

Félvezetőeszközök felület-passziválásának új módszere: a fémezés anodikus oxidálása

621.382:621.793.1:669.716.915

A félvezető eszközök felületén alkalmazott passziváló szigetelő rétegek feladata a felület kémiai, elektromos és mechanikus védelme, ill. stabilizálása. Erre a célra a legszélesebb körben SiO_2 rétegeket használnak, de elterjedt a szilíciumnitrid, a foszfor-szilikát és az ólomüveg rétegekkel történő bevonás is.

Az alumíniumoxidos passziválás lehetőségét, ill. körülményeit csak a legutóbbi időkben kezdték vizsgálni. Irodalmi utalások szerint anodizált alumíniumoxidos védelemmel biztosíthatunk optimális védelmet a fémezés elektromigrációs hibaképződésével szemben [1] lépcsőmentesen alakítható ki többrétegű fémezések szigetelése [2, 3, 4], ill. bármilyen alumíniumoxid réteg jó védelmet nyújt alkáli szennyezések ellen [5, 6].

Passziváló rétegeket a félvezető technikában:

- vegyi vagy elektrokémiai folyamattal (termikus oxidáció, anodikus oxidáció, elektroforézis)
- gázfázisban történő kémiai leválasztással (pirolízis, kémiai reakciók)
- vagy vákuumtechnikai úton (katódporlasztás, vákuumpárolgatás) állítanak elő.

Alumíniumoxidos passziválásra legegyszerűbb módszernek a fémezés céljára egyébként is létrehozott vákuumpárolgatott alumínium réteg szelektív anodikus eloxálása ígérkezik, amely módszer sem újabb vákuumtechnikai, sem intenzív hőkezeléssel járó műveletet nem igényel. A fémkimarás műveletét ez esetben a rétegek lokális átoxidálásával helyettesítjük, ill. a megmaradt fémréteg felületét külön lépésben oxidáljuk.

A továbbiakban röviden ismertetjük az integrált áramkörök fémezésének anodizációs kialakításával kapcsolatos elvi kérdéseket, ill. az anodizáció optimális körülményeivel és az anódos alumíniumoxid rétegek passziváló tulajdonságaival kapcsolatos vizsgálati eredményeinket.

A galvánteknikából ismeretes, hogy az alumínium felületének anodikus eloxálása révén a technológia megválasztásától függően porózus vagy tömör szerkezetű oxidréteg növeszthető. Ha az elektrolit a képződő oxidot kis mértékben oldja, akkor vékony, tömör oxidréteg felelt, mely minden esetben kialakul, porózus szerkezetű oxidréteg jön létre. Ez az idő függvényében adott feszültségen (10–60 V) akár több tíz μm vastagra is növeszthető (ha az alumínium réteg elegendően vastag). Amennyiben az elektrolit a képződő alumíniumoxidot nem oldja, úgy tömör oxidréteg jön létre, melynek vastagsága egyenesen arányos az anodizáló feszültséggel. A rétegvastagság növekedésének feszültségfüggése ilyen esetekben a legkülönbözőbb elektrolitok esetén is egyaránt 12–14 $\text{Å}/\text{V}$. Ennek alapján 1 μm vastag tömör oxidréteg

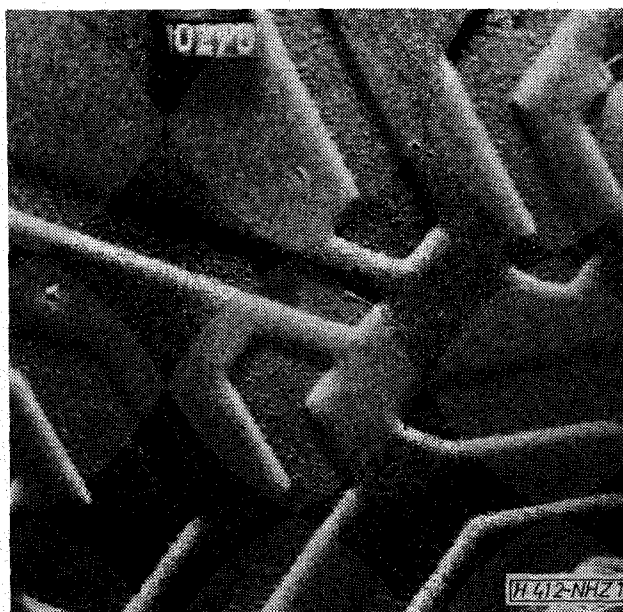
növesztéséhez — mely egyben tömör oxidok esetén a max. elérhető vastagság — már 7–800 V körüli feszültség szükséges [7, 8, 9, 10, 11].

