

INFORMACIJE

MIDEM

2 • 1995

Strokovno društvo za mikroelektroniko
elektronske sestavne dele in materiale

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

INFORMACIJE MIDEM, LETNIK 25, ŠT. 2(74), LJUBLJANA, junij 1995



ELEKTRONIKA VELENJE
gorenje  körting **EUROPA**

INFORMACIJE MIDEM	LETNIK 25, ŠT. 2(74), LJUBLJANA,	JUNIJ 1995
INFORMACIJE MIDEM	GODINA 25, BR. 2(74), LJUBLJANA,	JUN 1995
INFORMACIJE MIDEM	VOLUME 25, NO. 2(74), LJUBLJANA,	JUNE 1995

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

mag. Iztok Šorli, dipl.ing.,
MIKROIKS d.o.o., Ljubljana

Tehnični urednik
Tehnički urednik
Executive Editor

mag. Iztok Šorli, dipl. ing.

Uredniški odbor
Redakcioni odbor
Executive Editorial Board

Doc. dr. Rudi Babič, dipl.ing., Tehniška fakulteta Maribor
Dr. Rudi Ročak, dipl.ing., MIKROIKS d.o.o., Ljubljana
mag. Milan Slokan, dipl.ing., MIDEM, Ljubljana
Zlatko Bele, dipl.ing., MIKROIKS d.o.o., Ljubljana
Miroslav Turina, dipl.ing., Zagreb
mag. Meta Limpel, dipl.ing., MIDEM, Ljubljana
Miloš Kogovšek, dipl.ing., Iskra INDOK d.o.o., Ljubljana

Časopisni svet
Izdavački svet

Prof. dr. Slavko Amon, dipl.ing., Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,
Ljubljana, PREDSEDNİK

International Advisory Board

Prof. dr. Cor Claeys, IMEC, Leuven
Dr. Jean-Marie Haussonne, C.N.E.T. Centre LAB, Lannion
Dr. Marko Hrovat, dipl.ing., Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
Prof. dr. Zvonko Fazarinc, dipl.ing., CIS, Stanford University, Stanford, USA
Dr. Marija Kosec, dipl.ing., Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
Prof. dr. Drago Kolar, dipl.ing., Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
RNDr. DrSc. Radomir Kužel, Charles University, Prague
Dr. Giorgio Randone, ITALTEL S.I.T. spa, Milano
Prof. dr. Stane Pejovnik, dipl.ing., Kemijski inštitut Boris Kidrič, Ljubljana
Dr. Wolfgang Pribyl, SIEMENS EZM, Villach, Österreich
Dr. Giovanni Soncini, University of Trento, Trento
Prof. dr. Janez Trontelj, dipl.ing., Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,
Ljubljana
Dr. Anton Zalar, dipl.ing., IEVT, Ljubljana
Dr. Peter Weissglas, Swedish Institute of Microelectronics, Stockholm

Naslov uredništva
Adresa redakcije
Headquarters

Uredništvo Informacije MIDEM
Elektrotehniška zveza Slovenije
Dunajska 10, 61000 Ljubljana, Slovenija
(0)61 - 316 886

Letna naročnina znaša 12.000,00 SIT, cena posamezne številke je 3000,00 SIT. Člani in sponzorji MIDEM prejema Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja pretplata iznosi 12.000,00 SIT, cijena pojedinog broja je 3000,00 SIT. Članovi i sponzori MIDEM primaju Informacije MIDEM besplatno.

Annual subscription rate is DEM 200, separate issue is DEM 50. 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 sofinancira raje Ministrstvo za znanost in tehnologijo in sponzorji društva.

Scientific Council for Technical Sciences of Slovene Ministry of Science and Technology has recognized Informacije MIDEM as scientific Journal for microelectronics, electronic components and materials.

Publishing of the Journal is financed by Slovene Ministry of Science and Technology and by Society sponsors.

Znanstveno strokovne prispevke objavljene v Informacijah MIDEM zajemamo v:

* domačo bazo podatkov ISKRA SAIDC-el, kakor tudi

* v tujo bazo podatkov INSPEC

Prispevke iz revije zajema ISI® v naslednje svoje produkte: Sci Search®, Research Alert® in Materials Science Citation Index™

Scientific and professional papers published in Informacije MIDEM are assessed into:

* domestic data base ISKRA SAIDC-el and

* foreign data base INSPEC

The Journal is indexed by ISI® for Sci Search®, Research Alert® and Material Science Citation Index™

Po mnenju Ministrstva za informiranje št.23/300-92 šteje glasilo Informacije MIDEM med proizvode informativnega značaja, za katere se plačuje davek od prometa proizvodov po stopnji 5 %.

Grafična priprava in tisk
Grafička priprema i štampa
Printed by
Naklada
Tiraž
Circulation

BIRO M, Ljubljana

1000 izvodov
1000 primjeraka
1000 issues

UDK621.3:(53+54+621+66), ISSN0352-9045		Informacije MIDEM 25(1995)2, Ljubljana
I. Šorli: Revija "Informacije MIDEM" je ISI® začel zajemati v svoje podatkovne baze	88	I. Šorli: Journal "Informacije MIDEM" Has Been Selected for Coverage in Some of ISI® Products
ZNANSTVENO STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
G. U. Pignatel: Silicijevi detektorji sevanja za spektroskopijo X žarkov z visoko ločljivostjo	89	G. U. Pignatel: Silicon Radiation Detectors for High Resolution X-Ray Spectroscopy
B. Malič, M. Kosec, D. Kolar: Morfologija in sinterabilnost prahov Pb(Zr _{0.50} Ti _{0.50})O ₃ , sintetiziranih iz aloksidnih kompleksov	98	B. Malič, M. Kosec, D. Kolar: Morphology and Sinterability of the Pb(Zr _{0.50} Ti _{0.50})O ₃ Powders Prepared from Various Alkoxide Based Complexes
M. Hrovat, D. Belavič, G. Dražič, J. Holc, S. Šoba: Preiskave debeloplastnih uporov z visokimi faktorji gauge	108	M. Hrovat, D. Belavič, G. Dražič, J. Holc, S. Šoba: Investigations of Thick Film Resistors with High Gauge Factors
L. Trontelj: Mikroelektronska razvojno-raziskovalna enota in njen vpliv na elektronsko industrijo v industrijsko se razvijajočih deželah	115	L. Trontelj: Microelectronic R&D Facility and its Impact on Electronic Industry in Newly Industrializing Countries
B. Kren, I. Šorli, R. Ročak, S. Stradar, Z. Zupančič: Silicijeve usmerniške diode	120	B. Kren, I. Šorli, R. Ročak, S. Stradar, Z. Zupančič: Silicon Rectifying Diodes
M. Bizjak: Vplivi lokalnih klimatskih razmer na električne izolacijske lastnosti poliamidnih sestavnih delov	142	M. Bizjak: The Influence of Environmental Conditions on the Electrical Insulation Properties of Polyamid Plastic Parts
UPORABA POLPREVODNIŠKIH KOMONENT		APPLICATION OF SEMICONDUCTOR COMPONENTS
Predstavitev izdelkov Instituta za robotiko, Fakteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor	147	Representation of Products Made by Institute for Robotics from Faculty of Electronic and Computer Engineering in Maribor
PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ		REPRESENT OF EVENTS, ACTIVITIES OF MIDEM MEMBERS AND OTHER INSTITUTIONS
I. Šorli: Revija "Informacije MIDEM" je ISI® začel zajemati v svoje podatkovne baze	151	I. Šorli: Journal "Informacije MIDEM" Has Been Selected for Coverage in Some of ISI® Products
PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE ELEKTRONIKA, Velenje	152	REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE ELEKTRONIKA, Velenje
KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA		CONFERENCES, COLLOQUIYUMS, SEMINARS, REPORTS
M. Hrovat: Deseta Evropska mikroelektronska konferenca	156	M. Hrovat: 10th European Microelectronics Conference
D. Vrtačnik: SEMICON - EUROPA 1995	159	D. Vrtačnik: SEMICON - EUROPA 1995
VESTI	160	NEWS
KOLEDAR PRIREDITEV	166	CALENDAR OF EVENTS
TERMINOLOŠKI STADNARDI	168	TERMINOLOGICAL STANDARDS
MIDEM prijavnica		MIDEM Registration Form
Slika na naslovnici: GORENJE PANORAMA, najnovejši panoramski barvni televizor firme ELEKTRONIKA, Velenje		Frontpage: GORENJE PANORAMA, the Newest Panoramic Colour TV Made by ELEKTRONIKA Velenje

Journal "Informacije MIDE M" Has Been Selected for Coverage in Some of ISI[®] Products

Journal "Informacije MIDE M" is a professional - scientific - society publication of Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials - MIDE M, with 25 years of tradition. In the Journal, original scientific papers, professional papers, as well as scientific reviews of domestic and foreign authors are published covering the field of microelectronics, electronic components and materials. "Informacije MIDE M" is actually the central scientific Journal covering this field in Slovenia, and at the same time it complements other scientific journals which deal with broader fields of electronics and electrotechnics in general.

Executive Editorial Board and International Advisory Board which members are domestic and foreign experts from the field of microelectronics and similar fields guarantee high quality of the published contributions.

Scientific and professional papers, as well as Journal itself, are edited in such a way that they meet all requirements needed for scientific Journal. All contributions have title, key words and abstract written in original, as well as in English language. The contributions themselves may be written in Slovene, Croatian and English languages.

Scientific and professional papers are assessed into domestic (ISKRA-SAIDC-el) and foreign data base (INSPEC).

It is my great pleasure to inform You that as of May 1995, ISI[®] - Institute for Scientific Information - has selected Journal "Informacije MIDE M" for coverage in the three of its products:

SciSearch[®], Research Alert[®] and Materials Science Citation Index[®]

I hope that this good news will encourage foreign, as well as domestic scientists to contribute into the Journal even with greater pleasure.

In the next issue of the Journal You will find some more information about ISI[®], its services and products related to coverage of our Journal.

Editor in Chief
Informacije MIDE M



Iztok Šorli, M.S.E.E.

SILICON RADIATION DETECTORS FOR HIGH RESOLUTION X-RAY SPECTROSCOPY

Giorgio U. Pignatel
Materials Engineering Department
University of Trento, Italy

Keywords: radiation detectors, X-ray spectroscopy, high resolution, diagnostic technique, energy resolution

Abstract: Radiation detectors fabricated on high resistivity silicon substrates are optimum devices for high resolution X-ray spectroscopy in the energy range 1-20 keV. In this paper the principles of operation of pin diode detectors, strip detectors, and drift-chamber detectors are presented. The most important factors that limit their energy resolution are outlined. Different technologies of fabrication are compared, and preliminary results concerning X-ray detectors fabricated at the Institute of Research Science and Technology (IRST) of Trento-Italy, are reported.

Silicijevi detektorji sevanja za spektroskopijo X žarkov z visoko ločljivostjo

Ključne besede: detektorji sevanja, X-žarki spektroskopija, ločljivost velika, tehnika diagnostike, ločljivost energijska

Povzetek: Detektorji sevanja, izdelani na silicijevem substratu z visoko specifično upornostjo, so idealni elementi za spektroskopijo X žarkov z visoko ločljivostjo v energijskem območju 1 - 20 keV. V tem prispevku obravnavam osnove delovanja "pin", "strip" in "drift chamber" detektorjev. Posebej poudarim najpomembnejše dejavnike, ki omejujejo njihovo energijsko ločljivost. Nadalje primerjam različne tehnologije za njihovo izdelavo, na koncu pa podam preliminarne rezultate tovrstnih detektorjev izdelanih na IRST, Institute of Research Science and Technology, v Trentu, Italija.

INTRODUCTION

X-ray spectroscopy is widely used as a diagnostic technique in many fields of fundamental and applied research. For any specific application, the core element of the spectroscopic system, i.e., the X-ray detector, has to satisfy different requirements. For example, cosmic X-ray spectroscopy requires a very good energy resolution, say less than 10 eV /1/, while synchrotron radiation experiments find benefit from both good energy resolution and high count rate capability (> 1 MHz). In high energy physics experiments (Matter and Antimatter Colliders) large area silicon detectors are needed with position resolution better than 0.1 millimeters. X-ray computed tomography (ICT), when used as a tool for nondestructive evaluation of large objects such as automobile engine blocks and solid fuel rocket motors, requires detectors with absorption lengths of few centimeters /2/. Automatic X-ray inspection systems are used to detect solder-joint defects on PCB assemblies with components down to a 20-mil pitch, including components with hidden solder joints, such as ball-grid arrays. X-ray detectors are used for dosimetry, nuclear radiation spectroscopy, and computed tomography in medical applications. More recently, portable X-ray fluorescence spectrometers are gaining an increasing interest for in-situ quantitative analysis of concrete materials, soil contamination, waste management and environmental control /3/.

PRINCIPLES OF OPERATION

Solid state ionization detectors are based on the principle that when a radiation of energy E impinges on a target material with ionization energy $E_{ion} < E$, it is absorbed by atomic ionization, a process called photo-ionization or photoelectric effect. The amount of almost-free charge produced is proportional to the energy of the incident radiation, and is determined by collecting and measuring the photo-induced current. In semiconductors, the electric current is carried by either electrons and holes. The average number of electron-hole pairs generated by a photon of energy $E=h\nu$ is $\langle N \rangle = E/\epsilon$, where ϵ is the energy loss per electron-hole pair production. The ionization energy of a semiconductor is somewhat related to the band gap energy, so that it is slightly temperature dependent. In Si $\epsilon = 3.62$ eV at 300 K, while $\epsilon = 3.76$ eV at 77 K; in Ge $\epsilon = 2.96$ eV at 77K /4/. In principle, low band gap semiconductors are more suitable as ionization detectors, because they would give rise to a higher photo-current signal. In practice, low band gap semiconductors are prone to a higher thermal generation of carriers which, in turn, means higher leakage current, more noise, and ultimately, lower energy resolution. For this reason Ge photodetectors are usually operated at Liquid Nitrogen Temperature (LNT). Assuming a Poisson statistical distribution for the process of electron-hole pair generation, the fluctuation in the number of carriers produced by a single event is $\sigma = \sqrt{N}$. In practice, since the processes that give rise to the formation of each individual charge

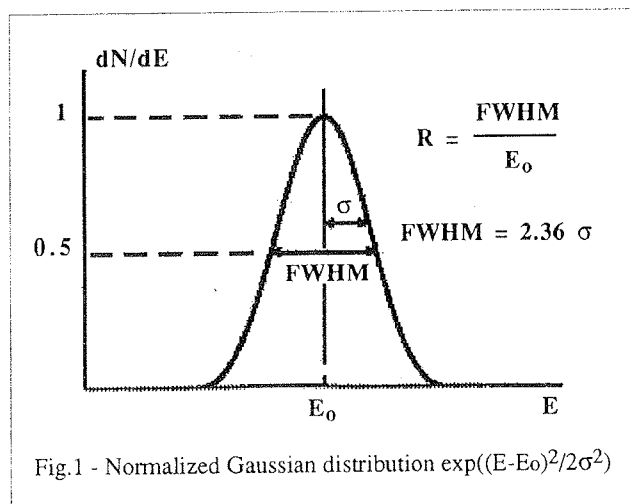


Fig.1 - Normalized Gaussian distribution $\exp((E-E_0)^2/2\sigma^2)$

carrier are not independent, the actual observed fluctuation is lower than the expected one by a factor $\sigma = \sqrt{FN}$, where F, called the Fano factor, is the ratio between the observed variance in N and the Poisson predicted variance ($\sigma^2 = N$). For Si F can be assumed equal to 0.14 /5/. If all the generated carriers are collected and the corresponding current is measured, then the resulting peak height is proportional to the energy E. The average measured energy is: $\langle E \rangle = \langle N \rangle \epsilon$, and the statistical distribution of E is gaussian. The energy resolution R can be quoted as either: 1) ΔE_{FWHM} (FWHM = Full Width at Half Maximum) in units of energy [eV], or 2) R (= $\Delta E_{FWHM} / \langle E \rangle$) as percentage. Recalling that $FWHM = 2.36 \sigma$, (see figure 1), we have for the energy resolution:

$$\Delta E_{FWHM} = 2.36 \sigma \epsilon \propto \sqrt{N} \text{ [eV]}, \text{ or}$$

$$R = \Delta E_{FWHM} / E = 2.36 \sqrt{F/N} \propto 1 / \sqrt{N}$$

These expressions show that the energy resolution is a function of the incident energy E. For this reason it is preferable to quote R at some specified energy (ex: R=300 eV @ 6 keV, or R=5% @ 6 keV). The penetration depth of a radiation of energy E into an absorbing material is determined by Beer's law of absorption:

$$I(x) = I_0 \exp(-\lambda x)$$

where I_0 is the intensity of the incident beam (photons/cm²), $\lambda(Z,E)$ = linear absorption coefficient in units of [cm⁻¹] is a parameter which depends upon the absorbing material, the absorption process, and the radiation energy. $1/\lambda$ is a characteristic absorption length that corresponds to the depth of penetration at which the primary beam is attenuated by 66% ($I/I_0 = 1/e$). As a reference, a list of typical absorption lengths for X-ray photons in silicon is reported in table I.

As can be seen, a 0.5 mm thick silicon wafer can absorb almost entirely a 10 keV X-ray, while only about 63% of a 16 keV perpendicularly incident beam is absorbed. In case of a single photon event, $1 - \exp(-\lambda x)$ represents the probability that the photon escapes from the absorber. Another mechanism of escape is re-emission of X-rays by

the excited absorbing atoms after K or L atomic shell decay /4/.

Table I. Selected linear absorption coefficients for X-ray photons in silicon.

X-ray Energy [keV]	Absorption coeff. [cm ⁻¹]	Absorption length [μm]
6	341	29
10	78.6	127
16	19.86	503
20	10.35	966

PIN DIODE DETECTORS

Pin diodes are realized on single crystal Ge or Si wafers of thickness ranging from 200 to 3000 μm. One side of the detector is p+ doped, the other side is n+ doped, whilst the bulk is of intrinsic type. The intrinsic semiconductor is obtained by the Lithium ion drift process /4,6/. The acronym pin stands for p-type-intrinsic-n-type (or p-i-n type) doping. One disadvantage of Li-drifted detectors is that they are quite instable at room temperature, so that they have to be operated, and preferably stored, at Liquid Nitrogen Temperature. Current state-of-the-art Si(Li) detectors have an energy resolution of about 150 eV @ 5.89 keV (⁵⁵Fe K_α line) and they are used primarily in microanalysis systems combined with Scanning Electron Microscopy (SEM). Radiation detectors operating at room temperature are preferably realized in ultra pure, electronic grade, silicon crystals obtained by Float Zone (FZ) refinement. As grown, ultra pure silicon ingots turn out to be not absolutely intrinsic, but slightly p-type doped. They can be slightly n-type doped with careful fabrication techniques or by neutron transmutation doping (NTD). Typically, the bulk resistivity can range from 2 to 20 KΩ-cm, and depending on the type of doping, the corresponding diode detector is named p-π-n or p-v-n. To simplify the cited nomenclature, here after we will adopt the generic acronyms of "pin" diodes for all those p-n junction devices operating in full depletion mode. A schematic representation of a PIN photodiode is reported in figure 2.

When a p-n junction is reverse biased, electron-hole pairs generated inside the depletion region are stripped away from the space charge region and hopefully collected at the p+ and n+ (shallow) contacts. If the junction is operated in full depletion mode, the drift velocity of the almost-free carriers is limited only by the saturation velocity of electrons and holes, i.e., about 10⁷ cm/s in silicon. As a consequence, the response time of a fully depleted silicon detector is typically of the order of tens of nanoseconds. In practice, not all the generated carriers are collected at the p+/n+ contacts. Some of them are lost

because of competitive processes such as charge trapping - which can occur either in the bulk or at the SiO₂/Si interface - and recombination (i.e., electron-hole annihilation) - which can occur either in the depletion region or in the heavily doped p⁺/n⁺ regions. Outside the space charge region, electron-hole recombination is predominant and carrier transport occurs by diffusion. Therefore, ionization events occurring outside the depletion region contribute to decrease the detector efficiency and to increase the response time.

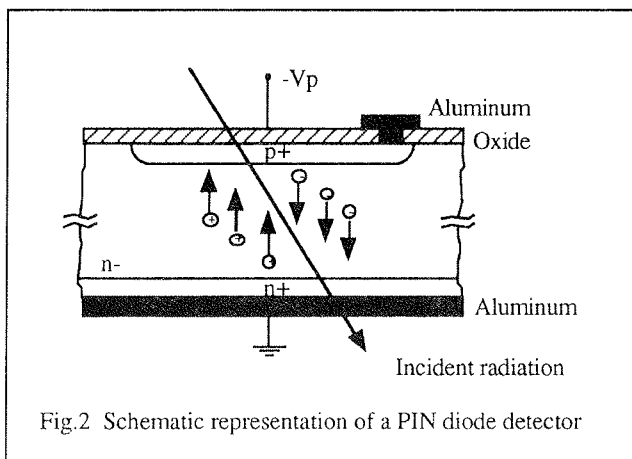


Fig.2 Schematic representation of a PIN diode detector

Owing to the fact that the depletion width W of an abrupt p-n junction is proportional to the inverse square root of the applied potential V ($W = \sqrt{2\epsilon V/qN}$, where ϵ is the dielectric constant = 1.04 pF/cm in Si, q is the elemental charge = 1.602×10^{-19} C, and N is the substrate doping in units of cm⁻³), it turns out that, in order to deplete a 500 μm thick, >5 k Ω -cm in resistivity ($<10^{12}$ dopant atoms/cm³) π -type silicon wafer, the p-n junction must be reverse biased at a voltage >150 V. Hence, the pin diode must sustain a high breakdown voltage while keeping the reverse leakage current low. To accomplish these specifications it is necessary to use guard-ring layout structures, and, concurrently, to have a fabrication process that does not degrade the properties of the ultra-pure starting material, i.e., an appropriate technology. For the guard ring topology there are several possibilities. The one adopted in the design of X-ray detectors at IRST is a series of floating rings which sustain a potential degrading from the front center electrode - which defines the active area of the device - towards the outermost front-side electrode, which can be eventually biased at the same potential of the backside contact. More details on the fabrication technology and on the detector layout will be given in the following sections.

STRIP DETECTORS

Strip detectors are very similar, in principle, to pin diodes, as they are fully depleted devices realized on high resistivity silicon substrates [7]. The main difference is that, instead of having a single collecting electrode, the anode is segmented in a series of microstrips a few tens of microns wide. An example of detector layout is reported in figure 3. Each microstrip is connected to an electronic readout channel. In this way a lateral resolution of less than

0.1 millimeters can be achieved. In more advanced designs, the back side of the wafer is processed so as to realize microstrips of the same dimensions, but orthogonal, to those of the front side. In this way three-dimensional devices are obtained, with a pixel, granularity resolution of less than 0.05 mm in x-y direction, and 0.2-0.3 mm in the z coordinate. After signal processing, these devices can achieve a position resolution of less than 10 μm /8/.

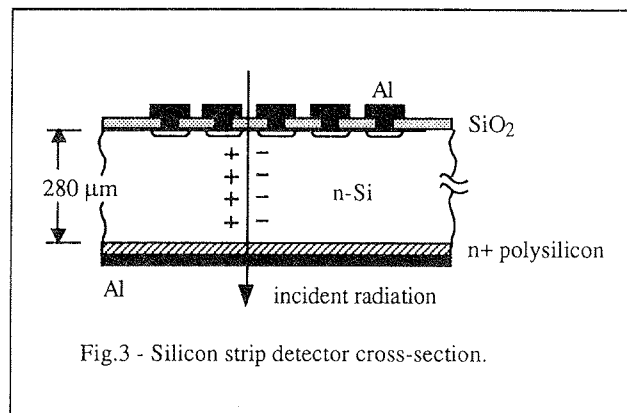


Fig.3 - Silicon strip detector cross-section.

One disadvantage of strip detectors is the necessity of a great number of readout electronic channels, that makes the total electronic system quite complicated. Another disadvantage is the high capacitance of the microstrip, that imposes the use of very low noise preamplifiers. Another problem is that, since the electric charge generated inside the detector by the interaction with the incident radiation is not completely localized, the signal is spread out over two or more adjacent strips. For these reasons it is customary to connect one readout channel every group of four or more strips, and to sequentially scan the channels with analog multiplexing.

The primary advantage of strip detectors is the possibility to realize detectors with very large active area (several cm²) while preserving a very good position resolution (<0.1 μm). Strip detectors are used primarily as vertex detectors in nuclear physics experiments where high energetic beams are made to collide in a specific point of space. When used for soft X-ray spectroscopy, silicon strip detectors can achieve an energy resolution of 350 eV FWHM @ 5.9 keV, and 2 μs peaking time, when cooled at -5°C /9/.

DRIFT DETECTORS

The silicon drift detector (SDD, also called Semiconductor Drift Chamber, SDC) was first proposed by Gatti and Rehak in 1984 [10]. SDD is a fully depleted device made on high resistivity n-type silicon wafers with rectifying p⁺ junctions implanted on both sides. The detector is fully depleted of mobile electrons by a suitable potential applied on both sides of the wafer. An electrostatic potential parallel to the surface is superimposed to the depleting vertical one by means of resistive voltage dividers. A schematic view of a drift detector is reported in figure 4. The resulting potential distribution inside the detector drift

region is shown in figure 5. While holes are swept away by the p+ electrodes close to the point of interaction, electrons generated inside the volume of the detector are drifted along the bottom of the potential valley toward a small collecting anode located to one side, or placed at the center of the detector area in case of circular geometry. In this way the signal produced by the drifting electrons is induced at the anode only when they arrive to a close proximity, so that the collecting time can be very short /11/. Moreover, the drift time of electrons measures the radial coordinate of the interaction point, as the electric field E and the drift velocity ($v_d = \mu E$) are known. The drift time for a few millimeter wide detector is of the order of microseconds, and the radial position resolution that can be achieved is less than 10 μm /12/.

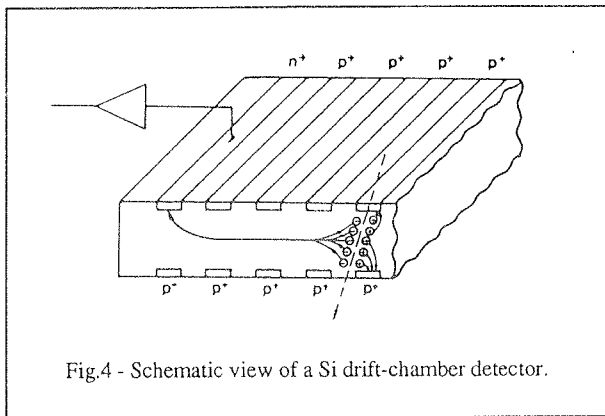


Fig.4 - Schematic view of a Si drift-chamber detector.

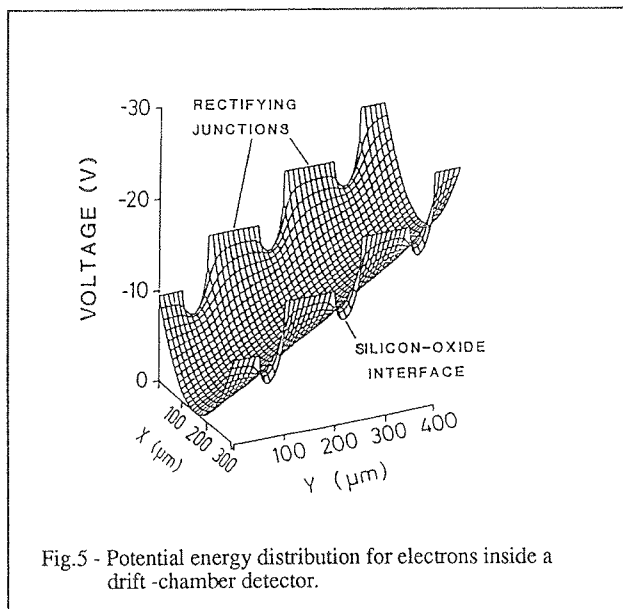


Fig.5 - Potential energy distribution for electrons inside a drift-chamber detector.

The advantages of silicon drift detectors are: i) they require a much lower bias to achieve full depletion of the silicon bulk as compared with pin diodes; ii) the anode capacitance is much lower than that of standard junction detectors of the same dimensions. As a consequence, the electronic system noise can be reduced to a much lower level, and the detector can operate with higher

energy resolution, higher counting rate, and at higher temperatures. One disadvantage of silicon drift detectors is the rather complicated bias electronic circuitry necessary to distribute the longitudinal parallel potential through the p+ electrodes. One possible solution is to use a single spiral electrode, instead of concentric rings, as reported in reference /13/.

ENERGY RESOLUTION

The energy resolution of semiconductor detectors depends on two factors: i) the fluctuation in the number of electron-hole pairs generated by the incident radiation, and ii) the fluctuation in the amount of charge effectively collected and detected by the readout (front-end) electronic system. The first factor is inherent with the physics of conversion of radiation energy into electric charge, is described by the Poisson statistics, and poses an intrinsic limit to the energy resolution equal to $(FWHM)_{\text{Statistical}} = 2.36 \sqrt{F\epsilon/E}$. The second factor is inherent with the physics of electric charge transport and measurement, is determined by the "electronic noise" present in the system, and poses an extrinsic limit to the energy resolution which depends on the circuits and devices employed in the readout electronic system. If each source of fluctuation is independent, then the overall FWHM is the quadrature sum of the FWHM values for each individual source:

$$(FWHM)_{\text{total}}^2 = (FWHM)_{\text{statistical}}^2 + (FWHM)_{\text{noise}}^2 + (FWHM)_{\text{drift}}^2 + \dots$$

where the ...dots stand for any other independent source of fluctuation.

In the field of radiation detection and measurement, the energy resolution due to electronic noise is customarily expressed in terms of equivalent noise charge (ENC) instead of $(FWHM)_{\text{noise}}$. ENC is defined as the amount of charge which, if applied suddenly to the input terminals of the system, would give rise to a signal to noise ratio $S/N=1$, i.e., to an output signal equal to the root mean square (r.m.s.) level of the output due only to noise. Recalling that $FWHM = 2.36 \sigma$ and $E_{\text{noise}} = \epsilon ENC$, we have for silicon at room temperature:

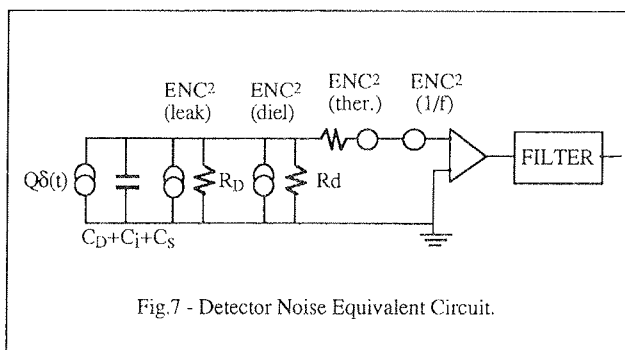
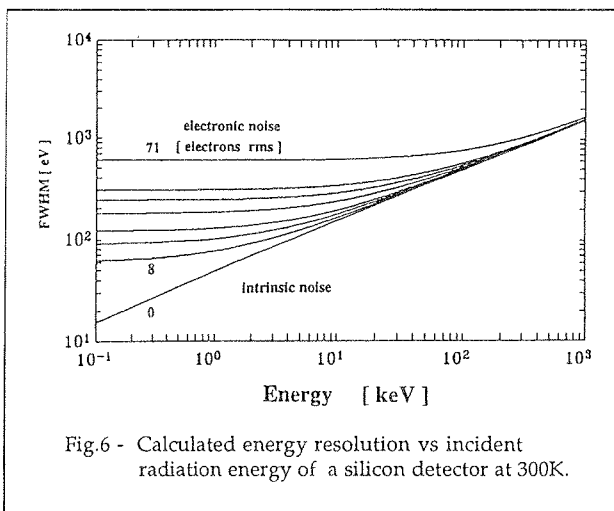
$$(FWHM)_{\text{noise}} = (2.36) \times (3.6) ENC = 8.5 ENC$$

where $(FWHM)_{\text{noise}}$ is expressed in units of eV, and ENC is expressed in units of "electrons r.m.s.". In figure 6, the calculated intrinsic and extrinsic limits to the total energy resolution of silicon detectors at room temperature are reported for different values of the electronic noise.

The detector equivalent noise circuit is reported in figure 7. Since the time scale for the release of radiation energy to the absorber is the order of 10^{-12} seconds, the detector can be represented by a current source giving a pulse of intensity $Q\delta(t)$, where $\delta(t)$ is the delta-Dirac function. The contributions to the noise sources are /14/:

- 1) the detector leakage current I_D , represented by a parallel, white noise, current generator;
- 2) the dielectric loss, represented by a parallel, frequency dependent, noise current generator;

- 3) the preamplifier thermal input noise, represented by a series, white noise, voltage generator;
- 4) the 1/f device noise contribution, represented by a series, 1/f, noise voltage generator.



The total Equivalent Noise Charge present at the input of the preamplifier will be the quadrature summation of all the contributions:

$$(ENC)_{total}^2 = (ENC)_{leak}^2 + (ENC)_{diel}^2 + (ENC)_{thermal}^2 + (ENC)_{1/f}^2$$

After pre-amplification, the noise and the signal must be filtered in order to optimize the signal-to-noise ratio. The purpose of filtering is to eliminate the low and high frequency components of the signal, while preserving the most important information, i.e. amount of generated charge. The output of the filter would be a voltage pulse whose height is proportional to the energy of the incident radiation. Each pulse is then discriminated and processed by a multi-channel analyzer (MCA). Theoretically, the best signal-to-noise ratio is attainable if the signal pulses are shaped to the form of an infinite cusp /15/. Practical filters implements Triangle, Gaussian, Semi-Gaussian, or other shaping functions that exhibit signal-to-noise ratios only slightly worse than the theoretical limit /16/. The time constant of the shaping function poses a limit to the time resolution of the detector, which in turn defines the maximum pulse count rate.

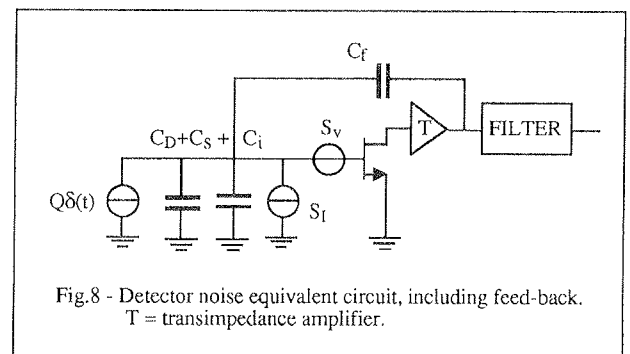
The energy resolution is affected by parameters which concern both the detector and the front-end electronics. They are: i) the output capacitance of the detector C_D , ii) the input capacitance of the pre-amplifier stage C_i , and iii) the time constant of the shaping function. Gatti and Manfredi /17/ have shown that to a first approximation, neglecting the frequency dependence of dielectric losses and the 1/f spectral power density in the series generator, the electronic equivalent noise charge can be expressed as:

$$(ENC)_{electr} = (2qK_B T / \pi)^{1/4} (I_D C_D / f_T)^{1/4} ((C_D / C_i)^{1/2} + (C_i / C_D)^{1/2})^{1/2} \text{ [Coulomb r.m.s.]}$$

where K_B is the Boltzmann constant, f_T is the cut-off frequency of the input stage of the preamplifier ($f_T = g_m / (2\pi C_{FET})$ in case of a single JFET). The corresponding optimum filter shaping time constant is:

$$\tau_{opt} = (K_B T / (2\pi q))^{1/2} (C_D / f_T I_D)^{1/2} ((C_D / C_i)^{1/2} + (C_i / C_T)^{1/2})$$

The optimum resolution can be achieved when the mismatch factor: $(C_D / C_i)^{1/2} + (C_i / C_D)^{1/2}$ is equal to one, i.e., when the output capacitance of the detector matches the input capacitance of the preamplifier. It is worth noting that in these conditions $ENC_{opt} = \sqrt{2I_D \tau / q}$ [el. rms]. This expression outline the direct dependence of the noise from the leakage current of the detector and from the time constant of the shaping function.



In principle, a current pulse $Q(t)$ would give rise to an ideal voltage signal $V = Q/C$, when applied to an ideal capacitor C . In practice, C is the total capacitance seen at the detector terminals (including strays), and it may even not be constant during the integration time of the signal. In order to preserve the basic information carried by the magnitude of the generated charge Q , the most common configuration of the input preamplifier is that of a charge sensitive amplifier (CSA). The input stage of the amplifier is preferably a silicon JFET for better 1/f noise performance. The corresponding noise equivalent circuit is reported in figure 8. The feed-back capacitance, the test capacitance, and the parasitic (stray) capacitance are also taken in consideration. As outlined by Radeka /14/ the noise sources can be categorized into those that are effectively in parallel with the input and those that are in series with the signal source. In figure 8 all the noise sources are included in the series and parallel noise generators with spectral power densities /18/:

$$S_V = \alpha 2K_B T / g_m + a_f / f \quad [V^2/Hz]$$

$$S_I = q(I_D + I_G) + 2K_B T / R_f + b_f f = q I_L + b_f f \quad [A^2/Hz]$$

where g_m is the input FET transconductance, α is a coefficient ranging from 0.5 to 0.7 depending on the FET operating point, f is the frequency, a_f is the FET 1/f noise coefficient, q is the electron charge, I_D is the leakage current of the detector, I_G is the FET gate leakage current, R_f is the feedback resistance (if used in the charge amplifier), and b_f is the dielectric noise coefficient. I_L is the total equivalent leakage current associated with the white parallel noise. The electronic noise of the system can be expressed in terms of equivalent noise charge as /19/:

$$(ENC)^2_{electr} = A_1 C_T^2 4K_B T / (3g_m \tau) + A_2 (2\pi a_f C_T + b_f / 2\pi) + A_3 (2qI_L) \tau$$

where C_T is the total capacitance seen at the detector terminals, i.e., the sum of detector output capacitance C_D , the FET input capacitance C_i , stray capacitance of the connection C_s , the test capacitance C_t , and the feedback capacitance C_f . In deriving the above expression, it has been assumed that the series noise source is given by the thermal noise of the FET channel and by the 1/f-term with power density a_f/f , and that the parallel noise source is given by the shot noise of the leakage current I_L and by a term taking into account dielectric losses with a power density b_f/f . τ is the shaping time constant. A_1 , A_2 , and A_3 are parameters which depend on the type of shaping /20/. In some designs, a test capacitance C_t is also integrated on the same chip and is used to calibrate the system response to a known pulse. In that case, C_t must be included into the value of C_T . In more advanced designs, the feedback resistor R_f is removed from the feedback loop in order to achieve the lowest noise /21/.

In summary, the most important factors which affect electronic noise are: 1) the detector reverse leakage current; 2) the detector-preamplifier capacitance mismatch; 3) the input JFET channel transit time (affecting $f_T = g_m / 2\pi C_{FET}$); 4) the dielectric losses. Dielectric losses are due to the parasitic capacitance associated with the package and the assembly. The dielectric loss contribution to the total ENC can be expressed as follows:

$$(ENC)^2_{diel} = e^2 / \pi K_B T D C_d$$

where $e=2.718...$, D is a loss factor given by the ratio between the imaginary part and the real part of the dielectric constant, and C_d is the capacitance of the dielectric. The dielectric loss factor can range from $D=2 \times 10^{-2}$ (standard dielectric) to $D < 10^{-3}$ (good dielectric) until $D=5 \times 10^{-5}$ (best dielectric). As an example, the contribution to the electronic noise from a "best dielectric" parasitic capacitance of 5 pF at room temperature (R.T.) is about $ENC = 10$ electrons rms, corresponding to a $FWHM = 85$ eV. It is obvious that a proper choice of the package material and the care taken into assembling the whole system are of primary importance. An unavoidable contribution to the stray capacitance comes from the bonding wires connecting the detector to the input stage of the pre-amplifier. Integration of the detector with the readout electronics is foreseen as a possible solution to this problem.

PROCESS AND TECHNOLOGY OF FABRICATION

The leakage current of reverse biased p-n junctions is the technological parameter that mainly determine the detector intrinsic noise level, and therefore limits the energy and position resolution. In the last decade different detector designs have been proposed and realized. Besides microstrips and drift chambers, fully depleted CCDs are worth mentioning /22/. All these devices are characterized by leakage current densities of the the order of 1 nA/cm^2 . Two different strategies have, so far, been proposed to obtain such a low level of leakage current. One relies upon the minimization of high temperature steps, as they can lead to carrier lifetime degradation through defect activation. The other exploits extrinsic gettering techniques to preserve long carrier lifetimes by counteracting the detrimental effect of contaminants. The first approach has been proposed by J.Kemmer /23/, who has developed an ad-hoc process in which, after an initial oxidation at 1030°C with HCl, the wafer sees only a 30 min dopant activation anneal at 600°C . On the other hand, S.Holland /24/ has adopted more conventional fabrication procedures with the purpose of obtaining a CMOS compatible detector technology. This second approach seems to be irrenounceable if the final goal is the integration of the detector with the read-out circuitry on the same chip. By embracing this latter strategy, we have started to develop fully-depleted PIN (actually p-v-n) silicon radiation detectors with on-chip JFET devices. A preliminary process has been defined, featuring different extrinsic gettering techniques. Small area radiation detectors, as well as several other test-structures, have been fabricated and electrically characterized. Figure 9 shows the layout of a typical high voltage pin diode with concentric guard rings.

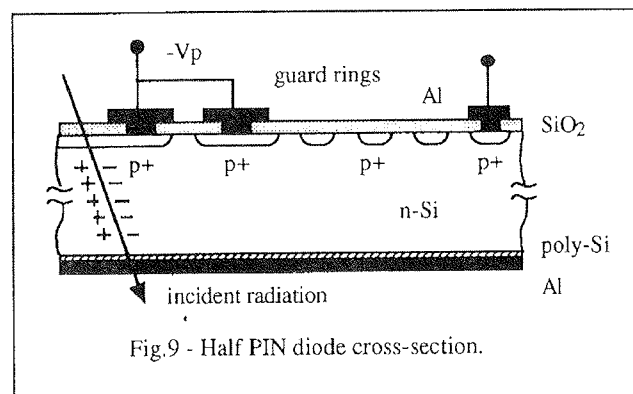


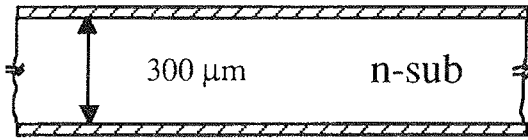
Fig.9 - Half PIN diode cross-section.

Devices were processed using 4 inch diameter Float Zone (FZ), $280 \mu\text{m}$ thick, $<111>$ oriented, phosphorus doped silicon substrates, with nominal resistivity of $2 \text{ k}\Omega\text{-cm}$, corresponding to a donor concentration of about $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Three different gettering techniques, namely back-side phosphorus implantation, phosphorus diffusion from POCl_3 source, and phosphorus-doped polysilicon deposition /25/, were implemented in order to compare their effectiveness in reducing the detector leakage current.

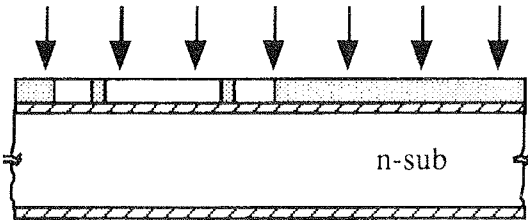
The basic process flow adopted for the wafers implementing the back-side phosphorus implantation can be described as follows. After initial oxidation at 975°C in dry

Si - PROCESS FLOW CHART

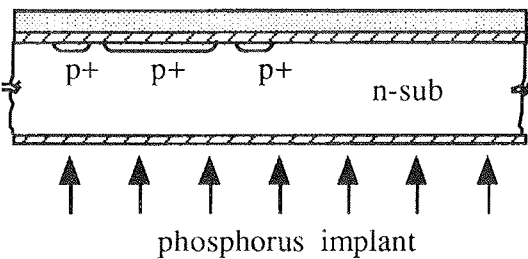
1. Screen oxide (dry O₂, 975°C, 45 nm)



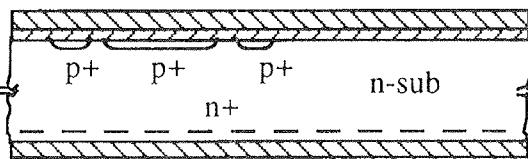
2. Mask. Implant B, 30 keV, 5E14/cm²



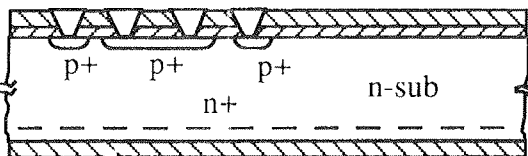
3. Back-side implant P, 120 keV, 5E15/cm²



4. Post-implant anneal 700-850°C, N₂



5. Mask. Contact opening.



6. Aluminum deposition and patterning.

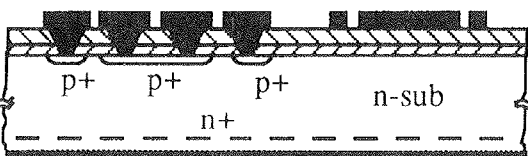


Fig.10 - Silicon detector's process flow chart.

O₂, the p+ regions were formed by ion implantation of boron (5.0x10¹⁴ atoms/cm², 30 keV), using photoresist as a barrier. Having protected the front side with photoresist, the back-side was uniformly implanted with phosphorus (5.0x10¹⁵ cm⁻², 120 keV), ensuring a good ohmic contact and providing the first type of gettering. A Low Temperature Oxide (LTO) layer was then deposited at 450°C and the post-implant annealing was performed (60 min. in N₂ at 850°C). After that, contacts were opened in the oxide and aluminum-silicon (1% Si, 600 nm) was deposited at 400°C and patterned. The back-side of the wafers were then cleaned and a cold aluminum deposition (500 nm) was performed. Finally wafers were sintered in forming gas (5 min. at 400°C). The whole process flow chart is depicted in figure 10.

The same basic process sequence was adopted also for wafers to be treated with POCl₃ and polysilicon. However, these two gettering techniques required some additional preliminary step to be performed. In fact, after having protected the front side of the wafer with a thick layer of LTO (600 nm), the back-side was treated with a POCl₃ predeposition (20 min. at 920°C) followed by a 40 min drive-in at 975°C. Alternatively, an undoped, 200 nm thick, polysilicon layer was deposited at 625°C and then doped by using the same POCl₃ predeposition. After getting rid of the excess phosphorus glass, the back-side was protected by a thick layer of LTO, and the front-side passivation layer were removed. From this point on, the process steps coincide with the already described sequence, except, of course, for the back-side phosphorus implantation.

EXPERIMENTAL RESULTS

Figure 11 shows the measured reverse leakage current of 1.8 mm² area PIN diodes processed with the three different gettering techniques adopted. The mean leakage current density at 100 μm of depletion with (about 20 V of reverse voltage), averaged over ten samples belonging to the same wafer, is reported, along with the corresponding standard deviation values. As can be seen, extremely low leakage current densities, in the order of 0.1 nA/cm² as well as good on-wafer process uniformity, were obtained in the case of P-doped polysilicon gettering. It is worth noticing that, also for the other two gettering techniques, mean leakage current densities lower than 1 nA/cm² were measured. By correlating the reverse I(V) characteristics of a PIN diode with the C(V) curve of the same device, it was possible to estimate the generation lifetime of the three devices. The results are reported in table II.

Table II. - Reverse leakage current density (J_{dark}) and minority carrier lifetime of 1.8 mm² PIN diodes fabricated with different gettering techniques.

Gettering technique	J _{dark} [nA/cm ²]	life-time [ms]
P - implant	0.46+/-0.19	52
POCl ₃ diffusion	0.40+/-0.19	60
P-doped poly-Si	0.14+/-0.019	172

More detailed analysis of the experimental results, combined with computer simulation of the layout structures /26/, lead to the conclusion that efficiency of the guard ring structure was partly affected by the presence of an accumulation layer at the SiO₂/Si interface. This accumulation layer is induced by a fixed positive charge in the oxide of density 4x10¹¹ cm⁻², a value inferred from experimental C(V) curves obtained on MOS capacitors built on the same test-chip. The presence of such accumulation layer at the Si/SiO₂ interface can produce a premature breakdown in some weakest devices, as reported in figure 12.

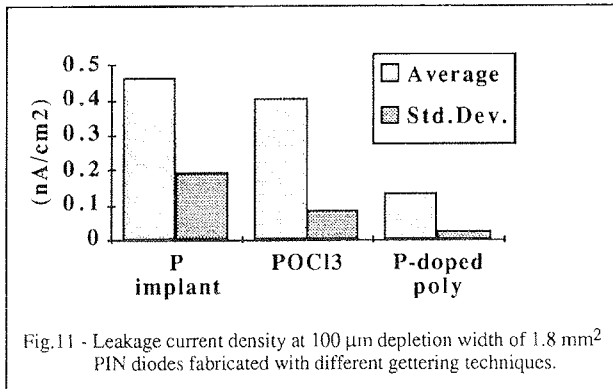


Fig.11 - Leakage current density at 100 μm depletion width of 1.8 mm² PIN diodes fabricated with different gettering techniques.

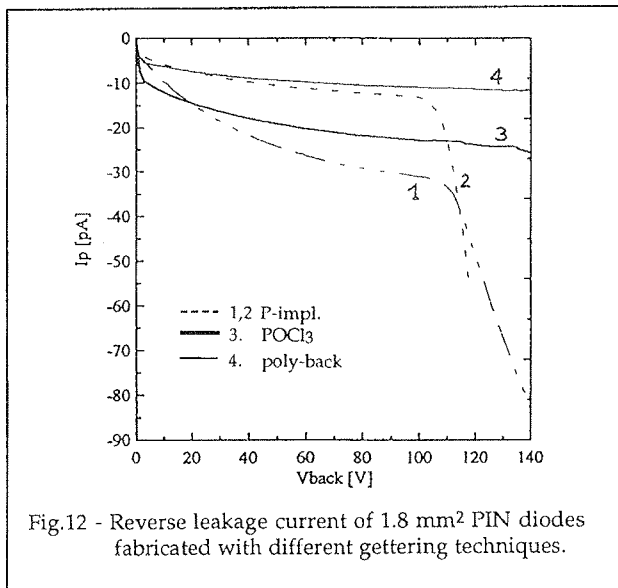


Fig.12 - Reverse leakage current of 1.8 mm² PIN diodes fabricated with different gettering techniques.

These preliminary results indicate that, with the use of the silicon technology currently available at IRST, it is possible to realize radiation detectors that meet the desired specifications of high breakdown voltage and low reverse leakage current density. Further work is in progress to optimize the device layout structure, and to realize silicon JFETs on the same high resistivity substrate, with the aim to integrate the detector and the first stage of preamplification on the same chip.

CONCLUSIONS

Conventional Lithium-drifted X-ray silicon detectors (Si(Li)) have been used as diagnostic tools in microana-

lysis systems for many years. Present state-of-the-art Si(Li) detectors exhibit a fairly good energy resolution (150 eV @ 5.9 keV), but they need to be operated at 77K (Liquid Nitrogen Temperature). The requirement of detectors with higher energy resolution and/or able to work at higher temperature has driven the research in the field of silicon radiation detectors in two directions. One is the realization of thermal detectors that operate at very low temperature (<1K). These are called "microcalorimeters" and can achieve an energy resolution ΔE_{FWHM} < 10 eV @ 5.9 keV /27/. The second is the development of "ionization" detectors that work at room temperature, or at temperatures that can be easily and inexpensively achieved with an electric Peltier cooler (-30°C). In this paper we have presented the principles of operation and the technology of fabrication of the three most common types of ionization detectors - namely pin diodes, microstrip detectors, and drift chambers. All of them are realized on ultra pure (FZ) - high resistivity - single crystal silicon, and are based on the same principle of operation, i.e., the collection of electron-hole pairs generated inside a fully depleted bulk region. Two fabrication technologies have been developed, one based on low temperature processing, and one more CMOS compatible. The energy resolution that can be achieved by these detectors strongly depends on two parameters: i) the reverse leakage current of the detector itself, and ii) the matching of the detector impedance with the readout electronics. Present state-of-the-art silicon technology allows to obtain devices with carrier lifetime of several milliseconds, corresponding to reverse leakage current density of less than 1 nA/cm². This fulfills the first requirement of having a good energy resolution. Integration of the detector with the readout electronics would in principle meet the second requirement, i.e., matching the detector with the readout electronics. However, this latter solution is still rarely implemented because of the difficulty to preserve the high quality of the starting material along the entire sequence of a whole CMOS process. Recently, promising results with PIN-diode-based detector arrays featuring an integrated readout circuitry on high resistivity Float-Zone silicon have been reported /28/. More recently, Peltier cooled X-ray PIN detectors with energy resolution of 250 eV @ 5.9 keV at -30°C have been made commercially available /29/. In table III some characteristics of various detectors are reported for comparison.

Table III. - Energy resolution of silicon X-ray detectors @ 5.89 keV (⁵⁵Fe K_α line).

Detector type	A _{area} [mm ²]	ΔE _{FWHM} [eV]	Temperature	τ _{shape} [μs]	Reference
bolometer	1	<10	<0.1K	1,000	/1/
Si(Li)	12	150	77K	16	/30/
microstrip	0.1x96	350	-5°C	2	/9/
drift chamber	1.5	229	-30°C	6	/19/
pin diode	7	250	-30°C	12	/29/

In this paper, we have focused our attention on the performance of silicon radiation detectors for soft X-ray spectroscopy. However, it is worth mentioning that ioni-

zation detectors are sensitive to any kind of ionization radiation, like for example γ -rays, fast electrons and positrons, α -particles. For this reason silicon radiation detectors are widely employed in nuclear physics experiments, where high energy beams of matter and antimatter are made to collide with the aim to investigate the formation of primitive matter in conditions as close as possible to that of the origin of the universe (the so called big-bang).

