

INFORMACIJE MIDEM

Strokovno društvo za mikroelektroniko
elektronske sestavne dele in materiale

2°1990

Časopis za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale
Časopis za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materijale
Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials

INFORMACIJE MIDEM, LETNIK 20, ŠT. 2(54), LJUBLJANA, JUNIJ 1990



EI ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNI INSTITUT - IRI
Hibridna kola izvedena v debeloslojnoj tehnici

INFORMACIJE

MIDEM

2 • 1990

INFORMACIJE MIDEM	LETNIK 20, ŠT. 2(54), LJUBLJANA,	JUNIJ 1990
INFORMACIJE MIDEM	GODINA 20, BR. 2(54), LJUBLJANA,	JUN 1990
INFORMACIJE MIDEM	VOLUME 20, NO. 2(54), LJUBLJANA,	JUNE 1990

Izdaja trimesečno (marec, junij, september, december) Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale.

Izdaja tromjesečno (mart, jun, septembar, decembar) Stručno društvo za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materiale.

Published quarterly (march, june, september, december) by Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials - MIDEM.

Glavni in odgovorni urednik
Glavni i odgovorni urednik
Editor in Chief

Iztok Šorli, dipl. ing.
MIKROIKS, Ljubljana

Tehnični urednik
Tehnički urednik
Executive Editor

Janko Colnar

Uredniški odbor
Redakcioni odbor
Editorial Board

mag. Rudi Babič, dipl. ing., Tehniška fakulteta Maribor
Dr. Rudi Ročak, dipl. ing., MIKROIKS, Ljubljana
mag. Milan Slokan, dipl. ing., MIDEM, Ljubljana
Zlatko Bele, dipl. ing., MIKROIKS, Ljubljana
Miroslav Turina, dipl. ing., Rade Končar, Zagreb
Jože Jekovec, dipl. ing., Iskra ZORIN, Ljubljana

Časopisni svet
Izdavački svet
Publishing Council

Prof. dr. Leo Budin, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Zagreb
Prof. dr. Dimitrije Čajkovski, dipl. ing., PMF, Sarajevo
Prof. dr. Georgij Dimirovski, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Skopje
Prof. dr. Jože Furlan, dipl. ing. - Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
Franc Jan, dipl. ing. - Iskra-HIPOT, Šentjernej
Prof. dr. Drago Kolar, dipl. ing. - Institut Jožef Stefan, Ljubljana
Ratko Krčmar, dipl. ing., Rudi Čajavec, Banja Luka
Prof. dr. Ninoslav Stojadinović, dipl. ing. - Elektronski fakultet, Niš
Prof. dr. Dimitrije Tjapkin, dipl. ing. - Elektrotehniški fakultet, Beograd

Naslov uredništva
Adresa redakcije
Headquarters

Uredništvo Informacije MIDEM
Elektrotehniška zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana
telefon (061) 316-886

Letna naročnina za delovne organizacije znaša 560,00 din, za zasebne naročnike 280,00 din, cena posamezne številke 70,00 din.
Člani in sponzorji MIDEM prejema Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja predplata za radne organizacije iznosi 560,00 din, za privatne naročnike 280,00 din, cijena pojedinog broja je 70,00 din.
Članovi i sponzori MIDEM primaju Informacije MIDEM besplatno.

Annual Subscription Rate is US\$ 40 for companies and US\$ 20 for individuals, separate issue is US\$ 6. MIDEM members and Society sponsors receive Informacije MIDEM for free.

Znanstveni svet za tehnične vede I je podal pozitivno mnenje o časopisu kot znanstveno strokovni reviji za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale. Izdajo revije sofinancirajo Republiški komite za raziskovalno dejavnost in tehnologijo in sponzorji društva.

Znanstveno-strokovne prispevke objavljene v Informacijah MIDEM zajemamo v domačo bazo podatkov

- ISKRA SAIDC-el, kakor tudi v tujo bazo podatkov

- INSPEC.

Po mnenju Republiškega komiteja za informiranje št. 23 z dne 27. 9. 1988 je publikacija oproščena plačila davka od prometa proizvodov.

Mišljenjem Republičkog komiteta za informiranje br. 23 od 27. 9. 1988 publikacija je oslobođena plaćanja poreza na promet.

Oblikovanje besedila in tisk
Oblikovanje stavka i štampa
Printed by

BIRO M, Ljubljana

Naklada
Tiraž
Circulation

1000 izvodov
1000 primjeraka
1000 issues

R.Ročak: Sedaj moramo v svet in s svetom	60	R.Ročak: It is Time to go in the World with the World
ZNANSTVENO STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
Monika Jenko: Študij pojavov na površinah kovin pri vakuumskem mehkem spajkanju z metodo AES	61	Monika Jenko: AES Studies of Surface Phenomena at Fluxless Vacuum Soldering
Petar Stojanovski: Osjetljivost i točnost tranzistorskog temperaturnog senzora uz konstantnu kolektorsku struju	66	Petar Stojanovski: Sensitivity and Accuracy of the Transistor Temperature Sensor under a Constant Collector Current
M. Kramberger, M. Mičović: Numerični model delovanja diode	69	M. Kramberger, M. Mičović: Numerical Model of Diode Operation
V. Gradišnik, S. Amon: 1D modeliranje prehodnih pojavov v PN strukturah	80	V. Gradišnik, S. Amon: 1D Modeling of Transient Behavior in PN structures
M.Klanjšek: Tankoplastni silicijevi oksidi, I.Splošne lastnosti	83	M.Klanjšek: Silicon Oxide Films, I.General Properties
Z.Bebe: GALi - Generične logične mreže, I.del	87	Z.Bebe: GALs - Generic Array Logic, Part I.
Miroslav Turina: Elektronika u devedesetim	92	Miroslav Turina: Electronics in Nineties
KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA		CONFERENCES, COLLOQUIUMS, SEMINARS, REPORTS
Darja Uvodič: MIEL 90 18.Jugoslovansko posvetovanje o mikroelektroniki	98	Darja Uvodič: MIEL 90 18 th Yugoslav Conference on Microelectronics
Mirko Vujatović: MIPRO 90 u Opatiji	99	Mirko Vujatović: MIPRO 90 in Opatija
Monika Jenko: XI.Jugoslovanski vakuumski kongres	100	Monika Jenko: XI.Yugoslav Vacuum Congress
PREDSTAVLJAMO DO Z NASLOVNICE		REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE
Vladimir Pantović: EI Istraživačko razvojni institut - IRI, Beograd	101	Vladimir Pantović: EI Research and Development Institute - IRI, Belgrade
ČLANI MIDEM		MIDEM MEMBERS
Seznam članova društva MIDEM	102	List of MIDEM Members
VESTI, OBVESTILA		NEWS, INFORMATION
Prikaz doktorske disertacije F. Smoleta	113	Represent of F. Smole's Doctor Thesis
Poziv za sodelovanje na 41. posvetu o metalurgiji in kovinskih gradivih	115	Call for Contributions for 41.Conference on Metallurgy and Metal Materials
KOLEDAR PRIREDITEV	115	CALENDAR OF EVENTS
JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI	119	YUGOSLAV TERMINOLOGICAL STANDARDS
Slika na naslovnici: EI Istraživačko razvojni institut- IRI		Front page: EI Research and Development Institute - IRI

SEDAJ MORAMO V SVET IN S SVETOM

"Dugo smo mislili da nam za rad i nije potrebna posebna pamet. I nismo pametno radili! Više ne možemo raditi kao da smo rekli zbogom pameti! Jer nam se pamet razide po svetu! A kome je pamet u svetu, puna je ludosti sopstvena kuća!"

Tako je napisal književnik Milovan Vitezović v besedilu posvečenem začetku realizacije znanstveno-tehnološkega parka v Beogradu.

Pred letom dni so v Beogradu začeli graditi znanstveno- tehnološki park "ZVEZDARA", na istoimenskem griču, vsega 2,5 km od centra mesta v zeleni oazi površine več kot 200 hektarjev. Sam park bo velik 21 hektarjev s skupno 40 znanstveno- raziskovalnimi enotami, skupne bruto površine stotisoč kvadratnih metrov. Ob znanstvenih institucijah so predvideni tudi hotel, banka, pošta, restavracije in športno rekreativni tereni.

Citirajmo še direktorja instituta "Mihajlo Pupin" dr. Dragoljuba Miličevića:

"Najznačajnija odlika NTP "Zvezdara" jeste mogućnost da u fizičkoj blizini rade istovremeno razvojni punktovi instituta, fakulteta i privrede, ne napuštajući svoje matične sredine. Time je omogućena sinhronizacija istraživačkih projekata i komercijalnih odnosa među učesnicima, neop- terećena "integracionim", odnosno "dezintegracionim" procesima. NTP "Zvezdara" je otvoren koncept za sve istraživačke i proizvodne organizacije, koje imaju djelatnost u informacionim tehnologijama. Posebna pažnja se posvećuje formiranju manjih zajedničkih firmi sa stranim partnerima, koje bi u Park donele nove tehnološke prodore, neophodne za kreiranje savremenih proizvoda."

Upajmo, da v Srbiji ne bodo ukinili proizvodnje polprevodnikov v Nišu in se zgledovali po Sloveniji. Kaj drugega kot norost je lahko definitivna likvidacija ne samo podjetja, temveč tudi dejavnosti proizvodnje mikroelektronskih vezij v Sloveniji?

Predsednik društva MIDEM



ŠTUDIJ POJAVOV NA POVRŠINAH KOVIN PRI VAKUUMSKEM MEHKEM SPAJKANJU Z METODO AES

Monika Jenko

KLJUČNE BESEDE: vakuumsko mehko spajkanje, tanke plasti, oksidne plasti, indij, In_2O_3 , oksidacija indija, disociacija, redukcija, taline kovin, eksperimenti, Augerjeva spektroskopija, vakuumaska tehnologija.

POVZETEK: Za študij fizikalno kemijskih pojavov na površinah kovin, ki sodelujejo v procesu omakanja pri vakuumskem mehkiem spajkanju brez talila smo razvili novo raziskovalno metodo, ki temelji na spektroskopiji Augerjevih elektronov raztaljenih kovin.

Raziskali smo začetne faze oksidacije na površini trdnega in raztaljenega indija v temperaturnem področju $298\text{K} < T < 523\text{K}$, v vakuumu pri konstantnem tlaku kisika 5×10^{-5} mbar, čas oksidacije je bil do 100 minut. V drugem delu raziskave smo študirali proces disociacije trdnega In_2O_3 v zelo tanki plasti po enačbi $\text{In}_2\text{O}_3 (\text{S}) + 4\text{In}(\text{L}) \rightleftharpoons 3\text{In}_2\text{O} (\text{G})$ v temperaturnem področju $430\text{K} < T < 820\text{K}$ v ultravisokem vakuumu.

Z uporabo termodinamičnih funkcij za masivni material in iz ravnotežja enačbe $\text{In}_2\text{O}_3 (\text{S}) + 4\text{In}(\text{L}) \rightleftharpoons 3\text{In}_2\text{O} (\text{G})$ smo postavili izraz za izračun ravnotežnega parnega tlaka $p(\text{In}_2\text{O})$, izraženega v mbar $\log p(\text{In}_2\text{O}) = (-12536/T) + 12,75$.

AES STUDIES OF SURFACE PHENOMENA AT FLUXLESS VACUUM SOLDERING

KEY WORDS: fluxless vacuum soldering, thin films, oxide films, indium, In_2O_3 , indium oxidation, dissociation, reduction, liquid metals, experiments, Auger spectroscopy, vacuum technology.

ABSTRACT: A new sensitive investigation method based on Auger Electron Spectroscopy for studies of surface phenomena on liquid indium solder has been developed. An Auger Spectrometer is adapted to study the following phenomena:

- surface oxidation of crystalline and liquid indium in the temperature range from 298K to 523K in a vacuum at constant oxygen pressure of 5×10^{-5} mbar with oxygen time exposure up to 100 minutes;
- isothermal dissociation of In_2O_3 thin film on liquid indium surface described by reaction: $\text{In}_2\text{O}_3 (\text{c}) + 4\text{In}(\text{L}) \rightleftharpoons 3\text{In}_2\text{O}(\text{g})$ at the temperatures of 633K, 675K, 750K and 820K in a vacuum below 1×10^{-9} mbar.

The equation for In_2O equilibrium vapour pressure calculation: $\log p(\text{In}_2\text{O}) = (-12536/T) + 12,75$ was obtained from thermodynamic functions for bulk materials and from equilibrium of the afore cited reaction.

1. UVOD

Vakuumsko mehko spajkanje z indijem ali z njegovimi zlitinami brez talila, sodi med vrhunske vakuumске tehnologije, ki jo obvladajo le redki proizvajalci specialnih elektronk v zahodnem svetu^(1,2). Na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko smo to tehnologijo razvili za hermetično inkapsulacijo slikovnih ojačevalnikov z bližinskim prenosom slike^(3,4). Pri specialnih elektronkah, fotocelicah, fotopomnoževalkah, slikovnih ojačevalnikih in drugih elektronkah, majhna razdalja med fotokatodo in anodo ali med fotokatodo in mikrokanalno pomnoževalko (pod 1 mm) ne dopušča klasičnega nanašanja fotokatore in hermetične inkapsulacije s črpalnim pečljem. Možen je le postopek črpanja elektronk brez pečlja in hermetična inkapsulacija s tekočo spajko brez talila v ultravisokem vakuumu UVV. Pri tej tehniki spajkanja moramo zagotoviti skrajno čiste površine spojnih ploskev, ki so potrebne za potekanje fizikalno kemijskih reakcij pri omočenju. Mesta na katerih ne pride do omočenja so vakuumsko netesna.

Prve preiskave modelnih vzorcev z metodo AES so potrdile domnevo, da se na raztaljenem indiju tvori tanka

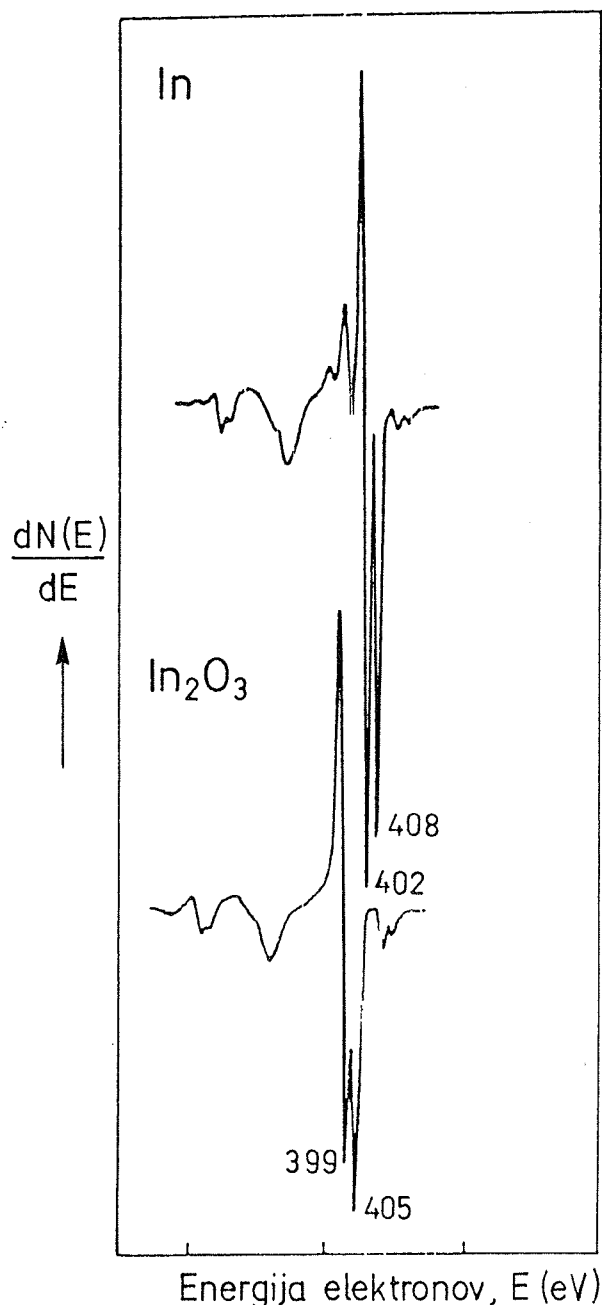
plast nečistoč predvsem In_2O_3 in C, ki prepreči omočenje^(3,4,6).

Za študij pojavov na površini raztaljenega indija smo razvili novo občutljivo raziskovalno metodo, ki temelji na spektroskopiji Augerjevih elektronov raztaljenih kovin^(6,7). Z omenjeno metodo smo raziskali nastajanje in odstranjevanje zelo tankih oksidnih plasti In_2O_3 na površini raztaljenega indija. Preiskave površin raztaljenih kovin s spektroskopijo Augerjevih elektronov so predstavljale za nas in v svetu novo področje uporabe metode AES⁽⁷⁾.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

Vrha Augerjevih elektronov trdnega in raztaljenega indija sta po obliki, intenziteti vrhov in energiji Augerjevih elektronov v področju natančnosti meritve enaka, analitično pomembna pa je razlika med vrhovi Augerjevih elektronov kovinskega indija (402 eV, 408 eV) in indijevega oksida (399 eV, 405 eV)^(8,9), slika 1.

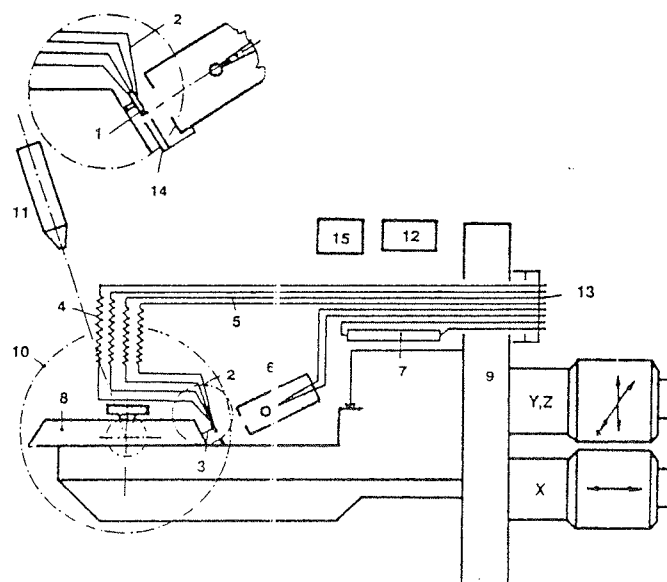
Študij oksidacijskih in redukcijskih procesov na površini raztaljenega indija je potekal v spektrometru Augerjevih



Slika 1: Vrha Augerjevih elektronov čistega kovinskega indija (402 eV) in oksida In_2O_3 (399 eV, 405 eV), posneta pri enakih pogojih.

elektronov Physical Electronics, SAM 545A, s cilindričnim analizatorjem CMA. Augerjeve elektrone smo vzbujali s statičnim curkom elektronov 3 keV/1 μA , premera 45 μm , pri vpadnem kotu 30° . Ionsko jedkanje z Ar^+ ioni je potekalo pri tlaku Ar $7,3 \times 10^{-5}$ mbar, energija je bila 1 keV ali 3 keV, emisijski tok 15 mA, premer ionskega curka okrog 2mm, vpadni kot ionskega curka je bil 47° in emisijski tok merjen pri vpadnem kotu 47° je bil $1,8 \times 10^{-8}$ A. Spektrometer smo dodatno opremlili z nosilcem vzorca, ki je bil hkrati uporabno greta pečica, opremljena s termočlenom; izvorom za napajanje indija v vakuumski posodi; kremenovo mikrotehniko za določanje debeline tanke plasti indija med depozicijo; kvadrupolnim masnim spektrometrom za analizo preostale atmosfere; UVV kovinskim ventilom za vpuščanje

kisika v vakuumsko komoro in izvorom za kisik, dobljen s kemično reakcijo. Vsi priključki za ogrevanje vzorca, za ozemljitev vzorca in za termočlen so bili izvedeni tako, da so dopuščali premikanje krožnika manipulatorja, gledano s smeri analizatorja - CMA - za $\pm 90^\circ$ (7), slika 2.



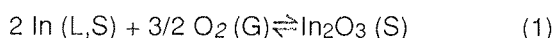
Slika 2: Spektrometer Augerjevih elektronov preurejen za preiskave pojavov na površini tekočih kovin. 1-vzorec: indij naparjen na Mo substratu; Mo substrat je hkrati tudi uporabno greta pečica, 2-termočlen Fe-CuNe, 3-nosilec vzorca, 4-gibljivi priključki, 5-togi priključki, 6-izvor In za napajanje v vakuumski posodi spektrometra, 7-izvor O_2 , Ni-cevka napolnjena z MnO_2 , 8-vrtljivi standardni nosilec vzorcev spektrometra Augerjevih elektronov, 9-prirobnica manipulatorja, 10-cilindrični zrcalni analizator (CMA), 11-ionska puška, 12-masni spektrometer, 13-provodnica, 14-kremenov kristal, 15-ventil za vpust O_2 .

Vzorec, tanko plast indija, debeline 1,5 do 2 μm smo napajali v vakuumski posodi Augerjevga spektrometra na očiščen, prežarjen Mo trak dimenzij 30mm x 3mm x 0,3mm. Tanko oksidno plast In_2O_3 smo dobili z izpostavo površine čistega indija kisiku pri tlaku 5×10^{-5} mbar v temperaturnem področju $298\text{K} \leq T \leq 523\text{K}$ pri času izpostave do 100 minut.

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1. Oksidacija indija

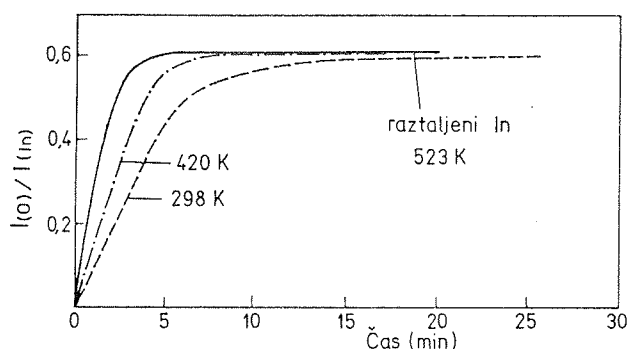
Čisti trdni, oz. raztaljeni indij se po literaturnih podatkih (14-23) in po naših eksperimentalnih dognanjih⁽⁷⁾ v prisotnosti kisika oksidira, tako na površini masivnega materiala, kot tudi na tanki plasti, po enačbi (1):



kjer S, L in G pomenijo trdno, raztaljeno oziroma plinsko stanje.

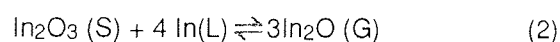
Topnost kisika se v čistem raztaljenem indiju z naraščajočo temperaturo povečuje: pri 873K je $S(\text{O}) = 1 \times 10^{-6} \text{ at \%}$ ⁽¹⁰⁾. Za temperaturno področje naših raziskav $493\text{K} < T < 820\text{K}$ je topnost kisika v indiju zanemarljivo majhna, za AES metodo pa pod mejo detekcije. Difuzija kisika v raztaljenem indiju je zanemarljiva, difuzijski koeficient znaša: $D(\text{O}) = 6,2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ pri temperaturi 873K⁽¹⁰⁾. Iz navedenih dejstev sledi, da poteka reakcija oksidacije čistega raztaljenega indija po enačbi⁽¹⁾ le na površini raztaljenega indija⁽⁷⁾. Kinetiko rasti oksidne plasti In_2O_3 smo ugotavljali z metodo AES, z direktnimi meritvami, to je z zasledovanjem časovnega poteka spremembe razmerja signalov Augerjevih elektronov kisika (512 eV) in indija (402 eV za In^0 in 405 eV za In^{3+}). Pri izbrani geometrijski legi vzorca v spektrometru lahko zasledujemo kinetiko rasti oksidne plasti In_2O_3 do debeline 3,5nm, kar ustreza vrednosti efektivne izstopne globine elektronov $e\lambda$ za In_2O_3 ₍₁₁₎. Pri debelini $d \geq 3,5$ nm se vrh Augerjevih elektronov In_2O_3 ne spreminja več, ker postane debelina plasti večja od izstopne globine Augerjevih elektronov. Za določanje debeline oksidnih plasti $d \geq 3,5$ nm uporabimo profilno AES analizo.

Začetne faze oksidacije na površini čistega indija smo študirali pri temperaturi 298K, pri temperaturi tik pod tališčem indija 420K in na površini čistega raztaljenega indija pri temperaturi 523K. Rezultati so grafično prikazani na sliki 3.



Slika 3: Kinetika rasti oksidne plasti na površini trdnega In pri temperaturi 298 K, pri temperaturi tik pod tališčem In 420 K in na površini raztaljenega In

Pri višjih temperaturah se tvorijo hlapni oksidi po enačbi (2):

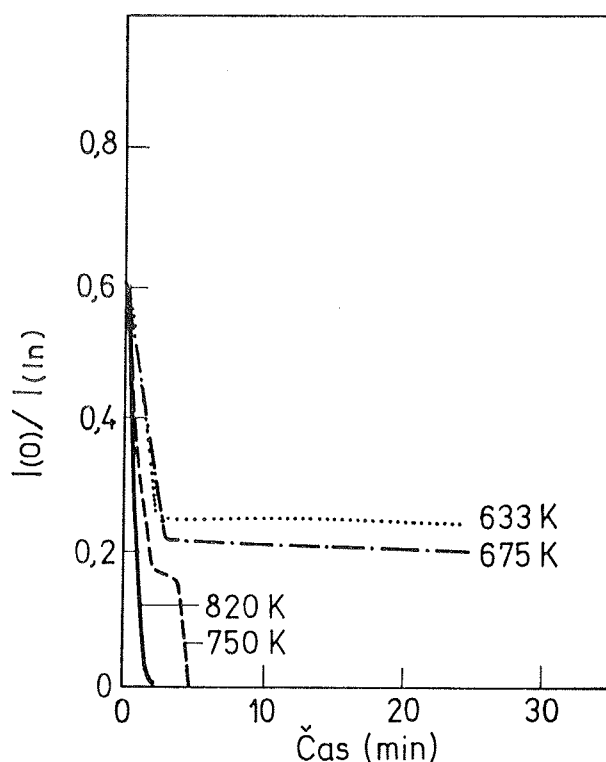


Rast oksidne plasti In_2O_3 je identična z oksidacijo indija v temperaturnem področju, v katerem ne nastajajo hlapni oksidi. Čim začne In_2O_3 po enačbi⁽²⁾ izparevati, debelina oksidne plasti preneha biti merilo oksidacije.

3.2. Disociacija tankih plasti In_2O_3

V drugem delu naših raziskav smo študirali odstranjevanje tankih oksidnih plasti In_2O_3 s površine raztaljenega indija. Reakcijo med tanko oksidno plastjo In_2O_3 in raztaljenim indijem, ki poteka po enačbi (2) smo imenovali disociacija. Raziskali smo jo pri konstantnih temperaturah 633K, 675K, 750K in 820K v vakuumu $< 1 \times 10^{-9}$ mbar.

Rezultati so prikazani na sliki 4.

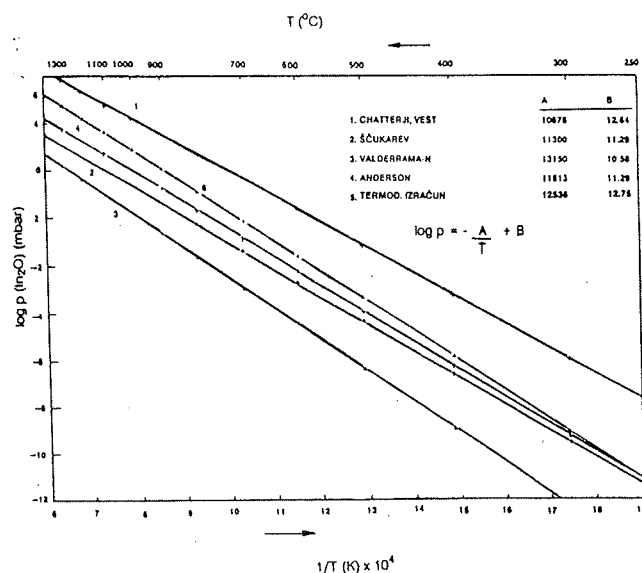


Slika 4: Izotermna disociacija tanke oksidne plasti In_2O_3 na raztaljenem indiju pri temperaturi 633 K, 675 K, 750 K in 820 K.

Pri segrevanju na temperaturah $T > 633\text{K}$ poteka proces odstranjevanja tankih oksidnih plasti In_2O_3 z odparevanjem hlapnih oksidov po enačbi⁽²⁾ z zaznavno hitrostjo. Pri temperaturi 820K pa je proces že tako hiter, da zmanjševanja oksidne plasti do čiste kovine z metodo AES ni mogoče spremljati.

Pod temperaturo 633K je možno le mehansko odstranjevanje prosto plavajočih delov tanke oksidne In_2O_3 plasti s površine raztaljenega In. Tanko oksidno In_2O_3 plast lahko ob izpolnjevanju posebnih pogojev⁽⁷⁾ odstranimo s površine raztaljenega indija tudi z ionskim jedkanjem.

Disociacija In_2O_3 , oz. izparevanje In_2O je ključni proces vakuumskega mehkega spajkanja brez talila in je pomembna tudi v metalurgiji pri pridobivanju indija, pri transportnih reakcijah za pridobivanje monokristalov In_2O_3 , pri izdelavi ITO plasti itd. Zato je bilo v zadnjih 15 letih posvečeno procesu(2) veliko raziskav. Za ravnotežni parni tlak indijskega suboksida $p(\text{In}_2\text{O}) = f(T)$ so literaturni podatki zelo različni (14-23). Nekatere smo prikazali na sliki 5.



Slika 5: Izmerjene in izračunane vrednosti za parni tlak $p(\text{In}_2\text{O})$ različnih avtorjev.

Za parni tlak In_2O , izražen v mbar, smo iz ravnotežja enačbe⁽¹⁾ in z uporabo termodinamičnih funkcij za masivni material (tabela 1) postavili izraz: $\log p(\text{In}_2\text{O}) = (-12536/T) + 12,75$. (3)

Tabela 1: Vrednosti termodinamičnih funkcij uporabljenih za izračun $p(\text{In}_2\text{O})$

	Termodinamične funkcije	Vrednosti	Literatura
ΔH_{tal}	(In , L, 429, 6K)/kJmol ⁻¹	3,6	18
ΔH^0	(In O , S, 298K)/kJmol ⁻¹	-928,34	17
ΔH^0	(In O , G, 298K)/kJmol ⁻¹	-65,69	19
S_{tal}	(In , L, 429, 6K)/JK mol ⁻¹	7,93	18
S^0	(In , S, 298K)/JK mol ⁻¹	58,16	18
S^0	(In O , S, 298K)/JK mol ⁻¹	114,22	18
S^0	(In O , G, 298K)/JK mol ⁻¹	373,32	(*)

(*) povprečje vrednosti (17, 20, 21, 23)

Vrednosti $p(\text{In}_2\text{O})$, dobljene z enačbo⁽³⁾ so grafično prikazane s premico 5 na sliki 5.

4. ZAKLJUČEK

Za študij pojavov na površini raztaljenega indija smo razvili novo raziskovalno metodo, ki temelji na spektroskopiji Augerjevih elektronov raztaljenih kovin. Metoda omogoča študij kinetike rasti oksidne plasti In_2O_3 na raztaljenem indiju. Pri izbrani geometrijski legi vzorca v spektrometru smo zasledovali kinetiko rasti oksidne plasti In_2O_3 do debeline 3,5 nm, kolikor znaša efektivna izstopna globina Augerjevih elektronov za In_2O_3 . Rast oksidne plasti In_2O_3 je identična z oksidacijo indija v temperaturnem področju, v katerem ne nastajajo hlapni oksidi. Čim začne In_2O odhlapevati po enačbi⁽²⁾, debelina oksidne plasti preneha biti merilo oksidacije.

Za parni tlak In_2O , izražen v mbar, smo iz ravnotežja enačbe(2) in z uporabo termodinamičnih funkcij za masivni material postavili izraz(3).

Izparevanje In_2O smo zasledovali z metodo AES z indirektnimi meritvami. Rezultati meritev kažejo, da postavljeni izraz za $p(\text{In}_2\text{O})$ velja za izparevanje In_2O v ultravisokem vakuumu v temperaturnem področju $633\text{K} \leq T \leq 820\text{K}$ le pri naslednjih pogojih:

a) tlak preostale atmosfere $p_A < 10^{-9}$ mbar, b) minimalno možno obstreljevanje analizirane površine s curkom primarnih elektronov, c) minimalen vpliv neizotermnih aktiviranih molekul plina in d) zadosten prebitek taline indija.

Delo je bilo v celoti narejeno na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem Smiljanu Jeriču, dipl.ing. za mnoge strokovne pogovore in napotke pri delu in Borutu Pračku, dipl.ing. za pomoč pri zahtevnem eksperimentalnem delu.

5. LITERATURA

1. B. Jean, J.P. Bautot, V. Duchenois, R. Polaert, Adv. EEP Academic Press, London (1985), Vol. 64 B str. 315
2. I.P. Csorba, Image Tubes, Howard W. Sams, Indianapolis (1985)
3. E. Kinsky, B. Erjavec, Z. Roš, V. Golob: Some problems of Vacuum Soldering, International Institute of Welding, Yugoslav Delegation, Doc. I-714-82, Ljubljana (1982)
4. E. Kinsky, B. Erjavec, Z. Roš, Proc. IX IVC-V, ICSS Madrid 1983 (Edit. J. Segovia) Ext. Abstr. Vs P, 11 B str. 105, ASEVA, Madrid 1983
5. M. Jenko, E. Kinsky, V. Nemanič, R. Zavašnik, Proc. X IVC-V, ICSS, Madrid 1983, Ext. Abstr. SS.P. 4D str. 70, (Edit. J. Segovia), ASEVA, Madrid (1983)
6. E. Kinsky, M. Jenko, B. Erjavec, Proc. X IVC-ICSS Baltimore 1986, VsTuM8 str. 126, American Vacuum Society, Baltimore, Maryland (1986)

7. M. Jenko: Pojavi na površinah kovin pri vakuumskem mehkem spajkanju, Doktorsko delo, Univerza Edvarda Kardelja Ljubljana, Ljubljana, (Julij 1988)
8. L.E. Davis, N.C. MacDonald, P.W. Palmberg, G.E. Riach, R.E. Weber, Handbook of Auger Electron Spectroscopy, Sec. Edition, Physical Electronics Industries, Eden Prairie (1976)
9. H.H. Maden, J.Vac. Sci. Technol. 3 (1981) str. 677
10. B. Heshmatpour, D.A. Stevenson, J. Electrochem. Soc., Solid State Sci. Technol. 129, 2 (1982) str. 430
11. M.P. Seah, W.A. Dench, Surf. Interface Anal. 1 (1979), str. 2.
12. P. Sen, M.S. Hedge, C.N.R. Rao, Apply. Surf. Sci. 10 (1982) str. 63
13. S.M. Rossnagel, H.F. Dylla, S.A. Cohen, J.Vac. Sci. Technol. 16 (1979) str. 558
14. J. Valderama-N, K.T. Jacob, Term. Acta 21 (1977) str. 215
15. D. Chatterji, A.W. Vest, J. Amer. Ceram. Soc. 155, 11 (1972) str. 575
16. S.A. Ščukarev, C.A. Semenov, I.A. Račtkovskii, Žur. neorg. him. 1 (1969) str. 3
17. T.J. Anderson, L.F. Donaghey, J. Chem. Therm. 9 (1977) str. 617
18. O. Kubaschewski, E. L. Evans, C. B. Alcock, Metallurgical Thermochemistry, Pergamon, Oxford (1979)
19. G.V. Čapligin, Žur. Fiz. Him. 11 (1975) p. 2767
20. K. A. Klinedinst, D. A. Stevenson, J. Electrochem. Soc. Solid State Sci. Technol. 120, 2 (1973) str. 304
21. D. J. Hart, J. Phys. Chem. 56 (1952) str. 202
22. S. Schaefer, U. S. Bur. Mines Rep. Invest. (1971) str. 7549
23. G. R. Newns, J. M. Pelmore, J. Chem. Soc. A (1986) str. 360
- dr. Monika Jenko, mag. dipl.ing.
SŽ-Metalurški inštitut Ljubljana
61000 LJUBLJANA
Lepi pot 11*
- Prispelo: 25. 03. 1990 Sprejeto: 28. 05. 1990*

OSJETLJIVOST I TOČNOST TRANZISTORSKOG TEMPERATURNOG SENZORA UZ KONSTANTNU KOLEKTORSKU STRUJU

Petar Stojanovski

KLJUČNE RIJEČI: senzor, temperaturni senzori, bipolarni tranzistori, temperaturne karakteristike, točnost, osjetljivost, poluprovodnici

SAŽETAK: Ovaj se rad odnosi na tranzistorske temperaturne senzore, kod kojih se koristi napon baza-emiter kao temperaturno ovisan parametar, uz konstantnu kolektorsku struju. Na temelju precizne analize temperaturne ovisnosti $I_c - U_{be}$ karakteristika bipolarnih silicijevih tranzistora, određena je osjetljivost i točnost tranzistorskog temperaturnog senzora, u temperaturnom području od -50°C do 150°C .

