

# Belső getterezés a Si-szelettechnológiában

SZELŐCZEI LÁSZLÓ\*—RÉTI SÁNDOR\*—DR. KORMÁNY TERÉZ\*\*

\*Mikroelektronikai Vállalat

\*\*Budapesti Műszaki Egyetem



## ÖSSZEFOGLALÁS

A technológiai folyamat során indukálódó kristályhibák és a nemkívánatos szennyezők koncentrációjának csökkentésére több getterezési eljárás is alkalmazható. A 70-es évek végén publikált belső getterezés előnye, hogy a Si-egy kristály ponthibáinak tudatos befolyásolásával érhető el a kívánt hatás. A cikkben ismertetjük az eljárást, befolyásoló paramétereit, valamint a belső getterezés hatását a szeletgörbületre, ill. a pn-átmenetek szivárgási áramának csökkenésére.

## 1. Bevezetés

A 80-as években az áramkörök integráltsági fokának növekedése, azaz a VLSI — („very large scale integration”) sőt az ULSI („Ultra large scale integration”) — bonyolultságú áramkörök megjelenése és általános elterjedése szükségessé tette, hogy részletesen tanulmányozzák az alapanyag, a Si-egy kristály fizikai és kémiai jellemzőit, összefüggéseket találjanak az alapanyag-tulajdonságok — főleg a ponthibák —, valamint az áramkörök elektromos paramétereit között, mindezek alapján pedig csökkentsék a technológiai folyamatokban mindig indukálódó kristályhibák koncentrációját és méretét.

1976-ban Rozgonyi és munkatársai [1], majd 1977-ben TAN [2] ismertették elsőként az ún. belső („intrinsic”) getterezést, azaz egy olyan több lépéses hőkezelési eljárást, amely a Si-egy kristályokban levő intersticiális oxigénatomok precipitálódása révén akadályozza meg, hogy a kristályhibák a szilícium kristály felületközeléi rétegében — azaz ott, ahol az áramkört létrehozunk — keletkezzenek. Az azóta eltelt időszakban számos közlemény (pl. 3—8) foglalkozott ezzel a kérdéssel és 1985-ben megrendezték az első nemzetközi getterezési őszi iskolát és szimpóziumot is. [9]

Vizsgálataink során arra a kérdésre kívántunk választ kapni, hogy a belső getterezést előidéző több lépéses hőkezelés milyen szeletgörbületet eredményez, milyen szerepe van a hőkezelési atmoszférának, milyen mértékben csökkenthető belső getterezéssel egy adott technológiával előállított integrált áramkörben a pn-átmenetek szivárgási árama.

## 2. A technológia folyamatban indukálódó kristályhibák és getterezésük

A félvezető eszközök előállításához napjainkban 75%-ban CZ-Si egy kristályt használnak fel. Ezeket a szeleteket általánosan jellemzi, hogy

## DR. KORMÁNY TERÉZ

Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett vegyész oklevelet. 1958—1982 között a Távközlési Kutató Intézetben dolgozott. 1982 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén docens. Puskás Tivadar-, Pollák—Virág- és MTESZ-díjas. A HTE elnökségi tagja, a MTESZ V. B. tagja, részt

vesz több MTESZ egyesület munkájában. Kutatási területe az elektronikus anyagok vizsgálata és a mikroelektronikai technológia. Vendégkutatóként dolgozott Bécsben a Műszaki Egyetemen, Berlinben és Stuttgartban a Max Planck Intézetben és Novoszibirszkben a Félvezető Fizikai, valamint Szeretlen Kémiai Intézetekben.

- diszlokációmentesek;
- kristályhibaként csak ponthibákat (vakanciákat, intersticiális oxigént, intersticiális Si-t, szubsztitúciós szenet, fémszennyezőket) tartalmaznak;
- a radiális ellenállás eloszlás %-os változása jól definiált, általában nem lépi túl a 2—15%-ot;
- a szeletek vastagságszórása, párhuzamossága, görbülete, felületi simasága és hullámossága pontosan megadott kritikus értékeknek felel meg.

