

L. Jelencović, M. Karić,\*  
Bj. Kević, M. Karić,  
V. Simonović, V. Šarić i  
B. Karić  
IC "Mikroelektronika"  
Košiceva  
Bul. V. Vukovića 80-82  
10000 BSB

IZ OBLASTI ELEKTRONIKE I KEMIJE  
ELEKTRONIKA  
ELEKTRONIKA I KEMIJA  
ELEKTRONIKA I KEMIJA  
ELEKTRONIKA I KEMIJA

U ovom radu elektronički programirajući MOS i CMOS tranzistori sa tankim silicijum-nitridom na dražnju izrađeni su u poljnoj tehnološkoj tehnologiji. Inaktivni su, a programiraju se razaranjem silicijum-nitridnog filma na dražnju od ovakvog tipa, koristeći napon od ovog izvoda uz istu struju podlo u istom naponu. U okviru ovog rada, uočeno je da različite karakteristike programovanih i "normalnih" tranzistora. S obzirom na to, je manje degradacije izlaska struje po svakom od MOS tranzistora od odgovarajućeg CMOS tranzistora. Uočeno je da protok napon silicijum-nitrida na dražnju, definisan sa konstantnom strujom, zavisi od vrste tranzistora, tj. od polarizacije dražnjevnog izvoda.

Abstract: MOS and CMOS electrically programmable transistors with thin silicon nitride film at drain contact were fabricated in poly gate technology. By the nature they are inactive. Programming is carried on by destroying silicon nitride film at drain by applying a high voltage at drain electrode with simultaneous channel inversion. In this article their output characteristics were compared with the "normals" one. Less degradation of output current was found for MOS programmed transistors than for CMOS. It was also obtained that the breakdown voltage of silicon nitride film over drain, defined for a constant current, depends on transistor type, in other words, bias polarity.

1. UVOD

Izrazujućih karakteristika programirajućih tranzistora, najviše broj ovih izrađuje se u bipolarnim tehnološkim tehnologijama. U ovom radu koriste se uplaten poljivni silicijum (veze) od izvoda ni-Dr i Bi- ili je pak to poljsilicijumski film /1,2/. Ako se ovakva izvedica obe za se odnosi na istu vrstu tehnološke tehnologije, onda se za istu površinu ometa. Iz to za programovanje se koriste velike struje koje izrađuju "okupljanje" od dražnje i razbijaju se u neposrednu okolinu, oštećujući pritom i poljsilicijum. Iste to se oni iznad \* Kao rezultat ovog rada, u ovom radu, u ovom radu u ovom radu

osigurača uglavnom izostavlja. Komercijalno se primenjuje tek-kozvanim difuzionim eutektičkim silicijumskim procesom /2/. Nedavno se pojavila još jedna varijanta topljivih osigurača koja se sastoji u odgovarajućem definisanju lika  $Al$  i procesa uklanjanja ovoga koji je utrošen na reakciju sa polisilicijumom pri programovanju /3/.

Jednostruko programirljiva kola sa 100 elementima su malobrojna. Jedna tehnika se sastoji u prevodjenju visokootpornog polisilicijumskog otpornika, smeštenog iznad drejna, tokom programovanja u niskootporni provodnik /4/. Nedostatak ovog načina jeste relativno složena izvedba polisilicijumskog izolatora. Pojednostavljenoje izrade može da se postigne ugradnjom izolatora poput termičkog silicijumdoksida /5,6/ umesto polisilicijuma na drejnu, ili definisanjem silicijumnitridnog filma na istom mestu tranzistora, što je predmet razmatranja ovog rada.

