

Monolit integrált áramkörök néhány jellegzetes meghibásodási módja, különös tekintettel a metallizációs problémákra

ETO 621.3.049.7-111,004.64

Az integrált áramkörök sorozatgyártásának növekedésével és alkalmazásának széles körű elterjedésével a jellegzetes meghibásodási mechanizmusok kiküszöbölése fontos feladattá vált. Néhány jellegzetes hibafajtát vázlatosan érintünk, majd a metallizációs problémát kiragadva, azt részletesen tárgyaljuk.

Jellegzetes hibák:

1. A szilícium szeleten levő repedések.
2. Felforrasztási hibák.
3. Műanyagtokozás esetén a tokozó anyag okozta hibák.
4. Diffúziós és oxidhibák.
5. Alumínium metallizációs hibák.

Természetesen még számos hibamechanizmus létezik, de a cikk rövid terjedelme miatt ezek tárgyalására nem kerül sor.

1. A szilícium szeleten levő repedések

A szelet peremén levő repedések

Ezek feltehetően a bejelölés, karcolás, illetve a széttördelés során keletkeznek. Szerepük az eszköz igénybevétele során kritikussá válhat, mivel továbbhaladva az aktív területet is elérhetik és ezzel katasztrófális meghibásodást is előidézhetnek.

Megelőzése: Az átnézéskor a szelet bejelölt területéről sugáralakban kiinduló repedést mutató elemek kiemelése.

A kötési területből kiinduló repedések

A termokompressziós kötés művelete során hő és nyomás éri az elemet. Ha az elem inhomogenitást, pl. oxidhibát tartalmaz, akkor a művelet során repedések keletkezhetnek rajta.

Megelőzése: Ha a repedések a kötésterület alól ki-nyúlnak, akkor a lezárás előtti 100%-os átnézés kiszűri azokat. Nehezebb probléma az olyan egyedek kiválogatása, amelyeknél csak a kötésterület alatt keletkezik repedés, ezért nem látható. Ezek kiválogatása, például 100%-os hőciklus szűrővizsgálat segítségével, a repedések terjedésének elősegítésével lehetséges.

Repedés az elem aktív területén

A helytelen bejelölés és tördelés okozza a szelet, illetve az elem repedését. A szerelés utáni elemrepe-

dést az elem és a tok anyaga közötti hőkiterjedési együtthatók különbsége okozhatja. Repedéseket idézhetnek elő a tokozás során és utána alkalmazott mechanikai erőhatások is. Ezek következményeképpen szivárgási áram keletkezhet a repedések mentén, sőt eltörhet a fémezés és az ellenállásréteg is. A repedések nem mindig eredményeznek 0 vizsgálati órán elektromosan kimérhető hibát.

Megelőzése: Tekintettel a hiba rejtett jellegére, csak megfelelő szűrővizsgálatokkal lehetséges az indikálás (mechanikai, hőciklus vizsgálatok).

2. Felforrasztási hibák

A felforrasztás helyzete nem megfelelő

Ha a felforrasztáskor az elem és az elemtartó állvány között 10° -nál nagyobb az eltérés a párhuzamostól, akkor ez a kötés során, illetve az elektromos igénybevétnél okozhat meghibásodást. A ferde helyzetű elemfelületre történő termokompressziós kötés, pl. a gömbkötés, megcsúszhat, nem egyenletes erővel nyomódik az egész gömb átmérője mentén az alumíniumhoz és az így kialakított kötés megbízhatósága kisebb, mint az egész kötésterületen egyenletesen tapadó kötésé.

További hibák lehet még a kötési művelet során alkalmazott nyomóerő hatása, amely a fenti esetben nem lesz merőleges irányú és ezért könnyen repedést okozhat az elemen. Ha a fenti kötési problémák nem lépnek fel, még mindig számolni kell azzal a lehetőséggel, hogy a későbbi elektromos igénybevétele során a termikus hatások miatt az elem félválí, ill. paraméter degradációként jelentkező hibákat észlelünk az eszközön.

