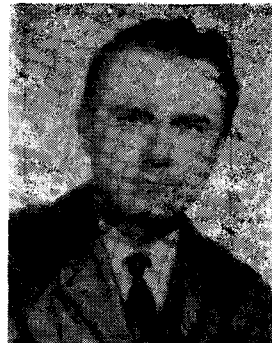


Diszkrét félvezető eszközök szűrővizsgálatai

CSORNAI LÁSZLÓ—BARNA GYULÁNÉ—VÁRADI ISTVÁN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

Műanyag tokos szilícium planár tranzisztorok egymástól jelentősen eltérő típusainál vizsgálták a kezdeti jellemzők alapján végzett szelekció módszerével és burn-in módszerrel végzett szűrővizsgálat eredményességét. A kezdeti jellemzők alapján végzett szűrés eredménytelen volt. A burn-in módszerrel a megbízhatóság kb. kétszeresre nőtt.

1. Bevezetés

A diszkrét félvezető eszközöknek nagy megbízhatóságú berendezésekben történő alkalmazása szükségessé teszi, hogy előre megadott minőségi követelményeknek megfelelő, minősített eszközöket építsenek be a tervezők berendezéseikbe. A megbízhatósági és minőségbiztosítási tevékenység így az eszközöket gyártó vállalatok egyik fontos feladatának tekintendő. A minősítő vizsgálatoknak egyik jelentős területét képezik a legfontosabb meghibásodási mechanizmusokat feltáró, a rejtett hibás eszközöket kimutató szűrővizsgálatok. A jelen közlemény a nemzetközi minősítési fokozat általános követelményeiből kiindulva ismerteti a leglényegesebb vizsgálati és értékelési eljárásokat, majd rátér a diszkrét félvezető eszközök esetében alkalmazott szűrővizsgálatokra. A leggyakrabban alkalmazott szűrővizsgálati eljárások eredményességéről ad értékelő elemzést több szilícium planár tranzisztor típuson elvégzett vizsgálatok adatai alapján.

2. Minősítési rendszerek

Az USA-ban alkalmazott — diszkrét félvezető eszközökre vonatkozó — minősítési rendszer négyféle minőségi szintet definiál, amelyeket a továbbiakban

1. táblázat

Diszkrét félvezető eszközök minősítése (USA)

Minősítési szakasz	Minőségi kategória			
	I.	II.	III.	IV.
1. Kezdeti minősítés	×	×	×	×
2. Szűrés	×	×	×	—
3. Minőség-megfelelőség ellenőrzése				
„A” csoport (tételenként)	×	×	×	×
„B” csoport (tételenként)	×	×	×	×
„C” csoport (6 havonként)	×	×	×	×

Beérkezett: 1984. XII. 5. (A)

CSORNAI LÁSZLÓ

Rádiómérnök oklevélét az Állami Műszaki Főiskolán 1951-ben szerezte. 1948 és 1983 között a Tungstam Rt. alkalmazottja volt, szakmai területére is ott alakult ki: különféle elektroncsövek és félvezetőeszközök mérés-technikája. Huzamosabb idő óta minőségel-

lenőrzési területen dolgozik, 1983 óta a Mikroelektronikai Vállalatnál. Oktatási területen is tevékenykedik. Több elektroncső és félvezető témájú szakcikket, jegyzetet írt. Tagja a Rádiótechnika szerkesztő bizottságának és a Híradástechnikai Tudományos Egyesületnek.

az I—IV római számokkal fogunk jelölni. A minősítési eljárás egyes lépéseit az 1. táblázatban foglaljuk össze. Amint az a táblázatból látható, a legalacsonyabb (IV.) minőségi kategória kivételével, mindig része a minősítési eljárásnak a szűrővizsgálat. A minőség-megfelelőség ellenőrzésére szolgáló vizs-

2. táblázat

Az „A” csoport vizsgálatai (USA)

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD értéke az egyes minőségi kategóriában	
		I.	II—III—IV.
1. alcsoport	Szemrevételezés és mechanikai vizsgálat	c = 0 n = 15	5
2. alcsoport	Sztatikus paraméterek mérése 25 °C-on	3	5
3. alcsoport	Sztatikus paraméterek mérése a legmagasabb és a legalacsonyabb hőmérsékleten	(A 2—4. alcsoportokra együttesen vonatkozik)	5
4. alcsoport	Dinamikus paraméterek mérése 25 °C-on		5
5. alcsoport	Kiválasztott sztatikus paraméterek mérése	10	10
6. alcsoport	Lököáram-mérés (diódák és egyenirányítók esetében)	(Az 5—7. alcsoportokra együttesen vonatkozik)	10
7. alcsoport	Kiválasztott dinamikus paraméterek mérése		10

gálatokat (csoportonként) a 2–4. táblázatokban soroljuk fel. Megadjuk a követelményként előírt vizsautasítási hibaszintet (LTPD érték) vagy a mintanagyságot (n) és az átvételi hibaszámot (c). Az A és B csoport vizsgálatait tételenként, a C csoport vizsgálatait félévenként végzik el. Az 5. táblázatban az egyes minőségi kategóriákhoz tartozó szűrővizsgálatokat soroljuk fel.

