

## TUNGSRAM műanyagtokozott TTL integrált áramkörök megbízhatósága

ETO 621.3.049.7.019.3—111:681.325.65—192

A megbízhatóság az eszköznek az a képessége, hogy eleget tud tenni az előírt funkcióknak állandósult feltételek mellett, tartós ideig.

A definíció alapján a megbízhatóság meghatározása tehát az integrált áramköröknél azt jelentené, hogy minden eszközt abban az áramkör-konstrukcióban és olyan körülmények között kellene vizsgálni adott ideig, amilyenbe a felhasználás során kerül. Ez nyilvánvalóan megoldhatatlan feladat, mivel az üzemi és környezeti feltételeket, ha egy korrekciós tényezővel figyelembe is tudjuk venni és megfelelő műkapcsolásban biztosítjuk is az eszköz üzemi feltételeit, akkor sem jutottunk közelebb a probléma megoldásához. A legnagyobb nehézséget az idő, illetve az eszközsám, vagy egyszerűbben az eszköz-óraszám jelenti. Megbízható eszközök esetén ( $\lambda < 10^{-7}/\text{ó}$ ) az eszközóraszám rendkívül magasnak adódik. A félvezető iparban szokásos 1000 órás vizsgálat esetén az eszköz darabszáma 10 000-es nagyságrendbe, vagy a fölé esik. Ez nyilvánvalóan megvalósíthatatlan mind technikailag, mind gazdaságilag.

Az elmondottakból következik, hogy a definíció ezen értelmezése alapján nem jutunk eredményre. A megbízhatóságot integrált áramköröknél úgy tudjuk értelmezni, ha az eszközt, mint fizikai-kémiai rendszert tekintjük. Ez a feltételezés igaz a félvezető alapú monolit integrált áramkörök esetén, mivel ez következik ezek előállításából, felépítéséből és működési mechanizmusából egyaránt. A félvezető eszköznek fizikai-kémiai rendszerként való kezelése biztosítja az elvi alapjait a megbízhatósági vizsgálatok elvégzésének.

Ezek kiértékelése kellő korrelációk figyelembevételével biztosítja az eszköz megbízhatóságának számszerű megadását.

A meghibásodások eloszlása általában a Weibull, vagy az exponenciális eloszlási függvényekkel írható le. A hagyományos alakú teknő görbét a félvezető eszközökre is alkalmazzák. Az első szakaszra az jellemző, hogy kezdetben sok meghibásodás lép fel, majd az idő függvényében ezek száma lecsökken egy adott szintre. Ez a szakasz a kezdeti meghibásodásokat tartalmazza. A gyártási, illetve a technológiailag hibás példányok esnek ki ebben az időszakban. Ennek a szakasznak a lerövidítése, illetve még az integrált áramkörgyártó vállalatnál történő kiszűrése fontos feladat az eszköz megbízhatósága szempontjából.

A második szakasznál az idő függvényében állandó a kieső, hibás eszközök száma. Ezen a szakaszon kieső példányok a vizsgált eszközökből véletlenszerűen meghibásodó példányok. Az, hogy a vizsgált tételből melyik és hogyan hibásodik meg, az nem a tételre,

hanem a kieső egyedre jellemző, viszont a kieső példányok száma a második szakaszban a tétel megbízhatóságára ad felvilágosítást.

A harmadik szakaszra az jellemző, hogy az idő függvényében nő a kieső eszközök száma, egészen a vizsgált tétel elfogyásáig. Ez az ún. öregedési, vagy elhasználódási szakasz. Ez az üzemszerű működés során elhasználódó, kifáradó eszközökre jellemző. A félvezető eszközöknél, így az integrált áramköröknél ennek a szakasznak a létezése nem bizonyított. Különböző „step stress” vizsgálatok ugyan mintha igazolnák létezését, de ezek, mivel túlforszírozottak és más hibamechanizmust produkálnak, nem tekinthetők egyértelmű bizonyításnak. Az elhasználódás esetenként fennáll az integrált áramköröknél is (pl. Au-Al metallizáció pestisesedése, vagy fém-anyagvándorlás hő és elektromos áram hatására), de ez jelenleg a technológia hibájának tekinthető és nem az eszköz működésének szükségszerű következményeként. A kommersz vizsgálatok során — a hosszú időtartam miatt — még nem sikerült a harmadik szakasz létét a félvezető alapú monolit integrált áramkörök esetén tapasztalni. Ezért szokták a monolit technológiával gyártott félvezető eszközöket „örök ifjú”-nak nevezni, mert az exponenciális eloszlás a jellemző rájuk.

Az első szakaszt, amely a kezdeti meghibásodásokat foglalja magában, általában a félvezető gyárak megfelelő módszerekkel kiszűrik, ezért a kikerülő áramkörökre a középső szakasz lesz a jellemző.