SENSITIVITY AND ACCURACY OF THE TRANSISTOR TEMPERATURE SENSOR UNDER A CONSTANT COLLECTOR CURRENT

KEY WORDS: sensors, temperature sensors, bipolar transistors, temperature characteristics, accuracy, sensitivity, semiconductors

ABSTRACT: This paper considers a transistor temperature sensor, in which is used a base-emitter voltage as a temperature dependent parametar, under a constant collector current. On the basis of an accurate analysis of the temperature dependence on the $I_c - U_{be}$ characteristics of the bipolar silicon transistor, the sensitivity and accuracy of the transistor temperature sensor in the temperature range from -50°C to 150°C is determined.

1. UVOD

Već je davno bilo poznato da u normalnom aktivnom području rada bipolarnih tranzistora napon baza-emiter približno linearno opada sa porastom temperature. Međutim, tek poboljšanje karakteristika i masovna proizvodnja visokokvalitetnih i jeftinih silicijevih tranzistora omogućili su da se ova osobina iskoristi za proizvodnju temperaturnih senzora. Kod tranzistorskih temperaturnih senzora obično se koriste dva temperaturno ovisna parametra: napon baza-emiter jednog tranzistora, ili razlika napona baza-emiter dvaju tranzistora koji rade uz konstantan omjer gustina kolektorskih struja.

Prvi komercijalni tranzistorski temperaturni senzori pojavili su se pre oko petnaestak godina, međutim još uvijek veoma je mali broj objavljenih radova u vezi njihovih osnovnih karakteristika kao što su: točnost, linearnost i osjetljivost, stabilnost i.t.d. U ovom radu analizira se osjetljivost i točnost senzora koji za temperaturno ovisan parametar koristi napon baza-emiter uz konstantnu kolektorsku struju, u temperaturnom području od $223,15\text{K}$ (-50°C) do $423,15\text{K}$ (150°C). Za razliku od dosadašnjih radova, a s ciljem da se poveća točnost analize, uzeta je u obzir i nelinearnost temperaturne ovisnosti širine zabranjenog pojasa silicija.

2. TEMPERATURNNA OVISNOST NAPONA BAZA-EMITER

U normalnom aktivnom području rada n-p-n tranzistora, u uvjetima niske injekcije, ako se zanemari modulacija

širine baze i kada za manjinske nosioce u bazi vrijedi Boltzmannova statistika, kolektorska struja I_c , može se precizno odrediti pomoću dobro poznatih relacija^{(1), (2)}:

$$I_c = I_0 \exp(qU_{be}/kT) \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{AkT\mu n_i^2}{N_b} \quad (2)$$

gdje su: U_{be} -napon baza emiter, T -apsolutna temperatura; q -naboj elektrona; k - Boltzmannova konstanta, $k/q = 86,1708 \cdot 10^{-6} \text{V/K}$; A -površina emitera; μ -efektivna vrijednost pokretljivosti manjinskih nosioca u bazi; n_i -intrinsicna koncentracija nosioca; N_b -ukupan broj atoma primjesa u bazi po jedinici površine.

Za nedegenerirane poluvodiče kvadrat intrinzične koncentracije određen je izrazom⁽¹⁾:

$$n_i^2 = ET^3 \exp(-qU_g(T)/kT) \quad (3)$$

gdje je E temperaturno neovisna konstanta, a $U_g(T)$ je napon širine zabranjenog pojasa silicija, koji je temperaturno ovisan.

U dosadašnjim radovima u izrazu(3) umjesto temperaturno ovisan napon $U_g(T)$, koristi se konstantna vrijednost, U_{g0} , za njegovu ekstrapoliranu vrijednost do apsolutne nule. Lako se može pokazati da to implicitno u sebi sadrži pretpostavku o linearnoj ovisnosti ovog napona o temperaturi. Ova pretpostavka o linearnosti kod analiza za široka temperaturna područja dovodi do pogrešaka

koje se ne mogu zanemariti^{(3), (4)}. U ovom radu uzeta je u obzir nelinearna temperaturna ovisnost, pri čemu su korišćeni slijedeći izrazi⁽³⁾:

Za temperaturno područje $150\text{K} \leq T \leq 300\text{K}$

$$U_g(T) = 1,1785 - 9,025 \cdot 10^{-5}T - 3,05 \cdot 10^{-7}T^2 \quad (4a)$$

za temperaturno područje $T \geq 300\text{K}$

$$U_g(T) = 1,20595 - 2,7325 \cdot 10^{-4}T, \quad (4b)$$

Pokretljivost nosioca može se aproksimirati izrazom^{(1),(2)}:

$$\mu = CT^{-\eta} \quad (5)$$

gdje su C i η parametri koji ovise o koncentraciji primjesa, a ne i o temperaturi.

Iz relacija (1), (2), (3), (5) i uvođenjem kratica:

$$\gamma = 4 - \eta \quad (6)$$

$$B = \frac{AkCE}{N_b} \quad (7)$$

za određivanje napona baza-emiter može se dobiti slijedeći izraz:

$$U_{be} = U_g(T) + \frac{k}{q} T \ln \frac{I_c}{B} - \gamma \frac{k}{q} T \ln T \quad (8)$$

Jednadžbom (8) data je temperaturna ovisnost napona baza-emiter bipolarnih tranzistora. Ako su ispunjene već spomenute pretpostavke i ako se zanemare efekti usljed uvedenih aproksimacija, parametri B i γ su temperaturno neovisne konstante, koje ovise o tehnološkom profilu i geometriji zadanog tranzistora. Ako je kolektorska struja konstantna, a to je pretpostavka u ovom radu, onda napon baza-emiter ovisi samo o temperaturi.

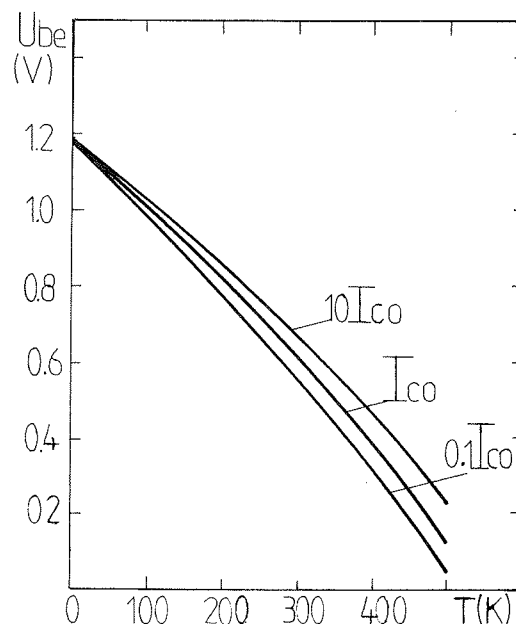
Parametar η određuje se na temelju temperaturne ovisnosti pokretljivosti nosioca. Tako na primjer, pomoću krivulja u (1, str. 39,41) i (2, str. 859) za tranzistore standardnog profila primjesa u bazi može se dobiti približna vrijednost $\eta = 1,6$ odnosno $\gamma = 2,4$, koju ćemo koristiti u nastavku ovog rada.

Parametar B može se dobiti i eksperimentalnim putem mjerenjem temperaturne ovisnosti napona baza-emiter i korišćenjem izraza (8). Međutim, za određivanje temperaturne ovisnosti U_{be} nije neophodno znati i kolektorsku struju i parametar B, nego je dovoljno da se zna samo njihov omjer I_c/B . Ako sa I_{co} označimo jačinu kolektorske struje kod koje je $U_{be} = 0,6\text{V}$ za temperaturu $T = 300\text{K}$, onda pomoću izraza (8) dobija se slijedeća vrijednost omjera $I_{co}/B = 1,388 \cdot 10^{-3}$.

Ako se jačina kolektorske struje promjeni od I_{co} na vrijednost I_c , napon baza-emiter promjenit će se za vrijednost ΔU_{be} , koju možemo odrediti pomoću (8).

$$\Delta U_{be} = \frac{k}{q} T \ln (I_c / I_{co}) \quad (9)$$

Na sl. 1. prikazana je temperaturna ovisnost napona baza-emiter za tri vrijednosti kolektorske struje: I_{co} , $10I_{co}$ i $I_{co}/10$.



Slika 1: Ovisnost $U_{be} = f(T)$ uz I_c kao parametar

3. OSJETLJIVOST SENZORA

Osjetljivost senzora S, određena je strminom karakteristike $U_{be} = f(T)$:

$$S = - \frac{dU_{be}}{dT} \quad (10)$$

a negativni predznak je uzet zbog toga što napon U_{be} opada sa temperaturom. Iz jednačbe (8) dobija se:

$$S = - \frac{dU_g(T)}{dT} - \frac{k}{q} \ln (I_c/B) + \gamma \frac{k}{q} (\ln T + 1) \quad (11)$$

Ako se promjeni jačina kolektorske struje od vrijednosti I_{co} na vrijednost I_c , strmina će se promijeniti za neku vrijednost ΔS , koju možemo dobiti pomoću relacije⁽¹¹⁾:

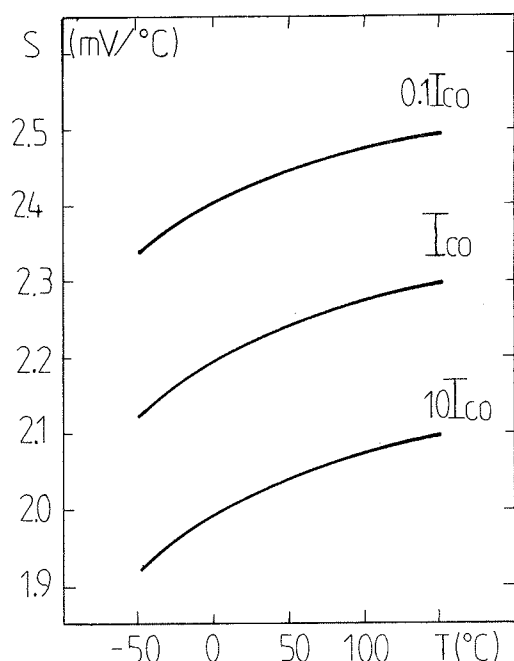
$$\Delta S = - \frac{k}{q} \ln (I_c / I_{co}) \quad (12)$$

Na sl. 2 prikazana je ovisnost osjetljivosti senzora o temperaturi za tri konstantne vrijednosti kolektorske struje: I_{co} , $10I_{co}$ i $I_{co}/10$. Vidimo da osjetljivost senzora ovisi o temperaturi i o jačini kolektorske struje.

Za kolektorsku struju jačine I_{co} ona se povećava od 2,12 mV/C kod $T = -50^\circ\text{C}$, na 2,30 mV/C kod $T = 150^\circ\text{C}$. Povećanje kolektorske struje uzrokuje smanjenje osjetljivosti senzora. Tako na primjer, ako se kolektorska struja poveća deset puta, osjetljivost se smanjuje za 0,20 mV/C.

4. TOČNOST SENZORA

Pogreška temperaturnog senzora, koja je mjerilo točnosti, je rezultat nelinearnosti karakteristike $U_{be} = f(T)$. Ova nelinearnost je rezultat nelinearnosti prvog i trećeg priobojnika na desnoj strani izraza (8). Prvi član, $U_g(T)$, je nelinearan za temperature niže od 300K, a treći je nelinearan u čitavom temperaturnom području zbog faktora $T \ln T$.



Slika 2: Osjetljivost senzora uz I_c kao parametar

Pogreška senzora određuje se na temelju odstupanja karakteristike $U_{be} = f(T)$ od pravca:

$$U = a + bT \quad (13)$$

Parametri a i b pravca (13) ovise o načinu podešavanja senzora. Ako se podešavanje vrši u dvije točke t.j. na temperaturama T_1 i T_2 , onda se ovi parametri određuju iz uvjeta: $U(T_1) = U_{be}(T_1)$ i $U(T_2) = U_{be}(T_2)$, i dobijaju se slijedeći izrazi:

$$a = \frac{T_2 U_{be}(T_1) - T_1 U_{be}(T_2)}{T_2 - T_1} \quad (14)$$

$$b = \frac{U_{be}(T_2) - U_{be}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (15)$$

Za jačinu kolektorske struje I_{co} i ako se podešavanje vrši na granicama temperaturnog područja koje se analizira u ovom radu: $T_1 = 223,15K$ i $T_2 = 423,15K$, dobijaju se slijedeće vrijednosti: $a = 1,265V$ i $b = -2,230 \cdot 10^{-3} V/°C$.

Apsolutna pogreška senzora određuje se pomoću izraza:

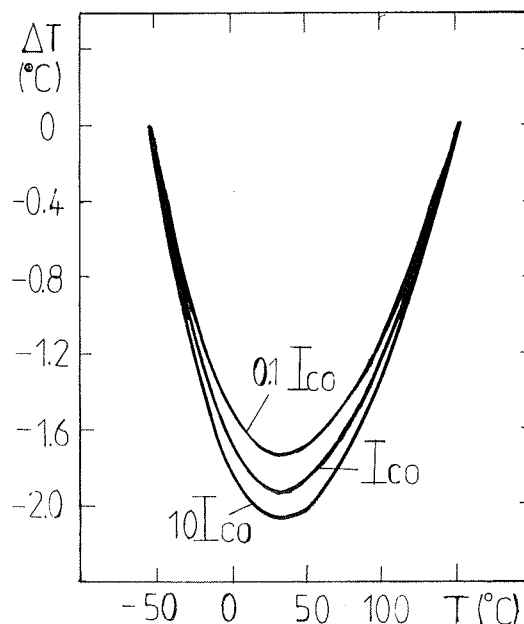
$$\Delta T = \frac{U_{be} - U}{b} \quad (16)$$

Ako se kolektorska struja promjeni od vrijednosti I_{co} na vrijednost I_c , promjenit će se i apsolutna pogreška senzora za neku vrijednost Δ (ΔT). Pomoću izraza: (8), (13), (14), (15) i (16) možemo dobiti promjenu apsolutne pogreške senzora:

$$\Delta(\Delta T) = \Delta T(I_c) - \Delta T(I_{co}) = - \frac{\frac{k}{q} \ln(I_c/I_{co})}{b(I_{co}) + \frac{k}{q} \ln(I_c/I_{co})} \cdot \Delta T(I_{co}) \quad (17)$$

Na sl. 3 prikazana je ovisnost apsolutne pogreške senzora o mjerenoj temperaturi, uz kolektorsku struju kao parametar za tri vrijednosti kolektorske struje: I_{co} , $10I_{co}$ i $I_{co}/10$. Za jačinu kolektorske struje I_{co} , pogreška je

maksimalna kod temperature $T = 31,18°C$ i iznosi $\Delta T = -1,92°C$. To znači, uz odgovarajuće temperature podešavanja maksimalna pogreška senzora iznosila bi $\pm 0,96°C$, u čitavom temperaturnom području. Povećanje kolektorske struje povećava pogrešku senzora. Na primjer, ako se kolektorska struja poveća deset puta pogreška će se povećati za 9,8%.



Slika 3: Pogreška senzora uz I_c kao parametar

5. ZAKLJUČAK

Na temelju precizne analize utjecaja temperature na napon baza-emiter bipolarnih silicijevih tranzistora, izvedeni su analitički izrazi za određivanje osjetljivosti i točnosti tranzistorskih temperaturnih senzora, uz konstantnu kolektorsku struju i U_{be} kao temperaturno ovisan parametar.

Za tranzistore standardnog profila primjese u bazi i za zadani režim rada, određeni su i grafički prikazani osjetljivost i apsolutna pogreška senzora u temperaturnom području od $-50°C$ do $150°C$, te njihova ovisnost o jačini kolektorske struje.

6. LITERATURA

1. S.M. Sze: Physics of semiconductor Devices, New York, Wiley, 1969
2. J.W. Slotboom, H.C. de Graaff: Measurements of bandgap narrowing in Si bipolar transistors, Solid-State Electronics, Vol 19, pp 857-862, 1976.
3. Y.P. Tsividis: Accurate Analysis of Temperature Effects in I_c - V_{be} characteristics with Application to Bandgap Reference Sources, IEEE J. Solid-State, Circuits, Vol. Sc-15, No. 6, December, 1980
4. P. Stojanovski: Utjecaj temperaturne nelinearnosti napona zabranjenog pojasa silicija na bandgap referentni napon, Zbornik referata XIII Jugoslavenskog savetovanja o mikroelektronici, knjiga II, str. 170-177, Niš, maj, 1984.

Prof. Mr. Petar Stojanovski, dipl.ing.,
Tehnički fakultet-Bitola
97000 Bitola

Prispelo: 10. 3. 1990 Sprejeto: 30. 05. 1990

NUMERIČNI MODEL DELOVANJA DIODE

Miran Kramberger, Miroslav Mićović

KLJUČNE BESEDE: Polprevodniki, polprevodniške strukture, silicijeve diode, numerično modeliranje, parametri, karakteristike.

POVZETEK: Izdelan je numerični model, ki opisuje izotermno delovanje enodimenzionalnih polprevodniških struktur. Kot primer je bila modelirana p^+nn^+ diodna struktura, rezultati pa primerjani z izmerjenimi. Opisani so osnovni fizikalni pojavi pri delovanju bipolarne strukture, katerih aproksimacije so uporabljene v modelu.

NUMERICAL MODEL OF DIODE OPERATION

KEY WORDS: semiconductors, semiconductor structure, silicon diodes, parameters, characteristics.

ABSTRACT: numerical model for isotherm operation of onedimensional semiconductor structure was made out. It has been tested on p^+nn^+ diode structure. The results were compared with measured parameters. Basic physical effects by operating of bipolar structure, approximations of which were used in model, are described.

UVOD

Kvalitativno je mogoče opisati delovanje polprevodniških struktur s Schockleyevo teorijo spojev različno dopiranih plasti polprevodnikov⁽¹⁾. Zadovoljivo natančnost pri opisu delovanja polprevodniških naprav, posebej pri dizajniranju le-teh pa dosežemo z numeričnimi modeli. Numerični model nam globlje razkrije osnovne procese, ki potekajo med delovanjem in poglubi razumevanje delovanja polprevodniških elementov. Pričujoči članek predstavlja model, katerega numerični algoritem je prevzet po Gummlu⁽²⁾ in De Mariu⁽³⁾ in izhaja iz osnovnih principov. Omeji se na enodimenzionalne strukture pri stacionarnih pogojih in konstantni temperaturi. Uporabljen je na p^+nn^+ diodni strukturi. Iz primerjave izračunanih in na enaki strukturi izmerjenih parametrov in karakteristik je razvidno dobro ujemanje, kar opravičuje uporabo naštetih približkov.

NUMERIČNI MODEL

Porazdelitev elektrostatskega potenciala v odvisnosti od porazdelitve električnega naboja opisuje Poissonova enačba:

$$\frac{\delta^2 \Phi}{\delta Z^2} = \frac{q}{\epsilon} (N(Z) - n(Z) + p(Z))$$

Φ - elektrostatski potencial

$N(Z)$ - porazdelitev ioniziranih nečistoč = $N_D^+(Z) - N_A^-(Z)$

N_D^+ - koncentracija ioniziranih donorjev

N_A^- - koncentracija ioniziranih akceptorjev

Odvisnost gostote električnega toka vrzeli in elektronov od oblike elektrostatskega potenciala in gradienta koncentracij elektronov ter vrzeli podajata enačbi:

$$j_p = -q \left(D_p \frac{\delta p}{\delta Z} + \mu_p p(Z) \frac{\delta \Phi}{\delta Z} \right)$$

$$j_n = q \left(D_n \frac{\delta n}{\delta Z} - \mu_n n(Z) \frac{\delta \Phi}{\delta Z} \right)$$

D_n - difuzijski koeficient elektronov

D_p - difuzijski koeficient vrzeli

μ_p - gibljivost vrzeli

μ_n - gibljivost elektronov

Fermi - Diracova kvantna porazdelitvena funkcija opisuje energijsko porazdelitev elektronov in vrzeli. Kot dober približek pri sobni temperaturi in srednji gostoti vzamemo Boltzmanovo porazdelitveno funkcijo. V intrinzičnem siliciju je podana lega elektronskega potenciala Φ prek zveze:

$$\mu_i(Z) = -q \Phi(Z) = \frac{E_c(Z) - E_v(Z)}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c}$$

E_c - minimalna energija elektronov v prevodnem pasu

E_v - maksimalna energija vrzeli v valenčnem pasu

N_v - efektivna gostota stanj v prevodnem pasu

N_c - efektivna gostota stanj v valenčnem pasu

μ_i - kemijski potencial v intrinzičnem siliciju

Ravnovesno koncentracijo prostih vrzeli in elektronov podajata enačbi:

$$n(Z) = n_i \exp \frac{\mu + q \Phi}{kT}$$

$$p(Z) = n_i \exp \left(- \left(\frac{\mu + q \Phi}{kT} \right) \right)$$

μ - kemijski potencial (Fermijev nivo)

n_i - koncentracija elektronov in vrzeli v intrinzičnem siliciju

Difuzijski koeficient elektronov povezuje z gibljivostjo enačba:

$$D_n = \frac{2 \frac{kT}{q} \mu_n F_{V/2} \left(\frac{\epsilon_p - \epsilon_c}{kT} \right)}{F_{V/2} \left(\frac{\epsilon_p - \epsilon_c}{kT} \right)}$$

$F_{V/2}$ in $F_{-V/2}$ sta Fermijeva integrala

Dokler je koncentracija prostih elektronov mnogo višja kot N_c je dobra aproksimacija Einsteinova zveza:

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q}$$

podobno velja tudi za vrzeli

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q}$$

Celotna gostota električnega toka j_T je enaka $j_T = j_p + j_n$

Ker smo se omejili na stationarne pojave lahko zapišemo kontinuitetno enačbo kar:

$$\frac{dj_T}{dz} = 0$$

Upoštevanje generacij in rekombinacije nam da še kontinuitetni enačbi za gostoti tokov vrzeli in elektronov:

$$\frac{dj_p}{dz} = -qG \quad \frac{dj_n}{dz} = qG$$

G - generacijsko - rekombinacijska hitrost, ki je zaradi zakona o delovanju mas v stationarnih pogojih enaka za vrzeli in elektrone.

V ravnovesju velja še $p(z) \cdot n(z) = n_i^2$

Fizikalne količine, ki nastopajo v zapisanih enačbah najprej zapišemo v brezdimenzijski obliki. Vpeljemo normalizacijske faktorje:

* Debyeova dolžina v intrinzičnem Si, L_d , ki podaja povprečno prosto pot nosilcev električnega toka.

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 kT}{q^2 n_i}} = 3,34 \cdot 10^{-5} \mu m$$

* termična napetost $V_T = \frac{kT}{q} = 2,59 \cdot 10^{-2} V$

* n_i , ki znaša pri sobni temperaturi $1,45 \cdot 10^{-10} cm^{-3}$

* difuzijski koeficient $D_0 = 1 cm^2/sec$.

* kapacitivnost plasti s širino L_d

$$C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0}{L_d} = 3,1 \cdot 10^{-6} \frac{F}{m^2}$$

Definicije normaliziranih količin:

$$Z \quad x = \frac{Z}{L_D}$$

$$\Phi \quad \Psi = \frac{\Phi}{V_t}$$

$$V_d \quad V_d = \frac{V_d}{V_t} \text{ vgrajena napetost na p-n spoju}$$

$$V_a \quad V_a = \frac{V_a}{V_T} \text{ priključena napetost}$$

$$\mu \quad \mu = \frac{\mu}{qV_T} \text{ Fermijev nivo}$$

$$E = \frac{-\delta\Phi}{\delta X} \quad E = \frac{\epsilon L_d}{V_T} \text{ električna poljska jakost}$$

$$N \quad N = \frac{N}{n_i}$$

$$n, p \quad \frac{n}{n_i}, \quad \frac{p}{n_i}$$

$$j_T, j_p, j_n \quad J_T, J_p, J_n \quad J_T = -\frac{j_T L_d}{q D_0 n_i}$$

$$G \quad U = \frac{GL_d^2}{D_0 n_i}$$

$$D_n, D_p \quad \gamma_n^{-1}, \gamma_p^{-1} \quad \gamma_n^{-1} = \frac{D_n}{D_0}$$

$$\mu_n, \mu_p \quad \gamma_n^{-1}, \gamma_p^{-1} \quad \gamma_n^{-1} = \frac{\mu_n V_T}{D_0}$$

$$C \quad C = \frac{\Phi}{C_0}$$

Dobimo enačbe v brezdimenzijski obliki:

$$\frac{d^2 \Psi}{dx^2} = n(x) - p(x) - N(x) \quad J_T = J_p + J_n$$

$$J_p = \frac{1}{\gamma_p} (p(x) \frac{d\Psi}{dx} + \frac{dp}{dx}) (1) \quad \frac{dJ_T}{dx} = 0$$

$$J_n = \frac{1}{\gamma_n} (n(x) \frac{d\Psi}{dx} - \frac{dn}{dx}) (2) \quad \frac{dJ_p}{dx} = U(x) (3)$$

$$p(x) \cdot n(x) = 1 \quad \frac{dJ_n}{dx} = -U(x) (4)$$

Omejimo se na diodno strukturo p^+nn^+ .

ROBNI POGOJI

Koncentracija manjšinskih nosilcev električnega toka na zunanem stiku strukture je enaka 0. Področja z močnim električnim poljem v notranjosti so od kontaktov toliko oddaljena, da nanje ne vplivajo. Zunanji kontakti so na mestih $x = 0$ ter $x = L$:

$$n(0) = N_d(0) - N_a(0) \quad p(0) = \frac{1}{n(0)}$$

$$p(L) = N_a(L) - N_d(L) \quad n(L) = \frac{1}{p(L)}$$

Koncentracije $n(0)$, $p(0)$, $n(L)$, $p(L)$ so neodvisne od časa in priključene napetosti. Zunanja napetost je pritisnjena med točki $x=0$ ter $x=L$ in je enaka $V_a = \psi(0) - \psi(L)$. Izberemo $\psi(0) = 0$.

INTERACIJSKI ALGORITEM

Po integraciji enačb 1, 2 ter upoštevanju robnih pogojev dobimo:

$$n(x) = e^{\psi(x)} \left(n(0) e^{-\psi(0)} - \int_0^x \gamma_n(x') Jn(x') e^{-\psi(x')} dx' \right)$$

$$p(x) = e^{-\psi(x)} \left(p(L) e^{\psi(L)} + \int_L^x \gamma_p(x') Jp(x') e^{\psi(x')} dx' \right)$$

Enačbi za gostoti tokov vrzeli in elektronov dobimo z integracijo enačb 3, 4.

$$Jn(x) = - \int U(x') dx' + K_n$$

$$Jp(x) = - \int U(x') dx' + K_p$$

Konstanti K_n in K_p dobimo po krajšem računu z upoštevanjem robnih pogojev (ref. 4).

Potencial zapišemo kot vsoto približka in popravka:

$$\psi(x) = \psi'(x) + \delta\psi(x)$$

ter zanemarimo člene reda večjega kot 1 v $\delta\psi(x)$

Dobimo enačbo za popravek k potencialu:

$$\frac{\partial^2 \delta\psi(x)}{\partial x^2} - \delta\psi(x) (n'(x) + p'(x)) = - \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + n'(x) - p'(x) - N(x)$$

Robna pogoja za popravek sta

$$\delta\psi(0) = 0 \quad \text{in} \quad \delta\psi(L) = 0$$

Diferencialno enačbo prevedemo v diferenčno obliko. Računski interval razdelimo na intervale enake dolžine. Dobimo sistem linearnih enačb, ki ima tridiagonalno obliko. Rešimo ga z metodo Gaussove eliminacije.

DIFERENCIALNA KAPACITETA

Na p-n spoju je vgrajena plast z visokim električnim poljem, ki lahko doseže jakost 10^6 V/cm ter se prostorsko razširja tudi $200 \mu\text{m}$. Izmerimo lahko kapacitivnost

take plasti, ki se spreminja s pritisnjeno napetostjo in je seveda odvisna od detaljne strukture diode. Diferencialna kapaciteta C je definirana kot kvocient naboja, ki steče v diodo in spremembe napetosti, ki tak tok povzroči. Upoštevati je potrebno le tok elektronov, saj je dotok vrzeli zaradi zahteve po električni nevtralnosti približno enak:

$$C = \frac{dQ}{dV} = A \frac{\int_0^L (n(x)v_n - n(x)v_p) dx}{dV}$$

OPIS PARAMETROV MODELA

a) Koncentracije ioniziranih nečistoč

Koncentracija ioniziranih donorjev je:

$$N_d^+ = N_d \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{g} e^{\frac{E_0 - E_F}{kT}}} \right)$$

g - degeneracijski faktor osnovnega stanja je enak 2

E_d - lega donorskega nivoja v prepovedanem pasu

V primeru fosforja je

$$N_{d+}(N_d = 1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3) = 0,999 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3 \quad \text{in}$$

$$N_{d+}(N_d = 1 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3) = 0,86 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3$$

Koncentracija ioniziranih akceptorjev N_a^+ pa je:

$$N_a^+ = \frac{N_a}{1 + g e^{\frac{E_A - E_F}{kT}}}$$

g - degeneracija osnovnega stanja je enaka 4

E_a - lega akceptorskega nivoja v prepovedanem pasu

V primeru bora je:

$$N_{a+}(N_a = 1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3) = 0,993 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3 \quad \text{in}$$

$$N_{a+}(N_a = 1 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3) = 0,93 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3$$

Na metalurškem p-n spoju je koncentracija nosilcev električnega toka enaka n_i .

V izračunu upoštevamo popolno ionizacijo donorskih in akceptorskih nečistoč, kar je zadovoljiva aproksimacija pri modeliranih koncentracijah dopiranja.

b) Gibljivost

V modelu je uporabljena empirična odvisnost gibljivosti od koncentracije nečistoč pri sobni temperaturi (ref. 6):

$$\mu_n = \mu_{n \min} + \frac{\mu_{n \max} - \mu_{n \min}}{1 + \left(\frac{N_d + N_a}{N_{ref n}} \right)^\alpha}$$

$$\mu_p = \mu_{p \min} + \frac{\mu_{p \max} - \mu_{p \min}}{1 + \left(\frac{N_d + N_a}{N_{ref p}} \right)^\beta}$$

$$\mu_{n \min} = 92 \text{ cm}^2/\text{sek}$$

$$\mu_{p \min} = 47,7 \text{ cm}^2/\text{V sek}$$

$$\mu_{n \max} = 1360 \text{ cm}^2/\text{V sek}$$

$$\mu_{p \max} = 495 \text{ cm}^2/\text{V sek}$$

$$N_{ref n} = 1,3 \cdot 10^{17}/\text{cm}^3$$

$$N_{ref p} = 6,3 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3$$

$$\alpha = 0,91$$

$$\beta = 0,76$$

c) Življenski čas manjših nosilcev električnega toka

Generacijsko rekombinacijska hitrost kot posledica "trap" nivoja z energijo E_t v prepovedanem pasu G je (ref. 7):

$$G = \frac{(pn - n_i^2)}{(n + n_i e^{\frac{E_t - \mu_i}{kT}}) \tau_p + (p + n_i e^{\frac{\mu_i - E_t}{kT}}) \tau_n}$$

K rekombinacijam prispevajo največ nečistoče in defekti, katerih energijski nivoji ležijo v bližini intrinzičnega Fermijevega nivoja, zato opišemo rekombinacije na množici nečistoč z različnimi legami nivojev z enim samim nivojem, ki leži na μ_i . Vpeljemo povprečni življenski čas:

$$\tau = \frac{\tau_n + \tau_p}{2}$$

Tako dobimo poenostavljeno generacijsko rekombinacijsko hitrost G :

$$G = \frac{pn - n_i^2}{(n + p + 2n_i)\tau}$$

Na strukturi p^+nn^+ lahko izmerimo preklopni čas τ_{RR} (ref. 8), v katerem preide dioda iz stanja prehoda v stanje zapore električnega toka. Najprej poganjamo skozi diodo tok 10 mA v prevodni smeri. Pri takem toku je vbrizganje nosilcev električnega toka v bazo iz p^+ in n^+ plasti veliko (reda velikosti $10^{17}/\text{cm}^3$). Koncentracija vrzeli je enaka koncentraciji elektronov.

(glej slike 14, 15, 16.)

Za tem preklopimo električni tok v zaporno smer. Koncentracija nosilcev električnega toka se manjša z rekombinacijami in črpanjem s pomočjo vsiljenega zapornega toka, dokler ne doseže ravnovesne porazdelitve v zapornem stanju. Generacijsko rekombinacijski člen še nadalje poenostavimo tako, da privzamemo $p=n$ ter $\tau_n = \tau_p = \tau_0$

Dogajanje v bazi opiše enačba:

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{t_0} = I_t$$

Rešitev ima obliko:

$$Q(t) = Q_F \left(\left(1 + \frac{I_R}{I_F} \right) e^{-\frac{t}{t_0}} - \frac{I_R}{I_F} \right)$$

robna pogoja sta $Q(\tau_{RR}) = 0$ in $I_R = I_F$

I_R - vsiljeni električni tok v zaporni smeri

I_F - električni tok v prevodni smeri

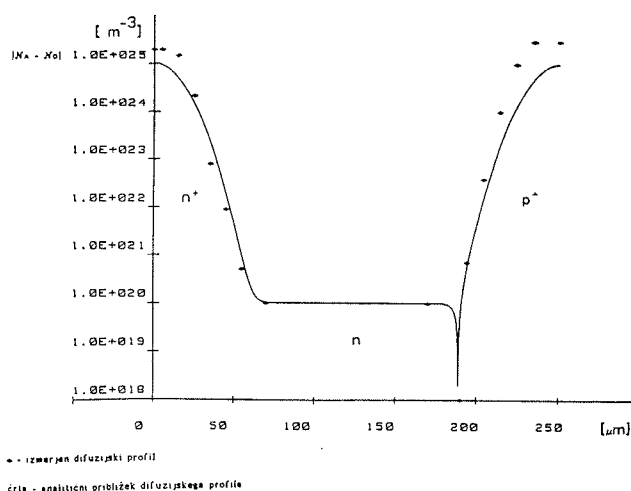
$$\tau_0 = \tau_{RR} \ln 2 \quad \tau = \frac{\tau_{RR} \ln 2}{2}$$

Tako dobimo odvisnost življenskega časa manjšinskih nosilcev električnega toka od preklopnega časa diode.

PRIMERJAVA NAPOVEDI MODELA Z MERITVAMI

Modelirane in izmerjene so bile tri strukture p^+nn^+ izdelane s sočasno difuzijo bora in fosforja v nasprotni ploskvi $\langle 111 \rangle$ orientirane ploščice silicija n tipa, predopirane s tremi različnimi koncentracijami fosforja, debele 250 μm . Difuzija je potekala 22 ur na temperaturi 1250°C v mešanici dušika in kisika. Kot izvor dopanta smo uporabili spin-on silica filma bora in fosforja. Kontakti na ploščici so bili standardni brez tokovno nanešeni sintrani nikljevi kontakti. Na plast niklja je bila brez tokovno nanešena še plast zlata. Rezina je bila procesirana do izdelanih diodnih skeletov po standardni tehnologiji za izdelavo 2A diod v Iskri Polprevodniki Trbovlje. Meritve so bile opravljene na neinkapsuliranih skeletih. Diodna tabletki je bila kvadratne oblike z dolžino stranice 2 mm.

Odvisnost koncentracije dopanta od koordinate prečno na rezino je bila za vse primere izmerjena z metodo spreading resistance na klinu zbrušeni pod kotom 2°. Primer porazdelitve dopanta je prikazan na sliki 4.