Megelőzése: A szerelés ellenőrzésének megfelelő megszervezése. Ajánlatos műanyag- vagy fémtok esetén egyaránt a röntgen-átvilágításos ellenőrzés.

A felforrasztás minősége nem megfelelő

A felforrasztás nem egyenletes, az elem alatt üreg van. Ez az egyik legnehezebben kiszűrhető hibafajta, mivel elektromos méréssel nem indikálható, a megbízhatóság szempontjából azonban nagyon nagy jelentőséggel bír. Az így felforrasztott elem hőátadása egyenetlen, termikus és mechanikus igénybevétele jelent az elem számára az elektromos működés során. Korai meghibásodásként jelentkezik a hiba.

Megelőzése: A felforrasztás technológiájának szigorú határokra belüli tartásával lehetséges. A tech-

nológia ellenőrzésének gyakoriságával lehet egy adott szintet tartani. Ellenőrzésére alkalmas: az infraradioszófia és a röntgen-átvilágításos módszer.

3. Tokozóanyag okozta hibák műanyagtokozás esetén

A tokozóanyag és az áramkör egymásra hatása

Az ún. vízkihúzásos vezetőképesség-vizsgálat során az ionos szennyezéseket vizsgálták a műanyaggyártó- és felhasználó cégek. A vizsgálat során a szilikon bizonyult a legjobbnak, jelezvén a legkisebb ion-tartalmat. Az ionos és poláros részecskék kihatnak a félvezetőeszköz jellemzőire. A fenol és az epoxi anyagok egyaránt tartalmaznak poláros molekula csoportokat és szabad ionokat, amelyek inverziót vagy feldúsulást okozhatnak az elem felületén. Az epoxi ionos reakciói erősen kihatnak a tokozott eszköz visszaramaira. Méréseink azt mutatták, hogy bizonyos vizsgálatok során, már 250 óra után jelentős a visszaramnövekedés.

Megelőzése: Célszerű az elem felületét védeni, pl. passzíváló anyaggal, vagy más módon. Az üveggel védett, azaz passzívált felület más szempontból — a metallizációs részben kifejtésre kerülő okok miatt — is előnyös.

4. Diffúziós és oxidhibák

Tűlyukak

A tűlyuk képződhet egy oxid-folytonossági hiányból vagy krisztobalit szemcsehatár mentén. Ezek a tartományok néha a fémes rész alatt helyezkednek el, lehetővé téve így, hogy elektromos kontaktus képződhessen az alatta levő szilíciummal. Az előidéző okok lehetnek:

- Nem megfelelő fotorezisztmaszkolás.
- Gyors marási helyek.
- Szilícium felületi szennyezettség.

Megelőzése: A fenti három ok hatásának megelőzése.

Hamis diffúziós helyek

A hamis diffúziós helyek a tűlyukakkal vannak kapcsolatban, mivel ezek szabad felületként szolgálnak a diffúzióhoz. Ezek akkor jelentenek megbízhatósági problémát, amikor olyan aktív átmeneten, vagy annak közelében helyezkednek el, amelynek doppelási szintjei alacsonyabbak, mint a hamis diffúzióé. Következésképpen az alacsony letörési feszültségű tartományok kialakulása. Amikor túllépik ezeket a feszültségeket, lokalizált meleg foltok képződnek, ezek nagy visszaramokat hoznak létre, az átmenet degradációját okozva.

Megelőzése: Az előzőekben vázolt módon, a tűlyukak kizárásával.

Oxidkarcolások

A csipesz helytelen használata miatt keletkezhetnek, levékonyítva az oxidot, az előzőekhez hasonló

következményeket vonva maguk után. Ez a fajta hibaok csak méreteiben különbözik a tűlyukasságtól.

Megelőzése: A szeletek óvatos kezelése.

Oxidálamarás

Az oxidálamarás az oxidablak méreteinek akaratlan megnövekedését jelenti az oxid eltávolításakor. Okai lehetnek: rossz fotoreziszt adhézió, túl hosszú exponálási idő, vagy egyéb okok. Az okozott hibajelenségek megegyeznek a tűlyukaknál tapasztaltakkal.