Pontos összefüggések jelenleg nem ismertek a ponthibák, geometriai hibák és a radiális ellenállásszórás áramkörök kihozatalára gyakorolt hatásáról, de általánosan megállapítható, hogy

a szilícium szelet görbülete a ráépített struktúrák végzetes meghibásodását okozhatja a fotolitográfiai művelet során (rövidzár a fém összekötetések között, kontaktusablakok elzáródása stb. révén);

a Si-egy kristály oxigén szennyeződése által generált termikus donorok ellenállásváltozást okozva megnövelik a MOS tranzisztorok küszöb feszültségét;

- a fémszennyezők feldúsulása letörési feszültség növekedést, megnövekedett visszáramot okozhat.

A Si-ban a fent említett ponthibákon kívül előfordulhatnak eme hibák komplexei is, az úgynevezett swirl-hibák, valamint rugalmas maradékfeszültségek is felépíthetnek.

A ponthibák ismerete alapvető fontosságú azért is, mert a technológiai folyamatok során egymással kölcsönhatásba lépve, előidézőivé válnak az úgynevezett „technológiai folyamat indukálta kristályhibáknak”, azaz ponthiba komplexek, mélynívók, diszlokációk és a kristályhibákon kiváló fém-, illetve adalékprecipitátumok keletkezhetnek. E hibák elektromos aktivitása eltérő, de befolyásolják a Si anyagparamétereit (vezetőképesség, élettartam, mozgékonyosság) és a szeleten kialakított áramkörök funkcionális paramétereit (küszöb feszültség-eltolódás, nagy visszáram). A fo-

Beérkezett: 1986. I. 28. (A)

lyamatindukálta hibák az alábbi okokra vezethetők vissza:

- magas hőmérsékletű technológiai folyamatok és sorrendjük;
- a struktúra geometriája (azaz az áramkör layout);
- az adalékolás módja;
- a Si-ban levő ponthibák, különösen az O és a C.

Napjainkban a VLSI technológiákban már olyan nagyszámú folyamatlépést használnak, hogy a folyamatok során indukálódott hibák — getterezés hiányában — a gyártott eszközök működésképtelenségét is okozhatják.

A getterezés a „folyamat-indukálta hibák” megszüntetésére, illetve csökkentésére szolgáló, az eszköz előállítás technológiájába beépített folyamat. A getterezési eljárás ezenkívül alkalmas arra is, hogy a kiindulási Si-egykristályszelet minőségét javítsa és ezzel a gyártott eszköz paramétereit is.

A getterezés általában igyekszik vagy eltávolítani a nem kívánt szennyezőket a szelet inaktív részébe, ahol csapdába befogódnak, vagy a rácshibák keletkezését megakadályozni a göcképződési helyeik kiküszöbölésével. Néhány esetben jótékony hatású lehet az eljárás mindkét szempontból is. Az ismertebb eljárások a következők:

- Mechanikai roncsolás a hátoldalon;
- Ionimplantációs (nemesgázionok) hibagenerálás a szelet hátoldalán;
- Lézersugaras hátoldal megmunkálás;
- Foszfordiffúzió a szelet hátoldalába;
- Rétegekialakítás (poli-Si Si-nitrid, foszforüveg stb.) a szelet hátoldalán, ritkábban előoldalán;
- Oxidáció klórtartalmú atmoszférában;
- Belső („intrinsic”) getterezés.

### 3. A belső (intrinsic) getterezés

Az intrinsic getterezési eljárás speciális tulajdonságú, mivel ennél a technológiai lépésnél a getterezési akció a szelet belsejében és nem a felszín közelében játszódik le. Az eljárás hőkezelésekből áll. Nagy előnye, hogy a Czochralsky-eljárással növesztett Si-ban mindig jelenlevő oxigént használja fel göcképzésre, és az így keletkezett göcök kötik meg a szelet belsejében a hőkezelési lépések során a Si egykristályba került szennyezőket, akadályozzák meg a kristályhibák mozgását. Ezek a göcök a felszín alatt 30-50  $\mu\text{m}$  mélyen alakítandók ki, így a felszín közeli réteg, az eszközök aktív tartománya precipitátum és rácshiba szegény lesz. Ezt a 30—50  $\mu\text{m}$ -es réteget hívják „denuded” zónának. Az ezzel az eljárással kezelt szelet sematikus képe az 1. ábrán látható. Az eszköz aktív tartománya a „denuded” zónába esik, amely zóna meglehetősen jól közelíti az ideális Si kristályszerkezetét, így az ebben a tartományban kialakított áramkörök elektromos és egyéb paramétereit jól fogják közelíteni az elméleti úton számított értékeket. Az eljárás másik előnye, hogy az eszközgyártásban amúgy is vannak magas hőmérsékletű műveletek (diffúzió, oxidáció) és a getterezési művelet így nem jelent szükségszerűen újabb folyamatlépést, csak többlet hőkezelést az oxidáció, diffúzió előtt magában a kályhában.