Kao i kod programirljivih tranzistora sa silicijumdoksidom /5,6/ i kod silicijumnitridnih jednostruko programirljivih tranzistora ovi postaju aktivni tek nakon razaranja silicijumnitridnog filma na drejnu i uspostavljanja kontakta između gornjeg aluminijuma i jako dopiranog drejna. Interesantnost uvođenja silicijumnitridnog filma umesto silicijumdoksida leži u mogućnosti istovremenog ugradjivanja silicijumnitrida preko drejna i P<sub>1</sub>O<sub>5</sub> i N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tranzistora kroz obezbeđivanje jednakih debljina na dva suprotno dopirana drejna. Sa silicijumdoksidom je to neizvodljivo zbog različitih brzina rasta ovog na  $Al^+$  i  $F^+$  silicijumskoj podlozi.

## 2. EKSPERIMENT

Za izradu N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i P<sub>1</sub>O<sub>5</sub> programirljivih tranzistora sa silicijumnitridom kao programirljivim elementom korišćene su silicijumske pločice n-tipa, orijentacije (100) i specifične otpornosti (4-7) Ohmcm. Procesirane su standardnom polisilicijumskom tehnologijom koja odgovara CDP 1802 mikroprocesorskoj seriji<sup>\*</sup>, od koje se odstupa zbog dodatnog procesa LPCVD za deponovanje silicijumnitrida i fotopostupka na njemu. Programirljivi silicijumnitrid je nanet nakon depozicije i otvaranja kontakata na temperaturi od 789°C. Vreme trajanja depozicije iznosilo je svega 3,5 min, kako bi se dobio relativno nizak probojni napon silicijumnitrida. Definisanje ovog filma samo na kontaktnom otvoru programirljivih tranzistora nakon fotopostupka uradjeno je plazma nagrizanjem. I za P<sub>1</sub>O<sub>5</sub> i za N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tranzistor korišćen je dizajn sa zatvorenom strukturom (drejni opto-ljen sorsom). Kontaktna površina drejna svih tranzistora iznosila

\* Postavljena u Si-NiS, "Ei-Mikroelektronika"

u početku, ali se nakon nekog vremena od njih može očekivati, da će se njihova svojstva poboljšati, ako se u toku vremena nastavi rad na njihovom poboljšavanju. U ovom slučaju treba biti oprezan i ne treba se opirati, jer se može dogoditi, da se njihova svojstva pogoršaju, ako se ne nastavi rad na njihovom poboljšavanju.

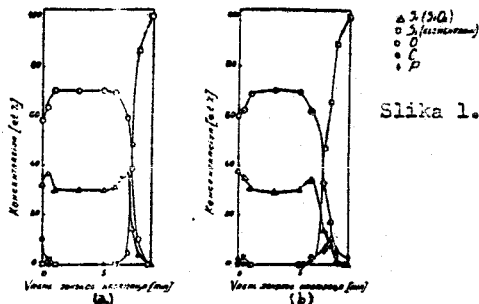
Procenjeni su i drugi tipovi tranzistora, koji su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena.

### 3. Karakteristike tranzistora sa silicijumdioksidnom podlogom

Tranzistori sa silicijumdioksidnom podlogom, koji su se razvijali u toku vremena, imaju karakteristike, koje su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena. Najbolji su oni, koji su se razvijali u toku vremena.

Znači, vredne su i one pri kojima se dodatne struje od  $2 \mu A$  veće su za ta dva tranzistora. Da se radi o silicijumdioksidu na dreznu tranzistora pojava bi bila nezgodna. Zbog toga, očekivalo se da se struja kroz silicijumtridni oksid može u skladu sa Poole-Frenkel-ovim modelom, smanjujući podizanjem nivoa nivoa i dubljina silicijumtridna na dreznu oba tranzistora jednaki. Kako je jedna ranija Kuger-ova analiza pokazala //7// da silicijumtridni filmovi debljine oko 21 nm nemaju na  $F_i$  i  $F_o$  silicijumskoj podlozi imaju stehiometrijski sastav, to baran dok važi ova dva pretpostavka, razlici u raspodeli probojnih napona. Komparativne razlike u međupovršinama prema dreznu. Primer Kuger-ove analize takvih filmova prikazan je na slici I. //7//. Prinećući se postojanje vrlo tanko, silicijumdioksidne filma na granici  $Si_3N_4/Si$  na ova vrste podloge. Da  $Si_3N_4$  silicijumsku podlogu uzima se i prisustvo fosfora u silicijumdioksidu. Sve to, zajedno sa činjenicom da se radi o F.O.D. doprinosi razlici u raspodeli probojnih napona. Pri tome treba

