

Diszlokációk és elektromos paraméterek korrelációjának vizsgálata félvezető eszközökben*

VÉRTESEY ANDRÁS—
LÉNÁRT TIROR
Híradástechnikai ipari
Kutató Intézet
PÁL EDIT
MTA Műszaki Fizikai
Kutató Intézet

A félvezetőeszköz-gyártás egyes technológiai lépései során (pl. epitaxiális rétegnövesztés, magas hőmérsékletű hőkezelés, diffúzió, ionimplantálás) sokféle rácshiba keletkezhet a félvezető egykristályban. A keletkező rácshibák kedvezőtlenül befolyásolhatják az eszközök fizikai tulajdonságait. A krisztallográfiai tökéletlenségek az eszközök meghibásodásának potenciális forrásai.

Számos kutató foglalkozott már eddig is a szilícium alapú félvezető eszközökben a technológiai lépések során keletkező különféle rácshibák röntgentopográfias vizsgálatával [1, 2, 3, 4, 5]. A röntgentopográfia segítségével, mivel a módszer roncsolásmentes, külön-külön nyomon követhető az egyes technológiai lépések rácshibakeltő és módosító hatása.

Munkánk során a magas hőmérsékletű hőkezelés és diffúzió által keltett rácshibák hatását vizsgáltuk az eszközök letörési és szivárgási paramétereire.

Kísérleti körülmények

A vizsgált minták a HIKI Félvezető Ágazatán készültek bipoláris planár technológiával. A röntgentopográfias vizsgálatokat az MTA MFKI Szerkezetkutató Főosztályán végeztük. A reflexiós felvételeket CuK_α sugárzással Berg—Barett és kétkristályos elrendezéssel; a transzmissziós felvételeket MoK_α sugárzással Lang geometriával készítettük. Az (111) orientációjú Si szeletekről a topogramok reflexiós esetben (511) és (422) reflexióval, transzmissziós esetben ($2\bar{2}0$) reflexióval készültek. Az elektromos méréseket a HIKI Félvezető Ágazatán végeztük.

Eredmények

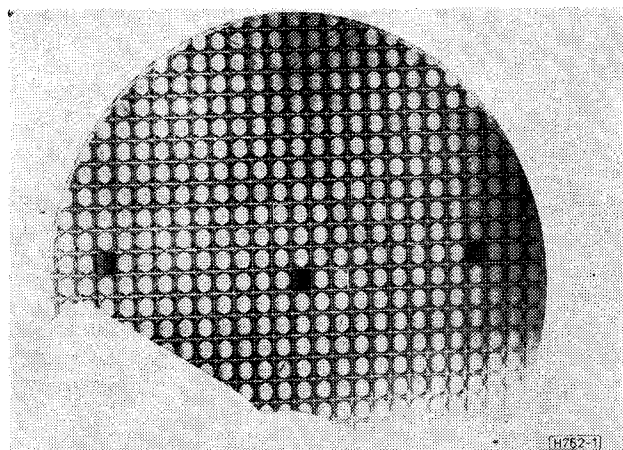
Több szelet esetén minden egyes kritikus technológiai művelet után röntgentopográfias felvételeket készítettünk. Ezek alapján megállapítottuk, hogy

* A TKI Ifjúsági Konferencián (1980. XI. 17.) elhangzott előadás alapján.

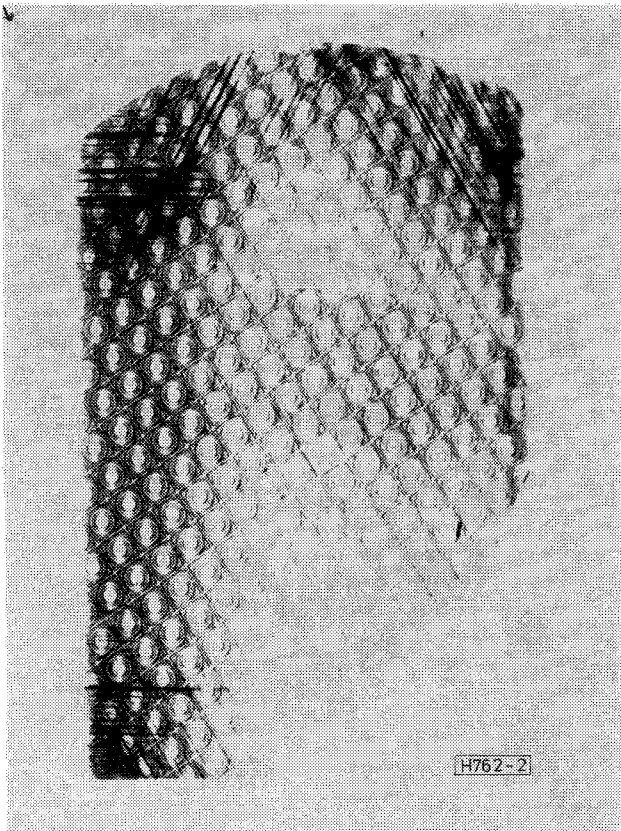
két esetben keletkeznek nagyobb számban diszlokációk, magas hőmérsékletű hőkezelés hatására és a szigetelő diffúzió során. A kétféle diszlokációrendszer teljesen más jellegű, és egymástól egyértelműen elkülöníthető.

