

INFORMACIJE

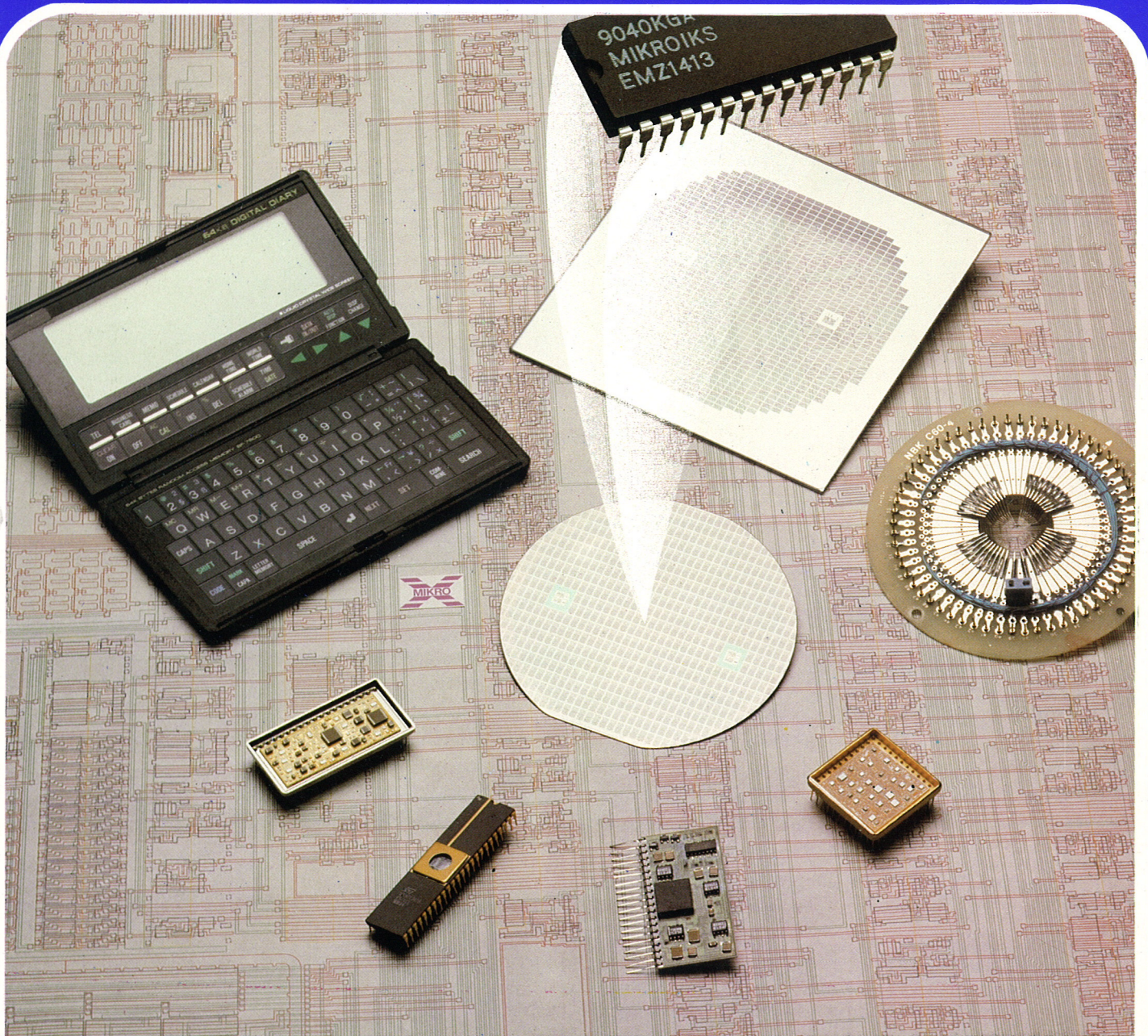
Strokovno društvo za mikroelektroniko
elektronske sestavne dele in materiale

MIDEM

3°1991

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. 3(59), LJUBLJANA, SEPTEMBER 1991



Vaša mikroelektronska rešitev
MIKROIKS d.o.o. LJUBLJANA

INFORMACIJE MIDEM	LETNIK 21, ŠT. 3(59), LJUBLJANA,	SEPTEMBER 1991
INFORMACIJE MIDEM	GODINA 21, BR. 3(59), LJUBLJANA,	SEPTEMBAR 1991
INFORMACIJE MIDEM	VOLUME 21, NO. 3(59), LJUBLJANA,	SEPTEMBER 1991

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

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

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

Glavni in odgovorni urednik
Glavni i odgovorni urednik
Editor in Chief

Iztok Šorli, dipl. ing.
MIKROIKS, Ljubljana

Tehnični urednik
Tehnički urednik
Executive Editor

Janko Colnar

Uredniški odbor
Redakcioni odbor
Editorial Board

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

Časopisni svet
Izdavački svet
Publishing Council

Prof. dr. Leo Budin, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Zagreb
Prof. dr. Dimitrije Čajkovski, dipl. ing., PMF, Sarajevo
Prof. dr. Georgij Dimirovski, dipl. ing., Elektrotehniški fakultet, Skopje
Prof. dr. Jože Furlan, dipl. ing. - Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
Franc Jan, dipl. ing. - Iskra-HIPOT, Šentjernej
Prof. dr. Drago Kolar, dipl. ing. - Institut Jožef Stefan, Ljubljana
Ratko Krčmar, dipl. ing., Rudi Čajavec, Banja Luka
Prof. dr. Ničo Slav 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 SLT, za zasebne naročnike 480,00 SLT, cena posamezne številke 120,00 SLT. Člani in sponzorji MIDEM prejema Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja predplata za radne organizacije iznosi 960,00 SLT, za privatne naročnice 480,00 SLT, cijena pojedinog broja je 120,00 SLT. 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 Ministrstvo za znanost 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 Republičkog 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: Znanost, trgovina, gospodarstvo, politika	138	R. Ročak: Science, Trade, Economy, Politics
ZNANSTVENO STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
M. Dvoršek, M. Kosec: Mikrostruktura in elektromehanske lastnosti PZT keramike dopirane z donorji	139	M. Dvoršek, M. Kosec: Microstructural and Electromechanical Properties of Donor Doped PZT Ceramics
A. Babnik, A. Suhadolnik, J. Možina: Križni spoj enorodovnih optičnih vlaken	145	A. Babnik, A. Suhadolnik, J. Možina: Single-Mode Optical Fiber Directional Coupler
J. P. Šetrajčič, D. Lj. Mirjanič: Nelinearni optički efekti u kristalima	151	J. P. Šetrajčič, D. Lj. Mirjanič: Nonlinear Optic Effects in Crystals
R. Porenta: Načrt in izvedba programskega orodja za grafični prikaz elektrotehničnih signalov	154	R. Porenta: The Design and Implementation of a Software Tool for the Electrotechnical Signal Display
K. Skakić, B. Ojdanič: Utjecaj materijala substrata na temperaturnu raspodjelu u hibridnom kolu	161	K. Skakić, B. Ojdanič: Influence of the Substrate Material on Temperature Distribution in Hybrid Circuit
G. Lipnjak, L. Gašpar: Utjecaj primjene tehnologije površinske montaže na tiskane ploče	166	G. Lipnjak, L. Gašpar: The Influence of Surface Mount Technology on Printed Circuit Boards
PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ		REPRESENT OF EVENTS, ACTIVITIES OF MIDEM MEMBERS AND OTHER INSTITUTIONS
F. Mlakar: Zagotavljanje kakovosti v Evropi po letu 1991 - Povabljeni referat na SD91	173	F. Mlakar: Quality Assurance in Europe beyond 1991 - Invited Paper, SD91
KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA		CONFERENCES, COLLOQUYUMS, SEMINARS, REPORTS
M. Limpel: SD91	176	M. Limpel: SD91
B. Zajc: MELECON 91	178	B. Zajc: MELECON 91
PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE		REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE
MIKROIKS d.o.o.	178	MIKROIKS d.o.o.
VESTI, OBVESTILA	179	NEWS, INFORMATION
JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI	185	YUGOSLAV TERMINOLOGICAL STANDARDS
Slika na naslovnici: MIKROIKS d.o.o. - Vaša mikroelektronska rešitev		Front page: MIKROIKS d.o.o. - Your Microelectronic Solution

ZNANOST, TRGOVINA, GOSPODARSTVO, POLITIKA

Znanost ne pozna meja. Trgovina preskoči vse ovire. Gospodarski interesi diktirajo politične odločitve. Če politično obnašanje tega ne upošteva, se bo gospodarstvo prilagodilo, trgovina bo še bolj cvetela, vsaj glede profitov, znanost pa se bo modro držala prvega stavka in delovala katalizatorsko.

Kako je pa s temi trditvami takrat, ko politične odločitve pokličejo na pomoč orožje, ko se politično obnašanje spremeni v svoje nasprotje, v agresivnost, netoleranca v vojno? So lahko takrat znanstveniki vzvišeno nevtralni, neobčutljivi na vojne grozote? Gospodarstveniki in trgovci so verjetno še lahko taki, če se vojna odvija nekje daleč, med tujci; verjetno se ne bodo spraševali, kdo ima prav, kdo je krivec. Z vsemi partnerji bodo zasledovali SVOJ INTERES, SVOJO KORIST. Vojna jim bo otežila posel, vendar ga ne bo preprečila. V primeru, da so pa sami vpleteni v vojni konflikt, za njihovo obnašanje poskrbijo, če je potrebno za izid konflikta, domači sodni organi.

Znanost je univerzalno človeška, znanstveniki so njeni ustvarjalci. Kot takim jim mora biti vsaka vojna agresija, agresija na njihovo bistvo. Vsi in povsod po svetu bi morali povzdigniti svoj glas proti vojni. Zato so udeleženci posvetovanja MIDEM - SD91 pozvali vse svoje kolege, da pomagajo v svojem okolju prepričati odgovorne politike, da vojna ni rešitev za nastale probleme med našimi narodi, med katerimi so prav člani društva MIDEM vedno gradili spoštovanja vredne vezi. Poslani poziv vsem članom društva je objavljen v tej številki našega časopisa.

Reakcije naših članov (in ne samo članov) so od dodatnih podpisov na poziv, do obtožb o izdajalstvu, zločinstvu Slovencev in Hrvatov. Z nikomer ne želim polemizirati, predlagam le, da si vsak še enkrat prečita naš poziv in pomaga toliko in v tistem okolju, kjer to more. Mir potrebujemo vsi, žrtve vojne bomo vsi, ne samo naš zagrebški kolega, kateremu je v delovno sobo priletela vojaška mina in mu uničila dolgoletno delo, temveč tudi vsak strokovnjak, ki bo zaradi ekonomskih posledic vojne prikrajšan za opremo, delo, za medsebojne strokovne povezave, upam, da ne tudi za svoje življenje, ali življenje svojih prijateljev. Na koncu apokalipse je vseeno, kdo jo je začel, kdo je bil kriv več ali manj.

Društvo MIDEM je vedno bilo in bo tudi ostalo združenje svobodnih strokovnjakov, posameznikov, ki želijo medsebojno sodelovati, ki si želijo medsebojno pomagati, neodvisno od tovarniških in ostalih plotov. Samo takim je v njem tudi mesto!

Predsednik MIDEM
Dr. Rudi Ročak



MIKROSTRUKTURA IN ELEKTROMECHANISKE LASTNOSTI PZT KERAMIKE DOPIRANE Z DONORJI

Marjana Dvoršek, Marija Kosec

KLJUČNE BESEDE: piezokeramika, PZT keramika, elektronski materiali, dopiranje, donorji, mikrostruktura, dielektrične lastnosti, elektromehanske lastnosti, lastnosti materiala, eksperimentalne raziskave

POVZETEK: V prispevku so opisane mikrostrukture, dielektrične in elektromehanske lastnosti PZT keramike dopirane z donorji. Vzorci s sestavo $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$ z dodatki Nb_2O_5 , oz. Sb_2O_3 kažejo podobno obnašanje ne glede na vrsto dopanta. Dopirane keramike so v določenem koncentracijskem območju le malo odvisne od množine aditiva, čeprav velikost zrn pada z vsebnostjo aditiva.

MICROSTRUCTURAL AND ELECTROMECHANICAL PROPERTIES OF DONOR DOPED PZT CERAMICS

KEY WORDS: piezoceramics, PZT ceramics, electronic materials, doping, donors, microstructure, dielectric properties, electromechanical properties, experimental research, material properties

ABSTRACT: Microstructural, dielectric and electromechanical properties of some donor doped PZT ceramics were investigated. Samples having initial compositions $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$ with addition of Nb_2O_5 and Sb_2O_3 respectively show similar behaviour independent of dopant type. Over an extended concentration range certain functional properties are practically constant, whereas the grain size decreases with increasing amount of substitute ions.

1. UVOD

Piezokeramika je pomemben material sodobne elektronike. Zaradi njene sposobnosti, da pretvarja mehansko energijo v električno in obratno (direktni in obratni piezoeffekt), ima zelo širok spekter uporabe. Uporabljamo jo na primer za:

- pogonske in bimorfne elemente v mikročrpalkah, srčnih vzbujevalnikih, relejih, aktuatorjih in generatorjih zvoka,
- senzorje v merilcih pretoka, pritiska, vibracij,
- generatorje visokih napetosti v vžigalnikih,
- generatorje ultrazvoka visokih moči v sonarjih, UZ čistilcih, napravah za varenje plastike in kovin in razpršilnikih,
- akustične vodnike in resonatorje - filtri, oscilatorji, frekvenčni diskriminatorji,
- elementi za zakasnitve v zakasnitvenih linijah⁽¹⁾.

Za izdelavo elektronskih komponent, kot so npr. piezokeramični elementi za akustične aplikacije, je v rabi keramika na osnovi trdne raztopine svinčevega cirkonata titanata (PZT), dopirana z višje valentnimi ioni - donorji. Tovrstna keramika ima visok sklopitveni faktor, visoke piezoelektrične d-konstante in nizek mehanski faktor kvalitete^(1,2,3). Na omenjene lastnosti piezokera-

mike poleg kemijske sestave močno vpliva tudi homogenost, gostota in mikrostruktura keramike.

Najbolj običajen postopek priprave PZT trdne raztopine je visokotemperaturna sinteza, ki jo izvajamo iz mešanice oksidov svinca, titana in cirkonija. Težave pri homogenizaciji in variacije v sestavi ter fizikalnih lastnostih posameznih oksidov so lahko vzrok za nehomogenosti v sestavi in strukturi sintranega materiala, kar vpliva na piezoelektrične in mehanske lastnosti piezokeramike. Dodaten problem predstavlja relativno visok parni tlak PbO že pri temperaturah, kjer poteka sinteza trdne raztopine. Optimalna temperatura za sintezo je tako med 850 in 1000°C^(4,5).

Z namenom, da bi sistem čim bolje obvladovali, je bilo študiju reakcij v trdnem med PbO , TiO_2 , in ZrO_2 namenjenega veliko dela⁽⁵⁻¹³⁾. Na osnovi faznega diagrama⁽⁶⁾ so v tem sistemu možne naslednje faze PbO , TiO_2 , ZrO_2 in njihove trdne raztopine z enako strukturo ter PbTiO_3 , PbZrO_3 , ZrTiO_4 in $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$. Avtorji⁽⁵⁻¹³⁾ so si enotni, da najprej nastane PbTiO_3 . Nastali reakcijski sistem, PbTiO_3 , PbO in ZrO_2 , reagira v končni produkt perovskit PZT. Posamezne reakcije in homogenost perovskita pa so odvisne od temperature, časa mešanja in predvsem od zrnivosti ZrO_2 ^(9,12). Dodatki dopantov zavirajo homogenizacijo PZT. Za nastanek homogene PZT trdne raztopine dopirane z Nb_2O_5 ali Sb_2O_3 ⁽¹³⁾ ali Fe_2O_3 ⁽¹⁴⁾ je potrebna višja temperatura kot za nastanek nedopirane PZT trdne raztopine. To je nad 900°C. Prav tako je fazna

sestava PZT trdne raztopine zelo odvisna od vrste in množine tujega oksida v PbO , ZrO_2 , TiO_2 mešanicah⁽¹³⁾.

Piezoelektrične in dielektrične konstante dopirane PZT keramike so v veliki meri odvisne od gibljivosti domen, te pa od:

- razmerja $\text{Zr}^{4+}/\text{Ti}^{4+}$,
- zamenjave Pb^{2+} ali Zr^{4+} , oz. Ti^{4+} z izo-, nižje- ali višje-valentnimi ioni,
- gostote in mikrostrukture.

Začetne raziskave piezoelektričnih in dielektričnih lastnosti v PbZrO_3 - PbTiO_3 sistemu so pokazale, da ima PZT keramika s sestavo morfotropne fazne meje najboljše piezoelektrične in dielektrične lastnosti^(3,15).

Piezoelektrične in dielektrične karakteristike dopirane PZT keramike so posledica interakcij na P, oz. Z, T mestu v PZT strukturi vgrajenih tujih ionov z regularnimi ioni PZT in posledica defektne strukture z značilnimi prazninami na svinčevih ali kisikovih mestih, ki vplivajo na gibljivost domen. Vgradnja višjevalentnega iona povzroči vrzeli na Pb- mestih, ki omogočajo lažje gibanje domen^(16,17,18). Vgrajeni nižjevalentni ioni dajo vrzeli na O-mestih, ki pa zavirajo gibanje domen^(17,18).

Na piezoelektrične in dielektrične lastnosti vpliva tudi mikrostruktura, vendar je malo raziskav, ki bi obravnavale zgolj te relacije. Kot sta pokazala Okazaki⁽¹⁹⁾ in Martirena⁽²⁰⁾ vrednosti piezoelektričnih konstant in dielektrične konstant pri PZT keramiki naraščajo z velikostjo zrn. Za optimalne omenjene lastnosti je torej zaželena PZT keramika s čim bolj grobozrnato mikrostrukuro. Na drugi strani pa povečanje velikosti zrn zmanjšuje mehansko trdnost keramike⁽²¹⁾.

Da dosežemo optimalne piezoelektrične in dielektrične lastnosti, je potrebna tudi visoka gostota keramike, saj se vrednost omenjenih karakteristik povečuje z večanjem gostote⁽²²⁻²⁵⁾.

Cilj dela je bil raziskati vpliv donorjev Sb in Nb na mikrostrukturne in funkcionalne lastnosti PZT keramike ter določiti optimalne koncentracije omenjenih aditivov. Rezultati naj bi bili osnova za sestavo industrijskega vzorca PZT keramike za akustične aplikacije. Podrobnejši rezultati so opisani v magistrskem delu "Piezokeramika na osnovi PbO - ZrO_2 - TiO_2 - Sb_2O_3 - Nb_2O_5 sistemov"⁽²⁶⁾.

2. PRAKTIČNO DELO

Pri delu smo uporabljali naslednje izhodne materiale:

PbO (Ventron, 99,9%, litharge, velikost delcev okoli $5\mu\text{m}$), TiO_2 (Fluka, 99,89%, anatas, velikost delcev okoli $1\mu\text{m}$), ZrO_2 (Ventron, 99%, badeyelit, velikost delcev okoli $0,3\mu\text{m}$, velikost aglomeratov okoli $5\mu\text{m}$), Sb_2O_3 (BDH, p.a., senarmontit, velikost delcev okoli $0,5\mu\text{m}$) in Nb_2O_5 (Merck, p.a., ortorombski, velikost delcev okoli $0,5\mu\text{m}$).

Pripravili smo serijo vzorcev z naslednjimi izhodnimi sestavami:

A: $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})_{1-y}\text{Sb}_y\text{O}_{3-y/2} + y\text{PbO}$

B: $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})_{1-y}\text{Nb}_y\text{O}_{3+y/2} + y\text{PbO}$

y: 0, 0,005, 0,01, 0,025, 0,04, 0,05, 0,06 in 0,075

Komponente smo zatehtali v skladu z omenjenima formulama v cirkonski mlin s cirkonskimi krogli, kjer smo jih mešali v acetonu dve uri. Po mešanju smo material posušili. Prah smo segrevali eno uro pri 900°C . Vzorce smo zdobili in mleli tri ure v omenjenem mlinu, posušili in dodali 4% parafina raztopljenega v cikloheksanu, granulirali skozi sito $350\mu\text{m}$ in odsejali prah skozi $100\mu\text{m}$ sito. Iz granulata smo stisnili tablete premera 16mm in višine $2,5\text{mm}$ s pritiskom 200MPa . S segrevanjem do 700°C in ohlajanjem smo izgnali vezivo. Tablete smo žgali v dvojno zaprtih korundnih lončkih v zasipu s sestavo $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$ dve uri pri $1285 \pm 10^\circ\text{C}$ v komorni sililni peči.

Fazno sestavo vzorcev po sintezi in sintranju smo določali po standardni metodi z rentgensko praškovno analizo z uporabo praškovega difraktometra Philips PW 1710, $\text{CuK}\alpha$ radiacijo.

Gostote vzorcev po sintranju smo izmerili po Arhimedovi metodi z vodo.

Mikrostrukture smo preiskovali po brušenju in poliranju z diamantnimi pastami z optičnim ali z elektronskim vrstičnim mikroskopom. Nedopirane vzorce in vzorce dopirane z 1 do 2,5 at% Sb^{5+} oz. Nb^{5+} iona smo kemijsko jedkali. Vzorce z več kot 4at% aditiva smo termično jedkali. Velikost zrn smo določili z merjenjem presečnic skozi zrna po linearni metodi⁽²⁷⁾ s polavtomatsko napravo MOP/AMO 2 (Kontron). Rezultati so povprečje nad 200 meritev.

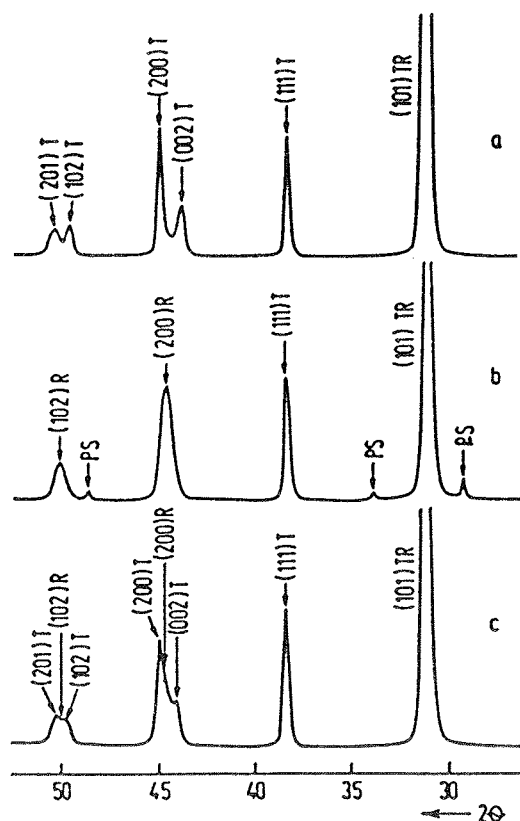
Na sintrane in 1mm debele tablete smo nanegli in žgali srebrove elektrode (DuPont 7095). Vzorcem smo določili relativno dielektrično konstanto pri 1kHz .

Tabletke smo nato polarizirali v silikonskem olju, tako da smo jih segreli na $155-160^\circ\text{C}$ in nato v visokonapetostnem električnem polju (3kV/mm) ohlajali do približno 90°C .

Po 24 urah smo znova izmerili relativno dielektrično konstanto. Piezoelektrično d_{33} konstanto smo merili z avtomatskim Berlicourt d_{33} metrom (Chanel Products Inc.) pri frekvenci 130Hz . Ostale konstante smo izmerili po IRE standardu z resonančno metodo^(3,28).

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

Na osnovi praškovne rentgenske analize smo pri sintranih vzorcih, ki vsebujejo od 0 do $7,5\text{ at}\%$ Nb^{5+} ali 0 do $4\text{at}\%$ Sb^{5+} ugotovili samo PZT trdno raztopino. Rentgenski spektri vzorcev z nad $4\text{ at}\%$ Sb^{5+} kažejo, da imamo dvofazni sistem. Značilne rentgenske spektre prikazujemo na 1. sliki.



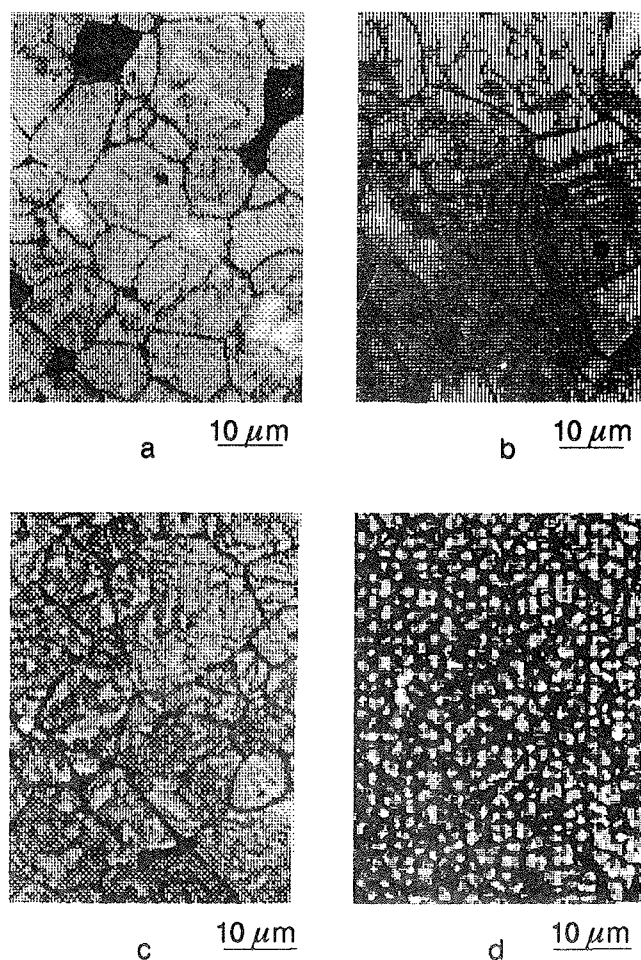
Slika 1: Značilni rentgenski spektri:
 a) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$,
 b) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$ dopirano z 6 at% Sb^{5+} in
 c) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$, dopirano z 6 at% Nb^{5+} . (T-tetragonalna in R-romboedrična PZT faza, PS-svinčev antimonat).

$\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3$ ima čisto tetragonalno strukturo (1. a sl.). Tetragonalnost (razmerje c/a) se zmanjšuje z dodatkom Nb^{5+} oz. Sb^{5+} . Pri vzorcih, ki vsebujejo več kot 2,5 at% Nb^{5+} ali nad 1 at% Sb^{5+} , smo ugotovili poleg tetragonalne PZT trdne raztopine še romboedrično PZT trdno raztopino, katere intenzitete rentgenskih reflektov se večajo z množino aditiva.

Pri vzorcih z nad 4 at% Sb^{5+} , kjer imamo dvofazni sistem, je poleg PZT trdnih raztopin prisotna tudi piroklorna faza svinčevega antimonata (PS), katere intenziteta rentgenskih reflektov tudi narašča z množino antimona (1. b sl.). Pri vzorcih z dodatkom donorjev nimamo izrazitih (200) in (002) reflektov, značilnih za tetragonalno fazo. Neizraziti široki refleksi (1. c sl.) kažejo, da imamo spekter PZT faz, ki se med seboj nekoliko razlikujejo v razmerju Zr/Ti, kar kaže na slabšo homogenizacijo.

Na osnovi praškovne rentgenske analize smo ugotovili, da je pri 1285°C možno vgraditi več kot 7,5 at% Nb^{5+} in manj kot 5 at% Sb^{5+} .

Dodatek donorja v PZT trdno raztopino običajno pospešujejo zgoščevanje^(14,29). V tabeli I so zbrani rezultati meritev gostot vzorcev dopiranih z antimonom ali niobijem sintranih dve uri pri 1285°C v odvisnosti od koncentracije posameznega aditiva.



Slika 2: Mikrostrukture PZT vzorcev dopiranih a) 0, b) 0,5, c) 1 in d) 2,5 at% Sb^{5+} po sintranju 2 uri pri 1285°C , x 1188.

Tabela I kaže, da je gostota dopirane keramike višja kot nedopirane. V območju med 1 in 7,5 at% dopanta se gostota vzorcev zelo malo spreminja in je med 97 in 98% TG (TG je $8,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^{3(30)}$). Gostote vzorcev dopiranih z Nb^{5+} so nekoliko nižje kot gostote vzorcev substituiranih z Sb^{5+} , kar je lahko posledica nižje atomske mase Nb^{5+} . Odvisnost med gostoto in koncentracijo aditiva lahko razložimo na osnovi mikrostrukturnih preiskav. 2. slika prikazuje značilne mikrostrukture vzorcev z 0, 0,5, 1 in 2,5 at% Sb^{5+} .

