



HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA

XXXIV. évfolyam
B U D A P E S T

1983

11

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXIV. évfolyam 1983. 11. szám.

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXIX. évfolyam 1983. 11. szám.

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

I. évfolyam 5. szám.

Felelős szerkesztő:
DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztő bizottság

A szerkesztő bizottság elnöke:
HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:
ANGYAL LÁSZLÓ
MÉREY IMRÉNÉ
SZÖLLÖSI GYÖRGYNÉ

*

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

HTE
Rovatvezető: Mérey Imréné
Dr. Flesch István
Forintos György

BHG
Rovatvezető: Angyal László
Tudományos szerkesztő: Dr. Frajka Béla
Bernhardt Richard, dr. Eisler Péter,
dr. Gosztonyi Géza, Honti Ottó, Klug Miklós,
Laczkó Endre, Tölgyesi László

MEV
Rovatvezető: Kászonyi László
Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz
Balogh Albert, Csornai László, Czermann
Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,
dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátay Géza,
dr. Motál György, Schödl Ervin

ORION
Rovatvezető: Jakubik Béla
Tudományos szerkesztő: Dr. Frigyes István
Csernoch János, Froemel Károly, Szabó
Károly, Szász Gerő

REMIX
Rovatvezető: Rippel Géza
Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz
Bodnár László, Kovács Gyula, Mészáros
Sándor, Molnár László

TKI
Rovatvezető: Dr. Baranyi András
Tudományos szerkesztő: Dr. Lajtha György
(szervezés alatt)

TERTA
Rovatvezető: Bánsághi Pál
Tudományos szerkesztő: Dr. Gordos Géza
Baján Tibor, Benedek Elek, Halmi Gábor
Hutter Mihály

*

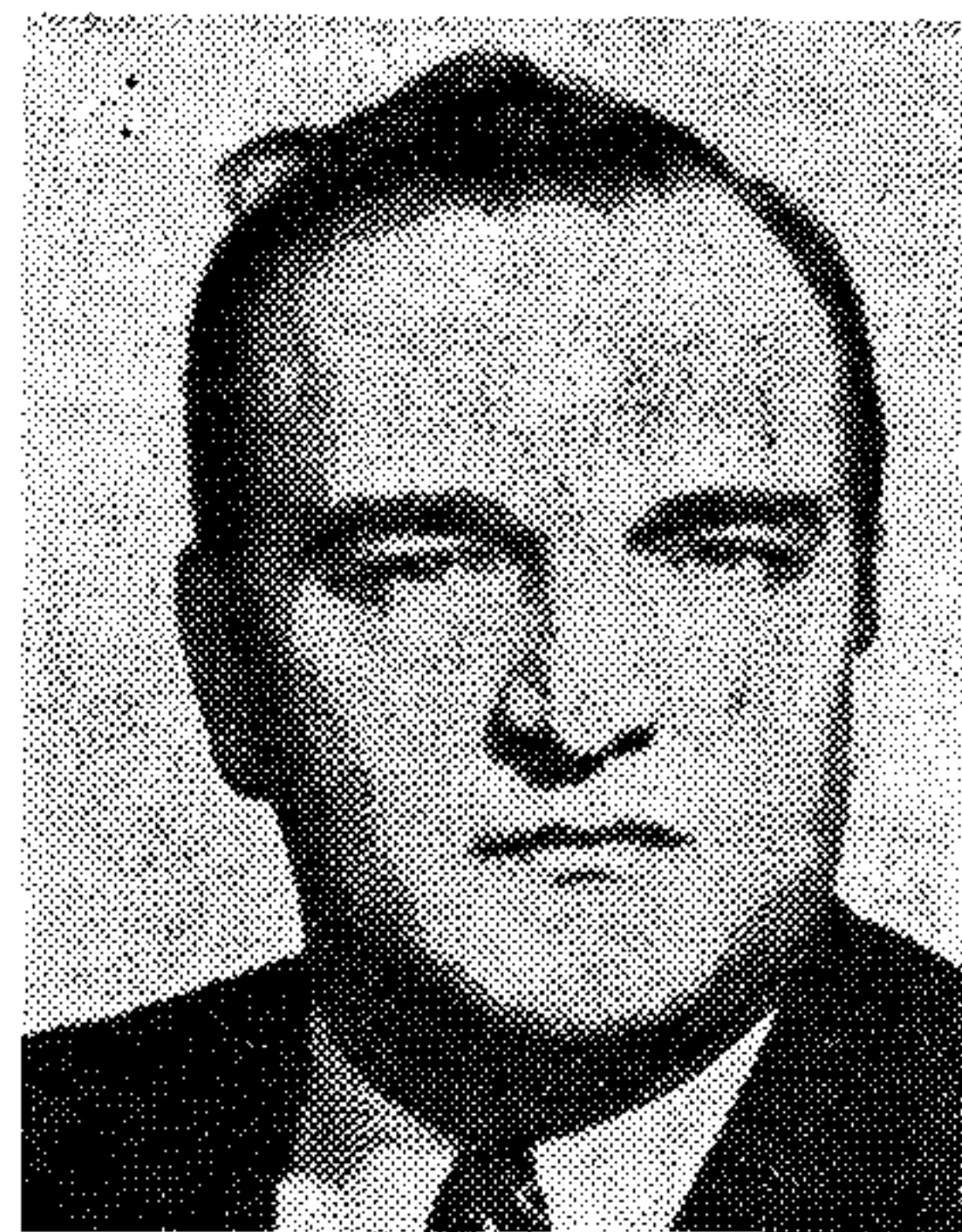
Szerkesztőségi ügyekben
és kéziratokkal kapcsolatban
felvilágosítást ad: Szöllősi Györgyné,
telefon: 495-098

ROVATOK:

○ EGYESÜLETI ÉLET	Rovatgazda: HTE
□ RENDSZERTECHNIKA	Rovatgazda: TKI
# KAPCSOLÁSTECHNIKA	Rovatgazda: BHG
↔ VEZETÉKES TECHNIKA	Rovatgazda: TERTA
* VEZETÉKNÉLKÜLI TECHNIKA	Rovatgazda: ORION
▲ MIKROELEKTRONIKA	Rovatgazda: MEV
△ ALKATRÉSZTECHNIKA	Rovatgazda: REMIX

TARTALOM

KÖVESKÜTI LAJOS: Köszöntő	481
SZABÓNÉ KANIZSAY-KARG ÉVA—DR. GÄRTNER PÉTER: Az oxidkatódtól a szilícium-dioxidig. Egy tanszék 25 éve	482
DR. TARNAY KÁLMÁN: Az Elektronikus Eszközök Tanszék szerepe a mikroelektronika oktatásában és kutatásában	489
DR. AMBRÓZY ANDRÁS: Vezetés vastagrétegekben	492
TÍMÁRNÉ HORVÁTH VERONIKA—HARSÁNYI JÓZSEF—DR. MIZSEI JÁNOS: Az integrált áramkörök technológiájának gyakor- lati oktatása a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén	499
DR. TARNAY KÁLMÁN—DR. MASSZI FERENC—DR. DROZDY GYÓZÓ: Többrétegű struktúrák technológiai modellezése	504
DR. HABERMAJER ISTVÁN: Lézerdiódák az optikai hírközlésben	509
DR. ZÓLOMY IMRE—ARMANDO ADAN: MISS és MIST eszközök kutatása	517
DR. SZÉKELY VLADIMIR—BAJI PÁL—KERECSENNÉ DR. RENCZ MÁRTA—KÓNYA ILONA—DR. MASSZI FERENC: CELLIB-cellakönyvtár kezelő program a mikroelektronikai tervezés céljára	521
Folyóiratszemle	488
Egyesületi hírek	526
MEDICOR MŰVEK: Moduláris adatgyűjtő berendezés — MOD-81	530
KŐPORC: Nagyfrekvenciás kerámia monolit-chip kondenzátorok ..	540
Idegen nyelvű tartalmi összefoglalások	543



Szeretettel köszöntöm a Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékét, 25 éves jubileuma alkalmából!

A Budapesti Műszaki Egyetem 200 éves történetében az Elektronikus Eszközök Tanszéke nagyon fiatal. Ami mégis kiemelésre kényszerít bennünket az az, hogy az elektronika fejlődésében leghangsúlyosabb jövőjű, új tudományágat képviseli.

Hosszú volt az út az elektroncsőtől, a számítástechnika által segített áramkörtervezésen és technológián át a mikroelektronikáig.

A tudományág gyors felnövekedésében és nagy léptű előrehaladásában természetesen voltak közbenső állomások is. A kezdetben uralkodó elektroncső után viharos viták következtek a tranzisztorról. Európa több nagy egyeteme csak múló divatjelenséget látott a tranzisztorban és érdekesnek sem méltatta arra, hogy azonnal bevegye oktatási programjába. Ezzel szemben — és ez az egyetemi oktatás múlhatatlan érdeme — Budapesten új tanszék jött létre, az Elektronikus Eszközök Tanszéke, melynek vezetői jó helyzetfelismeréssel a tranzisztort és a félvezető eszközöket kiemelten szerepeltették a hazai oktatásban.

A tudatos munkát és előrelátást bizonyítja az, hogy röviddel a tanszék megalakulása után megszervezték a Félvezető Technikai Szakmérnöki Tanfolyamot is.

Később a tanszék a még ki nem forrott elmélet és technológia ellenére is azonnal helyt adott egy új tudományterületnek: az integrált áramköröknek.

Ismereteink szerint Európában elsőként Budapesten lett külön tárgy a mikroelektronika.

Amikor az integrált áramkörök tudományának jelentősége egyre nőtt, az elektronikus eszközök oktatása újabb fejlődésen ment át. A régebbi anyag radikális zsugorításával, a mikroelektronikát helyezték az előadás középpontjába, s az integrált áramkörök előállítását korszerű, hallgatói laboratóriumi gyakorlat keretében oktatták. A 70-es években, amikor a világ élvonalbeli technikája már eljutott a komplex nagymértékű integráláshoz és a hagyományos módon már nem tervezhető áramkörökhöz, a tanszék figyelme — lépést tartva a fejlődéssel — a számítástechnika által segített áramkörtervezés és technológiai modellezés felé fordult.

Röviden így összegezhető az Elektronikus Eszközök Tanszékének 25 éves munkássága, melyben megvalósulhatott az, amit a népgazdaság vár a felsőoktatástól: jó előre felmérni az igényeket és ezekhez igazodó létszámú és tudású, magasan képzett szakembereket biztosítani.

A sikerrel zárt negyedszázadot nemzetközi elismerések is fémjelzik.

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET figyelemmel kísérte a huszonöt év áldozatos munkáját, s a maga lehetőségeivel mindig támogatta. Elismeréssel és örömmel gratulálunk a tanszék eddigi és jelenlegi vezetőinek, egész kollektívájának és további dinamikus fejlődést, eredményes új negyedszázadokat kívánunk az egész magyar elektronikai kultúra fejlődése érdekében.

Köveskúti Lajos,
a HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
elnöke

KÖVESKÚTI LAJOS

Tanulmányait Budapesten, a Szovjetunióban és Angliában végezte. Mérnöki diplomáját 1951-ben szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. Tématerülete a tv-technika. Pályáját a Magyar Néphadsereg állományában kezdte előadó-

ként, majd tanszékvezető lett. Ezt követően fejlesztő mérnökként dolgozott. 1963-tól a Híradástechnika Szövetkezet műszaki vezetője, majd 1973-tól a szövetkezet elnöke. 1980-ban Állami-díjjal tüntették ki. 1981 óta a Híradástechnikai Tudományos Egyesület elnöke.

Az oxikatódtól a szilícium-dioxidig. Egy tanszék 25 éve

SZABÓNÉ KANIZSAY-KARG ÉVA —
DR. GÄRTNER PÉTER

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatja a 25 éves jubileumát ünneplő Elektronikus Eszközök Tanszék oktatási és kutatási tevékenységének fő területeit és ezeknek perspektíváit. Taglalja a mikroelektronikai oktatás aktuális feladatait és jövőjét, röviden bemutatva a BME Villamosmérnöki Karán, e cél érdekében tett erőfeszítéseket (új szak: Mikroelektronikai és technológiai szak szervezése, nappali szakmérnökképzés, B oktatás). (▲)

1. A kezdet

Nehéz a krónikás szerepe. Röviden, célratörően, pontosan, objektíven leírni a múlt eseményeit nem könnyű dolog. Gondoljunk csak bele! Miközben az elektronikus eszközök területén egymást váltják a generációk, egy tanszék — nagyobb anyagi eszközök nélkül — lépést tart és fejlődik, dacolva a mindig meglevő hagyománytiszteletre hivatkozó konzervatívizmussal. Felújítja — ha kell évente is — tananyagát, és nemzetközi elismerést is kiharcol magának.

Kezdjük visszatekintésünket a háború utáni évekkel. A nagy múltú, ma már több mint 200 éves Budapesti Műszaki Egyetemnek 1949-ig nem is volt Villamosmérnöki Kara. A gépészmérnökképzés addig az ún. A, B és C tagozaton folyt, és bár a B tagozat hallgatói „villamos” mérnökök lettek, elektroncsövekről csak egy enciklopédikus tárgyon, a „Rádiótechniká”-n belül, Babits Viktor magántanár igen színvonalas előadásaiból hallottak.

Az első világháború után megindult a rendszeres rádióműsor-sugárzás. Lelkes amatőrök világvevőt építettek és röntgen lemezen hangfelvételt készítettek. A második világháború a mikrohullámú technika rohamos fejlesztését követelte (lokátor, radar), és köznap eszközzé vált a magnetofon, a televízió stb. Valamennyi berendezés lelke az elektroncső volt.

A műszaki fejlődés provokált. A kihívásra az egyetemi oktatásban is válaszolni kellett. 1947-ben alakult az Állami Műszaki Főiskola külön híradástechnika tagozattal, melynek tervét dr. Valkó Iván Péter 1945 nyarán javasolta a Mérnök Szakszervezetben. Itt már volt külön előadás elektroncsövekről — dr. Barta István tartotta — s a tárgyhoz csatlakozó gyakorlatokat Palócz István vezette.

A Budapesti Műszaki Egyetemen 1949-ben létrejött a Villamosmérnöki Kar. A Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszéken dr. Barta István irányításával már külön előadás foglalkozott az elektroncsővel és a rokon kérdésekkel. Itt adott elő Palócz István, dr. Szigeti György, dr. Tarján Rezső, dr. Tarnay Kálmán, dr. Rédl Endre és gyakorlatot vezetett Huvé István.

SZABÓNÉ
KANIZSAY-KARG
ÉVA

A Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán, a Híradástechnika Szakon szerzett oklevelet 1959-ben. Első munkahelye a Magyar Rádióban volt. Egy évvel

később a Villamosmérnök-kari Műszaki Mechanika Tanszéken kinevezték tanársegédnek, ahol korábban mint hallgató több évig demonstratorkodott. 1967-ben jött az Elektronikus Eszközök Tanszékére, ahol jelenleg adjunktusként dolgozik.

1956-ban rendelet született egy „Elektroncsőtechnikai Tanszék” felállításáról. 1959-ben a tanszék létrejött dr. Valkó Iván Péter vezetésével. Az asszisztencia: Ambrózy András (jelenleg a BME Elektronikai Technológia Tanszékének professzora), Romhányi Miklós (jelenleg a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Elektronikai Alkatrésztechnológiai és Üzemszervezési Intézetének igazgatója) és segítőként Tassi Gézané.

Valkó professzor tizenkét évet dolgozott az Egyesült Izzó Elektroncső Kutató Laboratóriumában, majd 1948—52-ig a TKI Mikrohullámú Csőlaboratóriumát vezette, s ez alatt dolgozta ki munkatársával a hazai haladó hullámú csövet. 1953-ban megszervezte a HIKI Elektronikus Laboratóriumát, amely az elektroncsövek, később a tranzistorok működési határainak vizsgálatával foglalkozott. Kifejlesztette a fluoreszcencia lecsengésének elektronikus analízisét, valamint — elektroncsövek vizsgálatára — a fehérzajos rázás eljárását, amelyet ma „random vibration” néven ismernek és használnak általánosan, főleg finommechanikai szerkezetek vizsgálatára.

Az új tanszék egyetlen kis szobában kezdte meg működését a Stoczek-épületben. Felszerelése néhány alapluszerből és pár agyonhasznált szignálgenerátorból állt. Nem lévén hivatalsegéd, gépirónő, villanyszerelő, a kicsi de lelkes oktató csoport felosztotta a teendőket: Valkó professzor tanszékvezetői posztján ellátta a hivatalsegédi teendőket is, Romhányi Miklós a gépelést és Ambrózy András második műszakja a villanyszerelés volt.

2. A tanszék programja

Az oktatás százfejű sárkánya, mellyel ebben az időben is permanens harcot kellett folytatni: az oktatásra vonatkozó merev, statikus előírások. A tranzisztort sokan divathóbortnak tekintették. „Nem is kell vele törődni! Úgysem életképes! Tanítsuk, gyártsuk, adjuk el az elektroncsöveket! Ez még sok

évre jó program” — érveltek sokan, és nem csupán az elektroncsövek gyártói.

Nem szabad megfélemedezni, hogy a hazai elektroncsőipar 3 évtized küzdelmeivel, tapasztalataival, európai „nagyhatalmi” múltjával, sokáig a népgazdaság egyik legfontosabb, külkereskedelmileg is nyereséges ágazata volt.

Voltak viszont, akik felismerték, hogy az elektronika roppant fordulat előtt áll és az új magyar mérnökgenerációt erre kell felkészíteni.

Az új tanszék vezetése hármas célt tűzött ki maga elé.

Először is vonzóvá kellett tenni ezt a területet a fiatalok számára.

Másodszor, állandó kapcsolatban a nemzetközi fejlődéssel a tananyagot, évről évre előretekintve kellett fejleszteni. Ez azt is jelentette, hogy a tárgy sohasem keltette egy igazi lezárt, megtanulható diszciplína benyomását.

Harmadszor: abban az élethalálharcban, amelyet a nem éppen barátságos világkörnyezet jelentett a hazai ipar számára, támogatni kellett az új kezdeményezéseket, lehetővé kellett tenni, hogy a fejlesztésben álló eszközöket az előttünk járó fejlett országok új termékeivel össze lehessen vetni.

Vegyük sorra az egyes célokat:

1. A fiatalok megnyerése több olyan fogást igényelt, amely egyetemünkön később általánosabban elterjedt. Például, hogy a pályaválasztáshoz kedvet csináljon, a tanszék megnyitotta kapuit a középiskolás diákok egy csoportja előtt. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal együttműködve meghívta a diákolimpiára készülő tanulókat egy „nyitott napra” és bemutatta nekik a tanszéki laboratóriumokat.

Kevésbé volt sikeres egy másik, későbbi kezdeményezés: a tanszék meghívta a középiskolai fizikatanárokat nyári félévezető kurzusra. Ennek célja az volt, hogy megismerkedjenek a félvezetők elméletével, a technológia főbb lépéseivel és az alkalmazással. Így ők is felkeltették volna a tanulók érdeklődését. Sajnos egy-két alkalom után ez a nyári kurzus érdeklődés hiányában megszűnt.

További probléma az volt, hogy az első évfolyamos hallgatókkal nem volt a tanszéknek kapcsolata. Ezért később elindított egy újszerű, félig játékos diákkört az elsőéves hallgatók számára: „készítsünk napelemet” jelszóval. Ez a napelem egy primitív módon készített szilícium pn fotodióda volt. Elképzelhetjük egy 19 éves fiatalember boldogságát, akinek a dió lája, a napfény hatására megmozgatta a műszer mutatóját, esetleg meg is forgatott egy kis motort!

2. A tananyag folyamatos fejlesztését az tette nehezzé, hogy az helyi, aktuális érdekeket sértett a tanszék működését egyébként jóindulattal szemlélő távolabbi körökben. A vákuumtechnika mellett a tananyagba kellett vinni a szilárdtest eszközöket és hamarosan ismertetni kellett a nálunk akkor még nem gyártott szilícium eszközök előnyeit a germániummal szemben, azután a Mesa eljárás mellett a planár technikát, később az addig lebecsült MOS-t, majd az integrált áramkört, az integráció fokozását,



DR. GÄRTNER PÉTER

A BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika Szakon 1960-ban végzett, majd kitüntetéses diplomát

szerezett 1961-ben. 1963-ig az Elektromechanikai Vállalatnál dolgozott, mint fejlesztőmérnök, tv-adók antenna-rendszereinek kutatás-fejlesztési és megvalósítási munkáján. 1963 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik. 1968-ban antennák és tápvezetékek témakörben egyetemi doktori címet szerzett. Jelenleg elektronikus eszközök mérés- és vizsgálótechnikájával foglalkozik, különösen a nagybonyolultságú integrált áramkörök tesztelési kérdéseivel.

a tervezés számítógépes támogatását, a digitális technika térnyerését. Mindezt a hazai ipari alkalmazás előtt.

3. Az iparnak nyújtott segítségben lényeges momentum, hogy Valkó professzor még egy jó évtizedig megmaradt a HIKI elektronikus laboratóriumának élén is. A két intézmény nemcsak két egészen külön szervezethez, de még más minisztériumhoz is tartozott. Mégis sikerült tartalmas együttműködést megvalósítani. Az első feladat: bebizonyítani, hogy a tranzisztor jó eszköz. 1958-ban már tranzisztoros berendezés kiállításra került sor és megkezdődött az első előadássorozat. Később a kutató feladatok a különleges tulajdonságok mérésére koncentrálnak, mivel ez a tématerület a szocialista országok nagy részében — a fizikai, kémiai és áramköri alkalmazási kérdések között — nem mindig kapott elegendő figyelmet. A hazai eredményeknek még a határokon túl is jelentősége volt. A nemzetközi elismerést már az 1967. évi budapesti „Symposium on Test Methods and Measurements of Semiconductor Devices” (1967. április 25—28. Vol. I—II.) sikere is megmutatta. Valkó professzor körül tudományos iskola alakult ki, melynek fő törekvése az eszközök fizikai és működési paramétereinek közötti összefüggések feltárása, rendszerezése.

3. Az oktatói stáb

A tanszék rövidesen több helyiséggel bővült és ettől kezdve a titkárnői feladatokat Vékony Gyuláné végezte nagy odaadással. Megkezdte működését az egyszemélyes műhely is. A TKI-ből átlépve csatlakozik Kenczler Ödön, aki nagy tapasztalatával és szeretetreméltó egyéniségével 1977. évi nyugalombavonulásáig értékes oktatója maradt a tanszéknek. Sok éven át látta el a tanszékvezető-helyettesi tiszteletet is. Az első gyakorlatvezetők még külső szakemberek voltak.

Azután megindult az oktatói gárda kiépítése az előbb vázolt célkitűzések szellemében. A választásban a kiváló szakmai képességek mellett az emberi tulajdonságok is tényező voltak, így sikerült nemcsak ütőképes gárdát, de összetartó emberi közösséget is kialakítani.

1. táblázat

Név	Belépés éve	Mai beosztása
dr. Nagy András	1962	adjunktus
dr. Hábermajer István	1963	adjunktus
dr. Gärtner Péter	1963	adjunktus
dr. Székely Vladimír	1964	docens, tanszékvez.-h.
dr. Török Sándor	1964	adjunktus
dr. Zólogy Imre	1965	adjunktus
Madas István	1965	—
Musztács István	1965	—
Pribék Mihályné	1966	—
dr. Gottwald Péter	1966	adjunktus
dr. Bajor György	1967	—
Szabóné Kanizsay-Karg Éva	1967	adjunktus
Takács Dezső	1969	—
Baji Pál	1970	tanársegéd
dr. Tarnay Kálmán (1959—71-ig meghívott előadó)	1971	tanszékvezető docens
Tímárné Horváth Veronika	1971	adjunktus
Kerecsenné dr. Rencz Márta	1973	adjunktus
dr. Dobos Károly	1975	—
Harsányi József	1976	tanszéki mérnök
dr. Masszi Ferenc	1977	adjunktus
dr. Mizsei János	1977	adjunktus
dr. Kormány Teréz	1982	docens
dr. Kovács Ferenc	1982	docens
Kónya Ilona	1982	adjunktus
dr. Farkas Gábor	1983	adjunktus

Az utolsó oszlopban — jellel megjelöltek már nem tartoznak a tanszék oktatói közé.

Az oktató gárda további alakulását az 1. táblázat mutatja.

A tanszék tiszteletbeli munkatársai:

dr. Szép Iván c. egyetemi tanár,
dr. Rédl Endre c. egyetemi docens,
dr. Bretz Károly c. egyetemi docens,
dr. Gyulai József c. egyetemi tanár.

Valamennyien sokévi munkával támogatták a tanszék, amely részükre a kitüntető címet javaslatba hozta.

Emlékezzünk meg ezen helyen Pribék Mihályné Láng Éváról, aki kedves, rokonszenves egyéniséggel közszeretben állt a tanszéken és 1966. karácsonyán váratlanul elhunyt. Ennek a cikknek a megjelenését Kenczler Ödön sem érthette meg, aki nagyban hozzájárult a tanszéken a baráti szellem kialakításához. 1983. májusában elhunyt. Emléküket szeretettel őrizzük.

4. Az oktató munka

Ha a tanszék oktatási tevékenységét akarjuk változtatni, előbb néhány szót kell szólnunk a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának okta-

tási rendszeréről is, amely 25 év alatt több reformon ment keresztül. A hallgatók eredetileg három, később négy szakon tanultak eltérő tantervvel. A Híradástechnika Szak kapta a legnagyobb terjedelmű „Elektroncsövek” előadást, két (időnként három) féléves terjedelemmel, a harmadik tanév elején vagy a második tanév végén elkezdve. Ez képezte az oktatási munka gerincét, a tanszék köznapi nyelvén ez volt a „főtárgy”. A Műszer és Méréstechnika Szak, valamint később a Híradás és Műszeripari Technológia Szak ennek a tárgynak némileg rövidített változatát hallgatta. (Az erősáramú hallgatók néhány évig ugyancsak hallgattak egy rövid elektronikai kompendiumot a tanszék előadásában).

Valamennyi szaknak megvolt természetesen az esti, illetve levelező formája is és a fenti tárgyak ott is szerepeltek.

A laboratóriumi mérések alapjait már a tanszék alapítása előtt lerakták: Ambrózy András, Tarnay Kálmán és Tassy Gézané. Dr. Barta István Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékén már elkészítettek néhány mérési összeállítást. Ez lett az egyre gyarapodó laboratórium csírája.

Az előadott anyag évről évre változott. A félvezető technika előretört. Tarnay Kálmán 1959-től meghívott előadóként tevékenykedett az esti oktatás keretében. Valkó professzor, a nappali évfolyamnak adta elő a tranzisztort. 1961-ben kiadásra került az első magyar szakkönyv a tranzisztorról. Hamarosan megjelentek az első új jegyzetek is.

Az oktatás merevségén egy dolog enyhített: a fakultatív tárgyak rendszere.

Néhány ilyen fakultatív tárgy:

Kenczler Ödön:	Elektroncsövek technológiája
Nagy Gyula:	Bevezetés az elektronoptikába
Dallos András:	Ultravákuum technika
Dr. Tarnay Kálmán:	Különleges félvezető eszközök
Pásztor Gyula:	Schottky-dióda és alkalmazása
Kovács Ferenc:	Félvezető eszközök méréstechnikája
Zólogy Imre:	Nagyteljesítményű félvezető elektronika.

1960-ban nagy esemény következett be: A tanszék vezetője egy amerikai konferencia alkalmából tanúja lehetett az integrált áramkör nyilvános megjelenésének. Ez újabb fordulatot jelentett az elektronikában. Ezután a tanszék nekiállt a kérdés irodalomkutatásának. Nemsokára nagyobb méretű tanulmányt készítettek, formailag az Egyesült Izzó számára, de a valóságban a szélesebb nyilvánosság, különösen a hatáskörrel is rendelkező vezetők figyelmének felkeltésére. A kiadvány később az OMFB segítségével sokszorosításra is került, mint első magyar jelzés az elektronika új korszakáról.

Ekkor már a tanszék előadásában is szerepelnek az integrált áramkörök. Az első mérnöktovábbképző előadássorozat után, 1964—65-ben megindul — először fakultatív tárgyként — az „Integrált szilárdtest áramkörök” c. tárgy oktatása. Így lett a BME az első európai egyetem, amelyen külön tárgyat szentelnek a mikroelektronikának.

A hatvanas évek nagy tantervreformja hivatalosan is modernizálta a villamosmérnöki karon az egyes

szakok tanmenetét. Ezekben már szerepelt bizonyos specializálódás, ágazatokra bomlás formájában. Új ágazat is indult „Elektroncsövek és félvezetők” néven. Néhány év alatt az első „reformgeneráció” eljutott a negyedik tanévig, amelyben már szerepeltek az ágazati speciális tárgyak. Az első korszak (1967) ágazati tárgyai:

Fizikai kémia; Mikrohullámú elektroncsövek; Vákuum és elektroncső technika; Félvezetők technológiája; Mikroelektronika (a korábbi integrált szilárdtest áramkörök); Elektronikus készülékek; Választható tárgyak.

A „választható tárgyak” lényegileg olyan (kijelölt) fakultatív tárgyak voltak, amelyek a korábbi rendszertől eltérően vizsgakötelezettséggel jártak és beszámítottak a hallgatók tevékenységébe.

Néhány esztendő alatt a fent közölt tanmenet alaposan megváltozott. A Mikroelektronika valamenyny ágazat számára kötelezővé vált a Híradástechnika Szakon, mint az Elektronikus Eszközök főtárgy harmadik féléve. Az ágazati tárgyak a következők lettek:

Félvezetők fizikája és kémiája; Vákuumtechnika; Integrált áramkörök technológiája és konstrukciója (nagy elméleti és gyakorlati óraszám); Választható tárgyak.

Megjegyezzük, hogy a tanszék több tárgya a Híradás és Műszeripari (később: Elektronikai) Technológia Szak „Alkatrész” ágazatába is bekerült.

5. Krónika: A hőskor

Az áttekintés után visszatérhetünk az időrendhez. 1959-ben a tanszék, ha szűkösen is, de elhelyezkedett a Stoczek utcai épület néhány helyiségében. A mindennapi munka mellett lázasan folyt az önképzés, a jegyzetírás, és — amennyire a különböző „adományokból” összeálló felszerelés lehetővé tette: a kutatás is.

Az első külső megbízás a Sportkórházból érkezett. Tipikusan tranzisztor-alkalmazási téma. Vezetéknélküli berendezés sportolók fiziológiai adatainak távmérésére úgy, hogy az érzékelő készülék a vizsgált személyt ne zavarja. Ma a mikroelektronika korában persze ez már történelem. A berendezés, mely — tudomásunk szerint — Európában első volt, ma már az Orvostörténeti Múzeumban van. A további megbízások kutatóintézetektől és az Egyesült Izzótól érkeztek: különleges vizsgálóberendezéseket kértek az új eszközök kifejlesztésének meggyorsítására.

Az előadás és a tanulókori gyakorlatok után bővültek a laboratóriumi mérések is. A mérések összeállítását, szervezését, mérési útmutató megírását Ambrózy András látta el. A híradástechnikus hallgatók két félév alatt 20 mérést végeztek 2–3 fős csoportokban, oktatói felügyelettel.

Azután valóra vált a tanszékvezetés egy dédelgett elképzelése: a laboratóriumi gyakorlatok egyikén minden hallgató készítsen elektroncsövet, amit majd haza is vihet! A megvalósításban az Egyesült Izzó nyújtott támogatást: Oldal Endre személyesen segített a szivattyú üzembe helyezésében. Az alapgondolat az volt, hogy ez a tapasztalat az áramköri

konstruktor mentalitását is befolyásolni fogja. Ezt a gyakorlatot tekinthetjük a mai vákuumlabor csírájának, amelyet Kenczler Ödön vezetésével Nagy András és Török Sándor alakított ki. Mivel a hallgatók érdeklődése a hivatalos tananyagon túl terjedt, okos dolognak tűnt az érdeklődők legjavát érdekes feladatokkal, apró munkákkal a tanszékhez kötni. Ez a munka nem volt látványos, sok terhet rótt az oktatókra, de megérte. Később ez a vonzó, spontán mozgalom beolvadt a Tudományos Diákkörök hivatalosan is megszervezett rendszerébe. Mi, magunk közt, akkor „boci”-rendszerrel beszéltünk.

Az 1960-as évek nagy tantervreformjának egyik célja az alapos elméleti képzés mellett a gyakorlati munka erősítése, a hallgatók alkotó tevékenységének fokozása volt. A laboratóriumi munka hányada mennyiségben és minőségben is nőtt az oktatási munkán belül.

A tanszék ehhez új helyiséget is kapott, az R épület 3. emeletén. Ugyanebben a nagy helyiségben jöttek össze időről időre, délután vagy este, a tanszék oktatói és a hallgatók színe-java, hogy megvitassák eredményeiket, vagy a frissen olvasott irodalmi újdonságokat, utána pedig kötetlen szórakozással vidáman eltöltsék az est hátralevő részét.

Az önképzés más formái között szerepeltek az alkalmi találkozók, például a szentendrei Pap-szigeten vagy az egyetem nagymarosi üdülőjében, amelyeken egy-egy aktuális témáról hangzottak el előadások. A tanszék oktatási feladatainak ellátása közben a már korábban végzett mérnökökről sem feledkezett meg. Rendszeres mérnöktovábbképző előadások mellett 1963–1966 között két ízben megrendezte a nagy érdeklődést keltő négy féléves Félvezető Szakmérnöki Tanfolyamot, kiváló külső előadók bevonásával (2. sz. táblázat).

2. táblázat

A Félvezető Szakmérnöki Tanfolyam tantárgyai:

I. félév:

Bevezetés a félvezető kémiába (vegyészeknek fakultatív)

Bevezetés a félvezető fizikába (fizikusoknak fakultatív)

A híradástechnika alapjai (villamosmérnököknek fakultatív)

Matematika

II. félév:

Félvezető anyagok technológiája

Félvezetők fizikája

Laboratórium

III. félév:

Félvezető eszközök

Félvezető eszközök technológiája

Félvezető eszközök alkalmazása I.

Laboratórium

IV. félév:

Félvezető eszközök alkalmazása II.

Szilárdtest áramkörök (mikroelektronika)

Különleges félvezető eszközök

Félvezető eszközök mérés technikája (labor)

Ennek a szakmérnöki tanfolyamnak két különlegessége volt. Az első az, hogy hallgatói három szakterületről jöttek: vegyészek, illetve vegyészmérnökök, fizikusok, továbbá villamosmérnökök. A különböző alapképzettségek kiegyenlítésére az első félévben három olyan tárgyat iktattunk a programba, amelyek rendre az előtanulmányokban nem szereplő alapismereteket nyújtották. A meglepetés az volt, hogy az illető tárgyból felmentett „specialisták” rendre kérték, hogy felfrissítés céljából részt vehessenek az órákon, fakultatív alapon.

A második az, hogy a félvezető technológiai gyakorlatokat az Egyesült Izzó területén összeállított laboratóriumban folytattuk. Ugyanazokat a berendezéseket közben a vállalat is felhasználta saját fejlesztési céljaira.

A tanszék saját félvezető-technológiai laboratóriuma akkor még csak csírájában létezett. Lassan kialakult a technológiai csoport, megindultak a gyakorlatok is, bár először csupán egyszerű diódák készültek. A nevelő célzat ugyanaz volt, mint az elektroncső készítésénél.

Miközben még tartott a félvezetők forradalma, erősödött a nyomás is: meg kell írni a tárgy hazai tankönyvét és az iparban dolgozó mérnökök kezébe is színvonalas szakkönyvet kell adnunk. A jegyzetek kibővített és felfrissített anyagára támaszkodó kézirat végül is összeállt. A kiadó kívánságára kimaradt belőle a mikroelektronika, bár Valkó I. P.: „Integrált szilárdtest áramkörök” jegyzete ekkortájt már készen állt! 1968-ban megjelent dr. Valkó Iván Péter: Elektroncsövek és félvezetők c. könyve.

Időközben tanszékünk neve, kifejezve az új tartalmat, előbb „Elektroncsövek és félvezetők” majd 1971-ben „Elektronikus Eszközök”-re változott.

Ez a főtárgy neve is, amelyben a félvezető és vákuumeszközök mellett természetesen szó esik az olyan eszközökről is, amelyek egyik kategóriába sem sorolhatók, pl. a folyékony-kristály cella, a Josephson dióda.

A tanszéki kutatás kettős mederben folyt. A megbízásból végzett kutatások gerincét továbbra is azok a feladatok képezték, amelyeket a kutatóintézetek és a félvezető gyártó vállalat adtak. Ezek általában különleges mérés technikai problémák voltak, amelyeket saját kutatás-fejlesztésben kellett megoldani. Az elkészült berendezések azután hol a kutatást, hol a fejlesztést, hol a termelést vagy éppen az exportot segítették a magyar félvezető programban.

Az alábbiakban példaképpen felsorolunk közülük néhányat:

Változó véges mennyiségek hányadosának felrajzolása (I_a/I_{g2} , illetve I_e/I_b ; Valkó—Ambrózy); Határfrekvenciamérők egyre nagyobb frekvenciákra (Ambrózy—Gärtner—Nagy); Visszahatási kapacitás mérők (Habermajer—Török); Zajmérők (Ambrózy—Székely—Gärtner); Termikus ellenállás mérők (Habermajer—Török); Varikap Q mérő (Ambrózy—Gottwald); Varikap válogató berendezések (Ambrózy—Székely—Gärtner). A Műszaki Fizikai Kutató Intézet CCD kutatásai számára meghajtó és ellenőrző műszerek készültek (Gottwald—Nagy—Gärtner). Mindezek olyan kényes mérés technikai feladatok megoldását jelentették, amelyek nélkül a ma-

gyar ipar nem tudta volna az új elektronikus eszközök típusait kifejleszteni és gyártani. Hasonló mérőberendezések — érthető okokból — a számunkra elérhető piacokon nem voltak szabadon beszerezhetőek. Az integrált áramkörök speciális mérés technikai problémái is korán felkeltették a tanszék érdeklődését. Ezzel volt kapcsolatos az a kutatómunka, amely később a HIKI megbízásából mérőautomaták lábelektronika áramkörének kialakítására irányult. Az ICOMAT berendezések fejlesztésénél a HIKI ezekre az eredményekre is támaszkodott.

Ezek mellett minden oktatónak kötelezettsége volt, hogy — a tanszéki felszerelés korlátait figyelembe véve — esetleg más kutatóintézetekkel együttműködve, az eszközök széles területén belül egy-egy részterületen mélyedjen el. Ebbe a koncepcióba az oktatók egyéni érdeklődése is harmonikusan beilleszkedett. Doktori és kandidátusi disszertációk sora született. Az eredmény többnyire egy-egy fakultatív tárgyban jutott kifejezésre. Amikor az első ágazati évfjártat elérkezett negyedik tanévéhez, sok fakultatív tárgy lépett elő kötelezően választható tárggyá.

Lehetetlenség valamennyiről beszámolni, illusztrációképpen csupán néhányat említünk.

A mikrohullámú félvezető eszközök mélyebb tanulmányozását Romhányi Miklós kezdte el, majd hozzá csatlakozott és folytatja a munkát mind a mai napig Gottwald Péter, Nagy András félvezetők felületi-fizikájával; Török Sándor a közfogyasztású integrált áramkörökkel ismertette meg hallgatóit; Habermajer Istvánnak az optoelektronika lett témája és sok lelkes hallgató az ő irányítása mellett indult el a kutató munkában. Tarnay Kálmán és Székely Vladimír Magyarországon és a svédországi Uppsalában is Gunn diódával foglalkozott, ahol Tarnay Kálmán 1966 óta rendszeresen oktat vendégprofesszorként.

A félvezető laboratóriumban már minden félvezető ágazatos hallgató saját kezűleg készíthet működő IC-t. Ez az eredmény Tímárné Horváth Veronika, Erlaky György és Harsányi József munkájának köszönhető. Ionérzékeny félvezetők kutatását Mizsei János műveli eredményesen.

Érdekes volt Zólogy Imre kandidátusi munkája. Kubai útján ismerkedett meg Armando Adannal, a Havannai Félvezető Intézet igazgatójával, aki később Budapesten, dr. Valkó Iván Péter vezetésével aspirantúráját végezte. Adan érdekes új témát hozott: egy különleges új kapcsoló eszközzel foglalkozott. Több kubai munkatársát is bevonta. Zólogy is eredeti kutatásokat indított ezen a területen, és így rövidesen egy Havanna—Budapest kutatócsoport alakult ki.

A választható tárgyak listája érdekes képet ad arról a sokszínű kutatómunkáról, amely a tanszék oktatóit foglalkoztatta. Zólogy Imre: Nagyteljesítményű félvezető eszközök; Tarnay Kálmán: Különleges félvezető eszközök; Habermajer István: Optoelektronika; Nagy András: Félvezetők felületfizikája; Székely Vladimír: Integrált áramkörök modellezése; Tarnay Kálmán és Székely Vladimír: Gépi áramkörtervezés és szimuláció.

Egyes kötelezően választható tárgyakat külső előadók tartottak. Így például a 60-as években

az ipar kérésére programba iktattuk Somkuti Adolf „Fényforrások” c. előadását. Más a története dr. Bretz Károly megújuló tartalommal ma is élő „Bioelektronika” tárgyának.

A tanszék évente vezetett gyárlátogatást Gyöngyösre, amelyet szokás szerint kékestetői séta követett, hosszú beszélgetésekkel. Egy alkalommal a háttérterületi tudományok fontosságáról volt szó, többek között a bioelektronika izgalmas kérdéseiről is. Megállapítottuk: „Milyen kár, hogy nem foglalkoznak vele a Műszaki Egyetemen!” Másnap három hallgató jelentkezett. Elmondták, hogy a kékesi beszélgetés után szeretnének többet hallani erről a kérdésről. Sikerült kinyomozni, hogy van egy villamosmérnök, aki ezzel foglalkozik, sőt Ádám professzorhoz jelentkezett aspiránsnak. Ez volt Bretz Károly, aki szívesen vállalta, hogy társadalmi munkában foglalkozik az érdeklődő hallgatókkal. Így kerültek össze az első olyan TDK-k a Műszaki Egyetemen, amelyet kívülálló vezetett. Ebből fejlődött ki azután a bioelektronika, mint fakultatív tárgy. A történethez tartozik, hogy az első csoport résztvevői közül többen ma is a bioelektronika kutatói, éppen a dr. Bretz Károly vezette laboratóriumában.

A később beiktatott választható tárgyak egyike az „Ionimplantáció”, amelyet a terület világszerte ismert kutatója, dr. Gyulai József ad elő.

Ebben az időben a tanszék munkássága nemzetközileg is elismertté vált. A nagyobb európai félvezető tanszékek együttműködésre léptek. Kicserélték oktatási tapasztalataikat, fontosabb jegyzeteiket, felhívták egymás figyelmét újdonságokra, új könyvekre. Időszakos értesítő (Semiconductor University Bulletin SUB), időnként egy-egy kötetlen összejövétel fűzte szorosabbra a kapcsolatot. Csatlakozásra hívták meg a budapesti Elektronikus Eszközök Tanszékét. Nem járt vele más kötelezettség, csak évenként egy összefoglalás a tanszék munkásságáról. Viszont igen jelentős a haszon, mert biztosítja az oktatók külföldi tanulmányútjainál a fogadókészséget. Különösen az aacheni műegyetemmel épült ki szorosabb kapcsolat. Hosszú éveken át szinte egymást váltották ott a tanszék oktatói. Az IEEE egyesület évenként megrendezi a mikroelektronika nagy seregszemléjét: a Nemzetközi Integrált Áramkör konferenciát (ISSCC). Több európai szakembert választottak a konferencia állandó programbizottságába. A KGST országokból Valkó I. Pétert.

A Drezdai Műszaki Egyetem azonos témát oktató tanszéke különös megbecsüléssel tekint a budapesti társtanszékre. Oktatói gyakran emlegetik, hogy az itteni rendszert modellnek tekintik. Több, ma már ott híressé vált oktató veszi igénybe disszertációja elkészítésénél a tanszék segítségét. 1978-ban, alapításának 150. évfordulóján a Drezdai Műszaki Egyetem Valkó Iván Pétert díszdoktorává választotta és a Dr.-Ing. E. H. címmel tüntette ki. 1981-ben a Barkhausen centenárius évében egyetemi díjat nyújtottak át neki.

Még a hőskor eseményeihez tartozik, hogy amikor a hazai műszaki világ érdeklődése erőteljesebben aszámítógépek felé fordult, Tarnay Kálmán és Székely Vladimír 1968-ban mérnöktovábbképző tanfolyamot indított a korábban végzett mérnökök

részére, melyet a nagy érdeklődésre való tekintettel még 5 követett. Így összesen kb. 700 mérnököt tanítottak meg a számítógép használatára. Ezzel egyidőben dolgozta ki Tarnay Kálmán az első magyarországi áramkörszimulációs programot, a TRANZ-TRAN I-et, amelyet 1969-ben már az oktatásban is felhasználtak. A Székely Vladimírral továbbfejlesztett TRANZ-TRAN program lett az egyik alapja a gépi tervezésnek, számos nemzetközi elismerés birtokában. Ma egy továbbfejlesztett változatát használja a KFKI (1974); HIKI (1977); REMIX (1977); a pécsi Pollack Mihály Műszaki Főiskola (1981); a Tallinni Műszaki Egyetem (1982) és a MEV (1982). Munkájukat segíti Baji Pál, Kerecsenné Rencz Márta és Masszi Ferenc.

A lázas évtized véget ért.

1969. nagy és nevezetes év tanszékünk történetében. Felépült a Duna-parti V2-es épület, melynek teljes harmadik emelete a mienk. Óriási dolog! Van könyvtárunk, oktatói, hallgatói, vákuum- és félvezető technológiai laboratóriumunk; fotólaboratóriumunk és műhelyünk is. Tovább növekszik a technológiai csoport: 1970-ben Baji Pál, 1971-ben Tímárné Horváth Veronika került a tanszékre. A technológiai laboratóriumban nemsokára már a planár technika lépéseit is be tudta mutatni és gyakoroltatni.

6. Krónika: Az újkor

1970-ben nagy „átrendeződés” kezdődött. Ambrózy Andrásból tanszékvezető lett az Elektronikai Technológia Tanszéken. 1973-ban Romhányi Miklóst a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolán tanszékvezető tanárává nevezték ki. Ezt az időszakot nemcsak az elvándorlás jellemezte! Ekkor jött teljes állásba a tanszékre Tarnay Kálmán, aki meghívott előadóként eddig is állandó kapcsolatban állt velünk. Belépett Kerecsenné Rencz Márta, mint frissen végzett mérnök. 1975-ben Musztács Istvánt „felfedezte” a Telefongyár. Rövidesen elvált tőlünk, úgy érezte, hogy angol, orosz, francia, arab és japán nyelvtudásával marketing területen van rá nagyobb szükség.

Már 1965-ben felvetettük az elavuló ágazati rendszer helyett az elektronikus mérnökképzés szétválasztását, műszaki fizikus és rendszertechnikai irányra. A javaslatot dr. Geszti P. Ottó dékán összehangolta új oktatási reformtervével, amely 1972-ben valósult meg.

1972-től a nappali villamosmérnökképzés az A és B tagozaton folyik. Az első félév tanulmányi eredményei alapján az évfolyam hallgatóinak kb. 20%-a — a legrátermettebbek — jelentkezhet és tanulhat tovább a B tagozaton, ahol szerepel az említett két ágazat. Itt az oktatási idő 8 félév, de intenzívebb, mint az A tagozaton. Közülük is a legjobbak tanulhatnak tovább, diplomájuk megszerzése után, a C tagozaton (nappali szakmérnökképzés) még két évet a második — szakmérnöki — diploma megszerzéséig. Mind a B, mind a C oktatásban — születése pillanata óta — tanszékünk erőteljesen részt vett, előadva a tárgyakat a B tagozaton és ellátva 1974. óta mintegy 25 nappali szakmérnök képzését.

1977-ben a tanszék vezetését Tarnay Kálmán vette át. Valkó professzor továbbra is köztünk maradt, még 1982. évi formai nyugalomba vonulása után is. Itt dolgozik új témáján: az információtechnika befolyása a társadalom fejlődésére. Továbbra is elnöke az MTA Vákuum- és Elektronikus Eszközök Bizottságának.

Mint az előzményekből is kitűnik, Tarnay Kálmán nem új ember a tanszéken. 1952 óta tevékenységének nagy része az elektronikus eszközök oktatása, kutatása és fejlesztése területére esik. A Különleges félvezetők és integrált áramkörök című szabadon választható tárgyában mindig a mikroelektronika legújabb eredményeivel ismertette meg hallgatóit. A homogén bázisú pnp tranzistor oktatását a BME-n először váltotta át inhomogén bázisú npn-re. A p-n átmenetek általa készített fizikai modellje, mely fényelektromos hatásokat is nagy pontossággal figyelembe vesz, ma az uppsalai egyetemen is használatban van és része egy lassan 20 éves múltra tekintő tudományos és oktatási együttműködésnek, melynek elismeréseként Tarnay Kálmánt 1983-ban az Uppsalai Egyetem Matematikai és Fizikai Fakultása díszdoktorává avatta.

Lassan elérkezünk a „félmúlt” eseményeihez. 1977 óta tanszékünknek saját számítógépe van. Lehetővé vált, hogy az eszközmodellezés az oktatásba „házi feladat”-ként beépülhessen. Harmadéveseink integrált áramkörök részleteit szimulálják a TRANZ-TRAN programmal.

Felsőbb évfolyamon félvezető ágazatos hallgatóink a korábbi TTL szintű tervezés vagy a 8080-as mikroprocesszor részletei helyett ma „custom design” áramköröket terveznek az Integrált áramkörök technológiája és konstrukciója című tárgy keretében. E tárgyhoz csatlakozik az Integrált áramkörök mérés technikája című stúdium, mely a korábbi években tanszékünkön folyó állami megbízási munka, a nagybonyolultságú integrált áramkörök mérés-

technikáját kidolgozó tanulmány oktatásban való megjelenítése.

A tanszék jelenlegi géptermi, elektronikai és technológiai laboratóriumi kapacitása már lehetővé teszi, hogy félvezető ágazatos és B-s hallgatóink a képzés utolsó félévében ún. önálló laboratóriumi feladatot végezzenek. Ez a viszonylag nagy óraszámú gyakorlat (heti 10 óra) alkalmas arra, hogy részint megvalósítsa az „egy hallgató — egy feladat” célt, másrészt, módot ad a hallgatói kreativitás nagyobb mérvű fejlesztésére.

A hazai iparral való együttműködés néhány eseménye az elmúlt öt-hat évben: a REMIX számára komplex, kisgépes tervező rendszer; a KFKI-val hosszú évek óta eredményes együttműködés a gépi tervezés területén. Említést érdemel talán, hogy Tarnay Kálmán irányításával tanszékünkön dolgozták ki az első hazai interaktív mikroelektronikai tervezési rendszert. Félvezető technológiai folyamatok szimulációját végző programot fejlesztettek ki Tarnay Kálmán, Masszi Ferenc és Drozdy Győző az Elméleti Villamosságtan Tanszék oktatóival közösen. (Jelenleg már ipari alkalmazásban van.)

Tudományos statisztikánk adatai: 2 díszdoktor, 1 műszaki tudományok doktora, 5 kandidátus és 8 egyetemi doktor (18 főállású oktatóból).

Az elmúlt évben erősítés érkezett a TKI-ből Kormány Teréz és a HIKI-ből Kovács Ferenc, valamint Farkas Gábor személyében, akik nagy ipari gyakorlatukat gyümölcsöztetik most az oktatásban. Kónya Ilona a Villamosmérnöki Matematika Tanszékről jött át hozzánk, hogy az induló Mikroelektronikai és Technológiai szakon a számítástechnikai ismeretek átadását segítse.

Köszönettel tartozunk azoknak az intézményeknek, amelyek anyagi támogatással segítették a tanszék laboratóriumi felszerelését. Így többek között az egykori Kohó- és Gépipari Minisztériumnak, az Egyesült Izzónak, a HIKI-nek és a KFKI-nak.

FOLYÓIRATSZEMLE*

Összeállította: ANGYAL LÁSZLÓ

DTS—11 TÍPUSÚ DIGITÁLIS HELYKÖZI TÁVBESZÉLŐ KÖZPONT RENDSZER

A Japánban létrehozott nagykapacitású időosztásos digitális kapcsolóközpont-rendszer céljára fejlesztették ki az ún. DTS—11-et (Digital Telephone System). A helyközi távbeszélő és távközlési áramkörök digitalizálásának első lépése a digitális helyközi távbeszélő központ rendszerek létrehozása. A digitalizálás gazdasági érdek, ugyanis ezáltal a hálózatok kapacitása, nem-beszéd átviteli képessége növelhető,

minőségi jellemzői javíthatók. A DTS—11 rendszer digitális információfeldolgozáson alapuló teljes szolgáltatás-integrációt valósít meg. A felhasznált telefonhálózat digitalizálást a japán NTT társaság 3 fázisban oldja meg: 1 — beszélgetési hálózat digitalizálása; 2 — helyi hálózat digitalizálása; 3 — a fogyasztói környezet (készülékek stb.) digitalizálása. A központ alaptípusa 54 000 trónk kiszolgálására alkalmas, max. 20 000 Erlang mennyiségű forgalmat bonyolíthat le, a forgalmas órákban mintegy 640 000 hívást képes kezelni. A DTS—11 üzembeállításával egy nagyon fejlett információs hálózati rendszer valósítható meg. (Review of the Electronical Communication Laboratories 5. sz. 1982. szept. [1123])

Folytatás a 491. oldalon

* Válogatás a Prodinform Műszaki Tanácsadó Vállalat információs anyagából.

Az Elektronikus Eszközök Tanszék szerepe a mikroelektronika oktatásában és kutatásában

DR. TARNAY KÁLMÁN

tanszékvezető



ÖSSZEFOGLALÁS

Miközben az elektronikus eszközök területén — mint egy forgószínpadon — egymást váltják a generációk, egy tanszék — nagyobb anyagi eszközök nélkül — lépést tart és fejlődik, dacolva a mindig meglevő hagyománytiszteltre hivatkozó konzervativizmussal; illegálisan is felújítja (évenként) a tananyagát és nemzetközi elismerést is kiharcol magának. (Λ)

1. Bevezetés

A 25 éves jubileumát ünneplő Elektronikus Eszközök Tanszék a műszaki tudományok egy olyan területén tölt be fontos szerepet a műszaki felsőoktatásban, amely ez alatt a negyedszázad alatt nemcsak saját maga fejlődött forradalmi ütemben, hanem az elektronikus eszközök területén bekövetkezett fejlődés a technika számos területét alapvetően megváltoztatta és a mikroelektronika kialakulásával a társadalmi munkamegosztásban is alapvető változásokat hozott létre. Az elektronika aktív eszközeinek és a számítástechnikának egymást kölcsönösen megtermékenyítő fejlődése a mindennapi életben használt eszközökké tette azokat a számítástechnikai berendezéseket, amelyeket 25 évvel ezelőtt még a világ nyolcadik csodájának tekintettek.

2. Oktatási és kutatási tevékenység

A következőkben megkíséreljük felmérni a tanszék oktatási és kutatási tevékenységének fő területeit és ezek perspektíváit. Ez idő szerint a tanszék fő tevékenységi irányai az alábbiak:

1. félvezető eszközök és integrált áramkörök mérés-technikája,
2. félvezető technológia,
3. félvezető eszközök elmélete és fizikai modellezése,
4. integrált áramkörök gépi tervezése.

Ezeknek a szakterületeknek a kialakulására és a korábbiakban elért jelentősebb eredményekre nem térünk ki, ezeket ugyanis a Cső, tranzistor, mikroelektronika az oxidkatódtól a szilícium-dioxidig című, a tanszék 25 éves történetét áttekintő közlemény részleteiben ismerteti. Ezen túlmenően munkánk egyes jelentősebb eredményeiről a lapban megjelent további közlemények adnak áttekintést. Az egyes témakörökkel kapcsolatosan általános megjegyzés: érdemes kitérni arra, hogy az elektronikus eszközök szakterülete a technikának az a területe, amely a természettudományok eredményeit talán a leggyorsabban vezeti be a mindennapi technikába. Így kuta-

DR. TARNAY
KÁLMÁN

1952-ben szerzett oklevelet a BME Villamosmérnöki Karán. 1961-ben megvédett műszaki egyetemi doktori értekezésében a tunneldiódák elméletével foglalkozott, 1967-ben kandidátusi fokozatot szerzett a tervezérelt eszközök kapcsolóüzemű működését tárgyaló disszertációjával. 1983-ban az Uppsa-

lai Egyetem Matematikai és Fizikai Szekciójának félvezető eszközök modellezése terén elért eredményeiért díszdoktorává választotta. Jelenleg a BME Elektronikus Eszközök Tanszékének tanszékvezető docense. A HTE Félvezető Eszközök és Integrált Áramkörök Szakosztályának elnöke, a HTE Elnökségének tagja. Tagja több akadémiai és MTESZ bizottságnak.

tási tevékenységünk jelenleg is és a jövőben is az alapkutatások szférájától az ipari fejlesztési tevékenységig terjed és olyan szakembereket képzünk, akiknek ismeretei a fenti széles körre vonatkoznak. A másik általános megjegyzés: a felsorolt szakterületek egymással szoros kölcsönhatásban vannak.

A mérés-technikai szakterületen az egyes bonyolultabb felépítésű integrált áramkörök megjelenése a korábbi diszkrét eszköz mérés-technika képét alapvetően megváltoztatta. Amíg egy diszkrét eszköz specifikációja néhány, legfeljebb néhány tucat mérés elvégzésével ellenőrizhető, addig egy bonyolult logikai hálózat specifikációs ellenőrzése a mérések ezreit és tízezreit igényli. A diszkrét eszközöknél megszokott ún. 100%-os mérés már el sem képzelhető, hiszen mérések millióit vagy milliárdjait követelné meg. Ezért fontos kérdés az, hogy az összes elvégezhető méréshez képest relatíve kis számú méréssel kell meggyőződni vagy legalábbis valószínűsíteni a mért integrált áramkör hibátlan voltát. A mérések területén alapvető változás az is, hogy míg a diszkrét eszközöknél kizárólag analóg mérések elvégzése volt szükséges, addig a mikroelektronika áramköreinél nagyszámú digitális vizsgálatot is el kell végezni. Ezeknek a feladatoknak a megoldására számítógépvezérelt mérőautomatát kell alkalmaznunk. Egy egyetemi tanszék teljesítőképeségét meghaladja egy nagy számítógépvezérelt mérőautomata készítése. A mérőautomaták kritikus mérőegységei, valamint új mérési elvek kidolgozása viszont jellegzetesen olyan feladat, amely a tanszéken kedvezően megoldható. Természetesen ez a tevékenység csak a mikroelektronikai iparral való szoros együttműködésben végezhető.

A félvezető technológia területén az integrált áramkörök technológiai módszereivel kapcsolatos tevékenységünk, a múlthoz hasonlóan, egy technológiai lépés optimális kialakítására irányul. A félvezető

Beérkezett: 1983. VI. 6.

technológia igen nagy tisztaságú anyagai számos olyan vizsgálati problémát vetnek fel, amelyek mélyreható szilárdtest fizikai és kémiai ismereteket igényelnek. E vizsgálatok elvégzése a gyártás számára alapvető fontosságú információkat nyújthat. Ilyen vizsgálati módszerek kifejlesztése és ellenőrző vizsgálatok végzése a mikroelektronikai ipar számára nélkülözhetetlen fontosságú feladat, és jellegzetesen olyan tevékenység, amit célszerű az alapanyag és integrált áramkör gyártótól független szervezetben elvégezni. A mikroelektronika méretcsökkentési tendenciái a vizsgálatok gondos elvégzését egyre fontosabbá és fontosabbá teszik, így itt a tanszéknek fontos kutatási és oktatási feladatai vannak. A mikroelektronika területére specializálódó mérnökjelölteknek meg kell ismerkedniük ezekkel a módszerekkel. Fontosnak tartjuk azt is, hogy saját maguk is készítsenek integrált áramköröket. Itt természetesen nem állhatnak rendelkezésre a legkorszerűbb, szubmikronos technológiai lehetőségek, ezért laboratóriumunkban hallgatóink egy nálunk „VLSI”-nek nevezett áramkör teljes technológiáját csinálják végig. (A „VLSI” névvel itt a „very limited size integrated circuit” — elnevezést rövidítjük.)

A félvezető eszközök elmélete és fizikai modellezése a tanszéknek az a szakterülete, ahol kutatási tevékenységünk leginkább csatlakozik az alap kutatási területhez. Ez az a terület, ahol eredményeink a legtöbb nemzetközi elismerést szerezték. A közeljövő egyik fő feladata ezen a területen a félvezető technológia folyamatainak fizikailag megalapozott modellezése, modellek kidolgozása a technológia új lépéseire, valamint különböző félvezető eszköz struktúrák fizikai szintű modellezése.

A hazai mikroelektronikai programhoz szorosan csatlakozik az integrált áramkörök gépi tervezése szakterület, ahol a tanszék szakemberei nemzetközi viszonylatban is az elsők között dolgoztak ki nagy teljesítő képességű áramköranalízis programot, és emellett a számítógéppel segített tervezés más eszközeit is — mint pl. layout tervezés támogatása — aktívan fejlesztették tovább. A közeljövőben ezen a területen az új feladat a berendezésorientált integrált áramkörök gyártásához és hatékony tervezéséhez szükséges gépi tervezési segédeszközök kutatása, fejlesztése.

Tanszékünk nagy súlyt helyez a nappali szakmérnök-képzésben való aktív részvételre, mert ezáltal lehetőség teremthető arra, hogy a legtehetségesebb végzett hallgatóink vezető iparvállalatokhoz kerüljenek, és még további két évig az egyetemre kihelyezettként gyarapítsák ismereteiket és közreműködjenek a tanszék tudományos tevékenységében. Évenként 4-5 ilyen, úgynevezett C tagozatos hallgató tanul egyéni tanterv alapján, személyre szabott órarendben, az iparvállalattal egyeztetett témán dolgozva tanszékünkön. E hallgatóink végzésük után általában a műszaki egyetemi doktori címet is megszerzik.

3. A mikroelektronikai oktatás aktuális feladatai és jövője

Az elmúlt másfél évtized alatt az elektronika alapvető átalakuláson ment keresztül. A különálló tran-

ziszorokból vagy esetleg kisbonyolultságú integrált áramkörökből álló technikát világszerte felváltotta az egyre nagyobb bonyolultságú integrált áramkörökből felépülő mikroelektronikai megoldás. Bár az évek során mind a Villamosmérnöki Kar elektronikai technológia szaka, mind pedig a híradástechnika szak, félvezető ágazata tárgyaiban követte a fejlődést, illetve új tárgyakat vezetett be (mint pl. az Integrált áramkörök technológiája és konstrukciója, Integrált áramkörök mérés technikája stb.).

Az 1970-es évek végén időszerűvé vált egy alapvető oktatáskorszerűsítés. Ennek előkészítéséhez a Villamosmérnöki Kar 1980-ban látott hozzá, és az 1983/84-es tanévtől kezdve a BME Villamosmérnöki Karán egy új szak, a mikroelektronikai és technológiai szak biztosítja a mikroelektronika területére specializált mérnökök képzését. Az új szak a híradástechnika szak félvezetőtechnika ágazatából és az elektronikai technológia szakból tevődik össze. Az új szak célkitűzésében olyan villamosmérnökök képzése szerepel, „... akik képesek az elektronikus részegységek, rendszerelemek, mikroelektronikai eszközök és alkatrészek tervezésére, konstrukciójának kidolgozására, és gyártási folyamatuk megtervezésére, valamint e területeken kutató-fejlesztő munka végzésére”. A képzésben nagy súllyal szerepelnek az alábbi témakörök:

- korszerű elektronikai eszközök működése és elmélete,
- korszerű elektronikus áramkörök működése, tervezése,
- az elektronikai ipar tervezési eljárásai,
- részegységek, alkatrészek és technológiai berendezések alkalmazása, továbbfejlesztése.

Az új szak az oktatást két ágazatban fogja végezni, az elektronikus eszközök ágazaton, és az alkatrésztechnológiai ágazaton.

A tanszékünk által gondozott elektronikus eszközök ágazaton az alábbi szakterületek szerepelnek nagy súllyal:

- áramkörtervezés,
- félvezetőtechnológia,
- félvezetők mérés technikája,
- számítógépek alkalmazásának módszerei.

A mikroelektronikai és technológia szakon — hasonlóan a Villamosmérnöki Kar többi szakjaihoz — már a képzés elején foglalkoznak a hallgatók a számítógépek programozása és a digitális technika témaköreivel. Nagy súlyt kap az oktatásban az anyagtudomány, a fizikai és kémiai technológiák részletek bemenő oktatása.

Jelentős óraszámban kerül előadásra az elektronikus eszközök, az elektronikus áramkörök és a mikroelektronika témaköre. Elméletben és gyakorlatban megismerkednek a hallgatók a gépi tervezés módszereivel. Ezen alapismeretekre támaszkodva foglalkoznak elektronikus készülékekkel és digitális rendszerekkel.

Az ágazati képzés keretében az elektronikus eszközök ágazaton a képzés súlya a monolit integrált áramkörök témakörén van: integrált áramköri tech-

nológiai mérésekkel és integrált áramkörök konstrukciós kérdéseivel foglalkozik behatóbban.

A képzés hatékonyságát mindkét ágazaton nagy óraszámú önálló laboratóriumi tevékenység egészíti ki és nagyszámú választható tárgy ad betekintést a hallgatóknak speciális szakterületekre valamint a fő fejlődési tendenciákba.

Az új szak oktatási célkitűzéseinek meghatározásakor messzemenően figyelembe vettük azokat a fejlődési tendenciákat, amelyek az elektronikában az elmúlt évek során jelentkeztek. Gondultunk arra, hogy napjaink elektronikus mérnöke munkáját igen gyakran team-ekben végzi, és ez alapvetően háromféle szintjét kívánja meg a különböző ismereteknek:

1. Magasfokú ismeretekre és önálló alkalmazási készségre van szükség az adott részterület specialistájánál.
2. Szükség van a más irányú specialistával jó együttműködést biztosító más szakterületre vonatkozó ismeretekre.
3. Általános tájékozottság kell az elektronika valamennyi területén.

A szükséges szakismeretek bizonyos mértékű eltolódását is figyelembe kellett vennünk. Amíg például az elektroncsövek korszakában egy elektronikus berendezés tervezésének igen fontos részét képezte a mechanikai és finommechanikai konstrukció ez esetben meglehetősen kritikus kialakítása, ez napjainkban már egészen másfajta problémaként jelentkezik. Szeretném idézni dr. Kozma László professzornak, aki karunknak dékánja is volt, az OMFB „A professzionális híradástechnika fejlesztésének vizsgálata...” c. tanulmányában leírt gondolatait. „A 3. és 4. generációs híradástechnikai gyártmányok nagyintegráltságú áramkörökből épülnek fel. Ezeket az áramköröket szabványos méretű nyomtatott lemezekre szerelik, melyek ismét szabványos méretű szekrényekbe kerülnek elhelyezésre. Amennyiben a híradástechnikai berendezések gyártói ezeket a szabványelemeket alkalmazzák, akkor ... a gyártás szerelési munkára korlátozódik. ... Ha a kutató-fejlesztő helyek ezeket az alapelveket elfogadják, akkor a gyártás bevezetésénél számos technológiai nehézség áthidalható lenne, a felszerszámozás és gyárt-

mánytervezés esetleg teljesen megtakarítható, és az átfutási idők valóban csökkenthetők.”

A mikroelektronika térhódításával így a szerkezeti anyagokkal kapcsolatos anyagtudományi, szilárd-ságtani és konstrukciós ismereteket a mikroelektronikában alkalmazott félvezetőanyagok és egyéb speciális anyagok műszaki-fizikai sajátságainak ismerete kell hogy felváltsa. Számos olyan technológiai módszer, amely a régebbi elektronikában fontos szerepet játszott, már nem a mikroelektronika irányába specializált mérnök feladatkörébe kerül át. Példaként a számítástechnikai berendezések nagy teljesítményű perifériális egységeit említhetjük, például a sornyomatót, melynek működése olyan bonyolult kinetikai és kinematikai problémák megoldását kívánja — ne felejtsük el, hogy olyan berendezésről van szó, ahol sok esetben milliszekundum nagyságrendű és ezen belüli pontosságú időzítésű mechanikai működés szükséges extrém nagy impulzusok mellett — melynek megoldására a jó villamosmérnök sem lenne képes. Ezeken a területeken tehát az oktatást célszerű a specialistával való jó együttműködést biztosító minimális ismeretekre korlátozni. Ez persze egyidejűleg szükségessé teszi azt is, hogy képezzünk olyan gépészmérnököket, finommechanikai konstruktőröket, akik ugyancsak rendelkeznek az elektronika és mikroelektronika területén mindazokkal az ismeretekkel, amelyek a mikroelektronikai specialistával való jó együttműködésüket biztosítják. De a villamosmérnöki szakterületeken belül is gondolnunk kell bizonyos eltolódásokra. A 60-as évek félvezetőkonstruktőre olyan tranzistorokat tervezett, melyet számára a berendezéskonstruktőr néhány alapvető paraméterével specifikált, ő pedig a megvalósított eszköz adatlapjával és karakterisztikáival a berendezés-konstruktőr számára kellő mennyiségű információt tudott biztosítani. A mikroelektronikai konstruktőr ma bonyolultabb funkciókat ellátó integrált áramkört konstruál, mint a 60-as évek nagyberendezés konstruktőre. Ez azt jelenti, hogy képzésében az eszközök, áramkörök és rendszerek témakörnek egyaránt megfelelő súllyal kell szerepelniük, ugyanakkor az elektronikus berendezések és rendszerek konstruktőrei napjainkban már az eszközökről és áramkörökről kevesebb ismerettel is megelégednek.

Folytatás a 488. oldalról

AZ ANGOL KÁBEL-TV HÁLÓZAT LÉTESÍTÉSÉNEK SZEMPONTJAI

Amennyiben az angol kormány elfogadja a Hunt-féle jelentés ajánlásait, Angliában egy, a kötöttségektől viszonylag mentes kábel-TV rendszert vezetnek be. A jelentés, amely a kábel-TV vizsgálatával és a műsorszórási politikával foglalkozott, lényegében a lehetséges hálózatok szerkezetét és felügyeletét is taglalta. Alapvető ajánlásai a következők: a) ne legyen korlátozott az átviteli csatornák száma; b) legyen választási lehetőség a rendszerek között, így

a választhatók versenyeznek; c) a rendszer legyen képes valamennyi létező és még várhatóan megvalósuló TV-átvitelre; d) a kábel-TV-k soha nem szerezhetnek kizárólagos jogot nemzetközi, nemzeti sportesemények, megmozdulások közvetítésére; e) legyenek csatlakoztathatók külföldi közvetítő vonalakhoz, láncokhoz is; f) a szerviztevékenységet és felügyeletet ellátó társaság munkája legyen szabályozott; g) általánydíjnak kell lennie, és nem szabad hogy a nézők az egyes műsorokért fizessenek. A jelentés nem foglalkozik sem a gyártókkal, sem a kábelekkal. (Communications International 12. sz. 1982. dec. [1127])

Folytatás a 498. oldalon

Vezetés vastagrétegekben

DR. AMBRÓZY ANDRÁS

BME Elektronikai Technológia Tanszék*



ÖSSZEFOGLALÁS

A vastagréteg ellenállások szerkezete bonyolult: üvegbe ágyazott vezető fémoxid szemcsékből áll. Ilyen szerkezetekre a klasszikus vezetési elméletek nem alkalmazhatók. A hőmérsékleti tényező, a termofeszültség, a Hall-feszültség, a gauge-faktor és a járulékos zaj vizsgálata szükséges pontosabb ismeretek szerzéséhez. A cikk a zajvizsgálatokkal kiemelten foglalkozik. (Λ)

Az utóbbi évtizedekben megszoktuk, hogy az elektronika új aktív eszközeit és passzív alkatrészeit viszonylag egyszerű fizikai-matematikai modellekkel lehet leírni. Ez elsősorban az új struktúrák egykristályos mivoltának köszönhető.

A vastagréteg ellenállások szerkezete ennél jóval bonyolultabb. Kikísérletezésük nagyrészt empirikus úton történt. A felhalmozott tapasztalatok birtokában azonban nagy megbízhatóságot, környezetállóságot, stabilitást sikerült elérni. A vastagrétegek olyan szélsőséges körülmények között is, mint a tartós ürtározás, vagy mint az emberi testbe való beépítés, megbízhatóan működtek. Időszerű olyan kísérleteket tenni, amelyek a bennük lejátszódó vezetési folyamatok megmagyarázására irányulnak.

