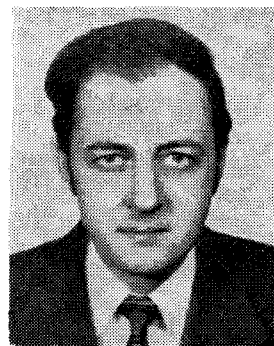


Alumínium fémezésű műanyagtokozott félvezető eszközök kloridos degradációjának egyik forrása

DR. KALMÁR GÁBOR—DR. NÉNYEI ZSOLT
MEV Félvezető Fejlesztés



ÖSSZEFOGLALÁS

A pressure cooker test alkalmazása lehetővé tette a műanyagtokos félvezető eszközök vegyi hibamechanizmusainak pontosabb feltárását. A klór szennyezés eddig publikált forrásainak és degradációt keltő hatásának összefoglalása után közöljük újabb kutatási eredményeinket, melyek szerint az eszközök klór szennyezése bizonyos mosási-tisztítási műveletekből is származhat. Figyelembe véve a műanyagtokos félvezető eszközök különböző klórozott szénhidrogénnel szemben tanúsított érzékenységét, megjelöljük a tisztító vegyszerek azon csoportját, melyet a félvezető gyártók és felhasználók veszélytelenül alkalmazhatnak. (▲)

Bevezetés

A félvezető eszközök megbízhatóságával foglalkozó szakirodalom az utóbbi időben komoly figyelmet fordított a klór szennyezés hatására és eredetére. Több meghibásodott félvezető eszköz nagy műszeres (EDS, SEM) hibaanalízise során Cl-t találtak a degradációs termékben.

Megállapították, hogy a félvezető eszközök belső fémezése (Au—Al ill. Al—Al rendszer) összehasonlíthatatlanul gyorsabban korrodál akkor, ha víznyomok mellett kloridszennyezés is van jelen.

A kloridszennyezés lehetséges forrásoként általában a chipgyártás és a szerelés szennyeződéseit, esetleg magát a tokozó műanyagot teszik felelőssé, beépítés után pedig speciális esetekben a sós környezetet [1, 2].

A továbbiakban néhány olyan fizikai-kémiai, ill. kémiai összefüggésre kívánjuk felhívni a figyelmet, melyeket a tokozott eszközök zsrítalanítása, galvanizálása és nyomtatott áramkörü lapokra való beforrasztása utáni tisztításkor célszerű figyelembe venni — főként a kloridszennyezés elkerülése érdekében. Ezen alkatrészek különböző vegyszeres kezeléseinek megtervezésekor számításba kell vennünk azt, hogy műanyagtokozású eszközök esetén a fém, ill. műanyag részek illeszkedése soha nem tökéletes, így itt az alkatrészek (főként a nagyobb teljesítményű, hűtőfelületet is tartalmazó alkatrészek) esetenként kicsi réseket, tömítetlenségeket tartalmazhatnak. Ezek bizonyos anyagok nem, vagy csupán alig képesek áthatolni — más típusú anyagok azonban igen könnyen bekerülhetnek.

Utóbbiak közül sok veszélytelenül újra kidiffundál, ill. kipárolg a tokból, egyesek viszont komoly megbízhatósági hibaforrásként épülhetnek be, ill. maradnak vissza az eszközben. Ezek a már jelenlevő, vagy a későbbi raktározás, ill. felhasználás során

DR. KALMÁR GÁBOR

1968-ban a BME-en végzett oki. villamosmérnök-ként. 1972-ben integrált áramkörös elektronikai szakmérnöki diplomát, 1975-ben „Félvezető technológiából” egyetemi doktori címet szerzett a BME-en. A doktori értekezését az MTA 1976.

évi pályázatán díjazták. 1970 óta a TUNGSRAM, majd 1982 óta a MEV Félvezető Fejlesztésén dolgozik. Fő tevékenységi területe a félvezető eszközök megbízhatósága, hibamechanizmus kutatása, a technológia és a megbízhatóság kapcsolata.

még bekerülő nedvességgel kölcsönhatásba jutva gyors elektrokémiai korróziót indítanak el az eszköz belső fémezésén.

Hermetikusság és belső tisztaság

A műanyagtokos félvezető eszközök különböző igénybevételekkel szemben mutatott érzékenységét az alkalmazott tokozóanyag minősége, a szerelőszalag anyaga és felületi kiképzése (bevonata) erősen befolyásolja.

A szilikon bázisú műanyagok kevésbé tapadnak a tok fém részeihez. Jobban tapadnak a fém részekhez az epoxi alapú műanyagok, de ezek tömbös vízáteresztő képessége (ill. vízfelvétele) nagyobb, és egyes gyártmányok egészen kis mennyiségben hidrolizálható klórt tartalmaznak [1, 3, 4, 13, 14].

