

Vizsgálóábra szilícium-vezérlőelektródás MOS-áramkörök fejlesztéséhez, ill. gyártásához

ETO 621.314.63.07;621.382.233;621.397.331.221

A vizsgálóábrák alkalmazása mind az integrált áramkör fejlesztés, mind a tömeggyártás szempontjából elengedhetetlen. A bonyolult integrált áramkörök méréséből vagy egyáltalán nein, vagy csak nagyon közvetett úton határozhatók meg azok a fizikai, geometriai és elektromos adatok, amelyekre a kutatás/fejlesztés, illetve gyártás során szükség van. A vizsgálóábrák egyes elemeinek célszerű kialakításával lehetőség nyílik az egyes adatok szelektív meghatározására.

1. Vizsgálóábrák tervezésének szempontjai, felhasználási területeik

A vizsgálóábra egyetlen elemen helyezkedik el és mérőellenállásokból, kapacitásokból, diódákból, tranzistorokból, illetve áramköri részletekből épül fel. Méreteinél fogva a szeleten az áramköröket tartalmazó elemek (chipek) között is elhelyezhető, de szokás csak vizsgálóábrákat tartalmazó külön vizsgálószeketeket is alkalmazni. Az elemek megválasztásánál elsődrendű fontosságú az egyszerű mérhetőség (lehetőleg statikus vagy kisméretű mérések alkalmazásával). Az elemeknek minimális geometriai méretekkel és kivezetésszámmal kell rendelkezniük, hogy a vizsgálóábra az áramkörválasztékban szereplő legkisebb méretű elemek közé is beilleszthető legyen.

A vizsgálóábra kontaktálási felületei a szeleten levő áramkörök kontaktálási felületeivel azonos elrendezésűnek kell lennie a szeleten végzett automatikus vezérlésű tűsmérések miatt. A technológiaközi (fémzés előtti) mérések végett nagy diffúziós, illetve poliszilícium-felületeket lehet létrehozni.

A vizsgálóábrák főbb felhasználási területei:

- a technológia műveleti paramétereinek ellenőrzése elektromos mérések útján, illetve ezen adatok felhasználása a folyamatirányítás céljára [1],
- a kihozatal befolyásoló tényezők meghatározása és statisztikai kiértékelése a MOS/LSI áramkörök kihozatalának számítására,
- az élettartam-vizsgálatokhoz elengedhetetlen rendszeres gyorsított sztrezz-vizsgálatok elvégzése célszerűen kialakított elemeken [2],
- a konstrukciós (geometriai) paraméterek ellenőrzése és statisztikai feldolgozása az áramkör-tervezési előírások lefektetésére [3].

2. A műveleti paraméterek ellenőrzése a folyamatirányítás céljából

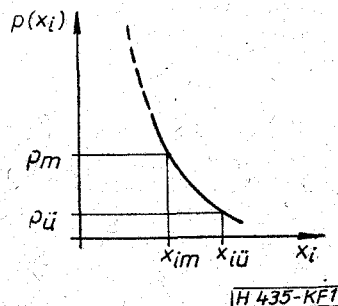
A vizsgálóábrák segítségével lehetőség van az egyes műveleti paraméterek hatásának számszerű ellenőrzésére. Az összefüggés a mért adat és a vizsgált fizikai, geometriai jellemző (x) között lehet közvetlen (implicit vagy explicit), ilyenkor a vizsgált x jellemző valóságos (a szeleten üzemszerűen realizált) adat. Ha az összefüggés közvetett, úgy fantom (a technológiai soron kívülálló, szimulációs művelettel megvalósított) adatok birtokában nyílik lehetőség a valóságos adatok meghatározására. A fantom-adatok előállítására a meghatározott pontig együttfutó kísérők szolgálhatnak.

A technológiai műveletek hatására létrejövő paraméterek birtokában folyamatirányítás végezhető vagy kézi úton, vagy megfelelően automatizált gyártósor esetében on-line üzemenben.

