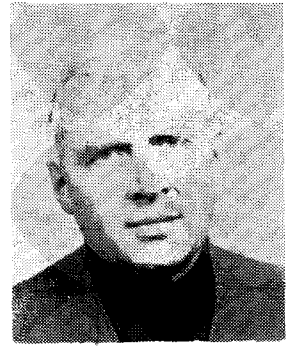


# Galliumarzenid eszközök hazai kutatása-fejlesztése

DR. SZÉP IVÁN

MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete



## ÖSSZEFOGLALÁS

Az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében az utóbbi években folyó galliumarzenid kutatások célkitűzéseinek, módszereinek és eredményeinek áttekintése. A főbb feladatok: a hazai tisztított gallium felhasználásával történő szintézis és körülményeinek vizsgálata, az egykristály-előállítás módszereinek (Bridgman, Czochralski) tanulmányozása, az epitaxiális rétegnövesztés technikájának fejlesztése és az ezekkel kapcsolatos alapozó vizsgálatok.

A kutatás további feladatai az alapanyag tulajdonságainak megismerése után az alkalmazott tudomány területére esnek. Az Országos Középtávú Kutatási-Fejlesztési Tervnek megfelelően galliumarzenidből mikrohullámú és optoelektronikai eszközök technológiájának kidolgozása van folyamatban. A beszámoló kiemeli az ehhez szükséges alapozó kutatások fontosságát, amelyet a fém-félvezető kontaktus rendszereken folyó munkákkal illusztrál.

A mikroelektronika kialakulását azok a kutatások tették lehetővé, amelyek a harmincas évektől a szilárd testek fizikai tulajdonságainak, különösen pedig a fémek és a szigetelő anyagok között elektromos vezetésiük alapján közbenső helyet elfoglaló félvezető anyagoknak tanulmányozásával foglalkoztak. A nagyszámú félvezető anyag közül a figyelem a negyvenes évek végén az elemi germániumra, majd hamarosan a szilíciumra összpontosult. A p-n átmenet egyenirányító tulajdonságainak, majd a tranzisztornak, mint elektromos jelek erősítésére alkalmas eszköznek a felfedezése először az elektronikai készülékek miniatürizálásának feltételeit teremtette meg, majd az integrált áramkörök feltalálásával a hatvanas évektől ma eljutottunk a több százezer elemet tartalmazó nagyintegráltságú mikroelektronikai áramkörökig.

A mikroelektronika jelenlegi aktív eszközeinek 90%-a szilíciumból készül. A szilícium kiválóan alkalmas azokra a kifinomult technológiai eljárásokra, amelyekkel az integrált áramkörök néhány mikrométer méretű alkotóelemei előállíthatók. A mikroelektronika számára a szilícium úgyszólván éppen olyan szerkezeti anyag, mint a gépipar számára az acél. Mint hordozó monolit, vagyis egyazon összefüggő anyagból álló szerkezetté teszi az integrált áramköröket, helyileg változtatható elektromos tulajdonságai révén pedig különböző elektronikus (egyenirányító, erősítő, kapcsoló, tároló) funkciók ellátására is képes. Szilíciummal megvalósíthatók különböző átalakítási és érzékelő funkciók is (mágneses-elektromos, optikai-elektromos, mechanikai-elektromos). Mondhatni, hogy a szilícium szinte egyedülállóan univerzális alapanyaga a mikroelektronikai eszközválasztéknak. De mint az univerzális dolog általában, itt sem egyformán kiváló minden

## DR. SZÉP IVÁN

Egyetemi tanulmányai után 1949-ben kémia, fizika és matematika szakon doktori oklevelet szerzett a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen. 1952-ben kezdett foglalkozni félvezető eszközök technológiájával, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben létrehozta a félvezető eszközök gyártástechnológiájának fejlesztési bázisát. 1959-ben a hazai germánium tranzisztorok kidolgozásáért Kossuth-díjjal tüntet-

ték ki. 1971-től az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetének tudományos igazgatóhelyettese. A szilícium MOS-rendszerekkel foglalkozó értekezése alapján 1980-tól a műszaki tudományok doktora. A BME-n a félvezetők technológiájának területén rendszeres oktatói tevékenységet végez, címzetes egyetemi tanár. Több szakkönyv, egyetemi jegyzet és számos itthoni és külföldi szaklapban megjelent közlemény szerzője.