Valamennyi szűrővizsgálatot el kell végezni az I. minőségi kategóriába sorolt alkatrészekre, amint az a táblázatból kitűnik. A II. és a III. minőségi kategória esetén egyes kevésbé fontos vizsgálatok elmaradnak, de a hőhatáson alapuló vizsgálatok (hőkezelés magas hőmérsékleten, hősokk [hőciklus] stb.) egyik szűrővizsgálati sorozatból sem hiányoznak.

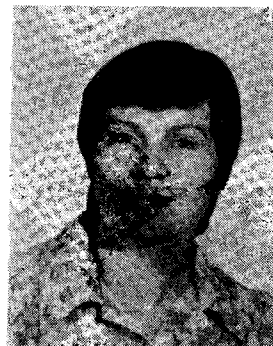
A nyugat-európai országokban az USA szabványtól kissé eltérő minősítési rendszert alkalmaznak. Az e szabvány szerint minősített eszközök esetében a minősítés-jóváhagyás és a minősítés-ellenőrzés követelményeit a 6–8. táblázatok foglalják össze az előbbi szabványhoz hasonlóan A, B és C vizsgálatok szerinti csoportosításban. A táblázatokban E, F és L szimbólumokkal jelöljük a minőségi szinteket, és megadjuk a hozzájuk tartozó mintavételi ellenőrzési szinteket (IL), az átvételi hibaszintet (AQL) vagy mintanagyságot (n) és az átvételi hibaszámot. Az időszakos C vizsgálatoknál feltüntetjük az időszakoszt (p) is. Ebben a minősítési rendszerben is igen fontos szerepük van a szűrővizsgálatoknak, amelyeket a 9. táblázatban sorolunk fel.

3/a táblázat

A „B” csoport vizsgálatai I. minőségi kategóriájú diszkrét félvezető eszközökre (USA)

Alcsoportok	Vizsgálat	LTPD értékre nagy tétélekre	n/c kis tétélekre
1. alcsoport	Méretek	10	8/0
2. alcsoport	Forrasztathóság és forrasztási hőállóság-vizsgálat	15	6/0
3. alcsoport	Hősokk (hőciklus) vizsgálat Lezárttság-vizsgálat Villamos paraméterek mérése Belső szemrevételezés SEM-vizsgálat Bondolási szilárdság-vizsgálat	10	6/0
4. alcsoport	Élettartam-vizsgálat	10	—
5. alcsoport	Gyorsított élettartam-vizsgálat (275 °C réteghőmérséklet, 96 óra) Villamos paraméterek mérése Bondolási szilárdság-vizsgálat	10 n = 20 c = 0	12/2 5/0
6. alcsoport	Hőellenállás-vizsgálat	10	8/0

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); n = mintanagyság; c = átvételi hibaszám.



BARNA GYULÁNÉ

Villamos üzemmérnöki oklevelét 1972-ben szerezte a Kandó Kálmán Vili. Műsz. Főiskolán. 1972 és 1983 között a Tungram Rt. MEF osztályán dolgozott. Eleinte elektroncsövel, majd a

későbbiekben félvezető eszközökkel foglalkozott. A félvezető eszközök tartós szárazmeleg és elektromos terhelés vizsgálatát végzi. 1983 óta a Mikroelektronikai Vállalat hasonló osztályán dolgozik. A Híradástechnikai Tudományos Egyesület tagja.

3. Szűrővizsgálatok

Mint azt az előző részben láttuk, a minősítési rendszerek fontos részét képezik a szűrővizsgálatok. A szűrővizsgálatok segítségével válogatjuk ki a gyártott alkatrész tételéből azokat a példányokat, amelyek az üzemeltetés során várhatóan rövid idő alatt meghibásodnának. Ezáltal a megszárt alkatrészek megbízhatósága jelentősen megnő.

3/b táblázat

A „B” csoport vizsgálatai II., III., IV. minőségi kategóriájú diszkrét félvezető eszközökre (USA)

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD értéke
1. alcsoport	Forrasztathóság és forrasztási hőállóság-vizsgálat	15
2. alcsoport	Hősokk (hőciklus) vizsgálat Lezárttságvizsgálat Villamos paraméterek mérése	10
3. alcsoport	Élettartam-vizsgálat Villamos paraméterek mérése	5
4. alcsoport	Belső szemrevételezés Bondolási szilárdság-vizsgálat	1 eszköz/0 meghibásodás tételenként n = 20, c = 0
5. alcsoport	Hőellenállás-vizsgálat	15
6. alcsoport	Magas hőmérsékletű élettartam-vizsgálat villamos terhelés nélkül	7

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); n = mintanagyság; c = átvételi hibaszám.

4. táblázat

A „C” csoport vizsgálatai
az összes minőségi kategóriára
diszkrét félvezetők esetében
(USA)

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD érték
1. alcsoport	Méretek	15
2. alcsoport	Hősokk vizsgálat Kivezetés szilárdságvizsgálat Lezártág-vizsgálat Nedvesmeleg állóságvizsgálat Külső szemrevételezés Villamos paraméterek mérése	10
3. alcsoport	Mechanikai ütésállóság-vizsgálat Rázásvizsgálat (változtatható frekvencián) Villamos paraméterek mérése Állandó gyorsulásvizsgálat	10
4. alcsoport	Sósködvizsgálat	15
5. alcsoport	Kislégnyomás-vizsgálat	15
6. alcsoport	Élettartam-vizsgálat (1000 óra)	$\lambda = 10$

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); $\lambda = \lambda$ -faktor (%/1000 óra).