A vizsgálóábra elemeinek mérése legcélszerűbben automatikus mérőrendszerrel [4] vagy számítógép-vezérlésű mérő és adatfeldolgozó rendszerrel oldható meg. Ez utóbbi esetben lehetőség van a statisztikai kiértékelések közvetlen elvégzésére is.

3. Kihozatal befolyásoló tényezők meghatározása

A nagy bonyolultságú MOS-áramkörök kihozatalát igen sok hiba befolyásolja [5], amelyek mindegyikének rendszeres vizsgálatára és statisztikai feldolgozására van szükség ahhoz, hogy a MOS/LSI áramkörök kihozatalára becslést lehessen végezni. Az olyan típusú együttműködések, amelyeknél a felhasználó fél a szerelése számára méretlen szeleteket vesz át a technológiai üzemtől, a szeleten levő nagy bonyolultságú áramkörök kihozatalára (pontosabban a szlettechnológia megfelelő minőségére) a vizs-



1. ábra Egy diszkrét hibaok „ p_i ” előfordulási valószínűségének függése az x_i műveleti paramétertől

gálóábrákon mért szelektív kihozatali adatok nyújtanak biztosítékot.

Az egyes hibaokokra vonatkoztatott p_i előfordulási valószínűség a különböző technológiai konstrukció (geometriai) paraméterek (x_i) függvénye. A MOS/LSI-áramköröknél szükséges kis értékű p_i előfordulási valószínűségek mellett nagy statisztikai biztonság elérésére igen sok vizsgálóábra, ill. vizsgálóelem lenne szükséges. Ismerve az előfordulási valószínűségnek az x_i geometriai paramétertől való függését (1. ábra) az x_{ii} üzemi méretnél kisebb x_{mi} méret alkalmazásával lényegesen nagyobb p_m -értéket kapunk, ami kevesebb elem alapján is meghatározható. A $p(x_i)$ függvény kísérleti úton vehető fel.

4. Gyorsított sztrezz-vizsgálatok

A romlási folyamatok E_a aktiválási energiájának ismeretében mód van megemelt hőmérsékleten a folyamat meggyorsítására. A gyorsítási tényező (a):

$$a = \frac{\text{MTBF (üzemi)}}{\text{MTBF (sztrezz)}} = f(U, I) \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right),$$

ahol $f(U, I)$ a sztrezz során alkalmazott feszültségtől, áramtól stb. való függést fejezi ki. A vizsgálóábrán elhelyezett elemek megemelt hőmérsékleten, sztrezz-feszültséggel végzett (BT) vizsgálataiból az egyes romlási folyamatok időfüggése s ezzel az áramkör élettartama kiszámítható [6], [7].

5. A vizsgálóábra egyes elemei és rendeltetésük

Az alábbiakban soravesszük, a szilícium-vezérlő-elektrodás MOS integrált áramkör fejlesztéséhez és kísérleti gyártáshoz kidolgozott vizsgálóábra egyes elemeit, ismertetve az elemek főbb jellemzőit, rendeltetésük és vizsgálati módszerüket.

a) Diffúziós ellenálláscsik

minimális csík szélességgel a vastagoxid oldalirányú marásának ellenőrzésére, valamint nagy csík szélességgel a rétegellenállás későbbi műveletek hatására történő megváltozásának meghatározására. A hozzáférés diffúziós kontaktálási felületen történik, két, illetve négytűs módszerrel. Az oldalirányú behatolás V alakú ábrával vizsgálható.

b) Poliszilícium ellenálláscsik

a rétegellenállás meghatározására leválasztás és diffúzió után, poliszilícium kontaktálási felületekkel.

c) Kontaktuslánc

külön kontaktusablaksorral a diffúziós és poliszilíciumszigetek között; a kontaktusablakok mérete kisebb a tervezésben előírt méretnél, az ablakok száma minimálisan 30. Kétféle ablakméret esetén a két láncal sorosan elhelyezkedő ellenállás alapján egyetlen mérésel eldönthető a hibás kontaktus helyé. A kontaktuslánc adott terhelőáram mellett BT- és élettartam-vizsgálatokra is alkalmazható.