funkcióra. Ez annál inkább vált nyilvánvalóvá, minél inkább jelentkeztek igények új vagy jobb minőségű funkciókra. Elég itt utalni pl. az optoelektronikai eszközök iránti igényekre, amelyek szilícium alapú készletből nem fedezhetők. A szilícium vitathatatlan felségterületét tulajdonképpen azok a klaszikus elektromos hálózatelmélet által leírható rendszerek alkotják, amelyek ellenállásokból, kapacitásokból, nem-lineáris és erősítő elemekből felépíthetők. Nem-lineáris elemként a pn-átmenet vagy fém-félvezető (Schottky-) átmenet, erősítőként pedig a bipoláris vagy unipoláris (MIS) tranzisztor szerepelhet. Ismeretes, hogy az utóbbiak elektromos karakterisztikáit az alapanyag fizikai tulajdonságai behatárolják.

Míndez indokolja azokat a kutatásokat, amelyek célja új, meghatározott vonatkozásokban jobb paraméterekkel rendelkező félvezető anyagok előállítása és felhasználása új típusú elektronikai eszközök létrehozására. Ez a munka már az ötvenes években elkezdődött és ma is folytatódik. Az előállított és megvizsgált félvezető anyagok közül egyre növekvő a szerepe a periódusos rendszer III. és V. oszlopába tartozó elemekből előállított  $A^{III}B^V$  típusú vegyületeknek. Ezek közül is kiemelkedik a galliumarzenid (GaAs), amely néhány fizikai tulajdonságával a szilíciumot saját területén is túlszárnyalja (1. táblázat).

A lényegesen nagyobb elektronmozgékonyosság miatt galliumarzenidből pl. 5–6-szorosan gyorsabb áramkörök készíthetők mint szilíciumból. Bár a két anyag árában jelenleg mutatkozó 10-szeres különbség miatt ez nem fenyegeti a szilícium eszközök piacát, speciális területekre már elkezdődött a GaAs-

Beérkezett: 1984. VI. 14. (▲)

áramkörök behatolása. A nagyobb mozgékonyaság miatt döntő előnnyel rendelkeznek a GaAs-alapú diódák, varaktorok, tranzistorok a mikrohullámú átviteltechnikában. Az alapanyag árak lemorzsolódása itt is a piac bővülésével várható.

1. táblázat

Tulajdonság	Si	GaAs
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	2,3	5,3
Rel. dielektromos állandó	11,7	12,9
Fajl. ellenállás határértékei (300 K), ohm·cm	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>5</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>8</sup>
Elektronmozgékonyaság (n = 10 <sup>17</sup> /cm <sup>3</sup> , 300 K), cm <sup>2</sup> /V·s	700	4300
Hővezetőképesség (300 K) W/cm·K	1,45	0,54
Kisebbségi töltéshordozók átl. élettartama, s	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-7</sup>

Kiemelkedő tulajdonsága a galliumarzenidnek az injektált elektronok és lyukak rekombinációja következtében létrejövő sugárzás, amely ún. közvetlen elektronátmenet útján keletkezik; ez teszi lehetővé jó hatásfokú lézerdiodák készítését, amelyek igen magas frekvenciával modulálhatók. A fénytávközlés szempontából ennek jelentősége aligha becsülhető túl. A kibocsátott fény hullámhosszát nemcsak a tiltott sáv szélessége határozza meg a

$$\lambda[\mu\text{m}] = 1,24/E_g[\text{eV}]$$

összefüggés értelmében, hanem az A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> csoport más vegyületeinek elegyítésével a hullámhossz is változtatható. A fénytávközlés, valamint az úrtávközlés fejlődésével ezek a speciális tulajdonságok új tavlatokat nyitottak a mikroelektronika előtt, amelyekről részletesebben egy korábbi közleményben már volt szó [1]. Az azóta eltelt időben bekövetkezett fejlődés igazolta a várakozást. E közleményben az utóbbi években végzett hazai kutatások eredményeiről lesz szó.

