

Ninoslav Stojadinović
Elektronski fakultet, Niš

Emil Jelenković, Snežana Zdravković
Ei-Niš, Fabrika poluprovodnika

UTICAJ DISLOKACIJA IZAZVANIH EMITORSKOM DIFUSIJOM FOSFORA
NA POUZDANOST PLANARNIH NPN TRANZISTORA

INFLUENCE OF EMITTER DIFFUSION INDUCED DISLOCATIONS
ON RELIABILITY OF PLANAR NPN TRANSISTORS

SAŽETAK - U ovom radu pokazano je da dislokacije na ivicama emitora dovode do smanjenja pouzdanosti planarnih NPN tranzistora. Takođe, pokazano je da opšteprihvaćena metoda za eliminaciju dislokacija na ivicama emitora, premda dovodi do poboljšanja karakteristika planarnih NPN tranzistora, izaziva smanjenje njihove pouzdanosti.

ABSTRACT - In this paper it is shown that emitter edge dislocations cause a reduction of reliability of planar NPN transistors. Also, it is shown that generally accepted method for elimination of emitter edge dislocations, although it improves the characteristics of planar NPN transistors, causes a reduction of their reliability.

1. U V O D

Već odavno je utvrđeno da emitorska difuzija fosfora koja se koristi pri izradi planarnih NPN tranzistora može da dovede do formiranja dve vrste dislokacija /1/: dislokacija izazvanih samom difuzijom (DID^{*}), koje se pojavljuju unutar difuzionih oblasti emitora, i dislokacija oko planarnih ivica emitora (EED^{**}), koje se pojavljuju najčešće u toku oksidacije emitora.

Pošto DID unutar difuzionih oblasti emitora prodiru do dubine koja je približno 1/3 dubine emitor-baznog spoja /1/, njihov uticaj na karakteristike tranzistora može se zanemariti.

* DID od izraza Diffusion-Induced Dislocations.

** EED od izraza Emitter Edge Dislocations.

Međutim, EBD se nalaze u oblasti emitor-baznog spoja, a mogu se prostirati i kroz bazu sve do kolektor-baznog spoja /1-3/, pa veoma nepovoljno utiču na karakteristike tranzistora: dovode do povećanja inverzne struje emitor-baznog spoja /2,3/, izazivaju smanjenje faktora strujnog pojačanja /3/, dovode do kratkih spojeva između emitora i kolektora /4/ i predstavljaju glavni izvor niskofrekventnog šuma /5/. Kao posledica dolazi do smanjenja prinosa planarnih MN tranzistora /6/.

S obzirom na to da EBD veoma nepovoljno utiču na karakteristike i prinos, mnogi autori /6-8/ smatraju da one dovode i do smanjenja pouzdanosti planarnih tranzistora. Međutim, uticaj dislokacija na pouzdanost planarnih tranzistora do danas nije istraživani u literaturi.

Ovo je i bio neposredni povod našim istraživanjima uticaja dislokacija izazvanih emitorskom difuzijom fosfora na pouzdanost planarnih MN tranzistora.

2. IZOBILJEŽENJE

Kolocalni materijal bile su silicijumske epitaksijalne plošice N-tipa (orientacije [111], gustina dislokacija $< 10^5 \text{ cm}^{-2}$, debljina 4-6 nm) koje su najpre oprane, a zatim su podvrgnute standardnim tehnološkim procesima za proizvodnju niskofrekventnih planarnih MN tranzistora familije BC 102 (proizvodi se u Li-14, fabrika poluprovodnika), sve do emitorske difuzije.

Zatim su sve plošice podeljene u dve grupe i izvršena je difuzija fosfora iz POCl_3 /9/ na temperaturi 1100°C , dok su ostali tehnološki uslovi dati u tabeli 1. Protoci gasova u difuzionom sistemu i trajanja deponicije i difuzije podešeni su tako da obezbede uslove za dve različite difuzije fosfora: sa

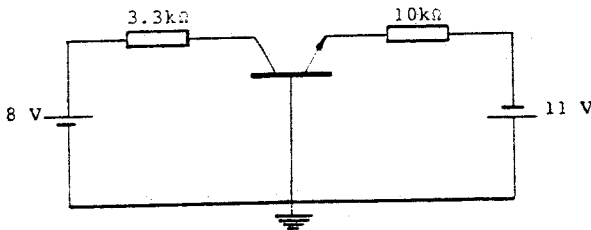
Tabela 1

| Grupa | Prezagrevanje | | Deponicija | | | Difuzija | | | |
|-------|---|------------|--|------------|------------|---|------------|----|----|
| | $\text{N}_2 + \text{O}_2$ (cm^3/min) | t (min) | $\text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2$ (cm^3/min) | t (min) | t (min) | $\text{N}_2 + \text{O}_2$ (cm^3/min) | t (min) | | |
| M-1 | 2000 | 20 | 10 | 2000 | 10 | 5 | 2000 | 20 | 35 |
| M-2 | 1500 | 30 | 10 | 1500 | 30 | 15 | 1500 | 30 | 15 |

niskom koncentracijom (grupa N-1), koja odgovara opšteprimivačenoj metodi za eliminaciju EED /3/, i sa visokom koncentracijom (grupa N-2), koja dovodi do formiranja EED /10/.