For these applications, a considerable amount of detectors is necessary to fill up a volume of some cubic meters. The realization of these experiments, that pose very stringent requirements to the detectors and to the whole electronics involved, is one of the driving force to further developments of high-resistivity silicon device technology, electronic system design and measurements.

ACKNOWLEDGMENTS

I wish to acknowledge Prof. G. Soncini for encouraging this research, M. Zen and all the staff of IRST-Trento for processing the wafers and providing the samples, G. Verzellesi and G.F. Dalla Betta for supporting the work with CAD design and simulation. Stimulating discussions with Prof. A. Longoni, E. Gatti, and V. Radeka have been very useful.

REFERENCES

- /1/ D.McCammon et al., (Wisconsin Univ.-NASA): Thermal calorimeters for high resolution X-ray spectroscopy, Nucl. Instr. and Meth. A 326 (1993) 157-165.
- /2/ H.Miyai, S.Kawasaki, H.Kitaguchi and S.Izumi: Response of Silicon Detector for High Energy X-ray Computed Tomography, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-41 (1994) 999-1003.
- /3/ S. Piorek: Modern, PC based high resolution portable EDXRF analyzer ..., Nucl. Instr. and Meth. A 353 (1994) 528-533.
- /4/ Glenn F.Knoll: Radiation Detection & Measurement, Wiley, New York (1979).
- /5/ A.Longoni, (Politecnico di Milano), private communication.
- /6/ E.E.Haller et al., (LBL Berkeley): Lithium Drifted Silicon Detector Fabrication on Gettered Float-Zone Silicon, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-41 (1994) 1031-1036.
- /7/ W.Chen et al.: Fabrication of Large Area Si Cylindrical Drift Detectors. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-41 (1994) 941-947.
- /8/ P.Weilhammer, (CERN): Double-sided Si strip sensors for LEP vertex detectors. Nucl. Instr. and Meth. A 342 (1994) 1-15
- /9/ B.Ludewigt et al., (LBL): A High Rate, Low Noise, X-Ray Silicon Strip Detector System, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-41 (1994) 1037-1041.
- /10/ E.Gatti and P.Rehak, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 225 (1984) 608.
- /11/ G.Bertuccio, M.Sampietro, A.Fazzi: High Resolution X-ray spectroscopy with Silicon Drift Detectors and Integrated Electronics, Nucl. Instr. and Meth. A 322 (1993) 71.
- /12/ E.Gatti, ... P.Holl, R.Klanner, G. Lutz, A.Wylie, et al., (Max Planck Institut): Semiconductor Drift Chambers, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-32 (1985) 1204-1208.
- /13/ P.Rehak et al., (Brookhaven Natl. Lab.), IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-36 (1989) 203-209.
- /14/ V. Radeka, (BNL): Low-Noise Techniques in Detectors, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 38 (1988) 217-277.
- /15/ M.Bertolaccini, C.Bussolati, and E.Gatti, Nucl. Instr. and Meth., 41 (1966) 173.
- /16/ P.W.Nicholson, in Nuclear Electronics, John Wiley & Sons, (1974) 146.
- /17/ E.Gatti and P.F.Manfredi, Processing the Signals from Solid-State Detectors in Elementary-Particle Physics, Nuovo Cimento, Vol.9-1, (1986).
- /18/ G.Bertuccio and A.Pullia, Room Temperature X-ray Spectroscopy with a Silicon Diode Detector and an Ultra Low Noise Preamplifier, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-41 (1994) 1704.
- /19/ P.Jalas et al., New Results with Semiconductor Drift Chambers for X-ray Spectroscopy, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-41 (1994) 1048.
- /20/ E.Gatti, P.F.Manfredi, M.Sampietro and V.Speziali, Suboptimal filtering of 1/f noise in detector charge measurements, Nucl. Instr. and Meth. A 297 (1990) 467-478.
- /21/ G.Bertuccio, P.Rehak and D.Xi: A Novel Charge Preamplifier Without the Feedback Resistor, Nucl. Instr. and Meth. A 326 (1993) 71-76.
- /22/ E.Pinotti et al., The pn-CCD on-chip electronics, Nucl. Instr. and Meth. A 326 (1993) 85-91
- /23/ J.Kemmer, Technischen Univ. Munchen: Improvement of Detector Fabrication by the Planar Process, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 226 (1984) 89-93.
- /24/ S.Holland, (LBL): An IC-Compatible Detector Process, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS 36 (1989) 283-289
- /25/ M.L.Polignano et al.: Gettering Mechanisms in Silicon, J. Appl. Phys. 64 (1988) 869-876
- /26/ G.F.DallaBetta, G.Verzellesi, G.U.Pignatelli: A Low Leakage Process for Silicon Radiation Detectors, Alta Frequenza, Vol. 7, No.4 (1995) 52-54.
- /27/ G.U.Pignatelli, M.Zen, Ion Implanted Silicon Bolometers Operating in the Temperature Range 0.1-4.2K, The Electrochem. Soc. Proceedings Vol. 95-9 (1995) 385-400.
- /28/ W.Snoeys et al., (CIS Stanford), PIN Detector Array and Integrated Readout Circuitry on High-Resistivity Float-Zone Silicon, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS 41 (1994) 903-911.
- /29/ AMPTEK Inc., 6 De Angelo Drive, Bedford, MA 01730-2204 U.S.A.
- /30/ INTERTECHNIQUE, Nuclear Instr. and Systems, B.P.101-91943 Les Ulis Cedex -FR

*Prof. Dr. Giorgio U. Pignatelli,
University of Trento
Materials Engineering Department,
Via Mesiano 77,
I-38050 Mesiano TN
Italy
tel. +39 461 88 1915
fax. +39 461 88 1977*

Prispelo (Arrived): 29.08.1995 Sprejeto (Accepted): 08.09.1995

MORFOLOGIJA IN SINTERABILNOST PRAHOV Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃, SINTETIZIRANIH IZ ALKOKSIDNIH KOMPLEKSOV

Barbara Malič, Marija Kosec, Drago Kolar
Institut "Jožef Stefan", Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ prahovi, morfologija, sinterabilnost, kompleksi alkoksidi, mikrostrukture, sintranje prahov, raztopine, homogenost, čistost kemijska, velikost delcev

Povzetek: Prahove na osnovi Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ smo sintetizirali po alkoksidnem sol-gel postopku iz svinčevega acetata in n-propoksidov oziroma n-butoksidov kovin prehoda v matičnih alkoholih. Prahove smo po toplotni obdelavi pri 650°C, 5 ur, mleli, stisnili v tablete in sintrali. Ugotovili smo, da vrsta alkoksida vpliva na morfologijo prahov, porazdelitev poroznosti v surovih tabletah in na sinterabilnost.

Morphology and Sinterability of the Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ Powders, Prepared from Various Alkoxide Based Complexes

Key words: Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ powders, morphology, sinterability, alkoxide complexes, microstructures, powder sintering, solutions, homogeneity, chemical purity, particle sizes

Abstract: Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ powders were prepared by the alkoxide sol-gel processing from anhydrous lead acetate and zirconium and titanium n-propoxides and n-butoxides in parent alcohol medium. The amorphous precursors were thermally treated at 650°C, 5 hours and milled for various times. The morphology of the as-calcined and milled powders was observed by SEM. It was found that the n-propoxide based powder consisted of strongly bound units or gel fragments of sizes up to 60 nm. Although the milling was successful in lowering the median particle size, the morphology of irregular gel fragments was retained leading to a wide pore size distribution in the green compact. Sintering of the milled n-propoxide based powder, isostatically pressed at 500 MPa was performed at 1000°C, 2 hours. The density of the ceramics was 96% of the theoretical density. The microstructure contained some large defects due to inhomogeneous density distribution in green compacts. The n-butoxide based powder was composed of loose agglomerates of submicrometer sized particles that could be easily disintegrated by milling. The green compacts were characterized by a low porosity and a narrow distribution of pore sizes. Sintering of the compacts, isostatically pressed at 500 MPa, led to densities above 99% of theoretical value above 900°C.

Uvod

V zadnjih letih narašča delež raziskav sintez keramičnih prahov iz raztopin, ki v primerjavi s sintezo v trdnem stanju omogočajo večjo homogenost, kemijsko čistost in submikronsko velikost delcev. Med sinteze iz raztopin uvrščamo tudi alkoksidni sol-gel postopek, ki temelji na reakcijah hidrolize in polikondezacije kovinskih alkoksidov /1/. Če gre za večkomponentni sistem, kar je v primeru elektronske keramike običajno, je prva stopnja postopka sinteza heterometalnega alkoksida ali kompleksa iz enostavnih alkoksidov in soli tistih kovin, ki ne tvorijo obstojnih alkoksidov. Pri alkoksidnem postopku je torej vsaj teoretično dosežena homogenost na molekularnem nivoju že v raztopini. Na morfologijo produkta (tanke plasti, vlakna, monoliti, submikronski delci) v splošnem vplivamo z izbiro reaktantov in reakcijskih pogojev.

Lastnosti posameznih sestavnih enot keramičnega prahu bistveno vplivajo na potek stiskanja prahu v surovec, na porazdelitev poroznosti v surovcu, na sintranje in torej na mikrostrukturo keramičnega materiala /2/. Kristaliti so najmanjše enote keramičnega prahu. Njihovo velikost določimo na osnovi širitve uklonov rentgenskega spektra. Kristaliti se združujejo v agregate ali aglomerate, odvisno od načina sinteze. Osnovne enote alkoksidno sintetizira-

nih prahov so večinoma agregati /1/. Kristalite v agregatih vežejo močne vezi zaradi česar jih s kompaktiranjem običajno ne moremo porušiti /2/. Aglomerati so skupki kristalitov ali agregatov. S kompaktiranjem jih običajno lahko porušimo. Definicije, velikostni red in načini določitve velikosti enot keramičnega prahu so zbrani v tabeli 1.

Tabela 1: Enote keramičnega prahu: definicija, velikostni red in metoda določitve /2/

Pojem	Definicija	Velikostni red (nm)	Določitev
kristalit	del mreže s skoraj idealno kristalno strukturo	do 10	širitev uklonov rentgenskega spektra, TEM
agregat	kompakten delec, sestavljen iz kristalitov	10 - 100	TEM, SEM, BET
aglomerat	bolj ali manj porozen skupek kristalitov ali agregatov	> 100	TEM, SEM, granulometrija

Uporaba kemijsko čistih neaglomeriranih submikronskih delcev z ozko porazdelitvijo velikosti vodi ob ustrezni obdelavi do keramike z visoko relativno gostoto, drobnozrnato mikrostrukturo in ozko porazdelitvijo velikosti por /3/. Submikronska velikost delcev omogoča, da dobimo keramiko z visoko gostoto pri nižjih temperaturah, kot so značilne za klasično pripravljeno keramiko. Znižanje temperature sintranja je predvsem pomembno za keramiko, ki vsebuje komponente z visokim parnim tlakom, kot na primer PbO v trdni raztopini $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$, ki je znan piezoelektrik, kjer predstavlja ohranjanje stehiometrije resen problem /4/.

Prahove na osnovi $PbZrO_3$, $PbTiO_3$ in trdnih raztopin $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ smo sintetizirali po alkoksidnem sol-gel postopku iz svinčevega acetata in n-propoksidov in n-butoksidov kovin prehoda v matičnih alkoholih. Ugotovili smo, da vrsta alkoksidne skupine vpliva na pirolizo in kristalizacijo amorfni prekurzorjev. S TGA/EGA analizo smo potrdili, da je n-propoksidni prekurzor $Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O_3$ po sušenju vseboval večji delež organskih skupin (acetatnih in nehidroliziranih alkoksidnih) kot n-butoksidni /5/. Nadalje smo z vrstično elektronsko mikroskopijo opazili, da sestavljajo n-propoksidni prah po sušenju drobci gela brez opazne teksture, medtem ko so osnovne enote n-butoksidnega prahu delci nanometrskih velikosti /6/.

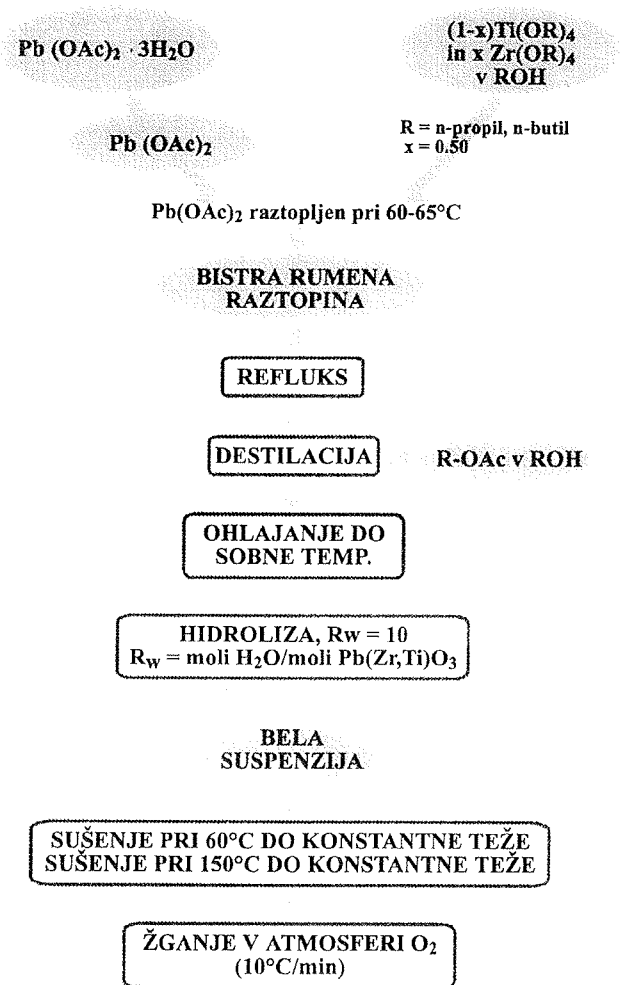
Amorfne prekurzorje smo segrevali pri 650°C, 5 ur v pretoku kisika. Med toplotno obdelavo je prišlo do termolize funkcionalnih skupin in do kristalizacije perovskitne $Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O_3$ faze /7/. Namen tega dela je bil študirati vpliv vrste alkoksidne skupine na morfologijo in sinterabilnost keramičnih prahov $Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O_3$, ki so po sestavi blizu aplikativno zanimivim piezoelektrikom.

Eksperimentalno delo

Pri eksperimentalnem delu smo uporabili svinčev acetat hidrat (ultra pur) ter titanov in cirkonijev n-propoksid in n-butoksid v matičnih alkoholih. Vsebnost kovin v alkoksidih smo določili gravimetrično. Zaradi velike občutljivosti alkoksidov na zračno vlago smo sinteze heterometalnih prekurzorjev izvajali v suhi atmosferi argona. Shema sinteze je prikazana na sliki 1. Amorfne prekurzorje smo po sušenju nadalje segrevali pri 650°C, 5 ur v pretoku kisika. Keramične prahove smo mleli v ahatnem mlinu od 5 do 120 minut v matičnih alkoholih in jih nato sušili pri 100°C.

Morfologijo prahov smo spremljali z vrstičnim elektronskim mikroskopom (Leitz AMR 1600 T). Porazdelitev velikosti delcev smo merili z granulometrom (Cilas Alcatel). Specifično površino prahov smo določili z BET metodo (Perkin Elmer 212D). Nasipno težo smo določili s tehtanjem znanih volumnov nasutih prahov. Skeletno gostoto smo določili piknometrično v heksanu.

Surove tablete iz nemletih in mletih prahov smo stisnili s pritiskom 50 MPa enosno, nato do 700 MPa izostatsko. Vzorce smo sintrali na zraku oziroma v vakuumu do 700°C, nato v kisiku. Hitrost segrevanja je bila 10°C/min., temperature od 700 do 1200°C in časi od 10 minut do 100



Slika 1. Shema sinteze prekurzorjev trdne raztopine $Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O_3$

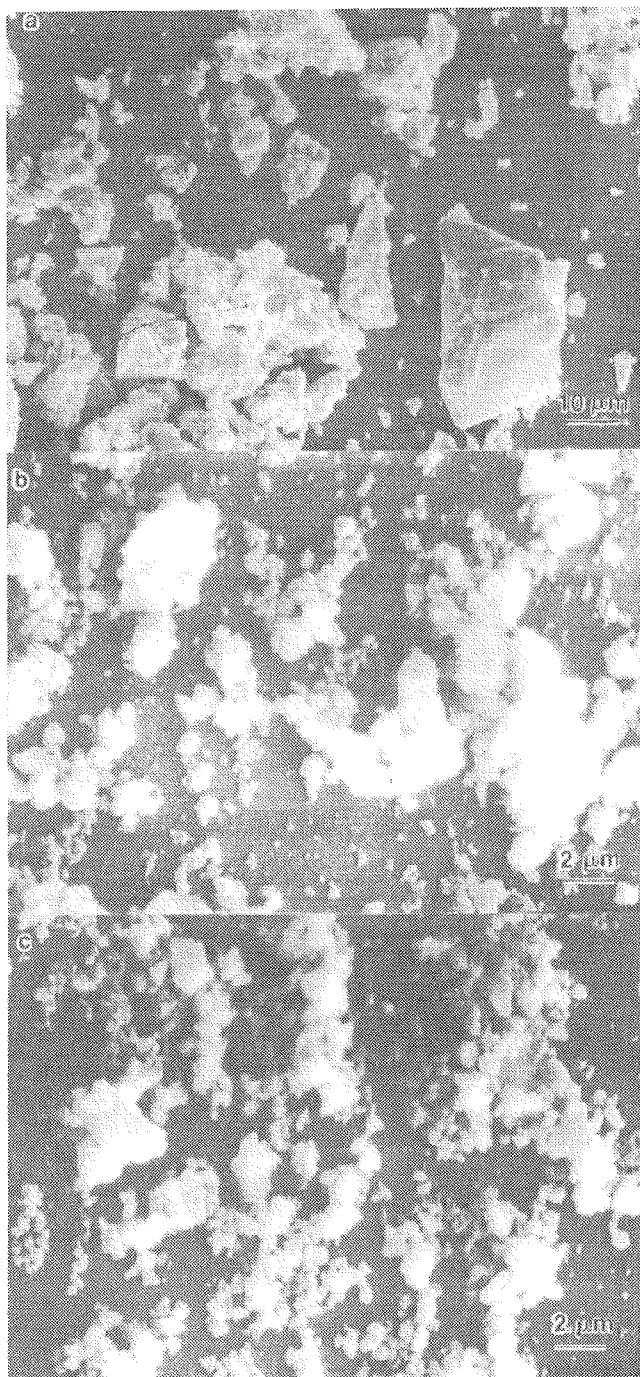
ur. Vzorce smo sintrali v zasipnem prahu $PbZrO_3$ v dvojnih korundnih lončkih.

Gostote surovih tablet smo določili na osnovi meritev mase in dimenzij, gostote sintranih tablet pa s piknometrom. Porazdelitev poroznosti smo izmerili s porozimetrom (Micromeritics Pore Sizer 9310).

Vzorce za mikrostrukturno analizo smo jedkali termično (40 do 60 sekund pri temperaturi sintranja) ali z mešanico HCl/HF. Povprečni ekvivalentni premer zrn smo določili na podlagi približno 200 meritev površine posameznih zrn.

Rezultati in diskusija

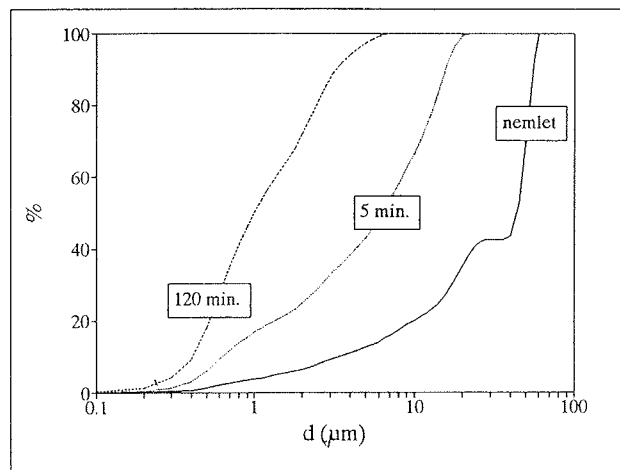
Slika 2 prikazuje n-propoksidni prah po žganju pri 650°C, 5 ur pred mletjem in po različnih časih mletja, slika 3 pa rezultate granulometričnih analiz. Žgani prah sestavlja nepravilno oblikovani drobci, veliki od nekaj do približno 60 μm, s srednjo vrednostjo pri 40 μm. Po 5 minutnem mletju pride do izrazitega zmanjšanja velikosti največjih delcev do 20 μm, z mediano pri 6 μm. Po 2 urah mletja je



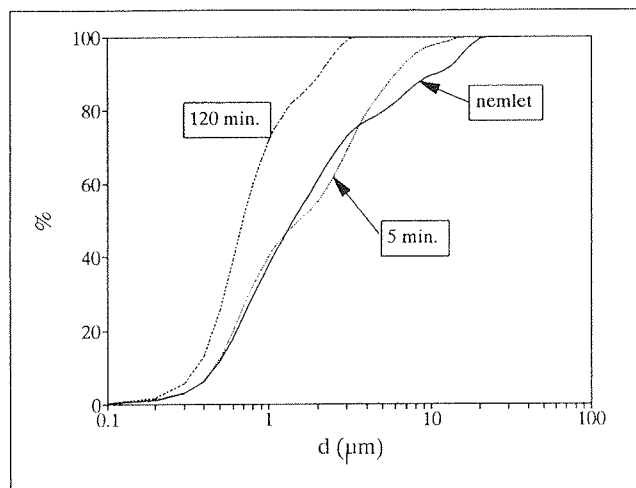
Slika 2: Mikroskopski posnetki n-propoksidnega prahu po žganju pri 650°C, 5 ur a) pred mletjem in po mletju b) 5 in c) 120 minut

srednja vrednost velikosti delcev 1 μm. Z 2 urnim mletjem toplotno obdelanega prahu sicer dosežemo približno mikrometrsko velikost delcev, vendar z morfologijo nepravilnih drobcev.

N-butoksidni prah sestavljajo aglomerati submikronskih delcev - agregatov (Slika 4). Velikost aglomeratov sega



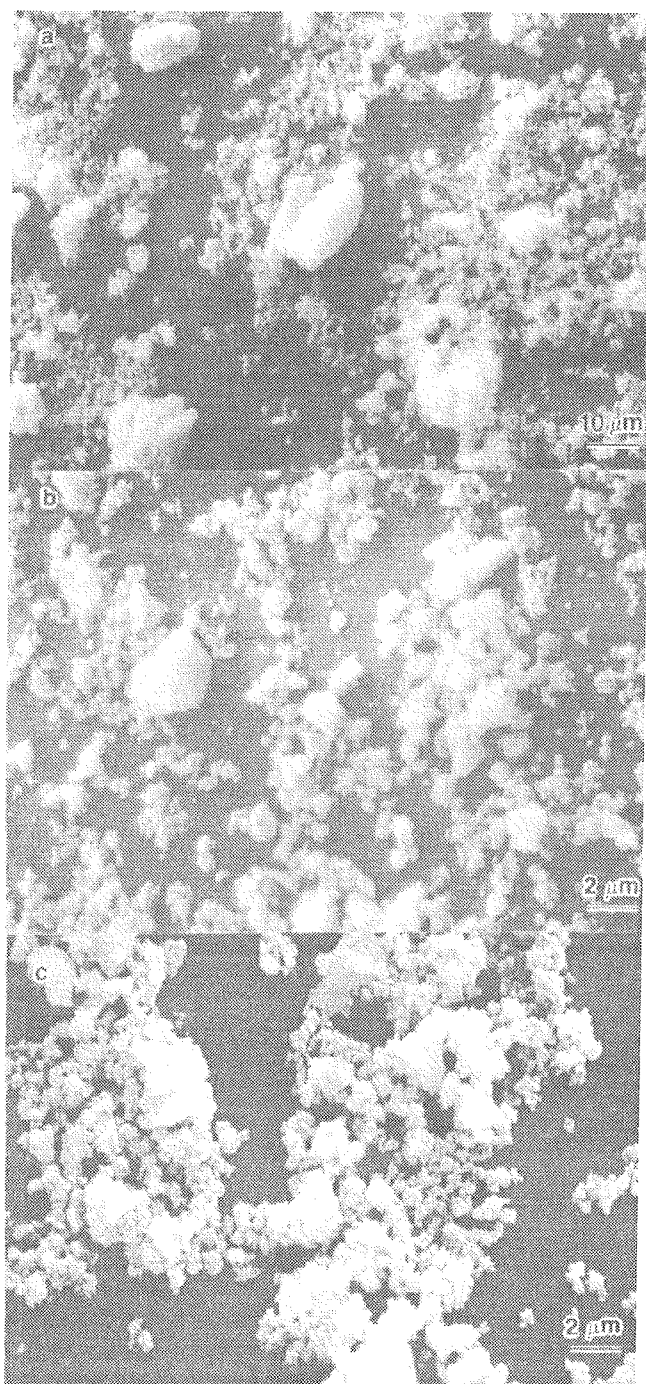
Slika 3: Porazdelitve velikosti delcev n-propoksidnega prahu po žganju pri 650°C, 5 ur, pred mletjem in po mletju 5 in 120 minut



Slika 5: Porazdelitve velikosti delcev n-butoksidnih prahov po žganju pri 650°C, 5 ur, pred mletjem in po mletju 5 in 120 minut

do 20 μm, kot je prikazano na sliki 5. Po 120 minutah mletja je srednja vrednost velikosti aglomeratov pod 1 μm z ozko porazdelitvijo velikosti (Slika 5).

Na osnovi meritev specifične površine smo v 2 uri mletem prahu ob predpostavljani sferični geometriji določili velikosti agregatov (Tabela 2).



Slika 4: Mikroskopski posnetki n-butoksidnih prahov po žganju pri 650°C, 5 ur A pred mletjem in po mletju b) 5 in c) 120 minut

Tabela 2: Specifična površina in velikost agregatov v n-propoksidnem in n-butoksidnem prahu po mletju 120 minut

	spec. površina (m ² /g)	premer agregata (μm)
n-propoksid	2.3	0.33
n-butoksid	6.6	0.11

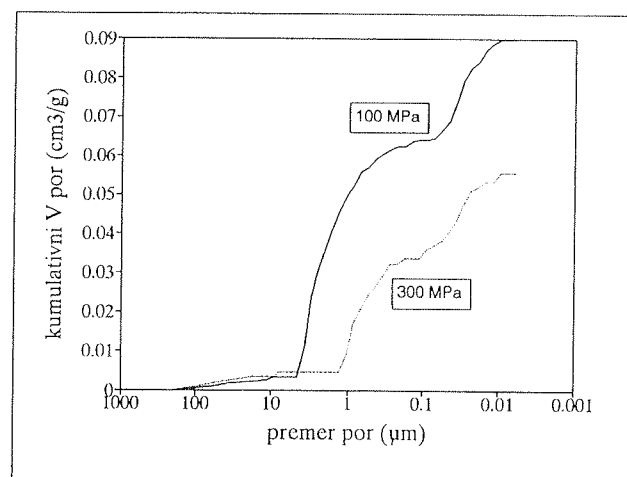
Rezultati meritev velikosti aglomeratov, agregatov in kristalitov (v skladu z definicijami, navedenimi v Tabeli 1) za n-propoksidni in n-butoksidni prah so zbrane v Tabeli 3. Velikost osnovnih kristalitov smo določili na osnovi širitve karakterističnih uklonov v rentgenskih spektrih /8/. Velikosti osnovnih kristalitov so v obeh prahovih podobne, od 30 do 40 nm. Velikosti agregatov so v n-propoksidnem prahu za faktor 3 večje kot v n-butoksidnem. Aglomerati so v obeh prahovih veliki do nekaj μm.

Tabela 3: Ocena velikosti sestavin prahu po 2 urah mletja

sestavine prahu	n-propoksidni	n-butoksidni	metoda določitve
	d povpr. (μm)	d povpr. (μm)	
kristaliti	0.04	0.03	XRD
agregati	0.3	0.1	BET
aglomerati	0.4 - 3	0.2 - 2	SEM, granulometer

Vpliv velikosti in porazdelitve velikosti aglomeratov ter jakosti vezi znotraj aglomeratov na obnašanje prahu med hladnim stiskanjem smo zasledovali z merjenjem gostote, porazdelitev velikosti por in poroznosti v surovcih iz n-propoksidnega in n-butoksidnega prahu po toplotni obdelavi. Primerjali smo nemleti prah in prah po 120 minutah mletja.

Najboljše rezultate pri stiskanju surovcev smo po preliminarnih poskusih z vrsto veziv, ki jih običajno uporabljamo pri pripravi keramike /9/, dobili brez uporabe veziva, s čimer smo se dodatno izognili stopnji odstranjevanja veziva.



Slika 6: Porazdelitev poroznosti v surovcu iz nemletega n-propoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

Surovec iz nemletega n-propoksidnega prahu, stisnjen s 100 MPa doseže 55, stisnjen s 300 MPa pa 61 % teoretične gostote (Tabela 4). Surovci, stisnjeni z višjimi pritiski, so razpadli. Slika 6 prikazuje porazdelitev poroznosti v surovcih, stisnjenih s 100 in 300 MPa. Porazdelitev poroznosti v obeh surovcih je bimodalna. V surovcu, stisnjenem s 100 MPa, ločimo populacijo por med 4.5 in 0.2 μm in med 0.09 in 0.01 μm . V surovcu, stisnjenem s 300 MPa, ločimo pore med 2 in 0.2 μm ter med 0.09 in 0.01 μm . V skladu z literaturo /10,11/ so večje pore med aglomerati, manjše pa pore znotraj aglomeratov.

Na osnovi modela Lija in sodelavcev /10/ smo v n-propoksidnih surovcih ocenili gostoto aglomeratov po enačbi (1) in delež poroznosti med aglomerati po enačbi (2).

$$\rho_a = \frac{\rho_{teor}}{1 + \rho_{teor} \times V_1} \quad (1)$$

ρ_a : gostota aglomerata (gcm^{-3})

ρ_{teor} : teoretična gostota snovi (za $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.50})\text{O}_3$ je 8.0 gcm^{-3})

V_1 : volumen por znotraj aglomeratov (cm^3g^{-1})

$$\varepsilon = \frac{\rho_a \times V_2}{1 + \rho_a \times V_2} \quad (2)$$

ε : delež poroznosti med aglomerati (%)

V_2 : volumen por med aglomerati (gcm^{-3})

Gostota aglomeratov in delež poroznosti med aglomerati za n-propoksidna surovca, stisnjena s 100 in 300 MPa, so zbrani v tabeli 4.

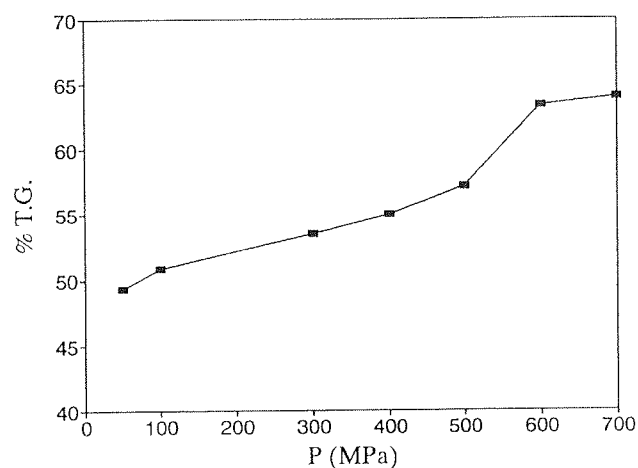
Tabela 4: Gostota surovcev ρ , gostota aglomeratov ρ_a in delež poroznosti ε med aglomerati v surovcih iz nemletega n-propoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

P(MPa)	ρ (gcm^{-3})	% TG	ρ_a (gcm^{-3})	% TG	ε (%)
100	4.4	55.0	6.6 ± 0.1	82.5	29
300	4.9	61.3	6.7 ± 0.1	83.8	18

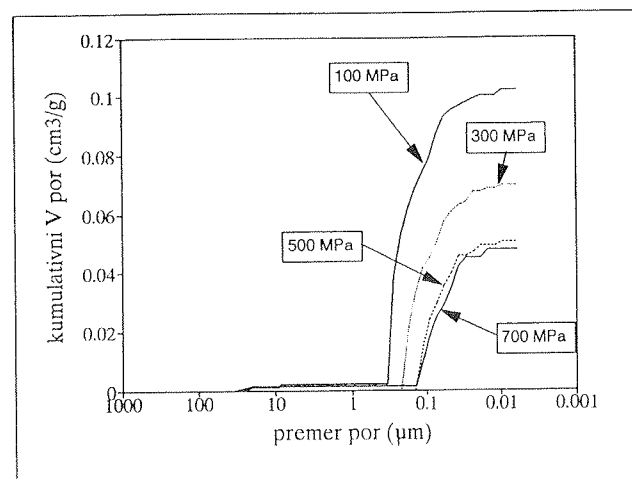
Delež poroznosti med aglomerati z naraščajočim pritiskom stiskanja pada od 29 do 18% za 100 oziroma 300 MPa. Gostota aglomeratov je skoraj neodvisna od pritiska stiskanja, znaša 6.6 gcm^{-3} oziroma 83 % teoretične gostote materiala. Z naraščajočim pritiskom dosežemo samo gostejše pakiranje aglomeratov, kar na diagramu poroznosti (Slika 6) opazimo kot zmanjšanje kumulativnega volumna večjih por.

Rezultati kažejo, da n-propoksidni surovec sestavljajo močni, gosti aglomerati, ki jih s pritiskom 300 MPa ne moremo porušiti. Z višjimi pritiski pride do razpada surovca in ne do preurejanja agregatov. Obnašanje n-propoksidnega surovca je značilno za prah, vezan v močne aglomerate /2,10,11/.

Nadalje smo karakterizirali tudi surovce iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu. Odvisnost gostote od pritiska stiskanja prikazuje slika 7. Gostota surovcev zvezno narašča od 50 do 57 % teoretične gostote pri pritiskih od 50 do približno 500 MPa, pri 600 MPa pa pride do povečanja gostote do 63 % teoretične gostote. Tak tip obnašanja razložimo s preurejanjem aglomeratov v območju do 500 MPa in rušenjem aglomeratov v agregate in nadaljnim pakiranjem agregatov v odmočju nad 500 MPa /10/.



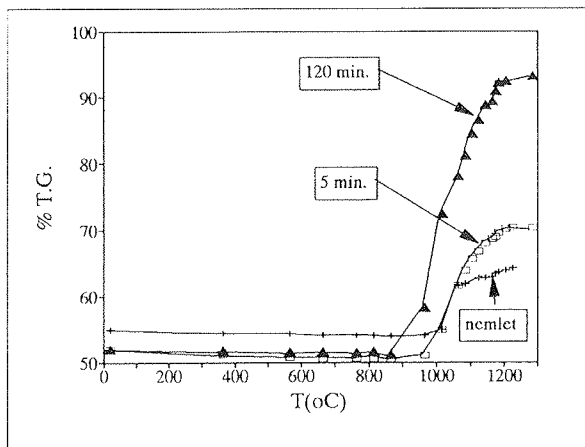
Slika 7: Gostota surovcev iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja



Slika 8: Porazdelitev poroznosti v surovcih iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

Porazdelitve poroznosti v surovcih iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja so prikazane na sliki 8. Porazdelitev poroznosti v surovcu, stisnjem s 100 MPa, je široka, v območju od 0.4 do 0.04 μm . Z naraščajočim pritiskom se zmanjša predvsem volumen por, medtem ko porazdelitev velikosti por ostaja široka, kar je pač posledica relativno široke porazdelitve velikosti in nepravilne oblike delcev v izhodnem prahu. Porazdelitve poroznosti surovcev iz mletega prahu se ujema z rezultati karakterizacije prahov, da smo z mletjem zmanjšali velikost aglomeratov. V primerjavi z nemletim prahom smo v surovcih iz mletega prahu dosegli precej bolj enakomerno porazdelitev poroznosti.

Slika 9 prikazuje dinamične krivulje sintranja surovcev iz nemletega, 5 minut in 120 minut mletega n-propoksidnega prahu. Krivulja sintranja surovca iz nemletega prahu kaže povečanje relativne gostote* za približno 10% v temperaturnem intervalu od 1000 do 1080°C, z nadaljnim segrevanjem do maksimalne temperature 1170°C krčenje ni več. Surovec iz 5 minut mletega prahu se začne zgoščevati pri 970°C in doseže pri 1200°C 70% teoretične gostote. Zgoščevanje 120 minut mletega prahu poteka v intervalu od 870 do 1100°C do 94% teoretične gostote.

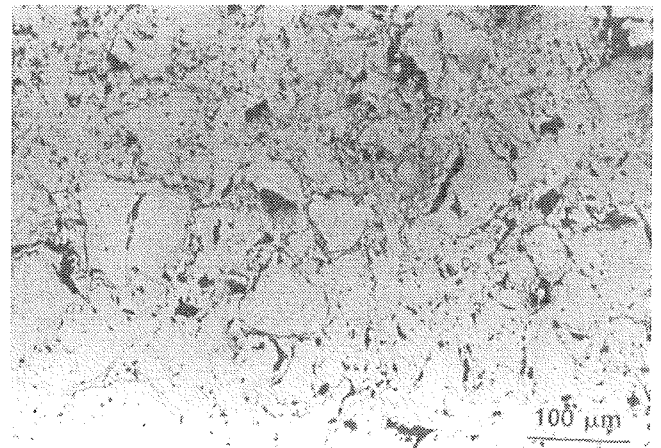


Slika 9: Dinamične krivulje sintranja n-propoksidnih surovcev, stisnjenih s 100 MPa. Prah je bil nemlet ali mlet 5 in 120 minut

Primerjava krivulj sintranja pokaže, da z daljšim časom mletja prahov dosežemo nižjo temperaturo začetka zgoščevanja in večjo končno gostoto keramike glede na mleti prah.

Sintranje surovca iz nemletega n-propoksidnega prahu pri 1200°C, 2 uri, vodi do keramike s 75% teoretično gostoto. Slika 10 prikazuje polirano površino sintranega vzorca. Mikrostrukturo sestavljajo skoraj gosta področja z ohranjeno nepravilno morfologijo prahu, ki jih obkrožajo velike, lečasto oblikovane pore. Mikrostrukturo lahko pojasnimo z modelom Haberkera /13/, po katerem poteče zgoščevanje znotraj aglomeratov hitro, celo v minutah. Za

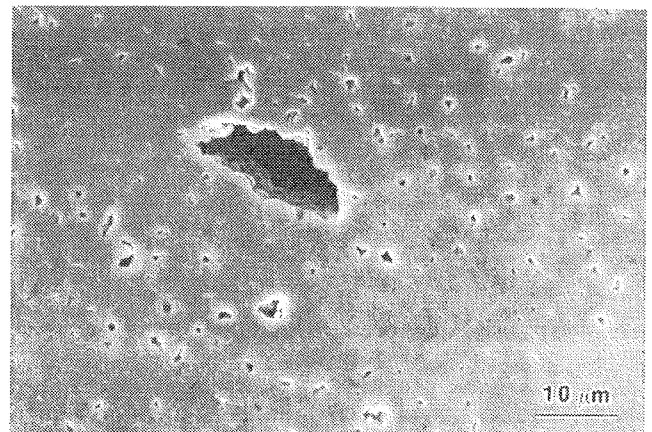
nadaljnje zgoščevanje, torej odstranjevanje termodinamsko stabilnih, velikih por je potreben bistveno daljši čas /14/.



Slika 10: Mikrostruktura n-propoksidnega $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.50})\text{O}_3$ po žganju pri 1200°C, 2 uri (surovec stisjen s 100 MPa)

Surovce iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu ($P=500$ MPa) smo sintrali pri 1000°C, 2 uri. Keramika je imela 96% teoretične gostote. Slika 11 prikazuje jedkano površino keramike. V mikrostrukturi so poleg por, katerih velikost je primerljiva z velikostjo zrn okrog 1 μm , tudi redki 10-20 μm veliki defekti. Prisotnost večjih defektov je posledica široke porazdelitve poroznosti v surovcu. Lange navaja, da je prisotnost velikih defektov v mikrostrukturi razlog za doseganje končnih gostot, nižjih od teoretične vrednosti /15/.

Nadalje smo primerjali stiskanje surovcev in sinterabilnost n-butoksidnega prahu pred in po mletju. Odvisnost gostote surovcev od pritiska stiskanja je prikazana v tabeli 5. Gostota narašča od 43 do 54 % teoretične gostote pri

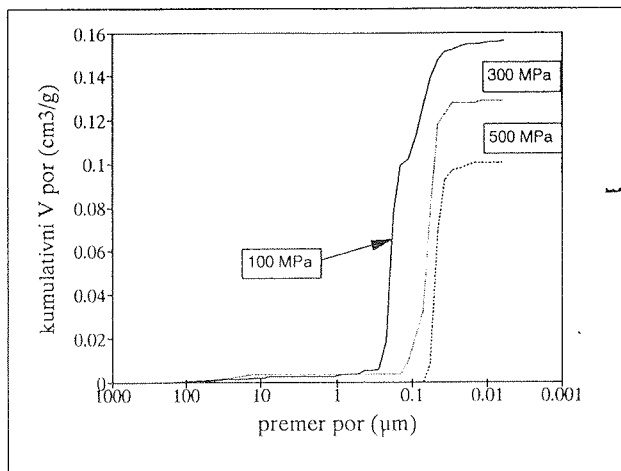


Slika 11: Mikrostruktura keramike iz n-propoksidnega 2 uri mletega prahu po sintranju pri 1000°C, 2 uri, O_2 (surovec stisjen s 500 MPa)

* gostota keramike je bila preračunana iz skrčkov po enačbi v /12/.

pritiskih od 100 do 500 MPa. Gostote surovcev iz n-butoksidnega prahu so precej nižje od gostot surovcev iz nemletega n-propoksidnega prahu.

Slika 12 prikazuje porazdelitev poroznosti v surovcih iz nemletega n-butoksidnega prahu. Kumulativni volumni por padajo od 0.16 do 0.10 cm³/g sorazmerno z naraščajočim pritiskom stiskanja od 100 do 500 MPa. Tudi srednja velikost por pada z naraščajočim pritiskom od 0.17 do 0.05 μm.



Slika 12: Porazdelitev poroznosti v surovcih iz nemletega n-butoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

Porazdelitev poroznosti surovca, stisnjene s 100 MPa, je neizrazito bimodalna, s populacijo večjih por do velikosti 0.15 μm in 40% por velikosti od 0.1 do 0.006 μm. Gostota aglomeratov v surovcu, stisnjemem s 100 MPa, izračunana po enačbi (1), je 68 % teoretične gostote in poroznost med aglomerati 35% (Tabela 5). V surovcih, stisnjenih z višjim pritiskom, je porazdelitev poroznosti unimodalna.

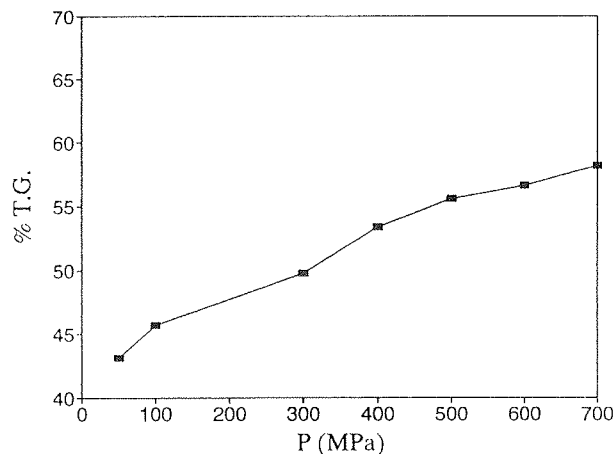
Obnašanje n-butoksidnega prahu med hladnim stiskanjem je značilno za prah, ki ga sestavljajo šibki, porozni aglomerati. Le-ti razpadejo ob aplikaciji pritiska, z nadaljnim večanjem pritiska pride do preurejanja agregatov v čedalje gostejšo strukturo /16/.

V primerjavi z nemletim n-propoksidnim prahom, stisnjemim s 100 MPa, in gostoto aglomeratov 83% teoretične gostote (glej Tabelo 4), je gostota aglomeratov v n-butoksidnem prahu precej nižja. Nadalje je za n-butoksidne surovce značilna precej ožja porazdelitev velikosti por kot za n-propoksidne.

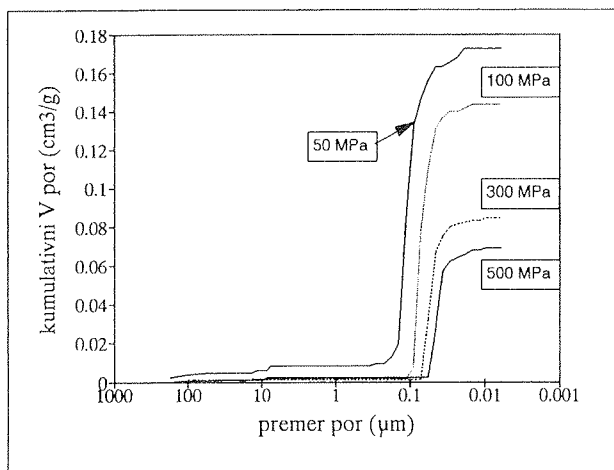
Naraščanje gostote surovcev iz mletega n-butoksidnega prahu je pri pritiskih od 100 do 700 MPa linearno, od 43 do 58 % teoretične gostote (Slika 13). Gostote surovcev so podobne vrednostim za nemleti n-butoksidni prah, podanim v tabeli 5.

Tabela 5: Gostota surovcev ρ , gostota aglomeratov ρ_a in poroznost ϵ med aglomerati v surovcih iz nemletega n-butoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

P/MPa	ρ (gcm ⁻³)	% T.G.	ρ_a (gcm ⁻³)	% TG	ϵ (%)
100	3.5	43.5	5.4	68	35
300	3.8	47.5	-	-	-
500	4.3	53.8	-	-	-



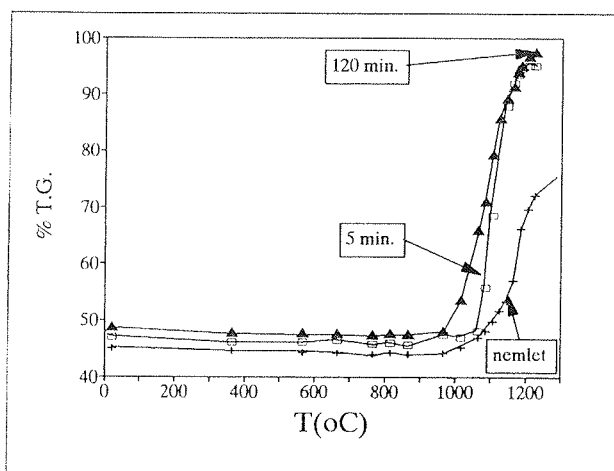
Slika 13: Gostota surovcev iz 2 uri mletega n-butoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja



Slika 14: Porazdelitev poroznosti v surovcih iz 2 uri mletega n-butoksidnega prahu v odvisnosti od pritiska stiskanja

Porazdelitve poroznosti v surovcih iz mletega n-butoksidnega prahu, stisnjenih s 50, 100, 300 in 500 MPa so prikazane na sliki 14. Za krivuljo, ki prikazuje kumulativni volumen por v surovcu, stisnjem s 50 MPa, je značilna rahlo bimodalna porazdelitev poroznosti. Porazdelitev poroznosti in velikosti por v vzorcu, stisnjem s 100 MPa je unimodalna, z večino por med 0.1 in 0.04 μm . Z naraščajočim pritiskom stiskanja se tako volumen kot srednji premer por manjšata, pri 500 MPa je kumulativni volumen por 0.07 cm^3/g oziroma enkrat manjši kot pri 100 MPa. Srednji premer por se zmanjša od 0.07 na 0.04 μm . Na osnovi rezultatov sodimo, da so bili v prahu prisotni rahli aglomerati, ki jih s pritiskom 50 MPa nismo uspeli popolnoma porušiti. Krivulje vzorcev, stisnjenih s 100 do 500 MPa so unimodalne, na osnovi česar sodimo, da smo z uporabljenimi pritiski uspeli porušiti aglomerate ter da so v surovcih prisotni le agregati. Z naraščajočim pritiskom stiskanja dosežemo čedalje gostejše pakiranje agregatov. Rezultati so primerljivi z navedbami v literaturi o hladnem stiskanju prahov, sestavljenih iz rahlih aglomeratov [2,10,16].

Slika 15 prikazuje krivulje sintranja n-butoksidnih prahov pred in po mletju. Surovci so bili stisnjeni s 100 MPa. Začetek zgoščevanja nemletega n-butoksidnega prahu je pri 1000°C. V temperaturnem intervalu do najvišje temperature 1170°C se gostota poveča na 75% teoretične gostote. Za surovca iz 5 in 120 minut mletega prahu je značilno izredno intenzivno krčenje v ozkem temperaturnem intervalu okrog 1000°C. Doseženi gostoti presežeta 95% teoretične gostote.



Slika 15: Dinamične krivulje sintranja n-butoksidnih surovcev, stisnjenih s 100 MPa. Prah je bil nemlet ali mlet 5 in 120 minut

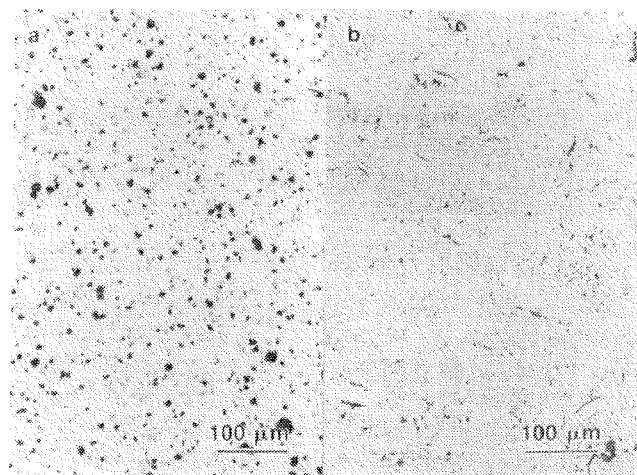
Surovce iz nemletega n-butoksidnega prahu, stisnjene s 100 MPa, smo sintrali pri 1200°C, 2 uri. V mikrostrukturi (Slika 16a), so med gostimi področji prisotne pore, velike do nekaj 10 μm , ki so posledica neenakomerne porazdelitve gostote v surovi tableti. Mikrostruktura keramike iz nemletega prahu, stisnjene s 500 MPa, po sintranju pri 1000°C, 2 uri, je prikazana na sliki 16b. Gostoti obeh tablet sta bili nad 90 % teoretične gostote. Že pri 200°C nižji

temperaturi sintranja je v mikrostrukturi izrazito manj večjih por v primerjavi z mikrostrukturo keramike, kjer je bil pritisk stiskanja 100 MPa. Razliko pripisujemo ožji porazdelitvi velikosti por oziroma enakomernejši porazdelitvi gostote v surovcu.

Surovce iz 2 uri mletega n-butoksidnega prahu, stisnjene s 500 MPa, smo sintrali 1 uro od 850 do 1000°C. Podatki o gostoti keramike, sintrane v tem temperaturnem intervalu so zbrani v tabeli 6. Nad 900°C je imela keramika gostoto nad 98% teoretične gostote.

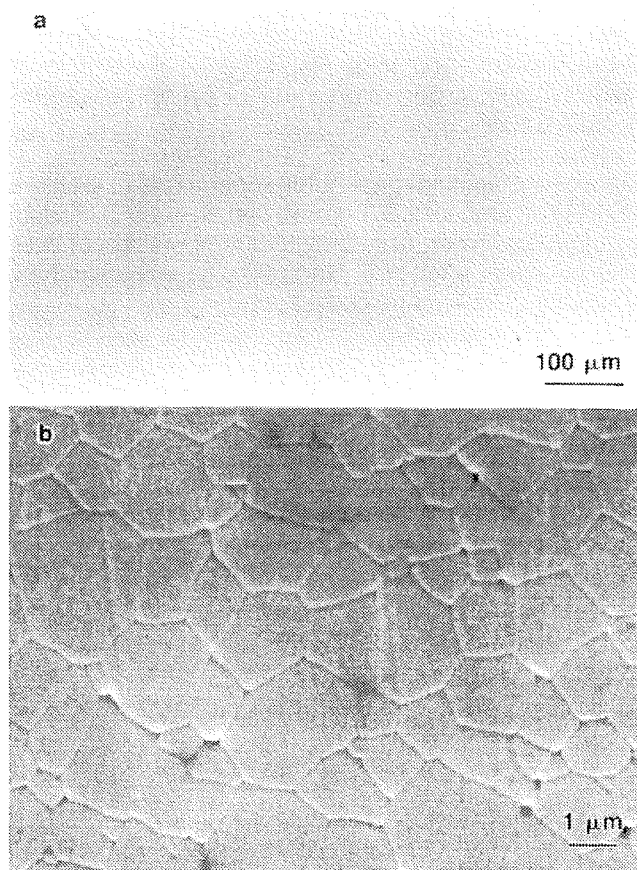
Tabela 6: Gostota keramike iz 2 uri mletega n-butoksidnega prahu, sintrane 1 uro pri različnih temperaturah

T(°C)	ρ (gcm^{-3})	% teoretične gostote
850	7.1	89
900	7.89	98.6
950	7.98	99.8
1000	7.93	99.1



Slika 16: Mikrostruktura keramike iz nemletega n-butoksidnega prahu po žganju pri a) 1200°C, 2 uri (surovec stisnjen s 100 MPa) in b) 1000°C, 2 uri (surovec stisnjen s 500 MPa)

Tabela 7 prikazuje odvisnost gostote in velikosti zrn keramike od časa sintranja pri 1000°C. Dosežene gostote presegajo 98%. Povprečna velikost zrn keramike, sintrane od 10 do 120 minut je 1.3 μm , tudi porazdelitve velikosti zrn so primerljive. Po 6000 minutah pri 1000°C je povprečna velikost zrn 2.1 μm , s standardno deviacijo 0.42 μm . Dejstvo, da se velikost zrna s časom sintranja od 10 do 480 minut ne spreminja, poskušamo razložiti z razlago, da je do rasti zrn prišlo že med segrevanjem, saj se intenzivno zgoščevanje po dinamični krivulji sintranja začne pri 970°C.