Ezen okok miatt az a nézet terjedt el, hogy az integrált áramkörök meghibásodására az exponenciális eloszlás a jellemző.

*Néhány egyszerű összefüggés a megbízhatóság matematikai jellemzéséhez*

$$\text{A megbízhatóság } r(t) = \frac{n(t)}{n_0},$$

ahol  $n_0$  a kezdeti eszközsám,  $n(t)$  az üzemképes eszközök száma  $t$  idő múlva.

$$\text{A meghibásodási arány: } \lambda = -\frac{1}{n} \frac{dn}{dt} [\%/1000 \text{ ó}]$$

$$\text{A meghibásodás gyakorisága: } f(t) = -\frac{dn}{dt}$$

Weibull eloszlás:

$$n(t) = n_0 \exp - \left[ \frac{t}{t_1} \right]^\alpha,$$

ahol  $t$  az idő,  $t_1$  az eloszlás skálaparamétere,  $\alpha$  az eloszlás alakparamétere.

$$r(t) = \exp - \left[ \frac{t}{t_1} \right]^\alpha$$

$$f(t) = \frac{\alpha \cdot n_0}{t_1} \left[ \frac{t}{t_1} \right]^{\alpha-1} \exp - \left[ \frac{t}{t_1} \right]^\alpha$$

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{t_1} \left[ \frac{t}{t_1} \right]^{\alpha-1}$$

Az első szakaszra tehát az  $\alpha < 1$ , a második szakaszra az  $\alpha = 1$  és a harmadik szakaszra az  $\alpha > 1$  lesz a jellemző a teknő görbén.

Az  $\alpha = 1$  esetén az exponenciális eloszlást kapjuk, mivel  $\lambda = \text{constans}$ .

A kezdeti szakaszt, az  $\alpha < 1$  kitevővel ábrázolható függvény szakaszt, mivel megfelelő 100%-os szűrő-módszereket alkalmaznak a gyártók, a felhasználó már nem tapasztalja.

#### A $\lambda$ számszerű értékei a TTL áramköröknél

Hosszabb időtartamú megbízhatósági eredmény kezdetben inkább csak a  $\lambda$  menetéből adódott. A publikációkban 1968-ban  $10^{-8}$ – $10^{-9}$ /óra megbízhatóságot jósoltak a TTL rendszereknél. A TEXAS katalógusának (1971 áprilisi) adatai, amelyeket konkrét vizsgálati eredmények alapján nyertek,  $1,75 \cdot 10^{-7}$ /óra meghibásodási arányt adtak 60%-os egyoldalas konfidencia szintnél. A vizsgálatokat 1971 márciusig végezték és 4,1 millió eszközöraszám alapján kapták ezt az eredményt. A vizsgálati óraszám eszközönként 2000 óra volt, a környezeti hőfok a vizsgálat során  $+85^\circ\text{C}$  volt. A  $\lambda = 1,75 \cdot 10^{-7}$ /óra meghibásodási arányt a MIL STD 690A alapján  $+55^\circ\text{C}$ -ra vonatkoztatva közölte a katalógus.

Figyelmet érdemel, hogy külön megadnak egy korai meghibásodási szakaszt, illetve  $\lambda$  faktort a kezdeti meghibásodásokra. A vizsgálatokat  $+85^\circ\text{C}$ -on, 1,4 millió eszközöraszámból, eszközönként 336 órát véve alapul, végezték el. A  $+55^\circ\text{C}$ -ra vonatkoztatott meghibásodási arány  $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ /óra volt. A két külön adat megadása ellentmondásos. Ismertek azonban azok a módszerek, hogy típusonként 3–4 szigorúsági fokozatú, különféle szűrőmódszerekkel készített eszközválasztékot alakítanak ki. Feltehetően a kezdeti meghibásodás a standard eszközökre, míg a kisebb meghibásodási arány a katonai típusokra jellemzőbb.

A TUNGSRAM gyártmányú műanyagtokozott TTL integrált áramkörök gyártása viszonylag szerény műlra tekint vissza. A jelenleg rendelkezésünkre álló eszközöraszámok mégis már milliós nagyságúak. A  $125^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$  és a  $175^\circ\text{C}$ -on végzett vizsgálatok eredményeiből megszerkesztettük az átszámításhoz szükséges  $\lambda - 1/T$  [K $^\circ$ ] karakterisztikát 60%-os egyoldalas konfidencia szintre. Ha minden meghibásodást figyelembe veszünk (paraméter degradációnál a katalógus határt véve élettartam végpontnak, amely igen szigorú feltétel)  $150^\circ\text{C}$ -on  $1,233 \cdot 10^6$  eszközöraszám esetén  $\lambda = 1,52 \cdot 10^{-5}$ /óra. A redukciós görbéből  $+55^\circ\text{C}$ -ra  $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-7}$ /óra adódik. Ezt az átszámítást ellenőriztük egy TEXAS publikációban közölt szorzófaktoros átszámítással is. A vizsgált típus a TL 7400 = = SN 7400 N volt.