Hatékony szűrővizsgálati módszerek kidolgozásához ismerni kell az alkatrészek meghibásodásának módjait és azok kiváltó okait, vagyis a hibamechanizmusokat is ismerni kell továbbá azok aktiváló tényezőit. Minden szűrővizsgálat a következő feltételezéseken alapul:

- A szürendő alkatrésztétel-keverék, amely nagyrészt az elfogadható hibásodással működő részből és kisméretű, az elfogadhatatlan mértékben meghibásodó részből áll.
- A használat során bekövetkező meghibásodás a példány kezdeti tulajdonságával előre meghatározott.
- E kezdeti tulajdonságok nem roncsoló vizsgálati módszerekkel megismerhetők.
- Ha e tulajdonságok nem ismerhetők meg, akkor legalább olyan igénybevétel létezik, amely a potenciálisan hibás példányoknál a hibát rövid idő alatt előhívja.

Vizsgálatokat végeztünk a fenti feltételezések érvényességének meghatározására, ugyanis felmerülnek olyan gondolatok, hogy e feltételezések a gyakorlatban csak korlátozottan valósulhatnak meg.

- A szürendő tétel jó része és a rossz része összeosódhat, ha a hibatünetek azonosak.
- A determinizmus érvényességében nem kell kételkedni, mégis a meghibásodást gyakran semmi sem jelzi előre, a hiba hirtelen következik be. A hiba lehet valamely jellemző megváltozása, de lehet teljes működésképtelenség is. Tipikus példának említhető az üreges tokban megta-
padt, majd szabadon mozgó fémdarabka, amely adott esetben zárlatot okoz.

— A hibát okozó rejtett tulajdonság és a vele együtt fellépő és megismerhető, indikáló tulajdonság között nem mindig van elegendően szoros korreláció. Sokszor olyan költséges vizsgálattal lehetne csak az indikáló tulajdonságot ellenőrizni, hogy a szűrés gazdaságtalan. Van olyan rejtett tulajdonságok, amelyek vizsgálatára nincs is mód, mivel ahhoz az alkatrészt fel kellene bontani, márpedig szűrésre csakis nem roncsoló módszer alkalmas.

— Abban az esetben, ha egyáltalán nincs olyan mérési, vizsgálati módszer, amely alkalmas a potenciális hibával összefüggő tulajdonságok ellenőrzésére, vagy e módszer gazdaságtalanul drága, akkor kerül előtérbe a hibát kiprovokáló igénybevétel (pl. burn-in) kidolgozása és alkalmazása. A szűrni kívánt hiba okának, eredetének ismeretében ki kell választani a megfelelő hibaaktivátort (pl. hőntartás, rázás

5. táblázat

Szűrővizsgálatok diszkrét félvezető eszközökre
(USA)

Szűrővizsgálat	Minőségi kategória		
	I.	II.	III.
1. Belső vizuális ellenőrzés	×	×	—
2. Hőkezelés magas hőmérsékleten	×	×	×
3. Hősokk (hőciklus)	×	×	×
4. Állandó gyorsulás	×	×	×
5. Részecske ütközéséből eredő zaj detektálása	×	—	—
6. Ütésállóság-vizsgálat Rázásvizsgálat	×	—	—
7. Lezártágvizsgálat	×	×	×
8. Sorszámozás	×	—	—
9. Közbenső paramétermérés	×	—	—
10. Magas hőmérsékletű égetés záróirányú előfeszítéssel	×	×	×
11. Közbenső paramétermérés	×	×	×
12. Égetés villamos terheléssel Tranzisztorokra Diódákra, egyenirányítókra	×	×	×
	240 óra	168 óra	168 óra
	240 óra	96 óra	96 óra
13. Végső elektromos paramétermérés	×	×	×
14. Lezártágvizsgálat	×	—	—
15. Átvilágítás röntgensugárral	×	—	—
16. Külső vizuális ellenőrzés	×	—	—

**Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai. Tételenkénti vizsgálatok
Az „A” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)**

Vizsgálat	Minőségi szint					
	E			F és L		
	IL	AQL	megjegyzés	IL	AQL	megjegyzés
A1 alcsoport Szemrevételezés vizsgálat	I.	0,65		I.	1,5	
A2a alcsoport Működőképesség ellenőrzése	II. II.	0,10 0,15	diódák tranzisztorok	II. II.	0,10 0,15	diódák tranzisztorok
A2b alcsoport Villamos paraméterek	II.	0,4	a legfontosabb statikus paraméterek	II. II.	0,65 1,0	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter
A3 alcsoport Villamos paraméterek	II.	0,65	a többi statikus paraméterek	I. I.	2,5 4	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter
A4 alcsoport Villamos paraméterek	S4	1	dinamikus para- méterek	S4 S4	4 6,5	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter

Megjegyzés: IL- ellenőrzésszint, AQL- átvételi hibaszint (%).

