

INFORMACIJE

MIDEM

2°1991

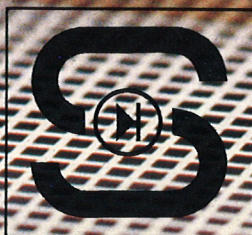
Strokovno društvo za mikroelektroniko
elektronske sestavne dele in materiale

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 21, ŠT. 2(58), LJUBLJANA, JUNIJ 1991



Semicon



Iskra

INFORMACIJE MIDEM	LETNIK 21, ŠT. 2(58), LJUBLJANA,	JUNIJ 1990
INFORMACIJE MIDEM	GODINA 21, BR. 2(58), LJUBLJANA,	JUN 1990
INFORMACIJE MIDEM	VOLUME 21, NO. 2(58), LJUBLJANA,	JUNE 1990

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

Izdaja tromesečno (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 Budič, 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 960,00 din, za zasebne naročnike 480,00 din, cena posamezne številke 120,00 din. Člani in sponzorji MIDEM prejemajo Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja predplata za radne organizacije iznosi 960,00 din, za privatne naročnike 480,00 din, cijena pojedinog broja je 120,00 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 sekretariat 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 sekretariata za informiranje št. 23-91 z dne 6. 3. 1991 je publikacija oproščena plačila davka od prometa proizvodov.

Mišljenjem Republičkega sekretarijata za informiranje br. 23-91 od 6. 3. 1991 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: Uvodni govor predsednika MIDEM ob otvoritvi MIEL 91	80	R.Ročak: Opening Talk of MIDEM Society President, MIEL 91 Conference
ZNANSTVENO STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
Andrej Žemva: Testiranje kombinacijskih vezij	81	Andrej Žemva: Testing of Combinational Circuits
A. Zupanc, R. Cajhen, J. Nastran, M. Seliger: Regulacija sinusne izhodne napetosti feroresonančnega transformatorja, II. del	85	A. Zupanc, R. Cajhen, J. Nastran, M. Seliger: Sinus Output Voltage Regulation of Ferroresonant Transformer, part II.
M. Modic, M. Kosec, J. Pirš, J. Možina: Piezoelektrični aktuator	91	M. Modic, M. Kosec, J. Pirš, J. Možina: Piezoelectric Ceramic Actuator
V.M. Kevorkijan, M. Komac, D. Kolar: Dobijanje SiC keramike iz "beta"-SiC prahova sintetiziranih modifikovanom karbotermijskom redukcijom	96	V.M. Kevorkijan, M. Komac, D. Kolar: Pressureless Sintering of "beta"-SiC Powder Prepared by Modified Carbothermic Reduction
J. P. Šetrajčič, D. Lj. Mirjanič: Spektri superprovodnih keramika	100	J. P. Šetrajčič, D. Lj. Mirjanič: Spectra of Superconductive Ceramics
D. Dužević, M. Stubičar, M. Tudja Istraživanje sinteze visokotemperaturne supravodljive Y-Ba-Cu-O keramike posredstvom kugličnog mijevenja visoke energije	104	D. Dužević, M. Stubičar, M. Tudja An Investigation of High-Energy Ball-Mill Processing of a Y-Ba-Cu-O High T _c Superconducting Ceramic System
KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA		CONFERENCES, COLLOQUIUMS, SEMINARS, REPORTS
B. Saje: EMMA 91	110	B. Saje: EMMA 91
V. Pantović: MIEL-91 u Beogradu	112	V. Pantović: MIEL-91 in Belgrade
MIPRO-91 u Opatiji	112	MIPRO-91 in Opatija
F. Jan, M. Horvat ISHM-Europe 91	115	F. Jan, M. Horvat ISHM-Europe 91
PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE		REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE
Iskra SEMICON d.d.	120	Iskra SEMICON d.d.
VESTI, OBVESTILA	122	NEWS, INFORMATION
KOLEDAR PRIREDITEV	126	CALENDAR OF EVENTS
JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI		YUGOSLAV TERMINOLOGICAL STANDARDS
Slika na naslovnici: Iskra SEMICON - Detajl iz motaže diod		Front page: Iskra SEMICON - Detail from Diode Assembly

**MIEL 91, 19th YUGOSLAV CONFERENCE ON
MICROELECTRONICS
OPENING TALK OF MIDEM SOCIETY PRESIDENT**

DEAR LADIES AND GENTLEMEN, DEAR FRIENDS!

This annual Yugoslav Microelectronic Conference takes place for the 19th time in a very turbulent year for Yugoslav people and Yugoslav countries - economically and politically.

We would prefer not to be involved in the general turbulence but the environment has its influence also on professional work, if we like it or not.

During an opening talk of a former MIEL Conference, I pointed out the necessity of international environment for Yugoslav microelectronic industry, the necessity to make an effort to join Yugoslav and western semiconductor producers. This was not done, and the result is close down of microelectronic production in Slovenia and Croatia, and collapse of semiconductor factory in Serbia.

From 72 papers in this year conference, 27 papers are from Serbia, 16 from Slovenia, 1 from Croatia, 8 from so called Eastern countries and 20 from the West.

Out of 44 Yugoslav contributions only 2 are from industrial microelectronic producers, 2 from electronic industry and 1 from a small private consulting company. All others are from universities and R&D institutes.

What does this mean for the conference which was traditionally microelectronic industry oriented? Will there be a "raison d'être" in the near future for all R&D and university research without microelectronic industry in Yugoslavia? Will MIDEM policy of international liaison be enough to enable the conference to survive in the next years?

Under such conditions and dilemma, the effort which was given by the organizing and program committee of MIEL 91 was strong and the result excellent. I have to point out especially the contribution of Mr. Pešić and Mr. Pantović and the colleagues who invited our guest speakers:

*Mr. M. Prudenziati from Italy,
Mr. J. Piotrowski from Poland,
Mr. H. B. Harrison from Australia,
Mr. D. V. Podlesnik from USA,
Mr. M. Conrad from USA and
Mr. F. S. Shoucair from USA*

I am convinced that all of You will enjoy the traditional hospitality here in Belgrade, I wish You good professional contacts and useful exchange of experience and knowledge.

In the name of all 600 members of MIDEM Society I wish You a fruitful conference which I declare open.

*MIDEM Society President
Dr. Rudi Ročak*



TESTIRANJE KOMBINACIJSKIH VEZIJ

Andrej Žemva, Baldomir Zajc

KLJUČNE BESEDE: integrirana vezja, kombinacijska vezja, testiranje vezij, sistem TEST, algoritmi, simulacija napak, eksperimentalni rezultati

POVZETEK: V članku je predstavljen sistem TEST za avtomatsko generiranje testnih vzorcev za odkrivanje enojnih napak v kombinacijskih vezjih. Od obstoječih sistemov se razlikuje v tem, da omeji vozlišča, na katerih lahko spremenimo prvotno odločitev v procesu generiranja testnih vzorcev le na vhode celic, izbranih za prenos signala napake in tako zmanjša porabo časa v postopku popravljanja napačnih odločitev. Sistem vključuje tudi možnost simulacije napak, ki omogoča odkrivanje ostalih napak z generiranim testnim vzorcem. V samem procesu je upoštevan tudi čas prehajanja signalov prek posameznih celic, tako da je ob koncu postopka testiranja dan tudi podatek o minimalnem potrebnem času stanj signalov na vhodih vezja. Eksperimentalni rezultati, dobljeni na standardnih testnih vezjih, pričajo o učinkovitosti opisanega sistema.

TESTING OF COMBINATIONAL CIRCUITS

KEY WORDS: integrated circuits, combinational circuits, circuit testing, TEST system, algorithms, fault simulation, experimental results

ABSTRACT: Test system for automatic test pattern generation for single stuck-at faults of combinational circuits is described. It differs from systems previously described in reducing the backtracking time by limiting the backtracking points to the inputs of the gates selected to propagate the fault signal towards the primary outputs of the circuit. Fault simulation option is included into the test pattern system in order to detect other faults by the recently generated test pattern. Timing conditions such as delays during propagating the signals through the gates are taken into account and the minimal time duration of signals on primary inputs of the circuit is obtained. Experimental results on benchmark circuits demonstrate the efficiency of the developed system.

1.) Uvod

Najnovejši razvoj na področju izdelave vezij visoke stopnje integracije ima velik vpliv tudi na testiranje vezij. Zaradi vse večje kompleksnosti vezij in omejitve dostopa do notranjih vozlišč, predstavlja cena testiranja pomemben delež v celotni ceni načrtovanja vezja, saj je problem odkrivanja napak NP polni problem (1) in časovna zahtevnost problema v najslabšem primeru narašča eksponentno z velikostjo vezja. Eden izmed današnjih pristopov pri načrtovanju vezij je, da že v fazi načrtovanja upoštevamo problem testiranja (design for testability), s čimer pozneje pospešimo izvajanje testiranja. Bistveno pri teh metodah je, da omogočijo v procesu testiranja transformacijo sekvenčnega vezja v kombinacijsko vezje in tako prevedejo problem testiranja zgolj na testiranje kombinacijskih vezij. V praksi se torej še vedno pojavlja potreba po razvoju učinkovitih algoritmov za testiranje kombinacijskih vezij.

Prvi popoln algoritem za odkrivanje neredundantnih napak je bil D-algoritem (2), kateri pa se je pozneje izkazal za zelo neučinkovitega pri analizi ECAT (error correction and translation) vezij. To vrzel je zapolnil PODEM algoritem (3), kateremu je pozneje sledil FAN algoritem (4). Na principih, ki so bili prvič predstavljeni v omenjenih sistemih, bazirajo v glavnem vsi poznejši pristopi.

V članku je predstavljen algoritem, ki je v svoji osnovi podoben D-algoritmu, vendar se od omenjenega algoritma razlikuje v izbiri vozlišč, kjer je dovoljeno popravi-

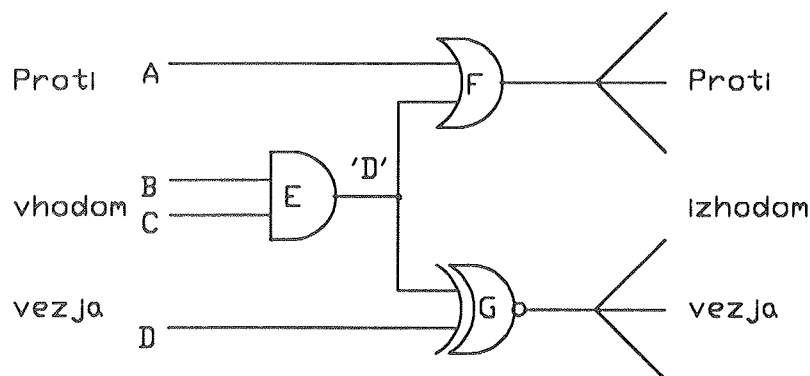
janje napačnih odločitev v procesu testiranja. Algoritem upošteva tudi časovne razmere in je tako dobljeni testni vzorec lahko vhodni podatek generatorju testnih vzorcev.

Nadaljevanje članka je organizirano v naslednjem vrstnem redu. Opis algoritma je podan v drugem delu, v tretjem je opis simulacije napak, sledi prikaz upoštevanja časovnih razmer, rezultati in zaključek pa so podani v petem, oz. šestem delu.

2.) Opis algoritma

Program lahko analizira poljubno kombinacijsko vezje, sestavljeno iz osnovnih večvhodnih logičnih AND, NAND, OR, NOR in EX-(N)OR vrat. Napake, ki nastanejo v procesu izdelave integriranega vezja, lahko modeliramo z znanim stuck-at-1(0) modelom (2). Napaka X stuck-at-0 pomeni, da je v vozlišču X lahko le logično stanje '0'. Podobno je definirano tudi stanje v vozlišču z napako stuck-at-1.

Osnovni cilj vsakega testnega algoritma je generacija takih vhodnih signalov, ki povzročijo, da je na vsaj eni izhodni celici vezja (PO primary output) stanje različno glede na to ali je v vezju napaka ali ne. Tako moramo v procesu generiranja testnih vzorcev izpolniti dve zahtevi.



Slika 1 Primer k opisu algoritma

V fazi aktivacije napake je potrebno na vhodih vezja (PI primary inputs) postaviti taka stanja, ki povzročijo v vozlišču z napako stanje nasprotno predpostavljeni napaki. Tako moramo v primeru napake stuck-at-0 na izhodu AND vrat postaviti vse vhode v stanje '1', oz. vsaj en vhod v stanje '0', če predpostavimo napako stuck-at-1. Stanje na izhodu AND vrat je sedaj signal napake in ima po dogovoru (2) vrednost D, ki predstavlja vrednost '1' v pravilnem vezju, oz. vrednost '0' v vezju z napako. D je komplement vrednosti D, medtem ko X predstavlja nedoločeno vrednost.

V fazi propagacije pa vodimo signal napake proti vsaj enem izhodu vezja, saj so to edina vozlišča v vezju, kjer lahko opazujemo njihova stanja. Vsem nedoločenim vhodom celice, katero izberemo za prenos signala napake, priredimo stanje, ki omogoči prenos signala napake prek izbrane celice. V primeru, da je izbrana celica tipa (N)OR, je potrebno nedoločene vhode postaviti v stanje '0', oz. v stanje '1', če je izbrana celica tipa (N)AND. Upoštevati pa je potrebno tudi možnost, da vrednost, ki je enaka vrednosti signala napake, katerega prenašamo, prav tako omogoči prenos signala napake na izhod celice. Vsaka druga določitev stanj na vhodih celice ima za posledico, da je signal na izhodu celice neodvisen od signala napake na njenem vhodu. Pri celicah tipa EX-(N)OR pa obstaja še več možnosti in je zato analiza vezij s to vrsto celic toliko bolj problematična.

Obe fazi se v procesu generiranja testnih vzorcev lahko izvedeta tudi v obratnem vrstnem redu in v opisanem algoritmu se najprej izvede faza propagacije napake proti izhodom vezja in na koncu, če je to potrebno, še faza aktivacije napake.

V samem procesu generiranja testnih vzorcev algoritem gradi odločitveno drevo, kjer je v vsakem vozlišču drevesa možnih več odločitev. Začetna odločitev je poljubna, vendar se lahko v kasnejšem procesu testiranja izkaže, da je bila odločitev napačna in je potrebno poskusiti z alternativno možnostjo (backtracking step). Za čim hitreje izvajanje algoritma je potrebno zmanjšati število napačnih odločitev oziroma zminimizirati čas med popravljanjem napačnih odločitev. Osnovna razlika med D in PODEM algoritmom je izbira točk, kjer je možno spremeniti prvotno izbrane odločitve. Medtem,

ko D algoritem dovoljuje spreminjanje odločitev v vsakem vozlišču odločitvenega drevesa, dovoljuje PODEM algoritem spreminjanje stanj le na vhodih vezja. Opisani algoritem pa se od njiju razlikuje v tem, da je možno odločitve spreminjati le na vhodih celice izbrane za prenos signala napake. Predpostavimo primer (slika 1).

Vzemimo, da imamo signal napake 'D' na izhodu AND vrat E. V fazi propagacije sledi izbira celice, prek katere želimo prenesti signal napake. Naj bodo najprej izbrana OR vrata F. Hevristika, na podlagi katere je izbrana določena celica, je opisana v tretjem delu. V naslednjem koraku je potrebno nedoločena stanja na vhodih celice postaviti v stanje, ki omogoči prenos signala napake prek izbrane celice. Najprej poskusimo postaviti vhod A v stanje '0'. Na vhodih vezja (PI) je sedaj potrebno postaviti ustrezne signale, da ugodimo zahtevi po želenem stanju v vozlišču A.

Proces določitve vhodnih stanj (backtrace step) je realiziran podobno kot v PODEM algoritmu. Ob vsaki novi postavitvi določenega stanja v vezju se vedno izvedejo tudi vse posledice na ostalih vozliščih vezja (implication step), da bi se potencialni konflikti med želenim stanjem in stanjem, ki v vezju že eksistira, čim hitreje odkrili.

Predpostavimo, da smo uspešno določili vhodne signale in so sedaj OR vrata F tista logična vrata, s katerimi ponovimo opisani postopek. Če pa se v nadaljnjem izvajanju izkaže, da iz celice F ni bilo mogoče voditi signala napake proti izhodom vezja (PO), potem vsa vozlišča v vezju, katerih stanje je posledica postavitve vhoda A celice F v '0', dobijo svoja prvotna stanja in poskusi se z alternativno postavitvijo stanja vozlišču A, ki je enako signalu napake, ki ga prenašamo prek celice (v tem primeru signal 'D').

Ker pa obstaja majhna verjetnost, da bi bila ta nastavitev sploh možna se najprej izvede funkcija, ki preveri smiselnost take nastavitve. Ta nastavitev je možna le v primeru, če obstaja nedoločena pot, oz. je pot določena le s signalom napake od izhodiščnega vozlišča z napako pa do vozlišča, kjer želimo postaviti to stanje (v tem primeru vozlišča A). Šele v primeru, če se tudi ta odločitev izkaže za neuspešno, se izbere naslednja celica za prenos signala napake (v tem primeru celica EX-NOR G).

Postopek se izvaja tako dolgo dokler signala napake ne pripeljemo do ene izmed izhodnih celic, oz. ne poskusimo z vsemi možnostmi. V prvem primeru se nato preveri, če trenutna nastavitve vhodnih signalov že aktivira napako. V tem primeru je proces generacije testnega vzorca končan, v nasprotnem primeru pa se izvede še operacija (backtrace step) na enak način kot pri določitvi stanja na vseh celicah, izbranih za prenos signala napake.

3.) Simulacija napak

V procesu generiranja testnih vzorcev odločitve bazirajo na parametrih (testability measures). Ti parametri so lahko statični, če upoštevajo le strukturo vezja, oz. dinamični, če na njihovo vrednost vplivajo tudi trenutna stanja v vezju. Pomembni so tako pri izbiri celice za prenos signala napake, kot tudi pri izbiri vhodov celice za izpolnitev zahteve po želenem stanju na izhodu celice. V prvem primeru, ko skušamo izbrati celico za prenos signala napake, je potrebno najti celico, ki leži hkrati čim bližje izhodu vezja in hkrati omogoča čim enostavnejšo določitev stanja na njenih vhodih. Eksperimentalni rezultati (5) so pokazali, da v splošnem najboljše rezultate dosegajo sistemi, ki upoštevajo parametre na način kot jih uporablja sistem SCOAP (6). Upoštevanje dinamičnih parametrov, ki odsevajo trenutna stanja v vezju, v praksi ne pride v poštev, saj je poraba računalniškega časa za njihov vsakokratni izračun izrazito prevelika.

Dejansko pa nas v praksi ne zanima testni vzorec za točno določeno napako, temveč niz testnih vzorcev s katerimi odkrijemo čim več potencialnih napak v vezju. Tako lahko z generiranim testnim vzorcem odkrijemo tudi druge napake v vezju in to toliko več, kolikor manj je nedoločenih stanj v generiranem testnem vzorcu. Torej se lahko pri vseh odločitvah pri izbiri celice za prenos signala napake upošteva podatek, ali je za izbrano celico že bil generiran test v enem od prejšnjih poskusov. Na ta način deluje tudi opisani algoritem.

Če v primeru na sliki 1 predpostavimo, da je bil za celico F že generiran test za napako stuck-at-0, program najprej izbere celico G, čeprav bi bila pot prek celice F morebiti lažja. Kljub temu lahko v končnem testnem vzorcu ostane eden ali več vhodov nedoločenih. Algori-

tem v tem primeru nedoločenim vhodom naključno priredi vrednosti '1', oz. '0' z namenom, da generirani testni vzorec odkrije še več preostalih napak.

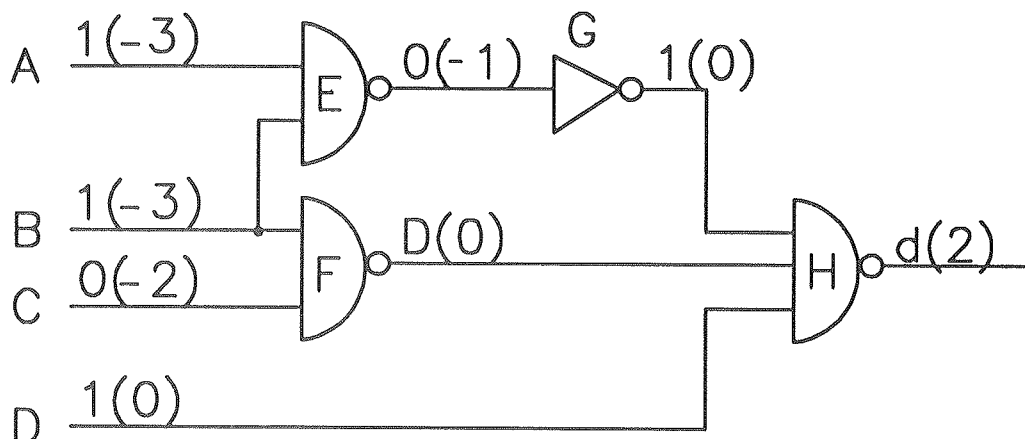
Prvotna izvedba z vsakokratnim preverjanjem medsebojne neodvisnosti generiranega testnega vzorca s prejšnjimi testnimi vzorci in eliminacija nepotrebnega testnega vzorca se je izkazala za časovno neučinkovito glede na število ugotovljenih nepotrebnih testnih vzorcev.

4.) Upoštevanje časovnih razmer

Za vsak prehod signala prek logičnih vrat je potreben določen končni časovni interval, zato je važen tudi podatek, kolikšen čas je potreben od trenutka nastavitve vhodov vezja v stanja, ki jih je generalni testni algoritem pa do trenutka, ko se informacija o pravilnosti delovanja vezja pojavi na izhodu. Te podatke je enostavno dobiti vzporedno s potekom generacije testnih vzorcev.

Minimalni čas prehoda signalov namreč določa maksimalno frekvenco generatorju testnih signalov. Ti časi so pri različnih testnih vzorcih različni in v primeru možnosti generacije testnih vzorcev v neenakih časovnih intervalih ta podatek tudi uporabimo. Podatki o času prehoda signalov prek posameznih celic so zapisani v knjižnici celic, katere lahko uporabnik poljubno spreminja. Upoštevanje časovnih razmer je prikazano na primeru (slika 2). Na izhodu vsake celice je podano trenutno stanje ter čas v katerem se to stanje pojavi (v oklepaju).

Naj bo napaka stuck-at-0 na izhodu NAND vrat F ter čas, v katerem se pojavi signal napake, enak 0. Zaradi enostavnosti vzemimo, da je število časovnih enot, potrebnih za prenos signala prek celice, enako številu vhodov celice. Signal napake lahko prenesemo le prek NAND vrat H. Vrednosti, ki jih moramo postaviti na preostale vhode v času 0, so '1'. Logična enica na izhodu inverterja ob času 0 zahteva na vhodu stanje '0' ob času -1, kar pa ima zopet za posledico stanji '1' na vhodih A in B ob času -3. Na podoben način določimo tudi preostala stanja in ustrezne čase v vezju. Minimalni čas trajanja testnega vzorca je tako razlika med časovnim trenutkom, ko se na izhodu vezja pojavi signal napake in med najbolj negativnim časom, v katerem se mora pojaviti ustrezeni vhodni signal.



Slika 2 Upoštevanje časovnih razmer v vezju

Ime vezja	Št. vrat	Št. nap.	Št. t. vz.	Št. ned. nap.	Pokr. (%)	CPU čas (s)
C 432	160	524	65	4	99,23	6.72
C 499	202	758	72	8	98,94	10.75
C 880	383	942	68	0	100	8.12
C 1355	546	1574	88	8	99,30	27.03
c 1908	880	1879	148	9	99,25	46.93
c 2670	1193	2747	132	117	95,82	239.47
c 3540	1669	3428	183	137	95,60	273.78
c 5315	2307	5350	158	68	98,64	146.72
c 6288	2406	7744	35	34	99,56	279.70
c 7552	3512	7550	210	189	97,50	335.98

Tabela 1

5.) Rezultati

Predstavljeni program smo preiskusili na standardnih ISCAS testnih vezjih (9). Rezultati, prikazani v tabeli 1, so dobljeni na delovni postaji Sun SPARC 1+.

V prvem stolpcu tabele je ime vezja, nato sledi število vrat ter število napak, število testnih vzorcev, število napak, za katere program ni generiral testa, razmerje med številom neodkritih napak ter celotnim številom napak, saj se v objavljenih člankih pojavljajo različni podatki o številu redundantnih napak za ista vezja. Rezultati so dobljeni na način opisan v tretjem in četrtem delu. Po vsakem uspešno generiranem testnem vzorcu se je izvršila simulacija ostalih napak v vezju, za katere pozneje testnega vzorca ni bilo potrebno generirati. Kljub omejitvi točk, kjer je možno popravljati odločitve, so doseženi rezultati (število neodkritih napak) za vsa vezja razen za c5315 in c7552 enaki do sedaj objavljenim rezultatom doseženih s popolnejšimi sistemi (7), (8). Vendar je program tudi pri slednjih dveh vezjih generiral testne vzorce za več kot 97.5% napak.

Celice so bile v procesu generiranja testnih vzorcev od začetnega nivoja (vhodi vezja) proti višjim nivojem. CPU čas predstavlja celoten čas izvajanja programa vključno z branjem vhodne datoteke s podatki o vezju (netlist) in zapisom rezultatov v izhodno datoteko.

5.) Zaključek

Predstavljeni algoritem je bilo tudi preprosto programsko realizirati, saj narava problema omogoča rekurzivno realizacijo. Program vsebuje približno 2400 vrstic izvorne kode v programskem jeziku C. Sam program je še v razvojni fazi, zato lahko pričakujemo z uporabo drugačnih heurističnih funkcij boljše rezultate. Predvsem bo potrebno podrobneje analizirati vpliv vrstnega reda napak za katere želimo generirati testni vzorec. Analizirati velja tudi kompromis med številom testnih vzorcev in pa čas, potreben za testiranje vezja. Ob

uporabi hitrejših metod za simulacijo napak je tudi možno zmanjšati čas izvajanja.

Knjižnica osnovnih logičnih celic je fleksibilna in jo lahko po potrebi enostavno dopolnimo tudi z drugimi celicami, oz. spremenimo obstoječe parametre.

Literatura

- 1.) O. H. Ibarra and S. K. Sahni: "Polynomially Complete Fault Detection Problems", IEEE Trans. Comput., vol. C-24, pp. 242-249, March 1975
- 2.) J. P. Roth: "Diagnosis of automata failures: A calculus and a method", IBM J. Res. Develop., vol. 10, pp. 278-291, July 1966.
- 3.) P. Goel: "An implicit enumeration algorithm to generate tests for combinational circuits", IEEE Trans. Comput., vol. C-30, pp. 215-222, Mar. 1981.
- 4.) H. Fujiwara and T. Shimono: "On the acceleration of test generation algorithms", IEEE Trans. Comput., vol. C-32, pp. 1137-1144, Dec. 1983.
- 5.) S. J. Chandra and J. H. Patel: "Experimental evaluation of testability measures for test generation, IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. 8, pp. 93-97, Jan. 1989.
- 6.) L. H. Goldstein and E. L. Thigpen: "SCOAP: Sandia controllability observability analysis program", Proc. 17th IEEE Design Automation Conf., pp. 190-196, 1980.
- 7.) M. H. Schulz, E. Trischler and T. M. Sarfert: "SOCRATES: A Highly Efficient Automatic Test Pattern Generation System", IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. 7, pp. 126-137, Jan. 1988.
- 8.) Y. Takamatsu and K. Kinoshita: "CONT: A concurrent test generation system", IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. 8, pp. 966-972, Sept. 1989.
- 9.) F. Brglez and H. Fujiwara: "A neutral netlist of 10 combinational benchmark circuits and a target translator in Fortran," in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst., June 1985.

Andrej Žemva, dipl. ing.
Dr. Baldomir Zajc, dipl. ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
61000 Ljubljana, Tržaška 25

Prispelo: 23. 04. 91 Sprejeto: 25. 06. 91

REGULACIJA SINUSNE IZHODNE NAPETOSTI FERORESONANČNEGA TRANSFORMATORJA (II. del)

Andrej Zupanc, Rafael Cajhen, Janko Nastran, Matija Seliger

KLJUČNE BESEDE: feroresonančni transformatorji, regulacija napetosti, izhodna napetost, sinusna napetost, regulacijska vezja, matematični model, eksperimentalni rezultati

POVZETEK: V članku je opisana originalna rešitev regulacije sinusne izhodne napetosti feroresonančnega transformatorja, kar je novost na tem področju.

SINUS OUTPUT VOLTAGE REGULATION OF FERORESONANT TRANSFORMER (part II.)

KEY WORDS: ferroresonant transformers, voltage control, output voltage, sinusoidal voltage, control circuits, mathematical model, experimental results

ABSTRACT: Paper deals with regulation of sinusoidal output voltage of ferroresonant transformer. An original solution is given.

8. ZAHTEVA ZA AVTOMATSKO KOMPENZACIJO REAKTIVNE MOČI

V prvem delu članka je bil podan osnovni princip regulacije sinusne izhodne napetosti feroresonančnega transformatorja. Navitje na resonančnem stebru je bilo priključeno v seriji za regulacijsko dušilko neposredno na omrežno napetost. Pri tem sta se pojavili dve pomankljivosti. Glavna pomankljivost je uporaba dodatne dušilke za kompenzacijo reaktivne moči. Ta dušilka mora biti relativno velika in njena induktivnost se mora stalno prilagajati krmilnim pogojem. Prav tako je izhodna napetost neposredno povezana z omrežno napetostjo.

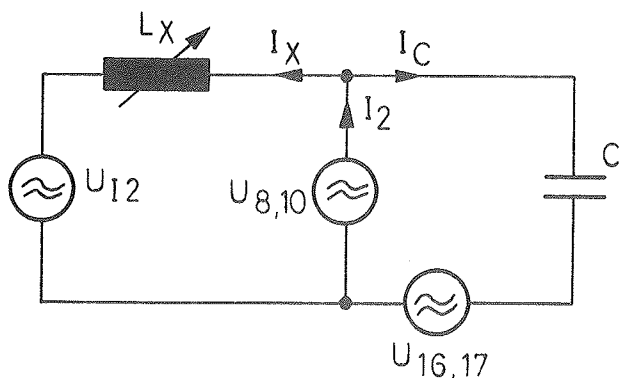
Zato je bil nadaljni študij namenjen predvsem vprašanju avtomatske kompenzacije reaktivne moči brez dodatne in spremenljive kompenzacije dušilke. Hkrati pa bo morala biti dosežena resonanca feroresonančnega

transformatorja z omrežno frekvenco pri vseh delovnih pogojih.

