

Erősáramú félvezető alkatrészek kutatása a Villamosipari Kutató Intézetben

Török Tivadar

A Villamosipari Kutató Intézetet, általánosan használt rövidített nevén VKI-t 1949-ben alapította az iparirányítás. Megszervezője és első igazgatója *Dr. Urbanek János* volt. Az alapítók szándéka szerint a VKI általános rendeltetése: az erősáramú villamos gyártóipar folyamatos, korszerű fejlesztését a világszintet szem előtt tartó és arra törekvő korszerű kutatómunkával alátámasztani. Ezt próbálták megvalósítani a maguk szakterületén azok a kutatók is – több generáció –, akik a VKI-ban 1953-ban néhány fővel megalapított Félvezető Osztályon, majd a későbbi Félvezető Laboratóriumban, illetve Főosztályon a jelzett időszakban nevelkedtek és dolgoztak. Az akkori tervek és az ipar mostani helyzete közötti kontraszt semmit sem von le erőfeszítéseik és eredmények értékéből, életművük a magyar tudomány és technikatörténet szerves része.

Korlátozott terjedelmű tanulmányban lehetetlen teljes részletességgel tárgyalni több mint negyven év történéseit. Írásomban arra törekedtem, hogy az átfogó képbe illesztve megemlítssem azokat a kutatókat és munkatársakat, akik ezen a területen áldozatkész munkát végeztek.

Tárgyalásunk során – részben a kronológikus sorrendet követve, a félvezető anyagok köré csoportosítva veszem sorra

- a polikristályos szilíciumkarbid,
- a germánium,
- a szilícium,
- valamint néhány más félvezető anyag (BiSb-TeSe, GeSi, Si-SiC heteroátmenet stb.)

felhasználásával elért eredményeinket – amelyek végülis termékekben testesültek meg, erőfeszítéseinket – amelyek ősz hajszálainkat szaporították vagy ritkították, és végül, de talán nem csak a dolgozat végén, néhány szubjektívnek nevezhető megjegyzést is teszek.

Időrendben mind az Intézet, mind az itt folyó félvezető kutatások történetét három nagy szakaszra oszthatom, amely szakaszokat részben a külső gazdasági-politikai klíma, részben az Intézet élén álló vezető személye determinált.

Az első ilyen szakasz *Dr. Urbanek János* igazgatósága, amely 1949-től 1968-ig tartott. Néhány *Dr. Urbanek János* bölcs tapintattal, külső és belső diplomáciával és rendíthetetlen optimizmussal vezette át az Intézetet a korszakoként változó iparpolitikai szemlélet, a hullámzó gazdasági helyzet nemegyszer áthidalhatatlannak látszó nehézségein. Jó érzékkel tudta kiegyenlíteni az ellentéteket és meg tudta teremteni a szabad alkotó tevékenység termékeny légkörét. Ez témánkkal kapcsolatban azzal az eredménnyel járt, hogy az Intézetben meghonosodhattak a félvezető anyagokkal, eszközökkel és technológiákkal kapcsolatos témák, és azok részaránya a hagyományos erősáramú témákhoz viszonyítva dinamikusabban nőtt.

Ebben a folyamatban meghatározó szerepe volt *Dr. Lukács József*nek is, aki ebben az időszakban, a bevezetésben már említett Félvezető Osztályt – később Félvezető Főosztályt – vezette. Intézeti tevékenysége során – 36 év – számos új, az erősáramú ipar szempontjából úttörő jelentőségű tématerület művelését kezdeményezte, és egyúttal nagy részüknek első hazai művelője is volt.

Az új gazdasági mechanizmusnak nevezett folyamat beindulásával szinte egyidőben az Intézet vezetését *Dr. Lukács József* vette át. Mint kutatómérnök, meg volt győződve arról, hogy a természettudományos kutatás, és ezen belül az intézetben művelt szakterületek, nélkülözhetetlenek a hazai ipar fejlődése, versenyképessége szempontjából. Stratégiája a változó gazdasági és politikai körülmények hatásainak kivédésére azon alapult, hogy az Intézetben létrejövő, a magyar és a KGST ipar szintjéhez képest kétségtelenül magas színvonalú, fejlesztési eredmények saját szervezésű és irányítású kísérleti gyártási tevékenység keretében valósuljanak meg. A kísérleti gyártási tevékenység jövődeleméből remélte finanszírozni a hosszabb távon megtérülő kutatásokat, és ennek érdekében nagyvonalúan fordított ezekből a bevételekből mind a kutatók, mind a megvalósításban közreműködők anyagi ösztönzésére. Bár ez a törekvés a mindenkori iparirányítás részéről változó elbírálásban részesült, céltudatos munkája végül is azt eredményezte, hogy a hetvenes évek első felében kialakult kísérleti gyártási tevékenység az Intézetet és kutatógárdáját, a kutatásra fordítható csökkenő és a hetvenes évek végére jelentéktelenné váló központi pénzalapok ellenére, fenntartotta. Ez a tény amellet, hogy igazolta a stratégiát, egyúttal az intézeti kollektíva sikere is volt.