Slika 17: Mikrostruktura keramike iz 2 uri mletega n-butoksidnega prahu, sintrane pri 1000°C, O₂, 120 minut, a) polirana in b) jedkana površina

Slika 17 prikazuje polirano in jedkano površino popolnoma goste keramike iz mletega n-butoksidnega prahu po sintranju pri 1000°C 120 minut. Na polirani površini ni defektov, kar je posledica enakomernega pakiranja neaglomeriranih delcev. Povprečna velikost zrn je 1.2 μm.

Tabela 7: Gostota in povprečna velikost zrn keramike iz mletega n-butoksidnega prahu v odvisnosti od časa sintranja pri 1000°C

t (min)	ρ (gcm ⁻³)	% TG	d (μm)	σ (μm)
10	7.85	98	1.29	0.39
60	7.93	99.1	-	-
120	7.93	99.1	1.24	0.40
480	-	-	1.24	0.41
6000	7.95	99.4	2.05	0.42

Sklepi

Študirali smo morfologijo in sinterabilnost keramičnega prahu Pb(Zr_{0.50}Ti_{0.50})O₃ sintetiziranega iz različnih alkoksidskih kompleksov in toplotno obdelanega pri 650°C, 5ur v kisikovi atmosferi. Za prah, sintetiziran iz n-propoksidnega kompleksa, je značilna široka porazdelitev velikosti nepravilno oblikovanih delcev od 1 do 60 μm, ki jih s stiskanjem v oblikovanec ni bilo mogoče razbiti. Z dodatnim mletjem prahu sicer dosežemo zmanjšanje velikosti delcev (srednja vrednost pri 1 μm), ne vplivamo pa na osnovno morfologijo praha.

Porazdelitev velikosti por v oblikovancu iz 2 uri mletega n-propoksidnega prahu, stisnjenega s 500 MPa, je relativno široka, od 0.15 do 0.01 μm. Keramika iz mletega prahu, sintrana 2 uri pri 1000°C v kisiku, doseže 96% teoretične gostote.

Nemlet n-butoksidni prah je sestavljen iz 100 nm velikih agregatov, združenih v šibke aglomerate. Z dodatnim mletjem dosežemo ožjo porazdelitev velikosti aglomeratov. Porazdelitev velikosti por v oblikovancu iz mletega prahu, stisnjenem s 500 MPa, je ozka, od 0.05 do 0.01 μm. Sintranje pri 1000°C vodi do keramike z 99% teoretične gostote in enakomerno mikrostrukturo z 1.2 μm zrni.

Opisani rezultati kažejo, da vrsta alkoksida pri sintezi prahu izrazito vpliva na morfologijo keramičnih prahov - velikost in porazdelitev velikosti delcev, stopnjo aglomeriranosti in na njihovo sinterabilnost.

Viri

- /1/ C. J. Brinker, G. W. Scherer, Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-gel Processing, Academic Press, San Diego, (1990).
- /2/ R. Pampuch, K. Haberk, Agglomerates in Ceramic Micropowders and Their Behaviour on Cold Pressing and Sintering, Mater. Sci. Monographs 16: Ceramic Powders, P. Vincenzini (Ed.), (Elsevier, Amsterdam), 623 - 634 (1983).
- /3/ W. H. Rhodes, Agglomerate and Particle Size Effects on Sintering Yttria-Stabilized Zirconia, J. Am. Ceram. Soc., 64, 19 - 22 (1981).
- /4/ A. I. Kingon, P. J. Terblanche, J. B. Clark, The Control of Composition, Microstructure and Properties of Pb(Zr,Ti)O₃ Ceramics, Mater. Sci. Eng., 21, 391 - 397 (1985).
- /5/ B. Malič, M. Kosec, B. Orel, Effect of precursor type on the crystallization of alkoxide derived lead zirconate, sprejeto v objavo v Silicates Industriels.
- /6/ B. Malič, M. Kosec, Electron Microscope Study of Alkoxide-Derived Compositions within the PbZrO₃ - PbTiO₃ Phase Diagram, J. Sol-Gel Science and Technology, 2, (1994), 443 - 446.
- /7/ B. Malič, Disertacija, (Univerza v Ljubljani, 1989).
- /8/ J. S. Reed, Introduction to the Principles of Ceramic Processing, Wiley, New York, (1988).
- /9/ M. Li, D. Hu, Z. Chi, Determination of Agglomerate Strength in Zirconia Powders, Ceramic Transactions 22: Ceramic Powder Science IV, S. Hirano, G. L. Messing, H. Hausner (Eds.), 377 - 385 (1991).
- /10/ J. L. Shi, J. H. Gao, Z. X. Lin, D. S. Yan, Effect of Agglomerates in ZrO₂ Powder Compacts on Microstructural Development, J. Mater. Sci., 28, 342 - 348 (1993).

- /11/ M. J. Readey, R.-R. Lee, J. W. Halloran, A. H. Heuer, Processing and Sintering of Ultrafine MgO - ZrO₂ and (MgO, Y₂O₃) - ZrO₂ powders, *J. Am. Ceram. Soc.*, **73**, 1499 - 503 (1990).
- /12/ D. Kolar, *Tehnična keramika*, ZRŠŠ, (1993), pogl. 6.
- /13/ K. Haberko, Characterization and Sintering Behaviour of Zirconia Ultrafine Powders, *Ceramurgia Int.* **5**, 148 - 154, (1979).
- /14/ M. P. Harmer, Science of Sintering as Related to Ceramic Powder Processing, *Ceramic Trans. I: Ceramic Powder Sci. II*, G. Messing, E. R. Fuller, H. Hausner (Eds.), 824 - 839, (1988).
- /15/ F. F. Lange, Formation of Crack - Like Voids and Agglomerate Mobility due to Differential Sintering, *Mater. Sci. Monographs 16: Ceramic Powders*, P. Vincenzini (Ed.), (Elsevier, Amsterdam), 635 - 649 (1983).
- /16/ M. A. C. G. Van de Graaf, A. J. Burggraaf, Wet-Chemical Preparation of Zirconia Powders: Their Microstructure and Behaviour, *Adv. In Cer. 12: Science and technology of Zirconia II*, N. Claussen, M. Rühle, A. H. Heuer (Eds.), 744 - 765. (1984).

Zahvala

Članek predstavlja del doktorskega dela Barbare Malič, ki ga je v okviru akcije 2000 mladih raziskovalcev omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

*dr. Barbara Malič, dipl. ing.,
dr. Marija Kosec, dipl. ing.,
prof. Dr. Drago Kolar, dipl. ing.,
Odsek za keramiko,
Institut Jožef Stefan, Univerza v Ljubljani
Jamova 39, Ljubljana, Slovenija
tel. +386 61 1773 900
fax: +386 61 1261 029*

Prispelo (Arrived): 28.7.1995

Sprejeto (Accepted): 29.8.1995

PREISKAVE DEBELOPLASTNIH UPOROV Z VISOKIMI FAKTORJI GAUGE

Marko Hrovat, Darko Belavič*, Goran Dražič, Janez Holc, Stojan Šoba*
 Institut Jožef Stefan, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
 * HIPOT Hybrid, Šentjernej

Ključne besede: upori debeloplastni, GF gauge faktorji, TEM mikroskopija elektronska, mikrostrukture, RuO₂ oksid rutenija, analize impedanc, TCR koeficienti uporov temperaturni, Bi₂Ru₂O₇

Povzetek: Mikrostrukture nekaterih komercialnih debeloplastnih uporov z nizkimi in visokimi faktorji gauge smo preiskali s transmisijem elektronskim mikroskopom. Posnetki so pokazali značilno razliko med mikrostrukturno uporovnih materialov z nizkih oziroma visokim faktorjem gauge. Bolj homogen material z veliko majhnih delcev prevodne faze, ki so blizu skupaj, ima nizek faktor gauge, manj homogen, kjer so delci prevodne faze bolj oddaljeni drug od drugega, pa visok faktor gauge. Rezultati kažejo, da ima mikrostrukturna debeloplastnih uporov večji vpliv na velikost faktorjev gauge kot sama sestava prevodne faze.

Nekaterim uporovnim materilom, žganim na dielektrikih za večplastna vezja, so močno narasli faktorji gauge, hkrati pa so se povešale plastne upornosti in temperaturni koeficienti upornosti. Preiskave s kompleksno impedančno analizo so nakazale, da med žganjem steklasta faza difundira iz dielektrika v upor in mu spremeni električne karakteristike.

Investigations of Thick Film Resistors with High Gauge Factors

Key words: thick film resistors, gauge factors, GF, TEM, Transmission Electron Microscopy, microstructures, RuO₂ ruthenium oxide, impedance analysis, Temperature coefficient of resistivity, TCR, Bi₂Ru₂O₇

Abstract: The gauge factors (GF) of thick film materials are higher than those of thin metal films and lower than those of semiconductors. Due to their stability and the low temperature coefficient of resistivity (TCR) of thick film materials strain gauges realised in thick film technology offer advantages in some applications over both metal film (low GF, low TCR) and semiconducting elements (high GF, high TCR).

The gauge factors of thick film resistors depend on a conductive phase in the resistor material and increase with increasing sheet resistivity. Gauge factors of thick film resistors based on ruthenates (Bi₂Ru₂O₇ or Pb₂Ru₂O_{6.5}) are usually higher than those of resistors based on RuO₂. However, investigation of microstructure of thick film resistors with low and high GF by TEM indicated, that the microstructure of materials plays an important role. Regardless of the composition of the conductive phase the materials with low gauge factors have many small grains of conductive phase embedded in glass matrix while resistors with high gauge factors have less conductive particles in a given volume of material, and therefore a larger average distance between conducting sites. This is also in accordance with the fact that the gauge factors of thick film resistors increase with increasing sheet resistivity. Higher sheet resistivities mean a lower concentration of the conductive phase, i.e. less particles in a given volume of material and therefore a larger average distance between conducting sites.

The reason why RuO₂ based resistors have ordinarily lower GF is probably the following; RuO₂ powders for thick film resistors are customarily prepared by precipitation of ruthenium compounds, e.g. ruthenium hydroxide from a solution of Ru bearing compounds, while ruthenates are made by high temperature reaction between RuO₂ and, for example, Bi₂O₃, and then milled to decrease particle size. Therefore it is (comparatively) easier to prepare very fine grained RuO₂ powder with a particle size of a few tens of nanometers than fine grained ruthenate powder.

When resistor pastes are fired on or under multilayer dielectrics instead of on alumina substrates, the interaction between the resistor and multilayer material changes the electrical characteristics of the resistors (usually for the worse, as they are optimised for firing on alumina). The possibility of increasing gauge factors of thick film resistors in this way was investigated. For some resistors, fired on multilayer dielectrics, GF increased over 30. However, sheet resistivities, TCR and noise indexes also increased. Examinations with complex impedance analysis, indicated the diffusion of glass phase from multilayer dielectric into resistor during firing. This phase "dilutes" the conductive phase in resistor resulting in increased gauge factors, sheet resistivities and noise indexes.

UVOD

Pri mehanski obremenitvi se električnemu prevodniku spremeni upornost. Ta sprememba upornosti je delno posledica deformacije, to je spremembe dimenzij, delno pa posledica spremembe specifične upornosti zaradi sprememb v mikrostrukturi materiala [1]. Deformacija je relativni podaljšek ali skrčček pod vplivom mehanske napetosti. Sprememba upornosti upora dolžine l , širine s in debeline d (preseki upora je produkt širine in dolžine) pri obremenitvi je:

$$dR/R = d\phi/\phi + dl/l - ds/s + dd/d$$

Sprememba upornosti upora zaradi deformacije je vsota "mikrostrukturnega" prispevka (prvi člen enačbe - sprememba specifične upornosti $d\phi/\phi$) in geometrijskega prispevka (ostali členi enačbe).

Faktor gauge materiala GF je definiran kot razmerje med relativno spremembo upornosti in relativno deformacijo. Vrednost faktorja gauge zaradi sprememb dimenzij upora pri deformaciji je med 2 in 2,5, višji faktorji gauge pa so

rezultat sprememb v mikrostrukturi, to je spremembe specifične upornosti materiala.

$$GF = (dR/R) / (dl/l)$$

Faktorji gauge debeloplastnih uporov so višji kot pri tankih kovinskih filmih, kjer so posledica samo geometrijskih sprememb, in nižji kot pri polprevodnikih. Ker so debeloplastni uporovni materiali stabilni, relativno poceni in imajo nizek temperaturni koeficient upornosti, so za nekatere aplikacije pri senzorjih upogiba ali tlaka primernejši tako tenkoplastnih (imajo višje faktorje gauge) kot polprevodnih (nižji TCR) komponent /2,3/. Tipične lastnosti tenkoplastnih, debeloplastnih in polprevodnih materialov, to so faktorji gauge (GF), temperaturni koeficienti upornosti (TCR) in stabilnost, so prikazane v tabeli I /4,5/.

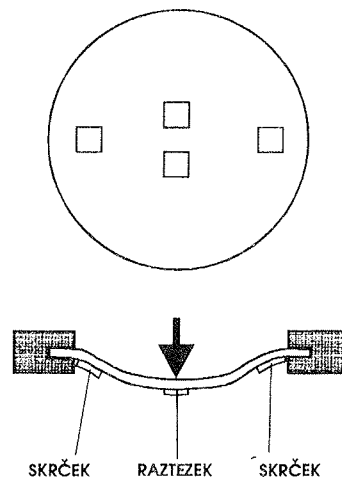
Tabela I Tipične lastnosti materialov za senzorje upogiba /4,5/

Senzor	GF	TRC ($10^{-6}/K$)	Stabilnost
Tenkoplasten	2-5	2-10	Odlična
Debeloplasten	5-20	50-100	Zelo dobra
Polprevoden	50	1500	Dobra

Nekateri avtorji so poročali tudi o razvoju debeloplastnih uporovnih materialov z višjimi faktorji gauge, do 40, ki pa so jih dosegli na račun nekaterih drugih karakteristik, na primer višjega temperaturnega koeficienta upornosti, višjega šuma ali nižje stabilnosti /6,7/. Mimogrede še omenimo, da imajo zelo tenki (nezvezni) kovinski filmi faktorje gauge tudi nekaj 100, vendar se zaradi nestabilnosti in neponovljivosti rezultatov zaenkrat še ne uporabljajo kot senzorji /8,9/.

Pri uporabi za senzorje upogiba se običajno uporabljajo štirje upori, ki so vezani v Wheatstonov most. Zaradi večje občutljivosti je merilni del včasih oblikovan tako, da se dva upora raztezata (upornost naraste), dva se pa krčita (upornost se zniža). Ena od znanih izvedb merilnik pritiska je shematično prikazana na sliki 1 zgoraj /3,10/. Okrogla keramična membrana oziroma substrat, na katerem so natiskani štirje upori, je vpeta ob robu. Pod pritiskom se membrana deformira. Upora na sredini se raztezata (upornost raste), upora bliže obodu pa krčita (upornost pada). To je shematično (in zelo pretirano) narisan spodaj.

Debeloplastni uporovni materiali so (poenostavljeno povedano) zmes prevodnih delcev in stekla. Prevodna faza v današnjih debeloplastnih uporih je na osnovi RuO_2 ali rutenatov, predvsem $Bi_2Ru_2O_7$ za nižje plastne upornosti in $Pb_2Ru_2O_6,5$ za višje. Po žganju je mikrostruktura "sestavljena" iz prevodnih delcev z nizko specifično upornostjo in skupkov delcev z višjo specifično upornostjo, oboje porazdeljeno v stekleni fazi /11,12/. Nekateri avtorji trdijo, da so skupki delcev in ne posamezni delci RuO_2 ali rutenatov "osnovne enote" električne prevodnosti v debeloplastnih uporih /13/.



Slika 1: Ena od izvedb merilnika pritiska (shematično) /3,10/. Okrogla keramična membrana oziroma substrat, na katerem so natiskani in žgani štirje debeloplastni upori, je vpeta ob robu. Pod pritiskom se membrana deformira. Upora na sredini se raztezata (upornost raste), upora bliže obodu pa krčita (upornost pada).

Za uporabo debeloplastnih uporov za senzorje upogiba je seveda zaželeno, da imajo čim višje faktorje gauge. Podatki v literaturi kažejo, da so faktorji gauge debeloplastnih uporov odvisni od prevodne faze v materialu in da naraščajo s plastno upornostjo /4/. Materiali na osnovi rutenatov imajo v glavnem višje faktorje gauge kot tisti na osnovi RuO_2 .

Gauge faktorji nekaterih komercialnih debeloplastnih uporov s plastnimi upornostmi med 1 kohm/o do 100 kohm/o so prikazani v tabeli II /14/. Prevodna faza v uporih je bila določena z rentgensko praškovno analizo in EDS (Energy Dispersive X-ray Microanalysis). Sestavo uporovne paste 3414 firme Electro Science Labs. je proizvajalec prilagodil za visoke faktorje gauge /5,15/.

Tabela II Nominalne plastne upornosti, sestava prevodne faze in vzdolžni faktorji gauge nekaterih debeloplastnih uporov /14/

Uporovna pasta	Nominalna plastna upornost (ohm/□)	Prevodna faza	Longitudinalni faktor gauge
Du Pont HS 8031	1 k	RuO_2	2,5
+ Du Pont HS 8029	10 k	$Bi_2Ru_2O_7$	8,5
*Du Pont HS 8041	10 k	RuO_2	3,5
*Du Pont HS 8039	10 k	$Bi_2Ru_2O_7$	11
*+ Heraeus R 8241	10 k	RuO_2	16
+ ESL 3414-A	10 k	$Bi_2Ru_2O_7$	16,5
Du Pont HS 8049	100 k	$Bi_2Ru_2O_7$	12

Iz podatkov v tabeli II vidimo, da faktorji gauge večine uporovnih materialov sledijo "pravilu", da so višji pri višjih plastnih upornostih in pri istih plastnih upornostih višji, kadar so upori na osnovi rutenatov. Zanimiva izjema je pasta 8241 firme Heraeus, ki ima (tako za 3414) najvišji faktor gauge, vendar sta tako rentgenska praškovna analiza kot analiza EDS pokazali, da je na osnovi rutenijevega oksida.

V delu poročamo o mikrostrukturnih preiskavah debeloplastnih uporov s transmisijskim elektronskim mikroskopom (TEM) s ciljem, da ugotovimo možno povezavo med mikrostrukturno materiala in faktorjem gauge. Poleg tega navajamo tudi rezultate meritev faktorjev gauge uporov, ki so bili žgani na plasti dielektrikov za večplastna hibridna vezja. Uporovne paste so namreč prirejene za žganje na Al₂O₃ keramičnih substratih. Če jih žgemo na steklastih dielektrikih, interakcije med uporom in dielektrikom spremeni (običajno poslabšajo) električne karakteristike uporov [16,17]. Želeli smo ugotoviti, kako te interakcije vplivajo na faktorje gauge.

Za preiskave mikrostruktur s TEM smo izbrali debeloplastne upore HS 8041, HS 8039 in R 8241. Vsi trije imajo nominalno plastno upornost 10 kohm/□. Kot vidimo v tabeli II, ima HS 8041, ki je na osnovi RuO₂, nizek faktor gauge, R 8241 na isti osnovi pa visokega. V tabeli II so ti materiali označeni z zvezdico (*). Za testiranje karakteristik uporov, žganih na dielektrikih za večplastna vezja, smo izbrali debeloplastne upore HS 8029, R 8241 in 3414-A, ki imajo vsi razmeroma visoke faktorje gauge. V tabeli II so označeni z znakom plus (+).

EKSPERIMENTALNO DELO

Spremembe upornosti pri deformaciji substrata smo merili na preprosti napravi, ki je prikazana na sliki 2. Debeloplastni upor je obremenjen na nateg. Povezava med deformacijo (ϵ) in upogibom je podana z naslednjo enačbo:

$$\epsilon = \Delta/l = (d \times h \times 6)/L^2$$

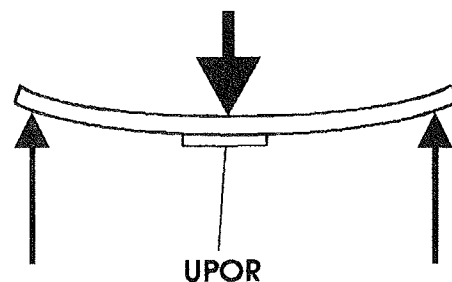
d = debelina substrata (m)

h = upogib (m)

L = razdalja med podporama (m)

V našem primeru je razdalja med podporama 40 mm, debelina substrata, ki se uporablja za izdelavo debeloplastnih hibridnih vezij, pa 0,635 mm. Če je na primer pri upogibu 100 μ m sprememba upornosti 0,2%, je izračunana vrednost faktorja gauge 8,4.

Upore smo tiskali in žgali pri 850°C na 96% Al₂O₃ substrate. Prevodnik na osnovi Pd/Ag je bil predžgan. Za preiskave mikrostruktur s TEM smo izbrali debeloplastne upore HS 8041, HS 8039 in R 8241 z nominalnimi plastnimi upornostmi 10 kohm/□. Iz Al₂O₃ keramičnih substratov, na kateri so bili tiskani in žgani upori, smo izrezali diske s premerom 3 mm. Ti so bili stanjšani z brušenjem in jamičastem tanjšanjem do debeline 20 μ m in nato preluknjani z ionsko erozijo s snopom argonovih ionov.

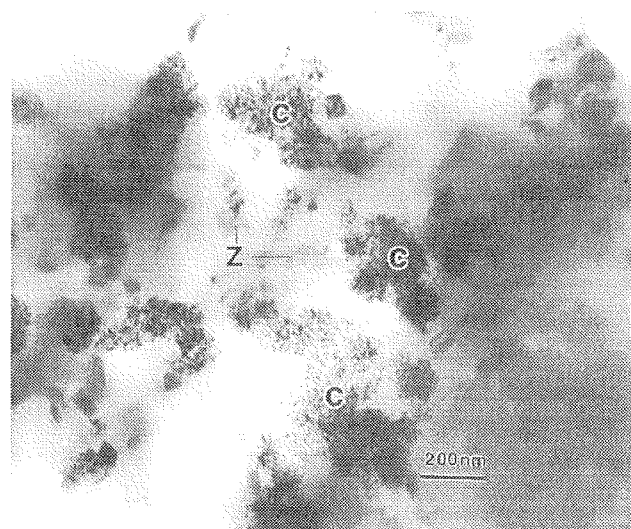


Slika 2: Shematičen prikaz naprave za meritev spremembe upornosti od upogiba keramičnega substrata. Keramični substrat je podprt na obeh straneh, na sredini pa nanj pritiska mikrometrski vijak. Debeloplastni upor je obremenjen na nateg.

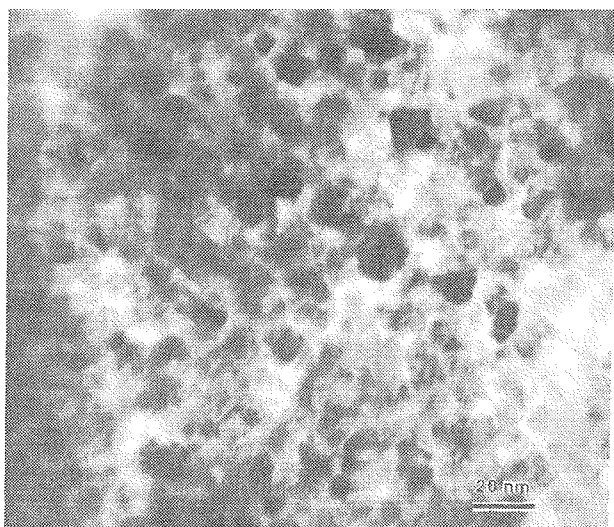
Za preiskave karakteristik uporov na plasteh večplastnih dielektrikov smo najprej natiskali in žgali plast dielektrika, na tej plasti pa debeloplasten upor. Upori so bili HS 8029 (Du Pont, 1 kohm/□), R 8241 (Heraeus, 10 kohm/□) in 3414-A (Electro Science Labs., 10 kohm/□), dielektriki pa 4905 (Electro Science Labs.), 9117 (Heraeus) in 5704 (Du Pont). Izmerili smo faktorje gauge in jih primerjali s faktorji gauge uporov na keramiki.

REZULTATI IN DISKUSIJA

Na slikah 3 in 4 je prikazana mikrostruktura upora HS 8041 pri različnih povečavah. Upor je na osnovi rutenijevega oksida in ima razmeroma nizek faktor gauge 3,5. V stekleni matriki so delci RuO₂ povprečne velikosti okrog 10 nm. Večja zrna velikosti do 100 nm so ZrSiO₄, ki je med žganjem verjetno izkristaliziral iz steklene faze.

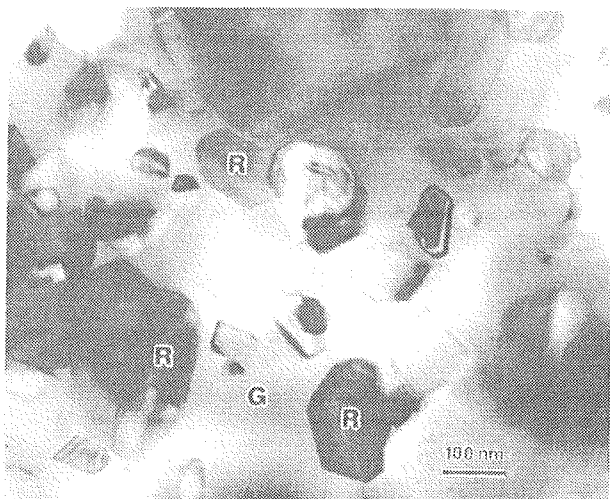


Slika 3: Mikrostruktura upora HS 8041 z nizkim faktorjem gauge ($GF=3,5$). Uporovni material je na osnovi rutenijevega oksida. C - skupki delcev RuO₂
G - steklasta faza
Z - delci ZrSiO₄



Slika 4: Mikrostruktura upora HS 8041 z nizkim faktorjem gauge ($GF=3,5$). V stekleni matriki so delci RuO_2 povprečne velikosti okrog 10 nm.

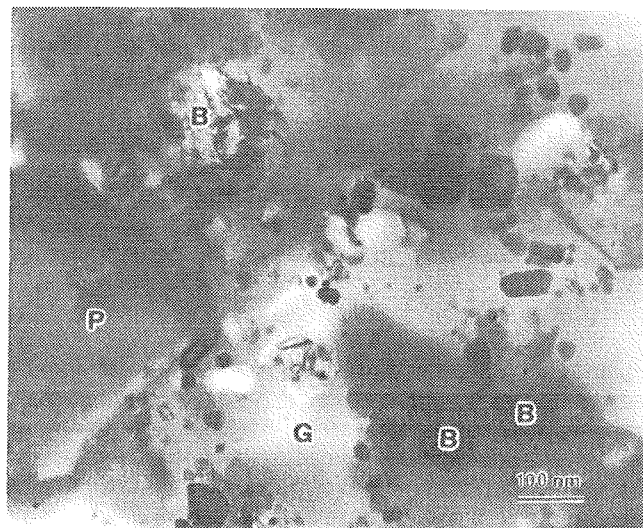
Na sliki 5 je mikrostruktura upora R 8241, ki je prav tako na osnovi rutenijevega oksida in ima visok gauge faktor. V stekleni matriki so zrna RuO_2 velikosti do 200 nm. Na sliki 6 je mikrostruktura upora HS 8039 na osnovi rutenata. V stekleni fazi so zrna $Bi_2Ru_2O_7$ velikosti do 200 nm in nekaj večjih, do 400 nm, zrn $Pb_2Ru_2O_{6,5}$.



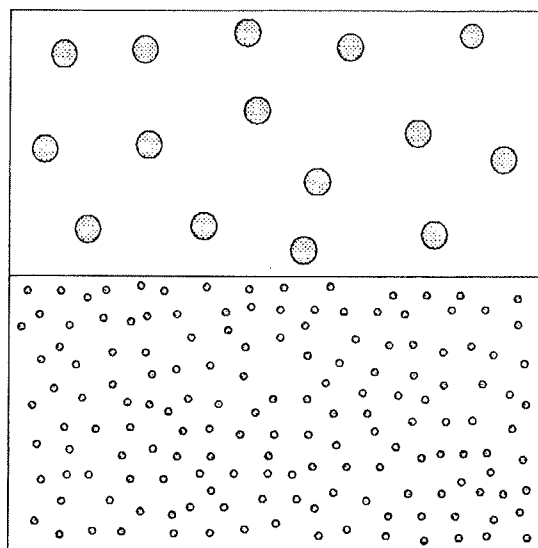
Slika 5: Mikrostruktura upora R 8241 z visokim faktorjem gauge ($GF=16$). Uporovni material je na osnovi rutenijevega oksida. V stekleni matriki so zrna RuO_2 velikosti do 200 nm.
R - zrna RuO_2
G - steklasta faza

Posnetki s TEM kažejo na značilno razliko med mikrostrukturo uporabnih materialov z nizkih oziroma visokim faktorjem gauge. Prevodni delci v uporih z nizkim faktorjem gauge (HS 8041 na osnovi RuO_2) so majhni in blizu skupaj, v uporih z visokim faktorjem gauge (HS 8039 na

osnovi $Bi_2Ru_2O_7$ in R 8241 na osnovi RuO_2) pa so delci za razred večji in bolj oddaljeni drug od drugega. Dvodimenzionalna struktura teh dveh tipov mikrostruktur je shematično predstavljena na sliki 7. Krogci predstavljajo zrna prevodne faze v steklu.



Slika 6: Mikrostruktura upora HS 8039 z razmeroma visokim faktorjem gauge ($GF=11$). Uporovni material je na osnovi bizmutovega rutenata. V stekleni matriki so zrna $Bi_2Ru_2O_7$ velikosti do 200 nm.
B - zrna $Bi_2Ru_2O_7$
P - zrna $Pb_2Ru_2O_{6,5}$
G - Steklasta faza



Slika 7: Shematična dvodimenzionalna struktura dveh tipov mikrostruktur debeloprastnih uporov z visokimi (zgoraj) in nizkimi (spodaj) faktorji gauge. Krogci predstavljajo zrna prevodne faze v steklu. Prevodni delci v uporih z nizkim faktorjem gauge so majhni in blizu skupaj, v uporih z visokim faktorjem gauge pa so delci za razred večji in bolj oddaljeni drug od drugega.

Rezultati mikrostrukturnih preiskav torej kažejo, da ima mikrostruktura debeloplastnih uporov najverjetneje večji vpliv na velikost faktorjev gauge kot sama sestava prevodne faze. Bolj homogen material z veliko majhnih delcev prevodne faze, ki so blizu skupaj, ima nizek faktor gauge, manj homogen, kjer so delci prevodne faze bolj oddaljeni drug od drugega, pa visok faktor gauge. To se tudi ujema s tem, da imajo upori z višjimi plastnimi upornostmi višje faktorje gauge. Višje plastne upornosti pomenijo namreč manjšo koncentracijo prevodne v stekleni fazi in s tem večjo povprečno razdaljo med prevodnimi delci.

Iz dobljenih podatkov lahko sklepamo (oziroma ugibamo), zakaj imajo upori na osnovi rutenijevega oksida v glavnem nižje faktorje gauge kot upori na osnovi rutenatov. Prah rutenijevega oksida se običajno pripravlja s precipitacijo rutenijevih spojin, na primer rutenijevega hidroksida, iz raztopine. Oborjeni delci so navadno zelo majhni. Rutenati pa se pripravljajo z visokotemperaturno reakcijo med RuO_2 in, na primer, Bi_2O_3 . Sintetiziran material se melje, da dobimo delce majhnih dimenzij. Zato je (sorazmerno) lažje pripraviti zelo drobnozrnat prah RuO_2 kot rutenatov in iz njega debeloplastne upore s homogeno, "urejeno", mikrostrukturo. Znano je namreč, da so upori z nizkimi gauge faktorji bolj večinoma stabilni in imajo nižji termični šum /18/.

V tabeli III so podani hladni (-25°C do 25°C) in vroči (25°C do 125°C) temperaturni koeficienti upornosti (TCR) in spremembe upornosti po staranju (kuhanje v destilirani vodi, 20 min) debeloplastnih uporov, žganih na Al_2O_3 keramiki ali na dielektrikih, v tabeli IV pa njihove plastne upornosti, indeksi termičnega šuma in faktorji gauge. Faktorji gauge in indeksi termičnega šuma so grafično prikazani na slikah 8 in 9.

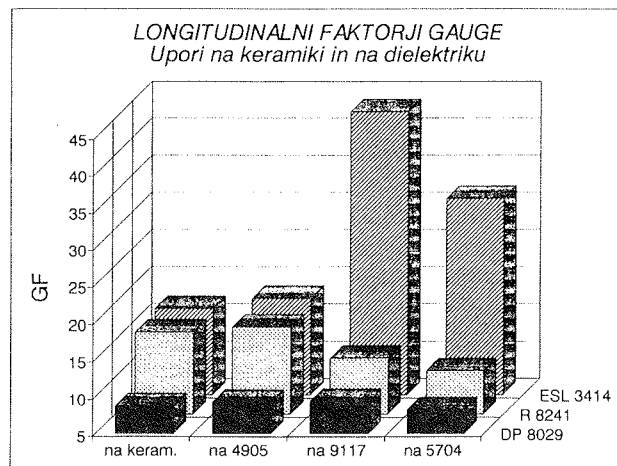
Tabela III Temperaturni koeficienti upornosti in spremembe upornosti po staranju debeloplastnih uporov, žganih na keramiki ali na dielektrikih

Upor	Diel.	Hladen TCR (-25 do 25°C) ($10^{-6}/K$)	Vroč TCR (25 do 125°C) ($10^{-6}/K$)	$\Delta R/R$ Vrela voda (%)
Du Pont HS 8029	Al_2O_3	10	50	0,03
	ESL 4905	0	55	<0,01
	Her. 9117	-15	40	0,03
	Du Pont 5704	30	85	0,01
ESL 3414	Al_2O_3	-95	-40	0,13
	ESL 4905	-325	-270	0,12
	Her. 9117	-415	-405	1,14
	Du Pont 5704	-365	-305	1,11
Heraeus R 8241	Al_2O_3	10	50	0,06
	ESL 4905	-45	-15	0,04
	Her. 9117	-25	5	0,04
	Du Pont 5704	50	90	0,04

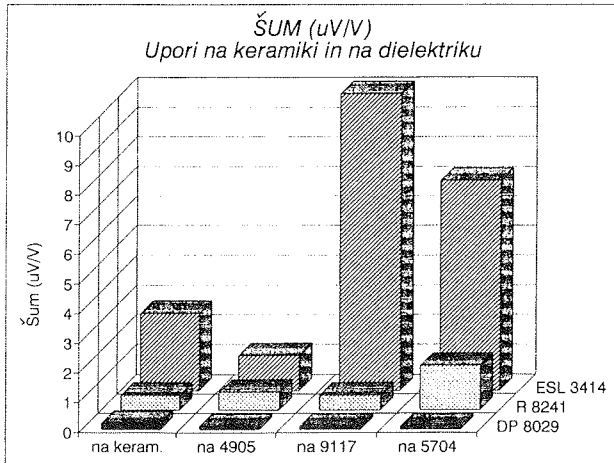
Tabela IV Plastne upornosti, relativne plastne upornosti, indeksi termičnega šuma in faktorji gauge debeloplastnih uporov, žganih na keramiki ali na dielektrikih

Upor	Diel.	Plastna upor. (ohm/□)	Rel. plast. upor. (%)	Indeks šuma (dB)	Faktor gauge
Du Pont HS 8029	Al_2O_3	1,2 k	100	-14	8,5
	ESL 4905	1,0 k	78	-21	9,0
	Her. 9117	1,6 k	129	-21	9,5
	Du Pont 5704	1,0 k	80	-21	10,5
ESL 3414	Al_2O_3	9,3 k	100	8,3	16,5
	ESL 4905	24,4 k	261	1,5	18,0
	Her. 9117	99,1 k	1061	20	43,0
	Du Pont 5704	26,3 k	282	17	31,5
Heraeus R 8241	Al_2O_3	7,4 k	100	-6,0	16,0
	ESL 4905	18,0 k	243	-4,4	16,5
	Her. 9117	3,4 k	46	-6,0	12,5
	Du Pont 5704	3,3 k	45	-3,5	11,0

Najvišje faktorje gauge smo dobili z uporovno pasto 3414 firme Electro Science Labs., žgano na dielektrikih 5704 (GF preko 30) in na 9177 (GF preko 40). Te vrednosti so blizu vrednostim, dobljenim s posebnimi debeloplastnimi uporovnimi materiali /7/. To povišanje faktorjev gauge, za katerega predpostavljamo, da je posledica interakcije med dielektričnim in uporovnim materialom, pa je povezano, kot vidimo v tabelah III in IV, s poslabšanjem dolgih karakteristik; z zvišanjem plastnih upornosti, temperaturnih koeficientov upornosti in termičnega šuma. Tudi stabilnost teh uporov, žganih na dielektrikih, je slabša.

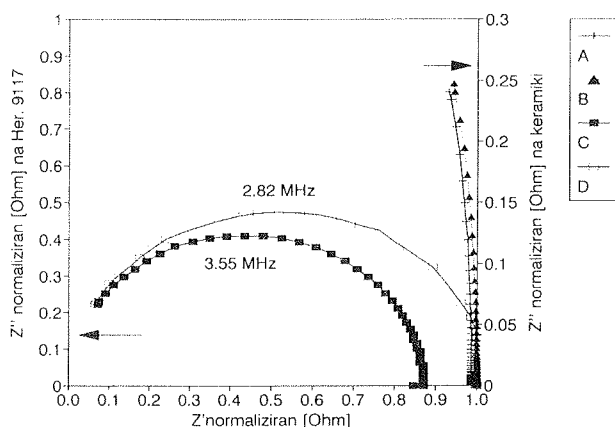


Slika 8: Faktorji gauge debeloplastnih uporov, žganih na Al_2O_3 keramiki in na plasteh dielektrikov



Slika 9: Indeksi termičnega šuma ($\mu V/V$) debeloplastnih uporov, žganih na Al_2O_3 keramiki in na plasteh dielektrikov

Mikrostrukturne razlike med EL 3414 upori, žganimi na Al_2O_3 substratih ali na Heraeus-ovem dielektriku 9117 (najvišji faktor gauge), smo poizkusili ugotoviti z metodo kompleksne impedance. Ta metoda predpostavlja, da se lahko odziv materiala predstavi kot preprost ekvivalent uporov in kondenzatorjev, povezanih vzporedno ali zaporedno [19]. Na sliki 10 je prikazana kompleksna impedančna analiza nedeformiranih in deformiranih (upogib substrata $100 \mu m$) uporov, merjenih od 5 Hz do 13 MHz.



Slika 10: Kompleksna impedančna analiza (5 Hz do 13 MHz) nedeformiranih in deformiranih (upogib $100 \mu m$) uporov EL 3414, žganih na keramiki in na dielektriku Heraeus 9117. Vrednosti so normalizirane na upornosti nedeformiranih uporov.
A - EL 3414 na keramiki, nedeformiran
B - EL 3414 na keramiki, deformiran
C - EL 3414 na dielektriku, nedeformiran
D - EL 3414 na dielektriku, deformiran

Realni del (Z' , abscisna os) je funkcija sprememb upornosti, imaginarni del (Z'' , ordinatna os) pa sprememb dielektričnih karakteristik med upogibom. Zaradi različnih plastnih upornosti uporov, žganih na keramiki ali na dielektriku, so vrednosti normalizirane na upornosti nedeformiranih uporov. Upori na keramiki se "obnašajo" ko skoraj idealni upori. Upore, žgane na dielektriku, pa lahko opišemo kot vzporedno kombinacijo uporov in kondenzatorjev z maksimumom pri pogoju $\omega C=1$. Rezultati potrjujejo interakcijo med dielektrikom in uporom med procesom žganja. Predpostavljamo, da je steklo difundiralo iz dielektrika v upor in "razredčilo" prevodno fazo. Posledica so višji faktorji gauge, višja plastna upornost in višji termični šum.

SKLEPI

Mikrostrukturo debeloplastnih uporov z visokimi in nizkimi faktorji gauge smo preiskali z elektronskim vrstičnim mikroskopom. Posnetki s TEM so pokazali značilno razliko med mikrostrukturo obeh tipov uporovnih materialov. Prevodni delci v uporih z nizkim faktorjem gauge so majhni in blizu skupaj, v uporih z visokim faktorjem gauge pa so za razred večji in bolj oddaljeni drug od drugega. Rezultati kažejo, da ima mikrostruktura debeloplastnih uporov večji vpliv na velikost faktorjev gauge kot sama sestava prevodne faze (RuO_2 ali rutenati). Bolj homogen material z veliko majhnih delcev prevodne faze, ki so blizu skupaj, ima nizek faktor gauge, manj homogen, kjer so delci prevodne faze bolj oddaljeni drug od drugega, pa visok faktor gauge.

Ker so debeloplastni upori prirejeni za žganje na Al_2O_3 keramiki, se njihove karakteristike spremenijo, če jih žgemo na dielektrikih za večplastna vezja. Uporom, narejenim z uporovno pasto 3414 firme Electro Science Labs., so faktorji gauge narasli na okrog ali preko 40, če so bili žgani na nekaterih dielektrikih (5704 firme Du ont in 9117 firme Heraeus). Hkrati so se poslabšale druge karakteristike. Narasli so plastne upornosti, temperaturni koeficienti upornosti in termični šum, poslabšala pa se je tudi stabilnost. Rezultati kompleksne impedančne analize so nakazali, da so spremembe karakteristik povezane z difuzijo steklaste faze iz dielektrika v upor med procesom žganja.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se ge. Jarmili Wernig za analize ED in ge. Medeji Gec za pripravo vzorcev za TEM. Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije se zahvaljujemo za finančno podporo.

LITERATURA

- /1/ K. Hoffman, An introduction to measurements using strain gages, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1989
- /2/ N. White, A. Cranny, Design and fabrication of thick film sensors, Hybrid Circuits, (12), (1987), 32-35
- /3/ S. Satoh, atoh Y. Takatsuji, F. Katoh, H. Hirata, Thick film pressure sensor using zirconia diaphragm, Proc. 1991 Int. Symp. on Microelectronics ISHM-91, Orlando, 1991, 148-152

- /4/ A. Cattaneo, R. Dell'Acqua, G. Dell'Orto, L. Pirozzi, C. Canali, A practical utilization of the piezoresistive effect in thick film resistors: a low cost pressure sensor, Proc. 1980 Int. Symp. on Microelectronics ISHM-80, New York, 1980, 221-227
- /5/ S. Chitale, C. Huang, M. Stein, High gauge factor thick film resistors for strain gauges, Hybrid Circuits Technol., 6, (5), (1989)
- /6/ O. Abe, Y. Taketa, A new thick film strain sensor, Proc. 1988 Int. Symp. on Microelectronics ISHM-88, Seattle, 1988, 217-221
- /7/ M. Prudenziati, B. Morten, F. Cilloni, G. Ruffi, Very high strain sensitivity in thick film resistors; real and false gauge factors, Sensors and Actuators, 19, (1989), 401-414
- /8/ A. G. Bishay, D. A. Abdelhady, A. M. Darwish, Applicability of discontinuous palladium films as strain gauges, J. Mater. Sci.: Materials in Electronics, 3, (3), (1992), 195-199
- /9/ M. M. Nayak, S. Srinivasulu, K. Rajanna, S. Mohan, A. E. Muthunayagam, Electrical and strain-sensitive behaviour of sputtered gold films, J. Mater. Sci. Lett., 12, (2), (1993), 119-121
- /10/ M. Prudenziati, B. Morten, Thick film sensors: an overview, Sensors and Actuators, 10, (1-2), (1986), 65-82
- /11/ R. Dell'Acqua, Non-conventional applications of thick-film technology, Hybrid Circuits, (12), (1987), 11-20
- /12/ F. Muller, M. Wolf, Dependence of the sheet resistivity and current noise behaviour of the grain size and volume fraction of conducting material in thick-film resistors experiments, Active and Passive Elec. Comp., 13, (1), (1988), 1-6
- /13/ A. Le Corre, N. Nicoloso, J. Maier, J. C. Niepce, M. Maglione, Resistor inks: comprehension and modeling of the conduction mechanism in RuO₂/glass composites, Proc. 3 rd Int. Conf. Electroceramics, Vol. II, Maubege, 1992, D4.1-3
- /14/ M. Hrovat, D. Belavič, J. Holc, S. Šoba, An evaluation of some commercial thick film resistor materials for strain gauges, J. Mater. Sci. Lett., 13, (1994), 992-995
- /15/ Prospekt firme Electro Science Labs., High gauge factor resistor, D-3414-A/B, 9008 A
- /16/ B. Rzasa, J. Potencki, Thick film resistors on dielectrics as temperature detectors, Active and Passive Elec. Comp., 12, (2), (1986), 135-147
- /17/ M. Hrovat, D. Belavič, "Thick film multilayer circuits with "buried" resistors - resistors under multilayer dielectric", Proc. ISHM-Europe Conf., Bournemouth, 1987, 305-312
- /18/ P. O'Callaghan, A. T. Walker, K. W. Hang, V. P. Siuta, J. J. Osborne, J. Smith, K. Hayakawa, A. Buckthorpe, New resistor systems for hybrid circuits and resistor components, Microelectronics Int., (37), (1995), 14-17
- /19/ J. E. Bauerle, Study of solid electrolyte polarization by a complex admittance method, J. Phys. Chem. Solids, 30, (1969), 2657-2670

**dr. Marko Hrovat, dipl. ing.,
dr. Goran Dražič, dipl. ing.,
dr. Janez Holc, dipl. ing.**
**Institut "Jožef Stefan", Jamova 39,
61111 Ljubljana, Slovenija
tel. +386 61 1773 900
fax: +386 61 1261 029**

**Darko Belavič, dipl. ing.,
Stojan Šoba, dipl. ing.,
HIPOT Hybrid, d.o.o., Trubarjeva 7,
68310 Šentjernej, Slovenija
tel. +386 68 42 020
fax: +386 68 42 370**

Prispelo (Arrived): 2.6.1995

Sprejeto (Accepted): 11.7.1995

MICROELECTRONIC R&D FACILITY AND ITS IMPACT ON ELECTRONIC INDUSTRY IN NEWLY INDUSTRIALIZING COUNTRIES

Lojze Trontelj

Faculty of Electrical and Computer Engineering, Ljubljana, Slovenia

Key words: microelectronics, R&D, Research and Development, Newly industrializing Countries, electronic industry, ASIC, Application Specific Integrated Circuits, IC, integrated circuits, state of the art, electronic equipment, know how, licences, equipment manufacturing, IC design, top down design, monolithic circuits, microelectronics centres

Abstract: Microelectronics has impacted and continues to impact on modern society. Newly industrializing countries can not stay aside from these developments. The concept of R&D microelectronic center running in academic society in particular NIC can serve as a moderate and state of the art microelectronic activity. Such center could represent the seed for further industrial growth if the market excuses high investments needed.

Mikroelektronska razvojno - raziskovalna enota in njen vpliv na elektronsko industrijo v industrijsko se razvijajočih deželah

Ključne besede: mikroelektronika, R&D raziskave in razvoji, NIC dežele industrijsko razvijajoče se, industrija elektronska, ASIC vezja, IC vezja integrirana, stanje razvoja, oprema elektronska, know how znanje in izkušnje, licence, proizvodnja opreme, IC snovanje vezij integriranih, top down snovanje od zgoraj navzdol, vezja monolitna, centri mikroelektronike

Povzetek: Mikroelektronika je in bo vedno vplivala na razvoj moderne družbe. Industrijsko se razvijajoče dežele ne morejo stati tem dogajanjem ob strani. Razvojno - raziskovalni mikroelektronski center delujoč v akademski sredini v določeni industrijsko se razvijajoči deželi lahko obenem služi tudi kot njena moderna in ne predraga mikroelektronska aktivnost. Tovrstni center bi lahko predstavljal seme za nadaljnjo industrijsko rast, če bi trg le lahko opravičil potrebna visoka vlaganja.

1. INTRODUCTION

Many authors clearly justify the need of domestic microelectronic activity in NICs. They point out the predominant need of their own ASIC capabilities. /1/

In establishing the efficient domestic production of the electronic equipment under licensing agreements the need of good starting capabilities of domestic producers is quite evident. The success of domestic production in environment qualified to independently develop and manufacture the industrial products is much higher compared to others without this expertise. The insufficient know how also influences the purchases of licenses for production of state of the art goods, thus locking the country into obsolete and with little domestic value added fabrication. Therefore extensive modern system expertise and ASIC experience and possibly production capability is mandatory in pursuing an efficient and rewarding domestic electronic equipment manufacturing.

2. ACTIVITIES NEEDED TO GET ASICs

a) IC design

ASIC expertise is comprised of the design effort, fabrication of prototypes and their functional verification and volume production and testing. /2/

Basis for the efficient ASIC expertise is in the profound system knowledge. The procurement of ICs follows one of the two self explanatory flowcharts (Figs.1 and 2) and is thoroughly monitored by IC designers residing in system house and or in the silicon foundry which could be vertically integrated or not. A set of well proven control procedures follows every design consisting of feasibility

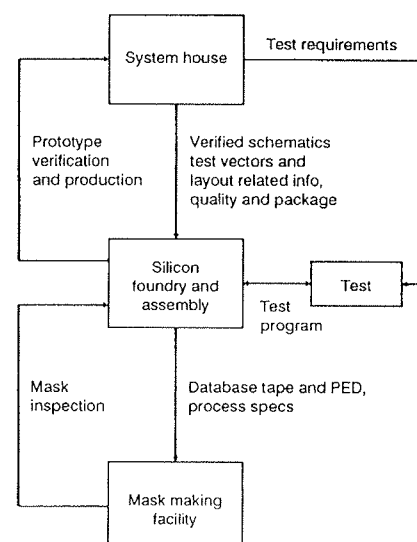


Fig. 1: Simulated schematic interface to silicon foundry

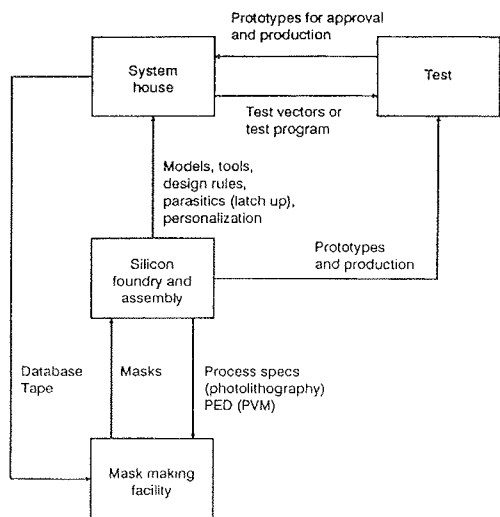


Fig. 2: Layout database interface to silicon foundry

study, circuit specifications development, schematic capture, simulations, test program definitions, layout verifications and cost considerations.

The design procedure follows one of the options, shown on Fig. 3. The design of digital ASICs is strongly supported by comprehensive CAD tools and silicon compilers. This is still not the case for analog and mixed signal ASICs designs. At the beginning the progress in analog design /3/ was impeded by the lack of motivation since everybody believed that everything would go digital. Very strong conservatism was present among so called analog experts. The advent of monolithic technology widely opened new horizons in the design philosophy which changed dramatically from old discrete designs in which integratable parts were put on chip into the abundant use of active devices giving the accent to functional optimization as the primary objective.

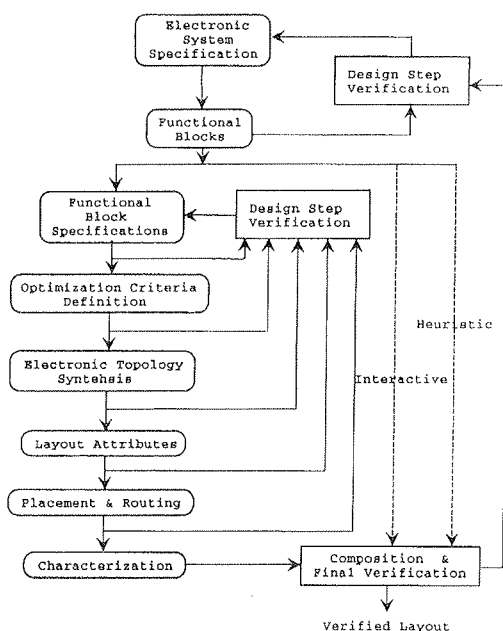


Fig. 3: Hierarchically Oriented Top down IC design

Using hierarchical top down design, the problem is reduced to appropriately combining standardized basic circuits composed of conventional devices. The method is widely supported by various CAD tools.

The other option is translation of the function to be implemented on silicon into the dedicated and optimized circuit. This is built from conventional blocks or structures based on physical phenomena and combined with appropriate layout of integratable structures.

b) Monolithic IC technology

The investments needed to cope with the developed countries in the field of IC technology are too high to be justified in the majority of NICs. Competitive silicon foundry namely needs the free access to know how in down stream technology, to modern process equipment and materials, to services etc. Due to political reasons this is still not viable in NICs. The very little chances to sell their production on the developed markets is another drawback. Domestic markets are usually too small to guarantee economically justified volume production. In recent years many silicon foundries in NICs were forced to shut down their operations in spite purchasing state of the art IC technologies from the developed countries. This fact of course doesn't mean that the semiconductor technology is with few exceptions reserved only for the developed economies.