Tipična mikrostruktura z velikimi zrn in s porami v zrnih, kot je v nedopirani in z 0,5 at% Sb^{5+} dopirani PZT keramiki (2. a in 2. b sl.), preprečuje, da bi dosegli visoko gostoto keramike, kar je prikazal že Jorgensen s sodelavci na primeru Al_2O_3 ⁽³¹⁾ in Y_2O_3 keramike⁽³²⁾.

3. slika prikazuje odvisnost povprečne velikosti zrn PZT keramike po sintranju pri 1285°C dve uri od koncentracije Sb^{5+} in Nb^{5+} . 0,5 at% Sb^{5+} oziroma Nb^{5+} pospešita rast zrn. Povečanje koncentracije aditiva od 0,5 do 2,5 at% drastično zavre rast zrn. Povprečna velikost zrn se spremeni od 21 na $3 \mu\text{m}$. Nadaljno povečevanje koncentracije dopanta bistveno ne vpliva na velikost zrn; povprečna velikost zrn je $1,5 \mu\text{m}$ za vse vzorce, ki vsebujejo več kot 2,5 at% aditiva. Na osnovi študija kinetike rasti zrn smo pokazali, da je grobo zrnata mikrostruktura v

Tabela I: Odvisnost gostote $\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ od koncentracije Sb^{5+} ali Nb^{5+} iona (at.%)

Količina Dopant	0	0,5	1,0	2,5	4,0	5,0	6,0	7,5
Sb^{5+}	7,58	7,68	7,76	7,80	7,85	7,84	7,86	7,82
Nb^{5+}	7,58	7,65	7,77	7,74	7,80	7,81	7,82	7,83

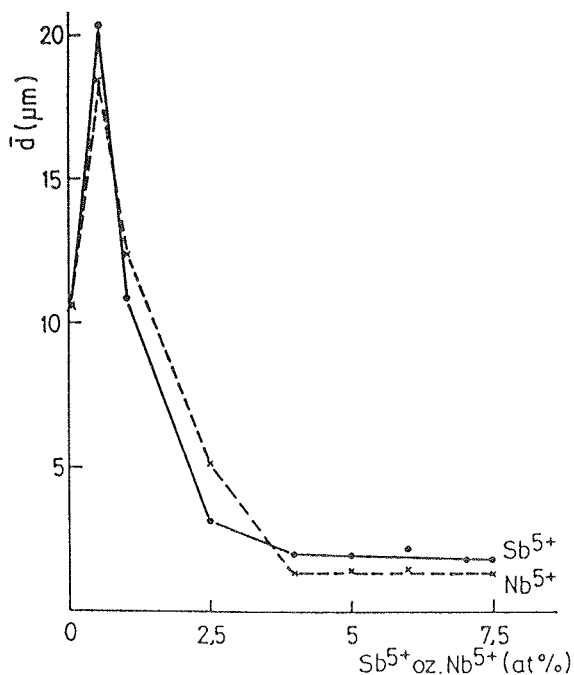
PZT keramiki, ki vsebuje 0,5 at% Sb^{5+} , posledica nenormalne rasti zrn pod običajno temperaturo sintranja⁽³³⁾.

Dielektrične in piezoelektrične lastnosti PZT keramike so v splošnem močno odvisne od koncentracije dopantov (4. in 5. slika). Glede na spremembe karakteristik v odvisnosti od spremembe koncentracije aditiva lahko opredelimo tri koncentracijska področja:

1) PZT keramika, ki vsebuje od 0 do 1 at% aditiva, kaže velike spremembe v ϵ_r , ϵ_{33}^T , k_p , d_{33} in Q_M glede na koncentracijo Sb^{5+} ali Nb^{5+} .

2) PZT keramiki z 1 - 4 at% Sb^{5+} , oz. Nb^{5+} se piezoelektrična d_{33} konstanta, k_p , Q_M in ϵ_r nič ali zelo malo spreminjajo. Relativna dielektrična konstanta ϵ_r vzorcev dopiranih z Nb^{5+} se s koncentracijo aditiva močneje spreminja kot pri vzorcih dopiranih z Sb^{5+} . Dielektrična konstanta po polarizaciji se z večanjem količine dopanta zmanjšuje.

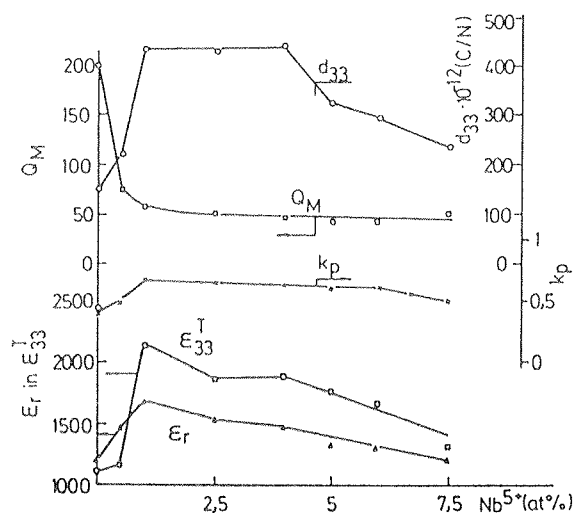
3) PZT keramika, ki vsebuje od 4 - 7,5 at% Sb^{5+} ali Nb^{5+} , kaže več ali manj neprestano zmanjševanje dielektričnih in piezoelektričnih lastnosti z naraščanjem koncentracije dopanta.



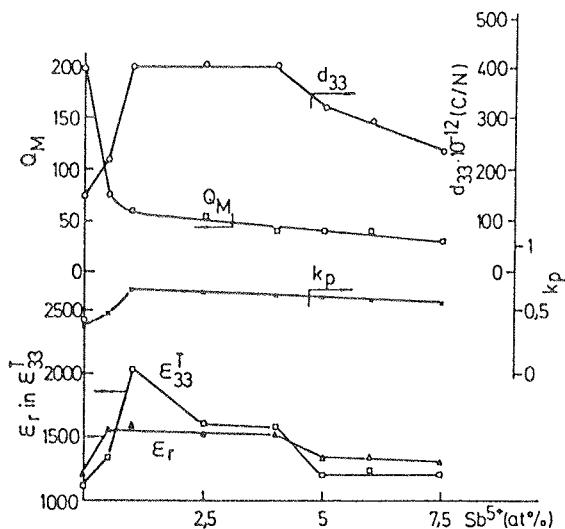
Slika 3: Odvisnost premera zrn od koncentracije Sb^{5+} ali Nb^{5+} iona v PZT keramiki sintrani 2 uri pri 1285°C

Rezultate lahko kvalitativno razložimo na osnovi predlaganega modela defektne strukture donorsko dopirane PZT keramike^(30,34). Pri tem moramo upoštevati še velikost zrn in fazno sestavo.

Medtem ko donorji povečajo gibljivost domen in s tem povečajo dielektrično konstanto in piezoelektrične las-



Slika 4: Odvisnost dielektrične konstante pred polarizacijo ϵ_r in po polarizaciji ϵ_{33}^T , piezoelektrične d_{33} konstante in klopitvenega faktorja Q_M od koncentracije Nb^{5+} iona



Slika 5: Odvisnost dielektrične konstante pred polarizacijo ϵ_r in po polarizaciji ϵ_{33}^T , piezoelektrične d_{33} konstante in klopitvenega faktorja Q_M od koncentracije Sb^{5+} iona

tnosti^(16,35), je vpliv manjše velikosti zrn prav obraten^(19,20).

Vzrok hitrega spreminjanja lastnosti pri nizkih koncentracijah (1. koncentracijsko področje) je povečanje koncentracije defektov s povečanjem koncentracije ionov dopanta. Grobozrnata struktura (2.b in 3.sl.) pozitivno vpliva na lastnosti^(19,20), medtem ko ima povečana poroznost pri nizkih koncentracijah (2.b sl. in tab.I) negativen vpliv⁽¹⁹⁾.

Povečanje množine dopanta nad 1 at% (2. koncentracijsko področje) povzroči tudi povečanje gibljivosti domen in s tem višje vrednosti ϵ_{33} , k_p , d_{33} in nižje vrednosti Q_M . Zanimiva je ugotovitev, da ima velikost zrn, čeprav se spremeni pri vzorcih dopiranih z 1 in 4 at% Sb^{5+} , oz. Nb^{5+} od 10,9 do 2 μm pri Sb^{5+} oz. 12,4 do 1,4 μm pri Nb^{5+} (3.sl.), tako majhen vpliv na piezoelektrične in dielektrične lastnosti (4. in 5. slika) v nasprotju s precejšnje odvisnostjo teh lastnosti od velikosti zrn v podobno donorsko substituirani PLZT keramiki. S spremembo velikosti zrn od 1 μm do 7 μm v PLZT keramiki se lastnosti spremenijo tudi za 100 %. Enostavna kvalitativna razlaga je v kompenzaciji negativnega učinka, ki ga ima zmanjševanje velikosti zrn s povečanjem množine dopanta in s povečanjem gibljivosti domen zaradi praznin na A-mestih.

Način spreminjanja lastnosti v odvisnosti od koncentracije Sb^{5+} v 3. koncentracijskem področju lahko razložimo s prisotnostjo sekundarne faze, ki ovira gibanje domen⁽³⁶⁾ in s spremembo fazne sestave. Dodatek Sb^{5+} namreč povzroči, da se fazna sestava vzorcev premakne iz morfotropne fazne meje, za katero je značilna največja piezoaktivnost v romboedrično področje⁽³⁾. Podobne lastnosti, ki jih dobimo pri Nb^{5+} dopirani keramiki, ne moremo razložiti na enak način, ker nimamo sekundarne faze in imamo tetragonalno in romboedrično perovskitno PZT fazo, kar pomeni, da smo v bližini morfotropne fazne meje. Možna razlaga je v drugačni vgradnji Nb^{5+} iona v kristalno mrežo PZT. Velika koncentracija tujega iona z različnim ionskim radijem lahko povzroči dodatne napetosti v kristalni mreži. Znano je, da notranje napetosti ovirajo gibanje domen⁽³⁷⁾.

4. SKLEPI

Količina Nb^{5+} ali Sb^{5+} iona, ki jo je možno vgraditi v trdno raztopino $Pb(Zr_{0,52}Ti_{0,48})O_3$, je odvisna od temperature. Pri 1285°C je možno vgraditi več kot 7,5 at% Nb^{5+} in manj kot 5 at% Sb^{5+} predvidoma na Zr^{4+} , oz. Ti^{4+} mesta v PZT strukturi.

Gostote dopirane PZT keramike so po dveh urah sintanja pri 1285°C višje kot gostote nedopirane PZT keramike. PZT keramika z dodatkom antimona ima nekoliko višjo gostoto kot PZT keramika dopirana z ekvivalentno množino niobija. Odvisnost med gostoto in koncentracijo aditiva lahko razložimo na osnovi mikrostrukturnih preiskav. Mikrostruktura z velikimi zrni in s porami v zrnih, kot je v nedopirani in z 0,5 at% Sb^{5+}

dopirani PZT keramiki, preprečuje, da bi dosegli visoko gostoto keramike.

Dodatek 0,5 at% Sb^{5+} in Nb^{5+} pospešita rast zrn v PZT keramiki. Večanje koncentracije aditiva od 0,5 do 2,5 at% drastično zavre rast zrn, večanje nad 2,5 at% ne vpliva več na velikost zrn.

Dielektrične in piezoelektrične lastnosti PZT keramike modificirane s Sb^{5+} ali Nb^{5+} so pri obeh dopantih na podoben način odvisne od koncentracije. Vrednosti d_{33} , ϵ_r in k_p s povečanjem množine aditiva najprej naraščajo, nato ostajajo konstantne in šele pri koncentraciji med 4 in 7,5 at% aditiva začnejo padati. ϵ_{33} narašča nato pa pada s koncentracijo aditiva. Q_M je v okviru napak merjenj neodvisen od koncentracije aditiva.

Optimalni dodatek tako Sb^{5+} kot Nb^{5+} je okrog 1 at%, kjer dobimo najvišjo d_{33} konstanto, najvišji ϵ_r in ϵ_{33} .

Z omenjenima donorjema modificirana PZT keramika ima za tehnologijo izdelave zelo pomembno lastnost, namreč, da sta dielektrična konstanta in d_{33} konstanta malo odvisni od koncentracije Sb^{5+} in Nb^{5+} v območju med 1 in 4 at% dodatka.

5. VIRI

1. Diekstatt, Elektronik, **6** (1982) 79 - 83
2. J. Kuwabara, H. Li, N. Yoshida, Y. Suzuki, JEE (nov.1979) 50 - 53
3. B. Jaffe, W. R. Cook, H. Jaffe, Piezoelectric Ceramics, London, Academic Press, 1971
4. D. A. Buckner, P. D. Wilcox, Am. Ceram. Soc. Bull., **51** (1972) 218 - 222
5. M.Kosec, D. Kolar, La Ceramica, (1985) 26 - 32
6. T. Ikeda, T. Okano, M. Watanabe, Jap. Appl. Phys., **1** (1962) 218 - 222
7. Y. Matsuo, H. Sasaki, J. Am. Ceram. Soc., **48** (1965) 289 - 291
8. D. L. Hankey, J. v. Biggers, J. A. Ceram. Soc., **64** (1981) C172 - C173
9. S. Venkataramani, J.V. Biggers, Cer. Bull., **59** (1980) 462 - 466
10. S. S. Chandratreya, R. M. Fulrath, J. A. Pask, J. Am. Ceram. Soc., **64** (1981) 422 - 425
11. A.I. Kingon, P.J. Terblanche, J.B. Clark, Ceram. Inter., **8** (1982) 108 - 113
12. B. V. Hiremath, A. I. Kingon and J. V. Biggers, J. Am. Ceram., **66** (1983) 790 - 793
13. M. Dvoršek, M. Kosec, Zbornik XXXIII jug. konf. ETAN-a, Novi Sad, 12-17. junija 1989, XI.19 - 26
14. S.Y. Chen, C.M. Wang, C.C. Kuo, J. Austral. Ceram. Soc., **23** (1987) 95 - 96
15. B. Jaffe, R. S. Roth, S. Marzullo, J. Appl. Phys., **25** (1954) 809 - 810
16. R. Gerson, J. Appl. Phys., **31** (1960) 188 - 194
17. L. Wu, C. C. Wei, T. S. Wu, C. C. Teng, J. Phys. C, **16** (1983) 2803 - 2812
18. S. Takahashi, Ferroelect., **41** (1982) 143 - 156
19. K. Okazaki, K. Nagata, J. Am. Ceram. Soc., **56** (1973) 82 - 86
20. H. T. Martirena, J. C. Burfoot, J. Phys. C, **7** (1974) 3182 - 3192

21. K. Nejezchleb, F. Kroupa, Silikaty, **31** (1987) 289 - 298
22. S. T. Chung, W. L. Lee, P. D. Cho, Jap. J. Appl. Phys., **24** (1985) 436 - 438
23. M. Kahn, R. W. Rice, D. Shadwell, Adv. Ceram. Mat., **1** (1986) 55 - 56
24. K. Mohring, H. Schichl, Feinwerktechnik Messtechnik, **84** (1976) 322 - 325
25. K. Hikita, K. Yamada, M. Nishioka, M. Ono, Ferroelect., **49** (1983) 265 - 272
26. M. Dvoršek, Mag. delo Piezokeramika na osnovi PbO-ZrO₂-TiO₂-Sb₂O₃-Nb₂O₅ sistemov, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Ljubljana 1989
27. E. E. Underwood, Quantitative Stereology, Addison Wesley Publ. Comp., Reading 1970
28. Brush Clevite Comp. Limited Bull., 66017/A (1967) 1 - 6
29. M. Kosec, M. Dvoršek, Zbor. stat. konf. Keramika pro elektroniku I. del, Pardubice, 6-8. sept. 1988, 58 - 68
30. R. B. Atkin, R. M. Fulrath, J. Am. Ceram. Soc., **54** (1971) 265 - 270
31. P. J. Jorgensen, J. Am. Ceram. Soc., **48** (1965) 207 - 210
32. P. J. Jorgensen, R. C. Anderson, J. Am. Ceram. Soc., **50** (1967) 553 - 55
33. M. Kosec, M. Dvoršek, D. Kolar, Proc. Int. Conf. Electronic components and material, Beijing, 7-10 nov. 1989, 16 - 19
34. S. S. Chiang, M. Nishioka, R. M. Fulrath, J. A. Pask, Am. Ceram. Soc. Bull., **60** (1981) 484 - 489
35. F. Kulcsar, J. Am. Ceram. Soc., **42** (1959) 343 - 349
36. K. Carl, K. H. Hardtl, Ferroelectr., **17** (1978) 473 - 486
37. S. Takahashi, Ferroelectr., **41** (1982) 277 - 290

Najlepše se zahvaljujemo ga. Jani Cilenšek in g. Silvu Drnovšek za pomoč pri eksperimentalnem delu in Razis kovalni skupnosti R Slovenije za finančno pomoč.

mag. Marjana Dvoršek, dipl.ing
ISKRA Zaščite
Stegne 35
61000 Ljubljana

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

Prispelo: 20.6.91

Sprejeto: 2.9.91

KRIŽNI SPOJ ENORODOVNIH OPTIČNIH VLAKEN

A.Babnik, A.Suhadolnik, J.Možina

KLJUČNE BESEDE: optična vlakna, enorodovna vlakna, križni spoj, interferometri, koeficient sklopitve, parametri, merjenje karakteristik, eksperimentalne raziskave

POVZETEK: Ključni element interferometra z optičnimi vlakni je križni spoj dveh vlaken. Izdelali smo poliran spoj, ki deluje na principu prehoda svetlobe prek evanescentnega polja. V članku so opisani postopki izdelave ter potek in rezultati meritev osnovnih parametrov spoja. Opisan je tudi postopek za določevanje globine brušenja osnov spoja.

SINGLE-MODE OPTICAL FIBER DIRECTIONAL COUPLER

KEY WORDS: optical fibers, single mode fibers, directional couplers, interferometers, coupling coefficient, parameters, characteristics measurement, experimental research

ABSTRACT: The key element in optical fiber interferometry is fiber directional coupler. The polished coupler based on evanescent field coupling is designed. In this contribution fabrication, measurements and results are described. A technique to measure the thickness of remaining cladding on polished single-mode fiber substrate is also reported.

1. UVOD

Vzporedno z razvojem telekomunikacij po optičnih vlaknih se je pričel tudi razvoj nove družine senzorjev z optičnimi vlakni, ki imajo vrsto prednosti pred konvencionalnimi senzorji za merjenje širokega spektra fizikalnih, kemijskih in drugih veličin^{1/}. Senzorje iz optičnih vlaken delimo na hibridne in izdelane le iz optičnih vlaken^{2/}. Ločimo tudi intenzitetne in fazne senzorje. Slednje odlikuje velika občutljivost, oz. natančnost (interferometri). Zaradi prednosti pred klasičnimi interferometrijskimi merilniki (večja kompaktnost, manjše dimenzije, manjša teža, širše področje uporabe) se vse bolj uveljavljajo interferometrijski merilniki, izdelani iz optičnih vlaken. Pomemben element interferometra je delilec žarka. V klasičnem interferometru opravlja to nalogo polprepustno zrcalo ali podoben element, v interferometru z optičnimi vlakni pa en vhodni žarek razdeli v dva žarka element, imenovan spoj optičnih vlaken. Namen članka je opisati razvoj in izdelavo križnega spoja enorodovnih optičnih vlaken, izdelanega po metodi poliranja^{3/}.

2. TEORETIČNE OSNOVE

Križni spoj optičnih vlaken je optični element z dvema vhodnima in dvema izhodnima vlaknoma (slika 1).

Osnovni parametri, ki karakterizirajo spoj, so^{4/}:

– stopnja sklopitve:

$$CR = \frac{100 P_3}{P_2 + P_3} [\%] \quad (1)$$

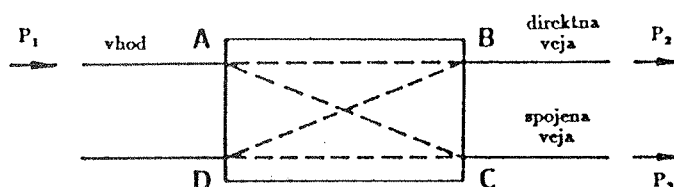
– izgube v spojniku:

$$L_a = -10 \log \frac{P_2 + P_3}{P_1} [\text{dB}] \quad (2)$$

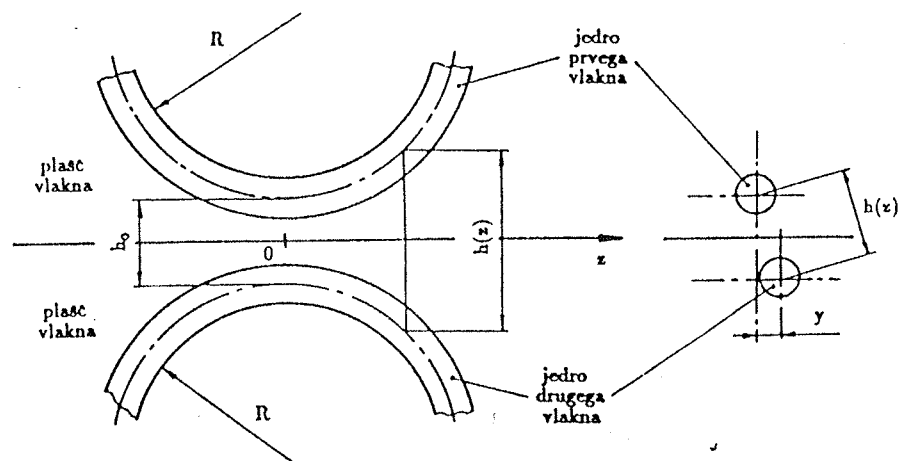
– usmerjenost:

$$D = \frac{P_4}{P_1} 100 [\%] \quad (3)$$

kjer je P_1 vstopna moč svetlobe, P_2 moč v direktni izhodni veji, P_3 moč v spojeni izhodni veji in P_4 moč, ki izhaja iz prostega vlakna na strani vhoda.



Slika 1: Spoj optičnih vlaken - shematsko



Slika 2: Odvisnost razdalje med vlaknoma od razdalje z in bočnega zamika y

Delovanje spoja enorodnih vlaken je možno razložiti z mehanizmom prestopa svetlobe prek evanescentnega polja^{5/}. To polje se pojavlja v plašču optičnega vlakna kot posledica popolnega odboja svetlobe v optičnem vlaknu na meji jedro-plašč. Svetlobna moč v drugem vlaknu, ki deluje kot motnja za evanescentno polje prvega vlakna, je odvisna od razdalje med jedroma vlaken in od dolžine, na kateri jedro drugega vlakna moti evanescentno polje prvega vlakna. Za primer dveh ravnih vzporednih vodnikov sta moči v izhodnih vlaknih opisani z enačbama^{6/}:

$$P_1 = P_0 \cos^2(cz) \tag{4}$$

$$P_2 = P_0 \sin^2(cz) \tag{5}$$

kjer je: P_0 moč vstopne svetlobe, P_1 moč direktne veje, P_2 moč sklopljene veje, c koeficient sklopitve in z razdalja od pričetka mesta medsebojnega vpliva. Če predpostavimo enakost obeh vlaken in majhno numerično odprtino le teh, lahko zapišemo koeficient sklopitve^{7/}:

$$c = \frac{\lambda}{2\pi n_1} \frac{u^2}{a^2 V^2} \frac{K_0 \left[w \left(\frac{h}{a} \right) \right]}{K_1^2(w)} \tag{6}$$

kjer je: n_1 lomni količnik jedra, n_2 lomni količnik plašča, λ valovna dolžina svetlobe, a radij jedra vlakna, h razdalja med osema posameznega vlakna, K_n modificirana Besselova funkcija druge vrste reda n , u in w parametra vzdolžnega reda, pri čemer velja: $u^2 + w^2 = V^2$ in V normirana frekvenca $/5/$. V našem primeru sta vlakni ukrivljeni in vzporedno bočno zamaknjeni (slika 2).

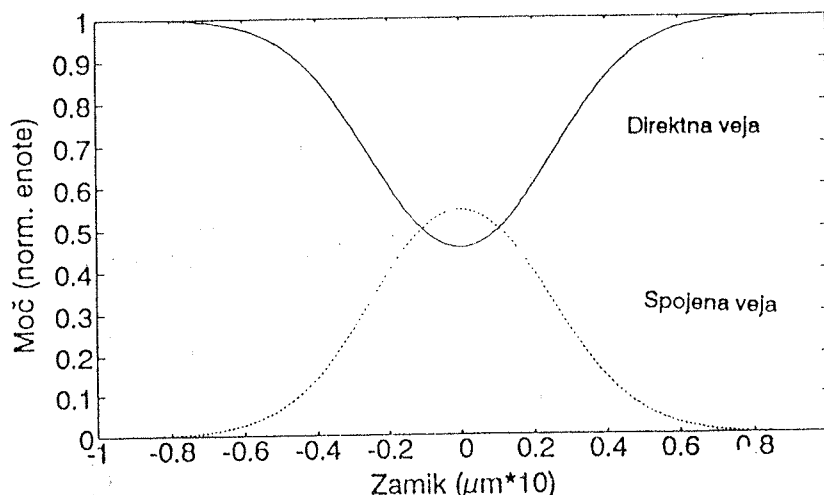
Parametra u in w sta definirana z enačbami, kjer je k valovno število $k = 2\pi/\lambda$ in β konstanta razširjanja ($kn_2 < \beta \leq kn_1$):

$$u = ka\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{7}$$

$$w = a\sqrt{\beta^2 - k^2 n_2^2} \tag{8}$$

Koeficient sklopitve tako ni več konstantna vrednost v smeri vzdolž poteka optičnih vlaken. Radij ukrivljenja povzroča deformacijo v porazdelitvi električnega polja, kar pokvari cilindrično simetrijo, ki je pogoj, da gornje enačbe veljajo. Če je radij dovolj velik proti medsebojni razdalji jeder, je vpliv zanemarljiv. Gornje izraze je možno uporabiti za opis realnega spoja^{8/}. Moči na izhodnih vlaknih sta tako:

$$P_1 = P_0 \cos^2(c_0L) \tag{9}$$



Slika 3: Teoretični normirani izstopni moči obeh izhodov

$$P_2 = P_0 \sin^2(c_0 L) \quad (10)$$

kjer je:

$$c_0 L = \int_{-\infty}^{+\infty} c(z) dz \quad (11)$$

Pri tem je $c_0 = c(0)$ vrednost koeficienta sklopitve v centru območja spajanja ($z=0$), kjer je razdalja med jedroma minimalna in L efektivna dolžina medsebojnega vpliva, ki zagotavlja enako razmerje moči kot pri spoju vzporednih vlaken z enako medsebojno razdaljo. Ob upoštevanju, da je bočni zamik enak nič in $z^2 \ll h_0 R$, lahko zapišemo^{8/}:

$$L \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{w z^2}{a R}\right) dz = \sqrt{\frac{\pi R a}{w}} \quad (12)$$

Teoretično je efektivna dolžina vpliva neodvisna od razdalje med vlaknoma, odvisna pa je od ukrivljenosti vlakna. Minimalna razdalja med vlaknoma vpliva na koeficient sklopitve. Pri večji razdalji so večje tudi izgube, stopnja sklopitve pa je manjša. Teoretično odvisnost stopnje sklopitve, oz. izstopne moči iz direktnega in spojenega vlakna od bočnega zamika med vlaknoma spojnika, prikazuje slika 3. Odvisnost je izračunana za primer izdelanega spojnika s parametri:

$n_1 = 1,458$, $n_2 = 1,458$, $h_0 = 9\mu\text{m}$, $a = 4,5\mu\text{m}$, $R = 0,1\text{m}$ in $\lambda = 633\text{nm}$.

3. EKSPERIMENTALNO DELO

3.1 Postopek izdelave

V osnovi ločimo tri načine izdelave spoja optičnih vlaken na principu prestopa svetlobe prek evanescentnega polja in sicer s taljenjem^{9,11/}, z jedkanjem^{4,12/} in s poliranjem^{3,10/}. Pri prvih dveh je stopnjo sklapanja možno nadzorovati med procesom izdelave. Proces izdelave ustavimo, ko dosežemo zahtevano stopnjo sklopitve, ki je pozneje ne moremo več spremeniti. Zaradi možnosti naknadnega nastavljanja parametrov poliranega spoja optičnih vlaken tudi po izdelavi, smo se lotili izdelave le tega kljub njegovi slabši toplotni stabilnosti v primerjavi s taljenim spojem.