7. táblázat

**Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai
tételenkénti vizsgálatok A „B” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)**

Vizsgálat	Minőségi szint				
	E	F		L	
		n/c	IL	AQL	IL
B1 alcsoport Méretek	15/0 vagy 25/1	S2	2,5	S2	2,5
B2 alcsoport Az eszközre megadott határadatok ellenőrzése	15/0 vagy 25/1	S4	4	—	—
B3 alcsoport Kivezetők hajlításvizsgá- lata, ha meg- valósítható	15/0 vagy 25/1	S3	2,5	S2	4
B4 alcsoport Forraszthatóság	22/0 vagy 38/1	S4	2,5	S4	2,5
B5 alcsoport Ciklikus hő- mérsékletvál- tozás, utána gyorsított nedvesmeleg vagy lezártság- vizsgálat	15/0 vagy 25/1	S4	2,5	—	—
B8 alcsoport Villamos terhelés	38/1 vagy 52/2	S4	1,5	—	—

Megjegyzés: n = mintanagyság; c = átvételi szám; IL = ellenőrzési szint; AQL = átvételi hibaszint (%).

stb.) és a hibaindikatort (pl. szaturációs feszültség, zaj stb.), el kell dönteni az igénybevételi időt. Sok esetben a megfelelő igénybevétel túl drága, más esetben az igénybevétel a jóknál is megindít kedvezőtlen hibamechanizmusokat. Az sem mindig magától értetődő, hogy adott igénybevételre a különböző alkatrészpéldányok azonos hibamechanizmus beindulásával reagálnak.

A következőkben előbb a diszkrét félvezető eszközök jellemző hibamechanizmusait mutatjuk be, majd ismertetünk két hazánkban kidolgozott szűrővizsgálati módszert, továbbá beszámolunk ezen módszerek alkalmazásának tapasztalatairól.

3.1. Diszkrét félvezető eszközök meghibásodásának okai és a jellegzetes hibamechanizmusok. Hibaeredet

A használatban előforduló tipikus hibák okát vizsgálva jellegzetes hibaeredetek, hibamechanizmusok találhatók. A legismertebbeket a 10. táblázat foglalja össze. A táblázat tartalmazza a hiba eredetét, a jellegzetes tünetet, továbbá azokat a külső tényezőket, amelyek a hiba megjelenését befolyásolják. A 10. táblázatban felsorolt hibaeredetekről a következő összefoglalót kell ismerni ahhoz, hogy a megfelelő szűrővizsgálatot megtervezhessük.

Bezárt vezető részecske. Üreges tok esetén előfordul, hogy kristálytörmelék, vezető por (pl. elszenesedett textilszál), bondoló huzal darabkája búvik meg a tokban. E kis tömegű részecskék valahol észrevétlenül megtapadnak. A használat során, kiszámíthatatlanul átvezetést, zárlatot okozhatnak. Nagy gyorsulású ütés, rázás képes e részecskéket megmozdítani.

Fémezés (aluminizálás) szakadása. A vákuumpárologtatással és szelektív marással kialakított fé-

Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai időszakonkénti vizsgálatok
A „C” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)

Vizsgálat	Minőségi osztály						
	E (p=3 hónap)		F (p=3 hónap)			L	
	n/c	megjegyzés	n/c	megjegyzés	P	n/c	megjegyzés
C1 alcsoport Méretek	8/0 vagy 13/1		8/1		3	8/1	
C2a alcsoport Villamos mérések	15/0 vagy 25/1		13/1		3	13/1	
C2b alcsoport Záróirányú paraméterek	32/0 vagy 55/1 15/0 vagy 25/1	áramok áramok és feszültségek	18/1		3	18/1	
C2c alcsoport Az eszközre megadott határadatok ellenőrzése	15/0 vagy 25/1		13/1		3	8/1	
C3 alcsoport Húzás és/vagy csavarás	15/0 vagy 25/1		8/1		6	8/1	
C4 alcsoport Forrasztási hőállóság	22/0 vagy 38/1		18/1		—	—	
C5 alcsoport Ciklikus hőmérséklet-változás, utána gyorsított nedvesmeleg vagy lezártágvizsgálat	15/0 vagy 25/1		—		3	13/1	
C6 alcsoport Ütés vagy állandó gyorsulás, rázás	15/0 vagy 25/1		8/1		6	8/1	
C7 alcsoport Nedvesmeleg-állóság (ha lehetséges)	15/0 vagy 25/1		18/1		—	—	
C8 alcsoport Villamos terhelés	38/1 vagy 52/2		43/3 34/2	körny. hőm. tokhőm.	3 3	32/3 25/2	körny. hőm. tokhőm.
C9 alcsoport Tárolás magas hőmérsékleten	38/1 vagy 52/2		43/3 34/2	körny. hőm. tokhőm.	— —	— —	

Megjegyzés: IL = ellenőrzési szint; AQL = áviteli hibaszint (%) P = ellenőrzés időszaka (hónap).

mezés szakadásának több oka lehet. Első helyen a korrózió áll. Meg kell említeni az elektromigrációt és az oxidlépcsőknél bekövetkező szakadást is.

A fémzés egy része érintkezik a környező mikroklímával még akkor is, ha a nagyobb részét védő réteg (pl. üveg, nitrid) takarja. A tok belső atmoszférájának kitett részen, a bezárt szennyezőktől eredően korrózió léphet fel. A korróziót fokozhatja a fémzett részek közti feszültség, a különböző fémek érintkezése, a bezárt vagy behatoló víz, továbbá valamilyen maró anyag pl. a klór.