Raziskano je bilo več teoretičnih možnosti. Izdelan je bil matematični model, ki daje zadovoljivo rešitev. Osnova, da bi dosegli zahtevani pogoj, je bila relativno preprosta. Efektivni tok kondenzatorja I_C v resonančnem krogu mora biti v vseh primerih enak efektivnemu toku regulacijske dušilke I_X in efektivnemu toku skozi resonančno navitje I_2 . Pri tem velja

$$I_C = I_X + I_2$$

Na sliki 8 vidimo idejno skico, ki ponazarja postavljene zahteve

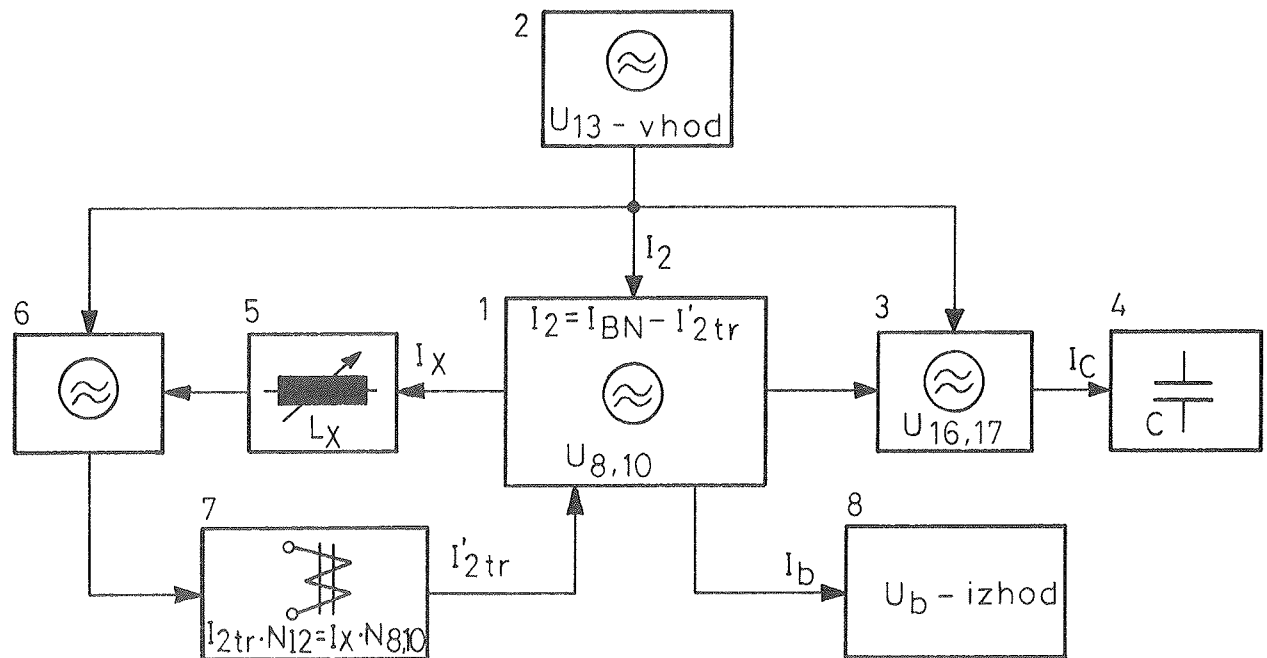


Slika 8. Idejna shema

9. PRINCIP DELOVANJA

Na sliki 9 vidimo v nekoliko poenostavljeni obliki potek krmiljenja feroresonančnega transformatorja.

Pri regulaciji izhodne sinusne napetosti ima glavno težo enota 1. To je v bistvu generator resonančne napetosti $U_{8,10}$, katere velikost se spreminja s krmilnimi pogoji. Ta enota se transformatorsko napaja iz vhodne omrežne napetosti U_{13} (enota 2). Ta napetost poganja v resonančnem navitju tok I_{BH} , ki je v skladu z magnetilno BH karakteristiko resonančnega stebla v nasičenju. Generator napetosti $U_{8,10}$ poganja v seriji z generatorjem $U_{16,17}$ (enota 3) kapacitivni tok I_C v enoto 4.



Slika 9. Blokovna shema krmiljenja FRT

Generator napetosti $U_{8,10}$ poganja hkrati tudi krmilni tok I_x skozi enoto 5 (L_X) v enoto 6. Enota 6 je pomožni generator napetosti U_{12} (pomožno navitje na primarnem stebru). Iz generatorja U_{12} se generira tok prek enote 7 vsiljeni povratni tok I'_{2tr} nazaj v enoto 1. Povratni tok I'_{2tr} ima kapacitivni značaj in vpliva na velikost napetosti $U_{8,10}$ in na tok resonančnega navitja I_2 . S spreminjanjem velikosti napetosti $U_{8,10}$ se neposredno spreminja tudi izhodna napetost U_b . Enota 8 predstavlja krmiljeno sinusno izhodno napetost U_b , ki je določena z velikostjo krmilnega toka I_x odnosno induktivne upornosti L_X .

S tem je dosežen pogoj za krmiljenje ferorezonančnega transformatorja, ki obratuje vedno v resonanci in doseže avtomatsko kompenzacijo reaktivne moči.

10. OSNOVNE ZAKONITOSTI

V članku niso podane podrobne matematične analize, ki so bile potrebne, da dobimo osnovne matematične zakonitosti. Pri točnih izračunih je potrebno upoštevati tudi določene omejitve in realne oblike tokov napetosti ferorezonančnega transformatorja.

Enostavne matematične rešitve modela z naslednjimi enačbami, so podane v tabeli II.

$$I_c = I_x + I_2 = I_x + I_{BH} - I'_{2tr} = I_x + I_{BH} - I_x \cdot \frac{N_{12}}{N_{8,10}}$$

$$I'_{2tr} \cdot N_{8,10} = I_x \cdot N_{12} \text{ iz tega sledi } I'_{2tr} = I_x \cdot \frac{N_{12}}{N_{8,10}}$$

$$I_x = \frac{I_c - I_{BH}}{1 - N_{12}/N_{8,10}}$$

$$\text{tok izrazimo tudi z } I_x = \frac{U_{8,10} - U_{12}}{\omega \cdot L_X}$$

$$\text{Induktivnost } L_X = \frac{U_{8,10} - U_{12}}{\omega \cdot L_X}$$

Tok $I_{BH} = f(U_{8,10})$; kondenzatorski tok $I_c = U_c \cdot \omega \cdot C$

k	napetostni faktor $U_c/U_{8,10}$
N_{12}	pomožno navitje na primarnem stebru I
$N_{8,10}$	resonančno navitje na stebru II
I'_{2tr}	transformirani tok pomožnega navitja na primarnem stebru I
I_{BH}	tok v resonančnem navitju v skladu z BH karakteristiko
$U_{8,10}$	napetost resonančnega navitja (steber II)
U_{12}	napetost pomožnega navitja na primarnem stebru I

V tabeli II. so podane izračunane vrednosti različnih tokov in napetosti krmiljenega ferorezonančnega transformatorja moči 3kVA v odvisnosti od velikosti resonančne napetosti $U_{8,10}$. Ta pa je v neposredni zvezi z velikostjo izhodne sinusne napetosti U_b .

Izračunane vrednosti tokov in napetosti v tabeli II se dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi na modelu 3kVA.

$U_{8,10}$	k	I_{BH}	I_c	I_x	I'_{2tr}	I_2	L_x	U_c
V		A	A	A	A	A	mH	V
100	1.02	0	3.20	7.32	4.13	-4.13	-65.2	102.0
120	1.02	0.05	3.84	8.68	4.88	-4.83	-47.6	122.4
140	1.02	0.07	4.48	10.10	5.68	-5.61	-34.7	142.8
160	1.02	0.09	5.12	11.52	6.48	-6.39	-24.8	163.2
180	1.02	0.10	5.76	12.70	7.15	-7.05	-17.5	183.6
200	1.02	0.14	6.40	14.33	8.07	-7.93	-11.1	204.0
300	1.05	0.70	9.89	21.03	11.84	-11.14	9.8	315.0
325	1.05	1.00	10.71	22.23	12.52	-11.52	10.7	341.2
350	1.10	2.00	12.09	23.10	13.00	-11.00	13.8	385.0
375	1.13	4.00	13.30	21.29	11.99	-7.99	18.7	423.7
400	1.15	6.50	14.44	18.18	10.23	-3.73	26.3	460.0
425	1.16	9.50	15.48	13.68	7.70	1.80	40.7	493.0
450	1.22	12.80	17.24	10.16	5.72	7.08	62.7	549.0
480	1.25	18.00	18.84	1.92	1.08	16.92	381.0	600.0

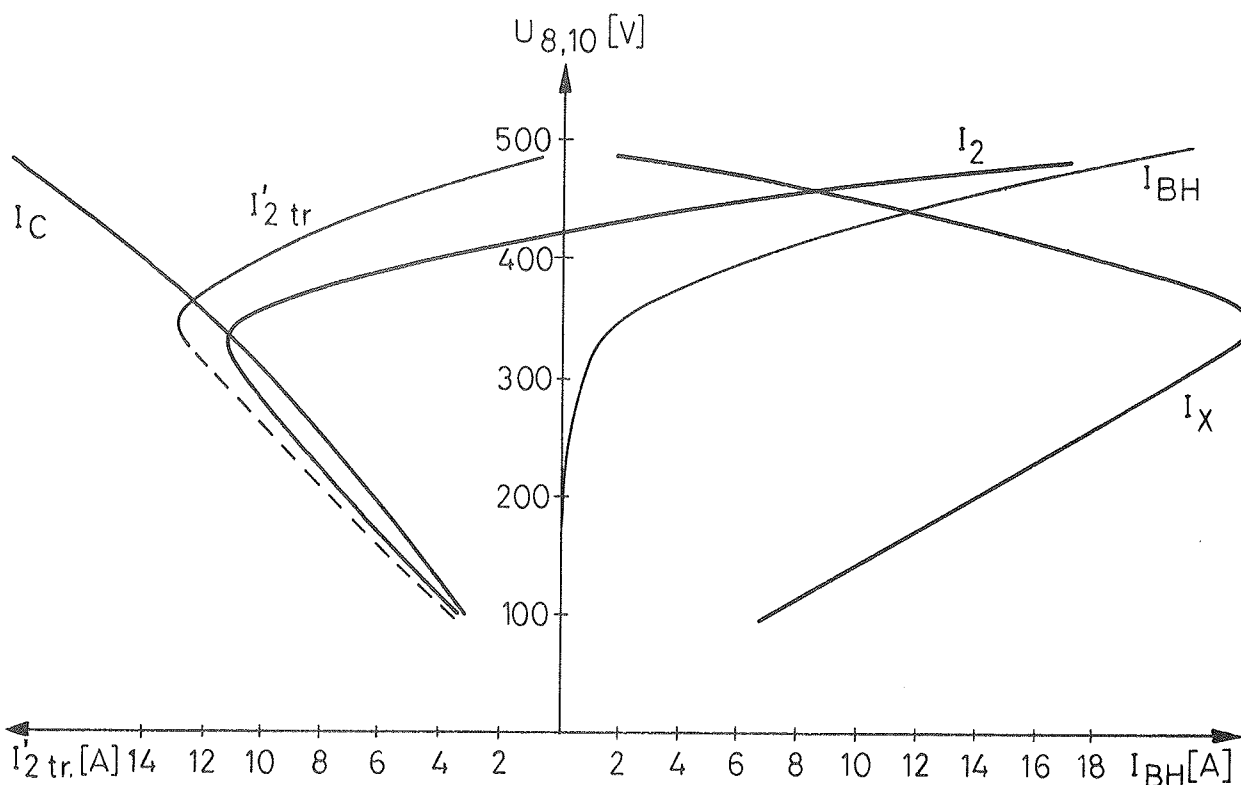
Tabela II

11. GRAFIČNI PRIKAZ TOKOV

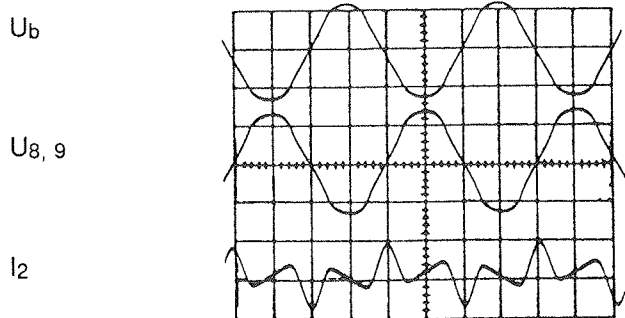
S slike 10 lahko vidimo, da se določeni tokovi nahajajo v prvem kvadrantu (I_x , I_{BH}) in v četrtem kvadrantu (I_c , I'_{2tr}).

Tok I_2 pa se nahaja najprej v četrtem in nato v prvem kvadrantu. Pri določeni napetosti resonančnega kroga $U_{8,10}$ pa je tok resonančnega navitja praktično nič.

Tok I_{BH} je magnetilni tok resonančnega stebra, ki bi tekel v primeru nekrmljenega feroresonančnega transformatorja. V kvadrantu IV. vidimo potek kondenzatorskega toka I_c kot funkcijo generatorjev napetosti $U_{8,10}$ in $U_{16,17}$. Potek krmilnega toka I_x kot funkcije generatorske napetosti $U_{8,10}$, oz. velikosti krmilne induktivnosti L_x pa vidimo v kvadrantu I. Potek toka I_x je pogojen tudi z izbrano pomožno generatorsko napetostjo U_{12} na primarnem



Slika 10. Potek tokov v odvisnosti od napetosti $U_{8,10}$



sl. 11a

Merilo:

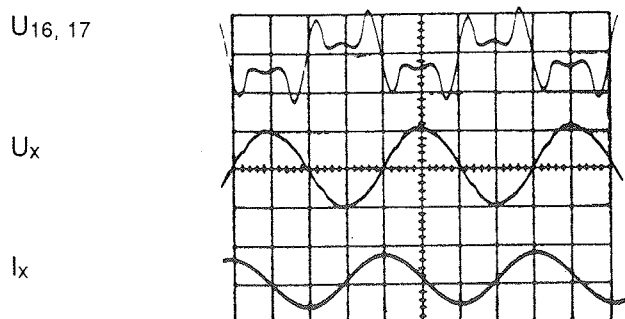
$$L_x = 45\text{mH}$$

$$U_b = 200\text{V/d}$$

$$U_{8,9} = 200\text{V/d}$$

$$I_2 = 10\text{A/d}$$

$$t = 5\text{ms/d}$$



sl. 11b

Merilo:

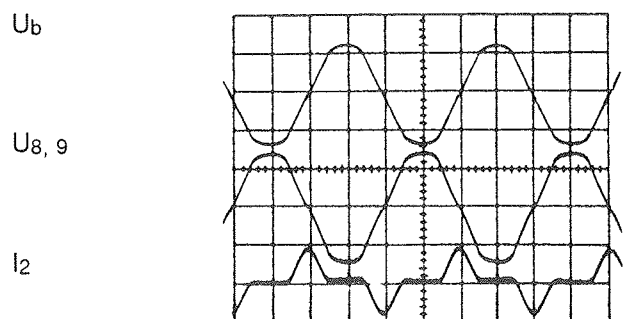
$$L_x = 45\text{mH}$$

$$U_{16,17} = 100\text{V/d}$$

$$U_x = 200\text{V/d}$$

$$I_x = 20\text{A/d}$$

$$t = 5\text{ms/d}$$



sl. 11c

Merilo:

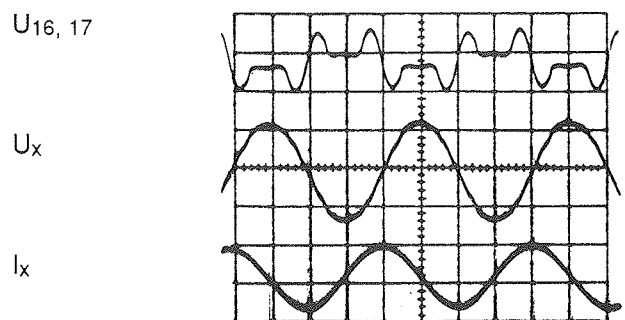
$$L_x = 84,5\text{mH}$$

$$U_b = 200\text{V/d}$$

$$U_{8,9} = 200\text{V/d}$$

$$I_2 = 20\text{A/d}$$

$$t = 5\text{ms/d}$$



sl. 11d

Merilo:

$$L_x = 84,5\text{mH}$$

$$U_{16,17} = 200\text{V/d}$$

$$U_x = 200\text{V/d}$$

$$I_x = 10\text{A/d}$$

$$t = 5\text{ms/d}$$

Slika 11. Osciloskopski posnetki tokov in napetosti FRT (sliki a in b za $L_x = 45\text{mH}$, sliki c in d za $L_x = 84,5\text{mH}$)

stebru feroresonančnega transformatorja. Napetosti $U_{8,10}$ in U_{12} sta fazno premaknjeni za 180° . Ta induktivni tok I_x vsiljuje v pomožni generator U_{12} tok, ki pa je zanj kapacitvenega značaja. Magnetna napetost, ki je podana z produktom $I_x \cdot N_{12}$ (N_{12} je število pomožnih ovojev na primernem stebru), transformira na resonančni steber magnetno napetost, ki je podana s tokom I'_{2tr} in število ovojev $N_{8,10}$.

$$I_x \cdot N_{12} = I'_{2tr} \cdot N_{8,10}$$

Tok I'_{2tr} ima kapacitveni značaj, zato se nahaja v IV. kvadrantu. Tok resonančnega navitja I_2 pa je določen z razliko tokov

$$I_2 = I_{BH} - I'_{2tr}$$

Kot vidimo iz diagrama ima tok I_2 pri majhni induktivnosti krmilne dušilke L_x kapacitveni značaj (negativno vrednost nasproti magnetilnemu toku I_{BH}), pri večjih vrednostih L_x pa ima induktivni.

12. OSCILOSKOPSKI POSNETKI

Opisani potek tokov in napetosti potrjujejo tudi naslednji osciloskopski posnetki.

Na sliki 11 je podano le nekaj značilnih osciloskopskih posnetkov različnih tokov in napetosti na ferorezonančnem transformatorju. Tu vidimo časovni potek tokov resonančnega navitja I_2 v primerjavi s krmilnim tokom I_x za krmilni induktivnosti $L_x = 45 \text{ mH}$ in 84.5 mH .

Tokova I_2 sta v obeh primerih popačena, vendar premaknjena med seboj za približno 180° el. To pomeni, da ima tok I_2 v prvem primeru kapacitivni in v drugem induktivni značaj. Velikosti tokov so v obeh primerih različne, kot se to ujema z izračunanimi vrednostmi.

Na slikah tudi vidimo obliko izhodne napetosti U_b , resonančne napetosti $U_{8,9}$ napetosti na filterskem navitju $U_{16,17}$ in napetost na krmilni dušilki U_x .

13. REALNI MODEL

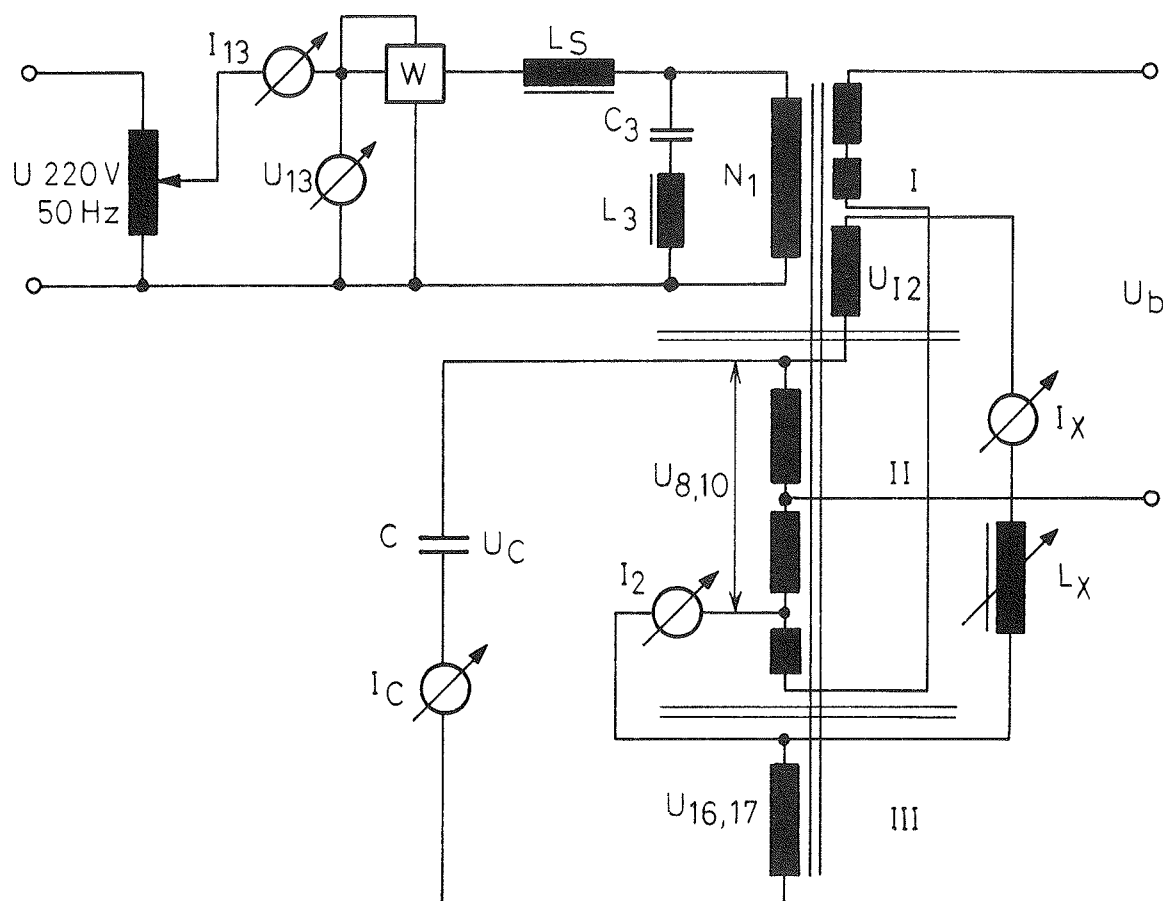
Na sliki 12 vidimo principialno shemo realnega modela krmiljenega ferorezonančnega transformatorja. V bistvu se to vezje razlikuje od vezja podanega na sliki 2 v tem, da ima primarni steber dodano pomožno navitje z nape-

tostjo U_{12} , ki je priključeno prek krmilne dušilke L_x neposredno na resonančno navitje z napetostjo $U_{8,10}$. Napetosti U_{12} in $U_{8,10}$ sta vezani v protifazi. Induktivni krmilni tok I_x je za pomožno napetost U_{12} kapacitivnega, značaja, ki se transformatorsko prenaša nazaj na resonančno navitje. V odvisnosti od velikosti toka I_x se spreminja izhodna sinusna napetost U_b , ki je priključena neposredno na resonančno navitje.

Ker ima enofazni ferorezonančni transformator relativno veliko nelinearno popačenje vhodnega omrežnega toka, je predviden tudi sesalni filter na primarni strani transformatorja.

14. ZAKLJUČEK

Kot je iz članka razvidno je bila dosežena regulacija izhodne sinusne napetosti v širokih mejah, pri čemer je bila dosežena avtomatska kompenzacija reaktivne moči brez dodatne dušilke. Prav tako je bila dosežena resonanca ferorezonančnega transformatorja z omrežno frekvenco pri vseh delovnih pogojih. Ta dognanja je mogoče uporabiti skoraj pri vseh obstoječih ferorezonančnih transformatorjih z dodatnim pomožnim navitjem na primarnem stebru transformatorja. Pri novo konstruiranih ferorezonančnih transformatorjih pa so mogoče še druge ustrezne rešitve za grobo in fino regulacijo



Slika 12. Vezalna shema krmiljenja izhodne napetosti

izhodne sinusne napetosti z minimalnim nelinearnim popačenjem.

Regulacija izhodne napetosti se lahko doseže s spreminjanjem induktivnosti krmilne dušilke L_x ali pa s kombinacijo dušilke in polprevodniških elementov.

Te sisteme lahko uporabimo, kjer se zahteva široka regulacija izhodne sinusne napetosti ali pa se zahteva zelo veliko stabilnost izhodne napetosti pri reaktivnih obremenitvah. To velja tudi v primeru ko je ferorezonančni transformator priključen na generatorje, ki obratujejo z relativno veliko spremembo frekvence in napetosti. Prav tako je mogoče te sisteme prilagoditi tudi v primeru, kjer se zahteva bistveno zmanjšanje stresa magnetnega polja.

Opisane sisteme enofaznih ferorezonančnih transformatorjev je priporočljivo graditi do moči 10 kVA. Za velike moči je opisan princip regulacije uporaben tudi za trifazne ferorezonančne transformatorje. Prav tako imajo trifazni sistemi nekatere prednosti pred enofazni-

mi, ker imajo bistveno manjše nelinearno popačenje omrežnih tokov in tudi njihova velikost in masa se bistveno ne razlikujeta od klasičnih energetskih trifaznih transformatorjev za enako moč.

*dr. Andrej Zupanc, dipl.ing.
IMP*

Titova 37, Ljubljana

*prof.dr. Rafael Cajhen, dipl.ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25, LJUBLJANA*

*doc.dr. Janko Nastran, dipl.ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25, LJUBLJANA*

*prof.dr. Matija Seliner, dipl.ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25 Ljubljana*

Prispelo: 04. 06. 91 Sprejeto: 25. 06. 91

PIEZOELEKTRIČNI AKTUATOR

M. Modic, M. Kosec, J. Pirš, J. Možina

KLJUČNE BESEDE: piezoelektrični aktuatorji, večplastni aktuatorji, keramični aktuatorji, keramika PZT, dinamične karakteristike, statične karakteristike, pomik, histereza, izdelava, eksperimentalni rezultati

POVZETEK: V delu smo na kratko opisali delovanje in uporabnost piezoelektričnih aktuatorjev. Izdelali smo večplastni aktuator iz "mehke" piezokeramike na osnovi $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$. Analizirali smo njegovo obnašanje; pomik in histerezo pri statični in dinamični električni obremenitvi. Odstopanja od modela smo pojasnili z lastnostmi piezokeramike.

PIEZOELECTRIC CERAMIC ACTUATOR

KEY WORDS: piezoelectric actuators, multilayer actuators, ceramic actuators, PZT ceramics, dynamic characteristics, static characteristics, displacement, hysteresis, fabrication, experimental results

ABSTRACT: The applications of piezoelectric actuators are briefly reviewed. The multilayer piezoelectric actuator was fabricated using "soft" piezoceramics based on $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ solid solution. The static and dynamic characteristics were measured. The discrepancy between measured and calculated values is discussed in terms of piezoceramic internal structure.

1. UVOD

Piezoelektrični aktuatorji so elektromehanske naprave, pri katerih se piezoelektrični pojav izkorišča za spreminjanje dimenzij z električno napetostjo. Piezoelektrični aktuatorji so narejeni iz feroelektričnih keramičnih materialov. Zadnja leta so ob uporabi novih feroelektričnih keramičnih materialov razvili več vrst piezoelektričnih aktuatorjev, ki jih, v primerjavi z doslej prevladujočimi elektromagnetnimi, odlikuje možnost krmiljenja pomikov reda velikosti nekaj stotink μm , majhna poraba energije, zanemarljivo segrevanje in majhna zakasnitev (nekaj s) pomika za električnim signalom. Piezoelektrične aktuatorje največ uporabljajo na področjih optike, precizne mehanike in v malih motorjih.

Piezoelektrične aktuatorje lahko po konstrukciji razdelimo v dve skupini. V prvi skupini so dvoplastni aktuatorji, ki jih dobimo, če zlepimo dve keramični ploščici s polarizacijama v nasprotnih smereh. V drugi skupini pa so

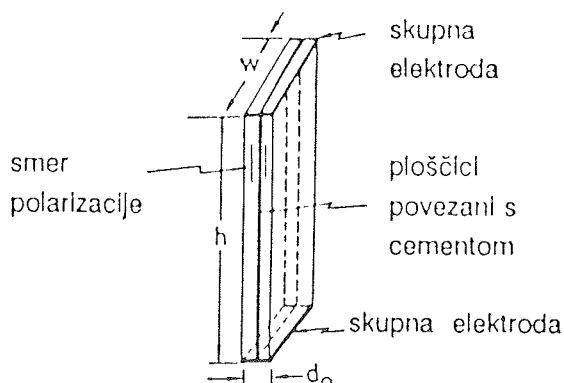
mnogoplastni aktuatorji, kjer so ploščice zlepljene v stolpec.

Najprej si oglejmo primer dvoplastnega aktuatorja, njegovo konstrukcijo kaže slika 1⁽¹⁾.

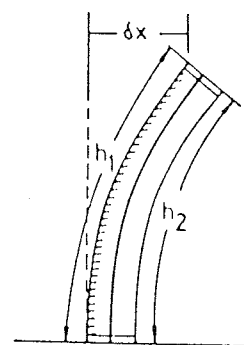
Dve keramični ploščici s polarizacijama v nasprotnih smereh sta povezani s plastjo cementa. Aktuator ima dve elektrodi, spodnjo in zgornjo. Ko na elektrodi pripeljemo električno napetost, pride do obratnega piezoelektričnega pojava; ploščica, v kateri ima polarizacija smer električnega polja, se podaljša, druga ploščica pa se skrajša. Posledica različne deformacije obeh ploščic je upogib aktuatorja (slika 2).

Z upoštevanjem osnovnih geometrijskih enačb in ob predpostavki, da sta ploščici dolgi in tanki, dobimo za pomik x enačbo:

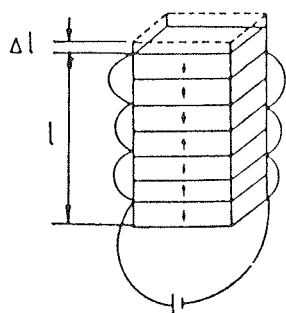
$$\delta x = \frac{h_1 \cdot (h_1 - h_2)}{2 \cdot d_0} = \frac{h^2}{2 \cdot d_0} \cdot \left(\frac{2 \delta h}{h} \right)$$



Slika 1: Konstrukcija dvoplastnega aktuatorja



Slika 2: Upogib aktuatorja, ki je posledica obratnega piezoelektričnega pojava v obeh ploščicah



Slika 3: Konstrukcija mnogoplastnega aktuatorja, puščice kažejo smer polarizacij posameznih plošč

Velja tudi $\epsilon_3 = \delta h/h = d_{33} \cdot E_3$, kjer je d_{33} piezoelektrična konstanta (mV^{-1}) in E jakost električnega polja (V m^{-1}). Indeks 3 označuje smer polarizacije.

Upogib aktuatorja je torej tako odvisen od električnega polja E_3 :

$$\delta x = \frac{h_2}{d_0} \cdot d_{33} \cdot E_3$$

Oglejmo si še primer mnogoplastnega aktuatorja⁽²⁾.

Keramične ploščice so zlepljene v aktuator kot kaže slika 3. Vsaka ploščica ima dve elektrodi, na spodnji in na zgornji ploskvi. Stiki med ploščicami so izmenoma priključeni na +, oz. - pol generatorja. Vse ploščice v aktuatorju so tako vzporedno električno vezane.