Dinamikus tartóségetést — ugyanezen a típuson —  $+70^\circ\text{C}$ -on végeztünk  $3,35 \cdot 10^{-5}$  eszközöraszámmal, teljes terheléssel. A  $\lambda = 1,56 \cdot 10^{-5}$ /óra nagyságú. Itt megfelelő átszámítást nem tudunk végezni  $+55^\circ\text{C}$ -ra.

A fenti vizsgálatok min 1000 és max 2000 órás időtartamúak voltak.

Más TUNGSRAM típusok vizsgálati eszközöraszáma alacsonyabb, de tendenciájában azonos viselkedésű a TL 7410, TL 7460, TL 7472 típus is.

A vizsgálatot időszakonként vett mintákkal — tehát folyamatos ellenőrzéssel — 20–100 db-os tételekkel végeztük.

A TUNGSRAM integrált áramkörök jó megbízhatósága igen intenzív és folyamatos fejlesztési és megbízhatósági munka eredménye. A viszonylag szerény gyártási múlt ellenére igen magas eszközöraszámú vizsgálatot végeztünk.

A TEXAS és TUNGSRAM TTL integrált áramkörök megbízhatósága azonos nagyságrendű:

TEXAS	$\lambda = 1,75 \cdot 10^{-7}$ /óra
TUNGSRAM	$\lambda = 2,4 \cdot 10^{-7}$ /óra

#### Az integrált áramkörök gyártásának és megbízhatóságának összefüggése

A monolit integrált áramkört, mint egy fizikai-kémiai rendszert tekintjük és így közelítjük a megbízhatóság problémáját. A rendszerben lezajló folyamatok hatásmechanizmusait megismerve lehet megbízható félvezető eszközt gyártani. A meghibásodások analízálása és reprodukálása során megfelelő visszajelzést tudunk biztosítani a gyártás felé. A megismert hatásmechanizmus biztosítja a technológia kellő irányba történő változtatását és a hibaokok kiszűrését.

Azok a hibák, amelyek 100%-os szűrővizsgálattal aktíválhatók, a felhasználónál nem jelentkeznek. Ezek megfelelő kiszűrése a félvezetőgyártó vállalat feladata. Néhány ilyen hibaokot — főleg a technológia utolsó fázisából — ismertetünk és ezek megszüntetése érdekében végzett eredményes technológiai módosításra utalunk.

#### Konkrét példák

##### Felületvédelem

Kezdetben nagymértékben jelentkezett az eszközök paramétereiben egy degradációs meghibásodás. A bemenő áramszintek viszonylag rövid időtartam alatt (200–250 óra)  $125^\circ\text{C}$ -os hőntartás hatására a katalógus határok fölé nőttek. A műanyag kellő térhálósítása érdekében történő technológiai változtatások javították a helyzetet, de nem szüntették meg a hibamechanizmust. A vizsgálatok során igen érdekes eredményt adott a  $150^\circ\text{C}$ -on, illetve a  $175^\circ\text{C}$ -on végzett hőntartási vizsgálat. Ezeknél a vizsgálatoknál — bár az eszközök ugyanabból a tételből származtak — nem volt ezen időszakban meghibásodás. Az eredményekből azt a következtetést vontuk le, hogy a felület — figyelembe véve, hogy az alumínium vezetőszalagok mérete és egymásközi távolsága igen kicsi — és a nyitott térhálószervezettel rendelkező epoxi-alapú műanyag között az adott hőmérsékleten kölcsönhatás lép fel, amely az eszköz degradációját okozza.

A felület védelmére, a fémezett szeletre passzíváló réteget vittünk fel. Ez a megoldás biztosította a paraméterek stabilitását, és megszüntette a fenti hibajelenséget.

#### Fémezés

A másik igen bonyolult hibamechanizmus az Au-Al metallizációs rendszer pestises degradációja. A szilícium planár tranzisztorokhoz képest kedvezőbb a helyzet a műanyagtokozott monolit integrált áramköröknél, mivel a működési hőmérséklet  $+70\text{ }^\circ\text{C}$ , ill.  $+150\text{ }^\circ\text{C}$  a maximális tárolási hőmérséklet. Ezen a hőfokon a hibamechanizmus sokkal lassabban fejlődik ki — mintegy  $10^2$ – $10^3$  órával lassul a  $200\text{ }^\circ\text{C}$ -hoz képest — és ezért kisebb súllyal szerepel. A probléma megoldására, a kísérleti eredmények alapján, kevert fémezést használunk, az Al-Ni rendszert.