da se ima u vidu da su u slučaju programirljivih tranzistora redosled i vrsta hemijskih procesa pre deponicije programirljivog silicijumtrida istovetni kao za uzorke sa slike 1. Ovakvim ishodom raspodele probojnih napona narušeno je očekivanje o simetričnosti osobina P.GS i NMOS programirljivih tranzistora sa silicijumtridom.



Slika 1. Auger analiza profila silicijuma na jako dopiranom silicijumu: a. na 1<sup>o</sup> silicijumu; b. na 2<sup>o</sup> silicijumu; d.  $x_{Si-H_2} \sim 21$  nm / 7.

Očito je da do fizičkog proboja izolatora dolazi na nešto višim naponima od navedenih napona, mada i pri nižim od ovoga može da se desi ukoliko je vreme izlaganja naponu dovoljno dugo. Imajući u vidu prethodnu naponenu, tokom programovanja tranzistora na drejnu je napon povećavan do pojave izlaznih karakteristika na ekranu trasera. U isto vreme step generator je bio ograničen na maksimalno 12 V, po apsolutnoj vrednosti za obe vrste tranzistora. Nakon programovanja tranzistora izmerene su njihove strujno-naponske karakteristike, probojni napon sors-drejn i napon praga. Ovi rezultati su upoređeni sa odgovarajućim vrednostima parametara "normalnih" tranzistora sa istih peleta na kojima su mereni programirljivi tranzistori.

U pogledu napona pragova i probojnih napona sors-drejn nije bilo praktično nikakve razlike između "normalnih" i programovanih tranzistora.

Strujno-naponske karakteristike su merene na traseru pri uslovi-  
ma  $|V_{gs}/V_{ds}| = 5V/0,1V, 5V/5V$  i  $10V/10V$  i date su u tabeli 1, uporedo sa strujno naponskim karakteristikama "normalnih" tranzistora. Za obe vrste tranzistora prikazane su srednje vrednosti od 10 merenja. Tabela takođe sadrži i relativni odnos struja "normalnog" i programovanog tranzistora izraženo u procentima.

Uočljiva je degradacija tranzistorovskih karakteristika u linearnoj oblasti i NMOS i P.GS tranzistora. Ali dok za NMOS programirljiv tranzistor degradacija iznosi čak 85%, kod P.GS tranzistora relativni odnos izlaznih struja, meren takođe pri  $|V_{gs}| = 5V$  i  $|V_{ds}| = 0,1V$ , ne daje više od 20%. Prelazeći u oblast zasićenja ovaj odnos

... a kod npr. tranzistora npr. ... konstantni izlazni karakteristika npr. programirljivih tranzistora sa silicijumtriodom odgovara programirljivim npr. tranzistorima sa silicijum dioksidom nedavno opisanim /3/. Za vrednosti izlaznih struja kod programirljivih tranzistora je posledica umošjenja dodatne otpornosti prilikom uspostavljanja kontakta između aluminijuma i drezna koji se odigrava tokom programovanja, a izraženiji je kod npr. tranzistora jer je pri jednakim naponskim uslovima (po aproksimativnoj vrednosti) tokom programovanja, uz jednaku geometriju, struja na dreznu npr. tranzistora manja. Nako su veličina struje i napona kojima se vrši programovanje važni parametri programirljivih kola, to je prednost npr. tranzistora izrazita jer daje veće prve struje, nužno za dobre uspostavljanje kontakta, uz niži preporučni napon silicijumtrioda (slika 2.).

