első kísérleti ellenőrzését a ZR-2 kritikus rendszeren kapott mérési eredmények tették lehetővé. Hamarosan kiderült, hogy a magfizikai adatok pontosítása nélkül kielégítő számítási pontosságot remélni nem lehet. Ez utóbbi területen *Vértes Péter* végzett Magyarországon úttörőnek minősülő munkát. Mind a reaktorfizikai számítások, mind a ZR-1...ZR-5 kritikus rendszereken kapott kísérleti eredmények nemzetközi elismerést vívtak ki.

3.10.5. Reaktorkinetika és fluktuációk

A reaktorok működésében lényegi szerepet játszó ingadozási jelenségek elméletének nemzetközi szinten elismert kidolgozása *Pál Lénárd* nevéhez fűződik. Munkásságának kísérleti folytatása a ZR-1 és ZR-2 kritikus rendszereken történt. E témakörnek az energetikai reaktorokra való kiterjesztése az elmúlt évtizedek divatos témája, amelynek legjelentősebb hazai alakja *Kosály György*. A reaktorok időfüggő jelenségeivel kapcsolatban jelentős eredmények születtek a reaktivitásmérés területén. Az ezzel összefüggő kísérleti kutatások vezetője *Valkó János* volt.

3.10.6. A magyar atomerőmű

Magyarország 1966-ban kormányközi megállapodást kötött a Szovjetunióval egy 4 db VVER-440-es blokkból álló atomerőmű magyarországi megépítésére. Az első blokk Pakson, 1982 végén került üzembe. Az építés jelentős hazai közreműködéssel valósult meg. Ennek lehetőségét az a kb. 25 éves szisztematikus hazai kutató, fejlesztő és oktatási tevékenység teremtette meg, amiről az előző pontokban szóltunk. Ennek köszönhető a magas szintű üzemeltetési munka, s az, hogy a hazai atomerőmű elismerten az összes VVER-440-es atomerőmű közül a legbiztonságosabb és világviszonylatban is igen előkelő helyet foglal el ilyen szempontból.

A magyar nukleáris energetika kezdettől fogva nem kívánt kulcsra kész atomerőművet építeni, – ugyanakkor jelentős hazai részvételre számított. Ez a felfogás találkozott a magyar reaktorfizikusok elképzelésével, akik kezdettől fogva kinyilvánították a hazai atomenergetikai programban való részvételi szándékukat, és ez határozta meg a hazai kutatások tematikáját és célkitűzéseit is. A paksi atomerőmű létesítése a magyar kutatóbázis és ipar példás együttműködését hozta. Ebben természetesen nem a reaktorfizikáé volt a döntő szerep, de a biológiai védelem (KFKI, BME Nukleáris Technikai Intézet) méretezése és a reaktor neutronfizikai tervezése (*Kondor András* és *Szatmáryi Zoltán*) területén jelentős hazai eredmények születtek.

A BME Nukleáris Technikai Intézet munkatársai a biológiai védelmi kutatásokban és a sugárvédő betonok minősítésében elért eredményeiket hasznosan kamatoztatták a paksi atomerőmű építése során. (E munka irányítója *Csom Gyula*, fő résztvevői *Zsolnay Éva*, *Szondi Egon*, *Fehér Sándor* és *Nagy Mihály* voltak.) Az intézet által kifejlesztett speciális műszerek segítik az atomerőmű munkáját (fő résztvevők *Dési Sándor*, *Gyurkócsa Csaba*, *Csom Gyula*, *Virágh Elemér*). A reaktordozimetriai, neutronspektrometriai kutatások a reaktortartály sugárkárosodásának vizsgálatában, s ezen keresztül az atomerőmű élettartam becslésében hasznosultak (fő résztvevők *Zsolnay Éva* és *Szondi Egon*). A fűtőelemek állapotellenőrzését alapvetően elősegítették az intézetben folyó radiokémiai kutatások (fő résztvevők *Vajda Nóra*, *Keömley Gábor*, *Molnár Zsuzsa*). Az atomerőmű biztonságos üzemeltetését garantáló szakemberek képzését alapvetően segítik az intézetben kifejlesztett alapelvi szimulátorok sora (fő résztvevői: *Csom Gyula*, *Aszódi Attila*, *Élő Sándor*, *Fehér Sándor*).

3.10.7. Aktivációs analitikai kutatások

A BME Nukleáris Technikai Intézetben kezdettől fogva egyik fő kutatási terület volt a neutronaktivációs analitika (fő résztvevők: *Keömley Gábor*, *Bódisz Dénes*,

Molnár Zsuzsa). Ez mind módszerfejlesztésre, mind a módszer alkalmazásán alapuló kutatásra is kiterjedt. Kiemelkedő a régészeti kutatásokban való, nemzetközileg is úttörőnek számító részvétel. Ennek első hazai vezetője *Bérczi János* volt, majd az ő halála után *Balla Márta* vette át e feladatot.

3.10.8. További eredmények

A Szovjetunió az 1970-es évek második felében kezdett hozzá a perspektivikusnak tekintett VVER-1000 reaktortípus fejlesztéséhez, és fellépett azzal az igénnyel, hogy ebben az érdekelt országok is részt vegyenek. Ennek érdekében egy 1972-ben aláírt kormányközi egyezmény született egy Ideiglenes Nemzetközi Kollektíva (INK) létrehozásáról, amelynek keretében Bulgária, Csehszlovákia, Lengyelország, Magyarország, NDK, Románia és a Szovjetunió kutatói a VVER-1000 reaktortípus számítására szolgáló számítógépi programok létrehozására és e programok kísérleti ellenőrzésére szolgáló *fizikai alapadatok mérésére szolgáló kutatásokat végeznek*. A korábbi kritikus rendszereken végzett kísérletek és a reaktorfizikai számítások területén elért sikerek alapján a *KFKI kapott megbízást ennek a kísérleti programnak az irányítására*. A kísérleti program alapjául szolgált az erre a célra Magyarország által épített ZR-6 kritikus rendszer, amelynek az üzemanyagát a Szovjetunió térítésmentes kölcsön formájában bocsátotta Magyarország rendelkezésére. Az INK vezetője a KFKI mindenkori főigazgatója volt. A vállalkozás fő szervezője *Gyimesi Zoltán*, a ZR-6 üzemvitelének vezetője *Gácsai Lajos*, az egész nemzetközi együttműködés tudományos vezetője *Szatmáry Zoltán* volt. Az utóbbin belül vezető szerepet játszottak: a reaktorfizikai számítások területén *Gadó János*, a reaktorsztatikai mérések területén *Túri László*, majd *Vidovszky István*, a reaktorkinetikai mérések területén *Valkó János*. Az INK 1972. és 1990. között működött. Dokumentált és tovább használható eredményeket szolgáltatott a reaktorsztatikai kísérletek. Utólag megállapítható, hogy ezek jelentik a világ egyik legnagyobb léptékű reaktorfizikai kutatási programját, amelyben mintegy 100 kutató vett részt, 10 országból. Eredményeit nemzetközi szinten számon tartják és hasznosítják. A kapott kísérleti eredmények végső dokumentálása várhatóan 1999-ben záródik le (*Szatmáry Zoltán és Vidovszky István*).

3.10.9. Újabb eredmények

A magyar reaktorfizikának a ZR-6 program utáni legjelentősebb eredménye a KARATE programrendszer. Két változata van: a VVER-1000 és a VVER-440 számítási modellje. Létrehozásában vezető szerepet játszott: *Dévényi András*, *Gadó János*, *Keresztúri András*, *Makai Mihály*, *Maráczy Csaba*. A Monte Carlo számítások hazai úttörői: *Lux Iván* és *Koblinger László*. A paksi atomerőműben üzemi géppé vált az aktív zóna monitorozására szolgáló VERONA rendszer, amelynek létrehozásában vezető szerepet játszott *Adorján Ferenc*, *Lux Iván*, *Valkó János* és *Végh János*.

Az alkalmazott kutatások között kiemelkedő jelentőségűek a KFKI-ben a paksi atomerőmű működéséhez kapcsolódó vizsgálatok Ennek részeként az acélból készült reaktortartályok, illetve a cirkónium fűtőelem-burkolatok sugárzás okozta anyagszerkezeti elváltozásait vizsgálják; itt a valóságosnál gyorsabban hozhatják ugyanis olyan állapotba az acélt, mint amilyen az Pakson évtizedek alatt kerülne, így könnyedén megbecsülhetik azok élettartamát.

A reaktor felhasználási lehetőségei 2000-tól kiteljesednek, ugyanis hamarosan üzembe helyezik az úgynevezett hidegneutron forrást, amely tulajdonképpen egy reaktorba helyezett hidrogéncella. Az ebből kilépő nagyon lassan mozgó neutronoknak az anyagokba való behatoló képessége sokkal jobb, mint az eddig alkalmazott részecskéké. Így kisebb erőfeszítéssel, sokkal többet megtudhatnak a minták tulajdonságairól, szerkezetéről. Az Európai Unió szakemberei éppen a hidegneutron forrás miatt – a kelet-európai tudományos berendezések közül egyedülként – választották be a csillebéri reaktort az ötödik kutatási keretprogram támogatásra meghirdetett nagyberendezései közé. „A jövő szempontjából ez a legígéretesebb fejlemény, amelynek következtében várhatóan fellendül az egyébként is jelentős nemzetközi tudományos érdeklődés. Meggyőződésem, hogy hamarosan sikk lesz Csillebércen kutatni” – nyilatkozta 1999. áprilisában Gadó János, a KFKI Atomenergia Kutató Intézetének jelenlegi igazgatója.

3.11. Fémfizikai kutatások

Verő József (1904–1985) okl. vaskohómérnök volt a hazai metallográfiai, majd később a hazai fémtani kutatás megteremtője és hosszú évtizedeken át meghatározó személyisége. A harmincas évek elején meghatározta és értelmezte a Mn-bronzok és a P-bronzok háromalkotós egyensúlyi diagramjának gyakorlati szempontból fontos részleteit. Eközben alkotóan alkalmazta a termikus analízis módszerét és kidolgozta a mikroszkópos képek mennyiségi értékelésének technikáját. Vezetőképességi méréseket is végzett a saját maga által előállított mintákon (*Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 1934). A legújabb egyensúlyi diagramgyűjtemények még ma is hivatkoznak első munkáira.

Még a 30-as évek közepén kezdte el dermedéssel kapcsolatos vizsgálatait. Az Al-Si-ötvözetek vizsgálata kapcsán számszerűen is jellemezni tudta a repedékenységi hajlámot. Erről szóló dolgozatát a Londonban megjelenő *Metal Industry* változatlan formában átvette. A dermedési folyamatok vizsgálatát a normális és inverz dúsulás jelenségének kutatásával folytatta, amelynek eredményei szintén nemzetközi visszhangot váltottak ki (*Metall Industry*, 1938).

Ebben az időszakban teljeseedik ki kvantitatív metallográfiai tevékenysége és az addig szinte kizárólagosan használt planimetrálás helyett bevezette a lineáris elemzés módszerét, amely végül is az első kvantitatív metallográfiai berendezések, az ún. integráló asztalok elvi alapját képezte. Ezt a tevékenységét az Iron and Steel Institute ösztöndíjjal támogatta.

A II. világháború ideje alatt sem hagyott fel kutatási tevékenységével. A bronzöntvények szövetében homogenizálódáskor lejátszódó folyamatokat diffúziós elmélet alapján értelmezte és a számításai alapján meghatározott diffúziós tényezők messzemenően helyesnek bizonyultak.

A 60-as évek végén, a 70-es évek elején meghatározó szerepet játszott a mikroötvszött, nagy szilárdságú és hegeszthető szerkezeti acélok hazai bevezetésben. A Ti-al mikroötvszött szerkezeti acélok fejlesztése kapcsán elért eredményei pl. az Erzsébet híd újszerű konstrukciójában öltöttek testet.

Szakmai tevékenysége szerves részének kell tekinteni szak- és tankönyveit, ezek közül is a több kiadást megért, és még mindig széles körben használt FÉMTAN-t (a későbbi változatok *Káldor Mihállyal* közösen) és a több, mint negyven évvel ezelőtt

megjelent, kétkötetes IPARI VASÖTVÖZETEK METALLOGRÁFIÁJÁ-t, amely mind a mai napig a hazai vaskohászati szakemberek bibliájának számít. A „fémtan” elnevezést is ő alkotta.

A fémes anyagok előállítása, feldolgozása – vagyis az egész kohászati-gépipari termelés – a második világháború időszakáig szinte kizárólagosan szakmai tapasztalaton, mesterségbeli tudáson alapult. Világszerte egyre nyomasztóbbá vált azonban, hogy míg régen a mesterségek fogásai nemzedékről nemzedékre örökítődték, s a tudás lassan, követhetően gyarapodott, az iparosodás, a fejlődés felgyorsulásával az üzemi technológiai adatok egyre kezelhetetlenebb mennyiségűvé dagadtak.

Az 1950-es, 1960-as évek fordulóján korszakváltás ment végbe: világszerte látványosan lerövidült a termékek, a technológiák életciklusa. Az új követelmények kielégítésére a régi tapasztalat, pusztán a kísérletezés, a próbálgatás már egyre elégtelennebbnek mutatkozott. Elengedhetetlenné vált tehát, hogy előbb a kutatás-fejlesztésben, majd a gyártásban, a minőségellenőrzésben, a minősítésben is előtérbe kerüljenek az alkalmazott fizika oldaláról fejlődő, új vizsgálati eljárások.

Máig mérföldkönek tekinthető, hogy *Simonyi Károly* a gyakorlati elektrotechnikán túlmenően, életreszóló meggyőző erővel oktatta a leendő mérnököknek a modern alkalmazott fizika azon alapjait, amelyek rövidesen az anyagtudomány és a kohászati technológia szempontjából is meghatározóakká váltak.

A történeti háttérhez tartozik, hogy *Geleji Sándor*, a soproni, majd miskolci Kohó-géptani Tanszék nagy ipari tapasztalatú vezetője, a MTA Műszaki Tudományok Osztályának elnökeként is szorgalmazta a gyakorlati fémek és ötvözetek problémakörének – így az acélok, az alumínium- és rézötvözetek, a kohászati-, gépipari technológiák anyagtudományi háttérének – a kutatását.

3.11.1. A Vasipari és Fémipari Kutató Intézet

A Vasipari és a Fémipari Kutató Intézet egyetlen telephelyen való elhelyezése kitűnő lehetőséget biztosított a fémtudományok kutatására és eredményességére. Az induláskor mindkét intézetet *Gillemot László* igazgatta, majd a Vasipari Kutató Intézet igazgatójának *Verő József* akadémikust nevezték ki.

A két intézet egy helyre telepítésével közel egyidőben vezették be az aspirantúra rendszerét. A két intézetben 1952–57. között volt idő, amikor egyszerre több mint tíz aspiráns művelte kitűnő vezetők mellett az akkor metallográfiának nevezett tudományterületet, amit később a fémes szerkezeti anyagok tudományának tekintett a szakmai világ.

Ebben a környezetben az aspiránsokkal rendszeresen olyanok foglalkoztak, mint a két igazgató, *Gillemot* és *Verő* akadémikusok. Minden héten egy délelőttöt szenteltek az aspiránsok és a BME-én (az anyag vizsgálattal és a szerkezeti anyagok oktatásával foglalkozó) tanszemélyzet képzésére olyan előadókval és vitavezetőkkel, mint a két igazgató és meghívottakként *Millner Tivadar*, *Zorkóczy Béla* és mások.

Csak a Harvard Egyetem hasonló vitadéléltjeihez lehet hasonlíttani ezeket a vitákat, melyek sokszor az egész napot igénybevétték és a résztvevők számára egész életükre szóló élményt jelentettek. Itt vetette fel először Magyarországon *Millner Tivadar* akadémikus, hogy a szilárd testek kristályjaiban mindig létező hiba-helyek döntően meghatározzák a kristályok tulajdonságait. (A diszlokációk és a fémek technológiai tulajdonságai. Mérnöki Továbbképző Intézet, 1954.) Ennek a gondolatnak a felvetése a résztvevőket arra ösztönözte, hogy az addig tapasztalati metallográfiai ismereteknek

nemzetközi irodalomban akkor fellendülő anyagtudományi értelmezése felé forduljanak. Gyakorlatilag ez adta az első lökést a technológiai eljárások tudományos alapjainak a kutatásához, megértéséhez.

Ebben a kérdésben *Gillemot* akadémikus hozzáállása és tekintélye abban az időben lehetővé tette, hogy részben a BME-en, részben a két intézetben az akkori világszínvonalat megközelítő kutatási eszközökkel dolgozzanak a kutatók és az aspiránsok. Ennek eredménye számos, nemzetközileg is tekintélyes folyóiratban megjelent cikk, melyek a kontrakciós munkával, a diszlokációk keletkezésével, majd az egyensúlyi diagrammok termodinamikájával foglalkoztak. A Mérnöki Továbbképző Intézet 1964-ben adta ki az Anyagszerkezeti Ismeretek kötetet (*Prohászka*) mely itthon elsőként tárgyalta a fémekkel kapcsolatos ismereteket az akkor korszerű szemlélettel.

A HIKI-ben, majd a MŰFKI-ben sorozatban készültek a fémtannal foglalkozó csoport (*Millner, Neugebauer, Sasvári, Hegedűs, Prohászka*, stb.) munkái, melyek főleg a volfrám anyagszerkezeti ismereteinek a megalapozását segítették (erről e fejezet elején részletesebben is szoltunk); a volfrám a mai napig a fémtani, fémfizikai kutatások alapvető modellanyaga.

A hazi **acélkutatás eredményes szakasza** volt a 70-es évek közepétől a 80-as évek közepéig tartó időszak. Verő József vezetése alatt a *Vasipari Kutató Intézetben* ekkortájt nemzetközi mércével is eredményes tevékenység folyt. A Fémtani Osztályon *Fuchs Erik* szellemi irányításával a kor színvonalának megfelelő berendezésekkel felszerelt vizsgáló laboratórium jött létre.

A VASKUT anyagtudományi, fémtani laboratóriumainak koncepcióját *Fuchs Erik* dolgozta ki az 1960-as évek elején:

- Minél teljesebb körben *vizsgálni és számszerűen jellemezni kívánta az anyag szerkezetét* (felépítését), az atomostól a makroszkópos nagyságrendekig,
- Minél teljesebb körben *vizsgálni és számszerűsíteni kívánta az anyagok mechanikai és egyéb, a felhasználás szempontjából mérvadó tulajdonságait*,
- *Mérni és számszerűsíteni kívánta az anyagokban külső – technológiai, főként termikus, illetve képlékeny alakváltozás – hatásra végbemenő anyagszerkezeti változásokat, átalakulási paramétereket*,
- *Elemezni és számszerűsíteni kívánta – főként az adatfeldolgozás eszközeivel – az anyag szerkezete és a tulajdonságok közötti kapcsolatokat, s ezzel összefüggésben a termikus és/vagy a képlékeny alakváltozással járó behatások anyagszerkezeti, illetve a tulajdonságokat érintő következményeit*,
- Végül, a fentieket figyelembevéve *törekedett az anyagokban végbemenő folyamatok matematikai leírására – később értelemszerűen számítógépes szimulációjára –*, a szükséges *alapadatoknak* a lehetőség szerint természet-tudományosan minél megalapozottabb *számítógépes generálására*, végeredményben az *anyagmegválasztás és a számítógéppel segített (anyag)technológiai tervezés módszereinek minél komplexebb kifejlesztésére és elterjesztésére*.

A koncepció *Fuchs Erik* irányításával, számos tényező szerencsés egybeesése nyomán, főként *Tardy Pál, Verő Balázs, Gergely Márton*, majd *Bobok György, Búza Gábor, Réti Tamás*, stb. közreműködésével, az 1970-es évek végéig, szinte teljes egészében megvalósult. A rendszer mind tudományosan, mind ipari technológiai (gazdasági) értelemben rendkívül eredményesnek bizonyult (publikációk, szabadalmak, gyártástechnológiai know-how-k).

Az osztály munkatársai közül számosan nemzetközi karriert futottak be. *Tardy Pál* a golyócsapágyacélok fejlesztésével, *Gergely Márton* az acélok átalakulási tulajdonságainak szimulációjával, *Verő Balázs* méréstechnikai fejlesztéseivel pl. az SDT lemezalakíthatóság vizsgáló berendezés kidolgozásával és a zománcozható lemezek gyártástechnológiájának fejlesztésével tűnt ki. *Réti Tamás* is a csoport tagja volt és részben *Gergely Mártonnal* úttörője volt a tulajdonságkezelő algoritmusok fejlesztésének.

A kutatásokban – kültagként – szinte kezdettől fogva meghatározó szerepet játszott *Varga László* (MTA MÜFI), valamint *Roósz András* (Miskolci Egyetem). A hatékonyságot segítette a korszak jónéhány más, a koncepcióval összhangban levő, bár szervezetileg teljesen független aktivitása, pl. *Rittinger János*, *Fehérvári Attila* és munkatársainak ugyancsak a VASKUT-ban folyó, hegesztéstechnológiai-törésmechanikai jellegű kutatásai, *Czinege Imre*, *Kisfaludy Antal*, *Sárosi György* és mások eszközfejlesztési munkája a Budapesti Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Mechanikai Technológiai Intézetében, stb.

A legnagyobb publicitásra mégis az 1980. évi, szovjet-magyar közös űrrepülés egyik projektje, a magyar BEALUCA űr-anyagtechnológiai (*űrmetallurgiai*) program tett szert. A *Fuchs Erik* által kezdeményezett és irányított program – főként *Roósz András*, *Búza Gábor* és *Bobok György* közreműködésével – a VASKUT említett vizsgálótechnikai infrastruktúráján, illetve a fémtani folyamatok számítógépes szimulációjával foglalkozó kutatásain alapult. A Szaljut-6 űrállomás két kemencéjében – mikrogravitációs körülmények közt – **nyolc** olvasztási/kristályosítási kísérletre került sor, amelyek összesen tizenkétféle, egymástól specifikusan különböző Al-Cu-próbát eredményeztek. A próbákon végzett, idővel meglehetősen terjedelmessé és szerteágazóvá vált vizsgálatok nagy érdeme, hogy sokrétűen, kísérleti uton tájékoztattak a mikrogravitációs körülmények között megolvadó, olvadt állapotban levő, illetve megdermedő (kristályosodó) ötvözetekben végbemenő folyamatokról. A vizsgálatok eredményeként – többek között – sor került számítógépes szimulációs programok kifejlesztésére, egy mikrogravitációs körülmények között is használható, alakadó (forma-) öntési technológia kifejlesztésére, valamint a ma „Miskolci Űrkemence” néven ismert, nagyobb tömegű, gyakorlati célra is felhasználható anyagok irányított és szabályozott körülmények közötti létrehozására alkalmas berendezés elvi koncepciójának, illetve tervjavaslatának az elkészítésére (*Fuchs Erik*, *Roósz András*, *Búza Gábor*).

A Vasipari Kutató Intézet kutató és fejlesztő vállalattá való átalakítása, majd az ipari kutatóintézetek feloslása ezt a kutatócsoportot is szétzilálta. E tevékenység folytatása a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet Fémtani Osztályára (vezető: *Verő Balázs*), a Miskolci Egyetem Fémtani Tanszékére (vezető: *Tranta Ferenc*) és a Bánki Donát Főiskola Anyag- és Alakítástechnológiai Tanszékére (*Réti Tamás* és *Kisfaludy Antal*) hárult. A VASKUT Fémtani Osztályának, személy szerint *Fuchs Erik* tevékenységének eredményeképpen alakult ki az első magyar űrhajós *Farkas Bertalan* űrmetallurgiai kísérleti programja.

Prohászka János professzor 1964-től a Budapesti Műszaki Egyetem professzora, hosszú időn át a Villamosipari Anyagtechnológia Tanszék vezetője, és a Mechanikai Technológiai Tanszékkel alkotott intézet igazgatója. Tevékenységének középpontjában a fémek és ötvözetek szerkezete és tulajdonságaik közötti kapcsolat kutatása, a tulajdonságok tudatos módosítására irányuló technológiák fejlesztése állt. Lényeges eredményeket ért el a kristályok és krisztallitok orientációjának maradási idomok segítségével történő meghatározásában és az anizotrópia jelenségének és szerepének értelmezésében.

Szabadalommal is védett eljárást dolgozott ki acélok és más ötvözetek gyors hőkezelésére: az átfolyó áram segítségével történő extrém gyors felhevítést sikerült ipari berendezés szinten is megvalósítania. A nagyon rövid hőciklus eredményeképpen az ötvözetlen acélok szilárdságát sikerült a közepesen ötvözött acélokra jellemző értékre emelnie.

Szakmai tevékenységében meghatározó szerepet játszik a fémtani, anyagtudományi folyamatok, jelenségek termodinamikai értelmezése, e témából tartotta akadémiai székfoglaló előadását is. Széleskörű közéleti tevékenysége során számos alkalommal hangsúlyozta az értéktermelő tevékenységeknek a társadalom fejlődésében játszott meghatározó jelentőségét, ezen belül az anyagtechnológiák kitüntetett szerepét. A technológia, a „high tech” fogalmának napjainkban hazánkban használt definícióját is ő alkotta. Nem idegen tőle a makrogazdaság problémáinak elemzése és értékelése sem.

Egyetemi jegyzetei és a Bevezetés az anyagtudományba I. című könyve a szakma meghatározó jelentőségű művei.

Káldor Mihály professzor (elhunyt 1998-ban) tudományos tevékenységéből első sorban az 1990-ben megjelent „Fizikai metallurgia” c. könyve emelendő ki, amelyben a szerző a fémek, ötvözetek szövetét alkotó kristályok rácsát vizsgálva törekszik a különböző tulajdonságok értelmezésére, a folyamatok leírására.

A Mechanikai Technológia és Anyagszerkezettan Tanszék mai vezetője *Ginsztler János* professzor, aki kutatási tevékenységét, tudományos pályafutását Dr. Gillemot László akadémikus irányításával kezdte, majd Dr. Artinger István tanszékvezető egyetemi tanár és Dr. Prohászka János akadémikus irányítása mellett folytatta. Egyik fő kutatási témájaként a magas hőmérsékleten üzemelő, kúszásnak és fáradásnak kitett anyagok károsodásanalízisével foglalkozott, s megállapította, hogy az előzetes igénybevétel jellegétől függően a vizsgált anyagok szerkezetében lejátszódó, s a tönkremenetelt előidéző változások egy része „reverzibilis”, azaz megfelelő időpontban történő alkalmas technológiai beavatkozással a károsodást előidéző változások visszafordíthatóak, s egyes nagyértékű szerkezeti elemek élettartama ezáltal – az üzembiztonság csökkenése nélkül – jelentősen meghosszabbítható. Kutatásainak eredményeit hazai erőművekben is sikerrel alkalmazták, s a témakörben több jelentős nemzetközi együttműködés is folyt, illetve folyik külföldi intézmények kezdeményezésére.

3.11.2. Alumínium-, könnyű-fém és anyagtudományi kutatások a Fémipari Kutató Intézet (később ALUTERV-FKI)-ban

A Magyar Alumínium és Könnyűfémipari Kutató Intézetet 1948. május 1-én *Gillemot László akadémikus*, műegyetemi professzor alapította néhány nagy tudású és tapasztalt (*Domony András, Lányi Béla, Papp Elemér*) és jó néhány kezdő kutatóval az *alumínium és egyéb (nem vas) fémek* kutatására. A terület akkori gazdasági jelentősége magyarázza, hogy az intézetet egy évvel korábban hozták létre, mint a többi iparágak számára létesített tizenegy további ipari kutató intézetet. Az intézmény neve 1951-ben *Fémipari Kutató Intézet* (FKI) lett. Az ipari fejlesztésben fontos szerepet szántak a *hazai bauxit kincsre* alapozott és éppen ezért gyors iramban növekedő teljes alumínium-ipari vertikumnak (bauxit, timföld, kohóalumínium, félgyártmány és késztermék). Fentieknek megfelelően a *Fémipari Kutató Intézet* egy kémiai, egy kohászati, egy fémtech-

nológiai és egy tervező részleggel indult. Az Intézet alapításakor az iparág vállalatai még egymástól független gyárakként tevékenykedtek, – utóbb azonban az állam létrehozta a Magyar Alumíniumipari Trösztöt (1963), és ezzel szorosabbra fűzte az alumínium iparhoz tartozó vállalatok közötti kapcsolatokat. 1975-ben az FKI-t egyesítették az Alumíniumipari Tervező Intézettel ez az egyesített Alumíniumipari Tervező és Kutató Intézet (Aluterv-FKI) gyakorlatilag 1996-ig működött, amikor is végelszámolással, jogutód nélkül megszűnt.

A mai értelemben vett *anyagtudománynak* a szerkezeti anyagok (jelen esetben az alumínium és ötvözetei) kutatásához tartozó összetevőit már az Intézet kezdetekor kialakították és ezeket következetesen fejlesztették. *Domony András* az Intézet 20 éves jubileuma kapcsán az *alumínium féglyártmány kutatás* áttekintésekor az alábbi főbb tevékenységi csoportokat emelte ki: a technológiai összefüggések feltárása érdekében végzett *modelllezési munkát*, az egyenletesebb minőségű termékek létrehozása érdekében az *anyagvizsgálati módszerek fejlesztését*, a *fém-fizikai összefüggések feltárása segítségével az új ötvözetek kutatását*, továbbá a *képlékeny alakítás technológiáinak továbbfejlesztését*.

A *féglyártmány kutatás* területén *Domony András* és munkatársai (*Vassel K. Róbert, Boczor István, Sinay Gábor, Burai Zoltán, Laár Tibor* és *Lichtenberger Endréné Bajza Edit*) nagy hangsúlyt helyeztek a következő területekre:

- a primer alumínium fémes és nem fémes szennyezőinek szerepére; a szennyezők és a fém makroszkópos tulajdonságainak összefüggéseire,
- a nagyobb tisztaságú alumínium előállítását megvalósító technológiák fejlesztésére,
- az öntés, a fémmegszilárdulás technológiai kérdéseire,
- a plasztikus deformáció technológiáira: a hengerlés, a sajtolás, mélyhúzás és a nagy sebességű alakítás (*Gillemot László*) technikai megoldásaira és vizsgálatára,
- az alumínium felületén végbemenő oxidképződés kérdéseire.

Az *alumínium késztermékek fejlesztése* elsősorban a *kötési technológiák* fejlesztését és a *felületkezelés* kérdéseit helyezte előtérbe.

1971-ben 15 éves távra (1971–1985) elindították a magyar alumínium ipar gyárainak fejlesztésére kidolgozott a „Magyar Alumíniumipar Központi Fejlesztési Programját (KFP)”, melynek alapján a kutatási területre vonatkozóan rögzített „KFP kutatási célprogram” koordinálásával az Intézetet bízták meg. *Ekkora* már halaszthatatlanná vált, hogy a *szubmikroszkópos szemléletű fémfizika, szilárdtestfizika és szilárdtestkémia* nagyobb szerephez jusson az alumíniumipari kutatások területén is.

Először a Székesfehérvári Könnyűfémműben létrehozott „Központi Technológiai Kutató Laboratórium” (később ez a részleg is beintegrálódott az Intézetbe) *Sapsál Veronika* vezetésével indult el ezen az úton, de vele szinte egyidőben a Fémipari Kutató Intézet vezetősége (*Zámbó János* és *Várhegyi Győző*) is felismerte az új szemléletű *anyagtudomány meghonosításának szükségességét*.

Az Intézet 1971-ben létrehozta az ország talán legjobban felszerelt anyagvizsgálási részlegét *Groma Géza* fémfizikus vezetésével. A különböző anyagtudományi laboratóriumok irányítására és az egyes speciális technikák művelésére a szakterületen már jártasságot szerzett kutatókat bízták meg, akik nagyobb részt kívülről kerültek az Intézetbe. (Röntgen laboratórium: *Gadó Pál*, Fémfizikai laboratórium: *Groma Géza*, Kovácsné *Csetényi Erzsébet*, Elektronsugaras laboratórium: *Csanádyné Bodoky Agnes*,

Stefániay Vilmos, Izotóp laboratórium: *Bujdosó Ernő, Tóth Lajos* és még jó néhányan). Az alumíniumipar kedvező gazdasági helyzete lehetővé tette az ország első elektronsugaras mikroanalizátorának, majd pásztázó elektronmikroszkópjának, továbbá tömegspektrométerrel felszerelt termoanalizátorának, stb. beszerzését és alkalmazását.

A legtágabb értelemben vett alumíniumipari technológiák rutin feladatai mellett, lehetőség nyílt a *szilárdtest vizsgáló módszerek* célorientált fejlesztésére és az Intézetben és az Iparágban adódó technológiai feladatok szilárdtestfizikai és szilárdtestkémiail megalapozására. (pld. az Al-Mg-Zn ötvözetek hegesztésekor végbemenő fémfizikai folyamatainak tisztázása, a nagytisztaságú alumínium vezetési tulajdonságainak vizsgálata, az alumínium anódos oxidációja során keletkező rétegek mikroszerkezetének feltárása, az alumínium szennyezőinek hatása a felületi oxidréteg tulajdonságaira, stb.) Az alumínium hidrogéntartalmának vizsgálata céljából, vagy az öntés közben végbemenő áramlási folyamatok tanulmányozására stb. új, korábban nem alkalmazott módszerek használata és eszközök kifejlesztése vált szükségessé.

Az Intézetben már kezdetektől kiépített német, csehszlovák, lengyel és szovjet kutatóintézeti együttműködések is hasznosítva az Anyagvizsgáló Főosztály az egyes konkrét témák kapcsán a korábbiakat meghaladó kapcsolatokat épített ki az országban lévő egyetemi, akadémiai és egyéb kutatóhelyekkel (ELTE Alkalmazott Fizikai Tanszék *Kovács István* és mtsai., BME *Giber János* és mtsai., MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet *Barna B. Péter* és mtsai., Szervetlenkémi Kutató Laboratórium *Pantó György* és mtsai., Vasipari Kutató Intézet *Fuchs Erik* és mtsai. és még sok más intézmény).

Groma Géza 1981-ben bekövetkezett halálát követően *Turmezei Tibor* került az anyagvizsgáló részleg élére. Ezt az időszakot a komplex ipari problémák anyagtudományi igényességgel végzett feltárására és megoldására való törekvés jellemezte (pld. a vékony fólia termékek korrózió hajlama okainak feltárása és kiküszöbölése, a korábban nagyobb fajlagos felület elérését célzó kondenzátorfólia maratási technológiáinak fémfizikai és kémiai fejlesztése, stb.). Ezeknél a feladatoknál már fontos szerephez jutottak olyan *felületanalitikai vizsgálati eljárások* is, amelyekkel sem az Intézet, sem a Főosztály nem rendelkezett (SIMS, ESCA, stb.), de amelyek a feladatok megoldásához esetenként nélkülözhetetlennek bizonyultak.

Tekintettel arra, hogy a székesfehérvári kutató részleg fizikusai (*Banizs Károly, Lakner József, Imhof János*) elsősorban az üzem aktuális technológiáinak hengerlés, sajtolás, stb.) fémfizikai elemzésével foglalkoztak a budapesti anyagtudománnyal foglalkozó csapat részben az öntés során végbemenő folyamatok modellezésének (*Hidvégi Éva, Lendvai Anna*) és az Al-Fe-Si rendszer fázisainak szerkezet és összetétel vizsgálattal egybekötött alap kutatását folytatta (*Turmezei Tibor, Griger Ágnes, Stefániay Vilmos*) és az új anyagok (pld. szuperképlékeny ötvözetek *Kovácsné Csetényi Erzsébet*) és új technológiák kínálta lehetőségek irányába fordult. (Gyorshűtés, alumínium por gyártás, stb.)

Az Intézetnek az alumínium félgyártmány fejlesztéssel és beruházással kapcsolatban álló munkatársai (az eddig már felsoroltakon túl *Schippert László, Keébe György* és még sokan mások) a félgyártmány gyártó vállalatok (Székesfehérvári Könnyűfémű /KÖFÉM/, Inota, Kőbányai Könnyűfémű /KÖBÁL/, stb.) több fokozatban véghez vitt korszerűsítése során, amely számos szovjet és nyugati (francia, japán, német stb.) technológiai berendezés beüzemelésével és technológiai know-how átvételével és megvalósításával járt, nagy tapasztalathoz és ismeretanyaghoz jutottak.

Az 1987-ben bekövetkezett átszervezés során és az alumíniumipari beruházási lehetőségek következtében jó néhány igen korszerű kísérleti-üzemi, technológiai-kutató berendezés felépítésére és részben beszerzésére kerülhetett sor pld. a félfolyamatos tuskó öntődék felújítására (*Laárné Endrődi Mária, Csernai Bálintné*; nagytisztaságú, vékony (~0,2 mm) alumínium huzal előállításához csúszvahúzó berendezés készítésére (*Dékány Endre*); az alumínium (ötvözetek) gyorsított porainak előállítására szolgáló berendezés megépítésére és alkalmazására (*Stefániay Vilmos*); alumínium örlőberendezések és örlemények előállítására (*Griger Ágnes és Ipacs László*); az alumíniumnak és más fémeknek pld. örlés közben lejátszódó szilárdfázisú reakcióinak tanulmányozására, bevonatok készítésére alkalmas ötvözet porok készítésére (*Csanádyné Bodoky Ágnes, Pintérné Csordás Tóth Anna*).

Az Intézet (a felbomlási folyamatot megelőző időszakában) technológiai és nagyműszeres vizsgáló berendezéseinek, továbbá makroszkópos anyagvizsgáló berendezéseinek és szakembereinek (ifj. *Gillemot László*) következtében, nem utolsó sorban néhány kutatójának időközben megerősödött publikációs tevékenysége, kiépült új nemzetközi kapcsolatai, megnövekedett mozgásteret folytán, továbbá az Intézet idejében létrehozott korszerű informatikája révén a hazai anyagtudomány jelentős műhelyének számított. Nagyműszeres fizikai és kémiai vizsgálati berendezéseinek korszerűsítése és egyes módszereinek fejlesztése még a 90-es évek elején is (pld. *Sajó István* szoftver fejlesztése) tovább folytatódott és hazailag és nemzetközileg is értékesíthető terméknek bizonyult. Sajnálatos módon a közel félévszázados Intézet felszámolásának lassú, de biztos folyamata a 90-es évek közepére számos technológiai és egyéb kutatási eszköz megsemmisüléséhez vezetett.

3.11.3. Színesfémkohászati és fémfizikai háttérkutatások a Csepeli Fémműben

A színesfém féltermékgyártásban a második világháborút megelőző időszakban Magyarországon elsősorban a gyakorlati termelési igényeket és a versenyképességet szolgáló kutató-fejlesztő tevékenységről beszélhetünk. Ezek nem kis részben hadiipari célokat szolgálták, hiszen a Weiss Manfréd gyár alapvető profilja a csepeli gyártelep létrehozása, 1892 óta erősen kötődött a hadiiparhoz.

Ez a gyakorlati fejlesztő tevékenység azonban hozott általánosítható tudományos eredményeket és vizsgálati módszereket is. Ezek között elég utalni Erichsen által a Csepeli Fémműben a nikkellémezek mélyhúzzhatóságának vizsgálatához kidolgozott és a róla elnevezett módszerhez, amelyet a mai napig is alkalmaznak hengerelt lemezek, ill. szalagok mélyhúzzhatóságának vizsgálatához. Ugyancsak alapvető hengerléseleméleti kérdéseket tisztázott *Geleji Sándor* akadémikus, aki a Fémmű Igazgatójaként kezdte meg a hengerléseleméleti kutatásait a hengerlési erő meghatározására. Ide sorolható *Schey János* munkássága is, akinek tribológiai kutatómunkája világszerte elismert. *Solti Márton* főmérnök a repülőgépvontvények gyártása kapcsán az Al-Si ötvözetek nemesítése tudományos alapelveinek kidolgozásában alkotott maradandót.

Az ötvenes évek második felében fejlődésnek indult hazánkban a híradástechnikai, a műszer és elektronikai ipar. Ezek az iparágak különleges fizikai tulajdonságú anyagokat igényeltek (lágy és keménymágneses anyagokat, üveghez, kerámiához forrasztható szabályozott hőtágulású ötvözeteket, termobimetallokat, nemesíthető ötvözeteket, lap-

rugó anyagokat, különböző ellenállásanyagokat, stb.) A szigorú devizatakarékosság és a tervezdálkodás körülményei között a Csepeli Fémmű kapta azt a feladatot, hogy fejlessze ki ezeket az anyagokat, szervezze meg a termelésüket és lássa el a hazai felhasználókat ilyen féltermékekkel.

A fenti anyagok előállításához a hagyományos kohászati eljárások nem voltak megfelelőek és optimális tulajdonságaik eléréséhez a szükséges szilárdtestfizikai, ill. fémfizikai alapok is hiányoztak. A hatvanas évek elején ezért megkezdődött a Fémműben az u.n. „finomkohászati anyagok gyártásának fejlesztése” c. program, amelynek keretében egyrészt megteremtették a gyártás technikai feltételeit, másrészt létrehoztak egy igen jól felszerelt és megfelelő szellemi kapacitással is rendelkező kutatási bázist és kísérleti üzemet. E kutatási bázis létrehozásában kiemelkedő szerepe volt *Balázs Fülöpnek, Garai Lászlónak és Stefán Mihálynak*. A hivatalosan is alkalmazott kutatóhelynek minősített Csepeli Fémmű Kutató és Technológiafejlesztő Intézetében a hetvenes évek elején 64 fő dolgozott, amiből mintegy 40 fő volt felsőfokú végzettségű, túlnyomórészt kohómérnök és fizikus. A kutatók között két akadémiai doktori és öt kandidátusi tudományos fokozattal rendelkező kutató volt, akik az Intézetben szereztek meg tudományos fokozatukat. Az intézet vezetői voltak: 1958–1961. *Garai László*, 1961–1964. *Dr. Stefán Mihály*, 1964–1969. *Dr. Hegedüs Zoltán*, 1970–1974. *Horváth Csaba*, 1975–1980. *Dr. Albert Béla*, 1981–1986. *Horváth Csaba*, 1987–1993. *Dr. Albert Béla*. Az 1992. évet követően az intézeti szervezet megszűnt, a kutatási tevékenység fokozatosan elsorvadt és a kutatóhely a vállalat műszaki osztályába degradálódott, – erősen lecsökkent létszámmal.

A különleges fizikai tulajdonságú anyagok fejlesztéséhez szükséges szellemi és anyagvizsgálati kapacitás biztosítása érdekében a kutatómunkába hosszútávú szerződésekkel több MTA kutatóintézetet és egyetemi tanszéket vontak be. Az így létrehozott kutató-hálózatban az alábbi intézmények játszottak főbb szerepet: MTA KFKI Szilárdtestfizikai Kutató Intézet, MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet, NME Fémkohászattani Tanszék, NME Kohógéptan Tanszék, ELTE Szilárdtestfizikai Tanszék, BME Mechanikai-Technológiai és Anyagszerkezet-tani Intézet, BME Atomfizika Tanszék. A nemzetközi kapcsolatokban eredményes együttműködés folyt a Mansfeld Kombinat Walzwerk Hettstedt-el, Auerhammerrel, a CNIICSERMET-tel és a NIIGRAFIT-al.

A fejlesztés intenzitására jellemző adat, hogy 1968 végére 58 új ötvözet és belőlük készített féltermék gyártástechnológiájának kidolgozása és gyártásuk bevezetése történt meg. A gyártmányválaszték átfogta az akkori magyar elektrotechnikai, hídástechnikai, elektronikai és műszeripar gyakorlatilag teljes választékigényét az alábbi termékcsoportokban:

- oxigénmentes, nagy tisztaságú részhuzalok, ill. ezüsttel ötvözött nagy tisztaságú rézhuzalok,
- vákuummetallurgiai eljárással előállított nagy tisztaságú réz- és nikkeltermékek,
- különleges sárgaréz és bronztermékek,
- nemesíthető rézötvözetek,
- lágymágneses ötvözetek (permalloyok),
- képlékenyen alakítható keménymágneses ötvözetek,
- vákuumtechnikai nikkelőtvözetek,
- ellenállásanyagok,
- szabályozott hőtágulású ötvözetek (üveghez, kerámiához forrasztható anyagok),
- termobimetallok.

A kutatómunka főbb területei a következők voltak:

- precipitációs folyamatok rézötvözetekben,
- rendeződési folyamatok kutatása (hosszútávú rendezettség és a rugalmas tulajdonságok szempontjából fontos K állapot kutatása),
- kis mennyiségben jelenlévő u.n. „mikroötvözők” hatásának kutatása,
- mágneses anizotropia és textura kutatás,
- 1971-ben megindult az u.n. amorf ötvözetek kutatása is. Elősorban a mágneses ötvözetek kutatása érdemel említést ($\text{Fe}_{80} \text{B}_x \text{Si}_y$, $\text{Fe}_7 \text{Co}_{70} \text{B}_x \text{Si}_y$, $\text{Fe}_{74} \text{Co}_6 \text{B}_x \text{Si}_y$, $\text{Fe}_{40} \text{Ni}_{40} \text{P}_{14} \text{B}_6$). A kutatómunka nemzetközi elismerését mutatta, hogy a tudományos szakcikkekben a Csepeli Fémműben folyó „fémüveg”-kutatást az első öt közé sorolták az európai amorf ötvözetekkel foglalkozó kutatóhelyek munkásságában.

Az új, alkalmazott fizikai tudományos eredmények közé sorolható annak megállapítása, hogy

- a FeNi alapú lágymágneses anyagokban az indukált anizotropia létrejöttében a szén és oxigén atomoknak és azok stabil konfigurációinak aktív szerepük van és az indukált anizotropia-állandó arányos az oxigén tartalommal,
- A Ni és FeNi ötvözetek képlékeny alakítási tulajdonságai kedvezően befolyásolhatók a ritkaföldfémek erős kén megkötő képességének a felhasználásával (gömszerű ritkaföldfém-oxi-szulfidok képződése),
- A CuCoSi ötvözetben a precipitáció folyamata koherens Co kiválással kezdődik és ezt követi a Si kiválása a Co_2Si sztöchiometrikus összetételű fázis kialakulásáig,
- Ga mikroötvözése elősegíti kockatextura kialakulását a FeSi ötvözetben.

A kutatás eredményeként létrejött új műszaki eljárások 24 – nagy többségében több országban bejegyzett – szabadalomban is megjelentek.

A Csepel Fémművel kooperáló partnerek közül emeljük ki az *MTA KFKI Szilárdtestkutatóintézetében* folyó munkákat.

A jelenlegi MTA KFKI Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet jogelődjében, a KFKI Szilárdtestfizikai Laboratóriumában (SZFKI) az ötvenes évek elején kezdődtek a szilárdtestfizikai alapkutatások *Pál Lénárd* kezdezőnyezésére.

A kutatások nagyrészen a Laboratóriumban kifejlesztett műszerek felhasználásával, az e célra előállított különleges anyagmintákon (nagy tisztaságú fémek, egykristályok, vékony rétegek) folytak. Az alapkutatásokban használt mérőeszközök és berendezések egyes változatai más kutatóhelyeken és vállalatoknál is felhasználásra kerültek. Említést érdemelnek a különböző kriosztátók (*Balla János*), neutron szelektorok (*Zsigmond György*, *Rosta László*) mágneses magrezonancia berendezések (*Tompa Kálmán*, *Tóth Ferenc*); hőmérséklet-szabályzók, lock-in erősítők, a gépipar területén használatos mágneses és örvényáramú ronszolásmentes anyagvizsgáló eszközök (*Tóth Ferenc*), utóbbiak szenzorai az intézetben előállított amorf lágymágneses ötvözetekből készültek (*Lovas Antal*, *Takács János*, *Konczos Géza*).

Az intézet technológiai csoportja 1960-tól kezdve különleges ötvözeteket készített a kutatások céljaira laboratóriumi méretű metallurgiai módszerekkel (vákuumindukciós, elektronsugaras olvasztás, fémkristály-növesztés Bridgman-módszerrel (*Konczos Géza*, *Lovas Antal*, *Takács János*). 1976-ban berendezést építettek fémolvadékok gyors megszilárdítására. A berendezés továbbfejlesztésével homogén amalgámötvözetek kísérleti gyártását valósították meg a Vasipari Kutató és Fejlesztő Vállalattal (VASKUT) együttműködve (1986–1988).

A VASKUT-ban a kísérleti gyártást *Verő Balázs* és *Fauszt Anna* irányította. Vezetésükkel – a VASKUT megszűnése után – a VASKUT-Aguda Kft keretein belül újabb két amalgámtípust fejlesztettek ki, amelyeket piacra is vittek. Az RS-technológián alapuló amalgámgyártás volt a technika legsikeresebb alkalmazása – több, mint 2 tonna amalgám készült, ami 20 millió fogtömés elkészítéséhez elegendő.

Irodalom

Ajánlott irodalom

- Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. 3. kiadás. Gondolat Kiadó. Budapest, 1986.
- F.R.Paturi, M.Matthes, B.Uhlmansiek, M.Schramm, Ch.Voges: A technika kronológiája. Officina Nova Könyv- és Lapkiadó. Budapest, 1991.

A feldolgozáskor felhasznált irodalom:

- A SIEMENS Cégek szabadalmi Magyarországon. (Siemens RT, Budapest, 1999. kézirat. Feltárta és összeállította: Faics Lajos.)
- A PKI 100 éve. Főszerkesztő. Dr. Sallai Gyula. Távközlési Könyvkiadó 1991.
- A Telefongyár helye és szerepe a Magyarországi műszaki fejlődésben Monográfia I-II. Kiadta a Siemens Telefongyár Kft 1997.
- ATOMKI Kronológia 1954–1989. Atomki, Debrecen 1989.
Összeállította: Medveczky László

4. Félvezetőgyártás a TUNGSRAM-ban

Zanati Tibor
tel/fax: 368-8203

4.1. A Tungstram Rt. félvezetőgyártása számokban

Az 1982. december 31-el lezárult kutató-fejlesztő-gyártó tevékenység legjellemzőbb adatai bizonyítják a szakterületen dolgozók – vezetők és beosztottak – szakmai, anyagi eredményességét, hasznosságát.

A termékegyeztetés éveiben szentté avatott éves tervek számszerűségeit a félvezetőgyártás természetes adottságainak köszönhetően minden évben látványosan túlteljesítette. A félvezetőgyártás éves növekedése jó másfél évtizeden át számottevően hozzájárult a „nagyvállalat” dinamikus növekedési adatainak iparági átlagot felülmúló számszerűségéhez, és a legfelsőbb vállalati vezetők kimagasló elismeréséhez.

Az éves termelési adatokat és annak megoszlását termékkéleségekre a 4.1. számú táblázat mutatja be. A számszerűségeket jól tükrözik az egyes nagyobbértékű beruházások és a termék generáció váltások hatásait. A fejlődés főbb fázisait az alábbiak mutatják.

- 1957-ben a germánium tüssdióda gyártás kezdete az „M.E. osztályon”,
- 1958-ban az első ötvözött tranzistorcsalád /P6A-P6D/ kísérleti gyártása,
- 1959-ben az első nagyteljesítményű tranzistorok gyártása,
- 1960-ban a germánium egyenirányítók (GDK 1-7 család) gyártásba vitele a KONVERTA-ban,
- 1961-ben a szilícium egyenirányítók (SiEK 1-7 család) gyártása ugyancsak a KONVERTA-ban,
- 1963-ban a gyöngyösi tüssdióda gyártás indítása,
- 1966-ban a mesatranzisztor kifejlesztése /AF 106/,
- 1967-ben a szilícium planárranzisztorok első családjának (BFY 33-46/) prototipizálása,
- 1969-ben az első planárdiódák család (BAY 41-4) és a BA 138 varicap diódák kísérleti gyártása,
- 1970-ben az RTL integrált áramkörök kidolgozása és kísérleti gyártása,
- 1971-ben a gyöngyösi „nagyberuházás” – a 23,5 millió db germánium eszköz gyártására létesült, háromszintes korszerű épületben elhelyezett germánium kristálygyártás, diódák és tranzisztor üzemek – birtokbavétele,
- 1971-ben a germánium mesatranzisztor szerelő-mérő gyártósor telepítése Gyöngyösön,
- 1974-ben planárranzisztor gyártósorok telepítése Gyöngyösön,
- 1977-ben a FAIRCHILD IC gyártósor telepítése Gyöngyösön és az IC szerelési-mérési know-how átvétele,
- 1977-ben a közepes teljesítményű planárranzisztorok kísérleti gyártása Bp.-en,
- 1978-ban ITT licenciával a műanyagtokos egyenirányítók gyártásának kiépítése,
- 1978-ban a T-plasztik tokos tunertranzisztorok kísérleti gyártása Budapesten,
- 1979-ben a nagyteljesítményű Si mesatranzisztorok kísérleti gyártása Budapesten.

4.1. táblázat.

A félvezető termelés és annak megoszlása termékféleségek szerint (millió darab)

	Dióda egyenir.	Tranzisztor	Integrált- áramkör	Összes
1958.	0,1	-	-	0,1
1959.	0,4	0,2	-	0,6
1960.	1,0	0,4	-	1,4
1961.	1,7	0,5	-	2,2
1962.	2,2	0,7	-	2,9
1963.	2,9	0,9	-	3,8
1964.	4,5	1,5	-	6,0
1965.	5,4	1,7	-	7,1
1966.	7,3	2,9	-	10,2
1967.	9,9	3,9	-	13,8
1968.	13,6	6,0	-	19,6
1969.	16,1	8,9	-	25,0
1970.	17,9	7,0	-	24,9
1971.	13,6	8,3	0,1	22,0
1972.	31,3	12,5	0,1	42,9
1973.	42,2	19,1	0,3	61,6
1974.	38,9	22,8	0,7	62,4
1975.	38,4	23,2	0,4	62,0
1976.	51,6	30,4	0,9	82,9
1977.	75,0	36,5	2,9	114,4
1978.	86,4	37,2	9,5	133,1
1979.	82,5	40,9	12,9	136,3
1980.	59,7	26,0	15,3	101,0
1981.	65,5	29,8	15,3	110,6
1982.	67,4	30,0	11,1	108,5
Összesen:	735,5	351,3	69,5	1156,3

Az 1958–82. közötti 25 év alatt,

- 735,5 millió db dióda és egyenirányító dióda
- 351,3 millió db tranzisztor,
- 69,5 millió db integrált áramkör

készült és T bélyegzővel márkajelezve értékesítésre is került.

Az egyes évek értékesítési adatait a 4.2.sz. táblázat ismerteti. 1966-ig a gyártás kizárólag belföldi igények kielégítésére kiszolgált, az induló KGST együttműködés és szakosítás keretében ezt követően az u.n. szocialista export gyorsan nőtt. A „nyugati” exportra csak 1972-től kerültek T jelű félvezető eszközök.

4.2. táblázat.

A félévezetőgyártás 1958–1982 évi termelési és értékesítési adatai

	Termelés mdb.	Összes mFt.	Értékesítés millió Ft.		
			belföld	tőkés	szoc.
1958.	0,1	6	6	-	-
1959.	0,6	11	11	-	-
1960.	1,4	15	15	-	-
1961.	2,2	23	23	-	-
1962.	2,9	30	30	-	-
1963.	3,8	41	41	-	-
1964.	6,0	62	62	-	-
1965.	7,1	73	73	-	-
1966.	10,2	96	95	-	1
1967.	13,8	124	121	-	3
1968.	19,6	167	147	-	20
1969.	25,0	187	152	-	35
1970.	24,9	248	143	-	105
1971.	22,0	327	146	-	181
1972.	43,9	364	174	9	181
1973.	61,6	430	135	80	215
1974.	62,4	488	156	75	257
1975.	62,0	593	249	55	289
1976.	82,9	622	293	84	245
1977.	114,4	728	367	129	232
1978.	133,1	827	495	117	215
1979.	136,3	1119	550	127	442
1980.	101,0	1178	582	135	461
1981.	110,6	1165	593	116	456
1982.	108,5	1100	576	103	421
Össz.	1156,3	10024	5235	1030	3759

Az összes árbevétel 1958–82. között 10,024 millió Ft., ebből,

- hazai 5,325 millió Ft.
- szocialista 3,759 millió Ft.
- \$ elszámolású 1,030 millió Ft.

A termelési-értékesítési eredmények gyártási hátterét a termelő célú beruházások szolgáltatták. A 4.3. számú táblázat a szakterület beruházásait sorolja fel.

A kutató-fejlesztő munka költségei halmozottan mintegy 600 mFt-ot tettek ki ugyanezen időszakban.

A szakterületen dolgozók létszámadatait a 4.4. számú táblázat közli. Az egyes évek bérszínvonal adataira a Budapesti Félévezető Fejlesztési Főosztály elkülönítetten kezelt éves béradatai szolgáljanak példaként. (4.5.sz. táblázat)

4.3. táblázat.

Az EIVRT félvezető beruházásai (1962–1981.)

Időszak	Rendeltetés	Kéip. kap mdb/év	Helye	Költség	
				MFt.	e\$
1963–72.	Ge alapú diszkrét félvezetők tömeggyártása (alapanyaggyártás, szolgáltatás, alkatrészgy. szerelés, mérés) a járulékos létesítményekkel	40	Gyöngyös	319,5	519
1966–67.	Si planár tranzistor gyártóvonal (elemgy., szerelés-mérés) létesítése import gépvásárlással (Vacwell sor)	0,5	Törzsgyár	63	–
1967–68.	Ge mesa tranzistor gyártóvonal (elemgy., szerelés-mérés) létesítése	0,8	Törzsgyár	63	970
1974–75.	Műanyagházas epitax. planár tr. szerelő-mérő üzem létesítése	22,5	Gyöngyös	12	80
1974–75.	Varicap dióda és műanyag tokozású ei. dióda gyártóvonalak (szerelés-mérés) kiépítése	10	Konverta	12	60
1967–77.	Bipoláris IC szerelő és mérő üzem létesítése Járulékos beruházás: -szer. szal. gyártás -szolgáltatás	15	Gyöngyös	342	5000
1978–79.	TFK Ge tüssd. gyártás	30	Gyöngyös	9,2	121
1929.	Fémházas ipari planár tr. gyártóvonal (szerelés-mérés) lét.	5	Gyöngyös	2	9
1979.	D35 tokozású planár dióda gyárt. (szerelés-mérés) lét.	30	Gyöngyös	7	16
1965–79.	Egyedi gépvásárlásokra			55	625
Beruházás 14 év alatt összesen:				829 MFt.	7,4 m\$

4.4. táblázat.

A félvezető kutatás-fejlesztés-gyártás létszáma (fő)

Év	Budapesten			Gyöngyösön			Összes
	Alkalmazott	Munkás	Alk+Munk.	Alkalmazott	Munkás	Alk+Munk.	
1953.			15				15
1954.			30				30
1955.			50				50
1956.			60				60
1957.			65				65
1958.			80				80
1959.			90				90
1960.			100				100
1961.			150				150
1962.			190			50	240
1963.			230	23	98	121	351
1964.			300	25	232	257	557
1965.			420			291	711
1966.			500			411	911
1967.			600			536	1136
1968.			650			731	1381
1969.			700			1028	1728
1970.			730	103	1070	1173	1903
1971.	170	521	691			1298	1989
1972.	161	420	581			1503	2084
1973.	154	389	543			1753	2294
1974.	152	379	531			1777	2304
1975.	149	375	524	105	1560	1665	2189
1976.	156	358	512			1622	2136
1977.	163	358	521			1657	2178
1978.	166	337	503			1655	2158
1979.	167	313	480			1646	2126
1980.	139	253	392	114	1392	1506	1898
1981.	145	233	378			1389	1767
1982.	135*	255*	360*	107	1189	1296	1656

* a MEV-nél

4.5. táblázat.

A Félvezető Fejlesztési Főosztály létszám és bérszínvonal adatai

Év	Munkás		Alkalmazott		Munkás+Alkalmazott		
	létsz.	bérsz.Ft.	létsz.	bérsz. Ft.	létsz.	bértömeg e Ft.	bérsz.
1971.	521	20036	170	31112	691	15728	22761
1972.	420	20616	161	32179	558	13840	23820
1973.	389	22479	154	35065	543	14144	26049
1974.	379	25217	152	40456	531	15706	29579
1975.	375	28676	149	45901	524	17593	33574
1976.	358	31240	156	45493	512	18281	35566
1977.	358	33504	163	49662	521	20089	38559
1978.	337	37404	166	49934	503	20894	41539
1979.	313	36738	167	5356	480	20493	42693
1980.	253	39055	139	59683	392	18904	46370
1981.	233	41381	145	63879	378	18904	50011
1982.	-	-	-	-	360	22023	61774

4.2. Félvezetők kutatása-fejlesztése az EIVRT M.E. osztályán

Az EIRT második világháborút követő fejlesztésének szerves részét képezte a háború alatti nemzetközi kutatási eredmények hasznosítására irányuló tevékenység.

Az új technológiák kutatása, fejlesztése a negyvenes évek végén az új elektroncsövek és a TV képcső kutatásához szervesen kapcsolódva indult meg. Az új eszközök kutatását, fejlesztését azok stratégiai jelentőségét is hangsúlyozva a vállalat akkori vezetése. Mikrohullámú Elektroncső kutatására-fejlesztésére létrehozott új gyáregység, az ún. „M.E. osztály” keretei közé koncentrálna az összetett tevékenységet. Az M.E. osztály lett számos új termék bölcsője, így például a teleses szubminiatűr elektroncsövek, a TV és oszcilloszkóp képcső, a termisztor, a klisztron és magnetron, a szilícium detektordióda és a germánium alapú félvezetők számos típuscsaládjá vezetheti vissza történetét a kitűnő felkészültségű műszaki gárdával, de igencsak szegényes felszereltséggel rendelkező szervezet eredményes tevékenységére.

A munkák sikerét az ötvenes évek elején végrehajtott öncélú átszervezések – így a Távközlési Kutatóintézet, a Híradástechnikai Kutató Intézet létrehozása – súlyosan hátráltatta, elsősorban a szakemberek szétszórásával és az anyagi források értelmetlen elosztásával.

Az iparban a legszükségesebb berendezések sem álltak a fejlesztés-gyártás-minősítés rendelkezésére, mivel az újszülött kutatóintézetek létesítése minden lehetséges forrást felemészített. A felettes hatóságok kötelezték a vállalatokat kutatási megbízások kiadására, ami gyakran csak formális eredményeket, használhatatlan, a szakirodalmat is rosszul visszaadó dokumentációkat eredményezett.

A tevékenységre a legsúlyosabb csapást az 1956-évi szakember elmenekülés mérte, amit tetézett a személyes indulatoktól fűtött korszak számos retorziós intézkedése.

Az M.E. osztályon a félvezetők kutatása-fejlesztése 1953-ban kezdődött. 1953–56. között a termisztorok, a mikrohullámú detektor és a germánium dióda fejlesztése jelentette a legsürgősebb feladatot.

4.2.1. Az EIVRT termisztor kutatása, fejlesztése, gyártása

Az M.E. osztály részét képező termisztor laboratóriumban a fejlesztési munkák a vezető világcégek piacon kapható típusainak a kidolgozására irányultak. A termisztor A^{III}B^V illetve A^{III}B^{III}V^V vegyületfélvezetőként tárgyalható működése még korántsem nyert kellő mélységű elméleti magyarázatot, de ez nem akadályozta meg, hogy az iparban jól alkalmazható termékek készüljenek, és azok forgalomba kerüljenek.

Az Izzó Kutató Laboratóriumának egyik utódja a Távközlési Kutató Intézet (TKI) részt vett a termisztorfejlesztés előkészítő munkáiban a Vállalattal kötött szerződés keretében. A TKI munkáiról egy dokumentáció készült, melyet a M.E. osztály az egyes típusok kidolgozásánál hasznosított. Az első termisztor minták már 1953-ban elkészültek, a laboratóriumi méretű gyártás eszközeit, berendezéseit 1955-ben helyezték „üzembe”. Az induló típusválaszték a megjelenés időrendjében:

- gyöngy-,
- hőmérő-,
- indirekt- és a
- tárcsatermisztor családokat fogta át.

A gyártó berendezések nagyrészt az M.E. osztály műhelyei készítették el a fejlesztők elképzelései, vázlatai alapján. A mérés technika eszközei is nagyobb részben „házi” összeállítások voltak. A legtöbb gondot az induló paramétereket és a stabilitást biztosító hőkezelő kályhák megbízhatatlan működése, pontatlansága okozta.

Az új termék alkalmazásának segítésére 1956-ban Révész Ákos „Tungsram termisztorok és azok alkalmazása” címen kis könyvecskét jelentetett meg.

A termisztorfejlesztés és gyártás ezen hősi korszakának aktív részesei: Révész Ákos, Laskai Gyula, Sallai Béla és Cserhádi András. A berendezések elkészítése terén az M.E. osztály vezetője, igazgatója Fried Henrik és a műhely vezetője Nagy Rezső nyújtottak dicsérendő segítséget a fanatikus mérnökkollektívának.

A termisztor csapat 1956 őszén végleg elveszítette Révész Ákóst és Cserhádi Andrást, a retorzió elmozdította Laskai Gyulát és Sallai Bélát. A szakterület továbbvitelét az 1955-ben friss diplomával bekapcsolódó Zombori Etelka tudása, lelkesedése és szorgalma biztosította, jól hasznosítva a laboránsok gyakorlati tapasztalatait és segítőkészségét.

4.2.2. A termisztor gyártás 1956 őszétől az 1963. évi át- szervezésig

Az 1956-al összefüggő személyi veszteségek ellenére 1957-ben a korábbi időszakot jelentősen meghaladó mennyiségű termisztor készült. A fejlesztés alatt álló típusok sorra elkészültek és a típuscsaládok üres sorai feltöltődtek. Az alkalmazástechnikai ajánlásokban szereplő ipari alkalmazások rendre megvalósultak.

A gyártott termisztorokból már-már ipari sorozatnagyságra volt szükség. Az üzem gépesítése lépest tartott az igények növekedésével, ellátási gondok nem jelentkeztek. A gyártás elvi-eszmei irányítása ebben az időszakban sem vált el a fejlesztéstől, a sikerek forrása továbbra is az maradt, hogy a fejlesztési elképzeléseket azonnali kivitelezés követte, a gyártási bajokat a műszakiak menetközben orvosolták. Az M.E. osztályon a termisztor mint jól menő, kevés gondot okozó szakterület a 60-as évek elején háttérbe szorult. A sok gonddal-bajjal járó TV képcső és germánium félvezető gyártás a vezetőket teljes mértékben lekötötte.

Az 1963. évi átszervezési hullám a termisztor gyártást is elérte, a Tungstam könyvjóváírással, azaz anyagi térítés nélkül, átadta a Kőbányai Porcelángyárnak eszközeivel és teljes dokumentációjával, irányító személyi állományával együtt.

A Kőbányai Porcelángyár már az átadás-átvétel előtt megkezdte a vasoxid alapú rúdtermisztor fejlesztést és u.n. profilgazdaságot vállalt az összes termisztor féleségre.

4.2.3. A mikrohullámú szilíciumdióda

A második világháború alatt Angliában kifejlesztett radar berendezésekben a visszareflektált mikrohullámú jelet egy új eszköz a szilícium mikrohullámú dióda „detektálta”. A dióda egy polikristályos, erősen szennyezett szilícium darabkából és a hozzányomott pontszerű érintkezést biztosító tűből állt. A dióda tokozatául egy kerámia szigetelőből és aranyozott anód-katód fémrészekből egyedileg készített tetszetős szerelvény szolgált.

A technológiát a TKI kutatói dolgozták ki és adták át az M.E. osztálynak.

A történelmi érdekességű technológia vázlatosan az alábbiakat tartalmazta:

- polikristályos, adalékolt szilíciumöntecs előállítás,
- fém-kerámia tok előállítás,
- dióda szerelés,
- mérés, minősítés.

A polikristályos szilícium előállítása az u.n. Du-Pont módszerrel történt.

A Du-Pont eljárás alapján SiCl_4 -ből 1000 °C körüli hőmérsékleten, hidrogén védőgázban Zn gőz redukálta ki a szilíciumot. A keletkező tús kristályokat a kvarc reaktorcsőből kitermelve meg kellett őrölni, és a Zn zárványokat savas marással kellett oldani.

Az így előállított nyers szilíciumot 1440 °C-on kvarc tégelyben megömlesztve szilícium tömb, majd újabb olvasztással beriliumoxid porával kikent tégelyben adalékolt öntecs készült. Az öntecsből húros szeletelőgépen lapocskákat vágtak, csiszolás és újabb húros gépen történő merőleges irányú vágásokkal a detektorba forrasztható kristálydarabkákat nyertek.

A tok katód- és anóddoldali fémalkatrészeket galvanizálással aranyozták. A szigetelő testet zsírkő rúdból esztergályozták, majd kiizzítással kerámiává alakították át.

A detektor szerelési fázisai:

- a kristály maratása,
- a szerelvények zsírtalanítása,
- a kristály felforrasztása a szerelvényre,

- wolframtű hajlítása,
 - a tű beforrasztása,
 - majd a tű hegyezése,
- a szerelvények becsavarása a kerámia testbe.

A detektor készítés legkritikusabb lépése az egyedi formálás következett ezek után. A detektor nyitó-záró karakterisztikáját oszcilloszkópon megjelenítve látni lehetett az adott példány induló paraméterit.

A befogóba helyezett detektort „érzéssel” addig kellett ütögetni egy fa pálcával (a gyakorlatban egy csavarhúzóval) míg a képernyőn bejelölt tartományba nem vándorolt a kép.

Selejt az a dióda volt, ami nem hagyta magát formálni, vagy elfogyott a mérőnő türelme és felhagyott a detektor ütögetésével.

A szilícium detektor gyártási technológiája a TKI aktív részvételével az évek során sokat változott, de mivel igazi sorozatgyártásra nem volt szükség, a manufakturális jellege mindig is megmaradt.

Az idő multával a leglényegesebb változást az eredményezte, hogy a szigorú embargo ellenére specifikált minőségű szilíciumot lehetett vásárolni az osztrák-svájci kereskedőknél és ha ez a minőségre nem is, a kihozatalra jótékony hatást fejtett ki.

A detektor gyártás a felhasználói igények csökkenése miatt a 60-as évek elején az Izzó keretei között megszűnt. A hazai igényeket a továbbiakban a termék felett addig is bábáskodó TKI kísérleti laboratóriuma elégítette ki.

4.2.4. A germánium eszközök kutatása-fejlesztése-gyártása

A Bell-laboratóriumban 1947 végén megalkotott és 1948-ban a New-York Times-ban bejelentett germánium eszköz, amit később a transfer-resistor szavakból kiindulva tranzisztorra kereszteltek, ma már tudjuk, új korszakot nyitott az emberiség történetében.

Az új eszköznek ezt a forradalmi jelentőségét az Izzó kutatói-fejlesztői nagyon korán felismerték és már a kutatóintézet alapítási hullám előtt is a vállalat Kutató Laboratóriuma figyelemmel kísérte az amerikai félvezetőipari próbálkozásokat. Az USA-ban kezdetben az elektroncsöveket gyártó cégek mutattak nagy aktivitást az új eszköz gyermekbetegségeinek leküzdésére, bár gondolkozásmódjuk – a vákuumtechnikai szokások – inkább gátolták mintsem segítették az új eszközök fejlődését.

Az Izzó feladatának tekintette, hogy az új eszköz gazdájává váljon és az M.E. osztály feladatának részévé tette a termisztor és a mikrohullám dióda mellett a germánium dióda, majd a tranzistor fejlesztését, gyártását.

Az Izzó Kutató Laboratóriuma „felső utasításra” 1953-ban osztódással szaporodott, régi épületeiben a TKI és a HIKI kezdte meg működését.

A TKI a szilícium eszközök, a HIKI a germánium dióda, később a tranzistor kutatását-fejlesztését vállalta, az ipari és a legfelsőbb politikai vezetés támogatását is élvezve.

A HIKI 1953–56 között kidolgozta a germánium redukció, összeolvasztás, zónázás technológiáját és az Izzó mérnökeire várt az a feladat, hogy az irodalmi adatokat labor-méretben reprodukáló kísérleti eszközöket iparilag is használható gépekké változtassa. A HIKI e téren dolgozó kutatói dicséretére is válják, hogy igen jó kapcsolat épült ki a kutatóintézeti és gyári mérnökök között.

A bürokratikus ügyintézés ellenére is 1956 végére a germánium tüssdióda M.E. osztályi kísérleti, gyártási feltételei létrejöttek. Az M.E. osztály szervezeti felépítése szerint – követve a vákuumtechnikai hagyományokat – az alapanyagok minősített germánium a vegyi labor hatáskörébe tartozott és ugyanazok redukálták, zónázták, mint akik a termisztor alapanyagokat készítették, vagy a szilícium öntecseket olvasztották. Az 1956. évvégi személyi veszteségek miatt 1957 tavaszán újonnan végzett diplomások folytatták a megkezdett munkát.

A dióda szerelésre kialakított üzemben a HIKI konstrukciója alapján megindult egy nagyon kezdetleges-körülményes gyártás. A diódákat „háza” ólomüvegcsőbe kétoldalt beforrasztott ferniko csövecskéből állt. A csövecskékbe éppen beleillő ferniko tuskó szolgált egyik oldalon a germánium kristály, a másik oldalon a tú felforrasztására, illetve hegesztésére. A tuskókhoz előzetesen hozzáhegesztették a kivezetőül szolgáló dumethuzalt. Kezdetben a fernikocső-tuskó közötti zárást natúr epoxigyanta ragasztással oldották meg.

Az 1956 nyarán megindított kísérleti gyártás még a HIKI-től kapott germánium kristályt dolgozta fel. A germánium öntecset a húros szeletelő gépekkel vágták fel szeletekké és a szeleteket ugyancsak húros géppel darabolták fel négyszögletes lapocskáká. A szeletek csiszolása az optikai ipartól átvett módszerekkel történt.

A kristálylapkák maratását az M.E. osztály kémiai laborja végezte.

A tüssdióda gyártás technológiája az M.E. osztályon évről évre rendkívül sokat fejlődött és 1962-re – a Gyöngyösi Félvezető- és Gépgyárba történő település idejére – nemzetközi mércével mérve is magas színvonalat ért el.

A diódagyártás technológiai fejlődésének főbb fázisai az alábbiakban vázolhatók:

- 1957. az epoxigyantás ragasztást ónforrasztás váltotta fel,
- 1958. a ferniko csövecskék beforrasztása elmaradt, az un. kristályoldali szerelvényt közvetlenül a dumet tartóra forrasztott üvegcsőből készült ház képezte. A kristály beforrasztása tárba helyezve vákuum forrasztókályhában történt, a túoldali szerelvényt forgatott állványba fogva lánghegesztéssel forrasztották be,
- 1959–60. a méretek csökkentését szolgálta a tuskó elhagyása, helyébe a dumet huzal végét a szögggyártás mintájára megfejelték. A túoldali szerelvény készítésénél a dumet huzalhoz W drótból egy darabot hozzáhegesztettek, a drót darabkát meghajlították, elektrokémiai úton hegyezték, majd a beforrasztás helyére egy üvegyöngyöt olvasztottak.

A legnagyobb előrelépést a lánghegesztéses lezárás elhagyása eredményezte. A lánghegesztésnél a tokba kerülő nedvesség instabilitás forrása volt, a problémát ellenál-lásból készített beforrasztó spirál felizzításával küszöbölték ki. A germánium tüssdióda gyártás *Konczos Géza*, *Erdős László* és *Bauer Béla* nevéhez kapcsolódva született meg hihetetlenül mostoha körülmények között. A stabilitási gondok megszüntetése zöld utat nyitott a gyöngyösi tömeggyártás létesítése előtt.

A Gyöngyös-Pipishegyen korábban hadiüzem céljára létesített gépgyárat a Tungsram 1962-ben a vákuumtechnikai gépgyártás bővítésére a kor szokásainak megfelelően könyvátírással megkapta. A budapesti félvezetőrészlegek állandó helyhiánya és a gyöngyösi gyár igen kedvező elhelyezkedése már induláskor felvetette a gondolatot, hogy a félvezető tömeggyártó üzemek létesüljenek az új telephelyen.

A túsdiódagyártás gyöngyösi telepítésének terve 1962 elején született és azonnal megindultak az előkészületek. A gyöngyösi gyárban adminisztrációs és raktározási célokat szolgáló háromszintes, mintegy 1500 m² területű épületben kiépültek a szolgáltatások, párhuzamosan Budapesten az M.E. osztály műhelye elkészítette a már kiforrott technológiához a szükséges berendezéseket.

A gyöngyösi dolgozók betanítása, a vezetők felkészítése, a berendezések üzembeállítása 1962. év végére tervszerűen megtörtént és megkezdődött a diódák kedvezőbb feltételek közötti gyártása.

4.2.5. Az aranytűs dióda

A germánium túsdiódák mellett a Siemens-nél, Philips-nél, Telefunken-nél már 1958–59-ben az ún. aranytűs diódacsaládok gyártása is beindult.

A Tungstam – továbbra is a HIKI alapozó katasáira támaszkodva – programja részének tekintette az aranytűs diódák gyártását.

Az aranytűs dióda konstrukciója lényegesen eltért a wolfrámtúsdiódától. A dióda ún. színüveg kivitelű tokban, a színüveg tranzistorokkal azonos technológiával készült. Az állványba két dumethuzal került beforrasztásra, az egyikhez a kristályt tartó zász-lócskát, a másikhoz a kristályba ötvözött, 1% galliummal adalékolt aranyhuzalt hegesztették. A tok lezárása forgatott befogóban lánggal történt. Az aranytűs dióda a színüveg tokban instabil karakterisztikája miatt tömeggyártásra alkalmatlan volt.

A germánium túsdiódák fejlesztése során kialakított egyszerűbb felépítésű tok az aranytűs konstrukciónál is alkalmazhatónak bizonyult. A gyártás uniformizálása során az aranytűs dióda kristályait ugyanazon eszközökkel forrasztották be a ballonoldali szerelvénybe mint a túsdiódákét.

A túszerelvény a W-tű helyett 100 μm vastag galliummal ötvözött aranyhuzallal készült. Az aranytű szerelvény beforrasztása hasonlóan történt, mint a normál túsdiódáé, csak valamivel kisebb túre nehezedő nyomás alatt. Az aranyhuzal beötvözése jóval nagyobb áramimpulzust igényelt mint a W-tűs változat, így a formálás és a mérés más berendezéseken történt.

Az aranytűs dióda a gyöngyösi tömeggyártás nagyon hasznos tagjaként mindaddig a választékban szerepelt, míg a túsdióda gyártást fenn lehetett tartani.

A fejlesztés és technológizálás terén sokat tevő *Horváth Miklós* nevét feltétlenül meg kell említeni az aranytűs dióda történetével kapcsolatosan.

4.2.6. A germánium tranzisztorok fejlesztése és gyártása

A germánium tranzisztorok fejlesztése a HIKI-ben még 1956. előtt megindult. Elsőként a P6A-P6D típus mintapéldányai készültek el és az Izzó 1958-ban már kísérleti gyártást is megkezdte a HIKI által kidolgozott technológia átvételével.

A szocialista országok szerveződő együttműködése keretében 1958-ban az Izzó szakértői a Szovjetunióban megismerték az ott folyó ötvözött tranzisztor gyártást. A szovjet tapasztalatcsere keretében kapott adatok és a saját P6 típus kísérleti gyártásánál szerzett tapasztalatokat is felhasználva a korszerűbb P13-P15 típuscsalád gyártása még ugyanazon évben megindulhatott.

A típus tokjának nem kellő hermetikussága, a paraméterek technológiai körülményektől való nagymértékű függősége a tokozati forma megváltoztatását sürgette.

Az u.n. színüveg tok lényegében a színüveg elektroncső felépítéséhez volt hasonló. Egy üvegtárcsához illeszkedő üvegbúra képezte az előregyártott házat. Az elektroncsőhöz hasonlóan a forgatott szerelvényt szűrőláng forrasztotta össze. A tok hermetikusága ideálisan jó volt, de a lezárásnál a tokba diffundáló égéstermék továbbra is instabilitások forrása maradt. Számottevően javult a stabilitás a tokba adagolt, szilikonolajba, zsírba szuszpendált nedvességszívó anyag alkalmazásával. A töltőanyag a pn átmenetet megvédte a lezárási hősokktól és megkötötte a tokba diffundáló nedvességet. A színüvegtok alkalmazásával az akkor korszerű ötvözött tranzisztor típuscsaládokat az Izzó gyors ütemben kifejlesztette és 1963-ig a gyártásukat meg is kezdte.

Az OC1070-1072 és OC1074-1079 típuscsaládok pn-átmenetei grafit kazettában indium ötvözéssel készültek. A típusra jellemző kollektor és emitter felület nagyságát a felhasznált indiumgolyó mérete és a kazetta grafitdugójának a nyílása szabta meg. A tranzisztor pnp-átmenetének kémiai maratása jelentős hatást gyakorolt a visszaramokra és főként az eszköz paramétereinek stabilitására. Az üvegtok rossz hőleadása a nagyobb áramú típusoknál gondot okozott. A problémát egy fémbúrába illesztéssel átmenetileg sikerült megoldani, vagy inkább elodázni. A rádiók hangfrekvenciás kimenő fokozatában a fémbúrára még egy hűtőzászló is került és ez lehetővé tette a tranzisztor csavarmentes rögzítését a nyomtatott áramkörü lapon, a színüvegtok vékony kivezetései a megnövekedett súlyt már nem bírták el.

Az ötvözési technológia területén szerzett tapasztalatok birtokában sikerült kifejleszteni egy még kisebb pnp-átmenetű típuscsaládot az OC1044-1045-öt. Az új család gyártása még a fejlesztés évében, 1963-ban meg is kezdődött.

A színüvegtok nem bizonyult végleges megoldásnak az ötvözött tranzisztorok tokozására. A vezető nyugat-európai cégek által széleskörűen bevezetett új TO-1 típusú tok mind konstrukcióját, mind a lezárási technológiát tekintve a korábbi próbálkozásoknál sokkal kedvezőbbnek bizonyult.

A TO-1 toknál a fernikó alaplemez és a nikkell sapka összezárására impulzushegesztési technológia szolgált. A fernikó alaplemezen átvezetett huzalokat a fémhez illeszkedő hőtágulású szinterelt üveg nagy biztonsággal vákuumzáróan szigetelte. Az impulzus lezárás megkímélte a pn-átmenetet és jó beállítás esetén az üvegszigetelés sem sérült meg.

Az új toktípus kidolgozása az Izzóban nem jelentett megoldhatatlan problémát. A szerszámműhely gyorsan elkészítette az alaplemez és a sapka présszerszámaint, az üvegszakértők szolgáltatták a szigetelés kialakításához szükséges anyagokat és a technológiát. Az M.E. osztály alkatrészgyártása késedelem nélkül megkezdte a TO-1 tok termelését.

A korábban színüvegtokban gyártott tranzisztorok új köntöst kaptak, a színüvegtokkal kapcsolatos gondok rossz álmoként gyorsan feledésbe merültek.

A TO-1 tokos szereléskor következtesen alkalmazásra kerültek a zárt és szárazlevegővel öblített munkaterek, a dolgozók gumikesztyűvel nyúltak be a bokszokba. Az Izzó által konstruált és előállított szerelősor korszerű, minden szempontból kifogástalan ötvözött germánium tranzisztor gyártását tette lehetővé.

A hangfrekvenciás ötvözött germánium tranzisztorok fejlesztése során a pnp-típusok uralták a választékot, aminek okaként nem félvezetőfizikai vagy kapcsolástechnikai megfontolásokra kell gondolni, hanem az indiummal történő ötvözés viszonylag egyszerű voltára. A kapcsolástechnikai megoldásokhoz a felhasználók hamarosan sürgették az ún. komplementer típusok, az npn-eszközök kifejlesztését.

A vezető cégeknél hamarosan meg is jelentek a p-típusú kristályból kiinduló és n-típusú emittorral és kollektorral ötvözött típusok.

Az Izzó fejlesztő mérnökei késedelem nélkül kidolgozták az n-típusú ötvözés technológiáját és megkezdődhetett a komplementer típusok gyártása is.

A npn- és pnp-eszközök párosítása a mérési-osztályozási eljárással szemben támasztott szigorú követelményeket. A párosítás természetesen csak egy szűk szóróhatárokkal rendelkező és nagydarabszámú gyártásnál lehetett eredményes. Ezt a követelményt az időközben növekvő gyártás maradéktalanul kielégítette és megkezdődhetett a párosított eszközök belföldi és az exportra történő értékesítése.

A normál alkalmazásokra ajánlott termékekkel szerzett kedvező tapasztalatokat hasznosítva az igényesebb, az ún. ipari minőségű típusok gyártása is megindulhatott.

Az ötvözött tranzisztorok választéka időközben a nagy nyugat-európai cégeknél kiegészült a nagyteljesítményű tranzisztorokkal. A nagyobb teljesítményhez új tok típus a TO-3 szolgáltatta a kívánt hőelvezetést és a nagyobb „chip” elhelyezéséhez szükséges belső terület. A TO-3 tok szigetelt átvezetőit külön gyártották, majd az alaplemezbeforrasztották. A TO-3 tok hermetikus lezárására sokféle eljárást dolgoztak ki, mint pl. peremezést, impulzushegesztést, hidegfolytatást, lágyforrasztást. Az Izzóban a tok gyártása a szerszámkészítők felkészültségének köszönhetően gyorsan kialakult. Az új tokban elsőként az OC 1016 típus gyártása indult 1961-ben. Az Izzóban a tok lezárása peremezéssel történt.

A nagyteljesítményű típus paramétereinek, mindenek előtt a megbízhatósági jellemzők javításával 1963-ban az ipari változat az ASZ 1015–1018 típuscsalád gyártása is megindult.

A teljesítményeszközök fejlesztése ezt követően is lépést tartott a konkurens vállalatokéval.

A germánium ötvözött eszközcsalád 1967–68-ban kiegészült egy az ASZ családnál kisebb teljesítményű komplementer párral az AD 161-AD 162-vel. Az új típusok a TO-3 toknál kisebb, de hasonló elven felépült, hűtőfelületre csavarozható tokban nagyon népszerűek lettek.

Az ötvözött germánium tranzisztorok fejlesztése terén a HIKI-ben *Dr. Szép Iván* és *Rózsa Éva*, az Izzóban *Egri János*, *Huvé István*, *Szölgyémi László*, *Somorjai Endre*, *Nényei Zsolt* és *Pálosi József* értek el abban az időszakban nemzetközi mértékkel mérve is kimagasló eredményeket. A Gyöngyösre történő áttelepítés a tüsdióda gyártás indulását követte és már 1963 végén az Izzó által előállított berendezések üzembehelyezésével készterméket szolgáltatott. A gyöngyösi gyártás megszervezése, a technológiai kultúra honosítása *Szerdahelyi János*, *Dévai Huba*, *Sánta Imre*, *Németh Jenő*, *Urbányi Ferenc*, *Daubner Béla*, *Minczér Kálmán*, *dr. Csizmadia Elek* és munkatársaik lelkesedése, szakértelme nélkül nem lehetett volna eredményes.

A gyöngyösi telepítések jellemzője lett, hogy a fejlesztési munkák során alkalmazott, nem kellően kiforrott technológiai megoldásokat a fiatal és ambiciózus mérnök-technikus gárda iparos szemlélettel továbbfejlesztette. Ennek a technológia fejlesztési tevékenységnek volt köszönhető, hogy a gyártás során szerzett tapasztalatok jótékonyan hatottak vissza a fejlesztés terén folyó munkákra is.

4.2.7. A drift tranzisztor fejlesztése és gyártása

A drift tranzisztor a 50–100 MHz tartományú alkalmazások céljára fejlesztették ki a nyugateurópai cégek. Az Izzó a HIKI-nek adott kutatási megbízást a technológia kidolgozására. A HIKI 1963-ban adta át a laboratóriumi technológiát, melynek

alapján 1964-ben az Izzó elkészítette az AF 136-137 típusú tranzisztorok „Tungsram” változatát, amit a típusjel után írt T betű fejezett ki. A HIKI-ben és az Izzóban folytatott további kutató-fejlesztő munka eredményeként 1966–68. között további drift típusok kidolgozására is sor került.

A drift tranzisztor gyártása az M. E. osztály félvezető üzemében 1966-ban hivatalosan is megindult. A gyártáshoz rendkívül költséges eszközöket kellett importálni, pl. az ötvöző kazetta rubin „dugóit” (ennél az eszköznél az emitter és kollektor indiumgömböcskék pozicionálását biztosító sablon dugói rubinból készültek). A drift eszközök gyártásához elsősorban kellett diffúziós eljárást alkalmazni. A diffúzióval kialakított szennyezőanyag profil szolgált a töltéshordozók bázison belüli felgyorsítására, ami a nagyobb működési sebességet biztosította.

A drift tranzisztor gyártását mintegy 2 éves költséges és hiábavalónak bizonyult gyötrődés után 1968-ban az Izzó abbahagyta. A döntést alapvetően az befolyásolta, hogy időközben sikerrel járt a mesatranzisztorok kidolgozására a HIKI-vel közösen folytatott kutató-fejlesztő munka.

4.2.8. A mesatranzisztor fejlesztése és gyártása

A drift tranzisztor ötvöztetésével kapcsolatos problémákat a mesa konstrukció vákuumpárolgatással előállított fémcsikok alkalmazásával kiküszöbölte.

A mesatranzisztor az amerikai kontinens híres MESA (a spanyol „asztal” szóból) hegyének alakjától nyerte nevét. A technológia alapján a germánium felületére diffundáltatott bázis réteget lokálisan letakarva kémiai marással egy a MESA hegyéhez hasonló alakú kiemelkedés keletkezett. A kristály lapka és a mesa struktúra „tetején” vákuumpárolgatott báziskontaktus és egy beötvözött emitter csík képezte a pnp-struktúrát. Az emitter és bázis között a vákuumpárolgatásból eredően jól reprodukálhatóan tartatható volt az előírt távolság.

A mesatranzisztor gyártás a kontaktus felületekhez való kivezető csatlakoztatáshoz ékes kötésű termokompressziót igényelt. Az aranyhuzal átmérője 12,5–17,5 μm volt.

Az elsőként „lemásolt” típus az AF 106 a Siemensnek és a volt Tungsram-os Fáskerti Gábornak – a Siemens félvezető részleg akkori vezetőjének – óriási sikert biztosított, az Izzóban azonban a kedvezőtlen technikai felkészültség miatt a beinduló gyártás csak problémák és gondok forrása lett.

A gyártás 1967-ben a gyár un. 17-es ép. III. emeletén kialakított üzemben indult meg, a kihozatali arányok azonban a várakozástól elmaradtak. A termelés a gondok elenére fenn kellett tartani, mivel a hazai igények kielégítésére az Izzót a terv kötelezte.

A Siemens által kidolgozott, még nagyobb frekvenciás AF 139-hez még finomabb rajzolatot, a huzalkötésnél még vékonyabb huzalt (7,5 μm) kellett alkalmazni. A típus T0-18 tokjának előállítás sem járt sikerrel az Izzón belül, így az Electrovac osztrák céghez kellett fordulni a tok beszerzése érdekében. Az Electrovac az állványt kitűnő minőségben szállította, a chip hordozójaként szolgáló kollektor zászlócskával együtt.

A mesatranzisztor tömeggyártására 1971-ben a Gyöngyösön légkondicionált üzemterületet készítettek elő. Az új szerelősor a chipet budapesti törzsgyári elemgyártól kapta.

A szerelősor gépparkját az Izzó gépgyártása állította elő.

A mesatranzisztor tömeggyártósor indítása nem sok öröm forrása volt az alacsony kihozatalok miatt. A termékek önköltsége többszörösen meghaladta az előírástól értéket.

A gyártás áttelepítése során a budapesti csapatot a főosztályvezető *dr. Giber János* személyesen irányította. A csapathoz tartozott *Paróczy Gyula*, *Andrási Andorné* és *Balogh Béla*.

A gyöngyösi fogadó fél képviselőjében *Tóth Árpád*, *Bordás Béla* és *Somfai János* szervezték a terület előkészítését a gépek telepítését, üzembehelyezését és a szerelési-mérési technológia átvételét.

A mesa chip gyártása terén fordulópontot jelentett a Félvezető Fejlesztés 1972. évi átrendeződése, amikor is a korábbi vákuumpárolgatásos rajzolat kialakítás helyébe a szilícium planártechnológiától átvett fotolitográfiai eljárás lépett, és ez a chipgyártás kihozatalát lényegesen javította. Az új technika lehetővé tette az AF 239 chip kialakítását is, ami az AF 106-os 260 MHz-es alkalmazási határával szemben TV csatornaváltók teljes frekvencia spektrumát átfogta 860 MHz-ig.

Az új típusok szerelése a Félvezető Fejlesztésen kidolgozott huzalkötési móddal és berendezéssel lényegesen egyszerűsödött és Gyöngyösön az 50 db termokompressziós berendezés helyett 10–15 is elegendőnek bizonyult. Az új huzalkötési mód *Gibiszer Béla* és *Barkó József* nevéhez kapcsolódik.

A mesa tranzisztrok AF 279-280 és AF 379 típusai már nem a méregdrága vastagon aranyozott T0-18-as tokban, hanem a nagyfrekvenciás alkalmazásokhoz illeszkedő un. T plasztik tokban kerültek piacra.

A T plasztik eszközök kísérleti gyártására a Félvezető Fejlesztés készült fel. A „beruházás” a műanyag fröccssajtolás feltételeinek megteremtéséből állt, az egyéb eszközök régebbi, használaton kívüli gépek átalakításával születtek újjá.

A mesa tranzisztor mérése rendkívül igényes mérnöki feladatot jelentett. Az Izzó hagyományosan jó Telefunken kapcsolatának köszönhető, hogy a nyugatnémet cég a mesa mérés céljaira egy általa elkészített összeállítást szállított.

A mérő összeállítás a garantálandó nagyfrekvenciás paraméterek méréséhez biztosította az igényelt korszerű feltételeket.

A méréstechnikai feladatokat *Szakács Benő* és *Némethné Márta* oldották meg. Ők biztosították a gyártott termék paramétereinek kompatibilitását a német cégek azonos típusaival.

4.2.9. A germánium egykristály gyártás

A germánium egykristálygyártás technológiáját a HIKI dolgozta ki 1953–56. között. Az Izzó 1956-ban létesítette az M.E. osztály kémiai laborja keretében kristálygyártó részlegét.

A hófehér, por alakú nagy tisztaságú germániumdioxid (GeO_2) redukciója grafitcsónakban a fém olvadáspontja alatti hőmérsékleten hidrogén atmoszférában történt. A redukció után a kályha hőmérsékletét az olvadáspont fölé emelve, a por alakban kiredukálódott germániumot megolvasztva ujjnyi vastagságú és arasznyi hosszúságú öntecs képződött. A csónakot mm/p sebességgel a melegzónából kihúzva egy tisztítási effektus volt elérhető. Az öntecsen nagyfrekvenciás hevítéssel kialakított 1–1,5 cm-es olvadt zónát többször végigvándoroltatva a szennyezőanyagok az öntecs végének az olvadt zóna hosszúságával megegyező darabjába vándoroltak a szegregáció szabályai szerint.

A zónázott, félvezető tisztaságú germániumot számított mennyiségű n- vagy p-típusú adalékanyaggal adalékolva és egykristállyá átalakítva készült a diódák tranzisztorok alapanyaga. A HIKI technológia szerint a kristályhúzás tégelyből az úgynevezett CZOCHRALSKI-eljárással történt.

A 60-as évek elején a kristálygyártás bővítése során a Tungstam törzsgyár un. V-ös épületének északnyugati sarkában létesült a fejlesztést és a gyártást is kiszolgáló nagyobb kapacitású gyártó üzem. Az egykristály előállítására az Izzó a zónázáshoz hasonló eljárással egy egykristálymagból kiindul, de a zónázásnál lassúbb mozgású olvadt zóna végigvándoroltatását dolgozta ki és alkalmazta. A zónázással előállított egykristályt mérés és minősítés után kezdetben az M.E. osztály műhelyében előállított volframhúros gépen vágták fel szeletekre.

A volframhúros gépen az ide-oda mozgó tizedmilliméter vastagságú huzalra csiszolópor szuszpenziót kellett folyamatosan adagolni. A művelet során a huzal maga is elvékonyodott és ezért a berendezés az ide-oda mozgatással egyidőben a „húrt” folyamatosan tovább tekerte.

A kristálylapkákat méretre csiszolás után ugyancsak a húros gépen kockákra vágták. A kristálylapkákat oldószeres tisztítás után mikrométer órával méretre válogatták, osztályozták.

A kristálygyártás germánium alapanyaga a 60-as évek végén már lekerült az EMBARGÓ-s listáról. A belga Hoboken cég trapézalakú csónakban zónázott öntecseket szállított és szolid árért feldolgozta a csiszolási, vágási hulladékot is.

A kristály feldolgozás területén igen jelentős fejlődés következett be a szeletelésnél és a válogatásnál is. A szeletelésre az angol CAPCO cégtől un. belsővágóélű gyémánt-tárcsás félautomata szeletelőgépeket vásárolt az Izzó. Az új gépek mind termelékenység, mind anyagkihozatal szempontjából forradalmi fejlődést eredményeztek. A kristály válogatására a svájci SENSOR-tól automatikus adagolású osztályozógépeket vásárolt a félvezetőgyártás. A „cenzorok” a golyóscsapágy golyók válogató berendezésének átalakított változataiként μm pontosságú szétosztályozást tettek lehetővé igen nagy termelékenységgel.

A germánium kristálygyártás a gyöngyösi nagyberuházás részeként 1971-ben áttelepült a „Pipis hegyre” a félvezető tömeggyártás céljára épített az un. 26-os épület földszintjén kialakított igényesen berendezett munkaterületre.

Az egykristálygyártási technológia fejlesztése terén Budapesten *Sallai Béla*, *Ger-gely István* és *Major Gyula* végzett igen eredményes fejlesztő-gyártó tevékenységet. A gyöngyösi gyárban a technológia átvétele és az új üzem irányítása *Bujalka Ottó* és *Sándor Zoltánné* nevéhez kapcsolódik.

4.3. A Gyöngyösi Félvezető és Gépgyár születése

A gyöngyösi Pipishegyen katonai megfontolások alapján létesült „Gépgyár” Izzóhoz csatolásának történetére Valkó Iván Péter a BME Villamosmérnöki Kar egyik tanszékének volt vezetője emlékezett. „Még a 60-as évek elején, még amikor Csergő volt a miniszter, akkor történt, hogy egy tanácskozásunkon kezdtem azt magyarázni, hogy a félvezetők gyártására nem ideális hely Újpest. Újpest tele van különböző fémek porával meg kénes gázokkal és füsttel. A félvezetők gyártásához olyan roppant tisztaságra van szükség, hogy hiába zárjuk el a gyártóhelyiségeket, a termék a gyártás során mégis szennyeződik. Különbség, ha szép zöld mezőben, erdő közepén van egy gyár, vagy egy annyira eliparosodott környéken, mint Újpest. Erre felkapta a fejét Csergő és megkérdezte, hogy komolyan gondolom-e, hogy valóban számít-e ez a különbség?

A válaszom az volt, hogy igen! Erre Csergő odafordult az Izzó akkori vezérigazgatójához, György Gyulához:

Hát György elvtárs, ha én ajándékoznék magának egy gyárépületet, amely '56. óta üresen áll (ekkor már sejtettük milyen jellegű gyárépületről van szó), ami jó helyen van, szép erdős vidéken a Mátra lábánál Gyöngyösön. Elfogadná?

György egy pillanatra gondolkodott azután azt mondta: Hogyne!

Így született meg a gyöngyösi gyár.”

A Gyöngyösre telepített gyártások kezdetben a már meglévő épületekben kaptak helyet, de hamarosan nyilvánvalóvá vált, hogy a félvezető termékek tömeggyártása beruházás nélkül nem folytatható.

A 60-as évek végén jóváhagyást nyert egy 310 mFt összértékű nagy beruházási terv, melynek megvalósítása során, európai szinten is korszerű 3 szintes technológiai épület – mintegy 10000 m² – felülettel, szolgáltató háttérrel és szociális ellátási létesítményekkel (orvosi rendelő, konyha, étterem).

A hazai félvezetőgyártás történelmének kiemelkedő eseménye volt a létesítmény 1971. évi felavatása.

A létesítmény minden bizonnyal az ország legkorszerűbb, a nyugati normákat is maradéktalanul kielégítő feltételeket biztosított a félvezetők gyártásával foglalkozó dolgozóknak.

A tervezési, beruházási munkákat *Pálosi József* szakmai főtechnológus irányította és felügyelte.

A gyöngyösi gyár műszaki és gazdasági vezetésének dicsérendő segítőkészsége, együttműködése, a fiatal műszakiak felkészítése sokban hozzájárult ahhoz, hogy az elkészült üzemerületen a gyártások késés nélkül beindulhattak.

4.4. A planár eszközök gyártása

A germánium alapú túsdiódák, egyenirányítók, az ötvözött és mesa tranzisztorok a robbanásszerűen növekvő elektronikai iparban a hatvanas évek végére óriási mennyiségben kerültek felhasználásra. A konsumer elektronikai alkalmazásoknál nem okozott gondot, hogy a germánium eszközök csak max. 75°C-on nyújtották névleges teljesítményüket (felette már a terhelést redukálni kellett).

Egyes ipari alkalmazások, különösképpen a számítástechnikai eszközök a szilíciumból készíthető széles hőmérséklettartományban alkalmazható diódákat, tranzisztorokat igényeltek. Az alkatrészpiacon az ún. planár eljárással készülő diszkrét félvezetők rohamosan tért hódítottak.

A planár tranzisztort a Fairchild fejlesztette ki még 1959-ben, rá egy évre a planár felépítésű monolit integrált áramkört is megalkották az amerikai kutatók.

A forradalmian új eljárás lényege, hogy a szilícium szelet felületén termikus oxidációval 1 μm-nél vékonyabb szilíciumdioxid réteget képeznek, majd fényérzékeny műanyag film (az ún. fotoreziszt) és maszkon keresztül történő megvilágítás segítségével és a megvilágítást nem kapó részek kémiai maratásával a felületen kirajzolják a dióda, tranzisztor vagy az integrált áramkör ábráit. Az n- és p-típusú adalék anyagok kristályba juttatása diffúzióval, esetenként inplantációval történik. Az egyes rétegek kialakítását újabb oxid réteg képzése és a fotómásolás-maratás (az ún. fotólitográfia) ismételt alkalmazása követi. Az áramvezető felületi ré-

teg az esetek többségében 1–1,5 μm vastag vákuum párologtatott, vagy porlasztott Al film, melynek rajzolatát ugyancsak fotolitográfiával alakítják ki.

A planár eszközök hazai fejlesztése 1963-tól párhuzamosan folyt az Izzóban és a HIKI-ben.

Az Izzó-beli munkákat a korábban egyenirányítókat gyártó Konverta átvételével együtt bekebelezett, korábban egyenirányítókat fejlesztő laboratórium mérnökei végezték, 1964-től területileg is a Váci úti törzstelepen. A planár eszközök tömeggyártására a germánium technológiai eszközöktől gyökeresen eltérő berendezéspark felállítására volt szükség. Az új technológiai berendezések kifejlesztését és előállítását az Izzó műhelyei, gépgyártó egységei nem vállalták.

Az 1964 évi Tavaszi Lipcsei Vásáron az Izzó kiállításának műszaki ügyelete – e sorok írója – figyelt fel egy Vacwell nevű, londoni székhelyű angol cégre, mely komplett planár technológiai sort fejlesztett ki és gyártott. Az angol céggel még 1964-ben az Izzó tárgyalásokat kezdeményezett, majd 1965-ben többszöri egyeztetés után a szerződéstervezet is megszületett egy évi 250 ezer darab kapacitású komplett sor importjára. A szerződés aláírására a közel 1 m\$-os vételár deviza fedezetének megszerzésével kapcsolatos nehézségek miatt csak 1966 elején kerülhetett sor. A Vacwell a berendezéseket 1966 őszén kezdte szállítani, az utolsó tételek átvétele 1967 januárjában történt.

Az Izzó nagyvonalúan a már több száz főre duzzadt és a M. E. osztály-gyáregység szervezetéből a Műszaki Igazgatóság szervezetébe átsorolt új főosztály az FFF (Félvezető Fejlesztési Főosztály) rendelkezésére bocsátotta a szintenként mintegy 1500 m²-es 17-es épület 4. emeletét és alatta a 3. emeleten jelölte ki az M. E. gyáregység hatáskörébe tartozó mesa- és planártranzisztor üzemek és egy germánium egykristálygyártó technológiai labor telepítési helyét.

A 17-es épület átalakítása félvezető technológiai területté nem bizonyult könnyű feladatnak. Az épület statikai vizsgálata után az építészek a bauxit-beton tartóoszlopok megerősítését igényelték. Az építészeti munkák (beleértve a 3. és 4. emeleti laboratóriumok, tiszta munkatermek kiépítését és a szolgáltató rendszer csőhálózatának beszerelését) 1967 tavaszán fejeződtek be.

A planár üzem az alábbi technológiák szerint helyezkedett el:

- maszklabor
- első redukciós kép labor
- Step and Repeat labor
- optikai maszklabor
- epitaxiális rétegnövesztő labor
- diffúziós labor 3 helyiségben
 - oxidáció
 - bórdiffúzió
 - foszfordiffúzió
- kémiai labor
- fém párologtatás
- fotolitográfia
- tranzisztor szerelés
- szeletkarcolás és tördelés
- felforrasztás

- termokompresszió
- lezárás /hegesztés/
- tranzisztor szeletmérés és készárúmérés

Az egyes helyiségeket az autóiipari óriás Chrysler által gyártott légkondicionáló berendezések látták el szűrte, szabályozott légnedvességű, és hőmérsékletű levegővel. A 3. emeleten, a keleti oldalon kiképzett közlekedő folyosó szolgált levegő betápláló „csőként”. A központi klímaberendezés az épület mellett nyert elhelyezést egy toldalék épületben, a tisztított levegőt mintegy 1 m² keresztmetszetű alumínium csővezeték szállította fel a 3. emeletre.

A levegő beszívó kürtője az épület fölé nyúlt, hogy a talajközeli szennyezett levegő ne kerülhessen a rendszerbe.

A friss levegő betáplálás a vegyifűlkék és egyéb elszívások veszteségeit pótolta körülbelül a helyiségeken belül cirkuláltatott levegőmennyiség 20%-os arányában.

A központi klímaberendezés és az egyes helyi berendezések kilépő nyílásaihoz az angol Slee gyártmányú elektrosztatikus szűrők csatlakoztak. Az 1967-ben nagyon pénztakarékosan kiépített tisztaszoba rendszer maradéktalanul kielégítette az akkori technológiai követelményeket. A klímarendszer több mint 10 évig jól karbantartott állapotban szolgált a 17-es épületben folyó félvezetős tevékenységet. (Egyes berendezései még 1990-ben is szoba-klímagépként üzemeltek az épület 4. emeletén). A fentiekben leírt munkatérben 1967 nyarán indulhatott a Vacwell soron a planár-tranzisztorok kísérleti gyártása. Az induló típuscsalád – a BFY 33-34-46 – számos jónévű cég gyártási választékának volt része (pl. Siemens, Telefunken). A típus gyártásához a Vacwellel történt hallgatólagos megállapodás szerint az Izzónak teljes know-how-t kellett volna kapnia a berendezésekkel. A várakozástól eltérően a technológiai know-how-t az angol cég nem tudta szolgáltatni egy tragikus, a londoni telephelyén történt halálos baleset következtében. A kép teljességéhez tartozik, hogy az angol cég még az Izzós üzletkötését megelőzően 6 gyártósort adott el, négyet a Szovjetunióknak, kettőt az NDK-nak. A balesetet követő vizsgálat nem találta jogszerűnek a szovjet és az NDK-s technológiai gép és gyártási anyag-szállítások tartalmát. Az angol cég „vis major”-ra hivatkozva, végül is csak részleges technikai segítséget tudott nyújtani. Az üzem indításához a Félvezető Fejlesztési Főosztályhoz tartozó technológia fejlesztő csoportok bevonása a fejlesztési eredmények azonnali alkalmazását biztosította. A planár tranzisztor gyártás 1968 tavaszától bocsátott ki jó terméket, és év végén a leltári készlet már 60 edb-os szintet ért el.

A gyártási technológiába beépült a HIKI által kidolgozott bórdiffúziós eljárás, mely mind a Vacwell, mind az izzós kutatók módszerénél jobbnak bizonyult.

A planár üzem kapacitása 1969-ben elérte a célul kitűzött 250 edb/éves szintet, majd 1970-re elérte a félmillió darabszámot. A gyártósor szűk keresztmetszetét ekkor már a szerelőgéppark jelentette, sem a kristálylapka felforrasztás, sem a termokompresszió nem volt képes többet teljesíteni.

A planár gyártósoron a tervekötölezett gyártási programmal párhuzamosan intenzív fejlesztési munka folyt mind új típuscsaládok (BSY 33-34-46, BC 107-109, BC 177-179) fejlesztésére, mind a folyó gyártás technológiai fejlesztésére.

A planár tranzisztor gyártás típusválasztéka még 1970-ben kiegészült a TO-18-as tokozatú BC 107-109 és az epitaxiális rétegű szeletből kiinduló BSY 34-58 típuscsaládokkal.

A pnp-struktúrájú típusok, pl. a BC 177-179, gyártásbavételét akadályozta a sor elégtelen diffúzióskályha ellátottsága. A gyártósor telítettsége miatt a választék további bővítése és a gyártási volumen növelése megoldhatatlan akadályokba ütközött.

A planártechnológia meghonosításában az üzemvezető (ezen sorok írója) és helyettese *dr. Bakonyi János*, a fejlesztést irányító *Puskás László* mellett *Mészáros Gyula*, *Viola Katalin* diffúziós technológusok, *Lénárt Márta* fotolitográfus és a maszkgyártás vezetője *Pauer Magdolna* kulcsszerepet töltöttek be.

A planárüzem a beruházási célkitűzéseket minden vonatkozásban felülmúlta eredményeivel és értékes tapasztalati anyagot szolgáltatott az éppen induló integrált áramköri kutatáshoz és kísérleti gyártáshoz, valamint a planár és varicap diódák fejlesztési munkáihoz.

Az angol cég által szállított 7 technológiai sorból csak a TUNGSRAM-nál felállított sor érte el a névleges teljesítményét és szolgált még évekkel a felállítás után is fejlesztési ill. gyártási célokat.

4.5. A szilícium szubminiatúr és varicap diódák fejlesztése és gyártása

Az 1963. évi vállalati átszervezéseket követően az egyenirányítók és nagyobb-áramú diódák gyártása továbbra is az EIVRT Konverta Gyárában folyt.

A Konverta gyártmányainak technológiai fejlesztését saját hatáskörben megoldotta, az új típusok, típuscsaládok fejlesztését azonban az Izzó törzstelepi Félvezető Fejlesztési Főosztálytól (az FFF-től) igényelte.

A dióda fejlesztés technológiai alapjául ekkor már a planár eljárás szolgált. A Siemens által az alkatrészpiacon bevezetett BAY 41–43 típuscsalád és a planár varicap diódák fejlesztése /-lemásolása-/ képezte az FFF feladatát.

A dióda chip fejlesztése a hagyományos planár eljárással indult, a varicap dióda azonban attól eltérő megoldást, egy ellenőrzött profilú diffúziót igényelt. Ezt a feladatot oldotta meg *Huszka Zoltán* az akkoriban tért hódító ampullás diffúzióval. Az új technológia szerint egy csónakba töltött, – felületen nagy koncentrációban adalékanyagot tartalmazó – szilícium port és a szorosan egymáshoz illesztett szilícium szeleteket egy kvarcampullában légtelenítés után beforrasztva készült a „diffúziós parti”. Az ampullát számított illetve empirikusan meghatározott ideig a diffúziós kályha hőzónájában tartva a megkívánt mennyiségű adalékanyag a szilícium felületébe diffundált.

Az ampullás diffúzió lehetővé tette a varicap típusok gyártása mellett az npn-planártranszistor típusok komplementer párjainak a pnp-változatoknak előállítását is.

A varicapdióda chipgyártási technológiát 1972-ben a csehszlovák Tesla átvette, és sikeresen alkalmazta.

A varicap dióda szerelésére-mérésére a Konverta rendezkedett be, a berendezések kizárólagosan Tungstram illetve BME gyártmányok voltak.

A sikeres fejlesztést ez esetben nem követte nagyobb volumenű tömeggyártás. A TV tunerekben triplettek és quartettek kerültek beépítésre igen szűk paraméter szórással. A felhasználók az alacsony importárak előnyeivel élve inkább az NSZK-beli gyártmányokat vásárolták, mint a hazai ipar termékeit. A kifogásokra az Izzó típusainak elutasítására mindekkor jó alapot szolgáltatott a válogatás %-os eltéréseinek folyamatos szigorítása, a határok szűkítése.

A varicap diódagyártást a Konverta végül is abbahagyta, készleteit értékesítette.

A varicap diódák fejlesztésére fordított költségek azonban a chiptechnológia már említett eladásával és az ampullás diffúziós eljárásnak a pnp-tranzisztor fejlesztések területén történt alkalmazással a vállalat számára visszatérültek.

4.6. Az integrált áramkör fejlesztés 1971. végéig

A magyar gazdaság vezetőinek egy csoportja 1968-ban megkísérelte feloldani a világtól való elszigeteltséget és gazdasági reformot hirdetett. A csonkán-bénán megvalósított gazdasági reform egyik részeredményeként a kiemelt külkereskedelmi cégek lehetőséget kaptak egyes korszerű termékek importjára. A fokozódó import tevékenység keretében rohamosan növekvő mennyiségű félvezető eszköz áramlott be az országba, így sokféle integrált áramkör is.

A szerveződő számítástechnikai, automatikai ipar gyakorlatilag minden számottevő európai, amerikai és japán cég félvezető termékét kezdetben mintaként, később gyártmányjaiban történő felhasználásra importálta. A nagyobb ipari és a kiemelt külkereskedelmi vállalatok vezetői kapcsolataikat kihasználva rendre megszerezték az import devizafelhasználási engedélyeket. A félvezetők belföldi piacán a hetvenes évek elejére következképpen a világ minden gyártója a Tungstam konkurensként jelen volt.

A hatvanas évek végén a problémákat látva az MTA, a Kohó- és Gépipari Minisztérium és az Izzó egy kutató csoportot létesített, – értelemszerűen az Izzóban –, azzal a céllal, hogy a Thomson RTL áramkör családját reprodukálja. A típusokat a hazai számítástechnikai ipar francia kapcsolatai miatt hangsúlyozottan, sürgetően igényelte. Az RTL típuscsalád kiválasztását az is befolyásolta, hogy az akkoriban Fáskerti Gábor vezette Siemens félvezetőágazat is ezt a logikai áramköri típuscsaládot fejlesztette.

Az IC fejlesztés 1969 végére az első RTL típusokat rekonstruálta és 1970-ben a kísérleti gyártás készterméket produkált az alaptípusokból. A típuscsalád kiválasztásáról hamarosan kiderült, hogy nem volt igazán szerencsés. A Texas Instruments és más amerikai cégek a TTL áramkör családot kezdték el gyártani és a számítástechnikai ipar a berendezéseit a Transistor-Transistor-Logic (TTL) elemekből építette fel.

A sikeres, de tisztavirág életű RTL fejlesztés helyett a hazai kutatókat a legsürgősebben át kellett állítani a TTL család kidolgozására és a hazai bevezetésére. Az Izzó téves döntése a hazai berendezésgyártókat nem hozta hátrányos helyzetbe. A már említett import lehetőséggel élve a számítástechnikával foglalkozók, elsősorban is Texas Instruments-tól, a TTL típusokat importálták.

Az IC kísérleti gyártósor is a 17-es épület 3. emeletén nyert elhelyezést a korábban germánium alapú félvezetők technológiai fejlesztésére kiépített laboratórium helyének felhasználásával. Az IC kísérleti gyártás mintegy másolata volt a planár üzemnek, de a szereléstechnikai műveletekhez tökések importból beérkezett, – Telefunken által előállított –, lapka felforrasztó és huzalkötő berendezések álltak rendelkezésre. A későbbiekben ezek a berendezések szolgálták mintaként az Izzóban gyártott szerelőgépek kifejlesztéséhez.

Az RTL típusok TO-5 típusú soklábú tokban készültek. A tokot az Elektrovac szállította, a sapkát az Izzó sajtoló műhelye szolgáltatta. A lezárás a germánium eszközök-nél jól bevált PECO impulzushegesztő gépekkel történt.

Az RTL családokról a TTL-re történő váltás a műanyagtokozási technika meghonosítását igényelte. A TTL típusok ún. Dual in Line /DIL/ tokban érkeztek be az országba, a felhasználóknál már bevezetett import kiváltására a korszerű DIL tokozás bevezetése elkerülhetetlenné vált.

Az IC-k műanyagtokjának fröccs sajtolását az angol DANIELS cégtől származó présgép és szerszám szolgálta, a szerelőszalagot a francia AUGÉ cég szállította elképesztően magas áron. A fémtokozásról – műanyagtokozásra áttérés jelentős termelékenységgel járt, így 1971-ben már több mint 100 edb IC készült a kísérleti soron.

Az IC gyártás maszkjainak elkészítése már sok és bonyolult RUBILITH rajzot igényelt, ezek elkészítése kézi munkával igen körülményes volt. A problémát a TKI-ban szerveződött számítógépes tervező kollektíva oldotta meg és éveken át készségesen szolgáltatta az ARISTO coordinatograph rajzológéphez a vezérlő lyukszalagokat.

Az IC-k rajzainak elkészítéséhez alkalmazott számítógépes módszer azonnal tért hódított és a diódák, tranzisztorok maszkkészítéséhez is bázisul szolgált. A maszkkészítés fejlesztése keretében az IC igényeket is kielégítő első redukciós kamera és automatikus vezérlésű négyoptikás Step and Repeat berendezés beszerzésére is sor kerülhetett. Mind a két berendezést a japán DAINIPPON SCREEN cég szállította.