Slika 4

$P-n$ spoj se nahaja na globini okoli 60 μm . V modelu je porazdelitev dopanta aproksimirana z Gaussovo funkcijo, ki se v področju električno aktivnih koncentracij dobro ujema z izmerjeno:

$$N_a(x) = N_{a0} e^{-\frac{(L-x)^2}{x_{ja}^2}}$$

$$N_d(x) = N_{d0} e^{-\frac{x^2}{x_{fd}^2}}$$

Izmerjeni parametri na diodnih čipih:

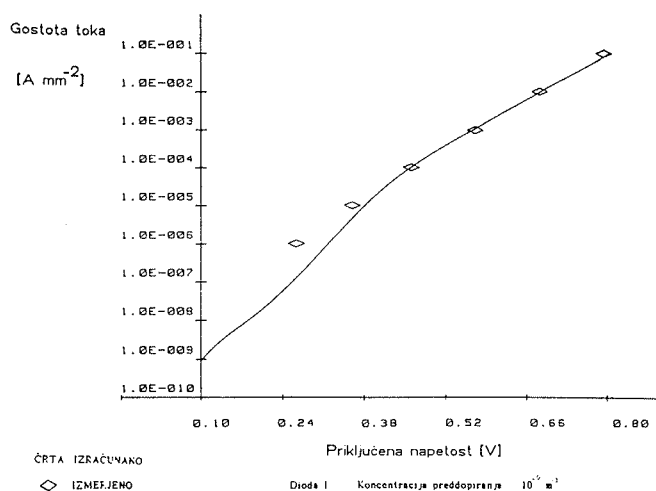
1. $N = 1 \cdot 10^{14} / \text{cm}^3$, $\tau_{RR} = 8,7 \mu\text{sec.}$, $U_{BR} = 1560 \text{ V}$
 $d = 250 \mu\text{m}$
2. $N = 1 \cdot 10^{15} / \text{cm}^3$, $\tau_{RR} = 4,3 \mu\text{sec.}$, $U_{BR} = 260 \text{ V}$
 $d = 250 \mu\text{m}$
3. $N = 1 \cdot 10^{16} / \text{cm}^3$, $\tau_{RR} = 2,8 \mu\text{sec.}$, $U_{BR} = 106 \text{ V}$
 $d = 200 \mu\text{m}$

U_{BR} - napetost plaznega naboja, izmerjena pri zapornem toku $10 \mu\text{ A}$

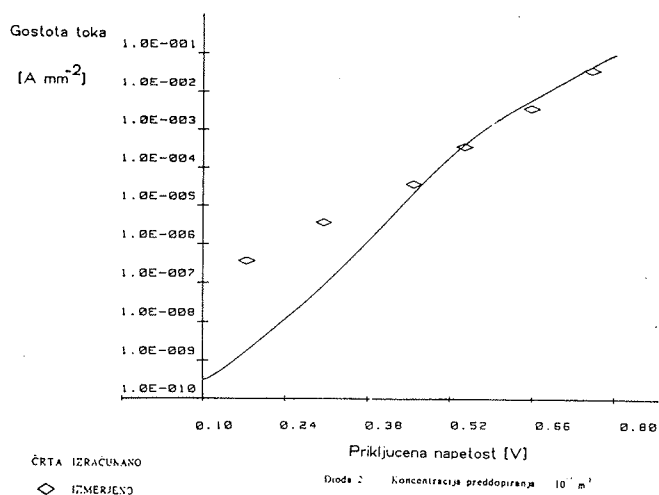
N - koncentracija s fosforjem preddopirane baze

d - debelina rezine silicija

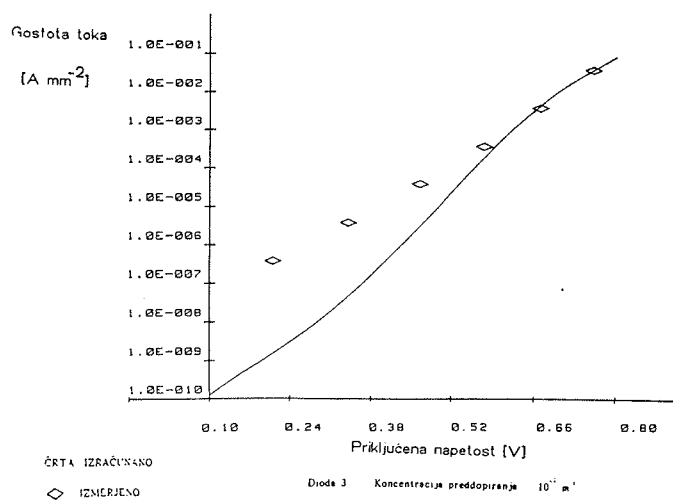
Na slikah 23, 24 in 25 je prikazana odvisnost gostote toka v prevodni smeri od priključene napetosti za vse tri primere. S polno črto je podana odvisnost izračuna z modelom, izmerjene vrednosti so podane s točkami.



Slika 23

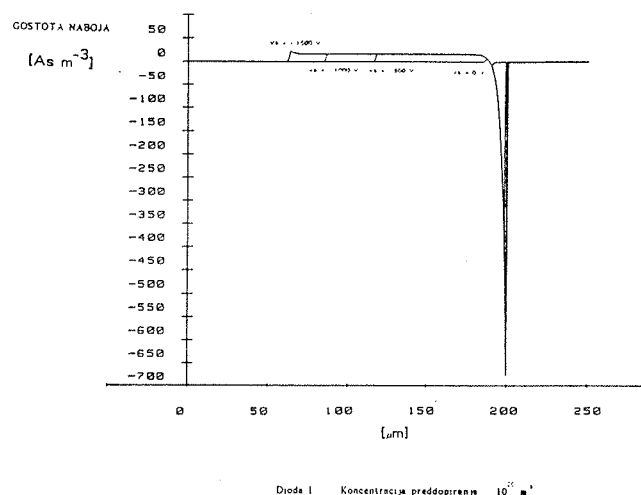


Slika 24

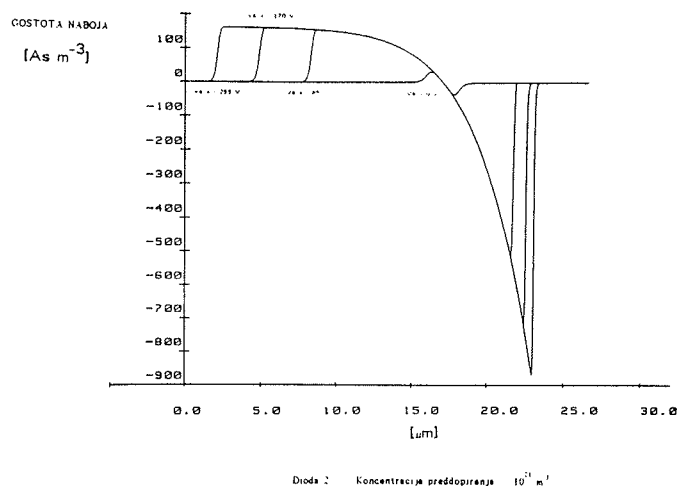


Slika 25

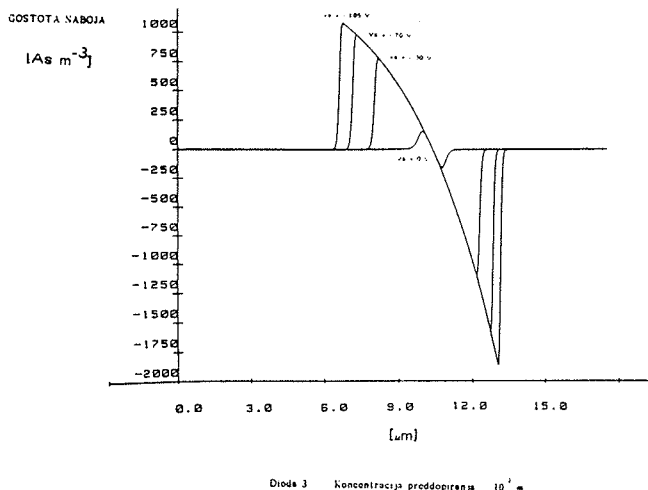
Na slikah 17, 18 in 19 je prikazana porazdelitev gostote naboja v zaporni smeri za vse tri primere. Na slikah so zapisane napetosti preboja posamezne diode, izračunane z modelom.



Slika 17

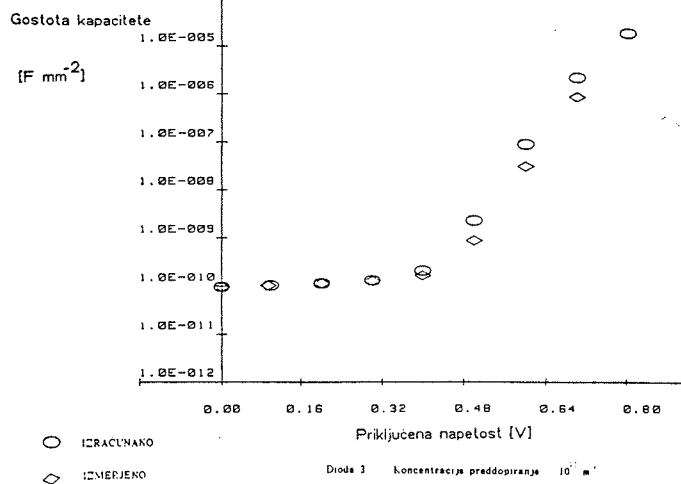


Slika 18



Slika 19

Gostota kapacitete modeliranih primerov je podana na slikah 20, 21, 22.



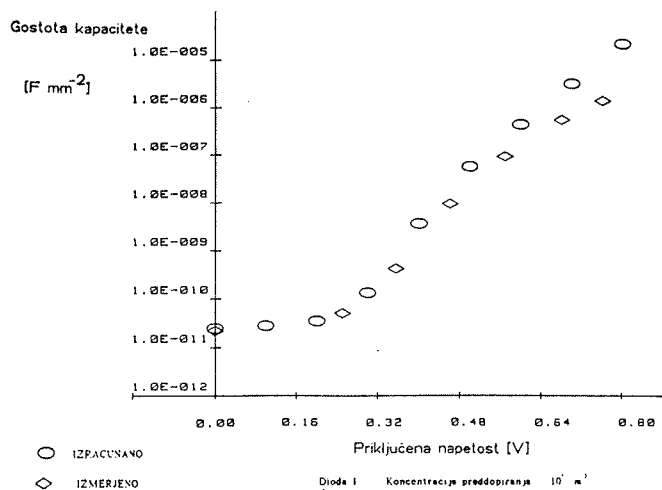
Slika 22

DISKUSIJA

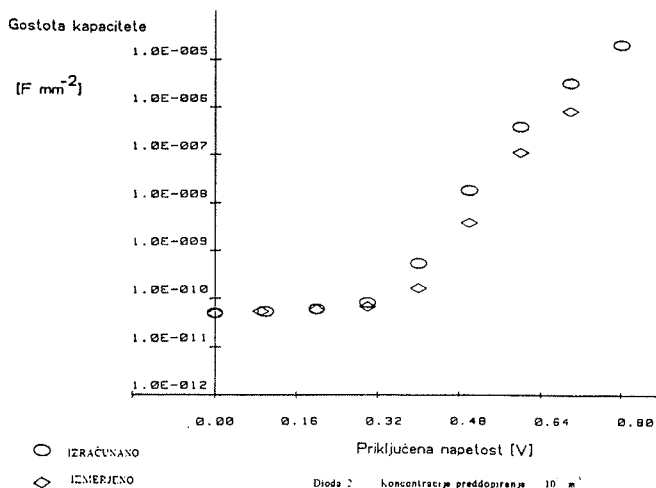
I (U) karakteristika v prevodni smeri

Največja sprememba električnega potenciala je na metalurškem p-n spoju. Pri višanju prevodne napetosti se le-ta počasi manjša in pri določeni mejni napetosti U_m v električnem smislu izgine, saj ga preplavijo gibljivi nosilci električnega toka, katerih koncentracija postane enaka koncentraciji dopiranja baze.

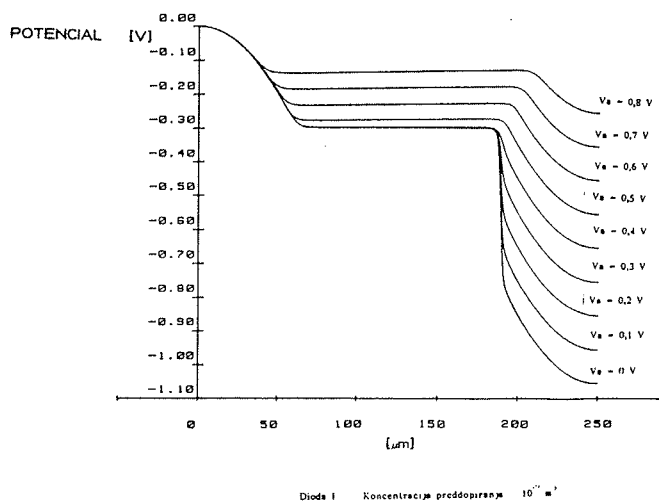
Na slikah 5, 6 in 7 so podane porazdelitve električnega potenciala v prevodni smeri diode za vse tri modelirane primere.



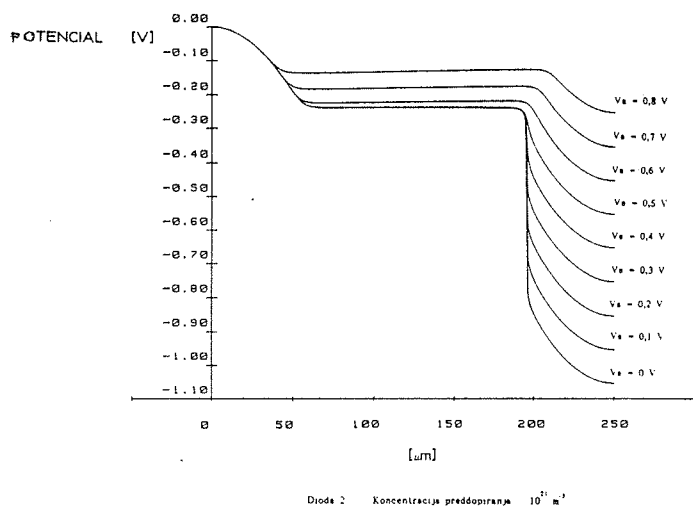
Slika 20



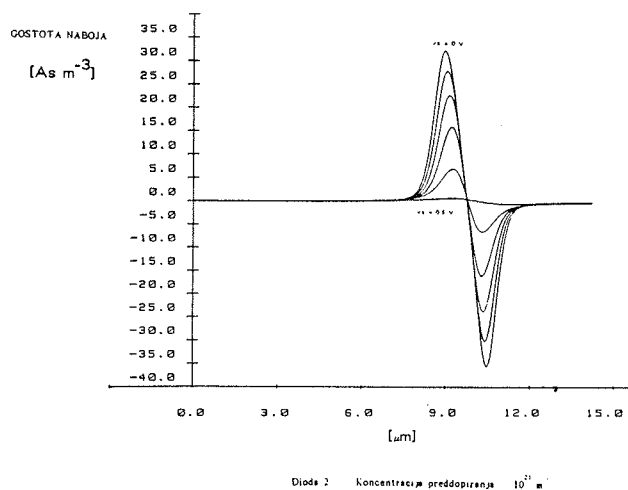
Slika 21



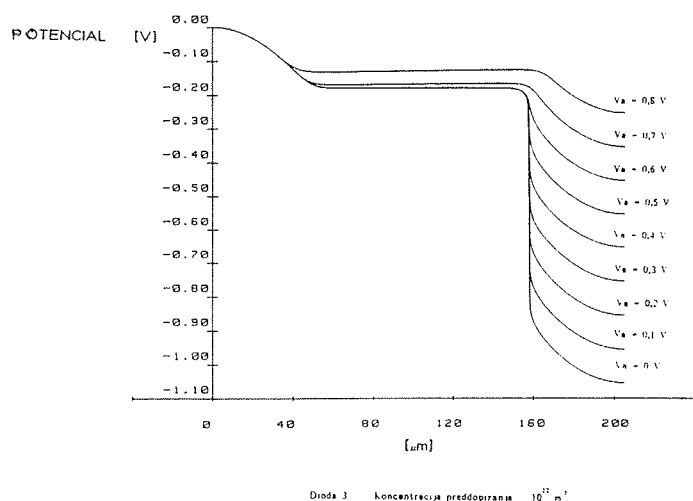
Slika 5



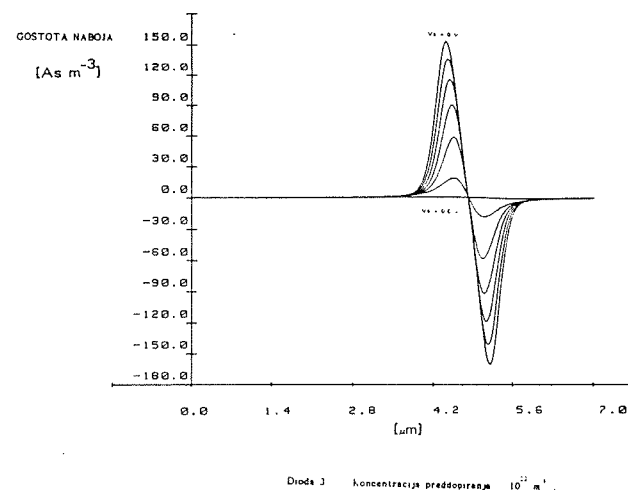
Slika 6



Slika 7

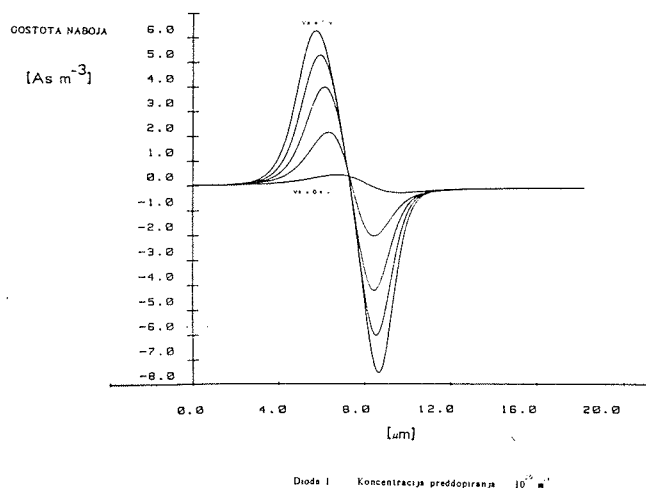


Slika 8



Slika 9

Ker so spremembe potenciala pri majhnih prevodnih napetostih omejene na bližino metalurškega p-n spoja je na slikah 8, 9 in 10 podana odvisnost električnega potenciala v okolici p-n spoja v povečanem merilu.



Slika 10

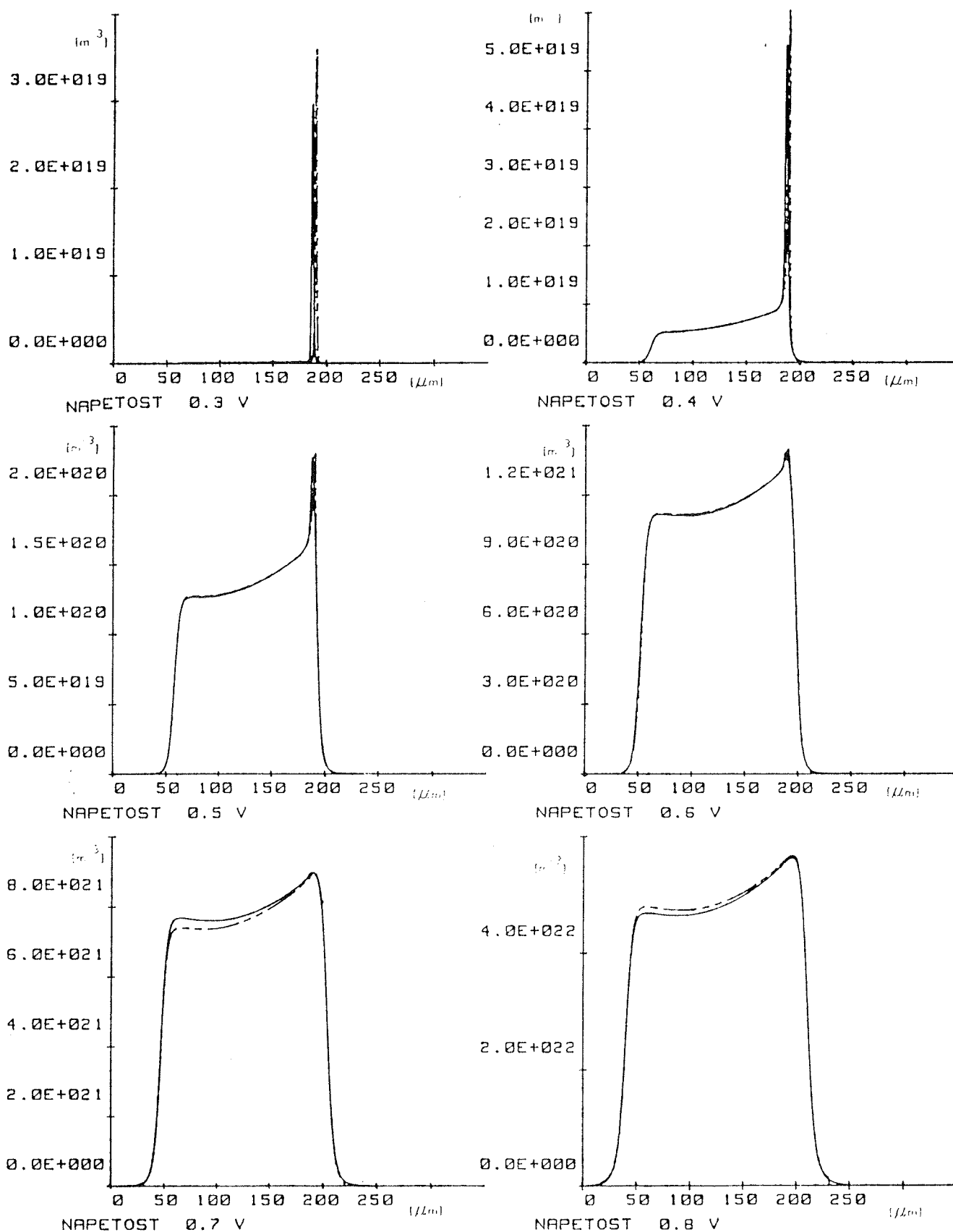
Mejna napetost je pri primeru 1 enaka 0,4 V, v primeru 2 je $U_m = 0,52 \text{ V}$ in pri primeru 3 $U_m = 0,60 \text{ V}$, kar kaže na dobro korelacijo med razliko Fermijevih nivojev v p-n spoju in mejno napetostjo.

K električnem toku skozi diodo prispevajo pri prevodnih napetostih manjših kot U_m v glavnem rekombinacije elektronov in vrzeli v področju električnega polja na p-n stiku, pri višjih napetostih pa difundirajo manjšinski nosilci izven področja p-n spoja ter tako modulirajo električno prevodnost posebno v šibkeje dopirani bazi. Rekombinacije potekajo znotraj celotne baze, pri napetosti okoli 0,8 V pa začno potekati rekombinacije tudi v delih močno dopiranih p^+ in n^+ plasti.

Na slikah 14, 15 in 16 so prikazane porazdelitve gostote vbrzganih nosilcev za vse tri primere v odvisnosti od pritisnjene napetosti.

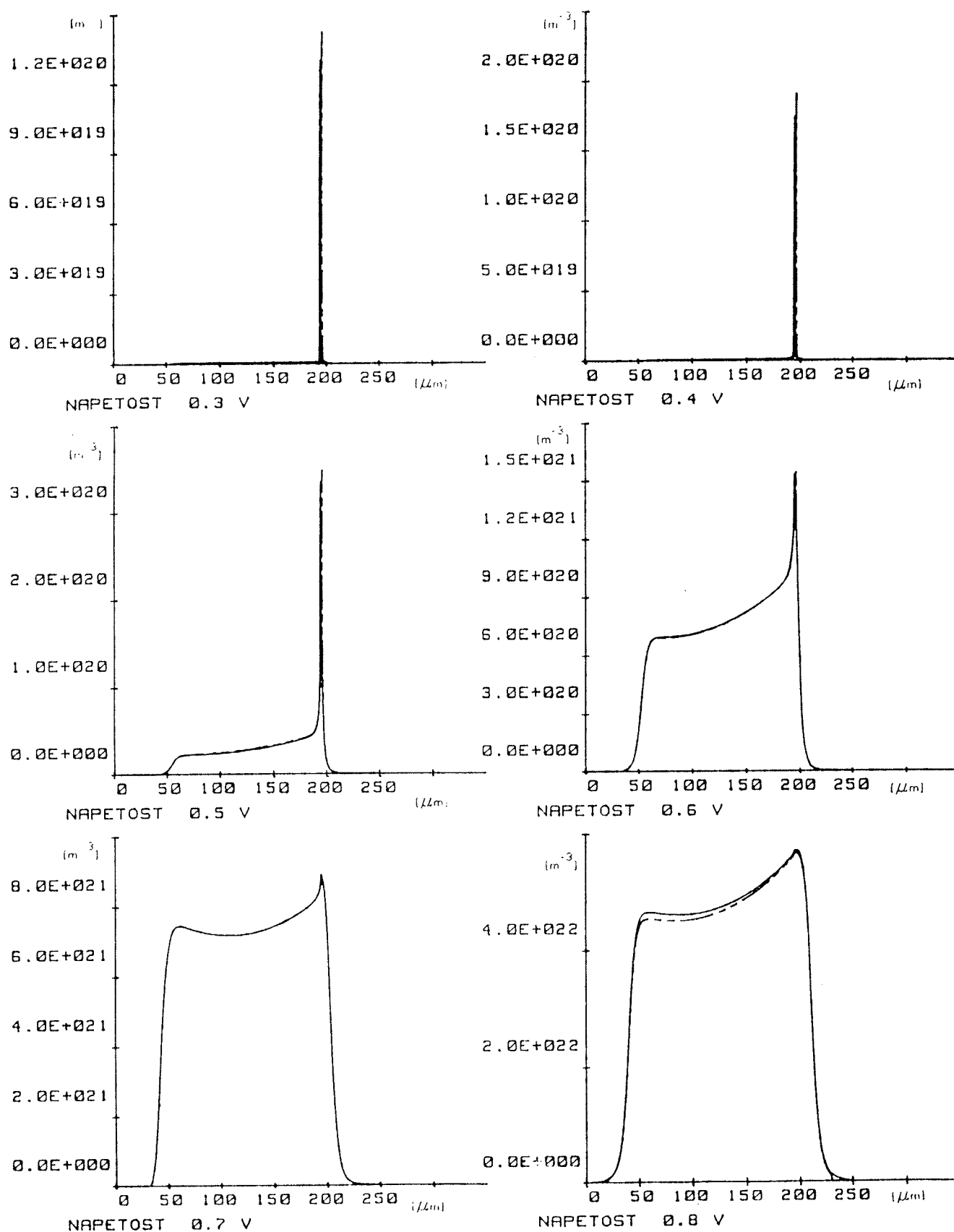
Porazdelitev gostot vbrizganih nosilcev

polna črta Δn , prekinjena črta Δp



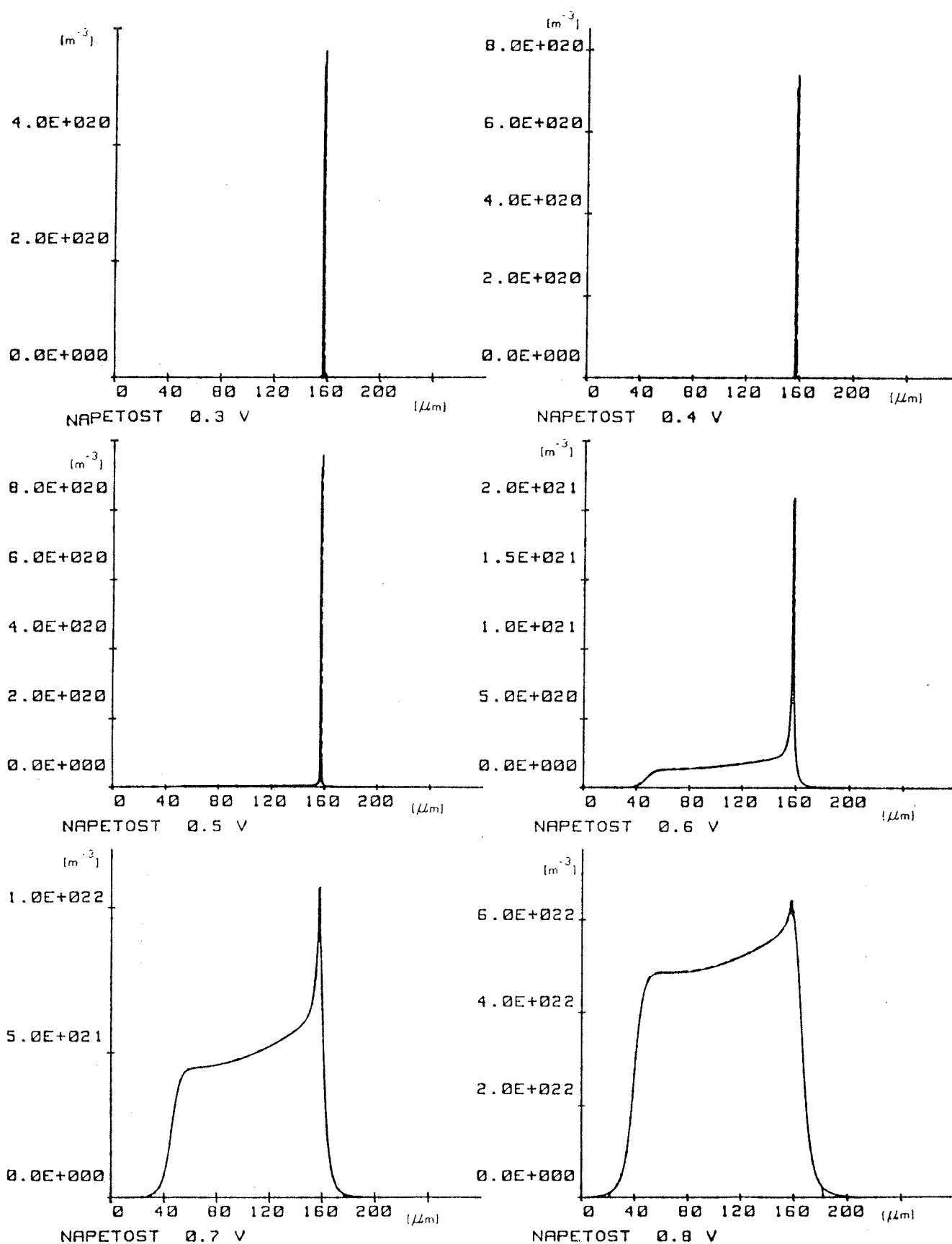
Dioda 1 Koncentracija preddopiranja 10^{20} m^{-3}

Porazdelitev gostot vbrizganih nosilcev

polna črta Δn , prekinjena črta Δp Dioda 2 Koncentracija predopiranja 10^{21} m^{-3}

Porazdelitev gostot vbrizganih nosilcev

polna črta Δn , prekinjena črta Δp



Dioda 3 Koncentracija preddopiranja 10^{22} m^{-3}

Slika 16

Gostoti tokov vrzeli in elektronov nista povsem simetrični zaradi različnih gibljivosti le-teh. Pri mejni napetosti je gostota električnega toka primera 1 enaka $j_1 = 10 \mu\text{A}/\text{mm}^2$, v primeru 2 je $j_2 = 100 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ in primeru 3 je $j_3 = 300 \mu\text{A}/\text{mm}^2$.

Ujemanje modelnega izračuna z izmerjenimi vrednostmi je odlično za prevodne napetosti nad U_m . Pri nižjih napetostih se gostota električnega toka v vseh treh opisanih primerih približuje $100 \text{mA}/\text{mm}^2$ in postanejo razlike med modelom in eksperimentom velike. Pojasnimo si to lahko s prevajanjem električnega toka po površini diode, ki je določeno s tehnologijo obdelave in pasivacije odprtega p-n spoja ter neodvisno od detaljne strukture diode. Koncentracija manjšinskih nosilcev v bazi močno narašča s pritisnjeno napetostjo v prevodni smeri in doseže pri $U_f = 0,8 \text{ V}$ že red velikosti $10^{17}/\text{cm}^3$. Opisani model, ki ne upošteva Augerjevih rekombinacij, začne zato najprej slabše konvergirati pa tudi ujemanje z meritvijo je slabše. Pri $U_f > 1 \text{ V}$, ko so koncentracije vbrizganih nosilcev v bazi višje od $10^{18}/\text{cm}^3$ in začne prevladovati Augerjev rekombinacijski člen nad Schockley-Reed-Hallovim pa model celo divergira.

I (U) karakteristika v zaporni smeri

Višanje napetosti v zaporni smeri povzroči večanje električne poljske jakosti na p-n spoju in širjenje področja z močnim električnim poljem. Širi se predvsem v bazo, ki je šibkeje dopirana, saj mora biti količina naboja na n-strani enaka kot na p strani spoja, p-stran pa je močno dopirana. Električna poljska jakost narašča dokler ne doseže najvišje možne vrednosti, ki je določena z energijo nosilcev električnega toka, ki jo le-ta dobi s pospeševanjem med dvema trkoma in mora biti enaka ali večja od ionizacijske energije silicijevega atoma. Takrat se sproži plast nosilcev in tok v zaporni smeri trenutno močno naraste, kar imenujemo plazni preboj. Električna poljska jakost, ki je potrebna za preboj v siliciju je okrog $1 \cdot 10^5 \text{V}/\text{cm}$ pri šibkeje dopiranih bazah in narašča z dopiranjem.

Za izračun prebojne napetosti p-n spoja se uporabljata dve analitični aproksimaciji za obliko porazdelitve dopanta v p^+ plasti.

a) Aproksimacija ostrega spoja

Prebojno napetost v odvisnosti od koncentracije dopiranja baze podaja empirična zveza $U_{BR} = 5,34 \cdot 10^{13} N^{0.75} \text{V}$ (ref. 5)

Preddopiranje baze	prebojna napetost iz aproksimacije	prebojna napetost iz modela	izmerjena prebojna napetost
$1 \cdot 10^{14}/\text{cm}^3$	$U_{BR} = 1689 \text{ V}$	1500 V	1560 V
$1 \cdot 10^{15}/\text{cm}^3$	$U_{BR} = 300 \text{ V}$	255 V	260 V
$1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3$	$U_{BR} = 53,4 \text{ V}$	105 V	106 V

Iz tabele je razvidno, da velja aproksimacija ostrega spoja dobro še za dopiranje baze $1 \cdot 10^{15}/\text{cm}^3$, za dopiranje $1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3$ pa ne več.

b) Aproksimacija linearno nagnjenega spoja

Prebojno napetost v odvisnosti od nagiba profila dopanta podaja empirična zveza $U_{BR} = 9,17 \cdot 10^9 a^{-0.4} \text{ V}$ (ref. 5) a - gradient koncentracije dopanta na p-n spoju.

Aproksimacija je smiselna le v primeru z dopiranjem baze $1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3$. Iz diagrama profila dopanta je ocenjen $a = 3,23 \cdot 10^{19}/\text{cm}^4$, iz tega izračunana prebojna napetost pa je $U_{BR} = 144 \text{ V}$. Prebojna napetost izračunana z modelom da $U_{BR} = 105 \text{ V}$, dejansko izmerjena prebojna napetost pa je 106 V .

Napetost preboja v silicijevih diodah lahko dobro opišemo pri bazni koncentraciji dopanta manjši kot $1 \cdot 10^{15}/\text{cm}^3$ z aproksimacijo ostrega spoja, pri baznih koncentracijah nad $1 \cdot 10^{16}/\text{cm}^3$ pa z aproksimacijo nagnjenega spoja. Točne vrednosti lahko dobimo le s pomočjo numeričnega modela.

Kapacitivnost v prevodni smeri

Kapacitivnost v prevodni smeri je pri majhnih napetostih konstantna in enaka kapacitivnosti pri $U=0$. Ko začne zaradi vsiljenega električnega toka elektroni in vrzeli preplavljati bazo pa kapacitivnost močno naraste, saj merimo kapacitivnost diode kot celote. Skladišče naboja postane baza, zato je kapacitivnost v tem delu močno odvisna od širine baza.

