

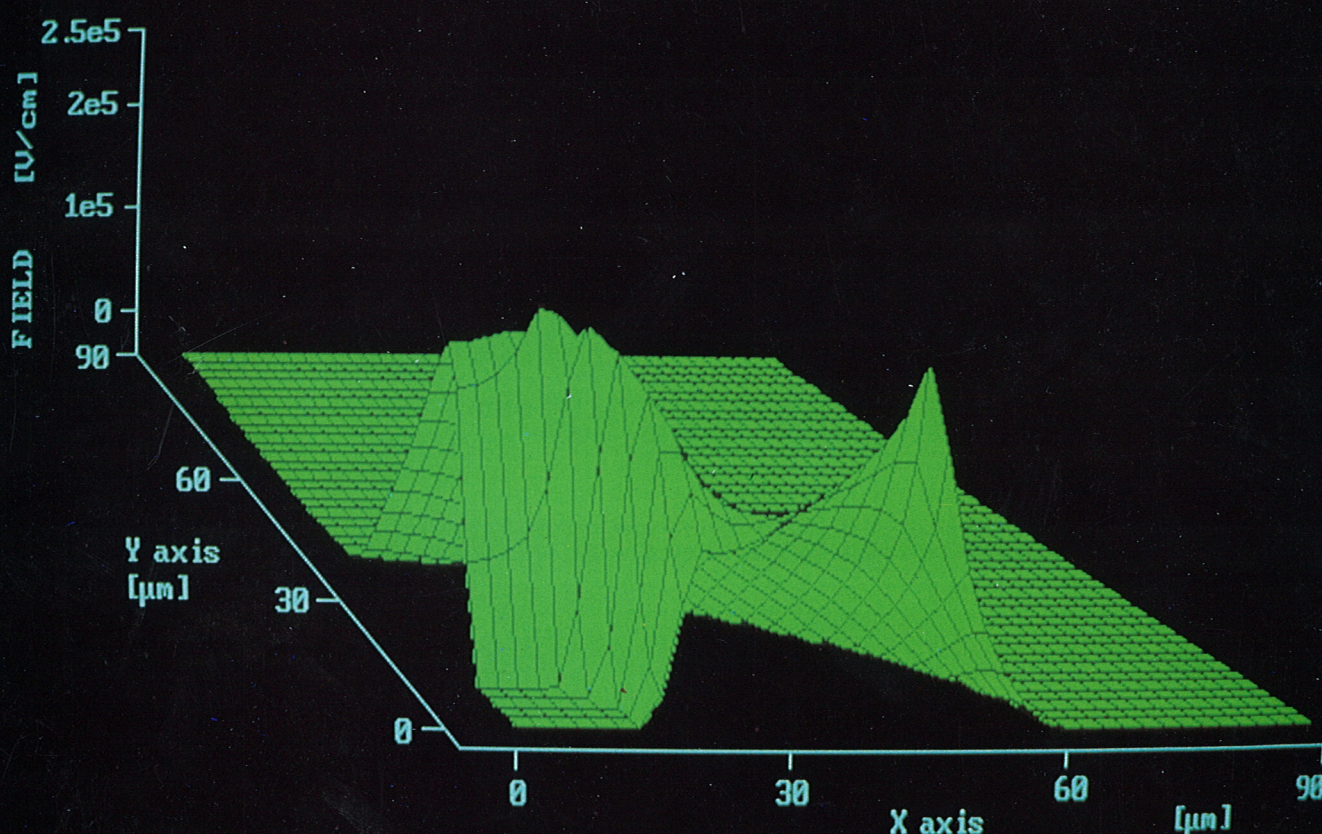
# INFORMACIJE MIDEM

## 4°1991

Strokovno društvo za mikroelektroniko  
elektronske sestavne dele in materiale

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

INFORMACIJE MIDEM, LETNIK 21, ŠT. 4(60), LJUBLJANA, DECEMBER 1991



**MODELIRANJE POLPREVODNIŠKIH STRUKTUR**  
Laboratorij za elektronske elemente  
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana

INFORMACIJE MIDEM	LETNIK 21, ŠT. 4(60), LJUBLJANA,	DECEMBER 1991
INFORMACIJE MIDEM	GODINA 21, BR. 4(60), LJUBLJANA,	DECEMBAR 1991
INFORMACIJE MIDEM	VOLUME 21, NO. 4(60), LJUBLJANA,	DECEMBER 1991

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

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

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

**Glavni in odgovorni urednik**  
**Glavni i odgovorni urednik**  
**Editor in Chief**

Iztok Šorli, dipl. ing.  
MIKROIKS, Ljubljana

**Tehnični urednik**  
**Tehnički urednik**  
**Executive Editor**

Janko Colnar

**Uredniški odbor**  
**Redakcioni odbor**  
**Editorial Board**

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

**Časopisni svet**  
**Izdavački svet**  
**Publishing Council**

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

**Naslov uredništva**  
**Adresa redakcije**  
**Headquarters**

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

Letna naročnina za delovne organizacije znaša 2000,00 SLT, za zasebne naročnike 1000,00 SLT, cena posamezne številke 250,00 SLT. Člani in sponzorji MIDEM prejema Informacije MIDEM brezplačno.

Godišnja predplata za radne organizacije iznosi 2000,00 SLT, za privatne naročnice 1000,00 SLT, cijena pojedinog broja je 250,00 SLT. Članovi i sponzori MIDEM primaju Informacije MIDEM besplatno.

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

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

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

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

- INSPEC.

Po mnenju Republiškega sekretariata za informiranje št. 23-91 z dne 6. 3. 1991 je publikacija oproščena plačila davka od prometa proizvodov.

Mišljenjem Republičkog sekretarijata za informiranje br. 23-91 od 6. 3. 1991 publikacija je oslobođena plaćanja poreza na promet.

Oblikovanje besedila in tisk  
Oblikovanje stavka i štampa  
Printed by

BIRO M, Ljubljana

Naklada  
Tiraž  
Circulation

1000 izvodov  
1000 primjeraka  
1000 issues

R. Ročak: Pot v svet	194	R. Ročak: Towards the world
ZNANSTVENO STROKOVNI PRISPEVKI		PROFESSIONAL SCIENTIFIC PAPERS
R. Kužel: Problemi pri pripravi uporovnih past	195	R. Kužel: Problems with Resistive Paste Preparation
A. Zalar: Spektroskopija Augerjevih elektronov v mikroelektroniki	214	A. Zalar: Auger Electron Spectroscopy in Microelectronics
J. Rozman: Večelektrodni sistem za zunajživčno selektivno aktivacijo živčnih vlaken	222	J. Rozman: MultielectrodeCuff for Extraneural Selective Stimulation of Nerve Fibres
L. Vehovar, S. Vehovar: Tehnologija jedkanja aluminijevih katodnih folij za elektrolitske kondenzatorje	225	L. Vehovar, S. Vehovar: Etching Technology of Aluminium Cathode Foils for Electrolytic Capacitors
PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ		REPRESENT OF EVENTS, ACTIVITIES OF MIDEM MEMBERS AND OTHER INSTITUTIONS
Centralni sesalni sistem	228	Central Cleaning System
KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA		CONFERENCES, COLLOQUYUMS, SEMINARS, REPORTS
Sodobna elektronika 1991	230	Modern Electronics 1991
PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE		REPRESENT OF COMPANY FROM FRONT PAGE
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo - Laboratorij za elektronske elemente	234	University of Ljubljana, Faculty of Electrical and Computer Engineering - Laboratory for Electron Devices
ČLANI MIDEM		MIDEM MEMBERS
Rudiju Jančarju v spomin	237	In Memoriam Rudi Jančar
VESTI, OBVESTILA		NEWS, INFORMATION
Prikazi magistrskih del in doktoratov	238	Ms. and Ph. D. Abstracts
OSTALE VESTI		OTHER NEWS
Tehnologija	242	Technology
Tržište	243	Market
JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI	245	YUGOSLAV TERMINOLOGICAL STANDARDS
Slika na naslovnici: Modeliranje polprevodniških struktur, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Univerza v Ljubljani - Laboratorij za elektronske elemente		Front page: Semiconductor Device Modeling, Laboratory for Electronic Devices, University of Ljubljana, Faculty of Electrical and Computer Engineering

---

## POT V SVET

*Novoletna številka, ki je pred vami, je prišla z dvomesečno zamudo. Skupaj z vsemi člani uredniškega odbora se za to zamudo opravičujem. Kot predsednik društva se moram članom opravičiti tudi za druge zamude, ne nazadnje tudi za zapoznelo novoletno čestitko. Vsem želim, da se uspešno in v miru posvetimo svojemu strokovnemu delu v letu 1992.*

*Leto 1991 je bilo leto velikih sprememb. Tem spremembam se je bilo in se bo še potrebno prilagoditi. Dolgoletna usmeritev strokovnega društva MIDEM k mednarodnemu sodelovanju bo verjetno pomagala, da se MIDEM uspešno prilagodi novim političnim in gospodarskim razmeram na teritoriju bivše Jugoslavije. Društvo, kot asociacija svobodnih in neodvisnih strokovnjakov, je že doslej bilo demokratično organizirano brez velikih tendenc lokaliziranja in regionalnih ali republiških rivalstev. V prihodnje je potrebno, da društvo nadaljuje s takšnim pristopom pri svojih aktivnostih.*

*Organi društva pripravljajo vse potrebno, da se odprtost društva z ene strani in dejstva, da so se člani društva znašli v svojih novih državah z druge strani, tudi formalno uredi. Pri tem menimo, da je verjetno najboljša rešitev definitivna internacionalizacija društva in razširitev društva tudi s člani izven držav bivše Jugoslavije. V ta namen pripravljamo pisno letno skupščino, da se bo lahko pri odločanju o statusnih spremembah upoštevalo stališče čim večjega števila članov.*

*Pri vsem tem nam pot utirata prav naš časopis INFORMACIJE MIDEM in posvetovanje MIEL. Njuna mednarodna priznanost nam bo omogočala, da k sodelovanju pritegnemo čim večje število strokovnjakov in s tem pomagamo v mednarodnem znanstvenem in gospodarskem sodelovanju naših držav s svetom.*

*Ta uvodnik bi končal v upanju, da se bo mir povrnil v vse dežele in da bomo poleg prijateljskih navezav s sosednjimi evropskimi državami uspeli uspešno sodelovati tudi med nekoč "našimi". Če bomo ravnali, kot smo doslej ravnali v društvu MIDEM bo moje upanje tudi uspešna realnost.*

Predsednik MIDEM  
Dr. Rudi Ročak



# PROBLEMS WITH RESISTIVE PASTE PREPARATION

Invited Paper, SD-91 Conference, Portorož

R. Kužel, I. Krivka, O. Stefan, J. Kubát, M. Hrovat, D. Rafaja, J. Pešička,  
J. Prokeš, J. Broukal

**KEYWORDS:** resistive paste, glass powder, RuO<sub>2</sub> powder, thick film resistors, thick film technology, materials properties, grain size, percolation, blending curves, temperature coefficient of resistance, voltage dependence of resistance, electrical resistance, microscopy, X-ray analysis, experimental results

**ABSTRACT:** There are several problems connected with resistor paste preparation: the selection of a suitable glass frit and electrical conductive solid ingredients, namely RuO<sub>2</sub>. Several types of RuO<sub>2</sub> powders prepared by various producers were tested using X-ray analysis and microscopy methods. The lattice parameters, microstrain and grain sizes were determined by these experiments. Our new tested pastes were prepared with microcrystalline RuO<sub>2</sub> powder (by Shoen Chemical Inc.) and resistive thick films were measured (resistivity dependence on RuO<sub>2</sub> contents, temperature dependence of resistance, temperature coefficient of resistance etc.). It was shown that the percolation theory was suitable for the explanation of some results obtained.

## PROBLEMI PRI PRIPRAVI UPOROVNIH PASTI

Uvodno predavanje SD-91, Portorož

**KLJUČNE BESEDE:** uporovne paste, steklen prah, RuO<sub>2</sub> prah, debeloplastni upori, tehnologija debelih plasti, lastnosti materiala, velikost zrn, perkolacija, krivulje mešanja, temperaturni koeficient upornosti, napetostna odvisnost upornosti, električna upornost, mikroskopija, rentgenska analiza, eksperimentalni rezultati

**POVZETEK:** S pripravo uporovnih plasti je povezanih kopica problemov: izbira ustreznih kalciniranih zmesi in električno prevodnih trdnih sestavin, kot je npr. RuO<sub>2</sub>. Več vrst RuO<sub>2</sub> prahu pripravljenega na različne načine smo testirali z uporabo x-žarkovne analize in mikroskopskih metod. Kristalni parametri, mikronapetosti in velikost zrn smo določili s pomočjo omenjenih eksperimentov. Naše nove uporovne paste smo pripravili iz mikrokristaliničnega RuO<sub>2</sub> prahu (proizvajalec Shoen Chemical Inc.) ter opravili meritve uporovnih debelih plasti (odvisnost upornosti od vsebnosti RuO<sub>2</sub>, temperaturno odvisnost upornosti, temperaturni koeficient upornosti itd.). Pokazali smo, da s perkolacijsko teorijo lahko ustrezno obrazložimo nekatere dobljene rezultate.

### 1. INTRODUCTION

Resistor pastes are very important components for hybrid circuits. We would like to devote ourselves to complex problematics of resistive pastes and resistor preparation.

Deciding to solve this task, we must be prepared to have to solve a lot of problems in order to obtain the pastes with reproducible and required properties of produced thick film resistors. This concerns a choice of precursor materials, technology equipments and measurement set-up used for diagnostics of every interproduct after individual process step.

For several years we have been successful in bringing together several small working teams from various institutes and forming an informal common laboratory for the solution of these problematics. You may ask, why engage ourselves in these problems when a lot of producers have already solved the technology of resistive pastes and offer their various types. We can name the following producers: Du Pont, Remex, Electro-Science Laboratories, Inc., Shoen Chemical Inc. etc. However,

we know these producers carry out an intensive investigation of new pastes with better properties. The latest results of the last research work were presented by research engineer N. Yoshida of Shoen Chem. Inc. in the paper (1) entitled "50 ppm Thick Film Resistors in Relation with Pattern Size and Termination Materials" at the ISHM' 91 European Hybrid Microelectronics Conference, held in Rotterdam in 1991.

The second reason is that we wanted to study the physics and physical properties as well as processes connected with resistive thick films. The third reason is to prepare own resistive pastes with required properties at the cost as low as possible.

We are going to take up individual problems in detail in the following chapters.

### 2. RESISTOR PASTE PREPARATION

Resistor pastes consist of three basic components which are principal and must be solved. They are as follows: glass frit, electrical conductive solid ingredients and a liquid vehicle.

## 2.1. Glass frit and glass powder

To find the best glass frit is a very difficult problem as there are lots of possibilities how to prepare the glass. Components of glass can vary considerably both as to the used compounds (namely oxides) and to their amounts. The following compounds are mostly used: PbO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, BaO, ZnO, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, CoO etc.

Glass frit preparation:

The first step: pelletizing glass components at 350°C - 450°C for about 60 minutes.

The second step: melting pelletized glass components in a suitable platinum-rhodium crucible weighing up to 50 kilograms at 1250 - 1450°C with intensive mixing for about 60 minutes.

The third step: fritting melted glass into distilled water or between two water - cooled rotating cylinders.

### Glass powder preparation;

Glass powder can be prepared using any appropriate grinding mill, for example a planetary ball grinding mill Fritsch Pulverisette 5 with a suitable garniture (agate, alumina, tungsten carbide etc.) Grinding takes about 20-50 hours depending on the glass type. When no powder abrasion is necessary, a jet mill can be used (for example type Labor TX by Bauermann).

The amount of prepared ground powder ranges from 0.5 to 5 kilograms per hour. The particle sizes are mostly less than 3 µm.

## 2.2 Electrical conductive ingredients

Ruthenium compounds are chosen usually as the main electrically conductive solid ingredients used for resistive paste preparation as follows: Pb<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, Bi<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, RuO<sub>2</sub>.

The resistive pastes developed in the last years contain first of all ruthenium dioxide. That is why we also tried to prepare some pastes based on this compound. Ruthenium dioxide is being produced and sold by several firms as follows: Engelhard, Degussa, Johnson-Matthey, Shoei Chemical Inc. etc.

When we bought RuO<sub>2</sub> from these producers, we found that structure and particle sizes of powders were quite different.

We tried to prepare RuO<sub>2</sub> also by ourselves. The microscopy investigations and X-ray analyses of ruthenium dioxide of different kinds are described in the following chapters.

## 2.3. Paste mixing

A paste can be prepared by mixing components as such glass frit and conductive ingredients and a suitable liquid vehicle. Terpeneol or butyl carbitol solvent with 10 wt.% ethyl cellulose can be used as the liquid vehicle. For small amounts of the paste a suitable grinding equipment can be used, for example Pulverisette 2 by Fritsch. An equipment with two rotating stainless cylinders is suitable for great volumes of the paste.

## 3. GLASS, GLASS POWDER AND PASTE TESTING

In order to obtain reproducible pastes, all their components have to be properly tested.

We determine the following data and parameters for the glass frits:

- density
- thermal expansion coefficient,
- transformation point T<sub>g</sub>,
- deformation point T<sub>d</sub>,
- sealing temperature T<sub>s</sub>,
- glass composition and additives (by means of electron microprobe usually).

After glass grinding, we are interested in a quality of finely ground powder and investigate particle size distribution and surface area (in m<sup>2</sup>/g) by means of suitable equipment (for example produced by Micromeritics: Sedigraph 5100 and Asap 2000, respectively).

The reproducibility of fired thick films (their thickness) is also determined by paste viscosity. It can be measured by a suitable viscometer. The viscometers produced by Brookfield are used very often.

(Note: Any glass frit and glass powder can be prepared and tested in the State Glass research Institute in Hradec Kralové.)

## 4. MICROSCOPY INVESTIGATION OF RuO<sub>2</sub> POWDERS

The microscopy investigation, especially transmission electron microscopy using microscopes Jeol FX 2000 and Tesla ES 540, was chosen for testing the RuO<sub>2</sub> powders prepared by various methods and offered by the above mentioned well-know producers. The forms and sizes of individual grains and clusters were observed in microscopes when using dark or light field methods and electron diffraction.

This investigation showed the results as follows:

- 1) The RuO<sub>2</sub> powder of Engelhard production formed polycrystal clusters (see Fig. 1a) containing very small grains as proved by electron diffraction pattern (see Fig. 1b).
- 2) The similar results were obtained by investigation of Johnson-Matthey RuO<sub>2</sub> powder, type 800-2MX, (see Fig. 2a). Only particle sizes were smaller than those in the Engelhard powder as Fig. 2b demonstrates.
- 3) Much bigger single crystal grains were observed in the second Johnson-Matthey powder, type 800-3C. Figure 3a shows individual single crystals with shapes closed to spheres. The electron diffraction pattern ( see Fig. 3b) confirmed larger sizes of grains.
- 4) Very interesting micrographs were from RuO<sub>2</sub> powder, type Ru-109, produced by Shoel Chemical Inc. The individual grains were formed by perfectly created single crystals. They were of a regular tetragonal structure with sizes about 50x34 nm (see Fig. 4a). The crystal faces were very well developed and we can assume their high stability and resistance to the surrounding medium. The electron diffraction pattern (Fig. 4b) shows that particle sizes are somewhat smaller than those of Johnson-Matthey powder (800-3C). A considerable priority of this powder is the fact that grains do not form conglomerates and clusters as demonstrated also by a micrograph made by Tesla microscope (see Fig. 5).
- 5) We tried to prepare ruthenium dioxide which would be suitable for the resistive paste preparation using several technology methods.

The first method consisted in ruthenium oxidation at 1.200°C with subsequent grinding in a planetary agate mill. The RuO<sub>2</sub> powders contained various grains ranging from about several nanometers up to 300 nm. The grains were represented by single crystals, as we can see in Fig. 6. It was difficult to prepare smaller and uniform particles for the resistor paste preparation by this method.

The second method using heat treatment of RuCl<sub>3</sub> at 500°C for 5 hours was not suitable either. The RuO<sub>2</sub> grains, shown in Fig. 7, were quite irregular and mostly formed by oblong and sharp particles, their lengths were about 200 - 800 nm.

After quite a considerable effort, we were successful in obtaining the powder represented by small single crystalline grains, long about 25 nm (see Fig. 8), with well developed faces and squared bases. The electron diffraction pattern confirmed small single crystals. The properties and suitability of this powder for resistor paste preparation have been still under investigation.

The obtained results showed the variety of different RuO<sub>2</sub> powders which caused various values of sheet resistance and temperature coefficient of resistance of thick film resistors, when using the pastes containing these powders (2).

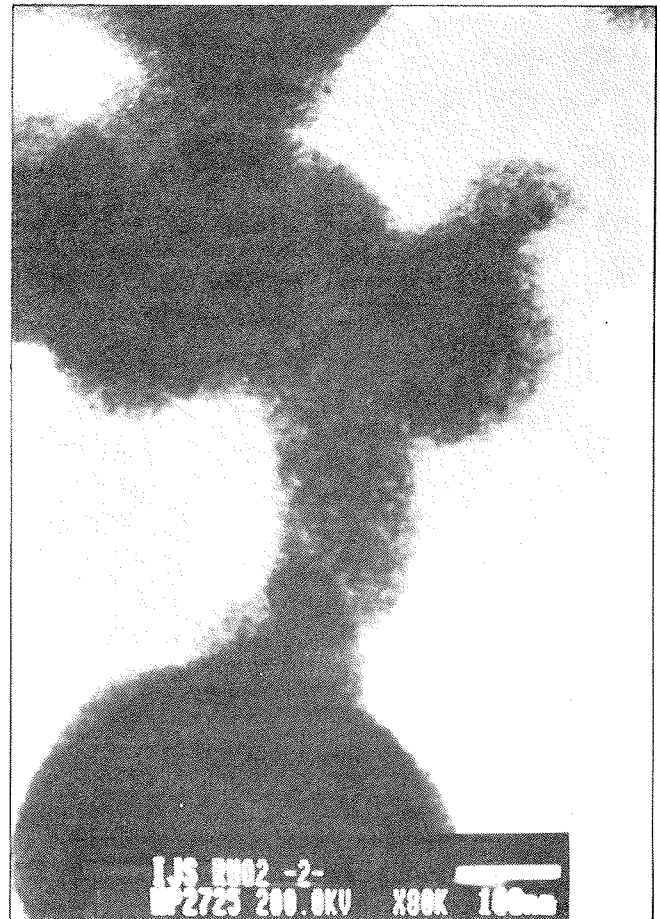


Fig. 1a: Micrograph of RuO<sub>2</sub> powder (by Engelhard).

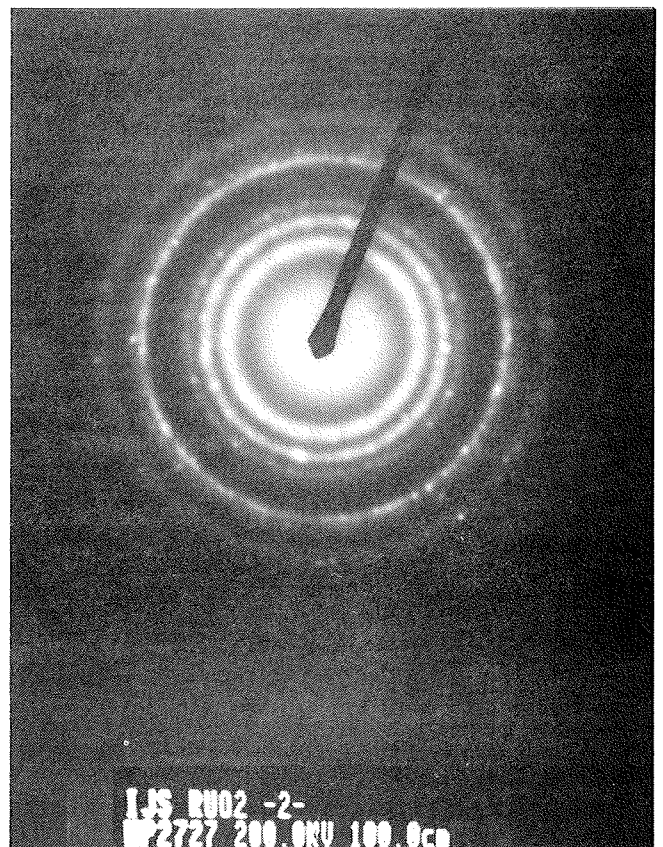


Fig. 1b: Electron diffraction pattern from RuO<sub>2</sub> powder (by Engelhard).

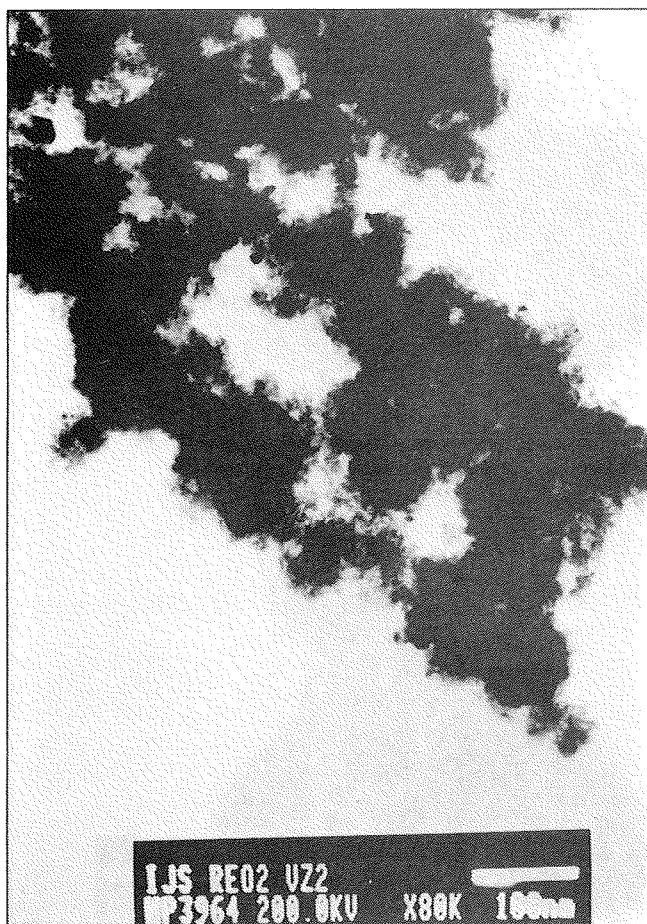


Fig. 2a Micrograph of RuO<sub>2</sub> powder (type 800-2MX by Johnson-Matthey).

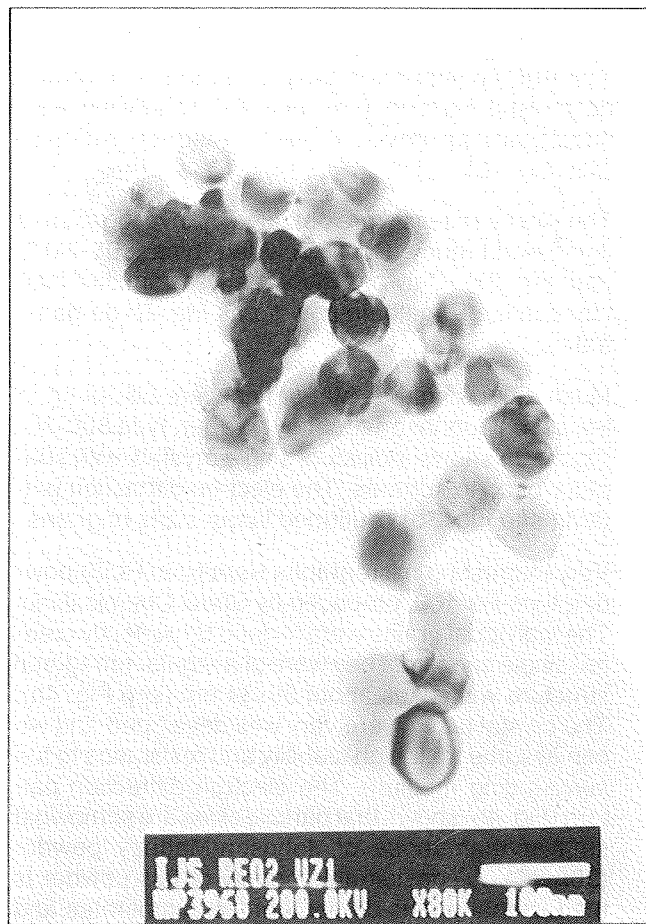


Fig. 3a. Micrograph of RuO<sub>2</sub> powder (type 800-3C by Johnson-Matthey).

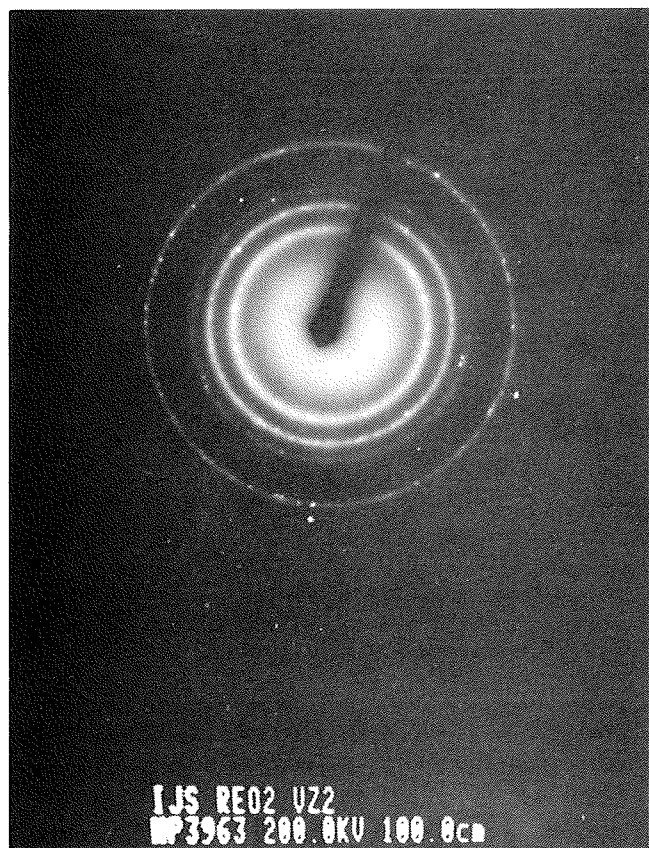


Fig. 2b: Electron diffraction pattern from RuO<sub>2</sub> powder (type 800-2MX by Johnson-Matthey).

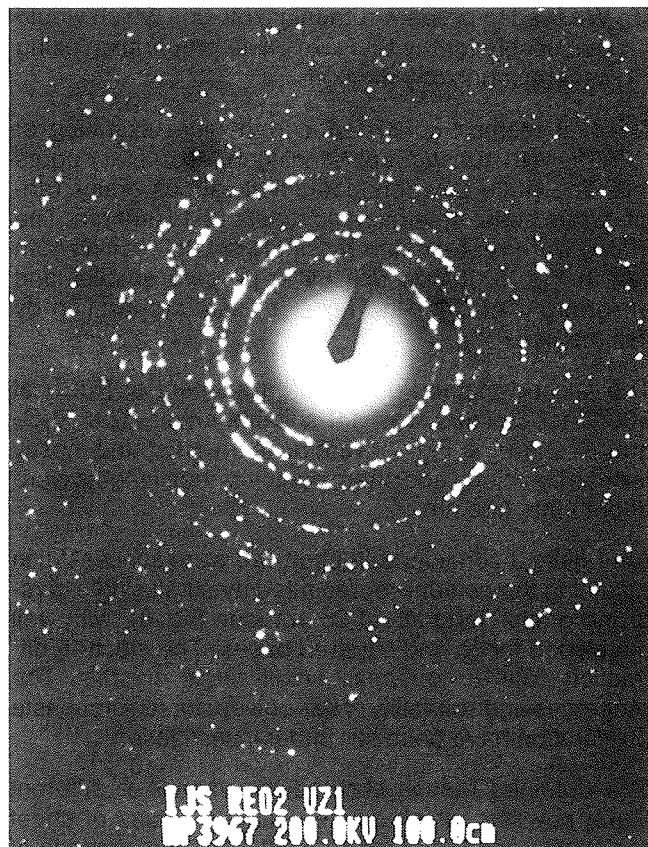


Fig. 3b: Electron diffraction pattern from RuO<sub>2</sub> powder (type 800-3C by Johnson-Matthey).