A kevert fémezés megfelelő felvitele a  $\text{SiO}_2$ -re, valamint a passzíváló eljárás illesztése és a pestises degradáció adott szintre való leszorítása biztosította a TUNGSRAM TTL áramköröknél a szakadásos meghibásodás és az  $V_{OL}$  (0 szint) növekedésének megszüntét. A fémezés további tökéletesítése jelenleg is fejlesztés tárgyát képezi. A metallizációs hibamechanizmusok — elektromos migráció, szilíciumnak az alumíniumba való szilárd oldódása hőgradiens hatására — rendkívül fontos szerepet játszanak a megbízható eszköz gyártásában.

#### Műanyagtokozás

A műanyagtokozás és a hozzá kellően illeszkedő szerelési technológia kialakítása megtörtént. Ennek beállítása a röntgen átvilágításos ellenőrző módszer segítségével sikerült. A jelenlegi műanyagtokozásunkat is állandóan ellenőrizzük időszakosan vett minták röntgenátvilágításával. A lezárási technológiánk egyenletes és ez a megbízhatóság szempontjából igen fontos.

A fenti példák a technológia beállítása, korrigálása és a megbízhatósági vizsgálatok szoros kölcsönhatását érzékeltették. A felsoroltak csak kiragadott példák, a sok egyéb megoldott és itt nem részletezettek közül.

#### Megbízhatósági vizsgálatok

##### *A vizsgálatok kialakításának elvi alapjai*

Félvezető alapú integrált áramköröknek fizikai-kémiai rendszerként való közelítése biztosította az alapját a megbízhatósági vizsgálati rendszer kialakításának.

Az eszköz ismerete lehetővé teszi, hogy bizonyos fokú forszírozásnak vessük alá az áramkört a vizsgálat során. A fizikai alapot az Arrhenius egyenlet biztosítja, amely a hőmérséklet függvényében fejezi ki valamely eszköz-paraméter degradációs sebességét.

A lehetséges gyorsítás, a gyorsítási faktoralal kifejezve

$$\tau = \exp \frac{A_E}{k} \left[ \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a} \right],$$

ahol  $T_n$  a normál működési hőmérséklet,  $T_a$  a megnövelt hőmérséklet a gyorsítás biztosításához,  $A_E$  a degradációt okozó fizikai folyamat aktivációs energiája.

A pestises hibamechanizmusnál, pl. a Kirkendall által megállapított 1 eV-os aktivációs energiát véve alapul, ha az eszköz  $150\text{ }^\circ\text{C}$ -on  $5 \times 10^5$  óra után hibásodna meg, a gyorsítást  $250\text{ }^\circ\text{C}$ -ra számítva,  $2,8 \times 10^3$  óra után jelentkezik már a hiba. Természetesen ezek a gyorsítások csak akkor alkalmazhatók, ha a fizikai-kémiai rendszert ismerjük és nem haladjuk meg a rendszer által megszabott határokat. A túlforszírozás során olyan hibamechanizmusokat kelthetünk, amelyek a normál működés során nem fordulhatnak elő és így félrevezethetnének.

A vizsgálati rendszerünk kialakításánál figyelembe vettük a hibaanalízis eredményeit, valamint a külföldi vizsgálati módszereket.

A vizsgálat szempontjából figyelembe vett hibamechanizmusok:

- a) elem hibák, felületi és térfogati;
- b) szerelési hibák (kötési hibák);
- c) tokozási hibák;
- d) mechanikai gyengeségek.

#### *A TUNGSRAM vizsgálati rendszer felépítése*

A TUNGSRAM TTL integrált áramkörök jelenlegi vizsgálati rendszere a következőképpen épül fel:

##### I. Vizsgálati csoport

###### 1. Külalak és méretek

##### II. Vizsgálati csoport

###### 2. Nedvesség-állékonysági vizsgálat

- a) Hosszú időtartamú  
 $T_a = 40 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$   
21 nap, rel. nedv. 90–95%
- b) Rövid időtartamú  
 $T_1 = 65 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$   $t_1 = 16$  óra  
 $T_2 = 25 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 8$  óra  
rel. nedv. 92–98%, 2 ciklus

###### 3. Ciklikus hőmérséklet-változás vizsgálat

- a) lassú hőmérséklet-változás vizsgálat  
 $T_1 = +150\text{ }^\circ\text{C}$   $t_1 = 30$  perc  
 $T_2 = -55\text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 30$  perc  
átrakási idő 2–3 perc, 2 ciklus
- b) Gyors hőmérséklet-változásos igénybevétele  
 $T_1 = 100 \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$   $t_1 = 5$  perc  
 $T_2 = 0 \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 5$  perc  
átrakási idő 5 mp 5 ciklus