d) Alumíniumcsik

poliszilícium és vastagoxid-lépcsőkön, valamint megfelelő eltolású kettős-lépcsőkön átvezetve a tervezésben előírtnál kisebb csík szélességgel, a fémszakadás ellenőrzésére. A lépcsők száma minimálisan 50. Az alumíniumcsik kontaktusablakokkal is kombinálható a szakadásveszély fokozására, minimális kontaktusablak-perem alkalmazásával. Kétféle csík szélességnél a szakadás soros ellenállással azonosítható. Az elem BT- és élettartam-vizsgálatokra és zajmérésekhez [8] használható.

e) Alumínium, poliszilícium és diffúziós fésűk

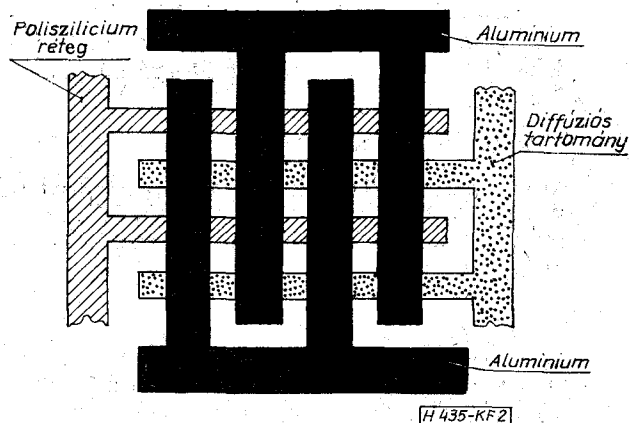
(2. ábra) a fémzárlat és a védőüveg-átvezetés ellenőrzésére. A két alumínium fésű távolságköze kisebb a tervezésben előírtnál. Az alumínium és poliszilícium, ill. diffúzió közötti áramból a védőüveg átvezetése határozható meg a lépcsős szerkezetben.

f) Kontaktusablak-illesztést ellenőrző elem

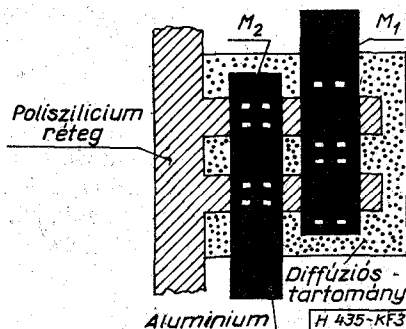
(3. ábra); a kontaktus ablakok elillesztése esetén a diffúziós és poliszilícium tartományok összenyitnak és a mérőpontok között kis ellenállás jelentkezik. Mindkét irányban alkalmazni kell 1-1 elemet.

g) Poliszilícium-gate illesztő

lényegében két irányban elhelyezett hosszú munkaellenállás-tranzisztort a tervezésileg elő-



2. ábra Kombinált vizsgálóelem az alumínium zárlat és a védőüveg átvezetés ellenőrzésére



3. ábra Zárlatvizsgáló elem a kontaktusablakok helyes illesztésének ellenőrzésére

írtnál kisebb oldal-felfekvéssel. Elillesztés, polyszilícium, illetve vastagoxid túlmarás esetén vékony diffúziós csík jön létre.

h) Vékonyoxidos kondenzátor

négyzetes alakú, oldalt zárt (vastagoxid felfekvésű), a különböző CV-mérésekhez, ill. BT-vizsgálatokhoz.

i) Vékonyoxidos fésűskondenzátor

oldalt zárt, a tervezésileg előírt csatornahossznak megfelelő ujj-szélességgel, az elszennyeződések és hőkezelések folytán bekövetkező szélhatás ellenőrzésére. Inhomogén struktúra esetén a négyzetes alakú kondenzátor CV-mérései nem használhatók. A kondenzátor középső tömör kontaktálási felülete vastagoxid-párnán fekszik. Az elem a különböző CV-mérésekhez, oxidáram mérésekhez, ill. BT-vizsgálatokhoz használható.