#### A kutatások célja

Az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete másfél évtizede foglalkozik A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> típusú félvezető anyagok kutatásával. E munka során az intézet kutatói számos vegyületet és ezek elegyeit állítottak elő, vizsgálták tulajdonságaikat, és kipróbálták alkalmazhatóságukat különböző elektronikus eszközök céljaira. Így pl. nikkellel adalékolt indiumantimonidból jó hatásfokú magnetorezisztorok [2], galliumarzenidből és galliumfoszfidból vörös és zöld színű világítódiodák [3], indiumarzenidből Hall-feszültségcellák, galliumarzenidből Gunn- és mikrohullámú Schottky-diodák [4, 5] készültek. A nemzetközi irányzatoknak megfelelően az 1981–85. évi középtávú kutatási-fejlesztési tervben fő hangsúlyt a galliumarzeniddel kapcsolatos kutatások kapták. A programban az alábbi célokat tűztük ki:

1. Galliumarzenid szintézise hazai előállítású kiinduló anyagokból.
2. Galliumarzenid egykristályok előállítása vízszintes kristályosítással (Bridgman-módszer) és Czochralski-módszerrel.
3. Komplex minőségvizsgálati módszerek kidolgozása galliumarzenid egykristályok minősítésére.
4. Epitaxiális rétegek növesztési módszereinek kutatása-fejlesztése (folyékony és gőz fázisból történő növesztés).
5. Epitaxiális rétegek minőségvizsgálata (adalék-koncentráció, adalékeloszlás, szennyezők, rács-hibák meghatározása).
6. Technológiai műveletek fejlesztése mikrohullámú és optoelektronikai eszközök előállítására (Gunn-diodák teljesítményoszillátor célra, Schottky-diodák keverő és detektor célra, MESFET-ek; lézerdiodák a 0,80–0,90 μm-es hullámhosszra).
7. Minősítő módszerek kidolgozása mikrohullámú és optoelektronikai eszközök jellemző adatainak meghatározására.

#### Eredmények

1. A szilíciumhoz hasonlóan a galliumarzenidben a töltéshordozók koncentrációját felhasználástól függően különböző adalékokkal állítják be. Ezek hatása nagymértékben függ attól, hogy milyen tiszta a kiindulási anyagként használt gallium és arzén. Ilyen szempontból vizsgáltuk a hazai előállítású gallium viselkedését. 6N tisztaságú arzénnel és 6N tisztaságú galliummal a szokásos zárt ampullás elrendezésben végeztük a szintézist és a képződött nagyszemcsés polikristályos öntecsből megfelelő mérőmintákat készítettünk [6]. A fajlagos ellenállást és a Hali-mozgékonyaság eloszlását van-der-Pauw módszerrel mértük. A töltéshordozó koncentráció az öntecsek térfogatának 60%-ában 1·10<sup>16</sup>–5·10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>-nek adódott. Ebből azt a következtetést tudtuk levonni, hogy kiindulási alapanyagaink alkalmasak ún. szubszt-rát-kristályok előállítására, amelyekben a töltéshordozók koncentrációja általában nagyobb 5·10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>-nél. A KFKI-ban végzett tömegspektrometriás vizsgálatok a galliumban 1 ppm-nél nagyobb mennyiségben rezet mutattak ki, ami legalábbis aggályos szennyezés. A gyártási folyamat felülvizsgálatának eredményeként a későbbi szállítmányokban a réz mennyisége 1 ppm alá csökkent.
2. A megfelelő minőségű egykristályos galliumarzenid előállítására leggyakrabban használt módszer az olvadékból magkristály segítségével történő húzás, azaz a Czochralski-módszer. Itt az okoz gondot, hogy az olvadásponton (1238 °C) a disszociációs nyomás közel 1 atm. A kristályhúzást tehát zárt térben, megfelelő túlnyomás alatt kell végezni vagy az olvadék felszínén úszó néhány mm vastag indifferens ömledékreteggel meg kell gátolni az arzén kipárolgását. Utóbbi a szokásos eljárás, amelyhez bór-trioxidot alkalmaznak.

Felhasználva az olasz CNR pármái, különleges anyagok kutatásával foglalkozó laboratóriumával kialakult kapcsolatunkat, lehetőségünk volt a hazai alapanyagokból szintetizált galliumarzenidből egykristályok húzására. Az eredmények igazolták a polikristályos anyag vizsgálatából levont következtéseinket.