A TTL áramkörök fejlesztésénél értelem szerűen felhasználásra kerültek a korábban kidolgozott elemtechnológiai eljárások is. Ennek köszönhetően még 1971-ben az IC labor kidolgozta a TL 7400 (FLH 101), TL 7460 (FLY 101), TL 7472 (FLU 111) és a TL 7410 (FLH 111) típusokat és még ugyanazon évben az első kettő gyártása is megvalósult.

Az integrált áramkör fejlesztés a *Dr. Motál György*, a gyártás az *Erdős László* által irányított labor illetve üzem rendkívül sikeres munkáját bizonyította.

4.7. A Félvezető Fejlesztési Főosztály szervezeti átalakulása

A germánium félvezető termékcsaládok gyártási eljárásai sok szempontból gyökeresen különböztek egymástól.

A kutatás-fejlesztés eredményeként megjelenő új termékek technológiája más-más eljárásokat követelt. Az Izzó követő jellegű, a vezető cégek termékeit másoló magatartása miatt ezért a tús és aranytús diódák, az ötvözött germánium tranzisztorok, a drift és a mesa tranzisztorok, a nagyteljesítményű tranzisztorok fejlesztése és gyártása az 1960-as évek elején létrehozott termékcentrikusan szervezett laborokban és gyártósorokon viszonylag önállóan folyhatott. A hatvanas évek végén tért hódító Si planár eljárások kutató-fejlesztő-gyártó egységeit az FFF akkori vezetője hasonló felfogásban szervezte, így 1970-ben már több mint 700 főre duzzadt a sokszoros párhuzamosságot magába foglaló fejlesztő-gyártó szervezet.

A párhuzamosságokkal terhes szervezet nemcsak a forrásokhoz viszonyítva, hanem abszolút értékben is nagy anyagi terhet jelentett, ráadásul gátolta a planár eljárásra alapozó fejlesztő, gyártó egységek eredményeinek kölcsönös alkalmazását, a meglévő anyagi és szellemi bázis hatékony felhasználását.

Az Izzó vezetősége 1971. decemberében főosztályvezető váltást követően átszervezést rendelt el. Az új felállás szakított a korábbi szervezeti formával, a termékcsa-

lád rendszerű tagolódással. A típusfejlesztést *Dr. Motál György*, a fizikai tudományok kandidátusa vezetésével egy konstrukciós labor végezte. Az egyes termékcsaládok-típuscsoportok fejlesztő-gyártásszervező munkáira szakmai konstruktőrök kaptak megbízást. A szakmai konstruktőrök a termék születésétől – a tömeggyártásban történő kihalásig – felelősséggel tartoztak típusaik sorsáért, a mindenkori versenyképesség fenntartásáért. A legjelentősebb termékcsoporthoz konstruktőrei: hang és középfrekvenciás planár tranzisztorok: *Erdős László*; nagyfrekvenciás – TV tuner – tranzisztorok: *Dr. Balogh Béla*; nagyteljesítményű mesa struktúrájú tranzisztorok: *Fálmon László*; bipoláris TTL áramkörök: *Dr. Balogh Béláné*; bipoláris analóg áramkörök: *Méhn Márton*; szubminiatűr diódák: *Horváth Miklós*.

A konstruktőrök munkáját egy elméleti csoport támasztotta alá, mely a szükséges félvezető-fizikai számításokat az egyes termékek konstrukciójához szolgáltatta. A csoport vezetője a kitűnően felkészült Gergely István lett.

A planár diszkrét eszközök és az integrált áramkörök maszkjait a maszklabor szolgáltatta. A labor vezetője Pauer Magdolna rendkívüli igényességgel a típusfejlesztéshez és a gyártáshoz is folyamatosan biztosította a maszkokat. A költségek csökkentése céljából a nagyon sérülékeny emulziós fotomaszkok kiváltására mind a vasoxid, mind a krómretegű maszkok technológiáját sikeresen kidolgozta és alkalmazta. Az elemek gyártására és az elemtechnológia fejlesztésére egy elemgyártó üzem és egy elemtechnológia labor került kialakításra.

Az új egységek berendezésparkját a korábbi planárdiódák, a planártranzisztor, a mesatranzisztor és az IC üzemek gépparkjának összevonása szolgáltatta. Az összevont elemgyártás a korábbi planár üzem összes területét betöltötte. Jelentős fejlődést a tisztasági követelmények jobb kielégítését szolgáló lamináris fülkék beszerzése és általános használata eredményezte. A fotolitográfiai eszközök és a diffúziós kályhák vagy az átszervezésből származó, vagy méretre rendelt új lamináris áramlású tiszta munkateret kaptak.

A gyártóüzem kialakításánál fennmaradt berendezés-mennyiség a típus és technológia fejlesztést ellátó részleg felszereléséhez elegendőnek bizonyult. Az elemlabor a 17. épület 4. emelet délkeleti szárnyán kapott összefüggő területet.

Az üzem vezetésére *dr. Bakonyi János*, a fejlesztés vezetésére *Puskás László* és a két részleg munkájának összehangolására *Huszka Zoltán* kapott megbízást, mint laborvezető. Az epitaxiális rétegnövesztés, mint az elemgyártás része az 5-ös épület földszintjén nyert elhelyezést. Az epitaxia üzem vezetője *Oláh Joachim* lett, ugyancsak *Huszka Zoltán* laborvezető irányítása alatt.

Az elemgyártás-fejlesztés új szervezete 1972-ben fél év alatt kialakult, az átköltözések megtörténtek és a korábbi éves teljesítményt – bár sok-sok gond mellett – az év hátralevő részében biztonsággal nyújtotta.

Az elemgyártó-fejlesztő összevont egység igazi bravúrja a korábbi 25–32 mm-es szeletekről az 50 mm átmérőjű szeletekre való áttérés, az új gyártástechnológia kidolgozása és bevezetése volt 1973 első félévében.

Az összevonás minden várakozást felülmúló eredménye az átmérő növelésből származó kapacitásnövekedés és a megnövelt kizozatalokból is származó gyártási biztonság volt.

Az elemgyártás korábban a legszűkebb keresztmetszete volt minden termelő sornak, 1973-tól egycsapásra a bővítés lehetőségét nyújtotta.

Az összevonások során új egységként alakult meg a szereléstechnikai üzem és fejlesztő labor is. Az üzem berendezésparkja a korábbi mesa üzem területét foglalta el. A

berendezéspark bővítését az IC üzemben megismert szerelőgépek lemásolása és gyártása oldotta meg. A szerelőgépek előállítását a félvezető fejlesztés saját műhelyében rendkívül alacsony költséggel valósult meg. A költségek csökkentését célozta, hogy a Tesla számára párhuzamosan gyártott szerelőgépek ráfordításaként lehetett elszámolni a felmerülő anyag és bérköltségeket.

A szerelő üzem vezetője a tapasztalt *Lőrincz Lajos* a fejlesztő labor *Halász Mihály* és kettőjük közös főnöke *Tótváradi László* lett. A szerelés napi ügyeit *Tóth Sándor* művezető intézte. A szerelőüzem – ha nem is az elemgyártásnál jelentkező mértékben – a korábbi felülmúló kapacitást biztosított a diódák, tranzisztorok és IC-k gyártására.

A szerelés befejező fázisát jelentő galvanizálás a szerelő üzem részeként az 5-ös épület középső szárnyában kapott helyet. A galvanizálás technológiai fejlesztését *Faragó Ilona* irányította.

Az elem-szerelés modellt követve szerveződött a termékek mérés-technológiája is.

A korábbi IC üzemi területén létesült az összevont mérés-technikai üzem, melynek elkülönített része szolgált az összevont szeletmérő géppark elhelyezésére. A készárú mérés viszonylag szegényes gépparkja a dinamikus bővülő gyártás igényeit csak nagy nehézségek árán tudta kielégíteni, az évek során többször jelentette a legszűkebb keresztmetszetet.

A mérés-technikai fejlesztő labor az épület 4. emeletén az új típusok mérés-technikai módszereit dolgozta ki. Berendezésparkja talán még az üzeménél is szegényesebb volt, de kitűnő mérnök gárdájával feladatait mindig jól és időben megoldotta. A mérés-technikai üzem vezetője *Schödl Ervin*, a fejlesztése *Szakács Benő*, közös főnökük *Kászonyi László* lett. A mérés-technikához kapcsolódott szakmai szempontból a MEO szervezet, melyet *Dr. Kalmár Gábor* irányított. *Dr. Kalmár Gábor* ellenőrző funkciójából eredően a főosztályvezető közvetlen beosztottja lett.

Az 1972. évi átszervezés-összevonás nem lehetett volna eredményes, ha a fejlesztés-gyártás eszközeinek berendezéseinek karbantartása nem saját hatáskörbe tartozott volna. Az 1972 előtti állapotban az egyes üzemeket egységeket összesen 4 elkülönített mechanikai-elektronikus műhely szolgált ki. Az összevonás során ezekből egy ütőképes elektronikus-mechanikus berendezés fejlesztési laboratórium alakult ki *Kenderesy Tamás* vezetésével. A labor mechanikai részlegeit *Kulcsár István*, az elektronikus műhelyt *Lajkó József* irányította. A fejlesztési konstrukciós részleg mechanikai szakemberei *Makrai József*, később *Horváth Gábor*, az elektronikusok *Sztankó József* vezetésével végezték munkájukat.

A berendezés fejlesztés elhelyezésére igen szegényes körülmények között az 5-ös épület déli oldali földszintjén volt csak lehetőség. A hiányzó gépeket, műszereket az emberi leleményesség pótolta, ha valami anyag hiányzott a személyes kapcsolatok az Izzó egyéb részlegeivel eredményeztek gyors megoldást kölcsön vagy csere formájában.

A berendezés-fejlesztő labor a nincstelenség éveiben a technológiák fejlesztéséhez szükséges eszközök egyetlen forrása volt. Az üzemek, fejlesztő részlegek, ha új eszközökhöz kívántak jutni, úgy egy-egy régi, de még leltári számot viselő berendezés átalakítását kérték. Az átalakításnál sok esetben csak a berendezésváz maradt meg, a meg a leltári szám.

A beruházási forrásokat pótló berendezés-fejlesztő tevékenység mellett a műhelyekben számos új berendezés született. Kétségtől a legjelentősebb eredmény a MACROMAT analóg IC és a MICROMAT diszkrét félvezető mérőautomaták kifejlesztése.

tése volt. Nem a félvezető ipar céljait szolgálta az automata spiralizáló kifejlesztése, melyet a wolframspirál gyártás korszerűsítéséhez igényelt a nagyvállalat. A berendezés-fejlesztés sikerének tudható be

- az új „mesa” termokompressziós berendezés elkészítése,
- a Telefunkentől vásárolt szerelőgépek „honosítása” és sorozatgyártása,
- a diffúziós kályhák átalakítása, korszerűsítése,
- számos mérő, vizsgáló berendezés elkészítése,
- a szubminiatűr diódagyártás berendezésparkjának több berendezése és a
- megszámlálhatatlanul sok kisebb-nagyobb célberendezés elkészítése.

Az átszervezéssel létesített és Ágazati Félvezető Fejlesztésnek átkeresztelt szervezet anyagi ügyeit a főkönyvelő és néhány munkatársa, az anyagbeszerzést egy diszpécser csoport intézte.

Az Izzó felső vezetésével való kapcsolattartás részben a termelés, részben a fejlesztés területén felelős vezetők rendszeres munkáját igényelte. Az átszervezést követően *Bauer Béla* látta el a termelésirányítást, *Spekla Sándor* a fejlesztés szervezés feladatait. A fődiszpécseri funkciót *Bartusz Miklós* töltötte be és mind a gyártás, mind a fejlesztés gondjait feladata volt enyhíteni. A termelés és fejlesztés tevékenységének összehangolása a szűkös források igazságos elosztása *Telegdy György* főosztályvezető-helyettes higgadt, kiegyensúlyozott és kompromisszumra is képes munkájának köszönhetően zökkenőmentesen valósult meg.

A félvezető fejlesztés az Izzó szervezeti sémája szerint a főkonstruktóri szervezethez tartozott. A félvezetőgyártás gyors növekedése és folyamatosan jelentkező fejlesztési, beruházási igényei miatt a Műszaki Igazgató személyesen látta el a függelmi jogkörből rá háruló feladatokat.

A Műszaki Igazgató személyes jelenlétét még egy körülmény magyarázza. A főkonstruktőr-főtechnológusi szervezeti felállásból eredően a félvezető szakterület technológusi ágát képviselő *Pálosi József* félvezető szakmai főtechnológus az Izzó nagyvállalati főtechnológusa alá tartozott, aki személyes gyakorlatából, ismereteiből eredően nem kívánt belefolyni a félvezető ügyekbe. A fejlesztés-technológia mérleg egyensúlyát a műszaki igazgató személyes jelenlétével kívánta fenntartani, kikapcsolva a főkonstruktőr-főtechnológus érdemi beleszólását a jelentősebb döntések meghozatalába.

A félvezető fejlesztést érintő vállalatvezetői döntések közül legsúlyosabb következményekkel egy 1979-ben elrendelt átszervezés járt. A tíz évvel korábban egyidejűleg létrehozott Fényforrás Fejlesztés, Kutató Intézet és Félvezető Fejlesztés mint a Műszaki Igazgatás legnagyobb létszámú egységei többé-kevésbé azonos feltételeket kaptak működésükhöz.

A Fényforrás Fejlesztés a természetes előregedés miatt, na meg azért, mert alig gyarapodott fiatal műszakkal, a '70-es évek végére mind létszámát, mind hadrafogható műszaki erejét tekintve súlyos válságba került. A Kutató Intézet helyzete talán még a Fényforrás Fejlesztésénél is súlyosabb volt.

A fényforrás szakterület azonnali megerősítésére csak a Félvezető Fejlesztés személyi állománya jöhetett számításba. A legfelsőbb vezetés által elrendelt átszervezés feladatát az aktívan politizáló *Dr. Balogh Béla* vállalta. A gyors és hatékony, anyagiakkal is megtámogatott átszervezés során a fényforrás területre távozott a szervező irányítása alá rendelt csapat, mintegy 40 fő. A félvezető ügynek nagyon sokat ártó incidens az idők tanúsága szerint alig valamit használt a szakem-

ber inséggel küzdő fényforrásfejlesztésnek. Az átszervezettek közül sokan Izzón kívülre távoztak, néhányan a MEV (Mikroelektronikai Vállalat) 1982. évi megalakulása után a félvezető területre visszatértek.

4.8. Az IC tömeggyártás felépítése

A '60-as évek végén létesített IC fejlesztés és kísérleti gyártás látványos eredményt ért el az RTL család első típusainak kidolgozásával. A gyors eredmény annak ellenére is nagyon értékesnek bizonyult, hogy az iránymegjelölés téves volt és az RTL család helyett a TTL típusok kidolgozása és gyártása lett a cél. Az RTL típusok fejlesztésénél kialakultak az áramkörtervezési, maszkgyártási, elemtechnológiai, szerelési-mérési ismeretek, amelyek gond nélkül átkonvertálhatók voltak az új cél elérésére. A félvezető fejlesztés 1972. évi átszervezése után nyilvánvalóvá vált, hogy a már milliós darabszámban jelentkező hazai integrált áramkör igény csak egy gyártóüzem létesítésével elégíthető ki. A világban végbement fejlődés – ha jelentős késéssel is – érezte hatását a hazai elektronikai iparban. A KFKI-ban, a Videotonban, az EMG-ben, a Telefongyárban, a MOM-ban számítástechnikai berendezések fejlesztése, gyártása indult. A mintaként szolgáló berendezésekben használt alkatrészek iránti igény rendkívül széles típuskálát ölelt fel, közös volt azonban az alapelemként használt TTL típuscsalád. Az Izzóban így ezen építő elemek alaptípusainak kifejlesztése elsődleges célként jelentkezett.

A hazai IC gyártás kiépítésére tett javaslatok az Izzón belül és a felügyelő hatóságoknál a szükséges anyagi forrás nagyságrendjének említésével is azonnali élénk ellenkezést váltottak ki.

Az Izzó ezidőtájt a fényforrás- és elektroncsőipari lemaradásának csökkentésére fordította azt a szűk anyagi forrást, amit az állami lefoglalás visszahagyott, a „Minisztérium” pedig az energiaipar, járműipar stb. kiemelt programokra költötte az állami pénzeket.

Az OMFB-ben szakértők által készített tanulmányok rendre sürgették az elektronikai ipar és azon belül az alkatrészipar fejlesztését, de a javaslatok források hiányában meghallgatásra nem találtak. 1973-ban egy OMFB-Fairchild kapcsolatfelvétel során felvetődött az amerikai cég részvétele a magyar IC gyártásban. A következő két évben az IC igények robbanásszerűen nőttek és 1975-ben már politikai síkon is meg kellett hallják a berendezésgyártók intézkedést követelő indokait.

Az Izzó-Fairchild kapcsolatfelvételre 1975-ben került sor és többszöri egyeztetés, alkudozás után 1976-ban aláírásra került a szerelés-mérés know-how és 15 mdb/év kapacitású szerelő-mérő gyártósor telepítésére vonatkozó egyezmény.

Az IC technológia és a berendezései is a szigorúan felügyelt COCOM listán szerepeltek, a Fairchildnak nem kis fejfájást okozott az USA hivatalos szerveinél az engedélyek megszerzése.

A félvezető fejlesztés vezetése számára nyilvánvaló volt, hogy az IC gyártás nem létesíthető a tranzisztor-dióda témáknál megszokott módon, azaz saját erőből, saját műhelyben készített berendezésekkel. A beruházás csak nyugat-európai, amerikai vagy japán forrásból származó tudással és berendezésekkel volt elképzelhető.

A Fairchild tárgyalásokat megelőzően és közben is az Izzó vezetői ajánlattételre szólították fel a vezető cégeket. Egyesek mereven elzárkóztak még a tárgyalások elől is,

pl. a Texas Instruments, mások óvatos lépéseket tettek, tudva azt, hogy a COCOM előírások tiltanak minden ilyen irányú tevékenységet.

A megkérdezett cégek közül a jelentősebbek: SGS-ATES, Thomson-CSF, Siemens, Telefunken, ITT, NEC, Hitachi, Toshiba, Signetics, NSC, Motorola és alibi célból a SZU Elektronikai Ipari Minisztériuma.

Végül is a Fairchild mellett csak francia és nyugatnémet ajánlat birtokában nem volt kétséges a legmegfelelőbb kiválasztása. Az engedélyeztetési procedúra ismeretében a félvezető fejlesztés felkészült a Fairchild engedély kérésével kapcsolatos érvelésnek alátámasztására.

A szerződés mind a know-how, mind a gyártósor alkalmasságának bizonyítására céltípusokat jelölt meg, ezek pl. az SN 7400, SN 7472. Az Izzó-s fejlesztés a kijelölt típusokat soronkívül kifejlesztette és nagyobb darabszámban elő is állította a mintegy félmillió db-os kísérleti gyártás keretében.

A típusok chipjein a Tungram kék-piros T betűje dokumentálta a hazai gyártást, a gondos típusmérés a kielégítő műszaki paramétereket. A Fairchild 100–100 db mintát kapott a kijelölt típusokból még a tárgyalások alatt. Az amerikai kormány szervekhez benyújtott engedély kérelmében a Fairchild hangsúlyozta, hogy a Tungram képes a típusok kifejlesztésére és gyártására, de nem kellően automatizált gyártásából következően nem képes termékeit gazdaságosan előállítani. A Fairchild a minták birtokában tanúsihata, hogy a know-how és a technológiai berendezések szállítása a magyar és így a szocialista tábor katonai potenciálját nem növeli. A Fairchild végül is a szállítási engedélyt megkapta, a szerződés életbe lépett.

Az IC szerelő-mérő gyártósor telepítési helyének kijelölése során a Fairchild szakértők a Tungram telephelyeinek sorát szemlélték meg.

Hevesen tiltakoztak a Váci úti törzsgyár területén történő telepítés ellen. A Minisztérium melegen ajánlotta a HIKI már felépült könnyűszerkezetes T épületét a telepítés helyéül. A Fairchild-tól Dr. Harry Sello a HIKI telephelyet megszemlélve a legmervebben elzárkózott, hogy a szerelő-mérő sor oda települjön. Indokolásából néhány súlyos érv: – a környezet rendkívül szennyezett, – füstölő kémények ontják a kormot, – a Fóti út – Baross utca sarkán lévő telephely két oldalán nehéz járművek közlekednek, – az épület kicsi és nem tesz majd lehetővé későbbi bővítéseket.

A Fairchild-Izzó megállapodás végül is a Gyöngyösi Félvezető és Gépgyár területét jelölte ki a telepítés helyéül.

A telepítés előkészítése 1976-ban indult. Mintegy egy év alatt határidőre és költségelőirányzaton belül a technológia terület, a légkondicionálás és a szolgáltatás elkészült. Az üzem a 26-os épület földszintjén megszüntetett germánium kristálygyártás és kisegítő üzemek helyét kapta meg. A szolgáltatási berendezések elhelyezésére az épület északi végében egy toldalék, a szolgáltatási vezetékek részére az ablaksíkon kívül egy folyosó épült. A víz és gázszolgáltatás egy-egy kisebb épületet kapott.

A technológiai berendezések elhelyezésére kialakított tisztaszoba rendszer 1976-ban kétségtelenül az ország legkorszerűbb, legigényesebb munkaterülete volt.

A gyártó berendezések telepítése 1977-ben rövid idő alatt megtörtént. A technológiai know-how átvételére a gyöngyösi gyártás és a budapesti félvezető fejlesztés szakembereiből szerelő-mérő mérnökcsoport került kiválasztásra. A kiválasztás elsődleges szempontja a szakmai alkalmasság és az angol nyelvtudás volt. Sajnos, az akkori politikai-biztonsági szempontok miatt a hatóságok az egyik legalkalmasabbnak ítélt mérnök kiutazását megtiltották, helyébe mást kellett kijelölni.

A betanulásra a Fairchild az új, de már működő Dél-Koreában létesített gyárat is kijelölte, amit azonban a magyar Külügyminisztérium tiltakozása miatt a listáról törölni kellett.

A betanítás végül is a Fairchild amerikai és szingapúri üzemeiben történt. Egyes berendezéseket japán cégek szállítottak, így az egyik mérőautomatát is, ezért több mérnök utazhatott Japánba is betanulás, gépátvétel céljából.

A betanulásra végül is több mint egy 1000 „mérnöknap” időt használtak fel. A gyöngyösi gyártás indításához a Fairchild szakértői hatékony támogatást nyújtottak. Meg kell említeni, hogy a mátrafüredi Avar Szálló megléte a gyöngyösi telepítés elhatározásánál nagy súllyal esett latba.

A komforthoz szokott amerikaiakat, így a gyöngyösi helyszínen irányító vezetőt az akkor épülő vállalati lakásokból kialakított lakosztályban tudták csak elhelyezni.

Az 1977 végén induló gyártás közel 3 mdb. készárut szolgáltatott, mindenben eleget téve a szerződés pontjainak.

A know-how díj címén 90 mFt-ot kellett fizetni a Fairchildnak. Ennek egy-egy harmadát az OMFB, a KGM és az Izzó állta. A gyártósor és a telepítés halmozott költsége 342 mFt, ezen belül 5m\$ volt.

A telepítés minden sikere ellenére sem vívta ki az állami vezetés elismerését. Politikai okokból akkoriban nem lehetett jó, ami „odaátról” származik, az Izzón belül pedig irigységet váltott ki az egyre terjeszkedő félvezetősök eredményessége. Az állami elvárásoknak engedve az Izzó hivatalosan tagadta a Fairchild akció sikeres voltát.

A telepítés éveiben csak a közvetlen „tőkés exportot” tekintették országos devizamérleget befolyásoló tényezőnek, így a hatóságok előírták, hogy az IC üzem termékei csak hazai és tőkés piacon értékesíthetők. Az Izzótól ugyanakkor a szomszédos kis KGST országok a náluk is csak tőkés forrásból származó szabványos IC-k szállítását igényelték. Az Izzó vezetése végül saját hatáskörben úgy döntött, hogy inkább eladja termékeit dupla nyereséggel szomszédainak, mint a nyereséget felemésztő vámok mellett nyugaton.

Az IC gyártás felfutása a terveknek megfelelően folyt és 1979-re a névleges 15 mdb-ot meg is haladta.

Az IC technológia termékenyen hatott vissza a szilícium alapú diszkrét félvezetők gyártására.

A szereléstechológiai megoldások bevezetésre kerültek a planártranszisztor gyártásban, az igényes vizsgálati előírások és módszerek jótékonyan hatottak minden más terméknél is.

A Fairchild akció során kulcsszerepet töltött be *Pálosi József* szakmai főtechnológus. A beruházás egésze alatt irányította a kivitelezési munkákat, majd a know-how átvételét. A gépek telepítésénél, üzembehelyezésénél nélkülözhetetlen támogatást nyújtott a hazai és az amerikai szakembereknek. A betanítás során szervezte, irányította a mérnökcsoportot. Igényességével kivívta a Fairchild elismerését, ami ugyanakkor biztosítékot is jelentett az Izzó számára, hogy mindent megkap amire pénzt áldozott.

Az IC kapcsán említést érdemel az egyes témákban kimagasló szinten tevékenykedők köre. A beruházás szervezésében gondos munkát végzett *Tótváradi László*, akit a főkonstruktori szervezet átengedett teljes munkaidőben *Pálosi József* közvetlen munkatársának. Az építészeti munkák szakértője *Reményi Géza* volt. A gyöngyösi félvezetős csapatot *Buzási László* jó karmesterként vezette. A szerelés technológia terén *Leimeiszter János*, a mérés technika terén *Málik Sándor* jelenléte bizonyult nélkülözhetetlennek.

Az óriási tömegű dokumentáció „magyarosítása” terén *Kopócsy Endre* szerzett érdemeket. A mérési előírások, minőség vizsgálati módszerek alkalmazása *Csornai László*, *Dr. Mátrai Géza* és *Somfay János* érdeme. Kitűnően vizsgáztak az IC gyártás munkásai, technológusai, mérnökei a nemzetközi összehasonlításra is módot adó tevékenység során.

A sportteljesítmények analógiájára álljon itt az „utazó” csapat névsora:

Gyöngyösről: – Buzási László
– Gedeon Béla
– Somfay János
– Vereb Zoltán
– Balogh János
– Kurcvei István
– Hermann Pálné Emese
– Bordás Béla
– Csepi Kálmán
– Holló János
– Rozsnyó Sándor
– Kiss Simon Gyula
– Bodor Mariann

Budapestről – Pálosi József
– Leimeiszter János
– Málik Sándor
– Kenyeres Sándor
– Sztankó József
– Temesváry Imre

A szerződés érvényességi ideje alatt a Fairchild nemcsak elvárta a gyöngyösi termelési adatok közlését, hanem folyamatosan megküldte az általa gyártott chipből dél-koreai, szingapuri, amerikai szelőüzemeiben elért kihozatali adatokat, minőségvizsgálati eredményeket. A nemzetközi összehasonlítás során a gyöngyösi gyártásnak nem kellett szégyenkeznie. Azonos feltételek mellett a magyar munkás-mérnök egyenértékűnek bizonyult minőség és mennyiségi adatok szerint is.

4.9. Az IC chipgyártás kálváriája

A Fairchild szerződés előírta, hogy a szerelés-mérés sikeres megvalósítása után az amerikai cég átadja a bipoláris IC chipek gyártási know-how-ját, és technológiai sort szállít egy külön megkötendő szerződés keretében.

A tárgyalások már 1978-ban megkezdődtek, és az Izzó megkapta partnere szerződésre vonatkozó javaslatát.

A Félvezető Fejlesztés, hasonlóan mint a szerelés-mérés vásárlás előtt, a céltípusként kijelölt digitális TTL és interface, valamint a konzumer áramkörtípusok laboratóriumi szintű technológiáit kidolgozta és mintatételekkel dokumentálta.

A Fairchild az engedélyek elnyerésére USA kormányzati ígéretet kapott.

Az amerikai tárgyalásokkal párhuzamosan az Izzó ajánlatot kért és kapott a Telefunken-től az elemgyártásra. A Telefunken ajánlat azonban csak a kijelölt termékek egy részére vonatkozott, mivel akkorra már abbahagyta a TTL és interface áramkörök gyártását. Ajánlatot tett az ITT Intermetall is, hasonlóan a Telefunkenhez a termékek korlátozott körére.

Az Izzó döntése egyértelműen a Fairchilddal kötendő szerződés mellett szólt, amikor is már csak a pénzforrások biztosítása volt a szerződés aláírás akadálya.

Az Izzó vezetése nem vette igénybe teljes befolyását a devizafedezet és az állami alapjuttatás megszerzésére, így az aláírás húzódtott, halasztódott. Időközben a világpolitika is beleszólt a folyamatba. A szovjet bevonulás Afganisztánba és az amerikai reagálás szétfoszlatta a szerződés engedélyezéséhez fűzött reményeket. A Fairchild sorsát egy másik, hasonlóan szerencsétlen végű akció pecsételte meg; a Schlumberger átvette a kaliforniai cég félvezető részlegeit és műszergyártását azzal a céllal, hogy hasonlóan az IBM-hez, a HP-hez és másokhoz az általa gyártott műszerekhez és berendezésekhez a szükséges félvezető termékeket cégen belül gyárthassa és használhassa.

A Fairchild – a céget érintő tulajdonosváltásra hivatkozva – végleg elutasította az elemtechnológia átadására vonatkozó szerződést.

Az Izzóban 1979–81. között meddő próbálkozásnak bizonyult minden az elemgyártás kiépítésére vonatkozó javaslat. A hazai félvezető felhasználás időközben nőttön-nőtt és az évenkénti import devizaértéke meghaladta egy chipgyár felépítésének deviza szükségletét.

Az OMFB és a Minisztérium sürgetésére 1981-ben egy beruházási javaslat készült melyben az Izzó mellett a HIKI is szerepet vállalt.

A javaslat Budapesten zöld mezőn létesítendő gyár felállítására vonatkozott. A tervmechanizmus szokásaihoz igazodó tervező munka irreális költség és megvalósítási feltételeket irányzott elő.

1979–80-ban a félvezető gyártó cégek számtalan 4"-os chipgyárat létesítettek szerette a világban.

Egy ilyen gyár évi 150–250 edb. szelet megmunkálását biztosította és mintegy 40–50 m\$-ba (kb. 2md Ft-ba) került.

Az irrealitásokat halmozó torzszülött beruházási javaslat mintegy 8 mdFt-ot irányzott elő költségként, ami elegendő érvként szolgált arra, hogy a hozzá nem értő felső szervek, csak az összeg nagyságát nézve, a javaslatot elutasítsák. Végül 1981-ben egy racionálisabb javaslat készült, melynek költségelőirányzata 2–2,5 mrd Ft. volt és nem irányzott elő zöldmezős telepítést, mint az elvetett elődje.

A Tunggram a 36-os épületet jelölte ki a telepítés helyéül, a HIKI megismételte korábbi ajánlatát a T épület átadására a chipgyártás elhelyezésére.

A Tunggram-HIKI vetélkedés a beruházás jogának megszerzésére végül is a HIKI javára dőlt el.

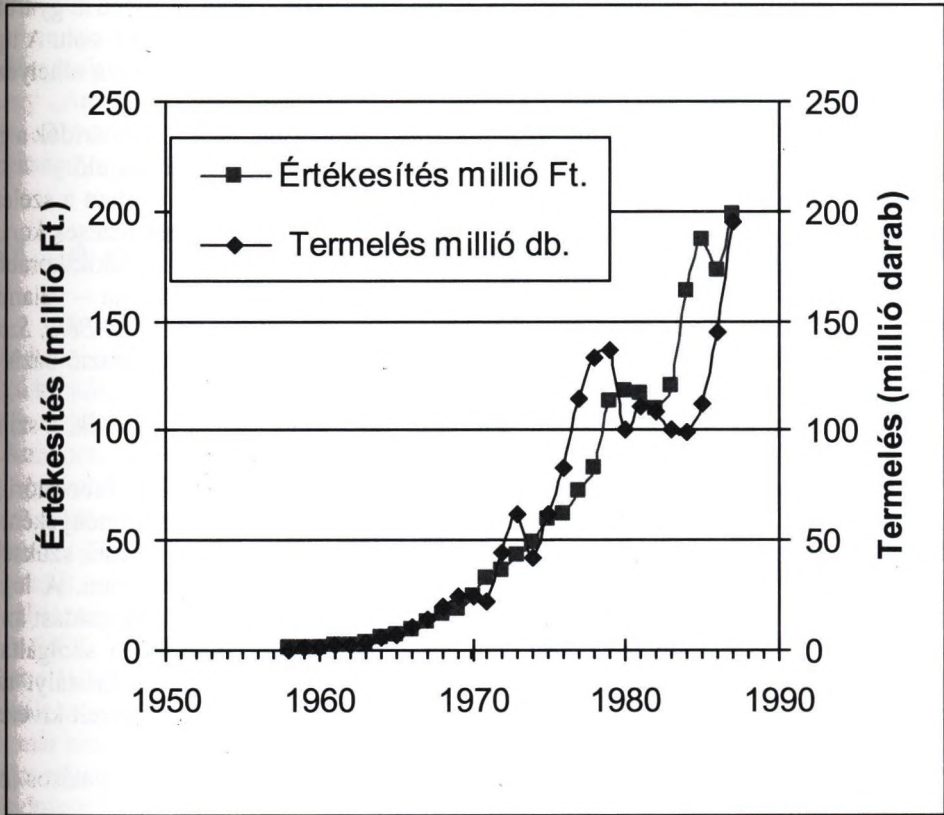
A Minisztertanács 1981 decemberében határozatot hozott a Mikroelektronikai Vállalat létrehozására a Tunggram félvezető részlegeiből és a HIKI-ből.

A döntés meghozatalánál jelentős súllyal esett latba a minisztériumi hivatalnokok ellenérzése a Tunggram vezetésével szemben és a HIKI jobb személyi kapcsolatai.

A HIKI évről-évre súlyos százmilliókat harcolt ki magának költségeinek fedezetére és a döntés ki nem mondott céljai közé tartozott az is, hogy a főhatóságok megkívnak szabadulni az egyre nagyobb étvágyú szülöttüktől.

Az MT határozat a Gyöngyösi Félvezető és Gépgyárat teljes profiljával a MEV-hez csatolta. A budapesti Félvezető Fejlesztés már 1982. január 1-el a MEV része lett, a gyöngyösi gyár azonban csak 1983. január 1-el csatlakozott.

Az félvezető értékesítését ellátó izzós kereskedelmi szervezet 1983. január 1-el az EMO-hoz csatlakozott, a félvezető MEF (Minőség Ellenőrzési Főosztály) szervezet pedig a MEV része lett. A MEV-hez csatolták az Izzó Alkalmazástechnikai laborjának időközben jelentősen lecsökkent létszámú személyi állományát is.



4.1. ábra. Félvezető eszközök termelése (millió db) és árbevétele (millió Ft) 1958. és 1987. között

Az itt bemutatott 4.1. ábra 1980–84. közötti hullámvölgye szolgáljon bizonyossággal a teljhatalmú központi irányítás és a tervmechanizmus alkalmatlanságára a valós életben előadódó problémák megoldására.

A Tunggram vezetése már 1980-ban a hovatartozás kérdésének felvetésekor csökkentette erőfeszítéseit a félvezető szakterületen; leállította a fejlesztést, beruházást. Az ostoba döntés az átszervezés szakaszolására időt engedett a korábbi tulajdonosnak a forgatóke kivonására, a készletek felélésére. Az új „gazda” – a MEV – kellő iparos ismeretek hiányában csak több év késéssel tudott elődje nyomdokaiba lépni, akkor is csak sokkal nagyobb létszám és anyagi ráfordítás igénybevételével.

4.10. A Konverta félvezető gyártási tevékenysége

A Konverta az ötvenes években még önálló állami vállalatként a szelényenirányító gyártás és a „szárazegyenirányítóval” felépített egyenirányító-készülék profil gazdjaként kapta feladatául a germánium és szilícium ötvözött egyenirányítók gyártásbavételét.

A KGM utasításának megfelelően a Konverta szerződést kötött a HIKI-vel a germánium egyenirányítók kifejlesztésére. A kijelölt IN 91-93 General Electric gyártmányú céltípus kifejlesztésének határideje 1958., a gyártásbavételé 1959–60. volt. A típus fejlesztését a Dr. Szép Iván által vezetett, az Izzó Bródi Laboratóriumában elhelyezett csoport végezte.

A szilícium egyenirányítók fejlesztésére a TKI kapott megbízást, a határidők a germánium eszközökhöz képest 1–2 évvel későbbi megvalósítást irányoztak elő.

A Konverta egy kislétszámú fejlesztő laborral rendelkezett, elsősorban a szelényenirányítók és a szelén fényelemek szinttartó fejlesztésére és a berendezések korszerűsítésére. A Konverta Laborba 1957-től fiatal diplomásokat vettek fel, akik korábban az Izzóban, illetve a TKI-ban dolgoztak. Az elsők között – e sorok írója – valamint, *Puskás László*, majd *Dr. Motál György*, *Eszes Imre*, *Borbély Albert*, *Sallai Béla*, *Szalai Tibor* és még 8–10 fiatal mérnök 1959–60. évi felvétele számottevő fejlesztő bázis kiépítését eredményezte.

A germánium egyenirányítók fejlesztését az Izzóból átkerülők végezték, a szilícium eszközök gazdája *Motál György* lett.

A HIKI fejlesztési munkáiról több részjelentést adott és 1958-ban laboratóriumi mintákat is. A Konverta laborjában párhuzamosan folyó munkák eredményeként az 1959-ben kialakított ötvözesi és kémiai maratási technológia, a kísérletekhez szükséges berendezések lehetőséget biztosítottak az önálló konstrukció kialakítására. A legnagyobb problémát a jól-olcsón gyártható tok kidolgozása jelentette. A megoldást az iz-zós *Porubszki Jenő* egy egyszeri alkalomra szóló megbízás keretében szolgáltatta. Elektrolitikusan tisztított rézszalagból hidegfolyatással alakította ki a kristályt tartó alaplemezt, erre azonos anyagból húzott sapka illeszkedett. A sapka szigetelt kivezetését egy lágyforrasztott, a REMIX-től vásárolt üvegátvezető képezte.

A hermetikus lezárást a mechanikusan felfrissített felületek hidegfolytatásos „forrasztása” biztosította.

Az n-típusú germánium egykristály gyártására kialakított üzem egy BRG gyártmányú 10 kW-os rádiófrekvenciás generátort kapott, a zónázó berendezést a saját műhely készítette el.

A kristálygyártás 1960-tól kellő mennyiségű egykristályt szolgáltatott és megindulhatott az egyenirányítók gyártása. A gyártóüzem berendezéseinek tervezése, elkészítése *Bácsfalvi Mihály* gépésztechnológus, a mérőberendezések *Kondor Nándor* villamos laborvezető ötletgazdagságát dicsérték. A fém alkatrészek gyártását *Pallagi Mihály* technológizálta.

A prototipizált GDK 1-7 gyártása 1960–61-ben indult. A termelés gyorsan bővült és a fejlesztési munkák eredményeként a típusválaszték hamarosan kiegészült a hasonló konstrukción alapuló GEN 51-55 típuscsaláddal. A GDK család 300 mA-es, hűtőbordáival 1 A-es; a GEN család hűtőbordával 5 A-es egyutas egyenirányítást tett lehetővé. A felhasználók egy része nem igényelte a csavarmentes GDK típust,

ezért 1963-ban a Konverta AY 101-107 típusjellel azonos méretű pn-átmenettel, de csavarmenet nélküli tokban, olcsóbb változatot is gyártani kezdett.

A germánium típusok fejlesztése *Puskás László*, az egykristály gyártási technológia kidolgozása *Sallai Béla* nevéhez fűződött. A gyártóüzem technológiai irányítását és felügyeletét *Uj Endre* látta el.

A germánium egyenirányító gyártás technológiáját 1962-ben a Konverta térítés nélkül átadta az NDK Frankfurt/Oder-i félvezetőgyárának. Az ottani alkalmazás egy volumenében nagyobb gyártás színvonalának ugrásszerű növekedését eredményezte. A technológiát átvevő két fiatal mérnök a magyar technológia sikeres adaptálásáért az NDK-ban iparban adható legmagasabb állami kitüntetést kapta. A HWF/O az NDK fennállásának 15. évfordulóján az ünnepeken résztvevő magyar kormánydelegációnak egy „Anya gyermekével” szobrot ajándékozott elismerése és köszönete jeléül. A szobor a Konverta lépcsőházában három évtizedig emlékeztetett az „önzetlen szocialista segítségnyújtás” sikerére.

4.11. A szilícium egyenirányító gyártás

A szilícium egyenirányítók fejlesztése 1959 tavaszán indult a Konvertában. A kiindulási alapanyagot a Leybold cég ajándékozta mintaként egy 60 g-os 20 mm átmérőjű kristály formájában. A fejlesztési munkák rövid időn belül a célul kitűzött paraméterű eszközöket eredményezték.

Átmeneti zavart okozott a Konvertában, hogy a TKI kutatási részjelentést adott, amit egy évvel később a termék technológiájára vonatkozó tanulmány és tetemes költségtérítés követett volna. A fejlesztésben jóval előbbre tartó Konverta Labor a további értelmetlen TKI-beni ráfordítást olymódon gátolta meg hogy a saját technológiája szerint készült mintákat a TKI sikerének deklarálta, a Minisztériummal a szerződést – mint ami célját már elérte – lezáratta.

A SiEK 1-7 típuscsalád gyártása 1961-ben indult. A huzalötvözött SiEK család mellett a fóliaötvözött nagyobbáramú típuscsaládok kidolgozása is sikerrel járt. A prototipizált nagyobbáramú eszközök gyártására azonban a soronkövetkező átszervezések miatt már nem kerülhetett sor.

Az egyenirányítók fejlesztése a diffúziós pn-átmenetű és műanyagtokozatú eszközök kidolgozásra csak közel 10 év múlva eredményezett újabb gyártható terméket (BY 133–135 család). A Konverta típusválasztéka 1969-ben kiegészült a BAY 44-46 típuscsaláddal. A típust a BHG igényelte. Az üvegházás típust a Siemens hozta piacra és azt az Izzó félvezető fejlesztése 1968-ban másolta le. A típus legkényesebb eleme egy rugós kontaktus kiképzése volt, ami a hazai anyagokból homogén minőségben nagyon nehezen volt előállítható.

A BAY 44-46 család bevezetésével egyidőben indult a BA 102 típusú varicap dióda, majd egy évvel később a továbbfejlesztett BA 138 típus gyártása.

A BAY 44-46 gyártása 5 éven belül meg is szűnt, helyébe a műanyagtokozott 1 A-es típus lépett.

A varicap diódák korszerű típusai a Félvezető Fejlesztésen előállított planár technológiájú chipek szerelésével 1975-ben kerültek gyártásba. A BB 105 és a BB 109 típusok méréses technikai problémáinak megoldásában *Gärtner Péter* vett részt a BME Villamosmérnöki Karáról.

A diffúziós pn-átmenetű (BY 133-135) műanyagtokozott típuscsalád, majd annak (1N 4001-4007) korszerűbb változata és a hasonló felépítésű gyorsműködésű (BA 157-159) család fejlesztése 1974-től biztosított gyártható terméket.

A tömeggyártás megvalósítására az ITT Intermetálltól vásárolt gyártósort 1978-ban helyezte üzembe a Konverta. A gyártás minden szempontból kitűnő minőségű terméket produkált, amihez azonban minden alkatrészt, így a chipet is az ITT szállította. A termék a saját kategóriáján belül a legkorszerűbb izzós termék volt.

A Konverta 1963-ban lett az EIVRT része, a fejlesztő labor beintegrálódott az Izzó félvezető fejlesztő szervezetébe. Visszamaradtak a Konvertában a gyártósorok technológus mérnökei és a szelén-egyenirányító fejlesztésen dolgozók.

A szilícium egyenirányítók fejlesztése és gyártása *Dr. Motál György* kitartó, ötletgazdag munkáját dicsérte. A gyártás berendezései – hasonlóan a korábban indult germánium soréhoz – a gyári berendezés-fejlesztők tehetségének köszönhetően születtek meg. A szilícium egyenirányító-családok szinttartó fejlesztése *Szalai Tibor* érdeme.

A Konvertában folyó félvezető egyenirányító gyártás a MEV 1982. évi megalakulásakor a gyártósor Gyöngyösre telepítésével szűnt meg.

A Konvertában a Félvezetőgyártás személyi állományát más munkakörbe helyezték, néhányan, így *Szalai Tibor* is a MEV-be kérte áthelyezését.

4.12. A félvezető eszközök minőségi felügyelete

Az Izzós hagyományoknak megfelelően a termelő üzemek saját Minőség Ellenőrző Osztálya – MEO-ja ellenőrizte és minősítette a gyártott eszközöket.

A Félvezető Fejlesztési Főosztály MEO szervezete csak a termelési volumen növekedése, azaz 1972. után alakult ki *Dr. Kalmár Gábor* vezetésével. A MEO felügyelte a termékek gyártásának teljes folyamatát a chipgyártástól a csomagolásig. A gyártási fázisok egyes felügyelendő pontjain a „MEO-s” mintavételezéssel, esetenként 100 %-os átnézéssel ellenőrzött. A késztermékek minőségének ellenőrzését a mérőberendezések kalibrációján túlmenően a késztermék mintavételes, minden paraméterre kiterjedő vizsgálata követte. A budapesti MEO a gyártmányok élettartam vizsgálatára égetőkerettel, kapcsolásokkal rendelkezett, a vizsgálatai alapján adatokat szolgáltatott a fejlesztésnek és a felhasználó cégeknek is. A MEO-k feletti vállalati felügyeletet a Minőség Ellenőrzési Főosztály – a MEF – látta el. A MEF az elektroncsőgyártáshoz tartozott a nagyvállalati szervezeti rend szerint.

A termelés bővítésével párhuzamosan a MEF félvezetőkkel foglalkozó csoportja lassan osztállyá duzzadt, később létszámban túlsúlyba került és az elektroncsőgyártás megszűnése után csak a félvezetőkkel foglalkozó szervezetként működött. A MEF berendezésállománya rendkívül szegényes volt és maradt is a teljes időszakban. A mérés-technikai feladatait az esetek többségében egyedi mérő összeállításokkal végezte.

A MEF mérnökei az automatizált mérések bevezetése után a gyártósorok korábbi egyedi és félautomata mérőberendezéseit átvették, felújították és szükség szerint kiegészítették.

A megbízhatósági vizsgálatok felügyeletére a MEF szervezet jelentős égetési helyszámú berendezést működtetett és nemzetközi mércével mérve is hitelt érdemlő eredményeket tudhatott magáénak.

A MEF szervezet főosztályvezetője *Csornai László* és szerény, de nagytudású csapata minőségi garanciát nyújtott a félvezető eszközök felhasználóinak. A gyöngyösi

félvezetőgyári MEF dr. Mátrai Géza vezetésével ugyancsak kivívta a funkciónak járó megbecsülést. A későbbi szervezésnek, na meg a Fairchild beruháznál a részére jutott korszerű berendezésparknak köszönhetően kedvezőbb helyzetben volt, mint a budapesti testvérszervezet.

A termékek nemzetközi gyakorlatnak megfelelő minőségellenőrzésének és minőség felügyeletnek köszönhetően a félvezető termékek reklamáció aránya elhanyagolhatóan kicsiny értéket tett ki.

A berendezésgyártók által észlelt problémák vizsgálata egy párhuzamosan működő szervezet az Alkalmazástechnikai Laboratórium feladata volt.

4.13. Az Alkalmazástechnikai Laboratórium félvezető-technikai működése

Az Izzó elektroncsőgyártásával kapcsolatos tanácsadó szolgálatra létesült az ún. Alkalmazástechnikai Laboratórium. A hatvanas évek elejétől a labor vezetője *Huvé István* fokozatosan felvállalta a félvezető eszközök alkalmazástechnikájával kapcsolatos feladatokat. Az Alkalmazástechnikai Labor a nagyobb felhasználókat rendszeresen tájékoztatta a fejlesztési tervekről, előzetes információt nyújtott a gyártásba vett típusokról, azok alkalmazási lehetőségéről. A típusok bevezetésénél felmerülő konstrukciós kérdések megválaszolásánál igénybe vette a Félvezető Fejlesztés, a MEO és MEF szervezetek szakértőit is.

Az Alkalmazástechnikai Labor a Budapest VII. ker. Rózsa F. u. 25. sz. alatt, a budapesti és a vidéki felhasználók által is jól elérhető helyen, hatékony propagandát fejtett ki a félvezető eszközök piacának megteremtésére, bővítésére.

Az Alkalmazástechnikai Labor vezetését 1973-ban *Schronk László* vette át miután *Huvé Istvánt* a vállalat főkonstruktőrévé nevezték ki.

Az Alkalmazástechnikai Labor a MEV megalakulásakor a budapesti fejlesztés részeként beintegrálódott a MEV-be.

4.14. A félvezetők értékesítése, a hazai és nemzetközi kapcsolatok

A Tungstam a nagyvállalatok államosítása után is önálló belföldi értékesítési és export-import joggal rendelkezett. A félvezető gyártmányok értékesítési feladatát így magától értetődően az Elektroncső Értékesítési Főosztály kapta meg. A hazai ipar által felhasznált félvezető alkatrészek 1968-ig kizárólagosan az Izzó fejlesztéséből-gyártásából származtak, importból csak minta darabszámban érkeztek eszközök.

Az 1968. után engedélyezett tőkés importtal egyidőben, megjelent a hazai piacon a KGST együttműködés keretében csereárúként beérkező félvezető termék is. Kezdetben a félvezető alkatrész export értékének jóval kevesebb, mint egyharmada volt az ellenértékként importált félvezető, majd a szocialista országok gyártóbázisainak kiépítése után az arány elérte az 50 %-os szintet. A félvezetők ellenében TV képcső, alapanyagfeleségek és más alkatrészek is érkeztek. A dinamikusan bővülő export szállítások az

évek során tartalmukat tekintve követték az Izzó gyártási választékát. Kezdetben a germánium túsdiodák, és tranzistorok, később a szilícium diszkért félvezető és integrált áramkörök domináltak a szállításban.

A Tungstam termékek a szocialista országokban az addig általuk vásárolt igényes nyugati gyártmányokat helyettesítették, így ún. kemény áruként estek latba az évenkénti tervhivatalok közötti egyezkedések során.

A szocialista országokba irányuló export az Izzónak számottevő nyereséget hozott, mivel az ellentétel csak kis részben volt félvezető termék, aminek hazai értékesítése az alacsonyabb árszint miatt a többletbevételnek kis részét emésztette fel.

A viszonylag mérsékelt áron beérkező szovjet importot nem az Izzónak kellett félvezető szállításokkal kiegyenlítenie, a belföldi értékesítés terhére az EMO ún. keverőkasszája terhére számolták el.

A SZU-ba alkatrészként az Izzó sohasem szállított félvezető terméket, készülékbe beépítve azonban értelemszerűen évente nagyobb mennyiségű T-jelű termék lépte át a magyar-szovjet határt. Az Elektroimpexből és más alkatrészbeszerzéssel foglalkozó importáló cégekből korábban leválasztott csoportokból létrehozott Elektromodul a 70-es évek elején már tekintélyes külkereskedelmi és belföldi forgalmazó céggé nőtte ki magát. Az EMO súlyát a Külkereskedelmi Minisztériumhoz és még magasabb politikai körökhöz személyes kapcsolattal rendelkező vezetők csak tovább növelték. Az EMO mal-mára hajtotta a vizet a 70-es évek elején megjelent törvény, mely szerint a szocialista piacon nyereséggel eladott gépipari termékek után ún. termelői adót kellett fizetni.

Az Izzó kereskedelmi vezetése a súlyos adóteher miatt megállapodott az EMO-val, hogy a szocialista országokba irányuló exportot bonyolítsa le.

Az EMO-val kötött megállapodás egyenes folytatásaként a hazai értékesítés is lassan a Visegrádi utcába (az EMO székházába) vándorolt át.

Szolgáljon tájékoztatásul a 4.6. táblázat a hazai igények alakulásáról és a kielégítés forrásairól.

4.6. táblázat.

A hazai félvezető alkatrész-felhasználás és annak forrásai (mFt-ban)

Év	Felhasználás	Ellátás		
		EIVIRT gyártásból	szocialista importból	tőkés importból
1958.	6	6		
1959.	11	11		
1960.	15	15		
1961.	23	23		
1962.	30	30		
1963.	41	41		
1964.	62	62		
1965.	73	73		
1966.	96	95	1	-
1967.	124	121	2	1
1968.	161	147	8	6
1969.	186	152	18	16
1970.	219	143	40	36
1971.	280	146	90	44
1972.	385	174	91	120
1973.	430	135	129	166
1974.	440	156	130	154
1975.	661	249	155	257
1976.	710	293	168	249
1977.	725	367	164	194
1978.	890	495	158	237
1979.	1190	550	322	318
1980.	1303	582	341	380
1981.	1826	593	316	917
1982.	1920	576	303	1041

A Ft-ban megadott értékek a Ft-\$ kurzus alábbi adatai alapján számíthatók át devizára és képezhető egy – a félvezetőipari tevékenységet tükröző – deviza mérleg.

4.7. táblázat.

A \$ középfolyama 1973–83. között

Év	\$ középfolyam Ft-ban
1973.	48,966
1974.	46,752
1975.	43,971
1976.	41,575
1977.	40,961
1978.	37,911
1979.	35,578
1980.	32,532
1981.	34,314
1982.	36,631
1983.	42,671
1984.	48,042
1985.	50,119
1986.	45,332
1987.	46,978

Az ún. tőkés értékesítés a germánium félvezetők esetében szolid nyereséget biztosított az Izzónak. A szilícium félvezetők közül azok a típusok, melyeknek chipje házon belül készült továbbra is nyereséggel voltak exportálhatók, azok, melyekhez a chipet importálni kellett általában csak a költségek visszatérülését biztosították.

A szocialista export árak a belföldi árhoz képest 2–3-szorosak voltak. Az Izzó termékeit vásárló szocialista partner országok hazai piacaikon érvényesíteni tudták a vételárat, így nem is fűződött érdekük az árak lenyomására. A forgalmazó kereskedelem %-osan részesedett az árbevételből, így közvetlenül érdekelve volt az export irreálisan magas árszintjének fenntartásában.

Az ellátási-értékesítési táblázat tanúsága szerint 1980-tól –a \$ árfolyam mélypontjának évétől – a tőkés import meghaladta az Izzó gyártásából történő ellátás mértékét. A tőkés import évenkénti devizakiadása egyúttal egy akkori korszerű félvezető gyár beruházásának devizaértékét is lényegesen felülmúlta. A hibás gazdaságpolitika végül is a hazai alkatrészgyártás elsorvasztásához vezetett.

A vállalatokat megnyomorító, a beruházásokat megadóztató gazdaságpolitika nem tette lehetővé a nemzetközi fejlődéssel való lépéstartást még olyan területeken sem, ahol a hazai adottságok miatt az elvárható lett volna.

A 4.8. táblázat bemutatja az egyes félvezető eszköztípusok életgörbéjét.

4.8. táblázat.

Félvezetők fejlesztési és gyártás-bevezetési időpontjai

Típuscsoport ill. típus	Prototípus jóváhagyásra	Kísérleti gyártás	Sorozat gyártás	Gyártás megszűnt
Germánium diszkrét félvezetők				
- Diódák				
OA 1150-1172	1957.	1957.	1958.	
OA 1180-1180	1960.	1960.	1961.	
AA 113-119	1964.	1966.	1967.	
AAZ 12	1968.	-	-	
AA 137-139	1972.	1972.	1972.	
- Egyenirányítók				
GDK 1-7	1960.	1960.	1961.	1967.
GEN 50-55	1961.	1961.	1962.	1969.
AY 101T-107T	1963.	1963.	1964.	1969.
- Kis- és közepes teljesítményű tranzisztorok				
P13-P15	1958.	1958.	1959.	1966.
OC 1070-1072	1959.	1959.	1960.	1975.
OC 1074-1079	1960.	1962.	1963.	1975.
OC 1044-1045	1960.	1962.	1963.	1975.
AC 125-AC 126 és AC 126(z)	1964.	1965.	1966.	
AC 128, AC 128(z)	1964.	1965.	1966.	
AC 176	1967.	1968.	1969.	
AC 187/AC 188	1968.	1968.	1969.	
AC 187K/AC 188K	1968.	1968.	1969.	
- Teljesítmény tranzisztorok				
OC 1016, AD 1203	1959.	1960.	1961.	1967.
ASZ 1015-1018	1962.	1962.	1963.	
ASZ 15-18	1965.	1967.	1968.	
AD 162	1967.	1968.	1969.	
AD 161	1968.	1969.	1970.	
- Drift tranzisztorok				
AF 136T-137T	1964.	1965.	1966.	1968.
AF 134-AF 137	1966.	1967.	1968.	1968.

AF 136T(z), AF 137T(z)	1967.	-	-	-
ASY 78T, AFY 14	1967.	-	-	-
AY 102	1967.	-	-	-
AU 106-108	1968.	-	-	-
- Mesa tranzisztorok				
AF 106	1966.	1967.	1968.	1979.
AF 200, 201	1967.	1967.	1968.	1979.
AF 202	1969.	-	-	-
AF 139	1970.	1974.	1975.	1979.
AFY 11	1969.	-	-	-
AF 239, AF 239S	1974.	1974.	1974.	
AF 279, AF 279S	1978.	1978.	1978.	
AF 280	1978.	1978.	1978.	
AF 379	1979.	1979.	1979.	
- Szilícium diszkrét félvezetők - Diódák				
1401-1402	1961.	1962.	1962.	1968.
BA 102	1967.	1968.	1969.	1973.
BAY 44-46	1968.	1968.	1969.	1973.
BB 103	1969.	-	-	-
BA 138	1969.	1969.	1970.	1974.
BAY 41-43	1969.	1971.	1971.	
BAY 93-95	1973.	1974.	1975.	1976.
IN 4148-4449	1973.	1974.	1975.	-
ZPDD 1...33	1975.	-	-	-
- Egyenirányítók				
SiEK 1-7	1961.	1962.	1963.	1971/
BY 131T-136T	1962.	-	-	-
BY 120T-126T	1963.	-	-	-
BYY 88T-92T	1968.	-	-	-
BYY 31-37	1971.	-	-	
BYY 59-62	1968.	-	-	
SiEK 31-37	1973.	-	-	
BY 133-135	1974.	1974.	1975.	
IN 4001-4007	1975.	1975.	1975.	
BA 157-159	1975.	1975.	1975.	
BA 243	1976.	1976.	1976.	

- Planár tranzistorok				
BGY 33-34, 46	1967.	1967.	1968.	
BC 107-109	1969.	1969.	1970.	
BC 147-149	1970.	1970.	1970.	1972.
BSY 17-63	1970.	-	-	
BSY 34, 58	1969.	-	-	
BF 184, 185	1970	-	-	
BCY 58-59	1973.	1974.	1975.	
BC 177-179	1973.	1974.	1974.	
BC 237-239	1973.	1974.	1975.	
BC 307-309	1973.	1974.	1975.	
BCY 78-79	1973.	1974.	1975.	
2N 2368	1976.	1977.	-	
2N 2369	1976.	1977.	-	
2N 2904-2905	1976.	1976.	1976.	
2N 2906-2907	1976.	1976.	1976.	
BC 300-302	1977.	1977.	1977.	
BC 303-304	1977.	977.	1977.	
BD 135-139	1977.	1977.	1979.	
BD 136-140	1977.	1977.	1979.	
BD 234-238	1977.	1978.	1979.	
PN 2904-2907	1977.	1978.	-	
BC 211	1978.	-	-	
BC 313	1978.	-	-	
BC 546-550	1978.	1978.	1979.	
BC 556-560	1978.	1978.	1979.	
BC 635-639	1978.	1979.	1979.	
BC 636-640	1978.	1978.	1979.	
BD 165-169	1978.	1978.	-	
BD 166-170	1978.	1978.	-	
BF 479	1978.	1978.	1979.	
BF 506	1978.	1978.	-	
BF 509	1978.	1978.	-	
BF 679	1978.	1978.	1979.	
BF 680	1978.	1978.	1979.	
- Integrált áramkörök (Tungram fejlesztésű chipből)				
FTH 031	1969.	1970.	-	

FTJ 061	1969.	1970.	-	
FTH 151	1970.	1970.	-	
TL 7400 (FLH 101)	1971.	1971.	1971.	
TL 7460 (FLY 101)	1971.	1971.	1971.	
TL 7472 (FLJ 111)	1971.	1971.	1972.	
TL 7410 (FLH 111)	1971.	1971.	1972.	
TL 7440	1973.	1974.	1974.	
TL 74H00	1973.	-	-	
TL 74H01	1974.	-	-	
TL 74H02	1974.	1975.	1975.	
TL 74H06	1974.	1975.	1975.	
TAA 550	1973.	1973.	1974.	
TA 72702	1973.	1973.	1974.	
7402	1974.	1974.	1977.	
7406	1974.	1974.	1977.	
74H01	1974.	-	-	
7476	1975.	1976.	1978.	
74123	1975.	1976.	1977.	
TBA 120S	1975.	1977.	1977.	
SAS 560S	1976.	1977.	1977.	
SAS 570S	1976.	1977.	1977.	
TAA 691	1976.	1978.	1979.	
TBA 810AS	1978.	1978.	1978.	

Mottó: *A tudomány is csak a lelkesedés,
az intuíció szárnyán emelkedhet magasba.*

Bay Zoltán [5.1.]

5. A HIKI–MEV story

*Dr. Herman Ákos
her9609@mail.iif.hu*

5.1. Előzmények

A magyar gazdaságtörténet számára vitathatatlanul jelentős és izgalmas feladat az 1945–1989. időszak leírása, elemzése. Magyarországon, akárcsak a többi közép- és kelet-európai országban, a második világháború mind politikai, mind gazdasági vonatkozásban jelentős változások forrása volt, a korábbi struktúrák alapvetően megsérültek. A háború befejezése és a jaltai egyezmények nyomán megváltoztak a nemzetközi erőviszonyok és ez számos országban rendkívüli politikai-társadalmi változások kiinduló pontjává vált. Míg a nyugat-európai országokban a belső polgári erők kerekedtek felül, addig Közép- és Kelet-Európában a Szovjetunió közvetlen támogatását élvező erők egyre inkább tért nyertek és a hatalom uraivá váltak.

Mindez új feltételeket teremtett a magyar gazdaság és társadalom fejlődése számára is, kiszakítva az országot hagyományos gazdasági és piaci kapcsolataiból. A háború következtében reménytelen pusztulás állapotában levő, teljesen dezorganizált gazdaság számára ez annál is súlyosabb helyzetet teremtett, mivel az ezt megelőző évszázad magyar gazdasági fejlődésében mindvégig jelentős szerepet játszott a külföldi tőke, illetve a két háború közti időszakban, a gazdaságban különlegesen nagy szerephez jutott a külkereskedelem, létkérdés volt az export és import megfelelő fejlődése [5.2.].

A magyar természettudományos és műszaki eredmények a világgazdaság és a tudomány nemzetek feletti közössége keretében jöttek létre. Ezt jól tükrözi a magyar Nobel-díjasok életpályája [5.3.]. Kiváló példa erre a magyar ipar talán legnagyobb sikertörténete, az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt., amelynek létrejöttében és későbbi fejlődésében is nagy szerepet játszottak nemzetközi kapcsolatai. A vállalat vezetése, saját tapasztalatai alapján, korán felismerte a tudomány jelentőségét a technikai gyakorlat fejlesztésében, hiszen a cég gazdasági sikereiben döntő szerepet játszott, pl. az is, hogy *Juszt Sándor* és *Hanaman Ferenc* ott dolgozták ki a volfrámszálás izzólámpát, amely Újpestről indult a világ meghódítására. Éppen a kutatás szerepének felismerése miatt, a gyár zseniális szervezőerejű vezetője, *Aschner Lipót* 1922-ben megalapította az EIVRT kutató laboratóriumát, amely az első és mintegy negyed évszázadon keresztül az egyetlen hazai ipari kutatóintézet volt [5.4.].

A magyar műszaki fizikai kutatás centrumát, annak megszervezője és első vezetője, *Pfeifer Ignác*, világszerte elismertté tette. Az ő korszaka az ipar egy igen jelentős területén, az ipari kutatásban megteremtette szinte napjainkig hatóan a tudományos légkör alapfeltételeit. A laboratórium állandó dolgozóin kívül megfordultak ott *Gábor Dénes*, *Orován Egon*, *Polányi Mihály*, *Szilárd Leó*, *Wigner Jenő*, a tudományos világ számos későbbi kiválósága, akik örömmel beszélgettek *Pfeifer Ignáccal*, *Bródy Imrével*, *Selényi Pállal*. Selényi mellett dolgozott egyetemi szüneteiben sok későbbi kiváló fizikus, így pl. *Teller Ede* [5.5.].

Az EIVRT világraszóló sikerei időszakában, a '30-as években, a nagy tudású és széles látókörű vezetők, kutatók a gyárban általában fontosnak tartották, hogy a fiatalok jelentős külföldi műhelyekben szerezzenek tapasztalatokat, ismételten küldött a gyár kiemelkedő képességű, a vállalat életében később nagy szerepet kapott szakembereket hosszabb tanulmányútra az Egyesült Államokba, a céggel már akkor is szoros kapcsolatot tartó General Electric -hez. (Pl. Millner Tivadar, majd 1936-ban többek közt Herman László, aki később a TUNGSRAM első külföldi termelő vállalatának, a varsói gyárnak az igazgatója volt, és Telegdy Árpád, aki az EIVRT műszaki igazgatójaként életét áldozva, megakadályozta a németek gép leszerelési terveit, nevét, 1944-es hősi helytállásáért, utca viseli a gyárban, illetve a rákövetkező évben többek közt Szigeti Györgyöt és Túry Pált.)

1936-tól az EIVRT kutató intézetét *Bay Zoltán*, a szegedi egyetem professzora vette át és vezette. Személyében a széles tudományos érdeklődés és alkotókészség kiváló szervezői és vezetői adottságokkal párosult. Az Izzó kutatója mellett vezette az Aschner által az ő számára létrehozott új egyetemi tanszéket, az Atomfizika Tanszéket is a Műegyetemen, ahol kiemelkedő képességű fizikusok gyűltek össze, mint pl. az akkor már nemzetközi hírű Gombás Pál.

A kutatóintézet fő irányait megszabta a vállalat profilja (világítástechnikai eszközök, rádiócsövek):

- fényforrás (vákuumtechnikai) kutatások, *Bródy Imre* és a kripton lámpa, *Szigeti György* fénycső,
- nagytisztaságú anyagok témaköre, *Millner Tivadar* és a volfrámkutatás, *Selényi Pál* korai xerox kísérletei,
- elektroncsövek, *Winter Ernő*, elektronikai alkalmazások: rádió és tv készülék-fejlesztés; *Dallos György*, *Terebessy Pál* mérés technika,
- gépgyártás-technológia.

A második világháborút megelőző időszakban az EIVRT-nak az 1936-tól *Bay Zoltán* vezette kutató laboratóriuma az egyenirányítók, fénylemelek, fluoreszcens és elektrolumineszcens anyagok, a volfrámkutatás terén, azaz a szilárd testek kutatása terén nemzetközileg figyelmet keltő eredményeket elérő, mind tudományosan, mind gyártásba vitt új megoldások révén gazdaságilag is, elismerten sikeres volt.

Bay Zoltán a háborús években és azután az EIVRT vezérigazgatója is volt. Elévülhetetlen érdemei voltak mind a termelés, mind a kutatás háború utáni újraindításában. 1946-os Hold-radar kísérlete azt mutatta, hogy a háborús veszteségek ellenére jelentős szellemi potenciál maradt a gyárban, amiben nagy szerepe volt a *Bay-féle embermentő akciónak* is.

A II. világháború, Budapest ostroma, az ipari üzemek részleges leszerelése a termelőeszközök terén óriási károkat okozott. A háború utáni jóvátételi szállítási kötelezettségek hatalmas anyagi terhet jelentettek, de ugyanakkor számottevő műszaki fejlesztést igényeltek. A háborús jóvátételi elektronikus fejlesztő munkákban tűnt fel a későbbiekben iskolateremtő *Valkó Iván Péter*.

A negyvenes években nemcsak a világpolitikai folyamatok és az új katonai realitások hatottak ki meghatározó módon az emberek életére, hanem emellett a tudományos és az ipari fejlődés megkezdte a világgazdaság és az emberi életminőség korábban soha nem látott átalakítását. Az a vákuumtechnika, amelynek fejlődése elválaszthatatlan volt az izzólámpagyártástól, technikai alapot szolgáltatott az elektroncsőgyártásnak is. Az e területen elért óriási fejlődés alapozta meg a XX. század közepének gyors gazdasági és tudományos fejlődését. A háborús igények kielégítése, elsősorban a mikrohullámú technika terén, az addig egyeduralgoló rádiócsövek továbbfejlesztése egyre növekvő nehézségekbe ütközött.

1947. decemberében a Bell Telephon Laboratories két már addig is sikeres kutatója, Bardeen és Brattain később Nobel-díjjal elismert kísérletei egy új, mára az egész világot átformáló technika, a mikroelektronika alapjait teremtették meg, az első tranzisztor, a tüsszisztor felfedezésével. Nem volt azonban véletlen, hogy a tranzisztorok felfedezése a világ egyik legnagyobb rádiócső-laboratóriumában történt. A vákuumtechnikai ipar és kutatás hozzájárult ahhoz, hogy a használt anyagok és a gyártott termékek minőségét döntően befolyásolják milliomodrésnyi szennyeződések is [5.5.]. Jó példa erre a *Müllner Tivadar* és *Túry Pál* által az EIVRT-ben a harmincas évek közepén kidolgozott un. nagykristályos volfrám.

Magyarországon a 40-es évek második felében az addigi tőke és kereskedelmi kapcsolatok hirtelen megszakadása mellett további súlyos gazdasági következményekkel fenyegetett a tudományos és műszaki fejlesztési kapcsolatok gyors ütemű ellehetetlenülése, a külföldi tapasztalatok átvételi lehetőségeinek elmaradása is. A magyar gazdaságvezetés, az 1948-as államosítások után, új gazdasági intézményrendszer kialakításába fogott, azon gondolat alapján, hogy a gazdaság működésének automatizmusait, az árú-, a pénz- és a piaci viszonyokat a tudatos gazdasági irányítás lényegében helyettesítheti. A gazdaság bonyolultságát e módon alábecsülő koncepció alapján átvették a Szovjetunióban kialakult tervgazdasági rendszert. Ezzel egyidejűleg sor került a tevékenységi formák szétválasztására, azaz az iparvállalatokról leválasztották egyrészt az úgynevezett „profilidegen” tevékenységeket, egyes termékek gyártását, másrészt a szolgáltató, kereskedelmi, értékesítési egységeket [5.6.].

Három különféle hatás:

- a nemzetközi tudományos kapcsolatok megszakadása, emiatt a külföldi termékdokumentációk és termelési eljárások átvételének elmaradása,
- a termelő gyárról a gyári fejlesztő részlegek leválasztása miatt kialakuló szétosztórt és elaprózott K+F kapacitások,
- a szovjet példa.

is egy és ugyanazon irányba mutatott, ezért megkezdődött két kutatóintézeti hálózat, az akadémiai és az ipari kutató intézeti hálózat kialakítása. A folyamat mintegy öt évet ölelt föl.

5.2. A HIKI megalapítása

Az EIVRT híres kutató bázisán, szerencsére a hagyományain is, három intézet is osztozott, az 1949-ben létesített Távközlési Kutató Intézet, TKI, az 1953-ban alapított Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, HIKI és az 1958-ban kialakított MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete, MFKI.

1953. január 16-án határozta el az akkori Kormány, hogy hozzájárul **a híradástechnikai ipar alapanyagaival, alkatrészeivel, gyártmányaival kapcsolatos kutatás, vákuumtechnikai kutatások és másutt folyó, de a híradástechnikai iparágat érintő kutatások összefogására** egy önálló kutató intézetet szervezéséhez.

A korszakra jellemző módon megjelöli a határozat, hogy:

„Az intézet:

- 1./ az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Vállalat budapesti Váci út 77. telepén; izzólámpákkal, fénycsövekkel, rádiócsövekkel és ezzel kapcsolatos anyagokkal, félvezetőkkel foglalkozó laboratórium, mint az intézet I. sz. osztálya.
- 2./ a Magyar Adócsőgyár budapesti XIII. Váci út 169.sz. telepén; adócsövekkel és egyéb elektronikus csövekkel foglalkozó laboratórium, mint az intézet II. sz. osztálya.

SZÁMOK: **08666/1952.**

ELADÓK: **dr. Mikó**
és társasága:

SZÁMOK:

ELADÓK:



KOHÓ- ÉS GÉPIPARI MINISZTERIUM

BUDAPEST, V. SZABADSÁG-TÉR 5-6

TELEFON: 123-690, 124-240, 311-300

Híradástechnikai Igazgatóság

HIVATALBÓL
DÍJÁLTÁNYOZVA B u d a p e s t.

TÁRGY: Híradástechnikai
Ipari Kutató Intézet
szervezése.

A Minisztertanács f. évi január 16-án kelt 0470/16/1953. számú határozatával
hozzájárult a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet szervezéséhez.

Az intézet feladata: A híradástechnikai ipar alapanyagaival, elkatrészeivel
gyártmányával kapcsolatos kutatás, vácuumtechnikai kutatások és másutt
helyő, de a híradástechnikai iparágat érintő kutatások összehogása.

Az intézet:

- 1./ az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Vállalat budapesti Váci-ut 77.
telepén; izzólámpákkal, fényosztókkal, rádióosztókkal és ezzel kapoco-
latos anyagokkal, felvezetőkkal foglalkozó laboratórium, mint az inté-
zet I.sz.osztálya,
- 2./ A Magyar Adócsőgyár budapesti XIII., Váci-ut 169. sz. telepén; adócsővek-
kel, röntgenosztókkal és egyéb elektronikus osztókkal foglalkozó labo-
ratórium, mint az intézet II.sz.osztálya,
- 3./ a Remix Rádiótechnikai Vállalat budapesti X., Szt. László-tér 30. telepén;
ellenállásokkal, kondenzátorokkal és egyéb rádióalkatrészekkel foglalko-
zó laboratórium, mint az intézet III.sz.osztálya,
- 4./ az Orion Rádió és Villamossági Vállalat budapesti X., Jászberényi-ut 29.
sz. telepén; rádió és televíziós vevőberendezések kutatásával foglalko-
zó laboratórium, mint az intézet IV.sz.osztálya,
- 5./ a Beloianniss Híradástechnikai Gyár budapesti XI., Fehérvári-ut 70. sz.
telepén; telefoniával, átviteltechnikával a adóberendezésekkel foglalko-
zó laboratórium, mint az intézet V.sz.osztálya,
- 6./ a Budapesti Műszaki Egyetem területén működő Optikai és Finommechanikai
Küzponti Kutató Laboratóriumból leválasztott vácuumtechnikai részleg,
mint az intézet VI.sz.osztálya,

vállalati meglévő és szervezésre kerülő részlegektől elkülönít meg.

7./ A Híradástechnikai Kutató Intézet mellé kis létszámú műszaki és tudomá-
nyos tanácsadó testületet kell szervezni. Ebben a testületben kell helyet
biztosítani az 5 érintett üzem igazgatójának, vagy főmérnökének.

Az intézet működését 1953. évi január 1.-i hatállyal kezdheti meg, kiegészítve
az Általános Gépipari Minisztérium költségvetéséből kell biztosítani.

Az intézet induláskori létszáma 103 fő.

Egyidejűleg az Optikai Kutatóintézetnél 25, a híradástechnikai iparban 80
fő létszám megtakarítását kell elérni.

Az intézet 1953. évi beruházási szükséglete kb. 1.578.000.- Ft.

Budapest, 1953. január 26.-án.

L. J. J. J.

Kar. i Gyula sk.

az intézet felállítására.

827007 Páris

- 3./ a Remix Rádiótechnikai Vállalat budapesti X. Szt. László tér 3c. telepén; ellenállásokkal, kondenzátorokkal és egyéb rádióalkatrészekkel foglalkozó laboratórium, mint az intézet III. sz. osztálya.
 - 4./ az Orion Rádió és Villamossági Vállalat budapesti X. Jászberényi út 29. sz. telepén; rádió és televíziós vevőberendezések kutatásával foglalkozó laboratórium, mint az intézet IV. sz. osztálya.
 - 5./ a Beloiannis Híradástechnikai Gyár budapesti XI. Fehérvári út 70. sz. telepén; telefoniával, átviteltechnikával és adóberendezésekkel foglalkozó laboratórium, mint az intézet V. sz. osztálya.
 - 6./ a Budapesti Műszaki Egyetem területén működő Optikai és Finommechanikai Központi Kutató Laboratóriumból leválasztott vákuumtechnikai részleg, mint az intézet VI. sz. osztálya.
- vállalati meglevő és szervezésre kerülő részlegekből alakulhat meg.
- 7./ A Híradástechnikai Kutató Intézet mellé kis létszámú műszaki és tudományos testületet kell szervezni. Ebben a testületben kell helyet biztosítani az 5 érintett üzem igazgatójának, vagy főmérnökének.”

Talán nem érdektelen további részletek idézése sem:

„Az intézet induláskori létszáma 183 fő. Egyidejűleg az Optikai Kutatóintézetnél 25, a híradástechnikai iparban 80 fő létszám megtakarítást kell elérni.”

Ugyancsak figyelemre méltó mondat:

„Az intézet működését 1953. évi január 1-i hatállyal kezdheti meg, kiadásait az Általános Gépipari Minisztérium költségvetésében kell biztosítani” továbbá: „Az intézet 1953. évi beruházási szükséglete kb. 1.578.000.- Ft.”

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet (1953–1981.) a magyar ipar egy adott és jól körülményezhető időszakában működött, feladata a diszkrét aktív és passzív elektronikai alkatrészek, majd később a különböző integrált áramkörök konstrukciós, technológiai és mérés-technikai kutatása-fejlesztése, vizsgálata és bizonyos mértékig ezek kísérleti gyártása volt. Az itt tevékenykedő kiváló szakemberek tudatos és önfeláldozó munkája, szakmai sikerei nagymértékben hozzájárultak a hazai elektronikai ipari kultúra megeremléstéséhez.

Az Intézet megszervezésével első igazgatóját, Kőműves Frigyes¹ bízták meg. A Kormánydöntés csak részlegesen valósult meg, mivel az Orion és a BHG nem adta át fejlesztő részlegét. A HIKI-ben az EIVRT-ből hozott szemlélet, a fejlesztő munka fontosságának és a gyártással való szoros kapcsolat szükségességének szemlélete játszott döntő szerepet [5.7.].

Az Intézet négy, laboratóriumnak nevezett, önálló és kezdetben helyileg is elkülönült részlegben kezdte meg munkáját:

1. labor félvezető anyagokkal és fényporok, magas olvadáspontú fémek kutatása,
2. labor adócsövek kutatása,
3. labor ellenállások és kondenzátorok kutatása
4. labor elektroncsövek és berendezések kutatása

¹ Kőműves Frigyes (1906–1990)

Fizikus, az EIVRT sikeres kutatója, a politikai üldözés elől Ausztriába, majd Argentínába távozott, ott gyárossá vált, majd a 40-es évek második felében hazatért. A HIKI alapító igazgatójaként nem volt „harcos” vezető, sikerült jó szakembergárdát összehoznia, együtt tartani és meglapozta az Intézet színvonalas munkáját. A fizikai tudományok kandidátusa címet kapta. Nyugdíjasként elméleti fizikai kutatást folytatott a grazi egyetemen.

A HIKI K+F munkája az első években szinte kizárólag az Egyesült Izzó, a Magyar Adócsőgyár és a Remix Rádiótechnikai Vállalat tevékenységéhez kapcsolódott. Az intézet létrehozásának kimondott célja volt, hogy távlati, előremutató kutatások folyjanak, melyek nagyobb kockázattal járnak. A vállalatok fejlesztési céljai, elképzelései erősen kötődtek napi termelési feladataikhoz, ezért az ilyen kutatási feladatokra az intézet maga tett javaslatot. Ezek finanszírozása központi keretből történt, költségei tehát nem terheltek a vállalatokat, de elnyerésükhöz a vállalatok elvi támogatására szükség volt. A K+F feladatok mintegy felét a fenti vállalatokkal, ezek fejlesztési vezetőivel folytatott hosszas egyeztetések során határozták meg, és a vállalatok finanszírozták. Ezek a feladatok a vállalatok fejlesztési terveihez igazodtak.

Az Intézet történetét, a mikroelektronika szempontjából, négy szakaszra bonthatjuk fel:

1. *kezdeti évek, 1953 – 1962.*

Az elődöktől örökölt, hagyományos, erősen a vákuumtechnikára alapozott, kutatások.

2. *új téma: az IC, 1963 – 1966.*

A diszkrét passzív és aktív alkatrészek kutató és fejlesztő munkáinak tapasztalatait felhasználva megindult az integrált áramkörök gyártás- és alkalmazástechnikai kutatásai.

3. *profilváltás, 1967 – 1974.*

Az Intézet új vezetése, *Komporday Aurél* igazgatása alatt, három jelentős változáson ment át:

a) visszakerült az EIVRT-hez az adó- és rádiócső fejlesztés,

b) technológiai és mérő berendezés fejlesztés,

c) a részlegek nagyobb szervezeti önállósága.

4. *az IC gyártás alapozása, 1975 – 1981.*

Egyrészt a saját kísérleti üzemek piaci kapcsolatainak kialakítása, másrészt intenzív lobbizás ún tömeggyártás létesítéséért. Az Intézetet 1977-től *Nemeskéri Iván* vezette.

5.3. Kezdeti évek

Az intézet megalakulásától kezdve egy új irányban, azaz a passzív és aktív áramköri elemek/alkatrészek technológiai terén is megkezdte a K+F munkákat. Ez egyrészt a professzionális és a közszükségleti híradástechnikai/elektronikai berendezésekhez igényelt ellenállások és kondenzátorok, valamint a félvezető diódák és tranzisztorok konstrukciójának és technológiájának fejlesztését, másrészt a vizsgálati és mérés-technikai módszerek és berendezések fejlesztését jelentette.

Szigeti György a lumineszcencia terén jelentős eredményeket ért el még a háború előtt, a kutatómunka jelentős részét ekkor ő irányította (Bay Zoltán 1948-as elmenekülése után vette át az EIVRT kutató intézetének vezetését, így természetes volt, hogy a leválasztott részlegnek is ő maradt a vezetője). *Szigeti György* révén átlpántálódtak a Pfeifer–Bay-féle tudományos iskola módszerei: a vezetés liberális hagyományai, tudományos szemináriumok, könyvtár, nyitottság a világ új dolgai iránt, saját eredmények bemutatása, cikkviták, de a külföldi tanulmányutak és kapcsolatok lehetőségei nagyon beszűkültek.

A tranzisztorok kutatása Magyarországon a HIKI-nek az EIVRT néhai kutatójáról, a mártírhalált halt *Bródy Imréről* elnevezett, 1.sz. laboratóriumában indult meg. A HIKI-ben, szinte az alakulással egy időben – miközben a hazai ipar és tudomány számos jeles

képviselője múltó divatnak minősítette – felismerték a tranzisztor, mint újfajta elektronikai alkatrész jelentőségét, *Szigeti György* kezdeményezésére és vezetése alatt megkezdődött a félvezető eszközök technológiáinak kutatása. Ebben *Szép Iván* meghatározó és iskolateremtő személyisége emelkedett ki, ugyanitt működött *Nagy Elemér* is.

A kezdeti kísérletek során sikerült germánium kristálytömböt előállítani és az abból lévő szeleteken tranzisztor-hatást észlelni; 1954-ben pedig elkészítették a reprodukálható tulajdonságokkal rendelkező tús tranzisztorok mintapéldányait, amelyeket 1954. május 8-án mutatták be az akkor megtartott Magyar Híradástechnikai Konferencián. Tús tranzisztorok és diódák kidolgozása során különösképpen tűk kialakítására és a tű felületének alkalmas ötvözetekkel való bevonására vonatkozólag a magyar kutatók több szabadalmat jelentettek be.

Ezután kezdődött meg a rétegdiodák és rétegranzisztorok kidolgozása. Először a közép-frekvenciájú kisteljesítményű rétegranzisztorokat és a közepes teljesítményű rétegdiodákat fejlesztették ki, ezután került sor a végerősítő tranzisztorok kidolgozására.

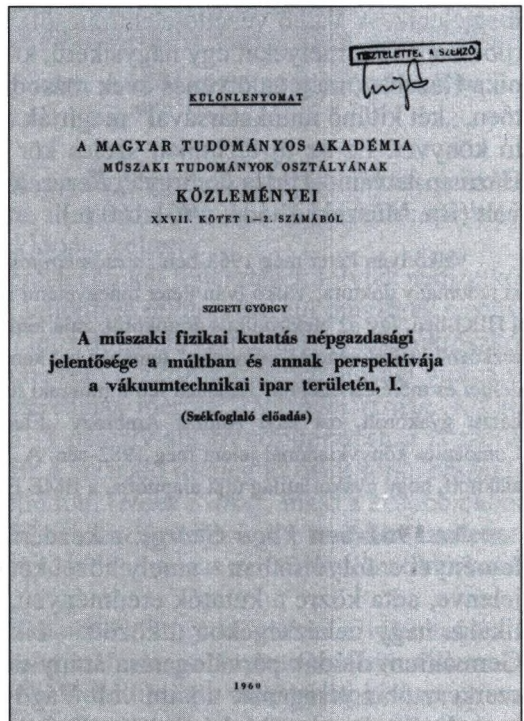
A hazai félvezető-kutatás megindulásában szerepet játszott az első germániumegykristályhúzó megépítése. A Czochralski-elven működő berendezést *Szép Iván*, *Rózsa Pálné*, *Friedrik Henrik* (akkor még EIVRT munkatársa) és *Patak János* építették meg 1955. táján.

1956 őszen a Szovjetunióban, a leningrádi „Szvetlana” gyárban mód nyílt germánium rétegranzisztorok gyártási tapasztalatainak megismerésére és átvételére, 1957-től a hazai adaptációra. Ennek segítségével megindult a gyártás az EIVRT-ben.

Az ötvözött germánium tranzisztorok előállításának sokrétű technológiai eredményeit illusztrálja, pl. *Szép Iván* és *Rózsa Pálné* 150939 lajstromszámú szabadalma: „Eljárás ötvözött p-n-átmenetek kezelésére” (bejelentés 1961.01.09).

Az 1958-ban megtartott Híradástechnikai Kiállításon több olyan készülék működött, amelyekben már számos magyar rétegranzisztor és rétegdioda talált alkalmazásra, pl. a kiállításra egy 25 watt hasznos teljesítményű kiváló hangvisszaadású sztereofonikus erősítőt készítettek. A sztereofonikus erősítő és sok más érdekes műszer, pl. a sorozatban gyártott hanggenerátor, egy tranzisztoros millivoltmérő, került kiállításra az 1959-es milánói nemzetközi vásáron. Ezek az új, addig külföldön sem ismert készülékek önálló kutatómunka eredményei voltak [5.5.].

Az egykristályos germániumban tapasztalt inhomogén, de periódusos adalekloszlás okainak felderítésében, a plasztikus deformációval bevitt diszlokációk elektromos viselkedésének leírásában értek el a kutatók eredményeket. Ebbe a körbe sorolható a saját idejé-



5.2. ábra. Szigeti György székfoglalójának borítója (1960)

ben nagy feltűnést keltő dolgozat, *Bodó Zalán* „*Félvezetők töltéshordozó- és potenciál-eloszlása*”, mellyel 1958-ban már az MTA MFKI kutatójaként elnyerte a fizikai tudományok doktora címet. *Bodó Zalán*, *Szép Iván*, *Szigeti György* 1959-ben „*A lumineszcens anyagok és a félvezetők kutatása terén*” elért eredményeikért megosztott Kossuth-díjat kaptak.

1960-ban Szép Iván és Valkó Iván Péter számára lehetőség nyílt, hogy részt vegyenek az USA-ban egy tranzistorokkal foglalkozó tudományos konferencián és arra, hogy látogatást tehesse a Bell Telephon Laboratories kutatóintézetben is. Ez a kutatóintézet nemcsak az, ahol J. Bardeen, W. Brattain és W. Shockley 1947-ben a tranzisztort felfedezték, majd később mások az integrált áramkörök technológiai alapját jelentő szilícium-oxid megmunkálást dolgozták ki, hanem hosszú időn keresztül szinte minden újdonság onnan indult ki.

A műszertechnikai fejlesztések mind az első szakaszban végig, mind a HIKI egész fennállása alatt intenzíven és nemzetközileg is sikeresen folytak. A háborús jóvátételi fejlesztések kapcsán alakult ki *Valkó Iván Péter* [1912–1987] tudományos iskolája. Ennek a munkának néhány eredménye már az 50-es években, könyvekben is megjelent:

- Valkó Iván Péter – „*Rezgések és hullámok*”, Bp.: Tankönyvkiadó, 1952.,
- Valkó Iván Péter, Kemény Ádám, Pálffy Attila – „*Mikrohullámú erősítőcsövek*”, Bp.: Műszaki Kiadó, 1955.,
- Valkó Iván Péter – „*Das Rauschen von Pentoden bei niedrigem Frequenzen*”, Bp.: Akadémiai Kiadó, 1959.

Ezek közt egy új profil, az elektronikus alkatrészek minősítő mérésének csírája is megjelenik. A Valkó vezette elektroncsőlabor „dacból” nekiállt és kifejlesztett 30 mérőberendezést, melyeket egy nagysikerű, külön kiállításon mutattak be a MTESZ Technika Házában, még az ötvenes évek második felében. Valkó emlékei szerint, ezt követően, „két kitűnő munkatársával” megírták az első magyar nyelvű, tranzistorokról szóló könyvet. Ez az új technikát széles kör számára ismertté tevő mű a Valkó Iván – Házman István – Hidas György: „*Bevezetés a tranzistorok alkalmazásába*” c. könyv volt (Bp.: Műszaki Kiadó, 1961. 160 p.).

Valkó Iván Péter még 1963-ben „*a csőmikrofónia vizsgálatának új módszere*” témában lett a műszaki tudomány doktora; Valkó Iván Péter műegyetemi munkatársai közül többen is párhuzamosan dolgoztak a HIKI-ben, így az elektronikus áramkörök zaja témakörben *Ambrózy András*, aki 1964-ben „*a félvezető eszközök kisméretű zajmérése*” témában lett kandidátus. [1977-ben „*járási elektronikus zajok modelljei és méréstechnikája*” témában lett a műszaki tudomány doktora. Ez a munkája külföldön is jelentős hatást gyakorolt, ezt jelzi *Andras Ambrozy* „*Electronic Noise*” című könyve, ami a McGraw-Hill Companies könyvkiadónál jelent meg 1982-ben. A 70-es években új tanszékre került, melyet annyira átalakított, hogy gyakorlatilag újjá alapította, a BME Elektronikai Technológiai Tanszékét.]

Az 1961-ben Vágó György, a kezdeményezésére alapított lapban, a **HIKI Közleményei** c. folyóiratban – amely közel két évtizeden keresztül, negyedévenként megjelenve, adta közre a kutatók eredményeit, olyan időszakban, amikor a külföldi publikálás nagy nehézségekbe ütközött – cikkben is beszámol egy ilyen eredményről: Germánium diódák párválogatása arány-detektorok számára [5.8.], [5.9.]. A lap első szerkesztőbizottságának titkára volt Vágó György, tagjai dr. Bodó Zalán, Ereky Vilmos, Kollár Sándor, Makó Zoltán, dr. Szigeti György. Az 1. szám az intézet elektronikus laboratóriumának munkáit tartalmazta, Kőműves Frigyes és Valkó Iván Péter bevezetője után három részben, tranzisztort mérés, elektroncső mérés, tranzisztort al-

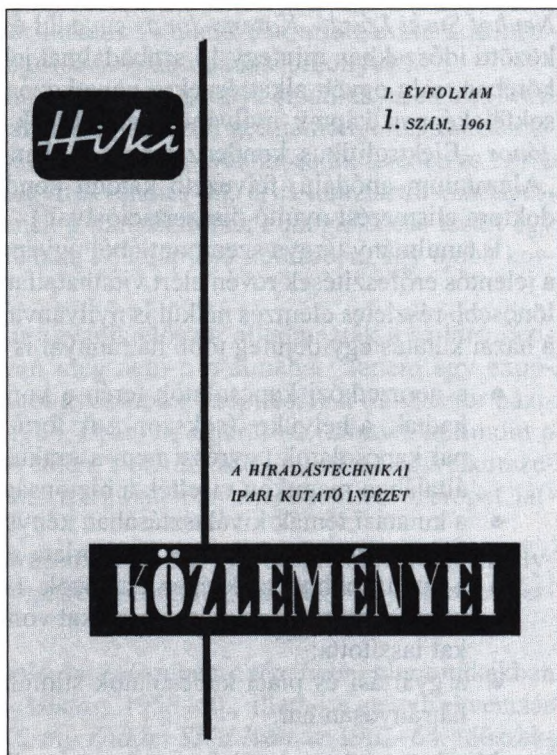
kalmazás, 11 cikk jelent meg. (Némileg elkalandozva az alaptémától meg kell jegyezni, hogy a lap talán legtöbbször Bitó János cikkeit közölte, aki ezekben ismertette azon tudományos eredményeit, melyek révén a fizikai tudományok kandidátusa, majd doktora lett. Az ő pályafutása is egybefonódott a HIKI történetének egy érdekes szakaszával, mert 1966-ban az ún. I. laborral együtt visszakerült az EIVRT-hez, a műszaki igazgató volt, kezdeményezte a robottechnika témakörének művelését, hiszen ez az EIVRT gépgyártásához szervesen illeszkedett. A robottechnika professzora.) A lapot a hetvenes években szinte minden jelentős külföldi referáló lap referálta.

Sokféle munka folyt a félvezető alapanyag mérése és megmunkálása terén, de kevés volt nemzetközi szinten is kiemelkedő, elismerten eredményes. A Hall-effektusmérés, amely HIKI–MFKI közös munka volt *Szebeni Péter és*

Lőrinczy András nevéhez fűződő eredmény – a ferdén elhelyezett kontaktusok révén az eszköz alacsony hőmérsékletek mérésére, illetve mechanikai elmozdulás érzékelésre vált alkalmassá – az USA-ban is érdeklődést keltett.

A korai időszaktól kezdve különféle mérés-technikai fejlesztések folytak nemzetközileg is új, vagy újszerű eredményekkel, pl. különféle felületvizsgáló műszerek és eljárások (*Pásztor Gyula, Tihanyi Jenő*), *Ernst Lajos* dolgozta ki a téremissziós mikroszkópot és mikroszkópiát Magyarországon. A félvezető eszközök megbízhatósági vizsgálatai (*Kemény Ádám*), tranzisztor és nagyfrekvenciás mérései (*Házman István, Kocsis Miklós, Kovács Ferenc*) sikeresen fejlődtek. A passzív alkatrészfejlesztéshez is szorosan kapcsolódott az alkatrészek vizsgálata. Ez a vizsgáló részleg az évek során országosan ismert és elismert vizsgáló állomássá fejlődött, (*Henk Károly*, majd a későbbiekben a Remix főkonstruktori székéből átlépő *Bráda Ferenc* vezetésével), melyhez az élettartam- és megbízhatóság vizsgálatok értékelésére külön, magas szintű matematikai, módszertani csoport tartozott (*Balogh Albert*).

E tanulmány tárgya szempontjából „közömbös”, hogy az Intézet kiváló kutatói a leírtakon kívül jelentős eredményeket értek el a volfrám-, a fénypor- és fénycsöktudásban, illetve a szénréteg, a bór-karbon, a Ni-Cr ellenállások, a viszonylag kiszajú potenciometerek, az első hazai elektrolit, illetve a gőzölt alumínium fegyverzetű (GAK) kondenzátorok fejlesztésében. (A passzív alkatrészek kutatói *Katona János, Kollár Sándor, Wollitzer György, Berghammer Antal, Gerő Szilvia, Kolonits Pálné, Mihályi Antal,*



5.3. ábra. A HIKI közleményei első száma

Neuhof Suski László. Katona János egyedül és munkatársaival közösen 1954. és 1964. közötti időszakban mintegy 15 szabadalmat jelentett be különféle kondenzátorok témakörében, míg egyéb alkatrészekre vonatkozóan további ötöt. A kutatások eredményei sokféleképpen kaptak nyilvánosságot. Elsők közt ért el tudományos rangot *Katona János* „Elektrolitikus kondenzátorok” c. kandidátusi értekezésével 1957-ben, illetve „Alumínium anódájú, félvezető katódú kondenzátorok” című, a műszaki tudomány doktora elismerést nyújtó disszertációjával.)

E tanulmány tárgya szempontjából ugyanakkor távolról sem közömbös, hogy ezek a jelentős erőfeszítések révén elért vitathatatlan sikerek mellett és ellenére mára már különösebb részletes elemzés nélkül is nyilvánvaló, hogy a mikroelektronika témakörében a hazai kutatás egyidejűleg több hátránnyal is küzdött:

- a nemzetközi kapcsolatok terén a korábbi hagyományos kapcsolatok megszakadtak, a helyükre (sokszor csak formálisan) lépő szovjet és egyéb kelet-európai kapcsolatok egyrészt nem a szakterület élvonalához csatlakoztak, másrészt általában magukon viselték a biztonsági okokra hivatkozó bizalmatlanságot;
- a kutatási témák kiválasztásában kényszerűen (a később kialakult terminológiával) az ún. után-fejlesztés gyakorlata alakult ki;
- a kutatásokhoz szükséges eszközök, technológiai berendezések pótlása, illetve után fejlesztése jelentős energiákat vont el, a speciális anyagok hiánya a munkát lassította;
- a gyártási és piaci kapcsolatok stimuláló hatásának hiánya ugyancsak nagyon hátrányosan hat.

Mindez együttesen odahatott, hogy a mikroelektronikai kutatások terén a kezdet kezdetétől meglevő hátrány, (az ugyancsak később kialakult terminológiával) „technological gap” már ebben a korai periódusban is lassan, de határozottan nőni kezdett. Míg a hazai fejlesztők erőfeszítései révén kifejlesztett germánium alkatrészek megfeleltek a világpiacon található eszközök akkori színvonalának, azonban a vezető kutatóhelyeken ekkor már intenzíven folyó szilícium eszközök fejlesztése nálunk még el sem kezdődött.

A korszak alapvető felfedezései – a szilícium oxidja révén lehetővé vált ún. planáris technológia és az integrált áramkörök, mint konstrukciós elv – ekkor alakulnak ki és gyorsan leértékelik a germánium eszközöket.

Az után-fejlesztés indoklásai közt klasszikus példa, hogy az USA hadserege által támasztott műszaki igények kielégítése érdekében az 50-es évek végén az elektronikus alkatrészgyártók olyan új megoldást kerestek, amellyel kis helyen, pl. egy tranzisztor tokban, több alkatrész együttes szerelése révén, valamilyen egyszerű elektronikus funkció valósítható meg. Ebben az időszakban alakították ki, elsősorban rakétavezérlés céljára, az úgynevezett „mikromodul” konstrukciót, amelynél kis kerámia lapkákra szerelt alkatrészeket helyeztek egymásra és foglalták őket egy szerelvényként egységbe. Ehhez hasonlóan foglalkoztak különféle germánium diódák, tranzisztorok, esetleg hasonló méretű miniatűr ellenállások és kondenzátorok együttes szerelése, integrálása révén (a 70-es évek terminológiájával ún. „multichip”) áramkörök készítésével. A Westinghouse konzern az 50-es évek végén 5 millió dollárt költött a germánium alapú integrált áramkörök kifejlesztésére. 1963-ban, azaz öt évvel a projekt indítása után már egy 5 dolláros egyetemi tankönyvből kiviláglott, hogy a planáris technológián alapuló, szilícium

integrált áramköri technológia ezzel párhuzamos kialakítása miatt mind a mikro-modul, mind pedig a Westinghouse megoldása zsákutcának bizonyult.

A HIKI Bródy Imre Laboratóriumának Félvezető Osztálya eredményesen birkózott meg az akkor komoly műszaki színvonalat jelentő ötvözött germánium rétegtranzisztorok előállítási technológiájának fejlesztésével az ötvenes évek második felében és egyik legnagyobb eredményének tekintette a nagyfrekvenciás ún. drift-tranzisztor mintapéldányainak elkészítését 1960 közepén. Ennek a tranzisztornak a megjelenése lezárta egy korszakot és ugyanakkor bizonyos tekintetben, két alapvető kérdésben, egy újabb korszak előhírnökének bizonyult:

- a félvezető gyártástechnológiában ugyanis először alkalmazták a szilárd fázisú diffúziós eljárást – akkor ugyan még nem p-n-átmenet, hanem egy exponenciálisan csökkenő adalékanyagot gyorsítótér beépítésére a tranzisztor bázisát képező germánium-egykristályba. Ezzel az eljárással juttattak antimont a germánium egykristályba. Ezt követően, a diffúziós eljárások az egyre korszerűbb félvezető eszközök előállítási technikájában meghatározó szerepet játszottak és játszanak ma is;
- ez volt az első olyan művelet a félvezető eszközök gyártástechnikájában, amelynél az egyes tranzisztorok alapanyagaként szolgáló „flitterek” helyett teljes germánium lapkát munkáltak meg.

A germánium drift tranzisztortechnológia egészében *Szép Iván*, részmunkákban *Rónainé Pfeifer Judit* (MFKI), *Szilágyi Miklós*, 1958–60., illetve a nagyfrekvenciás mesa tranzisztortechnológia kapcsán – *Kürthy Zoltán*, *Szép Iván* az 1961–64. időszakban már jelentős ismereteket halmoztak fel, ugyanakkor lehetővé tették e típusok kísérleti gyártásának beindítását az EIVRT üzemében. 1963-tól megkezdődött a szilícium alapú eszközök technológiai fejlesztése.

Házman István „Diffúziós működésű tranzisztorok jellemzése, nagyjelű erősítők méretezése” c. kandidátusi értekezését 1965-ben védte meg. *Szép Iván* „A diffúzió folyamatának vizsgálata drift tranzisztor bázisrétegének előállításánál” című értekezését ugyancsak 1965-ben védte meg, de a védésen kialakult vita rámutatott a fizikusok és a műszaki tudomány művelőinek szemléleti különbségére.

A technológiai fejlesztés eredményei, a felhalmozódó tudás, számos egyetemi jegyzetben tükröződtek:

- Szép Iván „Rétegtranzisztorok gyártásának fizikai kémiai problémái”, Bp.: Felsőoktatási Jegyzetellátó, 1956.
- Szép Iván és Rózsa (Pálné) Éva „Fizikai kémia a félvezető szakmérnök hallgatók részére” Bp.: BME MTI, 1963.
- Szép Iván „Félvezető anyagok technológiája” Bp.: Tankönyvkiadó, 1963.

5.4. Új téma: az integrált áramkör, 1963–1966.

A hatvanas évek elején már világosan látszott, hogy az aktív elektronikai alkatrészek miniatürizálásáért folytatott világméretű versenyt a félvezető alapú elektronikai alkatrészek nyerik meg. Ez a felismerés vezette az iparág vezetőit arra döntésre, ami a HIKI Félvezető Osztályának az MTA Központi Kémiai Kutató Intézet újonnan épült

rózsadombi telephelyén való ideiglenes elhelyezését és a HIKI V. (Félvezető) Laboratóriumaként önálló szervezeti egységgé átalakulását eredményezte 1962 nyarán.

Ekkor már javában folytak az ultranagyfrekvenciás germánium mesa-tranzisztor hazai előállítására vonatkozó fejlesztési munkák. Ez a tranzisztorkonstrukció újabb, nagyon jelentős mérföldkövet jelentett, mert csíráiban ekkor jelentek meg egyes ma is alkalmazott alapeljárások és alapelvek:

- az alakristály már nem a bázisréteget alkotta, hanem a kollektort,
- a bázisréteget és ezzel egyidejűleg a bázis-kollektor p-n-átmenetet diffúzióval hozták létre,
- az emitter-bázis p-n-átmenetet és a bázisréteg kontaktusát alumínium és arany vákuumpárológatásával alakították ki,
- és végül, de nem utolsó sorban, az egyes germánium-lapkákon több száz, félkészén, azaz darabolás nélkül válogatómérésnek alávethető félvezetőeszköz volt egyidejűleg elkészíthető.

Döntő, tömeggyártási szempontból alapvető, áttörésnek ez bizonyult. Az első néhány száz minta előállításával ezt a témát a HIKI kutató- és fejlesztőmérnökei sikeresen megoldották. Az ipari bevezetés és a tömeggyártás a felmerülő számtalan nehézség miatt csak jóval később indulhatott meg az Egyesült Izzóban, de a mesa-tranzisztor fejlesztésével nyert tapasztalatok eredményesen voltak felhasználhatók a hamarosan bekövetkező nagy váltás, a szilícium egykristály alapanyagra való áttérés után.

Tanulságos azonban felidézni, hogy ezeket a fejlesztési munkákat milyen körülmények közt, milyen eszközökkel kellett elvégezni. A HIKI Bródy Imre Laboratóriuma túlszűfolt volt, alig voltak meg az alapvető munkafeltételek, az eszközök csaknem teljesen házi gyártmányúak voltak, gyakorlatilag a Bródy Imre Laboratórium házi műhelyében készültek.

Ebben a helyzetben komoly változást hozott az, hogy a Félvezető Laboratórium szervezetiileg önálló lett, és elhelyezése egy akkor korszerűnek nevezhető, kémiai laboratóriumi épületben sokkal jobb feltételeket teremtett a munkához. A kutató-fejlesztő munka 1962-től 1965-ig ebben az épületben folyt tovább.

Ekkorra ugyanis már világosan látszott, hogy a germánium eszközök instabilitási problémái miatt előnyösebbek a planáris eljárással készített szilícium eszközök. A planáris szilíciumtranzisztor előállítás alapjait 1959-ben szabadalmaztatta a Fairchild és felhasználásuk rohamosan terjedt.

A germánium alapú mesa-tranzisztorok fejlesztése mellett 1963-ban megkezdtük a szilícium egykristály-alapú planáris tranzisztorok előállítási technológiájának hazai kidolgozását is.

Ezt a tendenciát felismerve, az EIVRT és a HIKI vezetőinek megállapodása alapján, 1963-ban megkezdődtek az első technológiai kísérletek. Ennek keretében meg kellett építeni az szilícium oxidálásához és a diffúziós adalékoláshoz szükséges magas hőmérsékletű csökemencéket, a fotolitográfiai műveleteket és a maszkkészítéshez szükséges eszközöket. Professzionális berendezés ebben az időszakban az egyetlen Balzers gyártmányú vákuumpárológató volt.

A számos nehézség ellenére 1964–65-ben sikerült működő mintapéldányokat előállítani és a további fejlesztési munkához és gyártásba vitelhez szükséges tapasztalatokat megszerezni. Komoly segítséget jelentett ebben az időben az NDK és csehszlovák kapcsolat, ahol kutatóintézeti és tömeggyártási szinten egyaránt előtűnk jártak.

A fejlesztés céljaként a Siemens BFY 33 illetve BFY 34 típusú nagyfrekvenciás planáris tranzistoraival egyenértékű eszköz előállításának hazai és EIVRT-beli tömeggyártásának megvalósítása lett kitűzve.

A munka során bőven támaszkodhattunk az akkor már tetemes és Magyarországon szerencsére hozzáférhető szakirodalomra, azonban az igazi „know-how” megteremtése a HIKI és az EIVRT szakembereire maradt.

Az alatechnológia keretében többek közt a HIKI munkatársai:

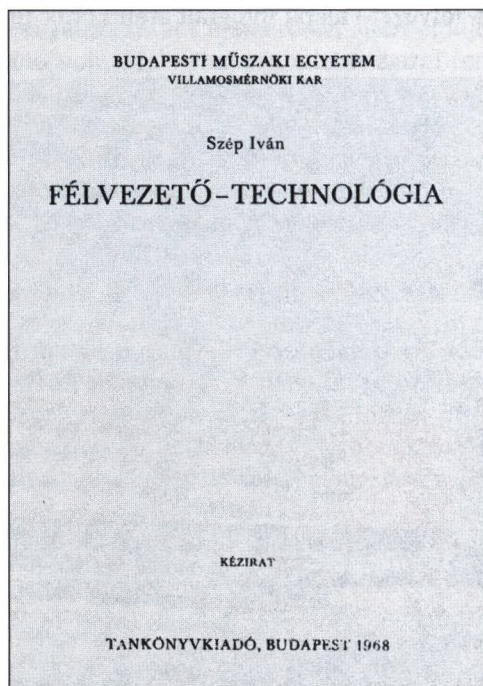
- új bór-diffúziós eljárást dolgoztak ki, mely legalább egy nagyságrenddel volt termelékenyebb a korábban az irodalom alapján kialakított és alkalmazottnál,
- elsajátítottak egy korábban nem ismert, új eljárást, az epitaxiát, mely során az egykristályból kialakított szilícium lapkára egy némileg eltérő adalékolású, de az alapanyag kristályszerkezetét folytató új, vékony szilícium réteget növesztettek.

A szilícium planáris tranzisztor alatechnológia a BFY 13/14 reprodukciója példáján (Szép Iván, Egri János és nagyszámú munkatársi gárdájuk) és párhuzamosan egy angol gépsor telepítése az EIVRT-ben (Giber János és Zanati Tibor) lehetővé tette, hogy Magyarországon meginduljon saját technológiai eredményekre támaszkodva a korszerű termékek gyártása. Ezt a munkát logikusan folytatta, az ún. RTL technológia reprodukciója, 1964–1966. (Szép Iván, Egri János).

Az új ismeretek továbbadását, a szakemberképzést szolgálta az, hogy a kísérleti munkákkal szinte egyidejűleg megjelent a Giber János – Szép Iván „Félvezető eszközök konstrukciója és technológiája” c. kötete. (Bp.: Tankönyvkiadó, 1965.)

Ezzel párhuzamosan, a passzív alkatrészek fejlesztése terén a szénréteg, a bór-karbon, a Ni-Cr ellenállások, a viszonylag kis-zajú potenciométerek fejlesztése megkövetelte olyan alatechnológiák elsajátítását, mint a vákuumpárolgatás, szitanyomtatás, fotolitográfia és ezzel együtt lehetővé tette a síkellenállások és ellenálláscsoportok, azaz mai szóhasználattal integrált vékonyréteg hálózatok, alkatrészcsoportok előállítását.

A 60-as évek közepén a HIKI-ben a passzív alkatrészek területén is megjelent a vákuumtechnika, a vákuumpárolgatás. Strausz Tamás és Wollitzer György kidolgozták a gőzölt alumínium fegyverzetű, alumínium-oxid dielektrikumú (ún. GAK) kondenzátor technológiáját, mely az intézetben került (kísérleti) gyártásba. Ez a kondenzátortípus már a vékonyréteg hibrid áramkörök irányába tett jelentős technológiai lépés volt. Az intézet fejlesztési részvételével indult meg a fémezett poliészterfóliás kondenzátorok kidolgozása, majd gyártása a Remix gyárban.



5.4. ábra. Szép Iván „Félvezető technológia” Bp.: Tankönyvkiadó, 1968. egyetemi jegyzet

Újpesten, a hajdani káposztásmegyeri Károlyi birtok uradalmi központja helyén (később a volt intézői lakás még évekig szolgált étteremként) 1964–66-ban befejeződött az e célra tervezett és az MFKI-val egy helyen létesült épületegyüttes, azaz a kutatótelephely első szakaszának építése (Budapest, IV. Fóti út 56). Először a MFKI 8 emeletes toronyépülete készült el, majd a HIKI „A” épülete, a kettőt összekötő előcsarnok és folyósó, illetve a konyha-étterem blokk, a modern (tömörraktáras) könyvtár és a műhely blokk („J” épület). Ekkor idetelepült a MFKI és még a HIKI egy része, a félvezető főosztály.

Az új épület lényegesen bővítette egyes laboratóriumok helyét, és javított az infrastruktúrán, a fejlődési lehetőségeken.

A HIKI kutatási politikájában mindig alapvető törekvés volt a termelés és a kutatás hatékony kapcsolatának keresése. Ennek érdekében törekedett alaptermotechnológiáinak és konstrukcióinak kísérleti üzemi gyártásban való kipróbálására. Ezen a téren az első eredmény az volt, hogy 1966-ban, a szűkös elhelyezési viszonyok ellenére, sikerült az Intézetben egy önálló szervezeti egységben egy kísérleti üzemet létesíteni, ahol a legmodernebbnek tekintett, vagy a kisebb sorozatban igényelt passzív elektronikai alkatrészeket gyártották.

A diszkrét passzív és aktív alkatrészek kutató és fejlesztő munkáinak tapasztalatai elvezettek az integrált áramkörök konstrukciójának, gyártástechnológiájának, mérés- és alkalmazástechnikájának kutatásához, a kutatási eredmények bázisán pedig a termékek: különféle IC-k kifejlesztéséhez.

1965-ben párhuzamosan kezdődtek meg a szigetelő alapú vékonyréteg (hibrid) és a félvezető alapú integrált áramkörök fejlesztési munkái [5.10.].



5.5. ábra. A HIKI fóti-úti telepe

5.5. Profilváltás, 1967–1976.

Az Intézet az új vezetés, *Komporday Aurél* igazgatása alatt, négy jelentős változáson ment át:

- a) 1966-ban a felügyelő KGM úgy döntött, hogy a fényforrás- és az adócsökutatást átcsoportosítja a HIKI-ből az EIVRT-be,
- b) leválasztották a HIKI dokumentációs részlegét és Újpest Gellért utcai nyomdáját, amelyek az akkor kialakított KGM Műszaki Tudományos Tájékoztatói Intézethez kerültek,
- c) nagy súlyt kapott a technológiai és mérő berendezés fejlesztés,
- d) a részlegek nagyobb szervezeti önállósága valósult meg.

Vitathatatlan, hogy az intézet mintegy egyharmadát kitevő részlegek el- (vagy inkább vissza-) csatolása hátrányosan hatott a kutatókra, a már kialakult szakmai kapcsolatok megszakadása, a külső erők meghatározó befolyása egyaránt elkedvetlenítő, lehangoló volt.

Az akkor előkészítés alatti ún. új gazdasági mechanizmus a döntési pontok decentralizálása kapcsán számos szervezeti és személyi változást eredményezett, ezek részeként megszűnt a Kohó és Gépipari Minisztérium (KGM) Híradástechnikai Ipari Igazgatósága, és annak igazgatóját, *Komporday Aurélt* 1965-ben kinevezték a HIKI vezérigazgatójává. (Kömüves Frigyes még néhány évig igazgatóhelyettesként tanácsaival rendelkezésre állt). *Komporday Aurél* szemlélete és vezetési stílusa igen erősen eltért elődjétől, *Kömüves Frigyesétől*. Határozottabb vezető volt, széles kapcsolatrendszerrel rendelkezett az iparban és az irányító szervezeteknél, szemlélete jobban igazodott a piaczgazdaság felé hajló gazdasági környezethez. Mindez nagy előnyt jelentett a kutatóintézet további fejlődéséhez. Vezetésváltás nélkül a HIKI nem lett volna képes életben maradni a piaci szemlélet felé tolódó új környezetben. Ugyanakkor kétségtelen, hogy a vezetés gyakorlatias gondolkodásával együtt járt, hogy némileg háttérbe szorult az intézetben belül a munkák tudományos jellege.

Mindez azonban, természetesen, nem jelentette a korábbi, mikroelektronikai irányok visszaszorulását.

Többé-kevésbé ezen időszakban az elektronikai termékek viszonylag rövid időn belül lényegesen bonyolultabbá váltak. A beépített alkatrészszám megnőtt és ezért ug-rásszerű lett az igény a kisebb méretű, de egyidejűleg megbízhatóbb alkatrészek iránt. Ez új anyagok, új technikák, új konstrukciók megjelenéséhez vezetett. A folyamat igen gyors, szinte robbanásszerű volt. Hatására a HIKI-ben is szinte sorozatban indultak új kutatási témák:

- a félvezetőknél megkezdődött az elemek integrálása,
- a bipoláris technika mellett megjelent a MOS technika,
- a kondenzátorok területén alkalmazni kezdték a poliészter és polikarbonát fó-liákat,
- a vákuumeljárások, a vákuumpárologtatás betört az alkatrésziparba,
- az alumínium mellett megjelent a tantál, mint elektrolit kondenzátor alapanyag,

és ugyanakkor ezekkel az új eljárásokkal, konstrukciókkal versenyeztek, jelentősen korszerűsödtek a régiek is.

Komporday Aurél az intézetben megindította a saját fejlesztésű termékek kísérleti gyártását, részben azért, hogy az itt kidolgozott új eljárások és termékek alkalmasságát még házon belül próba alá lehessen vetni, részben, mert így mód nyílt a sorozatgyártás beindulása előtt az új termékek értékesítésére. Ez, amellet, hogy növelte a HIKI gazdasági eredményét, erejét, mind több vállalattal hozta kapcsolatba az intézetet. A kísérleti gyártás a passzív alkatrészekkel indult el *Payer László* vezetése alatt, később *Kürthy Zoltán* feladata volt az aktív elemek kísérleti gyártásának beindítása. A kísérleti gyártási tevékenység ezután más területekre is kiterjedt.

A diszkrét elemek kutatása mellett mind nagyobb teret kapott az integrált technikák kutatása, majd ezek kísérleti gyártása. Ezek a kutatások azonban az alkatrészeknél szokásos technológiai és konstrukciós kutatási feladatok mellett teljesen új igényeket teremtettek:

- áramkör-tervezési,
- mérés technikai és
- bizonyos berendezés-építési feladatok megoldására.

Ezek megoldására új csapatok alakultak és színvonalas munkájukkal, eredményeikkel teljesen új területeken további közvetlen vállalati fejlesztési kapcsolatokat és elismerést hoztak a HIKI-nek.

Az akkori „új gazdasági mechanizmus” elveivel összhangban a HIKI folyamatosan átalakult. Változott az intézet szervezeti felépítése, irányítása, önelszámolóvá váltak a főosztályok. A (szimulált) piaci viszonyok hatékony hajtóerőt képviseltek.