A planár technológia sok lépése magas hőmérsékleten megy végbe. Már a legelső magas hőmérsékletű művelet hatására jellegzetes diszlokációs sorok alakulnak ki a szeletek nagy részénél. Ezen diszlokációs sorok a szeletek szélétől indulnak ki és a felülettel szöveget bezáró másik három {111} csúszósíkban fekszenek. Az ilyen jellegű rácshibák külső deformációk (helytelen szeletbefogás), valamint az egykristály növesztése során keletkezett és megmaradt belső feszültségek miatt jönnek létre a nagy hőmérsékletgradiens hatására. Az így kialakult diszlokációhálózat sűrűsége a további magas hőmérsékletű eljárások során nem változik meg számottevően, csak extrém esetekben (véletlen, durva mechanikai deformáció) [8].

Saját kísérleteink eredményeiből az 1. és a 2. ábrán kész planár eszközök transzmissziós, ill. reflexiós Berg—Barett topogramját mutatjuk be, amelyen jól



1. ábra. Vizsgáló tranzisztorokat tartalmazó szelet reflexiós topogramja



2. ábra. Az 1. ábrán látható szelet transzmissziós topogramja

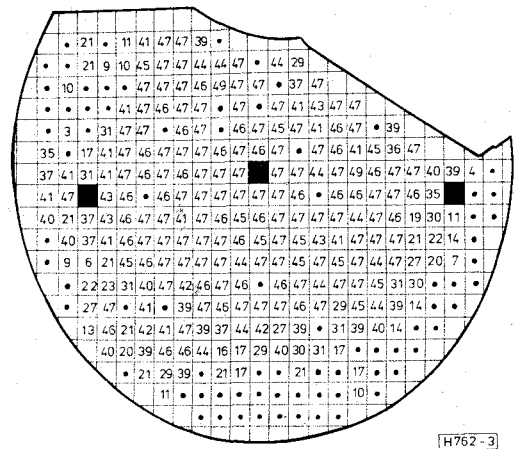
láthatók a szelet szélétől kiinduló sűrű diszlokációs sorok. A transzmissziós felvételen természetesen sokkal több diszlokáció látható, mert a kristály teljes térfogatáról ad információt, míg a reflexiós csak néhány mikrométer mélységről. A diszlokációk a szelet síkjával szöglet bezáró, másik három $\{111\}$ csúszósíkban fekszenek. A szeleten levő minden egyes tranzisztoron mértük a kollektor-szubsztrát, kollektor-bázis, kollektor-emitter és emitter-bázis átmenetek letörési feszültségeit. A 3. és 4. ábrákon a szelet elektromos térképeit mutatjuk be a kollektor-emitter, illetve kollektor-bázis letörési feszültségekre. Fel-tüntetjük az egyes feszültségek előírt értékeit és megjelöltük azokat a tranzisztorokat, amelyek ezeknek nem feleltek meg. A topogramok és az elektro-mos térképek összehasonlításakor megállapítható, hogy amennyiben a szelet szélétől kiinduló diszlokációk átmennek a tranzisztorok aktív tartományain, a legtöbb esetben zárlatot okoznak a kollektor-emitter, illetve a kollektor-bázis átmenet között, vagy jelentősen csökkentik a megfelelő letörési feszültségeket. Az emitter-bázis, valamint a kollektor-szubsztrát letörési feszültségeket ezek a diszlokációk nem befolyásolják.