A Czochralski-módszerrel előállított egykristályok egyik fő problémája a nagy diszlokációsűrűség ( $\approx 10^5/\text{cm}^2$ ), melynek oka az anyag viszonylag alacsony nyírófeszültsége ( $\approx 7 \cdot 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ ), amely a megszilárdulást követően sűrű diszlokációhálózat kialakulásához vezet. Ez különösen az optoelektronikai eszközök előállításához szükséges többréteges epitaxiás struktúráknál okoz gondot, ahol a réteghatárokra fellépő rácshibák mind a rekombináció hatásfokát, mind az eszköz élettartamát károsan befolyásolják.

Ezen a nehézségen enyhít a Bridgman-módszer, ahol a galliumarzenid egykristályt vízszintes kvarccsónakban növesztik olvadékból, az elején elhelyezett magkristály és az olvadékon lassan végigvezetett hőmérsékleti gradiens ( $1,5-2^\circ/\text{cm}$ ) segítségével. Ennél az eljárásnál a megszilárdult kristály önsúlya nem játszik szerepet, és így a csúszás okozta rácshibák száma is kisebb ( $10^3-10^4/\text{cm}^2$ ). Ugyanakkor viszont a kvarccsónak falából szilíciumatomok oldódnak bele a galliumarzenidbe (kb.  $10^{16} \text{ atom/cm}^3$ ), és adalékanyagként megnövelik annak vezetőképességét. A lézerdiodák szubsztrátanyagának céljára azonban ez az anyag megfelel.

A Bridgman-módszer eredményes alkalmazása rendkívül magas követelményeket támaszt a növesztőkemence hőstabilitásával és szabályozhatóságával szemben. Az erre vonatkozó tervezési és kísérleti munkákat a közelmúltban befejeztük, a megépített berendezés kipróbálása elkezdődött.

3. A különböző célokra készült galliumarzenid egykristályok minősítése egyáltalán nem rutinfeladat. A szabad töltéshordozók koncentrációjának meghatározása önmagában keveset mond a kristály felhasználhatóságáról. Az elektron mozgékonyaság számadata már sokkal többet árul el a jelenlévő véletlen szennyezések vagy esetleges rácshibák töltéskompenzáló hatásáról. Ezek a hatások nemcsak a kristály előállításakor épülnek be az anyagba, hanem az egyes eszközök előállítására használt technológiai folyamatok, pl. hőkezelések következtében is létrejöhetnek. A mozgékonyaság kész eszközökben történő meghatározására az intézet kutatói már korábban kidolgoztak egy új módszert [7], amely a mágneses térben bekövetkező ellenállásváltozásnak a mágneses tér irányától való függésén alapszik. Ezen a módon az utólagos hatások elkülöníthetők.

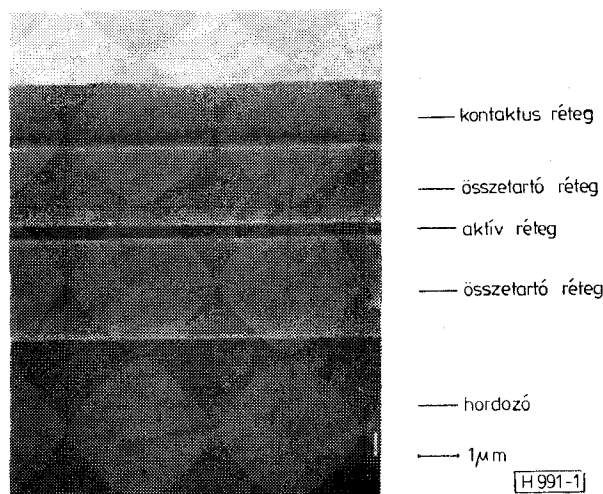
A kompenzációért felelős tényezők meghatározása még bonyolultabb feladat. Kimutatásuk azáltal lehetséges, hogy a galliumarzenid tiltott energiasávjában különböző sekély vagy mély energiaszintekkel azonosíthatók. Intézetünkben korszerű módszert és mérőberendezést dolgoztunk ki az ilyen energiaszintek jellemző adatainak meghatározására. A mélynívók tranziens spektroszkópiájával [8] (angol rövidítéssel: DLTS) meghatározható a szennyezés, aktív rácshiba

stb. aktiválási energiája, befogási keresztmetszete, koncentrációja. Sok esetben a kapott adatokból az anyagi mibenlétére is következtetni lehet [9]. Hasonló információ nyerhető az intenzív lézerbesugárzás hatására fellépő lumineszcenciaspektrum alakjából is.