E kétféle alaptechnológia a következő megoldás kombinációt teszi lehetővé félvezető eszközök fémezésének kialakítására:

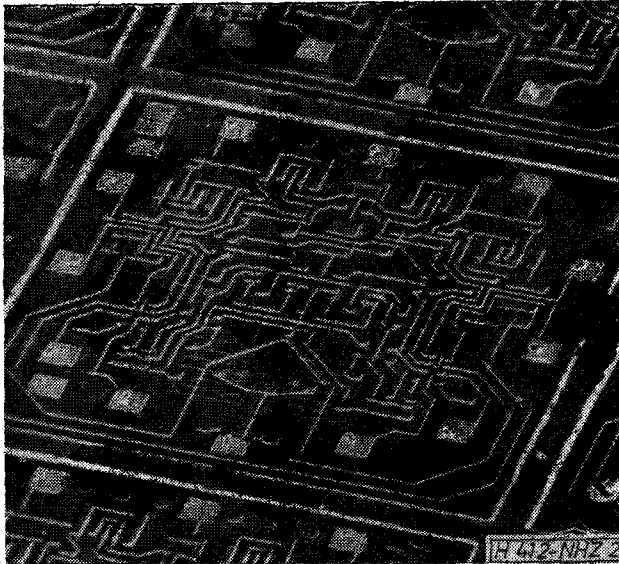
Megfelelő fotoreziszt lakkos védelem mellett a fémkimarás műveletét porózus oxidot eredményező oxidációval helyettesítjük, majd a fotolakk eltávolítása után az ily módon kialakított porózus oxidba ágyazott fémábra felületén más elektrolitban vékony, tömör oxidréteget növesztünk (1. ábra). Ezután a termokompressziós helyeken hagyományos fotolitográfias művelettel utólag kontaktusablakokat nyitunk a tömör oxidon.

A 2. ábrán bemutatott TL 7472 típusú integrált áramkör-morzsa fémezését ilyen módszerrel alakítottuk ki. Ez a megoldás azért előnyös, mert egyrészt az egész felületet összefüggő alumíniumoxid réteg fogja borítani, mely mint említettük, jó védelmet nyújt alkáli szennyezésekkel szemben, másrészt pedig az alumínium fémezésén az ahhoz kémiailag kötött kemény, tömör alumíniumoxid réteg optimálisan gátolja a fémezés elektromigrációs hibaképződését, ill. korrózióját. Megfelelő hőkezelés, ill. hermetikus tokozás esetén a porózus alumíniumoxid egyben a nedvességet is getterezi.

Az alumínium félvezető technikai eloxálása azonban a galvánteknika korábbi szempontjaihoz vi-



1. ábra. Szelektív anodizációval kialakított integrált áramköri fémezőábra, iantomszeleten. A fémábra rétegvastagsága 12 500 Å , rajta 1000 Å vastag, tömör Al-oxid van, melyet 15 000 Å vastag porózus oxidréteg vesz körül (a síkból kiemelkedő területrészek). Scanning elektronmikroszkópos (SEM) felvétel, $N = 600$



2. ábra. TL 7472 típusú integrált áramkör morzsa, melyen a fémzőábra kialakítása anodizációval történt. Szinterelési hőmérséklet: 520°C. SEM felvétel, N = 50

Anodikus Al-oxid rétegek fajlagos ellenállása és átítési szilárdsága. A méréseket Hg eseppl érintkezés módszerrel 50% rel. nedv. tartalmú levegőn szobahőmérsékleten végeztük