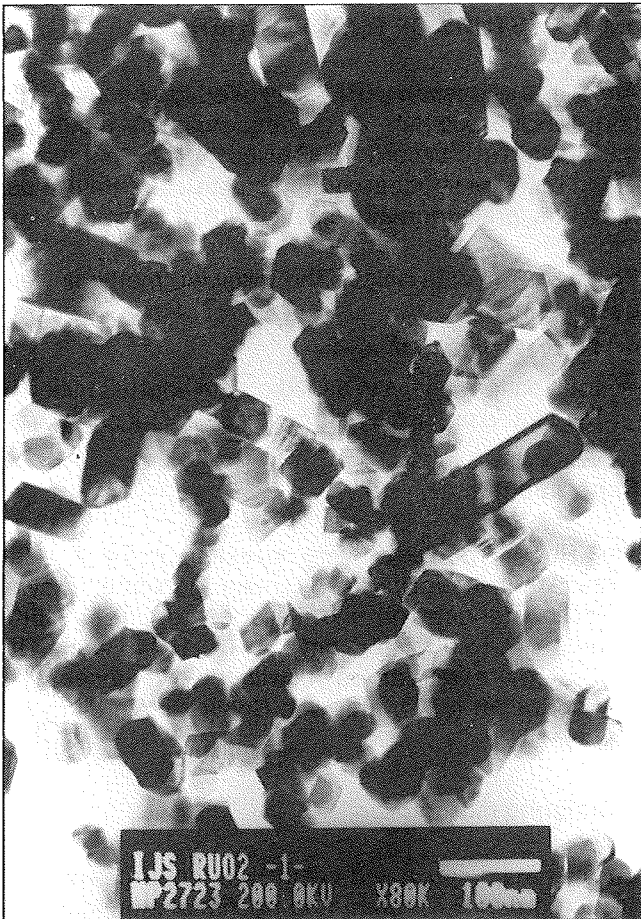


Fig. 4a. Micrograph of  $\text{RuO}_2$  powder (type Ru-109 by Shoei Chem. Inc.).



Fig. 5: Micrograph of  $\text{RuO}_2$  powder of type Ru-109 shows perfectly created microrystalline grains without clusters and conglomerates.



Fig. 4b: Electron diffraction pattern from  $\text{RuO}_2$  powder (type Ru-109 by Shoe Chem. Inc.).



Fig. 6: Micrograph of  $\text{RuO}_2$  powder prepared by ruthenium oxidation at  $1,000^\circ\text{C}$  (ground for 40 hours).

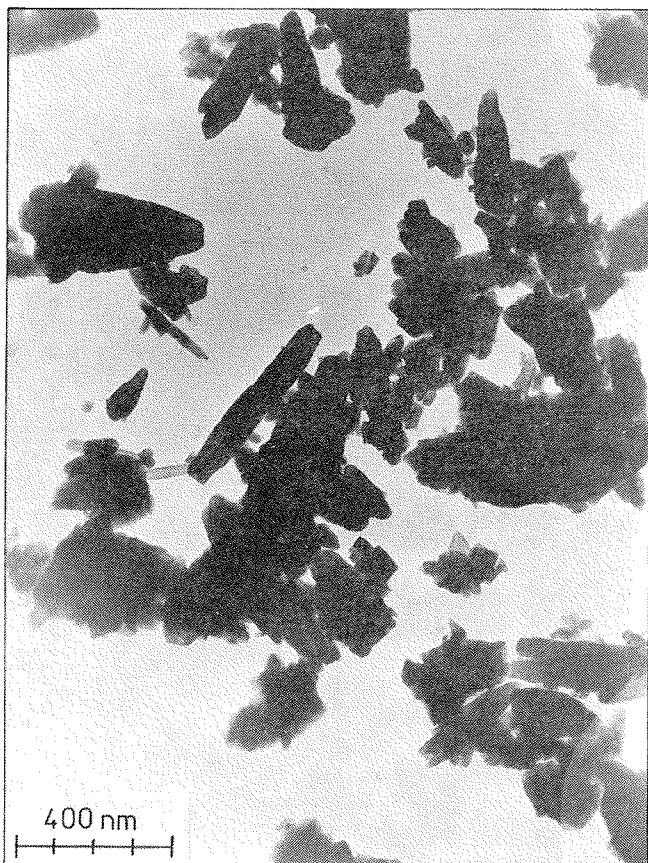


Fig. 7: Micrograph of RuO<sub>2</sub> powder prepared by heat treatment of RuCl<sub>3</sub> at 500°C.

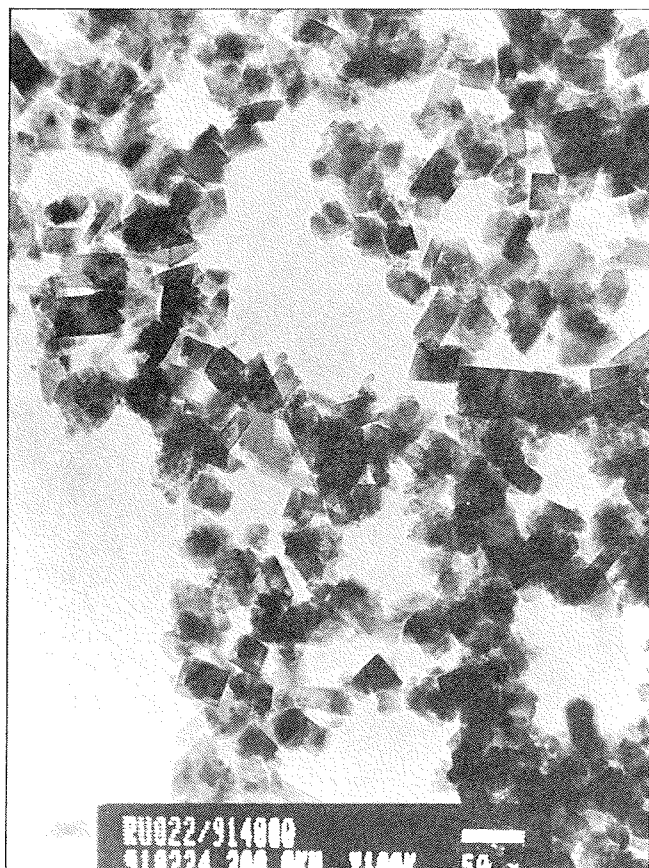


Fig. 8: Micrograph of RuO<sub>2</sub> powder prepared by our methods.

### 5.X-RAY STUDY OF RuO<sub>2</sub> POWDERS

An X - ray diffraction (XRD) was used for the investigation of RuO<sub>2</sub> powders as a complementary method to the electron microscopy. XRD gives the total information about both the structure and microstructure (lattice parameters, grain (domain) size, strain) of samples.

For the X-ray data analysis the following methods were used:

- Rietveld pattern analysis,
- total pattern analysis based on the approximation of measured profiles by some analytical functions.

### Experimental

The RuO<sub>2</sub> - powders were investigated by X - ray diffraction using a Bragg - Brentano goniometer (symmetrical arrangement) and a monochromatized CuK $\alpha$  radiation ( $\lambda_1 = 0.15405$  nm,  $\lambda_2 = 0.15445$  nm). The measurement was carried out with the divergence slit in primary beam ( $\delta=1^\circ$ ) and with Soller slits in diffracted beam.

### Evaluating methods

Lattice parameters  $a$  and  $c$  of the tetragonal cell of RuO<sub>2</sub> (space group P 4<sub>2</sub>/mnm) and fractional atomic coordinates of oxygen were determined using the Rietveld analysis (3).



Fig. 9: Electron diffraction pattern from RuO<sub>2</sub> powder prepared by our method.

Both the grain size (coherent domain size)  $\underline{D}$  and the strain  $\underline{\epsilon}$  (inhomogeneous relative change of lattice spacing) can be determined from line broadening, but the integral breadths must be corrected for an instrumental influence. If both, the total experimental profile and instrumental broadening are Cauchy functions, then the linear relation

$$B^f = B^h - B^g \quad (1)$$

is valid, where the indices f, h and g indicate the physical, measured and instrumental broadenings, respectively (4). It can be written (4):

$$B^f(hkl) = 1/D + (4\epsilon/\lambda) \sin \Theta_{hkl}, \quad (2)$$

where  $\Theta_{hkl}$  denotes the Bragg angle of reflection hkl.

As the dependence of the integral breadths on the direction (hkl) was observed, the Rietveld analysis cannot be used for investigation of these parameters. Therefore, the experimental data were fitted using a more precise total pattern analysis, (see (5)).

### Results

Rietveld analysis of the whole diffraction profile (for powder of RuO<sub>2</sub>, type Ru-109) is shown in Figure 10. The most important structure parameters and their errors as determined by using the Rietveld pattern analysis are given in Table 1.

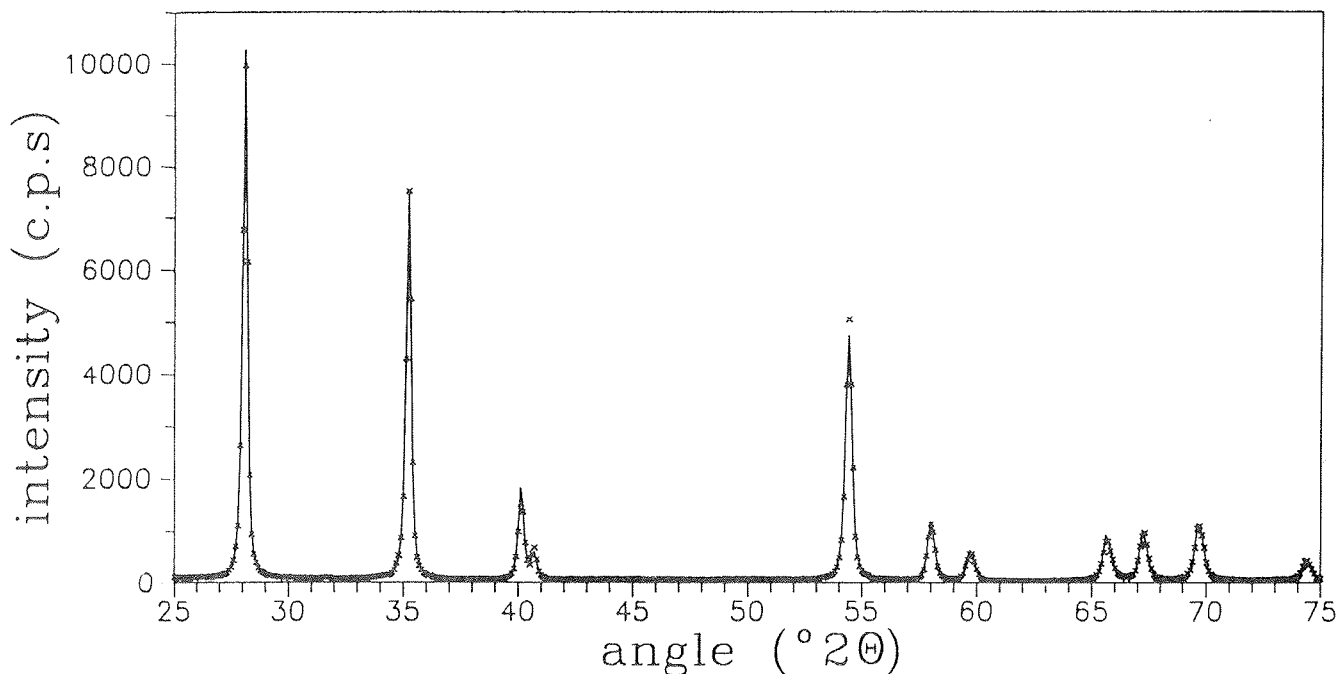


Fig. 10 Rietveld analysis of the diffraction profile, powder of RuO<sub>2</sub>

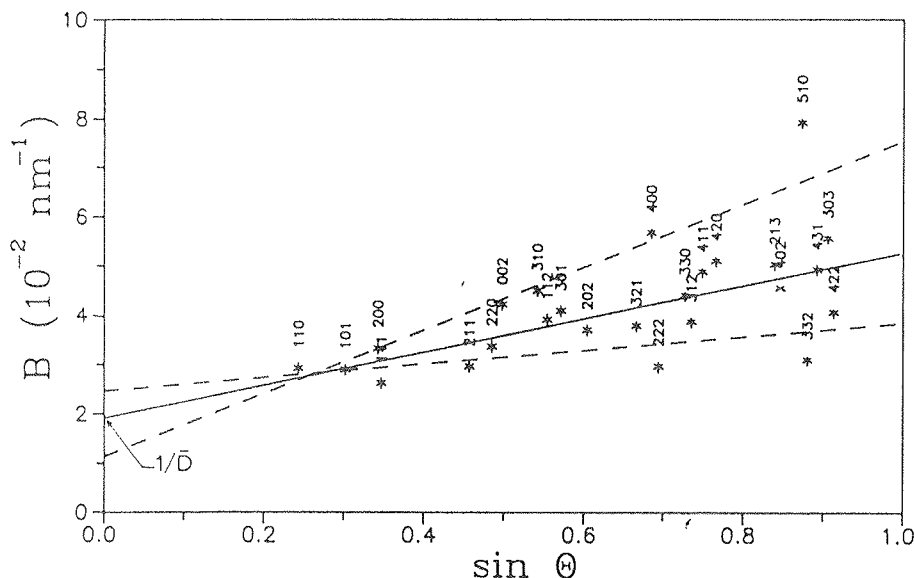


Fig. 11 Dependence of B (hkl) vs. sin Θ

**Table 1:** Structure parameters of RuO<sub>2</sub> powder, Ru-109 by Shoei Chem. Inc.

Lattice parameters	Fractional atomic coordinates
a = b = (0.44900 ± 0.00009) nm	Ru : (0, 0, 0)
c = (0.30920 ± 0.00006) nm	O : (0.3034(9), 0.3034(9), 0)

The dependence B(hkl) vs. sin Θ is shown in Figure 11, where the significant reflections are indicated. Both the strain ε and the size D of RuO<sub>2</sub> coherent domain are given in Table 2. The integral breadths were calculated using the total pattern analysis. Experimental data were approximated with the Pearson VII function:

$$y = a_1 / [a_3 \cdot (x - a_2)^2 + 1]^{a_4}$$

y is the number of pulses per second, x = sin Θ.

**Table 2:** Microstructure parameters of RuO<sub>2</sub> powder, Ru-109 by Shoei Chem. Inc.

	min	max	mean value
D	(42 ± 1) nm	(74 ± 3) nm	53 nm
e	(0.5 ± 0.1) × 10 <sup>-3</sup>	(2.3 ± 0.2) × 10 <sup>-3</sup>	1.4 × 10 <sup>-3</sup>

Other parameters:

- a<sub>1</sub> ... the height of the maximum,
- a<sub>2</sub> ... the position of the maximum,
- a<sub>3</sub> ... the parameter connected with line breadth,
- a<sub>4</sub> ... the shape parameter.

As an external standard for instrumental broadening, the tungsten carbide was used.

These analyses were carried out for several types of RuO<sub>2</sub> powders. The results and mean values of microstructure parameters are listed in Table 3. The high values of the strain ε for Engelhard and Johnson-Mat-

they (800-2MX) powders show that these materials were probably prepared by intensive grinding contrary to Shoei Chem. Inc. and Johnson-Matthey (800-3C) powders characterized by a very low microstrain. Johnson-Matthey (800-3C) powder exhibits a very strong preferred orientation in the <110> direction.

**Table 3:** Microstructure parameters of various RuO<sub>2</sub> powders (mean values)

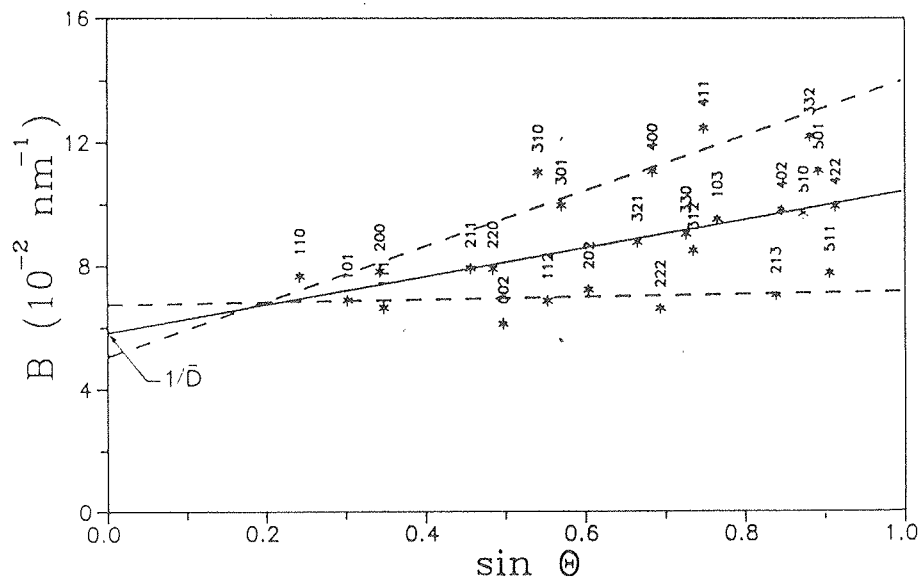
Type of RuO <sub>2</sub>	D (nm)	e (10 <sup>-3</sup> )
Engelhard	9	15
Johnson-Matthey		
800-3C	75	0.5
800-2MX	6	7.5
Shoei Chem. Inc., Ru-109	53	1.4

The microphysical parameter of our RuO<sub>2</sub> microcrystalline powder compared with Shoei Chem. Inc. are given in Table 4.

**Table 4:** Microphysical parameters of Shoei Chem. Inc. and our RuO<sub>2</sub> powders (mean value)

	Shoei Chem. Inc.	Our production
a (nm)	0.44985(± 9)	0.45027(± 5)
c (nm)	0.30975(± 5)	0.30990(± 5)
D (nm)	53	21
e (10 <sup>-3</sup> )	1.4	2.0
Fractional atomic		
O-coordinates	(0.3034, 0.3034, 0)	(0.3034, 0.3034, 0)

We can see that all the parameters are in very good agreement. Only the grain sizes are smaller as it is shown in Fig. 12 and Tab. 4.



**Fig. 12** Dependence of B (hkl) vs. sin Θ, our powder RuO<sub>2</sub>

The X-ray analysis of the various RuO<sub>2</sub> powders was consistent with the microscopy investigation.

## 6. RESISTIVE THICK FILMS BASED ON NEW PASTES CONTAINING RuO<sub>2</sub>

### 6.1. Resistive paste preparation

#### Glass powder

In the systems containing glass and electric conductive components the whole range of glass types of various compositions is being used as mentioned above. Based on a long experience, glass frits of the system PbO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were investigated. These glass types were prepared in various compositions. For a further larger investigation a system was chosen, containing in addition to the mentioned components, in a suitable fractional relation, also a smaller amount of CaO.

Glass powder preparation consisted in several steps:

- 1) pelletizing the respective oxides at the temperature of 450°C for one hour,
- 2) the melting process carried out at the temperature of 1450°C in a platinum-rhodium crucible for one hour with intensive mixing,
- 3) cooling-fritting the molten glass into water,
- 4) grinding the glass frit in the agate planetary ball mill Fritsch Pulverisette 5, for 50 hours.

The grain size (about 3 - 5 μm) and surface area (1.6m<sup>2</sup>/g) of the powder were determined by the instruments mentioned above.

The parameters of this glass frit were as follows:

- density: 4.6 g/cm<sup>3</sup>,
- thermal expansion coefficient: 7.1 x 10<sup>-6</sup>/K,
- transformation point: 480°C,
- deformation point: 530°C,
- sealing temperature: 695°C.

#### Ruthenium dioxide

Using a previous experience, ruthenium dioxide, type Ru-109 produced by Shoei Chemical Inc. was chosen as an electrical conductive component of pastes. It is characterized by its grains which are perfect small single crystals long about 53 nm (see Table 2 and Fig. 4a). The same RuO<sub>2</sub> powder (Ru-109) was used for new excellent resistive pastes R-1000N Series produced by Shoei Chem. Inc.

### Paste mixing

Pastes were prepared by mixing the glass powder, ruthenium dioxide Ru-109 (Shoei Chem Inc.) and liquid vehicle containing terpineol and 10 wt.% ethyl cellulose. The pastes were mixed in Fritsch equipment Pulverisette 2 with an agate garniture for about 1 hour. No further ingredients were used for the paste preparation. On the whole, 28 various pastes (in two series) containing various contents of RuO<sub>2</sub>, ranging from 2 vol.% to 22 vol.% were prepared. Paste viscosity (of about 180 Pa.s) was measured with the Brookfield Digital Viscometer, Model HBT DV-II.

### 6.2. Thick film preparation

Thick film resistors were prepared by a screen-printing the pastes onto alumina substrates, to a dried film thickness of about 15 μm. Two types of alumina substrates, AISiMag 860 and SA 305 50 (produced by Tesla Hradec Kralové) provided with AgPt terminations were used for the preparation of two types of resistor test patterns (see Fig. 13 a,b). The film dimensions (length

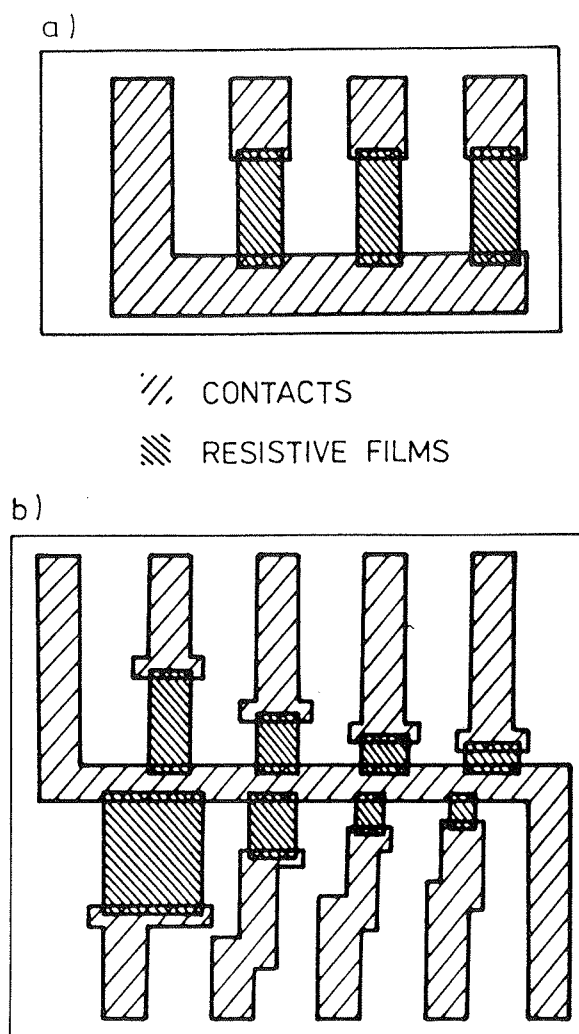


Fig. 13a,b Two types of resistor test patterns

and width) ranged from 1 mm to 5 mm (1x1, 1.5x1.5, 2.5x2.5, 5x5, 1x2.5, 1.5x2.5, 2.5x2.5 and 4x2 mm).

The films printed and dried at the temperature of 120°C were further fired in a furnace with a suitable temperature schedule at peak temperature of 850°C. The total firing cycle lasted over 1 hour with 12 minutes at peak temperature. Several hundreds of thick films were prepared by this method.

The surface profile, thickness, cross-section area and roughness of the films were tested by means of the Surfometer SF 200 produced by Planer Products Ltd. For illustration, there are two readings (see Fig. 14 and 15) carried out on fired resistor films containing 10 and 20 % by weight of RuO<sub>2</sub>, respectively. They indicated that the film thickness was about 8-9 μm, the area reached the values of about 17,000 μm<sup>2</sup> and the roughness depended on the paste type, mainly on the glass contents in the paste.

### 7. BLENDING CURVES

The blending curve belongs to the basic characteristics of resistive thick films. It describes the relation between the conductive phase contents and the film resistivity.

The test pattern containing a triad of thick films 4 mm long and 2 mm wide (see Fig. 13a) was used for this investigation. The measured values of resistance should be divided by the factor 2 to obtain sheet resistance.

#### 7.1. Measurement set-up

The blending curve investigation is based on measurement of a large amount of resistive thick films containing different concentration of conductive particles (RuO<sub>2</sub> in our case).

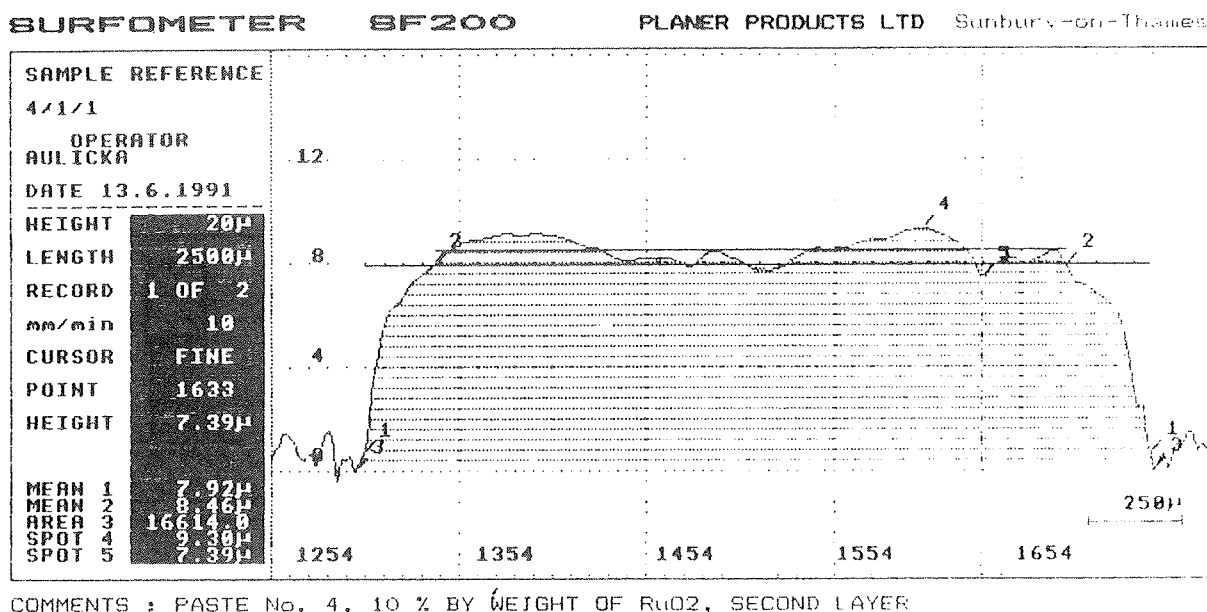


Fig. 14 Surface analysis, fired resistor film containing 10% by weight of RuO<sub>2</sub>

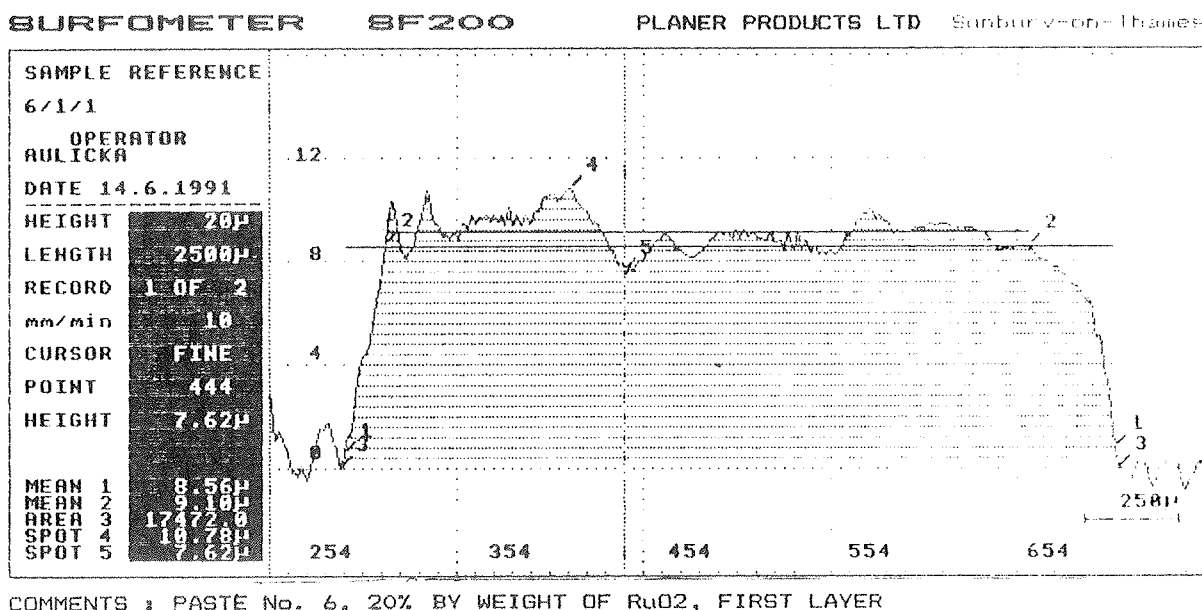


Fig. 15 Surface analysis, fired resistor film containing 20% by weight of RuO<sub>2</sub>

The experimental set used by us for measuring the resistance of the films is shown in Fig. 16. It consists of a Source Measure Unit (SMU) Keithley K 238 and a Scanner Keithley K 705 with a measuring holder. The SMU K 238 serves as a voltage source and an ammeter simultaneously. The Scanner K 705 together with the holder gives an opportunity to measure automatically up to 36 samples at a time. Both the SMU and the Scanner are controlled via IEEE-488 bus by a PC-AT compatible computer.

An electrical schematic diagram is shown in Fig. 17. The SMU K 238 is used in a "local sense" mode. It means that 2-wire resistance measurement is performed. The holder includes 48 pin Pd-Ag terminals that serve for connecting up to 36 samples fixed on 12 alumina substrates. In order to enable to switch automatically all 36 samples, two General Purpose Scanner Cards Keithley K 7156-D in 1-pole mode are used. However, the General Purpose Cards offer no possibility to use guarding. Therefore a special attention must be paid to a parasitic capacitance and a leakage current.

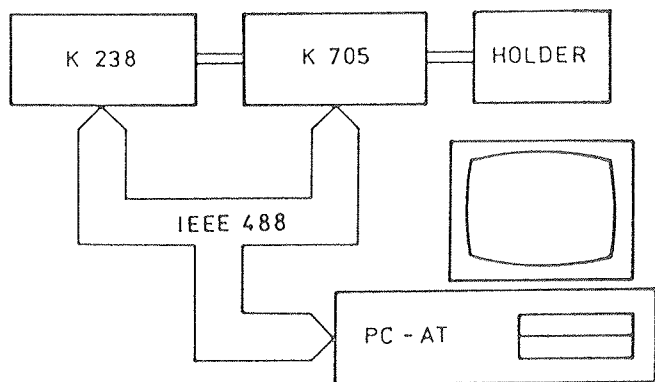


Fig. 16 Experimental set used for measuring the resistance of the films

### 7.2. Concentration dependence of resistivity

Two series of samples were measured. The first one contained 12 thick films (on 4 substrates) for each of 11 volume contents from about 2% to about 22% of ruthenium dioxide. The second series contained also 12 resistive samples for 17 volume concentrations from about 2% to 14% (alumina substrates SA 305 50 were used only).

The results are presented in form of graphs. In Figures 18, 19 and 20 values obtained for both series are plotted. Each point in the graphs represents an average value obtained from 12 films for a given concentration in a given series. The results were not influenced by the used substrate type. The corresponding dependence plotted in a linear scale (Fig. 18) shows a strong increase of the resistivity for concentrations below 3 vol. %. This type of the dependence is usually explained by means of the percolation theory. The concentration dependence of the thick film resistivity can be compared to the dependence of the resistivity in a percolating system. The percolation theory uses the blending curve equation

$$R=R_0 (v - v_c)^s \tag{3}$$

to describe the relation between the volume concentration  $v$  of conducting phase in a system and its resistivity  $R$  near the critical volume concentration  $v_c$  at which transition insulator – resistor occurs;  $R_0$  and  $s$  are the material constants.

In order to obtain the values  $v_c$ ,  $s$  and  $R_0$  from the measured dependence  $R$  versus  $v$ , the following procedure based on a weighted least-squares fit was used.