A szilikon bázisú műanyag és a szerelőszalag illeszkedésének javítására, ill. a hermetikusság utólagos növelésére fokozott követelmények esetén a back filling technika használható. Így nagy mértékben csökkenthető az eszközök lyukassága, de tökéletesen hermetikussá így sem tehető a műanyagtokos eszközök [2, 5].

A hermetikusság és ezzel együtt a belső tisztaság ellenőrzésére főként műanyagtokos eszközök esetén többek között az egyszerű göznyomásos módszert alkalmazzák egyre szélesebb körben. Ez az eszközök 121 °C-os (vagy ennél nagyobb) hőmérsékletű és 100% relatív nedvességtartalmú (1537 Hgmm) vízgőzben történő igénybevételét jelenti 2—96 órán át [11, 12].

Ezt a vizsgálatot a tisztán kezelt eszközök jól elviselik (feszültség ráadása nélkül) — még kisebb tömítetlenségi hibák esetén is. Rohamosan nő azonban a kiesők száma, ha az eszköz belsejébe valahogyan aktív klór szennyezés jutott.

Megbízhatósági vizsgálatainkat a szerves oldószerek hatására is kiterjesztettük: az oldószerek kezelé-

Beérkezett: 1983. X. 21.

sek után a félvezető eszközökön gőznyomásos vizsgálatokat végeztünk. Így összehasonlítást tehattünk az egyes oldószerek mikroklímát, esetleg tokozást károsító hatásának kérdésében.

A kapott eredmények a gyártók és felhasználók számára egyaránt fontosak — és kvalitatíve reprodukálhatók.

Alumínium fémzésű félvezető eszközök korróziós mechanizmusa

Az elektrokémiai korrózió alapfeltétele, hogy nedvesség, (szennyező-) ionok és elektromos erőter legyen az elektród környezetében.

A nedves környezetben működő félvezető eszközök meghibásodásának leggyakoribb oka az alumínium fémzés korróziója [4]. Ez a probléma a VLSI technika terjedésével egyre növekszik. Az integráció növekedésével ugyanis a belső fémzési csíkok még keskenyebbek lesznek, ezáltal növekszik fajlagos terhelésük és érzékenységük [15]. A hibamechanizmust bonyolítja az is, hogy különböző felületvédő, ill. járulékos bevonatokat alkalmaznak a gyártás során.

A félvezető eszközök belső vezetékai az alumínium fémzésbe szándékosan beötvözött egyéb fémek miatt, de főként az Au vagy Al huzallal létrehozott belső csatlakozási helyek mentén igen hajlamosak korrózióra. Az Au—Al csatlakozás mentén pl. a kontakt potenciál 3,1 V, mely nedvesség jelenlétében külső elektromos erőter nélkül is gyors elektrokémiai korróziót képes megindítani a fémzésen.

Az Al fémzés Au kötés nélkül is jóval hajlamosabb korrózióra olyan helyeken, ahol a felületen sérülés, pl. mérőtűnyom- vagy egyenetlenség, hirtelen szemcseméret-változás fordul elő.

Lezáratlan félvezető eszközökön végzett vizsgálatok azt eredményezték, hogy a 10 ppm NaCl oldattal kezelt minták közepes meghibásodási ideje (MTF=Medium Time Failure) 50 óránál kevesebb volt, míg a nem kezelt mintáké 850 óra [1]. Hasonló vizsgálatokat elvégezve mi vizes oldatokban 8 ppm NaCl koncentráció felett tapasztaltuk a korróziós hajlam erős megnövekedését.

Működés közben a tokozott félvezető eszközre kapcsolt feszültség és disszipációs hő tovább növelheti a reakciósebességet.

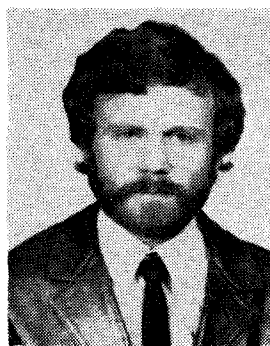
Mivel az Al amfoter, lúgos és savas környezettel is képes reagálni, sőt az említett félvezető struktúrákban lassú korrózió indulhat meg tiszta víz hatására is.

Lúgos környezetet alkáli szennyezés [2, 15], savasat pl. túl nagy foszfortartalmú foszforüveges védőréteg okozhat [1, 2].

Az Al korróziós sebessége gyengén lúgos közegben nagyobb, mint gyengén savas közegben.

A félvezető struktúrák fémzésének anódos helyein a fémzés anódos oxidációja megy végbe. E folyamat sebességét az áramsűrűség korlátozza, hőmérsékleti változásokra nem érzékeny.