Vastagréteg ellenállások szerkezete

A vastagréteg ellenállás üvegmátrixba ágyazott vezető szemcsékből áll. Az üveg általában ólom-bór szilikát, a vezető szemcsé pedig ruténiumoxid (RuO_2), bizmutruténát ($\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$) vagy ólomruténát ($\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_6$). A vezető szemcsék mérete néhány szá-

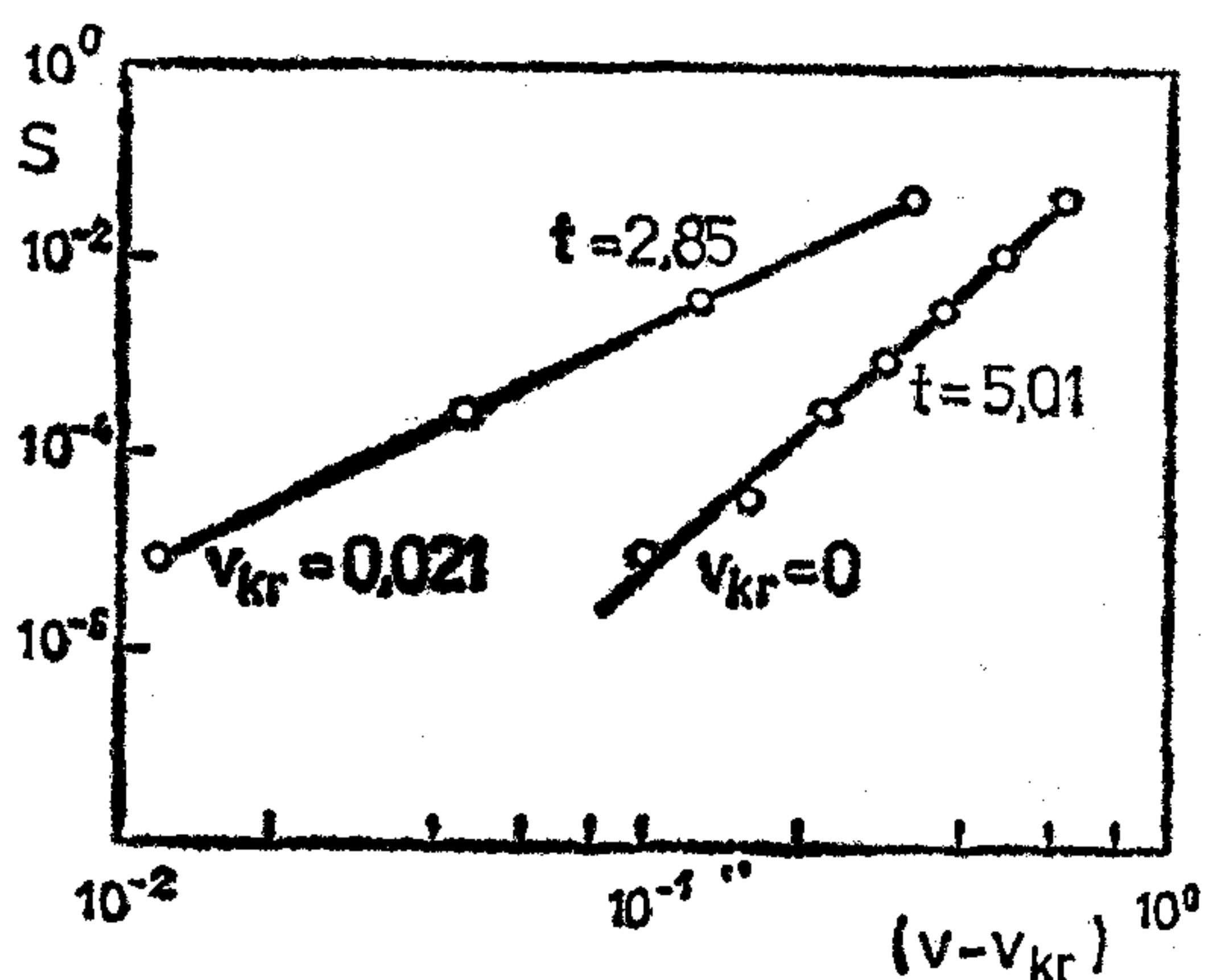
DR. AMBRÓZY ANDRÁS

Kitüntetéses villamosmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen szerezte 1953-ban, majd 1962-ben ugyanott doktori fokozatot szerzett. A műszaki tudományok kandidátusa fokozatot 1966-ban, a tudományok doktora fokozatot 1978-ban szerezte meg. 1953 óta a Budapesti Műszaki Egyetemen dolgozik, különböző beosztásokban. Először a Vezetéknélküli Híradástechnikai Tanszéken, majd az Elektro-

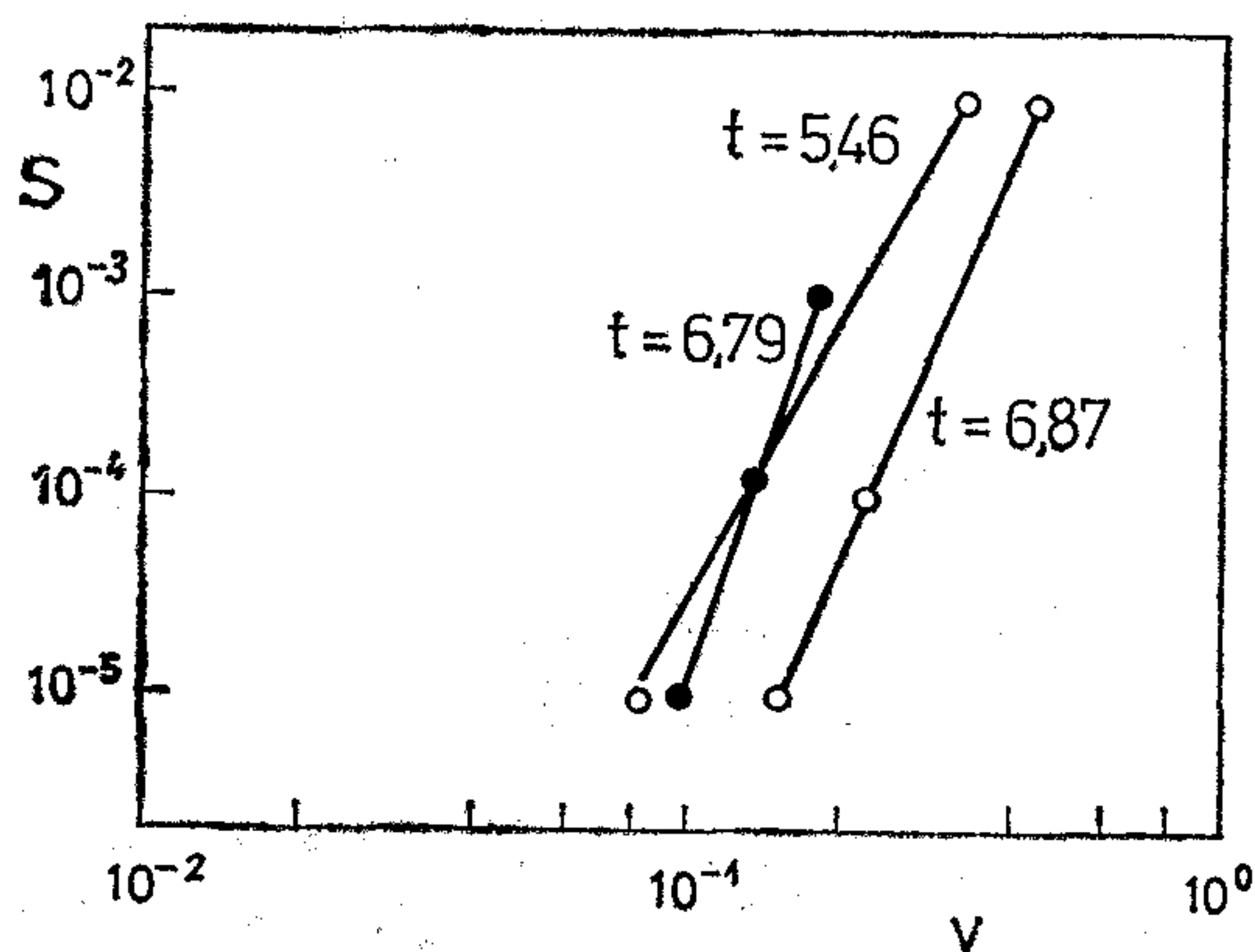
nikus Eszközök Tanszékén dolgozott. 1970-ben kapott megbízást az Elektronikai Technológia Tanszék vezetésére. 1979 óta egyetemi tanár. Az 50-es években ipari elektronikai kérdésekkel foglalkozott. A hatvanas évektől, az elektronikus zajokra és az analóg integrált áramkörökre irányult figyelme. Három könyve és mintegy 90 publikációja jelent meg. A HTE elnökségi tagja és az Institute of Electrical and Electronics Engineers senior tagja.

zad μm — néhány μm között van, elhelyezkedésük rendszertelen. A szerkezeti felépítést korszerű mikroanalitikai módszerekkel alaposan megvizsgálták [1, 2, 3]; ezek kimutatták a vezető szemcsék kristályos és az üveg amorf szerkezetét. Néhol megfigyelhető a vezető szemcsék tömörülése (cluster), de a régebben feltételezett kacskaringós láncolatok általában nem észlelhetők [4].

Érdekes, hogy a fajlagos ellenállás több nagyságrenddel változtatható, ha a vezető/üveg arányt néhány %-tól néhányszor 10%-ig változtatjuk. Az 1. ábra a négyzetes ellenállás reciprokát mutatja a ve-



a.



b.

H883-1

Beérkezett: 1983. VI. 6.

* Dr. Ambrózy András 1957—1970-ig az Elektronikus Eszközök Tanszék tagja volt.

1. ábra. a) Ruténiumoxid tartalmú vastagréteg vezetése a fémoxidtartalom függvényében; b) bizmutruténát tartalmú vastagréteg vezetése a $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ tartalom függvényében

zető térfogatszázalékának függvényében. A görbékre felírható empirikus összefüggés [5]:

$$G_{\square} = C(v - v_{kr})^t \quad (1)$$

ahol $G_{\square}$ a négyzetes ellenállás reciproka (siemens) v a térfogatszázalék, v_{kr} ennek a kritikus értéke és t tapasztalati kitevő. A legkisebb négyzetes hibával illesztett egyenesekre $t=2,5 \dots 7$, $v_{kr}=0 \dots 0,1$.

A szivárgási elmélet

Vezető és szigetelő szemcsékből álló keverékrendszer vezetése elmélete már Maxwell is foglalkoztatta [6]. Egy ilyen rendszeren az elektron nem haladhat át olyan könnyedén, mint a tömör fémen. Az áthaladás mechanizmusát szivárgásnak, perkolációnak nevezik.

A szivárgási modellek kijelölt helyek sokaságából és a köztük feltételezett kötésekéből állnak [7]. A kijelölt helyeken vezető részecskék lehetnek és ezek egy vagy több szomszédjukkal kölcsönhatásban állhatnak, elektront továbbíthatnak. A szivárgási modell leggyakrabban egy két-, vagy háromdimenziós ellenállásháló, amelynek egyes elemei hiányoznak.

A fenti problémát matematikai analízissel is meg lehet közelíteni [8]. A számítógépek elterjedése lehetővé tette a Monte-Carlo módszer alkalmazását [9]. Az analitikus vagy numerikus módszerekkel az (1) összefüggéshez hasonló adódik; a bökkenő csupán az, hogy v_{kr} értéke általában nagyobb, t pedig kisebb a tapasztaltnál ($v_{kr}=0,2 \dots 0,4$, $t=1,5 \dots 2,5$). Ez az ellentmondás talán feloldható, ha a vezető részecskékkel betöltött helyeket és a köztük fennálló kölcsönhatásokat nem szorítjuk bele egy túlságosan leegyszerűsített absztrakt matematikai modellbe. Ha például — a valósághoz közelebb állóan — feltételezzük, hogy a vezető részecskék érintkeznek egymással, de az érintkezési — szűkületi — ellenállások széles értéktartományban oszlanak el, a kísérleti eredményekhez közelebb álló formulákat vezethetünk le [10]. Javítja a modellt az is, ha figyelembe vesszük a vezető részecskék méreteloszlását [11, 12]. Kevésbé fontos az üvegpor méreteloszlása, hiszen a szinterezési folyamat úgy játszódik le, hogy az üvegszemcsék megolvadnak, bevonják a vezető részecskéket, majd összefüggő filmet alkotnak. Ennek mindenestre előfeltétele, hogy az üvegpor eredetileg eléggé finom eloszlású legyen. Nagyon lényeges viszont és kevésbé ismert, hogy az üveg hogyan nedvesíti a vezető részecskéket.

Az ellenállás hőmérsékletfüggése

A vastágréteg ellenállások elterjedtségének egyik oka az ellenállás kicsiny hőmérsékleti tényezője. Szélesebb hőmérsékleti tartományban vizsgálva azonban kiderül, hogy alacsony hőmérsékleten negatív, magas hőmérsékleten pozitív ez a tényező és tetemes abszolút értéket is elérhet. Az előjelváltásból azonban az is következik, hogy valahol $\alpha = dR/RdT$ -nek zérusnak kell lennie, s itt az ellenállásnak szélső értéke van. A 2. ábra azt is mutatja, hogy a szélső

érték helye függ a fajlagos ellenállástól; nagyobb fajlagos ellenálláshoz magasabb szélsőérték-hőmérséklet tartozik.

Magyarázatként azt gondolhatjuk, hogy magas hőmérsékleten a vezető szemcsék fémes karaktere, alacsony hőmérsékleten pedig valamiféle félvezető tulajdonság dominál. A kvantitatív vizsgálatból azonban kiderül, hogy feltételezésünk nem pontos.

Kísérleti eredmények alapján jó közelítésnek bizonyult az

$$R = R_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \exp(T_0/T)^{1/4} \quad (2)$$

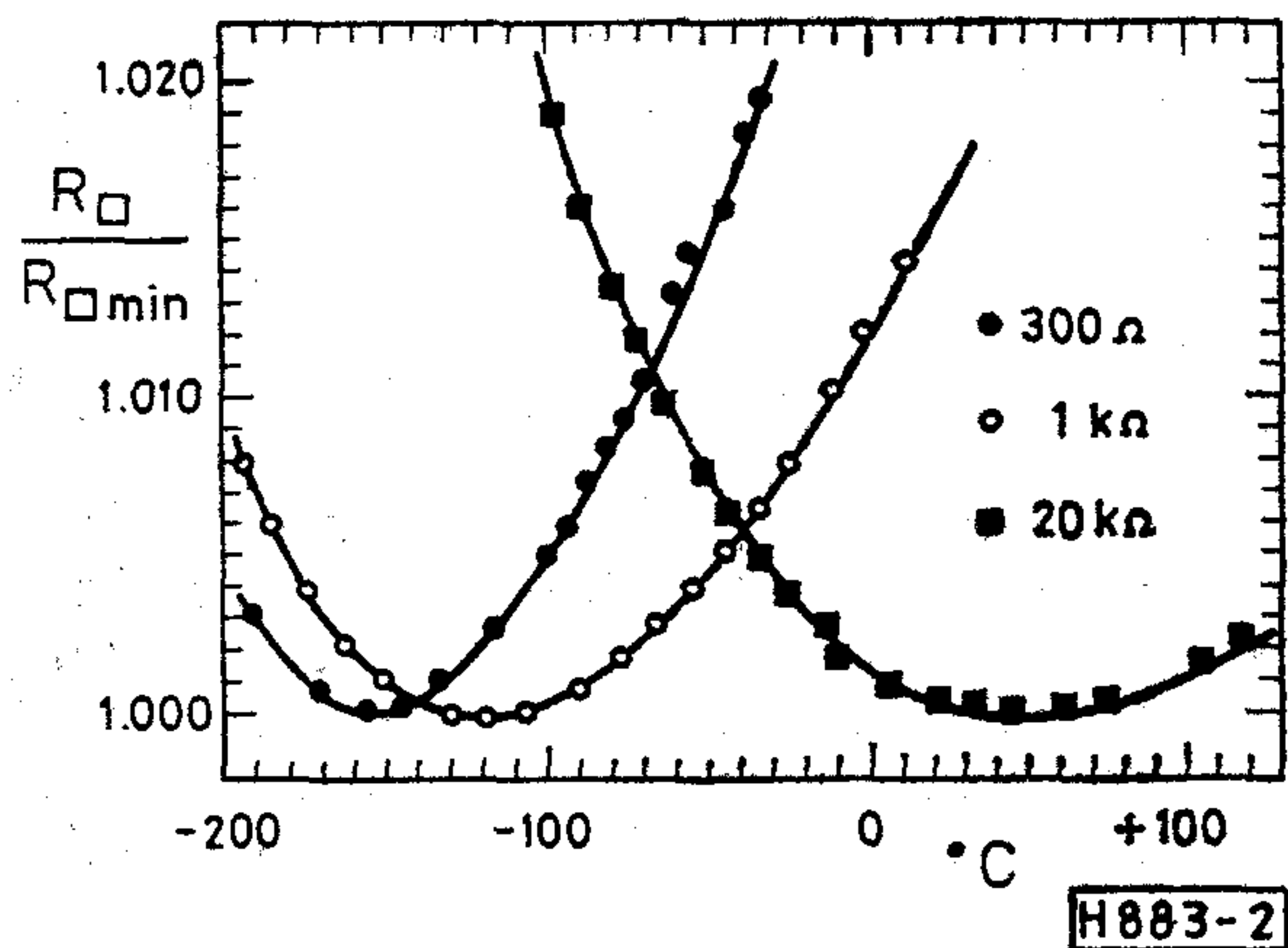
összefüggés, ahol R_0 a T_0 hőmérsékletéhez tartozó ellenállás [13, 14]. (Itt $R = R_0 e$.) Kiszámítva ebből α értékét

$$\alpha = \frac{dR}{RdT} = \frac{1}{2T} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/4} \right] \quad (3)$$

adódik, ami zérussal egyenlő, ha

$$T = T_{\min} = T_0/16 \quad (4)$$

ahol $T_{\min}$ a 2. ábrán látható minimumokhoz tartozó érték, ahol tehát $\alpha = 0$. Ebből az is következik, hogy a (2) összefüggésben bevezetett T_0 paraméter $16T_{\min} = 1500 \dots 5000$ K nagyságrendbe esik, tehát a (2) formula csak $T \ll T_0$ értékekre érvényes és az összetartozó R_0 , T_0 értékpár méréssel nem határozható meg.



2. ábra. Vastágréteg ellenállások hőmérsékletfüggése a minimum közelében

Piezorezisztív hatás

Mindenfajta ellenállás felmutat piezorezisztív hatást: mechanikai feszültség ellenállásváltozást okoz. Ezt használják fel a fémhuzalos nyúlásmérő bélyegekben is. Az ellenállásváltozásra jellemző tényező, a gauge factor,

$$GF = \frac{1}{\epsilon} \frac{dR}{R}, \quad (5)$$

ahol ϵ a relatív hosszváltozás. Fémekre $GF \approx 2$ nagyságrendjében van.

Nagyon érdekes, hogy a vastágréteg ellenállások GF -je ennél lényegesen nagyobb. Mérések szerint [15] a ruténiumoxid ellenállásokra $GF=5 \dots 15$, ólom és bizmutruténátra $10 \dots 15$, iridiumoxidra

2...3,5. A nagy GF érték arra vall, hogy ezeknek a struktúráknak a vezetési mechanizmusa jelentősen eltér a fémes vezetéstől.

A piezorezisztivitás az ellenállás hőmérsékleti tényezőjét is befolyásolja. Ha a hordozó és az ellenállásfilm lineáris hőkitérjedési együtthatója eltér egymástól, akkor

$$\alpha_R = \alpha_e - \delta_{lf} - \left[2 \frac{\delta_{lf} - \delta_{ls}}{1 - \nu'} (GF - 1 - \nu') \right], \quad (6)$$

ahol α_R és α_e az ellenállás és a fajlagos ellenállás hőmérsékleti tényezője, δ_{lf} a film, δ_{ls} a hordozó lineáris hőkitérjedési együtthatója, ν' pedig az ellenállásfilm Poisson száma [16]. A (6) formula használata meglehetősen bonyolult, mert az sem kizárt, hogy a hordozó és az ellenállás között átmeneti réteg alakul ki [17], amelynek hőkitérjedési együtthatója mindkét szomszédjától különbözik.

Termikus zaj, $1/f$ faj

Minden ellenálláson keletkezik termikus zajfeszültség, az ellenállás anyagától és szerkezeti felépítésétől függetlenül, amint azt a fémes vezetés modelljéből kikövetkeztethetjük [18]: a termikus gerjesztés miatt mozgó elektronok minduntalan beleütköznek a rácsszerkezet tökéletlenségeibe és ettől impulzusuk megváltozik. Termikus zaj az áramtól át nem járt ellenállásban is keletkezik.

Nagyon vékony rétegeknek és szemcsés szerkezeteknek ezen felül járulékos zaja is van. Tapasztalat szerint a zajfeszültség négyzetének átlaga

$$M(u^2) = \text{konst} \frac{I^2}{f^\beta} \Delta f, \quad (7)$$

ahol I az átfolyó egyenáram, f a mérés közepes frekvenciája, Δf a sáv szélessége, $\beta \approx 1$. Az átfolyó áramtól való négyzetes függés arra utal, hogy a járulékos zajt az ellenállás (vagy a vezetés) ingadozása okozza [19]. Nincs azonban végleges és általánosan elfogadott magyarázata az $1/f$ frekvenciafüggésű teljesítményspektrumnak.

Sok megfigyelés alapján Hooge [20, 21] az alábbi empirikus formulát állította fel:

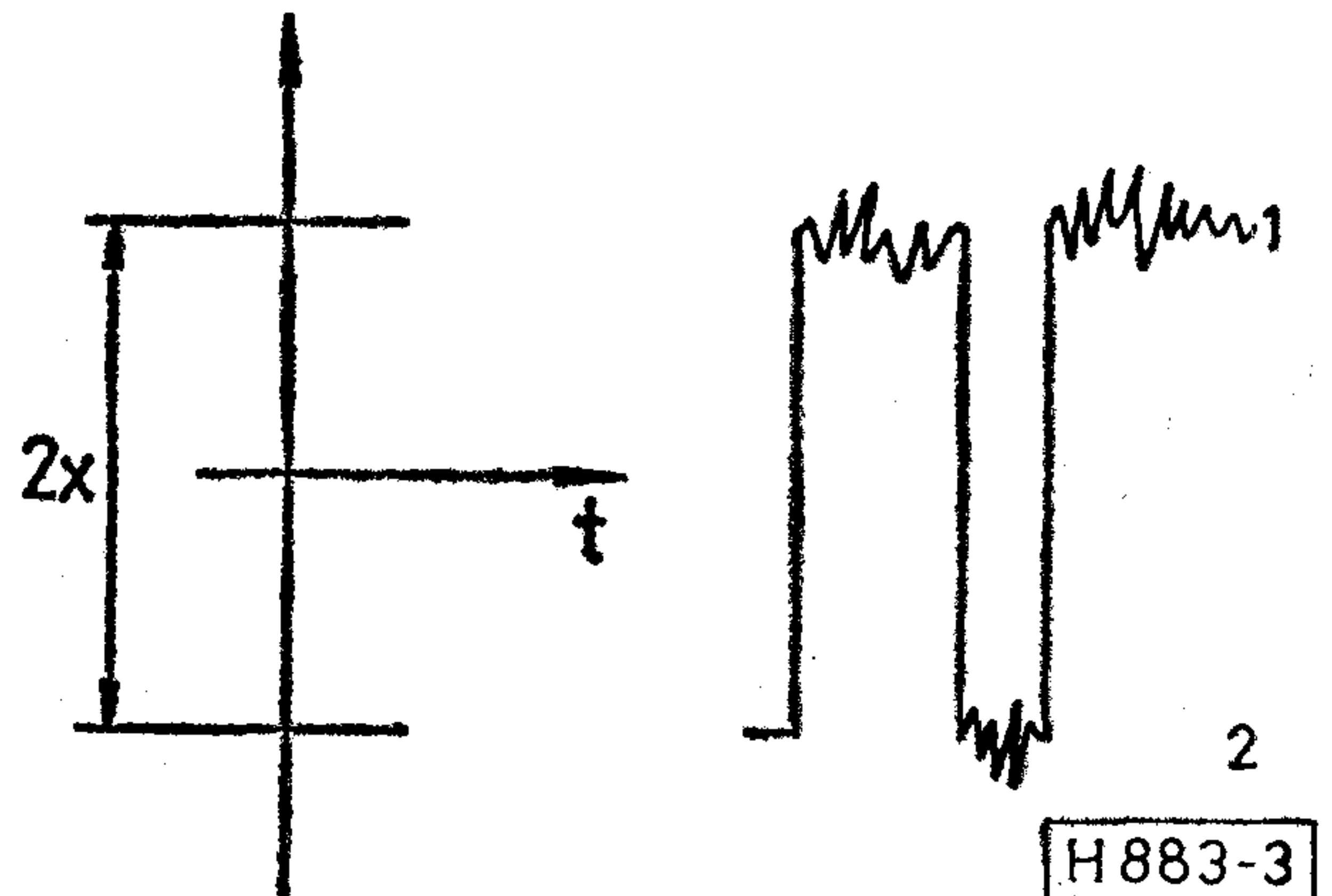
$$M \left[\left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2 \right] = \frac{\alpha}{N} \frac{\Delta f}{f} = \frac{\alpha}{nV} \frac{\Delta f}{f}, \quad (8)$$

ahol a bal oldalon az ellenállás négyzetes relatív ingadozásának a várható értéke áll, $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-3}$ univerzális állandó, N az ellenállásban található összes töltéshordozó, n a hordozósűrűség, V a térfogat. Eszerint a kisebb térfogatú ellenállások járulékos zaja a nagyobb.

Huzalból, vagy fémfóliából készített ellenállások gyakorlatilag nem mutatnak járulékos zajt. Kicsiny a zajuk a fémréteg ellenállásoknak is; (8)-ba helyettesítve a fémekre jellemző n hordozósűrűséget, olyan kicsiny zajszintet kapunk, ami a szokásos áramigénybevétel mellett messze a termikus zaj alatt van.

A vastagréteg ellenállásokra is igazolódni látszott a (8) összefüggés, legalábbis ami a térfogattal való fordított arányt illeti [22]. Az α szorzótényezőben

több nagyságrend eltérés mutatkozott. További kutatások kimutatták, hogy a járulékos zaj valószínű keletkezési helye a szemcsék érintkezési pontja, ahol a szűkületi ellenállás, vagy a rosszul vezető köztes réteg ellenállása [23, 24] felelős mind az eredő ellenállás nagy részéért, mind pedig a járulékos zajt előidéző vezetésingadozásért.



3. ábra. Impulzus zaj lehetséges időfüggvénye

Impulzus zaj

Mind aktív eszközökön, mind pedig passzív alkatrészekben észleltek impulzus zajt (burst noise). Ennek megjelenési formája a 3. ábra szerinti véletlen távirójelnek nevezett jelsorozat. Néha nemcsak 2, hanem 3 vagy több diszkrét szint is észlelhető, ezekkel az esetekkel azonban most nem foglalkozunk. Tapasztalat szerint az 1. jelű szinten tartózkodás valószínűsége

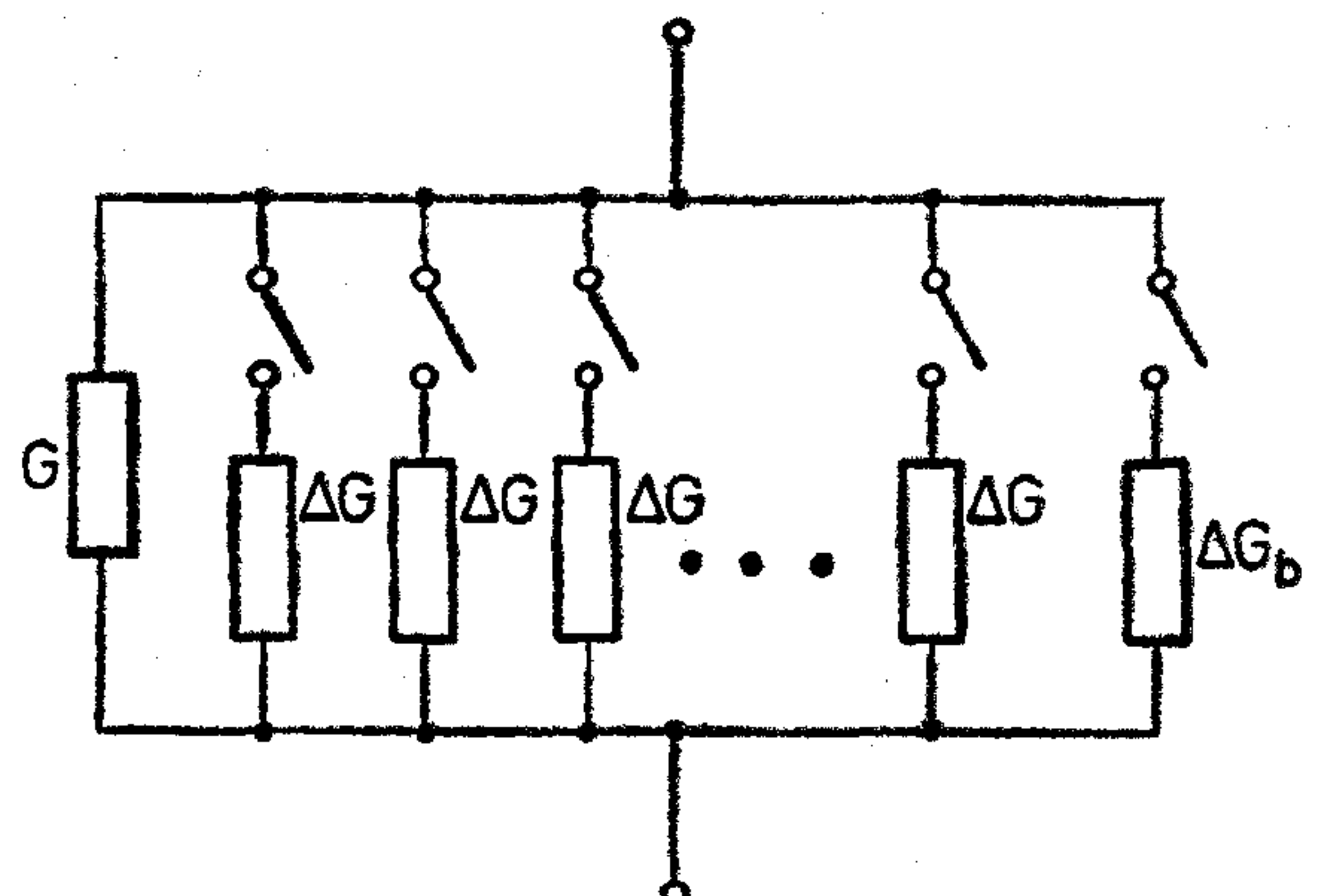
$$p_1(t_1 > t) = e^{-\nu_1 t} \quad (9)$$

a 2. jelűn pedig

$$p_2(t_2 > t) = e^{-\nu_2 t} \quad (10)$$

alakba írható, ahol t_1 és t_2 az 1. és 2. szinten tartózkodás időtartama, ν_1 és ν_2 pedig az átváltásra jellemző, $1/s$ dimenziójú mennyiségek. Utóbbiak segítségével könnyen megadhatjuk a 3. ábra szerinti sztochasztikus jel teljesítményspektrumát is:

$$S(\omega) = 8X^2 \frac{\nu_1 \nu_2}{\pi(\nu_1 + \nu_2)} \frac{1}{(\nu_1 + \nu_2)^2 + \omega^2} \quad (11)$$



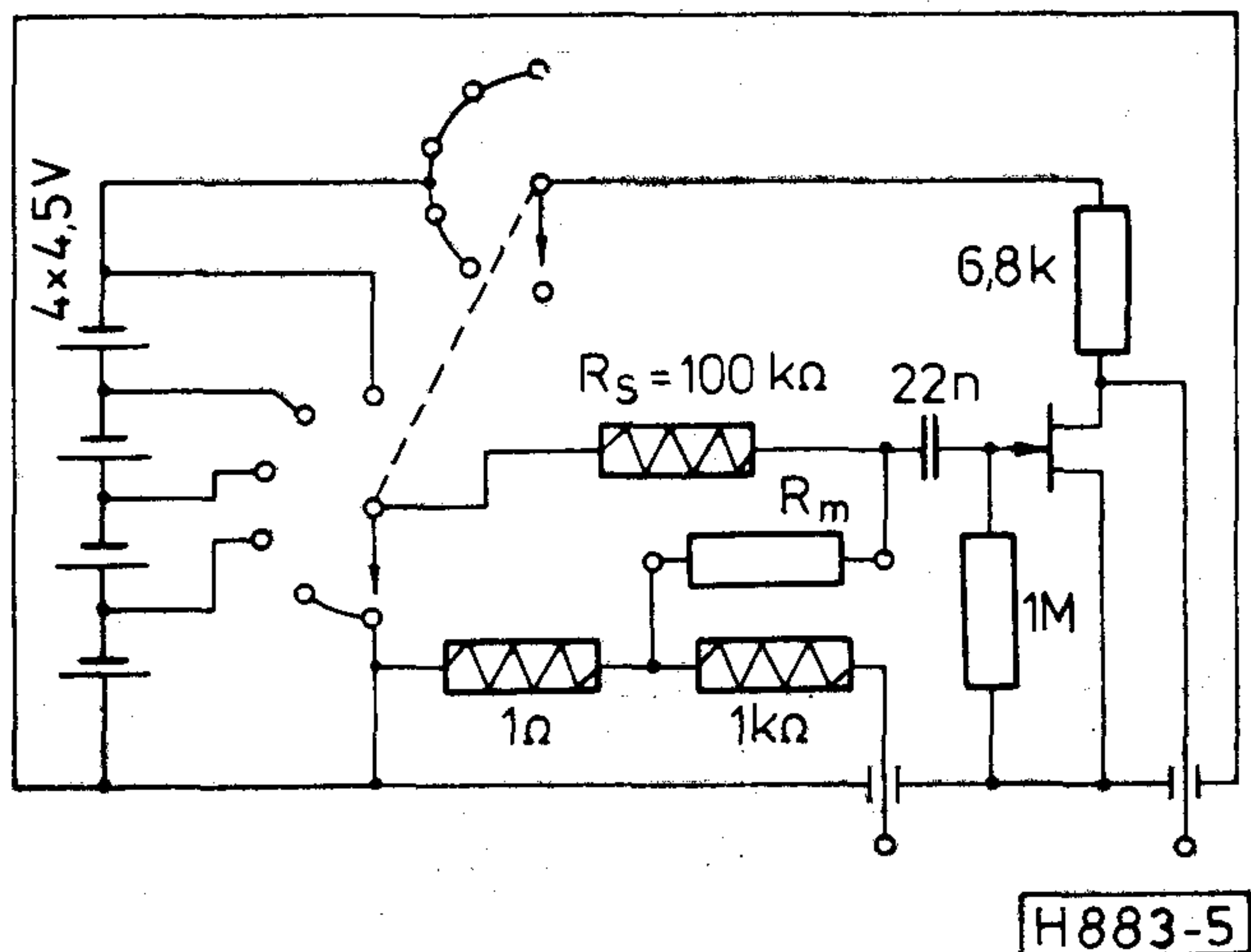
4. ábra. Szemcsés szerkezetű ellenállás zajmodellje

Ez az ún. Lorentz-spektrum vízszintes és $1/f^2$ meredekségű aszimptotákkal közelíthető.

A szemcsés szerkezetű ellenállás járulékos zajaira vonatkozó helyettesítőkép a 4. ábrán látható. Az $1/f$ zajt sok ΔG nagyságrendű vezetés ki-be kapcsolásával modellezhetjük; ezt a modellt korábbi statisztikai vizsgálatokkal [25] lehet valószínűsíteni. Természetes elemként jelenik meg a modellben a nagyságrendileg különböző ΔG_b összetevő, ami az impulzus-zajt reprezentálja.

Zajmérés vastagréteg ellenállásokon

A járulékos zajt előidéző ellenállásingadozások megfigyelhetővé tétele céljából a vizsgált mintán egyenáramot kell átfolyatni. Két lehetőség van: vagy elektronikus áramgenerátort alkalmazunk, vagy pedig egyenfeszültség-forrást és járulékos zajtól mentes soros ellenállást. Korábban bebizonyítottuk [26], hogy az áramgenerátoros táplálás mindig zajosabb, mint a soros ellenállásos. Ezért az 5. ábra szerinti mérési összeállítást használtuk.



5. ábra. Ellenállás-zajmérő kapcsolása

A ferromágneses anyagból készült mérődoboz jó statikus és mágneses árnyékolást biztosít. Fontos, hogy a mérendő ellenállást előfeszítő szárazelemek is a dobozban kaptak helyet.

Az előerősítő FET bemenetére jutó zajfeszültség:

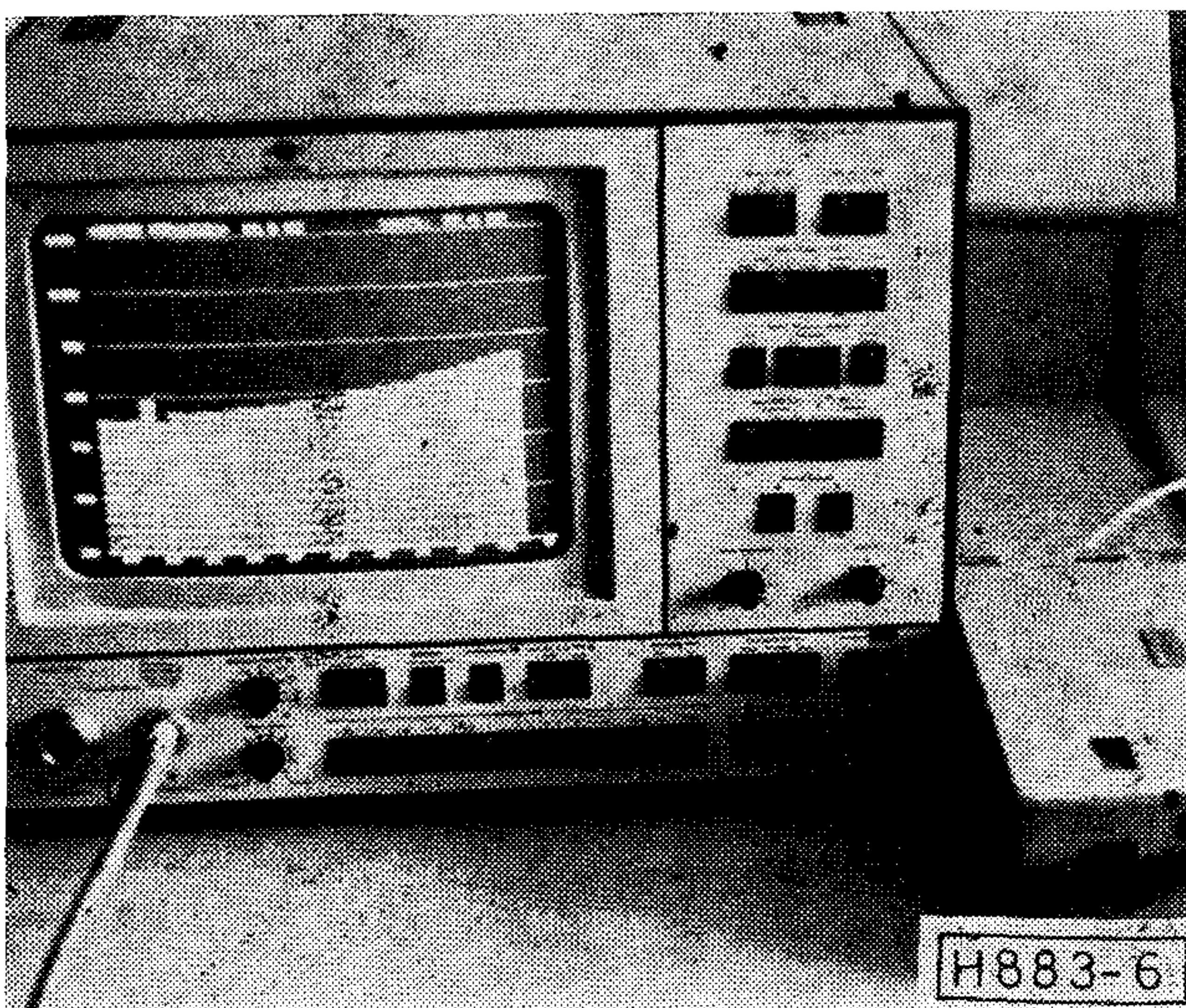
$$M(u^2) = 4kT(R_s \times R_m) \Delta f + c^2 I^2 R_m^2 \frac{R_s^2}{(R_s + R_m)^2} \frac{\Delta f}{f}, \quad (12)$$

ahol c a járulékos zajra jellemző tényező. Mivel $I = U_0 / (R_s + R_m)$,

$$M(u^2) = 4kT(R_s \times R_m) \Delta f + c^2 U_0^2 \frac{R_m^2 R_s^2}{(R_m + R_s)^4} \frac{\Delta f}{f} \quad (13)$$

A második tagnak lapos maximuma van, ha $R_m = R_s$. Ebből következik, hogy az 5. ábrán bemutatott elrendezés $R_m = 30 \dots 300 \text{ k}\Omega$ között legalkalmasabb a mérésre.

Hasonló felépítésű másik elrendezés is készült az $R_m = 3 \dots 30 \text{ k}\Omega$ tartományra, itt azonban az előerősítő bipoláris tranzisztort használják.



6. ábra. Mérési elrendezés fényképe

A teljes mérőállomás egy további 60 dB erősítésű kiszájú erősítóből és egy Brüel & Kjaer 2131 típusú hangfrekvenciás spektrumanalizátorból áll (6. ábra).

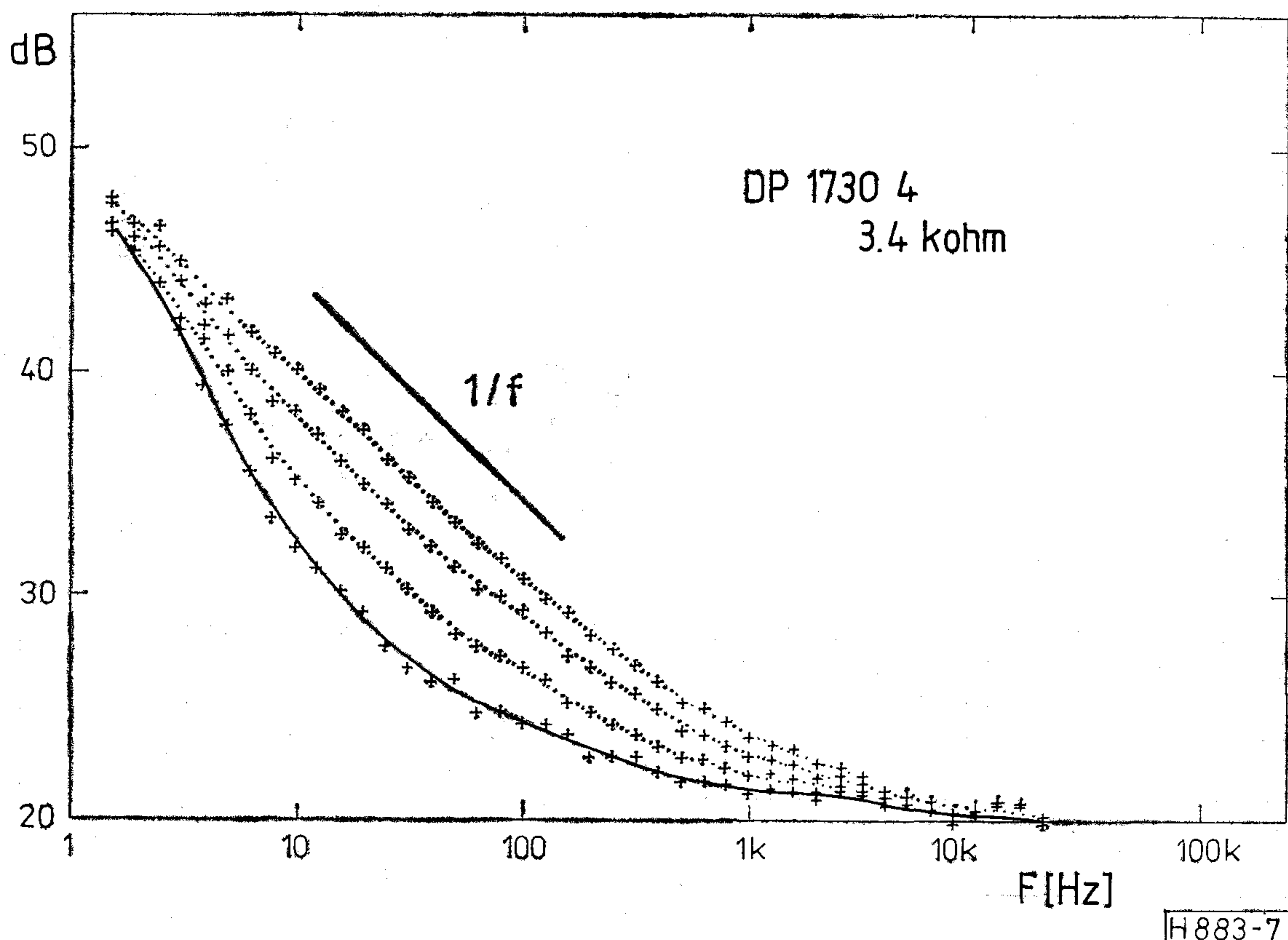
Mérési eredményt mutat be a 7. ábra. A négy görbét (alulról felfelé) 1, 2, 3 és 4 egység átfolyó egyenárammal vettük fel. Ha a járulékos zaj tisztán I^2/f karakterű lenne a (7) összefüggés szerint, akkor -45° iránytangensű egyeneseknek kellene egymással párhuzamosan haladniuk egymástól rendre 6, 3,5 és 2,5 dB távolságban (alulról felfelé számítva). Nagyobb frekvenciákon a járulékos zaj csökken és beleolvad a fehér zajba.

A legalsó görbe azonban jelentősen eltér a várttól: $1/f$ -nél lényegesen meredekebb tartománya is van, ami impulzuszajra utal. Érdekes, hogy némely komerciális pasztából előírt technológiával készített vastagréteg ellenállás éppúgy mutathat impulzus-zajt, mint egy olyan, amelyben mesterséges beavatkozással megszüntették az üveg kristályosodási hajlamát [27]. Az ellenállás szerkezetének megbontása azáltal, hogy az üvegfázist maratással részlegesen eltávolítjuk, lényegesen növeli a zajosságot [28]. A pasztaanyag, a technológia és a zajosság még kiderítendő kapcsolatai valószínűleg érdekes eredményekre fognak vezetni.

A zaj hőmérsékletfüggésének vizsgálata még viszonylag újkeletű [29, 30]; érdekes, hogy a hőmérséklet függvényében a járulékos zajnak minimuma van, de a zajminimum és az ellenállásminimum nem esik egybe és mindkettő a szobahőmérséklet közelében van. A hőmérsékletnek befolyása van a spektrumra is: a (7) összefüggésben szereplő β 100 K és 600 K között 0,9...1,2, monoton növekvő értékeket vesz fel [29].

Termofeszültség, Hall-feszültség

A termofeszültség és a Hall-feszültség előjeléből, hőmérsékletfüggéséből általában következtetni lehet egy szilárd test vezetési mechanizmusára, vezetési típusára. Ilyen méréseket vastagrétegen is elvégeztek, egyelőre nem sok eredménnyel.



7. ábra. Mérési eredmények vastagréteg ellenálláson. A függőleges tengely kezdőpontja önkényes

Termofeszültség hőmérsékleti gradiens hatására keletkezik. A gyakorlatban használt ellenállások termofeszültsége kicsiny, s ez alól a vastagrétegek sem kivételek. Mindenesetre zavaró az, hogy a PdO/Ag-Pd, illetve a bizmutrutenát ellenállás egymással ellentétes előjelű termofeszültséget adott [31]. A hőmérséklet függvényében a termoelektromos együttműködő monoton növekedett, abban a tartományban is, ahol a fajlagos ellenállásnak szélső értéke van. Az állandó előjelű és monoton növekvő termoelektromos együttműködőből egyféle, míg az α előjelváltásából kétféle vezetési mechanizmusra következtethetünk. Az ellentmondást mindeddig nem sikerült feloldani.

Hall-feszültség akkor keletkezik, ha a mintát az átfolyó áram irányára merőleges mágneses térbe helyezzük. A Hall-feszültséget az előbb említett kettőre merőleges harmadik irányban mérhetjük. Félvezető vezetési típusa és adalékoltságának mértéke megállapítható a Hall-feszültség előjeléből és abszolút értékéből. A vastagréteg struktúrák Hall-feszültsége többnyire olyan kicsiny, hogy elvesz a mérés zajában, illetve ha mérhető, előjele esetenként ellentmond a termoelektromos együttműködőből meghatározható előjelnek.

Vezetési modellek

Egyértelműen megalapozott, minden részletében tisztázott vezetési modellt vastagrétegekre egyelőre nem sikerült alkotni. Már a vezető összetevőnél is nehézségbe ütközünk: bár a bizmutrutenát és ólomrutenát kristályszerkezete ismert — ún. piroklór rend-

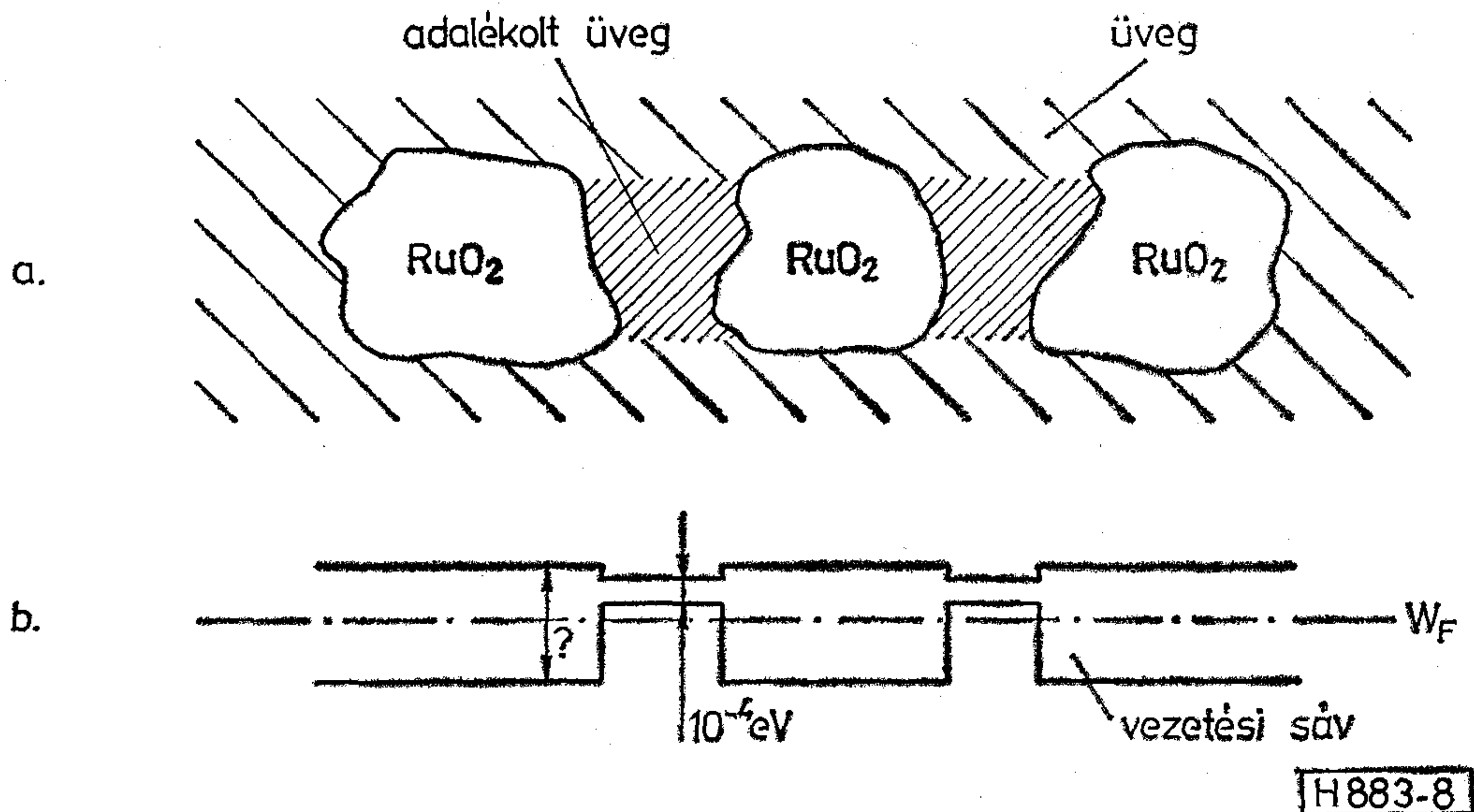
szerben kristályosodnak — csak annyit tudunk, hogy vezetőképességük a fémekéhez mérhető. Nem ismert a sáv szerkezet és az sem, hogy az α miatt olyan szokatlanul kicsiny ($\rho = 7 \cdot 10^{-4} \dots 9 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}$ $T = 4,2 \dots 800 \text{ K}$ között [32]).

Vezető részecskék a 8a. ábra szerint lehetnek beágyazva az üvegbe. Beégetés előtt az üveg jó villamos szigetelő és optikailag átlátszó. Ez a két tény arra vall, hogy energiasáv-rendszerében egy széles tiltott sáv található, amely az elektronok áthaladását általában lehetetlenné teszi. A beégetés azonban döntően megváltoztat(hat)ja az üveg állapotát is és ez háromféle módon segítheti elő a vezetést [33]:

- nagy sűrűségű donorszintek beépülése által;
- mélyenfekvő energiaszintek beépülése által: ezek elősegíthetik a vezető szemcsék közötti alagút-áthaladást;
- nagyon keskeny, kollektivizált energiaszinteket tartalmazó energiasávnak az üveg tiltott sávjába beépülése által.

Az első lehetőséget általában elvetik, mert a tapasztalathoz képest jóval nagyobb hőmérsékletfüggést jósol. A második lehetőség gondosabb vizsgálatot igényel.

Amorf anyagokra kimutatták [34, 35], hogy rendezetlen szerkezetükben sok, lokalizált betölthető energiaállapot van (ellentétben a fémekkel és félvezetőkkel, melyek vezetési sávjában kollektivizált energiaszintek vannak; ezeket bárhol tartózkodó elektronok betölthetik). Az *ugró vezetés* (hopping) elmélete szerint az elektronok egyik megengedett helyről a másikkra ugrálva teszik meg a két vezető-



8. ábra. a) A tiszta üveg, a fénoxid és az adalekolt üveg vázlatos elhelyezkedése; b) elképzelt energia-sáv-diagram

szemcse közötti utat. Ennek az elméletnek az alapján írták fel a (2) összefüggést, amellyel magyarázni lehet — legalábbis jellegre helyesen — az ellenállás-hőmérséklet összefüggést.

Egy másik elképzelés szerint a szigetelő üvegen való áthaladás mechanizmusa az alagúthatás. Ki lehet azonban számítani, hogy a vezető részecskék egymástól való átlagos távolsága nagyobb, mint ami jelentős alagútáramhoz szükséges lenne (az áram fordítottan arányos az exponenciális függvény kitevőjében található távolsággal). Ezért feltételezik, hogy az üvegben levő energiaszintek „rezonáns centrumokként” segítik az alagúthataladást, látszólag lecsökkentve a megteendő távolságot [36].

Meg kell jegyezni, hogy a fenti két elképzelés egyáltalán nincs egymással ellentmondásban; az első inkább korpuszculaként, a második pedig hullámként kezeli az elektront. Mindkét esetben (rossz) szigetelőt tételezünk fel a vezető szemcsék között: a kialakuló struktúra egy kis kondenzátor. Megvizsgálták ezért az ellenállás frekvenciafüggését, de jelentős kapacitív összetevőt nem találtak; talán azért nem, mert a szemcsék közti eredő kapacitás összemérhető a hordozó által bevitt kapacitással [24] és az utóbbinak a hatása elfedi az előbbiét.

A harmadik elképzelés szerint az üvegbe diffundáló adalekatomok hatására ott egy igen keskeny megengedett energiasáv alakul ki (8b. ábra). A Fermi-szint ezalatt kevéssel helyezkedik el, tehát az elektronok viszonylag kicsiny aktivációs energia hatására felkerülnek ebbe a sávba. Így magyarázni lehetne az alacsony hőmérsékleten negatív és kisértékű α -t. Magasabb hőmérsékleten a vezető szemcsék fémes vezetése dominál — erről a fémes vezetről azonban nem tudunk eleget, azt sem, hogy pl. a vezetési sáv milyen széles (8b. ábra). Ez a modell magyarázza legjobban az észlelt kicsiny Hall-feszültséget és termoelektromos együtthatót.

Közös vonása valamennyi fenti modellnek, hogy fontos szerepet tulajdonítanak az üveg szennyezőinek. Ezek származhatnak a vezető szemcsékből, de lehet-

nek külön adalékok. Az adalékok összetétele általában nem ismeretes — gyári titokként kezelik — és hatásukat csak empirikusan ismerik. Egy bizonyos: a vezetés egyszerű, klasszikus modelljei a vastagrétegekre nem alkalmazhatók.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Ansell, M. P.: Conduction processes in thick film resistors. *Electrocomponent Science and Technology*, 3, 1976, p. 131–151.
- [2] Shah, J. S. — Hahn, W. C.: Material characterization of thick film resistor pastes. 28th Electronic Components Conference, Anaheim 1978, p. 234–243.
- [3] Kusy, A.: On the structure and conduction mechanism of thick resistive films. *Thin solid films* 37, 1976, p. 281–302.
- [4] Kusy, A.: Chains of conducting particles that determine the resistivity of thick resistive films. *Thin solid films* 43, 1977, p. 243–250.
- [5] Pike, G. E.: Conductivity of thick film (cermet) resistors as a function of metallic particle volume fraction. *American Institute of Physics Conference Proceedings* No 40, 1978, p. 366–371.
- [6] Maxwell, J. C.: A treatise on electricity and magnetism, Vol. 1., Clarendon Press, Oxford 1881.
- [7] Coutts, T. J.: Percolation conduction in mixed insulator-conductor systems. *Thin solid films* 38, 1976, p. 313–321.
- [8] Erdős, P. — Rényi, A.: On the evolution of random graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.* 5, 1960, p. 17–61.
- [9] Pike, G. E. — Seager, C. H.: Percolation and conductivity: A computer study. *Physical Review* B10, 1974/4, p. 1421–1446.
- [10] Smith, D. P. H. — Anderson, J. C.: Theory of electrical conduction in particulate systems. *Philosophical Magazine* B, 43, 1981/5, p. 797–810.
- [11] Boonstra, A. H. — Mutsaers, C.: The effect of particle size on the temperature coefficient of resistance of thick film resistors. *Thin solid films* 67, 1980, p. 13–20.
- [12] Carcia, P. F. — Ferretti, A. — Suna, A.: Particle size effects in thick film resistors. *J. Appl. Phys.* 53, 1982/7, p. 5282–5288.

- [13] Forlani, F.—Prudenziati, M.: Electrical conduction by percolation in thick film resistors. *Electrocomp. Sci. and Technol.* 3, 1976, p. 77—83.
- [14] Prudenziati, M.: On the temperature coefficient of resistivity in thick film resistors and the percolation model. *Alta Frequenza* 46, 1977/6, p. 287—288.
- [15] Canali, C. and al.: Piezoresistive effects in thick film resistors. *J. Appl. Phys.* 51, 1980/6, p. 3282—3288.
- [16] Morten, B. and al.: Strain sensitivity in film and cermet resistors: measured and physical quantities. *J. Phys. D.*, 12, 1979, p. L51—L54.
- [17] Shah, J. S.: Strain sensitivity of thick film resistors, 30th Electronic Components Conference 1980, San Francisco, p. 410—421.
- [18] Ambrózy, A.: *Electronic Noise*. Akadémiai Kiadó, Budapest — McGraw-Hill, New York, 1982.
- [19] Ambrózy, A.: Szemcsés szerkezetű ellenállások 1/f zaja. *Finommechanika-Mikrotechnika* 20, 1981/11, p. 321—322.
- [20] Hooge, F. N.: 1/f noise is no surface effect. *Phys. Lett.* 29/A, 1969/3, p. 139—140.
- [21] Hooge, F. N.: 1/f noise. *Physica* 83B, 1976, p. 14—23.
- [22] Kuo, C. Y.—Blank, H. G.: The effects of resistor geometry on current noise in thick film resistors. *Hybrid Microel. Symp.* 1968, p. 153—160.
- [23] Vandamme, L. K. J.: Criteria of low noise thick film resistors. *Electrocomp. Sci. and Technol.* 4, 1977, p. 171—177.
- [24] de Jeu, W. H.—Geuskens, R. W. J.—Pike, G. E.: Conduction mechanisms and 1/f noise in thick film resistors with $\text{Pb}_3\text{Rh}_7\text{O}_{15}$ and $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$. *J. Appl. Phys.* 52, 1981/6, p. 4128—4134.
- [25] Ambrózy, A.: Variance noise simulations. *Noise in Physical Systems*, Ed. D. Wolf, Springer, Heidelberg, 1978.
- [26] Ambrózy, A.: Hőérzékelők optimális zajillesztése. *Híradástechnika* 28, 1977/6, p. 161—165.
- [27] Ambrózy, A.—Wollitzer, G.: Vastagréteg ellenállások járulékos zajának vizsgálata. Előadás a BME Villamosmérnöki Karának jubileumi ülés-szakán, 1983. április.
- [28] Prudenziati, M.—Morten, B.—Masoero, A.: Temperature dependence of 1/f noise in thick film resistors. *Proc. of the Sixth International Conference on Noise in Physical Systems*, National Bureau of Standards Special Publication 614, 1981, p. 202—205.
- [29] Chen, T. M.—Su, S. F.—Smith, D.: 1/f noise in Ru-based thick film resistors. *Solid State Electronics* 25, 1982/8, p. 821—827.
- [30] Ambrózy, A.—Wollitzer, G.: Noise investigations on thick film resistors. *Proc. of the Physical Measuring Methods in Electrotechnology*, Prenet (Csehszlovákia) 1982, p. 9—14.
- [31] Prudenziati, M.—Cattaneo, A.: Thermoelectric power in thick film resistors. *Electrocomp. Sci. and Technol.* 3, 1976, p. 181—183.
- [32] Van Loan, P. R.: Ternary oxides of ruthenium and their use in TFR glazes. *Ceram. Bull.* 51, 1972, p. 231.
- [33] Prudenziati, M.: Conduction mechanisms in thick film resistors. *Third European Hybrid Microelectronics Conference*, Avignon 1981, p. 1—10.
- [34] Ambegaokar, V.—Halperin, B. I.—Langer, J. S.: Hopping conductivity in disordered systems. *Phys. Rev. B* 4, 1971/8, p. 2612—2620.
- [35] Mott, N. F.—Davis, E. A.: *Electronic processes in noncrystalline materials*, Oxford University Press, 1979.
- [36] Pike, G. E.—Seager, C. H.: Electrical properties and conduction mechanisms of Ru-based thick-film (cermet) resistors. *J. Appl. Phys.* 48, 1977/12, p. 5152—5169.

Folytatás a 491. oldalról

TELEFON INTERFÉSZ ÁRAMKÖRÖK

A Philips Elcoma cég kéthangú (DTMF) és impulzus tárcsázású rendszerekhez TEA 1042, TEA 1053, TEA 1054 és TEA 1055 típusjellel telefon beszédátviteli áramköröket fejlesztett ki. Az áramkörök a telefonvonalat kötik össze a tárcsázóáramkörrel és a kézibeszélőben levő mikrofonnal és vevővel. A TEA 1042 kézibeszélő nélküli készülékekben is alkalmazható, ahol a vonalat a mikrofonnal és a hangszóró erősítővel köti össze. Az összes áramkör típus elektronikus lehalkító (mute) bemenettel és DTMF bemenettel rendelkezik. A vevő és az adó erősítő erősítése szabályozható, az erősítés vezérlése a vonali áramtól függ. Az áramkörök feszültségszabályozójának feszültsége és egyenáramú ellenállása beállítható. Rendelkeznek a perifériális áramkörök táplálásához szükséges csatlakozóval is. Az áramkörök minimális működtető feszültsége 3,2 V, a vonali áram 10...140 mA közötti. Az erősítés-szabályozás a telefonközpontok 24...60 V közötti feszültségéhez igazítható, és a 400 ohmos (TEA 1054), 800 ohmos (TEA 1053) és a 400 vagy 800 ohmos (TEA 1042 és TEA 1055) tápláló hidegellenálláshoz optimalizálható. (*Electronic Product News* 12. sz. 1982. [1124])

A SZÁLOPTIKA JELENLEGI HELYZETE ÉS KILÁTÁSAI

Mindjobban hódít az USA-ban a száloptika. A felhasználók egyre növekvő mértékben szereznek jó tapasztalatokat. Gyakorlatilag a teljesítmény/ár mutató javulását, a száloptikai eszközök gyártásában beállt nagyarányú növekedés kíséri. A látványos ár-csökkenés egy példája a Honeywell cég által gyártott adó-vevő pár. Ez korábban 60 \$-ba került, jelenleg a speciális IC-vel együtt 10 \$-ba. A moduláris tervezés nagyon hasznosnak bizonyult a nagy teljesítményű rendszerek esetében. A tervező kiküszöbölhet olyan egységeket, mint a dupla tápegység sín, egyszerűsödik a bithiba érzékelés/javításra szolgáló hardver, mivel a huzal és a vele járó zajproblémák megszűnnek. Hamarosan csatlakozó-kompatibilis optikai rendszerek fognak megjelenni az IBM 3270, az RS 433 és 423-as rendszerekhez.

A közeljövőben a legnagyobb fejlődés a helyi hálózatokban való száloptikai alkalmazásoknál várható. Megjelennek a sokterminálos optikai hálózatok, a HDLC protokollt támogató rendszerek. (*International Fiber Optics and Communications* 5. sz. 1982. szept./okt. [1133])

Folytatás az 503. oldalon

Az integrált áramkörök technológiájának gyakorlati oktatása a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén

TÍMÁRNÉ HORVÁTH VERONIKA —
HARSÁNYI JÓZSEF — DR. MIZSEI JÁNOS

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke



ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben egy 25 órás félvezető technológiai laboratóriumi gyakorlatot, és a laboratóriumban folyó ún. „önálló laboratóriumi feladatokat” ismertetjük. Tapasztalataink alapján elemezzük a laboratóriumi oktatás szükségességét és a benne rejlő pedagógiai lehetőségeket. (Λ)

Bevezetés

Az elmúlt 12 évben tanszékünkön létrehoztunk az ipar hathatós támogatásával (EIVRT, HIKI) egy félvezető technológiai laboratóriumot, amely rendelkezik a hagyományos planár technológia alapvető berendezéseivel.

Gyakorlati foglalkozásaink során lehetőséget adunk hallgatóinknak az elméletben oktatott tananyag gyakorlatban való elmélyítésére. Laboratóriumunkban nem bemutató jelleggel oktatunk, hanem teljes technológiai kísérletsorozatok elvégzésével, vagy technológiai, illetve eszközfejlesztési feladatokkal bízunk meg hallgatóinkat.

Természetesen ezáltal még nem tesszük feleslegessé a korszerűbb üzemi technológiák megismerését. Ehhez továbbra is igénybe vesszük az üzemlátogatások lehetőségét, amelyek során félvezető technika ágazatos hallgatóink betekintést nyernek a magyar mikroelektronikai ipar tevékenységébe.

Laboratóriumunkban évente mintegy 20–25 fő kétféle oktatási formában vesz részt: negyedéves korukban egy alapfokú gyakorlat sorozaton az IC gyártástechnológia alapjaival ismerkednek meg, és bizonyos laborjártasságot szereznek (pl. berendezések kezelése, maszkillesztési technika elsajátítása, technológiaközi minősítő mérések megismerése stb.).

A félvezető technológia után továbbra is érdeklődők ötödévből ún. „önálló laboratóriumi feladat” keretében heti 8–10 órában konkrét kutatási-fejlesztési feladatot kapnak. A legeredményesebb hallgatók (évente 8–10 fő) megkezdett témájukat diplomatervvé fejleszthetik tovább, sőt született néhány egyetemi doktori értekezés is e többéves folyamat eredményeképpen.

A laboratóriumi munkák csak kiscsoportos, vagy egyéni foglalkozás keretében képzelhetők el, ezért a hallgatókkal foglalkozó 4–5 oktató és 4 fő technikai munkatárs a szokványos óraterhelést lényegesen meghaladó mértékben végzi munkáját.

A továbbiakban vázlatosan ismertetjük az eddig bevezetett oktatási formákat:

TÍMÁRNÉ
HORVÁTH
VERONIKA

1971-ben végzett a BME Villamosmérnöki Karának Híradás- és Műszeripari Technológia Szakán. Kutatási területe:

az integrált áramkörtől technológia egyes részterületei, mint pl. a RF katódporlasztás, CVD leválasztás, diffúziós technológia stb., valamint eszközfejlesztések, mint pl. az ionérzékeny félvezetők.

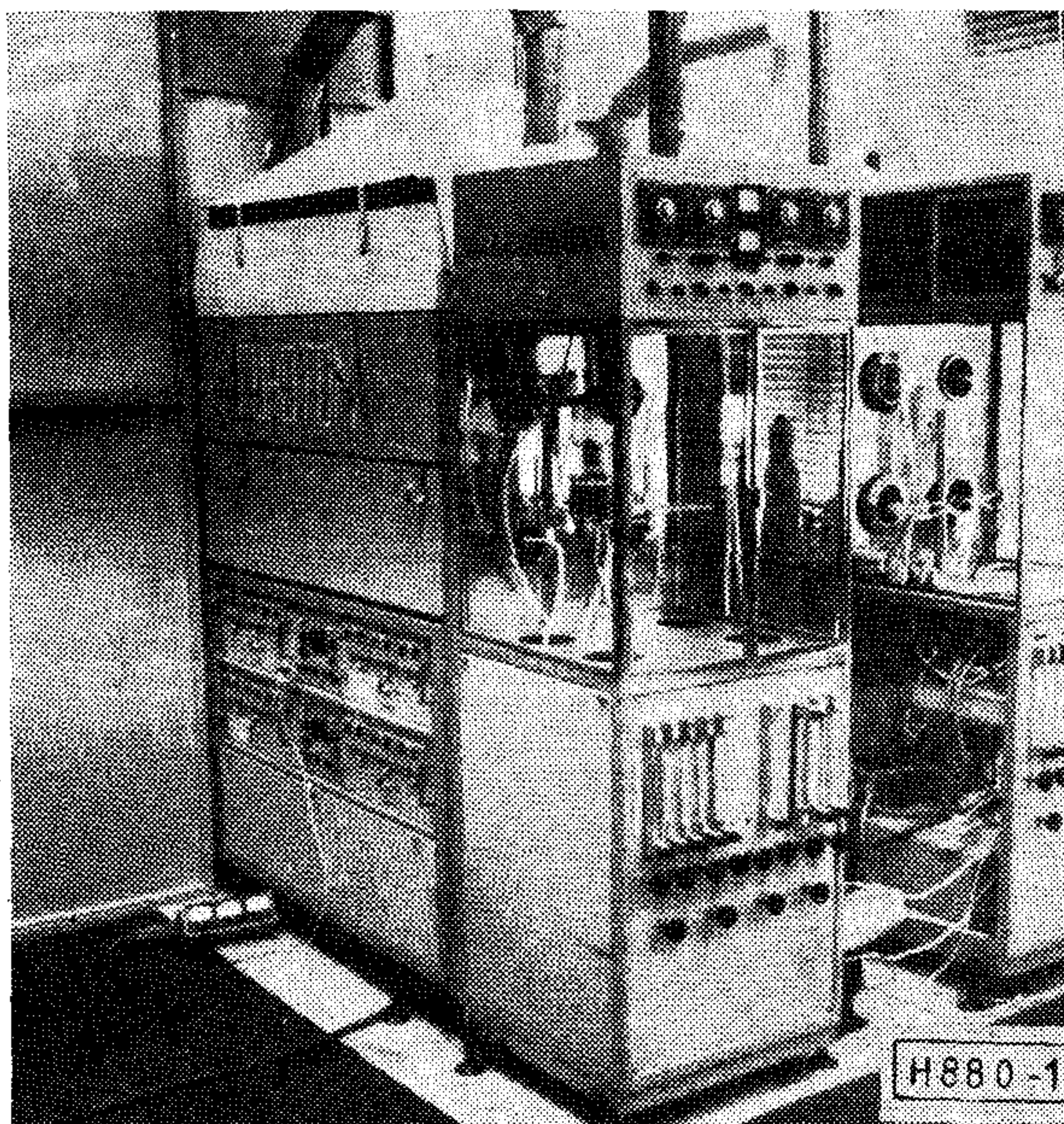
1. Az integrált áramkörök gyártástechnológiájának alapjai gyakorlatsorozat — kisbonyolultságú MOS-IC készítése

A gyakorlatra a 8. szemeszterben kerül sor, és a Híradástechnika Szak Félvezető Technika Ágazat, valamint az Elektronikai Technológia Szak egyes hallgatói a résztvevők.

A gyakorlat célkitűzése: a hallgatók készítsenek saját kezűleg a rendelkezésükre bocsátott szilícium szeleteken a technológiai leírás alapján, adott maszk-sorozat felhasználásával SSI szintű p-csatornás MOS integrált áramköröket, melyeket tokozás után minősítenek. A maszkokat szintén hallgatók tervezték egy korábbi Tudományos Diákköri munka kapcsán.

1.1. Az áramkörök ismertetése

Valamennyi chip tartalmaz 2 db. 4 bemenetű NOR-kaput különböző geometriájú aktív terheléssel és



1. ábra. Laboratóriumunk egyik diffúziós kályhája

Beérkezett: 1983. VI. 6.