j) Vékonyoxidos, oldalt nyitott fésűskondenzátor

a szélhatás vizsgálatára. A diffúziós területek (szélek) közös kivezetéssel vannak ellátva. Külön fotolitográfiai lépéssel lehetőséget kell biztosítani a gate-struktúra előtti diffúziós lépések, ill. a struktúra felépítése utáni önillesztő ion-implantációnak.

k) Diffúziós tartomány feletti vékonyoxidos kondenzátor

az adalékeloszlás és átütési szilárdság ellenőrzésére. Gate-vezérelt elrendezésben [9] alkalmas a mozgékonyág meghatározására. Mindkét elem egy többlet fotolitográfiai lépést igényel.

l) Gate-vezérelt dióda

vékonyoxid dielektrikummal, nagy kerülettel, a letörési feszültség változásának, illetve a lavinainjekció mérésére. Az elemet szokás külső védőgyűrűvel ellátni [10].

m) Érintkezési dióda

egymástól különböző távolságokban elhelyezett diffúziós szigetekkel az érintkezési feszültség mérésére.

n) Mérőtranzisztorok

$W/L=1,10$ és 100 geometriai aránnyal a tervezésben előírt csatornahosszal. Az elemek egyaránt használhatók BT-, élettartam- és statisztikai vizsgálatokhoz. A mérőtranzisztorok egy része Zener-védelemmel készülhet a negatív gate-feszültségnél végzett sztrezz-vizsgálatokhoz. A source- és draindiffúzióknál külön fotolitográfia lépéssel lehetőséget kell adni a gate-struktúra előtti diffúzióknak, ill. az ezzel kombinált utólagos önillesztő ion-implantációs lépésnek.

o) Nagy felületű mérőtranzisztor

a tervezésileg előírtnál lényegesen nagyobb csatornahosszal a szélhatások kiküszöbölésére.

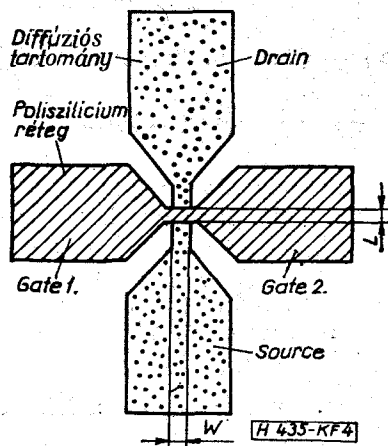
Az elem gate-elektrodáján CV-mérések is végezhetők. Egy további lehetőség a tranzisztor és egy nagy felületű kondenzátor összefémzése az azonos feltételek mellett végzett tranzisztor és kondenzátor BT-vizsgálatok összevetésére.

p) Vastagoxidos tranzisztor

alumínium, ill. polyszilícium vezérlőelektrodával a vastagoxid nyitófeszültségének, ill. iontartalmának [7] ellenőrzésére.

q) Kettős gate-kivezetéses fűthető mérőtranzisztor

(4. ábra) a folyamatos nyitófeszültség-visszamerést igénylő BT-vizsgálatokhoz, valamint az iontartalom gyors ellenőrzéséhez. Az aktív gate-



4. ábra Kettős gate-kivezetéses fűthető tranzisztor

tartományt felhevítő keresztirányú áram által létrehozott feszültségés

$$\Delta u = \sqrt{\frac{\Delta T \cdot \rho_p \cdot L}{W \cdot K_{eff}}}$$

értékű, amelynek a sztrezz során alkalmazott feszültségnél lényegesen kisebbnek kell lennie. Minimális $W=L=8 \mu m$ geometriai méretek-nél az aktív gate effektív hőellenállása a környezet-hő viszonyítva $K_{eff} \cong 600 \text{ }^\circ C/W$, ezzel $\Delta T=200 \text{ }^\circ C$ hőmérséklet-különbség és $\rho_p=40 \Omega/\square$ polyszilícium rétegellenállás mellett kb. $\pm 1,7 \text{ V}$ feszültségbizonytalanság adódik, ami általában megengedhető. A gate-ellenállást teljesítményillesztett telepről meghajtvva a ρ_p polyszilícium rétegellenállás 30%-os eltérése kisebb, mint 3% fűtőteljesítmény eltérést idéz elő, s így ellenőrző vizsgálatoknál figyelmen kívül hagyható. Az aktív gate hőmérsékletének pontos értéke összehasonlítható mérésekkel határozható meg. Az elemet diffúziós és polyszilícium kontaktálási felületekkel —ellátva a fémzés előtti állapot is vizsgálható.