Megelőzése: Megfelelő technológia, és annak szigorú betartása.

5. Alumínium metallizációs problémák

Az integrált áramköröknél tapasztalt meghibásodások legnagyobb része azoknak a folytonossági hiányoknak tulajdonítható, amelyek egy kontaktusablakot körülvevő szilícium-dioxid lépcsőnél, a metallizációs belső bekötésnél jelentkeznek. A scanning elektronmikroszkóp (SEM) alkalmazása lehetővé tette e kérdés tanulmányozását.

A folytonosság megszakadása leggyakrabban az oxidlépcső viszonylag éles szélé fölött következik be. A vizsgálatok kimutatták, hogy csaknem valamennyi eszköz mutat ilyen metallizációs hiányokat.

Több „horpadás” jelentkezett a kontaktusablak sík mélyedéseiben is. Az alumínium eltávolítása után kiderült, hogy ezek a „horpadások” jelen vannak a szilícium kontaktus felületén is. A további vizsgálat feltárta, hogy határozott kapcsolat van a „horpadások”, vagy ún. marási gödrök és a metallizáció között.

A vizsgálat különböző szinterelő hőmérséklet hatását vizsgálta az Al-Si reakciók szempontjából. A szilícium alumíniumban való szilárd oldhatósága gyorsan növekszik a hőmérséklettel (kb. 0,008 súlyszázalék 250 °C-on és 1,3 súlyszázalék 550 °C-on). Ha a szinterelő hőmérséklet a fémezésnél akkora, hogy az oldhatóság megközelíti az eutektikus hőmérsékletnél (577 °C) tapasztalható oldhatóságot, gyors, szilárd állapotú diffúzió lép fel. A szilícium erőteljesen bediffundál az alumíniumba és az ezzel együttjáró szilíciumvándorlás eredményeképpen a szilícium elég gyorsan eltávozik a kontaktusablak alján levő diszkrét helyről. A jelenség először 550 °C-on 20 percig történő szinterelésnél jelentkezik. A jelenség a p típusú szennyezésnél aktívabb, de egyformán fellép mind az n⁺, mind a p⁺ ablakokban, különösen a hosszú, vékony kontaktusablakoknál. A szilíciumnak alumíniumban való oldhatósága a kontaktusablak alján elhelyezkedő tartományokban és az ablakot összekötő legnagyobb tömegű alumínium közelében a legintenzívebb. A marási képek is ezt a szelektív ötvöződést mutatták.

Az alumíniumba diffundált szilícium vándorlása okozza feltehetően a magasabb szinterelő hőmérsékleten fellépő szemcsehatár-növekedést az alumíniumban. A beoldott szilícium a kontaktusablak diszkrét helyéről, az ott szilíciumban feldúsult alumíniumból a tiszta alumínium tartomány felé vándorol, és így a szilícium beoldódás tovább folytatódik.

A szilícium hajlamos a szemcsehatároknál való felgyülemlésre, a szilícium koncentráció megnövekedése a szemcsehatároknál határozottabb belső határfelületet hoz létre. Az ilyen kicsapódás kohézió hiányt idézhet elő az alumíniumszemcsék között, így az alumínium pikkelyeződik. Az alumínium és szilícium kölcsönhatása és a kész áramköröknél az alkalmazott áramsűrűség egy anyagvándorlási mechanizmust mutat.

Az anyagvándorlás a vékony alumínium filmben az elektronok és az aktivált fémionok közötti momentumkicserélődés eredménye. Ez okozza az ionok mozgását az áramfolyás irányába. Ez a fém kiürülését idézi elő a pozitív kivezetőnél, ahol az áramsűrűségnek, ill a hőmérsékletnek gradiense van, és ennek eredménye lesz a szakadt áramkör.

Különböző párolgatási és szinterelési módokat vizsgáltunk meg marási kép alapján. A fenti jelenségek adott hőfok- és időtartományoknál jelentkeztek. A kísérleti eredmények a durvább szemcseszerkezetű, passzíváló réteggel védett felületű eszközök esetén mutattak optimumot.