HARSÁNYI JÓZSEF

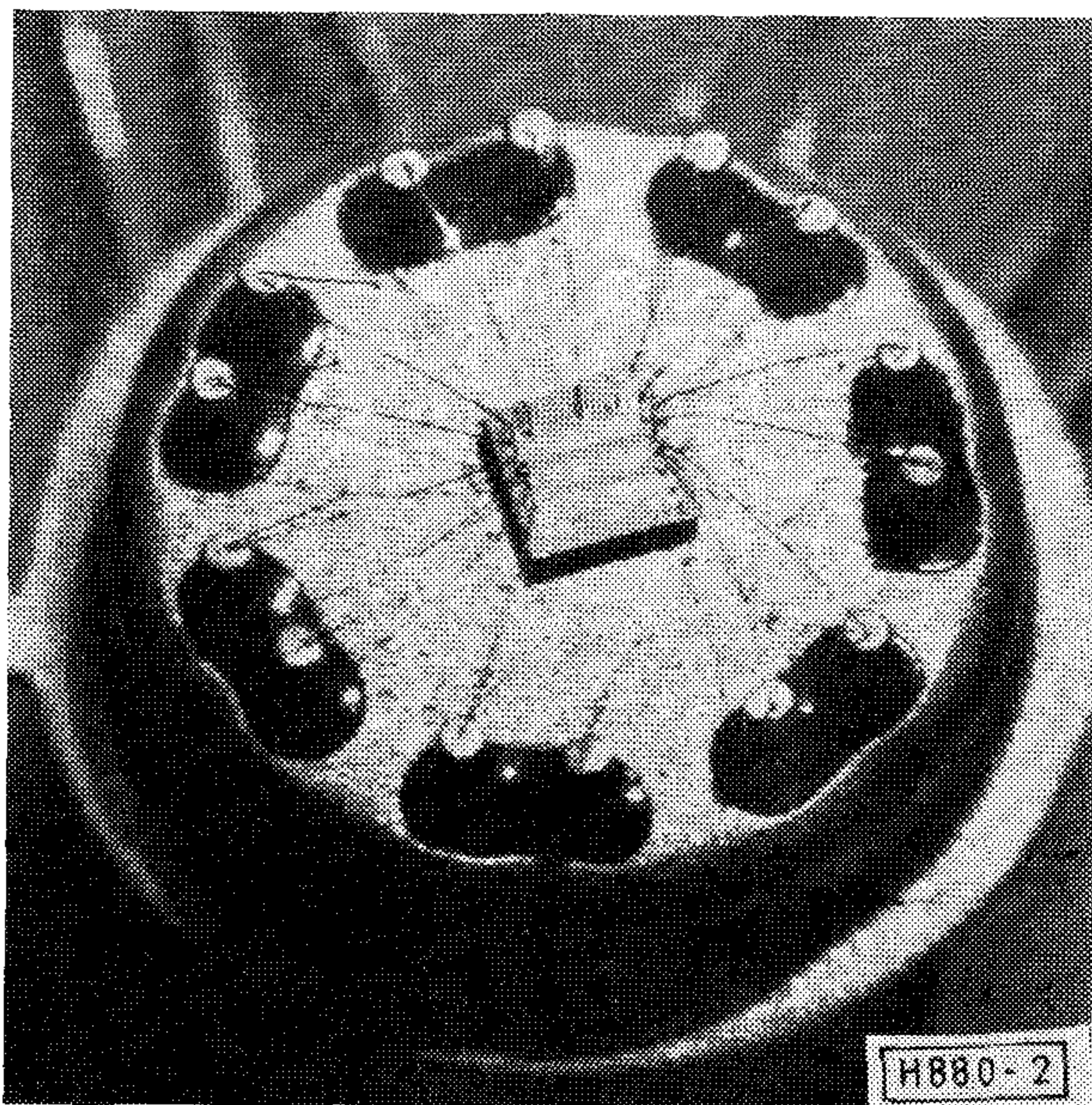
1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnika Szakán. Azóta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, mint tanszéki mérnök. Tématerülete: polikristályos szilícium diffúziós tulajdonságainak vizsgálata, kémiai érzékelők -félvezetőtechnikai megvalósítása, és a félvezetők technológiájának gyakorlati oktatása.



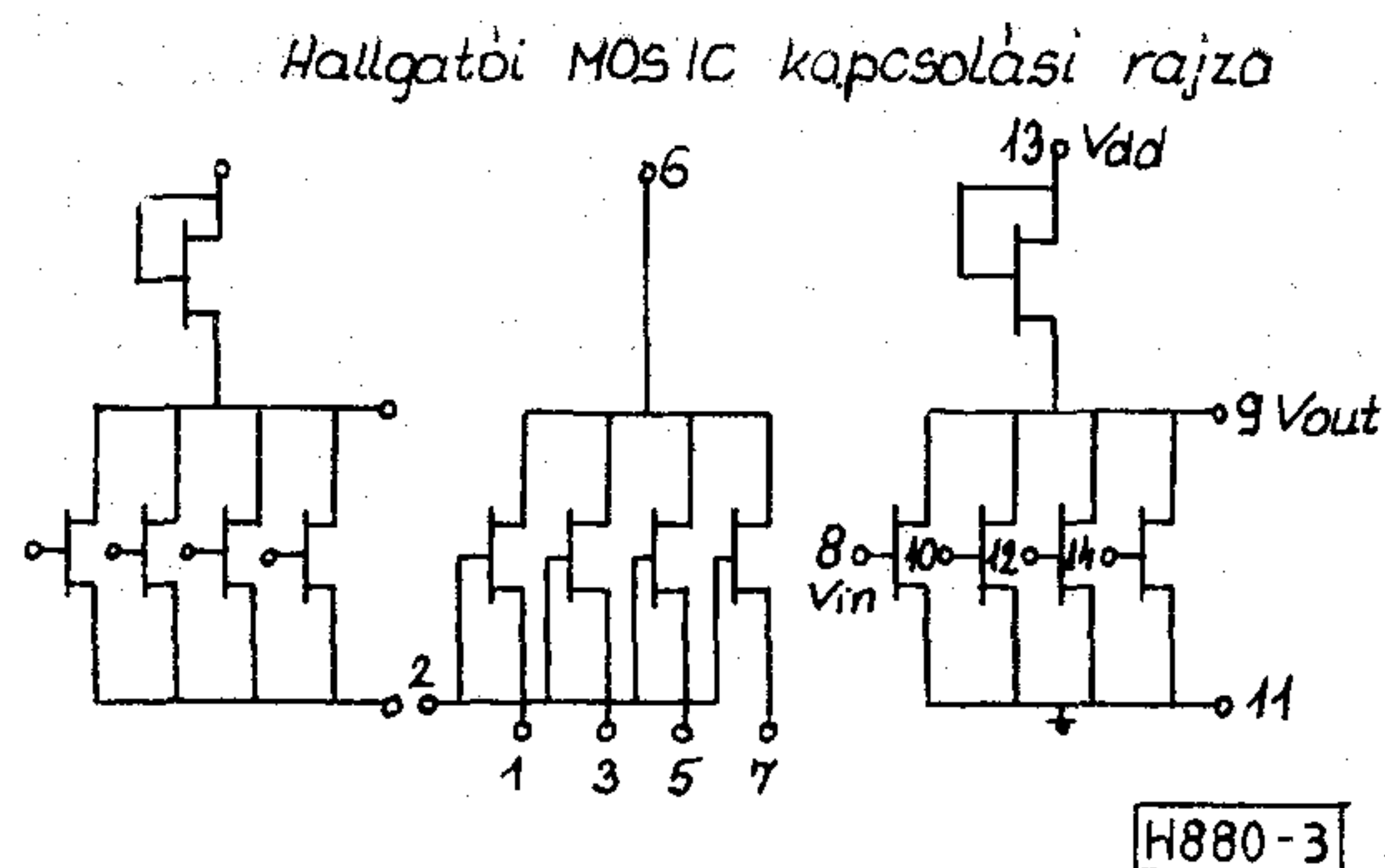
DR. MIZSEI JÁNOS

1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Elektronikai Technológia Szakán. Tanulmányait nappali tagozatos szakmérnök hallgatóként folytatta, 1977-ben kutató-fejlesztő szakmérnöki diplomát, 1979-ben egyetemi doktori fokozatot szerzett. 1977 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, jelenleg mint adjunktus. Tématerülete: félvezetők technológiája, fénoxid-félvezető alapú gáz szenzorok fejlesztése, félvezető vékonyrétegek vizsgálata.

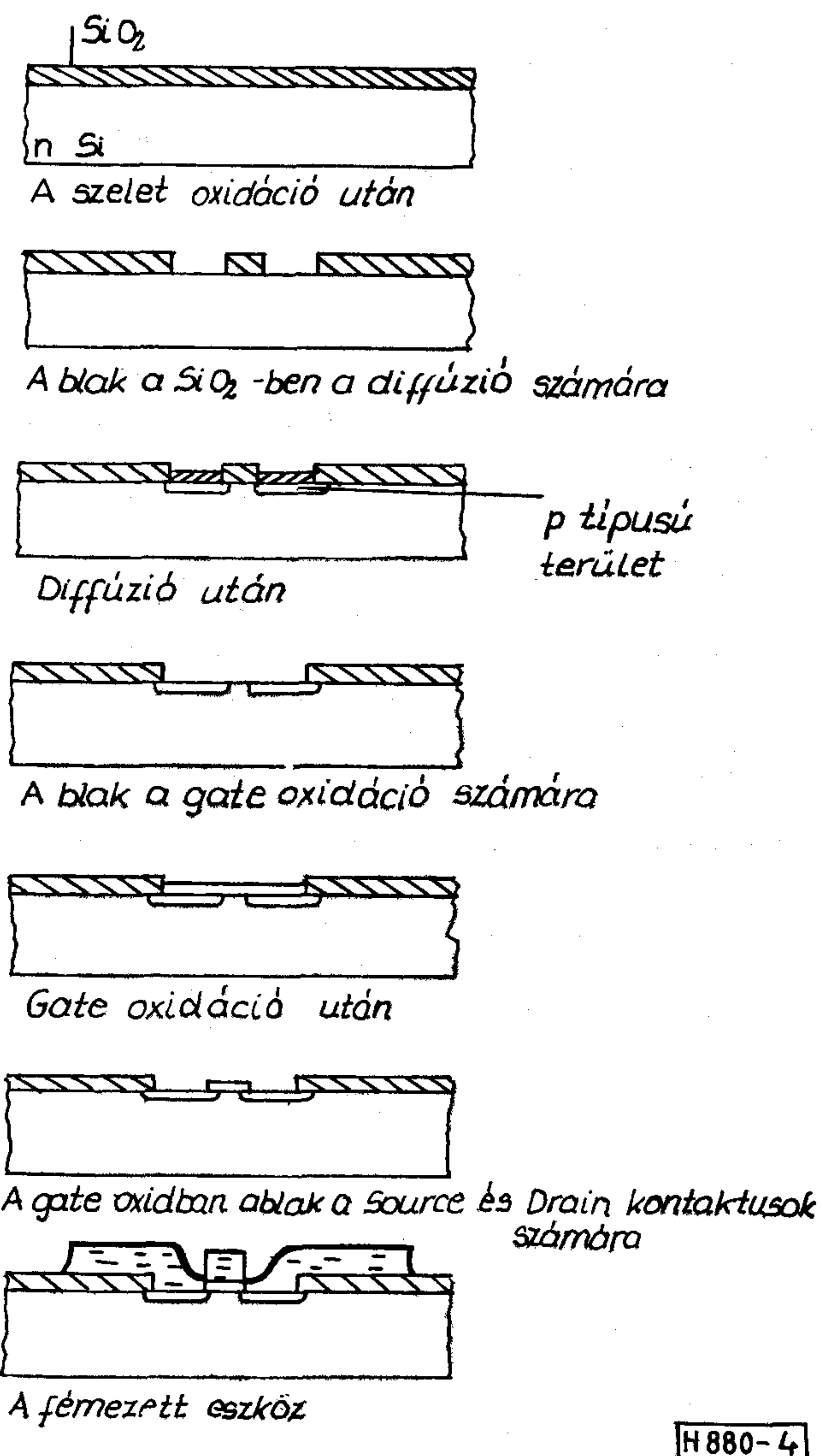
egy tranzisztorcsoportot, melyek elektromos bekötése változtatható, így az elektromos karakterisztikák és a geometria közötti összefüggések vizsgálhatók (2. és 3. ábrák).



2. ábra. Egy elkészült IC fényképe



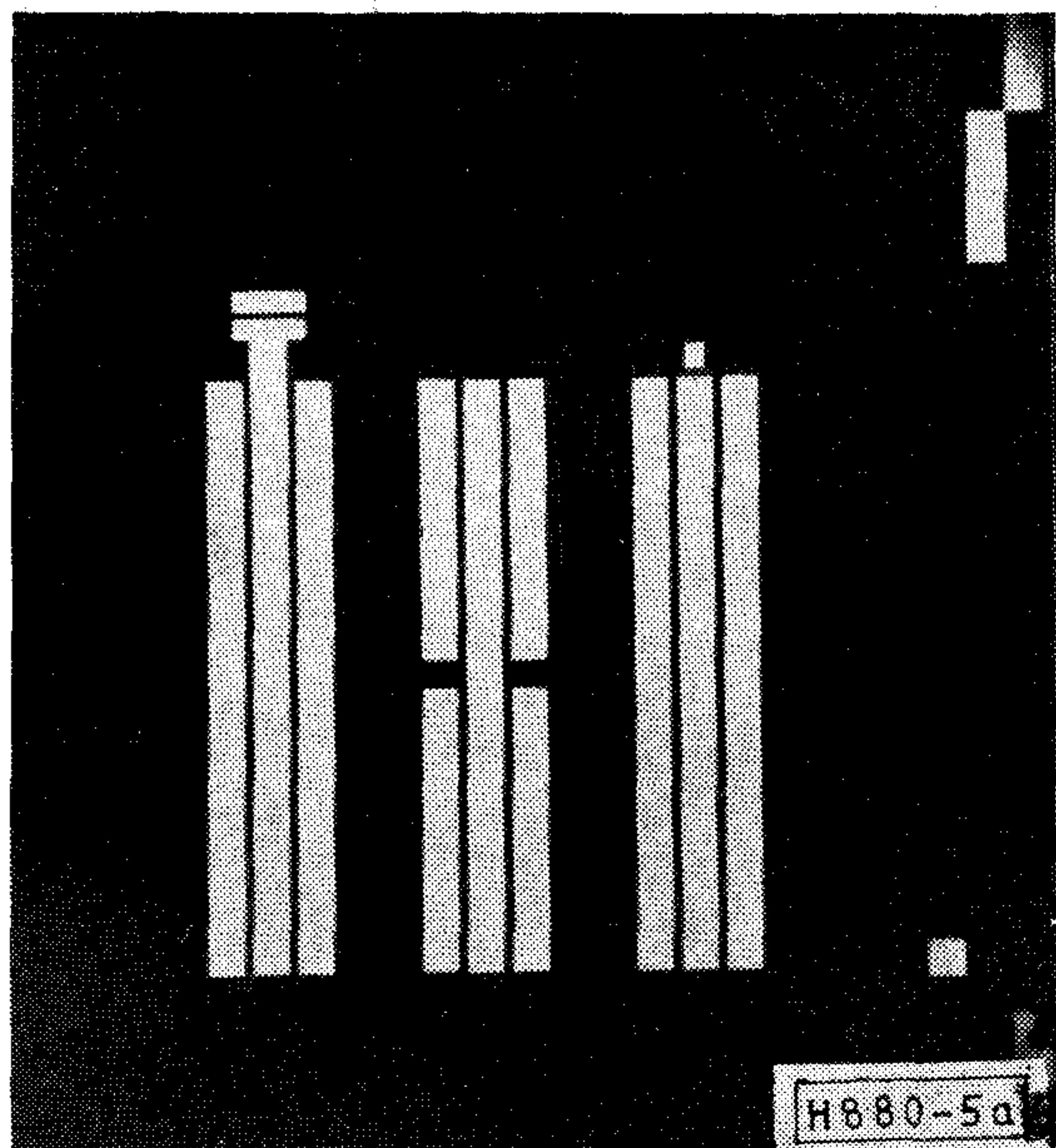
3. ábra. A 2. ábrán látható IC elektromos kapcsolási rajza



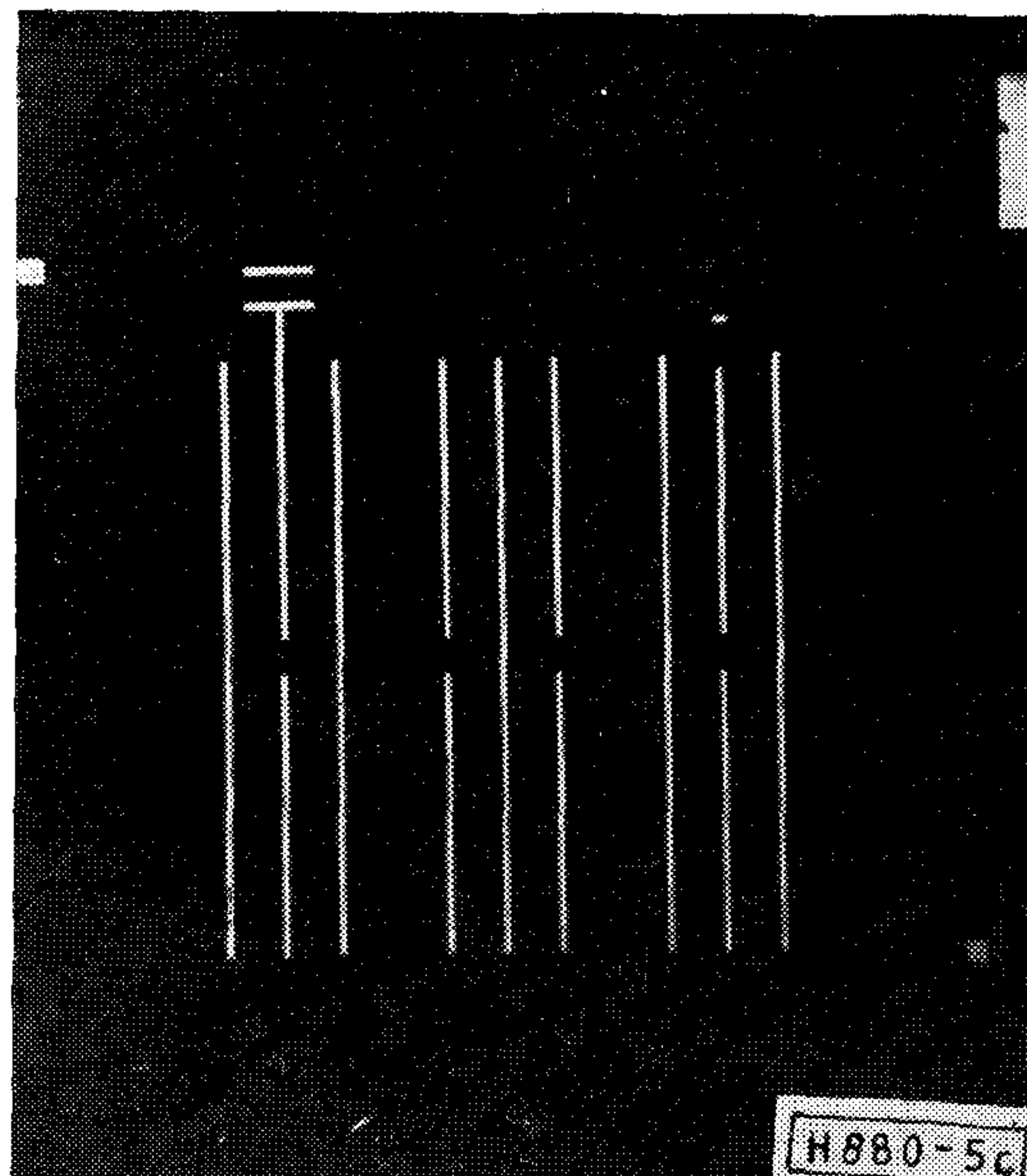
4. ábra. A MOS IC készítésének vázlatos menete

1.2. A technológiai lépések ismertetése

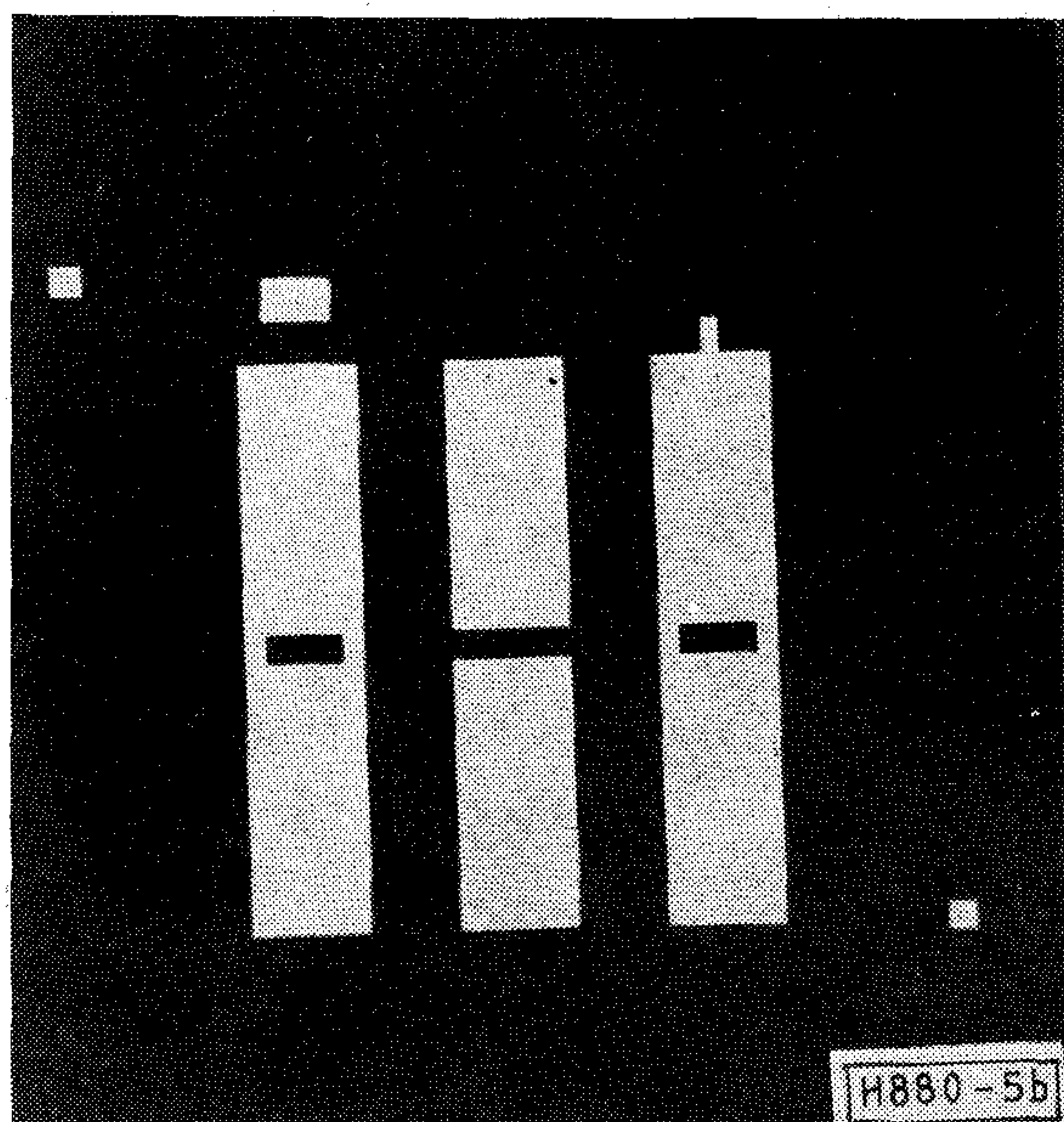
A p-csatornás MOS IC készítésének menete a 4. ábrán látható. A teljes ciklus mintegy 25 órát vesz igénybe, amit 5 gyakorlatra bontottunk.



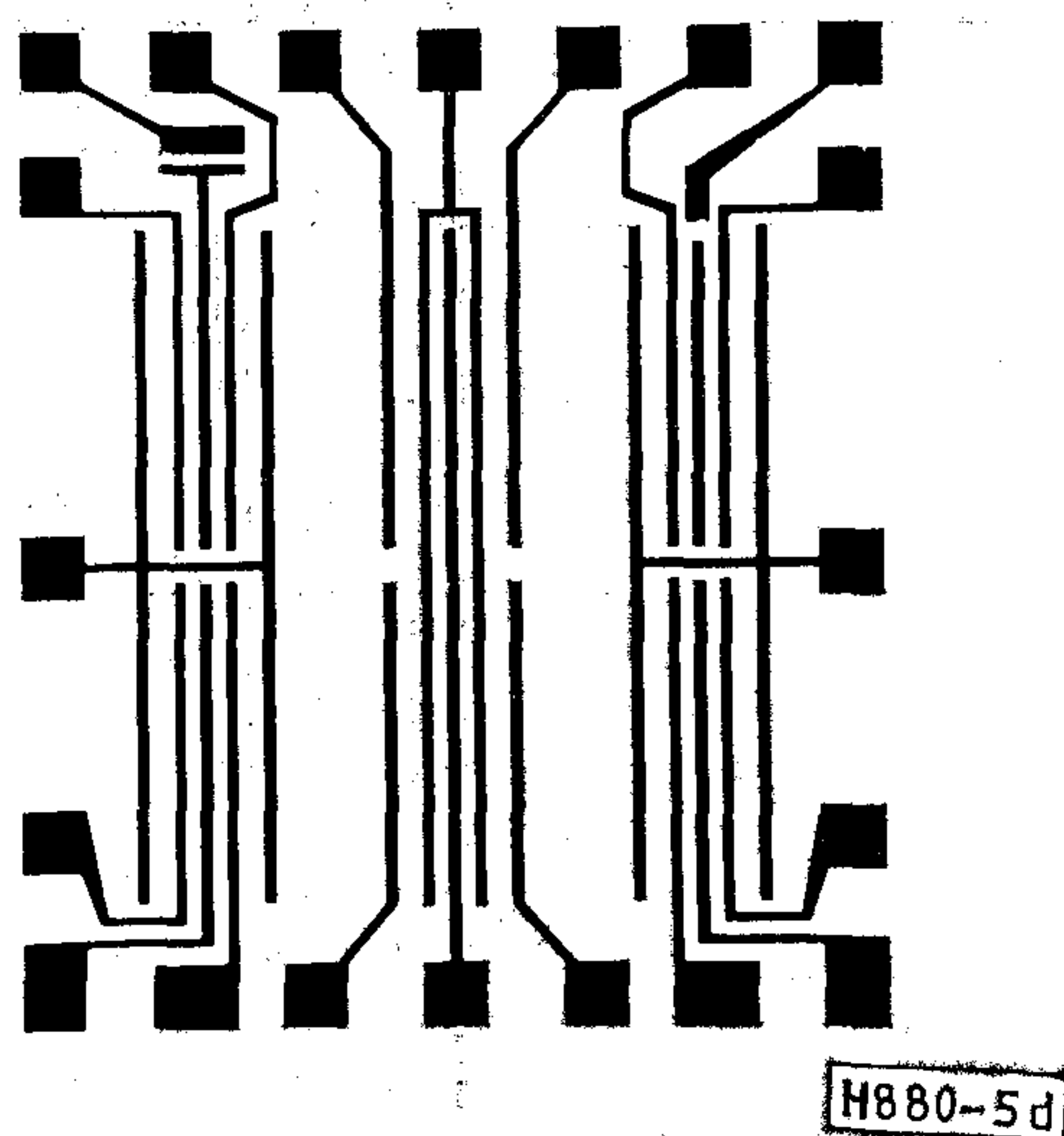
5. ábra. Maszksorozat
5a ábra. Diffúziós ablak



5c ábra. Kontaktus ablak



5b ábra. Gate-oxid ablak



5d ábra. Fémmező ábra

1.2.1. Első gyakorlat

Célja: Ismerkedés az alapanyaggal (típus és fajlagos ellenállás mérése), valamint az első kémiai tisztítás után 500 nm mező-oxid növesztése. (Oxidvastagság mérése.)

1.2.2. Második gyakorlat

Célja: Source és drain kialakítása bór diffúzióval. A hallgatók fotolitográfiai eljárással ablakot nyitnak a mező-oxidban a S-D helyi diffúzió számára (5a ábra).

Bór kétlépéses diffúziója (BN forrásból).

A bór diffúzió minősítése (rétegellenállás, behatolási mélység mérése).

1.2.3. Harmadik gyakorlat

Célja: MOS-oxid létrehozása (90 nm).

Újabb fotolitográfiai lépéssel ablaknyitás MOS-oxid számára (5b ábra). Felülettisztítás után MOS-oxid növesztés HCl-val tisztított kvarccsőben. 1100 °C hőmérsékletű hőkezelés. Kísérő szeleten készített MOS kapacitás C-V görbéinek felvétele. A görbék kiértékelése U_{FB} , U_T , C_{OX} , C_{inv} , d_{OX} , N_{SS} , és a szilícium adalékkoncentrációjának meghatározása.

1.2.4. Negyedik gyakorlat

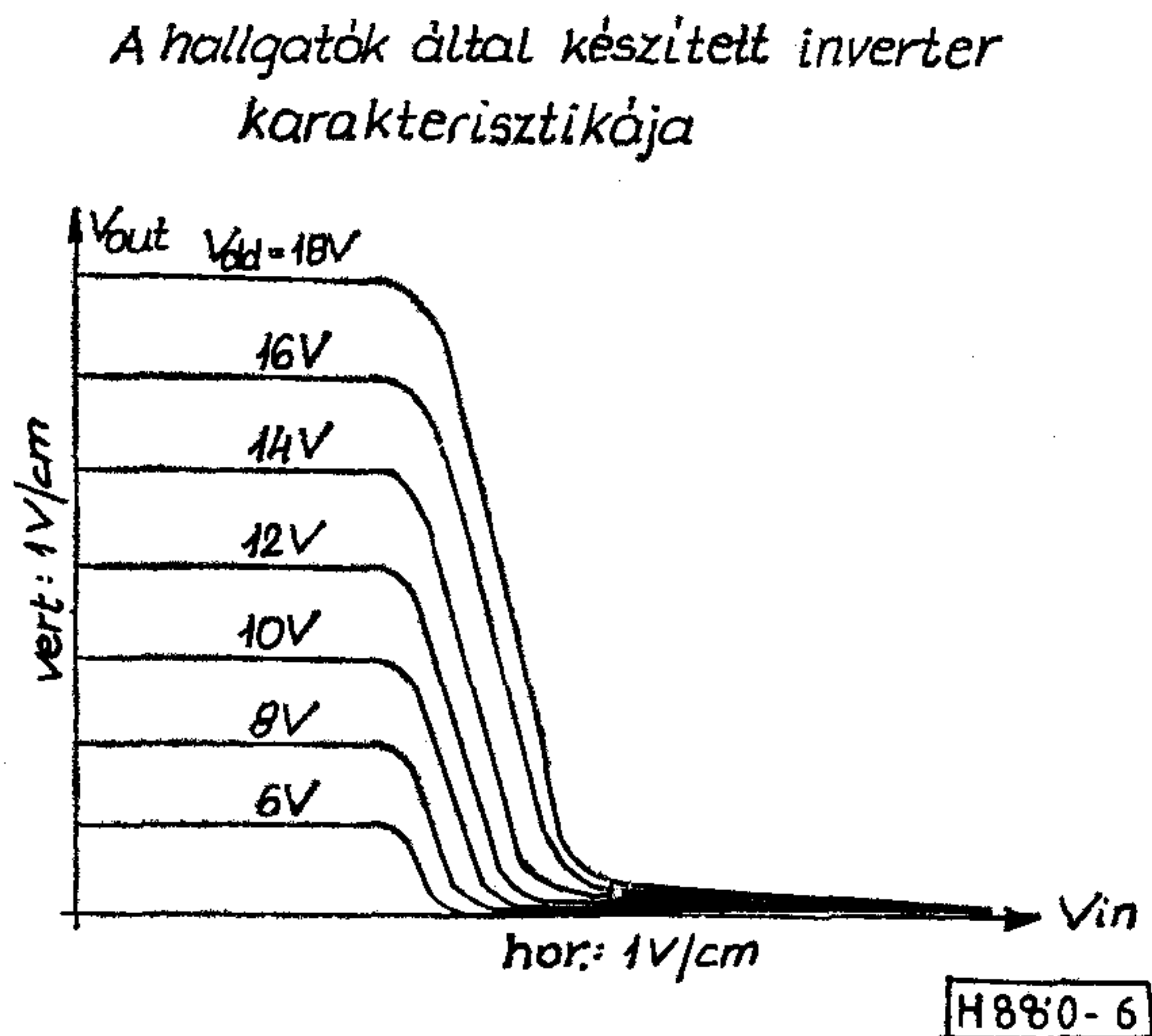
Célja: fémmezés kialakítása.

Fotolitográfia útján kontaktus ablakok nyitása (5c ábra).

Alumínium vákuumgőzölése.
Fémezési ábra maratása (5d ábra).
Alacsony hőmérsékletű hőkezelés.

1.2.5. Ötödik gyakorlat

Célja: kész eszközök minősítése.
Szeleten való tranzisztor mérés és szeletminősítés.
Darabolás, tokozás, IC-karakterisztikák mérése (6. ábra).



6. ábra. Inverter karakterisztikák

2. Önálló laboratóriumi feladatok

Amint az előbbieken már utaltunk rá, az órarendbe illesztett laborgyakorlatok során kellő jártasságot szerzett hallgatók a későbbiekben nagyobb önállóságot igénylő feladatokat kapnak, melyeket az „Önálló laboratórium” elnevezésű tárgy keretében, de viszonylag szabad időbeosztással és igen sok önálló munkával oldanak meg. Ezek a feladatok kapcsolódnak az Elektronikus Eszközök Tanszék ipari, vagy állami megbízás keretében végzett tevékenységéhez, valamint az ezeken túlmenő tanszéki kutatómunkákhoz. A feladatok jellegük szerint két nagy csoportra oszthatók: a technológiai eljárások és berendezések fejlesztésére, valamint különleges elektronikus eszközök fejlesztésére. Természetesen ez a felosztás nem jelent elválasztást is egyben, mert a két terület kapcsolata igen szoros: a technológiai fejlesztések rendszerint az eszközfejlesztés céljait szolgálják:

2.1. Technológiai eljárások fejlesztése

Ebben a témakörben dolgozó hallgatók feladata egy technológiai folyamat valamelyik részének elmélyültebb megismerése. A megismerésben olyan szintig kell eljutniuk, hogy az egyes technológiai paraméterek változtatásának hatásait tisztázhassák, s így a lehető legjobb eljárást megtalálják. Ezzel kapcsolatban gyakorlati ismereteket kell hogy szerezzenek azokról az eljárásokról, melyekkel eldönthetik, hogy az általuk kifejlesztett résztechnológiák hogyan minősíthetők és illeszkednek-e az előttiük és utánuk következő technológiai lépések közé.

A teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány jelentősebb hallgatói munkát a technológiai fejlesztés területéről: szilícium oxidációjának vizsgálata (sósavas és triklóretilénis közegben is), diffúziós források vizsgálata, kémiaileg lecsapatott vékonyrétegek előállítása (CVD SiO_2 , SnO_2 , Al_2O_3), diffúzió polikristályos szilíciumban, vékonyrétegek előállítása katódporlasztás segítségével (SiO_2 , Al_2O_3 , SnO_2 , Pt, Pd stb.).

A technológiai fejlesztés fogalmát szélesen értelmezzük. Ide sorolhatjuk azokat a modellkísérleteket is, melyek a tanszéken fejlesztés alatt álló technológiai eljárások számítógépes szimulációját megvalósító program ellenőrzését célozták, és azokat a technológiákkal kapcsolatos szilárdtestfizikai és kémiai vizsgálatokat (Si-SiO_2 határfelületi állapotok, Si alapanyag hibastruktúráinak és egyéb tulajdonságainak kutatása), amelyekkel az adott technológiákhoz (bipoláris, nMOS, CMOS stb.) leginkább illeszkedő anyagtulajdonságokat kívánjuk felderíteni.

2.2. Eszközfejlesztési feladatok

Az eszközök fejlesztési területén dolgozó hallgatók elé valamilyen működő eszköz előállítását tűzzük ki elérendő célként. A munka során a hallgatók konstrukciós és technológiai ismereteket szereznek, de elősegíti ez a tevékenységük az általában használt elektronikus eszközök (bipoláris tranzisztorok, diódák, FET-ek) fizikájának jobb megértését is, hiszen az általuk előállított speciális eszközök működése valamilyen formában visszavezethető a korábban már megismert „közönséges” eszközöknél szereplő alapvető elvekre. Az önálló laboratóriumi munkák keretében a következő eszközök fejlesztésében vettek részt hallgatóink: különleges MOS eszközök (Pd vezérlő-elektrodás MOST gázérzékelő, PH-érzékelő, ISFET, alagút effektuson alapuló MISS és MAOS struktúrák), SnO_2 félvezető vékonyréteg gázdetektorok, Pt vékonyréteg hőmérő, Schottky dióda, nyomásérzékelő tranzisztor.

3. Következtetések

A mérnöki tevékenység a mikroméreteket irányába tört utat. Az általunk képzett mérnökök mikrostruktúrákat terveznek, és azok technológiáját dolgozzák ki. Az említett eljárások újszerűek, és egy új tudományág fejlődésének eredményei. Ez azt is jelenti, hogy minőségileg sem hasonlítható a hagyományos mérnöki tevékenységhez a mikroelektronikai mérnök munkája.

A gyakorlatainkon elvégzett mérési módszerek és vizsgálati eljárások erre a mikrovilágra irányulnak, és lehetőséget adnak a hallgatók számára, hogy a maguk részére ezekből a mérési módszerekből egy fegyvertárat építhessen ki, amely a mikroelektronika komplex világába direkt betekintést adhat. Ettől függetlenül ezek a mérési eljárások a „hasznos” tananyag részét képezik, és a mérnöki munka során alkalmazott ismeretek.

Jelentősnek tartjuk a szigorú értelemben vett félvezető technológiai ismeretek megszerzésén túlmenően a laboratórium működtetésével kapcsolatos is-

meretek megszerzését. (A mérnök munkájának eredményessége nagy részben attól is függ, hogyan tudja megteremteni a munkavégzés feltételeit. Ez részben műszaki, részben gazdasági, ill. szervezési kérdés.)

Nem elhanyagolhatók ezen oktatási formában rejlő pedagógiai lehetőségek sem:

- A hallgatók alaposabb megismerése szorosabb csatolást tesz lehetővé az ismeretátadás és a hallgató ismeretei között. Ez fokozza az oktatás hatékonyságát.
- Az állandó oktatói ellenőrzés és a gyakorlat próbakő jellege a hallgatóban is fejleszti az önkontrollt. A laboratórium oktatói ezt a munkát igyekeznek „fájdalommentesen” elvégezni, hogy az önkontroll elől ne meneküljön a hallgató, hanem a mérnöki tudat e nélkülözhetetlen komponensét erősítse magában.
- A kiscsoportos gyakorlatok során számos alkalom nyílik nevelési tevékenységre, amely a hallgatók felelősségérzetének kiterjesztését (diákból mérnökké válás) és tudatosítást jelent.
- A későbbi önálló laboratóriumi gyakorlatok során lehetőséget adtunk a hallgatóknak, hogy bizonyos irányító-szervező jellegű szerepet

játszhassanak a laboránsokkal együtt végzett munkában.

- Jelentősnek tekintjük, hogy tapasztalatot szerezhetnek a team-munka területéről a közös feladatok csoporton belüli megosztása során.
- A laboratóriumi gyakorlatok igen alkalmasak a tehetséges hallgatók esetében az alkotói képességek csíráztatására, illetve a kevésbé tehetségesek esetében a kezdeti nehézségeken való átsegítésére.

Legkiemelkedőbb pedagógiai lehetőségeink a hallgatók kutatómunkába történő bevonása esetén adódnak. Valódi kutatási tapasztalatokkal távoznak az egyetemről azok a hallgatók, akik asszisztálhattak oktatóik kutatásainál.

Számuk nem nagy, de tapasztalataink alapján állíthatjuk, hogy mérnöki munkájukat eredménnyel végzik.

Végezetül megjegyezzük, hogy a mikroelektronikai iparban elhelyezkedő hallgatóinknak is laboratóriumunk az egyetlen lehetőség a teljes technológiai láncolat áttekintésére, mivel a fokozódó munkahelyi szakosodás miatt ez az iparban már alig lehetséges.

Folytatás a 498. oldalról

ELŐREJELZÉS AZ ADATÁTVITELI BERENDEZÉSEK EURÓPAI PIACÁRA

A Frost and Sullivan piackutató cég az adatkommunikációs berendezéseinek európai piacára a következő öt évre évi 15,7% növekedést jelez. 1981-es dollárban számolva a piac az 1981-es 293,8 millió dollárról 1986-ra 609,8 millió dollárra növekszik, illetve a teljes 1982–86-os időszakra 2,39 milliárd dolláros forgalomra számítanak. A piac domináns elemét a modemek alkotják: 1981-ben 142 500 db-ot adtak el 241,9 millió dollár értékben. A darabszám 1986-ra valószínűleg közel megháromszorozódik (406 000), értéke megkétszereződik (458,9 millió dollár). Öt év alatt kb. 1,44 millió modemet fognak eladni összesen 1,88 milliárd dollár értékben. Nem ennyire optimista az előrejelzés a programozható koncentrátorok esetében. Részesedésük állandóan csökkenni fog (1981: 7,3 millió dollár, 1986: 2,6 millió dollár) a statisztikus multiplexerek terjedése következtében. Növekedni fog a hálózati vezérlő rendszerek eladása is az 1981-es 8,67 millió dollárról 29,6 millió dollárra 1986-ra. A többi berendezéstípus várható forgalomnövekedése: 1981: 910 000 dollár, 1986: 6,58 millió dollár. Az adat kommunikációs berendezés fő piaca az NSZK, Franciaország és Nagy-Britannia. Messziről követi ezeket negyedikként Olaszország, de itt — éppen az alacsonyabb szint miatt — nagyon gyors növekedés várható, akárcsak Spanyolországban, Hollandiában és Belgiumban. (Communications Engineering 6. sz. 1982. dec. [1125])

FÉNYVEZETŐS ÁTVITELI RENDSZEREK MÉRLETEZÉSE

A Burr Brown cég FOT/FOR 110 típusú optikai átviteli rendszerekhez kidolgozott adó-vevő áramkör-családja számos gyártó által kínált konfekcionált fényvezető kábellel kapcsolható össze átviteli rendszerre. Több kilométeres átviteli szakaszok kialakításához alkalmazhatók. Az adók kimenő teljesítménye beállítható. A FOT 110 KG típus 665 nm hullámhosszú látható fénnel, a FOT 110 KG-IR típus a 880 nm-es infravörös tartományban működik. A FOR 110 KG vevő az erősítést széles tartományban saját maga szabályozza. A fényvezetőbe táplált teljesítmény egy normált egyenletből becsülhető. Ez a vezető átmérő és a numerikus appertúra ill. az adó kimenő teljesítményének függvénye. Az átviteli szakasz csillapítása a kábel specifikus csillapításából és hosszából, valamint a csatlakozások illesztési csillapításából határozható meg. A kábel kimenetén kapható teljesítmény pedig a betáplálható teljesítmény és a szakasz csillapítás függvénye. Megfordítva a sorrendet, ismerve a vevő bemenetén szükséges minimális teljesítményt (a megszólalási teljesítményt), a kábel specifikus csillapítását, a csatlakozások illesztési csillapítását és az adó teljesítményt, meghatározható az alkalmazható maximális kábelhossz. A cikk az egyes egyenleteket általános formában is megadja, de két példán: műanyag szál és üvegszál fényvezető példáját bemutatja a FOT/FOR családdal elérhető értékeket. (Elektronik Informationen 11. sz. 1982. [1121])

Folytatás az 508. oldalon

Többrétegű struktúrák technológiai modellezése

DR. TARNAY KÁLMÁN — DR. MASSZI FERENC —
DR. DROZDY GYŐZŐ*

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
*MTA Központi Fizikai Kutató Intézet
Mikroelektronikai Kutató Intézete



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatja a STEP (Silicon Technology Evaluation Program) félvezető technológiai szimulációs programrendszer továbbfejlesztésében legutóbb elért eredményeket. A program jelenleg már modellezi a Si/SiO₂ struktúráknál bonyolultabb, például poliszilíciumot és szilíciumnitridet is tartalmazó többrétegű struktúrákban lejátszódó adaléktranszportot. Ennek megoldása a több határfelülettel rendelkező többrétegű struktúrák, valamint az oxidációs és nitridálási folyamatok irodalomból ismert modellezési módszereinek kiterjesztését igényelte. A cikk bemutatja a probléma megoldására kidolgozott új algoritmust, mely az eddig ismertekkel szemben többrétegű struktúrák esetén az időben eltolódó határfelületekkel is biztosítja a megoldás konvergenciáját. (▲)

1. Bevezetés

Az elmúlt években az egyre bonyolultabb elrendezésű és vertikális struktúrájú LSI és VLSI áramkörök tervezésének minden fázisa egyre több és több számítógépes segítséget igényelt. A különböző áramköri és logikai szimulációs, valamint hibaszimulációs programok mellett megjelentek a technológiai folyamatok szimulációs vizsgálatára alkalmas programok is. E programok közül úttörőnek tekinthető a Stanford Egyetem Integrált Áramköri Laboratóriumában Dutton, Hansen és Antoniadis által kidolgozott SUPREM (Stanford University Process Engineering Models) program, melynek első változata 1977-ben készült el [1]. A technológiai szimulációs programokkal fizikailag megalapozott, vagy formális modellek alapján vizsgálni lehet a különböző rétegleválasztási és növesztési, maratási és adalékolási folyamatokat. A programok jelentős segítséget tudnak nyújtani a technológia optimalizálásában és a kialakítandó struktúra elektromos paramétereinek (négyzetes ellenállások, küszöbfeszültség stb.) kívánt értékre való beállításában. A technológiai szimulációs programok egy- vagy kétdimenziós vizsgálatok elvégzésére alkalmazhatók.

Az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetével együttműködve a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén 1978-ban kezdtük el a STEP (Silicon Technology Evaluation Program) technológiai szimulációs programrendszer kidolgozásával kapcsolatos kutatásokat [2]. Munkánk előrehaladtával eredményeinkről több közleményben is beszámoltunk [3], [4], [5], [6]. A STEP programot olyan irányban fejlesztettük tovább, hogy a szilícium/szilícium-dioxid kétrétegű struktúráknál bonyolultabb, pl.

SiO₂ — polySi — SiO₂

Si₃N₄ — Si

struktúrákban lejátszódó adaléktranszportot is ké-

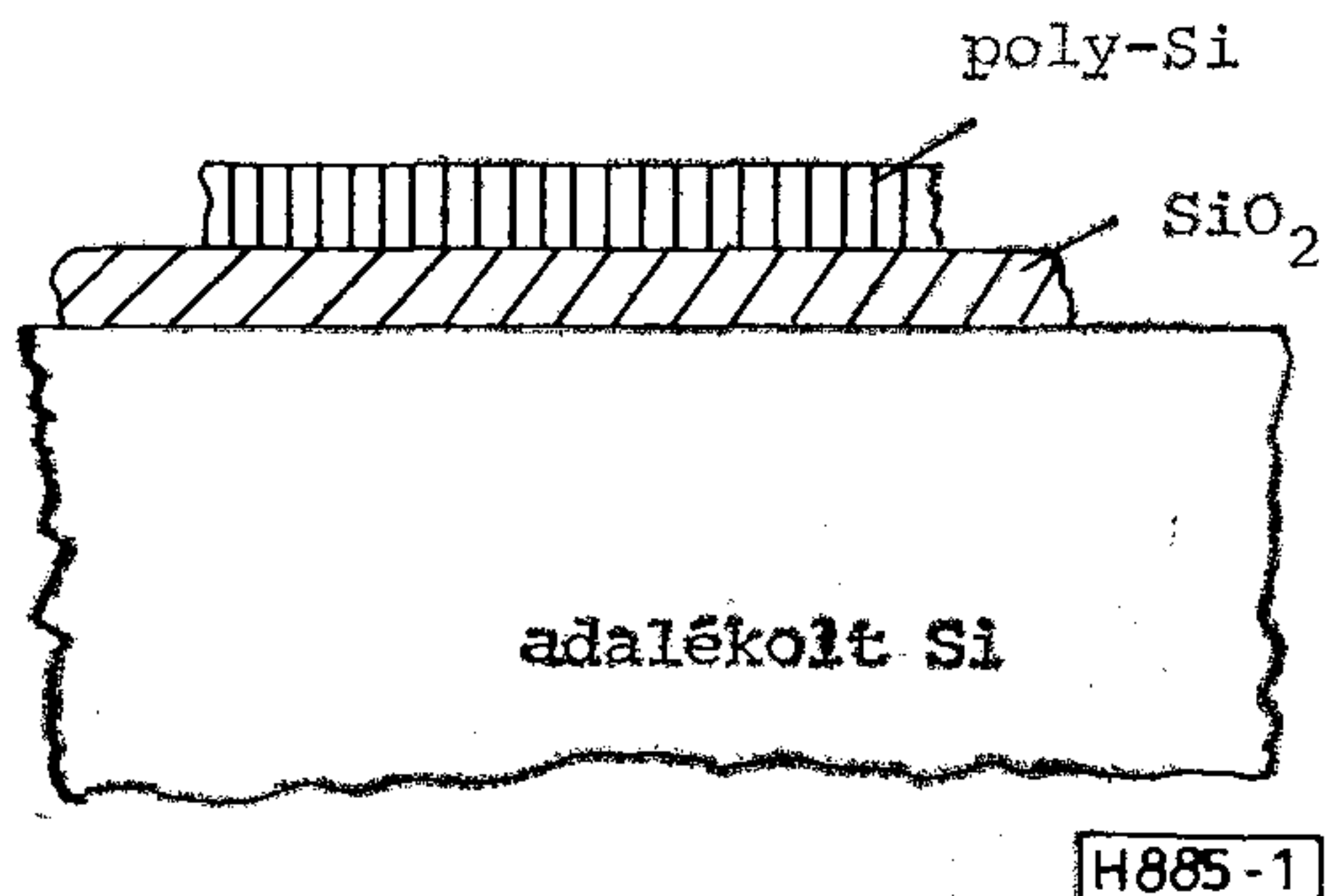
DR. TARNAY
KÁLMÁN

1952-ben szerzett oklevelet a BME Villamosmérnöki Karán. 1961-ben megvédett műszaki egyetemi doktori értekezésében a tunneldiódák elméletével foglalkozott, 1967-ben kandidátusi fokozatot szerzett a térvezérelt eszközök kapcsolóüzemű működését tárgyaló disszertációjával. 1983-ban az Uppsala-

lai Egyetem Matematikai és Fizikai Szekciójának a félvezető eszközök modellezése terén elért eredményeiért díszdoktorává választotta. Jelenleg a BME Elektronikus Eszközök Tanszékének tanszékvezető docense. A HTE Félvezető Eszközök és Integrált Áramkörök Szakosztályának elnöke, a HTE Elnökségének tagja. Tagja több akadémiai és MTESZ bizottságnak.

pes legyen modellezni. Ennek megoldása a több határfelülettel rendelkező többrétegű struktúrák, valamint az oxidációs és nitridálási folyamatok irodalomból ismert modellezési módszereinek kiterjesztését igényelte. (A nitridálással kapcsolatos programfejlesztést a BME Elméleti Villamosságtan Tanszékről dr. Zombory László és dr. Veszely Gyula végezte.) A több határfelülettel rendelkező struktúrák esetén az irodalomból ismert parciális differenciál-egyenletrendszer megoldó módszerekkel nem lehetett a megoldás konvergenciáját megbízhatóan elérni, ezért egy — közbenső határfeltételekkel számoló — új algoritmust dolgoztunk ki, amely a megfelelően megválasztott közbenső határfeltételekkel a többrétegű struktúra esetében időben eltolódó határfelületeknél is biztosítja a megoldás konvergenciáját.

Jelen közleményben az elméleti alapok áttekintése után e munkának egy olyan részletét mutatjuk be, amely az oxidációs folyamat közben egyre hátrább tolódó Si/SiO₂ határfelület elmozdulásával és az azon át történő adalékvándorlással kapcsolatos. Az 1. ábrán látható egy többrétegű struktúra.



1. ábra. Többrétegű struktúra

Beérkezett: 1983. VI. 6.

2. A technológiai szimuláció főbb funkciói és alapösszefüggései

Az integrált áramköri struktúrák előállításakor az alábbi technológiai műveleteket alkalmazzák:

- Nem magas hőmérsékleten végzett műveletek
 - Oxid- és nitridrétegek leválasztása
 - Poliszilícium leválasztás
 - Ionimplantáció
 - Maratás
- Magas hőmérsékleten végzett műveletek
 - Predepozíció
 - Behajtás
 - Oxidáció
 - Nitridálás
 - Epitaxiális rétegleválasztás
 - Poliszilícium leválasztás
 - Maratás

A magas hőmérsékleten végzett műveletek végzése során a szilíciumban, az oxid- és nitrid-, valamint poliszilíciumrétegekben levő adalékok az adott rétegen belül diffúzió következtében megváltoztatják eloszlásukat, továbbá a határfelületen adaléktranszport lép fel. Az adalékeloszlás időbeli változását a

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = G_i - \text{div } J_i \quad (1)$$

és

$$J_i = -\text{grad } (D_i C_i) \quad (2)$$

Fick-egyenletek írják le. A Fick-egyenletekben:

- C_i az i -ik adalék koncentrációja,
 G_i az i -ik adalék forrassűrűsége (pl. intersticiális $\rightarrow$ szubsztitucionális átmenet, clustering stb.),
 J_i az i -ik adalék fluxusa,
 D_i az i -ik adalék diffúziós állandója.

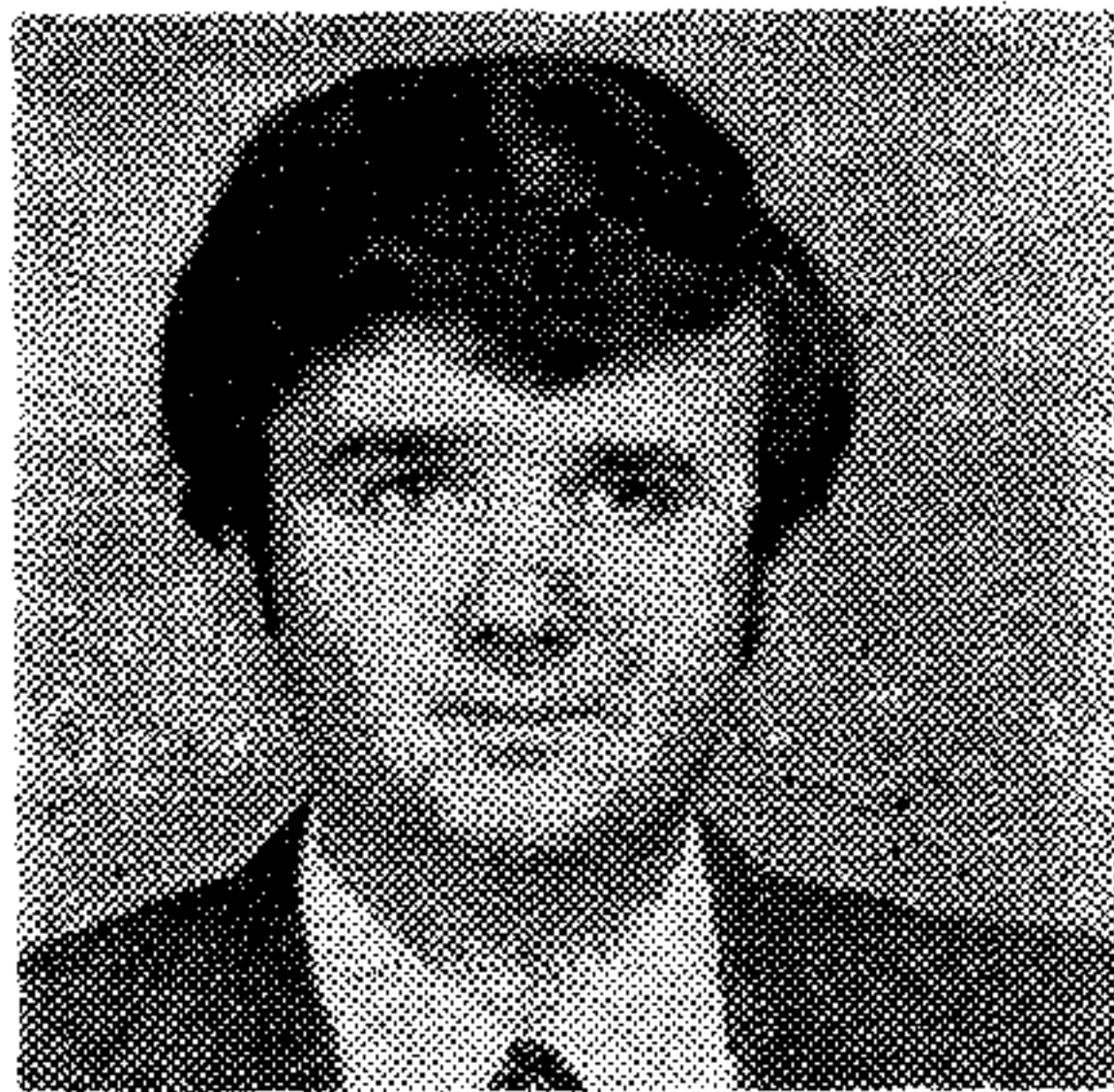
A Fick-egyenletekből származtatható — egyes adalékokra felírt — parciális differenciálegyenleteket a diffúziós állandók közötti kapcsolat csatolja. A diffúziós állandók ugyanis erősebb, vagy gyengébb függést mutatnak az anyagban jelenlevő valamennyi adalék koncentrációjától.

Annak érdekében, hogy az eloszlásokban a fellépő szakadások miatti matematikai problémákat el lehessen kerülni, célszerű olyan megoldó algoritmust alkalmazni, melyben az adott adalékokra vonatkozó differenciálegyenletet minden rétegre egymástól függetlenül írjuk fel, és az egyes rétegek közötti

$$J_i = h_i \left(C_1 - \frac{C_2}{s_i} \right) \quad (3)$$

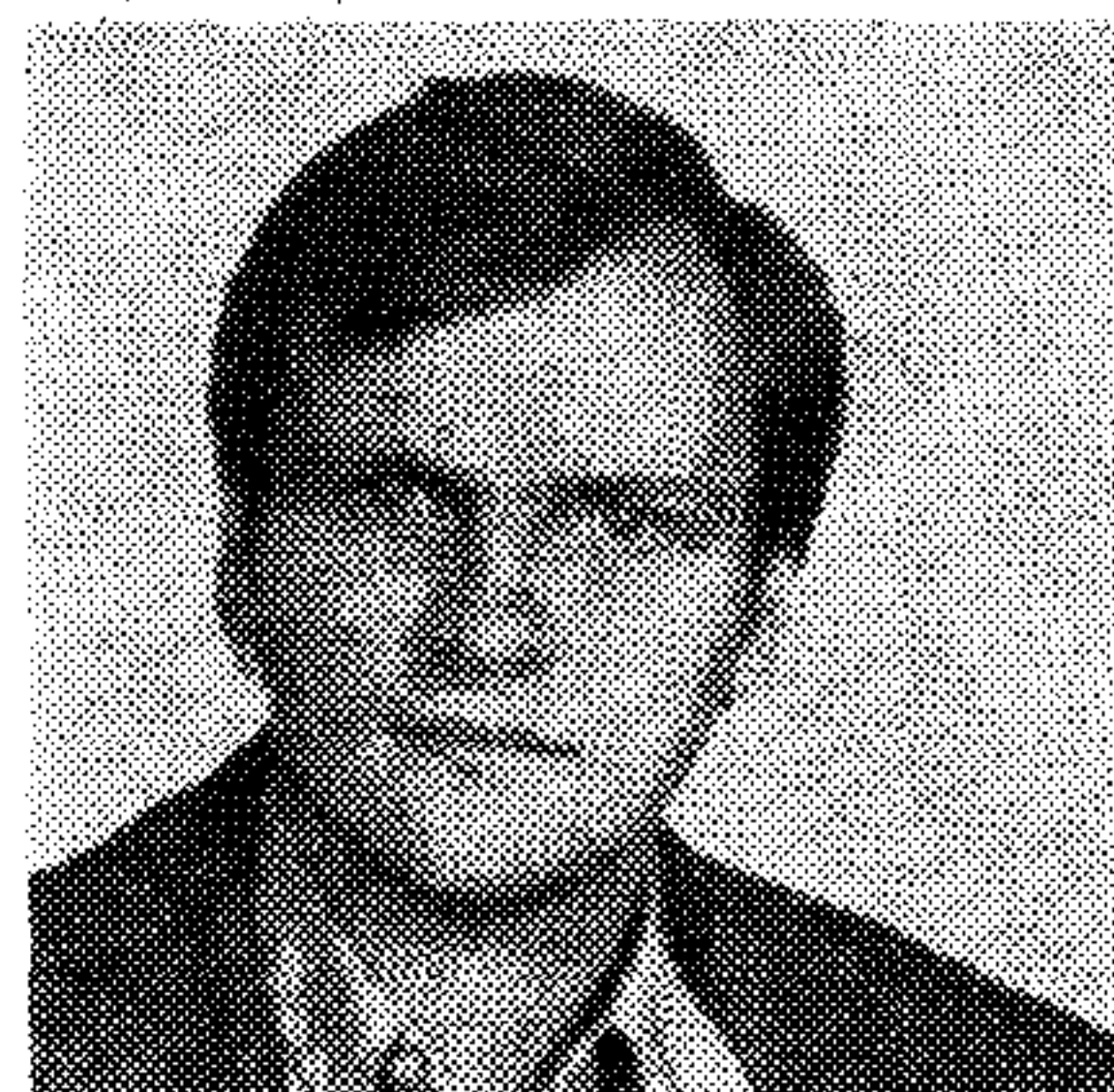
határfelületi fluxus segítségével számolunk (lásd 2. ábra), ahol

- h_i az i -ik adalékokra vonatkozó felületi transzport-tényező,
 s_i az i -ik adalékokra és az adott határfelületre vonatkozó egyensúlyi szegregációs állandó,
 C_1 adalékkoncentráció a határfelület bal oldalán,
 C_2 adalékkoncentráció a határfelület jobb oldalán.



DR. MASSZI
FERENC

1976-ban szerzett kitüntetéses oklevelet a BME Villamosmérnöki Karán. 1978-ban megvédett műszaki egyetemi doktori disszertációjának témája a félvezető memóriaelemek számítógépes modellezése volt. Oklevelének megszerzése óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, jelenleg adjunktusként. Kutatási területe: félvezető struktúrák modellezése, számítógépes tervezés. A HTE Félvezető Eszközök és Integrált Áramkörök Szakosztályának titkára.



DR. DROZDY
GYŐZŐ

1978-ban szerzett oklevelet a BME Villamosmérnöki Kar műszaki fizika ágazatán. Diplomaterével elnyerte a HTE különdíját a diplomatervpályázaton. A KFKI dolgozójaként nappali szakmérnökképzésben vett részt és 1980-ban szakmérnöki oklevelet szerzett. 1981-ben megvédett műszaki egyetemi doktori disszertációjának témája az ionimplantáció számítógépi modellezése volt. Jelenleg tudományos munkatárs a KFKI-ban és másodállású tanársegéd a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén.

Ebből a határfelületi fluxusból nyerhetjük a parciális differenciálegyenlet határfeltételeit.

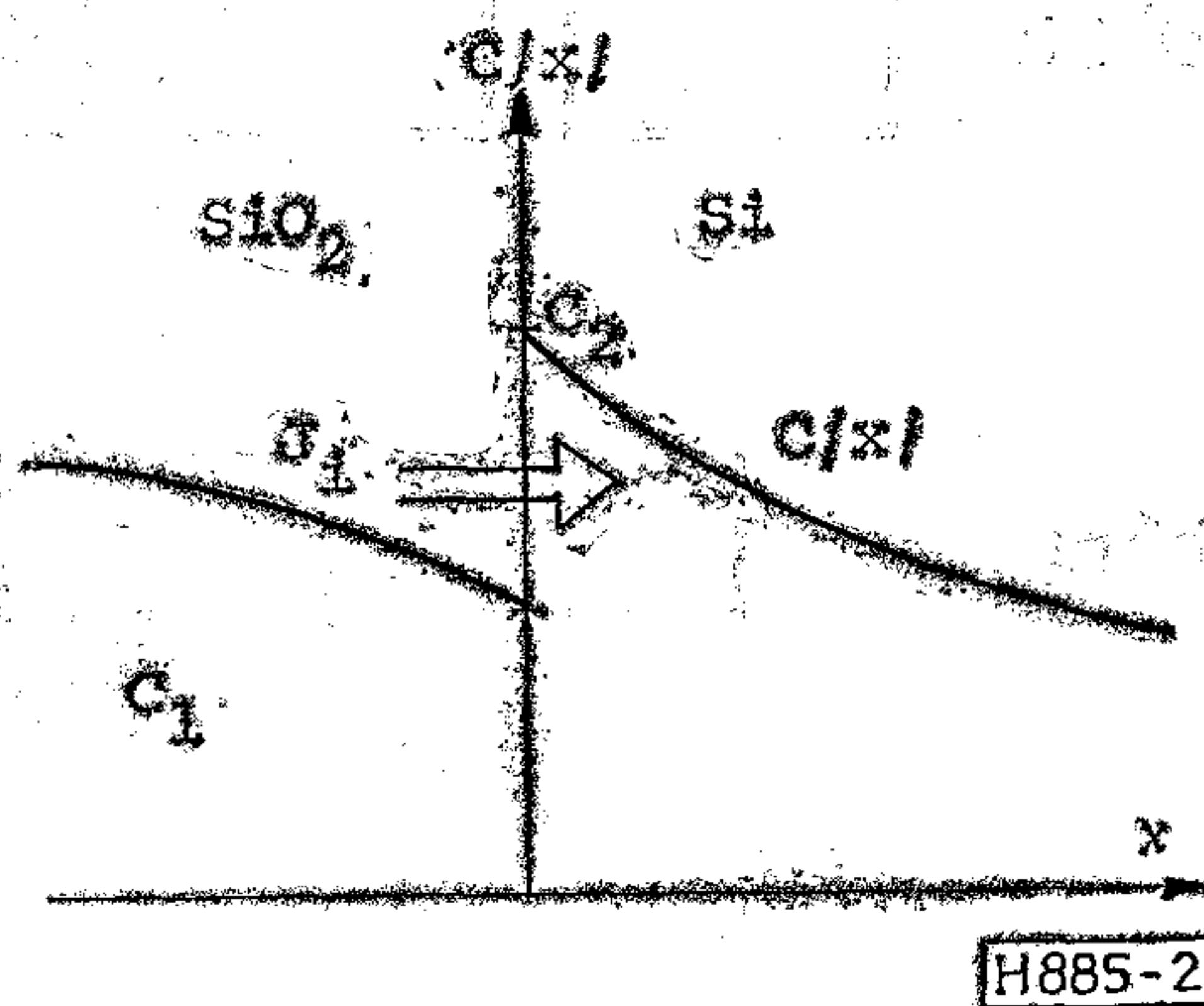
A magas hőmérsékletű folyamatok a SiO_2/Si , valamint a $\text{SiO}_2/\text{poliSi}$ határfelületen oxidáló közeg jelenlétében a határfelület eltolódását is előidézik. Ez a határfelület-eltolódás a

$$J_E = -v_{ox}(C_{ox} - \alpha C_{Si}) \quad (4)$$

járulékos adalékfluxussal írható le, ahol

- v_{ox} az oxidáció sebessége,
 α a $\text{Si}-\text{SiO}_2$ térfogatarány (az egységnyi térfogatú szilíciumból keletkező szilíciumdioxid térfogata).

Megjegyezzük, hogy ilyenkor nem az adalékok áram-



2. ábra. Határfelületi transzport

lásáról van szó, hanem tulajdonképpen a határfelület halad át az adalékokon.

Elemi számításokkal kimutatható, hogy az oxidáció sebessége (az oxidrétegben lineárisan csökkenő oxigénkoncentráció feltételezésével)

$$v_{ox}(t) = \frac{v_{ox}(0)}{1 + \frac{z_{ox}(t)}{d}}, \quad (5)$$

ahol

- $v_{ox}(0)$ az oxidáció kezdeti sebessége zérus oxidréteg vastagság esetén,
- $z_{ox}(t)$ az oxidréteg vastagsága az adott időpillanatban,
- d az oxidáció viszonyait leíró, hosszúság dimenziójú mennyiség.

A fenti összefüggésekben szereplő mennyiségek hőmérsékletfüggők, és feltételezzük, hogy hőmérsékletfüggésük az

$$Y(T) = Y_{\infty} e^{-\frac{W}{kT}} \quad (6)$$

egyetlen aktiválási energiájú Arrhenius összefüggéssel jellemezhető. Ebben az összefüggésben

- W a folyamat aktiválási energiája,
- T a folyamat hőmérséklete,
- k a Boltzmann állandó,
- Y_{∞} az X mennyiség aszimptotikus értéke.

Nem térünk ki részletesen a diffúziós állandók hőmérséklet-, orientáció- és adalékfüggéseire, valamint az oxidáló közeg diffúziós állandót befolyásoló hatására. Ezen hatások leírására megfelelő modellek találhatók a STEP programban.

3. Megoldó algoritmus

A Fick-egyenletekből származó parciális differenciálegyenleteket diszkrétizálva oldjuk meg. A diszkrétizálás lépésköze a szilíciumban Δx . Az oxidáció során az egységnyi térfogatú szilíciumból α -szoros térfogatú szilícium-dioxid keletkezik, illetőleg nitridálás esetén

β -szoros mennyiségű szilíciumnitrid jön létre. Ennek megfelelően az oxidban, illetve nitridben $\alpha \cdot \Delta x$, illetve $\beta \cdot \Delta x$ osztásközt alkalmazunk. Az adalékkoncentrációk értékét a Δx osztásközü részek közepére vonatkoztatjuk, illetőleg az oxidrétegben az $\alpha \cdot \Delta x$, a nitridrétegben pedig a $\beta \cdot \Delta x$ részek közepére. A szegregációs összefüggés (3) konzisztens értelmezése érdekében a SiO_2/Si , illetve bármilyen más határfelület esetén a határfelület mindkét oldalán fél méretű cellákkal számolunk.

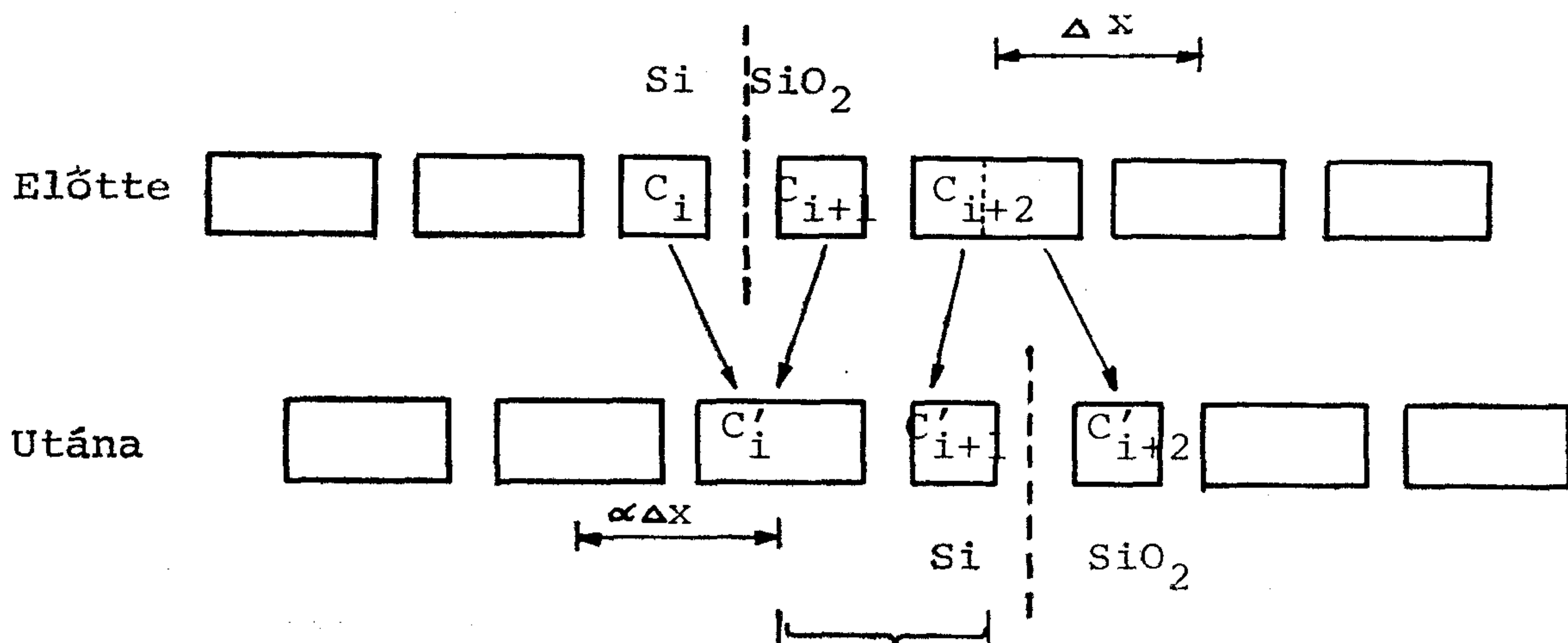
A következőkben a szilícium oxidálásának folyamatát szimuláló algoritmust vizsgáljuk, megjegyezve, hogy megfontolásaink érvényesek nitridálás esetén, továbbá az egykristályos szilícium helyett poliszilícium alkalmazásakor is.

Az oxidációs folyamat modelljét a 3. ábrán tüntettük fel. A megoldás során a Δt_{ox} időlépésközt úgy választjuk meg, hogy az éppen Δx vastagságú szilícium oxidálásához szükséges időt jelentse. Így az időlépésköz az oxidáció szimulációja során változik, mivel az oxidáció sebessége az egyre vastagabb oxidréteg következtében csökken, ennek megfelelően egyre nagyobb időlépésköz adódik. Ez az időlépésköz növekedés a diffúziós egyenletek megoldásának pontosságát nem csökkenti, mert a diffúzió során az eloszlásfüggvények egyre simábbakká válnak.