Az oxidréteg jellemzői	A fajlagos ell. ohmcm	Az átítési szilárdság V/cm
3500 Å porózus Al-oxid 4 s%-os oxálsav oldatban készült, 40 V-on anodizálva	1—2·10 ¹³	0,8—2·10 ⁶
3500 Å porózus Al-oxid 4 s%-os kénsav oldatban készült, 20 V-on anodizálva	0,6—1·10 ¹³	0,8—2·10 ⁶
4200 Å tömör oxid ammónium-tetraborát etilén-glikolos oldatában készült, 350 V-on anodizálva	4—7·10 ¹³	4—5·10 ⁶

szonyítva új, speciális igényekkel jelentkezett. Ezek a következők:

1. Vákuum-párolgatott alumínium rétegeket kell anodizálni, melyek mikroszerkezete eltér az öntött, ill. hengerelt vagy sajtolt tömbös alumínium szerkezetétől.
2. Törekedni kell homogén, maximális szigetelő-képességű, alumínium zárványoktól mentes oxidrétegek előállítására.
3. Adott esetben az alumínium réteget helyenként teljes vastagságában kell átoxidálni.
4. Meg kell oldani a mikroábrák mentén történő nagy pontosságú szelektív eloxálást a porózus és tömör oxidot eredményező technikák esetén egyaránt.
5. Alkálimentes közegben kell dolgozni.
6. Biztosítani kell, hogy a kialakított alumínium-oxid rétegek ne növeljék jelentősen a félvezető eszköz felületi töltéssűrűségét — sőt ha lehet, csökkentsék.

E szempontokkal kapcsolatban kísérleteink és méréseink során a következőket állapítottuk meg:

Vákuumpárolgatott alumínium rétegek eloxálására az elektrolit kondenzátorok gyártásához használt bórsavas—bóraxos oldatok teljesen alkalmatlanok. Az ezekben képződő oxidréteg nem egyenletes, már képződése közben repedezik, és rossz az elektromos szigetelőképesége.

A legjobb szigetelő tulajdonságokkal rendelkező porózus oxidot vizes oxálsavas vagy kénsavas oldatokban, tömör oxidot pedig etilén-glikolban oldott ammonium-tetraborát oldatban tudunk növeszteni. Az így előállított oxidok fajlagos ellenállására és átítési szilárdságára közlünk néhány adatot az 1. táblázatban.

E rétegeket oxidált szilícium szeletekre vákuumpárolgatott Al rétegeken hoztuk létre. 500 °C-os hőkezelés hatására — a hőkezelési atmoszférától függetlenül — a rétegek szigetelő tulajdonságai alig változtak.

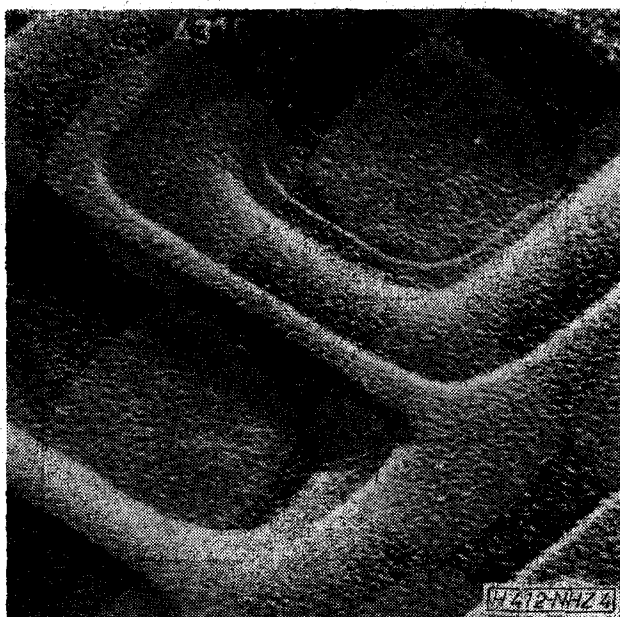
A 2., 3. és 4. ábrán Scanning elektronmikroszkópos felvételeket mutatunk be anodizált fémzésű TL 7472 típusú integrált áramkör morzsákról, melyeken a fémzés szinterelése az eloxálási műveletek után következett. A felvételeken látható, hogy az oxidrétegen a szinterelési hőkezelés hatására (520 °C) sem keletkeztek repedések.