###### 4. Forraszthatósági vizsgálat

- a) Ónozhatósági vizsgálat  
 $T = 270 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$   
 $t = 2 \pm 0,5$  mp  
bemártási mélység  $3,5 \pm 0,5$  mm
- b) Hőállóság forrasztás alatt  
 $T = 270 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$   
 $t = 10 \pm 2$  mp  
bemártási mélység  $3,5 \pm 0,5$  mm

## 5. Hidegállósági vizsgálat

$$T_a = -65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = 30 \text{ perc}$$

## 6. Melegállósági vizsgálat

$$T_a = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = 30 \text{ perc}$$

## III. Vizsgálati csoport

## 7. Ütés vizsgálat

$$2 \times 2000 \text{ ütés}$$

2 legszigorúbb irány

$$150 \pm 20 \text{ g}$$

$$20 - 80 \text{ ütés/perc}$$

## 8. Rázásállóság

$$t = 3 \times 3 \text{ óra}$$

3 irány

$$10 - 500 \text{ Hz}$$

$$10 - 15 \text{ g}$$

## 9. Kivezetések szilárdságának vizsgálata

$$\text{hajlítás } 3 \times 90^\circ$$

3 kivezetés

$$227 \text{ gramm}$$

## IV. Vizsgálati csoport

## 10. Tartós szárazmeleg vizsgálat

$$T_a = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = 168, 500, 1000 \text{ óra}$$

## V. Vizsgálati csoport

## 11. Elektromos tartósterhelés vizsgálat

(dinamikus)

$$T_a = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$N = 10$$

$$f = 100 \text{ kHz}$$

$$t = 168, 600, 1000 \text{ óra.}$$

A vizsgálati rendszernek az a feladata, hogy az integrált áramköröknek, mint ismert fizikai-kémiai rendszernek, a reprodukálhatóságát ellenőrizze.

*Egyes vizsgálatok körülményei és rendeltetésük*

## I.1. Külalak és méretek

A külalak és méret ellenőrzésének gyakoriságát a technológia változása erősen befolyásolja.

Az ellenőrzés során a méret- és alakhűséget ellenőrizzük. Ezenkívül főleg a kivezetések fémezését, a bevonat homogenitását vizsgáljuk mikroszkópos átnézéssel. Sérült fémezés esetén, a kivezetés korróziós hajlamát sós atmoszférás vizsgálattal forszírozzuk.

## II. Klímavizsgálati csoport

## 2a) Tartós klímavizsgálat

A vizsgálat célja a lezárás hermetikusságának, a műanyag tok tartós nedves klímával szembeni ellenálló képességének megállapítása és a kivezetések korrózióállóságának ellenőrzése. Ez a vizsgálat, a hazai klímaviszonyokat figyelembe véve, forszírozottnak tekinthető a 90–95% rel. nedvességtartalom miatt. A szigorúsági fokokat az időtartammal lehet meghatározni; általában 21, illetve 56 napos vizsgálatokat alkalmazunk. A klímavizsgálat során bekövet-

kező paraméterváltozások azzal magyarázhatók, hogy a műanyag nedvességet abszorbeál. A műanyag-tokozott eszközöknél minden olyan vizsgálat, amely során nedvesség hatásának tesszük ki a tokot, igen fontos. Főleg az epoxi-alapú műanyag tok hajlamos a nedvesség felvételére, a szilikon alapú műanyag nagyságrendekkel kisebb nedvszívó képességgel rendelkezik.

A vizsgálat aktíválja az alábbi meghibásodásokat:

- a fémkivezetések rossz korrózióállósága,
- a fémkivezetés — műanyag tok hermetikussági hibái,
- a műanyag tokozóanyag nedvesség felvétele.

Ha a lezárás vagy az utópolimerizáció hibás volt, akkor az epoxi-alapú műanyag nedvszívó képessége ugrásszerűen megnő és ez a visszaram-paraméter degradációjában jelentkezik. A műanyag öregedése, vagy a lezárás technológiájának ingadozása miatt a műanyag felülete nagyobb porozitást mutat, ez is indikálható a tartós klímavizsgálattal.

## 2b) Ciklikus klímavizsgálat

A vizsgálat célja azonos a 2a)-nál leírttal, de a ciklusok miatt forszírozottabb annál. A meleg szakasz hőfoka és nedvességtartalma meghaladja az európai viszonyok közt előforduló értékeket. Erős korróziós igénybevételt jelent az, hogy a meleg szakaszból a hideg szakaszba való átmenetnél — azonos légtérben marad az eszköz — a ciklus során, a vízgőz kondenzálódik az eszköz felületén. A vizsgálat szigorúsága függ az alkalmazott hőmérséklettől, a ciklusok számától és időtartamától. Általában a ciklus száma változtatható 2—5 és 10 ciklus között.

A vizsgálat hatása a hibamechanizmusokra azonos a tartós klíma vizsgálatnál leírtakkal.