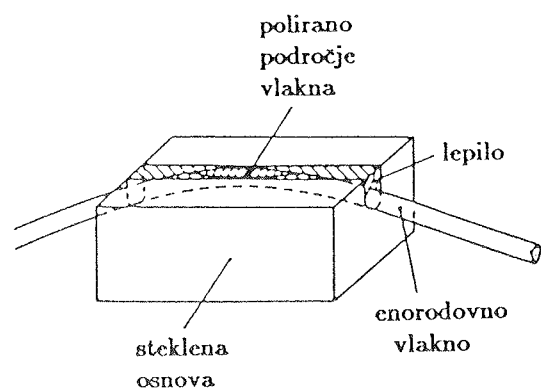
Poliran spoj je sestavljen iz dveh enakih delov. V osnovo je potrebno po daljši strani vrezati utor konveksne oblike z določenim radijem ukrivljenja. Utor smo vrezali z žago, ki ima rezalni rob po notranjem obodu, kar omogoča manjšo debelino žaginega lista v primerjavi z navadnim listom krožne žage. Radij ukrivljenja utora je 10 cm, širina zareze pa 0,5 mm. Material osnove je navadno steklo.

Za izdelavo spoja smo uporabili enorodovno optično vlakno, proizvajalca Iskra EO, s premerom plašča 125,5

μm , premerom jedra 9 μm , lomnim količnikom plašča 1,458 in lomnim količnikom jedra 1,4635. Meja enorodovnosti je pri 1245 nm. Vlaknu pred montažo odstranimo oblogo (zaščito) na mestu, kjer ga pozneje vstavimo v žleb. Vlakno zalepimo z epoksidnim lepilom. Tako izdelano osnovo grobo brusimo na strani vlakna, dokler se ne pojavi iz osnove (površine lepila) plašč vlakna. Nadaljujemo s finim brušenjem do globine, ki zagotovi debelino plašča med površino in jedrom v izmeri $\approx 15\mu\text{m}$. Globino brušenja lahko preverjamo na več načinov. Uporabili smo dva in sicer prvega z merjenjem dolžine ovala na ukrivljenem vlaknu, ki ga ravno brusimo^{13/} in drugega z detektiranjem izgub svetlobe, ki prehaja brušeno mesto na vlaknu. Pri slednji metodi smo kot izvor svetlobe uporabili HeNe laser ($\lambda = 633\text{nm}$). Pri tej valovni dolžini ni zagotovljena potrebna enorodovnost v optičnem vlaknu, približali pa smo se ji z ovitjem lansirnega konca vlakna okoli palice z dovolj majhnim premerom ($d \approx 5\text{mm}$).

Naslednja faza obdelave osnov je poliranje, s katerim dosežemo točno razdaljo jedra vlakna od površine in ravno površino osnove. Med poliranjem obdelavo prekinjamo, sestavimo spoj in ob bočnem zamikanju opazujemo maksimalno doseženo stopnjo sklopitve. Ta je namreč odvisna od razdalje med vlaknoma (dvojna debelina preostanka plašča) in od bočnega zamika, ki umetno povečuje to razdaljo. Za izboljšanje optičnega kontakta med vlaknoma nanese med njiju plast tekočine za izenačitev lomnih količnikov. Za zamikanje smo uporabili posebno držalo z mikrometrskimi vijaki, ki omogoča bočni zamik in rotacijo gornjega dela proti spodnjemu. Med zamikanjem osnov morata biti vlakni v prečni smeri vzporedni. Postopek poliranja in vmesnega merjenja ponavljamo, dokler med zamikanjem ne dosežemo ustrezne stopnje sklopitve. Na sliki 4 je prikazana polovica spoja po poliranju. Sledi utrditev obeh polovic spoja z lepljenjem ali mehansko utrditvijo (utrditev z vijaki).

Ker je vlakno trše od osnove, po poliranju štrli iz osnove. Dovolj dober optični kontakt med vlaknoma v sestavljenih osnovah lahko v tem primeru dobimo tudi brez dodajanja tekočine za izenačitev lomnih količnikov, s čimer povečamo toplotno stabilnost spoja.



Slika 4: Izgled polovice spojaosnove po poliranju

3.2 Meritve karakteristik

Na izdelanih osnovah smo izmerili odvisnosti izgub svetlobe na poliranem mestu, od lomnega količnika nanešenih tekočin in od debeline odvzete plasti plašča. Po tej metodi je možno dovolj natančno določiti razdaljo od površine osnove do jedra vlakna^{11/}. Preverili smo tudi odvisnost signala od temperature nanešene tekočine kot vodilo za izdelavo temperaturnega senzorja^{15/}.

Polirano stran osnove omočimo s tekočino, katere lomni količnik poznamo. V lansirni konec vlakna svetimo s He-Ne laserjem in detektiramo izhodni signal. Meritev ponovimo s tekočinami z različnimi lomnimi količniki. Zanimive so predvsem meritve, ko je lomni količnik tekočine enak, oz. večji od lomnega količnika plašča optičnega vlakna. Merilni sistem je prikazan na sliki 5. Rezultate meritev smo primerjali z rezultati iz literature^{14/}, kjer so razdalje jedra vlakna od površine osnove merili na prečno prerezanih osnovah. Rezultati meritev so prikazani na sliki 6.

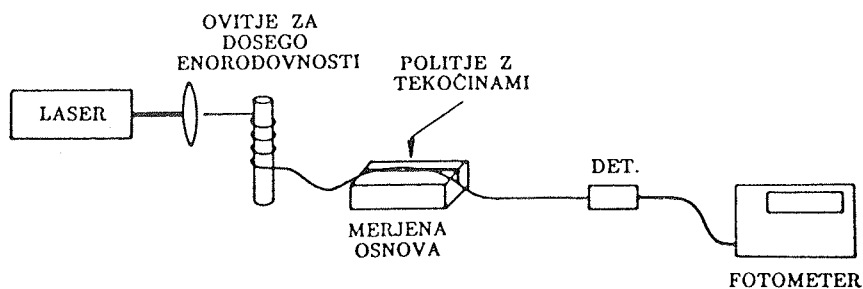
Na izdelanih spojih optičnih vlaken smo opravili meritve stopnje sklopitve in izgube. Spoj, ki smo ga zlepili, je zagotavljal razmerje izstopnih moči svetlobe 4:1 (CR=0,2) in ocenjene izgube 20 dB, mehansko utrjen

spojnik pa razmerje izstopnih moči 1:1 (CR=0,5) in izgube 10 dB.

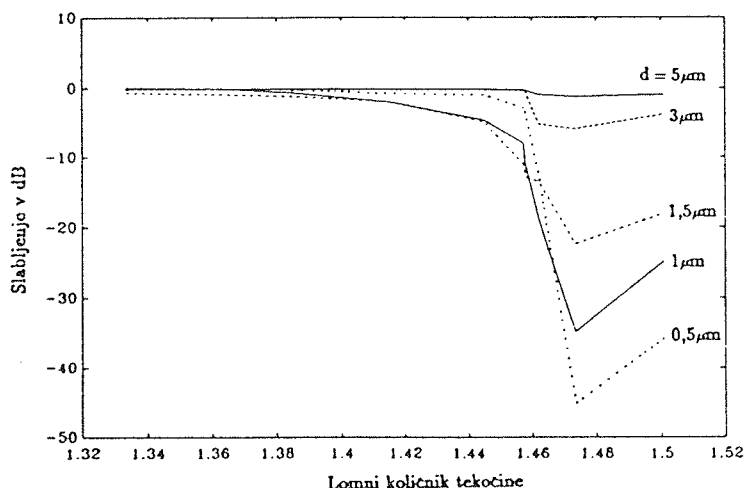
Izmerili smo tudi velikost prestopne svetlobne moči iz direktnega v sklopljeno vlakno v odvisnosti od bočnega zamika. Zamik vlaken smo računalniško upravljali prek koračnega motorja, hkrati pa detektirali oba izhodna signala (slika 7). Meritve smo izvajali pod različnimi pogoji (različna dvojica osnov, dodatek tekočine za izenačitev lomnih količnikov). Dva signala sta prikazana na sliki 8.

4. ZAKLJUČKI

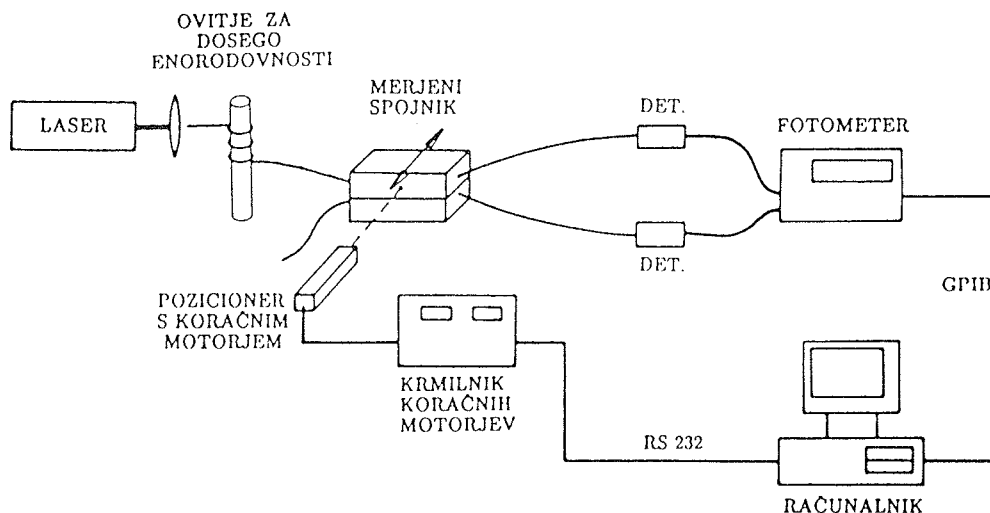
V članku smo opisali izdelavo poliranega križnega spoja enorodovnih optičnih vlaken, ki je eden ključnih elementov interferometra z optičnimi vlakni. Na izdelanih spojih smo opravili meritve stopnje sklopitve in izgub. Preverili smo zmožnost spreminjanja stopnje sklopitve in določili globino brušenja osnov z opazovanjem izgub svetlobe, ki uhaja iz poliranega mesta vlakna. Izdelana sta dva spoja, ki imata stopnji sklopitve 0,5, oz. 0,2 ter izgubami 10, oz. 20 dB.



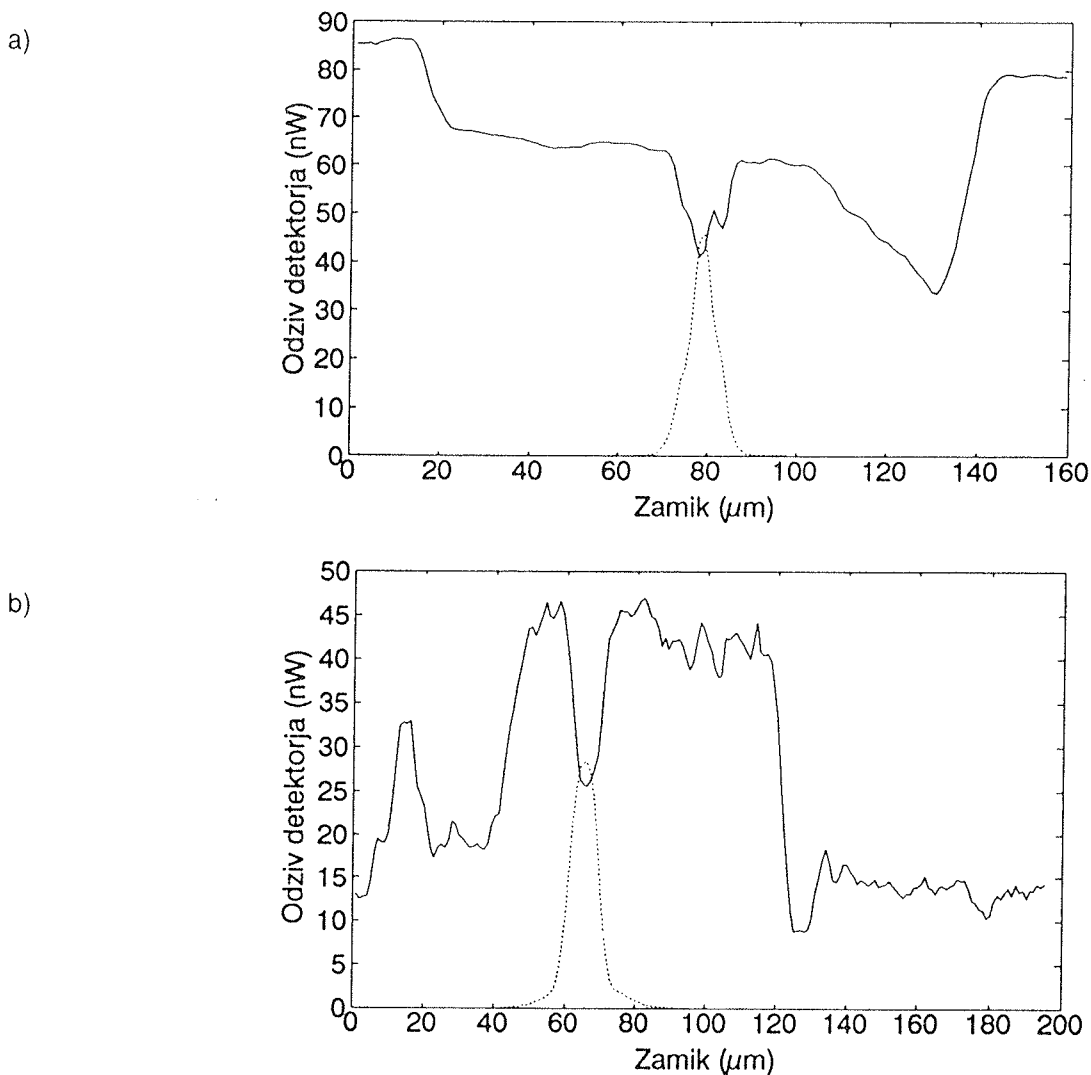
Slika 5: Merilni sistem za določitev razdalje jedra od površine osnove d



Slika 6: Slabljenje signala v odvisnosti od lomnega količnika tekočine in razdalje jedra vlakna do površine osnove d, λ = 633 nm



Slika 7: Merilni sistem za meritev stopnje sklopitve



Slika 8: Izmerjen potek izhodne moči pri bočnem zamiku, $\lambda = 633 \text{ nm}$, vlakno S3C014WD
 — direktna veja
 ---- spojena veja
 a) $h_{dej} = 9 \mu\text{m}$, brez vmesne tekočine
 b) $h_{dej} = 12 \mu\text{m}$, gel z $n = n_{\text{pllašč}}$ kot vmesna tekočina

5. LITERATURA

1. B. Culshaw: Optical Fiber sensors, Vol. 1, Artech House, Boston, 1988
2. E. Udd: Fiber Optic Sensors, A WileyInterscience publication. New York, 1991
3. R. Berg, G. Kotler, H. J. Shaw: Electron. Lett., Vol. 16, 1980
4. F. Liao, J. T. Boyd: Appl. Optics, Vol. 20, 1981.
5. A. W. Snyder, J. D. Love: Optical Waveguide Theory, Capman and Hall, London, 1983
6. D. Marcuse: Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, 1971.
7. R. Vanclooster, P. Phariseau: Physica, Vol. 47, 1970.
8. M. J. F. Digonnet, H. J. Shaw: IEEE J. Quant. Electr., Vol. 18, 1982.
9. M. H. Slonecker: Proc. Optical Fiber Conf.'82, Paper WBB7, Optical Society of America, 1982.
10. J. D. Beasley, D. R. Moore, D. Stowe: Proc. Optical Fibers Conf.'83, Paper ML5, Optical Society of America, 83.
11. I. Yokohama, J. Noda, K. Okamoto: J. Light Tech., Vol. 5, 1987.
12. A. D. Kersey, A. C. Lewin, D. A. Jackson: Electron Lett., Vol. 20, 1984.
13. O. Parriaux, S. Gidon, A. A. Kuznetsov: Appl. Optic, Vol. 20, 1981
14. M. J. Digonnet, J. R. Feth, L. F. Stokes: Optics Lett., Vol. 10, 1985.

15. A. Suhadolnik, A. Babnik, J. Možina: SD91, Zbornik referatov, Portorož 1991

Aleš Babnik, dipl.ing.
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Murnikova 2
61000 Ljubljana

as.mag.Alojz Suhadolnik
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Murnikova 2
61000 Ljubljana

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

Prispelo: 28.10.91

Sprejeto: 25.11.91

NELINEARNI OPTIČKI EFEKTI U KRISTALIMA

J. P. Šetrajčić i D. Lj. Mirjanić

KLJUČNE REČI: nelinearna optika, nelinearni efekti, molekularni kristali, narušenje simetrije, stimulirana apsorpcija, apsorpcione karakteristike, spoljašnja elektromagnetna polja, uticaj elektromagnetnog polja, teoretska istraživanja

SAŽETAK: Ispitivana je uloga nelinearnih efekata, spoljašnje stimulacije i narušenja strukture simetrije kod apsorpcionih procesa u molekulskim kristalima. Pokazano je da se pojava izrazitog apsorpcijskog pika oblasti nižih frekvencija može objasniti eksiton - eksiton interakcijom. Spoljašnja stimulacija smanjuje ovaj pik i pomjera ga ka višim frekvencijama. U analizu struktura sa narušenom simetrijom uključeni su i nelinearni optički efekti, te je nađena zavisnost raspodjele elektro-magnetne energije od deformacije strukture.

NONLINEAR OPTIC EFFECTS IN CRYSTALS

KEYWORDS: nonlinear optics, nonlinear effects, molecular crystals, broken symmetry, stimulated absorption, absorption characteristics, external electromagnetic fields, effect of electromagnetic fields, theoretical research

ABSTRACT: Influence of nonlinear effects, external simulation and broken structural symmetry on absorption processes inside molecular crystals is investigated. It is shown that appear of dominant absorption peak at lower frequencies can be explained by exciton - exciton interaction. External stimulation decreases this peak and shifts it toward higher frequencies. The nonlinear optical effects are also included into analysis of the broken symmetry. The dependence of electromagnetic energy distribution versus structure deformation is also obtained.

1. UVOD

U mikroteorijskim analizama optičkih pojava posebno kod opisivanja apsorpcije svjetlosti, pretpostavlja se da je eksiton - fonon interakcija osnovni mehanizam kojim mogu da se objasne ovi prirodni fenomeni. Uloga čistih nelinearnih efekata (eksiton - eksiton interakcija), do sada neopravdano ignorisani, a upravo oni mogu da objasne postojanje izrazitog apsorpcijskog pika u oblasti nižih frekvencija.

Rukovodeći se zahtjevom za eventualnom praktičnom primjenom, analizirali smo uticaj narušenja strukturne simetrije i spoljašnje stimulacije u molekulskim kristalima. Spoljašnja polja mijenjaju apsorpcione osobine sistema, pa su istraživanja preduzeta s ciljem da se ispita mogućnost poboljšanja apsorpcionih karakteristika putem navedenih polja. Ovo bi rezultiralo povećanjem stepena konzervacije elektro-magnetne energije. Analizirajući mogućnost separatne konzervacije, sproveli smo analizu molekulskih struktura sa narušenom translacionom simetrijom. Ovo ujedno predstavlja prvi korak u formiranju teorije nelinearne optike u strukturama s narušenom translacionom simetrijom.

2. KINEMATIČKA POBUĐENJA U MOLEKULSKIM KRISTALIMA

Prilikom analize uticaja nelinearnih efekata eksiton - eksiton interakcije na objašnjenje apsorpcionih efekata u molekulskim kristalima, pošli smo od hamiltonijana

eksitonskog sistema za slučaj proste kubne strukture i dvonivojske šeme koji sadrži i efekte neodržanja^(1,2).

Odziv sistema na spoljašnje polje definiše dielektričnu konstantu ovog sistema⁽³⁾. U ovom slučaju ona je kompleksna veličina i izražava se pomoću komutatorskih, retardovanih i avansovanih, eksitonskih odnosno, paulionskih, Greenovih funkcija.

Na bazi usavršene tehnike izračunavanja ovih Greenovih funkcija striktnijom primjenom Vickove teoreme, a čiju smo proceduru detaljno izložili u radu⁽⁴⁾ odredili smo dielektričnu konstantu eksitonskog sistema, a pomoću nje i optičke karakteristike posmatranog sistema.

Na ovom mjestu navodimo samo konačne rezultate. Indeks apsorpcije eksitonskog sistema nije konstantna veličina što znači da veličina apsorbovane energije elektro magnetnog zračenja zavisi od frekvencije tog zračenja. Unutar apsorpcione zone indeks apsorpcije ima maksimuma, od kojih su dva manja i teže ka višim frekvencijama od jednog glavnog. Izvan ovog intervala indeks apsorpcije je jednak nuli⁽³⁾.

Dok se postojanje glavnog apsorpcionog pika (glavne apsorpcije) može objasniti i prisustvom eksiton - fonon interakcija⁽⁵⁾, dotle se postojanje druga dva pika može pripisati jedino nelinearnim optičkim efektima, dakle eksiton - eksiton interakciji. Rezultat ove eksitonske kinematičke interakcije, u fizičkom smislu, demonstrira se kao fuzija dva eksitona u par ili kao raspad para eksitona.

Kinematička eksitonska interakcija izaziva stvaranje novih pobuđenja koja imaju odlučujuću ulogu u formiranju veoma zanimljivih optičkih osobina kristala. Iako se, s naše strane ovako sprovedenom analizom, ne bi mogao izvesti zaključak da, eksperimentalno konstatovano, anomalno širjenje eksitonskih linija (vidjeti npr. (5), str. 99 - 112), predstavlja ustvari širenje kinematičkih nivoa, ipak se uračunavanjem prostorne dispanzije sistema mogu odrediti temperaturni uticaj na ove pojave. Ograničavajući se na oblast energija (frekvencija) koja su bliske rezonantnoj i na oblast temperatura koje su bliske (u energetskim jedinicama) širini eksitonske zone, dobili smo indeks apsorpcije⁽³⁾ koji ima istu analitičku formu kao i empiriska formula za koeficijent apsorpcije⁽⁶⁾, tj. kao 35 godina staro Urbahovo pravilo. Na osnovu ovog poređenja može se zaključiti da objašnjenje ovog optičkog efekta u oblasti frekvencija bliskih rezonantnoj možemo tražiti kao posledicu kinematičkih interakcija u sistemu.

Nadalje smo, u toku sprovedenog iztraživanja, pokazali da u molekulskim lancima postoje dva tipa kinematičkih pobuđenja od kojih jedna imaju kratko vrijeme života i odgovorna su za naprijed navedene apsorpcione osobine, dok su druga neprigušna i ne doprinose apsorpciji. Izvršena numerička analiza spektra neprigušenih kinematičkih nivoa je pokazala da oni mogu da egzistiraju samo u jednom djelu prve Brillouinove zone i da tu imaju znatno nižu energiju od eksitona usled čega su ovi energetski nivoi znatno bolje populisani od eksitonskih^(7,8).

3. STIMULISANA APSORPCIJA KOD EKSITONSKIH SISTEMA

Paralelno sa ovim iztraživanjem nastavili smo i, već ranije započeta^(9, 10) ispitivanja uticaja spoljašnjeg električnog polja na optičke osobine kristala. Iako u potpunosti nezavršeni, na osnovu preliminarnih rezultata, možemo konstatovati da su, bez obzira na sada primenjenu mnogo tačniju metodu određivanja Greenovih funkcija eksitonskog sistema koji je stimulisan spoljašnjim poljem, predhodni rezultati su potvrđeni. Naime i ovdje sprovedene analize su, kao i u⁽⁹⁾ potvrdile da prisustvo spoljašnjeg elektromagnetnog polja na neki način destimuliše apsorpciju, odnosno pomjera najveći i oštri apsorpcioni pik indeksa apsorpcije kristala ka višim frekvencijama i istovremeno ga smanjuje, naravno u poređenju sa nestimulisanim kristalom.

Veličina pomjeranja i prigušenja glavnog apsorpcionog pika zavisi od jačine električne komponente spoljašnjeg stimulišućeg elektromagnetnog polja.

Pored ovog ispitivano je i šta se dešava sa druga dva manja apsorpciona pika koja leže na višim frekvencijama od onog glavnog. Ove analize su pokazale da na njihovim spoljašnjim polje stimulatивно deluje tj. ono ih povećava. Takođe je ispitivano šta se, u tom intervalu frekvencija, dešava sa indeksom prelamanja, gde je i ovdje pri-

mjećeno povećanje u odnosu na iste karakteristike nestimulisanog eksitonskog sistema. Sve ovo ima za posledicu da se u ovom djelu frekvencija povećava dielektrična konstanta sistema kada se on nađe u spoljašnjem elektromagnetnom polju. Ovo bi sa svoje strane, moglo da ima praktičnu primjenu za detekciju prisustva stranog elektromagnetnog polja.

4. NELINEARNA OPTIKA SA NARUŠENOM SIMETRIJOM

Svaki kristal, bez obzira na čistoću i finoću izrade, sadrži izvjestan broj nečistoća i defekata koji narušavaju njegovu translacionu invariantnost. Osim toga, kristali imaju granične površine na kojima, usled toga što se one haotično ili nehotice osvetljavaju, griju, kvase, podvrgavaju većem ili manjem pritisku, itd. uvijek dolazi do specifičnih efekata koji se ne mogu opisati metodama teorije idealnih struktura. Matematička analiza struktura sa narušenom simetrijom daleko je komplikovanija od analize idealnih struktura i u tom smislu nelinearna optika deformisanosti sistema praktično ne postoji.

Ispitivanje eksitonskih stanja u kristalima kod kojih je narušenje simetrije prisutno na graničnim površinama kristala, ili, ako se radi o višeslojnoj strukturi, na granicama cijele strukture i na kontaktnim granicama između slojeva, izvršili smo uzevši u obzir da se energije pobuđenja izolovanih molekula i matrični elementi operatora dipol-dipolnih interakcija mijenjaju od čvora do čvora. Analize smo sprovedli^(11 - 14) za slučajeve planarnog narušenja simetrije, tj. narušenja fizičkih osobina kristala samo između paralelnih ravni duž jednog pravca.

Standardni postupak nalaženja jednočestičnih eksitonskih talasnih funkcija sa eksitonskim hamiltonijanom uzetim u harmonijskoj aproksimaciji primijenili smo na gore opisane deformisane sisteme. Amplitude traženja talasnih funkcija dobijaju se kao rješenja veoma komplikovanog sistema diferencnih jednačina uz odgovarajući broj (jedan ili dva, a kod višeslojnih i više) graničnih uslova iz čijeg rješavanja slijedi spektar mogućih eksitonskih energija. Razmatrali smo zato, na početku, nešto jednostavnije slučajeve.

Kod polubeskonačnih struktura, osim zapreminskih stanja u kojima gustina vjerovatnoće nalaženja i energija pobuđenja imaju ravnomjerno raspoređene minimume i maksimume po zapremini kristala, mogu se javiti i površinska stanja na nultom sloju (na jednoj graničnoj površini) u slojevima koji su mu najbliži.

U slučaju filma (dvije granične površine) lokalizovana stanja mogu da se jave, u zavisnosti od veličine i znaka promjene energije površinskih molekula i primjene njihovih interakcija sa susjednim zapreminskim molekulama, na jednoj, drugoj ili na obe granice.

Osim toga, analizirali smo dvoslojnu strukturu, dakle strukturu koja je skopljena od dva skupa različitih vrsta molekula, koja ima dvije spoljašnje i jednu kontaktnu graničnu površinu. Sistem diferencnih jednačina uz pripadajuće granične uslove, primijenjeno na ovaj slučaj, mogu se matematički opisati pomoću verižnih razloma-

ka iz čije se forme mogu izraziti amplitude vjerovatnoća nalaženja eksitonskih stanja pomoću generalisanih Čebišovih polinoma tipa F.

Izloženi šematski prilazi kod dvoslojnih struktura neposredno se može primjeniti i na višeslojne ("sendvič") strukture. Konkretan proračun, kao i kod predhodnih, zahtijeva upotrebu računara za numeričku analizu ali je i on uveliko olakšan zbog činjenice da se u njemu mogu koristiti dobro definisane analitičke forme za generalisane Čebišove polinome.

ZAKLJUČAK

Analize izvršene u ovom radu mogu se podijeliti u tri grupe. Prva grupa problema vezana je za nelinearne optičke efekte u idealnim strukturama. Cilj ovih istraživanja je bio da se procjeni uloga kinematičke interakcije u različitim optičkim pojavima. Osnovni rezultati do kojih smo ovdje došli mogu se rezimirati na sledeći način. Usljed procesa fuzije eksitona i fisije para eksitona u molekulskim kristalima pojavljuju se dopunska-kinematička pobuđenja koja, zbog toga što imaju konačno vrijeme života, imaju značajnu ulogu u procesima apsorpcije svetlosti.

Analiza apsorpcionog spektra je pokazala da jedino prisustvo ovih pobuđenja može da objasni postojanje oštrog apsorpcionog pika u oblasti frekvencija nižih od rezonantne. Takođe se teorijski pokazalo da se isključivo njihovim doprinosom može reprodukovati Urbahova empirijska formula za indeks apsorpcije svetlosti kod optičkih sistema.