REFERENCE

1. W. Shockley, W. T. Read, Phys. Rev. volume 87, no. 5, (1952) 835-842
2. H. K. Gummel, IEEE Trans. on Elec. devices, oct. 10 (1964) 455-465
3. A. De Mari, Solid-State Electronics Vol. 11 1968 33-58
4. Diplomsko delo Miroslav Mićović (1989)
5. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices (1981)
6. Properties of silicon: Inspection the institution of electrical engineers Emis data reviews series No. 4 (1988)
7. W. Shockley, Bell System Tech. J., 28, (1949) 435
8. M. Derdouri, P. Leturcq, A. Menoz-Yagüe, IEEE Trans. in Elec. devices, vol. ED-27, No. 11 (1980) 2097-2101

Miroslav Mićović, dipl. ing.
Laboratorio T.A.S.C.
Padricciano 99
Trieste, Italia
mag. Miran Kramberger, dipl. ing.
ISKRA Polprevodniki p.o.
Gabersko 12, 61420 Trbovlje

Prispelo: 05. 05. 1990 Sprejeto: 20. 05. 1990

1D MODELIRANJE PREHODNIH POJAVOV V PN STRUKTURAH

Vera Gradišnik, Slavko Amon

KLJUČNE BESEDE: polprevodniški elementi, pn diode, pn struktura, fizikalni modeli, enodimenzionalno modeliranje, numerične metode, prehodni pojavi.

VSEBINA: V delu so opisani fizikalni modeli in numerična metoda, ki so uporabljeni v enodimenzionalnem programu za modeliranje prehodnih pojavov v PN strukturah. Podani so numerični rezultati simulacije pojava N⁺P diode pri preklopu stopnice napetosti od 0,1V do -0,1V, dobljeni z reševanjem parcialnih diferencialnih enačb, ki temeljijo na Boltzmannovi statistiki.

1D MODELING OF TRANSIENT BEHAVIOR IN PN STRUCTURES

KEY WORDS: semiconductor components, pn diode, pn structure, physical models, one dimensional modelling, numerical methods, transients

ABSTRACT: The physical models and numerical method used in one-dimensional program for transient behavior modeling in PN structures has been described. The edposed numerical results of the transient behavior simulation of N⁺P diode in switching conditions from 0,1V to -0,1V bias have been achieved by solving the partial differential equation which are based on Boltzmann statistics.

1. UVOD

Računalniško modeliranje je postalo nujen element v načrtovanju in analizi polprevodniških elementov. Enostavni analitični modeli nam dajejo samo omejene informacije in točnost za razumevanje in optimizacijo polprevodniških struktur. Z računalniškim modelom lahko dobimo vpogled v vpliv fizikalnih in geometrijskih parametrov na dogajanja v sami strukturi in na zunanjih priključkih.

V svetu se že nekaj let skupine raziskovalcev ukvarjajo z razvojem računalniških programov za modeliranje polprevodniških elementov tudi v treh dimenzijah.

Na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani v Laboratoriju za nelinearne elemente je bil razvit program za reševanje časovno oddvisnih polprevodniških enačb v eni dimenziji. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN 77 in izvajanje poteka na računalniku VAX 8800.

2. FIZIKALNI MODELI

Prehodne pojave v polprevodniških strukturah opisujejo osnovne enačbe:

Poissonova eliptična diferencialna enačba

$$\text{div}(\epsilon \text{grad} v) = q(n - p - C) \quad (1)$$

kontinuitetni parabolični diferencialni enačbi za elektrone in vrzeli

$$\frac{\delta n}{\delta t} = \frac{1}{q} \text{div} J_n - R \quad (2)$$

$$-\frac{\delta p}{\delta t} = -\frac{1}{q} \text{div} J_p - R \quad (3)$$

kjer so gostote tokov elektronov in vrzeli

$$J_n = -qn\mu_n \text{grad} V + qD_n \text{grad} n \quad (4)$$

$$J_p = -qp\mu_p \text{grad} V - qD_p \text{grad} p \quad (5)$$

in enačba za celotni tok

$$J_t = J_n + J_p + \frac{\delta E}{\delta t} \quad (6)$$

Pri tem so koncentracije elektronov in vrzeli funkcije potenciala

$$n = n_i \exp\left(\frac{q(V - \Phi_n)}{kT}\right) \quad (7)$$

$$p = n_i \exp\left(\frac{q(\Phi_p - V)}{kT}\right) \quad (8)$$

in

$$C = N_D^+ - N_A^- \quad (9)$$

razlika ioniziranih donorskih in akceptorskih primesi.

Omenjene enačbe temeljijo na Boltzmannovi statistiki. Z Boltzmannovo statistiko brez modifikacije, oz. vpeljave učinkovne intrinzične koncentracije n_{ie} je možno reševati samo primere s srednje dopiranimi strukturami. Pri močno dopiranih strukturah, ko se pojavlja efekt oženja prepovedanega pasu, kar ima za posledico povečanje koncentracije prostih nosilcev naboja, Boltzmannova statistika ni več uporabna in je nujna vpeljava

Fermi-Diracove statistike. Numerično gledano je takrat tudi sklopljenost med Poissonovo enačbo in kontinuitetnimi enačbami večja in je nujno reševati celotni ti. sklopljeni sistem enačb naenkrat⁽⁴⁾. Reševanje nesklopljenega sistema enačb ima lahko za posledico konvergenčne probleme. Razen tega na stabilnost in konvergenčnost vplivajo izbrani fizikalni modeli za mobilnosti, življenske čase ter rekombinacije in generacije prostih nosilcev naboja. V literaturi^(1,2) je omenjeno, kar kažejo tudi naši rezultati simulacije z lastnim programom, da naslednji fizikalni modeli ne povzročajo omenjenih problemov.

Model mobilnosti elektronov in vrzeli

Vplive kristalne mreže in ioniziranih primesi na mobilnosti nosilcev naboja opisuje Caughey-Thomasov izraz, podan v⁽²⁾:

$$\mu_{n,p}^{LI} = \mu_{n,p}^{\min} + \frac{\mu_{n,p}^L - \mu_{n,p}^{\min}}{1 + \left(\frac{CI}{C_{n,p}^{ref}}\right)^{\alpha_{n,p}}} \quad (10)$$

kjer je CI vsota produktov vseh ioniziranih primesi in njihovega valenčnega stanja:

$$CI = \sum_{i=1}^n |Z_i| C_i \quad (11)$$

Ostale parametre lahko vnesemo glede na eksperimentalne rezultate, podane v literaturi.

Model rekombinacij in generacij elektronov in vrzeli

Generacije in rekombinacije elektronov in vrzeli so modelirane s Shockley-Read-Hallovim izrazom:

$$R = \frac{p n - n_i^2}{p(n + n_1) + n(p + p_1)} \quad (12)$$

kjer so življenski časi nosilcev:

$$\tau_n = \frac{\tau_{no}}{1 + \frac{N_D + N_A}{N_n^{ref}}} \quad (13)$$

$$\tau_p = \frac{\tau_{po}}{1 + \frac{N_D + N_A}{N_p^{ref}}} \quad (14)$$

pri tem so pri modeliranju vzete naslednje vrednosti:

$$\tau_{no} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$\tau_{po} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$N_n^{ref} = 5,0 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_p^{ref} = 5,0 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

V uporabljenem modelu so rekombinacijski centri enakomerno razporejeni po polprevodniku, z energijskim nivojem na sredini prepovedanega pasu.

3. ROBNİ POGOJI

Predpostavimo, da je napetostno krmiljen ohmski kontakt idealno prevoden. S tem zanemarimo padec napetosti na samem kontaktu. Takrat so Dirichletovi robni pogoji⁽¹⁻³⁾ za elektrostatični potencial:

$$V(t) = V_d + V_{appl} \quad (16)$$

kjer je V_d vgrajeni difuzijski potencial in V_{appl} zunanja priključena napetost.

Na ohmskem kontaktu predpostavimo termično ravnovesje in nevtralnost prostorskega naboja:

$$n p - n_i^2 = 0 \quad (17)$$

$$n - p C = 0 \quad (18)$$

iz česar izhajajo Dirichletovi robni pogoji za elektrone in vrzeli.

4. NUMERIČNA METODA

Preden začnemo z numeričnim reševanjem polprevodniških enačb, moramo diskretizirati strukturo polprevodniškega elementa v prostoru in času. Definicijsko območje je razdeljeno na M subintervalov ali segmentov. Širina posameznega segmenta je $h_i = x_{i+1} - x_i$. Med posameznimi segmenti so vozlišča oštevilčena od 0 do M. Vrednosti potenciala, koncentracij elektronov in vrzeli določimo v vsakem vozlišču, medtem ko električno poljsko jakost, gostote tokov in difuzijske konstante računamo v sredini posameznega segmenta, oz. na notranji mreži, ki ima N vozlišč. Časovno definicijsko območje razdelimo na potrebno število subintervalov s konstantnim korakom $d_m = t_{m+1} - t_m$, kjer je m indeks posameznega časovnega nivoja. V vsaki točki definicijskega območja x_{im} je rešitev aproksimirana z zahtevano natančnostjo. Z metodo končnih diferenc, ko parcialne odvode po koordinati x nadomestimo s centralnimi diferencami, parcialne diferencialne enačbe prevedemo v diferenčne algebrske enačbe. Z uvrstitvijo enačb (4) in (5) v en. (2) in (3) in ob predpostavki, da je odvod potenciala $\delta V / \delta x = \text{konst.}$ znotraj segmenta, dobimo sistem treh enačb s tremi neznankami v vsaki točki definicijskega območja. Časovni odvod je izražen s končnimi diferencami v smeri nazaj, t. i. backward Euler metoda.

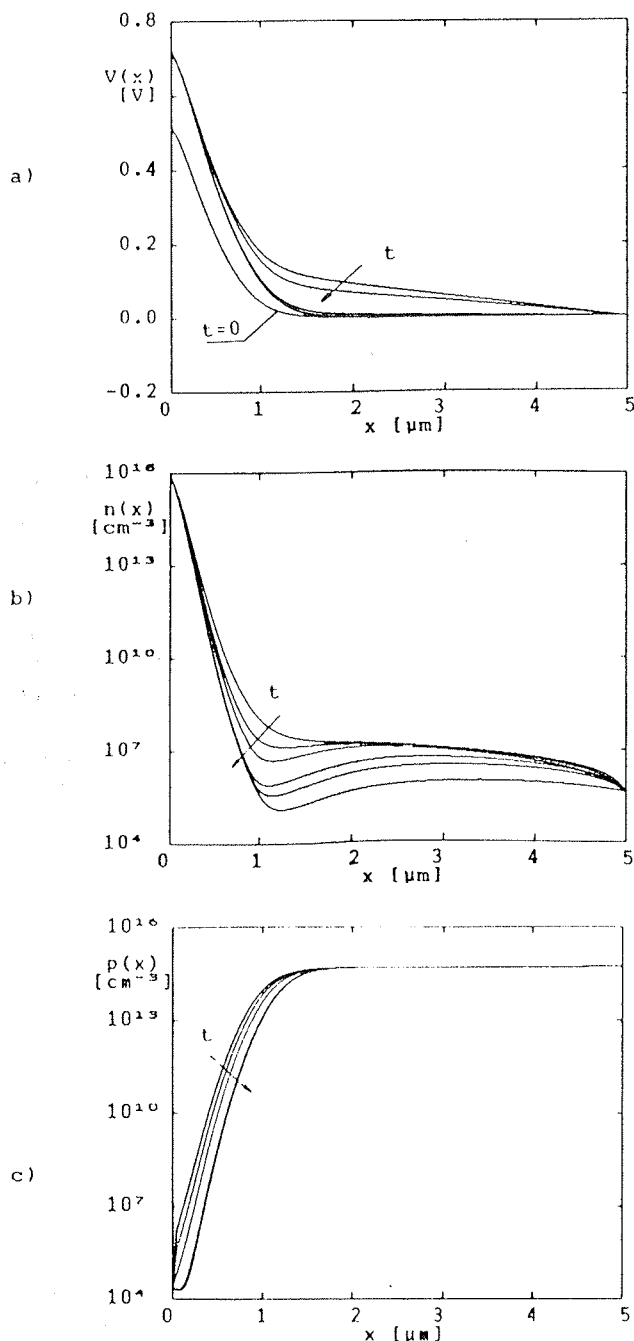
Dokler velja Boltzmannova statistika in dokler je sklopljenost med enačbami majhna, lahko vsako nelinearno enačbo lineariziramo z Newtonovo metodo⁽⁴⁾. Na ta način dobimo tri sisteme enačb z M+1 naznankami. Posamezna Jacobijeva tridiagonalna matrika vsebuje analitične odvode posameznih enačb glede na spremenljivke V, n, p. Enačba vozlišča k vsebuje vrednosti vozlišča k-1 in k+1. Rezultirajoča matrika je tridiagonalna. Vsak sistem enačb ima sedaj obliko:

$$A x = b \quad (19)$$

Matrično enačbo (19) rešimo z LU dekompozicijo. Na koncu vsake Newtonove iteracije poiščemo največji popravek in ugotovimo, ali so zadovoljeni konvergenčni pogoji. Ko je dosežena predpisana točnost, preidemo na računanje novega časovnega koraka s spremenjenimi robnimi pogoji. Računanje se konča po vnaprej predpisanem številu časovnih korakov.

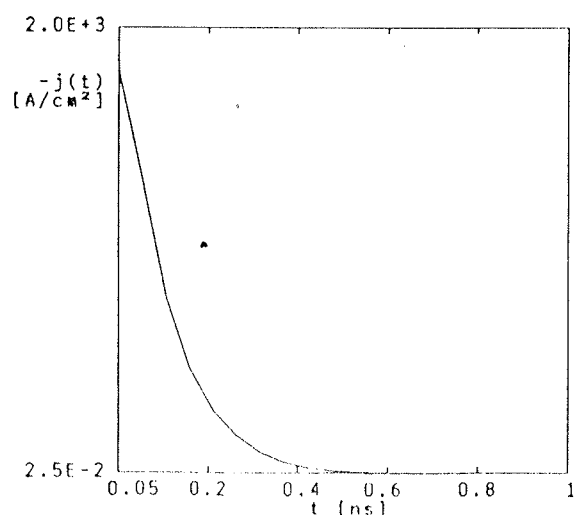
5. ANALIZA PREHODNEGA POJAVA PN DIODE

Z opisanim programom je bila opravljena analiza prehodnega pojava N⁺P diode. Struktura je bila dolga 5 μm ,



Slika 1: Preklop N⁺P diode od 0.1V do -0.1V
a) potencial vzdolž strukture
b) koncentracija elektronov in
c) koncentracija vrzeli
v času $t = 0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5$ in 1 ns

globina spoja 0.5 μm , površinska koncentracija donorskih primesi $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ in koncentracija akceptorskih primesi $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Slika 1 prikazuje diodo po preklopu stopnice napetosti v 50 ps od 0.1V prevodne do -0.1V zaporne napetosti. Prikazani so krajevni poteki potenciala, koncentracij elektronov in vrzeli v različnih časih. Začetne spremembe v poteku koncentracij minorskih nosilcev v skladu s spremembami potenciala kažejo na fazo kopičenja naboja. Na sliki 2 je prikazan časovni potek gostote toka $j(t)$ od trenutka, ko je na diodi zaporna napetost -0.1V.



Slika 2: Gostota toka po preklopu N⁺P diode od 0.1V do -0.1V v odvisnosti od časa

6. ZAKLJUČEK

Numerično modeliranje polprevodniških elementov omogoča hitrejše in točnejše reševanje polprevodniških enačb. V predstavljenem delu je prikazan samostojno izdelan računalniški program za enodimenzionalno analizo prehodnih pojavov v PN diodah. Prikazani so rezultati modeliranja pri preklopu N⁺P diode, izračunani s predstavljenim programom.

Literatura

- (1.) M. S. Mock: Analysis of Mathematical Models of Semiconductor Devices, Boole Press, Dublin, 1983.
- (2.) S. Selberherr: Analysis and Simulation of Semiconductor Devices, Springer-Verlag Wien, New York, 1984.
- (3.) B. S. Polsky and J. S. Rimshans: Half-implicit difference scheme for numerical simulation of transient processes in semiconductor devices, Solid-State Electronics Vol. 29, No. 3, pp. 321 - 328, 1986.
- (4.) C. S. Rafferty, M. R. Pinto, R. W. Dutton: Iterative Methods in Semiconductor Devices Simulation, IEEE Trans. on Electr. Dev. Vol. ED - 32, No. 10, October 1985.

Mag. Vera Gradišnik *, dipl. ing.
Dr. Slavko Amon, dipl. ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25, 61000 Ljubljana

* Trenutno: Maršala Tita 46, 51410 Opatija

Prispelo: 25.04.1990 Sprejeto: 30.05.1990

TANKOPLASTNI SILICIJEVI OKSIDI

I. SPLOŠNE LASTNOSTI

Marta Klanjšek Gunde

KLJUČNE BESEDE: tanke plasti, silicijevi oksidi, termična oksidacija, termično popuščanje, formiranje oksidov, struktura plasti, fizikalne lastnosti, kemijske lastnosti, nečistoče

POVZETEK: Primerjava naravnih in umetno tvorjenih oblik silicijevih oksidov kaže sistematske razlike med lastnostmi amorfni in kristalnih oblik. Posebej zanimive so tiste lastnosti, ki jih je mogoče povezati z atomskim razmerjem O/Si.

SILICON OXIDE FILMS

I. GENERAL PROPERTIES

KEY WORDS: thin films, silicon oxides, thermal oxidation, thermal annealing, oxide formation, film structure, physical properties, chemical properties, impurities

ABSTRACT: The comparison of natural and artificial silicon oxides shows systematical differences in general properties of amorphous and crystalline forms. The properties of amorphous oxides related to oxygen/silicon atomic ratio are of most interest.

1. UVOD

Tanke plasti anorganskih stekel uporabljamo v različnih vejah moderne tehnologije. Tako so v polprevodniški industriji praktično nepogrešljive za difuzijsko maskiranje, izolacijo in površinsko pasivacijo ter kot dielektrični material v različnih mikroelektronskih napravah. Pogosto se pojavljajo kot sestavni del interferenčnih skladov za fototerminčno ali pa fotoelektrično pretvorbo sončnega sevanja. V optičnih sistemih imajo funkcijo zaščitne plasti, lahko pa služijo tudi kot antirefleksni nanos. Poznavanje njihovih lastnosti je prineslo tudi velik napredek v astrofiziki pri raziskavah medzvezdnega prahu. Med najbolj razširjenimi predstavniki anorganskih stekel so silicijev oksid, silicijev nitrid in razna mešana (večkomponentna) stekla kot silicijev oksinitrid, fosfosilikatno steklo (PSG), borosilikatno steklo (BSG), aluminosilikatno steklo, borofosfosilikatno steklo (BPSG), boroaluminosilikatno steklo, cinkborosilikatno steklo in podobno. Osnovna sestavina vseh je silicij, nepogrešljiva dodatka sta bodisi kisik ali pa dušik, ostale primesi pa še dodatno spremenijo lastnosti materiala.

Silicijev oksid je najenostavnejša oblika stekla in tudi sestavni del večine mešanih stekel. Zato predstavlja študij njegovih lastnosti osnovo za razumevanje lastnosti celotne skupine materialov. Splošne lastnosti silicijevih oksidov so v literaturi sorazmerno dobro poznane. Za uvod v analizo tankih plasti silicijevih oksidov na rezinah monokristalnega silicija sem zbrala nekaj podatkov iz literature.

2. SESTAVA IN STRUKTURA

V naravi je silicijev oksid povečini razširjen v obliki dioksida v kristalizirani (na primer kremen, kristobalit, tridimit, koezit) pa tudi v amorfni obliki (opal). Silicijevi oksidi, tvorjeni v laboratoriju, kondenzirajo v amorfne plasti, ki so geometrijsko in kemijsko neurejene. Označujemo jih s formulo SiO_x . Razmerje med številom silicijevih in kisikovih atomov (x) se giblje med 0 (amorfni silicij) in 2 (silicijev dioksid). Striktno se le oblika SiO_2 imenuje steklo (vitreous silica, fused silica, glass).

Čeprav so plasti amorfne, v njih obstaja urejenost kratkega dosega. To urejenost vsebuje tetraeder, ki je osnovni gradnik strukture silicijevih oksidov. Zastopanost kisikovih atomov na račun silicijevih po ogliščih tetraedrov odloča o atomskem razmerju O/Si.

V literaturi se pojavljata dva modela za popis vezi v SiO_x , model mešanice (mixture model) in statistični model (random bonding model)¹. Po modelu mešanice so vse oblike SiO_x sestavljene iz različno uteženih sestavnih delov Si in SiO_2 . V strukturi sta tako zastopani le dve vrsti tetraedrov: Si-(Si_4) in Si-(O_4). V statističnem modelu je možnih pet različnih tetraedrov: Si-($\text{Si}_y\text{O}_{4-y}$), $y = 0, 1, 2, 3, 4$. V tabeli I vidimo porazdelitev tipov tetraedrov za dve izbrani atomski razmerji O/Si.

Raziskave kažejo nesporno prednost statističnega modela pred modelom mešanice.^{1,2} Poljubna kompozicija SiO_x ni enostavna mešanica amornega silicija in silicijevega dioksida, ampak gre za statistično mešanico Si-Si in Si-O vezi na atomski skali.

TABELA I

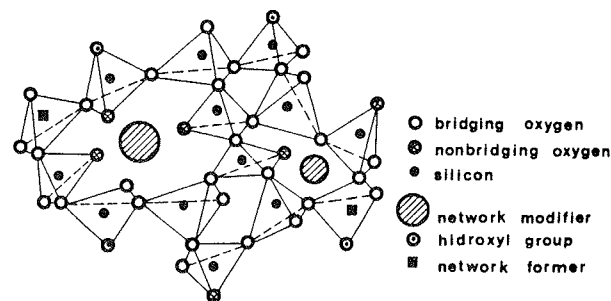
Zastopanost tetraedrov v $\text{SiO}_{1.5}$ in SiO po modelu mešanice (mixture model - m.m.) in po statističnem modelu (random bonding model - r.b.m.)¹.

	$\text{SiO}_{1.5}$		SiO	
tetraeder	m.m.	r.b.m.	m.m.	r.b.m.
Si-(O ₄)	0.7500	0.3164	0.5000	0.0625
Si-(SiO ₃)	--	0.4219	--	0.2500
Si-(Si ₂ O ₂)	--	0.2109	--	0.3750
Si-(Si ₃ O)	--	0.0469	--	0.2500
Si-(Si ₄)	0.2500	0.0039	0.5000	0.0625

Končna struktura oksidne plasti se formira s povezovanjem tetraedrov v mrežo. Kot primer dobro služi struktura silicijevega dioksida.³ Sestavljajo ga tetraedri $\text{Si}-(\text{O}_4)$, medsebojno povezani prek skupnih ogljišč. V kristalni obliki SiO_2 so vsi kisiki povezovalni, v amorfni pa nekateri med njimi stojijo prosto. Čim večje je razmerje med številom povezovalnih in prostih (nepovezanih) kisikov, tem boljša je trdnost (kohezivnost) plasti. Z večanjem števila nepovezanih kisikov postaja struktura vedno bolj odprta, hkrati pa se manjša tudi gostota plasti. Tako imajo amorfni oksidi v splošnem manjšo gostoto kot njihove kristalne oblike. Odprta struktura omogoča tudi veliko verjetnost za vdor nečistoč. Tako poznamo medmrežne (intersticijske) in mrežne (substitucijske) nečistoče. Na medmrežna stanja se vrivajo predvsem oksidi kalija, natrija, barija in svinca. Kovinski ion odda svoj kisik mreži - namesto prvotno povezovalnega kisika tako nastaneta dva nepovezovalna kisika. Poroznost strukture se močno poveča. Kovinski oksidi sami ne tvorijo steklaste strukture ("network modifiers"). Substitucijske nečistoče se vežejo neposredno v mrežo in v tetraedrih izpodrivajo silicij. Nečistoče tega tipa so same na sebi sposobne tvoriti steklasto strukturo ("network formers"). Najpomembnejša kandidata sta iona B^{3+} in P^{5+} . Drugo število prostih elektronov v spremenjenem tetraedru povzroči spremembo števila povezovalnih kisikov - spremembo v jakosti mreže. Substitucijske nečistoče tako močno spremenijo lastnosti oksida, da že pri zelo majhnih vsebnostih govorimo o mešanih steklih (npr. PSG, BSG, BPSG, ...).

Zelo pogosta nečistoča v silicijevih oksidih je voda. Vnos je mogoč bodisi neposredno iz atmosfere, bodisi med procesom depozicije. Vodna para se kombinira s povezovalnim kisikom in formira stabilno nepovezovalno hidroksilno skupino (OH-).

Shematski prikaz strukture silicijevega dioksida prikazuje slika 1.

Slika 1: Shematski prikaz strukture silicijevega dioksida³

3. PRIPRAVA IN NEKATERE LASTNOSTI

Natančnega opisa tehnik priprave v tem prispevku ne bomo obravnavali, omejimo se le na informativni pregled.

Veliko (in nenehno naraščajoče) število različnih načinov priprave delimo v dve veliki skupini^{3,4}:

- (1) **rast plasti** zaradi interakcije zgornjih plasti substrata z delci, ki v obliki pare zapolnjujejo njegovo okolico in
- (2) **formiranje tanke plasti**, kjer ne pride do spremembe v substratu.

V prvo skupino sodi termična oksidacija substrata in različni difuzijski procesi, v drugo pa nalaganje plasti na substratu zaradi:

- (a) kemijskih reakcij ustreznih substanc v plinski fazi (CVD, chemical vapor deposition) in
- (b) delcev, ki so fizično ločeni od izvora, formirani v plin in prenešeni prek področja z zmanjšanim tlakom do substrata, kjer poteče kondenzacija (PVD, physical vapor deposition).

Lastnosti tankoplastnih silicijevih oksidov so v prvi vrsti odvisne od njihove priprave.

Oksidi, nastali s termično oksidacijo so po kemijskih in fizikalnih lastnostih zelo podobni vlečenemu steklu.⁴ Proces poteče na monokristalu silicija običajno do konca in nastanejo oksidi tipa SiO_2 . Plast oksida, najbližja substratu, ima visoko vsebnost koezita, to je kristaliničnega polimorfa SiO_2 . Na povečano urejenost vpliva silicijev substrat - rast je podobna epitaksialni. Končno stanje oksida je rezultat strukturne preureditve v smeri pravokotno na plast.⁵ V tem iščemo vzroke za sicer majhne razlike med lastnostmi termičnega oksida in vlečenega stekla.

Formirani oksidi (nanešeni s katero izmed tehnik druge glavne skupine) imajo lahko katerokoli kompozicijo med Si in SiO_2 . Gre za mešanice na atomski skali, ki imajo povečini slabo določeno stehiometrijo in niso v termodinamskem ravnovesju. Glavni faktor, ki vpliva na primanjkljaj kisika je temperatura substrata.

Nekatere splošne lastnosti je mogoče povezati z atomskim razmerjem O/Si. V prvi vrsti so to gostota, lomni količnik, prosojnost oksida za vidno in ultravijoličasto svetlobo ter jedkalna hitrost.

Gostota je ena izmed osnovnih fizikalnih lastnosti snovi in je posledica njene dejanske strukture. Večja gostota je povezana z gostejšo strukturo. Pri silicijevih oksidih je možno zelo veliko strukturnih variacij. Kristalne oblike imajo zaprto strukturo in se med seboj razlikujejo po kristalni simetriji. Najgostejši kristal silicijevega dioksida je stihovit, visokotlačna modifikacija, ki odstopa tudi od sicer skupnega gradbenega principa silicijevih oksidov. Osnovni gradniki strukture stihovita so Si-O₆ oktaedri, gostota pa je skoraj dvakrat večja od gostote ostalih njegovih kristalnih polimorfov. Gostota naravne amorfne oblike silicijevega dioksida (opal) je manjša od gostote kristalnih oblik. Podatki o gostoti tankoplastnih silicijevih oksidov so v literaturi zelo redki. Vendar drži, da so njihove gostote manjše od gostot kristalnih oblik. V tabeli II je zbranih nekaj literaturnih podatkov.

TABELA II.

Gostote nekaterih oblik silicijevih oksidov pri dani temperaturi T - literaturni podatki. Kjer temperatura v tabeli ni navedena, v literaturi ni posebej specificirana.

opis oksida	gostota (g/cm ³)	T(°C)	lit.
stishovite	4.2874±0.0026	*	(6)
α-quarz	2.6483±0.0001	25	(6)
quarz	2.66		(7)
α-kristobalite	2.3344±0.0030	25	(6)
coesite	2.9110	25	(6)
α-tridimite	2.3		(7)
dioxide, opal (amorphous)	2.17 - 2.20		(6)
fused silica	2.2	25	(7)
pyrex glass	2.32	25	(7)
monoxide	2.13		(6)
silica, fused transparent	2.21		(6)
silica, translucent	2.07		(6)
thermally grown SiO ₂	2.22	22	(8)
CVD SiO _x as deposited	2.03±0.05	22	(9)

* x-Ray density

Razmerje hitrosti elektromagnetnega valovanja v vakuumu in v snovi je **lomni količnik** snovi. Splošno vzeto je njegova vrednost spektralno odvisna. Pri tehničnih aplikacijah se običajno navaja vrednost lomnega količnika v delu spektra, ki je frekvenčno dosti više od absorbcij na atomskem in molekularnem nivoju. Za dielektrične nanose običajno navajajo bližnje infrardeče območje (500-1500 nm). Tu je imaginarni del optične konstante teh materialov manjši od 10⁻⁶, realni del pa se le malo spreminja.^{10,11} Splošno velja, da je večji lomni količnik v tem delu spektra povezan z manjšim atomskim razmerjem O/Si. Lomni količnik oksidov sicer enako stehiometrijo pa je lahko kljub temu različen. Razlog je

poroznost plasti, ki zmanjša lomni količnik. Literaturni podatki za nekatere silicijeve okside so podani v tabeli III.

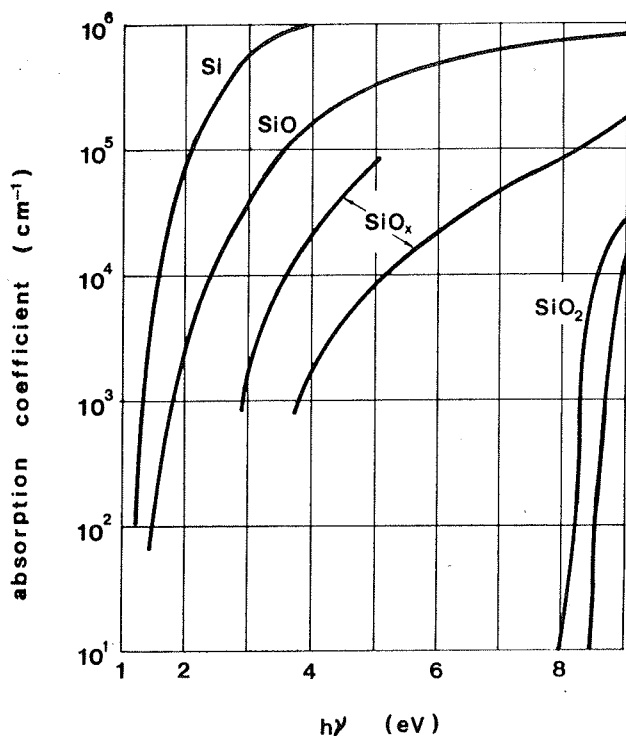
TABELA III.

Literaturni podatki za lomne količnike silicijevih oksidov. Valovne dolžine (v nm) so podane v oklepajih.

	lit	lomni količnik (val. dolžina)		
Si		4.36	4.22	3.57
amorfni silicij	(12)	(563.6)	(629.5)	(1127)
SiO		1.994	1.969	1.87
nekristaliničen	(13)	(563.6)	(619.9)	(1000)
SiO ₂		1.46008	1.45671	1.44888
steklo (glass)	(14)	(546.07)	(643.8)	(1128.7)
SiO ₂		1.462		
termični oksid	(4)	(546.1)		
SiO ₂		1.467-1.479		
rf sputtering	(4)	(546.1)		
SiO ₂			1.4573	1.4475
fused quartz	(11)		(632.8)	(1277.5)
SiO ₂			1.4580	1.4481
HIPOX (term. oksid)	(11)		(632.8)	(1277.5)
SiO ₂			1.4484	1.4385
p-glass 0 % P	(11)		(632.8)	(1277.5)
SiO ₂		1.526	1.522	1.510
okensko steklo	(15)	(540)	(630)	(1300)

Prosojnost oksida za vidno in ultravijolično svetlobo je povezana z atomskim razmerjem O/Si. Položaj absorpcijske meje se z večanjem tega razmerja pomika proti manjšim valovnim dolžinam (večjim frekvencam). Skrajni meji pomika sta absorpcijska meja amorfne silicija na eni in silicijevega dioksida na drugi strani. Tako amorfni silicij absorbira svetlobo celotnega ultravijoličnega in vidnega področja, absorpcijska meja pa pade v bližnje infrardeče področje. Silicijev dioksid pa je prepusten čez vidno in še daleč v ultravijolično področje, kjer absorpcijski koeficient hitro naraste. Absorpcijske meje oksidov SiO_x z 0<x<2 zasedajo vmesne valovne dolžine. Absorpcijske koeficiente silicijevih oksidov z različno stehiometrijo prikazuje slika 2.¹

Jedkalna hitrost je enostaven test lastnosti in kompozicije SiO_x. Jedkanje poteka v razredčeni HF kislini. Manjšanje atomskega razmerja O/Si je povezano s počasnejšim jedkanjem. Vendar pa primanjkljaj kisika ni edini faktor, ki vpliva na hitrost jedkanja. Nanjo vplivata tudi napetost in poroznost plasti. Vsebnost svinca, bora ali fosforja v oksidni plasti pospeši jedkanje, aluminij pa ga upočasni.⁴



Slika 2: Spektralna odvisnost absorpcijskih koeficientov amorfni silicijevih oksidov. Na skrajni desni strani je prikazana tudi ustrezna krivulja za kristaliničen silicijev dioksid

Pomembna lastnost tankoplastnih nanosov je **sposobnost zgoščevanja**. Omogoča ga visoka temperatura (višja od temperature depozicije). Postopek običajno imenujemo **termično popuščanje**. V segretem oksidu pride do dehidracije in do lokalne strukturne preureditve. Hidroksilne skupine, ki so onemogočale medsebojno povezanost tetraedrov, izhlapijo v obliki vode. Stopnja polimerizacije se poveča, kar zmanjša odprtost strukture. Končni efekt je zgoščena plast. Efekt je mogoče preprosto prikazati z zmanjšanjem debeline plasti. Ta se zmanjša tudi pri oksidih, ki neposredno po depoziciji niso vsebovali OH- ionov.

LITERATURA

1. Herbert R. Philipp, Journal of Non-Crystalline Solids 8-10 (1972), 627-632
2. M. Nakamura, Y. Mochizuki and K. Usami, Solid State Communications 50 (1984), 1079-1081
3. Stanley Wolf and Richard N. Tauber: Silicon Processing for the VLSI Era, Volume 1: Process Technology, Lattice Press, Sunset Beach, California (1986), 109-241
4. W. A. Pliskin, D. R. Kerr, and A. Perri, "Thin Glass Films" v Physics of Thin Films, vol. 4 (1967), 257-324
5. B. J. Mrstik, A. G. Revesz, M. Ancona and H. L. Hughes, J. Electrochem. Soc.: Solid-State Science and Technology, 134 (1987) 2020-2027
6. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 55th Edition 1974-1975, Editor Robert C. Weast, Ph.D. CRC Press, Cleveland, Ohio 44128
7. American Institute of Physics Handbook, Third Edition Coordinating Editor Dwight E. Gray, Ph.D. McGraw-Hill Classic Handbook Reissue, 1982 Reissue
8. Naoyuki Nagasima, Japan J. Appl. Phys. 9 (1970) 879-888
9. Naoyuki Nagasima, J. Appl. Phys. 43 (1972) 3378-3386
10. W. A. Pliskin, J. Electrochem. Soc.: Solid-State Science and Technology, 134 (1987) 2819-2826
11. H. J. Lee, C. H. Henry, K. J. Orlowsky, R. F. Kazarinov, and T. Y. Kometani, Applied Optics 27 (1988), 4104-4109
12. H. Piller v Handbook of Optical Constants of Solids, editor Edward D. Palik, Academic Press, INC, Orlando 1985, 719-748
13. H. R. Philipp v Handbook of Optical Constants of Solids, editor Edward D. Palik, Academic Press, INC, Orlando 1985, 765-770
14. H. R. Philipp v Handbook of Optical Constants of Solids, editor Edward D. Palik, Academic Press, INC, Orlando 1985, 749-764
15. M. Rubin, Solar Energy Materials 12 (1985) 275-288

Mag. Marta Klanjšek Gunde, dipl. ing.
Kemijski Inštitut Boris Kidrič
Hajdrihova 19
61000 Ljubljana

Prispelo: 23. 02. 1990 Sprejeto 10. 05. 1990

G A L s - GENERIC ARRAY LOGIC (Part I) (A member of PLDs family)

Zlatko Bele

KEY WORDS: Programmable logic circuits, integrated circuits, Application specific integrated circuits, ASIC, EECMOS, VLSI, Output Logic Macro Cells, GAL, SGS-THOMSON

ABSTRACT: An overview on GALs, a PLDs from SGS-THOMSON, is presented. Over traditional PALs fabricated in bipolar technology, GALs exhibit several important advantages which are coming from high performance EECMOS process and distinctive architectural features.