A félvezető kutatás *Dr. Lukács József* igazgatósága alatt kezdetben változatlan lendülettel folytatódhatott, sőt egy rövid ideig úgy tűnt, hogy a kísérleti gyártások még javítanak is helyzetén, később azonban a lendület kifulladás, és a nyolcvanas évek közepére már csak néhány félvezető téma maradt, mutatóban.

Dr. Lukács József 1985-ben visszavonult az Intézet vezetéséből. Utódját, *Dr. Nagy Lászlót* nem fűzték érzelmi szálak sem a félvezető kutatásokhoz, sem az ezen a területen dolgozó még megmaradt kutatógárdához, egyszerűen pragmatikus döntéseket hozott akkor, amikor a félvezető kutatásokat más, technológiai jellegű témákkal együtt, válogatás nélkül a rövidtávú jövedelmezőség szempontjainak megfelelő szintre fejlesztette vissza.

Visszatérve a kezdetekhez, a VKI-ban a félvezető anyagokkal való ismerkedés a polikristályos szilíciumkarbid alapanyagú nemlineáris ellenállások előállításának kutatásával és kifejlesztésével kezdődött. A téma felvételét *Dr. Lukács József* – mint fiatal kutató kezdeményezte 1949-ben. Az általa vezetett kutatócsoport munkája a kérdéskör teljes vertikumára kiterjedt, magának a szilíciumkarbid alapanyagának az előállításától és adalékolásától a komplett túlfeszültségvezető készüléksalá-

dok megalkotásáig. A félvezető szilíciumkarbid szemcsékből kezdetben cementkötéssel, később melegprelációs technológiával – üvegekötéssel, végül 1965–67-től – kerámiakötéssel állították elő a nemlineáris ellenállásokat.

A munka közbeni állomásai között meg kell említeni a p-típusúra doppel α -szilíciumkarbid szemcsék előállítására irányuló kísérleteket, amelyek nem kevés erőfeszítés árán vezettek oda, hogy sikerült 100 kg-os tételekben jó nemlinearitású p vezetési típusú α -SiC polikristályt előállítani kvarchomokból és petrokokszból Al doppelással.

Ugyancsak itt kell megemlíteni a Si-SiC heteroátmenetek létrehozására folytatott erőfeszítéseket, amelyek 60-70 V zárófeszültségű p-n átmeneteket eredményeztek.

Az előbbi munkában *Szluka Emil*, (újságíró, aki nemrégiben elhunyt), az utóbbiban *Gerzsenyi György* okl. fizikus és néhai *Madarasi Gábor* vett részt.

A túlfeszültségvezetők gyártása az Intézetben kidolgozott technológia alapján az 1960-as évek elején indult meg a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyárában, hazai nemlineáris ellenállások felhasználásával. Erre azután került sor, hogy a VKI fejlesztési eredményeit a hollandiai KEMA laboratóriumban az IEC előírások szerint minősítették. A gyártmány minőségére jellemző, hogy felhasználásukkal nemcsak a svájci Sprecher und Schuh cég által szállított 5-10 kA-es nemlineáris ellenállásokat sikerült kiváltani, hanem a gyártó cég exportálni is tudta termékét. Ezek az eredmények szolgálták alapul a magyar GTL-típusú túlfeszültség-vezető sorozat kifejlesztéséhez 6 kV-tól 220 kV-ig terjedő feszültségtartományban, részben statikus, részben kontrapólár szikraközökkel.

A kutató osztályt majd főosztályt, amely a gyártmányt kifejlesztette, gyártásba vezette, majd később továbbfejlesztette és az intézeti kísérleti gyártási tevékenységet folytatta, néhai *Dr. Bogoly István* okl. villamosmérnök vezette, munkatársai *Martin Róbert* okl. villamosmérnök, néhai *Horváth Faustó* okl. villamosmérnök, *Gyimóthy Kálmán* okl. villamosmérnök, *Francois Cezárné* villamosmérnök, és *Cséfalvai Miklós* villamosmérnök voltak.

Az Intézet kísérleti gyártási programjában a legutóbbi időkig szerepelt a nemlineáris ellenállások előállítása, sőt az a VKI szét-szervezését is túlélve jelenleg is folyik a TRANZIENS Kft-ben, bár ott most már elsősorban ZnO anyagú hálózati varisztorok készülnek.