Rukovodeći se željom i zahtjevom da istraživanja budu realnija i njihovi rezultati takvi da im se eventualno našla praktična primjena, odlučili smo se na analizu efekata narušenja strukture simetrije i efekata izazvanih spoljašnjom stimulacijom. Analize efekata narušenja translacione simetrije kristala danas se najviše vrše u teoriji superprovodljivosti jer se očekuje da se sintezom višeslojnih struktura, npr. tipa metal-dielektrik, stvore takvi materijali koji bi imali bolje superprovodne karakteristike od do sada poznatih. U ovakvim strukturama optička pobuđenja mogu da imaju odlučujuću ulogu. Pretpostavili smo da do narušenja simetrije dolazi samo duž jednog pravca. Kod molekulskih kristala detaljno smo ispitivali površinska i zapreminska stanja u polubeskonačnim sistemima i filmovima. Takođe smo razvili metod za analizu višeslojnih struktura sa verižnim razlomcima u kome dobar dio posla može da se objavi analitički-korištenjem Čebišovih polinoma.

Spoljašnja elektromagnetna polja mijenjaju optičke karakteristike sistema i istraživanja smo preduzeli s ciljem da ispitamo da li ova polja mogu da poboljšaju pomenute karakteristike. Svako poboljšanje apsorpcionih osobina bilo bi veoma značajno za oblast korištenja solarne energije, gde je danas osnovni problem pronalaženje boljih apsorbera kako bi se bolje i duže konzervirala energija. Preliminarni rezultati sprovedenih analiza uticaja spoljašnjih polja na apsorpcione osobine molekulskih kristala je pokazala da do stimulisanja apsorpcije dolazi samo u oblasti viših frekvencija, dok u oblastima frekvencija nižih od rezonantne dolazi do destimulisanja apsorpcije. Drugim riječima, naša istraživanja pokazuju

da spoljašnja stimulacija ne vodi ka drastičnijem poboljšanju karakteristika apsorbera. Međutim, ona ukazuju i na to da spoljašnja stimulacija izaziva efekte pomjeranja apsorpcionih spektara koja svakako mogu da nađu neposrednu primjenu u detekciji spoljašnjih polja. Na osnovu dobljenih izraza za smanjenje dominantnog apsorpcionog pika i njegovo pomjeranje ka višim frekvencijama moguće je da se izvedu zaključci o prisustvu, jačini i tipu stranog elektromagnetnog polja.

Ova istraživanja, iz sve tri nabrojane tematske oblasti, nemaju karakter završnih, one prije treba da budu polazna osnova za istraživanja konkretnih struktura i drugačijih sistema. Neophodno je sprovesti i ozbiljniju numeričku analizu dobljenih rezultata kao bi mogli da budu baza za realnu praktičnu primjenu: izrada odgovarajućih "sendvič" struktura ili pak detektora stranih polja. Trebalo bi ispitati da li bi se nekom vrstom deformacija na granicama sistema mogle konstruisati strukture koje će se pobuđivati visokim koncentracijama optičkih pobuđenja i to naprimjer samo u površinskim zonama kristala.

LITERATURA

- 1.) V.M. Agranovich; Teorija eksitonov, Nauka, Moskva 1968.
- 2.) B.S. Tošić; Statistička fizika, PMF-IF, Novi Sad 1978.
- 3.) N.N. Bogolyubov; Lekcii po kvantovi statistika, Naukova dumka, Kiev 1949.
- 4.) U.F. Kozmidis-Luborić and B.S. Tošić; Physica A 153, 226 (1988).
- 5.) A.S. Davydov; Teorya molekulyarnyh esitonov, Nauka, Moskva 1973.
- 6.) F. Urbach; Phys. Rev. 92, 1324 (1953).
- 7.) U.F. Kozmidis-Luborić, D. Ćirić, J. Šetrajčić; Nepriгуšeni kinematički nivoi, XI JSFKM, Donji Milanovac, 1988.
- 8.) U.F. Kozmidis, M. Marinović, D. Ćirić and B.S. Tošić; Physica A 163, 483 (1990).
- 9.) R.P. Đajić-Jovanović, D.M. Ćirić, M.M. Marinović and B.S. Tošić; Can. J. Phys, 65, 149 (1987).
- 10.) R.P. Đajić-Jovanović, D.Lj. Mirjanić, B.Nikin, J.P. Šetrajčić and B.S. Tošić; J. Phys.C20, 5585 (1987).
- 11.) D.Lj. Mirjanić; Strukture sa narušenom simetrijom, uvodno predavanje na XI JSFKM, Donji Milanovac 1988.
- 12.) D.Lj. Mirjanić; Fizika Supl.1 21, 346 (1989).
- 13.) D.Lj. Mirjanić, J.P. Šetrajčić, B.S. Zošić; Zbornik referatov SD-89, 371 (1989).
- 14.) D.Lj. Mirjančić, J.P. Šetrajčić, B.S. Tošić; Zbornik eferatov SD-(), 337 (1990).

*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. Mitrova 63 b
YU-78000 BANJA LUKA*

Prispelo: 1.6.91 Sprejeto: 28.10.91

THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE TOOL FOR THE ELECTROTECHNICAL SIGNAL DISPLAY

Robert Porenta

KEYWORDS: Sun workstation, user interface, Sun View environment, circuit simulators, interactive program, algebraic expression syntax, software tools, software development, signal display, electrical signal, C programming language, UNIX.

ABSTRACT: This paper describes the design and implementation of a graphical tool for electrotechnical signal display. At the beginning of the paper some basic terms used throughout the text are briefly explained. In continuation the paper in turn describes the building blocks of the program.

NAČRT IN IZVEDBA PROGRAMSKEGA ORODJA ZA GRAFIČNI PRIKAZ ELEKTROTEHNIČNIH SIGNALOV

KLJUČNE BESEDE: delovna postaja Sun, uporabniški vmesniki, programsko okolje Sun View, simulator vezij, interaktiven program, sintaksa algebralnega izraza, programska orodja, razvoj programske opreme, prikaz signalov, električni signali, UNIX, programski jezik C

POVZETEK: V članku sta opisana načrtovanje in izvedba programskega orodja za grafični prikaz elektrotehničnih signalov. Na začetku članka je na kratko razloženih nekaj osnovnih izrazov, ki so pozneje uporabljeni. Članek se nadaljuje z opisom posameznih enot programa.

1. Introduction

In the past few years the development of various electronic devices has become impossible without the support of software tools running on powerful workstations. By using tools such as circuit simulators, scheme editors, cell placers and others user can reduce development time and the number of errors significantly.

Reasons for development of a standalone tool are manifold. Many of similar programs offer only a limited graphical support on the level of simple character graphics, while more sophisticated ones use only a portion of graphical capabilities available on a workstation. Signal displaying programs are usually only a part of bigger software packages what makes such programs unsuitable for general use.

The most important program characteristics are the following:

- User friendly environment.
- Interactive operation.
- Ability to display data from different sources at the same time.
- New data can be obtained by means of algebraic expressions.
- The behaviour of program functions can be controlled by the user.

2. Programming tools

The program is implemented in the C programming language on the Sun workstation under UNIX operating system. For graphics independent functions only standard C library is used whereas user interface is supported by the SunView library.

2.1. The Sun workstation

Sun workstations are high-performance computers dedicated towards applications in the field of engineering, CAD, CAM, desktop publishing, software development and other tasks where high resolution graphics and high processing power is needed. The operating system is a heavily enhanced version of 4.2 BSD UNIX from the University of California at Berkeley.

Apart from standard UNIX utilities a user interface package based on multiple overlapping windows and associated libraries is added. Instead of typing commands on a keyboard the user can manipulate objects via a pointing device (mouse).

2.2 SunView library

SunView is an object oriented system. It consists of many building blocks which can be used to assemble a

user interface for an application. Objects have different types according to their properties.

2.2.1 SunView objects

Windows are the most important SunView objects. Apart from windows other objects also include panel items, scrollbars, menus, cursors and icons.

Window objects include frames and subwindows. Frames are used to join nonoverlapping subwindows into one window. There are four types of subwindows:

Panel contains various panel items.

Text subwindow contains text.

Canvas is used for drawing area.

TTY subwindow serves as a terminal emulator.

Other visual objects are less general and thus more suited for their specific functions:

Panel item is part of a panel used for interaction between user and application. Some of predefined items are buttons, message items, choice items, text items and sliders.

Scrollbar is attached to a subwindow and serves to control which part of a subwindow is visible.

Menu is used for user to issue commands when one of menu's items is selected. By convention menus pop up on the right mouse button pressed and this is also true for menus in this program.

Cursor locates the mouse position on the screen.

Icon is a small image which represents various information.

3. Data organization

The program is designed to work with data obtained from simulation software. In order to handle data from various sources efficiently, a simple data model has been introduced.

3.1. Signal

Signal is an abstraction for a data which can be handled as one unit. Most often the signal represents information obtained in one node of a circuit for one simulation cycle (for example voltage in a node).

3.2. Signal group

Signal group is a data object consisting of data which are mutually related. For example signals which represent node voltages of a circuit can be associated to a signal group. Each signal group has a unique name for identification which is usually the name of the file from which the data were read. It is also possible to assign a list of parameters to each group. These parameters are usually the conditions under which the simulation has been executed (such as temperature for example).

3.3. Working signal group

Working signal group is a special signal group selected by the user. It is possible to load many signal groups from different files in order to display data from different analyses. Each of these signal groups can be selected to be the working group which basically serves as an identifier for functions operating on one signal group at the time.

4. User interface

The user interface is built from these basic SunView objects

- Control panel
- Signal window
- Manual window
- Expression window

Any of them may or may not be visible in particular situation. All these objects in turn consist of other more fundamental SunView objects to form a functional unit.

4.1. Control panel

Control panel (Figure 2) consists of many buttons, choices and text items which control the behaviour of the program as a whole. These buttons are used to select the particular action:

QUIT Regular exit from the the program.

REDRAW Redraw the contents of the signal window.

SAVE STATE Selecting this button causes program state to be written to a predefined file. The program state includes the settings of toggles, file pattern, window positions and other information.

LOAD STATE This button is used to set a new program state from a previously saved state.

READ FILE New data are read from file named in text item labeled "Read data from file"

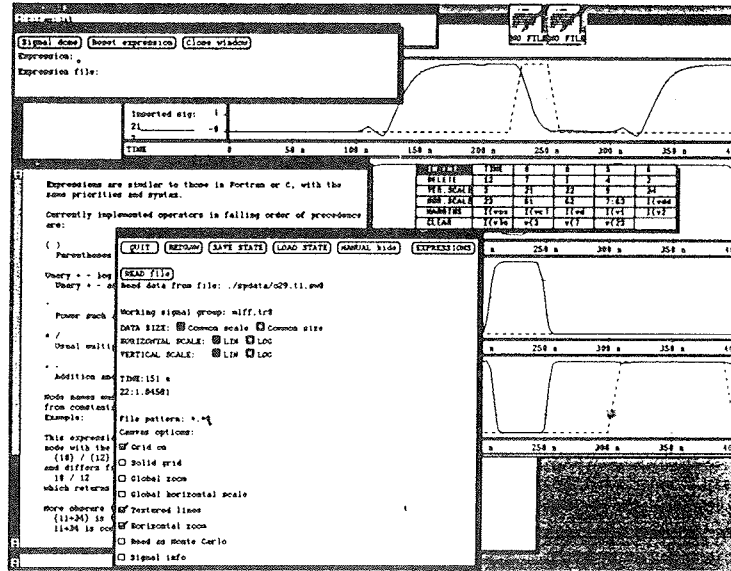


Figure 1: An example where the control panel, signal window, manual window and expression window are all open.

MANUAL popup Make manual text window visible when invisible and vice versa.

EXPRESSIONS Make expression window visible or invisible according to its current visibility.

Choices serve to select one of many options. The choices include:

DATA SIZE This choice decides whether data will be displayed with common scale or will be of the same size.

Common scale means that data in each signal canvas will be displayed according to common vertical scale and as a consequence their sizes will be proportional.

Common size denotes that each signal will be expanded from top to bottom of the signal canvas. For this reason the shapes of signals with different order of magnitude can be compared.

HORIZONTAL SCALE defines type of horizontal scale. User can select either linear or logarithmic scale.

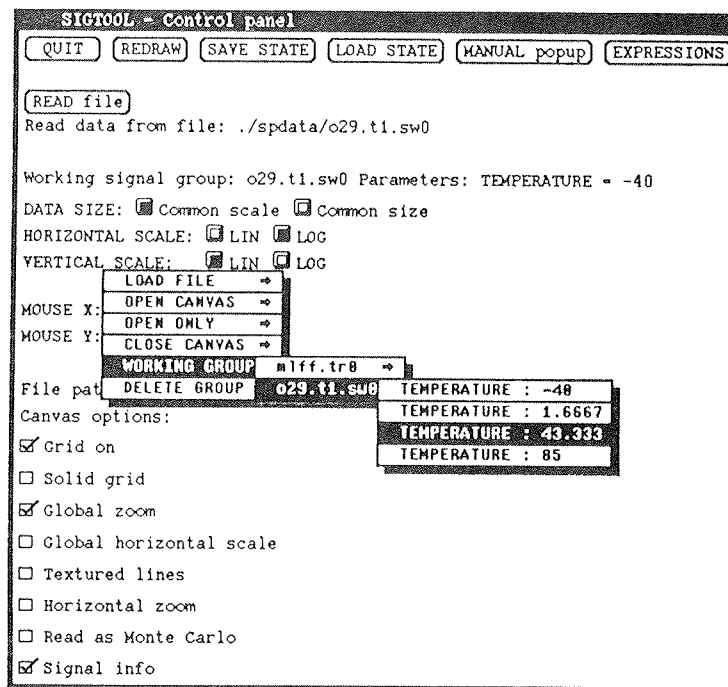


Figure 2: The control panel with its menu expanded.

VERTICAL SCALE sets vertical scale type which can also be linear or logarithmic.

Text items and messages are used to enter and display text strings:

Read data from file: This text item contains pathname of the file to be read by pressing the "READ file" button. Pathname can be entered from the keyboard or by selecting the path through a control panel menu which will be described later.

Working signal group: Because user can load many signal groups into memory, he has to decide which of these signal groups he wants to work with. He selects one of these groups via a control panel menu. The selected group is called "Working signal group". Many functions for data selection and manipulation operate on this signal group.

MOUSE X: MOUSE Y: These two items display the last cursor position in signal window. The position is interpreted according to vertical and horizontal scale.

File pattern: contains regular expression used in control panel menu for file selection. Only those files which match the regular expression are visible in the menu. Filename matching is similar to the file expansion mechanism in C-shell.

To control various parameters these toggles can be used:

Grid on toggle is used to set grid in signal canvases on.

Solid grid Default lines for grid are dotted while this flag sets their texture to solid.

Global zoom The zooming function is available in each signal canvas separately. With this toggle the zooming action in one signal canvas is effective in all canvases simultaneously.

Global horizontal scale similar to zooming function when this toggle is set, the change of horizontal scale in one signal canvas changes the scale in all canvases.

Textured lines By default all signals are drawn with solid lines. Different signals can therefore be distinguished only by their color. This is however not sufficient for black and white screens and other output devices such as laser printers. In that case the user can select this toggle for signals to be distinguished also by texture.

Horizontal zoom toggle controls the behaviour of zooming function. With this toggle set the user defines only the left and right margin of the zooming rectangle while top and bottom margins are left unchanged.

Read as Monte Carlo This option is specially designed for HSPICE data files where more analyses can be written into one file. With toggle set the file data are

read into one signal group and thus treated as a single unit.

Signal info In signal window each signal canvas includes a list of signals currently displayed. The toggle causes not only signal name but also other information to be displayed.

4.2. Menu in control panel

This menu (Figure 2) pops up when user selects right mouse button in the control panel window space. The control panel menu contains various functions concerning filename selection and signal window control.

LOAD FILE This item is at the root of the hierarchical menu which resembles the filesystem structure. The user can search for desired file either from filesystem root "/" or from current working directory ".". Because each directory can contain more files than a menu is able to display and to make it more readable, filename expansion mechanism is provided. Each menu item for one directory can represent either a regular file name or a directory name. Filenames are only visible when their name matches the file pattern from the "File pattern:" item present in the control panel. By setting this item the user can control the visibility of different file names. Directory names are always visible regardless of their names. Each directory is presented by a pullright menu item indicated by a little arrow to its right. If the user actually pulls right crossing the arrow, the contents of affected directory are displayed in a submenu. The selected pathname is copied into the "Read data from file:" text item in the control panel.

OPEN CANVAS is a pullright item where the pullright menu contains the indexes of all available signal canvases. Each signal canvas has a unique index associated to it which serves for its identification. On selection the canvas with the selected index is made visible.

OPEN ONLY item makes the selected signal canvas the only one which is open. It opens the selected signal canvas and closes all other open canvases.

CLOSE CANVAS item closes the selected signal canvas.

WORKING GROUP is used to select the working signal group which is displayed in the control panel in "Working signal group:" item. The working signal group can be chosen among signal groups currently loaded into the memory.

DELETE GROUP deletes the selected signal group from the memory.

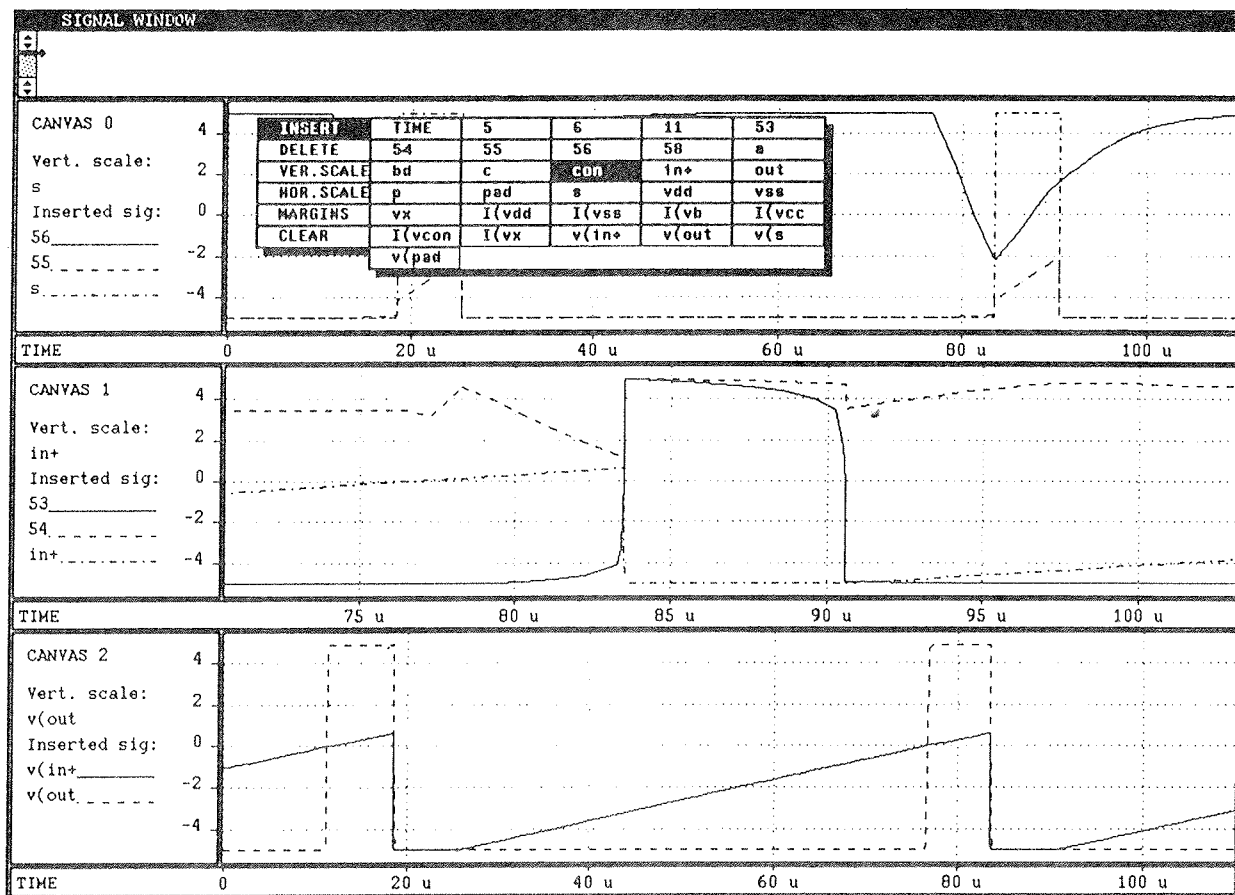


Figure 3: The signal window with three open signal canvases.

4.3. Signal window

Signal window (Figure 3) is used to graphically display data of different types. It consists of several subwindows all of which need not be visible at the same time.

The text subwindow used for comments made by the user is positioned at the top of the signal window and is always visible.

After the text subwindow one or more signal canvases with associated vertical and horizontal scales can be positioned from top to bottom. Each signal canvas has an index associated to it starting from 0. Signal canvas can be either open or closed depending on user settings from the menu in the control panel. Signal window has fixed vertical and horizontal dimensions. As a consequence of that the height of currently open signal canvases is set so that heights of open canvases are equal and that they occupy all available space. Because vertical dimensions of canvases change whenever the user opens or closes one, the contents of each canvas are scaled so that they fit the new dimensions.

In each of the signal canvases a zooming function is available. In order to zoom in, two corners of a rectangle

have to be defined. The first click of the left mouse button sets the first corner while the second click of the same button expands the rectangle to the whole signal canvas thus completing the zooming operation. In order to cancel the zooming when the left corner has already been set, the user has to press the middle mouse button. Zooming out can be done either by the menu in signal window or by selecting one of "DATA SIZE" items in the control panel.

4.4. Menu in signal window

Like the menu in the control window this menu pops up on the right mouse button pressed. It contains functions for signal selection and signal canvas control. Menu is active in signal canvases. For each canvas the menu items are dynamically set according to that canvas state.

The menu items are:

INSERT menu item has a pullright menu containing signals from working signal group. By selecting a signal it is displayed in signal canvas.

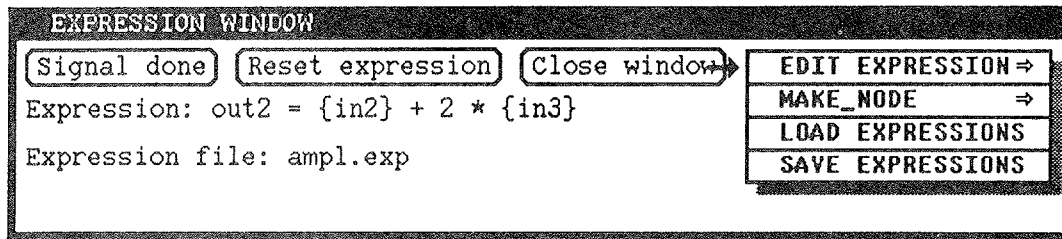


Figure 4: The expression window and associated menu.

DELETE deletes previously inserted signal from the signal canvas.

VER.SCALE The selected signal is used as a reference for the vertical scale.

HOR.SCALE The selection sets signal used as a reference for the horizontal scale. On toggle "Global horizontal scale" in the control panel set, the effect is as if the horizontal scale would have been set in all signal windows simultaneously to the selected signal.

MARGINS On this selection the margin window pops up enabling the user to set new top, bottom, left and right margins for the signal canvas. These margins are used to zoom in or out so that they overlap with the signal canvas margins. When the toggle "Global zoom" in the control panel is set, the margins are set in all signal canvases simultaneously.

CLEAR Clears the desired signal canvas by deleting all signals.

4.5. Expression window

The expression window (Figure 4) is used to construct new signals from those already belonging to some signal group. Newly constructed signals are added to the working signal group. The expression window contains the following items:

Signal done By pressing this button the user adds the signal made by the "Expression:" item into the working signal group. When any errors are detected the user is requested to make corrections.

Reset expression clears the text in the "Expression:" item.

Close window Button closes the expression window.

Expression: is the text item where the user enters the algebraic expression for the constructed signal. Syntax checking is postponed until the signal is constructed.

Expression file: text item accepts the pathname for a file where the expressions are to be saved or read from.

4.6. Menu in expression window

The menu (Figure 4) is popped up by the right mouse button. It contains items for expression control:

EDIT EXPRESSION Every signal expression that was successfully done is stored in a list. This item's pull-right menu contains all these expressions in inserting order. The selected expression is copied into the "Expression:" item where it can be edited.

MAKE NODE item is used to explicitly make a signal from the selected expression. This is useful when more than one signal has to be made from one expression.

LOAD EXPRESSIONS Loads expressions from file in "Expression file:" and appends them to those already made.

SAVE EXPRESSIONS Saves expressions into the filename found in the "Expression file:" item.

4.7. Algebraic expressions

Each signal created in the expression window is defined by an algebraic expression. The expression consists of operands, operators and parentheses for grouping with the syntax reminiscent to Fortran or C. The operators are divided into:

unary operators are unary + and -. They together with functions have the highest precedence.

operators in order of decreasing precedence are

- exponentiation(^).
- multiplication(*) and division(/).
- addition(+) and subtraction(-).

functions The precedence of functions is the same as for the unary operators. This is the complete list of available functions:

trigonometric functions – sin, cos, tan, asin, acos, atan

hyperbolic functions – sinh, cosh, tanh

square root – sqrt

exponential function – exp

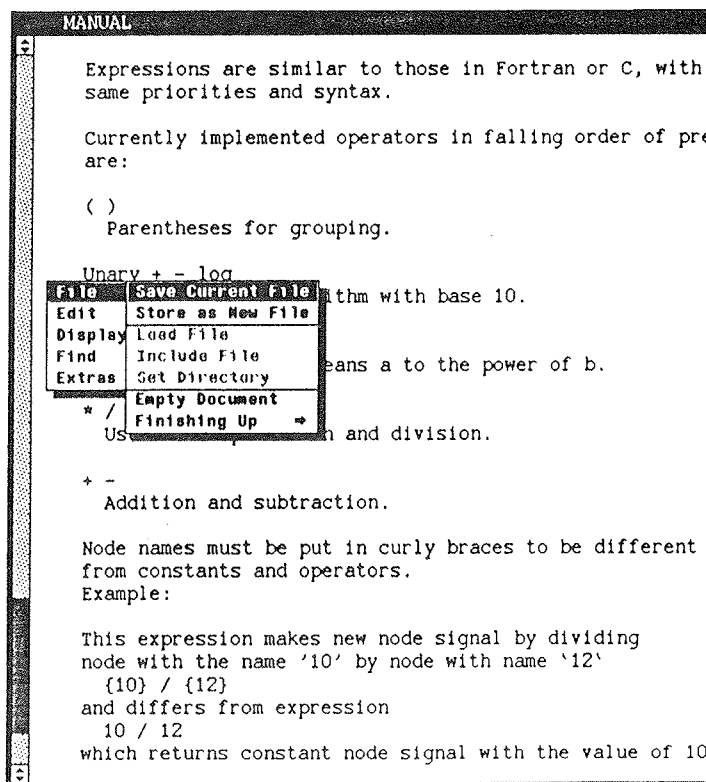


Figure 5: The manual window with its menu.

- logarithm** – log, log10, db(20 * log10(X))
- minimum of two expressions X and Y** – min(X,Y)
- maximum of two expressions X and Y** – max(X,Y)
- absolute value** – abs

Operands can be of the following types:

- constant** Constants can have any integer or real value.
- signal name** Signal name is treated similar to variables in Fortran or C since each signal really represents a set of values. Signal names must be used in curly braces to be distinguished from constants and operators.

4.8. Online manual

The online manual (Figure 5) is available in a text window which can be opened or closed at any time. The window contains a short reference guide for the entire program.

5. Conclusion

The design of a program for graphic signal display poses a number of problems. User friendly interface with simple and yet flexible display is by experience most difficult

to achieve. Using the SunView system has proved to be very effective. By combining a number of visual objects very compact user interface can be built with much less effort compared to more conventional graphic libraries. The program has been in use for several months very successfully. Most of the credit is due to its interactive operation which enables the user to concentrate attention to the data displayed rather than to the program operation. In practical use some new ideas have emerged which may be included in the subsequent releases of the program.

References

- 1.) Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: The C programming language. Prentice Hall, 1983.
- 2.) Bourne S. R.: The UNIX system. Addison Wesley Publishing Co., 1982.
- 3.) Meta-Software, Inc.: HSPICE User's Manual. Meta-Software, Inc., 1990.
- 4.) Sun Microsystems, Inc.: SunView Programmer's Guide. Sun Microsystems, Inc., 1988.

Robert Porenta, dipl. ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25, 61000 Ljubljana

Prispelo: 23.9.91 Sprejeto: 15.11.91

INFLUENCE OF THE SUBSTRATE MATERIAL ON TEMPERATURE DISTRIBUTION IN HYBRID CIRCUIT

Karmen Skakić, Boris Ojdanić

KEY WORDS: substrate material, ceramic substrates, hybrid circuits, temperature distribution, characteristic thermal length, thermal conductivity, thermal characteristics, experimental research

ABSTRACT: The present paper shows the two-dimensional temperature distribution on the hybrid circuit made on ceramic and the other material substrates.