A szigetelő diffúzió közismerten sok diszlokációt keltő technológiai lépés. Ennek hatását szintén kör alakú, nagy felületű tranzisztorokat tartalmazó szeleteken vizsgáltuk. A tranzisztorok sematikus keresztmetszeti rajza az 5. ábrán látható.

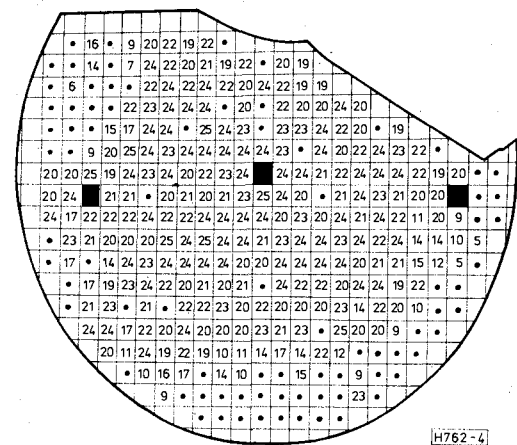
A szigetelő bőr-diffúzió bórnitridtárccsás eljárással készült oxidmaszkon keresztül, 1170 °C hőmérsékle-

ten. Az adalékolt szigetelő tartományokban észleltük a szakirodalomban közölt „misfit” diszlokációhálózat kialakulását [8]. A bőr-diffúzió ugyanis rácskontrakciót okoz az adalékolt rétegben, s ez mechanikai feszültséget kelt a rács adalékolt és adalékolatlan térfogata között. A feszültség enyhítésére alakul ki, a diffúzió hőmérsékletén, az említett „misfit” háló, amelyben a diszlokációk a felülettel párhuzamos (111) síkban fekszenek, $\langle 110 \rangle$ irányú ún. kevert diszlokációk, amelyeknek Burgers-vektora 60°-os szöglet zár be a diszlokációvonallal. A „misfit” diszlokációhálózat jól látható az 1. ábrán. Ez a fajta diszlokáció, mivel csak a szigetelő tartományokban fordul elő, a vizsgált tranzisztorok elektromos paramétereit nem befolyásolja.

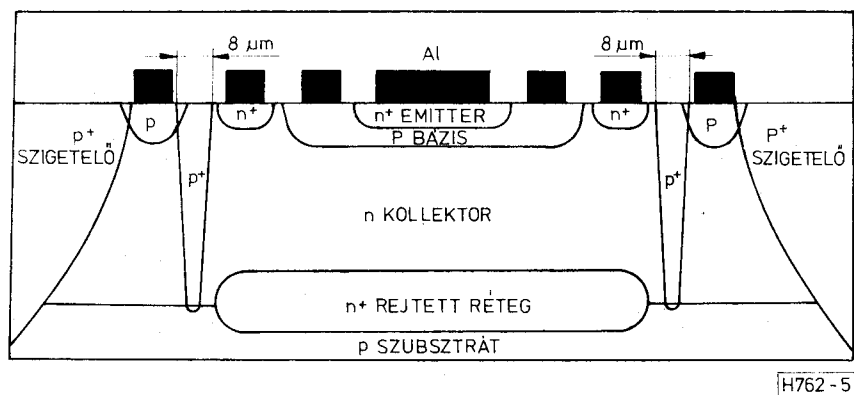
Mivel a további technológiai lépések a topográfias felvételek tanúsága szerint nagyobb számú diszlokációt nem keltettek, a későbbiekben a szigetelő diffúzió hatását vizsgáltuk megváltozott körülmények között. A bőr-diffúzió során nem fokozatosan, kis hőmérsékletgradiens mellett toltuk be a magas-



3. ábra. Az 1. ábrán látható szelet kollektor-bázis letörési feszültség térképe. A letörési feszültség előírt értéke 47 volt. A kis karikák szakadt vagy zárlatos tranzisztorokat jelentenek