Külön vizsgálati technikát igényel az ún. *félszigetelő* galliumarzenid, melynek fajlagos ellenállása  $10^6 \text{ ohmcm}$ -nél nagyobb [10]. Ez az ellenállásérték annak következtében alakul ki, hogy a sekély energianívójú donorokat mélyebb szintű akceptorok kompenzálják. Eleinte krómot használtak erre a célra, amellyel a maradék szilícium hatását semlegesítették. Később kiderült, hogy igen tiszta körülmények között előállított kristályok króm hozzáadása nélkül is lehetnek félszigetelők, ami azért lényeges, mert a technológiai hőhatások következtében a króm gyorsan diffundál és a rácshibák környezetében halmozódik fel, ezeken a helyeken nagyságrendekkel lerontva az ellenállást. A termikus stabilitás előírt követelmény a félszigetelő galliumarzeniddel szemben.  $750-850^\circ\text{C}$ -on 30 perces hőntartással végzett vizsgálataink különböző eredetű félszigetelő galliumarzenid mintákon egyrészt igazolták e minősítés fontosságát, másrészt megállapítottuk, hogy  $10^{16}/\text{cm}^3$ -nél kevesebb krómtartalom esetén nem lép fel ellenállás inhomogenitás a hőkezelés hatására [11]. Ez azt is jelenti, hogy a maradékszennyezéseknek (C, Si) is ez alatt az érték alatt kell lenniük, ami további szigorítást jelent az alapanyagokkal és az előállítás körülményeivel szemben támasztott tisztasági követelményeknek.

4. A galliumarzenid alapú eszközök legnagyobb része különböző elektromos tulajdonsággal, sőt gyakran más anyagi összetétellel is rendelkező rétegekből áll. Ezeket többnyire epitaxiális növesztési eljárásokkal állítják elő, a szilíciumnál szokásos keresztüldiffundálásos módszerre a galliumarzenid nem alkalmas.

Intézetünkben széles körű kísérleteket végeztünk mind a folyékony fázisból (LPE), mind a gőzfázisból történő epitaxiális növesztésekre (VPE) [12, 13]. A mikrohullámú technika által igényelt rétegek reprodukálható előállítására a legjobban bevált az



1. ábra. GaAs/GaAlAs lézerdioda metszete szelektív kémiai maratás után (pásztaó elektronmikroszkópos felvétel)

arzen-triklorid és a gallium kölcsönhatásán alapuló gőzfázisú folyamat, amely a megfelelő hőmérsékleten tartott galliumarzenid hordozón jól szabályozható epitaxiás rétegnövekedést eredményez. Erre a célra a tervidőszakban szovjet gyártmányú ipari berendezést helyeztünk üzembe, amely a termékválasztékhoz szükséges szeltemennyiségen kívül a kutatás és fejlesztés szükségleteit is ellátja. A berendezésben igen tiszta ( $n \leq 10^{15}/\text{cm}^3$ ), vagy adalékolt rétegek  $0,3 \mu\text{m}$ -tól  $15 \mu\text{m}$ -ig terjedő vastagságban megbízhatóan növeszthetők. Foglalkozunk programvezérelt adalékoló rendszer kidolgozásával, amely lehetővé fogja tenni előírt adalékprofilal rendelkező epitaxiális struktúrák előállítását.

Lényegesen több nehézséggel jár a folyékony fázisból történő rétegnövesztés, különösen a GaAs/GaAlAs kettős heteroepitaxiás rétegekombinációkból álló lézérdiódák struktúrák előállítása.

A  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál jobb hőmérsékletstabilitás, az ugyanilyen nagyságrendű szabályozási pontosság a szükséges feltételei az olyan rétegsorok növesztésének, mint amilyenek a mikroszkópos keresztmetszete az 1. ábrán látható. A koherens lézersugárzás az aktív rétegben jön létre, amelynek vastagsága mindössze  $0,3 \mu\text{m}$ .