The measured values  $R_{ij}$  for  $N$  samples ( $j$  from 1 to  $N$ ) with the  $i$ -th concentration have an equal statistical weight  $p_i$  given by equation

$$p_i = \sigma_i^{-2} \tag{4}$$

where dispersion  $\sigma_i^2$  is given by equation

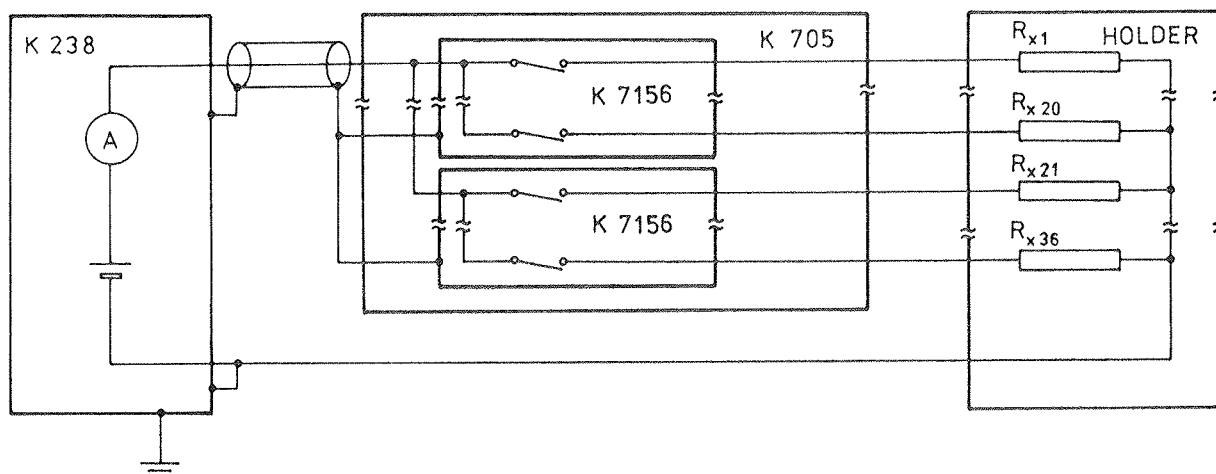


Fig. 17 An electrical schematic diagram of the experimental set

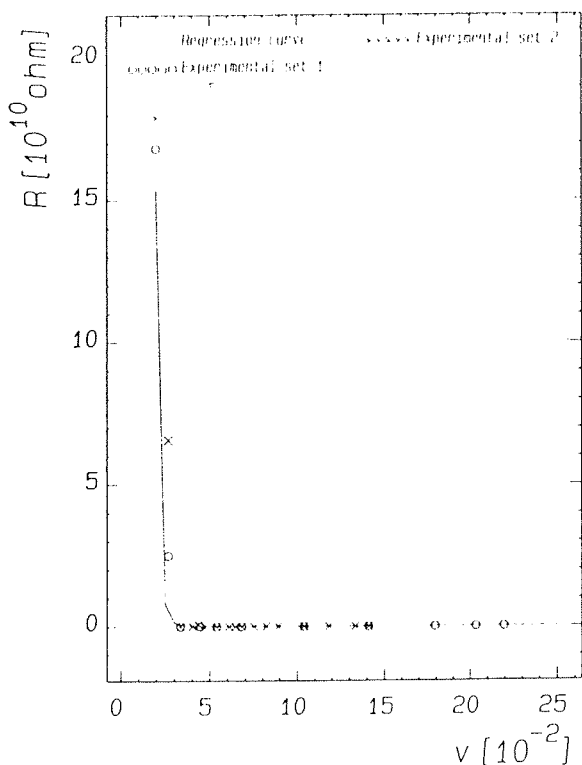


Fig. 18 Resistance versus vol. concentration of RuO<sub>2</sub>

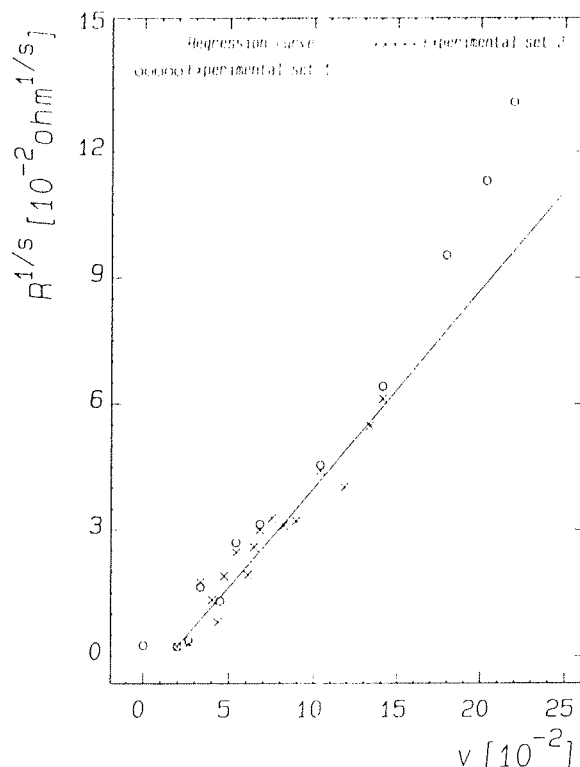


Fig. 20 R<sup>1/2</sup> curve for measured data

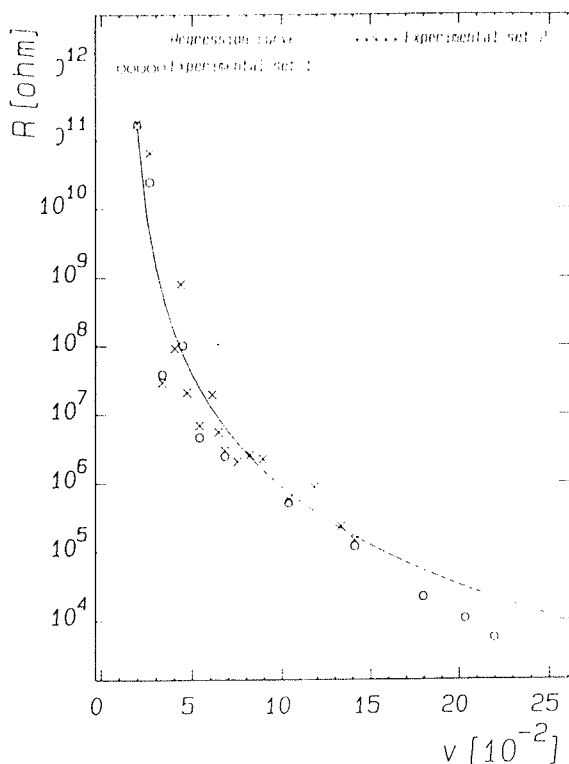


Fig. 19 Resistance vs. vol. concentration of RuO<sub>2</sub>

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^N R_{ij}^2 - \left( \frac{\sum_{j=1}^N R_{ij} \right)^2}{N}}{N-1} \tag{5}$$

However, the function in (3) is not linear and there are three unknown constants  $R_0$ ,  $v_c$  and  $s$  present. Therefore it is suitable to find the straight lines

$$R^{1/s} = R_0^{1/s} (v - v_c) \tag{6}$$

with two fitted parameters  $R_0$  and  $v_c$  for different fixed values of exponents. The best fit will be that giving the linear correlation coefficient closest to one. It must be taken into account that weight of the value  $R_{ij}^{1/s}$  is given by the relation

$$p_{ij} = \frac{p_i}{\left( \frac{d(R_{ij}^{1/s})}{dR_{ij}} \right)^2} = \frac{s^2 p_i}{(R_{ij}^{1/s-1})^2} \tag{7}$$

The solid lines in Figures 18, 19 and 20 represent a blending curve obtained from the least-squares fit for the second series. The fit can be considered to be very good. The unknown parameters obtained from the fit:

the critical volume  $v_c = 1.5 \pm 0.1$  vol.% and

the critical exponent  $s = -4.3$



It can be seen that the value of the critical volume  $v_c$  is rather small in comparison with the theoretical value  $v_c \cong 0.3$  predicted by the percolation theory. This fact is usually explained by the difference between the homogeneous distribution of conducting particles presumed by the theory and a real distribution of conducting particles in glass of a thick film. We suppose that the distribution essentially differs from homogeneous one and some kind of segregated structure containing complete conductive chains is formed especially at low concentrations. The merit of such distribution consists in the fact that we can obtain resistive films with low resistivity for relatively low concentration of conductive particles.

### 8. VOLTAGE AND TEMPERATURE DEPENDENCES OF RESISTIVITY

Dependences of resistivity on temperature and electric field were measured for the thick films containing various contents of  $RuO_2$  powder. The respective experimental set-up was arranged for this purpose.

#### 8.1. Measurement set-up

The experimental arrangement for measuring the resistance vs. voltage dependence and the resistance vs. temperature dependence is illustrated in Fig. 21. K 237 is the Keithley High Voltage SMU (Source Measured Unit) used for both supplying voltage and measuring current, K 706 is the Keithley Scanner mainframe used for switching signals to a particular resistor, VLK 07/90 is the Labotest Humidity Chamber produced by Heraeus - Vötsch which is used for setting and stabilizing temperature and humidity, VRSU is the interface to the Labotest Humidity Chamber. All devices are connected through the IEEE-488 (GPIB) bus and they are controlled by the PC/AT compatible computer.

An electrical schematic diagram is shown in Fig. 22. In order to decrease time consumption the scanner switching is employed and it is possible to measure 8 resistors on the same substrate at once. The high volt-

age SMU is switched to a "local sensing" mode (the "remote sensing" mode means the four-terminal connection necessary for low resistance samples only) and only coaxial cables are used for low wiring. K 7154 is a Keithley High Voltage Scanner Card. According to specifications of this card and assuming other possible error sources (leakage currents, capacitances etc.), we have found coaxial cables to be convenient enough for these purposes. The alumina substrate with printed resistors (thick-film) is mounted to a teflon holder and wires are soldered to the terminals. The whole holder is placed into the Labotest Humidity Chamber which guarantees both the temperature stability and electrical shielding.

The SMU is able to supply voltage as high as 1100 V and to measure current as low as 10 fA. The voltage drop across the ammeter is less than 1 mV. Using a logarithmic pulsed sweep of voltages appears to be the most adequate measure for our task. It allows characterization over several decades of voltage and prevents an increase of temperature of the sample during measurement due to Joule's heat at the same time (Fig. 23).

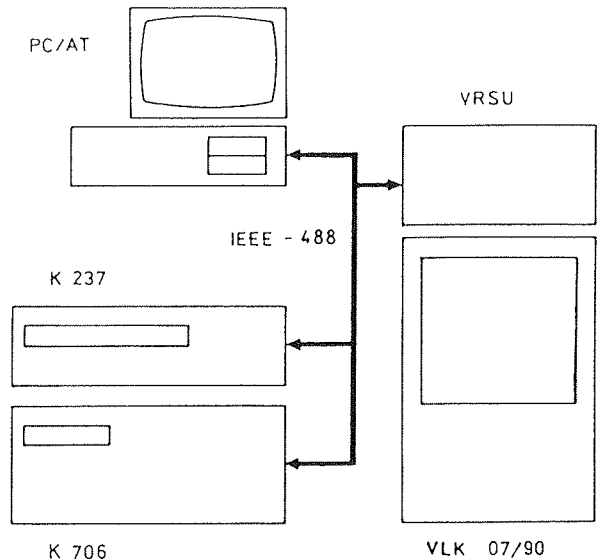


Fig. 21 The experimental arrangement for measuring the resistance vs. voltage

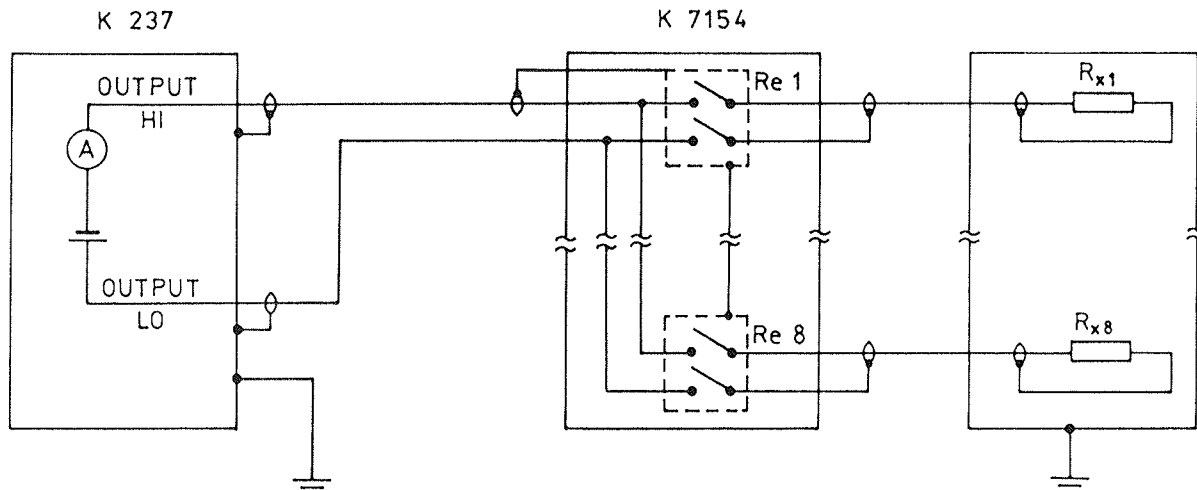


Fig. 22 An electrical schematic diagram of the experimental arrangement

$t_{ON}$  – "time on" parameter is used as short as possible but some delay must be included for establishing required voltage ( $t_{ON} > 10\tau$ , where  $\tau = RC$  is the relaxation time when parasitic capacitances are taken into account). A measure phase is performed at the end the voltage pulse.  $t_{OFF}$  – "time off" parameter is chosen several times larger than time on to allow a sufficient heat transfer from the sample to the surroundings.

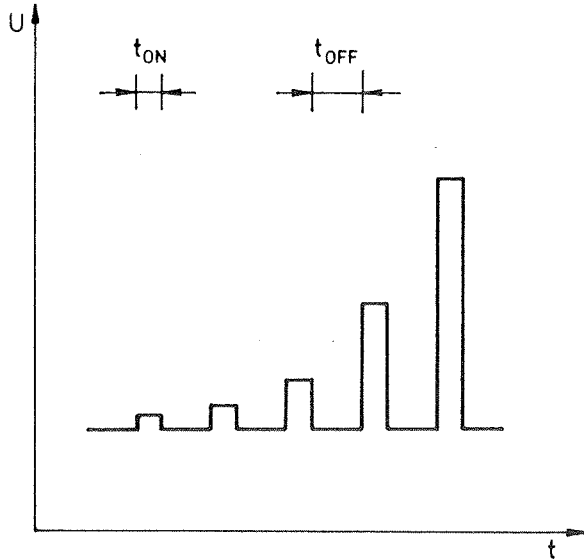


Fig. 23 Shape of logarithmic pulsed sweep of voltages used for measurements

### 8.2. Resistivity versus voltage measurements

The aim of this measurement is to characterize the changes in resistance value over a wide range of the electric field applied.

The electric field starts from the value less than 0.1 V/mm and stretches up to the value 400 V/mm, permitting voltage source and current compliance. Parameters  $t_{ON}$  and  $t_{OFF}$  are selected with great care for each set of resistors. The measurement is carried out at the temperature 22°C which is stabilized by the Labotest Humidity Chamber.

For illustration, there are only some results presented in the forms of graphs (Figs. 24, 25, 26) for resistors prepared using three pastes containing RuO<sub>2</sub> in contents of 5.4, 3.34 and 2.66 vol. %, respectively. Relative changes in the resistance value are plotted versus the electric field E for various resistor dimensions. The resistance value obtained at the electric field of 0.1 V/mm is assumed as a reference value and the relative change is calculated according to the formula

$$\delta R = \frac{R_{meas} - R_{0.1}}{R_{0.1}} = \frac{\Delta R}{R_{0.1}} \quad (8)$$

A logarithmic scale is used in the voltage axis for a better orientation in the graph.

Generally, we can distinguish two regions in the R-E characteristics. The first region is a plateau - the value of resistance remains almost unchanged over a wide range (for  $R < 10^7 \Omega/sq.$ ) of applied voltage. The refer-

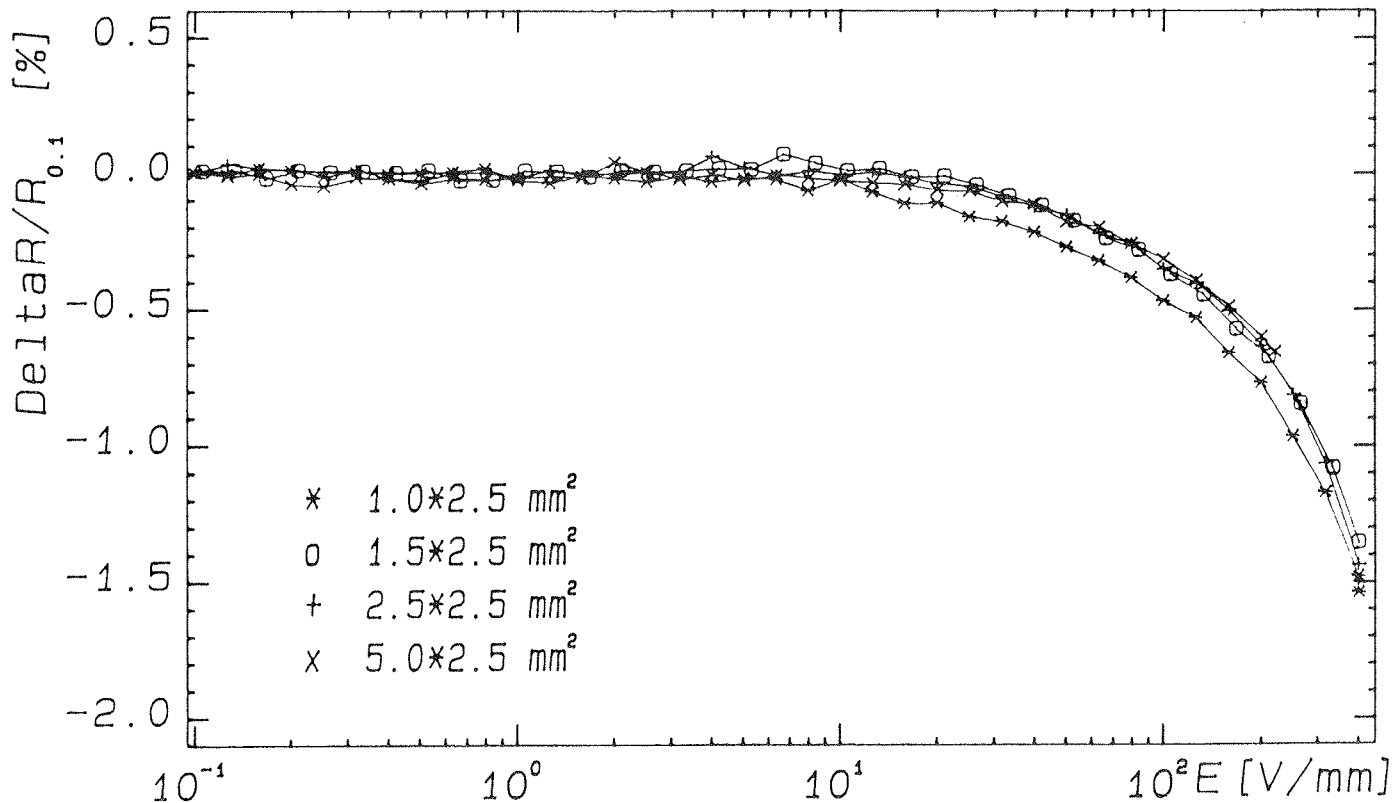


Fig. 24 Relative change in the resistance value vs. electric field for various resistor dimensions, 5.4 vol % RuO<sub>2</sub>

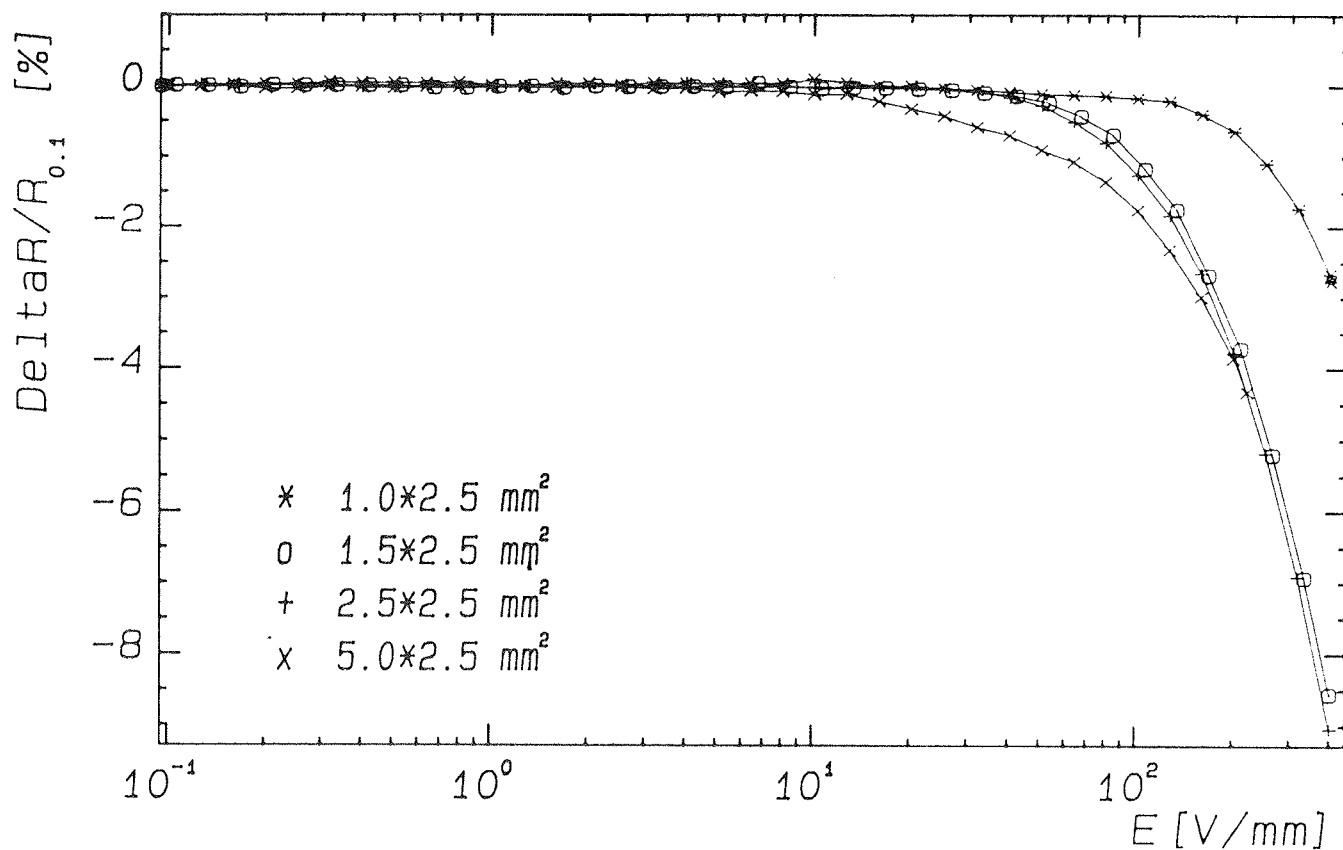


Fig. 25 Relative change in the resistance value vs. electric field for various resistor dimensions, 3.34 vol % RuO<sub>2</sub>

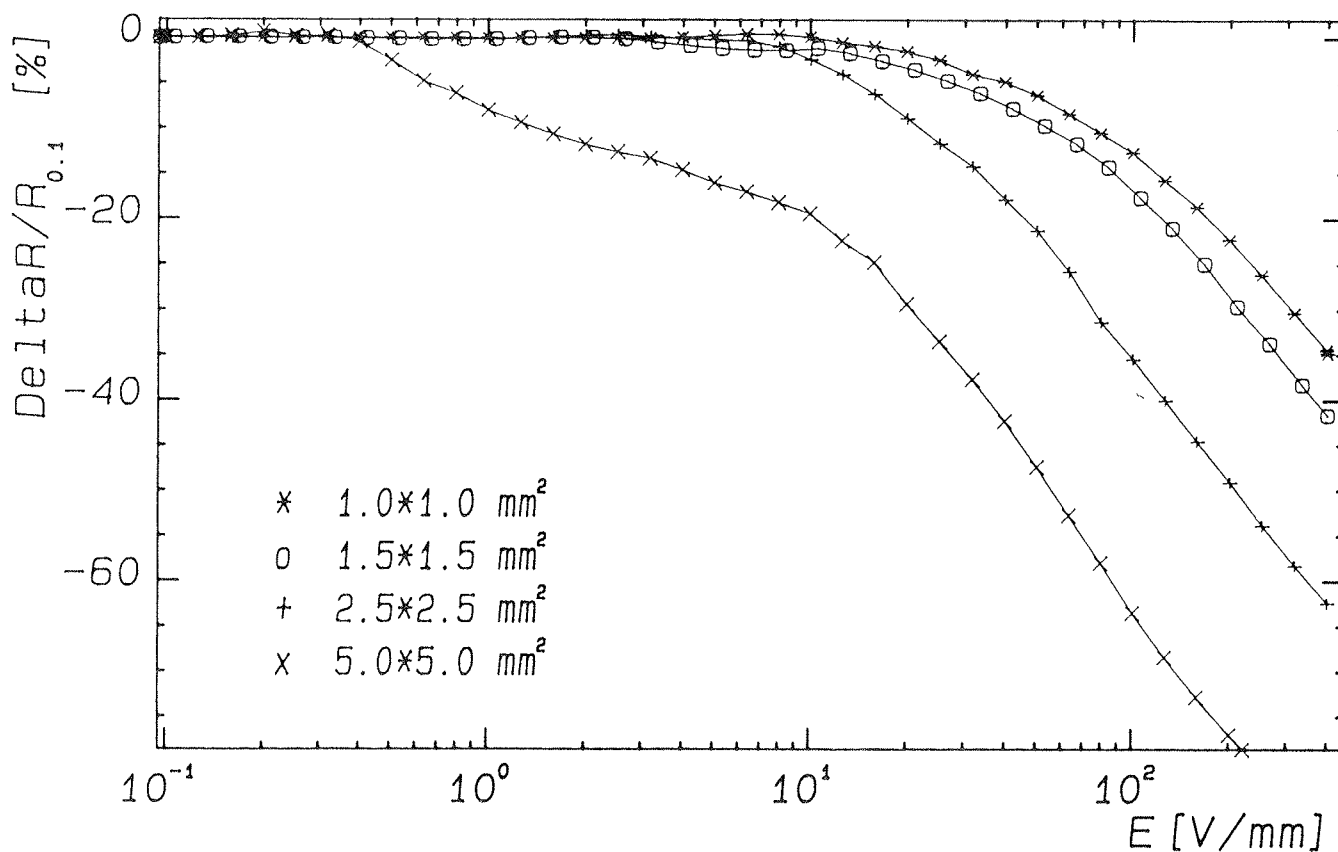


Fig. 26 Relative change in the resistance value vs. electric field for various resistor dimensions, 2.66 vol % RuO<sub>2</sub>

ence value,  $E = 0.1 \text{ V/mm}$ , belongs to this region. A different choice of the reference value does not affect the results if it lies within the plateau region. In the second region a relatively sudden decrease in resistance occurs. The position of the boundary between the plateau and the decline region depends slightly on the resistive paste and sheet resistivity (see Figs. 24 - 26). The voltage limit (1100V) or the current limit (100 mA on 110 V range and 10 mA on 1100 V range) of the SMU do not allow to reach the electric field of 400 V/mm for every resistor.

No substantial difference between two substrate types was found. The slope of the characteristics in the decline region is strongly dependent on the sheet resistance. Low resistivity films exhibit a relative change in resistance which does not exceed a few tenths of per cent for 200 V/mm (about 0.7% for  $1.3 \times 10^6 \text{ } \Omega/\text{sq}$ , see Fig. 24), while those of high resistivity exert a change in relative resistance of several tens of per cent for 400 V/mm (Fig. 26). Resistance depends very slightly on voltage for electric field up to 50 V/mm until sheet resistance of the sample does not exceed the value of about  $5 \times 10^6 \text{ } \Omega/\text{sq}$ , the same for different lengths of film. The voltage coefficient of resistance is usually about 30 ppm/V/mm or less in the plateau region. For high resistive samples ( $R > 5 \times 10^6 \text{ } \Omega/\text{sq}$ .) the plateau width depends on the length of a resistor (see Figs. 25 and 26).

A greater difference among particular resistors was observed for some samples, usually those with higher resistivity ( $R > 10^7 \text{ } \Omega/\text{sq}$ .) The "breakdown electric field" denotes the field of the transient from the plateau into the region with decreasing resistance. The term does not mean real breakdown. Both the "breakdown voltage" and the slope of the characteristics in the decline region are subjected to changes. The correlation between the "breakdown voltage" value and dimensions of the resistor seems to be weak for sheet resistance lower than about  $10^7 \text{ } \Omega/\text{sq}$  but it is important for high resistivity films.

The shape of R-E characteristics can be described with the help of two mechanisms of charge transport. One of them provides a conductivity independent or weakly dependent on the electric field, while the conductivity connected with the other mechanism strongly increases with the electric field. The first one can be captured using traditional theories for this type of materials. It dominates in the plateau region. The other mechanism prevails in the decline region. The latter one may be connected with the Frank-Poole effect, the thermal ionization of captured charge carriers assisted by the electric field which significantly decreases the effective potential well height. A typical feature for this effect is a strong dependence on the electric field. Of course, the influence of the second type of transport is much weaker for resistors with a lower sheet resistance.

This hypothesis can explain the fact that the shortest resistors (1 mm) usually exhibit a higher "breakdown voltage". This is due to the fact that the diffusion of silver exerts an influence to a relatively larger part of the

resistor. The greater the length of a resistor, the lower "breakdown voltage" it should show according to the above idea. This fact is demonstrated by Figs. 25 and 26. On the other hand, the diffusion is a rather complex phenomenon influenced by many more or less predictable factors. That is why, the prediction does not hold in every case.

The thick film resistors significantly differ in their length from the resistors used for high voltage purposes. That is why the influence of the diffusion of silver from terminals is negligible in real resistors. Anyway, the resistors in study can be used for high voltage purposes. When designing the resistors, the required specifications (dimensions, resistivity value and its change, working voltage, etc.) must be taken into account.

The results presented suggest the necessity of adding an another conductive component into the paste (besides  $\text{RuO}_2$ ) in order to accomplish a wider plateau region for high resistance samples.

### 8.3. Resistivity versus temperature measurements

The temperature stability is one of the most important parameters of commercial resistors. That is why the temperature dependence of resistivity has been measured over the temperature range  $-60^\circ\text{C}$  to  $130^\circ\text{C}$ . The temperature step  $5^\circ\text{C}$  is assumed to provide a sufficient resolution. The resistance measurement is carried out at the electric field of 2 V/mm which is a value high enough to provide supplying voltage with good resolution and accuracy and on the other hand low enough so that it belongs to the range with a very weak field dependence of resistivity. The actual temperature can differ from that set  $1^\circ\text{C}$  at maximum.

Similarly to the resistance vs. voltage dependence the relative change in resistance is given by

$$\delta R = \frac{R_{\text{meas}} - R_{25}}{R_{25}} = \frac{\Delta R}{R_{25}} \quad (9)$$

This is plotted versus the temperature. The resistance value at the temperature  $25^\circ\text{C}$  is assumed as a reference one and both hot (H-TCR) and cold (C-TCR) temperature coefficient of resistance refer to the following value:

$$\text{H-TCR} = \frac{R_{125} - R_{25}}{R_{25}} \cdot \frac{10^6}{100} \text{ (ppm/K)}, \quad (10)$$

$$\text{C-TCR} = \frac{R_{125} - R_{-55}}{R_{25}} \cdot \frac{10^6}{80} \text{ (ppm/K)}. \quad (11)$$

These two coefficients are widely used for the characterization of thick film resistors.

There are only some results presented in the form of graphs (Figs. 27 - 29) in a very similar manner to that of R-E measurements.

The curves have a concave shape with a flat minimum the position of which depends on the resistance value of samples (i.e. on the paste used). Samples with lower sheet resistance ( $<5 \times 10^3 \Omega/\text{sq.}$ ) exhibit the minimum below the room temperature (see Fig. 27) while for that with higher resistance the minimum shifts towards higher temperatures (see Figs. 28 and 29). The observed data can be described using the second order polynomial, at least within the limited interval. This is a very common result in thick film resistor studies.

The temperature coefficient of resistance is relatively small in the absolute value. The sign of it is given by the position of minimum of each curve. The values of cold TCR, hot TCR as well as sheet resistance can be seen in Table 5 for some samples. They are the mean values of all eight resistors of each sample.

Table 5: Summary of C-TCR and H-TCR

Sample	v (vol.%)	R (* /sq.)	C-CTR (ppm/K)	H-TCR (ppm/K)
1/1	3.34	$1.2 \times 10^7$	-185	-140
1/1SA	3.34	$1.2 \times 10^7$	-187	-132
2/1	4.48	$1.1 \times 10^7$	-215	-120
2/1SA	4.48	$1.6 \times 10^7$	-235	-118
3/1	5.40	$2.6 \times 10^6$	-232	-141
3/1SA	5.40	$2.3 \times 10^6$	-223	-150

4/1	6.80	$9.4 \times 10^5$	-206	-138
4/1SA	6.80	$9.6 \times 10^5$	-204	-153
5/1	10.38	$2.1 \times 10^5$	-192	-127
5/1SA	10.38	$2.4 \times 10^5$	-208	-139
6/1	14.09	$5.5 \times 10^4$	-165	-107
6/1SA	14.09	$6.8 \times 10^4$	-175	-116
7/1	17.95	$1.3 \times 10^4$	-88	-26
7/1SA	17.95	$1.6 \times 10^4$	-104	-53
9/1	20.33	$4.7 \times 10^3$	-5	+45

When we compare the results of TCRs for both substrate types, the samples marked with SA (produced by Tesla) seem to exhibit a little greater TCRs but the difference is not very significant (see Table 5).