## 3a) Lassú hőciklus

Szokásosan a maximális tárolási hőmérsékletek között végezzük. A hideg és meleg vizsgálatér, amiben az eszközöket elhelyezzük, légnemű. Az átrakás ideje 2—5 perc, tehát viszonylag gyorsan alkalmazzuk a megengedett szélső tárolási hőmérsékleteket, de elkerüljük az extrém, gyors hőátadást. A vizsgálat ezért határértéken történő vizsgálatnak számít, de nem tekinthető forszírozottnak.

A hőciklus igénybevétel szigorúságát az alkalmazott szélső hőmérsékletek és a ciklusok száma jellemzi. Nem jellemzi a ciklus ideje, ha az elegendő hosszú ahhoz, hogy az egyensúlyi hőmérséklet beálljon.

Fontos, hogy az áthelyezés ideje az egyensúly beállításához képest rövid legyen, de ne olyan rövid, hogy az eszközt hőlökés érje.

A vizsgálat a következő okokból produkálhat meghibásodást:

- mechanikai repedések keletkeznek a feszültséget tartalmazó kristályban. Ilyen feszültség pl. karcolásnál, felforrasztásnál, termokompresziósnál stb. kerülhet be a kristályba;
- mikrorepedések makroméretűvé nőnek a ciklus hatására. A mikrorepedések a fenti okokra vezethetők vissza;
- helytelen tokozás esetén, a műanyag tok és a fém-elem hődilatációja közötti különbség szakadást okoz.

## 3b) Gyors hőciklus

A vizsgálatra legjellemzőbb az elvégzés módja. A technikailag megvalósítható legkisebb átrakási idővel — néhány sec — az eszközöket forrásban levő vízből jeges vízbe rakjuk át több cikluson keresztül. Az igénybevétel célja ugyanaz, mint a 3a)-nál, azonban ahhoz képest a gyors hőátadások miatt forszírozott.

A jó eszközöknél a forszírozás nem okoz meghibásodást.

A vizsgálat a 3a) hatásához hasonló hibamechanizmusok indikálására szolgál. Az eltérés, a forszírozáson túlmenően az, hogy a vizsgálat „folyadékba” történik. A műanyag nedvességgel szembeni ellenállóképessége az előzőekben (2a)) leírt hibaként jelentkezhet. Gyorsabb indikálási lehetőséget biztosít a hosszabb időtartamú nedves ciklussal szemben, bár nem helyettesíthetők egymással.

A szigorúsági fokot az alkalmazott ciklusok száma határozza meg. Általában 2, 5, 10 ciklust szokás alkalmazni, de elterjedt a nagyszámú, 20–50 ciklusos vizsgálat is.

## 4a) Ónozhatósági vizsgálat

A vizsgálat célja a kivezetések forraszthatóságának ellenőrzése. Rossz, hiányos bevonat esetén a forraszon nem futja be a kivezető felületét.

## 4b) Hőállóság forrasztás alatt

A vizsgálat feladata: ellenőrizni a félvezető eszköz felhasználása során, a beszerelési technológiákban előforduló mártó forrasztási eljárás alatti hőállóképességet. A viszonylag magas hőfokot adott ideig meghibásodás nélkül kell elviselnie az eszköznek.

## 5. Hidegállósági vizsgálat

A vizsgálat ellenőrzi az adatlapon megadott legalacsonyabb tárolási hőmérséklet hatását az integrált áramkörökre. Vizsgálat után ellenőrizzük az áramkörnek a paramétereit, amelyeknek stabilnak kell maradniuk.

## 6. Melegállósági vizsgálat

A vizsgálat ellenőrzi az adatlapon megadott legmagasabb tárolási hőmérséklet hatását az integrált áramkörökre. Az áramkör paramétereinek a vizsgálat előtt és után azonosnak kell maradniuk.

## III. 7, 8, 9. Mechanikai vizsgálatok

Ezen vizsgálatok célja az, hogy az integrált áramkörökben levő mechanikailag gyenge pontokat kimutassák. Mérsékelt nagyságú, de hasonló igénybevételeket az áramköröknek a felhasználás során is ki kell bírniuk. A szükséges forszírozásokat kétféleképpen is be lehet építeni a vizsgálatokba. Az egyik megoldás esetén az enyhébb erőhatások hosszú időtartamig hatnak az eszközre, a másik megoldásnál rövid idejű, intenzív erőhatások lépnek fel.

Az ütésvizsgálat csak rosszul tokozott, vagy szelelt eszköz esetén okoz meghibásodást. A változó frekvenciájú rázás-vizsgálat az eszköz mechanikailag gyenge pontjait és az esetleges rezonancia-helyeket tárja fel. Jó áramkör esetén nincs rezonancia-hely a vizsgálat frekvenciatartományában.

A kivezetések szilárdságának vizsgálata a szerelés során a kivezetéseken fellépő deformációs hatásokkal szembeni ellenállóképesség ellenőrzését célozza.