A szervezet átalakítása több lépésben ment végbe, a hetvenes évek közepére a következő részlegek jöttek létre:

- félvezető főosztály, élén *Szép Ivánnal*, majd a MTA MFKI tudományos igazgató helyettesi posztjára távozása után *Egri Jánossal*, később *Ugray Lászlóval*, illetve *Strausz Tamással*;
- elektronikus főosztály, élén *Valkó Iván Péterrel*, illetve a BME egyetemi tanárává válása és *Fischer Ferencnek* az NSZK-ba való repatriálása nyomán *Hidas Györggyel*;
- vékonyréteg fejlesztési főosztály, *Strausz Tamás*, később *Ligeti Róbertné* vezetésével,
- kísérleti gyártási főosztály, mely magában foglalta a hibrid integrált áramkörök tervezését és a vastagréteg-technika fejlesztését is, *Wollitzer György* igazgatóhelyettes irányításával,
- műszer és mérés technikai főosztály, *Till István* főosztályvezető,
- megbízhatósági vizsgálati főosztály, *Bráda Ferenc* főosztályvezető,
- technológiai berendezés fejlesztő és kísérleti gyártó főosztály, *Nemeskéri Iván* igazgatóhelyettes,
- Híradástechnikai Szabványosítási Központ, kezdetben *Nádas Tibor*, majd *Varga Pál* vezetésével.

A HIKI az elektronikai ipar jövője érdekében kezdeményező szerepet is vállalt, 1967-ben több célprogram-előkészítő tanulmányt készítettek, így pl. Komporday Aurél és Kőműves Frigyes: „Integrált áramkörök”; Komporday Aurél és Nádas Tibor: „Az elektronikai ipar színesfém alapanyagai”.

Komporday Aurél felismerve azt, hogy az autark fejlesztés az intézet teljes profiljában nem lehet versenyképes a külföldi hasonló intézményekkel, és azt, hogy a nem-

zetközi helyzet megváltozott, fokozott hangsúlyt fektetett mind a hazai, mind a nemzetközi együttműködésre. A külföldi kapcsolatokban előtérbe került egyrészt, a KGST-n belül, a nemzetközi munkamegosztás előnyeinek keresése, másrészt a külföldi gép és know-how vásárlás. Ebbe a körbe tartozott a vastagréteg-technológia 1968-as indításához felhasznált külföldi, belga és amerikai know-how. Ugyancsak hasonló téma volt az, hogy a Magyar Híradástechnikai Egyesülés vállalataival közös vállalkozásban a HIKI munkatársai aktívan közreműködtek egy kétoldalon foliózott, lyukgalvanizált, nyomtatott huzalozású lapokra vonatkozó (nyugat)német know-how átvételében 1970–72. között. A váci Híradástechnikai Anyagok Gyárában (HAGY) a gyártáshonosítás számos ellentmondást hozott felszínre:

- a kulturális és tisztasági szokások különbsége csak nagyon tudatos munkával és nehezen hidalható át,
- a honosításhoz a témakörben jártas és magasán kvalifikált szakemberekre van szükség, akik számára vonzóvá kell tenni, hogy mások eredményeit szolgálják és ne saját kutatói sikerekre törekedjenek.

5.5.1. Rétegtechnológiák

A HIKI munkatársai 1965-ben megkezdték a vékonyréteg (hibrid) integrált áramkörök kutatását és fejlesztését. Ennek eredményeként a vákuumpárolgatott nikkkel-króm ellenállásháló bázisán, beültetett miniatűr tranzisztorokkal és kondenzátorokkal 32 féle analóg és digitális áramkör került kifejlesztésre 1969-ig. A hibrid áramkörök kísérleti gyártása, az OMFB hathatós segítségével, még 1968-ban indult el. Ezen a területen *Wollitzer György* iskolateremtő személyisége volt a meghatározó.

Ezek a hibrid áramkörök döntő fontosságú szerepet játszottak a hazai elektronikai iparban, egyrészt felgyorsították az IC technika megismerését, hozzájárultak a korszerűbb berendezések kifejlesztéséhez, másrészt szorosabbá és szervezettebbé tették a HIKI és az elektronikai ipar kapcsolatát.

Ugyancsak 1968-ban kezdődött meg a vastagréteg hibrid integrált áramköri technológiával az ismerkedés, majd felhasználva a kínálkozó alkalmat, külföldi know-how vásárlással gyorsították fel e technika honosítását, majd 1969-ben, részben külföldi, részben saját fejlesztésű berendezésekkel megindult a kísérleti gyártás is.

1969-ben a tantál alapú vékonyréteg áramkörök kutatása kezdődött a HIKI-ben, amelyre ráépült a későbbi szovjet licencvásárlás. 1973-ban már számítógéppel tervezett nagybonyolultságú, hibrid áramkörök kísérleti gyártása is folyt.

A vékonyréteg technológiában új fejlesztések, így a tantál hálózatok kidolgozása mellett, új eredmények születtek, mint pl. a kontaktmaszkos, az indirekt bimetal maszkos párolgatási eljárások, a közvetlen chip-beültetések, az un csepptranzisztor előállítás és beültetése, bár ezek lényegében reprodukciós fejlesztések voltak, a közvetlen szakmai kapcsolatok hiánya miatt, legtöbbször, az újra felfedezés lenne a helyesebb megnevezés, mindenesetre olyan erőfeszítéseket igényeltek.

Az 1971-es esztendő fontos évnek bizonyult, mivel ebben az évben a HIKI átadta a hibrid IC technológiai know-how ismereteit, egyes termékek konstrukcióit és a szükséges (kísérleti) gyártó- és mérőberendezéseket a REMIX Rádiótechnikai Vállalatnak, ahol ezzel megkezdődött a hibrid IC gyártás [5.10].

A hibrid technika és a hibrid integrált áramköri kultúra hazai fejlesztésében, annak indításában *Kolonits Pálné, Kun László, Sonkoly Aurél, Strausz Tamás, Szilágyi Ferenc, Töltési Júlia, Walton Gusztáv és Wollitzer György* szerepét lehet kiemelni. Néhányuk ezért a munkáért a Magyar Tudományos Akadémia részéről elismerésben részesült. Az ő tevékenységükre támaszkodott *Katona János* egyetemi jegyzete: „Vékony- és vastagréteg integrált áramkörök technológiái” (1972.). A munka előrehaladtával már igen sok munkatárs dolgozott ezen a területen.

5.5.2. RTL

(Ami ebben az esetben nem a műholdas német nyelvű adó, hanem az első szilícium alapú, bipoláris IC család: ellenállásokból és tranzistorokból felépülő logikai áramkör megnevezése.)

Az 1965–1968. közötti években sikerült a laboratóriumi és kísérleti gyártási technika alapjainak megismerése, az akkor még divatos család egyes áramköri konstrukcióinak kidolgozása, majd a típuscsalád átadása az EIVRT-be, kísérleti gyártásra.

Az RTL család reprodukciós kutatása során megszerzett ismeretek, kidolgozott új vagy újszerű² eljárások és megszerzett ismeret alapját képezte a bipoláris IC-k összes további (*TTL, különféle erősítők és interfész áramkörök, memóriák*) családja fejlesztése terén a későbbiekben folytatott összes tevékenységnek.

A bipoláris technológia bázisán 1966–1968. között sor került egy nagyteljesítményű kapcsolótranzisztor fejlesztésére is. A nagyáramú, legalább 10 amperes, nagyfeszültségű, legalább 250 voltos, kapcsoló tranzisztor konstrukciós és technológiai szempontból egyaránt igen komoly problémát vet fel, nevezetesen a nagyfelületű és nagy zárófeszültséggel rendelkező átmenetek kérdését. Sikerült egy önállóan kidolgozott konstrukció alapján az eredeti diffundáltatott kollektorú és ötvözött emitterű cél-típussal, a Siemens BUY 12 típusú tranzisztorával elektromosan egyenértékű, de felépítésében attól és a világpiacon kapható összes többi típustól is eltérő technológiával készülő tranzisztor konstrukciót kidolgozni és laboratóriumi mintapéldányait előállítani (*Herman Ákos és Kovács Ferenc*) [5.11.]. Ez mutatja egyrészt az invenciózus munkát, a résztvevőket is pozitívan minősíti, másrészt egyúttal jelzi a lemaradás egyre növekvő mértékét: a laborban előállított első minták a már tömeggyártásból kerültekkel versenyeznek.

1969–70-ben került sor a számítástechnikai felhasználás szempontjából legfontosabb az ún. TTL technológiájú integrált kapu áramkörök hazai kifejlesztésére, és az Egyesült Izzó gépsorán történő kísérleti gyártásba való bevezetésére, illetve a Fairchild cég μ A 702 típusával egyenértékű széles sávú műveleti erősítő konstrukciójának és technológiájának kidolgozására. (*Szép Iván, Egri János és nagyszámú munkatársi gárdájuk*).

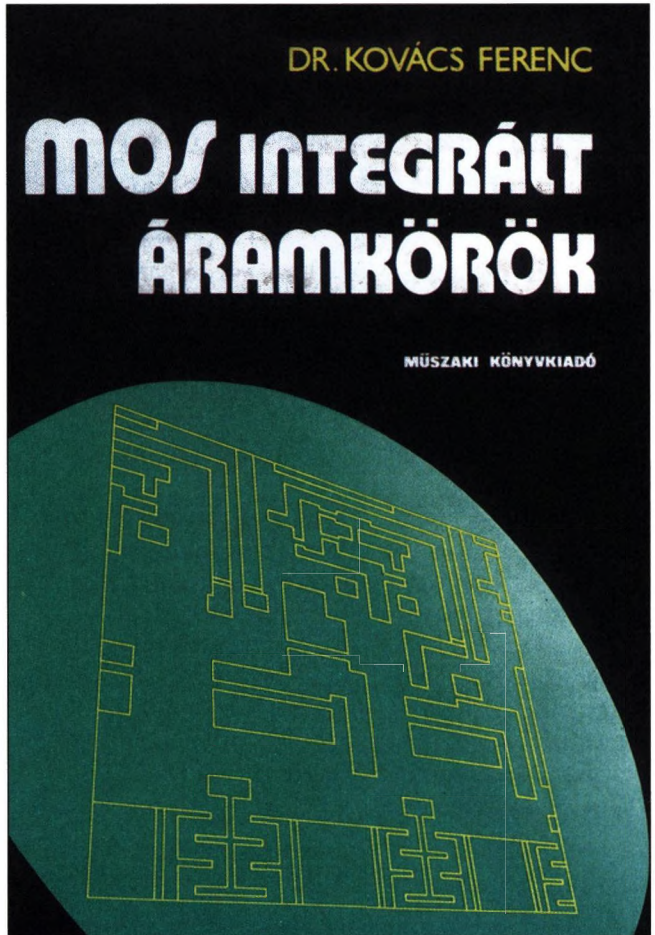
A bipoláris tranzisztor konstrukciós sajátosságai és korlátjai miatt a 60-as évek közepén előtérbe került egy konkurens eszköz, a MOS tranzisztor. A MOS tranzisztorok fejlesztése ezzel összhangban, három évvel az első MOS tranzisztor publikálása után, még 1966-ban megindult a HIKI-ben. A MOS integrált áramkörök területén

² Speciális terminológia, újszerű, azaz máshol feltehetően meglévő, már ismert megoldás, vagy ismeret, amit nekünk magunknak, attól függetlenül, részben esetleg párhuzamosan, kellett kidolgoznunk, vagy felfedeznünk.

1968-ban az alaptechnológiák, 1969-ben pedig az alaptípusok funkcionális mintái készültek el. Az Intézet egy akkori nagyreményű kezdeményezés, az EMG gyár HUNOR nevű, önálló konstrukciójú magyar elektronikus számítógépéhez kidolgozott 5 MOS IC típus kísérleti gyártását 1970-ben szervezték meg (Szép Iván, Tihanyi Jenő, Kürthy Zoltán).

A HIKI a MOS technológiai fejlesztésbe nemzetközi szinten is eredményes bekapcsolódását mutatta I. C. Szép, J. Tihanyi „Low-cost Fabrication of MOSIC's” c. előadása (Proc. Colloque. Intern. Microelectronic Advancee, ed. Chiron, Paris, 1970.); illetve Vágó György, Valkó Ágnes és Herman Ákos előadása az alumínium elektronsugaras párologtatásáról (az AVISEM '71 konferencián, Versailles-ben, előadásuk nagy feltűnést keltett). Hasonlóan önálló volt a vas-oxid maszk téma, ennek külön érdekessége, hogy független megoldások születtek az EIVRT-ben Pauer Magdolna, a HIKI-ben Hahn Emil vezetésével.

Részből ezekre a tapasztalatokra támaszkodott Nyerges Gyula: „Szilícium alapú monolitikus integrált áramkörök technológiája” (1970.), illetve Egri János és Nyerges Gyula: „Integrált áramkörök technológiája” (1972.) c. szakmérnöki jegyzete. A szilícium kémiai-mechanikai polírozását az amerikai feltalálókval kvázi egyidejűségben dr. Rózsa Pálné (Mührlad Éva) és munkatársai (Farkas Miklós, Fikár Endréné, Zoltai Gyula) dolgozták ki és szabadalmaztatták: „Eljárás félvezető anyag polírozására alkalmas SiO_2 alapú szuszpenzió előállítására” (magyar szabadalom, bej. 72.06.14, elf. 74.02.28). Dr. Vizkelety Balázs né a nagy tisztaságú kémiai munkák megszervezésével tette lehetővé a sikeres technológiai fejlesztő munkákat. A technológia mellett a tervezés is intenzív fejlesztést igényelt, ezeket tükrözték, pl. Pásztor Gyula jegyzetei: „Félvezető integrált áramkörök tervezése” (1970), „Félvezető eszközök karakterisztikái, modelljei és helyettesítő képei” (1971).



5.6. ábra. Kovács Ferenc: MOS IC könyve

Kovács Ferenc nagyszerű monográfiái már a széles szakmai közvélemény számára íródtak, ezek a szakkönyvek tették lehetővé a hazai villamosmérnökök széles köre számára egyrészt a MOS integrált áramköri alapok, illetve a félvezetők nagyfrekvenciás alkalmazásának lehetőségei megismerését:

- Kovács Ferenc: Félvezetők nagyfrekvenciás alkalmazása Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- Kovács Ferenc: MOS integrált áramkörök Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.

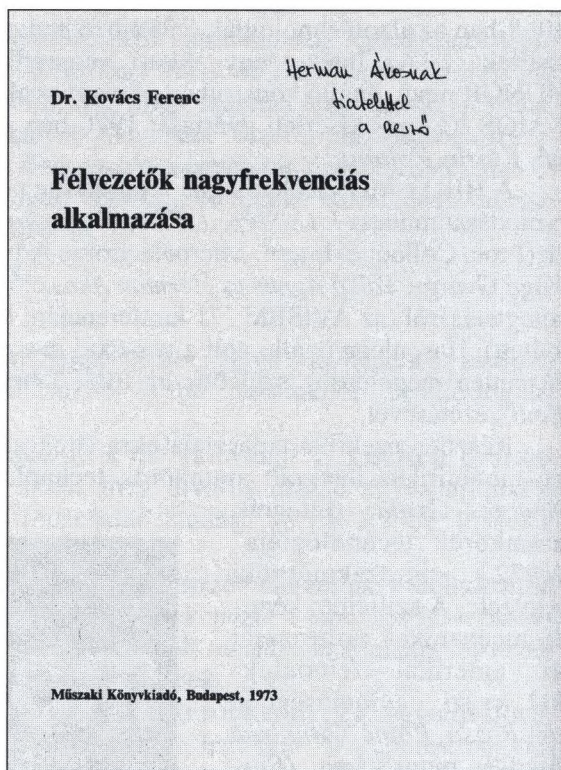
5.5.3. A technológiai gyártó és mérő-eszközök

A HIKI arra törekedett, hogy saját szükségletei kapcsán kidolgozott eszközök (vagy legalább egy részük) piacképes termék legyen. Ennek jó alapja volt, hogy egy szervezetben dolgoztak berendezés fejlesztők és alkalmazók, így a fejlesztési eredmények, illetve az új konstrukciók kipróbálása, a problémákról azonnali visszajelzés ment a berendezés fejlesztőkhöz.

A mérés technika a 60-as évek második felében hatalmas fejlődésen ment keresztül, amit nagyrészt éppen az IC technika létrejötte tett lehetővé. A két fő ilyen új irányzat: a) a digitális műszerek térhódítása, b) a számítástechnika behatolása, beleértve számítógéppel vezérelt mérő-automatákat.

A HIKI-ben kiváló szakembergárda működött a mérés technika területén, akik többek között kezdetben a diszkrét félvezető eszközök paramétereinek mérésére készítettek műszereket. A 70-es évek már a mérőautomata fejlesztés korszaka. A korábban sikeres mérés technikai fejlesztések folytatódtak nemzetközileg is új, vagy újszerű eredményekkel. Az első legfontosabb eredmények [5.10.]:

- nagyfrekvenciás MOS tranzisztorok zajtényezőjének nagyfrekvenciás mérése (Kovács Ferenc),
- egyéb egyedi alkatrész: ellenállás, kábelmérő, potenciométer mérő automaták (Albert Károly),
- integrált áramköri mérések, analóg IC (Kocsis Miklós),
- digitális IC, az „ICOMAT család” (Kovács Ferenc).



5.7. ábra. Kovács Ferenc: Félvezetők nagyfrekvenciás alkalmazása

5.5.3.1. Az ICOMAT család

Külön említésre méltó a digitális IC mérésre szolgáló első mérőautomata fejlesztése. Kovács Ferenc a 70-es évek elején, korábbi műszerfejlesztései sikerére támaszkodva, munkatársaival, köztük Poócza Attilával és Hauer Péterrel, egy a digitális integrált áramkörök mérésére szolgáló processzorvezérelt mérő automatát dolgoztak ki a HIKI saját fejlesztésű MOS SSI áramköreinek mérésére. 1971-ben elkészült az **ICOMAT 1**, MOS SSI IC mérő prototípusa. Ez a fejlesztés volt a későbbi ICOMAT család első darabja, kiinduló pontja. Ezt követte a már kiforrottnak tekinthető **ICOMAT 2** megépítése. A műszert mind a HIKI-ben, mind pedig az EIVRT-ben használatba vették, később mintapéldánya a Szovjetunióba került. 1972-ben az akkori időszakban jelentős összegben, 10 mFt értékben az NDK rendelt ICOMAT mérő-automatát az Erfurt-i félvezető gyár számára.

1970-ben a Magyar Tudományos Akadémia meghívására Magyarországra látogatott Alekszandrov akadémikus, aki akkor a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának elnöke volt. A HIKI-ben többek közt bemutatták neki az ICOMAT 1 nevű mérőautomata már működő deszkamodellét, ami rendkívül erősen felkeltette érdeklődését. Együttműködést ajánlott a HIKI és a moszkvai Kurcsatov Intézet közt: a HIKI adjon át egy ICOMAT 1 típusú mérő-automatát, cserébe egy ILU nevű gyorsítót kapna, amellyel lehetőség nyílik ionoknak a félvezető lapkába való beültetésére, az akkor világszerte indulóban levő ion implantációra. A HIKI vezetése nem tartotta a témát időszerűnek, így ezt a javaslatot elutasította, míg Pál Lénárd, a KFKI akkori főigazgatója, több TPA típusú számítógépet ajánlott fel az ILU-ért cserébe. (1974-ben a MTA és a SZUTA közti megállapodásban sor került a Kurcsatov Intézet részéről a KFKI számára egy implanter átadására.)

Ezzel és Gyulai József belépésével vette kezdetét a KFKI becsatlakozása a félvezető technológia hazai kutatásába, azaz a KFKI nagysikerű implanteres kutatásai.

1973-ban kezdeményeztük a szakterület KGST munkaszervében, a Rádióelektronikai Állandó Bizottság 8. sz. (alkatrész) szekciójában az IC méréstechnika, mint önálló témakör megindítását, felajánlottuk a magyar vezetést.

1974 májusában Vaszenkov úr, egy akkor még olyan teljesen titkosnak számító kutató-fejlesztő és gyártó komplexum főmérnöke, hogy a Moszkva melletti Zelenograd város nevét se tudhattuk meg, második budapesti látogatása során megtekinti az ICOMAT 2 típusú automatát, javaslatot kér LSI IC-k mérésére egy számítógép-vezérelt mérőautomata kidolgozására, vezérlő gépnek egy TPA típusú számítógépet ajánlott.

A látogatás eredményeként néhány hét múlva a szakterület szovjet miniszterének első helyettese levélben kért egy ICOMAT 2 típusú gépet bevizsgálásra, melynek átadására 1975 júliusában került sor. Az ICOMAT 2 hazai demonstrációi és mintapéldányainak sikere nyomán, Herman Ákos kezdeményezésére, Magyarország KGST szintű szakosodást ért el az IC méréstechnikára. Ugyancsak a bevizsgálás sikere nyomán került sor 1975 decemberében arra a budapesti látogatásra, (a programban a HIKI és javaslatunkra EIVRT budapesti fejlesztése és gyöngyösi gyára, Videoton, KFKI, TKI, MIKI, EMG) tárgyalásra, amely egy kormányközi megállapodáshoz vezetett el. Ezzel előkészítette a későbbi, nagy nyereséggel 1990-ig folytatott mintegy 10 milliárd forint volumenű mérőautomata exportot, kezdetben HIKI, MIKI majd a termékek sorozatgyártását átvevő EMG és a hozzájuk csatlakozó Híradástechnika Szövetkezet. Közülük kiemelten sikeres volt a TR 9576 típusjelű ICOMAT 110 automatikus mérőberendezés, amelyet digitális integrált áramkörök funkcionális vizsgálataihoz fejlesztettek ki.

N/5-846/78

Szám: 16

30-JRC/78

K.I. KOZPONT	
Erkezo:	1978 JUN 22
Érk. Szám:	Melléklet:
Előirányozott szám:	1-632/78.

SZOLGÁLATI HASZNÁLATRA!

E G Y E Z M É N Y

a Magyar Népköztársaság Kormánya és a Szovjet Szocialista Köztársaságok Szövetsége Kormánya között az integrált áramkörök és elektronikai elemek iparszerű előállítását biztosító speciális technológiai ellenőrző berendezések kifejlesztése irán folytatandó együttműködésről

A Magyar Népköztársaság Kormánya és a Szovjet Szocialista Köztársaságok Szövetségének Kormánya, a továbbiakban a Felek

a Magyar Népköztársaság és a Szovjet Szocialista Köztársaságok Szövetsége közötti 1967. szeptember 7-én megkötött Barátság- és kölcsönös Együttműködési Szerződés elveiből kiindulva, a KGST tagországok együttműködésének további elmélyítését és továbbfejlesztését, valamint a szocialista gazdasági integráció fejlesztését célzó komplex Program következetes végrehajtását szem előtt tartva,

figyelembe véve annak szükségességét, hogy az MNK és az SzSzKSz népgazdasági hatékonyságának további fokozása céljából az elektronikai ágazat fejlesztésének az átlagosnál intenzívebbnek kell lennie,

a gazdasági és műszaki-tudományos együttműködés kölcsönösen előnyös alapon történő további kiszélesítése és elmélyítése céljából

az alábbiakban állapodtak meg:

1. Cikkely

A Felek az 1978-85 évek során biztosítják az integrált áramkörök ellenőrzésére szolgáló alábbi technológiai berendezések kifejlesztését;

5.8.a. ábra. A magyar-szovjet műszeregyezmény 1. oldala (1978.06.02.)

10. Cikkely

A Felek biztosítják az ezen Egyezmény értelmében elvégzésre kerülő közös munkák eredményeinek bizalmas kezelését, beleértve az ipari eredményeket és kísérleteket, dokumentációt, rajzokat és terveket, valamint az egyik Fél által a másik Féltől kapott írásbeli és szóbeli információt.

A közös munkák eredményei és részeredményei csak a Felek kölcsönös meg egyezésével publikálhatók, vagy közölhetők harmadik országok személyeivel vagy szervezeteivel.

11. Cikkely

Az Egyezmény végrehajtására irányuló törekvéség koordinálása a Szovjetunió Elektronikai Ipari Minisztériuma és a Magyar Népköztársaság Kohó- és Gépipari Minisztériuma között meglévő, a Magyar-Szovjet Gazdasági és Műszaki-Tudományos Együttműködési Kormányközi Bizottság határozata alapján létrehozott együttműködési Állandó Munkacsoportra hárul.

12. Cikkely

Ez az Egyezmény aláírása napján lép hatályba, és 1986. január 1-ig lesz érvényben.

Az Egyezmény hatálya a Felek kölcsönös meg egyezésével meghosszabbítható.

Az Egyezményt a Felek kölcsönös meg egyezésével írásban módosíthatják.

Készült Budapesten, 1978. június 2-án, két-két eredeti példányban, mindkettő magyar és orosz nyelven, mindkét szöveg egyaránt hiteles.

Az SzSzkSz Kormánya nevében

Az MNK Kormánya nevében

.....
Szuvorov G.B.
elektronikai ipari
miniszterhelyettes

.....
Littvai István
kohó- és gépipari
miniszterhelyettes

5.5.3.2. Technológiai berendezések fejlesztése és gyártása

A különleges technológiai igények és az embargó együttes hatása miatt számos berendezés kifejlesztésére is sor került, ezek színvonala a nemzetközi megmérettést is kiállta. Többek közt amerikai szabadalmak elnyerése bizonyította a kutatások és a bázisukon kialakított berendezések eredetiségét és magas színvonalát.

E téren már a kezdeti időszakban is voltak érdemleges sikerek:

- félvezető IC technológiai berendezések:
 - termokompressziós hegesztő berendezés,
 - maszkléptető és maszkillesztő berendezés,
 - elektronsugaras párologtató forrás,
- vastagréteg IC gyártó sor.

Ezek közül is a különféle elektronsugaras berendezések váltak jelentős exportcikké. A korai időszakban az elektronsugaras hegesztés *Naderi Habib, Szűts Tibor, Vágó György* munkássága nyomán nyert teret, majd a vákuumpárologtatás, a GF 180-as forráscsalád kidolgozása, *Szűts Tibor, Vágó György* eredménye volt.

A 70-es évek közepén a félvezető technológiában olyan nagy felbontású ábrákat/maszkokat kezdtek alkalmazni, ami szükségessé tette a nagy tisztaságú munkaterek alkalmazását. A *Nemeskéri Iván* vezette Célgép Főosztály, rövidesen sorozatban gyártotta számos hazai cég és kutatóintézet számára az ún. tiszta munkahely berendezést.

A 70-es években a *Nemeskéri Iván*, majd *Pötörke Lajos* vezette Célgép Főosztályon számos berendezést fejlesztettek ki, és ezekből több került kísérleti gyártásba, a vastagréteg áramkörök gyártására alkalmas gépek tucatszám készültek, egyes példányai exportra is kerültek, ilyenek voltak például (az 1982-es (!) prospektusban szereplő):

- CG 25 B szitanyomtató berendezés, 600 óránkénti ciklusszámmal;
- CG 63B szitanyomtató berendezés potenciométer pályák nyomtatásához;
- CG 100A automata szitanyomtató szárító rendszer;
- CG 165 (háromzónás) előszárító kemence;
- CG115A (hatzónás) beégető alagútkenec;



5.9. ábra. Tiszta munkahely

- CG 26B/ CG 57B/ CG 62 4/5/6 zónás alagútkemence;
- CG 40B értékbeállító, a vastagréteg technikával készült áramköri elemek jusztirozására, mikrohomokolóval.

Till István a HIKI belső műszerjavító csapatából rövid idő alatt kiváló szakemberekből álló, mind idehaza, mind külföldön elismert fejlesztőket nevelt és szervezett. *Kiss Kálmán* vezetésével működött egy fejlesztő csoport, amely a különféle fegyveres testületek megrendeléseire készített egyedi vagy kisszériás berendezéseket. Ezek közül az egyik legnagyobb szakmai eredmény a 70-es években kidolgozott első hazai elektronikus telefonközpont volt, az első minta, Győr–Moson–Sopron megyei telepítése után az ország összes megyei rendőrkapitánysága számára megrendelték, és hosszú évekig üzemeltették.

Albert Károly és munkatársai, így *Sillai István* számos ellenállás-, potenciométer mérő berendezést és automatát fejlesztett ki, jórészt NDK exportra.

A 70-es években számos műszer került kifejlesztésre és a *Garamvölgyi Gábor*, illetve a *Brauer János* vezette kísérleti gyártásba, ezek közt voltak évi néhány száz, vagy ezret meghaladó sorozatok is, így például (az 1982-es (!) prospektusban szereplő):

- TR 0107 típusjelű RC generátor 10 Hz ... 100 KHz frekvenciatartományban állított elő kis torzítású nagy kimenőszint stabilitású szinusz jelet 4 frekvenciasávban;
- TR 0460 típusjelű Dekádgenerátor 10 Hz ... 1,1 MHz frekvenciatartományban állított elő szinusz- és négyszög jeleket 5 frekvenciasávban;
- TR 1660C típusjelű Multiméter mérési pontossága az 1 mV 1000 V egyenfeszültségre $\pm 0,02\%$, kijelzés 4" digitális LED kijelzővel;
- TR 1665A típusjelű Digitális Multiméter mérési pontossága az 10 mV 1000 V egyenfeszültségre $\pm 0,02\%$;
- TR 1667B típusjelű Digitális Multiméter univerzális laboratóriumi, üzemi és szerviz használatra szolgáló műszer, mérési pontossága az 100 mV 1000 V egyenfeszültségre $\pm 0,1\%$, kijelzés 4 digitális LED kijelzővel;
- TR 2258A típusjelű Digitométer nagy pontosságú ellenállásmérő, mérési pontossága a 0, Mohm ... 22 Mohm (8 mérési tartomány) $\pm 0,03\%$, kijelzés 4 digitális LED kijelzővel;
- TR 9220/9221 Kapcsolóüzemű hálózati tápegységek, a tápegységek hatásfoka elérte a 80%-ot, a teljesítmény térfogat arány pedig a 80 W/dm³.

5.5.4 A profilváltás

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, összhangban a világ elektronikai ipari fejlődésével átalakult, a vákuumtechnikai profiltól eljutott a mikroelektronikai profilig, szerves kapcsolatokat alakított ki egyrészt az alkatrészgyártókkal, akik felé saját fejlesztési eredményeit adta át, másrészt az elektronikai berendezésgyártókkal, akik felé kísérleti gyártásból tudott hiánypótló alkatrészeket adni.

Ezzel függött össze és ezt tükrözte az intézet tevékenységét módosító miniszteri határozat.

J-89.013/1970.

SZÁMUNKI

Szekeremé/Dné.

ELŐADÓNK:
és társaságunk

SZÁMUK:

ELŐADÓJUNK:

KOHÓ- ÉS GÉPIPARI MINISZTERIUM

Budapest V., Szabadság tér 5-6

Tel-fon: 123-590, 124-280

HIVATALI BÓL
MÉJÁTALÁNYOZVA

1.2 sz. melléklet

TÁBLA

HATÁROZAT

As állami vállalatról szóko 11/1967. /V.13./ Korm.számú rendelet alapján - a Pénzügyminisztériummal egyetértésben - a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet tevékenységi körét módosítom.

Az Intézet új tevékenységi köre:

- mikroelektronikai- és nyomtatott áramkörök,
 - híradástechnikai passzív alkatrészek,
 - félvezető eszközök,
 - egycélú, az előzőkhez tartozó gépek és gépsorok,
 - elektronikai alkatrészek speciális anyagai,
 - a fentiekhez kapcsolódó
 - műszerek és berendezések
- kutatási, fejlesztési és tervezési munkáinak végzése;
- mikroelektronikai- és nyomtatott áramkörök,
 - híradástechnikai passzív alkatrészek,
 - félvezető eszközök
- kiszervezési gyártása;
- egycélú gépek és gépsorok
- egyedi gyártása;
- főtevékenységi körében
- szakvélemények szolgáltatása.

Budapest, 1970. évi december hó 11.

A másolat hiteles.
Bp.1970.dec.11.
Dobos Rudólné.

Dr.Horgos Gyula sk.
kohó- és gépipari miniszter

HIKI—EIVRT

EGYÜTTMŰKÖDÉSI SZERZŐDÉS

az integrált áramkörök fejlesztésére

1972 elejei

- 13 -

ranciális cseréjét és konzekvenciáit a HIKI biztosítja ugyanolyan feltételekkel, mint amilyen feltételeket az EIVRT a sajátmaga által előállított termékeire megszab.

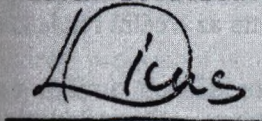
A MEO tevékenység leírását és a raktározás rendjét a 4. sz. melléklet tartalmazza.

Témafelelős: EIVRT részéről: Dr Erdélyi János

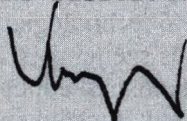
HIKI részéről: Egri János

Budapest, 1972. május 10.

EIVRT részéről:



HIKI részéről:



5.5.5. Hogyan tovább?

Hosszú viták és tárgyalások során készült el a HIKI – EIVRT EGYÜTTMŰKÖDÉSI SZERZŐDÉSE az integrált áramkörök fejlesztésére. Az együttműködés célját a dokumentum három pontban fogalmazta meg:

- az elektronikai ipar, beleértve a számítástechnikai ipar integrált áramköri igéneinek ... kielégítése...;
- ... az EIVRT és a HIKI közös szellemi és anyagi erőkoncentrációjával ... fejlesztési és kísérleti gyártóbázis létrehozása ... a tömeggyártásra való felkészülés megalapozására...;
- ... évi 750 000 db integrált áramkör gyártására szolgáló kísérleti félüzem létrehozása az EIVRT-ben, és évi 50 000 db kibocsátású kísérleti félüzem létesítése a HIKI-ben ..., amelyek alkalmasak ... az SSI TTL H, TTL S, az MSI TTL, az LSI és lineáris, illetve MOS integrál áramkörök ... kísérleti gyártására.

A program végrehajtásának pénzügyi fedezete:

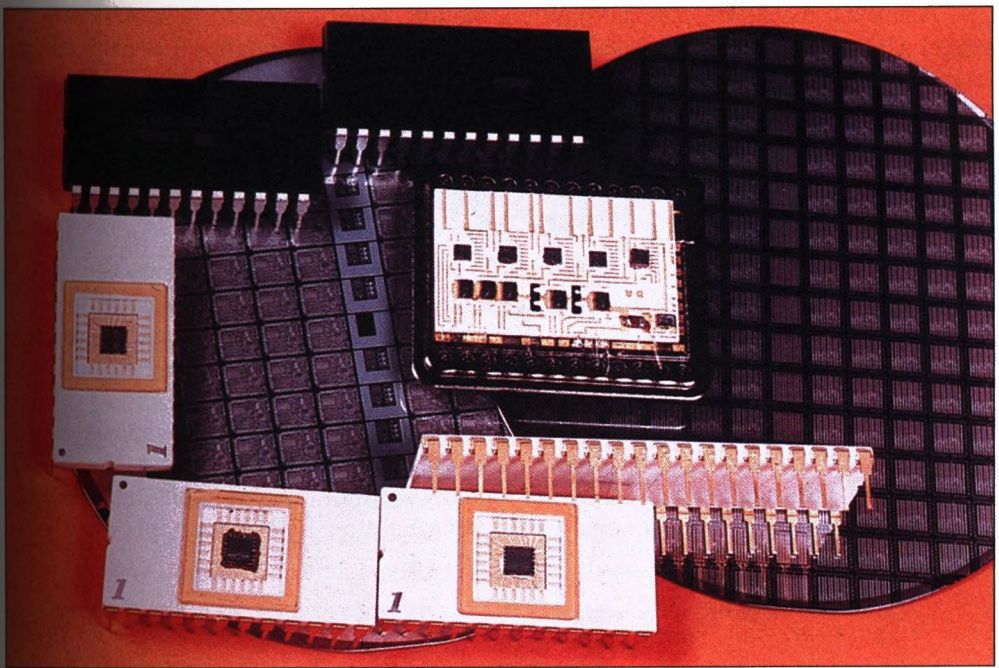
források szerint		felhasználás módja szerint:	
EIVRT saját műszaki fejl. alapból	110 mFt	Kutatás-fejlesztésre	248 mFt
OMFB-KGM-HIKI szerződés	128 mFt	Licencia-know-how vásárlásra	69 mFt
HIKI saját fejlesztési alapból	10 mFt	Beruházásra	80 mFt
OMFB-KGM műszaki fejl. alapból	69 mFt		
Beruházási költségkeretből	80 mFt		

5.5.6. Lépések a gyártási szemlélet felé

A HIKI kutatói és vezetői felismerték, hogy a félvezető IC technológiai kutatásai, termékfejlesztése egyre kevésbé végezhető laboratóriumi körülmények közt, gyakorlatilag a gyártási körülmények megteremtése nélkül egyre kevésbé képzelhető el a sikeres kutató-fejlesztő munka. A 70-es évek elejére létrejött mind a félvezető (MOS IC), mind a vékony- és a vastagréteg kísérleti gyártó sor. Emiatt megkezdődött az a szemléletváltás, amelynek lényege az volt, hogy csak a sorozatban reprodukált fejlesztési eredmények számítottak sikeresnek.

Ugyanakkor a 70-es évek elején egy olyan kutatás és iparpolitikai elképzelés jutott érvényre, amely a meglévő K+F helyek megerősítése és kapcsolatuk szorosra fűzése helyett újabb kutató helyeken (a MTA KFKI és a MFKI MOS témacsoportjai) indította el a félvezető technológiai kutatásokat, tovább osztotta az e célra rendelkezésre álló, amúgyis szűkös szellemi és anyagi eszközöket.

Az átalakulásnak éppen ez az időszaka volt az az időszak, amikor a minimális geometriai méretek csökkenése olyan szintet ért el, hogy emiatt a külföldi szakmai gyakorlatban előtérbe került az ún. tiszta munkahelyek, ún. tiszta szobák kialakítása. A HIKI éppen ezért, a hazai szakmai közösség tájékoztatására, Herman Ákos kezdeményezésére, 1972-ben megkezdte egy füzetsorozat a **MIKROELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIÁK** c. kiadását. Első kötetét [5.12.] a nagytisztaságú munkahelyek kérdéseinek szentelte, egy korabeli SIEMENS belső kiadvány alapján.

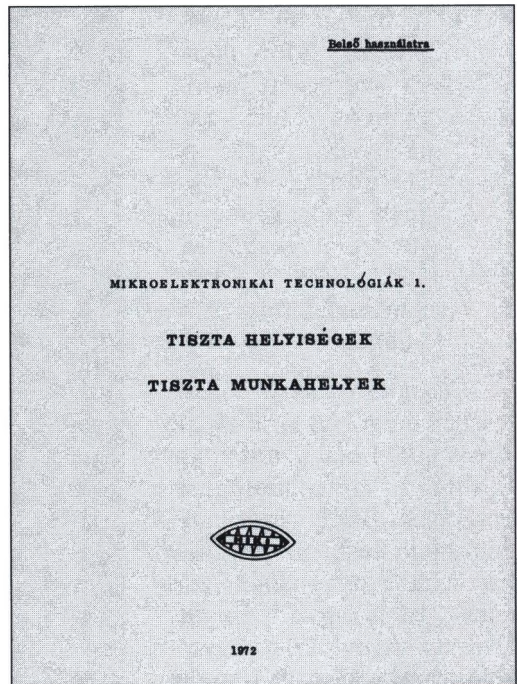


5.13. ábra. A HIKI néhány integrált áramköre

A későbbi számok szerzői közt szerepelt, pl. *Dr. Hangos István* a kiváló kutató, a kémiai tudományok doktora, aki a plazmás technológiákról írt, vagy *Kovács Magda*, aki akkoriban fogalmazta meg az LSI Alkalmazástechnikai Alapítvány (mára egy egész komplexummá vált: Gábor Dénes Főiskola, LSI Informatikai Oktatóközpont, A Mikroelektronika Alkalmazásának Kultúrájáért Alapítvány) kiinduló gondolatait.

Az 1972. évi együttműködési megállapodás nyomán készült el az: **Integrált áramkörök kutatásának, fejlesztésének és kísérleti gyártásának BERUHÁZÁSI PROGRAMJA.**

A beruházási programot ismételtlen át kellett dolgozni, majd annak első ütemét, egy évi 750 000 db kapacitású kísérleti gyártó sor létesítését az EIVRT-ben, egy 50 000 db kapacitású kísérleti gyártó sor létesítését a HIKI-ben jóváhagyták és így ez a fontos beruházás megindulhatott.



5.14. ábra.
Mikroelektronikai technológiák (1972)

A gazdaságosság kapcsán a program kimondja, hogy a műszaki-fejlesztési tevékenységgel párosuló félüzemi gyártástól nem lehet elvárni a tömeggyártástól megkövetelt gazdaságosságot. Az integrált áramkörök tömeggyártására való felkészülést – a 10 mdb-os tömeggyártó kapacitás kiépítésére vonatkozó – program fogja tartalmazni, a gazdaságossági számítások bemutatásával együtt.

5.5.7. Tudományos ülésszak

A HIKI ekkora már egyrészt kiheverte az 1966-os átszervezés vérveszteségét, másrészt az akkor éppen a gazdaság megreformálásán keresztül folyó reform pozitív vonásainak a belső életre való átvitele, azaz az egyes ekkor már főosztály névre átnevezett laboratóriumok önálló gazdasági egységként való kezelése, ami nem volt jellemző az intézményekre, rendkívül dinamizálták az Intézetet.

Ekkor már a HIKI társadalmi, szakmai presztízse is jelentős volt, eredményei mind idehaza, mind nemzetközi téren elismertté váltak. A HIKI fokozatosan, létszámát tekintve 1200 főjével, az ország harmadik legnagyobb tudományos kutató intézetévé vált (a MTA KFKI és a TKI után), amelyiket gazdasági ereje is jellemzett, pl.:

- a Fóti úti telephelyet saját erőből új épületekkel bővítette, ami lehetővé tette az intézet koncentráltabb elhelyezkedését;
- az intézet fennállásának 20. évfordulójára szervezett tudományos ülésszak, melynek anyagai „A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet jubileumi évkönyve, 1953–1973.” c. kiadványban láttak napvilágot.

Az intézet „felső” vezetésében dolgozott *dr. Erdélyi János* (1974-ben került át az EIVRT főtechnológusi posztjáról HIKI vezérigazgató-helyettesként, apparátusa volt a tudományos tanács titkársága, melyet Herman Ákos főosztályvezetői besorolásban irányított), *Bányai Ferenc*, aki a KGST-ben volt korábban a



5.15. ábra. 20 éves a HIKI évkönyv címlapja

A beruházási javaslat kidolgozásánál irányadónak kell tekinteni, hogy a fejlesztés megvalósítása ne csökkentse ezekben a termékekben a szocialista importot. A beruházási javaslatban kell tisztázni a fejlesztés pénzügyi forrásainak megoszlását.

A beruházás finanszírozásánál az állami támogatás mellett a saját forrás minél nagyobb igénybevételére kell törekedni. A pénzügyi források mértéke tekintetében a beruházást javaslat jóváhagyásakor kell dönteni.

4. Az illetékes állami szervek az első lépésűhöz szükséges berendezések megrendelését 1974-re engedélyezzék.
5. A külföldi együttműködésre irányuló szerződés végleges megkötése előtt a feltételeket a Külkereskedelmi Minisztérium és a Magyar Nemzeti Bank bevonásával felül kell vizsgálni. Ennek során megfelelő garanciákat kell kialakítani a műszakilag elérni kívánt cél teljes egészében való megvalósításának biztosítására, és olyan kikötéseket kell kidolgozni, amelyek lehetővé teszik számunkra az elemgyártási technológia későbbiekben történő megvásárlását.

A szerződés ne tartalmazzon olyan kikötést, amelynek alapján az Egyesült Izzó által előállított termékek visszaszállítása tekintetében a magyar fél előre elkötelezné magát.

6. A kohó- és gépipari miniszter a beruházás második lépésében létrehozandó elemgyártás beruházási javaslatát 1976-ban terjessze az Állami Tervbizottság elé.
7. A szocialista országokból származó integrált áramkör import és az azt elmentélező integrált áramkör export tervezett nagyságrendjét az Országos Tervhivatal a nemzetközi tervkoordináció során vegye figyelembe, a külkereskedelmi miniszter pedig az árucsereforgalmi megállapodásokban ezeket az export és import kontingenseket érvényesítse.

Budapest, 1974. március 14.

Lázár György s. k.

A kiadmány hiteles:
(Borbély Zoltán)
caomrtvezető



Az Állami Tervbizottság 5008/1974. számú

h a t á r o z a t a

az integrált áramkörök tömeggyártásáról.

1. Az Állami Tervbizottság az integrált áramkörök tömeggyártásának fejlesztési célját az alábbiak szerint jóváhagyja:

Az integrált áramkörök tömeggyártó bázisát az Egyesült Izzólámpa és Villamossági RT-nél kell létrehozni a következő lépcsőkben:

- I. lépcsőben (1974-76) 1976-ra évi 10 M db kapacitású szerelő-mérő üzem létrehozása, külföldi (tőkés) együttműködéssel.

- II. lépcsőben (1976-78) 1978-ra az első lépcsőben létrehozott integrált áramköri szerelő- és mérő üzem évi 15 M db kapacitására történő bővítése, ugyancsak külföldi (tőkés) együttműködéssel; ugyanezen időben egy 5 M db-os elem (chip) gyártás létesítése tőkés, szocialista vagy hazai bázisra építve.

- III. 1975-re az évi 0,75 M db-os kísérleti félüzem évi 1 M db kapacitására történő fejlesztése. A kapacitás bővítésen belül a nagy bonyolultságú áramkörök gyártásának feltételeit is biztosítani kell.

2. Az Országos Tervhivatal elnöke a fejlesztési célkitűzéseket az 1975. évi népgazdasági terv kidolgozásánál vegye figyelembe.

3. A kohó- és gépipari miniszter a beruházási javaslatot 1974. júniusában terjessze az Állami Tervbizottság elé. Ezzel egyidőben terjessze elő a kísérleti félüzem beruházási programjának módosító javaslatát is.

rádióelektronikai osztály vezetője, *Csuhai Sándor*, aki Nyers Rezső helyetteseként, az MSZMP gazdasági alosztályvezetőjeként alapvető szerepet játszott az ún. új gazdasági mechanizmus kidolgozásában és beindításában.

Az ekkora már a fejlesztők látókörébe került félvezető alapú nagybonyolultságú integrált áramkörök gyártási technológiája már csak a köznapi életben ismeretlen és sok esetben nehéz munkakörülményeket teremtő szigorú tisztasági előírások [5.12.] mellett működőképes. Éppen ezért megkezdődtek a kísérleti gyártás telepítésének különféle előkészítő munkái, köztük a meglévő fóti-úti telephely levegő-szennyezettség vizsgálatai.

A fenti előkészítő munka is hozzájárult, hogy végül is megindult az állam-apparátus munkája is.

Az új fejezethez azonban nem volt nélkülözhető az előző feladatok teljesítéséről szóló beszámoló. Ezek szerint a próbaüzemeltetést a HIKI az újonnan beszerzett és felállított berendezésekkel 1974. II. negyedévében folytatta le. 1974. II. negyedévében a HIKI budapesti fóti-úti telepe A. épület földszintjének betelepítési munkáival párhuzamosan az épület I. emeletének a maszkgyártás céljára, annak tisztasági követelményeinek megfelelő átépítését is megkezdte.

Ugyanakkor a korra és a helyzetre jellemző, hogy:

„Bár a technológiai sor betelepítése a programtól eltérően kisebb időcsúszással kezdődött meg, a HIKI a beruházási programban előírt kísérleti gyártáshoz szükséges kapacitást kiépítette. A kiépített kapacitás a HITACHI HD 700-as sorozat egyenértékű áramköreinek megfelelő integrált áramkörök kísérleti gyártására épült. Miután e típusokra az időközben megváltozott fejlesztési elképzelések miatt hazai igény nem volt, az áramkörök legyártására nem került sor.”

5.6. Az IC gyártás megalapozása 1977–1981.

A hazai gazdaságban lejátszódó folyamatok ellentmondásosak voltak, de az egyre világosabbá vált, hogy a modern nemzetgazdaságban az elektronika kiemelkedő, meghatározóvá váló jelentősége miatt a magyar gazdaságnak is követnie kell ezt a világgazdasági trendet. Ekkor úgy tűnt, hogy a magyar elektronikai ipar, a KGST révén, hosszútávon is jó piaci pozíciókkal rendelkezik. A magyar elektronikai ipar egyik potenciális versenylőnye éppen a megfelelő alkatrész-bázis volt. Az LSI IC-k megjelenésével azonban a hazai helyzet egyre furcsábbá vált: a hazai alkatrésztermelés egyre kevésbé tudta kielégíteni a választéki és a minőségi igényeket, szemléleti váltásra volt szükség.

Ennek a folyamatnak és a későbbi mikroelektronikai fejlesztések előkészítésének meghatározó, de egyúttal tipikus eseménye volt a MTESZ Híradástechnikai Tudományos Egyesülete nevében *Komporday Aurél*³, az egyesület akkori elnöke (és a HIKI akkori vezérigazgatója) által kezdeményezett és aláírt akció, mely keretében az egyesület tagsága nevében, de a magyar ipar érdekében az akkori döntéshozóhoz, *Havasi Ferenchez*, az MSZMP KB gazdaságpolitikai titkárához fordult. (Ez a rövid

³ *Komporday Aurél (1915–2000)*

gépészmérnök, a 40-es években EKG fejlesztéssel tűnt ki, a 60-as évek első felében a Kohó és Gépipari Minisztériumban dolgozott különféle beosztásokban, végül a Híradástechnikai Ipari Igazgatóság vezetőjeként. Modern szemléletű, széles látókörű, sikeres vezetőként irányította a HIKI-t 1967-től 1976-ig.

MTESZ
HIRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS
EGYESÜLET

A MAGYAR ELEKTRONIKAI
IPAR FEJLŐDÉSI PROBLÉMÁI

Budapest
1975. június hó

5.18.a. ábra. A HTE tanulmány címlapja (1975. június 19.)

lesztési költségeket, melyek az 1. pontban javasolt 3,3 mrd.Ft felett szükségessé válnak még az V. ötéves tervidőszakában és irányozza elő fentiek alapján a VI. ötéves terv számaiban az elektronikai alkatrészipar fejlesztésére előirányozható kereteket.

3. A 2. szerinti javaslatban kiemelten kell foglalkozni
 - a hazai félvezető gyártással, különös tekintettel a legkorszerűbb integrált áramköri konstrukciókra és technológiákra azt szemelőtt tartva, hogy ez az ipari konstrukció az 1980-as évtized ipari technológiai bázisát is meg kell, hogy alapozza.
 - Ugyancsak kiemelten kell foglalkozni a hazai ipar szélesválasztékú, de kissorozatu gyártásához jól illeszkedő hibrid áramköri gyártóbázis megteremtéséről.
 - Meg kell vizsgálni a különböző hagyományos építőelemek hazai gyártóbázisának fejlesztését, választékának korszerűsítését.
4. Rendezni kell az alap és alkalmazott ipari kutatás, valamint ezek gyártóbázisainak helyzetét, kapcsolatát és érdekelttségi rendszerét a gyártásbevezetési átfutási idők erőteljes csökkentése érdekében.
5. Gondoskodni kell, hogy a fenti komplex programhoz a felsőoktatási intézmények a megfelelő szakember utánpótlást biztosítsák.

Budapest, 1975. június 19.

HIRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS
EGYESÜLET

Alkatrész- és Alapanyag Szak-
osztálya

ÁLLAMI FEJLESZTÉSI BANK
VEZÉRIGAZGATÓ

1032/A/15

Kapták: 1. Gácsi Miklós korm-állam-
titkár
Táj-ul: Sebestyén János OMF
elnökh,
Madarasi Attila pm-ál-
lamtitkár
Dr. Trethony Ferenc pmh
Bokor János főov.

G Á C S I M I K L Ó S elvtársnak,
kohó- és gépipari minisztériumi államtitkár
Budapest

Kedves Gácsi Elvtárs!

Mint telefoni beszélgetésünk során már jeleztem, munkatársaink behatóan foglalkoztak az elektronikai ipar és különösen az IC gyártás fejlesztési koncepciójának alapjaival. E munka összefoglalását számomra elkészítették. Ugy vélem, hogy a felvetett gondolatok és javaslatok figyelemre méltóak. Ezért mellékelve, szíves felhasználásra megküldöm.

Az érintett problémakör igen nagy súlyú és bonyolult, ezért úgy hiszem a mellékelt anyag csak gondolati alapnak tekinthető és szakértők széles körű bevonásával kialakított álláspont lesz alkalmas arra, hogy az ügyben döntések szülessenek.

Magamnak is vannak fenntartásaim a megállapításokkal és javaslatokkal kapcsolatban. Ezek közül fontosabbnak ítélem a következőket:

- Lesz-e Magyarországnak elég anyagi és szellemi ereje ahhoz, hogy két fronton is egyidejűleg fejlessze az IC gyártást (a kis és közepes bonyolultságúakat az Izzóban, a nagybonyolultságú és "célra orientáltakat" a HIKI-ben). A HIKI-ben követett irányt alapvetőnek tartom, de az Izzó-Fairchild üzletet - túl az anyagban

leírt részletkérdésekben - alapvető célját illetően is sürgősen újra átgondolandónak tartom (amíg nem késő).

- Egyetértve az anyag alap gondolatával, hogy a fejlesztési politikát csak az egész terület átfogásával és lényegében központilag lehet kialakítani, mégis kérdésesnek tartom a szervezeti koncentráció szükségességét és lehetőségét. Nem látom teljesen megalapozottnak azokat az érveket, amelyeket munkatársaim a szervezeti koncentráció elkerülhetetlenségének bizonyítására felhoznak. E kétségeim azonban nem jelentik azt, hogy a szervezeti koncentráció révén megoldódónak vélt problémákat esetleg más módon ne kellene rendezni.

Ami az anyagból számomra a legfontosabbnak tűnik, az a már elhatározott vagy előkészítés alatt lévő fejlesztések újbóli felülvizsgálatának szükségessége.

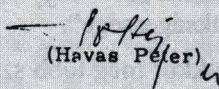
Ugy gondolom, hogy számodra és a témában járatosak számára a mellékelt anyag ismertető részei nem jelentenek újat. Ennek megítélésénél kérlek vedd figyelembe, hogy az anyag számomra készült.

Amennyiben úgy ítéled meg, hogy e témában érdemes munkát indítani az átfogó koncepció kialakítása és különösen az elhatározott, vagy előkészítés alatt lévő fejlesztések felülvizsgálata céljából, akkor kérlek ebbe Bankunk munkatársait szíveskedj bevonni.

Melléklet

Budapest, 1975. augusztus 4.

Elvtársi üdvözlettel


(Havas Péter)

tanulmány sok ember közös munkája volt, a teljesség igénye nélkül, részt vett benne *Bráda Ferenc, Göblös János, Wollitzer György, Herman Ákos.*) A kezdeményezés lényege és célja az volt, hogy ráébressze a legfelsőbb döntéshozókat, hogy a gazdaságban lejátszódó korszakos fordulat miatt nem követhető a korábbi gyakorlat, amely egyrészt a hagyományos gazdasági területek érdekcsoportjainak pillanatnyi állapota szerint hozta meg döntéseit, másrészt éppen a kedvező pillanat kivására hivatkozva halogató taktikát alkalmazott.

A tanulmány, esetenként kimondva, máshol kimondatlanul abból indult ki, hogy:

- az olajválsággal megkezdődött egy olyan világgazdasági átrendeződés, amely felértékeli az elektronika alkalmazását, megnöveli a gazdaságok egymásra utaltságát;
- a KGST struktúrát adottságnak fogadta el, de szükségét érezte a világpiacon kapcsolatok javításának is;
- ez az ipar viszonylag kevés alapanyagból, egyre növekvő szellemi befektetéssel jelentős gazdasági eredményt produkál.

A tanulmány jelzi, hogy:

- „a magyar elektronikai készülék- és berendezézipar gyakorlatilag teljes egészében kiszolgáltatottá válik, ugyanis a környező szocialista országok, beleértve a Szovjetuniót is, nincsenek abban a helyzetben, hogy a legkorszerűbb alkatrészekből (amelyekből ők is importra szorulnak) a mi iparunkat kisegítsék,
- a kinyíló alkatrészellátási olló elsősorban a tőkés alkatrészimport, tőkés exporttal alá nem támasztott, emiatt tűrhetetlen növekedését eredményezi.”

Mindebben egy speciális autarkia, a KGST, mint zárt blokk önellátásra való kényszerű [a) embargó, b) krónikus devizahiány] törekvése, szemlélete is tetten érhető.

A tanulmány szorgalmazta a magyar elektronikai ipar és ezen belül az alkatrészipar teljes rekonstrukcióját, ezen belül is – javaslata szerint – kiemelten kell kezelni a hazai félvezetőgyártás kérdését.

A pozitív hangvételű, nagy szakmai tömegtámogatottságú lépést különféle, a hatalom belső alkui keretében folyó fellépések kísérték. A szakmai érvek és ellenérvek arra utalnak, hogy a döntéshozók felkészültsége megfelelő, feltehetően a problémát a döntési mechanizmus rejtette magában.

A felmerülő kérdések:

- Lesz-e Magyarországnak elég anyagi és szellemi ereje?
- Újragondolandó az EIVRT szerelési licencvásárlása;
- Van-e szükség szervezet-koncentrációra?

és főleg:

- „a már elhatározott vagy előkészítés alatt lévő fejlesztések újbóli felülvizsgálatának szükségessége”.

A „dráma” ekkor még több szálon fut tovább.

A HIKI egyfelől arra törekedett, hogy megszilárdítsa belföldi gazdasági és szakmai pozícióit, (berendezésgyártása) szűkös hazai piaca idejekorán rákényszeríti komparatív előnyeinek a nemzetközi gazdasági kapcsolatokon keresztüli realizálására, illetve az al-

katrésziparon túlnyúló berendezések fejlesztésére; másfelől a hazai mikroelektronikai alkatrészgyártás megteremtéséért küzd, hiszen ez a (hiányzó) alkatrészipar lenne az általa kidolgozott technológiák és konstrukciók átvevője, felvevő piaca.

A HIKI, a magyar gazdaságban fordulatot jelentő ún. új gazdasági mechanizmus megkezdése, 1968 óta vállalati gazdálkodási rendben működő kutatóintézet volt, ami azt jelentette, hogy tevékenységének megítélésében kiemelkedő szerep jutott gazdálkodása milyenségének, az állam által fontosnak tartott témákat is csak akkor tudta művelni, ha azokra állami szerződéseket tudott kötni és csak olyan mértékben, amelyet ez a szerződés meghatározott. Ez alapvetően befolyásolta az Intézet munkája mellett a munkatársak mentalitását is (kit átnevelt, mások kiválogatódttak e szerint).

5.6.1. A nagybonyolultságú IC-k Kutató Fejlesztő Társasága – LSI KFT vagy a „kolhoz”

A technológia gyors fejlődése egyre bonyolultabb és különleges igényeket kielégítő áramkörök előállítását tette lehetővé. Az elektronika fejlődését a XX. század utolsó három évtizedében jobbra meghatározó félvezető – mikroelektronikai – technológia két fő termékcsaláddal, a mikroprocesszorokkal és a memóriákkal jellemezhető. A HIKI vezetése és a hazai iparvezetés egyaránt felismerték, hogy az új helyzet új megközelítést, ún. iparszerű kutatást-fejlesztést igényel. A HIKI munkatársai folyamatos kapcsolatot tartottak egyrészt a HIKI-ben kidolgozott technológiákat átvevő cégek, másrészt az ezekkel a technológiákkal előállított termékeket felhasználó cégek mérnökeivel.

A 1970-ben a japán *Busicom* cég egy hordozható kalkulátorhoz rendelt áramkör csomagot, az akkor még „csecsemőkorú”, két éves, amerikai vállalatól, az *Intel Corporation*-tól. A feladatot az *Intel* mérnökei⁴ egy jellegében is új konstrukcióval oldották meg, kidolgoztak egy 4-bites központi processzort, az i4004-es mikroáramkört, az első mikroprocesszort. Ez az első mikroprocesszor 1970-ben készült el egy 12 mm² felületű 2300 tranzisztort integráló szilícium lapkán.

Család	Típus	Forgalmazás kezdete	Műveletszám MIPS	Bonyolultság Tranzisztor	Tervezési szabály (µm)	Címbusz bit
4004	4004	1971	0.06	2300	10.00	4
8080	8080	1974	0.64	6000	6.00	8

Erre a fejlődésre a hazai felhasználók gyorsan és határozottan reagáltak. Ezt fejezte ki a az OMFb mellett működő MKKT, Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács, 1973. december 13-ai ülése, ahol már szóba került, hogy az 1976–80-as V. ötéves terv időszakra a fejlesztési programba fel kell venni a mikroprocesszorok és a berendezés-orientált áramkörök témakörét.

⁴ Az Intel Corporation három mérnöke Ted Hoff, Federico Faggin és Stan Mazor tervezte meg a japánok által megrendelt áramköröket, a funkciót négy áramkör révén valósították meg:

4001 – ROM memória áramkör, 2048 bit kapacitású

4002 – RAM memória áramkör, 320 bit kapacitású

4003 – I/O (input/output = kimenet/bemeneti) shift regiszter

4004 – 4 bites központi processzor

A hazai kutató fejlesztő erők széttagoaltsága a feladatok egyre bonyolultabbá válása miatt az eredményes munka gátjává vált. Az állami kutatás- és iparirányítás egyaránt azon a vélemény volt, hogy egységes szervezetet kellene a feladatra létrehozni, de az általános gazdaságpolitikai légkör, amelyet a „*small is beautiful*” jelszava és a 40-es és 60-as évek ipari átszervezéseinek negatív hatásainak emléke egy ilyen típusú összevonnak ellene szólt.

A hazai hierarchiában eredetileg kiemelt helyzetű KFKI mögött második szintet azok a kutatóintézetek jelentették, amelyek nem polgári kutatást folytattak, a harmadik szintet pedig a többi kutatóintézet. A 70-es évek közepére a HIKI lassan kikapaszkodott abból az alacsony presztízsű pozícióból, amelybe megalakulásakor került.

A mikroprocesszor ún. „reverse engineering” révén történő kifejlesztésének rendkívüli összetettsége miatt szüksége volt az összes hazai erő koncentrálására, ezért 1976-ban létrejött az „LSI kutató-fejlesztőtársulás”, ami négy kutatóintézet (HIKI, TKI, KFKI, MFKI) közös munkája, a maga nemében tudományos értékű kísérlet volt. Az LSI KFT célja néhány nagybonyolultságú integrált áramkör (egy korszerű mikroprocesszor, p- és n-csatornás szilícium kapus ROM, programozható fix memória és egy RAM memória áramkör) előállítása volt. Ez a közös kutatómunka mind tartalmában, mind formájában új volt és ez az összefogás önmagában is ritka siker, a széthúzásra hajlamos hazai közéletben. Létrehozásában *Komporday Aurélnak* döntő szerepe volt.

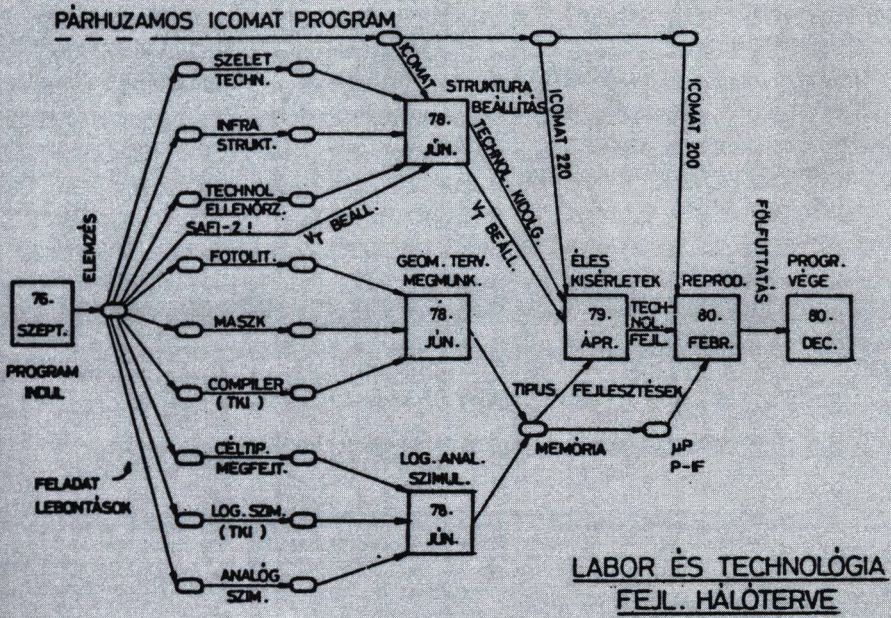
A feladat bonyolultsága és a központi fejlesztési alapok elosztására folyó verseny hatására kezdeményeztük a szervezeti egységesítés helyett a feladatra koncentráló önkéntes együttműködést. 1976. július 9-én négy kutatóintézet, a HIKI, a KFKI, az MFKI és a TKI Együttműködési Megállapodást írtak alá **Kutatási-Fejlesztési Társulás (KFT)** létrehozására. A KFT konkrét feladatát és azok éves ütemezését a KGM-OMFB-HIKI közti „Félvezető LSI technológia kidolgozása” c. keretszerződés tartalmazta. A munkamegosztás keretében a HIKI feladata volt a szilícium szelettechnológia fejlesztése, egyes technológiai berendezések létrehozása, az ún. maszkkészítés, illetve a szükséges különleges, nagytisztaságú infrastruktúra kifejlesztése, az új kultúra honosítása.

Az akkori technika legbonyolultabb termékét jelentő, közel ötezer elemi alkatrészből felépített és univerzális felhasználásra szánt *i8080* mikroprocesszor szerepelt a KFT fejlesztésének csúcspontjaként.

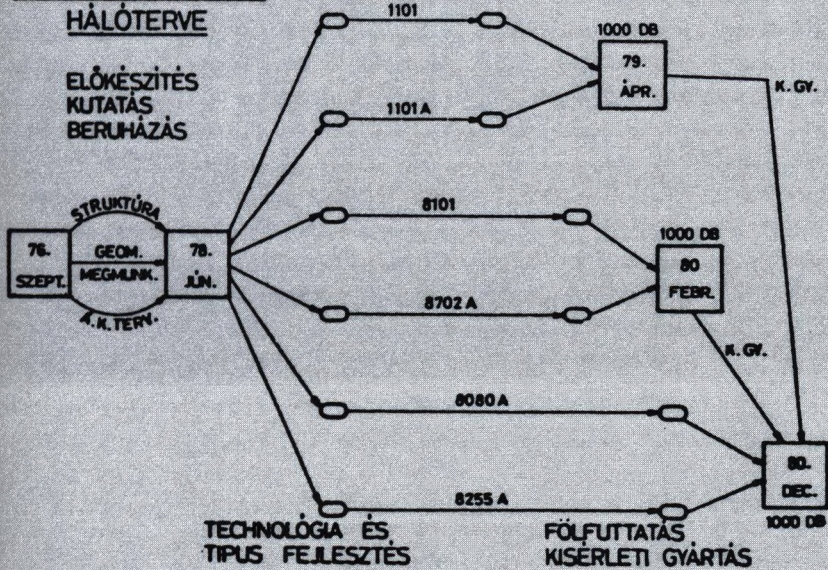
Ennek keretében kiemelkedő szerep jutott az angol nyelvterületen „reverse engineering”-nek nevezett technikának. Ennek keretében egy öttagú team fejtette meg a céláramkör felépítését, funkcióális blokkra bontva, de végül eljutva odáig, hogy minden tranzisztor szerepét világosan látták.

A munka során kiemelkedő siker volt az „i8080” jelű mikroprocesszor megfejtese, amiben *Simon Zoltán* és *Keresztes Péter* tevékenysége volt döntő jelentőségű. Ez a munka olyan színvonalú volt, hogy Simon Zoltán, a csoportot vezető kutató, a BME Villamosmérnöki Karon doktori címet kapott ezen alapuló disszertációjára.

A KFT intézetei, mint önálló jogi személyek, szerződéseiket egymástól függetlenül kötötték meg. A gazdálkodás kérdései közül a beruházások alakulásáról tájékoztatták egymást. Az eltérő pénzügyi szabályzók és az elkülönült gazdálkodás miatt az anyagi eszközök felhasználását a kitűzött célokhoz viszonyítani és értékelni nem lehetett. Az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv, OTTKT, alapján az irányító hatóságokkal kötött K+F és beruházási szerződések az időközbeni anyag és berendezés áremelkedések, a beszerzési nehézségek miatt, elsősorban a szelet és maszktechnológia területén, nem teljesen fedezték a költségeket.



TÍPUSFEJLESZTÉSEK HÁLÓTERVE



5.20. ábra. A KFT fejlesztések hálótervei

SZOLGALATI HASZNÁLATRA
Készült 20 példányban.
Ez a példány.

Az Intel 8080 mikroprocesszor belső
felépítése és áramköreinek működése.

Összeállította: Simon Zoltán

Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet
Fővezető Főosztály

5.21.a. ábra. Az Intel 8080 ... jelentés címlapja

Az Intel 8080 mikroprocesszor geometriai tervének /layout/ megfejtése a nagybonyolultsági integrált áramkörök kutatására alakult Kutatási Fejlesztési Társulás keretén belül csoportmunkában történt.

A MOS tranzisztorokra lebontott kapcsolási rajz felvételében a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet részéről

Asztalos András

Lénárt Tibor

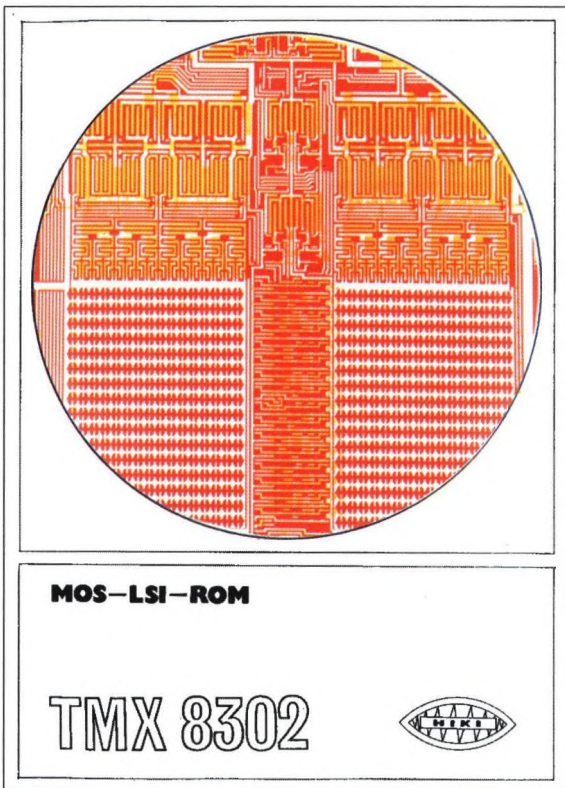
Simon Zoltán

a Központi Fizikai Kutató Intézet részéről /KFKI/

Keresztes Péter

Pacher Donát

vett részt.



5.22. ábra. TMX 8302 MOS LSI ROM IC termékismertető füzet címlapja

titkosítási technika (sávfordítás) megvalósítását, ami illetéktelenek számára lehallgathatatlaná tette a készülékeket. A *Hidas György*, *Szilágyi Ferenc*, *Wollitzer György* és munkatársaik munkája révén kialakított termécsalád hosszú évekig sikeres termék volt.

A *Wollitzer György* vezette hibrid integrált áramkörök konstrukciós és technológiai fejlesztő, illetve kísérleti gyártó részlegek fokozatosan három szorosan együttműködő főosztállyá nőttek. A konstrukciós munkákat *Szilágyi Ferenc* és munkatársai, *Kun László*, *dr. Sonkoly Aurél*, *dr. Földvári Rudolf*, a tantál rétegtechnológiát *Kolonits Pálné*, a vastagréteg-technológiát *Walton Gusztáv* irányította. A hibrid áramkörök használhatóságát alapozta meg a *Wollitzer György* és munkatársai által bejelentett tucatnyi tokozási szabadalom.

A munka sikerét bizonyította, hogy a nagy szakmai érdeklődés mellett, jelentős piaci igény is jelentkezett.

A szisztematikus fejlesztés nagy termékválasztékot eredményezett, ezt jól példázza a HIKI utolsó, 1982-es (!) prospektusában szereplő több mint 40 típus.

Ebbe a körbe tartozott *dr. Sztankovics László* munkássága is: különféle kerámia alapanyagok virtuóz kidolgozója volt, tucatnyi szabadalma révén jelentősen hozzájárult a vastagréteg-technológia megteremtéséhez is. Egyik érdekes munkája: (dr. Hantos István, *Wollitzer György*, *Almási István*, *Töltési Júlia* társszabadalmasokkal együtt): „Eljárás fémréteg előállítására legalább 70 súly% alumínium-oxidot tartalmazó kerámiák, főként integrált áramköri hordozók felületén” c. szabadalom (bejelentve 1978. 04. 19)

A KFT intézményei a műszaki-tudományos célkitűzések megvalósítása érdekében és az 1980 utáni időszak megalapozására beruházási tevékenységet is folytattak, bár ez utóbbi programok nem voltak kellően összehangolva. A KFT összes ráfordítása a hat év alatt (az áthúzóadások miatt az együttműködés öt éve és plusz egy) meghaladta a 600 millió forintot. Ennek közel 60%-át fordították beruházásra, az egész összeg több mint 60%-a jutott a HIKI-re : 228,6 mFt beruházásra, 153 mFt működésre fordítódott, amiből 66,6 mFt volt a HIKI saját forrása.

5.6.2. Sikerek a hibrid IC gyártásban

A 70-es évek elején jelentkezett a Budapesti Rádiótechnikai Gár (BRG), hogy a rendőrség számára gyártandó kisméretű rádiótelefonjai (mai néven mobil) számára egyrészt hibrid áramköröket igényelt, másrészt egy speciális

5.6.3. Szakmai sikerek

A 70-es évek második felében a második olajválság nyomán növekedtek a magyar gazdaság nehézségei, emiatt is megkezdődött a kutató intézeti hálózat felülvizsgálata. A vizsgálat méltatta a HIKI addig már nemzetközileg is elismert eredményeit, de hiányolta a minősítetteket. Ez is hozzájárult, hogy az Intézet vezetése

- megtartotta a 25 éves a HIKI tudományos konferenciát;
- stimulálta a vezető munkatársak disszertáció írását.

A jubileumi tudományos ülészak eredményei négy füzetben jelentek meg.

5.6.4 A tudományos munka helyzete

A 70-es évek elejétől a HIKI sorsában döntővé váltak a félvezető-technológia-fejlesztés területét érintő állami döntések. Az intézeten belül furcsa ellentmondás alakult ki:

- a főleg, vagy kizárólag állami pénzekből fenntartott félvezető integrált áramkörü fejlesztés,
- a jelentős mértékben külső megbízásokon folytatott hibrid IC kutatásokból és mérő-, illetve gyártóberendezés fejlesztésekből és a piacra termelt (kísérleti) termékek miatt.

Egy másik ellentmondást az MTA 1976-os vizsgálata tárt fel (az MSZMP KB 1967-ben elfogadott egy „tudománypolitikai irányelvek” nevű határozatot, melynek végrehajtását, illetve módosítását célzó felülvizsgálata kapcsán áttekintették a hazai K+F szféra tevékenységét):

- a HIKI jelentős létszáma, jelentős és nemzetközileg is elismert szakmai eredményei ellenére, gyakorlatilag minősített kutatók nélkül maradt, ugyancsak gyenge volt a munkatársak publikációs tevékenysége.

Ugyanakkor ebben az időben a HIKI kutatói magas szakmai színvonalát jelezte, pl. az alábbi három könyv megjelenése és nagy nemzetközi sikere:

- Kocsis Miklós: „High Speed Silicon Planar-Epitaxial Switching Diodes”, Halsted Press, 1976;

HIGH-SPEED SILICON PLANAR- EPITAXIAL SWITCHING DIODES

Miklós Kocsis

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

- F. Kovacs: „Hochfrequenzanwendungen von Halbleiter-Bauelementen”, Budapest, Münnich: Akadémia Kiadó –Francis Verlag, 1978.
- F. Kovacs: „High-Frequency Application of Semiconductor Devices”, Amsterdam: Elsevier Science, 1981.

(Ezek a fentebb már említett 1973-as könyv bővített és korszerűsített változatai, a szerző számára egyfajta világsikert arattak.)

A hazai elektronikai szakma tájékozódását nagyban segítették a HIKI különféle szakmai kiadványai, így a

- *Wollitzer György* és munkatársai által közreadott „Hibrid integrált áramkörök” c. 1979-es könyv, illetve *Erlaky György*: „Integrált áramkörök technológiája és konstrukciója, 2” című BME jegyzete 1981-től 1994-ig számos kiadást ért meg,
- *Szalai József, Véghely Tamás*: „Folyadékkristályos kijelzők és alkalmazásuk” c. a BME MTI kiadásában, 1982-ben, és 1984-ben megjelent jegyzet,
- *Véghely Tamás, Seyfried Éva, Faragó István*: „Folyadékkristályos kijelzők a gyakorlatban” c. a Műszaki Kiadónál megjelent monográfia 1984-ből.

Nemeskéri Iván vezérigazgató kezdeményezésére Giber János, a BME Atomfizikai Tanszék tanszékvezető professzora szakmai irányításával többen eredményesen pályáztak és szereztek tudományos fokozatot:

- *Pásztor Gyula* „Félvezető eszközök technológiai szemszögű modellezése” c. 1976-os disszertációja utalt arra, hogy a megfelelő tudományos iskola hiánya miatt még egy ilyen nagy tehetség is csak lassan és részben tudott kibontakozni;
- *Herman Ákos* „Szilícium eszközök fémezése” c. disszertációja, 1980. már részben Giber János segítségének, tudományos hatásának is köszönhető volt;
- *Kolonits Pálné (Vera)* „Tantál alapú vékonyrétegek oxidációja” c. disszertációja szintén 1980-ban készült el;
- *Kovács Ferenc*, aki ekkorra már nemzetközileg is sikeres mérés-technikai eredményeket tudott a háta mögött, 1980-ban írta meg kandidátusi értekezését, „A válogatási szint meghatározása $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ struktúrájú integrált áramkörök mérésénél a stabilitásvizsgálati eredmények figyelembevételével”; („Mikro-áramkörök mérése és alkalmazásuk néhány példája” c. értekezését az MTA doktora címért 2000-ben védte meg);
- *Vágó György* „Töltéshordozós technológiák fejlesztése, elektronsugaras és ionos párologtatás ipari alkalmazása” című kandidátusi értekezése 1982-ben, továbbá a „Penning porlasztás, forrásfejlesztés és technológia” című alkotás leírása nyomán a szerző a műszaki tudományok doktora lett 1995-ben [a planáris magnetron, mint vákuumpárologtató forrás kidolgozása az USA-ban több évig piacvezető terméket eredményezett].
- *Szuhár Mihály* „Félvezető eszközök matematikai szimulációja és új tervezérelt eszközök” c. kandidátusi értekezését 1985-ben védte meg;
- A fiatalon elhunyt, igen tehetséges, *Valkó Ágnes* (1947–1987) „NMOS LSI áramkörök előállítási technológiájának elemzése a technológiafüggő tervezési paraméterek szempontjából” című, 1985-ben írt kandidátusi értekezése külön értéke volt, hogy az ún. process engineering látásmódot, azaz a dolgot rendszerükben elemző megközelítést alkalmazta.

5.7. A Mikroelektronikai Vállalat

1973-ban a következő évek gazdaságpolitikájának megalapozására a Tervhivatal 52 műszaki gazdasági koncepciót készítetett. Az egyik koncepciókészítésre kiválasztott témakör az elektronikus alkatrész és integrált áramkörgyártás fejlesztése volt [5.13.]. (Ennek a félvezető alkatrész és IC részét volt feladatom koordinálni és megfogalmazni. H. Á.)

Hasonlóan ez irányú kezdeményezés zajlott le a HTE részéről (ld. 5.18.sz.ábra).

A különféle kísérleti gyártási eredmények és a hazai ipari igények egyaránt a hazai tömeggyártás kialakítása felé hatottak, bár meglehetősen éles lobbiharc folyt a félvezető tömeggyártás ügyében.

A továbblépés egyik fázisa tükröződik az Állami Tervbizottság ÁTB 5050/1980. sz. határozatában.

A 70-es évek végén, majd a 80-as évek elején, az akkori főhatóság egységes vezetés alá rendelt hazai integrált áramköri gyártás és fejlesztés megteremtését tűzte ki célul, és ennek eredményeként 1982 elején döntés született arról, hogy:

a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet bázisán, létrehozzák a Mikroelektronikai Vállalatot.

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, (HIKI) egy, az évszámokkal nagyon jól körülhatárolható politikai gazdasági időszakban az elektronikai ipar részére hasznos munkát végzett. Az intézet, az intézeti munka és az elért eredmények nem ítélték meg attól a korszaktól függetlenül, melyben az intézet létrejött és dolgozott. A HIKI szétszórta, jó szakemberekkel, de igen szerény eszközháttérrel indult. Növekedni tudott, a szakmai kihívásokat sorra sikeresen elfogadta, (az iparág korlátozott erőforrásai és lehetőségei ellenére) működése 28 éve alatt érzékelhető eredményeket tudott elérni egy nagyon jelentős, de kifejezetten tökeigényes műszaki területen. Az intézet eredményes tevékenysége tette lehetővé, hogy az új Mikroelektronikai Vállalat bázisává váljék.

Az előkészítés hosszú tárgyalásai nyomán kialakult az a minimális program, melynek keretében létrehozták a Mikroelektronikai Vállalatot.

A lobbizás számos furcsa megnyilvánulással találkozott. Így, pl. a PM illetékeseivel 1981-ben folytatott konzultáción (dr. Sándory Mihály, aki később mikroelektronikai kormánybiztos lett és H. Á. vett részt a szakma részéről), elhangzott az az álláspont, hogy a PM a nagy társadalmi nyomás miatt nem tudja a beruházást megakadályozni. De megítélésük szerint egy a világpiacon egymagában versenyképes cég csak mintegy 100 milliárd akkori forintot beruházással lett volna létrehozható. (Ebben látszólag igazuk volt, de semmi se indokolta egy teljes profilú – azaz a teljes elektronikát vertikálisan és teljes termépalettával magába foglaló – cég létesítését. A hazai elektronikai ipar akkori termelési értéke megközelítette a 100 milliárd forintot.) A közvélemény megnyugtatására 2 milliárd Ft „elfocizására” kívántak lehetőséget adni, amit – mint mondták – az OMFB vezetői, ha valóban oly fontosnak tartják a témát, kiegészíthetik saját keretükből. Mint ismeretes megtették. (Ekkor még a szakemberek 7...10 milliárdos terveket készítettek.)

A később jóváhagyott kiemelt kormányprogram pont ezt a képet mutatta.

Az 1982-ben létrejött Mikroelektronikai Vállalat, MEV, egyrészt létrehozta az integrált áramköri tömeggyártó üzemet, másrészt külföldi know-how alapján felkészült a hazai gyártás beindítására. A tömeggyártás bázisaként a HIKI már meglévő üzemi csarnoka szolgált, melyet természetesen jelentősen át kellett erre a célra alakítani.

Az Állami Tervbizottság 5050/1980. számú

h a t á r o z a t

az elektronikai alkatrészek és részegység gyártás központi fejlesztési programja előkészítéséről

Az Állami Tervbizottság megtárgyalta a kőolaj- és gépiari miniszter előterjesztését. A lefolytatott beható vita alapján egyetértés alakult ki az elektronikai alkatrészek, részegységek kutatásának, fejlesztésének, gyártásának, értékesítésének központi fejlesztési program keretében való megszervezése szükségességéről, a központi fejlesztési programnak a VI. ötéves tervidőszakban való megkezdésének, egyes szervezési és szervezeti intézkedések mielőbbi megtételének indokoltágáról. A vitában kifejezésre jutott annak igénye, hogy a benyújtott javaslat további megalapozására van szükség, főként a nemzetközi feltételek és lehetőségek sokoldalú tisztázása, a javasolt fejlesztések gazdasági hatékonyságának fokozása, a központi fejlesztési program tekintetében a gazdaságirányítás általános szabályainak következetesebb érvényre juttatása szempontjából.

Az Állami Tervbizottság figyelembe véve, hogy az elektronikai ipar fejlesztése a népgazdaság általános technológiai fejlődésének, az ipari kultúra és más kapcsolódó tevékenységek színvonala emelésének egyik fontos feltétele, a következő határozatot hozza:

1. Az Állami Tervbizottság szükségesnek tartja az elektronikai alkatrészek, részegységek kutatásának, fejlesztésének, gyártásának, értékesítésének a VI. ötéves tervidőszakban kezdődő központi fejlesztési program keretében



5.25. ábra. A Budapest, IV. Főti út 56 alatti telep madártávlatból (A képen jobbról balra az MTA MFKI nyolcemeletes épülete, a két db háromszintes ún. labor épület eredetileg a HIKI „A” és „B” jelű épületei, majd baloldalt hátul, egy földszintes, nagy alapterületű a „T” jelű épület látható)

A MEV két lépcsőben lett kialakítva. Első lépcsőben a MEV-hez csatolták az EIVRT budapesti félvezető fejlesztő és gyártó részlegét, míg a másodikban az EIVRT gyöngyösi félvezető és gépgyárát. Az új szervezetben több mint négy és félezer ember dolgozott, azaz a MEV bekerült a magyar nagyvállalatok viszonylag szűk körébe.

A vállalat első legfontosabb feladata egy évi 120 000 darab szilícium szelet megmunkálására alkalmas gyártósor létrehozása volt, amelyet a földszintes ún. T épületben helyeztek el. A beruházás első szakaszában MOS technológiájú üzem készült el.

A mikroelektronikai alkatrész és részegység – gyártás, szelettechnológiai komplex üzem létesítésére, valamint a szerelés – mérés üzem kapacitásának bővítésére a MEV nevében *Nemeskéri Iván* vezérigazgató 1982. júniusában kérelemmel fordult az Ipari Minisztériumhoz állami alapjuttatásért.

A kérelem záró részében arra hivatkozik, hogy a Minisztertanács értékelte a fejlesztés szükségességét és időszerűségét és 3424/1981. számú határozatával elrendelte az elektronikai alkatrészipar fejlesztését, ezen belül a mikroelektronikai alkatrész és részegység-gyártás hazai kiépítését.

Ez a kérelem három év alatt közel kétmilliárd forint (1 923 mFt) fejlesztéssel számol, ebből járadékfizetési kötelezettséggel járó – kért – alapjuttatás 1 323 mFt volt, a különbözet a vállalati saját forrás (pontosabban a központi műszaki fejlesztési alap) volt.

Az integrált áramköri csipek szerelés, tokozása és mérése Gyöngyösön történt. A gyöngyösi gyárban a MEV megalakulása idejére már kitűnő szakemberek irányították a munkát, akik részben a hazai, részben a 70-es években vásárolt ún. Fairchild licenc révén odakerült gyártó és mérő berendezésekkel dolgoztak, irányították a termelőüzemet. A termelés volumene már az akkori árakon is elérte az 1 milliárd forintot, melyen belül jelentős tételt képviselt az export.

A kor szellemének megfelelően a kialakult hazai nagyvállalat 1984-ben megindította üzemi lapját. A *Beköszöntő* szerint: „Vállalatunk életének két esztendejében sokan tették fel munkánk, programunk, terveink iránt érdeklődve a kérdést: Mi újság? Az 1984-es esztendő küszöbén az újdonság maga az újság.”

Az első szám (*Kerényi Péter* újságíró tollából) *Nemeskéri Iván* vezérigazgatóval folytatott beszélgetéssel kezdődött, már az interjú címében az akkori idők viccét idézve: „...a csodákra egy kicsit várni kell”. Az interjú egy – két mondatát kiemelve:



5.26. ábra. A MEV gyöngyösi gyárának látképe

- „Az a mi egyik problémánk, hogy Magyarországon ez a szakma nagyon kis létszámot érint, mi nem tudunk honnan 'elcsábítani' embereket, mert nincsenek olyan emberek, akik ehhez a gyártástechnológiához értenének. Ha Magyarországon ma egy gépgyárat telepítenek, akkor 300 kisebb – nagyobb gépgyárból lehet oda embereket keríteni. A mi szakmánknak csak fejlesztési és kutatási szférái voltak, s így csak az egyetemen és különböző kutató intézetekben vannak harminc – hatvan fős nagyságrendű kollektívák, ahonnan el lehet szipkázni valakiket, de ők is amíg nálunk 'felébrednek', nem kis idővel kell számolni.”
- „Szerintem az élet mindig optimista, és én is az vagyok. Ha viszont azt kérdezi látok-e olyan sötét fellegeket, amelyek a 84-es évre gyülekeznek a fejünk felett, kapásból igent válaszolok. Például ilyen az anyagellátás kérdése. Annak a technológiának, amit művelni fogunk, alapanyagai, segédanyagai szinte csak külföldről szerezhetők be. Így a KGST országokkal kialakított és kiéptítendő kapcsolataink meghatározóak lehetnek a jövőben. Biztosítani kell az évi 30 tonna nagytisztaságú vegyszert, a nagymennyiségű alapanyagot...”

5.7.1. Személyi változások

1984-ben azonban sok egyéb – többek közt személyi – változás is bekövetkezett. Ezek közt volt az is, hogy Nemeskéri Ivánt megválasztották a szakmai cégek közös

érdekképviselői és érdekegyeztető szervezete, a Magyar Híradástechnikai Egyesülés, MHE, elnökévé, de a korábbi gazdasági vezérigazgató helyettes, dr. Németh József változatlanul folytatta munkáját a MEV-nél. (A MHE és még egy sor hasonló egyesülés, a 60-as években a gazdaságirányítás decentralizálása kapcsán az ipari tárcáknál megszüntetett Iparigazgatóságok bázisán jöttek létre.) A MEV vezérigazgatója ezután *dr. Sándory Mihály* mikroelektronikai kormánybiztos lett. Ez további személyi változásokkal járt együtt. A MEV újság (1. évfolyam 6. szám) kétféle személyi hírt közölt: dr. Sándory Mihály 1984. május 7-én átadta az új szakigazgatói kinevezéseket: *Wollitzer György* a fejlesztési és műszaki, *Takács István* a termelési, *Zanati Tibor* a kereskedelmi, *Bányai Ferenc* igazgatási és üzemviteli igazgatói megbízást kapott. Ugyanebben a lapszámból értesülhettünk az első jelentősebb személyi veszteségről, elhunyt Skultéti János a gyöngyösi gyár igazgatója. Skultéti János gépészmérnök irányította a Gyöngyösi Félvezető és Gépgyárat. Nagy energiát fordított új berende-

SKULTÉTI JÁNOS
(1924-1984)



5.28. ábra. Skultéti János (1924–1984)

zések, új technológiák fogadására és bevezetésére. Rendet és fegyelmet követelt. A Munkárendrend arany fokozatával és számos más kitüntetéssel ismerték el munkáját.

A MEV a termelési, kereskedelmi tevékenysége során a HIKI teljes profiljában folytatta szakmai tevékenységét. A vállalati tudományos közélet egy emlékeztetője példázza némileg ezt:

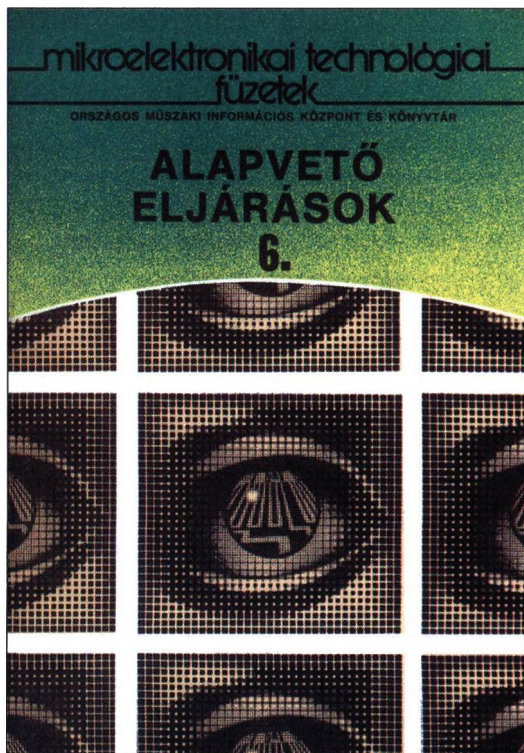
„Az EKFP VI. ötéves tervi eredményei közt a legfontosabbként vállalatunknál létrejött a szilícium szeletmegmunkálás ipari bázisa Magyarországon. Az ipari bázis létrejötte nyomán a vállalat fejlesztő szakembereinek alapvető gondja, hogy a gépsorokkal importált know-how honosítása a megtartva-továbbfejlesztve formát öltön. Az ehhez szükséges tudás és gyakorlat csak a szakma alkotó művelése révén szerezhető meg.

Valkó Ágnes több mint másfél évtizedes szisztematikus alkotó tevékenysége révén az n-MOS LSI áramkörök ismert szakértőjévé vált. Az elmúlt három-négy évben a vásárolt szovjet és német technológiai know-how -t értékelte

- az analóg áramköri funkciók szempontjából, beleértve a
 - precíz arányú lineáris kapacitás hálózatok kialakítását,
 - a kiürítéses tranzistoros inverter erősítési veszteségének csökkenthetőségét,
- a technológia függő tervezési paraméterek szempontjából,
- és egyes minőségbiztosítási szempontokból.

Ennek a munkának az eredményeit foglalta össze Valkó Ágnes kandidátusi értekezés formájában. Az értekezés házi védése, igen nagy érdeklődés mellett, több mint 50 résztvevő jelenlétében zajlott le 1986. április 15-én a Fóti úton. A házi védés Herman Ákos és Kovács Ferenc, a műszaki tudományok kandidátusai opponensi véleménye alapján és a vita – melyben felszólaltak Gyulai József professzor, Szép Iván, a műszaki tudományok doktora, Kormány Teréz, a műszaki tudományok kandidátusa, Keresztes Péter a MEV főkonstruktor – nyomán megállapította, hogy a disszertáció értékes önálló eredményeket tartalmaz.”

A Nemeskéri-interjú is tükrözte, hogy egyrészt kicsi volt az országban rendelkezésre álló szakembergárda létszáma, másrészt szükség volt a folyamatos továbbképzésre. A szakembergárda szakmai képzése érdekében a MEV különböző lépéseket tett. Ennek egyik formája volt, hogy Sándory Mi-



5.29. ábra. OMIKK mikroelektronikai technológiai füzetek [5.14.]. (A 6. füzetet „Rétegmegmunkálási módszerek”-et a KFKI szerzői kollektívája, Andrásiné Andorné, Schiller Róbertné, dr. Drozdy Győző írta, állította össze)

hály mikroelektronikai kormánybiztos, majd MEV vezérigazgató, később támogatta a korábbi HIKI-s Mikroelektronikai Technológiák c. sorozathoz hasonló, de professzionálisabb kiadású sorozat megjelenését.

A sorozat kiadásának célja az volt, hogy magyar nyelven is olvasható szakirodalmi bázist teremtsen a mikroelektronikai technológiával foglalkozók számára. A sorozat szerkesztője *dr. Laczkó Béla* volt.

A sorozat, ismereteim szerint az első nyolc füzet, bevezetés a mikroelektronikai technológiába, meg is jelent:

- bevezetés, oxidnövesztési módszerek, adalékanyagok diffúziója,
- ionimplantáció,
- kémiai gőzfázisú rétegleválasztás,
- fémhálózat kialakítása,
- maszkkészítés, fotolitográfia, rétegmegmunkálási módszerek,
- mikroelektronikai szereléstechnika,
- bipoláris integrált áramkörök technológiája,
- MOS integrált áramkörök technológiája.

5.7.2. Indul a szelettechnológiai üzem

A különleges gyár 1985-ben kezdte meg próbaüzemét, azonban a változó feltételek és irányítás miatt a termelés csak lassan indult meg. A vállalathoz új vezérigazgatót neveztek ki, dr. Balogh Béla személyében.

A termelést először egy váratlan 1985. decemberi kábeltűz akasztotta meg. A sok szempontból vitatott beruházás egyik jelentős fejezete volt az infrastruktúra kiépítése. Az infrastruktúra tűzvédelmi része jól vizsgázott, a rendszer automatikusan bekapcsolt és idejekorán eloltotta a tüzet.

A tűz okozta legsúlyosabb kárt a nagy tisztaságú tér a befűjt korom miatti elpiskolódása jelentette. Az üzemet több hetes munkával megtisztították, de a tűzvédelmi rendszer halonos újratöltésére még várni kellett.

1986. májusában a MEV vezetése a sor újraindítását határozta el. Az előkészítés során a légcserre leállása miatt a dolgozók közt egyesek rosszul lettek, majd pedig május 22-én az epitaxiás berendezésben hidrogénrobbanásra került sor.

5.7.3. Tűz a MEV-nél

A „figyelmeztető” rossz előjelek után került sor 1986. május 26-án a magyar ipartörténet legnagyobb tűzkatasztrófájára, mely során leégett a MEV gyártósora. A közel kétmilliárd Ft kár története sokféleképpen hallható. A hivatalos tűzvizsgálat elektromos zárlatra vezette vissza a tüzet. Voltak azonban pletykák szabotázsról is.

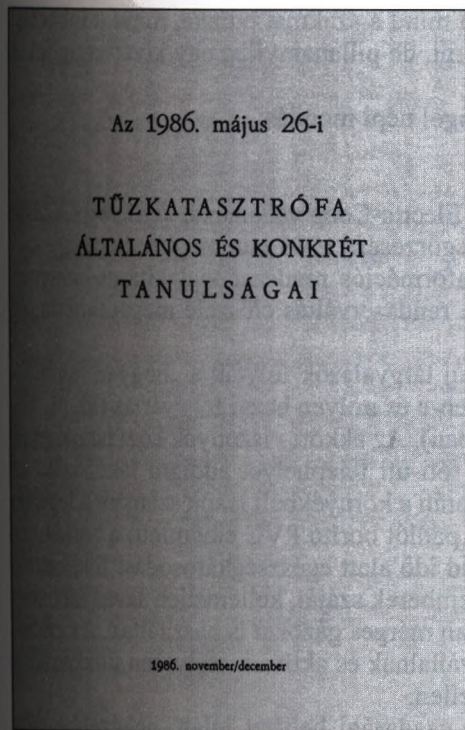
Egy Sz. K. monogrammal jelzett újságcikkben (Népszabadság, 1986. május 27., kedd) a szerző azt írta:

„A Mikroelektronikai Vállalat Elemgyárának dolgozói, a hétfő reggel hat óra körül kezdődő műszak előkészítői arra riadtak, hogy a fejük fölött, a szerviztér tetőterében – ott, ahol több szűrőn keresztül érkezik a kondicionált levegő a patika tisztaságú üzembe – füst gomolyog. Ezzel egy időben működésbe lépett az automata tűzjelző is.A félvezető alkatrészeket gyártó üzemben tűz- és robbanásveszélyes anya-

gokkal is dolgoznak, ezért a szokásosnál is gyorsabban kellett cselekedni a IV. kerület, Fóti út 56. szám alatti gyár környékén. A forgalmat percek alatt elterelték, s míg benn folyt a megfeszített küzdelem a lángokkal, amelyek már az üzemrész melletti irodaépületet is fenyegették, egyre másra érkeztek a helyszínre az oltóanyagok utánpótlását szállító tűzoltóautók és .. a mentők is. A tűzoltók munkáját a gyár százhetven főnyi gárdája minden erejével segítette. A technológusok is segítették a tűzoltókat, hiszen a bonyolult csövezetekben különféle oltóanyagokat és oltási eljárásokat igénylő vegyi folyamatok zajlanak. ... A hősiességű erőfeszítéseknek köszönhetően két óra alatt sikerült lokalizálni, tíz órára pedig teljesen elfojtani a tüzet." **Dr. Balogh Béla**, a vállalat vezérigazgatója, maga is részt vett az oltásban. Nem sokkal a riasztás után a helyszínre érkezett Kapolyi László ipari miniszter is.



5.30. ábra. Újság szenzáció: Tűz a MEV-nél



5.31. ábra. Az 1986. november/december-i jelentés címlapja

Anélkül, hogy az akkori vitákat újra kezdenénk, néhány konkrét megjegyzést tehetek. Az egyik az, hogy az akkori időkre olyan jellemző módon az 1982-es válságtól kezdve ún. kézi vezérlés, devizakorlátozás volt a deviza hiány miatt. Ez volt az oka, hogy az automata tűzoltó rendszer a decemberi tűz után még nem volt halonnal feltöltve. A másik az, hogy a „T” épület teteje a karbantartás miatt, sok kátránypapír réteggel volt borítva, ezt a meggyulladt bitumenes kátránypapír rendkívül erővel és magas hőfokon égett. A harmadik az, hogy a tűzoltóság nem volt felkészülve ilyen mértékű és jellegű tűz oltására.

Kapolyi László miniszter elrendelte, hogy szakértői bizottság vizsgálja meg és elemezze a MEV tűz általános és konkrét tanulságait [5.15.]. **Dr. Bognár Sándor**, az elektronikai iparért felelős miniszterhelyettes az Ipari Minisztérium nevében, a tanulmányok alapján, az összefoglaló jelentés megírását egy három fős szerkesztőbizottságra (**Dr. Herman Ákos**, **Huszár István**, **Mészáros Gyula**) bízta.

A vizsgálat sokrétű, 26 fős nagy szakértői gárdát felvonultató volt. A szakértők közt voltak tervezőintézeti munkatársak, a különböző közművek, különféle hatóságok, a tűzoltóság, a rendőrség, a KÖJÁL, a MN Hátországvédelmi Főparancsnokság képviselői.

A tűz fő okát *Mlinkó Tamás* (Villamosipari Kutatóintézet), az igazságügyi szakértő abban látta, hogy a mennyezetbe épített szellőző ventilátorok szerelésénél az osztórák fél a náluk szokásos, a magyar előírások szerint tiltott, megoldást alkalmazott, nevezetesen a fázistoló kondenzátorokat vízszintesen helyezték el. Egy meghibásodott kondenzátorból kipattanó szikra gyújtotta be az éppen alatta, szintén a szabályokat megszegve, tárolt használt acetont.

A konkrét tanulságok levonását némileg zavarta egyrészt a vállalat, másrészt a tűzoltóság vezetőinek személyes érdekeltsége. Azonban Kapolyi a magyar ipartörténet mindmáig – reméljük még sokáig – legnagyobb tűzkatasztrófája alapján felismerte, hogy a gazdaság fejlődése olyan fokot ért el, amikor egyre nagyobb szükség van a professzionális katasztrófa védelemre. Ebből a felismerésből kiindulva, hosszú és fokozatos formában mára létrejött egy önálló (pontosabban mára a polgárvédelemmel összevont), országos katasztrófavédelmi szervezet.

5.8. (És újra) hogyan tovább?

A tűz egy egész mérnökgenerációnak vette el addigi élete értelmét, de azonnal megkezdődött a rekonstrukció érdekében mind a szakmai munka, mind a lobbizás. Ennek kapcsán sok mindenről kellene még írni, de pillanatnyilag egy kívánságig jut el ez a dolgozat:

az IC tematika kapcsán ajánlható egy angol népi mondás:

take it easy – fogd fel könnyeden!

Az Ipari Minisztérium támogatásával, az Electro-Coop vállalatnál, *dr. Balog Gézával* a meglevő technológiai tudás, know-how, megőrzésére 1986-ban megkezdtem egy számítógépes mikroelektronikai technológiai információs rendszer kialakítását, melynek működő modellje 1989-re elkészült, ekkor a rendszerváltás előszele megszakította ezt a munkát.

1987-ben új tanulmányok készültek és új tárgyalások folytak a „hogyan tovább”-ról. A szakmai közéletben viták folytak legyen-e és milyen hazai IC gyártás (ld. pl. *Vámos Tibor* akadémikus cikke a *Mozgó Világban*). Az akkori viszonyok közt hamar nyilvánvaló lett, hogy az eredetileg városszéli főtí-úti telephelyet addigra lakóházak, az EIVRT lakótelepe vette körbe. A MEV tűz során a környékbeli lakók számára a legtöbb kellemetlenséget az okozta, hogy a tűzben a padlót borító PVC elbomlott, a bomlásból eredő alacsony koncentrációjú, az adott rövid idő alatt egészségkárosodást feltehetően nem okozó, sósavgáz pedig savassá tette az emberek száját, kellemetlen savas ízt okozva. Ezzel együtt elterjedt a hír, hogy a gyárban mérges gázokat is használtak. Az emberek úgy érezték, hogy ekkora veszélyt nem vállalnak és aktívan, erélyesen tiltakoztak a szelettechnológiai üzem főtí-úti újjáépítése ellen.

A szovjet együttműködés, az általános gazdasági helyzet miatt, nehezebbé vált. Emiatt a MEV csődbe került, majd felszámolták. A felszámolás nyomán számos utódvállalat jött létre.

Az utódvállalatok ismételt átalakulás és tulajdonváltás nyomán folyamatosan korszerűsödtek, őrizték és bővítették a meglévő szakismereteket. A termelés fenntartása, a piac megőrzése lehetővé tette, hogy ez az ipari kultúra Magyarországon fennmaradjon.

Mára a budapesti, fóti-úti és a gyöngyösi gyár újra egy cég, a *dr. Balogh Béla* vezérigazgató irányította Vishay Hungary Kft. keretében működik. (A dr. Felix Zandman féle Vishay cég vállalatfelvásárlásokkal mára világcéggé lett. A Telefunken megvétele után megvette annak magyarországi beszállítóit is.) Ez azonban már egy másik történet.

* * *
* *

Köszönet

A szerző köszönettel tartozik sok barátjának és volt kollégájának, de különösen *Nyerges Gyulának, Vágó Györgynek és Wollitzer Györgynek*, akik információval, ötletekkel és kritikával segítettek a HIKI és a MEV itt leírt történetének megfogalmazását.

IRODALOM

- [5.1.] Válogatás a „Magyarok szerepe a világ természettudományos és műszaki haladásában” c. konferencia előadásáiból.
OMIKK, Budapest, 1987. p.16.
- [5.2.] Berend T. Iván:
A szocialista gazdaság fejlődése Magyarországon 1945–1975.
Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [5.3.] Nagy Ferenc:
Szent-Györgyi Albert és a magyar Nobel-díjasok.
MTESZ, Budapest, 1993.
- [5.4.] Móra László:
Pfeifer Ignác
NEVIKI, Veszprém, 1977.
- [5.5.] Szigeti György:
A műszaki fizikai kutatás népgazdasági jelentősége a múltban és annak perspektívája a vákuumtechnikai ipar területén. I. (Székfoglaló előadás).
MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
XXVII. kötet 1–2. száma, 1960.
- [5.6.] Pető Iván, Szakács Sándor:
A hazai gazdaság négy évtizedének története, 1945–1985.
I. Az újjáépítés és a tervutasításos irányítás időszaka, 1945–1968.
Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest, 1985.
- [5.7.] Herman László magánközlése.
- [5.8.] Vágó György:
Germánium diódák párválogatása aránydetektorok számára.
HIKI Közleményei I. kötet 1. szám. p2. 1961.
- [5.9.] F. Fischer, G. Komarik, G. Vágó:
Messung der dynamischen Kapazität von Germaniumdioden
Tungsram Technische Mitteilungen vol. VI., N2, p53, 1961.
- [5.10.] Húsz éves a HIKI.
szerk.: Katona János
Műszaki Kiadó, Budapest, 1953.
- [5.11.] Herman Ákos, dr. Kovács Ferenc:
Hazai nagyteljesítményű szilícium kapcsolótranszisztor konstrukciója és elektromos adatai.
Híradástechnika, XIX. évf. 7.sz. p212. 1968.

- [5.12.] (név nélkül)
Mikroelektronikai technológiák I.
Tiszta helyiségek, tiszta munkahelyek
HIKI, (Budapest), 1972.
- [5.13.] Elektronikus alkatrész és integrált áramkörgyártás fejlesztése.
Műszaki-gazdasági koncepció I., II., III. kötet
(Budapest) 1973. szeptember
- [5.14.] Mikroelektronikai technológiai füzetek
Alapvető eljárások 1...6. sz. füzet
Sorozatszerkesztő: dr. Laczkó Béla
- [5.15.] Az 1986. május 26-i tűzkatasztrófa általános és konkrét tanulságai.
(Szerkesztette: Huszár István, Mészáros Gyula, Herman Ákos)
(Budapest), 1986. november/december



6. A mikroelektronikai kutatás hazai kezdetei

6.1. Alapozó kutatások a félvezetők területén

Dr. Szép Iván

1026 Budapest, Branyiszkö u. 15.

Az ötvenes évek elején Magyarországon is létrejöttek azok az ipari kutató és fejlesztő részlegek, amelyek – mai szemmel nézve – a mikroelektronikai alkatrészek gyártás-technológiájának lehetséges fejlesztési bázisát képezték. Tevékenységük elsődleges célja a fejlett ipari államokban megvalósított, a felhasználók körében akkor már növekvő mennyiségben alkalmazott félvezető termékek – tranzisztorok, diódák – az embargó miatt hozzáférhetetlen gyártás-technológiájának hazai reprodukciója volt. Ennek egyedül lehetséges módszere a később „reverse engineering”-nek nevezett eljárás volt. Ez azt jelentette, hogy egy-egy késztermék megjelenési formája, műszaki adatai alapján a szakirodalom tudatosan hiányos és ködösítő közléseit elemezve ki kellett találni, hogy a terméket milyen anyagokból, milyen eljárásokkal, milyen módon, milyen eszközökkel készítették és a próbálkozások pozitív eredményei alapján hazai viszonyok között elő kellett állítani. A munkaeszközök megtervezése, elkészítése, az alapanyagok előállítás, minősítése, a gyártási módszerek kísérleti úton történő kialakítása rendkívüli nehézségekkel járó feladatot jelentett a létszámban is korlátozott kutató-fejlesztő csoportok részére. Ilyen körülmények között háttérbe szorult a technológia alapját jelentő fizikai, kémiai, anyagtudományi ismeretek megszerzése, az előremutató távlati kutatások művelése.

Ezt a feladatkört a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai Kutató Intézete karolta föl, amely 1958-ban kezdte meg működését. Bár az Intézet létrehozásának eredeti célja a vákuumtechnikai ipar (izzólámpa, fénycső, elektroncső gyártás) fém- és vákuumtechnológiai módszereit támogató alapkutatások ellátása, továbbá e területek számára szakemberek felkészítése volt, az Intézet vezetése felismervén a kérdés fontosságát, más szilárdtestek, köztük a félvezetőkkel kapcsolatos alapkutatásokat is programjába vette.

Az 50-es évek végén még nem körvonalazódtak pontosan a mikroelektronika tartalmi kérdései, fejlődésének legvalószínűbb fő irányai, az aktuális germániumeszközök területén is maradtak megoldatlan problémák, így az első időben az Intézet néhány kutatója (*Németh Tibor, Németh Tiborné, Pfeifer Judit*) amellet, hogy szakmai előtanulmányok céljából bekapcsolódott a HIKI-ben és az Egyesült Izzóban folyó fejlesztő munkákba, ugyanakkor foglalkoztak germániumfelületek stabilitását meghatározó tényezők vizsgálatával, adalékanyagok diffúziójának tanulmányozásával, egykristályokban fellépő különböző szerkezeti hibák keletkezésével, tulajdonságainak tanulmányozásával. Napirenden szerepelt az egykristályképződést meghatározó feltételek vizsgálata, a transzportfolyamatokkal ill. nagyvákuumban párologtatással történő epitaxiás kristálynövekedés tanulmányozása. Az AIIIBV típusú félvezetők családjából elsőként az indiumantimonid előállítása és vizsgálata valósult meg.

A párologtatott germániumrétegek előállításának kérdésével *Pócza Jenő*, *Barna B. Péter* és *Barna Árpád* foglalkoztak, a Román Tudományos Akadémia Fizikai Intézetével közösen végzett vizsgálatok az amorf rétegek tulajdonságairól, az átkristályosodás mechanizmusáról adtak nemzetközileg elismert felvilágosítást.

A kristályhibákkal kapcsolatos vizsgálatok később kiterjedtek a képlékeny deformáció útján létrehozott diszlokációk és a töltéshordozók kölcsönhatásának vizsgálatára (*Pődör Bálint*), az ún. fononszélnek a töltéshordozók rácshibákon történő áthaladására gyakorolt hatásával *Bodó Zalán* és munkatársai foglalkoztak. A nagy elektromos terekben fellépő áraminstabilitásokat *Pataki György* vizsgálta. Ez később a Gunn-jelenség kísérleti alkalmazásához szolgált elméleti alappal.

A hatvanas évek végére a félvezető kutatások területén az Intézetben három kutatási tématerület alakult ki. Az egyik a tradicionális rétegszerkezetek területén a félvezető-szigetelő (MOS, MIS), a homoepitaxiális félvezető-félvezető rendszerek mellett a félvezető heteroátmenetek kialakítását, vizsgálatát tűzte ki célul, különös tekintettel az intermetallikus két és három komponensű félvezető vegyületek egyre növekvő nemzetközi érdeklődést kiváltó családjára.

A második terület az egyes félvezetőkben tapasztalható, már említett áraminstabilitások vizsgálatából keletkezett és egyértelműen tömbi jelenségek kutatását vette terbe, első helyen a nagy elektromos terekben fellépő oszcillációk vizsgálatát.

A harmadik irány meghatározásában szerepet játszottak az Intézetben korábban folyó lumineszcencia és elektro-lumineszcencia kutatások, amelyek egyes AIIIIV félvezetőkben kialakított pn-átmenetektől kilépő optikai sugárzásra irányították a figyelmet. Mint tudjuk, ez vált a ma optoelektronikának nevezett diszciplína kiindulási alapjává.

Az alapvető fizikai vizsgálatokon túl mindhárom irányban természetesen konkrét kísérleti munka is folyt, a nemzetközi tudományos fórumokon prognosztizált anyagok, struktúrák előállítása, új szerkezetek létrehozása érdekében. A hetvenes évek elején már döntő szempont volt a témaválasztásban az, hogy milyen irányokban várható a mikroelektronika továbbfejlődése. A szilícium domináns jellegét semmi sem látszott veszélyeztetni, itt inkább az integrált áramköri struktúrák újabb és újabb változatai, azok teljesítőképességének növelése érdekében tett erőfeszítések határozták meg a nemzetközi fejlődést.

Az MFKI adottságai következtében nem kívánt, nem is tudott bekapcsolódni ebbe a versenyfutásba.

A rétegszerkezeti kutatások területén két speciális, a szokványostól eltérő áramköri struktúramodell, elsősorban tanulmányozás céljából történő létrehozását tűzte ki célul. Az egyik az elektromos impulzussal átprogramozható (beírható-törölhető) fix memória áramkör (EAROM) volt, a másik pedig a félvezető vidikonnak is nevezett képezékelő, a fény által keltett töltéshordozók csatolt mozgásán alapuló eszköz (CCD). Az EAROM áramkör egy fém-szilíciumnitrid-szilíciumoxid-szilícium (MNOS) rétegszerkezeten alapszik. *Lőrinczy András*, *Németh Tiborné*, *Stubnya György* és munkatársaik megtervezték a modell-áramkört, kidolgozták a technológia lépéseit, a megvalósított mintákon tanulmányozták a szilíciumnitrid-oxid rétegek határán a töltésbevitel és törlés effektusait, a tárolás tartósságát meghatározó tényezőket. Az eredményekről a kutatók konferenciákon és szakfolyóiratokban számoltak be.

A CCD-áramkör modellezésével *Forgács Gábor*, *Tüttő Péter* és munkatársai foglalkoztak, alkalmas technológiai kompromisszumok útján sikerült működőképes szerkezeteket előállítani.

Mindkét témában a továbblépést erősen akadályozta a megfelelő pontosságú optikai leképező berendezések hiánya, az iparban sem voltak még meg a szükséges eszkö-

zők. A tömegesen igényelt integrált áramkörök fejlesztése annyira lekötötte a kapacitásokat, hogy az ipari fejlesztő helyeken nem maradt idő a fenti modell-áramkörök továbbmunkálására, így ezeket a témákat az MFKI 1980-ban lezárta. Az Akadémiai Kiadó „A szilárdtest kutatás újabb eredményei” sorozatának 10. kötetében e témákról Szép Iván és Forgács Gábor szerzőségével jelent meg összefoglaló.

A szilícium-témák lezárásával a félvezető-kutatások az AIIIBV típusú félvezető vegyületek területére koncentráálódtak. Első helyen a galliumarzenid mint anyag vizsgálata, majd az abban fellépő Gunn-jelenség tanulmányozása szerepelt. Hazai és külföldi eredetű galliumarzenid minták fizikai tulajdonságainak tanulmányozása több értékes közleményt eredményezett (*Lőrinczy András, Pődör Bálint*). Lényeges előrelépést jelentett a témában, amikor lehetőség nyílt szovjet forrásból megfelelő homogén minőségű egykristály beszerzésére. Az epitaxiás rétegnövesztés ellentmondásos hazai tapasztalatait levonva ugyancsak szovjet forrásból sikerült egy kipróbált gőzfázisú epitaxiás növesztő reaktort és technológiát beszerezni és ezzel megbízható anyagellátást biztosítani.

A Gunn-effektuson alapuló struktúrák kézbe tartott létrehozásával megnyílt a lehetőség Gunn-oszcillátorok kifejlesztésére és gyakorlati hasznosítására. A hazai kutatás-finanszírozás egyre romló feltételei között a 80-as években ez számottevő bevételhez juttatta az Intézetet. A fejlesztési munkákban kezdetben *Sebestyén Tibor*, majd *Mojzes Imre, Gyúró Imre, Németh Tiborné, Kazi Károly* vitték a vezető szerepet.