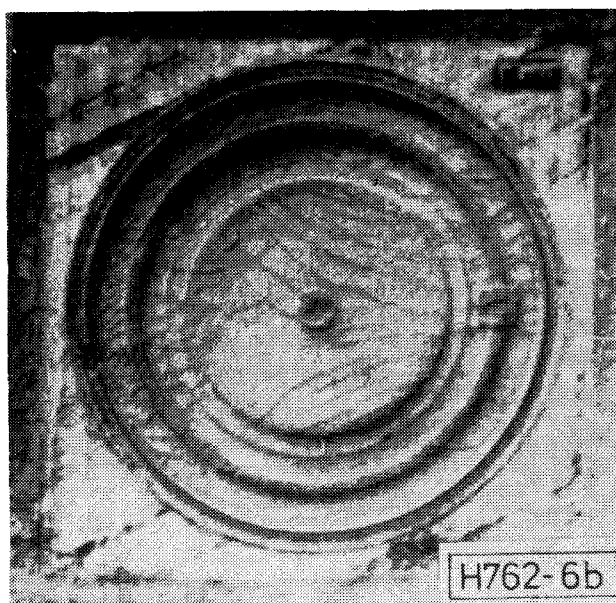
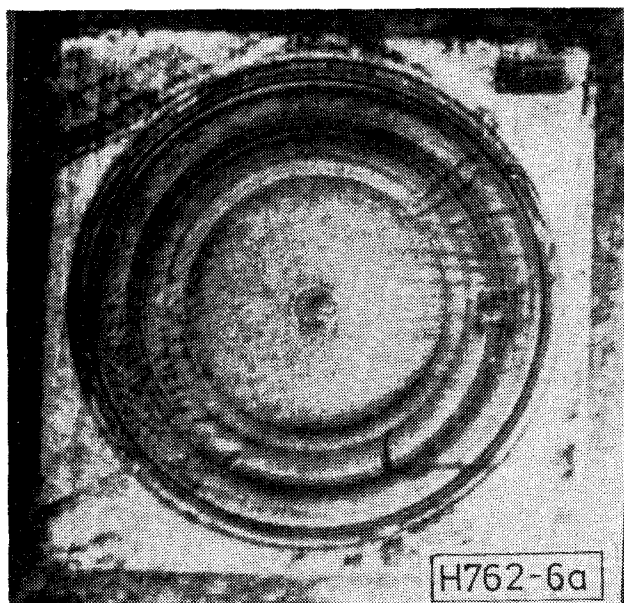


4. ábra. Az 1. ábrán látható szelet kollektor-emitter letörési feszültség térképe. A letörési feszültség előírt értéke 24 volt. A kis körök szakadt vagy zárlatos tranzisztorokat jelentenek



H762-5

5. ábra. A vizsgált tranzisztorok sematikus keresztmetszeti képe



6. ábra. Emitter-él típusú diszlokációk tranzisztorok reflexiós topogramján (a és b)

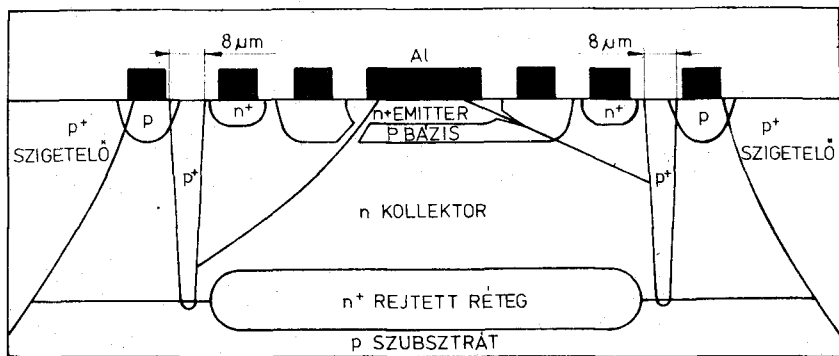
hőmérsékletű diffúziós kályhába és húztuk ki onnan, hanem hirtelen.

Topográfias felvételeink szerint az így végrehajtott bór-diffúzió hatására új, eddig még meg nem figyelt diszlokációk keletkeztek. Az új diszlokációk forrása a „chip”-eken belül levő $8 \mu\text{m}$ széles, körgyűrű alakú tartomány, amely szintén bór-diffúziót kapott (ld. 5. ábra). Ezek a diszlokációk olyan jellegűek, mint az ún. emitter-él típusú diszlokációk, amelyek elnevezése onnan ered, hogy ilyen jellegű diszlokációkat Si alapú félvezető eszközöknél először emitter-diffúzió után figyeltek meg az emitter-tartomány szélénél. Az általunk észlelt diszlokációk minden valószínűség szerint szintén a felülettel párhuzamos (111) síkokban fekszenek, különböző mélységeiben, és három fő típusát tudtuk azonosítani. A diszlokációk egy része (ezek a mélyebben fekvők) az (111) síkra merőleges (110) csúszósíkokban kicsúszik a felületre (a 6a ábrán jól láthatók a párhuzamos, rövid diszlokációk). Más részük követi az emitter-él típusú diszlokációk jellegzetes viselkedését, és félhurok-szerűen visszatér a körgyűrű alakú tartomány szélé-