3. PROPOSED MODEL DESCRIPTION

Academic research teams working in small but state of the art equipped centers in NICs could serve as a potential seed to industrial microelectronic operations. They are open and non-profit organizations and therefore able to establish tight relations with similar institutions in the developed countries exchanging their expertise and talented highly trained individuals.

Accumulated know how can than be easily transferred to industrial environment if such need exists.

The model for the microelectronic center of excellence is therefore comprised by the team of well trained system specialists who work hand in hand with the IC design engineers. They need to have good access to the modern CAD tools and open window to the microelectronically developed community. This is even more valid for their colleagues - process engineers. Small test and packaging activity could be part of the proposed scheme. Very well established fields of interests for academic groups of the kind are usually the device physics, design methodology, CAD tools, process technology and special niche applications like intelligent sensors, medical electronics etc. To these activities real ICs for industrial applications should be added which are mature enough to be suitable for volume production elsewhere.

The proposed scheme could be altered in the communities who pay little or no interest to semiconductor technology. The electronic system and IC design and test and evaluation teams can get the silicon foundry services from the selected silicon vendors or from institutions like Euro-

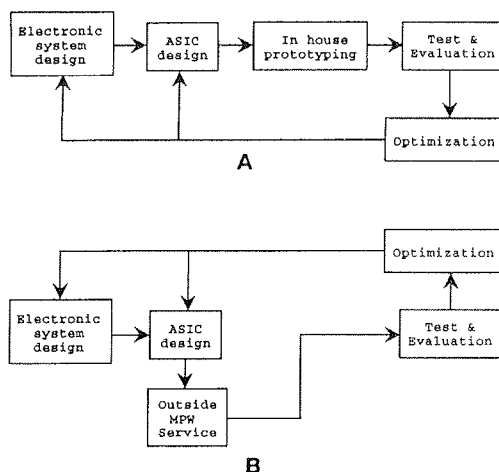


Fig. 4: Model of the Microelectronics Centre
 Option A:
 Complete design / optimization cycle in NIC
 Option B:
 Outside Multi Project Wafer processing service

chip where low cost multi project wafer services can be purchased. This model is usually less efficient due to the fact that MPW services take longer turnaround time and only standard process steps are available. Fig 4 shows both options of the proposed model.

Microelectronic know how is a key element in maintaining and improving the competitive position of domestic electronic industry elsewhere.

Associated research should be focused and directed at issues and problems on and beyond current industrial horizons. Wherever practical it should be carried out cooperatively with industry and academic institutions on an international basis.

4. CASE STUDY

Laboratory for microelectronics of the University of Ljubljana fits very well into the proposed model.

The laboratory was founded 25 years ago. It is active in the development of CMOS & BiCMOS submicron process modules, in industrial ASIC design, in the design and analysis of complex electronic systems and in the development of new design methodologies and CAD tools for mixed analog-digital signals.

Research staff totals 14 PhDs with average 15 years of experience, 11 MS senior designers and technologists and 12 experienced engineers and technicians.

Faculty for Electrical and Computer Engineering supports all other services which are vital for the successful operation of the laboratory.

Research facility includes 400m² of clean room area for experimental CMOS and BiCMOS processes, 1800m² floor space for technology support, assembly and design, maskshop and test laboratory.

Laboratory started with the development and the design of complex thin film integrated circuits and monolithic discrete devices. In 1976 the 2" wafer prototyping line was operational. At present 4" wafer line serves the laboratory needs. Some process steps were developed jointly with International Microelectronic Products Int.

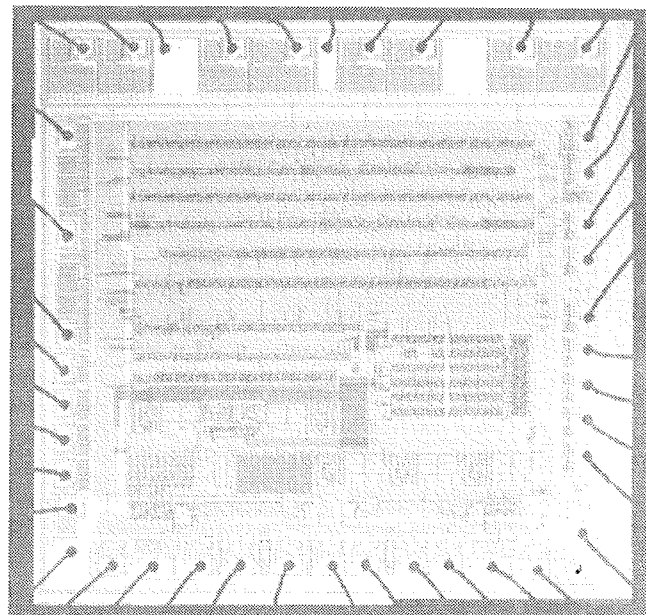


Fig.5: Universal Dual Channel SLIC Interface
 Chip size: 4701 μm x 4642 μm
 Process: 3 μm Dual Poly Single Metal p-Well

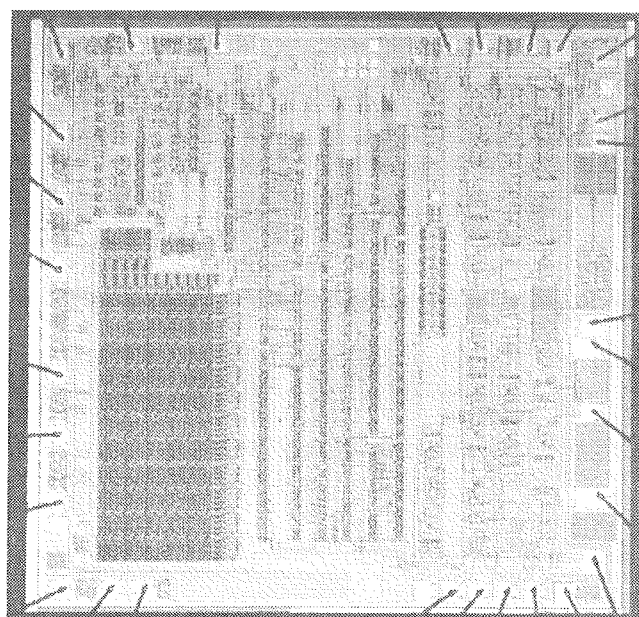


Fig.6: Single Chip Telephone with Loudspeaker
 Chip size: 5000 μm x 5120 μm
 Process: 3 μm Dual Poly Single Metal p-Well

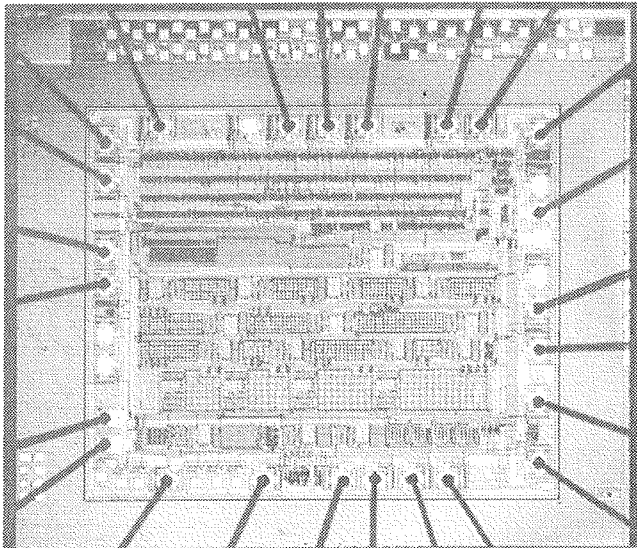


Fig.7: *Data Communication Interface on Power Lines for Remote Energy Management*
 Chip size: 3614 μm x 2993 μm
 Process: 2 μm Dual Poly Dual Metal n-Well

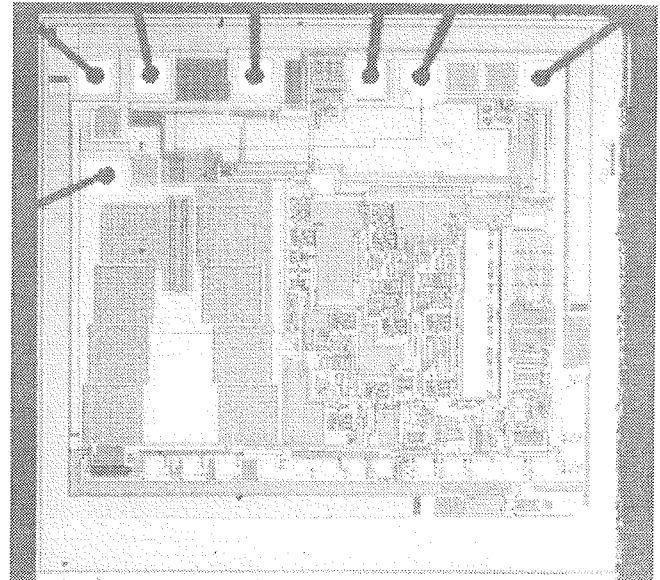


Fig.9: *Voltage Regulator for Alternator with Multiple Fault Detection & Indication*
 Chip size: 2800 μm x 2600 μm
 Process: 5 μm Dual Poly Single Metal p-Well

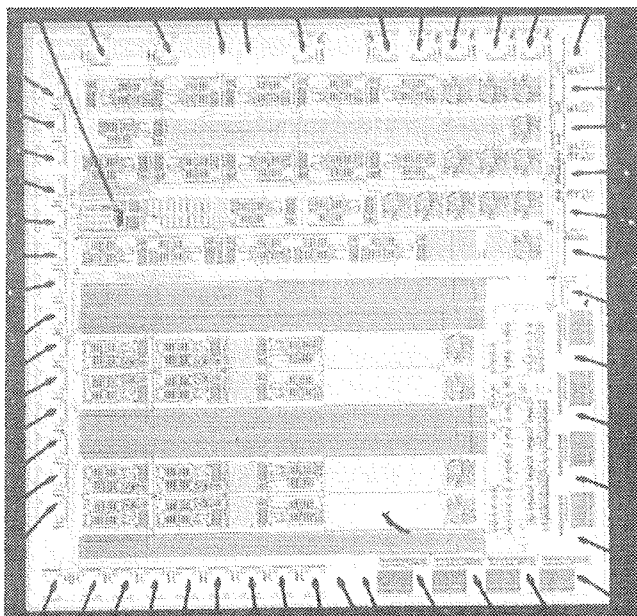


Fig.8: *Radiation Hardened 16 bit Absolute Angular Encoder for High Reliability Space Applications*
 Chip size: 4684 μm x 4676 μm
 Process: 2 μm Dual Poly Dual Metal n-Well

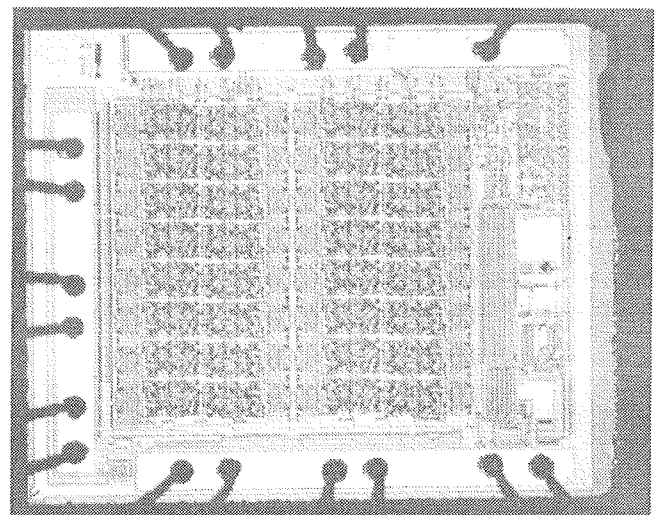


Fig.10: *Wireless Proximity Electronic Key IC*
 Chip size: 2296 μm x 2114 μm
 Process: 5 μm Dual Poly Single Metal p-Well

The members of the laboratory participated in joint development teams with American Micro Systems Inc., International Microelectronic Products Inc., and with Austria Mikro Systeme Inc. In some areas the achievements of the Laboratory were at the leading edge of IC design and the design methodology.

Some of the designed ASICs in the area of telecommunications, precision measurements, automotive, security systems and medical electronics were produced in the quantities over million pieces.

Fig. 5 to 11 show some of the successful designs of Laboratory in the above fields.

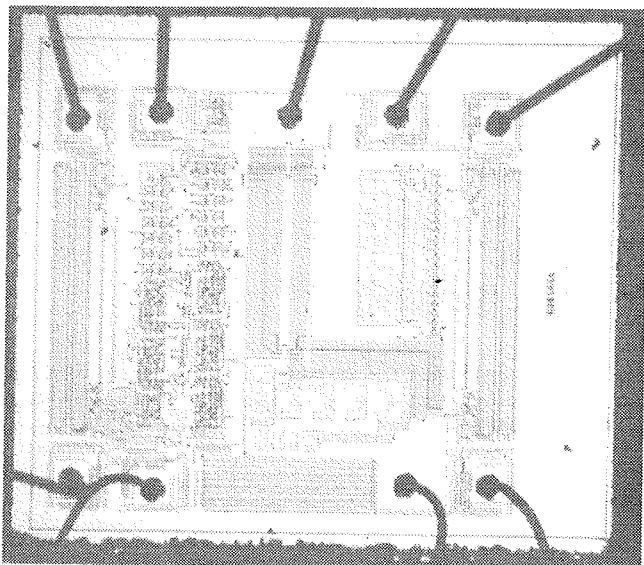


Fig. 11: *Implanted Dual Channel Electronic Stimulator for Rehabilitation in Humans*
 Chip size: 1876 μm x 1711 μm
 Process: 5 μm Dual Poly Single Metal p-Well

5. SUMMARY

Investments into microelectronic submicron volume production lines nowadays exceed one billion dollars. Underdeveloped markets in NICs normally do not allow such huge investments. The lack of well trained marketing personnel able to sell microelectronic products worldwide and small domestic consumption is another obstacle against these investments. Proposed model is one possible solution for NICs to educate engineering community and to maintain the ties with the mainstream microelectronic developments. Furthermore such possibility offers NICs to retain their activities and to remain competitive in selected niche electronic applications worldwide such as in the area of micromachining.

6. REFERENCES

- /1/ Ferdo Ivanek, Timoty Nulty, Nikola Holcer: "Manufacturing Telecommunication Equipment in Newly Industrializing Countries. The effect of Technological Progress." World Bank Technical Paper Number 145, The World Bank Washington 1991
- /2/ Janez & Lojze Trontelj, Graham Shenton: "Analog Digital ASIC Design", MyGraw-Hill Book Company, London 1989
- /3/ Jan Davidse: "A quarter century of microelectronics: what happened in analog electronics and what is ahead?", Microelectronics Journal, Vol.25, No.1, February 1994, p.XVII
- /4/ Lojze Trontelj: "Competitive microelectronic R&D facility, the role and its impact on modernizing of the electronic industry in NIC's", SUPERCOMM ICC '94, New Orleans, Invited paper

7. BIOGRAPHICAL NOTE

Dr. Lojze Trontelj is a full professor of Microwave theory and Microelectronic technology at the University of Ljubljana, Faculty of Electrical and Computer Engineering where he founded Microelectronic Laboratory in 1969. He is authoring over 100 technical papers and holds several patents. He was a member of the presidency of the National Research Council. He has received several national awards for his research work.

*Prof. dr. Lojze Trontelj, dipl. ing.,
 Faculty of Electrical and Computer Engineering,
 Tržaška 25, 61000 Ljubljana
 tel. +386 61 1768 342
 fax: +386 61 273 578*

Prispelo (Arrived): 3.7.1995

Sprejeto (Accepted): 11.7.1995

SILICIJEVE USMERNIŠKE DIODE

B. Kren, I. Šorli, R. Ročak
 MIKROIKS d.o.o., Ljubljana, Slovenija
 S. Stradar, Z. Zupančič
 Iskra SEMICON d.d., Trbovlje, Slovenija

Ključne besede: diode usmerniške, diode silicijeve usmerniške, diode hitre, diode ultra hitre, parametri električni, pn spoji, karakteristike I-U, napetost prebojna, čas vzpostavitveni zaporni, tipi diod, Zener diode, Schottky diode, diode supresorske, možnosti uporabe, tehnologija izdelave, obvladovanje kakovosti, ugotavljanje zanesljivosti, TQM vodenje kakovosti totalno, SPC kontrola procesna statistična, diode spojne

Povzetek: V prispevku obravnavamo v pregledni obliki silicijeve usmerniške diode. V prvem delu definiramo posamezne električne parametre diode ter primerjamo njihove realne vrednosti z idealnimi, oz. teoretičnimi vrednostmi. Sledi pregled različnih tipov diod. Predvsem nas zanimajo usmerniške, hitre, ultrahitre, Zener, Schottky in supresorske diode ter njihove možnosti uporabe. V četrtem poglavju obravnavamo različne tehnologije izdelave silicijevih diod. Bolj podrobno opišemo slojno in planarno tehnologijo ter njune prednosti in slabosti. V petem poglavju poudarimo najprej pomembnost sistema celovitega obvladovanja kakovosti pri izdelavi diod, potem pa opišemo nekatere osnovne teste, s katerimi izvajamo ugotavljanje zanesljivosti diod.

Silicon Rectifying Diodes

Key Words: rectifying diodes, silicon rectifying diodes, fast diodes, ultra fast diodes, electrical parameters, pn junctions, I-V characteristics, breakdown voltage, reverse recovery time, diode types, Zener diodes, Schottky diodes, suppressor diodes, application possibilities, production technology, quality management, reliability assurance, TQM, Total Quality Management, SPC, Statistical Process Control, junction diodes

Abstract: Fifty years ago, right after the Second World War, a first working contact transistor was invented by a group of scientists from Bell Laboratories. Couple of years later, a first junction transistor came followed soon by first integrated circuit on silicon. So, in the late fifties microelectronics was born which led to fast development of telecommunication and information technologies.

Always present, but also always in the shadow of integrated microelectronics, discrete semiconductor components industry (production of components like diodes and transistors) has its own development. After all, p-n junction is a basic building block of all integrated circuits and diode theory forms basic theory for understanding working principles of all other semiconductor components.

In this overview article we cover as much of the subject regarding silicon diodes, as possible. First, some basic electrical parameters for forward conduction, as well as for reverse state, are defined and compared to theoretical values. An overview of all basic diode types follows. We focus on rectifying, fast, ultrafast, Zener, Schottky and suppressor diodes, including their basic application circuits. Among technologies used for silicon diode production we describe basic plane and planar technologies stressing their specific advantages. Typical flow charts, as well as cross sections are given. In the last part of the article we first stress the importance of Total Quality Management approach to the diode production and then we give the description of some basic tests used for diode Reliability Assurance Program.

Modern diode production technology has been strongly improved compared to the one fifteen years ago. New processing steps, new materials, cleaner processing, SPC system lead to higher yields, better quality and higher productivity. Diode factory needs also to conduct strategy of a development factory. Not only it must efficiently produce a large volume product, but it must also have a large range of nonstandard products to fulfill as much as possible the market demand for several different diode types (rectifying, fast, ultrafast, Zener, Schottky, suppressor,).

1.0 UVOD

Petdeset let nazaj, takoj po drugi svetovni vojni, je skupina znanstvenikov v laboratorijih ameriške firme Bell uspela izdelati prvi delujoči kontaktni tranzistor, /1/. Temu je v nekaj letih sledila izdelava spojnega tranzistorja, nato prvega integriranega vezja in kmalu smo bili priča rojstvu nove panoge v elektroniki - mikroelektronike, kateri pripisujemo začetek tretje industrijske revolucije in brez katere ne bi bilo moderne informacijske in telekomunikacijske tehnologije.

Vemo, da danes znamo v integrirana vezja vgraditi večino aktivnih in pasivnih električnih elementov, ki jih potrebuje elektronika (dioda, MOS tranzistor, bipolarni tranzistor, kondenzator, upor). Vemo tudi, da veliko večino integriranih vezij gradimo na siliciju, ki se je izkazal kot najboljši material za mikroelektroniko.

Vzporedno z mikroelektroniko, vendar v njeni senci, so se razvijale tehnologije, ki so omogočale izdelavo diskretnih elementov na siliciju: diod, tranzistorjev in njihovih izpeljank. Kljub razmahu mikroelektronike, bo potreba po tovrstnih elementih še vedno obstajala verjetno še nekaj časa. Zaradi tega tudi največje mikroelektronske firme imajo v svojem programu proizvodnjo diskretnih elementov, ki jih delajo navadno v ločenih tovarnah, ali pa jih za njih delajo specializirane zunanje firme. Veliko jih je v vzhodnih deželah in nekaj tudi v Evropi. V Sloveniji sta trenutno dve: Iskra Semicon v Trbovljah in Diopin v Ljubljani.

Spojna dioda je osnovni gradnik integriranih vezij, teorija p-n spoja pa tvori osnovo za pojasnjevanje in predvidevanje delovanja vseh ostalih polprevodniških elementov.

2.0 OSNOVNE DIODNE ENAČBE IN PARAMETRI

2.1 IDEALNA DIODNA ENAČBA

Osnove delovanja p-n spoja je prvi teoretično obdelal Shockley, /1/. Teorijo je kasneje dopolnjevalo in razširjalo več avtorjev. Na sliki 1 prikazujemo primerjavo med idealno in realno tokovno-napetostno karakteristiko silicijeve diode. Idealno I-V karakteristiko diode podaja znana Shockleyeva enačba, /1/, /2/, /3/:

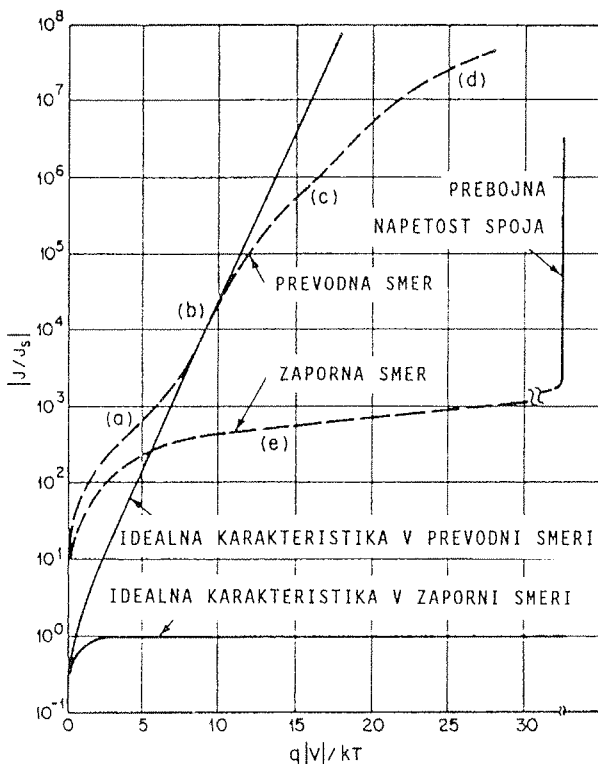
$$I = J_s \cdot S \cdot (\exp^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (1)$$

J_s - površinska gostota diodnega toka

S - površina p-n spoja

V - napetost na p-n spoju

Vzroki za odstopanje od te idealne karakteristike so za prevodno smer naslednji, /2/:



Slika 1: Primerjava med idealno in realno I-V karakteristiko silicijeve spojne diode
a) generacijsko-rekombinacijsko območje
b) območje difuzijskega toka
c) območje visoke injkcije nosilcev
d) vpliv serijske upornosti
e) zaporni tok zaradi generacij parov in površinskih tokov v osiromašenem področju

- površinski efekti, ki so povezani s prisotnostjo nabojev na ali zunaj površine polprevodnika lahko povzročijo različne prevodne kanale, oz. zaporna področja na površini
- pri pogojih visoke injkcije nabojev, ki nastopi, ko je koncentracija injciranah manjšinskih nosilcev nabojev enaka ali večja osnovni koncentraciji v polprevodniku, osnovna diodna teorija ne velja več
- visoka serijska upornost diode, ki pride do izraza zlasti pri višjih tokovih

V zaporni smeri pa je potrebno poleg difuzijskega toka diode upoštevati še generacijski tok zaradi generacije parov elektron - vrzel v osiromašenem področju, slika 1; v primeru p+n diode velja, /2/:

$$J_R = q \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p} \frac{n_i^2}{N_D}} + \frac{q \cdot w \cdot n_i}{\tau_e} \quad (2)$$

D_p - difuzijska konstanta vrzeli

W - širina osiromašenega področja

τ_p - življenjski čas manjšinskih nosilcev naboja - vrzeli

τ_e - efektivni življenjski čas

N_D - koncentracija šibko dopirane strani p-n spoja

n_i - intrinzična koncentracija

Drugi člen v enačbi 2, generacijski tok, pri silicijevih diodah prevladuje nad difuzijskim pri sobni temperaturi. Napetostni potek zapornega toka je definiran s spremembo širine osiromašenega področja, oz. je sorazmeren s \sqrt{V} .

Temperaturno obnašanje zapornega toka narekuje parameter n_i , kar pomeni, da pri dovolj visokih temperaturah prevladuje difuzijski tok nad generacijskim (kvadratična odvisnost od n_i).

Kot komentar zgornjima enačbama naj povemo, da v praksi seveda želimo doseči idealno I-V karakteristiko diode. Zaradi že opisanih efektov to ni mogoče, zato je velika večina dela usmerjena ravno v poznavanje, karakterizacijo in zmanjševanje pojavov, ki povzročajo ta odstopanja.

2.2 PREBOJ p-n SPOJA

2.2.1 Idealni preboj ravnega spoja

Pri dovolj visoki zaporni napetosti, p-n spoj "prebije", oz. skozi diodo steče izredno velik tok. Preboj lahko povzročijo trije mehanizmi:

- temperaturni pobeg
- tunelski efekt in
- plazovita ionizacija

Temperaturni pobeg: relativno visok tok pri visoki pritisnjeni zaporni napetosti povzroči določeno segrevanje p-n spoja. Višja temperatura ponovno povzroči povečanje toka, ki zopet bolj segreje p-n spoj, kar v končni fazi

pripelje do termičnega pobega, oz. hitrega povečanja toka in preboja diode.

Tunelski efekt nastopi pri p-n spojih, kjer sta obe strani močno dopirani, širina osiromašenega področja pa zelo majhna. Že relativno majhna pritisnjena zaporna napetost povzroči visoko električno polje ($E > 10^6$ V/cm) na p-n spoju in nosilci naboja lahko tunelirajo skozi osiromašeno področje, kar ima za posledico povečanje toka, oz. preboj.

V primeru stopničastega p-n spoja (ena stran spoja je močno dopirana, druga pa ne) je glavni mehanizem preboja plazovita ionizacija. Širina osiromašenega področja je dovolj velika, da je tunelski efekt zanemarljiv. Pri takšnem spoju tok v zaporni smeri narašča z rastočo pritisnjeno zaporno napetostjo. Večanje zaporne napetosti povzroča vedno večjo električno poljsko jakost v osiromašenem področju. Če je energija pospešenih nosilcev dovolj velika, da na svoji poti povzročajo ionizacijo novih parov elektron-vrzel, pride do plazovite ionizacije, kar povzroči ogromen tok skozi diodo.

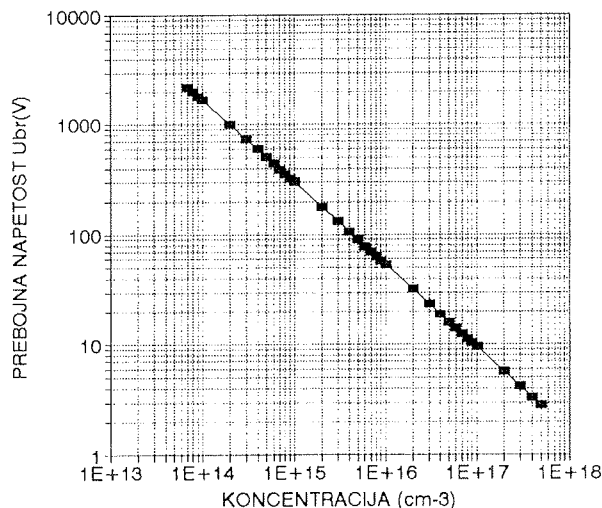
Z načrtovalskega stališča sta za nas zanimiva predvsem zadnja dva mehanizma preboja p-n spoja. Ker je preboj sam po sebi odstopanje od idealne I-V karakteristike, je razumljivo, da želimo izdelati diode s prebojno napetostjo, ki je čim bližja teoretični vrednosti.

Enačba, ki določa prebojno napetost pri plazovitem preboju STOPNIČASTEGA RAVNEGA spoja, in ki jo lahko uporabljamo za praktično načrtovanje prebojne napetosti diode je:

$$V_B = 5.302 \cdot 10^{13} (N_B)^{-3/4}, V \quad (3)$$

N_B - koncentracija šibko dopirane strani p-n spoja, /cm³

Iz zgornje enačbe vidimo, da prebojno napetost diode določamo s koncentracijo šibko dopiranega področja.



Slika 2 : Odvisnost prebojne napetosti stopničastega p-n spoja od koncentracije

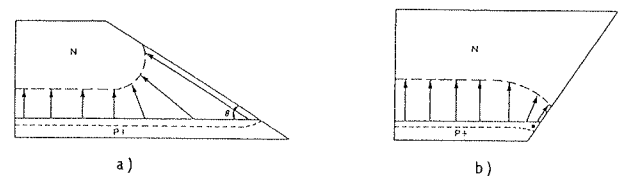
Čim nižja je koncentracija, tem višja je prebojna napetost, slika 2.

Podobna enačba velja tudi za tki. gradientni spoj, le da v njej namesto absolutne koncentracije nastopa gradient koncentracije, vendar se bomo zaradi nazornosti v tem prispevku omejili le na stopničaste spoje.

Redkokatera dioda, ki jo v resnici izdelamo, ima raven p-n spoj, saj ima diodna tabletko končne fizične dimenzije. Tako so v praksi prebojne napetosti nižje, kot jih določa zgornja enačba in poleg koncentracije dopantov njeno vrednost določa še način zaključitve p-n spoja. Različne praktične zaključitve p-n spoja obravnavamo v naslednjem poglavju.

2.2.2 Zaključitvene strukture z negativnim, oz. pozitivnim naklonom

Na sliki 3 prikazujemo dve možni zaključitvi p-n spoja: s pozitivnim, oz. negativnim naklonom na nivoju tabletko. V obeh primerih je desna ploskev stranska ploskev diodne tabletko in jo ponavadi definiramo z žaganjem skozi rezino in naknadnim jedkanjem površine.

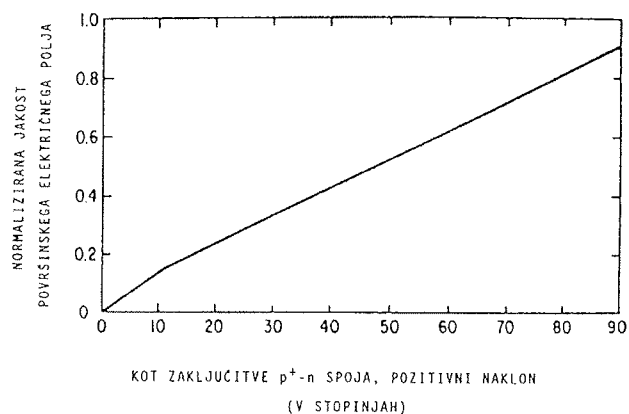


Slika 3 : Zaključitev p-n spoja
a) pozitivni naklon
b) negativni naklon

Naklon določa kot med šibko in močno dopirano stranjo p+-n spoja. Kot manjši od 90° da pozitiven, kot večji od 90° pa negativni naklon. Za oba primera je na sliki 3 prikazana tudi oblika osiromašenega področja in shematska porazdelitev električnega polja. V primeru pozitivnega naklona je zaradi ohranitve naboja na obeh straneh p-n spoja širina osiromašenega področja ob površini v manj dopiranem substratu večja kot v notranjosti. Vsled tega je jakost električnega polja na površini manjša kot v notranjosti, kar je idealno za zaključitev p-n spoja, saj zagotavlja preboj strukture v notranjosti tabletko. Prebojna napetost take diode bi morala biti blizu napovedane, enačba 2. Temu ni tako v praksi, saj je ionizacijski koeficient na površini, zaradi prisotnih površinskih defektov, večji kot v notranjosti. Do preboja tako le pride na površini. Zaradi slednjega je v praksi potrebno zagotoviti površinsko jakost električnega polja vsaj za 50% nižjo kot v notranjosti, če želimo doseči preboj v notranjosti tabletko, tj. blizu teoretične vrednosti za raven spoj.

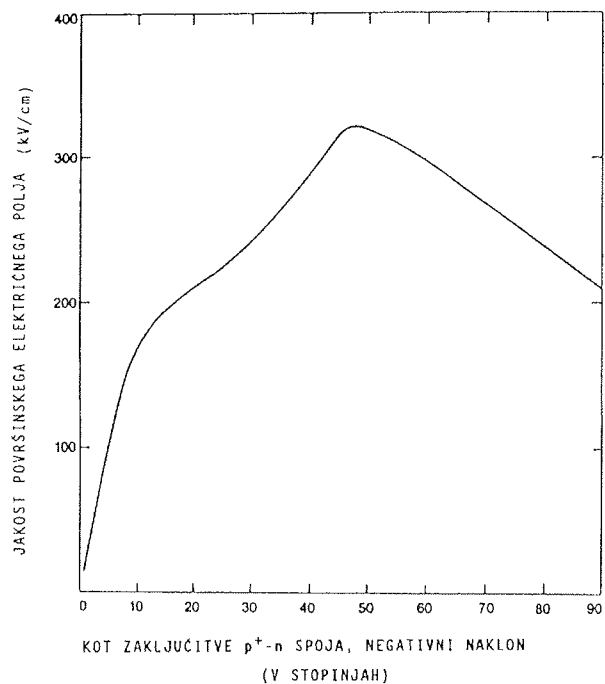
Po podrobni analizi velikega števila spojev s pozitivnim naklonom, z različnimi dopiranjem ter normalizaciji vrednosti električnega polja na površini glede na polje v notranjosti, pridemo do splošno uporabne krivulje, ki nam podaja odvisnost normalizirane jakosti površinskega električnega polja v odvisnosti od kota zaključitve p-n spoja, slika 4.

S slike je razvidno, da koti pod 60° zagotavljajo ustrezno majhno jakost električnega polja na površini, oz. preboj v notranjosti. Koti pod 30° niso priporočljivi, saj pomenijo izgubo učinkovite površine tabletko.



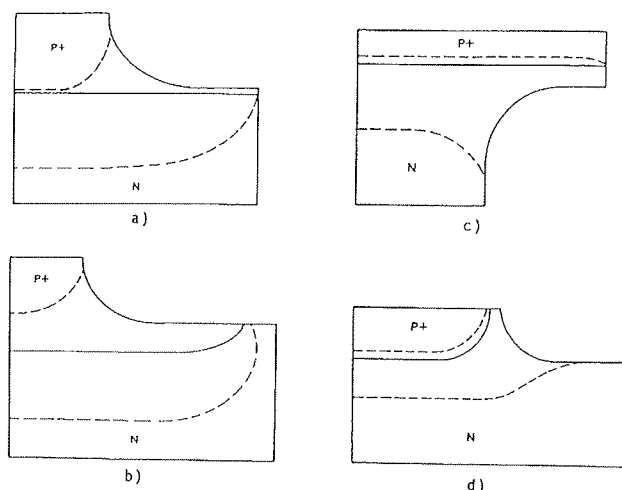
Slika 4: Normalizirana jakost površinskega električnega polja v odvisnosti od kota zaključitve p+-n spoja, pozitivni naklon.

V primeru negativnega naklona, slika 5, pa je situacija ravno obratna. Če bi želeli zmanjšati električno polje na površini, bi morali bodisi zmanjšati kot, bodisi znižati koncentracijo p+ področja, kar bi omogočilo širjenje osiromašenega področja tudi na p+ stran in s tem posredno zmanjšanje električnega polja na površini.



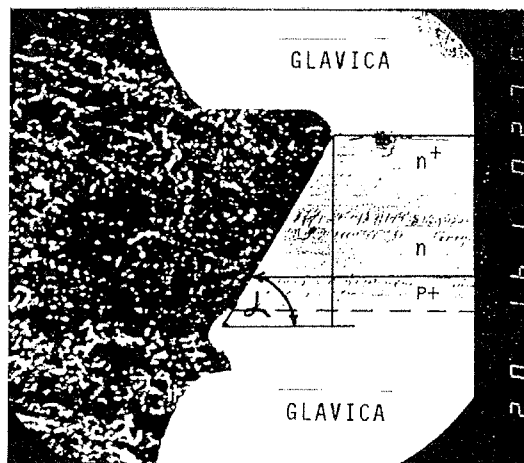
Slika 5: Jakost površinskega električnega polja v odvisnosti od kota zaključitve p+-n spoja, negativni naklon

Na sliki 6 prikazujemo več možnih variant zaključitve p-n spoja s pozitivnim, oz. negativnim naklonom na nivoju rezine. Stransko ploskev definiramo z jedkanjem kanalov med tabletkami že takoj po difuziji p+ področja.



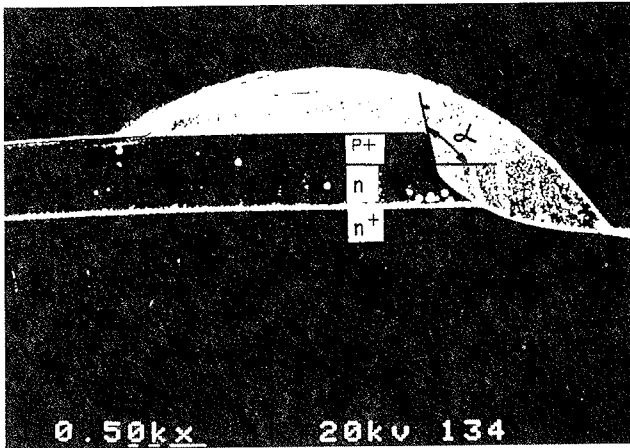
Slika 6: Zaključitvena struktura s kanalom:
a) negativni naklon, ravni spoj
b) negativni naklon, planarni spoj
c) pozitivni naklon, ravni spoj
d) pozitivni naklon, planarni spoj

Kot primer zgoraj naštetih zaključitvenih struktur je na sliki 7 prikazana diodna tabletko že pritrjena na priključne žičke. Lepo je viden natančno definiran pozitivni kot 60° med p+ in n področjem. Do točno definiranega kota smo prišli najprej z žaganjem rezine z žaginim listom s točno določenim naklonom in nato z jedkanjem v bazičnem jedkalu. Izmerjena maksimalna prebojna napetost za prikazano strukturo je 1600 V. To je 80% od izračunanega preboja za stopničast raven p-n spoj, ki je 1990 V pri specifični upornosti n substrata $50 \Omega\text{cm}$.



Slika 7: Diodna tabletko s pozitivnim naklonom p-n spoja, $\alpha = 60^\circ$

Podobno je na sliki 8 prikazana diodna tabletko z jedkanim kanalom in negativnim naklonom 70° med $p+$ in n področjem. Kanale smo jedkali po difuziji $p+$ področja. Kot maska za kislno jedkalo je služil silicijev dioksid. Izmerjena prebojna napetost za tako strukturo je 160 V. To je 80% od izračunanega preboja za stopničast raven $p-n$ spoj, ki je 200 V pri specifični upornosti n substrata 2.8 Ωcm .



Slika 8: Diodna tabletko z negativnim naklonom $p-n$ spoja, $\alpha = 110^\circ$

2.2.3 Zaključitvene strukture v planarni tehnologiji

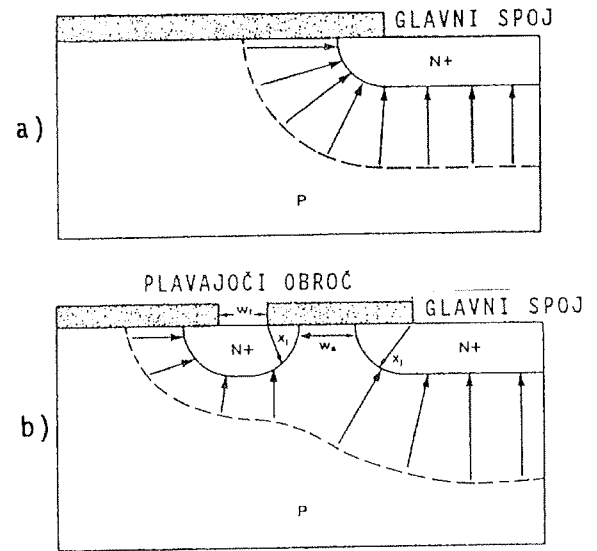
S planarno tehnologijo izdelujemo tridimenzionalne strukture diod na silicijevi rezini, kar pomeni, da se $p-n$ spoji zaključijo na površini tabletko namesto na njenem robu, slika 9. Ukrivljenost osiromašenega področja na robu $p-n$ spoja je glavni razlog za manjšo vrednost prebojne napetosti v primerjavi z idealnim ravnim spojem, ki ima neskončen krivinski polmer. Tehnik za povečanje krivinskega polmera, oz. zmanjšanje ukrivljenosti je več. Med najbolj popularnimi sta dve, ki sta zlasti uporabni za izdelavo vertikalnih diskretnih polprevodniških elementov:

- zaključitev s plavajočimi obroči
- zaključitev s poljsko elektrodo

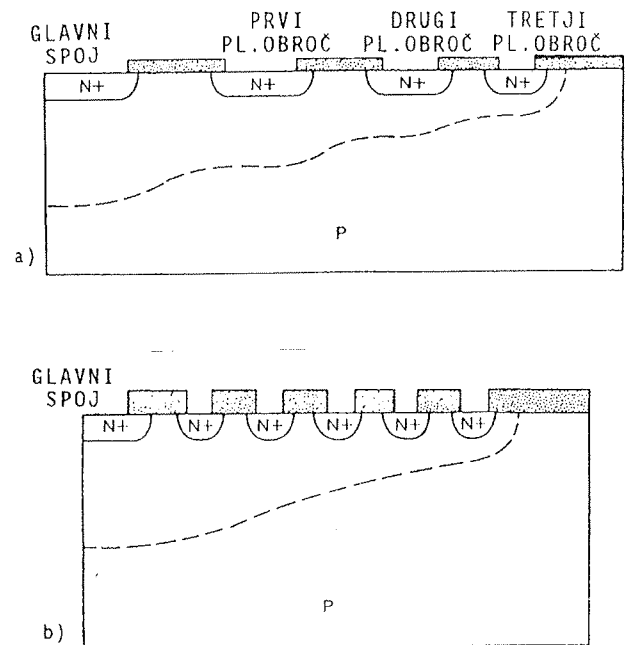
Zaključitvena struktura s plavajočim obročem

Primerjava porazdelitve električnega polja med strukturo z in brez plavajočega obroča pri pritisnjeni zaporni napetosti je razvidna s slike 9. Pri strukturi s plavajočim obročem se namreč pri določeni napetosti osiromašeno področje dotakne obroča; nadaljnje zviševanje zaporne napetosti povzroči širjenje osiromašenega področja od glavnega spoja navzdol, oz od obroča navzdol in vstran. Na ta način učinkovito povečamo krivinski polmer strukture, porazdelimo padec napetosti med glavnim spojem in obročem in s tem posredno povečamo prebojno napetost.

Glavni spoj lahko zaključimo z enim ali več plavajočimi obroči. Optimalno prebojno napetost dosežemo le s pravilnim načrtovanjem razdalje obrocev od glavnega spoja, njihove širine in medsebojne razdalje, sliki 10 in 11.



Slika 9: Presek strukture in porazdelitev električnega polja:
a) planarni spoj
b) planarni spoj z enim plavajočim obročem

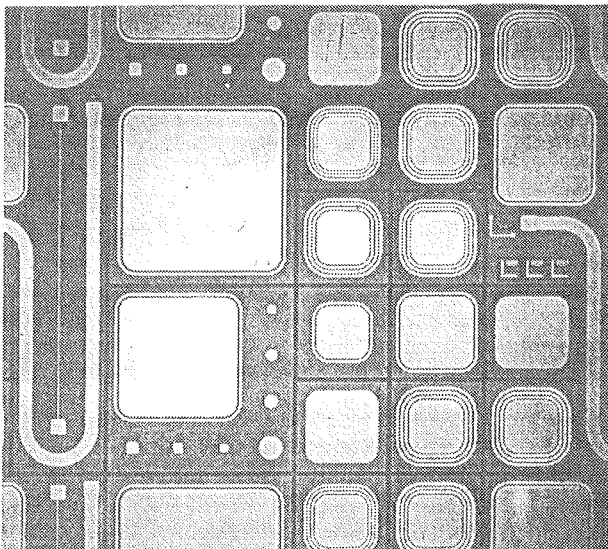


Slika 10: Dva možna načina načrtovanja plavajočih obrocev:
a) spreminjajoče širine obrocev in spreminjajoče medsebojne razdalje
b) konstantne širine in enake razdalje med obroči

V praksi ponavadi ne uporabljamo več kot tri plavajoče obroče.

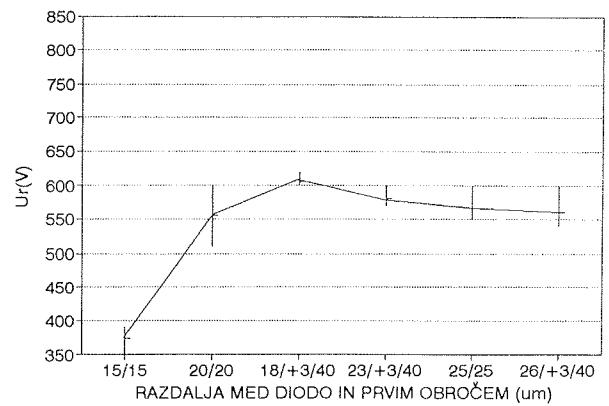
Zgoraj omenjene trditve smo preizkusili tudi v praksi. Tako je na sliki 11 prikazano testno vezje z diodami z različnimi zaključitvenimi strukturami s plavajočimi obroči, na sliki

12 pa rezultati meritev prebojnih napetosti na nekaterih diodah na prikazanem testnem vezju. Diode smo izdelali na substratu s specifično upornostjo $18 \Omega\text{cm}$, globina spoja pa je bila $8 \mu\text{m}$. Preboj ravnega spoja na tem substratu je 876 V , planarnega pa 272 V . Pri zaključitveni strukturi z enim obročem se je izkazalo, da je optimalna risana razdalja med glavnim spojem in obročem okoli $29 \mu\text{m}$ (dosegli smo 60% vrednosti prebojne napetosti ravnega spoja in 190% vrednosti prebojne napetosti planarnega spoja), medtem ko se je pri treh obročih kot optimalna izkazala struktura z obroči, med katerimi se je razdalja povečevala za $3 \mu\text{m}$ od $18 \mu\text{m}$ naprej (dosegli smo 69% vrednosti prebojne napetosti ravnega spoja in 220% vrednosti prebojne napetosti planarnega spoja).



Slika 11: Testno vezje z različnimi geometrijami diod ter zaključitvenimi strukturami s plavajočimi obroči, [7]

ODVISNOST U_r OD RAZDALJE W_{dr} TRIJE $p+$ OBROČI



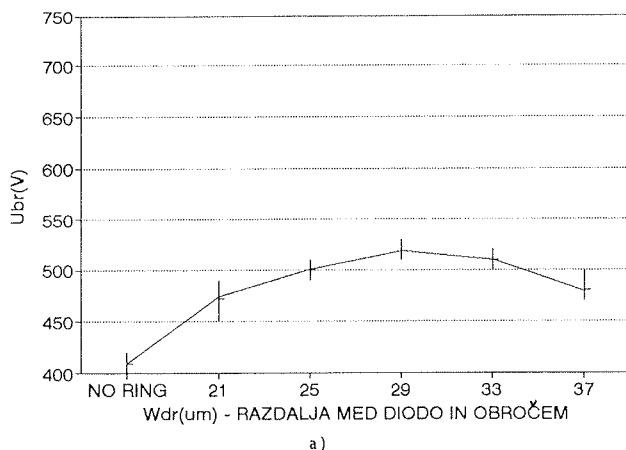
b)

Slika 12: Odvisnost prebojne napetosti od tipa plavajočega obroča
a) en obroč
b) trije obroči

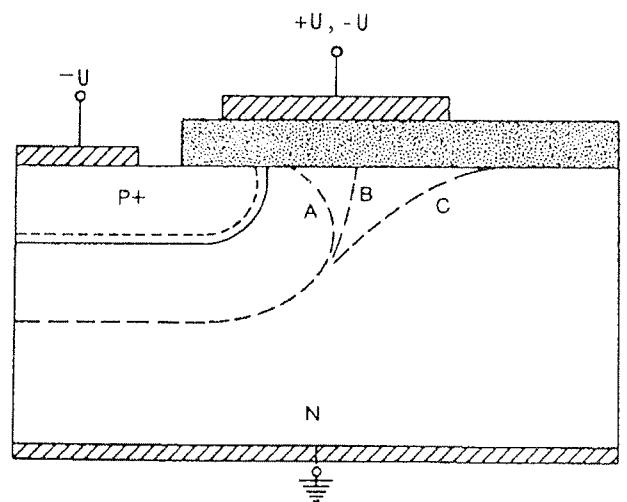
Zaključitvena struktura s poljsko elektrodo

Že Grove, [4], je za povečanje prebojne napetosti pri planarnih diodah predlagal ločeno napajanje prevodne elektrode na oksidu, katera je speljana preko p-n spoja, slika 13. S spremembo potenciala na njej spreminjamo obliko, oz. ukrivljenost osiromašenega področja. Za substrat tipa n velja, da s priključitvijo pozitivne napetosti na elektrodo pritegnemo elektrone na površino, ki oblikujejo osiromašeno področje, kot ga prikazuje krivulja A. S priključitvijo negativne napetosti pa elektrone odbijemo od površine, s čimer povečamo osiromašeno področje pod elektrodo, oz. povečamo krivinski polmer področja, krivulja C, in s tem povečamo prebojno napetost.

ODVISNOST U_{br} OD RAZDALJE $p+$ obroč

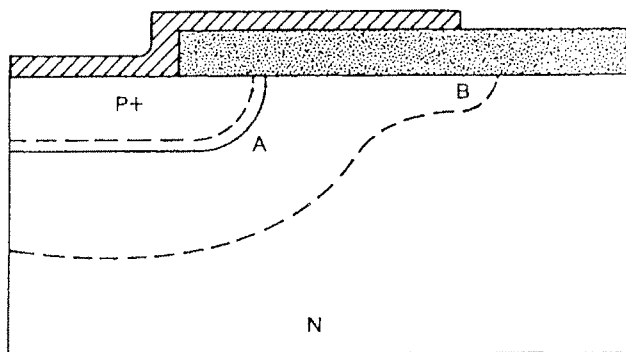


a)



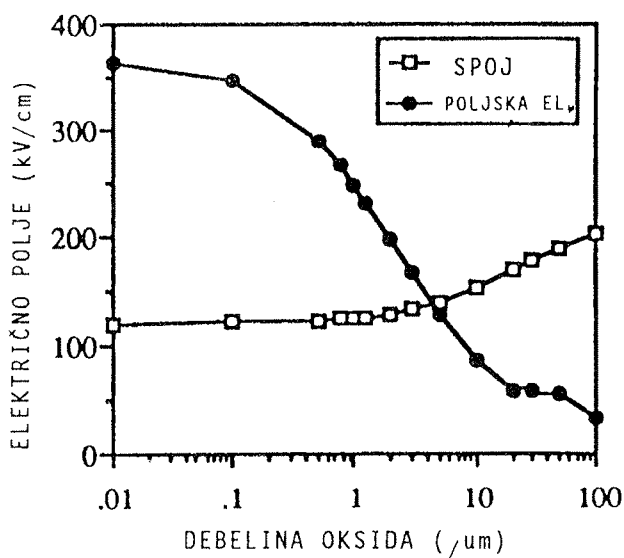
Slika 13: Oblika osiromašenega področja za različne napetosti na poljski elektrodi

V praksi je nepraktično ali včasih celo nemogoče izvesti ločeno napajanje za kontrolo potenciala poljske elektrode. Le-ta je zato ponavadi izvedena kot podaljšek kontaktne metalizacije p+, slika 14. V primeru zaporne napetosti na diodi (negativna napetost na p+ področju glede na n področje), se osiromašeno področje razširi po površini do roba poljske elektrode in dobimo podoben efekt kot pri krivulji C, slika 13. Električno polje v točki B, slika 14, je manjše samo v primeru, če pravilno izberemo debelino oksida pod poljsko elektrodo ter dolžino poljske elektrode nad spojem, saj mora priti do popolnega osiromašenja polprevodnika pod oksidom. Oksid mora biti dovolj tanek, da pride do izrazitega poljskega efekta in hkrati dovolj debel, da ne pride do prezgodnjega preboja oksida na robu poljske elektrode.