A Gunn-dióda sikeres kidolgozását követően galliumarzenid alapú Schottky-diódák, varaktorok fejlesztése került napirendre (*Szentpáli Béla, Horváth Zsolt*) és új mikro-elektronikai elemként a tervezérelt tranzisztor (MESFET) (*Mojzes Imre, Kovács Balázs* és munkatársaik). Utóbbinál 1 μm alatti méretű struktúrák létrehozása vált szükségessé. Kiderült, hogy az Intézetben meglévő technikai eszközök erre csak nagy leleményességgel bevetésével alkalmasak. Az eltérő feladatok miatt más kutatóhelyek bekapcsolásával sem sikerült a nehézségeken úrrá lenni. Ennek ellenére sikerült egy 10 GHz -es frekvenciatartományban működő MESFET tranzisztor mintapéldányát kifejleszteni, lényegében az NDK-val egyidejűleg.

Az intermetallikus vegyületfélvezetők kutatásának harmadik, fontosságában egyre növekvő területe a sugárzási jelenségekhez kapcsolódik, amelyeknek legjellemzőbb formája a pn-átmeneteken fellépő elektrolumineszcencia, azaz az áramot létesítő kétféle polaritású töltéshordozók – lyuk és elektron – közvetlen rekombinációjakor keletkező optikai sugárzás.

A korábbi lumineszcencia kutatások hatására *Bertóti Imre, Hársy Miklós, Lendvay Ödön, Németh Tibor* már a hatvanas évek végén kísérleteztek a lumineszkáló cinkszulfid és az intermetallikus galliumfoszfid, majd a szilícium heteroepitaxiás összenövesztésével. Megfelelő gőzfázisú transzport ill. olvadékban történő kristályosítási folyamatokkal sikerült epitaxiás párokat létrehozni. Félvezető szempontból az egyenirányítás jelensége mutatkozott érdekesnek.

A hazai heteroátmenet kutatás nemzetközi megmérettetésére jó alkalom volt az 1970-ben Budapesten rendezett nemzetközi konferencia, ahol a vezető külföldi kutatóhelyek is nagyra értékelték az MFKI eredményeit. Ekkor kapott lendületet külföldön is a heteroátmenet kutatás.

Itthon az előállítás megfelelő módszereinek kiválasztása útján a további kísérletek az AIIIBV vegyületek hetero-szerkezeteivel folytak. Olvadék-epitaxiás módszerrel jó hatásfokú világító pn-átmenetek készültek GaAs/GaAsP kombinációval (*Görög Tamás*), majd GaAs/GaAlAs összeállításban (*Rónai Tiborné*). A „világító diódákról” a munkák fokozatosan áttevődtek a félvezető lézerekre, ahol újra a mikrotechnika prob-

lémái jelentkeztek hátráltató tényezőként. Az optikai hírközlés jelentőségének rohamos növekedésével az igények a hosszabb hullámok felé tolódtak, így a galliumarzenid alapú lézerstruktúrákról át kellett térni az indiumfoszfid alapú struktúrákra. Újtípusú technológiai lépések és rétegelrendezések kialakításával sikerült nemzetközileg is versenyképes lézerdiodákat létrehozni (*Rakovics Vilmos* és munkatársai).

E visszatekintés megírásakor (1994) a hazai gazdaságban, iparban alapvető átrendezés folyik. A mikroelektronika hazai alkatrészbázisa gyakorlatilag megszűnt. A gazdasági és politikai diszkrimináció által ránk kényszerített önerős reprodukciós fejlesztéseknek nincs már indokoltsága. Sokan még az ilyen irányú kutatások létjogosultságát is kétségbe vonják. Eredeti, új mikroelektronikai alkatrészekre nincs igény. De világszerte is lelassult a fejlődés üteme. Nagy világcégek osztoznak a piacokon és diktálják a fejlődés ütemét. Az állandó újdonságra törekvés igyekezete alábbhagyott, az ehhez szükséges folyamatos ráfordítások nagyságrendje már túl nagy kockázatot jelent még a nagyok számára is.

Ebben a helyzetben az alapkutatásokra vár nagy kihívás. A piactól nem befolyásolva újfajta anyagokon, főleg az optika és a mikrohullám területén kell új elveket, szerkezeteket keresni, amelyek pl. az informatika számára kínálnak jobb lehetőségeket. Lényeges kérdések várnak tisztázásra az anyag és az elektromágneses tér kölcsönhatása terén. Fontos terület a zajkutatás, amely egészen alapvető ismeretekhez juttat bennünket. A biológiai átviteli rendszerekkel való kacérkodás szintén odafigyelést igényel, beleértve a biológiai és egyéb elveken működő érzékelőket is. Mindenesetre új ismeretekre van szükség az anyagról, az anyagi rendszerekről. Ezek birtokában fenntartható az értelmes kommunikáció a világ fejlettebb részével és út nyílik a hazai fejlődés számára is.

6.2. Tranzisztorkutatás hazánkban: a kezdetek

Dr. Szép Iván

1026 Budapest, Branyiszkó u. 15.

A mikroelektronika korszaka lényegében a tranzisztor hatás 1948-ban történő felfedezésével kezdődött, bár maga a fogalom jóval később alakult ki és nyert polgárjogot. A szilárd anyagban létrehozható áramerősítés mechanizmusának felhasználásával először a tűkontaktusos tranzisztort, majd a p-n-átmenetes tranzisztort fejlesztették ki.

A tranzisztor feltalálásával az addig kizárólagosan alkalmazott elektroncsövek mellett megjelent egy lényegesen kevesebb energiát igénylő, lényegesen kisebb méretű elektronikus aktív elem. Az 50-es évek elején az elektronikát elsősorban katonai szempontból értékelték, a hír- és távközlési ipar azonban a tranzisztorban egy, a fejlődéséhez nélkülözhetetlen új eszközt látott és nagy erőfeszítéseket tett alkalmazására és a gazdaságos gyártás kialakítására. Ezeknek az erőfeszítéseknek meggyőző összefoglalása jelent meg az amerikai rádiómérnökök folyóiratának, a *Proceedings of IRE* 1952 novemberi különszámában, amelyben mind a teljesítmények, mind a frekvenciák megnövelésének konkrét megoldásairól, mind számos alkalmazásról számoltak be a fejlesztők. A szakmai közvélemény előtt világossá vált, hogy itt nem barkácsoló amatőrök számára készült eszközökről van szó, hanem az elektronika fejlődésének új irányát meghatározó új elemről. Tegyük hozzá, hogy a mikroelektronikáról akkor még csak sejtései voltak a fantáziadús szakembereknek, a számítástechnika még gyermekcipőben járt és saját elvi és gépi problémáival volt elfoglalva.

Az új technika felkarolói a fejlett ipari államokban a nagy rádiótechnikai gyárak (General Electric, RCA) voltak, de voltak bátor kezdeményező kisvállalkozások, amelyek tranzisztorkészítéssel kezdtek foglalkozni. Meglepő módon az első sikeres tömeges felhasználást a „zsebrádióban” hong-kongi és japán cégek vezették be és ez nem kis mértékben alapozta meg a japán mikroelektronika mai vezető pozícióit. A kutatás-fejlesztés élvonalában az American Telephone and Telegraph Co. (ATT) kutatási bázisát képező Bell Telephone Laboratories (BTL) haladt W.Shockley, W.Brattain és J.Bardeen, a nemsokára Nobel-díjjal jutalmazott tudós-triász vezetésével.

Magyarországon az Egyesült Izzó kutatólaboratóriumának a Távközlési Kutató Intézet-höz csatolt részlegeiből 1951-ben államigazgatási határozattal leválasztották a fényforrás és volfrámtechnológiai fejlesztéssel foglalkozó kutató-csoportokat és az ujonnan létrehozott Híradástechnikai Ipari Kutató Intézethez csatolták. Ebben a Bródy Imre nevét viselő laboratóriumban kezdődtek meg a hazai tranzisztorgyártás technológiájának fejlesztésére irányuló kutatások 1952 szeptemberében, Szigeti György a laboratórium vezetőjének kezdeményezésére. A cél az akkor ismert tús germánium-tranzisztor reprodukálása volt. A feladat szilárdtest fizikai vonatkozásaival Bodó Zalán fizikus, a technológia kérdéseivel Szép Iván kémikus, a mérés technikával Klatsmányi Árpád villamosmérnök foglalkozott, néhány főmunkatárs és segéderőgárda közreműködésével. A szocialista országokat sújtó embargo miatt technológiai információkhoz hozzájutni lehetetlen volt, kiindulni csak a kifejezetten tudományos folyóiratokban megjelenő közlemények elemzésével lehetett, speciális anyagokhoz, műszerekhez hozzájutni lehetetlen volt, gépek, berendezések kereskedelmi forgalomban nem voltak. Még a nagy cégek is házilag előállított eszközökkel dolgoztak.

A HIKI-ben ismeretlen forrásból rendelkezésre állt kb. 700 g elemi germániumnak deklarált anyag, amelyről a közelebbi vizsgálat során kiderült, hogy kb. 10 %-nyi germánium-oxidot tartalmaz. Az első feladat ennek az anyagnak a megtisztítása volt, ami viszonylag egyszerű kémiai módszerekkel sikerült. Az így kapott poralakú germánium kristály tömbbé olvasztása után az abból előállított szeletek homogén részein sikerült tranzisztorhatást észlelni. A fizikai mérések azonban jelentős, elektromosan aktív szennyezés jelenlétét mutatták. Időközben ismertté váltak a tisztítás új módszerei (zónás átolvasztás), a homogén egykristály előállítására szolgáló módszerek, a felületkezelési eljárások. Ezek gyors bevezetésével 1954-re sikerült reprodukálható tulajdonságokkal rendelkező tús tranzisztorok mintapéldányait előállítani, a tűkontaktusok viselkedésének tanulmányozása alapján pedig a tús germániumdiódák technológiáját is kidolgozni.

A külföldről nehezen beszerezhető germánium hazai forrásainak feltárására ezidőtájt sikeres kutatások folytak a Nehézvegyipari Kutató Intézet közreműködésével. Egyes hazai barnaszének kátránypárlatában a lepárlás során számottevő germánium-oxid halmozódott fel, a kidolgozott eljárás segítségével az ötvenes évek végére sikerült egy évi 10–15 kg geránium-oxidot produkáló kísérleti üzemet létrehozni. Itt a gyártási hulladékból a germánium visszanyerésére is sor került. Erről azonban egy másik részben a 6.4.pontban esik szó.

A kutatás-fejlesztés eredményeinek hasznosítására az Egyesült Izzóban 1955-ben létrehoztak egy, a tús diódák gyártására szolgáló kísérleti részleget. Az itt végzett fejlesztés során a diódák stabilitását biztosító hermetikus üvegtokba zárást is sikeresen megoldották. A HIKI-ben a következő feladat a célzatosan adalékolt, megfelelő tulajdonságú germánium egykristály technológiájának kidolgozása volt a tús tranzisztor felváltó p-n réteges tranzisztorhoz történő felhasználásra. Ehhez zónás tisztító berendezést és egykristály húzásához szükséges gépet kellett tervezni, az intézet műhelyében elkészíteni. Ezek elkészülte után 1956 elején sikeres kísérletek folytak. Ez év őszén tanul-

mányútra nyílt lehetőség a leningrádi „Szvetlána” gyárba, ahol ekkor már germánium rétegtranzisztorok gyártása folyt. Ennek technológiájával ismerkedett 1 hónapig egy 3 tagú HIKI-EIVRT küldöttség. Az akkori súlyos gazdasági helyzet ellenére 1957 elején elkezdődött a szerzett tapasztalatoknak a hazai viszonyokra történő adaptálása, 1958 folyamán pedig az EIVRT-vel közösen kísérleti gyártás létrehozása. A következő években teljesítmény tranzisztor, réteg egyenirányító dióda, nagyfrekvenciás tranzisztorok fejlesztése folyt egészen a 800 MHz-es tartományig. 1962-re a nemzetközi fejlődés alapján nyilvánvalóvá lett, hogy a germániumra épülő eszköztechnológia lehetőségeit a germánium anyagi tulajdonságai (hőmérséklet érzékenység, környezeti hatások) korlátozzák. Előtérbe került a szilícium, ahol ugyan a magasabb olvadáspont miatt a tisztítás, egykristály készítés problémái sokkal nehezebbek voltak, ezek sikeres megoldása után azonban a nagyobb teljesítmények területén jelentkezett a szilícium fölénye. A planáris struktúrák bevezetésével új technológiai megoldások váltak lehetségessé és ezzel valóban megkezdődött a mai értelemben vett mikroelektronika korszaka.

Ez a korszakváltás 1963-ban a HIKI-ben is lezajlott, elkezdődött a planáris struktúrájú szilíciumeszközök technológiájának fejlesztése. Erre az időre már önálló laboratóriummá fejlődött a HIKI félvezetőkutató részlege, 30 főnyi létszámmal, az új technológia által megkívánt részegységekkel (oxidációk, diffúziók, fotolitográfia, vákuumtechnika, szerelés). Ennek köszönhetően 1966-an az Egyesült Izzó kísérleti gyártásában a kutatók közreműködésével megkezdődhetett a BFY 33 típusjelzést viselő első planáris szilícium-tranzisztor technológiájának bevezetése.

A számítástechnika rohamos fejlődése, a digitális elven működő áramkörök iránti igény, a különböző logikai rendszerek versengése inspirálója volt a mikroelektronika fogalmi tisztázódásának és ezen belül a monolit integrált áramkörti technika térhódításának. Az elvi alapok megismerése után a HIKI-ben döntés született, hogy a technikai adottságok és lehetőségek figyelembevételével egy viszonylag egyszerű áramkörcsalád, az RTL logikai rendszeren alapuló elemeinek kifejlesztését kell megkísérelni. Korlátot itt elsősorban a speciális berendezések hiánya (maszk kicsinyítő és léptető berendezések, kiszerező és mérő berendezések) jelentett, amelyeket elsősorban helyi fejlesztésekkel kellett pótolni. Bonyolult közvetítő rendszeren keresztül, részben kelet-német és szovjet forrásból sikerült néhány speciális egységet beszerezni, ennek mértékében vált lehetségessé bonyolultabb áramkörök napirendre tűzése.

A 70-es évektől az Egyesült Izzó átvette a bipoláris szerkezetű IC fejlesztés nagy részét, a HIKI pedig a MOS-áramkörök technológiájának fejlesztését kezdte meg. 1971-ben elkészült néhány MOS struktúrájú logikai áramkör, a reprodukálható technológia kialakítását azonban egyre jobban gátolta a megkívánt műszaki feltételek hiánya (speciális berendezések, a környezet tisztasága, stb.). A szükséges eszközök, berendezések, komplett gépsorok beszerzését továbbra is gátolták az embargószabályok, egy-egy egyedi eszköz kerülőúton történt beszerzése csak részben enyhített ezeken a nehézségeken. Az integrált áramkörök rohamosan növekvő bonyolultsága ilyen körülmények között egyre nehezebbé tette a hazai reprodukáló fejlesztéseket. Az áramkörök tervezésének, a maszkok készítésének rendelkezésre álló eszközei elégtelenek bizonyultak a feladatok megoldásához. A helyzetet súlyosbította az ipar irányításában mutatkozó határozatlanság, ellentétes nézetek küzdöttek egymással, ahol az egyik oldal tagadta a hazai fejlesztések szükségességét, lebecsülte az elektronikai ipar szerepét, a fejlesztést alkatrészimporttal vélte letudhatónak, ugyanakkor a hazai fejlesztést elengedhetetlennek tartó másik oldal mégis folyósított valami – általában elégtelen összegű – támogatást.

Közben tárgyalások folytak vezető nyugati cégekkel know-how vásárlás feltételeiről és tartalmáról. Kiszerező és mérő berendezések szállítására javultak a feltételek, a szelettechnológia azonban továbbra is embargó alatt maradt. Ezekben a kérdésekben a magyar partner az Egyesült Izzó volt.

Ebben a helyzetben a növekvő számú és nehézségű feladat láttán 1976-ban négy vezető kutató intézet kutatási-fejlesztési társulást (KFT) hozott létre, amelyben a partnerek egy közösen meghatározott feladattervben az adottságuknak megfelelő feladatkörök ellátását vállalták. Így a Távközlési Kutató Intézet a számítógéppel segített áramkörtervezési módszerek és az erre alkalmas számítástechnikai bázis létrehozását vállalta. A Központi Fizikai Kutató Intézet az ionsugaras technológiák, a magfizikai analitikai módszerek kidolgozásában, a szükséges berendezések fejlesztésében vállalt feladatokat (implanterek). A félvezető anyagok fizikai vizsgálati és fizikai-kémiai analitikai módszerek kidolgozására a Műszaki Fizikai Kutató Intézet vállalkozott. Végül a maszkkészítés és a szilícium szelettechnológia módszereinek kifejlesztésére, egyes technológiai berendezések létrehozására, a szükséges infrastruktúra kifejlesztésére a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet vállalkozott.

Az LSI KFT célja a nagybonyolultságú integrált áramkörök kiválasztott céltípusainak kidolgozása volt. A KFT megalakulásakor ezek a következők voltak:

- p- és n-csatornás szilícium-kapus ROM,
- programozható fix memória (EEPROM),
- egy-egy RAM és végül egy korszerű mikroprocesszor.

Ezt a programot kiegészítette az ugyancsak a HIKI-ben folyó, nagybonyolultságú áramkörök mérésére alkalmas, számítógéppel vezérelt mérőautomata fejlesztés (ICOMAT).

E társulásban nem vett részt az Egyesült Izzó, amely az integrált áramköri gyártás fejlesztésében önálló politikát követett. Egyrészt az amerikai Fairchild cégtől sikerült megvásárolnia egy kiszerező-mérő gépsort, amelyen, az európai piacokon beszerezhető IC-féltermék kiszerezését tudta végezni és ezt a hazai piacon értékesíteni. Az alaptechnológiai berendezések beszerzésére azonban továbbra sem nyílt lehetőség. Viszont egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a hazai IC gyártás eredményes megvalósítása csak egy korszerű, megfelelő környezetbe telepített, az Egyesült Izzó egyéb érdekeitől független, azoktól nem befolyásolt új gyártelepen lehetséges. A Mikroelektronikai Vállalat (MEV) létrehozása azonban már egy másik történet (ld.5. fejezet).

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetnek az 1965-től fokozatosan kiépülő többi telephelyén a Félvezető Laboratórium után sorban helyet kaptak a mérés technikával és műszerfejlesztéssel, a passzív elemekkel és a hibrid áramkörökkel foglalkozó többi laboratórium. A mikroelektronikához kapcsolódó tevékenységükről a jelen könyv egyéb fejezeteiben esik szó.

A HIKI Félvezető Laboratóriumában végzett technológiai kutatások a hatvanas évek végére felhalmoztak annyi ismeretet, hogy a siker reményében lehetet megkísérelni a szilícium alapú közepes bonyolultságú áramkörök fejlesztését. Az LSI-KFT programjában szereplő alaptípusok realizálásakor azonban kiderült, hogy a hazai technikai bázis kapacitása elsősorban a maszktervezésben és kivitelezésben nem elegendő a kitűzött feladatok időben történő megvalósításához. Ez még inkább indokolttá tette egy önálló mikroelektronikai vállalat jelentős beruházással történő létrehozását.

E beszámoló lényeges fogyatékossága lenne, ha említés nélkül maradna azon munkatársak közül legalább néhánynak a neve, akik a hőskorszakban vállalták a sötétbe ug-

rást és nem kevés kitartással, ötletességgel, hiányt pótló szellemes megoldással vezető szerepet vittek az eredmények elérésében. A hazai technikatörténet kell, hogy emlékezzék *Rózsa Pálné, Gergely István, Nyerges Gyula* vegyészekre, *Egri János, Kürthy Zoltán, Kürthy Zoltánné, Herman Ákos* vegyészmérnökökre, *Ugray László, Pásztor Gyula, Fried Henrik, Almási István* villamosmérnökökre, *Tihanyi Jenő, Erlaky György* fizikusokra. Övük és munkatársaiké az érdem, hogy a hazai félvezető-technológiai kutatások egy fontos szektorában annakidején nemzetközileg is respektált színvonalat sikerült elérni.

6.3. A Távközlési Kutató Intézet félvezető eszközökkel kapcsolatos rövid története

Dr. Vecsernyés Lajos
vecsla@axelero.hu

A hivatalosan 1950-ben alapított TKI-ban már a kezdeti időkben felismerték, hogy a klasszikus elektronikai alkatrészek mellett – főleg a nagyobb megbízhatóságot és kisebb méreteket igénylő katonai célú berendezésekben – egyre jelentősebb szerepet kapnak a félvezetős alkatrészek. (A mikroelektronika kifejezés csak később alakult ki.) Mivel a hidegháborús körülmények miatt ilyen speciális felhasználásra alkalmas alkatrészek beszerzése legfeljebb mintadarab szinten volt lehetséges, döntés született – elsősorban mikrohullámú nagyberendezésekben használható – félvezető eszközök hazai kifejlesztésére és gyártására. Ezt a teljes kutatási és gyártástechnológia fejlesztési vertikumot felölelő feladatot egy kb. 30 fős osztály kapta, melynek vezetője Csapó Ferenc, helyettese Pintér János volt.

Én 1953-ban kerültem a csapatba. (1950-ben végeztem a Szegedi Tudományegyetemen TTK-s vegyészként. Az addig eltelt közel három év alatt elméleti és gyakorlati tapasztalatokat szereztem az optikai spektroszkópia több ágában, a fotokémiában és az infravörösben működő megfigyelő eszközök terén.)

A TKI-ban ekkor már elkezdődött a **germánium** alapú félvezető anyagok és eszközök előállítására irányuló tevékenység. Elsőként a potenciális hazai Ge források, így a különböző lelőhelyekről származó barnaszének, az ezeket felhasználó erőművek hamui, illetve szállóporai, pernyéi germánium tartalmának felmérése történt meg. Több kinyerési és analitikai eljárást dolgoztunk ki GeO_2 és fém Ge előállítására, valamint tisztasági fokának, szennyezőinek meghatározására. Különböző felületekre tiszta Ge és arzénal szennyezett vastag Ge rétegeket választottunk le, saját fejlesztésű kombinált termikus bontás révén hidridekből (*Csapó Ferenc, Bihari Istvánné, Vecsernyés Lajos*). A már működő analitikai kémiai labor mellett (*Kovács Ervin, Gilde Ferencné*), 1954-ben létrehoztunk egy elsősorban nyomelemzési feladatokra szánt Optikai (Atom) Emissziós Spektrográfiai Laboratóriumot (*Vecsernyés Lajos*).

Ezen első szakaszban születtek meg a mikrohullámú tüsdiodák első típusai (*Pintér János*).

1955-ben osztályunk átköltözött az EIVRT (TUNGSRAM) területén, – az ottani kutatólaboratórium mellett – felépült új épületbe. Ott a – Winter Ernő akadémikus vezetése alatt – működő elektroncsöves (pl. haladóhullámú) és vákuumtechnikai kutatófejlesztő laboratóriumokhoz csatlakoztunk, megalakítva a „TKI-2”-t, ami szervezetenleg a TKI egyik főosztálya volt.

Nagy váltás történt: A germánium témákat teljesen abbahagytuk és mindannyian – ki-egészülve jó néhány már Újpesten levő vegyész, fizikus és villamos mérnök kollegával – **belevágtunk a szilícium történetbe.** Ismét teljes vertikumban folytak a kutató, fejlesztő és ki-

sérleti tevékenységek. Technikai tisztaságú szilíciumfém-ből és ferro-szilíciumból, nagy tisztaságú Si előállításához szükséges Si_4 , SiCl_4 , SiHCl_3 , SiH_4 előállítása, tisztítása (*Zombori Vilmos, Hangos István, Bombicz Sándor*), ezekből polikristályos Si-pálcák, rudak előállítása, majd azoknak zónás olvasztás révén történő tisztítása, végül a tiszta Si-ból egykristály rudak készítése (*Hangos István, Pintér János, Bombicz Sándor*) volt a technológiai feladatok első csoportja. Természetesen minden munkafázisban, minden anyagot, köztiterméket különféle fizikai és spektrokémiai mérési módszerekkel – amelyeket ott és akkor dolgoztunk ki – megvizsgáltunk (*Ádám János, Gergely György, Hantai Ödön, Vecsernyés Lajos*). Ezek mellett, különféle mikro-spektrálanalitikai „felderítő” nyomelemzésekkel rendszeresen segíteni tudtuk a vákuumtechnikai kutatásokat és a TKI-1-beni eszköz fejlesztést is. (*Vecsernyés Lajos*) A már elkészült Si-rudakat vékony szeletekre kell felvágni. Erre a feladatra saját tervezésű és kivitelezésű vágóberendezés készült, amely jól működött több évig, az importig.

Az ezt követő úgynevezett **szelet technológia** egyes fázisait már ekkor elkezdtek, de mélyrehatóan, a **következő (1963–65) költözési folyamat után** tudtunk ezzel a területtel foglalkozni. Vissza költöztünk a tisztább levegőjű rózsadombra, ahol a-TKI területén 3 új pavilon épült, a közben kialakult **Alkatrész főosztály** részére!

Az eddig tartó munkaszakaszban végzett tevékenység igazi úttörő munka volt!

A kevés hozzáférhető szakirodalom felhasználásával, és sok ötlettel mindent magunk készítettünk el. Külön elismerés és köszönet az „aranykezü” műszaki kollégáknak! Egészségtelen volt, veszélyes volt, de nagyobb baj nélkül sikerült végig csinálni! Nem volt tapasztalata egyikünknek sem a robbanás veszélyes, levegőn hidrolizálódó és eközben sósavgázt fejlesztő, meg mindenhova lerakódó SiO_2 -füstöt képező szilícium-halogenidekkel, szilánokkal. Mindezek mellett viszonylag nagyterefogatú, magas hőmérsékletű, jelentős mennyiségű hidrogént is tartalmazó reaktorokat kellett megtervezni, megépíteni és működtetni. **Hiszem**, hogy nemcsak szerencse és Isteni Gondviselés, de az egész kutatói és technikai csapat szakmai és emberi értékei tették lehetővé, hogy csupán néhány kisebb robbanás, apró sérülések és néhány krónikus garathurut „színesítette” napjainkat.

Közben az 1956/57-es események szó szerint megtizedelték az intézet műszaki-tudományos állományát, így tőlünk is sokan – közöttük Csapó Ferenc osztályvezető is – külföldre távoztak.

Fontos előrelépést jelentett, hogy 1960-ban beszerezhetővé vált egy „Radyne” gyártmányú „függő zónázó” és „egykristály húzó” berendezés. Ennek segítségével, már **eladható és számunkra is jól alkalmazható különféle, szilícium egykristály szeleteket tudtunk előállítani**. Az immáron főosztály szervezésű és méretű társaság több mint száz emberből áll és a vezető *Pintér János*, majd *Nagy László*. A feladat a mikrohullámú nagyberendezésekhez megfelelő minőségű és mennyiségű különféle mikrohullámú dióda, varactor, step recovery dióda és más, ugyancsak mikrohullámú berendezésekhez szükséges RC-alkatrészek (ferrit-eszközök, tantál kondenzátorok) kifejlesztése és legyártása.

A **tevékenységek** finanszírozását jórészt ettől tették függővé. Részben ezért, másrészt a nagy átköltözés miatt:

- Leadtuk és Balatonfüzfőre telepítettük a teljes, jól működő, félüzemi méretű, nagy tisztaságú szilícium egykristály gyártást. Ennek éves kapacitása több mint 100 kg nagy tisztaságú (>1000 ohm/cm-es) szilícium egykristály volt. Tudomásom szerint, a VKI-ben ebből tirisztorokat készítettek, többek között a MÁV villanymozdonyaihoz!
- Rövid ideig megpróbálkoztunk gallium-arszenid egykristály előállításal (*Bombicz Sándor és Bedőcs Sándor*), de – hamarabb mint mások – felismertük, hogy ez akkor és Magyarországon gazdaságtalan tevékenység, olcsóbban megvásárolható.

A TKI-ben **megmaradt** a gyorsan fejlődő „szelet technológia”, valamint a mikro-hullámú félvezetős alkatrészek, és a speciális RC-alkatrészek fejlesztése, kissorozatú készítése. Ezek a – főként nagytisztaságú alapanyagokkal dolgozó és szennyeződés érzékeny technológiákat alkalmazó területek – kezdetől fogva nem voltak és ma sem művelhetők az anyagtudományi- és a legkülönbözőbb anyagvizsgálati módszerek folyamatos használati lehetősége és azok elméleti és alkotószellemű gyakorlati ismerete nélkül. Ezt felismerve, párhuzamosan és folyamatosan igyekeztünk kialakítani a technológiai és az anyagtudományi, anyagvizsgálati szakember gárdát, valamint a szükséges eszközparkot.

Minden területre kialakult a teljes szelettechnológia szakértői gárdája, a szeletvágás és a felület-megmunkálástól, a megtervezett epitaxiális rétegépítésen, diffúzió, maszkoláson, vákuumpárolgatáson, stb. keresztül, a tokozásig. Néhány név a sok közül: *Aczél Judit, Danielisz Béla, Fetter László, Gábor György, Hahn Emil, Kormány Teréz, Kósza Géza, Keresztury Gáborné, Lévai László, Nagygyörgy Gábor, Nagy László, Sári Katalin, Thomán Valér, Varga László, Vértesy Miklós*, stb. Elnézést kérek az itt fel nem soroltaktól.

Ebben az időszakban már számos konkrét – hazai és nemzetközi – együttműködési kapcsolatot alakítottunk ki (főleg NDK és SZU). **Ott voltunk a nyugati nemzetközi élvonal mögötti második vonalban!**

A technológia mellé felnőtt, sőt hamarosan annak színvonalát túl is szárnyalta egy olyan **anyagtudományi, anyagvizsgálati rendszer** amelynek művelői részben a TKI tulajdonában levő, részben kooperációban vagy bérelt gépidőben más intézmények tulajdonában levő, korszerű nagyberendezéseken gyakorlatilag világszínvonalú, vagy azt megközelítő tevékenységet folytattak. A technológiai lánc minden fázisához minden szükséges speciális vizsgálatot el tudtunk végezni. Például több mint 10 éven át egy 3–5 fős csoportunk működött a KFKI-ban ahol *neutron aktivációs* analitikai módszereket, kidolgozva, főként tiszta szilícium bizonyos nyom-szennyezőinek mérését végezték rendszeresen. (*Rausch Henrik, Varga Kálmánné*) Különleges ismereteinket mind gyakrabban igényelték egyéb, – akár egészen más területen működő – hazai és külföldi partnerek. Bővülő nemzetközi kapcsolataink, publikációs tevékenységünk élvonalbeli nemzetközi folyóiratokban és szakmai világ konferenciákon, valamint négy kandidátusi (*Kormány Teréz, Rausch Henrik, Vecsernyés Lajos, Záray Gyula*) és több egyetemi doktori fokozat (kevesebb, mint húsz kutatótól) bizonyítja ennek az alig húsz éves szakasznak igényességét és eredményességét. Példaképpen: Az általunk kidolgozott és publikált nagytisztaságú szilícium nyomszennyezőinek meghatározására alkalmas (10^{-10} g/g kimutatási határral) új atom emissziós spektrálanalitikai módszerünket a német IBM és a Dinamit Nobel hosszú évekig alapmódszerként használta. (*Vecsernyés Lajos*)

Felmerült a gondolat hogy a kialakuló hazai mikroelektronikai ipar számára, ez a néhány helyen kialakult anyagtudományi és speciális anyagvizsgálati eszközökkel és ismeretekkel rendelkező „műhely” ésszerűbb és hatékonyabb működtetése az egész hazai mikroelektronikai tudomány és ipar számára életbe vágóan fontos lenne. Jó megoldásnak látszott ha valamilyen módon országos szinten „összeszervezhető” lehetnének az igények és a lehetőségek. Így mindenki hozzájuthatna a legkorszerűbb vizsgálatokhoz és ráadásul lehetőség nyílna a legkorszerűbb fontos, de drága új eszközökből egy-egy darab beszerzésére is.


Sokáig vajúdott ez a gondolat, míg az OMFb égisze alatt sok lelkes szakértő munkája nyomán végre elkészült **egy elemző tanulmány** amelynek címe: „Az elektronikai alkatrészekhez felhasznált anyagok vizsgálati módszereinek és készülékeinek opti-

mális szervezése". A 13 szerzőből hárman (Kormány Teréz, Rausch Henrik, Vecsernyés Lajos) a TKI szakértői akik a többiek nagy részével már addig is gyakorlati együttműködésben is voltak. Az OMFB elképzelése az volt, hogy egy a TKI-ban létrehozandó Koordinációs Centrum segítségével, az országban szétszórta megtalálható korszerű anyagvizsgálati kapacitásokat célszerűen és gazdaságosan lehessen felhasználni, fejleszteni a magyar mikroelektronikai ipar érdekében. Az 1977. januári vitán, a felajánlott lehetőséget a TKI jelenlévő igazgatója nem fogadta el. Ezután még néhány nagyobb beruházás megtörtént, de nem a javasolt helyen és rendszerben.

Mellékelten bemutatunk néhány a fentiekhez kapcsolódó – katalógus oldalt:

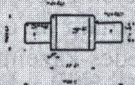
Microwave Switching Diode

The 1ST 1404 type switching diode is intended for low power switching.



Electrical characteristics (at 25 °C ambient temperature)

Type	Forward current I _F (mA) (U _F =1 V)	Reverse current I _R (μA) (U _R =3 V)
1ST 1404	max. 20	max. 30




RESEARCH INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATION
BUDAPEST, II., GÁBOR ARON U. 45.
TELE NO. 3614.

AUGUST 1978

Low Voltage Junction Diode

1SD silicon junction diode is intended for automatic gain control circuits of transistorized wireless amplifiers as a variable attenuator. The diode is adjusted to specified resistance values in the forward direction.



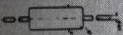
Maximum ratings

Reverse voltage U _R (V)	Forward current I _F (mA)	Junction temperature T _J (°C)
5	100	30

Electrical characteristics (at 25 °C ambient temperature)

Forward resistance R _F (Ω)	Reverse resistance R _R (kΩ)
0 (max)	10 (min)
U _F =0.4 V, I _F =0.5 mA	U _R =2.0 V, I _R =0.5 mA
max. 5.5	min. 10.0
0 - +1.0	-1.0 - +1.0

Notes:
1. Junction resistance measured at U_F = 0.4 V and I_F = 1 mA.
2. The forward resistance R_F = 0 - +1.0 is measured at 70 MHz.




RESEARCH INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATION
BUDAPEST, II., GÁBOR ARON U. 45.
TELE NO. 3614.

AUGUST 1978

Low Voltage Epitaxial Silicon Varactor Diodes

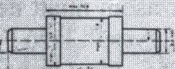
The 1SV6 diffused epitaxial varactor series is suitable for low noise parametric amplification, low level frequency multiplication, microwave switching, limiting, etc. The varactors are encapsulated in symmetrical microwave metal ceramic cartridge with cathode heat sink.



Electrical characteristics (at 25 °C ambient temperature)

Type	Junction capacitance at zero bias (1) (pF)		Minimum cut-off frequency (2) (MHz)	Power dissipation (3) (mW)
	min.	max.		
1SV6A	2.1	6.0	30	300
1SV6B	2.0	5.0	25	200
1SV6C	3.0	8.0	20	150
1SV6D	2.8	2.8	30	150
1SV6E	2.0	2.0	25	100
1SV6F	2.0	2.0	25	100
1SV6G	2.0	2.0	25	100
1SV6H	0.4	2.0	100	150

Maximum ratings:
Operating temperature: +65 °C - 125 °C
Storage temperature: +65 °C - 125 °C
Reverse voltage: -0.5 V (4)



Notes:
1. Junction capacitance measured at 1 MHz frequency, zero bias, with a max. 50 mV signal.
2. The cut-off frequency f_c is defined by f_c = 1 / (2π R_s C₀), where R_s is the series resistance and C₀ the junction capacitance measured at -0.5 volts.
3. For varactors with zero bias capacitance of 0.7 pF or less, the minimum power dissipation is 100 mW.
4. Breakdown voltage is defined with reverse current I_R = 100 μA.
5. Package shunt capacitance 0.3 - 0.4 pF, series lead inductance - 2 nH.

RESEARCH INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATION
BUDAPEST, II., GÁBOR ARON U. 45.
TELE NO. 3614.

AUGUST 1978

6.4 Germánium szénből

*Major Gyula
1148 Budapest, Xantus u. 28.*

Amikor ezeket a sorokat írom, több mint negyven év eltelt azóta, hogy életem legszebb munkáját végezhettem. Minden esetre hálát adok a sorsnak, hogy ebben a munkában részt vehettem.

A családban hetedik gyerekként születtem és a szólás-mondás szerint szerencsésnek kellett volna lennem. Engemet az életben a házasságomon kívül csak az a szerencse ért, hogy öt éven keresztül a germánium kémiaiával foglalkozhattam.

1940-től 1960-ig az előzőleg végzett tanulmányaim illetve munkám ráépült a következő feladatokra.

1940-ben szüleim beadtak egy középfokú élelmiszer iskolába. Először egy évig gyakornokként dolgoztam az egyik kaposvári tejüzemben, ahol a szokványos feldolgozás mellett a tejből édes-kazeint és tejcukrot is állítottak elő. Tehát azonnal egy valóságos „vegyi üzembe” kerültem. Amikor felvettek, egy munkást elküldtek; emiatt igen fiatalon teljes intenzitással kellett dolgozni. Majd egy év letelte után bementünk az iskolába, ahol volt egy tanműhely, de nem voltak dolgozók, így minden munkát a tanulók végeztek.

Az iskola elvégzése után különböző tejüzemekben dolgoztam. 1948-ban beiratkoztam a Műszaki Egyetem esti élelmiszer-kémiai tagozatára, majd a Honvédség kérésére iratkoztam át a szerves kémia tagozatra.

1952-ben a diplomamunka elvégzésére a Zemplén-tanszéket jelölték ki, ahol a konzulensem dr. Oláh György adjunktus és a tanársegéd dr. Pavláth Attila úr volt, akik sokat segítettek és sokat tanultam tőlük.

A diploma megvédése után a Műszaki Művek Állami Vállalathoz kerültem a légtisztító bevizsgáló laboratóriumba. Első feladatom a Clark I harci gáz előállítás volt a légtisztítók bevizsgálásához – ugyanis ebben az időben nem lehetett beszerezni ezt az anyagot. Ezután a laborvezető kérésére több, a bevizsgáláshoz szükséges vegyületet állítottam elő sikerrel. A munkám során nagy segítségemre voltak a diplomamunkám végzésekor nyert tapasztalataim. Későbbiekben a germánium előállításánál is hasznomra váltak ezek az ismeretek.

1955 tavaszán megkeresett a Távközlési Kutató Intézetből egy volt egyetemi évfolyam társam, és elmondta, hogy keresnek vegyészt, aki üzemeltetni fogja az Ats Ernő, Pintér János és Csapó József találmányát a germánium fém hazai kitermelésére. Szó nélkül vállaltam a feladatot, mert az üzemi laborban állandó volt a feszültség. Sajnos a három minisztérium (Honvédelmi, Középgépipari, Kohó- és Gépipari) sokára tudott csak megegyezni egymással, így csak ősszel került sor az áthelyezésemre. A Távközlési Kutató Intézet származásom miatt nem vett fel. A kérdést úgy oldották meg, hogy a megvalósítást áttették az Egyesült Izzó Fejlesztési Főosztályára, és engemet ott neveztek ki osztályvezetőnek.

1955. szeptember 4-én léptem be az új helyemre, ahol nyugdíjazásomig dolgoztam. Már az első bemutatkozásom is balul ütött ki; amikor átadtam a főmérnök úrnak az áthelyezési papíromat, kijelentette, ő engem nem kért ki, és a feladat elvégzésére több más vegyész között válogathat. Ekkor udvariasan elbúcsúztam és kértem, hogy ezt a tényt telefonon jelezze a minisztériumnak. Mire a többszöri ellenőrzés után a portán keresztül elhagytam volna a vállalatot a portás közölte velem, a főmérnök úr kéri, menjek vissza; elnézés-kérés után leküldött az M.E. Főosztályra, ahol az egyik vegyész-mérnök levizsgáztatott. Ezután kerültem a Fejlesztési Főosztályra.

Itt két feladatot kaptam:

- Járjak át a telephelyen lévő TKI-ba és tanulmányozzam a laboratóriumi munkát,
- Ellenőrizzem a Péti Nitrogén Művek területén folyó kísérleti üzem építési munkáit.

Ebben az időben a germániumról a következőket tudtam:

- a periódusos rendszerben a IV. csoportban, a negyedik sorban található, sorszám: 32
- atomsúlya: 72,6
- fajsúlya: 5,35 g/cm³
- kloridja (GeCl₄) szobahőfokon folyadék, melynek forráspontja: 83,1°C.

Ez volt az az elem, amelyet Mengyelejev a periódusos rendszer felállításakor még nem ismert, de ekaszilícium néven a helyére tett. Majd Winkler német professzor a szászországi ezüst érc elemzése során fedezte fel és nevezte el germániumnak 1881-ben.

A germánium sok ásványban is előfordul, mivel azonban Magyarországon ilyen ércek nincsenek, az egyes hazai szenekben nyomelemként előforduló fém kitermelését vették célba.

Emiatt soha nem lehetett gazdaságosan előállítani és a hosszú évek folyamán a nagyon költséges hazai termelésnek meg kellett szűnnie két okból:

1. gazdaságossági okból, melyet nagymértékben a barna kőszén generátorok leállítása okozott;
2. a mikroelektronikai felhasználás csökkenése.

1955–56-ban a germánium laboratóriumi előállítását és az analizálását tanulmányoztam. Első felhasználásra a gázgenerátorok elektro-filterében kicsapott szállóporból került sor.

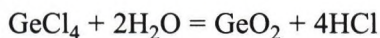
A koncentráció reménytelenül alacsony volt: 10–20γ/g (10–20 g/t).

A recept a következő volt:

10-szeres mennyiségű 6n (22,1%-os) sósavval ledesztilláltuk az előzőleg kiiztított (elégetett) kátrányos szállóport, mivel a GeCl₄ forrpointja alatta van a 6n sósav forrpointjánál, ezért elvileg kidesztillálhatóvá vált a germánium.

Majd több desztillátumot összekeverve addig lehetett dúsítani a sósavas oldatokat, míg ki nem vált az 1,9 fajsúlyú GeCl₄, amelyet desztillált vízben hidrolizáltan a szűrés után kiszárítottunk kb. 1000°C-on.

A reakció az alábbi egyenlet alapján történt:



Az ezt megvalósító üzem három részből állt:

1. Az égetőmű, amely egy gázzal üzemelő tálcás kályha volt; tervezte Gyurikovits János üveggyári főmérnök
2. A desztilláló üzem, ahol el volt helyezve 2 db 800 literes, Lampart gyártmányú, zománczott autokláv, melybe 1–1 alkalommal 50 kg szállóport tettünk 500 liter 1:1 hígítású sósavval együtt és elkezdtük desztillálni. A fűtés gőzzel történt; a hűtő kezdetben zománczott volt és vízzel hűtöttük. Majd, mivel a hűtők sokszor meghibásodtak, először a törzsgyári üvegtechnika készített üveghűtőket, majd a csehszlovák üveggyárból szereztek be azokat. Az üzemet tervezte a Veszprémi Egyetem Géptan Tanszéke.
3. A laboratórium, ahol az analízis történt és a GeCl₄ desztillálása, és a GeO₂ hidrolizálása.

Kezdetben havi 40 ballon ipari sósav felhasználásával 300 g germánium-dioxidot, majd később 3 kg germánium-dioxidot tudtunk előállítani.

1957-ben megbíztak a Nehézvegyipari Kutató Intézet (NEVIKI) keretében nagyobb koncentrációjú Ge forrás vizsgálatával. A NEVIKI vizsgálatai alapján első lépésben elmentünk a Chinoin diósgyőri üzemébe, ahol a Diósgyőri Gázgyár üzeméből származó gázvízből extrahálták ki a gyár részére fontos kétértékű fenolt, a pyrocatechint. Ebből a célból a gázvizet bepárolták 1/17 részére és szerves oldószerral kiextrahálták a pyrocatechint, ezután elengedték a Szinva patakba a vizet, azt a mi kérésünkre bepárolták még további 1/10 részre és 200 literes vashordóban a péti kísérleti üzembe szállították. Ezt a sűrű kátrányszerű folyadékot kiizzítva egy könnyű hamut kaptunk, amely főleg arzén- és germánium-dioxidot tartalmazott, melynek Ge tartalma kb. 2,5% volt, összehasonlítva a szállópor Ge tartalmához képest 2500 γ /g, tehát 250-szer volt benne több germánium. Így már a termelést 300g-ról 3000g-ra tudtuk növelni.

Az önköltség 300 000 Ft-ról 10 000 Ft-ra csökkent.

A termelés növekedése minőségi változást is hozott, lehetővé vált viszonylag nagy tisztaságú germánium-dioxid előállítása.

Hasonló desztilláló készüléket állítottam össze üvegből, mint ami a Műszaki Műveknél volt, ahol többször ledesztilláltuk a keletkezett germánium-tetrakloridot és viszonylag nagy tisztaságú GeO_2 -t lehetett kinyerni. Emlékeim szerint ez 1959-ben történt. Ekkor vált lehetővé a termelt GeO_2 félvezető gyártásához.

Ezután a NEVIKI megbízást kapott a magyar germánium új kinyerés technológiájának az elkészítésére. Röviden a technológia a következő volt:

Kátrányok kezelése lúgos vizes oldattal, majd szétválasztás ultracentrifugával és a kapott oldat sósavas desztillációja.

Erre a célra a KGM 20 millió Ft-ot adott és a Vegyterv dorogi szénfeldolgozó telepén megtervezett egy Ge üzemet. A tervezés elején résztvettem a munkában, de később más megbízás miatt ebből kimaradtam. Az üzemet elkészülte után átadták a Nehézipari Minisztériumnak.

Kapcsolatom a germániummal azonban ezzel nem ért véget.

Volt egy nagy tudású vegyész-mérnök műszaki igazgatója az Egyesült Izzónak, neve dr. Thury Pál, aki 1959 nyarán hivatott. A megbeszélésre félve mentem el, egymás között tor-Thurynek hívták (úgy mint tortúra).

Meglepődve láttam nála a heti jelentéseimet, melyet a főmérnök úrnak adtam rendszeresen. Azt a kérdést tette fel, hogy tudom-e, a Ge egykristály-gyártásnál és szelelelésnél „eldobott” hulladék Ge tartalma mennyi?

A válaszom az volt, hogy ez a mennyiség 3-99%-a között ingadozik.

Kért, állítsak elő egy tervet, mely szerint a havi 20 kg-os felhasználás esetén mennyit és hogyan lehet visszanyerni ebből a mennyiségből.

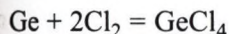
Egy hét múlva leadtam a kért anyagot, amikor a főmérnök röviden áttekintette azt, és közölte, kinevez az M.E. Főosztályra Ge alapanyag osztály vezetőjévé. Ezt azt is jelentette, hogy szabad kezét adott a szükséges üveg készülékek megtervezésére és elkészítésére.

Először összeállítottam egy kvarccsövből álló készüléket, amelynek fűtését egy tekercselt fűtőszállal végeztem. Csiszoltos dugóval volt lezárva, amelyen, egy vékony csövön keresztül kénsavval lezártított Cl_2 gázt vezettem be. Majd a készülék másik oldala egy hűtővel volt összekötve és egy üveg lombikba volt vezetve. A készüléket egy 1,5 \times 0,8 m alapterületű elszívó fülkében helyeztem el. A fűtőszálak egy toroid tekercsen

keresztül kaptak áramot. Itt újból hasznosítani tudtam a Műszaki Műveknél szerzett tapasztalatokat, emiatt egy cseppet sem voltam izgatott. Nagyon ideges volt viszont az M.E. Főosztály vezetése, valamint a gyári Munkavédelmi Főosztály vezetői.

A készülék a következőképp működött:

Kvarc csónakba belehelyeztük az „elégetendő” Ge fémét és túszelepen keresztül elkezdtuk adagolni a Cl_2 gázt, és kis árammal elkezdtük a készüléket fűteni. Egy bizonyos hőfokon a reakció beindult az alábbi képlet szerint:



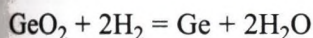
A klór gáz adagot a GeCl_4 eltűnésével tudtuk szabályozni, amit jelzett a hűtő alján elhelyezett hűtőlombokban megjelenő folyadék is.

Az összegyűjtött GeCl_4 -et hűtőben tartottuk ledugaszolva és 50 literes SIMAX üvegekészülékbe ledesztillálva tisztítottuk, majd a már ismert módon GeO_2 -t állítottunk belőle elő.

Mivel a törzsgyárban sokakat idegesített a „légszennyező” technológia ez a munka is lekerült Pétre, illetve tudomásom szerint Dorogra.

Az alapanyaggyártás fő profilja az egykristály-gyártás volt, amely már korábban is működött a belga HOBOKEN cégtől származó oxidból.

Első művelet: GeO_2 redukciója hidrogénáramban. Ezt egy fűthető kályhában történt, a következő egyenlet szerint:



A keletkező terméket felfűtve 1000°C fölé, az megolvadt. Ezután át lett helyezve egy másik kvarccsőves készülékbe, ahol 3 nagyfrekvenciás tekercs olvasztotta meg a fémét, zónás olvasztással. Ezzel a fém szennyezése egyik végébe került át a zónás olvasztás szabályai szerint. A fém germánium másik részéből ezután megfelelő anyakristály segítségével azonos orientációjú egykristályt készítettünk. Egyszeres átolvasztással, ehhez szükség esetén a megfelelő szennyező anyagot is adtunk a fémhez, ami a p illetve az n vezetési típus kialakításához szükséges volt. Az így elkészített egykristály vizsgálata fizikai úton történt, ennek főbb lépései az alábbiak voltak:

- Orientáció vizsgálat,
- Diszlokáció vizsgálat,
- Ellenállás vizsgálat.

Az egykristály gyártásnak volt egy kialakult technológiája. Ott új dolgot nem tudtunk csinálni, illetve a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet részére alacsony diszlokációjú (hibahelyű) egykristályt tudtunk készíteni, amivel kiérdemeltük Szigethy György és Szép Iván elismerését. Az 1960-as évek elején a germánium gyártás nagyrészt lekerült Gyöngyösre. Az osztály megszűnt, és először a fénycső fényporgyárba kerültem technológusnak, majd utána a vezérigazgató úr a Gyártervező Irodába helyezett technológustervezőnek.

Ezután a germánium gyártással megszűnt a kapcsolatom; a dorogi üzem indulására nem hívtak meg, sőt be sem engedtek, Gyöngyösre pedig elvi okokból nem mentem le.

1968-ig több alkalommal akartam munkahelyet változtatni, de egyszer sem sikerült.

Jellemző eset volt az MFKI-ba való meghívásom. Szigethy György akadémikus, aki 1968-ban az intézet igazgatója volt, meghívott beszélgetésre. Amikor szóban elfogadtam a megbízást, a személyzetisek közölték, hogy ez lehetetlen. Így jártam még másik két esetben is.

Elismerést a munkámért 1959-ben kaptam, amikor megkaptam a Kohó és Gépipari Kiváló Dolgozó jelvényt, és a vállalat adott 2000 Ft-ot, mely akkor még egyhavi fizetésnek sem felelt meg.

Mivel a vállalatnál elismerték a munkámat, ennek ellenére olyan jellemzést adtak rólam, amely elvegye a kedvét a meghívó félnek; vidéki gyárakba viszont én nem mentem el.

1940-től kezdve a mai napig dolgozom. Mellette érettségiztem le, illetve végeztem el a Budapesti Műszaki Egyetemet.

7. Vékonyrétegkutatás Magyarországon

dr. Hahn Emil
1035 Bp. Miklós u. 3.
admin@ett.bme.hu

7.1. Történelmi előzmények és háttér

Vékonyrétegek a mindennapi gyakorlatban régóta ismeretesek. Elég, ha a víz felszínén szétterülő olaj interferencia színeire gondolunk, vagy hogy kémiai eljárásokkal üvegre, porcelánra vékony fém, zománc stb. réteg több-kevesebb nehézség árán felvihető. Az is régi eljárás, hogy aranyat igen vékony fólia alakjában hengerléssel állítunk elő dekorációs célra. (pl. sírkövek feliratozása)

Mai értelemben vett vékonyréteg kutatás 1852-től számítható, mikor Grove megfigyelte, hogy a nagyfeszültségű kisülési csövekben (Geisler, Crooks) a katód körül az üvegbúrára fém rakódik le, a katód anyagából. A jelenség megfigyelésén kívül megadta a lehetséges magyarázatot és rögtön alkalmazta is a katódporlasztást igen nagy ellenállású fémrétegek előállítására.

Mint hogy a porlasztást kezdetben a rendszer maradékgázában végezték 10 Pa körüli nyomáson, jó vezetőt csak nemesfémekből tudtak előállítani. Még a századunk első évtizedében is ez volt a helyzet.

1913-ban Gaede megszerkesztette az első diffúziós szivattyút, mely továbbfejlesztve nagyobb teljesítmények irányába egy új technika, a vákuumpárologatás lehetőségét teremtette meg. A párolgatás már igen jó vákuumban történhet, így reaktív anyagok is előállíthatók voltak. Elsőnek az optikai ipar vezette be a technológiát felületi fémtükrök és reflexiócsökkentő bevonatok előállítására. A katódporlasztás ezután hosszú ideig háttérbe szorult, míg 1961–62-ben Anderson és munkatársai megalkották a rádiófrekvenciás porlasztást, mely alkalmassá vált vezetők, szigetelők jó hatásfokú porlasztására. Ez már a legkorszerűbb mikroelektronikai ipar nélkülözhetetlen eszközévé lett.

7.2. Vékonyrétegek Magyarországon

Hazánkban a vékonyrétegek vizsgálata és előállítása eredete a XX. század legelejére vezethető vissza. Sokat foglalkozott vele Pogány Béla a BME Fizikai Intézete majdani tanára, aki kiváló kísérleti fizikus és jó üzletember is volt. Első publikációi 1914-ben jelentek meg különböző nemesfémek optikai és elektromos tulajdonságainak mérésével kapcsolatban.

Pogány B.: Phys. Z.	15.1914	688. oldal
Phys. Z.	17.1916	251. oldal
Ann.d.Phys.	4.1916	49., 531. old.

A réteget maga építette katódporlasztóval állította elő. Kísérleteit József főherceg is figyelemmel kísérte, aki amatőr fizikus volt és bejáratos volt az Intézetbe. Egy

alkalommal Pogány valamilyen réteget akart előállítani, de valami szivattyú vagy tömítési hiba miatt a búrában levő levegő nyomása csak igen lassan csökkent a kívánt értékre. Ekkor Pogány – állítólag – odafordult a már türelmetlenkedő főherceghez: „Látja Fenség, milyen nehéz előállítani a semmit!”

Pogány a gyakorlati alkalmazások lehetőségét is vizsgálta. Egyik sikeres terméke volt egy jóminőségű kondenzátor mikrofon mérési célokra, melynek egyik fegyverzete vékony gumihártyára porlasztott aranyréteg volt.

A későbbi években, úgy tűnik, csökkent Pogány érdeklődése a vékonyrétegek iránt, nincs nyoma, hogy komolyabban foglalkozott volna velük. Pogány halála után, utóda Gombás Pál és iskolája kvantummechanikai érdeklődése következtében az Intézet kutatási profiljából a vékonyréteg-kutatás kiesett. Megmaradt azonban Pogány fiatal munkatársaiból alakult, majd az 1950-es évekre felfejlődött vákuumtechnikai csoport, mely elsősorban ipari berendezések, szivattyúk fejlesztésével és néhány darabos gyártásával foglalkozott. Munkásságuk jelentősége alig felbecsülhető, mivel a háború utáni újrakezdés időszakában ellátta párologtató berendezésekkel az iparvállalatokat, elsősorban a két optikai céget: a Gamma Optikai – és a Magyar Optikai Művek-et. E párologtatókban már csaknem minden benne volt, mint amit a modern berendezésekben is megtalálhatunk.

Az említett optikai vállalatok a vékonyrétegeket, mint tükröket és mint reflexiócsökkentő bevonat (T-réteg) alkalmazták. A kutatási tevékenység kimerült a réteg tartósságának és tapadásának vizsgálatában.

A két gyár mellett létrehozott Optikai és Finommechanikai Központi Kutató Laboratórium egy időre átvette a Fizikai Intézet Vákuumtechnikai csoportját, ami kedvező lökést adott a vékonyréteg kutatásnak. Rövid házasság után a csoport újból a Műszaki Egyetemhez kapcsolódott, de az OKL-ben megindult a komolyabb vékonyréteg kutatás. Ennek vezetője e sorok írója volt. Kidolgoztak grafikus eljárást, melynek segítségével lehetővé vált az 50-es évek elején bonyolultabb rétegszerkezetek tulajdonságainak (reflexió- és áteresztőképesség) meghatározása, mivel akkor még hazánkban nem voltak elektronikus számítógépek. Ennek segítségével gyors egymás után születtek a különböző feladatokat ellátó rétegrendszerek: többretegű reflexiócsökkentő bevonatok, melyek széles spektrális tartományban 0,5% alá csökkentették a káros felületi fényreflexiót, Fabry-Perrot rendszerű interferenciaszűrők kezdetben ezüst-, később csak dielektrikum reflektorokkal, ún. hideg tükrök, melyek csak a látható fényt reflektálják, az infravörös (hő-) sugárzást pedig áteresztik. Speciális célokra dolgozták ki a „fekete” tükröt, mely az előbbinek ellentéte.

Az OKL 1961-es felszámolása után az Optikai rész a MOM-ba került át, ahol a vékonyrétegek gyártását egy ideig folytatták. Készítettek fényosztó rétegeket, interferenciaszűrőket és optikai testeken reflexiócsökkentő réteget MgF_2 -ből. Sajnos a 60-as évek hibás felmérése és iparpolitikája következtében az optika fejlesztése és a gyártás fokozatosan leépült. Ez arra vezetett, hogy ma már optikai gyártásról csak multidőben beszélhetünk.

Különbféle lézerek fejlesztése és kísérleti gyártása a KFKI egyik sikeres tudományos területe lett. A lézerekhez tartozó optikai rezonátorokhoz nélkülözhetetlenek a fémmentes tükrök, melyek adott hullámhosszon közel 100% reflexióval mások pedig jól definiált transzmisszióval rendelkeznek. E tükrök gyakran 48 vagy még több réteget tartalmaznak definiált paraméterekkel. Ezek szimulálása és előállítása komoly számítógépes- és mérés-technikai kultúrát igényel. A KFKI mindkettőt magas színvonalon műveli, így a kellő tudományos háttér biztosított.

Legnagyobb nemzetközi elismerést kiváltó kutatási eredmények a szerkezetkutatás és rétegkialakulás vizsgálata terén az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete *Pócza Jenő* vezette csoport nevéhez fűződnek. E csoport világszerte ismert tagjai Póczán kívül *Barna B. Péter* („négyzetes” Barna) és *Barna Árpád* („lineáris” Barna) akik *Pócza Jenő* tragikusan korai halála után továbbvitték a kutatásokat és szebbnél szebb eredményeket érnek el napjainkban is.

Úttörő jelentőségű kísérleti munkájuk egy megfelelően átalakított elektronmikroszkópban in situ mozgóképes felvétel a párolgatás folyamán előálló rétegről a kritikus méretű csírák megjelenésétől az összefüggő réteg kialakulásáig. A módszert és az eredményeket az 1965. évi budapesti vékonyréteg kolloquiumon mutatták be (Proc. of the Coll. on Thin Films 1965. 93–104) igen nagy érdeklődés közepette. E vizsgálatokkal egyértelműen igazolták, hogy a rétegkialakulás a következő fázisokon megy végbe: 1) Kritikus csírák megjelenése szinte egyidőben, 2) Ezek növekedése folyamán a krisztallitok kialakulása, 3) A szemcsék folyadékszerű összenövése, 4) A csatornában másodlagos magképződés, 5) Lagunás szerkezet kialakulása. Ugyancsak nagy jelentőséggel bírnak azok a vizsgálatok, melyek a szemcsehatárok tulajdonságmeghatározó szerepével kapcsolatosak. Igen hasznosak az elektronmikroszkópos és diffrakciós vizsgálatok, amelyek az ipari alkalmazásokat segítik reprodukálható rétegszerkezetek előállításában.

Az elektronikai ipar viszonylag későn kezdett flörtölni a vékonyréteg technikával. Ez tulajdonképpen érthető, hiszen a „csöves” korszak nem igényelt ilyen alkatrészeket.

Vékonyrétegek megjelenése a hazai elektornikai ipar területén az 1961. évre időzíthető. Ekkor vetődik fel a mikromodul felépítésű készülékek gondolata. A mikromodul zsákutcának bizonyult, de a konstrukció egy részét átmentették a ma is létező vékonyréteg hibridáramkörök számára. Ezekről bővebben a megfelelő fejezetben lehet olvasni. Itt azt kell megemlíteni, hogy két irányzat terjedt el. Mindkettő speciális üveg-hordozót alkalmaz. Az egyik irányzat, – nevezhető komplex technológiának – ellenállásként NiCr ötvözetet használt, kondenzátor dielektrikumaként SiO és SiO₂-t, az aktív alkatrészeket (diódák, tranzisztorok, félvezető alapú integrált áramkörök) utólag ültetik be a hordozóra, míg az alkatrészek összekötő fémezése Cr-Au kettősréteg. A definiált alakú és méretű alkatrészek fémmaszkon keresztül történő párolgatással vagy az egyes rétegekből fotolitográfia segítségével készülnek. Ezzel a technológiával nagy precizitású áramkörök készültek és készülnek ma is, de a termelékenysége alacsony, a berendezésigény költséges, ezért az áramkörök drágák. Ezt a technológiát művelte 1962-től egymástól többé kevésbé függetlenül a HIKI, REMIX, BME, TKI, VIDEOTON megfelelő részlege. A technológia egyik komoly nehézsége az előre tervezett összetételű NiCr-réteg elkészítése. Ugyanis a komponensek különböző párolgási sebessége folytán a réteg összetétele és a TK-ja eltérhet elég jelentős mértékben a kiinduló ötvözetétől.

A másik irányzat (homogén technológiának nevezhetnénk) Ta-t használ. Mégpedig a fémezés fém Ta, az ellenállás Ta nitrid, a kondenzátor dielektrikumuma Ta pentoxid. Nagy előnye ennek a technológiának, hogy katódporlasztás segítségével egy vákuumciklus alatt minden elem elkészíthető: Ar-ban porlasztva fém, nitrogénben a nitrid, míg oxigéntartalmú atmoszférában az oxid állítható elő. Ezirányú kutatások 1969-ben indultak meg a HIKI-ben. Nyilvánvaló előnyei ellenére mégsem igazán népszerű technológia, mivel eléggé speciális porlasztót igényel, a rétegek tulajdonságai erősen függenek az előállítási körülményektől.

Az évek folyamán a hibrid áramkörök területén a vastagréteg technológia egyre nagyobb teret nyert a vékonyréteggel szemben. Ennek okai közt szerepel a nagy terhelhetőség, olcsó tömeggyárthatóság, viszonylag olcsó géppark.

Félvezető rétegek, elsősorban a szilícium, vékonyréteg formájában történő előállítása kezdetben nem volt sikeres terület, mivel a vákuumtechnikai műveletek az itt szükséges extrém tisztasági, anyagszerkezeti követelményeket nem, vagy csak igen nagy nehézségek árán tudták kielégíteni. Vegyület-félvezetők esetében külön gondot okozott a vegyületek termikus bomlási hajlama.

Nagyot lendített a kutatás és gyártás helyzetén a kémiai lecsapatási eljárások felfedezése és bevezetése. (CVD=chemical vapor deposition) Az eljárás lényege, hogy az előállítandó réteget valamilyen gázfázisú vegyületéből termikusan aktivált kémiai reakció segítségével állítjuk elő. A reakció a hordozó határfelülete közelében játszódik le. Például Si esetében két elterjedt eljárás van: 1. Szilán (SiH_4) egyszerű termikus bontása hidrogénre és szilíciumra, 2. Szilícium-tetraklorid (SiCl_4) és hidrogén reakciója, miközben Si és sósav (HCl) keletkezik.

A kutatásokat egymástól függetlenül a HIKI-ben és a TKI-ban 1962–63-ban kezdték el, ez aránylag rövid idő múlva kezdeti eredményekkel járt. A TKI már régebben kapcsolatban volt a TUNGSRAM félvezető főosztályával mikrohullámú diódák fejlesztése területen. Miután a teljesítésben voltak némi problémák, ráadásként felajánlottuk a Si epitaxiás (egykristály hordozóra növesztett egykristályos) rétegnövesztés technológiáját. A TUNGSRAM egyik vezető munkatársa sehogysem akarta elhinni, hogy valóban vannak epitaxiás rétegek. Átadtunk ill. elvittünk neki néhány szeletet. A munkatárs elrohant velük, majd néhány perc múlva visszatérve gratulált a rétegekhez. Kérdésünkre, hogy így rövid idő alatt mi győzte meg, a következő Murphy törvénykönyvébe kíváncsozó tézist válaszolta: „Megmarattam a szeleteket és a felületen jól láthatók az irodalomban közölt jellemző réteghibák. HA PEDIG RÉTEGHIBÁK VANNAK, AKKOR RÉTEGNEK IS LENNIE KELL.”

A félvezető technológia, különösen az Si-alapú integrált áramkörök technológiája gyakran alkalmaz szigetelő rétegeket, mint pl. szilícium-nitrid, ezek előállítása is CVD eljárások valamelyikével történhet. E rétegek vastagsága és törésmutatójának mérése lényeges felvilágosítást adhat különböző technológiai lépésekkel kapcsolatban. Erre a célra a legalkalmasabb és legpontosabb műszer az ellipszométer, mely a mintáról reflektált fény polarizációs állapotának változását méri. Ilyen ellipszométert fejlesztett ki a TUNGSRAM kutatási főosztálya, több használatos rétegre kidolgozott számítógépes programmal.

Ezzel elérkeztünk a legújabb kor történelméhez. Ez pedig a vegyületfélvezetők, elsősorban GaAs, GaP, InP ezek kombinációi vékonyréteg, csaknem kivétel nélkül epitaxiás réteg formájában. Ezeket nagysebességű diszkrét eszközök, diódák, tranzisztorok, integrált áramkörök és optoelektronikai eszközök diszkrét- és integrált kivitelű előállítására alkalmazzák.

Ezen eszközök többségükben ún. heteroátmenetes szerkezettel rendelkeznek, azaz többnyire GaAs hordozón előállított más összetételű réteget ill. rétegrendszer tartalmaznak. A hordozó szerepe lehet aktív, de sokszor csak mechanikai értelemben hordozó.

E rétegek vákuumtechnikai úton történő előállítása sokáig háttérbe szorult, miután a párologtatás során a vegyületek elbomlanak a magas hőmérséklet miatt.

Az évek folyamán két alaptermotechnológiát dolgoztak ki. 1) Folyadék fázisú epitaxia. Itt a GaAs-et vagy más anyagot (hasonlóan pl. a konyhasó kristályosításához) telített

olvadék (oldat) lassú túlhűtésével a hordozókra kristályosítják. Az oldószer olyan anyag, mely nem kristályosodik együtt a GaAs-el, és elektromosan nem aktivál. Ilyen pl. az ón. Az eljárás előnye az egyszerűség de termelékenysége kicsi. 2) Kémiai lecsapatás. Ennek két válfaja van: a) gőzfázisú, melynél bonyolult reakciósor folyamán arzénklorid és galliumkloridból keletkezik a GaAs, mely azután a hordozókon leválik, b) gázfázisú, melynek során fémorganikus vegyületekből, pl. trimetil-galliumból és arzén-hidrogénből állítják elő a GaAs-et.

Az eljárások viszonylagos egyszerűségük mellett termelékenyek, alkalmasak heteroátmenetek készítésére és egyszerű a réteg adalékolása is.

A legkorszerűbb, legtöbb lehetőséget biztosít a molekulásugaras epitaxiás módszer. Óriási hátránya, hogy a párologtató berendezés igen drága, mivel gőzforráson kívül a legkülönbözőbb mérő és ellenőrző berendezések is be vannak építve. Sajnos ilyen berendezés hazánkban nincs.

Az előbbieken leírt technológiákat és az elektronikai alkalmazásokat is hazánkban egyedül az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében művelték, ahol is világviszonylatban is jelentős eredmények születtek. Az első publikációk az 1960-as évek végén jelentek meg, majd kialakultak többé-kevésbé önálló csoportok az egyes területek művelésére. Így az előállítási technológiát elsősorban a tragikusan korán elhunyt *Lendvay Ödön* és munkatársai kutatták-fejlesztették, míg az eszközfizikát beleértve a kontaktusok problematikáját *Mojzes Imre* és munkatársai.

Sajnos a magyar elektronikai ipar leépülése az ő tevékenységüknek sem kedvezett. Remélhető azonban, hogy a nagyértékű egyedi eszközök előállítása, ami kisebb létszámú vállalkozásoknak rentábilis, nem fog sorvadásnak indulni. Napjainkban jelentősebb vékonyréteg kutatás a MTA MFA-ban folyik.

7.3. Konferenciák

Az Optikai Akusztikai Filmtechnikai Tudományos Egyesület (OPAKFI) 1960-ban és 61-ben egy-egy optikai konferenciát rendezett, a másodikikon már néhány külföldi is részt vett. Ezen már néhány vékonyréteg előadás is szerepelt. A nemzetközi nagyságok közül O.S. Heavens és F. Abeles is részt vett. Az akkori Magyarországon ez nem éppen mindennapi eset volt és megítélésünket jellemzi egy ma már komikus, akkor azonban egyáltalán nem annak ítélt epizód. E sorok írója a MTESZ autójával egy vendéget vitt a reptérről a Béke Szállóra. A konferencia egyik angol vendége akkor állt fel a reggelitől és a sorok írója felajánlotta, hogy elviszi a konferencia színhelyére. A vendég halálsápadtra válva elhárította. Később, a banketten néhány pohár tokaji után nevetve mesélte, hogy elutazása előtt londoni hivatalos körök figyelmeztették, nagyon vigyázzon magára, mert a magyar titkosrendőrség könnyen elrabolhatja.

1965-re megérett a helyzet egy önálló vékonyréteg kolloquium megrendezésére ugyancsak az OPAKFI keretein belül, de a Nemzetközi Optikai Bizottság (ICO) erkölcsi és anyagi támogatásával. Ezen már számos nemzetközi hírű kutató részt vett, különösen franciák voltak elég sokan. A konferencia sikerének hírére a külföldi résztvevők szétvitték a világba, így a vékonyréteg kutatás szempontjából mérföldkönek tekinthető. Szomorú, bár felemelő jelentősége volt a kolloquiumnak, hogy a vékonyrétegekutatás egyik legnagyobb alakja, A. Vasicek itt szerepelt utoljára nemzetközi fórumon. Néhány hónappal a kolloquium után elhunyt.

A másodikra 2 évvel később került sor, már jelentős nemzetközi részvétellel. Először jelentek meg nagyobb számban szovjet kutatók is. A konferencia előadásait tartalmazó kiadványt az Akadémiai Kiadó és a Vanderhoeck and Ruprecht kiadó adta ki és számos recenziót kapott számottevő folyóiratokban.

Ezután hosszú szünet következett, aminek nagyrészt az volt az oka, hogy gombamód elszaporodtak a nagy nemzetközi konferenciák, és állandó időpontütközések a szervezést lehetetlenné tették. Eddig a konferenciák szűkebb tematikával rendelkeztek, tehát azonos érdeklődésű kutatók vettek rajtuk részt, könnyű volt ismeretségeket, esetenként barátságokat kötni.

A 60-as évek végétől egyre nagyobb szabású konferenciákat rendeznek, szerteágazó tematikával, több párhuzamos szekcióval. Ilyen konferenciára került sor 1975. augusztus végén Budapesten a Nemzetközi Vékonyréteg Bizottság (Int. Thin Film Committee) szervezésében. A rendezőbizottság elnöke *Pócza Jenő* volt. A konferencia hatalmas nemzetközi részvétellel zajlott le, több szekcióban szereplő előadások szinte az egész tematikát lefedték. A hatalmas siker végleg meghozta a magyar vékonyréteg kutatás nemzetközi elismertségét. Sajnos, a konferenciának volt egy szomorú folytatása. A lezajlása után nemsokkal *Pócza Jenő* váratlanul elhunyt. Temetésén a Nemzetközi Vékonyréteg Szövetség nevében Max Auwärter búcsúztatta.

8. A magyar mikroprocesszor története

Dr. Keresztes Péter
kersztp@sziv.hu

Azok az események, amelyek a mindmáig egyetlen magyar fejlesztésű mikroprocesszor rövid tündöklésével és szomorú emlékéi bukásával kapcsolatosak, csaknem negyed százada történtek meg. E sorok írója, aki maga is részese volt az eseményeknek, bizonyára nem emlékszik pontosan mindenre és mindenkire, amikre, illetve akikre emlékezni illene. Ráadásul az emlékezet szelektív, nyilvánvaló, hogy dominálnak azok a tények, események, amelyek a visszaemlékező számára fontosak.

Nem célunk egy tényszerű, kronológiailag pontos dokumentum közreadása, ezért megbocsátható, hogy az alábbiakban leírt emlékek, gondolatok az elfogulatlan olvasó számára szubjektívnak tűnnek.

8.1. Vegyes érzelmek a magyar mikroprocesszor iránt

Gyakran a nemzeti kultúrtörténetre épített lélektani elemzést érdemelnének azok az érzések, asszociációk, amelyek egy-egy, a címben megadotthoz hasonló jelzős szerkezet leírásakor vagy kimondásakor ébrednek bennünk.

Ha az mondjuk: *magyar bor*, egyértelmű, folyamatos és töretlen büszkeséget érzünk, de ha a *magyar focit* említjük, ambivalens érzések ébrednek bennünk, hiszen valamikor joggal büszkélkedtünk vele, de ma már „nem az igazi”. *A magyar narancs (semmiképpen ne gondoljunk a folyóíratra!!!)* egy nagyszerű filmszatírából került a köztudatba. A magyar narancs az olyasfajta nemzeti produktumok szimbólumává vált, amelyek tulajdonképpen idegenek a mi viszonyaink között, mégis akadnak olyanok, akik megkísérlik azokat meghonosítani.

Ha a technika, a tudomány dolgait vizsgáljuk, bőven van azok között magyar bor, magyar foci és magyar narancs is.

Vajon a *magyar mikroprocesszor* emléke milyen érzelmeket hoz felszínre? A fent említettek közül melyikre hasonlít leginkább? Büszkéek vagyunk arra, hogy megcsináltuk, mégis keserű egy kissé az emléke, akár egy méreten aluli, halovány, narancsnak ki-nevezett, valójában azonban a citrom fajhoz tartozó gyümölcs íze.

A magyar mikroprocesszor megalkotása a hajdani mikroelektronikai szakmai közösséget dicsérelő sikertörténet, az emlék mégis a fanyar gyümölcs ízéhez hasonló hatású, hiszen születése után szinte azonnal el is tűnt, sőt még hajdani létezésének bizonyítékai, a műszaki dokumentumok és tárgyi emlékek is megsemmisültek, elégtek az 1986 májusában a Mikroelektronikai Vállalatot sújtó tűzvészben.

Tisztában vagyunk azzal, hogy a magyar mikroprocesszor egy szűk szakmai közöség ügye volt csupán, sőt a legtöbb ember azt sem tudja, hogy valaha létezett. Ezt a néhány oldalas nekrológot azonban feltétlenül megérdemli.

8.2. Csináljunk nyolcvanra nyolcvan–nyolcvan!

Ezerkilencszázhetvenhatot írunk. A világ túl van az első olajválság legkritikusabb szakaszán, és csillapodni látszik a hidegháború.

E sorok szerzője – aki olyan szerencsés, hogy egy megtisztelő felkérés alapján személyes emlékein átszűrve mutathatja be a magyar mikroprocesszor születését, rövid tündöklését és bukását – éppen hogy túl van második gyermeke születésén. Negyedmagával éledgél egy másfél szobás fővárosi lakótelepi lakásban, és számos hasonló korú és sorsú kollégájával, akik a félvezető mikroelektronika szétszórt fellegrárainak egyikében (IZZO, HIKI, TKI, KFKI, MÜFI) tevékenykednek, arra vár hogy egy koncepciózus, de főleg nagyhatalmú főnök valahogyan egy karámba terelje a szerte-szét tevékenykedőket. Nem is sejtjük akkor, hogy ezt néhány év múlva majd valaki megteszi, és éppen az *egyetlen, körös karám* teszi teljessé, visszavonhatatlanná a magyar félvezető-mikroelektronika hosszú időre szóló megsemmisülését, szó szerint értendő elhamvadását.

Akkor, hetvenhatban minderre még senki sem gondol. Egy nagy, közös kutató vagy gyártó bázisnak még a körvonalai sem látszanak. Hallani ugyan valamiféle zöldmezős „Magyar Mikroprocesszor Művek” felépítésének a szükségességéről, de pénz hiányában a megvalósítás minden reménye nélkül csak beszélnek róla a szakma öregjei és az „illetékesek”. Az persze látszik, hogy valaminek történnie kell, és ehhez pénz is társulhat, így aztán erősödnek az egymással rivalizáló szomszédvárok érdekellentétei, minden szereplő kizárólag csak magának szeretné ezt a pénzt.

Aztán tárgyalóasztalhoz ülnek a főnökeink, és ezúttal egy egészen értelmesnek látszó kompromisszum születik. A már régóta sikerrel kecsegtető IZZÓ-FAIRCHILD programot, amelynek fő célja a magyar félvezető eszköz és integrált áramkör tömeggyártás megteremtése, folytatni kell, de ezzel párhuzamosan közös akcióra kell mozgósítani a játék többi résztvevőjét, a kutató- és fejlesztő-csoportokat.

E sorok írója kollégái között a lelkes tapsolók soraiban ül, amikor a HIKI, a KFKI, a TKI és a MÜFI főnökei az IZZÓ pártolása mellett aláírják az úgynevezett LSI-KFT megalakulásáról szóló okmányt. Az LSI-KFT célja megteremteni a majdani nagy-integráltságú csipek gyártásának a tudományos-kutatási, műszaki fejlesztési alapjait.

Néhány idősebb nagyműveltségű és sokat tapasztalt kolléga ugyan felhívja a figyelmet arra, hogy a KFT nemcsak azt jelenti, hogy „Kutatási Fejlesztési Társulás”, (akkor még ez volt az elsődleges jelentése) hanem bizonyos – igaz, csak kapitalista – viszonyok között mást is. Néhányan mindjárt viccesre veszik: „Korlátlan Felelőtlenességű Társaság”.

Az LSI-KFT közös, konkrét fejlesztési céljának a meghatározása nem látszik éppen sima ügynek. Főnökeink valahol az AKADÉMIA az OMFB és az akkori ipari tárca magaságából még csak harmonikusnak sem mondható többszólalumsággal mondják a magukét.

Végül is kirajzolódik a két legerősebb műszaki koncepció: a *MOS-LSI* és az *III*, azaz „I-négyszet-L.”

Az előbbi a szigetelt, vezérelt-elektrodájú térvezérelt tranzisztorokon alapuló áramkörök, az utóbbi egy speciális bipoláris tranzisztoros kapcsolástechnikán alapuló

áramkörök megjelölésére szolgált. A második ma már csak technika-történeti kategória, az első azonban a mindent elsöprő mai CMOS technika elődje. A hazai gyártási hagyományoknak inkább az utóbbi felelt volna meg, a nemzetközi trendeknek az előbbi.

Ezzel a heves vitával eltelik egy fél év, aztán győz a „kozmpolita” MOS-LSI irányzat.

Ezután a győztes oldal két frakcióra szakad. Az egyik a „három-tápfesztes, tiszta növekményes”, a másik az „egy-tápfesztes, növekményes-kiürítéses” technológiát favorizáló frakció.

Tudni illik, legalább is a szakembereknek, hogy a hetvenes évek elején kialakult n-csatornás áramkörökben csak úgy lehetett növekményes, azaz megfelelő értékű pozitív küszöbfeszültségű MOSFET eszközt csinálni, ha a hordozót egy 5V körüli negatív tápfeszültségre kapcsolták. Ez volt az ún. „body-hatás” segítségével beállított pozitív küszöbfeszültség. Ráadásul az amerikai gyártók kezdetben egy 12V vezérlőfeszültséggel linearizált terhelésű, 5V tápfeszültségű kapu-kapcsolást használtak. Így jött össze a három tápfeszültség érték. A tápfeszültségek számának csökkentése alapvető fejlesztési cél volt akkoriban, ezért találták ki részben a meghajtó eszköz küszöbfeszültségének ionimplantációs eltolását, részben pedig a terhelés kiürítésessé tételét, ugyancsak ionimplantációval. Nos, azok, akik az „egy-tápfesztes, növekményes-kiürítéses” táborhoz tartoztak, azonnal ezzel az új technológiai változattal akartak áramköröket csinálni.

A hagyományos technológiai változat hívei a Fóti úton, (HIKI), az újabb változat hívei pedig a csillebérci (KFKI) bázison gyülekeztek. Mindkét frakció igazának bizonyítására az *INTEL* cégre hivatkozott.

Az 1974. és 1975. évek lázba hozták a villamosmérnöki társadalmat, függetlenül a szakmán belüli szűkebb területtől. Az ok néhány újabb csip-típus volt, amit az *INTEL* dobott piacra. *Mikroprocesszoroknak* nevezte el őket. Hasonló, nagy funkcióűrűségű LSI csipek akkor már évek óta léteztek, de olyanok, amelyek egy teljes Neumann-féle számítógép architektúrát egyesítettek volna egyetlen csipen, nos ilyenek addig még nem születtek.

Az *INTEL* az első, három tápfeszültséget igénylő csip, az átütő sikerű *8080-A* típusjelű áramkör piacra dobása után azonnal továbbfejlesztette azt, és megvalósította az egy tápfeszültségű *8085* típusjelű csipet. Sőt, néhány türelmetlen mérnöke az *INTEL*-ből kiugorva és megalapítva a *ZYLOG* céget, 1978-ban piacra dobta az ugyancsak egyszer 5V-os *Z-80* mikroprocesszort, a magyar felhasználók későbbi első számú kedvencét.

Csoda hát, hogy ettől a tempótól elszédülve itthon egy darabig tanácstalanok voltunk és több pártra szakadtunk?

Főnökeink szerencsére ezúttal nem haboztak túl sokáig. Döntöttek. A nagy közös cél, a *8080-A* mikroprocesszor megvalósítása. A határidő 1980 december 31. „*Csináljunk nyolcvan-nyolcvan, nyolcvanra!*”

8.3. Gigantikus mikroprocesszor-csip a Hortobágyon

A hetvenes évek vége felé mikroelektronikai cégek világszerte kifinomult módszereket fejlesztettek ki mások – főleg szilícium-völgybeliek – alkotásainak gyors és hatékony reprodukálása céljából.

A másolási technikák sok esetben legalább olyan szellemesek voltak, részleteik szinte ugyanakkora találékonyságot és műszaki felkészültséget igényeltek, mint a dolgok rendes menete szerinti, eredeti műszaki alkotási folyamat.

Miért másoltak mégis világszerte, ha a képességek lehetővé tették a direkt mérnöki alkotás útját? Egyrészt hiányzott az önbizalom, másrészt sokan azt hitték, ez e gyorsabb út.

Nálunk eleinte nem fogadta egyöntetű lelkesedés a másolás gondolatát.

A cél kijelölése és meghirdetése után az LSI KFT-ben azonnal heves vita indult meg, főleg a tervezők körében.

A szerző jól emlékszik egy rövid előadásokból és konzultációkból, valamint heves vitákból álló munkaértekezletre, ahol néhányan egészen szélsőséges nézeteket vallottak, felvázolva egy olyan magyar mikroprocesszor körvonalait, amelynek architektúrája szellemességében „messze felülmúlja” az amerikai gyártók processzorainak felépítését. Ezek itthoni megvalósíthatóságában persze a lelke mélyén senki sem hitt, mégis jólesett magunkból „kibeszélni” a másolási kényszer miatt a mérnöki önértetünkön elszenvedett sérelmet.

Az LSI-KFT felelős vezetői türelmesen végighallgatták a szenvedélyes vitákat, aztán egyértelmű felszólítást kaptunk az egyértelmű másolásra.

Az INTEL áramkőről annak teljes felületét lefedő, közel ezerszeres nagyítású, minden finom részletére kiterjedő mikroszkópos fotó-sorozatot kellett készíteni. A nagyításoknak mérettartóknak kellett lenniök, hogy a fotók a geometriai elrendezés, a LAYOUT visszarajzolását minél jobban segíthessék.

Erre a fényképészeti csúcsteljesítményre az LSI-KFT a Térképészeti Intézetet kérte fel.

Néhány hónap múlva a HIKI-s kollégák megmutatták a 64 darab, egyenként közel négyzetméternyi felületű, fatáblára felkasírozott fotót. A fotók plasztikusak voltak, még az áramkör mélységi struktúrája is jól felismerhetően állott előttünk.

Valaki megsaccolta, mekkora területen férne el kiterítve az ezerszeres nagyítású mikroprocesszor. A közelünkben ilyen méretű helyiség nem is volt. A szemle és az „óriás mikroprocesszor” méreteinek becslése egy szórakoztató anekdota, vagy inkább viccféle születéséhez vezetett.

„Amerikai műhold kémfelvételeket készít a magyar alföld felett. A képek láttán döbbenet lesz úrrá a CIA emberein, és azonnal jelentést készítenek: Gigantikus mikroprocesszor csipet csináltak a magyarok a Hortobágyon”

8.4. Az elektronok viselkedése éles kanyarban

Megindult a hatalmas fotók átültetése olyan rajzos dokumentációkká, amelyek végül beilleszthetők egy normális egyenes-irányú fejlesztési folyamatba, a mérnöki tervezés és megvalósítás normális sorrendjébe. A normális sorrend a réteges layout rajzok elkészítése után a rajzok pontkoordinátáinak a számítógépbe vitele, aztán e rétegek úgynevezett számítógépes lefedése.

A lefedés a mintagenerátor munkáját volt hivatva előkészíteni, mivel a mintagenerátor egy alakzatot állítható méretű, téglalap alakú expozíciókból állít össze.

A lefedés olyan számítógépes eljárás, amely megpróbálja megtalálni az alakzat minimális számú és optimális sorrendű téglalapos kompozícióját, hogy ezzel a mintagenerátor exponáló fejének hosszú útját, és így az expozíciós időt lerövidítse.

A rajzok feldolgozása – azaz a koordináták memóriába vitele – digitalizáló asztalon készült. A digitalizáló asztalon az ember egy szátkeresztet a rajz adott pontjára helyezett, megnyomott egy gombot, és a pont adatai máris benn voltak a gépben.

Ennek ellenére sem a fotók átrajzolása, sem a digitalizálás nem volt népszerű a tervezők körében. Ebbe a lélekemelőnek igazán nem tekinthető munkába ugyan több gyors és ügyes kezű nem-mérnök kolléganőnk is bekapcsolódott, ennek ellenére a legtöbb mérnöknek alaposan ki kellett vennie a részét a layout-tervezésnek e sajátos műfajából. Volt azonban ennek a „rabszolgamunkának” egy igen messzire ható eredménye is. Főnökeink szerencsére nem elégedtek meg a fényképek alapján készült számítógépes rajzokkal, az áramkörök szimbolikus vázlateit, az un. elvi kapcsolási rajzokat is elő kellett állítanunk. Akik közülünk ezt figyelmesen, és a működés megértésének szándékával végezték, megismerhették egy teljesen új, eredeti áramköri technika alapjait.

A munka hónapokig tartott, és újabb, elsősorban önmagunkat szórakoztató történetek, legendák, viccek születtek.

Itt van például a „lebegő vezeték” a legendája.

A lebegő vezetéket az időzítő-vezérlő áramkört megfejítő hiki kollégák fedezték fel. Ott kanyargott a többi fontos funkciót betöltő alumínium csík között, fontoskodva kerülgette a másoknak kijelölt kontaktusokat, de szemel láthatóan nem vezérelt semmit, és semmi értelme nem látszott a létezésének. Kiderült, hogy nemcsak célja nincs, hiszen sehová sem kapcsolódik, de forrása, meghajtója sincs. A kollégák végül is elhamarkodott döntést hoztak, ezt a vezetéket nem kell átmásolni a magyar mikroprocesszor tervrajzába! Nem számoltak azonban az önbizalom-hiányból táplálkozó óvatossággal, és az INTEL iránti feltétel nélküli tekintély-tisztelettel. Az INTEL tervezői nem felejtenek ott csak úgy, minden indok nélkül, egy vezetéket! Rövid, főnöki kezdeményezésre életre hívott konzílium után a rejtélyes vezeték állítólag mégiscsak rákerült a magyar mikroprocesszor tervére. Eddig a legenda.

A másik emlékezetes, és tudomány-történeti szempontból is jelentős eset – a legendárium szerint – az volt, amikor alkotógárdánk kénytelen volt tanulmányozni az elektronok éles kanyarban mutatott viselkedésének problémáját.

Az INTEL csip felületén futó, kanyargó alumínium-vezetékek egyes kilencven fokok irányváltásait a szeszélyes tervező időnként „lecsapta” egy-egy rövid negyvenöt fokos átmeneti szakasz beiktatásával. Tudtuk, hogy ezek az átvezetések a lefedő-program számára keserves tizedmásodperceket jelentenek, hiszen ilyenkor az eljárás sokkal több és kisebb méretű expozícióval képes csak jó lefedést adni. Tény, hogy valamelyik mérész kollégánk javasolta, amennyiben lehetséges, csináljunk kilencvenet a kétszer negyvenötöből, ne növeljük feleslegesen a művelet idejét.

És akkor – és ez már csak legenda – ismét az INTEL cég megfellebbezhetetlen szakmai tekintélyére való hivatkozás következett. Nem lehet véletlen a kanyar levágása, kétszer negyvenöt az nem azonos az egyszer kilencvennel, legalábbis az elektronok számára nem! Vajon nem sodródik-e ki reménytelenül sok elektron az éles kanyarban, megengedhetetlen töltés veszteséget okozva az egyes vezérlőjeleket szállító vezetékeknek? Ebben a megvilágításban nem nyilvánvaló-e, miért tompította le a kanyarokat az INTEL?

8.5. Szilícium-alapú százlábúak mikroszkóp alatt, avagy hozzál nekem bontott IC-t

Az emberiség kíváncsi és kutató hajlamú egyedei megalkották a mikroszkóp különféle változatait, hogy megfigyelhessük és megfejtsük a természet alkotásainak titkait.

Hogy a mikroszkóp arra is jó lesz, hogy egy parányi mérnöki alkotás titkait egy másik mérnök fejtsse meg a segítségével, ez a technikatörténet meglepő ténye.

A hetvenes években a világ néhány szegletében, de főleg Amerikában fura szilícium-százlábúak látták meg a napvilágot, elképesztő ütemben szaporodtak, és az alkatrészkereskedők segítségével szinte hónapok alatt elborították bolygónk iparilag civilizált részét. E szilícium-százlábúak titkait azért kutatták mikroszkóppal a kíváncsiskodók, hogy reprodukálni lehessen a vizsgált egyedet, ellesni működésének titkát, és létre lehessen hozni a számára egy újabb „populációs régiót”. Ez persze az iparjogvédelem szelleme szerint tiltott dolog volt már akkor is, de az iparjog betűje alaposan elmaradt a valóság mögött, nem védte tételesen az integrált áramkörök elrendezési rajzolatát, a *layout*. Ilyen, nemzetközileg elfogadott jogszabály csak a nyolcvanas évek végén született.

Abban az időben, mikor a százlábúak megfigyelése talán a legintenzívebben folyt, a BME *Tarnay Kálmán* professzor vezette Elektronikus Eszközök Tanszékét meglátogató vendég regisztrálhatta, hogy a tanszék folyosójának falait mikroszkópi fotók felnagyított tablói borítják, egy korabeli ismert TV-reklám szlogennel csalogatva a báméskodót:

„*Bontott IC... bontott IC... bontott IC*”

Amikor az LSI Kutatási Fejlesztési Társulás reprodukálásra kijelölte az INTEL-8080 mikroprocesszort, a HIKI-ben és a KFKI-ban először „felboncoltak” néhány példányt, majd néhány, a szemét nem kímélő fiatal kutató-mérnök – közöttük magam is – rávetette magát a mikroszkópra.

A cél: katalogizálni a csip valamennyi tranzistorát és összekapcsolódásukat, majd a kapu-szintű modell felépítése után analizálni, esetleg szimulálni a mikroprocesszor működését.

Ez a megfejtő munka csaknem egy évig tartott. Azt hiszem azzal a módszerrel és azokkal az eszközökkel egy következő generációbeli, 16-bites processzor kapusintű modelljének rekonstruálása már lehetetlen vállalkozás lett volna. A 8080 kapusintű modellje azonban felépült.

Keserves munka volt ez, de a végén a benne résztvevők óriási ugrást tehetek a MOS-LSI kapcsolástechnika megismerésében. Sokan, köztük a megfejtő csoportot vezető *Simon Zoltán*, a HIKI-s csoportban dolgozó *Heksh Ferenc*, *Asztalos András*, *Lázi György*, *Lénárt Tibor*, *Zsák József*, *Szalay László*, *Fejes László*, *Szuhár Mihály*, *Szentirmai Piroška*, *Farkas Gábor*, a KFKI-ban *Pacher Donát* és jómagam *Keresztes Péter* talán ekkor tettük meg a legnagyobb lépést az LSI tervezés szakmájának megtanulásában.

Számomra a 8080 architektúrájának és működésének legnagyobb szakmai élményt nyújtó fázisa a kétfázisú dinamikus vezérlés megismerése volt. Ezek az új vezérlési és áramköri elvek olyan nagy hatással voltak rám, hogy évekkal később a kétfázisú dinamikus vezérlők továbbgondolásával kapcsolatos kandidátusi értekezést nyújtottam be.

8.6. Nagyszámítógépek a mikroszámítógép megvalósításának szolgálatában

A magyar integrált-áramkör fejlesztés hajnalán a TKI volt a számítógépes (nagyszámítógépes!) tervezés Mekkája. A *Csurgay Árpád* és *Roska Tamás* vezette csapat nyomtatott kártyák és monolit IC-k gyártási dokumentációjának számítógépes hátterét fejlesztette, kutatta az ezzel kapcsolatos eljárások algoritmusait, és mind az áramköri, mind a logikai szimuláció területén hasznos eredmények születtek. Csak néhány,

a mikroprocesszor tervezési tevékenység kapcsán emlékezetes név a TKI csapatából: *Abos Imre, Radványi András, Szolgay Péter, Fogaras Adrás, Ellbogen András, Szabóné Paula, Bisztray Dénes, Scsaurszky Péter.*

A mikroprocesszor tervezés persze szétfeszítette az akkori korlátokat. Érdemes áttekinteni, hogyan zajlott egy IC tervezés a mikroprocesszor program beindítása előtt. A feladat megoldásának első fázisában a tervező milliméter-papíron megrajzolta az általában ezerszeres nagyítású cellákat, majd egy összeállítási rajzot is készített. Ezután a teljes rajzot egy, a TKI által definiált grafikus leíró nyelven tálalni kellett. Egy ilyen MASK-2 nyelven készült leírás néhány ezer helykoordináta-adatának a megadása nem volt gyerekjáték, ami a dolognak az alkotó szellemre gyakorolt frusztráló hatását illeti. Számos hiba is becsúszott egy-egy bonyolultabb áramkör leírásába. Ezeket a hibákat a tervező először a TKI-ban elkészített, jó négyzetméternyi fóliás rajzon pillantotta meg első ízben. Néhány napi újabb „alkotó munka” után visszavitte a leírás javított változatát. Több ilyen forduló után volt némi esély hibátlan layout dokumentáció előállítására.

Ha a tervet a tervező jónak ítélte, a rétegek rajzolatait a TKI-ban kétrétegű fóliába is bevágták. Ezután finom kezű fiatal kollégának preparálták ki a fóliákat, és megindulhatott az optikai maszk készítési eljárás.

Nyilvánvaló volt, hogy a mikroprocesszor maszkjai ezzel a hagyományos technikával nem állíthatók elő. A HIKI maszkfejlesztő bázisa, amely később a MEV maszkfejlesztésének is az egyik bázisa lett, tulajdonképpen ekkor jött létre egy mintagenerátor (pattern generator) megvásárlásával.

A mintagenerátor a korábbiakhoz képest fantasztikus sebességgel exponálta az egyes rétegek tízszeres nagyítású maszkjait. A rétegek leírási fázisának gyorsítására és hiba mentesebbé tételére ún. digitalizáló asztalok is kerültek a TKI-ba.

Az egyes áramköri részletek működését a TKI áramköri szimulációjával vizsgáltuk. A KFKI-ban *Jávor András* vezérlete alatt néhányan a helyben kifejlesztett kapacitású logikai szimulációt (LOBSTER), felhasználva a megfejtek által szolgáltatott logikai vázlatok felhasználásával igazolta a teljes processzor helyes logikai működését. A csoport tagjai: *Benkő Tiborné (Marika), Tóbiás Pál, Révész Ágnes, Vigh Ágnes.*

8.7. Vita az ionimplantáció szükségességéről

Az LSI-KFT megalakulása előtt az országban csak a klasszikus p-csatornás technológiával készültek áramkörök. A HIKI-ben a szilícium-kapus, a KFKI-ban a fémkapus, ionimplantált p-csatornás technológia területén voltak áramköri eredmények.

Nyilvánvaló, hogy amikor az LSI-KFT egy második generációs, n-csatornás mikroprocesszor megvalósítását tűzte ki célul, mindenki a maga eredményeit igyekezett előtérbe tolni. A hiki kollégák az INTEL klasszikus, három tápfeszültséges, tiszta növekményes technológiájának reprodukálását szorgalmazták, egy ionimplantáció nélküli, önillesztett szilíciumkapus processzust. Az LSI-KFT sorszámozta a szóba jöhető technológiai variánsokat. A klasszikus INTEL technológiához leginkább hasonlító változat az NMOS-2 jelet kapta. Az NMOS-2 csapat prominens tagjai voltak az alább felsorolt hiki kollégák: *Hermann Ákos, Podmanitzky István, Timár József, Lénárt Márta, Nyerges Gyula, Krafcsik István, Gláser Péter, Kiss Tibor, Trutz Sándor, Bárdi Miklós, Farkas Miklós, Berkecz János, Szigeti Erzsébet, Szaviczka Danuta, Varga Katalin, Gyulai Mária, Balogh Géza.*

A technológia utolsó lépése a szerelés. Egy negyven lábú kerámia DIL tokba való szerelés előkészítésében *Almási István, Miklósi László* és *Tarnai Imre* kollégák jeleskedtek. A teljes HIKI-s csapatot *Ugray László* vezette, és emlékezetem szerint a tervezőkkel is ő tartotta a kapcsolatot.

Mi, a KFKI-ban dolgozók kis létszámunkhoz képest nagy vehemenciával hangoskodtunk a korszerűbb, perspektivikusabb egy tápfeszültségű változat mellett, amely a növekményes küszöbfeszültség beállítására és a kiürítéses terhelések megvalósítására járulékos implantációs lépéseket igényelt. Látszott már, hogy maga az INTEL, de kiváltképpen az INTEL-ből kivált ZYLOG is ezt az utat követi. A KFKI nekilátott az új technológiai változat kifejlesztéséhez. Az NMOS-5 jelű technológia kifejlesztésében nagy szerepet játszó kollégáim *Schiller Róbertné* és *Gyimesi Jenő* körül csoportosultak. Később *Andrási Andorné* is vezette a csapatot. A technológusok között meg kell említeni *Kósza Gézané, Bányai Ferenc, Majoros Ákos* nevét. *Mohácsy Tibor* ugyan akkoriban nem ennek a technológiának a kifejlesztésével volt elfoglalva, mégis tapasztalataival és tudásával sokat segített számos eszközfizikai és tervezési probléma megoldásában. *Barna Péter, Ádám Antalné Marika* és *Sándor Szvetlána* csinálták az eszközfizikai méréseket. Az implanternél *Meskó András* és *Debreczeni Abel* teljesítettek szolgálatot, a litográfiában pedig *Erős Magdi* tette magát nélkülözhetetlenné.

Az LSI-KFT vezető triumvirátusa, a *Csurgay-Gyulai-Ugray* hármas végül úgy döntött, hogy a HIKI által preferált technológiával kell megvalósítani a magyar mikroprocesszort.

8.8. A magyar mikroprocesszor megszületése

Ezerkilencszáz-hetvennyolcban-hetvenkilencben a nagy tervező-munka résztvevőit már más problémák foglalkoztatták, a mikroprocesszor fejlesztési feladatok tömege a technológusokra nehezedett. Közben persze kiderült egy-egy maszkhiba, és ezt a HIKI-s tervező kollégáknak ki kellett javítaniuk, de az igazán fontos események a diffúziós kályhák és a maszkillesztő berendezések környékén történtek. Aki résztvett – akár csak tervezőként – egy félvezető technológiai folyamat kimunkálásában, véglegesítésében, majd rutinszerű folyamatos ismétlésében, az tudja, mennyi apró részletproblémával kell megküzdeni. Messze nem elég a folyamat átfogó ismerete, a berendezések tökéletes műszaki állapota, a tisztaság különféle fokozatainak előírás szerinti tartása. Néha „mágikus műveletekre” is szükség van. Maguk a félvezető-technológusok büszkén, korántsem szakmájuk lebecsüléseként a szakácsművészethez való hasonlatosságot hangsúlyozzák.

A technológusok egy adott változat kidolgozásakor technológiai és áramköri tesztstruktúrákon dolgoznak egészen addig, amíg a technológiai és áramköri paraméterek a helyükre kerülnek. Ez nemcsak a technológiai folyamat állandó ismételtetéséből áll, de nagyszámú mérést és azok kiértékelését is igényli. A mikroprocesszor megvalósításának ez a szakasza a HIKI falain belül ment végbe. Személyes emlékem erről a szakaszról tehát nincs, de később, már a Mikroelektronikai Vállalat alkalmazásában személyesen is megismerhettem azokat az eszközfizikus kollégákat, akik az NMOS-2 variáns paramétereinek beállításánál méréseikkel közreműködtek: *Pásztor Gyula, Valkó Ágnes, Bársony István, Erdélyi Katalin, Schvan Péter, Vértesi András, Mádl Katalin, Seres Mihály, Erlaky György.*

Nem emlékszem már, melyik volt az 1980-as esztendőnek az a napja, amikor KFKI-beli főnökeink, *Gyulai József* és *Bánki Ferenc* közölték az örömhírt; a HIKI-ben a technológus csoport egyik nekifutását siker koronázta, működik a magyar mikroprocesszor. Bevallom őszintén, én magam nem láttam a magyar mikroprocesszort sem működésben, sem mérésen kívül, lebegő állapotban. Azt is be kell ismernünk, hogy a cél-típus, a 8080-A nimbusza is megkopott addigra, a magyar felhasználók jelentős része a Z-80-as típust favorizálta. Mégsem ez a két tény volt a legfájdalmasabb.

Az Izzó gyöngyösi gyára akkoriban kezdett 8080 szerelési tevékenységbe, vásárolt csipekkel. Ez azt jelentette, hogy egy másféle módon készült magyar mikroprocesszor is megjelent, és ez – legalábbis az lényegesen nagyobb darabszám miatt – alaposan elhomályosította a magyar-csipes hazai mikroprocesszor megszületésének a fényét.

8.9. Hogyan mérjük meg egy mikroprocesszort?

Ahogy közeledett a működő csip megjelenésének feltételezett időpontja, úgy jöttek egyre jobban izgalomba azok, akiknek majd a funkcionális mérést kellett elvégezniük.

A tervezők közül néhányan a mérőprogram generálásába is bedolgoztak, vagy részt vettek az MFKI-ban megvalósított pásztázó elektronmikroszkópos potenciálkontraszt vizsgálatok elektronikai munkálataiban. Az azóta elvesztett kandós kollégánk, *Holéczy Gyula* fejlesztett ki illesztő elektronikát a magyar mikroprocesszor és a pásztázó elektronmikroszkóp közé.

A mérő automatával történő funkcionális vizsgálatok technikai hátterét a *Kovács Ferenc* vezette munkacsoport dolgozta ki. Tagjai: *Kerek László*, *Losonczy Sarolta*, *Tarján György*, *Németh György*, *Beke István*.

Nagy elméleti felkészültséget igénylő feladat volt a mikroprocesszor teszt-programjának kidolgozása. Egy SZKI-KFKI munkacsoport alakult meg a probléma megoldására *Sziray József* vezetésével. A DIAS tesztervező kidolgozói *Nagy Zsolt*, *Déri András*, *Temesvári Gábor* SZKI-s, és *Borsos István*, *Hegedűs András* KFKI-s kollégák voltak. Ezután elkészült a TESTART magas szintű tesztleíró nyelv is, amelyben az már felsorolt kollégákon kívül *Csernó János* (SZKI), *Lukács József* és *Bánki Ferenc* (KFKI) is részt vettek.

8.10. Epilógus

A magyar 8080 mikroprocesszor történetének végén kell valami biztatót írni. Azok a szakemberek akik megcsinálták, ma a szakma, az élet legkülönbözőbb területein tevékenykednek, csak nagyon kis részüknek van köze ma is mikroelektronikai tervezéshez vagy technológiához. Mégis voltak olyan sikerek később is, amelyek a mikroprocesszor történetben gyökereztek, és vannak ma is biztató aktivitások.

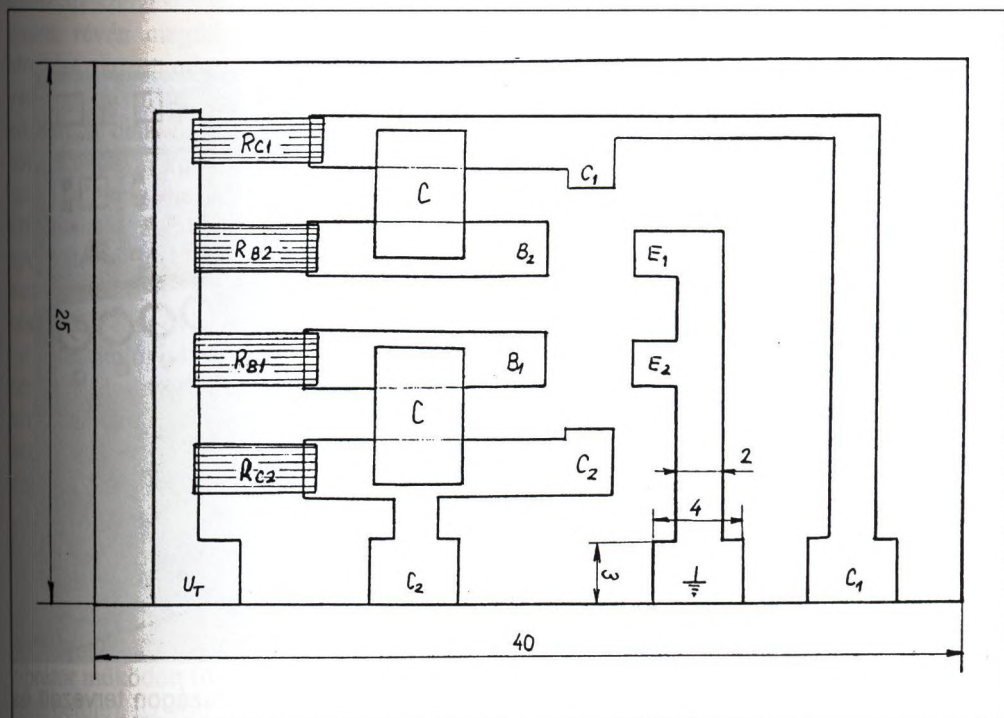
A nyolcvanas évek elején KFKI-MEV kooperációban elkészült egy NMOS-5 technológiára tervezett adatrendező célprocesszor, amelyet az MTA Automata-elméleti Kutató Csoportja specifikált, és amelynek tervezésében e visszaemlékezés írója vezető szerepet játszott, hála a kétfázisú dinamikus vezérléssel kapcsolatos speciális ismereteinek.

Napjainkban digitális VLSI tervezés folyik a SZTAKI-ban, a *Roska Tamás* professzor vezette Analogikai és Neuroszámítógépek Laboratórium egy főleg fiatal mérnököket tömörítő csoportjában. A cél celluláris neurális hálózatokat digitálisan emuláló, nagyintegráltságú CMOS VLSI áramkörök tervezése, és külföldi szilícium-technológián történő megvalósítása. A csoportot *Szolgay Péter* vezeti, jómagam pedig, mint a csoport egyik tagja, átadhatom *Hidvégi Timót*, *Bezák Tamás* és *Jónás Péter* fiatal villamosmérnök kollégáimnak azokat a speciális ismereteimet, amelyekre a magyar mikroprocesszor tervezése és megvalósítása során tettem szert.

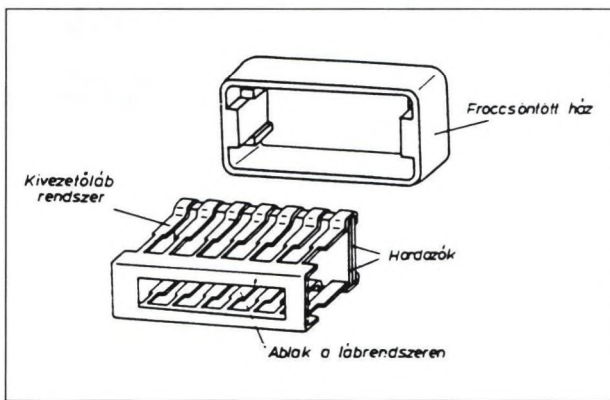
9. A hibrid integrált áramkörök kutatásának kezdetei a BME Villamosmérnöki Karán

Dr. Ripka Gábor
BME Elektronikai Technológia Tanszék
ripka@ett.bme.hu

A BME Villamosmérnöki Karán a hibrid integrált áramkörök kutatásának kezdetei után kutatva az 1962. évre kell visszanyúlnunk. A tudománypolitika és az ipar képviselői 1962-ben megvizsgálták a Villamosmérnöki Kar oktatásának eredményeit. Egyebek között megállapították, hogy az elektronikai ipar számára képzett mérnökök technológiai és konstrukciós ismeretei nem elegendők az adott területen felmerülő feladatok ellátására. Felszólították az egyetem vezetését, hogy az éppen folyamatban lévő oktatási reformhoz kapcsolódva találjanak megoldást a fenti problémára. A megoldásnak két módja volt: vagy az elektronikai iparba kerülő (híradástechnikai és műszer-szakos) mérnökök technológiai képzését kellett erősíteni, vagy külön technológiai sza-



9.1.ábra. Az első Magyarországon tervezett és kivitelezett vastagréteg IC topológiai terve

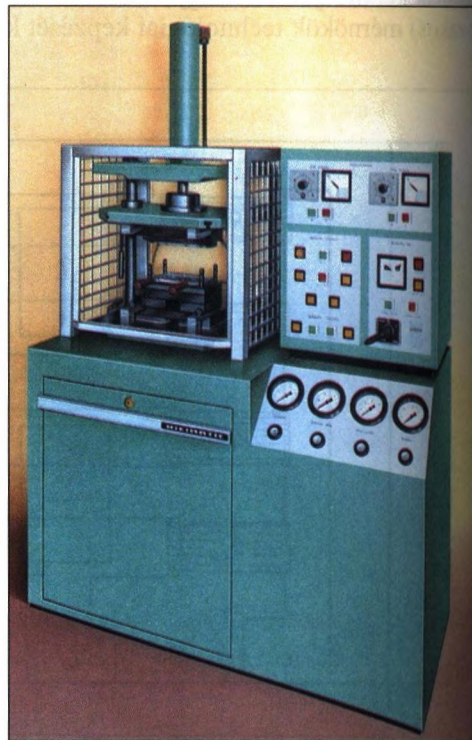


9.2.ábra. Dual-in-line típusú hibrid IC és részére készült tok (az első Magyarországon tervezett és gyártott IC tok)

Híradás- és Műszeripari Technológia Tanszék, amelyet a Műszer- és Méréstechnika Tanszékből kivált három oktató (*Bede István, dr. Szombathy Emil, Ripka Gábor*) és 110

négyzetméter alapterület képviselt. A Tanszék öt év alatt gyorsan fejlődött. Az oktatók létszáma 19-re, a tanszék alapterülete az új (V2) épületbe költözve 1320 négyzetméterre, a laboratóriumok száma 11-re, a tantárgyak száma 15-re nőtt. 1973-ban a tanszék neve Elektronikai Technológiára változott. 1964-ben a tanszék első laboratóriumában a mérések a következők voltak: forgácsolt alkatrészek felületi érdességének alakulása a technológiai paraméterek függvényében, műanyagok alakítási technológiája, lemezkivágási technológia paramétereinek vizsgálata, elektromechanikus műszerek csapágyainak vizsgálata. Ezek a mérések még a Műszer szakon oktatott technológiai tantárgyakhoz lettek kifejlesztve. A tanszék oktatóinak figyelme – mivel a technológiai szakon az oktatás az alkatrészgyártó és készülékgyártó ágazaton folyt – az éledező hazai mikroelektronikai ipar felé fordult. A Tanszék alapító tagjai már az 1960-ban a KGM Híradástechnikai Igazgatóság megbízásából a Ring István által készített: „A magyar híradástechnikai ipar mikro-modul és mikroelektronika távlati kuta-

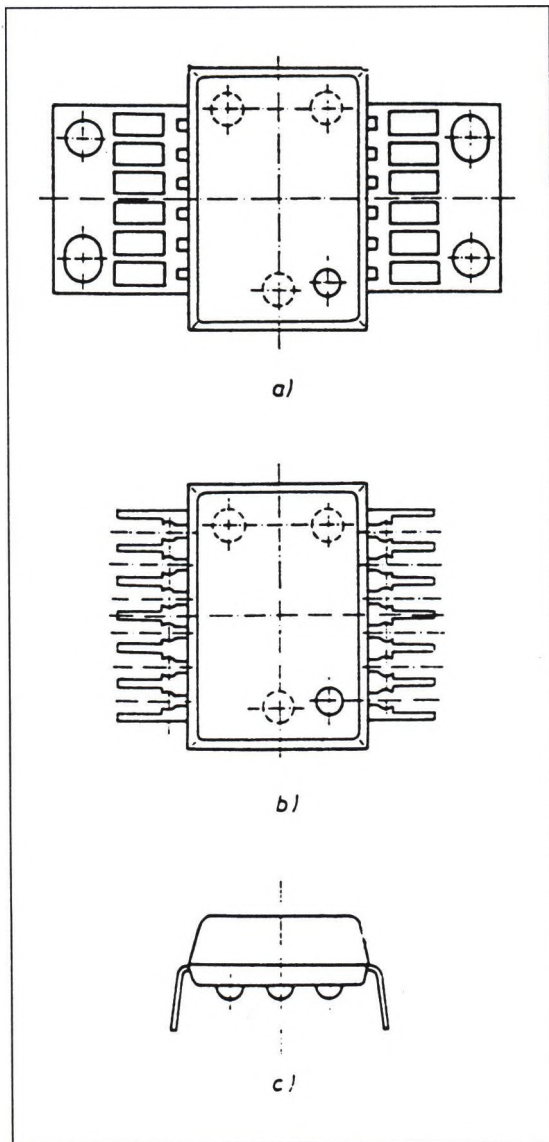
kot kellett létrehozni a fenti feladatok ellátására alkalmas mérnökök képzésére. A Villamosmérnöki Kar vezetőinek állásfoglalása szerint az első megoldás a villamos szaktárgyak rovására menne, ezért nem elfogadható. Így olyan döntés született, hogy új szak alakul. A Művelődésügyi Minisztérium 1962-ben elrendelte a Villamosmérnöki Karon a negyedik, (a technológiai) szak megindítását és az ennek bázisul szolgáló tanszék felállítását. Ennek eredményeként 1964. január 1-én megalakult a



9.3.ábra. A Magyarországon tervezett és kivitelezett kisnyomású fröccsajtoló gép (tömör műanyag IC tokok előállítására)

tási terve” c. tanulmány véleményezésében is részt vettek. A Tanszék 1964-től kezdett el foglalkozni a vastagréteg integrált áramkörökkel. Kezdetben csak tudományos diákköri szinten a szakirodalom feldolgozása jellemezte a munkánkat. Ez a diákkör elhatározta, hogy megtervez és kivitelez egy vastagréteg astabil multivibrátor áramkört. A diákkör tagja volt többek között Dr. Valkó Iván Péter professzor úr lánya is, az azóta fiatalon elhunyt Valkó Ágnes is. Ezt a tényt kihasználva, a témavezető oktató – ennek az alfejezetnek a szerzője – arra biztatta Ágnest, hogy az akkori időkben még ritkaságba menően külföldre járó papát bízva meg ellenállás és huzalozás megvalósítására alkalmas vastagréteg paszta beszerzésével. A diákkör időközben elkészült a vastagréteg IC topológiai tervével (9.1. ábra).