Az ábra szerinti esetben a határfelület az i -ik és az $i+1$ -ik elemi cellák között helyezkedik el. Az előzőekben elmondottak szerint tehát a határfelületről balra helyezkedik el az utolsó, fél méretű szilícium-dioxid cella, melyben az adalékkoncentráció C_i , a határfelület jobb oldalán van az első — ugyancsak fél méretű — szilícium cella, melyben az adalékkoncentráció C_{i+1} , és ezt követi a következő, egész méretű szilícium cella, melyben az adalékkoncentráció C_{i+2} .

Δt idő elteltével, amikor egy cellányi (Δx vastagságú) szilíciumréteg oxidálódik, a határfelület Δx értékkel tolódik jobbra modellünk szerint. Így a határfelületről

- jobbra található fél szilícium cella az előző állapot C_{i+2} adalékkoncentrációjú cellájának jobb oldali fele, melyben most az adalékkoncent-



H885-3

3. ábra. Az oxidációs folyamat modellje egy cellányi szilícium oxidálása előtt és után

ráció a határfelületi fluxus következtében az eredetitől eltérő, C'_{i+2} értékű.

- A balra levő fél cella az a szilícium-dioxid fél cella, mely az előző állapot C_{i+2} -es szilícium cellájának bal oldali feléből keletkezett oxidot tartalmazza, ebben az adalékkoncentráció azonban a szilícium és szilícium-dioxid eltérő térfogata, valamint a határfelületi fluxus következtében C_{i+2} -től eltér, értékét a következőkben C'_{i+1} -gyel jelöljük.
- Ennek bal oldali szomszédja egy olyan egész méretű szilícium-dioxid cella, mely részben az előző állapot C_{i+1} adalékkoncentrációjú szilícium fél cellájának oxidációjából, részben pedig az előző állapot C_i adalékkoncentrációjú fél oxidcellájából jött létre, ebben most az adalékkoncentráció C'_i .

Az algoritmus főbb lépései a következők:

1. Kiszámítja a Δx vastagságú szilícium-dioxid réteg létrehozásához szükséges időt,

$$t_{ox} = \frac{\Delta x}{v_{ox}} \quad (7)$$

ahol v_{ox} értékét a hőmérséklet, az oxidréteg vastagsága, az oxidáló réteg és szilícium anyagi jellemzői határozzák meg.

2. Meghatározza valamennyi adalék koncentrációját az i -ik, $i+1$ -ik, $i+2$ -ik sorszámú cellákra a szegregáció és a Δt_{ox} idő alatti szilícium-dioxid határfelület eltolódását figyelembe véve, elhanyagolva viszont az ezek között a cellák közötti diffúziós adaléktranszportot. A határfelület áthelyeződik az i -ik és $i+1$ -ik cellák közötti helyzetéből az $i+1$ -ik és $i+2$ -ik cellák közé.
3. Előállítja az egyes határfelületek közötti anyagrésekben a megváltozott határfelületeknek megfelelően az egyes adalékokra vonatkozó parciális differenciálegyenletek megoldását. A határfelületeken át ebben a megoldási fázisban zérus az adaléktranszport. A megoldás olyan Δt időlépésközzel történik, amely a differenciálegyenlet kellő pontosságú megoldását biztosítja, és melynek Δt_{ox} egész számú többszöröse.
4. Ha az oxidáció ideje még nem telt le, vagyis

$$t + \Delta t_{ox} < t_{ox} \quad (8)$$

akkor visszatérünk 1-re.

A 2. pontban szereplő koncentrációértékek a részletes számítás mellőzésével:

$$C'_i = \frac{1}{2} \cdot \left(C_i + \frac{C_{i+1}}{2} \right) - \frac{u}{2\alpha} \cdot \frac{s \cdot \left(C_i - \frac{C_{i+1}}{s} + \frac{C_{i+2}}{\alpha} \right)}{s + u} \quad (9)$$

$$C'_{i+1} = \frac{C_{i+2}}{\alpha} \quad (10)$$

$$C'_{i+2} = s \cdot \frac{C_{i+2} + u \cdot \left(C_i - \frac{C_{i+1}}{s} + \frac{C_{i+2}}{\alpha} \right)}{s + u} \quad (11)$$

Ezekben az összefüggésekben az u mennyiség a határfelületi fluxustól függ:

$$u = \frac{h}{3v_{ox}} \quad (12)$$

A leírt algoritmus arra is alkalmas, hogy a szimuláció során figyelembe vegye az oxidnövekedés sebességének adalékkoncentrációtól való függését is. Az algoritmus alkalmazásánál a felhasználó részére a kvantált oxidnövekedés okozhat problémákat. Az ebből származó nehézségek azonban az egyébként alapértelmezésben automatikusan számítható időlépések, vagy pedig a Δx érték megfelelő megválasztásával kiküszöbölhetők.

1. táblázat

A kísérleti szelet technológiai leírása

1. $T = 980$ °C elődiffúzió, $t = 40$ perc
Bór felületi koncentráció: 10^{20} [1/cm³]
2. $T = 1150$ °C behajtás, száraz oxidáló közegben, $t = 2$ óra

83/05/17

STEP / SEMCON

```
1..TITLE STEP PROBAFELADAT
2..GRID DYSI=0.02,DPTH=7.6,YMAX=7.6
3..SUBST ORNT=111,ELEM=P,CONC=3.5E15
4..PLOT TOTL=Y,CMIN=14,NDEC=7,WIND=8
5..PRINT TOTL=Y,HEAD=Y
6..COMMENT ELODIFFUZIO
7..STEP TYPE=PDEP,TIME=40,ELEM=B,CONC=1E20,TEMP=985
8..COMMENT BEHAJTAS
9..STEP TYPE=OXID,TEMP=1150,TIME=120,MODL=DRYO
10..END
```

H885-4

4. ábra. Az 1. táblázatban megadott technológia STEP bemeneti nyelven történő leírása

83/05/17

STEP / SEMCON

STEP PROBAFELADAT
BEHAJTAS

STEP 2 START AT 10:48:16 STOP AT 10:54:48
ELAPSED CPU TIME: 2 MIN 7.240 SEC

OXIDATION IN DRY OXIGEN
=====

TOTAL STEP TIME = 120.00 MINUTES
INITIAL TEMPERATURE = 1150.00 DEGREES C.
OXIDE THICKNESS = 0.2273 MICRONS

LINEAR OXIDE GROWTH RATE = 0.0088 MICRONS/MINUTE
PARABOLIC OXIDE GROWTH RATE = 0.0000 MICRON**2/MINUTE
OXIDE GROWTH PRESSURE = 1.000000 ATMOSPHERES

	OXIDE	SILICON	SEGREGATION	SURFACE
	DIFFUSION	DIFFUSION	TRANSPORT	TRANSPORT
	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT
BORON	5.994388D-07	2.582146D-03	6.747372D-01	2.743336D-02
PHOSPHOR	1.841215D-05	2.530318D-03	1.000000D+01	8.080674D-02

JUNCTION DEPTH	SHEET RESISTANCE
3.600000 MICRONS	59.5 OHMS/SQUARE
	0.402E+04 OHMS/SQUARE

H885-5

5. ábra. A szimulációs program által nyomtatott eredmény egy része, a 4. ábrán megadott technológiára vonatkozóan

Az 1. táblázatban leírt technológiához tartozó STEP bemeneti nyelven megadott technológiai leírás a 4. ábrán, az eredmények pedig az 5. és 6. ábrán

láthatók. A 6. ábrán összehasonlításként kísérleti eredményeket is feltüntettünk.

82/05/17

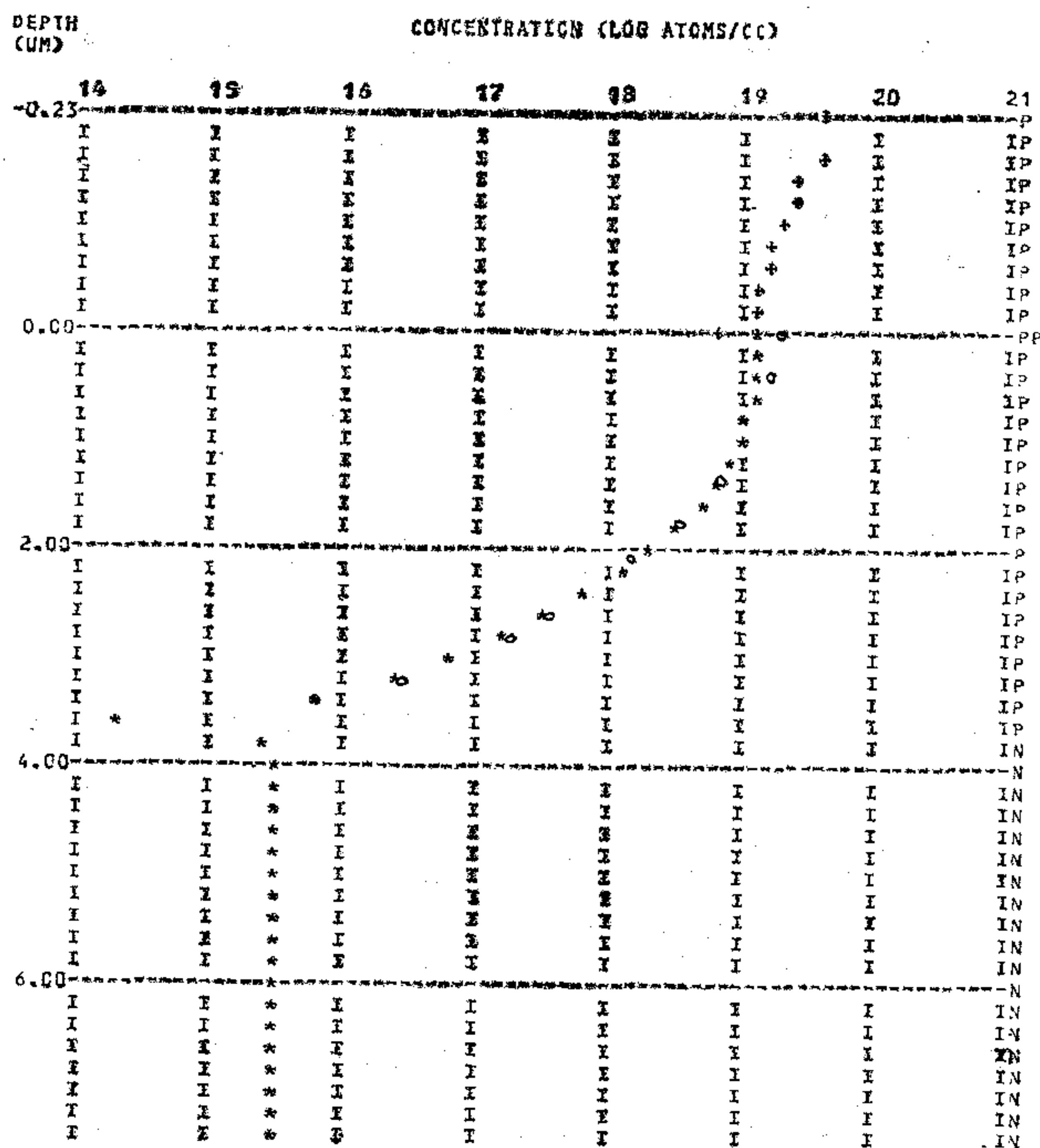
STEP / SEMCON

STEP PROBAFELADAT

BEHATÁS

STEP 2 / TOTAL STEP TIME = 120.00 MINUTES

PLOT OF NET IMPURITY CONCENTRATION VS. DEPTH



H885-6

6. ábra. A szimulált adalékprofil és a mért profil összevetése. Az ábrán + -szal jelöltük az oxidban számolt adalékkoncentrációt, *-gal a szilíciumban számoltat, o-rel pedig feltüntettük a mért pontokat

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak az MTA KFKI Mikroelektronikai Kutató Intézetének a STEP program kifejlesztésének támogatásáért, dr. Zombory Lászlónak és dr. Veszely Gyulának, a BME Elméleti Vilamosságtan Tanszék docenseinek a nitridálási algoritmussal kapcsolatos programfejlesztési munkák elvégzéséért, valamint Le Hoang Mai aspiránsnak a kísérleti munkák elvégzéséért.

IRODALOM

- [1] Antoniadis, D. A. — Hansen, S. E. — Dutton, R. W.: SUPREM—II. Program for IC Process Modelling and Simulation. Technical Report No. 5019—2, Stanford Electronics Laboratories, June 1978.
- [2] K. Tarnay — F. Masszi — J. Mizsei — P. Baji — T. Rang — G. Drozdy — B. Kovács: Silicon planar technology process modelling. 3rd International Symposium on Electronics Technology, Balatonfüred, 16—18 May 1979, lecture and proceedings.
- [3] dr. Tarnay Kálmán — dr. Masszi Ferenc — Mizsei János — Baji Pál — Rang, Toomas — Drozdy Győző: Szilícium planár technológiai eljárás számítógépes szimulációja. Finommechanika — Mikrotechnika, XVIII. évf. 9. szám, pp. 257—260 (1979. szeptember).
- [4] K. Tarnay — J. Mizsei — F. Masszi — P. Baji — B. Kovács — T. Rang — G. Drozdy: Silicon Integrated Circuit Fabrication Process Modelling and Simulation. Periodica Polytechnica Electrical Engineering, Vol. 24, No. 1—2, pp. 35—37 (1980). Magyar nyelven: Híradástechnika, XXX. évf. 12. szám, pp. 327—328 (1979).
- [5] Dr. Tarnay Kálmán — dr. Drozdy Győző — dr. Masszi Ferenc — Baji Pál — dr. Toomas Rang — dr. Mizsei János — Kovács Balázs: A STEP félvezető-technológiai szimulációs program. Mérés és Automatika, Vol. 29, No. 12, pp. 460—464 (1981).
- [6] K. Tarnay: Modeling of semiconductor structures and devices. Physica Scripta, Vol. 24, pp. 446—455 (1981).

Folytatás az 503. oldalról

ÚJ DEKÓDER KONCEPCIÓ A VIDEOTEX SZOLGÁLTATÁSHOZ

A CEPT műszaki videotex specifikációja 1982. április óta van érvényben „TC—D—6—1 revised” jelöléssel. Ez, mely a német Btx-szabványra is meghatározó, definiálja azokat a funkciókat, amelyeket egy videotex terminálnak tudnia kell ahhoz, hogy a nyilvános képernyős szolgáltatásokhoz kapcsolható legyen. Ez biztosítja az információszolgáltatóknak és az előfizetőknek, hogy az információ-megjelenítés hibátlan és teljes legyen.

Azoknál a termináloknál, melyek ezeket a specifikációkat nem teljesítik, fenáll a hibás megjelenítés

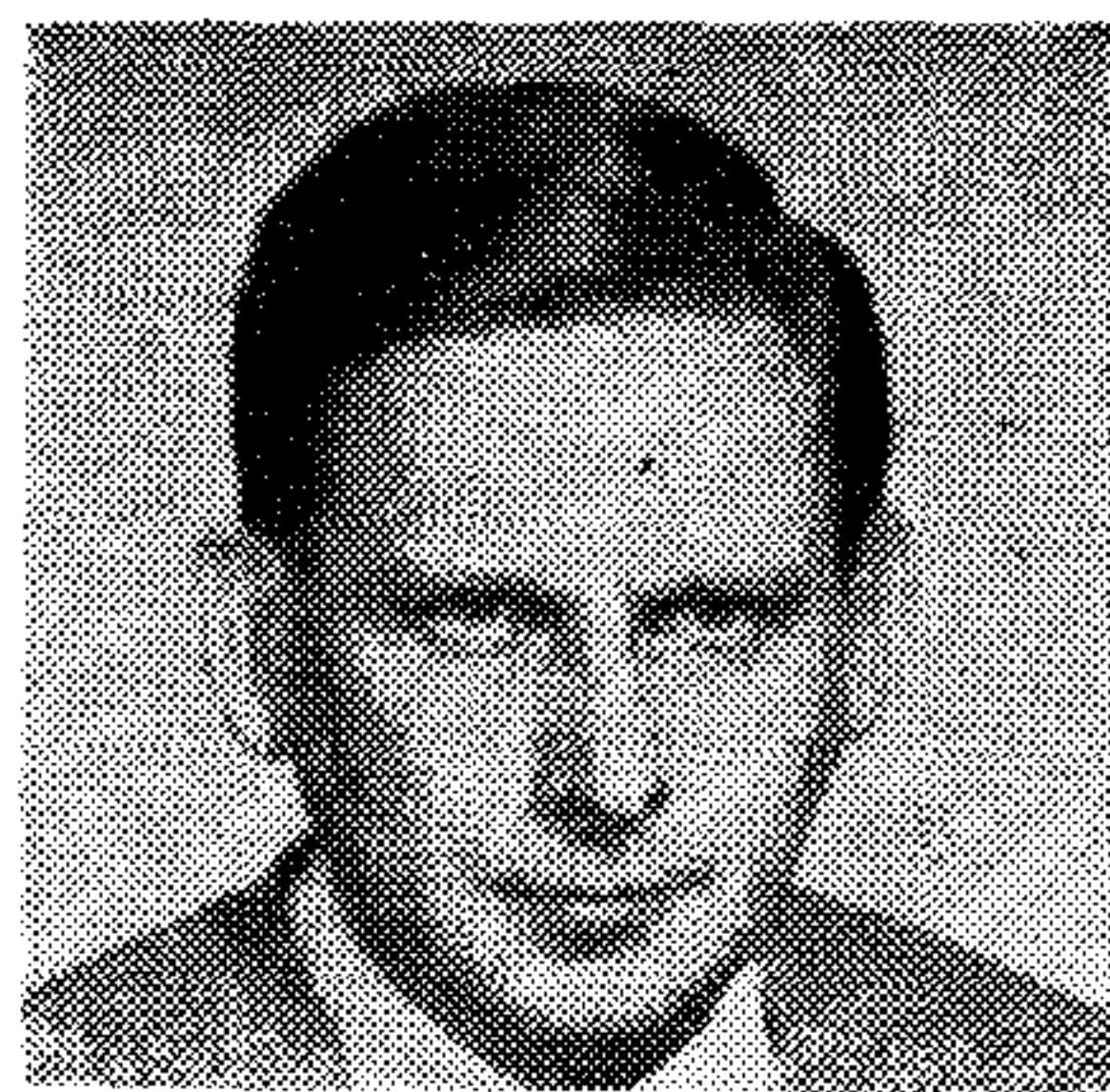
veszélye. Az új specifikáció leglényegesebb módosításai: a nagyobb alap karakterkészlet (320 alfanumerikus jel), nagyobb felbontású grafika (63 mozaik grafikai, 56 „smooth” grafikai, 31 vonás- és különleges grafikai jel), több szín (4096 különböző árnyalatból 31 árnyalat megjelenítése: 15 rögzített, 16 szabadonválasztható), szabadon-program által meghatározható jelek (DRCS: dinamikusan újradefiniálható karakter készlet) és jobb mozgási effektusok. A Btx szolgáltatás gyors elterjedésének előfeltétele egy olcsó dekóder kidolgozása. A Valvo cég korábbi eredményeire építve megkezdte egy új dekóderkoncepció kidolgozását. Ez négy egységből épülne fel: a modem interfész, rendszervezérlés, adattár és a video vezérlés áramköreiből. (Funkschau 26. sz. 1982. dec. 23. [1130])

Folytatás az 516. oldalon

Lézerdiódák az optikai hírközlésben

DR. HABERMAJER ISTVÁN

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk első része ismerteti a félvezető lézerekben lejátszódó alapvető fizikai jelenségeket. A második rész áttekintést nyújt a GaAs alapú lézerdiódák konstrukciójának fejlődéséről. A harmadik részben összefoglalja az egyes lézerdióda típusok alkalmazási területeit az optikai hírközlésben. (Λ)

Annak ellenére, hogy a lézerdiódát már több éve egyre szélesedő körben alkalmazzák a hírközlésben és a mérés technikában, működés módjának, üzemi tulajdonságainak, valamint konstrukciójának területén napjainkban is sok új eredmény születik. E közlemény ezeknek az eredményeknek a figyelemmel kísérését igyekszik megkönnyíteni azáltal, hogy összefoglalja a félvezető lézerek működésének fizikai alapjait valamint áttekintést nyújt a lézerdiódák konstrukciójának fejlődéséről.

1. Fizikai alapfogalmak

1.1. Einstein sugárzási törvénye

Minden lézer működési alapja a fényerősítés vagy más néven a stimulált emisszió jelensége. Ezt a jelenséget az Einstein által 1916-ban közzétett sugárzási törvények előre megjósolták, még mielőtt magát a jelenséget kísérletileg észlelték volna. Az egyszerűség kedvéért vizsgáljunk, egy az 1. ábrán vázolt két energia szintes rendszert. Ebben a rendszerben a sugárzás és a kémiai értelemben vett anyag kölcsönhatásában részt vevő elektronok vagy atomok vagy a W_1 energiájú és ΔW szélességű alacsonyabb, vagy a W_2 energiájú és ugyancsak ΔW szélességű magasabb energiaszinttel meghatározott állapotban lehetnek. Einstein fotonelmélete alapján, a kölcsönhatás egy ν frekvenciájú és $\Delta\nu$ sáv szélességű elektromágneses sugárzás és az anyag között akkor jöhet létre, ha $W_2 - W_1 = h\nu$ és $\Delta W = h\Delta\nu$ ahol h a Planck állandó.

Az előzőekkel egybehangzó az a feltételezés is, hogy a sugárzás J , intenzitását P térbeli sűrűségű ν sebességű és $h\nu$ energiájú részecskék, fotonok energiasűrűségének tekintjük. Azaz

$$J = h\nu P \nu \quad (1)$$

ahol ν a sugárzásnak az anyagban mérhető sebessége.

A sugárzás hatására az anyag a fotonokat abszorbeálja miközben a részecskék a kisebb energiájú állapotból a nagyobb energiájú állapotba mennek át.

DR. HABERMAJER
ISTVÁN

Mérnöki diplomáját 1959-ben szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Egyetemi doktori disszertációját 1964-ben védte meg. 1959-től 1963-

ig a Magyar Televízió fejlesztési osztályán dolgozott. Jelenleg a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén félvezetőfizikát és optoelektronikát ad elő. Kutatási szakterületei: félvezető eszközök mérés technikája és optoelektronikai eszközök.

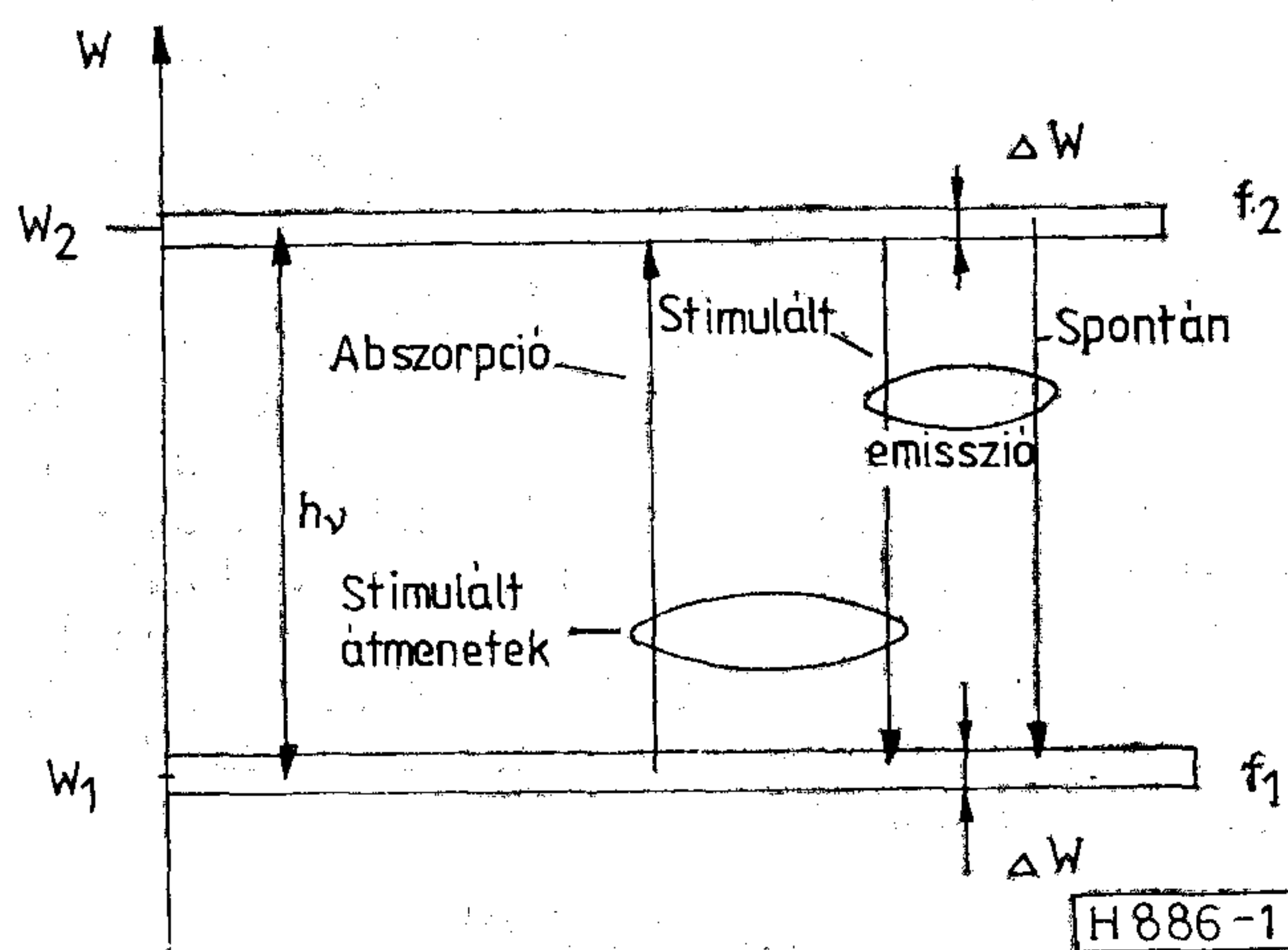
Az átmenet sebessége arányos a sugárzás intenzitásával, illetőleg az (1) összefüggés alapján a fotonsűrűséggel. Ahhoz, hogy bármilyen egyensúlyi állapot létrejöhessen, léteznie kell egy vagy több ellenkező irányú, fotonemisszióval járó folyamatnak is. Termikus egyensúly esetén az abszorpciós és emissziós folyamatoknak egyenlő sebességűeknek kell lenni, valamint mind a fotonok mind pedig a kölcsönhatásban résztvevő elektronok vagy atomok energia szerinti eloszlásának azonosnak kell lenniük a termikus egyensúlyhoz tartozó eloszlással. A fotonok egyensúlyi eloszlása Planck sugárzási törvénye alapján adható meg:

$$P_0 = \Phi [\exp(h\nu/kT) - 1]^{-1} \Delta W \quad (2)$$

ahol

$$\Phi = 8\pi n^3 \nu^2 \left(1 + \frac{\nu}{n} \frac{dn}{d\nu}\right) (hc^3)^{-1} \quad (3)$$

A Φ mennyiség a fotonok állapotsűrűsége, azaz az egységnyi térfogatban és energiaintervallumban levő fotonok, rezgésállapotok, (módusok) száma, $\bar{n}$ az



1. ábra. Sugárzásos átmenetek két energiaszintes rendszerben

Beérkezett: 1983. VI. 6.

anyag törésmutatója, c a fénysebesség vákuumban, kT a termikus energia.

A termikus egyensúlyra vonatkozó feltételeknek bármely T hőmérsékleten teljesülniük kell. Ehhez viszont az szükséges, hogy a fotonemisszióval járó átmeneteknek két összetevőjük legyen (l. 1 ábrát). Az egyik a foton-sűrűségtől vagy fényintenzitástól független, úgynevezett spontán, a másik a foton-sűrűséggel arányos stimulált vagy indukált átmenet, vagy emisszió. A termikus egyensúlyra vonatkozó feltételek következménye az is, hogy ha a két vizsgált állapot betöltési valószínűsége egyenlő, az abszorpció és a stimulált emisszió valószínűségének egyenlőnek kell lenni, valamint a stimulált emisszió és a spontán emisszió sebességének a hányadosa egyenlő $P/\Phi\Delta W$ -vel.

Ezek az összefüggések akkor is igazak, ha nincs termikus egyensúly és függetlenek attól, hogy a kölcsönhatásban résztvevő részecskék elektronok, amelyekre a Pauli elv miatt a Fermi–Dirac statisztika érvényes, vagy molekulák (mint a mézerekben, atomórákban), melyek a klasszikus statisztikával tárgyalhatók [1].

Az abszorpció és a stimulált emisszió is arányos a foton-sűrűséggel. Mindkét folyamatot a sugárzás indukálja és szinkronizálja. Fizikailag a két folyamat eredőjét észleljük. Ezt az eredő folyamatot nevezik stimulált, vagy más néven indukált átmenetnek. A spontán emisszió a külső sugárzástól irányban, fázisban független, véletlenszerűen változó sugárzást eredményez, a stimulált átmenetektől határozottan megkülönböztethető.

A két energianívó közötti, a magasabb szintről az alacsonyabb szint irányába mutató eredő átmeneti sebességet, azaz az egységnyi térfogatban egységnyi idő alatt a nagyobb energiaszintről a kisebb energiaszintre kerülő elektronok számát U -t a sugárzási törvények alapján, elektronok esetében a következő formulával adhatjuk meg:

$$U = B\Phi\Delta W f_2(1-f_1) + B(f_2-f_1)P, \quad (4)$$

ahol B egy egységnyi térfogatban levő elektronnak egységnyi foton-sűrűség hatására az időegység alatti átmeneti valószínűsége, ha a kiindulási állapot teljesen betöltött és a végállapot teljesen üres. Az alsó energiaszint betöltési valószínűsége f_1 , a felsőé f_2 .

Az U mennyiség az úgynevezett nettó rekombinációs sebesség (ráta) a tárgyalt kétszintes és kétrészecskés (foton–elektron) rendszerünkben egyben megadja a fotonok keletkezésének sebességét is. A (4) kifejezés első tagja a spontán emissziót a második tag a stimulált emisszió és abszorpció különbségét, azaz a stimulált átmenetek sebességét adja meg. Ha tekintetbe vesszük, hogy abszorpció esetén a pozitív x irányba haladó sugárzás intenzitása a $J_f(x) = J_f(0) \exp(-\alpha x)$ összefüggés szerint változik és figyelembe vesszük az (1) összefüggést, akkor a csillapodó sugárzás egységnyi térfogatában, időegység alatt $\alpha|v|P$ foton abszorbeálódik. Ezt egybevetve a (4) kifejezés második tagjával az

$$\alpha = -g = \frac{B(f_1-f_2)}{|v|} \quad (5)$$

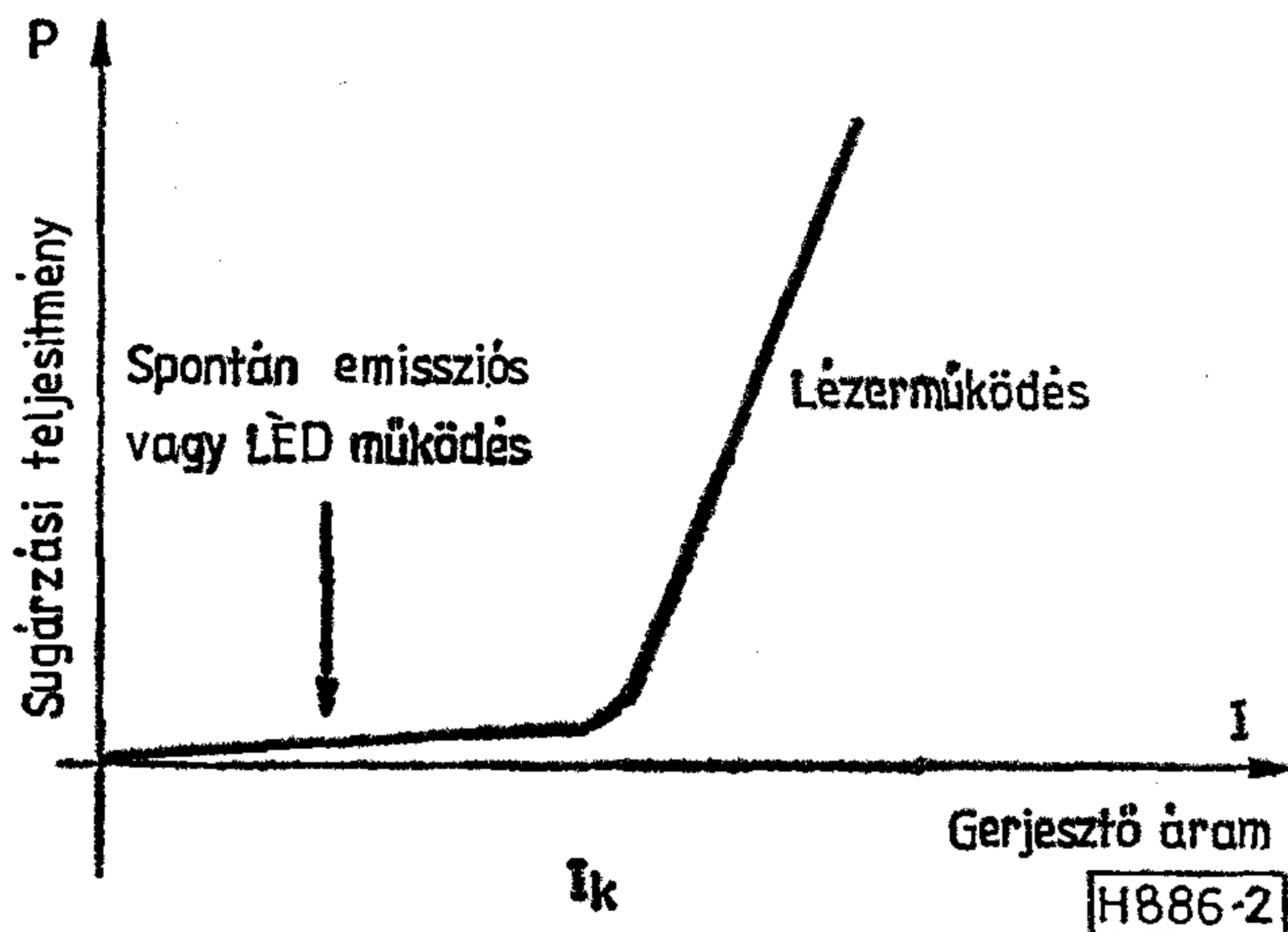
összefüggést kapjuk. Tehát, ha $f_2 < f_1$, akkor abszorpció

ciós tényező pozitív, és az abszorpció jelensége dominál, ha $f_2 > f_1$ akkor α értéke negatív, a fényerősítést, a stimulált emisszió jelenségét észleljük. A $g = -\alpha$ mennyiség az erősítési tényező.

Az (5) kifejezést Fermi-féle arany szabályként is említi az irodalom [4].

Az Einstein-féle sugárzási törvények alaposabb megértése érdekében vizsgáljuk meg, hogy hogyan alakul az (4) kifejezés különféle optoelektronikai eszközökben.

Termikus egyensúlyban $P = P_0$, $f_2 < f_1$, valamint $U = 0$. Tehát a (4) kifejezés második tagja negatív és egyenlő az első taggal, azaz a spontán emissziót az abszorpció elnyeli.



2. ábra. Egy lézardióda jellegzetes transzfer karakterisztikája

Ha a betöltési valószínűségek közel az egyensúlyi értéken maradnak, de külső megvilágítás hatására $P > P_0$, akkor U előjele negatív lesz, az optikai oldalon abszorpció az elektromos oldalon az elektronok magasabb szintre történő gerjesztése, félvezetők esetében töltéshordozó párok generálása lép fel. Ez a helyzet a fotodetektorok működésekor.

Abban az esetben, ha a betöltési valószínűségek úgy térnek el a termikus egyensúlyi értéktől, hogy f_2 növekszik és/vagy f_1 csökken, de még $f_2 < f_1$, és külső megvilágítás nincs, vagy kicsiny, akkor $U > 0$. A domináló jelenség a spontán emisszió lesz, amelyet részben elnyel az abszorpció. Ez a helyzet világítódiodák LED-ek esetében.

Ha $f_2 = f_1$ -gyel az abszorpció megszűnik, az anyag teljesen átlátszóvá válik és a spontán emisszió sugárzása veszteségmentesen jut ki az anyagból. Ez a szupersugárzás (super radiance) esete.

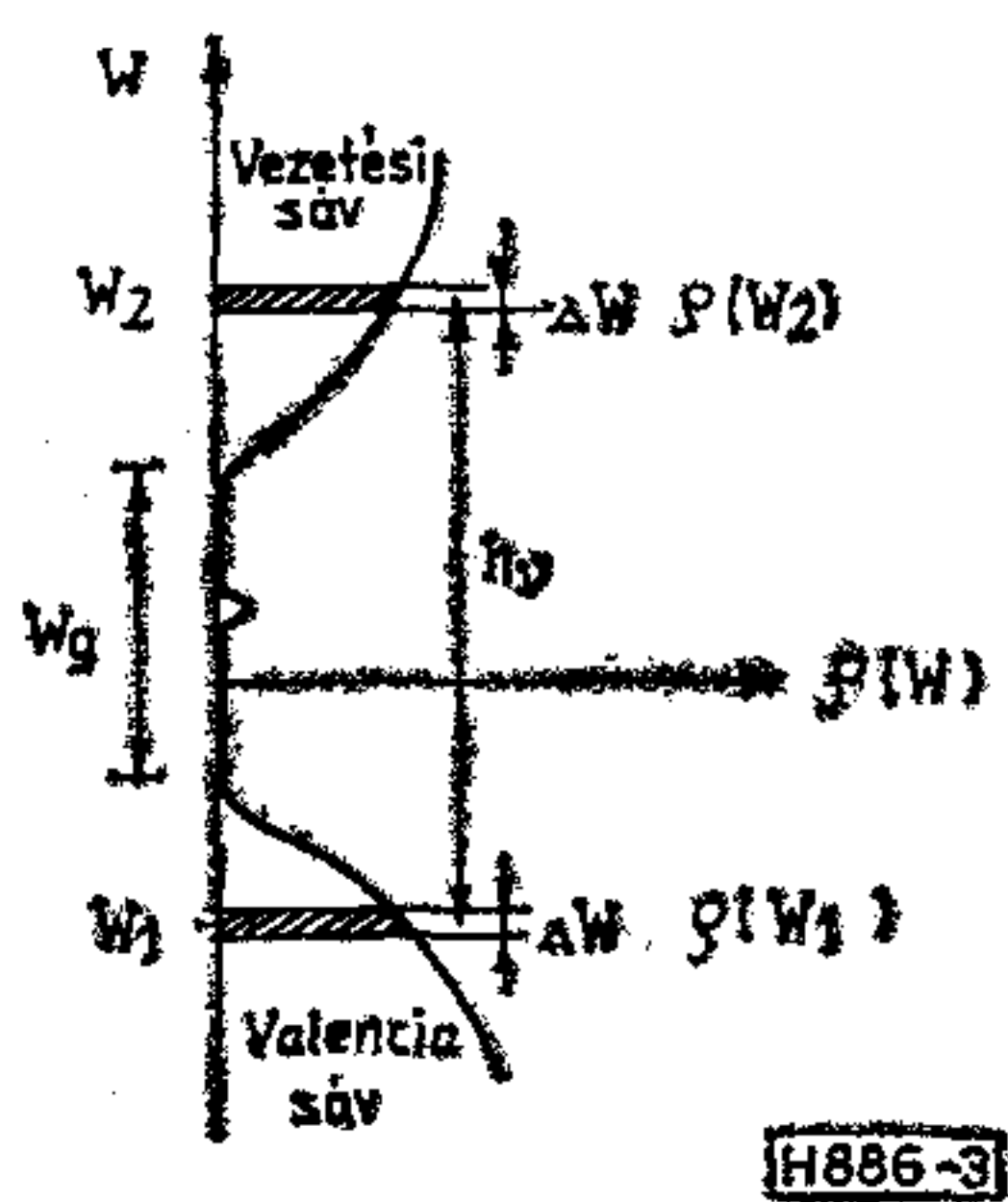
Akkor, ha $f_2 > f_1$, azaz ha az ún. populáció vagy betöltési inverzió létrejön, mind a spontán emisszióból, mind pedig egy külső fényforrásból eredő fényintenzitás erősödni fog. Így fényerősítőket hozhatunk létre.

Lézerműködés akkor következik be, ha egy fényerősítéssel rendelkező anyagot egy olyan optikai üregrezonátorba helyezünk, amelynek veszteségei egyenlőek vagy közel egyenlőek a stimulált emisszióból eredő erősítéssel. Amíg a gerjesztés kicsiny és így az üregrezonátor veszteségei nagyobbak az erősítésnél, lézerekben is az abszorpcióval vagy a stimulált

emisszióval módosított spontán emisszió dominál. Az erősítés egy gerjesztési küszöbnél, félvezető lézerekben egy I_k küszöbáramnál válik közel egyenlővé a rezonátor veszteségeivel. Minden további gerjesztés hatására mind a rezonátorban levő, mind pedig az elsugárzott elektronmágneses rezgés intenzitása meredeken növekedni fog (2. ábra). Az elektromos oldalról származó bármely többletjeljesítmény nagy hatásfokkal kis sáv szélességű sugárzássá alakul. Már aránylag kis 3–4% többletgerjesztés hatására is a (4) kifejezés második tagja jóval nagyobb lesz az első tagnál. Ez igen nagy rekombinációs sebességet biztosít, tehát alkalmassá teszi a lézert arra, hogy a kisugárzott fényintenzitást a gerjesztőáram változtatásával nagy sebességgel és jó hatásfokkal moduláljuk.

1.2. Sugárzási jelenségek félvezető anyagokban

Az előző fejezetben használt két energiaszintes modell félvezető lézerek esetében közvetlenül nem alkalmazható. A 3. ábra egy tipikus félvezető anyagra vonatkozó $\rho(W)$ állapotssűrűség–energia összefüggést mutat. A $h\nu$ energiájú sugárzással kapcsolatban nagyon sok, a $W_2 - W_1 = h\nu$ összefüggéssel meghatározott, energia-nívó között jöhet létre elektronforgalom, természetesen más-más sebességgel.



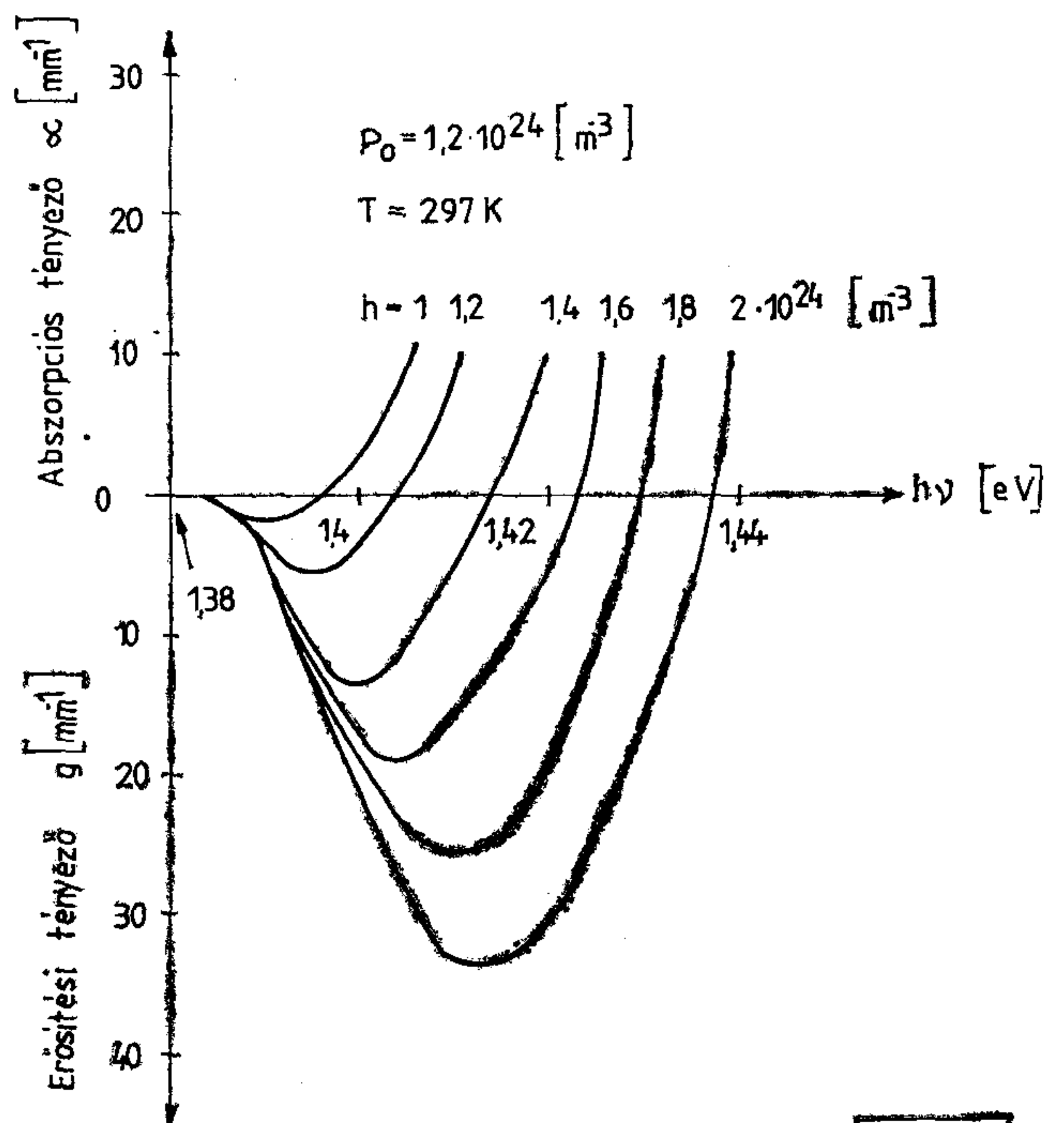
3. ábra. Félvezető anyagok állapotssűrűsége a W energia függvényében

Arra a kérdésre, hogy a (4) összefüggésben szereplő B elemi átmeneti valószínűség milyen kapcsolatban van más fizikai mennyiségekkel, a fizika csak jóval később a sugárzási törvények felfedezése után adta meg a választ. [2]

A sugárzási jelenségek kvantummechanikai tárgyalásából kitűnik, hogy a kölcsönhatáshoz az impulzus megmaradás törvényének is (kvantummechanikai értelemben) teljesülnie kell. Ezért a B mennyiségnek függnie kell az M_{12} impulzus vagy más néven momentum mátrix elemétől is, amelyet a kölcsönhatásban résztvevő elektronok hullámfüggvényeiből, valamint az elektromágneses tér hullámszámvektorból határozhatunk meg [3]. Így

$$B = \frac{q^2 |M_{12}|^2 \rho(W_1) \rho(W_2) \Delta W}{2\epsilon m^2 v}, \quad (6)$$

ahol q az elektron töltése $\rho(W_1)$ és $\rho(W_2)$ a W_1 , ill. a W_2 energiákhoz tartozó állapotssűrűség, m az elektronok tömege, ϵ a dielektromos állandó. Gyakran az $|M_{12}|^2$ mennyiséget is az impulzus mátrix elem néven említik. Az $|M_{12}|^2$ nulla, ha a kiszemelt energiapárok között az impulzusmegmaradás törvénye nem teljesül. A $2|M_{12}|^2/hvm$ dimenzió nélküli mennyiség az



H886-4

4. ábra. P-típusú GaAs abszorpciója, ill. erősítése a frekvencia függvényében [4]

ún. oszcillátor erősség. Az impulzus mátrix elemet gyakran dipólus mátrix elemnek is nevezik, mivel az elektromágneses tér és az elektromos dipólusok közötti kölcsönhatást is leírja.

Ideális, azaz adalékolatlan, kristályhiba és rácsrezgés mentes félvezetőkben az elektronok hullámfüggvényei síkhullámokkal közelíthetők. Így az impulzusmegmaradás feltétele egyben a hullámszám-megmaradás feltétele is. Ez az ún. hullámszámkiválasztási szabály. Ennek következménye, hogy erőteljes optikai-elektromos kölcsönhatást csak az olyan félvezető anyagokban várhatunk, ahol a vezetési sáv minimuma és a valencia sáv maximuma ugyanazon hullámszámértékénél van. Ezek a direkt tiltott sávos félvezetők.

Ilyen félvezető anyagok például a legelterjedtebb, 1,45 eV tiltott sáv szélességű GaAs, — és az egyre szélesebb körben alkalmazásra kerülő InGaAsP négyes ötvözet. Ez utóbbi tiltott sáv szélessége az összetétel-től függően 0,78 és 0,95 eV között változik.

Ideális direkt tiltott sávos anyagokban a hullámszámkiválasztási szabály két energiaszintet, egyet a vezetési sávban, egyet a valencia sávban engedélyez, amelyek között energiaforgalom jöhet létre egy adott frekvenciájú sugárzás hatására. Ha azzal a jogos közelítéssel élünk, hogy az egyes sávokban levő elektronok egymással termikus egyensúlyban vannak a sávokon belüli egyes energiaszintek betöltési valószínűségét a Fermi–Dirac statisztika írja le a vezetési sávra vonatkozó W_{Fn} és a valencia sávra vonatkozó W_{Fp} kvázi-Fermi szintekkel, akkor a betöltési inverzió feltétele a következő:

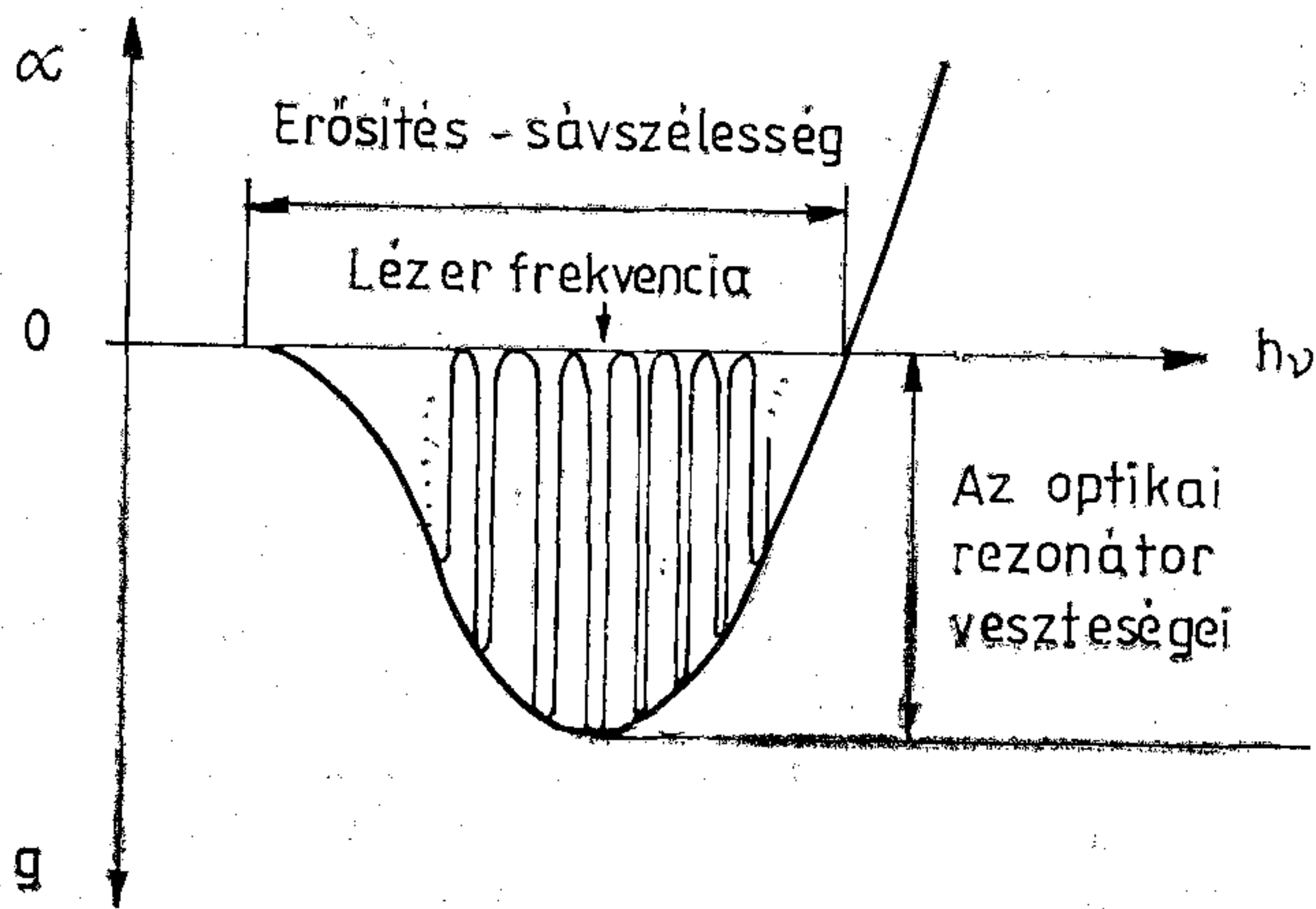
$$W_g < h\nu < W_{Fn} - W_{Fp} \quad (7)$$

Egy adott hőmérsékleten a kvázi-Fermi szintek

értékét a szabad töltéshordozók koncentrációja határozza meg. A félvezető lézerek aktív rétege jó közelítéssel elektromosan semleges. Így adott adalék-koncentráció mellett a kvázi-Fermi szintek a kisebbségi töltéshordozók koncentrációjából meghatározhatók. Így az $|M_{12}|^2$ mennyiség energiatfüggésének ismeretében az (5) és (6) egyenletek alapján az abszorpció frekvenciafüggése meghatározható [4]. Ilyen összefüggést mutat a 4. ábra.

Reális félvezetőkben az adalékatomok, a kristályhibák, valamint a termikus rácsrezgések miatt a sugárzás egy adott frekvenciája mellett több energiaszint között jöhet létre sugárzásos átmenet. Ezenkívül a rácsrezgések közreműködésével sugárzás nélküli elektronforgalom is létrejöhet a sávok között. Ezért a (4) összefüggés által leírt emisszió-rekombináció kapcsolat fellazul, azaz nem minden rekombináció eredményez sugárzást, és az adott energiájú fotonoknak csak egy része hoz létre töltéshordozópárokat a vezetési, ill. a valencia sávban. Ezek a jelenségek azonban csak másodlagosan befolyásolják az alapvetően kétsávú működési mechanizmust.

A 4. ábrából láthatóan megfelelő mennyiségű töltéshordozó injektálásával egy aránylag széles frekvenciasávban hozhatunk létre erősítést. Azt a frekvenciasávot, amelyben erősítés lép fel erősítés-sáv szélességnek (gain-bandwidth) nevezik. A lézerműködés azonban csak azokon a frekvenciákon jöhet létre, amelyeken az optikai rezgőrendszer elegendően nagy energiasűrűséget azaz foton-sűrűséget tesz lehetővé. Ezek a frekvenciák a rezgő rendszer geometriai méretei és törésmutatója által meghatározott úgynevezett modusfrekvenciák (lásd 5. ábra). Működéskor ezek közül egyszerre csak egy, esetleg néhány szomszédos frekvencián sugároz jelentős teljesítményt a lézer.



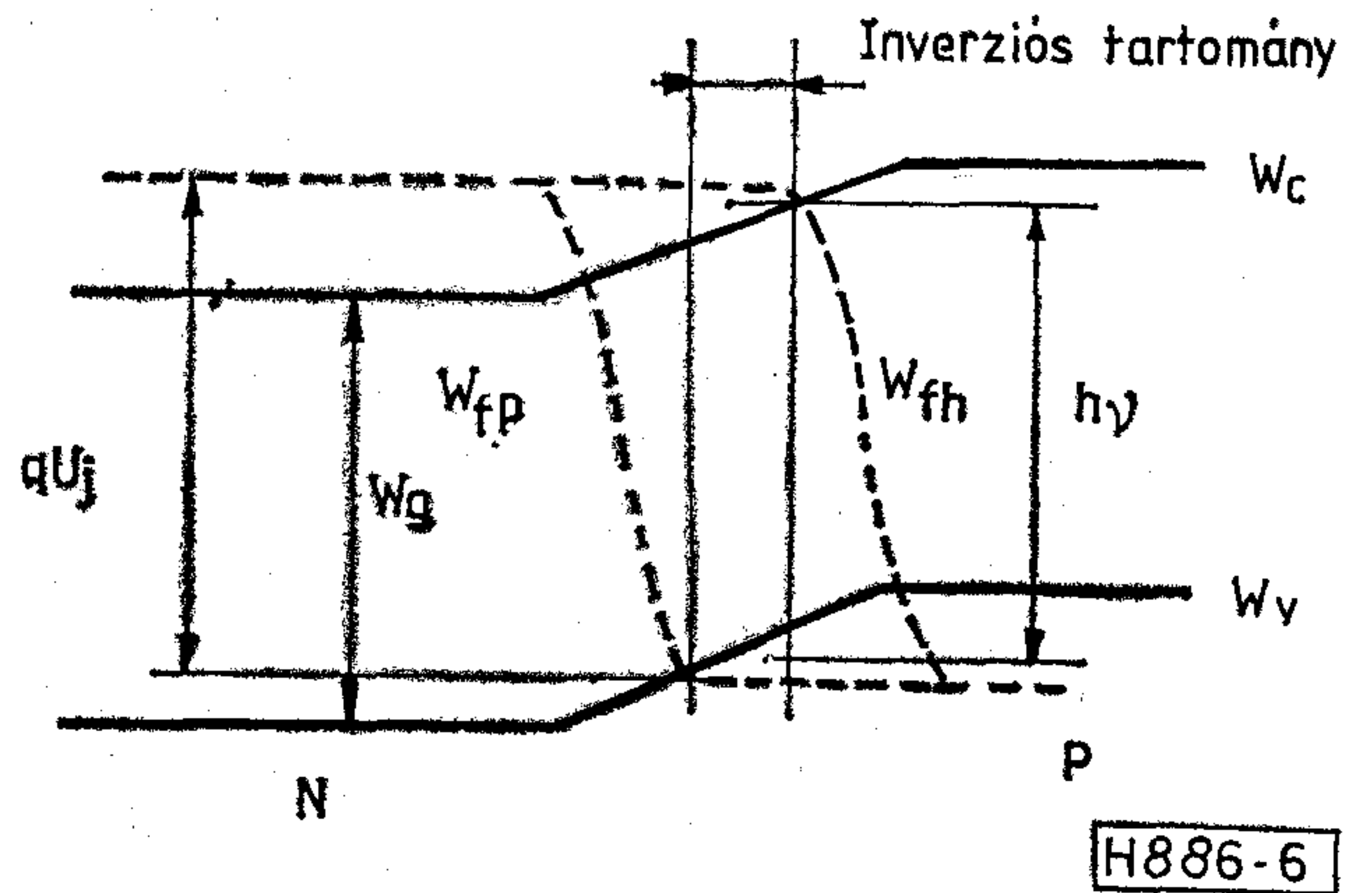
H886-5

5. ábra. A lézerműködés feltétele

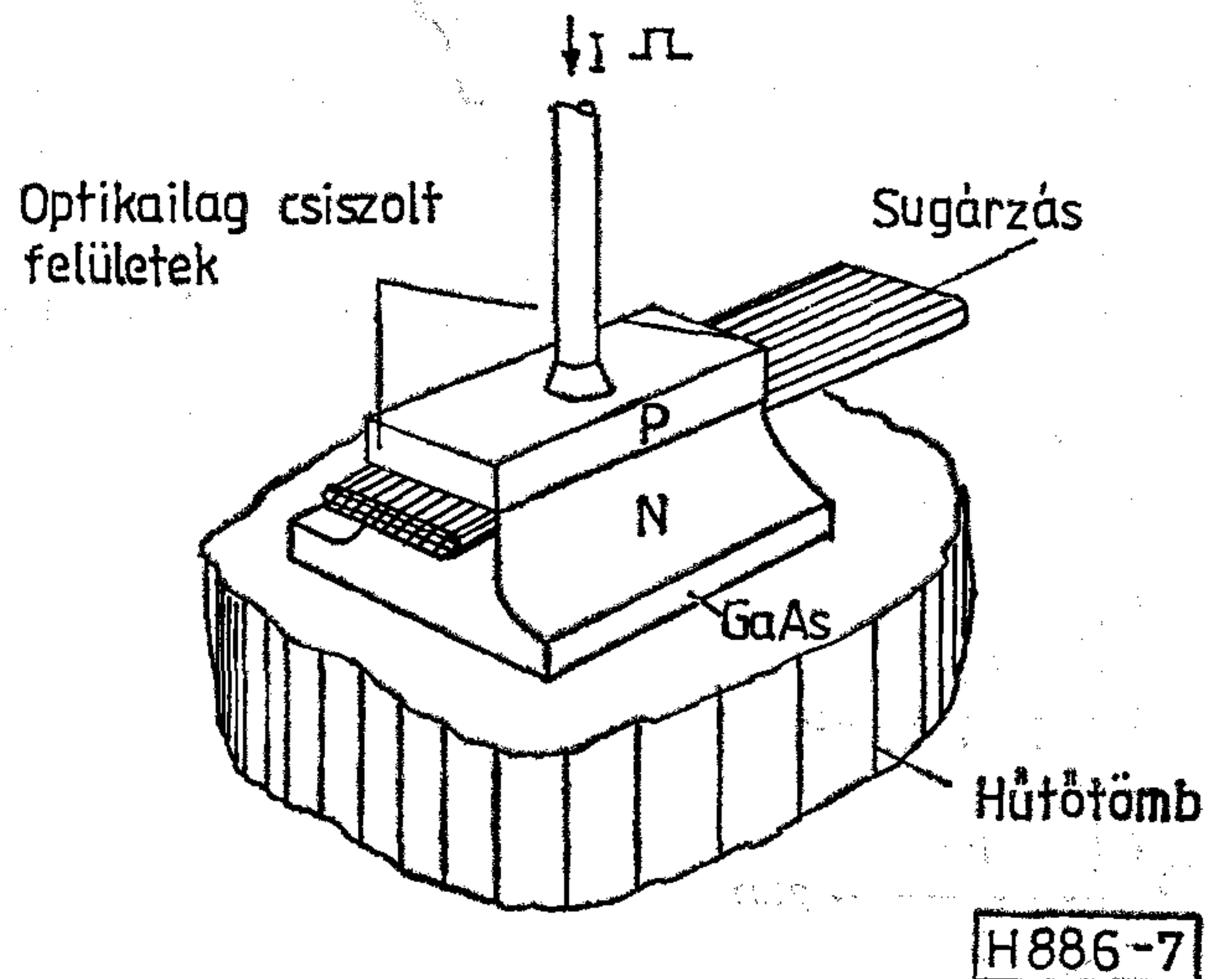
2. Lézerdiódák konstrukciója

2.1. Kezdeti lézerstruktúrák

Az első félvezető lézerek kifejlesztése, a félvezető lézerek elméletének megalapozása Basov és munkatársai nevéhez fűződik [5]. Kimutatták, hogy a betöltési inverzió (7) feltétele $p-n$ átmenetekben ak-



6. ábra. Elfajult félvezetőkkel létrehozott lézerdióda sávdiaagramja



7. ábra. A legegyszerűbb lézerdióda vázlata

kor jön létre, ha mind a p típusú mind az n típusú oldalt elfajult, direkt tiltott sávú félvezetők alkotják, és a határfelületre jutó U_j feszültség nagyobb mint $h\nu/q$. Lásd a 6. ábrát. Ha az így kialakított dióda oldalapjai optikailag párhuzamosan csiszoltak, kialakítható egy Farby-Perot rezonátor, amelyben lézerműködés jöhet létre. Egy tipikus, a 60-as évek elejére jellemző félvezető lézer vázlatát a 7. ábra mutatja.

A dióda GaAs-ból készült, a $p-n$ átmenet felülete $\sim 0,25 \text{ mm}^2$ volt. Működési hőmérsékletük alacsony, ($< 70 \text{ K}$), küszöbáramuk nagy ($> 10 \text{ A}$) volt és ezért impulzus üzemmódban működtek. E hátrányok mellett még jellemzőjük volt az instabil működés.

2.1. A heteroátmenetes lézer

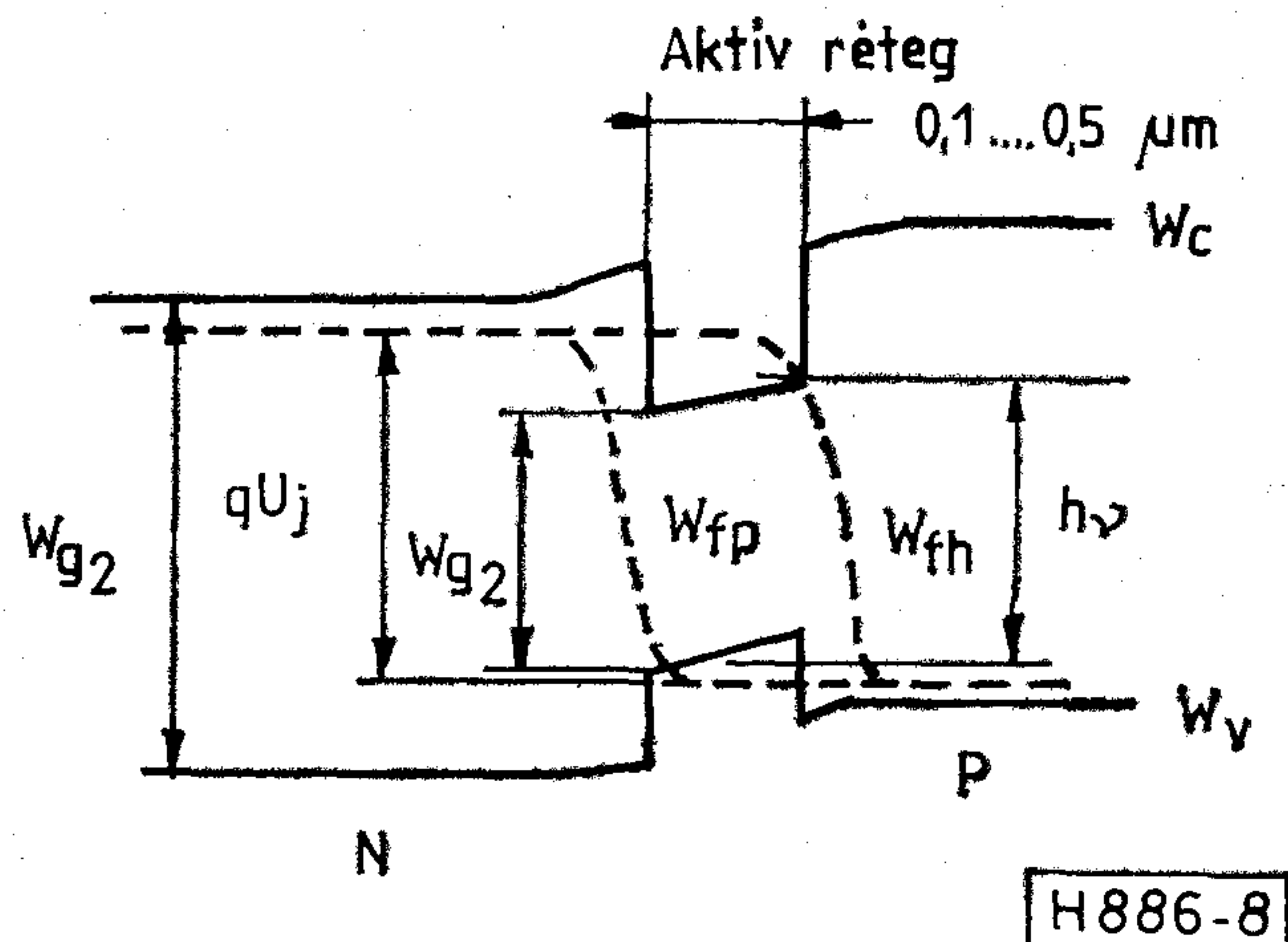
A széles körben használható félvezető lézerek kialakításában a legjelentősebb lépést az 1969–1970-es években kifejlesztett heteroátmenetes struktúrák megjelenése jelentette.

A heteroátmenetes lézer alap gondolata az, hogy a lézernek csak egy vékony aktív rétegében, a $p-n$ átmenet közelében kell betöltési-inverziót létrehozni a lézerműködés fenntartásához. Ez azáltal is elérhető, hogy egy nem elfajult esetleg indirekt tiltott sávú

félvezetők közül álló $p-n$ átmenet határfelületei közé egy kisebb direkt tiltott sávú félvezető réteget is létrehozunk. (Lásd a 8. ábrát).

Az aktív réteg GaAs, a szomszédos rétegek viszont $Ga_{1-x}Al_xAs$ -ból készültek folyadék fázisú epitaxiával.

A jó heteroátmenet feltétele az, hogy az aktív réteg és a szomszédos rétegek rácsállandója egyenlő legyen. Ez akkor valósítható meg, ha x értéke kb. 0,3. Ez a konstrukció lehetővé tette, hogy a lézerek szobahőmérsékleten is folyamatos üzemmódban működjenek.



8. ábra. Heteroátmenetes lézerdióda sávdiaagrammja

Ebben az időben a kutatás fő iránya minél kisebb küszöbáramsűrűség elérése volt. Nagyon kevés figyelmet szenteltek csak a dióda optikai konstrukciójára. Az optikai rezgőrendszert a szokásos optikailag csiszolt felületek határolták. Nagy hibája volt ezeknek a lézereknek a még mindig nagy küszöbáram (1–2A) és a labilis transzfer karakterisztika, azaz bizonyos áramintervallumokban, rendszerint a küszöbáram környezetében, az egyenáramú gerjesztés ellenére a kijövő fényintenzitás impulzussorozatokból állt, amelyeknek frekvenciája néhány 100 MHz volt. További hátránya a struktúrának az volt, hogy a kicsatoló tükröknél a $p-n$ átmenet síkjában a kilépő fényintenzitás nem volt egyenletes és stabil. Mint később kiderült az előbb említett pulzáció és inhomogén intenzitás egymással összefüggő jelenség. E hátrányok ellenére javított konstrukciójú kivétel az ún. nagyfelületű (Broad Area Laser) lézert nagy optikai teljesítmény szükséglet esetén ma is alkalmazzák.

2.2. A csíkgeometriájú lézerek

A 70-es évek közepétől a fejlesztés a megfelelő transzverzális konstrukció kialakítására irányult. Ez első sorban abban nyilvánult meg, hogy az injektálási keresztmetszetet leszűkítették azáltal, hogy az aktív réteget a kontaktusfémezéstől nagy részben elszigetelték. Az eszközbe befolyt áram csak egy keskeny csík mentén jut el az aktív réteghez (lásd a 9. ábrát).

A keskeny (kb. 10 μm) injektálási csík előnye kettős: lényegesen csökkenti a küszöbáramot, mivel az aktív felület 10-edére 20-adára csökkent, másrészt

lehetőséget nyújt arra, hogy olyan lézereket hozzanak létre, melyek egyetlen transzverzális optikai módusban rezegnek.

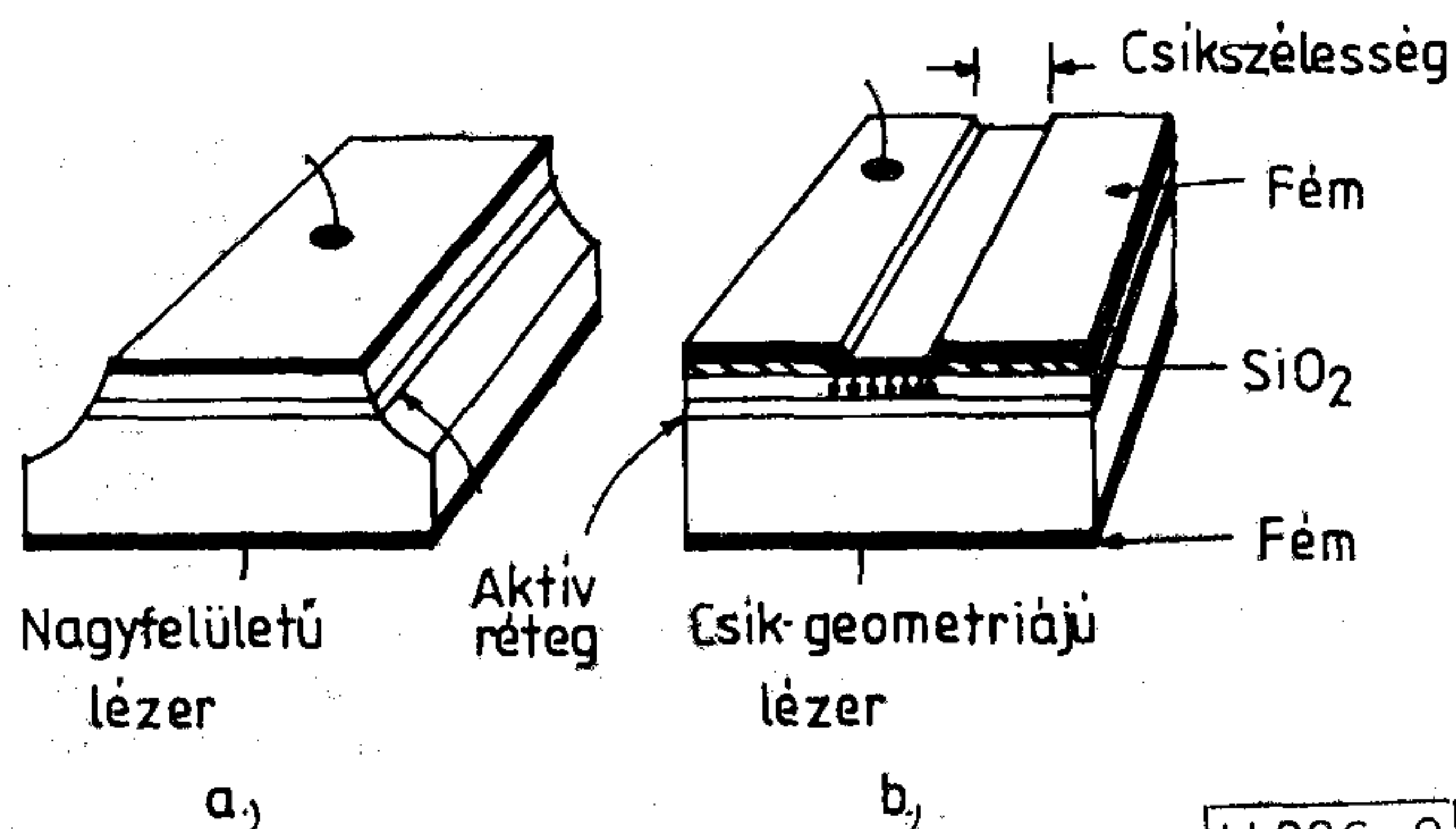
Annak ellenére, hogy ezek a szerkezetek még jelentős gyermekbetegségekkel rendelkeztek, pl. a kis élettartam, ráirányították a figyelmet arra, hogy optikailag stabil lézerműködést és ezzel együtt kis küszöbáramot csak az optikailag minden irányban egyértelműen definiált rezonátor-struktúrákkal lehet elérni.