GALi - Generične logične mreže (I. del)

KLJUČNE BESEDE: programabilna logična vezja, integrirana vezja, vezja po naročilu, ASIC, EECMOS, VLSI, izhodne logične makrocelice, GAL, SGS-THOMSON

POVZETEK: Podane so osnove GAL, programabilnih logičnih vezij firme SGS-THOMSON. V primerjavi s tradicionalnimi PAL vezji, izdelanimi v bipolarni tehnologiji, imajo GAL vezja vrsto prednosti, ki izhajajo pretežno iz visokokakovostnega procesa EECMOS in same arhitekture vezja.

1. INTRODUCTION: PLDs - A DYNAMIC MARKET

Digital logic functions can be designed from a wide range of components. These include discrete components such as transistors, diodes and SSI, MSS up to VLSI integrated circuits. Choosing a component is an engineering decision that depends on factors such as cost, physical size, availability, level of integration, power consumption, propagation delay and heat dissipation. Programmable logic devices (PLDs) are another option when making this decision.

Programmable logic devices are an ordered collection of elementary logic circuits which can be electrically programmed by the user to accomplish a specific logic function. Their versatility makes them extremely attractive to a vast range of electronic equipment manufacturers.

The whole PLD market is expected to escalate from 500 million dollars in 1988 to about 1.3 billion dollars in 1992; this corresponds to an average increase greater than 30% a year over a five year period, much more than average semiconductor market increase.

At the present moment PLDs made in bipolar technology occupy the largest share of the market. However, a rapid increase in the use MOS PLDs is expected. This relatively new technology accounted for 20% of the total PLD market in 1988, and by the early 1990s is predicted to surpass its bipolar counterpart.

Although PLDs have been around since the early 1970s, they are only now starting to take off in a big way. The increase in interest in these devices is due to two main reasons:

- * the computer market, which accounts for the largest absorption of PLDs, is growing dramatically and will

continue to count for more than 60% of the whole PLD market.

- * PLDs for semiconductor manufacturers are standard devices; for customers however, they are ASICs due to their programmability.

Over other semicustom devices PLDs exhibit some very important advantages:

- * low design-in cost
- * no prototype cost
- * no mask remaking costs
- * no supplier computer time cost
- * no NRE (Non Recurring Expenses)
- * capital investment is necessary only once. The programming and development equipment costs are very low.
- * no dedicated inventory. One single PLD can cover many different applications.
- * the complete design cycle is in the hands of the customer. This means the design-to-production cycle time can be days, not weeks or months as in the case of gate arrays.

PLDs manufactured using bipolar technology use the fuse link concept developed at the beginning of 1970s for the bipolar PROMs. One of the most successful devices using this bipolar technology are the PALs, and the company which today has the leadership in the PLD market is MMI/AMD with its bipolar PALs.

MOS PLDs on the other hand use technologies and circuits solutions originally developed for EPROM and EEPROM memories, and they are likely to repeat the history of their parents, MOS memories, by achieving a market share higher than their bipolar counterparts.

2. GALs - GENERIC LOGIC ARRAYS

GALs are trademark of American semiconductor company LATTICE SEMICONDUCTOR CORP. from Oregon. In Europe SGS-THOMSON has second source contract for GALs with which he entered the CMOS PLDs market less than three years ago. On following pages a general overview and main features of SGS-THOMSON's GALs are presented.

Technology employed on all GAL devices is a state of the art high performance EECMOS process which has the best speed-power characteristics available from any user-programmable technology.

GALs are clearly the next evolutionary step in programmable logic. In general they also use basic PAL architecture (programmable "AND" array driving fixed "OR" array as it is shown on Figure 1) but on the other hand offer numerous advantages.

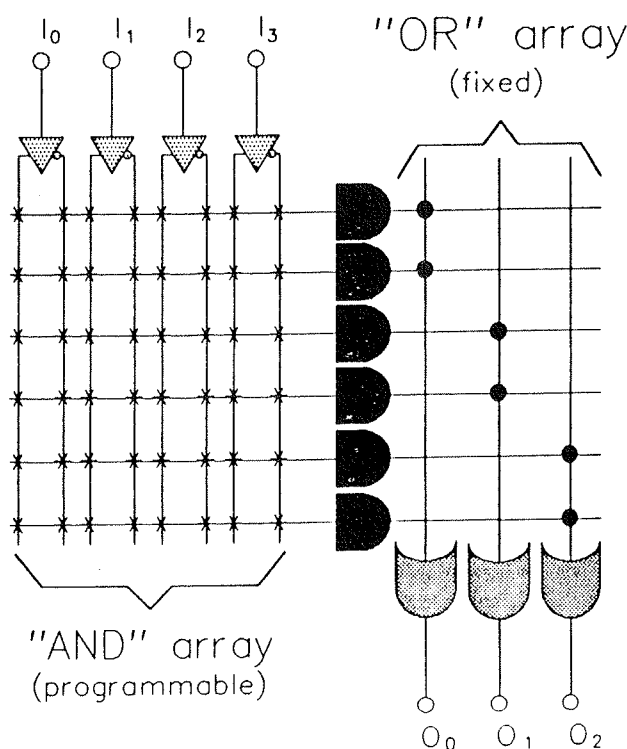


Figure 1: Basic GAL architecture

Main features of GALs are:

a) Electrical erasability

Electrical erasability and consequent reprogrammability offers a quick response to unforecasted design modifications. This becomes extremely important during the prototyping phase when errors or design specifications changes are more likely to occur.

b) High speeds

- * 12 ns propagation delay
- * 12 ns max. clock-in data out

- * Programming algorithm less than one second, 50ms erasing time

- c) Power consumption as low as 50% of comparable-speed bipolar devices

- d) Output logic Macrocell (OLMC) technology

It allows the user to configure outputs to different also non standard architectures. So each output can be individually set to active high or active low with either combinational (asynchronous) or registered (synchronous) configurations. Common output enable can be connected to all outputs or separate inputs or product terms can be used to provide individual output enable control. In general OLMC technology provides the designer with maximal output flexibility in matching signal requirements.

- e) PAL socket compatibility with full function/fuse map/parametric compatibility

One GAL type can emulate many PAL types. For example basic GAL type GAL16V8 can substitute 21 different types of 20-pin bipolar PALs.

- f) 100% Functional testability

This testability is offered by the EEPROM technology that allows full AC/DC testing of the logic path inside the PLD by writing the worst case pattern. This means 100% guaranteed yield to the customer. After the test cycle, the device is erased and shipped. More than 100 write and erase cycles are possible.

- g) Electronic signature

It allows to store documentation in every GAL as it is identification number for device traceability and version number and production date to trace the manufacturing flow.

- h) High functional CMOS density

Basic GAL versions offer up to 300 equivalent gates of complexity while new one based on FPLA (field programmable logic arrays) has the capacity of 600 equivalent gates.

- i) Design/programming tools

GALs are supported from a variety of the industry's most popular design and programming tools.

- j) Security cell

On all GALs the security cell is provided as a deterrent to unauthorized copying of the array configuration patterns. Once programmed, the circuitry enabling array access is disabled, preventing further programming or verification of the array. The cell can be erased only in conjunction with the array during a bulk erase cycle, so the original configuration can never be examined once this cell is programmed.

3) BASIC GAL DEVICES - GAL16V8 AND GAL20V8

The two main devices, GAL16V8 and GAL20V8 are the core of SGS-THOMSON's GAL products portfolio.

PIN NAMES

I0-I15	INPUT
CK	CLOCK INPUT
B0-B15	BIDIRECTIONAL
F0-F7	OUTPUT
$\overline{OE}$	OUTPUT ENABLE
V _{CC}	POWER (+5V)
GND	GROUND

GAL16V8 EMULATING PAL DEVICES

I0/CLK	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}
I1	F7	I11	I13	I15	F7	B1	B3	F1
I2	F6	F5	I12	I14	F6	F5	B2	B5
I3	F5	F4	F3	I13	F5	F4	F3	B4
I4	F4	F3	F2	F1	F4	F3	F2	B3
I5	F3	F2	F1	F0	F3	F2	F1	B2
I6	F2	F1	F0	I12	F2	F1	F0	B1
I7	F1	F0	I11	I11	F1	F0	B1	B0
I8	F0	I10	I10	I10	F0	B0	B0	F0
GND	I9	I9	I9	I9	$\overline{OE}$	$\overline{OE}$	$\overline{OE}$	I9
	10L8	12L6	14L4	16L2	16R8	16R6	16R4	16L8
	10H8	12H6	14H4	16H2	16RP8	16RP6	16RP4	16H8
	10P8	12P6	14P4	16P2				16P8
GAL16V8								

BLOCK DIAGRAM

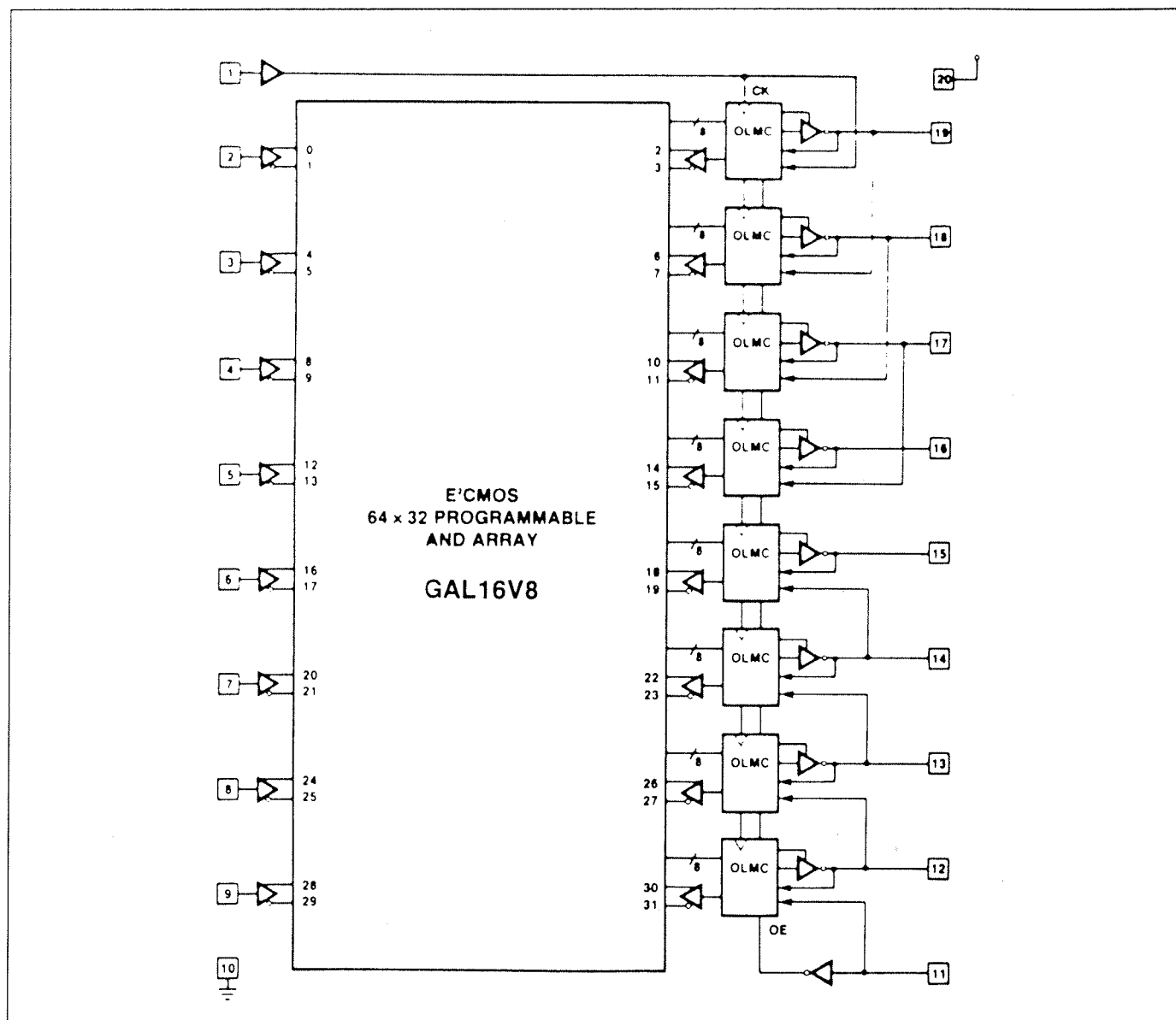


Figure 2: Block diagram of GAL 16V8 with PAL amulating scheme

a) GAL16V8 Features

- * 16 input pins
- * 8 output pins (OLMCs)
- * 64x32 programmable "AND" array
- * Low power:
90/70 mA active/stand-by (Half-Power version)
45/35 mA active/stand-by (Quarter Power)
- * High speed:
15 to 35 ns access time (Half Power version)
20 to 35 ns access time (Quarter Power)

- * Preload and power-on reset of all registers
- * Emulates 20 pins PAL devices with full Function/Fuse map/Parametric Compatibility
- * High speed programming algorithm
- * Data retention exceeds 20 years
- * Block diagram of GAL16V8 with PAL emulating scheme is presented on Figure 2, when Figure 3 shows its logic diagram.

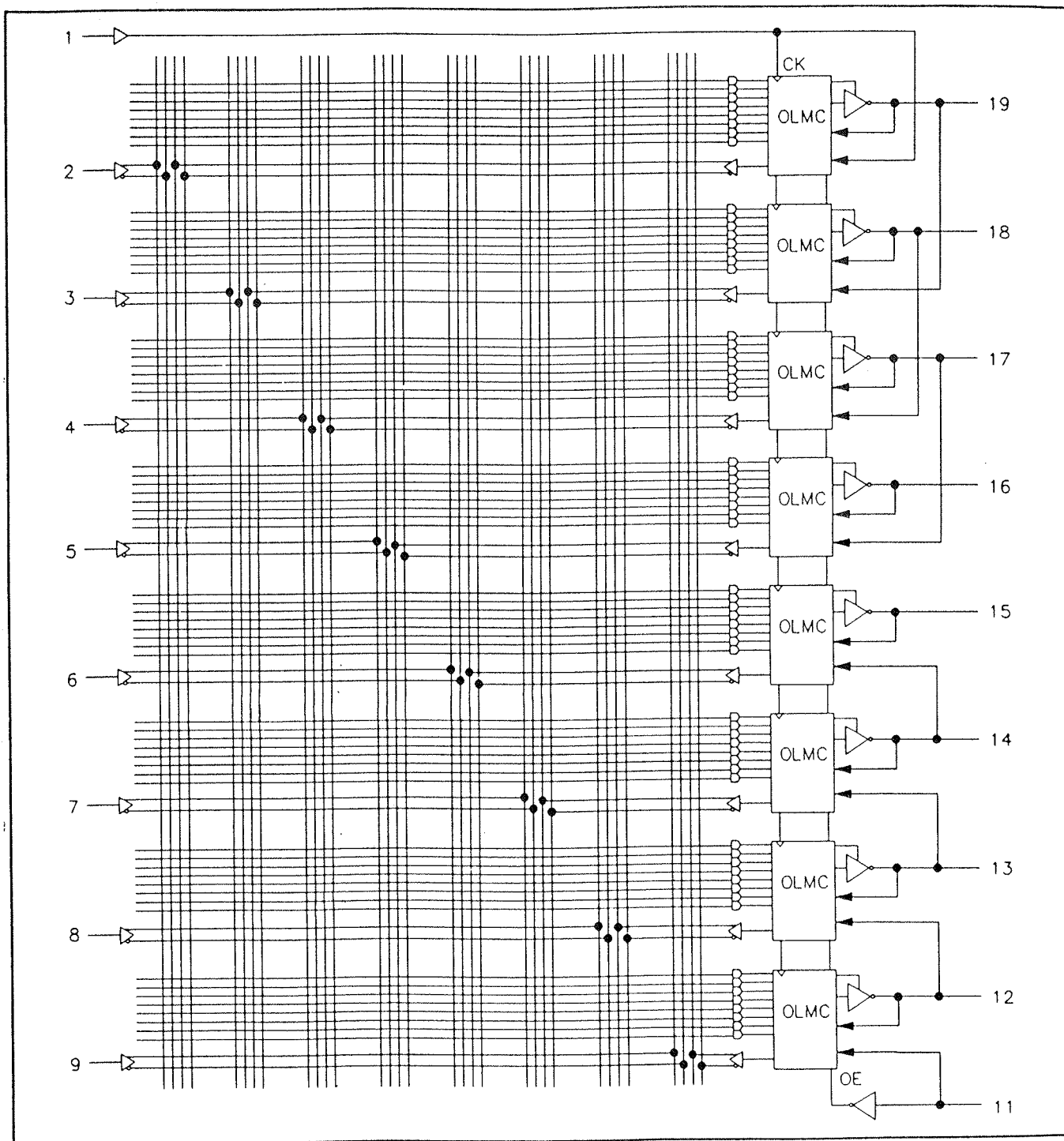


Figure 3: GAL 16V8 Logic diagram

b) GAL20V8 features

- * 20 input pins
- * 8 output pins (OLMCs)
- * 64 x 40 programmable "AND" array
- * other characteristics are the same as with GAL16V8

Both GAL types are available in different speed/power versions and variety of packages as is shown on Figure 4.

ORDER CODE	PACKAGE	SPEED AND MAX POWER
GAL16V8-25HB1	20 pin plastic DIP	25ns/90mA
GAL16V8-20HB1		20ns/90mA
GAL16V8-15HB1		15ns/90mA
GAL16V8-25HC1	20 pin PLCC	25ns/90mA
GAL16V8-20HC1		20ns/90mA
GAL16V8-15HC1		15ns/90mA
GAL20V8-25HB1	24 pin plastic DIP	25ns/90mA
GAL20V8-20HB1		20ns/90mA
GAL20V8-15HB1		15ns/90mA
GAL20V8-25HC1	28 pin PLCC	25ns/90mA
GAL20V8-20HC1		20ns/90mA
GAL20V8-15HC1		15ns/90mA
GAL16V8-35QB1	20 pin plastic DIP	35ns/45mA
GAL16V8-25QB1		25ns/45mA
GAL20V8-35QB1	24 pin plastic DIP	35ns/45mA
GAL20V8-25QB1		25ns/45mA

Figure 4: GAL types availability

4. PROGRAMMING GALs

Generating a completely functional circuit element from an unprogrammed GAL device requires three phases:

- Design - defining the logic functions that the circuit must perform.
- Programming - writing those logic functions into a blank device.
- Testing - ensuring that each programmed device functions exactly as the design specifies.

Design phase consists of defining the necessary logic functions, expressing them in a natural and convenient form and creating, by means of special development software, so called input source file. This file is then converted to a binary fuse file or "JEDEC" file, which has standardized format for PLDs data transfer.

Quite a broad range of design software packages are very common and easily available from different vendors and approved by SGS-THOMSON. Main of them are listed on Figure 5.

SOFTWARE DEVELOPMENT TOOLS

PACKAGE	VENDOR	REVISION
CUPPL	Logical Devices	V3.0
ABEL	Data I/O	V3.0
PLD test	Data I/O	V1.0
DASH - ABEL	Data I/O	V1.0
PALASM	Monolithic Memories Inc.	(I)
LC9000	Programmable Logic Tec.	V1.5
PLAQ	Qwerty Inc.	V1.0

Figure 5: Software development tools

During programming phase a JEDEC file is written into the device by means of programmer. Programmer reads JEDEC file and transfers it by applying the specific series of voltage pulses to the device. Programmers are usually driven by IBM PC compatible computer. SGS-THOMSON recommends to use only approved programming hardware listed on Figure 6.

GAL QUALIFIED PROGRAMMER LIST

VENDOR	PROGRAMMER	ADAPTER	REV. QUALIFIED	COMMENTS
QWERTY	GPR - 1000	n/a	v2.0	
	GPR - 1000+	n/a	v1.0, v1.1	
DATA I/O	29B (v04)	303A - 011A	v03	
	-	-	v06	
	80A	360A - 011A	v07, v0.8, v0.9	
	-	360A - 006	v11, v12, v13	v13 preferred
	60H	n/a	v12	
	Unilate - 40	n/a	v1.7	
	-	n/a	v2.20, v2.50	
Logical Devices	ALLPRO	n/a	v1.46c, v1.47c	
	PALPRO - ZX	n/a	v4.2, v4.3	
Inlab	Model 28	n/a	5.38	
Stag	ZL30A	n/a	30A21, 30A28, 30-32	
One - D	Sailor - PAL	n/a	v8.50	
Advin Systems	Sailor - PAL	n/a	v8.60	
BP Microsystems	PLD - 1100	n/a	v1.11	
Promac	P3	n/a	3.20	
System General	SGUP-85	UPPAL-15	v24, v25	
	-	UPPAL-17	v2.20	
SMS	Sprint PLUS	n/a	v3.2h	
PLT	Logic Lab	n/a	v2.10	

Figure 6: GAL qualified programmer list

Testing the programmed device under simulated operational conditions is an absolute necessity to avoid later high repair costs on the field.

There are three different tests which can be performed on the programmed device. These are fuse verification, vector testing and pseudorandom testing. The fuse verification is usually performed automatically and simply checks each and every fuse to ensure correct programming was accomplished. In general it is not sufficient to guarantee that device will operate properly.

Better approach is vector testing which use design verification vectors generated by the engineer combined with vectors generated automatically by development software.

Pseudorandom testing is usually a programmer-dependent feature and has been built into some programming equipment.

GALs are certainly gaining higher and higher popularity inside the PLDs market which certainly shows one of the fastest growth on whole semiconductor market. In next part more detailed explanation on technical characteristic and programming approaches of SGS-THOMSON's GALs will be presented.

References:

SGS-THOMSON: Programmable logic manual-GAL products
DATA I/O: Programmable Logic

Zlatko Bele, dipl. ing.
MIKROIKS d.o.o.
Titova 36a
61000 Ljubljana

Prispelo: 05. 05. 1990 Sprejeto: 30. 05. 1990

ELEKTRONIKA U DEVEDESETIM

Miroslav Turina

KLJUČNE RIJEČI: elektronička tehnologija, mikroelektronika, integrisana kola, ASIC, SMT, čipovi, razvoj elektronike, smjerovi razvoja

SAŽETAK: Razvoj elektronike tokom nekoliko narednih godina bit će obilježen svestranom primjenom aplikativno specifičnih integriranih sklopova u domeni obrade signala i u domeni snage, pojavom novih elektroničkih elemenata, tehnologijom površinske montaže i projektiranjem pomoću računala

ELECTRONICS IN NINETIES

KEY WORDS: Electronic Technology, microelectronics, integrated circuits, ASIC, chips, SMT, electronic development, development trend

SUMMARY: The phenomena that will be characterising the development of electronics in the next few years will be the extensive usage of ASICs in the fields of signal processing and power electronics, the emergence of a new generation of electronic components, the surface mounting technology and the computer-aided design.

UVOD

Sada početkom posljednje deкаде ovoga stoljeća pomodno je praviti studije i prognoze o daljnjim zbivanjima u različitim oblastima ljudskoga življenja i djelovanja. Takve prognoze rade se s velikim rizikom, da se kasnije pokaže njihova promašenost. Rizik je naročito velik kod prognoziranja događanja u djelatnostima s brzim promjenama, a elektronika je upravo takva djelatnost. To je oblast ljudskog djelovanja gdje se promjene najbrže odvijaju, što je vidljivo doslovce svagdje i na svakome koraku.

Ono što je prosječno korisniku elektronike nevidljivo, a i upućenijem nedovoljno vidljivo jesu činioци koji omogućavaju tako spektakularna dostignuća. Oni koji su vezani neposredno uz struku znaju da svim tim svud prisutnim elektroničkim napravama prethodi neprekidni intenzivni razvoj elektroničke tehnologije.

Dosadašnje iskustvo gotovo da navodi na pomisao da ne postoje granice razvoja elektronike, jer uvijek do sada, kada bi se pomislilo da je razvoj već dostigao granice mogućeg slijed događanja bi to opovrgnuo. Zbog toga je, ne pomodno, već uzbudljivo, pokušati odgovoriti na pitanje: "Kako će se odvijati događanja slijedećih desetak godina?"

Prebirući po sjećanju o proteklom vremenu i čitajući što pišu ljudi iz drugih, elektronički razvijenih zemalja, pokušao sam u ovome članku dati neke elemente prognoze o budućem razvoju elektroničke tehnologije.

Nekoliko bitnih činilaca će obilježavati taj razvoj:

- * ASICs (Aplikativno specifični integrirani sklopovi)

- * SMT (Tehnologija površinske montaže) u širem smislu
- * CAE (Projektiranje pomoću računala)
- * Elektronički elementi

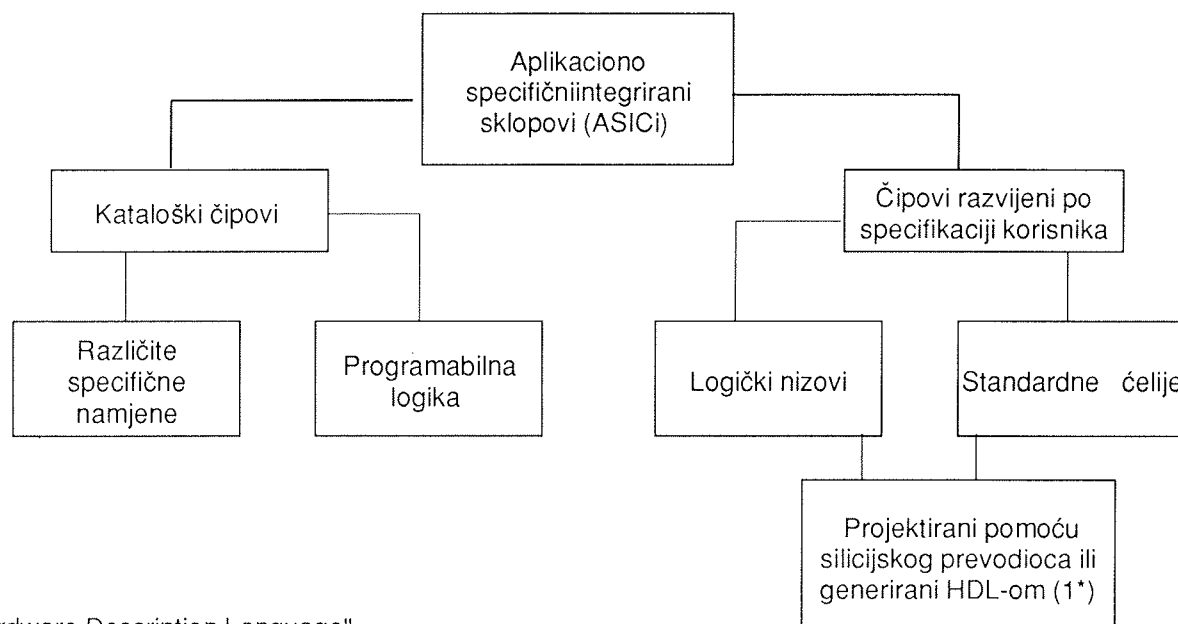
Elektronika je svjetski fenomen. Da li je i elektronička industrija u Jugoslaviji dio toga fenomena?

Da, ali nažalost, fenomen suprotan svjetskome. Dok u svijetu elektronička industrija juri naprijed jugoslavenska se survava u mračne dubine. Ipak, budimo optimisti. Kako svaki ponor ima dno, tako će se, vjerujem ubrzo, zaustaviti daljnji pad jugoslavenske elektroničke industrije, a zatim će početi uspon, odnosno oporavak. Za izlaženje iz ponora treba pronaći put na kojemu će se zaraditi što manje ožiljaka. Iskustvo ostalih, ako ga upoznamo i kritički primijenimo, moglo bi pomoći.

Neka ovaj članak, ukazujući na neke od mogućih i vjerojatnih pravaca razvoja svjetske elektronike, bude mali doprinos nastojanju da elektronika u Jugoslaviji prestane biti prošlost svijeta.

ASIC

Iako bismo ono što se podrazumjeva pod skraćenicom ASIC mogli krstiti ASIS ili UPIS, od "aplikativno specifični integrirani sklop", odnosno "upotrebno posebni integrirani sklop", u tekstu se koristi naziv ASIC, jer je to općepoznata i široko prihvaćena skraćenica. Manje je poznato što se zapravo krije pod tim nazivom. Uobičajena predstava da se radi o monolitnom integriranom sklopu, koji je razvijen za potrebe i prema posebnoj zahtjevu jednog korisnika samo djelomično je točna. Danas postoji mnoštvo kataloških sklopova koje koristi



* "Hardware Description Language"

Slika 1

širok krug korisnika, ali su namijenjeni jednoj određenoj primjeni i, u principu, nisu primjenjivi za nešto drugo. To su također ASICi. Sklopovi u bilo kojoj od ove dvije grupe mogu se realizirati različitim tehnikama (slika 1).

Monolitni integrirani sklopovi razvijeni po posebnom zahtjevu korisnika počeli su se primjenjivati u sedamdesetim godinama. Tada je svaka od tih promjena bila mali kuriozitet, jer je predstavljala skupu alternativu standardnom načinu projektiranja digitalnih sistema. U netom protekloj, osamdesetoj, dekadi ASIC je postao uobičajena pojava u digitalnim i kombiniranim analognu digitalnim sistemima.

U devedesetim godinama primjena ASICa proširiti će se još i više. Zapravo će ASIC koncept postati prevladavajući u razvoju digitalnih i kombiniranih analognu digitalnih sistema. Međutim cjelokupni postupak projektiranja sistema i ASICa će biti različit od onoga danas uobičajenog. Alati, tehnike i općenite okolnosti projektiranja promijeniti će se. Može se očekivati da će se prema kraju dekade relativno smanjiti broj inženjera projektiranih integriranih sklopova. Većina inženjera će raditi kao sistem inženjeri, a mnogo poslova u projektiranju sklopova biti će automatizirano.

Snaga računala, brzina obrade podataka i kapaciteti memorija, neprekidno rastu i to će omogućiti promjenu i ubrzanje projektiranja sklopova. Razvoj inteligentnog softvera dovesti će do automatizacije mnogih poslova koje danas mora raditi inženjer projektant, što znači da će se inženjerska produktivnost višestruko povećati. Svoj doprinos ubrzanju projektiranja sklopova dati će i razvoj svjetske telekomunikacijske mreže, koja će omogućavati jednostavnu dostupnost do svjetskih baza podataka i jednostavnu razmjenu informacija, odnosno omogućiti će ekipni rad na nekom projektu, a da članovi ekipe budu razmješteni diljem planete.

Da li će to biti baš tako?

Već sada su komercijalno raspoloživi softverski paketi u kojima je sadržano više znanja i podataka, nego li ih je ikada imao bilo koji pojedinac. Na raspoloženju je i hardver primjeren takvome softveru. Nedavno je razvoj jednoga običnog integriranog sklopa oduzimao 10 do 12 čovjek godina rada. Danas se kompliciraniji sklopovi projektiraju za manje od desetinu toga vremena.

Što će tek biti kroz nekoliko godina?

Uz sav optimizam i entuzijazam teško je decidirano odgovoriti. Postoje neki još neriješeni problemi, koji kvare idiličnu sliku o lakom projektiranju vrlo složenih ASICa. To su na primjer verifikacija ASICa i ostvarenje zamišljene funkcionalnosti i nepostojanje industrijskih standarda za alate za projektiranje.

Normalno i uobičajeno funkcionalnost ASICa, u fazi projektiranja, utvrđuje se simulacijom, ali su postojeći softveri još daleko od toga da stvarno simuliraju hardver. Posljedica je da veliki postotak, do 50%, fizički realiziranih ASICa, u prvoj verziji, funkcionalno ne zadovoljava.

Ponekad je rješenje, naročito ako se radi o projektiranju ne previše kompliciranog ASICa, izrada fizičkog modela od gotovih elemenata, ćelija i funkcionalnih blokova. Za kompliciranije projekte, a takvih je danas sve više izrada fizičkog modela je skupa, dugo traje i povrh svega teško je postići potpunu ekvivalentnost rada modela složenog od mnoštva elemenata na protobordu i sklopa na jednome čipu.

Simulacija je, za sada, ipak bolja, ali treba raditi toliko mnogo simulacija koliko ima vremena na raspolaganju, a ne zadovoljiti se samo s jednom simulacijom.

Druga velika poteškoća s kojom se susreću projektanti u radu je nedostatak standarda za softverske pakete. Postoji mnoštvo dobrih programskih paketa, koji ne mogu međusobno komunicirati.

Izrada alata koji će omogućiti da se pojednostavi i ubrza proces projektiranja, a time poveća produktivnost inženjera projektanata, glavni je cilj koji treba ostvariti u dolazećem razdoblju.

Neka rješenja se već nude na tržištu.

Ponudena je, na primjer, RPM (Rapid Prototype Machine) pomoću koje se može kreirati model ASICa za nekoliko sati rada umjesto dana i tjedana koliko to traje ako se model radi na protobordu.

Logička sinteza koristi kao ulaz jezike visokog stupnja, a izlaz je na razini osnovnih logičkih ćelija pogodnih za slaganje nizova. Ovom tehnologijom će se vjerojatno povećati brzina projektiranja.

Projektiranje će biti olakšano sve širom standardizacijom alata za projektiranje. Za razliku od ne tako davnog vremena kada su isporučioi hardvera nudili ekskluzivni softver neupotrebljiv na radnim stanicama drugih proizvođača danas je ideja o standardiziranim programskim paketima uzela širokog maha. Među projektantima ASICa poznati su na primjer "The Electronic Data Interchange Format (EDIF)", kao standard za unos ili ispis podataka o projektu, "The VHSIC Hardware Description Language (VHDL)", koji je postao standard za funkcionalni opis i "The Open Systems Interconnection (OSI)" standard za međusobnu komunikaciju u mrežama.

Kamo će nas sve to dovesti?

Američki autori koji su u središtu događanja predskazuju da će od milion tranzistora po čipu, što će biti ostvareno ove godine, već 1994. biti dostignuto 30 miliona tranzistora po čipu, odnosno 5 miliona upotrebljivih logičkih ćelija na frekvenciji od 100 MHz. Čipovi ovakve gustoće trebali bi omogućiti izradu stolnih superkompjuter (100 MIPS-a 1994.god. i 1000 MIPS-a 1999.god.). Biti će razvijeni "inteligentni softveri" za projektiranje. Komunikacija čovjek-stroj voditi će se na ljudskom jeziku. I dalje će postojati težnja za postizanjem sve veće gustoće i sve većeg broja elemenata na čipu. Materijali, kao što su silicij ili galij arsenid, postati će zapreka za ostvarenje tih težnji i krajem stoljeća možemo očekivati prve uzorke biočipova koji će funkcionirati na molekularnoj razini i proteinskoj logici.

Krajem stoljeća termin ASIC izgubiti će smisao, jer će svaki sistem biti aplikativno specifičan i konstruiran za posebnu namjenu.

TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE MONTAŽE (SMT)

Veliki, kompleksni čipovi, bilo da su standardni tipovi bilo da su ASICi izazvali su promjene u tehnologiji izrade elektroničkih modula i uređaja. Uobičajeni način montaže integriranih sklopova na štampane pločice s metaliziranim rupama više nije zadovoljavajući. Jedno moguće rješenje je tehnologija površinske montaže.

Nastala kao ostvarenje težnje za minijaturizacijom elektroničkih sklopova za posebne namjene; ručne satove, džepne kalkulatora i fotokamere, tehnologija površinske montaže se danas proširila na svu elektroniku široke potrošnje, a zauzela je i čvrst položaj u industrijskoj i profesionalnoj elektronici. Pokazalo se da je upravo SMT ona karika koja je povezala klasičnu montažu elektroničkih sklopova s postupcima karakterističnim za područje zvano mikroelektronika. Kako vrijeme teče, nekada oštre granice između pojedinih grana elektroničke tehnologije postaju sve blaže ili sasvim nestaju. Pojedine grane međusobno se stapaju u jedinstvenu **tehnologiju projektiranja i izrade elektroničkih sistema.**

Tri elementa karakteriziraju SMT. To su: gustoća elemenata na pločici, mogućnost automatizacije proizvodnih postupaka i povoljna cijena. U proizvodnji elektronike za široku potrošnju spomenuti elementi došli su do punog izražaja. Gustoća pakovanja omogućila je uštedu na površini štampanih pločica što je već samo po sebi povoljno utjecalo na cijenu. Doda li se tome visok stupanj automatizacije u proizvodnji dobiva se još povoljniji utjecaj na cijenu. Zbog toga je SMT u širokoj potrošnji dominantna tehnologija.