Néhány hónapon belül Valkó professzor úr teljesítette lánya kívánságát. Nyugaton egy kutatóintézetben járva a zsebében lapuló orvossgos fiolából a gyógyszert zsebébe szórva a fóliát ujjal „megtöltötte” vastagréteg ellenállás pasztával. A professzor úr elbeszélése szerint a „pasztabeszerzést” követően csak a paszta révén megfeketedett ujjának elrejtése okozott némi bonyodalmat a vendéglátóival elfogyasztott ebéd közben. A diákkör a kerámia hordozót a Kőbányai Porcelángyárból szerezte be, míg huzalozás réteggént ezüstpasztát alkalmazott. A szitanyomtató sablonokat az EKM gyárban gyártották le, ahol műszerskálák készítésére már évek óta alkalmazták ezt a technológiát. Az aktív alkatrészekenként fémházas kihajtott lábú (tehát „felületre szerelhetővé átalakított”) tranzisztorok kerültek beültetésre. A felnyomtatott ellenállásokat a Gépészmérnöki Kar egyik tanszékének hőkezelő kemencéjében égették be. Az ellenállások értékbeállítására alkalmasnak bizonyult egy fogorvosi fűrógép is. Az astabil multivibrátor működött (összesen 5 db készült belőle). Ez volt az első Magyarországon tervezett és kivitelezett vastagréteg hibrid integrált áramkör

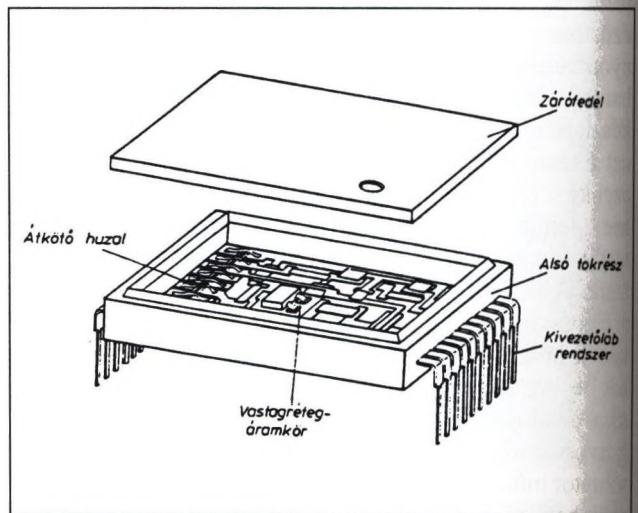


9.4. ábra. A kivezető lábrendszer utóalakítása a tokozási művelet után a) tokozott áramkör; b) az összetartó sávok előállítás; c) lábrendszer hajlítása Dual-in-line forma)

története. 1968-ban a Tanszék beszerzett egy Balzers gyártmányú Mikro BA-3 típusú gözőlő berendezést. Ez jelentette a kezdetét a vékonyréteggel kapcsolatos kutatómunkánk megkezdésének. 1967-től már tankönyvként használtuk a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet Alkatrészlaboratóriuma által megjelentett: „Szigetelőalapú vékonyréteg integrált áramkörök” c. 389 oldalas tervtanulmányt is. A Tanszéken már 1968-ban terveztek és megvalósítottak vékonyréteg áramköröket a hallgatók. Ezt azért tudtuk megvalósítani, mert a HIKI mind technológiák átadásával, mind gyakorlatvezetőkkel (*Wollitzer György, Kolonits Pálné, Strausz Tamás, Ligeti Györgyné*) segítette az oktatómunkánkat. A HIKI is igényelte a technológiailag helyes konstrukciós tapasztalatokkal rendelkező oktatók közreműködését a hibrid IC kutatásban. A Tanszék egyik alapító tagja félállásban dolgozva a HIKI-ben, tervezte meg 1969-ben az AH-1 típusjelű vékonyréteg hibrid erősítő áramkör részére a tokot és a tokozó szerszámot. (9.2. ábra).

Ez volt az első Magyarországon gyártott hibrid IC tok. Ebből a tokból 1970-ben több mint 10.000 db került legyártásra és felhasználásra. 1969-ben a HIKI érdeklődése a fröccssajtolási technológia felé irányult, azonban a speciális hidraulikus gép beszerzésére nem volt meg az anyagi forrás. A HIKI a gép, szerszám megtervezésével és kivitelezésével valamint a technológia kidolgozásával a Tanszéket bízta meg. A Tanszék két éves munkával kifejlesztette a 9.3. ábrán látható kettős hidraulikával működtetett 6/1 tonnás fröccssajtoló gépet. Ez volt Magyarországon az első ilyen jellegű berendezés. A gép nemzetközi szinten is elismert újdonság volt, azzal, hogy a technológiai paramétereket igen széles tartományban, nagy stabilitással lehetett változtatni (erre azért volt szükség, mert hazánkban senki sem rendelkezett ilyen irányú technológiai ismeretekkel). A Tanszék megtervezte és a Gábor András igazgatta Danuvia Szerszámgárban kivitelezte a tokozó szerszámot. Ezzel a szerszámmal készült Magyarországon az első dual-in-line tokozású áramkör (9.4. ábra).

1971-ben a Tanszék megoldotta egy vándorbetét alkalmazásával, a fröccssajtolással készített, de az áramkör felett légréteget hordozó u.n. légpárnás tokok konstrukcióját és technológiáját is. Az 1970-es évek elejétől a HIKI mellett a Tanszék több kutatási-fejlesztési megbízást kapott a Remix Rádiótechnikai Vállalattól is. Ezek egyike volt az 1”x1”-os hordozókra szerelt vastagréteg integrált áramkör részére előre gyártott légpárnás tokok megtervezése és legyártása. A feladatot a Tanszék fröccssajtolással oldotta meg. A 9.5. ábrán látható tokkonstrukcióhoz a lemez alakú kivezető lábak készítéséhez kontúrmaratásos technológiát fejlesztettek ki a Tanszék munkatársai.



9.5.ábra. Kétrészes fröccssajtoló tok beágyazott kivezető lábakkal

10. A mikroelektronika oktatása a BME Villamosmérnöki Kara Elektronikus Eszközök Tanszékén

*Dr. Székely Vladimír
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
szekely@eet.bme.hu*

Személyes emlékekkel kezdem, egyetemi hallgató koromból. Valkó Iván Péter professzor előadásán hallottam először a monolitikus integrált áramkörökről. Visszalapozok az indexemben; ennek 1962-ben kellett lennie. Ő már akkor igen nagy súlyt helyezett a tranzisztorok tárgyalására, s részletesen beszélt a planáris szilícium technológiákról. Akkor hozta szóba, hogy „bizony, már azzal is foglalkoznak, hogy az egymás mellett lévő tranzisztorokat lapkán belül áramkörre kössék össze”. Meg arról, hogy ellenállást is megvalósítsanak mellettük, és ezt az egészet integrált áramkörnek nevezik. Nagyon lelkesen beszélt mindenről és érezte, hogy itt most valami fontosról van szó (nyilván ezért maradt meg emlékezetemben ez a pillanat). Ez a megoldás az elektronika jövője, mondta. Akkor talán még ő sem tudta, hogy mennyire igaza van.

10.1. Ágazatok, szakok, hol a helye a mikroelektronikának?

Akinek van egy kis egyetemi praxisa, tudja, hogy az egyetemi oktatás természetes állapota a tranziens: átmenet az egyik oktatási sémából a másikba. Ezt mi úgy hívjuk, hogy tanterv reform. Átlagban nyolc-tíz évenként kerül rá sor, és erre szükség is van. A szakma fejlődéséhez, súlypont-eltolódásaihoz évtizedenként hozzá kell igazítani az oktatás formális kereteit is. Viszont: mivel egy reform akkor jutott túl a tranziensén, amikor az évfolyamok felfutásával már mind az öt az új tanterv szerint tanul, valóban többször van átmeneti, mint stacionárius állapot...

A reformok során mi természetesen a mikroelektronikát igyekeztünk a jelentőségének megfelelő szerephez juttatni. Többé-kevésbé sikerült is:

- Az 1968-as reform során a Híradástechnika szakon megszületett a Félvezetőtechnikai ágazat. Évente 18–20 hallgató számára adott félvezető, mikroelektronikai specializációt, több, mint egy évtizeden át.
- Az 1972-ben indult „B” oktatásban a Híradástechnikai szak két ágazata közül az egyik a „Műszaki fizika”. Ennek az ágazati tantervnek igen sok kötődése volt a félvezetőkhöz és a mikroelektronikához. Az ágazat 1990-ben levált a Híradástechnika szakról és tanterve valamelyest megváltozott; utolsó évfolyama 1994-ben végzett.

- Az 1984-es reform külön szakként jelölte meg a Mikroelektronika és Technológiát. Évente 60–70 hallgatót képeztünk, az Elektronikai Technológia Tanszékkal kb. egyenlő arányban osztozva.
- Végül 1991-ben elérkeztünk a legújabb reformhoz. Ez megszünteti a szakokat, és az 5. félév végéig közös villamosmérnöki alapképzést biztosít. Ez után a hallgatók úgy specializálódnak, hogy az úgynevezett „modulok” választékából szemelnek ki kettőt. Ez év tavaszán választottak a hallgatók először; a Mikroelektronika modul 16 fővel indult¹.

A mikroelektronika modul tantervének kidolgozásakor jelentős váltásra szántuk el magunkat. Korábbi mikroelektronikai tanterveinkben egyensúlyt próbáltunk tartani egyfelől a tervezési-tesztelési, másfelől a technológiai témakörök között. Most úgy ítéltünk, hogy ez az elv nem tartható. Ismeretes az a globális tendencia, ami szerint a gyártó sorok (a felszerelés, fenntartás növekvő költségei miatt) egyre kevesebb helyre koncentrálnak. Emiatt a nálunk fejlettebb országokban is csökken a félvezető technológusok iránti igény. A hazai helyzetben (a MEV gyártósora elpusztult; hazai szeletgyártó sor behúzás valószínűtlen) félvezető technológusi tudással az elhelyezkedés esélye csekély.

Megfigyelhető ugyanakkor, hogy a szilíciumra való tervezés egyáltalán nem mutat ilyen koncentrációást. Éppen az ellenkező tendencia tapasztalható. A gyártás koncentrációásával amúgy is eljutottunk oda, hogy a tervezés többnyire máshol történik, mint a szeletgyártás – miért ne lehetne akkor akárhol tervezni?! A megfelelő teljesítményű munkaállomások ára egyre csökken, létrejöttek azok az IC tervező szoftverek, amelyekkel mérsékelt technológiai tájékozottság mellett is eredményesen lehet IC-t tervezni. Mindez szükségszerűen oda vezet, hogy egyre több elektronikai cég (akár kisvállalkozások is) be fognak rendezkedni a szilíciumra való tervezésre. Ehhez pedig IC tervező szakemberek kellene.

Váltásunk lényege tehát: mikroelektronikai oktatásunk most elsődlegesen tervezés („design”) irányú, s a technológiai ismeretek csak az alap-tájékozottság szintjéig szerepelnek benne. Gyakorlottá kívánjuk tenni viszont a hallgatókat digitális VLSI IC-k rutinszerű tervezésében, a tervezés számítógépes módszereiben. Még egy, szorosan kapcsolódó területre helyezünk nagy súlyt: a tesztelhetőre tervezés problémájára, és magára a tesztelésre.

Mindezek illusztrációjaként hadd álljon itt az új Mikroelektronika modul tantervéből legalább a tárgyak felsorolása²:

- | | |
|----------|---|
| 6. félév | Mikroelektronikai konstrukció és technológia
Logikai rendszerek tervezése
Szimulációs labor |
| 7. félév | VLSI áramkörök
Az IC tervezés CAD rendszerei
ASIC labor |

¹ A bekezdést nyitó „Végül” elhamarkodott volt. A kézirat 1994-es lezárása óta természetesen újabb „igazításokra” került sor. Ma a Mikrorendszerek és Moduláramkörök nevet viseli az a szakirány, amelynek évi kb. 50 hallgatója mikroelektronikai képzést kap.

² Ez megintcsak 1994-es állapot, de a legújabb reform ezen témákhoz képest lényeges változást nem hozott.

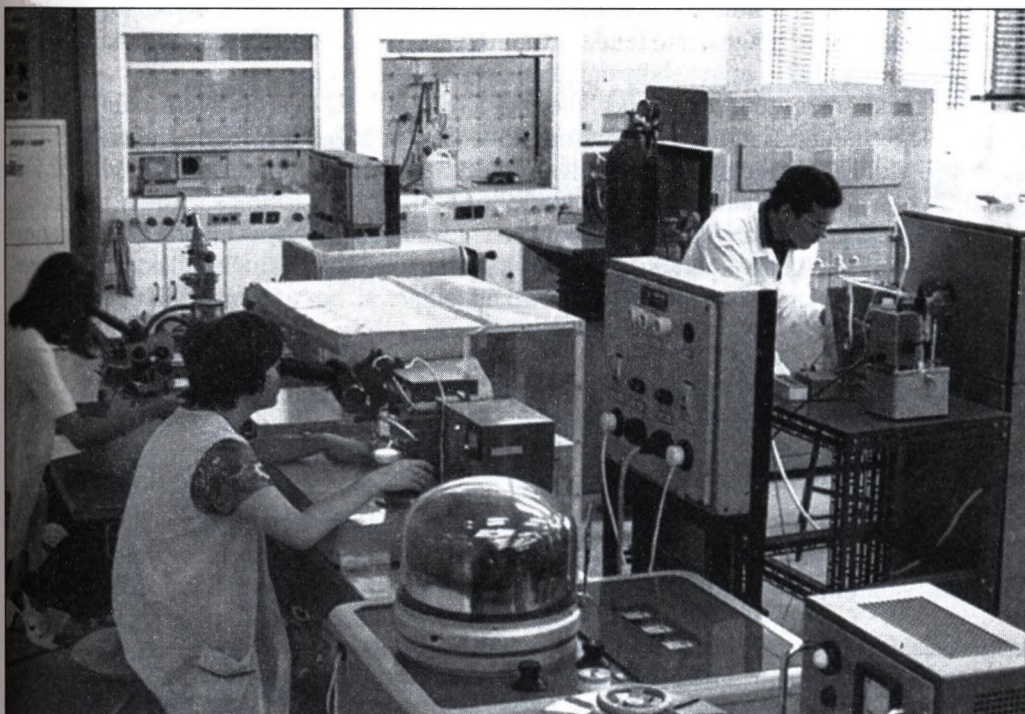
8. félév Integrált mikrorendszerek
Tervezési labor
9. félév IC-k és részegységek tesztelése
Tesztelés labor

Ez az írás a mikroelektronika oktatásának múltját is idézi. Szabadjon ezért egy kicsit visszanyúlni az időben, és megnézni: hol kezdtünk.

10.2. Félvezető labor, IC technológia

A hallgatói laborban már a hatvanas évek közepén szerepeltek félvezető technológiai gyakorlatok. Diódát csináltunk, a mai szemmel nézve mosolyogtató módszerekkel. Egy germánium lapkára grafit-kazettában indium golyócskát helyeztünk, és egy kvarcüveg csőben elhelyezett picli fűtőlapon melegítettük. A hallgatók nagyító alatt nézték az indium megolvadását, beötvöződését. Végül karakterisztika rajzolóval felvették a kapott dióda jelleggörbéjét.

Nagy erőfeszítések árán jutottunk technológiai berendezésekhez. Első vákuumpárolgatónkat például szinte teljesen saját erőből építettük, egy szakember közreműködésével, aki esti hallgatónk volt, s főfoglalkozására nézve tánctanár. A „szakember” szó komoly, az illető valóban e terület kiváló ismerője volt!



10.1. ábra. A félvezetőtechnológiai labor, 1973 körül

Lendületet adott a félvezető labor fejlődésének a Tanszék új épületbe költözése. 1968 táján foglaltuk el a V2 épület harmadik emeletét, ahol megfelelő alapterületet kaptunk egy IC labor telepítésére. Berendezésekre persze nemigen volt pénzünk. Itt volt felbecsülhetetlen az Egyesült Izzó, a HIKI, a MEV segítsége: ezek a cégek ugyanis rendszeresen átadták nekünk azokat a berendezéseket, amelyeket ők már leszereltek. Ezzel, egy berendezés-generációnyi késéssel, de ki tudtunk állítani egy működő technológiai sort. (Persze, az az „egy generáció” az Izzóhoz képest értendő...) Ilymódon került hozzánk a ma is működő „Töhötöm” nevű diffúziós kályha. Miért Töhötöm? Nem tudjuk. Nagy betűkkel az oldalán van a neve; már így jött az Izzóból. Talán még valaki meg tudná mondani...

Azért néhány új berendezésre is futotta akkoriban. Az Alcatel cégtől vásároltunk egy komoly porlasztót, beszereztük a Talystep felületvizsgálót, egy kicsi Zeiss párologtatót, Zeiss maszkillesztőt. Mindezek azt jelentették, hogy egy egyszerű technológiát végig tudtunk vinni. Be is állítottuk a félvezetős társaság oktatásába. Egy teljes félévnyi laborgyakorlat volt egy egyszerű IC végigcsinálása: minden héten más technológiai lépés került sorra. Néhány MOS tranzistorból álló logikai kapuk készültek. Változó sikerrel; pontos küszöbfeszültségről nemigen lehetett beszélni – de a lényeg nem is ez volt. Az volt fontos, hogy a hallgatóink végigcsinálták az összes lépést a saját szelvényükön, és végül egy (valamennyire) működő IC-ig eljutottak.

Fontos volt a számunkra ez a didaktikai szándék, ezért igen sok erőfeszítést tettünk ennek a labornak a fenntartása érdekében. Végül mégis fel kellett hagyjunk ezzel a gyakorlattal. Hogy miért? – ennek tényleg sok oka van.

Ellenünk dolgozott az az ismert tény, hogy technológiai berendezést nem lehet csak egy napra bekapcsolni, már pedig a folyamatos járatáshoz nem volt sem pénzünk, sem személyzetünk. Ellenünk dolgozott, hogy a high-tech fejlődésével egyre nőtt a szakadék a színvonalas technológia és aközött, amit felvonultatni tudtunk. És végül: fel kellett ismernünk azt a világméretű tendenciát, hogy az oktatás súlya a technológiáról a tervezés felé mozdul el a mikroelektronikában.

Így azután megszűnt a tanszéki laborban a hallgatói IC gyártás. Nem szűnt meg az ilyen jellegű hallgatói munka. Együttműködve Gyulai József professzorral és igénybe véve az ő áldozatkész segítségét, a hallgatók technológiai gyakorlatát a KFKI-BME Kísérleti Fizika Tanszék laborba át tudtuk terelni³.

A tanszéki labor az anyagvizsgálat irányába mozdult el. Specializálni próbáljuk magunkat a félvezető vizsgálatok egyes területein. Laborunkban terjedési ellenállás mérő, deep-level tranziens spektrométer, elektronmikroszkóp, ellipszométer a jelentősebb új eszközök.

10.3. IC konstrukció, gépi tervezés

10.3.1. A hősor

A hősorban egyetlen számítógépe volt az Egyetemnek. Ezen igyekeztünk programozni tanítani a hallgatókat – meg arra is, hogy a gépi tervezési módszerekből lássanak valamit. Mármint valamit abból, ami akkor már létezett. Ez elsődlegesen az

³ Örömteli kiegészítés 2001-ben: a hallgatóink érdeklődése ismét megnőtt a mikroelektronika iránt, évente 20–25 hallgató gyakorolja ismét az IC technológiát, szakmai választható tárgy keretében. További sikeres technológiai akciónk a napelem előállítás bemutatása, szintén fakultatív labor formájában. Ezen tárgyak iránt annyira megnőtt az igény, hogy a korlátozott létszámú csoportokból kimaradók előre próbálnak helyeket lekötni a következő szemeszter kurzusaira.

áramköri szimuláció volt. Az integrált áramkörök analizésére dolgoztuk ki a TRANZ-TRAN áramkörszimulációs programot; ezt már 1969-ben használták, először a szakmérnökök, azután a nappali hallgatók.

A számítógépet lyukszalaggal kellett etetni. Belépni hozzá nemigen lehetett, csak távolról csodálni. Lyukszalagjainkat délután leadtuk, s másnap reggel megkaptuk a futtatási eredményeket. Nem ideális felállás egy olyan interaktív, dialógust igénylő tevékenységhez, mint a mérnöki tervezés.

Ilyen körülmények között több, mint merész volt Tarnay Kálmán professzor próbálkozása, aki teljes évfolyamokat akart géphez szoktatni, egyéni IC áramkör tervezési házi feladatot adva ki a hallgatóinak. Hamar kiderült persze, hogy erre a számítóközpont lyukszalag előkészítő kapacitása messze nem elég. Tanszéki megoldást kellett találnunk. Kiűritettünk egy helyiséget, szomszéd tanszékektől, raktárakból felhajtottunk néhány öreg telex gépet, és ezekre rászabadítottuk a hallgatókat. Máig emlékszem az első estére: a szoba tele volt hallgatóval, akik gázoltak a padlót egészen elborító lyukszalag szerpentinek hullámaiban, keresgéltek a betűket a klaviatúrán, Tarnay professzor meg állt az ajtóban, és nagy belső elégedettséggel szemlélte az életképet.

Az évek közben teltek. Kezdett körvonalazódni, hogy az IC tervezésben pontosan hol és milyen szerepe van a gépi tervezésnek, kezdett kialakulni a programok összekapcsolásának, egy teljes tervezési folyamatra felfűzésének gyakorlata. Mi is láttuk, hogy a jövő: komplex IC tervező rendszereket kell használni, és ezekre kell az oktatásban is támaszkodni.

A cél világos: a zászlón az IC tervezés komplex programrendszerei. Csak éppen: hol vannak ezek a programok, s ha lennének, hol van a gép alájuk? E kérdésekre bizony nemigen tudtuk a választ. Mégis nekifutottunk, többször is.

10.3.2. Az első nekifutás: REMIX, TPA-i tervezőrendszer

A REMIX 1974-ben egy határozott és nagy lépéssel próbálkozott: a hibrid IC-k tervezését, annak áramköri, kiviteli, termikus vonatkozásaival együtt, számítógépre akarta tenni. Számítógépet a KFKI-tól rendelt, az akkor nagyon népszerű TPA-i típust. Szeretett volna egy komplett IC tervező rendszert is megkapni a géppel. A KFKI erre nem volt felkészülve, de az üzlet fontos lévén, megpróbált partnert keresni, aki a szoftvert szállítaná. Így jutott a téma az Elektronikus Eszközök Tanszékre. A feladatra ugyan mi sem voltunk felkészülve, de egy ilyen tervező rendszernek legalábbis a részét már uraltuk. Mi is tettünk tehát egy határozott lépést (a sötétbe): elvállaltuk a teljes tervező rendszer szállítását.

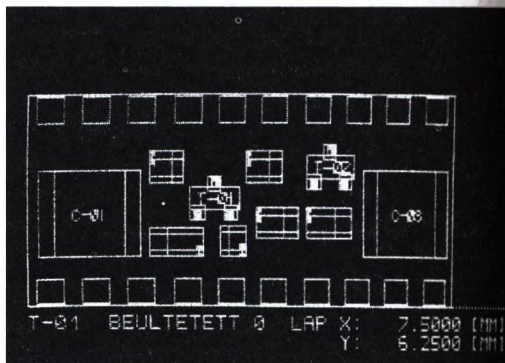
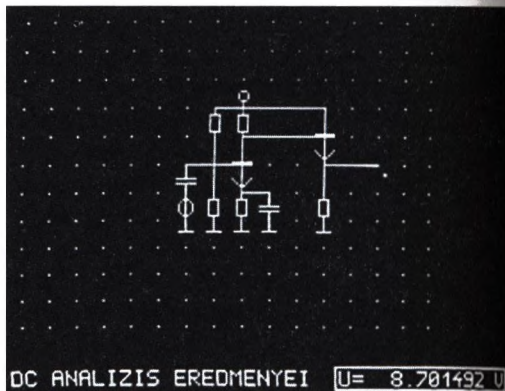
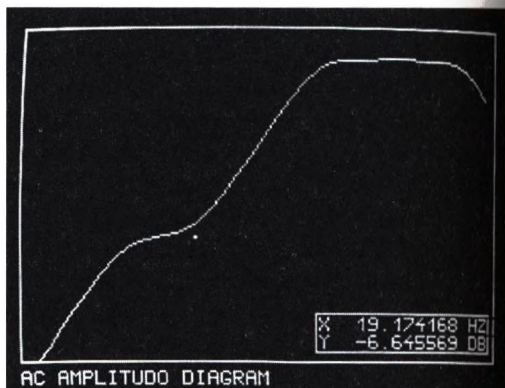
Tarnay professzor vezetésével folyt a munka, három kemény éven át. Hat-nyolc fő tanszéki csapat dolgozott a programokon, amelyek elkészítése igen szerteágazó feladatot jelentett. Kezdve azon, hogy meg kellett tanulnunk, assembler szinten, a TPA-i (ha tetszik, PDP-8) gép utasításrendszerét, odáig, hogy operációs rendszert, grafikus-interaktív tervezői környezetet kellett teremtenünk a kvázi-szűz hardveren, s végül meg kellett valósítanunk az áramkörtervezés, a szűrőtervezés, a termikus szimuláció, a layout tervezés egymással kapcsolódó programjait.

A koncentrált erőfeszítés eredményes volt; 1978-ra az eredeti elképzelések szerint megszületett a programrendszer. A grafikus interaktív munkahely ernyőképeiből a túldoldali ábrán állítottunk össze egy montázst – biztosan emlékeket ébreszt azokban, akik annak idején dolgoztak a rendszerrel...

Szerettük volna, természetesen, mindezt a lehetőséget az oktatásban is hasznosítani. Igen ám, de ehhez számítógép kellett volna, ahhoz pedig nagy pénzek. Pénzünk kevés volt, de kaptunk egy jó ajánlatot: egy leszerelt TPA 1001-es gépet jutányosan, valami negyedmillió forintért megvehettük. „A bolondnak is megéri: vegyük meg!” – mondta Valkó professzor. Így történt, így állt üzembe 1980-ban az első tanszéki számítógép.

Hát a bolondnak lehet, hogy megérte volna, de mi rendkívül sokat kínlódtunk ennek a gépnek az életben tartásával. Bekapcsolás után hosszas tesztelés, rutinszerű kártyacserék. Máig a kezemben van a mozdulat: hol kell megütögetni az aritmetikai egység kártyasorát, hogy a gép végre elinduljon. Egy tanulási folyamatra viszont jó volt ez a gép: a sok javítás, tesztelés miatt rákényszerültünk, hogy az utolsó dióáig pontosan ismerjük a TPA gép felépítését. Kis túlzással: ha leírtam egy FORTRAN sort, tudtam, hogy ennek hatására milyen gépi kódú utasítások generálódnak, melyik regiszterbe mi kerül, az ALU melyik kapuja hogyan működik, melyik tranzisztoron milyen áram folyik...

Ezzel együtt az öreg TPA 1001 egy lidércnyomás volt, és nagyon hálásak voltunk a KFKI-nak, amikor megszánt minket és kikölcsonzött a tanszéknek egy TPA-L gépet, amelyen végre megindíhattuk és oktatásba állíthattuk a REMIX számára készült tervező rendszert. Egy-két félvezetős évfolyam ezen ismerkedett az IC-k számítógépes áramköri és termikus tervezésével, és ugyanakkor az interaktív grafikus környezet használatával. A régi TPA-t meg szétszedtük, szegényt. A félvezető memóriákról szóló mai előadásaimban a belőle bontott 4096 bites ferrit memória síkot szoktam felmutatni, a kezdetekre utalva. Remekül hasznosítottuk még a gép vastag vaslemezéből hegesztett szekrényeit, mint vegyszerszekrényt. Ma is ott áll az egyik a félvezető laborban, ma is rajta van, hogy TPA 1001...



10.2. ábra. A REMIX tervezőrendszer képernyő képei

10.3.3. Második nekifutás. Mikroelektronikai Kormányprogram

A Mikroelektronikai Kormányprogramban testre szabott feladatot kaptunk. „Négyezer elektronikai tervezőt kell átképezni, a mikroelektronika alkalmazására!” A Tanszék dolga volt elkészíteni azokat a tanfolyami programokat, szerkeszteni azokat a könyveket, videofilmeket, amelyek segítségével ez a továbbképzési program néhány év alatt végrehajtható.

E munka során született meg 1984-ben a „Mikroelektronikai berendezés-orientált áramkörök tervezése” című könyv. Tarnay Kálmán professzor, a könyv szerkesztője, csaknem húsz szerzőt mozgatott meg és bírt a szokottnál sokkalta hatékonyabb és gyorsabb munkára. Valóban, a könyv rekord-idő alatt született: mindössze három hónapunk volt a megírására, és további négy hónap múlva kapható volt. (Ezért azután sajnos a sajtóhibák dolgában is rekord-gyanús.) Szép volt résztvenni ebben a lendületes munkában. Máig úgy érzem, „összehozta” a szerzőket, akik közül sokan alig ismerték egymást korábban, jó csapatot csinált a mikroelektronikai továbbképző tanfolyamokhoz.

Ma⁴ kézbevéve ezt a könyvet (tíz év pedig iszonyú idő ebben a szakmában) azt kell mondani: még mindig egészen használható. Ha így van, akkor a létrejötté idején valószínű igen sikerült lehetett.

A továbbképző tanfolyamok megindultak. Először nagy lelkesedéssel, tehetséges hallgatókkal. Ki is képeztünk vagy száz embert, jó „BOÁK-tervezővé”. Azután – a többi háromezerkilencszáz csak nem akart jönni. Néhány lendületesebb cég (pl. a HTSz) kért még tőlünk egy-egy belső tanfolyamot, azután az egész lecsengett. Utólag nézve, ez nem is meglepő. Hallottuk, hogy Nyugaton sem fülött a foga a gyakorlott tervezőknek áttérni az új technikára, nálunk meg még piaci kényszer sem volt. Mi egyetemiek, azt a tanulságot vontuk le: a már végzettek, gyakorló mérnökök reménytelenek, őket sorsukra kell hagyni; a most tanuló hallgatóinkban kell a mikroelektronika használatának igényét természetessé tenni.

Résztvettünk a hazai tervezőrendszerek létrehozásában is. A Kormánybiztos által felkért bizottság fogta össze több (egyetemi, kutatóintézeti) szoftver fejlesztő csapat munkáját. Építve egy talán legálisan beszerzett rendszer-szegmensre (GAELIC), megpróbáltuk azt kiegészíteni egy teljes tervezőrendszerrel. Rengeteget dolgoztunk, a domináns mégis a sikertelenség érzése volt. Részint mert az összlétszám nem volt elég egy ekkora munka elvégzéséhez, részint mert a munka színvonala (hogyan is fejdzem ki magam) némileg egyenetlen volt. Ám a fő oka annak, hogy ez a rendszer végülis polcra lett téve még mielőtt egészen elkészült volna, a politikai helyzet változása és ezzel, egyes korábban nagyon merev falak erodálása volt. Hozzáférhetővé váltak, már nem egészen fekete, hanem mondjuk sötétszürke forgalmazásban azok az IC tervező rendszerek, amelyek hazai másán mi dolgoztunk – és ezzel munkánk egyre inkább okafozottá vált.

A Kormányprogramból igyekeztünk hamarost és amit lehet, beterelni az oktatás csatornáiba. Mindenek előtt számítógépre volt szükségünk. Érezte ennek fontosságát *Sándory Mihály*, a kormányprogram vezetője is, aki élve hatalmával (vagy annak ma-

⁴ 1994-ben

radvényaival, mert a program akkortájt kifulladásban volt már) 1985-ben egy, az akkori szemmel igen komoly gépet telepített a Tanszékre. Két zárt ajtó mögött kellett tartanunk, ki sem mondhattuk a nevét. A hallgatók felé a KFKI-csengésű TPA 11/740 néven szerepelt – de hát ilyen jelzésű gépet sohasem gyártott a KFKI...

A MEV felhatalmazta a Tanszékot arra, hogy az IC tervezésben használt programjait oktatási célra igénybevegyük. (Gáláns gesztus volt, de máig kétségeim vannak az irányban, hogy a MEV-nek magának milyen felhatalmazásai voltak e programok használatára.) Minden esetre, mi rettentő jóhiszeműek voltunk, mert volt a MEV-től egy papírunk... A saját programjainkkal pedig rendelkezünk, így 1986 tájékára egy elfogadható tervezőbázis volt a kezünkben. Kellett is, mert az 1984-es tantervi reform Mikroelektronika és technológia szakának kezdő évfolyama jött felfelé, és mi a harmadévre kemény gépi tervezési tárgyat állítottunk be.

Hat éven át, 1991-ig ez a bázis szolgálta a mikroelektronikai gépi tervezést. Ezen jutottunk el odáig, hogy a hallgatóink már teljes, az ezret közelítő tranzisztorszámú integrált áramkörök terveit készítették el, és az utolsó évben, Nyugat felé lehetőségeink megnyílván, az egyik hallgatónk IC tervét a NORCHIP szervezettel le is gyártattuk. Layoutját, mikroszkópi képét büszkén mutogattuk annak idején, mindenfelé. Az obligált kérdésre: „Na, és működik?” már kevésbé büszkén válaszoltunk: nem. „És miért nem?” Erre még kevésbé büszkén: mert a tápfeszültség síneket fordítva kötöttük be...

De azért azt itt is meg kell mondanom: a második IC már sikerült.

10.3.4. Harmadik nekifutás. Nyugat felé leomló falak, EUROCHIP, TEMPUS

Eljött 1990, a rendszerváltás, új lehetőségeink nyíltak Nyugat-Európa felé. Az Európai Közösség meghirdette a TEMPUS nevű oktatás-támogató programját, és ennek első fordulójában Tanszékünk jelentős támogatást kapott az IC tervezés fejlesztésére. Új generációját tudtuk beszerezni mind a grafikus munkahelyeknek, mind a tervezőprogramoknak. Az IC tervező laborunkban ma 5 SUN, 3 DEC workstation várja a hallgatóinkat. A tervező programok részint Nyugat-Európából, részint az Egyesült Államokból származnak (SOLO 1400 ill. CADENCE-Edge). E bázis már elegendő ahhoz, hogy 20–25 fő ilyen irányú speciális képzését alátámassza.⁵

Új lehetőségeink vannak a külföldi utazásokban is. Évente 4–5 oktatónk megy külföldi tanulmányútra, 5–6 hallgató utazik diplomatervezésre, félév-hallgatásra. Kellenek is nagyon ezek az utak, mert a tanszéki oktatói csapatnak meg kellett tanulnia az új eszközök használatát, didaktikai tapasztalatokat is kellett gyűjtenie. Nyugati partnereink önzetlen segítőkészséggel állják ezt a rohamot.

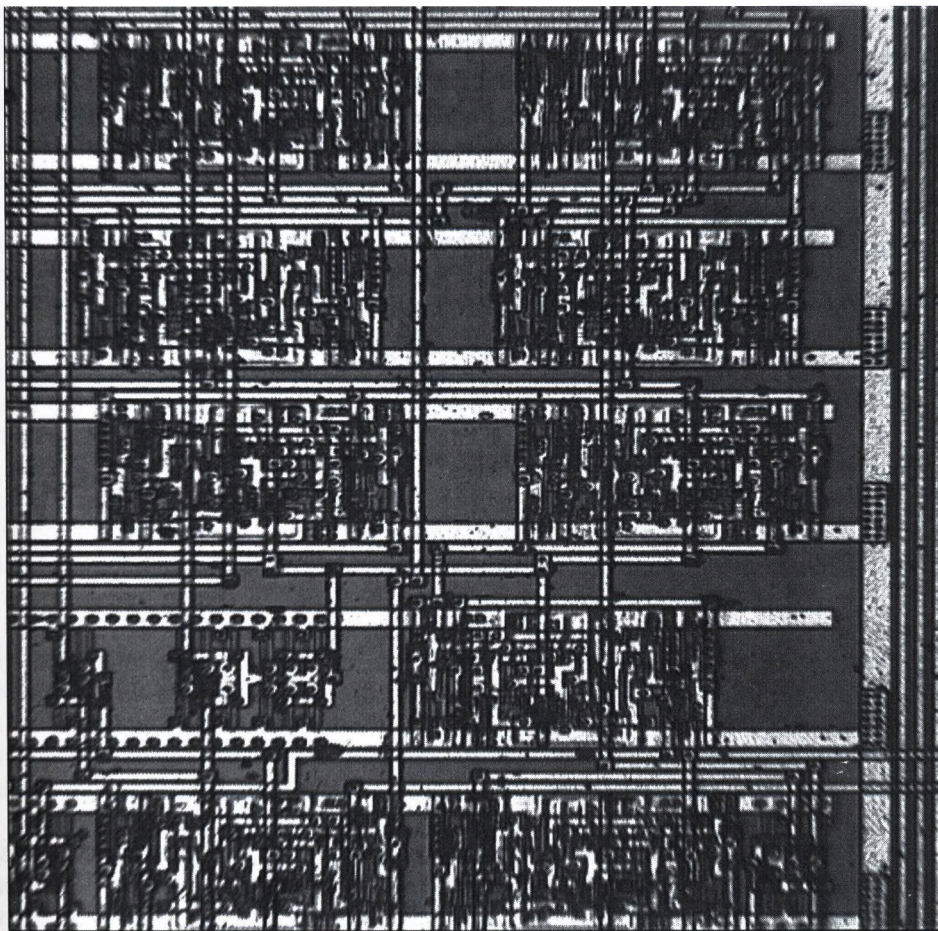
Tanszékünk (és ezzel egyetemünk) csatlakozott az EUROCHIP szervezethez, amely az európai egyetemeken folyó IC tervezési oktatást fogja egybe. Olyan eredményesen mérhöz, hogy hallgatóink utazzanak akár Koppenhágába, Darmstadtba vagy Grenoble-ba, ugyanolyan gépek mellé ülhetnek le, ugyanazokat a tervező programokat használhatják, s hazatérve, ugyanazokkal folytathatják a munkát. Hogy hogyan érte el ezt az EUROCHIP? Egyszerűen. Nemcsak ajánlásokat dolgozott ki a használandó hard-

⁵ 1994-es adatok. 2001-re a géppark jelentősen bővült, s áttértünk a CADENCE-OPUS tervezőrendszer használatára.

verre, szoftverre, de jelentős beszerzési kedvezményekről is gondoskodott az oktatáshoz ajánlott konfigurációkra vonatkozóan. A többi már ment magától...

Az EUROCHIP gondoskodott arról is, hogy a hallgatók által tervezett, kísérleti IC-k viszonylag olcsón és gyorsan legyárthatók legyenek. Ha elkészül egy IC terv, a nemzetközi számítógépes hálózaton átküldjük pl. Grenoble-ba, és hat hét múlva várhatjuk a tokozott kísérleti chipet.⁶

Azért ez így túl szépen hangzik. Elvileg így igaz, de az a „viszonylag olcsón” nekünk meglehetősen drága. Így azután évi egy-két IC terv realizálására gondolhattunk csak (a legígéretesebbekre, természetesen). Egy ilyen, hallgatók által tervezett IC layout részletét látjuk a 10.3. ábrán. Ezt az áramkört a French MPC szervezetnél gyártattuk le. Egy soros/párhuzamos illesztő egységet tartalmaz, beépített bufferrel, az RS232 soros és a Centronics párhuzamos vonal között. Hallgatóink (és a konzulens oktató) nagy öröme, az áramkör hibátlanul működött.



10.3. ábra. A hallgatóink által tervezett IC mikroszkópi képe (részlet)

⁶ Az EUROCHIP ma EURO PRACTICE, és az IC gyártást ma a French MPC szervezetnél csináltatjuk.

11. Integrált áramkörök fémezése

Dr. Vágó György
vago@ett.bme.hu

11.1. Bevezetés

A szilícium szeleteken kialakított nagyszámú áramköri elem között meg kell teremteni a „huzalozást”, hogy az egyedi elemek működő áramkört alkossanak. Az áramkörök kivezetései csatlakoznak ehhez.

A technológia e fázisában a szilícium szeleten minden áramköri elem elkészült és a teljes felületet szilíciumdioxid védő réteggel vonják be. Ahol az elemekhez kapcsolatot kívánnak teremteni, ott fotoreziszt technikával „ablakot” nyitnak (kimarják a szilíciumdioxidot).

Az áramköri elemek összekötését biztosító fémezés rétegtechnológiai eljárással készül. Az áramkör tervezésénél figyelembe kell venni, hogy az így kialakított huzalok, mert egy síkban vannak, nem keresztezhetik egymást.

A fémezés két alapkérdése a huzalozás anyaga, illetve annak felviteli technológiája.

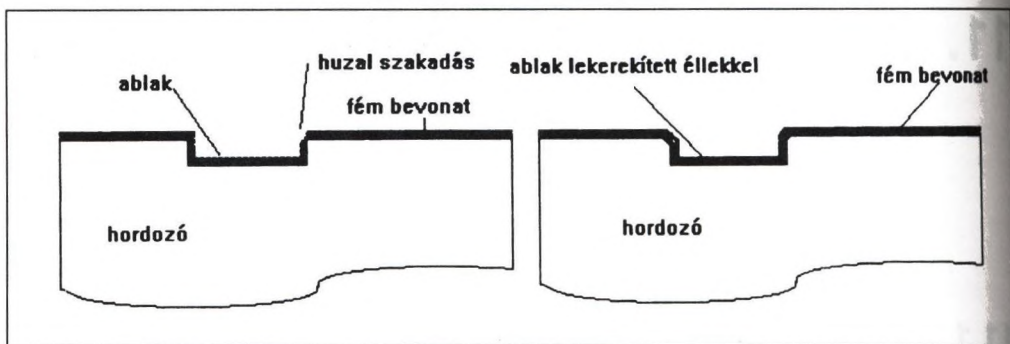
Az arany volt az első anyag melyet huzalozásra használtak, de ez a alumínium kivezetések miatt rövid élettartamú áramköröket eredményezett (bíborpestis.) Az aranyat ma már csak speciális esetekben használják, és helyette nagy tisztaságú (min. 99.999 s%) alumíniumot alkalmaznak majd ennek ötvözeteit, végül rezet. [11.1]

Ideális lenne a huzalozást „rajzolás” technikával megvalósítani (a huzalozást alkotó fémet csak a kívánt helyekre felvinni), ez azonban a mai napig még ki nem dolgozott módszer, ezért a fémezés a szelet egész felületének bevonásával történik, majd ugyancsak fotoreziszt eljárással a felesleges részt kijelölik és (kémiai vagy plazma) marással eltávolítják.

A huzalozás kialakításának technológiája kezdetben a vákuumpárolgatatás volt, melynél alumíniumot volfrám huzalra, vagy lemezre helyezik, ezt árammal mintegy 1700 K-re felfűtik. Ezen a hőfokon az alumínium maradéktalanul elpárolog. A folyamat 10^{-3} Pa nyomás alatt kell, hogy lejátszódjék, mert így a maradékgázok az alumíniummal nem lépnek számottevő reakcióba, az alumínium atomok sem szóródnak a maradékgáz atomjain és gázatomok sem épülnek jelentős mértékben a rétegbe. [11.2]

A szilícium szeleteket egy ún. bolygó karusszelre rögzítik, mely kéttengelyű körmozgással biztosítja, hogy a szelet minden pontja „rálásson” a párolgató forrásra. A fématomok – a fényhez hasonló módon –, egyenes vonalú egyenletes mozgással érik el a szilíciumszeletet (szubsztrátumot), amin az „ablakok” miatt magasság-különbségek (lépcsők) vannak, ezért árnyékhata alakulna ki, ha ez a bolygó mozgás nem lenne. (Az „árnyékban” alumínium nem kondenzálódik, így ott végül „huzalszakadás” lép fel. Ez a probléma akkor is előfordulhat, ha a lépcső éle túl meredek. 11.1 ábra.)

A hagyományos párolgatatás nem használható, mert a volfrámhoz – annak könnyebb megmunkálhatósága érdekében a feldolgozás során – mintegy 1 s% nátriumot adagol-



11.1. ábra. Lépcsőfedés

nak. A párologtatás hőmérsékletén az alumínium a volfrám csónakból ezt a nátriumot kioldja, és az alumíniummal együtt a félvezető eszközre jut, a nátrium pedig a félvezető eszközök legismertebb „mérge”. Hatására – ha csak nyomokban is jelen van –, az eszköz tönkremegy.

Ezért a hagyományos vákuumpárologtatást az IC gyártásban nem lehetett alkalmazni.

A hagyományos vákuumporlasztás sem használható, mert a diódás, triódás, RF módszereknél a nagy gyorsítófeszültségek és a plazma kiterjedése miatt az áramköri elemek az fellépő ionbombázás hatására ugyancsak tönkremennek.

Megtartva a vákuumtechnológia előnyeit, és az alumíniumot mint elpárologtatandó anyagot, a műszaki probléma arra az egyetlen kérdésre redukálódott, hogy a párologtatandó anyaggal milyen módon lehet úgy hőt közölni, hogy az semmiképp ne szennyezze az alumíniumot, illetve a félvezetőt? Több megoldás is született, de ezek közül széles körben csak egy terjedt el: az elektronsugaras párologtatás [11.3, 11.4].

11.2. Az elektronsugaras párologtatás

A párologtatandó alumíniumot vízhűtött réztégelybe helyezve, a hőenergiát nagyfeszültségre (4–10 kV) felgyorsított elektronokkal közlik. Az elektronsugár villamos teljesítménye 2–15 kW. Fontos szempont, hogy ahol a sugár a párologtatandó anyaggal találkozik (ütközési folt), ott a sugárkeresztmetszet elég kicsi legyen, mert az ütközési foltban az alumíniumot a párologási hőmérsékletre kell hevítenie, ami közel kétszerese az olvadási hőmérsékletnek. Ezért az elektronsugarat konvergensevé kell tenni, ami fókuszálási probléma.

Bonyolítja a helyzetet, hogy az ütközési foltban nem csak párologás történik, hanem a fémgőzök és elektronsugár ütközése következtében jelentős ionizáció is. Ezen ionok egy része az elektronsugárban csapdázva marad, és abban az elektronsugár forrása irányában mozog. Ha ez az elektronforrás (katód, gyorsító rendszer) „látja” az ütközési foltot, akkor a csapdázott ionok – a gyorsítóterben felgyorsulva – igen nagy energiával a katódba csapódnak, ami egyrészt elektronlavina kiváltást okoz, ez a tápegység rövidzárását eredményezi, másrészt a katód anyagát porlasztva, azt néhány perc alatt tönkre is tesz.

Ezt a folyamatot teljesen elkerülni nem lehet, de mód van az ionok károsító hatásának jelentős csökkentésére, ha az elektronsugarat eltérítjük. Az eltérítés szöge alatt a párologtatandó anyag felületének normálisa, és az elektronok kilépési irányát reprezentáló egyenesek által bezárt szöget értjük. Ez minimum 180, maximum 270 fok. Ezek az eltérítések már elegendőek ahhoz, hogy a katód kellően hosszú élettartamú legyen, és az



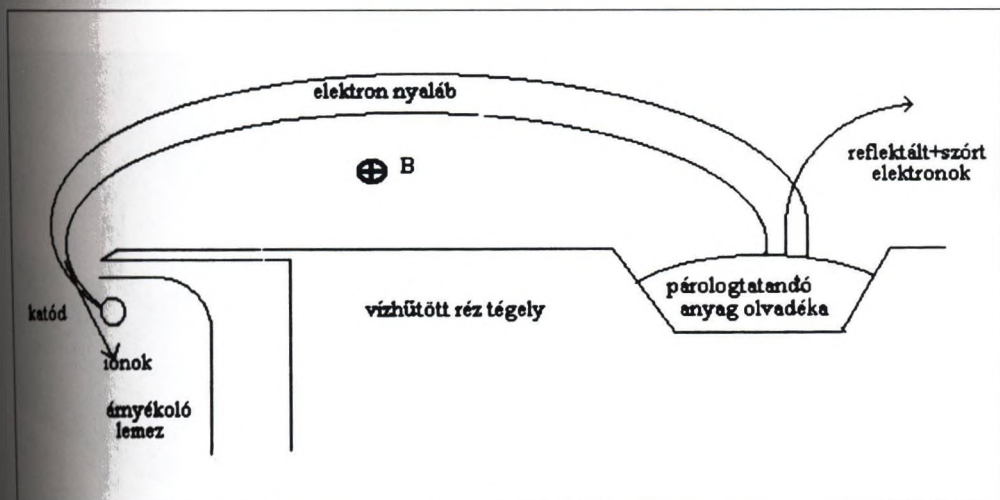
11.2. ábra. Plazma kép

ionlavina okozta rövidzár ne legyen több, mint 1–2 percenként. Ez természetesen azt jelenti, hogy a tápegységnek ezt a gyakori rövidzárt el kell viselnie.

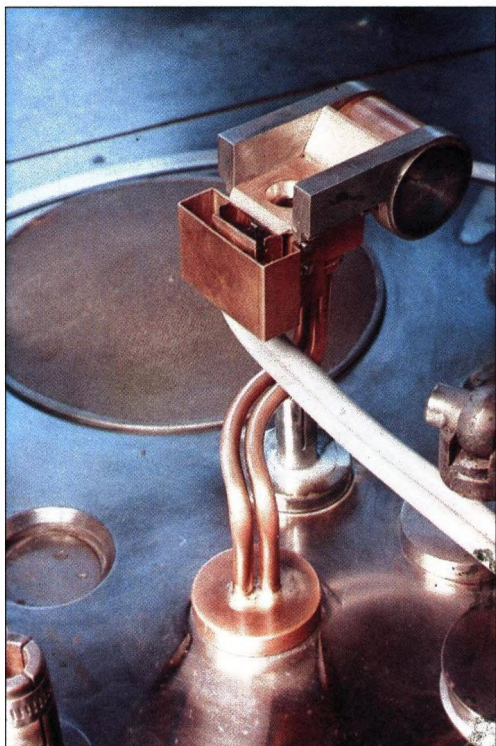
180 fokos eltérítés esetén az elektron nyalábban csapódott ionok az anód-katód térben felgyorsulnak és a katódba csapódva, azt porlasztják, így annak élettartama percekre csökken le.

A 11.2. ábrán az ütközési folt környékén fellépő ionizáció és párologtatandó anyag által kialakult plazma látható, réz párologtatás esetén. (Alumínium párologtatása esetén a plazma színe lila.)

Az 11.3. ábrán egy közepes teljesítményű elektronsugaras párologtató forrás (GF-180) elvi elrendezése, a 11.4. ábrán a gyakorlati kivitele látható.



11.3. ábra. A GF-180 elvi elrendezése



11.4. ábra. GF-180 párologtató forrás

lembe véve – ideális esetben, úgynevezett „koszinuszos” eloszlást mutat. (A rétegvastagság eloszlásfüggvénye polár koordináta rendszerben ábrázolva koszinuszos.)

Elektronsugaras párologtatásnál az iránykarakterisztika jelentősen módosul, mert az elektronsugár ütközési foltjában számottevő párolgás lép fel, az eltávozó gőzök reakció nyomása az olvadék felületét benyomja, ezért az eloszlásfüggvény – közelítőleg – koszinusz magasabb hatványaival írható le. Súlyosbítja a helyzetet, hogy az elektronsugár általában nem merőlegesen csapódik be a felületbe, ezért az iránykarakterisztika maximum

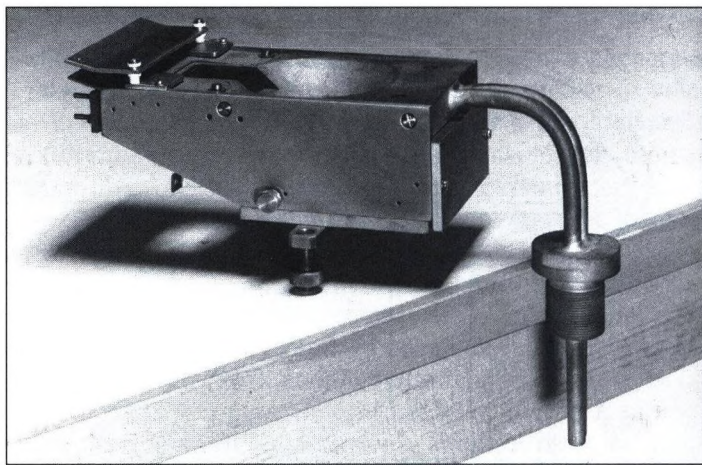
A rendszer működése az 11.3. ábrán jól követhető. A katódból kilépő elektronokat a vízhűtött réztégely szélén kialakított él, mint anód felgyorsítja, (az árnyékoló lemez megakadályozza, hogy az elektronok az anódba csapódjanak), majd a tégely felett elhelyezett mágnes tere az elektronokat eltéríti és fókuszálja. Az elektromágnes alkalmazása lehetővé teszi, hogy a tégelyben a sugarat – a mágnes gerjesztésének változtatásával – mozgassuk.

A félvezető technológia szempontjából legfontosabb, hogy a párologtatandó anyag a mágnes térben helyezkedik el, így az ütközési foltból reflektált elektronokat ez a mágnes tér eltéríti, csak nagyon kis hányaduk éri el a hordozót, és az általuk okozott károsodás hőkezeléssel eltávolítható.

Nagyobb teljesítményű párologtató forrás (14 kW-os) a GF-1040, mely a 11.5 ábrán látható.

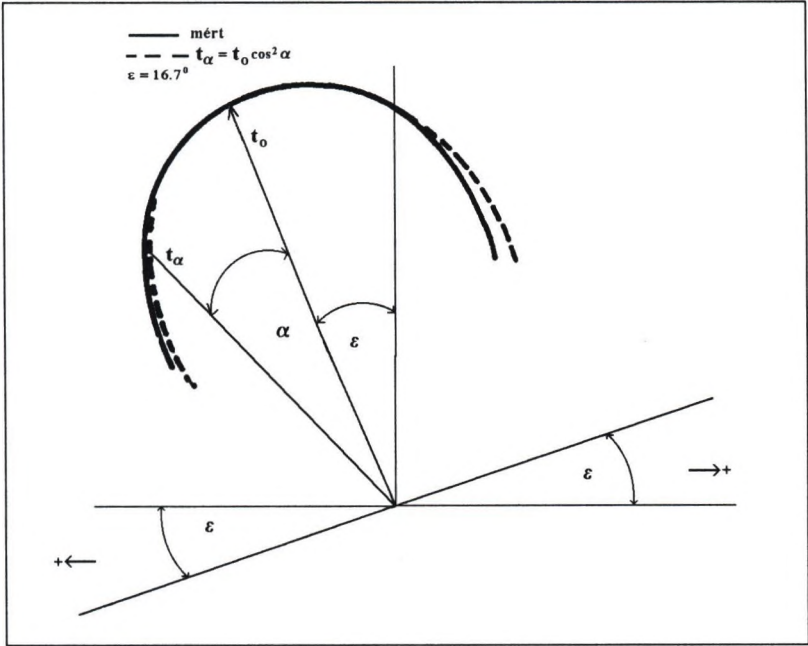
A bolygó karusszalnak még egy jelentős szerepe van.

A hagyományos párologtató források iránykarakterisztikája – egy pontszerű forrást és egy félgömb hordozót figye-

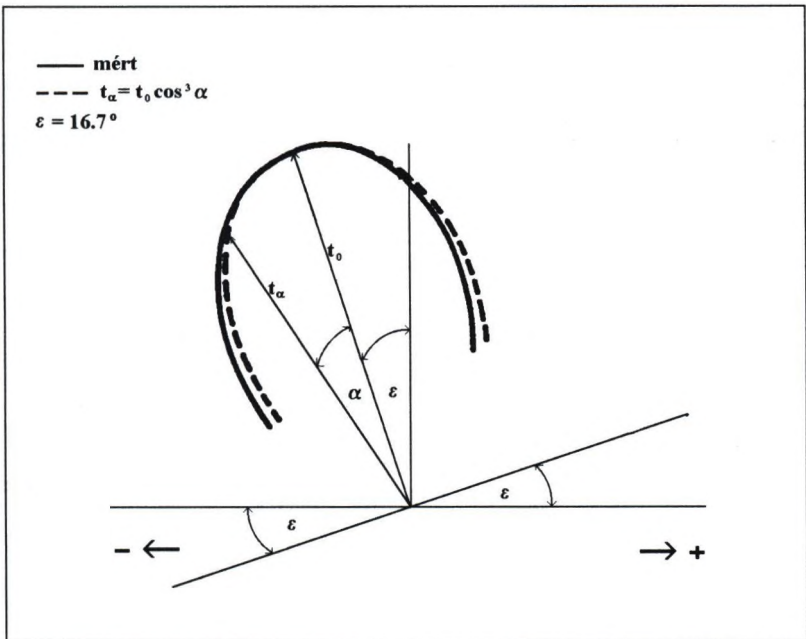


11.5. ábra. GF-1040 párologtató forrás

helye sem lesz merőleges az olvadék felületére. (Az iránykarakterisztika alumínium - GF-180-as forrásból történő – párologtatás esetén 11.6 és a 11.7. ábrákon látható.)



11.6. ábra. $\cos^2 \alpha$ eloszlás



11.7. ábra. $\cos^3 \alpha$ eloszlás

Az iránykarakterisztika pontos matematikai leírását Graper adta meg [11.5].

A vázolt okok miatt – az azonos rétegvastagság biztosítására is – szükséges a bolygó karusszel, melynek működési feltétele, hogy a karusszel fordulat és a tányérok fordulatszámának viszonya semmiképp ne legyen egymásnak egész számú többszöröse, mert ez biztosítja, hogy a szeletek egyetlen pontja sem kerül több alkalommal a forráshoz képest azonos helyzetbe.

A párologtatásra kerülő anyag kezdetben nagytisztaságú alumínium (99.999 s%-os) volt.

Az áramkörök méretcsökkenése (5 μ -os csík szélesség esetén) és a teljes áramkört védő réteg felvittele (450 °C-on) miatt az alumínium bediffundált a szilíciumba, ott az áramköri elemeket rövidre zárta. Ezt a problémát úgy lehetett megoldani, hogy az alumínium rétegbe 2.5 s% szilíciumot ötvöznek. Ezzel a szilárdfázisú diffúziót meggátolják. Ezt az ötvözet összetételt egyetlen elektronsugaras forrásból megoldani nem lehetett, mert a komponensek parciális nyomása az alumínium párolgási hőmérsékletén olymértékben eltér, hogy a kívánt réteggösszetételt nem lehetett biztosítani.

Elektronsugaras párologtatással ezt az összetételt csak abban az esetben lehet megvalósítani, ha két különálló forrást használnak a két anyagra, és mindkettőt párologtatási sebességmérővel vezérlik.

Tovább csökkentve a huzalozás szélességét (miközben a vastagság változatlanul 1–1.2 μ m), a huzalkeresztmetszet is csökken. Ez azt eredményezi, hogy a vezetékek megnövekszik az áramsűrűség és ez a vezeték átkristályosodásához vezet. (Elektromigráció)

Ezt a rétegben 4 s% -os réz bevitelével lehet megakadályozni. Ezzel az elektromigrációs hajlam egy nagyságrenddel csökken. A háromkomponensű ötvözet felvitelét elektronsugaras technológiával már nem lehet megoldani, ezért új eljárást kellett kifejleszteni.

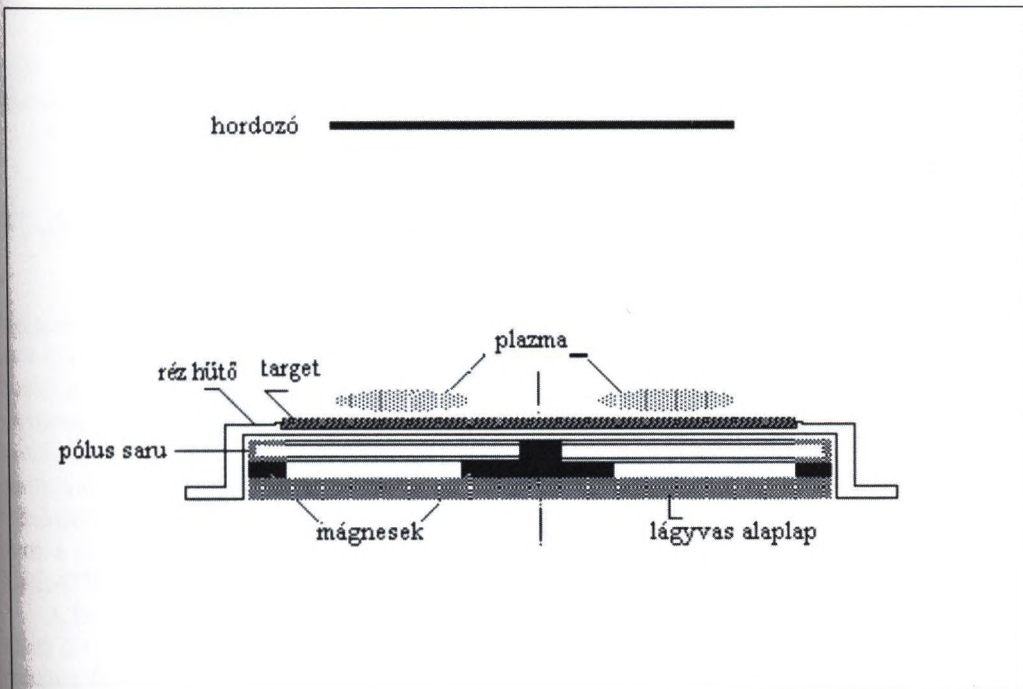
11.3. A Penning-porlasztás

Ez az új eljárás a Penning-kisülésen alapuló katódporlasztás, melyet P.S. McLeod a TEMESCAL kutatója fejlesztett ki és 1976-ban szabadalmaztatott [11.6].

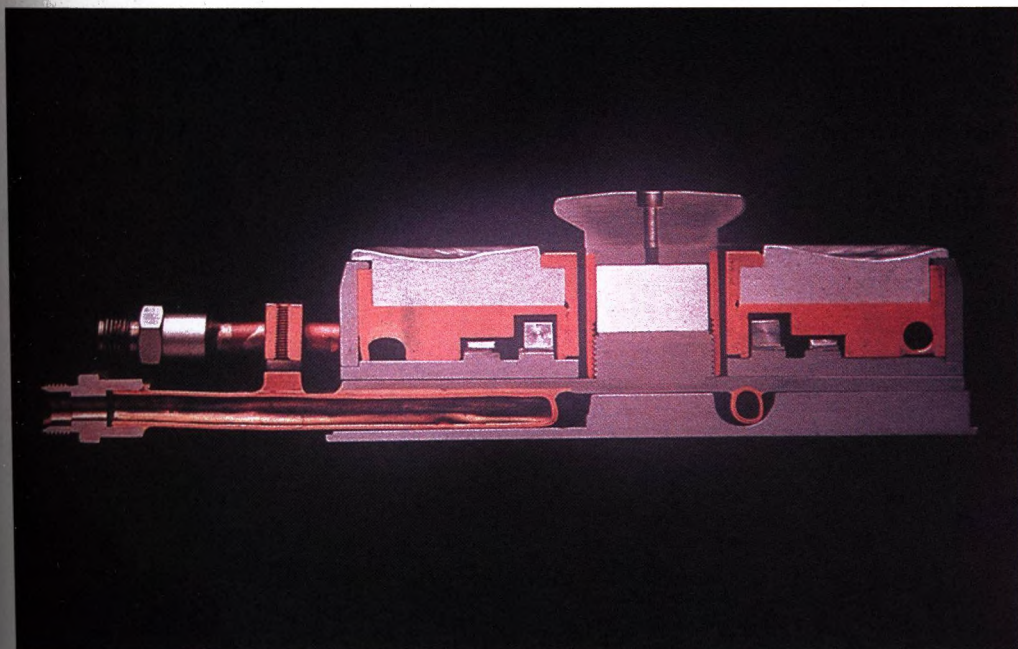
Penning – a róla elnevezett kisülést – 1939-ben ismerte fel [11.7]. Elve, hogy egymásra merőleges villamos és mágneses térben az elektronok ciklois pályán mozognak, így jelentősen megnövekszik az anód és katód közötti útjuk, és ezzel az ionizációs valószínűség is. E megoldással létre lehet hozni – megfelelő feltételek mellett – gázkisülést 10^{-5} Pa nyomáson is. Ezt az elvet alkalmazzák – többek között – a Penning-vákuummérő csövekben és az iongetter szivattyúkban is, valamint sok más helyen.

A Penning-kisülés alkalmazása a katódporlasztásnál lokalizált plazmát eredményezett, melyből jelentős (nagyenergiájú) ion kilépés nem történik, így a hordozót a forráshoz közel – jelentős károsodás nélkül – is, el lehet helyezni.

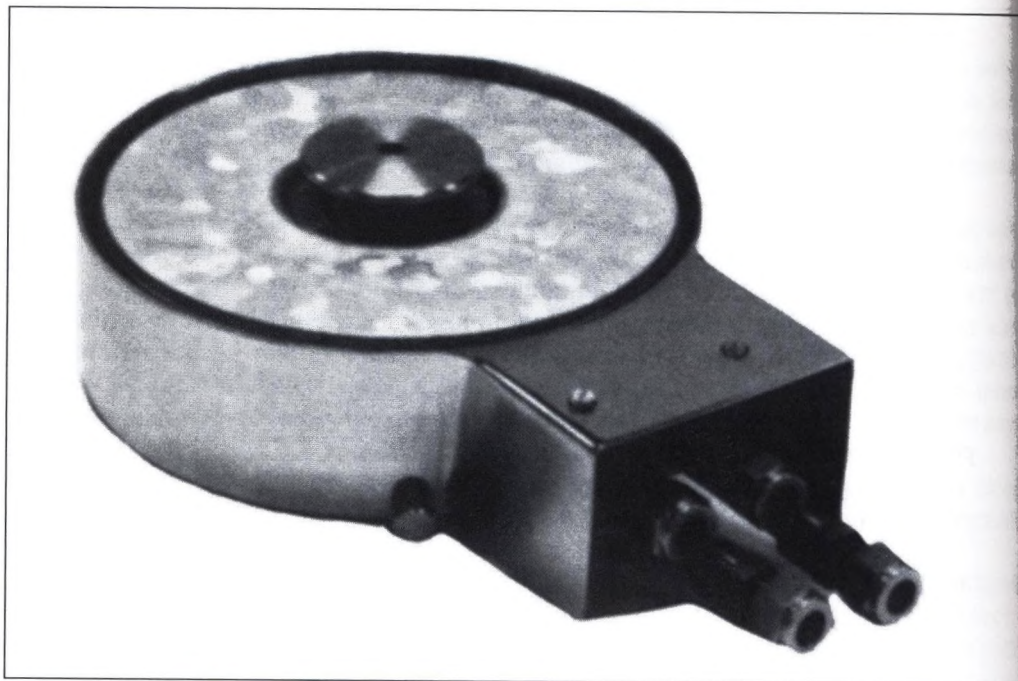
A Penning-porlasztásnál a plazma a katód feletti kis tartományra redukálható, a kisülési áram jelentősen növelhető, és kiválóan alkalmas ötvözetek felvitelére. Csökkentette a félvezetők fémezési folyamat alatti károsodását. Megfelelő kialakítás esetén egyedi szeletek bevonására is alkalmas, mert a munkagáz atomjain a fémgözők nagymértékben szóródnak, ezért a hordozóra gyakorlatilag minden irányból érkeznek, ami kiküszöböli a párologtatásnál ismertetett árnyékhatást. (Ezért még a forráshoz képest álló szeleten is megfelelő a „lépcsőfedés”).



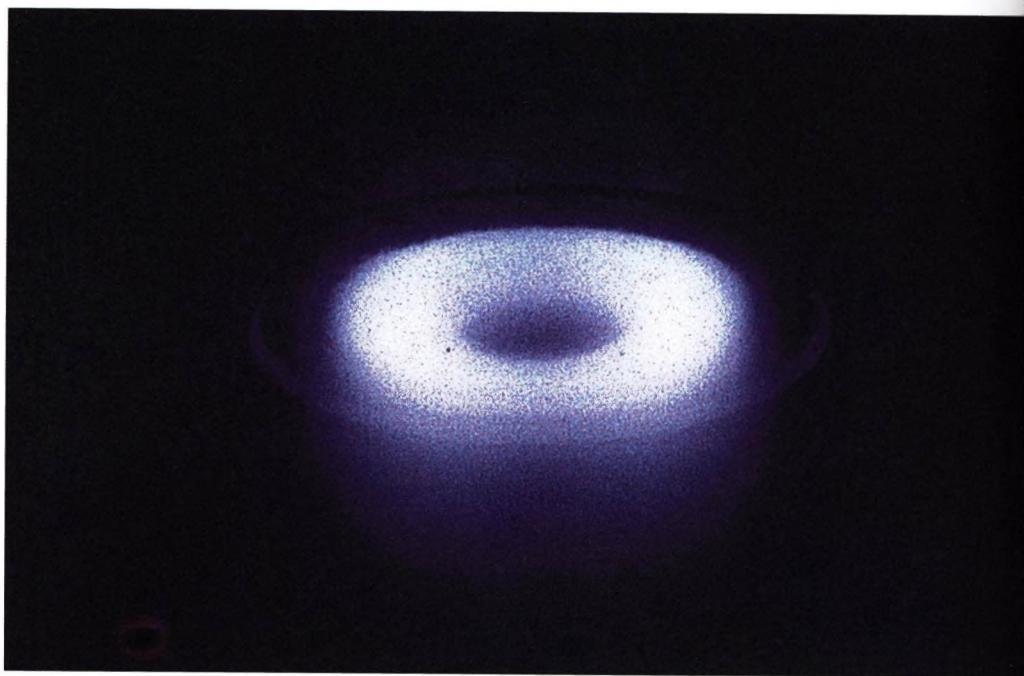
11.8. ábra. Penning porlasztóforrás vázlata



11.9. ábra. A TORUS 10 forrás keresztmetszete



11.10. ábra. A TORUS 10 forrás gyakorlati kivitele



11.11. ábra. Penning-plazma

A target – a porlasztandó anyag – felett kialakuló plazma olymértékben lokalizált, hogy a target átmérő felénél távolabbra elhelyezett hordozó nem szenved semmilyen károsodást. Ez a megállapítás a legtöbb – az alábbi szabadalmazott [11.7] – forrásra igaz.

A 11.11. ábrán ezt a lokalizált plazmát láthatjuk.

11.4. A porlasztás menete

A vákuumrendszerbe helyezve a hordozókat, a porlasztóforrásba a megfelelő összetételű targetet (a porlasztani kívánt és kellő alakra megmunkált 2.5 s% szilíciummal és 4 s% rézzel ötvözött nagy tisztaságú alumíniumot), a vákuumkamrát 10^{-3} Pa -nál alacsonyabb nyomásra leszívjuk. Ezután a rendszert 0.4–4 Pa nyomású (nagy tisztaságú, száraz) argonnal feltöltjük. Az argont általában túszeleppel engedjük be, a diffúziós szivattyú szívósebességét csökkentjük (pl.: fojtással), hogy a rendszerben az argon nyomás a porlasztás folyamata alatt állandó értékű legyen. Problémát jelent az adott tartományban a nyomásmérés, mert csak a nagy nyomású ionizációs vákuummérők alkalmasak erre a célra, de azok a porlasztás folyamata alatt nem használhatók. Erre a célra alkalmas még az MKS BARATRON (kapacitív nyomásmérő a 100-0.001 Pa tartományra).

A fenti feltételek megléte esetén a forrás bekapcsolható. Alumínium, illetve alumínium ötvözetek porlasztása esetén a forrást blende alatt célszerű elindítani, mert az alumínium felületén kialakult oxid réteg elporlasztása nélkül az alumínium porlódás nem indul meg. A kisülés feszültsége az oxid porlódás alatt mintegy a fele az alumínium porlódása alatti értéknek. Ha a porlódás megindult, akkor a kívánt áram értéket beállítva, nyitjuk a blendét. A kívánt rétegvastagságot elérve, a tápegységet kikapcsoljuk és a vákuumrendszert nyitjuk. A rétegvastagság értékét akár folyamatosan mérjük, akár egyszer beállítjuk a porlasztó áram és idő szorzatának mérésével, e két paraméterrel a rétegvastagság $\pm 5\%$ pontossággal reprodukálható.

A forrást 1 kV-nál nem nagyobb feszültségű, áramstabilizált DC tápegységgel üzemeltetjük

A kisülés folyamán a targetet (katód) ionbombázás éri, mely azt nem csak porlasztja, hanem jelentősen melegíti is. Ezért azt hűteni kell. Erre szolgál a rézhűtő, melyben víz cirkulál.

11.5. A porlasztási hozam

A porlasztási hozam (Y =yield) adott ion gyorsítófeszültség esetén állandó. Definíció szerint Y =atom/ion, vagyis egyetlen ion hány atomot üt ki az adott anyagból meghatározott ion gyorsító feszültségnél. Ez szakirodalmi adat, de a porlasztóforrás segítségével jól mérhető (ha a target a forrásból könnyen eltávolítható). Számítása igen egyszerű. Eredménye:

$$Y = \frac{2 \cdot \Delta m \cdot q}{I \cdot t \cdot AMU}$$

Ahol (m [kg])=a target súlycsökkenése a porlasztás alatt, q [C]=az elemi töltés, I [A]=a porlasztó áram, t [s]=porlasztási idő, AMU [kg] = az atomi tömegegység.

Mérni tehát csak a target súlycsökkenését, a porlasztó áramot és az időt kell.

A porlasztási hozamoknak ötvözetporlasztásnál van jelentősége, mert a targetet úgy kell kialakítani, hogy a rétegben kívánatos ötvözetarányt a targetben a porlasztási hozamok arányában növeljük illetve csökkentjük.

Ez az elméleti megállapítás a gyakorlatban nem mindig állja meg a helyét, mert a kísérleti adatok alapján alumínium szilícium ötvözetre igaz, az alumínium réz ötvözetre nem teljesül. Az optimális vezetőrétegbe ötvözött szilícium 1.5 s%, és a réz 4 s%, ehhez az alumínium targetba 2.5 s% szilíciumot és 4 s% rezet kell ötvözni.

Speciális feladat a ferromágneses anyagok porlasztása, mert az abból készített target – ha azonos méretű az egyéb targetekkel –, akkor a mágnes teret söntöli, és megakadályozza a kisülés létrejöttét.

E probléma úgy kerülhető meg, hogy vagy igen vékony target anyagot használnak, vagy a targetet egy kis tartományban jelentősen elvékonyítják. Ezen esetekben a forrást nem kell módosítani.

Másik lehetséges megoldás az olyan forrás, mely kizárólag erre a célra készül, rendkívül megnövelt mágnes térrel rendelkezik, és a target gyakorlatilag légrés nélkül csatlakozik a mágnes körhöz. A mágnes – target rendszert úgy kell megtervezni, hogy a targetet a mágneses gerjesztés telítésbe vigye, így elegendő a kiszóródó tér a kisülés begyűjtéséhez.

11.6. A porlasztási szél

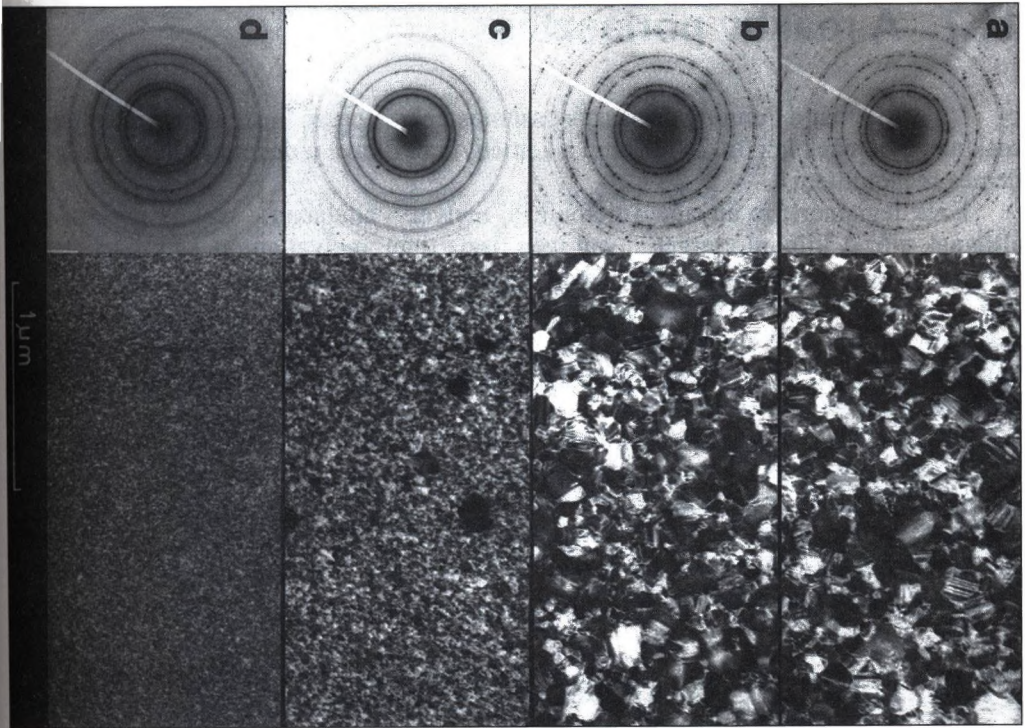
A porlasztás folyamán a target és a plazma között lévő „katódesés”-ben az ionok felgyorsulnak és a katódba csapódva, energiájukat elveszítik a katód anyagát porlasztva. Ez azonban nem minden ionra igaz. Az összes ion mintegy tíz százaléka rugalmasan ütközik a targettel, elvesztve töltését nagy energiájú atomként hagyja el annak felszínét. Ennek következtében fellép egy – a katódtól a szubsztrátum felé történő – áramlás, mely nem csak az iránykarakterisztikát módosítja, hanem a kialakuló rétegstruktúrát is befolyásolja. (Ez azt jelenti, hogy bár az előállított rétegvastagság a megkívánt $\pm 5\%$ -on belül van, a marási idők az eltérő rétegszerkezet miatt pontról pontra különbözhetnek.)

A 11.12 ábrán – balról jobbra – a TORUS 10 által porlasztott rétegstruktúra látható. (A minták 11 cm távolságra a targettől és egymástól másfél cm-re készültek.)

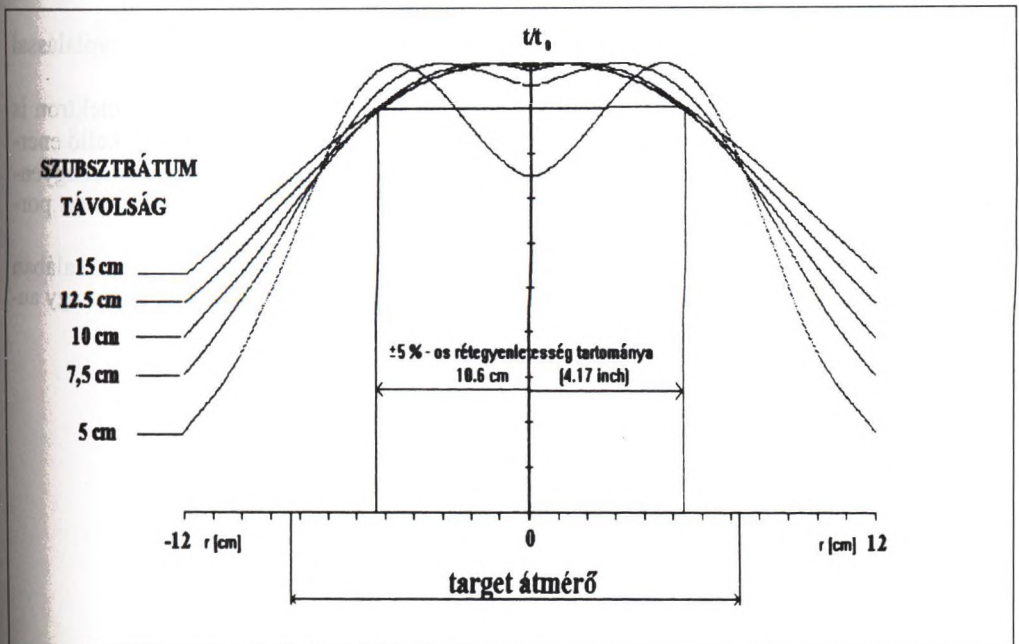
A félvezetők fejlődésében párhuzamosan két ellentétes irány jelenik meg, egyrészt az áramköri elemek fokozatos csökkenése (ezzel együtt a huzalozás szélességének csökkenése, mely jelenleg a 0.18 μm értéknél tart) valamint a szeletek átmérőjének növelése.

A 4"-es szeletek fémezése még megoldható volt a bolygó karusszeles eljárással addig a 6"-es szeletek már – a technológia minden lépésénél – egyedi megmunkálást igényelnek, így a fémezésnél is. E miatt jelentős az adott porlasztóforrás rétegvastagság eloszlása, mert az határozza meg, hogy adott szeletátmérőhöz, milyen forrás átmérőt lehet használni. (A 11.13. vázolt ábrán esetben ez ~ 4 ".)

Általánosan állítható, hogy helyesen tervezett források esetében a target átmérő 3/4 része jelenti azt a maximális átmérőt ahol $\pm 5\%$ rétegegyenletesség biztosított. (A target – szubsztrátum távolság kísérletileg állapítható meg. Ez az ábrán látható esetben 10 cm.)



11.12. ábra. Réteg struktúra változás



11.13. ábra. A TORUS 10 rétegvastagság-eloszlása

11.7. A reaktív porlasztás

Ma már a Penning porlasztást számos helyen használják, a félvezető fémezés csak az egyik ezek között. Példaképp a keményfém, illetve a dekoratív bevonatokat érdemes megemlíteni.

Ezek legismertebb anyaga a titánnitrid, melyet – általában – reaktív porlasztással állítanak elő. A kiinduló target anyag igen tiszta titán, melyet argon – nitrogén gázkeverékben porlasztanak. A hordozó beleér a plazmába (itt nem előny a plazma target feletti csekély kiterjedése), és esetenként még elő is feszítik, hogy jelentősebb ionbombázást kapjon, ami a rétegstruktúrát számottevően befolyásolja. Az eljárás igen kritikus pontja a gázösszetétel. Ezt úgy biztosítják, hogy az argon – nitrogén keveréket előre elkészítve adagolják a porlasztáshoz.

Széles körben felhasznált az átlátszó vezetőréteg, az „ITO” (indium ón oxid) mely 90 s% indiumot és 10 s% ónt tartalmazó targetből készül ugyancsak reaktív porlasztással. A porlasztógáz összetétele 90 tf % argon és 10 tf % oxigén. Az így porlasztott réteg fémes és nem átlátszó. 5 perces 400 °C-os hőkezeléssel a 100 nm-es réteg 94 %-os transzmittanciájú lesz, és 100 Ω négyzet ellenállású. Ezt elsősorban folyadékkristályos kijelzőkben alkalmazzák [11.9.].

11.8. Rádiófrekvenciás porlasztás

A porlasztóforrások táplálása általában áramstabilizált rövidzár-biztos egyenfeszültségű tápforrással üzemeltethető. Ez csak vezető anyagok porlasztására alkalmas, mert a szigetelők az ionbombázás hatására feltöltődnek, és a porlasztás leáll.

Szigetelő anyagokat – általában forrás váltás nélkül – rádiófrekvenciás táplálással lehet megoldani. A tápegység 1–10 kW-os és 13.56 MHz-en üzemel.

Az ion és elektron mozgékonyág különbsége miatt a targetre számos elektron is érkezik, azt feltölti negatív feszültségre, és ez már elég ahhoz, hogy az ionok kellő energiával csapódjanak be a porlódás megindulásához. (Míg a szigetelőket nem lehet egyenárammal porlasztani, addig nincs akadálya, hogy a fémeket rádiófrekvenciásan porlasszák. Így előállítható, pl.: ITO réteg hőkezelés nélkül.) [11.9.].

A legfontosabb kérdés a tápegység megfelelő illesztése a forráshoz, mely általában két kondenzátort és egy induktivitást tartalmazó Π – tag. A hangolás lehet kézi vagy automatikus. Korszerű rendszereknél természetesen az utóbbit használják.

IRODALOM

- [11.1.] Bernt et al.: Under the Bumps.
European semiconductor No.7. p.77. 2001.
- [11.2.] Holland, L.: Review of vacuum deposition. Part 1–4
Electronic Components Vol. 11. No. 2–5. 1970.
- [11.3.] Glaser P., Herman Á.: Elektronsugaras gőzölő-forrással szerzett tapasztalatok.
Finommechanika 11. k. p. 1389. 1972.
- [11.4.] Wulf, G.: Elektronenstrahlverdampfer mit integrierten Ratemessungen.
Vacuumtechnik 26. Jg. 2.H. p. 39. 1977.
- [11.5.] Graper, E. B.: Distribution and apparent source geometry of electron-beam heated evaporation sources
J. Vac. Sci. Techn. Vol.10. No. 1. p. 100. 1973.
- [11.6.] Waits, K.: U. S. Patent No.3878085
- [11.7.] Penning, F.M.: U. S. Patent 2146025
- [11.8.] Kertész G., Vágó Gy.: U. S. Patent No. 4.232.083 1981.
- [11.9.] Czerman, M., Vágó Gy., Geszti O., Menyhárd M.: Correlation between structural and physical properties of ITO films and their preparation parameters
Thin Solid Films Vol.115. No.1. p. 20. 1984.

12. Optoelektronika az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében

Lőrinczy András

1025 Budapest, Cimbalom u. 1/b

A Műszaki Fizikai Kutató Intézet Félvezető Főosztályán a Sugárzási Jelenségek Osztálya 1972. évben kezdett optoelektronikai kutatásokkal foglalkozni. A GaP alapú egykristályok és rétegstruktúrák, valamint p-n átmenetek előállítására, képezték az éves tervek részét. A terv GaP világító diódák kísérleti előállítását is célul tűzte ki. Lényegileg ismerkedés folyt, egy új anyagfajtaival, és egy új technológiával. Az anyag a GaP volt, és a technológia a folyadék epitaxia. A kapott világító diódák gyenge injekciós lumineszcenciát mutattak. Az eszközkészítés is igencsak gyerekcipőben járt. A miniatűr üveg-kémcsövekbe lógatott eszközöket műgyantával öntötték ki. Ez lehetett az oka annak, hogy néhány hónap elteltével az eszközök már nem működtek. Az éves publikációk jellegzetesen mutatják, hogy témaváltás történt, „CdS és ZnS lumineszcenciája”, valamint „fényemittáló félvezető diódák” tanulmánycímek jelzik a változást.

Az 1971-ben beindított „NEP” korszak eredménye volt az MFKI és EIVRT félvezető szerződések beindulása is. Logikus lépésnek látszott, hogy a TUNGSRAM, mint profilgazda foglalkozzék a világító diódákkal is, vagy legalább finanszírozzon egy téma-követő kutatást. Valószínűleg az EIVRT-nél az integrált áramköri gyártósorok beszerzése, vagy egyéb magasabb szempontok oda vezettek, hogy nyilatkozatban mondtak le a világító diódák gyártásáról, egyszersmindenkorra. A HIKI, mint eddig mindig, vette át a mecénás szerepét.

1973. évre már GaAsP alapú LED eszközök előállítására kötött szerződést a HIKI és az MFKI. A szerződés alapján 1973 végére átfogó, meglehetősen naprakész tanulmány készült a LED kutatás és alkalmazás helyzetéről. A gyakorlati munkát ennek a tanulmánynak az alapján kezdték el, és a minta, a GaAs-re gőzfázisból heteroepitaxiálisan felnövesztett GaAsP réteg volt. Az eredményeket tekintve ez is tanulóév volt, felkészülés a továbblépésre.

Az 1974-es év komoly fejlődést hozott a világító diódák területén.

Jelentős anyagtechnológiai, eszköztechnológiai és mérés technikai fejlődés után a HIKI az év végén különféle diódákból 10–10 db-okat kapott vizsgálatra, a szerződés teljesítéseként. Kuriózumként megemlítve a 0.46/32 jelűek 1,7V nyitófeszültségnél $2,0 \times 10^{-4}$ külső hatásfok mellett 22,5 μW -t sugároztak. Ugyancsak elkészültek a GaP(N) zöld diódák. Jellegzetes reprezentáns: K 1009-4: működési feszültség 3V, 20 mA-nél a sugárzott teljesítmény 7 μW , ugyancsak $2,1 \times 10^{-4}$ külső hatásfok mellett. A GaP(Zn,O) vörös diódák pedig (K 0926-4) 100 μW -ak voltak, $2,7 \times 10^{-3}$ külső hatásfok mellett.

Lássuk most mit mutat az 1975-ös év zárójelentése. Alapvetően két dolgot: 7 szegmenses alfanumerikus kijelző kidolgozását, valamint a már kidolgozott zöld diódák hatásfokának és sugárzó teljesítményének növelését. Mindkét feladat sikeresen teljesítésre került.

A hétszögmeneses kijelzőket kerámia lapokra szereltük, vastagréteg technikával. Egy-egy szögmenes két-két elemből állt, mérete 17,5x9,5 mm volt. A zöld diódák hatásfokát $3,7 \times 10^{-4}$ -re sikerült növelni.

Ezek után a diódafejlesztés évekre háttérbe szorult. Ugyan, igen nagymértékben megnőtt a világító diódák felhasználása hazánkban, a gyártást, a nemtörődomség vagy jó helyen elhelyezett lobby összeg, kombinálva néhány jelszóval, lehetetlenné tette. Lényeges apróság a LED-ekkel kapcsolatban, hogy mindmáig lényegében ezek nem fényforrások, hanem jelzőfények, látszanak, de nem világítanak!

Az általánosan használt vörös, zöld, sárga és már kék is, általában 2–3 mW-os.

Megjelentek napjainkban a 3000 mW-os sötét a 23 000 mW-os LED-ek, ezek azonban már fényforrások, felhasználási területük kialakulásban van.

Az MFKI-ban kis kúpszögben világító IR LED-ek kifejlesztésére, csak 15 évvel később került sor, de most szólnak ezekről, mivel ezek is a világító diódák családjába tartoznak. Ezeket az infravörös LED-eket spektroszkópiában használják, mivel adott szűk hullámhossztartományban a kisugárzott fényteljesítmény jóval nagyobb, mint a hagyományos izzószálaké.

Ezek kettős heteroepitaxiás szerkezetű, InGaAsP/InP alapúak voltak, amelyek sugárzási maximuma az összetétellel beállítható, a kívánt hullámhosszra. A tökéletesen rácsillesztett félvezető rétegszerkezet, valamint az InGaAsP kémiai stabilitása, hosszú élettartamot eredményez. Az alábbiakban megadjuk két MFKI-s IR LED adatlapját.

	Típus: MFKI 1065	Típus: MFKI 1015
hullámhosszmaximum	1065±15nm	1015±15nm
spektrális félértékszélesség	65±5nm	60±5nm
sugárzási teljesítmény	15±5mW/A	10±3mW/A
impulzus üzemi áram (300µs, 50Hz)	1A	<1A
munkaponti feszültség	2.5V	<2.5V
sugárzási kúpszög	10±3°	10±3°

Az MFKI egy másik, félvezetőkkel pontosabban, a MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) szerkezettel foglalkozó osztályán, sajátkezdeményezésű kutatásként, foglalkozni kezdtek a CCD eszközzel, néhány évvel az után, hogy a szakirodalomban megjelent.

Aligha kérdőjelezhető meg, hogy a CCD eszköz az optoelektronikai család tagja.

1976–80 között az MFKI az OMFB-vel kötött szerződés alapján foglalkozott az eszközzel. Jellegzetes történetként megemlítem, hogy a 80-as évek végén, amikor az OMFB téma felelősével beszéltem, elmondta, igen megörültek, hogy az MFKI jelentkezett a feladatra, de amikor a meglehetősen vértelen, MFKI-s illetékes, 10mFt-t kért a munkáért, lelohadtak, ők ugyanis komolyan vették az egészet és akár 50–100 mFt-ot is, adtak volna. Ekkor persze az is előállhatott volna, hogy MFKI előállítású CCD eszköz van abban a KFKI által készített úrkísérleti eszközben. De a kis pénz ⇒ kis foci nyíla ugyebár megfordítható ⇐.

A munkát komoly irodalom tanulmány vezette be. A gyors követés lehetővé tette az átfogó irodalmi vizsgálatot. Néhány évvel az első IBM cikk után már foglalkoztunk a témával!

Első lépésként 50 μm csatorna-szélességű poli-Si-Al sorrendű, 8-bites, lebegő difúziós és lebegő kapus CCD-t készítettünk el.

A CCD-ink az elvárt tulajdonságokkal rendelkeztek, tárolták és továbbították a töltést. 20 db eszközt adtunk át a megrendelőnek, amelyekkel bizonyítottuk a kidolgozott technológia alkalmasságát, nagybit-számú eszközök realizálására.

Az eszköz mind megbízhatóbb működése érdekében 1979. év során technológiai kísérletek folytak, a jobb hatásfok a szabványosabb működtető jelszintek elérésére, stb.

1980-ban kidolgozásra került a 32-bites CCD, szűrőként való alkalmazása, ezzel demonstrációt végeztünk, részint az eszköz alkalmazhatóságára, másrészt a paraméterek ellenőrzésére.

Ugyancsak elkészült a 64 bites CCD, valamint a velük megvalósított rekurzív szűrő is.

Ezzel aztán a csoport mintegy le lett választva a témáról. A lendület, az ismeret nagy része és a lehetőség elenyészett. Mindenki, aki látott SANYO(CCD) nagyfelbontású, színes videorekordert, amely zsebben elfér, szerintem nyugodtan gondolhatja, hogy normálisabb menedzselés mellett, magyar gyártmányú ilyen eszköz is készülhetett volna.

Már 1974-ben elkészült Lendvay Ödön *Félvezető Lézerek* tanulmánya. E tanulmány nemcsak az irodalomból ismert félvezető lézer típusokkal és lehetséges alkalmazásukkal ismerteti meg, de részletes tervet ad az 1975., valamint az 1976–80. évek MFKI-s tennivalóira a félvezető lézerek kutatása és előállításának területén. Ugyancsak a fenti képhez tartozik az MTA Műszaki Tudományok Osztálya Elektronikai Eszközök Bizottsága megbízására készült „*Optoelektronikai eszközök fejlődése*” tanulmány, melynek szerzői HIKI, MFKI és KFKI kutatók voltak. E tanulmány ma is meglehetősen jó információ tartalmú, részletes ismertetése túl terjedelmes lenne, de a tanulmány 8. pontjából, amelynek címe „ajánlások” idézzük a 2. 3. 4. bekezdéseket.

2. Az optoelektronikai eszközök területén a hazai kutatások eddigi eredményei biztató alapot nyújtanak a perspektivikus hírközlő, adatfeldolgozó és tároló rendszerek kidolgozásához. Indokolt a nem-koherens és koherens egyedi és integrált félvezető fénykibocsátó elemek, a nagysebességű detektorok kutatási-fejlesztési munkáinak fokozása (MFKI, HIKI);
3. Figyelemmel kell kísérni az optoelektronikai passzív elemek, modulátorok, deflektorok, fényvezetők stb. területén mutatkozó nemzetközi fejlődést és törekedni kell a KGST országokkal való tudományos együttműködés útján, az új eredmények átvételére (KFKI, SZTAKI, MFKI);
4. Az egyetemi és főiskolai képzés tananyagában gondoskodni kell az optoelektronikai eszközök elvi és gyakorlati kérdéseinek oktatásáról, foglalkozni kell az optoelektronikai rendszerek technikájával.

A lézertanulmány rendkívül gondos munka volt. A helyzet felmérése mellett munkatervet adott az 1975-s évre. Részletesen kidolgozta továbbá a félvezető lézer program előrehaladását, az 1976–1980-as évekre. 1975-ben az infrastruktúra területén a tisz-ta laboratórium létrehozása, valamint LPE rendszerek megépítése és beüzemelése volt a munka súlypontja. 1976-ban a feladat: reprodukáló SH technológia létesítése, eszközök első szériáinak elkészítése, lézer mérés-technika alapjainak megteremtése. 1977-ben kettős heteroepitaxiás lézer (DH) előállítására irányuló LPE módszerek kidolgozása, valamint élettartam vizsgálatok megindítása szerepelt. 1978–80-ra, kettős heteroepitaxiás lézerek előállítási technológiájának kidolgozása, eszközök első szériáinak előállítása.

Visszatekintve meg kell állapítanunk, hogy ezek az elképzelések többnyire meg is valósultak, csupán a reprodukálhatóság volt az a terület, ahol a jelenségek a vártnál bonyolultabbnak bizonyultak. Ez az alapozó munka tette volna lehetővé azt a váltást, amelyre később visszatérünk, ami elképzelhetőleg döntő változást okozott volna a magyar optoelektronikai kutatásokban.

Az optoelektronikai eszköztár egyik nem kevésbé fontos tagja a fényvezető, az optikai szálak. Ezek gyártása speciális cégek feladata. Az MFKI e szálak minősítésébe kapcsolódott be, és végzett el több-kevesebb munkát. Az egyik, ezek közül a Posta Kisérleti Intézet részére, fényvezető szálak spektrális transzmissziójának mérése volt, a 0,6–1,8 μm hullámhossz tartományban, valamint e szálak törésmutatójának vastagságmenti eloszlásának meghatározása. Az évek során állandó jelleggel kisebb nagyobb szerződéses munkák folytak a potenciális felhasználók részére.

Többek között 1980-ban az OMFB részére igen komoly munkát végeztünk. A szerződés címe: „Az optikai hírközlési célra szolgáló szálak vizsgálatának metodikai fejlesztése”, valamint a „szál-fényforrás csatolásának vizsgálata” volt.

Legutóbb az OMFB részére OTDR berendezés fejlesztési munkája folyt.

Itt említünk meg, egy szabadalmat is kapott optoelektronikai eszközt, mint az általános kutatás melléktermékét. Nevezetesen vonalkódleolvasó fényceruzához alkalmazható LED struktúra elkészítése, valamint a detektort is tartalmazó egység megvalósítása. Ez az eszköz 1988-ban készült el, kifogástalanul működött, és ha olyan országban élünk, ahol súlyt fektetnek arra, hogy a saját műszaki eredmények saját termékekben valósuljanak meg, most ilyet alkalmaznának az üzletekben, ekkor persze néhány ember elesett volna attól a honoráriumtól, amit a külföldi eszköz-forgalmazótól felvett.

A lézerprogram mellett az elektronikus csoportunk kidolgozott automatikus, számítógép vezérelt lézervizsgáló berendezést. Világos volt, hogy előbb vagy utóbb a saját előállítási volumenünk is igényelni fogja a megbízhatósági és élettartam vizsgálatok automatizálását, lévén szó igen hosszú-idejű és nagydarabszámú mérésről. Ennek ellenére az első automatikus mérőrendszer nem saját, hanem az NDK-s VEB Werk für Fernsehelektronik cég számára készült. Táblázatosan összefoglaljuk az eddigi termést:

Valamennyi, saját speciális software-val működik. Tervezés alatt van a COPERNICUS program keretében egy berendezés elkészítése francia partner számára.

Visszatérve a legújabb korba, a lézerekre. 1990 őszén a gazdaságilag meglehetősen felkavarodott légkörben, egymás után jelentek meg külföldi (magyar kapcsolattal rendelkező) és belföldi cégek. Eddigre ugyanis, az MFKI gyakorlatától eltérő módon,

Hova	diódák száma	vezérlő komputer
NDK WF Berlin	64	NDK spec.komputer
SZOVJET Moszkva FIAN	16	Commodore 64
LENGYEL I ITE Varsó	64	Commodore 64
LENGYEL II ITE Varsó	64	Commodore 64 +IBM PC
KOREA GoldStar	64	IBM PC
MAGYAR Saját	64	IBM PC
MAGYAR Saját	15 nagyáramú	IBM PC
MAGYAR Saját	50	IBM PC

Lendvai Ödön igen sikeres propagandát fejtett ki egy kidolgozott és szabadalmaztatott, lézer technológiának. A cégek, privát személyek, bankok úgy látták, hogy ha jó haszonnal kecsegtet ez a lézerdolog, akkor egy ilyen vállalkozásba hajlandók investálni. Rengeteg tanulmány, szakmai és gazdasági, készült, rengeteg megbeszélésre került sor. A szétesett Tungstram-félvezető, és a leégett és becsődölt MEV, néhány prominens idős munkatársa, hajlandó lett volna új vizekre evezni. A képlet adott volt: van egy potens társaság új, olcsó, lézertechnológiával, van egy elképzelt és óriási felvevő piac (lásd kommunikációs forradalom), alkalmas épületek (volt MEV), használható berendezések (MEV, KFKI, TUNGSRAM, stb.) és van a tőke.

De kié? Végül is az ÁFI mellett döntöttek. A megalakulás formája LASEST Ltd. lett volna (a keresztpaságot én vállaltam), a végső aláírás 1990 nov. 21. hétfő. A megelőző szombat koradélutánján Lendvai Ödön végzetes autóbalesetet szenved, és hétfőn akkortájt távozik az élők sorából, amikor élete legnagyobb döntésének számító aláírást kellett volna megtennie.

Az élet ugyan egy nagy színház, de itt a beugrások nem olyan könnyen mennek. Itt ugyanis a szerepet nem tudja más és csak jelmezzel jó előadást, nem igazán lehet csinálni. Én, mindenesetre nem vállaltam, semmiesetre. Igencsak szorgalmazták pedig az intézet (MFKI) vezetői, mert a korszellemnek megfelelő karcsúsítást jelentett volna. Ezzel szemben úgy láttuk, hogy mi nem tudunk úszni, ha adnak pénzt; úgyhogy pénzt kértünk az OMFB-től, hogy megtanuljunk úszni.

Az, hogy ez a vállalkozás nem valósult meg, sok mindent megváltoztatott. Így az a kapcsolat, amely a Dél-Koreai Lucky GoldStar-ral épülgetett, lecsengett, csak egy lézer tesztet vásároltak, nem pedig többet a gyártásukhoz, nem fogadták kutatónkat kinti munkára, nem érdekelte őket a lézer szabadalom megvásárlása. Az egyetlen komoly támasz és partner a kanadai SEASTAR Inc. maradt, Berrang úrral a fedélzetén, (egyébként szintén Lendvai ismeretség), aki bízott bennünk, számított ránk, illetőleg ezt ma is teszi. Élő kapcsolatunk van vele, rendel tőlünk lézert, kutatást, néha idelátogat. Ez egy híd, bár egyelőre inkább csak kötél, de ha mindenki mélyen átérezné a fontosságát és MURPHY is, úgy akarná, „golden gate” is lehetne. Visszatérve az OMFB szerződésre, ez három évre szólt; 1991–1993. Lényegileg 30 000 eFt visszafizetendő kölcsön, de lehetőséget adott komoly technológiai és főleg mérés-technikai fejlesztések megtételére. Ha ezek után nem is merném, a hasonlattal élve, azt mondani, hogy tudunk úszni, de tudjuk hol a medence, és talán ismerjük az úszó mozdulatokat is. Ide tartozik, hogy szerintünk, reprodukálási és megbízhatósági okokból az OMFB akkor járna el helyesen, ha elengedné a kölcsönt (vagy átütenezné) és további 30 000 eFt-al támogatná munkánkat. Akkor végre a sok igen sikeresen elkezdett perspektivikus kutatás, egyszer legalább elérné célját, mondjuk úgy, az ország érdekében, ha ez így kicsit manapság szokatlan is.

A továbbiakban, ismertetni szeretném az alapszabadalmat az 1300 nm hullámhosszú, az 1550 nm hullámhosszú lézereket, valamint azt a modult, amelyet az OMFB szerződés kapcsán dolgoztunk ki.

A szabadalom címe: Duplacsatornás hordozójú, kettős heteroszerkezetű, beépített záró p-n átmenetet tartalmazó, eltemetett aktív rétegű InP/GaInAsP lézertióda és előállítási eljárás, egylépcsős folyadékepitaxiás módszerrel. A szabadalom száma Magyarországon 206 565, oltalmi idő kezdete: 1988.12.15. Eredetileg Japánban, USA-ban, Koreában, NSZK-ban, Franciaországban és Nagy-Britanniában is be lett jelentve, de a leépülés miatt a zöme vissza lett vonva (irgalmatlan összegeket emészt fel, ugyanis).

A találmány lényege, az egylépcsős jelleg, ami szemben a kétlépcsőssel olcsóbb és idezve a szabadalmi leírásból „a kétlépcsős epitaxiával előállított lézerdiodák esetében, az első növesztési lépésben nőtt rétegeket a csatornákból nedves kémiai maratással távolítják el. A második folyadékepitaxiás lépés során az áramkorlátozó szerkezet egy kémiailag mart és vizes fázissal érintkezett felületre nő, amely a második epitaxiás lépés során hőbomlás miatt is degradálódik.”

E tényezők az aktív tartomány két oldalán lévő csatornában a p-n átmenetek minőségét rontják. Az említett OMFB szerződés (91-97-10-0133 sz.) rengeteg feladatot tartalmazott. Ezek közül csak néhányat tekintünk át.

A sors jellemző sajátága folytán, mire ez az eszköz elkészült, a piacon az 1300 nm-es lézert a következő, az 1550 nm-es váltotta fel. Zárójelben megjegyzem, hogy a Seastar Inc.-nak küldött mintakollekciót nem tudták megvizsgálni, mivel tűz volt pont akkor náluk.

A szerződés 13. pontja: „1550 nm-es távközlési célra alkalmas LD előállítás”. Ennél már több szerencsénk van. Itt az élet nem lépett túl rajtunk, ugyanis az üvegszálak optimuma ez a hullámhossz, ezzel a lézerral építik a távközlési hálózatokat, partnerünk a SEASTAR Inc. is ebből kért tőlünk 100 db-ot mintának.

További ismertetés helyett, mellékeljük ennek a lézernek az adatlapját:

Wavelength	1550±20 nm
Output power	3 mW
Threshold current	<30 mA
Operating current	50 mA
Spectral width	≤4 nm
Operating lifetime	>10000hours
Mode structure	S.transverse-M.Longitudinal
Modulation	>2GHz
Packaging	TO 6.5 coaxial
Operating temperature	-20°C to +60°C

Ahogy az 1300 nm-es lézerben, az eszköz tartalmaz a kimenő fénytjeljesítmény szabályzására egy fotódiodát, amely a lézerből hátul kilépő fényt érzékeli.

E dióda kidolgozására szintén komoly munka folyt, rengeteg kísérletet végeztünk. Azonban kiderült, hogy számunkra nem kifizetődő az úgynevezett monitor dióda házi előállítás. Tekintettel arra, hogy *Serényi Miklós* révén, aki jelenleg az MFKI Félvezető Optikai Főosztályt vezeti, igen szoros kapcsolatunk van az ALCATEL SEL stuttgarti céggel, és részünkre igen hasznos munkát (bérmunkát) tudunk végezni, a monitor diódát tőlük vesszük. Az általunk végzett munka AR és HR rétegek előállítására. Ugyanis, ha a lézert egyik oldalán AR (Anti reflexiós) bevonattal látjuk el, teljesítménynövekedés lép fel. A SEASTAR Inc. partner cég megkért, megbízott bennünket 1150 illetve 1220 nm-es nagyteljesítményű lézerek kidolgozásával, sőt nagyobb mennyiség rendelését is kilátásba helyezte, és ezeket ilyen bevonatok nélkül, ma már nem lehet elkészíteni. Tulajdonképpen ez az összeállítás közel sem teljes, de azért világos képet nyújt arról, hogy a forrásokon, a jóindulat és felső menedzselésen kívül a szakmai rátermettség munkaszeretet és az ötletgazdagság rendelkezésre állt és áll.

13. Informatika, számítástechnika, elektronika, mikroelektronika

Ribényi András
1021 Budapest, Széher út 19.

A sokat akaró cím sokak szemében túlzásnak tekinthető, de figyelembe kell venni, hogy a XX. század meghatározó tudománya, technológiája a fenti négy önmagában is korszakot jelentő tudományát, technológiáját jelenti, míg a négy együtt forradalmi, teljes arculatváltozást hozott.

13.1. Történelem

A XIX. században megszülettek azok a találmányok, amelyek a következő század kommunikációs forradalmának az alapjait jelentették (Morse távíró, Bell és Puskás távbeszélőkészülék és távbeszélőközpont, a mozi), vagyis megszületett a hang és képátviteli és rögzítési technológiája. A távbeszélő-technika elektromos elv felhasználásával valósult meg, míg a képtechnika optikai módszereket alkalmazott. Létezett már *számítástechnika* is, habár a megoldás lyukkártyás vezérléssel működött, akkori nevén statisztikai adatfeldolgozó gép, ilyen vezérléssel szövőgépet készítettek (*Jaquard-féle lyukkártyás szövőgép*, ipari automatika).

A XX. század elején a villamos rendszerek alkalmazásával kialakult először a vezérléstechnika, majd az automatizálás. Ezeknek a rendszereknek a megbízhatósága még sok kívánni valót hagyott maga után, de a korábbi rendszerekhez képest a megoldható feladatok bonyolultsági szintje, pontossága, teljesítménye óriási mértékben javult. A fejlődésnek ez a szintje lehetővé tette, hogy az elektronika behatoljon a haditechnikába, a második világháborúban már széles körben alkalmazták. Vannak olyan rendszerek, amelyeket a háborúban fejlesztettek ki hadi célokra, például a radar, vagy az elektronikus célzó rendszer, ezek az eljárások a háború után átkerültek a polgári alkalmazások területére.

A második világháború utáni korszak technológia fejlődésére rányomta a bélyegét a hidegháború. A hidegháborút – ez mára kétségtelen tény – a Szovjetunió elveszítette, ennek több oka volt, néhány ezek közül:

A Szovjetunió gazdaságilag hátrányosabb pozícióból indult a hidegháborúba (a lakosság kivértett a háború alatt, az ország romokban hevert és ehhez járult a dilettáns gazdasági vezetés).

Az Egyesült Államok területén nem folytak harcok, az ipara a háborús termelésben megerősödött, gazdaságilag vezető hatalommá vált.

A technológiai fejlesztés területén a Szovjetunió lemaradt, az ország vezetői későn ismerték fel az informatika, elektronika jelentőségét.

Súlyosbította a helyzetüket, hogy a magas szintű fejlesztési kapacitást megosztották a hadi és a polgári célokra. A két tevékenységet olyan mértékben választották szét, hogy a két szektor egymás tevékenységéről semmit sem tudott.

Az egy főre jutó nemzeti jövedelem, a GDP az USA-hoz képest csökkent a Szovjetunióban, a 80-as évek végére az USA egy lakosára számítva többet költött hadi kiadásokra, mint amennyi a Szovjetunióknak az egy főre jutó GDP-je volt. (Nem követünk el nagy hibát, ha a Szovjetunió és az USA lakóinak a számát azonos vesszük, ez ugyan nem igaz, de a képet nem torzítja.)

A fentiekhez járult az USA embargó politikája, amely tiltotta az amerikai cégeknek, illetve a vele szövetséges országoknak, hogy fejlett ipari terméket, termelő berendezést szállítsanak a szocialista országokba.

13.2. Technológiai helyzetkép

A negyvenes évek végén, amikor a tranzisztort feltalálták, az elektronikai ipar fejlesztését döntő hányadában a hadászat támogatta. Érdemes odafigyelni az amerikai elektronikai ipar szerkezeti megoszlására (1960-ban az elektronikai ipar teljes termelési értéke nem érte el 10 milliárd \$-t, a teljes értéknek kb. a fele, amit a központi költségvetésből fedeztek, ez volt a hadászati rész. A másik 50 %-os rész kb. egyenlően oszlott meg a termelő berendezése előállító és közfogyasztású elektronikus berendezések között. Az 1960–80 közötti 20 év alatt a hadi kiadások megnégyszereződtek, míg az elektronikai ipar termelési értéke kb. húszszorosára nőtt. Jelentősen, de nem ilyen mértékben nőtt a közfogyasztású, vagy szórakoztató elektronika.

Már a kezdeti ötvözési technológiával előállított tranzisztorok is megbízhatóbbak voltak, mint az elektroncsövek, az okok közül hármat emelnénk ki:

- az elektroncsövek tartalmaznak elhasználódó alkatrészt,
- a katód izzításához jelentős teljesítményre van szükség,
- az üzemeltetéshez szükséges anód-feszültség egy nagyságrenddel nagyobb volt, mint a kollektor-feszültség.

A rosszabb megbízhatóság mellett a nagyobb disszipáció következtében komolyabb hűtést igényelt a rendszer, de még így is magasabb volt a berendezés üzemi hőmérséklete, mint a tranzisztoros berendezésé. A megbízhatóság kérdéséhez még egy tényezőt kell figyelembe venni, az alapanyag kérdését, nevezetesen, hogy a germániumból, vagy szilíciumból készülnek az eszközök. A germániumnak a megengedhető maximális üzemi hőmérséklete lényegesen alacsonyabb, mint a szilíciumé, továbbá előny a szilícium alapú eszközöknél az eszköz felületén a gyártástechnológia elengedhetetlen részeként szilíciumoxid (kvarc) réteget alakítanak, amely réteg igen stabil és ellenálló.

Az ötvenes évek végén került kialakításra az integrált áramkör gyártási technológiája, ez volt az első félvezető gyártástechnológia, amely a nyugati partra települt és ezzel létrejött a Szilícium Völgy. Az itt kialakult pezsgő gazdasági élet, vonzotta a vállalkozni vágyókat, akik a bizonytalanabb beruházásokba is belevágtak, voltak közöttük olyanok is, akik ebbe belebuktak, de maradtak bőven, olyanok, akik nyereséggel zárták ezt az átlagosnál kockázatosabb vállalkozást. AHOL TÖBB A TÖKE, OTT NAGYOBBAK A JÖVEDELMEK, OTT TÖMÖRÜLNEK AZ INNOVATÍ-

VABB SZEMÉLYEK! A tőkés világ vezető cégeiről évente megjelenő forgalmi és tőke sorrend adataiban az előkelőbb helyeken egyre több elektronikai céget találunk (Fortune Magazin, HVG).

Jellemző a félvezetőgyártás egyik vezető egyéniségének, a ma már a világ vezető gyárának, az Intelnek az egyik alapítójának a megállapítása:

„G. Moore: He claims to have nothing to talk about yet. However he concedes that anytime we spend money, it is serious.” (Electronics February 16, 1978. p76.)

Az integrált áramkörök gyártástechnológiája magában hordozza a kétszeres növekedési tényezőt, részben nő a chipen elhelyezhető áramköri elemek száma (ezt a geometria mintázat finomítása teszi lehetővé, a hatás négyzetes, a csikszélesség az alapparaméter, de az áramköri elemek sűrűsége a területtől függ), emellett nő a chippek területe (ezt a szelet átmérő folyamatos növekedése teszi lehetővé), ez a négyzetesnél is nagyobb meredekségű növekedést jelent.

A termelési érték növekedése mellett, ennél is jelentősebb mértékben nő a chippek teljesítőképessége (gondoljunk csak a személyi számítógépek siker történetére: az első személyi számítógép 1981-ben született a 8086-os processzorral, míg napjainkban a legkorszerűbb típus a Pentium 4 processzorral készül, amelynek az órajel frekvenciája 2 GHz. A teljesítőképesség növekedése mellett legalább ilyen mértékben nő az előállított számítógépek száma. Ez a tempó lélegzetelállító! Időről időre felmerül a kérdés, mire lehet ilyen mennyiségű számítógépet használni. Az informatikával foglalkozók részaránya az összes foglalkoztatottak számának 50 %-át tette ki 1980-ban, vagyis minden második ember informatikus (1980!). A konkrét alkalmazáson kívül lényeges kérdés a megfelelő számú *informatikai szakember* nevelése, ez a kérdés gondot jelentett már 1980-ban és gondot jelent napjainkban is. A megfelelő szakember képzése *több évet* vesz igénybe. A szakemberkérdéshez hozzátartozik, hogy az informatika csak az egyik szakmája a foglalkoztatottnak, a másik a saját szakmája, amely az informatikai módszerek nélkül nem tud eredményesen tevékenykedni.

Az USA-ból tekintve a félvezető eszközök fejlődésének a történetét diadalmenetnek lehet tekinteni, amit talán az alábbi mondatban lehet összefoglalni:

A zsebrádiótól a holdra szállás kommunikációs és vezérlő elektronikájáig.

13.3. Hazai helyzet

A hazai számítástechnika. fejlődését csírájában igyekezett elfojtani az a „demagóg” ideológiai, amely demagógnak és a kapitalizmus mételének tartotta az informatikát és ezen keresztül a számítástechnikát.

Sajnos a magyar gazdasági vezetés, ennek a témának a gazdasági jelentőségét nem ismerte fel, sem az ötvenes évek első felében, sem később. Az ötvenes években ez még „bocsánatos” bűnnek voét tekinthető, később **stratégiai hibává** vált.

Hazai körülmények között az első említésre méltó fejlesztés Kozma László professzor nevéhez fűződik, aki Bell Telephone antwerpeni gyárában telefonközpontok elemeinek segítségével épített decimális rendszerben működő számítógépet a II. világháború előtt. Az ötvenes évek közepén, Budapesten is megépítette ezt a gépet.

A félvezető eszközök alkalmazástechnikai kérdéseivel foglalkozott az Egyesült Izzóban Klatsmányi Árpád az ötvenes évek első felében, ebben az időben az alkalmazás közfogyasztású célra készült berendezést jelentett (pl.: táskarádió). A hazai

alkalmazás valóban nem erre a terület terjedt ki. Az USA az *embargó politikával* a komolyabb eszközök beszerzését igyekezett meggátolni, első sorban azokat, amelyeket a hadászati célra lehetett alkalmazni (de bőven szabták meg a határokat), ami sikerült is neki.

'56 után megváltozott a helyzet, a számítástechnika elfogadott tudománnyá vált, a félvezetős elektronika gondolata egyre nagyobb területen hódított, egyre több szakember fordult ezen eszközök alkalmazásához. A félvezető eszközök alkalmazásához hozzájárult a magyar nyelven történő tájékoztató anyagok készítése, ismertetése, szakemberek képzés megvalósítása.

Magyarországon ez a munka a számottevően hatvanas évek elején kezdődött el, először tanulmányok készültek, majd kialakult egy csapat, amelynek tagjai először a Mérnök Továbbképző Intézet keretében, majd a normál oktatási tematikába is beépítve, először a Műegyetemen, majd más egyetemeken, főiskolákon végezték ezt a munkát. E munkának a főszervezői *Valkó I. Péter* és *Tarnay Kálmán* voltak.

A hatvanas évekre jellemző, hogy a hazai alkalmazások igen csak szaporodtak, három műhely is kialakult, ahol tranzisztoros, majd integrált áramkörös számítástechnikával, ennek alkalmazásával foglalkoztak. Az egyik ilyen hely a KFKI volt, ahol *Sándory Mihály* vezetésével folyt a munka, a második a Telefongyár, ahol *Erdélyi László* irányította ezt a tevékenységet, míg a harmadik az EMG-ben alakult ki, ahol *Klatsmányi Árpád* vezette ezt a fejlesztési munkát. Klatsmányi Árpád nevéhez fűződik az egyik első tranzisztorok alkalmazási kérdéseit ismertető jegyzet (1955!).