5. Az epitaxiás rétegek alkalmasságát a célul kitűzött funkcióra előzetes minőségvizsgálattal célszerű tisztázni. Erre a célra több módszert dolgoztunk ki. A jól vezető hordozóra növesztett epitaxiás rétegben a töltéshordozók, ill. az adalékionok koncentrációját vagy ennek változását a C/V módszer néven ismert eljárással határoztuk meg, a felületre helyezett fémelektrod feszültségváltozását követő  $\Delta C$  kapacitásváltozás alapján, amelyből az

$$N(x) = \frac{C^3}{eqA^2} \left( \frac{\partial C}{\partial V} \right)^{-1}$$

kifejezés alapján az  $x$  helyhez tartozó  $N(x)$  adalék-koncentráció meghatározható [14].

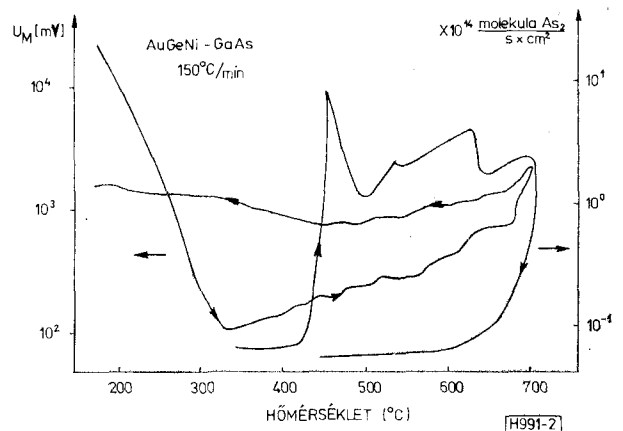
A félszigetelő hordozóra növesztett, félvezető galliumarzenid rétegek megfelelő elektrodok kialakításával van-der-Pauw módszerével minősíthetők. Szenyvezők, mély nivócentrumok kimutatása Schottky-barriert létesítő fémkontaktusok segítségével DLTS-technikával oldható meg [15].

A lézérdiódák több réteges struktúráinak minősítése ennél lényegesen bonyolultabb feladat. A szokásos tűszondás módszerek csak igen éles szögben lecsiszolt metszeteken alkalmazhatók; az összetétel meghatározására analitikai elektronmikroszkópos módszereket dolgoztunk ki [16]. A növekedési rács hibák kimutatására röntgentopográfiai módszereket használtunk.

6. A galliumarzeniddel foglalkozó kutatások nagyobb része eszköztechnológiai eljárások kidolgozására és eszközfejlesztésre irányult. Itt nemcsak meghatározott technikai műveletek elsajátítását tekintettük feladatnak, hanem annak a tudományos háttérnek a feltárását is, melynek ismerete a technológiai folyamat megbízható kivitelezéséhez nélkülözhetetlen.

E koncepció illusztrálására röviden ismertetjük a fém-galliumarzenid kontaktus rendszerekkel kapcsolatos kutatásokat.

A Gunn-diódákon végzett korábbi vizsgálataink

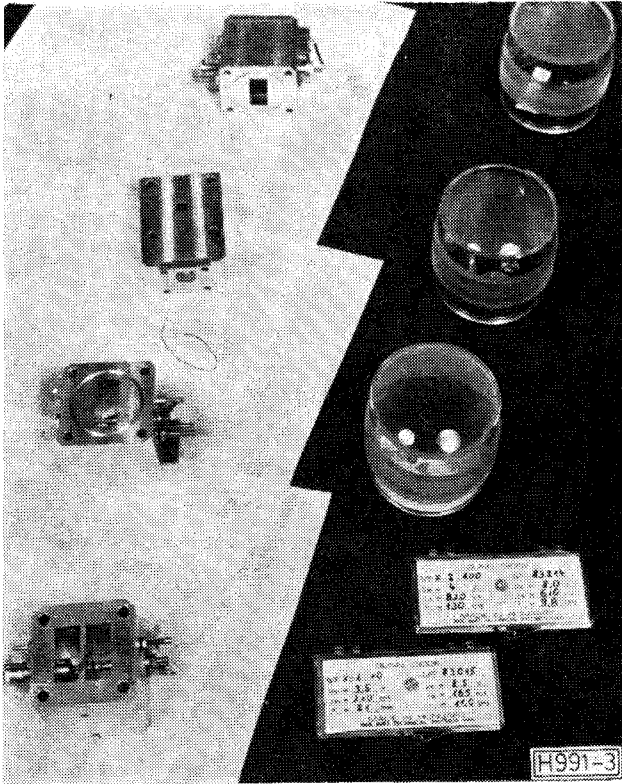


2. ábra. Fajlagos arzénkipárolgás galliumarzenidből AuGeNi összetételű fémkontaktus beötvözésekor és a mintán fellépő feszültségesés 1 mA áram áthaladásakor