Kísérleteink kiterjedtek a külföldi irodalomban ismertett (Cr-Al, Ti-Al stb.) szendvics fémezésekre is.

Kísérletileg alkalmaztunk Ni-Al, Cr-Al rendszereket, ahol a fémrétegeket egymás után, azaz szendvics struktúra szerint alakítottuk ki. A fő nehézsége azonban ezeknek a megoldásoknak az, hogy többlépcsős technológiát igényelnek, amely több hibalehetőséget jelent.

A metallizációs hibák összefoglalása

Marási gödröknek szilíciumban való képződéséről bebizonyosodott, hogy az csak a nagy hőmérsékletek és áramsűrűségek hatására jelenik meg az alumínium-szilícium kontaktusokon, ahol az elektronok elfolynak a szilíciumból és belépnek az alumíniumba, ill. ahol az elektronáramlás zöme párhuzamos az alumínium-szilícium határfelülettel. Eszközmeghibásodás akkor léphet fel, amikor egy marási gödör — telve alumíniummal — keresztül a levő átmeneten és zárlatot okoz. A jelenséget kísérletileg is reprodukáltuk.

Matematikailag kiszámítható az olyan vezetők élettartama, amelyek nem tartalmaznak gradienst az áramsűrűségre, a hőmérsékletre vagy az iondiffúziós együtthatóra nézve. Kisméretű vezetőknel az ezen folyamatoknak betudható meghibásodások különö-

sen fontossá válnak — az élettartam kisebb, mint 10 év — $5 \cdot 10^4$ A/cm² áramsűrűség felett és 150 °C-nál magasabb hőmérsékleten.

Megelőzések

1. A lépcsőknél bekövetkező metallizációs szakadások megszüntetése érdekében egy éles lépcső helyett több apró lépcső alkalmazása. Technológiailag ezt azonban igen nehéz kivitelezni. A legjobb megelőzése: az oxidlépcsőnél legalább háromszor vastagabb fém használata és az árnyékolás megszüntetése a szeletek forgatásával párolgatás alatt.

2. Az alumínium szinterelésnél a hőfok és időtartam megválasztásánál figyelembe kell venni az alumínium-szilícium egymásban való szilárd oldódását.

3. Az alumínium szemcseszerkezet durvára célszerű kialakítani és a felületet passzíváló réteggel védeni a felületi diffúzió csökkentése érdekében. Tekintettel arra, hogy az alacsonyabb hőmérsékleten, az alumínium-szilícium kölcsönhatásnál az N⁺ típusú félvezetővel lép reakcióba az alumínium — feltehetően a foszfor hatása miatt — célszerű egy enyhén N⁺ doppolt passzíváló réteg használata a felület borításához.

4. Az alumínium-szilícium szilárd oldhatóságának csökkentése érdekében, a vezetőszalagok 1–2%-os szilíciumtartalmú alumínium felpárolgatásával hozhatók létre.

I R O D A L O M

- [1] Bernard Selikron: Void Formation Failure Mechanizms in Integrated Circuits. Proceedings of the IEEE 1969. szept.
- [2] Lewis E. Terry, Richard W. Wilson: Metallisation Systems for Silicon Integrated Circuits. Proceedings of the IEEE 1969. szept.
- [3] James R. Black: Electromigration Failure Modes in Aluminium Metallisation for Semiconductor Devices. Proceedings of the IEEE 1969. szept.
- [4] Robert J. Anstead, Samuel R. Floyd: Thermal Effects on the Integrity of Aluminium to Silicon Contacts in Silicon Integrated Circuits. IEEE Transactions on Electron Devices No. 4, 1969. ápr.
- [5] W. Workmann (Texas Instr): Failure Modes of Integrated Circuits and Their Relationship Reliability. Microelectronics and Reliability 1968. aug. General reliability specifications of RCA RFT-701-11 (1966.)
- [6] Frederick L. Menko és Frederic J. Lockhart: Effects of Temperature and Moisture on Plastic Encapsulants for Semiconductor Packaging (Dow Corning) Inter Nepcon 70 Brighton England 1970. okt.