A fémzésben folyó elektromos áram hatására a fématomok átrendeződnek, a kristályszerkezet átalakul, szakadásra vezető helyi fémihiányok léphetnek fel. Ezt az elektromigrációt gyorsítja a nagyobb áramsűrűség és a nagyobb hőmérséklet.

A szakadás tipikus helye az oxidlépcsőnél kialakult vékonyodás és a termokompressziós kötés környezete.

A korrózió gyakran a tokba kívülről behatoló ag-

resszív anyag következménye, ezért ilyenkor szekunder hibának számít.

Fémzés (alumínizálás) oldódása a szilíciumban. Nagyobb hőmérsékleten előfordul, hogy a fémzéshez használt alumíniumba szilícium diffundál be és a szilícium helyére alumínium hatol, ami ha elég mély, a pn-átmenetet rövidevé zárja.

Fémzakáll (whisker). Akár a tokon kívül a kivezetések között, akár a kristály felületén hosszabb idő alatt képződhet túszerű vagy dentrites fémkristály, amely zárlatot okozhat. A képződést klimatikus és hőmérsékleti hatások segíthetik elő. Ismert az ón, az alumínium, az arany ilyen tulajdonsága. Ezüst esetében szulfid kristályok nőhetnek a kivezetések közé.

Hermetikusságrómlás. Sok szekunder hibát okoz a hermetikusság elégtelensége. A különféle tokozási formának megfelelően a fém-üveg, fém-kerámia, fém-polimer, fém-fém kötés tökéletes záróképes-

**Diszkrét félvezető eszközök szűrővizsgálata
(Nyugat-Európa)**

Sorszám	Vizsgálat	Részletek és feltételek	Sorozatok			
			A	B	C	D
1.	Belső vizuális ellenőrzés	Nem alkalmazható azokra a diódákra, amelyeknek átlátszatlan vagy műanyag a tokozásuk, valamint az egyenirányító diódákra és a tirisztorokra	×			
2.	Tárolás magas hőmérsékleten (stabilizáló hőkezelés)	Általában a tárolási hőmérséklet az eszközre megengedett maximális érték, az időtartam pedig legalább 24 óra	×	×	×	
3.	Gyors hőmérséklet-változás	Az eszköz előírásai szerint	×	×	×	
4.	Állandó gyorsulás (centrifuga)	Nem alkalmazható a két kivezetővel rendelkező alkatrészekre, az egyenirányító diódákra és tirisztorokra, valamint üregmentes tokozású eszközökre. Az időtartam legalább 1 perc, a gyorsulás az eszközre megadott érték.	×	×	×	
5.	Lezártásvizsgálat — finom — durva	Csak üreges tokozású eszközökre	×	×	×	
6.	Funkcionális villamos paraméterek	A minősítő vizsgálatok végpontjaiban előírt méréseket kell itt is elvégezni				
6.1.	Méréses mintavétel	Valamennyi eszköz összes paraméterének lemérése és feljegyzése	×			
6.2.	Minősítéses mintavétel	A határadatokat túllépő eszközök kiválogatása A C sorozatnak ez az utolsó vizsgálata		×	×	×
7.	Égetés a) diódák, az egyenirányító diódák kivételével b) bipoláris tranzistorok c) bipoláris tranzistorok d) FET-ek e) egyenirányító diódák f) tirisztorok	Időtartam: Időtartamtűrős: Magas hőmérséklet, nyitó vagy záróirányú előfeszültség Villamos működés, névleges környezeti hőmérsékleten Névleges tokhőmérsékleten, záró előfeszültséggel Magas hőmérsékleten, záró előfesz. Névl. körny. hőmérsékleten nyitóirányú feszültséggel, névl. tokhőmérsékleten, záróirányú feszültséggel	168 h — 8	72 h — 4		48 h — 2
8.	Funkcionális villamos paraméterek					
8.1.	Méréses mintavétel	Mint a 6.1.-ben	×			
8.2.	Minősítéses mintavétel	Mint a 6.2.-ben		×	×	

Megjegyzés: n = mintanagyság; c = átviteli hibaszám; P = ellenőrzés időszaka (hónap).

gét a helyes anyag választása és a technológia biztosítja. Mégis a hőciklusok, a kivezetések és a tok mechanikai igénybevétele repedéseket okozhatnak. A környezet agresszív anyagai a kötések tapadását elronthatják, korrózió következtében a szerkezet anyagait elroncsolhatják. Ilyen esetben a tok nem képes visszatartani a szennyezőanyagokat.

Ismeretes, hogy a műanyag tokos eszközöknél maga a polimer is bizonyos mértékben átengedi a vizgót.

Inhomogén tömb. A kristályban eleve meglévő inhomogenitás (kristályhibák, vezetőképesség inhomogenitás, szennyező zárványok stb.) vagy a technológia alatt kialakuló inhomogenitás (pl. EDE-hatás, bázis-

ellenállás eltérés) hatására az eszközben folyó áram, akár az aktív, akár a záró üzemmódban vagy letörési állapotban nem egyenletesen oszlik el, hanem csatornáknak koncentrálnak. E csatornák túlmelegedhetnek és az inhomogenitás idővel fokozódik, végül zárlat alakul ki. Az inhomogenitásból eredő hibák megjelenését a hőmérséklet, az elektromos igénybevétel befolyásolja.