Both TCRs are mostly negative because the resistance usually decreases with the increasing temperature as shown in Figs. 28 and 29. The dependence of TCR (either of them) upon the sheet resistance exhibit a minimal value that is accomplished for samples 3/1 ( $R \downarrow 2.5 \times 10^6 \Omega/\text{sq.}$ , see Fig. 30). The increase of TCR (decrease in the absolute value) towards higher sheet resistances is weak (up to  $R \downarrow 10^7 \Omega/\text{sq.}$ ), while there is a significant change towards lower resistances. For samle 9/1 ( $R \downarrow 4.5 \times 10^3 \Omega/\text{sq.}$ ) value of H-TCR reaches a positive sign and value of C-TCR is nearly zero.

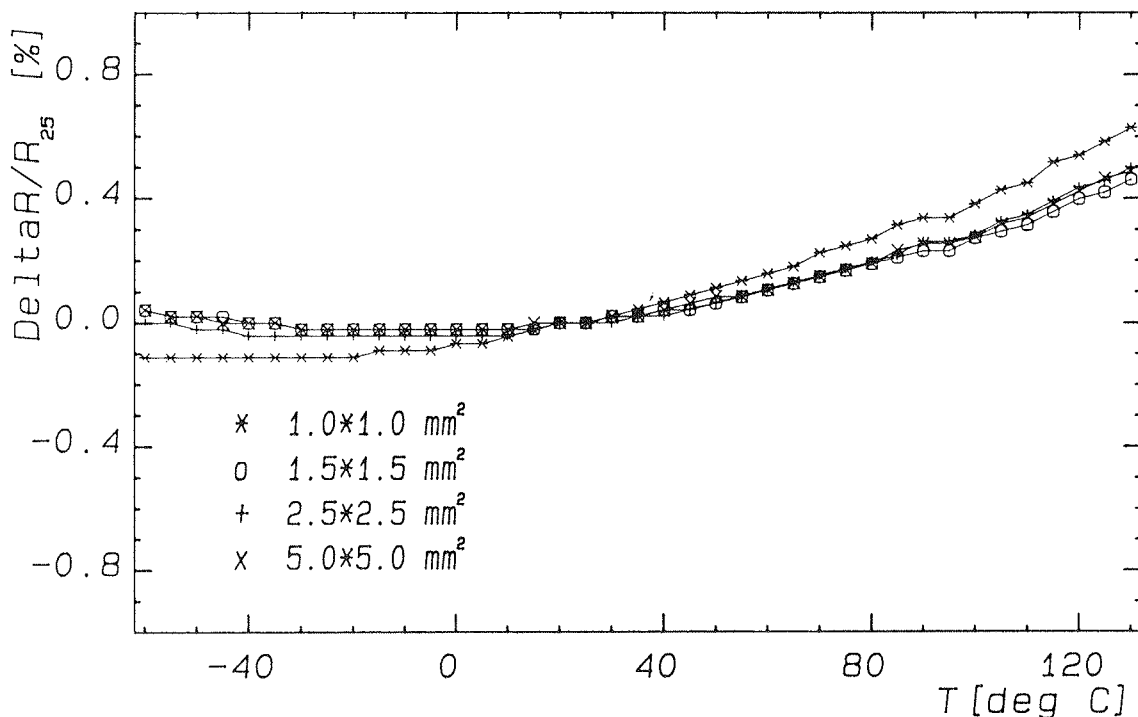


Fig. 27 Relative change in resistance vs. temperature

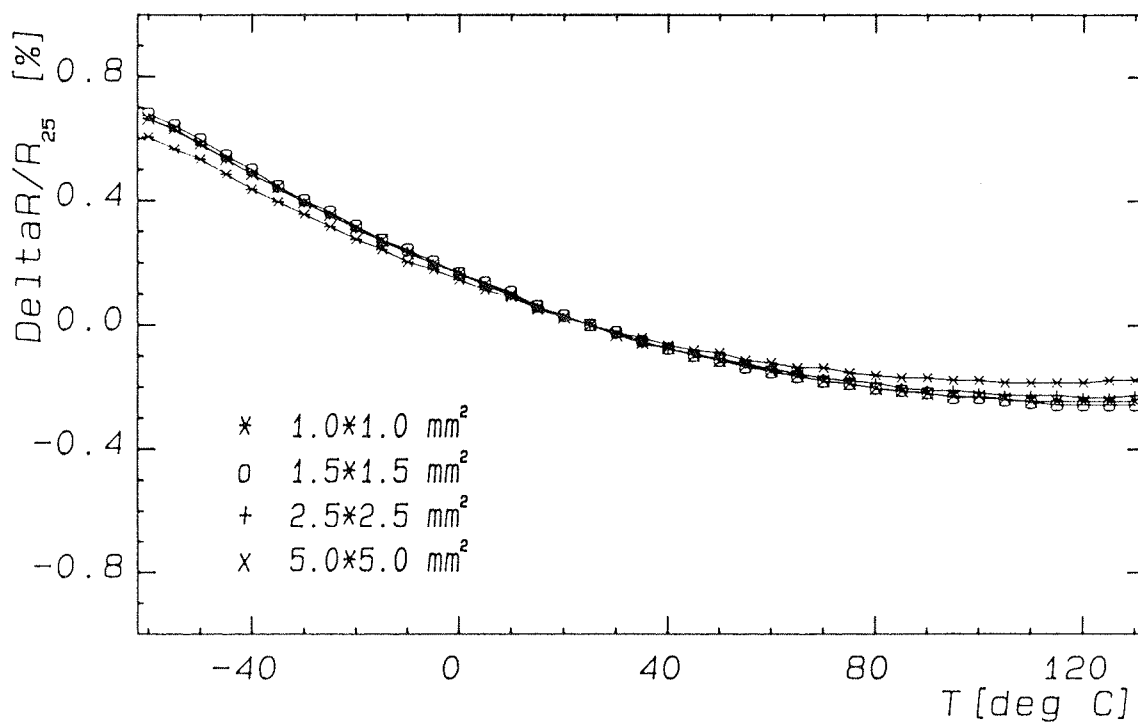


Fig. 28 Relative change in resistance vs. temperature

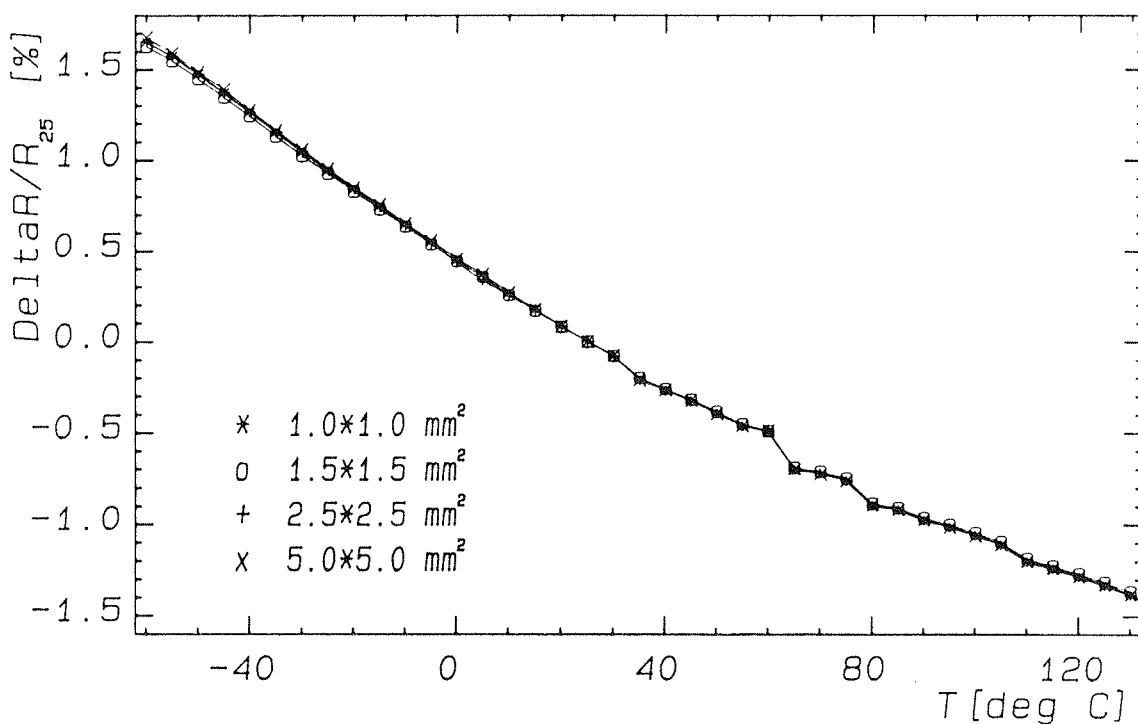


Fig. 29 Relative change in resistance vs. temperature

The weak dependence of TCRs on the sheet resistance for samples with resistance greater than about  $10^5 \Omega/\text{sq}$ . is important for preparing the resistors with high resistance and relatively low TCR. The fact that TCR is nearly independent of the thick film dimensions is of great importance as well. Some deviations can be observed for the resistors 1 mm long (see Figs. 28 and 29).

We suggest to find the physical reason in the diffusion of silver. The source of it is the conductive paste used for terminal preparation. The particles of silver can change the physical reality in the part of the sample volume, that is why the differences among particular resistors are not surprising. The dependence of resistance upon the temperature is weak especially when no additional component was used for compensating the temperature dependence of conductivity caused by  $\text{RuO}_2$ . An influence of diffusion of silver was observed but in real resistors this is a factor of negligible importance.

### 9. CONCLUSION

The main problems connected with the resistive paste preparation were discussed in the paper. On one side it was shown how to solve various important tasks, and on the other hand what technology and measurement set-up had to be used for this purpose. Several testing methods were employed to study the problem. It was confirmed that it was very important to find the most suitable conductive solid ingredients for the pastes. Very good results were obtained with ruthenium dioxide powder with particles (grains) formed by small perfect single crystals. The reaction between glasses and grains was not very important in this case and the resistive paste showed very good properties.

We can emphasize that we showed the most important problems only. There are further tasks to be solved. It is

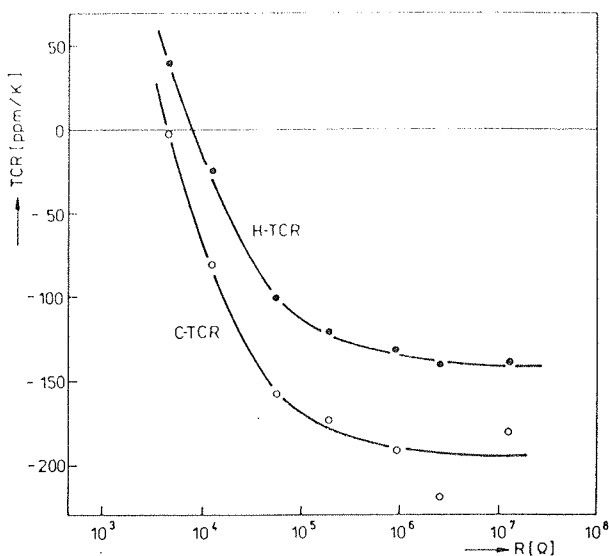


Fig. 30 TCR vs. resistance

a long-term stability of resistance in both dry and wet air at elevated temperature, for example. The latter exhibited very satisfactory results for our thick films and the resistance changes varied in tenths of per cent under the conditions of  $40^\circ\text{C}$ , relative humidity of 90% for 1,000 hours. Furthermore, there is a resistance change at the electric power and similarly. All these data are usually given in the information brochure on properties of respective thick film resistors.

We also started to study the admittance of resistive thick films in sandwich structure for various temperatures and frequencies. The results will be presented after the experiment finishing in the near future.

### References

- (1) H. Saito, M. Yamazoe, S. Matsumura, N. Yoshiha: Proc. 8th European Hybrid Microelectronics Conference. Rotterdam. May 28-31 1991, 385.
- (2) R. Kužel, M. Hrovat, M. Pristavec, J. Pešička, P. Osif: Zbornik referatov XXVI. Jugoslovenskega simpozija o elektronskih sestavnih delih in materialih SD90, Radenci 19-21. September 1990, 235.
- (3) D.B. Wiles, R.A. Young: J. Appl. Cryst. 14, 149 (1981).
- (4) C.N.J. Wagner, E.N. Aqua: Advanc. X-ray Anal. 7, 46-65 (1963).
- (5) V. Valvoda, R. Černý, R. Kužel, L. Dobiášová: Cryst. Res. Technol. 22, 1301-1311 (1987).

*Prof. Radomir Kužel*

*RNDr. Ivo Křivka*

*RNDr. Oto Stefan*

*RNDr. David Rafaja*

*Ph.D. Josef Pešička*

*RNDr. Jan Prokeš  
Faculty of Mathematics and Physics  
Charles University  
Ke Karlovu 5  
121 16 Prague 2, Czechoslovakia*

*Prof. Josef Kubát  
Department of Polymeric Materials  
Chalmers University of Technology  
S-412 96 Gothenburg, Sweden*

*Marko Hrovat, Dipl. Ing.  
Jožef Stefan Institute  
Ljubljana University  
Jamova 39  
61111 Ljubljana, Slovenia*

*Ing. Josef Broukal  
State Glass Research Institute  
Škroupova 957  
501 92 Hradec Králové, Czechoslovakia*

# SPEKTROSKOPIJA AUGERJEVIH ELEKTRONOV V MIKROELEKTRONIKI

Uvodno predavanje SD-91, Portorož

A.Zalar

**KLJUČNE BESEDE:** Augerjeva elektronska spektroskopija, analize metode, raziskava materiala, eksperimentalni rezultati, mikroelektronski materiali, superprevodniška keramika, superprevodne tanke plasti, mikroelektronika

**POVZETEK:** Razvoj mikroelektronike in spektroskopije Augerjevih elektronov (AES) je šel vsaj v pogledu geometrijskih dimenzij v isto smer. Mikroelektronska vezja so se zmanjševala vse do submikronskih področij, prav tako pa debeline posameznih večslojnih struktur, ki so potrebne, na primer, za kontaktiranje vezij. Vse od prvih začetkov, okrog leta 1970 pa do danes, je bil tudi razvoj metode AES podrejen zahtevi po doseganju čim manjšega analiznega volumna. Lahko razumemo, da je metoda AES v mikroelektroniki nepogrešljiva prav zaradi njene dobre lateralne ločljivosti, ki danes dosega 30 do 50 nm in dobre globinske ločljivosti, reda velikosti nekaj 10 nm. Ocenjujemo, da metoda AES daje podatke o elementni sestavi v povprečju 3 do 5 atomskih plasti in v mnogih primerih tudi o kemijskem stanju elementov. Njena velika prednost pred drugimi metodami za analizo površin, kot sta npr. XPS in SIMS, je v njeni razmeroma enostavni obdelavi analiznih rezultatov, ki daje semikvantitativne podatke. Moderni vrstični Augerjevi mikroanalizatorji omogočajo tudi izdelavo slik, ki kažejo porazdelitev posameznih elementov na površini preiskovanega dela vzorca. Za preiskavo večplastnih mikroelektronskih struktur pa je še posebej primerna kombinacija metode AES in ionskega jedkanja vzorca, ki ga tako lahko preiskujemo po njegovi globini, takorekoč v zaporednih atomskih plasteh ali na večjih razdaljah. Uporabnost metode AES v mikroelektroniki je ilustrirana s primeri iz dolgoletne lastne in tuje analitske prakse na vzorcih SiO<sub>2</sub>/Si, superprevodne keramike Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O, superprevodne tanke plasti Y-Ba-Cu-O in večslojne MBE strukture Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As.

## AUGER ELECTRON SPECTROSCOPY IN MICROELECTRONICS

Invited Paper, SD-91 Conference, Portorož

**KEYWORDS:** Auger electron microscopy, analysis methods, materials testing, experimental results, microelectronic materials, superconducting ceramics, superconducting thin films, microelectronics

**ABSTRACT:** Microelectronic devices became smaller and line widths and shallow junctions are today of submicrometer dimensions. Using Auger electron spectroscopy (AES) with a reduced diameter of the primary electron beam the analysing volume was reduced drastically too. The AES is indispensable in microelectronics especially due to its favorable lateral resolution being in the range of 30 to 50 nm and depth resolution, today in the range of few tenths of nanometres. The information depth is about 3 to 5 atom layers and in many cases by the AES also the information on chemical state of elements is available. The quantification of data, giving the semiquantitative results is easier by AES than by other surface analysis methods i.e. XPS and SIMS. By Auger mapping the modern scanning Auger microprobes enable the investigation of elements distribution on the surface of the sample. For depth profiling of multilayer structures the combination of AES and in-depth ion etching of the sample being investigated layer per layer is most often applied. The applicability of the AES in microelectronics is illustrated by our own investigations of SiO<sub>2</sub>/Si sample, high-temperature superconductive materials of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O ceramics, and Y-Ba-Cu-O thin film, and MBE Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As multilayer structure investigated by others.

### 1. UVOD

Spektroskopija Augerjevih elektronov (Auger Electron Spectroscopy - AES) je danes uveljavljena metoda za elementno analizo površin trdnih snovi, ki jo v mikroelektroniki uporabljajo tako v temeljnih raziskavah kot v industrijskih laboratorijih. Ne smemo pa pozabiti, da je bila za to potrebna dolga raziskovalna in razvojna pot. Samo od odkritja Augerjevega elektrona (1) pa do prvih analiz s spektroskopijo Augerjevih elektronov, ki bazira na meritvi kinetične energije elektronov, je minilo več kot štirideset let (2,3).

Naslednji odločilni korak za to preiskovalno metodo je bil napravljen leta 1969, ko so za spektrometer elektro-

nov uvedli analizator s cilindričnim zrcalom (4) z veliko transmisijo za elektrone, ki je bil hitrejši, občutljivejši in z ugodnejšim razmerjem signala proti šumu, kot so ga imeli mrežni analizatorji LEED optike (Low Energy Electron Diffraction). Razvoj metode AES, ki praktično poteka še sedaj, njene fizikalno-kemijske osnove in njena široka uporabnost so opisane, razen v mnogoštevilnih člankih, tudi v večih kvalitetnih knjigah (5,6,7,8,9).

Širina linij med mikrovezji, kakor tudi prehodi do substratov, so se v zadnjih letih zmanjšali na red velikosti pod mikrometer. Miniaturizacija vezij je bil pogoj za povečanje njihove hitrosti in tudi za povečani izplen in prihranek materiala. Večslojne strukture, ki jih danes uporabljamo v mikroelektroniki so sestavljene iz treh ali več



posameznih plasti, ki imajo vlogo difuzijske bariere, adhezijske plasti ali omskega kontakta. Uvedeni so novi materiali, ki jih pred nekaj leti še ni bilo mogoče uporabljati: to so različne tanke plasti silicidov, nitridov ali superprevodnih plasti in substrati, ki so razen iz silicija lahko še na osnovi GaAs, AlGaAs, HgCdTe ali SiGe. Zaradi nanosa tanjših plasti in vezij manjših geometrijskih oblik, ki določajo električne lastnosti elementov, so postavljene posebne zahteve tako za nanos kot za kontrolo sestave kompozitnih materialov.

Z metodo AES je v kombinaciji z ionskim jedkanjem mogoče analizirati površino, notranje fazne meje in profil (po globini) tankih plasti. Moderni spektrometri Augerjevih elektronov imajo danes premer vzbujevalnega elektronskega curka celo pod 30 nm, kar omogoča analizo drobnih vključkov in posameznih mikropodročij na miniaturiziranem mikroelektronskem vezju. Rastrska spektroskopija Augerjevih elektronov (SAM) omogoča kvalitetne slike sestave površine vezij (10). S povezavo spektrometra z računalnikom dobimo analizne rezultate razmeroma hitro, kar je izjemnega pomena za veliko serijsko proizvodnjo. Iz tega razloga je metoda AES, kljub razmeroma visoki ceni aparatur, že pred leti našla pot v industrijske laboratorije, tako pri razvoju novih vezij kot za kontrolo mikroelektronskih tehnologij.

V tem delu je na primerih lastnih preiskav in dela v tujih laboratorijih, s katerimi sodelujemo, prikazana uporabnost metode AES za preiskavo mikroelektronskih materialov: strukture SiO<sub>2</sub>/Si, superprevodne keramike Bi<sub>2</sub>Pb<sub>0,5</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2,5</sub>Cu<sub>3,5</sub>O<sub>x</sub>, superprevodne tanke plasti YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> in večslojne strukture Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As.

## 2. OSNOVE SPEKTROSKOPIJE AUGERJEVIH ELEKTRONOV

Analizna metoda AES temelji na meritvi kinetične energije Augerjevih elektronov, ki jih dobimo z obstreljevanjem trdne površine, tekočine ali plinskih molekul, največkrat z elektroni, lahko pa tudi z rentgenskimi žarki ali ioni. Augerjev elektron s kvantizirano energijo, karakteristično za posamezen element, je rezultat Augerjevega prehoda, v katerega so ob ionizaciji atoma vključeni trije elektroni iz notranjih obel, lahko pa tudi iz valenčnega pasu atoma. Kadar se nek element veže v kemijsko spojino z drugim elementom, ima to za posledico spremembo energije elektronov na nekaterih notranjih elektronskih oblah in v valenčnem pasu, kar je hkrati spremljano s spremembo gostote elektronskih stanj. To se odraža v spremembi energije Augerjevega elektrona in v spektrih Augerjevih elektronov tudi v spremembi oblike konice, kar izrabljamo za ugotavljanje kemijskih spojin. Z metodo AES prepoznamo lahko nekatere okside, karbide, sulfide in še nekatere druge spojine. Po dogovoru označujemo v spektrih konice Augerjevih elektronov posameznih elementov z energijami, pri katerih imajo konice svoj minimum. Debelina analizirane plasti je določena z izstopno globino Augerjevih elektronov, ki je za elektrone z energijo od 50 do 2400 eV v mejah 0,3

do 3 nm. Volumen analiziranega vzorca je proporcionalen izstopni globini elektronov in preseku vzbujevalnega elektronskega curka  $V = \pi d^2 \lambda / 4$ . Odvisno predvsem od premera elektronskega curka, znaša analizni volumen od 10<sup>-6</sup> do 10<sup>-14</sup> μm<sup>3</sup>. Meja detekcije leži pri okrog 0,1 at %, določamo pa lahko vse elemente, razen H in He, ki okrog svojega atomskega jedra nimata na razpolago zadostnega števila elektronov in energijskih nivojev, potrebnih za Augerjev prehod.

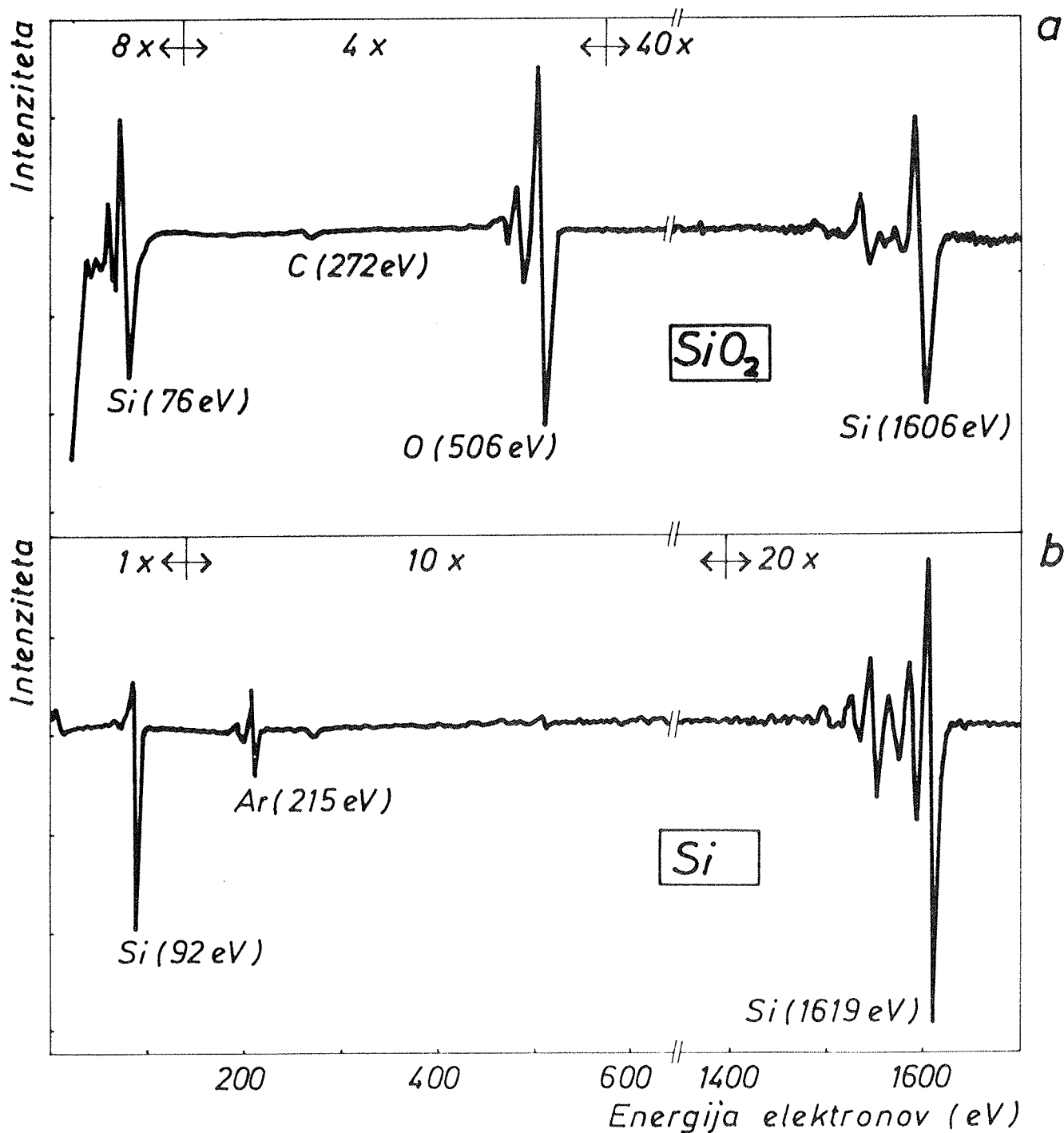
Za oceno elementne sestave vzorca se v praksi velikokrat zadovoljimo s kvalitativno analizo AES. Uveljavljena in pogosto uporabljena je primerjalna analiza "dobrih" in "slabih" vzorcev. Kadar pa želimo vedeti čim bolj natančne podatke o kemični sestavi preiskovanega vzorca, analizne podatke obdelamo po enem od znanih postopkov za kvantitativni izračun (11,12). Metoda s faktorji relativne občutljivosti elementov za Augerjev prehod je semikvantitativne narave (13). Bolj natančna, žal pa tudi bolj zamudna pa je metoda s primerjalnimi vzorci – standardi, ki temelji na primerjavi spektrov preiskovanih vzorcev s spektri standardov znane sestave (11). V zadnjem času se za kvantifikacijo AES rezultatov uvaja metoda, ki temelji na faktorski analizi (14, 15). Ta daje natančnejše podatke o prisotnosti elementov v posameznih komponentah, npr. o koncentraciji istega elementa v različnih oksidativnih stanjih, za kar pa je potrebna zahtevna računalniška obdelava podatkov (16).

Rastrski mikroanalizator Augerjevih elektronov omogoča slikanje površine in linijsko, točkovno ter profilno analizo (17, 18). V preiskavah z metodo AES najpogosteje uporabljamo točkovno analizo. Velikost analizirane površine vzorca je določena s premerom elektronskega curka, ali s površino, na kateri ta rastrira, rezultat analize pa je spekter Augerjevih elektronov (sl. 1).

Z rastriranjem vzbujevalnega elektronskega curka na preiskovani površini vzorca vzbudimo Augerjeve elektrone, ki omogočajo izdelavo slik. Svetlost zaslona katodne elektronke je modulirana s tokom Augerjevih elektronov izbranega elementa, katerega porazdelitev želimo ugotoviti na preiskovani površini. Na slikah prepoznamo prisotnost iskanega elementa iz svetlih področij, katerih intenzivnost je direktno povezana z njegovo koncentracijo in imamo možnost kvalitativne ocene sestave površine vzorca (sl. 2, 3).

Pri linijski analizi vodimo vzbujevalni elektronski curek prek površine vzorca vzdolž ravne črte. Elektronska puška na enem paru odklonskih plošč nima prevesne napetosti in je za zapis na zaslonu katodne elektronke v vertikalni smeri uporabljena modulacija s tokom Augerjevih elektronov tistega elementa, katerega koncentracijo vzdolž neke ravne linije iščemo (sl. 2f, g.).

Profilno analizo imenujemo postopek, s katerim v kombinaciji z AES, ali kako drugo metodo za analizo površin, in z ionskim jedkanjem vzorca, analiziramo vzorec v predelu od površine proti njegovi notranjosti (19, 20). Elektronska puška in ionska puška sta usmerjeni na isto



Sl. 1a,b: Spektra Augerjevih elektronov, dobljena s točkovno analizo na tanki plasti SiO<sub>2</sub> (a) in na substratu silicija (b).

mesto vzorca, tako da ozek vzbujevalni elektronski curek obstreljuje sredino ploskve, ki jo jedka mnogo širši curek ionov inertnega plina. Curek pozitivnih ionov, največkrat Ar<sup>+</sup>, s premerom okrog 2 mm, ki rastira na površini do 10 mmx10 mm, pri trku s površino vzorca odstranjuje vrhnje plasti atomov, ki jih hkrati analiziramo. Hitrost ionskega jedkanja je odvisna od energije in gostote ionskega toka in jo izbiramo največkrat v mejah od nekaj desetink nanometrov na minuto do 30 nm/min. Večje število zaporednih spektrov, dobljenih med profilno analizo, omogoča izdelavo profilnega diagrama, v

katerem je koncentracija elementov v tankih plasti podana v odvisnosti od časa ionskega jedkanja, oz. od globine (debeline) plasti (sl. 4, 6).

### 3. PRIMERI PREISKAV MATERIALOV ZA MIKROELEKTRONIKO

Vsi navedeni preiskovalni postopki so v tem delu ilustrirani s primeri preiskav materialov in komponent, ki jih uporabljamo v mikroelektroniki.

Tanka plast SiO se v mikroelektroniki uporablja kot pasivacijska plast, ki jo na površini silicijeve rezine formiramo s termično oksidacijo. Pred leti smo za potrebe Tovarne polprevodnikov, RIZ, Zagreb, preiskali vzorce SiO<sub>2</sub>/Si, ki so bili skozi oksidno plast dopirani z borom. Sam postopek priprave vzorcev je podrobno opisan drugje (21), na tem mestu pa so prikazani rezultati analize z metodo AES, ki ilustrirajo postopke točkovne analize, linijsko analizo in slike sestave površine, napravljene z Augerjevimi elektroni.

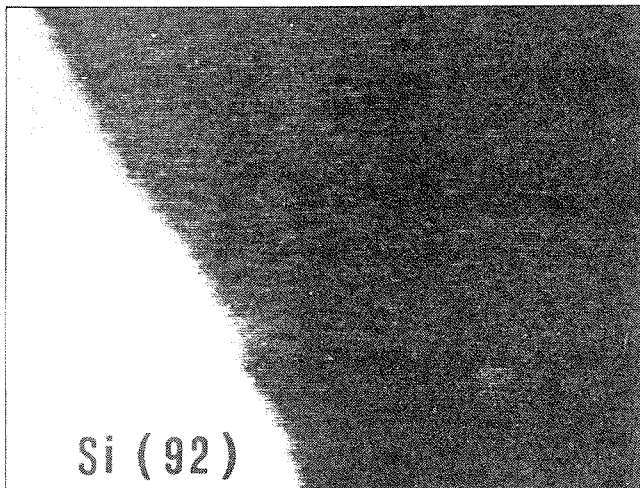
Na sliki 1a,b sta prikazana spektra Augerjevih elektronov, dobljena s točkovno analizo na površini tanke plasti SiO in na podlagi Si. Kateremu elementu pripada posamezna konica v spektrih Augerjevih elektronov, prepoznamo iz njene energijske lege in oblike, pri čemer si pomagamo s spektri standardov, ki so zbrani v priročnikih (13, 22). V spektru čistega silicija (sl. 1b) sta označeni dve najpomembnejši konici pri 92 eV in 1619 eV. Spekter na sl. 1a pa kaže spremembo energijske lege konic k 76 eV in pri višjeenergijski konici k 1606 eV, kar je posledica kemijske vezi silicija v SiO<sub>2</sub>.