A katódos helyekhez vándorolnak a pozitív ionok (pl. alkáli szennyezés) és növelik a helyi pH értéket. Itt az Al kémiai oldódása megy végbe. A katódos áramsűrűség az oldódási sebességet működő eszköz



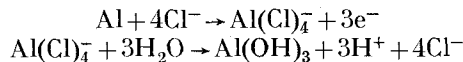
DR. NÉNYEI ZSOLT

1906-ban, a veszprémi egyetemen végzett, oki. vegyész mérnök. 1975-ben doktorált a BME Villamosmérnöki Karán. 1966 óta a TUNGSRAM, majd 1982 óta a MEV Félvezető Fejlesztésén dolgozik. 1978–80 között Humboldt-ösztöndíjas, kutatómunkát végzett az Aacheni Műszaki Egyetemen. Fő munkaterülete a félvezető eszközök elemtechnológiájának fejlesztése.

esetén csupán a hőmérséklet növelése révén befolyásolja.

Ezekhez a folyamatokhoz elegendő, ha a fémzési csíkok között csupán néhány monoréteg víz van jelen [15]. A korróziós termék ilyenkor főként alumínium-hidroxid.

A kloridszennyezés az Al korróziós sebességét igen nagy mértékben megnöveli. A félvezető eszközök megbízhatósági szakirodalma ezt a folyamatot a következőképpen modellezi: [1, 2, 6]



Ha a tok belsejében kloridszennyezés csupán nyomokban is előfordul, ez már elegendő ahhoz, hogy a félvezető eszköz belső fémzését gyorsan korrodálja — amennyiben a környezeti nedves levegő tömítetlenségi hibák révén a tok belsejében juthat.

A kloridszennyezés e folyamatban katalizátorként szerepel. A korróziós folyamat természetesen annál lassúbb, minél kevesebb nedvesség, ill. minél kevesebb szennyezés kerül az eszközbe. A problémakör tehát a hermetikusság mértékének függvényében jelentkezik.

Megjegyezzük még, hogy az Al fém AlCl_3 -dá történő átalakulása 5-szörös, $\text{Al}(\text{OH})_3$ -dá való átalakulása pedig 3,25-szörös térfogatnövekedéssel jár. Ez jól látható a későbbi SEM felvételeken is, de nem azonos az Au—Al nagy fajtérfogatú intermetalikus vegyületekkel. Ezt a mikroszondás analízis (DES) is igazolta.

Halogénezett szerves oldószerek a mikroelektronikai iparban

A félvezető eszközöket gyártásuk során galvanizálás, ill. bélyegzés előtt, esetleg utólagos vizsgálatok kapcsán (pl. a bélyegzés ellenállóképességének vizsgálata esetén) szokás szerves oldószerekkel kezelni, tisztítani.

Felhasználáskor a nyomtatott áramkörü lapokra való beforrasztás után a panelek hasonló kezelést kapnak a flux, ill. gyanta ámaradványok eltávolítása érdekében.

Az e célokra legáltalánosabban használt anyagok az 1,1,1 triklóretán, a perkloroetilén, a triklóretilén és a triklórtrifluoretán-, ill. ezek különböző márkanevekkel fedett változatai, melyek a fenti alapanyagok vagy azok keveréke mellett stabilizátorokat,

ill. adott célokra az oldóképességet fokozó egyéb adalékokat (pl. nedvesítőszer, alkoholok, metilénklorid, aceton, emulgeált víz stb.) tartalmaznak.

A klórozott alifás szénhidrogénekből ultraibolya fény vagy túlhevítés hatására sósav bomlik le, így ezek helytelen tárolás, ill. kezelés esetén savakká válhatnak. A perkloroetilén és a triklóretilén érzékeny oxidatív behatásokra, az 1,1,1-triklóretán (illetve a széntetraklorid, a metilénklorid és a triklóretilén is) hajlamos hidrolízisre. [7, 8, 9].

A kevésbé stabil halogénezett szénhidrogének — egyesek még utólagos stabilizálás mellett is — bizonyos körülmények között könnyen reagálnak aktív fémekkel, pl. alumíniummal. A hidrolízisre hajlamos említett oldószer víz jelenlétében korrodálja az alumíniumot. Ilyenkor az oldószer hidrolízise révén sósav képződik, mely az Al-mal alumíniumkloridot alkot. Ez víz jelenlétében alumínium-hidroxidra és sósavra hidrolizál, és a folyamat újra indul.

A zsirtalanító berendezésekben az oldószer a vele, ill. gőzeivel érintkező levegő nedvességével találkozik és ez már megindítja a hidrolízist.

Ha az oldószerbe bekerült víz nem a levegőből származó kondenzvíz, hanem sókkal szennyezett, behordott víz, a korrozív hatás sokkal erősebb, és stabilabb oldószer esetén is jelentkezik.

Az oldószer gyártók ugyan egyértelműen kiemelik, mely anyagokat nem szabad Al, ill. más reaktív fémek tisztítására használni, a félvezető eszköz gyártók, főként pedig a felhasználók azonban — legalább is folyadékokkal szemben — hermetikusan feltételezik eszközeiket, így ezek a megfontolások a kész eszközök felületkezelési technológiájának megtervezésekor nem kerülnek szóba.