hez az (111) síkban. A diszlokációk harmadik csoportja szintén szabályos emitter-él típusúnak indul, de mivel túl közel van a felülethez, és a felület a kedvezőbb diffúziós profilok kialakítása érdekében nem pontosan (111), hanem attól kb. 3° -kal el van orientálva, a diszlokációk, mielőtt ismét elérnék a körgyűrű alakú tartomány szélét, kifutnak a felületre (6b ábra).

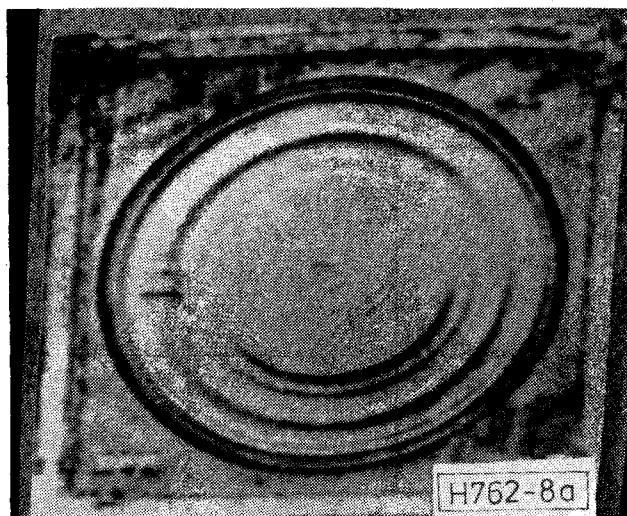
Az általunk észlelt, a gyors szeletmozgatással véghezvitt szigetelő diffúzió folyamán keletkező ún. emitter-él típusú diszlokációk közül a legtöbb át-megy a tranzisztorok későbbi aktív tartományain. Irodalmi adatok alapján az emitter-tartományban jelenlévő diszlokációk anomális diffúziót eredményezhetnek a nagy koncentrációjú foszfor emitter-diffúzió alatt [6]. Látható, hogy kísérleteink során is diffúziós pipák és nyulványok alakultak ki a bázis-tartományban a diszlokációvonalak mentén (7. ábra), és ha az aktív bázisstartomány elég vékony (pl. jelen esetben néhány tized μm), ez jelentősen le-ronthatja a tranzisztorok karakterisztikáit.