A csík geometria bevezetésével azonban olyan elektromágneses energisűrűséget értek el a lézerekben, amelyek mechanikailag tönkretették a kilépő tükröket. Ezért ismét a $p-n$ átmenet síkjára merőleges irányú tervezésre irányult a figyelem. Az optikai teljesítménysűrűség csökkentése érdekében három vagy négy heteroátmenetből álló struktúrákat fejlesztettek ki. Ezek tulajdonságait a 10. ábra mutatja.

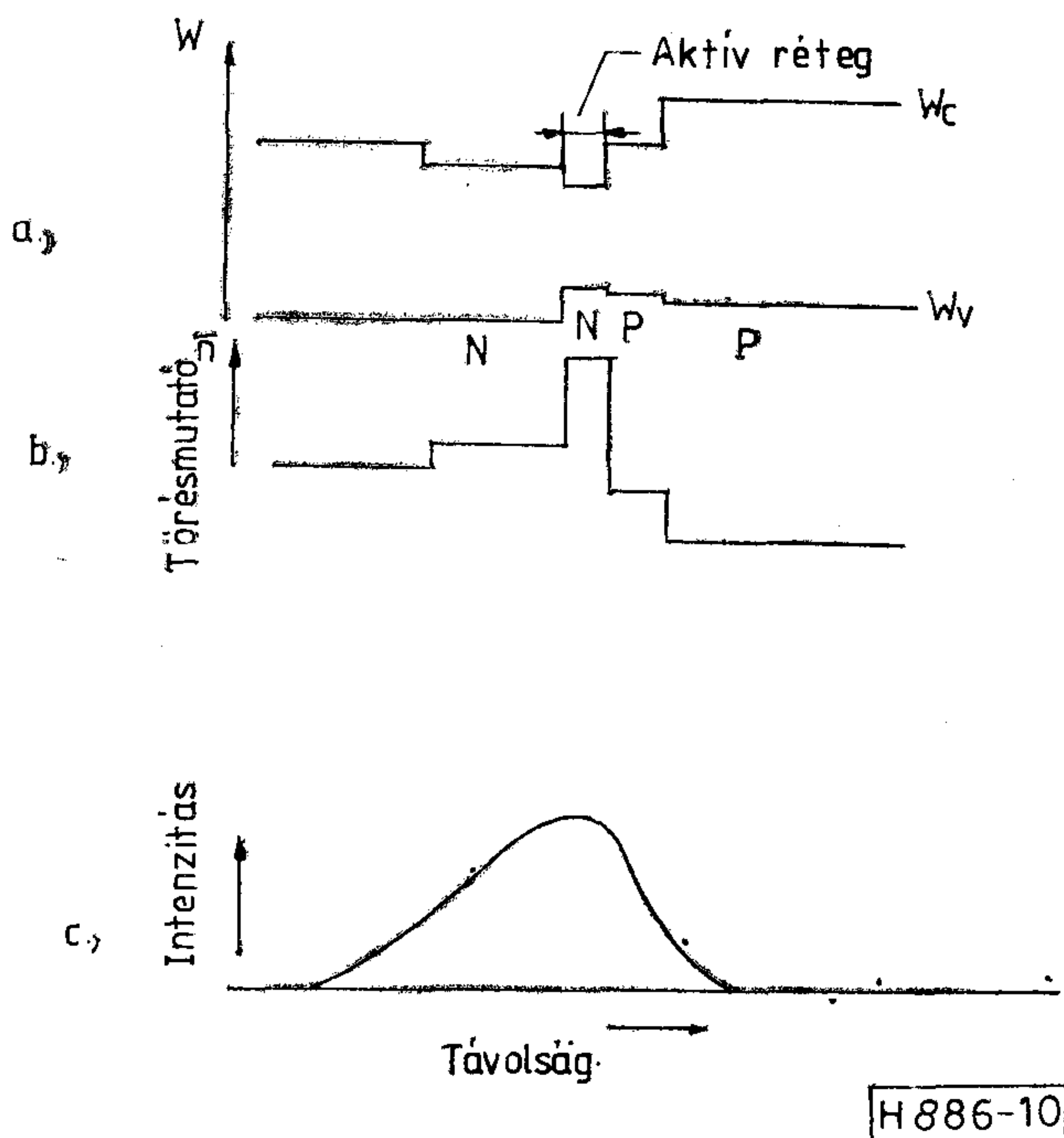
Ezzel a struktúrával a sugárzó felület nagysága megnő és a teljesítménysűrűség a kritikus érték alatt marad. Ezen szempontok figyelembevételével tervezték a ma legelterjedtebben használt lézerstruktúrákat, amelyekből bemutatunk néhány jellegzetes típust.

A 11. ábra olyan különböző csíkgeometriájú lézerstruktúrákat mutat, amelyekben a laterális irányú optikai hullámvezetés azáltal jön létre, hogy az injektált részben a törésmutató képzetes része, azaz az erősítés nagyobb, mint az injektálatlan térrészben. Ezek az ún. gain-guided struktúrák. A 11. a) ábra egy oxidhatárolt csíkstruktúrát mutat. A b) ábrán látható struktúrában az injektálási csík szélességét egy $p-n$ átmenet határolja, mely a cinkkel adalékolt p típusú csík és az n típusú legfelső GaAs réteg között jön létre. A c) ábra proton-bombázott csíkgeometriát mutat. A vonalkázott proton-bombázott rész vezetőképessége a rácshibák miatt jóval kisebb, mint a nem bombázott csík vezetőképessége, így az áram a bombázatlan részre koncentrálódik. A d) ábra egy V-marásos lézerstruktúrát mutat, mely jellegzetes AEG-Telefunken konstrukció. A V alakú árkot irány szelektív marással hozzák létre, majd egy p típusú diffúzióval összeköttetést teremtenek az árok alján levő p típusú GaAlAs réteggel. Az oldal irányú szigetelést itt is a $p-n$ átmenet valósítja meg.

A felsorolt lézerstruktúrák tipikus küszöbárama 100 mA, az egy oldalon lesugárzott maximális opti-



9. ábra. Nagy felületű a) és csíkgeometriájú b) lézerek összehasonlítása



10. ábra. Négy heteroátmenettel felépített lézer sávdiagrammja *a*), törésmutatóprofilja *b*) és intenzitáseloszlása *c*)

kai teljesítmény 10 mW nagyságrendű, differenciális kvantumhatásfokuk (a befolyó áramváltozás egy elektronjára jutó elsugárzott fotonszám változás) kb. 30%. Átlagosan 100–150 Mbit/s sebességig modulálhatók.

2.3. Lézerstruktúrák beépített laterális hullámvezetéssel

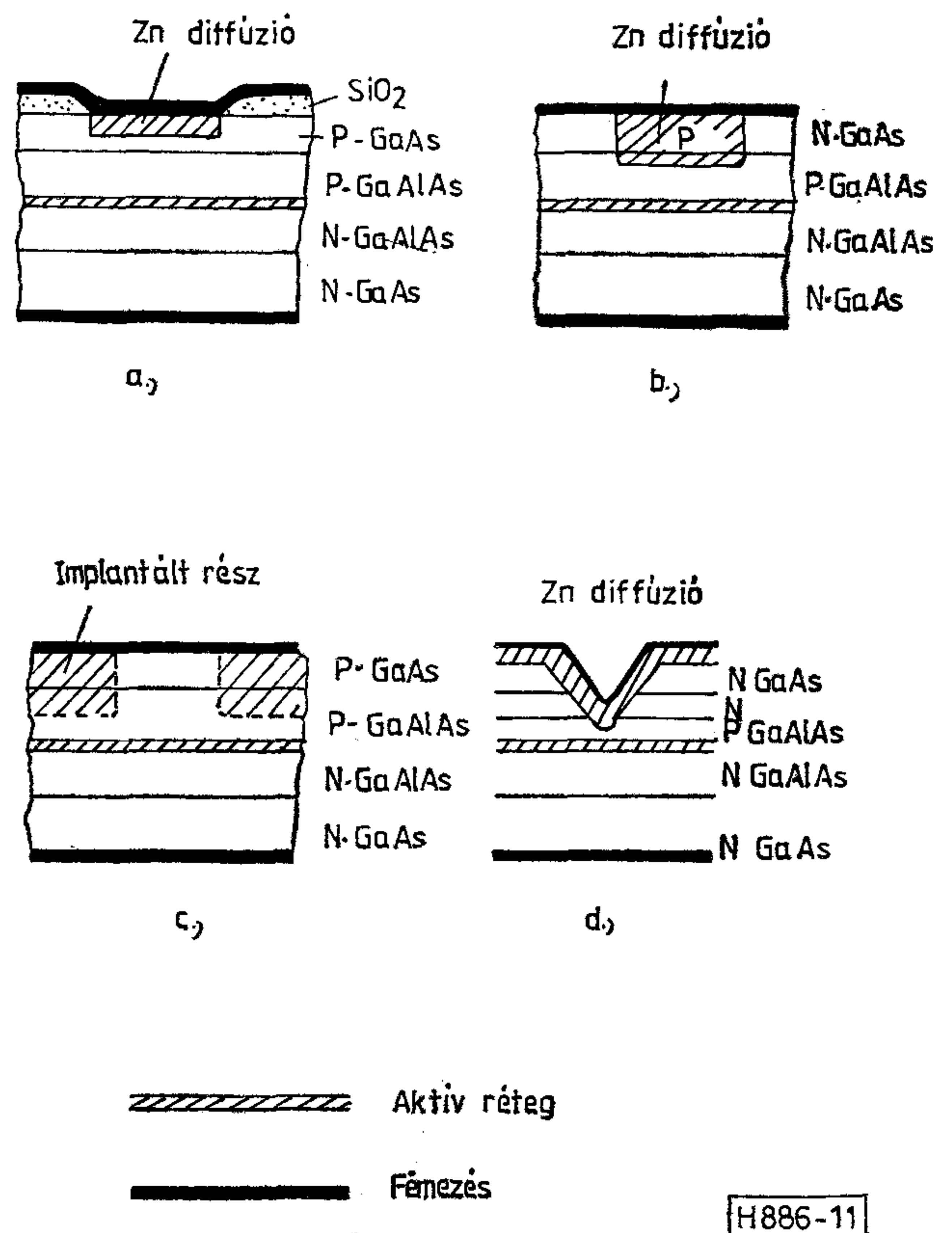
A nagyobb 500–1200 Mbit/s sebességgel modulálható lézerek kifejlesztése csak azáltal vált lehetővé, hogy egyrészt az optikai elektromágneses tér laterális irányú kiterjedését nemcsak az injekció által létrehozott hullámvezetés, eléggé labilis, hatására bízták, másrészt az aktív réteg szélességét is csökkentették. Ilyen konstrukciókat mutat a 12. ábra. A 12. *a*) ábra egy olyan alacsony meza struktúrát ábrázol, amelynél az aktív-területen kívüli burkoló rétegeket meza marással egyszerűen eltávolítják majdnem az aktív réteg mélységéig. A *b*) ábra egy árkokat tartalmazó (Channeled-Substrate Planar) lézerstruktúrát mutat. Az árambeszűkítés ugyanolyan jellegű mint a 11. *b*) ábra konstrukciójának esetében. Az optikai elektromágneses tér laterális irányú behatárolását az biztosítja, hogy az erősen abszorbeáló típusú GaAs alaplemez az aktív területen kívül vastagabb mint belül. A *c*) ábrán egy eltemetett heterostruktúrát láthatunk. Ebben a konstrukcióban oldalirányban is heteroátmenet jön létre. Az oldal irányú GaAlAs kisebb törésmutatójú, mint a GaAs aktív réteg, s így optikailag is határolja az elektromágneses teret. A *d*) ábrán látható ún. márt eltemetett heterostruktúrájú, vagy laterálisan leszűkített aktív rétegű lézerben a szubsztrátba egy legömbölyített árkot marnak, majd ezután növesztik az egymást követő különböző összetételű rétegeket. Ez a megoldás egyszerűbb technológiával nyújtja ugyanazokat az előnyöket mint a *c*) ábrán látható konstrukció.

A laterális hullámvezetéssel és az aktív réteg határolásával megvalósított lézerek kvantumhatásfoka jól megközelíti az elméleti értéket. Várható a jövőben, hogy a fenti konstrukciók a mikrociszolációs integrált technológiával az ugyancsak GaAs meghajtó áramkörökkel monolitikusan integrálhatók lesznek [6].

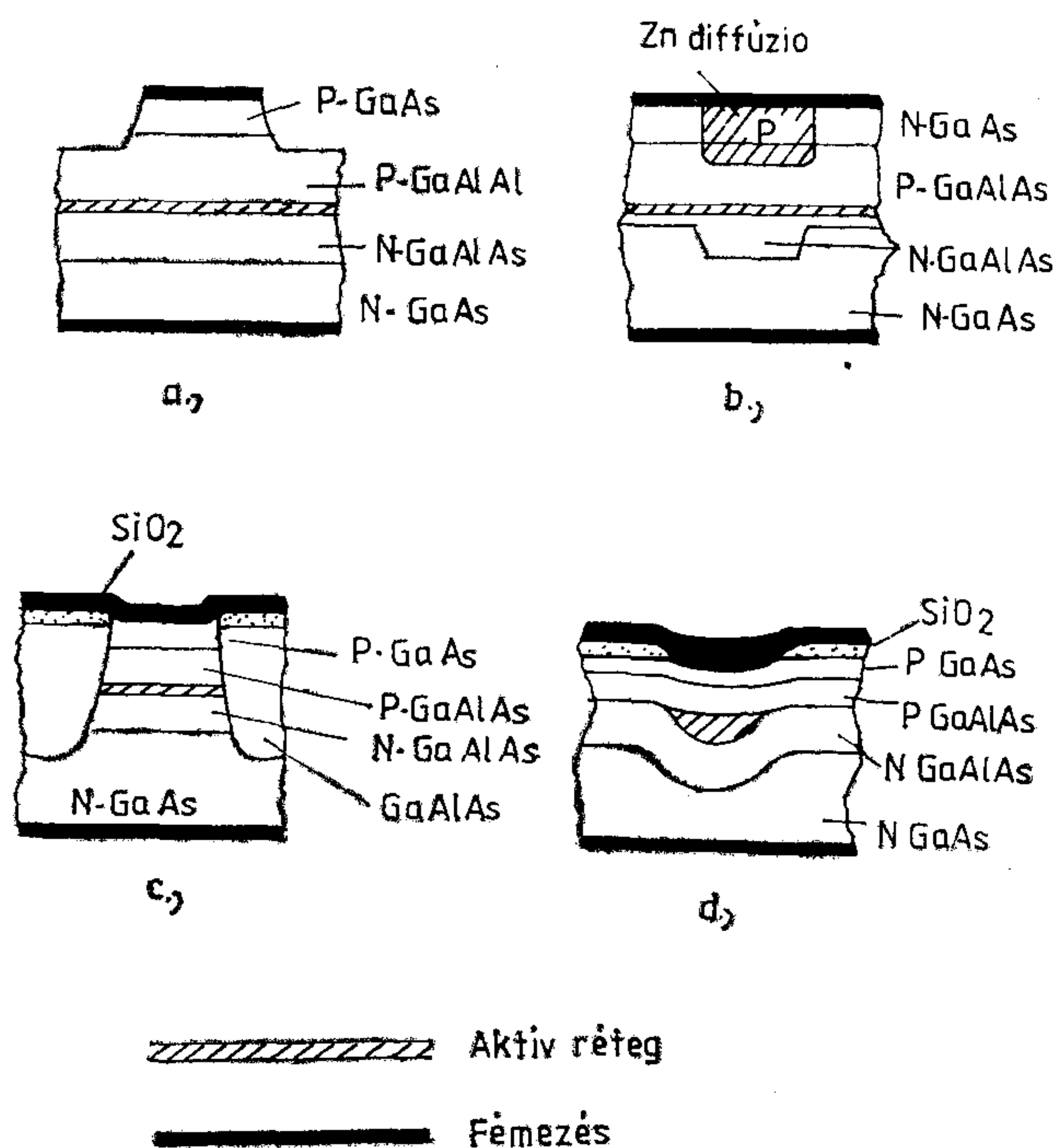
Az eddig felsorolt konstrukciók között lényeges különbségek vannak az előállítási költség tekintetében. A legolcsóbbak a gain-guided struktúrák. Ezek közül a legmegbízhatóbb a V marásos lézer. Ugyancsak jó megbízhatóságú, stabilabb működésű, de drágább az árkokat tartalmazó struktúra. Konstrukciós szempontból a legtökéletesebbnek tűnik az eltemetett heterostruktúrájú (Buried Heterostructure) lézer, azonban ha az oldal irányú epitaxiális rétegnövesztés nem tökéletes, stabilitási és élettartam problémák merülhetnek fel.

2.4. Egymódusú lézerstruktúrák

Mint az 5. ábrából látható a Farby–Perot rezonátoros lézerekben rendszerint csak egy módus frekvenciáján teljesül az oszcilláció feltétele, de a szomszédos módusok is közel állnak a lézerműködés feltételéhez. Ezért a lézer impulzusmodulációja esetén ezekben a módus frekvenciákon is jelentős teljesítményt sugároz az eszköz. Ezenkívül a hőmérsékletváltozás hatására az erősítés-frekvencia karakterisztika eltolódása miatt, módusváltás jön létre. A longitudinális módusok önfrekvenciái az átlagos 300–500 μm lézerhosszúság mellett 50–60 GHz távolság-



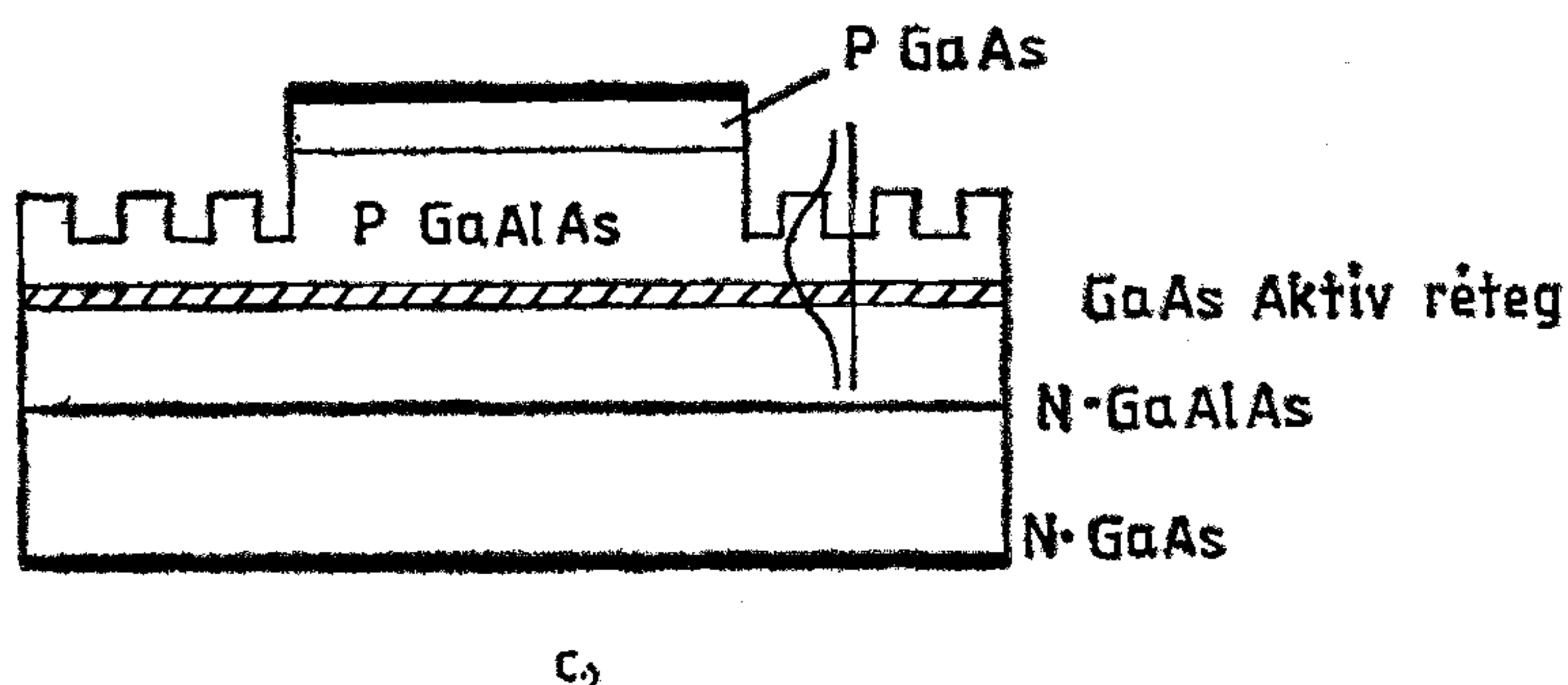
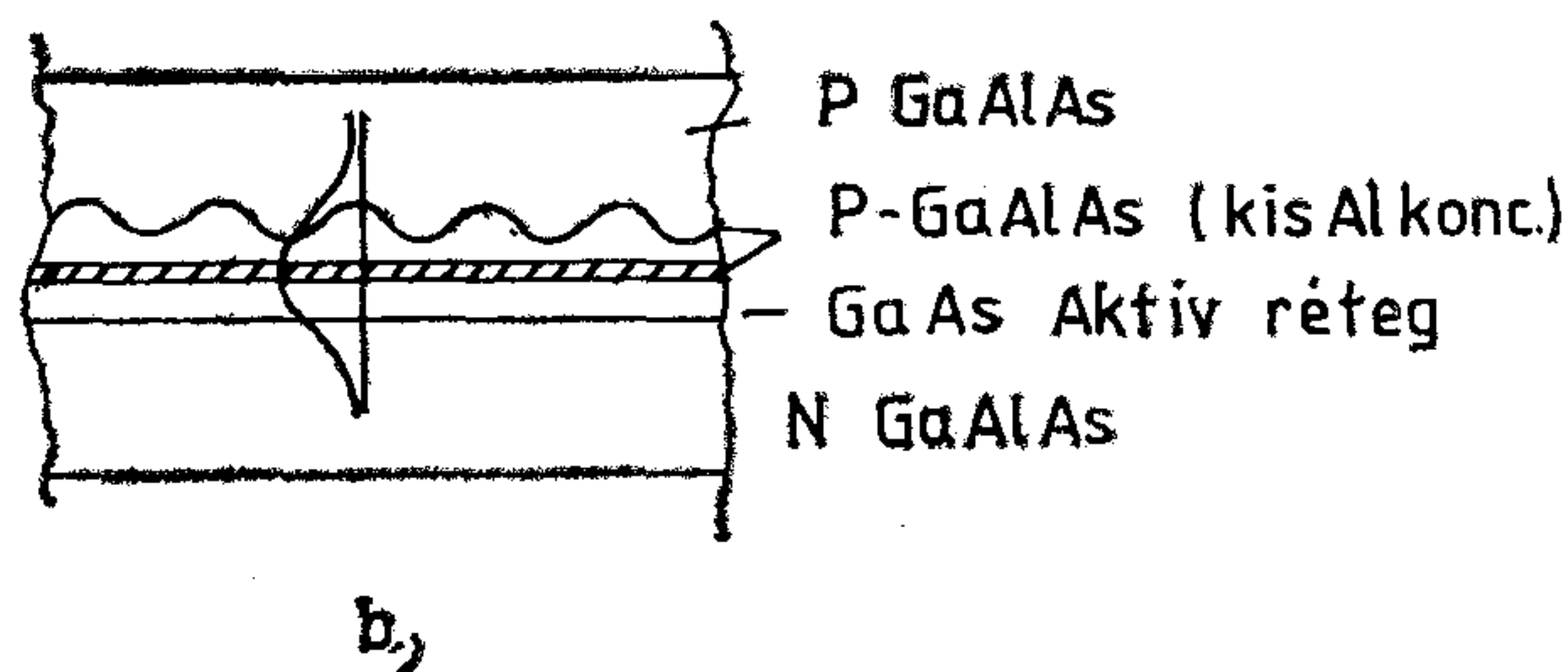
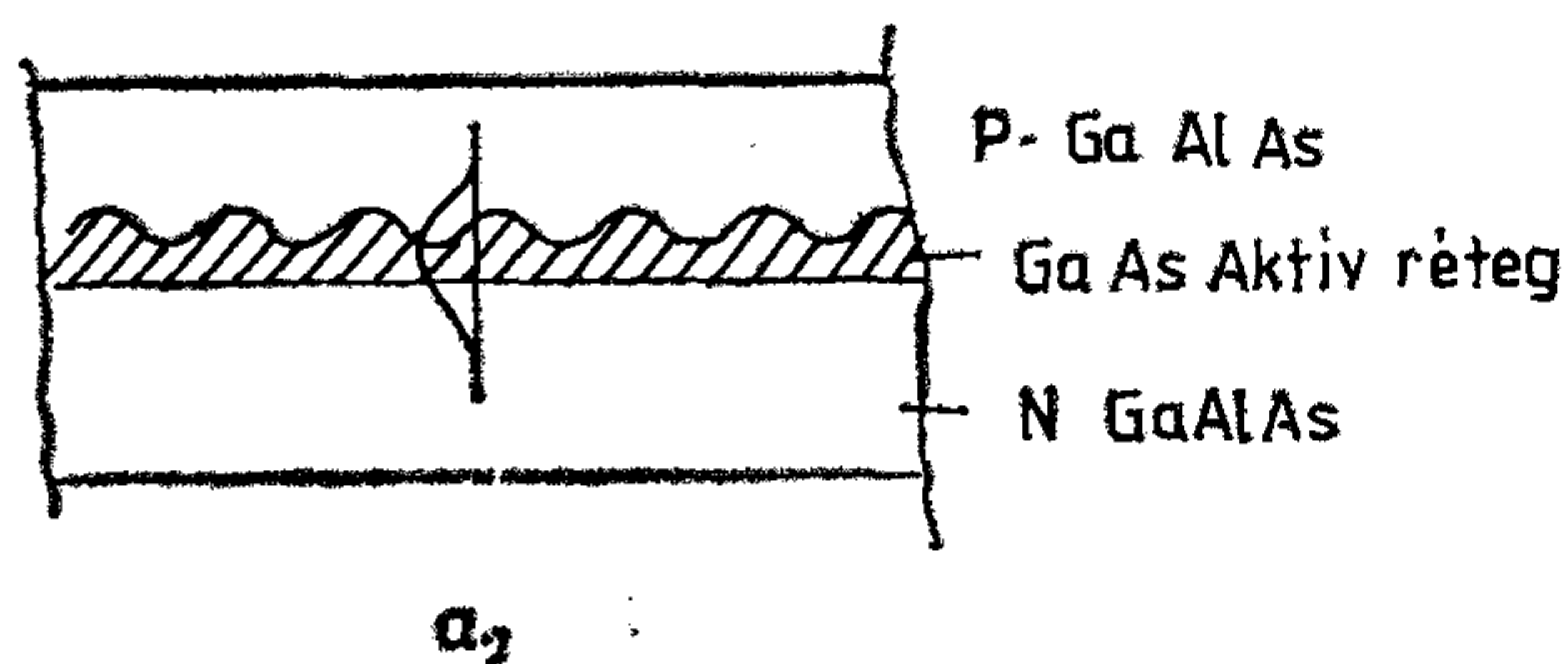
11. ábra. Többszörös heterostruktúrák indukált hullámvezetésű csikgeometriájú lézerstruktúrák



H886-12

12. ábra. Lézerdiódák beépített laterális hullámvezetés-sel

ban helyezkednek el egymástól. Többmódusos működés esetén az optikai spektrum kiszélesedése az optikai hírközlésben használt hullámvezetők frekvenciafüggő diszperziója miatt átviteli sebességhatárolást okozhat a nagytávolságú, nagysebességű hírközlő rendszerekben. Méréstechnikai alkalmazásokban szintén hátrányos lehet a többmódusos működés. Ezért a fejlesztés egyik iránya az egy módusban működő lézerek létrehozása.



H886-13

13. ábra. Elosztott visszacsatolású lézerstruktúrák hosszmetsetei: a), kettős- b), többszörös hetero-struktúrák c), külső rácsos konstrukció

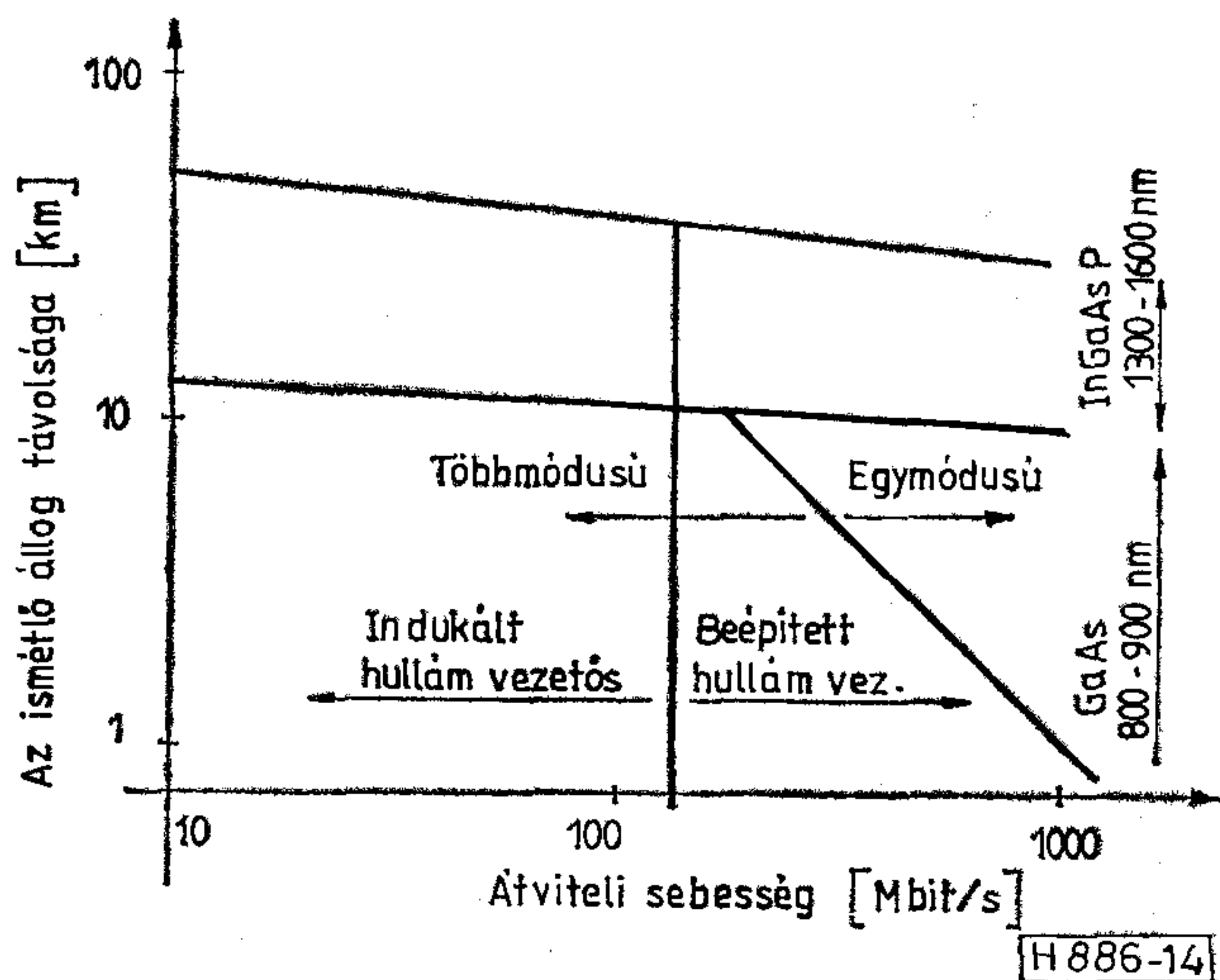
Egy módusos működést elvben két úton érhetünk el: vagy szelektívebbé tesszük az optikai rezgőrendszert, vagy szűkítjük azt a frekvenciatartományt, amelyben a félvezető erősítésre képes.

Az első megoldást az ún. elosztott visszacsatolású lézerekben alkalmazzák. Ezekben az eszközökben az optikai rezonátor nem Farby-Perot típusú, a ki-csatolás rendszerint reflexió mentes, hanem az optikai rács-hatást létrehozó, a félhullámhossz egész számú többszörösével egyező térbeli periodicitással rendelkező struktúrákkal hozzák létre az optika visszacsatolást, reflexiót. Lásd a 13. ábrát. A periodikus struktúrákat vagy az aktív rétegbe, vagy a szomszédos az aktív réteggel optikai csatolásban levő rétegekbe, vagy az aktív rétegen kívüli fényútba helyezik [4].

Az erősítés sáv szélességének lényeges csökkentése a kvantum völgyes struktúrákban lehetséges [7]. Akkor, ha az aktív réteg vastagsága az elektronok de-Broglie hullámhosszával összemérhető, azaz kb. 10 nm, mind a valencia sávban mind a vezetési sávban levő elektronok állapotsűrűség függvénye diszkrét energiaszintek között, aránylag szűk frekvenciasávokban jöhetnek létre. Egyetlen vékony aktív réteg helyett előnyösebb, ha több 4–5 nagyobb tiltott sáv szélességű, ugyancsak néhány nanométer vastagságú rétegekkel elválasztott aktív réteg struktúrát hoznak létre. Ezeknek a rétegeknek az előállítását molekulásugaras epitaxiális rétegnövesztéssel lehetséges.

Az aktív réteg állapotsűrűségének csökkentése még azzal az előnnyel is jár, hogy lényegesen csökken a lézerműködésben részt nem vevő frekvenciákra a sugárzásos rekombináció, és így a küszöbáram is. A kvantumvölgyes lézerek jellegzetes küszöbárama 5–10 mA.

Mint az előzőekből kitűnik, az egymódusú lézerstruktúrák technológiája nagyon bonyolult, ezért



14. ábra. A különböző konstrukciójú lézerdiodák alkalmazási területei az optikai hírközlésben

az előállított költségek is magasak, tömeggyártásban még nem készülnek.

Megjegyzendő hogy egymódusú lézereknek nevezik az olyan a 2.3. pontban tárgyalt konstrukciójú lézereket is, amelyek különféle másodlagos módus-stabilizáló hatásoknak köszönhetően [7], [8], folyamatos üzemmódban egy longitudinális módusban sugároznak. Impulzus üzemiében azonban ezek a lézerek is többszörös működésűek.

3. Típuskiválasztás

Az optikai hírközlésben alkalmazott lézerdiodák típusának kiválasztását az optikai hullámvezetők tulajdonságai határozzák meg. A legelterjedtebb GaAs aktív rétegű lézerek működési hullámhosszán, a 800–900 nm-es hullámhossztartományban, a legjobb egymódusú szálak csillapítása 2–3 dB/km, diszperziójuk 5–15 ps/nm km. Ezért kb. 10 km-es ismétlőállomás távolságig használható a GaAs aktív rétegű lézer úgy, hogy egymódusú szálát egymódusú lézerrel hajtunk meg. A nagytisztaságú optikai hullám-

lámvezetők csillapítása és diszperziója az 1300–1600 nm-es hullámhossztartományban minimális, az előző értékek ötöd-hatodrésze. Ezért az ebben a hullámhossz tartományban működő InGaAsP aktív rétegű lézerekkel az ismétlőállomások távolsága 50–60 km-re növelhető. Mindkét alapanyag esetében 100–150 Mbit/s információ sebesség felett beépített hullámvezetős, laterálisan szigetelt aktív rétegű struktúrájú lézerek használata szükséges. A típuskiválasztás szempontjait a 14. ábra foglalja össze.

A lézerdiodák egyéb alkalmazástechnikai kérdéseit egy következő közlemény tárgyalja.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni dr. Tarnay Kálmán, dr. Kormány Teréz és dr. Gottwald Péter segítségét, amelyet hasznos észrevételeikkel nyújtottak.

IRODALOM

- [1] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Souds: Mai fizika. 42.5. és 100. fejezetek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [2] Dr. Marx György: Kvantummechanika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
- [3] G. Lasher, F. Stern: Phys. Rev. 133, A 553 1964.
- [4] H. C. Casey, jr., M. B. Panish: Heterostructure Lasers Academic Press. New York, 1978.
- [5] N. G. Basov, O. N. Krokin, Y. M. Popov: Production of negative-temperature states in p-n junctions of degenerate semiconductors Sov. Phys. JETP 1961 vol. 13. pp. 1320–1321.
- [6] H. Blauvelt, N. Bar-Chaim, D. Fekete, S. Margalit and A. Yariv: AlGaAs lasers with micro-claved mirrors suitable for monolithic integration. Appl. Phys. Lett. vol 40(4) 1982. pp. 289–290.
- [7] N. Holonyak, R. M. Kolbas, R. D. Dupius, P. D. Dapkus: Quantum-Well Heterostructure Lasers IEEE J. of Quantum Electronics vol. QE-16 1980. pp. 170–186.
- [8] J. A. Copeland: Single-Mode Stabilization by Traps in Semiconductor Lasers. IEEE J. of Quantum Electronics vol. QE-16 1980. pp. 721–727.
- [9] M. Yamada, Y. Suematsu: Analysis of gain suppression in undoped injection lasers. J. Appl. Phys. vol. 52/4 1981. pp. 2653–2664.

Folytatás az 508. oldalról

MONOMAX-RENDSZER FEKETE-FEHÉR TV KÉSZÜLÉKEKHEZ

Az olcsó fekete-fehér TV készülékek iránti változatlanul erős igény kielégítésére a Motorola cég MC 13 002 P típusjellel egy LSI áramkört fejlesztett ki, mely az összes készülék-funkciót — beleértve a tuner, a hangcsatorna és a teljesítmény fokozat áramköreit is — tartalmazza. A MONOMAX rendszer elnevezésű áramkört 100 nm-es lapkán, új gyártási eljárással dolgozták ki és 18 kivezetéses tokban hozzák forgalomba. Kifejlesztésénél fontos követelmény volt, hogy alkalmazásához kevés hangolásra, kevés külső alkat-

részre legyen szükség, a nyomtatott lemez kialakítása egyszerű legyen, ne legyenek illesztési problémák, üzemeltethető legyen alacsony feszültségről kis áramfelvétel mellett. A különböző tuner kivitel (felfelé-lefelé szabályzás) és különböző TV szabványok (NTSC, CCIR) kielégítésére négy változatban hozzák forgalomba. Az áramkör felépítésében néhány új kapcsolástechnikai megoldást is alkalmaztak: szimmetrikus video egyenirányítást, újszerű zavarszűrést a szinkronizálásban, a beépített kondenzátort a vízszintes oszcillátorban (C fokként 1 Hz-nél kisebb drifttel), kéthurkú PLL szabályozókört a sorfrekvenciához (melynek csak a sorvisszafutás impulzusra van szüksége a szinkronizáció megvalósításához) egy számláló vezérelt függőleges eltérítő rendszert és sugáráramhatárolást. (Funk-Technik 12. sz. 1982. [1128])

MISS és MIST eszközök kutatása

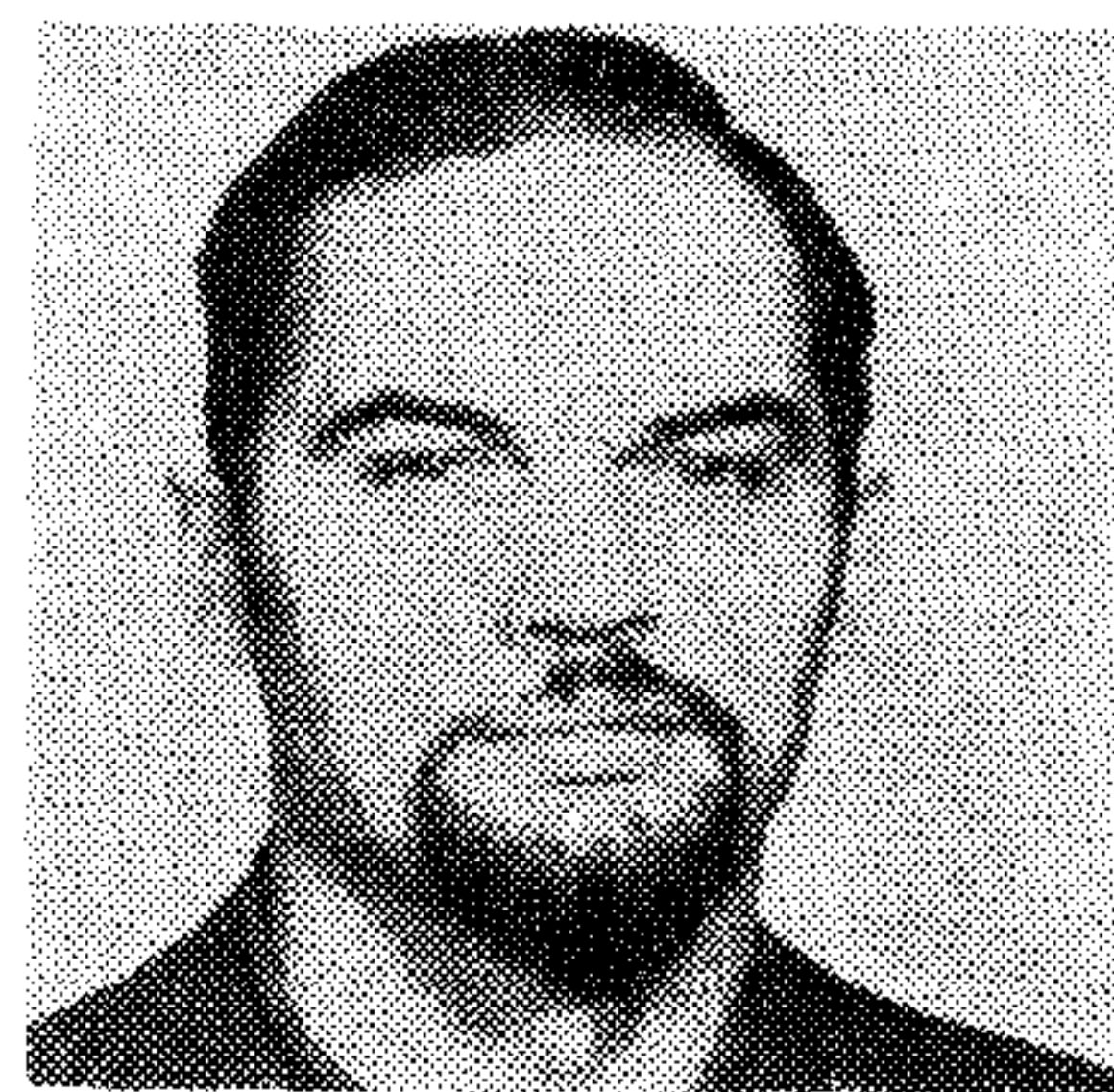
DR. ZÓLÓMY IMRE

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke

ARMANDO ADAN

Havannai Műszaki Egyetem

Integrált Áramkörök Intézete

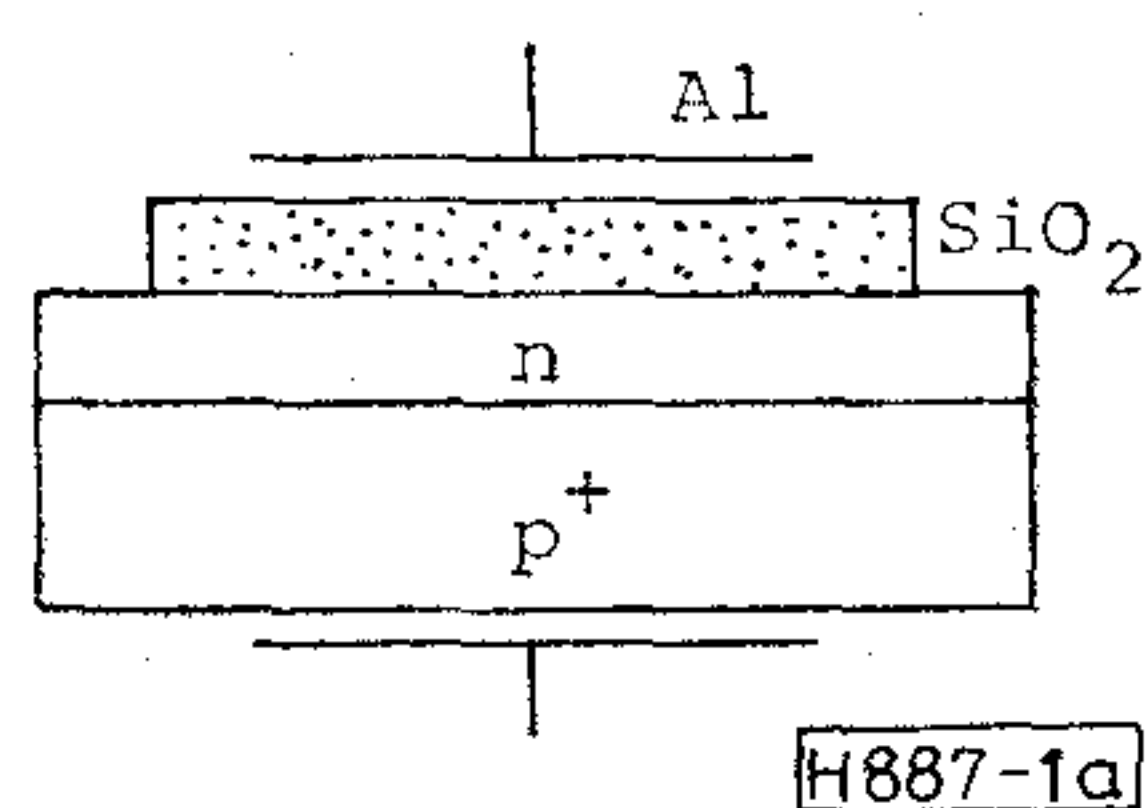


ÖSSZEFOGLALÁS

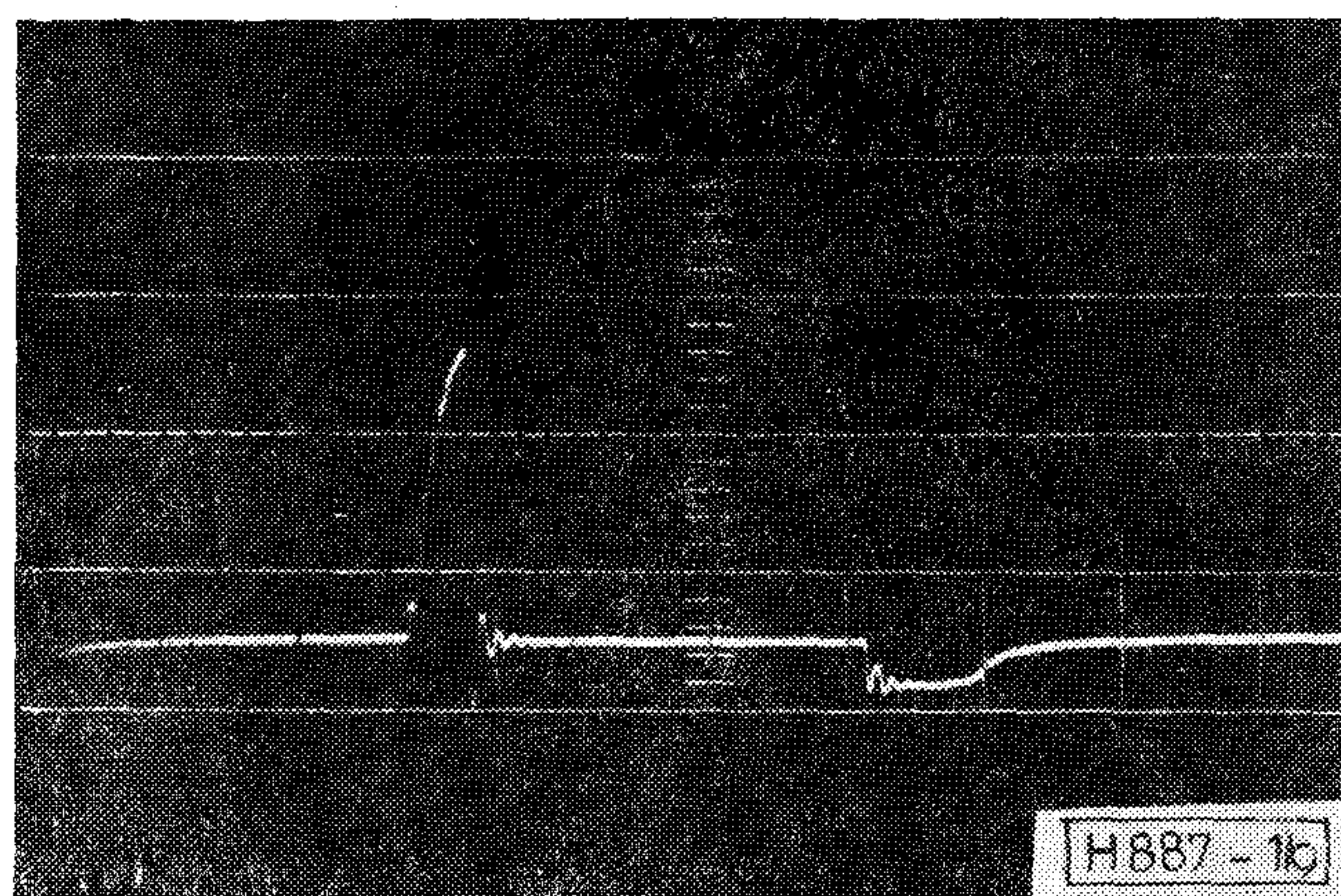
A p^+n-i-m (p^+ , n típusú félvezető, tunnel oxid, fém) struktúrájú, két impedancia-állapotú MISS és MIST eszközök előállítására és fizikai működésük vizsgálata új elvek és jelenségek feltárását eredményezte. Ilyenek voltak az eszközök tranziens folyamatai különböző külső áramköri körülmények mellett, különböző töltéstárolási effektusok mind a kétkivezetéses MISS, mind a háromkivezetéses MIST esetén. A kapcsolási folyamat befolyásolható fény segítségével is. Továbbfejlesztettük a MISS statikus elméletét is. Az új elmélet több másodlagos effektust is figyelembe vesz és a gyakorlatban tapasztalható jelenségeket jobban leírja. ($\wedge$)

1972-ben Yamamoto [1] felfedezte, hogy egy $p^+ - n$ — tunnelező szigetelő — fém struktúrával a tirisztorhoz hasonló, negatív differenciális ellenállású karakterisztika nyerhető (1. ábra). Rövidesen az USA-ban is Kroger megjelentette az első publikációt [2, 3], majd Kanadában Simmons és kutatócsoportja [4, 5, 6] több értékes eredményt közölt, Európában Franciaországban alakult kutatócsoport [7, 8] a téma vizsgálatára. A szocialista országokban elsőként a Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszéke, valamint a Havannai Műszaki Egyetem Integrált Áramkörök Intézete közös kutatócsoportot hozott létre az eszközök tanulmányozására. A Szovjetunióban Machalov és munkatársai [9] folytatnak kutatásokat ezen a területen.

Kutatócsoportunk az első működőképes MISS-



1. ábra. A MISS kapcsolóeszköz felépítése és áramfeszültség karakterisztikája



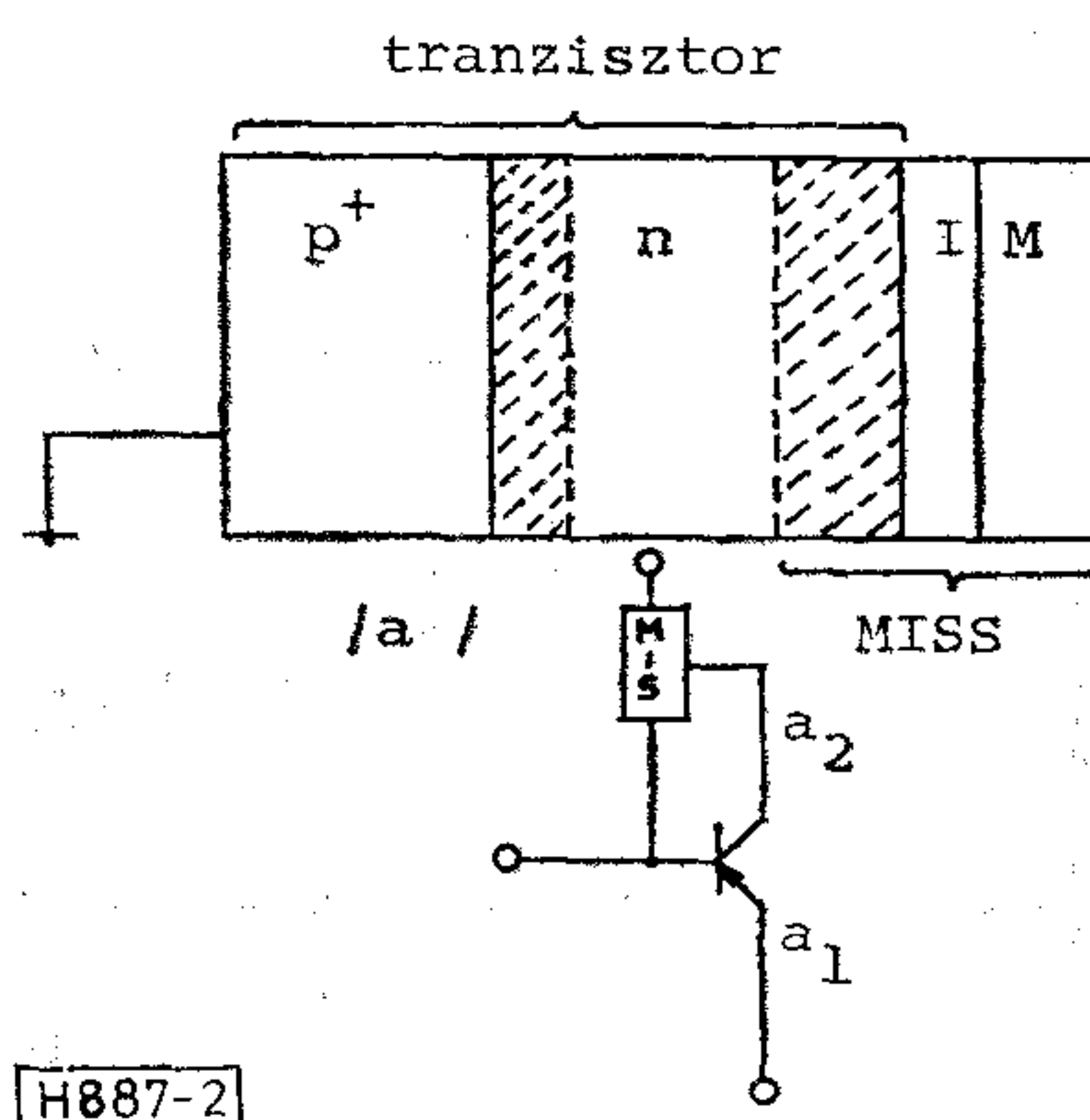
Beérkezett: 1983. VI. 6.

DR. ZÓLÓMY IMRE

1965-ben szerzett kitüntetéses villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. 1970-ben félvezető technológia szakmérnöki oklevelet szerzett. 1974-ben védte meg egyetemi doktori disszertációját. 1983-ban kandidátusi fokozatot szerzett. 1965 óta dolgozik a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén, előbb tanársegédként, később adjunktusként. Ku-

tatási területei elsősorban a félvezetőeszköz fizikával kapcsolatosak, mint például a félvezető diódák tranziens folyamatai, heteroátmenetek, nagy teljesítményű félvezetők és az utóbbi években főleg MISS és MIST eszközök. Foglalkozott ezen kívül még félvezetőeszközök mérés technikájával, aktív szűrők számítógépes tervezésével, mikroproceszorokkal és félvezető memóriákkal.

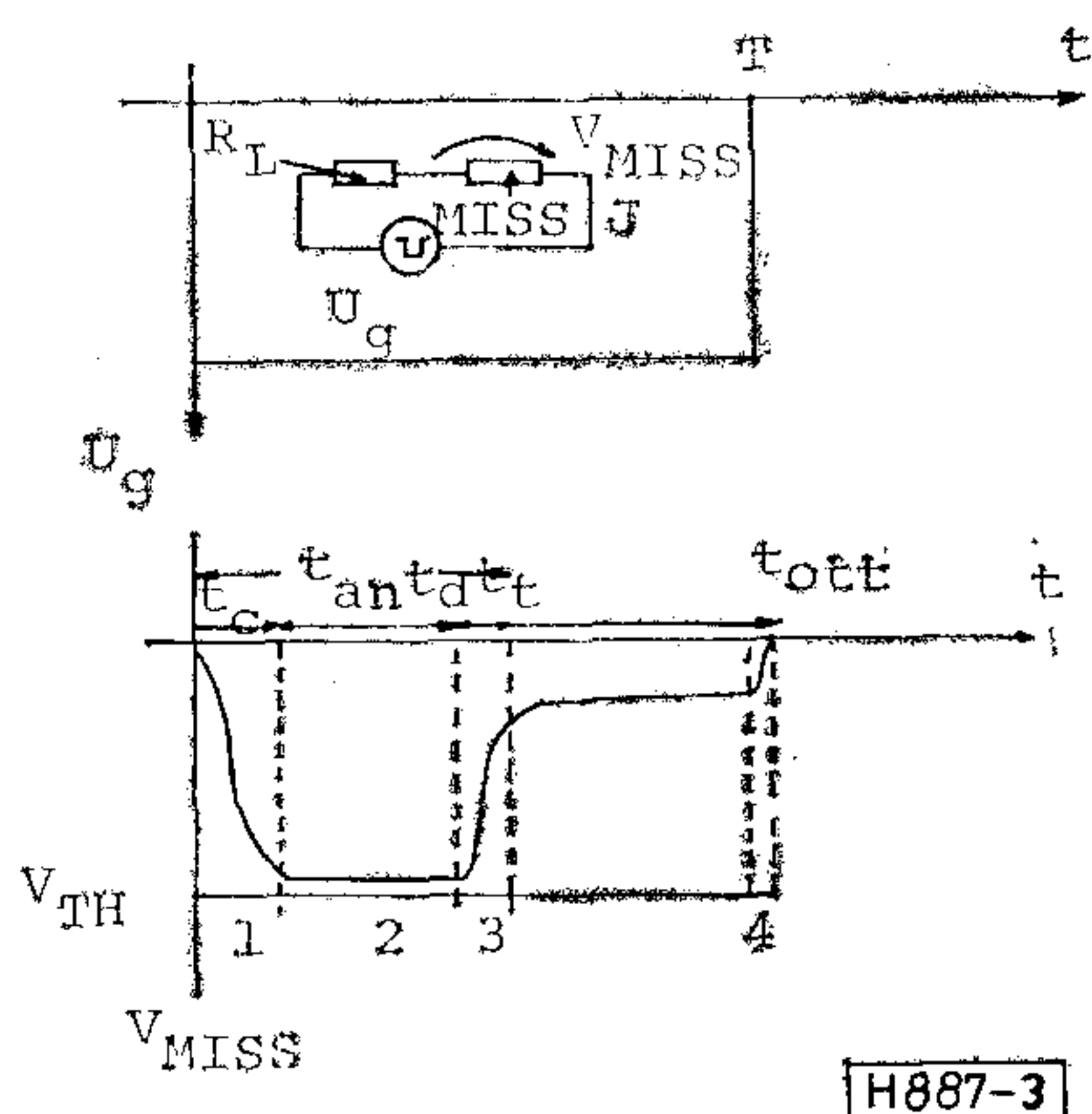
eket Kubában készítette, szivárgó szigetelőként poliszilíciumot alkalmazva. Ezeken az eszközökön végeztünk egyenáramú és impulzusüzemű méréseket, és ennek alapján sikerült az eszköz elméletben több kérdést tisztázni. Később Budapesten készítettünk szilícium-dioxid szigetelőjű eszközöket, amelyek segítségével további új jelenségeket sikerült találni.



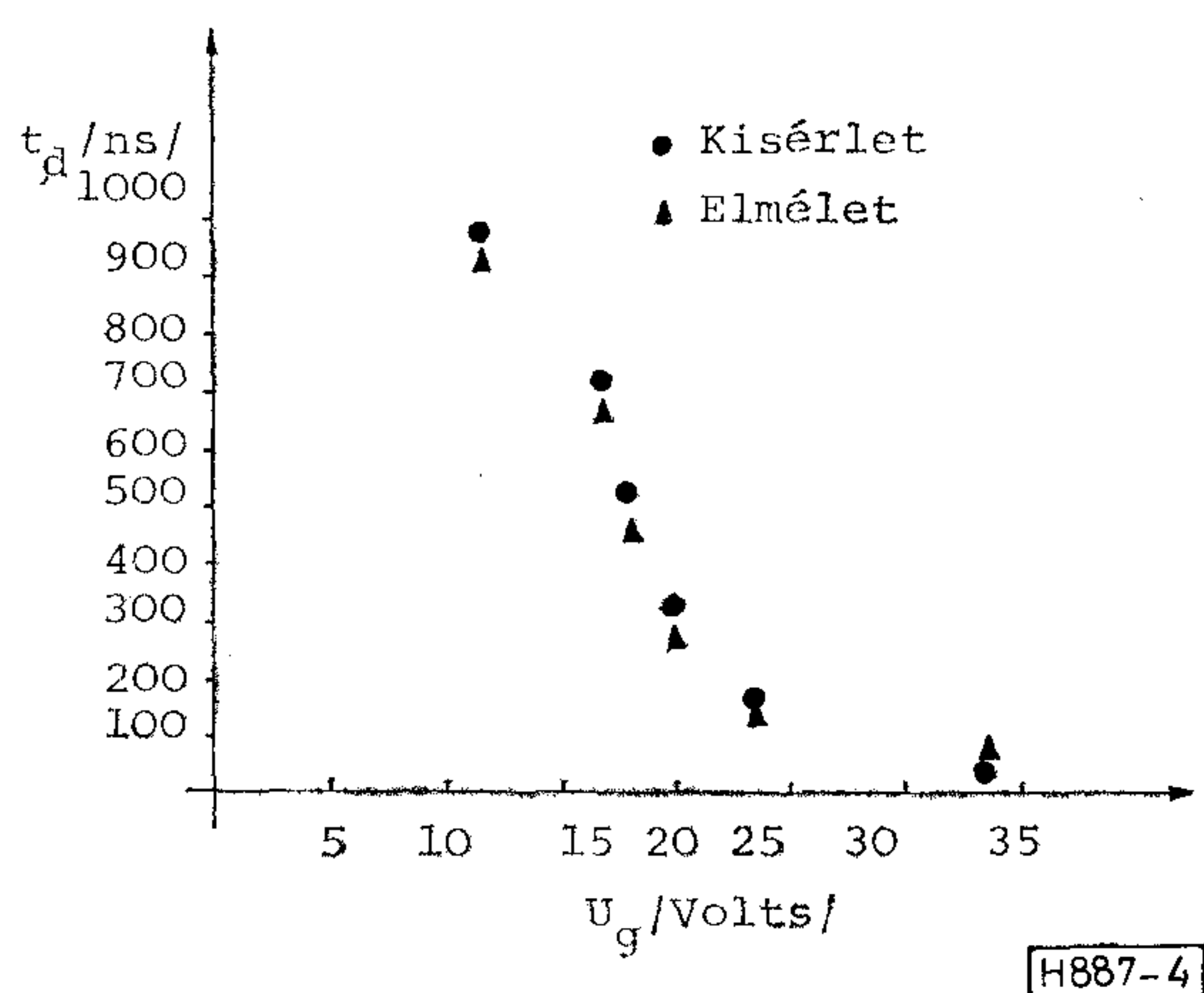
2. ábra. A MISS áramai és két aktív eszközös helyettesítőképe

Az eszközben levő belső visszacsatolás magyarázatára az ún. két aktív eszközös modellt állítottuk fel, mely a 2. ábrán látható [11]. Az eszköz felépíthető egy bipoláris tranzisztorból és egy Shewchun-féle [10] erősítő MIS diódából. A bipoláris tranzisztor emittere a p^+ réteg, bázisa az n réteg, kollektora pedig az oxid-félvezető határfelületen fellépő kiürített réteg. Ez éppen úgy tudja gyűjteni a p^+ rétegből injektált lyukakat, mint egy valódi, pn átmenetből álló kollektor.

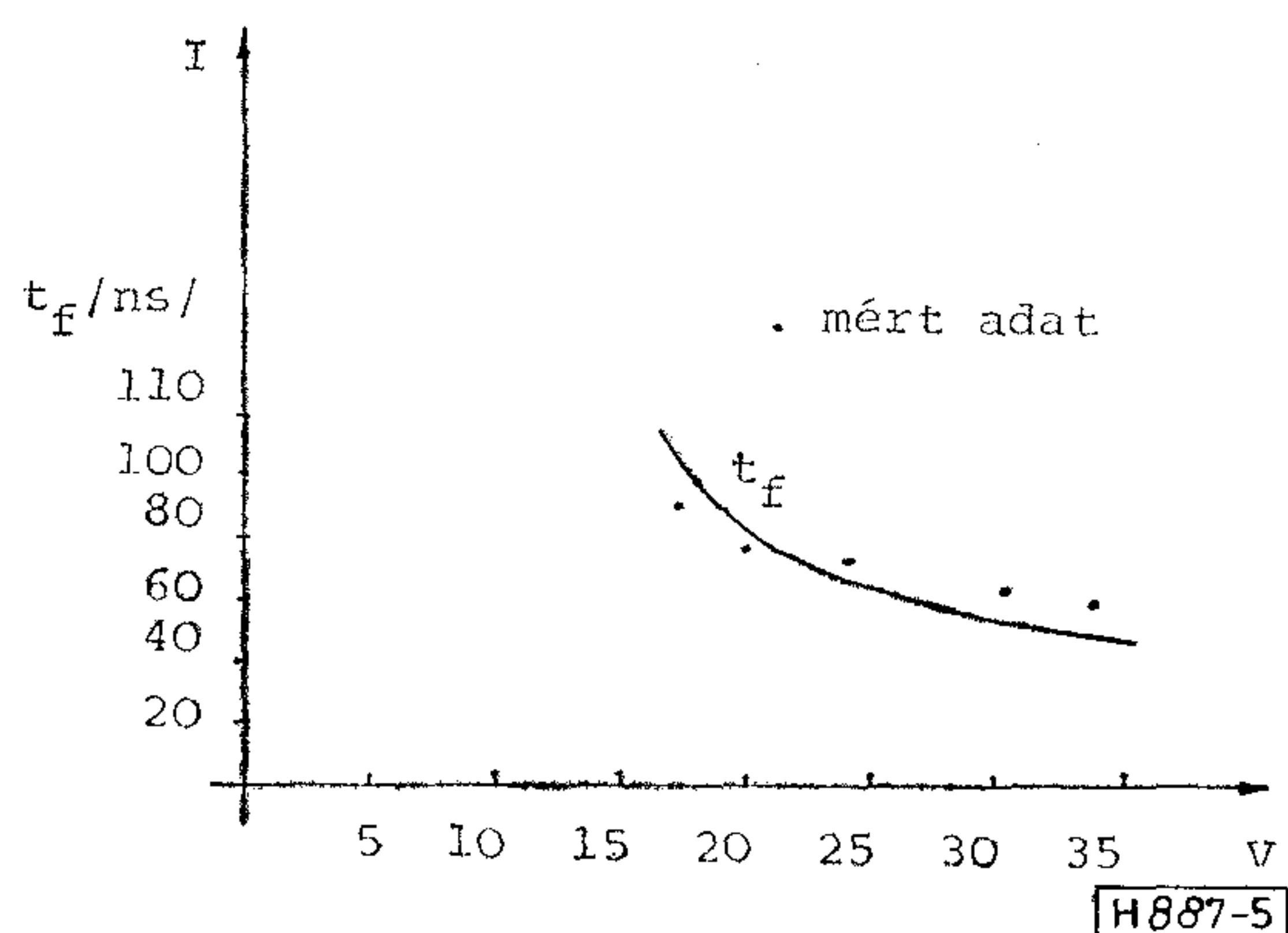
A fém, az oxid, valamint az n réteg alkotja a Shewchun-féle erősítő diódát. A felületre jutó lyukak



3. ábra. Kapcsolási tranziens lefolyása MISS eszközben



4. ábra. Az inverziós késleltetési idő t_d függése a meghajtó generátor feszültségétől



5. ábra. A regenerációs visszacsatolási idő függése a meghajtó impulzus amplitúdójától

a felületen inverziós réteget hoznak létre. Ennek hatására megnő az oxidban a térerősség, mivel a fémre a p^+ réteghez képest negatív feszültséget kapcsolunk. A nagy térerősség hatására fémből elektronok tunneleznek az n rétegbe. Ezen elektronáram jobban előfeszíti nyitóirányba a pn átmenetet, így az több lyukat injektál az n rétegbe, mely lyukak tovább növelik a felületi inverziós réteget. Az eszközben tehát egy belső visszacsatolási mechanizmus jön létre, hasonlóan egy tirisztorhoz.

Ha az eszközre egy soros ellenálláson keresztül impulzusfeszültséget kapcsolunk, a 3. ábrán látható fe-

szültség jelenik meg az eszközön [12]. A bekapcsolás három fázisból áll. Az első fázis egy kapacitív hatás eredménye, ezen idő alatt épül fel a felületi kiürített réteg. A második fázis alatt kb. állandó feszültség van az eszközön, és az inverziós réteg kialakulása ezen idő alatt megy végbe. A harmadik fázisban le- esik az eszközre jutó feszültség, mivel beindul a megnövekedett oxid-térerő hatására az eszköz belső visszacsatolási mechanizmusa.

A második (inverziós késleltetési idő), valamint a harmadik (regenerációs visszacsatolási idő) fázisra közelítő számítást végeztünk és összehasonlítva az eszközökön mért értékekkel, jó egyezést kaptunk. (4, 5 ábra).

Két bekapcsoló impulzus közötti távolságot csökkentve, azaz rövidítve azon időt, amikor az eszköz kikapcsolt állapotban van, azt tapasztaltuk, hogy bizonyos időkülönbség alatt csökkenni kezdett a bekapcsoláskor az eszközön (a második fázisban) megjelenő maximális feszültség. Ezt a jelenséget az inverziós rétegben, valamint az n réteg semleges részében felhalmozódott lyukak töltéstárolási effektusával magyaráztuk [13].