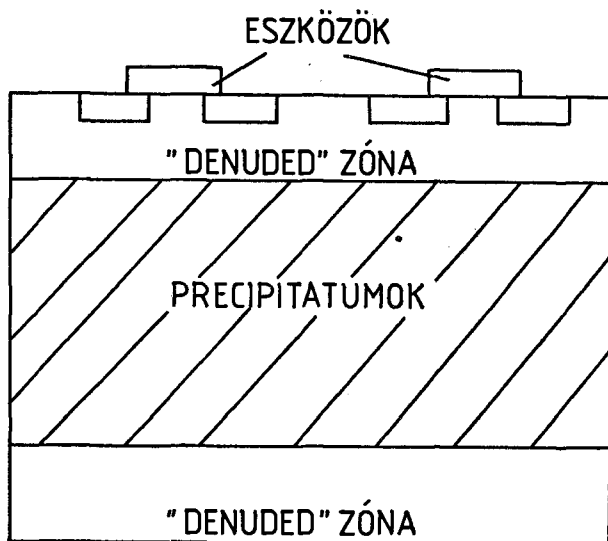
SZELŐCZEI LÁSZLÓ

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet 1984-ben. 1984 szeptemberétől a Mikroelektronikai Vállalat Elemfejlesztési és Kísérleti Gyártási főosztályán fejlesztőmérnök, miközben a Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékén kétéves nappali szakmérnökképzésben vesz részt. A HTE tagja.



RÉTI SÁNDOR

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet 1984-ben. 1984 szeptemberétől a Mikroelektronikai Vállalat BOÁK osztályán fejlesztőmérnök. A HTE tagja.



H 157-1

1. ábra. Si-egykristályszeletekben belső getterezés hatására kialakuló zónák (vázlat)

Az eljárás hátránya, hogy a túl nagy oxigén precipitátumok ridegbbé teszik a szeletet és ez vetemedéshez, a szelet meggörbüléséhez vezethet. Másik hátrány, hogy a különböző minőségű szeletekhez (különböző oxigén és szén koncentráció, különböző termikus előélet stb.) más és más getterezési eljárás kell, bizonyos oxigén koncentráció alatt pedig a göcképződés végbe se megy.

### 3. Belső getterezési kísérletek

#### 3.1. A felhasznált Si szeletek jellemzői

Technológiai kísérleteket végeztünk az intrinsic getterezés előnyös és hátrányos következményeinek meg-

Belső getterezési kísérletekbe bevont Si-egy kristállyszeletek jellemzői

Si-kristály-sordzat jelzése	Típus	Adalék	Fajl. ell. $\Omega$ cm	Vastagság $\mu$ m	Orientáció	$[O_2]$ $10^{17}$ Atom $cm^{-3}$	Kr. hibák
L22	n	p	4,5	390	111	7,6	diszlokációmentes
L76N	n	p	1,8	457	100	5,9	diszlokációmentes
L15C	n	p	6,6	395	111	8,3	diszlokációmentes
05/27	n	p	3,7	510	100	6,2	diszlokációmentes
30	n	p	3,2	508	100	8,0	diszlokációmentes
A23	p	B	5,8	457	100	5,4	diszlokációmentes
S2	p	B	3,9	457	100	10,4	diszlokációmentes

állapítására. Vizsgáltuk a getterezett szeleteken kialakított áramkörök esetében a szivárgási áram csökkenését, összehasonlítva a getterezetlen szeleten levő áramkörök megfelelő paramétereivel. Egyidejűleg ellenőriztük a különböző termikus előéletű Si-szeleteken a belső getterezés hatására bekövetkező szeletgörbület megnövekedését is. A vizsgálatokhoz használt szeletek jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

### 3.2. Az alkalmazott hőciklus és gázatmoszféra

Az előkísérletek során — a getterezési hatások szempontjából — a nitrogén atmoszférában végzett hőkezelést találtuk optimálisnak, ezért a továbbiakban ezt alkalmaztuk. A hőkezelések sorrendje az előkísérletekhez alapozva 1100—800—1100 °C volt, mivel ez lehetővé tette a kívánt vastagságú „denuded” zóna kialakulását.