Az alumínium rétegek vákuumpárolgatási körülményei nagy mértékben befolyásolták a homogén eloxálás lehetőségét. 5·10⁻⁶ torr vákuum esetén legálább 50 Å/s párolgatási sebesség szükséges, és max. 150—180 °C szubsztrát hőmérséklet engedhető meg ahhoz, hogy kb. 1 μm vastagságúra párolgatott alumínium rétegeket optimális homogenitással át lehessen anodizálni. E rétegek fotolitografált mikroábrák mentén helyenként teljes vastagságban történő egyenletes eloxálását csak megfelelően egyenletes áram hozzavezetési rendszerrel, ill. az alumínium felületének a fotolakk tapadását javító előkezelésével sikerült megoldani.

Az alkálimentesség igénye az említett oldatokkal teljesíthető, de pl. vékonyréteg áramkörök esetén,



3. ábra. A 2. ábra egy részlete, egy tranzisztor ~1000-szeres nagyításban



4. ábra. A 2. ábra egy részlete ~ 3000 -szeres nagyításban. A fémezés két kontaktushelye látható, szinterelés után. Az oxid összefüggő, tömör, egyenletes és valamivel a fémréteg felső szintje fölé emelkedik

ahol az alkálishennyezés kevésbé zavaró, kedvező szigetelő tulajdonságai miatt tömör oxid növesztéséhez a K—Na-tartarát oldatos anodizációt is előnyösnek találtuk.

Ismeretes, hogy főként a MOS, de a bipoláris félvezető eszközök elektromos paraméterei, ill. azok stabilitása érzékenyen követik a szilícium felület környezetének kis mértékű változásait. Térhatású eszközöket tartalmazó áramkörök működését az eszközök felületi töltéssűrűségében fellépő 10^{11} e/cm² nagyságrendű változások már befolyásolják. Bipoláris eszközök esetén max. 10^{12} e/cm² nagyságú eltolódások engedhetők meg. Új felületi védőréteg alkalmazása előtt tehát fontos megvizsgálnunk, milyen hatást gyakorol a félvezető eszköz felületi töltéssűrűségére, ill. felületi állapotosságára. Ez a technológia optimalizálása érdekében még akkor is célszerű, ha az ezzel párhuzamosan történő eszközgyártás során az egyes felületérzékeny elektromos paraméterek (pl. visszáramok, kisjellű áramerősítés), ill. azok stabilitása nem mutat változást.

A felületi töltéssűrűség mérésére a MOS kapacitásmérés helyett utalunk az irodalomra [12, 13].

A számításához feltételeztük, hogy a SiO₂-ban levő töltések a Si—SiO₂ határfelület közvetlen környezetében, az alumíniumoxidban levő töltések pedig a SiO₂—Al₂O₃ határfelület környezetében helyezkednek el.

A kapacitásmérések céljára úgy alakítottunk ki Si—SiO₂—Al₂O₃—Al rétegekből felépített kondenzátorokat, hogy azok a rétegek passzíváló alkalmazását szimulálják, ill. kövessék az eszközgyártás technológiai, ill. hőkezelési lépéseit. 0,5 ohmcm-es N típusú (11) orientációjú szilícium szubsztráton nedves sósavas oxidációval 3000 Å vastag termikus oxidréteget növesztettünk, melyben a felületi pozitív töltéssűrűségére $3-4 \cdot 10^{11}$ cm⁻² értéket mértünk. Ezen az alap oxidrétegen 2—4000 Å vastag Al-oxid rétegeket vizs-

gáltunk, melyeket bórnitrid csónakból vákuumpárolgatatott alumínium rétegek különböző módon történő anodizációjával hoztunk létre. A felső fémfegyverzet céljára 1200×650 μ m méretű 8000 Å vastag, hasonlóan párolgatatott Al szolgált.