SMT kakvu nalazimo u proizvodnji elektronike široke potrošnje možemo primjeniti i u industrijskoj i profesionalnoj elektronici, ali uz izvjesna ograničenja.

Iako je gustoća pakovanja komponenata jedna od osnovnih prednosti SMT, upravo ona postaje ograničavajući faktor za primjenu SMT u suvremenoj elektronici. Veliki mikroprocesori, a pogotovo veliki ASICi imaju mnogo priključaka. Problem s velikim brojem priključaka je višeznačan. Jedanput je to problem kako čip priključiti na kućište, a drugi puta je problem kako kućište spojiti s štampanom pločicom.

U klasičnoj montaži elemenata na štampane pločice s vodljivim rupama koriste se "pin-grid arrays" (PGA), s kojima se postiže maksimalni broj priključaka na datoj površini kućišta. Bez obzira na to što se tako može ostvariti do 150 priključaka sistem nije perspektivan, jer se već projektiraju ASICi s više stotina priključaka. Za potrebe tehnologije površinske montaže PGA su zamijenjeni s PQFP ⁽¹⁾ kućištima kod kojih je razmak od simetrale jednoga priključka do simetrale drugoga priključka 1.27 mm. PQFP kućišta imaju također ogra-

(1) *Plastic quad flat pack*

ničenu primjenu, jer broj priključaka ne premašuje 84, zadovoljava samo za brzine rada do 50 MHz i disipira samo do 1.2 W. Do sada se najveći broj priključaka mogao ostvariti s TAB⁽²⁾ kućištima. Predpostavlja se da će u budućnosti biti komercijalno raspoloživi TAB-ovi s 300 priključaka, a laboratorijski i do 1000 priključaka.

Toliki broj priključaka, kao što omogućuje TAB izaziva druge probleme. Kod TAB-a s 400 priključaka korak priključka je manji od 0.4 mm, a uobičajeni način lemljenja pretaljivanjem nepouzdan je za korak manji od 0.5 mm. Rad s korakom priključaka manjim od 0.5 mm zahtjeva primjenu drugih tehnologija pričvršćivanja na štampanu pločicu umjesto mekog lemljenja. Osim niza tehničkih poteškoća, koje takvi postupci donose oni izazivaju i velike troškove uvođenja. Prema američkim procjenama, proizvođači koji koriste velike ASICe u TABu, prelaz s klasične tehnologije s vodljivim rupama na SMT košta više od 3 miliona \$.

Metode i postupci montaže komponenata postali su zapreka primjeni ASICa viših performansi. Klasičnim tehnikama nemoguće je proizvesti štampane ploče s onoliko finim rasterima koliko bi to trebalo za velike TABove. Tako fini rasteri približavaju se dimenzijama uobičajenim u tehnologiji silicija, pa nije trebalo dugo da se rodi ideja o upotrebi silicija kao supstrata na koji se montiraju veliki ASIC čipovi. Rodili su se MCM⁽³⁾ na siliciju. Takvi supstrati su po performansama daleko ispred svih do sada korištenih. Oni omogućuju vrlo veliku gustoću pakovanja. Nema problema s brojem priključaka na čipu. Svaki čip koji je moguće proizvesti, bez obzira na broj priključaka na njemu, može se montirati na silicijsku pločicu. Obzirom na to da se veliki broj funkcija nekog sistema obavlja između čipova na pločici vanjski broj priključaka ne mora biti velik i kontaktiranje pločice s ostalim dijelovima uređaja može se obaviti pomoću standardnih konektora. Za očekivati je da će se u budućnosti standardizirati veličine silicijskih supstrata na na primjer 5X7 cm. Na takvu silicijsku pločicu čipovi će se stavljati "Flip-tab" tehnikom. Pločica će se pakovati u neko kućište, koje se zatim može klasičnom tehnologijom montirati na štampanu pločicu.

MCM na silicijskim pločicama neće predstavljati kraj razvoja tehnike pakovanja u elektronici. Već su na pomolu trodimenzionalni moduli kod kojih će se moduli na silicijskim pločicama veličine 5X5 cm montirati vertikalno na nosivu pločicu, također od silicija, što će omogućiti za red veličine gušće pakovanje od dvodimenzionalnih modula. Još postoji veliki broj tehničkih problema koje treba riješiti prije nego spomenute tehnike pakovanja uđu u široku primjenu, ali je jasno da će buduće proiz-

vodnje elektroničkih modula izgledati sasvim drugačije od današnjih. Kao zanimljivost, ali i kao važan podatak, može se spomenuti da se za proizvodnju modula na silicijskim supstratima mogu uspješno koristiti zastarjeli proizvodni pogoni za proizvodnju poluvodičkih elemenata.

Danas, kada neki proizvođači elektroničkih uređaja još razmišljaju da li primijeniti SMT s diskretnim čip elementima, prikazani pravci razvoja tehnologije površinske montaže mogu ličiti na naučnu fantastiku.

ELEKTRONIČKI ELEMENTI

Promjene koje se događaju u tehnologiji izrade elektroničkih uređaja jednim su dijelom omogućene pojavom novih elektroničkih elemenata, dok su drugim dijelom upravo te promjene izazvale potrebu razvoja novih elektroničkih elemenata. Svakako najvidljiviji trend, širom svijeta, biti će, već započeti prelaz od klasičnih elemenata⁽⁴⁾ na SMD⁽⁵⁾. Moglo bi se navesti nekoliko tehničko tehnoloških razloga za napuštanje klasičnih elemenata, ali glavni razlog ipak je financijski. Korisnici elemenata žele uštediti, odnosno više zaraditi. Cijene SMD još nisu niže od cijena klasičnih elemenata, ali je opravdano očekivati da će postati niže. Međutim već se i sada postižu niže cijene sklopova s SMD nego s klasičnim elementima. SMD su manji, pa zahtijevaju manju površinu štampanih pločica. Rukovanje, transportni troškovi, skladišni prostor, sve to je pogodnije s SMD.

Kao u mnogo čemu Japan prednjači u upotrebi SMD. U ovome času više od 50% od ukupno utrošenih pasivnih elemenata u Japanu su SMD. U SAD i Evropi postoci su mnogo niži, ali prognoze ukazuju na to da će industrija SAD dostići 50% za pet godina, a Evropa nešto kasnije.

Trend je takav, da proizvođači sklopova i uređaja koji još ne koriste TPM⁽⁶⁾ i SMD moraju to početi čim prije. Neki mali proizvođači elektroničkih sklopova, pa čak i srednji teško prelaze na TPM. Za prelaz s klasične tehnologije na TPM potrebna su neka nova znanja i ne sasvim malena investicijska sredstva. Moguće rješenje za ovakve slučajeve je kooperacija s radionicama specijaliziranim za izradu sklopova u TPM.

S pasivnim elementima, osim promjene oblika t.j. prelaza od klasičnih elemenata na SMD, događaju se i druge suštinske promjene počevši nedovoljno zapažene i zasjenjene brzim promjenama koje se zbivaju među monolitnim integriranim sklopovima. Otpornik, uz kondenzator

(2) *Tape-automated bonding*

(3) *Multi-Chip Moduls*

(4) *Pod nazivom klasični element u članku se podrazumjeva elektronički element s žičanim, okruglim ili plosnatim izvodima koji strše van rijela elementa.*

(5) *SMD označava takav elektronički element kod kojega se priključci (izvodi) leme na štampanu pločicu na istoj strani gdje se nalazi tijelo elementa.*

(6) *TPM označava tehnologiju površinske montaže*

i indukcioni svitak najstariji elektronički elemenat, kao da je ispaao iz interesnog područja projektanata sklopova i sistema. Ta zaboga, što bi razmišljalo o otporniku?

Ipak ima zašto.

Ne baveći se svakodnevno nekom tehničkom oblašću skloni smo na nju gledati onako kako smo učili u školi. To posebno važi za otpornike, koji izgledaju tako jednostavno da se ne vidi što bi kod njih još bilo moguće mijenjati. Nije tako, jer prisjetimo se samo ne tako davnog vremena kada se otpornik s tolerancijom od 2% smatrao jako preciznim, a 5% je bila vrlo prihvatljiva tolerancija. Razvoj je omogućio da će ubuduće kod film otpornika tolerancija 1% biti standard. Suvremena tehnologija omogućuje izradu kvalitetnijih otpornika po nižim cijenama.

Drugi primjer; otpornici malo većih snaga. Precizan otpornik za snage iznad 2 W bio je ranije skupi žicom motani. Danas se proizvode jeftiniji slojni otpornici velike stabilnosti malih tolerancija, za snage do 10 W, a može se očekivati, da će snage ići i naviše.

Valja očekivati da će se dimenzije otpornika i dalje smanjivati. Recimo pojaviti će se otpornici od 1/4 W s dimenzijom sada karakterističnom za 1/8 W. Čip otpornici za SMT također će se još smanjivati do dimenzija pri kojima će javiti poteškoće manipuliranja takvim otpornicima. Ova će poteškoća biti ublažena sve širom primjenom otporničkih mreža. To nas dovodi do jedne sasvim nove pojave, do ASR ⁽⁷⁾.

Ne samo da će se otporničke mreže izrađivati prema posebnoj narudžbi, nego će se tako naručivati i pojedinačni otpornici. Već danas je moguće izrađivati otpornike s željenim koeficijentom temperaturne promjene otpora, da bi se na primjer u nekoj RC kombinaciji kompenzirao koeficijent temperaturne promjene kapaciteta. Postoji mogućnost izrade RC kombinacija od jednog elementa, gdje otpornik igra ulogu jedne elektrode kondenzatora. Za nadati se je da će firme proizvođači otpornika ovakve i slične mogućnosti reklamirati više nego do sada, jer su projektanti sklopova nedovoljno upoznati s mogućnostima koje pruža savremena tehnologija.

Još veće promjene očekuju nas kod drugih pasivnih elemenata.

Ne tako davno, svaki inženjer s malo većim radnim stažom sjeća se vremena kada je, kod aluminijumskih elektrolitskih kondenzatora standardna tolerancija bila -20%/+50%. Danas se normalno proizvode tantalovi elektroliti s tolerancijom +/-5%, a na poseban zahtjev i s tolerancijom +/-2%. Uskoro se mogu očekivati i uže tolerancije. Elektrolitički kondenzatori moći će se upotrebljavati u vremenskim članovima i u oblikovanju impulsa, a ne samo u filtriranju napona napajanja. Više

kapaciteta, odnosno više elektriciteta ($C \times V$), u manje prostora druga je važna osobina tantalovih elektrolitskih kondenzatora. Mogućnost rada elektrolitskih kondenzatora na frekvencijama do 1 MHz i u proširenom temperaturnom opsegu otvara nova područja njihove primjene. Zaokružimo sliku spominjući stabilnost i nižu cijenu u odnosu na produkt $C \times V$ i dobiti ćemo nešto sasvim drugo od nekada uobičajene predstave o elektrolitskom kondenzatoru.

Noviteta ima i kod keramičkih čip kondenzatora. Na tržištu već postoje monolitni čip kondenzatori kod kojih je moguće podešavati kapacitet.

ELEMENTI SNAGE

Osnovno obilježje u području elemenata snage bit će integracija elemenata za pobudu i upravljanje i elementa snage na jednome čipu ili u jednome kućištu. Ovo će potaknuti široku primjenu ASICa u području snage, što bi trebalo biti druga karakteristika elemenata snage devedesetih godina. Treća karakteristika, koja se, istina, više odnosi na sisteme nego na elemente, ali se odnosi i na elemente, ako snažni ASIC smatramo elementom, jeste digitalno upravljanje, koje će odnijeti prevagu nad ranije češćim analognim upravljanjem. U usko tehnološkom pogledu može se očekivati još šira primjena MOS-FET tranzistora i tranzistora napravljenih kombinacijom bipolarnih i unipolarnih dijelova.

Spomenuta obilježja bilo bi teško analizirati odvojeno jedno od drugoga, jer je njihova međusobna isprepletenost višestruka. Ne treba smesti s uma utjecaj ostalih tehničkih područja, kao što su mikroelektronika i teorija digitalnog upravljanja na razvoj novih elemenata energetske elektronike. Napredak u razvoju i proizvodnji mikrokontrolera omogućio je razvoj kompaktnih i relativno jeftinih sistema digitalnog upravljanja, jednostavnijih i jeftinijih od sistema analognog upravljanja. Međutim prednosti koje nudi digitalno upravljanje mogle su doći do pravoga izražaja tek pojavom "Smart-power" komponenata, koje u suštini predstavljaju energetske komponente, električki ventil, upravljane logičkim signalima. Smart-power sadrži sva bitna obilježja suvremenog elementa snage. To je integrirani sklop kod kojega su na jednome čipu, ili u jednome kućištu, ako se radi o hibridnome integriranom sklopu, objedinjeni upravljački i izvršni elementi. Upravljanje je u principu digitalno, a izvršni elemenat je najčešće kombinirani unipolarno bipolarni tranzistor ili čisti MOS-FET tranzistor.

Digitalno upravljanje snažnim elementom je dvostruko efikasnije od analognog. Ono također omogućuje smanjenje veličine i težine cijeloga uređaja, što je povoljno s gledišta cijene. Mnoštvo je primjera koji ukazuju na prednosti primjene digitalnog upravljanja. Ne radi se samo o elektromotornim pogonima gdje je ta prednost

(7) ASR je skraćenica za aplikativno specifični otpornik

Iako uočiva, nego i o nekim jednostavnijim sistemima, kao što su recimo izvori za napajanje ili sistemi za pobudu relea i drugih svitaka. Klasični izvori napajanja, za elektroničke uređaje, koji se sastoje od transformatora ispravljača i linearnog regulatora uspješno se zamjenjuju impulsnim, digitalno upravljanim, regulatorima, koji se mogu uključiti direktno na mrežu bez posredstva transformatora. U različitim oblastima elektronike, a naročito u industrijskoj elektronici, još uvijek se koristi mnoštvo relea. Digitalnim upravljanjem pobudom relea, tako da se aktiviranje relea obavlja jednom strujom, a pridržavanje drugom, slabijom, mogu se ostvariti znatne uštede električne energije.

Iako su smart-power elementi danas realnost njihov razvoj još nije završen. Neki tehnički problemi još nisu optimalno riješeni. Nije jednostavno u proizvodnji jednog istoga čipa primjenjivati različite tehnologije; za diskretne elemente i za integrirane sklopove, za unipolarne i bipolarne elemente. Dodatni problem je napajanje. Upravljački dijelovi čipa napajaju se niskim naponom, a izvršni elementi visokim. Korisniku elementa bilo bi ugodno da se elemenat napaja samo jednim naponom, a i to je moguće. U Americi gdje je niskonaponska mreža 120 V pojavili su se visokonaponski smart-power integrirani sklopovi koji se napajaju direktno iz mreže. Visokonaponski integrirani sklopovi mogli bi napraviti veliki prodor u područje današnje elektromehanike i omogućiti primjenu elektronike u novim područjima.

Premda smart-power sklopovi sami po sebi već predstavljaju ASiCe, jer im je primjena jako usmjerena, u nadolazećem razdoblju sve više će se razvijati i koristiti pravi ASiCi namijenjeni jednome korisniku i jednoj primjeni.

UMJESTO ZAKLJUČKA

U članku su spomenuti samo neki mogući pravci i trendovi kretanja razvoja elektronike u svijetu. Prikaz je

napravljen prvenstveno s gledišta elektroničke tehnologije. O mogućim pravcima razvoja elektronike moglo bi se pisati, i to bi bilo vrlo zanimljivo, i s gledišta primjene. Međutim odabrani pristup izlaganju nije slučajan, jer mislim i vjerujem, da nije perspektivna i da neće duže opstati ni mala ni velika elektronička proizvodnja, koja će zanemarivati tehnologiju. Historija razvoja elektroničke proizvodnje u našoj zemlji i u svim ostalim zemljama to potvrđuje.

LITERATURA:

1. Dave Bursky: Digital ICs in the 1990: Wast On-Chip Resources, Electronic Design January 11, 1990.
2. Alan Heckman: Designing ASiCs: Be Prepared For Changes, Electronic Design January 11, 1990.
3. Milton L. Buschbom: ASiC Design Decisions Demand Broader Perspective, Electronic Design January 11, 1990.
4. Reed Bowlby: IC Packaging Must Undergo a Facelift to Meet User Needs, Electronic Design January 11, 1990.
5. Tom McKelvy: Resistors Can Offer Creative Solutions to Design Problems, Electronic Design January 11, 1990.
6. Jim Stichweh: ASiC And FET Innovations Will Dominate Power-Device Technology, Electronic Design January 11, 1990.
7. Art Fury: Digital Technology Will Govern Power Control In The 1990s, Electronic Design January 11, 1990.
8. Ed Souza: Surface Mounting Will Sweep Leaded Components From Market, Electronic Design January 11, 1990.
9. Donald J. MacIntyre Jr, George E. Danz: GESmart(TM) Module Simplifies Motor Drive Design, General Electric Company

Miroslav Turina, dipl. ing.
"Rade Končar" - Elektrotehnički institut
Baštijanova bb
41000 Zagreb

Prispelo: 15. 05. 1990 Sprejeto: 30. 05. 1990

KONFERENCE - POSVETOVANJA - SEMINARJI

MIEL - 90

18. JUGOSLOVANSKO POSVETOVANJE O MIKROELEKTRONIKI

Darja Uvodič

18. jugoslovansko posvetovanje o mikroelektroniki se je odvijalo v prostorih Iskre na Trgu revolucije v Ljubljani v obdobju od 14. do 16. maja 1990 pod pokroviteljstvom naslednjih organizacij:

- * Iskra Holding d.d., Ljubljana
- * Iskra, Tovarna polprevodnikov, Trbovlje
- * Iskra, HIPOT, Šentjernej
- * Iskra, Center za elektrooptiko, Ljubljana
- * Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana
- * Elektronski fakultet, Niš
- * JAT, Jugoslovanski Aerotransport

Hkrati je to bila 25. obletnica konference MIEL v naši deželi, ki predstavlja forum za predstavitev najnovejših dosežkov na področju mikroelektronike, polprevodniške in hibridne tehnike pri nas in v svetu.

Organizator je bil MIDE M - strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale.

Na konferenci je sodelovalo 81 strokovnjakov, od tega 28 iz inozemstva s 77 prispevki. Prispevki so bili razdeljeni v naslednje skupine:

- * aplikacije
- * modeliranje elementov in tehnologij
- * fizika trde snovi
- * hibridne in monolitne tehnologije ter
- * preskušanje integriranih vezij.

V teku tridnevnega posvetovanja sta potekali po dve vzporedni sekciji. Programski odbor se ni odločil za poster sekcije kot lansko leto.

Posebna izdaja Microelectronics Journala (založniška družba Elsevier) bo, podobno kot lansko leto, predstavila objavljena predavanja na tem posvetovanju, ki so jih podali eminentni strokovnjaki iz zgoraj navedenih področij. Naj jih na kratko predstavimo:

James D. Plummer, Stanford University, USA, je v svojem prispevku: "Process Modeling" predstavil dognanja raziskav na področju računalniških orodij za simulacijo integriranih vezij in procesa njihove izdelave. Predstavil

je programe PISCES, MINIMOS in SUPREM, ki so se že precej uveljavili, hkrati pa opozoril na še vedno prisotni precejšnji razkorak med teorijo in prakso, oz. instituti in proizvodnjo.

B. Markusiak in A. Jakubowski, Institute of Microelectronics and Optoelectronics, Technical University of Warsaw, Poljska, sta v svojem predavanju: "Very Thin Oxides in VLSI Technology: Properties and Devices Implications" obravnavala razvoj tankih plasti v tehnologiji MOS/VLSI in njihove prednosti pred debelejšimi plastmi v pogledu performance in zanesljivosti MOS vezij.

J. Trontelj in L. Trontelj s Fakultete za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana, sta s svojim prispevkom: "Analog and Digital ASIC Design" prikazala sedanji in bodoči razvoj mešane analogne in digitalne tehnologije izdelave ASIC vezij. Opisala sta problematiko metodologije načrtovanja v povezavi s programskimi orodji.

Andrzej J. Strojwas, Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, je v svojem predavanju "Design for Manufacturability and Yield" obdelal temo, ki je v praksi zelo pomembna. Gre namreč za pristop k načrtovanju VLSI vezij, pri katerem je glavni cilj proizvodnja čipov z visokim izplenom.

K. F. Galloway in R. D. Schrimpt, Electrical and Computer Engineering Department, University of Arizona, USA, sta v predavanju z naslovom: "MOS Devices Degradation Due to Total-dose Ionizing Radiation in the Natural pace Environment: A Review" podala pregled degradacijskih procesov na MOS vezijah, ki nastanejo zaradi radiacijskih vplivov naravnega okolja in, ki lahko zelo spremenijo lastnosti teh izdelkov.

Marko Horvat in Jože Gašperič z Inštituta Jožef Stefan, Univerza E. Kardelja v Ljubljani sta podala prispevek z naslovom "Thin and Thick Superconducting Films Based on the Y-Ba-Cu-O and Bi-Sr-Ca-Cu-O Systems". V njem sta opisala nanos tankih in debelih plasti omenjenih superprevodnih keramik na različne substrate, medsebojni vpliv substratov in plasti in karakterizacije teh plasti z Ramansko spektroskopijo.

Medtem, ko je lanske letošnja konferenca v Nišu predstavljala precejšen kvaliteten premik konferenc MIEL v smeri internacionalizacije in približevanju svetovni strokovni javnosti, moramo na žalost ugotoviti, da je bila letošnja,

kjub velikim naporom organizatorjev in precej dobre volje s strani udeležencev, dejanski korak v nazaj. Seveda, pri sedanjem položaju stroke in posebno tega področja, v naši gospodarski, predvsem pa politični situaciji v Jugoslaviji, to tudi ni presenetljivo.

Ena izmed kritičnih zaključnih ugotovitev tega posvetovanja je tudi bila, da se stanje in nivo strokovnih in znanstvenih dosežkov in prispevkov vse bolj približuje sistemu, ki ga kaže nerazviti vzhod, kar pomeni, da se vse bolj pogrezamo v temo realnega socializma in njenih pogojev dela in gospodarjenja.

Zelo važno je dejstvo, da smo letošnjo konferenco uspeli izpeljati, kljub komaj zdržnim pogojem. Treba je namreč opozoriti vso našo ožjo in širšo javnost na katastrofalne

posledice, ki nas čakajo, če bomo še dolgo šli naprej v smeri razvoja zadnjih let, posebno najnovejše preteklosti. Narod, ki načrtno opusti vse naprednejše tehnologije, vključno visoke tehnologije, se zavestno spusti na nivo odvisnosti od razvitih, t.j. na nivo podrejenih. Ali bomo v bodoče gojili samo še drobno gospodarstvo, obrtništvo, turizem in industrije tipa elektromehanike ali kemijsko predelovanje s katastrofalnimi posledicami za okolje? Naj opozorimo na dejstvo, da imamo pri nas zakladnice znanja, posebno tehničnega, ki ga je treba izkoristiti, da bi vsi bolje živeli.

*Darja Uvodič, dipl.ing.
MIDEM
Titova 50
61000 Ljubljana*

MIPRO '90 u Opatiji NEMA UNIVERZALNOG RECEPTA ZA EVROPU Mikroelektronika u Jugoslaviji propada dok je u svijetu ona visokoprofitabilna

Mirko Vujatović

U Opatiji je od 20. do 25. maja održan 13. jugoslavenski stručno-znanstveni skup s međunarodnim učešćem MIPRO '90, koji je svoju glavnu temu na početku za sva četiri savjetovanja posvetio "Novoj tehnološkoj politici u jugoslavenskoj reformi i Evropi - 1992." Govoreći o toj temi, koja je bila i podloga diskusiji za okruglim stolom, prof. dr. **Vladimir Paar** iz Zagreba upozorio je da za ulazak u zajedničko evropsko tržište nema općih i trajnih recepta za sve prilike i sva vremena naprosto zato što je razvoj i višeznačan i dinamičan. Moramo se osloboditi kompleksa zemlje u razvoju i prihvatiti u svim djelatnostima i aktivnostima evropske, što znači i svjetske kriterije ocjenjivanja uspešnosti uz promjenu kompletnog dosadašnjeg načina mišljenja i prakse. Moramo se odreći mišljenja da možemo živjeti u nekoj posebnoj "kockici" i formirati neka posebna pravila igre, a ne možemo ih ni Evropi diktirati, već to moramo od nje prihvatiti.

Sva ograničenja inicijativa i kreativnosti treba ukinuti, a regulirati standarde, atestiranja i druga mjerila kvalitete proizvoda u skladu sa Evropom. Kod nas je još uvijek uglavnom obrnuto, naglasio je prof. Paar sugerirajući da ne izmišljamo ono što već postoji, da, na primjer, ne pravimo reforme školstva kad valja samo preslikati školstvo Evrope i samo ga malo prilagoditi vlastitim prilikama. Da bismo se bolje pripremili i da bismo bolje upoznali Evropu poručio je "čitajmo i javno popularizirajmo" "Bijelu knjigu EZ" (a to je kodeks ekonomskog ponašanja u EZ), omogućimo da poruke "Bijele knjige" dodju do svakog poduzeća, privatnog poduzetnika i do svakog našeg radnika. Paar se zapravo zauzeo za što brže osposobljavanje svih subjekata za što izravnije (uz

pomoć informatike i učenjem stranih jezika dakako) komuniciranje sa partnerima u Evropi uz što manje paradržavnih i ostalih posrednika.

Sudjelujući u raspravi za okruglim stolom dr. **Rudi Ročak** je rekao da su se ostvarile njegove prognoze izrečene ovdje na MIPRO-u prije dvije-tri godine da će autarkičnost sveukupnog razvoja u Jugoslaviji pa tako i mikroelektronike u njoj dovesti do propasti mikroelektronike i visokih tehnologija zasnovanih na njoj. Da se radilo o razvojnem apsurdu i bezumlju Ročak je rekao da dok kod nas mikroelektronika propada ona je u svijetu visokoprofitabilna. Za ilustraciju naveo je podatak da se u svijetu godišnje proda samo poluvodiča u vrijednosti od 73 milijarde dolara. Fleksibilnost razvojne politike i politike prestrukturiranja ilustrirao je primjerom austrijske tvrtke Voest-Alpina koja veliki novac ulaže u razvoj proizvodnje silicija.

Inače, ovogodišnji MIPRO unio je u svoju programsku lepezu još dva i imao je ukupno pet seminara jačajući tako jednu od svojih temeljnih zadaća - permanentno obrazovanje. Naime, organizirani su ovi seminari: Gradnja i programiranje 8-bitovnog mikroračunala; Aplikacijski specifični integrirani sklopovi - ASIC; Primjena mikroračunala u vodenju tehničkih sistema; Primjena neuralnih i paralelnih računala i Mikroračunala u elektroprivredi.

MIPRO '90 imao je i ove godine tri svoja savjetovanja: o novim generacijama računala, o mikroračunalima u sistemima procesnog upravljanja, o mikroračunalima u telekomunikacijama, ali i četvrto savjetovanje za stručno-poslovodne kadrove iz elektroprivrede. Dakle, za elektroprivredu Jugoslavije na MIPRO '90 organizirani

su i seminar i savjetovanje pa su učesnici iz ove privredne grane bili najbrojniji na MIPRO '90. Kad je o učesnicima riječ valja reći da ih je bilo blizu 650, ali i još stotinjak studenata i srednješkolaca odgovarajućih usmjerenja iz Rijeke kojima je pružena prilika da upoznaju svijet mikroelektronike.

Za vrijeme MIPRO '90 u Opatiji su se sastajali predsjednici poslovnih odbora svih republičkih i pokrajinskih elektroprivreda, te JUGEL-a kao i članovi Koordinacijskog odbora koji su se dogovarali strategiju tehničko-tehnološke integracije elektroenergetskog sistema u Jugoslaviji.

Osim seminara, savjetovanja, okruglog stola na MIPRO '90 bila je organizirana i skromna izložba mikroelektronike i elektronike na kojoj se prvi put u znatnoj mjeri

pojavljuju privatni poduzetnici (privatne tvrtke), kojih će u buduću biti sve više i što daje novi predznak razvoju mikroelektronike i elektronike.

Na MIPRO '90 bile su organizirane i stručno-komercijalne prezentacije pa se tako učesnicima ovog stručno-znanstvenog skupa, dakle probranoj publici, predstavila i jedna od vodećih svjetskih tvrtki - Honeywell.

I na kraju, organizatori MIPRO '90 publicirali su u osam zbornika sve radove prezentirane na seminarima, savjetovanjima i u plenarnom radu.

*Mirko Vujatović
Dr. Zdravka Kučića 41
51000 Rijeka*

XI. JUGOSLOVANSKI VAKUUMSKI KONGRES

Monika Jenko

XI. jugoslovanski vakumski Kongres je potekao od 17. do 20. aprila v prostorih hotela Špik v Gozd Martuljku v jubilejnom letu 1990, ko jugoslovanski vakuumisti praznujemo 30. letnico delovanja Zveze društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije - JUVAK.

Organizacijo kongresa je na 10. skupščini Zveze društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije, julija 1986 v Beogradu prevzelo Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije. Soorganizatorja sta bila Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko Ljubljana in SŽ-Metalurški inštitut iz Ljubljane.

XI. jugoslovanskega vakuumškega kongresa se je udeležilo 130 vakuumistov, od tega je bilo 82 aktivnih udeležencev. Kongres so pozdravili in zaželeli vsem udeležencem uspešno delo predstavniki organizatorjev, soorganizatorjev in slovenske vlade.

V znanstvenem delu kongresa so bila obravnavana naslednja področja:

- * vakuumski elementi, sistemi, proizvodnja in merjenje vakuumu,
- * vakuumške tanke plasti,
- * površine trdnih snovi in preiskovalne metode,
- * vakuumška metalurgija,
- * materiali za elektroniko.

Uvodna predavanja k posameznim področjem so imeli ugledni znanstveniki iz Velike Britanije, Švice, Zvezne republike Nemčije, Češkoslovaške, Poljske in Jugoslavije.

Znanstveni odbor kongresa je na osnovi prispelih povzetkov izbral 22 prispevkov, ki so bili predstavljeni v

obliki 20 minutnih predavanj in 60 prispevkov, ki so bili predstavljeni v poster sekciji.

Analiza predstavljenih del kaže, da so v Jugoslaviji doživele največji razcvet vakuumške tanke plasti, njihova zastopanost s 27 prispevki je najštevilnejša. Letošnjega kongresa so se prvič udeležili slovenski metalurgi, ki se ukvarjajo z vakuumsko metalurgijo, tako je bilo s tega področja kar 17 prispevkov.

V povezavi s sodobnimi vakuumskimi tehnologijami je karakterizacija materiala in poznavanje fizikalno-kemijskih procesov na površinah nujno potrebna, kar se kaže tudi v 14 prispevkih s področja površine trdnih snovi in preiskovalnih metod. Področje materiali za elektroniko je bilo žal predstavljeno s samo 7 prispevki. Zaskrbljujoče je dejstvo, da v primerjavi s prejšnjimi kongresi število prispevkov s področja vakuumskih elementov, sistemov, proizvodnje in merjenja vakuumu upada. Letos jih je bilo le 17.

Raziskovalcev in razvojnikov s področja prehrane in farmacevtske industrije, vakuumškega pakiranja in liofilizacije nam žal ni uspelo pritegniti.

Problematika proizvodnje in uporabe vakuumške opreme v Jugoslaviji je bila obravnavana za okroglo mizo. Zanimanje predstavnikov s posameznih inštitutov in delovnih organizacij za to problematiko je bilo veliko, debate so bile dolgotrajne, kakšni bodo rezultati dogovorov pa bo pokazal čas.

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije je ob pomoči IEVT, SŽ-MI in Republiškega komiteja za raziskovalno dejavnost in tehnologijo založilo Zbornik predavanj, oz. Bilten JUVAK 24, ki so ga prejeli vsi udeleženci kongresa. Nekaj izvodov je še na razpolago. Interesenti jih lahko dobijo po ceni 300,00 din v pisarni DVT Slovenije, Teslova 30, Ljubljana, telefon 267-341.

V času kongresa je bila organizirana razstava, kjer so razstavljalci vakuumske opreme predstavili svojo dejavnost z manjšimi eksponati in perspektivnim materialom. Sodelovale so svetovno znane tvrdke Balzers, Leybold, Varian, Comef-Riber, Plazma und Vakuum Technik, Uni-export-VG, IEVT, Mikroiks-Mipot ter Elvak.

V mali dvorani hotela Špik se je v času razstave gnetlo obiskovalcev, ki so se želeli pogovoriti o najnovejših dosežkih znanih svetovnih proizvajalcev in domačih razstavljalcev s področja vakuumske opreme in vakuumskih tehnologij.

V spomin na priznanega strokovnjaka, neumornega učitelja in častnega člana JUVAK prof. dr. Evgena Kanskega je bila na XI. jugoslovanskem vakuumskem kongresu prvič podeljena Kanskyjeva nagrada. Posebna komisija je za najboljši prispevek ocenila dve na kongresu predstavljeni deli. Kanskyjevo nagrado za leto 1990 si tako

delita: Hrvoje Zorc, Inštitut Rudjer Bošković, Zagreb za delo: "Efekt optičke bistabilnosti u tankim slojevima cink selenida i cink sulfida" in Peter Panjan Inštitut Jožef Stefan Ljubljana za delo: "Karakterizacija TiN in ZrN tankih plasti".

Častni člani Zveze društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije - JUVAK so postali: na predlog DVT Slovenije prof. dr. Jože Gasperič IJS Ljubljana ter na predlog DVT Srbije prof. dr. Milan Kurepa in prof. dr. Branka Čobić. Častnim članom bodo vročene spominske plakete na XII. jugoslovanskem vakuumskem kongresu, ki ga bo organiziralo Društvo za vakuumsko tehniko Hrvatske leta 1993.

*Dr. Monika Jenko
Metalurški inštitut
Lepi pot 11
61000 Ljubljana*

PREDSTAVLJAMO DO Z NASLOVNICE

EI ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNI INSTITUT - IRI BEOGRAD

Ei Istraživačko razvojni institut-Beograd, skraćeni naziv IRI, je preduzeće sa potpunom odgovornošću. Nosilac je naučno-istraživačke i razvojne funkcije u sistemu Elektronske industrije i šire. Programska orijentacija Instituta se najvećim delom poklapa sa programskom orijentacijom sistema Ei. S obzirom na široku lepezu programa koji se realizuje u Ei, a u nedostatku kadrovskog potencijala, finansijskih sredstava, skupe opreme i drugo, veliki deo programa se realizuje u okviru fabričkih razvoja ili drugih instituta. I pored toga, IRI je jedan od glavnih nosilaca razvojne funkcije u sistemu Ei i Republike Srbije za: telekomunikacije, specijalne materijale, elektronske komponente, elektronske i druge tehnologije, kvalitet, pouzdanost i drugo.

U okviru IRI obrađuju se programske oblasti:

TELEKOMUNIKACIJE: komutacioni sistemi za javnu telefonsku mrežu, multipleksni sistemi digitalnog prenosa, sistemi prenosa po optičkim kablovima, radio sistemi na bazi proširenog spektra, modemi, sistemi za elektronska dejstva i protiv dejstva, digitalni terminali specifičnih namena, digitalne integrisane mreže sa integralnim službama, sistemi za nadzor, radarski sistemi, telekomunikacioni sistemi za funkcionalne mreže i dr.

SPECIJALNI MATERIJALI: srebrne paste za elektronske komponente, srebrne paste za grejače stakla automobila, srebrni provodni premazi za tantal kondenzatore, ugljenoslojne potenciometre, membranske tastature, zatim paste za hibridnu tehnologiju, lemne paste, paladium i srebro-paladium paste za višeslojne kera-

mičke kondenzatore i dr. Osvojeni su polimerni materijali za elektroniku, provodni premazi za zaštitu od statičkih elektriciteta, elektromagnetnih, magnetnih talasa i dr.

MIKROELEKTRONIKA: diskretne minijature pasivne komponente, pasivna hibridna mikrokola, aktivna hibridna mikrokola i dr.