Posle završenej emitorskoj difuziji sa pločica je uklonjeno fosforno staklo, a zatim je izvršena oksidacija emitora na temperaturi 950°C u vodenoj pari, 30 min. Najzad, posle naparavanja aluminijuma i definisanja metalnih oblasti kontakata baza i emitora, kao i naparavanja zlata za kolektorski kontakt, tranzistori su montirani u standardno TO-18 kućište.

Na montiranim tranzistorima najpre su izvršena merenja inverzne karakteristike emitor-baznog spoja i zavisnosti faktora strujnog pojačanja (h_{FE}) od kolektorske struje, a zatim su oni podvrgnuti visokotemperaturnom tretmanu (temperatura ambijenta 125°C /11/). Pri tome su tranzistori bili vezani u kolo (kao na sl. 1) tako da rade u aktivnom režimu, sa ciljem da se



Sl. 1 Uslovi polarizacije tranzistora u toku visokotemperaturnog tretmana.

ubrzaju degradacioni mehanizmi. U određenim vremenskim intervalima visokotemperaturni tretman je prekidán i ponavljana su merenja inverzne karakteristike emitor-baznog spoja i zavisnosti faktora strujnog pojačanja od kolektorske struje.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI SA DISKUSIJOM

Posle oksidacije emitora izdvojene su kontrolne pločice iz obe grupe. Sa njih je uklonjen sav oksid, a zatim su izazvane dislokacione jamice kratkim nagrivanjem u Sirtl-ovom rastvoru /12/. Na ovako pripremljenim uzorcima snimane su dislokacije pomoću mikroskopa, a sl. 2 prikazuje tipične rezultate. Sa ove

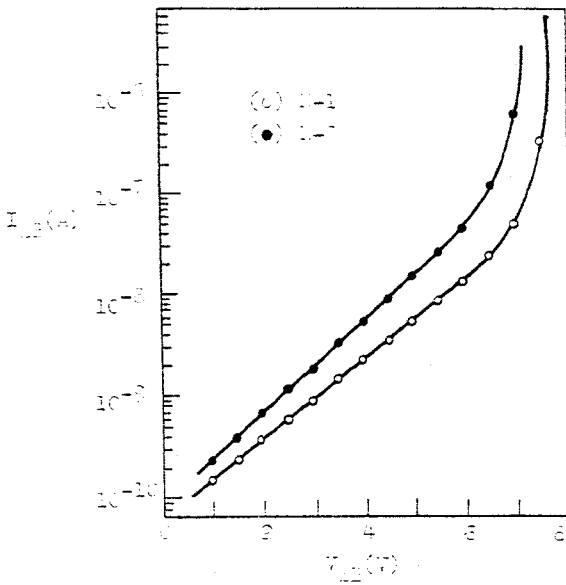
Sl. 6. Tipične fotografije dislokacija kod tranzistora iz različitih grupa (uvećanje 500X).

Sl. 6. Tipične fotografije dislokacija kod tranzistora iz različitih grupa (uvećanje 500X). Na slici se vidi da kod tranzistora N-1 nema ni DID ni EED, dok se kod tranzistora N-2 pojavljuje velika gustina DID i veliki broj LED.

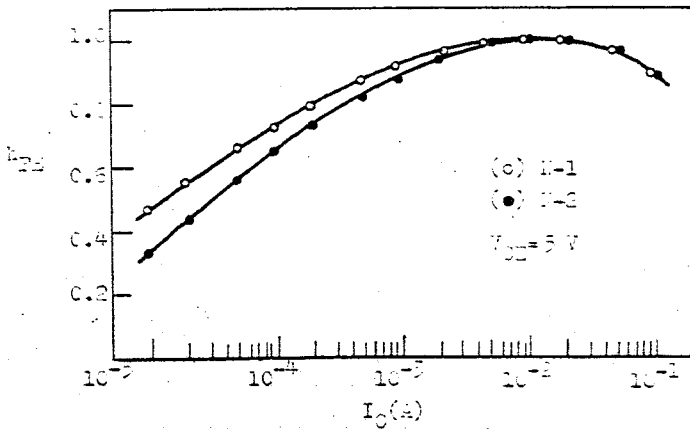
Na sl. 5 prikazane su tipične inverzne karakteristike emitor-baznog spoja, dok su na sl. 4 prikazane tipične zavisnosti faktora strujnog pojačanja od kolektorske struje, tranzistora iz različitih grupa pre podvrgavanja visokotemperaturnom tretmanu. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da u poređenju sa tranzistorima N-2, kod kojih postoji veliki broj LED, tranzistori N-1, kod kojih su EED eliminisane pomoću opšteprihvaćene metode, imaju manju inverznu struju emitor-baznog spoja i veli faktor strujnog pojačanja pri malim strujama. Prema tome, eliminacija EED pomoću opšteprihvaćene metode dovodi do poboljšanja karakteristika planarnih PN tranzistora.