A mechanikai vizsgálatok feltárják az eszközben levő káros feszültségeket és az áramkörnek mechanikai kifáradásra való hajlamát is.

## IV. 10. Tartós szárazmeleg vizsgálat

A vizsgálat elsősorban azt hivatott bizonyítani, hogy az integrált áramkörök az adatlapon megadott maximális tárolási hőmérsékleten huzamos időn keresztül — 1000 óra — meghibásodás nélkül tárolhatók.

A vizsgálat pozitív eredménye szükséges, de nem elégséges feltétele annak, hogy a dinamikus tartóégetés esetén teljes terhelés mellett is megbízhatóan működjön az eszköz. Akkor ugyanis a hőmérséklet mellett fellép a feszültség hatására egy elektromos gradiens is.

A vizsgálat időtartamára nemzetközileg elfogadott az 1000 óra, amely elég hosszú ahhoz, hogy a megbízhatóságra jellemző számadatot szolgáltatson — kellő darabszám mellett —, azonban nem túl hosszú arra nézve, hogy a gyártott áramkörökre visszajelzést adjon.

A 0 órás mérési adatokat a közti mérések — 168, 500, 1000 óra — adataival összehasonlítva lehet az eszköz stabilitásáról kiértékelhető képet alkotni.

Több félvezető gyár a gyártási folyamatába hosszabb-rövidebb hőkezelést iktat be az eszköz stabilitásának fokozása és előregítésének céljából.

A TUNGSRAM integrált áramkörök gyártási technológiája is tartalmaz stabilizáló hőkezelést.

A vizsgálat hőfoka — a műanyag által megengedett határokon belül — kellő forszírozást jelent.

Az Au-Al-SiO<sub>2</sub> rendszer esetén, az ún. pestises hibamechanizmust ez a vizsgálat aktivizálja. 150 °C-on a folyamat viszonylag lassabban halad előre, és a hibás kötések is nehezebben mutathatók ki a műanyag tok miatt. A fémtokozással szemben az az előny itt, hogy a műanyagban a bekötő Au szálak alaki rögzítése biztosított és elmozdulásuk relative lehetetlen. Ha mégis indikálni kívánjuk — ilyen esetben — a kötés degradációt, akkor több különböző vizsgálat egymásutáni kombinációját kell alkalmaznunk. Ezek összeállítása csak a gyártási technológia ismeretében célravezető.

## V. 11. Elektromos tartóterhelés vizsgálat (dinamikus)

Az egyik legfontosabb vizsgálat, az előző vizsgálatok ezt nem helyettesítik. A felhasználók részére a legérdekesebb adatot ez szolgáltatja.

Az égetés +70 °C-on teljes terhelés (N=10) ráadásával történik, 100 kHz-es bemenő jellel. A legtöbb publikáció a dinamikus égetési beállítások adatait nem közli.

Az égetés forszírozása érdekében kísérleteket folytatunk a MHz-es tartományokban, különböző terhelőkapacitások alkalmazásával, az adatlapon megadott maximális tápfeszültségen.

Felmerült a statikus égetés lehetősége is, de az áramkör felhasználásából következik a dinamikus elektromos égetés. A felhasználók az eszközt ilyen

feltételek közt használják, ezért sem elvi, sem gyakorlati indok nem támasztja alá a statikus égetést. A vizsgálat során előforduló hibaokok:

- az alumínium metallizációs maghibásodások, amelyek szakadáshoz vezetnek. A szakadást anyagvándorlás okozza, amely a vékony alumínium filmben az elektronok és az aktivált fémionok közötti momentum — kicserélődés 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 az eredménye lesz a szakadt áramkör,
- dinamikus működés során, az elem hőmérséklete eléri, sőt helyenként meghaladja a maximális tárolási hőmérsékletet, ezért a pestises meghibásodás is jelentkezik. Ez a  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ...  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  működési határu eszközökre igaz.

#### 4. Néhány különleges összeállítású vizsgálati csoport és annak kiértékelése

A félvezető gyárak igyekeznek különböző speciális összeállítású vizsgálati csoportokat kialakítani. A TUNGSRAM integrált áramkörök alábbi vizsgálatainál a TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED 1967. júliusi kiadványát, a Plastic Package Reliability Report-ot vettük irányadónak. A kiadványban szereplő típusok között volt az SN 7400N is.

A vizsgált típusunk a TL 7400 volt. A vizsgálat során a paraméterhatárt meghaladó példányt, illetve a szakadt eszközöket tekintettük hibásnak.