Za pomik ene ploščice velja enačba

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta z}{z} = d_{33} \cdot E_3, \text{ kjer je } z \text{ debelina ploščice in}$$

$$\Delta z = d_{33} \cdot E_3 \cdot z = d_{33} \cdot U, \text{ kjer je } U \text{ napetost med elektrodama.}$$

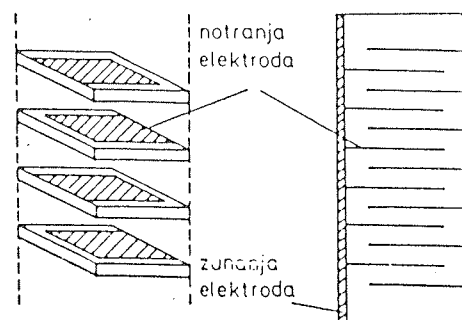
Pomik v smeri polarizacije celotnega aktuatorja je v prvi aproksimaciji, ko zanemarimo vplive lepila na pomik, vsota pomikov posameznih ploščic:

$$\Delta l = n \cdot \Delta z = n \cdot d_{33} \cdot U, \text{ kjer je } n \text{ število ploščic v aktuatorju.}$$

Vidimo, da lahko pomik aktuatorja zvečamo z dodajanjem novih ploščic, zato lahko velike pomike (nekaj μm) dobimo tudi pri nizkih napetostih (nekaj sto V).

Elektrode je na spodnjo in zgornjo ploskev ploščice treba nanesti tako, da lahko zlepljene ploščice pravilno električno vezemo. Eno izmed možnosti kaže slika 4⁽²⁾.

Keramične ploščice so kvadratne oblike, vsaka elektroda pa sega do roba ploščice samo ob eni stranici. Če na zgornji ploskvi ploščice elektroda sega do roba ob levi stranici, bo na spodnji ploskvi iste ploščice elektroda segala do roba ob desni stranici. Ob lepljenju takšnih ploščic je treba paziti, da imata dve sosednji ploščici



Slika 4: Ena od možnih konfiguracij elektrod v mnogoplastnem aktuatorju

nasprotno smer polarizacije in da sta ob vsakem stiku dveh ploščic zgornja elektroda spodnje ploščice in spodnja elektroda zgornje ploščice obrnjeni v isto smer (če zgornja elektroda spodnje ploščice sega do desnega roba, mora tudi spodnja elektroda zgornje ploščice segati do desnega roba). Ko so ploščice zlepljene, vse leve robove povežemo z eno, vse desne pa z drugo zunanjo elektrodo.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

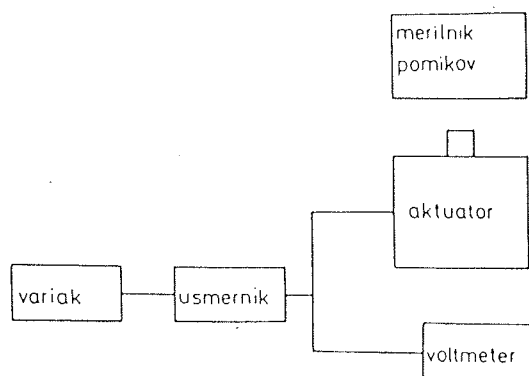
2.1 Izbira materiala

Cilj dela je bil konstrukcija, izdelava in karakterizacija mnogoplastnega keramičnega aktuatorja, ki bi dosegal pomike nekaj μm pri napetostih nekaj sto voltov.

Za piezoelektrične naprave najbolj pogosto uporabljajo keramiko svinčevega cirkonata titanata $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ (kratko PZT), ki ima perovskitno strukturo. Najbolj uporabni so materiali z x med 0,46 do 0,50, kjer so poleg tetragonalnih možne tudi trigonalne osnovne celice, kar povečuje število možnih polarnih osi⁽³⁾.

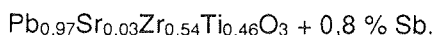
Piezoelektrični efekt PZT keramike lahko močno povečamo z dopiranjem, z dodajanjem majhnih količin snovi, ki v kristalni mreži zamenjujejo Pb, Zr ali Ti ione. Dodatki Fe^{3+} , K^{1+} ali Mg^{2+} so akceptorji, tako dopirano keramiko imenujemo trdo keramiko, njene značilnosti pa so mala histereza in sorazmerno nizke vrednosti piezoelektričnih koeficientov; tipična vrednost za d_{33} je $200 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}$, za d_{31} pa $-100 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}$. Dodatki Nb^{5+} , Ta^{5+} ali La^{3+} so donorji in povzročijo, da je nekaj svinčevih mest v kristalni mreži praznih, zato postanejo domene lažje obrnljive. To je mehka keramika, njene značilnosti so večja histereza, visoke vrednosti piezoelektričnih koeficientov (tipična vrednost za d_{33} je $500 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}$, za d_{31} pa $-200 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}$) in visoka dielektrična konstanta⁽⁴⁾.

Ker smo želeli velike pomike aktuatorja pri nizkih napetostih, smo izbrali material z visoko vrednostjo d_{33} , ki je



Slika 5: Postavitev eksperimenta za merjenje odziva aktuatorja na enosmerno napetost

bil razvit za akustične piezokeramične elemente. To je donorsko dopirana PZT keramika s formulo:



2.2 Priprava piezokeramičnih ploščic

Iz granulata PZT smo stisnili vzorce $15 \times 15 \times 8$ mm, jim odstranili vezivo ter sintrali pri 1300°C . Po sintranju smo dobili keramiko z gostoto, ki je bila večja od 95 % teoretične vrednosti in z velikostjo zrn pretežno med 5 - 10 μm . Z žaganjem in brušenjem smo pripravili ploščice $13 \times 13 \times 0,5$ mm, na katere smo s sitotiskom nanесли srebrove elektrode s konfiguracijo, prikazano na sliki 4. Neaktivni del med elektrodo in robovi ploščice je bil 1 mm. Po sušenju in žganju elektrod ter polarizaciji pri sobni temperaturi v električnem polju z jakostjo 3 kV/mm smo dobili elemente s povprečno vrednostjo $d_{33} = 400 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}$.

2.3 Izdelava aktuatorja

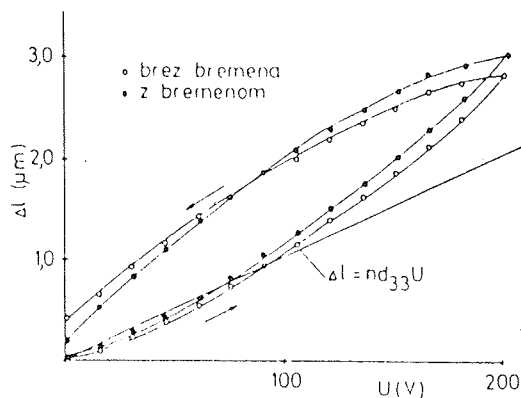
Lepilo, s katerim smo lepili ploščice v aktuator, smo izbrali po teh kriterijih:

Lepilo ni smelo biti električno prevodno, da ne bi pokvarilo konfiguracije elektrod.

Strjevanje lepila ni smelo potekati pri previsoki temperaturi, ker bi segrevanje keramike do temperature blizu Curiejeve temperature keramiko depolariziralo (ploščice so bile iz materiala, ki je imel Curiejevo temperaturo pri 190°C).

Lepilo je moralo imeti čim manjši elastični modul, da bi bil vpliv lepila na pomik aktuatorja čim manjši.

Vsem trem zahtevam ustreza lepilo Loctite 638. Ploščice smo zlepili po shemi na sliki 4. Za zunanje elektrode smo uporabili sušečo srebrovo pasto, ki smo jo nanесли ročno. Aktuator je sestavljalo 26 ploščic. Podrobnosti izdelave so opisane v viru 5.



Slika 6: Raztezek aktuatorja v odvisnosti od enosmerne napetosti

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Statične meritve

Za merjenja odziva aktuatorja na enosmerno napetost smo aktuator namestili v kovinski okvir tako, da smo pomik, ki se je prenašal prek bata, registrirali z merilnikom MI-6B (Genevoise). Inštrument zaznava pomike do 0,01 μm . Shema meritve je prikazana na sliki 5.

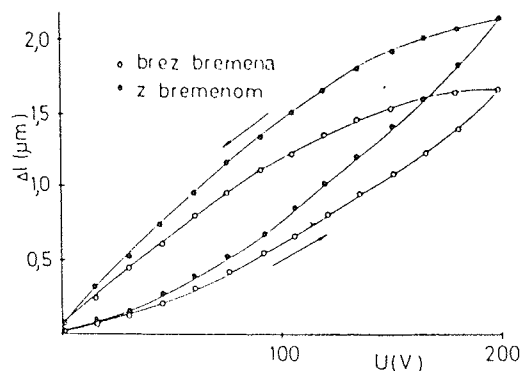
Pri merjenju je bil aktuator postavljen navpično, nanj je delovala samo sila teže bata, velika 0,6 N. Pri drugem merjenju pa je na aktuator poleg sile teže bata pritiskala tudi vzmet s silo 70 N, kar je pomenilo mehansko obremenitev 0,4 MPa. Rezultate meritev raztezkov kaže slika 6. Premica na sliki 6 kaže odvisnost raztezka od napetosti, kot ga predvideva enačba

$$\Delta l = n \cdot d_{33} \cdot U, \text{ kjer je } n = 26$$

$$\text{in } d_{33} = 400 \cdot 10^{-12} \text{mV}^{-1}.$$

Ko smo predznak napetosti obrnili, se je z naraščajočo napetostjo aktuator krčil. Izmerjeni skrčki so precej manjši od izmerjenih raztezkov (slika 7).

Velikost histereze smo izračunali tako, da smo poiskali napetosti, kjer je histerezna zanka najširša in razliko



Slika 7: Skrček aktuatorja v odvisnosti od enosmerne napetosti

med obema pomikoma pri tej napetosti delili z največjim pomikom (pri 200 V).

Dobili smo takšne rezultate:

	velikost histereze
raztezek brez vzmeti	31,8 %
raztezek z vzmetjo	26,6 %
skrček brez vzmeti	33,5 %
skrček z vzmetjo	30,7 %

Z analizo grafov lahko opazimo naslednje lastnosti aktuatorja:

1. Histereza je nekoliko manjša v primeru, ko je bil aktuator obremenjen z vzmetjo.
2. Pomiki so pri z vzmetjo obremenjenem aktuatorju nekoliko večji kot pri neobremenjenem.
3. Raztezki so samo pri nizkih električnih napetostih takšni, kot jih napoveduje enačba $\Delta l = n d_{33} \cdot U$, pri večjih napetostih (nekako od 100 V naprej pa je izmerjeni raztezek nekoliko večji od izračunanega).

Medtem, ko je prva lastnost verjetno posledica tega, da bat zaradi vzmeti bolje sledi pomikom aktuatorja pa sta druga in tretja lastnost verjetno posledici lastnosti keramike.

Domnevamo, da je d_{33} keramike pri mehanski obremenitvi narasla, tako kot sta ugotovila Meeks in Timme⁽⁶⁾. Zato smo dobili pri obremenjenem aktuatorju večje pomike, kot pri neobremenjenem. Pri tem je seveda treba biti previden, saj aktuator poleg keramike sestavljajo še elektrode, lepilo in ohišje, ki tudi vplivajo na lastnosti aktuatorja, njihovega vpliva pa ne poznamo.

Tudi pojav, da je pri večjih električnih napetostih izmerjeni pomik večji od izračunanega, so pri poskusih s keramiko že opazili. Pri PZT keramiki s tetragonalno obliko osnovne celice v feroelektričnem stanju lahko domene, glede na to, kako se obračajo v zunanjem električnem polju, razdelimo v dve skupini, 90 stopinjske in 180 stopinjske⁽⁷⁾. Pri 180 stopinjskih domenah se orientacija njihovega dipolnega momenta zaradi elek-

tričnega polja obrne za 180°, kar ne povzroča sprememb dimenzije vzorca. Pri 90 stopinjskih domenah pa se orientacija dipolnega momenta zaradi električnega polja obrne za 90°. Ker ima orientacija dipolnega momenta smer daljše stranice v tetragonalni osnovni celici, se za 90° obrne tudi smer te stranice, kar povzroča spremembo dimenzij vzorca.

Pri polarizirani PZT keramiki sprememba električnega polja skoraj ne vpliva na obračanje 180 stopinjskih domen, vpliva pa na obračanje 90 stopinjskih domen⁽⁸⁾. Razlika med izmerjenim in izračunanim pomikom bi naj torej bila posledica obračanja 90 stopinjskih domen, z večanjem števila domen, orientiranih v smeri polarizacije, se namreč večja tudi piezoelektrični efekt.

Morda je tudi to, da je skrček, ki smo ga izmerili, manjši od raztezka, posledica obračanja domen, kar električno polje v nasprotni smeri polarizacije zmanjšuje število domen, ki prispevajo k piezoelektričnemu efektu.

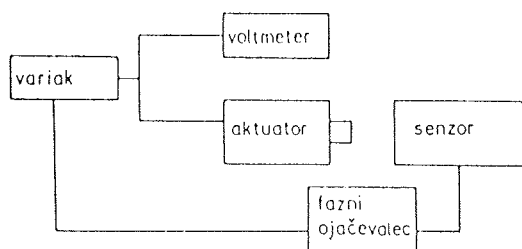
3.2 Dinamične meritve

Poleg odziva aktuatorja na enosmerno napetost smo poskusili izmeriti tudi odziv aktuatorja na izmenično napetost; slika 8 kaže postavitev eksperimenta.

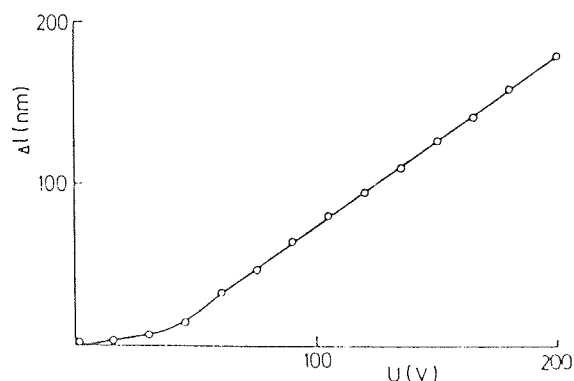
Pomike aktuatorja smo merili s senzorjem z optičnim vlaknom, ki ga sestavljajo laser, optična vlakna in fotodetektor⁽⁹⁾.

V našem eksperimentu smo aktuator poganjali z napetostjo iz variaka s frekvenco 50 Hz, zato smo tudi na referenčni vhod ojačevalca pripeljali sinusen signal iz variaka s frekvenco 50 Hz. Na vhod ojačevalca smo pripeljali signal iz fotodetektorja. S faznim ojačevalcem smo merili amplitudo signala s frekvenco 50 Hz iz fotodetektorja. Pri občutljivosti senzorja $3 \text{ nm}(\mu\text{V})^{-1}$ smo dobili rezultate, ki jih prikazuje slika 9.

Ker je bil aktuator med merjenjem v vodoravni legi, nismo mogli meriti brez vzmeti, ki je zagotavljala, da je bat sledil pomiku ploščic. Izmerjeni pomiki so več kot desetkrat manjši od pomikov, izmerjenih pri enosmerni



Slika 8: Postavitev eksperimenta za merjenje odziva aktuatorja na izmenično napetost



Slika 9: Izmerjen pomik aktuatorja v odvisnosti od amplitude izmenične napetosti s frekvenco 50 Hz.

napetosti. Domnevamo, da zaradi histereze odziv aktuatorja na sinusno izmenično napetost ni sinusno nihanje, zato nihanje aktuatorja vsebuje poleg sinusnega nihanja s frekvenco 50 Hz še člene z višjimi harmonskimi frekvencami, ki pa jih pri merjenju s faznim ojačevalcem nismo izmerili.

4. SKLEPI

Sestavili smo piezoelektrični aktuator, uporabljajoč piezokeramiko na osnovi trdne raztopine $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$.

Izbrali smo material, ki ima visoko vrednost konstante d_{33} , vendar tudi veliko histerezo.

Pri aktuatorju, zlepljenem iz 26 ploščic, smo pri enosmerni napetosti 200 V izmerili raztezek 2 μm .

Pri aktuatorju, obremenjenem z mehansko napetostjo $\sigma_3 = 0,41 \text{ MPa cm}^{-2}$, smo izmerili večje pomike kot pri neobremenjenem aktuatorju, kar naj bi bila posledica odvisnosti vrednosti d_{33} za PZT keramiko od σ_3 .

Pri napetostih, večjih od 100 V, je bil izmerjen raztezek večji od raztezka, ki ga predvideva enačba $\Delta l = n d_{33} U$. To je verjetno posledica obračanja 90 stopinjskih domen v smer električnega polja.

Lastnosti, ki smo jih opazili pri merjenju pomikov aktuatorja, smo poskusili pojasniti z lastnostmi keramike, ne moremo pa izključiti vplivov ostalih sestavnih delov (lepila, ohišja...) na lastnosti aktuatorja.

Odvisnost pomika aktuatorja od amplitude izmenične napetosti s frekvenco 50 Hz smo izmerili z doma izdelanim senzorjem z optičnim vlaknom, nismo pa uspeli izvesti merjenja pomika aktuatorja v odvisnosti od frekvence izmenične napetosti.

Konfiguracija elektrod je takšna, da so v keramiki tudi neaktivne plasti, čemur bi se lahko izognili z drugačno tehnologijo; s preizkušanjem več vrst keramik in lepil pa bi lahko zmanjšali histerezo, ki je glavna pomanjkljivost piezoelektričnega aktuatorja.

5. VIRI

1. P. S. Brady, Optomechanical Bimorph Actuator, *Ferroelectrics* **50** (1983) 353
2. S. Takahashi, Longitudinal Mode Multilayer Piezoceramic Actuators, *Ceram. Bull.* **65** (1986) 1156
3. V. A. Isupov, Some Aspects of the Physics of Piezoelectric Ceramics, *Ferroelectrics* **46** (1983) 217
4. T. R. Shrout, A. Safari, W. A. Schulze, Low Field Poling of Soft PZTs, *Ferroelectric Letters* **44** (1983) 227
5. M. Modic, Piezoelektrični aktuator, diplomsko delo, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani, Ljubljana 1989
6. S. W. Meeks, R. W. Timme, Effects of One-Dimensional Stress on Piezoelectric Ceramics, *J. Appl. Phys.* **46** (1975) 4334
7. D. Berlincourt, H. A. Krueger, Domain Processes in Lead Titanate Zirconate and Barium Titanate Ceramics, *J. Appl. Phys.* **30** (1959) 1804
8. N. Uchida, T. Ikeda, Temperature and Bias Characteristics of $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ Families Ceramics, *Jap. J. Appl. Phys.* **4** (1965) 867
9. A. Alajbegović, Brezdotična detekcija ultrazvoka z optičnim vlaknom, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1987

Marko Modic, dipl.ing.
Železarna Ravne
62390 Ravne na Koroškem

dr. Marija Kosec,
Institut "Jožef Stefan"
Jamova 39
61000 Ljubljana

dr. Janez Pirš
Institut "Jožef Stefan"
Jamova 39
61000 Ljubljana

prof. dr. Janez Možina
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Murnikova 2
61000 Ljubljana

Prispelo: 26. 03. 91 Sprejeto: 04. 06. 91

DOBIJANJE SiC KERAMIKE IZ β -SiC PRAHOVA SINTETIZIRANIH MODIFIKOVANOM KARBOTERMIJSKOM REDUKCIJOM

V. M. Kevorkijan, M. Komac, D. Kolar

KLJUČNE REČI: SiC keramika, karbotermijska redukcija, redukcija SiO₂, sintranje, tehnologija, eksperimentalni rezultati

SADRŽAJ: Modifikovanim procesom karbotermijske redukcije sintetiziran je pretežno submikronski β -SiC prah sa visokim prinosom. Nakon prečišćavanja i sedimentacije, sinterovanjem pod normalnim pritiskom dobijena je SiC keramika sa 98.7 % T.G..

PRESSURELESS SINTERING OF β -SiC POWDER PREPARED BY MODIFIED CARBOTHERMIC REDUCTION

KEY WORDS: SiC ceramics, carbotermic reduction, SiO₂ reduction, sintering, technology, experimental results

ABSTRACT: Modified carbothermic reaction was used in order to prepare submicrometre β -SiC powders with high yield. By subsequent chemical purification and sedimentation of crude reaction products, powders which can be pressureless sintered above 98 % T.D. were obtained.

1. UVOD

Iako je u poslednje vreme razvijeno više postupaka za direktnu sintezu submikronskih β -SiC prahova, većina komercijalnih β -SiC prahova za inženjersku keramiku se i dalje dobija karbotermijskom redukcijom SiO₂ koja ne zahteva specijalne reaktante i komplikovanu opremu za svoje izvodjenje.

Karbotermijska redukcija SiO₂ ne omogućava, medjutim, direktno dobijanje submikronskog β -SiC praha. Ma da se optimizacijom procesa udeo submikronske frakcije čestica u prahu može znatno povećati, izvestan deo grubih čestica i aglomerata koji i dalje zaostaje čini dobijeni prah nepodesnim za sinterovanje (1). Stoga je za uspešnu primenu karbotermijske redukcije SiO₂ kao metode za dobijanje sinterativnog β -SiC praha pored optimizacije samog procesa neophodno razviti i postupke za poboljšanje morfoloških karakteristika dobijenog praha.

Cilj ovog rada je bio: (1) Optimizacija karbotermijske redukcije radi dobijanja pretežno submikronskih β -SiC prahova, (2) Poboljšanje morfoloških karakteristika, tako dobijenih prahova i (3) njihovo sinterovanje do guste SiC keramike (98 % T.G.).

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo rada je obuhvatao: (1) Dobijanje β -SiC prahova karbotermijskom redukcijom SiO₂, (2) Obradu i karakterizaciju dobijenih prahova i (3) Sinterovanje.

Kao reaktanti u procesu karbotermijske redukcije korišćeni su koloidni SiO₂ (Cab-O-Sil, S = 200 m²/g) i dva tipa ugljenične čadji: (A) Hoechst, S = 70 m²/g i (b) Cabot, S = 560 m²/g. Osim toga, u izvesnim slučajevima reakcionoj smeši je dodavan i bor* (0.6 tež %).

Karbotermijska redukcija je vršena u vakuumskoj peći sa grafitnim grejačem, pri pritisku od 1 Pa. Slobodni ugljenik je nakon sinteze uklanjan zagrevanjem na vazduhu (20 h pri 750°C), dok je neprореagovani SiO₂ uklanjan u protoku gasovitog HF (2.5 h pri 600°C).

Za uklanjanje čestica većih od 0,8 μ m iz β -SiC praha dobijanog karbotermijskom redukcijom korišćene su sedimentacija u vodenoj disperziji i vakumska filtracija.

Karakterizacija dobijenih uzoraka je obuhvatala merenje specifične površine (BET metoda), raspodelu čestica po veličini (rentgenskim sedigrafom, u 10 % vodenoj disperziji, pri pH = 11), kao i TEM i SEM analizu. Koncentracija slobodnog ugljenika i kiseonika je odredjivana metodama navedenim u (2).

* Ventron, 00438-325 mesh. amorphous

Kao sinter aditivi su u svim eksperimentima korišćeni amorfni bor¹ (0.6 tež. %) i ugljenik (4tež.%), koji je dodavan u obliku fenolformaldehidne smole² (12 tež. %).

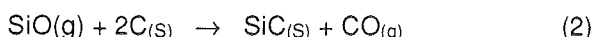
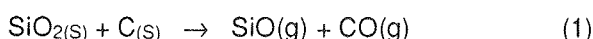
Sinterovanje je vršeno u vakuumskoj peći sa grafitnim grejačem u temperaturnom intervalu od 2000 - 2065°C. Prosečna brzina zagrevanja uzoraka je iznosila - 65°C/min. Radna atmosfera je u svim eksperimentima bio Ar.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

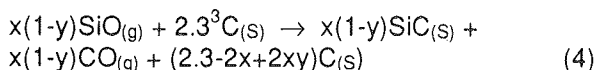
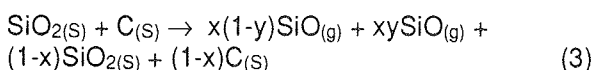
Termodinamička analiza karbotermijske redukcije (1) pokazuje da je najniža moguća radna temperatura direktno proporcionalna pritisku koji vlada u reaktoru.

Ovo omogućava da se temperatura karbotermijske redukcije sa ≈ 1800 K (pri normalnom pritisku) snizi na ≈ 1500 K (pri 1 Pa) što je od izuzetnog značaja kada se kao produkt želi da dobije što finiji β -SiC prah. Smanjenje brzine procesa, do kojeg pri tom neminovno dolazi, može se upotrebom finijih reaktanata ograničiti na samo red veličine što pri $\approx 1300^\circ\text{C}$ omogućava gotovo kompletno odvijanje reakcije za manje od 1 h(2),(3).

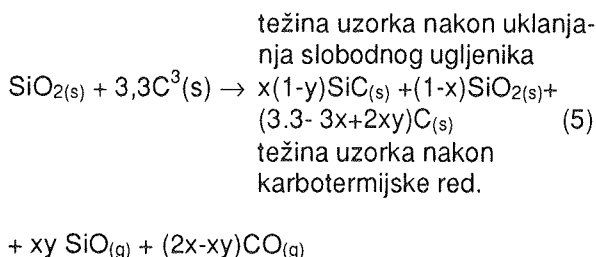
Osnovni faktor koji, pored niskog stepena reagovanja, pri nižim temperaturama sinteze, sprečava postizanje većeg prinosa je gubitak Si komponenta (u obliku $\text{SiO}_{(g)}$) do kojeg dolazi pri kontinuiranom uklanjanju gasovitih produkata karbotermijske reakcije.



Ukoliko se sa X(%) označi stepen konverzije $\text{SiO}_{2(s)}$ u $\text{SiO}_{(g)}$ a sa Y(%) gubitak $\text{SiO}_{(g)}$ komponente, reakcije (1) i (2) postaju:



Za ukupnu reakciju u karbotermijske redukcije dobija se:



što omogućava da se X i Y izračunaju na osnovu podataka o promeni težine uzoraka po završenoj karbotermijskoj redukciji i nakon uklanjanja slobodnog ugljenika. U modelu je pretpostavljeno da je spori stupanj ukupne reakcije obrazovanje $\text{SiO}_{(g)}$ u $\text{SiC}_{(s)}$ (4). Stoga je u reakciji (2) pretpostavljena potpuna konverzija $\text{SiO}_{(g)}$ u $\text{SiC}_{(s)}$.

Dobijeni rezultati su prikazani na Sl. 1. Iznad 1275°C stepen reagovanja, X, i gubitak $\text{SiO}_{(g)}$, Y, pokazuju tendenciju zasićenja. Pri nižim temperaturama zapaža se značajan gubitak $\text{SiO}_{(g)}$ komponente što, zajedno sa malim stepenom reagovanja, dovodi do slabog prinosa.

Analizirajući raspodelu čestica po veličini za sintetizirane β -SiC prahove, sl. 2, može se zaključiti da upotreba reakcione smeše bez dodatka bora omogućava dobijanje pretežno submikronskog β -SiC praha isključivo pri veoma niskim temperaturama sinteze (1170°C , 0.5 h, 1.3 Pa) što ima za posledicu mali prinos SiC ($\approx 8\%$)(1). Osim toga, upotreba finije ugljenične čadji (B) ne dovodi do obrazovanja finijeg β -SiC praha što se objašnjava pogrubljavanjem β -SiC do kojeg dolazi mehanizmom površinske difuzije (1).

Za razliku od toga reakciona smeša sa dodatkom bora, koji usporava površinsku difuziju SiC (1), omogućava dobijanje β -SiC praha sa $\approx 50\%$ submikronskih čestica (krive 1, 2, Sl. 2) pri znatno višim temperaturama sinteze a samim tim i uz veći prinos(1). Preliminarni eksperimenti sinterovanja dobijenih β -SiC prahova pokazali su, međutim, da se ni jedan od njih ne može uspešno sinterovati do gustine iznad 80 % T.G. Upoređujući raspodelu čestica po veličini za dobijene prahove sa komercijalnim, nadjeno je (5) da je njihova mala sinteraktivnost posledica prisustva čestica većih od 3-5 μm .

Stoga su, sedimentacijom i vakuumskom filtracijom, iz sintetiziranih β -SiC prahova odstranjene sve čestice veće od 0,8 μm , Sl. 3.

Sinterovanjem frakcije β -SiC čestica manjih od 0,8 μm (1 h pri 2065°C) dobijena je SiC keramika sa gustom 98 % T.G., sl. 4. U mikrostrukturi dobijene keramike se opažaju izdužena 20-100 μm zrna koja se javljaju kao posledica: β - α fazne transformacije (6) i neoptimiziranih uslova sinterovanja.

Detaljnija analiza sinterovanja različitih komercijalnih β -SiC prahova (5) je pokazala da se sa submikronskim β -SiC prahovima dobijaju gustine 97 % T.G. pri znatno kraćem vremenu sinterovanja (5-15 min) i nižoj temperaturi (2035°C). U tom slučaju su zrna SiC manja od 10 μm , sl. 5.

1 Ventron, 00438-325 mesh. amorphous

2 Viaphen PR 881/60, Color Medvode

3 U proračunu se pretpostavlja 10% višak ugljenika u rekcionoj smeši.

4. ZAKLJUČAK

Dodatak bora reakcionoj smeši koloidnog SiO_2 i ugljenične čadji omogućava da se temperatura karbotermijske redukcije povisi za 150-200°C bez smanjenja udela submikronskih čestica u dobijenom β -SiC prahu što dovodi do boljeg prinosa reakcije (70 %). Visoka sinteraktivnost β -SiC praha se postiže tek nakon hemijskog prečišćavanja i odstranjivanja frakcije grubih čestica i aglomerata.

Rezultati sinterovanja pod normalnim pritiskom pokazuju da se dobijeni β -SiC prah sa česticama manjim od 0.8 μm može uspešno sinterovati do gustine 98 % T.G. pri 2035-2065°C, tokom 15-60 min, u statičnoj atmosferi argona.