UTJECAJ MATERIJALA SUBSTRATA NA TEMPERATURNU RASPODJELU U HIBRIDNOM KOLU

Ključne riječi: substratni materijali, keramički substrati, hibridna kola, raspodjela temperature, karakteristična termička dužina, termička prevodljivost, termičke karakteristike, eksperimentalna istraživanja

Sažetak: U radu je prikazana dvodimenzionalna raspodjela temperature u hibridnom kolu realiziranog na keramičnom i drugim substratima.

Introduction

Thermal analysis in microelectronics gained a lot of interest in recent years. One of the reason for growing importance is the high integration density of components.

The ceramic substrates used in hybrid circuits have relative high thermal conductivities and are extremely suited for power electronics. But as will be shown, an increase of thermal conductivity by a given factor will not reduce the temperature rises by the same factor.

Thermal length L is radius of heated zone around each component which act as a cooling fin. If the distance between two components is smaller than L , their temperature fields will interfere with each other.

For ceramic and glass substrates with typical parameters value:

for ceramic	$\lambda = 30 - 60 \text{ W/mK}$
	$\alpha = 5 - 10 \text{ W/m}^2\text{K}$
	$d_s = 0,5 - 1 \text{ mm}$
for glass	$\lambda = 1 \text{ W/mK}$
	$\alpha = 5 - 10 \text{ W/m}^2\text{K}$
	$d_s = 0,5 - 1 \text{ mm}$

The thermal model

It has been already shown^(1,2) for hybrid circuits that the two-dimensional temperature distribution $T(x,y)$ satisfies the equation

$$\nabla^2 T - \frac{T}{L^2} = - \frac{p(x,y)}{\lambda d_s}$$

where $L = \sqrt{\lambda d_s / 2\alpha}$ is the characteristic thermal length (m)

and λ : thermal conductivity (W/mK)
 α : convection coefficient (W/m²K)
 p : power dissipated per unit area (W/m²)
 d_s : substrate thickness (m)

we obtain: $L = 3$ to 6 cm (for ceramic) which means that large part of a substrate will act as a cooling fin. As a consequence the temperature can be influenced by changing the position of the heat sources (fig.1 and 2.).

For glass substrates, $L = 0.7$ cm which means that small area around the heat source will contribute to the removal of the heat. So another placement of the components will have a very little influence on the maximum temperature.

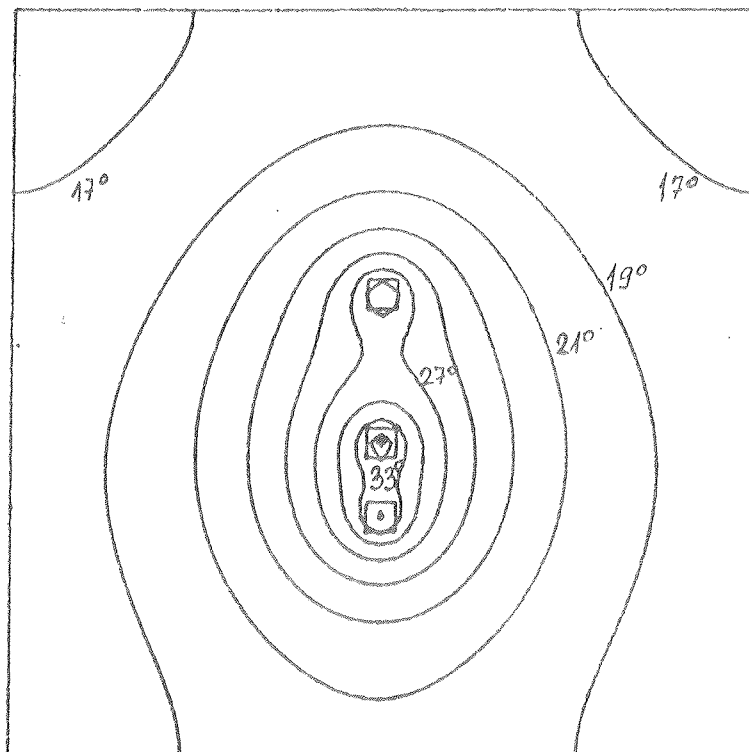
Influence of the substrate material

We made a test circuit with one heat dissipating resistor which has been simulated with program, using different substrate materials (fig. 3 to 8). Here is some data:

Note: Here we use linear thermal model

	λ (W/mK)	L(mm)
epoxy	0,16	2,2
glass	1	5
alumina (96%)	20	25
AlN	170	71
beryllia	300	95

Substrate dimension is 50x50 mm and it is clear that only a small zone (for glass and epoxy) around the heat source will be heated. It should be noted that the thermal cooling efficiency of substrates is not always proportional to the thermal conductivity λ . For Al_2O_3 a maximum temperature rise is almost $15^\circ C$ but for BeO is almost $7^\circ C$. We can observe a reduction of temperature rise of a factor 2 for an increase in thermal conductivity of $300/20=15$.

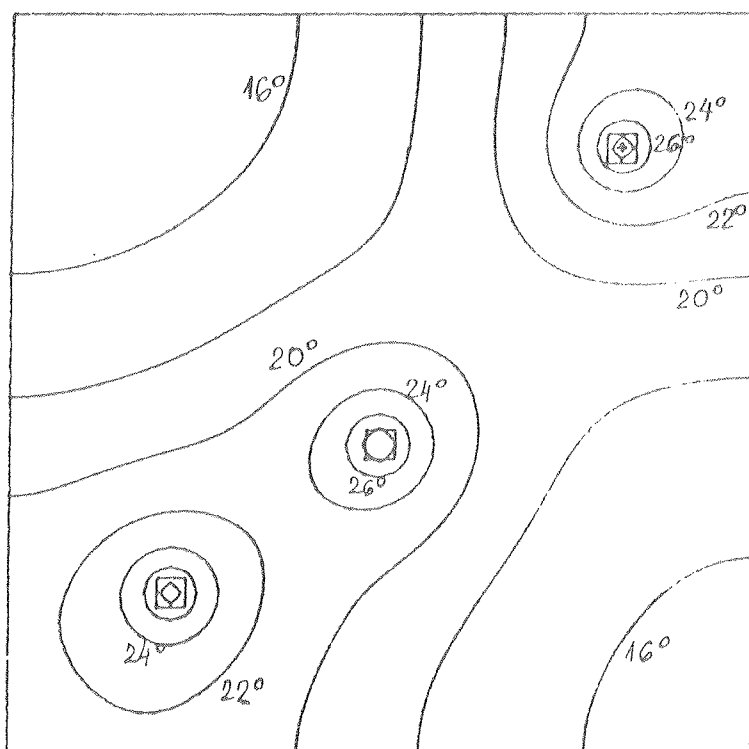


DT = 0.2000E+01
* °C

$T_{max} = 0.3497E+02$

$T_{min} = 0.1733E+02$

Fig. 1



DT = 0.2000E+01
* °C

$T_{max} = 0.3098E+02$

$T_{min} = 0.1632E+02$

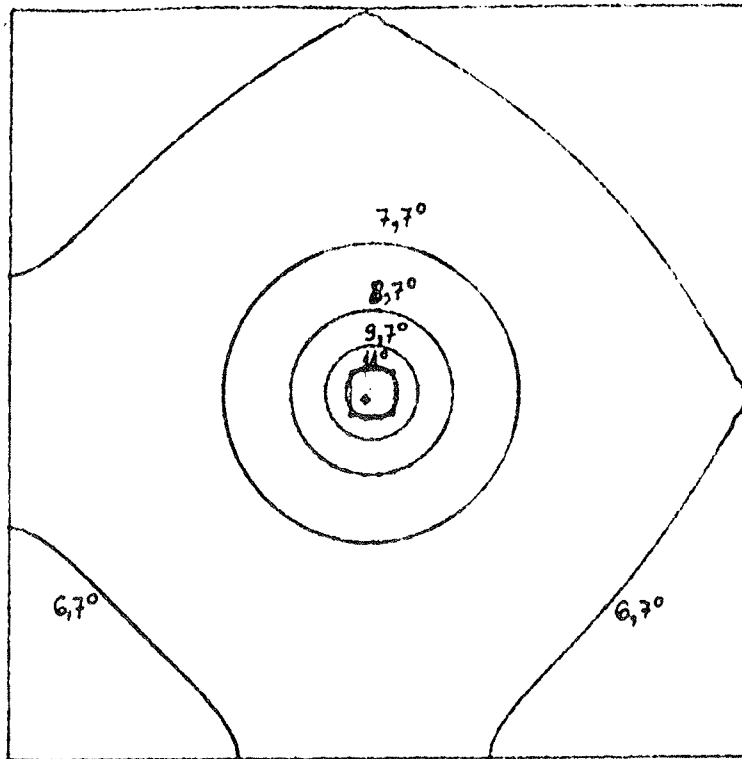
Fig. 2

Fig. 1-2: Changing the temperature distribution by changing the position of the heat sources

Also, the maximum temperature difference between AlN and BeO are negligible because the characteristic length are large in both cases.

Conclusion

Here we have shown the influence of the substrate material on the temperature distribution and that using high quality substrates is not always usefull from the thermal point of view.



$$DT = 0.1000E+01$$

ALUMINA (99%)

$$\lambda = 40 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$L = 30 \text{ mm}$$

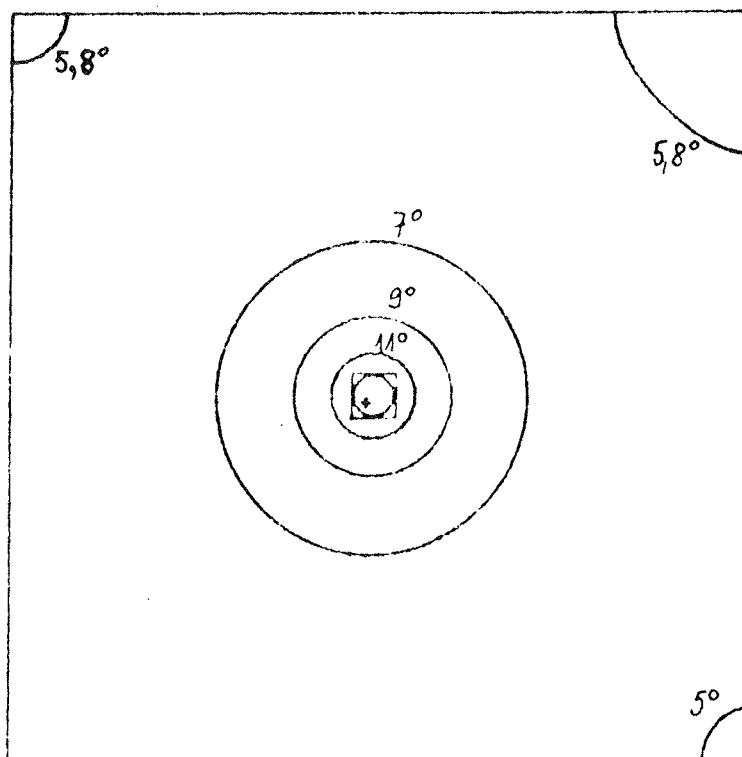
$$\alpha = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$$

* °C

$$T_{\max} = 0.1183E+02$$

$$T_{\min} = 0.6693E+01$$

Fig. 3



$$DT = 0.2000E+01$$

ALUMINA (96%)

$$\lambda = 20 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$L = 25 \text{ mm}$$

$$\alpha = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$$

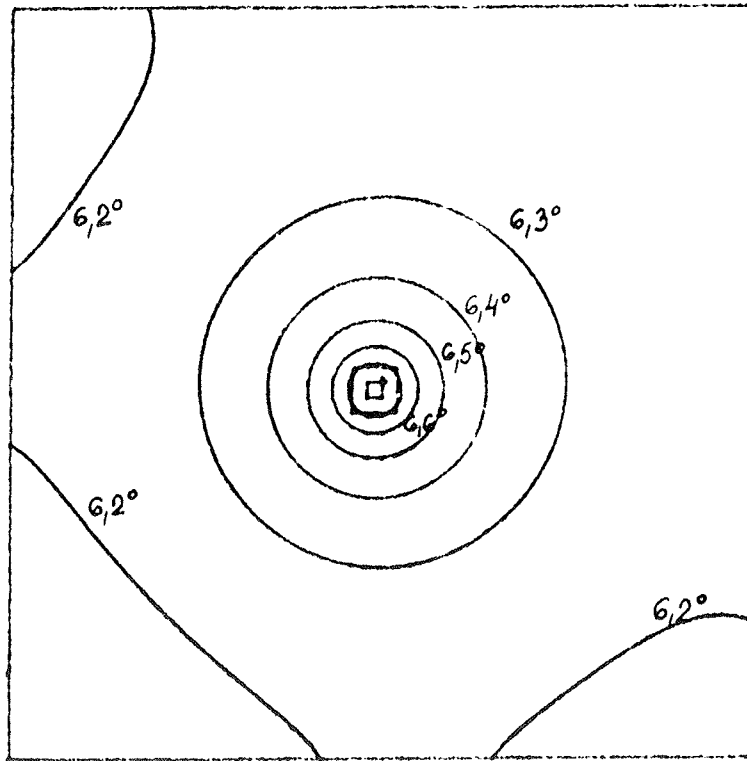
* °C

$$T_{\max} = 0.1497E+02$$

$$T_{\min} = 0.5856E+01$$

Fig. 4

Fig. 3-8: temperature distribution for one dissipated resistor ($p=1/4 \text{ W}$) on different substrates



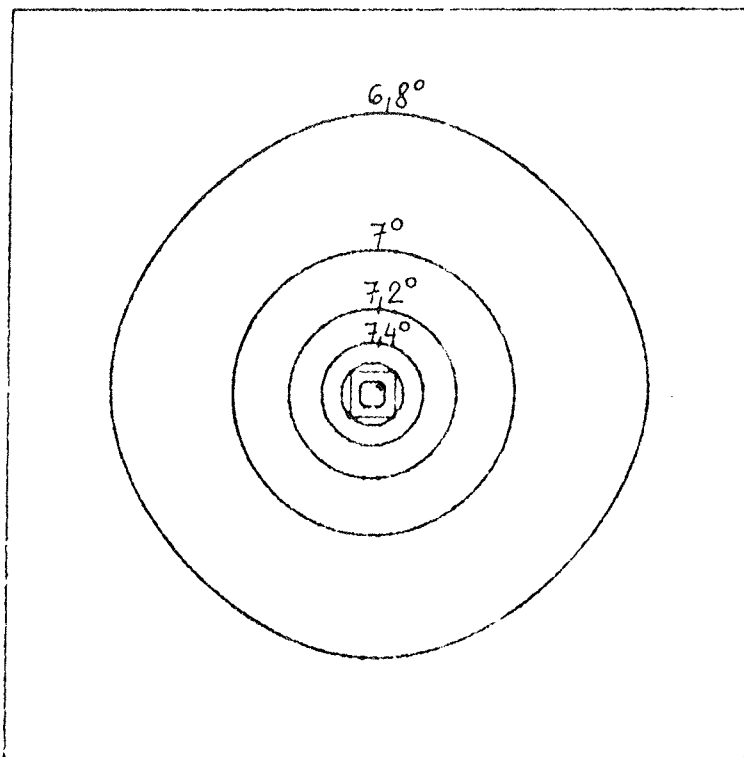
DT = 0.1000E+00

BERYLLIA
 $\lambda = 300 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 $L = 95 \text{ mm}$
 $\alpha = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$
 $^* \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{\max} = 0.6902\text{E}+01$

$T_{\min} = 0.6246\text{E}+01$

Fig. 5



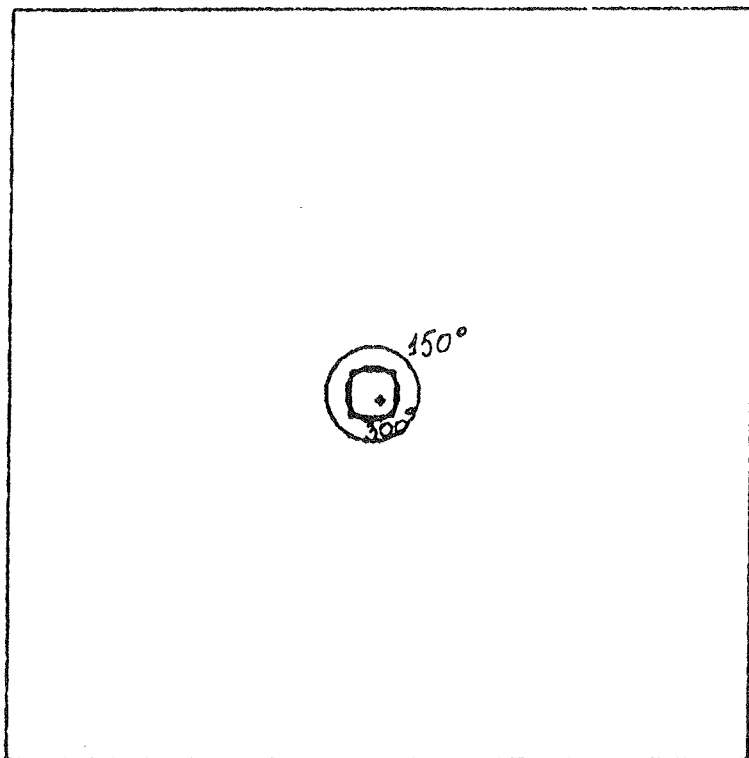
DT = 0.2000E+00

AIN
 $\lambda = 170 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 $L = 71 \text{ mm}$
 $\alpha = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$
 $^* \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{\max} = 0.8049\text{E}+01$

$T_{\min} = 0.6864\text{E}+01$

Fig. 6



DT = 0.1500E+03

EPOXY

$\lambda = 0.16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

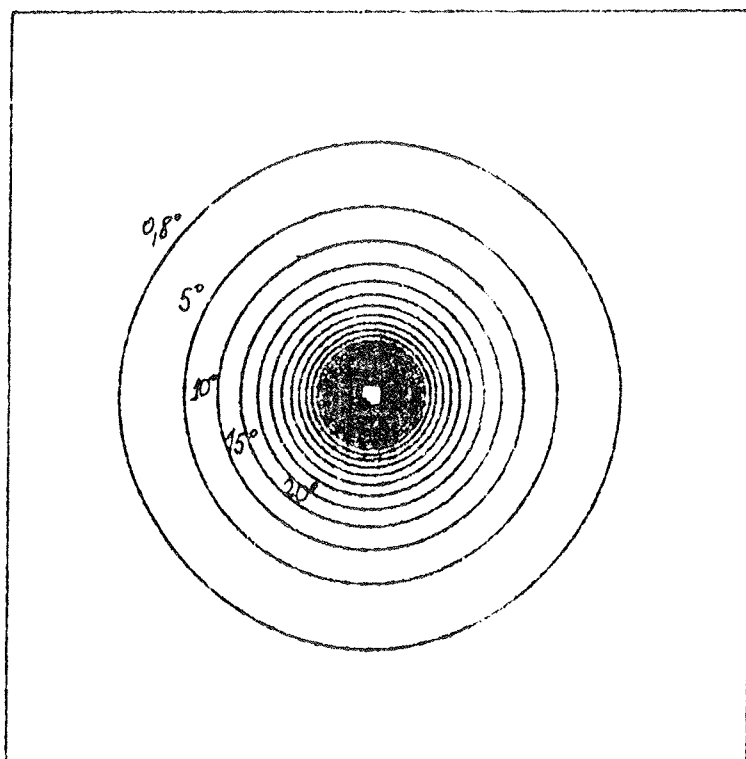
L = 2.2 mm

* °C

$T_{\max} = 0.4483\text{E}+03$

$T_{\min} = 0.3719\text{E}-03$

Fig. 7



DT = 0.5000E+01

GLASS

$\lambda = 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

L = 5 mm

* °C

$T_{\max} = 0.1293\text{E}+03$

$T_{\min} = 0.8386\text{E}+00$

Fig. 8

Literature:

1. K. Skacic, S. Sirbegović "Temperature distribution in HMC by iterative method", MIEL 1989.
2. K. Skakić, "Termičko modeliranje hibridnih mikroelektronskih kola", Magistarski rad, 1989

Karmen Skakić,
DD Medicinska elektronika,
Banja Luka

Boris Ojdanić,
Elektrotehnički fakultet,
Banja Luka

Prispelo: 10.6.91

Sprejeto: 28.10.91

UTJECAJ PRIMJENE TEHNOLOGIJE POVRŠINSKE MONTAŽE NA TISKANE PLOČE

Gorana Lipnjak, Luka Gašpar

KLJUČNE REČI: tehnologija površinske montaže, SMT, SMD, tiskane plošče, elektroničke komponente

SADRŽAJ: Sve veća primjena tehnologije površinske montaže (STM - Surface Mount Technology) postavlja velike zahtjeve na kompleksnost tiskane ploče. Razvojem komponenata za površinsku montažu (SMD - Surface Mount Devices) utječe se u velikoj mjeri na tehnologiju izrade tiskane ploče, a posebno u području povezivanja gdje novi tipovi elektroničkih komponenata i nosivih elemenata za aktivne komponente predstavljaju veliki tehnički izazov i zahtjevaju podlogu sa izuzetno uskim vodovima, malim razmacima među njima, velikim brojem slojeva, te sve većim odnosom debljina ploče / promjer rupe.

THE INFLUENCE OF SURFACE MOUNT TECHNOLOGY ON PRINTED CIRCUIT BOARDS

KEY WORDS: surface mounting technology, SMT, SMD, printed circuit boards, electronic components

ABSTRACT: Ever increasing application of Surface Mount Technology, SMT puts high requirements on Printed Circuit Board, PCB complexity. The development of components for Surface Mount Devices, SMD influences greatly the PCB manufacture technology, specially in the field of connections where new types of electronic components and chip carriers represent great technical challenge and demand a substrate with very narrow circuits, small spacings, great number of layers and high aspect ratio PCB.

UVOD

Tehnologija površinske montaže (SMT - Surface Mount Technology) sve je više prisutna u elektroničkoj industriji. Zbog svojih prednosti nalazi veliku primjenu u proizvodnji elektroničkih sklopova. Uvađanjem SMT-a utječe se u velikoj mjeri na oblik i vrstu komponenata, a promjene su znatne i na tiskanim pločama koje postaju manje, sa užim vodovima, manjim razmacima i rupama sa velikim omjerom dužina / promjer rupe (aspect ratio PCB). Ploče moraju biti dovoljno čvrste da, bez savijanja, izdrže rukovanje, vibracije, mehaničke šokove i termička naprezanja u toku procesa proizvodnje, naročito u fazi lemljenja, a i kasnije u eksploataciji.

1. PREDNOSTI TEHNOLOGIJE POVRŠINSKE MONTAŽE^{1/}

U odnosu na klasičnu tehnologiju izrade sklopova na tiskanim pločama, njene osnovne prednosti su:

1.1. Smanjenje veličine i težine sklopa

Zahvaljujući korištenju SM komponenti značajno manjih dimenzija, povećanoj gustoći vodljive šare na tiskanoj ploči, kao i mogućnosti dvostrane montaže SMD, znatno je povećana horizontalna i vertikalna gustoća pakiranja,

pa se iste funkcije mogu postići uz uštedu na prostoru od 40% (jednostrana) do 70% (dvostrana montaža).

1.2. Poboljšana funkcionalna svojstva

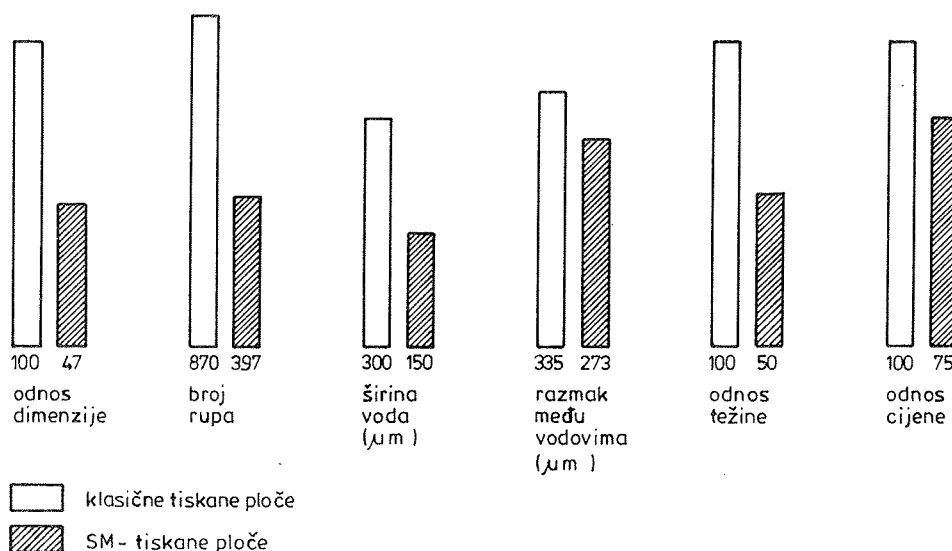
Skraćenje vodova rezultira u smanjenju nepoželjnih induktivnosti i kapacitivnosti, dok eliminacija izvoda kod pasivnih komponenata u čip formi utječe na porast pouzdanosti.

1.3. Visoko automatiziran proces proizvodnje

Zahvaljujući načinu pakiranja SM i, u usporedbi s klasičnom tehnologijom, daleko jednostavnijem postupku plasiranja komponenata na podlogu, za sastav je moguće koristiti strojeve za plasiranje velike brzine.

1.4. Ušteda na troškovima

Smanjenje potrebe za većim brojem strojeva za bušenje i klasično plasiranje značajno smanjuje investicijska ulaganja u opremu (do 30%) i prostor (do 50%), a SM sklopovi i SMD malih dimenzija potrebu za skladišnim prostorom. Visoko automatizirana proizvodnja snižuje troškove ljudskog rada.



Slika 1: Karakteristike SM-tiskanih ploča u odnosu na klasične tiskane ploče

1.5. Mogućnost hlađenja

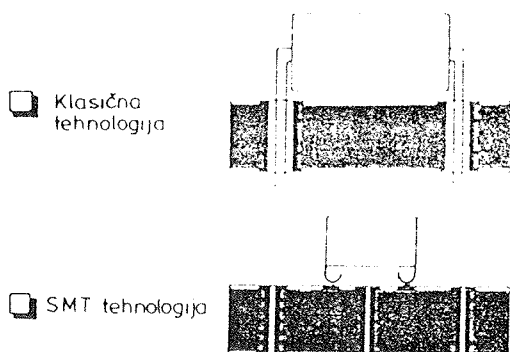
Prednost površinske montaže je kod sistema, koji zahtjevaju hlađenje, u tome da jedna strana ploče ostaje po potrebi slobodna za pričvršćenje izvoda za hlađenje povećavajući znatno mogućnosti odvođenja topline.^{12/}

2. KARAKTERISTIKE SM-TISKANIH PLOČA

Osnovne karakteristike klasične tiskane ploče u odnosu na ploču predviđenu za tehnologiju površinske montaže^{3/}, prikazane su na slici 1.

Kod tiskanih ploča predviđenih za tehnologiju površinske montaže funkcija rupe se mijenja - slika 2. Rupe više ne služe za smještaj izvoda komponenta nego za povezivanje vodova.

Zbog veće gustoće pakovanja SMT sklopova pojavljuju se i potreba za višeslojnim tiskanim pločama, gdje se vodovi povezuju pomoću prespojnih rupa ("plated through vias") pojednostavnivši smještaj vodova i kom-



Slika 2: Funkcije rupa kod različitih tehnologija

ponenata u usporedbi s dvostranom tiskanom pločom.^{4/} Nadalje, kod višeslojne ploče mnogo je lakše postići povoljne impedance nego kod dvostrane. Također, lakše se postiže zaštita linijskog signala od preslušavanja, što je posljedica mogućnosti boljeg raspoređivanja kako vanjskih tako i unutarnjih vodova za napajanje i uzemljenje.

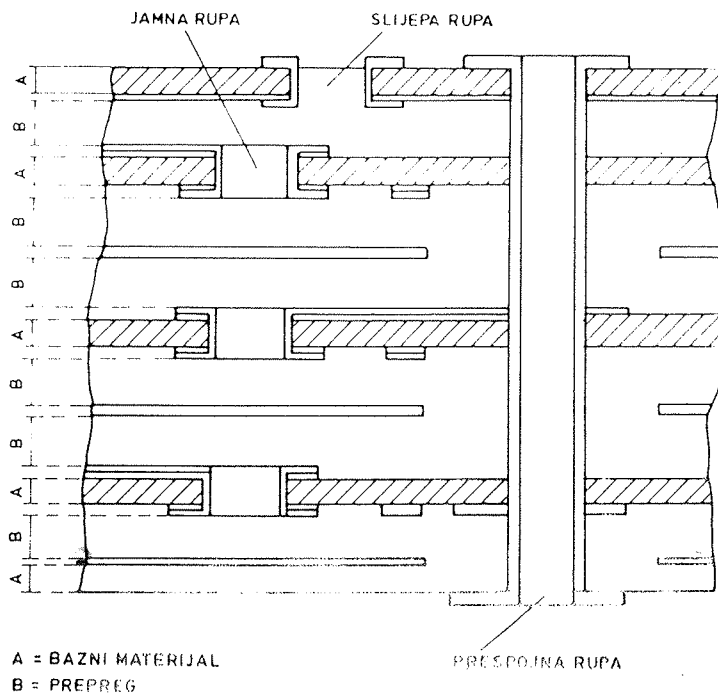
Tendencija razvoja višeslojnih tiskanih ploča od 1970. god. prikazana je na slici 3.^{5/} Prve višeslojne tiskane ploče bile su sastavljene od 4 sloja, dok je danas uobičajena izrada ploča sa 20 ili čak više slojeva. Slično je i sa gustoćom izbušenih rupa koja je 1970. godine iznosila 6 rupa sa promjerom 1 mm na 1 cm², dok danas iznosi 64 rupa sa promjerom 0,3 mm na 1 cm². Povećala se i debljina višeslojnih tiskanih ploča od 1,5 mm na 5 mm, a širina vodova se suzila od 250 μm na 80 μm .