Az optimálisan kis felületi töltéssűrűséget a 4 s % kénsav oldatban anodizált porózus Al-oxidok esetén találtuk, melynek értéke $5 \cdot 10^{11}$ pozitív töltés cm⁻²-ként. Ez a termikus SiO₂ rétegeink pozitív töltéssűrűségével kb. azonos. Valamivel nagyobb, $9 \cdot 10^{11}$ cm⁻² pozitív töltéssűrűséget mértünk oxálsavban készült oxidok esetén. A tömör oxidok (pl. az ammónium-tetra-borát etilén-glikolos oldatában anodizált Al-oxid) szintén pozitív töltéseket tartalmaztak, néhányszor 10^{12} cm⁻² sűrűségben. A tömör alumíniumoxidok azonban jórészt nem közvetlenül a Si vagy SiO₂ rétegek felületén, hanem a megmaradó Al fémezésen helyezkednek el, így a félvezető felületre gyakorolt hatásuk jóval kisebb.

Fentiek alapján a fémkimarás műveletének helyettesítésére kénsav oldatban történő eloxálást végeztünk BC 107 típusú NPN planár tranzisztorok és TL 7472 típusú integrált áramkörök fémezésének kialakításához, a kialakított fémezőábrán pedig 1050 Å vastag tömör anodikus oxidot növesztettünk. A forszírozott tartósegetési eredmények mindkét típus esetén jobb eredményt adtak, mint a hagyományos pirolitikusan növesztett SiO₂-os felület passziválás esetén.

Az elektronmikroszkópos felvételeket Stefániai Vilmos, a Fémipari Kutató Intézet villamosmérnöke készítette, MOS-kapacitás méréseket dr. Szilágyi Miklós, a BME adjunktusa végezte. Munkájukat ezúton köszönjük.

I R O D A L O M

- [1] Satake, T.—Yokoyama, K.—Shisakawa, S.: Eléctromigration in Aluminium Film Stripes Coated With Anodic Aluminum Oxide Films. Japanese Journ. of Appl. Phys., 1973. 12. V. No. 4. pp. 518-522
- [2] Fr. Pat. No. 2. 011. 079/1970.
- [3] U. S. Pat. No. 3. 634. 203/1972.
- [4] Fr. Pat. No. 2. 034. 611/1970.
- [5] Déloca, C. J.—Barry, M. L.: The Combination of Silicon Nitride and Aluminium Anodization for Semiconductor Device Passivation. Solid State Electronics, 1972. 15. V. pp. 659-663.
- [6] Gnadinger, A. P.—Rosenzweig, W.: Polarization and Charge Motion in Metal-Al₂O₃-SiO₂-Si Structures. Journ. of the El. Chem. Soc., 1974. 121¹ V. No. 5. pp. 700-705.
- [7] Dorsey, G. A.: The Characterization of Anodic Aluminas. III. Journ. of the El. Chem. Soc., 1966. 113. V. No. 3. pp. 284-286.
- [8] Mier, M. G.—Bubinger, E. A.: A Comparative Study of Anodized, Evaporated and Sputtered Aluminum Oxide Thin Films. Journ. of Vacuum Science and techn., 1969. 6. V. No. 4 pp. 727-730.
- [9] Dorsey, G. A.: Structural Changes During the Anodizing and Sealing of anodic Aluminas: Intermediate and Far Infrared Analysis, Journ. of the El. Chem. Soc., 1968. 115. V. No. 8. pp. 1053-1066.
- [10] Diggle, J. W.—Downie, T. E.—Goulding, C. W.: A Study of the Formation and Dissolution of Porous Anodic Oxide Films on Aluminium: Behavior of the Porous Layer, Journ. of the El. Chem. Soc., 1969. 116. V. No. 10. pp. 1347-1351.
- [11] Bradhurst, D. H.—Llewelin Leach, J. S.: The Mechanical Properties of thin Anodic Films on Aluminum. Journ. of the El. Chem. Soc., 1966. 113. V. No. 12. pp. 1245-1249.
- [12] Nagy A.: MOS struktúrák jellemzői: Doktori dissz. BME Elektroncsövek és Félvezetők Tanácsk Bp. 1971.
- [13] Goetzberger, A.: Ideal MOS Curves for Silicon. Bell System Techn. J., 1966. 45. V. No. 9. pp. 1097-1122.