Ako se kod programovanog tranzistora za većim brojem promene uloge svesa i adekvatna pomenuta redna otpornost prelazi u svesa i izraziva smanjenje izlazne struje. Tako je izraženiji kod npr. tranzistora zbog veće redne otpornosti koja se ugrađuje tokom programovanja.

Tabela 1. Srednje vrednosti izlaznih struja "normalnih" (indeks-n) i programovanih tranzistora (indeks-p) za različite vrednosti polarizacije na veštju i dreznu i dva vremena depozicije; zbog znatno protokora napona debljeg silicijumtrioda, filma (3,8 min. trajanje depozicije) u tekstu ovog reda nije dokumentovana

Vrem. Izmer. tra 100% na 100% na (min)	Vgs=5V		Vds=0.1V		Vgs=Vds=5V		Vgs=Vds=10V		
	I <sub>dn</sub>	I <sub>dp</sub>	I <sub>dn-100</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dp</sub>	I <sub>dn-100</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dp</sub>	
	(mA)	(mA)	(%)	(mA)	(mA)	(%)	(mA)	(mA)	
3.3	0.176	0.144	19.1	1.10	2.11	0	3.46	8.55	1.0
	0.058	0.006	84.2	0.59	0.60	13.7	3.07	2.90	5.7
3.8	0.177	0.100	43.5	2.06	2.07	0.68	6.46	6.43	0.3
	0.015	0.003	91.4	0.71	0.58	20.5	2.98	2.63	11.7

Da bi se izbeglo uticaj vremena programovanja na karakteristike tranzistora vršeno je merenje na automatskom pobudu sa impulsnom strujom u trajanju od 20 ns, čija amplituda je 100 ns. Iritom je napon V<sub>gs</sub> na npr. tranzistoru npr. 5 V, a na npr. 20 V, uz

$V_{gs}=12V$  za obe vrste tranzistora. Pogođeni su prikazani na osnovu slike 2. Naime, u odnosu na najveću vrednost izmerene napona na drejnu za koji struja dostigne  $1 \mu A$ , napon je povećan za  $2,7V$ , u slučaju NMOS tranzistora, tako da je dobijena vrednost za  $V_{ds}=18V$ . U pogledu PMOS tranzistora to povećanje je iznosilo oko  $-3,8V$ , da bi se dobio napon programovanja  $V_{ds}=-20V$ . Navedeni silicijum programovanja usledilo je narenje izlaznih karakteristika u nekoliko tačaka. U ovom radu je prikazan najkarakterističniji deo u linearnoj oblasti, za  $V_{gs}/V_{ds}=5V/0,1V$  kroz tabelu 3.

Tabela 3. Strujno-naponske karakteristike "normalnih" tranzistora i tranzistora programovanog različitim širinama impulsa na gejtu; amplituda na drejnu iznosila je  $18V$  za NMOS i  $-20V$  za PMOS tranzistor; izlazne struje su narene za  $V_{gs}/V_{ds}=5V/0,1V$

Širina impulsa	10ms		50ms		200ms		500ms	
	$I_{dn}$ ( $\mu A$ )	$I_{dp}$ ( $\mu A$ )	$I_{dn}$ ( $\mu A$ )	$I_{dp}$ ( $\mu A$ )	$I_{dn}$ ( $\mu A$ )	$I_{dp}$ ( $\mu A$ )	$I_{dn}$ ( $\mu A$ )	$I_{dp}$ ( $\mu A$ )
NMOS	202	187	200	180	198	177	180	167
PMOS							37	16

Za PMOS programovane tranzistore karakteristike su mogle da se izmere samo ukoliko je vreme programovanja bilo 500 ms, dajući degradaciju u linearnom delu od preko 50%. U pogledu NMOS tranzistora dobijene su izlazne struje koje su samo za 10% manje od onih za "normalne" tranzistore, bez obzira na širinu impulsa na drejnu. Ovakvo ponašanje NMOS programirljivog tranzistora je svakako zbog bržeg povećanja struje kroz silicijumnitrid pri porastu napona nego što je to slučaj kod silicijumnitrida u PMOS tranzistoru, pri čemu treba da se ima u vidu da je "aluminijumska elektroda" kod NMOS tranzistora tokom programovanja polarisana pozitivno, a kod PMOS tranzistora negativno.