Az egykristályos félvezető anyagok előnyös tulajdonságait kihasználó eszközök kutatása 1957-ben ágazott ki az 1949-ben elindult folyamatból. Elsőként ötvözési technológiával hoztunk létre nagyfelületű p-n átmeneteket germániumegykristály szeletekben, és azokból 25-200 A terhelhetőségű 200 V zárófeszültségű teljesítménydiódák készültek. Ezeknek a diódáknak az első példányaiból készült el még ugyanabban az évben az első magyar félvezető ívhegesztőgép is. A VKI-ban kidolgozott és 1959–1960 között a VBKM Anód Áramirányító Gyárban bevezetett technológia a germánium zónás tisztításától az egykristálygyártáson keresztül a kész diódák minősítő rendszeréig, illetve a mérőberendezésekig terjedt. A kutatómunkához szükséges összes technológiai célberendezést, és a gyártóberendezéseket – zónázókat, kristályhúzó gépet, ötvözőkályhákat, manipulátorokat stb. – a VKI kutatói tervezték és nagyobb részt maguk is építették meg, noha az osztály akkor még csak néhány főből állt.

Emlékezetes az első sikeres germánium egykristálynövesztési kísérlet a *Molnár István* tervezte „Czochralsky” rendszerű egykristályhúzó géppel. Ez valódi „csapatmunka” volt, mivel automatika hiányában minden funkciót külön ember szabályozott, illetve kontrolált. Az eseményen meghívott szakértőként *Dr. Szép Iván* is résztvett.

Az ötvözött germánium diódát az Anód gyár 6 évig gyártotta, két évig párhuzamosan, az ötvözött szilícium p-n átmenetet tartalmazó SA 50, SA 100, SA 150 típusú szilíciumdiódákkal, amelyek gyártástechnológiája ugyancsak a VKI Félvezető Laboratóriumban született. A fejlesztés a germániumdióda gyártás gyártásbevezetésével egyidőben indult, és 1962-re eredményezett olyan technológiát, amelynek alapján 1963-ban lehetővé vált a germániumdiódákénál lényegesen magasabb zárófeszültségű és üzemi hőmérsékletű szilíciumdiódák sorozatgyártása.

Az új eszközt a készülékkonstruktorok hamarosan alkalmazásba is vették, és már 1964 végére elkészült hazai diódákból az első főüzemi egyenirányító a 3000 LE-s villamos mozdonyhoz. Az SA 150 típusú szilíciumdiódák gyártása a 70-es évek közepéig folyt az Anód gyárban, a VKI technológia alapján. Ez, és az előbb említett fejlesztés volt a bázisa a Siemens-licenc alapján gyártott – akkoriban mindenki által ismert – V-43 típusú 3000 LE-s villamos mozdonyhoz készülő, fő és segédüzemi egyenirányítók 1965-ben meginduló sorozatgyártásának.

A germánium és a szilícium diódák előállítási technológiájának kidolgozása a *Molnár István* okl. villamosmérnök által vezetett kutatóosztályon folyt, résztvevői *Salánki Tibor* okl. gépészmérnök, néhai *Gadányi Péter* okl. fizikus, *Dr. Salac Tamásné* okl. vegyész mérnök, néhai *Dr. Hermann Tibor*, *Joó Osztkár* és néhai *Erős István* voltak. A 3000 LE-s mozdony egyenirányítóját *Dr. Ganszky Károly* okl. villamosmérnök tervezte.

Az ötvözött Si diódák sorozatgyártásának megindulásakor az osztályon már az 50-200 A határáramú tirisztorok fejlesztése folyt. A négyrétegű eszközben két p-n átmenet galliumdiffúzióval, a harmadik átmenet ötvözéssel készült. A kísérleti munka olyan „shorted emitter”-es technológiát eredményezett, amellyel tetszőleges méretű, ugyanakkor határozott kontúrral rendelkező rövidzárát zónákat lehet előállítani, ötvözött katódkialakítású p-n-p-n átmenetek esetén is. A záróirányú periódikus csúcsfeszültség a p-n átmenetek tartósan megengedett hőmérsékletén mérve (110°C) elérte az 1600 V-ot. A tirisztorok korszerű kerámiapakával készültek, gyártásuk az Intézetben belül kísérleti gyártás kereében valósult meg, 1968 és 1972 között kb. 7000 db készült.

Ugyanebben az időszakban, az SNV tirisztorok kísérleti gyártásával párhuzamosan egy 20 A-es tranzisztor fejlesztését is megkezdtek, bár ez a fejlesztés végülis nem eredményezett gyártást.

1968-ban a Félvezető Főosztály vezetését *Molnár István* vette át. A fentiekben vázolt munkákat eleinte e főosztály keretében, majd önálló szervezeti egységben *Salánki Tibor* okl. gépészmérnök, félvezető szakmérnök irányította, és a már említett munkatársakon kívül *Jókuthy Zoltán* okl. gépészmérnök, *Éberhart Edit* okl. vegyész mérnök, *Téglási Endre* villamosmérnök és *Sztrókai István* okl. villamosmérnök vett részt benne.