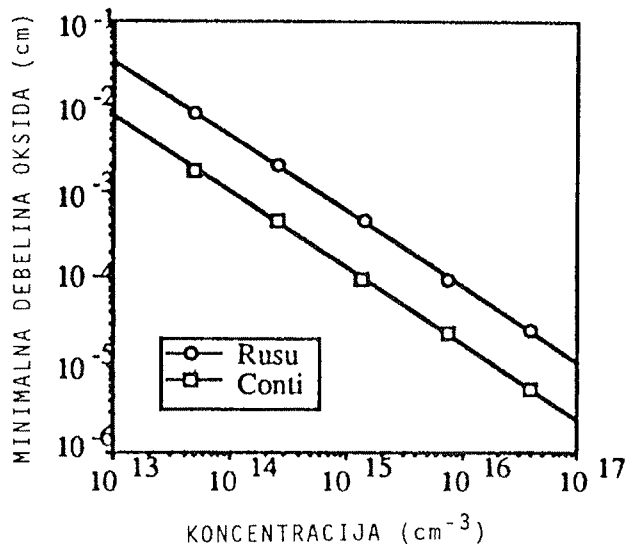
Slika 14: Struktura diode s poljsko elektrodo, ki je vezana na p+ kontakt

Načrtovanje pravilne geometrije poljske elektrode za doseg optimalnega preboja je relativno komplicirano. Iz literature poznamo nekaj osnovnih napotkov, /4/, /5/. Na sliki 15 prikazujemo odvisnost maksimalnega električ-



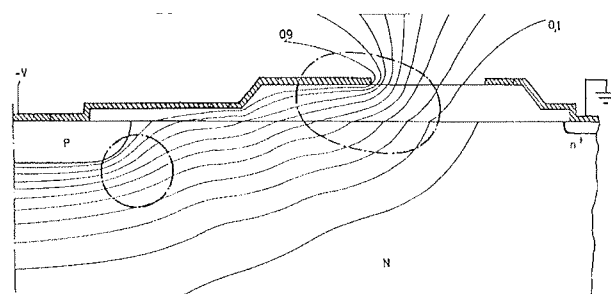
Slika 15: Odvisnost električnega polja na robu poljske elektrode od debeline oksida; druga krivulja prikazuje električno polje na ukrivljenosti osiromašenega področja

nega polja na koncu poljske elektrode in polja na ukrivljenosti osiromašenega področja od debeline oksida. Podobno je na sliki 16 prikazana minimalna debelina poljskega oksida, ki je potrebna, da izenačimo električni polji na robu poljske elektrode in na ukrivljenosti osiromašenega področja. Iz slednje slike je razvidno, da je zaključitev s poljsko elektrodo efektivna le pri srednje in močno dopiranih substratih, saj bi bila pri šibko dopiranih substratih zahtevana debelina oksida prevelika (npr. za koncentracijo substrata $1\text{E}13/\text{cm}^3$ je zahtevana debelina poljskega oksida okoli $100\ \mu\text{m}$, kar v praksi ni realno dosegljivo !)



Slika 16: Minimalna potrebna debelina poljskega oksida, ki je potrebna za izenačitev električnih polj na robu poljske elektrode in na ukrivljenosti osiromašenega področja

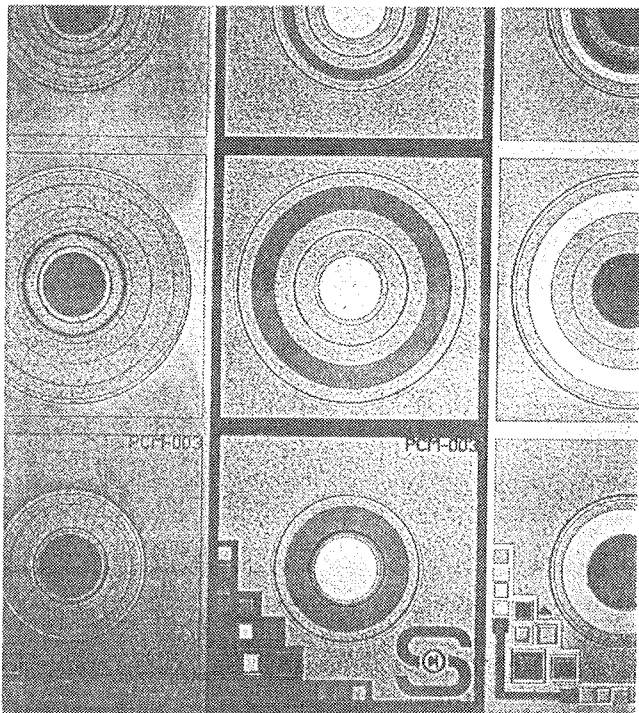
Pri debelih poljskih oksidih je maksimalno električno polje locirano na robu pn spoja, saj je poljski efekt neizrazit. Do preboja bo torej prišlo na p-n spoju. S padajočo debelino oksida jakost polja na p-n spoju pada, povečuje pa se poljski efekt. Maksimalno električno polje se preseli na rob poljske plošče. Porazdelitev potenciala v diodi s poljsko elektrodo je prikazana na sliki 17. Na tej sliki je poleg poljske elektrode viden tudi ekvipotencialni obroč



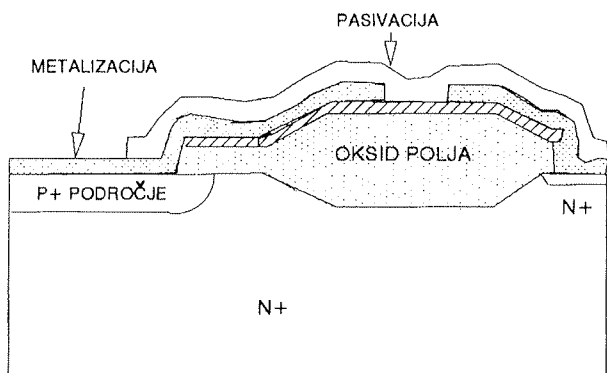
Slika 17: Porazdelitev potenciala v strukturi diode s poljsko elektrodo

na robu strukture, ki definira ničelni potencial, saj je vezan na substrat.

Na sliki 18 je prikazano testno vezje z diodami z zaključitvijo p-n spoja s poljsko elektrodo. Posamezne strukture se razlikujejo predvsem v lateralnih dimenzijah poljske elektrode, slika 19.



Slika 18: Testno vezje z diodami z zaključitvijo p-n spoja s poljsko elektrodo

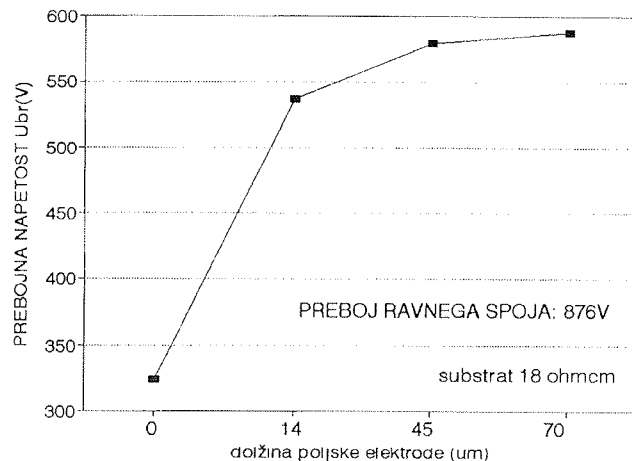


Slika 19: Presek diode s poljsko elektrodo, struktura s testnega vezja na sliki 18

Na sliki 20 so prikazani rezultati meritev prebojnih napetosti teh struktur izdelanih na substratu z upornostjo 18 Ωcm in globino p+n spoja 8 μm . Preboj ravnega spoja na tem substratu bi bil 876 V, planarnega pa 272 V. Maksimalno prebojno napetost smo dosegli pri poljski

elektrodi, katere rob je podaljšan za 45 μm stran od glavnega spoja (dosegli smo 575 V, kar je 66% vrednosti prebojne napetosti ravnega stopničastega spoja in 211% vrednosti prebojne napetosti planarnega spoja).

Odv. Ubr od dimenzij poljske elektrode



Slika 20: Odvisnost prebojne napetosti diode od lateralnih dimenzij poljske elektrode

2.2.4 Zenerjev preboj

Zenerjev preboj nastopi pri p-n spojih, kjer sta obe strani močno dopirani, širina osiromašenega področja pa je zelo majhna. Že relativno majhna pritisnjena zaporna napetost povzroči visoko električno polje ($E > 10^6 \text{ V/cm}$) na p-n spoju in nosilci naboja lahko tunelirajo skozi osiromašeno področje, kar ima za posledico povečanje toka, oz. preboj.

Čeprav v praksi izdelujemo "Zenerjeve diode" v širokem spektru prebojnih napetosti (1.8 - 200 V), moramo vedeti, da so mehanizmi preboja pri različnih napetostih različni in sicer:

$V_R \approx 0.5 - 3 \text{ V} \rightarrow$ območje Zenerjevega preboja

$V_R \approx 3 - 8 \text{ V} \rightarrow$ območje Zenerjevega in plazovitega preboja (prehodno območje)

$V_R \approx 8 \text{ V}$ naprej \rightarrow območje plazovitega preboja

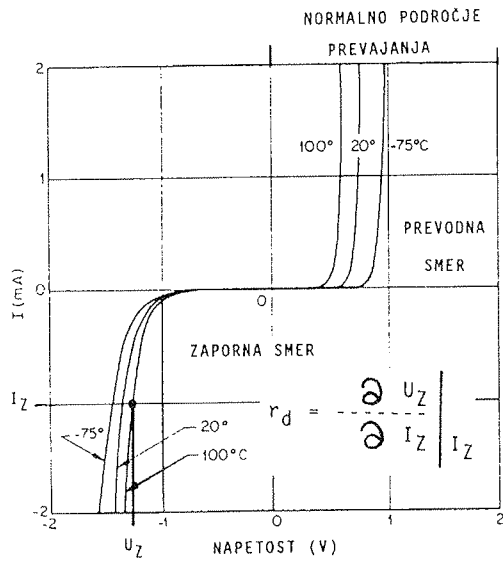
I-V karakteristiko tipične "Zenerjeve diode" prikazujemo na sliki 21.

Področje preboja opišemo z dvema parametroma:

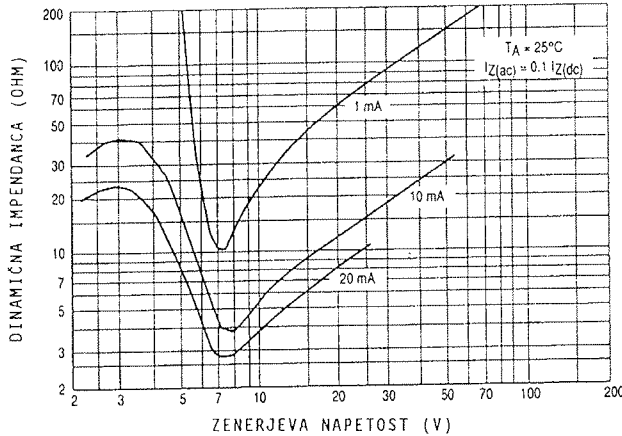
- Zenerjevo napetostjo, V_Z in
- dinamično impedanco, r_D

Zenerjeva napetost je ponavadi definirana pri točno določenem zapornem toku I_Z (nekaj mA, odvisno od tipa

diode); dinamično impedanco merimo pri delovnem zapornem toku I_Z , s sinusnim signalom z amplitudo $0.1 \cdot I_Z$ in frekvenco 1kHz. Tipična odvisnost dinamične impedance od delovnega zapornega toka in Zenerjeve napetosti je prikazana na sliki 22. Minimum dinamične impedance se pojavi ravno v prehodnem območju, ko preboj definirata dva mehanizma, kot smo že opisali.

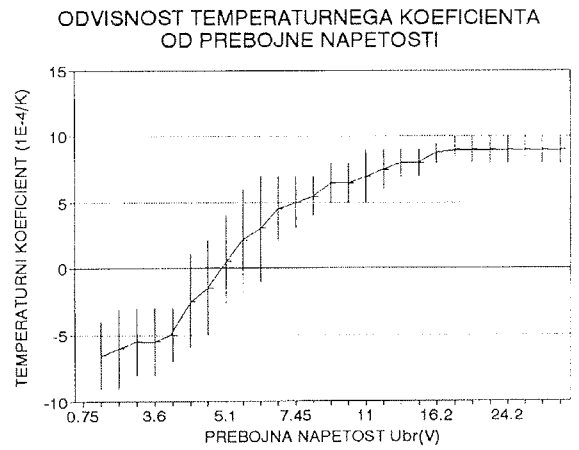


Slika 21: I-V karakteristika Zenerjeve diode



Slika 22: Potek dinamične impedance v odvisnosti od prebojne napetosti Zener diode

Zanimiv je tudi potek temperaturnega koeficienta prebojne napetosti. Tunelski preboj ima negativni, plazoviti preboj pa pozitivni temperaturni koeficient, saj pri tunelskem preboju višja temperatura pospešuje emisijo nosilcev naboja, medtem ko se pri plazovitem preboju, prosti nosilci naboja z večanjem temperature bolj sipajo na kristalni mreži, kar znižuje celotni tok, slika 23. Na sliki sta lepo vidni obe področji preboja (tunelski in plazoviti), oz. tudi prehod med njima.

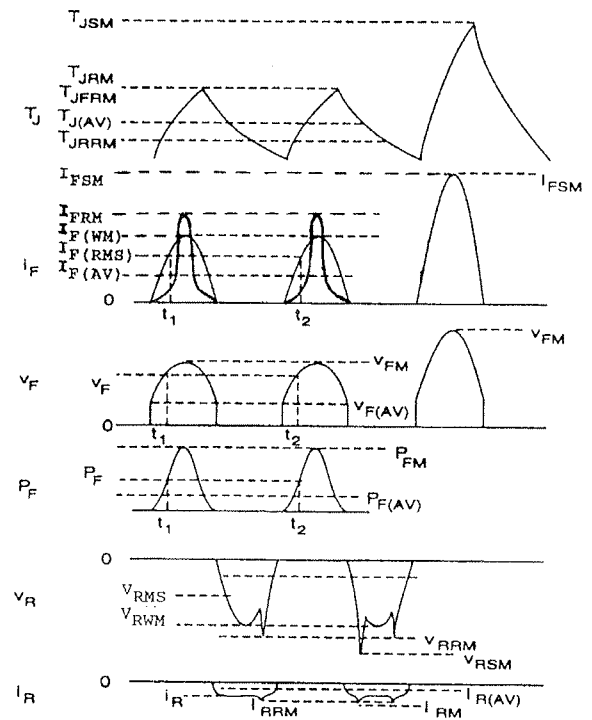


Slika 23: Napetostni potek temperaturnega koeficienta prebojne napetosti Zener diode

2.3 REALNI ELEKTRIČNI PARAMETRI DIODE

Električni parametri diode so odvisni od velikega števila dejavnikov; med njimi naj naštejemo le najbolj pomembne:

- tehnologija izdelave in posamezni tehnološki postopki (slojna/planarna tehnologija, globina difuzij, plastne upornosti p+ in n področja, čistost procesa, ipd..)
- lastnosti silicijevega substrata (specifična upornost, debelina, orientacija)
- velikost tabletko (površina, debelina)



Slika 24: K definiciji posameznih električnih parametrov diode

- način zaključitve in pasivacije p-n spoja (žagan/jedkan kanal, planarni spoj, pasivacija s silikonom, poliimidom ali steklom ipd..)
- vrsta montaže (spajkan čip, plastično ohišje, stekleno ohišje,)

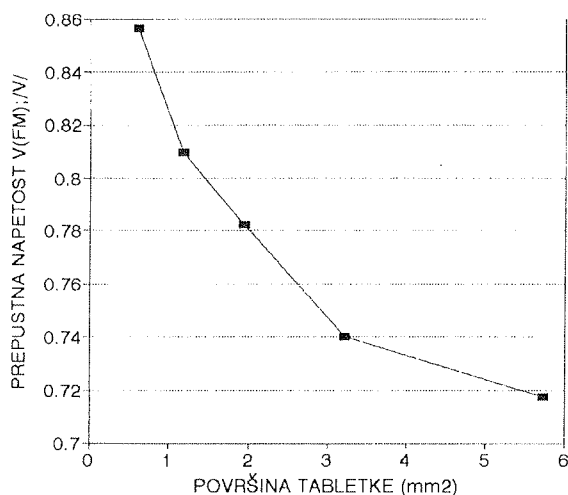
V tem poglavju se bomo omejili samo na nekatere tipične in najbolj pogosto podajane parametre, ki so direktno povezani z I-V karakteristiko diode. Na sliki 24 so nazorno prikazani opisani parametri.

Prepustna napetost (V_{FM})

Parameter določa največji dovoljeni padec napetosti v prevodni smeri, ki ga podajamo pri točno določenem toku za posamezen tip diode.

Določamo ga s površino in debelino tabletkе, znotraj parametrov tehnologije pa z izbiro specifične upornosti substrata in pogoji difuzije močno dopirane strani.

Na sliki 25 prikazujemo odvisnost parametra V_{FM} od površine diode pri prevodnem toku 1A.



Slika 25: Prepustna napetost v odvisnosti od površine tabletkе pri toku 1A, planarna tehnologija

Povprečni prepustni tok ($I_{F(AV)}$)

Parameter določa povprečno vrednost toka v prevodni smeri, ki ga priporoča proizvajalec za normalno delovanje diode pri določeni temperaturi spoja. Podatek ponavadi velja za polvalno usmerjanje.

Ponovljeni temenski prepustni tok (I_{FRM})

Parameter določa največjo dovoljeno vrednost toka v prevodni smeri za ponavljajoči se signal kakršnekoli oblike (tudi nesinusni signali).

Udarni prepustni tok (I_{FSM})

Parameter določa največjo dovoljeno vrednost toka v prevodni smeri, ki se pojavi pri vklopu usmernika, ko je gladilni kondenzator prazen. Parameter je ponavadi definiran le za polvalno usmerjen sinusni signal (trajanje 10 ms pri 50 Hz). Če skozi diodo teče tak tok, bo temperatura spoja narasla nad dovoljeno mejo in do naslednjega vklopa mora miniti nekaj sekund.

Zaporni tok (I_R)

To je tok, ki teče skozi diodo pri maksimalni dovoljeni ponavljajoči se zaporni napetosti podani za določen tip diode. Ponavadi podajamo vrednost zapornega toka pri dveh temperaturah: 25°C in 150°C.

Zaporna napetost (V_R)

Parameter določa največjo zaporno napetost, ki je lahko konstantno pritisnjena na diodi brez posledic.

Ponovljena temenska zaporna napetost (V_{RRM})

Parameter določa največjo dovoljeno vrednost zaporne napetosti za ponavljajoči se signal kakršnekoli oblike.

Neponovljena temenska zaporna napetost (V_{RSM})

Parameter določa temensko zaporno napetost na diodi, za katero lahko predpostavimo, da se le redko pojavi. Ta vrednost, čeprav zelo kratkotrajna, nikakor ne sme biti presežena.

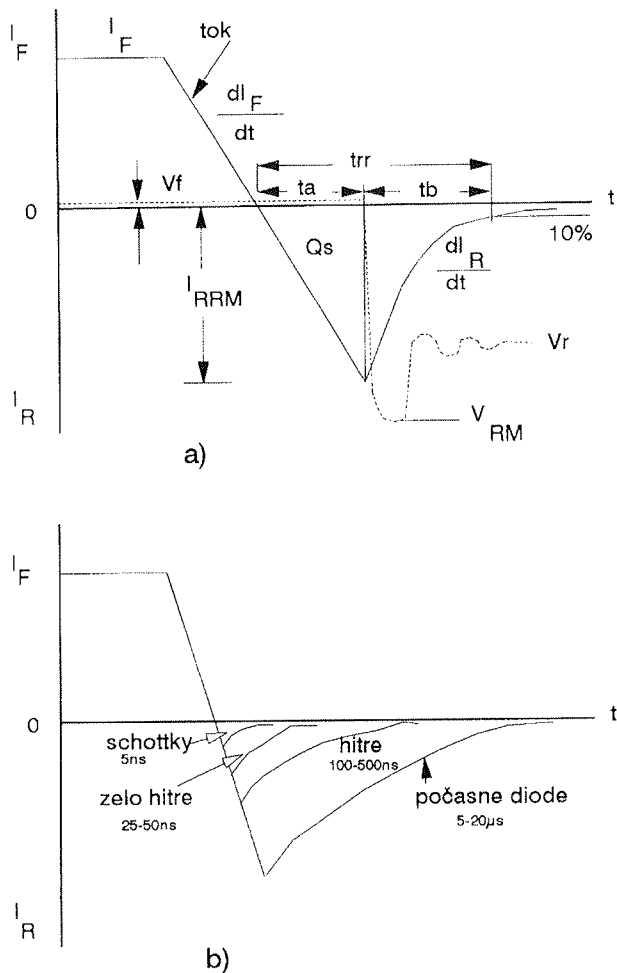
Pri načrtovanju diodne strukture in njenih električnih karakteristik ponavadi pazimo, da element vzdrži višje temenske napetosti v zaporni smeri, oz. temenske tokove v prevodni smeri, kot so največje dovoljene.

Še en parameter, na katerega morajo biti posebej pozorni uporabniki diod, je maksimalna moč, ki jo dioda prenese. Pri pulznem načinu delovanja so napetostni in tokovni impulzi lahko višji (ampak še vedno znotraj predpisanih maksimalnih vrednosti) kot pri konstantni obremenitvi, saj se v slednjem primeru dioda segreje na višjo delovno temperaturo. V vsakem primeru, če obstaja nevarnost, da se dioda segreje nad predpisano maksimalno temperaturo, je potrebno poskrbeti za dodatno odvajanje toplote (hladilniki, prisilno hlajenje ...).

2.4 ZAPORNI VZPOSTAVITVENI ČAS DIODE

V stanju prevajanja se v šibko dopiranem področju diode nabirajo manjšinski nosilci naboja, katerih koncentracija je sorazmerna velikosti toka. Ko diodo obremenimo z zaporno napetostjo, le-ta ne more v trenutku preiti iz stanja prevajanja v stanje zapore. Kratek čas pred popolno zapore, je dioda v kratkem stiku, saj prevaja tok v zaporni smeri toliko časa, dokler ne odvede vsega naboja, ki se je nabral v diodi med prevajanjem. Odvajanje naboja poteka skozi električni tokokrog in z rekombinacijo nosilcev.

binacijami manjšinskih nosilcev naboja. Tipičen čas potreben za preklop iz stanja prevajanja v stanje zapore je pri "počasnih" diodah reda velikosti 5 do 50 μ s. Odstranitev tega naboja ima za posledico generacijo tokovne špice, ki povzroči tudi napetostno špico, slika 26. Omenimo naj, da sta oblika signala in zaporni vzpostavitveni čas odvisna od naslednjih dejavnikov: toka v prevodni smeri pred preklopom, frekvence preklopa, oblike signala (sinusni, pravokotni, ...), impedanca tokokroga, temperature in tipa uporabljene diode. Za počasne diode ponavadi ne podajamo zapornega vzpostavitvenega časa, saj vrednosti tega parametra ne kontroliramo. Nasprotno velja za "hitre" diode, katerih preklopni časi se gibljejo v intervalu nekaj ns do 1 μ s. Primerjava izhodnih signalov za obe vrsti diod je prikazana na sliki 27.

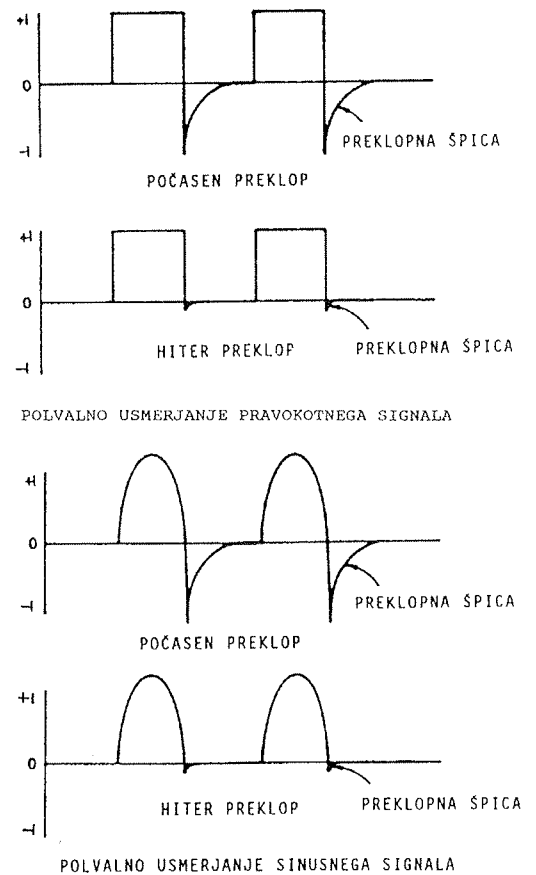


Slika 26: Tokovni impulz pri preklopu diode iz prevodnega v zaporno stanje
a) definicija parametrov
b) oblika impulza pri različno hitrih diodah

Tokovni impulz ob preklopu diode opišemo z naslednjimi parametri, slika 26a:

- prepustni tok, I_F

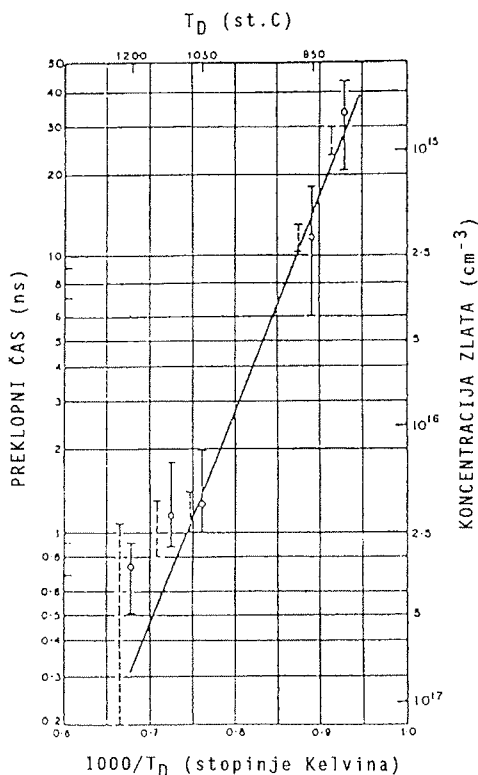
- hitrost spreminjanja toka pri prehodu iz prevajanja v zaporo, dI_F/dt
- temenski zaporni tok, I_{RRM}
- čas, ki je potreben, da tok doseže maksimalno vrednost v zaporni smeri, t_a
- čas, ki je potreben, da tok pade na 10% maksimalne vrednosti v zaporni smeri, t_b
- zaporni vzpostavitveni čas diode, $t_{rr} = t_a + t_b$, ki je dejansko merilo za hitrost preklopa diode iz prevodnega stanja v stanje zapore
- shranjeni naboj, Q_s , ki ga je potrebno odvesti
- hitrost spreminjanja toka pri zmanjševanju tokovne špice, dI_R/dt



Slika 27: Primerjava izhodnih signalov med počasnimi in hitrimi diodami

Temenski zaporni tok, ki se pojavi pri preklopu, ima lahko negativne posledice za vezje, v katerega je vgrajena dioda, saj lahko povzroči elektromagnetne (EM) motnje. Zaradi tega je zaželeno, da je parameter dI_R/dt čim manjši pri čim krajšem času t_b , oz. prehod v zaporo čim mehkejši.

Zaporne vzpostavitvene čase diod v praksi ponavadi definiramo s kontrolirano difuzijo zlata, oz. platine v šibko dopirano področje diode, [6]. Temperature difuzije se gibljejo v območju 850 - 1100°C, doseženi preklopni časi



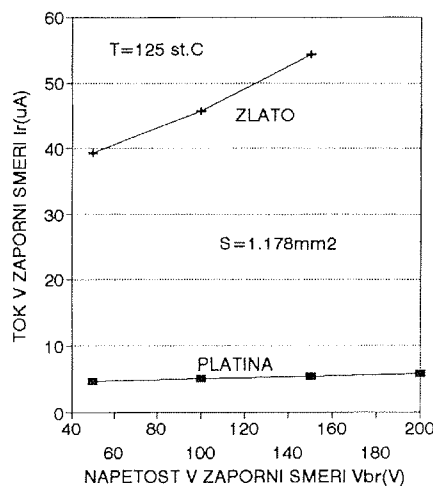
Slika 28: Odvisnost preklopnega časa od temperature difuzije zlata

pa med 0.5 - 50 ns, slika 28. Na žalost pa vnos zlata pokvari nekatere druge električne parametre diode.

Tabela 1:

VRSTA DIODE	ELEKTRIČNI PARAMETER	TOK USMERJANJA I_F (AV)	PREPUSTNA NAPETOST V_{FM}	ZAPORNA NAPETOST V_R	ZAPORNI VZP. ČAS t_{rr}	NAMEN UPORABE
USMERNIŠKE DIODE	standardne * močnostne **	0.5A do 10A 6A do 300A	1V do 1.1V < ali = 1.5V	50V do 1600V 50V do 1600V	5000ns do 20000ns + 50000ns	za nizke frekvence do 1kHz in visoke napetosti in tokove
HITRE USMERNIŠKE DIODE	fast ultrafast ultrafast	0.5A do 10A 0.5A do 10A 0.5A do 10A	1V do 1.3V 1V 1.7V	50V do 1000V do 400V do 1000V	< ali = 500ns 50ns 75ns	za frekvence do 100kHz za frekvence do 1MHz
SCHOTTKY DIODA		0.5A do 100A	0.6V	50V	5ns	nizke izgube; nizka zap.nap. in za visoke frekv.do nekaj MHz
SIGNALNA DIODA		do 200mA	1V	do 200V	2ns do 50ns	za male VF signale

EL.PARAMETER	MOČ	ZAP. NAPETOST	POSEBNOSTI
VRSTA DIODE	P	V_R	NAČIN DELOVANJA
ZENER DIODA	1W do 12.5W (50W)	2.7V do 33V (200V)	Uz je delovna napetost / stalni
OMEJILNE NIZKONAPETOSTNE DIODE	1W do 1.5W	0.8 do 6.4V	Uz je delovna napetost stalni ali impulzni način delovanja
SUPPRESSOR DIODA	400W do 1500W oz. (5-15kW) v 1ms	6.8V do 400V	Uz je delovna napetost impulzni način delovanja



Slika 29: Primerjava tokov puščanja med diodama dopiranih z zlatom, oz. platino

Prevodni padec napetosti, kakor tudi tok puščanja se večata s količino zlata v diodi. Kontrola preklopnih časov s platino je primernejša kot z zlatom, saj so tokovi puščanja s platino dopiranih diod skoraj za red velikosti manjši pri enakih vrednostih preklopnih časov, slika 29.

3.0 OSNOVNI TIPI DIOD

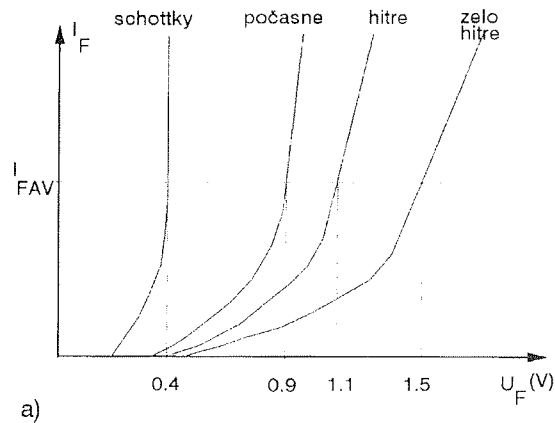
Osnovna funkcija diod je usmerjanje izmeničnih signalov. Od diode zahtevamo, da se čim bolj približa idealnemu stikalu. oz. da ima čim manjšo prepustno napetost, čim

manjši zaporni tok, čim višjo prebojno napetost ter ustrezno hitro in mehko preklopno karakteristiko.

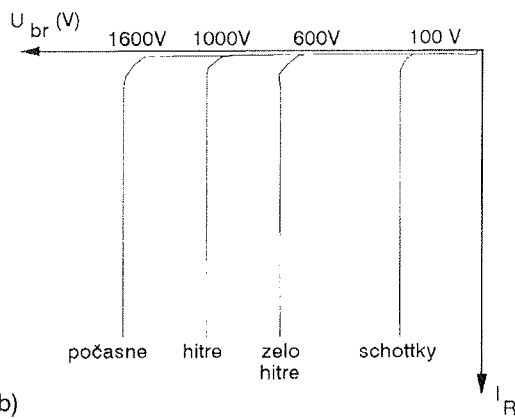
Izmenični signali, katere želimo usmeriti, so po svojem izvoru in parametrih različni in sicer:

- povprečni prepustni tok: od nekaj mA do nekaj 100 A
- zaporna napetost: od nekaj V do nekaj 10kV
- frekvenca delovanja: od nekaj Hz do nekaj GHz

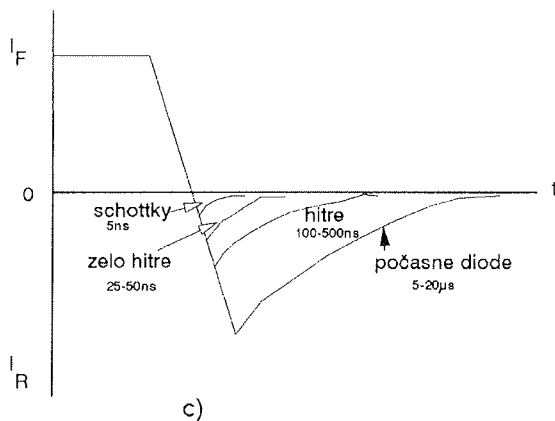
Temu primerno so tudi v tabeli 1 razdeljene diode z različnimi električnimi parametri, ki naj bi pokrivala cel spekter uporab in signalov, ki jih je potrebno usmeriti.



a)



b)



c)

Slika 30: Kvalitativna primerjava električnih karakteristik posameznih tipov diod
a) prevodna smer
b) zaporna smer
c) preklop iz prevajanja v zaporo

Na sliki 30 je podana nazorna primerjava med električnimi karakteristikami posameznih tipov diod.

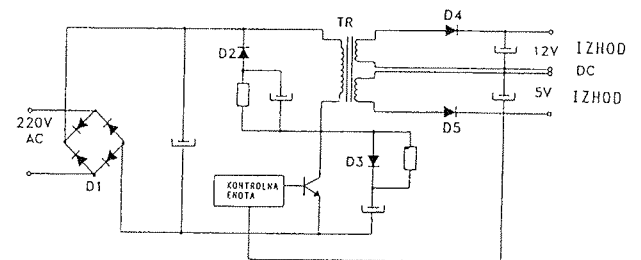
3.1 HITRE IN ULTRAHITRE USMERNIŠKE DIODE

Navadne usmerniške diode uporabljamo za usmerjanje nizkofrekvenčnih, nizkonapetostnih/tokovnih in visokonapetostnih/tokovnih signalov.

Hitre in ultrahitre diode uporabljamo za usmerjanje signalov v frekvenčnem območju od nekaj kHz do 1 MHz. Ena od najbolj razširjenih in popularnih uporab ultrahitrih diod je v stikalnih napajalnikih (Switch Mode Power Supply - SMPS). Mejne frekvence delovanja teh napajalnikov se vse bolj približujejo 1 MHz, zato je razumljiva vse večja potreba po hitrih in ultrahitrih diodah.

Tipična električna shema SMPS napajalnika je razvidna iz slike 31. Sestoji se iz naslednjih podsestavov: vhodni usmernik s filtrom, kontrolna enota z razsmernikom, visokofrekvenčni transformator in izhodni usmernik s filtrom. Izmenično napetost vhodne linije tak usmernik razseka s frekvenco 20 do 200 kHz, katero potem usmeri izhodni usmernik. Vhodna dioda D1 je standardna usmerniška dioda, medtem ko izhodni diodi D4 in D5 delata na visoki frekvenci. D4 je ponavadi ultrahitra dioda, D5 pa Schottky dioda, ki ima izredno nizek padec napetosti v prevodni smeri. Visokonapetostni diodi D2 in D3 sta bodisi hitri, oz. ultrahitri diodi.

- Razmerje med uporabljenimi diodami je tako sledeče:
- 25% standardna usmerniška dioda
 - 75% hitra ali ultrahitra dioda



Slika 31: Primer uporabe usmerniških diod v SMPS napajalniku

Pomembna parametra ultrahitrih diod pri načrtovanju uporabe v SMPS sta:

- prepustna napetost, V_{FM} , ki mora biti čim nižja, saj so izgube v prevodni smeri temu direktno sorazmerne
- zaporni vzpostavilveni čas, ki naj bo čim krajši, sama oblika preklopne karakteristike pa čim mehkejša, s čimer se ognemo indukciji EM motenj v napajalniku in izgubam v zapori

Vsi osebni računalniki, monitorji, TV sprejemniki, naprave za izkoriščanje sončne energije, napetostni regulatorji in brezprekinitvene napajalne naprave vsebujejo SMPS.

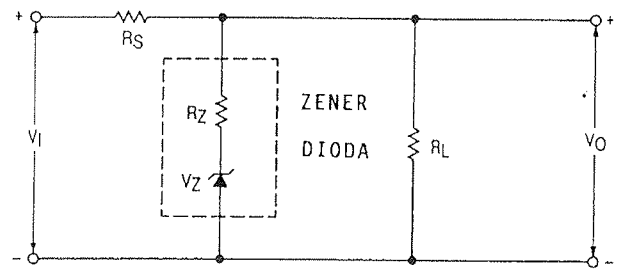
Tabela 2: Električne karakteristike ultrahitrih diod UF 400x iz programa Iskre SEMICON d.d.

Parameter	Simbol	En.	UF4001	UF4003	UF4005	UF4007
Neponovitvena temenska zaporna napetost	V_{RSM}	V	60	240	720	1200
Ponovitvena temenska zaporna napetost	V_{RRM}	V	50	200	600	1000
Povprečni prepustni tok $T_a = 25^\circ\text{C}$	I_{FAV}	A	1			
Udarni prepustni tok, 1 cikel, 10 ms, sinusni signal, $T_j=25^\circ\text{C}$	I_{FSM}	A	30			
Zaporni vzpostavitevni čas $I_F=0.5\text{A}, I_R=1\text{A}, I_{tr}=0.25\text{A}$	τ_{tr}	ns	50	75		
Zaporni tok pri $V_{RRM}, T_j=25^\circ\text{C}$	I_R	μA	10			
Zaporni tok pri $V_{RRM}, T_j=125^\circ\text{C}$	I_R	μA	50			
Prepustna napetost pri 1 A, $T_j=25^\circ\text{C}$	V_{FM}	V	1	1.7		
Tipični termični upor, spoj - izvod	R_{thjl}	K/W	25			
Delovna in temperatura skladiščenja	T_{op}	$^\circ\text{C}$	-65 do + 150			

V tabeli 2 smo zbrali tipične električne karakteristike ultrahitrih diod iz proizvodnega programa Iskre SEMICON d.d. iz Trbovelj.

3.2 ZENER DIODE

Osnovna raba Zenerjevih diod je v vezjih za regulacijo napetosti. Osnovna inačica regulatorja napetosti je prikazana na sliki 32. Izhodna napetost V_O naj bo čim manj občutljiva na spremembe vhodne napetosti, V_I , toka skozi breme, I_L , in spremembe temperature T . Velja najprej:



Slika 32: Osnovno vezje za regulacijo napetosti z Zener diodo

$$V_O = V_Z + V_I \frac{1}{\frac{R_S}{R_L} + \frac{R_S}{R_Z} + 1} \quad (4)$$

in še

$$\Delta V_O = \frac{\Delta V_I}{1 + \frac{R_S}{R_Z} + \frac{R_S}{R_L}} - \frac{R_S R_Z}{R_S + R_Z} \Delta I_L + TC \cdot \Delta T \cdot V_Z \quad (5)$$

Pogoji za dobro napetostno regulacijo so:

- nizka serijska upornost Zenerjeve diode
- absolutno majhen temperaturni koeficient spremembe Zenerjeve napetosti

Tudi upor R_S moramo tako izbrati, da Zenerjev tok ne pade pod neki minimalni tok $I_{Z(\min)}$, ko Zenerjeva dioda ne bi več delovala v področju preboja, s čimer bi bila onemogočena napetostna regulacija.

V tabeli 3 smo zbrali tipične električne karakteristike Zener diod iz proizvodnega programa Iskre SEMICON d.d. iz Trbovelj.

Tabela 3: Električne karakteristike 1.3 W Zener diod iz programa Iskre SEMICON d.d.

Tip	U_z pri I_z		I_z	I_z maks. pri $\theta_{amb} = 45^\circ\text{C}$	r_z maks. pri I_z	U_a min. pri $I_R = 10\mu\text{A}$
	min.	maks.				
	(V)	(V)	(mA)	(mA)	(Ω)	(V)
BZX 85 C5 V1	4,80	5,40	100	215	5	0,7
BZX 85 C5 V6	5,20	6,00	100	190	2	1,5
BZX 85 C6 V2	5,80	6,60	100	180	2	2
BZX 85 C6 V8	6,40	7,20	100	155	2	3
BZX 85 C7 V5	7,00	7,90	100	140	2	5
BZX 85 C8 V2	7,70	8,70	100	127	2	6
BZX 85 C9 V1	8,50	9,60	50	115	4	7
BZX 85 C10	9,40	10,6	50	105	4	7,5
BZX 85 C11	10,4	11,7	50	95	7	8,5
BZX 85 C12	11,4	12,6	50	85	7	9
BZX 85 C13	12,4	14,1	50	78	9	10
BZX 85 C15	13,8	15,8	50	70	9	11
BZX 85 C16	15,3	17,1	25	63	10	12
BZX 85 C18	16,8	19,1	25	57	11	14
BZX 85 C20	18,8	21,2	25	52	12	15
BZX 85 C22	20,8	23,3	25	48	13	17
BZX 85 C24	22,8	25,6	25	42	14	18
BZX 85 C27	25,1	28,9	25	38	15	20
BZX 85 C30	28	32	25	35	20	22,5
BZX 85 C33	31	35	25	31	20	25

3.3 SCHOTTKY DIODE

I-V karakteristika Schottky diode, oz. diode s spojem kovina/polprevodnik, je zelo blizu idealni. Odlikujeta jo zlasti nizek padec napetosti v prevodni smeri ter izredno nizki preklopni časi, saj tok v Schottky diodi prevajajo večinski nosilci naboja. Žal, z današnjo tehnologijo lahko izdelamo le Schottky diode s prebojnimi napetostmi pod 100 V in visokimi tokovi puščanja, ki postanejo še posebej izraziti pri visoki temperaturi. Poleg uporabe v mikrovalovni tehniki, je zlasti razširjena uporaba teh diod v vezjih za SMPS, poglavje 3.1. V tabeli 4 podajamo tipične električne karakteristike Schottky diode 1N5825 iz kataloga firme MOTOROLA.

Tabela 4: Tipične električne karakteristike Schottky diode 1N5825 firme MOTOROLA

Parameter	Simbol	Enota	Vrednost	
Neponovljena temenska zaporna napetost	V_{RSM}	V	48	
Ponovljena temenska zaporna napetost	V_{RRM}	V	40	
Povprečni prepustni tok	$I_{F(AV)}$	A	15	
Udarni prepustni tok	I_{FSM}	A	500	
Zaporni tok	I_R	mA	25°C	10
			100°C	150
Prepustna napetost	V_{FM}	V	3 A	0.350
			5 A	0.380
			15.7 A	0.520

3.4 SUPRESORSKE DIODE

Supresorske diode, SD, so posebne Zener diode namenjene omejitvi prenapetosti, ki se lahko pojavi na napajalni liniji, oz. zaščiti občutljivih elektronskih komponent pred napetostno-tokovnimi špicami. Če napetost na diodi preseže Zenerjevo napetost, dioda začne prevajati, oz. mora prevzeti vso energijo impulza na sebe v zelo kratkem času. Tej zahtevi morajo biti ustrezno izbrani tehnologija izdelave tabletk, tehnologija montaže in ohišje.

Tipične moči, ki jih mora prenesti SD se gibljejo v območju 400 - 5000 W, kar pomeni 0.55 - 7 J absorbirane energije v času do 1 ms. Tipične Zenerjeve napetosti pa se gibljejo v območju od nekaj voltov do nekaj sto voltov.

SD niso edine komponente, ki jih lahko uporabimo za prenapetostno zaščito. Varistorji, plinski odvodniki, iskrišča in raznovrstni filtri, bodisi posamezno ali pa kot medsebojne kombinacije so pogosto v rabi. V tabeli 5 podajamo primerjavo med SD in kovinskooksidnimi varistorji.

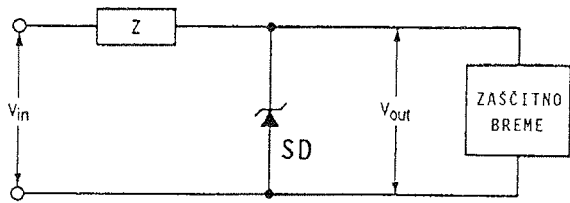
Tabela 5: Primerjava med kovinskooksidnimi varistorji in supresorskimi diodami

KOVINSKOOKSIDNI VARISTOR	SUPRESORSKA DIODA
omejilna napetost se bistveno razlikuje od delovne	omejilna napetost je blizu delovni
ima simetrično dvosmerno I-V karakteristiko	standardne SD se obnašajo kot Zener diode; na razpolago so tudi SD s simetrično dvosmerno I - V karakteristiko
absorpcija moči na enoto cene je večja kot pri SD, za dosego definirane omejitve napetosti pa bi morali močno predimenzionirati element, kar bi podražilo sistem	dobro definirana omejitvena napetost, kar v končni fazi poceni sistem
vgrajeni notranji mehanizmi povzročajo degradacijo omejitve napetosti z vsakim impulzom	ni notranjega mehanizma, ki bi povzročil degradacijo omejitve napetosti
idealen za grobo zaščito AC linij	idealen za natančno zaščito DC in AC linij
zmožnost enkratne absorpcije velikih tokovnih špic	zmožnost absorpcije večkratnih srednje visokih tokovnih špic
v primeru prenapetosti degradira	v primeru prenapetosti pride v kratek stik
zdrži visoke napetosti	omejena uporaba pri visokonapetostnih špicah, razen če ne uporabimo več SD v seriji
slabo omejuje nizkonapetostne špice	zmožnost omejevanja nizkonapetostnih špic

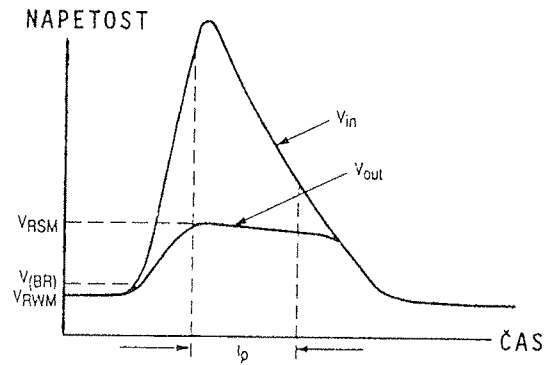
SD priključimo vzporedno z elementom, ki ga želimo ščititi, saj na ta način lahko energijsko špico učinkovito usmerimo na zaščitni element, slika 33. Pri izbiri SD moramo biti pozorni na naslednje električne parametre, slika 34:

- V_{RWM} : temenska delovna napetost, ko SD še ne pravaja toka, oz. tok ki teče skozi SD je le tok puščanja diode v reverzni smeri
- $V_{(BR)}$: prebojna napetost
- V_{RSM} : temenska zaporna (omejilna) napetost, ki jo podajamo skupaj z I_{RSM}
- I_{RSM} : neponovljeni temenski zaporni tok, pri čemer ne sme biti presežena največja dovoljena poraba moči na SD pri trajanju impulza 1 ms

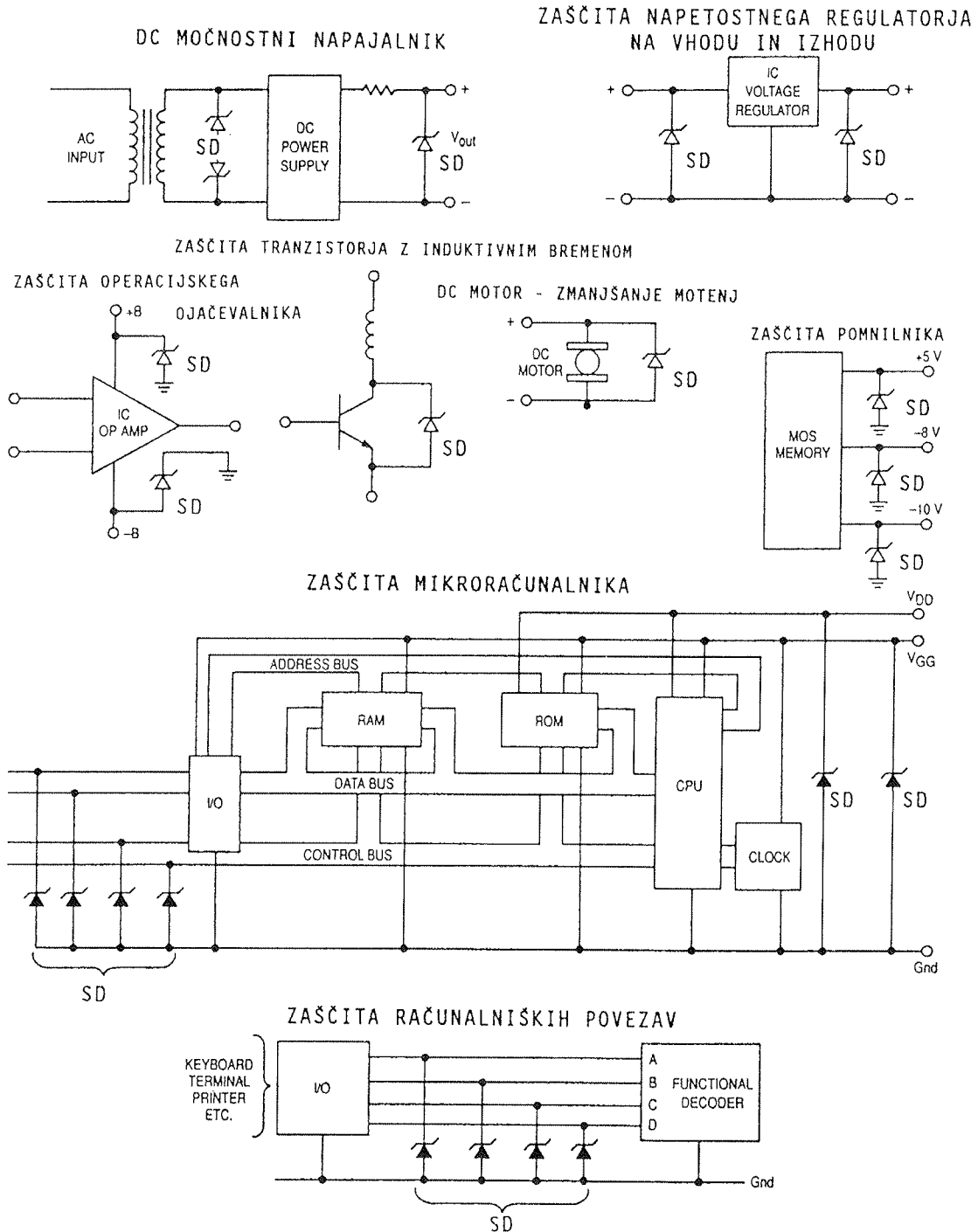
V praksi izberemo tako SD, katere parameter V_{RWM} je nekoliko višji od specificirane največje delovne napetosti elementa, ki ga ščitimo. Pri normalnih pogojih skozi SD teče majhen tok. Ko nastopi špica, SD deluje kot element z zelo nizko dinamično upornostjo, na njej pa se razvije napetost, ki je nekoliko višja od $V_{(BR)}$. Dejanska vrednost omejitve napetosti na SD je določena s tokovno špico skozi SD.



Slika 33: Zaščita elementa s SD



Slika 34: K definiciji električnih parametrov za SD



Slika 35: Primeri uporabe SD

Nekaj tipičnih primerov vezij z vgrajeno SD zaščito je prikazanih na sliki 35, v tabeli 6 pa podajamo kratko preglednico tipičnih električnih parametrov nekaterih SD firme MOTOROLA.

Tabela 6 Preglednica električnih parametrov nekaterih SD firme MOTOROLA

TIP SD	V _{BR} V	@ I _R mA	V _{RWM} V	I _R @ V _{RWM} μA	I _{RSM} A	V _{RSM} pri I _{RSM} V
1N6373	6.0	1.0	5.0	300	160	9.4
1N6389	52.9	1.0	45	2.0	19	78.9
1N6299	150	1.0	121.0	5.0	7.0	215.0
1N6303	200	1.0	162	5.0	5.2	287

4.0 TEHNOLOGIJE ZA IZDELAVO SILICIJEVIH USMERNIŠKIH DIOD

Obstaja veliko različnih tehnologij za izdelavo silicijevih diod. Izbira ustrezne tehnologije je odvisna od tega, kakšen končen izdelek želimo. S tem predvsem mislimo na njegove električne in zanesljivostne karakteristike ter ceno, ki jo lahko dosežemo na trgu.

Določeni tehnološki koraki so skupni vsem tehnologijam, drugi so zopet značilni le za nekatere. V vsakem primeru je substrat silicijeva rezina točno določene specifične upornosti, v katero, s pomočjo postopka difuzije iz trdnih, tekočih ali plinskih izvorov, vnesemo dopante n (fosfor) in p (bor) tipa. Diodno tabletko je potrebno pasivirati in metalizirati, s čimer omogočimo spajkanje na zunanje priključke. Sledi zapiranje v stekleno, oz. v večini primerov plastično ohišje, temu meritev električnih karakteristik in na koncu označevanje.

Glede na to, kdaj in kako definiramo geometrijo diodne tabletko, ločimo tehnologije za izdelavo diod v dve veliki skupini:

- **slojna tehnologija:** velikost diodne tabletko določimo po postopkih difuzije in metalizacije z žaganjem, oz. jedkanjem čipa; ravno tako je pasivacija ponavadi izvedena po tem, ko je diodna tabletko že zaspajkana na priključne žičke; p-n spoj je raven z negativno ali pozitivno zaključitvijo na robu tabletek
- **planarna tehnologija:** vse operacije vključno s pasivacijo in metalizacijo izvedemo na nivoju rezine; geometrija tabletko je določena z uporabo mask, z žaganjem samo razkosamo rezino na tabletko; p-n spoj je bodisi raven z negativno/pozitivno zaključitvijo ali pa planaren brez oz. z zaključitvijo s plavajočimi obroči, oz. poljsko elektrodo.