Vzorec SiO<sub>2</sub>/Si, dopiran z borom, smo preiskali z AES profilno analizo (21). Med tem postopkom nastane na vzorcu jedkalna jamica (krater) s stenami, nagnjenimi za

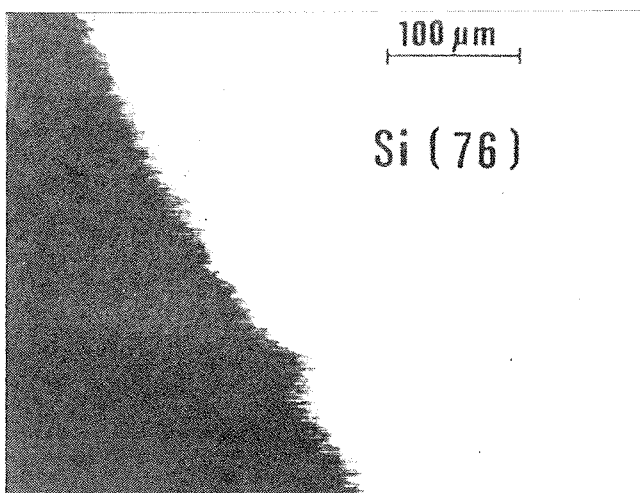
manj kot eno kotno stopinjo, kar je posledica večje gostote ionskega toka v sredini jedkanega področja kot na njegovem robu (23). Jedkalna jamica z nagnjenimi stenami nastane tako pri uporabi statičnega ionskega curka z Gausovo porazdelitvijo gostote ionskega toka kot pri rastiranju ionskega curka. Na stenah jamice lahko opazujemo in kontroliramo sestavo vzorca po njegovi globini, podobno kot v primeru vzorcev pripravljenih s poševnim brušenjem, kar poznamo že iz priprave metalografskih obrusov debelejših plasti (24).

Z AES profilno analizo smo ugotovili, da je B v tanki plasti SiO v obliki oksida, medtem, ko je na fazni meji SiO<sub>2</sub>/Si v elementarni obliki (21). Ta ugotovitev je bila potrjena tudi s preiskavo stene jedkalne jamice vzorca s slikami in linijsko analizo, izdelanimi z Augerjevimi elektroni na fazni meji SiO<sub>2</sub>/Si. Tudi pri izdelavi posnetkov na sl.2a, b, c, d, e, f, g smo izrabili energijski premik Augerjevih elektronov bora in silicija, ki imata v elementarni obliki vrednosti Si (92 eV) in B (179 eV) in kot oksida Si (76 eV) in B (168 eV). Slika 2a kaže porazdelitev Si: svetlejša področja na levi strani slike predstavlja substrat silicija. Slika 2b kaže porazdelitev Si vezanega v tanki plasti SiO<sub>2</sub>, ki se hkrati ujema s sl. 2c, ki kaže porazdelitev kisika. Na slikah 2d in 2e je pokazana porazdelitev bora, ki je v SiO<sub>2</sub> plasti v eni od oksidnih oblik, HBO<sub>2</sub> ali B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, fazna meja SiO<sub>2</sub>/Si pa je obogatenjena z elementarnim borom. Enako razlago nam da tudi linijska analiza teh elementov pri prehodu iz substrata Si, skozi fazno mejo, v oksidno plast (sl.2 f, g). Argon, ki ga najdemo vgrajenega več v siliciju je posledica ionskega jedkanja vzorca. Tovrstna preiskava vzorcev SiO<sub>2</sub>/Si, dopiranih z B pri različnih pogojih (21) in vzporedne električne meritve, dajo tehnologu važne podatke za pravilno vodenje tehnološkega procesa, ki omogoča optimalne lastnosti mikroelektronskega elementa.

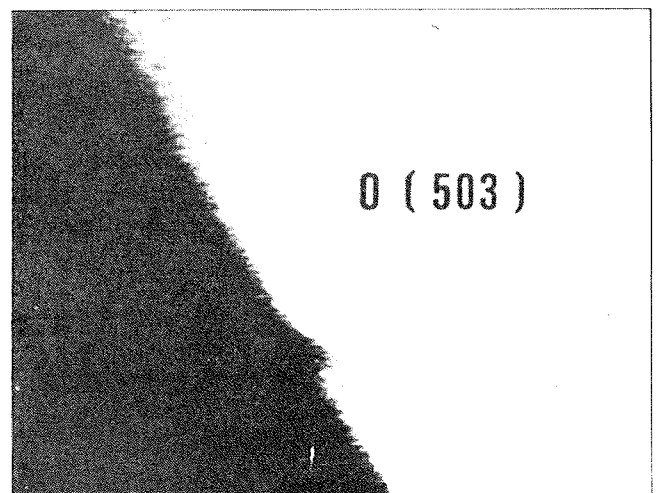
Slike 2a do 2g imajo razmeroma slabo lateralno ločljivost, saj je bil premer vzbujevalnega elektronskega curka razmeroma velik in je znašal okrog 40 μm. Novejše naprave z zožanim elektronskim curkom, celo pod 30 nm, so v tem pogledu veliko bolj uporabne za preiskavo majhnih faznih področij, posameznih kristalnih zrn in celo ozkih področij okrog mej kristalnih zrn. Na sl.3a,



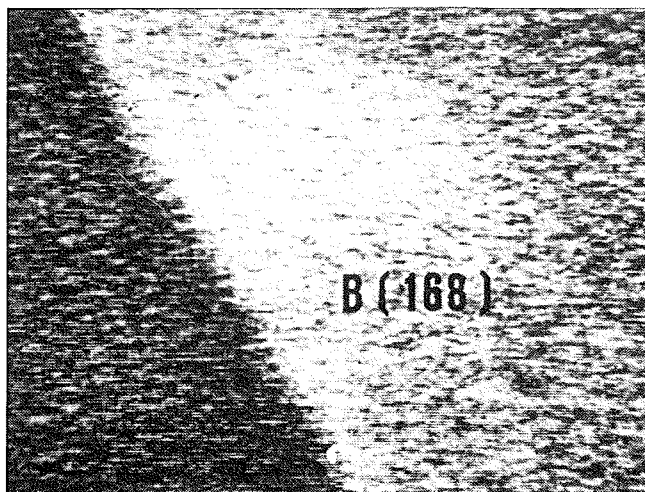
a



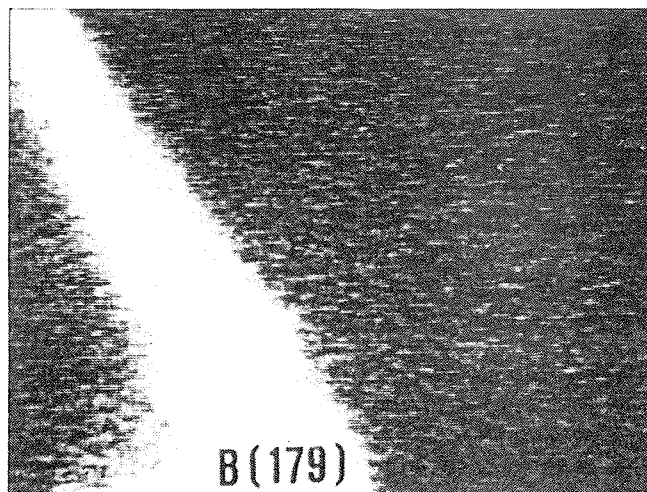
b



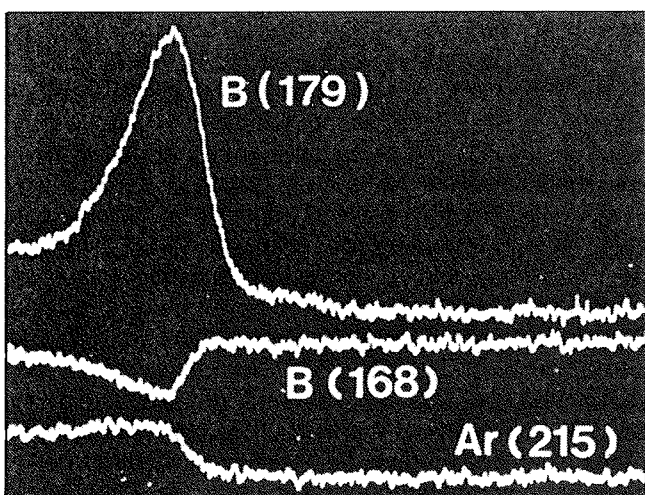
c



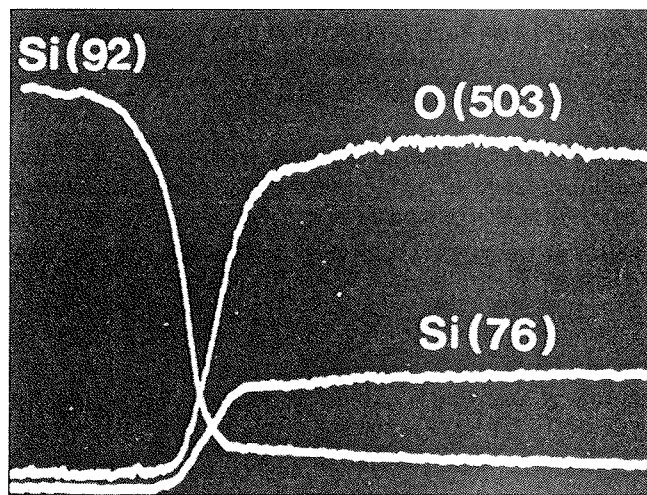
d



e



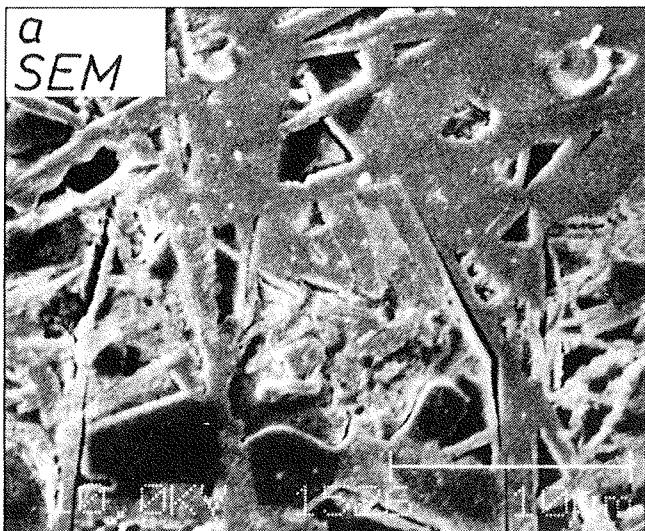
f



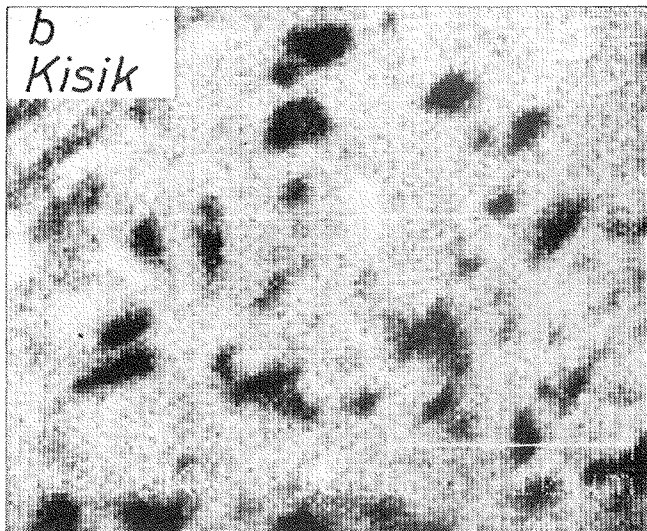
g

Sl. 2a,b,

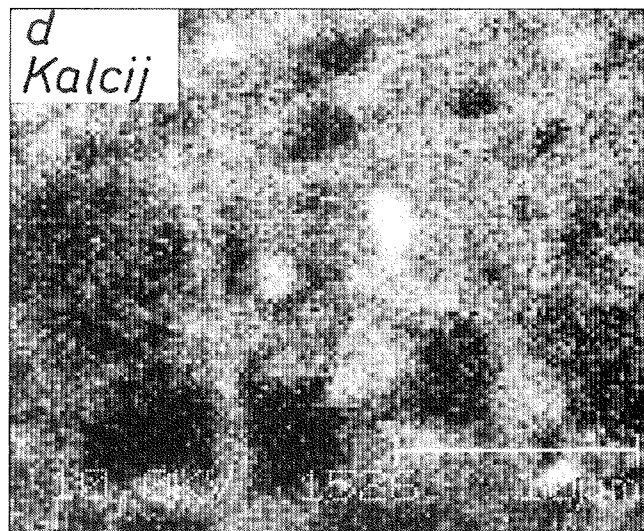
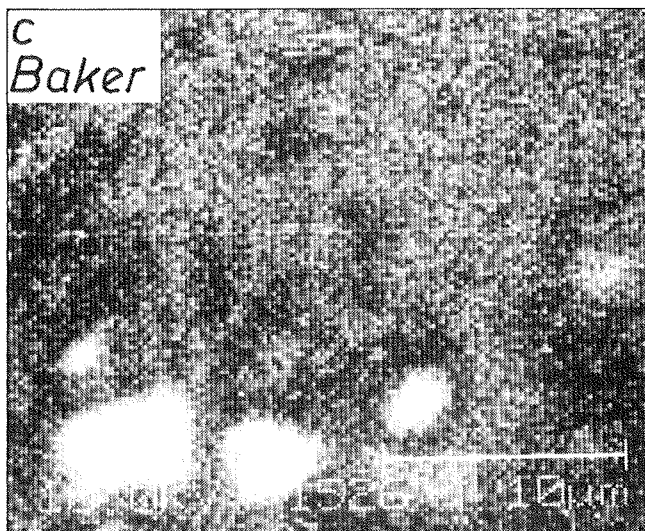
c,d,e,f,g.: Augerjeve slike (a do e) in linijska analiza (f,g) na fazni meji  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , ki kažejo porazdelitev elementov in različno kemijsko stanje Si in B (21).



a



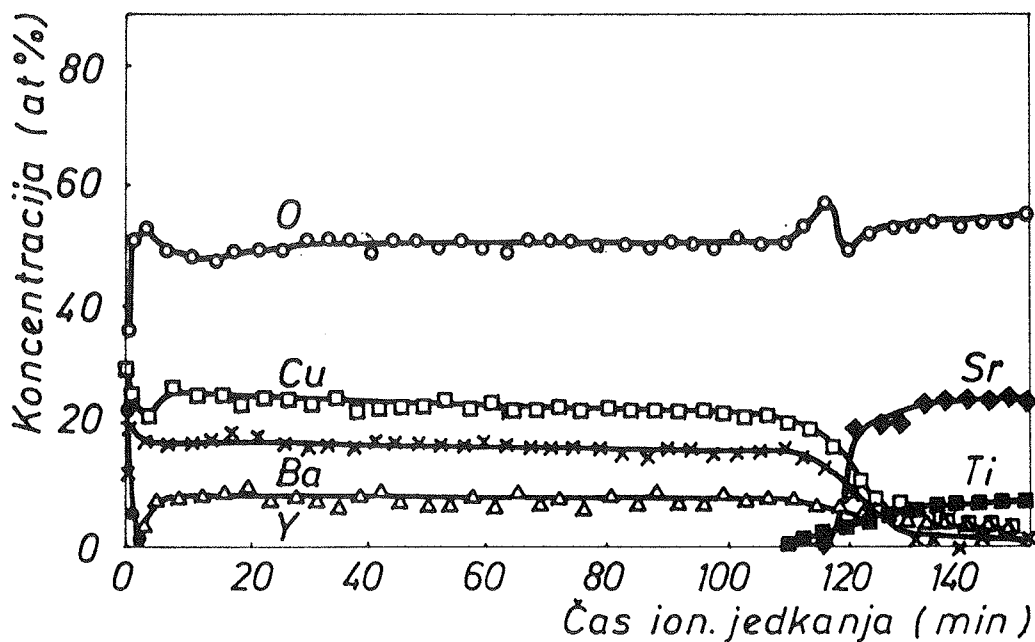
b



Sl. 3 a, b, c, d: Elektronsko-mikroskopska slika polirane površine superprevodnika Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (a) in Augerjeve slike, ki kažejo porazdelitev O (512 eV) (b), Cu (917 eV) (c) in Ca (291 eV) (d), (25).

b, c, d je prikazan primer preiskave sestave superprevodne keramike  $\text{Bi}_2\text{Pb}_{0,5}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2,5}\text{Cu}_{3,5}\text{O}_x$ , z uporabo vzbujevalnega curka elektronov s premerom okrog  $0,7\mu\text{m}$  (25). Slika 3a je elektronsko-mikroskopski posnetek površine polirane superprevodne keramike, izdelan v spektrometru Augerjevih elektronov. Dobro se vidijo posamezna keramična zrna in vmesni prostori, ki predstavljajo pore v tem materialu. Slike 3 b, c in d so izdelane z Augerjevimi elektroni O (512 eV) Cu (917 eV) in Ca (291 eV) in kažejo porazdelitev teh elementov, oz. nehomogenost sestave keramike. Prisotnost faz, ki odstopajo od stehiometrije superprevodnika, ki smo jih našli tudi v okolici mej keramičnih zrn (25), povzročajo znižanje kritične temperature  $T_c$  in omejujejo gostoto toka

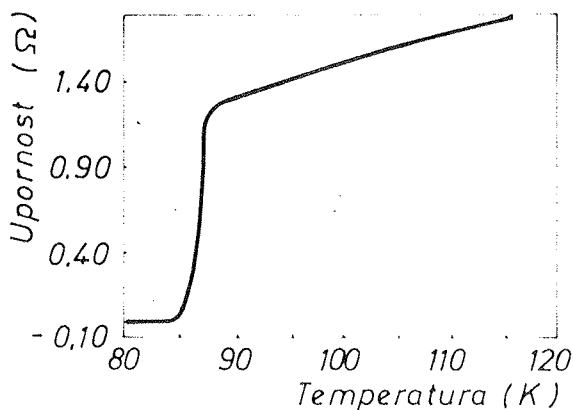
na  $10\text{A}/\text{cm}^2$  (25, 26). Z raziskavami superprevodnih materialov z metodo AES smo ugotovili, da imajo najbolj homogeno sestavo napršene tanke superprevodne plasti (27), ki zato tudi dosegajo optimalne električne lastnosti, kar jim daje bodočnost in prednost pred drugimi superprevodnimi materiali. Kot primer AES profilne analize navajamo v tem delu profilni diagram superprevodne tanke plasti  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  na podlagi  $\text{SrTiO}_3$ , z orientacijo osnovne ploskve (100). Iz profilnega diagrama na sl. 4 vidimo, da ima superprevodna plast, razen na površini in na meji s podlago, homogeno sestavo, ki je blizu stehiometriji  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . To se kaže tudi v njenih električnih lastnostih: plast ima ničelno upornost pri 85K, širina temperaturnega prehoda pa je okrog 3K (sl. 5).



Sl. 4: AES profilni diagram  $0,5\mu\text{m}$  debele superprevodne tanke plasti  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  na podlagi  $\text{SrTiO}_3$

Kot primer mejne zmogljivosti AES profilne analize prikazujemo profilni diagram večslojne strukture s kvantno jamo,  $Al_xGa_{1-x}As$ , izdelane s postopkom epitaksije z molekularnim curkom (MBE) sl. 6). Preiskava je bila napravljena v laboratoriju PERKIN-ELMER, Physical Electronics v ZDA (28), vendar s postopkom, ki je bil razvit v našem laboratoriju na IEVT in tudi patentiran (29,30). V profilni analizi je ključnega pomena dosežena globinska ločljivost, ki je odvisna od večih fizikalnih vplivov, povzročenih zaradi ionskega jedkanja vzorca (20). V splošnem se globinska ločljivost v profilnih diagramih, izdelanih s klasičnim postopkom, z njihovo glo-

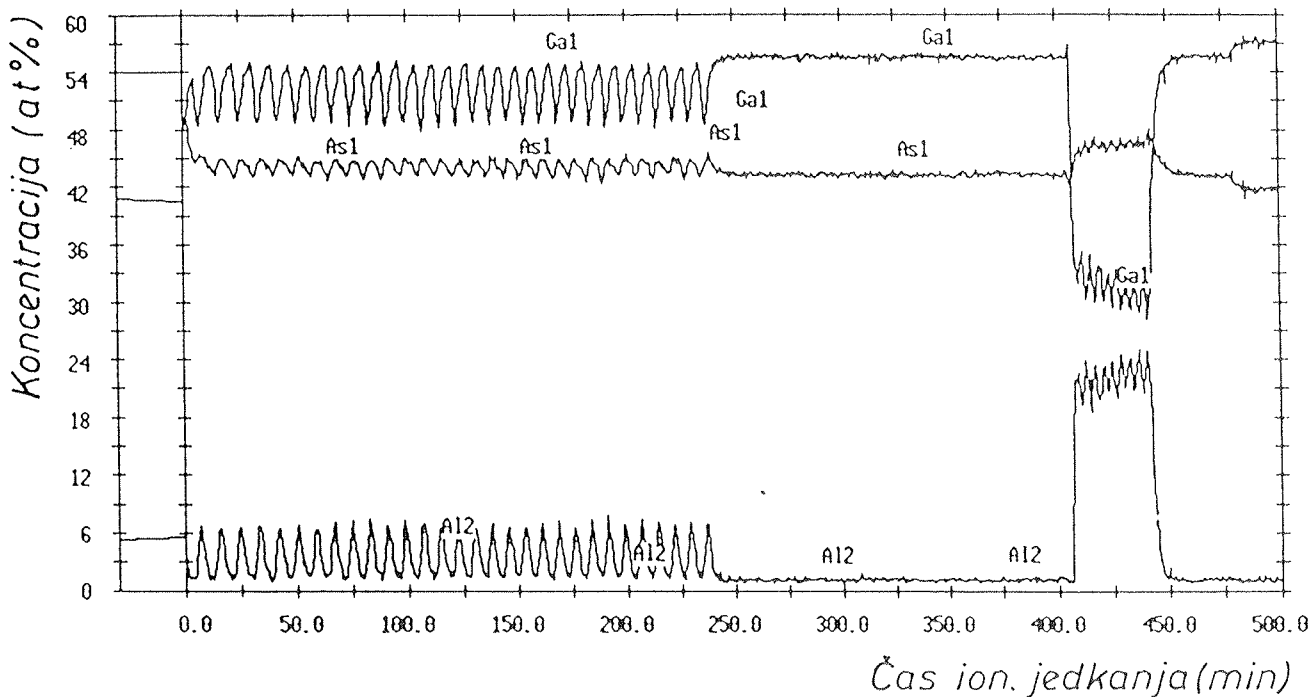
bino slabša. Posebnost profilnega diagrama na sl. 6 pa je, da je bil izdelan s profilno analizo med rotacijo vzorca v ravnini prečno na ionski curek. S tem se močno zmanjša ali celo prepreči mikrohrapavost, na površini vzorca, ki jo ionsko jedkanje povzroča na mirujočih vzorcih. V profilnem diagramu na sl. 6 prepoznamo 30 zaporednih parov tankih plasti GaAs, debeline 14,2 nm in  $Al_xGa_{1-x}As$ , debeline 6,1 nm, na 400 nm debelem GaAs, nato pa sledi še devet tanjših parov plasti GaAs, 4,0 nm/ $Al_xGa_{1-x}As$ , 4,0 nm na podlagi GaAs. Še do nedavnega, zaradi slabe globinske ločljivosti, prepoznavanje tako tankih plasti, kot jih ima navedeni vzorec, na globini večji od nekaj sto nanometrov ni bilo mogoče. Dodati je še potrebno, da je kvantitativni izračun izdelan na osnovi faktorjev relativne občutljivosti elementov za Augerjev prehod, vzeti iz priročnika (13), zato se izračunana sestava na sl. 6 samo približuje stehiometrijski sestavi vzorca.



Sl. 5: Odvisnost upornosti superprevodne tanke plasti  $YBa_2Cu_3O_7$  (prikazane na sl.4) od temperature.

4. ZAKLJUČEK

V delu so predstavljene osnove spektroskopije Augerjevih elektronov (AES), ki je danes napogrešljiva preiskovalna metoda na področju mikroelektronike, prav zaradi njene dobre lateralne in globinske ločljivosti, ki sta pogoj za preiskavo miniaturiziranih mikroelektronskih vezij v submikronskem področju. Na primeru nekaterih modernih mikroelektronskih materialov je prikazana uporabnost preiskovalnih postopkov, ki jih omogoča rastrska Augerjeva mikroanaliza in AES profilna analiza. Seveda je uporabnost metode AES v mikroelektroniki še veliko širša kot je navedeno v tem delu, saj je nepogrešljiva pri osnovnih raziskavah novih materialov, kakor tudi v industrijskih laboratorijih, pri vhodni kontroli materialov, pri



Sl. 6: Profilni diagram večslojne strukture  $Al_xGa_{1-x}As$ , izdelan z AES profilno analizo med vrtenjem vzorca (1 obr/min) (28,30).

preiskavi defektnih elementov, pri kontroli površin po posameznih tehnoloških operacijah kot so čiščenje in jedkanje, nadalje pri procesiranju, pasivaciji, spajkanju, bondiranju ali pa pri bolj zahtevnih postopkih, kot so kontrola učinkovitosti difuzijskih barier ali pa tvorba silicidov. Pri razvoju in izdelavi zahtevnih mikroelektronskih vezij zadnje generacije, ki so praviloma sestavljeni iz večslojnih struktur pa razen analize AES v vodilnih mikroelektronskih firmah uporabljajo še druge metode za preiskavo površin, kot sta spektroskopija fotoelektronov vzbujenih z rentgenskimi žarki (XPS = ESCA) in masna spektrometrija sekundarnih ionov (SIMS). Ne ene ne druge metode v Sloveniji nimamo, nad čemer naj bi se potencialni uporabniki, skupaj z odgovornimi iz Ministrstva za znanost in tehnologijo, resno zamislili.

## ZAHVALA

Firmi Perkin-Elmer, Physical Electronics, Eden Prairie, Minnesota, se zahvaljujem, ker mi je dovolila uporabiti profilni diagram MBE- večslojne strukture  $Al_xGa_{1-x}As$ .

## LITERATURA

1. P. Auger, J. Phys. Radium 6, 1925, 205.
2. L. A. Harris, J. Appl. Phys., 39, 1968, 1419.
3. R. E. Weber, W. T. Peria, J. Appl. Phys. 38, 1967, 4355.
4. P. W. Palmberg, G. K. Bohn, J. C. Tracy, Appl. Phys. Lett., 15, 1969, 254
5. P. F. Kane, G. B. Larabee (Eds.), Characterization of Solid Surfaces, Plenum Press, New York, 1974.
6. T. A. Carlson, Photoelectron and Auger Spectroscopy, Plenum Press, New York, 1975
7. A. W. Czanderna (Ed.), Methods of Surface Analysis Elsevier, New York, 1975.
8. D. Chattarji, The Theory of Auger Transitions, Academic Press, New York, 1976.
9. D. Briggs and M. P. Seah, Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy, Wiley, Chichester, 1st edition, 1983, 2nd edition, 1990
10. D. W. Harris, R. S. Nowicki, Applications of AES in Microelectronics, v referenci 9, druga izdaja, str.257.
11. A. Zalar, Elektrotehniški vestnik, 2-3, 1980, 61.
12. M. P. Seah, Quantification of AES and XPS, v referenci 9, druga izdaja, str.201.
13. L. E. Davis, N. C. MacDonald, P. W. Palmberg, G. E. Riach and R. E. Weber, Handbook of Auger Electron Spectroscopy, 2nd ed., Physical Electronics Industries Inc, Minnesota, 1976.
14. E. Weber, Einführung in die Faktorenanalyse, G. Fischer Verlag, Stuttgart, 1974.
15. S. W. Gaarenstroom, J. Vac. Sci. Technol. 16, 1979, 600.
16. S. Hofmann, J. Steffen, Surf. Interface Anal., 14, 1989, 59.
17. H. E. Bishop, Auger Electron Spectroscopy, v knjigi J.M.Walls (Ed.), Methods of Surface Analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 1989, 87.
18. J. C. Riviere: Instrumentation, v referenci 9, druga izdaja, str.19.
19. H. Oechsner (Ed.), Thin Film and Depth Profile Analysis, Topics in Current Physics 37, Springer, Berlin, 1984.
20. S. Hofmann, Depth Profiling in AES and XPS, v referenci 9, druga izdaja, str.143.
21. S. Muštra, A. Zalar, B. Praček, Zbornik referatov XI. Jugoslovanskega posvetovanja o mikroelektroniki, urednika M. Gojo in P. Tepina, Zagreb, 1983, 411.
22. G. E. McGuire, Auger Electron Spectroscopy Reference Manual, Plenum Press, New York, 1979.
23. A. Zalar, S. Hofmann, Surf. Interface Anal., 2, 1980, 183.
24. A. Zalar, B. Praček, F. Korošič, Zbornik referatov, Simpozij o elektronskih sestavnih delih in materialih, SD 87, urednik M. Kosec, 1987, 91.
25. A. Zalar, E. W. Seibt, M. Hrovat, S. Bernik, Supercond. Sci. Technol. 3, 1990, 409.
26. E. W. Seibt, A. Zalar, Materials Letters, 7 No 7/8, 1988, 256.
27. E. W. Seibt, A. Zalar, Materials Letters, 11, 1991, 1.
28. PHI, SAM info., Appl. Note 8901, Perkin-Elmer, februar, 1989.
29. A. Zalar, Thin Solid Films, 124, 1985, 223.
30. A. Zalar, Thin Solid Films, 193/194, 1990, 258.

*Dr. A. Zalar, dipl. ing.  
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko,  
Teslova 30,  
61000 Ljubljana*

# VEČELEKTRODNI SISTEM ZA ZUNAJŽIVČNO SELEKTIVNO AKTIVACIJO ŽIVČNIH VLAKEN

J. Rozman

**KLJUČNE BESEDE:** funkcionalna električna stimulacija, večelektrodni sistem, platinske elektrode, mielinizirana živčna vlakna, periferno živčevje, električno polje, biokibernetika

**POVZETEK:** Razvit je bil večelektrodni sistem za zunajživčno stimulacijo živčnih vlaken. Sestavljen je iz štirinajstih stimulacijskih elektrod iz platine ovite z izolacijskim listom iz biokompatibilne snovi v obliki spirale v prečnem preseku. Razvoj je temeljil na rezultatih ob histoloških preiskavah perifernih živcev, ki naj bi jih stimulirali in modelih aktivizacije mieliniziranih živčnih vlaken. Število stimulacijskih elektrod, ki so aktivirane, je odvisno od premera živca, ki ga stimuliramo. Debelejši živci avtomatsko aktivirajo več elektrod, kot tanjši.

## MULTIELECTRODE CUFF FOR EXTRANEURAL SELECTIVE STIMULATION OF NERVE FIBERS

**KEYWORDS:** functional electrical stimulation, multielectrode cuff, peripheral nerves, platinum myelinated nerve fibers, electric field, biocybernetics

**ABSTRACT:** A multielectrode nerve cuff for extraneural selective stimulation of nerve fibers has been developed. It consists of fourteen platinum stimulation electrodes embedded within a self-curling sheet of biocompatible isolation exhibiting a spiral transverse cross section. Development was based on results obtained by histological examination of peripheral nerves planned to be stimulated and on models of excitation of myelinated nerve fibers. The number of stimulating electrodes which are activated depends on the diameter of the stimulated nerve. Nerves with greater diameter automatically activate more electrodes than thin ones.

### INTRODUCTION

Functional Neuromuscular Stimulation (FNS) is based on electrical excitation of the myelinated fiber starts by imposing a sufficiently large voltage gradient over the Ranvier nodes in a fiber in the axial direction. In literature, models of nerve stimulation can be found (1,3,8,10). They describe excitation of myelinated nerve fiber during nerve stimulation when all parameters are known. Introduction of the models of the effects of electric field on myelinated nerve can be useful for the design of electrodes and electrical parameters in FNS. Models calculate and evaluate potential fields around electrodes, excitatory mechanisms and choice of electrode sites (6,9). For many applications using implanted electrodes it is important to know how many fibers could be activated by a given current signal. A simple rule is that distant fibers need stronger currents in order to be stimulated and the number of firing fibers increases with the strength of stimulation signal (2,4,7). The ideal stimulating electrodes should be able to activate individual or small groups of neural fibers within a fascicular bundle, for example, in a motor nerve. One of the possible approaches is selecting of the extraneural electrodes while the other is used for the intraneural electrodes. In both the realization of clinical systems to effect electrical activation of paralyzed muscles depends strongly on the development of electrodes that have reliable, selective and reproducible muscle force recruitment characteristics. The nonhomogeneity, anisotropy, and poorly de-

finied geometry of biological media set very serious limitations on design of such stimulation multielectrode arrays. Selective stimulation of fibers or small groups in peripheral nerves needs the development of multielectrode arrays. A possibility created by the use of multielectrode configurations for selective nerve stimulation is the independent control of groups of motor neuron fibers belonging to muscles or muscle groups with different functions. In this situation the motoneuron groups recruited by different electrodes should also belong to different muscles or muscle groups (6,9). Selective stimulation of fascicle in the middle of the multifascicle nerve is best with intrafascicular electrode and worse with extraneural electrode (9). However, with extraneural electrode, selective stimulation of superficial fascicles near the electrode seems to be possible. It was shown that with an extraneural electrode parts of fascicle closest to the electrode are recruited, as shown experimentally by McNeal and Bowman (6). Consequently, multielectrode configurations can be used for stimulating different muscles from the same nerve. In spite of the fact of inverse recruitment found for extraneural electrodes by Petrofsky, Fang and Mortimer, and Veltink (2,7,9) and the fact that it is hardly possible to achieve stable, selective stimulation of fibers from outside the nerve, we decided to develop a multielectrode system for extraneural stimulation. Such a decision was based upon the request for minimization of neural damage which can occur by using intraneural or intrafascicular electrodes.