Uobičajene pločice bušene su duž čitave tiskane ploče, tako da je površina koju zauzimaju vodovi i rupe velika. Smanjenje te površine rješava se povezivanjem slojeva koristeći tzv. "slijepu" ili "jamnu" rupe (blind and buried vias), koje mogu znatno "uštedjeti" površinu ploče - slika 4. Takve rupe ostavljaju slobodne vanjske vodove za montiranje komponenta površinske montaže na gustoću kompatibilnu onoj na hibridnim sklopovima. "Jamne rupe" povezuju dva unutarnja voda višeslojne tiskane ploče i ne povezuju se sa vanjskim vodovima, za razliku od "slijepih" rupa koje povezuju vanjske vodove sa jednim ili više unutarnjih slojeva.

Već u konstrukciji tiskanih ploča za SMT potreban je drugačiji pristup obzirom da se radi o novim pravilima geometrijskog rasporeda. U novije vrijeme koriste se CAD programski paketi, koji u potpunosti podržavaju SMT izvedbu tiskanih ploča.^{6/}

	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Broj slojeva	4	6	10	12	20	30
Izbušene rupe gustoća / cm ²	6	9	16	32	64	128
Debljina (mm) Izbušena rupa promjer	1,5 1,0 ϕ	2,0 0,8 ϕ	3,0 0,6 ϕ	4,0 0,4 ϕ	5,0 0,3 ϕ	6,0 0,15 ϕ
Širina voda (mm)	0,25	0,19	0,13	0,10	0,08	0,05
Veličina (mm)	233,5 x 160		450 x 600		600 x 600	?

Slika 3: Tendencija razvoja višeslojnih tiskanih ploča u razdoblju od 1970-1995.



Slika 4: Funkcija rupa kod višeslojne tiskane ploče

	keramika (alumina)	FR4	staklo/poliamid	staklo PTFE
dielektrična konstanta	9,5	4,8	4,5	2,3
termička vodljivost (W/mk)	26	0,18	0,35	
termička ekspanzija x-y	6	18	13	24
(ppm/°C) z	6	50-150	60	>260
apsorpcija vlage (%)	0	0,1	0,4	1

Tablica 1: Osnovna svojstva klasičnih substrata

3. ODABIR PODLOGE ZA SMT-SKLOPOVE

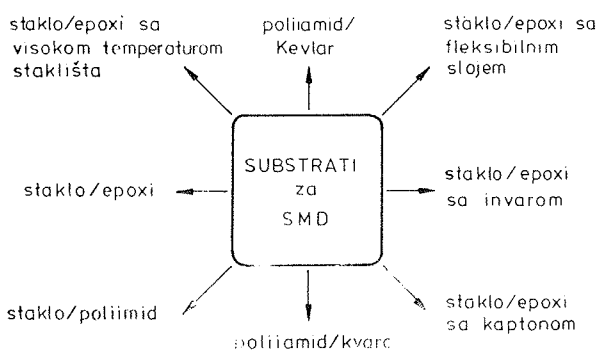
Tehnologija površinske montaže pretežno kao podlogu koristi klasične laminare tj. staklo-epoksi (FR4). Međutim, ukoliko se koriste veliki hermetički kondenzatori, te komponente sa velikim brojem izvoda (na pr. LCCC), klasični laminati, zbog relativno visokog toplinskog koeficijenta rastezanja (TCE) ne zadovoljavaju. U tom slučaju primjenjuje se keramika, koja se uglavnom koristi u debeloslojnoj hibridnoj tehnologiji.^{17/}

U tablici 1 prikazane su komparativno karakteristike keramike i ostalih klasičnih materijala.^{18/} Vidljivo je da je keramički materijal okarakteriziran velikom dielektričkom konstantom, dobrom termičkom vodljivošću i niskim termičkim koeficijentom ekspanzije, što daje dobre preduvjete za formiranje SMT-sklopova. Materijal je također izvanredno kemijski stabilan i koroziono otporan.

Osim keramike, za specijalne SM-sklopove koriste se i skupi specijalni laminati, kontroliranog niskog TCE, kao što su laminati s metalnom jezgrom i laminati kod kojih su staklena vlakna zamijenjena vlaknima kvarca, kevlar i slično, slika 5.

Kod sistema koji se zagrijavaju, potrebno je izbjeći lokalnu koncentraciju topline na tiskanoj ploči, pa se odabiru substrati sa odgovarajućom termičkom vodljivošću.

Na slici 6 prikazane su termičke vodljivosti različitih materijala, pri čemu je vidljivo da je substrat s metalnom bazom daleko najpovoljniji.^{12/}

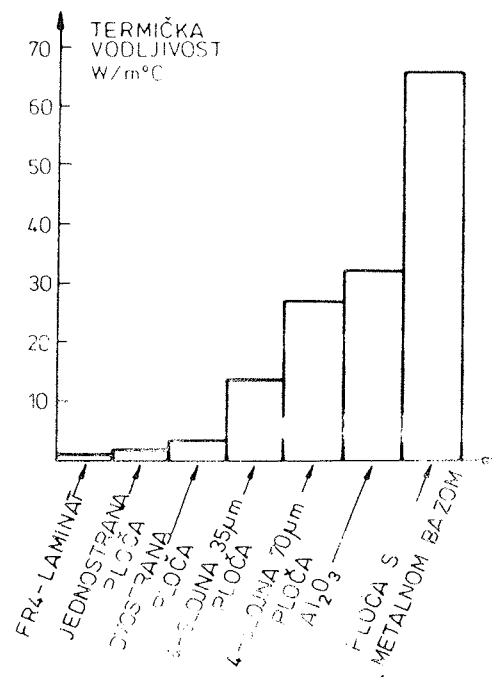


Slika 5: Substrati za SMT-sklopove

4. MEHANIČKE OBRADJE

Bušenje rupa malog promjera zahtjeva posebnu pažnju i korištenje preciznih bušilica, a posebno kod tiskanih ploča većih debljina. Za razliku od klasičnih tiskanih ploča, gdje se referentne rupe buše istovremeno s rupama za montiranje komponenata, u slučaju SM-tiskanih ploča, te se rupe buše na kraju procesa. Naime, za vrijeme mnogih faza u toku izrade, mogu se javiti deformacije u smislu skraćivanja ili ekspanzije ploče. Referentne rupe mogu se bušiti optički ili automatski. Jedan od najboljih sistema je tzv. ADAM (Adapter Drilling After Manufacture), koji automatski kompenzira pogreške i buši referentne rupe u preciznom odnosu prema šari.^{13/} U tom slučaju, nepotrebni su vrlo skupi optički sistemi na mašinama za plasiranje.

Također se mehaničke obrade brušenja i čišćenja rupa moraju provoditi uz strogo definirane uvjete rada.



Slika 6: Vrijednosti za termičke vodljivosti različitih materijala

5. PROCES METALIZACIJE

Proces metalizacije, koji se sastoji od čitavog niza obrada (čišćenje, dekapiranje, aktiviranje, kataliziranje, kemijsko bakrenje...) izuzetno je osjetljiv obzirom na dimenzije rupa. Potrebno je temeljito ukloniti zaostale čestice i krhotine na stjenkama uskih dugačkih rupa, a kod višeslojnih tiskanih ploča još i ostatke tzv. "smear"-a (ostaci polimerizirane smole, staklenih vlakana i komadića bakra). Zbog toga se gotovo svakodnevno mijenjaju i usavršavaju, kako kemijski preparati i postupci, tako i hidrodinamski uvjeti rada.^{9/}

Kod kemijskih preparata nastoji se maksimalno povećati aktivnost otopine, kako bi se i najudaljenija mjesta u rupi mogla obraditi. Najnoviji uređaji za metalizaciju konstruirani su tako da ploča prolazi horizontalno kroz uređaj, pri čemu se postiže kvalitetnija kemijska obrada i jednolika raspodjela metala u rupi i na površini tiskane ploče.^{10/} Osim toga okretanjem ploče u procesu za 90° može se automatizirati proces budući da se ploča kontinuirano kreće iz faze u fazu procesa. Automatska kontrola je jednostavnija, a rukovanje se reducira. Veličina ploče postaje irelevantne i svaka se proizvodi zasebno. Nema efekta "sredine košare", pa je kvaliteta poboljšana. Osim toga kad se ploče obrađuju horizontalno, rupe su smještene vertikalno, pa krhotine otpadaju, a plinovi izlaze van, a to znači da se i veoma male rupe mogu metalizirati, bez opasnosti od prisutnih plinova. Neke od faza procesa kombiniraju se u novim uređajima sa ultrazvukom i / ili sa sprejanjem otopina uz pojačani pritisak, pri čemu se intenziviraju procesi čišćenja, uklanjanja viška smole i metaliziranja.

Novo metode metalizacije koriste kemijski nikl umjesto kemijskog bakra.^{11/} Velika prednost tog postupka leži u činjenici da je mnogo jednostavnije tretirati otpadne vode, budući da ne sadrže kompleksante. Osim toga adhezija nikla na epoksi-smolu je odlična. Prevlaka nikla nije sklona pasivaciji, a najeda se u istim otopinama kao i bakar. Tanka prevlaka nikla inkapsulirana je između kaširanog bakra i elektrolitskog bakra, pa se tzv. "skin efekt", koji nastaje kod visokih frekvencija može zanemariti. Osim toga velik broj testova lemljivosti, koje je provoden na tiskanim pločama nije pokazao efekt isplinjavanja (outgassing).

6. ODABIR POVRŠINSKE ZAŠTITE

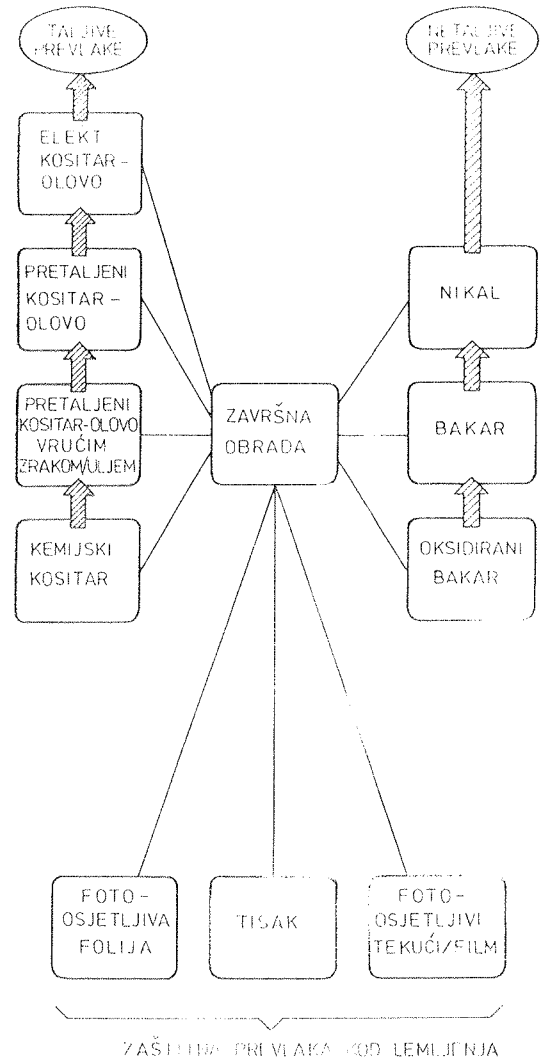
Za površinsku zaštitu tiskanih ploča primjenjenih u tehnologiji površinske montaže koriste se različite prevlake. Odabir ovisi o velikom broju faktora, uključujući u prvom redu raspoloživ proces lemljenja, vrste komponenata, vrstu redaja za plasiranje, kao i relevantne standarde. Na slici 7 su najčešće korištene taljive i netaljive prevlake, kao i vrste lemno otpornih izolacionih maski.

7. KARAKTERISTIKE METALNIH PREVLAKA

Metalne prevlake nanašaju se elektrolitski (bakar, kositar, kositar-olovo legure, nikl, zlato), kemijski (kositar) ili uranjanjem u talinu (kositar-olovo legure). U ukupnom procesu proizvodnje tiskanih ploča elektrolitsko izlučivanje bakrene prevlake zauzima značajno mjesto. Uspjeh i kvaliteta ove važne operacije ovise o razumijevanju procesa i njegovu praćenju, što zahtjeva odgovarajuću procesnu kontrolu te, na osnovu njenih rezultata, osiguranje uvjeta za mogućnost kvalitetne proizvodnje kroz duži vremenski period. Primjenjuju se najnovija saznanja iz elektrokemije i elektro kemijskog inženjersva, bazirane na ponašanju elektrokemijskog dvosloja na granici elektroda / elektrolit.

Također se velika pažnja posvećuje obliku i veličini elektrokemijskog reaktora, udaljenosti i dimenzionalnom odnosu anoda / katoda, kao i amplitudi i brzini gibanja ploča i vrsti cirkulacije elektrolita.

Depozicija metala pulsnom strujom, pri čemu se postiže ravnomjerniji sloj metala, posebno značajan za slojeve u rupi tiskane ploče, u posljednje vrijeme se sve više koristi.^{12/}



Slika 7: Vrste prevlaka kod SM-tiskanih ploča

Uvođenjem automatskog doziranja aditiva u velikim automatskim uređajima, omogućuje se kontinuirano održavanje optimalne koncentracije, smanjuje se oscilacija u koncentraciji aditiva i broj potrebnih analiza.^{13/}

Aditivi u elektrolitima za bakrenje analiziraju se metodama polarografije i cikličke voltametrije.^{13/} Na bazi karakteristika voltamograma određuju se i nečistoće organskog porijekla u samom elektrolitu i određuje se pravi trenutak za čišćenje elektrolita sa aktivnim ugljenom. Analize ostalih procesnih medija također su bazirane na modernim analitičkim metodama polarografije, spektroskopije, kromatografije, voltametrije i sl.^{14/}

Kod kompleksnih tiskanih ploča bitno svojstvo bakrene prevlake je duktilnost. Duktilne prevlake ne pucaju u stjenkama metaliziranih rupa kod termičkih naprezanja, koja nastaju u toku procesa lemljenja. Posljedica takovih naprezanja kod neduktilnih prevlaka su pojave grešaka u električnim kontaktima, koje je u većini slučajeva vrlo teško locirati. Zbog toga se kvaliteti bakrene prevlake, odnosno elektrolitu iz kojeg se bakar taloži posvećuje velika pažnja.^{16/} Parametri pod kojima elektrolit optimalno radi održavaju se u što je moguće užim granicama. Mjerenje duktilnosti same prevlake provodi se modernim instrumentima, duktilometrom i instrumentom za mjerenje unutarnjih napetosti.

Elektrolitski nanešena prevlaka kositar-olovo legure povoljna je zbog dobre lemljivosti, međutim nedostatak joj je prikriivanje ev. prisutnih prekida u vodovima i stvarne širine vodova. Takovi nedostaci mogu se ukloniti pretalivanjem ili "hot air leveling"- om.

U svakom slučaju, treba imati na umu, da je svako pretalivanje ujedno i ispitivanje otpornosti tiskane ploče na delaminaciju, kao i utvrđivanje širine i oblika vodova. Na taj način mogu se izbjeći skupa i neugodna iznenađenja kasnije u eksploataciji. Međutim, svaki proces vezan za nanašanje kositar-olovo legure povećava cijenu tiskane ploče, pa se željena obrada mora odvagati u odnosu na zahtjevanu pouzdanost i cijenu.

8. FOTO-GRAFIČKE OBRADJE

Velika gustoća pakiranja zahtjeva tiskane ploče finih vodova na malom razmaku i rupe vrlo malog promjera, te strogo pozicioniranje izolacionih slojeva jednolične debljine, sve u vrlo uskim tolerancijama.^{17/} Obzirom da su postupci sito tiska ograničeni na 250 - 300 μm, koriste se za nanošenje, kako slike vodova, tako i lemno otpornih izolacionih maski foto osjetljive folije ili tekućine.

Lemno otporne izolacione maske nanašaju se različitim načinima:

- **metoda sitotiska** - Najjeftinija metoda, kod koje se izolaciona maska nanaša sitotiskom na čitavu površinu
- **metoda "zavjese"** (curtain-coated) - Ploča prolazi kroz zavjesu tekuće lemno-otporne maske, koja se nanaša obostrano.
- **suhi film** - Obostrana laminizacija ploče s foto osjetljivom folijom.

9. LEMLJIVOST

Zahtjevi na lemljivost i dimenzionalne tolerancije lemnih mjesta na tiskanim pločama za SMT mnogo su stroži, pa se na pr. proces elektrolitske depozicije kositar-olovo legure (ukoliko je odabran ovaj način očuvanja lemljivosti lemnih mjesta, a ne inhibitorima), te naknadno pretalivanje IR zračenjem, moraju se odvijati pod strogo kontroliranim uvjetima, ili se umjesto ove dvije tehnike koristi tehnika uranjanja u talinu, praćena tzv. "hot air levelling" tehnikom.^{18/}

10. ISPITIVANJA U TOKU PROIZVODNOG PROCESA I KONTROLA KVALITETE

Zbog izuzetno visokih zahtjeva na finoću vodova i rupa tiskanih ploča za SMT, uobičajeni postupci metaliziranja, elektro-depozicije i najedanja moraju se provoditi uz dodatno nadgledanje proizvodnih procesa i uz učestalu kemijsku kontrolu elektrolita i otopina. Svaka faza procesa podređena je strogim zahtjevima kontrole, baziranim na međunarodnim standardima serije ISO 9000.

Isto tako gotove tiskane ploče podvrgavaju se čitavom nizu ispitivanja, kako vizuelnih (debljine vodova, razmaci...), tako i električkih.^{19/} Automatska optička ispitivanja (automatic optical inspection) također se primjenjuju, a u posljednje vrijeme razvijen je i sistem laserskog testiranja FLAIR (Fast Laser Inspection Rey).

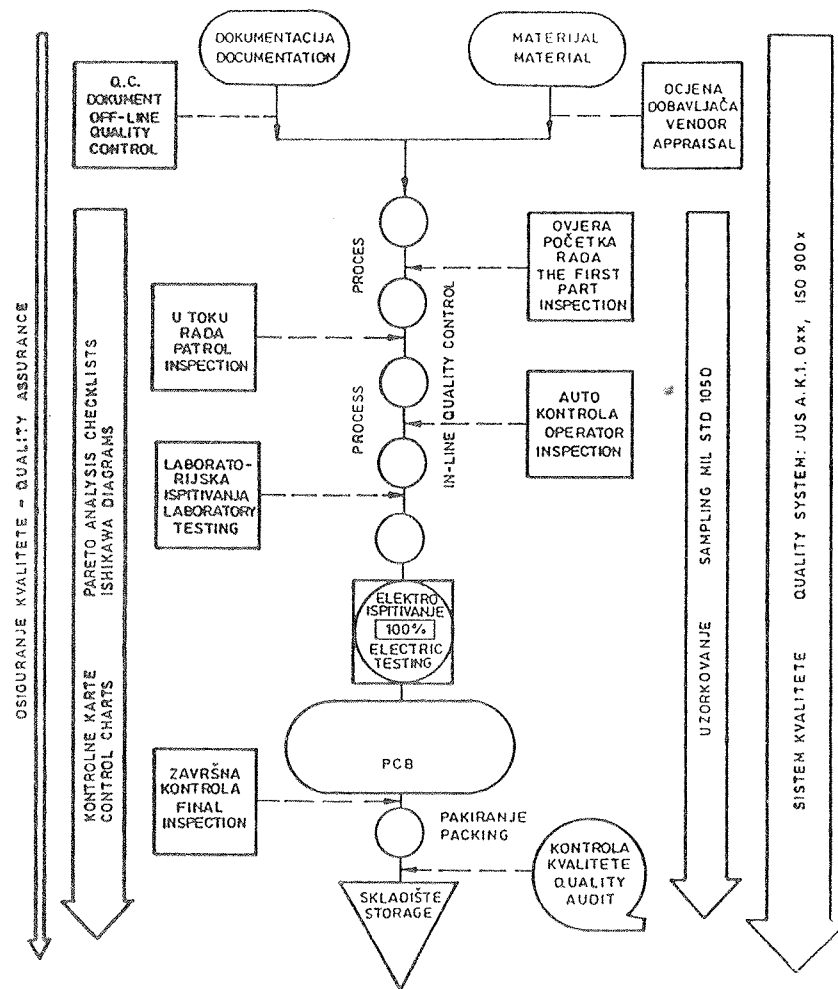
Sistem osiguranja kvalitete tiskanih ploča prikazan je na slici 8.

11. EKOLOGIJA

Bez obzira što SMT nema direktnog utjecaja na ekološke zahtjeve, treba ih spomenuti, budući da utječu na zamjenu pojedinih materijala i postupaka kod izrade tiskanih ploča i postaju jedan od osnovnih pokretača razvoja novih tehnologija. Nastoje se izbaciti otrovni štetni materijali i zamijeniti s manje opasnim, što ponekad mijenja čitav kemijski proces. Već se uspješno organska otapala i razvijači zamjenjuju s vodenim otopinama.

12. ZAKLJUČAK

Tehnologija površinske montaže zahtjeva tiskane ploče sa izuzetno uskim vodovima, malim razmacima među njima, velikim brojem slojeva, te rupama za sve većim odnosom debljina ploče / promjer rupe. Takove ploče moraju izdržati vibracije, mehaničke šokove i termička naprezanja u toku procesa proizvodnje, a i kasnije u eksploataciji. Da bi se takove tiskane ploče mogle proizvesti, primjenjuju se novi materijali, nove kemijske tehnike i nove kontrolne metode, što zahtjeva uključivanje interdisciplinarnog tima stručnjaka različitih profila.



Slika 8: Osiguranje kvalitete tiskanih ploča

LITERATURA

1. Gašpar L., "Osnovni elementi tehnologije površinskog montiranja", ITA, 7, No. 1-2 (1988)
2. Liljestrand L., "The Development of Packing Technology", Ericsson Review, No. 4 (1987)
3. Philips - tehnički podaci (1989)
4. Kreisel R., "New Process Tehnology for High Tolerance Circuit Boards", Circuit World, 14, No. 2 (1988)
5. Habicht M., "Chemische Durchmetallisierung", Galvanotechnik, 81, No. 11 (1990)
6. Hendrickson G., "Surface Mount Success: Redesigning the Process", PC Fabrication, No. 9 (1989)
7. Jackson G., "A User's Viewpoint of SMT Boards", PC Fabrication, No. 12 (1988)
8. Moran P., "Cu Plated Ceramic Technology", Electronic Production, No. 1 (1990)
9. Vogt U., "Durchmetallisierung und nasschemische Bearbeitung von Leiterplatten nach neustem tehnschen Stand", Galvanotechnik, 81, No. 7 (1990)
10. House R., "Processing PTHs Horizontally", Electronic Production, No. 11 (1990)
11. Schlötter - tehnički podaci (1990)
12. Montgomery A., "Pulse Plating of Electrolytic Cooper", Circuit World", 15, No. 2 (1989)

13. Johann K., "Chemische Lochwandreinigung", Galvanotechnik, 81, No. 9 (1990)
14. Vanhumbecck J., "Processlenhung in der Leiterplattergalvanik", Galvanotechnik, 81, No. 4 (1990)
15. Bressel B., "Moderne Analytik von sauren Kupferbädern mit CVC und HPLC", Galvanotechnik, 75, No. 11 (1984)
16. Kanani N., "Über dem Einfluss des Mikrogefüges der Durchkontaktierung auf das Termoschock - Verhalten Von Multilayer-Leiterplatten", Galvanotechnik, 82, No. 5 (1991)
17. Holby A., "Fundamentals of Screens for Electronics Screen Printing", Circuit World, 16, No. 4 (1990)
18. Fincham E., "Finish with Solderability", Circuit Manufacturing, No. 2 (1988)
19. Kear F., "Checking up on Board Quality", Circuits Manufacturing", No. 11 (1988)

Mr. Gorana Lipnjak, dipl.ing.
 Mr. Luka Gašpar, dipl.ing.
 Poduzeće "NIKOLA TESLA"
 Zagreb,
 Krapinska 45

Prispelo: 20.9.91

Sprejeto: 15.11.91

PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ

ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V EVROPI PO LETU 1992

Povabljeni referat na SD91

France Mlakar, Ljubljana

1 UVOD

Izhodišče za formiranje evropskega notranjega trga, imenovanega tudi skupni ali enotni trg, je Rimska pogodba (Treaty of Rome), ki so jo leta 1957 podpisale članice Evropskih skupnosti (ES), tj. Evropske skupnosti za premog in jeklo, Evropske gospodarske skupnosti in Evropske skupnosti za atomsko energijo in v kateri je ta ideja izražena v 100. členu. Čeprav pričakovanja v začetku zaradi določenih gospodarskih in političnih težav niso dala pričakovanih rezultatov, se ideji niso odrekli, temveč je prišlo nekako čez dve desetletji do novih akcij in sklepov. Te zadevajo zlasti tehnično regulativo, standardizacijo, preskušanje, certificiranje ipd., ki jih povzema t. im. novi pristop. Ta je omogočil tudi velik razmah pri izdelavi evropskih standardov in pri njihovem upoštevanju pri oblikovanju zahtev za notranji trg.

2. NOVI PRISTOP

Za novi pristop je značilno, da se zakonske in tehnične zahteve obravnavajo ločeno. Zakonsko se harmonizirajo bistvene varnostne zahteve, oz. druge zahteve javnega pomena. Te se urejajo s **predpisi** (regulations), **smernicami** (directives), **odločitvami** (decisions) in **priporočili** (recommendations), oz. **mnenji** (opinions), ki so v pristojnosti sveta, oz. komisije ES in se objavljajo v Uradnem listu Evropskih skupnosti (Official Journal of the European Communities), tehnične pa s standardi, ki jih izdelujejo specializirane organizacije za standardizacijo:

- Evropski komite za standardizacijo (Comite Européen de Normalisation - CEN),
- Evropski komite za elektrotehniško standardizacijo (Comite Européen de Normalisation Electrotechnique - CENELEC)
- Evropski institut za standarde v telekomunikacijah (European Telecommunications Standards Institute - ETSI).

Člani CEN, oz. CENELEC so nacionalni organi za standardizacijo, oz. nacionalni komiteji v državah ES in v državah Evropskega združenja za svobodno trgovino EFTA, člani ETSI pa pristojni organi za telekomunikacije, oz. proizvajalci v državah članicah Evropskega združenja za pošte in telekomunikacije (CEPT).

Za izdelke, izdelane ustrezno harmoniziranim standardom, velja, da ustrezajo tudi zakonskim zahtevam.

Vendar uporaba harmoniziranih standardov v ES ni obvezna. Proizvajalci imajo pravico, da jih ne upoštevajo, če lahko kako drugače dokažejo, da njihovi izdelki izpolnjujejo vse bistvene zahteve, npr. s preskusom izdelka pri tretji stranki. Obveznost se nanaša samo na to, da mora država članica prevzeti standard v nespremenjeni obliki, če je zanj glasovala.

3. PRESKUŠANJE IN CERTIFICIRANJE

Bela knjiga Evropskih skupnosti (White Paper), katere slovenski prevod je bil objavljen v Gospodarskem vestniku v številkah od 17. februarja do 28. aprila 1989, je bila objavljena leta 1985 kot temeljno besedilo velike evropske vizije o skupnem evropskem tržišču po letu 1992, omenja na področju preskušanja in certificiranja potrebo po medsebojnem priznavanju preskusov in certifikatov o ustreznosti (Certificate of Conformity) ter utrjevanju medsebojnega zaupanja pri zagotavljanju kakovosti. Tako bi se namreč lahko izognili nepotrebnim stroškom in izgubi časa, ki ga povzroča ponavljanje preskusov v laboratorijih različnih držav. Ta pobuda je kajpak zahtevala določitev skupnih pogojev in kodeksov, ki jih morajo upoštevati, tako proizvajalci, kot tudi odobreni in pooblaščen preskusni laboratoriji ter organi za certificiranje v državah članicah.