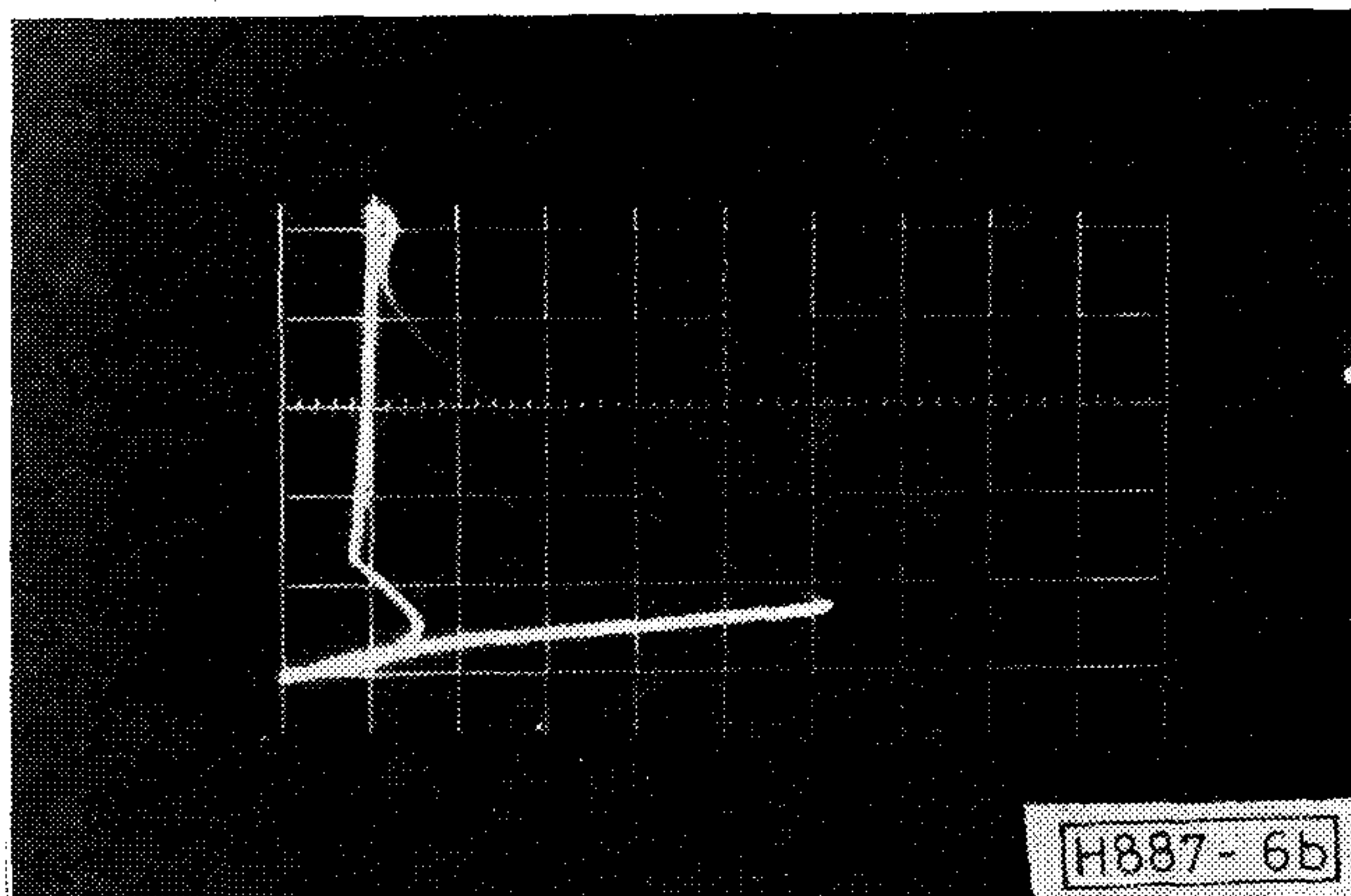
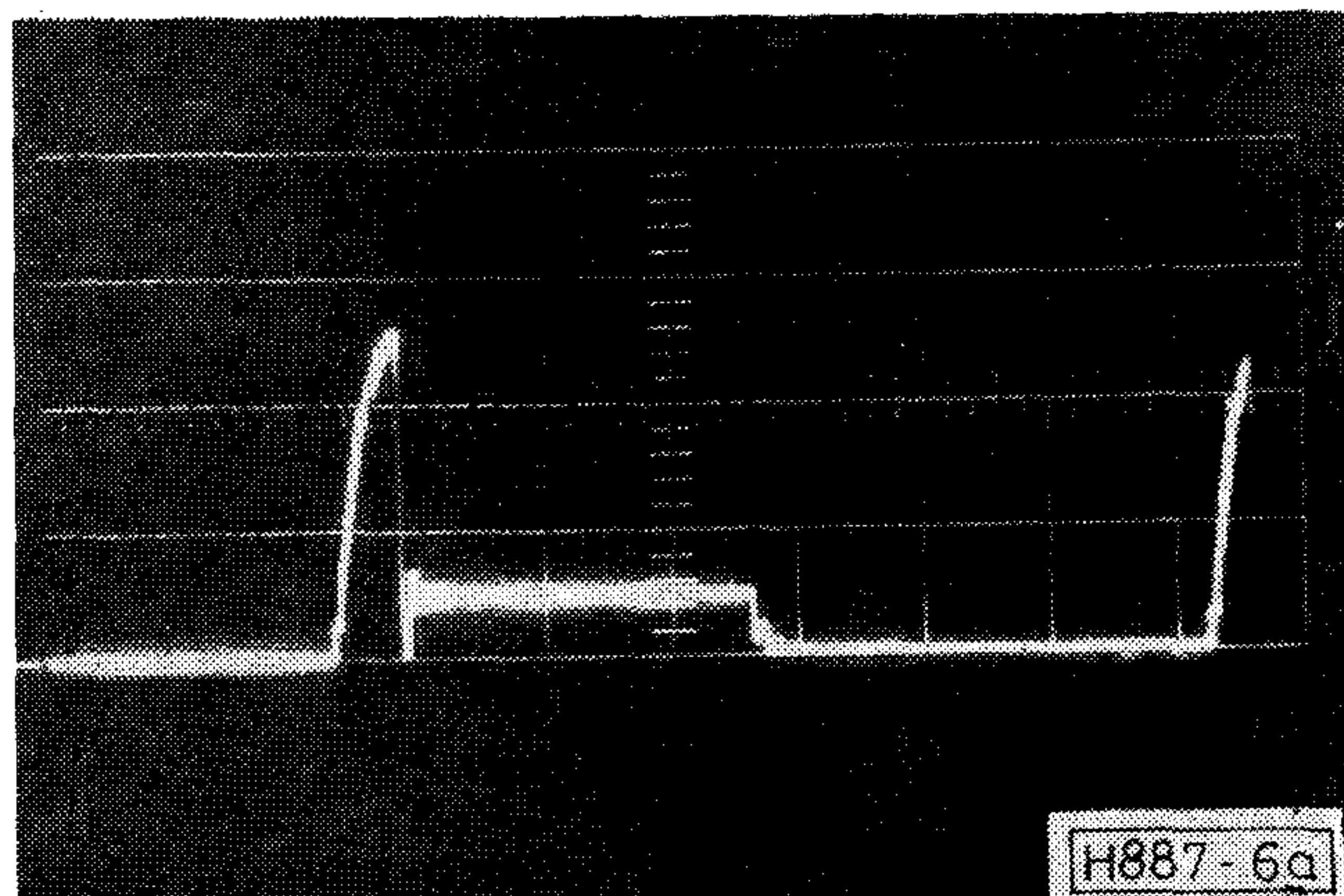
Ha kikapcsoláskor a generátor feszültsége nem zérus, de olyan kicsi nyitóirányú érték, hogy az eszköz statikusan nem tud bekapcsolt állapotban maradni, a kikapcsolás után az eszköz még egy bizonyos ideig bekapcsolt állapotban marad. A 6.a. ábrán látható a MISS-en levő feszültség alakja, impulzusfeszültséget adva rá. Az impulzus megjelenésekor megnő a rá eső feszültség, majd elérve a billenési feszültséget, bebillen az eszköz a kisimpedanciás állapotba, a feszültség lecsökken. Az impulzus megszűnésekor ez a feszültség nullára csökken. A 6.b. ábra esetén kikapcsoláskor maradt a MISS-en feszültség, mely azonban nem elegendő nagy ahhoz, hogy a soros ellenállást is figyelembe véve, bekapcsolt állapotban maradjon. Ennek ellenére az eszköz egy ideig még bekapcsolt állapotban marad (a feszültség ekkor minimális rajta) majd kikapcsol, miközben a rajta levő feszültség megemelkedik (6. ábra). Ez a tárolási idő az inverziós réteg töltésének tehetetlenségével magyarázható. A két aktív eszközös modell alapján meghatározható ezen jelenség segítségével az áramerősítési tényezők áramfüggése [14].

Az eszköz küszöbfeszültsége megvilágítás hatására csökken. Ha az eszközre impulzusfeszültséget kapcsolunk, az első és a harmadik fázis hossza gyakorlatilag nem változik, a második fázis (inverziós késleltetési idő) nagymértékben lecsökken (7. ábra). A jelenség magyarázata az, hogy a megvilágítás elősegíti az inverziós réteg kialakulását a szigetelő-félvezető határátmenetben, így a második fázis előbb véget ér, mivel ez egy kritikus töltés elérésekor következik be [15].

Vizsgáltuk a pn átmenet nélküli, poliszilícium szigetelőjű MIS dióda feszültségimpulzus, valamint konstans megvilágítás mellett fellépő áramtranzienst is, és érdekes új hullámalakot tapasztaltunk [16].

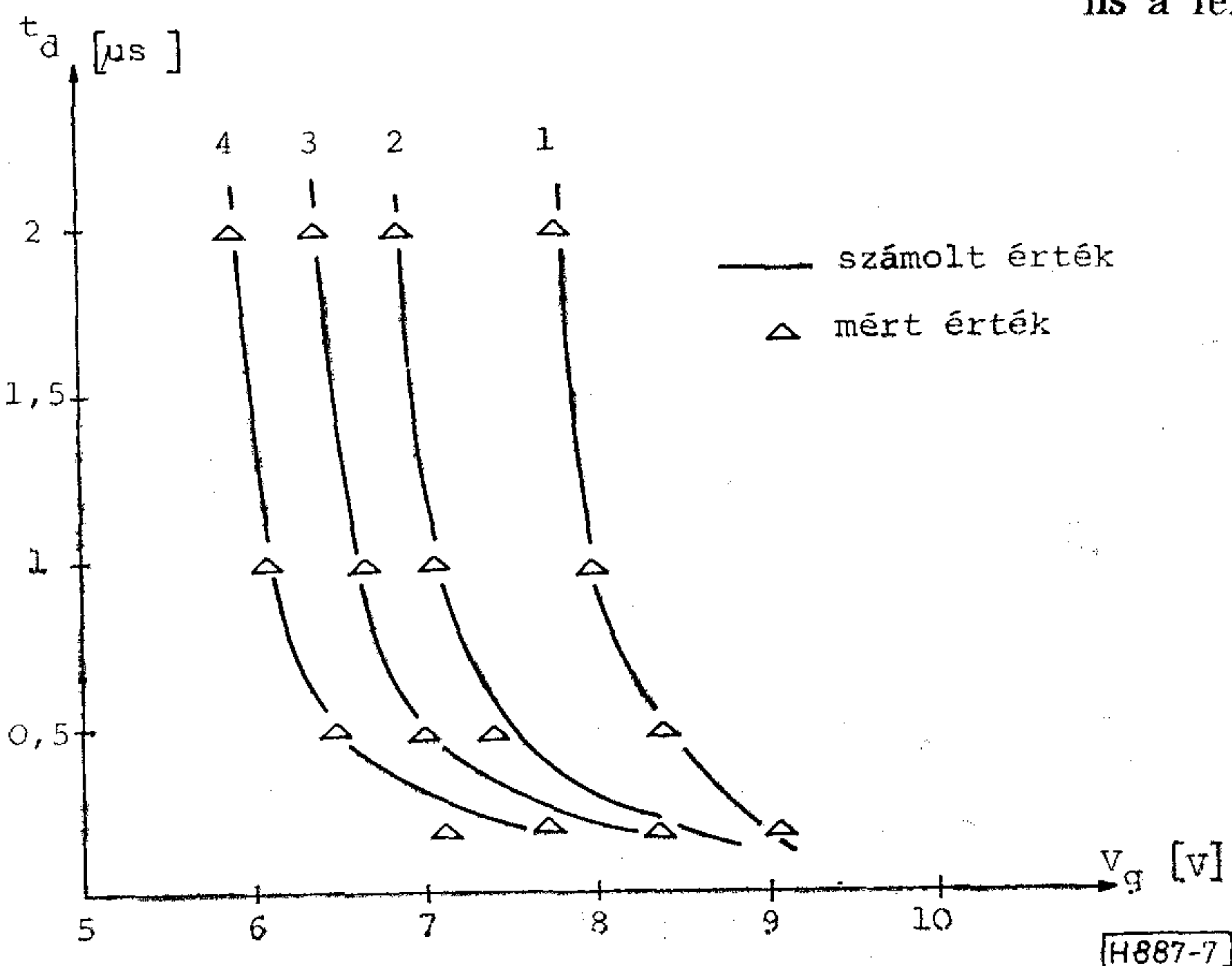
Az Elektronikus Eszközök Tanszéken készült $n^+ - p - i - n$ felépítésű MISS-ek közül néhányánál mindkét irányban negatív ellenállást tapasztaltunk [17].

A kísérleti munka mellett továbbfejlesztettük a MISS egyenáramú elméletét is. Az eszköz $I - V$ ka-



6. ábra. Töltéstárolási jelenség a MISS dióda kikapcsolásánál, a) kikapcsoláskor a generátorfeszültség zérus lesz, b) kikapcsoláskor a generátorfeszültség zérusnál nagyobb értékűre csökken

rakterisztikáját kvantitatív módon először Habib és Simmons [6] határozta meg. Habár ezen szerzőpáros nagy érdeme a kvantitatív elmélet megalkotása, elméletük több szempontból nem írja le kielégítően a gyakorlatban tapasztalt tendenciákat. Az elmélet az eszköz küszöbfeszültségére az átszűrési feszültség-



7. ábra. Az inverziós késleltetési idő csökkenése megvilágítás hatására. (1) sötétben, (2) $\varnothing = 7000$ lux megvilágításnál, (3) $\varnothing = 14000$ lux, (4) $\varnothing = 21000$ lux

gel azonos értéket ad. A gyakorlatban mért küszöbfeszültségek azonban mindig kisebbek az átszűrési feszültségnél. Vastag oxidoknál rendkívül kicsi tartóáramok adódnak az elméletből, ezt szintén nem sikerült elérni a valóságban. V_{th} -t az elmélet hőmérséklet-függetlennek adja, ugyanakkor a gyakorlatban megfigyeltek mind a hőmérséklettel enyhén emelkedő, mind erőteljesen csökkenő küszöbfeszültséget.

A három kivezetős MISS (MIST) esetén az elmélet szerint az eszköz rendkívül érzékeny a gate-áramra (a gate az n réteg kivezetése), a tartóáram mintegy ötezred része elegendő ahhoz, hogy a küszöbfeszültség a tartófeszültség értékére csökkenjen. A gyakorlatban ez az arány azonban 0,5 és 10 közé esik.

A fenti ellentmondások kiküszöbölésére az elmélet továbbfejlesztése az alábbi irányokba történt [18]:

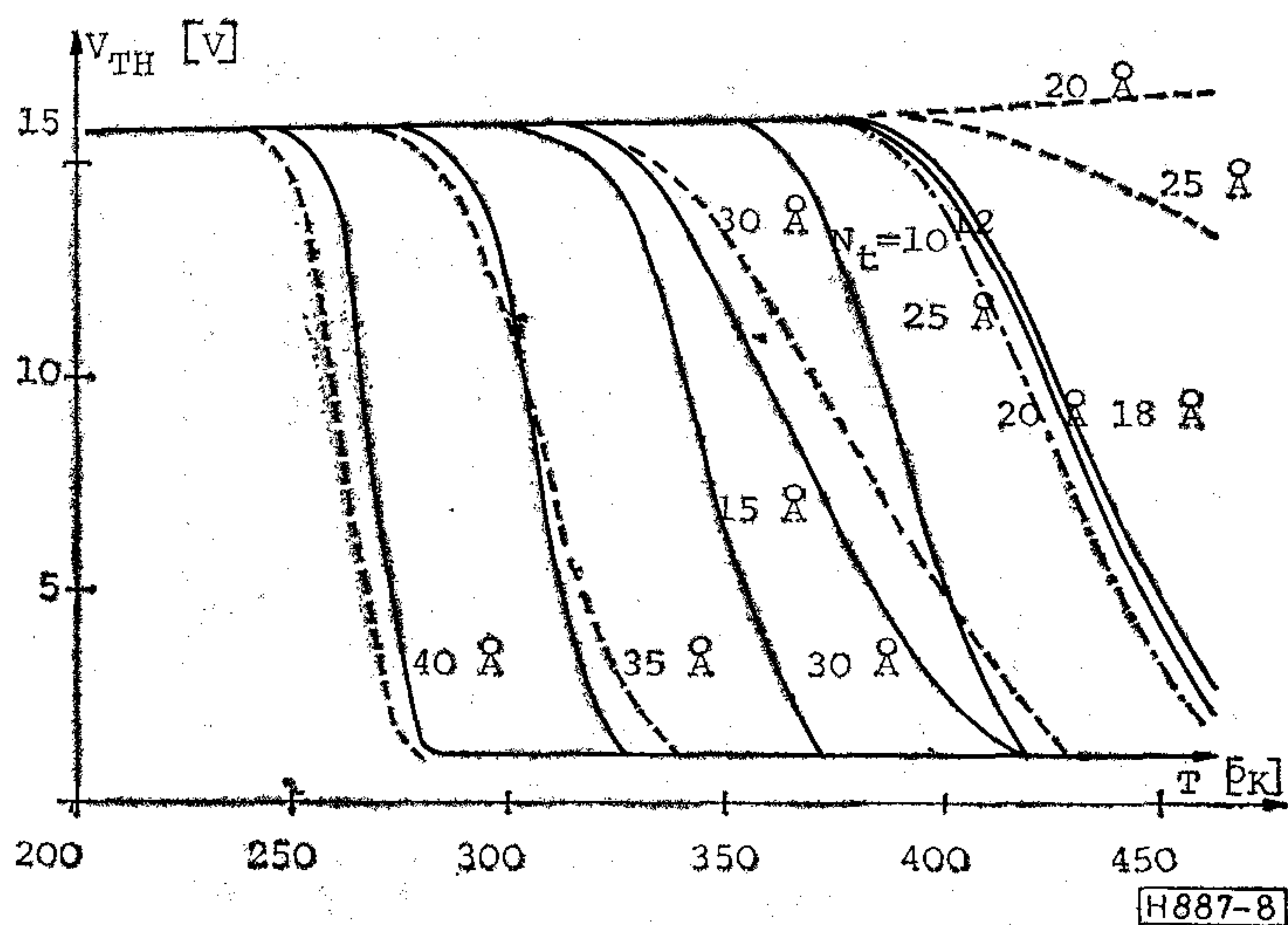
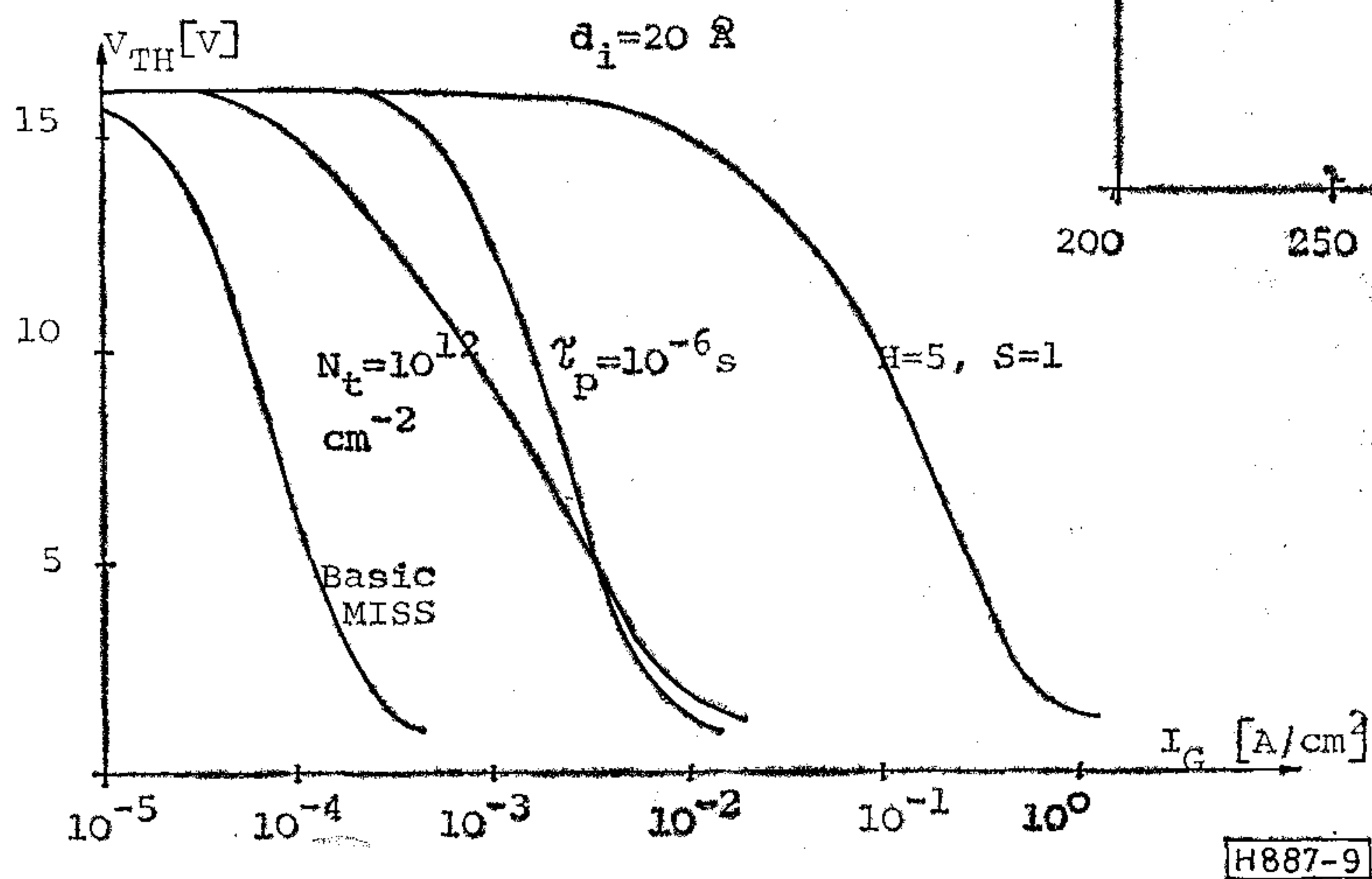
Figyelembe vettük a felületi állapotok hatását, a tunneloxid inhomogén vastagságát, valamint kétdimenziós effektusokat (a tunneloxid területe lényegesen kisebb, mint a pn átmenet kinyitott részének területe). Ezen effektusok megmagyarázzák, hogy vastagabb oxidok esetén miért nem csökken le nagymértékben a tartóáram értéke (ehhez valamennyi jelenség hozzájárul, de leglényegesebb a tunneloxid vastagsága). A gateáram iránti érzéketlenséget jelentősen növelik a felületi állapotok, de legnagyobb hatásuk a kétdimenziós effektusoknak van. A 9. ábra V_{th} függését mutatja a gateáramtól. A kétdimenziós effektusok görbéje mellett $H=5$, $S=1$ jelentése, hogy a tunneloxid területe téglalap alakú, melynek hossza az n réteg vastagságának ötszöröse, szélessége viszont azonos az n réteg vastagságával.

Az eszköz világviszonylatban még az intenzív kutatás stádiumában van, néhány alkalmazási lehetőségre azonban máris történtek javaslatok és ezeket demonstrálták is. Az eszköz fényérzékenységét kihasználva lehetséges fotokapcsolót, illetve a fototirisztornak megfelelő funkciót megvalósítani vele. A két impedanciás állapotot (kis és nagyimpedanciás) kihasználva megvalósítható az egy eszközös statikus RAM cella. A MISS technológiája teljesen kompatibilis a félvezető alapú integrált áramkörök technológiájával, ezért az eszköz könnyen integrálható a VLSI áramkörökbe.

Ha két MISS-t valósítunk meg egy közös alapon egymáshoz közel, akkor az egyik eszköz küszöbfeszültsége függ attól, hogy a másik eszköz bekapcsolt vagy kikapcsolt állapotban van. Ezt a jelenséget felhasználva készíthetünk CCD-hez hasonló léptető regisztert, mely azonban a CCD-kel ellentétben statikus működésű, nem igényel frissítést és belőle tetszőleges hosszú lánc építhető, mivel a jel mindig egyik fokozatban regenerálódik.

A MISS eszközök optimalizált méretezése ma még nem megoldott. Probléma aránylag kis sebességük is, továbbá a méretek csökkentésekor újabb nehézségek keletkeznek. További intenzív kutatómunkára van tehát szükség ahhoz, hogy az eszköz széles körű felhasználásra kerülhessen.

8. ábra. A MISS küszöbfeszültségének (bille-nési feszültségének, V_{TH}) függése a hőmérsék-lettől, paraméter a tunnel-oxid vastagsága. Foly-tonos vonal: egydimenziós esetben, szaggatott vonal: kétdimenziós hatások figyelembevételével, pont-vonal: felületi állapotok hatása esetén



9. ábra. A MIST (három kivezetéses MISS) küszöbfeszültségének változása a gateáram hatására egydimenziós esetben, felületi állapotok figyelembevételével, lecsökkent kisebbségi töltéshordozó élettartam esetén, valamint kétdimenziós effektusok hatására, ezen utóbbi esetben a tunnel-oxid hossza az ötszöröse, a szélessége pedig meg-egyezik az n típusú epitaxiális réteg vas-tagságával

IRODALOM

- [1] T. Yamamoto, M. Morimoto: „Thin-MIS-structure Si negative resistance diode.” *Applied Physics Letters* 20. k. 269–270. o. (1972).
- [2] H. Kroger, H. A. R. Wegener: „Bistable impedance states in MIS structures through controlled inversion.” *Applied Physics Letters* 23. k. 397–399. o. (1973).
- [3] H. Kroger, H. A. R. Wegener: „Steady-state characteristics of three terminal inversion-controlled switches.” *Solid-State Electronics* 21. k. 655–661. o. (1978).
- [4] J. G. Simmons, A. El-Badry: „Theory of switching in metal (semi-insulator) n–p⁺ silicon devices.” *Solid-State Electronics* 20. k. 955–961. o. (1977).
- [5] A. El-Badry, J. G. Simmons: „Experimental studies of switching in metal semi-insulating n–p⁺ silicon devices.” *Solid-State Electronics* 20. k. 963–966. o. (1977).
- [6] S. E. D. Habib, J. G. Simmons: „Theory of switching in p–n-insulator(tunnel)-metal devices.” *Solid-State Electronics* 22. k. 181–192. o. (1979).
- [7] J. Buxo, A. E. Owen, G. Sarraayrouse, J. P. Sebas: „The characterization of metal-thin insulator–n–p⁺ silicon switching devices.” *Revue de Physique Appliquée* 13. k. 767–770. o. (1978).
- [8] G. Sarraayrouse, J. Buxo, J. P. Sebaa, A. Essaid: „Switching properties of inversion-controlled metal-thin insulator–Si n–Si p⁺ devices.” *IEE Proceedings – I. Solid State and Electron Devices* 128. k. Pt. I. 53–57. o. (1981).
- [9] B. A. Machalov, V. J. Pokaljakin, G. V. Sztepanov: „O pereklyucsenyij toka v sztrukture metall-tunnelno-prozracsnyij szloj dvuiokszij kremnyija-pn-perehod.” *Mikroelektronika* 9. k. 241–248. o. (1980).
- [10] M. A. Green, J. Shewchun: „Current multiplication in metalinsulator-semiconductor (MIS) tunnel diodes.” *Solid-State Electronics* 17. k. 349–365. o. (1974).
- [11] A. Adán, I. Zólogy: „A proposed model of MISS composed of two active devices.” *Solid-State Electronics* 23. k. 449–456. o. (1980).
- [12] I. Zólogy, A. Adán: „Switching behaviour of MISS diodes.” *Solid-State Electronics* 24. k. 19–23. o. (1981).
- [13] A. Adán, I. Zólogy: „Charge storage effects in MISS diodes.” *Physica Status Solidi (a)* 57. k. 113–115. o. (1980).
- [14] I. Zólogy: „The effect of non-zero switch-off voltage upon the transient of MISS diodes.” *Physica Status Solidi (a)* 67. k. 69–77. o. (1981).
- [15] I. Zólogy: „Switching transient of MISS diodes influenced by illumination.” *Periodica Polytechnica Electrical Engineering* 25. k. 3. sz. 219–222. o. (1981).
- [16] I. Zólogy, A. Adán: „Current transients in illuminated polysilicon MIS diodes.” *Physica Status Solidi (a)* 63. k. K179–K181. o. (1981).
- [17] I. Zólogy: „New phenomena in MISS devices.” *Mikroelektronika* '82. Siófok, 1982. máj. 5–7.
- [18] Zólogy Imre: „Új, fém-tunnelező szigetelő–félvezető felépítésű kapcsolóeszköz, a MISS” – kandidátusi értekezés Budapest, 1982.
- [19] I. Zólogy: „Diffusion-isolated MISS devices.” *Physica Status Solidi (a)* 73. k. K249–K251 o. (1982).
- [20] I. Zólogy: „Extended theory of MISS, MIST and OMIST devices.” *ESSDERC '82 München* 1982. szept. 13–16.
- [21] I. Zólogy: „A combined (punch-through and avalanche) theory of MISS devices and some design considerations.” *ESSDERC '82 München* 1982. szept. 13–16.
- [22] Zólogy Imre: „MISS és MIST eszközökhöz szükséges extrém vékony, tunnelező oxidréteg készítése és vizsgálata.” *A BME Jubileumi Tudományos Ülésszaka, fennállásának 200. évfordulója alkalmából (Központi oktatási egységek)* 1983. márc. 29–30.
- [23] Zólogy Imre: „MIST eszközök tranziens működése.” *A BME Jubileumi Tudományos Ülésszaka, fennállásának 200. évfordulója alkalmából (Villamoskar ülésszaka)* 1983. ápr. 19–20.).
- [24] I. Zólogy: „Modified theory of MISS, MIST and OMIST devices.” *Solid-State Electronics* (megjelenés alatt).

CELLIB — cellakönyvtár kezelő program a mikroelektronikai tervezés céljára

DR. SZÉKELY VLADIMÍR — BAJI PÁL — KERECSENÉ
DR. RENCZ MÁRTA — KÓNYA ILONA —
DR. MASSZIFERENC
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben ismertetett cellakönyvtár kezelő program a cellás tervezésű LSI integrált áramkörök tervezését támogatja. Lehetővé teszi, hogy a cellakönyvtárban a cellák layout leírása mellett a körvonalarajzot, az áramköri és logikai leírást, a szimbolikus áramköri és logikai rajzot is tároljuk. A program közvetlen kapcsolatot teremt a cellakönyvtár adatai, valamint a layout tervező, az áramköri szimulációs és a logikai szimulációs programok között. (A)

1. Bevezetés

A nagybonyolultságú integrált áramkörök, tudjuk, igényesek abban a tekintetben, hogy tervezésük nagyfokú gépesítést, automatizálást követel. Ezért a mikroelektronikai program eredményes végrehajtása többek között azt is igényli, hogy a meglevők mellett egy sor új software eszköz kerüljön „bevetésre” ezekben az években. Így érhető csak el a tervezési kapacitás nagymértékű növelése, az évi száz, vagy néhány száz áramkör megtervezése. Cikkünkben az ilyen irányú software fejlesztési munka egyik eredményéről, a CELLIB cellakönyvtár kezelő programról [1] számolunk be.*

Először azt vázoljuk röviden, hogy mit kell itt *cellán* értenünk. Az IC tervezésben jól bevált gyakorlat a hierarchikus metodika használata. A tervező a realizálható alapelemekből (ellenállás, tranzisztor stb.) először meghatározott áramköri funkciókat teljesítő részhálózatokat állít össze. Digitális IC-nél ilyen funkció pl. egy logikai kapu, egy flip-flop stb. Ezeket a részhálózatokat nevezzük cellának. A cellák megtervezése magában foglalja mind az áramkör elektromos méretezését, mind a layout kialakítását. A továbbiakban a tervező cellákból „építkezik”, azokból állít elő összetettebb feladatot ellátó IC-t. Ennek során a cellák belső felépítésével már nem kell foglalkoznia (sem áramköri szinten, sem a layout kialakításnál), éppen ez jelent lényeges egyszerűsítést a tervezésben. A tervező egyszerűen egymás mellé rendezi a cellákat (ehhez a cellák helyfoglalást jelző körvonalarajza is elegendő) — majd kialakítja a cellák közti összeköttetések vezeték útjait. (A tervezési folyamat egyes vonásaiban hasonló az SSI tokokból, nyomtatott lapon való tervezéshez.) A cellák egymásra épülő, hierarchikus rendszere is megalkotható; a cellákból összeállított, bonyolultabb funkciót ellátó egységet ismét cellaként definiáljuk,

DR. SZÉKELY VLADIMÍR

A BME Villamosmérnöki Karán kitüntetéssel szerzett oklevelet 1964-ben. Egyetemi doktori disszertációját 1970-ben védte meg. Kandidátusi fokozatot 1978-ban szerzett, az integrált áramkörök elektro-termikus je-

lenségei modellezésének témakörében. 1964 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszék oktatója; jelenleg docens, tanszékvezető-helyettes. Fő szakterületei: félvezetőeszközök működésének fizikája, számítógépes szimuláció, integrált áramkörök számítógéppel segített tervezése.

s egy még összetettebb feladatot ellátó IC részegységként használjuk... stb.

A cellás tervezés igazi hatékonyságát akkor éri el, ha a tervezők — ahelyett, hogy külön-külön használnák a saját tervezésű celláik kisebb-nagyobb választékát — közös, az adott cég minden tervezője számára hozzáférhető *cellakönyvtárat* használnak. Ezáltal

- közkinccsé válhatnak a legeredményesebb tervezők konstrukciós tapasztalatai,
- automatikusan érvényesül egy bizonyos fokú egységesség a különböző tervezők keze alól kikerült konstrukciókban is,
- növekszik a tervezés biztonsága (ha érvényesül az a mindenképpen elvárando alapfeltétel, hogy a könyvtár celláinak mindegyike sokszorosan kipróbált, megbízható konstrukció),
- csökken az átfutási idő (ha érvényesül az az ugyancsak elvárható feltétel, hogy a cellakönyvtár a szokványos funkciók mindegyikére tartalmazzon cellát).

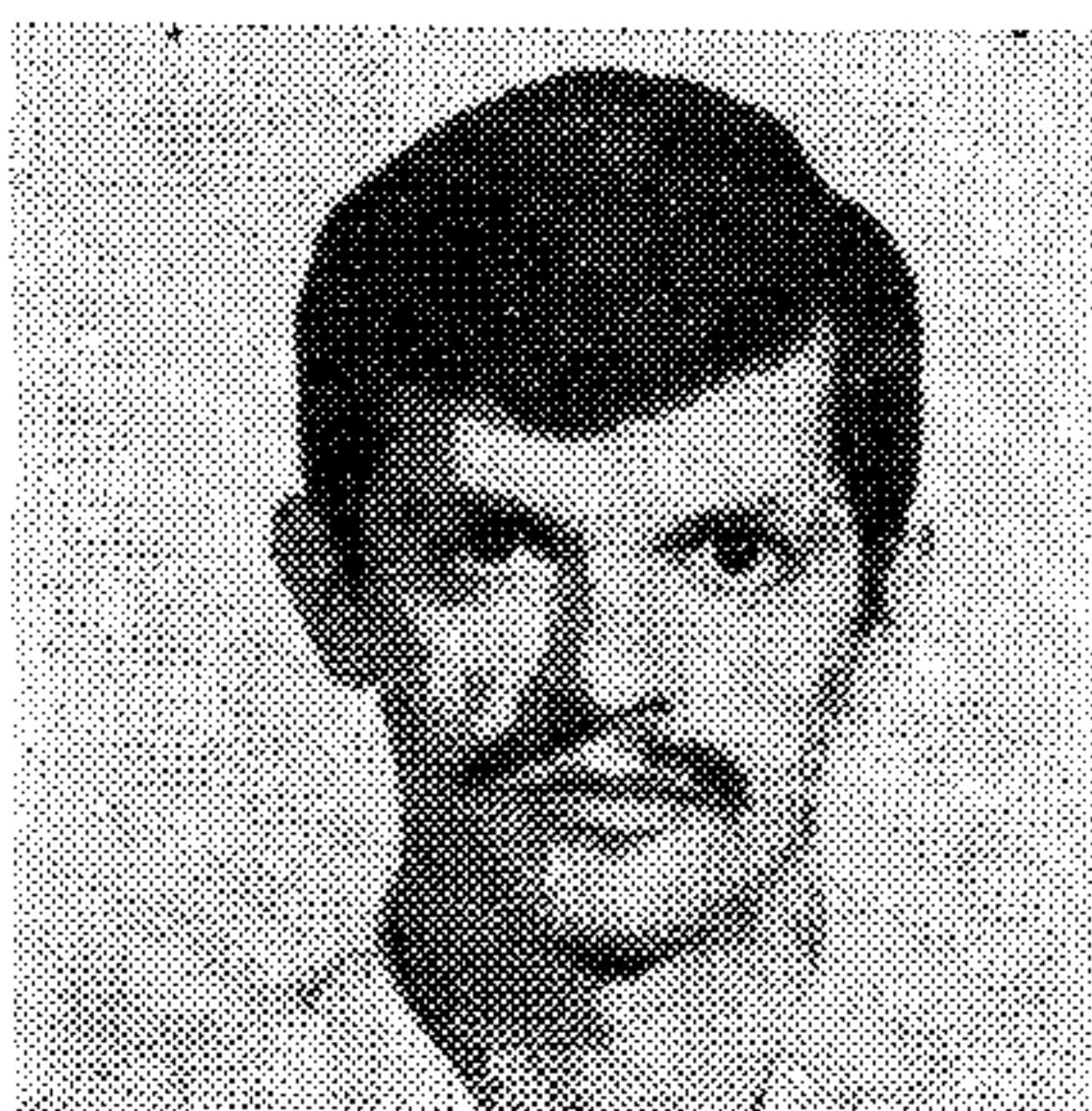
Szóhasználatunkban a cellakönyvtár egy információhalmaz; a megtervezett, kipróbált cellákra vonatkozó adatok összessége. Hordozója elvileg akár a nyomtatás is lehetne; egy tervezési segédlet, amelyben az egyes cellák adatai mellett milliméter-papíron áll a layout-rajzolat stb. Azonban, mivel a tervezés legtöbb fázisa számítógép segédletével történik, nélkülözhetetlen, hogy a cellakönyvtár a számítógép által is közvetlenül hozzáférhető formában jelenjen meg. Az adatokat tehát számítógép háttértárolón tartjuk, s az adatokhoz való hozzáférést egy speciális program: a *cellakönyvtár kezelő* szervezi. Cikkünk egy ilyen program létrehozását tárgyalja.

2. Követelmények

Mielőtt a konkrét megvalósításra térnénk, tekintsük át a cellakönyvtár kezelő programmal szemben támasztható követelményeket [2].

Beérkezett: 1983. VI. 6.

* Kidolgozta a BME Elektronikus Eszközök Tanszéke, az OKKFT A.4/2 alprogram részeként, az MTA KFKI Mikroelektronikai Kutatóintézet (mint az alprogram bázisintézete) megbízásából.



BAJI PÁL

A BME Villamosmérnöki Karán 1970-ben szerzett diplomát. A BME Elektronikus Eszközök Tanszékén 1971–1973 között, ösztöndíjas-ként, Schottky dióda technológiával foglalkozott. 1973-tól tanársegédként dolgozik a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. Érdeklődési területe: félvezető eszközök számítógépes modellezése, integrált áramkörök számítógépes tervezése.



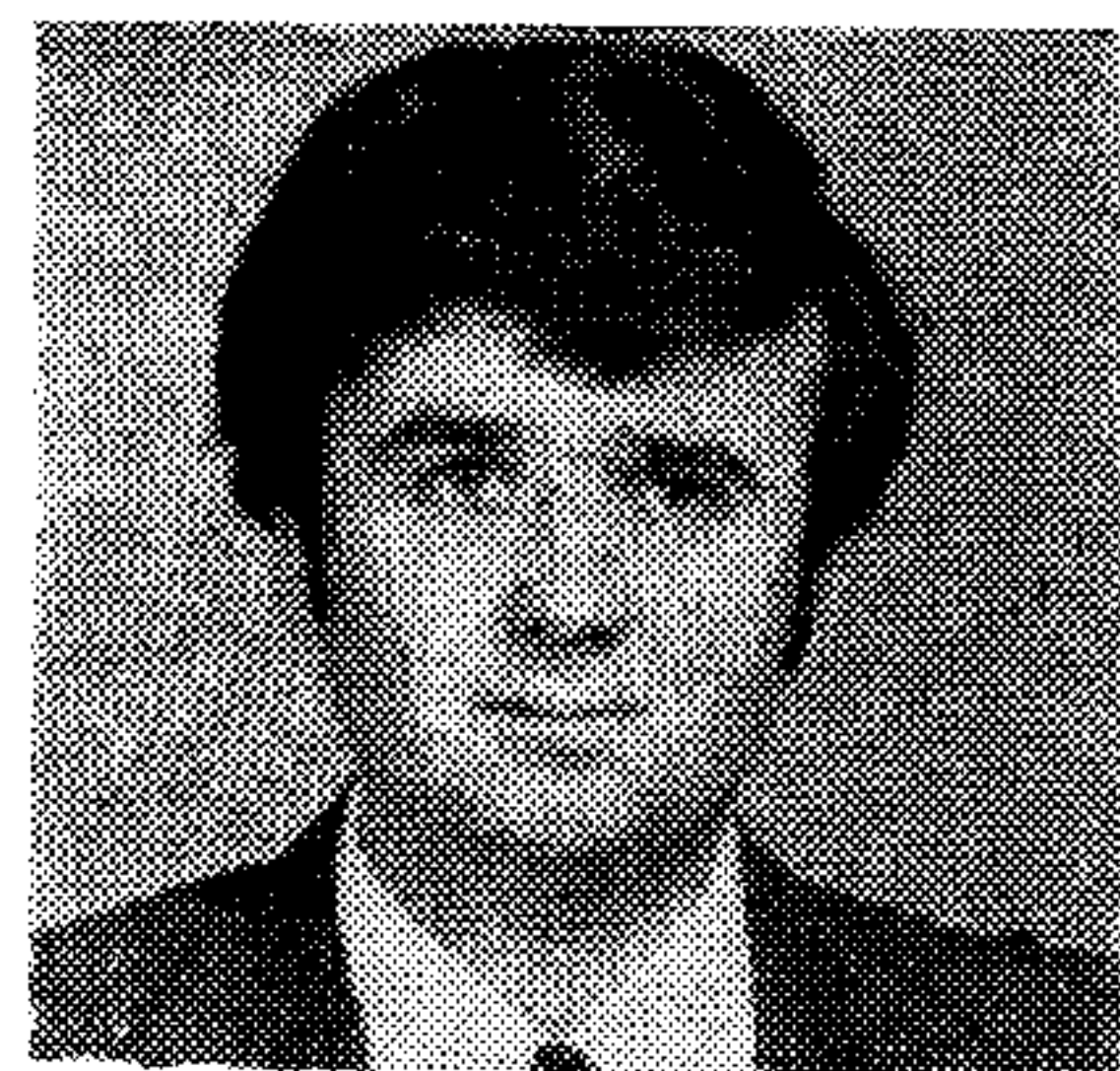
**KERECSENÉ
DR. RENCZ MÁRTA**

1973-ban végzett a BME Villamosmérnöki Karának Műszer és Irányítástechnika Szakán. Azóta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, jelenleg adjunktusként. Egyetemi doktori disszertációját 1979-ben védte meg. Szakterülete: félvezető eszközök számítógépes modellezése, integrált áramkörök számítógéppel segített tervezése.



KÓNYA ILONA

1970-ben szerzett oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnikai Szakán, majd 1973-ban kitüntetéses villamosmérnök-matematikai szakmérnöki oklevelet. 1970-től 1982. júniusáig a Villamoskari Matematika Tanszéken dolgozott, ahol elsősorban numerikus módszerekkel és számítástechnikával foglalkozott. 1982. július 1-től az Elektronikus Eszközök Tanszék oktatója.



DR. MASSZI FERENC

1976-ban szerzett kitüntetéses oklevelet a BME Villamosmérnöki Karán. 1978-ban megvédett műszaki egyetemi doktori disszertációjának témája a félvezető memóriaelemek számítógépes modellezése volt. Oklevelének megszerzése óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, jelenleg adjunktusként. Kutatási területe: félvezető struktúrák modellezése, számítógépes tervezés.

Milyen információk tárolására készüljön fel a program? Elképzelhetők, és használatosak is olyan megoldások, amelyeknél csak a grafikus információ (tehát a layout) tárolására van lehetőség. Ez a szervezés ma már korszerűtlennek tekinthető — mert így a cellakönyvtár a tervezési fázisok közül egyedül a layout szerkesztést tudja támogatni. Helyesebb megközelítés, ha a cellához rendelhető összes, különböző jellegű információ (elsősorban a layout, az áramköri leírás és a logikai leírás) együtt szerepelhet a könyvtárban. Így az áramköri, a logikai tervezés stb. ugyanazon cellakönyvtár adatai alapján történhet. Ma, amikor a tervezés minden programmal fedett fázisát összefogó, integrált tervező rendszer létrehozása a cél, a cellakönyvtártól és kezelő programjától is azt várjuk, hogy a tervezés során szükségessé váló, sokféle információ mindegyikét szolgáltatni tudja.

Milyen feladatokat lásson el a cellakönyvtár kezelő program? A feladatok kétfelé válnak — aszerint, hogy a cellakönyvtárat használó konstruktőrrel, vagy a cellákat kialakító, a cellakönyvtárat karbantartó cellatervezőről van-e szó. A cellák felhasználója

- tájékoztató információkat igényel a cellakönyvtárra vonatkozóan (a könyvtár tartalomjegyzéke, az egyes cellák funkciója, jellemzői, áramköri kialakítása, rajzolata és még sok egyéb),
- fel kívánja használni az egyes tervezési fázisokban (logikai, layout stb.) a cellakönyvtárban tárolt adatokat.

A cellakönyvtár karbantartója ezeken felül még a szokásos könyvtári funkciókat is használni kívánja:

- cella, vagy a cellához tartozó rész-adathalmaz felvitele, módosítása, törlése,
- a könyvtár egyes elemeire vonatkozó egymás-

hoz rendelések deklarálása vagy törlése (pl. egy adott technológiához tartozás),

- a könyvtár egyes elemeire vonatkozó ellenőrzések elvégzése (pl. layout tervezési szabály ellenőrzés).

A vázolt általános követelményeket még ki kell egészíteni azokkal a speciális követelményekkel, amelyek egyszerűen abból fakadtak, hogy a programot egy adott hardware—software környezetet figyelembe véve kellett megalkotnunk. Közelebbről: adottságnak kellett tekintenünk a Mikroelektronikai Vállalatnál rendelkezésre álló hardware-t és rendszer-software-t, és biztosítanunk kellett az illeszkedést az ott használatos különböző tervező programokhoz.

Cikkünk további részében a cellakönyvtár kezelő program konkrét megvalósítását, a CELLIB programot részletezzük.

3. A könyvtárban tárolt adatok

A könyvtár adatai két nagy csoportba sorolhatók a CELLIB programban:

- cellákhoz rendelt adatcsoportok,
- különleges (valamilyen értelemben „cellák fölötti”) adatcsoportok.

Cellákhoz a következő típusú adatok rendelhetők:

- a cella layout leírása,
- körvonal vagy helyfoglalási rajzolat (emlékezzünk: cellás tervezésnél a konstruktőr elsősorban ezt használja),
- logikai leírás a logikai szimuláció számára,
- alkatrész-szintű leírás az áramköri szimuláció céljára,
- logikai vázlat és áramköri kapcsolási rajz, dokumentálási célokra.

A CELLIB program az alábbi, különleges adatcsoportokat kezeli:

- tervezési szabályok leírása (ezek olyan, geometriai formában megfogalmazható előírások, amelyeket egy hibátlan konstrukció layoutjának nem szabad megsértenie),
- chip-leírás (ez akkor szükséges, ha az alkalmazott tervezési metodika előírja a tervezhető chip-ek méretét, a kivezetések elhelyezkedését, a cellák, illetőleg az összeköttetések számára fenntartott területeket vagy bármi egyebet. A chip-leírás azon „nyers” chip rajzolatát adja, amelyen a kötött részletek és egyéb előírások geometriai rajzolata már megtalálható.
- eszköz adatok (az áramköri elemek, elsősorban tranzistorok azon elektromos paraméterei, amelyek a szimulációk során szükségessé válnak).

A könyvtár egyes elemei, adatcsoportjai között sokféle egymáshoz-rendelési kapcsolat állhat fenn. A könyvtárkezelő program nyilvántartja ezeket: például azt, hogy egy cella layoutra melyik ellenőrzési file vonatkozik, egy chip-leírással mely cellák kompatibilisek, egy cella melyik technológiával készül stb.

A könyvtár struktúráját úgy alakítottuk ki, hogy az lehetővé tegye a cellákból való hierarchikus építkezést. Azaz: cellákból összeépíthető újabb cella, elvileg tetszőleges mélységben. A könyvtárban tárolt adatok között helyet kap a cellák ilyen egymásra-hivatkozásainak nyilvántartása is.

A könyvtár minden cellája és egyéb adatcsoportja tetszőleges mennyiségű kommentárral látható el. Tekintettel a könyvtár karbantartásával kapcsolatos nagy felelősségre, automatikusan kommentár-rekordot állít elő minden olyan művelet, ami az adott cella bármilyen módosítását eredményezi. Ezen a rekordon dátum, idő és a művelet közelebbi megjelölése mindenképpen megjelenik. Így a cellakönyvtár tartalmát érintő minden „esemény” bármikor visszapörgethető, egészen a könyvtár megnyitásáig.

Néhány gyakorlati kérdés. A könyvtárban tárolt összes információ alfanumerikus jellegű, rekord-szervezésű. A grafikus jellegű adatokat a MEV-nél jelenleg használatos grafikus leíró nyelv szintaxisa szerint tároljuk. Kihasználva az adott operációs rendszer hatékony file-kezelését, minden adatcsoportot külön file-ként kezelünk a programban. A könyvtár tartalomjegyzékét és az elemek egymáshozrendeléseit leíró adatcsoport az ún. *intern directory*. Ez szintén alfanumerikus és rekord-formátumú; tárolásának módja megegyezik a többi file-ével.

4. A könyvtárfunkciók

A könyvtár karbantartásával, módosításával stb. kapcsolatos műveleteket külön program látja el; ez a CELLIB program „librarian” része, a CELLIB-LIB. Fontosabb funkcióit az alábbiakban ismertetjük.

Információk a könyvtár tartalmáról. A felhasználó sokféle formában szerkesztett alfanumerikus és grafikus információkhoz juthat a könyvtár tartalmáról.

NAMelist OF CELL LIBRARY
=====

LIBRARY NAME= INTDIR

DATE= 7-MAY-83

TIME=

CELLS=

NAND1

NAND2

RSFL

DESIGN-RULE DESCRIPTIONS=

DRC1NSG2

DRC2NSG2

CATALOGUE FILES=

KATAL123

DRAWING SYMBOL FILES=

R

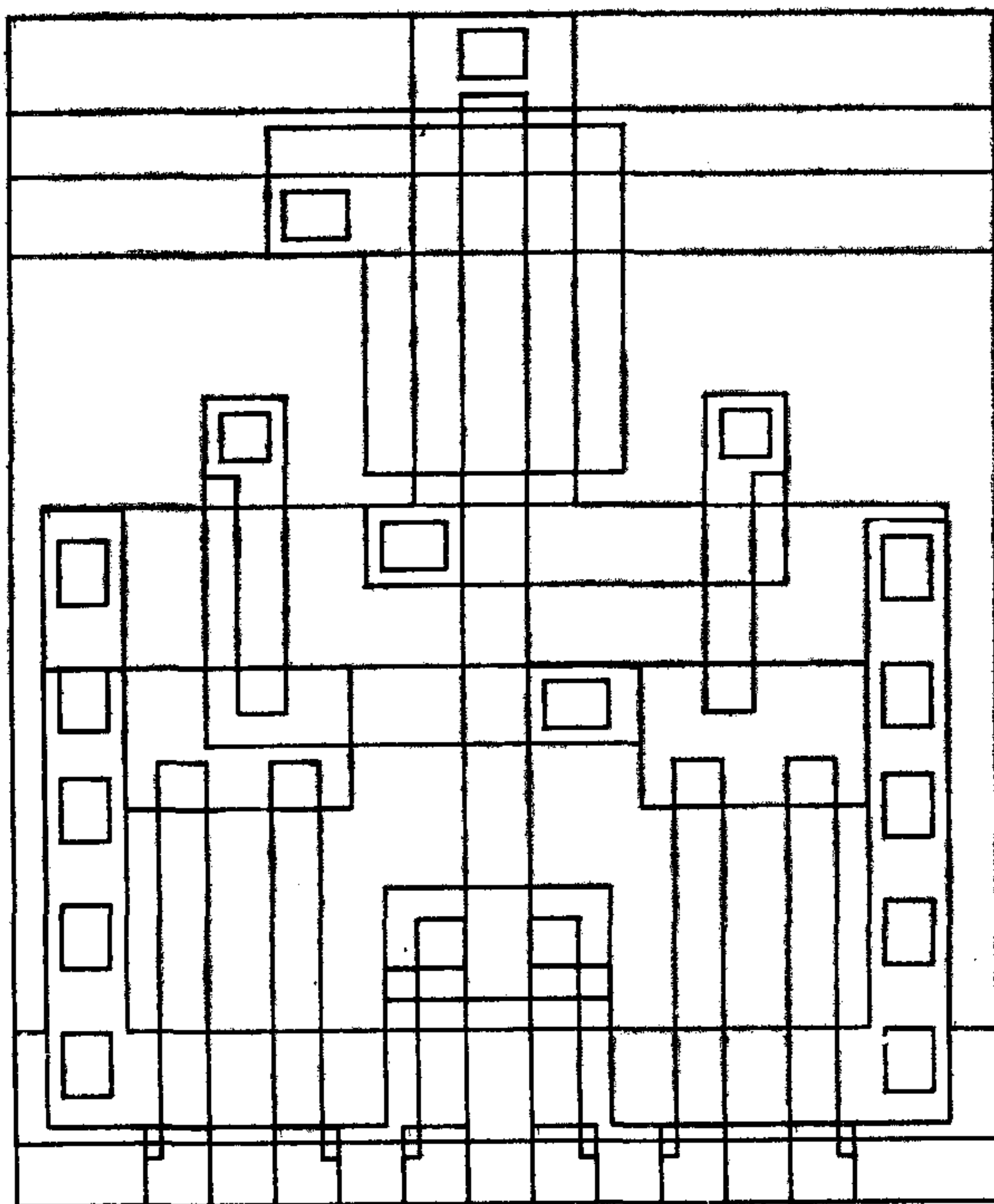
CHIP DESCRIPTIONS=

CLIB

CLIB0003

H884-1

1. ábra. Névlista egy cellakönyvtár tartalmáról



H884-2

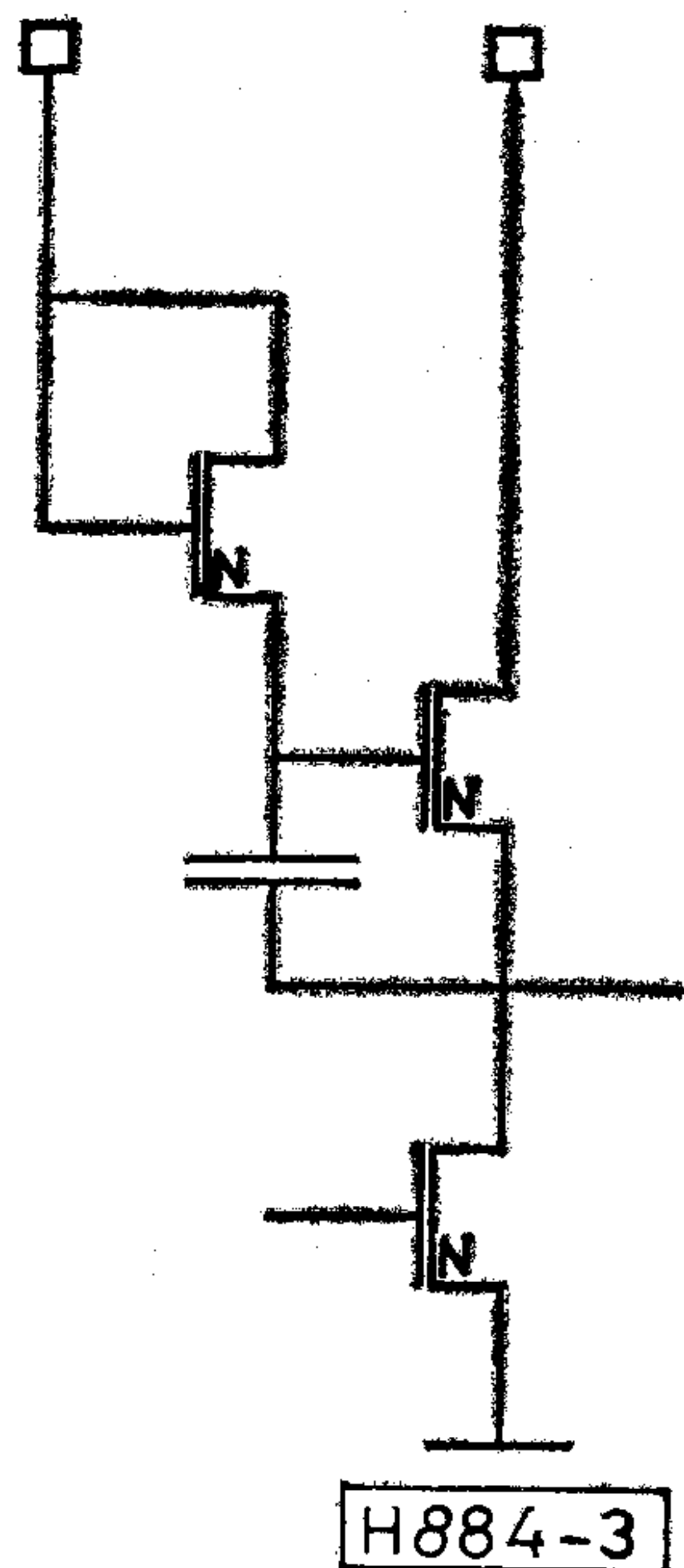
2. ábra. Ilyen rajzot szolgáltat a cellakönyvtár-kezelő egy cella layout-járól

Az eligazodást segítő legtömörebb ilyen dokumentum a sornymutatón vagy terminálon megjelenő *névlista*, amely a könyvtár celláinak és egyéb különleges file-jainak tartalomjegyzékét adja. Példa erre az 1. ábrán látható nyomtatási kép. Részletesebb adatokat tartalmaz az ún. *rövid lista*. Ebben az összes file mellett megjelennek a kommentár-rekordok, tehát az „előtörténet”, a celláknál kiírásra kerül, hogy reájuk vonatkozóan mely adatok vannak fent a könyvtárban, melyek nem (pl. layout megvan, de a logikai leírás hiányzik). A könyvtár elemek egymásra-hivatkozásait keresztreferencia listák jelzik — külön figyelmeztetve arra, ha egyes ilyen referenciák pillanatnyilag nem oldhatók fel. (Pl. egy cella layout leírása hívja egy másik cella layout-ját, de az utóbbit töröltük a könyvtárból.) A legrészletesebb nyomtatott információt a *teljes lista* adja; ebben a fentie-

ken felül a könyvtárban tárolt file-ok tartalma is hiánytalanul megjelenik. (Tekintve, hogy a könyvtár file-jai alfanumerikusak és rekord-szervezésűek, ez a listázás nem igényel járulékos adat-konverziót.)

A grafikus adatokat leíró file-okra vonatkozóan a program a grafikus közlést, kirajzolást is lehetővé teszi. A legfontosabb ezek közül a cellák layout rajzolata. A 2. ábrán azt látjuk, milyen formában rajzolja ki a CELLIB-LIB program egy cella layout-ját a felhasználó tájékoztatása céljából. A rajz szabványos A4-es formátumú és az egyértelmű azonosíthatóságát szolgáló szövegmezővel is kiegészül.

A layout-on túl más, grafikus jellegű adatok is tartozhatnak egy cellához. Ilyenek: a körvonalrajz, a logikai szimbólum, az áramköri kapcsolási rajz.



3. ábra. A cellakönyvtárban a cellák áramköri kapcsolási rajza is tárolható és ilyen módon kirajzolható ■■

A 3. ábrán az előbbi cella kapcsolási vázlatát látjuk, a program által kirajzolt formában.

Alfanumerikus felvitel és módosítás. A könyvtárba új alfanumerikus file-ok vihetők fel, a meglevők módosíthatók. A módosítások egy standard editor-program behívásával történnek. A program annyiban ad többet egy szokásos file-kezelő rendszerhez képest, hogy nyilvántartja az adatfile-ok közötti egymáshozrendelési viszonyokat, interaktív módon „kikényszeríti” a felhasználótól, hogy nyilatkozzon ezekre vonatkozóan, és nem enged meg olyan hozzárendeléseket, amelyek valamilyen tekintetben értelmetlennek lennének (pl. egy cella nem hivatkozhat egy másik cellára, ha a kettő nem ugyanazon technológiához tartozik). A felvitel és a módosítás lehetőségét a program természetesen csak a privilegiált felhasználóknak adja meg.

Grafikus felvitel és módosítás. A program a grafikus jellegű információknál (layout, kapcsolási rajz) a cellában levő adatok grafikus módosítására is lehetőséget ad. Erre a célra a MEV layout tervező rendszernek grafikus editor programját hívja be. A szerkesztés, ill. módosítás nagyméretű, tárolócsöves gra-

fikus display képernyője előtt történik. Ez a lehetőség szintén csak a privilegiált felhasználók számára adott.

Törlési műveletek. Mielőtt a program bármely file törlését végrehajtaná, keresztreferencia vizsgálatot végez, és kilistázza a hivatkozó egyéb file-okat. Ezt követően a törlési utasítás újbóli kiadása kell ahhoz, hogy a törlés ténylegesen megtörténjen. Természetes, hogy törlést is csak az arra felhatalmazott felhasználók kezdeményezhetnek.

Egymáshoz-rendelések előírása, ill. megváltoztatása. Ilyenek: cellák rendelése egy adott chiphez, tervezési szabályok hozzárendelése egy cella layout-jához stb.

5. Kapcsolódás a tervező programokhoz

A cellakönyvtár tulajdonképpeni felhasználását az jelenti, hogy a benne tárolt adatokat az IC tervezés során használt programok kiemelik, beépítik a tervezés folyamatába. Ehhez kapcsolódik a cellakönyvtárkezelő második programja, a CELLIB-USE, ami a cellakönyvtárból az adott tervezési fázisban szükséges információk kigyűjtésére és a tervező programok felé továbbítására szolgál.

A könyvtárkezelő program elsődlegesen a cellás tervezést szolgálja — bár az ULA és egyéb „előregyártott” jellegű IC-k tervezésénél is alkalmazható. Cellás tervezésnél a tervezőnek a program számára először fel kell sorolnia, hogy mely könyvtári cellákból kíván építkezni. Ezek körvonal-rajzolatát a program átadja a grafikus editornak — azzal a chip-leírással, chip-vázlattal együtt, amelyen a cellákat el kell helyezni. A program külön figyeli azt, hogy egy IC-tervhez csak azonos technológiához tartozó cellák legyenek kigyűjthetők. Figyelmeztető jelzést ad akkor is, ha technológia összeférhetetlenség ugyan nem áll fenn, de a kért cella nincs explicite a használt chip-vázlathoz hozzárendelve.

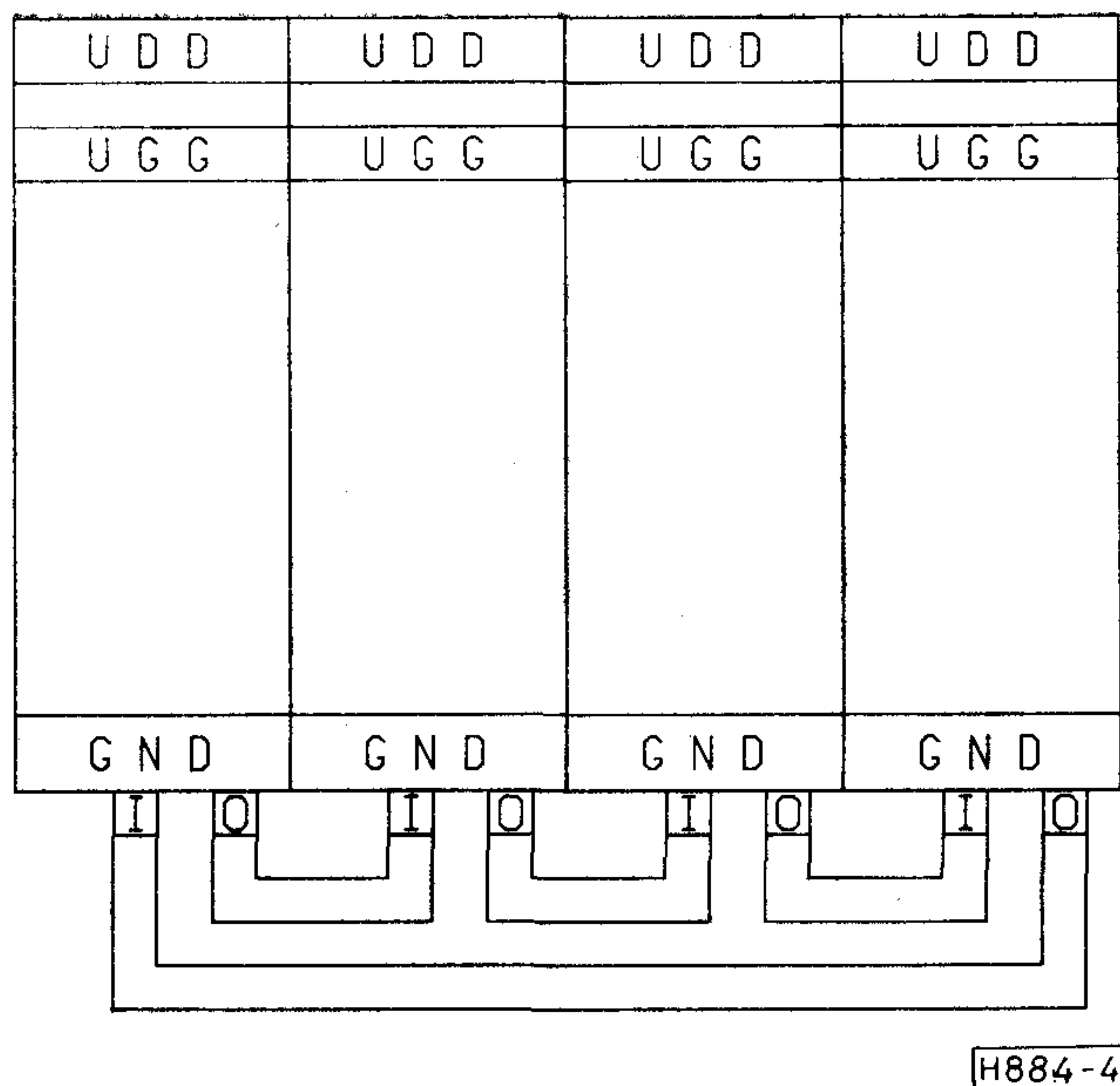
A tervezőnek a grafikus editor program segítségével a következőket kell elvégeznie:

- elhelyezni a körvonalukkal adott cellákat a chipen,
- megszerkeszteni a cellák között szükséges összeköttetéseket (ehhez a cellák körvonalrajzán a cellakivezetések alkalmas azonosító szövegekkel ellátott rajzolata is láthatóvá tehető).

A 4. ábrán egy cellás tervezésű áramkör részletét látjuk, a tervezésnek ebben a fázisában.

Miután az egész IC terv elkészült ebben a formában, a körvonalrajzzal adott cellákat le kell cserélni a cellák tényleges layout-jával. Ezt a műveletet a CELLIB-USE program automatikusan végzi, kimenetként most már a maszk előállító eszköz (ábragenerátor) felé továbbítható tervezési file-t szolgáltatva. Az 5. ábrán az előbbi IC részlet rajzát látjuk, a körvonalrajzolatnak a layouttal való lecserélése után.

Említésre érdemes még, hogy a grafikus szerkesztés során a tervező többször is a könyvtárhoz fordulhat. Ha a tervezés során kiderül, hogy még további cellák szükségesek a könyvtárból, azok kigyűjtése és a feldolgozás alatt levő tervezési file-hoz való hozzászerkesztése is lehetséges. Ugyancsak hasznos lehetőség, hogy a tervező saját hatáskörében egyes cel-



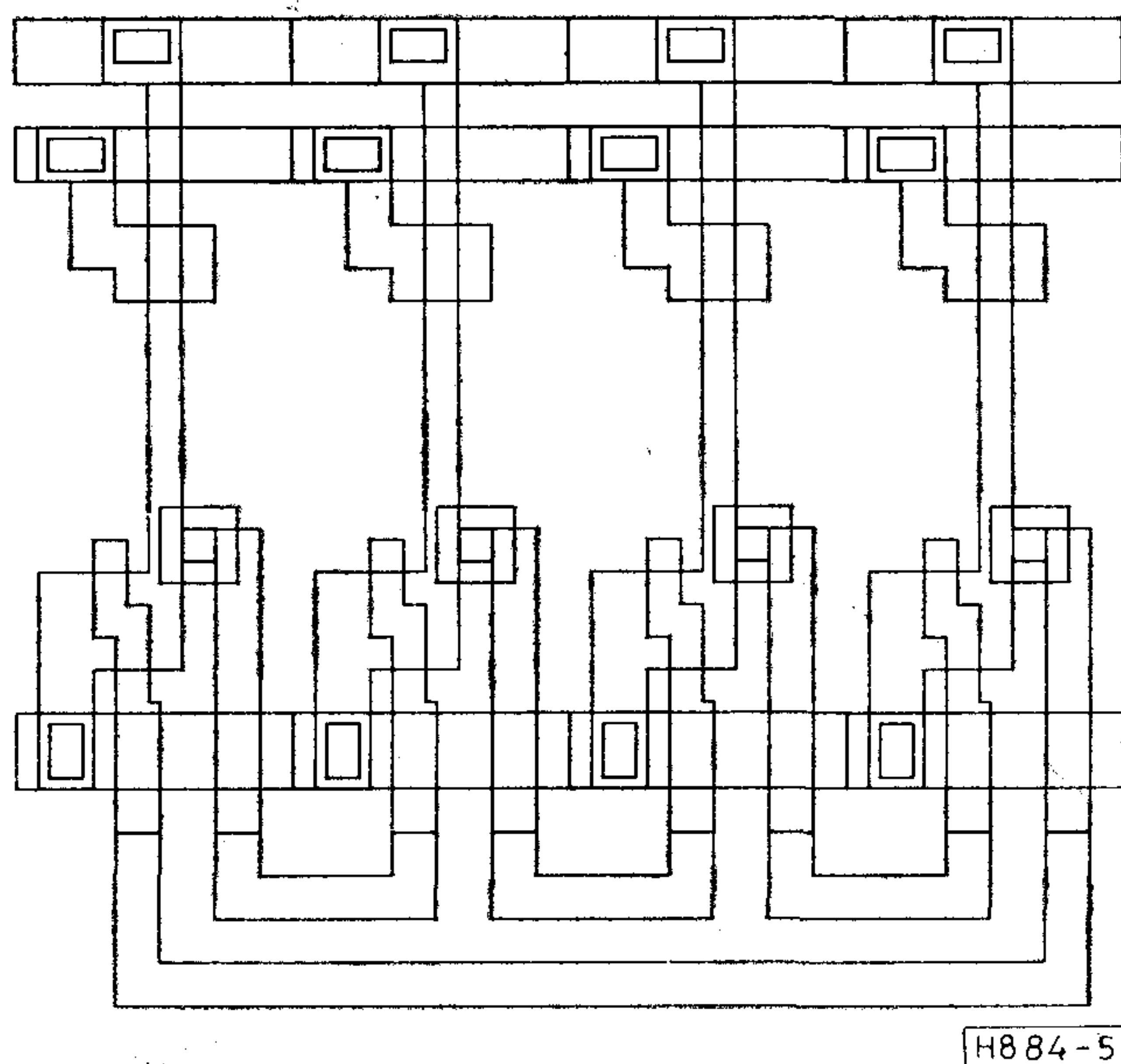
4. ábra. Cellás tervezésű IC részlete a grafikus szerkesztés közben. A cellákat körvonalrajzuk reprezentálja

lákat átszerkeszthet. Az átszerkeszteni szánt cellákat nem körvonalrajzukkal, hanem teljes layout-jukkal kell a könyvtárból lekérni; így a szerkesztés során geometriájuk módosítható. (Természetes, hogy a hívás ilyen módjával megszűnik ezek ellenőrzött, könyvtári cella mivolta; hibátlan működésükért a felelősséget a tervezőnek kell vállalnia.) E lehetőséget abban a kivételes esetben kell igénybevenni, ha egy feladat egyáltalán nem, vagy csak nagyon célszerűtlenül oldható meg könyvtári cellával. Ilyenkor segítség a tervezőnek, hogy az egyedi cella tervezésénél egy hasonló könyvtári cella layout-jából indulhat ki.

A könyvtár a CELLIB-USE program segítségével kapcsolódik az áramkört és logikai szimulációs programokhoz is. Mind az áramkört, mind a logikai szimulációnál ún. *részáramkörként* kell a hálózatléírásban hivatkozni a könyvtári cellákra. A CELLIB-USE program feladata a hivatkozott részáramkörökre vonatkozó információkat kigyűjteni a könyvtárból. A program gondoskodik a különböző láncolt információk kiemeléséről is (részáramkör által hivatkozott újabb részáramkörök, áramkörleíráshoz hozzárendelt tranzistor katalógusfile stb.). A CELLIB-USE program jelenleg a LOBSTER logikai szimulációs program [3] és a TRANZ-TRAN 2 áramkörszimulációs program [4] számára végzi el a könyvtári cellák adatainak kiemelését. Szébb és általánosabb lett volna a probléma valami olyan megoldása, amelynél a részáramkörök adatainak kiemelése független a kiszolgált szimulációs programtól — ez azonban csak akkor lesz megvalósítható, ha a vizsgálandó hálózatok a tervező rendszerben mindig egy egységes topológiai leírónyelven jelennek majd meg.

6. Továbbifejlesztési lehetőségek

A programot 1983. márciusában helyeztük üzembe a Mikroelektronikai Vállalatnál; a cellakönyvtár ada-



5. ábra. Cellás tervezésű IC részlete. A cellák körvonalrajzát a program a valódi layout-ra cseréli ki

tokkal való feltöltése az április hó folyamán indult meg. Tapasztalatokról tehát korai volna még beszélni; azok a használat első $\frac{1}{2}$ —1 éve alatt alakulnak majd ki. Kapcsolódó fejlesztési lehetőségekről ugyanakkor már jelenleg is van elképzelésünk. Ezek közül említünk meg a cikk befejező gondolataként néhányat.

- Összekapcsolás egy automatikus layout generáló (elrendezés és összeköttetés tervező) programmal. Egy interface-program a logikai leírás alapján automatikusan emelhetné ki a könyvtárból a cellák layout vagy körvonalrajzolatát és továbbíthatná az automatikus layout tervező felé.
- Hierchikus tervezési szabály ellenőrzés támogatása. A CELLIB programot alkalmassá lehetne tenni arra, hogy a könyvtárba felvitt cellák layout-ját tervezési szabályokra ellenőrizze. Az ellenőrzés eredménye (jó/rossz) a cella adataival együtt tárolható (erre a CELLIB program már mai formájában is lehetőséget ad). A fentiekre építve volna elkészítve az a hierarchikus tervezési szabály ellenőrző program, amely csak a cellák feletti szinten ellenőrizne, a cellákra vonatkozóan elfogadva a könyvtárban bejegyzett ellenőrzési eredményt.
- Cellaszintű visszafejtő program. A cellakönyvtárra támaszkodva lehetséges egy olyan layout visszafejtő program létrehozása, amely a cellák összeköttetéseit tárja fel és ennek alapján a hálózat logikai leírását generálja. Ezen az úton a cellás módszerrel tervezett áramkör sokrétű ellenőrzése valósítható meg — egészen a layoutból visszafejtett áramkör közvetlen logikai szimulációjáig.