A magyar elektronikai ipar már ebben az időben is a megosztottság betegségében szenvedett, míg a helyzetet súlyosbított, hogy támogatásban nem részesült. Ez annál is nehezebb helyzetet teremtett, mert az elektronika, legalább is újdonságok zöme a hadi iparban, illetve ennek támogatásával fejlődött, alakult ki.

A hetvenes évekre már az alkatrész hiány gátolta a hazai fejlesztési, gyártási munkákat. A Központi programok főbb céljai közé tartozott, hogy olyan központi termelő kapacitásokat hozzon létre, amely a deviza hiány káros következményeit csökkenti, a felhasználók és az eszközöket előállítók közötti információáramlást segíti. Az ország nem rendelkezett annyi devizával, hogy import eszközöket használjon. Részletesebben vizsgálva a kérdést ebben az időszakban, még lett volna pénz és deviza is az elektronikára, de az ország vezetői nem erre a témára, fordították a meglévő erőket. A Központi Programoknak a céljai közé tartozott nem utolsó sorban, hogy az elektronikai lobbyt elhallgatassa, hiszen köztudott volt, hogy a korábbi évek elmaradt beruházásainak káros következményeit nem lehet jóvátenni. Így egyre többen erőlködtek (ez a jó kifejezés!), hogy a hazai követő fejlesztési munkák elinduljanak. Erre az időszakra esik a HIKI és a MFKI megerősödése, a KFKI szerep-vállalása, aminek következtében megvalósul a tőkés licencvásárlás és 1974-ben megkezdődik gyártási szinten a szerelési-tokozási-mérési fázisa a félvezetőknek.

A további licencvásárlásra nem kerülhetett már sor, részben, mert a politikai légkör elhidegült, de az ország anyagi lehetőségei is beszűkültek. Ebben az időben már látszott (a hetvenes évek vége), hogy igen jelentős szegmense lesz a félvezető iparnak a vevő kívánsága szerint készülő integrált áramkör.

Az elektronikával két központi fejlesztési program is foglalkozott:

- a Számítástechnikai Központi Fejlesztési Program,
- az Elektronikai Központi Fejlesztési Program.

E tevékenységhez kapcsolódott az OKKFT, az Országos Középtávú Kutatás és Fejlesztési Terv, amely az előbb már említett kutató intézetek tevékenységét koordinálta, illetve biztosította az anyagi feltételeket az itt megfogalmazott témákhoz.

Ezt a programot sokan támogatták, segítették a népszerűsítését, hiszen az egyedi tervezésű áramkörök alkalmazás-technikájának a megtanulása, az alkalmazási tapasztalatok megszerzése volt a fő cél (pl. a népszerű μ P szeminárium sorozat 1982-es rendezvénye ennek a jegyében került megrendezésre). A μ P Szeminárium sorozat több ponton segítette a hazai elektronikai ipart. Ebben az időben, egy tőkés világban rendezett konferenciára kijutni igen nehéz volt. A μ P Szemináriumok között az egyik sorozatában a meghívott neves nyugati szakemberek tartottak a legkorszerűbb témákban előadásokat, miközben munkakapcsolatok kialakítására is mód nyílt.

A VI. és VII. ötéves terv a hazai elektronikai ipar 5%-os évi fejlődési ütemével számol. Ez a fejlett országok fejlődési tempójához mérve nem elégséges, ez csak a további lemaradásokat teremt. A fejlődési ütemnél is többet mond, ha a kiindulási bázis szám, amely a VII. ötéves tervre 60 \$/lakos értékkel számolt, szemben az USA 1985-re becsült közel 700 \$/lakos elektronikai ipar teljesítményével. A fent megadott érték a szocialista országok között jó közepes helyet biztosított számunkra.

A VII. ötéves tervben jelentős távközlési beruházások valósultak meg, illetve indultak el (központok cseréje, hálózatok rekonstrukciója).

A három program (az EKFP, az SZKFP és az OKKFT) együttműködésével a '80-as évek elejére igen jó színvonalú maszklabor állt rendelkezésre, amelyhez magas színvonalú számítógépes tervező rendszer csatlakozott.

Valójában erre a bázisra épült a '82-ben indult EKFP-t, amelynek keretében elkészült egy komplett szelet-technológiai sor, amely 1986-ban leégett. Ez hosszú időre padlóra küldte a magyarországi mikroelektronikai ipart, sőt az 1990-ben bekövetkezett politikai változások más utat tesz optimálissá a hazai fejlesztésnek. Erről az útról egy gondolatot, illetve egy közgazdasági ténytet érdemes kiemelni. A hatvanas években fedezte fel az USA félvezető ipara az olcsó távolkeleti munkaerőt és kezdte el a félvezető eszközök tömeggyártását a távolkeletre telepíteni.

A sok izgalmas téma közül, amit e témakör kapcsán meg kell említeni e sorok írói a következőt, választották ki. A téma a távolkeleti olcsó munkaerő, ami nemcsak olcsó, hanem nagyon precíz is, ezeket a tulajdonságot ki kell használni, ennek a következménye, hogy az itt gyártott félvezetők olcsóbbak voltak, mint az Amerikában gyártottak. Részletesebben vizsgálva ez a tároló áramkörökre vonatkozik. A gyártás mellett ennek az áramkörnek a hihetetlen tempójú fejlesztését is elvégzik a japánok, akiknek a precizitása különösen alkalmassá teszi őket e feladat megoldására. Részletesebben vizsgálva a kérdést a tároló áramkör fejlesztése elsősorban geometriai fejlesztést jelent (nagy számú ismétlődő mintából épül fel az áramkör). A hetvenes évek elején kezdődött a tároló áramköröknek a gyártása Japánban, aminek következményeként kereskedelmi mérleg hiány alakult ki az USA és Japán között. Ez egyben azt is jelentette és jelenti ma is, hogy azon távolkeleti országok, amelyek ennek a folyamatnak részesei, egy Marschall-szegélyben részesültek, míg napjainkban több ezer embernek tudnak munkát biztosítani, miközben egy nyereséges üzleti tevékenységet folytatnak.

A tároló áramkörök mellett a processzorok is különleges áramkörök, nagy teljesítményű processzort néhány cégen kívül más cég nem fejlesztett ki.



14. A magyar szilíciumvölgy

A gyöngyösi félvezető gyártás három évtizede

*Dr. Mátrai Géza
gmatrai@freemail.hu*

Bevezető (a szerző személyes vallomása)

Őszintén mondom, sohasem gondoltam arra, hogy az OC 1044-es germánium tranzisztorok béta instabilitása egyáltalán, de főleg azt, hogy ilyen rövid idő alatt technikatörténeti érdekesség lesz. Hiába, az emberek nagy részének a történelemről az ókor jut az eszébe, vagy – ha magyar – talán a 48-as szabadságharc.

De az ókori piramisok körül elterülő sivatagi homokot és a félvezetőket mégiscsak összeköti valami: egy anyag, amely lehetővé tette az elmúlt század utolsó évtizedeinek (és talán a XXI. század elkövetkező hosszú időszakának) meghatározó technikai forradalmának, a mikroelektronikának létrejöttét és kibontakozását. Igen, ez az anyag a szilícium. Erről az anyagról kapta a nevét az a hely az Egyesült Államokban, amely később fogalommá, a high-tech szimbólumává vált. És erről a csodálatos tulajdonságú (egyébként előfordulását és földi gyakoriságát illetően teljesen közönséges) elemről kapta a címét ez a fejezet is.

Joggal merül fel a kedves olvasóban persze az a kérdés, hogy nem erőltetett-e egy kissé ez a fejezetcím. Hogyan lehet összehasonlítani egy ma már legendává vált technikatörténeti helyszínt, a mögötte meghúzódó forradalmian új gondolatokat és persze hatalmas tőkét egy kis magyar városka közelében épült gyáracska történetével? Hozzáteszem, hogy a címben mégiscsak szerepel a „magyar” jelző, mert a gyöngyösi félvezető gyártás története természetesen igazi magyar történet, másrészt méreteit és a mikroelektronika világméretű fejlődésére gyakorolt hatását tekintve egyaránt kicsiny, valószínűleg említést sem érdemelne. Amiért azonban mégis kétségkívül helye van a gyár vázlatos történetének ebben a könyvben az a tény, hogy a hazai elektronikai alkatrészipar legnagyobb gyárának fontos szerepe volt a magyar elektronikai ipar első évszázadában. De nemcsak a múltba merengés okán kell szólnunk a hazai félvezető tömeggyártás legnagyobb létesítményéről, hanem azért is, mert a Mátra egyik csodálatosan vonzó völgyébe beékelődő gyár ma is eredményesen működik és – amint erről később még részletesen is szólnunk – biztató jövő, szokatlan fejlődés előtt áll.

Végül engedjétek meg egy személyes vallomást e sorok írójának személyes sorsa, csaknem egész tudatos élete, szakmai pályafutása oly szorosan kötődött ehhez a helyhez és ezzel együtt a magyar mikroelektronika történetéhez (fejlődéshez és kudarchoz egyaránt), hogy elfogultsága talán megbocsátható. A krónikás hitelét az (is) adhatja, hogy nemcsak szemlélője, hanem aktív részese volt, mert lehetett, a hazai félvezető gyártás történetének.

14.1. Gyöngyös, a szőlő, a bor, (és a félvezetők) városa

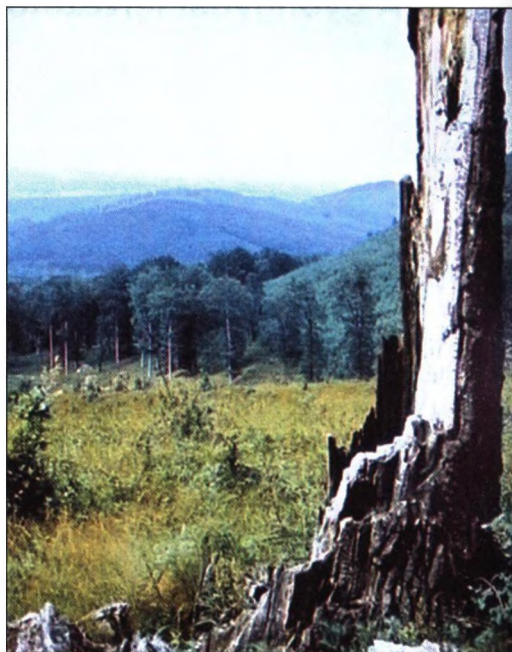
A **Mátra** hazánk legvonzóbb hegyvidéke, sokak által látogatott üdülőkerület, klimatikus gyógyhely és turistaparadicsom.

A fővárostól 80 kilométer utat megtéve (ma már kényelmes autópályán mintegy félóra alatt) már a hegyekben járunk. Itt található az ország legnagyobb hegyei, – persze magyar viszonylatban értve, miként a szilíciumvölgyet is – Galyatető, Ágasvár, Cserepes-tető és itt van az ország legmagasabb csúcsa, az 1015 méter magas Kékestető.

A vulkanikus eredetű hegység északról védi a Mátraalját, felfogja a szeleket és így a déli, valamint a nyugati lejtőkön kedvezőek a feltételek a szőlőtermesztésre. A sok napfényes óra, a szőlő cukortartalma egyedi ízt ad a méltán világhíres debrői hárslevelű, a domoszlói muskotály, az abasári rizling és a gyöngyösi tramini boroknak.

Természetesen a több, mint ezer négyzetkilométer alapterületű hegyvidék településeiben az 1200-as évektől honos szőlőtermesztés mellett az egyéb mezőgazdasági munka is virágzott, majd kiegészült egy élénk kereskedelmi tevékenységgel.

Az ipar fejlődése a II. Rákóczi Ferenc által 1730-ban a parádhutai üvegyár alapításával kezdődött, majd az 1900-as évek elején a villamos áram megjelenésével folytatódott a Mátra alján. Erdőtelepítés, útépítés, bányaművelés gazdagította tovább ezután a tájat és az itt élő embereket. Hatalmas víztárolók, hőerőművek és az ipari üzemek járultak később hozzá az itt élők életkörülményeinek javításához.

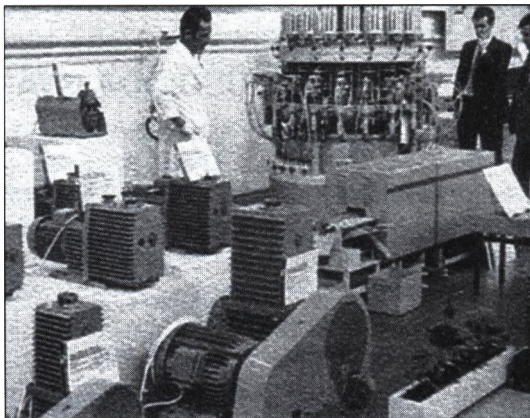


14.2. A mikroelektronika három évtizede

14.2.1. A hőskor

Gyöngyöstől néhány kilométerre, a Mátra csodálatos környezetében épült az a gyár, amely évtizedeken keresztül a hazai félvezető tömeggyártás fellelőjére volt. Kedvező természeti adottságai miatt talán egyike az ország legszebb fekvésű gyárainak. A gyártelepítés az építők és alapítók hősi munkáját követelte meg, mivel a Szent Anna tó környékének lápos-tőzeges talajával, a Sárhegy északi oldalán lévő források szeszélyes jelenlétével is meg kellett küzdeni.

Végül is az építkezés 1951 márciusában vette kezdetét. A célkitűzés szerint Gyöngyös mellett, a Sárhegy északkeleti részében, az úgynevezett Szálas erdőszél és a Hosszútisztás területén kell kialakítani egy zárt ipartelepét. A gyár építésével egy időben Gyöngyösön, a Búzapiac közelében épült fel a gyár 2x24 lakásos lakóháza és a 112 személyes „legényszálló”. Az építkezéssel párhuzamosan megkezdődött a munkástoborzás is. A leendő gyár első dolgozói – mintegy százan – az ország különböző részéről betanulás és szakmunkásképzés céljából Újpestre költöztek.



A gyár építésének segítése céljából 1952 júniusában előregyártó telep épült Mátrafüreden. A szállításhoz elkészült egy 760 mm nyomtávolságú kisvasút. A leendő dolgozók novemberben szakmunkásvizsgát tettek és átköltöztek a pesterzsébeti Szerzsám- és Készülékgyár kísérleti üzemébe. Itt történt meg az épülő gyár felszerszámozása, valamint az úgynevezett Madril szivattyúk kísérleti gyártása.

1953 nyarára a pipishegyi építkezés és a gyöngyösi lakások építése már 80%-os állapotba került, amikor a kormányprogram módosítása következtében kétségessé vált a befejezésük.

A Budapestről már éppen költözésben lévő száz és a Gyöngyösön már előre szervezett mintegy háromszáz dolgozó sorsa bizonytalanná vált. A szakembergárda, a gyár már ekkor kijelölt vezetése (és természetesen a pártcsoport) gyors cselekvésre határozta el magát akkor és a minisztérium engedélyét kérve a kísérleti üzemet gyorsított ütemben Gyöngyösre költöztették.

A gépek telepítését a dolgozók a már elkészült vagy félig tető alatt lévő épületekben végezték, majd azt követően azonnal megkezdték a termelést. A népgazdasági igények figyelembevételével a budapesti Mélyfúró Berendezések Gyáratól kapott dokumentáció és nyersanyagok felhasználásával a kőolajipar számára megkezdődött a mélyfúró berendezések és szivattyúk gyártása. Mindez 1953. augusztus 30-án történt, így ez az időpont a Szerzsám- és Készülékgyár – mert ez lett a pipishegyi gyár hivatalos neve – megalakulásának dátuma.

Mindezt azért írtam le, hogy érzékeltessem a magyar szilíciumvölgy keletkezésének érdekes történetét, a korabeli politikai viszonyok okozta bizonytalanságot és a gyár történetének első kiemelt kormányprogramját.

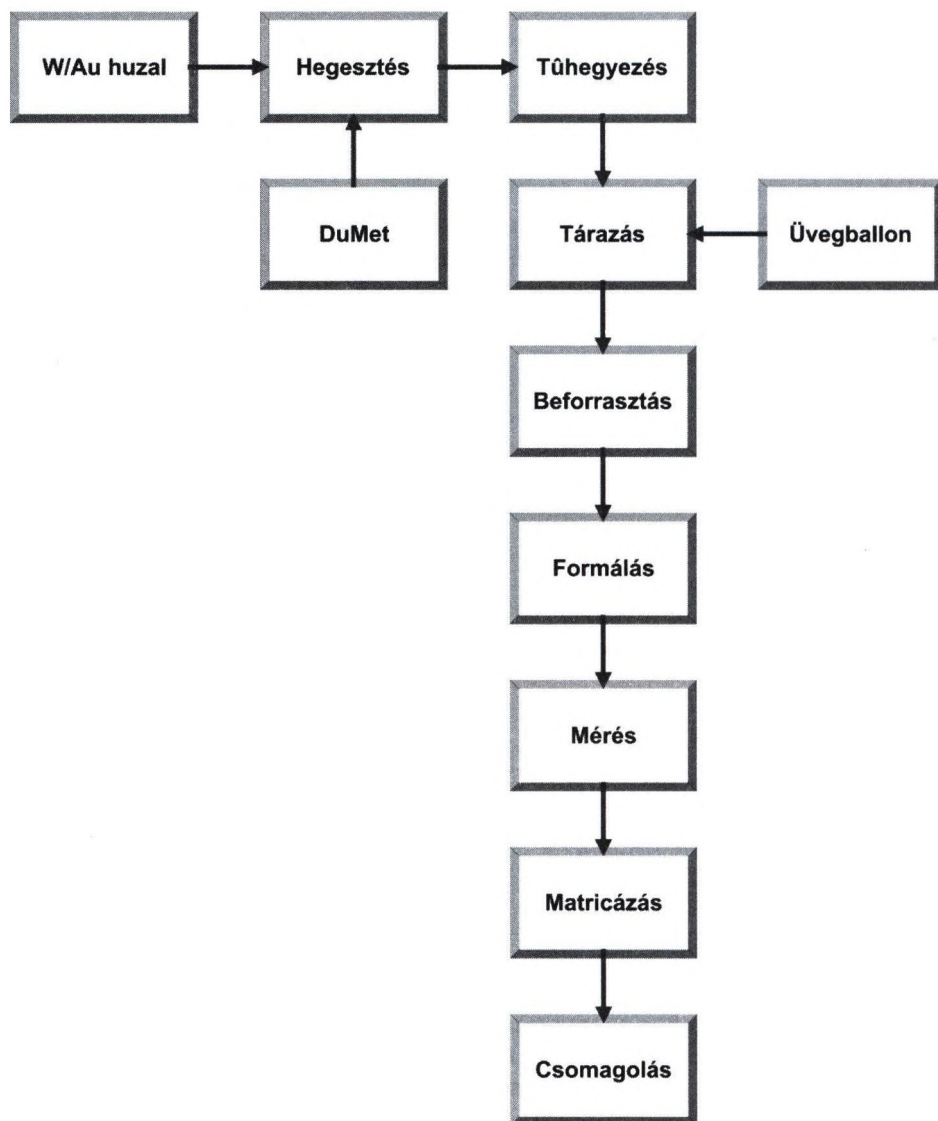
Hogy hogyan lett az egykor fegyvergyárnak épülő létesítményből félvezető gyár? Kérem olvassák tovább ezt a nem minden tanulság nélküli történetet.

14.2.2. Húsz év a fénycsövek árnyékában

14.2.2.1. Az őskor

A félvezetők alkalmazás az 1948-ban feltalált tranzisztor után gyorsan elterjedt, így az 1950-es évek elején már megjelentek az első tranzisztoros rádiók. Magyarországon a félvezetők kísérleti gyártása 1958-ban kezdődött meg az Egyesült Izzólám-

TÚSDIÓDA GYÁRTÁS FOLYAMATA



pa és Villamossági Rt. Újpesti laboratóriumában. Ez azt jelenti, hogy ebben az időben a hazai elektronikai ipar elmaradása a fejlett ipari országokétól mindössze egy évtized volt. Sajnálattal kell megállapítanunk, hogy ez a lemaradás azóta jelentősen nőtt, miközben az elektronika – ezen belül a mikroelektronikai ipar – fejlődése alaposan felgyorsult.

Így ma is némi nosztalgiával gondolhatunk azokra az időkre, hiszen a kísérleti gyártások után néhány esztendővel, nevezetesen 1962 decemberében már elkezdődött a tömeggyártás előkészítése is. Az első betanulók ekkor utaztak Budapestre a mátraalji kisvárosból.

1963. az a dátum, amely a hazai elektronika történetében szinte mérföldkönek tekinthető: elkezdődött a **wolframtűs diódák tömeggyártása**.

Nem minden tanulság nélkül való a tűsdiódák gyártási folyamatának áttekintése. Egyrészt ma már technikatörténeti kuriózum, hogy hogyan lehetett a tömeggyártás szintjére emelni azokat az egyedi és viszonylag primitív folyamatokat, melyeknek során kialakul a p-n átmenet, másrészt figyelemreméltó az a tény, hogy a Tungstam az összes alapanyagot és alkatrészt, sőt a gyártóberendezések jelentős részét is saját maga állította elő.

Tekintsük most át vázlatosan a mellékelt folyamat elemeit:

Huzalgyártás:

A tűsdiódák legfontosabb alkatrészei a wolfram illetve arany huzalok. A Tungstam az izzólámpa gyártás révén jelentős gyakorlattal rendelkezett tiszta, kívánt struktúrájú és vékony huzalok gyártásában, így nem volt kétséges, hogy a tűsdiódák előállításánál nélkülözhetetlen W és Au szálakat saját gépein és technológiájával állítsa elő. A huzalgyártás Budapesten történt.

DuMet:

A dumet a tűsdiódák bevezetőjének céljára használt speciális huzal neve. Ez egy rézköpennyel ellátott ötvözött vashuzal. A vasmag biztosítja a kényelmes kezelhetőséget adó mágnesezhetőséget, a réz mag az üvegballonhoz történő tökéletes illeszkedés az olvasztás során.

Tűhegyezés:

A tűsdiódák elektromos karakterisztikája szempontjából döntő tényező a germánium egykristály felületével érintkező felület nagysága. Ezért a W huzalt ki kell hegyezni. A tű hegyezés voltaképpen egy anódos marás erősen lúgos közegben (NaOH), melynek során kialakul a tű, amely aztán hivatott a p-n átmenet kialakítására, egyben kivezetőként is szolgál. Bár ez a technológia látszólag igen egyszerű, mégis számtalan paraméter (elektrolit koncentrációja és hőfoka, áramerősség, a huzal érintkezési mélysége) befolyásolja a végeredményt. A technológiát és a gyakorlatot gyöngyösi gyár fiatal mérnökei fejlesztették ki és hozták létre.

Ballongyártás:

A tűsdióda szerelvényt voltaképpen egy üvegballon hordozza, amely vékony üvegcsőből készül. Az Egyesült Izzó ezen a téren is rendelkezett hagyományokkal, hiszen az izzólámpa és elektroncső szerelvények között is volt néhány üveg alkatrész. Ezért az üvegcsöveket és a dióda ballont is saját magunk állítottuk elő saját gépekkel és technológiával.

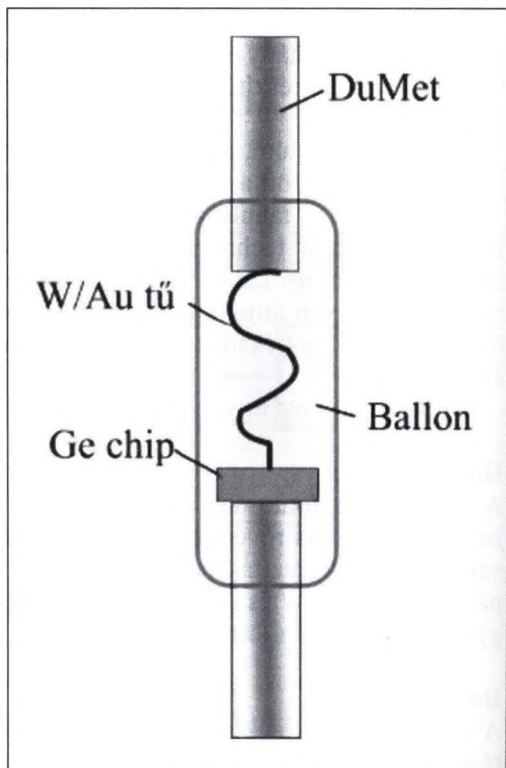
Beforrasztás:

A tűsdióda gyártás legfontosabb művelete, amelynek célja, hogy a katód és anód kivezetők a germánium egykristállal egységes, fizikailag stabil szerelvényé, dióda alkatrészé

váljanak. A művelet elvégzését a Tungstram saját fejlesztésű és gyártású gépei tették lehetővé. Ezek az izzólámpa- és elektroncsőgyártásban akkor szinte kizárólagosan használt rotációs mechanikai felépítésű, gázos gépek voltak. Ennél a technológiai lépésnél figyelhető talán a legjobban meg az elektroncsőgyártás és a félvezető gyártás közötti szerves kapcsolat az elektronika fejlődésének ezen ősi korszakában. A beforasztó gépek tehát az elektroncsőgyártás gyakorlatán kiforrott, folyamatos működésű tömeggyártó berendezések voltak.

Formálás:

Talán a tüssdióda gyártás legérdekesebb művelete. Az egyenirányító hatás ugyanis a germánium felület és a W tű fizikai érintkezésekor létrejön, de az így kialakuló p-n átmenet esetleges (függ a tű elhelyezkedési pontjától, a tűnyomástól és a felület állapotától) és instabil. Ki kellett találni egy olyan módszert, amelynek a hatására stabil és reprodukálható átmenet jön létre. Rájöttek arra, hogy amennyiben rövid ideig (impulzusszerűen) áramot bocsátunk át a tű és germánium felület között, egy stabil, nagyjából gömbsüveg formájú p-n átmenet alakul ki. Az átmenet nagysága az impulzus áramsűrűségének függvénye, így a kialakult dióda karakterisztikája viszonylag jól befolyásolható, az effektus reprodukálható, ezért tömeggyártásra is alkalmas. Talán érdekes, hogy p-n átmenet kialakulásának mechanizmusa a mai napig nem ismert minden részletében.



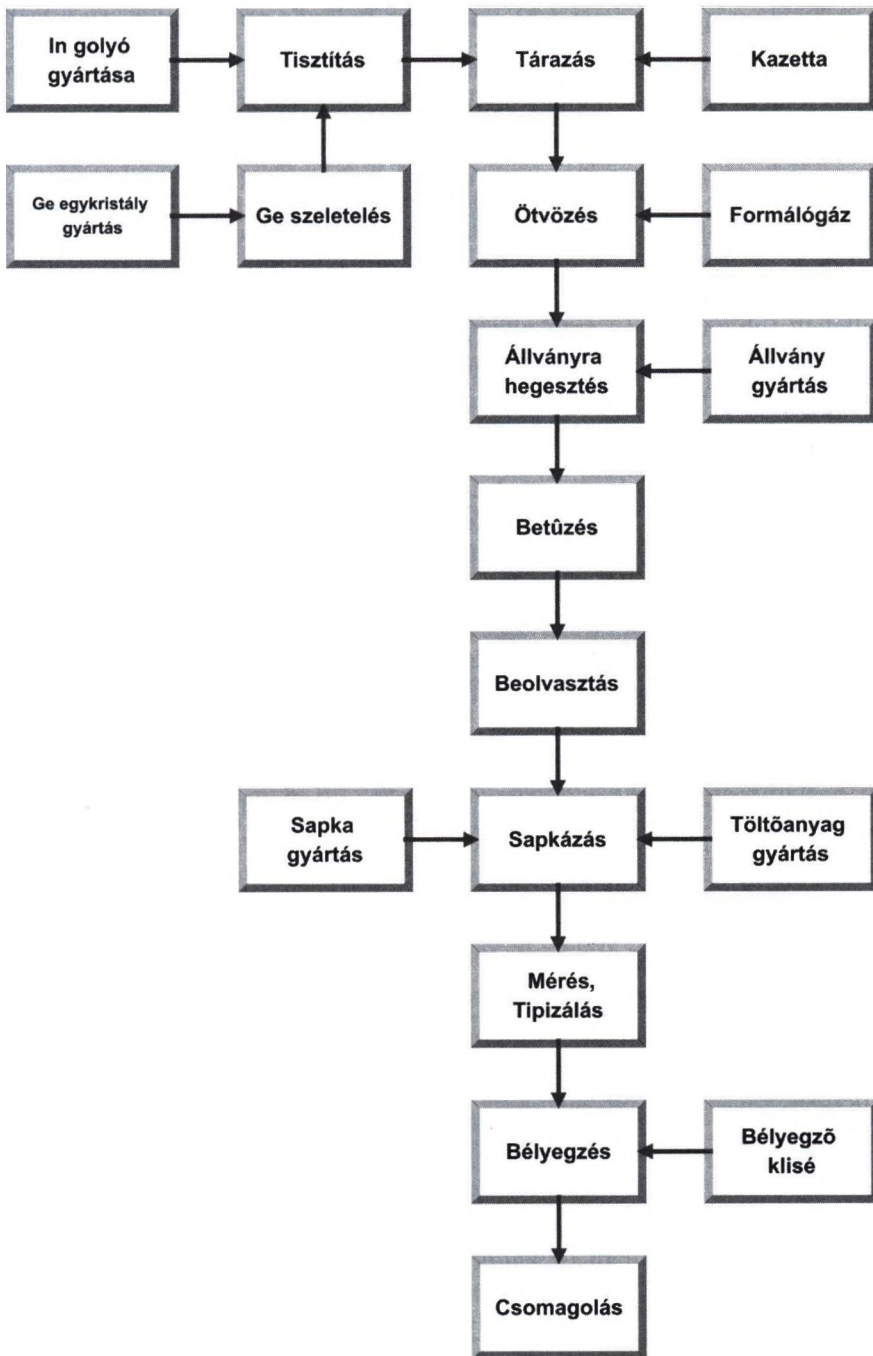
Mérés:

Egy dióda paramétereinek meghatározása természetesen a 60-as években sem volt különleges nagy mérnöki teljesítmény. Azt azonban meg kell említenem, hogy a tömeggyártás szintjén a mérés és a mérési eredmények feldolgozása alapján történő tipizálás és szelekció már ilyen egyszerű eszköznél is sok problémát vet föl. Precíz mechanika, kifinomult és összehangolt vezérlés, adattárolás és beavatkozás – ezek ma rutin feladatok. Gondoljanak azonban arra, hogy ebben az időben nemhogy számítógép nem létezett, de nem voltak PLC-k és nem voltak RAM-ok. Ezért egy dióda mérőautomata, amely egy félszobányi helyet foglalt el, a villamos- és gépészmérnöki munka igazi csúcsteljesítménye volt. Ott és akkor ezek a mérnökök igazán közel voltak a világszínvonalhoz. Talán olyan közel, mint azóta egyetlen alkalommal sem.

Matricázás:

Ezt a műveletet csak azért említem, mert ma már elképzelhetetlen, hogy minden egyes diódát kézbe fogva, az idősebb korosztály gyermekkorából ismert vizes, áztatós matricával

ÖTVÖZÖTT TRANZISZTOR GYÁRTÁS FOLYAMATA



jelölték meg a katódot és vitték fel a típusjelzést. Ma az elterjedt tampoprint vagy lézeres jelölés korában ez valóban mosolyogni való, de azt azonban jól mutatja, hogy az emberi találékonyság nagyon fontos része a haladásnak.

Csomagolás:

Természetesen kézzel, ömlesztve, egyszerű karton dobozokba történt. Nem volt heveder, hiszen az SMD-t meg az automata beültető berendezéseket évtizedekkel később találták ki illetve kezdték alkalmazni.

Ugyancsak az 1963-as évben elkezdődött a betanulás az **ötvözött tranzisztorok gyártására** és a telepítés előkészítése. Hamarosan megérkeztek az első gépek, az ötvöző kályhák, a lezárógépek és 1963 tavaszán beindult a tranzisztorgyártás is Gyöngyösön.

A mellékelt folyamatábrán érzékeltetjük az ötvözött tranzisztorok gyártásának lépéseit. Az ábra több szempontból is érdekes lehet. Először is a tranzisztor, mint aktív áramköri elem kialakítása ma már szinte kizárólag más módszerekkel (diffúzió, implantáció, ionnyaláb) történik. Az ötvözést, mint alkalmazható módszert szinte teljesen el is felejtettük a mikroelektronikában. A másik érdekessége ennek a folyamatnak, hogy minden alkatrészt, sőt a germánium egykristályt, mint alapanyagot is saját magunk állítottuk elő. Megjegyzem, előrehaladott kutatások és tárgyalások folytak ezekben az években magának a nagytisztaságú germániumnak az előállítására a hazai bauxit gyártás melléktermékeként. Továbbmegyek, az ötvözött tranzisztor gyártás valamennyi technológiája hazai tudományos kutatásokon és fejlesztéseken alapult, tehát teljességgel hazai szellemi termék volt. Még tovább, az első hazai tranzisztor gyártás minden gépe, kiszolgáló eszköze a Tungstram saját terméke volt. Mondhatná bárki most erre, hogy egy fejletlen nemzetközi munkamegosztás és a hidegháborús elszigeteltség okán kellett mindent magunknak kitalálni. Nem tagadom, ebben is van igazság, de mégis úgy találok, hogy akkor és ott beletartoztunk a mikroelektronika fő sodrába, csak néhány éves késéssel csináltuk azt, amit a világ nálunk fejlettebb gyárai és fejlesztő mérnökei. Valahogy úgy érzem, hogy akkor és ott voltunk a mikroelektronika bölcsőjénél.

Tekintsük hát át vázlatosan most az ötvözött tranzisztor gyártást, rámutatva azokra a különlegességekre, amelyek ma már feledésbe merültek.

Germánium egykristály gyártása:

Itt most nem ismertetném az egykristály gyártásánál használatos technikákat, hiszen azok jól ismertek a szakirodalomból és lényegében nem változtak a mai napig. A tökéletes (hibamentes) egykristályok előállítása földi körülmények (gravitáció és alig kiküszöbölhető rezgések) között a mai napig nem valósulhatott meg. A legtökéletesebb egykristályok az űrkísérletekben születtek, ezek azonban ipari méretű gyártáshoz nem elegendő mennyiségűek. Két eljárás honosodott meg: a függőleges húzás – Czochralski-féle eljárás – és a vízszintes eljárás. A gyöngyösi gyárban az utóbbit használtuk.

Maga az egykristály-húzó berendezés is a Tungstram tervei alapján készült és került kivitelezésre. Ennél azonban sokkal érdekesebb annak az infrastuktúrának a megteremtése, amely szükséges a húzás folyamatának a kézbe tartására. Itt egy egész műszercsaládról van szó, amely az egykristály jellemzőit (fajlagos ellenállás, diszlokációsűrűség, rekombinációs sebesség, töltéshordozók mozgási sebessége) meghatározza és szükség esetén hatékonyan beavatkozik az egykristály gyártás folyamatába. Az

egykristályok minősítésére szolgáló technológiákat és mérőműszereket a Tungram a Budapesti Műszaki Egyetemen és több más hazai kutató intézettel szorosan együttműködve fejlesztette ki. Erről az olvasó e kiadvány más fejezeteiben is talál információkat és szép példákat az elméleti kutatások és a gyakorlati megvalósítás azidőtájt meglévő harmóniájára.

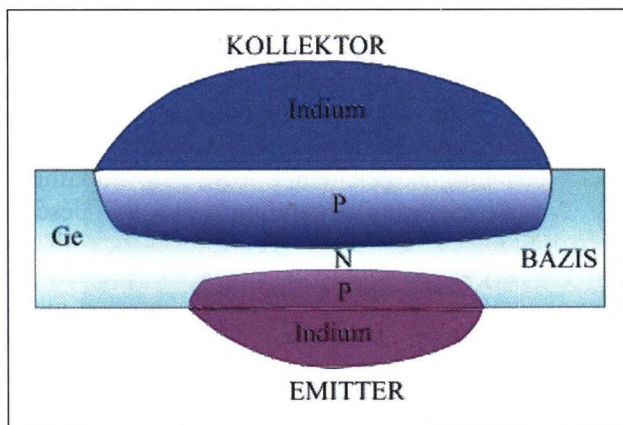
Indium golyók gyártása:

Maga a technológia érdekes talán, melynek során az olvasztott fém egy több méter hosszú csőben kerül porlasztásra és esés közben viszonylag egyenletes átmérőjű szabályos gömbökké formálódik, amint közben megdermed. Hosszú kísérletek szükségesek ahhoz, hogy a kívánt szemcseméret viszonylag jó kihozattal legyen előállítható. Mert a tranzisztor gyártás során a kialakuló átmenet felülete nyilván függvénye lesz az alkalmazott ötvözőanyag nedvesítési felületétől, azaz az indium golyók nagyságától. Arra szeretnék tehát ezen a helyen utalni, hogy a félvezető alkatrészek gyártása ebben az időben – az alkalmazott technológiák egyszerűsége és a használt berendezések és gépek első generációs volta miatt – nehezebben volt kézben tartható, mint manapság egy fotolitográfián alapuló diffúziós folyamat. Ezért is érdekes tehát, hogy már ebben az időben elkezdődött egy mai értelemben is korszerű, az ISO 9000 szabvány elemeit is tartalmazó **minőségbiztosítási rendszer** kiépítése a gyöngyösi gyárban.

Ötvözés:

Ez a művelet az ötvözött tranzisztor gyártás legfontosabb művelete. Ennek során alakítjuk ki az emitter és kollektor oldali p-n-átmeneteket és a működés során leglényegesebb bázisszélesség is itt dől el. Ennek a technikának a részletei az irodalomból igazán jól ismertek, ezért erre nem térek ki. Az ötvözés folyamatának sikeressége (szűk paraméter szórású tranzisztorok) az alkatrészeken kívül elsősorban az ötvöző kályhák minőségén múlik. Az ötvözés során a hőmenetet illik $\pm 1\text{ C}^\circ$ -on belül tartani. Ez nem kis feladat a kályhák hatalmas méretei és az ötvöző kazetták hőkapacitása miatt. Mégis, a Tungram mérnökei, akiknek persze komoly gyakorlatuk volt az elektroncső gyártásban, jelesre vizsgáztak.

Itt jegyzem meg, hogy az ötvöző kályhák öblítésére szolgáló formálógázt (redukáló atmoszférát biztosító 5% hidrogén tartalmú tiszta nitrogén) is saját magunk állítottuk elő. A félvezető gyártáshoz tehát már abban az időben is szokatlanul fejlett infrastruktúrára volt szükség. És ennek megfelelően sokoldalú tudással és gyakorlattal rendelkező szakembereket, technikusokat és mérnököket igényelt e bonyolult, sok bizonytalan paramétertől függő gyártási folyamat. Nem fizikusok, vegyészek, villamosmérnökök vagy gépészmérnökök kellettek ide, hanem nyitott, kíváncsi emberek. Az a fiatal generáció, amely az ötvözött tranzisztor meg a túsdióda gyártás beindí-



tásánál jelen volt, megtanulta értékelné egy másik szakma speciális tudását és elsajátította az emberi együttmüködés szabályait. Egy fantasztikusan jó csapat volt ez és igazán sajnálom, hogy ma alig tudunk egymásról annyit, amennyit megérdemelnénk.

Állvány és sapka gyártás:

Aki látott már tranzisztor állványt, az tudja, hogy ez az összesen öt alkatrészból álló szerkezet nem is olyan egyszerű, pláne nem, ha ebből több százezret kell azonos minőségben előállítani. Már szinte mondanom sem kell talán, hogy ennek a gyártása is a Tungstramban történt.

A tranzisztor sapka látszólag egy egyszerű mélyhúzott vaslemez. De az állvány és a sapka között a lezárás folyamán teljesen zárt kapcsolatnak kell létrejönni. Ezért a sapkát egy vékony nikkell bevonattal kell ellátni. Ez galvanizálással történik. A többit már nem is kell leírnom, mert talán nincs még a világon egy olyan technológia, amely ennél titokzatosabb lehet. Itt minden megtörténhet. Minden év májusában egyszercsak elfelejtettünk galvanizálni. Ekkor valaki Coca-Colát öntött a galvanizáló folyadékba. És minden tökéletes lett. De a következő évben ez a trükk már nem vált be. Ezért ez itt nem Cola reklám.

Betűzés és beolvasztás:

Miután az állvány bázis kivezetőjéhez hegesztéssel már odaerősítettük a germánium szeletkét, meg kell oldanunk a kollektor és emitter kivezetését a külvilág felé. Itt jegyzem meg, hogy a félvezető alkatrészek legbonyolultabb műveletei ma is azok, amelyek a külvilág felé közvetítik a chipen tömegszerű gyártástechnológiával kialakított funkciókat. Hangsúlyozom, hogy a chip gyártása során nem egyenként, hanem – bár műveletek sokaságán keresztül – mégis egyszerre képződnek a kivezetések mondjuk egy mikroprocesszor felületén. Amikor azonban működtetni akarjuk ezeket a funkciókat, egyenként kell velük foglalkozni. Ma a kivezetéseket zömmel arany vagy alumínium huzalkötéssel hozzák létre, igen nagy sebességű, precíz huzalkötő gépekkel.

Ezzel szemben az 1960-as években az állvány rugalmas huzalját, mint egy kis rugót csipesszel odahajlították szorgos kezek a puha emitter és kollektor golyókhoz, majd egy megfelelő hőfokú kályhában megolvasztották az indiumot, így létrejött a jó minőségű galvanikus kontaktus. És kész!

Töltőanyag gyártás:

Csak azért emelem ki ezt a műveletet, mert ma már ez is egy elfeledett technológia. Valahogyan meg kellett oldani a tranzisztor felületén működés közben keletkezett hő elvitelét, disszipációját. Ez szilikonolaj és alumíniumoxid keverékével történt. Ez az egyszerű anyag és technológia is számtalan bonyodalom forrását jelentette a tömeggyártásban. Szinte nem volt olyan hét, hogy ne kellett volna megváltoztatni ennek a szuszpenzióknak az összetételét vagy a töltés körülményeit. Jó példa arra, hogy a látszólag egyszerű technológiák is lehetnek folyamatos hibaforrások, ha nem reprodukálhatók.

A mikroelektronika páratlan iramú fejlődésének legnagyobb titka az, hogy egyre bonyolultabb és több funkciót sűrítenek egy alkatrészbe, de a gyártás során használt műveleteket mindig addig csiszolják és fejlesztik, a szabályozások olyan rafinált módszereit alkalmazzák, hogy a gyártási kihozatal igen magas (rendszerint 90% fölötti). A tömeggyártás legfontosabb ismérve tehát a megismételhetőség, a reprodukció a legfontosabb elem a technológiák fejlesztése során. Ez a tanulsága a betűzésnek meg a beforasztásnak, ezeknek a régen alkalmazott és ma már elfeledett technológiáknak.

Aki végigfutott a tüssdióda és ötvözött tranzisztor gyártás technológiájának ezen a nagyon is vázlatos ismertetésén észrevehette, hogy nem volt céloom a műveletek műszaki pontosságú ismertetése. Szerettem volna ehelyett betekintést nyújtani egy olyan történetbe, amely ma már technikai érdekesség, de tanulságokkal szolgálhat a ma élő és gyakorló ember számára. Maga a történet inkább csak alkalom arra, hogy a következők példává válhassanak.

Nem sokkal ez után, mindössze néhány hónap elteltével, újabb technológiai lépés következett: az OC 1044-típuscsalád, az úgynevezett nagyfrekvenciás germánium tranzisztorok gyártásindítása. Ebben az időben még a germánium, mint alapanyag szinte teljesen uralta a félvezetők gyártását. Nem lehet tehát csodálkozni azon, hogy a Tungstam akkori vezetése úgy döntött, hogy a germánium egykristályok gyártását is Gyöngyösre telepíti. A döntésnek megfelelően 1969-ben indult a Ge egykristályok tömegméretű gyártása az akkor Félvezető és Gépgyárban, amelyről korábban már szoltunk.

14.2.2.2. A nagy korszakváltás

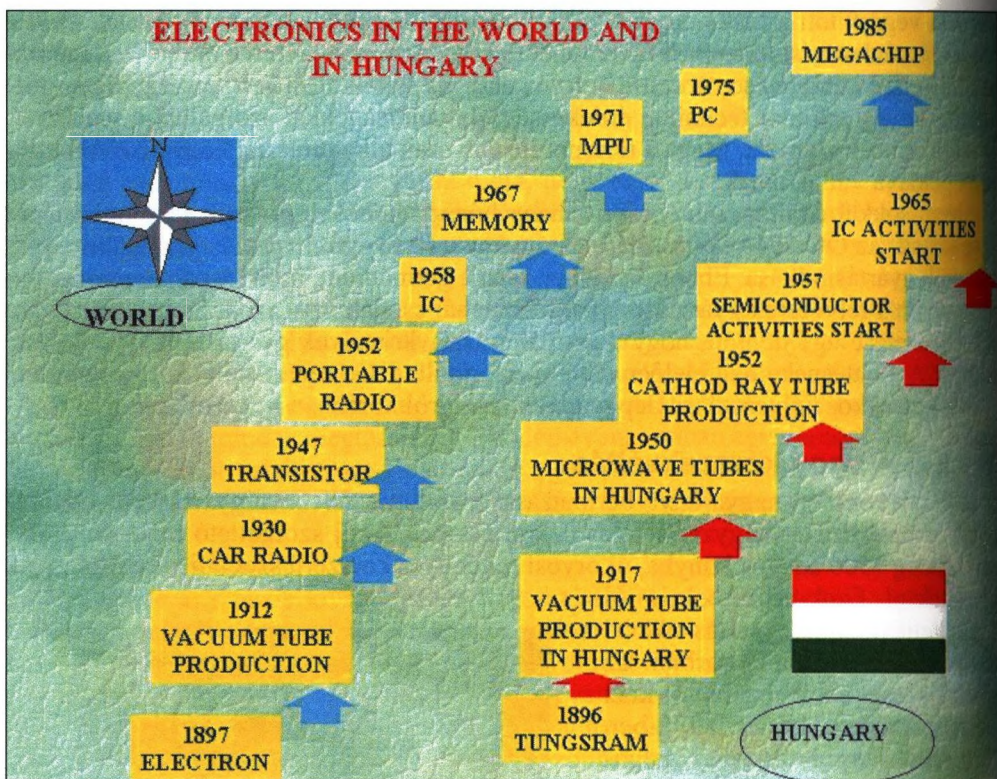
1968-ban nagyarányú beruházás kezdődött a félvezetőgyártásban. Háromszintes, közel tízezer négyzetméteres üzemi csarnok és új szolgáltató rendszer épült, egyidejűleg 1500 adagos konyha, új orvosi rendelő és korszerű szociális létesítmények készültek el. Ezek az adatok is jól érzékeltetik a tömeggyártás akkori méreteit, nem utolsó sorban az ezidőtájt csaknem uralkodó kézi szerelési technológiát. 1971-ben 1330 fiatal lány és asszony dolgozott a félvezető gyártásban, kiválasztásukról, alkalmasságukról külön Pszichológiai Laboratórium döntött. Elgondolkodtató, hogy ekkoriban a félvezető gyártáshoz szükséges anyagok 80%-át helyben állították elő.



14.2.2.3. A népgazdaság elektronizálása

A hazai félvezető gyártás történetében kiemelkedő jelentőségű volt az 1977-es év, amikor az amerikai FAIRCHILD cég fejlett technológiáját és berendezéseit megvásárolva megindult a termelés az integrált áramkör szerelő- és mérő üzemenkben. A Fairchild cég ebben az időben a Silicon Valley központjában működő világcég volt, így az általa eladott technológia és azok a gyártóberendezések, amelyeket a





Fairchild koordinálásával vásároltunk meg, megfeleltek a világ fejlett részének technikai színvonalának. Sőt, az akkori COCOM lista szabad értelmezésével olyan mérőberendezésekhez is jutottunk, amelyek a világ élvonalába tartoztak. És most ezen a ponton tekintünk a mellékelt ábrára, amely vázlatos összehasonlítást próbál nyújtani a világ és hazánk fejlődésére az elektronika területén. Talán nem olyan nagy merészség megállapítani azt, hogy az 1960-as évekig az elektronikai kutatások és részben a tömeggyártás is 5–7 éves késéssel követte a világ élvonalát. Integrált áramkört ugyan az USA-ban már 1958-ban gyártottak, de az IC projekt Magyarországon is elindult 1965 táján. Az igaz, hogy egy korszerű tömeggyártás csak húsz évvel későbbben valósult meg, de az akkori időben ez mégiscsak csúcsteljesítmény volt. Ezt azért írom, mert ezekben az években ébredt rá a politika, hogy az olajkrízis mégiscsak begyűrűzött hozzánk is, és hogy a felhalmozás és fogyasztás együttes értéke évek óta 6–7%-al nagyobb, mint a megtermelt nemzeti jövedelem. Súlyos egyensúlyhiány alakult tehát ki, mely abban is megmutatkozott, hogy a hazai export az import szükségletnek legfeljebb 88%-ára nyújtott fedezetet. Jellemző adat, hogy 1977-ben a vállalatok pénzügyi eredményeinek körülbelül 60 százaléka a költségvetésből realizálódott. Ilyen körülmények között nagyon is merész tett volt egy olyan beruházást elindítani, amelynek jelentős import vonzata lesz. Mert az IC gyártás már nem olyan volt, mint az ötvözött tranzisztorok egykori technológiája. Ez már kizárólag szerelés volt, a chip, a szerelőszalag, az aranyhuzal, a tokozó gyanta mind-mind nyugati import anyag volt.

Mégis az IC gyártás telepítésének volt legalább két olyan hatása, amely túlmutatott a tranzakció közvetlen hasznán.

Az egyik, hogy ez a technológiai transzfer – hála a Tungstam akkori műszaki vezetőinek és a döntést hozó menedzsment bölcsességének – körültekintően lett megszervezve. Több, mint egy tucat kiváló szakember jutott ki Mountainviewbe, a Fairchild akkori központjába, ahol 2–6 hónapig tanulták be a technológiákat és a gyártás irányítását. Hihetetlenül bátor tett volt ez abban az időben! De nem maradt el a haszna, mert ezek az emberek új szemléletet és új módszereket hoztak ebbe az országba. És nemcsak alkalmazták ezeket a módszereket, hanem a szemléletet terjesztették is.



Ezekben az években a gyöngyösieknek, a vidéki fiúknak és lányoknak volt mondanivalójuk a hazai értelmiség számára és volt értéke és súlya a mondanivalójuknak. A MTESZ és elsősorban a Híradástechnikai Tudományos Egyesület jóvoltából és aktív közreműködésével különös élénk pezsgés indult meg Gyöngyösön a műszaki értelmiség jóvoltából. A Gépipari Tudományos Egyesülettel közösen számtalan tartalmas klubestet tartottunk, minden évben megrendeztük a Heves megyei Műszaki Napokat, helyt adtunk az Alkatrész Szemináriumoknak, új rendezvénysorozatot indítottunk Termelékenység-növelő módszerek címmel, mely éveken át siker volt, több nemzetközi rendezvény szervezésében is részt vettünk.

De volt még egy nem elhanyagolható hozadéka is az IC gyártás telepítésének. Ennek megértéséhez néhány talán illetlen mondatot le kell most írnom. A Tungstam Félvezető- és Gépgyára a belső életét illetően ugyanis furcsa képződmény volt. A Gépgyár (mint önálló gyáregység) hordozta a az öskultúrát és a telepések önértékét. Ők büszkéek voltak szobányi méretű üvegyártó gépeikre és vasfaragó (szebben fémmegmunkáló) tudományukra. A Félvezető Gyáregység volt a serdülő, így hát tapasztalatoknak híján lévő kistestvér, aki ugyancsak rátarti göggel hirdette parányi kis vacak alkatrészeinek, no meg magának a felsőbbrendűségét. Ezt még tetézte, hogy a gyöngyösi gyár igazgatója meg főmérnöke mindig is gépészmérnök volt. És ez az – akkori szóhasználattal élve – antagonisztikus ellentét nem akart szűnni. De talán éppen az IC gyár telepítése kapcsán importált új szellemiség ezen is változtatott. Kiderült, hogy az addig zömmel mechanikus vagy pneumatikus vezérléssel készült üvegyártó és csomagoló gépek már nem adhatók el vagy funkcióik korlátozottak. Elektronikus vezérlés kellett tehát és kiderült, hogy a hagyományos gépgyártás és az elektronikai ágazat egymásra van utalva. Így szerencsére létrejött egy együttműködés, majd egy igazi szimbiózis, amikor a Gépgyár elkezdte a félvezető gyártó berendezések fejlesztését, majd gyártását. Ez új és izgalmas szakasza volt a mátraalji kis gyár életének és egyben az ott dolgozó szakemberek későbbi pályafutását is meghatározta.

14.2.3. A hét szűk esztendő

A Minisztertanács 3424/1981. számú határozata értelmében a hazai mikroelektronikai program keretében a gyöngyösi gyár 1983. január 1-től a Mikroelektronikai Vállalathoz csatolva folytatja tevékenységét. A MEV új termékei az egyenirányító diódák,



a nagyteljesítményű SOT-32, TO-220, TI-3 planár tranzisztorok, a nagyfrekvenciás X és T plastic tokozású szilícium tranzisztorok, és megkezdődött az előkészület a CMOS IC technológia, valamint a kerámia tokozás bevezetésére. Ekkor a gyár létszáma már 3000 fő volt, így Gyöngyös és környéke meghatározó vállalatává vált.

„A hét szűk esztendő” – talán kissé igazságtalan ez a cím, hiszen a MEV korszak alatt érte el csúcspontját a hazai aktív elektronikai alkatrészgyártás, melynek illusztrálása elég talán az az egyetlen szám, mely szerint 1987-ben a Félvezető Gyáregység árbevétele meghaladta az 1.2 milliárd Ft-ot. Ekkoriban hirdettük azt (és talán még hittünk is benne), hogy Magyarország és az USA felfutási meredeksége az IC gyártásban azonos, hogy az integrált áramkörök gyártás növekedése 14%-os, míg a diszkrét félvezetők 7%-os évi ütemmel tervezhető. Ekkor áltattuk magunkat azzal (prognózisnak neveztük), hogy a hazai piacon 15 millió IC és 55 millió hazai gyártású diszkrét félvezető eladható.

Igaz, a Mikroelektronikai Kormányprogram kihirdetésének évében a magyar elektronikai ipar termelése 40 milliárd Ft. Volt (talán ez megfelelt 2 millió USD-nek) és 100 ezer embernek adott akkor biztos megélhetést. És feltettük magunknak a kérdést, hogy elektronikai ipar nélkül lehet-e élni, és válaszoltuk azonnal szellemesen, hogy lehet, de nem érdemes! És meg is indokoltuk:

- elektronikai ipar van,
- ez nekünk magyaroknak testhezálló (energiaszegény ország),
- és végül is ez a fejlődés útja, ez igazi csúcstechnológia.

Igazán nem szeretnék cinikus lenni, igazságtalan meg végképpen nem. Az, hogy másként történt a valóságban, ahogyan mi hittük vagy vágytuk, még nem jelenti azt, hogy rosszul spekuláltunk.

Mégis a történetek ismeretében ma már bizton állíthatjuk, hogy ebben az időszakban kezdődött el a hazai félvezető ipar hanyatlása. És bár a nyolcvanas években az integrált áramkörök szerelésében a kritikus műveleteket sikerült automatizálni és kialakítani egy abban az időben élenjáró minőségbiztosítási rendszert, a lemaradás a világ félvezető gyártásával szemben fokozódott.

Mi vezetett hát a Mikroelektronikai Vállalatnak, ennek a nagyszabású kiemelt népgazdasági programnak a jegyében született, reményteljes nagy vállalkozásnak a csődjéhez? Nem könnyű e kérdésre választ adni, és talán nem is a krónikás dolga. Annyit azonban fájó szívvel kell ma már tudomásul kell venni, hogy nemcsak egy nagy álom vált szomorú valósággá, nemcsak egy eredetileg jó elképzelés mondott csődöt, de a csőd nyomán valóságos egzisztenciák és emberi álmok váltak semmivé és családok ezrei maradtak munka nélkül.

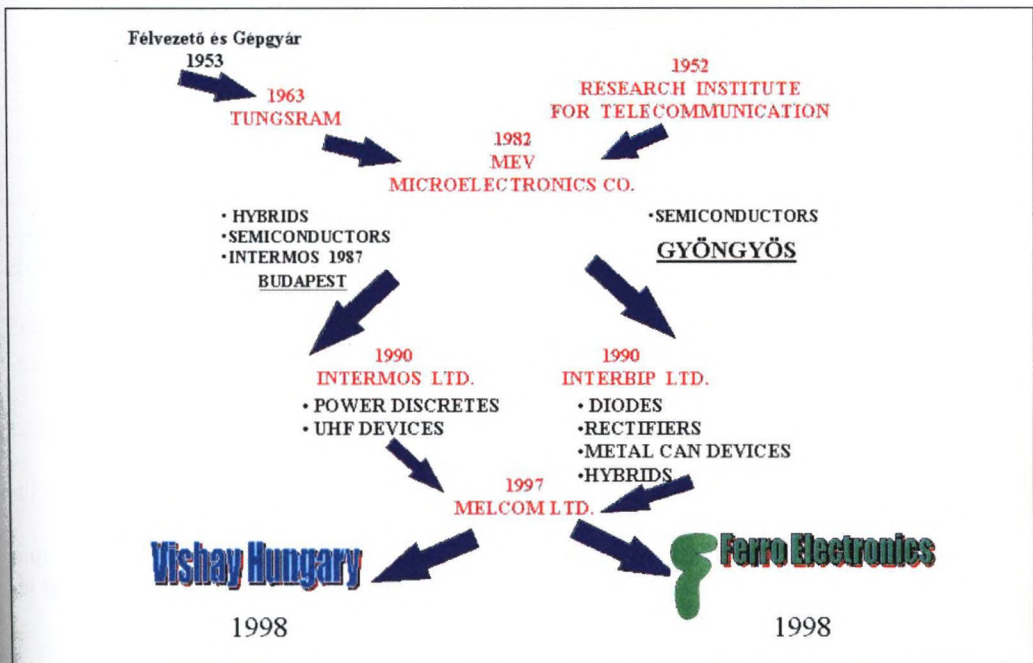
És bizony nem volt könnyű a romokon újraépíteni a szinte teljesen elveszett piacokat, újraéleszteni az emberek megtorpant bizalmát és hitét.

De ez már egy új történet...

14.3. Tervek és remények

Amiről most szólunk, valójában már nem is történelem, sokkal inkább a közelmúlt történéseinek rövid összefoglalása. A közelmúltról és a könyv szerkesztésének pillanatában élő jelenről szól tehát ez a fejezet.

Tekintsük most át a mellékelt ábra segítségével a – jobb híján így nevezem – a gyöngyösi gyár névváltozásainak történetét.



Tehát:

- 1953 Félvezető- és Gépgyár
- 1963 Egyesült Izzó Félvezető és Gépgyára
- 1983 Mikroelektronikai Vállalat
- **1990 INTERBIP Mikroelektronikai Vállalat**
- **1997 Melcom Mikroelektronikai Alkatrészgyártó Részvénytársaság**
- **1998 Vishay Hungary Kft**

Amikor 1991 elején megjelent a felszámoló biztos ebben a gyönyörű kis gyárban, majdnem mindenki biztos volt abban, hogy rövid szenvedés után kimúlik a hazai mikroelektronikai tömeggyártás és egy rozsdás lánc meg egy hatalmas lakat emlékeztet csak a hős- meg őskorra, a nagy korszakváltásra, a népgazdaság elektronizálására, meg a hét szűk esztendőre.

Volt azonban ebben az országban néhány (egy kezemen meg tudnám számolni) igaz ember, aki hitt a kultúrák megmaradásában és önmagában. Volt egy pár ember, aki fantáziát meg üzletet látott ebben a gyöngyösi gyárban. Közülük egyet név szerint is meg kell említenem, mert az ő hite, eltökéltsége és végtelen energiája nélkül – ebben biztos vagyok – nem lett volna folytatás és e könyv jelen fejezete most üresen állna. Köszönöm hát ezen a helyen Köveskúti Lajosnak mindazt, amit értünk és a magyar elektronikai iparért tett.

Az **Interbip** először igazodva a piaci helyzethez a létszámot 250 főben határozta meg.

A Szerelőház örökölt lehetőségeit, kapacitásait röviden így lehet jellemezni:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| - DO 35 diódák: | 2 milliárd/év (kiépíthető kapacitás) |
| - MELF diódák: | 2 milliárd/ év (kiépíthető kapacitás) |
| - TO 18/39 fémházas tranzisztorok: | 50 millió/év |
| - SOT 32/TO 202 tranzisztorok: | 5–5 millió/év |
| - DIL 8, 14, 16, 22, 24, 40 pin és BW IC: | 20 millió/év |

És mindehhez a túlméretezett és pillanatnyi állapotában valójában elvi kapacitáshoz a teljesen megszűnt vagy éppen felszámolás alatt álló hazai elektronikai ipar szolgáltatva (volna) a felvevő piacot!? A helyzet reménytelennek tűnt.

Világos volt, hogy csak nagy, multinacionális cégek számára lehet értékes ez a kapacitás és a szakképzett, begyakorlott munkáskéz. Nemsokára aláírtuk hát a szerződéseket a TEMIC Microelectronics Ltd. majd Motorola Semiconductors Co. Cégekkel és elkezdődött a gyöngyösi gyár új fejlődési szakasza.

A rendelkezésre álló 18 000 négyzetméteres területen belül 400 négyzetméter 100 000-es osztályfokozatú tiszta tér épült és mintegy 4500 négyzetméter klimatizált tér került felújításra.

1996-ban sikeresen auditáltuk az ISO 9002 szabvány szerint kiépített minőségbiztosítási rendszert.

A kihívás ugyanis talán a legnagyobb a minőség tekintetében volt. A mellékelt ábra érzékelteti azt a fejlődési utat, amelyet be kellett járnunk.

1991-ben még minden millió diódában 300 kritikus hiba fordult elő. Ez a szint már akkor is elfogadhatatlan volt. Ma a kimenő selejtszint 5 ppm alatt van. Aki tudja mit jelent ez, csak az értékeli igazán a megtett út nagyságát.

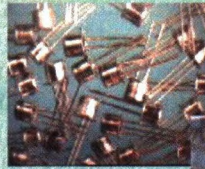
A gyár létszáma az Interbip korszak alatt kb. 650 főre emelkedett.

Products of Assembly House



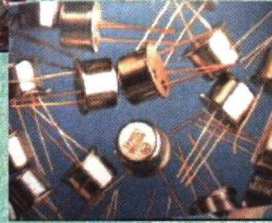
1 cm.

DO 35 diodes



1 cm.

TO 18 és 39 transistors



1 cm.



1 cm.

Sinterglas diodes



1 cm.

SMD diodes



1 cm.

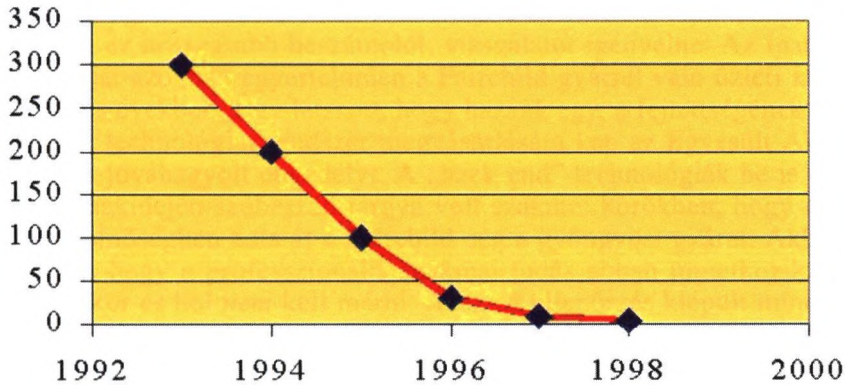
TO 202 transistors

Melcom/mg

47

Diode reject decrease

DO 35 AOQ ppm



Melcom/mg

25

A **Melcom** rövid szakaszában részvénytársasággá alakult a gyöngyösi Mikroelektronikai Szerelőház, a budapesti Elektronikai Gyár és a Hibrid Eszközök Gyára. Létrejött az Rt. budapesti központja és stabilizálódott a termelés. Előtérbe került egy erőteljes eredmény centrikus szemlélet és megindult a stratégiai tervezés.

Mindez előkészítette a Részvénytársaságot a privatizációra.

1998-ban aztán a gyöngyösi Szerelőház és a budapesti Félvezető Gyár az amerikai központú Vishay Co., míg a Hibrid Gyár a holland Ferrotechnic tulajdonába került.

Hat név, hat korszak. Cserélődtek a névtáblák, jöttek, majd mentek a vezetők, esetenként változtak a tulajdonosok. Új emberek, új elképzelések, új stratégiák. Új üzleti kapcsolatok és összeomló piacok. Megannyi válsághelyzet. De a gyöngyösi mikroelektronikai alkatrészgyártás nem halt meg. A Vishay csoport gyöngyösi gyárában ma is dióák milliárdjai és tranzisztorok milliói készülnek. És ez reményt adhat mindannyiunknak arra, hogy az értelmes emberi gondolkodás és nyomában a tudatos cselekvés érték marad.

15. Nyugati kapcsolatok

*Dr. Gyulai József
az MTA rendes tagja
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet
gyulai@mfa.kfki.hu*

A mikroelektronika, mint a csúcstechnológiák „csúcsa” speciális helyzetet foglalt el a magyar, illetve általában a Kelet-Európai fejlesztésekben. Közismert volt a Szovjetunióknak az e téren kialakult különlegesen nagy elmaradottsága. A nyugati országok embargós megkötöttségei leginkább ezen a területen érvényesültek, és érthetően, ezen elmaradottságot igyekeztek konzerválni.

A hazai ipari és kutatói állomány érdeklődése azonban nagyon élénk volt a témakör iránt – annak szakmai érdekessége következtében. A magyar ipar (ez esetben az Egyesült Izzó) mindig is azt a célt tűzte ki, hogy követő jelleggel (second sourcing) olyan termékekkel álljon a világpiacra, amelyek nyugat felé is értékesíthetők lennének. Ennek megfelelően kihasználta mindazokat a kapcsolatokat, amelyek pl. az Egyesült Iz-zónának stratégiai megfontolásokból folyamatosan fenntartott részvénytársaság jellegéből is következtek.

Alapvetően a műszaki értelmiség életösztöne próbált egyensúlyozni a korlátok és a lehetőségek között. Ezzel, noha egyes ipari kutatóintézetek – eufemisztikusan szólva – „reverse engineering” munkával kiszolgálták a mikroelektronikai termékekért valóban jól fizető keleti piacot, ill. a viszonylag szabad akadémiai, egyetemi szférával közösen és az elvárásokat valójában kijátszva, hozzájárultak ahhoz, hogy hazánk nem szakadt le teljesen a fejlődésről és nem vált harmadik világbeli országgá. Ezzel a stratégiával lé-pést tartottunk pl. az NDK-val, ahol mindez, a saját polgárai előtt tagadottan, jelentős látens NSZK segítséggel folyt és biztosított kiemelt állapotot.

Az ipar nyugati kapcsolatainak részletezése ezen rövid tanulmányban nehezen kaphat helyet, az hosszabb beszámolót, vizsgálatot igényelne. Az ipari kapcsolatok csúcspontját azonban egyértelműen a Fairchild gyárral való üzleti kapcsolat jelentette a 70-es években. Úgy látszott, hogy hazánk egy, a fejlettségének is megfelelő szintű ipari technológiai rendszer megvásárlására kap az Egyesült Államok kormányától is jóváhagyott engedélyt. A „back end” technológiák be is érkeztek az országba. Annakidején szóbeszéd tárgya volt szakmai körökben, hogy milyen professzionális minőségben adta át a Fairchild cég a gyöngyösi gyárat. Akkoriban úgy fogalmaztunk, hogy a professzionális szakmai tudás abban mutatkozik meg, hogy tudja, mit, mikor és hol *nem* kell mérni. Azaz az ellenőrzés kiépült mindenütt, ahol az szükséges volt, de feleslegesen még egy oszcilloszkópot sem szállítottak. Sajnos, az afganisztáni beavatkozás lehetetlenné tette a front end technológiák megvételét. Ez egyértelműen tragikus volt a hazai szakmára, noha a hazai mikroelektronika történetének legfényesebb lapjait ettől függetlenül írták meg az 1975 és 1980 között működött Kutatási-Fejlesztési Társulás munkássága idején, amely társulás – OMFB se-

gítséggel – vállalta, hogy az Intel 8080 mikroprocesszorának laborszintű reprodukálását megvalósítja. E feladatra a HIKI (szelettechnológia és layout fejlesztés-tervezés), a TÁKI+BME (logikai és áramkörüi szimuláció), KFKI (implantáció, layout fejlesztés) és Egyesült Izzó (maszktechnológia+fogadókézség) együttesen vállalkozott, és – a magyar tudománytörténetben unikális módon – mindenki le tudta győzni a csoportérdeket anélkül, hogy a versenyszellem hajtóerejét kiirtották volna. A processzor pár hónap késéssel el is készült.

A kutatói-oktatói szféra kapcsolatai más jellegűek voltak. Történeti okok miatt is a Budapesti Műszaki Egyetem (ma) Elektronikus Eszközök Tanszéke – korábban *Dr. Valkó Iván Péter*, később *Dr. H. C. Tarnay Kálmán* kapcsolataiból eredeztetetten – rendelkezett széleskörű európai kapcsolatokkal. Emellett a Központi Fizikai Kutató Intézetben 1970-ben életre hívott Ionimplantációs célprogram amerikai kapcsolatai váltak meghatározóvá és közismertté. A Híradástechnikai Intézet nem rendelkezhetett baráti nyugati kapcsolatokkal – politikai döntésekből eredően, amelynek végső indoka nem világos – hiszen pl. az Egyesült Izzó nem zárkozott be.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézet (MFKI) kapcsolatai inkább a volt szocialista országokkal voltak markánsak, de azért fokozatosan egyre több és jelentős kapcsolataik alakultak ki a félvezető témában több nyugati centrummal. E tanulmányban másik fejezetben ismertethetjük az MFKI-nak ma is legsikeresebb témáinak, pl. a vékonyréteg kutatásoknak nyugati elismertségét. Itt a mikroelektronikával kapcsolatos kérdések összefoglalására kerül sor. Az MFKI kapcsolatai közül kiemelkedik a Lundi Egyetemmel (Svédország) való kapcsolat, ahol Weisglass, valamint Grimmeiss professzorok jelentették a szoros együttműködési pontot. Ezek a kapcsolatok egyértelműen az MFKI mérés-technikai eredményeinek elismeréseként keletkeztek, itt első sorban a mélynívó-spektroszkópiában elért újdonságokra gondolunk. A kapcsolatból alakult ki pl. az a Nyári Iskola sorozat, amely mindmáig él és olyan személyiségek fémjelzik, mint *Grimmeiss professzor* (Lund), *Dr. Pantelides* (IBM), *A. Nilce* (Thomson CSF), *A. Stradling* (London College). Ezen a helyen kell a hazai közönségnek a meghatározó, újító szerepet játszó néhai *Dr. Ferenczi Györgyre* emlékeznie. Ez a lund-i kapcsolat jelentette gyökerét mindannak az együttműködésnek is, amelyet az MFKI-ból később kivált Semilab Rt. jelenlegi kapcsolatrendszere testesít meg. Fontos, és a munkát jelentősen befolyásoló kapcsolatot épített ki az MFKI az Aachen-i egyetemen H.L. Hartnagel professzorral. A 80-as években jelentőssé vált az intézetnek a Leeds-i egyetemmel létesített kapcsolata, ahova szintén a III-V-típusú félvezetőkön végzett kísérleteikkel kapcsolódtak. Az ott folyó kísérletek kiegészítették azt a hazai munkát, amelyet az *in situ* tömegspektroszkópiával végeztek *Dr. Mojzes Imre* vezetésével a III-V vegyületekben a párolgó komponens okozta sztöchiometriai változások meghatározására.

Az optoelektronika területén a világító diódák és lézerek egyedi technológiával való előállításuk volt kiemelkedő, amelyet a néhai *Lendvay Ödön* indított el, majd az ő halála után *Beleznay Ferenc* vitt tovább. Az eredmények – *Serényi Miklós* vezetésével – beépültek a mai Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézetbe (l. később).

Bár nem közvetlen tárgyunk a volt szocialista országokkal kiépült kapcsolatok teljes összefoglalása, de az MFKI rendkívül fontos, a fejlődésében meghatározó jelentőségű kapcsolatot épített ki a korábbi NDK berlini Werk für Fernsehelektronik cégével, ahol a világító dióda program kivitelezésében működtek szorosan együtt. Hasonló jel-

legű volt a kutatási kapcsolata volt a drezdai Műszaki Egyetemmel. A Szovjetunióban a molekulásugaras epitaxia felé irányuló taktikának a novoszibirszki Félvezető Intézet volt a tárgya. Ott ugyanis a III-V félvezetők kutatása magas színvonalon folyt. Hasonló okokból, az optoelektronikai témában szorosán együttműködtek az akkori leningrádi Joffe Intézet kutatóival, akik a félvezető lézerkutatás frontvonalában álltak. Jelentős együttműködésük volt az Ukrán Tudományos Akadémia kievi Félvezető Intézetével, ahol elsősorban a mikrohullámú témában volt kapcsolatuk.

A lengyel kapcsolatok közül kiemelkedik az Unitra cég elektrotechnikai intézetével kialakított együttműködés, amely szintén a világító diódák témakörében jött létre. Különböző intenzitású kapcsolataik voltak Prágában a Rádiófizikai-Rádióelektronikai Intézettel, a Szlovák Tudományos Akadémia Pozsonyi Fizika Intézetével, valamint a Bulgár Tudományos Akadémia Fizikai, valamint Elektronikai Intézetével. Jelentős a Bukaresti Fizikai Intézettel fenntartott kapcsolatuk is.

1969 előtt a Központi Fizikai Kutató Intézetben nem volt félvezető-kutatás. Ez a helyzet az ionimplantáció félvezetős alkalmazásainak beindításakor változott meg Gyulai Józsefnek a KFKI-ba való átkerülése kapcsán. Ő az amerikai tanulmányútja során került kapcsolatba az ionos technológiákkal, ill. az ionimplantációval. A KFKI vezetése jelentős belső finanszírozása hozta létre a téma magyarországi bázisát és támogatta azokat az 1973-ban kodifikált kapcsolatokat is, amelyek a National Science Foundation és a Kulturális Kapcsolatok Intézete közötti egyezmény alapján jöttek létre. Ebben az együttműködésben amerikai részről a California Institute of Technology Elektromérnöki Karán, a *Prof. J. W. Mayer* vezette kutatócsoport, magyar részről pedig a KFKI Ionimplantációs Célprogramja szerepelt *Gyulai József* vezetésével.

A kutatások – természetesen – kizárólag akadémiai típusú kutatások voltak, de a témakör iparközelsége következtében néhány közös eredmény fontossá vált az iparban is. Elsősorban a mindmáig világszerte használt, ún. kettős implantáció (pre-amorphization) technológiájára gondolunk. (Ennek lényege, hogy a szilícium kristályszerkezete folytán fellépő, ún. csatornahatás nem kívánatos. A kidolgozott eljárásban, egy ún. szilícium önimplantációval amorfizálják a felszíni réteget és utólag ebbe az amorf rétegbe lövik az adalékanyagot – amikor is nem lép fel csatornahatás. Egy alacsony hőfokú epitaxiás növesztéssel visszakristályosítják az anyagot. Ezt az eljárást mind a mai napig általánosan alkalmazzák).

A CalTech-KFKI kapcsolat során fiatal KFKI-s munkatársak hosszabb időt tölthettek az Egyesült Államokban és, megfordítva, amerikai kutatók rendszeresen töltöttek hosszabb-rövidebb időt a KFKI-ban. A kettős implantációs technika kidolgozásában *Dr. Csepregi László* (ma: Fraunhofer Institut für Halbleitertechnologie, München) munkája volt meghatározó, aki 1974-ben mint fiatal cserekutató utazhatott a CalTech-be.

A két csoport – amerikai és magyar – szakmai eredményessége olyannyira jelentős volt, hogy a szakmai kapcsolataik a mindent befagyasztó afganisztáni beavatkozás után is fennmaradhattak, természetesen nem állami egyezmények szintjén. A jó kooperációra jellemző, hogy a munkatársak amerikai utazásai elé még a „nehéz” években sem gördült akadály. A szakmai kapcsolatok később áttevődtek az Ithaca-i Cornell Egyetemre, ahová Mayer professzor átköltözött. Jelenleg is tartózkodik ott egy volt munkatársunk (*Dr. Révész Péter*).

A korábban erősen USA-centrikus kapcsolatok – a csoport ismertségének növekedésével párhuzamosan – egyéb országokkal is kiépültek. Jelentőségben talán az erlan-

geni Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen-nel (Erlangen) létrejött kapcsolat volt a legmeghatározóbb. E kapcsolat elsősorban az ionimplantációs technika anyagtudományos megközelítésével foglalkozott, foglalkozik az Európai Közösség támogatásával. A szépen kibontakozó ellipszometriai kutatásokban (*Lohner Tivadar és Friedl Miklós*) az Enschede-i Twente Egyetemen alakult ki gyümölcsöző együttműködés. A japán kapcsolatok kiépülését az Osaka-i Egyetem meghívásai jelentik, ahol az integrált áramkörök mikroanalitikájával foglalkozott dr. Lohner Tivadar. 1985 óta megizmosodtak és rendkívül eredményessé váltak a nukleáris analitikával kapcsolatos munkák, amelyet a Paris VI Egyetem Groupe de Physique des Solides csoportjával folytatnak – előbb Gyulai J. vendégprofesszorként, később *Pásztai Ferenc, Szilágyi Edit és Battistig Gábor* vett részt a munkában. A KFKI átszervezésekor, 1992-ben alakult meg a KFKI Anyagtudományi Kutató Intézet, amely „megörökölte” azokat a kapcsolatokat is, amelyeket *Bársony István* épített ki Japánban a Sendai-i Egyetemen, valamint – főleg a gyors hőkezelés témában – a már említett Twente Egyetemen. *Biró László Péter* révén az Amsterdami FOM Intézettel is több közös munka született.

A KFKI-sok, valamint a MEV felbomlása után volt MEV-esek értékesítették ismereteiket különböző külföldi kutató-, fejlesztő-helyeken. Többen (pl. a volt KFKI-s, jelenleg a Széchenyi István Műszaki Főiskola főigazgatója, *Keresztes Péter*) dolgoztak Finnországban, illetőleg sok kiváló technológusunk (pl. *Gyimesi Jenő*) dolgozott pl. Szingapúrban az ottani Thomson gyárban. Ez a tudás – pl. Gyimesi Jenő révén ma a Dunasolar Rt. eredményességét emeli.

A KFKI Buborékmemória Programja kezdetben sikeres szakmai kapcsolatai a szintén CalTech-es F. Humphrey professzorral később rendkívül szerencsétlenül alakultak és egy, a technológia transzferre utaló Newsweek cikkben kulmináltak.

A Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékének szakmai kapcsolatai már azokban az időkben is erős nyugati orientálást mutattak, amikor ez egyáltalán nem számíthatott pozitív megítélésre Magyarországon. Valkó professzor kapcsolatai Beneking professzorral az Aachen-i egyetemen olyan meghitt volt, hogy már 1969-ben sikerült egyetemi hallgatók csoportos látogatását Aachenbe megszervezniük. A kapcsolataik fokozatosan a skandináv országok felé tolódtak el, elsősorban Tarnay Kálmán professzor személyes sikerei következtében. A kapcsolatok az uppsalai Egyetemen, Tuve professzorral voltak a legmarkánsabbak. A hazai áramköri szimulációs tevékenység sokat köszönhet ezeknek a kapcsolatoknak, amelyek díszdoktori címet is eredményeztek Tarnay professzornak. Jelenleg Masszi Ferenc dolgozik tartósan ott és jelenti a direkt kapcsolatot.

Fontos együttműködést épített ki a tanszék az Institut National Polytechnique de Grenoble-lal, ahol *B. Courtois* professzor jelenti a fő kapcsolatot. *Courtois* professzor azóta a BME díszdoktora. Az utóbbi évek Tempus aktivitása a darmstadti egyetemen (*Glasner* professzor), illetőleg Koppenhágából *Ole Olesen* professzorral való kapcsolat kialakulásához vezetett. Rendszeres hallgatócserét bonyolít le a tanszék a Cincinnati-i egyetemen, ahol *Carter* és *Demouri* professzorok jelenti a kapcsolatot, valamint a New Hampshire-i egyetemen *Ruzinsky* professzor támogatja a BME kapcsolatokat.

A Tanszék – *Székely Vladimír* vezetésével – az integrált áramkörök termikus viselkedése tanulmányozásának egyik nemzetközi központjává vált.

A magyar kisvállalkozások közül néhánynak a tevékenysége egyértelműen mikroelektronikai vagy szorosan kapcsolódik a mikroelektronikához. A két legsikeresebb vállalat a Semilab Rt. és a MikroVákuum Kft. A Semilab kezdeti időben szoros kap-

csolatban volt mind szakmailag, mind pénzügyileg a németországi GeMeTec céggel, amelynek mérés-technikai szolgáltatás volt a fő profilja és emiatt igyekezett a Semilab sikeres termékeit, elsősorban a töltéshordozók élettartamának mérésére szolgáló élettartammérőt üzletileg is magához kapcsolni. A GeMeTec-kel való kapcsolat néhány esztendeje megszakadt. Az élettartammérő kifejlesztéséhez nagyban segített az az együttműködés, amely a Semilab és a Linz-i egyetem egyik munkatársa, *dr. W. Jantsch* között alakult ki. Az utóbbi időkből két együttműködés megemlítése szükséges. Az egyik egy EU-366. számú, 1989. decemberében indult EUREKA projekt, amely a Torino-i, Lisszabon-i egyetemen és két spanyol kutatóközponttal indult a megújuló energiaforrások, nevezetesen az amorf szilícium fotóelemek fejlesztése tárgyában. Ezekben a napokban indul, a KFKI implantációs kutatóival és az Erlangen-i Fraunhofer Intézet kutatóival közösen, az Európai Közösség által finanszírozott projekt, amely a teljesítménytranzisztorok előállításában alkalmaz egy új technológiát (élettartam, azaz kapcsolási idő egyedi (szeleten) beállítása MeV-es energiájú könnyű ionokkal, CaLif program).

A MikroVákuum Kft együttműködései közül a legjelentősebb tradicionálisan a Providence-i Brown egyetemen jött létre és e kapcsolat sokat segített a cég CVD reaktorainak kifejlesztésében. Részt vettek egy Memox nevű céggel, valamint a KFKI Anyagtudományi Kutató Intézettel közösen egy optoelektronikai elven működő bioszenzor kifejlesztésében. A München-i egyetemen sugárbiológiai és nukleáris detektorok fejlesztésében, a München-i Fraunhofer Intézettel pedig a vékonyrétegek mikromegmunkálásában (Micromachining) működnek együtt. MOS-élettartam mérésekben a Grenoble-i École Polytechnique Intézettel, a nagytisztaságú gázrendszerek kifejlesztésében és építésében a Parker U.S. céggel, ill. gázrendszerekben a AGA Gas Co. svédországi vállalata.

A cégek kapcsolatai, ha az üzleti, piaci kapcsolatokra gondolunk, sokkalta szélesebbek. Az itt felsorolt kapcsolatok a tudományos-fejlesztési területet igyekeztek lefedni.

A kutatás-fejlesztés nemzetközi kapcsolatai – amint az érzékelhető is – rendkívül jelentősek voltak abban az értelemben, hogy a magyar kutatók e a témában is, amely egy ország technikai színvonalának elsőrendű indikátora, nemzetközi elismerésre méltó eredményességet mutathattak fel. Azokban a résztechnológiákban, ahol a magyar jelenlét szívesen fogadták külföldi partnerek, mély és adott esetben használható tudást szerezhetek szakembereink – és tehetségükkel jócskán megszolgálták a kapott ismereteket, hiszen a magas szintű eredményeket egyébként is csak a fejlett nyugati ipar tudta értékelni.

Zárszó

A könyv első változatát maga a fejezet írója is érdeklődéssel olvasta – a néhány évvel korábbi önmaga okozta meglepetésekkel együtt.

Jelenleg jelentős változások rajzolták át a nemzetközi kapcsolatokat. Megerősödtek az EU országaival való kapcsolatok. A BME két tanszéke sok TEMPUS, EU Keret-program kutatásokba kapcsolódott be.

A hazai mikroelektronikai kutatások egyébként is átstrukturálódtak. Sok csoport az informatika felé fordult és a mikroelektronikai kutatás ma alapvetően a BME két tan-

székén, valamint egy MTA intézetben koncentrálódik: 1998. január 1-ével új szakasz kezdődött az MTA említett intézeteinél. Az intézetkonszolidáció legnagyobb akciójaként az MFKI és a KFKI ATKI – a csillebérci KFKI Campuson – egyesült Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet néven, Gyulai József vezetése alatt.

Az intézet, nemzetközi kapcsolatait tekintve, rendkívül sikeresnek mondható – ami a korábbi kapcsolatok beéréseként és a konszolidáció révén kialakult szinergizmus hatásának értékelhető. Az elmúlt évtizedben mintegy negyven EU szerződéses kutatásba kapcsolódhattak be a kutatók, amelyeknek jelentős része kapcsolatos a tanulmány témával. Kiemelendő, hogy jelenleg hét 5. Keretprogramba tartozó projekten dolgoznak, amelyből négy tekinthető tematikailag idevágónak.

Az ipar területén új színpont a napenergetikával kapcsolatos munka (Dunasolar Rt., Kraft Kft., Terrasolar Kft.) – mind termelés, mind kutatás vonalán.

16. Hibrid áramköri technológiák fejlesztése, vékony- és vastagréteg kutatások

Dr. Kolonits Pálné
Hybrid Szaktanácsadó Bt.

Előzmények

A tranzisztor feltalálása után önként adódott a többi alkatrész (ellenállások, kondenzátorok, huzalozás) méretcsökkentésének és a szerelés automatizálhatóságának gondolata. Az ötvenes évek végére már megszületett a nyomtatott huzalozási eljárás.

1960–61-ben jutottak el hozzánk az első hírek az amerikai alkatrész-integrálási törekvésekről és az ehhez kapcsolódó, akkor fantasztikusnak tűnő filozófiákról. Viszonylag korán, már 1961-ben készített a REMIX Rádiótechnikai Vállalat főmérnöke (*Ring István*) egy széleskörű kutatási fejlesztési javaslatot, ami központi támogatást kapott és nálunk *mikromodul programként* lett ismert. Ebben az akkori fejlesztő bázisok mindegyike számításba vétetett. Az erősen túlméretezett, bürokratikus, túlcentralizált és ezért erősen bírált program pozitívuma volt, hogy először tett kísérletet a hazai erők összefogására egy konkrét fejlesztési cél megvalósításához.

A program apró kerámia bélyegekre felvitt (vákuumpárolgatatott vagy porlasztott) alkatrészeket szerelt függőlegesen egymás fölé, a „bélyegek” fémezett hornyaiban futó huzalok segítségével és az oszlop alakú modul tetejére került az akkor még diszkrét (egyedi) félvezető.

Tekintettel arra, hogy a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet (HIKI) Alkatrész Laboratóriumának ekkor már sokéves kapcsolata volt a *REMIX*-szel több témában is (kristályszen-, tömör-szen-, fémréteg ellenállás, epoxi impregnálású papírkondenzátor, lakkfilmkondenzátor), továbbá az Alkatrész Laboratórium más gyártók (Mechanikai Művek, Kőbányai Porcelángyár) irányába végzett alkatrész fejlesztéseivel, úgymint elektrolit- és kerámia-kondenzátorok, potenciométerek, nyomtatott huzalozású lemezek, továbbá élettartam és megbízhatósági vizsgálatai folytán predesztinált volt erre, bevonta a HIKI-t a mikromodulok előtanulmányi, majd előkísérleti fázisába.

A kezdeti feltételek a HIKI Alkatrész Laboratóriumában ekkor még igazán szerények voltak: Kőbányán, Budapest X. kerületében, Halom utca 7. szám alatt egy hajdani kis cukorkagyáros mintegy 6 szobás családi háza szolgált a fejlesztésekhez telephelyül, míg az udvar melléképületeiben a REMIX egyes mechanikai műhelyei voltak elhelyezve. Az akkori állapotokra jellemző, hogy éppen a fenti mikromodul program során sikerült kiharcolni egy festés-mázolást. A laboratórium vezetője még a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán, annak Villamosmérnöki Szakán végzett (*dr. Katona János*). Az alkatrészek terén tájékozott volt, korábban a Telefongyárban dolgozott, és nagy lendülettel látott hozzá a frissen létesült Labor indulásakor szinte egyszerű valamennyi passzív alkatrész, valamint a megbízhatósági vizsgálatok fejlesztéséhez.

1960-ban a munkatársak létszáma mintegy 10 fő volt, vegyészek, villamosmérnökök, technikusok.

A mikromodul témában mi, a Laboratórium munkatársai is megéreztek a jövőt, de szorgalmas irodalmazást követően csak minimális darabszámú (30 körüli) körbehornyolt kerámia lap állt rendelkezésünkre, és így a rétegelőállítási kísérletek zömmel üveglemezen folytak.

A mikromodul téma mindenütt érdekes kísérlet maradt csupán, hamar átadta helyét a ma ismert integrálási technikáknak. Így alakult ez Magyarországon is: először a vékony-, majd a vastagréteg eljárások kerültek bevetésre.

A HIKI Alkatrész Labor nagy erőket koncentrált egyrészt a szilárd elektrolitos, félvezető katódú Al elektrolit kondenzátorok kutatására, másrészt új témaként felvette a REMIX javaslatára fejlesztési témái közé a gőzölt fegyverzetű poliészter fóliás kondenzátorokat. De közben kisebb intenzitással az üveghordozóra párologtatott NiCr ellenállások, valamint az Al/Al₂O₃ kondenzátorok fejlesztése is folyt. 1967–68-ra előállt az a helyzet, hogy az Alkatrész Laborból néhány nagy fejlesztés átkerült a gyárakhoz (poliészter kondenzátorok, kristályszen és fémréteg ellenállás), néhány megszűnt (elektrolit kondenzátor), a HIKI félvezetőkkal foglalkozó része révén az integrált áramköri technika különös hangsúlyt kapott, – mindezek oda hatottak, hogy az Alkatrész Labor is csaknem teljes súlyával erre a területre állt át.

16.1. Vékonyréteg hibrid integrált áramkörök

Az előzményekből következik, hogy a HIKI-nek a vékonyrétegek előállításához már volt készsége. Ez lehetővé tette üveglemez hordozókon a NiCr alapú ellenállások és a párologtatott fegyverzetű Al/Al₂O₃/Al valamint a párologtatott SiO dielektrikumú kondenzátorok létrehozását és vizsgálatát 1966–67-ben. Mindehhez 1968-ban megteremtette az *ábra készítés* Rubilyth vágáson és foto-kicsinyítésen alapuló eljárását, kidolgozta a vákuumgőzölt Cu rétegből fotolitográfiával kialakított kontakt *maszk*, ill. a berillium-bronzra „ablak-galvanizált” Ni réteg segítségével a mechanikai, un. bimetall maszk előállítási eljárásokat. Ekkor már az egyszerűbb ábrák bimetall, míg a meanderesek a kontaktmaszk eljárással készültek. 1969-ben az így készült *ellenállás hálózatok* vizsgálatra kerültek és a telített nedves térben végzett elektromos terhelések eredményei elvezettek oda, hogy minden takarékosági szempont mellőzésével az alkáli mentes üvegek használatára kellett áttérni.

A Videoton is foglalkozni kívánt a rétegtechnológiákkal és a velük kötött megállapodás szerint, de főleg saját készítésre is 1969-ben már rendelkezünk kezdeti eredményekkel elektronsugaras előállítású ill. triódás egyenáramú rendszerben (CVC-Bendix gyártmány) porlasztással készített tantál rétegekkel. A HIKI előállítású elektronsugaras gőzforrás alkalmazásakor az üveghordozó feltöltődését nem sikerült teljesen kiküszöbölni, ezért ezzel a módszerrel felhagytunk. A porlasztásnál pedig nagyon rövid, mintegy 1/2 éves kísérleti szakasz után áttértünk a nitrogén tartalmú atmoszférában történő porlasztásra, amellyel sokkal stabilabb és reprodukálhatóbb rétegek voltak előállíthatók. (A későbbiekben összetételtől függetlenül Ta-N-ként jelölve.)

Mind a NiCr, mind a Ta-N rétegekkel végül is „életre szóló” kapcsolat jött létre. Mindkettő kitűnő alapanyag: már a kísérletek kezdetét követően elfogadható tulajdonságaik voltak, de mindig volt bennük annyi kiismerhetetlenség és annyi ígélet, hogy még további 20 év – rétegfizikai kutatásokkal megtüzdelt – fejlesztő

munkát fektettünk beléjük, amíg a 0,5–1%-os ellenállás osztályból a 0,03-0,05%-osba kerültek, – pontosságukat és stabilitásukat illetően. Ez az időszak azért is nyúlt ilyen hosszúra, mert folytonosan változott a környezet is, amelyben a nagypontosságú, nagystabilitású hálózatnak létre jönnie és megmaradnia szükséges volt. Így: bonyolultabb lett a vezető hálózat, a hibridként beépített elemek és beépítési módjuk (forrasztás, ragasztás, bondolás) megváltozott, galvanikusan vastagítani kellett őket (t.i. a vezető hálózatot), ... Közben a vékonyréteg ellenállások kisebbek lettek, sűrűbb hálózatot alkottak, több menetben kellett értékbeállítani őket, hogy a kívánt pontosságot elérjék, kiderült, hogy mit ronthat egy rosszul megválasztott tokozás...

Mindezen fázisokat a következőkben megkísérlem bemutatni annak előrebocsátásával, hogy az állandó fejlesztéseket részint a felhasználói igények, részint a külföldi eredmények kényszerítették ki belőlünk. A hazai készülék- és berendezés gyártó vállalatok nem voltak olyan tőkeerősök, hogy az áramköri igényeik megvalósításának szorosán vett megmintázási költségein felül a technológia alapjait és berendezés igényét finanszírozni tudták volna. Ezért ezeket az *OMFB* ill. a *KGM (IPM)* támogatásával hoztuk létre.

A fejlesztéseket minden fázisukban vizsgálatok követték, ezek un. típus- és élettartam *vizsgálatok* voltak. Ne felejtjük el, hogy Magyarországon a televízió gyártás és vásárlás a 60-as évek elején vált számottevővé, és ezekben az években minden Alkatrész Ankét, vagy egyéb szakmai összejövetel a televízió készülékek meghibásodása és szervizelési gondjai miatt zajosan az egyes alkatrészek megbízhatóságát firtatta. Ennek megfelelően az első komolyabb vékonyréteg null-széria, a 10.000 db AH-1 áramkör egy menetben való legyártásából 1970-ben 6.000 db-ot élettartam vizsgálatoknak vetettünk alá (A 6.000 db áramkörből valahol 5.000 óra terhelés körül 4 meghibásodott darabot találtak. A hibaanalízis szerint a BC 202 típusú pnp-tranzisztorok mentek tönkre bennük.) Ez az AH-1 olyan erősítő áramkör volt, amely bimetal maszkon át gőzölt NiCr ellenállásokat, ugyancsak bimetal maszkon át gőzölt CrAu kontaktusokat, BC 122 és BC 202 tranzisztorokat tartalmazott és mártóforrasztott lemez kivezetőket (dual-in-line), majd szilikon gumi lekenés után polikarbonát tokban epoxigyanta kiöntést kapott. Ennek a konstrukciónak a kidolgozásában a *BME Elektronikai Technológia Tan-széke* is részt vett.

Szintén 1970-ben tanulmányt készítettünk arról, hogy az EMG 10010 számító-gép honosításához évi 600.000 db ellenállás hálózatot fogunk gyártani, az importkiváltás végig tisztelt jelszava jegyében. (Később sok ellenállás hálózaton gyártottunk, de első sorban a HIKI ill. a Mikroelektronikai Vállalat mérőautomata gyártása részére.)

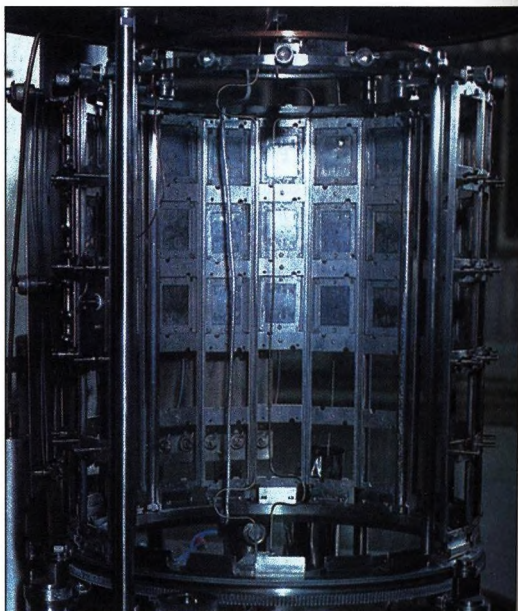
A hibrid áramkörök ill. ellenállás hálózatok *tokozási változatai* már ekkor népes családot alkottak a nyugati világban és a Halom utca sem akart erről lemaradni: az egyik helységekében epoxi kiöntés, a másokban wirbel-synter bevonat készítés folyt, míg a harmadikban egy kis berendezésen alacsonynyomású fröccsajtolással kísérleteztünk. Az un. single-in line ellenállás hálózatoknál egy egyszerű mártó bevonat készítése (szilikon gumiból vagy fenolzsírsavészter kombinált gyantából) vált be a legjobban.

De ugyanezen időben más kihívás is ért bennünket: a *félvezető CHIP*. Eltökélt szándékunk volt, hogy saját intézetünk félvezető fejlesztői segítségével megtanulunk a chipekkel bánni: vékonyréteg áramkörökbe beültetni, levédeni.

Az 1970-es évek néhány *technológiai berendezését* az alábbi ábrák mutatják be:



16.1. ábra. Tokozási megoldások a HIKI hibrid áramköreinél a 70-es 80-as évekből



16.2. ábra. Vákuumgőzölő belső tere NiCr szublimáltatásához, bimetal maszkokon át. (HIKI kb. 1971)



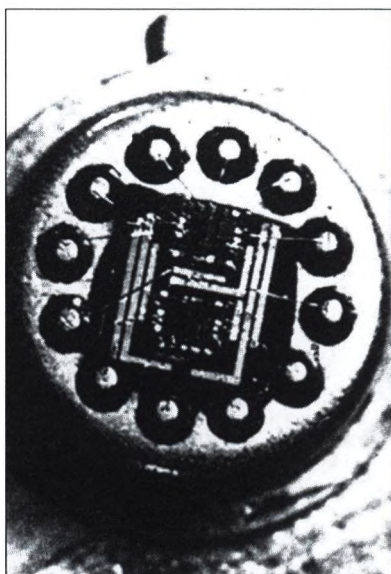
16.3. ábra. Fotolitográfia (un. Tantál sor) vékonyréteg ellenállásokhoz és kondenzátorokhoz. (HIKI 1974)



16.4. ábra. Korszerű porlasztó berendezés (zsilipkamrás, 4-targetes, nagyfrekvenciás, programozható üzemű. HIKI 1978)

1971-ben a szépeplékű 10.000 db AH-1 áramkört idézve 10.000 db tranzisztor chipet ültettünk be vékonyréteg hálózatba ill. vékonyréteg kontaktusokkal ellátott szerelőlapra mérés és vizsgálat céljából. Megtanultunk darabolni, kollektor forrasztani, bondolni. És mindezt egy REMIX szerződés keretében, Kőbányán a Halom utcai családi házban, Tungfram chippekkel és a HIKI félvezetős munkatársai által tervezett és mechanikai műhelye által kivitelezett berendezésein, sarkonként javuló kihozattal!

1972-ben már IC chippekkel és tranzisztor négyesekkel kívántunk megbirkózni, többek között a HIKI Félvezető Főosztálya által készített MOS eszközökkel is. Ekkor tanultuk meg, hogy a nagyméretű chippek kollektor forrasztását ne erőltessük, hanem alkalmazzunk vezető epoxi ragasztót, és a bondoláshoz a gőzölt arany tetejére rakjunk 1–2 μm -nyi galván aranyat. Az így készült chipes áramkörök tokozásával is több utat próbáltunk. Megbízhatónak a fém/üveg hermeti-



16.5. ábra. A KKWH (NDK) kérésére készített digitális áramkör, TO-5 tokba szerelve

kus tok bizonyult (ekkor még a fedelet hermetikus epoxival ragasztva a fém tokhoz). Ezzel a megoldással akkor 10-féle „multichip” vékonyréteg áramkört készítettünk.

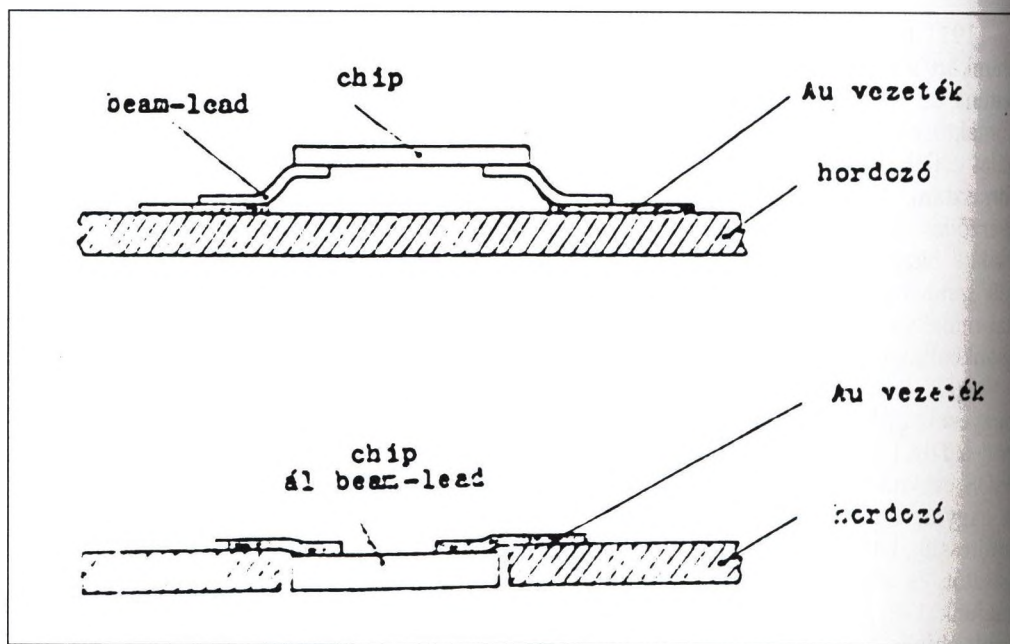
A lengőhuzalos kikötéseket egy-egy bonyolultabb áramkörben elég időrabló művelet kézzel elkészíteni. Ezt Nyugaton is így gondolhatták, mert mire a megmintázásaink vége-re jutottunk, ők már kitalálták az ún. Beam-lead kivezetős félvezetőket. Akinek ilyen nem volt, vagy nagyon drágállotta, az normál chipeket és ún. Beam-lead hordozókat használt.

A kisméretű növesztett kivezetéskék hegesztéssel köthetők az ellen-oldalhoz (esetleg letörnek). A Thomson-CSF pl. saját félvezető gyárával gyártatott ilyen tranzisztorokat a saját mikrohullámú hibrid áramkör gyártása számára.

Mi az *ál-beam-lead* megoldást választottuk, ill. megmaradtunk a lengőhuzalos kikötésnél és az *ál-beam-lead* technológiával ún. csoportos keresztvező egységeket állítottunk elő, ui. bonyolult multichip hálózatoknál elkerülhetetlenek a vezetékek keresztződése. Ezeket bizonyos sűrűség fölött már nem szabad lengőhuzaloson kivitelezni, mert a szomszédos szálak könnyen zárlatba kerülnek. Ennek megelőzésére találták ki NYÁK-, kerámia- ill. réteg-technológiáknál az MCM-L, MCM-C és MCM-D konstrukciókat. (Jelentésük: Multi Chip Modul-Layered, Multi Chip Modul-Ceramic ill. Multi Chip Modul-Deposited). 1974-ben már foglalkoztunk az MCM-D vékonyréteg változatának kidolgozásával.

Megcélözva a teljességet, olyan modellt választottunk megmintázandónak, amelyben

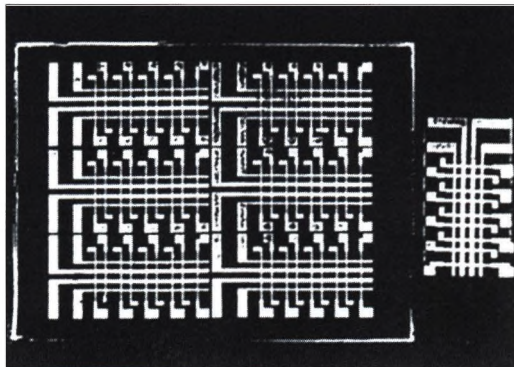
- nagypontosságú ellenállások,
- sok keresztvező vezeték,
- vékonyréteg kondenzátor,
- tokozatlan félvezető IC + tranzisztorok és
- kerámia chip kondenzátorok



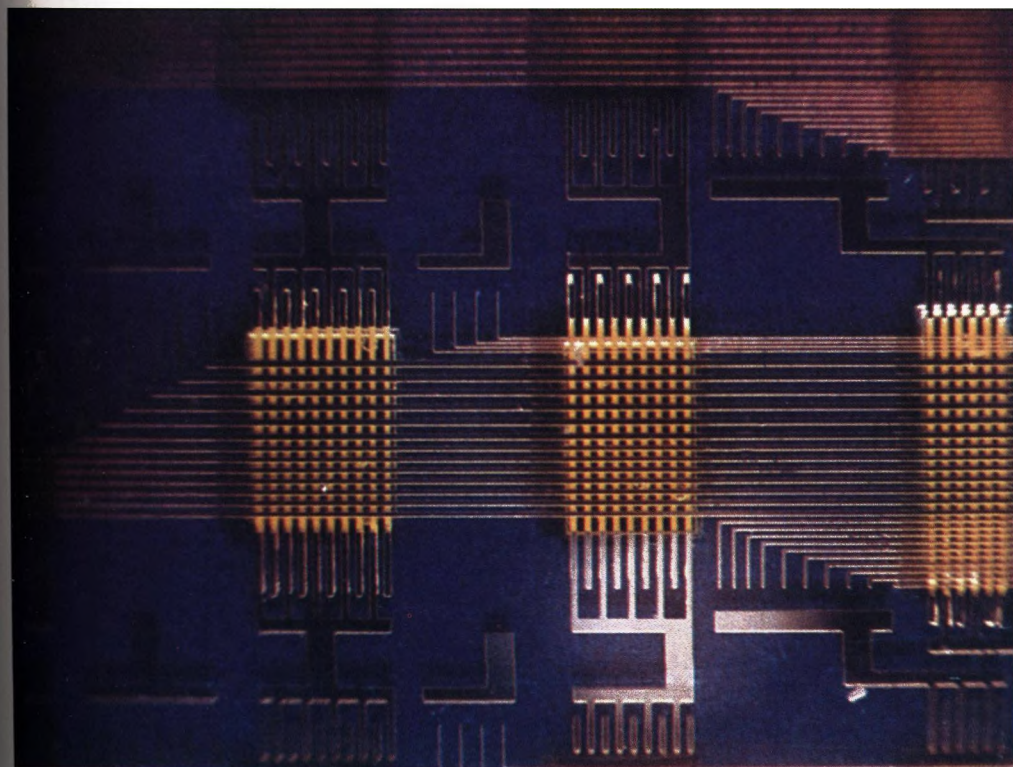
16.6. ábra. Egy valódi és egy ál-beam-lead bekötési sémája

vannak. Az ellenállásoknak legalább 0,1% rel. pontosságúaknak kellett lenniük még a 30/125/21-es klímaállósági követelmények szerinti vizsgálatok után is. (Az első szám mindig az alsó-, a második szám a felső tárolási hőmérsékletet jelenti, azaz -30 és +125°C-t. A harmadik szám (21) a 95%-os telített térben való tárolás ideje, napokban.) A keresztvezetők kapacitása a néhány pF-ot nem haladhatta meg, a kondenzátorok stabilitása pedig 1% kellett legyen.

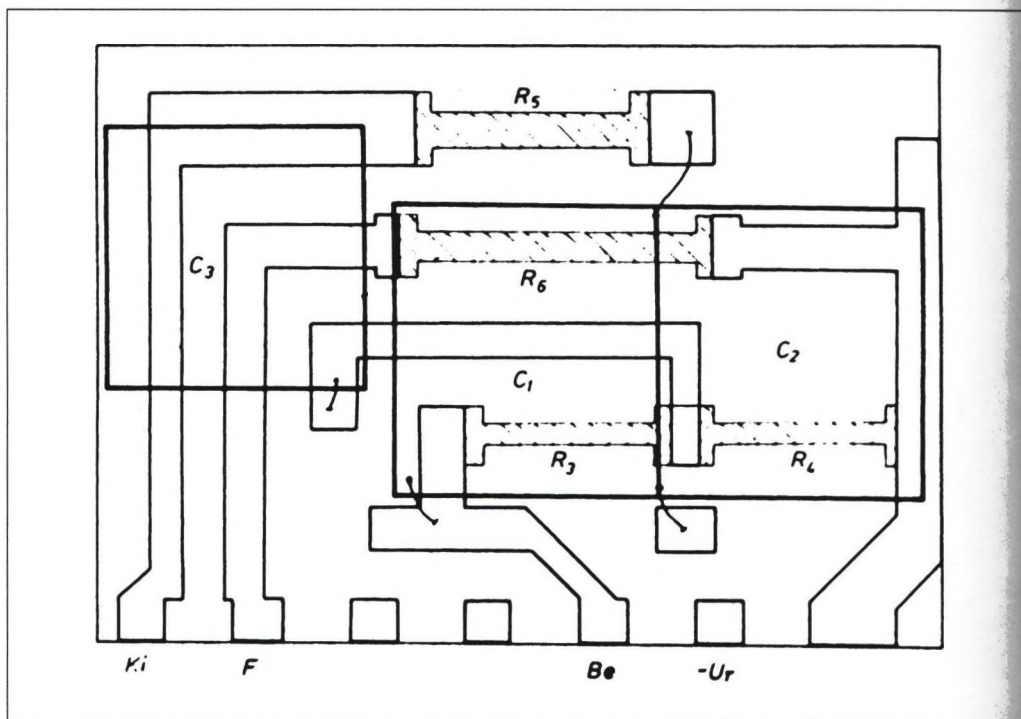
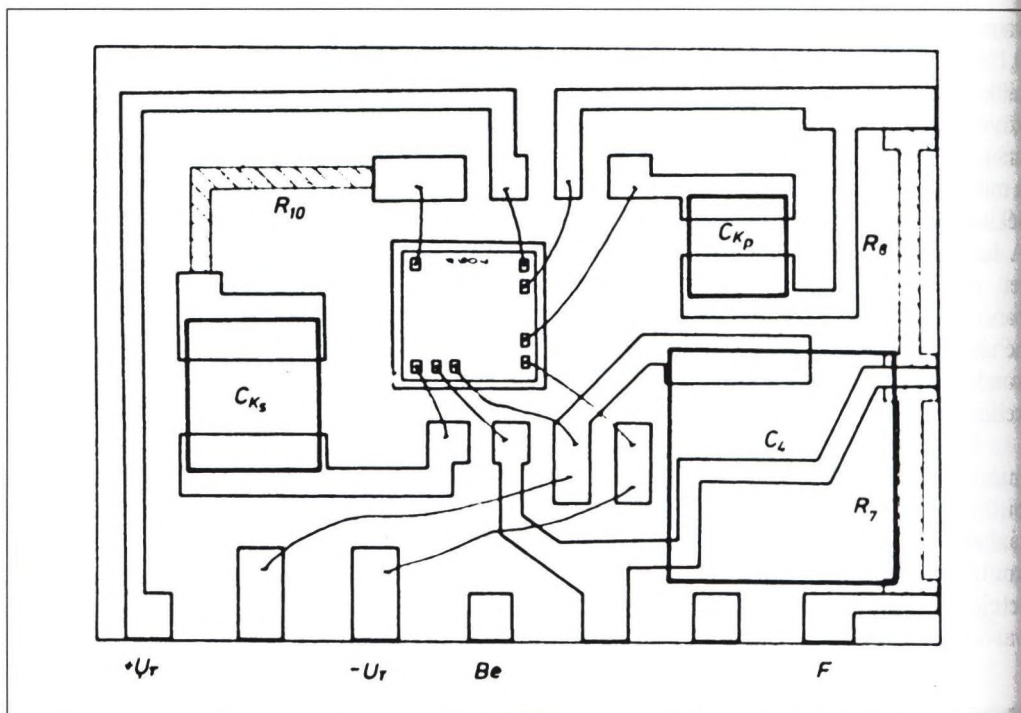
Kondenzátor dielektrikumaként mind az anódos oxidréteget (pl. TaO_xN_y), mind poliimidet kipróbáltunk. Ez utóbbit magunk tettük fényérzékennyé és így fotolitografálhatóvá. Kidolgoztuk a szítázhatóvá tételét is különféle töltőanyag és adalékok segítségével. Nem adott szép kontúrokat, de termelékeny eljárásnak ígérkezett. A poliimid szigetelő alakzatok tetejére tapasztó aranyréteget gőzöltünk, majd az aranyréteget galvanikusan megvastagítottuk. Így első sorban a szigetelt keresztvezetők keskeny vezetői ked-



16.7. ábra. Keresztvezetők minősítő ábrája



16.8. ábra. A HIKI-ben készült „csoportos” keresztvezetők vékony üvegen ill. Kaptón (poliimid) fólián



16.9. ábra. Egy FEN szűrő bondolt és forrasztott alkatrészekkel (A. és B. lapka)

véért beiktatott galvanizálással elértük, hogy a poliimid alakzat széleinél a vezetékek nem szakadtak meg. Ezekre a felső vezetékekre bondolni is lehetett.

Az 1973–76 években ugyan ezeket a technológiai műveletek megismertettük a REMIX Rádiótechnikai Vállalat munkatársaival is. Ők egy hatodfokú aktív szűrő megvalósítása során sajátították el a fogásokat.

A tokozásnál ismét kellő körültekintéssel kellett eljárni MCM-D szerkezeteknél:

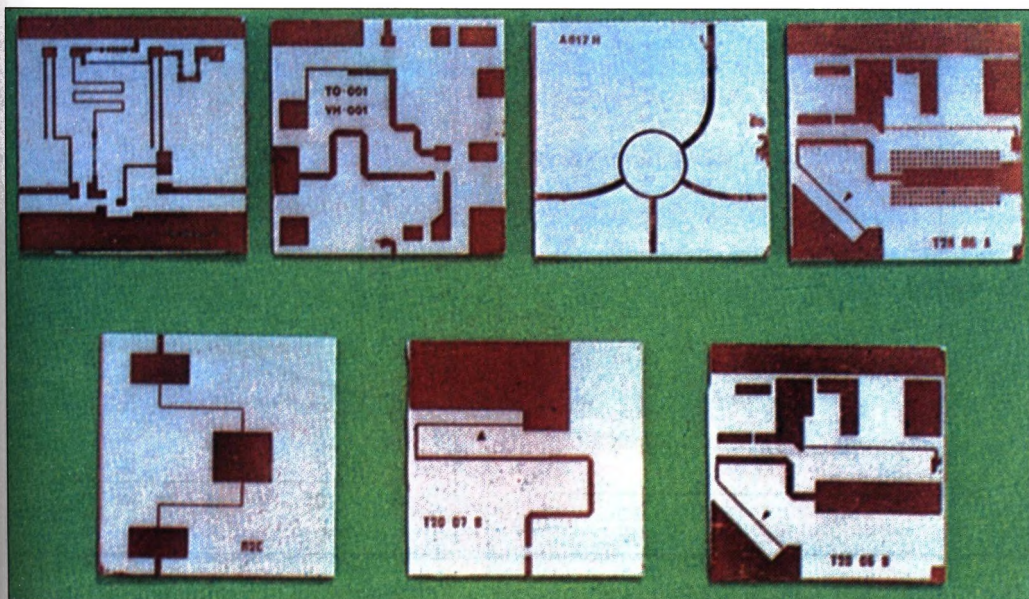
- a chippek és a poliamid a nedvességre érzékenyek,
- a lengőhuzalok mechanikusan sérülhetnek,
- a vékony ellenállás réteg sérülékeny,
- nedves légtérben végzett elektromos terhelés korróziót idézhet elő.

Az áramköröket tokozás kísérletnek vetettük alá az alábbi változatokban:

- a) hermetikusan leragasztott fém/üveg tokban,
- b) kerámia lapra forrasztott fém sapka alatt,
- c) műanyag tokban, epoxi kiöntéssel,
- d) „légpárnásan” fölragasztott műanyag tok alatt,
- e) alacsony nyomású fröccsajtolással körbezárt áramkörként.

Az a) és b) változatokat 30/125/21, a többi 30/70/21 klímafokozat szerint vizsgáltuk. Az eredményekből egyértelmű volt az a) változat elsőbbsége még a b) változattal szemben is.

1976–77-ben a TKI-val kötöttünk megállapodást arról, hogy átadjuk részükre a 99,6% alumíniumoxid tartalmú kerámia hordozón kialakított Ta-N ellenállás + párolgatott kontaktus + galvanikus arany vastagítás + anódos értékbeállítási eljárásból álló technológiát *mikrohullámú hibrid áramkörök* előállítására.