Ez a csoport – némiképpen megváltozott összetételben – fennmaradt egészen 1990-ig, és lényegében az ezidáig kialakult

technológiai bázison (galliumdiffúzió, lakkozás felületvédelem, üvegszigeteléses vagy kerámiasapkás tokozás) többféle, 10 A-tól 220 A-ig terjedő áramterhelhetőségű dióda vagy tirisztorátmenetet fejlesztett ki és gyártott, különféle egyedi elemeket, modulokat, powerblokkokat stb. állítva elő belőlük. A pályán megmaradt munkatársai jelenleg a TET Teljesítményelektronikai KKt. dolgozó.

A 60-as évek végén, a 70-es évek elején a VKI Félvezető Főosztályán lehetőségeinkhez mérten kiemelt figyelmet szenteltünk azoknak a technikáknak, amelyek a p-n átmenetek egyszerűbb, olcsóbb, jobb kihozatalú, megbízhatóbb, tervezett koncentráció profilú vagy bármilyen más szempontból előnyös előállítására szóba jöhetnek, és kerestük azok alkalmazási lehetőségét az erősáramú eszközök előállításánál. Így került a kutatási tervbe az epitaxiális rétegnövesztés, az ioninplantáció, a plazma sputtering, a meltig back stb., amelyekkel részben tanulmányokban foglalkoztunk, vagy tanulmányutakon ismerkedtünk, részben pedig laboratóriumi kísérleteket folytattunk. Érdekessége miatt megemlítem az ún. meltig back módszert, amellyel először 1969-ben készítettünk p-n átmenetet oly módon, hogy függőzónás egykristályhúzó gépben végigolvasztottuk egy már kész egykristály felületét 3-3,5 mm mélységben és közben az olvadékot a védőgázból adalékoltuk. Ezzel az eljárással hengersizmetrikus lavinakarakterisztikájú p-n átmenetet kaptunk, amelynek zárófeszültsége 3000 V volt. A módszert nagyfelületű sík p-n átmenetek előállítására is alkalmassá tettük, glimm-plazma reaktorban hajtva végre a visszaolvasztást. Az eljárás segítségével 1972-ben 50, 100 és 400 A terhelhetőségű, 3000 V zárófeszültségű diódák készültek tablettatokozással.

Ugyancsak ebben az időszakban készültek el a kontaktus nélkül – fénnel – vezérelhető erősáramú elemek, a 800 V zárófeszültségű 25 A-es fototirisztorok, és annak háromszegmenses változata, az ún. rotisztor.

Ezeknek a munkáknak nagyobbik része már a *Pálffy Miklós* okl. villamosmérnök irányította osztályon folyt, amelynek eredeti profilja az erősáramú félvezető eszközök vizsgálóberendezéseinek és minősítő rendszerének fejlesztése volt. Meghatározó munkatársai *Böhönyi Ferenc* okl. villamosmérnök és *Palotai Géza* okl. villamosmérnök volt. A későbbiekben ez az osztály vette át a fotovillamos átalakítónak – a napelemnek – a főosztály egy másik osztályán megkezdett fejlesztését és kísérleti gyártását is.

A napelem kutatás az 1991-es olajárrobbanás után kezdődött, saját kockázatra, abban a reményben, hogy a kedvező konjunktúrális helyzetben sikerült új piacot találni, és ezzel stabilizálni a félvezető kutatás helyzetét. A munka kezdetben szorosan kapcsolódott a VKI-ban kiépült szilícium polikristálygyártó bázishoz, a fejlesztés is ott indult, később, mivel a gazdaságosság egyre nagyobb átmérőjű kristályszeleteket igényelt és a hazai polikristály gyártás is megszűnt, önállóan fejlődött tovább. Az ismert, foszfordiffúzióra alapuló eljárás-hoz különböző kontaktusképzési módokat próbáltunk ki. Eleinte cementált ezüst, majd többretegű plazmagőzölt kontaktusokat alkalmaztunk, a legutóbbi időben szítanyomásos eljárással készültek a napelemszeletek. A téma érdekesebb állomásai: az iszkahegyi telekommunikációs átjátszóberendezés napelemes áramforrásának elkészítése; komplett napelemgyártó és vizsgáló laboratórium elkészítése és üzembehelye-

zése Mongóliában, a mongol személyzet kiképzésével együtt, napelemes autonóm tápegységek készítése az M1-es autópályaszakasz segélykérő telefonjaihoz.

A napelemek gyártását az osztály 1990-ig a VKI-ban, majd maradéka a Pannonglas Rt. részlegeként 1992-ig folytatta.