Folyadékok (vegyszerek) bejutása nem hermetikusan lezárt eszközökbe

A folyadékok kis lyukakon át elsősorban kapillaris erők révén juthatnak be, mely erők a lyukátmérővel fordított arányban állnak [10].

Mint ismeretes, egy kapillarisban függőlegesen felszívódó (vagy lenyomódó) folyadékoszlop magassága:

$$h = \frac{2\sigma \cos \varphi}{r\gamma}$$

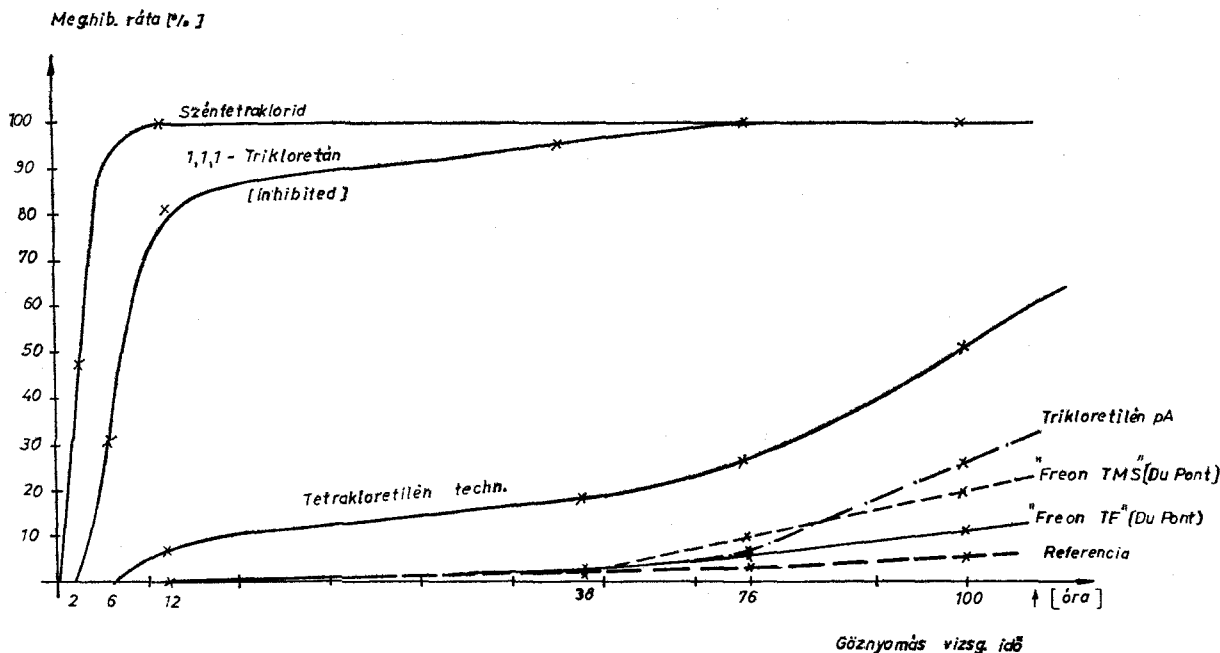
ahol a a folyadék felületi feszültsége,
 r a kapillaris sugara,
 γ a folyadék fajsúlya,
 φ a nedvesítési szög.

Egy, a lyuk falát nedvesítő folyadék tehát annál nagyobb erővel szívódik be az eszközbe, minél kisebb rajta a lyuk — természetesen annál kisebb mennyiségben is — bár utóbbi az időnek is függvénye.

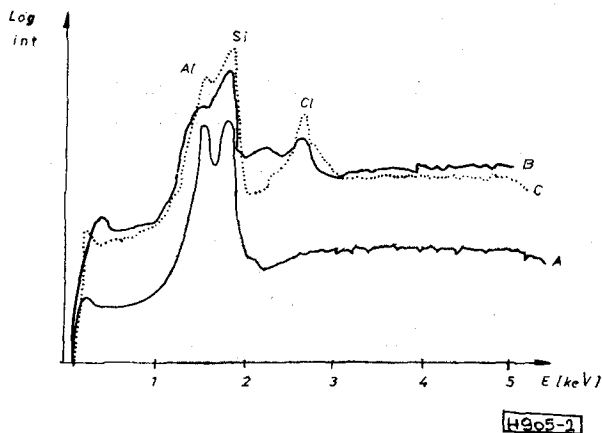
A Hagen—Poiseuille-törvény alapján azt a durva, nagyságrendi becslést kapjuk, hogy egy $1 \mu\text{m}$ sugarú lyukon 2 mm -re kb. 1 s alatt jut el a triklóretilén vagy a perkloroetilén, míg $0,1 \mu\text{m}$ sugarú lyukon kb. 10 s alatt.