[17] igazolták azt a felismerést, hogy jó minőségű diódákhoz a fém-félvezető közötti átmeneti ellenállásnak minél kisebbnek, jellegét tekintve ohmosnak kell lennie [18]. A tapasztalat szerint ennek létrejöttében döntő szerepet játszik a fém beötvözésének módja, az ötvözési hőmérséklet és a hőtartás időtartama. Vizsgálatainkat a leggyakrabban használt (AuGe+Ni) rendszerrel végeztük. Megállapítottuk, hogy  $490 \text{ }^\circ\text{C}$  körül ötvözött kontaktusoknak legkisebb az ellenállása, ha a hőtartás ideje  $1-2 \text{ s}$ -ot nem haladja meg. Hosszabb időtartamok és magasabb hőmérséklet esetén a kontaktus-ellenállás nő. A részletesebb vizsgálatok arra az eredményre vezettek, hogy ennek a jelenségnek a galliumarzenid bomlása az oka, melynek során a beötvöződő hőmérsékletén az arzén elpárolog, a visszamaradó gallium pedig különböző ötvözeteket képez a jelenlevő fémekkel [19]. Az elpárolgás tényét tömegspektrométeres vizsgálatokkal igazoltuk [20]. Más fémekkel (Ag, Sn, In) végzett hasonló méréseink során kiderült, hogy a galliumarzenid bomlása, amely jóval a termikus disszociáció hőmérséklete alatt következik be, olyan fémeknél lép fel, amelyek a galliummal ötvözetet képeznek. Ezek létrejöttéből befolyásolja az átmeneti ellenállás értékét. Azt is megállapítottuk, hogy arzén visszatáplálásával ez a folyamat visszafordítható. A 2. ábrán az arzén kipárolgás relatív mennyisége és a kontaktus ellenállás közötti összefüggés látható az Au-Ge-Ni rendszerre. A fém-félvezető rendszer egy másik problémája az ideális Schottky-záróréteg létrehozása. Az ideális viselkedést az

$$I = I_0 \left[ \exp \left( \frac{V}{nkT} \right) - 1 \right]$$

diódaképletben az  $n$  tényező méri, amelynek ideális esetben 1 az értéke, a reális rendszerekben azonban az  $1,2-1,3$ -at is meghaladhatja. Vizsgálataink szerint az  $n$  érték beállításában a felület kémiai előkészítése játsza a fő szerepet. A galliumarzenid felületén oxidáció következtében a két komponens oxidvegyületei képződnek, a galliumarzenid-oxidfázis határfelületén minden kémiai elvárással ellentétben elemi



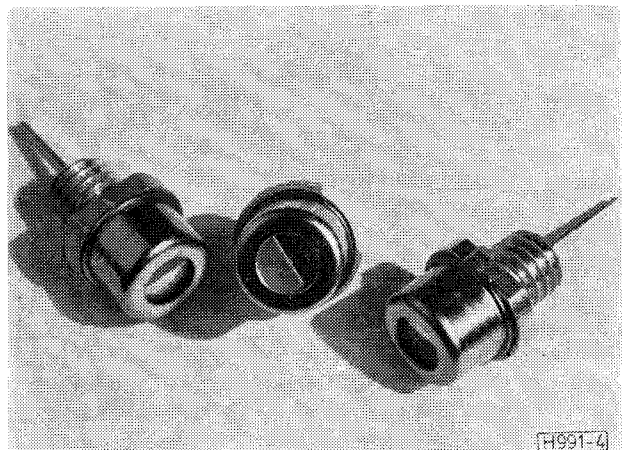
3. ábra. Gunn-diódák és mikrohullámú modulok

arzen válik ki. A gallium oxidációja több lépcsőben megy végbe, amelyek eltérő oldhatóságú termékeket eredményeznek [21].

Ez magyarázza a Schottky-záróréteg függését a felület előkészítésének módjától, de egyben útmutatást is ad az ideális erősen megközelítő átmenet létrehozására.