KERAMIČKI PROIZVODI ZA SPECIFIČNU NAMENU: feroelektrične i feromagnetne komponente, piezokeramički pretvarači i senzori, zatim specifični proizvodi na bazi Al_2O_3 i dr.

SPECIFIČNE ELEKTRONSKE TEHNOLOGIJE: membranske tastature, štampane ploče, površinska montaža i dr.

KVALITET I POUZDANOST: ispitivanje i atestiranje komponentata i uređaja, karakterizacija i kontrola kvaliteta materijala, ispitivanje pouzdanosti i dr.

PROJEKTOVANI SU POGONI I REALIZOVANI INŽENJERINZI: pogon za proizvodnju srebrne paste u VF keramici Đevđelija, pogon za proizvodnju paladijum paste u TIR Bor, pogon za proizvodnju štampanih ploča u Elind Valjevo i dr.

Razvijeno je i pušteno u proizvodnju oko 60 elektronskih sistema i uređaja. Razvijeno je i osvojeno više desetina vrsta materijala, elektronskih komponentata i sklopova. Izrađeno je više od stotinu naučnoistraživačkih projekta-

ta, studija i elaborata. Realizovan je veliki broj tehničkih rešenja, tehnoloških postupaka, inovacija procesa i dr.

IRI ima oko 260 saradnika, od čaga su 6 doktora nauka, 15 magistara i 160 inženjera.

IRI je dobio najviša društvena priznanja od Republike Srbije, grada Beograda i grada Zemuna, za ostvarene rezultate istraživačkog i razvojnog rada.

Mr. Vladimir Pantović, dipl.ing.
EI - IRI
Batajnički put 23
11080 Zemun

ČLANI MIDEM

SEZNAM ČLANOV DRUŠTVA MIDEM

V tretji številki letnika 1989 Informacij MIDEM smo predstavili društvo MIDEM in njegovo dejavnost. To predstavitev dopolnjujemo tokrat s seznamom vseh aktivnih članov.

* prosimo, da člani pregledate točnost podatkov in jih dopolnite, oz. nam javite spremembe.

Vsi tisti, ki se želite včlaniti v društvo, ali pa samo sporočiti spremembo, prosimo, pošljite prijavnico na naslov :

To se nam je zdelo potrebno predvsem iz dveh razlogov:

* v letošnjem letu smo opravili revizijo članstva tako, da kronični neplačniki članarine niso več člani društva

Pavla Suhadolnik
MIKROIKS d.o.o.
Titova 36a, 61000 Ljubljana
tel. (061) 319 170
fax. (061) 316 666

Preimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
ADAM ANTON	622		TITOVO VELENJE
ADAMČIČ BOGDAN	609	JULON LJUBLJANA	LJUBLJANA
ADEMOVIĆ DIJANA	529	ENERGOINVEST IRIS	SARAJEVO
AHMETSPAHIĆ SAID	514	RUDI ČAJAVEC PE	BANJA LUKA
AJLEC BOJAN	13		
ALEKSIĆ OBRAD	14	INSTITUT BEZBEDNOSTI	BEOGRAD
ALEŠ RASTKO	492		
ALIČ JANEZ	536		
AMBROŽ DANILO	15	ELEKTROKOVINA	MARIBOR
AMBROŽ MARKO	515	LJUBLJANA	
AMON SLAVKO	17	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
ANDJELKOVSKI ŽIVKO	18	RADIO TELEVIZIJA SKOPJE	SKOPJE
ANTEŠEVIĆ STOJANKA	19	KUČIŠTA I UVODNICI	TESLIĆ
ANTONČIČ MAGDA	21	ISKRA HIPOT	ŠENTJERNEJ
ARANDELOVIĆ VLADA	22	EI MIKROELEKTRONIKA	NIŠ
ARDJELAN TIBOR	612	NIŠRO FORUM NOVI SAD	NOVI SAD
BABIČ RUDI	24	TEHNIŠKA FAKULTETA MARIBOR VTO	MARIBOR
BAJD TADEJ	26	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
BAJIĆ MILORAD	27	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA
BALOŠ AUREL	28	EI ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNI INSTITUT	ZEMUN
BANKO MARTIN	30	ATM ZAGREB	ZAGREB
BANOVEC ANDREJ	31	IEVT	LJUBLJANA

Preimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
BASTJANIĆ BORIS	565	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
BEGOVIĆ HERMINA	34	DIS BORJA OOUR KUČISTA I ...	TESLIĆ
BELAVIČ DARKO	36	ISKRA HIPOT, INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
BELE ZLATKO	493	MIKROIKS	LJUBLJANA
BENDA JOSIP	37	RUDI ČAJAVEC PE	BANJA LUKA
BENDEKOVIĆ ZDRAVKO	38	RIZ TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
BERAVS FRANC	39	ISKRA TOVARNA POLPREVODNIKOV	TRBOVLJE
BERGANT STANE	40	ISKRA TELEMATIKA	KRANJ
BERNIK SLAVKO	567	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
BESENIČAR SPOMENKA	517	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
BEŠTER JANEZ	516	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
BILJANOVIĆ PETAR	43	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	ZAGREB
BIZJAK IGOR	44	IEVT	LJUBLJANA
BIZJAK MARTIN	45		
BJELOTOMIĆ DUŠKO	558	PATENT IETPU	OSIJEK
BOŽIĆ GORAN	499	RADE KONČAR - ETI	ZAGREB
BOŽIČ VINKO	51		
BOGATAJ BRANKO	46	TOVARNA ELEKTROTERMIČNIH APARATOV	CERKNO
BOGOJEVIĆ MIHAIL	530	EXCELLON EUROPA GMBH	
BOJC FRANC	47	ISKRA ELEKTROZVEZE TTS	LJUBLJANA
BOKAN NATAŠA	533	RUDI ČAJAVEC RO PE MIKROELEKTR.	BANJA LUKA
BOLTUŽIĆ MILIVOJ	548	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
BORAS MILAN	48	NIKOLA TESLA	ZAGREB
BOŠAN ĐORDE	49	ELEKTRONSKI FAKULTET NIŠ	NIŠ
BRATOVIĆ SADETA	607	ENERGOINVEST RO CIRM SARAJEVO	SARAJEVO
BRICELJ BOGDAN	55	ŽELEZARNA JESENICE - REMONT.	JESENICE
BRKIĆ IVAN	645	RADE KONČAR	KUTINA
BRKOVIĆ VUKMAN	56	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	TITOGRAD
BRUMEC ZMAGO	619	BIROSTROJ MARIBOR	MARIBOR
BUC DRAGO	621	ISKRA DELTA, LJUBLJANA	TITOVO VELENJE
BUDIN LEO	57	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	ZAGREB
BURAZIN TOMISLAV	60	ISKRA KIBERNETIKA TOZD INSTRUM.	PODNART
BUTKOVIĆ ŽELJKO	61	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	ZAGREB
CERGOLJ MIRJAM	65	ISKRA IEZE KERAMIKA RAZVOJ	LJUBLJANA
CERNETIĆ JOSIPINA	66	ISKRA TOZD ELEKTROLITI	LJUBLJANA
CEROVAC KREŠIMIR	67	RO RADE KONČAR INDUSTRIJSKA ELE.	ZAGREB
COKAN ALEŠ	70	ISKRA IEZE TOZD MAGNETI	LJUBLJANA
COLARIČ JOŽE	71	ISKRA IEZE HIPOT ŠENTJERNEJ	ŠENTJERNEJ
CVETKOVIĆ BRANKO	512	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
CVETKOVIĆ MIROSLAVA	78	EI RO ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNI INS.	ZEMUN POLJE
CVOK STJEPAN	79	RADE KONČAR RO ELEKTRONIKA	ZAGREB
DŽEKOV TOMISLAV	103	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET SKOPJE	SKOPJE
DAMJANOVIĆ MIROSLAV	539	VOJNOTEHNIČKI INSTITUT	BEOGRAD
DAMNJANOVIĆ DRAGAN	80	INDUSTRIJA SINTETIČKOG FILAMENTA	PRIZREN
DAMNJANOVIĆ SVETLANA	81	SOZD ELEKTROKOVINA	MARIBOR
DAVINIĆ GORDANA	603	RO EI MIKROELEKTRONIKA NIŠ	NIŠ

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
DELAČ ANTONIJA	84	RIZ TPV	ZAGREB
DESPOTOVSKI LAZAR	85	RUDNICI I ZELJEZARNICA	SKOPJE
DEVETAK MIRAN	86	ELEKTROKOVINA DO ELEKTRONIKA	MARIBOR
DIMIROVSKI GEORGI	87	ELEKTROTEHNIŠKI FAKULTET	SKOPJE
DIMITRIJEVIĆ MILJENK	576	RIZ-RO PROFESIONALNA ELEKTRONIKA	ZAGREB
DJURIC ZORAN	90	INSTITUT ZA HEMIJO TEHNOLOGIJU	BEOGRAD
DOBEIC JANEZ	1	UPOK.PROF.NA PE	LJUBLJANA
DOGSA TOMAZ	94	TEHNIŠKA FAKULTETA MARIBOR	MARIBOR
DOKIC BRANKO	95	ELEKTROTEHNIŠKI FAKULTET	BANJA LUKA
DRAGOSAVIC LJUBICA	98	RIZ OOUR IETA ZAGREB	ZAGREB
DUKANOVIC ZIVKO	100	RO BORJA OOUR KUČIŠTA I UVODNICI	SLATINA KOD TESLIĆA
ĐOKIĆ MILIVOJE	89	VOJNOTEHNIŠKI INSTITUT BEOGRAD	BEOGRAD
ĐORDJEVIĆ SLOBODAN	531	EI RO MIKROELEKTRONIKA	NIŠ
ĆIRIĆ RADMILA	69	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA FABRIKA	ZEMUN
ĆUPURDIJA JASMINKA	76	SOUR RADE KONČAR OOUR ELEKTROTE	ZAGREB
ČADEZ IVO	63	DO UNIS TOS LJUBLJANA	LJUBLJANA
ČAJKOVSKI DIMITRIJE	551	PRIRODNO-MATEMATIŠKI FAKULTET	SARAJEVO
ČAVČIĆ DUNJA	64	SOUR RIZ RO KOMEL TVORNICA POL	ZAGREB
ČEŠNOVAR ANDREJ	68	ISKRA ELEMENTI TOZD FERITI	LJUBLJANA
ČRNE STJEPAN	544	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
ČUK FRANC	74	ISKRA ELEKTROZVEZE	LJUBLJANA
ČUKELJ ZLATKO	75	SOUR RADE KONČAR	ZAGREB
ČUROVIĆ MILIĆ	77	ISKRA IEZE TOZD FERITI	LJUBLJANA
EISENHUT VILI	105	SOZD ELEKTROKOVINA	MARIBOR
ERŽEN BOŽIDAR	106	PTT PODJETJE LJUBLJANA	LJUBLJANA
FALESKINI RADO	107	ISKRA SOZD	LJUBLJANA
FELDIN MARTA	641	ISKRA KIBERNETIKA	KRANJ
FERINA SLAVKO	108	TEHNOLOŠKI FAKULTET U ZAGREBU	ZAGREB
FERMIŠEK BOJAN	109	SOZD ELEKTROKOVINA	MARIBOR
FLAM DRAGUTIN	110	NIKOLA TESLA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ	ZAGREB
FURLAN JOŽE	111	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
GABRIJELČIĆ DUŠAN	112	TSC BRANKO BRELIH	NOVA GORICA
GALEKOVIĆ BRANIMIR	113	NIKOLA TESLA	ZAGREB
GANZA DEAN	575	SOUR RADE KONČAR	ZAGREB
GARDAŠEVIĆ VOJIN	114	ISKRA IEZE TOZD KERAMIKA	LJUBLJANA
GAVRILOVIĆ ALEKSANDR	116		
GERIĆ DRAGUTIN	519	RIZ KOMEL TVORNICA POLUVODIĆA	ZAGREB
GERIĆ IVAN	118	ISKRA DO IEZE, DELOVNA SKUPNOST	LJUBLJANA
GESSNER MARIJAN	119	RIZ TVORNICA POLUVODIĆA	ZAGREB
GJURANIĆ MILAN	120	SOUR MK ŽELJEZARA SISAK	SISAK
GLINŠEK FRANC	122	ISKRA ELEMENTI TOZD IE	KOSTANJEVICA NA KRKI
GLOŽINIĆ IVAN	123	ŠKOLSKI CENTAR ZDR. KADR.	VARAŽDIN
GNIDOVEC DUŠAN	124	METALURŠKI INSTITUT LJUBLJANA	LJUBLJANA
GNJATOVIĆ ZORICA	584	EI RO IRI OOUR BETA	ZEMUN
GOBENŠEK	651	ISKRA ELEMENTI	KOSTANJEVICA NA KRKI
GODEC DANIEL	125	ELEKTRONIKA GODEC	MARIBOR

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
GOJO MIROSLAV	513	RIZ TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
GOLJEVŠČGK LILIJANA	510	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
GOLUBIČ STJEPAN	126	NIKOLA TESLA	ZAGREB
GORIŠEK ALOJZ	557	ISKRA FERITI	LJUBLJANA
GORIŠEK MARJAN	127	ISKRA ELEMENTI	KOSTANJEVICA OB KRKI
GORJANC NEVENKA	128		
GOŠOVIČ NADA	129	SOUR RUDI ČAJAVEC	BANJA LUKA
GRADIŠNIK VERA	580	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
GRGIČ BERISLAV	131	TVORNICE ELEKTROTEHNIČKIH PROIZVODA	ZAGREB
GRGURIČ KATA	592	SOUR ĐURO ĐAKOVIC, RO MARSONI	SLAVONSKI BROD
GRILC DANIEL	132	RTV LJUBLJANA RADIO	LJUBLJANA
GRUBIČ FRANCI	133	ISKRA ELEMENTI	KOSTANJEVICA NA KRKI
GRUJIČ BILJANA	134	RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
GRUM ANDREJ	135	.ČGP DELO	LJUBLJANA
GRUNDLER DARKO	136	SELK KUTINA	KUTINA
GUBENŠEK ANTON	137	ISKRA INDUSTRIJSKA ELEKTRONIKA	KOSTANJEVICA NA KRKI
HABAŠ PREDRAG	498		
HADŽIOMEROVIČ DAVOR	138	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE OOUR PT	BANJA LUKA
HIRŠMAN MATJAŽ	142		
HOLC JANEZ	554	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
HORVAT BOGOMIR	143	TEHNIŠKA FAKULTETA MARIBOR	MARIBOR
HORVAT DEAN	646		
HORVAT MIRAN	566	SSC PTUJ	PTUJ
HOZIČ FIKRET	144	RUDI ČAJAVEC, OOUR RRT	BANJA LUKA
HOZJAN ŠTEFAN	632	TEHNIŠKA FAKULTETA	MARIBOR
HRIBERNIK BOŽO	145	TEHNIŠKA FAKULTETA	MARIBOR
HRIBŠEK MARIJA	146	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BEOGRAD
HROVAT MARKO	523	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
HUMIČ DAMIR	613	RO PTT PROMETA KARLOVAC	KARLOVAC
HUSAR IVAN	147	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET ZAGREB	ZAGREB
ILIČ ŽIVORAD	534	EI RO VEP	NIŠ
ILIČ NENAD	605	ENERGOINVEST RO CIRM SARAJEVO	SARAJEVO
INJAC RANKO	151	SOUR RUDI ČAJAVEC OOUR TELEKOM.	BANJA LUKA
IRMANČNIK LIDIJA	152	IEVT	LJUBLJANA
ISAILOVIČ VLADISLAV	153	SOUR EI SEKTOR ZA PROGRAM I RAZVOJ	BEOGRAD
IVANČIČ VLASTIMIR	552	ETI-RADE KONČAR	ZAGREB
IVANČIČ IVAN	508	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
JAKOPOVIČ ŽELJKO	626	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET, ZAVOD	ZAGREB
JAKUPOVIČ NIHAD	610	RO BORJA TESLIČ, OOUR KUCISTA	TESLIČ
JAMAKOSMANOVIČ MUHAM	608	ENERGOINVEST RO CIRM SARAJEVO	SARAJEVO
JAMNIK PAVEL	535	ISKRA KIBERNETIKA	KRANJ
JAN FRANC	2	ISKRA ELEMENTI TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
JANEV VANČO	157	RADIO TELEVIZIJA SKOPJE	SKOPJE
JANUŠKO DJERDJ	611	PIK BEČEJ, OOUR BRATSTVO JEDINSTVO	GRADIŠTE
JANČAR RUDI	156	IEVT	LJUBLJANA
JAPELJ JANEZ	521	ISKRA IEZE TOZD FERITI	LJUBLJANA

Preimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
JAZBEC HERMAN	159	SOZD ELKOM MARIBOR	MARIBOR
JENKO BOJAN	161	IEVT	LJUBLJANA
JENKO DRAGO	606	ISKRA TELEMATIKA	KRANJ
JERIČ STANE	162	RTV - TV KOPER CAPODISTRIA	KOPER
JEVNIK STEFAN	164	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
JEVTIČ MILAN	165	INSTITUT ZA FIZIKU	ZEMUN
JOSIFOVIĆ OLIVERA	167	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA
JOVANOVIĆ DRAGAN	168	EI IR INSTITUT OOUR BETA	ZEMUN
JOVANOVIĆ VESNA	169	EI RO IRI OOUR BETA	ZEMUN
JOVIN JELENA	652	FTN INSTITUT ZA ENERGETIKU	NOVI SAD
JOVIĆ VESNA	171	INSTITUT ZA HEMIJSKU TEHNOLOGIJU	BEOGRAD
JUNGIĆ SLAVICA	172	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
JURCAN MIRNA	173		
JURJEVEC DANIEL	559	PRIVREDNA KOMORA JUGOSLAVIJE	BEOGRAD
KADIĆ AZRA	174	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJALUKA
KANDUŠER ALENKA	594	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
KAPUN MATJAŽ	623	ISKRA DELTA	LJUBLJANA
KARAMARKOVIĆ JUGOSLA	604	ROO EI MIKROELEKTRONIKA NIŠ	NIŠ
KEBER ALOJZ	3	ISKRA ELEMENTI	LJUBLJANA
KERSMANC SLAVKO	509	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
KETTE BORIS	176	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	ZAGREB
KEVORKIJAN VARUŽAN	177	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
KIT FRANC	178	TAM MARIBOR DSK INŽENIRING	MARIBOR
KIČEVIĆ DUŠAN	555	INSTITUT ZA MATERIJALE-BORIS KIDRIČ	BEOGRAD
KLANJŠEK GUNDE MARTA	648	KEMIJSKI INSTITUT BORIS KIDRIČ	LJUBLJANA
KLANČNIK STANE	616	OS I	CELJE
KLOBČAR JOŽE	180	ISKRA TOZD KEKO	ŽUŽEMBERK
KNEZ DANIEL	181	GORENJE TGO	TITOVO VELENJE
KNOLL MILENA	183	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
KOŽELJ MATJAŽ	206	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
KOBE MARJANCA	184	ISKRA DO ELEKTROZVEZE	LJUBLJANA
KOBE MILOŠ	185	UPOKOJENEC	
KODRIČ DARKO	186	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
KOJADINOVIĆ ZORAN	187	RO ZAVODI CRVENA ZASTAVA	KRAGUJEVAC
KOLAR DRAGO	568	INSTITUT JOŽE STEFAN	LJUBLJANA
KOLLER LIDIJA	188	IEVT	LJUBLJANA
KOLONIĆ FETAH	625	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	ZAGREB
KOMLJENOVIC MILAN	190	SOUR RUDI ČAJAVEC RO TU	BANJA LUKA
KONDA TONE	191	ISKRA IEZE TOZD KERAMIČNIH KOND.	ŽUŽEMBERK
KOPANJA DRAGOJLO	192	SOUR R. ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
KOPLAN FRANC	193	ISKRA IEZE FERITI	LJUBLJANA
KORUGA DJURO	541	CENTAR ZA MOLEKULARNE MAŠINE	BEOGRAD
KORUGA VLADO	194	RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
KOS DARJA	195	ISKRA HIPOT	ŠENTJERNEJ
KOSEC Marija	197	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
KOVAČIĆ ZDENKO	624	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET ZAGREB	ZAGREB

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
KOVAČIČ IZTOK	572	FAGG VTOZD ZA GRADBENISTVO IN GEOD.	LJUBLJANA
KOZINA LOTAR	207	BIRO Q	LJUBLJANA
KOZINC ALOJZ	208	LISCA PE INES	SEVNICA
KOŠAK NUŠA	196	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
KRAJNC JOŽE	209	SOZD ELEKTROKOVINA	MARIBOR
KRAJNC MARJETA	210	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
KRANJC JOŽE	211	ISKRA ELEMENTI TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
KRASNA JOŽE	212	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
KREGAR VLASTA	214		
KREN BRANE	215		
KRIŽAJ DEJAN	581	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
KRIŽAK VLADIMIR	522	INDUSTRIJA SINTETIČNIH FILAMENA	PRIZREN
KRIVOKAPIĆ ZORAN	216	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
KRČMAR RATKO	213	RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
KUNOVAC DRAGANA	220	INSTITUT ZA HEMIJ. TEHNOLOGIJU	BEOGRAD
KUSIĆ KARMEN	222	NIKOLA TESLA	ZAGREB
KUZMA CIGOJ RATIMIR	633		
KUZMIN JELKO	223	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
LATINOVIĆ TIHOMIR	225	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE OOUR TU	BANJA LUKA
LAVRENČIČ BORUT	226	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
LEINER MILJENKO	647		
LEKOVIĆ DANICA	227	VOJNOTEHNIČKI INSTITUT VTI	BEOGRAD
LEKOVIĆ NADA	228	EI RO IR INSTITUT OOUR BETA	ZEMUN
LENARDIČ BORUT	229	ISKRA CENTER ZA ELEKTROOPTIKO	LJUBLJANA
LEONARDIS SAVO	230	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
LILIĆ SLADJANKA	634		
LIMPEL META	5	ISKRA ELEMENTI TOZD FERITI	LJUBLJANA
LIPOGLAVŠEK CVETKA	564		
LIPOVAC PETAR	232	RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
LIPOVŠEK MARJAN	505	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
LITOVSKI VANČO	233	ELEKTRONSKI FAKULTET	NIŠ
LIVADA BRANKO	234	VOJNOTEHNIČKI INSTITUT	BEOGRAD
LJUBIĆ DUBRAVKA	577	RIZ-RO IETA ZAGREB	ZAGREB
LORENCIN MIO DRAG	235	PEDAGOŠKI FAKULTET	RIJEKA
LUŽAR RADKO	240	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
LUGOVIĆ MITRA	574	VISOKE VOJNOTEHNIČKE ŠKOLE	ZAGREB
LUKEZIĆ MARINO	236	RO DIGITRON BUJE	BUJE
LUKIĆ LAZAR	237	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA RO IR I	ZEMUN
LUKOVIĆ MILO LJUB	643	INSTITUT BEZBEDNOSTI	BEOGRAD
LUZMA ŠTEFAN	502	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
LUŠTEK PETER	238	ISKRA ELEMENTI TOZD IE	KOSTANJEVICA NA KRKI
MACANKOVIĆ BOJANA	241	EI ELEKTRONSKA INDUSTRIJA OOUR A	ZEMUN POLJE
MAIER ZVONKA	244	ISKRA COMMERCE	LJUBLJANA
MALEŠEVIĆ JOVAN	246	ISKRA DELTA	LJUBLJANA
MALEŠEVIĆ PREDRAG	247	RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
MALIĆ BARBARA	593	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
MANDIĆ MILAN	571	ISKRA ZMAJ	LJUBLJANA
MANSOOR ALI	249	ISKRA TOZD TU PRŽAN	LJUBLJANA
MARINC MARTIN	500	ISKRA ELEMENTI TOZD SEM	LJUBLJANA
MARINKOVIČ VELIBOR	497	MONTANISTIKA FNT UNIVERZA	LJUBLJANA
MARJANOVIĆ MILKA	251	RUDI ČAJAVEC PROF. ELEK.	BANJA LUKA
MARKOV JANI	253	OUR TVIT NONCA KAMSOVA	TITOV VELES
MARKOVIĆ OLGA	254	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA RO TELEK.	ZEMUN
MARŠ LEPOSAVA	255	EI RO IR INSTITUT OOUR BETA	ZEMUN POLJE
MATJEVIĆ BRANKO	256	DALKOM	LJUBLJANA
MAČEK MARIJAN	242	MIKROIKS d.o.o	LJUBLJANA
MEDIĆ MIODRAG	259	INSTITUT MIHAJLO PUPIN	BEOGRAD
MEDLE JOŽE	260	ISKRA TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
MEDVED BRANKO	261	BIROSTROJ MARIBOR	MARIBOR
MEHAK SAŠA	590	SREDNJA ELEKTROTEHNIŠKA ŠOLA	
MEKINDA MILAN	6		
MELINČEK VLADIMIR	614	ISKRA, INDUSTRIJA KONDENZATORJEV	SEMIČ
MENCL BORISLAV	262	SOUR RIZ RO AUTOMACIJA	ZAGREB
MESTNIK BRIGITA	263	SOUR RIZ RO KOMEL	ZAGREB
METLJAK DRAGO	264	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TNE	LJUBLJANA
MIKAC STJEPAN	601	VARTILEN RJ INZENJERING	VARAŽDIN
MIKLAČIČ BOGO	266	ISKRA IEZE TOZD FERITI	LJUBLJANA
MILATOVIĆ IVAN	490	ISKRA MIKROELEKTRONIKA V LIKVID.	LJUBLJANA
MILIĆ BRANISLAV	268	INSTITUT MIHAJLO PUPIN	BEOGRAD
MILIĆ KATA	537	RIZ IETA	ZAGREB
MILIĆ ŠTRKALJ OGNJEN	269		
MILIČEVIĆ MIODRAG	270	EI OOUR PP	NIŠ
MILJKOVIĆ ŽIVOJIN	271	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA NIŠ	NIŠ
MILOVANOVIĆ DRAGIŠA	272	ELEKTRONSKI FAKULTET	NIŠ
MILOVANOVIĆ RAJKO	273	ETF SARAJEVO	SARAJEVO
MILČIĆ ZORAN	267	SOUR RIZ RADIOINDUSTRIJA	ZAGREB
MIRJANIĆ DRAGOLJUB	274	TEHNOLOSKI FAKULTET	BANJA LUKA
MIRČEVSKI SLOBODAN	598	ELEKTROTEHNIŠKI FAKULTET SKOPJE	SKOPJE
MLADENOVIĆ LJUBIŠA	277	EI NIŠ FABRIKA POLUPROVODNIKA	NIŠ
MOZETIĆ VOJKO	279	TITAN KAMNIK TO 3	KAMNIK
MUŽEVIĆ MARIJAN	282	ATM	ZAGREB
MUMINOVIĆ DJENENA	583	SOUR ENERGAINVEST RO IRCE	SARAJEVO LUKAVICA
MURKO JEROVŠEK MELIT	496	INSTITUT ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
MURČEHAJIČ MUHAREM	280	ISKRA ŠENTJERNEJ TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
MUŠTRA SREČKO	281	RIZ KOMEL	ZAGREB
NADIŽAR BRANISLAV	283		
NAVINŠEK BORIS	524	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
NEŠKOVIĆ ALEKSA	286	RO INSTITUT MIHAJLO PUPIN ELEKT.	BEOGRAD
NIKOLIC ZORAN	287	EI NIŠ, RO EI HONEYWELL-BULL	NIŠ
NIŠIĆ SUMEDIN	630	UNIS TESLA TVORNICAK AKUMULATORA	BRČKO
NOVAK BRANKO	620	TGA KIDRIČEVO	KIDRIČEVO
NOVAK FRANC	511	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
NOVAK JANEZ	503	ISRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
NOVAK JURICA	289	SOUR RADE KONČAR OOUR ELEKTROT.	ZAGREB
NOVAK MATJAŽ	291	IZOLIRKA	LJUBLJANA
NOVAK MILENA	636		
NOVŠAK ALBIN	494	IZOLIRKA	RADOVLJICA
OBLAK JOŽE	294	ISKRA IEZE OOUR DSSS	LJUBLJANA
OBRADOVIĆ GORAN	649	RIZ - TPV	ZAGREB
OBROVNIK VITJAN	589	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
OGRIN TOMAŽ	295	ISKRA INDUSTRIJA BATERIJ ZMAJ	LJUBLJANA
PAHOR DAVID	507	ISKRA AVTOMATIKA TOZD TELA	LJUBLJANA
PANTIĆ DRAGAN	296	ELEKTRONSKI FAKULTET NIŠ	NIŠ
PANTOVIĆ VLADIMIR	297	EI RO ISTRUŽIVAČKO RAZVOJNI INS.	ZEMUN POLJE
PARADIS DUBRAVKO	298	RO RIZ KOMEL	ZAGREB
PAVLIN BOŽIDAR	300	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
PAŠALIĆ HARIS	299	METALURŠKI INSTITUT HASAN BRKIC	ZENICA
PEHANI BENO	304	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
PEJOVIĆ VERICA	306	EI INSTITUT OOUR BETA	ZEMUN POLJE
PERMAN JANEZ	310	INSTITUT ZA ELEKTRONIKO IN VAKU.	LJUBLJANA
PETERCA FRANC	312	ISKRA AVTOMATIKA	LJUBLJANA
PETKOVIĆ DRAGAN	313	EI NIŠ FABRIKA POLUPROVODNIKA	NIŠ
PETRINEC Marija	315	SOUR RIZ RO KOMEL	ZAGREB
PETRIČ MARKO	595	INSTITUT JOŽEF STEFAN, LJUBLJANA	LJUBLJANA
PETROVIĆ MIO DRAG	317	INSTITUT ZA HEMIJ. TEHNOLOGIJU	BEOGRAD
PEŠIĆ LJUTICA	311	INSTITUT M.PUPIN	BEOGRAD
PEČUR DRAGO	302	NIKOLA TESLA OOUR ISTRAŽIVANJE	
PHYSICOS CHRISTODOUL	320	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
PINTAR AURELIA	321	ISKRA IEZE TOZD POLPREVODNIKI	LJUBLJANA
PINTERIČ FRANC	322	ISKRA DO ELEKTROZVEZE TOZD TEI	LJUBLJANA
PIRC Marija	323	ISKRA ZORIN TOZD STANDARDIZACIJA	LJUBLJANA
PIRC SLAVKO	324	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
PIRKOVIČ JOZE	325	ISKRA ELEMENTI HIPOT	ŠENTJERNEJ
PIRKOVIČ MARJAN	326	ISKRA IEZE TOZD UPORI	ŠENTJERNEJ
PIRTOVŠEK ERVIN	327	ISKRA ELEMENTI	LJUBLJANA
PIVAC BRANKO	328	INSTITUT RUDER BOŠKOVIĆOOUR I	ZAGREB
PIVK MARJAN	329	ISKRA TOZD ELEKTROLITI	LJUBLJANA
PODNAR PETER	330	ISKRA TELEMATIKA TOZD RR	KRANJ
POLAK JOŽE	332	ISKRA DELTA	KRANJ
POLOVINA RADMILA	333	EI RO IRI OOUR BETA	ZEMUN
POLUTNIK MATEVŽ	562		
POLUTNIK MATJAŽ	334	ISKRA IEZE TOZD POLPREVODNIKI	TRBOVLJE
POLZELNIK IVAN	335	ISKRA IEZE TOZD KERAMIČNI KON.	ŽUŽEMBERK
POMPE IGOR	336	ISKRA IEZE	LJUBLJANA
POTOČAR JOŽICA	341	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
PRAJDIĆ GRETA	549	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
PRAŠTALO RADOJKA	343	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA
PREGELJ ANDREJ	344	IEVT	LJUBLJANA

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
PRERADOVIĆ ZAGORKA	345	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA	ZEMUN
PROKIĆ MIODRAG	346	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA	NIŠ
PUCELJ JOŽE	347	ISKRA ELEMENTI TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
PURGARIĆ BRANISLAV	348	NIKOLA TESLA ZAGREB	ZAGREB
PUST SREČKO	349	ISKRA IEZE TOZD ELEKTROLITI	MOKRONOG
RADIVOJEVIĆ JADRANKA	350	ISKRA IEZE TOZD KERAMIKA	LJUBLJANA
RADIĆ VLATKA	579	RIZ RO TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
RADOVIĆ SNEŽANA	352	RO EI PP	NIŠ
RAJIĆ SLOBODAN	353	ISKRA BANKA	LJUBLJANA
RAKIĆ SNJEŽANA	532	GIMNAZIJA	BANJA LUKA
RATKOVIĆ MILICA	354	SOUR RIZ RO KOMEL	ZAGREB
REGODA RATKO	356	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
REMŠKAR MAJDA	640	ISKRA KIBERNETIKA	KRANJ
REČNIK ANDREJ	355	BIROSTROJ MARIBOR	MARIBOR
RIHNOVSKI BORIVOJ	560	RADE KONČAR-INDUSTRIJSKA ELEKTR.	ZAGREB
RISTIĆ MOMČILO	360	CENTAR ZA MULTIDISCIPLINARNE ST.	BEOGRAD
ROŽAJ BRVAR ALENKA	363	ISKRA CENTER ZA ELEKTROOPTIKO	LJUBLJANA
ROSELJ JANKO	631	ISKRA, TOVARNA KERAMIČNIH KONDENZ.	ŽUŽEMBERK
ROZINA NACE	618	ISKRA ELEMENTI, SEM	LJUBLJANA
ROZMAN IRENA	365	ISKRE IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
ROČAK DUBRAVKA	525	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
ROČAK RUDOLF	7	MIKROIKS d.o.o.	LJUBLJANA
RUDEL DRAGO	366	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
RUHEK ANTON	367	SOUR RIZ ZAGREB	ZAGREB
RUNDIĆ SLAVOJKA	368	TOC BEOGRAD	BEOGRAD
SALETA VINKO	599	DR.NIKOLA MILJANIĆ RATAR, INDUS.	LIPIK
SAMARDŽIĆ NATALIJA	371	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA AVALA	ZEMUN POLJE
SANTO MARINA	373	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
SARAJČIĆ RANKO	374	NIKOLA TESLA OOUR ISTRAŽIVANJE	ZAGREB
SARČEVIĆ SLOBODANKA	375	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
SAVKOVIĆ STEVANOVIĆ	377	TEHNOLOŠKO METALURŠKI FAKULTET	BEOGRAD
SEJAD SALAM	380	ISKRA AVTOELEKTRIKA TOVARNA ŽAR.	LJUBLJANA
SELAR IVAN	381	SOZD ELEKTROKOVINA DO ELEKTRONIKA	MARIBOR
SENČAR DAMJAN	573	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
SETRAJČIĆ JOVAN	383	PRIRODNO MATEMATIČKI FAKULTET	NOVI SAD
SEVER VINKO	384	ISKRA IEZE	LJUBLJANA
SIBINOSKI LATKO	585	EI RO IRI OOUR BETA	ZEMUN
SILJANOSKI VLADO	386	ENERGOINVEST - 11. OKTOMVRI	PRILEP
SIMON FRANCI	387		
SINOVČEVIĆ RENATA	390	RIZ OOUR TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
SIVEC VILJEM	588	ISKRA ELEKTROZVEZE, LJUBLJANA	LJUBLJANA
SLADIČ ANTON	495		
SLOKAN MILAN	9	UPOKOJENEC	
SMOLE FRANC	528	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
SNEDIĆ SILVA	642	ISKRA KIBERNETIKA	KRANJ
SOFTIĆ FERID	397	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
SOLAR MITJA	398	TEHNIŠKA FAKULTETA MARIBOR VTO	MARIBOR
SOLAR STANISLAV	8	ISKRA AVTOELEKTRIKA	LJUBLJANA
SOLIĆ DRAGUTIN	399	RADE KONČAR OOUR INEM	ZAGREB
SOLJAČIĆ VINKA	400	ISKRA AVTOMATIKA RAZVOJNI INST.	LJUBLJANA
SPORIŠ DAMIR	600	RIZ-IETA	ZAGREB
STAMENKOVIĆ ZORAN	582	RO EI-MIKROELEKTRONIKA NIŠ	NIŠ
STANKOVIĆ GORDANA	407	INSTITUT ZA HEMIJ. TEHNOLOGIJU	BEOGRAD
STANKOVIĆ TODOR	408	EI FABRIKA RENTGEN APARATA	NIŠ
STANOJEVIĆ SNEŽANA	409	EI IRI OOUR BETA	ZEMUN POLJE
STEFANOVIĆ LJUBINKA	410	RO EI PP NIŠ	NIŠ
STEGEL IZTOK	411	ISKRA ELEKTROZVEZE	LJUBLJANA
STIGLIC BRUNO	414		
STIPANČIĆ MLADEN	628	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA
STOJADINOVIĆ NINOSLA	415	ELEKTRONSKI FAKULTET NIŠ	NIŠ
STOJANOVIĆ BILJANA	417	VOJNOTEHNIČKI INSTITUT	BEOGRAD
STOJANOVIĆ VLADIMIR	419	EI NIŠ OOUR RENDGEN APARATI	NIŠ
STOJANOVSKI PETAR	422	TEHNICKI FAKULTET	BITOLA
STRIŽAK NENAD	423	RIZ RO IETA	ZAGREB
STRLE DRAGO	615	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
STUBIČAR MIRKO	644		
SUHADOLNIK ALOJZ	569	FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO	LJUBLJANA
SUHADOLNIK PAVLA	650	MIKROIKS d.o.o.	LJUBLJANA
SULČIĆ SLAVKO	501	MIPOT spa	DEVINCINA
SUVOROV DANILO	617	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
TANJGA PETAR	431	RO DALMACIJA DUGI RAT	DUGI RAT
TEPINA PAVLE	10	ELEKTROTEHNIŠKA ZVEZA SLOVENIJE	LJUBLJANA
TJAPKIN DIMITRIJE	433	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BEOGRAD
TKALČEC EMILIJA	543	TEHNOLOŠKI FAKULTET SVEUČILIŠTA	ZAGREB
TODOROVIĆ DRAGAN	563	INSTITUT BEZBEDNOSTI	BEOGRAD
TODOROVIĆ DUŠAN	434	ELEKTRONSKA INDUSTRIJA RO EI-TV	
TOMAZIN VIKTOR	435	ISKRA TELEMATIKA TOZD RR	KRANJ
TOMIĆ MILICA	436	EI RO ISTRAIŽVAČKO RAZVOJNI INS.	ZEMUN POLJE BEOGRAD
TORIČ HAŠIM	437		
TOSIĆ BRATISLAV	438	PRIRODNO MATEMATIČKI FAKULTET	NOVI SAD
TRIFUNOVIĆ GORDANA	439	INSTITUT MIHAJLO PUPIN	BEOGRAD
TROKIĆ BEDRUDIN	441	SOUR RUDI ČAJAVEC RO PE	BANJA LUKA
TRONTELJ JANEZ	442	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
TRONTELJ LOJZE	443	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
TRONTELJ MARIJA	444	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
TRTANJ DARKO	445	SLAVONSKA BANKA OSIJEK	OSIJEK
TRUBELJA MLADEN	602	SOUR ENERGOINVEST-RO CIRM	SARAJEVO
TURATO ŠKVORC TEA	578	RADE KONČAR, INEM-AZI	ZAGREB
TURINA MIROSLAV	447	RADE KONČAR- ETI	ZAGREB
TUŠEK TADIĆ LJERKA	448	RADIOINDUSTRIJA OOUR IETA	ZAGREB
UNK JOŽE	561	ISKRA AVTOMATIKA	LJUBLJANA
URSIĆ SREBRENKA	491		