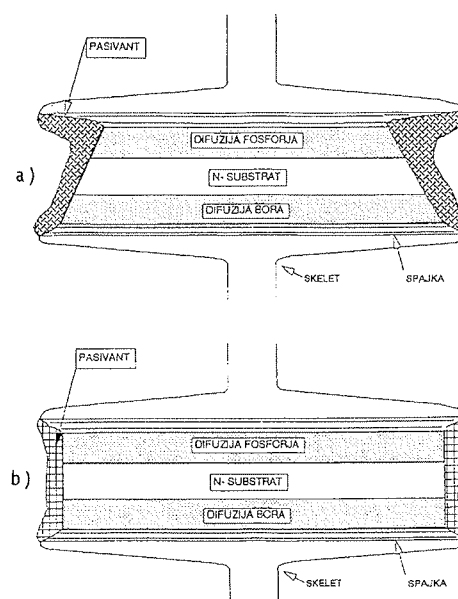
4.1 SLOJNA TEHNOLOGIJA

Tipični potek korakov za izdelavo slojnih diod je naslednji:

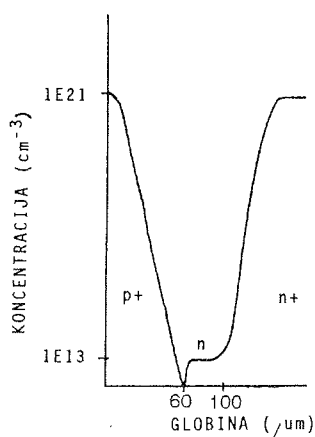
- Silicijeva rezina, debelina okoli 205 μm, specifična upornost 40 - 60 Ωcm, dopirana s fosforjem
- Čiščenje rezin in priprava površine
- Dvostranska difuzija bora in fosforja iz lističev, 1250°C, nekaj ur
- Kratka oksidacija površine v pari
- Jedkanje, čiščenje in priprava površine
- Nanos izvora zlata na rezine, sušenje*
- Difuzija zlata, 850 - 1000°C, N₂*
- Jedkanje, čiščenje in priprava površine
- Nanos niklja na obe strani
- Legiranje niklja
- Jedkanje, čiščenje in priprava površine
- Nanos drugega niklja in zlata na obe strani
- Razrez rezine na tabletko (ravni ali žagin list z naklonom)
- Spajkanje tabletk na priključne žičke
- Jedkanje tabletk
- Izpiranje, čiščenje, sušenje
- Nanos pasivacije (silikonska guma, polimid)
- Polimerizacija
- Zapiranje v plastiko
- Staranje plastike
- Kositrnanje priključkov
- Električne meritve

* difuzijo zlata izvajamo po potrebi za kontrolo zapornega vzpostavitvenega časa

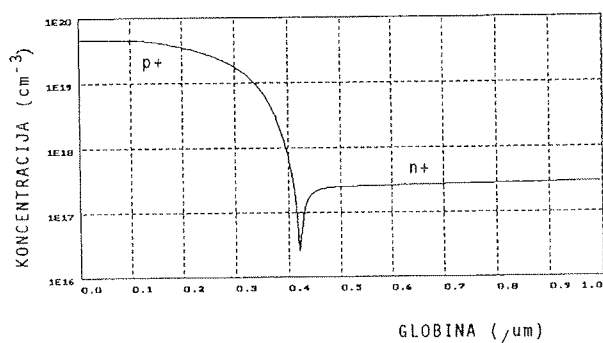
Na sliki 36 prikazujemo presek na ta način izdelane diode, na sliki 37 pa profil dopantov skozi celotno strukturo diode.



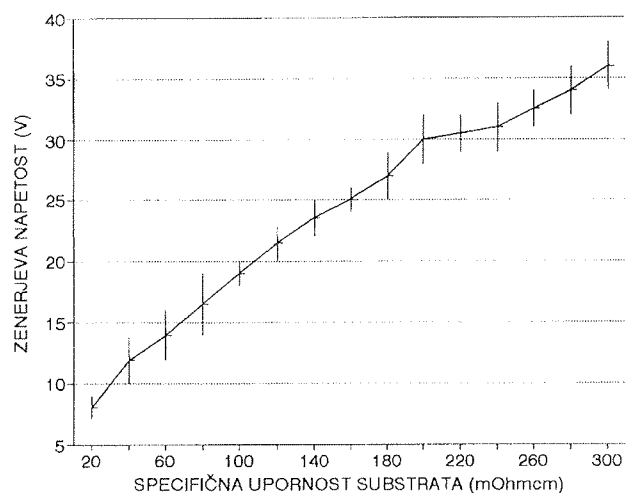
Slika 36: Presek diode izdelane s tki PPS (Pasivacija Po Spajkanju) slojno tehnologijo a) zaključek p-n spoja z naklonom b) raven zaključek p-n spoja



Slika 37: Profil dopantov v slojni diodi



Slika 38: Profil dopantov v Zener diodi



Slika 39: Odvisnost Zenerjeve napetosti od specifične upornosti substrata

Na zgoraj opisani način izdelujemo usmerniške diode s prebojnimi napetostmi do 1600 V, hitre usmerniške diode s prebojnimi napetostmi od 400 V do 1200 V, Zener diode s prebojnimi napetostmi od 10 V naprej, supresorske diode ipd...

Tehnologija izdelave Zener diod je nekoliko specifična in se od zgoraj naštetih razlikuje v naslednjih korakih:

- Specifična upornost silicijevih rezin je bistveno manjša (od 20 mΩcm naprej)
- Difuzija p+ je plitvejša z ostrim koncentracijskim profilom

To je lepo razvidno s slike 38, kjer prikazujemo profil dopantov v nizkonapetostni Zener diodi. Na sliki 39 pa podajamo eksperimentalno dobljeno odvisnost Zenerjeve napetosti od specifične upornosti substrata.

4.2 PLANARNA TEHNOLOGIJA

Tipični potek korakov za izdelavo planarnih signalnih diod v steklenem ohišju na 100 μm rezinah je naslednji:

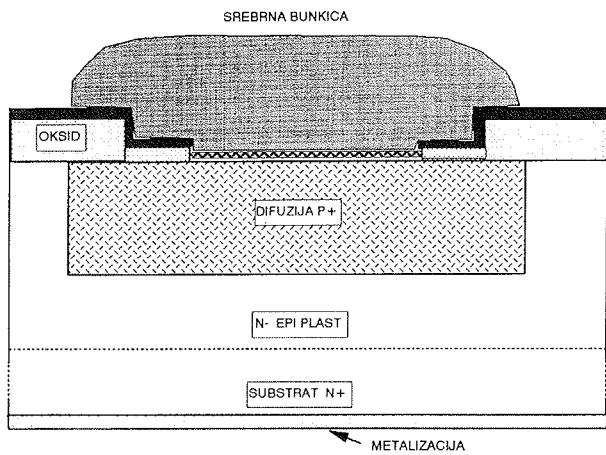
- Silicijeva rezina debeline okoli 500 μm, substrat As, specifična upornost 5 - 15 mΩcm, EPI plast 15 - 20 μm, specifična upornost 2 - 20 Ωcm*, dopirana s fosforjem
- Čiščenje površine
- Osnovna oksidacija
- Priprava površine, nanos fotorezista
- I.MASKA za difuzijo p+, jedkanje oksida, odstranjevanje fotorezista
- Predepozicija bora iz trdnega izvora
- Difuzija bora
- Nanos LPCVD silicijevega nitrida (primarna pasivacija)
- Priprava površine, nanos fotorezista
- II.MASKA za kontakte, jedkanje nitrida in oksida, odstranjevanje fotorezista
- Nanos izvora zlata ali platine na rezine, sušenje
- Difuzija zlata/platine
- Nanos in legiranje paladija v kontaktih
- Tanjšanje rezin
- Nikljanje hrbtne strani
- Srebrenje kontaktov
- Legiranje metalizacije
- Razrez rezine na tabletk
- Zapiranje tabletk v steklena ohišja
- Kositrnanje priključkov
- Električne meritve

* z debelino in plastno upornostjo EPI plasti določamo prebojne karakteristike diode; planarne signalne diode iz programa Iskre SEMICON imajo prebojne napetosti do 250 V.

Na sliki 40 prikazujemo presek na ta način izdelane diode, na sliki 41 pa profil dopantov v taki strukturi.

Nekoliko drugače izdelujemo ultrahitne diode s stekleno pasivacijo. Zahteve po nizkih preklopnih časih, nizkih padcih napetosti v prevodni smeri in nizkih prebojnih napetostih (do 250 V) relativno lahko realiziramo s tehnologijo izdelave na rezinah z EPI plastjo in plitkimi p+n spoji. Potek korakov je naslednji:

- Silicijeva rezina debeline okoli 500 μm, substrat Sb, specifična upornost 25 mΩcm, EPI plast 20-30 μm, specifična upornost 2 - 20 Ωcm*, dopirana s fosforjem

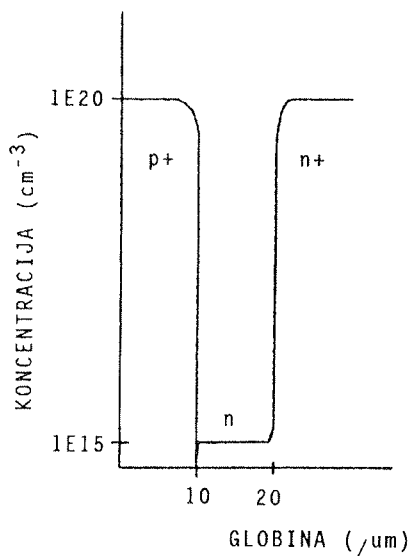


Slika 40: Presek planarne signalne diode

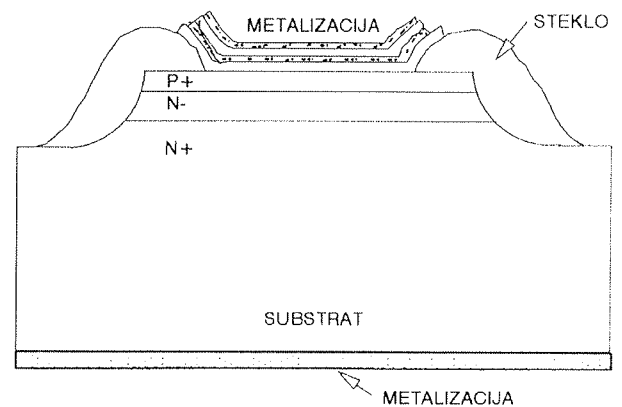
- Nanos metalizacije na čelno stran rezine
- Priprava površine, nanos fotorezista
- III.MASKA za metalizacijo, jedkanje metalizacije, odstranjevanje fotorezista
- Nanos metalizacije na hrbtno stran rezine
- Legiranje metalizacije
- Razrez rezine na tabletko
- Spajkanje tabletk na priključne žičke
- Zapiranje v plastiko
- Staranje plastike
- Kositranje priključkov
- Električne meritve

* z debelino in plastno upornostjo EPI plasti določamo prebojne karakteristike diode; ultrahitne diode iz programa ISKRE SEMI-CON imajo prebojne napetosti do 250 V

Na sliki 42 prikazujemo presek na ta način izdelane diode, na sliki 43 pa profil dopantov skozi celotno strukturo diode.

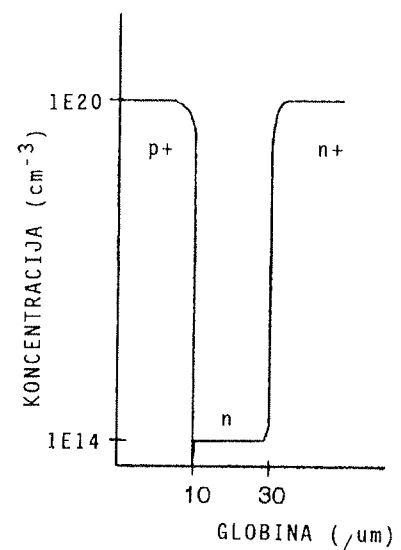


Slika 41: Profil dopantov v planarni signalni diodi



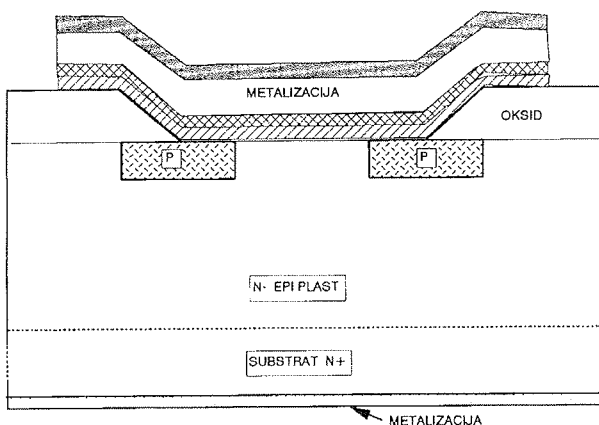
Slika 42: Presek planarne ultrahitne diode z jedkanim kanalom

- Čiščenje površine
- Predepozicija bora iz trdnega izvora
- Difuzija bora
- čiščenje površine
- Osnovna oksidacija
- Priprava površine, nanos fotorezista
- I.MASKA za jedkanje kanalov, jedkanje oksida, odstranjevanje fotorezista
- Jedkanje silicija, cca 30 μm, jedkanje oksida
- Nanos izvora zlata ali platine na rezine, sušenje
- Difuzija zlata/platine
- Nanos mešanice stekla in fotorezista, sušenje
- II.MASKA za pasivacijo, osvetljevanje
- Sežig fotorezista in formiranje stekla pri 850°C
- Priprava površine pred nanosom metalizacije



Slika 43: Profil dopantov v planarni ultrahitni diodi

Tudi Schottky diode ponavadi izdelujemo s planarno tehnologijo. Osnovnega p-n spoja v tem primeru ni, saj gre za stik kovina - polprevodnik, čeprav moramo na robovih stika difundirati varovalni obroč p tipa. Na sliki 44 prikazujemo presek Schottky diode izdelane na rezini z debelino EPI plasti 4 μm in specifično upornostjo okoli 1.7 Ωcm , /8/.



Slika 44: Presek tipične Schottky diode

5.0 KVALITETA IN ZANESLJIVOST DIOD

Govoriti in pisati o kvaliteti izdelkov je nevhvaležna zadeva. Zlasti za področje polprevodnikov in mikroelektronike že dolgo časa ne govorimo več o ugotavljanju ali zagotavljanju kakovosti, temveč o TQM - sistemu celovitega obvladovanja kakovosti, /9/. Uvedba tega sistema v vsakdan podjetja pomeni spremembo kulture vedenja in dela zaposlenih. Na vseh nivojih podjetja, od vodstva pa do čistilke, vsi morajo biti udeleženi v omenjenem procesu. Gre torej za obvladovanje tehničnih, ekonomskih, administrativnih in človeških faktorjev, da se preprečijo kakršnekoli neskladnosti in pomanjkljivosti. Obvladovan proces mora torej v vsakem trenutku kupcu zagotoviti proizvod, ki ga ta pričakuje.

Stvar se začne že pri ustrezni definiciji izdelka za potrebe trga. Temu sledi razvoj novega izdelka, v katerega je potrebno vgraditi zanesljivost tako, da bo čim manj občutljiv na procesno - tehnološke variacije. Naslednji korak je izdelava prototipa in njegova evaluacija, ko je potrebno pazljivo spremljati obnašanje izdelka, odziv kupcev ter ustrezno odpravljati morebitne napake.

Uvajanje izdelka v proizvodnjo, ki sledi fazi razvoja, zahteva sodelovanje več služb kot npr. razvoja, nabave in proizvodnje. V procesu uvajanja je potrebno definirati ustrezne specifikacije vhodnih materialov, nabavnih poti in zlasti identificirati kritične tehnološke korake in parametre, ki jih je potrebno spremljati in uvrstiti v program SPC - statistične kontrole procesa.

Po določenem času proizvodnje izdelka je potrebno te SPC parametre analizirati, ugotoviti razloge za odstopanja od pričakovanih vrednosti in ustrezno ukrepati.

Ponovljivost in kontrolabilnost vseh parametrov sta pogoj za doseganje tki. zmogljivosti procesa, kar je merilo, da smo zmožni proizvajati izdelek konsistentno v skladu z zahtevanimi parametri.

Kljub vsem naporom in zagotovitvam o vgrajeni zanesljivosti na vseh nivojih proizvodnega in upravnega procesa neke tovarne, mora oddelek za kontrolo kvalitete in zanesljivosti vsaj občasno izvajati UGOTAVLJANJE ZANESLJIVOSTI v skladu z nekim vnaprej definiranim programom za ugotavljanje zanesljivosti. V nadaljevanju bomo našli nekatere tipične teste, ki jih izvajamo na silicijevih diodah v okviru tega programa.

AVTOKLAVA

Avtoklava je test, kjer ugotavljamo odpornost izdelka na prodor vlage in odpornost na galvansko korozijo. To je izredno pospešen in destruktiven test.

Tipični testni pogoji: $T_A = 121^\circ\text{C}$, $r_h = 100\%$, $p = 1 \text{ bar}$,
 $t = 8 - 96 \text{ ur}$

Tipične oblike odpovedi: spremembe električnih parametrov, visoki tokovi puščanja

Tipični mehanizmi odpovedi: korozija tabletk, kontaminacija v ohišju, slabo tesnenje ohišja

H3TRB test

(High Humidity High Temperature Reverse Bias)

Pri tem testu merimo odpornost proti vlagi v plastično ohišje zaprte diode. Diodo priključimo na napetost, s čimer ustvarimo elektrolitsko celico, kar pospeši korozijo metalizacije. S časom je to destruktiven test.

Tipični testni pogoji: $T_A = 85^\circ\text{C}$, $r_h = 85\%$,
napetost = $80\%V_{RRM}$, $t = 1000 \text{ ur}$

Tipične oblike odpovedi: sprememba toka puščanja

Tipični mehanizmi odpovedi: korozija tabletk, kontaminacija ohišja, slabo tesnenje ohišja

HTRB test (High Temperature Reverse Bias)

Namen tega testa je ob povišani temperaturi in s pomočjo električnega polja sprožiti gibanje gibljivih nabojev v strukturi in tako inducirati poti površinskega puščanja na spoju.

Tipični testni pogoji: $T_A = 150^\circ\text{C}$, napetost : U_{RRM} ,
 $t = 120 - 1000 \text{ ur}$ (tipično 168 ur)

Tipične oblike odpovedi: sprememba toka puščanja

Tipični mehanizmi odpovedi: ionska kontaminacija roba tabletk, oz. površine pod metalizacijo tabletk

HTSL test (High Temperature Storage Life)

Namen testa je pospešiti mehanizme odpovedi, ki se aktivirajo termično na povišani temperaturi.

Tipični testni pogoji: $T_A = 150^\circ\text{C}$, brez napetosti,
 $t = 24 \text{ do } 2500 \text{ ur}$

Tipične oblike odpovedi: sprememba toka puščanja

Tipični mehanizmi odpovedi: defekti znotraj tabletk, difuzijski defekti

MEHANSKE OBREMENTIVNE

Namen testa je ugotoviti zmožnost izdelka, da prenese nenadne mehanske obremenitve, ki se lahko pojavijo med rokovanjem, transportom ali med uporabo.

Tipični testni pogoji: pospešek=1500 g, orientacija X1, Y1, Y2 ravnina, $t=0.5$ ms

Tipične oblike odpovedi: odprte sponke, kratek stik, mehanski defekti, prekomerno puščanje

Tipični mehanizmi odpovedi: počena tabletk, defekti v ohišju

SPAJKLJIVOST

Namen testa je ugotoviti spajkljivost izvodov po določenem času skladiščenja.

Tipični testni pogoji: staranje v pari: 8 ur, fluks=R, spajka =Sn60, $T = 230^{\circ}\text{C}$, $t=2$ s

Tipične oblike odpovedi: luknjice, slaba omočljivost

Tipični mehanizmi odpovedi: slabo kositrnanje, kontaminacija izvodov

TEMPERATURA SPAJKANJA

Namen testa je ugotoviti, ali izdelek prenese temperature, ki se lahko pojavijo pri avtomatskem spajkanju. Končni test je električni.

Tipični testni pogoji: temperatura spajke : 260°C , $t = 10$ s

Tipične oblike odpovedi: spremembe električnih parametrov, mehanske odpovedi

Tipični mehanizmi odpovedi: slabo ohišje

SSOL test (Steady State Operating Life)

Namen testa je ugotoviti stabilnost notranjosti tabletk in ustvariti defekte, ki se kažejo kot časovno - napetostno odvisne odpovedi.

Tipični testni pogoji: $T_A=25^{\circ}\text{C}$, napetost: V_{RRM} , $t = 16 - 1000$ ur (tipično 168 ur)

Tipične oblike odpovedi: spremembe električnih parametrov, katastrofalne odpovedi

Tipični mehanizmi odpovedi: tujki, počena tabletk, metalizacija, slabo spajkanje

IOL test (Intermittent Operating Life)

Namen testa je enak kot pri SSOL, le da želimo s termično obremenitvijo dodatno testirati neoporečnost spajkanja tabletk na izvode.

Tipični testni pogoji: $P_d =$ maksimalna specificirana vrednost, $t_{ON} = 5$ s pri $T_j=145^{\circ}\text{C}$, $t_{OFF}=10$ s pri $T_j=45^{\circ}\text{C}$, število ciklov: 42 - 30000 (tipično 10000)

Tipične oblike odpovedi: spremembe električnih parametrov, katastrofalne odpovedi

Tipični mehanizmi odpovedi: tujki, razpoke v tabletki, poškodbe metalizacije

TERMIČNI ŠOKI

Namen testa je ugotoviti zmožnost izdelka, da prenese tako visoke/nizke temperature, kakor tudi nenadne prehode med obema temperaturnima maksimumoma.

Tipični testni pogoji: $T_A = -65$ do 200°C , število ciklov 10 do 1000, $t = 10$ min

Tipične oblike odpovedi: spremembe električnih parametrov (V_{FM} , I_R), katastrofalne odpovedi

Tipični mehanizmi odpovedi: razpoke v tabletki, odpovedi v ohišju

ROBUSTNOST IZVODOV DIOD

Namen testa je ugotoviti vzdržljivost pri nategu, zvijanju in sukanju.

Tipični testni pogoji: sila natega: 50 N, $t = 10$ s, sila upogiba: 5 N, $t = 2-3$ s, sukanje $0^{\circ} - 180^{\circ} - 0^{\circ}$

Sledi vizuelni pregled in električne meritve.

Tipične oblike odpovedi: povečanje V_{FM} , povečanje toka puščanja, odprte sponke

Tipični mehanizmi odpovedi: odtrgana tabletk, poškodovana tabletk, poškodovani izvodi

6.0 ZAKLJUČEK

Spojna dioda je osnovni gradnik integriranih vezij, teorija p-n spoja pa pomeni osnovo za pojasnjevanje delovanja vseh ostalih polprevodniških elementov.

Čeprav na prvi pogled enostaven element, tehnologija izdelave diskretne diode pa pogostokrat mačehovsko obravnavana, industrijska izdelava silicijevih diod zahteva podobne prijeme kot katerakoli druga proizvodnja mikroelektronskih elementov.

V primerjavi s tehnologijo izdelave diod izpred let, današnja tehnologija uvaja nekatere nove tehnološke prijeme in materiale, katerih cilj je povečanje produktivnosti, izplenov in kvalitete izdelka. Tipična tovarna diod mora danes obvladovati ne samo širokoserijsko proizvodnjo enega ali nekaj tipov izdelkov, temveč mora biti sposobljena voditi vzporedno tudi strategijo razvojne tovarne. Tisti, ki bo danes trgu ponudil široko paleto različnih tipov diod (usmerniške, močnostne, hitre, ultrahitre, signalne, Zener, supresor, Schottky, ipd.) ima veliko več možnosti prilagajanja in s tem obstanka na trgu.

7.0 LITERATURA

- /1/ W. Shockley, "The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction Transistor", Bell Syst. Tech. J., 28, 435, (1949); Electrons and Holes in Semiconductors, D. Van Nostrand, Princeton, N.J., 1950
- /2/ S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, J. Wiley and Sons, 1981
- /3/ J. Furlan, Teorija nelinearnih elementov, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana, 1984
- /4/ B.J. Baliga, Modern Power Devices, J. Wiley and Sons, 1987
- /5/ F. Conti, M. Conti, "Surface Breakdown in Silicon Planar Diodes Equipped with Field Plate", Solid State Electronics, 1972, vol. 15, pp 93 - 105
- /6/ I. Šorli, B. Kren, R. Ročak, Z. Bele, "Comparison of Gold and Platinum Doped Silicon Diodes", Proceedings of MIEL-SD'94, Bled 1994, Slovenia
- /7/ B. Kren, I. Šorli, R. Ročak, Z. Bele, M. Stipančič, A. Delač, Z. Zupančič, M. Kramberger, "Testchip for Evaluation of Silicon Planar Diodes", Proceedings of MIEL-SD'93, Bled, Slovenia
- /8/ A. Pintar, J. Razingar, A. Keržič, "Notranji fizikalni pojavi na prehodu kovina - polprevodnik pri Schottkyjevi diodi", Zbornik referatov XXV. Jugoslovanskega simpozija o elektronskih sestavnih delih in materialih - SD89, Maribor, 1989, MIDEM
- /9/ I. Pompe, "Sistem celovitega obvladovanja kakovosti - TQM", Informacije MIDEM 25(1995)1, marec 1995

*mag. Brane Kren, dipl.ing.,
mag. Iztok Šorli, dipl.ing.,
dr. Rudolf Ročak, dipl.ing.*

*MIKROIKS d.o.o., Dunajska 5,
61000 Ljubljana, Slovenija*

*tel. +386 (0)61 312 898,
fax. +386 (0)61 319 170*

*Stane Stradar, dipl.ing.,
Zmago Zupančič, dipl.ing.*

*Iskra SEMICON d.d., Gabrsko 12,
61420 Trbovlje, Slovenija*

*tel. +386 (0)601 27425,
fax. +386 (0)601 27 374*

Prispelo (Arrived): 03.07.1995 Sprejeto (Accepted): 11.07.1995

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE ELECTRICAL INSULATION PROPERTIES OF POLYAMID PLASTIC PARTS

Martin Bizjak,
ISKRA Stirel, Videm-Dobrepolje, Slovenija

Keywords: plastics, polyamid resins, environment conditions, ageing, climatic conditions, hygroscopy, ageing phenomena, surface phenomena, insulation resistance, phosphoric acid, insulating characteristics, electrical properties, air humidity, chemical reactions, plastic additives, failure analysis

Abstract: Insulating characteristics of plastic parts in electrical devices can be essentially reduced due to ageing under the influence of combined climatic conditions (humidity, solar irradiation, dust, air polluting agents, etc.), therefore devices in normal operation often exhibit failures or malfunctions. At specific ambient conditions the ageing phenomena could be very active for specific type of plastic material, as it is illustrated in the example of polyamid ageing and reducing its insulating resistance.

Vplivi lokalnih klimatskih razmer na električne izolacijske lastnosti poliamidnih plastičnih delov

Ključne besede: smole umetne, smole poliamidne, pogoji okolja, higroskopija, posledice staranja, pojavi površinski, upornost izolacijska, kislina fosforna, lastnosti izolirne, lastnosti električne, vlaga zraka, reakcije kemične, dodatki smolam umetnim, analize odpovedi

Povzetek: Električne izolacijske lastnosti sestavnih delov iz umetnih smol v električnih napravah in elementih pod vplivom lokalnih klimatskih razmer (vlaga, UV sevanje, prah, onesnaženost zraka in podobno) utrpijo posledice staranja, zato se pri njihovem delovanju lahko pojavljajo napake. Za določen tip umetnih smol je učinek nekaterih klimatskih dejavnikov še posebej izrazit, kot je prikazano v primeru staranja poliamidnih plastičnih delov in sprememb v njihovi izolacijski upornosti.

1. Introduction

Polyamid resins reinforced by glass fibres have almost entirely replaced phenolic-based resins in wide field of application in the production of electrical devices. Thus electric insulating parts carrying electric conductive parts, housings and covers of electric devices, formerly made of well-known bakelite are nowadays made mostly of polyamide resin, because of better resistivity to absorption of moist and consequently also better resistivity to creepage currents. For electric insulating parts in electric devices the 6,6-polyamides are applied, which exhibit relative high hygroscopy, and 6,10-polyamides with lower hygroscopy /1/.

The problem of water absorption in polyamid-based plastics can be indicated after long-time exposure even in environments with moderate humidity, demonstrated in the reduction of insulating resistance, which can lead to failures in operation of electric devices. Special study was carried-out on telecommunication relays in telephone-exchange offices, having relay base with contact carrying parts made of 6,6-polyamid reinforced by glass fibres. Relays often operated in ambients with intentionally higher air humidity, sometimes greater than 60% relative humidity, but below the dew point.

2. Surface phenomena on polyamid parts after long time exposure

Ageing of polyamid parts of telecommunication relays under the influence of humid air consequently caused failures in transmission of telecommunication signals due to high isolation currents flowing between separated contacts. Isolation currents are found to have the same order of magnitude as currents conducted through closed contact circuits of relays. Electric currents of such magnitude are able to flow between isolated electric conductive parts separated by plastic surface on the distance of some mm under the electric potential difference of a few 10 V.

In order to maintain low contact resistance of telecommunication relays the ambient air is often humidified by special air conditioning. At an inspection of failures on telephone exchange station, installed in the ambient with special air humidifier, the phenomena of reduced electric insulation characteristics caused general fault of the transmission. Plastic parts of relay connecting system were made of 6,6-polyamid. Their surfaces, when examined with bare eyes and fingers, can be considered as covered by ordinary house dust and slightly wetted or oiled. Therefore the first supposition at the inspection was, that dust and condensed moist in consequence reduced the

insulation resistance of plastic surface. But contrary to this idea on the other parts in the vicinity of the examined plastic parts there were no dusty- or oily-like surfaces. Plastic parts could be also covered by a layer of separation agent applied on casting tool when manufacturing plastic parts. To prove this supposition the inspection on plastic parts of the same kind was made immediately after casting. No indication of oiled surface can be observed on these parts. Dust deposit on parts remained in the workshop ambient for a few days or a week exhibits different nature as observed at the inspection in telephone exchange station.

It was necessary to proceed further examination of surface phenomena with laboratory equipment and to carry out some simulations in order to reconstruct the processes leading to bad insulating characteristics.

3. Laboratory examinations of exposed polyamid parts

After performing *in situ* inspections of failed devices in applications, sample pieces were selected for further laboratory test purposes. Plastic parts with inserted parallel conductors, convenient due to simple geometry, were selected for measurement of insulation resistance under various ambient conditions, while other pieces with more complicated geometry were used for microscopy and chemical microanalysis.

Samples from failed telecommunication relay boards were tested in laboratory, performing at first measurements of insulation resistance between parallel electric conductor. Prior to testing selected samples were exposed for a few days to normal ambient conditions in testing laboratory (cca. 25 deg.C, 40-45% of relative air humidity). After conditioning to normal ambient conditions the insulation resistance was measured by Megaohmmeter HP 4329A (Hewlett-Packard) at measuring voltage 500 V. Measured values were under the lowest range of instrument (less than 1 M Ω), therefore exact

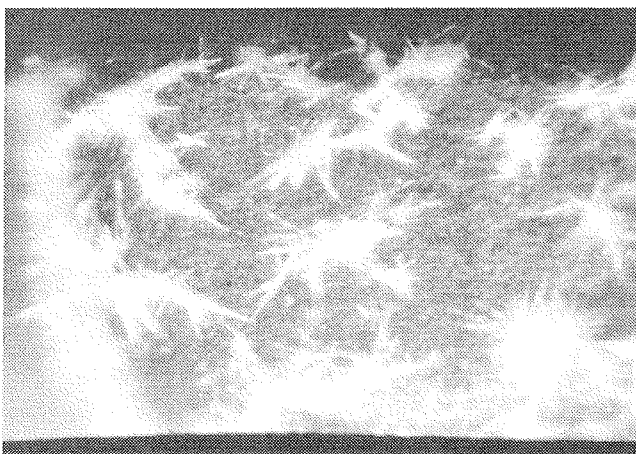


Fig. 1: White crystal flakes formed on the polyamid plastic connection holder (optical stereo-microscope, magn. approx. 100)

evaluation was not possible. The surface conditions were recovered very slow in normal climatic conditions, so that even after exposition of a few weeks insulation resistance increased onto the range of 100 M Ω . Further tests were performed at more defined climatic conditions.

Observations of surface on samples, taken from failed device, were performed at first by optical stereomicroscope at magnification 100. Surface conditions observed on polyamid parts differ essentially from conditions on the adjacent metallic and PCB surface. Almost the whole polyamid surface was covered by small droplets of diameter range 0.1 mm and white "snow-flakes", identified by crystal clusters formed from water solution of chemical additive to polyamid material. Clusters of long thin needle cristal forms were growing from distinct centers distributed uniformly over the entire surface (Fig.1), or spread over the surface in the form of stripes, where crystal needles were oriented uniformly in the same direction (Fig. 2).

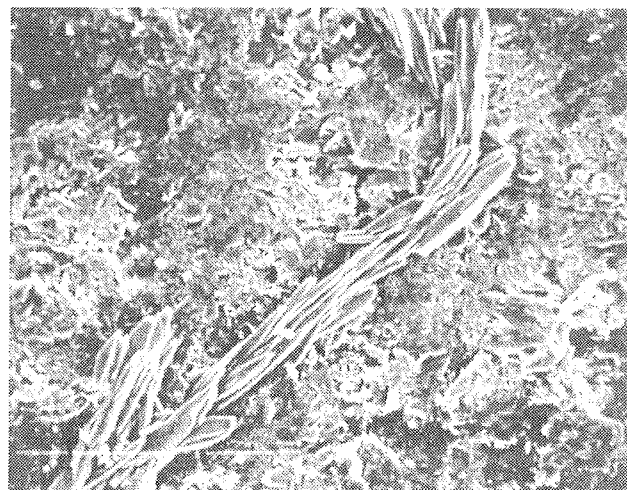


Fig. 2: Crystal clusters on polyamid plastic surface forming strip-like structure (SEM, magn. 300)

In order to define morphology of observed crystals, the scanning electron microscopy (SEM) was performed. The chemical composition of particular cristal units were defined by energy dispersion X-ray microanalysis (EDAX).

3.1. SE microscopy and EDAX microanalysis of crystals

Larger magnification of crystal formations indicates needle-shaped crystals of various lenght. Short, quickly developed crystals, were in the form of double pyramide with sharp peak (Fig. 3), longer crystals had the peak of pyramide additionally cutted in the prismatic form (Fig.4). Long crystal "hairs" grewed presumably more than a year in the forme of long bars with rectangular cross-section (Fig.5). Crystal morfology can be more distinctive on the pictures of monocrystals (see Fig.6, Fig.7, Fig.8).

EDAX microanalysis is applied for the detection of semiquantitative chemical composition of small particles

or surface area. This method of microanalysis indicates chemical elements present in the observed area. The results of analysis are often represented as X-ray spectral plot of detected chemical elements. The microanalysis performed on monocrystals observed on polyamid samples, detects only the presence of phosphorus (P), which is recognised from spectral plot, containing only one large and distinct peak, corresponding to chemical element P. It cannot be expected to find elementary phosphorus on the surface of samples under examination. The expected additional elements are hydrogen H and oxygen O, which cannot be detected by EDAX due to principal limitations of analyse methode /2/. Additional indication, which can

lead to the conclusion about chemical composition of observed crystal formations is their low melting temperature: during microanalysis by electron beam the thermal effect of electron impact on crystal caused melting of analysed spot. Considering all results and indications it can be concluded, that white crystal flakes on the surface of polyamid parts are presumably crystallised ortophosphoric acid, which exhibits low melting temperature (43 deg.C) /3/. Due to their high hygroscopy the water dissolution of acid is formed at greater air humidity, which is electrically conductive, therefore electrical insulation resistance can be extremely low in this case.

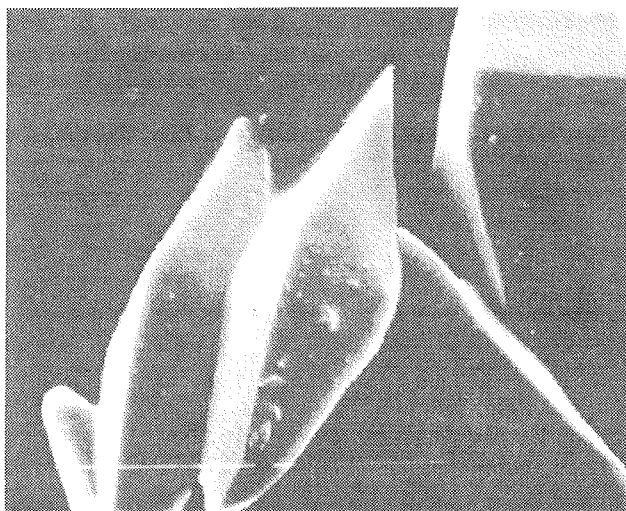


Fig. 3: Individual crystals in the earlier stage of formation (SEM, magn. 2500)

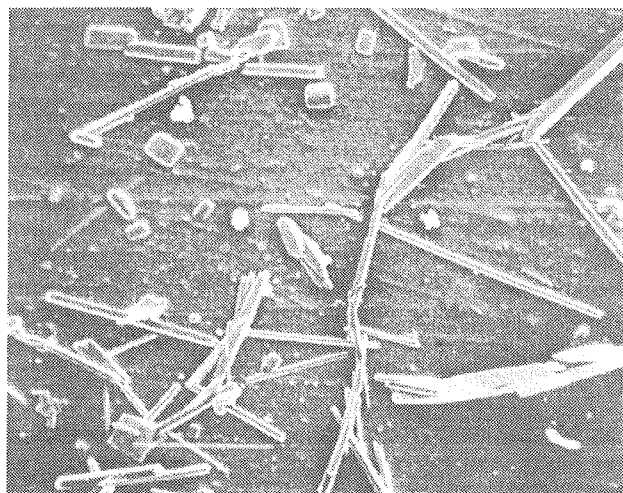


Fig.5: Formation of crystal clusters with long bar-like units (SEM, magn. 85)

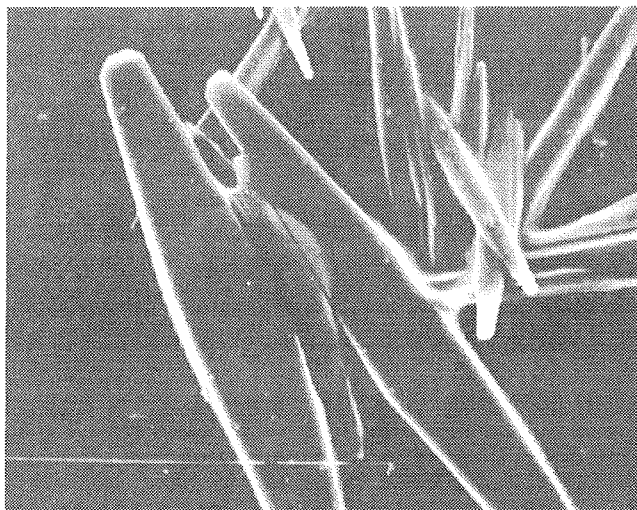


Fig.4: Morphology of entirely developed crystal (SEM, magn. 1000)

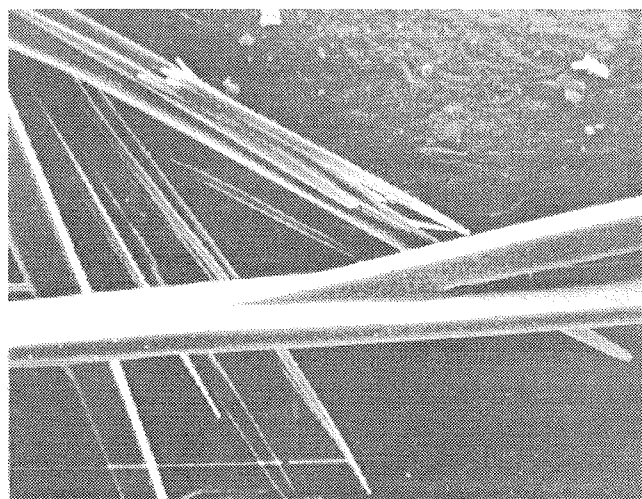


Fig.6: Structure of extremely long individual crystals (SEM, magn. 630)

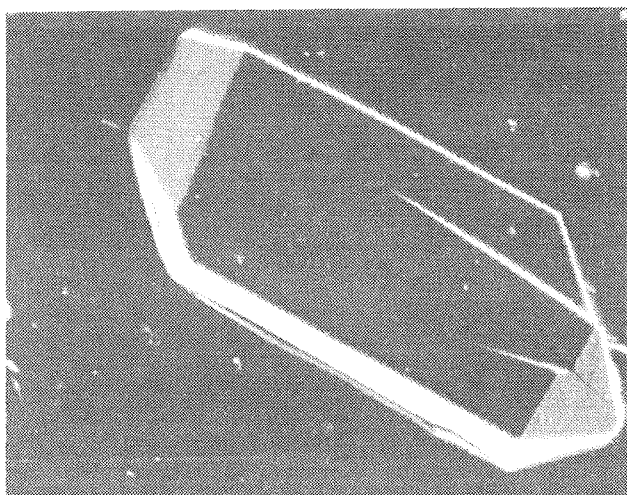


Fig.7: *Characteristic form of individual crystal (SEM, magn. 850)*

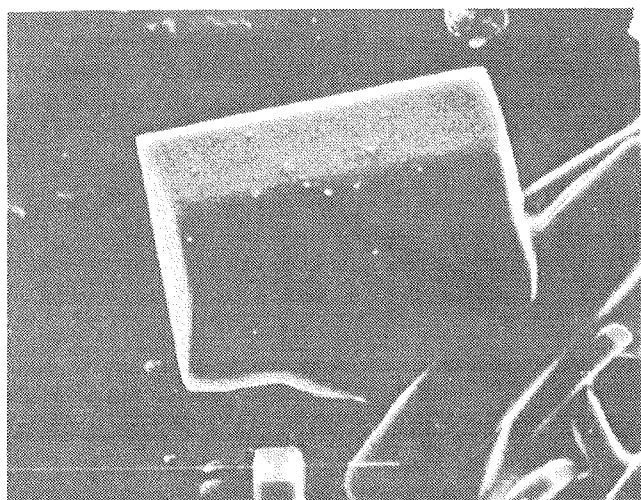


Fig.8: *Characteristic form of individual crystal (SEM, magn. 1600)*

perature particles of dry residue were examined by SE microscopy. The formation of crystals of the similar form can be recognized on dried particles of polyamid, as shown on Fig.9. Formation of large fully developed crystals take more time for crystal growth, therefore drying time was too short for formation of larger crystals.

Comparative experiments and measurement were performed in order to find the difference between characteristics of new and aged polyamid parts. Representatives of both types of samples were exposed to the same preconditioning process and the same climatic conditions. Preconditioning took place in computer-controlled climatic chamber at 35 deg.C and 16% relative air humidity in overnight period. After precondition period the value of 70% relative humidity has been set by computer and after 30 min rel. humidity in the chamber in fact reached the preset value. During climatic test the insulation resistance was measured by Megaohmmeter and plotted by time, starting at the moment, when particular air humidity has been set by control computer.



Fig.9: *Formation of crystalline structure after cooking and drying of polyamid particles (SEM, magn. 800)*

3.2. Laboratory simulation of phenomena observed on samples

In order to indicate the processes leading to bad insulating characteristics of polyamid surface under the influence of humid air, in the first experiment it was confirmed, that the origin of phosphoric acid is polyamid material itself, in the second experiment the time dependent variation of insulating resistance was observed under the influence of humid air.

For the purpose of first experiment a piece of polyamid reinforced by glass fibres was cut into small particles, which were cooked in the water in order to extract water-soluble additives. After drying at slightly elevated tem-

The variation of insulation resistance versus time of exposition in climatic chamber shows certain characteristic difference between new unused sample and aged sample, which exhibited low insulation resistance during application. On the new sample insulation resistance began to decrease at approx. 60% rel. humidity. At 70% rel. humidity measured resistance tends to reach for a factor of 10 lower value than initial (see graphical presentation of measurement on Fig.10). For comparison purpose measured values on new sample at 80% rel. humidity are added on Fig.10. Measurements performed on naturally aged samples from failed device in application show different characteristics: insulation resistance began to decrease by increasing rel. humidity at 30%, at 70% rel. hum. decrease into the minimal value, which is for factor

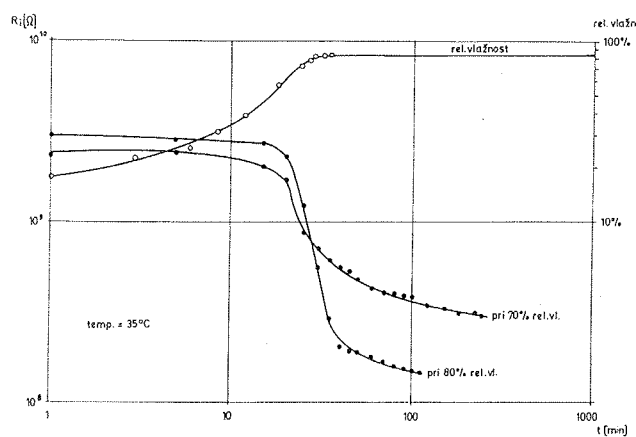


Fig. 10: Decreasing of insulation resistance on a new and unused polyamid part during exposition in climatic chamber

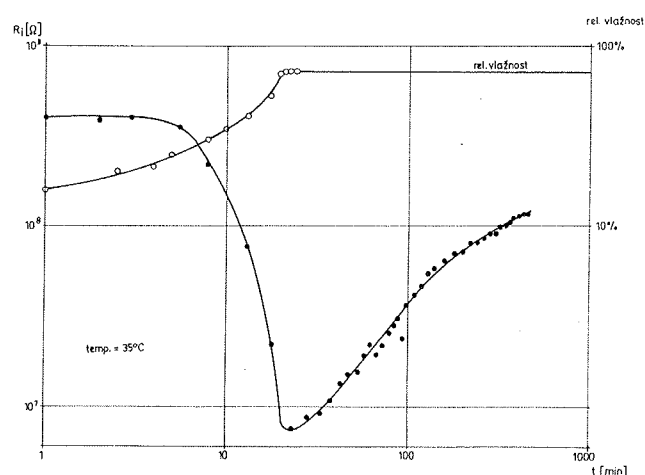


Fig. 11: Results of the same test as shown in Fig. 10 obtained on sample, aged in application

100 lower than initial resistivity, but after reaching minimum it tends to increase, following certain recovery phenomena (graphically presented on Fig. 11).

At the discussion of measured results it should be considered, that at variation of control parameter for climatic chamber certain transition period is required in the chamber, in which climatic condition are not uniform and stable, therefore on Fig. 11 a minimum is obtained and certain recovery phenomena is indicated, presumably due to nondefined conditions in the climatic chamber during transition period. The same phenomena can appear in application, where operation of air-condition devices are intermittent due to control response in order to maintain appropriate humidity of ambient air.

4. Conclusions

Humid air influences the ageing process of plastics, particularly on surfaces of hygroscopic plastics, such as polyamid resins. Water vapor is absorbed on the surface of plastics and penetrates into bulk material by various modes of diffusion. During penetration procedure water presumably reacts chemically with additives in plastics. Products of reaction are collected on the surface. In the case of polyamid used for telecommunication relays, having commercial name Ultramid, the product of reaction was phosphoric acid, which was responsible for failed electrical insulation. Due to its electrolytic characteristics and hygroscopy the sensitivity of insulation characteristics of Ultramid surface on ambient air humidity is considerably high. Harmful influence of air-conditioning on insulation was indicated especially in the cases, where air-condition system blows humid air intermittently directly onto telecommunication equipment. Similar effect has been simulated at testing in laboratory climatic chamber as described in the preceding chapter by graph on Fig. 11.

In most types of plastics additives are used to improve resistance to flammability, creepage currents and other required characteristics. One of these additives in commercial polyamid (Ultramid A3XG5, A3XG7, ...) is presumably certain phosphorus-based material. Presumably similar problems in applications of polyamid materials as described in this paper are known by other users and company BASF, the producer of Ultramid plastics. The improved types of Ultramid, which followed types A3XGn are labelled by A3X2Gn, having increased resistivity to creepage currents and effects of ageing.

5. References

- /1/ M. Nadj, Polimerni materiali, Zagreb, 1978, pp.48
- /2/ Instructions JEOL, JSM-35 Scanning microscope, no.IEP 35-2, Manual Tracor Northern, Inc.: TN-2010 TN-4010 TN-4510, Schematics and Connector Signals
- /3/ E. Wiberg, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Berlin 1964, prevod: Zagreb, Školska knjiga, 1967, pp.301 in F. Lazarini, J. Brenčić. Splošna in anorganska kemija, Ljubljana, DZS, 1984, pp.359

Doc. Dr. Martin Bizjak, dipl. ing.,
Iskra Stirel, d.o.o.,
61312 Videm-Dobrepolje,
Slovenia
tel. +386 61 787 419
fax: +386 61 787 619

Prispelo (Arrived): 30.3.1995

Sprejeto (Accepted): 11.7.1995

UPORABA POLPREVODNIŠKIH KOMPONENT

UNIVERZA V MARIBORU
 FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO, RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO
 Smetanova 17, 62000 Maribor
 tel.: 062 25461 fax: 062 225 013

Inštitut za robotiko

Vodja:

prof. dr. Karel Jezernik

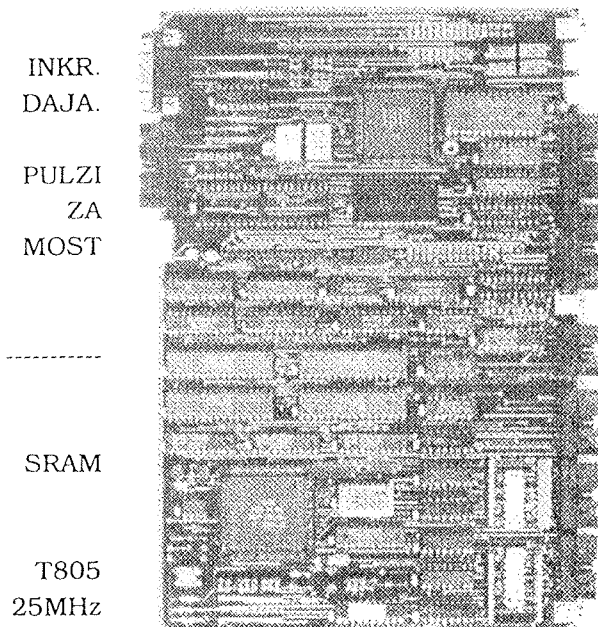
Sodelavci:

6 doktorjev znanosti,
 8 magistrov znanosti in
 8 diplomiranih inženirjev.

Naše raziskovalne aktivnosti so usmerjene predvsem v načrtovanje in gradnjo robotskih sistemov. Razvijamo

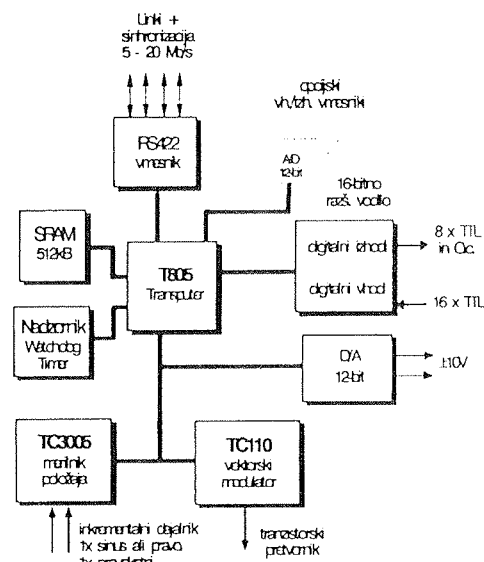
napredne regulacijske algoritme za nadzor položaja, hitrosti in momenta za uporabo različnih vrst električnih izvršilnih členov in konstrukcij robotskih mehanizmov. Za preiskus algoritmov smo zgradili triosni SCARA robot, sedaj pa gradimo triosni direktno gnani členkasti robot. Uporabljamo napredne mikrokontrolerje in procesorje, npr.: Hitachi H8, transputerske mreže z Inmos T8 z vključenim Power PC 601 procesorjem za paralelno izvajanje programov.

IR-T8 Transputerska karta za pogon servomotorjev



A/D
 A/D
 DIG. OUT
 DIG. IN

 L
 I
 N
 K
 I



Karta omogoča gradnjo paralelnih sistemov in digitalen priklop močnostnih napajalnikov motorskih pogonov. Je velikosti dvojnega evropa formata in je razdeljena v:

1. Procesorski del, ki je lahko tudi samostojna enota:

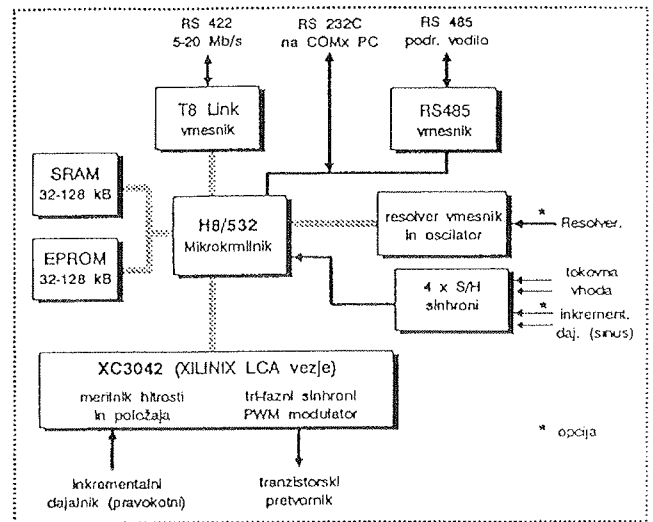
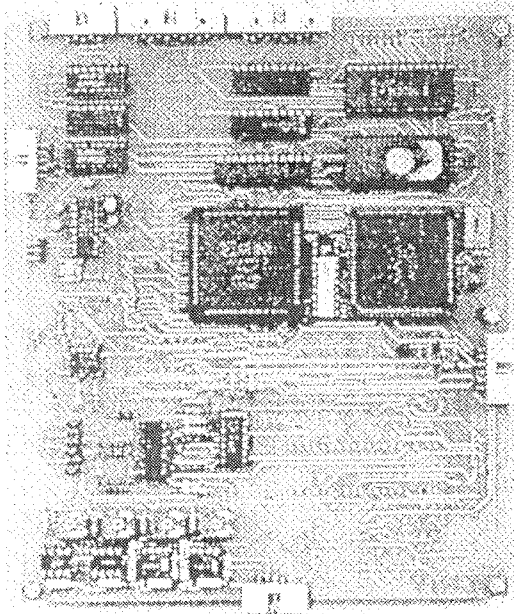
- Transputer T805 + 0.5 MBytov SRAM pomnilnika in
- štiri 20 Mbit/s serijski komunikacijski kanali in sinhronizacija med večimi kartami.