Az első magas hőmérsékletű lépésben az oxigén kidiffundál a felszín közeli tartományokból a levegőbe. Ez a lépés egyfajta homogenizáló hőkezelés is, mivel a különböző termikus előéletű szeletekben a befagyott hibák kiolvadnak, és a lehűtés során az együtt kezelt szeletekben hasonló hibastruktúrák alakulnak ki.

A második, alacsonyabb hőmérsékletű hőkezelési lépés kialakítja azokat a mikrohibákat, vagy más néven precipitátum-diszlokáció góccokat, amelyek csapdázák a szeletbe bejutott szennyezőket.

A harmadik, ismét magas hőmérsékletű hőkezelés során a már kialakult precipitátumok tovább növekednek és így megnő a hibák getterező képessége.

## 4. A belső getterezés szeletgörbületét és elektromos paramétereit befolyásoló hatása

### 4.1. Szeletgörbület

A görbület megváltozását vizsgáló kísérleteinkhez a rendelkezésre álló Si-szeletekből az alapállapotban lehetőleg minimális görbületű szeleteket választottuk. (1. 2. ábra) A görbületméréshez Taylor—Hobson gyártmányú Talystep berendezést használtunk. Görbület méréskor a Si-szeletet csiszolt üvegorongra fektettük. A Talystep tuját a szelet közepére állítva, az ekkor leolvasott vastagsáérték az alapszint, amelyhez képest később a szelet mozgatható vastagság pozitív vagy negatív irányban eltér attól függően, hogy homorú, vagy domború a szelet. A szeletet a flattel párhuzamos és a flatre merőleges irányban is mozgattuk. Ezután felülről nyomást gyakoroltunk a szeletre, miközben a tű középen állt. Így a nyomás

Szelet azonosító	Flatre merőleges profil	Kitérés nyomásmérőkor ( $\mu$ m)	Flattel párhuzamos profil
L22		$\uparrow$ 13 $\downarrow$ 5	
L15C		$\uparrow$ 11 $\downarrow$ 8	
0 5/27		$\uparrow$ 5 $\downarrow$ 10	
A23		$\uparrow$ 2 $\downarrow$ 14	
S2		$\uparrow$ 12 $\downarrow$ 4	
30		$\uparrow$ 4 $\downarrow$ 8	

$\downarrow$  — fényes oldalon nyomva

$\uparrow$  — matt oldalon nyomva

H157-2

2. ábra. Si-egy kristállyszeletek görbülete alapállapotban

hatására a szelet teljesen az üveglapra simult s a Talystep kitérése mutatta a görbület jellegét. A mérést a szelet mindkét oldalán elvégeztük. A megnyomásnál vigyázni kellett, hogy ne maradjon légpárna a szelet és az üveglap között, mivel az meghamisította volna a mérést. Ez könnyen elkerülhető, ha a felület, amire a szeletet felfektetjük sima, de bordázott. Így a légpárna nem tud kialakulni, hisz a levegő akadálytalanul távozhat a szelet alól.

A kiindulási és a hőkezelések után mért profilokat összehasonlítva megállapítottuk, hogy a görbület mértéke minden egyes szeletnél — amint az várható volt — növekedett, de az egyes hőkezelési lépések után nem azonos mértékben. Az első, 1100 °C-os hőkezelés után végzett görbületmérések tanúsága szerint a profilok általában keveset változtak a kiinduláshoz képest, ez az eltérés a fotolitográfiai lépést még nem befolyásoló mérvű. Az enyhe görbületváltozás valószínűleg a már megindult precipitátum képződés eredménye.

A következő alacsony hőmérsékletű hőkezelés során alakultak ki nagy számban a szennyezők megkötésére alkalmas precipitátum-diszlokáció góccok és jelentőssé vált a szeletgörbület is. A harmadik hőkezelés során

Szelet azonosító	Flatre merőleges profil.	Kitérés nyomdászkor [μm]	Flatrel párhuzamos profil
L 22		↑ 12,4 ↓ 1	
0 5/27		↑ 9 ↓ 10,4	
A23		↑ 12 ↓ 12	
S2		↑ 13,5 ↓ 4	
30		↑ 15 ↓ 2,5	

↓ — fényes oldalon nyomva

↑ — matt oldalon nyomva

H157-3

3. ábra. Si-egykristályszeletek görbülete háromlépéses belső getterezési hőkezelés után

a már kialakult göcök méretei növekedtek és kialakult a végleges görbület (1. 3. ábra).