A nem nedvesítő folyadékok ($\varphi > 90^\circ$) a lyukméret csökkenésével egyre nehezebben jutnak az eszközbe. A korábban említett szerves oldószer mindegyike jól nedvesíti a félvezető eszközök tokozásának fém, műanyag és üveg részeit. Ebből következik, hogy a klórozott szénhidrogének egészen kis lyukakon át is bejuthatnak az eszközbe. A szokásos tisztítási technikák (ultrahang, melegítés, gőzfázisba helyezés hidegen) csak fokozzák ezt a lehetőséget.

1. ábra. A gőznyomás vizsgálat előtt különböző oldószerben kezelt műanyagtokozott szilícium planár tranzisztorok meghibásodási rátája



H909-1



2. ábra. Félvezető eszközök belső fémezésének korróziós termékein energiadiszperzív röntgenanalizátorral (mikroszonda) felvett spektrumok. Az „A” görbe triklór-trifluoretánban, a „B” görbe stabilizált 1,1,1 triklóretánban, a „C” görbe széntetrakloridban kezelt, selejtessé vált eszközök korróziós termékéről készült

Figyelembe kell vennünk azt is, hogy e szerves oldószerekkel együtt az oldószer szennyezései (ez lehet víz, vagy oldószerből lebomlott, ill. hidrolizált sav, és az eszközökről lemosott szennyezés) — vagy az oldószer adalékanyagai is könnyen bejuthatnak a tokba.

Kísérleti eredmények

Az oldószerek korrozív hatásának durva összehasonlítására először a tokozás előtti fázisból vettünk ki olyan Al fémezésű eszközöket, melyeken a belső huzalozás már megtörtént. Külön vizsgáltunk Al huzalozású, ill. külön Au huzalozású eszközöket. Ezeket 24 órára a következő oldószerekbe mártottuk: kloroform (alt); széntetraklorid (alt); 1,1,1-triklórétán (stabilizált); triklóretilén (alt); tetraklór-etilén (ip); 1,1,2-triklór-1,2,2-trifluoretán ip.

Az oldószerekhez előbb 2% vizet adtunk, majd ezzel 1 percen át ultrahanggal összeráztuk.

Külön kísérletet végeztünk csapvízzel és külön ioncserélt vízzel.

A csapvízes adagolás esetében a perklorétilén kivételével valamennyi oldószerben tartott valamennyi mintán mikroszkópos ellenőrzéssel jól látható korrózió indult meg az eszközök fémezésén (tehát a csak Al—Al rendszeren is!).

Ionvizes adagolás esetén korróziót csak a széntetrakloridban, ill. az 1,1,1-triklórétánban figyeltünk meg, Al és Au huzalozású eszközökön egyaránt.

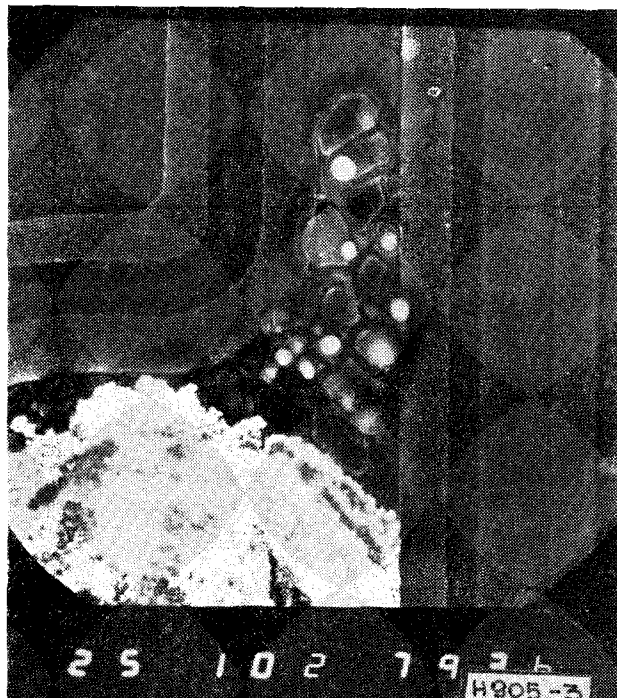
Ezután szilikon alapú műanyaggal tokozott SOT—32 típusú tranzisztorokat vizsgáltunk.

Külön npn és külön pnp tranzisztorokat vizsgáltunk, 200—200 db-ot minden oldószerben. (Ezek belső fémezése kb. 1,5 μm vastag Al volt). A tranzisztorokat 10 percen át főztük, majd 10 percen át ultrahanggal ráztuk az egyes vizsgált oldószerekben. 24 órás hevertetés után gőznyomás vizsgálatot végeztünk, és közben ellenőriztük a tranzisztorok kollektor-bázis visszaramát (I_{CBO}), ill. telítési feszültségét ($U_{\text{CE,sat}}$). A rész-, ill. halmazott vizsgálati eredményeket ábráztuk az 1. ábra görbeseregein.