## METHODS

A multielectrode cuff with a spiral transverse crosssection for extraneural selective stimulation of nerve fibers was designed to be expandable so that it could be sized to fit around a nerve (5). It was designed to be simple to install on the nerve trunk without the use of sutures. The cuff is manufactured by bonding two flexible silicone sheets together. One sheet is stretched and fixed in that position; an adhesive layer is spread over the stretched sheet while a second unstretched sheet is placed on top of the adhesive and the composite is compressed to a constant thickness. The cuff having been released, curls into a spiral tube as the stretched sheet contracts to its natural rest length. The diameter of the cuff is related to the amount of the stretch, the smaller the diameter. Fourteen electrodes with geometric surface of  $2 \text{ mm}^2$  made of thin platinum ribbon (99.99 % purity) together with lead wires are then mounted on the third reinforced silicone sheet and bonded on the inner side of the mechanically opened spiral cuff. The completed multielectrode cuff is then cut from the bonded sheets and trimmed to appropriate length as shown in Figure 1.

## RESULTS

Small electrodes of the multielectrode cuff are needed to effect selective activation of small groups of the nerve fibers. However it is necessary to depolarize axons at some distances from the electrode, and consequently it is desirable to be able to inject enough charge without tissue damage and electrode corrosion. The electromechanical technique of cyclic voltammetry was used to delineate an operational potential window between hydrogen and oxygen evolution in a protein containing solution. In Figure 2 is a cyclic voltammogram of one electrode showing the potentials at which reversible surface reaction occur. Hydrogen evolution began at about  $-0.8 \text{ V}$ , oxidation of the absorbed hydrogen appea-

red when the potential was changed in positive direction at about  $-0.7 \text{ V}$ . Oxidation of the electrode surface and decomposition of water started at about  $1.0 \text{ V}$ .

## DISCUSSION

The cuff was designed to enable monopolar, bipolar and multipolar extraneural stimulation of the peripheral nerve. In the monopolar type, the neutral common anode can be situated elsewhere in the vicinity of the multielectrode cuff, while each of the stimulating electrodes can be connected to one of the stimulating channels alone or in any combination with the other electrodes. In bipolar and multipolar type, each of the stimulating electrodes can be used as stimulating or neutral electrodes or in all possible combinations with other electrodes of the multielectrode system. Consequently, there is a great possibility of creating different electrical fields around the nerve for the aim of activating desired fibers or small groups. For the multielectrode cuff important factors relating to safety, such as chemical composition, mechanical flexibility, geometric configuration, and size, were considered during manufacturing. Accepted biomaterials such as medical grade Silastic and Teflon, type 316 stainless steel, and platinum were used in cuff manufacture. Animal experiments with the goal of getting information on selectivity, sensitivity and stability of stimulation using such system are in preparation.

## REFERENCES

- 1) Coburn, B. and Sin, W. K.: A theoretical study of epidural electrical stimulation of the spinal cord - Part 1: Finite element analysis of stimulus field. IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME- 32, pp. 971-977, 1985
- 2) Fang, Z.- P. and Mortimer, J. T.: A method for attaining natural recruitment order in artificially activated muscles. Proc. 9th

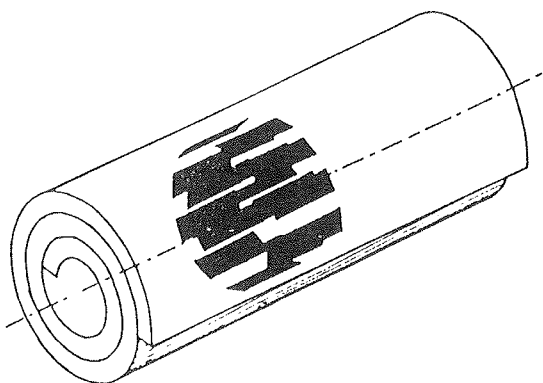


Fig. 1: A multielectrode cuff of extraneural selective stimulation of nerve fibers.

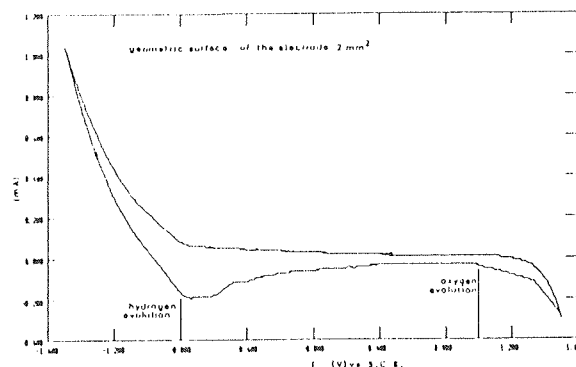


Fig. 2: Cyclic voltammogram of one Pt electrode Sweep rate:  $0.5 \text{ V/sec}$ . Electrolyte: Elliott's buffered solution, pH 7.3.

Ann.Conf. IEEE Eng. in Med. & Biol. Soc., Boston, 13th-16th Nov. 1987, 657-658, 1987

3) Ganapathy, N., Clark, J.: Extracellular currents and potentials of the active myelinated nerve fiber. *Biophys. J.*, Vol. 52, pp. 749-761, 1987

4) Gorman, P. H. and Mortimer, J. T.: The effect of stimulus parameters on the recruitment characteristics of direct nerve stimulation, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol. BME-30, pp. 407-414, 1983

5) Naples, G. G., Sweeny, J. D. and Mortimer, J. T. (inventors): Implantable cuff, Method and manufacture and method of instalation. U.S. Patent #4, 602, 624 July 29, 1986

6) Mc Neal, D. R. and Bowman, B. R.: Selective activation of muscles using peripheral nerve electrodes. *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, vol.23, pp. 249-253, 1985

7) Petrofsky, J. S. and Phillips, C. A.: Impact of recruitment order in electrode design for neural prosthetics of skeletal muscle. *American Journal of Physical Medicine*, vol.60, pp. 243- 253, 1981

8) Rattay, F.: Analysis of models for external stimulation of axons, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-33, pp. 974-977, 1986

9) Veltink, P. H., Van Alste, J. A. and Boom, H.B.K.: Simulation of intrafascicular and extraneural nerve stimulation. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-53, pp. 69-75, 1989

10) Veltink, P. H., Van Veen, B. K., Struijk, J.J., Holsheimer, J. and Boom, H.B.K.: A model study of nerve fascicle stimulation. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME36, pp. 683-692, 1989

*Mag. J. Rozman, dipl. ing.  
Laboratorij za biokibernetiko,  
Oddelek za biokibernetiko in robotiko,  
Institut Jožef Stefan, Univerza v Ljubljani,  
Jamova 39, Ljubljana  
Republika Slovenija*

**Prispelo: 15. 01. 1992**

**Sprejeto: 10. 03. 1992**

# TEHNOLOGIJA JEDKANJA ALUMINIJEVIH KATODNIH FOLIJ ZA ELEKTROLITSKE KONDENZATORJE

Leopold Vehovar, Stanislav Vehovar

**KLJUČNE BESEDE:** aluminijeve folije, katodne folije, elektrolitski kondenzatorji, kemični sestav, mikrostruktura, elektrokemično jedkanje, tehnologija jedkanja, lastnosti materiala, tehnološke lastnosti, rezultati preskušanja

**POVZETEK:** Cilj raziskovalnega dela je bil razvoj tehnologije jedkanja aluminijevih katodnih folij za elektrolitske kondenzatorje. V povezavi z metalurškimi faktorji v materialu je bil raziskovan vpliv različnih jedkalnih raztopin, njihove temperature in elektrokemičnih parametrov jedkanja, ki kreirajo kapacitivnost folij.

## ETCHING TECHNOLOGY OF ALUMINIUM CATHODE FOILS FOR ELECTROLYTIC CAPACITORS

**KEY WORDS:** aluminium foils, cathode foils, electrolytic capacitors, chemical composition, microstructure, electrochemical etching, etching technology, materials preparaties, technological preparaties, test results

**ABSTRACT:** The aim of this research work was to develop the etching technology of aluminium cathode foils for electrolytic capacitors. In connection with metallurgical factors in materials, the influence of different etching solutions and its temperatures have been researched, and quite so electrochemical etching parameters, which create capacity of foils.

### 1. UVOD

Tehnologija izdelave elektrolitskih kondenzatorjev je že vrsto let usmerjena v produkcijo folij s čim večjo kapacitivnostjo. To omogoča izdelavo manjših kondenzatorjev, kar je pomembno za številno industrijo. Kapacitivnost folij pa je odvisna od topologije njihove površine, ki mora biti dovolj razvejana, kajti kapacitivnost je v direktni povezavi s površino.

Kapacitivnost predstavlja:

$$C = \frac{Q}{U}$$

pri čemer je C kapacitivnost (F), Q je naboj oz. elektrina (As), U pa napetost (V) med elektrodami kondenzatorja.

Odvisnost med kapacitivnostjo in površino S (m<sup>2</sup>) elektrode (npr. katodne folije) lahko zapišemo:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

$\epsilon$  je dielektrična konstanta (F/m), d pa razdalja (m) med elektrodama.

Čim večja je torej površina folije po jedkanju, tem večja je kapacitivnost.

Predpostavili smo, da stanje površine, t.j. razvejanost izjed ni odvisna le od vrste elektrolita in pogojev zunanje polarizacije (gostote toka pri elektrotermičnem jedkan-

ju), temveč tudi od elektrokemičnih reakcij na površini folije in v jamicah, katerih kinetika je pogojena z odzivom materiala z vsemi njegovimi značilnostmi, kot so mikrostruktura, velikost in razporeditev različnih faz, kristalna zgradba, napake v kristalni mreži, gostota dislokacij in v zvezi s tem različna napetostna stanja v kristalni mreži.

Na kinetiko korozijskih procesov vpliva tudi sestava elektrolita, njegova pH vrednost, stopnja disociacije in tudi njegova električna prevodnost. Da bi ustvarili čim več korozijskih žarišč, je bilo torej potrebno izkoristiti vse prednosti materiala in elektrolita ter na tej osnovi ustvariti kompromis med globino jamic, njihovo razvejanostjo in številom.

### 2. RAZISKAVE IN ZAKLJUČKI

#### 2.1. Osnovne karakteristike katodne folije

Osnovno – nejedkano folijo z debelino 40  $\mu$ m je izdelal IMPOL iz Slovenske Bistrice. Kemična sestava zlitine je prirejena tako, da omogoča bodisi primarne, bodisi sekundarne mikrostrukturne izločke, ki direktno vplivajo na jedkalne sposobnosti folije. Sestava končno izbrane zlitine je naslednja:

%Fe	%Mn	%Cu	%Si	%Mg	%Zn	%Ti	%Al
0,64	1,23	0,20	0,23	0,0034	0,0027	0,02	ostanek

Različna toplotna obdelava in način valjanja kreirata mikrostrukturo folije. Ugotovili smo, da se v matrici nahaja intermetalna faza (sivi izločki na sl. 1), ki jo sestavljajo elementi Al, Fe in Mn, ta kompleks pa vsebuje še manjši delež Cu. Glede na matrico je ta faza katodne narave, njena ugodna porazdelitev po celotnem volumnu zrn pa omogoča dovolj veliko termodinamično nestabilnost folije in s tem nastajanje drobnih jamic pri jedkanju (sl. 2).

Kristalno zrno folije je drobno. Zaradi valjanja od 0,5 mm na končno debelino 40 µm pa je deformirano v smeri valjanja. Takšen postopek hladne deformacije povečuje gostoto dislokacij v materialu in s tem jedkalno sposobnost folije.

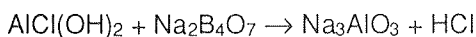
## 2.2. Jedkanje folij

Jedkanje folij predstavlja degradacijo materiala, zato je potrebno upoštevati vse zakonitosti elektrokemičnega procesa na elektrodnih površinah. Za uspešno jedkanje so poleg notranjih dejavnikov (mikrostrukture) predvsem bistveni zunanji npr. številni ioni v elektrolitu (zelo vplivni so Cl<sup>-</sup> ioni), ki preprečujejo pasivacijo kovine z ioni oksidacijskega karakterja. Pravilno razmerje redukcijskih in oksidacijskih komponent in še posebej ustrezen dodatek različnih moderaterjev, ki regulirajo korozijski proces (hitrost jedkanja, globino in razvejanost jamic itd.), omogoča jedkanje folij z visoko kapacitivnostjo. Pri tem pa je pomembna še temperatura elektrolita in gostota istosmernega toka jedkanja, oz. potencial anodne reakcije.

Postopek jedkanja sestavljajo različne faze in sicer:

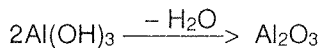
- Razmaščevanje folije;
- Aktivacija površine (elektrokemično, kemično ali mehansko s krapavljenjem);
- Elektrokemično jedkanje z istosmernim tokom ali kombinacijo izmenični – istosmerni tok;
- Spiranje jedkane folije z vročo vodo (45-50°C);
- Spiranje s čisto tekočo vodo;
- Spiranje v 1-2% vodni raztopini Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> pri 100°C 10-15 minut;
- Spiranje s čisto tekočo vročo vodo 2-5 minut;
- Kratkotrajno sušenje folije med žarečo električno spiralo.

Procesi spiranja jedkane folije izrazito vplivajo na kvaliteto folije, kajti v jamicah zaostali kloridi vezani kot AlCl(OH)<sub>2</sub>, lahko bistveno zvišajo življensko dobo kondenzatorja. Z dodatkom Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> v vodo za spiranje dosežemo, da se sicer težko odstranljivi AlCl(OH)<sub>2</sub> pretvarja v slabo adherentne in topne komponente, ki se s spiranjem odstranijo s površine folije. Redukcija je naslednja:

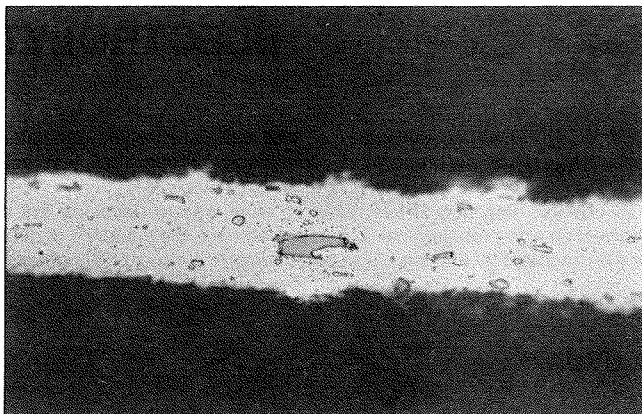


Kratkotrajno sušenje (žarjenje) folije omogoča predvsem nastajanje alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ki preprečuje tvorbo Al

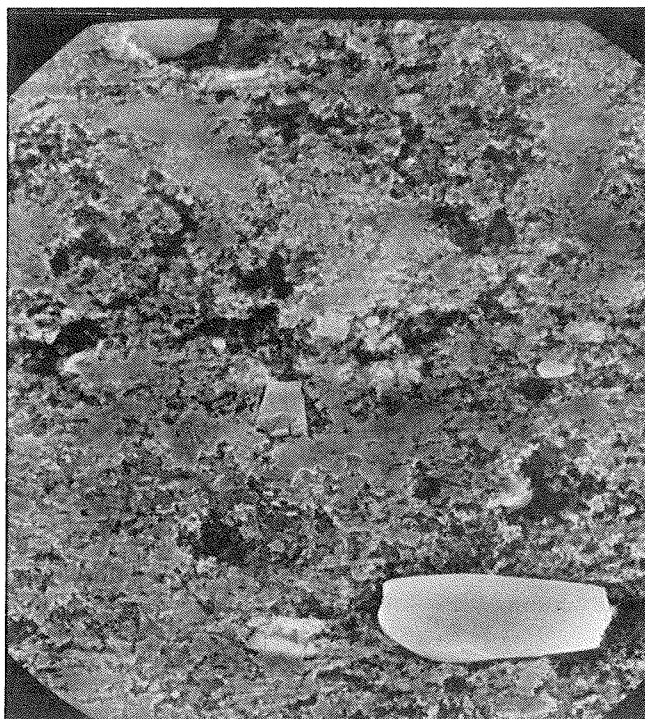
hidroksida z reakcijo aluminija in elektrolita v kondenzatorju. Nastajanje hidroksida namreč zmanjša površino in s tem kapacitivnost. Alumina nastaja z dehidratizacijo Al(OH)<sub>3</sub>:



Mnoge raziskave, ki smo jih izvedli so pokazale določene zakonitosti, ki kreirajo dogajanje na elektrodnih površinah. Jedkanje pri previsokih napetostih sicer omogoča nastajanje razvejanih jamic, vendar pa je njihova rast izrazito usmerjena v globino. Med številnimi jamicami tako ostajajo še vedno nejedkana pasivna področja (sl. 3). Takšen mehanizem je možen zato, ker je pasivni film katodne narave, maloštevilne jamice pa imajo majhno površino, oz. veliko gostoto anodnega toka. Posledica tega je globinska usmerjenost rasti jamic na določenih lokacijah. Takšna folija ima nizko kapacitivnost



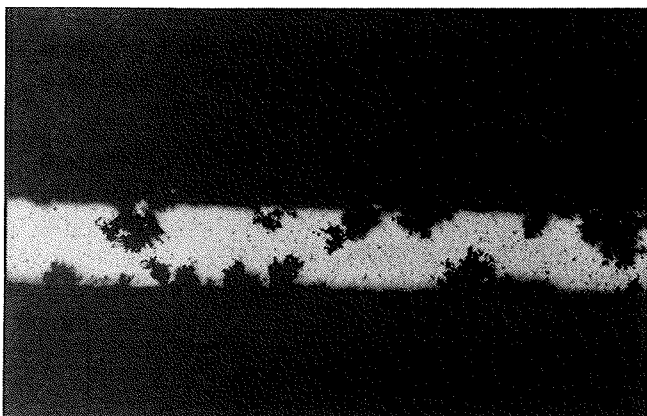
Sl. 1: pov. 500x: Mikrostruktura folije z značilnimi katodnimi izločki intermetalne faze.



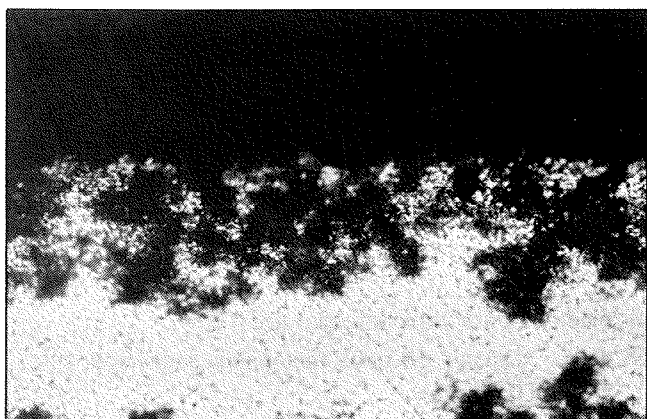
Sl. 2: SEM posnetek katodne intermetalne faze, v okolici katere se anodna Al-matrica intenzivno jedka. Pov. 3000x.



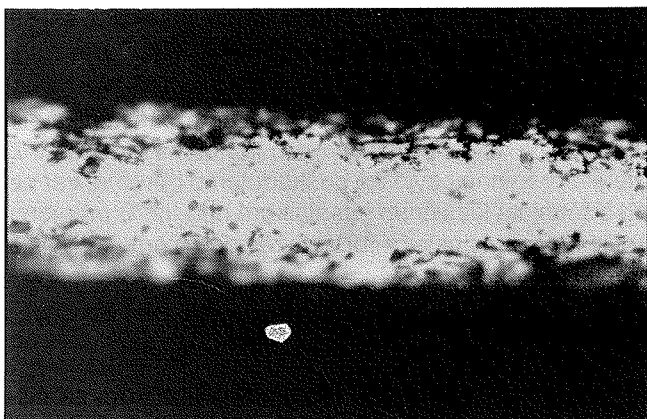
Sl. 3: pov. 500x: Lokalno jedkanje folije.



Sl. 4: pov. 200x: Głoboke izjede znižujejo nateznost in žilavost folije.



Sl. 5: pov. 500x: Razraščanje jamic v obliki številnih tunelov.



Sl. 6: pov. 500x: Jedkana folija s kapacitivnostjo 200 F/cm<sup>2</sup> in pretržno silo 56 N/10 mm.

in slabe mehanske lastnosti zaradi zmanjšanja nosilnega preseka (sl. 4). Podobne anomalije nastajajo pri uporabi prevelike količine oksidantov, ali neprimerne količine različnih modifikatorjev anorganskega ali organskega izvora.

Pravilno jedkanje zavzema celotno površino, številne jamice pa so medsebojno povezane s tuneli, ki nastajajo na drsnih ravninah kristala in po kristalnih mejah (sl. 5). Tako ostaja nosilni presek nepoškodovan (sl. 6). S takšnim načinom jedkanja smo pri 40  $\mu\text{m}$  debeli foliji dosegli kapacitivnost od 212 do 233 F/cm<sup>2</sup> in primerno pretržno silo folije (do 68 N/10 mm). Pri jedkanju folij z večjo kapacitivnostjo pa trdnost materiala izrazito pade. Pri 300 F/cm<sup>2</sup> znaša pretržna sila le 18 N/10 mm, kar je nižje od zahtev npr. Alusingena, ki za 40  $\mu\text{m}$  debelo folijo predpisuje minimalno 24 N/10 mm.

Po naših izkušnjah je najprimernejši medij za jedkanje raztopina, ki vsebuje NaCl, HCl in različne anorganske modifikatorje. Takšen elektrolit je v celoti disociiran, ima visoko električno prevodnost ter stabilnost do 80°C. Gostota toka jedkanja znaša 1,25 A/cm<sup>2</sup>, napetost pa 5V.

#### LITERATURNI VIRI

1. J. A. Houldsworth, H. Schmickl: Electrolytic Capacitors for Industrial Applications, Electronic Components and Applications, Vol. 3, No. 3, May 1981, str. 167-173
2. K. Kubo in sodelavci: A Miniaturized Aluminium Solid Capacitor, New PR Type Aloxeon, Fujitsu Sc. Tech. Journal, September 1968, str. 59-85
3. H. Igarashi, S. Shimizu, Y. Kubo: Development of a New Al-Ti Al-loy Electrolytic Capacitor, IEEE Transactions, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. CHMT-6, Dec. 1983, str. 363-371
4. C. G. Dunn in sodelavci: A SEM Study of Etched Aluminium Foil for Electrolytic Capacitors, J. Electrochem. Soc., Vol. 118, No. 2, 1971, str. 381
5. J. M. Albella in sodelavci: A Mathematical Approach to the C-V Product in Aluminium Electrolytic Capacitors, J. Electrochem. Soc.: Electrochemical Sc. and Tech. Vol. 125, No. 12, Dec. 1978, str. 1950-1954
6. H. Tominaga, S. Hiyoma, H. Sasaki: Electron Microscopic Study of Growth Mechanism of Anodic Oxide Films on Aluminium, Fujitsu Sc. Tech. Journal, March 1968, str. 183-219.

*Doc. dr. Vehovar Leopold, dipl. ing. met.  
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije,  
Lepi pot 11,  
61000 Ljubljana, Slovenija*

*Vehovar Stanislav, dipl. ing. met.  
IMPOL Slovenska Bistrica,  
62310 Slovenska Bistrica*

**Prispelo: 12. 02. 1992**

**Sprejeto: 10. 03. 1992**

## PRIKAZI DOGODKOV, DEJAVNOSTI ČLANOV MIDEM IN DRUGIH INSTITUCIJ

### CENTRALNI SESALNI SISTEM

#### UVOD

Eden osnovnih pogojev za uspešno mikroelektronsko proizvodnjo je čisto okolje v najširšem pomenu besede. Začetni material, kemikalije, plini, voda, procesne komore in proizvodno okolje morajo zadoščati ustreznim kakovostnim kriterijem, ki zagotavljajo nizek nivo kontaminacije proizvoda in s tem posredno omogočajo visok izplen in vgraditev kvalitete v proizvod.

V proizvodno okolje štejemo prostore in delovna mesta, kjer se odvijajo procesi ter ljudi, ki upravljajo stroje in opravljajo določene tehnološke operacije.

Filozofija čistega okolja je bila do sedaj vedno zaščititi proizvod od okolice in ljudi, ki so potencialni vir delcev in kontaminacije. Konstrukcija delovnih prostorov in delovnih mest je zato taka, da se proizvod vedno nahaja v zavesi čistega filtriranega zraka, ljudje, ki delajo v takih prostorih pa morajo biti oblečeni v predpisane obleke za čiste prostore.

Eden trajnih problemov v čistih prostorih je tekoče vzdrževanje čistosti, saj se navkljub stalni filtraciji zraka, prah le nabira na delovnih površinah, v skritih kotičkih, na visokih nedosegljivih mestih, vnašamo pa ga v čisti prostor tudi ljudje z gibanjem skozi, oz. iz prostora v prostor.

Za brisanje procesnih komor in delovnih površin uporabljamo posebne krpe za čiste prostore in to počnemo v glavnem ročno. Tak postopek seveda ne pride v poštev za čiščenje tal v čistih prostorih.

#### ELEMENTI CENTRALNEGA SESALNEGA SISTEMA

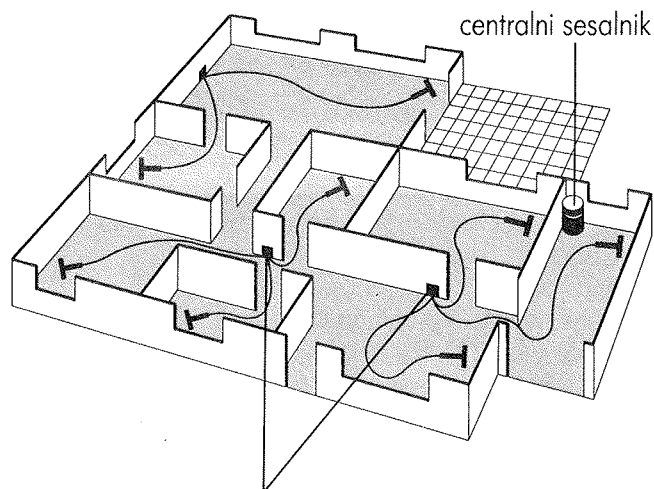
Za vzdrževanje čistosti tal je najbolj priročen sesalec s tem, da je sesanje prahu s klasičnim sesalcem nesprejemljivo, saj bomo v prostor vnesli več prahu kot pa ga odesali. Klasični sesalniki lahko zadržijo samo delce večje od 5 mikrometrov, so hrupni, poleg tega pa kontaktne grafitne krtačke sesalnikov s kolektorskim motorjem razpršujejo po prostoru izredno droben grafitni prah.

Uporaba centralnega sesalnega sistema reši vse našete probleme naenkrat.

Pri uporabi CSS zrak ne ostaja v prostoru kjer sesamo, ampak potuje z veliko hitrostjo po cevnem razvodu do centralnega sesalnika, ki je nameščen v servisnih pros-

#### Osnovni elementi centralnega sesalnega sistema (CSS), ki ga vgradimo v objekt so (slika 1):

- \* centralni sesalnik, ki je nameščen v pomožnem prostoru,
- \* sistem gladkih plastičnih cevi premera 50 mm,
- \* priključki v ustreznih razmakh, da s pregibno cevjo dolžine 5 - 7 m dosežemo vse točke v prostoru,
- \* vtičnice, v katere vtaknemo pregibno cev in s tem avtomatično vklopimo centralni sesalnik. Vtičnice so lepo oblikovane, pokrite s pokrovom, ki ga po potrebi lahko zaklenemo.



vtičnice, v katere vtaknemo pregibno cev

Sl. 1: Osnovni elementi centralnega sesalnega sistema

torih objekta. Posesani zrak s prahom, ki se skozi filter sesalnika sfiltrira, lahko zajamemo in speljemo izven objekta. Prav tako se izognemo hrupu sesalnika, saj se v prostoru, kjer čistimo sliši samo srk zraka.

Čiščenje s CSS je enostavno in hitro. Sesalnika ne prenašamo več iz prostora v prostor in med etažami. Z mehko pregibno cevjo ne poškodujemo opreme, kar se pri čiščenju s klasičnim sesalnikom dogaja. S pregibno cevjo in togimi priključki brez težav dosežemo tudi višje ležeča mesta.

#### Osnovni princip čiščenja s CSS:

Pregibno cev s primerno izbranim priključkom za čiščenje vklopimo v vtičnico. Centralni sesalnik se takrat avtomatično vklopi. Ko posesamo površino, izklopimo cev iz vtičnice. Sesalnik se ponovno avtomatično izklopi.

Pri načrtovanju sistema moramo upoštevati, da dosežemo s 5 - 7 m dolgo pregibno cevjo vse točke prostora, ki ga nameravamo čistiti. Upoštevati moramo vse ovinke okoli opreme, vrat in stopnic.

Centralna sesalna napeljava je izvedena iz plastičnih cevi premera 50 mm, s tem da morajo biti vsi fazonski kosi predhodno znotraj zglajeni, sam sistem spajanja pa tak, da je napeljava znotraj popolnoma gladka in zrako-tesna.

Vtičnice povezuje dvožilni signalni kabel za nizko napetost (12 - 24 V).

Centralna sesalna napeljava je lahko vgrajena vidno (nadometno) ali pa vgrajena v objekt (podometno) kot vse ostale instalacije. Vtičnice so lahko stenske ali talne. Stenske vakuumske vtičnice so narejene iz odporne plastike in so estetsko oblikovane, slika 2. Talne vakuumske vtičnice so v osnovi iz plastike, pokrov pa je kovinski (nerjavč, medeninast ali bakren), slika 3. Oboje vtičnice so opremljene s stikalom za daljinski vklop lahko pa imajo vgrajeno tudi ključavnico. Zaprte vtičnice popolnoma tesnijo.

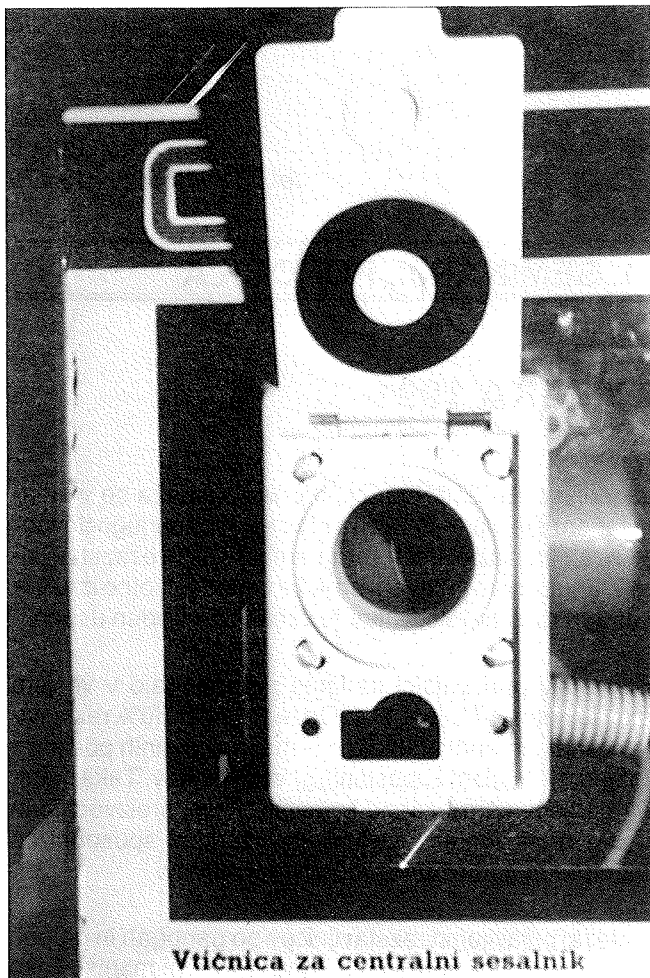
Centralni sistem je namenjen sesanju suhih površin, tekočino pa lahko sesamo samo, če imamo predposodo,

oz. separator, ki loči tekočino od trdih delcev, ki gredo v cevni razvod.