A szilíciumdiódák fejlesztési munkáit – a germániumtechnológiához hasonlóan – a teljes vertikumra kiterjedőnek terveztük, ami részben az akkoriban igen szigorú kereskedelmi korlátozások, részben pedig a speciális erősáramú követelmények miatt indokolt volt. Ennek megfelelően a diódatechnológia fejlesztésével egyidőben megkezdtük az erősáramú diódák előállításához megfelelő paraméterű szilícium egykristályok előállítására irányuló kísérleti munkát. A kísérleti eszköz egy Radyne-gyártmányú függőzónás egykristályhúzó gép volt, ami 1962-ben érkezett az Intézetbe. Ezt csak azért említem, mivel tudomásom szerint ez a berendezés volt az első nem magunk által készített technológiai célgép a főosztályon. Ennek radikális átalakításával sikerült elérni, hogy 1964–1965-ben már 20...22 mm átmérőjű, kb. 250 mm hosszú Si-egyikristályokat tudtunk meglehetősen biztonságosan növesztetni. Az adalékolás megoldása és a minősítő vizsgálatok rendszerének kidolgozása (fajlagos ellenállás, life-time, orientáció, diszlokáció sűrűség sorozatmérése, bórszint és mélyínvók Hall- effektus-mérése alapuló típusvizsgálata) után 1966-ban próbáltuk ki a hazai (Fűzfőn a Nitrokémiánál készített) alapanyagból VKI-ban növesztett n-típusú Si-egyikristályokat, először a Főosztályon folyó kísérleti munka során, majd az Anód gyárban a sorozatgyártásban. Várakozásainkat a gyárban készített statisztika igazolta: a diódagyártás kihozatala szemontjából a hazai kristályok az addig használt importanyaggal egyenértékűek voltak. Ez az eredmény bátorított fel minket arra, hogy vállalkozzunk a hazai Si-egyikristály gyártás, és az annak alapanyagául szolgáló polikristályos-szilíciumgyártás megszervezésére. A KGM, NIM, OMFB, OTH és a PM 1867 nyarán meghozott közös határozatának megfelelően a VKI Félvezető Főosztálya 1968-ban áttelepítette a fűzfői Si-polikristály üzemet rákospalotai telephelyére, átvéve a profilt a Nitorkémiától, és 1969 végére az országban több helyen lévő géppark összevonásával az egyik kristálygyártást is megszervezte.

Ma már ipartörténeti szempontból is érdemes rögzíteni, hogy Dr. Lukács József igazgatóságának első éveiben, a kételkedők várakozásainak ellenére, 1969–1970-ben létrehoztunk az Intézetben egy évi 500 kg Si-polikristály gyártására alkalmas üzemet, és az ezzel arányos kapacitású Si-egyikristály gyártó részleget, amelynek kapacitása évi 150...200 kg volt. Ezt a gyártókapacitást az ezután következő néhány évben kb. 30...50%-ban tudtuk kihasználni, elsősorban a hazai felhasználás 60%-át elfogyasztó erősáramú félvezetőeszkögyártás és -kutatás alapanyag szükségletét kielégítve. Mint az ilyen esetekben lenni szokott, eközben barátokat és ellenségeket is szereztünk.

Ebben az időszakban sikerült először diszlokációmentes Si-egyikristályt növesztenünk függőzónás módszerrel, 25...30 mm-es átmérőjű egykristályokat előállítva. Az egyik kristályhúzási technológiát továbbfejlesztve megoldottuk a 40...45 mm-es egykristályok függőzónás növesztését is. Az átmérő további növelésének a gépekbe befogható maximális polikristály hossz

szabott gátat. Az új nagyobb kapacitású egykristályhúzó berendezés beszerzésére tett lépéseink sikertelenek maradtak, mert a Siemens AG, aki egyedül volt hajlandó megfelelő berendezés szállítására ajánlatot adni, a kiviteli tilalomra hivatkozva az üzlettől 1971-ben visszalépett, az ún. szocialista országokban pedig az ilyen irányú fejlesztés csak akkoriban kezdődött.

Itt kell megemlítenem azt a munkát, amely a félvezető sugárzásdetektorok hazai előállításához felhasználható p-típusú Si-egy kristályok előállítási technológiájának kifejlesztését eredményezte. Magának a dozimetriai γ -sugárdetektornak és műszernek a fejlesztésére – honvédelmi célokra – az Elektronikai és Finommechanikai Kutató Intézet kapott megbízást. A fejlesztők a fejlesztési cél természetéből adódóan elsősorban hazai, másodsorban blokkon belüli forrásból beszerezhető vagy előállítható anyagokat használhattak fel. A munka kezdetétől igen jó munkakapcsolat alakult ki a két intézmény kutatói között. A detektorgyártási szempontból kritikus paramétert – a kisebbségi töltéshordozók élettartamának a detektorgyártási technológia végén a kész eszközön mérhető értékét – közös munkával sikerült felderíteni, és a VKI-ban az egykristálynövesztés során alkalmazott oxigén- nitrogén getterezési eljárással készített Si-egy kristályok alkalmazásával biztosítani. Megjegyzem, hogy az így előállított anyagot nemcsak dozimetriai (katonai célú) detektorok készítésére használták, hanem az MTA ATOMKI-ban spektrometriai γ -detektorokat is készítettek belőle, kereskedelmi mennyiségben.