A referenciaként használt csoportot nem kezeltük semmilyen szerves oldószerben.

Az 1. ábrán látható, hogy az 1,1,1-triklórétán és a széntetraklorid nagy mértékben ronthatja az eszköz megbízhatóságát. Bár az eddigiek alapján világos, hogy a problémát az eszközbe jutó klórszennyezés okozza, a selejtekből boncoltunk, és mikroszondával analizáltuk a korróziós termékeket. Néhány jellemző spektrumot mutatunk be a 2. ábrán. A széntetrakloridral és az 1,1,1-triklórétánnal kezelt eszközök korróziós terméke (8—10 at %-ban) kloridot tartalmazott, míg az aktív klórszennyezést nem tartalmazó selejtek esetén csupán $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ot találtunk. Itt a korróziós folyamatot önmagában a víz hozta létre.

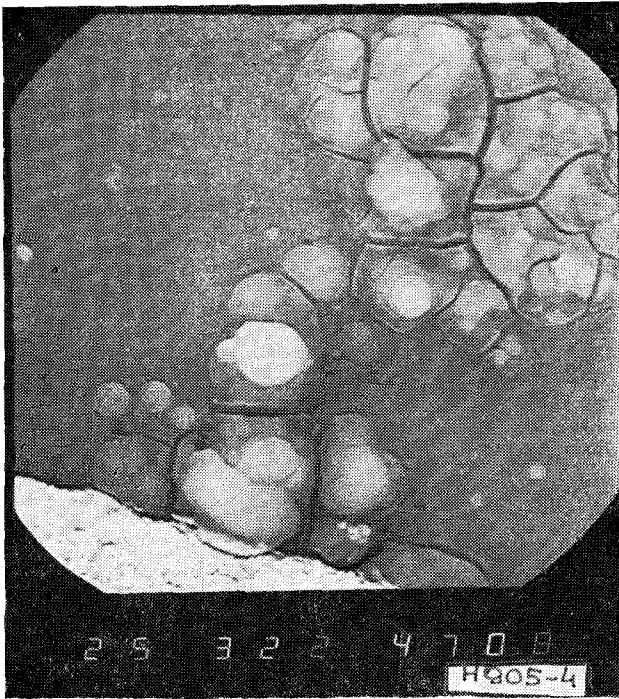
A kloridos, ill. kloridot nem tartalmazó korróziós termékekről mutatunk be optikai és raszter elektronmikroszkópos felvételeket a 3—8. ábrákon.



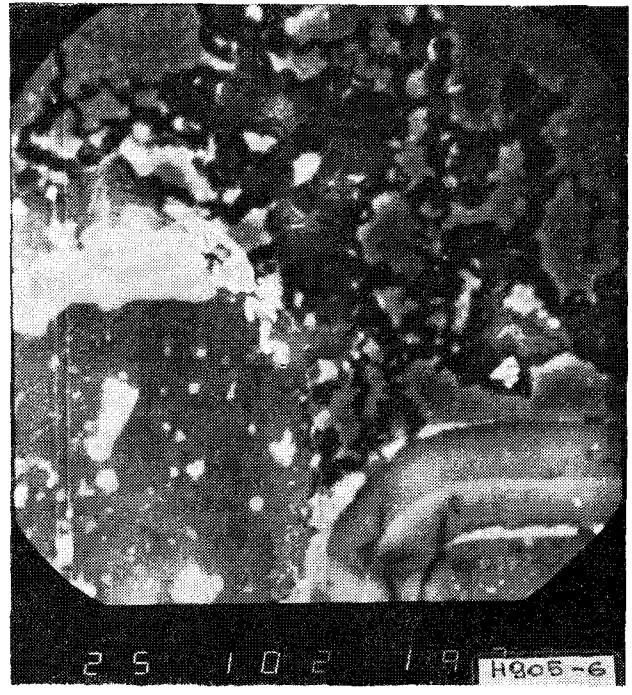
3. ábra. SEM felvétel egy széntetrakloridban kezelt selejt eszközről. A 2. ábrán látható „C” görbe erről a korróziós területről készült. A korrózió az Au—Al intermetallikus fázisból indul ki (világos mező a kép szélén)

Lényeges volt még eldönteni, hogy egy az oldószeres kezelést 24 órán belül követő PCT vizsgálat önmagában mennyire fokozza a tok belsejébe került és még bent levő klórozott szénhidrogének hidrolízisét. A kérdés tehát az, hogy a tok belsejében levő adszorbeált víz is elegendő-e a hidrolízis megindításához, és hogy az így felszabaduló sósav mennyiség is elegendő-e az eszköz élettartamának jelentősebb csökkentéséhez.