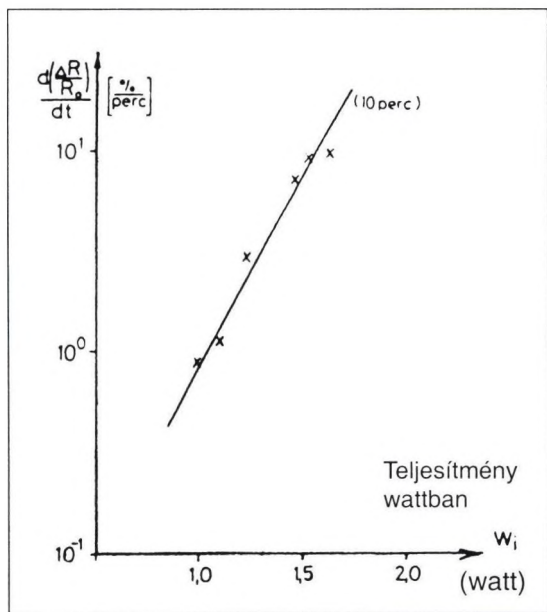
16.10. ábra. Mikrohullámú áramkörök vékonyrétegből, utólagos arany galvanizálással

Ezen a területen a továbbfejlődés a következő évben az ábrák leképzési pontosságának növelése, valamint a kis (3 mm-nél rövidebb) méretű Ta-N ellenállások értékbeállításí módjának kidolgozása volt. Erre a célra a Joule-hőt kívántuk alkalmazni. Ezt megelőzően u.i. az EMG asztali számítógépeihez hőkiíró fejeket fejlesztettünk ki NiCr ellenállás és Al kontaktus rétegszerkezettel. Üzemszerűen ezek az ellenállások rövid idejű, de igen nagy fajlagos értéket képviselő áramimpulzusokkal vannak fölfűtve annak érdekében, hogy hőérzékeny papíron nyomot hagyjanak. Amikor ezeket az impulzusokat egyre növekvő teljesítménnyel végeztük, számtalan tapasztalati összefüggésre tettünk szert a NiCr rétegek Joule-hő hatására bekövetkező változásaira vonatkozóan, amelyeket gyorsított öregedési folyamatokként foghatunk föl, ahol is az egyes impulzusok teljesítménye és a réteg által elviselt maximális impulzus szám között matematikailag jól leírható összefüggés van. Csökkentve az impulzusok teljesítményét, elérünk egy olyan tartományba, ahol az impulzusok a NiCr ellenállását hosszú időn keresztül, jelentős mértékben csökkentik, majd ezt követően indul be a rohamos növekedés és végül a leégés.

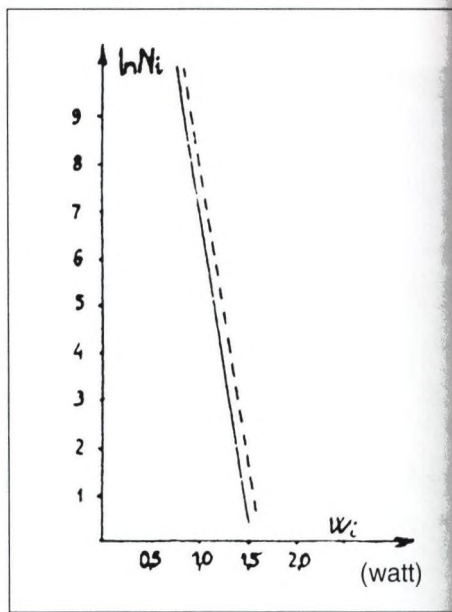
A jelenség intenzív, szabályozott hőkezeléshez hasonlítható és felhasználható értékbeállításra. Nem szabad azonban eközben az ellenállást a leégés veszélyének kitenni, hanem úgy kell beállítani a terhelést, hogy az ellenállás érték az első percben 20%-nál ne csökkenjen jobban. (Ugyanez a kezelés Ta-N esetében jelentéktelen kezdeti csökkenés után (kerámián) ellenállás növekedést okoz.)

A kerámia hordozó jó hővezetési tulajdonságai miatt a Joule-hőt nehéz a kijelölt területre koncentrálni. A megoldás az, ha az egész áramkört fűtött lapra helyezzük.

A rétegelőállításnak nem csak a vákuumtechnikai-, de a kémiai módja is számításba jöhetett. Ónoxid (SnO_2) átlátszó elektródok előállítására a folyadékkristályos kijel-



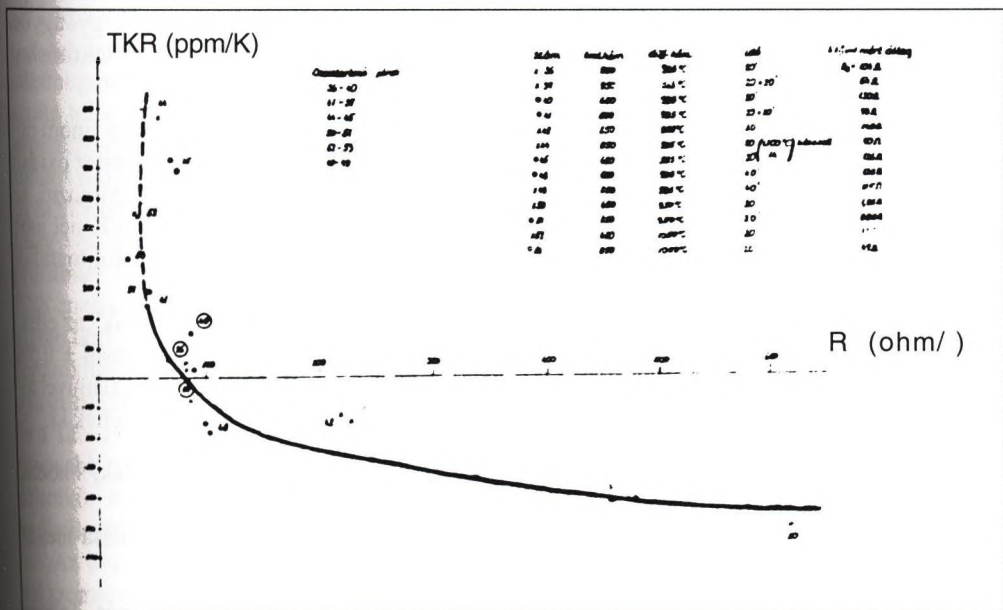
16.11. ábra. NiCr hőkiíró szegmens ellenállásának változása a terhelő impulzusok függvényében



16.12. ábra. Az elviselt maximális impulzus-szám az impulzus teljesítmény függvényében

zők és más kijelzők esetében már régóta ismert volt. Ennek előállítására $\text{SnCl}_4 + \text{SbCl}_5$ vizes oldatából pirolízissel történt. Amikor a félvezető technológiában elterjedté vált a CVD, mi is felvetettük, hol lehetne ezt az eljárást hasznosítani. A Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékén megbízásunkból számtalan kísérletet végeztek abból a célból, hogy kémiai úton leválasztott

- védőréteg céljára SiO_2 -t nyerjük pl. hőiró vékonyréteg printereinkhez, kopásálló bevonatként,
- ugyancsak SiO_2 védőréteget nátronüveg felületén az alkáli ionok elleni védelem céljára,
- óndioxidot kijelzőkhöz jól vezető és kristálytisztán átlátszó elektródként,
- jó minőségű, tömeggyártható ellenállás réteget pl. poliszilícium megfelelő adalékolásával.
- A CVD eljárásán kívül az *elektroless kémiai lecsapatást* is kipróbáltattuk foszfor tartalmú Ni ellenállás és vezető réteg előállítására. A Csepel Művek Tervező és Kutató Intézete ill. a HIKI Félvezető Szakágazata készített számunkra ilyen rétegekkel bevont üveg- és kerámia lemezeket. A folyamat nem tűnt annyira kézben tarthatónak, hogy a kívánt rétegtulajdonságok biztosíthatók legyenek. Márpedig az olcsón, nagy tömegben gyártható vastagréteg hálózatok árnyékában csak olyan vékonyréteg él meg, amelyik jobb (pontosabb, stabilabb, ...) amannál. Hengeres ellenállás testek esetében alkalmazták ezt az eljárást pl. Szombathelyen, a REMIX egykori gyárában. A poli-Si esetében adalékolással előállítható ellenállás rétegek esetében is hasonló megfontolások miatt szakítottunk az eljárással, holott a $\text{TKR} = f/R_{\square}$ kísérleti adatsor szerint akár 0 TKR-ű ellenállások is előállíthatók ezzel az eljárással.



16.13. ábra. CVD eljárással leválasztott poli-Si réteg $\text{TKR} = f/R_{\square}$ görbéje. (BME Elektr. Eszk. Tansz. 1978)

1978-ban több olyan gyakorlati igény jelentkezett, ahol az ellenállás terhelhetősége olyan nagymértékű volt, (pl. 25 W-os 50 ohmos lezáró ellenállás mikrohullámú tartományra), hogy mindenképpen kerámia hordozó jöhetett csak szóba. Ennek megoldása során komolyan kezdtünk foglalkozni azzal, hogy a nagy pontosságú, nagy stabilitású Ta-N réteg technológiát kerámiára is adaptáljuk. Kisebberhelési igénybevételeknél viszont egyre inkább követelmény lett a *0,05 %-nál nagyobb relatív pontosság és relatív stabilitás garantálása*. Ekkorra már túljutott a hibrid eszközökben használatos vékonyréteg technológia a tisztán empirikus korszakon, és az elengedhetetlen stabilizáló hőkezelések alatti jelenségek mélyebb megismerése következett (erről bővebben lásd a kutatásról szóló fejezetet.) Mindezek segítettek abban, hogy a soron következő feladatokat, – mint az üvegre kidolgozott Ta-N eljárás adaptálása kerámiára, valamint oxidált felületű szilícium szeletre, illetőleg a nagyobb R_{\square} értéket, de nagy stabilitást és alacsony TKR-t adó cermet rétegek (NiCrSiO-ként utalunk az összetevőire) kifejlesztése, – céltudatosan, gyorsan meg tudtuk oldani.

A vékonyrétegek 1980–90. közti fejlesztése a *felületszerelési célra* alkalmas vékonyréteg ellenállások ill. ellenállás hálózatok kifejlesztésére irányult, a következő változatokban:

- chip carrierbe, vagy bármely felületszerelhető hermetikus tokba ültetve (nem technológiai, hanem konstrukciós feladat volt),
- SOT-23-as ill. SO tokban,
- tokozatlan, felületszerelhető chip ellenállásokként.

A kerámia chip carrierekhez a tetszőleges kerámia tokokat, szerelvényeket saját multilayer laborunkban elő tudtuk állítani (lásd a vastagréteg fejlesztésekről szóló fejezetet), 1987-től. A SOT-23 és az SO szerelés-tokozás a MEV budapesti ill. gyöngyösi félvezető egységeiben történt. A vékonyréteg fejlesztés számára a SOT-23 tokozáshoz való idomulás jelentette a legnagyobb feladatot:

- kicsi és kötött volt a rendelkezésre álló hordozó felület, emiatt nagyon finom rajzolattal kellett dolgozni és ezen elvégezni a lézeres értékbeállítás (ehhez oxidált felületű Si szeletet alkalmaztunk hordozóként), és ki kellett dolgozni az 1.000 ohm/ \square felületi ellenállás mellett nagy stabilitást és ± 50 ppm/K-nél jobb TKR-t mutató, reprodukálhatóan (porlasztással) előállítható, jól fotolitografálható és kontaktálható ellenállás réteget;
- a SOT-23 tokozáshoz alkalmazott szerelési-tokozási lépések „elhúzták” az ellenállásokat, ezért az eredetileg $\pm 0,1\%$ abszolút pontosság helyett csupán $\pm 0,5\%$ volt a tokozás ill. a vizsgálatok után garantálható. Az SO tokozás valamivel kíméletesebb volt, itt a $0,1\%$ -os hálózatok a minták mintegy 50%-át tették ki.

A tokozatlan vékonyréteg chip ellenállások kerámia hordozón készültek, s hozták az $0,1\%$ -os tűrést. Védelmüket egy alkalmas polimer réteg biztosította.

A technológiai és konstrukciós fejlesztéseket a vevőigények kiszolgálása mellett kellett elvégezni. A vékonyréteg termékek rendszeres felhasználói voltak:

- a csillapítók, pontos ellánállás hálózatok esetén a TKI, Telefongyár, Telmes, Orion, Videoton, EMG, Műszeripari Kutató Intézet, Magyar Televízió, a MEV mérőautomata és egyéb műszer gyártása,

- nagypontosságú hibrid hálózatoknál az orvoselektronika (Medicor), távadók, szabályozók gyártása (MMG-AM), mérés technika (MIKI),
- mikrohullámú rendszerek (TKI, FMV, Mechanikai Laboratórium, ORION, BHG-Híradótechnikai Váll., MFKI),
- a házon belüli vastagréteg technológiával kombináltan a katalógus szerinti áramkörök (mint D/A ill. A/D konverterek) előállítói.

16.2. Vékonyrétegek kutatása

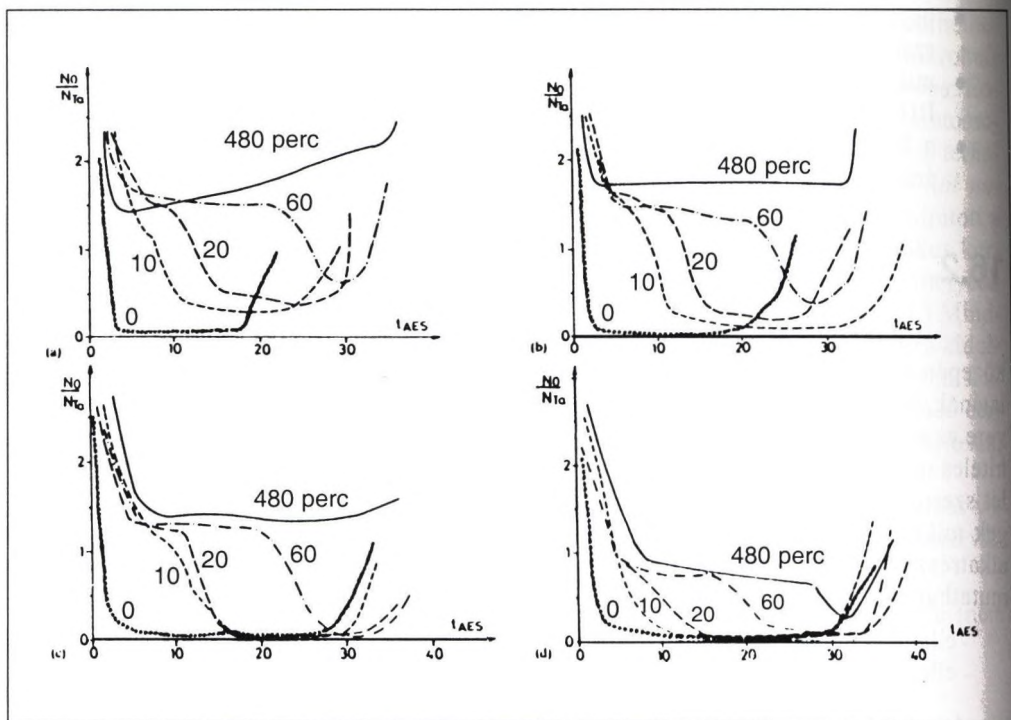
Kísérleti lehetőségeink és tapasztalataink gyarapodásával a 70-es évek közepén elérkezett a rétegtechnológiák számára is a fizikai modellek felülvizsgálatának, kibővítésének mámorító időszaka. A vékonyrétegek első kutatóinak fegyvere az elektronmikroszkóp és az elektrondiffrakció volt, a rétegek előállításának hiteles módja a minél jobb vákuumban történő párologtatás. Az uralkodó szemlélet szerint a párologtatott tiszta fémrétegek szép kristályosak, az ellenállás rétegek mikrokristályosak, amelyek a stabilizáló hőkezelések hatására (amelytől az alkatrész gyártási technológia nem tudott eltekinteni) a következő változásokat mutathatják:

- ellenállásuk nő, a TKR negatív irányba változik,
- ellenállásuk csökken, a TKR pozitív irányba változik.

Az első esetben az ok: szemcsehatárok mentén oxidképződés játszódik le, míg a második esetben a fémes jelleg azáltal erősödik, hogy kristályosodás, átkristályosodás, szemcseméret növekedés történt. Mindkét esetben gyakorlatilag a réteg teljes mélységét érintő változást értettek alatta.

Az új elem a modell-alkotás során a rétegek mélységi irány menti („in dept”) inhomogénné válása volt a hőkezelések következtében. A kutatáshoz az akkori szinte teljes hazai vizsgáló arzenált felkutattuk. *Tantal- és tantál nitrid hőkezelési változásainak vizsgálatára* 1975-ben először coulometriás méréssel összekötött anódos oxidációkat végeztünk, majd 1976-ban elkészült ugyan ezen rétegekre az első SIMS mélységi profil is, a *BME Atomfizika Tanszékén*. Később (1978-tól) lehetőség volt a réteg folyamatos vékonyításával egyidejűleg AES mélységi összetétel profilokat felvenni (ugyanott, majd az *MFKI*-ban is), valamint kiegészíteni ezeket RBS analízissel (*KFKI*). A vizsgálatok megmutatták, hogy a gyakorlati célra legstabilabb tantálnitrid réteg esetében csak felületi oxid képződés van, alatta szinte a teljes átoxidálódásig belül olyan nitrid marad, amelynek oxigén tartalma és Ta:N aránya érintetlen. A diffrakciós felvételek (*MFKI*) megmutatták, hogy a Ta₂N (H.c.p.) és a TaN (F.c.c.)-ként azonosítható kiindulási rétegek viselkednek így, míg az alacsonyabb nitrogén tartalmú porlasztó térben előállított B.c.c. Ta-ok nemcsak a felületükön oxidálódnak, hanem az oxid alatti Ta réteg oxigéntartalma is nő. Az alábbi ábrák jól mutatják ezt a jelenséget (ld. 16.14. ábra).

Az üveghordozón előállított Ta rétegeknek nemcsak a felületük, de a hordozóval szomszédos zónájuk is jelentősen oxidálva van már az előállítás során, nagy valószínűséggel az üveg felületén mindig jelenlévő hidratós résszel reagálnak le már a kiépülés során.



16.14. ábra. Különböző atmoszférában porlasztott Ta rétegek mélységi profiljai a 400°C-on végzett 10-20-60-480 perces hőkezelések után. Az a) minta 0,25%, b) 0,5%, c) 1,5% és d) 2,0% nitrogént tartalmazó argonban porlasztva

Tekintettel arra, hogy az ellenállás mérése a hőkezelés folyamata alatt folyamatosan és nagy pontossággal elvégezhető, a stabil c) ill. d) változat esetében egy empirikusan meghatározott $R_{\perp} = f/d_{\text{vezető}}$ összefüggés felvételét követően ($d_{\text{vezető}}$ a nem oxidálódott nitrid réteg vastagsága) megkísérélhető az oxid növekedés kinetikájának leírása. A fémek, és egyéb tömör felületi oxidot növesztő elemek (pl. a Si) oxidációjának óriási irodalma van. Számtalan szerző tanulmányozta az egészen vékony, de már összefüggő oxidrétegtől a nagyon vastag, de még nem repedezett rétegekig bezárólag az $x_{\text{oxid}} = f/t_T$ összefüggést. Általában egy-egy hőmérséklet tartományra érvényes függvény típusú ajánlottak, így ismerünk logaritmikus, köbös, parabolikus és lineáris oxidációs kinetikákat. Egy amerikai professzor, A.T. Fromhold, Jr., elméleti alapon fölállította az oxidáció sebességi alapegyenletét, amely az oxidréteg (x) vastagodásának sebességére a

$$\frac{dx}{dt} = A \times \sinh \frac{B}{x}$$

egyszerűsített alakban írható fel (A és B anyag- és hőmérséklet függő).

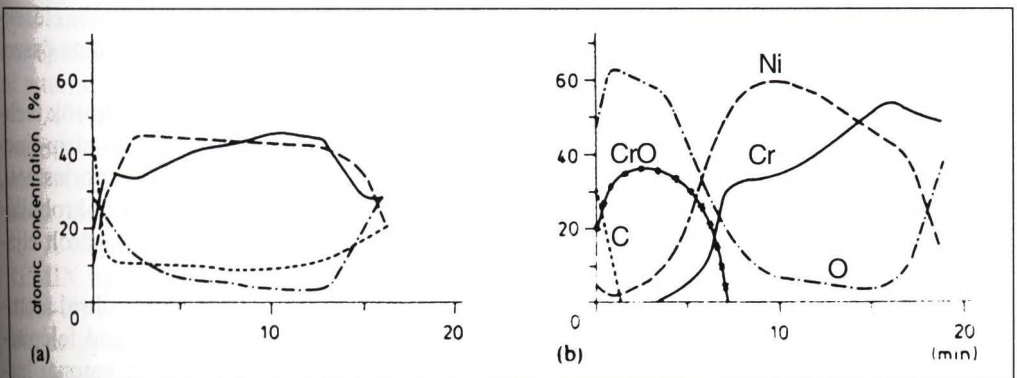
Igazán nagyszerű érzés volt a kísérleti adatok beillesztése ebbe az összefüggésbe, megmutatva ennek univerzalitását, azaz, hogy egyes x tartományokban mi módon közelíthető a felsorolt kinetikai változatoknak megfelelő sebességi egyenletekkel.

Egy korszerű mérő-, szabályozó elemekkel ellátott új vákuum porlasztó birtokában a *NiCr rétegek* terén is új szemlélet (szegregáció) birtokába jutottunk a hőkezelés alatt lehetséges folyamatok tekintetében. Az AES mélységi profilok arra utaltak, hogy levegőn végzett hőkezeléskor a Cr atomok (ionok) egy része a réteg belsejéből a felületre diffundál, ahol oxid formájában immobilá válik. Az oxid alatt keletkezik egy Cr-ban szegény, Ni-ben gazdag réteg, majd az eredetihez hasonló összetételű NiCr következik. Az eredetileg homogén NiCr ellenállás ezután úgy viselkedik, mint ha egy – csak a hőkezelési körülményektől függő vastagságú Ni, és egy – az eredeti összvastagságtól is függő – NiCr ellenállás párhuzamos kapcsolásából állna. Ha a réteg vastag volt és a hőkezelés nem túl intenzív, akkor a Cr-tól kiürült Ni réteg hatása nem túl jelentős, ha azonban a kiinduló réteg vékony volt, vagy a hőkezelés intenzív, az eredeti tulajdonságot valamennyire őrző belső NiCr réteg-rész ellenállását a párhuzamosan lévő Ni réteg-rész ellenállása söntöli: a makrováltozás erős ellenállás csökkenést és a TKR pozitív irányú eltolódását mutatja. Nagyon érdekes, hogy nitrogént adagolva a porlasztó gázba, a réteg Cr tartalma nitrid formájában immobilá válik, minimálisan megy csak ki a felületre, tehát a komponensek szegregációja elhanyagolhatóvá válik.

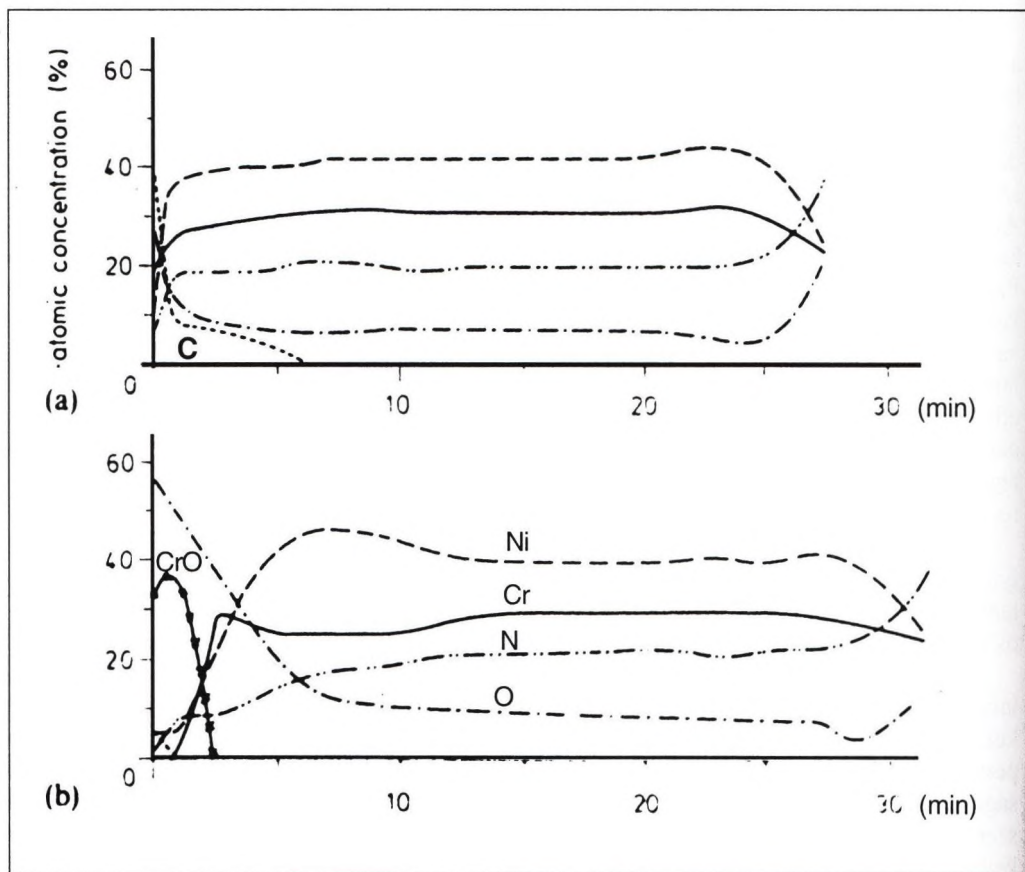
Az együtt leválasztott Ni és Cr szétválását az együtt porlasztott SiO is megakadályozza: *NiCrSiO rétegeknél* a szegregáció ugyancsak elkerülhető, és nagy fajlagos ellenállás mellett is kitűnő TKR ($\pm 25 \text{ ppmK}^{-1}$ körüli) és 0,05 % körüli (1.000 óra 125°C-os tárolás) stabilitás biztosítható egy megfelelően beállított elő-hőkezeléssel.

Számos vizsgálat folyt SnIn fém targetből oxigén jelenlétében vagy anélkül porlasztással előállítható *ITO* (Indium Tin Oxide) *rétegek* összetétele, szerkezete, ezek hőkezelés alatti megváltoztatása, valamint az elektromos ellenállás és a fényáteresztő képesség közötti összefüggés feltérképezésére. Ennél az anyagfajtánál a makro tulajdonságok (mint R_{\square} , TKR, fényáteresztő képesség) megváltozását a korábbi feltételezések szerinti, a mélységi profilokban inhomogenitást nem előidéző változások okozzák: SnIn keverék targetről oxigén jelenlétében végezve a porlasztást, oxigén épül be a rétegbe, majd hőkezeléskor kristályos oxidfázisok jelennek meg, főleg ha a réteg indiumban gazdag. A vezetőképesség maximumát a 90% In 10% Sn-ből oxigén jelenlétében porlasztott majd hőkezelt kristályos oxid adja.

Számtalan vizsgálat folyt az üveghordozó és a rétegek ill. a tisztító és maratószerrek kölcsönhatásáról (MFKI), csakúgy, mint a *párologtatott kontaktus rétegek* (Ni, Al,



16.15. ábra. A hőkezelés hatása NiCr rétegek mélység menti összetételére argonban porlasztott NiCr
 (a) Hőkezelés előtt
 (b) Hőkezelés után



16.16. ábra. Argon+nitrogénben porlasztott NiCr. (a) Hőkezelés előtt (b) Hőkezelés után

Au, Cr) ill. rétegrendszer (CrAu, TiNiCrAu, ...) hőkezelés alatti diffúziójára, oxidációjára vonatkozóan. A párologtatott arany réteg nagyon könnyen átengedi magán a krómot és különösen a titánt, mindkettő megszünteti már kis mennyiségben az arany bondolhatóságát és forraszthatóságát. Ez is határt szab a levegőn végzett hőkezeléseknek és a hőkezelés, valamint a rétegrendszer anyagainak, vastagságainak pontos összehangolását igényli.

Kis eltérésekkel, de lényegében azonosan fejlődött a vékonyréteg áramkörök technológiája a REMIX-ben is, – eltekintve a mikrohullámú célokra készült ún. strip-line-ektől (99,6%-os tisztaságú Al_2O_3 kerámia hordozón párologtatott vagy porlasztott, majd galvanikusan arannyal megvastagított vonalas rajzolatok, amelyek a mikrohullámú tartományban áramköri funkciókat teljesítettek). Ezekre – a HIKI-től vásárolt eljárás alapján – a Távközlési Kutató Intézetben (TKI) létesült egy részleg.

A 60-as évektől a VIDEOTON-ban is napirenden volt a vékonyréteg hibrid áramkörök fejlesztése, vállalaton belüli felhasználásra. Berendezkedtek beam-lead felépítésű félvezető eszközök beültetésére is. A „spec. áramkörök”-nek becézett katonai hírközlési eszközök áramköreibe szánták. Ennek a területnek az értékesítési ellehetetlenülése ezt a technológiai vonalat is elsorvasztotta.

Ugyancsak foglalkoztak vékonyrétegekkel a már említett Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Elektronikai Technológia Tanszékén, valamint anyagtudományi-, szerkezetvizsgáló szinten a BME Fizika Intézetében, az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében (MFKI) és az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetében is. A „Vékonyrétegek kutatása” című fejezetben hivatkozás történt rájuk. Valamennyien igen jól felkészült vizsgáló, kutató apparátussal álltak rendelkezésünkre (szerződéses formában) a kutatási-, fejlesztési-, de akár a hibaanalízist igénylő problémáinknál is.

A fenti K+F munkákkal kapcsolatban az alábbiak nevét kell megemlíteni:

- HIKI-MEV viszonylatban: *Wollitzer György, dr. Kolonits Pálné, dr. Koltai Márta, Strausz Tamás, dr. Ligeti Róbertné,*
- a REMIX-nél: *Rajki Irén, Pruzsina Ferenc,*
- a Videotonnál: *Farkas Antal.*

16.3. Vastagréteg hibrid integrált áramkörök

A Bevezetésben már szó volt arról, hogy a hazai hibrid mikroelektronika magvát a MIKROMODUL program hintette el 1961-ben. Ez a program ugyan rövidesen elhalt, azonban a REMIX-nél is, HIKI-nél is tovább éltek a réteg-technológiák elemei, pl. a vákuumgőzölés a fémréteg ellenállásokhoz ill. a gőzölt fegyverzetű poliészter kondenzátorokhoz, míg a vezető pasztákkal végzett műveletek az ellenállások, potenciométerek kontaktálásában voltak használatosak.

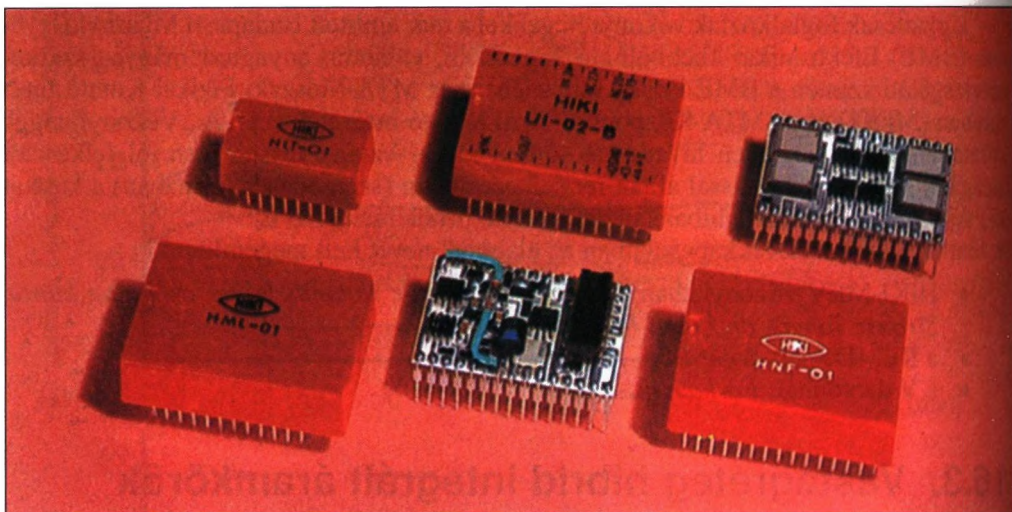
Idő közben Nyugaton is új irányba haladt a fejlődés: a mikromodulok helyett a nyomtatott huzalozású áramkörök előkelő rokonaként a hibrid (vastag ill. vékonyréteg) áramkörök terjedtek el. Így amikor 1966 táján megjelent Ausztriából egy úr, aki vállalkozott arra, hogy egy nagyon egyszerű vastagréteg labort berendez, ezen a REMIX és a HIKI Alkatrész Laborja egyaránt „kapott” s így a REMIX néhány helységében megkezdődhetett a közös ismerkedés a vastagrétegekkel.

Ennek a korszaknak a berendezések és a paszták gyatraságai voltak a jellemzői. A szita-nyomtató és kemence kezdetlegességei a HIKI-ben megindították a vastagréteg célberendezések fejlesztését, gyártását, és ez a vonulat mintegy 20 évig végigkísérte tevékenységünket.

A vastagréteg nyomtatás-beégetés sajátos tudományának megismertetésében nagyot lendített a Du Pont megjelenése hazánkban (1968). Ennek az amerikai cégnek ekkor épült ki Nyugat-Európában egy olyan hídfoállása, amely miközben igyekezett eladni a termékeit, igen sokat tett az alkalmazástechnikai ismeretek terjesztésében.

A vastagréteg technológiák fejlesztésének költségigénye a HIKI anyagi erejét meghaladta volna. De olyan vállalat sem volt, amely egyedül akarta volna ennek terheit vállalni. A fejlesztések, beruházások fő támogatói a *Kohó- és Gépipari Minisztérium*, majd utóda, az *Ipari Minisztérium* és az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* voltak.

A HIKI-ben folyó fejlesztés anyagi bázisát növelte még a REMIX kapcsolat is. A REMIX ugyan saját önálló hibrid gyártást épített ki, de ehhez időről-időre vásárolt a HIKI-től konstrukciós és technológiai ismereteket. A HIKI maga is nem csak fejlesztett, de gyártott is. Ezáltal nem csak bevételét gyarapította, de az áramköröket igénylő vállalatokkal kiépített kapcsolat termékenyítőleg hatott vissza a fejlesztésre, megmutatva a hazai valós igényeket, de jót tett a HIKI-REMIX kapcsolatnak is, mert a fejlesztések már egy igazolódáson estek át, mire a vállalathoz kerültek.



16.17. ábra. Különböző módon tokozott hibrid áramkörök a HIKI-ben a 70-es években

A szerelés-tokozás fejlesztése közös szálon haladt a vékonyrétegeknél leírtakkal (márto-, kiöntési- és fröccsajtolási eljárások), de volt egy saját fejlesztésű, forrasztott fémsapkás kerámia tok-konstrukció is. (A kiöntéses és fröccsajtoló változatoknál a BME Elektronikai Technológia Tanszékével együttműködve születtek meg az integrált eredmények.) A saját készítésű hermetikus tokok egyúttal lehetőséget adtak a tokozatlan áramköri chipék szerelésére, tokozására, ezáltal a szükséges finom vezető rajzolat nyomtatását is kierőszakolták.

A rétegek megbízható minőséget adó, jó kihozattal történő előállításának nagyon fontos feltétele a sokzónás, az előírt hőprofil beállítására és tartására alkalmas kemence, amelynek szellőzése is alkalmas arra, hogy az égetés során a pasztából eltávozó szerves anyagok ne okozzanak másodlagos reakciókat a réteg anyagával, ne rakódjanak le korom formájában. Ezt a feltételt saját készítésű kályhakkal nem tudtuk biztosítani. A Sprague belga vállalatának óriási volumenű vastagréteg ellenállás gyártása volt. Ők a termelésükhöz saját építésű kemencéket alkalmaztak, amely mint európai termék, az akkori szigorú feltételek mellett is COCOM szállítási engedélyt kaphatott.

A nyugati elzárkózás a vasfüggöny hazai oldalán azt jelentette, hogy a legfontosabb alapanyagok terén (is) rendszeresen föl-föl merült a hazai-, avagy a „demokratikus” relációból történő beszerzés. Ennek a megnyilvánulásnak több oka volt:

- az örökösen szűkös deviza helyzet folytán az importkiváltás jelszava; ez káros is volt, mert a folyamatos termelést időnként megbénította, de annyi haszonnal járt viszont, hogy lehetővé tette a hazai fejlesztések kibontakozását,
- az embargós előírások megkeményedése állandó bizonytalanságot idézhet elő, s ezt kivédendő születtek meg önellátási kényszermegoldások.

Miután mind a paszták, mind a berendezések fejlődése nagy lépésekkel haladt, felgyorsultak a fejlesztések. A REMIX pl. 1975–77-re, majd 1978–80-ra a következő fejlesztésekkel bízta meg a HIKI-t:

- nagyméretű hordozók nyomtatása,
- nagybonyolultságú vastagrétegek fejlesztése,

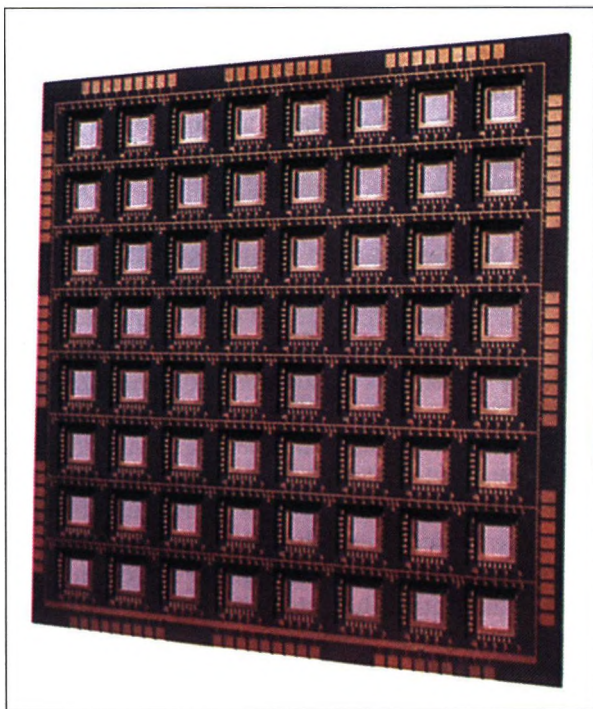
- nagyteljesítményű (sok hő disszipáló) hibrid áramkörök,
- dual-in-line kivezetésű ellenállás hálózatok konstrukciójának, és
- vastagréteg-vékonyréteg kombinált hibridek konstrukciójának kidolgozása.

Érdekes megemlíteni, hogy a nagyteljesítményű hibridek akkor még külföldön is új zománcozott acéllemez technikáját a REMIX kérte kísérletileg megvizsgálni. Ehhez a HIKI az Alpa Metals cégtől vásárolt egy- ill. kétoldalt zománcozott hordozókat és Du Pont pasztákkal ellenállás ábrát nyomtatott és vizsgált rajtuk. Figyelemre méltó, hogy ezek az ellenállások 1.000 óra 150°C alatt csak néhány század %-ot változtak. Később a HIKI maga is megkísérelte a zománcbevonatok elkészítését, de az eljárás nehézkes, a zománc pedig túszerű lyukakat tartalmazott, amin keresztül korrózió indult meg.

A technológia- és konstrukciós fejlesztéseken kívül a HIKI 1979–80-ban néhány vastagréteg hibrid áramkört átadott gyártása a REMIX-nek.

Az évtized közepére a multichip modulok iránt nem csak Nyugaton, de a MEV-ben is sajátos érdeklődés támadt: a MEV félvezető egységében gyártásba vett memória chippek további integrálása vált lehetővé általa, esetleg egyúttal új szerveződési formában. Ez olyan hibrid összeköttetés hálózatot igényelt, amely több vezető síkkal rendelkezett. Ezt a *multichip* változatoknak, azaz az

- MCM-L (műanyag lemezekből rétegezett),
- MCM-C (kerámia fóliákból rétegezett),
- MCM-D (rétegtechnológiával rétegezett) segítségével történt. A finom rajzolat lehetőségét a C vagy D változat kínálta. A C változat az, amelyik kevésbé kényes, nem sérülékeny, a felületére kerámia chip carrierekbe tömeggyártási eljárással előszerelt, mért, tokozott félvezetőket lehet automata gépi szereléssel fölrakni az esetleg szükséges kerámia kondenzátorokkal és egyéb kiegészítő alkatrészekkel együtt. A MEV 1984-ben ebbe az irányba állította át a multichip modul fejlesztési programját és az IPM segítségével, a Kőbányai Porcelán Gyár részére import berendezéseket és eljárást vásárolt és ezek üzembehelyezése révén létrehozott egy olyan kerámia labort, amely képes volt magas Al_2O_3 tartalmú „nyers” kerámia fóliát előállítani. E a mű-



16.18. ábra. 64db, egyenként 28 kivezetéssel rendelkező memória chipet un. sejtprocesszorral integráló, 7 vezető síkot tartalmazó MCM-C szerkezet, arany kivezető felületekkel (MEV-1989)

bőrhöz hasonló konzisztenciájú anyag a kívánt alakra és méretre vágható, stancolható, lyukasztható, így akár egyszerű, egyrétegű hordozó lemezek, akár többretegű áramköri- vagy tok-szerkezetek előállítását teszi lehetővé. A Kőporc-MEV csapatnak sikerült megoldania a technológiai problémákat és a 1990-ig terjedő időszakban nagy változatosságban kerámia chip carriereket, Flat-pack szerű kerámia tokokat és különféle többretegű multichip áramköröket mintázott meg.

Ez a tokozási mód alkalmas mikrohullámú eszközök tokozásához is (együtműködés keretében az MFKI-val GaAs eszközök számára szolgáló kerámia tokok kifejlesztésére).

1989-ben a MEV Hibrid Fejlesztő Gyáregységében 170 fő – ebből 55 fő mérnök – dolgozott. A kollektíva mintegy 400 saját fejlesztésű hibrid hálózattal rendelkezett, és mintegy 10 féle egyéb alkatrész konstrukcióval, mint ultraprecíziós ellenállások, tokok, lakkréteg ellenállás- és potenciométer technika, vezető gumi, cermet potméter, hőíró „toll”, stb. Berendezés állományának akkori nettó értéke 93mFt volt. A hibrid területhez kapcsolódó tudományos munka révén tudományos fokozatot nyert 1 fő kandidátus és 5 fő egyetemi doktor. A kollektíva legfőbb erénye a rugalmasság, széles látókör, magas szakmai tudás volt. Ennek demonstrálására szolgáljon, hogy pl. 1988-ban 1 év alatt 48 új típust hozott létre minimum a prototípusok elkészültéig, minősítéséig bezárólag, azaz gyakorlatilag hetente 1-et!

A vastagréteg technológia meghonosításában nagy szerepet játszottak: *Wollitzer György, Walton Gusztáv, Kovács László* (HIKI-MEV), *Göblös János, Papp Károly* (REMIX).

16.4. Egyéb, nem áramköri célt szolgáló eszközök és eljárások

16.4.1. Lakkréteg potenciométerek, nyomtatott lakkréteg ellenállások

Ennek az eljárásnak a bölcsője is a Halom utcában ringott, még az 50-es évek végén. A potenciométer pályák kopásállóságának, zajának javításán dolgozva sikerült olyan szabadalomképes eljárást kidolgozni a korom előkezelésére, amely révén a nagyobb ohm/□-es rétegekhez is viszonylag magas koromtartalmú műgyanta volt alkalmazható. Ezzel a gyártás és a gyártmány megbízhatósága egyaránt javult.

Az eredmények alapján a HIKI 1970-ben a Videotonnal a Varicap hangolásához a potenciométer pályák gyártásának javítására, majd 1971-ben nyomtatott áramkörre szitanyomással felvitt lakkréteg ellenállások kifejlesztésére kötött szerződést (történetesen egy táskarádió hangfrekvenciás fokozatához). KGM támogatást is igénybe véve 1975-re a potenciométer pályagyártás kézben tarthatósága érdekében a pályák szitanyomtatási technológiája került kidolgozásra.

Ez az eljárás különösen alkalmas a nem-lineáris (pl. logaritmikus) karakterisztikájú pályák gyártására.

1979-re a lakkréteg (Polimer Thick Film) technológiánk már 100 ohm – 1 Gohm tartományban volt képes nyomtatott huzalozású áramkörökbe szitanyomással ellenállásokat létrehozni.

Az eljárás iránt érdeklődés mutatkozott az akkor NDK-beli Dorfhain-i potenciométer gyára részéről, és meg is vették az eljárást. A REMIX ugyancsak megvette az eljárást, míg a így készült PTF ellenállásokat alkalmazta termékeiben a Videoton, BRG és a VBKM-VILLESZ.

Az eljárásnak kiegészítője volt a nyomtatott áramköri lemezre felszítázható, 125°C-on beégethető, jól forrasztható ezüst festék kidolgozása is (*Berghammer Antal*).

16.4.2. ELAKONT, csak nyomás-irányba vezető gumi

A szilikongumit megfelelő szemcseméretű vezető anyaggal megfelelő koncentrációban töltve elérhető, hogy a nyomás irányával párhuzamosan az ellenállása ≤ 1 ohm/cm², míg erre merőleges irányban $>10^9$ ohm legyen.

A termék iránt ismét az NDK érdeklődött igen erősen (folyadékkristályos kijelzőkhöz alkalmazták nagy tömegben a kijelző és a NYÁK lemez közti kontaktus létrehozására világszerte az ilyen anyagokat). Magyarországi felhasználója a Granvisus szemüveggeret gyár volt. A MEV a gyártás jogát eladta 1983–84-ben a Kontakta gyárnak (*Berghammer Antal*).

16.4.3 Cermet beállító potenciométer

Kerámia hordozón vastagréteg eljárással készült a pálya, 22 ohm – 1 Mohm tartományban. Az eredményes fejlesztés gyártásra átkerült a REMIX-hez 1979–80 folyamán (*Nagygyörgy József*).

16.4.4 Hőírók

A HIKI (MEV) vékonyréteg változatban az EMG, vastagréteg változatban a MEDICOR részére fejlesztett hőírókat.

A vékonyréteges printerek 13 számjegyet (7–7 szegmens) és előjeleket, ill. 11 számjegyet (7x7 szegmens) és 4 betűt, a vastagréteg hőírók 1 számjegyet (7 szegmens) ill. 3 számjegyet (3x7 szegmens) tartalmaztak (*Hanusovszky Katalin, Nagygyörgy József*).

16.4.5 Különleges ellenállások

A hengeres kerámia hordozóra vákuumban felvitt fémréteg ellenállások fejlesztése azt követően, hogy a REMIX-ben megindult a tömeggyártásuk, irányt váltott és néhány kis darabszámú, egyedi igény kielégítésére szorítkozott. Ebben a formájában 1980-ig létezett. Ennek keretében részint indukció szegény (hosszanti irányban köszörlött) ellenállások, vagy pl. igen nagy átfogású ellenállás osztók ($1:10^6$) egyedi ellenállásokból történő összeállítására szorítkozott (*Tarnóczky Lajos*).

16.4.6. Ultraprecíziós ellenállások

1973-ban a HIKI rész-licenct vásárolt a Vishay cégtől, amely révén UPR alapértékekből egészen 0,005% pontosságú, stabilitású és 5 ppm/K TKR-ü ellenállásokat tud gyártani mind a mai napig: a konjunktúra éveiben évi 40.000 db körüli volumenben (*Kollár Sándor*).

16.4.7. Plazma kijelző

Teljes egészében a réteg-technológiákhoz kapcsolódik az előállítása (főleg vastagréteg). Üveglemezre felvitt elektródok között ködfény kisülést hozunk létre, amelynek színe Neon + Argon töltőgáz esetén cseresznyepiros. Sötétes környezetben jól látható. Kényes a töltőgáz tisztaságára, azaz közvetve a cella tökéletes, gáztömör lezárására és arra, hogy a rétegek se adjanak le üzem közben olyan szennyezést, amelytől a ködfény kisülés leáll. Kísérleti stádiumban maradt, ugyanis a köztéri felhasználáshoz a fényereje nem volt elegendő (Moór János, Czerman Mihály).

16.4.8. Szitanyomtatható forraszpaszta

Megfelelő tisztaságú és szemcseméretű ón-ólom porból kiindulva szitanyomtatható forraszpasztát kísérleteztünk ki. A paszta forraszthatósága kifogástalan, a területi tulajdonságai folytán közepes bonyolultságú ábrákhoz alkalmazható (Izsák Teréz).

A pasztán kívül a hibrid komplett felületszerelési szolgáltatásokat ajánlott (tervezés, gépi beültetés, ...) mint ezt az alábbi hirdetés mutatja.

16.4.9. Érzékelők

A HIKI, majd a MEV által a rétegtechnológiák bázisán központi programok részeként, az alábbi érzékelők kerültek kifejlesztésre:

- hőmérséklet érzékelő vastagréteg technológiával,
- gázérezelők vastagréteg technológiával,
- nyomás érzékelő vastagréteg technológiával,
- nedvesség érzékelő vékonyréteg technológiával,
- deformáció érzékelő vékonyréteg technológiával,
- ammónia érzékelő vékonyréteg technológiával,
- oxigén érzékelő kerámia technológiával.

A **hőmérséklet érzékelők** legegyszerűbb fajtája a pozitív vagy negatív TK-jú termisztor vastagréteg ellenállás. Általában nem önállóan, hanem áramkörbe építve, hőszabályozási funkciók ellátására szokták alkalmazni. 1980-tól mi is alkalmaztuk vastagréteg áramkörökben.

Önálló vastagréteg hőérezelőként alkalmazható a platina tartalmú pasztával nyomtatott és lézerrel pontosan 100 ohmra (vagy kívánság szerinti, nem szabványos ér-



16.19. ábra. A MEV felületszerelési szolgáltatásai (újsághirdetés)

tékre) beállított kis vastagréteg ellenállás, amely 600°C-ig használható lineáris érzékelőként. Érzékenysége 0,26 %/K. Abszolút pontossága a teljes tartományra $\pm 2,5K$. Tehát egyáltalán nem a Pt-100 helyett ajánljuk, de annál jóval olcsóbb és sokkal kisebb. Olyan védőréteggel van ellátva, ami lehetővé teszi híg és tömény savakban, akár 100°C környezetében is a mérést.

A gázérezkelők különböző módon érzékenyített óndioxid pasztából állíthatók elő. A MEV pasztákkal a közismert TGS-812 típust céloztuk és közelítettük meg. Nagyon jó az érzékenysége hidrogén, alkohol, aceton, benzol, toluol, stb. gázokra, gőzökre, valamint ammóniára is. Nem szelektív és adott gáz különböző koncentrációit is csak fél-quantitatívan méri. Így gáz-, gőz-, detektorként, és nem koncentráció mérőként szabad ajánlani. Elektronikával együtt: kézi ill. asztali műszerként került megvalósításra.

Nyomásérezkelőként a nagy ohm/ \square -es pasztákból készült ellenállások alkalmazhatók. Kerámia membránon (esetleg zománcozott acél lemezen) hídba kapcsolt négy ellenállást kell kialakítani. Megfelelő méretezés esetén egy-egy nyomás tartományban lineáris kimenetet ad. A technológiának két kemény része van: a megfelelő kerámia idomok kialakítása és ezek tökéletesen légzáró és deformáció mentes összezárása. Jó grafit szerszámok és nagyon finoman beállított égetési technológia szükséges hozzá, pl. az autópárházban alkalmazzák olajnyomás mérőként, mert hő- és olajálló, bírja a rázást. Megfelelő elektronikával a hőmérséklet függése kompenzálható.

Az un. **nyúlásmérő bélyegek** szintén a deformáció okozta ellenállás változás elve alapján működnek, de az alkalmazott ellenállás anyag NiCr vagy Konstantán fólia, amelyből fotolitográfiai úton maratódna ki a hídba kapcsolt ellenállások. Érzékenysége mintegy 1 nagyságrenddel kisebb, mint a 10 kohm/ \square -es vastagrétegeké, így a megbízható méréshez sok Cu vagy Ni korrekciós elemmel a híd TK-ját 0-ra kell beállítani és a híd kinullázását is ezekkel az elemekkel kell nagy pontossággal elvégezni annak, aki a nyúlásmérő bélyegekből hiteles mérőcellát gyárt. A nyúlásmérők fejlesztése 1984-ben zárult, az OMF B anyagi és a Műszeripari Kutató Intézet szellemi támogatásával, az akkori NDK *Bauelemente-Teltow* gyárral együttműködésben. A *MIKI* mellett a *MOM Kalibergyár* fogadta a termékeinket, amelyeket németországi cégek laminált fóliáiból maratunk, pontosan értékre állítottunk és kivezetőkkel láttuk el őket. A fólia-laminátum előállítás és feldolgozása igen kényes, ui. a későbbi „kúszási” jelenségek okai ekkor keletkeznek. Végül is a befektetett munka nem annyira a nyúlásmérő bélyegek, hanem a ugyanolyan feldolgozási eljárással készülő Cu és Ni korrekciós bélyegek olcsóbb, de többszörös darabszámban igényelt mennyiségeinek gyártásában térült meg.

A vékonyréteg technológiához illeszkedik a **nedvesség érzékelők** előállítása. Felhasználva a poliiimid dielektrikumú kondenzátorok és keresztvezetések kutatási tapasztalatát, a poliiimid kondenzátor nedvesség érzékenységét sikerült a lineáris

$$\Delta \left(\frac{1}{c} \right) = f(RH)_T$$

összefüggést, s jól reprodukálható értékeket adó nedvesség érzékelő előállítására felhasználni. A poliiimid alapanyagot a *BME* Műanyag- és Gumiipari Tanszéke fejlesztette ki számunkra. Megfelelő elektronikával együtt, kéziműszerként vagy távadóként, hőmérséklet érzékelővel kombinálva került értékesítésre.



16.20. ábra. Relatív páratartalom és hőmérséklet mérő kéziműszer+érezkelő fej. MEV 1989.

Abszorciós elven és az ebből adódó tömegnövekedés okozta rezonancia frekvencia elhangolódáson alapuló **gázérezkelőt** fejlesztettük ki, ammónia 10–1000 ppm koncentráció tartományban való mérésére. A kiindulás egy 10 MHz alapfrekvenciájú kvarc kristály és egy 1 Hz pontossággal mérő elektronika. A szisztéma egyenlőre tudományos karriert fut be, oldatok és elektród bevonatok kölcsönhatásának kutatásában a Eötvös L. Tudományegyetemen.

A kerámia-fólia technológia is alkalmas érezkelő gyártásához: a **vér oxigén** tartalmának un. transzktán érezkeléséhez minielektrokémiai cellákat készítettünk, amelyek koraszülött inkubátorokban fekvő csecsemőkön kerültek kivizsgálásra. A téma fővállalkozóját az Omikron Kft.-t az erős külföldi verseny arra kényszeríti, hogy $\text{CO}_2\text{:O}_2$ aránymérővé fejlessze tovább a rendszert.

Az érezkelők K+F munkában résztvettek: *dr. Bessenyei Gáborné, Deák István, Katona Gábor, dr. Koltai Márta, Ruff István, dr. Zsoldos Béla, Trifonon István.*

16.5. Vastagréteg kutatások

A vastagrétegek felépítése: egy üvegmátrix, amelyben a „hatóanyag” igen finoman elosztatott szemcsék formájában van jelen. Ez a hatóanyag a vezetékek, fegyverzetek esetében fém (Ag, Au, Pd, Pt, Cu), az ellenállások esetében félvezető oxid (RuO_2 , $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$), szigetelők esetében szigetelő oxid (Al_2O_3 , SiO_2 , BaTiO_3 , TiO_2 , ...)

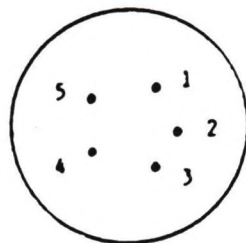
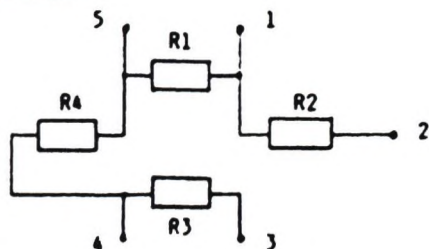
HPC-01

VASTAGRÉTEG NYOMÁSMÉRŐ

HPC-02

	<u>Membránvastagság:</u>	<u>Érzékenység</u> ($U_{be} = 5V$):	P_{max} :
HPC-01	0,2 mm	30 mV/bar	2 bar
HPC-02	0,6 mm	8,6mV/bar	5 bar

Megengedett túlterhelés: 50 %

Bekötés:

R1, R3 : húzott

R2, R4 : nyomott

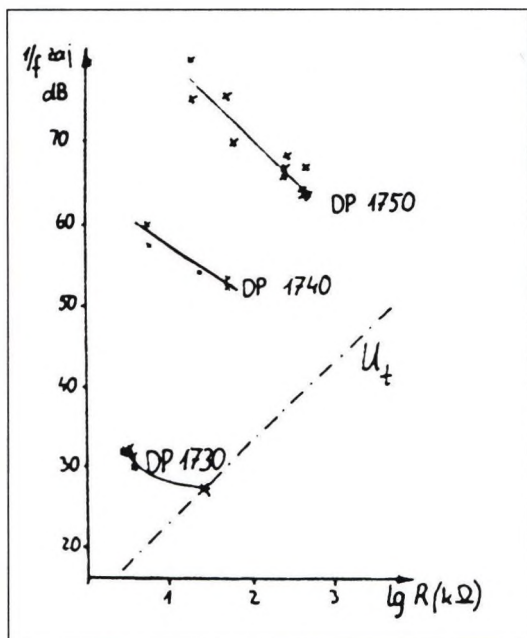
 $R_{név1}$: 20 k Ω m

A 2. és 3. pont közé kompenzáló ellenállás iktatható be.

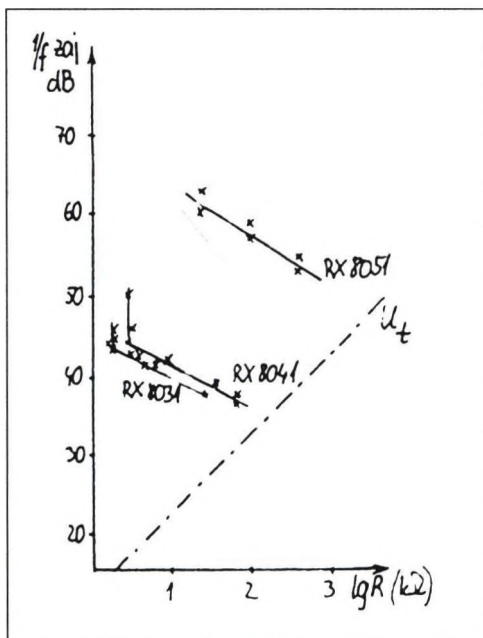
16.21. ábra. Vastagréteg nyomásmérő. MEV 1991.

Az üvegszemcsék és a hatóanyag keveréke megfelelő segédanyaggal jól szitázhatóvá tehető. Az ún. beégetés alatt a szerves anyagok eltávoznak, az üvegszemcsék megömlenek, a bekevert hatóanyag ebben az ömledékben új eloszlási és kötési módot vesz fel. A vezető rétegekben 25% körüli, az ellenállás rétegekben cca. 4–15% körüli a hatóanyag. Főleg ez utóbbi tűnhet meghökkentően alacsonynak, és így érthetjük meg, miért kell olyan kényszerrel betartani minden aprónak tűnő részletet a paszták homogenitását, beégetésének minden lépését illetően, és ez ad magyarázatot arra, hogy a zaj kérdése megvizsgálható eleme minden technológiai változtatásnak. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a réteg-rendszernek kitűnően kell kötődnie a cca. 96% Al_2O_3 tartalmú kerámiához. Ezt olyan oxid-adalékokkal lehet elérni, amely az alumíniumoxiddal kémiai reakció révén egy átmeneti összetételű kötő-réteget tud képezni. Mindezekből adódik, hogy a vastagrétegek olyan összetett rendszerek, amelyek kézbentartása az empirikus szabályok gondos betartásán, és nem pl. a Schrödinger-egyenlet megoldásán alapul. A felhasználók alapvetően a pasztagyártóknál és a beégető kemence gyártóknál felhalmozódott tapasztalatokra építenek, és azt a beállítás során kísérletekkel maguknak „körbe lövik”.

Természetesen már korán elindultak (70-es években) olyan kísérletek, amelyek valamilyen elméleti fogódzót kerestek első sorban az ellenállás rétegek vezetési modelljére, továbbá arra, hogy hogyan alakul ki a pasztából a végleges szerkezet.



16.22. ábra. DP 17 ... ellenállások zaja



16.23. ábra. RX 41 és 51...ellenállások zaja

A mi gyakorlatunk is, mint mindenkié, először a hibaanalízisek kényszere alatt fejlődött és jutott el általánosabb érvényű felismerésekig.

Néhány témát érintenek itt a HIKI hibrid munkatársainak – többnyire egyetemi, kutató intézeti kooperációban végzett – kutatásaiból.

- Vizsgáltuk különböző gyártók különböző R_{\square} pasztáiból készült ellenállások $1/f$ zaját,
- különböző szigetelő paszták nedvesség (víz) jelenlétében, elektromos feszültség hatására mutatott elváltozásait;
- szupravezető anyagból nyomtatható szupravezető elemeket fejlesztettünk ki,
- kifejezetten modell kísérletek céljára kevert ruténiumdioxid-üveg keverékek esetében vizsgáltuk a koncentráció és a komponensek szemcseméretének hatása az elektromos tulajdonságokra.

Az $1/f$ zajok vizsgálata azt mutatta, hogy ez a zaj adott R ellenállás érték esetében annál nagyobb, minél nagyobb R_{\square} pasztából készítettük azt. Az egyes cégek azonos ohm/\square -ű pasztái között is jelentős különbség adódott, különösen a $100 \text{ kohm}/\square$ paszták között. Azonos paszta esetében egyre nagyobb R/R_{\square} hányados felé haladva az $1/f$ zaj szintén növekszik. A $100 \text{ kohm}/\square$ -es pasztáknál folyamatosan és meredeken, a $10 \text{ kohm}/\square$ -eseknél lankásabban, míg az $1 \text{ kohm}/\square$ pasztáknál csak az $R_{\square}/R = 2$ aránynál tapasztalható, de ott meredeken megnő az $1/f$ zaj. Ettől a torzult arányú esettől eltekintve az $1 \text{ kohm}/\square$ paszták zaja alig emelkedett felül a termikus zaj számított (és az adott kísérleti elrendezésben mért) értékén. A mérések megmutatták, hogy a tapasztalat jól egybeesett a Hooge-formulából várható tendenciákkal, azaz

$$\frac{\Delta R^2}{R^2} = \frac{\alpha}{N} \times \frac{\Delta f}{f} = \frac{\alpha}{N_0 \times A \times L}$$

ahol $N=N_0 \cdot A \cdot L$; $\alpha = \text{konst.}$; $N_0 = \text{töltéshordozó koncentráció}$,

azaz a nagyobb ellenállású pasztáknál a töltéshordozók koncentrációjának csökkenése az $1/f$ zaj növekedésének a forrása, míg azonos A keresztmetszetű, de hosszabb ellenállások zaja az L hossz megnövekedése következtében csökken (BME Elektronikai Technológia Tanszékkal közös kutatás).

(A ferde egyenes a termikus zaj számított értéke, a két érintő görbe a konkrét rendszerben a termikus zaj a két mérés határban.)

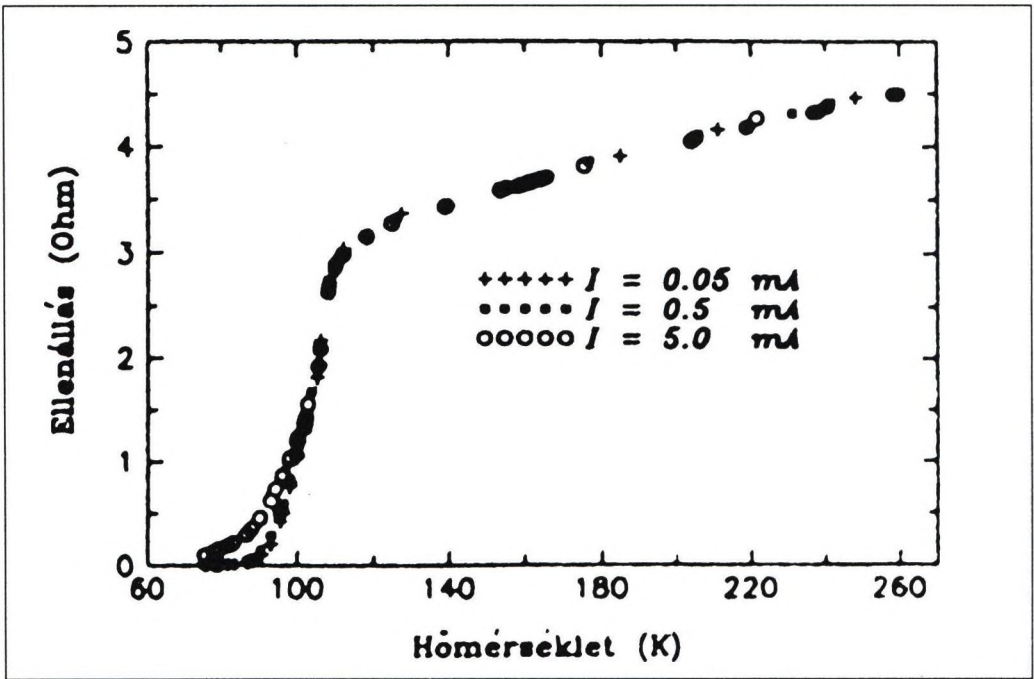
Nedvesség (víz) és elektromos tér egyidejű jelenléte a szigetelő pasztákon – összetételüktől és a beégetés módjától függően – drasztikus elváltozásokat idézhet elő, amennyiben egyes oxidok (Bi-, Cu-, Pb-oxidok) a vízből fejlődő hidrogén hatására redukálódhatnak, disszociálnak, a vízben oldva megjelennek ionjaik, amelyek a katód-ként kapcsolt vastagréteg vezetőn dendriteket növesztve kiválnak, és a szigetelő oxid felületén is, az elektródoktól távolabb is, fémes formában megtapadnak (BME Elektronikai Technológia Tanszékkal közös kutatás.)

Az ún. **magashőmérsékletű szupravezető** anyagoknak az irodalomból jól ismert néhány összetétel felel meg (pl. YBbaCuO összetevőkből, vagy az Y és Ba helyett La és Sr, stb.) Ezeket nem is különösebb gond a kerámia szakmában járatos és felszerelt laboratóriumokban reprodukálni, ill. változataikat kikísérletezni. A HIKI (MEV)-ben az első hírek olvasása után törekedtünk arra, hogy időben bekapcsolódjunk a 80-as évek akkori tudományos szenzációjának számító témába. Az OMFB-IPM-MTA közös támogatásával felállt egy hazai csapat, amely kerámia-, egykristály növesztés-, vékonyréteg- és vastagréteg oldalról egyaránt megkísérelte a jelenséget mutató minták előállítását. Nagyon hamar sikerült mind a Kőbányai Porcelángyárban, a Villamosipari Kutató Intézetben és az MFKI-ban is kerámiaként a megfelelő összetételt létrehozni. Mi kezdetől fogva arra törekedtünk, hogy az alapanyagból vastagréteg eljárással feldolgozható szupravezető eszközöket állítsunk elő – információink szerint első sorban igen gyenge elektromos vagy mágneses terek vizsgálatára.

Az első kísérletek után nagyon hamar eljutottunk odáig, hogy először 77 K, majd fokozatosan 95 K körüli átalakulási hőmérséklettel rendelkező vastagréteg szupravezetőket tudtunk könnyedén, stabilan és reprodukálhatóan előállítani. A rétegek előállításában és szerkezet vizsgálatában, valamint a „hideg” ellenállás méréseket illetően az MFKI-val működtünk együtt, míg a debreceni ATOMKI gondosan kimérte a minták $R=f(T, B, I)$ függését. A vizsgálatok, mérések szerint a vastagréteg minták egyedül a kritikus áramsűrűség tekintetében maradtak el a nemzetközi élvonaltól, amely pl. egykristályos hordozón *Molecular Beam Epitaxiával* növesztett egykristály esetében tudott jelentősen jobb adatokat felmutatni. De bizonyos célokra, pl. nagyfrekvenciás elektromágneses terek érzékelésére, a mi rétegünk jó (*dr. Bessenyei Gáborné*).

A vezetési modell tanulmányozása vastagréteg ellenállásokon.

A 80-as évek végére már megsokasodtak a tapasztalatok a vastagréteg ellenállások viselkedésére vonatkozóan és megnöttek a lehetőségek anyagvizsgálatok és



16.24. ábra. A MEV-ben előállított vastagréteg szupravezető ellenállása a hőmérséklet és áramerősség függvényében

anyagkészítettek terén. Az ellenállások $1/f$ zaj adatainak, a nagyohmos vastagréteg ellenállások nyomásérzékenységének jelenségéből, valamint a paszták értékbeállításánál megismert keverési szabályok alapján és nem kevésbé irodalmi tájékozódás révén kialakult egy elképzelés az ellenállások vezetési modelljére vonatkozóan. Különböző szemcseméretű ruténiumoxid és üveg komponensekből nyomtatható pasztákat készítettünk. Ezek ellenállásként áramkörök számára elég rosszak voltak, mert minden adaléktól mentesen égetés után csak a két fő komponenst tartalmazták, de ez erre a célra így volt célszerű. Az X súlyarányal bekevert RuO_2 -tól való függését vizsgáltuk az R_{\square} és a TKR_{\square} adatoknak, ez utóbbit 100-333 K hőmérséklet tartományban. A vizsgálatokból megállapítható volt, hogy

- a $\log R_{\square} = f[\log(X - X_{\text{krit}})]$ összefüggések egyeneseknek tekinthetők, azaz a réteg fajlagos ellenállása a

$$\sigma = K \frac{1}{(X - X_{\text{krit}})^t}$$

összefüggéssel kielégítően leírható, ahol X_{krit} az a RuO_2 részarány, amely alatt a fajlagos ellenállás meredeken megnő; nagysága 0,010 és 0,020 közötti érték (azaz 1–2%);

- a keverési arány meredekségét jelentő t nagysága függ a RuO_2 szemcsefinomságától, amelyet egy reciprokkal, a fajlagos felület adattal szoktak jel-

lemezni. A kísérleteknél az derült ki, hogy a 15 m²/g-os és a 48 m²/g-os, valamint a 80 ill. 130 m²/g-os alapanyagokra felvett koncentráció függés görbék páronként közel párhuzamosak, és a nagyobb szemcseméretű (azaz kisebb fajlagos felületű) hatóanyag esetében meredekebbek;

- kiindulási keverékben az üveg szemcsemérete több nagyságrenddel nagyobb, mint a hatóanyagé. Az üveg-fázis eredeti struktúráját (szemcsézettségét) megömllesztéskor elveszti, de kérdéses, hogy ilyen nagymérvű méretkülönbségek mellett a rendszer teljesen homogén lesz-e. Az eredmények azt mutatják, hogy ha nagyobb (1 µm-es helyett 6 µm-es) szemcséjű üvegből indulunk ki, azonos X mellett magasabb R₀-ú réteget kapunk;
- a TKR₀ értékét is befolyásolják:
 - az X hatóanyag-arány,
 - a hatóanyag szemcsemérete,
 - az üveg szemcsemérete.

Egy összetételi sor kivételével (a 48 m²/g finomságú) a 100-333 K hőmérsékleti tartományban valamennyi minta negatív TKR-t mutatott. (A kivételes tételeknél csak mintegy 220 K alatt). Ezen belül annál negatívabb TKR₀ adódott, minél

- kisebb volt az X hatóanyag-arány,
- kisebb volt a hatóanyag szemcsemérete,
- nagyobb volt az üveg szemcsemérete (*Bárdos Deák Péter*).

Az üveg-összetevő tekintetében a *Szilikátipari Kutató Intézet* nyújtott támogatást mintákkal, összetétel- és szemcseméret vizsgálatokkal.

A kutatásokat érdemes folytatni, hiszen egy ilyen összetétel rendszer vezetése, amely számtalan paraméter befolyása alatt mégis igen nagy tömegben nagyon jól kézben tartható módon nagyon jó minőségű ellenállások tömeggyártását teszi lehetővé, elméleti szempontból is nagyon érdekes.

16.6. Zárszó

Az előzőekből talán kiderült, mégis célszerű összefoglalni, hogy mi és hogyan mozgatta a vékony- és vastagréteg technológiai fejlesztéseket:

- a benne résztvevők részéről a megismerési és alkotási vágy,
- a hatóságok részéről a lépés-tartás kényszere a rivális (ellenséges) tömb műszaki színvonalával és az „importkiváltás” kényszere, amely a külkereskedelem egyensúlyban tartását szolgálta;

és ami segítette:

- állami támogatás,
- a külföldi eredmények ismerete (szakirodalom tanulmányozása, konferenciák, kiállítások látogatása, nyugati kereskedő cégek áruismertetései és ismertetői; a KGST országok hasonló vállalataival való kapcsolatok),
- a hazai kapcsolódó kutató-fejlesztő intézetekkel, egyetemi tanszékekkel való együttműködés.



17. Vastagréteg áramkörök gyártása

*Kolonits Pálné
Hybrid Szaktanácsadó Bt.
Papp Károly
TEMIC Magyarország Kft.*

17.1. Hibrid integrált áramkörök a REMIX-ben

A 60-as évek elején világszerte a különböző laboratóriumok a mikromodul áramkörök kutatását-fejlesztését végezték.

A mikromodul 10x10 mm-es bélyegszerű fémezett fogazású kerámia lapka, amelyekre a passzív elemeket vákuumpárolgatással, a tranzisztorokat és tantál kondenzátorokat lapkára építéssel a REMIX laboratóriumában is készítették.

A mikromodul program kb. 5 évig futott a REMIX-ben és befejezésre került, mint ami nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket. Ezekre a tapasztalatokra támaszkodva kezdődött az áramkörök fejlesztése (integrálása) a REMIX-ben. Ebben jelentős szerepe volt az akkor REMIX-ben létrehozott alkalmazástechnikai laboratóriumnak. A berendezésgyártók ebben az időszakban útkeresésben vannak. A berendezések szolgáltatásának növelése bonyolultabb eszközök megvalósítását igényelte és jelentősen növelni kellett a berendezések megbízhatóságát is. Ekkor fejlesztette ki a REMIX az integrálás első lépéseként a különböző úgynevezett „modul” áramköröket. Ezek nyomtatott áramköri lapokon vagy a nélkül kialakítva önálló egységként jelentek meg. Ilyenek Pl. szikaraltó RC tagok, művonalak, csillapító tagok...

Az első hazai felhasználók a BHG, ORION, TERTA voltak. Jellemző típusait a 17.1. sz. ábra mutatja.

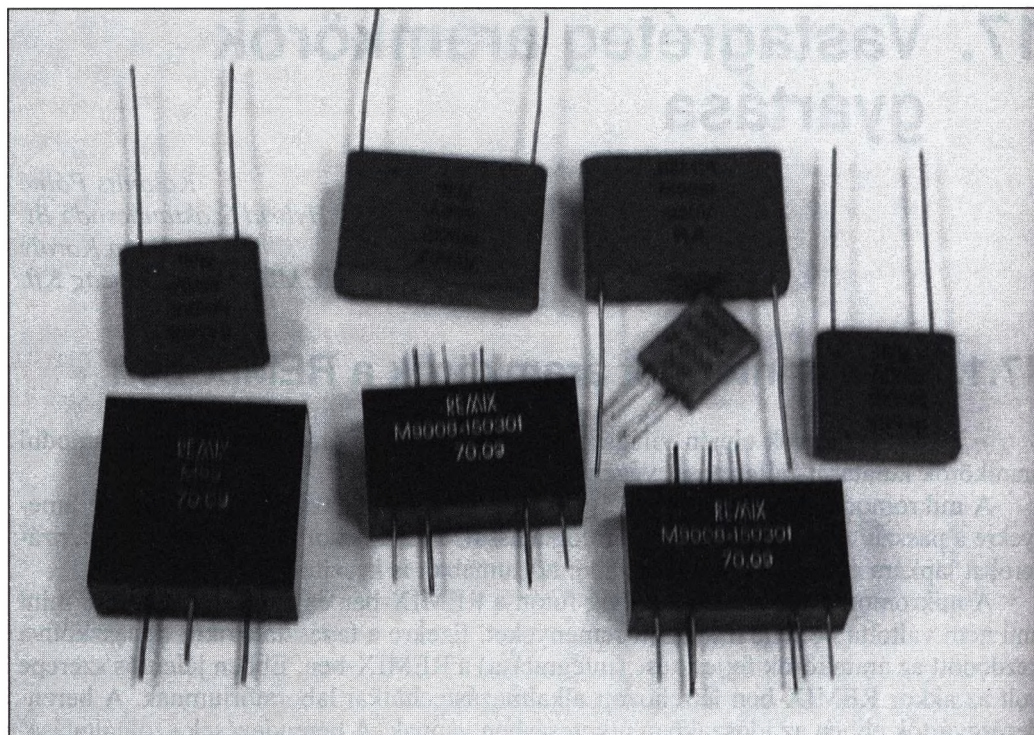
A hazai felhasználóink között konkrét áramköri igényekkel élenjárt a HTSZ, BRG, BHG, MHD....

A 60-as évek végére a REMIX-ben az úgynevezett „hobby laborból” kialakításra került korszerű szervezetben az áramköri ágazat. A kutatás, fejlesztés és kísérleti gyártás munkáit az ágazati főkonstruktor irányította (*Papp Károly*).

Az évtized végére mintegy 220–240 úgynevezett moduláramkör került kifejlesztésre és gyártásbevezetésre.

Az így kialakított fejlesztői bázis 1967-ben készítette el az első vékonyréteg áramköröket (Farkas Elemér, Rajki Irén). Ezzel párhuzamosan ekkor kezdődtek meg a vastagréteg áramkörök fejlesztési laboratóriumi munkái is az akkori KGM és OMFB támogatásával HIKI-REMIX együttműködés keretében (*Dr. Molnár Péter, Fülöp János*).

A kutatás-fejlesztés és kísérleti gyártás céljára szolgáló berendezések telepítése a központi döntésnek megfelelően, HIKI-REMIX irányítással a REMIX-ben valósult meg 1969. december 12. Miután know-how vásárlás nem történt a munkák oroszlán részét mintegy 25–30 fős HIKI-REMIX kutató-fejlesztő kollektíva végezte.



17.1. ábra. A félvezető eszközök területén megjelent igen széles választék lehetővé tette aktív elemeket tartalmazó moduláramkörök megvalósítását is

A rendelkezésre álló alaperendezések, amelyeket egy osztrák vállalkozó szállította:

- Szitanyomtató
- Négyzónás alagútkemence
- Homokoptatásos ellenállás értékbeállító
- Aranyhuzalozó bonder
- Eutektikus félvezető chip beültető
- Fotolitográfiai eszközök és kézi szerelőmunkahelyek

A kutatás-fejlesztéshez szükséges alapanyagokat külföldről vásároltuk. Ezzel egy időben számos fejlesztési munkát indítottunk el ezek kiváltására.

Az eredmények iránt érdeklődést mutatott a hadiipar és a hazai készülégyárok. A 70-es évek elején REMIX-ben a hibrid integrált áramkörök technológiái:

- Vékonyréteg integrált áramkör – speciális, alkálionszegény üveghordozón vákuum párologtatással felvitt NiCr alapú és fotolitográfiával kialakított vezető és ellenállás hálózat, amely alkalmas félvezető eszközök beültetésére;
- Vastagréteg integrált áramkör – alumíniumoxid kerámia hordozóra cermet vezető- és ellenálláspaszták szitanyomtatással majd beégetéssel kialakított vezető és ellenállás hálózat, amely alkalmas félvezető eszközök beültetésére.

A hazai felhasználók igen hamar felismerték a hibridáramkörök előnyeit és különböző igényekkel jelentkeztek.

A magyar ipar viszonylag kis sorozatnagyságaihoz igen előnyösen igazodtak a hibrid integrált áramkörök a kedvező árszint, a rövid átfutásidő (fejlesztéstől a gyártásig) és megbízhatóság megvalósításával.

A REMIX-ben a 70-es években a vastagréteg áramkörök gyártása üzemi szintre nőtt, a vékonyréteg áramkörök előállítására inkább laboratóriumi félüzemi maradt.

A HIKI – REMIX közös munka eredményeként 1972-ben mintegy 8 – 10 konkrét vevői igényre kifejlesztett vastagréteg áramkörrel indult a gyártás a REMIX-ben.

A téma tovább is élvezte az illető főhatóságok és az OMFB támogatását, annál is inkább mert ezen a területen – szemben a félvezetőkkel – nagyságrenddel kisebb ráfordítással jelentős előnyöket lehetett felmutatni mind a gyártmány-, mind a technológiai fejlesztésben.

Ezen támogatásnak köszönhetően a REMIX vastagréteg kisüzemében 1972 – ben került felállításra az ország első ipari megmunkáló YAG infravörös lézere. Ez a lézeres berendezés a vastagréteg ellenállások értékeállítását végezte.

A technológia akkor annyira új volt, hogy üzemeltetéséhez a KFKI nyújtott rendszeres segítséget.

A HIKI és REMIX áramköri ágazatok munkájának köszönhetően kialakítottuk a hibridáramkörök egységes jelölési- és tokválaszték rendszerét és ezzel részt vettünk az MSZH munkájában. Mindkét áramköri család / vékonyréteg, vastagréteg / fejlesztése rendkívül szellemi-munkaigényes. Ezért igen jelentős külső szellemi kapacitásokat vontunk be az alábbi tématerületeken:

- Egységes számítógépes tervező rendszer
- Anyagválaszték
- Áramköri típuscsaládok tervezése
- Alaptechnológiák fejlesztése
- Automata mérőrendszerek fejlesztése
- Megbízhatósági vizsgálatok

A teljesség igénye nélkül a kutatás – fejlesztésben résztvevő kutatóhelyek: BME EET; BME ETT; BME HEI; KFKI; MÜKI; SZIKTI; MIKI

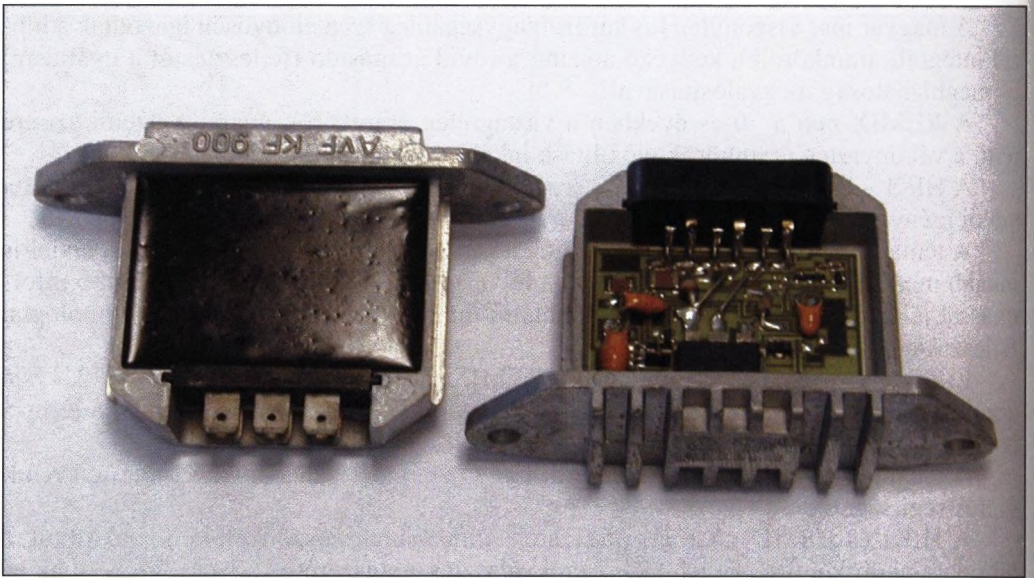
A 70-es évek második felében elsősorban az AVF (Autóvillamossági Felszerelések Gyára) kezdeményezésére kifejlesztettük az első teljesítmény vastagréteg áramkört. W 9143 és HRM 57 típusjelű áramkörök az AVF VG 900 és VG 300 sorozatú generátorokba kerültek beépítésre. Ezeket az IKARUS buszokban használták és megfeleltek a legkorszerűbb igényeknek és szélsőséges üzemi körülményeknek. Lásd.: 17.2. és 17.3. sz. ábra.

A típuscsaládot évekig nagy volumenben gyártottuk. BME ETT közreműködéssel ekkor fejlesztettük ki a K 9002 típusjellel a tirisztoros autógyújtás vezérlő elektronikát, amelyben az alkalmazott tirisztor közvetlenül beépítettük a vastagréteg hordozóra.

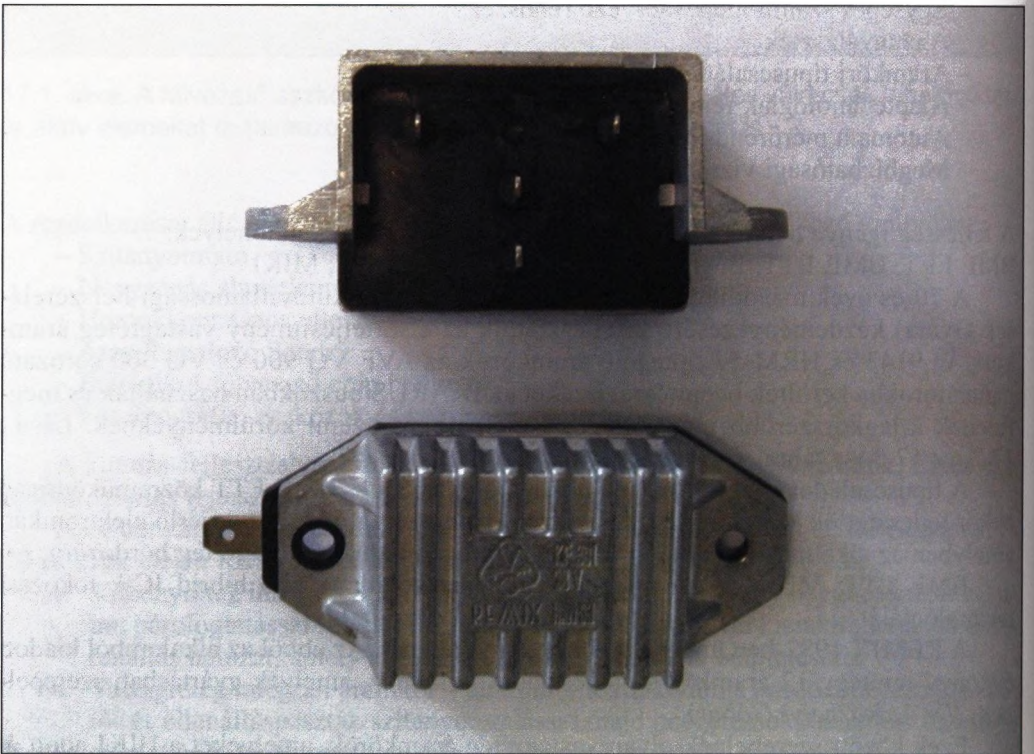
BME ETT; MÜKI közreműködésével fejlesztettük tovább hibrid IC-k tokozási technológiáját.

A REMIX 1982-ben ünnepelte 50 éves jubileumát. Az ebből az alkalomból kiadott évkönyv mintegy 12 áramköri típus családot tartalmaz, amelyek gyártásban szerepelnek. (Dr. Udvarhelyi Gábor)

Ezek között szerepelnek olyan vastagréteg áramkörök, amelyeket a HIKI adott át tömeggyártásra és természetesen meg kell említeni azon áramkörök gyártását is amelyek speciális területeken kerültek felhasználásra.



17.2. ábra. Hibrid integrált áramkörök a 70-es évekből



17.3. ábra. REMIX hibrid integrált áramkör

Ebben az időszakban HIKI és a REMIX foglalkozott iparszerűen a hazai hibrid-áramköri igények kielégítésével. A HIKI a kisebb speciális sorozatokkal jellemzett hadipart, a REMIX a készülékipart és kisebb részben a fegyveres testületeket szolgálta ki, kb. egyenlő arányban. Az árbevételek megközelítették a 100–100 millió forintot.

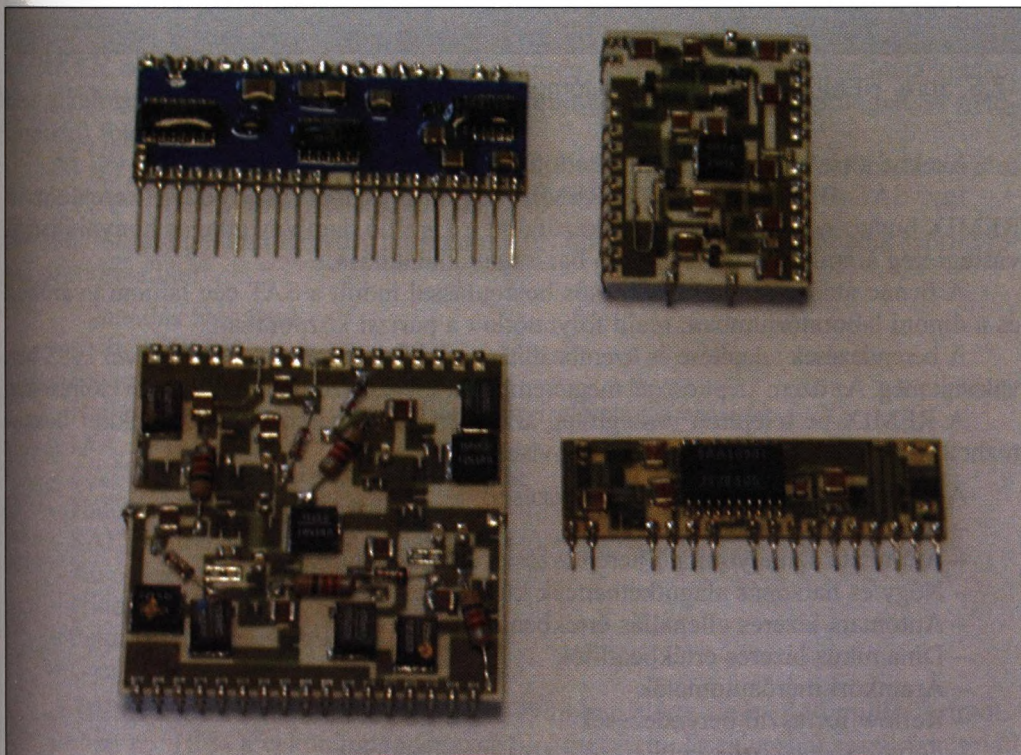
Ekkor az ország mintegy 3,5 milliárd forintnyi aktív és passzív alkatrészt használt készüléképítésére 12 milliárd forint körüli árbevételének megvalósításához. Ennek az alkatrész volumennek 60 %-a import volt.

Az 1400 millió Ft-os hazai alkatrésztermelésben már érzékelhető volt a hibrid áramkörök volumene.

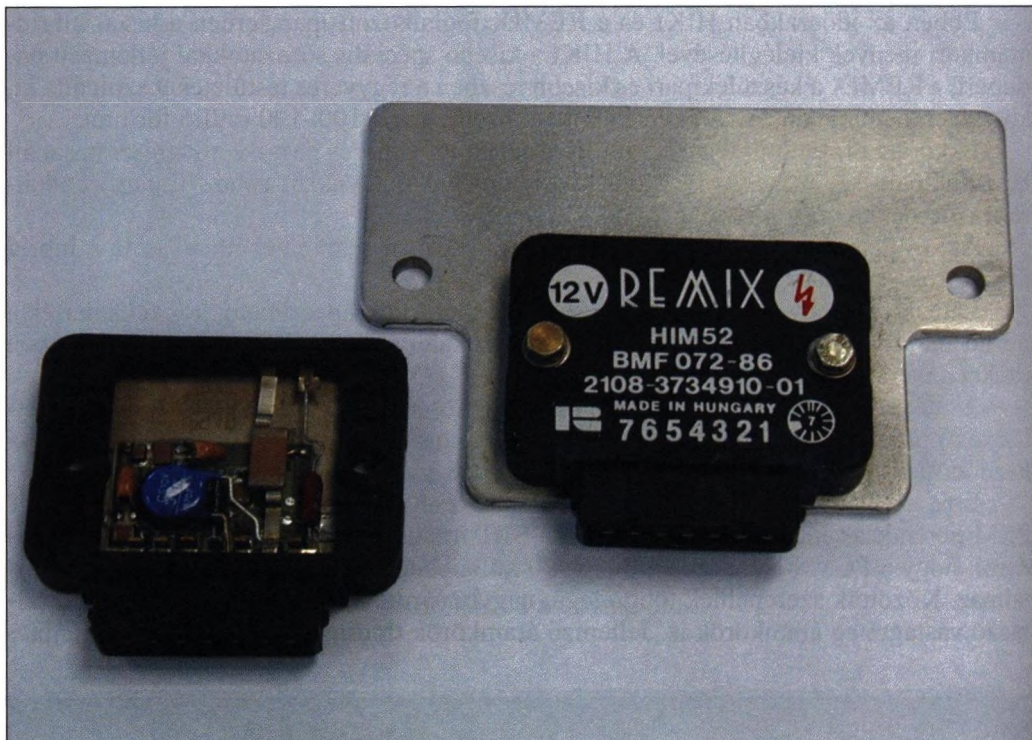
Láthatóan a hazai felhasználók hasonlóan a külföldi tapasztalatokhoz felismerték a hibrid integrált áramkörök előnyeit és egyre inkább igényelték nagyberendezésekben ezeket az áramköröket.

A megnövekedett áramköri igények kielégítésére az úgynevezett G (gazdaságfejlesztési) program keretében OMFB és KGM támogatással a 80-as évek közepén megkezdődött a REMIX-ben a hibridáramkörök tömeggyártásának rekonstrukciója.

Erre az időszakra esik a BUDAVOX vezetésével folyó tárgyalás sorozat a TRT PCM berendezésének licenc vásárlására a SAT francia céggel. A tárgyalások során kiderül, hogy a PCM berendezés mintegy 20 különböző típusú vastagréteg áramkört tartalmaz. Közöttük szerepelnek többretegű, nagybonyolultságú félvezető chipeket tartalmazó vastagréteg áramkörök is. Jellemző áramkörök típusait a 17.4. sz. ábra mutatja.



17.4. ábra. Vastagréteg hibrid IC-k



17.5. ábra. REMIX vastagréteg gyújtómodul

Ezekbe a tárgyalásokba kapcsolódott be a REMIX is.

Így SAT-BUDAVOX-TRT-REMIX együttműködési szerződés keretében a REMIX budapesti telephelyén megkezdődött a 2 millió darab/év átlagos bonyolultságú vastagréteg áramkörök tömeggyártó bázisának kialakítása.

A licenc átadás-átvétel kétféle lépésben indult a SAT cég lanioni gyárában és a dinoni laboratóriumban, majd folytatódott a párizsi központban.

A berendezések telepítése és üzembeállítása a SAT szakemberek segítségével 1985-ben valósult meg. Az üzem kiépítésénél megteremtettük a legkorszerűbb technológiai előírásokat.

A REMIX-be telepített vastagréteg áramköri gyártóberendezések az akkor beszerezhető legkorszerűbb technológiát képviselték.

A gyártósor legjellemzőbb berendezései:

- CO₂ lézeres daraboló
- Automata szitanyomtató berendezések automata tárazókkal
- Négy és hatzónás alagútkemencék különleges védőgázokkal
- Automata lézeres ellenállás értékbeállítók
- Dinamikus lézeres értékbeállítók
- Áramköri mérőautomaták
- Reflow forrasztó berendezések
- Félvezető eszközök beültetésére alkalmas bonderek
- Hermetikus tokozás eszközei

Az így átvételre került áramkörök hazai gyártásból a TRT igényét maradéktalanul kielégítették.

Az országban elsőként helyeztük üzembe OMFb támogatással a Siemens MS 72 típusú felületszerelő automatáját, és egy többretegű nyomtatott áramkörök tervezésére alkalmas tervezőrendszert.

Berendezésgyártók számára SZKI szakemberek bevonásával lehetőséget biztosítottunk a felületszerelési technológiák elsajátítására.

Oktatásokat és áramköri mintázásokat végeztünk.

A REMIX budapesti telephelyén létrehoztuk a HIC Termékigazgatóságot. Ez az akkor korszerű szervezet magában foglalta a fejlesztő és gyártó részlegeket, így rendkívül dinamikus tudott reagálni a vevői igényekre.

A REMIX figyelmet fordított a megfelelő szakemberek utánpótlására és fejlesztő laboratóriumaiiban lehetőséget biztosított egyetemek és főiskolák oktatói számára a korszerű technológiák gyakorlati elsajátítására. A REMIX szakemberek résztvettek egyetemi-, főiskolai tanszékek oktatói munkáiban.

A korszerű gyártósor további lehetőséget biztosított a gyártmányfejlesztés számára. Újabb vastagréteg teljesítmény áramkörök kerültek kifejlesztésre. Ezek közül legjelentősebb a BAKONY MÚVEK-kel együttműködve a hibrid vastagréteg gyújtómodul kifejlesztése.

A gépkocsi gyújtásrendszere három fő részből áll: osztófej, gyújtásvezérlő, gyújtótranszformátor.

A Hall-jeladós osztófejet a BAKONY fejlesztette, a gyújtómodul REMIX fejlesztés eredménye, a gyújtótranszformátor különböző beszállítóktól származott.

A hibrid vastagréteg gyújtómodul félvezető eszközeinek szállítója a TELEFUNKEN cég volt. Az itt alkalmazott teljesítmény darlington tranzisztor huzalkötéséhez alkalmaztunk először thermoszonikus alumínium huzalozási technológiát. A gyújtómodul fotóját lásd a 17.5. ábrán.

Az így kifejlesztett HIM 52 típusjelű gyújtómodulból 100 ezer körüli darabszám került beépítésre a Togliatti autógyár LADA típusú autóiba.

Az 1987/88-ra kialakult REMIX hibridáramköri típusválasztékot az alábbiak szerint lehet csoportosítani:

- Ellenállás hálózatok
- Csillapítótagok
- Feszültségosztók
- Hallásjavító erősítők, végerősítők, nagyfrekvenciás erősítők
- D/A, A/D átalakítók
- CATV hibrid nagyfrekvenciás erősítők
- Hálózati feszültség szabályozó
- SAT professzionális vastagréteg áramkörei
- Autóelektronikai áramkörök
- Hidegindító
- Feszültség szabályozók
- Gyújtómodulok

A REMIX hibridáramkörök árbevétele 1988-ban elérte az évi 340 millió forintot.

Ebben kb. 10 % a vékonyréteg áramkörök árbevétele. Ezen utóbbi áramköri család tömeggyártása 1986-ban valósult meg.

Az 1989. évben a TELEFUNKEN cég, aki jól ismerte és korábban tesztelte a HIM 52 típusú gyújtó modulokat, tárgyalásokat kezdeményezett a REMIX-el vegyes vállalat alapításáról.

Ez a vegyes vállalat REMITEL néven került a magyar cégregiszterbe. Tulajdonosai REMIX, EMO, MOGÜRT (összesen 70 %), valamint a TELEFUNKEN (30 %) voltak. Ezt vásárolta ki 100 %-ban a TELEFUNKEN 1993-ban és 1994-től a cég nevét TEMIC Hungary Kft-re változtatta. Az elképzelés az elektronikus gyújtómodulok és autóelektronikai alkatrészek gyártását irányozta elő az akkori kelet európai piacokra. A privatizáció során a REMIX-ben is több kisebb Kft alakult és a fejlődés tüke hiányában jelentősen megtorpant.

A REMITEL 1993-tól indult jelentős fejlődésnek, amikor VW részére gyártott elektronikus gyújtómodullal sikeres audit eredményt ért el. Ezzel megkapta a minősített beszállítói jogot VW számára.

A REMITEL-ből alakult TEMIC Hungary Kft. 1994-ben sikeres ISO 9002 tanúsítást nyert.

Ez úton is köszönetemet fejezem ki Göblös Jánosnak, aki segítségemre volt az anyag összeállításában.

Források:

- [1] REMIX 50 ÉVES Jubileumi évkönyve 1982. április 4.
- [2] Ajánlott termékválaszték '82
- [3] Ajánlott termékválaszték 1991.
- [4] 20 éves a HIRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓINTÉZET 1973. (JUBILEUMI szakkikk gyűjtemény, szerk. Dr. Katona János)
- [5] Göblös J : Fejlődés, prognosztika és tervezés. (Híradástechnika 1976. 5. Sz.)
- [6] Dr. Molnár R.: A G-5 Elektronikai alkatrészek és részegységek zárójelentése és elszámolása, 1991. május
- [7] Ripka G, Papp K: Vastagréteg áramkörök tervezése Híradástechnika 1974. 12. (1975. POLLÁK-VIRÁG díj)
- [8] Vastagréteg integrált áramkörök Szerk.: Dr. Ripka G. 8.3. fejezet Papp K. MK. Bp. 1985 p. 640

17.2. Vastagréteg áramkörök a HIKI-MEV-ben

Importkiváltás jegyében az OMFb támogatásával a HIKI-ben is megindultak a vastagréteg technológiai és az áramköri fejlesztések a 70-es évek elején. Az alapvető berendezések beszerzése, a technológia begyakorlása a REMIX-ben történekkkel egyidőben indult. Ugyancsak egyidőben indultak az alkalmazási lehetőségek feltárására irányuló erőfeszítések is. Ezt segítette az EMO is, akivel és a REMIX-el közösen vévőszolgálat került megszervezésre a hazai hibrid lehetőségek megismertetésére, a vevői igények előcsalogatására.

1980-ban, egy 5 évre visszatekintő HIKI jelentés szerint összesen 147 féle áramkör került megvalósításra és ezek prototípusai eljutottak már a felhasználókhoz. Ezek:

- méréstechnikai áramkörök	32 típus
- átviteltechnikai áramkörök	16 típus
- szabályozástechnikai áramkörök	5 típus
- nagyfrekvenciás áramkörök	18 típus
- nagyteljesítményű nagyfrekvenciás áramkörök	3 típus
- u.n. katalógus áramkörök	18 típus
- „custom design” áramkörök	54 típus

1976–1980. között összesen tehát 147 vastagréteg áramköri típus került megmintázásra, ami azt jelentette, hogy a korábbiakkal és a vékonyréteg hálózatokkal együtt a választék már 200 darabból állt.

A vékonyréteg technológiát olyan hálózatokhoz alkalmaztuk, ahol általában legalább 0,5 %, de inkább annál pontosabb ellenállás értékekre ill. ellenállás arányokra volt szükség. (Bemeneti osztók, csillapítók, létrahálózatok, stb.) Ezek sorozatnagysága kisebb, áruk magasabb volt, mint a hasonló bonyolultságú vastagrétegeké. Sajátos területe volt még a vékonyréteg technológiának a mikrohullámú célokat szolgáló u.n. strip line-ek megvalósítása, vastag arany vezetőréteg felhasználásával.

Meg kell említeni azokat a vállalatokat, intézeteket, akik a legnagyobb hajlandóságot mutatták a hibridek alkalmazására a kezdetektől 1980-ig. Ezek:

- FMV, TKI, TRT, BEAG, EMG, BHG, Gamma, MMG-AM, MIKI, OGIL, BM, majd 1980 után:
- BRG, ORION, MOM, MFKI.

Ezek a felhasználói igények változatos, de kisdarabszámú gyártást kívántak. Néhány adat az értékesítésre gyártott termékekből:

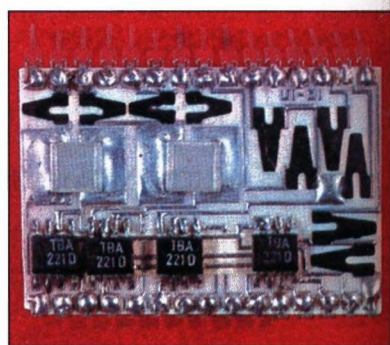
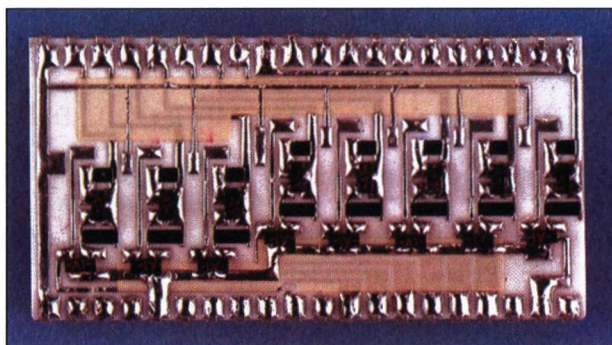
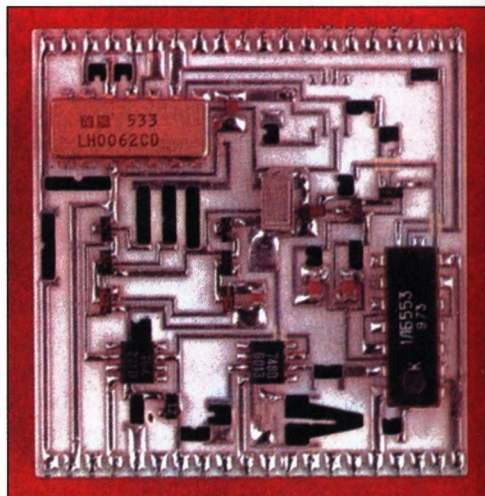
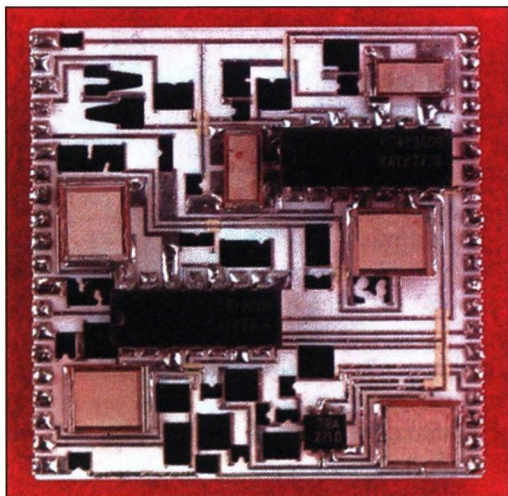
- 1976. évben	48 edb
- 1977. évben	44 edb
- 1978. évben	70 edb
- 1979. évben	50 edb (és egyidejűleg 24,5 edb-os megrendelés REMIX-hez átirányítva),
- 1980 évben	68,5 edb (és egyidejűleg 18,9 edb-os megrendelés REMIX-hez átirányítva).

Az áramköri fejlesztések irányítói *Szilágyi Ferenc, Kun László és dr. Sonkoly Aurél* voltak.

Az 17.6. ábra tokozatlan állapotban mutatják ezeknek az éveknek jellegzetes vastagréteg áramköreit.

Az áramköri igények növekedése a fejlesztés és gyártás feltételeinek javítását sürgette. Az 1980–81. évre sikerült OMFB-KGM támogatással a gépek és eszközök terén a rajzkészítéstől a rétegek előállításán át a hermetikus tokozásig és a mérőautomatáig a teljes berendezés vertikumot megújítani zömmel az Egyesült Államokból, kisebb hányadban a Német Szövetségi Köztársaságból vásárolt berendezésekkel.

Nem tömeggyártásra szolgáló drága nagyberendezések kerültek megvételre, hanem könnyen átváltható, de ugyanakkor egy adott beállításban stabilan üzemelő kis gépek és berendezések. Később még sikerült néhány nagyon fontos egyedi berendezést beszerezni (pl. egy olaszok által gyártott lézeres ellenállás-érték beállítót) ugyancsak központi



17.6. ábrák. HIKI fejlesztésű és gyártású vastagréteg integrált áramkörök a 70-es évekből

támogatással és így kialakult az a berendezés park, amellyel a közepes bonyolultságú hibrid áramkörök széles típusválasztéka rugalmasan gyártható. Ez volt a „hibrid rekonstrukció” néven számon tartott beruházási akció, amelynek tételei – 20 éves használat után is – helyes választásnak bizonyultak.

A 80-as évek elején

- tovább folyt az u.n. katalógus áramkörök fejlesztése, a multichipként megvalósított konverterekre koncentrálva,
- kézi URH adó/vevők csaknem teljes hibridizálása,
- igen jelentőssé váltak az UHF és mikrohullámú hibrid igények,
- a nagysebességű mérés-technikai részére komparátor, driver és késleltető művonal fejlesztése,
- az optikai adatátvitelhez I/O áramkörök megmintázása,
- a HIKI-ből és az Egyesült Izzó félvezető részlegéből akkorra már Mikroelektronikai Vállalattá (MEV) vált fejlesztő vállalat belső igényeire igen nagy számú vastagréteg áramkör (a mérőautomaták gyártásához) került kifejlesztésre és legyártásra.

Ekkorra már a vastagréteg gyártásban korábban alkalmazott homokfúvós értékeállítás helyett teljes mértékben lézeres trimmelést alkalmaztunk. Az áramkörbe kerülő al-

katrészeket, ahol mód volt erre, felületszerelt alkatrész váltotta fel. A forrasz pasztát szitázással vittük fel a kívánt helyekre, automata beültető berendezés rakta fel az alkatrészeket a lapkákra, majd szállítószalagos infrakemencében ment végbe a csoportos forrasztás. Tudtunk KFKI készítésű teljesítmény lézerrel kerámiát perforálni, tudtunk készre szerelt áramkört lézerrel utólag a kimenő paraméterekre „aktív trimmelni”, 2 GHz-ig UHF és mikrohullámú eszközöket mérni, az áramkörü paramétereket és a rajzolatot számítógépes segédlettel terveztük, hogy csak néhány lényeges jellemzőt említsünk meg.

Ebből a palettából az alábbiak a rendszerváltás utáni nagyon nehéz években még tovább ténykedtek a piaci helyzet romlása okozta nagyon szerény formában az INTERBIP Rt magyar tulajdonú vállalat keretén belül:

- vastagréteg kissorozatú gyártás,
- vékonyréteg kissorozatú gyártás,
- forrasztható és bondolható ill. érintkezőkre felvitt aranyrétegek galvanizálása,
- valamint egy független kisvállalkozás keretében uktraprecíziós ellenállások értékeállítás, tokozása.

Az INTERBIP eladta a hibrid részleget a holland tulajdonú FERRO Electronics Kft-nek a 90-es évek végén. Az új tulajdonos 2001-re minden kapacitást a saját fejlesztésű, zománcozott acéllemezen vastagréteg eljárással előállított fűtőlapok tömeggyártására állított át. Az új profil mintegy 200 mFt-os éves árbevételt hoz, 50–80 fős létszámmal, amely rugalmasan mindig a rendelésállományhoz igazodik.

17.3. Vastagréteg gyártás a VIDEOTON-ban

A VIDEOTON 1988-ban a hadiipari igények kielégítésére vastagréteg eljárást és gyártósort vásárolt. Ennek telepítése 1990-ben befejeződött.

1993-ban ezt a részleget egy TEKMAR nevű német cég vette meg és a VIDEOTON Holding Rt-vel VTt Hybrid Kft. néven közös vállalatot alapított. A gyár vastagréteg ellenállás hálózatokat és integrált áramköröket gyárt nagyobb részben a Tekmar A.E. GmbH vevőköre, kisebb részben a bicskei TYCO vállalat számára, valamint – a régi hibrides hagyomány szerint – bárkinek, aki a szolgáltatásaira igényt tart.

A VTt Kft mintegy 40 főt foglalkoztat, 2001. évi tervezett árbevétele 136 mFt.

17.4. Vastagréteg gyártás Bicskén

A SIEMENS nemzetközi óriáscég 1996-ban megvette a megüresedett gyártelepet Bicskén és oda telepítette München közelében lévő hibrid gyárat, amely saját híradástechnikai nagyberendezéseinek hibridáramkörü igényét elégítette ki.

A profilt megtartva 1999-ben a gyárat a Tyco Electronics Corporation cégcsoport vette meg, mely – saját ismeretük szerint – ma a világ legnagyobb passzív alkatrész szállítója. Bicskén nagy sorozatban készülnek vastagréteg ellenállás hálózatok, DCB alapú áramkörök, multichip modulok, ezekhez termék- és technológia-fejlesztés is járul. Termékeik: teljesítménykonverterek, GPS vevők, távközlési teljesítmény- és védelmi áramkörök, fejlett ipari elektronika, félvezető relék, ellenállás hálózatok.

A vállalat árbevétele 2000-ben 9 mrdFt volt.

17.5. Zárzó

Ha meg akarjuk vonni az 1989 utáni átalakulások mérlegét, azt kell mondani, hogy a hibrid terület jól járt. Abban az évben a gyártás jellegű tevékenységek bevétele országos szinten mintegy 350 mFt volt. 2001-ben pedig a tervek szerint 33–35 mrdFt körüli lesz. Ebben a mintegy 100-szoros növekedésben meghatározó a TEMIC, másodszorban a TYCO. Ha nem folyó áron, hanem dollárban számolunk, akkor ez a növekedés csak (!) 10–12-szeres, de az sem lebecsülendő.

A történehez az is hozzátartozik, hogy Magyarországon felületszerelést, tömegszerűen elsőként a fentebb felsoroltak (REMIX és MEV) alkalmaztak. Ha azt is figyelembe vennénk, hogy ma az elektronikai szerelőiparban mekkora üzemek termelése alapul jelentős mértékben a nyomtatott áramköri lemezekre történő felületszerelésen (mobiltelefon-, TV-gyártás, számítógép összeszerelő üzemek), a hibrid múlt továbbélése egy még sokkal kiterjedtebb kört érint.

18. Magyar elektronikai ipar: meghalt vagy megölték?

Dr. Szentgyörgyi Zsuzsa
szentzs@helka.iif.hu

Ezt a tanulmányt 1994-ben fejeztem be. Akkortájt elolvasta Dr. Mojzes Imre professzor és felkért, adjam át egy megjelenésre kerülő könyvbe, annak egyik fejezeteként. Kész örömmel igent mondtam. Csakhát a pénz... Mojzes barátomnak most, végre, sikerült anyagi támogatást szereznie a kiadáshoz. Az eltelt hét év alatt persze nagyon sok minden történt, sok minden változott, mégis, úgy érzem, a címben feltett kérdés elemzése és a rá adott válasz érvényes maradt. Ezért, rövidítve bár, de lényegében azonos tartalommal közreadom ezt az írást, bízva abban, hogy a halál után lehet még fel-támadás is...

* * *

A rendszerváltás előtti évben, tehát 1989-ben a magyar elektronikai ipar (a híradás- és vákuumtechnika és a műszeripar együttvéve) részesedése az ipari termelésben a hozzáadott érték szerint mintegy 15% volt. Az elektronikai ipar kereken 130 ezer munkahelyet adott, de közvetve – becslés szerint – még további legalább tízezer munkahelyet érintett. A magyar elektronikai ipar nettó árbevétele 1989-ben meghaladta a 133,5 milliárd forintot, az export összértéke (rubel+dollár) kereken 51 milliárd forintot tett ki. 1991 végén a foglalkoztatottak száma már csaknem a felére, 75 ezerre csökkent, a nettó árbevétel folyóáron 103 milliárd forint, az exportbevétel kereken 32 milliárd forint volt. Ez azt jelenti, hogy 1989-es bázisáron az árbevétel mintegy a felére, az export pedig kb. a 40%-ára apadt. A tendencia a következő két évben a megelőzőnél nagyobb gradienssel folytatódott.

Tanulmányunkban 1992. végéig tekintjük át a magyar elektronikai ipar helyzetének alakulását. Erre az időre a magyar elektronikai ipar lényegében megszűnt, vállalatai részben csődeljárás alatt, nagyobb részben felszámolás előtt álltak. A külföldi befektetők által felvásárolt vállalatok döntő többségében az új tulajdonos megszüntette a műszaki fejlesztést (és ahol volt, a kutatást is), drasztikus leépítéseket fogatosított. Az elektronikai ipar mintegy 30 vállalatából – a töredékekből létrejött kisvállalkozásokat leszámítva – legfeljebb egy-kettő maradt, erősen csökkent termeléssel, fejlesztés nélkül, vagy külföldi nagyvállalat bedolgozójaként.

Az alábbiakban azt vizsgáljuk, hogy a magyar elektronikai ipar felbomlásában az egyes gazdasági, politikai és részben humán tényezők közül melyik milyen súllyal szerepelt és hogy ezek spontán módon hatottak, vagy egy megtervezett stratégia ré-

szét képezik-e. A következő tényezőket vesszük sorra, hangsúlyozva, hogy ezek nem függetlenek egymástól, hanem szoros interrelációban vannak és rendszerint erősítik egymás hatását:

- a hagyományos piacok elvesztése,
- a technológiai és termékfejlesztés elmaradottsága,
- a tulajdonosi struktúra átalakítása („privatizáció”),
- az újonnan megszerzendő piacok protekciós vonásai,
- kormányzati hibák, téves döntések,
- a nemzetközi konkurencia lépései,
- a magyar elektronikai ipar szellemi bázisának hibái.

A KSH besorolásának megfelelően az elektronikai ipari tevékenységek az alábbi gyártási ágakat foglalják magukba:

- ipari híradástechnikai termékek,
- közszükségleti híradástechnikai cikkek,
- mérőműszerek és eszközök,
- irányítástechnikai eszközök és berendezések,
- számítástechnikai eszközök és berendezések, orvosi műszerek és berendezések,
- elektronikai alkatrészek.

Ebből a meghatározásból *egyrészt* hiányzik a láncolat egyik meghatározó fontosságú része, az értékesítés, a piaci követelményeknek és igényeknek a fejlesztést és termelést alakító visszacsatoló hatása. *Másrészt* pedig, a felsorolásból kitűnik, hogy a KSH-osztályozás teljesen ignorálja a „rendszert” mint az eszközöket és berendezéseket integráló, jelentékeny szellemi ráfordítást involváló termelést, illetve kínálatot.