A polikristálygyártás a 70-es évek közepére az erősáramú gyártmányok nagy részével együtt áldozatul esett kedvezőtlen iparpolitikai döntéseknek és gazdasági feltételeknek. Az egykristálygyártás, elsősorban a detektor grade Si előállítása 1990-ig folyt a VKI-ban, mivel az ilyen anyag a legutóbbi időkig a kereskedelmi tilalmi listákon szerepelt. A profilt 1990-ben a VKI részvételével alapított APPENDIX 90 Kft. örökölte, ahol a gyártóberendezéseket megrendelés hiányában leszerelték.

A szilícium-egy kristályhúzási technológiával és mérésrel foglalkozó kis csoportot néhai *Gadányi Péter* okl. fizikus, félvezető szakmérnök irányította, majd a feladatok és munkatársak megsokasodása után létrejött három új osztály közül a fizikai paraméterek vizsgálatával foglalkozó osztályt vezette. Ő irányította a polikristálygyártó üzem áttelepítését és üzembe helyezését is. A Si-polikristálygyártó üzem, amely később kutató osztállyá alakult, *Dr. Horváth Pál* okl. fizikus vezetésével működött. A szilícium-egy kristályhúzási technológiával foglalkozó osztály eredményességéért a Szerző volt felelős. Mindazoknak a munkatársaknak, akik vele ezen három osztályon ebben az időszakban, vagy később együtt dolgoztak, ezúton is köszönetet mond és kéri megértésüket, hogy a kizárólag a szabott terjedelem miatt és nem feledékenységéből csak néhányukat említi itt meg név szerint, felsorolás szerűen: *Bali László, Begányi Ervin* villamos üzem mérnök, *Breitenbach Sándor, Dombai Ágnes, Görög Tamás* okl. vegyész mérnök, *Hoppál Mihályné, Jafcsák Pál, Jámbor Kornél* villamos üzem mérnök, *Dr. Jedlovsky Pálné* okl. vegyész mérnök, *Keleti József* okl. vegyész, félvezető szakmérnök, *Komáromi Ferenc* okl. villamos mérnök, *Nemcsokné Kántor Edit*, néhai *Szilágyi Gábor*, néhai *Turós György*.

Érdekes fejezete a VKI-ban folytatott félvezető kutatásoknak a termovillamos hűtés – termovillamos energiaátalakítás megva-

lósítására alkalmas félvezető anyagokkal foglalkozó része. Az első lépések ezen a téren még 1957-ben történtek, amikor Dr. Lukács József figyelemfelkeltő cikke a „Hővillamos generátorok félvezető anyagokból” címmel az *Elektrotechnika* című lapban megjelent. A munka mégsem a generátorokkal, hanem az ugyanezen elv alapján működő hűtőkkel kezdődött 1963-ban.

Ismert, hogy a termovillamos eszközöket, akár hűtőket, akár generátorokat, kis hővezetőképességű, nagy villamos vezetőképességű és nagy Seebeck állandójú anyagokkal lehet hatásosan megvalósítani. Az egymást csaknem kizáró követelményeknek a félvezető tulajdonságokat mutató ötvözetek tesznek leginkább eleget. Mivel az elmélet az ilyen ötvözetek tulajdonságainak leírására nem alkalmas, csak a korlátok jelzésére, az anyagkutatást néhány gyakorlati szabályon kívül más nem segíti. A VKI-ban kifejlesztett termovillamos hűtőkben alkalmazott félvezető anyag a BiSb-TeSe szilárd oldat volt, amelynek „jósága” a dopolás függvényében lokális maximumokat mutat. Az anyag előállítására kezdetben Bridgeman-eljárást, később szinterelést alkalmaztunk. Az ezekből az anyagokból készített hűtőelemekkel eleinte 30°C, később 50°C hőmérséklet-különbséget tudunk létrehozni. A hűtőelemekből a Főosztályon egyedi hűtőberendezések készültek, a DANUVIA 2.sz. gyárában a hetvenes évek elején rövid ideig folyt egy 10 l-es hűtődoboz sorozatgyártása, amelynek aktív elemeit a VKI szállította.

A termovillamos hűtés elméleti alapvetését itthon néhai *Jarács György* okl. villamos mérnök dolgozta ki, az anyagkutatási munkát irányításával *Egri János* okl. villamos mérnök végezte, a konstrukciós és közteknológiai kérdések megoldásában *Salánki Tibor* is részt vett.