Pri tem so se pristojni organi CEN in CENELEC oprli na dosedanje delo in izkušnje ISO in zlasti IEC pa tudi na priporočila Mednarodne konference za pooblaščenje laboratorijev (International Laboratory Accreditation Conference - ILAC). Tako načelne odločitve o pooblaščenju in delu preskusnih laboratorijev v veliki meri temeljijo na vodilih ISO / IEC (glej prilogo!), celotna problematika pa je obdelana v družini standardov EN 45 000:

EN 45 001	Splošni kriteriji za delovanje preskusnih laboratorijev
EN 45 002	Splošni kriteriji za ocenjevanje preskusnih laboratorijev
EN 45 003	Splošni kriteriji za organe za pooblaščenje laboratorijev
EN 45 011	Splošni kriteriji za organe, ki certificirajo izdelke
EN 45 012	Splošni kriteriji za organe, ki certificirajo sisteme kakovosti
EN 45 013	Splošni kriteriji za organe, ki certificirajo osebe
EN 45 014	Splošni kriteriji za dobaviteljevo izjavo o ustreznosti
EN 45 019	Navodilo za specifične vidike preskušanja in certificiranja

EN 45 020 Splošni izrazi in definicije s področja standardizacije in sorodnih dejavnosti (standard je identičen 5. izdaji ISO / IEC vodila 2).

V pripravi pa sta še standarda, ki obravnavata organe, zadolžene za pooblaščenje organov za certificiranje in zadolžene za ocenjevanje organov za certificiranje.

Namen teh standardov je predvsem v tem, da se zagotovi strokovna, organizacijska in personalna ureditev organov za preskušanje in certificiranje, ki bo zagotavljala enotno preskušanje ustreznosti standardom.

Razen tega zelo sistematično zastavljenega dela na področju preskušanja in certificiranja v okviru celotne EGS so v okviru CENELEC uvedli že v zgodnjih sedemdesetih letih tri sisteme preskušanja in medsebojnega priznavanja preskusov in sicer:

- CENELEC sporazum o certificiranju (CENELEC Certification Agreement - CCA) za aparate široke rabe,
- Sporazum HAR (HAR Agreement) za nizkonapetostne vodnike in kable,
- CENELEC komite za elektronske elemente (CENELEC Electronic Components Committee - CECC), v okviru katerega deluje Komite za zagotavljanje kakovosti elektronskih elementov (Electronic Components Quality Assurance Committee - ECQAC), ki je zadolžen za nadzor preskušanja v pooblaščenih nacionalnih preskusnih laboratorijih.

Ti sistemi naj bi se z ustanovitvijo Evropske organizacija za preskušanje in certificiranje (EOTC) vključili v to organizacijo.

4. CELOVIT PRISTOP K PRESKUŠANJU IN CERTIFICIRANJU

V skladu z novim pristopom je Komisija ES leta 1989 izdelala predlog za celovit pristop k preskušanju in certificiranju, v katerem je poudarek na naslednjih elementih:

- Vloga in pomen preskušanja, certificiranja in kontrolnih organov, s tem pa tudi odgovornosti proizvajalca.
- Smoter celovitega pristopa, po katerem je mogoče ugotavljanje ustreznosti izdelkov tehničnim specifikacijam izražati na temelju predpisov, oz. zahtev tržišča. V prvem primeru določajo pogoje organi oblasti, ki to urejajo zlasti z vidika zaščite zdravja, varnosti, okolja ipd., medtem ko gre v drugem primeru za zahteve kupcev, ki se upoštevajo pri sklepanju pogodb.
- Nujni ukrepi za izvedbo celovitega pristopa, ki zadevajo vlogo evropskih standardov in kriterije za zagotavljanje tehnične pristojnosti. Zato morajo biti proizvajalci sposobni dobavljati kakovostne izdelke in izpolnjevati kriterije, ki izhajajo iz standardov serije ISO 9000, oz. EN 29 000, preskusni laboratoriji in organi za certificiranje in kontrolo pa morajo delovati v skladu s standardi serije EN 45 000, na področju kemije

in farmacije pa upoštevati tudi zahteve, ki izhajajo iz pravil dobre laboratorijske prakse (Good Laboratory Practice - GLP).

V skladu s tem so uvedli vrsto ukrepov, kot so zlasti:

- podpora ES pri razvoju struktur za preskušanje in certificiranje;
- uvedba modulnega pristopa, po katerem je ocenjevanje ustreznosti obdelano v okviru osmih modulov;
- priglašanje (notification) pristojnih organov držav članic za delo na področju preskušanja in certificiranja;
- uporaba znaka CE kot znaka ustreznosti direktivam ES, ki naj bi nadomestil nacionalne znake ustreznosti;
- medsebojno priznavanje preskusov in certifikatov;
- ustanovitev Evropske organizacije za preskušanje in certificiranje (European Organization for Testing and Certification - EOTC).

5. MODULI ZA OCENJEVANJE USTREZNOSTI

Svet ES je 13. decembra 1990 sprejel odločitev 90/683 /EEC (Uradni list Evropskih skupnosti št. L 380/13 od 31. dec. 1990), po kateri naj se postopki za ocenjevanje ustreznosti, namenjeni za uporabo v direktivah za tehnično harmoniziranje, izbirajo med osmimi moduli za različne faze postopkov ocenjevanja ustreznosti.

Modul A - Notranja kontrola proizvodnje

Modul pokriva fazo razvoja in proizvodnje. Proizvajalec izda izjavo o ustreznosti bistvenim zahtevam in označi proizvod z znakom CE. V ta namen hrani tehnično dokumentacijo, ki mora biti dostopna nacionalnim oblastnim organom. Proizvajalec mora zagotoviti vse potrebno, da proizvodni proces zagotavlja skladnost izdelanih proizvodov s tehnično dokumentacijo in z zahtevami zadevne direktive.

Modul Aa - Izvajanje modula A ob vključitvi priglašene organa

Priglašeni organ (Notified Body) preskusi proizvod glede na specifične vidike in ga pregleduje v naključno izbranih časovnih presledkih.

Modul B - Tipska preiskava

Modul se nanaša na razvojno fazo in ga mora spremljati modul za proizvodnjo. Proizvajalec predloži priglašenemu organu tehnično dokumentacijo in tip proizvoda, priglašeni organ pa oceni ustreznost proizvoda bistvenim zahtevam, po potrebi napravi vse potrebne preskuse in izda EC certifikat o ustreznosti tipa.

Modul C - Ustreznost odobrenemu tipu

Modul se nanaša le na proizvodno fazo in mora slediti izdaji certifikata o ustreznosti tipa. Proizvajalec izda izjavo o ustreznosti odobrenemu tipu in označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ pa proizvod preskusi

glede na specifične vidike in pregleduje proizvode v naključno izbranih časovnih presledkih.

Modul D - Zagotavljanje kakovosti proizvodnje

Modul se nanaša le na proizvodno fazo in mora slediti izdaji certifikata o ustreznosti tipa. Proizvajalec dela v okviru odobrenega sistema kakovosti za proizvodnjo in preskušanje v skladu z EN 29 003, izda izjavo o ustreznosti odobrenemu tipu ter označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ odobri sistem kakovosti in ga nadzoruje. Znakom CE se doda identifikacijski znak priglašenega organa, odgovornega za nadzor.

Modul E - Zagotavljanje kakovosti proizvoda

Modul se nanaša le na proizvodno fazo in mora slediti izdaji certifikata o ustreznosti tipa. Proizvajalec dela v okviru odobrenega sistema kakovosti za nadzor in preskušanje v skladu z EN 29 003, izda izjavo o ustreznosti odobrenemu tipu ali bistvenim zahtevam ter označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ odobri sistem kakovosti proizvajalca in ga nadzoruje. Znakom CE se doda identifikacijski znak priglašenega organa, odgovornega za nadzor.

Modul F - Preverjanje proizvoda

Modul se nanaša le na proizvodno fazo in mora slediti izdaji certifikata o ustreznosti tipa. Proizvajalec izda izjavo o ustreznosti odobrenemu tipu ali bistvenim zahtevam in označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ preveri ustreznost proizvoda in izda certifikat o ustreznosti. Znakom CE se doda identifikacijski znak priglašenega organa.

Modul G - Preverjanje enote

Modul se nanaša na razvojno in proizvodno fazo. V tem primeru proizvajalec v razvojni fazi predloži tehnično dokumentacijo o proizvodu, v proizvodni fazi pa predloži proizvod, izda izjavo o ustreznosti in označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ preveri ustreznost proizvoda bistvenim zahtevam in izda certifikat o ustreznosti. Znakom CE se doda identifikacijski znak priglašenega organa.

Modul H - Celovito zagotavljanje kakovosti

Modul se nanaša na razvojno in proizvodno fazo. V tem primeru proizvajalec že v razvojni fazi dela v skladu z EN 29 001 v okviru odobrenega sistema kakovosti, v proizvodni fazi pa prav tako dela v okviru odobrenega sistema kakovosti za proizvodnjo in preskušanje ter izda izjavo o ustreznosti in označi proizvod z znakom CE. Priglašeni organ pa nadzoruje sistem kakovosti. Znakom CE se doda identifikacijski znak priglašenega organa.

6. MEROSLOVNA PROBLEMATIKA

Bela knjiga meroslovne problematike sicer izrecno ne omenja, vendar to ne pomeni, da ji ne pripisuje potrebne vloge. Nasprotno! Analiza celotnega dogajanja na področju tehnične regulative, zlasti na področju preverjanja ustreznosti, preskušanja in certificiranja priča, da je obvladovanje meroslovne problematike in z njo povezanega sistematičnega preverjanja merilne in preskusne opreme ter jasnega dokumentiranja njene sledljivosti (traceability), točnosti merilnih instrumentov in merjenja nujen pogoj. Tudi zadevna vodila ISO / IEC postavljajo za vzdrževanje merilne in preskusne opreme zelo stroge zahteve, podobne zahteve pa nahajamo tudi v standardih serije ISO 9000, oz. EN 29 000. To velja za merilno in preskusno opremo tako v odobrenih, oz. pooblaščenih laboratorijih kot za opremo pri proizvodnji.

Pri tem je treba upoštevati priporočila Mednarodne organizacije za zakonsko meroslovje (Organisation Internationale de Metrologie Legale - OIML), oz. na njihovi osnovi izdelane nacionalne predpise. Pomembna pa so tudi priporočila tehniške svetovalne skupine ISO / TAG 4 - Meroslovje in Mednarodne konference za pooblaščenje laboratorijev (International Laboratory Accreditation Conference - ILAC). V zahodni Evropi pa na tem področju deluje posebna organizacija za sodelovanje na področju overjanja instrumentov (Western European Calibration Cooperation - WECC), ki ureja problematiko medsebojnega priznavanja tipskih preskusov in verifikacij merilne in preskusne opreme.

7. EVROPSKA ORGANIZACIJA ZA PRESKUŠANJE IN CERTIFICIRANJE

Evropska organizacija za preskušanje in certificiranje (European Organization for Testing and Certification - EOTC) je bila ustanovljena 25. aprila 1990 z memorandumom, ki so ga podpisale Evropska komisija, Evropsko združenje za svobodno trgovino (EFTA) ter CEN in CENELEC. Njena naloga je, da pospešuje medsebojno priznavanje preskusov, opravljenih v laboratorijih včlanjenih držav. Postopno pa naj bi prevzela v svoj okvir vse že obstoječe sisteme medsebojnega priznavanja preskusov in certifikatov, tj. na področju elektrotehnike sistem CCA, sistem HAR in CENELEC komite za elektronske elemente (CECC). Njeno delo naj bi se odvijalo zlasti v okviru specializiranih komitejev, kot so komite za kakovost, komite za certificiranje, komite za preskušanje in komite za meroslovje. Ker je pa organizacija šele začela z delom, so podrobnosti o njenem delu in nacionalnih povezavah še v obravnavi.

8. SKLEP

Sklep o oblikovanju evropskega notranjega tržišča, ki naj bi v celoti zaživel z začetkom 1993. leta je na področju zagotavljanja kakovosti omogočil rešitev vrste tehtnih vprašanj, ki so pomembna tudi za nas, da se bomo lahko vključili v evropske tokove.

Priloga

VODILA ISO / IEC S PODROČJA KAKOVOSTI, PRESKUŠANJA IN CERTIFICIRANJA

- | | |
|--|--|
| Guide 2 - General terms and their definitions concerning standardization and related activities, 5th edition, 1986 (= EN 45 020) | Guide 42 - Guidelines for a step-by-step approach to an international certification system, 1984 |
| Guide 7 - Requirements for standards suitable for product certification, 1982 | Guide 43 - Development and operation of laboratory proficiency testing, 1984 |
| Guide 16 - Code of principles on third-party certification systems and related standards, 1978 | Guide 44 - General rules for ISO or IEC international third-party certification schemes for products, 1985 |
| Guide 22 - Information on manufacturer's declaration of conformity with standards or other technical specifications, 1982 | Guide 45 - Guidelines for the presentation of test results, 1985 |
| Guide 23 - Methods of indicating conformity with standards for third-party certification systems, 1982 | Guide 48 - Guidelines for third-party assessment and registration of a supplier's Quality System, 1986 |
| Guide 25 - General requirements for the competence of calibration and testing laboratories, 1990 | Guide 49 - Guidelines for development of a Quality Manual for a testing laboratory, 1986 |
| Guide 27 - Guidelines for corrective action to be taken by a certification body in the event of misuse of its mark of conformity, 1983 | Guide 53 - An approach to the utilization of a supplier's quality system in third-party product certification, 1988 |
| Guide 28 - General rules for a model third-party certification system for products, 1982 | Guide 54 - Testing laboratory accreditation systems - General recommendations for the acceptance of accreditation bodies, 1988 |
| Guide 38 - General requirements for the acceptance of testing laboratories, 1983 | Guide 55 - Testing laboratory accreditation systems - General recommendations for operation, 1988 |
| Guide 39 - General requirements for the acceptance of inspection bodies, 1988 | Guide 56 - An approach to the review by a certification body of its own internal quality system, 1989 |
| Guide 40 - General requirements for the acceptance of certification bodies, 1983 | |

KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA

POROČILO o poteku XXVII. jugoslovanskega simpozija o elektronskih sestavnih delih in materialih SD-91

Strokovno društvo za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale - MIDEM je organiziralo letošnje SD v Portorožu 18. in 19. septembra.

Simpozij je potekal v hotelu Bernardin v nenormalnih - vojnih razmerah, ki so ga spremljale med pripravo in med samim potekom. Zato je bila udeležba skromnejša kot v preteklih letih. Udeležili so se ga le hrvaški in slovenski strokovnjaki.

Kljub težkim ekonomskim razmeram se je posameznih sekcij udeleževalo 25 - 30 strokovnjakov, ki so v treh

sekcijah poslušali tri uvodna predavanja in 25 strokovnih predavanj.

Uvodna predavanja so predstavili renomirani raziskovalci. Prof. Radomir Kužel s Karlove univerze v Pragi je predaval o problematiki pri izdelavi uporov. Predstavil je pripravo in karakterizacijo uporovnih past in plasti od klasičnih do najsodobnejših organoplastih.

Dr. A. Zalar, sodelavec IEVT nas je seznanil z uporabnostjo sprektroskopije Augerjevih elektronov (AES) za

karakterizacijo v mikroelektroniki, pri tankih plasteh in nasploh na področju elektronskih naprav.

Prof. F. Mlakar je priznan strokovnjak s področja standardizacije. Zbranim strokovnjakom je predstavil mednarodno organiziranost v IEC, IECQ in ISO 9000 ter način standardiziranja CEN in CENELEC v EGS, hkrati pa še jugoslovanske in slovenske možnosti za seznanjanje z ustrežno zakonodajo in metronomijo ter za njuno prevzemanje in uvajanje.

Vsa uvodna predavanja je poslušalstvo zelo ugodno sprejelo. V pisni obliki bodo predavanja objavljena v strokovni reviji društva MIDEM: "INFORMACIJE".

V strokovnih predavanjih so nas posamezni raziskovalci, zaposleni na znanstvenih inštitutih in v industrijskih laboratorijih seznanili s svojim raziskovalnim delom in z najnovejšimi dosežki. Ker se raziskovalci ukvarjajo s pripravo in karakterizacijo različnih materialov, uporabnih v elektroniki, z različnimi tehnikami in procesi priprave, z dizajniranjem raznih elektronskih sestavnih delov in z njihovo karakterizacijo so bila predavanja zelo raznolika. Klub temu smo jih lahko združili v posamezne tematske skupine.

Avtorji so z vrsto predavanj predstavili hibride in debelo-plastno tehnologijo, pripravo in karakterizacijo materialov za njihovo izdelavo ter izdelavo aktivnih filtrov.

Poseben sklop predavanj je obravnaval problematiko s področja tankih plasti. Raziskovalci so študirali vpiv

pogojev naprševanja na električne in mehanske lastnosti različnih plasti, spoje keramika - kovina ter izdelavo, uporabnost in karakterizacijo tankoplastnih senzorjev.

Ker zaradi vse večje avtomatizacije in računalniškega vodenja procesov naraščajo potrebe po raznovrstnih senzorjih, so raziskave raznovrstnih senzorjev zelo razširjene. Prevladujejo senzori za detekcijo temperature, vlage in kisika, ki so izdelani v raznih tehnikah.

Raziskovalci, ki se ukvarjajo z materiali za elektroniko, so predstavili nove dosežke na področju mehko in trdo magnetnih, feromagnetnih in optoelektronskih materialov in sklopov.

Del predavanj je bil posvečen zagotavljanju kakovosti in zanesljivosti sestavnih delov in integriranih vezij. Avtorji so nam predstavili tudi nujnost sodelovanja proizvajalcev elektronskih komponent z uporabniki pri vgrajevanju kakovosti v proizvodnem procesu.

Na predavanjih so se strokovnjaki raznih strok seznanili z različnimi preparativnimi in preiskovalnimi metodami ter z možnostmi uporabe specialne raziskovalne opreme, kar jim bo nedvomno koristilo pri nadaljnjem raziskovalnem delu.

Strokovno društvo MIDEM je izdalo "Zbornik referatov SD-91", v katerem so natisnjeni izvlečki uvodnih predavanj in vsa strokovna predavanja.

M. Limpel

POZIV PROTI VOJNI

Udeleženci simpozija Strokovnega društva za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale, SD91 v Portorožu v dneh 18. do 19.9.1991 pozivamo vse člane društva in širšo strokovno javnost, da povzdignejo glas proti agresiji jugoslovanske vojske, včeraj v Sloveniji, danes v Hrvatski, jutri nekje drugje.

Z raziskavami, razvojem in proizvodnjo na področju visokih tehnologij smo v veliki meri pomagali pri modernem oboroževanju naše vojske, ki sedaj z raketami z našimi čipi ruši hiše, kulturna poslopja in streže po življenju naših kolegov, nas vseh.

Tudi tisti, ki so pogojno rečeno "na drugi strani" bodo čutili posledice trenutnega brezumja. Delajo v korist svoje škode je imel običaj reči naš podpredsednik iz Beograda.

Zato recimo složno: STOP THE WAR! NE RUŠITE KAR SMO DOSLEJ SLOŽNO GRADILI!

Sudionici simpozija Stručnog društva za mikroelektroniku, elektronske sastavne dijelove i materiale, SD91 u Portorožu u dane 18. do 19.9.1991 pozivamo sve članove društva i širu stručnu javnost da podignu glas protiv agresije jugoslovanske vojske, jučer u Sloveniji, danas u Hrvatskoj, sutra negdje drugdje.

Iztraživanjima, razvojem i proizvodnjom na području visokih tehnologija u velikoj smo mjeri pomogli modernom naoružanju nekada naše vojske, koja sada raketama sa našim čipovima ruši kuće, zgrade kulturne baštine te ugrožava živote naših kolega, nas svih.

I oni, koji su uvjetno "na drugoj strani" osjetiti će posledice trenutnog bezumlja. Rađe u korist svoje štete kao što je uobičajio kazati naš podpredsednik iz Beograda.

Zato kažimo u slozi: STOP THE WAR! NE RUŠITE ŠTO SMO DOSAD SLOŽNO GRADILI!

MELECOM' 91 v Ljubljani

Mediteranske elektrotehniške konference so se začele 1981 v Tel Avivu, pred desetimi leti, kjer naj bi gostitelji vedno bili sredozemske države, udeleženci pa iz vsega sveta seveda. S tem bi bilo področje deležno kvalitetnih strokovnih srečanj pod patronatom IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - Regije 8 za Evropo, Afriko in velik del Azije.

V naslednjih letih so tovrstne konference gostile Grčija, Španija, Italija in Portugalska. Pred štirimi leti smo v Rimu kandidirali za izvedbo te konference leta 1991 v Ljubljani. Drugi kandidati so imeli sicer obetavnejše ekonomske možnosti, mi pa take priložnosti še nismo imeli. To in zaupanje v nas sta nagnila odločitev v našo korist. Vendar si nihče niti v sanjah ni mogel predstavljati v kakšen čas bo padla izvedba te konference - v maj 1991. Nikdar prej ni bilo bolj neprimerne časa za izvedbo konference, vendar tega ne morem trditi za pozneje, ko so se razmere samo še slabšale. Čeprav se konference običajno ne prirejajo za pogumne udeležence, je gotovo treba čestitati tistim, ki so le prišli in jih imenovati pogumni znanstveniki.

Udeležba v Cankarjevem domu od 22. do 24. maja je bila kljub vsemu 75 odstotna, čeprav so avtorjem domače oblasti povsod odsvetovale potovanje. To je bilo v dneh znanih mariborskih dogodkov.

Pod delovnim naslovom: "Izmenjava raziskovalnih, industrijskih in izobraževalnih izkušenj v elektriškem inženirstvu" so se zvrstila področja: Elektronika, Procesiranje signalov, Telekomunikacije, Biomedicinski inženiring, Regulacije in robotika, Računalništvo, Močnostna elektronika in izobraževanje.

Predstaviti svoje delo pred mednarodnim forumom je gotovo interes vsakega raziskovalca, saj to omogoča izmenjavo izkušenj pred prominentnimi udeleženci. Poleg tega je bilo vabljenih 11 uglednih strokovnjakov, da s svojimi referati dajo pregled na posameznih področjih in s svojimi izkušnjami seznanijo ostale udeležence konference.

Čeprav je bil program konference precej obširen pa je vsak posameznik delal v ozko specializiranem okolju po njegovi izbiri, da bi potrdil svoje delo, poslušal vabljenega predavanja in navezal kontakte na ožjem pa tudi na interdisciplinskem področju. Skupna vsem naj bi bila samo elektrotehniška atmosfera konference.

Sprejetih je bilo 371 referatov, ki jih danes najdemo na 1584 straneh zbornika v dveh delih. Šele danes, ko človek vidi vse te tone papirja, ve česar se je pravzaprav lotil. Omenil bi morda še, da so avtorji referatov iz 34 dežel, seveda pa nekateri na konferenco niso prišli.

Za MIDEM je zanimivo povedati nekaj več o programu desetih sekcij področja Elektronike: Teorija vezij in sistemov (7 člankov), Elektronski elementi in vezja (2 sekciji s po 7 članki), Mikrovalovni in akustičnovalovni ter elementi in vezja (2 sekciji s 7 in 6 članki), Sončne celice in sistemi (6 člankov), Računalniško načrtovanje (7 člankov), Testiranje in tehnologija (7 člankov), Analogna in integrirana vezja (8 člankov) in Digitalna integrirana vezja (8 člankov).

Melecom '91 smo spravili torej pod streho. Perespektive avtorjem pa priporočamo Melecom '93, ki bo v Tel Avivu, Izrael, čeprav točnega datuma še ne vem. Verjetno enkrat v pomladanskih mesecih.

B. Zajc

PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE

PREDSTAVLJAMO MIKROIKS d.o.o.

MIKROIKS d.o.o. Ljubljana je podjetje, katerega glavno področje dela je mikroelektronski inženiring, konzultacije in servis.

Ustanovitelji MIKROIKSA so osebe z dolgoletnimi mednarodnimi izkušnjami na področju mikroelektronike, polprevodnikov in polprevodniških komponent.

Sedež podjetja je v samem poslovnem centru Ljubljane, kjer izvrstne komunikacijske povezave s svetom omogočajo optimalno učinkovitost. Poleg trenutno petih stal-

no zaposlenih sodelavcev sodelujemo z večjim številom zunanjih specialistov za posamezna področja.

Asortiman ponudbe MIKROIKS obsega:

- razvoj ASIC mikroelektronskih vezij vključno z načrtovanjem, izdelavo vezij na rezini, montažo, testiranjem in logistiko,
- izdelava standardnih in ASIC mikroelektronskih vezij v različnih tehnologijah do submikronske minimalne razsežnosti z možnostjo izbire različnih proizvajalcev

- razvoj polprevodniških elementov in tehnologij načrtovalske, procesne in aplikacijske računalniške simulacije na področju polprevodnikov
- polprevodniške in mikroelektronske komponente vseh velikih svetovnih proizvajalcev po najugodnejših pogojih na tržišču
- vezja v SMT izvedbi ter debelo in tenkoplastna hibridna vezja
- izdelava testnih kartic za parametrično in funkcionalno testiranje integriranih vezij na rezini in integriranih vezij na plošči
- materiale za uporabo v mikroelektronski industriji (epoksi lepila, materiali za čiste prostore)
- tržno, tehnično in poslovno svetovanje
- usposabljanje kadrov
- opremo za proizvodne prostore in laboratorije (procesno, merilno, kontrolno, varnostno)
- inženiring in svetovanje na področju čistih prostorov
- računalniški inženiring.

Tako široko paleto proizvodov in uslug lahko nudimo predvsem na osnovi lastnega znanja, dobrega poznavanja tujih partnerjev in trdne povezanosti z našimi principalami:

Gorenje Point, Velenje (računalniki)
 SEMICON d.d., Trbovlje (tehnologija, Motorola)
 John P. Kummer AG, Zug (oprema, materiali)
 MIPOT spa, Cormons (SMT, Hibridi)

PBN Electronics, Eglharting (materiali za čiste prostore)
 SEMCOTEC, Dunaj (tehnologija, ASIC)
 AMS, Graz (ASIC, standardna vezja)

Sodelavci MIKROIKS smo pripravljene svetovati in nuditi strokovno podporo v trenutkih, ko je potrebno rešiti VAŠ problem.

Naš moto je:

**VEMO, DA VELIKO VESTE,
 VENDAR SKUPAJ VEMO VEČ !!**

Vsi izdelki in ponujene usluge so priznane svetovne kvalitete največjih in najbolj znanih proizvajalcev.

Referenčna lista dosedanjih klientov:

Belinka - Ljubljana, Delo Tiskarna - Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo - Ljubljana, Iskra Elektrozveze - Ljubljana, Iskra Mehanizmi - Lipnica, Iskra Semicon - Trbovlje, Iskra Terminali - Kranj, Institut Jožef Stefan - Ljubljana, IHTM - Beograd, Metalurški Institut - Ljubljana, MIDEM - Ljubljana, Nikola Tesla - Zagreb, Rudi Čajavec - Banja Luka, Rade Končar - Zagreb, Smelt - Ljubljana, Hospal Dasco - Medolla, Middata - Dunaj in Semcotec - Dunaj.

MIKROIKS d.o.o. TEL. (0)61- 319255 NC2111
 Titova 35 (0)61- 312898
 61000 Ljubljana (0)61- 319170
 Republika Slovenija FAX. (0)61- 319170

VESTI, OBVESTILA

TRŽIŠTE

Mikrokontroleri

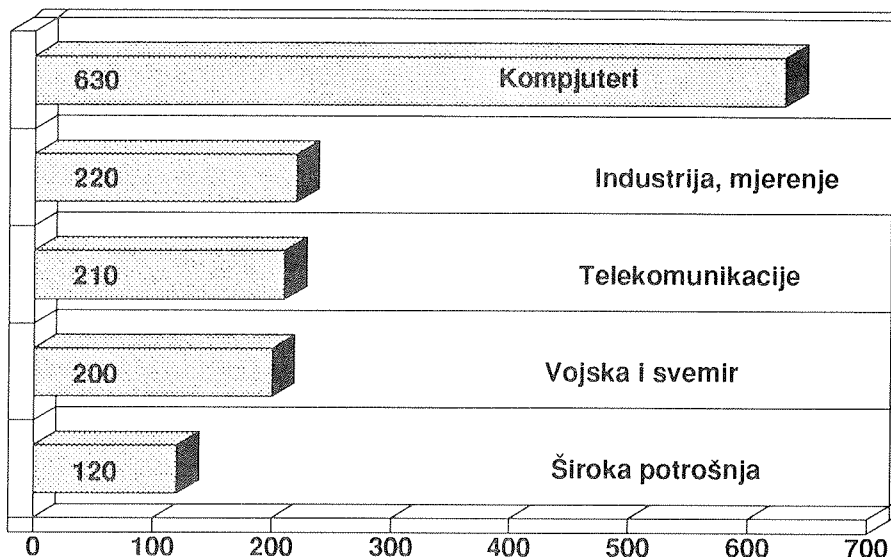
Največe tržište za 8, 16 i 32-bitne mikrokontrolere su SAD. Japan je još uvijek največe tržište za 4-bitne mikrokontrolere. Istraživači tržišta predviđaju veliki porast prodaje mikrokontrolera u slijedećim godinama. Predviđa se da će 1995. biti prodano tih komponenata u vrijednosti 8.3 milijarde US\$, dok je, usporedbe radi,

prodaja 1989. iznosila 3.3 milijarde US\$. Najveći porast prodaje ostvariti će 32-bitne komponente, 45% godišnje u razdoblju do 1995. godine. Najmanji porast prodaje ostvariti će 4-bitne komponente, svega 1.6% godišnje. Prodaja 8-bitnih komponenata rasti će 13.5%, a 16-bitnih 32.3% godišnje.