Mintánk esetében a technológiai folyamat a kü-

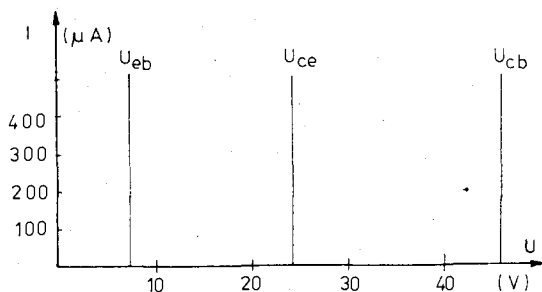


H762-7

7. ábra. Diffúziós pipák és nyúlványok kialakulása diszlokációk mentén

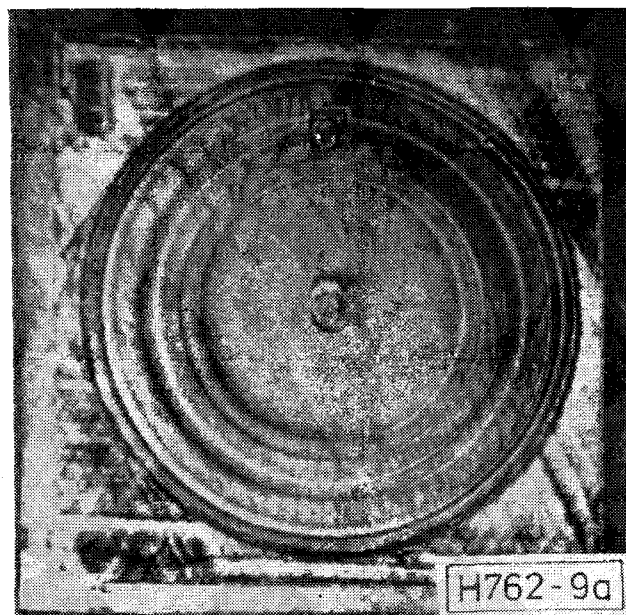


H762-8a

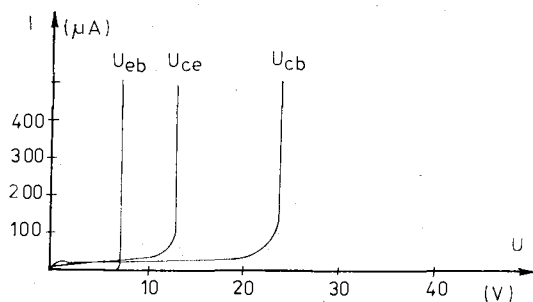


H762-8b

8. ábra. Szokásos technológiával készült tranzisztor kétkristályos topogramja és letörési karakterisztikái. A szelet hátoldali arany adalékolást kapott (a és b)



H762-9a



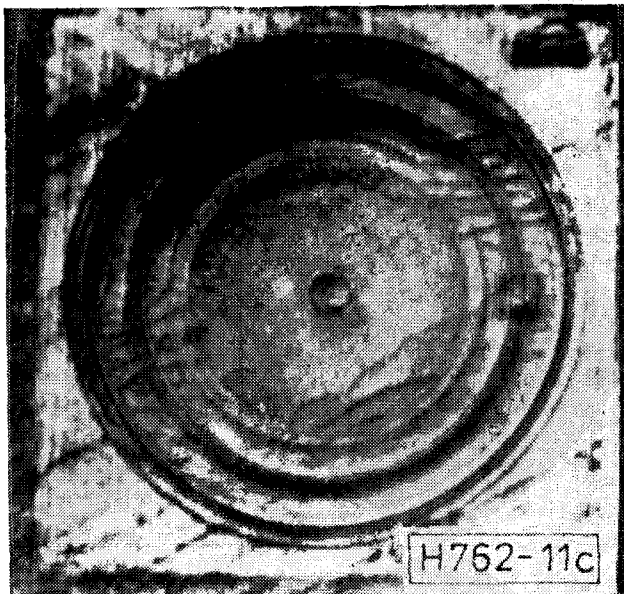
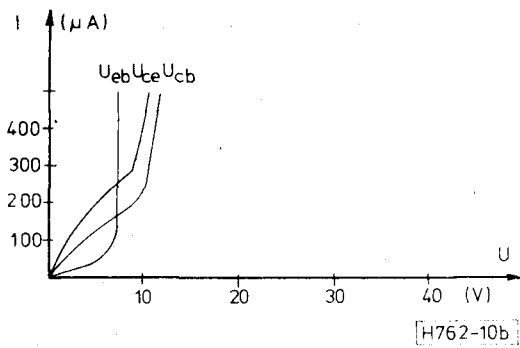
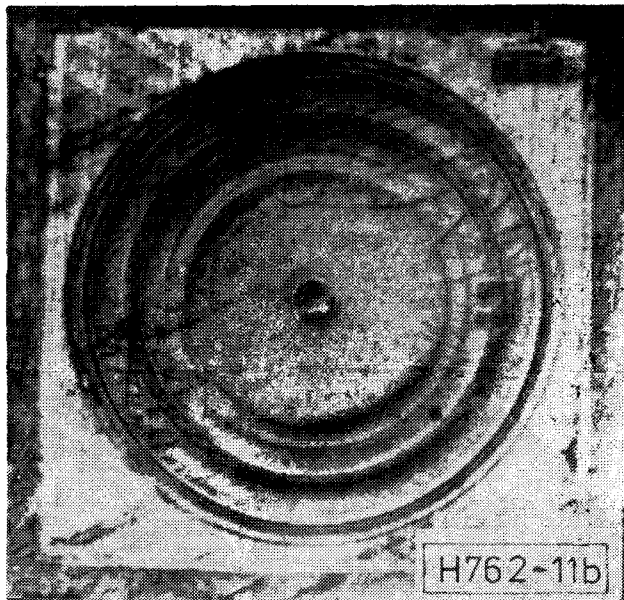
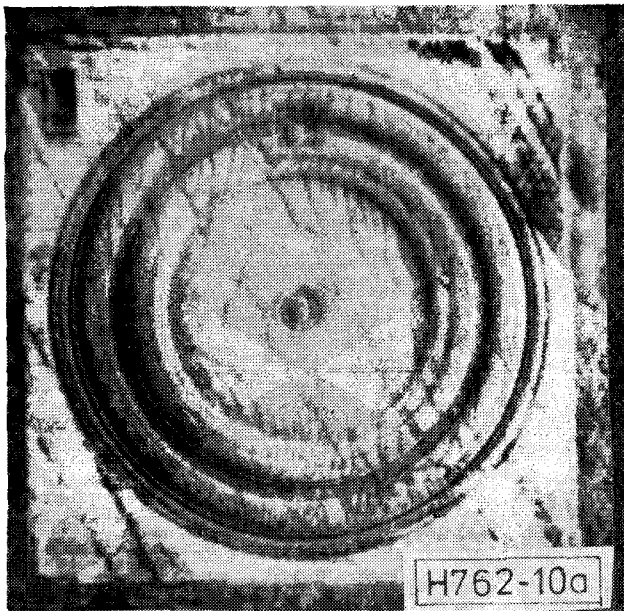
H762-9b