A termovillamos generátorokkal foglalkozó intenzív kutatómunka 1968–1969-ben indult meg ipari megrendelésre, mivel az ORION gyár jobb exportlehetőséget remélt, ha termékeihez autonóm áramforrást is tud ajánlani. Az anyag, amit az aktív elemek elkészítéséhez választottunk a $\text{Ge}_3\text{Si}_{107}$ alapösszetételű n és p vezetési típusúra adalékolt ötvözetcsalád, amelynek termovillamos jósági száma 800 K felett a legjobbnak ígérkezett. Előállítására többféle módszerrel kísérleteztünk az egyszerű formábaöntéstől a zónás olvasztáson át a vákum melegprelésig, legeredményesebbnek egy szakaszos öntési eljárás bizonyult. Ezzel aztán számos ötvözetmintát készítettünk és vizsgáltunk, az alapkivonatokat molarányát megtarva, Cr, Co, Mo és W további komponenseket alkalmazva. Ezzel párhuzamosan sikerrel oldottuk meg a generátorkonstrukcióval, a termovillamos elemek előállításával és méretezésével kapcsolatos problémákat. Mindezekért az eredményekért 1974-ben az MTA által az országos távlati kutatási főirányokban folyó munkák jutalmazására kiírt pályázaton az alkotók – *Török Tivadar, Keleti József, Rátkai Zsolt* – főiránydíjat nyertek.

A munka további fontos állomásai:

- az első 250 W teljesítményű PB-gáz tüzelésű termovillamos generátor elkészülte 1972-ben;
- 4 db termovillamos állomás elkészítése – 3 db 300 W, 1 db 450 W teljesítményű –, amelyeket a Basra (Irak) mellett épített ún. „broad cut” vezeték telemetriai és telemechanikai rendszerének villamosenergia ellátására 1979–1980-ban helyeztek üzembe a kítóró Irak-Iráni háború küszöbén. A termovillamos állomások a vezetékben szállított termék illékony komponensével üzemeltek;

- 35 W teljesítményű mobil termovillamos generátor kifejlesztése 1982 és 1984 között. A készülék súlya – 30 órára elegendő üzemanyag tárolására alkalmas tartállyal és az üzemanyaggal együtt – nem haladta meg a 17 kp-t;
- kombinált termovillamos generátor konstrukciós elv elméleti kidolgozása és gyakorlati megvalósítás a SZU Tudományos Akadémia Áramforráskutató Intézetével közösen.

Az ezen a területen folyó tevékenységnek *Dr. Lukács József* mindig kiemelt figyelmet szentelt. A kutatásokban résztvevő munkatársak, a már említettekén kívül *Renner Gábor* okl. villamosmérnök, *Szönyi László* okl. fizikus, *Boldizsár Gyula*, *Sebestyén Ferenc* okl. gépészmérnök, *Turda Elek* okl. gépészmérnök és *Dr. Katona Ábris* okl. villamosmérnök (aki éppen e témában védte meg kandidátusi értekezését) voltak.

Ezzel a végére is értem a Villamosipari Kutató Intézetben folytatott félvezető-kutatási tevékenység vázlatos bemutatásának és a bevezetőben ígért szubjektív megjegyzések következhettek.

Az időszak eseményeinek és eredményeinek felidézése közben, amely tulajdonképpen kicsit saját életpályám összegzése is, ambivalens érzés fogott el. Egyrészt büszke vagyok arra, hogy ebben a folyamatban részt vehettem, másrészt keresem az okokat és a felelősöket, amik vagy akik kudarcainkat okozták, és azon tűnődök, vajon szükségszerű volt-e ez a végkifejlet?

Az 1949-ben megindult és napjainkban végetérő folyamat áttekintésekor elfogulatlanul megállapíthatjuk, hogy a *Dr. Lukács József* vezette csoport, amely kezdetben néhány főből állt, és 1967 körül érte el a 30 fős létszámot, évente-kétévente képes volt olyan új gyártmányok és technológiák kifejlesztésére és ipari bevezetésére, amelyek a kutatási ráfordításokat több nagyságrenddel meghaladó termelési értéket produkáltak. Ebben az időszakban a külföldi – nyugat-európai – színvonalhoz viszonyítva pár évvel elmaradva ugyan, de követni tudtuk a nemzetközi fejlődést. Az akkor elvégzett munkát és sajnos egyben a hazai körülményeket minősíti, hogy az akkor kifejlesztett technológiák közül nem egy – több kevesebb változtatással – a legutóbbi idő-kig fennmaradt, használták. Erőfeszítéseink nyomán az erősáramú iparban teljesen új, hagyományok nélküli területek honosodtak meg, amelyeket azt hiszem joggal nevezhetek az ipar akkori átlagos fejlettségi szintjéből kiemelkedő csúcspontoknak. Annak ellenére, hogy a félvezető anyag- és eszköztechnológia igen szoros technológiai figyelmet kívánó tevékenység, és a megalkotásuk-

hoz nem mindennapi lelemény szükséges, volt erőnk és lehetőségünk eredményeinket ipari közegbe ágyazni.