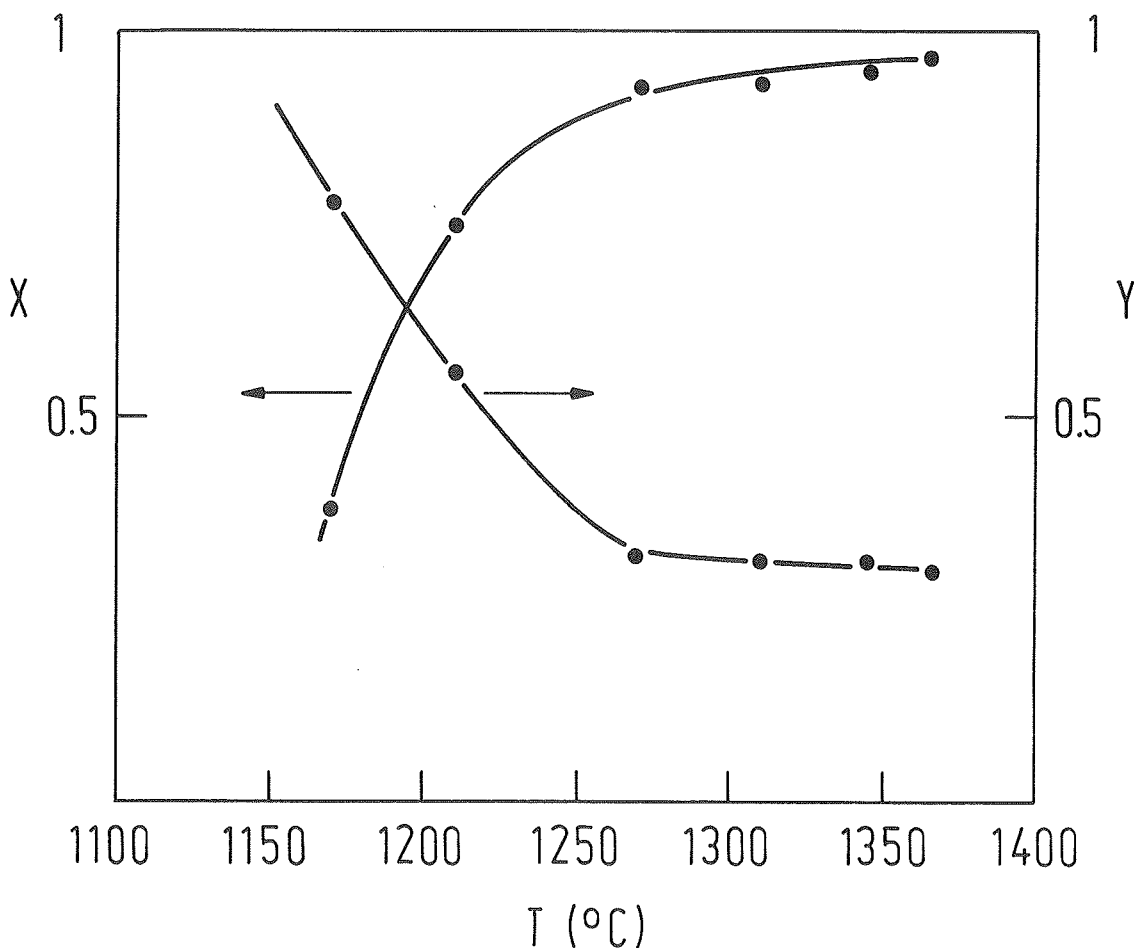
5. LITERATURA

1. V. Kevorkijan, M. Komac, D. Kolar, "The Influence of Preparation Conditions on the Properties of beta-SiC Powders Synthesized by Carbothermic Reduction, *Proc. 2nd Int. Conf. on Ceramic Powder Processing Science*, 1989 (u štampi)

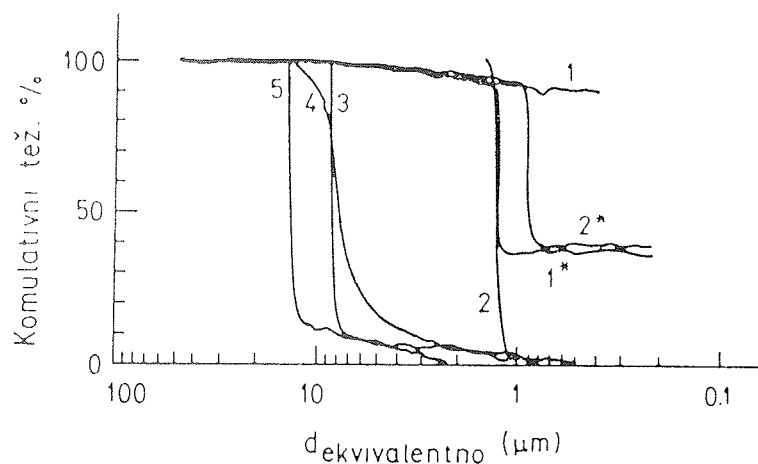
2. N. Klinger, E.L. Strauss, K.L. Komarek, "Reactions Between Silica and Graphite", *J. Am. Ceram. Soc.*, 49, 7, str. 369-75, 1966.
3. J.L. Blumenthal, M.J. Santy, E.A. Burns, "Kinetic Studies of High-Temperature Carbon-Silica Reactions in Charred Silica-Reinforced Phenolic Resins", *AIChE*, 4, 6, str. 1053-7, 1966.
4. P. Kennedy, B. North, "The Production of Fine Silicon Carbide Powder by the Reaction of Gaseous Silicon Monoxide with Particulate Carbon", *Proc. Brit. Ceram. Soc.*, 33, str. 1-15, 1983.
5. V. Kevorkijan, M. Komac, D. Kolar, A. Šmalc, J. Rottmann, "Influence of Processing on the Properties of β -SiC Powders," *Zbornik radova IX. Nemačko-Jugoslavanske Konferencije o Materijalima*, 1989 (u štampi)
6. M. Lancin, F. Anxionnaz, J. Thibault-Desseaux, D. Stutz, P. Griel, "Phase Transformation in Sintered SiC Involving Feather Formation", *J. Mater. Sci.*, 22, str. 1150-6 (1987)

Dr. V. M. Kevorkijan, dipl. ing.
Dr. M. Komac, dipl. ing.
Dr. D. Kolar, dipl. ing.
Institut Jožef Stefan
Jamova 39, 61000 Ljubljana

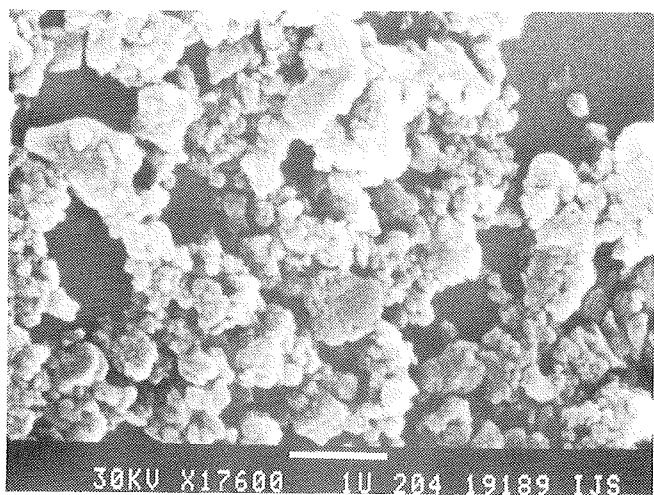
Prispelo: 10. 04. 91 Sprejeto: 10. 06. 91



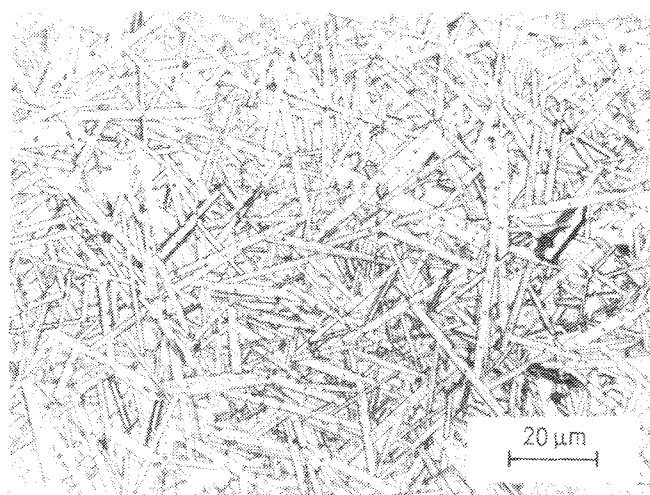
Slika 1: Promena stepena reagovanja X, i gubitka $\text{SiO}_{(g)}$ komponente Y, za reakciju karbotermijske redukcije u funkciji temperature (vreme trajanja sinteze: 0,5h, pritisak u reaktoru 1,3 Pa).



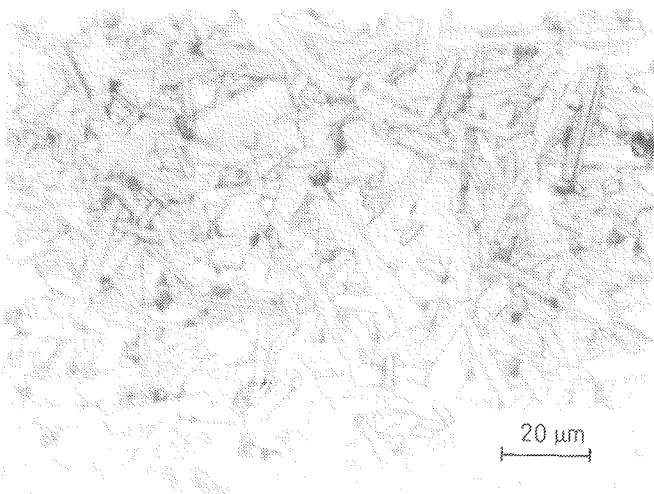
Slika 2: Raspodela čestica po veličini za β -SiC prahove dobijene karbotermijskom redukcijom sa (1*, 2*) i bez dodatka bora (1-5). 1* - 1250°C, 2* - 1350°C, 1 - 1170°C, 2 - 1220°C, 3 - 1270°C, 4 - 1410°C, 5 - 1350°C



Slika 3: SEM snimak IJS β -SiC praha dobijenog nakon 300h sedimentacije i filtracije kroz 0,9 μ m filter.



Slika 4: Mikrostruktura IJS β -SiC sinterovanog pri 2065°C, 1h u statičnoj atmosferi Ar. (ρ = 98.7% T.G.)



Slika 5: Mikrostruktura B-10 β -SiC sinterovanog pri 2000°C, 15 min u statičnoj atmosferi Ar (ρ = 97% T.G.)

SPEKTRI SUPERPROVODNIH KERAMIKA

J.P.Šetrajčič, D.Lj.Mirjanić

KLJUČNE REČI: superprovodljivost, superprevodna keramika, spektri nosilaca naelektrisanja, anizotropan film, parabolička deformacija, kontinualna aproksimacija, istraživanje materiala

SAŽETAK: U cilju razumijevanja mehanizma visokotemperaturne superprovodnosti, analizirani su spektri nosilaca naelektrisanja u deformisanim strukturama. Pronađen je spektar modelne strukture u harmonijskoj aproksimaciji. Osim toga razmatrana je simetrično spaterovana struktura i parabolička deformacija u troslojnoj i petoslojnoj strukturi. U kontinualnoj aproksimaciji izvršena je analiza strukture proizvoljne debljine.

SPECTRA OF SUPERCONDUCTIVE CERAMICS

KEY WORDS: Superconductivity, superconducting ceramics, spectra of electricity carriers, anisotropis film, parabolic deformation, continual approximation, materials research

ABSTRACT: The spectra of the electricity carriers in deformed structures are analysed in the paper, with the goal to understand mechanism of the high temperature superconductivity. The spectra of model structure using harmonic approximation is obtained. Also, the symmetrically sputtered structure and parabolic deformation inside three-layer and five-layer structures are considered. Analysis of the bulk structure using the continual approximation is performed.

1. UVOD

S obzirom da superprovodne keramike možemo posmatrati kao slojevite strukture sa narušenom simetrijom koje podsjećaju na tanak film, analizirat ćemo spektre nosilaca naelektrisanja u anizotropnom filmu, naći prisustvo gepa kao i njihovu specifičnost koja je isključiva posljedica graničnih površina duž z-pravca. Biće dato rješenje nulte aproksimacije kao i energetski spektri nosilaca naelektrisanja u filmu i njihova zavisnost od debljine filma, koji imaju neposredni uticaj na superprovodne karakteristike. Koristeći paraboličku masenu deformaciju strukture nadjen je njen uticaj na spektre nosilaca naelektrisanja.

Samo otkriće superprovodnih keramika /1,2/ uticalo je da damo jedan model /3,6/ masena deformacije uslijed eliminacije akustičkih fonona. Detaljno je analiziran fononski spektar pomoću standardnog fononskog Hamiltonijana /7/ gdje je dobijena jednačina kretanja za fononske pomjeraje. U dobijenoj diferencnoj jednačini pomoću solitonske procedure /8/ prijedjeno je na kontinuum. Analizom dobijenog izraza zaključeno je da ni jedna od dobijenih frekvencija ne teži nuli kad talasni vektor teži nuli, a to znači da masena deformacija pretpostavljenog paraboličnog tipa ne dopušta pojavu akustičkih fononskih grana. Rezultati numeričkog računa komparirani su sa rezultatima eksperimentalnih radova /9/, gdje su najviše kritične temperature dobijene za stehiometrijski odnos $x = 0,125$. Kako su i naša rješenja /10-13/ pokazala da se najveći energetski prag optičkih fonona dobija upravo pri ovom istom stehiometrijskom odnosu, to se ovo na neki način može smatrati kao potvrda našega modela.

U cilju daljnjega razvoja predloženog modela u slijedećem dijelu razmatrat ćemo spektre nosilaca naelektrisanja u anizotropnim filmovima. Osim toga, diskretno će se razmatrati troslojna i petoslojna struktura, a na kraju ćemo posmatrati paraboličku deformaciju u kontinualnoj aproksimaciji.

2. SPEKTRI NOSILACA NAELEKTRISANJA U ANIZOTROPNIM FILMOVIMA

Da bi se napisao hamiltonijan nosioca naelektrisanja u strukturama sa narušenom translacionom simetrijom najpogodnije je napisati prvo hamiltonijan idealne strukture, a zatim za već prethodno opisani model, tj. matricu sa jakom anizotropijom duž z-pravca koja se obavezno dopunjuje stranim atomima. Ovakav model mogao bi da posluži da se izvuku izvesni kvalitativni zaključci o ponašanju superprovodnih keramika.

Poznato je da su keramički oksidi anizotropni duž z-pravca. Razlika je u tome što se stvarna struktura keramičkih oksida aproksimira kubnom strukturom.

Takodje je poznato da se superprovodne struje u keramičkim oksidima realizuju putem dopinga.

Ukoliko se uzme u obzir eksperimentalna činjenica da se superprovodne struje u keramičkim oksidima realizuju u tankim slojevima ovih struktura i to u slojevima normalnim na c-pravac onda pretpostavka da se struktura tretira kao film duž z-pravca još više približava model realnom ponašanju keramičkih oksida.

Na hamiltonijan za dopingovanu strukturu koristićemo perturbacioni metod jer se deformacija usled dopingovanja može tretirati kao perturbacija. Tražeći rešenja nulte aproksimacije dolazimo do sistema diferencnih jednačina gde determinanta sistema predstavlja polinom stepena N_z+1 (a z je broj slojeva) i jednu od reprezentacija Čebiševljevih polinoma druge vrste. Energija nosilaca naelektrisanja u ovakvoj strukturi nije ravna nuli, već ima minimalnu vrednost (za minimalnu vrednost k -talasnog vektora). Takodje treba naglasiti da znak poslednjega člana u izrazu za energiju ima suprotan znak od onoga što bi imao u idealnoj strukturi. Obe navedene činjenice, tj. "zamrznutost" K^2 (intenzitet ovog talasnog vektora ne može biti ravan nuli) i promena znaka u delu energije koji je proporcionalan matričnom elementu u z -pravcu isključiva su posledica graničnih uslova.

Da bi smo specifičnosti ovog spektra istakli poredili smo ga sa odgovarajućim spektrom u idealnoj prostoj kubnoj strukturi. Pošto je cilj naših analiza ponašanje keramičkih oksida, koristili smo eksperimentalne činjenice vezane za strukturu onih oksida i ovim činjenicama prilagođavali opšte formule dobijene gore navedenom analizom. Analiza rezultata pokazala je sledeće:

U spektru modelne strukture koji je dobijen u harmonijskoj aproksimaciji pojavljuje se gep. Prisustvo gepa označava da se u modelnoj strukturi nosioci naelektrisanja ne mogu prebacivati iz stanja sa jednim impulsom u stanje sa drugim impulsom, sve dotle dok kvanti energije nekog spoljašnjeg dejstva ne dostignu energiju jednaku veličini gepa. To drugim rečima znači, pošto je jedino aktuelno spoljašnje dejstvo oscilovanja atoma strukture, da do rasejanja nosilaca naelektrisanja na fononima dolazi tek onda pošto kvanti energije fonona dostignu vrednost harmonijskog gepa. Ovo poslednje opet znači da su u posmatranoj modelnoj strukturi stvoreni uslovi za superfluidno kretanje nosilaca naelektrisanja. Takodje smo pokazali da spektar zadovoljava Landauovljev kriterijum superfluidnog kretanja tj. da ima pod izvesnim uslovima pozitivan minimum faze brzine. Takodje smo našli da efektivna masa nosilaca naelektrisanja u modelnoj strukturi zavisi od ugla, odakle očigledno sledi da je efektivna masa nosilaca naelektrisanja pozitivna samo dok ugao leži u datom intervalu odnosno dok se nosioci naelektrisanja kreću u slojevima određene debljine.

Analiziran je i hemijski potencijal i nadjeno je da u modelnoj strukturi kojom simuliramo superprovodne keramike dolazi do znatnog smanjenja hemijskog potencijala u odnosu na idealnu strukturu.

Usled zavisnosti masa od ugla, i drastične promene osobina nosioca naelektrisanja kada je ugao van dozvoljenog intervala, Fermi površina očigledno ne može imati polusferni oblik. Takodje znamo da $\min K^2 \neq 0$ pa ne postoji ni centar oblasti obuhvaćene Fermi površine. S obzirom na sve ovo oblast provodljivosti u impulsnom prostoru mogla bi se predstaviti zarubljenom kupom.

3. SIMETRIČNO SPATEROVANA STRUKTURA I POSLJEDICE

U ovom delu smo razmatrali (samo kvalitativno) kako deformacija strukture dobijena dopingovanjem utiče na osobine spektra nosioca naelektrisanja. Iz ove analize takodje se može izvesti zaključak o tome kakav tip deformacije treba odabrati da bi uslovi za superfluidno kretanje bili poboljšani.

Korišćenjem standardnih formula teorije stacionarnih perturbacija dobili smo energiju sistema u koju su uključene perturbacije popravke prvog i drugog reda. Dalje smo našli kako se povećava gep nulte aproksimacije s dopingom, odnosno hemijski potencijal se smanjuje što u krajnjoj konsekvenci poveća T_c . Takodje smo analizirali kako i koji tip dopinga zadovoljava određene uslove i dovodi do smanjenja entropija nosilaca naelektrisanja a to znači da se superprovodne karakteristike poboljšavaju s obzirom na opšte poznatu činjenicu da je entropija sistema u superprovodnom stanju uvek manja od entropija sistema u normalnom stanju.

Rezimirajući rezultate izvedenih analiza možemo reći da smo ovde dobili važne informacije o tome kako treba dirigovati doping da bi se superprovodne karakteristike superprovodnih oksida poboljšale.

4. PARABOLIČKA DEFORMACIJA U TROSLOJNOJ I PETOSLOJNOJ STRUKTURI

Do sada smo deformaciju strukture usled dopinga tretirali kao perturbaciju, pri čemu popravke na matrične elemente jon-jon interakcije nisu specificirane ni u smislu načina dopingovanja ni u smislu zadavanja analitičke zavisnosti od diskretne koordinate koja daje broj "umetnutih" atoma duž z -pravca.

Ovde je specificiran i način dopinga i analitička forma popravke. Nije se pretpostavilo da su popravke male te nije korišćen perturbacioni metod. Zbog veoma velikih matematičkih teškoća pri analitičkom rešavanju diferencnih jednačina, ovde je analizirana samo troslojna i petoslojna struktura u kojima se odgovarajući sistemi diferencnih jednačina mogu rešiti bez posebnih matematičkih teškoća. Jasno je da ovo predstavlja parcijalno rešavanje problema jer se ograničavamo samo izuzetno tankim filmovima. Zbog toga analize ovog paragrafa treba shvatiti samo kao uvod u kontrolu jednog opšteg prilaza koji će biti prikazan u sledećem paragrafu, gde će diferencne jednačine biti približno zamenjene odgovarajućim diferencijalnim jednačinama i u ovoj aproksimaciji rešavan problem modelne strukture proizvodnje debljine.

Parabolička deformacija u troslojnoj i petoslojnoj strukturi uz pretpostavke da se doping vrši simetrično i na granicama normalnim na z -pravac, izmedju granica i prvog susednog sloja, izmedju graničnih i prvih susednih slojeva locira se n_0 stranih atoma, pri čemu je $n_0=2,3$. U

slojeve koji se nalaze dublje u strukturi locira se manje stranih atoma, pri čemu njihov broj opada kako se približavamo srednjem sloju kristala.

Rezultati opisane procedure i pretpostavki su sledeći:

Za troslojnu strukturu jedna od energija (ima ih tri) ne zavisi od načina dopinga (u njoj ne figuriše veličina koja karakteriše doping) a forma joj je očigledna posledica prisustva granica. Najniži energetski nivo koji je i najbolje populisan nije stabilan za sve moguće vrednosti vektora $\vec{k}$. Izveli smo oblast stabilnosti spektra i pokazali da se nestabilnosti mogu pojaviti u oblasti malih vrednosti talasnog vektora. Treći energetski nivo sadrži u sebi najveći gep ali je zato najslabije populisan.

I kod petoslojne strukture postoji energija koja ne zavisi od dopinga dve energije su nestabilne, a dve stabilne ali slabije populisane.

Zaključak je dakle sledeći, da i u troslojnoj i u petoslojnoj strukturi dopingovanja može da izazove nestabilnosti nekih nivoa energije nosilaca naelektrisanja ili bar da im uništi gep koji nastaje kao posledica deformacije. U ovom poslednjem slučaju, kada je karakter dopinga takav da gep u spektru ne postoji imamo jednu zonu nosilaca naelektrisanja koja se ponaša kao zona idealne dvodimenzionalne strukture. Pored nivoa koji mogu da budu nestabilni ili da se ponašaju kao nivoi dvodimenzionalne idealne strukture i u troslojnoj i u petoslojnoj strukturi pojavljuju se stabilni ali slabije populisani nivoi sa gepom. Osim ovog gepa pojavljuje se povećani gep usled dopinga.

Kao što se vidi, ovi rezultati su kompatibilni sa ranijim zaključcima i sa empirijskim podacima o keramičkim oksidima, u tom smislu što postoje superprovodne zone ali sa malim gustinama struje (niska populacija zona koje imaju gep) i nesuperprovodne zone ali sa normalnim gustinama koje odgovaraju normalnom ponašanju nosilaca naelektrisanja u dvodimenzionalnoj strukturi.

Dalje se vidi da je broj nivoa jednak broju slojeva strukture. Oдавde sledi zaključak da je broj energetskih zona u strukturi sa N_z+1 slojem jednak N_z+1 . Ako se odbaci jedan nivo koji se uvek pojavljuje i koji ne zavisi od dopinga, ostali nivoi se dele na dve grupe. Jedne grupa sadrži

$\frac{N_z}{2}$ energija sa gepom i superprovodnim karakteristikama, dok druga grupa takodje ima

$\frac{N_z}{2}$ energije, ali su njihovi gepovi daleko manji ili uopšte ne postoje. U ovoj drugoj grupi mogu da se pojave i nivoi koji su nestabilni u oblasti malih k . Ovaj poslednji zaključak o broju nivoa i njihovoj podeli na dve grupe poslužio je kao kontrola i kriterijum za razvrstavanje energija dobijenih prelaskom na kontinuum.

5. PARABOLIČKA DEFORMACIJA U KONTINUALNOJ APROKSIMACIJI

Ovde smo račun izveli u kontinualnoj aproksimaciji što znači da smo sistem diferencnih jednačina zamenili ekvivalentnim sistemom diferencijalnih jednačina. Ovaj prilaz je manje tačan, ali nam daje mogućnost da analiziramo modelnu strukturu proizvoljne debljine.

Pri prelasku na kontinualnu zavisnost konstante rešetke od broja dopingovanih atoma, izuzetno komplikuje račune pa smo ovde uzeli njenu srednju vrednost po debljini strukture.

Uveli smo i kvantni broj μ , kako bi amplituda oscilovanja bile konačne pri proizvoljnoj debljini filma. Kvantni broj μ mora biti ograničen i s donje strane da bi energije bile realne, a sa gornje strane μ ne može biti veće od N_z broja slojeva. Tako dobijemo dve vrste energetskih nivoa, kao i ranije, jedan sa velikim gepom i slabom populacijom, a drugi sa malim gepom, ili bez gepa i normalnom populacijom.

Takodje smo našli da se populacija smanjuje sa povećanjem kvantnog broja μ kod jedna vrste energetskih nivoa, dok se povećava sa povećanjem kvantnog broja μ kod druge vrste energetskog nivoa, gde se dobijaju kompleksne energije koje obećavaju kratko vreme života nosilaca naelektrisanja.

Konačno smo ispitali raspodelu gustina nosilaca naelektrisanja sa promenom kvantnog broja μ . U kvantnom stanju $\mu=0$ svi nosioci naelektrisanja skoncentrisani su oko sredine modelne strukture. S obzirom da je kvantni broj μ ograničen s donje strane i nikada ne može imati vrednost nula, ovako grupisanje nosilaca naelektrisanja nije observabilno. Za $\mu=1$ verovatnoće imaju maksimume blizu graničnih površina modelne strukture dok je minimum verovatnoće ravan nuli, što znači da je pojavljivanje nosilaca naelektrisanja oko sredine modelne strukture malo verovatno. Slučaj $\mu=1$ je moguć za modelne strukture veoma male debljine. Za $\mu=2$ verovatnoće imaju maksimume oko centra modelne strukture i blizu graničnih površina. Navedena analiza ukazuje da dolazi do raslojavanja modelne strukture na zone u kojima je gustina nosilaca naelektrisanja velika i zone u kojima ih praktično nema. Ovo raslojavanje je kompatibilno sa ranije izvedenim zaključcima po istom pitanju. S obzirom na činjenicu da položaji maksimuma gustina nosilaca naelektrisanja nisu isti za oba tipa energetskih nivoa, to znači da je struktura razdeljena na superprovodne i normalne zone.

ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja u ovom programu mogu se sumirati na slijedeći način:

Pronadjen je spektar nosilaca naelektrisanja u anizotropnom filmu. U spektru se pojavljuje gep gdje njegovo

prisustvo označava da se nosioci naelektrisanja ne mogu prebacivati iz stanja sa jednim impulsom u stanje sa drugim impulsom, sve dotle dok kvanti energije nekog spoljašnjeg dejstva ne dostignu energiju jednaku veličini gepa. Pokazano je da spektar zadovoljava Landauovljevi kriterijum superfluidnosti. U predloženoj modelnoj strukturi analiziran je hemijski potencijal koji je znatno manji u odnosu na idealnu strukturu.

Prilikom analize troslojne i petoslojne strukture došli smo do zaključka da dopingovanje može da izazove nestabilnosti nekih nivoa energije nosilaca naelektrisanja ili bar da im uništi gep koji nastaje kao posljedica deformacije.

Kod analize paraboličke deformacije u kontinualnoj aproksimaciji pokazano je da dolazi do raslojavanja modelne strukture na zone u kojima je gustina nosilaca naelektrisanja velika i zona u kojima ih praktično nema.

LITERATURA

- /1/ J.C. Bednorz and K.A. Müller; Z.Phys. B 64, 189 (1986).
/2/ C.W. Chu, et.al.; Phys.Rev.Lett. 58, 405, 1891 (1987).
/3/ B.S.Tošić, et.al.; Phys.Rev. B 36, 9094 (1987); Int.J.Mod. Phys. B 1, 1001 (1987).
/4/ J.P.Šetrajčić and D.Lj.Mirjanić, Inf.MIDEM 20, 147 (1990).
/5/ D.Lj.Mirjanić, R.P.Djajić, B.S.Tošić, U.Dj.Timotić and J.P.Šetrajčić; Rev.Research SD88, (1988).

/6/ B.S.Tošić, J.P.Šetrajčić, U.Dj.Timotić, R.P.Djajić and D.Lj.Mirjanić, Int.J.Mod.Phys. B 1, 919 (1988).

/7/ B.S.Tošić: Statistička fizika, IF PMF, Novi Sad 1978.

/8/ A.S.Davydov; phys.stat.sol. (b) 102, 275, (1980); 115, 15 (1983).

/9/ C.U.Serge, et.al.; Nature 329, 227 (1987).

/10/ J.P.Šetrajčić, R.P.Djajić, D.Lj.Mirjanić and B.S.Tošić, Physica Scripta 42, 732 (1990).

/11/ D.Lj.Mirjanić, R.P.Djajić, B.S.Tošić and J.P.Šetrajčić, FIZIKA-YU, 21, 303 (1989).

/12/ D.Lj.Mirjanić:Strukture sa narušenom simetrijom: referat na XI JSFKM (Zbornik apstrakta, str. 38), Donji Milanovac - oktobar 1988.

/13/ J.P.Šetrajčić, R.P.Djajić, D.Lj.Mirjanić and B.S.Tošić, PHONON SPECTRA IN SUPERCONDUCTING CERAMICS, 9th General Conference of the Condensed Matter Division of the European Physics Society, Nice, France, March 1989.

*Doc.dr Jovan P. Šetrajčić, dipl.fiz.
Institut za fiziku PMF
Univerzitet u Novom Sadu
Trg D.Obradovića 4
YU-21000 NOVI SAD*

*Prof.dr Dragoljub Lj.Mirjanić, dipl.fiz.
Tehnološki fakultet
Univerzitet u Banja Luci
D.Mitrovica 63b
YU-78000 BANJA LUKA*

Prispelo: 10.03. 91 Sprejeto: 01. 04. 91

ISTRAŽIVANJE SINTEZE VISOKOTEMPERATURNE SUPRAVODLJIVE Y-BA-Cu-O KERAMIKE POSREDSTVOM KUGLIČNOG MLJEVENJA VISOKE ENERGIJE

D. Dužević, M. Stubičar, M. Tudja

KLJUČNE RIJEČI: visokotemperaturna supravodljivost, Y-Ba-Cu-O keramika, supraprevodljiva keramika, kuglično mljevenje, tehnološki procesi, prijelaz u amorfnu stanje, istraživanje materijala, eksperimentalni rezultati

SAŽETAK: Smjesa prahova Y_2O_3 - $BaCO_3$ -CuO, u omjerima mase predodređenim za atomarni razmjer metalnih elemenata Y:Ba:Cu=1:2:3, podvrgnuta je mljevenju u kugličnome mlinu visoke energije. Na iznenađenje, čak ni jako produženo mljevenje (do 202 sata) uz centrifugalnu akceleraciju kuglica od oko 10 g ($g=9,81 \text{ ms}^{-2}$) ne uspijeva dokraja razporiti kristaliničnost bakrenog oksida, dok itrijev oksid i barijev karbonat prelaze u amorfnu stanje nakon 60-100 sati mljevenja. U radu se iznose putokazi mogućim objašnjenjima ove selektivne prijetvorbe u staklastu fazu.

AN INVESTIGATION OF HIGH-ENERGY BALL-MILL PROCESSING OF A Y-Ba-Cu-O HIGH T_c SUPERCONDUCTING CERAMIC SYSTEM

KEY WORDS: High temperature superconductivity, Y-Ba-Cu-O ceramics, superconducting ceramics, ball milling, technological processes, amorphisation, materials research, experimental results

ABSTRACT: A Y_2O_3 - $BaCO_3$ -CuO powder mixture with a mass ratio adjusted to fulfill Y:Ba:Cu = 1:2:3 stoichiometry was treated by means of the high-energy ball-mill equipment. It is slightly surprising that even after an enormously prolonged milling (up to 202 hours) and with a 10 g centrifugal acceleration of the milling balls the CuO component preserves its crystallinity, whereas yttria and barium carbonate undergo almost complete amorphization already after 60 to 100 hours of milling. The paper gives some hints about a possible explanation of the observed selective glassy transition.