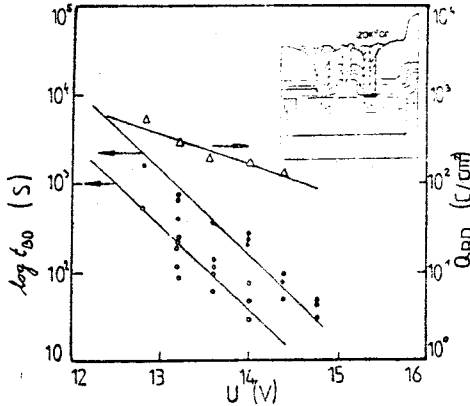
#### 4. VREME I NAELEKTRIŠANJE DO PROBOJA

Proboj izolatora  $Si_3N_4$  može da se desi i pri nižim naponima od nominalnog, kao što je to slučaj kod  $SiO_2$  na  $n^+$  podlozi /10/ uzroka opisanih u 4. poglavlju.

Merenje je sprovedeno inverzijom podloge ispod gejta za sve vreme trajanja opterećenja na drejnu ili prekidajući povorkom impulsa na gejtu kanala učestanošću od 50 KHz i stepenom iskorišćenja od 50%. Amplituda signala iznosila je  $\pm 5V$ , a jednosmernog napona gejta

[107]. Zbog toga je potrebno koristiti materijale koji su otporni na utjecaj visokih napona, kao što je silicij, koji ima visoku otpornost na napone. Jedan od mogućih materijala je silicij, koji ima visoku otpornost na napone. Zbog toga je potrebno koristiti materijale koji su otporni na napone, kao što je silicij, koji ima visoku otpornost na napone.

Zbog nesigurnosti pri određivanju vremena do proboga, potrebno je izvršiti određene mjerenja (t<sub>50</sub>) i napraviti korekcije (Q<sub>BD</sub>) do proboga tako da se može izračunati, što je ilustrovano na slici 4. Očekivalo se da će t<sub>50</sub> biti impulsnog opterećenja sigurnije od trajnog, i ono je za to potrebno napraviti određene korekcije. Oznaka modela za procjenu vremena do proboga pri električnom opterećenju, na silicij, je predstavljena eksponencijskom zavisnošću od napona u zavisnosti od električnog polja u području aktivnog izolatora. Ovakvim pristupom može se napraviti procjena pouzdanosti ovakvih filmova na radnim naponima u području aktivnog polja. Uvažavajući pravila između radnog



Sl. 2. Vreme do proboga  $t_{50}$  u silicij tranzistoru u zavisnosti od napona na dnoju; (c)  $V_{GB}=10V$ , (o)  $V_{GB}=25V$ , ( $\Delta$ )  $t_{50}$  za  $V_{GB}=10V$ .

u vidu veću otpornost  $SiO_2$  u odnosu na  $Si_3N_4$  i predloženu  $t_{50}$  vrednost za  $Si_3N_4$  dobija se da bi se pouzdanija struktura mogla da obezbedi kombinacijom ovih dielektrika na jako dopiranoj podlozi.

## 5. ZAKLJUČAK

Realizovani su električno prednapunjivajući i  $SiO_2$  tranzistori sa tankim silicijumtridnim filmom na dnoju, sa razlikom od ranije objavljivanja slučajeva da je korišćen polisilicijum, odnosno sili-

napona i onaj granice napon od 10 napons treba da obezbedi sigurnosni opseg 4V, kojim se da opisani silicij tranzistor može da radi pouzdano na 10V oko 4 meseca (impulsnog opterećenje). Uništavajući radni napon do samo 1V dobija se vreme do proboga od oko 3 godine.