Raspodjela komponenata po tržišnim segmentima prikazana je u tablici.

	Vojska, svemir	Uredska oprema	Komunikacije	Industrija	Automobili	Široka potrošnja
1989.god.	7%	20%	18%	12%	17%	31%
1995.god.	2%	28%	14%	12%	22%	17%

SPS - Switching Power Supplies



Nezavisni proizvođači izvora za napajanje prodali su 1990. na otvorenom tržištu 1.38×10^9 \$.

Da bi zadržali korak s razvojem elektroničke opreme izvori napajanja morali su se promijeniti. Linearni izvori koji se sastoje od transformatora, ispravljača, filtera i linearnog regulatora nisu mogli ispuniti sve zahtjeve, pa su sve šire područje primjene zauzeli SPS.

razdoblju porasti udio prodaje izvora napajanja na otvorenom tržištu. To će posebno doći do izražaja kod izvora snage 150 do 500W. Razdioba SPS prema primjeni prikazana je u diagramu.

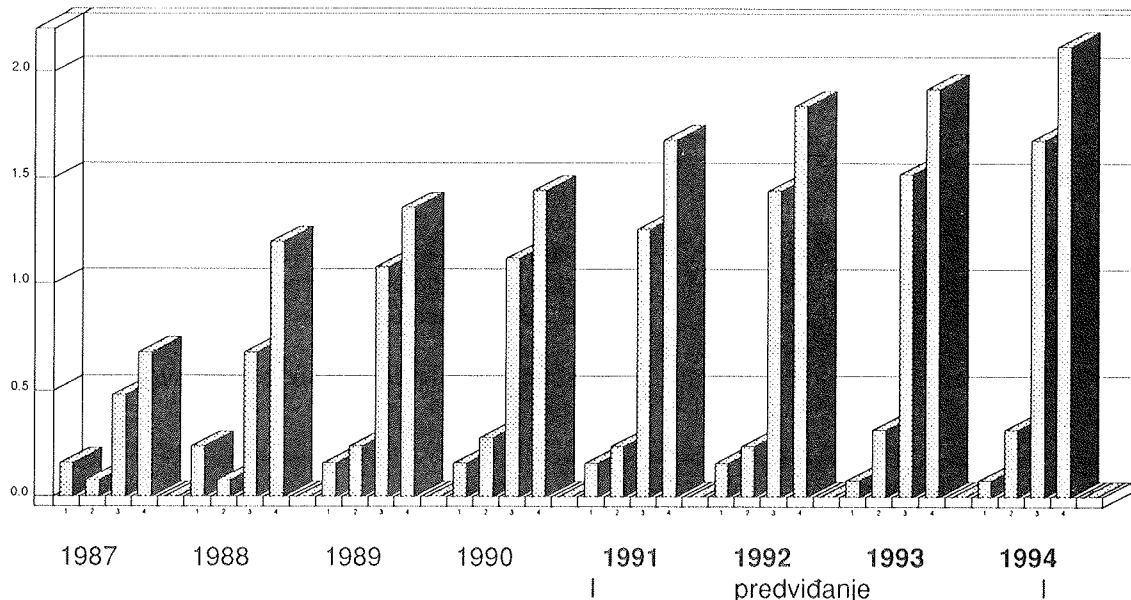
SPS su zauzimali samo 17% ukpnog tržišta izvora napajanja 1979. godine. 1989. godine zauzimali su SPS 63% tržišta, a vrijednost prodaje iznosila je 3.5 milijardi US\$. Prema istraživanju agencije Frost & Sullivan prodaja SPS dostići će 1995. godine 6.9 milijardi US\$.

Ispitna oprema za VLSI

Uređaji za ispitivanje VSLI i ULSI sklopova postaju sve kompliciraniji, kako sklopovi postaju brži, manji i gušći. Testiranje je iznosilo do 11% u ukupnoj cijeni sklopa, a danas se to penje i do 45%. Prodaja test opreme već duže vrijeme bilježi konstantan porast. Očekuje se da će se porast nastaviti i ubuduće po godišnjoj stopi između 7 i 13 % (vidi diagram).

Mnogi proizvođači opreme sami proizvode izvore napajanja. Sada se 65% potreba za izvorima napajanja osigurava vlastitom proizvodnjom, a 35% se nabavlja na otvorenom tržištu. Očekuje se da će u nadolazećem

Miliona \$



Legenda: 1 - Linearni tester, 2 - Za mješani signal 3 - Digitalni tester, 4 - Ukupno

TEHNOLOGIJA

Fiber Optic Amp Ups CATV Output 10 Times

By using an erbium-doped fiber-optic amplifier, engineers at the Research Center of Standard Elektrik Lorenz AG (SEL) of Stuttgart, Germany, boosted an analog cable-TV transmitter's output 10 fold. The output has now 20mW (or + 13dBm) compared to the 2 mW achieved for transmitters with conventional fiber optic amplifiers. The high optical output power will enable cable-TV users to share the costly optical CATV transmitter with many subscribers or remote terminals. The CATV signal used by SEL engineers encompassed 35 AM TV channels and 30 FM stereo broadcast channels in the 47-MHz to 450MHz band. Their experiental setup fulfilled the specifications of an equivalent broadband coaxial-cable system, namely a signal-to-noise ratio equal to or better than 52 dB, a composite second-order figure of -65 dB, and a composite triple-beats figure also of -65 dBc. In an earlier experient, SEL used the same type of amplifier to transmit 20-Gbit / s signals over 115-km long dispersion-shifted fiber.

Joint Agreement To Yield Video Chips

A joint venture to develop a line of next-generation video processing devices has been agreed to by Philips Components-Signetics, Sunnyvale, California, and VLSI Technology Inc. San Jose, California, and VLSI Technology Inc. San Jose, California. The devices will incorporate VLSI's design tools and Philips' desktop video expertise. The planned product line will include ASICs and application-specific standard IC building blocks. The devices will be used to manipulate and digitize video signals in desktop video applications, such as graphics design, publishing, desktop presentations, and training. Under the agreement, VLSI will use its 1.0 μm libraries and design tools while Philips will contribute its video design know-how and speciality cell library. Users will be able to process video data from various sources, including VCRs, laser disks, video cameras, and broadcast signals stored in video RAM, magnetic, or optical-storage devices. Typical feature-processing capabilities will include warping, windowing, and special effects.

Superconductive Links Under Study for ICs

Because superconductors behave similar to metal conductors but have the advantage of zero resistance, digital designers have dreamed of the benefits that super-fast circuits could reap from interconnects made from such materials. Now, thanks to a Defense Advanced Research Project Agency (Darpa) research contract, a practical study on the subject is underway. The Darpa-funded study will examine the applicability of superconducting interconnects in VLSI chips and sys-

tems. The potential rewards of using high-temperature superconductor (HTS) interconnects will be weighed by balancing performance enhancements against development costs. In addition, potential risk, such as yield degradation, will come under scrutiny. The research will also pinpoint the specific applications that can realize improvements in system timing and signal quality through use of HTS interconnects. Finally, the study will look at the superconductor-material characteristics that must be achieved to meet the low resistivity and other requirements of these applications. The Darpa contract has been awarded to Quad Design Technology Inc. Camarillo, Calif. because of its expertise in analyzing and simulating interconnections in high-speed digital design.

Rechargeable Batteries Double Energy Content

A battery chemistry formed by nickel / metal-hydrate combination promises to double the energy in the same-sized packages as nickel-cadmium (NiCd) cells. The cells are more "environmentally friendly" because they don't require the production of cadmium electrodes. As a result, they won't pollute when thrown away. Already, Toshiba Corp. Tokyo, Japan, and Sanyo Electric Co. Osaka, Japan, are manufacturing nickel / metal-hydrate cells and have started to incorporate them into portable computers and cellular telephones, where battery life is one of the primary system concerns. The new batteries will be easy to retrofit into older systems because they have similar charge and discharge characteristics to those of NiCds. The first U.S. firm with similar batteries, Gates Energy Products Inc., Gainesville, Fla., just released C-, AA-, and 7 / 5f size cells that provide 2.3, 1.1, and 2.3 ampere-hours, respectively. Prices of new cells will initially be about twice those of NiCd cells.

High-Bandwidth Laser Is Easy To Fabricate

A gallium aluminium arsenide laser aimed at volume applications as a small-signal optical transmitter boasts a modulation bandwidth of 14 GHz. Developed at the Central Research Laboratories of Siemens AG in Munich, the laser also sports high efficiency and low power consumption: At threshold currents between 10 and 15 mA, the efficiency checks in at 0.4 mW/mA and the electrical power consumption at a low 60 W for 10mW optical power. Because the laser is based on well-established semiconductor technology, it's easy to fabricate in volume. Key to the relatively high bandwidth and the other characteristics is the way the layers in the high-emitting zone are structured. This zone consists of three 7.5-nm GaAs layers separated by two 8-nm GaAlAs layers, forming so-called quantum wells. This "sandwich" is enclosed between n- and p-conducting GaAlAs layers of a semiconductor diode.

MALE IDEJE - VELIKE KORISTI

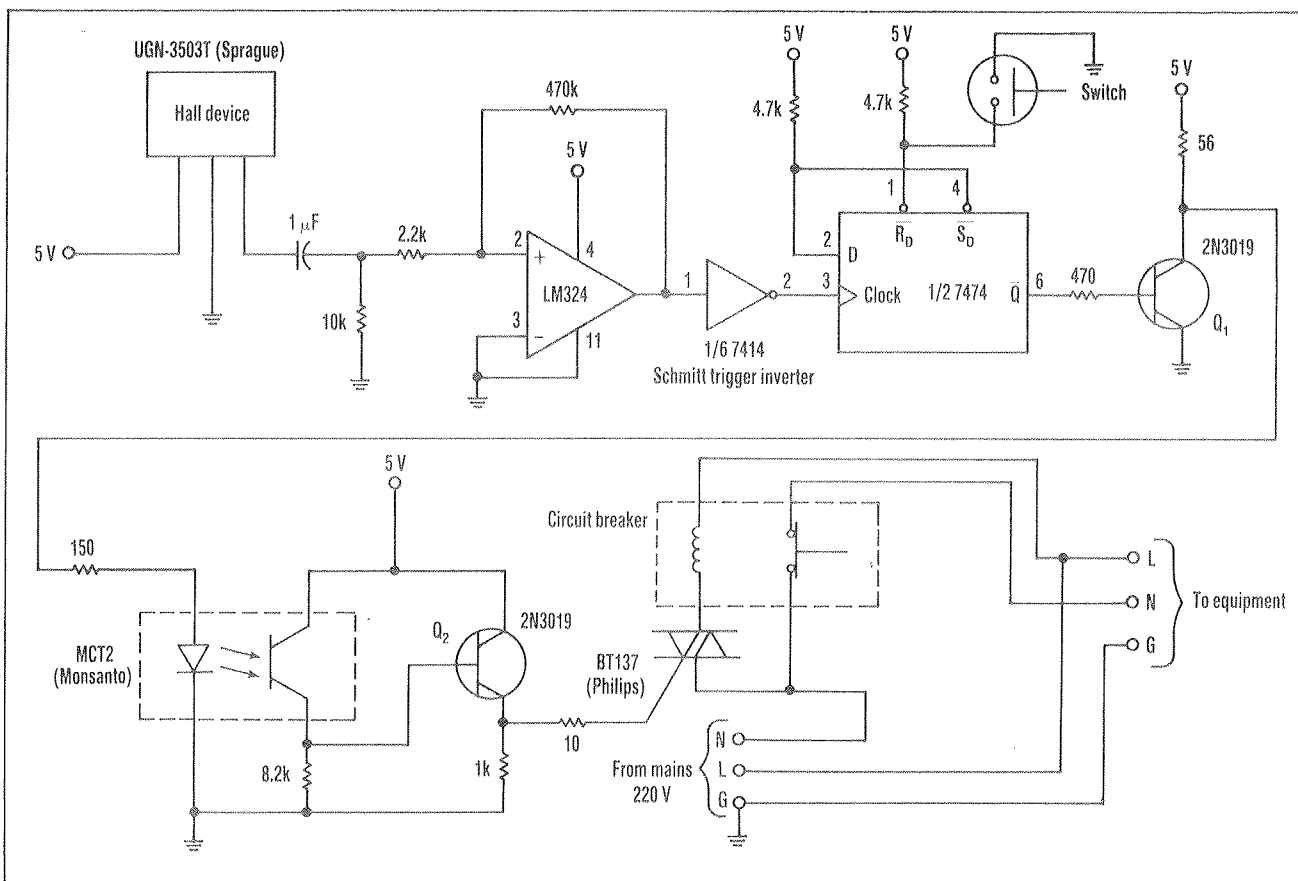
Detektiranje struje odvoda zračnoga voda

V. Lakshminarayanan iz "Centre for Development of Telematics, Sneha Complex, 71 / 1 Miller Road, Bangalore 560 052 India" objavio je jednostavan i jeftin sklop za otkrivanje grešaka na zračnim vodovima energetske niskonaponske mreže (sl.1.)

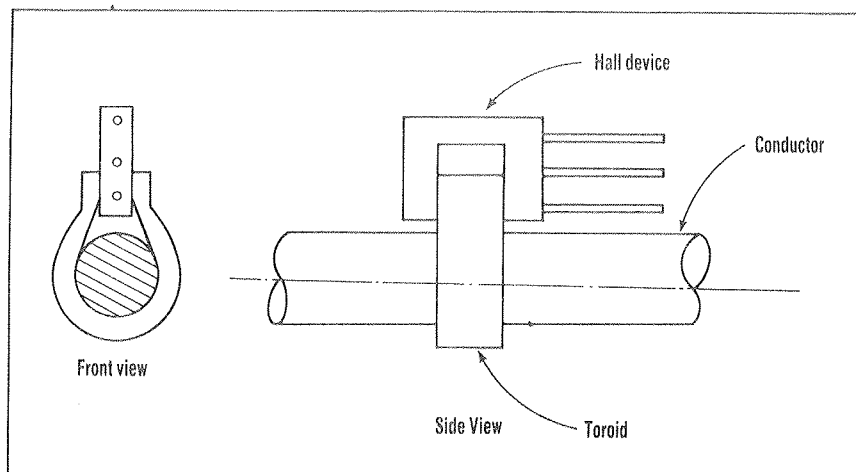
U sklopu se koristi linearni hall-efekt senzor tip UGN-3503T firme Sprague, koji može detektirati relativno male promjene magnetskoga polja oko zračnoga vo-

diča. Izlaz senzora kapacitivno je vezan na operaciono pojačalo. Izlaz iz operacionog pojačala uobličava se pomoću šmit-triger invertora.

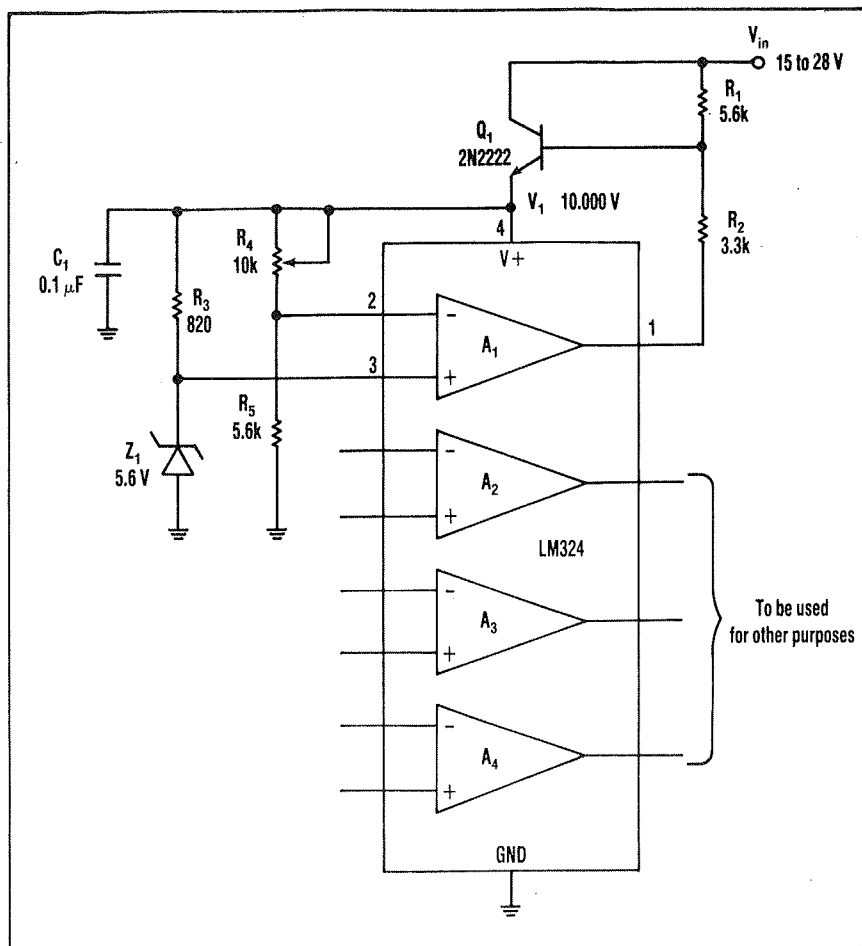
Sve dok je na vodu stanje normalno tranzistor Q_1 vodi, a tranzistor Q_2 i triac su zakočeni. Kontakt sklopnika je zatvoren i uređaj je normalno spojen na mrežu. Kada se uslijed nekoga kvara na vodu pojavi struja odvoda Hal-efekt detektor će otkriti magnetsko polje nastalo oko vodiča i prenijeti će signal na operaciono pojačalo. Kao posljedica triac će provesti i isključiti sklopnik, a time i priključeni uređaj.



Sl. 1.



Sl. 2.: Operaciono pojačalo regulira vlastito napajanje



Shema stabilizatora

Halov senzor montiran je oko vodiča na način prikazan na sl. 2. Obujmica od mekog čelika odgovarajućeg promjera obuhvaća vodič, a krajevi joj zahvaćaju srednji dio senzora.

M.S.Nagaray iz "ISRO Satellite Centre Systems Div., Airport Rd., Vimanapura P.O., Bangalore 560 017 India" objavio je zanimljiv i jednostavan sklop u kojemu 1/4 operacionoga pojačala LM324 služe kao stabilizator napona za ostale 3/4 čipa. Shema je dovoljno jasna da joj nisu potrebna dodatna objašnjenja.

LITERATURA

Prema istraživanjima "Electronic Design" časopisa najpopularnije tehničke knjige u Silicon Valley su:

ELEKTRONIKA:

1. "Semiconductor Device Modeling with Spice" koju su napisali Paolo Antogonetti i Giuseppe Massobrio. Izdavač je McGraw Hill 1988. Cijena je 29.95 \$.
2. "Printed Circuits Handbook", treće izdanje, napisao Clyde Cooms, a izdao McGraw Hill 1988. Cijena je 64.95 \$.
3. "Antennas", drugo izdanje, napisao John Kraun, izdao McGraw Hill 1988. Cijena 65.75 \$.

4. "Discrete Time-Signal Processing", koju su napisali Alan Openheim i Ronald Schafer, a izdavač je Prentice Hall 1989. Cijena je 56 \$.
5. "Noise reduction Techniques in Electronic Systems", drugo izdanje. Knjigu je napisao Henry W.Ott, a izdavač je John Wiley&Sons. Knjiga je tiskana 1988. Cijena je 47.95 \$.

KOMPJUTERSKE ZNANOSTI

1. "Resedit Complete", napisao Peter Alley. Izdao Addison-Wesley 1991. Cijena je 29.95 \$.
2. "Programming Windows", drugo izdanje. Napisao Charles Petzolt. Izdao Microsoft press 1990. Cijena je 29.95 \$.
3. "C+ +Primer". Pisac je Stanley Lippman, a izdavač je / Addison-Wesley 1989. Cijena je 31.50 \$.
4. "Annotated C+ +Reference Manal". Pisci su Margaret Ellis i Bjarne Strostrup, a izdavač je Addison-Wesley 1990. Cijena je 31.50 \$.
5. "The Mac is a not Typewriter". Pisac je Robin Williams, a izdavač Peachipt Press 1990. Cijena je 9.95 \$.

Prikupio i uredio:
Miroslav Turina

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 pripravljene 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 AVTORIMA

Informacije MIDEM je znanstveno-strokovno-društvena publikacija Strokovnega društva za mikroelektroniko, 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 (3Key Words) i sažetak na engleskom jeziku (Abstract).
- 5. Uvod, glavni dio, zaključni dio, zahvale, dodaci i literatura.
- 6. Imena i prezimena autora, titule i naslovi institucija u kojima su zaposleni.

Ostale opšte upute

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

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

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

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

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

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
4.5.16	<ul style="list-style-type: none"> ● materijali za prilagođenje indeksa prelamanja ● materijal za prilagođenje indeksa loma ● материјали за приспособување на индексот на прекршување ● snovi za prilagoditev lomnih količnikov 	<ul style="list-style-type: none"> ● index matching materials 	<p>Snovi, ki se uporabljajo pri sklopljanju optičnih komponent za zmanjšanje izgub.</p>
4.6	<p>Disperzija</p>		
4.6.1	<ul style="list-style-type: none"> ● disperzija ● raspršenje ● дисперзија ● disperzija 	<ul style="list-style-type: none"> ● dispersion 	<p>Izraz, ki se uporablja za označevanje frekvenčne odvisnosti kakega niza parametrov. Na primer: Izraz se uporablja za označevanje postopka, pri katerem se elektromagnetni signal popači zato, ker imajo različne frekvenčne komponente signala različne konstante razširjanja. Uporablja se tudi za označevanje zveze med lomnim količnikom in frekvenco (ali valovno dolžino).</p>
4.6.2	<ul style="list-style-type: none"> ● disperzija u materijalu; hromatska disperzija ● kromatsko raspršenje; raspršenje u materijalu ● материјална дисперзија; хроматска дисперзија ● kromatska disperzija 	<ul style="list-style-type: none"> ● material dispersion 	<p>Komponenta razširjanja impulzov (ali komponenta zoževanja prepusnega pasu), ki nastane v snovi vlakna zaradi spremembe razširjanja v odvisnosti od frekvence (valovne dolžine).</p>
4.6.3	<ul style="list-style-type: none"> ● multimodna disperzija; intermodna disperzija; disperzija modova ● višerodno raspršenje; medurodno raspršenje; raspršenje modova ● мултимодна дисперзија; интермодна дисперзија ● rodovna disperzija 	<ul style="list-style-type: none"> ● multimode dispersion; intermode dispersion; modal dispersion 	<p>Komponenta razširitve impulza (ali komponenta zožitve prepustnega pasu) zaradi razlike v hitrosti razširjanja pri posameznih rodovih v vlaknu.</p>

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
4.6.4	<ul style="list-style-type: none"> • disperzija talasovoda • valovodno raspršenje • брановодна дисперзија; профилна дисперзија • valovodna disperzija 	<ul style="list-style-type: none"> • waveguide dispersion; profile dispersion 	<p>Del celotne disperzije, ki nastane zaradi spremembe profila vzdolž vlakna.</p> <p>Opomba: Dimenzije valovodov, izražene kot zmnožek valovne dolžine, so funkcije frekvence.</p>
4.6.5	<ul style="list-style-type: none"> • intramodna disperzija • међумодно распршенје, unutarmodno raspršenje • интрамодна дисперзија • medmodovna disperzija 	<ul style="list-style-type: none"> • intramodal dispersion 	<p>Komponenta razširitve impulza, ki jo povzroči v enem rodu kromatska disperzija in valovodna disperzija.</p>
4.6.6	<ul style="list-style-type: none"> • jednačine disperzije • једнадбје распршенја • равенки на дисперзијата • enačbe disperzije 	<ul style="list-style-type: none"> • dispersion equations 	<p>Enačbe, ki povezujejo lomni količnik z valovno dolžino tako, da se da interpolirati in morda celo ekstrapolirati z dovoljivo točnostjo, da bi se dobila najtočnejša vrednost za $dn/d\lambda$.</p> <p style="text-align: center;">$dn/d\lambda$.</p> <p>Hartmannova enačba je:</p> $n = n_0 + [C/(\lambda - \lambda_0)]$ <p>Cauchyjeva enačba je:</p> $n = A (B/\lambda^2) + (C/\lambda^4)$ <p>Sellmeierjeva enačba je najbolj zapletena:</p> $n = 1 + [A_0 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - \lambda_0^2)]$ <p>Razširjena Sellmeierjeva enačba, ki se uporablja, da obseže več pod-</p>

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
			<p>ročij vpijanja, je:</p> $n^2 = 1 + \sum_{i=0}^m \frac{A_i \lambda_i^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2}$ <p>Končno še Helmholtzov obrazec, ki vključuje dodatni člen $B_i / (\lambda^2 - \lambda_i^2)$, se more uporabljati tudi v področju vpijanja. Navadno se nekateri členi vsote zamenjajo s konstanto. V praksi se pogosto uporablja ena izmed gornjih enačb in tedaj se za točno prilagoditev uporabi npr. postopek najmanjših kvadratov.</p>
4.6.7	<ul style="list-style-type: none"> • omejitve uslova disperzije • omejitve zaradi disperzije • ограничение скорости дисперсии • mejna disperzija 	—	<p>Omejitev delovanja, če disperzija impulza prej kot njegovo slabje nje omejuje razdaljo med regeneracijo, pri katerih se še more odločiti o tem, ali impulz obstoji ali ne.</p>
4.7	Šum		
4.7.1	<ul style="list-style-type: none"> • kvantni šum • kvantni шум • квантен шум • kvantni шум 	• quantum noise	<p>Lastni šum v optičnem signalu. Glej zrnati šum (t. 4.7.2).</p>
4.7.2	<ul style="list-style-type: none"> • šum sačme; efekat sačme • šum саҷме • саҷмов шум • zrnati šum 	• shot noise	<p>To je šum kvadrata toka (v A^2) ali močnostni šum (v W). Posledica je tokovnega valovanja (fluktacije) zaradi diskretne narave nosilcev elektrone in naključnostne naprave pri emisiji naelektrenih delcev iz emitorja.</p> <p>Povprečni zrnati šum kvadrata toka je enak: $2qIB$, kjer je:</p> <p>B — prepustni pas, I — povprečna vrednost foto toka, q — naelektrenje elektrona.</p>

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
			Izraz „kvantni šum“ se pogosto uporablja za zrnati šum, ki ga izzove izključno optični signal.
4.7.3	<ul style="list-style-type: none"> • kvantno omejitvenje uslova rada • kvantno omejitvenje u radu • квантно ограничено работенње • kvantna omejitvenje delovanja 	<ul style="list-style-type: none"> • quantum limited operation 	Delovni pogoji, pri katerih je najmanjši detektirani signal omejen z zrnatim šumom signala.
4.7.4	<ul style="list-style-type: none"> • omejitvenje uslova rada termičkim šumom • omejitvenje u radu zbog toplinskog šuma • работенње ограничено со термичкиот шум • s termičnim šumom omejitvenje delovanje 	<ul style="list-style-type: none"> • thermal noise limited operation 	Delovni pogoji, pri katerih je najmanjši detektirani signal omejen s termičnim šumom detektorja, z upornostjo obremenitve in s šumom ojačevalnika.
4.7.5	<ul style="list-style-type: none"> • omejitvenje uslova rada šumom detektora • rad omejitvenje šumom detektora • работенње ограничено со шумот на детекторот • z detektorskim šumom omejitvenje delovanje 	<ul style="list-style-type: none"> • detektor noise limited operation 	Delovni pogoji, pri katerih amplituda impulza omejitvenje razdaljo med regeneratorji prej kot njegova širina. Pri teh delovnih pogojih so izgube zadostne, da zmanjšajo amplitudo impulzov na vrednost, ki ne dopušča možnost za odločitev, ali impulz obstoji ali ne.
4.7.6	<ul style="list-style-type: none"> • ekvivalentna snaga • ekvivalentna snaga šuma • эквивалентна моќност на шумот • ekvivalentna moč šuma 	<ul style="list-style-type: none"> • noise equivalent power 	Povprečna kvadratna vrednost sevalne moči, ki je nujno potrebna, da je povprečna kvadratna vrednost razmerja med signalom in šumom enaka ena.