r) Inhomogén dielektrikumú mérőtranzisztorok

a széleken alumínium-gate vezérlésű vastagoxidpárnával, illetve ennek fordítottjaként

közepén vastagoxidos tranzisztorként kiképzett mérőtranzisztor a szélhatás vizsgálatához.

- s) *Lebegő vezérlőelektródás mérőtranzisztor*
a lavinainjekció és a gate szivárgásának ellenőrzésére.
- t) *Laterális bipoláris tranzisztor*
a rekombinációs sebesség ellenőrzésére.
- u) *Felületi ionok*
mérésére szolgáló elrendezés vezérlőelektróda nélküli (felületi) tranzisztorral és sztrezzelőelektródákkal [11].
- v) *Kapuzott mérőtranzisztor*
a gate töltéstárolási idejének, illetve a szivárgások mérésére.
- z) *Inverter-fokozatok*
különböző β_R geometriai tényezővel a statikus jelleggörbék felvételére és a zajtávolságok meghatározására.
- x) *Gyűrűs oszcillátor*
páratlan számú ($n > 11$) inverter összekapcsolásából a statikus áramfelvétel és a késleltetési idő mérésére

$$t_{pd} \cong \frac{1}{f_0 \cdot n},$$

ahol f_0 az oszcillációs frekvencia és n az inverterek száma. A gyűrűs oszcillátor statisztikai kiértékelésekhez, valamint élettartam-vizsgálatokhoz egyaránt használható.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi Heksch Ferenc és Bárony István munkatársaknak a vizsgálóábrák megvalósítása és mérése terén nyújtott segítségükért.

I R O D A L O M

- [1] J. K. Gibbeson: The British Post Office Approach to Long Life and High Reliability in MOS/LSI, LSI Conf. Paris. 1974. dec. 167. old.
- [2] R. J. Sahni: Use of Test Patterns in Evaluating the Reliability of Integrated Circuits, 9th. Ann. Proc. Rel. Phys., 1971. 226. old.
- [3] H. W. van Beck: MOS/LSI Circuit Design: Designing-in Reliability, 10th. Ann. Proc. Rel. Phys., 1972. 36. old.
- [4] Dr. Kovács F.: Optimum Design of an Automatic Digital IC Test System „ICOMAT”. Nemzetk. Elektr. Konferencia, Ljubljana, 1971. okt.
- [5] W. Eccleston, M. Pepper: Modes of Failure of MOS-Devices, Microelectr. Rel. 10, (1971) 325. old.
- [6] E. E. Lampi, E. F. Labuda: A Reliability Study of Insulated Gate Field Effect Transistors, 10th. Ann. Proc. Phys., 1972. 112. old.
- [7] W. H. Schroen, et al: Reliability Improvement by Process Control, 10th. Ann. Proc. Rel. Phys., 1972. 42. old.
- [8] J. L. Vossen: Screening of Metal Film Defect by Current Noise Measurements, Appl. Phys. Lett. 23, 6 (1973. szept.) 287. old.
- [9] M. Y. Darwisch: Measurement of the Mobility of Carriers..., IEEE Trans. ED-21, 7 (1974. jul.) 397. old.
- [10] C. Bulucea: Avalanche Injection into the Oxide..., Solid State Electr. 18, 5 (1975. máj.) 381. old.
- [11] E. A. Schlegel és mások: Behavior of Surface Ions on Semiconductor Devices, IEEE Trans. ED-15, 12 (1968. dec.) 973. old.