Megjegyezzük, hogy a fentiek egy része ma már több, mint pusztán felvetett gondolat. A cellaszintű visszafejtés területén például ma már ígéretesen haladó fejlesztő tevékenységet végzünk. Alkalmassint ez

a téma is rövidesen megérkezik arra, hogy e hasábkon beszámoljunk az elért eredményeiről.

IRODALOM

- [1] CELLIB: cella adattár a SEMCON rendszerhez illeszkedően, általános ismertetés, Budapest, 1982—83. (kutatási jelentés)

- [2] dr. Székely V., Baji P., Kerecsenné dr. Rencz M., dr. Koltay M.: IC maszkok gépi tervezése, a SZTAKI megbízásából készült tanulmány, Budapest, 1981.
- [3] Jávör A., Benkő T.: Diszkrét rendszerek szimulációja, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [4] dr. Tarnay Kálmán, dr. Székely Vladimír: A TRANZ-TRAN 2 áramkörszimulációs program, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981. (egyetemi jegyzet)

EGYESÜLETI HÍREK

BESZÁMOLÓ A MTESZ VB ELŐTT

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület ez év június 16-án beszámolt tevékenységéről a MTESZ Végrehajtó Bizottságának.

Az írásos beszámoló a következő fejezeteket tartalmazza:

- I. Az Egyesület tevékenységi köre
 1. Tudományos és ipari háttér
 2. Nemzetközi tevékenység
 - a) együttműködés a szocialista országok testvérszervezeteivel,
 - b) kapcsolatok tőkés országok szervezeteivel,
 - c) nemzetközi részvételű konferenciák.
 3. Oktatási, továbbképzési munka
- II. Az Egyesület által gesztorált témák:

A HTE részvétele az elektronikai program végrehajtásában.
- III. Együttműködések, kapcsolatok
 - a) együttműködés a MTESZ központi szerveivel és a társegyesületekkel,
 - b) kapcsolataink főhatóságokkal.
- IV. Az Egyesület szervezeti felépítése és tevékenységének irányítása
- V. A HTE-ben folyó társadalmi munka módszerei
- VI. „Híradástechnika” folyóirat helyzete és jövője

Füzessy János MTESZ főtitkárhelyettes értékelte a HTE beszámolóját és ismertette az Ipari Minisztérium, valamint a társegyesületek véleményét. Többek között idézett az IpM leveléből.

„Az anyag készítői igen szerényen utalnak az 1975-ben készített tanulmányra és az illetékes párt- és állami szervekhez a magyar elektronikai ipar fejlődési problémáiról benyújtott felmérésre. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy ezzel az Egyesület inspirálta, elősegítette „Az elektronikai ipar hosszútávú fejlesztésének műszaki-gazdasági koncepciója” kidolgozását. Ezt a koncepciót az ÁTB 1979-ben a hosszútávú fejlesztés alapjául elfogadta, és egyetértett azzal, hogy az elektronikai alkatrészek és részegységek kutatásfejlesztése is a Központi Fejlesztési Program keretében valósuljon meg.

A HTE a Program előkészítése során részben aktívaival, részben a program kidolgozói számára biztosított igen értékes társadalmi vitával nyújtott segítséget. Az EKFP elfogadása után a MTESZ „elektronikai alkatrész gyártás” központi társadalmi bizottságában működő mikroelektronikai és makroelektronikai albizottságok tevékenysége pozitívan hat az elektronikai alkatrész fejlesztés—gyártás lényeges műszaki-gazdasági kérdéseinek szélesebb körben történő ismeretetésére és megvitatására.

Ezt a lehetőséget felhasználva a továbbiakban is számít az Egyesület segítségére az Ipari Minisztérium, különösen azért, mert a megnehezedett gazdasági feltételek közepette az EKFP megvalósítása is sokkal nehezebb, sok gazdasági és ezzel összefüggésben gyakran több műszaki problémával találjuk magunkat szemben. Az EKFP célkitűzéseinek teljesítéséhez a szakemberek széles körének — a HTE-ben is felszínre kerülő — tapasztalataira és ötleteire az eddigieknél is

nagyobb szükség van, mivel az alkatrész ellátás az elektronikai berendezésgyártásnak létkérdése.

Hasznosnak tartjuk az Egyesület által szervezett hazai és nemzetközi konferenciákat, mind az alkatrészgyártás és alkalmazás, mind a berendezésgyártás témaköreiben.

A Távközlési Szakosztály és a Távközlési Klub-napok lehetővé teszik a berendezésgyártó ipar és a berendezéseket felhasználó szakemberek tapasztalatcseréjét és közös gondolkodását.

Az Egyesületnek az elektronikai alkatrészekről a hírközlési berendezések és rendszerek alkalmazásáig terjedő tevékenysége fontos szerepet tölt be az elektronika népgazdasági jelentőségének társadalmi felismerésében, elterjedésének elősegítésében.”

Füzessy elvtárs hangsúlyozta, hogy az egyesület tevékenysége alapján megállapítható, hogy a HTE tagság nem csak arra szorítkozik, hogy aktívan részt vesz a MTESZ által megfogalmazott célok megvalósításában, hanem kezdeményezéseivel jelentősen hozzájárul a „holnap” tevékenységi körének kialakításához is. Példamutató a HTE kapcsolatrendszere (a társegyesületek véleménye szerint is), melyre nem a formalitás, hanem a tartalmi együttműködés a jellemző.

Valkó Endre felszólalásában kifejtette, hogy a MTESZ egyesületek és a HTE is a társadalom műszaki lelkiismeretei. 10 évvel ezelőtt a MTESZ feltérképezte a műszaki fejlődés helyzetét.

E tanulmánykötetben a HTE az elektronikai alkatrész helyzetről szóló alapos elemzése keltette a legnagyobb érdeklődést. Sajnálatos, hogy az elektronikai program megszületése évekig váratott magára.

Dr. Almássy György főtitkár kiegészítést tett:

„A XXI. század gazdasági, társadalmi, emberi alapjait építő évtizedekben roppant felelősség hárul a fejlődés motorját képező elektronikával — tágabb értelemben informatikával foglalkozó tudományos egyesületre.

Ezért nagy öröm számunkra, hogy a MTESZ VB előtt gondjainkról, terveinkről, munkamódszereinkről beszámolhatunk, kérve az önök észrevételeit, javaslatait, tanácsukat és együttműködésüket a jövő közös feladatainak megoldásához.

Az elektronika, informatika, nem csupán egy szűk műszaki terület gondja, hanem a népgazdaság egészét érintő, az emberi életet forradalmian megváltoztató, általános fejlődési irány.

Az elektronika olyan fejlődési meredekséget mutat, amelyre még nem volt példa az emberiség életében. Fél emberöltő alatt öt technológiai forradalom — generáció váltás — következett be és ez a fejlődési tendencia 2000-ig változatlanul tovább folyik. Ma már ismeretesek azok a műszaki, tudományos eredmények (az integráltság további fokozása, Josephson effektus, optoelektronika stb.), amelyek a töretlen fejlődést lehetővé teszik. Az ember felfogó, fogadó készségének lassúsága, a fejlődés legnagyobb korlátja.

Ma már közhely, hogy az általános iskolai oktatásban el kell sajátítani az elektronika legjellegzetesebb területének a számítógép-technikának az elemi ismereteit. Az OMFB-vel közös javaslatot készítettünk elő, hogy a MTESZ a legfontosabb megyei szervezeteiben számítógépes oktató bázisokat szervezzen. Ezekben, egyelőre középiskolai oktatásban használatos géphez, szabad hozzáférési lehetőséget kell biztosítani, szaktanácsadási lehetőséggel. Sikerült biztosítani azt is, hogy a gyártó cég jutányos áron a gépek szállítását

vállalja. A szervezést a szakegyesületek közreműködésével, MTESZ szinten kell megoldani.

Az elektronika egyik leglényegesebb alkalmazási területe a távközlés. 1990-ig több mint 500 millió fővonalra számítanak, vagyis mintegy 200 millióval többre, mint 1980-ban. Ez a távközlési ipar részére nagy jelentőségű programot határoz meg.

A Magyar Posta főhatóságában bekövetkezett változás szükségessé teszi, hogy a KTE-vel közösen még nagyobb társadalmi erőfeszítést mozgósítsunk. A zártláncú rendszerek széles körű elterjedése sajátos magyar helyzetet hozott létre. Magyarország az európai országok között lassan az utolsó helyre kerül telefonhálózatának sűrűségét és annak fejlődési tendenciáit illetően.

Egyesületünk egyik legfontosabb feladatköre, mely ma az érdeklődés középpontjában áll, az elektronikus alkatrész biztosítás. Amíg a nyugati tőkés országokban 1982-ben a GNP évi 2–2,5%-kal csökkent, addig az elektronikai alkatrész felhasználás 10–12%-kal növekedett. Fényvezető kábelek termelése évi 100%-kal növekszik.

Almássy főtitkár a továbbiakban hangsúlyozta, hogy egyesületünk intenzíven bekapcsolódik az elektronika nemzeti programjának kidolgozásába is.

A MTESZ Végrehajtó Bizottsága köszönettel tudomásul vette és elfogadta a HTE tevékenységéről készített tájékoztatót. Egyetért az Egyesület, jövőre vonatkozó elképzeléseivel, célkitűzéseivel. Az egyesületi vezetőség figyelmébe ajánlja az elektronizációnak a gyakorlatba való bevezetése területén végzendő sokrétű szakmai-, társadalmi munkát.

Megköszönte a közreműködést a MTESZ kiemelt programjának megvalósításában és kérte, hogy továbbra is támogassák az elektronikai ipar alkatrészgyártás programját és az azt koordináló bizottság tevékenységét.

A Végrehajtó Bizottság különösen értékesnek ítélte az Egyesület társegyesületekkel való konkrét, szoros együttműködését. Külön is megerősítette és ajánlotta — a KTE-vel való szoros együttműködésben — az OKKFT A5 sz. Távközlési Berendezések Kutatási Fejlesztési Programjának társadalmi segítségét.

Fontosnak tartotta, hogy az Egyesület az Ipari Minisztériummal és az állami szervekkel továbbra is tartson jó munkakapcsolatot és javaslataival segítse elő a jövő feladatainak kidolgozását.

A MTESZ VB megköszönte az Egyesület tagságának és választott vezetőinek eredményes társadalmi és tudományos munkáját, a Szövetség céljainak megvalósításához nyújtott támogatást.

VDE NAPOK

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület a Magyar Elektrotechnikai Egyesülettel közös szervezésben a Verband Deutscher Elektrotechniker közreműködésével 1983. szeptember 14–16. között a VDE NAPOK keretében szakmai előadássorozatra került sor, amelyet ismert NSZK cégek képviselői tartottak.

A híradástechnika szekcióban első nap távközlési, második nap mikroelektronikai tárgyú előadások hangzottak el. Mindkét nap délután élénk eszmecsere alakult ki az előadók és a hallgatóság között az igen jól vezetett és irányított Kerekasztal vitákon.

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az előadások legfontosabb mondanivalóit.

Az utóbbi években kialakult, hogy a távközlés jövőjét döntő mértékben a digitalizálás, a fénytávközlés, a mikrohullámú- és szatellit technika, valamint a számítástechnikával szoros összefüggésben kialakuló új szolgáltatások szabják meg. A híradástechnikai szekció első napi négy előadása ehhez a négy fő területhez csatlakozott.

A négy előadás áttekintést adott arról, hogy az NSZK Posta és ipar együttműködése ezeken a területeken eddig milyen eredményeket ért el, és melyek a kialakuló perspektívák.

Az első előadó E. Kügler (Siemens AG) a fénytávközlés technikájáról nemcsak műszakilag, hanem gaz-

daságilag is érdekes adatokat közölt. Az elmúlt időszak fejlesztése és a kísérleti hálózatokban végzett munkák után megkezdődött a fényvezető kábelek tömeges gyártása, és üzemszerű felhasználása. A kiemelkedő műszaki tulajdonságok eddig is ismertek voltak, most azonban egy olyan további adatot közölt, amely szerint a tömeggyártásból kikerülő 10 szálát tartalmazó kábel köpennyel együtt méterenként teljesen készen 1,5 dollár. Ez azt jelenti, hogy hazai viszonylatban 66 Ft/m értékben lehetne számolni, ugyanakkor egy ennél lényegesen kisebb átvivő kapacitású rézerű kábel pl. egy 25×4-es 0,8 mm Ø helyi kábel ára meghaladja a 100,— Ft/m értéket. Az előadás az alkalmazási területeket áttekintve, arra a végkonklúzióra jutott, hogy a hálózat valamennyi síkjában új építések-nél mind a műszaki jellemzők, mind a gazdasági adatok alapján a fényvezető előnyösebbnek látszik. Kiemelt néhány területet, mint pl. a villamosított vasutak mentén létesített létesítmények, ahol a fénytávközlést szinte egyedüli megoldásnak kell tekinteni.

Dr. P. Bocker (Siemens AG) a szolgáltatások fejlesztéséről beszélt. Az irodai távközlés, valamint az előfizetőknek nyújtott széles sávú csatornák, amelyek kép, hang és szöveg kommunikációra egyaránt alkalmasak, a digitális távközlés megjelenésével el fognak terjedni. 1987-től kezdik majd széles körben ajánlani ezeket az új szolgáltatásokat, és úgy tervezik, hogy 2020-ra a teljes digitalizálás befejeződik, addigra minden előfizető részese lehet az integrált szolgáltatásoknak.

Bár az előfizetők jelenleg még alig igénylik ezeket, sőt egyes területeken egyáltalán nem kívánják a távbeszélőszolgáltatás összekapcsolását más számítógépes szolgáltatásokkal, mégis tervszerűen készülnek ennek kialakítására. Már eddig is nagyértékű fejlesztési munkákat végeztek el, és a gyártás érdekében jelentős beruházások kezdődtek. Így az ipar elsődleges érdeke, hogy a prognosztizált fejlődés bekövetkezzék, és erre igyekszik is a felhasználókat előkészíteni.

Dr. J. D. Büchs (AEG-Telefunken Nachrichtentechnik GmbH) a szatellit távközlés fejlődését ismertette. A miniaturizált kis fogyasztású mikrohullámú eszközök kényelmesen elhelyezhetők a műholdakon, ezzel eléri, hogy hosszabb élettartammal nagyobb teljesítménnyel működjenek. Különlegesen érdekes volt előadásának az a része, mely a műholdas műsor-szórással foglalkozott. A besugárzott területek határvonalának pontosabb meghatározása érdekében kidolgoztak egy módszert, melynél több élesebb iránykarakterisztikájú antennát alkalmaznak. Az adóteljesítményt ezek között elosztják, és ezzel igen jó ellátást tudnak biztosítani, mert az antennanyereségben olyan teljesítmény-növekedést érnek el, ami konstans adóteljesítmény mellett kisebb vételi érzékenységgel is jó minőséget biztosít.

A záróelőadás (K. Fischer) a technológiai fejlődés és a hálózatok jellemzői között keresett kapcsolatot. Az érdekes történelmi áttekintés után bemutatásra került, hogy a digitális technika milyen széles körben nyújt lehetőségeket az új szolgáltatások bevezetésére, és mennyire természetesen kapcsolódik össze az integrált áramköri elemek tömeggyártása a digitális átvitel — és kapcsolás széles körű bevezetése, valamint az új szolgáltatások megjelenése. Előadása nemcsak a digitalizálás perspektíváira mutatott rá, hanem jó összefoglalása is volt az előző előadásoknak, és teljessé tette a képet a távközlés fejlődésének fő irányairól.

A távközlési előadások lezárásaként vitára került sor: „In-house rendszerek, mint a szolgáltatás integráció első lépései!” címmel. Az előadók közül Kügler E., Dr. Bocker P., Dr. Büchs J. D. és Prof. Dr. Fischer K., továbbá dr. Lajtha Gy. voltak a felkért hozzászólók, a vitát dr. Gosztony G. vezette. A vitán kialakult álláspont az alábbiakban foglalható össze:

Az ISDN alapját a digitális telefonhálózat fogja képezni, a hálózat digitalizálása pedig nem divat vagy a gyártócégek üzletpolitikájának következménye, hanem gazdasági szükségszerűség. A szolgáltatások integrációjának hajtóereje jelenleg az irodai munka hatékonyságának növelése iránti igény. Ezért először a cégek saját távközlési hálózatában — pl. alkalmas alközpontokkal — várható az ISDN szigetszerű meg-

valósulása. Nem egyértelmű, hogy magánosok milyen mértékben és pontosan milyen szolgáltatások integrációjának bevezetésében lesznek érdekeltek az évszázad végéig.

Az NSZK Posta becslésében szereplő 1997-ben kb. $3 \cdot 10^6$ ISDN fővonal elsősorban az alközponti fővonalakra épül. Valószínű, hogy a jelenlegi nagysebességű helyi adathálózatok (Local Area Networks) különállása marad meg legtovább és, hogy az adatátvitel integrációja csak az ezredforduló utánra várható. A műszaki fejlődés új eredményeit húsz—harminc évre előre aligha lehet megjósolni, annyi azonban jelenleg is látható, hogy a fejlődés ütemét már a közeljövőben is nem a hardware eszközök területén elért új eredmények, hanem a szükséges software kidolgozása fogja meghatározni.

A második napon mikroelektronikai tárgyú előadások hangzottak el.

Elsőként Prof. H. Reiner tartott előadást „Nagybonyolultságú berendezésorientált áramkörök — a félvezetőgyártó és alkalmazó feladatai” címmel. Az elmúlt években a félvezetős áramkörök integráltsági foka állandóan növekedett. 1960 óta az egy-két elemet tartalmazó IC-k felfejlődtek a 400 000 funkciót tartalmazó integráltsági fokra, és már fejlesztés alatt állnak az 1 000 000-os értékhatárt átlépő áramkörök. Az integráltság növekedése okozta az elmúlt években tapasztalható innovációt az elektronika minden területén. Ez a fejlődés a felhasználók szempontjából előnyt hozott a gyártási költségek, a megbízhatóság, és az alapfunkcióra eső teljesítmény veszteség szempontjából. A felsorolt három tényező az említés sorrendjében az alapvető mozgóerő az integráltsági fok további növelésére.

Egy új IC fejlesztési költsége annak összetettségén kívül még sok más tényezőtől is függ. Különösen a nem szabályos szerkezetű VLSI IC-nél emelkedik a lineárisnál meredekebben a fejlesztési munka mennyisége a kapuk számának függvényében. A tokozás és a végső mérés költsége kb. arányosan függ az IC csatlakozóinak számától. Az IC-knél általában a tokozás és a végső mérés költsége túlsúlyban van a chip előállítási költségével szemben. Ez a megállapítás érvényes az egyszerű TTL áramkörökre is és a 64 kbit-es dinamikus tárolókra is. A nem szabályszerű szerkezetű IC-k kivezetéseinek száma durván a bonyolultsági fok négyzetgyökével növekszik. Ennek megfelelően az alapfunkcióra eső kivezetések száma csökken az integráltsági fok növekedésével. Ez a legfőbb oka az egy funkcióra eső költségek integráltsági fok növekedésével járó csökkenésének.

Gate array-k esetén rendszerint a felhasználó végzi a fejlesztést a blokk-diagram és a tesztprogram elkészítéséig. A félvezetőgyártó ezután a szimulációs programmal ellenőrizheti a kompatibilitást a blokkdiagram és a teszt-program között. Az elemek elhelyezését és az összeköttetéseket akár a felhasználó, akár a gyártó tervezheti. Gyors működésű áramkörök esetében problematikus a felhasználó számára a topológia megfelelő kialakítása a jel késleltetések és a zavaró csatolások szempontjából. A dinamikus szimulációs programok oldják meg ezt a feladatot.

Más a helyzet a standard cellák alkalmazása esetén. A cellakönyvtárat akár a gyártó, akár a felhasználó fejlesztheti. A tervezési szabályokat azonban a gyártóval egyeztetni kell. Amennyiben a felhasználó a fejlesztés során betartott olyan tervezési szabályokat, amelyeket több gyártó elfogadott, akkor alacsonyabb költségekre számíthat a magasabb technológiai szabadságfok miatt. Az elhelyezést és összeköttetést is megtervezheti a felhasználó és a maszk készítő berendezés vezérlőprogramját és a tesztprogramot átadja a félvezetőgyártónak. Ebben az esetben a struktúráért egyértelműen a felhasználó a felelős, míg a technológiáért a félvezetőgyártó a felelősség.

A következő előadást a Fraunhofer Intézet munkatársa P. Eichinger tartotta „Felületi rétegek mikroanalízise nagy integráltságú áramkörök gyártásfejlesztésének segítésére” címmel. A híradástechnika jövőbeni fejlődése a legmagasabb követelményeket támasztja a mikroelektronikai alkatrészek integrációs

sűrűségével és gyorsaságával szemben. Új gyártástechnológiákat kell kidolgozni, amelyek a struktúrameretek szubmikronos tartományban való megvalósítását teszik lehetővé. Ennek fontos előfeltétele, hogy a vékony rétegek és egymás fölötti rétegek jellemzéséhez modern fizikai-analitikai módszerek kerüljenek alkalmazásra.

A raszterektronmikroszkópos morfológiai vizsgálat mellett az ionsugáranalitikus és elektronspektroszkópiás analízisek különösen alkalmasak arra, hogy az elemfelépítést és a kémiai szerkezeti paramétereket leírják, és így hozzájáruljanak a gyártási folyamat fejlesztéséhez és modellezéséhez.

Az igen nagy bonyolultságú integrálási technika továbbfejlesztésével a még kisebb vízszintes struktúrák irányába, a struktúra ábra készítéséhez szükséges új eljárások mellett (pl. röntgensugaras litográfia fény helyett) növekvő jelentőségre tesznek szert a réteg előállítás új technológiái, amelyeket „hideg, száraz és lapos” szavakkal szoktak jellemezni. „Hideg” gyártáson a kb. 800 °C alatti hőmérsékleteket értjük, amelyeknél az adagolási struktúra diffúzió miatti vízszintes kiszélesedése elhanyagolható. Összehasonlításként: a termikus oxidáció normál nyomáson kb. 1100 °C-on következik be. „Hideg” gyártásnál a rétegelőállítás lényegében plazmával segített, vagy nagy nyomású művelettel történik (pl. plazmaoxidáció).

Adalékolási eljárásaként kizárólag ionimplantáció kerül alkalmazásra modern utókezelésekkel, amelyek a sugár károsítást jelentősen csökkentik. A „száraz” folyamatok (reaktív) ionmarást, illetve plazma marási eljárást tartalmaznak a struktúra előállítás nedves kémiai módszere helyett. Végül a vízszintes méretcsökkenés egy ennek megfelelő függőleges méretcsökkenést eredményez („lapos” struktúra). Ekkor azonban az elektromos funkciók alapján új követelményeket kell támasztani a rétegekkel szemben. Ennek az a következménye, hogy részben további új hatások és technológiák jelennek meg. Ide tartoznak a magas adalékanyagkoncentrációk az implantált tartományban, az adalékolt poliszilícium összeköttetések helyettesítése fémszilicidekkel, vagy a nagyon vékony, igen jó minőségű oxinitrid rétegek alkalmazása is.

A mikrostruktúrák morfológiájának és réteg felépítésének legfontosabb analitikai módszere természetesen a raszterektronmikroszkóp, amely különböző üzemmódokban felületikontraszt- és anyagkontraszt-képeket szolgáltat nagy mélység-élességgel.

Szilárd test felületek nagy energiájú ionsugaras besugárzásakor az ütköző ionok energiájától és tömegétől függően kölcsönhatások lépnek fel, amelyek lehetővé teszik, hogy részecske spektroszkópia módszereivel a felületi rétegek elem-összetételét meghatározzuk. A szekunder tömegspektroszkópia (SIMS) alkalmazásakor viszonylag nehéz ionokkal (argon, oxigén, cesium) néhány keV-os energia tartományban fokozatosan atomrétegeket választanak le katódporlasztással: az ekkor emittált ionokat tömegspektrométerben analizálják. Ily módon a legnagyobb érzékenységgel kapható meg a kémiai elemek mélységprofilja a nanométeres tartományban levő mélység felbontással. A SIMS technika kvantitatív eredményeinek pontosságát sok rétegű rendszereknél átmeneti hatások — pl. egy adott elem ionkihozatala, valamint a lehordási járulékok — korlátozzák. Analitikus szempontból komplementer ionsugár mérési technikának tekinthető a könnyű ionok — különösen hélium ionok a MeV energia tartományban — rugalmas visszaszórása (RBS). A visszaszórt primér részecskék energia eloszlása tartalmazza a kémiai elemek felületi rétegben való tömeg és mélység eloszlását. Ez az eljárás roncsolásmentes, azonban az érzékenysége korlátozott.

Szilárdtest felületek elektronokkal, vagy röntgensugarakkal való gerjesztésekor az atomokból elektronok emittálódnak (fotoelektronok, Augerelektronok), amelyeknek energiája jellemző az emittáló elemre és amelyeknek energetikai finom szerkezete a kémiai kötések állapotáról ad tájékoztatást. Az elektronok csekély kilépési mélysége miatt (az energiától függően 0,4–10 nm) analizálhatók a felület közelében levő legfelsőbb rétegek, a nagyobb mélységű tartományokra

ugyanis a katódporlasztással történő réteg lehordási módszer alkalmas.

Végül a hannoveri egyetem professzora, J. Mucha tartott előadást „Fejlesztési tendenciák digitális integrált áramkörök mérési módszereiben” címmel. A mérési módszerek továbbfejlesztését az integrált áramköröknél az integráltsági fok növelése (VLSI) tette szükségessé, a nagyfokú komplexitás miatt ugyanis a klasszikus mérési módszerek felmondják a szolgálatot. Valamennyi új mérési módszerfejlesztés ezért a mérési igényeket figyelembe vevő tervezésen alapul. Ismeretes, hogy a VLSI komplexitása miatt a tervezett áramkörök meghatározott szabályossággal bírnak, éppen ezért a munka súlypontját az képezi, hogy megmutassák, hogyan lehet ezt a szabályosságot annak érdekében kihasználni, hogy könnyen mérhető áramkörökhöz jussunk. Az itt nem tárgyalandó memória áramkörök mellett a legfontosabb szabályos áramkörök a PLA-k (programmable logic arrays), ezeknél nagyon sok erőfeszítést tettek eddig is a mérési igényeket is figyelembe vevő tervezés érdekében. A jelenlegi fejlesztési tendenciát az az irányzat jellemzi, amely az általános tömeg-tesztelésen és ön-tesztelésen alapul. Legalább ekkora jelentősége van azonban az ún. *Bit-Slice*-Architektúrának is. Az iteratív logikai array-k (ILA-k) *Bit-Slice* struktúráinak jól kidolgozott elméletét alkalmazva már eddig is igen jelentős eredmények születtek. E fejlesztéseknél is előretörték az ún. ön-tesztelési módszerek. Ennek példájul bemutatnak egy 32-Bit-es mikroszámítógépet, amelyben a *Bit-Slice* architektúra és az ön-tesztelés kombinálódik.

Az LSI-ről VLSI-re való áttérésnél nyilvánvalóvá vált, hogy már magát a logikai tervezést is módosítani kell annak érdekében, hogy a végtermék mérhető legyen. Ez az oka annak, hogy a mérhetőségre alapozó tervezés minden VLSI-áramkörök mérését célzó korszerű módszer kiindulópontja. A VLSI-áramkörök mérésére további befolyást gyakorol a VLSI-áramkörök tervezésének általános stílusa. A komplexitás miatt ugyanis lehetetlen, hogy a VLSI-morzsa minden kapuját (gate-jét) külön tervezzék, s ez a tervezésgazdaságossági törekvés vezetett az olyan szabályos struktúrák alkalmazásához, mint amilyenek a PLA-k és a *Bit-Slice*-k. Azok a mérési stratégiák tehát, amelyek ezeket a szabályszerűségeket kihasználják, természetesen egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert. Néhány ilyen kísérlet az elmúlt években ismeretessé vált és napjainkban fejlődik kiérlelt technikává.

Az előadások témáihoz kapcsolódott a kerekasztalvita. A kialakult vélemények az alábbiakban foglalhatók össze:

1. Az LSI-áramkörökről (vonalszélesség: 3 μm) a VLSI áramkörökre (vonalszélesség: 1–2,5 μm) való áttérés a legtöbb nehézséget a tesztelés terén hozta; ehhez képest a tervezés és a technológia megoldandó feladatai csekélyek voltak.

2. A VLSI-áramkörök fejlesztésében-tervezésében a szabályos struktúra kialakítása élvez előnyt, és a mérhetőségre való tervezést kellett megoldani. A technológiában pedig a „hideg” (folyamathőmérsékleten cc 800 °C), „száraz” (nincs nedves kémiai maratás csak plazma, ill. reaktív ionmaratás), „sekély” (vertikális és laterális méretek 1–2 μm) eljárások kizárólagossá váltak.

3. A BOÁK tervezése ma a full-, ill. semi-custom áramkörként tervezett új áramköri megoldásokon kívül nagyon sok esetben korábbi nyomtatott áramköri kártyán szerelt SSI- és MSI-áramkörök egy tokban megjelenő BOÁ-ra való átalakítást jelenti. Az is általános, hogy nagyon sikeres fullcostum áramkörből 1–2 év múlva katalógus IC lesz.

Az LSI-, de különösen a VLSI-chip technológiát már ma is 50%-ban BOÁ-k előállítására használja a SEL, s várhatóan ez az arány növekedni fog. Az SSI-, MSI-chiptechnológiával kizárólag katalógus áramkör készül.

A VDE Napok alkalmából a hallgatóságnak lehetősége volt a szorosán vett távközlési és mikroelektronikai témájú előadásokon kívül meghallgatni: R. Rüggeberg előadását „A teletex szolgáltatás fejlődése”

címmel, R. Tscherbatschoff előadását „Mérés, adatgyűjtés és adatfeldolgozás egy villamos mérőkocsi példáján” tárgykörben, valamint A. Grütz a VDE Kiadó igazgatójának érdekes ismertetését a VDE kiadói tevékenységéről.

A jól sikerült előadássorozat a hallgatók széles körű érdeklődését érdemelte ki, és nyugodtan mondható, hogy a várakozásnál lényegesen több gyakorlati információt és a fejlesztésre vonatkozó megfontolást kaptak.

(Az anyagot összeállította: dr. Lajtha György, dr. Gosztony Géza, dr. Ambrózy András, dr. Kormány Teréz, dr. Zolomy Imre.)

GONDOLATOK AZ ELEKTRONIKAI PROGRAMUNKRÓL

A HTE társadalmi aktivitása eddig is sok jelentős hazai tevékenységnek, programnak volt már forrása, és lényeges támasza. Példa erre az Elektronikai Központi Fejlesztési Program, melynek gyökerei a HTE 1975. júniusi előterjesztéséhez nyúlnak vissza, továbbá az az OMFB tanulmány, mely az elektronika növekvő népgazdaságbeli alkalmazásának társadalmi és gazdasági hatásait vizsgálta még 1980-ban.

E munka leglényegesebb megállapításai:

- az elektronizálás objektív, világméretű folyamat, amely a világgazdasági korszakváltás egyik meghatározó eleme;
- a gazdasági fejlődés üteme és az elektronizálás szintje korrelációban vannak;
- az elektronizálás jellemző mérőszáma az egy főre eső elektronikai alkatrész- és berendezésgyártás és nem a termelés;
- hazánk ebben a vonatkozásban igen rosszul áll: az egy főre eső fogyasztás mindössze a világátlag harmada.

A hatékonyság javítása, a versenyképesség növelése és az extenzív gazdasági fejlődési szakaszból az intenzív pályára való átállás megköveteli, hogy a hazai elektronikai felhasználás mértékét ésszerűen előmozdítsuk. Időszerű a hazai népgazdaság hosszú távú tervezése keretében is ezen átalakító erőforrást súlyának és összetettségének megfelelően figyelembe venni.

Az Állami Tervbizottság 1983. március 23-i ülésén előterjesztés kidolgozását kérte arról, hogy milyen feltételek mellett lehetséges a VII. ötéves tervidőszaktól kezdődően egy átfogó társadalmi-gazdasági-elektronizálási program kidolgozása — várhatóan 1985 közepére — mely felöleli az elektronikai eszközök gyártását, azok alkalmazását, az információ- és hírközlés intenzitásának fejlesztését.

Az elektronizáció gyorsabb ütemű terjesztését hazánkban gátolják:

- A társadalmi környezet még nem mindenütt ismeri fel az elektronizáció társadalmi-gazdasági jelentőségét és elkerülhetetlenségét.
- Hazánk és a szocialista országok elektronikai ipara mennyiség és minőségi elmaradásban van a világszínvonalhoz képest, ezen elmaradás, valamint a tőkés embargó-politika következtében a szükségletek kielégítése számos nehézségbe ütközik.
- A gazdasági szabályozórendszer és az alkalmazott döntési mechanizmusok összehatásukban nem mindig teszik érdekelté a vállalatokat az innováció-, műszaki fejlesztési feladatok megvalósításában, sőt esetenként ellenérdekeltséget eredményeznek.

A fenti jellegű program kidolgozásához az OMFB és a többi országos hatáskörű szerv már kérte a MTESZ széles körű segítségét. Jelenleg — már a március 23-i ÁTB határozatot megelőző indítással az OMFB elnöksége és Fock Jenő elvtárs között 1983. év elején történt meg egyeztetés alapján — kerül egy újabb OMFB tanulmány „Az elektronika széles körű népgazdasági elterjesztésének irányai és lehetőségei” címmel. A tag-egyesületek felkérése jelenleg folyamatban van, a témabizottságot Köteles Zoltán elvtárs vezeti.



MEDICOR MŰVEK

Budapest * Pf.: 150 1389

Telex: 22-6348 Telefon: 495-130

MODULÁRIS ADATGYŰJTŐ BERENDEZÉS — MOD-81

A MEDICOR MŰVEK a Budapesti Műszaki Egyetem Műszer és Méréstechnika Tanszékével közösen a 70-es évek közepén kezdte el a mikroprocesszoros intelligens berendezések tervezéséhez, gyártásához és ellenőrzéséhez elengedhetetlenül szükséges TGE rendszer, az MMT rendszer [1], [2] fejlesztését. A rendszer alkalmazásának eredményeképpen sorra jelentek meg, a mikroprocesszoros vezérlés adta előnyöket jól hasznosító, magasszintű szolgáltatásokat nyújtó elektronikus mérőműszerek.

A MEDICOR műszer ajánlatát tekintve [4], [5] pl.:

- LVK—11 Légzésfunkciós vizsgáló készülék.
- PHA—1a Haematológiai automata.
- Mx—100 Röntgen generátor vezérlő pult.
- MEDIAGNOSTIC képtároló és utókiértékelő rendszer stb.

Az ipari alkalmazások sem vártak magukra sokáig. Az MMT rendszert alkalmazó vállalatok, intézmények, szervezetek sorra jelentek meg sikeres adaptációkkal, műszerekkel, rendszerekkel.

A teljesség igénye nélkül pl.:

TEXELEKTRO Textil és Elektronikai Ipari Szövetkezet

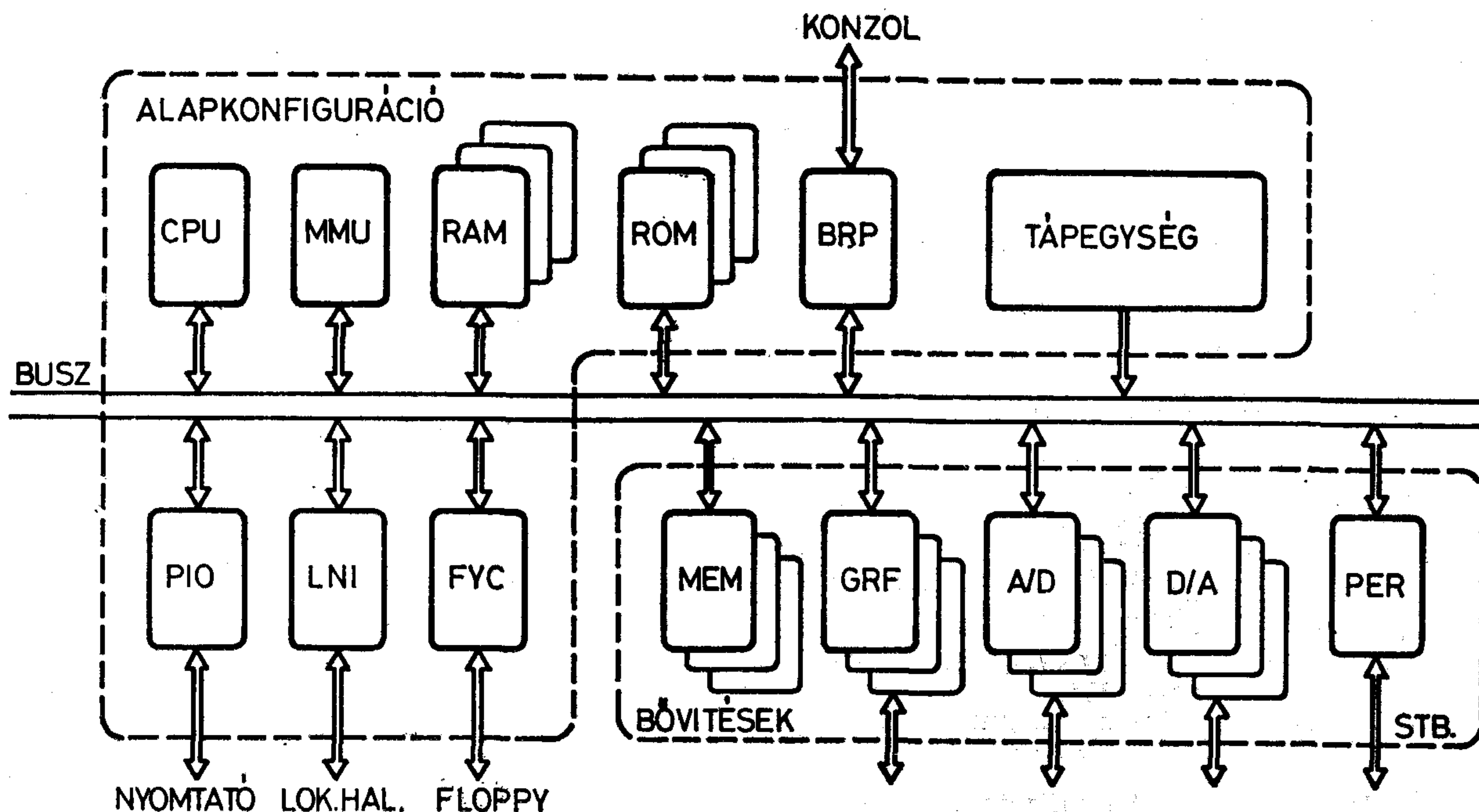
- Irányítástechnikai funkciók megvalósítása.
- Fejlesztő és gyártásközi ellenőrző készülék.
- PROM-égető és -törő berendezés.

VBKM Erősáramú Gyártmány- és Rendszerfejlesztő Leányvállalat

- MIKROPID Mikroprocesszoros folyamatirányító berendezés.

RADELKIS Elektrokémiai Műszergyártó Szövetkezet

- Digitális plotter.



1. ábra. MOD—81 hardware felépítése

- Mikrohullámú rádió relé rendszerek távkezelő berendezései.

Kőbányai Gyógyszerárugyár

- Automatizált farmakológiai mérőrendszer [3].

Az alkalmazások terjedésével felmerült az igény, hogy a kifejlesztett alap műszerekkel egységes hardware és software bázison — az MMT rendszer további alkalmazásával — komplex adatgyűjtő és feldolgozó rendszereket biztosíthassanak az MMT alkalmazók. Ezen igények messzemenő figyelembevételével specifikáltuk a moduláris adatgyűjtő műszer családot. A MEDICOR MŰVEK két alaptípusát gyártja és forgalmazza az adatgyűjtő berendezésnek, amelyek csak alapperiféria készletükben különböznek egymástól.

A MODULÁRIS ADATGYŰJTŐ BERENDEZÉSEK FELÉPÍTÉSE

A különböző felhasználási területek — gyógyászati, oktatási, ipari alkalmazások stb. — eltérő igényeit figyelembe véve, az adatgyűjtő gépcsaládot hardware, software, valamint mechanikai kialakítás szempontjából is moduláris felépítésűre terveztük. Ez a felépítés teszi lehetővé a készülékek széles körű felhasználhatóságát, az eltérő feladatokhoz való egyszerű adaptálhatóságot, valamint a változó igényekhez jól igazodó — bővíthető, módosítható — adatgyűjtő és feldolgozó rendszerek megvalósítását.

A felhasználók részére a MEDICOR MŰVEK egy önmagában is működőképes alapkonzfigurációt, és a bővítésként megrendelhető hardware és software modulok széles választékát biztosítja úgy, hogy a mechanikai bővíthetőségről is gondoskodik. A készülékek hardware felépítése az 1. ábrán, software felépítése pedig a 2. ábrán látható.

A moduláris adatgyűjtő hardware alapkonzfigurációja

A MOD—81 moduláris adatgyűjtő berendezés hardware alapkonzfigurációja a software alaprendszer működtetéséhez elengedhetetlenül szükséges modulokat tartalmazza. A hardware alapkonzfiguráció magában foglalja az alap perifériák illesztéséhez szükséges elemeket is. Alap perifériáknak tekintjük a következőket:

- konzol,
- duál floppy,
- mátrix nyomtató.

Az 1. ábra jelöléseit használva az alapkonzfiguráció funkcionális elemei a következők:

BUSZ — A készülék hardware funkcionális moduljai buszrendszeren keresztül kapcsolód-

nak egymáshoz. Ez a buszrendszer teszi lehetővé a moduláris felépítést, hiszen a 3 szinten:

- logikai szint (jelek, funkciók),
- áramkörü szint (jelszintek, fan-out, fan-in),
- mechanikai szint (csatlakozó típus, kiosztás)

specifikált busz garantálja, hogy a készülék hardware rendszere modulárisan felépíthető, funkcionálisan bővíthető, módosítható.

CPU — Z—80 8 bites mikroprocesszorral felépülő központi egység, többszintű megszakítási rendszerrel. Felhasználói igény esetén a központi egység 3DMA (közvetlen memória hozzáférésű) periféria vezérlési feladatait is elláthatja.

MMU — Memória szervező egység, mely lehetővé teszi, hogy a CPU által közvetlenül címezhető memória tartományt (64 kbyte) egy ilyen egység alkalmazásával akár a nyolcszorosára is növelhessük, úgynevezett lapszervezéses eljárással.

RAM — 60 kbyte operatív memória, a rendszer és a felhasználói programok futtatására szolgál.

ROM — Beégetett — rezidens — programok tárolására szolgáló memória terület. Mérete a választott operációs rendszer függvénye. Az ajánlott operációs rendszereket a software alaprendszerrel ismertetjük.

BRP — Programozható címszerinti hardware töréspont egység, mely program fejlesztés, élesztés támogatására szolgál. Ez a modul V24-es soros vonalával lehetővé teszi konzol illesztését is.

PIO — 8 bites párhuzamos input/output egység. Ezen a modulon keresztül illeszthetünk nyomtatót a MOD—81-hez. Ilyenkor a felhasználó szabadon rendelkezhet az egység 8 bites input részével.

LNI — Lokális hálózati interface kártya, mely két független soros adó-vevő egységet tartalmaz. Szinkron vagy aszinkron buszmodemmel kiegészítve a MOD—81 megfelelő lokális hálózatra kapcsolható. A kártya közös soros input/output illesztőként is használható.

FYC — Floppy drive illesztő egység, segítségével maximálisan 4 db floppy meghajtó egységet illeszthetünk a MOD—81-hez.

TÁPEGYSÉG — Moduláris felépítésű. A hardware rendszer áramellátásához szükséges tápellátási igényeket biztosítja.

A moduláris adatgyűjtő hardware bővítési lehetőségei

A MOD—81 berendezés rendszerbuszán — a mechanikai korlátokat figyelembe véve — a hardware alrendszer mellett még 9 kártya elhelyezésére van mód. Mint már említettük, lehetőség van a rendszer mechanikai bővítésére is, az alrendszerhez csatlakozó, úgynevezett bővítő egység felhasználásával. A bővítő egység egy olyan önálló tápegységgel rendelkező 18 db kártya befogadására alkalmas buszrendszer, mely a MOD—81 rendszerbuszának passzív meghosszabbításának tekinthető. A rendelkezésre álló 9 vagy 27 db szabad helyre a felhasználó az MMT rendszer hardware rendszer elemei közül válogathat. Itt szeretnénk felhívni a figyelmet arra a tényre, hogy az MMT rendszer „nyílt rendszer”. Az egyes alkalmazók által specifikált, kifejlesztett és dokumentált új elemek a rendszer többi felhasználója, így a moduláris adatgyűjtők felhasználói részére is nagyrészt elérhetők.

Az 1. ábra jelöléseit használva a MOD—81 hardware alrendszerének bővítési lehetőségei a következők:

- MEM** — A MOD—81 készülék processzor egysége 2 db MMU egység támogatásával maximálisan 1 Mbyte memória címzésére képes. A felhasználói program igényeinek megfelelő méretű memória terület — EPROM, RAM, CMOS RAM — megfelelő memória kártyák rendszerbeállításával megoldható. A legkisebb kapacitású kártya 32 kbyte EPROM, vagy 16 kbyte RAM, valamint maximálisan 2 kbyte CMOS RAM fogadására, a legnagyobb kapacitású kártya pedig maximálisan 128 kbyte dinamikus RAM fogadására alkalmas.
- GRF** — Az adatgyűjtő berendezés számos alkalmazásánál szükség lehet a mérési eredmények alfanumerikus és/vagy grafikus megjelenítésére. Ez a megjelenítés normál fekete-fehér, vagy színes TV készülék és megfelelő illesztő kártyák segítségével megoldható feladat. Jelen pillanatban a felhasználóknak 5 féle képernyős megjelenítő vezérlő egység áll rendelkezésére. Legegyszerűbb a 16 sorban 128 féle karakter megjelenítésére alkalmas. A legbonyolultabb a két kártyából álló színes grafikus display vezérlő egység.
- A/D** — Adatgyűjtési funkciók megvalósításánál kiemelkedően fontos probléma az analóg jelek gyors, pontos fogadása. (Érzékelők, távadók.) Erre a feladatra 5 féle analóg bemeneti kártya használható. Ezeknél a kártyáknál a felbontóképesség 8 bit-től 12 bit-ig, az átalakítási idő 120 microsec-től 5—10 mikrosec-ig, a kezelt analóg csatornák száma pedig 2-től 16 csatornáig terjed.

- D/A** — Vezérlési funkciók megvalósításánál (pl. beavatkozó szervek vezérlése) használható előnyösen az analóg kimeneti kártya. Ez a modul 10 bites felbontás mellett 20 mikrosec-os átalakítási idővel, két analóg csatorna meghajtására képes.

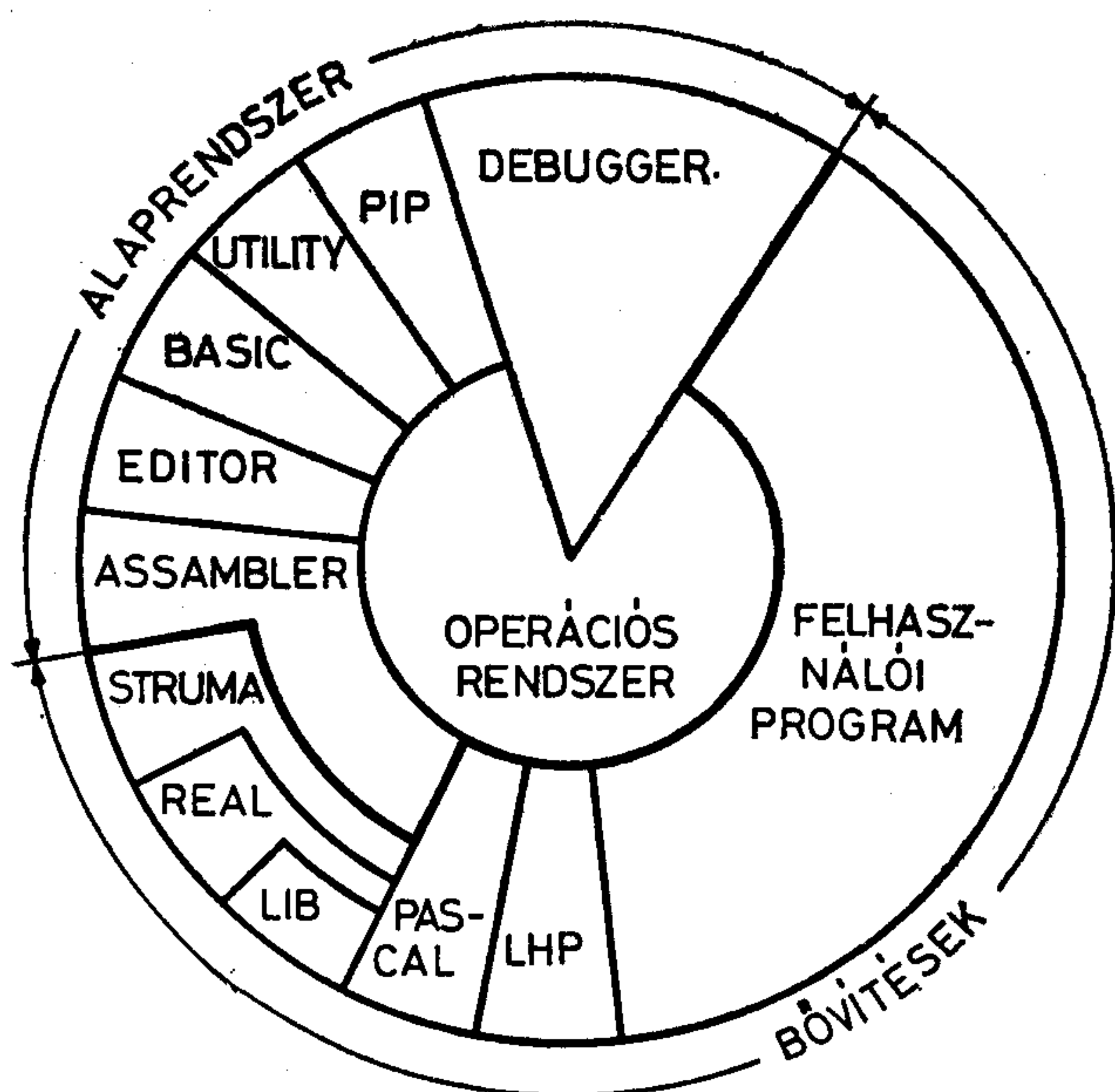
- PER** — Természetesen az alrendszer ismertetésénél bemutatott periféria illesztő egységek szerepelhetnek a bővítések között is. Bővítésként használható az aszinkron soros input/output egység (SIO), mely a V24 ajánlás V102—V108 vonalait kezeli a V28 előírásainak megfelelő jelszinteken teljes duplex üzemmódban is. Optocsatolók alkalmazásával a soros vonalak galvanikus elválasztása biztosítható. Használható továbbá a párhuzamos input/output egység (PIO), mely 8 bites ki- és bemeneti vonalakat, valamint az adatátvitel folyamatát vezérlő handshake jeleket kezel. Szintillesztő áramkörök biztosítják, hogy a ki- és bemeneti vonalak jelszintjei a ± 15 V-os tartományban tetszőlegesen, szükség esetén egymástól függetlenül is beállíthatók legyenek. Elsősorban real-time ütemezési, időzítési feladatok megoldására, időintervallumok egyszerű és gyors mérésére használható a programozható óra egység (TIM), mely három független programozható órát tartalmaz.

Az úgynevezett előlap illesztő egység segítségével műszer előlapon gyakran előforduló elemek — kontaktusok, számkezek, digitális bemenetek, LED-ek, hetszegmenses kijelzők — kezelését oldhatjuk meg. Végül, de nem utolsósorban, az MMT rendszer alkalmazói részére speciális illesztési feladatok megoldására rendelkezésre áll az univerzális periféria illesztő egység. Felhasználásával az MMT busz-ra illeszkedő új hardware modulok prototípusának gyors elkészítése oldható meg. Az egység tartalmazza a periféria egységek buszra illesztésének standard funkcionális elemeit, valamint egy szabadon felhasználható területet, ahol elsősorban wire-wrap kötésekkel a felhasználó a feladathoz illeszkedő speciális áramköröket építheti fel.

A moduláris adatgyűjtő software alrendszere

A MOD—81 moduláris adatgyűjtő berendezés software alrendszere operációs rendszer elemekből, valamint olyan speciális modulokból épül fel, melyek az adatfeldolgozást és a program fejlesztést támogatják. Az operációs rendszerek tartalmazzák a standard perifériák kezeléséhez és a file kezeléshez szükséges software modulokat.

A 2. ábra jelöléseit használva az alaprendszer funkcionális elemei a következők:



2. ábra. MOD-81 software felépítése

OPERÁCIÓS RENDSZER

— Az operációs rendszer célja, hogy a mikroprocesszoros berendezés hardware elemeinek kezelését átvállalva, a kezelési eljárások egységesítésével a rendszer és a felhasználói programok számára világos felépítésű, egyszerűen kezelhető programozói környezetet biztosítson.

Az operációs rendszer szolgáltatásai a felhasználók számára két szinten jelennek meg. Egyrészt az úgynevezett kezelői monitoron keresztül a felhasználó betöltheti, indíthatja programjait, általános rendszerparamétereket állíthat be, illetve kérdezhet le. Másrészt a felhasználói programok úgynevezett rendszerhívások segítségével aktivizálhatják a rendszer különböző funkcióit.

A MOD-81 hardware alapkonfiguráción háromféle operációs rendszer futtatható:

- CP/M,
- MP/M,
- KERN/PAGE.

A CP/M és az MP/M operációs rendszereket a DIGITAL RESEARCH amerikai vállalat fejlesztette ki és forgalmazza. A MEDICOR MŰVEK 1982-ben mindkét operációs rendszert megvásárolta és a MOD-81-re adaptálta. A sikeres kipróbálás után a MEDICOR az operációs rendszerek és a CP/NET hálózati programcsomag forgalombahozatali jogát is megrendelte.

A CP/M egyfelhasználós operációs rendszer jelen pillanatban a 8 bites mikroprocesszorral felépített mikroszámítógépeknél legelterjedtebben alkalmazott, hardware független floppy disc-es operációs rendszer. Nagy előnye, hogy széles körű alkalmazása miatt a nemzetközi software piacon igen sok olyan felhasználói program kapható, mely a CP/M operációs rendszer szolgáltatásait feltételezi. Alkalmazása a software fejlesztéseknél pedig azzal az előnnyel jár, hogy a kifejlesztett program könnyen hordozható különböző CP/M operációs rendszerrel rendelkező berendezések között.

Az MP/M többfelhasználós, multi task operációs rendszer, interruptos periféria kezeléssel és memória lapozással. A CP/M rendszer alatt futó programok nagy része változtatás nélkül futtatható.

A KERN/PAGE egyfelhasználós, rezidens operációs rendszer. Az MMT software rendszer KERN operációs rendszerének több memórialapot kezelő változata. Mivel a CP/M és az MP/M operációs rendszer elterjedésénél fogva sokak által ismert, ezért a továbbiakban a KERN/PAGE operációs rendszerre épülő software rendszert ismertetjük. Megemlítve azt a tényt, hogy az itt ismertetett programok nagy része a CP/M, illetve az MP/M operációs rendszerek alkalmazása esetén is használhatók.

DEBUGGER — A GOLD-M elnevezésű rezidens fejlesztői monitor és debugger. Mind három operációs rendszer mellett használható. Alapvetően az assembly, vagy hozzá közeli technológiával készített programok élesztését támogatja. Lehetőséget ad azonban arra, hogy hardware fejlesztés — hardware bővítés —, illetve valamilyen meghibásodás elhárítása esetén egyszerű hardware fejlesztő monitorként működjön. Felépítése és szolgáltatásai biztosítják a kényelmes bővíthetőséget. Így egy-egy magasszintű nyelv debuggere könnyen ráépíthető úgy, hogy az eredeti szolgáltatásai és az újak együttesen használhatók. A GOLD-M alkalmas memóriacellák, memória-tartományok, regiszterek megjelenítésére, módosítására.

A hardware töréspont egység kezelésével a programok indítása adott utasításon való megállítása, majd továbbindítása oldható meg. Lehetőség van arra, hogy megfelelő soros

vonallal a GOLD-M-et tartalmazó mikrogépes rendszert nagy számítógép terminálvonalára kapcsolhatjuk és így a számítógép szolgáltatásait elérhessük.

PIP

- Általános célú file-kezelő program segítségével lehetőség nyílik file-ok átvitelére a rendszerbe illesztett különböző perifériák között. Ezenkívül biztosítja a floppy disc-es file-rendszer nyilvántartásának kezelését, nyilvántartáskészítést, file-ok törlését, átnevezését, illetve a software írásvédelem kezelését.

UTILITY

- A UTILITY programok valósítják meg a rendszer kényelmes használatához szükséges alapvető szolgáltatásokat:

FORMAT

- A FORMAT program a lemezek úgynevezett formattálását, azaz fizikai alapállapotba hozatalát végzi.

INIT

- Az INIT program segítségével — megfelelő nyilvántartási struktúra felvitelével — a formattált floppy lemezek logikai alapállapotba hozását végezhetjük el.

DUMP

- A DUMP program segítségével floppy lemez tetszőleges szektorainak tartalma vizsgálható ASCII, EBCDIC, vagy hexadecimális formában. Segítségével sérült lemezről is, az információ fizikailag nem sérült része megmenthető.

COPY

- A COPY program segítségével a floppy lemezek gyors, tartalmuktól független másolása, valamint a lemezek íráshibáinak ellenőrzése végezhető.

SAVE

- A SAVE program a kijelölt memória tartomány úgynevezett memóriakép formátumú elmentésére szolgál. Az így tárolt programok — a kezelői monitor megfelelő parancsával — igen gyorsan betölthetők és elindíthatók.

PUNCH

- A PUNCH program a kijelölt memória tartomány INTEL-HEX formátumú elmentésére használható.

BASIC

- KERN operációs rendszer alatt működő BASIC interpreter. Tartalmazza a standard BASIC utasításait és a stingkezelést. A mikroprocesszoros környezethez alkalmazkodva léteznek fizikai címekre vonatkozó utasításai, valamint támogatást nyújt assembly — gépi kódú — rutinok BASIC programba illesztéséhez.

EDITOR

- A TECO általános használatú karakter orientált szövegszerkesztő program. Segítségével tetszőleges ASCII kódú szövegfile szerkeszthető. Pl. program forráslisták, levelezések, szöveges dokumentációk stb.

ASSEMBLER

- Az UMAS univerzális makroassembler. A program a J. D. Nicoud [6] által definiált több processzor utasításkészletét is lefedő, univerzális szintaxist fordítja gépi kódra. Ez a szintaxis egészült ki a makrózást, feltételes fordítást és a szekcionálást biztosító direktívákkal. Az assembler a processzor függő kódgenerátor segítségével jelenleg Z80, I8080, M6800 processzorokhoz INTEL-HEX formátumú gépi kódot generál.

A moduláris adatgyűjtő software bővítési lehetőségei

Konkrét adatgyűjtési, feldolgozási, valamint vezérlési funkciók megvalósítása, a hardware bővítések kezelése a felhasználói programok feladata. Az MMT rendszer így a moduláris adatgyűjtő software rendszerének kialakításánál is alapvető szempont volt, hogy az alkalmazók, felhasználók részére megkönnyítsük a sokszor nagyméretű és bonyolult felhasználói software elkészítését. Egy lehetséges megoldás a strukturált programozás alkalmazása lehet, minél több könyvtári jellegű részprogram felhasználásával. A fokozatos finomítással (top-down) tervezett, funkcionális modulokból felépülő software vezérlési szerkezete egyszerű lehet, így a program megvalósítása s ellenőrzése könnyebben és gyorsabban elvégezhető [1]. Ehhez a munkához nyújt segítséget a következőkben ismertetésre kerülő néhány software elem. A 2. ábra jelöléseit használva a MOD-81 software alaprendszerének bővítési lehetőségei a következők:

STRUMA — A STRUMA (strukturált makroassembly) nyelv az MMT rendszer UMAS makroassembly nyelvéből makrokönyvtár hozzáadásával jött létre. A STRUMA nyelvű programok a makroassemblerrel fordíthatók.

A makrokönyvtár az alábbi magas szintű nyelvekben használatos elemeket valósítja meg:

- *modul deklaráció*, a modul adatterületet inicializáló programrész kijelölésével,

- *modulok közötti interface deklaráció*, szimbólumok exportja, importja,
- *eljárás deklaráció*, formális paraméterek és lokális változók szimbolikus használatával,
- *eljárás hívás*, rögzített paraméter átadási-átvételi mechanizmussal,
- *egymásba ágyazható magasszintű vezérlési struktúrák deklarációja*, amelyek az alábbiak lehetnek:
 - feltételes elágazás (if-then-else struktúra),
 - többirányú feltételes elágazás (case struktúra),
 - ciklusváltozóval vezérelt ciklus,
 - ciklusból történő logikai feltétel szerinti kilépés biztosítása (EXIT).

A STRUMA nyelv a program szerkezetét rögzíti. Az adatdeklarációk az assembler hagyományos elemeivel írhatók le, az eljárásokon belül az aktuális processzor utasításkészlete használható. Az utasítások közül az ugró utasításokat helyettesítik a magasszintű vezérlési struktúrák.

A STRUMA nyelv elemeit alapvetően makrók valósítják meg. A szubrutinok az eljárások a dinamikus memória allokációját végzik. A STRUMA támogatja az újraírható (reentrant) eljárások írását, lehetőséget biztosít rekurzív eljárások készítésére is.

A STRUMA programozási technológiához tartozik a SRTTAB tabuláló program, amely a STRUMA és a később ismertetésre kerülő REAL programozási nyelveken írt forrásnyelvű programok formátumának kialakítására szolgál. A forrásnyelvi programot a makro-assemblerrel történő lefordítás előtt célszerű átszerkeszteni, hogy a fordítási lista jól áttekinthető legyen. A tabuláló program egyes struktúra hibákat észrevesz, a hibákról hibaüzenetekkel tájékoztatja a kezelőt. Ezeket a hibákat célszerű még a fordítás előtt kijavítani.

REAL

- A REAL technológia célja, hogy real-time működésű berendezések tervezéséhez és megvalósításához segítséget nyújtson. A REAL technológia a következő elemekből áll:
 - REAL kiterjesztő nyelv,
 - REANAL struktúraelemző program,
 - REAL-EXT multiprocesszoros kiterjesztés,
 - REBUG debugger.

A REAL (Real-time Extension Language) real-time kiterjesztő nyelv az alkalmazók részére egy olyan standardizált fogalomkészletet nyújt, amely

- közvetlenül támogatja a rendszertervezést,
- közös nyelvet ad a berendezés tervezői számára.

A REAL fogalmainak használatával a real-time rendszerek magas szinten leírhatók és így strukturálisan hordozható programok készíthetők. A REAL a STRUMA makrokönyvtárra épül, annak bővítéseként realizálódik. A REAL szekvenciális programozást segítő, a STRUMA-n túlmutató szolgáltatásokat nem ad. Real-time szolgáltatásait tekintve fogalmilag a modern real-time programozási nyelvekkel rokon. Párhuzamos szekvenciális folyamatok szinkronizálását szemaforok segítségével valósítja meg, és nyelvi eszközt ad a kölcsönös kizárás megvalósítására. Lehetőség van a nyelv keretein belül megszakítás feldolgozó programrészek írására is. A REAL használata segíti a programozót a helyes program struktúra kialakításában. Más magasszintű nyelvekhez hasonlóan véd az időfüggő hibáktól és így elősegíti a megbízható programok készítését.

A REAL használatát támogatja a REANAL struktúraelemző program, amely segítségével a real-time strukturális hibák, fordítási időben felderíthetők. A struktúra elemző program a real-time program egyes folyamatait külön-külön is elemzi, megmutatja az egyes folyamatok kapcsolódási pontjait. Becslést ad a folyamatok stack igényéről, dinamikus memória felhasználásáról. A futási idejű hibák behatárolását, illetve a programok élesztését a REBUG debugger könnyíti meg, felhasználásával a forrásnyelvi szimbólumokon keresztül befolyásolhatjuk a rendszer működését.

A REAL-EXT a REAL multiprocesszoros konfigurációkra használható változata. A REAL-EXT tartalmazza a REAL minden elemét és ezeken kívül olyan deklarációs elemeket és utasításokat, amelyekkel a multiprocesszoros hardware struktúra leírható és kezelhető. A REAL-EXT az MMTrendszer buszcsatoló kártyáival (BCU) összekapcsolt alrendszerek folyamatainak szinkronizálására ad eszközt úgynevezett közös szemaforok felhasználásával, de közvetlenül nem ad eszközt az adattranszfer megvalósítására.

LIB

- A felhasználói programok fejlesztését támogató assembler technológián alapuló programokat soroljuk a könyvtár (LIB) modulba. Ez az a modul, mely az újabb és újabb alkalmazások megszületésével egyre bővül. Jelen pillanatban a következő elemekből áll:

CLSP

- A CLSP (command language for signal processing) program adatgyűjtési és jelfeldolgozási feladatok elvégzésére szolgál. A felhasználó felé a program egy összetett funkciókat kiváltó parancs készletet valósít meg. Az egyes parancsok a következőképpen csoportosíthatók:
 - adott hosszúságú adatterületeken (ún. buffereken) végzett műveletek (pl.: aritmetikai műveletek, szűrések, gyors Fourier transzformáció stb.)
 - a grafikus és alfanumerikus megjelenítéssel kapcsolatos parancsok,
 - többszámjegyű mintavételezés és A/D átalakítás,
 - operációs rendszer interface,
 - indirekt parancs file létrehozását támogató parancsok.

A CLSP elemeiből összeállított indirekt parancs file mérőprogramként futtatható, így módon a CLSP egy jelfeldolgozó célnyelvet valósít meg, mely viszonylag egyszerűen, sok feladat megoldására használható.

A CLSP program kialakítása olyan, hogy újragenerálás nélkül bővíthető újabb parancsokkal, így lehetőség van adott feladatkörhöz illeszkedő speciális parancsok/funkciók felhasználó által történő megvalósítására. Az új parancsok paramétereinek átvételét, s a paraméterek ellenőrzését a CLSP program az esetek nagy százalékában megoldja, speciális paraméterátadási rendszer esetében pedig jelentős mértékben támogatja. Egy-egy újabb parancs esetenként egy-egy komplett mérőprogram lehet, mely egy adott adatgyűjtési és jelfeldolgozási feladat megoldásához kerül kidolgozásra.

MLSP

- Az MLSP (modul library for signal processing) a MOD—81 adatgyűjtő és jelfeldolgozó modulkönyvtára. A könyvtár elemei három csoportba sorolhatók:
 - real-time működést lehetővé tevő adatgyűjtő és jelfeldolgozó modulok,
 - off-line jelfeldolgozó eljárások,
 - a felhasználóval történő kommunikációt és az egyéb input/output szolgáltatások megvalósítását támogató modulok.

Az MLSP modulkönyvtár az UMAS makroassembly nyelven íródott. Kialakítása olyan, hogy a legtöbb esetben teljesülnek az újrakiváltható-

ság feltételei, így a könyvtár real-time programok létrehozásakor is használható. A könyvtári elemek aktivizálása és a működéshez szükséges paraméterek átadása egységes formában történik.

ARMO

- Az ARMO aritmetikai modul három független aritmetikai könyvtárat tartalmaz:
 - az elsőben fixpontos alpműveletek, adatbevitel és -kivitel található,
 - a másodikban lebegőpontos alpműveletek, adatbevitel, -kivitel, -komparálás és fixpontos/lebegőpontos átalakítások szerepelnek,
 - a harmadikban lebegőpontos alapfüggvények: trigonometrikus, logaritmikus, exponenciális függvény, egészrész, törtrész, abszolútérték és négyzetgyök-képzés.

Valamennyi szubrutin a bemeneti és kimeneti paraméterek átadására a stack-et használja, lokális RAM területet nem igényel, így a rutinok újrakiválthatók. A lebegőpontos számok belső ábrázolása standard 32 bites IEEE formátum.

GRAF

- A grafikus programcsomag a MOD—81 raszterpontos megjelenítő egységének kezelésére szolgál. A megjelenítő 512 oszlopot és 256 sort tartalmaz, a megjeleníthető információ tárolásához tehát 16 Kbyte RAM szükséges. A grafikus programcsomag feladata a képtároló RAM feltöltése olyan formában, hogy azt megjelenítve értelmes ábra és/vagy szöveg álljon össze. A grafikus programcsomag a következő műveleteket tudja elvégezni:
 - a teljes képernyő törlése,
 - a képernyő egy megadott részének törlése,
 - alfanumerikus karakterek kiírása,
 - koordináta-rendszer rajzolása,
 - pont rajzolása, vagy törlése,
 - egyenes rajzolása, vagy törlése,
 - egyváltozós függvény rajzolása, vagy törlése,
 - kétváltozós függvény rajzolása, vagy törlése.

A műveletekre jellemző az „ablakrendszer”. A képernyőn kijelölhetők grafikus, illetve alfanumerikus ablakok, melyek önállóan, egymástól függetlenül funkcionálnak, de egymással való átfe-

désük megengedett. Az egyes műveletek makro hívásokkal aktivizálhatók, ezek végzik el az adott műveletet végrehajtó szubrutin hívását. A szubrutinokból való visszatéréskor hibabyte áll rendelkezésre, melynek értékéből eldönthető, hogy az adott művelet hibátlanul futott le, vagy valamilyen adat hibás volt a megadottak között.

PASCAL — Az MMT mikroprocesszoros alkalmazástechnikai rendszerben implementált PASCAL elsősorban programfejlesztési célokat szolgál, emellett általános számítástechnikai felhasználói programok írására is alkalmas. A programcsomag a Per Brinch Hansen által kidolgozott „sequential pascal”-ra épül. Csekély módosítással felhasználja a PASCAL nyelven írt fordítóprogramot, amelyet a KERN operációs rendszerbe illesztett interpreter, az úgynevezett PREFIX-ben megvalósított eljárások, valamint a PASCAL monitor és debugger tesznek a mikroprocesszoros rendszerben futtatásra alkalmassá.

A 7 menetes PASCAL fordítóprogram a szekvenciális PASCAL nyelven írt forrásnyelvi programot egy virtuális gépen értelmezett tárgykódra fordítja. A virtuális gép, valamely valóságos gépen interpreter segítségével szimulálható. A fordítóprogram által értelmezett Pascal a standard PASCAL-hoz képest néhány jelentéktelen szintaktikai eltérést, valamint szűkítést tartalmaz (pl.: nincs GOTO utasítás és nem lehetséges eljárás és függvény paraméterként való megadása). Jelentősebb eltérés mutatkozik az input/output vezérlésében. Az eredeti READ/WRITE utasításokat a felhasználói programban néhány soros eljárások helyettesítik. A PASCAL fordítóprogram a forrásnyelvi programot a virtuális gép elemi eljárásainak halmazára képezi le. Az implementált PASCAL 84 elemi eljárásra épül. Az interpreter az elemi eljárásokat az MMT rendszer assembly nyelven, a Z-80 mikroprocesszor utasításaival valósítja meg. A tárgyprogram által kezelt adat-szegmens stack szervezésű, itt történik a program valamennyi állandójának és változójának tárolása. Szegmentált PASCAL programok adatcseréjét teszi lehetővé az úgyszintén stack szervezésű HEAP, amely félpermanens adatstruktúrákat képes tárolni.

Az interpreter a KERN operációs rendszerben működtethető, felhasználja a lebegőpontos programcsomag (ARMO) rutinjait. A rendszer különleges szolgáltatása a PREFIX, amely egy PASCAL-ban írt, a forrásnyelvi programok

elé illesztett programrész. A PREFIX-ben deklarált eljárások és függvények assembly szinten írt szubrutinokkal valósíthatók meg, amelyek a forrásnyelvi programban a PASCAL szintaxisának megfelelően hívhatók. A rendszerben a PREFIX-en keresztül vannak megvalósítva a perifériák kezelésére szolgáló input/output és egyéb filekezelő eljárások, valamint a lebegőpontos csomag aritmetikai rutinjait és a standard függvényeket hívó eljárások. A jelenlegi rendszer 24, PREFIX-ben megvalósított eljárást tartalmaz, amelyek egyrészt a fordítóprogram működéséhez szükségesek, másrészt felhasználói programokban hasznos funkciókat valósítanak meg. A PREFIX-en keresztül tetszés szerinti funkciójú assembly rutinok kapcsolhatók a felhasználói programokhoz.

A PASCAL monitor forrásnyelvi programok fordításához és futtatásához nyújt egyszerű interaktív kezelési lehetőséget. A beépített nyomkövető program lehetővé teszi töréspontok beiktatását (a forrásnyelvi program sorszáma-ra való hivatkozással) a lépésenkénti végrehajtást, a virtuális gép regisztereinek, valamint az adatszegmens bármely elemének tetszés szerinti értelmezésben való kiíratását. A nyomkövetést részben a forrásnyelvi programból generált lista, részben a virtuális kódot megjelenítő úgynevezett P-CODE decoder segíti elő.