A precipitátumok görbületet okozó hatása méretükkel függ össze. Ezek a hibakomplexek néhány μm-es nagyságúak, a getterezés eredményeképpen nagy számban keletkeznek a kristályrácsban és feszítik azt. E hatás eredményezi a makroszkopikus változást, azaz a szelet deformálódását. A változás mértéke, különösen ha összehasonlítjuk az intersticiális oxigéntartalom változását is (1. 2. táblázat) nem teljesen egyértelmű. Az intersticiális oxigéntartalom változás (csökkenés) tudvalevőleg a precipitálódás mértékére utal. Maximális csökkenéséhez (pl. L15C-nél) valóban a legnagyobb mérvű getterezés indukálta görbület tartozott, de az S2 mintánál bár érzékelhető módon csökkent az  $[O_i]$  koncentráció, mégis alig változott a görbület. Ez összefügg azzal, hogy a szeletek termikus előléte nem volt egyforma, és a szubsztitúciós szénkoncentrációkat nem vettük figyelembe.

#### 4.2. Szivárgási áram

A belső getterezés pn-átmenetek szivárgási áramát befolyásoló szerepének tisztázására belső getterezéssel és anélkül p-csatornás MOS áramköröket készítettünk. A belső getterezési hőkezeléseket azonban ellenőrzésben a görbületvizsgálattal,  $O_2$  gázáramban hajtottuk

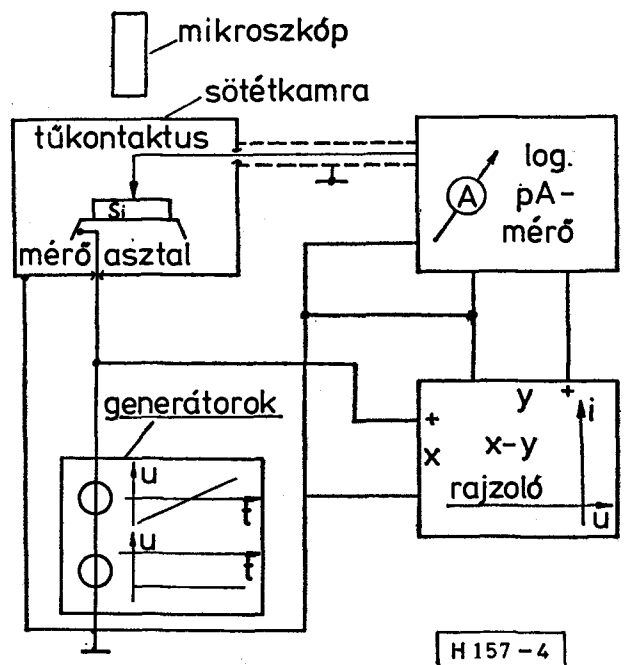
vége — a hőmérsékleti sorrend szintén 1100—800—1100 °C volt — azért, hogy az integrált áramkörök előállításának első lépését a téroxid növesztést, a getterezéssel együtt elvégezhessük. A háromlépéses hőkezelés hatására a kialakult oxidréteg vastagsága „Talystep”-pel mérve 490 nm lett, ami megfelelt a BME EET laboratóriumában alkalmazott getterezés nélküli, ún. hallgatói p-csatornás MOS technológia téroxidjának. A hőkezelések után az L76N jelzésű sorozatból, amelynek szubsztitúciós szénkoncentrációja  $1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  volt, getterezett és getterezetlen szeleteken párhuzamosan állítottunk elő p-MOS integrált áramköröket, melyek két négybemenetű NOR kaput és négy MOS tranzisztort tartalmaztak. Darabolást és tokozást nem végeztünk, hiszen a visszaramokat — a szubsztrát és valamely diffúziós terület, mint dióda, záróirányú áramát — a szeleten is meg tudtuk mérni.

A visszaram méréseket a Mikroelektronikai Vállalat Fóti úti üzemében végeztük a 4. ábra szerinti mérési összeállításban — 25 V előfeszítés mellett.