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
UVODIČ DARJA MARTINA	450	ISKRA IEZE	LJUBLJANA
VACIĆ ZORAN	629	EI-MIKROELEKTRONIKA	NIŠ
VALANTIČ BOJAN	451	ISKRA TELEMATIKA	KRANJ
VALENIČ ANICA	635		
VALENČIČ BRANE	452	IEZE TOZD FERITI	LJUBLJANA
VALENČIČ VITOŠ	454	ISKRA IEZE OOUR SKUPNE SLUŽBE	LJUBLJANA
VARDJAN VITO	455	IEVT	LJUBLJANA
VENGAR SREČO	456	ISKRA ITEE TOZD TEL	BLEJSKA DOBRAVA
VEREŠ VESIĆ DRAGICA	457	RIZ RO KOMEL TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
VETER JORG	458		
VIDOSAVLJEVIĆ OLIVER	553	EI-IRI BETA	ZEMUN POLJE
VIŠINSKI GORDANA	461	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	LJUBLJANA
VODOPIVEC MARIO	462	SAVEZNI ZAVOD ZA MJERE I DRAGOC.	SARAJEVO
VOJNOVIĆ BOŽIDAR	463	INSTITUT RUDER BOŠKOVIĆ	ZAGREB
VRTAČNIK DANILO	538	ISKRA IEZE POLPREVODNIKI	TRBOVLJE
VUK DAMIR	466	SOUR RIZ RO KOMEL	ZAGREB
VUKELIĆ MILAN	469	RIZ KOMEL TVORNICA POLUVODIČA	ZAGREB
VUKOJEVIĆ DRAGAN	470	TERMoeLEKTRARNE NIKOLA TESLA	OBRENOVAC
VIKSAN LJUŠTINA GORD	471	EI ROT OOUR FABRIKA VE UREDAJA	ZEMUN
VIČENOVIC DRAGAN	465	NIKOLA TESLA	ZAGREB
ZADRAVEC JURICA	473	ISKRA AVTOMATIKA TOZD RI	LJUBLJANA
ZAJKOSKI PERE	474	ENERGOINVEST - 11. OKTOMVRI	PRILEP
ZALAR ANTON	475	IEVT	LJUBLJANA
ZEMLIČ ZOLTAN	478	ISKRA IEZE TOZD SKUPNE SLUŽBE	LJUBLJANA
ZORKO RUDI	484	ISKRA ELEKTROMECHANIKA	KRANJ
ZORMAN SAŠO	485	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
ZUPAN MOJCA	486	ISKRA TELEMATIKA	KRANJ
ZUPANČIČ JURE	488	FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	LJUBLJANA
ŠAJFAR IVAN	370	NIKOLA TESLA OOUR ISTRAŽIVANJA	ZAGREB
ŠEF MARJAN	378	ZASEB.OBRITNA DEJAVNOST ELEKTROM.	LJUBLJANA
ŠEGOTA ERAZMO	379	RTV CENTAR RIJEKA	RIJEKA
ŠIFRAR MARKO	596	FNT FIZIKA	LJUBLJANA
ŠIRBEGOVIĆ SEDAT	391	ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	BANJA LUKA
ŠKRIBINC DRAGO	394	ISKRA CENTER ZA ELEKTROOPTIKO	LJUBLJANA
ŠLAMBERGER N	639	ISKRA ELEMENTI, INDUSTRIJSKA EL.	KOSTANJEVICA NA KRKI
ŠOBA STOJAN	396	ISKRA IEZE TOZD HIPOT	ŠENTJERNEJ
ŠORLI IZTOK	401	MIKROIKS d.o.o.	LJUBLJANA
ŠOSTAREC IVAN	402	VIŠA TEHNIČKA ŠKOLA	SUBOTICA
ŠPRAH VILJEM	597	METALNA	MARIBOR
ŠROL TATJANA	403	ZAVOD SR SLOVENIJE ZA VARSTVO	LJUBLJANA
ŠTADLER ZMAGO	586	ISKRA ELEMENTI TOZD KEKO	LJUBLJANA
ŠTANDEKER CVETO	405	SREDNJA ŠOLA LEKTROTEHNIŠKE	MARIBOR
ŠTEGLIC MAKS	412	ISKRA CENTER ZA ELEKTROOPTIKO	LJUBLJANA
ŠTEMBERGER RADO	413	ISKRA ELEMENTI TOZD IE	KOSTANJEVICA NA KRKI
ŠTULAR ANTON	424	ISKRA INSTRUMENTI OTOČE	PODNART
ŠTULIĆ MLADEN	425	RADE KONČAR OOUR ELEKTROTEHNIČKI.	ZAGREB

Priimek in ime	Št	Firma	Kraj firme
ŠULEK DRAGO	556	GORENJE POINT	TITOVO VELENJE
ŠUNDE VIKTOR	545	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
ŠUŠTARŠIČ BORIVOJ	427	METALURŠKI INSTITUT	LJUBLJANA
ŠVAJČER ANICA	428	TVORNICA ELEKTROTEHNIČKIH PROIZV.	ZAGREB
ŠVAJGER ANA	542	ISKRA CEO	LJUBLJANA
ŠVEDEK TOMISLAV	546	RADE KONČAR OOUR ETI	ZAGREB
ŽABKAR ANTON	472	INSTITUT JOŽEF STEFAN	LJUBLJANA
ŽAK BRUNO	550	RADE KONČAR ETI	ZAGREB
ŽELEZNIKAR ANDREJ	637	ISKRA FERITI	LJUBLJANA
ŽELJEZNJAK ŽELJKO	477	RADE KONČAR	ZAGREB
ŽIVANOV LJILJANA	479	FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA	NOVI SAD
ŽIVANOV MILOŠ	480	NAFTA GAS SPECIJALNI RADOVI	NOVI SAD
ŽIVIĆ ZORAN	481		
ŽNIDARŠIČ ANDREJ	638	ISKRA FERITI	LJUBLJANA
ŽUPIĆ JOSIP	489	ISKRA TOVARNA POLPREVODNIKOV	TRBOVLJE

VESTI, OBVESTILA

Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo PRIKAZ DOKTORSKE DIZERTACIJE

Dr. Franc Smole: Analiza amorfnе silicijeve sončne celice z vključitvijo izboljšanega modela lokaliziranih stanj v mobilnostni reži

V doktorski disertaciji je Franc Smole razvil računalniško podprto obravnavo nehomogeno dopiranih struktur iz amorfnega silicija, ki jo je uporabil pri študiju notranjih dogajanj v amorfnem siliciju in pri analizi električnih in osnovno - geometrijskih lastnosti osvetljenih amorfnih silicijevih sončnih celic. Uporabljeni model gostote lokaliziranih stanj v mobilnostni reži amorfnega silicija je brez poenostavitev in upošteva raznovrstne prispevke zaradi neurejene notranje zgradbe, vključno tudi vplive koreliranih nivojev bingljajočih vezi. Pri obravnavi večplastnih amorfnih silicijevih struktur je dana možnost upoštevanja zveznih prehodov koncentracij primesi med posameznimi plastmi.

Razvito obravnavo je avtor uporabil za analizo notranjih fizikalno-osnovnih lastnosti ter zunanjih električnih karakteristik osvetljenih p-i-n sončnih celic iz amorfnega silicija. Hkrati pa je pojasnil učinke raznih snovno-geometrijskih parametrov na optoelektronska dogajanja v teh celicah. Prikazal je vpliv strmine p-i prehoda ter dodanih primesi v i-plasti na fotoelektrične lastnosti osvetljene sončne celice. Izračunal je odvisnost lastnosti sončne celice od debeline celice ter učinke odbite svetlobe od zadnje površine na izboljšanje optoelektričnih lastnosti. Razvita računalniška obravnava pa je tudi omogočila analizo obstoječih modelov Staebler-Wronskega efekta.

*Mentor: Dr. J. Furlan
Fakulteta za elektroniko in računalništvo
Tržaška 25
Ljubljana*

**Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale - MIDEM
pri Jugoslovanski zvezi za ETAN, Ljubljana, Titova 50, telefon (061) 316-886**

PRIJAVNICA ZA ČLANE

(Izpolnite s tiskanimi črkami in označite ustrezne odgovore)
(Ispunite štampanim slovima i označite odgovarajuće odgovore)

1. Priimek in ime
Prezime i ime
2. Datum rojstva
Datum rođenja
3. Izobrazba
Naobrazba
- ☐ dijak
učenik ☐ študent
student ☐ srednja ☐ višja
viša ☐ visoka ☐ magisterij ☐ doktorat
4. Stroka
Struka
- ☐ elektrotehnika ☐ fizika ☐ kemija ☐ metalurgija ☐ strojništvo
strojarstvo ☐ ostalo.
5. Naziv podjetja ali ustanove, kjer ste zaposleni
Naziv preduzeća ili ustanove u kojoj ste zaposleni
-
-
-
6. Področje vaše dejavnosti
Područje vaše djelatnosti
- ☐ raziskave
istraživanje ☐ razvoj ☐ projektiva
projektiranje ☐ konstrukcija ☐ vzdrževanje
održavanje ☐ kontrola
- ☐ komercijala
komercijala ☐ AOP, informatika ☐ izobraževanje
obrazovanje ☐ ostalo.
7. Naslov člana
Adresa člana
- Ulica
Poštna številka Kraj
Poštanski broj Mjesto
- Telefon
- Naslov podjetja
Adresa preduzeća
- Ulica
Poštna številka Kraj
Poštanski broj Mjesto
- Telefon Telefax Telex
- Obvestilo želim prejemati na naslov
Obavijesti želim primati na adresu ☐ podjetja
preduzeća ☐ stanovanja
stana
- S svojim podpisom potrjujem, da bom redno plačeval letno članarino.
Svoijm potpisom potvrđujem da ću uredno plaćati godišnju članarinu.

Kraj Datum Podpis
Mjesto Datum Potpis

PRVO OBVESTILO IN VABILO ZA SODELOVANJE NA 41. POSVETU O METALURGIJI IN KOVINSKIH GRADIVIH

41. Posvet o metalurgiji in kovinskih gradivih bo v Portorožu v dneh od 3. do 5. oktobra 1990. Popoldan prvega dne je predviden za prihod in pozdravno srečanje, drugi dan in prvi del tretjega dne za predstavitev govornih in poster prispevkov, drugi del tretjega dne pa za predstavitev in razpravo o programu raziskav za leto 1991.

Metalurška industrija je dosegla pomembne uspehe v obvladovanju vplivov svoje proizvodnje na okolje, vendar pa so še nerešeni problemi, ki kvarijo njeno sliko v slovenski javnosti. V drugi polovici tega leta bo potrebno pripraviti okvirni načrt za tisti del raziskav za obdobje 1991-1995, ki bo predložen v financiranje vladi, oz. parlamentu. Razvojne in raziskovalne načrte za srednjeročno obdobje v zvezi z zahtevami po prestrukturiranju pa bodo morala pripraviti tudi podjetja. Posebno pri okolju je potrebno vedno znova predstavljati uspešne rešitve in načrte za sanacijo perečih problemov, da ne bi v javnosti nastajal vtis, da se teh problemov metalurgija ne zaveda, ali pa nima pripravljenih načrtov za njihovo rešitev.

Zato je Znanstveni svet Posveta sklenil, da bo težišče posveta na problemih okolja in na načrtovanju raziskav in razvoja metalurgije kot ene od tehničnih ved in podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo ali z uporabo kovinskih materialov.

Na posvetu bodo prispevki predstavljeni v govorni in v posterski obliki. Po sklepu ZS bodo najvažnejše dosežke iz posterskih del predstavili tudi koordinaterji URP, RP in sklopov v govorni obliki.

Pozivamo vse kandidate, ki želijo predstaviti svoja dela na posvetu, da pošljejo Organizacijskemu odboru posveta Metalurški inštitut, 61000 Ljubljana, Lepi pot 11 (z oznako za Posvet Portorož 90) do 4. julija povzetke svojih prispevkov. Za prispevke, ki jih avtorji želijo predstaviti v posterski obliki, je potrebno poslati širši povzitek v obsegu dveh strani, ki bo objavljen v zborniku posveta.

Znanstveni svet se je odločil, da bo kotizacija v višini 560,00 din (80 DEM). S to kotizacijo bo mogoče pokriti vse stroške posveta, vključno z izdajo zbornika pri približno 130 udeležencih.

Za ZS posveta:

*Dr. F. Vodopivec
Metalurški inštitut
Lepi pot 11 61000 Ljubljana*

KOLEDAR PRIREDITEV

1990
JULIJ

24.-26.: Mednarodna konferenca o vakuumski mikroelektroniki, Bath, Anglija (info. The Institute of Physics, 47 Belgrave Square, London SW1X8QX, UK)

30.- 2.8.: IIT - 90, Mednarodna konferenca o tehnologiji ionske implantacije, Guilford, Anglija

SEPTEMBER

1.-8.: International Summer School on Neurocomputing, Dubrovnik (info. ECPD, Beograd tel. 011-633551)

8.-10.: International workshop on Neurocomputing in system control, Dubrovnik (info. ECPD, Beograd tel. 011-633551)

10.-13.: ESSDERC-90, European Solid State Device Research Conference, Nottingham, Anglija

19.-21.: SD-90, Jugoslovanski simpozij o sestavnih delih in materialih, Radenci (info. MIDEM)

24.-27.: Evropska konferenca o galijevem arsenidu, St. Helier, Channel Islands, Anglija

25.-30.: Mednarodna konferenca o epitaksialni rasti kristalov, Budimpešta, Madžarska (info. Hungarian Academy of Sciences, Ujpest 1, p.f. 76, H-1325 Budapest)

OKTOBER

2.: ISEMEC90, Ljubljana, Ob razstavi Sodobna elektronika, Info. EZS Titova 50

2.-3.: JUTEL90, Ljubljana, Info. EZS Ljubljana Titova 50

4.-5.: Elektronika v prometu, Ljubljana, Info. EZS Titova 50

4.-5.: RZ90, Relejna zaščita, Ljubljana, Info. EZS Titova 50

NAVODILA AVTORJEM

Informacije MIDE M je znanstveno-strokovno-društvena publikacija Strokovnega društva za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale-MIDE M. Časopis objavlja prispevke domačih in tujih avtorjev, še posebej članov MIDE M, s področja mikroelektronike, elektronskih sestavnih delov in materialov, ki so lahko:

izvirni znanstveni članki, predhodna sporočila, pregledni članki, razprave z znanstvenih in strokovnih posvetovanj in strokovni članki.

Članki bodo recenzirani.

Časopis objavlja tudi novice iz stroke, vesti iz delovnih organizacij, inštitutov in fakultet, obvestila o akcijah društva MIDE M in njegovih članov ter druge relevantne prispevke.

Strokovni prispevki morajo biti pripravljeni na naslednji način

- 1. Naslov dela, imena in priimki avtorjev brez titula.
- 2. Ključne besede in povzetek (največ 250 besed).
- 3. Naslov dela v angleščini.
- 4. Ključne besede v angleščini (Keywords) in povzetek v angleščini (Abstract).
- 5. Uvod, glavni del, zaključek, zahvale, dodatki in literatura.
- 6. Imena in priimki avtorjev, titule in naslovi delovnih organizacij, v katerih so zaposleni.

Ostala splošna navodila

1. Članki morajo biti tipkani na listih A4 formata v vrsticah dolžine 16 cm. Rob na levi strani mora biti širok 3.5-4 cm.

2. V članku je potrebno uporabljati SI sistem enot oz. v oklepaju navesti alternativne enote.

3. Risbe je potrebno izdelati s tušem na pavs ali belem papirju. Širina risb naj bo do 7.5 oz. 15 cm. Vsaka risba, tabela ali fotografija naj ima številko in podnapis, ki označuje njeno vsebino. Risb, tabel in fotografij ni potrebno lepiti med tekst, ampak jih je potrebno ločeno priložiti članku. V tekstu je potrebno označiti mesto, kjer jih je potrebno vstaviti.

4. Delo je lahko napisano in bo objavljeno v kateremkoli jugoslovanskem jeziku v latinici in v angleščini.

Uredniški odbor ne bo sprejel strokovnih člankov, ki ne bodo poslani v treh izvodih.

Avtorji, ki pripravljajo besedilo v urejevalnikih besedil, lahko pošljejo zapis datoteke na disketi (360 ali 1,2) v formatih ASCII, wordstar (3.4, 4.0), wordperfect, word, ker bo besedilo oblikovano v programu Ventura 2.0. Grafične datoteke so lahko v formatu HPL, SLD (AutoCAD), PCX ali IMG/GEM.

Avtorji so v celoti odgovorni za vsebino objavljenega sestavka. Rokopisov ne vračamo.

Rokopise pošljite na naslov

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehniška zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana

UPUTE AUTORIMA

Informacije MIDE M je znanstveno-stručno-društvena publikacija Stručnog društva za mikroelektroniku, elektronske sestavne dijelove i materijale - MIDE M. Časopis objavljuje priloge domaćih i stranih autora, naročito članova MIDE M, s područja mikroelektronike, elektronskih sastavnih dijelova i materijala koji mogu biti:

izvorni znanstveni članci, predhodna priopćenja, pregledni članci, izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova i stručni članci.

Članci će biti recenzirani.

Časopis također objavljuje novosti iz struke, obavijesti iz radnih organizacija, instituta i fakulteta, obavijesti o akcijama društva MIDE M i njegovih članova i druge relevantne obavijesti.

Stručni članci moraju biti pripremljeni kako slijedi

- 1. Naslov članka, imena i prezimena autora bez titula.
- 2. Ključne riječi i sažetak (najviše 250 riječi).
- 3. Naslov članka na engleskom jeziku.
- 4. Ključne riječi na engleskom jeziku (3Key Words) i sažetak na engleskom jeziku (Abstract).
- 5. Uvod, glavni dio, zaključni dio, zahvale, dodaci i literatura.
- 6. Imena i prezimena autora, titule i naslovi institucija u kojima su zaposleni.

Ostale opšte upute

1. Prilozi moraju biti strojno pisani na listovima A4 formata u redovima dužine 16 cm. Na lijevoj strani teksta treba biti rub širok 3.5 do 4 cm.

2. U prilogu treba upotrebljavati SI sistem jedinica od. u zagradi navesti alternativne jedinice.

3. Crteže treba izraditi tušem na pausu ili bijelom papiru. Širina crteža neka bude do 7.5 odnosno 15 cm. Svaki crtež, tablica ili fotografija treba imati broj i naziv koji označuje njen sadržaj. Crteže, tabele i fotografije nije potrebno lijepiti u tekst, već ih priložiti odvojeno, a u tekstu samo naznačiti mjesto gdje dolaze.

4. Rad može biti pisan i biti će objavljen na bilo kojem od jugoslavenskih jezika u latinici i na engleskom jeziku.

Autori mogu poslati radove na disketama (360 ili 1,2) u formatima tekst procesora ASCII, wordstar (3.4. i 4.0), word, wordperfect pošto će biti tekst dalje obrađen u Venturi 2.0. Grafičke datoteke mogu biti u formatu HPL, SLD (AutoCAD), PCX ili IMG/GEM.

Uredniški odbor će odbiti sve radove koji neće biti poslani u tri primjerka.

Za sadržaj članaka autori odgovaraju u potpunosti. Rukopisi se na vraćaju.

Rukopise šaljite na adresu:

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehnička zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

Informacije MIDE M is professional-scientific-social publication of Yugoslav Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials. In the Journal contributions of domestic and foreign authors, especially members of MIDE M, are published covering field of microelectronics, electronic components and materials. These contributions may be:

original scientific papers, preliminary communications, reviews, conference papers and professional papers.

All manuscripts are subject to reviews.

Scientific news, news from the companies, institutes and universities, reports on actions of MIDE M Society and its members as well as other relevant contributions are also welcome.

Each contribution should include the following specific components:

- 1. Title of the paper and authors' names.
- 2. Key Words and Abstract (not more than 250 words).
- 3. Introduction, main text, conclusion, acknowledgements, appendix and references.
- 4. Authors' names, titles and complete company or institution adress.

General information

1. Papers should be typed on page format A4 in lines up to 16 cm long. Space on left side of the text should be at least 3.5 to 4 cm long.

2. Authors should use SI units and provide alternative units in parentheses wherever necessary.

3. Illustrations should be in black on white or tracing paper. Their width should be up to 7.5 or 15 cm. Each illustration, table or photograph should be numbered and with legend added. Illustrations, tables and photographs are not to be placed into the text but added separately. However, their position in the text should be clearly marked.

4. Contributions may be written and will be published in any Yugoslav language and in english.

Authors may send their files on formatted diskettes (360 or 1,2) in ASCII, wordstar (3.4 or 4.0), word, wordperfect as text will be formatted in Ventura 2.0. Graphics may be in HPL, SLD (AutoCAD), PVX or IMG/GEM formats.

Papers will not be accepted unless three copies are received.

Authors are fully responsible for the content of the paper. Manuscripts are not returned.

Contributions are to be sent to the address:

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehniška zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana,
Yugoslavia

Informacije MIDE M - Letnik 1990

Spoštovani!

Informacije MIDE M je znanstveno strokovno-društvena publikacija Stokovnega društva za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale-MIDE M. Časopis objavlja prispevke domačih in tujih avtorjev, še posebej članov MIDE M, s področja mikroelektronike, elektronskih sestavnih delov in materialov, ki so lahko:

- ☐ izvirni znanstveni članki, strokovni članki, predhodna sporočila, pregledni članki in razprave z znanstvenih in strokovnih posvetovanj.

Članki so recenzirani.

Časopis objavlja tudi novice iz stroke, vesti iz delovnih organizacij, inštitutov in fakultet, obvestila o akcijah društva MIDE M in njegovih članov ter druge relevantne prispevke.

Glasilo Informacije MIDE M opravlja funkcijo osrednje znanstvene revije za področje mikroelektronike, elektronskih sestavnih delov in materialov ter pomembno dopolnjuje obsežnejše področje elektronike in elektrotehnike.

Glasilo je ustrezno in zanimivo, tako za raziskovalce kot strokovno tehnološke kadre na inštitutih, fakultetah in v tovarnah različnih profilov - inženirje fizike, elektrotehnike, kemije, metalurgije, računalništva in drugih.

TEHNIČNI PODATKI O ČASOPISU

format:	A4
naslovnica:	večbarvna s podatki o uredniškem odboru in organih društva
zadnja stran:	seznam sponzorjev MIDE M
obseg:	tipično 60 strani
jezik:	vsi jeziki SFRJ, angleščina
pogostnost izhajanja:	trimesečno

RAZDELITEV VSEBINE

- znanstveno strokovni članki:	50%
- pregledni članki, prikazi dogodkov, poročila:	33%
- ostalo (vesti, obvestila, reklame):	17%

V letu 1990 bodo vsi znanstveno strokovni prispevki ustrezno opremljeni (izvlečki v domačem jeziku in angleščini, ključne besede) in recenzirani, revija pa je že vključena v domače in mednarodne zbirke bibliografskih podatkov.

V kolikor se boste odločili za naročilo letnika 1990, vas prosimo, da nam vrnete izpolnjeno naročilnico na naslov MIDE M.

Glavni in odgovorni urednik
Iztok Šorli, dipl. ing.

Informacije MIDE M - naročilnica za letnik 1990

Priimek in ime

Naslov

Poštna št. in kraj

NEPREKLICNO NAROČAM

- ☐ Informacije MIDE M, letnik 1990, cena 560 din.

Stroški dostave so vračunani.

Plačilo zneska je enkratno po položnici na račun št. 50101-678-74701 za Informacije MIDE M.

Datum Podpis

Naročilnico pošljite na naslov: Informacije MIDE M, Titova 50, 61000 Ljubljana

Informacije MIDE M - Godište 1990

Poštovani!

Informacije MIDE M je naučno stručno-društvena publikacija Stručnog društva za mikroelektroniku, elektronske sastavne dijelove i materijale-MIDE M. Časopis objavljuje priloge domaćih i stranih autora, naročito članova MIDE M, sa područja mikroelektronike, elektronskih sastavnih dijelova i materijala, koji mogu biti:

- ☐ izvorni znanstveni članci, stručni članci, predhodna priopćenja, pregledni članci i izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova.

Članci su recenzirani.

Časopis takodjer objavljuje novosti iz struke, obavijesti iz radnih organizacija, instituta i fakulteta, obavijesti o akcijama društva MIDE M i njegovih članova te druge relevantne obavijesti.

Časopis Informacije MIDE M vrši funkciju centralne naučne revije za područje mikroelektronike, elektronskih sastavnih dijelova i materijala te značajno nadopunjuje šire područje elektronike i elektrotehnike.

Časopis je primjeren i zanimljiv, kako za istraživače tako i za stručne tehnološke kadrove na institutima, fakultetima i u tvornicama različitih profila - inženjere fizike, elektrotehnike, hemije, metalurgije, računarstva i druge.

TEHNIČKI PODACI O ČASOPISU

format:	A4
naslovna strana:	mnogobojna sa podacima o redakcionom odboru i organima društva
zadnja strana:	spisak sponzora MIDE M
opseg:	tipično 60 strana
jezik:	svi jezici SFRJ, engleski
čestost izdavanja:	tromjesečno

PODJELA SADRŽAJA:

- naučno stručni članci:	50%
- pregledni članci, izveštaji:	33%
- ostalo (vijesti, obavijesti, reklame):	17%

U 1990 godini svi će naučno stručni prilozi biti odgovarajuće opremljeni (sažetak u domaćem i engleskom jeziku, ključne riječi) i recenzirani, a časopis je već uključen u domaće i međunarodne zbirke bibliografskih podataka.

Ukoliko ćete odlučiti da naručite godište 1990, molimo vas, da nam vratite ispunjenu narudžbenicu na adresu MIDE M.

Glavni i odgovorni urednik
Iztok Šorli, dipl. ing.

Informacije MIDE M - narudžbenica za godište 1990

Prezime i ime

Naslov

Poštanski broj i mjesto

NEOPOZIVO NARUČUJEM

- ☐ Informacije MIDE M, godište 1990, cijena 560 din.

Troškovi isporuke su uračunati.

Iznos se plaća jednokratno uplatnicom na račun br. na račun št. 50101-678-74701 za Informacije MIDE M.

Datum Potpis

Narudžbenicu pošaljite na adresu: Informacije MIDE M, Titova 50, 61000 Ljubljana

1	2	3	4
2.2.3	• kosinusni zakon zračenja; Lambertov zakon emisije • kosinusni zakon zračenja, Lambertov zakon zračenja • косинусен закон на зрачењето, Ламбертов закон на зрачењето • Lambertov zakon	• cosine emission law; Lambert's emission law	Zakon, ki povezuje vrednost emisijske energije v odvisnosti od kota, ki se nanaša na sevalno ploskev. Po kosinusovem zakonu je energija, emitirana v določeni smeri, sorazmerna kosinusu kota, ki ga tvori ta smer s pravokotnico na emisijsko ploskev. Emitorji, ki sevajo v soglasju s tem zakonom, se imenujejo lambertovski viri.
2.2.4	• Lambertova raspodela • Lambertova raspodjela • Ламбертова распределба • Lambertova porazdelitev	• Lambertian	Porazdelitev sevalnosti, ki je enakomerna v vseh smereh opazovanja.
2.2.5	• uniformna Lambertova raspodela • jednolika Lambertova raspodjela • равномерна Ламбертова распределба • enakomerna Lambertova porazdelitev	• uniform Lambertian	Lambertova porazdelitev, ki je enakomerna po ploskvi.
2.2.6	• Planckov zakon zračenja • Planckov zakon zračenja • Планков закон на зрачењето • Planckov zakon sevanja	• Planck's law of radiation	Osnovni zakon teorije sevanja, ki povezuje emisijo sevanja črnega telesa pri valovni dolžini λ z njegovo absolutno temperaturo.
2.2.7	• Richardsonov zakon • Richardsonov zakon • Ричардсонов закон • Richardsonov zakon	• Richardson's law	Osnovni zakon termionske emisije, ki se izvaja iz enačb termionske in statistične fizike. Zakon, bolj poznan kot Richardson-Dushmanova enačba, opisuje gostoto toka v A/m^2 v odvisnosti od temperature snovi in katode:

1	2	3	4
			$J = A \cdot T^2 \cdot \exp(-\phi/kT)$, kjer je: T — temperatura katode, k — $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K — Boltzmannova konstanta, A — konstanta ($A = 1,2 \cdot 10^6$ A/m ² — teoretična vrednost, pride pa tudi do odstopkov od te vrednosti), ϕ — naelektrenje elektrona, ϕ — delovna funkcija J/C ustrezne katodne snovi.
2.2.8	- Puasonova raspodela - Poissonova raspodjela - Пуассонова распределба - Poissonova porazdelitev	Poisson distribution	Verjetnostna gostota, ki opisuje porazdelitev dogodkov po enotskem intervalu časa, površine ali prostornine. Podana je z obrazcem: $P(r, m) = \frac{m^r \cdot e^{-m}}{r!}$ kjer sta: $m > 0$ in $r > 0$. Porazdelitev dogodkov je s to enačbo opisana točno le pri pogojih da je: - Verjetnost $P_r(k)$ pojavljanja r v kateremkoli enotskem intervalu (časa, površine ali prostornine) ni odvisna od števila pojavljanj v kateremkoli drugem intervalu; $\sum_{r=0}^{\infty} P_r(k) = 1$, $P_1(k) = mk$, $\sum_{r=0}^{\infty} P_r(k) \rightarrow 0$ če gre $k \rightarrow 0$
2.2.9	- Fermaov princip; princip najkrajšeg vremena - Fermatov princip; princip najkrajšeg vremena - Фермаов принцип - Fermatovo načelo	Fermat principle	Gibanje svetlobnega žarka od točke do točke, vključno z odbijanjem in lomljenjem, do katerih more priti, in to po poti, ki zahteva najkrajši čas.
2.2.10	- princip održanja energije zračenja - princip održanja energije zračenja - принцип на конзервација на радијансата - načelo ohranitve sevalnosti	conservation of radiance	Osnovno načelo, ki izraža, da se neodvisno od izgub razmerje med krajevnimi vrednostmi oddaljenosti in kvadratom lomnega količnika vzdržuje v vsakem optičnem sistemu.

3 Optično vlakno

1	2	3	4
3.1	• optičko vlakno; optički talasovod; svetlo-vodno vlakno • svetlovodno vlakno • оптичко влакно • оптично влакно	• optical fibre	Optično neprekinjeni dielektrični valovod, ki sestoji iz stržena in lupine. Lomna količnika stržena in lupine sta prilagojena tako, da je omogočen prenos energije elektromagnetnega sevanja.
3.2	• jezgro vlakna • jezgra vlakna • срцевина на оптичкото влакно • stržen vlakna	• fibre core	Osrednje področje optičnega vlakna. Lomni količnik stržena mora biti večji kot lomni količnik lupine.
3.3	• optički omotač vlakna • ovojnica svetlovodnog vlakna • обвивка на оптичкото влакно • lupina optičnega vlakna	• optical fibre cladding	Del vlakna, ki ima lomni količnik manjši kot lomni količnik stržena vlakna.
3.4	• zaščitna vlakna • zaščitna presvlaka vlakna • заштитна облека на оптичкото влакно • obloga	• coating	Zaščitna plast ali plasti, nanesene na lupino, namenjenih izboljšanju mehaničnih in optičnih lastnosti vlakna.
3.4.1	• primarna zaščitna vlakna • primarna zaščitna vlakna • примарна заштита на оптичкото влакно • osnovna obloga	• precoating; primary coating	Prva zaščitna plast ali plasti, nanesene na vlakno neposredno po vlečenju vlakna. Osnovna obloga vlakna je namenjena v glavnem za to, da vzdržuje mehanične lastnosti vlakna.
3.4.2	• zaščiteno vlakno • zaščiteno vlakno • заштитено оптичко влакно • vlakno z oblogo	• coated fibre	Optično vlakno z zaščitno oblogo. Primer kaže slika.

1	2	3	4
3.4.3	• sloj za odvajanje • ovojnica za odvajanje • бафер на оптичкото влакно • ločilna ovojnica vlakna	• fibre buffer	Snov, ki obdaja vlakno in zagotavlja mehanično ločitev in zaščito.
3.4.4	• zaščitni omotač vlakna • zaščitni plašt vlakna • заштитен плашт на оптичкото влакно • zaščitna ovojnica vlakna	• fibre jacket	Ovojnica, namenjena za zaščito optičnega vlakna pred zunanji vplivi (z ločilno ovojnico ali brez nje). Ovojnica more biti različno konstruirana. Primera kaže slika.
3.4.5	• omotač vlakna • plašt • покривка на оптичкото влакно • plašč vlakna	• fibre sheath	Splošni izraz za vse zaščitne ovojnice okrog vlakna.
3.5	• vlakno sa skokovitom promenom indeksa prelamanja • vlakno sa skokovitom promjenom indeksa loma • оптичко влакно со скоковита промена на индексот на прекршување • vlakno z nezvezno porazdeljenim lomnim količnikom	• step index fibre	Optično vlakno, katerega lomni količnik je vzdolž premera stržena konstanten, se pa naglo manjša na stiku med strženom in lupino.
3.6	• vlakno sa promenljivim indeksom prelamanja • vlakno s kontinuiranom promjenom indeksa loma • оптичко влакно со постепена промена на индексот на прекршување • vlakno z zvezno porazdeljenim lomnim količnikom	• graded index fibre	Optično vlakno, katerega lomni količnik se zvezno manjša z razdaljo od središča. Namen teh sprememb je izenačevanje skupinskih hitrosti različnih rodov, oziroma izboljšanje pasovne širine za sistem zveze.