9. ábra. Forszírozott adalékolással készült tranzisztor topogramja és letörési karakterisztikái. A szelet hátoldali arany adalékolást nem kapott (a és b)

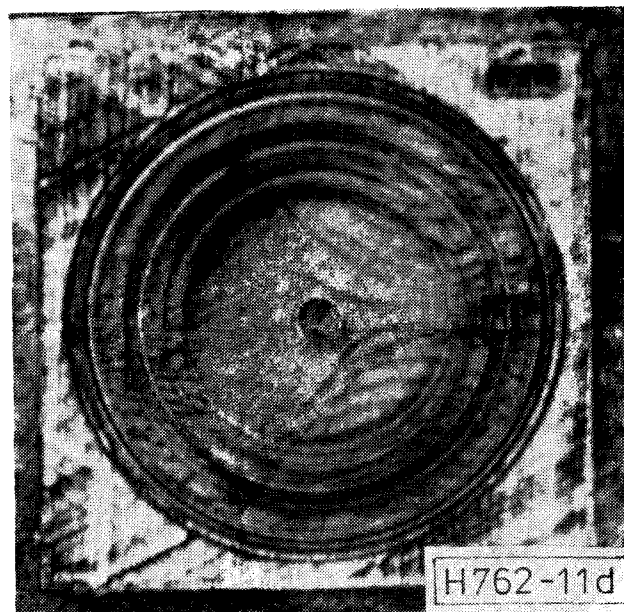
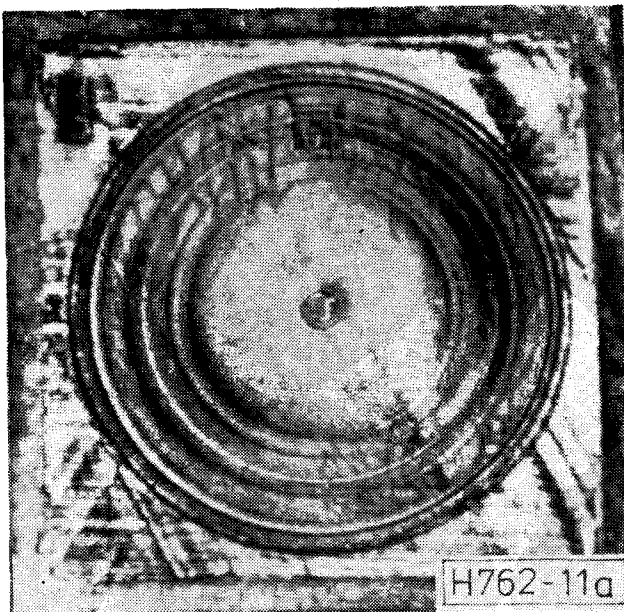
lönleges szigetelő diffúzió után a szokásos módon ment végbe, és a topográfias felvételek szerint új diszlokációkat most sem eredményezett.