Dobijeno naelektrisanje do proboga iznosilo je između  $130-520$   $C/cm^2$ . Ove vrednosti su za oko 2 reda veličine veće od  $Q_{BD}$  za  $SiO_2$  na jako dopiranoj podlozi /10/. Imajući

cijundiodksid kao programirljiv film /4,7/.

Programovani tranzistori imaju smanjenu izlaznu struju, naročito u linearnom delu, što je posledica ugrađjene rečne otpornosti nakon programovanja. Ova pojava je izraženija kod CMOS tranzistora nego kod MOS tranzistora. Nađeno je takođe da je za programovanje CMOS tranzistora potreban veći napon nego za MOS, što je objašnjeno i prisustvom vrlo tankog silicijundiodksida na granici silicijumitrid/silicijum. Izmereno je vreme do proboja koje naroveštava uspešnu  $\text{Si}_3\text{N}_4$  u MOS programirljivim tranzistorima. Posebno dobra odlika programirljivog  $\text{Si}_3\text{N}_4$  filma je da ima neelektrisanje do proboja rada nekoliko stotina  $\text{C}/\text{cm}^2$ , što omogućuje primenu ovog u  $\text{N}^+\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  strukturana. Da bi se došla potpunija slika o mogućnosti primene CMOS programirljivog tranzistora sa silicijumitridom potrebno je da se ispita pouzdanost kontakta nakon programiranja, mada je izmerena odgovarajuća pouzdanost tankog silicijundiodksida na  $\text{P}^+$  silicijumu /5,6/.

Autori ovog rada se zahvaljuju B. Praelcu sa Instituta za vakuumsku i elektronsku tehniku u Ljubljani na Auger analizi silicijumitridnih filmova.

#### LITERATURA

1. Fujitsu Microelectronics Inc., "PROM Data Book", 1983
2. David W. Greve, "Programming Mechanism of Polysilicon Resistor Fuses", IEEE J. St. Circuits, vol. SC-17, p. 849, 1982
3. Y. Fukuda, S. Kohda, Y. Kitano, "A New Aluminum Pattern Formation Using Substitution Reaction of Aluminum for Polysilicon and its Application to MOS Device Fabrication", IEEE Trans. El. Dev., vol. ED-31, p. 838, 1984
4. M. Tomimoto, T. Murota, Y. Ohmori, K. Iwada, "A Novel MOS PROM Using a Highly resistive Poly-Si Resistor", IEEE Trans. El. Dev., vol. ED-27, p. 517, 1980
5. E. Jelenković, Lj. Pavlović, M. Puletić, A. Živić, S. Pantić, "A New Technique with thin silicondioxide film for MOS masks", Proc. of "The 6 th Conference on Semiconductor and Custom ICs", London 86.
6. E. Jelenković, Lj. Pavlović, M. Puletić, Lj. Mladenović, S. Pantić, V. Zdravković, V. Simonović, "Električno programirljiv polisilicijumski P.C.S. tranzistor sa  $\text{SiO}_2$ ", IEEE 88.
7. E. Jelenković, M. Puletić, Lj. Pavlović, S. Pantić, A. Živić, O. Stanković, "Mogućnost primene tankih izolatora u električno programirljivim kontaktima", stručni izveštaj, Bi-RO "Bi-Poluprovodnici", 1986
8. I. Manić, Lj. Pavlović, M. Puletić, Lj. Mladenović, S. Pantić, V. Zdravković, E. Jelenković, "Stabilnost tankih filmova  $\text{Si}_3\text{N}_4$  na  $\text{P}^+$  podlozi u uslovima jakih električnih polja", IEEE 86.
9. D. A. Buchanan, R. A. Abram and H. J. Morant, "Charge Trapping in Silicon-Rich  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Thin Films", Sol. St. Electr., vol. 30, no. 12, p. 1295, 1987
10. E. Jelenković, Lj. Pavlović, Lj. Mladenović, M. Puletić, "Trapping Properties of Silicondioxide Grown on heahly doped substrate, IEEE 89, No. 1, 1489, biće objavljeno.