Később – noha állítom, hogy sem elszántságunk, sem ügyességünk nem csökkent, sőt talán megkockáztatható az az állítás is, hogy tapasztaltabbak leetünk – ez az ütem lelassult. A bajok akkor kezdődtek, amikor a kísérleti munkához és a gyártáshoz egyre bonyolultabb segédeszközökre, technológiai berendezésekre, speciális anyagokra lett volna szükség, amelyek megépítése, előállítása saját erőből mintegy mellékesen, nem volt lehetséges, beszerzésünk viszont pénzügyi, embargo stb. miatt nehézségekbe ütközött. A kezdetben kiépített csúcscsok köré nem szerveződött meg a kiszolgáló háttérpar, mivel a torz szocialista érdekviszonyok között a gyártásokon potenciálisan megtermelhető haszon vagy létre sem jött, vagy ha igen, akkor az újraelosztási folyamatból csak töredéke jutott vissza az alapok szélesítésére. A forrásokért folytatott versenyfutásban lemaradtunk, a KGM úgy döntött, hogy a híradástechnikai félvezetőelem gyártást preferálja az erősáramú elemek gyártásával szemben, annak ellenére, hogy az erősáramú elemgyártás akkori színvonala jobban megközelítette a nyugati szintet. A bajon sajnos az intézeti kísérleti gyártások rendszere sem tudott segíteni, így végül is elaprózódtak az energiáink, valljuk be, fiatalabbak sem lettünk, és egy ideig még, képletesen szólva „gyalog” szaladtunk a kocsni után, a kifulladásig, elmaradásunk a világtendenciáktól egyre növekedett. Ezt a folyamatot csak felgyorsította, hogy az ipari bevezetési tevékenységünk során sokszor elég erőszakosan kellett fellépniünk, az érdekeltek – fegyelmezettlen dolgozók, hozzá nem értő vezetők – fájó pontjait sem kímélve, mivel csak így tudtuk biztosítani a gyártáshoz szükséges minimális feltételeket, és a megbántott emberek elégedetlensége visszhangra talált más ellendrukkerek döntési helyzetben lévő csoportjánál. Most így utólag végiggondolva sem látok azonban más lehetőséget, hiszen ha úgy döntöttünk – akik úgy döntöttünk –, hogy egyszeri életünket Magyarországon éljük le, így legalább annyi elégtételünk van, hogy szép és érdekes munka volt, és így örülhetünk, hogy részesei lehettünk ennek az ipar- és gazdaságtörténeti érdekességű korszaknak.

Végül az utolsó mondat: Az Állami Vagyonkezelő Rt. 1994. április 6-án megtartott igazgatótanácsi ülésén elhatározta a kiürült Villamosipari Kutató Intézet jogutód nélküli végelszámolását.

Budapest 1994



POWERSTAR

Rendszerfejlesztési és Fővállalkozási Kft.
1039 Budapest, Nagyvárad u. 11-17.
Tel./Fax: 188-7162

TMS (TELECOM MODUL SYSTEM) RENDSZERCSALÁD

EGYENÁRAMÚ FOGYASZTÓK (24 V – 48 V – 60 V) SZÜNETMENTES ENERGIÁELLÁTÁSÁRA
MODUL FELÉPÍTÉS (12,5 A – 28 A – 50 A – 75 A FARNELL egyenirányító alapegységgel)

JELLEMZŐI:

- a magyar és a VDE szabványoknak megfelelő
- sinusos jellegű áramfelvétel
- nagy megbízhatóság (250.000 óra MTBF)
- mikroszámítógépes felügyeleti rendszer
- beépíthető akkumulátorteleg
- távfelügyeleti rendszerbe bekapcsolható (RS 232)



Sonnenschein

Saga Kereskedelmi Kft.

1108 Budapest, Gyömrői út 140.
Tel.: 127-2018/156, 147-2114
Tel./Fax: 147-5592

Teljesen karbantartásmentes, szilárd kristályos elektrolites Sonnenschein dryfit akkumulátorok:

- műszer- és berendezés-akkumulátorok
- stabil felépítésű ipari akkumulátorok
- jármű indító- és meghajtó-akkumulátorok
- akkumulátortöltők, állványok
- szünetmentes áramforrások
- tápellátás tervezése, méretezése

KÉRJE RÉSZLETES ISMERTETŐNKETT!