Kristályfelület-szennyezés. A planár technológiával előállított pn-átmenetek kiérnek a kristály felületére, de a felülettakaró szilícium-oxid, védőüveg, szilícium-nitrid védőrétegek elzárják a pn-átmenetet a környező atmoszférától. Nem tökéletesen záró védő-

Hibaeredetek és hatótényezők

rétegen át szennyezők (pl. ionos szennyezők, víz) juthatnak a pn-átmenethez és ionvándorlás következtében átvezetési áramot okozhatnak.

Szennyezés ép védőréteg esetén is okozhat bajt, ha a rá települő ionos szennyezők téreffektussal befolyásolják a kristály felületközei töltéshordozóit és kedvezőtlen esetben vezetési típus inverziót okoznak. Az inverzió miatt kiterjedő pn-átmeneten megnövekedett záróáram folyik. Nagy mértékű inverzió esetén a pn-átmenet a védőréteggel nem fedett, roncsolt kristálytartományig is kiterjedhet, ami nagy átvezetést okoz. A felületi hibák miatt megnövekedő rekombináció csökkenti az áramerősítési tényezőt, növeli a zajt. A szennyező anyag eleve rajta lehetett a kristályon, de a tok távolabbi pontjáról is oda jutott a hőgradiens, az elektromos tér hatására, vagy a nem hermetikus tok miatt kívülről jutott be. Emiatt e hibaokokat sokszor szekunder oknak tekintik.

Kristályfelválás. Az eutektikus arany-szilícium forrasztásnál is, vezető műanyag ragasztásnál is előfordul, hogy az ismétlődő hőmérsékleti ciklusok okozta hőkiterjedés következtében a kristály felválk a tartó fémről. Ritkán fordul elő, hogy korrózió okozza a kötés elromlását. Szakadásként, maradékfeszültség romlásként jelentkezik.

Kristályrepedés. Inkább nagy méretű chipkeknél előforduló hiba a kristály repedése. A hőmérsékleti ciklus, az ismétlődő ki- és bekapcsolás okozhatja, ha a hőkiterjedési tényező jelentősen eltér a kristály és a hozzá kapcsolódó anyagok között. A letörési feszültség csökkenésében, záróáram növekedésben, zárlatként mutatkozik meg.

Termokompressziós kötés romlása. A gyengén tapadó (rosszul kivitelezett) kötések felválnak a használat során előforduló hőkiterjedési mozgások és mechanikai eredetű erők következtében. A jól kivitelezett kötések is elromolhatnak intermetallikus ötvözetek kialakulása (pestis) vagy korrózió következtében. Az Au, Al, Si rendszerben nagyobb hőmérsékleten lezajló diffúzió kis szilárdságú, nagy fajlagos ellenállású ötvözetet alakít ki, ami miatt a kötés ohmikus ellenállása megnő, a tapadás lecsökken. Mindez az eszköz elektromos jellemzőinek romlásával jár együtt, végül szakadás következik be.

A kötési területen levő eltérő fémek között galván és elektrolit korrózió is előfordul. A kötés környezetében gyakori a kémiai korrózió is. Mindenféle korróziót siettet, ha a kötéshez szennyező anyag pl. klór jut. A szennyező anyag a nem hermetikus tokozás miatt kívülről is bejuthat.

Ilyen esetben a kötés romlása szekunder hiba.

Termokompressziós huzal szakadása. Mind az arany, mind az alumínium huzal jelentősen deformálódik a bondolás helyén, ezáltal lecsökken a szilárdsága. A huzal metallográfiai szerkezete fokozatosan átalakul, durva kristályok alakulnak ki, melynek hatásán csúszások, szakadások következhetnek be. A huzalba diffúzió útján ötvöző anyagként behatolhat a fémzés anyaga vagy maga a szilícium, ami rontja a huzal szilárdságát. Mechanikai igénybevétel (ütés, rázás, állandó gyorsulás) szakadást okozhat. Műanyag tokozású eszközöknél a hőciklus hatására szakadhat el a huzal.

Hibaeredete (ok, hibamechanizmus)	Tünet (hiba)	Befolyásoló tényezők						
		hőmérséklet	hőmérséklet-változás	áram	feszültség	gyorsulás	nedvesség	kivetés mechanikai igénybevétele
Bezárt részeske (vezető)	Bizonytalan működés, zárlat						×	
Fémezés (Al) szakadás, korrózió miatt, elektromigráció miatt, oxidlépcsőnél	Szakadás, ezt megelőzően pl. maradékfeszültség-növekedés	×	×	×	×		×	
Fémezés (Al) oldódás szilíciumban	Zárlat	×						
Fémzakáll	Zárlat	×					×	
Hermetikusságromlás	Minden olyan hiba kifejlődhet ami víztől függ	×	×				×	×
Inhomogén tömb: fajlagos ellenállás inhomogén rétegvastagság inhomogén	Kicsi igénybevehető tartomány (SOAR) Zárlat	×		×	×			
Kristályfelület szennyezése	Záróáram romlás, zajosodás, erősítés csökkenés	×			×		×	
Kristályfelválás forrasztásnál ragasztásnál	Szakadás		×					
Kristály repedés	Bizonytalan működés Zárlat		×				×	
Termokompressziós kötés romlása gyenge szerelés miatt pestis miatt korrózió miatt kémiai ok galván ok elektrolitikus ok	Szakadás, ezt megelőzően pl. maradékfeszültség-növekedés	×	×			×	×	×
Termokompressziós huzal szakadása	Szakadás		×				×	×
Termokompressziós huzal zárlata	Zárlat	×	×				×	

Termokompressziós huzal zárata. Elsősorban szerelési hiba miatt a huzal túlságosan megközelítheti a szomszédos kötőhuzalt, valamely fém tartót vagy a kristályt. Hőciklusok, mechanikai igénybevételek hatására a távolság tovább csökkenhet és zárlat alakul ki.