INTRODUCTION

Despite its quite recent discovery, it has become already a matter of common engineering knowledge that a key condition for large-scale application of cuprate based high T_c Y-Ba-Cu-O-type superconducting ceramics is a concentration of efforts on studying the possibility of a significant improvement in this type ceramics of bulk transport current density J_c . This, as well as other relevant critical parameters, are largely affected by various structural defects existing in synthesized materials as a consequence of a rather complex processing, usually consisting of both advanced powder-ceramic and conventional-post-synthesis heat treatments, as well as of promising newly-developed preparation procedures. The low values of the transport current density and the sensitivity of J_c to the magnetic field have been attributed to a number of extrinsic and intrinsic factors, but essentially to those which create inter- and intra-granular weak junctions. Naturally, these are caused primarily by various types of structural discontinuities that arise during processing, the most crucial of which are microcracks¹. These also attack in a similar way mechanical properties, so that much of the undesirable mechanical behaviour of Y-Ba-Cu-O superconducting ceramics is not intrinsic but rather dominated by the presence of microcracks. For instance due to the adverse effect of micro-

cracks which have a very low aspect (width to length) ratio, the theoretical static bulk modulus of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ mixed oxide becomes lower at least by a factor of five². The critical transport current density decrease is even more pronounced, reaching several orders of magnitude. The actual source of the elongate microcracks population is the huge anisotropy of the thermal contraction which takes place during the martensitic transformation³ of the high-temperature, pseudo-perovskite tetragonal (T) $YBa_2Cu_3O_{6.4-6.5}$ lattice into the low-temperature orthorhombic (O) $YBa_2Cu_3O_{6.8-7.0}$ variant at about 850 K^{4,5}. From the difference in oxygen content of T and O phases it is evident that transformation progresses along with oxygenation. The tetragonal phase takes up oxygen from the ambient atmosphere as the material cools, due to the preferential occupancy of oxygen sites in the direction of the b-axis of the orthorhombic allotrope, this leading to the crack-causing misfit between the thermal expansion coefficients along the c- and the b-axes by a factor of four. The oxygen uptake is claimed⁶ to be substantially rapid, and influenced by pressure and temperature, as well as by porosity, grain-size and compositional and phase (in) homogeneity.

Numerous technological procedures have been developed for overcoming the crack-forming tendency. There is some sense in the idea to pre-oxygenize the tetrago-

nal phase by means of prolonged heating at high temperatures (e.g. about 1000 K), in order to ensure an overall compositional homogeneity as a prerequisite for a smooth domino-like⁷ succession of small atomic moves characteristic for the martensitic lattice change. Another favourable prospect for eliminating weak links is a combination of melting and subsequent directional solidification^{8,9} to obtain textured, coarse-grained crack-formation suppressing structures. By applying this method the transport current density has been pushed up to above 10^4 A/cm² at 77 K and in zero magnetic field as compared to several hundred A/cm² units for samples without texture. Even more impressive results have been announced quite recently by Yamamoto et al.^{10,11}. Using the rapid quenching technique followed by directional annealing treatment, the authors claimed for J_c the sensational value of $4.3 \cdot 10^4$ A/cm² as measured at 77 K and in magnetic field of 1.06 T.

It has been recognized for a long time that in creating materials with predetermined properties the powder-metallurgy route offers considerable advantages in comparison to other techniques. Instead of conventional procedures of post-processing and tailoring the materials' properties by means of cold and hot working or by various surface treatments, this method makes possible direct access to the very origin of consolidated products by influencing their characteristics in their embryonal powder state. As the initial step of the consolidation process, ball-milling was adopted in powder metallurgy a long time ago and was recognized as a uniquely efficient method for the optimization of powder properties by means of comminution and uttermost homogenization of the powder mass. A variant of high-energy ball-milling was first applied by Benjamin and Voilin¹² as early as in 1929 when they were preparing a powdered precursor for an oxide strengthened nickel-base alloy. Ermakov et al.¹³ and Koch et al.¹⁴ revived this technique a decade ago with the idea to start producing amorphous powders from elemental metal-powder mixtures (mechanical alloying - MA), or from compound powders (mechanical grinding - MG). A series of interesting research projects based on MA/MG processing have been carried out since then, including the preparation of nanocrystalline powders with their fabulous statistical atomic structure¹⁵. Quite recently, the palette of various alloying, comminuting and amorphizing effects resulting from the MA/MG method has been enriched by an additional one: selective oxydation, as observed in MA/MG treatment of powder mixtures of the Ga-Sb binary^{16,17}.

With respect to the application of the MA/MG procedure for the preparation of Y-Ba-Cu-O superconducting ceramics, one should mention the pioneer work of several authors^{18,19} who suggested a special method for circumventing the inherent ceramic brittleness interfering by production of Y-Ba-Cu-O wires and other shaped materials. In short, one starts with the synthesis of ductile metallic YBa₂Cu₃O_{7-x} precursor by applying the high-energy ball milling to the respective elemental metal powder mixture. The obtained product is easily swaged and

wound to an assembling-ready shape. The oxidation of such an end-form at about 1170 K is just an additional step in production with no adverse mechanical effects. Batalla and Zwarts¹⁹ believe the high-energy ball milling of elemental powders to offer a viable route for the production of superconducting ceramics for engineering purposes which would result in a final product consisting of single-phased material. Though actually promising from the wire-technology point of view, this rather optimistic claim fails to answer the question of cracking on cooling, thus leaving the crucial problem of low J_c value widely open. Nevertheless, the respective drawback should not encourage to complete abandonment of the underlying MA/MG technique. Leaving aside the wire-technological aspect, the use of high-energy ball-milling may well be recommended from the standpoint of the grain size related crack-generation intensity. The critical grain-size value for the suppression of microcracking in Y-Ba-Cu-O ceramics has been calculated, according to various models, to be $0.5 \mu\text{m}$ ²⁰, 1.0 ²¹, or $3.4 \mu\text{m}$ ²², whereas experimental observations⁴ have been focused on a range between 1 and $2 \mu\text{m}$. According to Chu and Dunn⁶, a small grain-size of about $1 \mu\text{m}$ or less is necessary to prevent microcracking induced by the reoxygenation due to the tetragonal to orthorhombic transition. On the other side, fine-grained materials themselves are desirable because of their mechanical properties. Moreover, in accordance with the basic powder-metallurgic experience, well dispersed powders readily sinter to higher densities and at comparatively low temperatures. For example, one-micron grained phase-pure structure of a nearly amorphous spray-dried nitrate powder mixture precursor was sintered to relatively high-density YBa₂Cu₃O_{7-x} ceramics at a temperature as low as 1120 K⁴. Unfortunately, it is true that the measured critical current density of 350 A/cm^2 of this sample was a rather low value. This is, however, to be ascribed to an early closure of interconnected pores in a well densified structure which hinders the access of oxygen to the interior of the sample. This results in a poor oxygenation which seriously affects the transport current property, as convincingly argued elsewhere⁸. Hence, this apparent weak side of fine-grained samples may be generally disregarded as a marginal phenomenon, or, preferably, may be even exploited as a prospective means for lowering the sintering temperature by modifying the sintering cycle in order to ensure a more complete oxygenation.

In any case, direct mechanical alloying of precursor oxide or other compound powder mixtures intended to obtain YBa₂Cu₃O_{7-x} ceramics seems to offer an advantageous alternative in comparison to indirect route issuing from pure metallic precursors, from the view both of energy consumption and the transport properties of the prepared products. It is precisely the aim of this paper to report on the results of experiments which were designed to introduce the application of high-energy ball milling as a preparation procedure for the fabrication of high quality Y-Ba-Cu-O high T_c superconducting bulk ceramics.

EXPERIMENTAL

In our experiment we used a 10 g ($g=9.81 \text{ ms}^{-2}$) centrifugal acceleration ball-mill machine with an agate bowl having a volume of about 110 cm^3 and a rather intricate internal geometry (Fig. 1). Initially designed for use with a single 25 mm diameter agate ball, the bowl was supplied with a previously optimized²³ milling body consisting of twelve hardmetal balls 10-16 mm in diameter.

As the starting material we chose a standard 99.99 % pure oxide-carbonate powder mixture of a weight ratio $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{BaCO}_3:\text{CuO} = 1513:5289:3198$, as needed to satisfy the $\text{Y}:\text{Ba}:\text{Cu}=1:2:3$ elemental stoichiometry. A total charge mass of 4 grams (charge to balls weight ratio 1:40) was milled in air for a total of 202 hours. At scheduled time intervals (5 mins, 20 mins, 30 mins, 1 hr, 2 hrs, 4 hrs, 8 hrs, 16 hrs, 24 hrs, 32 hrs, 40 hrs, 60 hrs, 100 hrs, 120 hrs, 132 hrs, 148 hrs, 160 hrs, 175 hrs, and 202 hrs) representative small powder samples were extracted from the bowl in order to be examined. X-ray diffraction powder photographs of the samples were taken using a 114.6 mm diameter Siemens-type Debye-Scherrer camera and Ni-filtered Cu radiation. The size and shape of the powder particles, which before examination had been coated with gold using the cathode sputtering method, were observed by means of a 25 kV Cambridge Stereo Scan 600-type scanning electron microscope.

RESULTS

In the course of milling there occurred spectacular colour changes. The first, from the pigeon-gray of the original mortarized oxide-carbonate mixture to a matte-black, took place between 20 and 30 mins of milling. The changes took place throughout the milled mass, regardless of the position of the powder in the bowl: on the wall, the cover, the balls, everywhere, indicating a high degree of homogeneity of the process. The second change to lilac-brown occurred between 1 and 2 hours of milling, and again was overall and complete. As neither of these changes were accompanied by observable x-ray diffraction pattern modifications, the underlying reactions should be regarded as essentially superficial. No abrupt colour change took place subsequently, except for continuing disappearance of the lilac shade in favour of a yellowish one.

The x-ray diffraction pattern changes are shown in Fig. 2. Fig. 2(a) shows the diffraction lines pattern of the initial powder mixture after mere 5 mins of homogenizing milling. Irrespective of some line intensity fading off, essentially the same pattern keeps maintained up to 32 hrs of milling (Fig. 2(b)). The first substantial change was observed after 60 hrs of milling. The respective powder photograph is represented in Fig. 2(c). Beside an emerging amorphous halo at low angles, from this figure one can observe still two strong, broadened CuO reflexions,

and a feeble, so far unidentified line at $\approx 26.75^\circ$ indicating a d-spacing of about 3.375°A . This indicates an amorphization of the yttria and the barium-base compound, whether it was the starting carbonate or the nascent barium oxide deriving from its decomposition. In fact, we expected amorphous oxide to appear, if we started from our experience with the Ga-Sb system, according to which the energy input in ball-milling becomes equivalent to oxidizing temperature effects that occur at a minimum of $840 \text{ K}^{16,17}$. On further milling to 100 hrs the pattern does not change substantially, except for the evident growing of intensity of the halo and unidentified line mentioned above Fig. 2 (d). Prolonged milling to 202 hrs by itself adds nothing dramatic. However, the continuous fading off of the unidentified line, together with a hardly observable further broadening of CuO reflexions, increases the prospect of a possible complete amorphization of the mixture after still longer milling times.

Scanning electron microscopy observation, unfortunately, did not reveal a great deal about the micromorphologic development. There is an evident difference between the apparent crystallinity of yttria as compared to barium carbonate and cuprous oxide, of which that of the latter two differs only slightly (Figs. 3(a), (b), (c)). The microphotographs taken after 2, 40 and 175 hrs of milling show a significant reduction of particle size (Figs. 3(d), (e), (f)), though there is little to see of the agglomerate substructure. Probably because of the inevitability of the sputtering operation these Figs, due to the gold coating, might not show the actual microstructure of the powder, while the use of higher magnifications is pointless because of the adverse effect they would exert on the intra-particle resolution. Also, from the micrographs (Figs. 3 (g), (h), (j)), it is evident that milling also has great local agglomerating countereffects, though these are atypical and show a tendency to lose intensity with continuing milling, to vanish practically after 60 hrs of milling.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Though spoiled by the low resolution power of the electron micrographs, presumably due to the sample preparation method applied, a positive comminution effect of the ball-milling as observed on the secondary particle size level (agglomerates) can not be seriously disputed. Former investigations of the metallic systems Al-Ni and Ni-Ti²³ have unambiguously shown that the primary particle size after 40 hrs of milling (for Ni-Al), or 122 hrs of milling (for Ni-Ti), is significantly reduced and enters the submicron-size region, despite the largely retarded agglomerate-size reduction. There is no provable reason to doubt that the respective effect takes place in the present case of brittle ceramics as well. Hence, as regards the surface free energy, a highly activated powder mixture, ready to sinter to high densities at relatively low temperatures within a comparatively short

time, may actually be expected to result from our experiment.

The activity of the obtained powder is not limited to the mere surface energy (i.e. particle size) effect, but also manifests itself through the radical ordering decline of its compound components structure, that is through the amorphization of yttria and barium carbonate, as well as through the strongly perturbed crystallinity of CuO. As regards BaCO₃, the observation of high-temperature oxydation effects in the Ga-Sb system^{16,17} makes the concurrent decomposition of this compound into amorphous BaO during milling quite probable. So, presumably, we obtained a doubly-activated tripple-oxide mixture ready to sinter at low energy cost and without substantial cracking which might allow a high J_c for high T_c superconductive 1-2-3 bulk ceramics. These are the most provoking facts emerging from the results of the present work. Indeed, we are eagerly looking forward to the results of isothermal or directional sintering experiments which are underway. Also in progress are several more sophisticated characterization procedures aimed at obtaining more microstructural data regarding the milled powder.

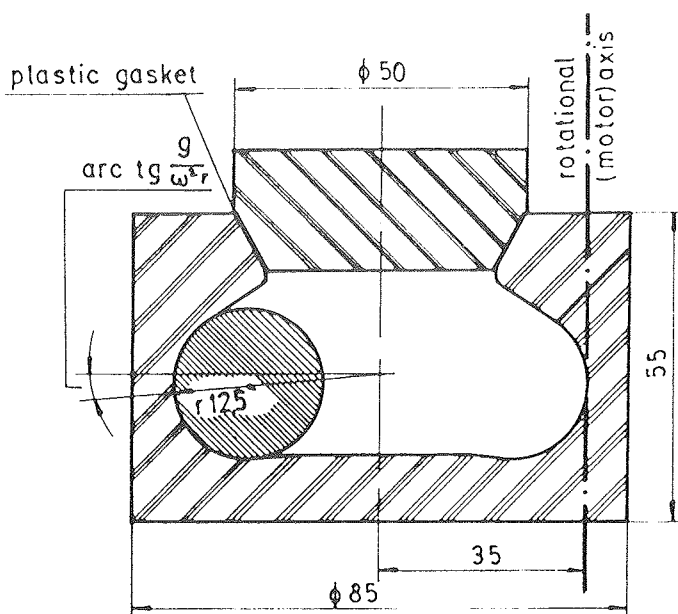


Fig. 1. Sketch of the container design

REFERENCES

1. M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torng, P.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao, Z.J. Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys. Rev. Lett., **58** (1987) 908.
2. D.J. Holcomb and N.J. Mayo, J. Mater. Res., **5** (1990) 1827.
3. M. A. Rodriguze, D.P. Matheis, S.S. Bayya, J.J. Simmons and R.L. Snyder, Ibid., **5** (1990) 1799.
4. T.J. Richardson and L.C. De Jong, ibid., **5** (1990) 2066.
5. O. Eibl and B. Roas, ibid., **5** (1990) 2620.
6. C.W. Chu and B. Dunn, ibid., **5** (1990) 1819.
7. Z. Nishiyama, Martensitic Transformation, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1978.
8. S. Jin, H. Tiefel, R.C. Sherwood, M.G. Davis, R.B. Van Dover, G.W. Kampilott, R.A. Fastnacht and H.D. Keith, Appl. Phys. Lett., **52** (1988) 2074.
9. M. Murakami, M. Morita, K. Dot and K. Miyamoto, Jpn. J. Appl. Phys., **28** (1989) 1189.
10. T. Yamamoto, M. Stubičar, S.K. Chan, J.G. Lu, T.R.S. Prasanna and R.C. O'Handley, to appear: Mater. Sci. and Engng. (A).
11. T. Yamamoto, S.K. Chan, M. Stubičar, T.R.S. Prasanna and R.C. O'Handley, to appear: Mater. Lett.
12. J.S. Benjamin and T.E. Voilin, Metallurg. Trans., **5** (1974) 1929.
13. A.E. Ermakov, E.E. Yurchinkov and V.A. Barinov, Fiz. Met. Metalloved., **52** (1981) 1184.
14. C.C. Koch, O.B. Cavin, C.G. McKamey and J.O. Scarbrough, Appl. Phys. Lett., **43** (1983) 1017.
15. H. Gleiter, Europhys. News, **20** (1989) 130.
16. D. Dužević, A.M. Tonejc and T. Tonejc, submitted to: Scripta Metall.
17. A. Tonejc, D. Dužević and A.M. Tonejc to appear: Mater. Sci. Engng. (A).
18. P.J. Yvon, R.B. Schwarz, C.B. Pierce, L. Bernardez, A. Connors and R. Meisenheimer, Phys. Rev., B, **39** (1989) 6690.
19. E. Batalla and E.G. Zwart, J. Mater. Res., **5** (1990) 1802.
20. D.R. Clarke, T.M. Shaw and P. Dimos, J. Am. Ceram. Soc., **72** (1989) 1103.
21. T.M. Shaw, S.L. Shinde, P. Dimos, R.E. Cook, P.R. Duncome and C. Kroll, J. Mater. Res., **4** (1989) 248.
22. J.W. Severin and G. De With, Brit. Ceram. Proc., **40** (1988) 249.
23. M. Stubičar and D. Dužević, in W.A. Kaysser and J. Weber-Bock (Eds.), Emerging Materials by Advanced Processing, KFA Jülich, 1989, pp. 237-250.

D. Dužević
RADE KONČAR
Elektrotehnički institut,
Zagreb

M. Stubičar
Fizički odjel PMF,
Zagreb

M. Tudja
CHROMOS
Kemijski istraživački center,
Zagreb

Prispelo: 10. 04. 91 Sprejeto: 01. 07. 91

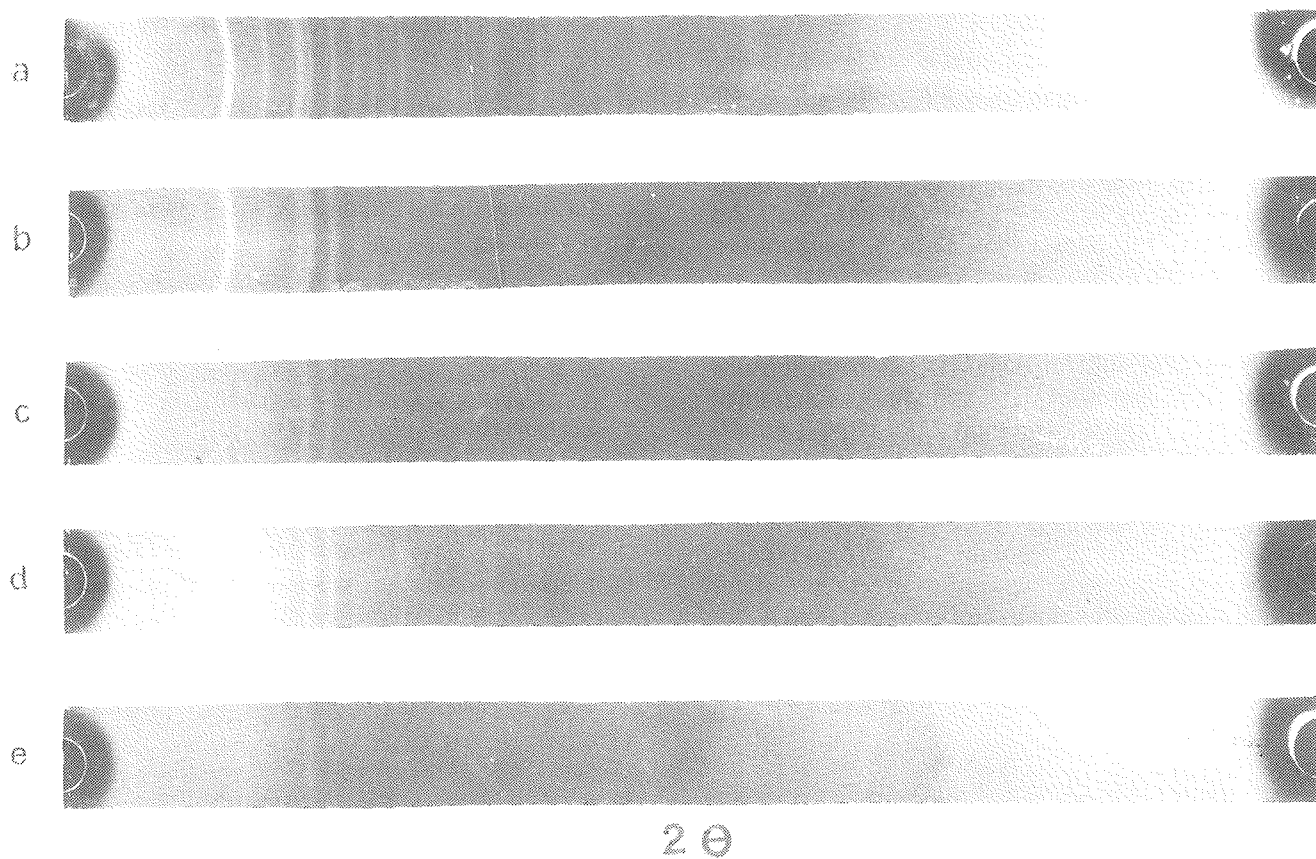
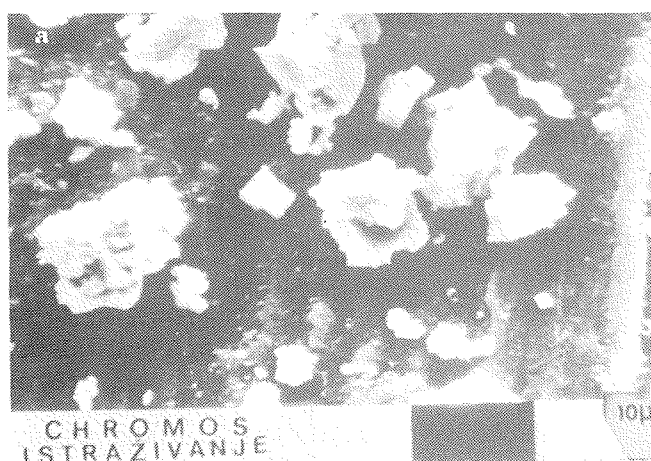
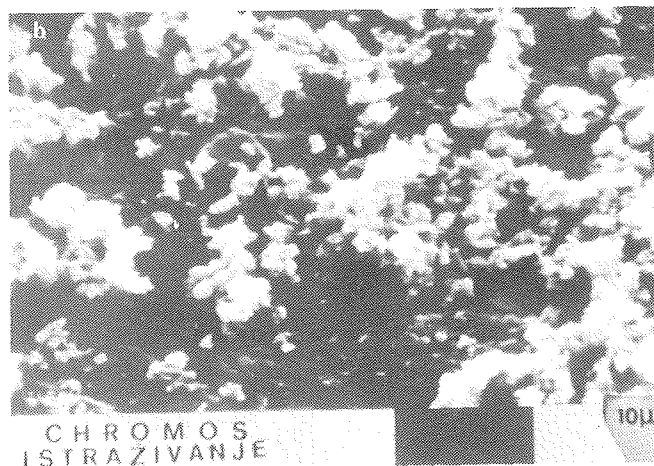


Fig. 2. X-ray powder diffraction photographs of samples milled: (a) 5 mins, (b) 32 hrs, (c) 60 hrs, (d) 100 hrs and (e) 175 hrs.



a)

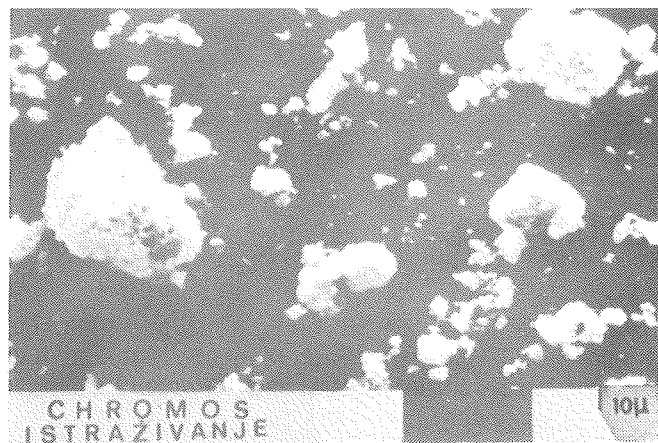


b)

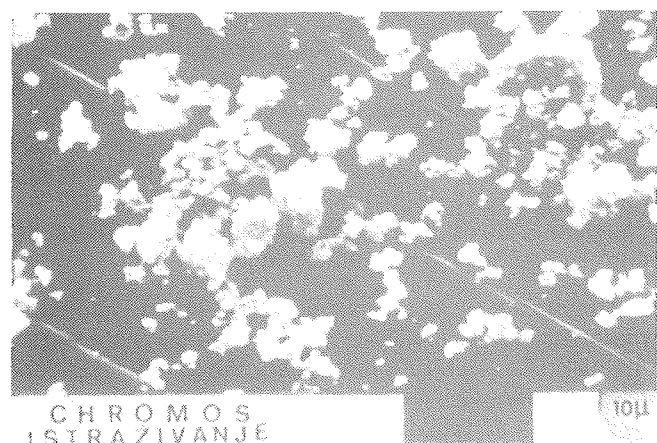
Fig. 3. Scanning-electron micrographs of the powdered samples: (a), (b) and (c)- starting Y_2O_3 , $BaCO_3$ and CuO component powders, respectively; samples extracted after 2 (d), 40 (e), 175 (f), 0.5 (g), 8 (h) and 40 (j) hours of milling.



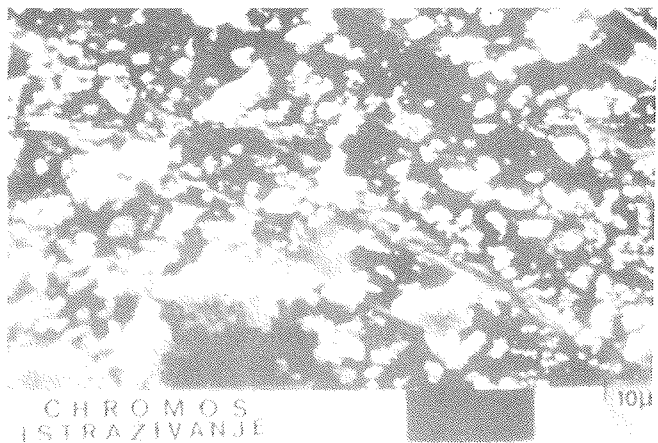
c)



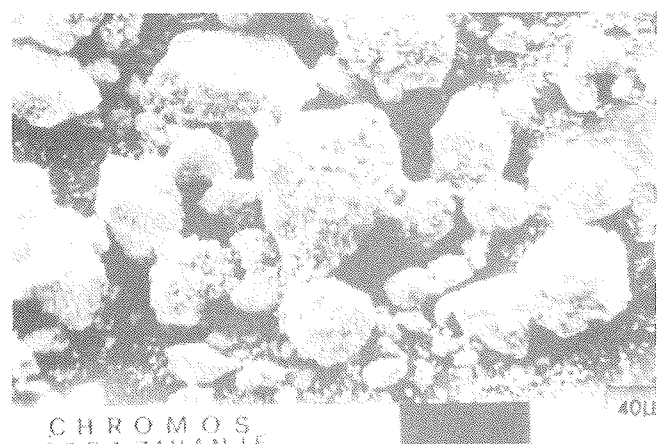
d)



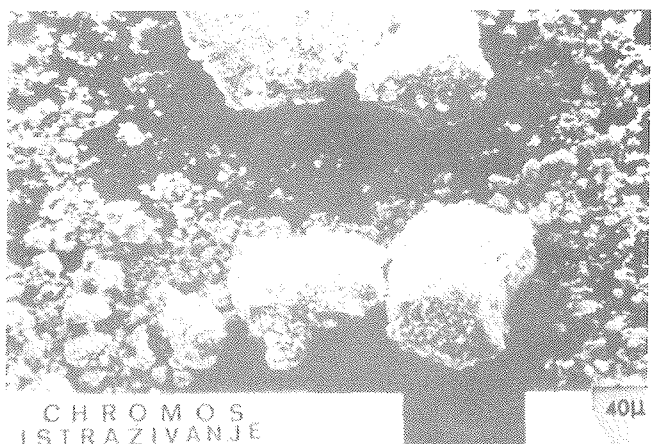
e)



f)



g)



h)



j)

Fig. 3. Scanning-electron micrographs of the powdered samples: (a), (b) and (c) - starting Y_2O_3 , $BaCO_3$ and CuO component powders, respectively; samples extracted after 2 (d), 40 (e), 175 (f), 0.5 (g), 8 (h) and 40 (j) hours of milling.

KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA

EMMA '91

Dresden je od 16. do 19. aprila 1991 gostil letošnje konferenco EMMA (European Magnetic Materials and Application Conference), ki je bila po Grenoblu, Salfordu in Riminiju že četrta po vrsti.

Njen namen je stimulirati evropske raziskave na področju fizike, razvoja in uporabe tehničnih magnetnih materialov, kar naj bi dosegla s široko konfrontacijo najnovejših del s tega področja z vsega sveta.

Konference se je udeležilo prek dvesto udeležencev iz 22 držav (večina evropskih držav, ZDA, SSSR, Japonska, Venezuela, itd...).

Od prek dvesto prijavljenih del je bilo prezentiranih okoli 175 in sicer 17 vabljenih predavanj, 9 referatov in okrog 150 posterjev.

Konferenco je odprl dr. D. Wurm iz "Komisije evropske skupnosti za raziskave in razvoj" s predavanjem/poročilom o razvoju in raziskavah magnetnih materialov, ki jih je sponzorirala evropska skupnost v preteklem štiriletnem obdobju in poudaril, da že sprejemajo projekte za naslednje štiriletno obdobje. Celoten fond znaša okrog 888 MECU, podpirajo pa predvsem integrativne (R/D laboratoriji - univerze - industrija) in kooperativne (sodelava R/D institucij iz različnih držav in področij) projekte.

Strokovni del konference je bil organiziran v sedmih sekcijah, v katerih so se prispevki prikazovali v treh oblikah, kot vabljeni predavanja, referati in postri. Naslove posameznih sekcij podajamo zaradi verodostojnosti kar v originalu:

A) Amorphous and nanocrystalline magnetic materials.