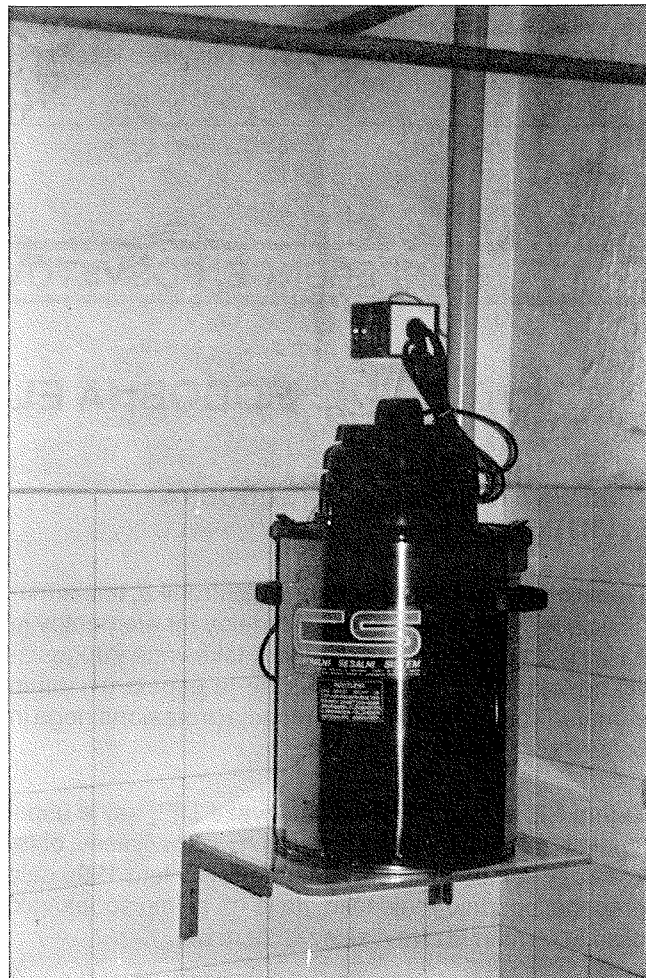
Za CSS uporabljamo predvsem industrijske sesalnike, slika 4. Izbira le-teh je na trgu velika, zato ustrezen sesalnik izberemo glede na zahtevo po hkratnem delovanju več priključnih mest. Za delovanje ene vtičnice zadostuje sesalnik, ki ima kapaciteto pretoka zraka 50 l/sec in dosega max. podpritisk vsaj 2 kPa.



Sl. 3: Talne vakuumske vtičnice



Sl. 2: Stenska vakuumska vtičnica



Sl. 4: Sesalnik postavljen v servisni prostor objekta

V Republiki Sloveniji se z izdelavo in montažo centralnega sesalnega sistema že od leta 1986 ukvarja Primož Tavčar.

Pohvali se lahko z industrijskimi vgradnjami in instalacijami CSS v individualnih stanovanjskih hišah.

**Prednosti centralnega sesalnega sistema :**

- \* klasični sesalniki, ki jih moramo prenašati iz prostora v prostor niso več potrebni,
- \* skorajda neslišno delovanje sistema v primerjavi s klasičnimi aparati,
- \* klasični sesalniki izpihajo nazaj v prostor drobne delce prahu, viruse in bakterije, ki po čiščenju še več ur lebdijo v zraku, ki ga vdihavamo; to je še posebej neprijetno za osebe, ki so alergične na prah; pri uporabi CSS se tudi najbolj drobni delci zbirajo v centralnem sesalniku, od koder jih brez težav odstranimo iz objekta,
- \* pregibna plastična cev je mehka, zato pri čiščenju ne poškodujemo robov opreme, kar se pri uporabi klasičnega sesalnika pogosto dogaja,
- \* čiščenje s centralnim sesalnikom je hitrejše, enostavnejše, z uporabo nastavkov pa tudi učinkovitejše; s pregibno cevjo brez težav dosežemo pajčevino na stropu in prah na višje ležečih površinah.

Od večjih vgradenj omenimo naslednje:

- \* mikroelektronika (CSS v Mikroelektronskem laboratoriju pri Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo Univerze v Ljubljani),
- \* industrijski objekti (proizvodnja otroške hrane Podravka v Koprivnici, prototip čiščenja v tovarni juh v Podravki, prototip odsesovanja manjših delcev v proizvodnji čokolade Gorenjka v Lescah, tehnična rešitev odsesovanja iz brusnih mest v emajlirnicah ter sistem čiščenja višje ležečih mest v tovarni gospodinjskih aparatov Gorenje v Velenju, sistem čiščenja višje ležečih mest v valilnici Jata itn..),
- \* računalniški centri (A-banka, Petrol),
- \* \* poslovne stavbe (prizidek poslovne stavbe Ljubljanske banke s cca 3000 m<sup>2</sup> površine),
- \* ostalo (mladinski dom Malči Belič v Ljubljani, Betnavski grad v Mariboru, hotelski del športnega centra hotela Relax v Kranjski gori....).

Za vse dodatne informacije o CSS se obrnite na

*Primož Tavčar*  
61357 Notranje Gorice  
Notranje Gorice 232  
tel 061 651 589

in

*MIKROIKS d.o.o.*  
61000 Ljubljana  
Dunajska 5  
tel.061 312 898, 319 170

---

---

## KONFERENCE, POSVETOVANJA, SEMINARJI, POROČILA

---

---

### SODOBNA ELEKTRONIKA 1991

#### TISKOVNA KONFERENCA - SODOBNA ELEKTRONIKA 91

Tradicionalna razstava Sodobna elektronika, telekomunikacij, RTV difuzije in sestavnih delov ter elementov je naša najstarejša in edina prireditev take vrste v Jugoslaviji od leta 1953. Razstava SE se je uspela uvrstiti in afirmirati kot ugledno mesto srečanja profesionalnega in poslovnega sveta elektronike.

Sejem SE je član mednarodne zveze UFI, saj je uspel izpolniti zahteve tako po številu tujih razstavljalcev, obiskovalcev in infrastrukture. Sejem SE je v letu 1990 celo presegel spodnjo mejo tako, da je na sejmu sodelovalo blizu 50% tujih razstavljalcev iz 22 držav.

Splošna gospodarsko politična situacija v Sloveniji in drugih delih bivše Jugoslavije je seveda vplivala tudi na

letošnji sejem Sodobna elektronika. Odraža se v zmanjšanem številu tujih razstavljalcev, izpadu jugoslovanskih razstavljalcev ter v spremembi strukture razstavljalcev. Kljub vsem težavam pa je še vedno prisotno iz tujine kar 230 razstavljalcev, kar je vsekakor izreden uspeh.

Slovenski proizvajalci se letos predstavljajo v večjem številu, letos 141, lani 114. Od tega je kar 50% razstavljalcev takoimenovanih d.o.o. - malih zasebnih podjetij z majhnim številom zaposlenih strokovnjakov. Taka manjša podjetja so na zahodu večina nosilci proizvodnje in uslug profesionalne elektronike in edini sposobni za hitro preusmeritev proizvodnih programov.

Položaj prijavljenih razstavljalcev po panogah in grupah eksponatov je v primerjavi z lanskim letom manjši. Tako kot lani je na prvem mestu grupa sestavnih delov, enot in materialov v višini 33,9% - lani 40,4%, med njimi so



največji proizvajalci Siemens, Burns, AMC, Comeltec, Iskra, Tesla, Institut Jožef Stefan. Drugo mesto pripada profesionalni elektroniki, ki je zastopana letos 28,3%, to je skoraj enako kot v letu 1990, med njimi so največji Asea Brown Boveri, Phoenix Contact, Telemecanique, Iskra, Tegrad, IMP Telecom, RIZ, Inštitut Mihajlo Pupin. Na tretjem mestu so razstavljalci inženiringa, računalniške podpore, montaže in vzdrževanja s 15,5% udeležbo, lani 2,1%. Prav s tega področja je število slovenskih razstavljalcev preseglo lanskoletno udeležbo. Med njimi so največji Hewlet Packard, Hermes Plus, Metalka MDS, Eurobit, Roland, Marand, Cartronik, Intertrade IOP, Emona Globtec, Oria Zagorje. Kljub temu, da je obstajala velika nevarnost, da se programska usmeritev sejma elektronike zaradi povečanja števila razstavljalcev iz te grupe podre, se to ni zgodilo. Četrto mesto zavzemajo telekomunikacije z udeležbo 9,3%, lani 13,2%. Do upada števila razstavljalcev s področja telekomunikacij je prišlo zaradi sejma telekomunikacij v Ženevi, ki se vsake štiri leta odvija v istem terminu kot naša Sodobna elektronika. Med njimi so prisotni največji, Nikola Tesla, RIZ, Siemens, Unis Elkos, Iskra, Electronic Zagreb. Peto mesto pripada opremi za proizvodnjo s 6,4%, lani 8,9%. Med njimi so največji Monolta, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Zelezopromet, Trimo Trebnje, Unis Elkos, Iskra Ljubljana. Šesto mesto pripada radiodifuziji 6,1%, upada letos ni. Tu nastopajo IMP Telecom, RTV Oddajniki in zveze, Elrad, PAP, Iskra, Autronic.

Letos bo na sejmu prvič tudi raziskovalni paviljon pod pokroviteljstvom Ministrstva za znanost in tehnologijo Slovenije. Menimo, da je taka predstavitev pravilna, kajti vzpostavljanje tesnega sodelovanja med znanstveno-raziskovalnimi inštitucijami in podjetji na bazi obojestranskih ekonomskih interesov in svojih domačih znanstveno-raziskovalnih rezultatov je velik potencial, ki ga moramo izkoristiti.

V našem današnjem položaju in pogojih poslovanja za naprej pa bo potrebno prestopiti tudi regionalno zapiranje v svoje gospodarske okvire, posebno na področju elektronike, ki beleži zelo hiter napredek in bi to pomenilo katastrofalni korak nazaj. Zato si kot organizatorji zastavljamo nalogo stopiti v prostor Alpe-Jadran ter postopno integracijo v širše evropske tokove. Zato pa je nujna maksimalna odprtost pretokov blaga, kapitala, ljudi, znanja in idej. Slovenija in Ljubljana naj postaneta mesto srečanj tokov ponudbe in povpraševanja proizvodov in uslug na področju profesionalne elektronike med vzhodom in zahodom. No, to mesto si je sejem elektronike v tolikih letih že pridobil, saj je poleg Münchena, Milana in Pariza, tretje največje sejmsko srečanje. Zato moramo to mesto, ki smo si ga v 37. letih pridobili zadržati in ga izkoristiti, seveda pa je vse to odvisno od mnogih faktorjev, predvsem pa političnih.

Ljubljana, 27.9.1991

*Projektni vodja  
Jana Trpin, iur.*

Pregled prijavljenih razstavljalcev po panogah in grupah eksponatov:

Panoga	Dejavnosti grupe eksponatov	1990			1991			I 91/90 t=1990
		štev.	štev (v %)	vrst. red	štev	štev (v %)	vrst. red	
1	Profesionalna elektronika	228	28,8	2	199	28,3	2	87
1.1.	Krmilna in regulacijska elektr.	45	5,7		26	3,7		57
1.2.	Avtomatizacija	36	4,6		39	5,5		108
1.3.	Industrijska elektronika	46	5,8		47	6,6		102
1.4.	Močnostna elektronika	14	1,8		7	0,9		50
1.5.	Nuklearna elektronika	3	0,4		2	0,3		66
1.6.	Medicinska elektronika	6	0,7		3	0,4		50
1.7.	Merilna in preizkuševalna el.	78	9,9		51	7,2		65
1.8.	Prof. avdio in video elektronika	/			18	2,5		/
1.9.	Avtomobilska elektronika			6	0,8			
2.	Telekomunikacije	104	13,2	4	69	9,8	4	66
2.1.	Naprave za komutacijo	13	1,6		5	0,7		38
2.2.	Naprave za žični prenos	18	2,2		16	2,3		88
2.3.	Naprave za brezžični prenos	31	3,9		16	2,3		51
2.4.	Telekom. aparati in terminali	32	4,1		23	3,3		71
2.5.	Teleinformacija - storitve	10	1,3		5	0,7		50
2.6.	Antene za telekomunikacije	/			4	0,5		/

3.	Radiodifuzija	52	6	6		5	43	6,1
3.1.	Radiodifuzni oddajniki in pretvorniki	5	0,6		3	0,4		60
3.2.	Antene in antenske naprave	15	1,9		8	1,1		53
3.3.	Naprave za satelitske prenose	9	1,1		10	1,4		111
3.4.	Kabelska distribucija kanala	10	1,3		11	1,6		110
3.5.	Oprema za proizvod. radiodif. programov	13	1,6		11	1,6		84
4.	Oprema za proizvodnjo	70	8,9	6	45	6,4	5	64
4.1.	Oprema za proizvod. elektr. naprav	24	3,0		17	2,4		70
4.2.	Oprema za proizvod. sest. delov in funk. enot	23	2,9		16	2,3		69
4.3.	Oprema za razvojne laborat.	23	2,9		12	1,7		52
5.	Sestavni deli, enote, materiali	319	40,4	1	239	33,9	1	75
5.1.	Polprevod. sest. deli in elektronke	42			26	3,7		62
5.2.	Pasivni sest. deli in enote	44	5,6		27	3,8		61
5.3.	Funkcijske enote	41	5,2		21	2,9		51
5.4.	Elektromehanski sest. deli in enote	87	11,0		40	5,7		46
5.4.1.	Stikala in pretikala	/			9	1,3		/
5.4.2.	Spojni elementi	/			14	1,9		/
5.4.3.	Releji	/			5	0,7		/
5.4.4.	Sest. deli za elektroakustiko	/			7	0,9		/
5.5.	Sest. deli za močnostno elektroniko	12	1,5		20	2,8		166
5.6.	Senzorji	27	3,4		17	2,4		70
5.7.	Mat. za proizvod. sest. delov in enot	31	3,9		23	3,3		74
5.8.	Viri električne energije	16	2,0		13	1,8		81
5.9.	Žice in kabli	39	4,9		17	2,4		43
6.	Inženiring in literatura	17	2,1	3	109	15,5	3	
6.1.	Raziskave in razvoj	17	2,1		11	1,6		64
6.2.	Projektiranje in inženiring				38	5,4		
6.3.	Rač. podpora inženirski dejavnosti				28	3,9		
6.4.	Učni pripomočki				5	0,7		
6.5.	Strokovna literatura				7	0,9		
6.6.	Montaža, servis, vzdrževanje				13	1,8		
		790	100%		697	100%		

Domači razstavljalci po republikah

	1990			1991		
	Dir.	Zastop.	Vsi	Dir.	Zastop.	Vsi
Slovenija				141	10	151
Hrvaška				18	1	19
Srbija				4	1	5
BiH				3		3
Makedonija				2	1	3
	174	3	177	168	13	181

Zbir razstavljalcev

	1990	1991
vsi		vsi
domači	177	181
tuji	417	230
skupaj	594	411

## OB SODOBNI ELEKTRONIKI 91

SODOBNA ELEKTRONIKA (SE) je naša največja sejemska prireditev; je tudi najstarejša in edina prireditev te vrste v jugovzhodni Evropi. Letos bo potekala v izjemno kritičnih okoliščinah. Vojna na ozemlju razpadajoče Jugoslavije, z njo pogojene krizne situacije v odnosu do njenih južnih delov in do tujine ter številne praktične negativne gospodarske implikacije so v tem trenutku neizogibno povzročile znatno redukcijo udeležbe tako s strani podjetij iz nekaterih republik, še bolj pa iz inozemstva.

To ima seveda odraz na vsebinski fizionomiji SE. Le-ta bo nekoliko pogrešala tradicionalne nastope nekaterih nekdanjih velikih hiš elektronike, bo pa bolj zajela nastajajočo strukturo manjših in srednjih podjetij; med njimi mnogih novih in tudi programsko svežih, ki se za ustrezno tržno uveljavitev šele borijo.

V primerjavi z letom 1990, ko je bila udeležba podjetij s programom PC računalnikov omejena, so letos le-ta vključena. To je bilo neizogibno, čeprav sicer ne ustreza v celoti želenim trendom nadaljne profesionalizacije SE. Treba je bilo namreč zagotoviti vsaj minimalno ekonomičnost sejemskega prostora, grozila pa je tudi negotovost udeležbe na sejmu INTERBIRO v Zagrebu, ki je sicer absorbiral tovrstne razstavljalce.

Toda kljub vsem pomanjkljivostim in težavam, ki so posledica izjemnih okoliščin, na katere skoraj ni bilo mogoče vplivati pa organizator in Programski svet sodita, da je dosežena udeležba velik uspeh in da je bila odločitev, da SE tudi v kriznem obdobju na vsak način ohranimo, pravilna. Zlasti vsi tujci, ki se zaradi bojazni prevelikega rizika letos SE ne udeležujejo, v pričakovanju postopne normalizacije zagotavljajo udeležbo v naslednjih letih. Tisti, ki so se Sodobne elektronike kljub vsemu udeležili pa se očitno ravna po preizkušenem poslovnem pravilu, da je prav zaradi dobe, ki pride za krizo, treba biti v krizi zraven!

Naštete težave in omejitve letošnje SE, ki sovpada s trenutkom, ko se bodo nadaljevali vsestranski napori za politično in zlasti gospodarsko umestitev Republike Slovenije v ožji in širši evropski in svetovni prostor pa vzpodbujajo k razmišljanjem o novi koncepciji nadaljnega razvoja SODOBNE ELEKTRONIKE.

Po programski in vsebinski plati že dlje ugotavljamo, da je elektronika skoraj prenehala biti pojem samostojne panoge. Postala je tako široka, da vanjo sodijo ali pa so vsaj z njo povezana skoraj vsa področja nekdanj neodvisnih tehniških disciplin, skoraj vsi finalni industrijski izdelki, mnogi polizdelki ter surovine pa tudi vsa področja storitev od šolstva, zdravstva, javne uprave, obram-

be itd. Zato je na mestu razmišljanje o ožjih specializacijah, t.i. "sejmih v sejmu", npr. za področje telekomunikacij, merilnih tehnologij, surovin in sestavnih delov itd. in/ali sejmov za posamezna področja elektronike v uporabi (npr. promet, energetika, industrijske panoge, zdravstvo, šolstvo, ekologija itd.). V teh programskih okvirih bo treba nameniti ustrezen prostor zlasti t.i. "sejmu znanja", ki bo vključeval prikaze zmogljivosti raziskovalnih ustanov, univerz, strokovnih asociacij in provladnih ustanov, nadalje ponudbe ustreznih inovacij in patentne ponudbe, možnosti vključevanja v tekoče in predvidene raziskovalne projekte, ponudbe financiranja, ponudbe ustreznega izobraževanja ter strokovnih publikacij. Zametek takega prikaza bo, čeprav še skromen in omejen, že na SE 91.

Po poslovni plati, ki je seveda neločljivo povezana z vsebinsko pa bo treba SE še močneje umestiti v okvir tovrstnih specializiranih sejov v Evropi, s tem, da bo kar najbolj pokril geografski prostor Alpe-Jadran pa tudi Heksagonale; v njem vsekakor lahko postane najpomembnejši sejem s takimi specializacijami. Ne gre namreč pozabiti na temeljno prednost gospodarsko odprte Slovenije, ki leži v možnostih povezovanja poslovnih poti med Srednjo in Jugovzhodno Evropo ter Bližnjim Vzhodom pa tudi med Severno Evropo in Mediteranom oz. med srednjeevropskim Zahodom in Vzhodom. Razvoj teh potencialnih možnosti bo sicer predvsem odvisen od splošne ureditve razmer na Balkanu in Vzhodu. Toda mnogo lahko storimo tudi sami, predvsem z velikim poslušanjem za sodobno poslovnost, za iniciativno tržno nastopanje in za izčrpno in vsestransko informiranje o naših možnostih. Pomemben del takega obnašanja je tudi sodobnost v oblikah in metodah prikazovanja razstavljenega, pri čemer je napredek t.i. marketinške zavesitve naših podjetij že opazen.

Ker je vsaka krizna situacija tudi "preoblečena priložnost" in hkrati izziv, bosta organizator in programski svet SE, vzporedno z razvojem uveljavitve Republike Slovenije v Evropi in svetu, prav tako vlagala ustrezne napore za uveljavitev SODOBNE ELEKTRONIKE kot pomembne sestavine njene gospodarske identitete.

Ljubljana, 2. oktobra 1991

*Predsednik  
Programskega sveta SE  
Miloš Kobe, dipl. el. ing.*

*Generalni direktor  
Gospodarskega razstavišča  
Borut Jerše, dipl. oec.*

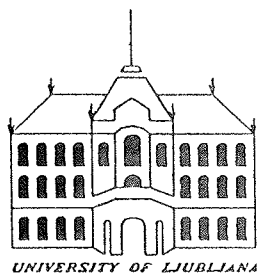
---

---

## PREDSTAVLJAMO PODJETJE Z NASLOVNICE

---

---



### UNIVERSITY OF LJUBLJANA

Faculty of electrical and  
computer engineering

## LABORATORY FOR ELECTRON DEVICES

#### I. ADDRESS:

Laboratory for Electron Devices  
Faculty of Electrical and Computer Engineering  
University of Ljubljana  
Tržaška 25  
61000 Ljubljana  
SLOVENIA

Tel. : 38 61 265 161  
FAX : 38 61 264 990  
Email : damjan.senč@uni-lj.ac.mail.yu

#### II. GROUP MEMBERS:

name	activities
prof. dr. Jože Furlan	semiconductor materials and devices
prof. dr. Slavko Amon	semiconductor materials and devices
doc. dr. Franc Smole	a-Si:H modeling and processing
Danilo Vrtačnik dipl. ing.	semiconductor processing
Drago Resnik dipl. ing.	semiconductor processing
mag. Damijan Senčar	measurements
mag. Dejan Križaj	device modeling
Ivan Skubic, dipl. ing.	a-Si:H modeling
Elvis Basaneže dipl. ing.	a-Si:H modeling
Saša Sokolič dipl. ing.	fundamental properties, modeling
Uroš Aljančič dipl. ing.	semiconductor processing a-Si:H modeling
Žurga Marijan	technician
Horvat Janez	technician

#### III. ACTIVITIES:

##### A: DEVICE MODELING & SEMICONDUCTOR PHYSICS

- 1.) 1D stationary modeling of arbitrary semiconductor structures including bandgap narrowing, Auger recombination, impact ionization etc. (S.Amon)
- 2.) 1D transient modeling - extension of 1D stationary modeling program . ( V. Gradišnik, S. Amon )
- 3.) 2D reverse bias semiconductor modeling (D. Križaj, S. Amon)
  - mathematical techniques, multigrid method, ..
  - high voltage termination techniques
  - field plate, guard ring, etc.
- 4.) generally described semiconductor modeling (S. Sokolič, S. Amon)
  - mathematical techniques, variety of models
  - heavily doped semiconductor modeling band gap narrowing, band tailing, donor band broadening, incomplete ionization
- 5.) I-V dependence modeling and DOS derivation in low conducting materials with traps (I. Skubic, J. Furlan)
- 6.) transient response of charge carrier densities in amorphous semiconductors (J. Furlan, V. Ambrožič, E. Basaneže)
  - large signal light excitation
  - small signal light excitation
- 7.) internal and external properties of a-Si:H p-i-n solar cells (F. Smole, J. Furlan)
  - effect of gap states distribution, p-i, i-n interfaces, heterostructures, quality of surface,..
  - numerical and analytical evaluation of internal and external electrical properties of a-Si:H solar cells

- 8.) quasi 3D solar cell modeling (S. Sokolić, D. Križaj)  
 – sheet resistance influences  
 – mathematical techniques

- 9.) parallel connected tandem a-Si solar cell (J. Furlan)

**B: SEMICONDUCTOR TECHNOLOGIES**

- 1.) solid diffusion sources and their application for different diffusion profiles at reduced temperatures (D. Resnik, D. Vrtačnik)
- 2.) BRL and its influence on electrical characterization of pn junctions (D. Vrtačnik, D. Resnik)
- 3.) double diffused layers on n-n epi substrate (p+nn-n+) (D. Vrtačnik, U. Aljančič, D. Resnik, S. Amon)
- 4.) reduction of leakage current in shallow pn junction by OSF reduction (D. Resnik, U. Aljančič, D. Vrtačnik)
- 5.) deposition of a-Si:H layer and p-i-n structures (F. Smole)
- 6.) Developed Devices :  
 – Si solar cells  
 – planar power bipolar transistor  
 – pressure sensor  
 – Zener diodes with double diffused technology  
 – p-i-n a-Si:H solar cell
- 7.) Pilot Line:  
 – Si photosensor

**C: MATERIAL AND DEVICE CHARACTERIZATION**

- 1.) C-V measurements (D. Senčar)  
 – fixed charge, mobile charge, substrate doping  
 – interface state density
- 2.) C-t measurements (D. Senčar)  
 – Zerbst method for life time determination  
 – DLTS method for deep levels density measurement
- 3.) DC device parameter measurements (D. Senčar)
- 4.) a-Si:H DOS characterization using SCLC measurements (I. Skubic, J. Furlan)
- 5.) a-Si:H DOS evaluation using small signal transient response (J. Furlan, E. Basanež)
- 6.) spectral response measurements (I. Skubic, D. Senčar)

**IV. EQUIPMENT**

**A: DEVICE MODELING & SEMICONDUCTOR PHYSICS – NUMERICAL TOOLS**

1. PROCESS MODELING  
 1.) SUPREM II: 1D process simulator, Stanford University
2. DEVICE MODELING  
 1.) BAMBI 2.0: Basic analyzer of MOS and bipolar devices, Technische Universität Wien.  
 2.) MG3: 2D program for reverse biased semiconductor simulation, written in our lab, still in development.  
 3.) ASPINM: Program for a-Si:H p-i-n solar cells modeling; developed in our lab.  
 4.) SIMCELL 1.1: quasi 3D Simulator for solar cells developed in our lab.
3. COMPUTER EQUIPMENT  
 1.) 6x PC/AT personal computer  
 2.) connected to the university VAX 8550  
 3.) connected to the faculty HP SUPER MINI 835  
 4.) 2x HP 720 workstation

**B: SEMICONDUCTOR TECHNOLOGIES**

**1. INTRODUCTION**

Fabrication facilities are capable of 3" diameter Si wafer processing. Process room of total area 70 m<sup>2</sup> consists of three clean rooms of class 1000, class 100 under laminar flowhoods.

**2. MASK FACILITIES**

Emulsion masks 3,5" x 3,5"; 4" x 4"; 5" x 5", supported by manual or CAD design, 10 - 20 x reduction on GCA reduction camera, final 10x or 3x reduction on step & repeat GCA camera.

**3. LITHOGRAPHY**

Cannon 300 PLA proximity mask aligner, using positive photoresist HPR 204.

**4. DIFFUSION & OXIDATION**

Tempress Omega Junior Diffusion Furnaces

Stack No.	Tube No.	Process	Gas
I.	1	BN deposition	N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
	2	Field oxide	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , bubbler, TCA
	3	B drive in, P reoxidation	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , bubbler, TCA
II.	1	Phosphor deposition	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
	2	n reox, PSG, n drive in	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , bubbler

Solid diffusion sources:

p - type: N 975 from Carborundum, standardly used with low temperature H<sub>2</sub> injection  
Boron Plus (GS 126, GS 139, GS 245) from Owens Illinois

n - type: Phosplus TP 250, TP 360 from Owens Illinois  
PH 950, PH 1025 from Carborundum

#### 5. METALLIZATION

MRC 603-1 Sputtering System  
Targets: Al - Si 1%, Ag, Ti, NiV

#### 6. WET ETCHING & WAFER CLEANING

Micro Air Wet Station  
Rinse & Dry  
Tempress

#### 7. OPTICAL INSPECTION

Optical microscopes, magnifications 10 - 200x  
Interference metallograph microscope (maximal magnification 1000x)  
UV inspection lamp

#### 8. GD a-Si DEPOSITION SYSTEM

Single chamber deposition system for a-Si multilayer structures

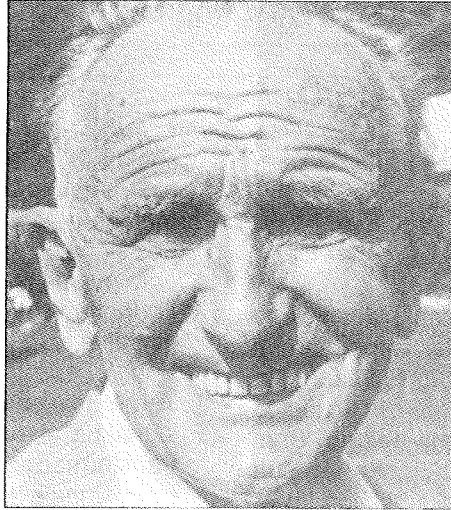
#### C: PROCESS & DEVICE CHARACTERIZATION

- 1.) Sheet resistivity prober: 4 point measurement
- 2.) Diffused profile measurements: anodic oxidation
- 3.) Electrical characterization:
  - HP 4145 B Semiconductor Parametric Analyzer
  - HP 4140 B pA - meter, DC voltage source
  - HP 4280 A 1MHz C - meter, CV plotter
  - Tektronix Curve Tracer 577
  - IBM PC with IEEE controller interface card
- 4.) Optical characterization:
  - Solar Simulator AM1
  - Spectrophotometer
- 5.) Measurements of thickness and refractive index of thin films:
  - Gaertner ellipsometer L 116 + HP 9825A

## ČLANI MIDEM

### In memoriam Rudi Jančar

Novembra leta 1991 je v sedemdesetem letu starosti preminil Rudi Jančar, ustanovitelj in direktor svoječasnega Inštituta za elektrozeve v Ljubljani ter organizator in vizionar slovenske elektronske industrije. Ime Rudi Jančar je pojem za vse generacije, ki so po drugi svetovni vojni delale na raziskavah, v proizvodnji ter šolanju na področju elektrozevez, elektronskih naprav in elementov ter materialov za elektroniko. Rojen v Mariboru v železničarski družini, se je po osnovni in meščanski šoli v Mariboru zaposlil kot trgovski vajenec v radiostroki v Ljubljani in se hkrati ob zaposlitvi vpisal na srednjo tehniško šolo. Vendar se je šolal le dve leti, ker je bil leta 1934 zaradi političnega delovanja obsojen na poldrugo leto zapora ter izključen iz vseh srednjih šol v Jugoslaviji. Po prihodu iz zapora si je čez nekaj časa našel zaposlitev v servisu podjetja Philips v Beogradu, kjer je že



*Jančar R.*

delalo nekaj slovenskih radiotehnikov. Ti so pozneje prešli v novo Philipsovo tovarno radijskih sprejemnikov v Pančevu ter prevzeli vodstvena mesta. Rudi Jančar je postal vodja montaže. Že tedaj je znal Jančar pritegniti s svojo zavzetostjo za stroko druge sodelavce, tehnike in inženirje.

Ob izbruhu vojne so ga leta 1941 v Mariboru mobilizirali, po kapitulaciji pa se je čez nekaj časa prebil v okupirano Ljubljano ter se vključil v ilegalno delo na področju radijskih zvez. Po tem je odšel leta 1942 v partizane, kjer je vodil in organiziral radijske zveze ter izdelavo radijskih oddajnih postaj. Velik vzpon je doživela radijska stroka z ustanovitvijo preciznih mehaničnih in radiodelavnic v Starih žagah in nato v Črmošnjicah, kjer so razvili in izdelali svoj tip radijskega oddajnika - sprejemnika Spard.

Rudi Jančar je bil ob koncu vojne tehnični vodja radijske postaje na Kočevskem, ki je delovala še nekaj časa po vojni. Ob vseh teh dejavnostih je zrasla generacija strokovnjakov, ki jih je Rudi Jančar pritegnil za delo v Inštitutu za elektrozeve v Ljubljani, delno pa so se zaposlili v tovarni Iskra v Kranju.

Vizija domače dejavnosti elektrotehnike v Sloveniji je zrasla že v partizanih, uresničevati pa se je začela, ko je Rudi Jančar s finančno podporo Borisa Kidriča, takratnega ministra za industrijo v zvezni vladi, pričel zbirati instrumentarij, proizvodne stroje, reproduksijski material in literaturo pa tudi domače in tuje strokovnjake, da bi postavil razvojno in proizvodno bazo, ki naj bi z lastnimi silami reševala domače zahteve in potrebe po elektronskih napravah in elementih. Formalno so to dejavnost organizirali marca 1948, ko je bil z uredbo zvezne vlade ustanovljen Inštitut za elektrozeve, Rudi Jančar pa je bil imenova za prvega direktorja. Inštitut je pozneje prerastel v Industijo za elektrozeve, iz katere so nastale vse proizvodne kapacitete za radijske in druge zveze, elektronske pasivne in aktivne instrumente ter elemente za elektroniko po Sloveniji. Jančar je bil direktor do združitve z Iskro leta 1961.