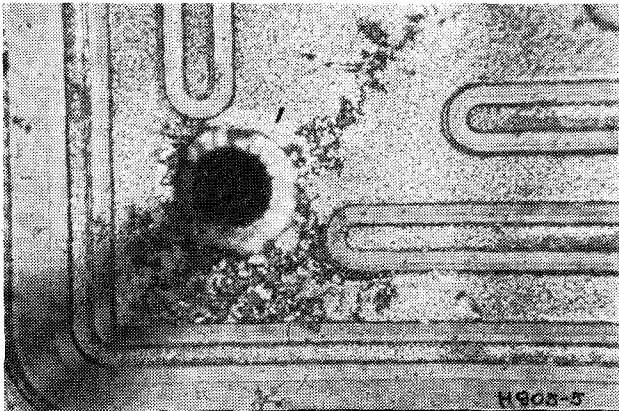
Ezért a veszélyesnek bizonyult oldószerekkel (1,1,1-triklórétán, széntetraklorid) olyan párhuzamos vizsgálatokat is végeztünk, hogy az oldószeres kezelést 2 órás 150 °C-os hőkezelés követte a tok belsejébe jutott oldószer kipárolgatása érdekében,



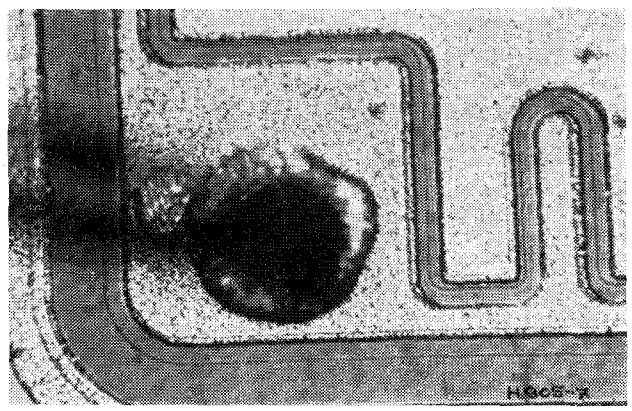
4. ábra. SEM felvétel egy másik meghibásodott eszkörről, amelyet széntetrakloridban kezeltünk. A nagy fajlagos térfogatú korróziós termékben klór található. A védőüveg megrepedezett a korróziós terméktől



6. ábra. Az 5. ábra Al(OH)_3 termékének SEM felvétele. Jól megkülönböztethető a 3., 4. ábrán látható kloridos korróziós terméktől az itt látható alumínium-hidroxidos korrózió



5. ábra. Fénymikroszkópos felvétel egy referencia eszkörről. (Az eszköz elektromosan még jó volt.) A kötés körül Al(OH)_3 található, klór nem volt



7. ábra. Fénymikroszkópos felvétel egy vizsgált eszkörről. A tranzisztort „Freon TF”-ben kezeltük vizsgálat előtt. A 2. ábra „A” görbéje ennek a felületéről készült

majd ez után került sor a 24⁷órás hevertetésre és a PCT vizsgálatra. A relatív kiesés így valamivel kisebb volt, de tendenciájában azonos maradt a hőkezelés nélküli minták esetén mért kieséssel.

Mivel a különböző oldószerek hatása igen eltérőnek bizonyult (l. 1. ábra) — és célunk az oldószerek hatásának csupán kvalitatív vizsgálata, ill. összehasonlítása volt, maradtunk a 24 órás szobahőfokú hevertetés után végzett PCT vizsgálatnál.

A továbbiakban az 1,1,1-triklóretán és a széntetraklorid hatását vizsgáltuk különböző gyártóktól származó SOT-32 és TO-92 tokozású eszközökön. Külön vizsgáltunk szilikon és külön epoxi tokozású eszközöket.

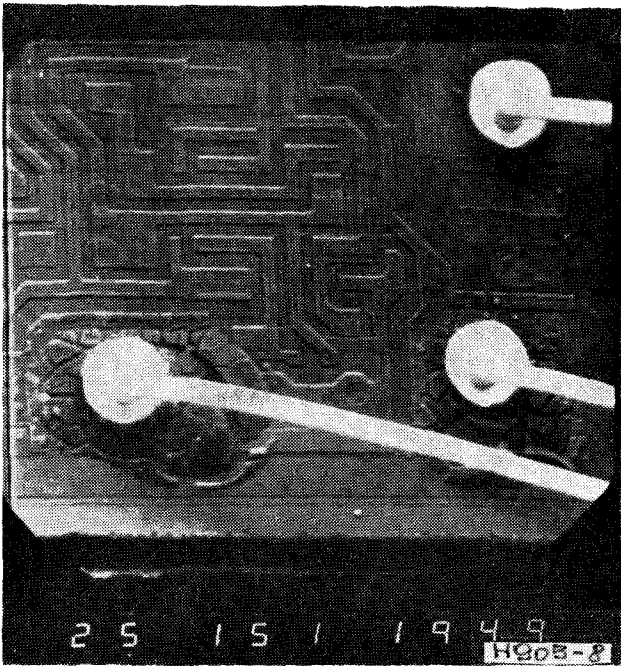
A gőznyomásvizsgálat folyamán a degradációs folyamat valamennyi gyártmány és típus esetén jóval hamarabb indult el mint az oldószerben nem kezelt eszközök esetén. A hibaanalízis itt is kloridos degradációt mutatott ki.