B) Soft magnetic materials and their application; magnetization process in soft magnetic materials; magnetic sensors, materials and devices.

C) Magnetic semiconductors and magnetic insulators and their application; microwave materials and application.

D) Magnetic thin films, multilayers and surfaces.

E) Magneto-optic materials; particulate magnetic recording media; bubbles and other solid state memory devices.

F) Magnetic measuring techniques; application of numerical techniques, field calculation and design.

G) Permanent magnetic materials; permanent magnets, devices and application; coercivity and magnetic reversal mechanism in hard magnetic materials.

Navajamo kratek komentar k najbolj odmevnim predavanjem in nekaterim prispevkom, ki so po tematiki blizu našemu R/D delu.

V sekciji B je dr. Baum iz Vacuumschmelze podal predavanje z naslovom "Systematic design of magnetic shields", v katerem je orisal temeljne principe razvoja magnetnih ščitov, ki se uporabljajo za zaščito instrumentov, ki so zelo občutljivi na zunanja magnetna polja (medicinski aparati (EEG, EKG, MEG, MCG, SQUID), signalne linije s šibkimi signali, predojačevalci, naprave za magnetne zapise, naprave s fokusiranimi elektronskimi žarki, ...). Dejstvo je, da morajo ti aparati delovati večinoma v sodobnih urbanih sredinah, ki so veliki generatorji magnetnega šuma (gibljive feromagnetne mase (tovornjaki, vlaki), električna železnica, metro, električna napeljava (daljnovodi, transformatorji), MRI). Ne nazadnje pri zelo občutljivih napravah, povzroča magnetni šum tudi zemeljsko magnetno polje.

V poster sekciji je bilo s področja mehko magnetnih materialov predstavljeno zanimivo delo v katerem so avtorji primerjali MnZn feritna jedra in nanokristalinične trakove ($\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{16.5}\text{B}_6\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ zlitine) ter njihove izgubne karakteristike pri močnostnih aplikacijah. Ugotovili so, da so MnZn feriti zaradi nižjih izgubnih karakteristik pri miniaturizaciji SMPS (switching mode power supplies) primernejši za transformatorska jedra kot nanokristalinični trakovi FeSiBNbCu zlitine. Skupina avtorjev iz Poljske, ki se že vrsto let ukvarja s študijem vpliva napetosti na magnetostrikcijo Ni-Zn(Co) feritov je predstavila svoje zadnje rezultate na tem področju. Študij vpliva morfologije izhodnih Fe oksidnih prahov na formacijo MnZn feritov in njihovo zgoščevanje je predstavil avtor iz romunskega elektronskega raziskovalnega inštituta. Rezultati so pokazali, da je sferičen Fe_2O_3 primernejši kot igličast. Avtorji Philipsove raziskovalne skupine so predstavili svoj model o vplivu nemagnetnih mej na kompleksno permeabilnost polikristaliničnih MnZn feritov. Na področju mikrovalovnih feritov je bila predstavljena nova cenejša metoda za merjenje permeabilnostnega spektra mikrovalovnih polikristaliničnih feritov.

V sekciji F, smo poslušali izredno zanimivo predavanje dr. Hartmana (KFA Julich, ZRN) z naslovom "Magnetic force microscopy; current status and future trends". MFM (Magnetic force microscopy) je relativno nova tehnika (razvita kot varianta AFM - Atomic Force Microscopy, ki je bila odkrita leta 1986) za prikazovanje topografije magnetnih zapisov in struktur površinskih magnetnih polj s submikronsko resolucijo. Odlikuje jo predvsem preprosta priprava vzorca. Metoda temelji na zasledovanju magnetostatičnih interakcij med vzorcem (npr magnetni zapis) in senzorjem magnetnega polja (feromagnetna igla premera okrog 10 nm).

Dr. Grossinger iz Inštituta za eksperimentalno fiziko Univerze na Dunaju pa je predstavil visoko občutljiv pulzni magnetometer za merjenje trdo magnetnih materialov.

V sekciji G, je dr. Harris z Birminghamske univerze predstavil referat o lani odkritem HDDR procesu (hydrogenation, disproportionation, desorption and recombination), pri katerem lahko pripravimo koercitivne prahove zlitine Nd-Fe-B, direktno iz vlitega ingota (torej brez postopkov drobljenja in mletja, kar zahteva veliko časa in energije). Tako pripravljene koercitivne prahove lahko neposredno uporabimo v proizvodnji plastično vezanih magnetov, ki dobivajo vse večji pomen, predvsem v industriji servo motorjev. Poleg tega prah pripravljen po HDDR postopku, ki je bil izpostavljen na zraku tri mesece, ne kaže bistvene degradacije magnetnih lastnosti, kar je velika hiba prahov pripravljenih po standardnih postopkih drobljenja in mletja.

V isti sekciji je dr. Coey iz Trinity College (Dublin) v svojem predavanju predstavil lani odkrito družino feromagnetnih zlitin na osnovi nitridov ternarnih spojin redkih zemelj (R) in železa tipa $R_2Fe_{17}N_x$ katerih prednost pred Nd-Fe-B magneti je predvsem visoka Curiejeva temperatura (približno 750 K). Magnetne lastnosti pa so primerljive z lastnostmi magnetov na osnovi intermetalnih spojin R-Fe in R-CO. Problem teh spojin je v tem, da nad približno 700 C razpadejo, kar pa je relativno nizka temperatura za uspešno zgoščevanje s tehnologijo prašne metalurgije (sintranje), tako da ne kažejo perspektiv za doseganje anizotropnih sintranih magnetov. Do sedaj znana rešitev je elektro uporovno sintranje (Nippon Steel), ki omogoča izredno hitro densifikacijo (vsekakor je treba magnet zgostiti prej preden razpade). Navkljub temu pa zlitina obeta razvoj kot sestavina plastično vezanih magnetov.

Dr. Blank iz Vakuumschmelze je predstavil model s katerim skuša pojasniti kaj določa proces demagnetizacije v NdFeB magnetih. Njegov model zajema štiri osnovne predpostavke:

- nukleacijsko polje na površini
- magnetoizolacijsko delovanje mej med zrnji (segregati ali nemagnetne faze)
- notranja razmagnetilna polja, ki jih povzročajo domene z obratno magnetizacijo
- mehko-magnetno površino magneta, ki jo povzroča selektivna oksidacija

Vabljeni predavanja v tej sekciji (in strokovna predavanja nasploh) je zaključil P. Tenaud (Ugimag) s pregledom dosedanjega razvoja NdFeB sintranih magnetov in prikazom nekaterih trendov možnih dogajanj v prihodnosti. V predavanju se je omejil na sintrane NdFeB magnetne predvsem zato, ker trenutno predstavljajo 75 % tržne uporabe magnetov tega tipa. Ostali tipi (plastično vezani, vroče stisnjeni, ekstrudirani, ...) so do sedaj v tržnem merilu pomembni le na daljnem Vzhodu (predvsem Japonska elektroindustrija (audiovizualna tehnika, računalništvo, MRI) in njene izpostave.

Predavanje so sestavljali štirje deli:

- izboljšave materiala samega (z dodatki Dy, Al, Co, V, Zr, Cu)
- izboljšave postopkov (priprava zlitine, priprava prahov, mletje, stiskanje, toplotna obdelava,)

- korozija in korozijska zaščita (izboljšanje lastne korozijske odpornosti, priprava površine, prevleke (organska elektrodepozicija, epoksi, IVD, PVD, platiniranje, galvanizacija)
- trendi (zniževanje vsebnosti Nd, nečistoč, temperature sintranja, stroškov mehanske obdelave (ki je sedaj tudi do 50 % celotne cene), alternativne tehnologije (predvsem enostopenjske)).

V tej sekciji so bili predstavljeni še številni zanimivi posterji predvsem s področja NdFeB magnetov. Prednjačijo sintrani magneti in fizika magnetizma. Predstavljena sta bila samo dva posterja, ki sta se ukvarjala s plastično vezanimi magneti, avtorjev iz ZFW Dresden. Za pripravo vzorcev so uporabljali Magnequench trake-prahove na katerih so raziskovali degradacijo magnetnih lastnosti prahov zaradi tehnologije plastične vezave in vpliv velikosti delcev na magnetne lastnosti plastično vezanih magnetov.

Nekaj prispevkov je obravnavalo fine Ba feritne prahove, ki se uporabljajo za magnetni zapis in katerih lastnosti so izboljšali z različnimi dopanti (Co, Ti, Sn) ali načinom priprave. Skupina avtorjev z inštituta MASPEC iz Parme je predstavila zanimiv poster o vplivu površinskega dopiranja Ba-M heksaferitnih prahov z Al. Na ta način so uspeli zvišati koercitivno silo prahov ne da bi se s tem znižala magnetizacija. Ugotovili so tudi, da je pri mono domenskih prahovih pomemben vpliv površine na koercitivnost in sicer neodvisno od vpliva nukleacije in pripenjanja magnetnih domen.

Udeleženci konference smo obžalovali velik izpad prijavljenih referatov iz ZSSR, saj so imeli napovedanih nekaj zelo zanimivih prispevkov, predvsem na področju uporabe magnetov v medicini.

Iz Jugoslavije smo se konference udeležili trije in sicer; S. Beseničar z Inštituta Jožef Stefan, ki je predstavila referat avtorjev S. Beseničar, M. Drofenik z naslovom: "High coercivity Sr hexaferrites", J. Horvat z Zagrebške univerze s posterjem: "Reduction of loss using the pinning anisotropy in Co-based amorphous ribbons" ter B. Saje iz Iskre-Magneti s posterjem "The sequence of fracture processes in hydrogen-decrepitated Nd-Fe-B alloy" avtorjev B. Saje, J. Holc, S. Beseničar.

Vzporedno s konferenco je potekala tudi razstava industrijske in profesionalne tehnike s področja meritev, raziskav in tehnologije magnetnih materialov, proizvajalcev kot so Cryophysics, Goodfellow, Carl Zeiss, Magnet-Physik, Magatec, Oxford Instruments, Robotron, Technophysik, itd, ...

Na zaključnem plenarnem zasedanju je bil od vseh sklepov najpomembnejši ta, da bo naslednja EMMA konferenca, torej peta po vrsti, leta 1993 v Varšavi.

*Boris Saje
Iskra Magneti, Stegne 37, Ljubljana (MR na Inštitutu
Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana)*

*Spomenka Beseničar
Inštitut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana*

MIEL - 91 U BEOGRADU

MIEL - 91 održan je 15. - 19. maja 1991 godine u prostorijama Ei - Istraživačko razvojnog instituta u Beogradu. Na ovoj međunarodnoj konferenciji učestvovalo je preko 100 učesnika iz zemlje i inostranstva. Radove je prijavilo 48 učesnika iz zemlje i 28 iz inostranstva. Međutim, na konferenciji je učestvovalo sa radovima 34 domaćih, kao i 14 stranih autora. Od pozvanih 5 stranih autora učestvovala su 4. Iznenada i neočekivano na početku konferencije otkazalo je učešće 12 autora iz Republike Slovenije.

Rad konferencije se odvijao paralelno u dve sekcije. Na predavanjima prosečno je učestvovalo 12 do 60 učesnika.

Na plenarnim skupovima prisustvovalo je i do 100 učesnika.

U okviru konferencije organizovana je izložba mikroelektronskih komponenata, sklopova i materijala. Na izložbi je prikazalo svoje proizvode 5 domaćih i 2 strane firme.

Svaka od firmi izlagača imala je mogućnosti promocije svog programa, koristeći filmske materijale, slajdove i folije za grafoskop.

Prostorne mogućnosti objekta Instituta, tehnička opremljenost, kao i dobra organizacija lokalnog organizatora, omogućile su istovremeno odvijanje više aktivnosti konferencije.

Neučestvovanje većeg broja autora sa radovima, stvorilo je znatne teškoće organizatoru. Međutim, vremenske praznine između pojedinih predavanja, korišćene su za prezentacije programa firmi izlagača, kao i za međusobna upoznavanja i druženje učesnika.

Konferenciju je otvorio predsednik društva MIDE M Rudi Ročak, a prisutne su pozdravili predsednik SANU A. Despić, predsednik fonda za tehnološki razvoj i direktor

IRI - BEOGRAD S. Marić, zam. generalnog direktora Ei S. Jovanović, gen. direktor Instituta "M. Pupin" V. Matejić i predstavnik Elektrotehničkog fakulteta univerziteta u Beogradu.

Opšti je zaključak, da je naučni i stručni nivo konferencije bio na zavidnoj visini. Ovom su doprineli sa svojim radovima domaći i strani autori. Poseban doprinos su dali pozvani referenti: H. B. Harrison, D. U. Podlesnik, M. Prudenziati i J. Piotrowski. Dominantne teme konferencije bile su mikroelektronske tehnologije iz oblasti integrisanih kola, fizike, poluprovodnika, senzora, hibridne tehnologije, materijala i dr.

Učesnici konferencije bili su smešteni u hotelu "Jugoslavija". Od hotela do mesta održavanja konferencije na rastojanju do 10 kilometara organizovan je stalni autobuski prevoz. Prevoz učesnika od aerodroma do Instituta na rastojanju od 8 kilometara i obratno obavljeno je putničkim vozilima. Registracija učesnika obavljena je u hotelu i Institutu. Ishrana učesnika organizovana je u restoranu Ei. Poštovana je tradicija ove konferencije, pa je organizovan izlet u Petrovaradin i Novi Sad, zatim za sve učesnike organizovan je koktel i zajednička večera.

MIEL - 91 dobio je svoje mesto i u okviru TV Beograd, odnosno tri učesnika ove konferencije bili su gosti Naučnog i Beogradskog programa TVB. U toku kao i na završetku konferencije organizacioni odbor je dobio brojne pohvale za uspešno organizovanje MIEL - 91 od strane domaćih i stranih učesnika.

Dobijeni komplimenti znače mnogo više u ovom vremenu sveopšte krize u zemlji. Na konferenciji su učestvovali učesnici iz svih republika, što potvrđuje naše uverenje da za znanje i nauku nikada i nigde neće biti granica.

Vladimir Pantović
Ei - IRI

11080 Zemun, Batajnički put 23

MIPRO-91 u Opatiji

Izvešće o 14. stručno-znanstvenom skupu MIPRO-91 s međunarodnim učešćem održanog od 20-24.05.1991. u Kongresnom centru "Adriatic" Opatija.

SADRŽAJ

1. Plenarna tema

1.1. Dr. Teodor Irmer, direktor CCITT Ženeva "Trendovi razvoja telekomunikacija u svijetu". Temu je u odsutnosti autora interpretirala gospođa Nataša Gospić iz ZJ PTT Beograd.

1.2. Razvoj telekomunikacija u Republici Hrvatskoj

- Vladimir Dobrić, pomoćnik direktora HPT Zagreb "Aspekti eksploatacija;
- Rajko Pfaff i Antun Carić, "N. Tesla" Zagreb "Aspekti proizvodnje"
- Skupina autora s ETF Zagreb "Aspekti znanstvenih istraživanja"

Plenarnom temom na MIPRO-91 obilježena je 10. godišnjica MIPRO-vog savjetovanja - Mikroracunala u telekomunikacijama/TE

2. Seminari

- 2.1. Primjena mikroračunala u vođenju tehničkih sistema/SP
- 2.2. Arhitektura računala s reduciranim skupom instrukcija/RISC
- 2.3. Suvremene računarske metode u elektroenergetici/EP
- 2.4. Uvod u upravljanje industrijskim procesima pomoću programabilnog kontrolera/LOLA

3. Savjetovanja

- 3.1. Mikroračunala u sistemima procesnog upravljanja/PU
- 3.2. Mikroračunala u telekomunikacijama/TE
- 3.3. Move generacije računala/NG

Napomena: U okviru savjetovanja PU organizirana je posebna sekcija koja je tretirala tematiku "Primjena računala u brodogradnji na brodovima i u lučkom transportu"

4. Izložba, na kojoj je elektroničku opremu i aplikaciju softvera izložilo i demonstriralo 14 domaćih i 5 inozemnih tvrtki. Organizator je preko sredstava javnog informiranja pozvao na slobodan pristup pa su izložbu pojedinačno i u skupinama razgledali srednjoškolci, studenti, stručnjaci i građani općenito.

5. Stručno komercijalne prezentacije svojih tehnoloških dometa novih proizvoda i opreme u ovoj oblasti imalo je 7 domaćih i 4 inozemne tvrtke, koji su financiranjem troškova prezentacije umnogome pridonijeli financiranju cjelokupnog programa MIPRO-91. Zapažene su bile prezentacije tvrtke KODA PS Ljubljana, INDUSTRIJSKOG BIROA Ljubljana (u okviru prezentacije izložili su i temu "Računalniško podrpt inženjering na području elektrotehnike"), AVTOTEHNE Ljubljana - SEKTOR CANON, EIDON Udine, čiji je predstavnik sa Sveučilišta Trst izložio i temu "Cooperating Systems: A Model of Data Structure" na savjetovanju Nove generacije računala/NG. Posebno korisna i zanimljiva bila je zajednička prezentacija američke tvrtke za Evropu HONEYWELL, švedskog SAAB-a i INE. Oni su na prezentaciji izložili temu "Modernizacija vođenja proizvodnih procesa u riječkoj Rafineriji nafte na Mlaku", a potom učesnike prezentacije odveli u Rafineriju gdje su im pokazali u proizvodnji Honeywellov sistem TDC 3000 i SAAB-ovu opremu. Pažnju je privukla i prezentacija austrijske tvrtke ELBATEX. Tvrtke koje su izlagale i imale svoju prezentaciju izjavile su da su imale koristi od animacije tržišta pa taj vid aktivnosti MIPRO u interesu svoje cjeline želi narednih godina jače izraziti.

Organizatori:

- Sekcija ETAN u sastavu DSEIT Rijeka
- Hrvatska elektroprivreda Zagreb
- "Nikola Tesla" Zagreb
- ETF Zagreb
- HPT Centar telekomunikacija Rijeka

- Sveučilište u Rijeci

Generalni sponzori:

- Privredna komora Jugoslavije
- ZJ PTT Beograd
- Poštanska štedionica Beograd
- Ministarstvo za znanost, tehnologiju i informatiku Republike Hrvatske
- Članice elektroprivrede Jugoslavije
- Sestavljeno PTT podjetje Slovenije
- PTT podjetje Ljubljana
- Privredna komora Rijeka

Suorganizatori:

- HEP Distribucija Rijeka
- HEP Proizvodnja, prijenosi i distribucija Rijeka
- Fakultet za pomorstvo i saobraćaj Rijeka
- Honeywell Process Automation Center Europe Brussels, Merkantile Zagreb i Ina Rafinerija Rijeka
- SAAB - Scania Combitech Group
SAAB Tank Control Gothenburg
- Elbatex Wien
- EIDON Udine
- Mikroiks Ljubljana
- Riječka banka d.d. Rijeka
- Liko Vrhnika
- CSI Ljubljana
- Industrijski biro Ljubljana
- ICCE Beograd
- IPR Zagreb
- Primetech Zagreb
- PAP Intel Ljubljana
- Koda PS Ljubljana
- Avtotehna - Sektor Canon Ljubljana
- Mraz Elektronik München
- Energoinvest IRCA Sarajevo
- "Ivo Lola Ribar" Preduzeće Lola fabrika računara Beograd
- Iskra Sysen Ljubljana
- Kompas Hertz Rijeka
- Institut "Mihajlo Pupin" Beograd
- Energoprojekt - Energodata Beograd
- Kompas Adria Opatija

6. Uvod

14. stručno-znanstveni skup MIPRO-91 s međunarodnim učešćem ostao je i ove krizne godine najaktualniji i najveći skup u tematici koju pokriva. Brojni otkazi čak i onih koji su uplatili kotizaciju nije ugrozio skup osim što je bio malobrojniji od prethodnih kada je na njega dolazilo i više od 700 ljudi. Imao je 356 sudionika među

kojima i 8 iz inozemstva. Podrijetlo sudionika i iz kojih su djelatnosti prikazano je u tabelama Prilog 1 i Prilog 2.

7. Seminari

Sadržaj seminara tiskan je u Konačnoj obavijesti MI-PRO-91 pa ga u izvješću nema potrebe ponavljati.

7.1. Primjena mikroračunala u voćenju tehničkih sistema/SP

Voditelj: prof. dr. Leo Budin, ETF Zagreb

Predavači: prof. dr. Bruno Stiglic, TF Maribor, prof. dr. Peter Šuhel, FER Ljubljana i prof.dr. Leo Budin ERTF Zagreb.

7.2. Arhitektura računala s reduciranim skupom instrukcija/RISC

Voditelj i predavač: prof. dr. Slobodan Ribarić, ETF Zagreb

7.3. Suvremen računarske metode u elektroenergetici/EP

Voditelji: Josip Kljaić, dipl.ing. HEP Zagreb, mr. Milan Radunović, RO DC ZJE u osnivanju Beograd, Zoran Tošović, dipl.ing. ZEP Beograd i Neven Medin, dipl.ing. HEP Rijeka

Predavači: dr. Stipe Fuštar, FESB Split i prof. dr. Dejan Ostojić, ETF Beograd

7.4. Uvod u upravljanje industrijskim procesima pomoću programabilnog kontrolera/LOLA

Voditelj i predavač: mr. Andrej Zdravković

Napomena: U konačnoj obavijesti MIPRO 91 bilo je ponuđeno ukupno 7 seminara, ali su prema unaprijed datoj najavi, organizirani samo oni koji su imali optimalni broj prijavljenih učesnika. Prijavljeni su za neodržane seminare imali mogućnost naknadnog opredjeljivanja za neki od održanih seminara.

8. Savjetovanja

8.1. Mikroračunala u sistemima procesnog upravljanja/PU

Voditelji: Predrag Vranić, dipl.ing., Vladimir Matijević, dipl.ing. mr. Juraj Kurek, mr. Željko Dobranović i mr. Dragan Kovačević

Savjetovanje PU radilo je kako je već priopćeno, u dvije sekcije od kojih je jedna bila za brodogradnju, brodarstvo i lučki transport. Na ovom savjetovanju priopćeno je 5 pozvanih i 22 prihvaćena referata.

8.2. Mikroračunala u telekomunikacijama/TE

Voditelji: dr. Antun Carić, N. Tesla Zagreb, prof. dr. Ignac Lovrek, ETF Zagreb, Dušan Kružić, dipl.ing. HPT Rijeka i Vladimir Dobrić, HJPT Zagreb.

U ovom savjetovanju priopćen je uvodni referat i 45 prihvaćenih referata.

8.3. Nove generacije računala/NG

Zbog komplementarnosti tematike zajednički sa njim održan je seminar o arhitekturi računala s reduciranim skupom instrukcija/RISC

Voditelji: prof. dr. Slobodan Ribarić, ETF Zagreb, mr. Jadranko Novak, Eidon Udine i mr. Dragan Čišić, FPS Rijeka

U ovom savjetovanju priopćeno je 10 prihvaćenih referata.

9. Izdavačka djelatnost

Na MIPRO 91 tiskano je pet zbornika (seminara i savjetovanja) u nakladi od 520 primjeraka. U svim zbornicima su objavljene i plenarne teme.

10. Zaključak

Stajalište je Organizacijskog komiteta i Programskog odbora MIPRO, utemeljeno i na mišljenjima sudionika i tvrtki koje su izlagale i imale stručno-komercijalne prezentacije, da se nastavi s organizacijom ovog stručno-znanstvenog skupa s međunarodnim učešćem. Zaključeno je da se zamoli pomoćnik ministarstva za pomorstvo i saobraćaj, te nadležnog resora za telekomunikacije uz postojeću punu podršku HPT-a pa da se na MIPRO-u temeljitije i po uzoru na elektroprivredu pokriju djelatnosti pomorstva, željezničkog prometa i telekomunikacija. Opredljenje je također da se glede tržišne orijentacije MIPRO-a jači naglasak dađe izložbi i stručno-komercijalnim prezentacijama.

Posebno je izražena zahvalnost na moralnoj i materijalnoj podršci Ministarstva za znanost, tehnologiju i informatiku Republike Hrvatske.

Prilog broj 1: Učesnici po republikama

	Seminari			Savjetovanja				Prateće manifestacije				Ukupno	
	SP+ Lola	EP	UK	PU	TE	Risc+ NG	UK	Izlag.		Prezent.		Učes.	%
								Po	Uč	Po	Uč		
1. Republika Hrvatska	28	31	59	42	42	34	118	6	12	2	8	197	55,3
2. SR Srbija	4	6	10	7	7	3	17	2	4	2	4	35	9,8
3. Republika Slovenija	9	8	17	4	17	16	37	6	12	3	6	72	20,2
4. SR BiH	1	12	13	3	4	7	14	-	-	-	-	27	7,6
5. SR Crna Gora	-	2	2	1	1	-	2	-	-	-	-	4	1,2

	Seminari			Savjetovanja				Prateće manifestacije				Ukupno	
	SP+ Lola	EP	UK	PU	TE	Risc+ NG	UK	Izlag.		Prezent.		Učes.	%
								Po	Uč	Po	Uč		
6. SR Makedonija	1	6	7	3	1	2	6	-	-	-	-	13	3,7
7. Strani učesnici	-	-	-	2	-	2	4	5	2	4	2	8	2,2
Ukupno	43	65	108	62	72	64	198	19	30	11	20	356	100

Prilog broj 2: Učesnici po grani privrede

	Seminari			Savjetovanja				Prateće manifestacije				Ukupno	
	SP+ Lola	EP	UK	PU	TE	Risc+ NG	UK	Izlag.		Prezent.		Učes.	%
								Po	Uč	Po	Uč		
1.Elektroindustrija	6	6	12	13	6	8	27	14	23	8	15	77	21,6
2.Elektroprivreda	18	41	59	28	22	27	77	-	-	-	-	136	38,2
3.Metaloprerađiv.	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	0,3
4.Prerada nafte	3	2	5	5	2	3	10	1	2	1	2	19	5,3
5.Projektni biro	-	8	8	2	-	-	2	2	2	1	2	14	3,9
6.Instituti	4	4	8	5	3	2	10	1	1	1	1	20	5,6
7.Fakulteti	-	3	3	-	2	3	5	-	-	-	-	8	2,2
8.Administracija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.RTV	4	-	4	4	4	8	-	1	-	-	-	12	3,5
10.Telekomunikacije	4	-	4	3	28	8	39	1	2	-	-	45	12,6
11.JNA	-	-	-	2	3	2	7	-	-	-	-	7	2,0
12.Sred. jav. inform.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.Ostali	4	1	5	4	2	6	12	-	-	-	-	17	4,8
Ukupno	43	65	108	62	72	64	198	19	30	11	20	356	100

OSMA EVROPSKA KONFERENCA O HIBRIDNI MIKROELEKTRONIKI ISHM-Europe 91, 28.-31. maj, Rotterdam

Od 28. do 31. maja 1991 je bila v Rotterdamu na Nizozemskem v kongresnem centru De Doelen osma evropska konferenca o hibridni mikroelektroniki ISHM-Europe 91 (8th European Hybrid Microelectronics Conference). Predstavljeno je bilo 54 prijavljenih referatov (od približno 120 poslanih) in 7 vabljenih referatov. Referati so bili iz 15 držav in sicer: ZRN 12 referatov, Velika Britanija 11, Francija 8, Italija 6, Belgija 6, ZDA 4, Indija 4, Japonska 3, Švedska 3, Nizozemska 2, DDR 1, Poljska 1, Finska 1, Švica 1 in Jugoslavija 1. Konferenci je prisostvovalo okoli 570 strokovnjakov in 72 razstavljalcev opreme in materialov za hibridno tehnologijo. Prispevki so bili predstavljeni v sledečih sekcijah:

1. Nove tehnologije
2. Proizvodnja in ekonomika

3. Materiali
4. Zanesljivost
5. Aplikacije
6. Multichip moduli
7. Načrtovanje
8. Povezovanje in inkapsulacija
9. Procesiranje

1. Nove tehnologije

A. P. McDonna iz britanskega raziskovalnega centra za telekomunikacije je predstavil montažo in inkapsulacijo optoelektronskih komponent za frekvenčno področje do 20 GHz. G. Shorthouse iz firme Johnson Matthey je opisal novo debeloplastno tehnologijo na osnovi fo-

toobčutljivega dielektrika z nizko dielektrično konstanto in jedkanimi zlatimi prevodniki. Ta naj bi omogočala izdelavo vezij visoke gostote z odprtinami v dielektriku premera do 50 mikrometrov in z dimezijami zlatih linij do 25 μm . K. Gabuni iz Hitachija je predstavil računalniško krmiljeno nanašanje debeloplastnih materialov na tiskarske glave preko fine šobe. A.V. Shah iz AT&T pa je opisal večplastna polimerna hibridna vezja, ki jih izdelujejo na tankoplastnih vezjih z bakrovimi prevodniki in tankoplastnimi TaN (tantal nitrid) upori.

2. Proizvodnja in ekonomika

D. Detemmerman iz firme Sprague v Belgiji je prikazal razvoj hibridnih vezij za površinsko montažo. Cena teh vezij naj bi bila 5 do 10 odstotkov višja od HV v DIL izvedbi in 10 do 15 odstotkov od tistih v SIL izvedbi. Za priključke so izbrali "J" obliko, ki zavzema manj prostora.

I. Cecchini iz firme Alcatel Face v Italiji je opisal tehnologijo povezovanja v prenosnih telekomunikacijskih sistemih. Omejil se je v glavnem na primerjavo SMD vezij na tiskanem vezju in SMD hibridnih vezjih. V referatu trdi, da so SMD moduli slabši nadomestek za HV.

X. Saint Martin iz računalniške firme BULL SA v Franciji je govoril o izkušnjah in trendih SMT tehnologije z malimi razmaki med priključki. Analiziral je dve SMT vezji z razmakoma 0,423 in 0,317 mm med priključki. Trdi, da je razmak 0,250 do 0,375 mm med priključki meja za SMT tehnologijo. Naslednja izbira je TAB (avtomatsko bondiranje na traku) ali MCM (Multi Chip Module).

E. Gramegna, Du Pont, je govoril o razvoju keramičnih tehnologij v 90 letih. Pokazal je primerjavo med različnimi tehnologijami povezovanja v smislu učinkovitosti pakiranja kot funkcija ločljivosti linij. Največjo gostoto linij je mogoče izdelati na siliciju, sledijo večplastni chip moduli (MCM), ki so poznani tudi z izrazom vezja z visoko gostoto povezav (HDI - High density Interconnect), tiskana vezja, SMT, hibridna vezja in COB (Chip on Board) zavzemajo približno isto mesto.

Gibalo razvoja na tržišču danes predstavljajo zahteve uporabnikov, ki so osredotočene na sledeče:

- a) gostoto in performance,
 - fine linije in razmaki
 - večplastne strukture
 - uporaba sodobnih VLSI vezij in
 - visoka gostota
- b) nižjo ceno
 - stroškovno učinkoviti materiali
 - stroškovno učinkoviti tehnološki procesi
- c) razpoložljivost ob pravem času
 - načrtovalska orodja
 - standardi

Kratek komentar k zgoraj naštetim zahtevam:

Fine linije in razmaki

Sitotisk, takšen kot je danes, ne more več zadovoljiti najbolj zahtevnih potreb elektronske industrije po **finih linijah in razmakih**. Nova sita menda omogočajo ločljivost 75 mikrometrov. Druga tehnika pa je fotopostopek. Za **večplastna vezja** so na voljo novi materiali in zelena folija (Green Tape). Male odprtine za povezavo med prevodnimi ravninami je mogoče izdelati z laserjem, fotopostopkom in difuzijo.