Elektromos méréseink során a standard technológiával készült, valamint a bőr-diffúzió „forszírozásával”, módosított technológiával készült tranzisztorok letörési karakterisztikáit hasonlítottuk össze. A 8a és 8b, valamint a 9a és 9b ábrán egy szokásos módon készült tranzisztor topogramját (nagy felbontású, kétkristályos geometriában készült, hogy az aktív

tartományok diszlokációmentességét jobban megfigyelhessük) és letörési karakterisztikáit, valamint egy módosított technológiával készült tranzisztor topogramját és letörési karakterisztikáit mutatjuk be. Egyértelműen látható, hogy az aktív tartományban levő diszlokációk nemcsak a kollektor-bázis, kollektor-emitter és emitter-bázis letörési fe-



10. ábra. Forszírozott adalékolással készült tranzisztor topogramja és letörési karakterisztikái. A szelet hátoldali arany adalékolást kapott (a és b)



11. ábra. Forszírozott adalékolással készült tranzisztorok reflexiós topogramjai (a, b, c és d)

szültségeket csökkentik jelentősen, hanem a megfelelő karakterisztikákat is „lágyabbá” (soft) teszik, amit a diffúziós pipák kialakulásának tulajdoníthatunk.

Néhány, a módosított technológiával készült szelet hátoldalán arany adalékolást alkalmaztunk. Ez eléggé gyakori technológiai eljárás a kapcsolási idő javítására. A letörési karakterisztikák tovább torzulnak és jelentősen megnöttek a szivárgási áramok (10a és 10b ábra), ami azt bizonyítja, hogy a diszlokációk környezetében az arany feldúsult, és így a diszlokációk elektromosan aktívvá váltak.

A már publikált eredményeinket [7] kiegészítve kvantitatíve is vizsgáltuk a korrelációt az ilyen módon az emitter-tartományban létrejövő diszlokációk és egy fontos tranzisztor paraméter, az emitter-bázis átmenet szivárgási árama között. A 11. ábrán 4 tranzisztor Berg–Barett topogramját mutatjuk be. A tranzisztorokhoz tartozó adatokat az 1. táblázat tartalmazza, amelyben összevetettük a tranzisztor emitter-bázis szivárgási áramának 5 V-nál mért értékét az emitter-tartományban levő diszlokációsűrűséggel és átlagos diszlokációhosszal. A táblázatból jól látszik a diszlokációk hatása a visszarámra.

Összefoglalás

Eddigi vizsgálatainkkal megmutattuk, hogy milyen következményekkel járhatnak a félvezető eszközök elektromos paramétereire a mechanikai feszültségek és hőmérséklet-gradiens hatására keletkező diszlokációk. Azt észleltük, hogy a gyors szeletmozgatás hatásának tulajdonítható és a „forszírozott” szigetelő diffúzió esetén létrejövő ún. emitter-él típusú, ill. az (111) síkokban fekvő diszlokációk hatására diffúziós pipák alakulhatnak ki, amelyek zárlatot

Mintaszám	Diszlokációsűrűség az emitter-tartományban $\frac{\text{vonal}}{\text{cm}^2}$	Átlagos diszlokációhossz az emitter-tartományban μm	Emitter-bázis szivárgási áram 5 V-nál μA
1	4000	50	0,6
2	5800	90	2
3	6000	240	260
4	8200	270	400
5	8000	330	420

okozhatnak a p-n átmenetekben. A rácshibák hatására csökkennek a letörési feszültségek és megnönek a szivárgási áramok.

Bár kísérleteinket extrém technológiai körülmények között folytattuk le, teljes valószínűséggel feltehető, hogy ha korlátozott mértékben is, de hasonló típusú diszlokációk keletkezése várható minden nagy adalékkoncentrációjú diffúzióval.

I R O D A L O M

- [1] G. H. Schwuttker, K. Brack, E. W. Hearn: Microelectronics and Reliability 10, pp. 467–470 (1971)
- [2] J. E. Lawrence: J. Electrochem. Soc. 115, pp. 860–865 (1968)
- [3] H. J. Leamt et al.: Appl. Phys. Lett. 27, pp. 313–315, (1975)
- [4] E. D. Jungbluth, P. Wang: J. Appl. Phys. 36, pp. 1967–1973 (1965)
- [5] M. Yoshida, H. Harata, Y. Teranuma: Jpn. J. Appl. Phys. 7, pp. 209–219 (1968)
- [6] G. H. Plantinga: IEEE Trans. Electron. Devices ED-16, pp. 394–400 (1969)
- [7] E. Pál, A. Vértesy, F. Bereczkei: Acta Cryst. A34, Part S4 pp. 279
- [8] G. H. Schwuttker: Semiconductor Junction Properties as Influenced by crystallographic Imperfections IBM Scientific Report No. 2 August 1967