18.1. Piaci helyzet, piaci stratégiák

Ha némileg elvontan fogalmazunk, akkor azt mondhatjuk, hogy a magyar elektronikai iparnak, akárcsak az egész magyar gazdaságnak a piacát a *jaltai egyezmény* (1945. február) határozta meg, amely országunkat a szovjet érdekszférába utalta. A hidegháború korszakában, elzárva a világ más régióitól, természetesen a domináns megrendelő, a Szovjetunió, valamint a többi, főleg kelet-európai ország igényei szerint alakult a magyar elektronikai ipar. A teljes elzártság csak a hatvanas évek második felében kezdett oldódni, majd a hetvenes években beindult egy korlátozott nyitás ún. „nem-szocialista” (elsősorban harmadik világbeli) piacokra. Ezt a nyitást az afganisztáni bevonulás ismét bezárta és a szocialista tábor egy újabb befelé fordulásra kényszerítette, amit csak bizonyos *alagút-effektusok* enyhítettek, főleg Magyarországon.

A nyugati importkorlátozások, elsősorban a know-how, a fejlett technológiai tudás és a high-tech berendezések tekintetében, voltaképpen a COCOM megszűnéséig (1992) fennálltak. A „tőkés” országokba irányuló exportszállítások viszont már a nyolcvanas években számottevő értéket értek el a magyar elektronikai iparban, bár kétségtelen, hogy ezek nagyobb része „félkemény” valutás piacokra (pl. Líbia, Libanon) ment, vagy állami támogatással, „zöldhitelek” finanszírozták, és csupán töredéke volt a tényleges piaci módon létrejött kivitel.

A hetvenes évek közepén kezdődött Magyarországon a komolyabb mértékű nemzetközi hitelfelvétel, aminek egyik következménye lett, hogy a magyar gazdaság az adósságszolgálat miatt fokozódó mértékben rászorult az ún. „keményvaluta” kitermelésre. A vállalatokra növekvő nyomás nehezedett a tőkés export tekintetében. Eközben azonban az export volumenhordozója továbbra is a rubeltermelés maradt. Kialakult egy sajátos piaci struktúra, amely végső soron megbénította a vállalatok fejlődőképességét, torz elszámolási arányokkal operált, és amelynek egyetlen célfüggvénye volt: a fiskális szempontok érvényesítése. A magyar gazdaság három, egymástól jelentősen (egyes esetekben sarkosan) eltérő követelményrendszerű és felfogású piacra volt kénytelen dolgozni:

- a nagy volumeneket felvevő, műszakilag a fejlődést nem gerjesztő, mert azt lényegében nem vagy alig honoráló *szocialista piac*, amely viszont az ötéves és éves kontingens- és árviták lezárása után lényegében szabad mozgást adott a szállító vállalatoknak;
- a korlátozott felvevő-képességű *hazai piac*, amelyet viszont nem fenyegetett, de folyamatos fejlesztésekre és versenyzésre sem szorított az importtermékek mennyisége és színvonala, mivel a tőkés importot a devizabalansz érdekében erősen korlátozták, a szocialista importot pedig egyrészt a kontingensek határolták be, másrészt a műszaki színvonaluk nem jelentett valódi húzóerőt;
- a túltelített, politikai szempontokból elzárt és a versenytársak által keményen védett és lefedett *tőkés piac*, amelyre voltaképpen csak élelmiszeripari termékekkel vagy erősen energiafogyasztó és a környezetet jelentősen terhelő termékekkel (mint pl. a feketekohászati áruk vagy az olajszármazékok, jobb esetben erősáramú berendezések és létesítmények) lehetett nagyobb volumenben beférközni. Ez a „tőkés” piac voltaképpen nagyobb részben a harmadik világ fizetőképes régióit jelentette (pl. Irak, Irán, egyes „olajországok”: Kuvait, Nigéria, Libanon, Algéria, valamint néhány Dél-Amerikai ország).

A hárompiaci struktúrában pénzügyi hidak alakultak ki, a vállalatok (legalábbis az ügyesebbje) ezeken keresztül járkálva tudtak maguknak bizonyos mozgásteret kialakítani. A tőkésipiaci szállítások profitabilitása az esetek jelentős részében alacsony, marginális vagy éppen negatív volt, viszont a keményvalutás bevételt az állami szabályozórendszer magasan premizálta, míg a nagyvolumenű és magas profittartalmú rubelrelációs bevételeket extra adókkal terhelte, amihez még rendszeres időközönként a kötelezően képzett tartalékok állami elvonása járult. Ebben a *szimulációs piacban* egy hármás árfolyamszámítás volt érvényben, ami hozzájárult az elszámolási rendszer kuszaságához.

A magyar gazdaság összeomlásának egyik forrása ez a belülről szándékosan összekuszált, és egyúttal a külső (világpolitikai) erők által kikényszerített gazdasági, nyereség- és költség-számítási rendszer volt. Ugyanakkor a magyar gazdaság létezésének és a lakosság viszonylagos jólétének elsődleges forrásai a *lefölözések* voltak. A szocialista, elsődlegesen szovjet piacról beszerzett olcsó energiát, energiahordozókat, nyersanyagokat, egyéb ipari és mezőgazdasági alapanyagokat (pl. ammónia, timföldből alumínium stb.) ipari és élelmiszeripari termékekbe beépítve, vagy éppen közvetlen módon, átalakítás nélkül is jelentékeny haszonnal adta el magyar állam. A többlet-haszon nemcsak a más országokba eladott exporttermékekből származott, hanem a hazai piacon is érvényesült (pl. személyautó). A felvett hitelek ezekhez a forrásokhoz képest rásegítők voltak.

A rubel-dollár átszivattyúzás a *magyar gazdaság egésze* szintjén folyamatosan pozitív szaldójú volt. Ugyanez viszont egyáltalán nem jelent meg vállalati szinten, mivel a szabályozók a rubelből származó többlet-nyereséget elvonták, a hazai árakat pedig a tőkés kivitel árai szerint alakították. Ez utóbbiban egyébként volt ráció, mivel így próbálták rászorítani a termelőket arra, hogy nyereséget ne áremeléssel, hanem műszaki újdonságokkal, termelékenységnöveléssel érjék el.

Ami ebben a konstrukcióban a magyar elektronikai ipart illeti, kimondható, hogy gyakorlatilag az egész ágazat a rubelexportra állt be: a hatvanas évek végétől kezdve, amikor a tőkésipari exportok nagyobb volumenben megindultak, egészen a nyolcvanas évek legvégéig, az ún. szocialista tábor összeomlásáig a termelésének 60–65%-át rubel-exportban értékesítette (ennek mintegy 80–85%-át szovjet relációban), 10–12% volt a dollárexport, és a fennmaradó rész hazai felhasználásra került. Ez az ágazat mintegy 60 jelentősebb termelő-vállalatot foglalt magában (kb. 30 vállalat és kb. 25 szövetkezet, amihez még kutatóhelyi gyártás is járult). 1985-ben az ágazat kereken 150 ezer embert foglalkoztatott.

Érdemes néhány szót szólni a magyar elektronikai ipar vállalati struktúrájáról is. A cégek profilját állami döntéssel a hatvanas évek végén osztották szét, lényegében akkor, amikor a megrendelések nagysága igen erősen megnőtt. A magyar vállalatok mérete már a rendszerváltást megelőző években állandó vitát váltott ki. Az ún. nagyvállalat-ellenes csoport támadta a hazai ipar vállalatszerkezetét, amely, szerintük, nehézkes, megújulásra nem képes óriásokból áll, mozgékony, friss kisvállalatok helyett. E felfogás megalapozatlanságát azonban éppen a nyugati példák igazolják, ahol az elektronikai ipart általában multinacionális óriásvállalatok uralják és körülöttük specializált bedolgozó kisvállalat-szatellitek gyűrűje él és szállít nekik. A magyar ún. „nagyvállalatok” többsége nemzetközi összehasonlításban legfeljebb közepes méretűnek számított, és amellet a „nagyságukat” az az egészségtelen körülmény is megszabta, hogy hatékony vagy egyáltalán működő beszállítói, háttérpári rendszer híján olyan tevékenységeket is házon (gyáron) belül kellett végezni, amelyek egészséges gazdaságokban kívülről biztonsággal megrendelhetők.

Bár nem kapcsolódik szorosan a vállalati struktúrához, érdemes megemlíteni a hazai elektronikai gyártásnak egy specifikumát: a *kutatóhelyi termelést*, a saját eredmények alapján termékek *készítését*. A magyar kutatóintézetekben és műszaki fejlesztő vállalatokban jelentékeny és az esetek nagyobb részében nemzetközileg is elismert szellemi kapacitás halmozódott, ugyanakkor a létrejött K+F-eredményeknek a magyar ipar nem volt eredményes felvevője. Ehhez járult még, hogy a gazdasági szabályozók kifejezetten preferálták a kutatóhelyeket, mind a képződött nyereségek igen alacsony szintű elvonásával, mind pedig – az elvileg a kutatáshoz szükséges – csak keményvalutás relációból beszerezhető, fejlett technológiájú eszközökhöz (berendezések, alkatrészek, anyagok) való hozzájutásban, azaz, az iparhoz képest összehasonlíthatatlanul jobb feltételek megteremtésében. Nem elhanyagolható szempont, hogy a kutatóhelyeken a szellemi színvonal *átlag*a magasabb volt, mint az ipari átlag, beleértve nemcsak a tudományos, hanem a kisegítő személyzetet is.

A kutató és fejlesztő intézetek és vállalatok azonban nem csak saját eredményeiket alkalmazva termeltek, hanem az itt felhalmozódott tudás felhasználásával megpróbálták – egészen a nyolcvanas évek második feléig sikeresen – lemásolni és átültetni azokat a fejlett eszközöket, berendezéseket, amelyekről az embargó elzárta országunkat. Erre két példát érdemes említeni: a saját kutatási eredményekből készí-

tett grafikus displayt (MTA SZTAKI), illetve az ugyancsak saját kutatási eredményekre és tudásra alapozott, de lényegében a DEC mini-számítógép-vonalat követő TPA-sorozat (MTA KFKI). E kettő csupán markáns példa, mert az elektronika más ágaiból, főleg a műszer- és mérés technikából és az irányítástechnika-automatizálás köréből is bőségesen lehetne idézni kutatóintézetekben és fejlesztő vállalatoknál készített termékeket.

A K+F-helyeken készült elektronikai termékek viszonylag magas árak ellenére népszerűek voltak a felhasználók körében, egyrészt mert magas műszaki színvonalat képviseltek, másrészt – és ez a döntő ok –, mivel ily módon egyáltalán hozzájutottak olyan eszközökhöz, amelyek egyébként szigorú embargó alatt álltak. Külön kell megemlíteni a Magyarországon alkalmazott *szoftvereket*, amelyeket a nyolcvanas évek legvégéig szinte teljes egészében a hazai K+F-bázis fejlesztett ki és hozott létre. A szoftver területén nemzetközileg is elfogadott és piacképes eredmények és termékek keletkeztek (pl. MPROLOG, a Recognita az SZKI-ban, a HUNIX a KFKI-ban és SZTAKI-ban).

18.2. Szellemi háttér (kutatás-fejlesztés, oktatás)

A szellemi háttér esetében két tézisből célszerű kiindulnunk:

1. az elektronikai ipar rendkívül erősen tudásbázisú ágazat, amelynek igen gyors a megújulási rátája, tehát állandóan új ismereteket igényel;
2. a magyar elektronikában magas szintű kutató-fejlesztő műhelyek alakultak ki, a felsőoktatás pedig nemzetközileg is összehasonlítható színvonalú szakember-utánpótlási bázist jelentett.

A kutatóhálózat meghatározó részét az ötvenes években és a hatvanas évek elején építették ki, főként az Akadémia alá rendelve. Az ún. ipari fejlesztőintézetek többségét is az ötvenes években alakították ki, azonban ezek nagyobb részét a hetvenes évek második felében műszaki fejlesztő vállalattá alakították át. A magyar elektronikai K+F-bázis négy rétegből tevődött össze:

1. **az akadémiai hálózat intézeteiből.** Közülük, a magyar elektronikai ipar szempontjából elsősorban KFKI és a SZTAKI emelhető ki. A KFKI a számítástechnikában, a szilárdtest-fizikában, a mikroelektronikai technológiákban és a lézertudományban jelentett komoly erőt, míg a SZTAKI főleg az irányítástechnikában, a relációs adatbázisok terén, az erősáramú elektronikában és a szoftverfejlesztésben. Ezek mellett más akadémiai intézetek egyes részlegei is végeztek az elektronikához kapcsolódó kutatásokat (pl. MÜFI, ATOMKI). Az MTA nemzetközi rangú Matematikai Kutatóintézetében igen színvonalas információ- és hálózateleméleti, topológiai, számelméleti műhelyek voltak és vannak, azonban ezeknek csak közvetett ráhatásuk volt a magyar elektronikai iparra;
2. **az ipari kutató és fejlesztő intézetek/vállalatok.** Közülük kiemelendő a TKI a mikrohullámú technikában, valamint az első magyar, iparban is hasznosított számítógépes elektronikai tervezőrendszer megalkotásában (AUTER); a HIKI, amely az integrált áramkörök tervezésében és technológiájában próbálkozott, bár inkább csak követő kísérletezéseikig jutott el; a két mérés technikai intézet (MIKI, MKKL), amelyek a HIKI-hez hasonlóan elsősorban másoló-követő fej-

lesztéseket végeztek, kevés originális eredménnyel; továbbá az SZKI és a SZÁMALK, pontosabban annak egyik részlelődjé, az INFELOR, amelyek a számítástechnika egyes területein, elsősorban a szoftverfejlesztésben jelentős eredményeket értek el;

3. **az egyetemek kutatóhelyei.** Közülük elsősorban a BME-nek több tanszékét összefogó elektronikai és fizikai intézeteit kell kiemelni, amelyeknek tanszékein nemzetközileg is elismert, originális munkák folytak (és folynak), egyebek között a szakértői rendszerek, az alakfelismerés, a számítógép-hálózatok, a mikroelektronikai technológiák terén. Az ELTE-n az információelmélettel kapcsolatos matematikai kutatások kiemelkedő jelentőségűek;
4. **az iparvállalatok fejlesztő (és részben kutató) részlegei.** Ezek a K+F-helyek szerepük fontosságánál kisebb elismerést kaptak, annak ellenére, hogy néhány elektronikai vállalatnál színvonalas munkák folytak (pl. a Videotonban az elektronikai technológiák terén, a Tungsramban a robotikában, a BHG-ban a telefontechnikában, a PKI-ban az átvitel-technikában, a BEAG-ban az audio-stúdiótechnikában, az Orionban a mikrohullámú technikában).

A K+F intézmények színvonalas munkája és eredményei nem tükröződtek adekvát módon az iparban, bár annál jobban és hatásosabban, amint azt a propaganda elhithetnie akarta, hiszen a kutatóhelyek, beleértve az egyetemeket is, rendszeresen kaptak megbízásokat iparvállalatoktól. A transzfer mégis távol állt a tökéletestől, amit több összetevővel magyarázhatunk (egyebek között: az iparvállalatok csekély érdekeltsége és a rendszeres elvonások, a „puha” és „kemény” pénzek állandó ellentmondásai, az „át-emelő” intézmények hiánya stb.). Egyebek között ezeken a gondokon próbáltak segíteni az államilag finanszírozott gazdaságfejlesztő és – az ezek részét képező, részint önálló – K+F-programok. Ez utóbbiak két nagy csoportba sorolhatók: országos és a szaktár-cák által irányított programokra.

A magyar elektronikai ipar szempontjából két gazdaságfejlesztő programról szólhatunk: az egyik a hazai számítástechnikai ipart és az alkalmazásokat megalapozó, illetve elősegítő program, amely 1970-től 1988-ig tartott, a másik az elektronikai alkatrészgyártást (elsősorban az aktív elemekét) megteremtő program, amely nagy késéssel és hosszú huzavona után, erősen leszűkített és megnyirbált lehetőségekkel 1981-ben indult és lényegében a bázisgyár, a MEV 1987. évi leégéséig tartott.

A gazdaságfejlesztő programok hasznosságát és hatékonyságát a gazdasági szakemberek – műszakiak és közgazdák egyaránt – sokat vitatták, az 1990-es rendszerváltás után pedig a hatalomra jutott korábbi ellenzék, főleg annak liberális indíttatású része, egyenesen károsnak minősítette. E tanulmánynak nem feladata a gazdaságfejlesztő programok részletes elemzése, csupán abból a szemszögből vizsgáljuk, vajon mennyire járultak hozzá, vagy hatottak ellene a magyar elektronikai ipar összeomlásához. Nézetünk szerint, e tekintetben a következő tényezők gyakoroltak hatást:

- a gazdaságfejlesztő programok piachelyettesítő, szimulációs eszközként szolgáltak. A magyar iparban nem voltak egymással versengő vállalatok (néhány egyedi kivételtől eltekintve), amelyeket a versenyzés rákényszerített volna az újításokra, mind műszaki, mind általános gazdasági szempontból. A nemzetközi verseny készletetése ugyancsak hiányzott, mert a letárgyalt kontingensek és az azokban öt évre, illetve évenkénti bontásban meghatározott termékek mennyiségileg

is, és műszaki tartalom szerint is determináltak voltak. A versenyt a hatóságok (OT, szaktárcák) és részben a párt felső szervezetei döntéseinek és előírásainak, illetve az ezeket kifejező szabályozóknak való megfelelés helyettesítette. A gazdaságfejlesztő programok indítását elsősorban az államapparátus felső szintjein létrejött, de mindenkor az adott szakterület vezető szakembereiből (többnyire a legjobb, világot is járt kutatókból) álló érdekcsoportok által sugalmazott felismerések és javaslatok alapozták meg, és ezeket egyes párt- és államhatalmi csoportok sajátos hatalmi törekvései is erősítették. Ily módon, a piac kényszerítő hatása helyett felülről kialakított döntésekkel, majd ezt követő végrehajtási irányítással próbálták meg a legújabb technológiák bevezetését és egyúttal azoknak a gazdaságban, sőt az egész társadalomban való elterjesztését megvalósítani.

- A hasznosság tekintetében a két elektronikai gazdaságfejlesztő programot, illetve hatásaikat külön kell vizsgálni. Némileg leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a számítástechnikai program, a mai megítélés szerint is, alapvetően helyes döntés volt, mert létrehozott egy számítástechnikai ipari ágazatot, köztük olyan vállalatot, mint az európai szinten is technológiailag a középmezőny felső részébe tartozó, a kelet-közép-európai régióban pedig vezető cégnek számító Videont, mellette és körülötte néhány kisebb, de piaciilag eredményes vállalattal (pl. Orion, Hírszöv), megerősítette a számítástechnikai kutatást és fejlesztést, ebben is elsődlegesen a szoftverfejlesztést, segített létrehozni az alap-, közép- és szakképzés és továbbképzés, és főleg a felsőoktatás számítástechnikai bázisait, és, ami ezekkel egyenrangú jelentőségű: megteremtette a társadalomban a számítástechnika alkalmazása iránti igényt, megalapozta a számítástechnikai kultúrát. Természetesen lehet és kell vizsgálni, hogy mindezt mennyire hatékonyan, mennyire gazdaságosan hajtotta végre a gazdaságfejlesztő program. Egy ilyen vizsgálatot azonban mindenképpen az adott társadalmi rendszer és a nemzetközi közeg viszonyainak figyelembevételével szabad csak elvégezni.
- A másik, az elektronikával összefüggő, a hazai aktív elektronikai alkatrészgyártást megteremteni hivatott gazdaságfejlesztő programot viszont semmiképpen sem lehet sikeresnek tekinteni, akármilyen közelítésből tárgyaljuk is. Kudarcának legfőbb oka a halogatás és az abból is következő rossz kompromisszum a szakmai és a tervező-pénzügyi körök között. A halogatások és a pénzügyi lefaragások miatt a program ahhoz kevésnek bizonyult, hogy érdemleges, fejlődni és fejleszteni képes gyártás jöjjön létre egy olyan terméktípusból mint az integrált (és főleg a nagyintegráltságú) áramkörök, amelyeknek a gyártása már a program indulásakor, a nyolcvanas évek elején hatalmas investíciókat igényelt, és voltaképpen a világon is csupán néhány erős és a piacot uraló cég kezében összpontosult. A kudarchoz egy alapvetően hibás pénzügyi felfogás is járult, amely előírta, hogy az alkatrész-gyártás önmagában nyereséges legyen, miközben a világon mindehnyit a tényleges nyereséget a berendezés- és rendszergyártás hozza.

Az elektronikával kapcsolatos gazdaságfejlesztő programokról azt mondhatjuk: egy-egy volt a sikeresnek számító és a bukott programok aránya. Ennél kedvezőbb a mérleg a kutatás-fejlesztés szempontjából, mert a gazdaságfejlesztő programokhoz kapcsolódó K+F programokban születtek jelentős eredmények is, kialakultak nemzetközileg is elismert iskolák.

18.3. Az összeomlás összetevői

Magyarországon a rendszerváltás utáni első években ez az ipari ágazat felbomlott. Mármost a tanulmányunk címében feltett kérdésre: magától kimúlt-e vagy szándékosan megölték? – *munkahipotézisként* az utóbbi választ fogadjuk el, tehát a nagyobb részben közvetett és kisebb részben közvetlen elpusztító hatásokat. Ezen állításunkat az a korlátozással kell kiegészíteni, hogy a magyar elektronikai ipar elhalásában több független endogén és exogén tényező (az átalakulásokkal óhatatlanul együttjáró kaotikus jelenségek, a korábbi automatizmusok megszűnése, a nemzetközi status quo megbomlása stb.) is közrejátszott. Az alábbiakban megpróbáljuk igazolni ezen állítás érvényességét, sorra véve az összeomláshoz vezető folyamat egyes összetevőit. Öt lényeges évet vizsgálunk (*1. táblázat*): két ötéves terv utolsó évét (1980 és 1985), a megelőző rendszer utolsó teljes évét (1989) és a rendszerváltás utáni első két évet (1990 és 1991). Három, csomópontinak számító időpontra az elektronikai ipar két nagy összetevőjének, a híradás- és a műszer-iparnak az adatait külön is részletezzük (1985., 1989. és 1991.).

18.1. táblázat.

A magyar elektronikai ipar (Híradás- és vákuumtechnikai ipar+Műszeripar) néhány jellemző adata*

Megnevezés	Mérték egység	Együttesen				
		1980	1985	1989	1990	1991
A gazdálkodók száma	db	68,00	190,00	511,0	790,0	1010,0
A foglalkoztatottak száma	fő	160,90	149,50	130,2	101,0	75,5
Nettó árbevétel a)	mrd Ft	50,32	80,20	133,5	128,1	102,8
Export a)	mrd Ft	23,66	39,73	50,9	38,8	32,4
Állóeszközök bruttó értéke a)	mrd Ft	30,49	39,23	56,1	54,5	48,4

Megnevezés	Mérték egység	Híradásipar			Műszeripar		
		1985	1989	1991	1985	1989	1991
A gazdálkodók száma	db	113,00	198,0	391,0	77,00	313,0	619,0
A foglalkoztatottak száma	fő	95,70	84,4	44,1	53,80	45,8	31,4
Nettó árbevétel a)	mrd Ft	52,24	81,5	50,1	27,94	52,0	52,7
Export a)	mrd Ft	24,94	32,4	20,8	17,79	18,5	11,5
Állóeszközök bruttó értéke a)	mrd Ft	26,37	37,0	30,3	12,86	19,0	18,0

* Forrás: Magyar Ipar és Kereskedelem, 1980–1990; 1985–1991.

Ipari és Kereskedelmi Minisztérium. Főszerkesztő: Törökne dr. Szente Ágnes
Az értékek 1991-es folyóáron

A vállalati struktúra az átalakulás során nemcsak mennyiségileg, hanem minőségileg is drámaian alakult át. Míg 1980-ban feltűnően kevés számú vállalat (mindössze 68) képezte a magyar elektronikai ipart, ami a korábban, felső szintű döntésekkel elhatárolt összevonások eredménye volt, addig öt évvel később ez a szám csaknem meghá-

romszorozódott, miközben a foglalkoztatottak száma ugyanezen idő alatt kerekén 7%-kal csökkent. Ebben az időszakban ez az élők munkára vonatkoztatott, kis mértékű termelés-növelés hatását mutatta, amit igazol a nettó árbevételnek mintegy 40%-os növekedése (bázisáron).

1989-re a gazdálkodók száma 2,7-szeresére nőtt, miközben a foglalkoztatottaké kerekén 87%-ára csökkent. Ekkor már más folyamat indult be: az önálló vagy valamelyik vállalathoz kötődő gazdasági társulások gyors ütemű létrejötte. Figyelemreméltó a nettó árbevétel és az export jelentős növekedése. Az állóeszköz-állomány értéknövekedésében elsődlegesen az elektronikai alkatrészprogram keretében létrehozott új technológiák beszerzése játszott közre. Ugyanekkor már megkezdődött a Németh-kormány intézkedései nyomán a kivonulás a KGST-piacokról, elsősorban a szovjet piacról, aminek valós hatása jól tükröződik az 1990- és 1991-es évek exportjában, amikor *foljóáron* az export háromnegyedére, majd egy évvel később kb. 60%-ára esett vissza az egy, ill. két évvel korábbihoz képest. Ez reálisan (az immár jelentős, évi 25–30%-os inflációt számításba véve) rendre mintegy 55 és 40 százalékot jelent. Drámaian csökken a bevétel és miközben a gazdálkodók száma két év alatt megkétszereződik(!), azaz a vállalatok kis, néhány fős vállalatforgácsokká töredeznek szét, a foglalkoztatottak száma csaknem felére esik vissza.

Tehát, míg 1980-ban az *átlagos* vállalati létszám 2366 fő volt, 1985-ben pedig valamivel 800 alatt, addig 1991-re az átlagos vállalati létszám 75-re zsugorodott. Nemcsak a létszám fogy rohamosan, hanem az állóeszköz bruttó értéke is, ami részint a tömeges csődökkel beinduló felszámolásokkal, részint a felszerelések előregedésével magyarázható.

Vegyük most sorra a magyar elektronikai ipar felbomlását előidéző tényezőket, megjegyezve, hogy a felsorolás sorrendje nem jelent óhatatlanul fontossági rendet, mivel egyrészt az egyes tényezők összefüggnek egymással, kölcsönösen hatnak egymásra, másrészt pedig, mivel az egyes időszakokban (ami lehet akár egyetlen év is) más-más tényező hatása válik dominánssá.

18.3.1. Gazdaságpolitikai és kormányzati tényezők a rendszerváltás előtt

A három piac problémája. Erre a kérdéskörre már az előzőekben kitértünk. Ha most specifikusan a magyar elektronikai ipar kapcsolatait vizsgáljuk, látható, hogy a KGST-régió piaca nagy tömegű terméket vett fel, azonban ez a piac csupán a kontingensek által behatárolt mennyiségi és minőségi előírások korlátai között működhetett. Bizonyos propagandisztikus állítások ellenére, és termékcsaládokra, termék-csoportokra nézve differenciáltan, a KGST-partnerek is megköveteltek műszaki fejlesztéseket, új termékeket, azonban a fejlesztési törekvéseket visszavetette, hogy a műszaki megújulást a tervalkukban általában nem sikerült érteken tükröztetni, illetve ezáltal nem lehetett többletprofitot érvényesíteni. A KGST-partnerek, és különösen a legnagyobb megrendelő, a szovjet partner által előírt normatívákkal, szabványokkal, műszaki jellemzőkkel gyártott termékek viszont az esetek többségében nem voltak konvertálhatók a nyugati piacokra.

A műszaki ellentmondásoknál súlyosabb hátrányt jelentettek a gazdasági-gazdálkodási kötöttségek. Míg a tőkés devizatermelést a kormányzat nemcsak támogatta, hanem forszírozta is, addig vállalati szinten ez rendszerint hátrányokkal járt, mert a jelen-

tényen mértékű kivitelhez szükséges járulékos, de a piaci versenyben alapvető fontosságú tevékenységekhez (szerviz, vevőszolgálat kiépítése, betanítás, marketing tevékenység, reklám) a szabályozók hátrányosan megkülönböztetése miatt nem álltak rendelkezésre finansziális eszközök, tehát a tőkeszegény vállalatok ezek híján tartós jelenlétre nem tudtak berendezkedni. A tőkés piacokon bekövetkezett veszteségeket a szocialista és a belső piacokon elért többletnyereség pénzügyi hídjaival egyenlítették ki. Ez a szisztéma azonban rögtön összeomlott, amint a pénzügyi hidak megszűntek.

A belső gazdasági kapcsolatok gyengesége és/vagy hiánya. A magyar közgazdászok által támadott, túlzottnak tartott vállalatméreteket elsődlegesen az teremtette meg, hogy hiányzott egy kielégítően és folytonosan működő beszállítói rendszer. A magyar vállalatok – így az elektronikai vállalatok is – kénytelenek voltak a saját profiljuktól idegen tevékenységekre berendezkedni. A nem megfelelően vagy többnyire egyáltalán nem működő gazdasági kapcsolatrendszer, valamint a hiánygazdálkodás tartalékolási kényszere okozta az indokolatlanul nagy készleteket is, amelyek mind vállalati, mind országos szinten elviselhetetlen mértékű tőkelekötéssel jártak. A piacgazdasági igények megjelenésekor a készletek jelentős része a vagyon értékét terhelő ballasztként jelentkezett. Különösen negatívan hatott ez az elektronikai iparra, amelynek a nyugati piacok eltérő követelményeinek megfelelően, eltérő elektronikai és, az esetek többségében, más mechanikai alkatrészszárazalattal kellett volna termelnie. A beszállító cégek leválása az anyavállalatról voltaképpen a nyolcvanas évek második felében megkezdődött, a vállalat belüli és külső gazdasági társaságok megjelenésével, azonban ezek pozitív hatása az idő rövidsége miatt már és még nem tudott kibontakozni.

Elvonások fejlesztés helyett. A magyar elektronikai ipar erodálódása voltaképpen már a hatvanas évek végén megkezdődött, amikor az elektronikában átfogó változások következtek be. Az integrált áramkörök ipari gyártásával a termékekben megjelenő tudás, újdonság egyre fokozódó mértékben átkerült a berendezésekből az alkatrészekbe, miközben maga a „berendezés” is egyre teljesebb mértékben egyedi készülék helyett nagy bonyolultságú rendszer lett. A szakma – elsősorban annak iparban dolgozó része – már a hatvanas évek végétől sürgette egy átfogó technológiai rekonstrukció megvalósítását. Szakmai grémiumok, bizottságok, tanulmányok serege követte egymást, sokszorosan megvitatott, újból és újból átdolgozott koncepciók, javaslatok készültek, rengeteg energiát lekötve, de mindig eredmény nélkül.

Kétségtelen, hogy helyesebb lett volna ha a gyártó vállalatok a technológiáik rekonstrukcióját, a modernizálást maguk hajtják végre, nem pedig központi elhatározásból és állami finanszírozással. Ezt két okból sem lehetett megvalósítani. Egyrészt minden nagyszabású átalakításba beleszólása van a mindenkori tulajdonosnak, de legalább is a többségi pakett birtokolójának. 1990 előtt ez minden esetben az állam volt, amely tehát megszabta a terveken keresztül, hogy egy adott vállalat mire fordíthatja az eszközeit és milyen fejlesztéseket hajthat végre. A másik tényező összefügg az előzővel. Az állam mint tulajdonos rendszeresen elvonta a vállalatoktól nemcsak a képződött többlet-nyereségeket (pl. az olcsó szocialista nyersanyagokból, alkatrészekből, de főleg energiahordozókból származó többletet lefölözték az ún. különbözeti termelési-fogyasztási adóval, a KÜTEFA-val, vagy a nyolcvanas évektől kezdve a szocialista piacról hozott bevételeket egy szép nevű, a lényegét elfedő „termelési adó”-val sújtották), hanem időnként visszatérítés nélkül elvonta az egyébként általa kötelezően előírt tarta-

lékokat is. Ilyen helyzetben a vállalatok csak akkor tudtak jelentős fejlesztéseket végrehajtani, ha megfelelő felső támogatást élveztek, vagy pedig, ha valamilyen központi fejlesztési program kedvezményezettjei lehettek.

Az elvonások és a piactiltó szabályozások különösen drámai hatásúak lettek a nyolcvanas évek második felében, amikor a Szovjetunió hazánkkal szembeni eladósodása hirtelen megugrott. Egyrészt az ún. bukaresti elv értelmében a folyó olajár a megelőző öt év világszerte átlaga szerint alakult és ekkor, éppen aszinkronban a fejlett országokhoz képest, erősen csökkent a szovjet olaj ára, másrészt pedig a Szovjetunió akkor már drámai mértékben fokozódó dezintegrálódása következtében romlott a fizetőképessége, illetve a szállításai a magyar áruk ellenértékéért. Az akkori (Grósz-, majd Németh-) kormányok, rövidtávú érdekektől vezérelve, rendkívül erős szigorító, sőt, diszpreferáló intézkedéseket hoztak a szocialista, elsősorban is a szovjet szállítások ellen. Ezek az intézkedések részben elvonásokban, részben direkt kontingentálásban nyilvánultak meg. 1990 után az Antall-kormány tovább folytatta ezt a törekvést, immár politikai szándékokkal is megtoldva.

Az importliberalizálás. Ez jól indokolható és 1990-ig terjedő szakaszában – a bevezetés kezdeti hibáitól eltekintve – helyes elhatározás volt, amely azonban a rendszerváltás után, megfelelő korlátozások híján, súlyos csapást mért a magyar elektronikai iparra. A „libero” bevezetésének a nyilvánosság számára hangoztatott fő érve az volt, hogy ezáltal kell teret nyitni a versenynek, beengedni a fejlett termékeket és szembesülni azok fejlesztési kényszerével. E helyes szándék mögött azonban politikai kényszerek (és igyekezetek) is meghúzódtak. Magyarország csatlakozott a GATT-hoz és ez előírta számára a liberalizálást. Bár a terméknomenklatúra 80%-a liberalizálva lett, ebbe azonban be lettek építve olyan, a magyar ipart védő korlátozások, amelyek a tevékenységének mintegy 70%-át védték. Mindent egybevetve, a liberalizálás alól kivont 20% a magyar ipar tevékenységének 70%-át védte. Azonban még ezt az átmeneti védelmet is figyelembe véve, nem kétséges, hogy a rendszerváltás előtti kormányok, saját túlélésük reményében, a csaknem teljes körű importliberalizálás azonnali bevezetésével olyan engedményeket tettek a magyar elektronikai ipar létét fenyegető versenytársaknak, amelyeknek ugyanakkor például a nyugat-európai fejlett országok nagyobb része – saját iparának védelmében – keményen ellenállt.

Követő fejlesztések, másolások. Ez a tényező látszólag kevésbé lényeges, mint az előzőek, azonban hosszú távú hatásai nem elhanyagolhatók. A magyar gazdaság 1990 előtt el volt zárva a fejlett technológiáktól. Ugyanakkor a kutatószféra lényegesen szabadabban mozoghatott. A hetvenes évektől kezdve a kutatók nagy része, és elsősorban a jelesebb, magasabb intellektusú része rendszeresen eljutott külföldre, nem csak konferenciákra, rövid látogatásokra, hanem hosszabb, éves, esetenként néhány éves kutatómunkára kitűnő laboratóriumokba. Az így összeszedett ismereteket hasznosítva megpróbálták követni – esetenként nem is túl nagy távolságból – a legfejlettebb eredményeket. Ehhez a magyar állam is segítséget adott (pl. valutakeretekkel), felismerve, hogy ily módon legalább részlegesen pótolni lehet a COCOM- és egyéb korlátok alá eső fejlett technikát. Ez a követő kutatás és fejlesztés azonban a nyolcvanas évek végére teljes zsákutcába vezetett, több okból is. Egyrészt, mivel a tudás, az újdonság egyre inkább az alkatrészekben sűrűsödött, immár lemásolhatatlanul. Másrészt, a politikai okokból kialakított korlátozások, listák megszűntek, az import teljes

egészében felszabadult, a vásárlásokat csak a fizetőképes határolja be. Így tehát, a „drágább, de legalább kapható”, a fejlettekről másolt vagy csak követő módon fejlesztett hazai berendezés vagy szoftver eladhatatlanná vált. Végül, nem elhanyagolható tényező az sem, hogy megjelentek Magyarországon azok a vállalatok, amelyek termékeinek hasonmásai, „klónjai” voltak az említett magyar elektronikai, főleg számítástechnikai termékek, és iparjogvédelmi okokból joggal letiltották ezek forgalmazását (vagy jobb esetben, felismerve a magyar fejlesztőknél-gyártóknál felhalmozódott tudást, saját filialiéként átvették őket).

18.3.2. A rendszerváltozás utáni átalakulás és átalakítás hibái

A hibás beavatkozások folytatása. Az új kormányzat – sok tekintetben fel-erősítve – megismételte elődjei hibás intézkedéseit. Az Antall-kormány politikai okokból folytatta a szovjet piac diszkriminatív megítélését, ezáltal a Németh-kormány alatt már alaposan megromlott viszony jelentős leépülésbe ment át. Jellemző, hogy míg például a csehszlovák export a volt szovjet piacokra 1991 első félévében az 1990 évinek 92%-a volt, a magyar csupán 40%-a. Mindez annak tudatában történt, hogy ismeretes volt, az egykori KGST-partnerek, de főleg a szovjet utódok igényelnék a magyar szállításokat, mert meglévő magyar elektronikai berendezéseiket, rendszereiket nem tudják egyik napról a másikra lecserélni a még oly vonzó feltételek mellett kínált nyugatiakra, tehát a magyar berendezések pótlása, kiegészítése, felújítása valós igényeket jelent. Az ebből a lehetőségből, ebből a térségből való kilépéssel a magyar elektronikai ipar elvesztette tömeges, hordozó piacát, anélkül, hogy lett volna akár műszakilag, akár ár szempontjából lukratív kínálata más piacok felé. De még ha lett is volna ilyen kínálata, akkor sem tudott volna azonnal, gyakorlatilag átmenet nélkül behatolni egy túltelített, egymással is keményen rivalizáló óriásvállalatok által lefedett piacra. A behatoláshoz nemcsak jelentős tőke, hanem idő is kell, amíg egy cég a bázisait ki tudja építeni, amíg nevet szerez, amíg megismerik a tevékenységét.

Erre a magyar elektronikai iparnak (de más iparágakat is említhetnénk) azért sem volt lehetősége, mert az Antall-kormány, egy (tiszta formájában voltaképpen sohasem létezett) szabadpiaci illúziótól vezérelve, de azt felelős módon megítélve úgy vélte, hogy teljesen ki kell vonulnia a vállalati szféra támogatásából. A „felemás” megítélést ez esetben azért említhetjük, mert más tekintetben, például a társasági átalakulásban és a privatizáció folyamatában ugyanez a kormányzat erősen centralizációs törekvésű, adminisztratív jellegű intézkedésekkel élt. Az Antall-kormány hibás gazdasági tevékenységében külön ki kell emelni a kamat- és árfolyam-politika ingadozásait, ellentmondásait, olykor váratlan húzásait, amelyek természetesen nemcsak a magyar elektronikai ipart, hanem minden termelő tevékenységet súlyosan érintettek, de különösen végzetesek olyan, rendkívül gyors megújulási ciklusú, erősen beruházás-igényes és tudás-orientált ágazat vonatkozásában, mint az elektronika.

Privatizáció – garanciák nélkül. Egy adott struktúrában minden jelentős átalakítás komoly megrázkódtatásokkal jár. A magyar gazdaságot ráadásul többfajta változási tényező együttes hatása érte és gyengítette meg 1990 után. Az egyik, és talán legfontosabb a hagyományos és nagy felvevő piacainak elvesztése, a másik a

vállalati formák átalakítása („társasággá alakítás”), a harmadik az állami tulajdonnak magántulajdonná alakítása, külföldi részvételt is bevonva.

A piacvesztésekről, annak sajátosságairól a magyar elektronikai ipar tekintetében már korábban szoltunk. Ez a tényező meghatározó jelentőségű elektronikai iparunk megroggyanásában, mert az addig felhalmozott műszaki tudás és piaci ismeret ezáltal igen nagy mértékben, sok esetben nulláig leértékelődött. Megindultak a csőd-, majd a felszámolási eljárások, amelyek végeredményeként a kormányzati ciklus végére, 1994-re egyetlen magyar elektronikai vállalat sem maradt talpon (legfeljebb olyik továbbvitte a nevet, mint például a szétaprózódott Videoton). Az, amit ebben az évben magyar elektronikai iparnak nevezett a statisztika, nem volt más, mint maradvány- és törmelék-vállalatoknak napi túlélési gondokkal folyamatosan fenyegetett konglomerátuma. 1993-ra az ágazatban mintegy 44 ezer ember dolgozott, és az elektronikai vállalatok kevesebb mint 90 milliárd forintot forgalmaztak. A magyar elektronikai ipar legfontosabb vállalatai vagy megszűntek, mint pl. a Gamma, az Orion, az FMV, a BEAG, a MEV, vagy pedig óriási létszámleépítések után, állandó rendeléshiánnyal küzdő kisebb-nagyobb cégekké alakultak át. Különösen figyelemre méltó eset a Tungstramé, amelyet egyik legnagyobb konkurense, a General Electric vásárolt meg, rendkívül szerény áron, ha figyelembe vesszük, hogy a Tungstram a világ fénycső- és izzólámpa piacának mintegy 5%-át tartotta a kezében, voltak igen modern technológiái (pl. Nagykanizsán) és tényleges eladósodása a piaci értékéhez és vagyonához képest nem volt jelentős. A GE profil-tisztításként megszüntette az egyébként az európai élvonalban álló robot- és lézertechnikai fejlesztéseket és erősen csökkent létszámú laborrá alakította a Bródy-labort. Ezekután pénzügyi manőverekkel (a veszteségesség átalakítása tőkeemeléssé) sikerült a magyar elektronikai iparnak a világpiacon legnagyobb részesedéssel bíró vállalatát gyakorlatilag teljes egészében amerikai tulajdonná alakítania.

Ezzel eljutottunk a privatizációs tényezőhöz. Az 1990-es évek magyar privatizációját a szakmai hibák, hozzá nem értés, politikai nyomások hatására bekövetkezett elkapkodottság, valamint, ma már egyre több ismertté vált eset nyomán kimondhatóan: korrupciós jelenségek jellemzik. A privatizáció szakmai hibái és a hozzá nem értés magyarázható és bizonyos mértékig védhető azzal, hogy egyrészt egy inverz folyamatot kellett végrehajtani, ami soha sem egyszerű, másrészt, mert voltaképpen a magyar történelem során példa nélküli folyamatot kellett viszonylag rövid idő alatt beindítani és végrehajtani. Ehhez járult, hogy leromlott és szétzilálódott vállalatokat kellett (volna) értékesíteni. A politikai nyomásra itt nem érdemes szót vesztegetni, mert a jelen tanulmány szerzője nem érzi magát kellően felkészültnek ahhoz, hogy a napi politika irracionalitásait érdemben elemezze. Ami viszont a korrupciós ügyeket illeti, az minden értékesítési folyamatban bennrejlő, immanens veszély, amit csak megfelelő törvényes biztosítékokkal és jól működő ellenőrzési rendszerrel lehet minimalizálni. Viszont a magyar nemzeti értékeknek az az elherdálás jellegű kiárusítása, ami 1990 után következett be, meglehetősen ritka az egyébként igen viharos magyar történelem során is.

A magyar privatizáció legfőbb hibái a következőkben sűrítetők össze:

- a vállalatokat legyengítették, vezetésüket elbizonytalanították, tehát rosszabb alkupozícióból indultak, mint egy stabil helyzetben;
- a bejövő külföldi tőke tulajdonosainak egy része kalandor volt vagy jobb esetben csekély tőkével rendelkezett, a vásárlásokat hitelből eszközölték és a meg-

vett tulajdon egyes részeinek eladásából törlesztettek. A komoly vásárlók viszont elsősorban piaci részesedést akartak vásárolni, és igen kevéssé helyi termelést megvalósítani;

- azok a külföldi vállalkozók, akik magyarországi termelést folytatnak, általában „csavarhúzó” gyárakat rendeztek be, a fejlesztést „otthon” végzik;
- a szerződések nem vagy gyengén tartalmazták a technológiai fejlesztés megkövetelését a megvásárolt gyárban;
- talán a legsúlyosabb hiba, hogy a privatizáció során nem történt gondoskodás az adott gyárban megtestesült szellemi tőke, a tudás, a dokumentációk megőrzésére, valamint a kialakult szellemi műhelyek, munkacsoportok, eszmei szinergikus hatásának fenntartására. Ezeknek pótlása reménytelen vállalkozás. Ha egy team szétszóródik, ha egy szervezet, annak belső rendje felbomlik, ha a dokumentációkat szó szerint szétszórják, szeméttégetőbe küldik, akkor az a gyár meghalt, még akkor is, ha esetleg a gépek, berendezések, épületek leltárilag megvannak. (Többnyire ezek sincsenek meg, mert nagy részüket elhordták, vagy értékük alatt felvásárolták.)

A kutatás-műszaki fejlesztés elsorvadása. A korábbiakban elemeztük már a hazai elektronikai K+F-bázis helyzetét, ezért erre most nem térünk ki részletesen. Ezt a bázist nagy vonalakban három összetevőre bontottuk: (1) az egyetemi és akadémiai kutatóhelyekre, (2) az ún. ipari kutató-fejlesztő intézetekre és vállalatokra és (3) a gyáron belüli K+F-részlegekre. Ezek közül 1993-ra az (1) kategória még létezik, bár igen jelentősen csökkent létszámmal és pénzekkel. Az Akadémia intézetei leválasztották magukról a nem kifejezetten kutató és a gyártó részlegeket, és így, komoly véráldozatok után, külföldi programokba és egyéb nemzetközi együttműködésekbe bekapcsolódva tartani tudják a színvonalat. Hasonló a helyzet az egyetemi kutatóhelyeknél is. Gondot elsődlegesen az jelent, hogy a tehetséges fiatalok vagy egyáltalán nem mennek műszaki pályákra, vagy végzés után a kutatásnál lényegesen kedvezőbb kereseti lehetőségeket keresnek, sok esetben tartósan külföldre távoznak. A (2) kategória, az ipari fejlesztő vállalatok, szinte kivétel nélkül teljes csődbe kerültek, és ez nem csak az elektronikával kapcsolódókra érvényes. Bár az ún. ipari kutatóintézetek és -vállalatok tevékenységüknek egy részében nem annyira a közvetlen gyári kapcsolatokból éltek, hanem saját fejlesztéseiknek realizálásából és forgalmazásából, mégis, az ipari háttér megszűnése – az államilag finanszírozott központi K+F-programok egyidejű elmaradásával – katasztrofális hatással járt rájuk nézve. A (3) kategória gyakorlatilag megszűnt, együtt, sőt előbb halálozván el, mint az anyavállalatok. Előbb, mivel a csődeljárások során elsőként a műszaki fejlesztőket küldték el, és ugyanez a helyzet akkor is, ha külföldi vállalkozó vásárolt fel egy adott vállalat, vagy annak részeit. Márpedig saját műszaki fejlesztés nélkül bármely vállalat – és főleg a tudásigényes elektronikai gyárak – csupán alsórendű, bérmunkajellegű tevékenységre képes.

18.4. Következtetések

A magyar elektronikai ipar tehát – a fentieket figyelembe véve – nem csupán elhalálozott, hanem a kormányzati hibák, rossz döntések, a téves gazdasági és főleg politikai nézeteken alapuló beavatkozások, a külső versenytársakat preferáló, a

nyers piacelhódítást fel nem ismerő vagy éppen annak behódoló politikai naivitások és hiszékenység együttes hatásai megölték, megfojtották, elvonván tőle a létehez szükséges feltételeket. Ez a folyamat már a megelőző rendszerben megkezdődött, amikor a fiskális kormányzati szemlélet folyamatosan meg- és elvonta a magyar elektronikai ipar fejlesztéséhez, megújításához, nemzetközi versenyképességéhez szükséges eszközöket.

A magyar elektronikai ipar romlása felerősödött a szocialista rendszer utolsó éveiben, de végül is a rendszerváltozás utáni alig három évben teljesedett be, amikor a negatív hatások felgyorsítva jelentkeztek. Az az ágazat, amelyet a statisztikai rendszer *e tanulmány megírásakor, vagyis 1994-ben* magyar elektronikai iparnak nevezett, és amely 1992-ben mintegy 88,6 milliárd forintot forgalmazott (azaz a már igen lecsökkent 1991. évinek is csupán 86%-át folyóáron, illetve a mintegy 25–28%-os éves inflációt figyelembe véve, reálértéken 60–65%-át), ez az ipar nem pusztán létszámában és termelési értékében lett töredéke az 1989. évinek, hanem termékeinek összetételét, tevékenységét tekintve is csupán egy vegetáló színvonalat képvisel, hiszen javító-karbantartó munkák, bedolgozás, bér munka adják a munkáknak mintegy 90%-át, amihez részben korábbi munkák, eredmények kifuttatása, részben néhány találmány megvalósításának kísérlete járul.

18.5. Epilógus

Lesz-e ismét magyar elektronikai ipar? – tettem fel a kérdést e tanulmány befejezésekor, 1994-ben. *Lehetne, ügyes kertész segítségével, mert a gyökérzet egy része – a szellemi tőke maradványa – még él* – írtam akkor, bizakodva. Azóta mostanra, 2001 végére, amikor átdolgoztam, rövidítettem ezt az az írást, javult a helyzet, biztató folyamatok is beindultak. Mégis, a mai elektronikai ipar közel sem olyan jelentőségű, húzó része a magyar gazdaságnak, mint megöletése előtt volt. A további, várható folyamatok feltárása és elemzése azonban már egy másik tanulmány feladata kell legyen.

18.6. Köszönetnyilvánítás

Igen fontos és tartalmas hozzájárulást jelentettek *Berecz Frigyes, Berkó Gyula, Budinszky József, Gyulai József, Iklódy Gábor, Kapolyi László és Pál László* szakmailag és gazdaságpolitikailag egyaránt értékes közlései, amelyeket beépítettem a tanulmányba. Köszönet türelmükért és a kapott ismeretekért. Végül, és messzemenően nem utolsó sorban, szeretném megköszönni férjemnek, *Kovács György* villamosmérnöknek a fentiekhez hasonlóan értékes közléseit, és főleg a türelmét a jelen tanulmány megírása során.

FORRÁSOK:

[1.] Iparfejlesztési koncepciók, előterjesztések, jelentések:

(III. változat), KGM, 1979, február.

- Jelentés a gépipar helyzetéről és továbbfejlesztésének irányairól. (Szocialista gépipar műszeriparának és műszeripari gyártási ágak helyzete és továbbfejlesztésének iránya.), KGM Iparfejlesztési Főosztály, 1977, dec. 8.
- Jelentés a gépipar helyzetéről és továbbfejlesztésének irányairól. (A szocialista gépipar híradás és vákuumtechnikai, valamint műszeripara gyártási ágainak helyzete és továbbfejlesztésének iránya.) Munkabizottsági anyag. KGM, 1978, február.
- Az elektronikai ipar hosszútávú fejlesztésének műszaki-gazdasági koncepciója
- Az elektronikai ipar export- és importlehetőségei. KGM, KüM, OMFB, 1980, október.
- Az elektronikai ipar fejlesztése, különös tekintettel az alkatrész-iparra, 1986–1990. IpM, 1984, július.

[2.] Vállalati csőd- és felszámolási eljárások nyilvántartásai:

- Nyilvántartás az IKM alapítású állami vállalatokról (az 1991. évi IL. törvény folyamataihoz), IKM, 1992. január.
- 1990-től indult felszámolási eljárások, IKM, 1992, január.
- Nyilvántartás az IKM szakmai illetékességi körébe tartozó gazdálkodási szervezetekről (csőd- és felszámolás), Az 1991. évi IL. törvény folyamataihoz, IKM, 1993, január.

[3.] Információs adattárak, tájékoztatók:

- Ipari szakágazati adattár, 1989. év, Ipari Min., 1990.
- Műszaki-gazdasági adattár, IKM, 1990.
- Tájékoztató az Ipari és Kereskedelmi Minisztériumhoz (IKM) tartozó gazdálkodók 1990. évi tevékenységéről. INFORMÁCIÓ 1991.
- Az ipar, a belkereskedelem és az építőipar 1990. évi szakágazati adattára, INFORMÁCIÓ'91.
- Külföldi tőke alakulása az 1991. I. félévi adatlapok alapján, IKM (kézirat)
- Az ipar, az építőipar és a belkereskedelem 1991. évi szakágazati adattára. INFORMÁCIÓ'92.
- Gazdasági adattár 1992. év. INFORMÁCIÓ'93.
- Magyar Ipar és Kereskedelem, 1980–1990. IKM.
- Magyar Ipar és Kereskedelem, 1985–1991. IKM.

[4.] Cikkek, tanulmányok, előadások:

- Dr. Budinszky József: A távközlés helyzete a 90-es években Magyarországon. Előadás a HTE közgyűlésén, 1988. november 30.
- Bán Ervinné–Nádudvari Zoltán: Az elektronizálás hazai és nemzetközi eredményei, Statisztikai Szemle, 1989.
- Kelemen Olga: Nemzetközi nagyvállalatok–távközlés–Magyarország. Kopint-Datorg, 1990. május.
- Barkó József–Sipos Mihály: Kell nekünk elektronikai ipar? Ipari Szemle, 1992. 5. szám.
- Kozma Judit: Az ipari trend ellentétes a világpiacéval. Népszabadság, 1993. december 8. 15. oldal.

19. Félvezetők méréstechnikája

Dr. Kovács Ferenc

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke

kovacsff@nimrud.eet.bme.hu

19.1. Diszkrét eszközök mérőberendezései

A félvezető eszközök kutatásával/fejlesztésével párhuzamosan megindult azoknak a mérőeszközöknek ill. mérőberendezéseknek a kutatása is, amelyek elengedhetetlenül szükségesek voltak a kifejlesztett eszközök minősítéséhez. A korábban meglévő, még az elektroncsöves világban használatos mérőeszközökhöz képest az egyik legnagyobb kihívás a miniatűr méretű nagyfrekvenciás tranzisztorokhoz való hozzáférés, vagyis a kis parazita-elemekkel rendelkező befogószerkezetek kifejlesztése volt. Ezek kidolgozásával indulhatott meg (az akkori fejlesztési főiránynak megfelelően) az egyre magasabb határfrekvenciájú tranzisztorok különféle paramétereinek mérése, először kis darabszámra (mint a fejlesztés eszközei), majd alkalmassá téve ezeket nagytömegű mérésekre is. A mért paraméterek ezidőben a szokásos négy-pólus-paraméterek (hibrid- ill. admittancia-paraméterek), az erősítés, a zajtényező (beleértve a nagyfrekvenciás jellemzőket is), néhány jelegzetes belső struktúrális paraméter (hibrid-p paraméterek), valamint a kapcsolási idők.

Az előállított eszközök (diódák, tranzisztorok) számának ugrásszerű növekedésével világossá vált, hogy a mérést valamilyen módon automatizálni kell. A nyugaton meginduló ilyen irányú fejlesztések mellett a hazai munkák is megkezdődtek elsődlegesen az EIVRT-ben és a HIKI-ben, továbbá az MTA/SZTAKI-ban, a Méréstechnikai Ipari Kutató Intézetben és a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. Ezen munkák során több kiváló konstrukció is született, amelyek ugyan nem voltak teljesen univerzális berendezések (inkább célhardware-ek), viszont a hazai gyártást kiszolgálva valóban jól használható minősítő készülékek voltak. De ennél sokkal fontosabb az a körülmény, hogy végülis ezek a fejlesztések teremtették meg az alapját a későbbiekben rendkívül sikeres integrált áramkörü mérőautomata fejlesztő/gyártó programnak.

Az integrált áramkörök fejlesztésének megindulásával egy egészen új helyzet állt elő. Az egy szeleten előállítható nagyszámú áramkör ténye rövid időn belül jelezte, hogy az áramkörök korábbi, egyedi mérése a továbbiakban kivihetetlen lesz, s ezért át kell térni tehát nagysebességű, teljesen automatikus mérésre ill. adatgyűjtésre. Az erre vonatkozó első döntés 1968-ban született meg a HIKI-ben, amely egyelőre a TTL sorozat SSI/MSI tagjainak automatikus mérésére alkalmas mérőautomata kidolgozását tűzte ki célul.

19.2. Integrált áramkörü mérőautomaták

Az integrált áramköröket mérő illetve tesztelő berendezések előállítása az elektronika egy különleges, igen magas műszaki követelményeket támasztó és ugyanakkor más szakterületek ismereteit is magába foglaló ágazata. Ennek tudható be, hogy

a mérőberendezések fejlesztése és gyártása egy igen szűk körre zsugorodott össze, és a jelentős szerepet játszó előállítók száma ma alig haladja meg a tizet. A nagyfokú koncentráció egyik fő oka a műszaki feladat speciális jellege, másrészt, hogy a kifejlesztett berendezések csak az integrált áramkörök tesztelésére használhatók fel és fő alkalmazások a félvezető gyárak szintén szűk köre

A félvezetőipar kísérőjeként a legnagyobb mérőautomata gyárak az USA-ban és Japánban jöttek létre, miközben Nyugat-Európa, (akárcsak a szeletgyártásban) teljesen kívül rekedt. A kelet-európai viszonyok másfajta törvényszerűségei következtében a hetvenes évektől kezdődően Magyarországnak jutott a berendezések fejlesztésének és gyártásának feladata, ami éppen az eszközfejlesztés közelsége miatt végülis a HIKI-ben koncentrált. Valójában ebben a időben más, a félvezetőtechnikához nem annyira szorosan kapcsolódó hazai intézményekben is megindultak kezdeményezések automatikus mérőrendszerek kifejlesztésére. Ezeknél azonban a rendszer programtárolását az akkor általánosan használt, fémszálas lyukszalag-tárolással kívánták megoldani. Az elvégzendő mérések számának rendkívüli mértékben való megnövekedését ill. Az ebből adódó igénybevétel ez a hordozó nyilvánvalóan nem volt képes elviselni. A HIKI-ben induló fejlesztés nagy áttörése az volt, hogy először alkalmazta erre a célra az akkor legkorszerűbbnek elfogadott (azidótájt mikrométerűnek számító) ferritmagos memóriát. Ez a választás óriási mértékben megnövelte a tárolható mérőprogram méretét és ugyanakkor a működés megbízhatóságát.

19.3. Az első hazai fejlesztésű IC-mérőautomata

A HIKI-ben megindult fejlesztés eredményeként a programozható egységekből felépített, szabványos rack-szekrényben elhelyezett ICOMAT-2 mérőrendszer 1970-ben készült el, az amerikai Teradyne cég első J259 automatájával csaknem egyidőben, s így nyugodtan elmondható, hogy Európában mindenképpen az első ilyen nagyberendezés volt. A berendezés a próbamérések lefolytatása után nagy érdeklődést váltott mind itthon, mind külföldön, nyilvános bemutatóján, az 1971-es Budapesti Nemzetközi Vásáron pedig nagy sikert aratott. Ezen fejlesztési munka kapcsán meg kell említeni a rendszertervezők, *Dr. Kovács Ferenc, dr. Pócza Attila, dr. Pápay Zsolt, Utassy Sándor és Ribényi András* nevét.

Ezt követően a mikroelektronikai alkatrészfejlesztés igényeinek megfelelően, az LSI áramkörök megjelenésével. egyes egységek átdolgozásával a logikai vizsgálat sebességhatárát rövidesen 2MHz-re sikerült megnövelni, ami előrevetítette azt is, hogy a további fejlesztések során egy hatalmas küzdelem fog kialakulni a vizsgálati sebesség és a PIN szám egyre feljebb való növelésében.

Utólag visszatekintve, ezen munka legfontosabb eredménye nem is az (vagy nem csak az) volt, hogy a hazai integrált áramköri fejlesztés kezébe egy újszerű, nagy-termelékenyséű mérőautomata került, hanem hogy a magyar elektronikai ipar – és ezen belül is a HIKI fejlesztőgárdája – tanújelét adta, hogy képes bonyolult automatikus mérőberendezések rendszerszintű megtervezésére, a rendszer megfelelő particionálására és programozott egységekből való összeépítésére. Ennek gyümölcse jónéhány évvel később érett be.

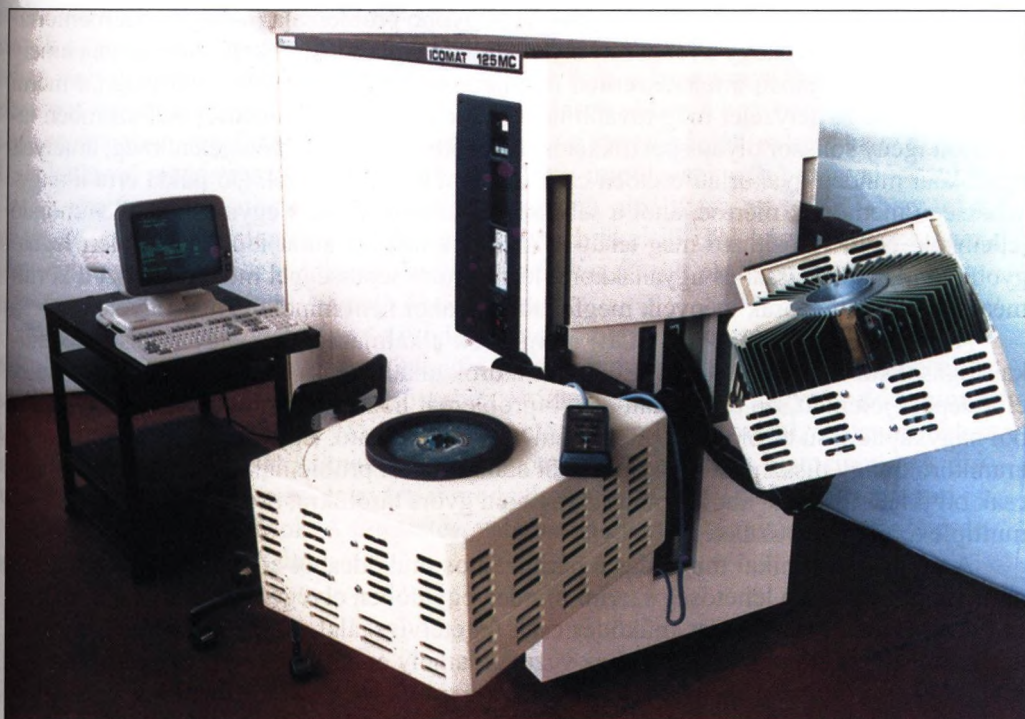
A hazai mérés-technikai ipar szempontjából egy igen fontos esemény zajlott le 1978-ban. A szovjet félvezetőiparnak egy programozott egységekből összeállítani kívánt komplex IC mérőautomata esetében nehézségei támadtak az alkatrészek beszerezhetőségével, a rendszertechnikai kérdések megoldásával, programozási kérdésekkel, a működés meg-

bízhatóságával és ezért – ismerve a magyar fejlesztés korábbi eredményeit – a HIKI-t kérték fel ezen feladat megoldására. A sokmérőhelyes és igen sok hierarchikusan felépülő egységből álló berendezés-együttest a magyar szakembergárdának sikerült megfelelő paraméterekkel üzembe helyezni, ami érthető módon igen nagy rangot adott a hazai fejlesztőgárdának. Ez volt az alapja annak, hogy a továbbiakban az akkori un. „baráti országok” rendre a HIKI-hez fordultak IC mérőautomatáik beszerzésével.

19.4. Memóriatesztetek

A kezdeti sikerekből adódóan, az első berendezést újabb fejlesztések és egyre nagyobb teljesítményű automaták kutatása, fejlesztése és gyártása követte, lépést tartva a kapcsolatot tartó országok félvezető-iparának színvonalával, mérés technikai igényeivel. Ez elsősorban a berendezések sebességének és pin-számának folyamatos növekedésében nyilvánult meg. Ezzel egyidőben elkezdődött a berendezések specializálódása, amelynek során a mérőautomata család alapvetően két nagy ágra szakadt, nevezetesen a memória-tesztetekre és az LSI-tesztetekre.

Az első nagyobb külföldi megrendelés egy 10MHz-es memória-mérő automata volt (1982), ami lehetőséget adott egyrészt a fejlesztőgárda további erősítésére, komoly szakértők kiképzésére, másrészt felkészülést a várható nagyobb darabszámok kielégítésére szolgáló gyártás kiépítésére. Az 19.1. ábrán a család egy késői tagja, az ICOMAT-125 típusú memória-teszter látható, amely egészen 1992-ig volt gyártásban és igen nagy példány-



19.1. ábra. Az ICOMAT-125 memória-teszter

számban került legyártásra ill. leszállításra. Az időközben iparágga fejlődött gyártást az IBM cég idelátogató egyik igazgatója 1992-ben az egyik legkorszerűbb magyar elektronikai ipari tevékenységnek minősítette. Ezen munka irányítását illetően meg kell említeni *Szenczi Árpád* nevét, valamint az egész projektet nagy kitarással támogató műszaki igazgatót, *dr. Erdélyi Jánost*.

A első memória-teszter leszállításával és a sikeres hosszúidejű próbamérések után megindult a hazai IC mérőautomaták gyártása és egyben intenzív továbbfejlesztése. A továbbfejlesztések egyik főiránya elsődlegesen a működési sebesség növelése volt, megcélözva először a 25MHz frekvenciát, majd ennek felgyorsítása 40MHz-re.

Az integrált áramkörök mérésével kapcsolatos műszaki problémák növekedtével egyre erősödött a teszterek szakosodása, amelynek során most már markánsan megkülönböztethető csoportok jöttek létre. A memóriateszterekre elsődlegesen a jelminta algoritmikus előállítása lett a jellemző, valamint az, hogy viszonylag sok chipet képesek szimultán tesztelni. Ezek a teszterek ezért több mérőfejesek és ezek mindegyike egyszerre több, akár 8 chipet is képes funkcionálisan ellenőrizni.

19.5. Hazai VLSI teszterek

Az IC-mérőautomaták egy másik nagy csoportját alkotó VLSI teszterekre a rendkívül sokrétű jelminta-generálás jellemző. A program fejlesztésével és ellenőrzésével kapcsolatos software támogatás itt a legfejlettebb és az időzítések programozásánál is ezeknél áll a legtöbb lehetőség rendelkezésre

A VLSI teszterek tervezésének egyik legnagyobb problémája (hasonlóan a memória-teszterekhez) az volt, hogy a rendszert olyan alkatrészváltásból kellett felépíteni, amely a tervezés időpontjában értelemszerűen mindig korszerűtlenebb volt, mint maga a mémi kívánt eszköz. A helyzetet még tovább nehezítette az, hogy a berendezéssel szemben támasztott igény sokszor olyan specifikációs paraméterek *együtteseként* jelent meg, amelyek egyébként minden gyakorlati esetben csak elkülönülten lépnek fel. (Jó példa erre a nagysebességű memóriák mérése, ahol a sebesség és tárolókapacitás egymásnak ellentmondó jellemzők. Nem valósítható meg tehát az a chip, amely az adott időszakban elért legnagyobb tárolókapacitással és ugyanakkor a legnagyobb sebességgel működik.) Ezt a körülményt a félvezetőgyárak igényeik megfogalmazásakor nem mindig vették figyelembe.

A probléma gyorsabb (pl. ECL) áramkörök alkalmazásával, vagy rendszertechnikai fogásokkal oldható meg. Az ECL áramkörök alkalmazása sebességben ugyan nagy előrelépést jelentett, de számtalan egyéb problémát hozott be, mint pl. azt, hogy ezekből nagykapacitású tárolók felépítése nem volt megoldható. Egy további probléma ezen áramkörök nagy disszipációja és az ebből adódó hűtési problémák. Alkalmazásuk ezért csak ott jöhetett szóba, ahol kisméretű, de igen gyors tárolókra, processzor-elemekre ill. multiplexerekre van szükség.

A rendszertechnikai megoldás a párhuzamos működésből adódó lehetőséget használta ki. Ennek során lehetőség szerint minden egyidőben elvégezhető műveletet párhuzamosan végzünk el és soros működés csak feltételvizsgálat esetén lép fel. Ez lényegében a multi-processzoros rendszerhez vezet el, amely ennél fogva igen nagy szóhosszúságú központi program-memóriát igényelt. Ez a multiprocesszoros felépítés ma már elengedhetetlen strukturális jellemzője minden negyesebességű teszternek. Ennek kidolgozásával kapcsolatban meg kell említeni *Saufert János* és *Kocsis Miklós* nevét.

A berendezés rendszertechnikai tervezése egy bizonyos fokig ugrás a sötétbe akkor, ha előzetesen nem volt mód a felhasználóval a specifikációt pontosan rögzíteni. A kifejlesztett berendezés akár egyetlen olyan meg nem felelő paramétere, amely az időközben kifejlesztett és mérésre kerülő mikroáramkörnek egy kritikus pontja, súlyos és időben elhúzódó átalakítási munkákhoz vezethet. A gyakorlat ugyanis azt bizonyította, hogy az adott szempontok alapján optimalizált nagyberendezés egy olyan zárt rendszert képez, amely minőségi átalakításokat szinte biztos, hogy nem enged meg, csupán mennyiségi bővítéseket, mint pl. a pinek számának, belső tárcapacitások, mérőfejek számának stb. növelése, amelyre a tervezés egyébként is felkészült.

Összefoglalásként megállapítható, hogy a memória- és VLSI teszterek fejlesztése és gyártása külföldön is nagy érdeklődést és elismerést váltott ki. A továbbfejlesztésről és gyártásról és nemzetközi tárgyalások indultak és ebből végül is egy olyan hazai iparág nőtt ki, amely lényegében hosszú időn át egész Közép- és Kelet-Európát ellátta mérőautomatákkal és exportja a magyar elektronikai ipar egyik legnagyobb exportja volt. Így az Egyesült Államok és Japán után a világ harmadik legnagyobb mérőautomata fejlesztése és gyártása hazánkban volt egészen 1992-ig, messze megelőzve a hasonló nyugat-európai fejlesztéseket. Ezen munka sikerre vitelével kapcsolatban meg kell említeni *Bartos Imre, Székely István, Róza Péter* nevét.

19.6. Analóg mérőautomaták

A mérőberendezések egy eléggé különálló családját képezik az *analóg mérőautomaták*. A műszaki feladatok itt jóval sokrétűbbek és ezért sok mérésnél alkalmazzák az ún. *black-box* technikát. Ezeknek a mérendő eszköz egy dedikált mérőáramkörben helyezkedik el és ezen keresztül csatlakozik a mérőautomatához. A méréshez szükséges speciális meghajtó- ill. érzékelő kapcsolások ebben a box-ban vannak s így a mérőautomatában magában nem kell extrém műszaki specifikációt (extrém nagy áramok ill. szokatlanul magas feszültségek, gyors feszültség-impulzusok, stb.) megvalósítani.

Az analóg mérőautomaták fejlesztése és egyedi előállítására az EIVRT-ben folyt, amelynek során számtalan (elsődlegesen a hangtechnikai ill. TV-készülékekben használatos) integrál áramkör mérésére szolgáló *black-box* készült el. Ezen munkákkal kapcsolatosan meg kell említeni *Németh György* nevét.

Külön sikeres fejezetet képez a diódamérő automaták fejlesztése, ahol is az áramköri mérési nehézségek mellé igen jelentős mechanikus és automatizálási kérdések is csatolódtak. A mérési nehézséget elsősorban az jelentette, hogy időegység alatt minnél nagyobb számú diódát kell az előirt mérési pontosság mellett lemérni, valamint ehhez kell a mechanikai automatikáknak a diódák mozgatási sebességét biztosítani. A diódamérő rendszerek fejlesztési és gyártási eredményeit jelzi, hogy elsősorban nyugati piacokra történtek a szállítások. A fejlesztés, valamint a gyártás irányításában döntő érdemeket szerzett *Váraljai Iván*.

20. Kvantitatív felület és vékonyréteg analízis, valamint szerkezetvizsgálatok

*Dr. Gergely György
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

A hazai mikroelektronikai kutatás-fejlesztés, valamint a gyártás a kezdettől fogva támaszkodott a hazai kutatóintézetekre, melyek néhány rendkívül költséges nagyberendezéstől (SAM mikroszkóp, ionmikroszkóp) eltekintve rendelkeztek a szükséges mérőberendezésekkel és vizsgálati eljárásokkal, melyeket – sok esetben – maguk az intézetek fejlesztettek ki.

A vizsgálati módszerekről részletes leírások jelentek meg az Akadémiai Kiadó „A szilárdtestkutatás új eredményei” (a továbbiakban SZT) sorozatának 5, 6, 14 és 24 kötetében. Az SZT24 mellett zárójelben feltüntetett nevek a Felületkutatás tanulmány irodalomjegyzékben találhatóak. Az SZT24 (1992) a módszerek rövid leírása mellett áttekinti a hazai kutatóhelyeket 1991-ig (MEV, MTA ATOMKI, IKI KFKI, MFKI, BME Atomfizika, ELTE, JATE, KLTE, továbbá néhány, akkor még működő ipari kutatóhely) és ismerteti az intézetekben rendelkezésre álló műszereket. Az MTA és az egyetemi kutatóhelyek ma is működnek, azóta jelentős mértékben tovább fejlődtek, a mikroelektronika számára rendelkezésre állnak. A SZT24-ben felsorolt ipari kutatóhelyek közül csupán a GE Tungstram BIKK maradt meg, nem mikroelektronikai profillal. A hazai mikroelektronika nagymértékben támaszkodott az MTA és egyetemi kutatóhelyekre.

Ezen fejezet mellőzi a módszerek leírását, csupán főbb jellemzőiket ismerteti. A következőkben az egyes módszerek rövid összefoglalását adjuk, megjelölve a hazai kutatóhelyeket.

20.1. Felület- és vékonyrétegelemzés, elektron spektroszkópia

*Dr. Gergely György és Dr. Barna Árpád
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

A kvantitatív felületelemzés legérzékenyebb módszere az Auger-spektrometria (AES) (Gergely, SzT6 és SzT24). Hazánkban a módszert az MTA MFKI fejlesztette ki (1973–76) és alkalmazta a mikroelektronikai technológiában. A Riber CMA analizátoroktól eltekintve hazai UHV (TKI, Tungstram) alkatrészekre és elektronikára (KFKI) támaszkodott (SzT24). Az AES határérzékenysége 1% nagyságrendű, az elemzés tartománya 1-2 monoréteg.

AZ AES kiegészítő módszereit: REELS (elektron energia veszteségi spektrometria) és az EPES (rugalmas elektron szórás spektrometria, Gergely Gy. SzT24) szintén az MFKI fejlesztette ki hazánkban.

A kvantitatív felületelemzés fizikai, anyagi paraméterekre támaszkodik. Az elemzés mélységi tartományát az elektronok szabad úthossza határozza meg. Mérési eljárása az MFKI eredménye (SzT 24), mely az NIST (Nat. Inst., Standards, USA) adatbázisában is helyet kapott.

A kvantitatív felületelemzés másik módszere az XPS (röntgen fotoelektron spektroszkópia) (Berényi D. SzT5). A módszert és műszert hazánkban az ATOMKI fejlesztette ki és alkalmazta mikroelektronikai problémákra (Kövér, ATOMKI Közlemények 25 (1983) p.57). Az XPS a kémiai kötésről is nyújt információt).

A félvezető technológia elsősorban vékonyréteg (kontaktusok stb.) szerkezetek mélységi elemzését, feltérképezését igényelte. Ennek módszere az Ar⁺ ionmarást alkalmaz, szabályozott vastagságban távolít el rétegeket. Az AES (egy esetben REELS vagy EPES) segítségével elemzi a felületet. Az eljárást hazánkban az MFKI fejlesztette ki (Barna Á. Menyhárd M. SzT24). Lényeges paraméter az elemzés Δz mélységi feloldása. A régebbi vizsgálatoknál a nem megfelelő és mélységben növekvő Δz nem létező köztes rétegeket mutatott, mely az ionmarás műterméke. Új mérőberendezés kifejlesztésével (Barna Á. szabadalom) és az ionnyaláb paramétereinek (energia, beesési szög) optimális beállításával az MFKI jogutódja az MTA MFA $\Delta z = 1-2$ nm mélységi feloldást valósított meg, mely állandó érték 200 nm felületi réteg eltávolításáig (új hivatkozás).

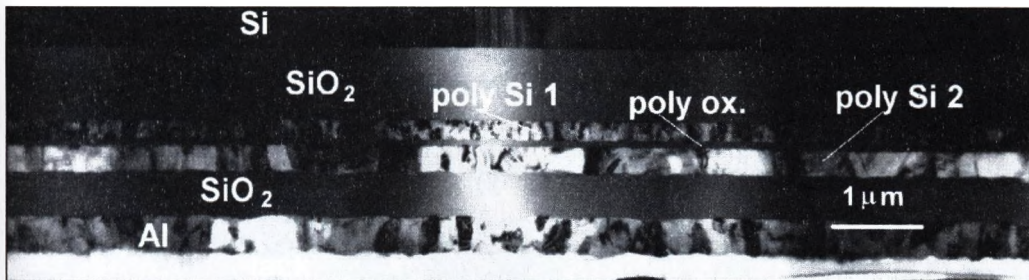
20.2. Szerkezetvizsgálat, elektronmikroszkópia

*Dr. Barna Árpád, Dr. Gergely György
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

Az eljárást és a hazánkban alkalmazott mikroszkópokat a SzT24 ismerteti (Barna B. P., Barna Á. és Pócsa J.). Hazánkban a TEM (transzmissziós) elektronmikroszkópia anyagvizsgálati alkalmazásait az MFKI fejlesztette ki, (in-situ, JEM 6a, analitika JEOL100U EM és hullámhossz diszperzív röntgen mikroanalizátor (WDS) tovább fejlesztésével. Ennek vonal feloldása 0,36 nm. A jelenleg működő Philips CM20 mikroszkóp pont feloldása 0,3 nm és energia diszperzív röntgen mikroszondával (EDS) van felszerelve. A transzmissziós elektronmikroszkópia vékony (10–100 nm vastagságú mintákat igényel. Több anyagból (pl. mikroelektronikai alkatrész) a TEM minta vékonyítással készül, Ar⁺ ionsugaras maratással. Hazánkban az eljárást és berendezést az MFKI fejlesztette ki és napjainkra mint magyar „high tech”, már az egész világon elterjed. A berendezéseket a Technoorg Lin-da gyártja szabadalmaink alapján. Jellegetes mérési eredményt mutat a 20.1. ábra.

A hazai mikroelektronika nagymértékben támaszkodott a pásztázó elektronmikroszkópiára (SEM) és EPMA (mikroszonda) elemzésekre. (SzT24, Barna Á. Pozsgay I. és Tóth A.). Hazánkban az MFKI fejlesztette ki az eljárást, JEOL 35 és JEOL 25 mikroszkópja segítségével és végzett nagyszámú vizsgálatot a MEV mikroelektronikai alkatrészekkel. A SEM-EPMA roncsolásmentes. Előnyei:

- mikroelektronikai alkatrészek közvetlen megjelenítése $\Delta x = 10$ nm laterális feloldással,



20.1. ábra. Egy IC poliszilícium kapacitás rendszer az 1980-as évekből.

- 10–100 μm^2 méretű tartományok elemzése az EPMA segítségével. Az elemzés tartománya kb 1 μ^3 méretű,
- Töltéshordozók diffúziós hosszának mérése EBIC (elektron gerjesztéses vezetés) segítségével,
- pn-átmenetek valamint hibaszerkezetek vizsgálata EBIC alkalmazásával.

20.3. Tömegspektrometria

*Dr. Gergely György
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

A hazai mikroelektronika a tömegspektrometriát is alkalmazta. Az eljárásokat az MFKI fejlesztette ki (SzT24). Kidolgozta a Si technológiában felhasznált gázok elemzését. Lényeges új eredmény volt az EGA (kipárolgó gáz analízis) kifejlesztése (SzT24, Mojzes I., Sebestyén T. és mtsi), mely a kontaktálásnál kipárolgó gázok elemzésével a technológiai folyamatokat követi.

A vékonyréteg analízis legérzékenyebb módszere a szekundér ion tömegspektrometria, (SIMS), melyet hazánkban a BME Atomfizika Tanszék fejlesztett ki. A SIMS kevésbé kvantitatív eljárás, mint az AES, de érzékenysége lehetővé teszi adalék profilok mélységi elemzését. A módszer leírása az SzT5 (Vargáné Josepovits K. és Pavlyák F) és SzT24-ben található. A SIMS mikroelektronikai alkalmazásait az SzT24-ben Giber J. és mtsi ismertetik.

20.4. Optikai módszerek

*Dr. Gergely György
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

A mikroelektronikai technológia jelentős mértékben támaszkodott optikai módszerekre. Két módszert említünk csupán.

Az ellipszometria (SzT24 Gergely és mtsi) felületi vékonyrétegek (Si oxid, nitrid) vastagságának és optikai állandóinak, szerkezetének valamint egyes tulajdonságainak (tömörség, felületi durvaság) mérésére szolgál. Hazánkban az első ellipszometert hazai

elemekből Ádám János építette meg a TKI-ban (1965) és Si oxid rétegek vastagságát mérte. 1966-ban az MFKI helyezett üzembe spektroellipszometert, mely nagyszámú vizsgálatot végzett a MEV számára. Az Ellipsometric Tables of SiO₂ (Gergely Gy. és mtsi, Akadémiai Kiadó 1972) könyvet a hazai technológia (MEV, Tungstam) az oxid felületi rétegek gyártásánál is használta. Az MFKI ellipszometert alkalmazta optikai állandók mérésére is (SzT24 Bodó és Gergely)

A későbbiekben az MTA MFA kidolgozta Si rétegszerkezetek spektroellipszometriás elemzését. Három réteges rendszerek feltérképezését valósította meg (SzT24 Lohner T és mtsi). Az eljárás az implantálásnál fellépő roncsolódás vizsgálatára is alkalmasnak bizonyult. Az MFA új szögfüggéses spektroellipszometert épített.

In situ alkalmazta a spektroellipszometert a mikroelektronikai technológiában.

A mikroelektronika kiterjedten alkalmazta az IR (infravörös) spektrometriát epitaxiás rétegek növekedésének követésére (SzT24 Fejes) továbbá a Si/SiO₂ határfelületen szennyezők és vegyületek kimutatására (SzT24 Hoffmann és mtsi). Az utóbbi vizsgálatoknál az MFKI-ban kifejlesztett totálreflexiós spektrométert alkalmazták (Bodó-Gergely SzT6).

20.5. Ionsugaras analitika (RBS)

*Dr. Lohner Tivadar
MTA Műszaki Fizikai és
Anyagtudományi Kutató Intézet*

A KFKI-ban az ionimplantációs célprogram keretein belül alakult meg a hetvenes években az ionsugaras analitikai laboratórium.

A Van de Graaff gyorsítóhoz csatlakozó három- illetve kéttengelyű goniométereket a KFKI-ban tervezték és készítették. A goniométerek szögbeállítási pontossága 0.01 fok. Az ionimplantációs feladatokra a KFKI-ban korábban két ionimplanter állt rendelkezésre: a Kurcsatov Intézetben kifejlesztett ILU-3A (20–80 keV) és a saját fejlesztésű kisáramú SAFI ionimplanter.

Az ionvisszaszórás alapuló módszert, más néven nagyszögű Rutherford-szórás angolul Rutherford Backscattering-nek hívják és RBS-sel rövidítik. A módszer lényege, hogy néhány 100 keV – néhány MeV energiájú ionokkal bombázzuk az analízálni kívánt minta felületét és a minta atomjairól rugalmasan szóródott ionokat detektáljuk és energiájukat analizáljuk. Analitikai célokra legtöbbször monoenergetikus könnyű ionokat használunk, amelyek a mintába hatolva rugalmas szóródás és rugalmatlan ütközések következtében energiavesztést szenvednek. A szóródott ionok energiája függ attól, hogy milyen mélységben, milyen tömegű atomról történt a szóródás. Így tömeganalízisre és mélységanalízisre is lehetőség van egyidőben. A módszer tömegfelbontása az alkalmazott ion tömegénél nehezebb kis rendszámú elemekre 1 AMU, 50-es tömegszám felett 1–5 AMU. Érzékenysége függ az alkalmazott ion fajtájától és a minta összetételétől is. Általában nehéz elemek (100 AMU) esetén 10¹² atom/cm², könnyű elemekre 10¹⁵ atom/cm². A vizsgálható mélységtartomány 1–2 mikron. A mélységfelbontás standard elrendezésnél 20–30 nm, ami speciális eljárásokkal vagy spektrométerekkel 2–5 nm-re javítható.

A minta mélyebb alrétegeinek vizsgálatára az ad lehetőséget, hogy a behatoló majd a szóródás után visszafelé haladó és a mintából kilépő ionok ismert fékezőképességgel lassulnak, így a mélység függvényében meghatározható az összetétel.

A visszaszórásos mérések legfontosabb előnyei:

- Roncsolásmentes. Néhány kivételtől eltekintve az analizáló ionnyaláb által okozott változások elhanyagolhatók,
- A mérés abszolút, nem kell standard mintákat használni,
- 1–2 mikron mélységben meghatározható a minták elemi összetétele és az elemek eloszlása,
- Csatornahatással kombinálva meghatározható az elemek rácslokalizációja és a kristályhibák mélységi eloszlása egykristályokban.

Az ionsugaras analitikai módszerek kimunkálásában, továbbfejlesztésében a „budapesti iskola” több tagja is aktívan vett részt. 1970-ben Gyulai József és munkatársai definiálták először az úgynevezett visszaszórásos energiavesztés paramétert, amit azóta is használnak a spektrumok kiértékelésében. A KFKI-ban 1984 óta használják a Kótai Endre által kifejlesztett RBX programot a mérések vezérlésére, kiértékelésére és a spektrumok szimulálására.

A témakörben egy monográfia magyarul is hozzáférhető, amely a Szilárdtest-kutatások újabb eredményei 14. kötetben jelent meg, szerzői: Gyulai József és Mezey Gábor.

A mikroelektronikai kutatási és fejlesztési feladatokhoz kapcsolódóan egyrészt vékonyréteg-struktúrák (például szilíciumoxinitrid rétegek) másrészt az ionimplantációs adalékolással kapcsolatos alapjelenségek ionsugaras analitikai vizsgálata folyt. Így a különböző tömegű, különböző energiájú ionok ionimplantációja során keletkezett rács-
hibák mélységeloszlásának vizsgálatát végezték a dózis függvényében és a rács-
hibák optimális kihőkezelési stratégiájának kidolgozása érdekében indultak szisztematikus kutatások. Példaként említhető a „preamorfizálás” felfedezése, amely a California Institute of Technology és a KFKI közötti kooperáció egyik igen lényeges eredménye. A szilícium magashőmérsékletű oxidációs tulajdonságainak ionimplantáció hatására történő megváltozása is egy kiterjedt vizsgálatsorozat tárgya volt.

Szisztematikus vizsgálatok folytak az ionimplantációval a szilíciumba juttatott antimon hőkezelés hatására bekövetkező diffúziója részleteinek kiderítése céljából.

Ionimplantált bór mélységeloszlásának meghatározását végezték el a kutatóreaktorból származó neutronokkal egy (n,alfa) magreakció alkalmazásával.

20.6. Röntgen (diffrakciós) topográfia és többkristályos diffraktometria

*Dr. Zsoldos Lehel
ELTE Általános Fizika Tanszék*

A röntgen topográfia a közel hibátlan kristályok, többek között félvezető anyagok és félkész termékek, szerkezeti hibáinak kimutatására alkalmas eljárás. Alapja az, hogy a röntgen diffrakció rendkívül érzékeny a kristályrác kis deformációira. A

kristályhibák környezetének deformált térfogatelemeiből szórt sugárzás intenzitása ugyanis eltér a hibátlan részekből szórttól, nem egyszer akár nagyságrendekkel is. Ha tehát pl. a monokromatikus, párhuzamos röntgen-nyalábbal megvilágított kristály éppen Bragg-helyzetben van, a szórt nyalábban az intenzitás eloszlása, párhuzamos vetületként (kissé torzítva) leképezi a kristályban lévő hibák (diszlokációk, rétegződési hibák, összetétel változásokkal összefüggő növekedési gyűrűk, stb.) elhelyezkedését. Csupán alkalmas érzékelő felületet, pl. nagy felbontású filmet, kell a minta közelében a nyaláb útjába helyezni a kép rögzítésére. Ezt a képet optikailag nagyíthatjuk. Természetesen az adott feladattól függően, e viszonylag egyszerű eljárásnak is többféle változata van.¹

Hazánkban az első kísérletek 1965-ben kezdődtek a Híradástechnikai Kutatóintézetben (HIKI, Stefániay V.) és az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Szilárdtest Fizikai Tanszékén, majd 1966-ban a tanszék és az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézete (MFKI) együttműködése keretében megépült két Lang-goniométer, amelyek lehetővé tették az alkalmazások szempontjából legfontosabb módszerek rutinszerű használatát. Ez idő tájt a topográfia már fontos szerepet kapott a félvezető technológia egyes műveleteinek ellenőrzésében. Egyrészt követni lehetett, pl. a tömeges diszlokáció keletkezés körülményeit, másrészt a kialakított eszközök tulajdonságai és szerkezeti hibáik közötti kapcsolatot. (HIKI ill. MEV).

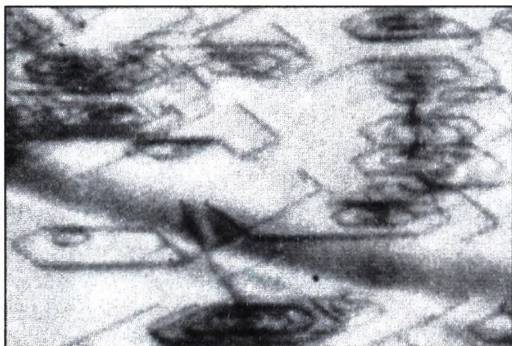
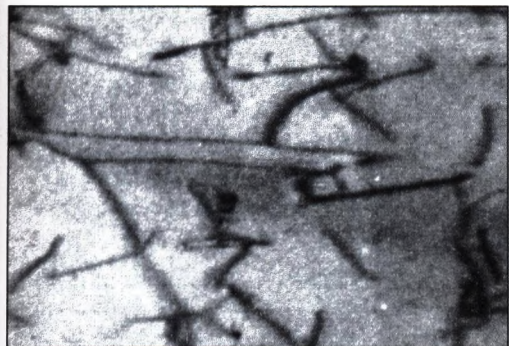
A technológia fejlődése azonban már gyorsan kinötte az első eszközöket. 1975-ben az ELTE, a KFKI, az MFKI és a TKI közös fejlesztési programot indított, amelynek eredményeképpen 1977-ben munkába állt öt ún. kétkristályos topográfias goniométer. Ezek mellett, hogy többféle vizsgálati módszerre is alkalmasak voltak, már 76 mm-es mintákat is tudtak fogadni, és ami a legfontosabb, később számítógéphez kapcsolva, máig is korszerű eszközökként működhetnek. A kétkristályos jelző itt azt jelenti, hogy a monokromatikus, párhuzamos nyalábot alkalmas, hibátlan kristályból kivágott monokromátor Bragg-reflexiójával állítjuk elő. Ez a megoldás lényegesen növelheti a módszer deformáció érzékenységét és a képszerű információt adó topográfia mellett, lehetővé teszi a kétkristályos diffraktometriát, a Bragg-csúcs körüli intenzitás eloszlás kis változásainak vizsgálatát. Ma ezeket az eszközöket az ELTE Általános Fizika Tanszéke és az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete használja.

Az elmúlt 2–3 évtizedben, a röntgen topográfia mellett, természetesen több további módszert is kidolgoztak a kristályok hibaszerkezetének vizsgálatára. A technológia fejlődésével a röntgen topográfia feladatainak egy részét átvették, de azt minden területen ezután sem helyettesíthetik.

A röntgen topográfia egyedülálló előnye, hogy a teljes roncsolásmentesség mellett vele nagy, tenyéri kristály szelet is vizsgálható (így természetesen ugyanazt a mintát különböző állapotokban is vizsgálhatjuk), és információt kaphatunk akár a szelet teljes térfogatáról vagy csupán annak egy vékony felületi rétegéről. Nincs szükség továbbá speciális minta előkészítésre, szikrotron forrással pedig, a rövid expozíciók miatt, időben lejátszódó folyamatok is tanulmányozhatók.

A módszernek vannak természetesen hátrányai is. Legsúlyosabb ezek közül a meglehetősen korlátozott, legfeljebb 1–10 μm körüli térbeli felbontás. Ez nem egyszerűen az eszközök tökéletlenségéből ered, hanem fizikai oka van. A diffrakciós kontraszt szélessége ui. attól függ, hogy milyen kiterjedt a hiba körül az a rácsdefor-

¹ Kovács István és Zsoldos Lehel: Diszlokációk és képlekeny alakváltozás, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965. 246. old.



Transzmissziós (Lang-) topogram részletek egy (111) Si szelet kb. 3 mm²-es, azonos területéről, a kiindulási állapotban (balra) és az 1100 °C hőmérsékletű száraz oxidálást követően (jobbra). A hőkezelés közben valamennyi „as grown” diszlokáció megmozdult és legtöbbször, a lap síkjához képest ferdén álló csúszási síkban működő, Franck-Read forrássá vált. (Lapos hatszöges képződmények, <110> irányú diszlokáció szakaszokkal.) A > és < alakú vonalak leszakadt diszlokációk, miután a hurkok hosszú oldalai a szabad felületet elérve eltűntek.

máció, amely a röntgen diffrakciót számottevően befolyásolni képes. Éppen ez, a kontrasztot adó viszonylag nagy térfogat (ami a hullámhossztól és a kiválasztott reflexiótól is függ) teszi lehetővé az egyszerű, közvetlen nagyítás nélküli leképezést. (A transzmissziós elektronmikroszkópiánál a hibák kontraszt szélessége nagyságrendekkel kisebb, de legalább ugyanilyen mértékben csökken a megfigyelhető minta terület és az átvilágítható vastagság is.)

Befejezésül legalább röviden szólni kell a több- (két-) kristályos diffraktoimeriáról is, amely itthon nem kapott kellő figyelmet. Ennél az intenzitás eloszlást a reciprok térben, a Bragg-csúcs körüli tartományban tapogatjuk le, többnyire 2-dimenzióban. Ebből a besugárzott térfogatrész számos jellemzőjéről kapunk információt. Különösen fontos lehet ez rétegszerkezetek minősítésénél. Mérhetjük, többek között a rétegvastagságot, a mechanikai feszültséget, a görbületi sugarat vagy a diszlokáció sűrűséget, de alkalmas a módszer a topográfiával nem észlelhető mikrohibák jelenlétének kimutatására is (un. „x-ray defect free” mintákban). A módszer érzékenysége jellemző, hogy legalább 10 mm átmérőjű mintánál az 1 km-es görbületi sugár már rutin eljárással is kimutatható, és 10⁻⁵-ös rácsdeformáció is jól mérhető.

20.7. Kitekintés

A hazai mikroelektronikai kutatás-fejlesztés és a remélhetőleg újra éledő ipar számára ma lényegesen tovább fejlesztett kutatási és anyagvizsgálati lehetőségek állnak rendelkezésre az MTA MFA-ban, az ATOMKI-ban és több egyetemi kutatóhelyen is az 1991-es, a SzT24-ben leírt helyzethez képest. Új elektron spektrométereket és elektron mikroszkópokat sikerült üzembe helyezni, lényegesen jobb paraméterekkel.

Az MFA-ban már STM és AFM is rendelkezésre állnak. A vizsgálati eljárások is lényegesen tovább fejlődtek.

A tématerület közleményei és szabadalmi Közlemények mikroelektronika témakörben

Ellenállás rétegek

- A16** M. Lomniczy, Á. Barna, P. B. Barna, J. F. Pócza, I. Pozsgai: Structural and electrical changes during the heat treatment of Au-SiO_x cermet films. *Thin Solid Films* 13, (1972) 105–108.
- A25** R. Tavzes, E. Kinsky, A. Banovec, A. Zalar, M. Gregoric, A. Barna, P. Barna, I. Pozsgai: The evaluation of the technology for depositing NiCr resistive films. *Thin Solid Films* 36, (1976) 379–382.
- A41** M. Lomniczy, Á. Barna, P. B. Barna: Effect of current trimming on the structure of Ni-Cr thin films. *Acta Physica Acad. Sci. Hung.* 49, (1980) 253.
- A48** L. Tóth, Á. Barna, P. B. Barna, J. Szatmári: On the failure mechanism of NiCr thin film resistors under dump heat, steady state tests. *Vacuum TAIP* 33, (1983) 53–57
- A50** L. Tóth, Á. Barna, G. Sáfrán, M. Menyhárd, T. Korányi: Electron microscopic and AES studies on thin layers of NiCr. *Vacuum TAIP* 33, (1983) 111–115.
- A54** A. Barna, G. Sáfrán, L. Tóth: In-situ electron microscopy study of structural and electrical changes in Ni-Cr thin films. *Thin Solid Films* 116 (1984) 229.
- A58** L. Tóth, A. Barna, G. Sáfrán: In-situ TEM annealing of NiCr thin films with simultaneous Hall-voltage measurements. *J. Vacuum Science and Technology A* 5 (1987) 1856–1859
- A60** Barna Á., Sáfrán Gy., Tóth L.: Az előállítási körülmények hatása NiCr vékonyrétegek szerkezetére és elektromos tulajdonságaira. *Finommechanika, Mikrotechnika* 27 (1988) 47–49
- B54** Á. Barna, G. Sáfrán, L. Tóth: Structural and electrical studies of the effect of preparation conditions of NiCr thin films. *Elektronikai Technológia Szimpózium '87, Budapest, 1987, Vol. I.* 13–18.
- B42** Á. Barna, G. Sáfrán, L. Tóth: Simultaneous observation of structural and electrical changes of NiCr films by in-situ electron microscopy. *Proc. of the 10th International Congress on Electron Microscopy, Hamburg Vol., 2.* pp. 523–524. (1982)

Gunn-dióda

- A27** Andrási A-né, Barna Á., Barna P., Beleznyai F., Mojzes I., Pödör B., Sebestyén T., Stark Gy., Szentpáli B., Szép I.: GaAs alapú Gunn-diódák a 7–10 GHz frekvenciasávra. *Híradástechnika XXVIII.* 2. (1977) 42–49.
- A76** B. Pécz, R. Veresegyházi, G. Radnóczy, Á. Barna, I. Mojzes, O. Geszti, Gy. Vincze: Cross-sectional transmission electron microscopic study of Au/GaP and Au/InP contacts. *J. Appl. Phys.* 70 (1991) 332–336.
- A82** B. Pécz, Á. Barna: Reactive ion milling-thinning of compound semiconductors covered with thin metallic layers. *Vacuum* 45 (1994) 1–3

- B20** Á. Barna, I. Pozsgai, A. Banovec, E. Kansky: Electron microscopic and electrical study of sputtered Au-SiO₂ cermet films. Proc. 6. Vakuumski Kongres, Postojna, Jugoslavija, 1973, in Jugoslavinski Komite za Vakuumsko Tehniko, Bilten 14. (1973) 211–215.
- B21** Á. Barna, I. Pozsgai, A. Banovec, E. Kansky: Simultaneous investigation of structure and electrical properties of R.F. sputtered Au-SiO₂ cermet films by „in-situ” electron microscopy. Proc. 6. Vakuumski Kongres, Postojna, Jugoslavija, 1973, in Jugoslavinski Komite za Vakuumsko Tehniko, Bilten 14. (1973) 211–215.
- B38** I. Mojzes, Á. Barna, P. B. Barna: Technological optimalization of GaAs Gunn diodes. Proc. MICROCOLL Budapest, 1978, II. V-2/10.1-10.4
- K2** Andrási A-né, Barna Á., Barna B. P., Beleznyay F., Gergely Gy., Görög T., Gutai L., Lendvay Ö., Mojzes I., Nádor Cs-né, Pödör B., Püspöki S-né, Radácsi I-né, Rónainé Pfeifer J., Sebestyén T., Stark Gy., Szentpáli P., Szép I., Szigethy D., Tácsos Z.: Study of the contacts used in GaAs Gunn structures. MFKI Évkönyv 1977, p. 80–89.

SiO₂ felület

- A32** M. Németh-Sallay, Á. Barna, A. Lőrinczi, I.C. Szép: Induced crystallization of amorphous silicon oxide. Physica Status Solidi (a) 43, (1977) K135-136.
- A36** Á. Barna, M. Németh-Sallay, I.C. Szép: Room temperature transformations induced in SiO₂ layers by chemical compounds: I. Thin Solid Films 55, (1978) 355–360.
- B36** Barna Á., Németh T.-né: Structure of insulator semiconductor interfaces. Proc. Summer-school on MIS systems, Mátrafüred, 1977. Kiadó: Eötvös L. Fiz. Társ, Ed: J. Giber, J. Gyulai, I. Szép. pp. 171–185

Kémiai analízis (Rtg/TEM, WDS)

- A39** M. Pasemann, Á. Barna, P. Werner, H. I. Hagel: Electron optical identification of precipitations in silicon semiconductor devices. Kristall und Technik 14 (1979) 553–61.
- A52** I. Pozsgai, Á. Barna: Wavelength dispersive microanalysis in the transmission electron microscope. Scanning Electron Microscopy II. (1983) 585–601.
- B27** Á. Barna, Gy. Stark, I. Pozsgai: Weiterentwicklung eines Durchstrahlungselektronen-Mikroskops typ JEOL 100-U für wellenlangendispersive Bestimmung der Konzentrations-Verteilung. Vorträge der III. Arbeitstagung „Mikrosonde” Berlin, 1975, S. 227–228.

Ionsugaras vékonyító

- K5** Á. Barna:
The possibility of surface polishing by ion beam thinning.
Yearbook '87 of the Research Institute for Techn. Phys. Bp. p.86–93.
- C2** Á. Barna, G. Radnóczy, B. Pécz: Preparation Techniques for Transmission Electron Microscopy in Handbook of Microscopy, Vol. 3 Applications. Eds. by S. Amelinckx, D. van Dyck, J. van Landut, G. van Tendeloo, VCH Verl. Weinheim, 1997, pp.752–801.

- B46** Á. Barna: A new type ion milling equipment for sample preparation. Proc. 8th European Congress on Electron Microscopy, Budapest 13-18 August, Eds. Á. Csanády, P. Rölich, and D. Szabó, Budapest 1984, pp. 107-108.
- B61** Á. Barna: Topographic kinetics and practice of low angle ion beam thinning Proc. Fall Meeting MRS, 1991, Boston, Workshop on Specimen Preparation for Transmission Electron Microscopy of Materials-III, MRS Conf. Ser. Vol. 254. (1992) 3-22

Integrált áramkörök

- B50** Á. Valkó, Á. Barna, P. Tüttö, L. Gosztola, P. Révész, S. Sándor: Electrical and morphological investigations of capacitor structures for NMOS and CMOS circuits MIEL 85. Ljubljana (1985) 415-422.
- B51** Á. Valkó, Á. Barna, P. Tüttö, L. Gosztola, P. Révész, S. Sándor: Morphological and electrical investigations of capacitor structures for NMOS and CMOS circuits. Elektronikai Technológia '85 Szimpozium, (1985) Vol. II. p. 203-208.
- B52** Á. Barna, O. Geszti, L. Gosztola, É. Seyfried: Cross-sectional TEM study of obliquely evaporated Si-O thin films. „Defect in Glasses” in Materials Research Society Symposia, Proc. Vol. 61. pp. 367-374 (Ed. F.L. Galeener, D. L. Griscom, M. J. Weber) (1986)
- B56** K. Mádl, A. L. Tóth, Á. Barna: P/N Junction Localization in Integrated Circuits with Scanning Electron Microscope. Inst. Phys. Conf. Ser. No. 93, (1988) 65-66.
- B55** J. Pfeifer, Á. Barna, A. L. Tóth: Electron microscope study of oxide isolated stripe laser. Elektronikai Technológiai Szimpózium 87 Budapest V. (1987) p. 13-18
- B59** E. Lendvay, Z. Lábadi, Á. Barna: Preparation of high quality abrupt GaAs/GaAlAs heterojunctions by advanced liquid phase epitaxy. Proc. of the 1st Int. Conf. Epitaxial Crystal Growth, „Crystal Properties and Preparation”, Budapest, Hungary, 1990, Ed.: E. Lendvay Vol. 32-34., (1990), pp. 582-590.
- B60** B. Pécz, G. Radnóczy, Á. Barna, R. Veresegyházi, I. Mojzes: Cross sectional transmission electron microscopic study of Au/Al_{III} BV contacts. Inst. of Physics Conf. Series No. 117, Section 5, in the Proc. of Microscopy of Semiconducting Materials, Oxford, 1991. p. 275-278

Szabadalmak

- D2 maszk rétegek**
Barna Árpád (30%), Barna B. Péter (30%), Gergely György (10%), Pozsgai Imre (30%): Tökéletesített eljárás lyukmentes vékonyrétegek vákuumpárolgatással történő előállítására.
Szolg. szab.: N° 160544, bejelentés: 1970.02.27. megadás: 1973.11.23.
- D4 Gunn-dióda**
Barna Árpád (30%), Beleznay Ferenc (20%), Mojzes Imre (20%), Barna Péter (15%), Stark Gyula (15%):
Eljárás és berendezés félvezető eszköz előállítására.
Szolg. szab.: N° 173621 bejelentés: 1975.11.17. megadás: 1980.03.31.

D6 Ionsugaras vékonyító

Barna Árpád (70%), Reisinger György (20%), Zsoldos Lehel (10%):
Berendezé szilárd anyagú minták ionsugaras megmunkálásához és ionforrás a berendezéshez.

Szolg. Szab. : N° 190 855, bejelentés: 1983.10.12. megadás:1989.10.20.

Europai: N° 141.272, 1988. nov. 25.

D7 Ionsugaras vékonyító

Barna Árpád (50%), Bódi István (50%):

Folyamatosan szabályozható kimenő nagyfeszültséget szolgáltató nagyfeszültségű tápegység, előnyösen kisteljesítményű ion-, illetve elektronsugaras megmunkáló és párologtató berendezés működtetésére.

Szolg, szab.: No 194421 bejelentés: 1985.12.18. megadás: 1988.08.18.

Europai: N° 0227042, 1991. okt. 2., USA: No 4,739,473 Apr. 19. 1988.

D8 Ionsugaras vékonyító

Barna Árpád (50%), Gosztola László (25%), Reisinger György (25%):

Eljárás és berendezés szilárd anyagok ionporlasztással történő megmunkálására, előnyösen elektronmikroszkópos minták vékonyítására.

Szolg, szab.: N° 205 814, bejelentés: 1989.09.08. megadás: 1993.03.16.

D10. Ionsugaras vékonyító

Barna Árpád MFKI (50%), Szigethy Dezső, Technoorg Linda (50%):

Kombinált meleg-hideg katódos ionágyú előnyösen ionsugaras vékonyító berendezéshez és Auger-szekunder elektron spektrométerhez.

A bejelentés napja: 1994. dec. 28.

Új fejlesztés alapján nemzetközi védelemre bejelentés: 1995. nov.

N° PCT/HU96 /00054

21. Érzékelők

*Dr. Ligeti Róbertné
sligeti@microsen.hu*

A mikroelektronikai érzékelők kutatása, fejlesztése a 60-as évek második felében indult el a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben (HIKI), ahol rendelkezésre álltak a szükséges technikai feltételek és a szakember gárda, ekkor ugyanis már több-éves félvezető, vékony- és vastagrétegtechnikai kutatói-fejlesztői múltra tekintett vissza az Intézet.

A kutatás az akkori Félvezető Laboratóriumban indult el. A világ ebben az időben kezdett áttérni a germániumról a szilíciumra és a 60-as évek második felére világossá vált, hogy szilícium alapanyagban nemcsak klasszikus elektronikus alkatrészek készíthetők, melyek a planáris technológia térhódításával integrálhatók is, hanem a szilícium különleges tulajdonságait kihasználva érzékelők is előállíthatók.

Az a – Magyarországon ritka – helyzet állt elő, hogy a hazai kutatások, majd fejlesztések ezen a területen alig 1–2 évvel lemaradva a „fejlett Nyugattól” indultak el.

A 60-as évek végére, 70-es évek elejére sikerült kidolgozni lavina fotodióda, fényelem és a piezorezisztív nyomásérzékelő első konstrukcióit és mintapéldányait.

A szilícium alapú érzékelők fejlesztését, majd később gyártását megkönnyítette a HIKI-ben meghonosodó planáris technológia, hiszen szelettechnológia területén extra beruházást nem igényelt ez a fejlesztés.

A 70-es évek második felében már piac-érett termékek születtek, így háromféle méretű fényelem került kereskedelmi forgalomba (kisméretben lyukszalagkiolvasóhoz, nagyméretben fényenergia hasznosításra). Ezekből hosszú éveken át exportáltunk az NDK-ba a Carl Zeiss Jénának. Ebben az időben indult el a nyomásérzékelők előállítására kisebb sorozatokban elsősorban az MMG-AM-nek, ahonnan az érzékelőket további feldolgozás után a Paksi Atomerőműbe szállították.

A termelési sebéségen és a kihozatalon sokat lendített, hogy a HIKI félvezetőgyártása a 2 hüvelykes szeletméretről áttért a 3 hüvelykre, ez elsősorban a nagyméretű fényelemek és a kisnyomású (nagyméretű) nyomásérzékelőket érintette kedvezően.

A 80-as években 90-es évek elején új típusú félvezető érzékelők születtek. Megjelentek a fotótranszisztorok, ikerfényelemek, terjedési ellenállás elvén működő hőmérsékletérzékelők, helyzetérzékelők, színérzékelők, különféle célú (ennek megfelelően különféle tokozású) nyomásérzékelők és távadók, valamint gyorsulásérzékelők és erőérzékelők.

A félvezető érzékelők mellett a meglévő vékony- és vastagréteg technológiai bázison is történtek érzékelő fejlesztések. Ezekben a területeken is előnyt jelentett, hogy magának az érzékelő elemnek az előállítása nem igényelt jelentősebb beruházást, hiszen a szükséges alapberendezések az áramkörti technikákhoz rendelkezésre álltak.

Vékonyrétegtechnikával kifejlesztésre került a Pt 100 hőmérsékletérzékelő az IEC 751 szabványnak megfelelő paraméterekkel, vastagrétegtechnikával gáz- és nedvességérzékelők, valamint nyúlásmérő bélyegek.

A 80-as évek második felében elindultak az érzékelőkhöz kapcsolódó elektronikai fejlesztések is a minél komplexebb termékek létrehozása érdekében. Így távadók mellett komplett mérőműszerek, riasztó készülékek is kifejlesztésre kerültek.

Ez a fejlesztői tevékenység a 90-es évek első harmadáig folyt, miközben a szervezet és a cégtábla többször megváltozott az évek során (Mikroelektronikai Vállalat /MEV/, majd Interbip Rt). A cégtábla változás mellett természetesen az érzékelő kutatással-fejlesztéssel-gyártással foglalkozó kollektívák is számtalan átszervezésen mentek át, ennek felsorolásánál azonban lényegesebb felsorolni azoknak a kollegáknak a nevét akik fontos szerepet játszottak e tevékenységben.

- Fényelemek: dr. Hahn Emil,
Berkecz János,
Bársony István,
dr. Erlaky György,
- Fotótranszisztorok +Forrai Miklós,
dr. Pásztor Gyula,
- Lavina fotódioda Bársony István,
dr. Pásztor Gyula,
- Nyomásérzékelők: Almási István,
Bársony István,
Berkecz János,
dr. Hahn Emil,
- Erőmérők: Bársony István,
Skirka Péter,
- Gyorsulásmérők: Bársony István,
Klinger Károly,
- Hőmérsékletérzékelők:
 - Félvezető: Berkecz János,
dr. Pásztor Gyula,
Skirka Péter,
 - Vékonyréteg: Hanusovszky Andrásné,
dr. Ligeti Róbertné,
- Helyzetérzékelő: Berkecz János,
+Forrai Miklós,
dr. Pásztor Gyula,
- Színérzékelő: Berkecz János,
Hülber Erik,
dr. Pásztor Gyula

- Nyúlásmérőbéllyeg: Dr. Zsoldos Béla
- Nedvességérzékelő: dr. Kolonits Pálné
Dr. Koltai Márta
- Gázérzékelők: dr. Koltai Márta
Dr. Harsányi Gábor (BME),
Dr. Mizsei János (BME).

A fejlesztéseket mindvégig támogatta az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, személy szerint *Balotay Kálmán*, akinek hivatali kötelességén messze tulmenő támogatását élvezte a szakma.

Az érzékelő fejlesztés, gyártás fénykorát Magyarországon a 80-as évek második felében élte.

1987 júniusban alakult meg a HTE, MAE, MATE, MÉTE égisze alatt az Érzékelő Munkabizottság, melynek vezetőségében mindegyik egyesület egy-egy képviselőt delegált (dr. Fekete András, dr. Fock Károly, dr. Lénárd Sándorné, dr. Liget Róbertné).

Az Érzékelő Munkabizottság közel három évig működött – kezdetben havi, majd később ritkuló összejövetelek, előadások keretében – közös fórumot teremtett kutatóknak, fejlesztőknek, gyártóknak és felhasználóknak egyaránt.

Ezekre az évekre esik a hazai érzékelő gyártás csúcsideje is, hisz ekkor még rendelkezésre állt a hazai szelettechnológiai gyártóbázis (félvezető, vékony- és vastagréteg).

A nyomásérzékelőknél kisüzemi méretű sorozatgyártás indult el. A nyomásérzékelők zöme az MMG AM-nél történő további feldolgozás után a Paksi Atomerőmű új, III.sz. blokkjához, ill. SzU-ba olajkutakhoz készült. Tízezres sorozatok készültek fényelemekből, fototranzisztorokból, hőmérsékletérzékelőkből és nyomásérzékelőkből.

A rendszerváltás óta gyakorlatilag megszűnt az érzékelő-elem gyártása Magyarországon. A hazai fejlesztés, gyártás a vásárolt elemek feldolgozására irányul mind érzékelő, mind távadók mindpedig komplex, elektronikával egybedolgozott termékekre.



22. Utószó

E hosszú, fordulatokban gazdag történet után egy fontos kérdést kell megválaszolni. Nevezetesen azt, hogy hogyan alakul a jövő. Számomra, mint a könyv szerkesztőjének a legnagyobb tanulsága az, hogy megláttam azt az erőt, amely ebben a szakmában mindig is jelen volt, s egyértelművé tette azt, hogy ez meg is maradt. Azok a kezdeményezések, amelyek a kilencvenes évek elején születtek többségükben sikeresek voltak. Ezek sok esetben nem is nagyvállalti szinten jelentek meg, hanem kisebb, de életképebb egységekben. Egy későbbi történeti mű tehát sokkal több szereplőről fog szólni, de biztosan kevesebb lesz az illusztrációként mellékelt államigazgatási határozat.

1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885

23. Jelölések, rövidítések jegyzéke

ÁTB	Állami Tervbizottság
BEAG	Budapesti Elektroakusztikai Gyár
bérsz.	bérszínvonal
BME	Budapesti Műszaki (<i>később:</i> és Gazdaságtudományi) Egyetem
BME-HEI	BME, Híradástechnikai Intézet
BRG	Budapesti Rádiótechnikai Gyár
CATV	Kábeltévé
CCD	Charge-Coupled Device
EAROM	Electrically Alternable Read-only Memory
EEPROM	Electrically Erasable Read-only Memory
ei.	egyenirányító
EIVRT	Egyesült Izzó és Villamossági Rt.
EKFP	Elektronikai Központi Fejlesztési Program
EKG	elektrokardiogram
EMG	Elektronikus Mérőkészülékek Gyára
EMO	Elektromodul Alkatrészkereskedelmi Vállalat
GATT	Általános Vámtarifa és Kereskedelmi Egyezmény
GPS	Geometrical Positioning System
gyárt.	gyártás
HIKI	Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet
HTE	Híradástechnikai Tudományos (<i>később:</i> és Informatikai) Egyesület
IC	integrált áramkör
IKM	Ipari és Kereskedelmi Minisztérium
INFELOR	Információfeldolgozó és Szervező Vállalat
KB	Központi Bizottság
KFT	Kutatási-Fejlesztési Társulás
KGM	Kohó és Gépipari Minisztérium
KGST	Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa
KFKI	Központi Fizikai Kutató Intézet
KKWH	Kombinat Keramische Werke Hermsdorf

KÖJÁL	Közegészségügyi és Járványtani Állomás
létsz.	létszám
LSI	Large-Scale Integration
MESFET	Metal-Semiconductor Field-Effect Transistor
MEV	Mikroelektronikai Vállalat
MHE	Magyar Híradástechnikai Egyesülés
MIKI	Műszeripari Kutató Intézet
MIS	Metal-Insulator-Semiconductor
MKKL	Méréstechnikai Központi Kutató Laboratórium
MKKT	Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács
MMG-AM	Mechanikai Mérőműszerek Gyára Automatika Művek (eredetileg: Marx és Mérei Gyára)
MN	Magyar Néphadsereg
MNOS	Fém-szilíciumnitrid-szilíciumoxid-szilícium struktúra
MOS	Metal-Oxide-Semiconductor
MSI	Medium-Scale-Integrated Circuit
MSZMP	Magyar Szocialista Munkáspárt
MTA	Magyar Tudományos Akadémia
MTESZ	Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége
NDK	Német Demokratikus Köztársaság
OGIL	Országos Gázipari Vállalat Laboratóriuma
OMFB	Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság
OTT KT	Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv
PM	Pénzügyminisztérium
REÁB	Rádióelektronikai Állandó Bizottság (KGST)
RTL	Resistor-Transistor Logic
SSI	Small-Scale Integration
SZIKKTI	Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet
SZÁMALK	Számítástechnikai Alkalmazási Kutató Intézet
szer. szal.	Szerelőszalag
SZKI	Számítástechnikai Koordinációs Intézet
SZU	Szovjetunió
SZUTA	Szovjet Tudományos Akadémia
TKI	Távközlési Kutató Intézet
TPA	Tárolt Programvezérlésű Automata
tr.	tranzisztor
tűsd.	tűsdióda
VKI	Villamosipari Kutató Intézet
YAG	Ittrium Alumínium Gadolinium Granát