Vizsgálati csoportok:

- I. Tokhermetikussági vizsgálatok (A, B, C)
- II. Hőstabilitási vizsgálatok (A, B)
- III. Mechanikai vizsgálatok
- IV. Tárolási és működési vizsgálatok (A, B, C)

##### I. Tok-hermetikussági vizsgálatok (A, B, C)

- A) 1. Ciklikus klímavizsgálat (2 ciklus)
2. Ciklikus klímavizsgálat (5 ciklus)
3. Tartós klímavizsgálat (10 nap)
4. Tartós klímavizsgálat (10 nap)
5. Tartós klímavizsgálat (10 nap)

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálatok (1, 2, ... 5) előtt és utána történt.

A 20 db áramkörből nem volt meghibásodás.

- B) 1. Gyors hőciklusvizsgálat (5 ciklus)
2. Gyors hőciklusvizsgálat (5 ciklus)
3. Tartós klímavizsgálat (21 nap)

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálatok (1, 2, 3) előtt és után történt.

A 20 db áramkörből a 3. vizsgálat után 1 db selejt lett.

- C) 1. Gyors hőciklusvizsgálat (10 ciklus)
2. Gyors hőciklusvizsgálat (10 ciklus)
3. Gyors hőciklusvizsgálat (10 ciklus)
4. Gyors hőciklusvizsgálat (10 ciklus)
5. Gyors hőciklusvizsgálat (10 ciklus)

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálatok (1, 2, ... 5) előtt és után történt.

A 20 db áramkörből a 2. vizsgálat után 2 db selejt lett. A további vizsgálat során újabb selejt nem volt.

##### II. Hőstabilitási vizsgálat (A, B)

- A) 1. Hidegállósági vizsgálat (30 perc)
2. Hidegállósági vizsgálat (2 óra)
3. Hőntartás (168, 500, 1000 óra)

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálat (1, 2, 3) előtt és után történt.

A 20 db áramkörből nem volt meghibásodás.

- B) 1. Lassú hőciklusvizsgálat (2 ciklus)

2. Lassú hőciklusvizsgálat (2 ciklus)

3. Tartós klímavizsgálat (21 nap)

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálat (1, 2, 3) előtt és után történt.

A 20 db áramkörből nem volt meghibásodás.

##### III. Mechanikai vizsgálatok

1. Ütésállósági vizsgálat
2. Rázásállósági vizsgálat

A paraméterek ellenőrzése a vizsgálat (1, 2) előtt és után történt.

A 20 db áramkörből nem volt meghibásodás.

##### IV. Tárolási és működési vizsgálatok

- A) Tárolás  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on (168, 500, 1000 óra)
- B) Tárolás  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on (168, 500, 1000 óra)
- C) Tárolás  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on (168, 500, 1000 óra)
- D) Elektromos tartóségetés (168, 500, 1000, 2000 óra)

A paraméterek ellenőrzése 168, 500, 1000 óra, illetve 2000 óra után történt.

Az A vizsgálatot 20 db, a B és C vizsgálatot 18 db áramkörön végeztük és 1000 óráig nem volt selejt.

A D vizsgálatot 30 db áramkörön végeztük és 2000 óráig nem volt meghibásodás.

##### A vizsgálati eredmények kiértékelése

A konkrét vizsgálatokat a TUNGSRAM megbízhatósági vizsgálati rendszer előírásainak megfelelően végeztük, az eltérő ciklusszámot, időt vagy hőfokot külön közöltük.

A TEXAS közleményt csak irányadónak tekintettük. Egyes vizsgálataink forszírozottabbak, más vizsgálataink enyhébbek voltak. A vizsgálatok során a paraméterek stabilitását is figyelemmel kísértük. Jellegzetes degradációs folyamatot nem tapasztaltunk.

A selejtek szakadásos selejtek voltak.

A vizsgálatok összetett jellege és ezek kialakítási módja forszírozott igénybevételt jelent. A jó megbízhatóság reprezentálása volt a cél.

A TEXAS közleményhez hasonló eredményt adott a TUNGSRAM TL 7400 típus vizsgálat.

A közleményben a  $10+10+10$  napos tartós klímavizsgálatot 25 db eszközön végezték és az utolsó 10 nap alatt 1 db áramkör selejt lett.

A közleményben maximum 10 ciklus szerepelt a gyors hőciklusvizsgálatnál, míg a TUNGSRAM áramköröknél  $5 \times 10$  ciklust alkalmaztunk. Itt a huszadik ciklus után volt 2 db szakadt áramkör. A további ciklusok alatt újabb selejt nem keletkezett. A 2 db selejt egy erősen forszírozott vizsgálatnál nem súlyos hiba és a továbbiakban a többi eszköz jól viselte a vizsgálatot, tehát nagy megbízhatóságúnak bizonyult.

A vizsgálati eredményeket összegezve: a TUNGSRAM integrált áramkörök megbízhatóak, és a speciális vizsgálatok során hasonló megbízhatóságúnak bizonyultak, mint az ekvivalens TEXAS áramkörök.