A vizsgált eszközök mind kereskedelmi (standard) tranzisztorok voltak.

Összefoglalás

A nedves környezetben működő félvezető eszközök meghibásodásának leggyakoribb oka az alumínium fémezés elektrokémiai korróziója.

Ismeretes, hogy reaktív fémek, pl. alumínium és



8. ábra. Batwing tokozású, felületvédelemmel ellátott integrált áramkőről készült SEM felvétel, 1,1,1 triklór-etános kezelés után. A felületvédelem a kontaktus alakban nyitott, így itt könnyen megindult a korrózió. A kontaktusok mellett jól látható a korróziós folyamattal járó nagy térfogat-növekedés. (A 2. ábrán látható „B” görbe erről a területről készült, az Au kötés melletti területről)

ötvezetei kevésbé stabil halogénezett szénhidrogénekben nem, vagy csak az oldószer megfelelő stabilizálása után tisztíthatók. Ezeket a szempontokat olyankor is célszerű figyelembe venni, amikor nem hermetikusan lezárt, a tokon belül alumíniumot is tartalmazó mikroelektronikai alkatrészeket, vagy ezekkel beforrasztott nyomtatott áramkört lapokat akarunk tisztítani. A szokásosan használt szerves zsirtalanító szerek ugyanis kapillaris erők révén a legapróbb lyukakon át is képesek az eszköz belsejébe hatolni, és leronthatják annak megbízhatóságát.

Vizsgáltuk az 1,1,1-triklór-etán, a triklór-etilén, a tetraklór-etilén, a széntetraklorid és az 1,1,2-triklór-1,2,2-trifluoretán hatását. Ezek közül az 1,1,1-triklór-etán és a széntetraklorid bizonyult veszélyesnek.

- [1] H. M. Berg und W. M. Paulson: Aluminium Corrosion in Plastic-Encapsulated Devices. EARDCOM Symposium on Plastic Encapsulate Polymer Sealed Semiconductor Devices for Army Equipment, May 1978.
- [2] N. Lycoudes: The Reliability of Plastic Microcircuits in Hoist Environmenta. Solid State Technology, B. 21, Nr. 10. 5. 53–62 (1978).
- [3] G. L. Schnable: State of the Art in Semiconductor Materials and Processing for Microcircuit Reliability, Solid State Technology, B. 21. Nr. 10, S, 69–73 (1978).
- [4] P. S. Burggraaf: Semiconductor Plastic. Encapsulants Molding Compounds. Semiconductor Internationals, Heft: ect. S. 47–64 (1980).
- [5] B. Reich: Reliability of Plastic Encapsulated Semiconductor Devices and Integrated circuits. Solid State technology, B. 21, Nr. 10, s. 82–88 (1978).
- [6] A. Vladár, G. Kalmár, A. Tóth, Gy. Benyovszky: Szilícium tranzistorok kötés degradációs meghibásodásának vizsgálata. MFKI '79 Évkönyv MTA Budapest 5. 81–83. (1979).
- [7] Wacker-Chemie GmbH. München: Chleierte Löremittel. 5. Auflage (1980).
- [8] Du Point Ltd, Freon Products Department, London: Technical Bulletin, Freon Cleaning Agents FST-1 5–8–9.
- [9] Imperial Chemical Industries Limited, Mond Division, London: Effective Low-Cost Cleaning with Arklone. (Techn. Bull.)
- [10] Zs. Nényei: Félvezető eszközök tokozása, Finommechanika–Mikrotechnika, 8. 15, Nr. 10, S. 289–298 (1976).
- [11] IEC Rec.: Mechanical and Environmental Tests. 47 (USA) 489. May 1974.
- [12] G. R. King: Quality Control and Screening in the Production of Plastic Encapsulated Semiconductor Devices (PEDs). Microelectronics and Reliability, B. 16, S. 245–249 (1977).
- [13] F. Neighbour and B. R. White: Factors Governing Aluminium Interconnection Corrosion in Plastic Encapsulated Microelectronic Devices. Microelectronics and Reliability, B., 16,5. 161–164 (1977).
- [14] J. C. Harrison: Control of the Encapsulation Material as an Aid to Long Term Reliability in Plastic Encapsulated Semiconductor Components (PEDs). Microelectronics and Reliability, B. 16, S. 233–244 (1977).
- [15] J. M. Eldridge: Solid State Devices 1980. Institute of Physics Conference, No. 57, 211.