A 10. táblázat 12-féle fő hiba eredetét sorolja fel. Ezeket az egyes tényezők a következő rangsor szerint befolyásolják:

- 8-féle hiba eredetét befolyásolja a hőmérséklet;
- 7-félét a hőmérséklet-változás;
- 5-félét a nedvesség;
- 5-félét a gyorsulás;
- 4-félét az elektromos feszültség;
- 2-félét az elektromos áram;
- 2-félét a kivezetések igénybevétele.

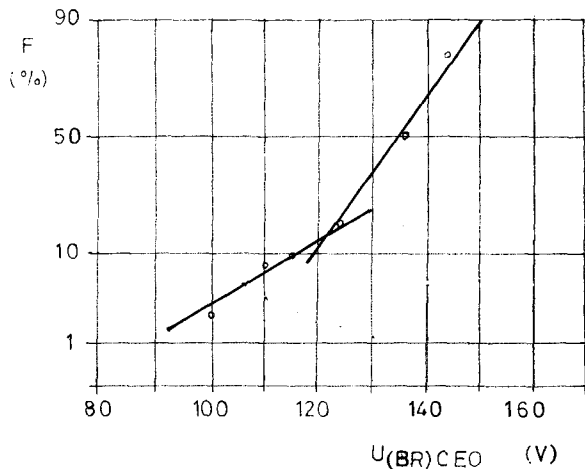
Olyan esetben, amikor a hibákról semmit sem tudunk „valószínűségi alapon” célszerű olyan szűrővizsgálattal próbálkozni, amely a legtöbbféle hiba eredetére ható igénybevételt adja. Ezért találkozni leggyakrabban hőntartásból, hőciklusból álló szűrővizsgálattal.

3.2. Szűrés méréssel és burn-in módszerrel

A szűrővizsgálatokat az alábbi műanyag tokos szilícium planár tranzisztorokon próbáltuk ki:

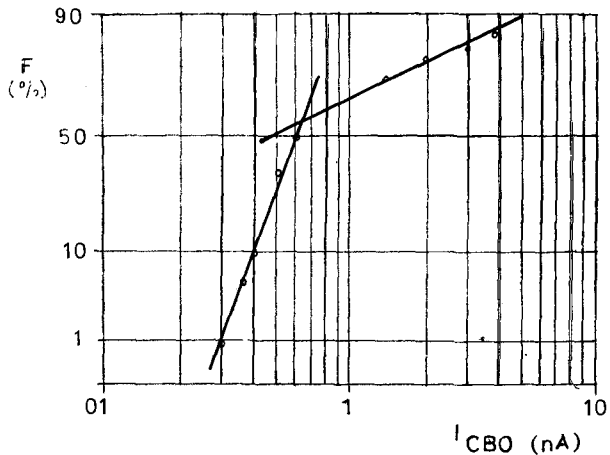
BD 241 C, BD 242 C, BD 810	nagy teljesítményű, hangfrekvenciás tranzisztorok
BFB 90	közepes teljesítményű, nagyfrekvenciás tranzisztor
BF 479 T, BF 679	kis teljesítményű, nagyfrekvenciás tranzisztorok

A szűrővizsgálatot méréses módszerrel annak feltételezésével terveztük, hogy a meghibásodásra vezető rejtett tulajdonság és az egyes, szokás szerint mért jellemzők értékei összefüggnek. Úgy terveztük, hogy



H27-1

1. ábra. Kollektor-emitter letörési feszültség eloszlás függvénye Gauss-papíron. A töréspont kb. 120 V-nál jelöli ki a szelektáló határt



H27-2

2. ábra. Kollektor visszaram eloszlás függvénye lognormál papíron. A szelektáló határ kb. 0,6 nA-nál választható

a normális szórásból kieső példányok kerüljenek szelekciónra. A vizsgált jellemzők: I_{CBO} , I_{CEO} , $U_{(BR)CEO}$, U_{CEsat} , h_{21E} , ugyanis ezeknél a Gauss-papíron, illetve lognormál-papíron ábrázolt eloszlásfüggvény egyes esetben jól látható töréspontot mutatott. A szűrés határát a töréspontnál választottuk meg (1. ábra és 2. ábra).

A fent leírt, normális szórásból kieső példányok alapján végzett szűrésen kívül kipróbáltuk a burn-in módszert is. A maximálisan megengedett réteghőmérsékletet (T_{jmax}) és $0,7 U_{CEmax}$ igénybevélt állítottuk elő megfelelő tápfeszültség és kollektoráram beállításával. Az igénybevétel ideje 168 óra. Az áramkör kéttelipes táplálású báziskapcsolás.