LHP

— A lokális hálózati programrendszer az MMT-HNS hierarchikus hálózati rendszer elemeinek összekötését biztosító software elemeket tartalmazza. A Blokk-átviteli software csomag megoldja intelligens készülékek egymás-közi és az egyszerűbb mérőberendezésekkel való kapcsolattartását. Több intelligens készülék (pl.: több MOD-81 lokális hálózatban) összekötését mind az aszinkron ASML, mind pedig a szinkron SDLC protokoll segítségével képes megoldani a megfelelő LNI modul vezérlésével. A felhasználói felület természetesen a használt protokolltól független. Egy MMT-HNS hálózatra maximálisan 254 készülék köthető, de üzenetközvetítő állomásokon keresztül több hálózat is összeköthető.

A hálózatban a maximális átvihető blokk mérete 65 528 byte, és egy készüléken belül egyszerre maximum 254 különböző partnerrel beszélgető program lehet. Lehetséges ezen programoknak a hálózaton keresztül történő betöltése olyan készülékbe is, amelyek más perifériával nem rendelkeznek. Megemlítjük még a CP/NET program

rendszert, mely a CP/M és MP/M operációs rendszerek közötti kapcsolatot biztosítja blokk-áviteli software csomag segítségével. Lehetővé teszi, hogy egy másik MOD-81-en a hálózaton keresztül úgy dolgozzunk, mintha az a készülék lenne előttünk. Bármilyen programcsomagot futtathatunk, és a távoli adatállományokat is kezelhetjük.

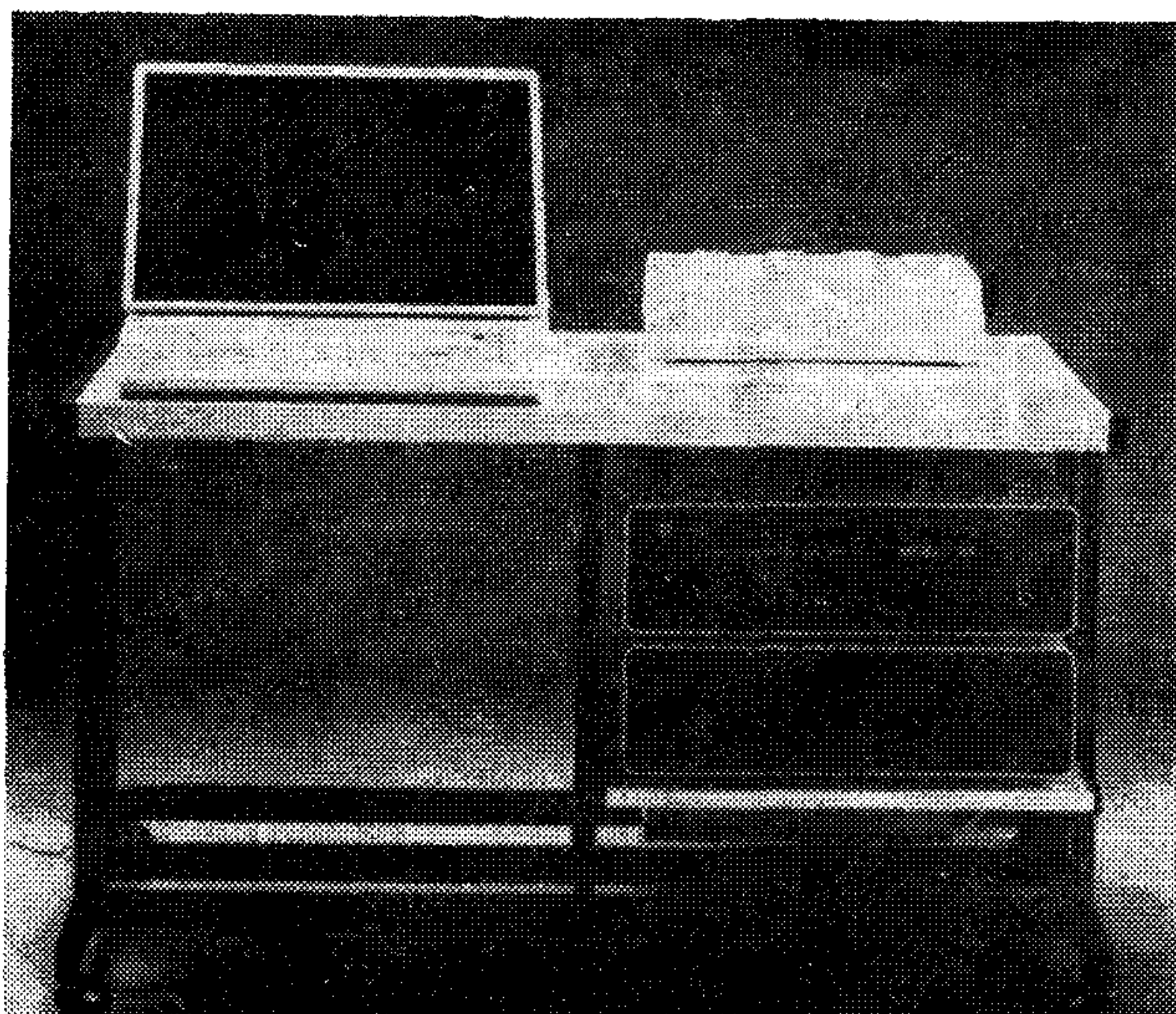
A MODULÁRIS ADATGYŰJTŐ BERENDEZÉS KÉT ALAPTÍPUSA

Mint már említettük, az adatgyűjtő berendezés két alaptípusát gyártja és forgalmazza a MEDICOR MŰVEK. A MOD-81 típusjelű berendezés, valamint a hozzá csatlakoztatott hajlékony mágneslemezes háttértároló egység látható a 3. ábrán. A készülék hardware felépítése meg-



3. ábra

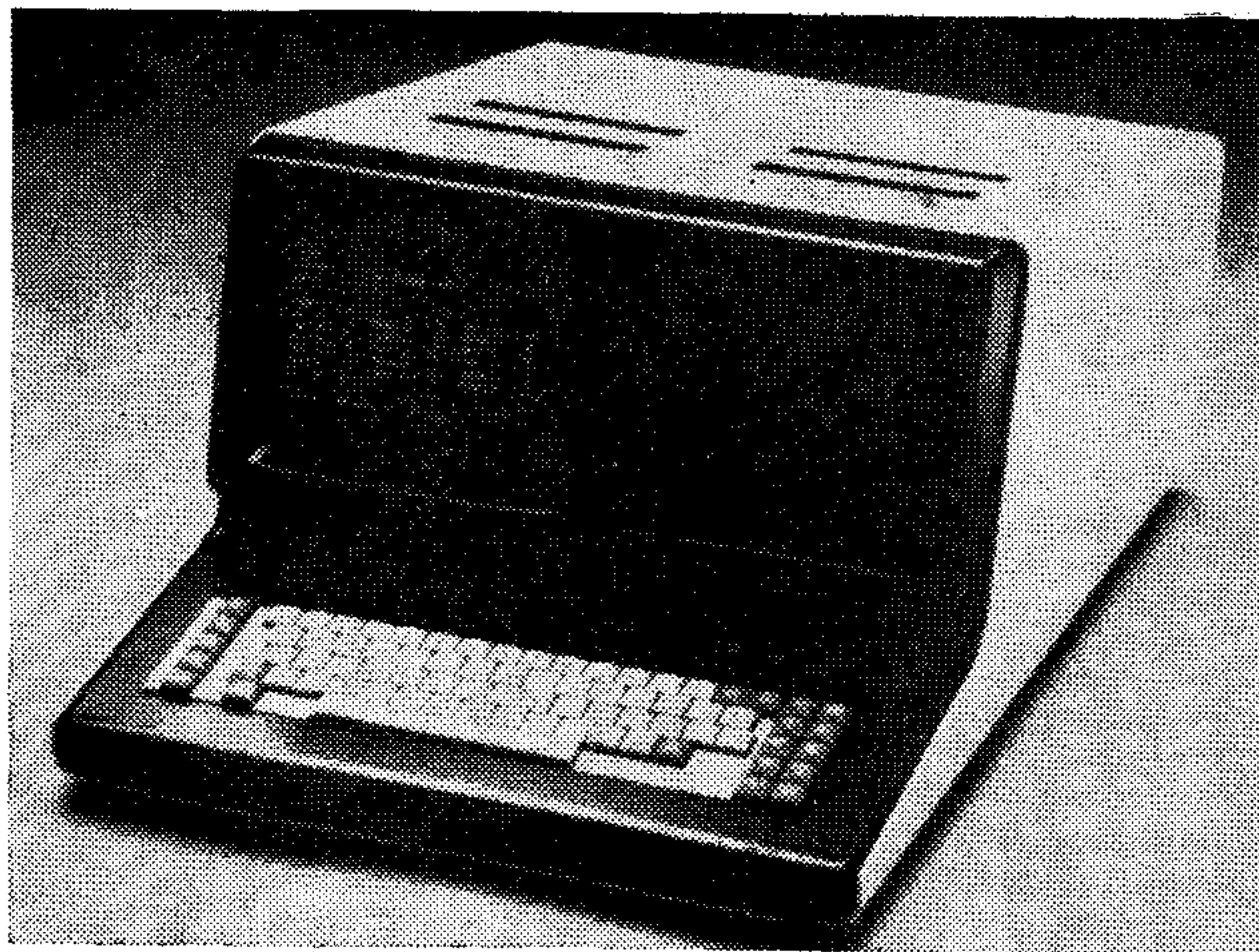
felel az ismertetett hardware alapkonzfigurációnak. Az előlapon található két nyomógomb a beégetett-rezidens-programok indítására szolgál. A RESET gomb működtetésével az operációs rendszer indítható újra. A MONITOR gomb működtetésével a felhasználó az előlapról állíthatja meg az éppen futó programot úgy, mintha a hardware törésponti egységen a törésponti feltételek tel-



4. ábra

jesültek volna. Ez a szolgáltatás a program fejlesztés fázisában nagyon jól használható, hiszen a töréspont bekövetkezése után a debugger program összes szolgáltatásait igénybe vehetjük. Például: regiszterek tartalmát ellenőrizhetjük, módosíthatjuk, a programot adott címről továbbindíthatjuk stb. A hajlékony mágneslemezes tároló egység 2 db 8 inch átmérőjű floppy lemez fogadására alkalmas. Ezeken a lemezek egyenként 256 kbyte információ — program, vagy adat — tárolható maximum. Tehát a MOD-81 adatgyűjtő berendezés számára egy darab hajlékony mágneslemezes egység (duál floppy) 0,5 Mbyte on-line háttértárat biztosít. A MOD-81 berendezés felhasználásával kialakított adatgyűjtő munkahely látható a 4. ábrán. Az adatgyűjtő berendezést kiegészítettük a működtetéséhez elengedhetetlenül szükséges konzol, valamint printer egységgel. Konzolként bármilyen V24-es soros interface-szel rendelkező display, printerként pedig szintén bármilyen típusú 8 bites párhuzamos (CENTRONICS) interface-szel rendelkező nyomtató használható. A kényelmes kezelhetőség érdekében az egységeket megfelelő magasságú gördíthető asztalra helyeztük.

A MOD-81M típusjelű berendezés látható az 5. ábrán.

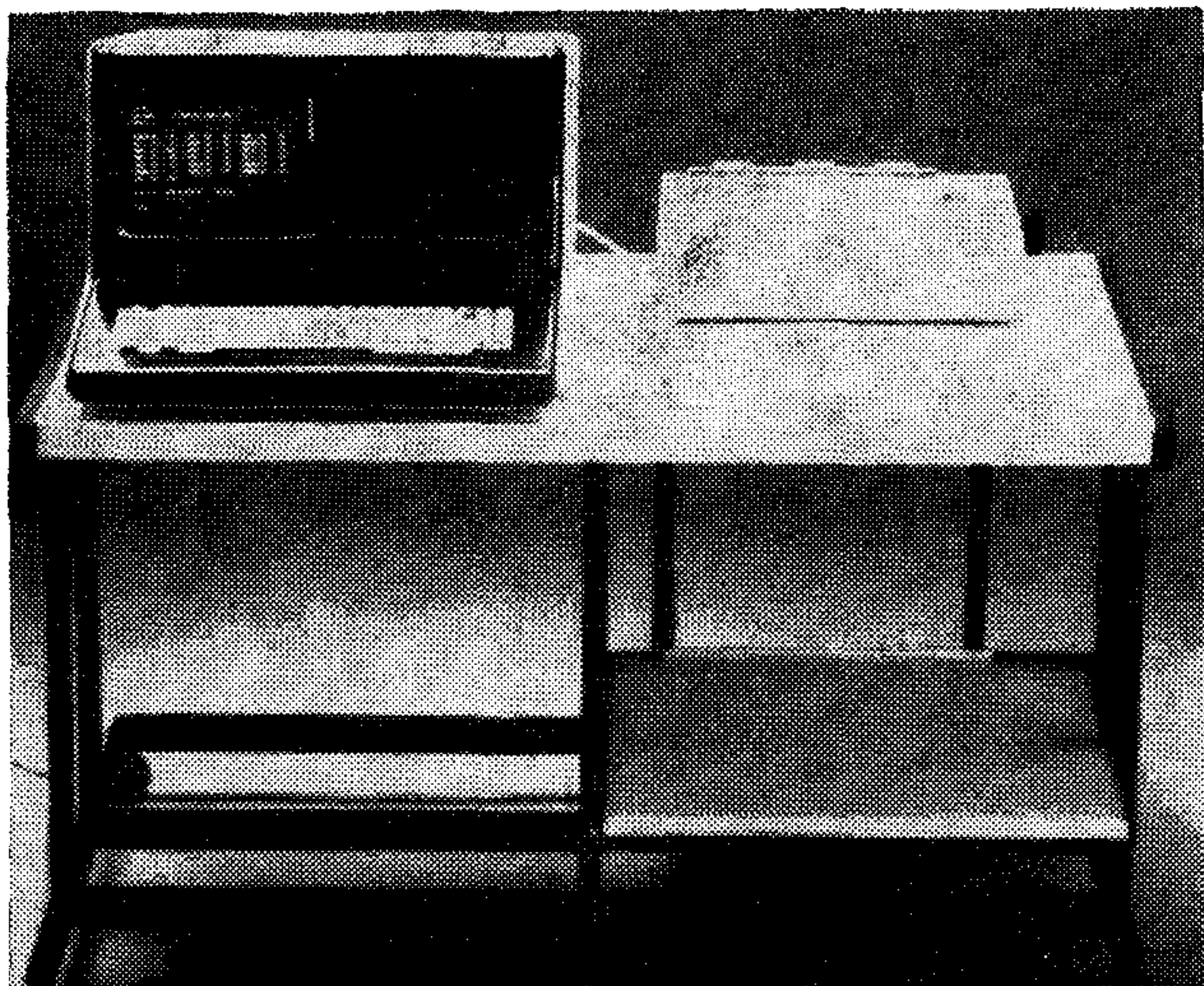


5. ábra

A MOD-81M típusú berendezésnél egy mechanikai egységbe kerültek a konzol, az adatgyűjtő és a háttértároló funkciókat megvalósító elemek. Az ismertetett hardware alapkonzfigurációtól eltérést jelent a katódsugárcsőves megjelenítő, valamint a klaviatúra illesztése. A katódsugárcsőves megjelenítő egységet grafikus megjelenítésre is alkalmas illesztő egység segítségével illesztettük a rendszerhez. Így a MOD-81M esetében külön grafikus illesztés nélkül is mód nyílik ábrák, grafikonok, függvények megjelenítésére. A klaviatúra egységet az alrendszer PIO modulján levő 8 bites párhuzamos bemenet segítségével illesztettük a rendszerbe. A MOD-81M berendezés háttértárolója két 5 1/4 inch átmérőjű floppy lemez befogadására alkalmas. Ezeken a lemezek egyenként 150 kbyte információ tárolható. Így a MOD-81M alapkonzfigurációjában 300 kbyte on-line háttértár áll a felhasználók rendelkezésére. A MOD-81M berendezés felhasználásával kialakított munkahely látható a 6. ábrán. Mint az ábrán látható, az asztal fiókos része üresen maradt. Erre a részre például duál floppy egységet helyezve, a háttértároló kapacitás jelentősen növelhető.

A MOD-81M berendezéshez is bármilyen megfelelő 8 bites párhuzamos (CENTRONICS) interface-szel rendelkező nyomtató illeszthető.

A fejlesztés következő fázisában a katódsugárcsőves megjelenítő egységet fényceruzával kívánjuk kiegészíteni. Ezzel lehetővé válik a képernyő kényelmes grafikus kezelése, valamint igen szemléletes ember-gép párbeszéd alakítható ki. Például a kezelő a gép által feltett kérdésekre a megfelelő válasz aláhúzásával felelhet.



6. ábra

AZ ADATGYŰJTŐ BERENDEZÉS FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Univerzális felépítéséből következően a moduláris adatgyűjtő berendezés előnyösen használható számos területen. A teljesség igénye nélkül pusztán figyelem felkeltési célból szeretnénk ismertetni néhány felhasználási lehetőséget.

Programfejlesztés

Megfelelő memória bővítés és a felsorolt programfejlesztési technológiák alkalmazásával különböző mikroprocesszoros berendezések működtető programjait készíthetjük el. A készülék rezidens debuggere hasznos segítséget nyújt a program élesztés fázisában. Dokumentációk készítéséhez pedig az editorok, szövegszerkesztő programok nyújtanak segítséget.

Adatgyűjtés

Megfelelő hardware bővítések és a hozzá tartozó alkalmazói program felhasználásával adatgyűjtő rendszereket hozhatunk létre. A nagy számú digitális és analóg illesztő egység alkalmazásával mód van intelligens mikroprocesszoros, valamint hagyományos mérőkészülékek által szolgáltatott mérési eredmények fogadására is. Lehető-

ség van az így létrehozott adatgyűjtő modulok lokális hálózattal való összekapcsolásával bonyolult informatikai rendszerek kialakítására.

Irányítástechnika

Irányítási folyamat itéletalkotó, valamint jelformáló, módosító egysége valósítható meg a MOD-81 berendezés felhasználásával. A vezérlési és a szabályozási feladatokat az adatgyűjtő berendezés közvetve irányíthatja, megadva a vezérlő berendezés számára a szükséges rendelkezőjelet, a szabályozó berendezés számára pedig az előírt alapjelet. A MOD-81 azonban közvetlenül is átveheti a vezérlési, vagy a szabályozási feladatot megfelelő on-line csatolások, valamint real-time program megvalósításával.

Műszervezérő egység

A bonyolultabb mikroprocesszoros mérőkészülékek vezérő egységét vizsgálva a szigorúan vett digitális mag és az alap perifériák rendszere nagy hasonlóságot mutat. Ezeket az elemeket a MOD-81 alap rendszere tartalmazza. A speciális méréstechnikai szolgáltatásokat pedig az alaprendszerhez illesztett megfelelő érzékelőkkel valósíthatjuk meg. A mérőprogram kialakításához a REAL programozási technológia, valamint számos könyvtári program modul nyújt segítséget.

Csáki Gábor — Ferenczy Iván — Vimláci Pál

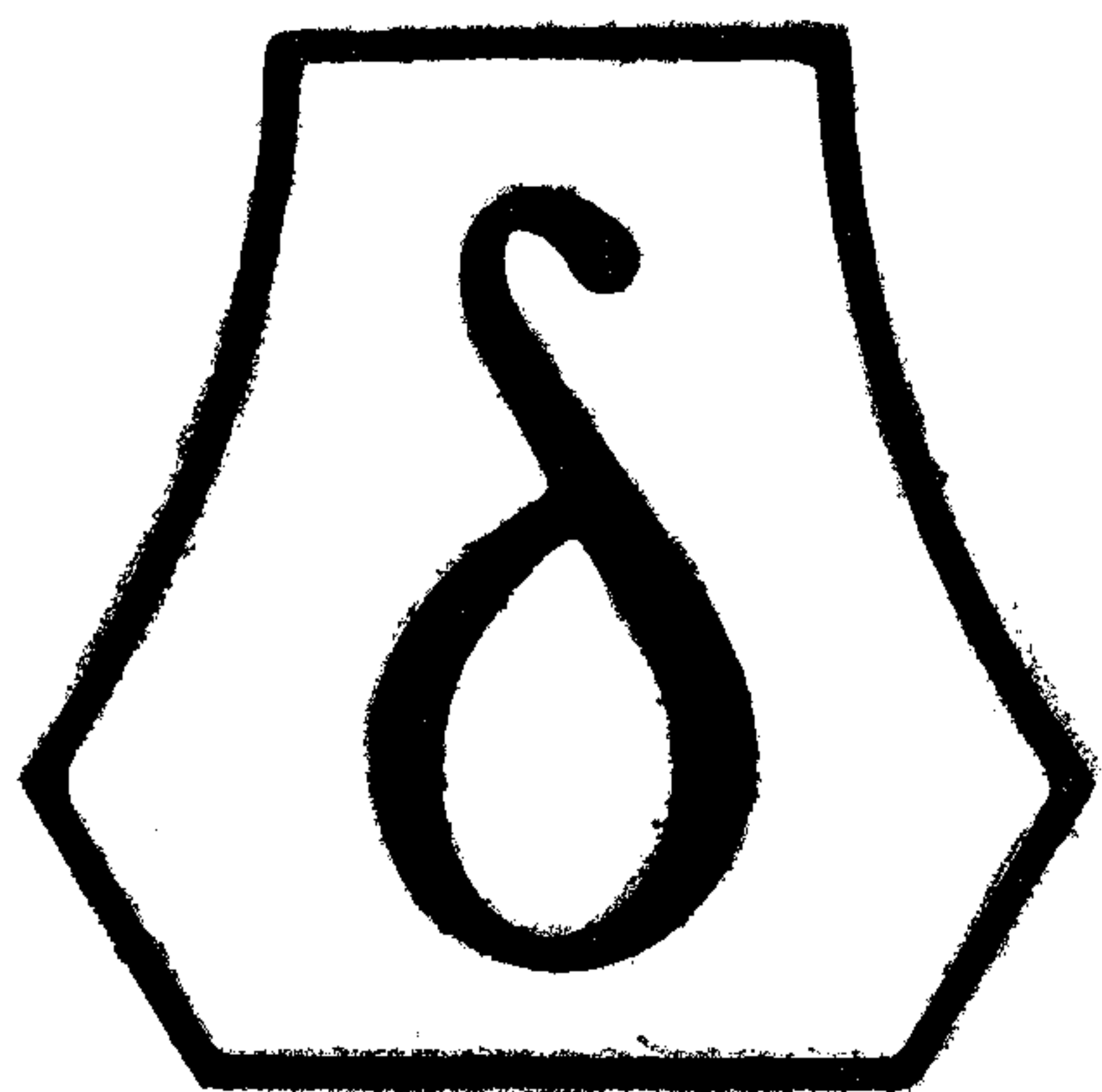
IRODALOM:

- [1] Horváth G., Rácz G., Dr. Selényi E., Dr. Sztipánovits J.: Mikroprocesszorok alkalmazástechnikai rendszere — az MMT rendszer. Mérés és Automatika XXVII. évf. 1979. 6. sz. 221—228.
- [2] Kiss Miklós: MMT rendszer. Híradástechnika XXXIII. évf. 1982. 10. sz. 443—457., Mérés és Automatika XXX. évf. 1982. 11. sz. 434—448., Finommechanika—Mikrotechnika XXI. évf. 10. sz. 305—319., Elektrotechnika LXXV. évf. 1982. 9—10. sz. 385—399.
- [3] Dr. Péceli Gábor, Dr. Sarkadi Ádám, Szentirmai Zsolt: Automatizált farmakológiai mérőrendszer. Automatizálás XIII. évf. 1980. 10. sz. 31—35.
- [4] Zillich Pál: A mikroprocesszoros méréstechnika orvoslaboratóriumi alkalmazása. Automatizálás XIII. évf. 1980. 10. sz. 36—39.
- [5] Dr. Sztipánovits János, Zillich Pál: A PHA-1 bekapcsolása a laboratóriumi számítógépes rendszerbe. MEDICOR NEWS XV. évf. 1982. 1. sz. 75—81.
- [6] J. D. Nicoud: A common microprocessor assembly language II. Euromicro Symposium, 1976.

Várjuk az adatgyűjtő rendszert hasznosítani kívánó vállalatok érdeklődését. Műszaki kérdésekben Labortechnikai Fejlesztési Főosztályunk (telefon: 203-090/448) készséggel áll az érdeklődő szakemberek rendelkezésére.



MEDICOR MŰVEK



KŐPORC

ELEKTRONIKAI ALIKATRÉSZ ÉS MŰSZAKI KERÁMIAGYÁRTÓ VÁLLALAT

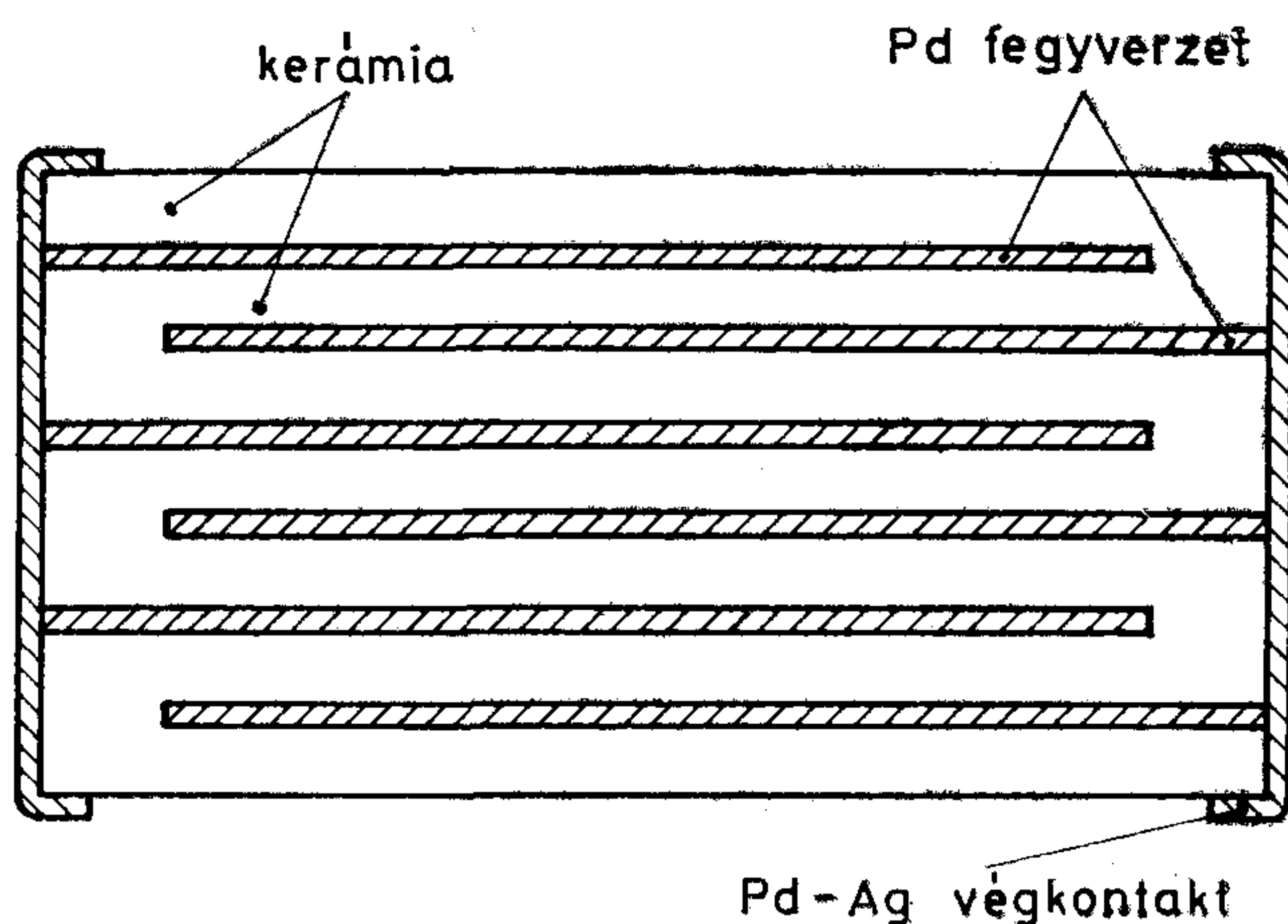
1106 BUDAPEST, TÁRNA U. 4. * TELEX: 22-5060

NAGYFREKVENCIÁS KERÁMIA MONOLIT-CHIP KONDENZÁTOROK

A professzionális híradástechnikában nagyfrekvenciás kapacitásnak leginkább többretegű, kivezetés nélküli kerámia kondenzátort használnak. Jóllehet minden 1. típusú kerámia kondenzátornak, főleg kivezetés nélküli (chip) kivitelben kedvező a nagyfrekvenciás viselkedése, az 500 MHz–10 GHz tartományban, külön e célra kifejlesztett monolit-chip kondenzátorokat célszerű alkalmazni. A Kőporc által mult évtől gyártott GMC jelű kondenzátorok minden tekintetben kielégítik a nagyfrekvenciás igényeket.

Gyártás — felépítés

A monolitkondenzátorok, mint nevük is mutatja, elemi kondenzátorokból tevődnek össze. Az öntési technológiával előállított vékony kerámia-fólia lapokra szitanyomással viszik fel a palládium fegyverzeteket. A lapokból a kívánt mennyiséget egymásra sajtolják és az így kapott tömböket kiégetik.

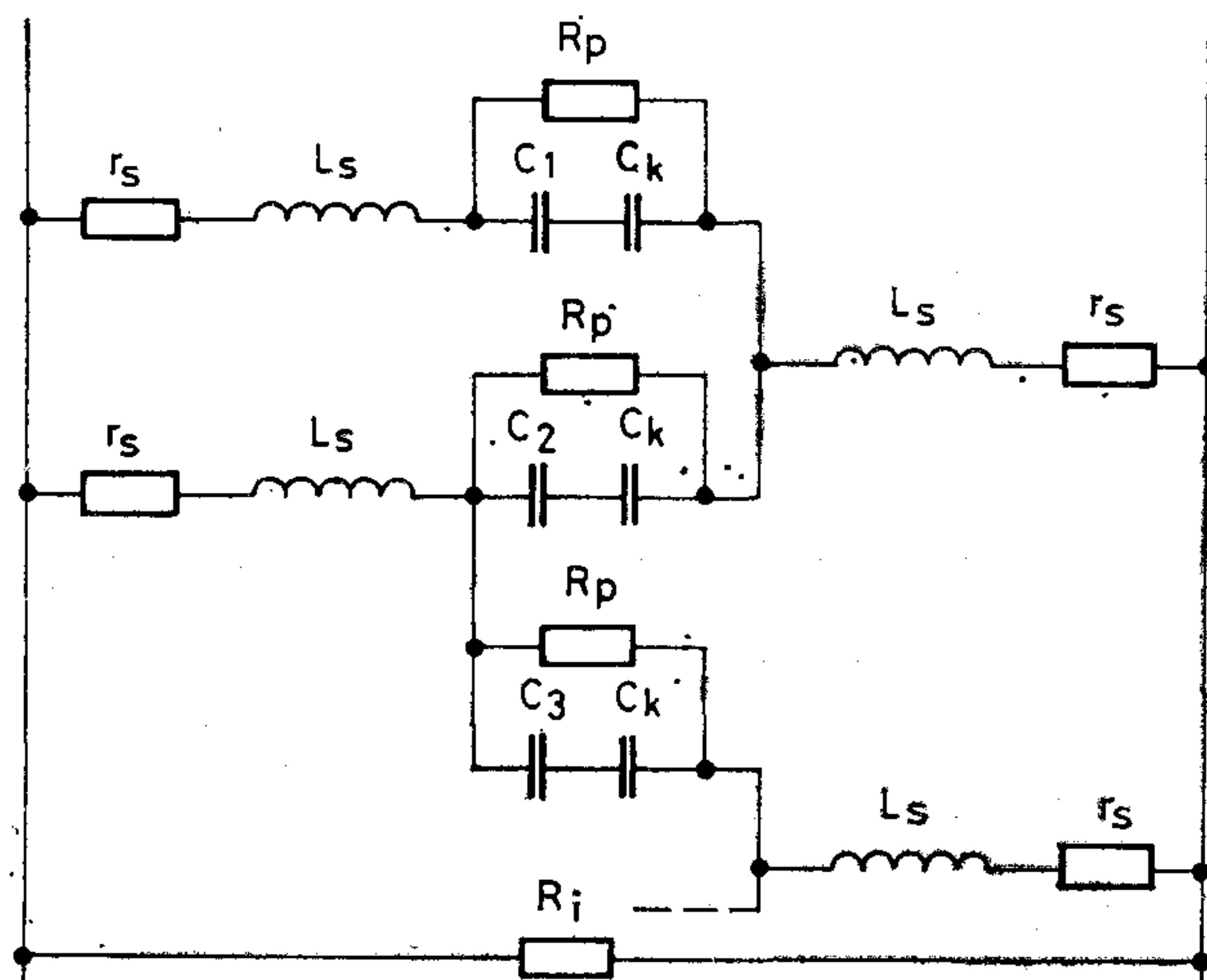


1. ábra

A tömörre égett kerámia belsejében levő palládium fegyverzeteket a kondenzátor élein palládium-ezüst ötvözzel párhuzamosan összekapcsolják. Ez a réteg szolgál arra is, hogy a kondenzátort az áramkörbe forrasszák. (1. ábra)

Nagyfrekvenciás helyettesítő kép

A GMC kondenzátorok nagyfrekvenciás helyettesítő képét a 2. számú ábra mutatja.



2. ábra

A parazita elemek közül az r_s soros ellenállás, az L_s soros induktivitás a felépítéssel befolyásolható, az R_i szigetelési ellenállás és az R_p polarizációs ellenállás (a kapacitást befolyásoló permittivitással együtt) a kerámia dielektrikum anyagszerkezetétől függ, míg a C_k fém-kerámia átmeneti kapacitás a technológiával függ össze.

A kondenzátor kapacitása: $C_E = \sum C_n$

Az r_s soros ellenállás a fegyverzetek véges vezetőképessége miatt jön létre. Jóllehet a palládium fegyverzetanyag fajlagos ellenállása közel 1 nagyság-

renddel nagyobb az elektronikai iparban használt vezetőknél, mégis alacsony veszteségű kondenzátor gyártható a kedvező felépítés miatt. Monolitikondenzátoroknál az elemi fegyverzetek rövidek és egymással párhuzamosan kapcsolódnak, így az eredő soros ellenállás:

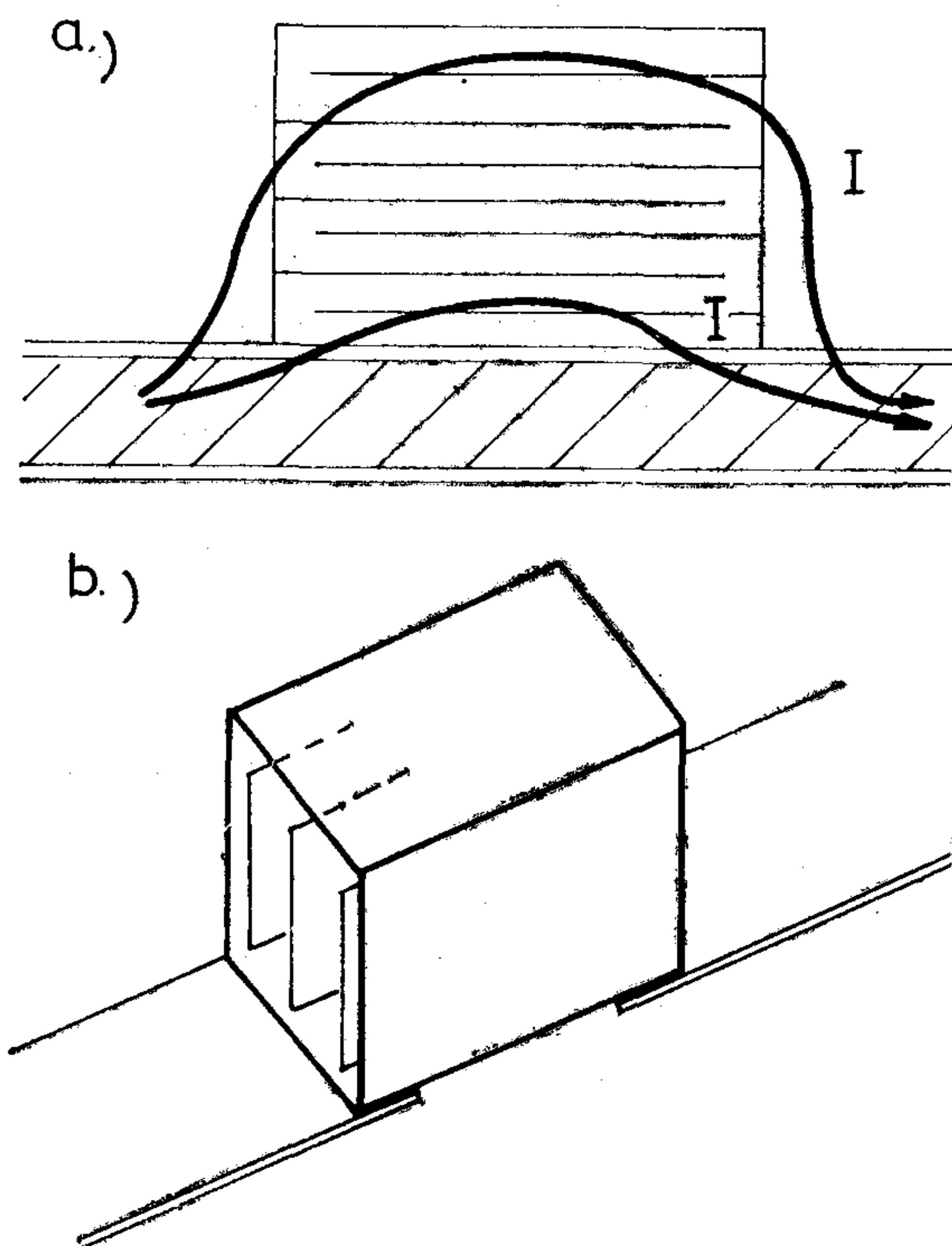
$$r_s = \frac{2r_e}{n},$$

ahol r_e egy elemi fegyverzet ellenállása, n pedig a rétegek száma. A 2. faktor amiatt szerepel, mert egy fegyverzet két kondenzátorhoz tartozik. A sorosellenállás jellegzetes értéke 1–50 mohm.

A nagy frekvencia és a meddő teljesítmény miatt a kondenzátoroknak el kell viselniük max. 5 A áramot, ezért a fegyverzet vastagságát úgy alakítjuk ki, hogy elkerüljük a helyi melegedést és a vékony fegyverzetrészek leégését.

A soros induktivitás ugyanúgy a lapok számával fordítva arányos, mint a soros ellenállás. Hatása a kondenzátor nagyfrekvenciás impedanciáját döntő módon befolyásolja.

A kondenzátor impedanciájának frekvenciame-
nete függ a beültetéstől is (3. sz. ábra.)



3. ábra

Az „a” esetben a fegyverzetek a mikrostippel párhuzamosak, az áram az egyes kondenzátorok között más-más utat tesz meg, az ágak áramai között fáziskülönbség van.

A „b” esetben, amikor a fegyverzetek merőlege-
sek az alapsíkra, valamennyi ágban közel azonos áram folyik.

A kerámiák nagyfrekvenciás alkalmazhatóságát a dielektromos polarizáció jellege dönti el. Ebből a szempontból a kerámia dielektrikumok lehetnek:

a) Ferroelektromosak; báriumkarbonát alapú, nagy permittivitással rendelkező kerámiák, amelyekből kis méretű, nagy kapacitású kondenzátorok készíthetők. A permittivitást meghatározó domenek tehetetlensége miatt nagyfrekvencián kapacitásuk csökken, veszteségük növekszik. (A Kőporc kondenzátorok közül a T1000; T2000; T4000 és T10 000 anyagok)

b) Lineáris hőmérsékletfüggésű kerámiák. Elektromos paramétereik frekvenciafüggése is kedvező. A belőlük készült kivezetés nélküli kondenzátorok nagyfrekvenciás célra sok pozícióban megfelelnek. (Kőporc N és P jelű kerámiái)

c) Nagyfrekvenciás kerámia dielektrikumok. Jellemzőjük az igen alacsony polarizációs veszteség és alacsony permittivitás. Dipólusait olyan fémoxidok alkotják, amelyek momentuma kicsi, de kis belső súrlódással és kis fáziskéséssel tudják követni a térerő gyors változásait.

A térerő változás és a dipólusok mozgása közötti fáziseltérés tangense a polarizációs veszteségi tényező. Ennek ismeretében a helyettesítő képpen szereplő frekvenciafüggő polarizációs ellenállás az

$$R_p = \frac{1}{\text{tg } \delta \omega C}$$

A polarizációs ellenállással párhuzamosan kapcsolódó R_i szigetelési ellenállás értéke több nagyságrenddel nagyobb, így hatása nagyfrekvencián elhanyagolható. A polarizációs ellenállás 10^4 – 10^8 ohm terhelést jelent, a szigetelési ellenállás értéke 10^{11} ohm érték fölött van.

A Kőporcban kifejlesztett nagyfrekvenciás monolit kondenzátorok kerámiadielektrikumának hőmérsékletfüggése $0 \pm 30 \cdot 10^{-6} / K$, 10 GHz tartományig nem mutat belső rezonanciát (a dipólusok saját mechanikus rezonancia frekvenciája), polarizációs vesztesége 10^{-3} érték alatt van. Az alacsony permittivitás miatt a rétegek száma nagy, ami a soros paraméterek szempontjából kedvező.

Fém—kerámia átmeneti kapacitás (C_k). A monolit technológiánál a fémfegyverzet és a kerámia együttes égetése miatt az érintkező felületen módosul szerkezete, és megváltoznak a villamos paraméterei is a kerámiának. A réteg a hatását mint az eredővel sorbakapcsolt nagykapacitású kondenzátor fejti ki. Megfelelő fegyverzetanyag alkalmazásával és a dielektrikum vastagságának növelésével küszöbölhető ki a hatása.

Nagy teljesítményű berendezésekben a kapacitásokra jelentős teljesítmény juthat.

A kondenzátor terhelhetőségét három tényező korlátozhatja. A feszültség csúcsértéke, ez nem lépheti túl az előírt névleges feszültséget (250 V vagy 500 V), a névleges áram (5 A), továbbá adott a kondenzátoron eldisszipált valós teljesítmény (300 mW). Ez utóbbiból a veszteségi tényező ismeretében számítható a kondenzátorra adható meddő teljesítmény. Az előírt max. valós teljesítmény hatására a kondenzátor a környezeti hőmérsékletnél max. 30 °C-kal melegszik fel jobban. Megfelelő hűtés esetén elvisel 500 mW valós teljesítményt is.

Beforrasztás

A kondenzátorok homlokfelületei palládium-ezüstből vannak, ami ellenáll a levegő korrozív hatásának. A forrasztáshoz 250 °C alatti olvadáspontú, lehetőleg ezüst tartalmú forrasztanyagot használjunk, forrasztó gyantával.

A beültetési technológia cégenként más és más. Minden olyan módszer megfelel, ahol a kerámia nem kap hősokkot, és a forrasztanyag max. 90 s-ig érintkezik olvadt állapotban a kerámiával.

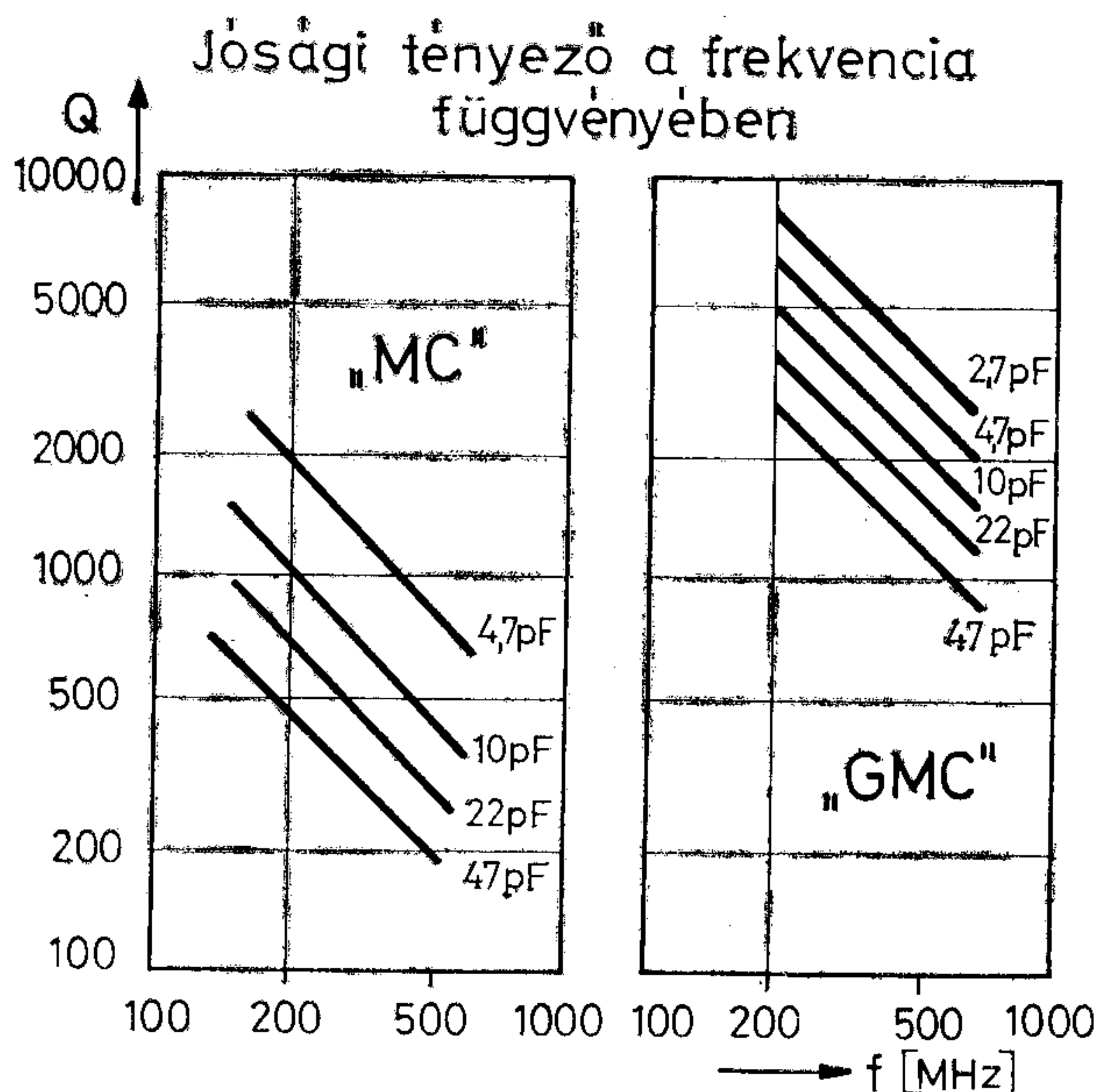
ALKALMAZÁSI TERÜLET

A Kőporc által jelenleg gyártott nagyfrekvenciás chip kondenzátorok választékát a mellékelt táblázatok mutatják. A Kőporc emellett a nagyfrekvenciás célra használható egyéb kondenzátorok széles választékát is gyártja.

Elsősorban a kivezetés nélküli tárcsa és trapéz kondenzátorok, valamint az „MC” jelű monolit chip kondenzátorok alkalmasak erre a célra, az 1 GHz alatti tartományban.

A GMC kondenzátorok alkalmazását olyan helyeken javasoljuk, ahol szigorúbb a követelmény a következő paraméterekkel szemben:

NAGYFREKVENCIÁS VESZTESÉG. Kis jóságú kondenzátort alkalmazva jelentős teljesítmény veszhet el, megváltozik a hálózat átviteli karakterisztikája és nagy teljesítmény esetén a kondenzátor tönkremegy. Az MC és a GMC kondenzátorok tipikus jósági tényezőjét a 100 MHz-es tartományban a mellékelt diagramok mutatják.



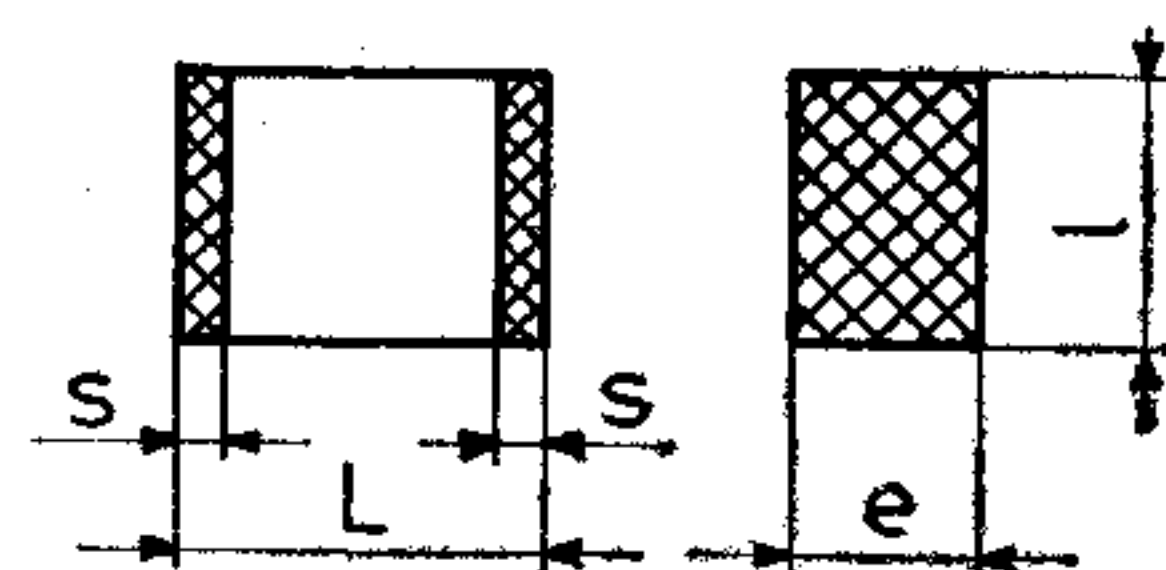
4. ábra

KAPACITÁSSZABILITÁS. A kondenzátorok hőmérséklettől nem függő kerámiából (NPO) készülnek. A kapacitásuk a frekvencia függvényében sem változik, ezért nem csupán csatoló, vagy leválasztó tagként is javasoljuk az alkalmazását. (Szűrő, kompenzáló, impulzusátvitel stb.)

FOKOZOTT TELJESÍTMÉNY DISSZIPÁCIÓ. Bár a kis veszteségi tényező miatt nagy meddő teljesítmény esetén is viszonylag alacsony a kondenzátorok keletkező melegedését okozó valós teljesítmény, bizonyos alkalmazási helyeken (pl. adástechnika) jelentős hőfejlődéssel kell számolni, amit csak az GMC kondenzátorok képesek eldisszipálni.

NAGY ÁRAM. A GMC kondenzátorok 5 A áramot képesek elviselni, míg az egyéb kerámiakondenzátorok árama 1 A alatt van.

PÉLDA A MEGRENDELÉSRE: Nagyfrekvenciás chipkondenzátor
GMC 1B típus
500 V 10 pF ± 5%



GMC 1B
típus
(250, 500V)

L [mm]	3,1 ±0,5 ±0,2	4,4 ±0,5 ±0,2	5,7 ±0,5 ±0,2
l [mm]	2,4 ±0,4 ±0,2	3,2 ±0,4 ±0,2	5,3 ±0,4 ±0,2
e [mm]	250 V-os 1-3 500 V-os 1,4-3		
s [mm]	0,5 ±0,25	0,9 ±0,25	0,9 ±0,25

Dielektrikum	Méret L x l [mm]		
	3,1 x 2,4	4,4 x 3,2	5,7 x 5,3
	Kapacitás [pF]		
NPO	2,2 - 220	220 - 750	750 - 1000
U _{max.} [V]	250		

Dielektrikum	Méret L x l [mm]	
	3,1 x 2,4	4,4 x 3,2
	Kapacitás [pF]	
NPO	1 - 150	150 - 470
U _{max.} [V]	500	

Kapacitástűrés
C ≤ 10 pF esetén
Külön megállapodásra
Klimakategória
Veszteségi tényező
Megengedhető hatásos teljesítmény
Vonatkozó szabvány

±2; 5; 10%
±0,25; 0,5; 1,0 pF
±1% ill. ±0,1 pF
55/125/56
max. 2·10⁻⁴ (1 MHz)
200 mW
IEC 384-10

Kerekes István

Fejlesztési főosztályunk (telefon: 573-111/284) várja felhasználóink érdeklődését és mindenkor készséggel áll rendelkezésükre.



ДК 621.3.049.77+621.382+621.385

Сабоне Канижаи Карг, Э.—Др. Гертнер, П.:

С оксидного катода до двуокиси кремния. Двадцатипятилетие кафедры электронных приборов

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Пока на вращающейся сцене электроники генерации приборов сменяют друг друга, кафедра — без значительных материальных средств — поспевает за ними, и развивает несмотря на консервативность, поднимающуюся из-за всегда наличной традиционности, из года в год просвежает учебный материал чаще всего неофициально, и снискал себе интернациональное признание.

ДК 376.62(439 Budapest):621.3.049.77

Д-р. Тарнаи, К.:

Роль кафедры Электронных Приборов в обучении и исследовании микроэлектроники

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Статья представляет главные области учебной и исследовательской деятельности Кафедры Электронных Приборов, праздновающей двадцатипятилетие своего основания — так же, как перспективы. Разобраны актуальные задачи и будущее обучения микроэлектроники, кратко рассматривая принятые в электротехническом факультете Будапештского Технического Университета меры для микроэлектроники и технологии, отделения обучения „Б“ и постградуальной формы обучения.

ДК 537.311.322:621.3.049.772.1

Д-р Амбрози, А.:

Проводность в толстых слоях

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Структура толстослойных резисторов сложная: состоит из проводящих окисел-металловых зерен размещенных в стекле. Для таких структур не могут быть применены классические теории проводности. В целях приобретения более точных познаний необходимо осуществить исследование коэффициента температуры, термонапряжения, напряжения Холла, коэффициент тензочувствительности и побочного шума. Статья главным образом занимается исследованиями шума.

ДК 376.62(439 Budapest):621.3.049.77.002.2

Тимарне Хорват, В.—Харшани, Й.—Д-р Мижеи, Й.:

Практическое обучение технологии изготовления интегральных схем на кафедре „Электронные приборы“ в Будапештском техническом университете

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

В статье излагаются содержание лабораторного практикума для обучения технологии изготовления интегральных схем, рассчитанного на 25 часов и некоторые курсовые задачи для самостоятельной работы студентов. Анализируются необходимость и педагогические возможности практического обучения.

ДК 621.3.049.77.001.57

Д-р. Тарнаи, К.—д-р. Масси, Ф.—д-р. Дроздьи, Г.:

Технологическое моделирование многослойных структур

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Статья представляет новые результаты дальнейшего развития программы симуляции полупроводниковой технологии STEP (Silicon Technology Evalution Program). Программа может моделировать транспорт примеси в многослойных структурах, содержащих например и поликристаллический кремний и нитрид кремния. Поэтому надо было дополнить известные из литературы методы моделирования многослойных структур, имеющих многие пограничные поверхности также, как окислительных и нитридных процессов. Статья представляет новый алгоритм, разработанный для решения проблемы, который обеспечивает конвергенцию при многослойных структурах в случае перемещающихся со временем пограничных поверхностей.

ДК 621.375.826:621.383.52:621.391.63

Др. Хабермайер, И.:

Лазерные диоды для оптической связи

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Первая часть статьи представляет основные физические явления, совершающиеся в полупроводниковых лазерах. Вторая часть рассматривает развитие конструкции лазерных диодов на базе GaAl As. В третьей части изложены области применения нескольких типов лазерных диодов в системах оптической связи.

ДК 621.3.049.776.43

И. Золами—Армандо Адан:

Исследование полупроводниковых приборов МИСС и МИСТ

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Полупроводниковые приборы типа „МИСС“ и „МИСТ“, которые имеют структуру метал-тонкий (обычно туннельно-прозрачный) слой диэлектрика-полупроводник с п-н переходом изготавливались и исследование их режима работы результировало открывание новых явлений. Такие явления были переходные процессы при различных периферических схем и различные эффекты аккумуляции заряда. Переходные процессы можно воздействовать тоже с помощью освещения. Была дальше развита статическая теория прибора. Это новая теория принимает во внимание некоторые секундерные эффекты и лучше представляет опытные в практике явления.

ДК 621.3.049.77.001.2:681.3.06 CELLIB

Др. Секеи, В.—Байн, П.—Кереченне Др. Ренч М.—Кона, Й.—др. Машпи Ф.:

Библиотека ячеек CELLIB программы обслуживания для целей проектирования в микроэлектронике

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1983. № 11.

Представленная в статье управляющая библиотекой ячеек программа поддерживает проектирование БИС на базе ячеек. Кроме хранения топологического описания ячеек она способствует и хранению электрического и логического описания и символической электрической также как логической схемы. При помощи программы завязаны непосредственные отношения данных библиотеки ячеек с программами топологического проектирования, электрической и логической симуляции.

*

*

ДК 621.3.049.77+621.382+621.385

Szabóné Kanizsay—Karg, É.—Dr. Gärtner, P.:

Von der Oxydkathode bis zum Siliziumdioxid. 25 Jahre eines Lehrstuhls

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Mehrere Generationswechsel fanden in der Elektronik — wie auf einer Drehbühne — statt, währenddessen ein Lehrstuhl unter bescheidenen materiellen Verhältnissen Schritt hielt, sich dem aus dem Traditionalismus immer wachsenden Konservatismus trotzend entwickelte, den Unterrichtsstoff Jahr für Jahr — auch inoffiziell — erneuerte, und sogar eine internationale Anerkennung errungen hat.

ДК 376.62(439 Budapest):621.3.049.77

Dr. Tarnay, K.:

Die Rolle des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente in Unterricht und Forschung von Mikroelektronik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

An der Gelegenheit des 25-ten Jahrestags der Begründung werden die Hauptgebiete der Unterrichts- und Forschungstätigkeit des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente vorgeführt. Es werden die aktuellen Aufgaben sowie die Zukunft des Mikroelektronikunterrichts erörtert, mit einem Überblick der Massnahmen, getroffen an der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Budapest zur dessen förderung (Organisierung einer neuen Fachrichtung für Mikroelektronik und Technologie, postgraduale und Form „B“ Ausbildung).

DK 537.311.322:621.3.049.772.1

Dr. Ambrózy, A.:

Leitung in Dickschichten

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Die Struktur der Dickschichtwiderstände ist komplex: sie bestehen aus im Glas eingebetteten Metalloxid Partikeln. Auf solche Strukturen sind die klassische Leitungstheorien unanwendbar. Zu Erwerben näherer Erkenntnissen ist die Untersuchung des Temperaturkoeffizienten, der Thermospannung, Hall-Spannung, die des Gauge-Faktors und des Zusatz-Rauschen notwendig. Der Aufsatz beschäftigt sich hervorhebend mit der Untersuchungen der Rauschen.

DK 376.62(439 Budapest):621.3.049.77.002.2

Timárné Horváth, V.—Harsányi, J.—Dr. Mizsei, J.:

Praktikum für IS-Technologie am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der TU Budapest

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Ein 25-Stündiges laborpraktikum der IC-Technologie und die Studenten-Arbeiten im Rahmen eines selbständigen Projektes (Technologie bzw. Bauelementeentwicklung) werden geschildert. Die Notwendigkeit solder Unterrichtsformen in der Ingenieur-Ausbildung sowie die pädagogischen Möglichkeiten werden analysiert.

DK 621.3.049.77.001.57

Dr. Tarnay, K.—Dr. Masszi, F.—Dr. Drozdy, Gy.:

Technologieorientierte Modellierung von Mehrschichtstrukturen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Es werden die neueste Ergebnisse der Weiterentwicklung des halbleitertechnologischen Programmsystems STEP (Silicon Technology Evaluation Program) erörtert. Im gegenwärtigen Programm werden schon solche Strukturen modelliert, die komplexer sind als die von Si/SiO₂, z. B. Transport von Dotierungsmaterial in einem Mehrschichtstruktur, die auch Polysilizium und Siliziumnitrid enthält. Zur Lösung dieses Problems würden die Modellierungsmethoden der Mehrschichtstrukturen mit mehrerem Abgrenzungsoberflächen sowie die der Oxydations und Nitridationsvorgänge erweitert. Der Artikel stellt den kürzlich ausgearbeiteten Algorithmus vor, der — gegenüber den vorigen — die Konvergenz der Lösung bei Mehrschichtstrukturen auch im Falle von sich verschiebenden Abgrenzungsoberflächen sichern kann.

DK 621.375.826:621.383.52:621.391.63

Dr. Hábermayer, I.:

Halbleiterlasern für optische Nachrichtenübertragung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Im ersten Teil des Artikels werden die grundlegenden physikalischen Erscheinungen in Halbleiterlasern erörtert. Der zweite Teil überblickt die Entwicklung der Konstruktion der GaAlAs-Laser. Im dritten Teil werden die Anwendungsmöglichkeiten einiger Typen von Laserdioden zusammengefasst.

DK 621.3.049.776.43

Dr. Zólmoy, I.—Armando Adan:

Forschung von MISS und MIST Bauelementen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Durch Herstellung und Untersuchung der physikalischen Prozesse von MISS und MIST Bauelementen mit einer p⁺-n-i-m (p⁺, n Halbleiterschichten, dünne Oxidschicht, Metall) Struktur wurden neue Erscheinungen gefunden, wie das dynamische Verhalten in verschiedenen Schaltkreisen, Ladungspeicherungseffekte in MISS und MIST Strukturen mit zwei oder drei Kontakten. Die Schaltzeiten können auch durch Beleuchtung beeinflusst werden. Auch die statische Theorie des MISS wurde weiterentwickelt. Die neue Theorie berücksichtigt einige weitere Effekte und beschreibt besser die beobachteten Erscheinungen.

DK 621.3.049.77.001.2:681.3.06 CELLIB

Dr. Székely, V.—Baji, P.—Frau Kerecsen Dr. Rencz, M.—Kónya, J.—Dr. Masszi, F.:

Verwaltungsprogramm der CELLIB-Zellenbibliothek für die mikroelektronische Planung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. Nr 11.

Das im Beitrag beschriebene, die Zellenbibliothek verwaltende Programm erleichtert den Entwurf von LSI integrierten Schalt-

kreisen. Es ermöglicht neben dem Speichern der Beschreibung der Geometrie der Zellen auch das Speichern von Konturen, von logischer und schaltungstechnischer Beschreibung des Schaltkreises und von symbolischen und Schaltungstechnischen Zeichnungen. Das Programm schafft eine unmittelbare Verbindung zwischen den Daten der Zellenbibliothek einerseits und dem die Geometrie (Layout) entwerfenden Programm, dem schaltkreissimulierenden Programm und dem logischen simulierenden Programm andererseits.

*

*

UDC 621.3.049.77 + 621.382 + 621.385

Szabóné Kanizsai-Karg É.—Dr. Gärtner P.:

From Oxide Cathode to Silicon Dioxide. 25 years of a department

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

While generations of devices followed each other on the revolving stage of electronics, the department, with only limited resources, kept pace with them and—in spite of the conservatism originating from the always present traditionalism—kept progressing; refreshed syllabuses year by year mostly informally, and has achieved international recognition.

UDC 376.62(439 Budapest):621.3.049.77

Dr. Tarnay, K.:

The Role of the Department of Electronic Devices in the Education and Research of Microelectronics

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

On the occasion of the 25th anniversary of foundation, the main fields of educational and research activities—and their prospects—of the Department of Electronic Devices are presented. Discussed are the present tasks of the microelectronic education and its future, giving a short review of the efforts of the Electrical Faculty of the Budapest Technical University at promoting it (organizing a new specialty for Microelectronics and Technology, postgraduate courses, form B education).

UDC 537.311.322:621.3.049.772.1

Dr. Ambrózy, A.:

Conduction in thick films

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

The structure of the thick film resistor is rather complicated: they consist of conducting metal oxide particles embedded in a glassy matrix. The classical conduction models are not applicable to such structures. The knowledge of temperature-coefficient, thermoelectric power, Hall voltage, gauge factor and excess noise are necessary for better insight. The paper emphasizes the excess noise investigations.

UDC 376.62(439 Budapest):621.3.049.77.002.2

Timárné Horváth, V.—Harsányi, J.—Dr. Mizsei, J.:

Practical Education of IC Technology at the Electron Devices Department of Technical University of Budapest

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

A twentyfive hours semiconductor technology exercise and project laboratory exercises for undergraduate students are described. Some analysis is given about the necessity of practical education, and about the pedagogical possibilities.

UDC 621.3.049.77.001.57

Dr. Tarnay, K.—Dr. Masszi F.—Dr. Drozdy, Gy.:

Multilayer Silicon Technology Process Modelling

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

The paper presents the latest results in developing the STEP (Silicon Technology Evaluation Program) process modelling system. By now it is possible to simulate the impurity transport in structures being more complicated than the simple Si/SiO₂ system, e.g. multilayer polysilicon, silicon nitride etc. structures. To solve this problem, the methods known from the literature of modelling the multilayer structures with more than a single boundary and of oxidation and nitridation processes had to be extended. The article presents the new algorithm developed for solving this problem. This algorithm guarantees the convergence of the solution method even in case of the moving boundaries of the multilayer structures in contradiction to the old algorithms.

UDC 621.375.826:621.383.52:621.391.63

Dr. Hábermayer, I.:

Semiconductor lasers for optical communication

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

The first part of the paper summarizes the fundamental physical processes in semiconductor lasers. The second part gives a review of development of semiconductor laser structures based on GaAlAs. The third part gives a guide for application of several types of laser diodes in the field of optical communication.

UDC 621.3.049.776.43

Dr. Zólomy, I.—Armando Adan:

Investigation of MISS and MIST devices

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

The investigation of the physical processes in the MISS and MIST devices having p⁺-n-i-m (p⁺-n type semiconductor, tunneling oxide, metal) structures resulted in finding new phenomena. These were

the transient processes taking place in the device in the case of various kinds of external driving circuits, several charge-storage effects both for the two-terminated MISS and for the three-terminated MIST. The switching process can also be influenced by illumination. The d.c. theory of MISS, considering the I-V characteristics, was also extended. The new theory also takes into account some secondary effects, and approximates better the real characteristics of MISS devices.

UDC 621.3.049.77.001.2:681.3.06.CELLIB

Dr. Székely, V.—Baji, P.—Kerecsenné Dr. Rencz, M.—Kónya, I.—Dr. Masszi, F.:

CELLIB-cell-library manager program for microelectronics design purposes

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1983. No. 11.

The cell-library manager program reported in the paper is to support the projecting of the cell-based LSI IC design. It makes possible to store the layout and the outline-plots of the cell in the library, the logical and network descriptions of the circuit, and the logical and circuit schematics of the cell's network. The program assures direct connections between the cell-library datas and the layout design programs as well as the circuit and logical simulation programs.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. TÓFALVIGYULA. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 113-027. Kiadja: a Lapkiadó Vállalat, Budapest, Lenin krt. 9—11. 1073. Telefon: 221-285. Levélcím: Budapest, Pf. 223. 1900. Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a KHI 215—96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 138,— Ft, egész évre 276,— Ft. Egyes szám ára 23,— Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1839 Budapest, Postafiók 149.

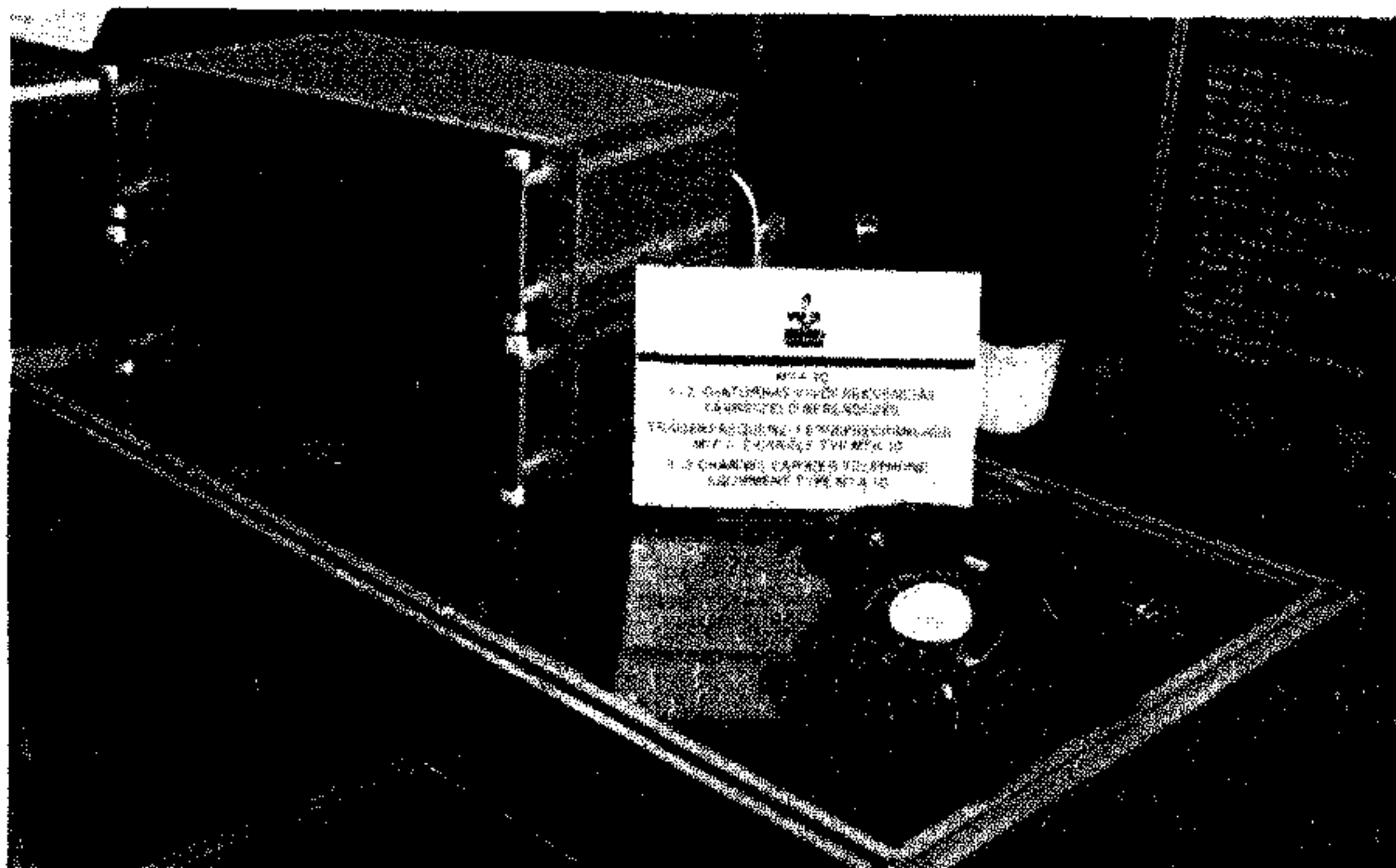


HU ISSN 0018—2028

Egyetemi Nyomda — 83.1707 Budapest, 1983. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

Index: 25 375

MTA 10 tip. 1–2 csatornás vivőfrekvenciás távbeszélő berendezés



Már meglevő távbeszélő-hálózatok többszörös kihasználása, a távbeszélő-ellátottság növelése, főleg gazdasági érdek. Az MTA 10 berendezés egy fizikai — elsősorban légvezetékes — áramkör háromszoros kihasználását teszi lehetővé azzal, hogy a fizikai alapáramkörön folyó beszélgetésen túlmenően egyidejűleg vivőfrekvenciás átvitellel még másik egy, vagy két beszélgetés is folyhat.

Az MTA 10 berendezés alkalmas LB összeköttetések létesítésére, továbbá lehetőséget nyújt a CB előfizetői vonalak „meghosszabbítására”, vagyis a néhány tíz kilométeres távolságra levő előfizető is közvetlenül a CB központhoz kapcsolódhat.

A berendezés dugaszolható, integrált elemeket tartalmazó nyomtatott áramkörökből áll. Az áramkörök a kívánt szolgáltatásnak megfelelően állíthatók össze.

MŰSZAKI ADATOK

Hangfrekvenciás átvitel:

Átviteli sáv	300—3400 Hz
Impedancia	600 Ohm szimm.
Végződő egységek választéka:	LB
	CB előfizető
	CB központ

Előfizetői vonal max. hurokellenállása (készülékkel)	1000 Ohm
--	----------

Vivőfrekvenciás átvitel:

Modulációs rendszer	egy oldalsávós, amplitúdó modulált elnyomott vivővel
---------------------	--

Vivőfrekvenciák

1. csatorna	8 kHz
2. csatorna	16 kHz
a csatorna vivőfrekvencia	kristályvezérelt
frekvenciastabilitás	± 2 Hz
csatorna alapzaj	0,6 mV (súlyozva)

Jelzésátvitel

Jelzésátvitel rendszere	sávon belüli
CB előfizető-központ irány	
Billentős előfizetői készülék	
frekvencia kombinációi	CCITT ajánlás szerint

Központ-CB előfizetői irány

Jelzőfrekvencia	3000 Hz
LB összeköttetéseknel	
Jelzőfrekvencia	3000 Hz
Csengetés	60 V 50 Hz

Tápellátás: (2 csatornás kiépítés)

hálózatról	$220 \pm 10\%$ 50 Hz 15 VA
telepről	$24 V \pm 10\%$ 0,5 A
Üzemi környezeti hőmérséklet	$+5^\circ C \dots +45^\circ C$
Méretek: (mm-ben)	
(2 csatornás berendezés)	

Szélesség:	490
Magasság:	150
Mélység:	360

BHG Híradástechnikai Vállalat

1509 Budapest Pf. 2.

Telefon: 453-300

Exportálja BUDAVOX H—1392

Budapest P.O.B. 267.