Ilyen típusú vizsgálatok alapján vált lehetővé definiált technológiai módszerek kidolgozása és a felhasználói követelményeknek megfelelő eszközök előállítása. A 3. ábrán az intézetben készített Gunn-diódák és a felhasználásukkal készített mikrohullámú modulok, a 4. ábrán pedig 0,85  $\mu\text{m}$  hullámhosszon sugárzó lézerciódák provizóriumok láthatók.

7. A termékfejlesztés szükségessé teszi minősítő-



4. ábra. 0,85  $\mu\text{m}$ -en sugárzó GaAs/GaAlAs lézerciódák

mérő módszerek kidolgozását, amennyiben azok nem szabványosak vagy nem hozzáférhetőek. Ilyen módszereket dolgoztunk Gunn- és Schottky-diódák gyors minősítésére [22, 23], fényemittáló eszközök fotometriai adatainak meghatározására [24].

A program eredményei nemcsak a hazai speciális felhasználók számára jelentenek támpontot, hanem a folytatás feltételeit is biztosítják. A távközlési technikában jelentkező új tendenciák mindenképpen indokolják, hogy a kutató-fejlesztő munkák ezen a területen folytatódjanak.

## I R O D A L O M

- [1] Szép Iván: A galliumarzenid alapú mikroelektronika perspektívái. Híradástechnika XXXI. évi. 1980. 5. sz. 161–168. o.
- [2] 165 295 sz. magyar szabadalom. Feltalálók: Lőrinczy A. és társai, 1974.
- [3] J. Pfeifer, L. Csontos, M. Gál: Acta Phys. Hung. 47, 45 (1979).
- [4] András A.-né és társai: GaAs alapú Gunn-diódák. Híradástechnika XXVIII. 2, 53–64. o. (1977).
- [5] András A.-né és társai: GaAs alapú Schottky-diódák kutatása. MFKI '77 évkönyv, 90–95. old. (1977); Szentpáli B., Tichy-Rács Á.: MFKI '79 évkönyv, 3–5. old. (1979).
- [6] T. Görög, E. Lendvay: Acta Phys. Hung. 47, 25 (1979).
- [7] L. Gutai, T. Görög: Acta Physica Hung. 44, 69–77. (1978).
- [8] Ferenczi Gy. és társai: MFKI '77 évkönyv, 96–98. (1977); Microelectronics '82 (Proc. 3rd. microelectronics Conf. Siófok, 1982. p. 231–232).
- [9] L. Á. Ledebó: Defect Complexes in Semiconductor Structures (Springer-Verlag, Lecture Notes in Physics No-175. p. 189 (Proceedings Mátrafüred, 1982).
- [10] L. Gutai: Acta Phys. Hung. 48, 119 (1980).
- [11] Sviszt Pál szóbeli közlése.
- [12] Pfeifer J. és munkatársai: MFKI '81 évkönyv, 43. old. (1981).
- [13] I. Gyúró, T. Görög: MFKI '80 évkönyv, 23. old. (1980).
- [14] T. Sebestyén: MFKI '78 évkönyv, 59. old. (1978).
- [15] B. Szentpáli: MFKI '78 évkönyv, 62. old. (1978).
- [16] Tóth A. L. és társai: MFKI '81 évkönyv, 49. old. (1981).
- [17] Mojzes I.: Phys. Stat. Solidi (a) 47, K 183. (1978).
- [18] L. Gutai, I. Mojzes: Appl. Phys. Letters, 26, 325 p. (1975).
- [19] I. Mojzes, T. Sebestyén, D. Szigethy: Solid State Electronics 25. 449–460 (1982).
- [20] D. Szigethy, I. Mojzes, T. Sebestyén: Int. J. Mass Spectrometry, 52 117 (1983).
- [21] M. Somogyi: Crystal Res. and Technol. 17 1129–1134 (1982).
- [22] K. Kazi, I. Mojzes és társai: Proc. 7th Colloquium on microwave communication, Budapest, 1982. Vol. 2. p. 799–802.
- [23] B. Szentpáli, Á. Tichy-Rács: Symp. Electronics Technology '83 Budapest, 1983, p. 367–370.
- [24] J. Schanda, M. Dányi: LED-photometry Proc. Symp. Light and Rad. Meas., Hajdúszoboszló, 1981 78–81. old.