11. táblázat

Méréses módszer eredményei

Típus	Szűrő jellemző	λ_{50} szűrés nélkül (10^{-8} 1/h)	λ_{50} szűrve (10^{-8} 1/h)
BD 241 C	I_{CBO} $U_{(BR)CEO}$ h_{21E}	5,3	6,6 (78 586)
BD 242 C	I_{CEO} U_{CEsat} h_{21E}	9,6	7 (89 170)
BD 810	I_{CBO} $U_{(BR)CBO}$ U_{CEsat}	4	3,1 (29 500)
BFB 90	I_{CBO}	3,4	3,6 (82 668)
BF 479 T	I_{CBO}	2,1	1,75 (234 502)
BF	I_{CBO}	1,24	1,28 (244 418)

Megjegyzés: Az utolsó oszlopban zárójelben az eszközóra-volumen van feltüntetve.

Burn-in módszer eredményei

Típus	λ_{60} szűrés nélkül (10^{-6} 1/h)	λ_{60} szűrve (10^{-6} 1/h)
BD 241 C	7,1	2,7 (73 250)
BD 242 C	11,4	4,6 (72 000)
BD 810	4	1,85 (49 500)
BFR 90	12,4	6 (32 750)
BF 479 T	3,5	2,8 (148 750)
BF 679	2,1	1 (198 750)

Megjegyzés: Az utolsó oszlopban zárójelben az eszközöraz volumén van feltüntetve.

3.3. Eredmények

A szűrt és szűrés nélküli tételeket elektromos tartós terhelésnek vetettük alá. A terhelés $T_{j\max}$ és $0,7 U_{CE\max}$ igénybevétel mellett történt. A meghibásodást az alábbi jellemzőkkel indikáltuk:

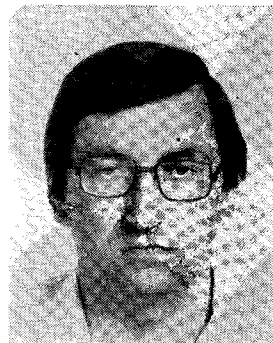
- I_{CBO} kollektor visszaram;
- I_{CEO} kollektor-emitter visszaram;
- $U_{(BR)CEO}$ kollektor-emitter letörési feszültség;
- h_{21E} nagyjelű áramerősítési tényező;
- U_{CEsat} szaturációs feszültség.

A vizsgálat végén meghatároztuk a meghibásodási ráta 60%-os konfidenciahatárát (λ_{60}). Az eredményeket a 11. és 12. táblázat foglalja össze.

A szűrés során és az ellenőrző terhelési vizsgálat során megmutatkozó hibákat a 13. táblázat foglalja össze.

4. Értékelés

A szokásosan vizsgált jellemzők kezdeti mérésével és a normális eloszlás határához illesztett szelektáló határ módszerével történő szelektálás nem vezetett gyakorlatban használható eredményre. Néhány típusnál mutatkozó kis javulás nincs arányban a ráfordítással. A megbízhatóságot rontó, rejtett tulajdonság nem korrelált a választott jellemzőkkel. További vizsgálatok szükségesek olyan, általában nem vizsgált tulajdonság felderítésére, amely képes előrejelteni a meghibásodást. Valószínű, hogy ilyen tulajdonság típus és gyártmány specifikus lenne, ezért általános szűrés módszerként nem jöhetne szóba.



VÁRADI ISTVÁN

A Mikroelektronikai Vállalat megbízhatóság vizsgálati főosztályának csoportvezetője. Villamosmérnöki oklevelét 1974-ben szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. A MEV jogelődjénél, a HIKI-ben kezdett dolgozni megbízha-

tósági vizsgálatok mérési eredményeinek számítógépes kiértékelése területe. Az utóbbi években témái közé tartozik az elektronikai alkatrészek és berendezések megbízhatóságának előrejelzése is. 1983-ban megbízhatóság szakmérnöki oklevelét szerzett a BME-en.

Hibafajták összehasonlítása

13. táblázat

Szűrés	Szűrés alatt észlelt, ill. kimutatott hibafajta	Ellenőrző tartós terhelés során észlelt hibafajta
Méréses módszer	nagy I_{CBO} nagy I_{CEO} kis $U_{(BB)CBO}$ nagy U_{CEsat}	nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BB)CBO}$
Burn-in módszer	nagy I_{CBO} nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BB)CBO}$	nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BB)CBO}$

Az elektromos terheléssel végzett szűrés (burn-in) minden vizsgált tranzisztorfajtnál eredményesnek mutatkozott. A szűrt tétel megbízhatósága kb. kétszerese a szűretlennek. A választott módszernél a megengedett igénybevételt nem léptük túl, ezért nem lépett fel szokatlan hibafajta. A 13. táblázat mutatja, hogy a szűrés során talált hibák jól meggyeznek az ellenőrzés során megmutatózókkal. Valószínűen lehetséges kidolgozni olyan burn-in módszert, amely a megbízhatóságot a kapottnál nagyobb mértékben növeli. Mindenesetre csakis olyan módszer lenne elfogadható amelynél még nem lép fel szokatlan hibafajta.

Mivel a fentiek egymástól jelentősen eltérő típusokra vonatkoznak, lehetséges az eredményeket szilícium planár tranzisztorokra általánosan érvényesnek tekinteni.