2. Periferni del:

- Merilnik položaja (16 in 32-bitni števec) za dva inkrementalna dajalnika - eden je lahko sinusen (TC3005). Odčitavanje sinhrono s prekinitvami,

- dva 12-bitna D/A pretvornika,
- 16 digitalnih TTL vhodov z možnostjo programiranja (GAL),
- 8 digitalnih izhodov - TTL in "open collector"
- časovnik za generiranje takta in "watch dog" (82C53),
- vezje za modulator trifaznega pogona (TC110) in
- štiri razširitvena mesta (A/D, dodatni digitalni signali,...).

IR-H8 Mikroprocesorski modul za vodenje motorjev



IR-H8 je kompaktni enokartični mikroprocesorski sistem (velikosti 160x195mm), zgrajen na osnovi **mikrokrmilnika Hitachi H8/532** in vmesnikov, ki omogočajo priključitev na izmenične motorje preko ustreznega močnostnega (tranzistorskega) pretvornika ter senzorjev faznih tokov, položaja in hitrosti.

Funkcionalne enote krmilnika IR-H8:

- **Mikrokrmilnik H8/532** vsebuje zmogljiv 16-bitni procesor, pomnilnik (1kB RAM, 32kB EPROM) in vhodno/izhodne vmesnike (serijski komunikacijski vmesnik, 10-bitni A/D, števci in časovniki, "watch-dog timer", idr.);
- **Merilnik položaja in hitrosti** omogoča digitalni princip merjenja hitrosti in položaja z uporabo inkrementalnih dajalnikov;
- **Trifazni sinhroni PWM modulator** omogoča izvedbo vektorske pulzno-širinske modulacije z uporabo us-

treznega tranzistorskega močnostnega pretvornika (izveden je s pomočjo Xilinx XC3042 programirljivega polja logičnih celic);

- **Vmesnik za povezavo s Transputerjem** omogoča hitro serijsko komunikacijo z moduli, ki vsebujejo Transputer-(je) npr. IR-T8.

Čeprav je bil krmilnik IR-H8 sprva načrtovan za aplikacije vodenja izmeničnih motorjev, lahko modul (ob ustrezni konfiguraciji elementov) uporabimo tudi v mnogih drugih industrijskih aplikacijah regulacije, vodenja, nadzora, krmiljenja, ...

Frekvenčni pretvornik

Frekvenčni pretvornik za napajanje trifaznih motorjev je zgrajen na osnovi IGBT modula LGX0540 firme POWER COMPACT.

Modul vsebuje osnovne gradnike:

- šest močnih IGBT tranzistorjev v mostični vezavi z zaščitnimi diodami
- šest galvansko ločenih krmilnih stopenj
- enofazni diodni mostični usmernik
- temperaturni senzor na osnovi NTK upora
- tranzistor za vključevanje dodatnega bremena v generatorskem načinu delovanja (elektronska zavora).

Osnovne karakteristike IGBT tranzistorjev vsebovanih v modulu:

- $U_{ces}=600\text{ V}$; $U_{ge}=0\text{ V}, I_c=200\text{ mA}$
- $I_c=55\text{ A}$; $T_c=25$
- $I_c=27\text{ A}$; $T_c=100$
- $I_{cm}=110\text{ A}$

Za priklop mikrokrmilnika je energetskeemu delu dodan vmesnik, ki vsebuje vse potrebne signale in zaščite za pravilno in varno delovanje.

Povezava mikrokrmilnika - vmesnik:

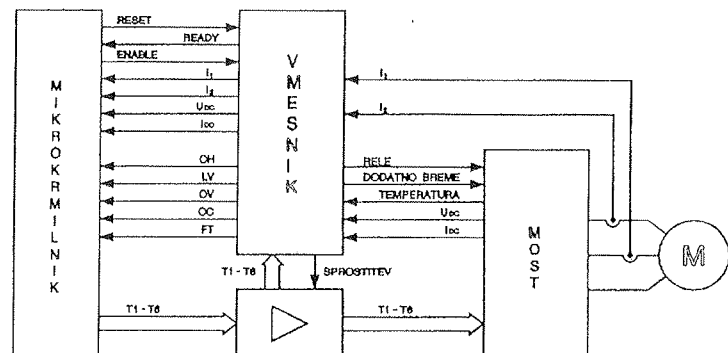
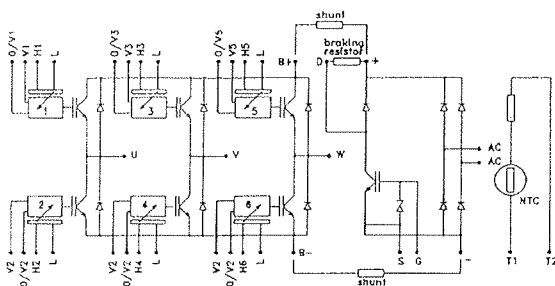
- merilni signali: U_{DC} , I_{DC} , i_1 , i_2
- statusni signali: RESET, READY, ENABLE
- krmilni signali: T1 do T6
- zaščitni signali: OC, LV, OV, OH, FT

Povezava most - vmesnik:

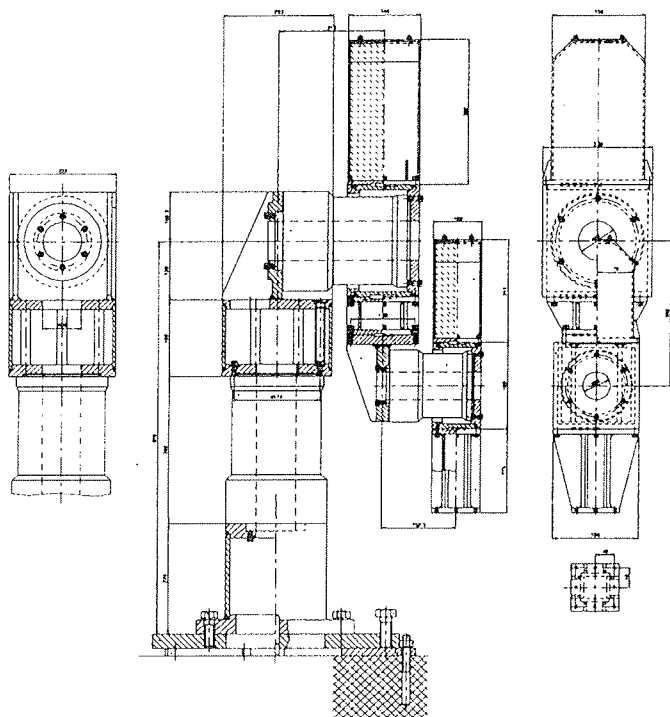
- merilni signali: U_{DC} , I_{DC} , i_1 , i_2 , temperatura
- krmilni signali: T1 do T6
- vklop dodatnega tranzistorja
- vklop releja

Povezava motor - mikrokrmilnik:

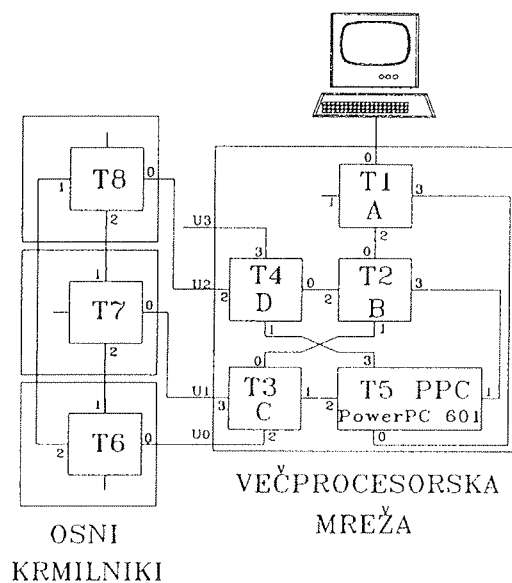
- meritev hitrosti in položaja



Direktno gnan robot



Mehanska konstrukcija



Večprocesorski krmilni računalnik

- Poenostavljena mehanska konstrukcija:
 - ni reductorjev (zračnosti, elastičnosti)
 - ni zunanjih ležajev,
- Večja ponovljivost,
- Minimalno vzdrževanje,
- Aluminijski varjeni vezni členi
- Elementi med sabo pritrjeni z vijaki,
- Uporabljeni Dynaserv direktno gnani servo motorji (trofazni):

Os	Oznaka	Moment	Max. hitr.	Pulz./o	Masa
Prva	DR1220	220 [Nm]	1.0 o/s	153 600	44 kg
Druga	DR1160	160 [Nm]	1.0	153 600	36 kg
Tretja	DR1060	60 [Nm]	1.5	126 976	15.5 kg

- Možnost dograditve zapestja,
- Uporabljen večprocesorski transputerski robotski krmilnik,
- Uporabljene IR-T8 karte

PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ

Journal "Informacije MIDEM" Has Been Selected for Coverage in some of ISI Products

Following this issue's foreword we bring you a copy of the letter from ISI to MIDEM announcing the selection of our Journal "Informacije MIDEM" for coverage in ISI Products. In the next issue, ISI together with its relevant products will be presented.



Institute for Scientific Information®

3501 Market Street ■ Philadelphia, Pennsylvania 19104 U.S.A. ■ (215) 386-0100 ■ Telex: 84-5305 ■ Fax: (215) 386-6362

May 18, 1995

DIRECTOR OF PUBLICATIONS
MIDEM-SOCIETY FOR MICROELECTRONICS, ELECTRONIC
C COMPONENTS AND MATERIALS
DUNAJSKA 10
61000 LJUBLJANA
SLOVENIA

Dear Director,

It is my pleasure to inform you that INFORMACIJE MIDEM has been selected for coverage in ISI® products. Coverage in SciSearch®, Research Alert®, and the Materials Science Citation Index™ will begin with V 25 (1) 1995 provided that this issue is received on time.

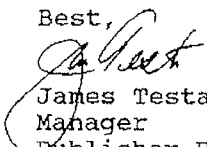
If possible, please mention in the first few pages of the journal that it is covered in these ISI® products. I would also like to request that you complete and return the enclosed Journal Information Sheet as soon as possible. This will confirm the customary two complimentary subscriptions needed for indexing.

At this time I would also like you to consider an agreement to make individual articles from the INFORMACIJE MIDEM available to researchers through ISI®'s document delivery service, The Genuine Article™. This service allows scientists to request individual articles from your journal that come to their attention through ISI® products. You will receive a royalty of 20% of the sale price of each article requested. This will be paid in full annually each March for the previous year's activity.

Please consider the agreement carefully and let me know if you have any questions. If the terms are acceptable to you, sign both copies and return one to me. Thank you.

I look forward to hearing further from you.

Best,


James Testa
Manager
Publisher Relations

Enc.

PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE

ELEKTRONIKA VELENJE

Elektronika Velenje is an example of a company that has succeeded in turning a nearly hopeless situation into successful business growth under the leadership of new management that had confidence and supported their own development. Elektronika was newly established by the Development Fund of the Republic of Slovenia after the bankruptcy of the former Gorenje Elektronika two years ago. It seemed at that time that there is no space for a Slovene colour-television manufacturer on the European market. The main opinion was that competition from the Far Eastern and European television manufacturers was too strong and that the challenge was unmanageable. The new management, however, was determined to accept the challenge. Here is the story of how they discovered the right way.

"Our company continues a tradition of more than twenty years of colour TV production of the former Gorenje Elektronika, which had bankrupted because of the sudden loss of the Yugoslav market." we were told by their Managing Director Mr. Drago Šulek. "In contrast to the company that we derive from, we have three production programs. In addition to television production, we now have production of satellite receivers and monitors for personal computers. Monitors are the result of co-operation with an Italian partner for whom we are producing the electronic chassis.

Our development is mostly directed to the television area, but it must also control other two programs, otherwise we would not be able to solve all the problems that occur daily during the production process.

Major credit for our survival and business success has to be given to our R&D Department for its solutions of an electronic chassis for colour TV. We really have primarily to thank our R&D team for our ability to manufacture televisions at an extremely competitive cost to quality level ratio, so that we can be successful on the European market. Our production and sales output is about 700 TV sets per day and 80% of them are exported. In addition to TV sets, we produce 500 chassis for personal computer monitors for our Italian partner, 50 complete monitors per day for the domestic market and 500 stand-alone satellite receivers, used to convert signals from satellite antennae to a normal TV receiver. So our daily production averages over 1700 items.

It is worth mentioning that before the birth of the new company two years ago, we had to take a difficult decision on whether to use cheap Far East components and know-how or to remain independent and 100% European. We decided to rely on our own development and to use mainly European components. The decision proved to be the right one. Being European, all our products have duty free access to all 15 European Union markets, as well as to EFTA markets.

Currently, our development is focused on high performance TV chassis, with which we would like to break through to higher price levels. TV sets with our newly developed chassis will have most of the features common to the upper middle level of modern TV receivers, such as multi-standard receiver capability, including digital sound processing system NICAM, new wide-screen 16:9 format capability, simultaneous display of two pictures, commonly used as picture in picture or picture outside picture, improved colour display, known as CTI, and several other technical advantages that are essential for the target price level. We have also got approved subvention for development of this chassis by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Slovenia. The main development costs are to be covered by our company, while the subvention means additional confirmation that our development and our strategy are also of national interest".

Over 20 years ago the company Gorenje Velenje, a leading manufacturer of white goods, started TV production under licence from the, at that time well known, German company Koerting. Since Koerting was no longer able to cope with the growing competition from Japan in the late seventies, the need for its own development was obvious. By implementing Koerting know-how in an enthusiastic environment, Gorenje Elektronika became the leading colour television manufacturer in former Yugoslavia.

Our first electronic chassis was finished in 1979 and it was called the G1. The chassis that was developed shortly after establishing the new company in 1993 was already the 5th generation, and so it was called E5.

In the new company, R&D employs 30 engineers and technicians, most of them with previous experience. The head of the Department is Mr. Konrad Steblovnik, directed and supported by Mr. Zvone Es, the Technical Director of the company. To be and to remain up to date, Mr. Steblovnik and his team must also concentrate on several side areas important for TV development, such as audio, power-electronics, signal processing and computer software. To stay on the track of basic trends in the research of the TV area, Elektronika cooperates with universities in Maribor and Ljubljana, as well as with the biggest national research institution - Jožef Stefan Institute from Ljubljana.

The E5 Chassis, having very good quality to price ratio, and being very simple and suitable for mass production, has enabled Elektronika to be very competitive in the range of reliable colour TV models on the European market. The development of the chassis took only half a year. The development engineers understood that speed of development was essential for the survival of TV production in Velenje. The chassis is sufficiently up to date that, after two years in production, it can still be used profitably for another couple of years. The know-how of

the E5 chassis has been sold to three foreign companies from the East and West for use in their production.

A fairly important contribution to the success of Elektronika is made by the suppliers of components. Elektronika receives passive electronic components, printed circuit boards, heat-sinks and most of the mechanical parts from Slovene producers. Phillips is the key supplier for most of the semiconductors and integrated circuits. Siemens is a smaller but also very important supplier of some specific semiconductors and integrated circuits, and colour picture tubes are supplied by Thomson, Samsung and Panasonic, all from their European production plants.

As already mentioned, the development of a new E6 chassis for higher performance, and therefore higher

price and quality level, is currently in progress. The results will be implemented in production step by step, starting in September 1995. Initially, the chassis was planned to be fully digital, but it was later realized that a partly digital and partly analog chassis is more economical and assures a better ratio between capacity and price. By bringing the new chassis onto the market, the development will enable the marketing and sales of Elektronika to aim at two different price levels and will thus hopefully add more security to the colour TV business, which is highly vulnerable to strong European and Far East competition.

Povzeto iz revije QUARK'95

KRIZNI MANAGEMENT

Najbrž niste nikdar razmišljali, ko ste se zleknili pred televizorjem, recimo slovenske proizvodnje, kakšna je usoda tistih, ki so sestavili to škatlo in vse, kar je v njej. Pa tudi to ste gotovo mnogi prezrli, da v Sloveniji že kar nekaj časa nič več ne slišimo o televizorjih iz Gorenja. Logično, kajti družbo Gorenje Elektronika je spomladi pred dvema letoma pokopal stečaj, dobrih šest mesecev za tem, ko so se vključili v družino propadajočih pri republiškem razvojnem skladu.

Toda v Velenju danes še vedno naredijo od šeststo do osemsto televizorjev na dan. Nič več v Gorenju, pač pa v podjetju Elektronika, d.o.o., ki jo vodi direktor Drago Šulek. Družba Elektronika je maja dopolnila dve leti, dobesedno iz ničle - če odmislimo še vse minuse, ki so spremljali njeno rojstvo - pa se je letos že povzpela med trideset največjih slovenskih izvoznikov.

Drago Šulek je najbrž eden od "vzorčnih kriznih managerjev" v Sloveniji. Preseneti že s svojo predstavitvijo. Študiral je tehnično fiziko, je torej diplomirani inženir fizike in tudi magister v isti stroki. Pred leti je bil direktor Rudarskega šolskega centra v Velenju, pa štiri leta (1986-1990) predsednik velenjske občinske skupščine. Junija 1992 se je vključil v reševanje Gorenja Elektronike. S kriznim štabom je hitro ocenil, da sanacije ne bodo mogli izpeljati brez

širše družbene pomoči, septembra isto leto so v podjetju sprejeli odločitev o prenosu družbenega kapitala na Sklad RS za razvoj.

Tedaj 470 zaposlenih ni imelo dela. To so bili časi, ko se je pri nas poslovalo po "obrestni formuli" R plus 34 odstotkov. Denarja za nakup reprodukcijskega materiala se ni dalo več pričarati. Proizvodnjo so v podjetju ustavili. Žiro račun je bil seveda blokiran, približno dvajset milijonov nemških mark dolgov so našteli. Upniki so vztrajno terjali svoj denar.

To so bili tudi časi, ko je razpadel jugoslovanski trg. Gorenje je pred tem več kot 95 odstotkov svoje proizvodnje brez kakršnihkoli težav prodalo v Jugoslaviji. Ko se je tako sesulo temeljno poslovno vodilo - kako sploh toliko narediti, kolikor bi se lahko prodalo, je nastal problem z obrnjeno vsebino: kako in kam sploh prodati, kar bi se še naredilo. Evropski kupci namreč niso imeli nikakršnega posluha za visoke slovenske proizvodne stroške, kaj šele, da bi sprejemali cene, ki bi našemu proizvajalcu poleg kritja stroškov prinašale še kakšen denar. Upniki niso imeli več posluha za njihove poslovno-tržne težave, še manj pa so bili pripravljeni verjeti vodilni krizni ekipi, da bi obnovljena proizvodnja televizorjev spet lahko kovala dobiček.

Maj 1993

Nova družba Elektronika, d.o.o. je imela ob začetku poslovanja:

- osnovni kapital 2.000 tolarjev.
- posojilo za konverzijo v osnovni kapital (milijon nemških mark), ki sta ga zagotovila Sklad RS in razvoj in management v razmerju 70:30
- osnovna sredstva, ki so jih najeli pri družbi Gorenje Elektronika, d.o.o., v stečaju, s tržnimi pogoji
- pripravljenost razvojnega sklada, da s tržnimi pogoji zagotavlja financiranje s kratkoročnimi posojili in poroštvi
- management in delavce z znanjem in voljo.

Maj 1995

Elektronika Velenje je v dveh letih:

- razvila novo zasnovano televizorja, kar je ob novih prijemih pri nabavi omogočilo znižanje proizvodnih stroškov
- razširila proizvodni program z monitorji in satelitskimi sprejemniki
- odkupila in posodobila najeto proizvodno opremo ter investirala v razširitev zmogljivosti, v skupnem znesku šest milijonov mark
- izdelala 300.000 televizorjev in enako število drugih izdelkov
- zagotovila zaposlitev 550 delavcem
- dosegla 80 odstotkov izvoza v strukturi prodaje in se s tem uvrstila med 30 največjih slovenskih izvoznikov.

PREPRIČANJE Z VELIKIM TVEGANJEM

Edini pogoj, ki so ga vodilni takrat v zvezi s tem poudarjali, je bil zaman: normalne poslovne možnosti. Torej - nova proizvodnja brez starih bremen. Tako zamišljene sanacije upniki niso sprejeli, pravzaprav svoje vloge v njej ne. Prepričati jih niso mogli niti vodilni iz krizne ekipe niti v Korzetovem skladu.

Stečaj je pognal na cesto vse zaposlene. "Z ožjim krogom sodelavcev sem bil kljub vsemu prepričan," obuja spomine na krizo in padec Gorenja Elektronike Drago Šulek, "da v Evropi lahko najdemo nove kupce. Prav tako, da z novo zasnovo televizorjev lahko znižamo proizvodne stroške, da bodo kupci pripravljene plačevati naše izdelke po cenah, ki bodo prinašale tudi dobiček."

V razvojnem skladu so delno sprejeli tveganje: postavili so novo družbo za proizvodnjo televizorjev, monitorjev za osebne računalnike in satelitskih sprejemnikov.

Elektronika, d.o.o., Velenje je začela poslovati maja 1993. Njen osnovni kapital je bil dva tisoč slovenskih tolarjev, razvojni sklad in management pa sta zagotovila (v razmerju 70:30) milijon nemških mark posojila za konverzijo v osnovni kapital. Od Gorenja Elektronike v stečaju so pod tržnimi pogoji najeli osnovna sredstva. Razvojni sklad je kar se da korektno in poslovno odigral svojo vlogo: kot so narekovala tržna načela, je s kratkoročnimi posojili in poroštvi zagotavljal zagonsko financiranje. Nova družba je delavce najprej zaposlila pogodbeno, kar sicer "ni bilo čisto fer do države, toda za nas je bil to do konca leta 1993 pomemben prihranek", pravi Drago Šulek. Obseg nekdanje proizvodnje televizorjev so sicer zmanjšali za polovico, potrojili pa nekdanji izvoz. Zdaj je v Elektroniki zaposlenih 570 delavcev, v dveh letih so naredili in prodali tristo tisoč televizorjev in prav toliko dopolnilne proizvodnje - monitorjev za osebne računalnike in satelitskih sprejemnikov.

Toda v tej navidezno sila preprosti in lepo berljivi zgodbi o nekem propadu in nekem uspehu je skritih in zavutih izjemno veliko pripovedi. Ne samo o usodi enega podjetja, pač pa posebej o določnosti, znanju in volji ljudi, ki so bili in so še povezani z njim. Zakaj se na primer magister fizike odloči reševati in oživljati utopljenca, ko pa bi bilo najbolj logično, da se takšnega dela loti, če sploh se, najmanj doktor ekonomskih ved? Kaj imata torej fizika in podjetništvo skupnega?

EKONOMIJA, FIZIKA IN VODENJE PODJETIJ

"Ekonomija kot veda je zgrajena na modelih, fizika tudi," pojasnjuje direktor Šulek. "Le da ekonomija z modeli pojasnjuje pojave pri poslovanju, fizika pa pojave v naravi. Toda vodenje podjetij v težavah je po mojem mnenju neka čisto posebne vrste znanost, kjer lahko veljajo vsa znana pravila in zakonitosti ali pa nobeno. V kriznem managementu sam ločim dve ravni. Prvi pravim brezupen položaj, ko vse tone oziroma, ko se nič več ne premakne, druga raven pa nastane, ko se razmere nekoliko sanirajo in ko je treba ohranjati dosežene dobre rezultate. Ta druga stopnja je po mojem mnenju izjemno zahtevna."

Drago Šulek se, kot pravi, najbolj znajde v brezupnih položajih: "Krizne razmere dajo človeku neverjetno moč in voljo. Vodenje in odločanje je treba v takih razmerah povsem skoncentrirati. Ko ljudje začutijo, da se jim tla res dobesedno izmikajo pod nogami, se podredijo razmeram, pozabijo na svojo naravo, njihove želje se nenadoma premaknejo čisto na konec vsega. Neverjetno vodljivi postanejo, pripravljeni poprijeti, kjer je treba. S te plati je izredno lahko voditi podjetje v krizi, če si seveda pred tem upaš kaj takega sploh zagrabiti. Sam sem tak človek in hitro sem se odločil. Vodila me je misel, da v tako slabih razmerah nimaš česa izgubiti: Če ne gre, pač ne gre, že prej je bilo pokopano, vsak majhen dosežek pa je že premik na boljše."

Kriznemu direktorju družbe Elektronika je tedaj vlila dodatno moč za prepričevanje partnerjev, da vendarle skupaj ugriznejo v kislno jabolko, informacija, da začenja Evropska unija protidumpinški postopek za šest daljnovzhodnih držav. To je med drugim tudi napovedovalo, da jim bodo Evropejci najbrž nabili dodatne carine - tudi za televizorje - in da bodo kupci na Stari celini spet iskali evropske (cenejše) dobavitelje. "Prepričan sem bil," pravi, "da bomo našli kupce za naše televizorje, in to po takšnih cenah, da ne bomo samo pokrili stroškov."

Redki so mu verjeli, v razvojnem skladu so se potlej vendarle odločili, toda le pod pogojem, da je tudi krizni management prevzel velik del tveganja. Pri milijonu nemških mark potrebnega osnovnega kapitala so postavili kot pogoj razmerje 70:30, da torej management vstopi v takšno sodelovanje s svojimi 300.000 markami. Krizna vodilna ekipa je tako tedaj postala 30-odstotni lastnik Elektronike, v dveh letih obstoja družbe pa je dokupila še dodatni 30-odstotni delež, seveda z bistveno drugačnimi pogoji in po pomembno višji ceni. Tako je zdaj razvojni sklad le še 40-odstotni lastnik Elektronike in tudi za ta del (ali nekaj tega) so zdaj predlagali skladu, da bi delež prodal drugim zaposlenim v podjetju.

Njihov tržni delež v Sloveniji je še 60-odstoten. Na Hrvaško prodajo tisoč televizorjev na mesec, v Makedonijo petsto. V Zahodni Evropi poslujejo brez težav, vendar tudi brez lastne blagovne znamke. Med njimi in končnim kupcem so še posredniki: nekoč se jim je reklo grosisti, zdaj so trgovci.

BLAGOVNA ZNAMKA (ŠE) PREDRAGA

Na zahtevni trg so se torej prebili. Z nizkimi cenami, marketingom? S kolikšnimi podkupninami?

"Nobenih podkupnin! Nikakor! To je najbolj čist odgovor," je odločen Drago Šulek. Naši referenci sta kakovosten izdelek in kakovostno poslovanje. Podkupnine kraljujejo samo pri takšnih poslih, kjer o nakupih odločajo uradniki, ki tudi hočejo kaj zaslužiti, torej v velikih firmah. Mi pa poslujemo z manjšimi podjetji, kjer o pogodbenih postavkah odločajo lastniki. Ko je med nami in kupcem še posrednik, se natančno ve, kolikšna je provizija. Komerzialno so tudi povsem znana razmerja med obsegom prometa in višino marže."

Zakaj se ne odločite za lastno blagovno znamko? Je ne potrebujete, vam ne bi koristila?

"Naložba v lastno blagovno znamko stane na milijone mark, ohranjanje blagovne znamke pa tudi. Tega denarja zdaj seveda sploh nimamo. Pa tudi sicer je vprašanje, kaj bi v naši proizvodnji ter v takšni svetovni konkurenci, kakršna vlada, pomenila nova lastna blagovna znamka srednje velikega podjetja iz Slovenije. Naložba skoraj zagotovo ne bi kaj prida pripomogla k dobičkonosnosti naše proizvodnje. Vsekakor pa manj kot lahko v sedanji fazi stabilizacije podjetja, pa še v nekaterih naslednjih, prispevajo drugi ekonomski prijem. Naš cilj je, da ustvarjamo dobiček. Podjetja, ki ne ustvarja dobička, še pes ne povoha več. Po drugi strani pa je res tudi, da izdelek brez lastne blagovne znamke v tujini ne zleze iz nižjega cenovnega razreda. Toda odločati se je treba med vsemi plusi in minusi. Za zdaj bi še težko kaj dokončnega rekel, kakšna bo naša strategija za prihodnja leta, zagotovo pa je odločitev o tem ena najpomembnejših nalog v letošnjem letu."

Po pripovedovanju magistra fizike, podjetnika in direktorja so v Elektroniki Velenje sklenili prvo fazo kriznega vodenja že konec leta 1993. Kot zdaj ocenjuje je bila - zanj - celo lažja od sedanje, čeprav že imajo dovolj velik trg in na njem konkurenčni televizor. Toda, pravi, "ko enkrat kolektiv laže zaduha, ko posel steče in priteče tudi že kakšen denar, hitro pozabiš na krizo, po kateri si bredel še pred nedavnim. To pa so že dovolj zastrupljene okoliščine, da začneš popuščati. A kot krizni manager vem, da prav tega ne smeš dovoliti. Meni pa se zdaj dogaja prav to in zdi se mi, da sem pred neverjetnim problemom: Kako ljudem dopovedati in jih prepričati, da lepo utečeni posli še ne pomenijo hkrati tudi pravega konca krize? Naše delo je nekako vedno na robu krize. No, beseda kriza je nemara malce pregroba, nekaj milejšega, a blizu tega pomena bi moral reči. Strahovita konkurenca na trgu te vedno lahko sune v novo pravo krizo. Edina stalnica, ki pri nas kaj velja in ki ji moramo slediti, je nenehno spreminjanje in prilaganje. To je tisto - obvladovanje sprememb, ki jih naplavlja - jo čas in vedno nova znanja. Čeprav se tega zavedamo, se mi vseeno zdi, da smo se v našem podjetju po hudih časih, ki smo jih preživeli, malce preveč sprostili. Prej smo vedeli, da moramo stisniti z vsemi močmi, zdaj pa nekateri že mislijo, da bodo stvari naprej spet tekle same."

Tak položaj imenuje Drago Šulek objektivna kriza, problem, ki se navzven ne vidi. S tem se zdaj ubada in ni prepričan, da bo problemu enako uspešno kos, kot je bil tistim iz prve faze reševanja utopljenca. In še vedno drži tudi vse tiste prejšnje niti v svojih rokah. Ni še našel načina,

kako bi jih nekaj mirno predal drugim. Kot solastniku mu seveda ni vseeno, na kako trdnih temeljih stoji njegovo podjetje. Prepričan o svojem pravilnem dosedanem delu pa se hkrati boji, kako uspešno bi ga na katerem področju nadaljeval kdo drug. Sam o sebi pravi, da je perfekcionista, zaveda pa se, da nekatere posle vendarle mora prepustiti drugim.

ISKANJE FORMULE

Bolj kot specifično strokovno izobražene išče ta poznavalec kriznega managementa za svoj krog, kot temu pravi, predvsem sposobne ljudi. S tem misli na takšne sodelavce, "ki bi se bili pripravljene za dušo in telesom predati delu". Vsaj deset takšnih managerjev bi moralo biti v takšnem podjetju, kot je Elektronika, meni. Na vprašanje, ali jih ne bi privabil oziroma pridobil z visokimi plačami, pa odkima: "S plačo ne narediš predanega človeka, večjemu pokvariš ga. Predanega človeka moraš najti, šele potlej pa predanost nagrajevati."

Kaj pomeni predanost delu v kriznih razmerah, seveda ni treba posebej razlagati. Začne se pri tem, kako veliko časa porabiš za majhne premike, konča pa najbrž pri nenehnem dopolnilnem izobraževanju. Najbrž pa je v Sloveniji vendarle še premalo poslovnežev, ki bi bili pripravljene na takšne žrtve. "Nismo še našli prave formule za rešitev problema, ki se imenuje vodenje," trdi Šulek, "preprosto nismo bili šolani za vodenje. Večino neznanja zato zdaj še vedno krpamo s pridnostjo."

*Povzeto iz revije
MANAGER, avgust 1995*

ELEKTRONIKA VELENJE d.d.
Šerbenkova 10
63320 VELENJE
SLOVENIA

Tel.: +386 63 853-608
851-064
Fax: +386 63 851-948
854-508

KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA

10 th European Microelectronics Conference

15. do 17. Maj 1995, Copenhagen, Danska

Udeležil sem se desete evropske konference o mikroelektroniki - 10 th European Microelectronics Conference, ki je bila od 15. do 17. maja v Kopenhagnu. Evropske konference o mikroelektroniki so dvoletne in se "selijo" med Nemčijo, državami Beneluksa, Francijo, državami Skandinavije, Italijo in Anglijo. Prva evropska konferenca je bila leta 1977 v Bad Homburgu, Namčija.

Za začetek nekaj podatkov o konferenci: prvič so sprejemali poleg referatov tudi prispevke kot posterje, zato so lahko sprejeli okrog tretjino več del kot prejšnja leta. Prejeli so 148 razširjenih povzetkov, od tega so jih 51 sprejeli kot referate, 21 pa kot posterje. Vsi prispevki so objavljeni v zborniku, ki je zato, kot so se pohvalili organizatorji, najobsežnejši doslej in obsega preko 600 strani. Na konferenci je bilo registrirano okrog 350 obiskovalcev iz 21 držav. Iz imena konference je tudi izginil izraz "hibridi", doslej so bile vse imenovane European Hybrid Microelectronics Conference, čeprav je še vedno v kratiki ISHM - International Society of Hybrid Microelectronics. V času konference je bila tudi razstava opreme, naprav in materialov za mikroelektroniko.

Delo je potekalo v sledečih sekcijah:

1. Mednarodni trg mikroelektronike
2. Zamenjava spajk
3. Razvoj na področju ohišij za mikroelektroniko
4. Mikro povezovanje
5. Visokofrekvenčne aplikacije
6. Multi Chip Moduli in "preverjeno dobre tabletko"
7. Substrati in novi materiali
8. Varovanje okolja
9. Visoka gostota povezav
10. Senzorji
11. Načrtovanje, Multi Chip Moduli, pritrjevanje in materiali
12. Debeli in tanki filmi
13. Ohišja in tabletko z visoko gostoto priključkov
14. Aplikacije
15. Elektro optične povezave

V poročilu bom na kratko opisal vsebino nekaterih zanimivejših predavanj, predvsem s področja materialov, na razpoložbo pa je zbornik referatov.

Ker bom v poročilu večkrat omenjal Multi Chip Module (MCM), bom najprej zelo na kratko opisal te komponente. MCM so komponente z zelo visokim številom funkcij, pri katerih so na večplastne substrate z veliko gostoto povezav pritrđi gole silicijeve tabletko. Multichip moduli imajo precej prednosti pred konvencionalno enkapsulira-

nimi silicijevimi tabletkami z velikim številom vhodov/izhodov (single chip modules), predvsem v primerih, ko primanjkuje prostora v vezju in, če je takt ure "hiter". Ena od prednost MCM pred ASIC (Application Specific Integrated Circuits) je v hitrejšem designu MCM. Gostota komponent je lahko podobna na MCM in pri ASIC, pri tem pa se lahko v MCM kombinirajo tudi različne polprevodne tehnologije, na primer silicij in GaAs. Osnovni tipi Multi Chip Modulov, izdelanih v različnih tehnologijah, so MCM-L (tiskana vezja), MCM-C (keramika) in MCM-D (tanki filmi).

MCM-L so zahtevna večplastna tiskana vezja z linijami minimalne širine, to je navzdol do 25 μm , čeprav so bolj tipične širine linij do 100 μm . So najcenejši, vendar ne omogočajo take gostote funkcij kot drugi dve tehnologiji. MCM-D so moduli, ki imajo nanešene tankoplastne večplastne kovinske povezave (večinoma aluminij ali baker), ločene s polimernim ali napršnim tankoplastnim (SiO_2) dielektrikom. Kot substrat se največ uporablja Al_2O_3 ali silicij. Silicij dobro prevaja toploto, njegov temperaturni razteznostni koeficient pa je seveda isti kot razteznostni koeficient silicijevih tabletk. V tem primeru se del elektronike izdela lahko že na substratu. Ta tip MCM-ov omogoča največje gostote komponent oz. funkcij. MCM-C so "keramični" hibridi visoke gostote, navadno večplastni keramični substrati, v kateri je tudi preko 50 nivojev prevodnika, ali pa kompleksna debeloplastna večplastna vezja. Večplastni keramični substrati so narejeni iz zelenih folij, potiskanih s prevodnimi linijami in so lahko na osnovi Al_2O_3 ali AlN z višjo toplotno prevodnostjo (HT-MCM-C - keramični MCM z visoko temperaturo žganja) ali pa na osnovi kristalizirajočih stekel (LT-MCM-C - keramični MCM z nizko temperaturo žganja). V sam substrat so lahko vgrajeni, v glavnem v primeru keramike s temperaturo žganja pod 1000°C, tudi upori ali kondenzatorji. Cena keramičnih MCM je neke vmes med MCM-L in MCM-D. Področja uporabe so določena s ceno in z zahtevnostjo. MCM-L se vgrajujejo v video naprave, elektronske igre in v elektroniko za gospodinstva, MCM-C se uporabljajo v osebnih računalnikih, za telekomunikacije in delno za vojaško elektroniko, MCM-D pa za velike računalnike, grafične postaje in za vojaško ter vesoljsko elektroniko.

Ericson (Telefonaktiebolaget L. M. Ericson, Švedska) je v uvodnem referatu z naslovom **From Telephony to Human Communications; the Impact of Microelectronics**, s katerim se je začela konferenca, opisal razvoj telefonije od začetka, to je Bell-ovega patenta leta 1876, do danes in podal tudi predvidene cilje razvoja v prihodnosti. Med ostalim predvideva že v bližnji prihodnosti "osebni komunikator", prenosno napravo, ki bo združevala telefon, elektronsko beležnico in osebni računalnik. Poleg tega naj bi telefoniranje postalo bolj "prijazno" do uporabnika. Neka raziskava je ugotovila, da je delo, ki ga zmoti tele-

fonski klic, v več kot 70% primerov bolj pomembno od "vsebine" klica. Poleg tega je tudi precej klicev zastoj, ker klicanega ravno takrat ni ob telefonu. Ena od možnosti je, da tisti, ki kliče, pusti sporočilo elektronski tajnici. Klicani nato sporoči nazaj elektronski tajnici, kateri čas mu ustreza za razgovor. Hiter razvoj mikroelektronike, s katerim je povezan tudi razvoj telefonije, je ilustriral s sledečo (seveda poenostavljeno) anekdoto. Doslej so bile v mikroelektroniki napovedi trendov preproste. Na "y" osi diagrama je nanešen logaritem neke količine, na primer število transistorjev na tabletki, širina linij, število vhodov in izhodov itd., na "x" osi pa čas. Na diagram vrisemo stanje pred nekaj leti in današnje stanje, skozi točki potegnemo črto in jo ekstrapoliramo v prihodnost. Seveda to ne bo šlo v nedogled. Če bi se transistor manjšal z dosedanjim tempom, bi leta 2013 "preklapljal" samo en elektron.

Sinnadurai (MUMEC, Anglija) je podal pregled trga hibridne mikroelektronike v Evropi (**Microelectronics Markets in Europe**). Podatki za posamezne države za leta 1986, 1990 in 1994 in stopnja rasti so v tabeli I, tržni deleži različnih tehnologij pa v tabeli II. V obeh primerih je podana tudi ocena za leto 1998. Tržni deleži različnih tehnologij povezav za Multi Chip Module so prikazani v tabeli III.

Tabela I Porazdelitev trga hibridnih vezij v Evropi (v milijonih ECU). Podana je stopnja rasti in ocena za leto 1998.

Država	1986	st. rasti	1990	st. rasti	1994	st. rasti	1998
Države Beneluxa	65	34 %	210	10,3 %	310	10,4 %	460
Francija	197	9 %	277	7,6 %	370	7,8 %	500
Nemčija	497	13 %	804	10 %	1180	7,1 %	1540
Italija	92	26 %	231	10 %	340	10,1 %	500
Anglija	187	14 %	317	3,3 %	360	5,1 %	440
Nordijske države	140	13 %	227	10 %	340	10,7 %	510
Skupaj	1178	15 %	2066	9 %	2900	8 %	1998

Nemčija ima dobro tretjino evropskega trga hibridne mikroelektronike. Delež drugih držav oziroma skupin držav je podoben med sabo in je po vrednosti okrog tretjine nemškega deleža.

Tabela II Tržni deleži tehnologij za hibridno mikroelektroniko v Evropi (v milijonih ECU). Podana je stopnja rasti in ocena za leto 1998.

Tehnologija	1986	st. rasti	1990	st. rasti	1994	st. rasti	1998
SMT na TIV*	35	100 %	558	21,5 %	1216	11,8 %	1900
Debeloplastna	1084	4 %	1364	1 %	1419	1,4 %	1500
Tenkoplastna	59	16 %	145	16 %	265	20 %	550
Skupaj	1178	15 %	2066	9 %	2900	8 %	1998

* Površinska montaža na tiskanih vezjih velikosti do 6" x 4" (14,24 x 10,16 cm²)

Površinska montaža, ki se je kot tehnologija za izdelavo tiskanih vezij pojavila v sredini osemdesetih let, je iz skromnih 35 milijonov ECU leta 1986 lansko leto skoraj do-

segla debeloplastno tehnologijo in jo bo presegla okrog leta 1996.

Tabela III Tržni delež različnih tipov povezav za multichip module

Tehnologija	Tip MCM	Delež trga
Tenkoplastna na Si ali keramiki	MCM-D	38 %
Večplastna keramika z nizko T žganja	LT-MCM-C	25 %
Večplastna debeloplastna vezja	MCM-C	21 %
Večplastna tiskana vezja	MCM-L	10 %
Večplastna keramika z visoko T žganja	HT-MCM-C	6 %

Več referatov je poročalo o preiskavah materialov na osnovi zmesi aluminija in silicijevega karbida (MMC - Metal Matrix Composites) za osnovne plošče multichip modulov ali za ohišja, kjer je potrebna dobra toplotna prevodnost, primeren temperaturni razteznostni koeficient (TRK) in mehanska trdnost. Kovar, zlitina železa, kobalta in niklja, ki se uporablja za kovinska ohišja, ima primeren TRK ($5,9 \times 10^{-6}/K$), ki je blizu TRK Al_2O_3 substratov ($6,5 \cdot 10^{-6}/K$), vendar ima razmeroma visoko specifično težo ($8,1 g/cm^3$) in nizko toplotno prevodnost ($14 W/mK$). MMC z razmerjem aluminija in silicijevega karbida 30/70 pa ima TRK $6,2 \times 10^{-6}/K$, nizko specifično težo ($3,0 g/cm^3$), kar pomeni lažje komponente, in zelo dobro toplotno prevodnost ($170 W/mK$).

Več referatov je obravnavalo problem "zanesljivo dobre tabletk" (Known Good Die). V Multi Chip Module se namreč vgrajujejo gole, neenkapsulirane silicijeve tabletk, ki morajo biti zanesljivo "dobre". Ko se tabletk testirajo na silicijevi rezini, večina proizvajalcev pretestira le enosmerne in nizkofrekvenčne parametre, kasnejše testiranje pri visokih taktih ure in po vtekanju pri povišanih temperaturah (burn-in) pa se običajno izvaja na enkapsuliranih tabletkah s primernimi priključki. Nekaj let že traja začaran krog; proizvajalcem silicijevih tablet se ni izplačalo nabaviti drage opreme za testiranje golih tablet, ker je bilo povpraševanje premajhno. Zato so bile gole tabletk večinoma precej dražje kot enkapsulirane, kar je seveda podražilo MCM. Ti so se zaradi tega manj uporabljali, kar je "tiščalo dol" število naročenih tablet in jim dvigalo ceno. Zadnje čase pa se zaradi miniaturizacije potrošniške elektronike, na primer mobilnih telefonov, povečuje potreba po MCM komponentah, zato vedno več proizvajalcev že ponuja kot standardno opcijo nekatere tipe tablet kot gole, "zanesljivo dobre tabletk". Drugi tega sicer nimajo v katalogih, so pa pripravljene testirati "zanesljivo dobre tabletk" na zahtevo kupca, če je količina sprejemljiva. Dober pregled področja z navedbo različnih proizvajalcev je podal Drobac (Flexotronic International /nCHIP, ZDA) v referatu **Known-Good Die, the Impossible Dream?**

Večina hibridnih debeloplastnih vezij je izdelana na Al_2O_3 keramiki, ki ima toplotno prevodnost okrog $20 W/mK$. Za močnostna vezja pa so potrebni substrati oziroma ohišja z višjo toplotno prevodnostjo. Karakteristike nekaterih keramik, ki se uporabljajo v mikroelektroniki, so navedene v tabeli IV.

Tabela IV Primerjava karakteristik nekaterih keramik, ki se uporabljajo v mikroelektroniki

Lastnost	Enota	Al ₂ O ₃	AlN	BeO	SiC	BN
Gostota	g/cm ³	3,75	3,3	2,9	3,21	1,9
Upogibna trdnost	MPa	350	360	250	280	20
Modul elastičnosti	GPa	345	320	260	425	43
Toplotna prevodnost	W/mK	20	>180	250	50-270	25
Temp razt. koef.	10 ⁻⁶ /K	6,7	3,8	5,9	3,8	1,2
Upornost	ohm.cm	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹³	>10 ¹³	>10 ¹³
Dielektričnost (1 MHz)		8,5	9	8,5	40	4,1
Izgubni kot (1 MHz)	x 10 ⁻⁴	4	4	4	500	40

Za močnostna vezja ali komponente se večinoma uporablja keramika na osnovi berilijevega oksida. Že od prve polovice osemdesetih je na tržišču tudi keramika na osnovi aluminijevega nitrida, ki je po karakteristikah primerljiva z BeO keramiko. Prah BeO je namreč strupen, nemški standardi dovoljujejo na primer le 0,1 µg BeO na m³ zraka. Razlog, zakaj se AlN keramika še ni uveljavila, je njena visoka cena. Substrati primerljivih dimenzij so deset do dvajsetkrat dražji kot Al₂O₃ substrati. Seitz (Hoechst AG, Nemčija) je v referatu z naslovom **AlN Ceramics - Cost Saving Potentials by Using Target Costing** razložila, zakaj je cena tako visoka in kaj delajo v firmi Hoechst, da bi jo znižali na raven, ki je sprejemljiva za odjemalce, to je dva do pet krat dražja kot Al₂O₃ keramika. Ker poraba AlN keramike ni velika, se prah AlN proizvaja in kupuje v manjših količinah, kar je drago. Večje šarže bi pocenile "surovino" na polovico. Najdražja operacija je sintranje, ki je pri temperaturah okrog 200 K višjih kot sintranje Al₂O₃ keramike in mora potekati v atmosferi čistega dušika. Sintranje danes poteka v šaržnih pečeh in ocenjujejo, da je 25 krat dražje kot sintranje Al₂O₃ na zraku. Če jim bo uspelo znižati temperaturo sintranja, bodo lahko uporabljali cenejše žganje v kontinuirnih pečeh, kar pa spet pride v poštev samo za večje količine. Tudi razvoj AlN keramike, ki bi imela dovolj dobre karakteristike in bi se nižje sintrala, zahteva veliko dela, kar spet lahko opraviči le kasnejša velika potrošnja.

Visoka cena AlN substratov je eden od razlogov, zakaj se njihova uporaba kot substratov za debeloplastna vezja še ni razširila. Drugi razlog je to, da do pred kratkim ni bilo sistemov debeloplastnih past, kompatibilnih z AlN keramiko, ki bi po karakteristikah bili primerljivi z materiali za Al₂O₃ substrate. Oba razloga sta povezana. AlN substrate malo uporabljajo, ker so dragi. Ker ni bilo pravega tržišča za debeloplastne materiale za AlN substrate (ki se malo uporabljajo), proizvajalci niso bili zainteresirani oziroma niso mnogo vložili v razvoj debeloplastnih past za AlN. Ker na tržišču ni bilo primernih, predvsem uporovnih materialov, proizvajalci vezij niso načrtovali komercialno uspešnih, to je velikih, serij vezij na AlN, ki bi pomenili povečano povpraševanje po AlN keramiki in s tem pocenitev.

Običajni debeloplastni materiali so, kot pravkar omenjeno, prirejeni za žganje na oksidni keramiki. Če jih žgemo na AlN, stekla v materialih reagirajo z AlN, kar pokvari karakteristike žganih plasti. Predvsem se tvorijo mehurčki, ki nastanejo med reakcijo, predvsem med PbO iz stekla in AlN, pri čemer nastane Al₂O₃ in dušik. Kretzschmar (Fraunhofer Gesellschaft, Institut für Keramische Tech-

nologien, Nemčija) je poročal o razvoju uporovnega sistema za AlN substrate (**A Novel Resistor System for AlN**). Razvili so uporovne paste s plastnimi upornostmi od 10 ohm/□ do 10 kohm/□, prevodnik na osnovi Pd/Ag in stekleno zaščito. Za paste so pripravili stekla brez PbO. Ker Bi₂Ru₂O₇ ali Pb₂Ru₂O_{6,5} razpadata v steklih brez PbO in sproščeni Bi₂O₃ ali PbO spremeni karakteristike, so za prevodni fazo v uporih uporabili RuO₂. Upori imajo "uporabne" temperaturne koeficiente upornosti (TCR) okrog 100 x 10⁻⁶/K in drsenje uporovnih vrednosti pod različnimi pogoji staranja okrog 1 % (nezaščiteni upori) oziroma okrog 0,2 % (zaščiteni upori), kar je primerljivo s karakteristikami komercialnih uporov za Al₂O₃ substrate v sedemdesetih oziroma v začetku osemdesetih let.

Ilyefalvi-Vitez (Technical University of Budapest, Madžarska) je študiral uporabo laserja za rezanje AlN substratov, za doravnavanje debeloplastnih uporov na AlN substratih in za "risanje" prevodnih linij na teh substratih (**Laser Direct Writing of AlN Substrates; a new Trend of Conductive Pattern Generation?**). Pri rezanju keramike je potrebno upoštevati dobro toplotno prevodnost materiala, zato so potrebne večje moči kot pri Al₂O₃ substratih. Ker pod vplivom laserskega žarka AlN razpada na kovinski aluminij in dušik, je nevarno, da na robovih izrezanih ploščic ostane plast Al, ki lahko pozroča kratke stike med povezavami. Isti efekt otežuje lasersko doravnavanje debeloplastnih uporov na AlN substratih. Kovinski Al, ki lahko ostane v rezu, do neke mere kratko sklene prerezan del upora, kar povzroči nestabilnost uporovne vrednosti. Pri "risanju" prevodnih linij po površini keramike se s primerno nastavitvijo parametrov laserja Al izloči na površini keramike in tvori tenkoplastno prevodno sled s plastno upornostjo do 200 mohm/□.

Wahlers (Electro Science Labs.) je predstavil dielektrično folijo z nizko temperaturo žganja za izolacijo na jeklenih substratih in kompatibilne debeloplastne materiale (**Dielectric Tape Bonded Stainless Steel Substrates for High Power Packages, Hybrid Circuitry and Heater Uses**). Osnova tega sistema materialov je dielektrik, ki po žganju tvori gosto in neporozno plast na jeklu. Zaradi goste plasti ne pride med žganjem do baterijskega efekta (nabrekanje in luščenje zgornjih prevodnih plasti). Aplikacije tega sistema so predvsem tam, kjer se zahtevajo robustna vezja ali substrati kompliciranih oblik.

Na področju senzorjev je Karasztes-Nagy (Technical University of Budapest, Madžarska) poročal o uporabi senzorjev na osnovi optičnih vlaken za merjenje fizikalnih, na primer pritiska, in kemijskih veličin (**Fibre-Optic Multisensor for Simultaneous Monitoring of Pressure and Composition of Gases**). Potencki (Rzeszow University of Technology) je v referatu z naslovom **New Looks at Possibilities of Distributed RC Networks Application** predstavil uporabo distribuiranih RC mrež, izdelanih v debeloplastni tehnologiji, za senzorje pritiska ali temperature. Na prevodniku je plast dielektrika, na dielektriku pa debeloplastni upor. Frekvenčni odziv sistema se spreminja s spremembo uporovne vrednosti upora zaradi temperaturnih sprememb ali deformacije. Ferrari (University of Brescia, Italija) je poročal o zanimivi uporabi debeloplastnih piezo električnih materialov za senzorje vlage (**A Thick Film Gravimetric Resonant Sensor for Relative Humidity**). Poenostavljen princip delovanja je sledeč:

na keramičnem substratu je natiskana in žgana piezo električna plast, preko nje pa film polimera, ki absorbira vlago. Odvisno od relativne vlažnosti se spreminja masa polimera in s tem lastna frekvenca elementa.