A mérések eredményét getterezetlen szelet esetében az 5. ábra, míg getterezett szelet esetében pedig a 6. ábra tartalmazza.

Az ábrákon minden négyszög egy chip visszaramának nagyságrendjét jelzi.

A két visszaram-térkép összevetéséből megállapíthatjuk, hogy a getterezett szeleten (6. ábra) a vissz-

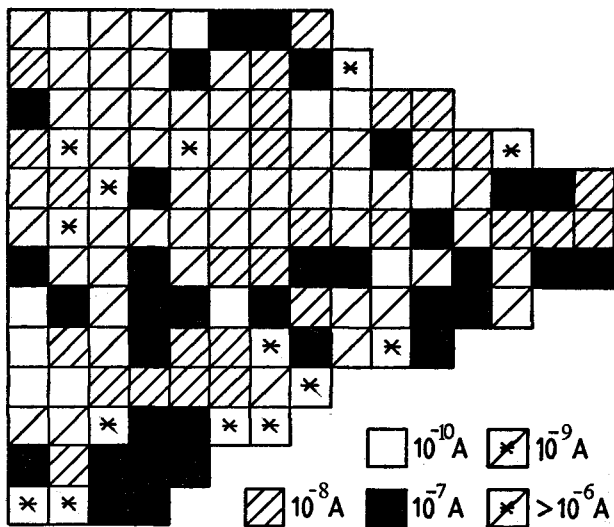


4. ábra. Visszaraméréshez alkalmazott mérési elrendezés

Intersticiális oxigénkoncentráció és görbületváltozás belső getterezés hatására

2. táblázat

Si-kristálysorozat jelzése	típus	orientáció	$O_i, 10^{17} \text{ cm}^{-3}$		Görbület μm			
			alapállapot	belső getterezés után	alapállapot		belső getterezés után	
L22	n	(100)	5,9	5,3	↑13	↓5	↑12,4	↓1
05/27	n	(100)	6,2	5,7	↑5	↓10	↑9	↓10,4
30	n	(100)	8,0	7,6	↑4	↓6	↑15	↓2,5
L15C	n	(111)	8,3	6,0	↑11	↓8	↑20	↓15
A23	p	(100)	5,4	5,3	↑2	↓14	↑12	↓12
S2	p	(100)	10,4	9,0	↑12	↓4	↑13	↓4



H157-5

5. ábra. Visszámterkép belső getterezés nélkül készített p-MOS IC-ről

áram értékek hozzávetőleg egy nagyságrenddel kisebbek, mint a getterezetlen szeleten (5. ábra).

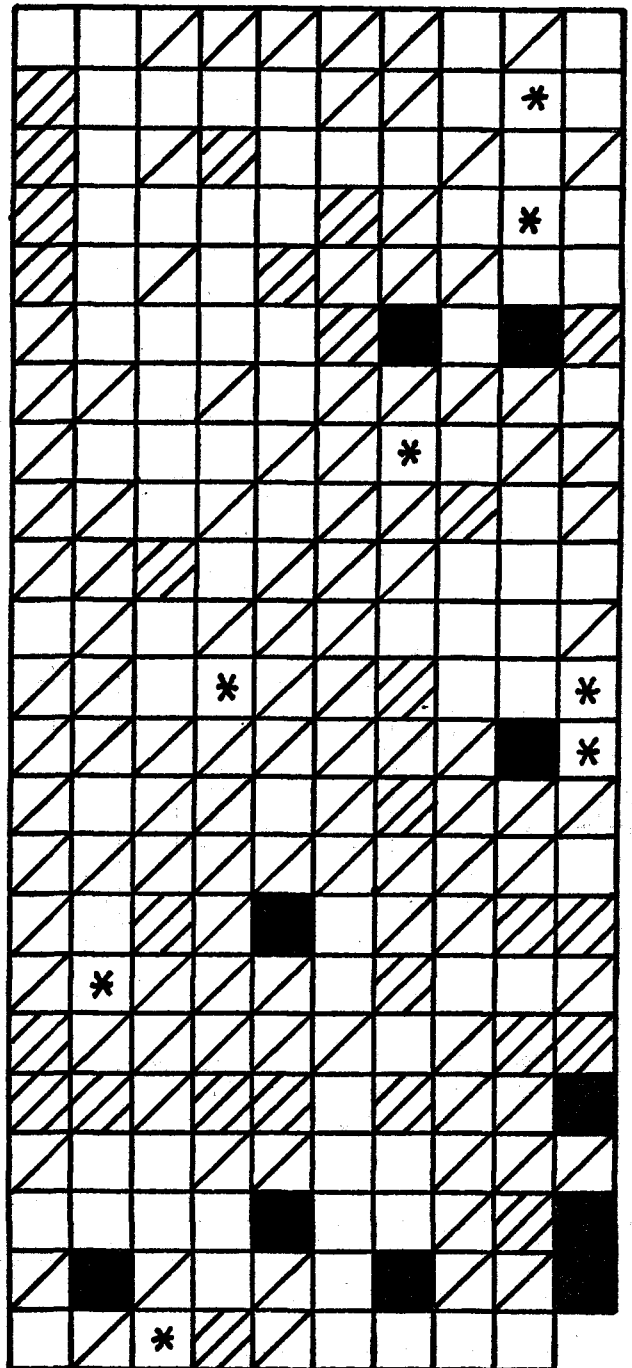
A háromlépéses hőkezelést kapott szeletekben az O-precipitumok kialakulását az infravörös spektroszkópiai mérés [O<sub>2</sub>]-koncentráció csökkenése, a kezdeti  $7,6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ -ról  $7,0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ -ra, ill.  $8,4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ -ról  $6,3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ -ra, valamint a szeletek merőleges metszelen preferenciális maratás után azonosított hibakomplexek igazolták.