Na sl. 5 prikazane su tipične promene inverzne struje emitor-baznog spoja, dok su na sl. 6 prikazane tipične promene faktora strujnog pojačanja, tranzistora iz različitih grupa u toku visokotemperaturnog tretmana.

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da tranzistori N-2, kod kojih postoji veliki broj EED, imaju prilično stabilne karakteristike (posebno faktor strujnog pojačanja). Međutim, pri dugim trajanjima visokotemperaturnog tretmana dolazi do katastrofalnog pogoršanja karakteristika tranzistora N-2 (povećanja inverzne struje emitor-baznog spoja i smanjenja faktora strujnog pojačanja pri malim strujama). Ovo je verovatno posled-

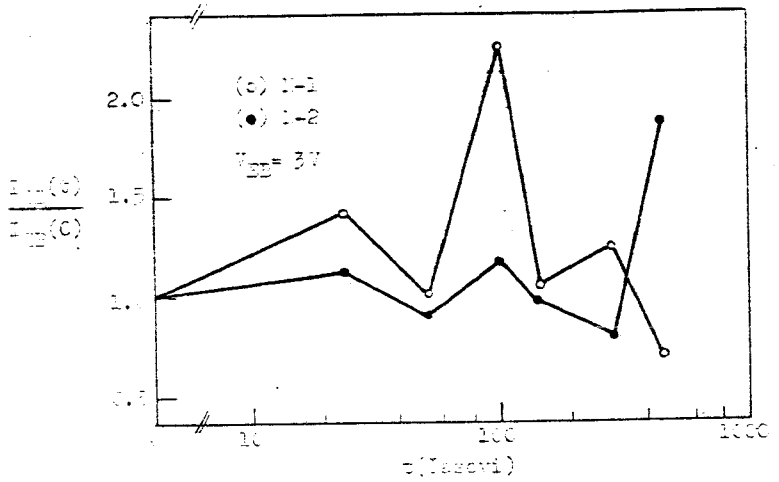


Sl. 3 Inverzna karakteristika emitor-baznog spoja tranzistora iz različitih grupa.

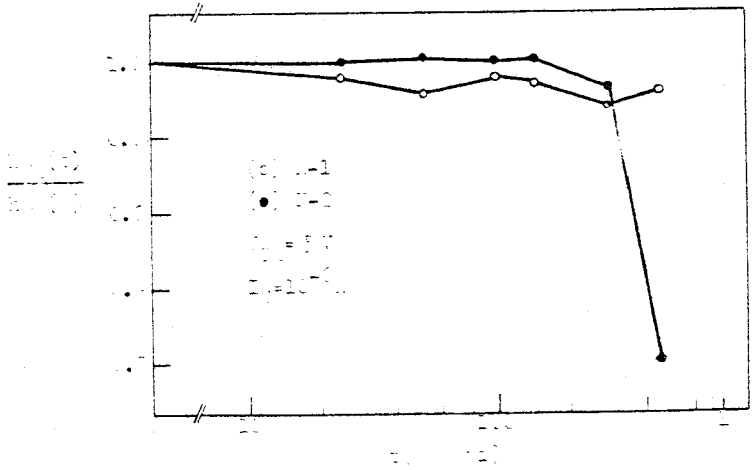


Sl. 4 Zavisnost faktora strujnog pojačanja tranzistora iz različitih grupa od kolektorske struje.

I.430



1. 5. Procent inverzne sprave svitko-laznog tipa tranzistora u različitim grupama u odnosu na određenu temperaturu strujne.



1. 6. Procent inverzne sprave svitko-laznog tipa tranzistora u različitim grupama u odnosu na određenu temperaturu strujne.

đica oštećenja u oblasti emitor-baznog spoja u blizini međupovršine Si-SiO₂ izazvanih u toku visokotemperaturnog tretmana usled prisustva EED. Prema tome, prisustvo EED dovodi do smanjenja pouzdanosti planarnih NPN tranzistora.