Achmatowicz (Institute of Electronic Materials Technology, Poljska) je poročal o razvoju "poceni" debeloplastnih uporovnih materialov, ki ne vsebujejo dragih RuO₂ ali rutenatov kot prevodne faze. Njegov prispevek z naslovom **Low Cost Thick Film Resistive Compositions Without Use of Noble Metals** je dobil priznanje kot najboljši poster na konferenci. Prevodna faza v predlaganih uporih so nižje valentni oksidi kovin prehoda, predvsem MoO₂. S primerno izbiro sestave nizko taljivih stekel so dobili upore s temperaturnimi koeficienti upornosti (TCR) pod $200 \times 10^{-6}/K$ in stabilnostjo boljšo kot 1% pri različnih pogojih staranja. Medtem ko je cena teh novih uporovnih sistemov primerljiva z debeloplastnimi polimernimi uporji, je kvaliteta veliko boljša, čeprav še vedno slabša kot pri komercialnih debeloplastnih serijah na osnovi rutenijevih spojin. Področje uporabe je v aplikacijah, kjer so potrebne velike uporovne površine, na primer pri grelcih.

Hutton (BPA Ltd., Anglija) je v referatu z naslovom **Strategy Hierarchy for Maximising a Products Environmental Compatibility** opisal vpliv, ki ga ima in ki ga bo imela iztrošena električna in elektronska oprema na okolje. Te opreme in naprav bo seveda vedno več. Svetovna vrednost proizvodnje elektronske opreme (računalniki, telekomunikacije, potrošna elektronika, vojska, medicinska elektronika, potrošniška elektronika itd.) je bila leta 1993 okrog 750×10^9 \$, leta 1998 bo 1000×10^9 \$ in leta 2003 1550×10^9 \$. Danes se za izdelavo vsakega kilograma elektronske opreme porabi 25 kg izhodnih materialov in pri tem nastane 5 kg odpadkov. V prihodnosti bo treba veliko več pozornosti nameniti takim napravam, ki bodo lažje, energetsko manj "požrešne" in primerne za recikliranje.

Cocker (Du Pont, Anglija) je v referatu z naslovom **Meeting Environmental Challenges and Market Needs of Thick Film Pastes** poročal o novih, ekološko sprejemljivejših, debeloplastnih materialih, ki jih razvijajo pri firmi Du Pont pod nazivom "Green line". Evropska skupnost je namreč kvalificirala nikljev in kadmijev oksid kot kancerogena, zato mora biti material, ki ju vsebuje več kot 0,1%, označen z mrtvaško glavo. Oba oksida se uporabljata v nekaterih prevodnih pastah za izboljšanje adhezije in v uporovnih pastah kot moderatorja temperaturnih koeficientov upornosti. Tudi materiali, ki vsebujejo svinčev oksid, se bodo morali označevati kot "strupeni". Čeprav je svinčev oksid, ki je v sestavi stekel vseh debeloplastnih past, "ujet" v strukturi stekla in zato ni nevaren, se pravilo nanaša na vse debeloplastne materiale. Zanimivo je, da ta pravila niso za izdelke. Tako vezja, izdelanega z debeloplastnimi materiali, ni potrebno označiti kot zdravju škodljivega (mimogrede, tudi kristalno steklo za kozarce vsebuje veliko PbO). Pri firmi Du Pont so ponudili tržišču nekaj prevodnikov, zaščitnih stekel in uporovno serijo, v katerih je vsebnost NiO in CdO pod 0,1% in PbO pod 0,5%, tako da so se pri teh materialih izognili neprijetnim oznakam mrtvaških glav na nalepkah.

Naš referat z naslovom **Thick Film LaFeO₃ Based Cathodes for SOFC; Electrical Characteristics and Interactions with YSZ Solid Electrolyte** je obravnaval sintezo in karakterizacijo perovskitov na osnovi lantanovega ferita, dopiranega z Al₂O₃, ki so zanimivi kot katodni materiali za visoko temperaturne gorivne celice s trdnim elektrolitom.

Prihodnja, 11 evropska konferenca o mikroelektroniki, bo 14. do 16. maja 1997 v Benetkah.

*Marko Hrovat
Institut Jožef Stefan,
Univerza v Ljubljani, Jamova 39,
Ljubljana*

SEMICON/EUROPA 95

Palexpo Ženeva, Švica, 4.-6. april 1995

Semicon/Europa 95 je bila že pred samim začetkom označena kot največja razstava in konferenca za naprave in materiale s področja polprevodnikov ter prikazovalnikov z ravnimi zasloni. Dogodek se je odvijal na velikem razstavnem paviljonu Palexpo, Ženeva, v dneh od 4. do 6. aprila 1995. Prav tako kot prejšnja leta je tudi tega sponzorirala mednarodna organizacija SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International). Program letošnjega, že dvajsetega Semicon/Europa 95, je bil bogat in obsežen, in je med drugim nudil:

- razstavo s preko 600 razstavljalci, ki so razstavljali na več kot 1100 razstavnih mestih iz celega sveta.
- tehnične programe in specialne dogodke.
- sestanke na temo mednarodni standardi.

- razstava in forum na temo: Mikroelektronika in okolje.
- in še mnogo več.

Prvi sklop tehničnih programov je imel naslov: **Trije ključni koraki za izdelavo integriranih vezij prihodnosti.**

Proces kemijsko-mehanskega poliranja rezin je procesna tehnologija, ki bo ključna pri reševanju problemov, povezanih z neenakostjo površinske topografije za izdelavo elementov naslednje generacije.

Litografija, kot eden največjih tehnoloških izzivov, bo imela prav tako ključno vlogo v izdelavi elementov prihodnosti.

Tretji problem, ki se vse pogosteje zastavlja kot vprašanje: Kako čisto je dovolj? Na tem področju so bili v zadnjem obdobju napravljeni očitni napredki.

Konferenca je bila brezplačna in namenjena načrtovalskim, razvojnim in procesnim inženirjem, kot tudi R&D inženirjem in znanstvenikom.

Drugi sklop tehničnih programov je bil namenjen testiranju. Program v obliki seminarja sta sponzorirali publikaciji European Semiconductor in Interfacing Design and Test. Prikazana so bila virtualna testna orodja, računalniško načrtovani (CAD) integrirani avtomatski testni programi, prednosti generiranih in vrednotenih rezultatov, dobljenih z virtualnim testiranjem.

Tretji sklop tehničnih programov se je ukvarjal z zelo pogosto diskusijo med proizvajalci rezin in procesnimi inženirji, kot npr.: delci, meglica, mikrohrapavost. Vodilni eksperti iz tega področja so pokazali osnovne tehnike (svetlobno sipanje, profilne tehnike), ter iz njih razvite merilne tehnike, uporabljene v razvoju in proizvodnji rezin. Prikazan je bil trenutni kot tudi bodoči razvoj na tem področju.

V sklopu tehničnih programov sta potekali še okrogli mizi, prva o zagotavljanju ustrezne kvalitete kemikalij, plinov in ostalih materialov od proizvajalca do naročnika in druga na temo evropske perspektive elektromehanskih sistemov (integrirani senzorji, aktuatorji in strukture elementov), ki vse uporabljajo iste materiale in procese, ki se uporabljajo v izdelavi standardnih mikroelektronskih elementov.

Programi na temo mednarodni standardi so predstavljali enkratno priložnost za industrijske profesionalce s področja izdelave polprevodniških naprav, materialov in proizvajalcev polprevodniških elementov za izmenjavo mnenj glede ključnih industrijskih vprašanj kot so: zmanjšanje razvojnega časa izdelave izdelka, nižja cena proizvodnje, izboljšanje notranje in mednarodne industrijske komunikacije, povečanje trga.

Okolje kot pomembni industrijski parameter je bil letos prvič uvrščen v tehnični program. Čeprav ima mikroelektronska industrija status ene najbolj čistih in varnih industrij, pa z rastjo mikroelektronske industrije trčimo na okolje z vse večjo porabo električne energije, vode in kemikalij. Ta forum je dal udeležencem nek obširen vpogled tako v poslovne kot legalne zahteve, ki bodo v prihodnje potrebne, ko se bomo v Evropi srečali z izdelavo elementov prihodnosti.

Če dodam še osebno noto tega dogodka, lahko rečem, da sama razstava po obsegu ne narašča (razstavljalo je celo manj razstavljalcev kot pred leti), vendar pa se kvaliteta in obseg tehnične konference in ostalih dogodkov, ki spremljajo to prireditve, iz leta v leto boljša. Če si zastavim vprašanje: Kaj obisk takšnega dogodka pomeni nam, ki smo na začetku VLSI razvoja, tu pa se pogovarjajo in razstavljajo naprave ULSI generacije? Na prvi pogled bi rekel nič, to je drugi svet, vendar v mnogo primerih je možno nova znanja in posamezne procese kvalitativno združiti v obstoječe procese VLSI, in s tem doseči boljšo kvaliteto končnih izdelkov, brez bistvene podražitve in povečanja kompleksnosti procesa. Še lažje in boljšo združljivost je možno doseči z uvajanjem novih materialov.

Prav tako je zelo pomembno navezovanje in ohranjanje že vzpostavljenih stikov z ljudmi iz te branže, kar se najpogosteje pokaže kot najlažja pot do reševanja tehnoloških problemov. In nenazadnje, vse več je proizvajalcev opreme, ki so pripravljeni nuditi opremo iz druge roke, kar je za nas najpogostejša, če že ne edina alternativa pri nabavljanju opreme.

*Danilo Vrtačnik
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,
Tržaška 25, Ljubljana*

VESTI

NEWS FROM AMS

New ASI Slave IC for Intelligent Systems

Austria Mikro Systeme International announces the immediate availability of a new ASIC, the AS2701, an intelligent ASI (Actuator Sensor Interface) Slave IC for the networking of systems mainly for automation technology and control engineering.

The signal transmission between the master, which independantly controls the configuration, communications and systems diagnosis, and the slaves in the ASI system

is performed by a parallel two-wire line (ASI line) to which the IC is connected only via a polarity protection diode and a suppressor diode.

The line is powered by a direct current of up to 33.1 V and signal amplitudes of 3-8Vpp. The AS2701 extracts its own power, the power for the device interface and for the external E²PROM from the line and, at the same time, detects the bus signals.

Additionally, the AS2701 has the following key features: The switching of max. 31 ASI slave ICs on one bus is possible; the max. power supply of peripheral units from the ASI slave IC totals 35mA at 24V.

Only few external devices are necessary for the operation of this chip, i.e. 1 quartz, 5 capacitors, 1 E²PROM and 2 diodes.

This new highly integrated AMS product with its novel features is now available! For a free data sheet and further information please contact your local AMS Sales Office or AMS Corporate Communications, Schloß Premstätten, A-8141 Unterpremstätten, Austria.

Addendum:

The "Actuator Sensor Interface", ASI for short, covers the whole range of available field busses on the automation market. For ASI components special emphasis is placed on uncomplicated, fast and safe solutions. On the lowest levels of the automation hierarchy the main task is to establish a connection to field busses, e.g. interbus, profibus, CAN, etc. via special couplers while the Actuator Sensor Interface concentrates only on the binary level.

The idea behind ASI is to provide complete solutions for slaves (sensors and actuators), electromechanics (ASI line, interconnection technology, modules), masters (for SPS, PC and other controls; gateways to higher bus systems) and peripheral devices (addressing devices, monitor, power supply unit, etc.), independent from the manufacturer.

*ASI is a joint development of 11 companies in the field of sensor, actuator and control engineering. These companies have defined and financed the ASI project. **The slave IC has been developed especially for ASI applications and is manufactured and distributed by AMS.** The basic development of various ASI products has already been implemented by some of the members in their product development, therefore, a wide variety of components is available on the market.*

Since most of the binary sensors and actuators currently available can be connected to the ASI, the users need not wait for the real ASI products to appear on the market but can use any standard products in the meantime. This will lead to a fast market penetration in automation technology. The marketing of the very simple and, compared to the wire harness, much more cost effective system makes it especially attractive for controls. The networking down to the lowest, process near binary level via approximation switches, probes, switches, relays, valves, light signals, limiter sensors, etc. is now economical.

In addition, the integration in digital control systems has become considerably easier from a technical point of view: If in a pure binary control system the coupling of the ASI with a control is possible, the working methodology with process images will stay the same for the user and not become more complicated. Field busses can, if necessary, establish networks between the various control systems.

If, however, a field bus has to be used prior to the first control level to deliver more important data of the controls, the binary data can easily be extracted via the ASI sub system. In this case the ASI network does not represent an

additional bus, but, as a result of using couplers, is an integrated part of a particular field bus of which the capacity in the binary range is increased.

AMS Single-Chip Telephone sets a new standard worldwide

Approved in most European and several Non-European Countries and now by the PTT authorities in China!

The AS2531 is the only true CMOS single chip telephone in the world with a line/speech transmission circuit with repertory dialler, melody generator and ringer all on a single chip: a highly integrated circuit that performs all the functions required of a medium range high performance electronic telephone or any telephone related equipment including Computer Integrated Telephony (CIT). The advantage of this unique ASIC (Application Specific Integrated Circuit) is that it drastically reduces the component count of the average telephone set by up to 80%!

The AS2531 also allows an easy adaptation to a wide variety of different international PTT requirements which is evidenced by the approvals of telephones using the device in many countries, e.g. Austria, Germany, Italy, Switzerland, Sweden, Poland, Hungary and India to name but a few. Now telephones incorporating the AS2531 have been approved by the PTT in China. Experts say, currently there is one fixed line for every 100 people in China and the number is even lower in the interior of the country; up to the year 2000 one billion telephones will be needed!* To tackle this need China is implementing major telecommunications investment programmes.

Additional Features of the Single Chip:

The AS2531 incorporates LD/MF repertory dialling functions, melody generation, ring frequency discrimination and an advanced speech circuit. Additionally to the basic functions the speech circuit includes dual soft clipping. The device also incorporates a user-friendly volume control for the earpiece.

During on-hook the repertory number store is maintained with less than 0.1 μ A (no battery is required) - the device has an operating range from 13 mA to 100 mA but can operate down to as low as 5mA to allow parallel operation. The device features a 31 digit last number redial and a 14 number repertory store.

A unique double Wheatstone Bridge makes the adjustment of the return loss (AC impedance) and side tone simple since these two parameters are fully independent of each other.

The AS2531 is now available in 28 pin DIP, PLCC or SOIC packages.

* Source: Global Telecommunications

For further information and a detailed data sheet please contact your local AMS Sales Office or AMS Corporate Communications, Schloss Premstätten, A-8141 Unterpremstätten.

New High Voltage Mixed Signal CMOS Process for up to 50V at AMS

AMS announces the availability of a new mixed signal CMOS process suited for high voltage ASIC solutions for up to 50V. Besides the standard low voltage MOS transistors also high voltage devices are available: N and P MOS transistors, N-junction FETs and DMOS transistors. Together with isolated bipolar and NMOS transistors they can be realized on the same ASIC through the new AMS technology.

Until recently products in CMOS could be implemented only for applications ranging from 5.5 to 10V, depending on the process. The 2 μ single-poly double-metal CMOS process (designated as "CBK" at AMS) was primarily developed for ASICs incorporating complex digital parts with high speed, high density elements operating in a high voltage environment.

Lowest power consumption, fast switching capabilities and applicability to a wide range of automotive and industrial performance requirements are further key benefits of this advanced AMS process, being especially suited to withstand high voltage spikes which typically occur in such environments. Further applications include its use in fast high precision digital circuits and in analogue front-ends for sensors and transducers.

Together with the proven AMS 2 μ digital library the new 2 μ high voltage process represents the ideal solution for high voltage ASICs.

AMS - The 1994 Results

Austria Mikro Systeme International AG (AMS), the first and only European listed semiconductor manufacturer and fully privatized since July 1994, has further strengthened its top position with its innovative products and services in the semiconductor market within the last year. AMS is leading in the European market: *No. 1 in the field of cell based mixed analog/digital ASICs* (application specific integrated circuits).

A milestone was met in the company's sales: For the first time in its history, AMS advanced to become a one billion Austrian Schilling company: Net Sales were increased by 36.3% from ATS 811.8 million 1993 to ATS 1,106.5 million in 1994. Noteworthy is the fact that the accomplishment of this increase in business was realized with only a moderate increase of the employee count of 7% to 631. The development of the results was successfully continued in the past year: The net income grew from ATS 62.9 million in 1993 to ATS 147 million in 1994, the earnings according to the OVFA scheme were more than doubled to ATS 129.9 million when compared with 1993. The high investments of ATS 300.6 million (27% of sales) in 1994

will largely contribute towards the effectivity of the company in regard to the high backlog for the current year.

Earnings per share increased from ATS 25 in 1993 to ATS 52 in 1994 and the cash earnings per share increased by 50% to ATS 98.

AMS
Schloß Premstätten
A-8141 Unterpremstätten, Austria
Tel. +43 3136 500-0
Fax: +43 3136 52 501

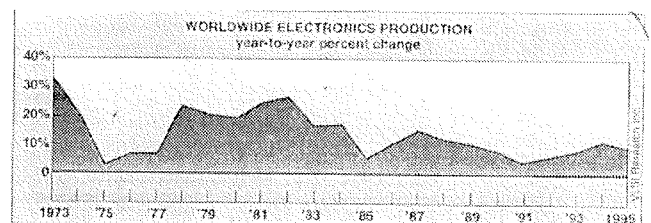
ELECTRONICS, January 1995

U. S. throttles global electronics growth

A sluggish U. S. electronics industry promises to depress significant growth for the global market next year. Richard O'Brien chief economist at Hewlett-Packard Co. in Palo Alto, Calif., blames the U. S. doldrums on a restrictive fiscal policy: "The long recovery in the U. S. will slow down in 1995 when the U.S. Federal Reserve hikes interest to slow inflation."

Meanwhile, the industry in Europe and Japan will show higher growth in 1995 than 1994, pushing worldwide electronics to marginal growth, says O'Brien. Asia, outside of Japan, will continue a slow, steady recovery.

G. Dan Hutcheson, president of VLSI Research Inc. in San Jose, agrees the electronics industry outside the U. S. will grow, but cautions that Europe is highly dependent on the U. S. market. A slowdown in the U. S. will retard European advances.

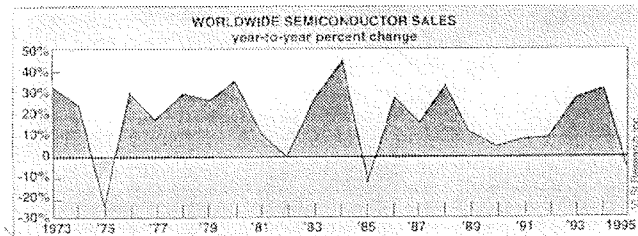


Europe also suffers from continued high employment that holds consumer spending below other regions. Furthermore, European legislation that restricts manufacturers from replacing labor with automation is forcing European companies to invest outside Europe. Siemens AG of Munich, Germany, and SGS-THOMSON Microelectronics NV of Agrate Brianza, Italy, have both built new fabs outside Europe.

Hutcheson says Japan's electronics industry is less dependent on the U. S., but the strong yen is making it harder for Japan to grow its exports globally.

Worldwide semiconductor industry

In 1995, semiconductors will not advance, thanks to a downward swing in the technology cycle and excess production capacity. G. Dan Hutcheson, president of VLSI Research Inc. in San Jose, predicts a 4.2% industry decline this year after 28% growth in 1994 (see chart).



Since 1962, there have been five periods of increasing semiconductor content in electronics equipment, Hutcheson argues (see table). The year in a period when semiconductor content peaked has always been followed by a year of decline. Hutcheson says the latest peak period occurred in 1994, and he forecasts a decline for 1995.

CHIP CONTENT IN ELECTRONICS			
in percentage of content			
	Start	Peak	Fall-Off
1962 to 1967	4.4%	7.8%	6.8%
1971 to 1975	6.7%	8.0%	6.2%
1978 to 1982	8.8%	10.5%	7.3%
1982 to 1985	7.3%	9.8%	7.3%
1992 to 1995*	11.1%	15.9%	14.7%
* Forecast			

VLSI Research Inc.

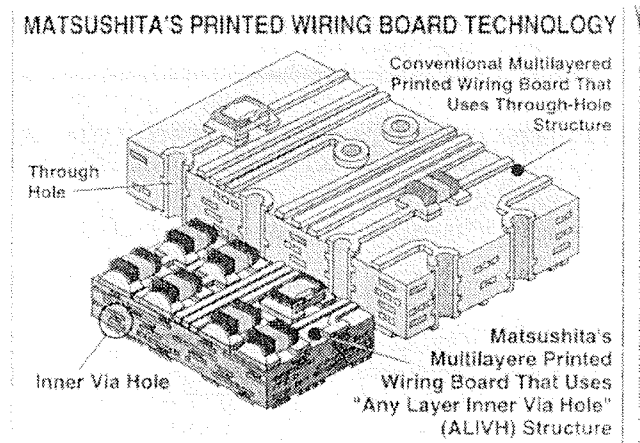
Hutcheson cites semiconductor production overcapacity for DRAMs as a factor contributing to a sluggish 1995. There has been US \$ 80 billion spent in capacity, with \$ 531 billion marked for DRAM production. Starting 1994, the DRAM market demanded 210 million square inches of silicon. The industry had a production capacity of only 164 million square inches. However, by the end of 1994, there was 250 million square inches of silicon production capacity coming online, enough to fill DRAM demand through 1998, says Hutcheson.

Despite this dire prediction, individual semiconductor companies continue to see capacity shortfalls. George Alexy, vice president of marketing at Cirrus Logic Inc. in Fremont, Calif., said Cirrus could use more production capacity. The need comes even as Cirrus acquired 50% of a new fab from IBM Microelectronics Division in Hopewell Junction, N. Y.

Board technology increases packaging density

Matsushita Electric Industrial Co. Ltd and Matsushita Electronic Components Co. Ltd, both of Osaka, have developed a radically new type of printed wiring board that offers benefits in the areas of product miniaturization and high speed signal processing.

The new structure was designed to overcome two disadvantages of conventional through-hole, multilayer boards. First, because components cannot be mounted directly on through-holes, real estate is not efficiently used. Second, through-holes prevent optimization of wiring design and increase wire length, which has a detrimental effect on signal propagation characteristics.



Matsushita's design combines nonwoven aramid laminates, a via-hole processing technology that uses a carbon dioxide gas laser, and interconnection technology that uses conductive paste. Company officials said this results in thinner, lighter boards that are more suitable for high-speed circuits. Density can be increased up to 50%.

Matsushita calls the new board technology "any layer inner via hole" (ALIVH). Through holes and their disadvantages are eliminated because connections can be made internally between any two layers of the board. Samples will be available in the second half of this year.

Samsung rolls out 64M DRAMS

Samsung Electronics Co. in Seoul said it began producing 64-Mbit DRAMs late last year, and, prior to the new year, began delivering 200,000 chips to computer makers such as IBM Corp. of Armonk, N. Y., and Hewlett-Packard Co. (HP) in Palo Alto, Calif.

Samsung said it aims to obtain a 19% share of the world market for 64-Mbit DRAMs in 1995.

Furthermore Samsung delivered fully functional samples of 256-Mbit DRAM chips to HP last month. The delivery was intended to squelch doubts at home and abroad over development of the chip, Samsung said.

Chipcards to capture more U. S. activity

By 1999, 30% of chipcards sold worldwide will be sold in the U.S., says Ulrich Hamann, senior marketing manager of chipcards in the semiconductor group of Munich-based Siemens AG. "We think credit cards will be the major factor for the tremendous growth rates in the U.S."

In 1995, 70% of chipcard applications will be in Europe, dropping to 40% in 1999. "The U.S. market will grow faster than the total Asian market," said Hamann.

Asia/Pacific is projected to account for 17% of chipcard sales in 1999 and Japan 8%.

A driving factor in all chipcard applications is security. In order to prevent any kind of misuse, all major manufacturers of chipcards-SGS-Thomson Microelectronics of Agrate Brianza, Italy; Motorola Corp. of Schaumburg, Ill.; and Siemens-are looking for new hardware security mechanisms. Siemens has developed a new chipcard microcontroller whose read-only memory is not programmed via the aluminum metal layer but via buried layers. "The basic trend in this business is toward more and more security at lower prices," Hamann adds.

Deutsche Telekom AG of Bonn, Germany, is introducing third-generation intelligent memory chipcards for public telephones. The cards are based on a new safety standard with feedback shift registers. They can be used in Germany, the UK, the Netherlands and Switzerland.

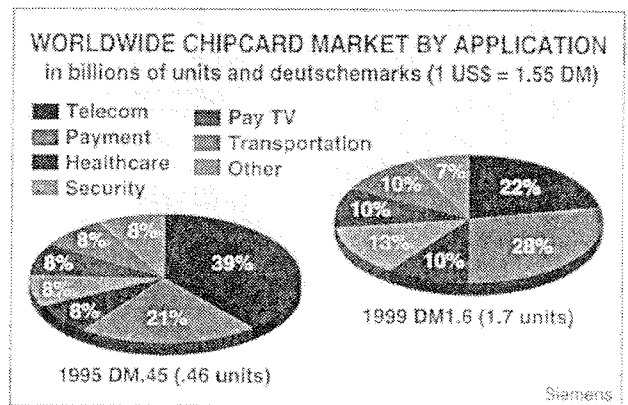
Hamann said chipcard prices will drop 15% per year. "We will nearly compensate the price decline by implementing additional features," he added.

Telecom, payment applications lead chipcard use

The telecom market now accounts for the most chipcard applications, but electronic payments will take the top spot by 1999 when the total market hits DM 1.6 billion (US\$1.03 billion). Siemens AG of Munich has already delivered more than 200 million chips for phonecards. Siemens and SGS-Thomson Microelectronics NV of Agrate Brianza, Italy, are manufacturing over 90% of all intelligent memory (including phonecard) chips.

Some 72 million Germans have received health insurance chipcards, also an intelligent memory card, and more than 15 million cards will be needed annually as replacements. Siemens has a 75% share of this market.

However, there is concern in Germany over a "patient card" that will contain medical data in addition to personal data such as insurance numbers and addresses. The card would allow doctors to electronically write prescriptions, which would be read from the chipcard. Because of concerns over misuse of personal data and subsequent security restrictions, the projected 1999 share for health cards (10%) might be lower.



In transportation applications, public system field trials with contactless chip cards are underway in Washington, London and Hong Kong. This month, Deutsche Lufthansa AG of Cologne, Germany, will trial its Ikarus Card. This contactless chipcard is being issued to 1,000 frequent flyers for use between Frankfurt and Berlin for reservations via fax/phone, automated check-in, and boarding.

In the electronic purse market, Visa International of San Francisco and Mastercard/Eurocard will begin placing chips in credit cards this year. Also, the Berlin Card will be tested this year in that German city for payment of public transportation, parking lots, cinemas, supermarkets, restaurants, etc.

"I think there will never be a universal chipcard," said Ulrich Hamann of Siemens. "There will be many different chipcards for different market segments."

CHIPCARDS SPECS

Chipcards are differentiated into four categories based on their degree of functionality.

Intelligent memory cards contain security and access control logic and an EEPROM of up to 8 kbytes. Microcontroller cards essentially contain an entire computer system, including CPU, RAM, ROM, EEPROM, security logic and input/output. Cryptocards are microcontroller cards that have an additional math coprocessor for cryptographic applications, such as high-security environments. Lastly, contactless chipcards are primarily used for general access control, such as public transportation and toll highways.

In order to prevent a chip from breaking, the maximum die size in a chipcard has been set at 25 square millimeters. Access and transaction times are intended to remain within a 100 microsecond time frame and should not exceed 300 ms.

Caring for the environment paying off

Only one year ago, manufacturers of electronic products who pointed out their new environment-conscious production were considered to be "green maniacs." Now the situation has changed. Environmental-friendly production and selection of materials and components is starting to save money. Therefore, Europe's strong waste-management laws, once considered unacceptable by many companies, are now seen as a chance for cheaper production.

The new semiconductor fab of Munich-based Siemens AG that is being built in Dresden, Germany, will implement several new mechanisms of environmental care: It will reduce material and energy consumption; set up new recycling and waste treatment techniques; and establish more efficient measurement, control and process-management techniques.

SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) in Mountain View, Calif., will present a special microelectronics and environment exhibit at SEMI-con/Europe 95 in Geneva in April.

"Europe has the greatest potential in semiconductor manufacturing in terms of environmental care," said Walter O. Roessger, director of technology and industry relations at SEMI Europe. "There is huge potential for saving energy, chemicals and so on, and it pays off."

For example, used solvents, not pure enough for the semiconductor industry, are sold to the paint industry. "Currently, the chip industry, is relatively small compared to other industries. However, in the next century it will be relatively big and then its waste and chemical amounts will become critical factors if we do not care for it now," said Roessger.

To find a more environmental-friendly solution for tasks in which plasma-etching is used, a new method, CMP (chemical mechanical planarization), has been developed. The solution is also cheaper than current methods. SEMI thinks CMP will be a major process method for semiconductor manufacturing in the future.

ENVIRONMENTAL-FRIENDLY GUIDELINES

In Germany, the Blue Angel symbol denotes products constructed using environmental-friendly methods. To receive the symbol, a product has to fulfill the below listed guidelines as well as Environmental Protection Agency Energy Star requirements:

- reuse of subsystems and materials (often resulting in modular concepts);
- reduced types of materials used in a system;
- avoidance of materials that cause waste dumping problems;
- avoidance of mixed materials, such as plastics with flame restrainers;
- preferred use of recycled and recyclable materials;
- materials marked with a code number for easy recycling;
- subunits marked that contain harmful substances.

The first Blue Angel for PCs was credited to units manufactured by Siemens Nixdorf Informationssysteme AG of Paderborn, Germany. For example, the monitor casing uses a material containing 25% recycled plastics from old monitors.

IZOBRAŽEVALNI TEČAJI v jeseni 1995

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da sta za jesen 1995 predvidena naslednja strokovno izobraževalna tečaja v organizaciji **Društva za vakuumsko tehniko Slovenije**:

VZDRŽEVANJE VAKUUMSKIH NAPRAV 28.-29.november 1995

Obravnavana bo predvsem tematika, ki jo srečujemo v tehniki grobega vakuuma. To je: delovanje, vzdrževanje in popravila rotacijskih črpalk, pregled in uporaba različnih črpalk, ventilov in drugih elementov, meritve vakuuma, hermetičnost in odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih, materiali za popravila, tehnike

čiščenja in spajanja, skupno 16 ur, od tega tretjina praktičnih prikazov in vaj.

Cena tečaja je 30.000 SIT. Vsak tečajnik bo prejel tudi brošuro "Vzdrževanje vakuumskih naprav" in potrdilo o opravljenem tečaju.

OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE 9.-12. oktober 1995

Pri tem tečaju je večji poudarek na teoretičnem razumevanju snovi. Obravnavana so vsa že prej omenjena področja in poleg tega še: pomen in razvoj vakuumske tehnike, fizikalne osnove, črpalke za visoki vakuum, tankoplastne in druge vakuumske tehnologije, čisti po-

stopki, analize površin ter doziranje, čiščenje in preiskave plinov - skupno 20 ur z vajami in ogledom inštituta. Cena tečaja je 26.000 SIT. Udeleženci prejmejo zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike" in potrdilo o opravljenem tečaju.

Oba tečaja se pričneta ob 8.00 uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana.

Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo udeležbe pa velja kopija položnice o plačilu - najkasneje tri dni pred pričetkom tečaja na naslov: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana (štev. žiro računa: 50101-678-52240). Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Spruk, Mozetič, Nemanič), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 263-461).

Tečaj "Osnove vakuumske tehnike za srednješolske predavatelje" bo tudi še 9.-11. novembra in je razpisan v informativnih glasilih za šolstvo.

KOLENDAR PRIREDITEV 1995

SEPTEMBER

13.09.-15.09.1995
Sth INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEM SYNTHESIS
CANNES, COTE D'AZUR, FRANCE
Info.: +33 76 57 47 59

19.09. - 21.09.1995
AUTO TEST COM.
ATLANTA,USA
Info.: +1 370 287 1463

27.09. - 29.09.1995
23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON
MICROELECTRONICS,MIEL ž95
31st SYMPOSIUM ON DEVICES AND MATERIALS,
SD ž95 TERME ČATEŽ, Slovenija
Info.: +386 61 312 898

27.09. - 28.09.1995
INSTRUMENTATION Exhibition
Warrington, ENGLAND
Info.: +44 822 674 671

OCTOBER

03.10. - 05.10.1995
EURO-EMC Conference
Sandown, ENGLAND
Info.: +44 892 544027

10.10. - 11.10.1995
TEST Conference
Telford,ENGLAND
Info.:+44 171 417 7400

21.10. - 25.10.1995
INTERNATIONAL TEST CONFERENCE
Washington DC,USA
Info.: +00 1 814 941 4666

NOVEMBER

07.11.- 10.11.1995
PRODUCTRONICA 95
Munche n,GERMANY
Info.: +00 49 89 510 7229

15.11.-16.11.1995
INSTRUMENTATION
Trident Exhibition
Sandown,ENGLAND
Info.: +00 44 822 614671

23.11.-24.11.1995
4Th ASIAN TEST SYMPOSIUM
Bangalore,INDIA
Info.: +00 1 908 582 5857

FIRST ANNOUNCEMENT AND CALL FOR PAPERS
2nd EUROPEAN WORKSHOP ON LOW TEMPERATURE
ELECTRONICS

WOLTE 2
LEUVEN, BELGIUM, JUNE 26 - 28, 1996

The objective of the Workshop is to provide an international forum for discussing recent research and development achievements in the area of low temperature electronics and high temperature superconductivity. The first Workshop was held in Grenoble in 1994. This workshop is organised in the even years, complementing the bi-annual Symposium in this field organised by the Electrochemical Society. The meeting has technical co-sponsorship from the IEEE Electron Devices Society and is organised by the Benelux and French Chapters.

Claeys, IMEC, Kapeldreef 75, B-3001 Leuven, Belgium, Fax: 32 16 281214, Tel: 32 16 281328, e-mail: claeys@imec.be

Paper acceptance will be notified by January 26, 1996. For the accepted papers, more details will be forwarded on the preparation, of the full length manuscripts, which will be published in a Proceedings Volume, and which must be received by **March 15, 1996**.

The topics of interest for the workshop are, but not restricted to:

Workshop Organiser:

C. Claeys (IMEC, Leuven, Belgium)

- * Device physics and fundamental aspects
- * New materials and novel technologies
- * Fabrication technologies
- * Characterisation and modelling
- * Device and circuit design
- * Bolometer, sensors and detectors
- * Packaging and interconnects
- * Applications

Technical Programme Committee:

- E. Simoen, Chairman (IMEC, Leuven, Belgium)
- F. Balestra, Past Organiser (LPCS, Grenoble, France)
- Y. Bruynseraede (K.U. Leuven, Leuven, Belgium)
- G. Ghibaudo, Past Organiser (LPCS, Grenoble, France)
- R. Adde (IEF, Orsay, France)
- D. Camin (University of Milano, Italy)
- H.E. Hoenig (IPHT, Jena, Germany)
- V.S. Lysenko (Inst. Sem. Phys., Kiev, Ukraine)

The deadline for submitting a 2-page abstract is **December 15th, 1995**. 3 copies of the abstract should be sent to Prof. C.

Technical Programme Advisers:

- R. Kirschman (Mountain View, Ca, USA)
- J.D. Cressler (Auburn University, Al, USA)

2nd EUROPEAN WORKSHOP ON LOW TEMPERATURE
ELECTRONICS

WOLTE 2
LEUVEN, BELGIUM, JUNE 26 - 28, 1996

If you intend to participate to the Workshop, send this coupon to the above mentioned address in order to be in the mailing list and to receive further information on the registration and the final programme.

Surname: First Name:

Company/Institution:

Mailing address:

Fax: Tel:

E-mail:

I intend to submit a paper No Yes Title

.....

NAVODILA AVTORJEM

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

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

Članki bodo recenzirani.

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

Strokovni prispevki morajo biti 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 (Key words) in podaljšani povzetek (Extended Abstract) v angleščini.
- 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. V članku je potrebno uporabljati SI sistem enot oz. v oklepaju navesti alternativne enote.

2. 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.

3. 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 dveh izvodih.

Avtorji, ki pripravljajo besedilo v urejevalnikih besedil, lahko pošljejo zapis datoteke na disketi (1.2 ali 1.44) v formatih ASCII, wordstar (3.4, 4.0), wordperfect, word, ker bo besedilo oblikovano v programu Ventura 2.0. Grafične datoteke so lahko v formatu HPL, SLD (AutoCAD), PCX ali IMG/GEM.

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

Rokopise pošljite na naslov

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehniška zveza Slovenije
Dunajska 10, 61000 Ljubljana

UPUTE AUTORIMA

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

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 MIDE M i njegovih članova i druge relevantne obavijesti.

Stručni članci moraju biti pripremljeni kako slijedi

- 1. Naslov članka, imena i prezimena autora bez titula.
- 2. Ključne riječi i sažetak (najviše 250 riječi).
- 3. Naslov članka na engleskom jeziku.
- 4. Ključne riječi na engleskom jeziku (3Key Words) i produženi sažetak (Extended Abstract) na engleskom jeziku.
- 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. U prilogu treba upotrebljavati SI sistem jedinica od. u zagradi navesti alternativne jedinice.

2. 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.

3. 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 (1.2 ili 1.44) u formatima tekst procesora ASCII, wordstar (3.4. i 4.0), word, wordperfect pošto će biti tekst dalje obraden 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 dva primjerka.

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

Rukopise šaljite na adresu:

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehnička zveza Slovenije
Dunajska 10, 61000 Ljubljana
Slovenija

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

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

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

All manuscripts are subject to reviews.

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

Each contribution should include the following specific components:

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

General information

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

2. 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.

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

Authors may send their files on formatted diskettes (1.2 or 1.44) 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), PCX or IMG/GEM formats.

Papers will not be accepted unless two copies are received.

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

Contributions are to be sent to the address:

Uredništvo Informacije MIDE M
Elektrotehniška zveza Slovenije
Dunajska 10, 61000 Ljubljana,
Slovenia

TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
2.3.2.6	<ul style="list-style-type: none"> • Kapacitivnost kučista • Kapacitivnost kučista • Капацитивност на ку̀щиперо • Kapacitivnost okrova 	147-0/ID-2.6 Case capacitance Capacité du boîtier	Preostala kapacitivnost med priključkoma, ko NP-spoj ni zvezan z zunanjimi priključki.
2.3.2.7	<ul style="list-style-type: none"> • Serijska induktivnost • Serijska induktivnost • Сериска индуктивност • Zaporedna induktivnost 	147-0/ID-2.7 <ul style="list-style-type: none"> • Series inductance • Inductance série 	Skupna efektivna notranja zaporedna induktivnost pri označenih pogojih.
2.3.2.8	<ul style="list-style-type: none"> • Odnos struje vrha i struje dola • О мјер вршне i долне струје • Однос на струјата на врвот и струјата на долот • Razmerje med temenskim in dolinskim tokom 	147-0/ID-2.8 <ul style="list-style-type: none"> • Peak to valley point current ratio • Rapport de dénivelation du courant 	Razmerje med tokom v temenski točki in tokom v dolinski točki.
2.3.2.9	<ul style="list-style-type: none"> • Granična frekvenca • Granična frekvenca • Гранична фреквенција • Mejna frekvenca 	147-0/ID-2.9 <ul style="list-style-type: none"> • Resistive cut-off frequency • Fréquence résistive de coupure 	Frekvenca, pri kateri je realni del admittance tunelske diode na njenih priključkih pri določeni prednapetosti enak nič. Opomba: To frekvenco določa obrazec: $f_{ro} = \frac{g_j}{2\pi C_j} \cdot \sqrt{\frac{1}{g_j \cdot r_s} - 1}$ (glej sl. 2)

- 3 Sezname v jezikih jugoslovanskih narodov
 3.1 Abecedni seznam izrazov v srbskohrvatskem jeziku

A

Anoda (poluprovodničke ispravljačke diode ili ispravljačkog bloka) 2.2.14
 Anodni priključak (poluprovodničke ispravljačke diode ili ispravljačkog bloka) 2.2.1.4
 Aproksimacija direktne karakteristike pravom 2.2.2.14

D

Detekcija, efikasnost (po snazi) 2.1.6
 Detekcija, koeficijent (naponski) 2.1.5
 Diferencijalna otpornost 2.1.8
 Dinamička (diferencijalna) otpornost 2.1.8
 Direktna karakteristika, aproksimacija pravom 2.2.2.14
 Direktna karakteristika, otpornost definisana nagibom 2.2.2.22
 Direktna (propusna) struja 2.2.2.6
 Direktna (propusna) struja, periodična vršna 2.2.2.8
 Direktna (propusna) struja preopterećenja 2.2.2.16
 Direktna (propusna) struja, srednja 2.1.4
 Direktna (propusna) struja, udarna 2.2.2.17
 Direktna (propusna) struja, udarna neperiodična 2.2.2.9
 Direktni (propusni) napon 2.2.2.1
 Direktni (propusni) smer 2.2.1.1
 Direktni smer 2.3.1.1
 Disipacija (ispravljačkih dioda s lavinskim i prinuđenim lavinskim probojem), udarna inverzna 2.2.2.12
 Disipacija u direktnom smeru (ispravljačkih dioda s lavinskim i prinuđenim lavinskim probojem) 2.2.2.13
 Dol, napon 2.3.2.4
 Dol, struja 2.3.2.2
 Dol, tačka 2.3.1.4

E

Efikasnost detekcije (po snazi) 2.1.6

F

Frekvencija, granična 2.3.2.9

G

Grana ispravljačkog bloka (sloga) 2.2.1.3
 Granična frekvencija 2.3.2.9
 Gubici, propusni 2.2.2.20
 Gubici snage u direktnom smeru 2.2.2.20
 Gubici snage u direktnom smeru, srednji 2.2.2.21
 Gubici snage, ukupni 2.2.2.11
 Gubici, srednji propusni 2.2.2.21

I

Induktivnost, serijska 2.3.2.7
 Inverzna disipacija (ispravljačkih dioda s lavinskim i prinuđenim lavinskim probojem), udarna 2.2.2.12
 Inverzna (nepropusna) struja 2.2.2.10
 Inverzna struja stacionarna 2.2.2.19
 Inverzni napon, konstantni (jednosmerni) 2.1.1
 Inverzni napon, srednji 2.1.2
 Inverzni napon, vršni 2.1.3
 Inverzni (nepropusni) napon, konstantni (jednosmerni) 2.2.2.5
 Inverzni (nepropusni) napon, neperiodični vršni 2.2.2.4
 Inverzni (nepropusni) napon, periodični vršni 2.2.2.3
 Inverzni (nepropusni) napon, vršni radni 2.2.2.2
 Inverzni (nepropusni) smer 2.2.1.2
 Inverzni smer 2.3.1.2
 Ispravljačke diode 2.2
 Ispravljački blok (slog), grana 2.2.1.3

K

Kapacitivnost kućišta 2.3.2.6
 Kapacitivnost pri malom signalu 2.1.11
 Katoda (poluprovodničke ispravljačke diode ili ispravljačkog bloka) 2.2.1.5
 Katodni priključak (poluprovodničke ispravljačke diode ili ispravljačkog bloka) 2.2.1.5
 Konstantni (jednosmerni) inverzni napon 2.1.1
 Konstantni (jednosmerni) inverzni (nepropusni) napon 2.2.2.5
 Koeficijent detekcije (naponski) 2.1.5
 Kućište, kapacitivnost 2.3.2.6

<p>N</p> <p>Naelektrisanje oporavka 2.1.7, 2.2.2.25</p> <p>Napon, direktni (propusni) 2.2.2.1</p> <p>Napon dola 2.3.2.4</p> <p>Napon, konstantni (jednosmerni) inverzni 2.1.1</p> <p>Napon, konstantni (jednosmerni) inverzni (nepropusni) 2.2.2.5</p> <p>Napon, neperiodični vršni inverzni (nepropusni) 2.2.2.4</p> <p>Napon ograničenja (selenskog odvodnika prenapona) 2.2.2.27</p> <p>Napon, periodični vršni inverzni (nepropusni) 2.2.2.3</p> <p>Napon praga 2.2.2.15</p> <p>Napon projektovane tačke vrha 2.3.2.5</p> <p>Napon (selenskog odvodnika prenapona), radni 2.2.2.26</p> <p>Napon, srednji inverzni 2.1.2</p> <p>Napon vrha 2.3.2.3</p> <p>Napon, vršni inverzni 2.1.3</p> <p>Napon, vršni radni inverzni (nepropusni) 2.2.2.2</p> <p>Negativna dinamička provodnost, područje 2.3.1.6</p> <p>Neperiodična direktna (propusna) struja, udarna 2.2.2.9</p> <p>Neperiodični vršni inverzni (nepropusni) napon 2.2.2.4</p> <p>Nepropusna struja 2.2.2.10</p> <p>Nepropusni napon, konstantni (jednosmerni) inverzni 2.2.2.5</p> <p>Nepropusni napon, neperiodični vršni 2.2.2.4</p> <p>Nepropusni napon, periodični vršni 2.2.2.3</p> <p>Nepropusni napon, vršni radni 2.2.2.2</p> <p>Nepropusni smer 2.2.1:2</p> <p>o</p> <p>Odnos struje vrha i struje dola 2.3.2.8</p> <p>Odvodna struja (selenskog provodnika prenapona) 2.2.2.28</p> <p>Otpornost definisanja nagibom direktne karakteristike 2.2.2.22</p> <p>Otpornost, dinamička (diferencijalna) 2.1.8</p> <p>Otpornost u direktnom smeru, statička 2.1.9</p> <p>Otpornost u inverznom smeru, statička 2.1.10</p>	<p>P</p> <p>Periodična vršna direktna (propusna) struja 2.2.2.8</p> <p>Periodični vršni inverzni (nepropusni) napon 2.2.2.3</p> <p>Područje negativne dinamičke provodnosti 2.3.1.6</p> <p>Priključak (poluprovodničke ispravljачke diode ili ispravljачkog bloka) anodni 2.2.1.4</p> <p>Priključak (poluprovodničke ispravljачke diode ili ispravljачkog bloka) katodni 2.2.1.5</p> <p>Projektovana tačka vrha 2.3.1.5</p> <p>Projektovana tačka vrha, napon 2.3.2.5</p> <p>Propusna disipacija (ispravljачkih dioda s lavinskim i prinuđenim lavinskim probojem) 2.2.2.13</p> <p>Propusna struja 2.2.2.6</p> <p>Propusna struja, periodična vršna 2.2.2.8</p> <p>Propusna struja preopterećenja 2.2.2.16</p> <p>Propusna struja srednja 2.1.4, 2.2.2.7</p> <p>Propusna struja, udarna 2.2.2.17</p> <p>Propusna struja, udarna neperiodična 2.2.2.9</p> <p>Propusni gubici 2.2.2.20</p> <p>Propusni gubici, srednji 2.2.2.21</p> <p>Propusni napon 2.2.2.1</p> <p>Propusni smer 2.2.1.1</p> <p>R</p> <p>Radni inverzni (nepropusni) napon, vršni 2.2.2.2</p> <p>Radni napon (selenskog odvodnika prenapona) 2.2.2.26</p> <p>S</p> <p>Serijska induktivnost 2.3.2.7</p> <p>Smer, direktni 2.3.1.1</p> <p>Smer, direktni (propusni) 2.2.1.1</p> <p>Smer, inverzni 2.3.1.2</p> <p>Smer, inverzni (nepropusni) 2.2.1.2</p> <p>Snaga u direktnom smeru, gubici 2.2.2.20</p> <p>Snaga u direktnom smeru, srednji gubici 2.2.2.21</p> <p>Snaga, ukupni gubici 2.2.2.11</p> <p>Srednja direktna (propusna) struja 2.1.4, 2.2.2.7</p> <p>Srednji gubici snage u direktnom smeru 2.2.2.21</p> <p>Srednji inverzni napon 2.1.2</p> <p>Srednji propusni gubici 2.2.2.21</p>
--	--

- Srednji inverzni napon 2.1.2
 Srednji propusni gubici 2.2.2.21
 Stacionarna inverzna struja 2.2.2.19
 Statička otpornost u direktnom smeru 2.1.9
 Statička otpornost u inverznom smeru 2.1.10
 Struja, direktna (propusna) 2.2.2.6
 Struja dola 2.3.2.2
 Struja, inverzna (nepropusna) 2.2.2.10
 Struja oporavka 2.2.2.18
 Struja, periodična vršna direktna (propusna) 2.2.2.8
 Struja preopterećenja direktna (propusna) 2.2.2.16
 Struja (selenskog odvodnika prenapona), odvodna 2.2.2.28
 Struja, srednja direktna (propusna) 2.1.4, 2.2.2.7
 Struja, stacionarna inverzna 2.2.2.19
 Struja, udarna direktna (propusna) 2.2.2.17
 Struja, udarna neperiodična direktna (propusna) 2.2.2.9
 Struja vrha 2.3.2.1
- T
- Tačka dola 2.3.1.4
 Tačka vrha 2.3.1.3
 Tačka vrha, projektovana 2.3.1.5
- U
- Udarna direktna (propusna) struja 2.2.2.17
 Udarna inverzna disipacija (ispravljačkih dioda s lavinskim i prinudnim lavinskim probojem) 2.2.2.12
 Udarna neperiodična direktna (propusna) struja 2.2.2.9
 Ukupni gubici snage 2.2.2.11
- V
- Vreme oporavka 2.1.1.3, 2.2.2.23
 Vreme uključenja 2.1.12, 2.2.2.24
 Vrh, napon 2.3.2.3
 Vrh, napon projektovane tačke 2.3.2.5
 Vrh, projektovana tačka 2.3.1.5
 Vrh, struja 2.3.2.1
 Vrh, tačka 2.3.1.3
 Vršna direktna (propusna) struja, periodična 2.2.2.8
 Vršni inverzni napon 2.1.3
 Vršni inverzni (nepropusni) napon, neperiodični 2.2.2.4
 Vršni inverzni (nepropusni) napon, periodični 2.2.2.3
 Vršni radni inverzni (nepropusni) napon 2.2.2.2
- A
- Anodni priključak, anoda 2.2.1.4
 Aproksimacija propusne karakteristike pravcem 2.2.2.14
- D
- Dinamički otpor 2.1.8
 Direktni smjer 2.3.1.1
 Dolna točka 2.3.1.4
 Dolni napon 2.3.2.4
 Dolna struja 2.3.2.2
- E
- Efikasnost detekcije (po snazi) 2.1.6
- G
- Grana ispravljačkog sloga 2.2.1.3
 Granična frekvencija 2.3.2.9
- I
- Inverzni smjer 2.3.1.2
 Ispravljačke diode 2.2
- K
- Kapacitivnost kucišta 2.3.2.6
 Katodni priključak 2.2.1.5
 Koeficijent detekcije (naponski) 2.1.5
 Konstantni (istosmjerni) zaporni (inverzni) napon 2.2.2.5
 Konstantni (stalni) istosmjerni zaporni napon 2.2.1

N	Srednja propusna (direktna) struja 2.2.2.7
Naboj oporavka 2.1; 2.2.2.25	Srednja propusna struja 2.1.4
Nadomjesni propusni otpor 2.2.2.22	Srednji propusni gubici 2.2.2.21
Napon praga 2.2.2.15	Srednji zaporni napon 2.1.2
Napon projicirane vršne točke 2.3.2.5	Stacionarna zaporna struja 2.2.2.19
Neperiodički vršni zaporni (inverzni) napon 2.2.2.4	Statički otpor u propusnom smjeru 2.1.9
	Statički otpor u zapornom smjeru 2.1.10
	Struja oporavka 2.2.2.18
O	T
Odvodna struja 2.2.2.28	Tunelske diode 2.3
Omjer vršne i dolne struje 2.3.2.8	
P	U
Periodička vršna propusna (direktna) struja 2.2.2.8	Udarna neperiodička propusna (direktna) struja 2.2.2.9
Periodički vršni zaporni (inverzni) napon 2.2.2.3	Udarna propusna (direktna) struja 2.2.2.17
Područje negativne dinamičke vodljivosti 2.3.1.6	Udarni zaporni gubici 2.2.2.12
Projicirana točka vrha 2.3.1.5	Ukupni gubici 2.2.2.11
Propusna (direktna) struja 2.2.2.6	
Propusna direktna struja preopterećenja 2.2.2.16	V
Propusni direktni napon 2.2.2.1	Vrijeme oporavka 2.1.13; 2.2.2.23
Propusni direktni smjer 2.2.1.1	Vrijeme uključenja 2.1.12; 2.2.2.24
Propusni gubici 2.2.2.13	Vršna struja 2.3.2.1
Propusni gubici ispravljačkih dioda s lavinskim i prisilnim lavinskim probojem 2.2.2.20	Vršna točka 2.3.1.3
Proradni napon 2.2.2.27	Vršni napon 2.3.2.3
R	Vršni radni zaporni (inverzni) napon 2.2.2.2
Radni napon 2.2.2.26	Vršni zaporni napon 2.1.3
S	Z
Serijska induktivnost 2.3.2.7	Zaporna (inverzna) struja 2.2.2.10
Signalne diode male snage 2.1	Zaporni (inverzni) smjer 2.2.1.2
Azbučni seznam, v makedonskem jeziku	
A	B
Аноден приклучок (на полупроводничка насочувачка диода или на изсочувачки блок) 2.2.1.4	Врвен инверзен нapon 2.1.3
Апроксимација на директната карактеристика, лавинарна 2.2.2.14	Врвен инверзен napon, неперидичен 2.2.2.4
	Врвен инверзен napon, перидичен 2.2.2.3
	Врвен работен инверзен napon 2.2.2.2
	Врвна директна струја, перидична 2.2.2.8


ELEKTRONIKA

V E L E N J E

PROIZVAJA ZA ZNANE
BLAGOVNE ZNAMKE

Quelle
universum.

 **körting**


CURTIS ELECTRONICS


FENNER®


YOKO


SEG®

gorenje

Lenco®

ANKARO

NEI

EUROPA

OMEGA

ELEKTRONIKA d.o.o.
63320 Velenje, Partizanska 12, Slovenija
Tel: +386 63/853-231, Fax: +386 63/851-948