Pri **sodobnih integriranih vezjih** nastopajo istočasne zahteve po večji hitrosti in večji moči. To vodi k opuščanju inkapsuliranih vezij in vedno večji uporabi golih chipov, ki jih ožičujemo z bondiranjem, flip-chip in TAB tehniko. Keramika ima tu prednost pred organskimi substrati zaradi nizkega temperaturnega razteznostnega koeficienta (TRK). Zaradi vedno večjih površin in termičnega cikliranja, ki postaja osnovni kriterij pri zagotavljanju kakovosti, pa tudi med keramiko in silicijem prihaja do prevelikih neujemanj, zakar bo potrebno preiti od 96% Al_2O_3 keramike k "dielektričnim tipom materialov", ki se v TRK ujemajo s silicijem in imajo istočasno tudi čim manjšo dielektrično konstanto (zelena folija).

Potreba po vedno **večji gostoti pakiranja** vodi k vedno manjšim komponentam, ki jih je čedalje težje obvladati s stroji za nameščanje komponent. Pričakujejo vedno več vezij s pokopanimi upori v večplastni strukturi na osnovi zelene folije. Na področju večjih gostot ima keramika prednost pred tiskanimi vezji tudi zaradi cenejših slepih povezav med prevodnimi ravninami, ki jih je sicer na tiskanih vezjih tudi mogoče izdelati, vendar z občutno večjimi stroški.

Stroškovno učinkovita materiala za večplastna vezja bosta srebro in baker. **Stroškovno učinkoviti procesi** pa zahtevajo avtomatizacijo proizvodnje. Keramična tehnologija ima boljši položaj gledano s tehničnega vidika, tiskana vezja pa so na boljšem glede infrastrukture in sprejemljivosti.

3. Materiali

R. D. Tidswell iz firme Thorn iz V. Britanije je podal primerjavo termičnih zmogljivosti cenениh substratov za močnostno elektroniko. V primerjavi z 96 % Al_2O_3 keramiko je pokazal termične zmogljivosti dveh vrst substratov: jeklenih, pokritih s plastjo dielektrika na osnovi stekla keramika in aluminija s folijo polimernega materiala. Relativne prednosti posameznih materialov so določili tako, da so na testnih vezjih merili toplotno upornost močnostnega polprevodnika glede na okolico. Za meritev temperature so uporabili termokromne tekoče kristale.

C. Zardini z univerze Bordeaux v Franciji, je predstavil primerjalno študijo močnostnih hibridnih vezij na substratih iz AlN in BeO. Tudi v tem primeru so merili toplotno

upornost tako, da so uporabili tekoče kristale nematskega tipa. Zatrjujejo, da lahko pri močnostnih vezjih AlN substrati zamenjajo BeO substrate. Čeprav ima AlN nižjo toplotno prevodnost kot BeO, je toplotna upornost narejenega in enkapsuliranega vezja na AlN samo 20 % nižja kot na BeO. Razlog zamenjave je strupenost BeO keramike.

Po tem in še po več drugih referatih, ki so kot razlog uporabe AlN substratov za močnostna vezja navajali strupenost BeO keramike, se je razvila zanimiva razprava. Eni (verjetno proizvajalci BeO keramike) so trdili, da je škodljiv samo prah, medtem ko je sintrana keramika popolnoma nenevarna. Drugi pa so rekli, da pri laserskem doravnavanju uporov na BeO substratih lahko odpari nekaj BeO v zrak in da na primer nemški standardi dovoljujejo samo 0,1 μg (!) BeO v m^3 zraka.

B. Waibel, Doduco GmbH iz Nemčije je predstavila nadomestne materiale za BeO v hibridnih vezjih za avtoelektroniko. Termične zmogljivosti so merili na tabletki močnega polprevodnika, ki so ga na osnovno ploščo pritrdjevali preko BeO, AlN in 96% Al_2O_3 keramike z neposredno nanešeno bakreno folijo debeline 0,1 do 0,9 mm. Kriterij za primerjavo med temi materiali je bil dvig temperature na Si tabletki za moč 50 vatov in dolžino pulza 1 sekundo. Dovoljen dvig temperature je bil 50°C. Da dvig temperature ne preseže 50°C, je bila potrebna debelina bakrene folije na Al_2O_3 0,65 mm, na BeO 0,3 mm in na AlN 0,65 mm. Zanimivo je to, da mora biti na AlN ista debelina kot na standardni Al_2O_3 keramiki. Pojav razlagajo s tem, da se med bakrom in AlN tvori oksidna plast z visoko toplotno upornostjo.

S. Turvey, Ferro Corporation, Santa Barbara, ZDA je predstavil nove materiale za hitra večplastna vezja z dielektrično konstanto v razponu od 2,5 do 4,9. Materiale s tako nizko dielektričnostjo so dobili s postopkom generiranja kontrolirane zaprte poroznosti v gostem materialu steklo-keramika. Ker so pore zaprte, je dielektrik kljub poroznosti hermetičen, seveda pa ima nižjo mehansko trdnost in prebojno napetost kot gosto sintrani dielektrični materiali.

L. Bauman, Ingenierhochschule Mitweida, ZR Nemčija je govoril o prevodnih kompozitih v tehnologiji tiskanih vezij. Gre za aditivno izdelavo TV tako, da tiskamo polimerne prevodnike na organske substrate, diskretne komponente pa prilepimo. Ta tehnologija je v primerjavi s klasičnimi TV čista, uporablja cenene materiale, nizke temperature polimerizacije in drugo. Svoje mesto že ima v industriji igrac, cenjenih senzorjih, v strojih za gospodinjstvo in drugje.

P. Johnson, IVF, Švedska je predstavil tehnologijo PFT (PFT - Polymer Film Technology). Študirali so zanesljivost križanj polimernih prevodnikov, ki so jih nanесли na klasično tiskano vezje. Migracijo srebra so preprečili tako, da so med baker in srebrov polimerni prevodnik na polimerni dielektrik nanесли še plast grafita (ogljikov film). Migracija je nastopila samo v slučaju, če so na srebrov

prevodnik pritisnili pozitivno napetost. Tehnologijo še preverjajo in jo komercialno še ne izkoriščajo.

J. Golonka, Tehnična univerza, Wroclaw, Poljska, je govoril o debeloplastnih uporih, izdelanih pod plastjo dielektrika v večplastnih vezjih. Če se upori izdelajo kot pokopani upori pod dielektrikom namesto na substratu, to prispeva k miniaturizaciji debeloplastnih vezij. Seveda pa se zaradi interakcije med uporovnim in dielektričnim materialom med procesom žganja spremenijo karakteristike uporov, ki so bili "namenjeni" za žganje na Al_2O_3 keramiki. Ugotovil je, da so plastne upornosti uporov pod dielektrikom podobne kot pri uporih na keramiki, medtem ko temperaturni koeficienti upornosti narastejo. Predvsem pa se zmanjša dovoljena moč na uporih, ker dielektrični materiali za večplastna vezja razmeroma slabo prevajajo toploto.

N. Yoshida (Shoei Chemicals, Japonska) je poročal o razvoju debeloplastnih uporovnih materialov na osnovi RuO_2 , s katerimi se da ponovljivo doseči TCR pod $50 \times 10^{-6}/\text{K}$ tudi za zelo majhne dimenzije uporov, do $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$. Te uporovne paste naj bi se uporabljale s srebrnimi prevodniki in so bile razvite predvsem za chip upore. (Pripomba: referat je bil v bistvu predstavitev prospekta s podanimi meritvami. Karakteristike predstavljenih uporovnih past pa so v "špicu" tega, kar se da danes doseči z debeloplastnimi uporovnimi materiali. Vse te lastnosti, to je TCR pod $50 \times 10^{-6}/\text{K}$, kompatibilnost s prevodniki na osnovi srebra - srebro običajno dvigne TCR kratkih uporov - in ponovljive karakteristike pri uporih majhnih dimenzij, pomeni verjetno res kvaliteten material, čeprav bomo vedeli to šele potem, ko/če ga bomo testirali).

B. Morton iz Univerze v Modeni, Italija, je predstavil debeloplastne piezoelektrične plasti. Za pripravo aktivnega sloja so uporabili PZT (svinec/cirkon/titanat) z dodatkom PbO ali stekla, ki naj poveže material pri "običajnih" temperaturah žganja. Študirali so materiale in njihove reakcije s keramičnimi substrati. Na Al_2O_3 substratu so naredili prototip piezoelektričnega senzorja pritiska in izmerili električne karakteristike. Z različnimi konfiguracijami so poskušali optimizirati odziv.

R. Ratz, Siemens, Nemčija, je predstavil uporabo debeloplastnih bakrovih prevodnikov in uporov, ki se žgejo v zaščitni atmosferi, za mikrovalovna integrirana vezja. S tem dosežejo podobne karakteristike kot s tankoplastnimi prevodniki, vendar pri precej nižji ceni. Na žgane prevodnike breztokovno nanesejo tanko plast ($0,2 \mu\text{m}$) zlata, kar omogoča povezave z bondiranjem ali spajkanjem. Vezja s Cu prevodniki so uporabna do frekvence 10 GHz, dosegljive frekvence pa bodo dvignili do 23 GHz.

4. Zanesljivost

R. V. Berghe, Alcatel Bell, Belgija, je študiral zanesljivost oziroma mehanizme odpovedi pri tankoplastnih in debeloplastnih dielektričnih plasteh, tako anorganskih kot

organskih (poliimidi, predvsem za multichip module). Za odpovedi so v glavnem štirje vzroki, to je neujemanje razteznostnih koeficientov med dielektrikom in substratom, napetosti v dielektrični plasti, ki nastanejo pri izdelavi, luknjice (pinholes) v plasti in neenakomernosti dielektričnih amorfnih plasti.

Za nekatere aplikacije (na primer DA/AD pretvorniki) so potrebni tanki filmi s TCR pod $5 \times 10^{-6}/K$ in časovno stabilnostjo pod $200 \times 10^{-6}/K$, pri čemer pa se morajo upori pri staranju spreminjati v "isti smeri". H. Dinter je predstavil izdelavo in stabilizacijo takih zahtevnih tankih filmov na osnovi delno oksidiranega Ni/Cr.

G. Reppe, Robotron, Telecom, Nemčija, je opisal izdelavo debeloplastnih uporov na osnovi La-borotov, pokopanih pod plastjo dielektrika. Primerjali so plastne upornosti in TCR uporov, žganih na Al_2O_3 in pod dielektrikom ter ugotovili, da so spremembe razmeroma majhne. (primerjaj še referat Golonka-e v sekciji Materiali). Upori na osnovi La boratov se žgejo v zaščitni atmosferi dušika in so kompatibilni z bakrovimi prevodniki. Imajo precej (več kot desetkrat) nižji "Gauge factor" - sprememba upornosti pri deformaciji upora - kot "običajni" debeloplastni uporovni materiali na osnovi rutenatov in so zato manj občutljivi na različne razteznostne koeficiente dielektričnih materialov. Obstajajo pa seveda še nerešeni problemi pri doravnavanju pokopanih uporov.

C. R. Pickering iz firme Du Pont je predstavil nov sistem debeloplastnih materialov za izdelavo večplastnih vezij. Prevodniki so na osnovi srebra, ki je poceni in ima zelo nizko upornost. Ker pa srebro "rado" migrira in lahko povzroči kratke stike med linijami, so razvili posebne večplastne dielektrike, ki so po žganju popolnoma hermetični. Dielektriki so na osnovi kristalizirajočih stekel. Predstavili so tudi novo kompatibilno uporovno serijo, ki se jo lahko žge na površini dielektrikov.

5. Aplikacije

To sekcijo je z uvodnim referatom otvoril S. Demolder, Alcatel Bell Telephone, Belgija, ki je govoril o hibridnih vezjih kot stroškovno učinkoviti rešitvi. Odločitev za HV mora sloneti na jasni dodani vrednosti, ki se izraža vsaj v enem od sledečih dejavnikov: zmanjšanje velikosti, boljše termične lastnosti, večji zanesljivosti, izboljšanjem električnem delovanju, drugačnem pakiranju, uporabi nestandardnih tehnologij in krajšem razvoju do prototipa. Pokazal je linijsko vezje z razmerjem upornosti 0,1%, ki mora vzdržati napetostni sunek 1 kV in odpovedati brez "ognja", če nanj pritismo omrežno napetost 220 voltov. Med drugim je omenil tudi problematiko cene golih tabletk, katerih cena dosega skoraj isto raven kot inkapsulirane komponente.

P.G. Barnwell, Custom Interconnect Ltd., V. Britanija je predstavil razvoj visokofrekvenčnega (VF) transformatorja, izdelanega v debeloplastni tehnologiji, ki je namenjen za uporabo v VF močnostnih pretvornikih.

J. Schejbal iz Karlove Univerze v Pragi je govoril o novih trendih pri uporabi DCB (Direct Bonded Copper) v močnostni elektroniki. Nazorno je orisal mehanizme in postopek pritrdjevanja bakrenih folij na Al_2O_3 keramične substrate s Cu/Cu₂O/CuO evtektično vezjo. Bakrena folija se pritrdjuje na keramiko v atmosferi dušika v zelo ozkem temperaturnem območju med 1065°C in 1083°C. Pokazal je vzorce z močnostnimi polprevodniki na takih substratih. Njegov referat je dobil nagrado kot najboljši referat na konferenci.

H. Baudry, Francija, je govoril o piroelektričnih senzorjih (zaznavajo toplotno oziroma infrardeče sevanje) izdelanih v debeloplastni tehnologiji. Pasto so izdelali iz PZT (svinec-cirkon-titanat) materiala, ki ima piroelektrične lastnosti. Pokazal je primer linearnega niza piroelektričnih detektorjev, ki dela pri sobni temperaturi in naj bi bil cenejši, kot so polprevodniški detektorji infrardečega sevanja, katere je potrebno hladiti s plinom ali tekočim dušikom.

V tej sekciji je bil predstavljen tudi naš referat (J. Slunečko, J. Holc, M. Hrovat, M. Čeh, S. Bernik, Evaluation of materials for thick film humidity sensors), ki je obravnaval materiale na osnovi nedopiranega in dopiranega Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ za debeloplastne senzore vlage. Podani so bili rezultati preiskav z elektronskim vrstičnim mikroskopom in električne meritve.

G. Harsanyi, Tehnična Univerza Budimpešta, je govoril o novih aplikacijah debeloplastnih materialov na področju senzorjev. Predstavil je nikljev termo-uporovni element za merjenje površinske temperature, termo-občutljiv uporovni most, ki se sestoji iz dveh standardnih debeloplastnih uporov in dveh debeloplastnih uporov iz bakra in polimerni senzor za nizke pritiske.

K. T. Hori, Sony Corporation, je predstavil tehnologijo povezovanja IV na kreditno kartico ali fleksibilnih tiskanih vezjih na pokazalnik tekočih kristalov. Bistvo tehnologije je v tem, da na fleksibilno tiskano vezje debeline 25 mikrometrov s sitotiskom nanesejo bakrovo pasto (thermo setting phenolic copper type), rezist za zaporo in lepilo. Na tako pripravljeno tiskano vezje pritisejo pri temperaturi 170°C in sili 15 N v času treh sekund flip-chip tabletko IV. Za ta postopek so razvili poseben bonder. Podoben postopek uporabljajo za pritrditev fleksibilnega TV k pokazalniku tekočih kristalov.

6. Multichip moduli

V tej sekciji so poročali o materialih in postopkih za izdelavo multichip modulov. Pri IBM so razvili za novo generacijo računalnikov multichip modul kot večplastni substrat z dielektrikom na osnovi kristalizirajočega stekla in 63 (!) prevodnimi ravninami z bakrovimi prevodniki. Gostota povezav je 845 cm/cm². F. Bechtold (Siegert Electronic, Nemčija) je primerjal različne načine povezovanje golih silicijevih tabletk na multichip modulu iz večplastne keramike, to je ožičenje z bondiranjem, avtomatsko bondiranje na traku (TAB) in tabletko v flip-chip

izvedbi. Pokazal je tudi multichip modul, kjer so povezave ne samo v substratu, ampak tudi v pokrovčku iz večplastne keramike. R. D. Rossi, National Starch and Chemical Comp. ZDA, je prikazal primerjavo različnih organskih dielektrikov za izdelavo multichip modulov velike gostote.

7. Načrtovanje

S. Charnau, Sextant Avionique, Francija, je predstavil model, s pomočjo katerega je mogoče predvideti potrebe ožičenja večplastnih substratov in omogoča načrtovalcu elektronskih vezij, da izbere pravo tehnologijo povezovanja že na začetku razvoja.

H. Delf, Rhode&Schwarz, ZR Nemčija, je z metodo končnih elementov (MKE) analiziral napetosti, do katerih pride takrat, ko keramični substrat pritrdimo na hladilno telo, katerega TRK se ne ujema s TRK keramike. MKE pokaže, kje nastopajo maksimalne napetosti, kako vplivajo dimenzije na nivo napetosti in kako plastični tok in lezenje spajke vplivajo na pričakovane napetosti. Iz teh rezultatov je potem mogoče napraviti nekaj pravil o konstrukciji.

H. Thust, Tehnološki institut Ilmenau, ZR Nemčija, je izdelal karakterizacijo spojev pri visokih frekvencah med različnimi trakastimi linijami v isti ravnini in med različnimi nivoji večplastnega vezja za izbrane debeloplastne strukture.

B. Cabon, CNRS, Grenoble, Francija, je podal primerjavo delovanja transmisijske linije, izdelane z običajnim prevodnikom iz srebra in linije, izdelane z visokotemperaturnim superprevodnikom $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ za frekvenčno področje 0,5 do 14,5 GHz. Za vhodne signale s časom dviga okoli 100 ps se je pokazala prednost superprevodne mikrotrakaste linije.

G. De Mey in sodelavci iz Univerze Ghent v Belgiji so merili termične lastnosti tankih večplastnih struktur, ki nastopajo v primeru MCM. Pokazali so, da je te mogoče izmeriti s tranzientno termično analizo z uporabo termografične kamere in matematične analize.

B. Andrews, Dazix, V. Britanija, je predstavil programski paket za načrtovanje MCM. Program po vnosu električne sheme izvrši simulacijo in nato preide k fizični razporeditvi in povezavi komponent MCM. V vsakem času omogoča vpogled v termično sliko vezja. Z uporabo parazitne analize kontrolira kritične signale glede na preglas in dolžino sledi.

8. Povezovanje in inkapsulacija

J. C. Fursman, Teledyne, Los Angeles, ZDA, je predstavil svojo vizijo prihodnosti industrije hibridnih vezij v sodobni tehnologiji povezovanja. Teledyne je ameriški proizvajalec hibridnih vezij za vesoljsko in vojaško elektroniko. V svoji analizi se je zato omejil na MCM (multichip module), v katerih najbrž vidi prihodnost svoje

visoko tehnološke firme. Razlikujemo tri vrste MCM: MCM-C so izdelane na keramiki (večplastna debeloplastna vezja ali skupaj žgana zelena keramika), MCM-D so izdelane s tankoplastno tehnologijo s polyimidom kot izolatorjem in MCM-L so multichip vezja izdelane, z organskimi laminati. Teledyne je močan v MCM-C, ki jih izdeluje v večplastni debeloplastni tehnologiji in na zeleni keramiki. Podal je primerjavo vezij izdelanih v debeloplastni in tankoplastni tehnologiji. Meni, da je tankoplastna tehnologija zelo draga in da skušajo čim več vezij izdelati v debeloplastni tehnologiji. Teledyne še vedno daje prednost bondiranju pred flip-chip in TAB tehniko. Menil je, da v nekaterih zadevah glede zanesljivosti ameriška vlada pretirava in da potrebno zaradi znižanja stroškov pri nekaterih zahtevah popustiti. V prihodnosti se bodo v komercialni elektroniki uveljavila COB vezja v vojaški in vesoljski pa debeloplastna MCM-C.

C. Val, Thomson CSF, Francija, je poročal o ceneni hermetičnih okrovi za velike substrate. Avtor je prikazal problematiko zapiranja velikih hibridnih vezij (dimenzije substrata reda $100 \times 150 \text{ mm}^2$). Klasični kovinski okrovi za te dimenzije do nedavna niso bili na voljo. Danes jih je že mogoče nabaviti, so pa zelo draga. Pri Thomsonu so razvili posebno tehniko zapiranja velikih substratov. Pokazal je vezje dimenzije $150 \times 89 \text{ mm}^2$, na katerega prispajkajo dva okvirja iz kovorja. Prvi je debel samo 0,2 mm, drugi, na katerega potem privarijo pokrov, pa je debelejši. S tako kombinacijo so zmanjšali napetosti, ki nastanejo med okvirjem in substratom. Pri enem samem okvirju so bile te namreč tako velike, da so presegale natezno trdnost keramike tako, da se je ta pri spajkanju lomila. Pokazal je HV, ki vsebuje na keramiki $150 \times 150 \text{ mm}^2$ 1000 vhodov in izhodov - med drugimi komponentami tudi 16 mikroprocesorjev (transputerjev), ki ga bodo inkapsulirali na podoben način.

Vedno večja gostota priključkov zahteva nove pristope pri povezovanju. T. Kataoka, Mitsui Mining and Melting Co. Ltd, Japonska, je poročal o tehnologiji povezovanja za ultra fine razmake. Princip te tehnologije je v tem, da na priključne blazinice fleksibilnega TV galvansko nane-sejo baker, ki ima obliko dendritov. Tako obdelane priključke potem pritisnejo na prikazalnike s tekočimi kristali ali termične tiskarske glave. Pri kontaktiranju s prikazalniki so dosegli najmanjši razmak priključkov 70 mikrometrov.

M. Lahdenpero, Technical Research Institute, Oulu, Finska, je poročal o rezultatih raziskave, pri kateri so primerjali štiri različne substrate za uporabo v tipičnih finskih izdelkih mehatronike (mechatronics = mechanics + electronics), ki so inteligentni aktuatorji kot hidravlični cilindri in motorji, stroji za papir in elektronske ključavnice. Testna vezja s chip upori (1206), nosilci tabletk in golimi chipi so izdelali na sledečih substratih: debeloplastna tehnologija na Al_2O_3 in nerjavečem kromovem jeklu, FR4 tiskanem vezju in aluminiju z polyimidno in bakreno folijo. Primerjali so karakteristike pritrdjevanja komponent s spajkanjem, bondiranjem in lepljenjem s prevodnimi lepili. Dve testni strukturi so testirali pri

sledenih pogojih: 1850 temperaturnih ciklov med -40°C in $+125^{\circ}\text{C}$ ter staranje 1000 ur pri 85°C in 85% relativni vlagi. Rezultati so pokazali, da je bilo na vseh substratih najbolj zanesljivo bondiranje. Prevodno lepilo je manjkrat odpovedalo kot spajka na debeloplastni keramiki z nosilci tabletk. Vendar pa je narasla prehodna upornost lepila tako, da ga ne uporabljajo tam, kjer je povečanje upornosti za 1 ohm lahko že kritično. Debeloplastna tehnologija na nerjavečem jeklu se je pokazala zanimiva za delovanje v zahtevnih pogojih okolice. Aluminij s polyimidom in bakrom pa se je izkazal primerne za manjše moči.

V nadaljevanju te sekcije je M. S. Chalsen, Micro Robotics Systems, ZDA, predstavil napravo za avtomatsko polaganje golih tabletk na hibridna ali tiskana vezja (COB), P. Langlois, Thomson-CSF, Francija pa je poročal o raziskavah uporabe AlN keramike za mikrovalovna vezja.

9. PROCESIRANJE

J. J. Felten iz firme Du Pont je poročal o novem načinu izdelave gostih večplastnih vezij. Kot je bilo že večkrat omenjeno, so dimenzije prevodnih linij v debeloplastnih hibridih lahko prej manjše kot je dimenzija povezav skozi dielektrik v večplastnih vezjih. Luknje (vias), ki se jih lahko še razmeroma "udobno" izdelava s sitotisko, so okrog 300 ali mogoče do 250 μm . Eden razlogov za to je vakuum, ki pri odmiku sita od substrata potegne pasto v povezavo. Pri Du Pont-u so razvili način izdelave manjših lukenj z metodo "difuzijskega oblikovanja" (diffusion patterning). V dielektrični pasti je fotoobčutljiv material, ki po sitotisku in osvetlitvi polimerizira. Nato se na polimerizirano plast natiska na zaželenih mestih posebna pasta, ki vsebuje topilo, ki difundira v polimerizirano plast in jo "pod sabo" raztaplja. Na tem mestu se plast dielektrika lahko izpere. Na ta način se lahko tudi v proizvodnih pogojih izdelava večplastnih hibridnih vezij dela povezave z dimenzijami do 150 μm .

C. C. Y. Kuo, CTS Corp. ZDA, je opisal način izboljšave adhezije bakrovih debeloplastnih prevodnikov. V aktiv-

no vezanih prevodnikih je dodan bakrov oksid, ki med žganjem reagira z Al_2O_3 in tvori vez med debeloplastnim prevodnikom in substratom. Kuo je predlagal alternativen način, to je, da se CuO tvori na zrni Cu v pasti med procesom sušenja. Pripravil je Cu pasto, ki jo je sušil namesto pri običajnih 120°C pri 200°C . Pri tem so se bakrena zrna po površini enakomerno oksidirala in ta oksid je tvoril med žganjem dobro vez s substratom. Ta postopek izboljša adhezijo in starano adhezijo, pri tem pa ne "pokvari" prevodnosti ali spajkljivosti žganih plasti.

J. P. Michelet je poročal o metalizaciji AlN keramike z bakrom - Direct Bonded Copper. Karakterizirali so različne AlN substrate, ki so jih po površini oksidirali na različne načine (zrak, suh zrak in kisik) pri temperaturah okrog 1200°C . Oksidna plast je, kot je bilo že prej omenjeno, potrebna za tvorbo eutektika Cu-Cu₂O, ki veže bakreno folijo na keramiko. Najboljše rezultate so dosegli z oksidno plastjo, ki je bila neporozna in debela nekaj mikrometrov.

B. P. Carr, Hughes Microelectronics, Velika Britanija, je imel referat o postopkih tiskanja tankih linij. S primerno izbiro posebnih mrež za sita, posebnih emulzij (to je imenoval direktno-indirektna metoda), primernih past in pravilne nastavitve parametrov pri sitotisku jim je uspelo v proizvodnih pogojih tiskati na substratih linije med 50 in 75 μm , na večplastnih vezjih s petimi prevodnimi plastmi po linije z ločljivostjo 100 μm in luknje (vias) v dielektriku s premerom 100 μm . Seveda pa mora biti tako izdelava sit kot sam sitotisk v brezprašni sobi.

Naslednja, deveta evropska konferenca o hibridni mikroelektroniki ISHM-Europe 93, bo 2. - 4. junija 1993 v Nici, Francija.

Ljubljana, junij 1991

Franc Jan
Marko Hrovat
Institut Jožef Štefan
Jamova 39, Ljubljana

PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE

Iskra SEMICON d.d.

Iskra Semicon has been established in 1991 by Iskra Polprevodniki p.o., a company with 27 years tradition in semiconductor production and active of 15 milion USD. Present shareholders are Republic of Slovenia, city of Trbovlje and Iskra Polprevodniki p.o. In 1991 we plan to turnover 15 milion USD. Iskra Semicon supplies customers with standard and fast diodes in plastic packages, rectifying bridges, transient voltage suppressors and

diode arrays. Chips are processed in our own plant equipped with up to date equipment for all bipolar processes. We have also strong research and development department, which developed complete processes and all products in our present production. New devices, as ultrafast diodes, high voltage transient suppressors, high reliability standard and fast diode chips, are in the stage of being introduced into production. Internal quality as-

surance is based on ISO 9000 European Standard. 90% of production is exported to West European countries as Germany, France, Great Britain, Italy, Scandinavia. Our products are assorted at producers such as Grunding, Philips, Telefunken, Valvo, DAV, Italtel, Zannussi, Luxor, Nokia etc.. Our goal is to provide best customer service.

Technological Features

We are one of the biggest producers of silicon rectifier diodes and bridges in Europe with 30 years of experience.

Our factory is situated in Trbovlje, a small city in the heart of Slovenia, 60 km from Ljubljana.

The entire production process of Si-rectifiers is based on our own technology. The most modern microprocessor devices are used for the manufacturing of Si-diodes, bridges and other elements. The production process comprises the following stages: pulling out of Si-crystals, diffusion, assembly and measurements. All components are made of high quality raw materials, which are checked and assessed throughout the production process.

Our business philosophy is to manufacture high quality products and adhere strictly to the agreed delivery dates. The quality and reliability of our products comply with the regulations of the IS 9000 system, which conforms with CECC and IECO systems.

Our references:

- 15 year's cooperation with the company MOTOROLA which products are manufactured on YU market
- we are an exclusive distributor of company IR - INTERNATIONAL RECTIFIER for YU market
- 90% of our production is exported to West European countries: Germany, France, Great Britain, Italy, Scandinavia

Production Program

Si - rectifier diodes	1 A 1,5 A 2 A	case DO - 41
	3 A 5 A	DO - 27
	6 A 12 A	DO - 4
	20 A 35 A	DO - 5

Voltage 50 V up to 1600 V

Fast diodes	1 A	case DO - 41 TRR 100 - 500 ns
-------------	-----	----------------------------------

2 A 2,5 A 3 A	DO - 27 TRR 100 - 500 ns
6 A	DO - 4 TRR 200 - 500 ns
20 A	DO - 5 TRR 200 - 500 ns

Voltage 50 V up to 1000 V

Ultra fast diodes	1 A	case DO - 41 TRR ≤ 75 ns
	3 A	DO - 27 TRR ≤ 75 ns

Voltage 50 V up to 1000 V

Si - rectifier round bridges	0,8 A 1 A 1,5 A
------------------------------	-----------------

Voltage 50 V up to 1000 V

Fast version TRR ≤ 500 ns

Si - rectifier in line bridges	1,5 A 2,2 A 3,2 A 3,7 A 4 A 5 A 6 A 8 A
--------------------------------	---

Voltage 50 V up to 1000 V

Fast version TRR ≤ 500 ns

Power bridges	10 A 25 A 35 A
---------------	----------------

Voltage 50 V up to 1000 V

Low voltage suppressor diodes (bidirectional)

Voltage 1 V up to 5 V	case DO - 41
-----------------------	--------------

Stabistor diodes (unidirectional)	case DO - 41
-----------------------------------	--------------

Transient suppressor diodes - 400 W	case DO - 41
-------------------------------------	--------------

Voltage 5,5 V up to 97 V - 600 W, 1500 W	case DO - 27
--	--------------

Diode arrays

Surface mounting, diodes and bridges standard and fast version
SMD 1 - 3 A (year 92)

Our future vision is producing and dispatching most of the components used in electrical industry.