Takođe, može se zaključiti da tranzistori N-1, kod kojih su EED eliminisane pomoću opšteprihvaćene metode, imaju prilično nestabilne karakteristike (posebno inverznu karakteristiku emitor-baznog spoja) u toku visokotemperaturnog tretmana. Ovo je verovatno posledica prisustva metalnih prisosa (Cu i Fe /15/) u oblasti emitor-baznog spoja tranzistora N-1 usled neefikasnog geterskog dejstva emitorske difuzije fosfora¹⁶. Naime, zbog povišene temperature i polarizacije u toku visokotemperaturnog tretmana dolazi do kretanja i preraspodele metalnih prisosa, a time i do nestabilnosti karakteristika. Ove nestabilnosti mogu da dovedu do katastrofalnog povećanja karakteristika tranzistora N-1 (povećanja inverzne struje emitor-baznog spoja). Prema tome, prema opšteprihvaćenoj metodi za eliminaciju EED, povećava karakteristike planarnih NPN tranzistora, ona dovodi do smanjenja njihove pouzdanosti.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu istraživana je uticaj visokotemperaturne emitorske difuzije fosfora na pouzdanost planarnih NPN tranzistora.

Na osnovu istraženih rezultata može se zaključiti da EED dovode do smanjenja pouzdanosti tranzistora. Takođe, može se zaključiti da opšteprihvaćena metoda za eliminaciju EED, prema kojoj povećava karakteristike tranzistora, dovodi do smanjenja njihove pouzdanosti usled neefikasnog geterskog dejstva emitorske difuzije fosfora.

Zbog toga, mi smo razvili jednu novu metodu za eliminaciju EED /16,15/, kod koje je getersko dejstvo emitorske difuzije fosfora efikasno. Predmet našeg daljeg rada nije istraživanje pouzdanosti planarnih NPN tranzistora kod kojih je za eliminaciju EED primenjena ova nova metoda.

¹⁶ Getersko dejstvo emitorske difuzije fosfora na NPN tranzistorima N-1 nije efikasno usled visoke koncentracije prisosa.

Bibliography

- 121/ J.W. Fairfield and G.E. Schrutte, "Strain Effects Around planar Diffused Structures", J. Electrochem. Soc., Vol. 115, p. 415 (1968)
- 122/ J.C. Laneth, E. Javel and V. Lym, "Observation of ED Dislocations Using Sirtl Dichant and their Influence on Amplifier Parameters", Solid-State Electron., Vol. 17, p. 107 (1970)
- 123/ K. Mishida, "Effects of Diffusion-Induced Dislocations on Excess Low-Frequency Noise", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 24, p. 221 (1975)
- 124/ B.M. Slavina, "Influence of Dislocations on Properties of Shallow Diffused Transistors", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 16, p. 104 (1969)
- 125/ M.D. Stojadinović, "Effects of Emitter Edge Dislocations on Low-Frequency Noise of Silicon Planar P-N Transistors", Electron. Lett., Vol. 15, p. 374 (1979)
- 126/ M. Lovrić i R. Popović, "Uticaj strukture i poudanosti planarnih tranzistora na veličinu difuzijske zastilnih karakteristika", Časnik radova III. Jugoslovenskog simpozijuma o diodelektronici, Rio 1975 (p. 68)
- 127/ G.W. Schutte, "Silicon Material Problems in Semiconductor Device Technology", Microelectron. Reliab., Vol. 9, p. 307 (1973)
- 128/ C. Harvin and C. Blasquez, "Reliability Prediction of Silicon Bipolar Transistors by Means of Noise Measurements", Proc. IEEE Reliab. Phys. Symp., 1974 (p. 54)
- 129/ R.A. McDonald, A.F. Erlenberger and G.R. Huffman, "Control of Diffusion Induced Dislocations in Phosphorus Diffused Silicon", Solid-State Electron., Vol. 9, p. 307 (1966)
- 130/ M.D. Stojadinović and R.S. Popović, "A New Method for Elimination of Emitter Edge Dislocations of Silicon Planar P-N Transistors", Phys. stat. sol. (a), Vol. 55, p. 307 (1979)
- 131/ K.E. Lycodes and C.C. Childers, "Semiconductor Instability Failure Mechanism Review", IEEE Trans. Reliab., Vol. 29, p. 357 (1960)
- 132/ E. Sirtl and A. Adler, "Chromsaure-Flussaure als Spezifisches System zur Atzgruben-Entwicklung auf Silizium", Z. Metallkd., Vol. 52, p. 527 (1961)
- 133/ M.D. Stojadinović, "Dislokacije izazvane difuzijom primesa i njihov uticaj na karakteristike planarnih poluprovodničkih elemenata", Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Niš, 1980
- 134/ K. Nakamura, T. Kato and M. Oi, "A Study of Gettering Effect of Metallic Impurities in Silicon", Japan. J. Appl. Phys., Vol. 7, p. 912 (1968)