### 5. Az eredmények értékelése

Kísérleteink során igazolást nyert, hogy az általunk választott háromlépéses, ún. magas-alacsony-magas hőciklusú belső getterezési technológia mind n-, mind p-típusú Si-egy kristályoknál eredményesen alkalmazható. A hőkezelés időtartamát az első lépésben az oxigén-kidiffúzió kívánt mértékének megfelelően viszonylag széles tartományban lehet változtatni, mert ott még nem jelentős mértékű a görbületnövekedés. Kritikusak az ezt követő hőkezelési lépések és itt megfelelő optimalizálásra kell törekednünk (gócképződés, ill. növekedés hőmérséklete, időtartama, atmoszféra), hogy megfelelő számú és méretű getterező góc keletkezzen, de a szeletgörbület jól definiált, kritikus érték alatt maradjon. Ha ezt az optimalizálási feladatot megoldottuk — amihez a szubsztitúciós szénkoncentráció szerepének tisztázása is hozzátartozik —, akkor várható, hogy belső getterezéssel növelhető az integrált áramkörgyártás kihazozatala és javulnak az eszközök elektromos paraméterei. Állításunkat igazolják a vizsgált áramkör szivárgási áram változására vonatkozó adatok.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Harsányi Józsefnek a görbületmérésben, dr. Valkó Ágnesnek és dr. Erdélyi Katalinnak a szivárgásiáram-mérésben nyújtott segítségükért, valamint dr. Hild Erzsébetnek az infravörös spektroszkópiai vizsgálatok elvégzéséért és a hasznos megbeszélésekért.



H157-6

6. ábra. Visszámterkép belső getterezett p-MOS IC-ről

### HIVATKOZÁSOK

- [1] G. A. Rozgonyi, R. P. Doysner, C. W. Pearce — *J. Electrochem. Soc.* — 123 1910 (1976)
- [2] T. Y. Tan, E. E. Gardner, W. K. Tice — *Appl. Phys. Lett.* — 30, 175, (1977)
- [3] K. Yamamoto *et. al.*: *Appl. Phys. Lett.* — 36 195 (1980)
- [4] R. A. Craven, H. W. Korb — *Solid-State Technol.* 7., 55 (1981)
- [5] F. Shimura: *VLSI Science and Technology/1982 Proc.* 82—7 17. (1982)
- [6] *Defects in Silicon*, San Francisco 1983
- [7] P. Wang *et. al.*: *J. Electrochem. Soc.* — 131 1948 (1984)
- [8] K. Ikuta, T. Ohara: *Jap. J. Appl. Phys.* — 23 984 (1984)
- [9] *Proceedings of the 1st International Autumn School and Symposium on Gettering and Defect Engineering in the Semiconductor Technology — Garzau (1985)*