Do not hesitate to contact us for the standard and specific requested components. Ask for the catalogues.

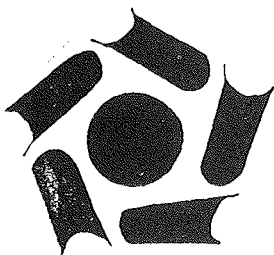
We shall be pleased to be of good service.

Total Customer Satisfaction is our Goal

Iskra SEMICON d.d., 61420 Trbovlje,
Gabrsko 12, Slovenia, Yu
Phone: xx38 (601) 24-155, 22-233,
Fax xx38 (601) 22-376,
Telex 35004 Iswm YU

VESTI, OBVESTILA

SANU, CMS, ETF, (Beograd) i EF (Niš)



23. 09. - 04. 10

SMTE - 91

CMS - BEOGRAD

Tel. 681-466, 681-487

SMTE - 91

Stalni seminar za inovaciju znanja: SAVREMENI MATERIJALI I TEHNOLOGIJE U ELEKTRONICI

Saglasno sporazumu o saradnji Srpske akademije nauka i umetnosti i Centra za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu počevši od 1990 godine počeo je da se održava redovni kurs za inovaciju znanja: "SAVREMENI MATERIJALI I TEHNOLOGIJE U ELEKTRONICI".

Ceo seminar (kurs A i B) traje dve nedelje i održava se poslednje nedelje septembra i prve nedelje u oktobru svake godine.

Prvi seminar SMTE - 90 naišao je na očekivani odziv i uspešno je završen. Kurs A je pohađalo više od 30, a kurs B više od 40 stalnih slušalaca. Pojedini predavanjima stalno je prisustvovalo još 10 - 15 vanrednih slušalaca zavisno od oblasti interesovanja.

Polazeći od rezultata ankete na kraju prošlogodišnjeg seminara SMTE-90 formiran je program SMTE - 91 sa novim temama koje dalje pokrivaju ovu multidisciplinarnu oblast.

Seminar se održava u CMS u ulici 29. Novembra 142. Predviđeno vreme za predavanja za svaku temu je od 9 - 13 časova i od 16 do 19 časova. Zbornik predavanja SMTE - 91 pripremljen je za svakog slušaoca.

Organizacioni odbor SMTE - 91

Kontakti sa CMS:

Prof. M. Raspopović
CENTAR ZA MULTIDISCIPLINARNE
STUDIJE
Slobodana Penezića - Krcuna 35 / 4
Beograd 11 000 tel. 011 - 681 - 487

SMTE 91 CENTAR ZA MULTIDISCIPLINARNE STUDIJE BEOGRAD

Stalni seminar za inovaciju znanja 23.09. - 04.10. 1991.

KURS A NOVI ELEKTRONSKI MATERIJALI

23. SEPTEMBAR UVODNO PREDAVANJE (M.M.RISTIĆ i P.M.NIKOLIĆ)

Problemi pripreme praha za savremene sinterovane materijale.
Pregled novih elektronskih materijala i postupaka.

24. SEPTEMBAR IZOLACIONA ELEKTROKERAMIKA (S.BOŠKOVIĆ i E.KOSTIĆ)

Opšte o nitridnim i karbidnim keramikama. Način dobijanja, klasifikacija, glavne osobine. Primena neoksidne keramike kao podloge u mikroelektronici i materijala za komponente. Ostale primene.

25. SEPTEMBAR STAKLA U ELEKTRONICI (N.BLAGOJEVIĆ)

Opšte o staklu: način dobijanja, vrste stakla, predstavnici i glavne osobine. Kontakt staklo - metal. Stakla za debeli film. Optička stakla. Optička vlakna. Stakla za inkapsulaciju integrisanih i neintegrisanih komponenti u elektronici. Stakla za podloge, izolatore i ostale primene. Metalna stakla Fe - B - Si - melt spining tehnologija.

26. SEPTEMBAR EPOKSIDI U ELEKTRONICI (M. JAČOVIĆ)

Opšte o polimerima: način dobijanja, klasifikacija, glavne osobine. Primena epoksida u elektronici: podloge za štampane ploče, kućišta za uređaje, kućišta za komponente, lepkovi, epoksidne paste, materijali za inkapsuliranje, komforno oblaganje, zalivanje i ostale primene.

27. SEPTEMBAR HEMIJSKI IZVORI STRUJE (A.DESPIĆ)

Opšte o hemijskim izvorima struje. Klasifikacija i glavne osobine izvora struje. Samopražnjenje. Olovni akumulator. Stacionarni i trakcioni olovni akumulatori. Nikl - kadmijum presovani, sinterovani akumulatori. Hermetizacija. Litijumski izvori struje. Specijalni izvori struje: termalne baterije, srebro-cink i druge.

KURS B NOVE TEHNOLOGIJE I NAPRAVE U ELEKTRONICI

30. SEPTEMBAR TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE MONTAŽE (O.S.ALEKSIĆ)

Opšte o podsklopovima: klasifikacija, predstavnici, osnovne osobine. Komponente, podloge i tehnologija

montaže. Tehnologija montaže (klasična + površinska montaža - SMT). Priprema, procesiranje, kontrola, tehnološki - ekonomski aspekti. Linije za površinsku montažu.

1. OKTOBAR TEHNOLOŠKO PROJEKTOVANJE ELEKTRONSKIH PODSKLOPOVA (O.S.ALEKSIĆ)

Osnovni problemi tehnološkog projektovanja. Projektovanje štampanih ploča. Projektovanje hibridnih kola. Projektovanje za tehnologiju površinske montaže. Projektovanje pomoću računara; dokumentacija i filmovi.

2. OKTOBAR APLIKATIVNO SPECIFIČNE TEHNOLOGIJE

(M.B.PAVLOVIĆ i V. MILUTINOVIĆ)

Epitaksija molekularnim snopom - MBE, opšte o MBE metodi, MBE - mašina (laboratorijska oprema), materi-

jali. Primena MBE u mikroelektronici.

Projektovanje GaAs - integriranih kola: novija dostignuća u CAD - projektovanju i primeni GaAs - kola.

3. OKTOBAR OPTIČKA VLAČNA (P.M.NIKOLIĆ i A.MARINČIĆ)

Opšte o optičkim vlaknima: klasifikacija i glavne osobine. Prenos svetlosti kroz vlakno, modulacija i detekcija. Primena optičkih vlakana u savremenim komunikacionim sistemima i napravama.

4. OKTOBAR SAVREMENI PRETVARAČI (D.M.TODOROVIĆ)

Opšte o pretvaračima: klasifikacija, predstavnici, glavne osobine. Pretvarači pritiska, svetlosti i temperature. Interferometrijski pretvarači (optički i superprovodni - SQID) fotoakustična spektroskopija i njena primena.

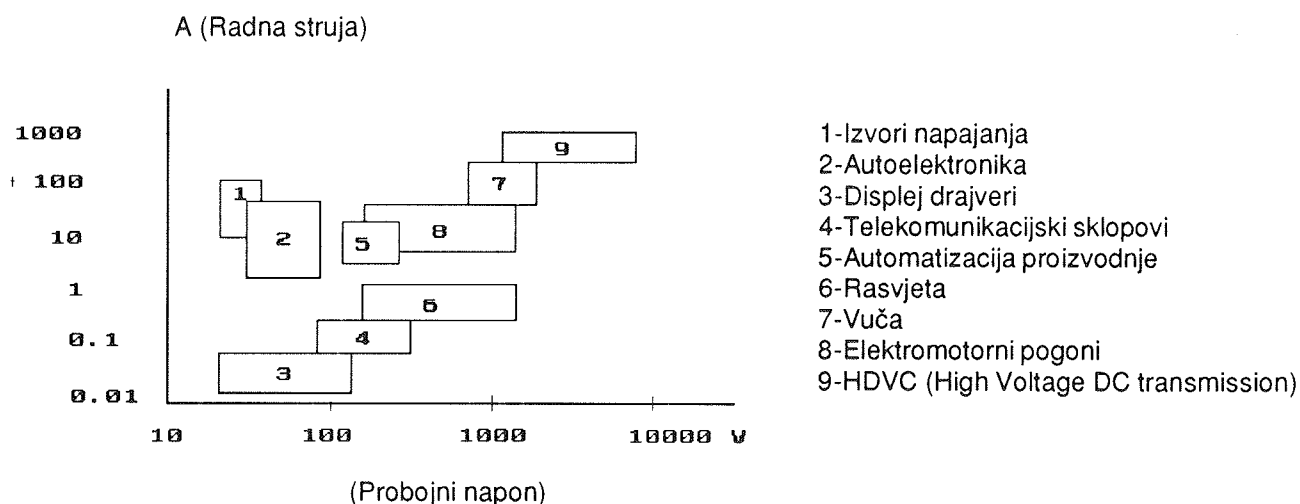
VIJESTI IZ INOZEMSTVA

DOBRI IZGLEDI ZA "SMART POWER" ELEMENTE

U svome izlaganju na "International Electron Devices Meeting 1990" (IEDM) J. Baliga s "North Carolina State University" ustvrdio je da "smart power" tehnologija ima dobre izgleda za razvoj i primjenu u budućnosti. On predviđa, za naredno razdoblje, godišnji porast primjene "smart power" (SP) elemenata po stopi od 20%, što znači da bi 2000. godine primjena narasla na 40 milijardi \$. Buduće značenje SP elemenata u društvu Baliga uspoređuje s svojevremenim značenjem elemenata za procesiranje signala i memorijskih elemenata. Ako je tehnologija proizvodnje procesora signala i memorija predstavljala prvu revoluciju u elektronici onda tehnologija SP elemenata predstavlja drugu revoluciju.

Daljnijim razvojem i usavršavanjem tehnologije SP elemenata područja njihove primjene sve više će se širiti. Na slici su prikazana područja primjene SP elemenata zavisno o njihovim osnovnim parametrima. Da bi došlo do stvarno široke primjene SP elemenata, posebno u područjima gdje se istovremeno zahtjeva visoki probojni napon i velika radna struja, potrebno je riješiti neka tehnološka i tehnoe ekonomska pitanja. Jedno od takvih je silicij s dielektričkom izolacijom, koji je danas vrlo skup. Drugo važno pitanje je integracija, na istome čipu, analognih i digitalnih sklopova i elemenata snage.

Napomena redakcije: Redakcija poziva domaće čitaoce časopisa da na stranicama časopisa prikažu svoja iskustva u aplikaciji "Smart Power" elemenata.



Slika 1. Područja primjene SP elemenata

FRANCUZI OBJEDINJUJU ISTRAŽIVAČKE AKTIVNOSTI

Dvije od najvećih francuskih istraživačkih organizacija, CNET (Centre National d'etudes Telecommunications), istraživačka organizacija francuskih telekomunikacija, i LETI, laboratorij komesarijata za atomsku energiju, kooperirati će na GRESSI programu (Grenoble Silicium Submicronique), koji ima budžet od 155 miliona \$ za 8 godina. Projekt GRESSI zapravo se nastavlja na projekt "Grenoble 92", na kojemu zajedno rade SGS- Tomson i CNET. Cilj projekta "Grenoble 92" je proizvodnja elemenata s litografijom 0,5 μm u 1992. godini. Projekt GRESSI treba dovesti do 0,35 μm litografije, a istraživati će se i primjena volframa za submikronska spajanja.

NAJPOPULARNIJE TEHNIČKE KNJIGE U "SILICON VALLEY"

"ELECTRONIC DESIGN" od 11.04.1991. donosi spisak 10 najbolje prodavanih tehničkih knjiga iz oblasti elektronike i računarskih znanosti u "Silicon Valley". Nadamo se da će spisak zanimati naše čitaoce, pa ga prenosimo u cijelosti.

ELEKTRONIKA:

1. **Semiconductor Device Modeling with Spice** od Paolo Antognetti i Giuseppe Massobrio, McGraw-Hill, 1988, cijena 29.5\$.
2. **Printed Circuits Handbook**, treće izdanje od Clyde Coombs, McGraw Hill, 1988, cijena 64.95\$.
3. **Antennas**, drugo izdanje od John Kraun, McGraw Hill, 1988, cijena 65.75\$
4. **Discrete Time-Signal Processing** od Alan Oppenheim i Ronald Schaffer, Prentice Hall, 1989, cijena 56\$.
5. **Noise Reduction Techniques in Electronic Systems**, drugo izdanje, od Henry W. Ott., John Wiley&Sons, 1988, cijena 47.95\$.

RAČUNARSKE ZNANOSTI:

1. **Resedit Complete**, od Peter Alley, Addison-Wesley, 1991, cijena 29,95\$.
2. **C++ Primer**, od Stanley Lippman, Addison-Wesley, 1989, cijena 31.5\$.
3. **Programming Windows**, drugo izdanje, od Charles Petzold, Microsoft Press, 1990, cijena 29.95\$.

4. **Annotated C++ Reference Manual** od Margaret Ellis i Bjarne Stroustrup, Addison-Wesley, 1990, cijena 31.5\$.

5. **The Mac is not a Typewriter** od Robin Williams, Peachpit Press, 1990, cijena 9.95\$.

Podatke su prikupili u "Stacey's Bookstore", 219 University Ave. Palo Alto, CA 94301; telefon (415) 326-0681; fax (415) 326-0693.

ŠOTKI DIODE OD GERMANIJUMA

Kompanija "Germanium Power Devices" iz Andovera, USA razvila je seriju germanij šotki dioda, koje pouzdano rade na temperaturi od 125° C. Te diode imaju niži pad napona od silicijskih šotki dioda. Za struje od 20, 60 i 100 A pri 25° C germanij diode imaju pad napona 0.28, 0.36 i 0.42 V, a silicij diode imaju pad napona od 0.4, 0.54 i 0.65 V. Germanijum diode naći će najširu primjenu u ispravljačima malih napona, za 5 V i niže i paralelnim izvorima napajanja.

SILICIJSKI SKLOPOVI VELIKIH BRZINA

Istraživači na "Ruhr University" u Bochumu u Njemačkoj razvili su više osnovnih integriranih sklopova, koji rade na brzinama od 24 Gbita/s. Smatra se da je to do sada najveća objavljena brzina silicijskih integriranih sklopova. Elementi su proizvedeni u pogonima firme Hewlett - Packard u Palo Alto u Kaliforniji. Korištena je napredna tehnologija za bipolarnu sklopove poznata kao HP 25. Elementi su namijenjeni primjeni u optičkim prenosnim sistemima i mjernim uređajima. Profesor Martin Rein izjavio je da je postignuti rekord još daleko od graničnih brzina silicijuma. Do sada su samo elementi na galij-arzenidu mogli raditi pri tolikim brzinama.

VIJESTI IZ ZEMLJE

RADE KONČAR - ZAGREB

U poduzeću Rade Končar iz Zagreba nakon stečaja Elektrotehničkog instituta osnovan je novi Institut za elektrotehniku. Novi institut za sada zapošljava osamdesetak suradnika od kojih su neki uzeti na određeno vrijeme od 2 ili 3 mjeseca. Stari Elektrotehnički institut zapošljavao je oko osamsto suradnika. Budućnost novoga instituta je još neizvjesna. Za sada je institut većim dijelom financiran od Republičkih institucija.

Prikupio i uredio M. Turina

OBVESTILO ČLANOM DRUŠTVA MIDEM IN OSTALIM ZAINTERESIRANIM

1. V uredništvu časopisa Informacije MIDEM imamo na voljo še nekaj izvodov časopisa iz prejšnjih letnikov in sicer :

Informacije MIDEM, letnik 91 : št. 1

Informacije MIDEM, letnik 90 : št. 1, 2, 3 in 4

Informacije MIDEM, letnik 89 : št. 2, 3 in 4

Vsi člani društva lahko manjkajoče izvide dobijo brezplačno, ostali pa z 20% popustom glede na veljavne cene.

2. Na voljo so tudi ostale publikacije društva MIDEM in sicer :

- ☐ MIKROELEKTRONIKA IN DRUŽBA
Prispevki s posvetovanja ob Sodobni elektroniki,
oktober 1988, Brdo pri Kranju
cena 100,00 din

- ☐ Zbornik referatov, MIEL 91, Beograd
cena 200,00 din

- ☐ Zbornik referatov, MIEL 90, Ljubljana
cena 100,00 din

- ☐ Zbornik referatov, SD 90, Radenci
cena 100,00 din

- ☐ Zbornik referatov, SD 89, Maribor
cena 100,00 din

V primeru, da želite naročiti katero od zgoraj omenjenih publikacij, prosimo, pošljite naročilo ali pa pokličite :

MIKROIKS d.o.o.
Titova 35, 61000 Ljubljana
tel. 061-312898, 319170
fax. 061-319170

Tečaj vakuumske tehnike za vzdrževanje naprav

Ponovitev tečaja za vzdrževalce vakuumskih naprav bo predvidoma od 13. do 15. novembra 1991 na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana

Cena tečaja je 5500 din

Dokončno prijavo in potrdilo o plačilu dostavite do konca oktobra na naslov:

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije
Teslova 30
61111 Ljubljana
Številka žiro računa: 50101-678-52240

Vsak udeleženec bo prejel izbor predavanj iz osnov vakuumske tehnike in izkaz o opravljenem tečaju. Prijave sprejema organizacijski odbor (Lidija Koller, Marjan Drab, Vinko Nemanič in Andrej Pregelj), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 263-461)

Tečaj Osnove vakuumske tehnike

Vsem zainteresiranim sporočamo, da bomo ponovili tečaj OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE, in sicer od 23. do 25. oktobra 1991. Tečaj bo v prostorih Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana. Obsegal bo 20 ur z naslednjimi temami:

1. Pomen in razvoj vakuumske tehnike
2. Fizikalne osnove vakuumske tehnike
3. Črpalke za grobi vakuum (membranske, rotacijske, z vodnim obročem)
4. Črpalke za visoki vakuum (ejektorske, difuzijske in turbomolekularne)
5. Črpalke s površinskim delovanjem (sorpcijske, ionsko-geterske in kriogenske)
6. Vakuumski spoji in tesnilke
7. Vakuumski sistemi
8. Vakuummetri
9. Odkrivanje netesnih mest (leak detekcija)
10. Vakuumski materiali in delo z njimi
11. Vakuumske tankoplastne tehnologije
12. Pomen površin v vakuumski tehniki in njihova karakterizacija
13. Vakuumska higiena in čisti postopki
14. Doziranje, čiščenje in preiskave plinov
15. Šest ur vaj in ogled inštituta

Tečaj je namenjen tako vzdrževalcem in razvijalcem vakuumskih naprav kot tudi raziskovalcem, ki pri svojem razvojnem ali raziskovalnem delu potrebujejo vakuumske pogoje. Cena za udeležence iz delovnih organizacij je 4000 din. Prosimo vas da **dokončno prijavo in potrdilo o plačilu dostavite najkasneje do 4. 10. 1991 na naslov:**

Društvo za vakuumsko tehniko,
Teslova 30,
61111 Ljubljana

Številka žiro računa:50101-678-52240

Vsak udeleženec bo prejel zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike". Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Mozetič, Drab in Spruk), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 267-341).

KOLEDAR PRIREDITEV 1991

SEPTEMBER

9. - 12. ECOSS 12, 12.evropska konferenca o znanosti površin, Stockholm - Uppsala (info. ECOSS12 c/o CONGREX BOX 5619, S-11486, Stockholm)

18. - 20. SD91, Simpozij o elektronskih sestavnih delih in materialih, Portorož,(info. MIDEM Ljubljana, 319-170)

22. - 25. V. konferenca o senzorjih in njihovi uporabi, Edinburgh

23. - 25. EVC-3, 3. evropska vakuumaska konferenca, Dunaj (info. W.Husinsky, Inst. f. Allgemeine Phys., TU Wien)

OKTOBER

7. - 10. SODOBNA ELEKTRONIKA, mednarodna razstava, Ljubljana

8. - 9. YUTEL 91, 25. Jugoslovanski simpozij o telekomunikacijah, Ljubljana (info EZS)

8. - 9. ISEMEC 91, 27. Seminar o merilno-procesni tehniki, Ljubljana (info EZS)

10. - 11. VAES91, 7. Simpozij o vodenju in avtomatizaciji elektroenergetskih sistemov, Ljubljana (info. EZS)

10. - 11. EP91, 13. Jugoslovanski simpozij o elektroniki v prometu, Ljubljana (info. EZS)

14. - 18. ECASIA-91 4. evropska konferenca o uporabi metod za analizo površin in faznih mej, Budimpešta (Info. L.Kover, MTA ATOMKI, H-4001 Debrecen, p.f.51)

21. - 25. SYSTEMS 91 Muenchen (info. OZEHA Zagreb, tel. 041-421322)

22. - 26. INFORMATIKA/INTERBIRO, mednarodni sejem informatike, telekomunikacij in pisarniške opreme, Zagreb

NOVEMBER

12. - 16. PRODUCTRONICA 91 München (info. OZEHA Zagreb, tel. 041/ 421-322)

NAVODILA AVTORJEM

Informacije MIDEM je znanstveno-strokovno-društvena publikacija Strokovnega društva za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale MIDEM. Časopis objavlja prispevke domačih in tujih avtorjev, še posebej članov MIDEM, 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 MIDEM 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 MIDEM
Elektrotehniška zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana

UPUTE AUTORIMA

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

izvirni 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 MIDEM 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 (3 Key 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.

Urednički 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 MIDEM
Elektrotehnička zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

Informacije MIDEM 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 MIDEM, 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 MIDEM 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 MIDEM
Elektrotehniška zveza Slovenije
Titova 50, 61000 Ljubljana,
Yugoslavia

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
4.4.3	● radna numerička apertura ● radna numerička apertura ● нумеричка апертура — работна ● delovna numerična odprtina	● numerical aperture — operational	Obstojita dve definiciji, za 90 % moči in za 10 % sevalne jakosti: 1. NA (90 % moči) = $\sin \theta$, kjer je: θ — kót med osjo izhodnega svetlobnega stožca in vektorjem, koincidenčnim s plaščem stožca, ki obsega 90 % skupne sevalne moči, ali pa kót med osjo vhodnega svetlobnega stožca in med vektorjem, koincidenčnim s plaščem stožca, ki obsega 90 % celotne vhodne moči. 2. NA (10 % sevalne jakosti) = $\sin \theta$, kjer je: θ — kót, pri katerem znaša izmerjena sevalna jakost 10 % največje izmerjene sevalne jakosti proti uporabi sprejemnega ali sevalnega diagrama.
4.4.4	● ravnotežna numerička apertura ● ravnotežna numerička apertura ● равнотежна нумеричка апертура ● uravnovesna numerična odprtina	● equilibrium numerical aperture	Numerična odprtina pri ravnovesnih pogojih.
4.5	Slabljena in izgube v vlaknu		
4.5.1	● slabljenje vlakna ● prigušanje u vlaknu ● придушвање на оптичкото влакно ● slabljenje vlakna	● fibre attenuation	Slabljenje sevalne moči zaradi vpijanja in razprševanja. Slabljenje signala med prerezoma 1 in 2, ki sta med seboj oddaljena za dolžino vlakna L, je podano z obrazcem: $A(\lambda) = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ (dB)}$ kjer je: P_1 — moč, ki prehaja skozi prerez ena (1), P_2 — moč, ki prehaja skozi prerez dve (2). Opomba: Pri homogenem vlaknu v ravnovesnih pogojih, ki se vzdružijo vzdolž vsega vlakna, je možno definirati slabljenje na enoto dolžine:

1	2	3	4
			$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad (\text{dB/m})$ ki je neodvisno od izbrane dolžine vlakna.
4.5.2	• koeficient slabljenja vlakna • koeficient prigušenja u vlaknu • коэффициент на придущуването на оптичкото влакно • koeficient slabljenja vlakna	• fibre attenuation coefficient (rate)	Koeficient slabljenja vlakna je definiran z obrazcem: $\alpha(z) = \frac{-1}{L} \cdot \frac{dL}{dz}$ kjer je: $L(z)$ — trenutna moč v razdalji z vzdolž vlakna, $\frac{dL}{dz}$ — hitrost spremembe $L(z)$ v odvisnosti od z. če je α neodvisen od z, je: $L(z) = L(0) \cdot e^{-\alpha \cdot z} = L(0) \cdot 10^{-\frac{\gamma \cdot z}{10}}$ kjer je: $L(0)$ — moč v vlaknu pri $z = 0$, α in γ — se izražata v dB/m ali v Np/m. Slabljenje v vlaknu nastane zaradi vpijanja α_a (γ_a) in razprševanja α_s (γ_s), zato je: $\alpha = \alpha_a + \alpha_s, \gamma = \gamma_a + \gamma_s.$ Izmerjeni koeficient slabljenja vlakna α (γ) obsega tudi pojave diferenčnega slabljenja rodov vlakna in sklapljanja (mešanja) rodov.
4.5.3	• spektralna zavisnost slabljenja • spektralna zavisnost prigušenja • спектрална зависност на придущуването • spektralna odvisnost slabljenja	• attenuation spectral dependency	Odvisnost slabljenja od valovne dolžine.

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

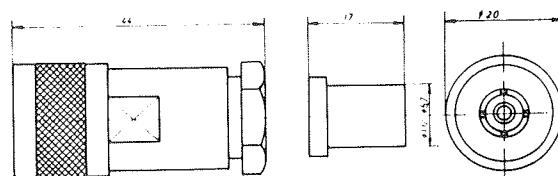
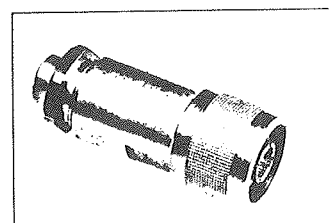
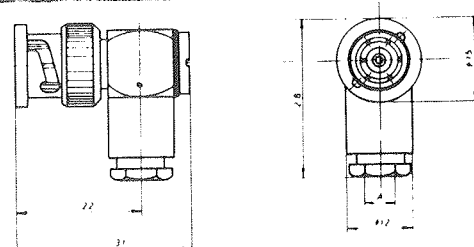
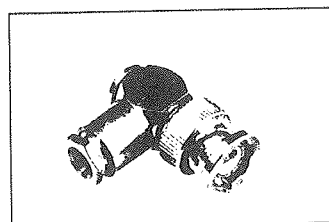
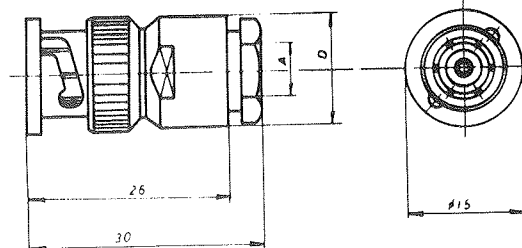
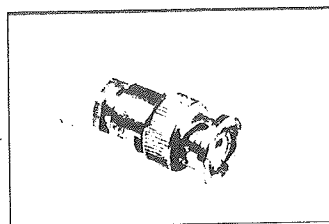
1	2	3	4
4.5.4	• apsorpcija vlakna • apsorpcija u vlaknu • апсорпција на оптичкото влакно • vpijanje vlakna, absorpcija vlakna	• fibre absorption	Pretvorba razširjajoče se svetlobne energije v toplotno energijo.
4.5.5	• rasejanje vlakna • rasipanje u vlaknu • расејување на оптичкото влакно • razprševanje v vlaknu	• fibre scattering	Pretvorba razširjajoče se svetlobe v odprto sevalno moč.
4.5.6	• koeficijent rasejanja • koeficijent rasipanja • коэффициент на расејувањето • koeficient razprševanja	• scattering coefficient	Koeficient slabljenja zaradi razprševanja.
4.5.7	• koeficijent prigušenja • koeficijent prigušenja • екстинкциски коэффициент • ekstinkcijski koeficient; koeficient vpijanja	• extinction coefficient	Glej: vpijanje (t. 2.2.1).
4.5.8	• diferencialno slabljenje modova • diferencialno prigušenje modova • диференцијално придушвање на модовите • diferenčno slabljenje rodov	• differential mode attenuation	Razlika v slabljenju med raznimi rodovi razširjanja.
4.5.9	• Frenelovi gubici usled refleksije • Fresnelov gubitak zbog refleksije • загуби поради Френелови рефлексии • izgube pri Fresnelovem odboju	• Fresnel reflections loss	Izgube zaradi odboja, do katerih pride na katerikoli mejni ploskvi med snovmi z različnimi lomnimi količniki.

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

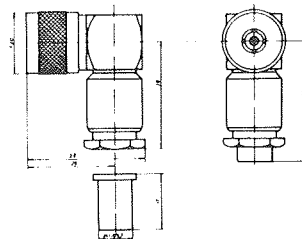
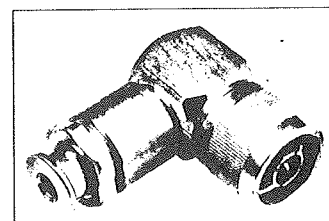
1	2	3	4
4.5.10	- gubici faktora ispunе - gubitak faktora ispunе - загуби во пакувањето - izgube zaradi polnilnega razmerja	packing fraction loss	Izgube, definirane z obrazcem: $10 \cdot \log \frac{1}{PF} = -10 \cdot \log PF \text{ (dB)}$ kjer je: PF — polnilno razmerje.
4.5.11	- gubici spajanja - gubitak spajanja - загуби во спојувањето - sklopitvene izgube	coupling loss	Izgube, ki nastanejo na sklopitvi.
4.5.12	- gubici uneti konektorom - vlastiti gubitak konektora - загуби внесени со конектор - konektorske vnesene izgube	conector insertion loss	Izgube moči v dB zaradi vstavitve konektorja.
4.5.13	- gubici optičkog provodnika prouzrokovani konektorom - gubitak u svjetlovodnom vlaknu zbog ume-tanja konektora - конекторски монтажни загуби - konektorske montažne izgube	connector induced optical conductor loss	Del izgub v dB, ki jih vnese konektor zaradi nečistoče ali struktur-nih sprememb optičnega vlakna pri montaži.
4.5.14	- gubici razmaka - gubitak zazora - загуби на проценот; проценни загуби - režne izgube	gap loss	Izgube moči v dB zaradi odstopka od optimalne razdalje pri sklo-pitvi elementa z vlaknom, pri sklopitvi vlakna z vlaknom ali pri sklo-pitvi vlakna z elementom.
4.5.15	- gubici uslug razdušenosti završnice vlakna - gubitak zbog razgodjenosti završetka vlakana - загуби поради ненагоденост на завршокот - izgube zaradi nenaravnosti končnika	terminus misalignment loss	Izgube zaradi prečne in kotne nenaravnosti optične osi pri končni-ku vlakna.

ELEMENTI ZA UGRADNJU

**VF koaksijalni konektori
serije N i BNC
Alati
Rashladna tijela**



- * proizvodimo oko 50 vrsta standardnih N, BNC, TNC-konektora, prelaza, rashladnih tijela i pribora
- * na zahtjev, proizvodimo i koaksijalne konektore izvan našeg standardnog programa



ELECTRONIC

ELECTRONIC, 41000 ZAGREB, II Armije 26/II
tel. (041)259-198, 259-199, 259-298; teleks: 22366