Rudi Jančar je že od začetka zavestno delal na konceptu policentričnega razvoja elektronske industrije v Sloveniji. Vsak dosežek v laboratorijih inštituta je znal s svojimi sodelavci presaditi v proizvodnjo, tudi brez velikih investicij, brez kakršnekoli licence in ob doma izdelani opremitvi ter če le mogoče z domačimi materiali. Rudi Jančar je znal pritegniti sposobne ljudi, ne glede na njihovo politično opredelitev (zaradi česar je imel tudi politične težave) in je znal poiskati strokovnjake doma in v tujini. Inštitut je sodeloval s sorodnimi inštitucijami v Franciji (CNET), na Poljskem (ITR), v CSSR (Tesla), v Nemčiji (SEL) in drugimi. Posebno pristno je bilo sodelovanje IEV s tehniškimi fakultetami in srednjimi tehniškimi šolami, kjer so strokovnjaki iz IEV tudi predavali in od koder so prihajali mladi kadri.

Za vsem tem je tičala dejavnost Rudija Jančarja, ki je znal spodbuditi v vseh ljudeh ustvarjalni entuziazem in motivirati vsakega posameznika, od visokih strokovnjakov, do preprostih delavcev, saj je prislunil njihovim predlogom ali pa težavam ter se znal iskreno veseliti njihovih uspehov.

Ob desetletnici inštituta IEV, leta 1958, je bilo v Industriji za elektrozeve zaposlenih že 1.500 ljudi, delovali pa so proizvodni obrati v Semiču za papirne kondenzatorje, Šentjerneju za upore in potenciometre, v Horjulu za elektronske merilne instrumente ter v Ljubljani na sedmih lokacijah za permanentne vlitte magnetne, za ferite, miniaturne in avtomobilske žarnice ter fotocelice, za VF keramiko in keramične kondenzatorje, za kremenove nihajne kristale, za specialne kondenzatorje, za polprevodnike in tranzistorje, za brezžične zveze in zveze po daljnovodih. Iz IEV pa so nastale tudi Telekomunikacije na Pržanu za radijske sprejemnike, elektrolitske kondenzatorje, membrane in zvočnike. Skupno so leta 1958 proizvajali že okoli 120 sestavnih delov, ki so krili cca. 85% jugoslovanskih potreb.

Nekaj pred združitvijo s kranjsko Iskro je prišel Rudi Jančar zaradi poštenega osebnega mišljenja ter svojih konceptov v spor s političnimi strukturami v Sloveniji ter bil zaradi tega odrinjen iz Iskre. Po letu 1961 je bil štiri leta svetnik za elektroindustrijo na Gospodarski zbornici Slovenije, za tem pa do upokojitve šest let pomočnik direktorja Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani. Tudi na teh delovnih mestih je z vsem žarom organiziral in podpiral domače razvojno in raziskovalno delo in pri tem sodelujoče strokovnjake. Po upokojitvi se je še vedno aktivno zanimal za razvoj stroke in imel stike s svojimi bivšimi sodelavci, med drugim tudi z našim društvom.

Z Rudijem Jančarjem smo izgubili pionirja naše elektronske industrije ter plemenitega, poštenega človeka, ki si je s svojim delom in življenjem ter dosežki elektronske industrije postavil trajen spomenik.

Milan Slokan

---

---

## VESTI, OBVESTILA

---

---

### PRIKAZI MAGISTRSKIH DEL IN DOKTORATOV V LETU 1991

#### Magistrska dela

Naslov: **Miniaturna katodna elektronika**

Avtor: **Vincenc Nemanič**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Alojz Paulin**

Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta

Predstavil sem osnovni princip delovanja dveh tipov miniaturnih katodnih elektronk, z elektromagnetnim (EM) in elektrostatičnim (ES) odklonom. Prikazal sem težave, tako fizikalne, kot tehnične narave, ki jih je bilo treba upoštevati za uspešno opravljeno nalogo. Sem prištevam vakuumsko procesiranje elektronke, izračun in izdelavo elektronsko optičnega in odklonskega sistema, izdelavo in karakterizacijo visokoločljivih luminiscentnih zaslonov in postavitve vseh merilnih in kontrolnih metod. Pri bistvenih karakteristikah elektronk sem navedel teoretične omejitve kot tudi omejitve, ki so povezane z lastnostmi danes poznanih materialov.

Naslov: **Enoploščni merilnik magnetne pločevine**

Avtor: **Bogdan Krčca**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Božidar Hribernik**, dipl. ing.

Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta

Delo prikazuje osnovne principe in realizacijo meritve izgub magnetenja ter ostalih magnetnih lastnosti v merilnem vzorcu, z uporabo dveh metod:

- wattmetrična metoda
- H metoda

Merilni sistem se uporablja za merjenje orientiranih magnetnih pločevin pri magnetnih polarizacijah 1T do 1.8T in za meritev neorientiranih magnetnih pločevin pri polarizacijah 0.8T do 1.5T, pri različnih frekvencah magnetenja.

Enoploščni merilnik magnetne pločevine je primeren za merjenje vzorcev, ki so v obliki plošče ali v obliki traku, vsakršne kvalitete. Magnetne karakteristike (izgube magnetenja, dinamične histerezne krivulje) merimo pri sinusnem poteku magnetnega fluksa v vzorcu, pri izbrani amplitudi magnetne polarizacije in pri izbrani frekvenci magnetenja.

Naslov: **Signalni procesorji pri obdelavi signalov**

Avtor: **Peter Planinšič**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Dali Donlagič**, dipl. ing.

Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta

V magistrskem delu smo opisali splošnonamenske digitalne signalne procesorje in prednosti njihove uporabe pri obdelavi signalov, zlasti pri izvajanju algoritmov za

spektralno analizo in digitalno filtriranje signalov pa tudi algoritmov za analizo linearnih sistemov. Opisali smo metode najmanjših kvadratov za ocenjevanje parametrov signalov in za sintezo digitalnih filtrov. Večji del smo obravnavali linearne frekvenčne transformacije, kot so Fourierjeva, Hartleyeva in Walshova ter pripadajoče digitalne filtre.

Temeljiteje smo se posvetili merjenju drsečega spektra signala z algoritmom rekurzivne diskretne Fourierjeve transformacije. Drugi del dela obravnava možnosti uporabe signalnih procesorjev za analizo sistemov. Prav tako smo za analizo sistemov skušali uporabiti zamisel o rekurzivnem izračunavanju drsečega spektra z rekurzivno diskretno Fourierjevo transformacijo.

Podali smo nekaj primerov realizacije obravnavanih algoritmov digitalne obdelave signalov elektroenergetskega sistema, ki so realizirani z digitalnimi signalnimi procesorji.

Naslov: **Digitalna sita v kaskadni obliki višjih stopenj**

avtor: **mitja solar**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Bruno Štiglic**, dipl. ing.

Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta

V delu je predstavljena metoda načrtovanja kaskadne oblike digitalnega sita s kaskadami višjih stopenj. Vpliv kvantizacije je prikazan z zaokroževalnim šumom in popačenji frekvenčnega odziva. Podani so rezultati za kaskadno realizacijsko obliko z dvema, tremi in štirimi kaskadami, za nekaj primerov nizkih digitalnih sit z omejenim trajanjem impulznega odziva stopenj 20, 30, 40, 50, 60, 80 in 98. Kvantizacijske napake za različne realizacijske oblike smo ocenili z izhodno šumno močjo. Primerjali smo lastnosti kaskadne in direktne realizacijske oblike nizko prepustnih digitalnih sit. Na primerih sita stopnje 24 smo naredili primerjavo med direktno realizacijsko obliko, med kaskadno izvedbo sita z osnovnimi kaskadami in kaskadno izvedbo sita s kaskadami višjih stopenj. Ugotovili smo, da so kaskade višjih stopenj primerna realizacijska oblika v primerjavi z direktno realizacijsko obliko, če upoštevamo, da zaradi nekaterih vzrokov ne moremo realizirati sit v direktni obliki visokih stopenj.



## Naslov: Geometrijska sinteza večstopenjskega širokopasovnega ojačevalnika z induktivnimi kompenzacijami

Avtor: Peter Starič, dipl. ing.

Mentor: Prof. dr. Ludvik Gyergyek, dipl. ing.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo

V širokopasovnih napetostnih ojačevalnikih, ki jih obravnavam, imajo posamezne ojačevalne stopnje uporabna bremena. Ker pa imajo aktivne naprave ojačevalnika (transistorji, FET ali elektronke) ter vezave med njimi neogibne kapacitivnosti, bremena niso čisto ohmska, temveč vplivajo paralelno še omenjene kapacitivnosti. Zaradi teh kapacitivnosti se zoži frekvenčni pas, ki ga prenaša ojačevalnik. Sodobni širokopasovni ojačevalniki so po večini enosmerni, zato velja, da je njihov frekvenčni pas enak zgornji mejni frekvenci  $\omega_H$ , oz.  $f_H$ .

Načelo induktivnih kompenzacij je, da dodamo vsaki ojačevalni stopnji eno ali dve tuljavi, ki jih dimenzioniramo tako, da tvorijo skupaj s prej omenjenimi kapacitivnostmi in bremenskimi upornostmi vezje, ki ima določen razpored polov in ničel. Pri vezjih s samimi poli moremo na ta način doseči, da ustrezajo poli bodisi Butterworthovi, Besselovi ali kaki drugi razporeditvi. Tako moremo z dodatkom pravilno dimenzioniranih tuljav občutno razširiti frekvenčni pas, oz. zvišati zgornjo mejno frekvenco  $f_H$  ter zmanjšati čas  $\tau_r$ .

Poli, ki jih imajo širokopasovni ojačevalniki, so konjugirano kompleksni. Če je število polov liho, je dovoljen en sam realen pol. Načelo geometrijske sinteze je, da najprej izračunamo premere krogov, ki gredo skozi vse pare konjugirano kompleksnih polov, oz. skozi realni pol. **Razmerja premerov krogov pri tabelaričnih podatkih za pole in pri praktičnem širokopasovnem ojačevalniku so enaka.** Premer kroga je proporcionalen  $K/RC$ , kjer je  $K$  konstanta (1, 2 ali 4), ki je odvisna od načina induktivne kompenzacije in je poznana,  $RC$  pa je časovna konstanta nekompenziranega bremena v posamezni stopnji. Če poznamo konstanto  $RC$  v eni sami stopnji, moremo s pomočjo razmerij premerov krogov določiti, kakšne morajo biti konstante  $RC$  v vseh drugih stopnjah. Z izbiro transistorjev pa so poznane tudi kapacitivnosti v nekaterih drugih stopnjah, kar še olajša izračun. S pomočjo znanih konstant  $RC$  ter izbrane razporeditve polov moremo nato izračunati vse induktivnosti ter druge parametre vezij (sklopni faktor  $k$  ter premostitveno kapacitivnost  $C_b$  pri vezjih T). Izhodiščno konstanto  $RC$  pa določimo za izhodno stopnjo na osnovi maksimalne izhodne napetosti ter zelene pasovne širine in dovoljene nelinearnosti.

Nadaljni postopek izračuna je iterativen. Ko smo določili vse elemente vezij, izračunamo zgornjo mejno frekvenco kompenziranega ojačevalnika  $f_H$  ter zgornjo mejno frekvenco nekompenziranega  $f_h$ . Razmerje  $f_H/f_h = \eta_b$  nam pove, za koliko smo izboljšali frekvenčni pas zaradi vstavljenih induktivnosti s postavljenim razporedom po-

lov. S faktorjem  $\eta_b$  moremo na osnovi zelene pasovne širine znova določiti izhodiščno časovno konstanto  $RC$  (in morda vzeti kak drug izhodni transistor). Na osnovi tega, po zgoraj opisanem postopku znova izračunamo vse parametre vezja in tako dobimo končno verzijo ojačevalnika. Omenjenega iterativnega postopka tu ne bom obravnaval, ker je poudarek samo na geometrijski sintezi.

Pravilna izbira transistorjev in FET v širokopasovnih napetostnih ojačevalnikih je spričo naravnost ogromne raznolikosti, ki se pojavlja na tržišču, precej težak problem. Razen tehnične primernosti teh naprav moramo upoštevati tudi porabo celotnega ojačevalnika, ceno transistorjev in možnost dobave. Po drugi strani pa postane zaradi doslednega upoštevanja vseh parametrov transistorjev v širokopasovnem ojačevalniku izračun tako zapleten, da izgubi vsako preglednost. V pričujočem delu zato najprej upoštevam samo najosnovnejše karakteristike transistorjev, oz. FET, da dobim pregledne osnovne enačbe. Pozneje postopno dodajam še druge važnejše parametre ter izračunam njihov vpliv na vezje, oz. – kadar je to možno – kompenzacijo teh vplivov.

Najpomembnejši način induktivne kompenzacije širokopasovnih ojačevalnikov je z vezjem T, ki ga uporabljajo pri firmi *Tektronix, Inc.* in ki je bilo še pred dvema letoma pod zaporo, saj so natančnejšo analizo teh vezij šteli za tovarniško skrivnost. Zato sem vezja T v nadaljnji razpravi zelo natančno analiziral, ker so bistvena za geometrijsko sintezo. S sodobnimi širokopasovnimi ojačevalniki ojačujemo predvsem impulze, zato sem dogajanju v časovnem prostoru posvetil posebno pozornost. Vse račune v časovnem prostoru sem opravil z inverzno Laplaceovo transformacijo in ne z diferencialnimi enačbami, zaradi česar je odpadlo neprijetno in zapleteno izračunavanje robnih pogojev. Inverzno transformacijo  $\alpha$ , s katero sem dobil iskane časovne funkcije, sem izračunaval s Cauchyjevimi integralom, oz. z residuumi, kar je – razen za večkratne pole – sorazmerno preprost algebrski postopek. Ta postopek sem uporabil tudi pri izračunu odziva na stopnico širokopasovnega vezja T (angl. all-pass circuit), za kar pa doslej ni bilo dokaza od inverzne transformacije  $\alpha$  do Cauchyjevega integrala.

Čeprav so induktivne kompenzacije širokopasovnih ojačevalnikov temelj za razširitev frekvenčnega pasu, so vzporedno razvijali tudi aktivna vezja, ki so posebej namenjena za širokopasovno ojačevanje. Podobno, kot je to veljalo za vezja T, so tudi aktivna vezja tovarniška skrivnost, zato se njihov splošni opis ali morda celo njihova podrobnejša analiza pojavi v strokovni literaturi šele potem, ko so pri firmi razvili in izdelali že kaj boljšega. Zelo pomembno delo o aktivnih vezjih, ki sem ga dobil – žal – šele, ko sem končal delo na disertaciji, je knjiga, ki jo je napisal *Dennis L. Feucht: Handbook of Analog Circuit Design.*

## DOKTORATI

Naslov: **Posebnosti porazdeljene aritmetike pri izvedbi nerekurzivnih digitalnih sit**

avtor: **Mag. Rudolf Babič**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Bruno Štiglic**, dipl. ing.

Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta

V priloženem delu smo opisali možnosti uporabe porazdeljene aritmetike pri izvedbi digitalnih sit z omejenim trajanjem impulznega odziva in z večjim številom koeficientov. Raziskave so bile usmerjene v analizo in modeliranje vplivov kvantizacije na pogrešek izhodnega signala v strukturi porazdeljene aritmetike ter v iskanje takšne oblike izvedbe nerekurzivnih digitalnih sit s porazdeljeno aritmetiko, ki omogoča tudi za nerekurzivna digitalna sita z velikim številom koeficientov enake hitrosti delovanja kot so prisotne pri njeni osnovni strukturi. Za vhodni signal z lastnostmi belega šuma smo opisali vplive kvantizacije vhodnega in izhodnega signala ter vmesnih rezultatov na pogrešek izhodnega signala. Posebej smo razvili model za ocenitev pogreška zaradi vplivov omejene natančnosti pri izvedbi aritmetičnih operacij v aritmetično logični enoti za osnovno strukturo porazdeljene aritmetike.

Pri izvedbi nerekurzivnih digitalnih sit višjih stopenj v osnovni strukturi porazdeljene aritmetike je prisotna potreba po velikem pomnilniku. Njegova velikost se povečuje eksponentno z naraščanjem števila koeficientov digitalnega sita. Z našim prispevkom se pridružujemo prizadevanjem pri iskanju takšne oblike izvedbe, ki omogoča zniževanje potrebne velikosti skupnega pomnilnika, pri tem pa ohranja tisto hitrost delovanja, ki je lastna osnovni strukturi porazdeljene aritmetike. Predlagana in opisana je kaskadna oblika s strukturami višjih stopenj, ki predstavlja kompromisno rešitev med splošno kaskadno obliko z osnovnimi strukturami prve, druge in četrte stopnje ter neposredno izvedbeno obliko. S predlagano obliko izvedbe je mogoče doseči občutno zmanjšanje velikosti skupnega pomnilnika pri ohranjeni hitrosti delovanja osnovne strukture porazdeljene aritmetike. Podrobno je opisan postopek načrtovanja kaskadnih struktur višjih stopenj za nizko prepustna digitalna sita z omejenim trajanjem impulznega odziva in linearno fazo.

S pomočjo izrazov za modeliranje vplivov kvantizacije za osnovno strukturo porazdeljene aritmetike smo izpeljali tudi model za oceno šumne moči signala pogreška digitalnega sita za predlagano kaskadno obliko s strukturami višjih stopenj. S simulacijskimi rezultati smo potrdili upravičenost uporabe opisanega modela za manjše število kaskadnih struktur. Uporaba modela je prikazana pri določitvi razmerja signal šum na izhodu in oceni dušenja digitalnega sita v zapornem frekvenčnem področju.

Naslov: **Kontrolirano vgrajevanje defektov v silicijevih polprevodniških tehnologijah**

Avtor: **Mag. Marijan Maček**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Lojze Trontelj**, dipl. ing.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo

Kljub vse širši uporabi novih polprevodniških materialov, kot so *GaAs* in druge spojine III-V ter II-VI, je še vedno velika večina polprevodniških komponent in vezij izdelanih na monokristalnem siliciju visoke kvalitete. Pri njihovi izdelavi si sledi vrsta termičnih operacij, med katerimi se spreminja populacija defektov v kristalni mreži silicija.

Defekti na površini rezine nastajajo predvsem zaradi kontaminacije z nečistočami ter zaradi injekcije točkastih defektov med termičnimi operacijami, v notranjosti rezine pa predvsem zaradi precipitacije točkastih defektov, predvsem kisika v rezinah pripravljenih po metodi *Czochralskega (CZ)* in kovinskih nečistoč. Medtem, ko je rast defektov na površini v glavnem pojasnjena in zato tudi dokaj dobro obvladljiva pa je glede njihove rasti v notranjosti še precej nejasnosti. To velja še posebej za njihovo rast med temperaturnimi cikli proizvodnih procesov in za njihov vpliv na proizvodne parametre.

Kristalni defekti, predvsem tisti, ki leže v aktivnem področju komponent in so kontaminirani s kovinskimi nečistočami, so nadvse škodljivi za lastnosti polprevodniških komponent. Zato je osnovna zahteva pri polprevodniških tehnologijah zmanjšanje kontaminacije in tvorbe defektov na najmanjšo možno mero. Osnovni ukrep za zmanjšanje kontaminacije je dosledna uporaba ekstremno čistih surovin in kemikalij. Kljub temu pa zaradi narave procesa izdelave tvorbe defektov ni mogoče povsem preprečiti. Zato so bili v zadnjih nekaj letih v svetu razviti postopki za formiranje brezdefektne cone (*BDZ*) na površini rezine, ob hkratni kontrolirani tvorbi defektov v notranjosti rezine in na njeni hrbtni strani. Ti in spremljajoči sekundarni defekti, omogočajo lovljenje (*getranje*) nečistoč v varni notranjosti rezin.

Tudi predložena doktorska naloga izhaja iz potrebe po uvedbi tehnike kontrolirane tvorbe defektov (*Defect Engineering*), ki se je pokazala pri proizvodnji integriranih vezij (*IV*) srednje in visoke stopnje integracije v bivši ISKRI MIKROELEKTRONIKI.

Pri tehniki kontrolirane tvorbe defektov sta v principu možna dva različna pristopa. Defekte lahko tvorimo s posebnimi postopki na površini rezine (*zunanje getranje, ZG*), ali pa s precipitacijo neravnotežnih točkastih defektov v notranjosti surove rezine. *Notranje getranje (NG)* se pretežno uporablja v *CZ* rezinah s srednjo in veliko vsebnostjo intersticijskega kisika. Postopki *ZG* so

dokaj dobro raziskani, manj je raziskan postopek *NG*. Večina raziskav *ZG* je bila namreč narejena v času, ko so se ideje o možnosti *NG* šele pojavile.

Osnovni namen predloženega dela je bil:

a) proučiti učinke *ZG* in *NG* na procese vgrajevanja defektov med tipičnimi tehnološkimi operacijami pri proizvodnih procesih in

b) izpopolniti matematični model tvorbe brezdefektne cone, da bo čim popolneje opisal realne razmere pri termičnih obdelavah.

Pri tem je bil cilj razvoj postopkov, ki bodo zagotovili z *NG* čim manjšo gostoto defektov na površini in primerno globoko *BDZ* v notranjosti, hkrati pa nevtralizirali učinke morebitnih preostalih defektov z *ZG* s fosforjem, kjerkoli je to mogoče.

Učinki *NG* in *ZG* so bili študirani v okviru unipolarnega procesa *NMOS* z minimalno geometrijo 5  $\mu\text{m}$  in treh različnih komplementarnih procesov *CMOS* z minimalnimi geometrijami 3-6  $\mu\text{m}$ . V ta namen so bile procesirane redne proizvodne šarže z različnimi začetnimi koncentracijami kisika v rezinah in spremenjenimi termičnimi obdelavami. Procesirane so bile tudi posebne testne rezine z velikimi diodami, na katerih smo študirali vplive *ZG* na lastnosti *p-n* spoja. Povezavo med notranjo populacijo defektov in učinki getranja smo ugotavljali s svetlobno in transmisijsko elektronsko mikroskopijo, *IR* meritvami koncentracije kisika in meritvami difuzijske dolžine manjšinskih nosilcev naboja z metodo površinske fotonapetosti.

Delo ima poleg uvodnega še štiri poglavja. Drugo in tretje poglavje obsegata pregled ustrezne literature in kratek prikaz uporabljenih eksperimentalnih metod za izvedbo poskusov in analizo vzorcev.

Med rezultati opisanimi v 4. poglavju velja omeniti naslednje pomembnejše ugotovitve:

- *ZG* s fosforjem je najučinkovitejše v kombinaciji s segregacijskim popuščanjem (*SP*) pri 800°C kot zadnjo termično operacijo. Učinek *SP* pa je negativen, če v rezini ni dovolj globoke *BDZ*, kar je posebej opazno na povišanih delovnih temperaturah.
- Z *ZG* ni mogoče preprečiti rasti površinskih napak, to pa je mogoče doseči z *NG*. Za to so primerne *CZ* rezine z vsebnostjo kisika  $7-9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Pri manjših koncentracijah je zaradi visoke temperature precipitacija kisika nezadostna, pri večjih pa prehitra na začetnih korakih, kar onemogoči tvorbo primerno globoke *BDZ*.

Povečana precipitacija, ki je potrebna za učinkovito notranje getranje, zniža odpornost proti plastični deformaciji rezin, kar pa je v praksi mogoče kompenzirati s spremenjenimi načini vlaganja rezin.

Izpopolnjeni model vključuje poleg standardne Hamove precipitacijske relacije in dobro poznane enačbe za

difuzijo kisika s površino rezine tudi enačbo, s katero opišemo generacijo, difuzijo in rekombinacijo točkastih defektov. Za obravnavo realnih problemov je bila v model vgrajena poleg klasične nukleacije tudi semiempirična enačba za porazdelitev precipitativ v surovi rezini. Izračunani rezultati se dobro ujemajo z že objavljenimi poskusi in v okviru naloge izmerjenimi rezultati v proizvodnih procesih.

Zadnje poglavje obsega pregled glavnih rezultatov in sklepe.

Rezultat uspešne uporabe principov kontrolirane vgradnje defektov so izboljšani in bolj ponovljivi proizvodni parametri v vseh proizvodno zrelih izdelkih. Izboljšanja izkoristka znašajo od nekaj % pa vse do 33% za razna specifična vezja.

**Naslov: Algoritmi za avtomatizirano sintezo in analizo analognih integriranih sklopov**

avtor: **Mag. Drago Strle**, dipl. ing.

Mentor: **Prof. dr. Janez Trontelj**, dipl. ing.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo

Delo obravnava načrtovanje ter algoritme za avtomatizirano sintezo in analizo analognih linearnih integriranih sklopov, ki jih je mogoče kvalitetno realizirati na silicijevi ploščici. Razdeljeno je na štiri poglavja, ki nosijo naslove: **Analiza v prostoru stanj**, **Teoretične osnove načrtovanja v prostoru stanj** s podpoglavji: **Sinteza aktivnih in transkonduktančnih filtrov ter Sinteza filtrov S-C ter Algoritmi**, ki vsebuje nekatere zglede, ki dodatno ilustrirajo opisani načrtovalski postopek ter algoritme, ki so pri tem uporabljeni.

Prvo poglavje obravnava analizo vezij, ki so sestavljena iz medsebojno povezanih aktivnih, oz. transkonduktančnih filtrov ter filtrov S-C v prostoru stanj, kjer so kot spremenljivke stanja izbrane napetosti na izhodih operacijskih ojačevalnikov. Opis filtrov S-C v prostoru stanj ter pripadajoči algoritmi omogočajo časovno in frekvenčno analizo, ki sta za velikostni razred hitrejši kot pri obstoječih metodah analize na nivoju osnovnih komponent. Poleg tega dobimo z opisano metodo analize in primernim modeliranjem gradnikov nekatere pomembne zunanje in notranje karakteristike vezja pred dejansko realizacijo na nivoju transistorjev (občutljivosti prevajalne funkcije na odstopanje elementov in na realne gradnike, šumne in dinamične lastnosti vezja), tako so pomembne odločitve mogoče dovolj zgodaj v načrtovalskem postopku. Zaradi hitrosti lahko Monte Carlo analiza poteka v realnem času in omogoča oceno vezja v realnih razmerah tudi za mešana vezja.

Drugo poglavje disertacije obravnava teoretične osnove načrtovanja filtrov v prostoru stanj. Topologija aktivnih in transkonduktančnih filtrov ter filtrov S-C je opisana v prostoru stanj. Uvedba signalnih in šumnih vmesnih prevajalnih funkcij prenese postopek sinteze na višji hierarhični nivo, na nivo prevajalnih funkcij in omogoča boljši vpogled načrtovalca v postopek sinteze ter optimi-

zacija nekaterih lastnosti na visokem hierarhičnem nivoju prevajalnih funkcij. Izdelki teoretične analize lastnosti omogočajo kreiranje korakov algoritma za sintezo vmesnih prevajalnih funkcij, ki nato omogočajo enostaven izračun elementov, ki filter sestavljajo. Optimizacija dinamičnega območja filtra ni potrebna, saj so potrebne lastnosti že upoštevane pri sintezi vmesnih prevajalnih funkcij. Nekatere kvalitativne karakteristike lahko zaradi zapisa v prostoru stanj enostavno analiziramo na nivoju prevajalnih funkcij, kar pomeni, da lahko načrtovalec v kratkem času ovrednoti veliko število različnih realizacij.

Pomembna karakteristika vsakega integriranega vezja je tudi njegova testabilnost. Z večanjem stopnje integracije se povečuje tudi težavnost in čas potreben za testiranje vezja, saj so vezja vedno kompleksnejša, dostopnost notranjih vozlišč sistema pa je v obratnem sorazmerju s stopnjo integracije. V drugem poglavju tako določimo takšen postopek načrtovanja, ki zanesljivo privede do testabilne realizacije; testabilnost je vgrajena. V tem delu pa se ne ukvarjamo s postopki testiranja in s časom, ki je potreben za testiranje.

V zadnjem poglavju obravnavamo algoritme za sintezo in analizo filtrov S-C, aktivnih in transkonduktančnih filtrov ter njihovih kombinacij. Algoritmi so načrtovalsko obarvani in se ne ukvarjajo z morebitnimi problemi numerične narave, pač pa le z načrtovalskimi koraki, ki so potrebni za uspešno ter učinkovito sintezo in analizo. Osnova za algoritme so teoretične ugotovitve, ki smo jih obdelali v prvih treh poglavjih. Znana glavna prevajalna funkcija, ki je zunanja karakteristika vezja skupaj z drugimi zahtevami načrtovalca določa tako topologija vezja, kot tudi parametre elementov in gradnikov. Ker smo teoretično določili zvezo med elementi in opisom v prostoru stanj ter glavno in vmesnimi prevajalnimi funkcijami potekajo vsi postopki razen samega izračuna elementov na nivoju prevajalnih funkcij, kar je za velikostni razred hitreje od poznanih metod sinteze in analize. Načrtovalec ima tako možnost v kratkem času ovrednotiti karakteristike mnogih različnih realizacij.

*Zbral in uredil  
Dr. Rudolf Babič, dipl. ing.*

---

---

## OSTALE VESTI

---

---

### TEHNOLOGIJA

U proizvodnji elektroničnih uređaja vrlo važen tehnološki postupak je povezivanje čipa s okolinom. Problem je naročito izražen kod VLSI čipova s mnogo priključaka. Postupak koji je uveden posljednjih godina i koji mnogo obećava je TAB (Tape Automated Bonding): Zbog zanimljivosti prenosimo u cijelosti Press Release Nr. 17 PRODUCTRONICA od septembra 1991.

#### **Productronica 91.**

#### **Tape Automated Bonding Gewinnt an Boden**

Als Alternative zu den herkömmlichen Gehäusen mit Draht-Bonding nähert sich das TAB-Verfahren (Tape Automated Bonding) unter den gegenwärtigen Marktbedingungen sehr schnell der Einführung in die Massenfertigung, nach einer Anlaufzeit von über 20 Jahren bei hochintegrierten Schaltungen mit hohen Anschlußzahlen (man hat bereits Chips mit mehr als 1.000 Anschlüssen realisiert).

Bei der früher üblichen geringen Zahl von Anschlußbeinchen war TAB als zu teuer verschmäht worden. Dies galt bisher insbesondere für die Vereinigten Staaten, wo große Halbleiterhersteller nun diese Einführung für das kommende Jahr vorhaben. Europa hingegen war Vorreiter für den TAB-Einsatz vor allem in speziellen Systemen wie Uhren, Chipkarten oder Multi-Chip-Modulen (MCM). In Japan schließlich sind Kostengesichtspunkte und das Miniaturisierungspotential Triebkräfte für den TAB-Einsatz vor allem in der Massenhers-

tellung von Consumerelektronik gewesen. Auf jeden Fall wird TAB auf der Productronica 91 vom 12. bis 16. November in München ein Thema sein, bei dem zwischen Ausstellern und Besuchern ein reger Erfahrungsaustausch stattfinden wird.

Betrachtet man sämtliche Gehäuseformen, die weltweit ein Umsatzpotential von rund 7,7 Milliarden Dollar für das Jahr 1992 darstellen, so wird TAB daran einen Anteil von 8 bis 9 Prozent (650 Millionen Dollar oder 730 Millionen Stück) haben. In Prozent des Dollar-Umsatzes liegen dabei die USA mit 40 vor Japan mit gut 30, vor Europa mit knapp 20 und vor dem Rest der Welt mit 10 Prozent. Derzeit überwiegt die Ausführung mit 100 bis 199 Ein/Ausgängen (42 Prozent) vor denen mit 200 bis 299 (21 Prozent).

Die spezielle Art des Kontaktierens beim TAB erfordert ein Tape, zwei oder dreischichtig, mit Polyimid als Träger, und außerdem mit sogennanten Bumps (Metallhöcker) versehene Chips. Das Tape trägt die Anschlußbeinchen (Leads) für die Kontaktierung mit dem Chip (ILB-Inner Lead Bonding) sowie mit dem Substrat (OLB - Outer Lead Bonding). ILB-Bondmuster von 0,1 und OLB-Raster von 0,2 Millimeter gelten mittlerweile als Quasi-Standard. Beide Bereiche werden im allgemeinen gleichzeitig mit einer sogenannten Thermode kontaktiert. Die Verbindung erfolgt mit Hilfe des eutektischen Gold-Zinn Lötens oder durch Thermokompression.

TAB ist letztlich eine Zusammenstellung verschiedener Einzeltechnologien, die für die Integration unterschiedlicher Bauelemente – von integrierten Schaltungen bis hin zu Sensoren und Aktoren – auf Multichip-Modulen angewendet werden können und hängt damit eng mit der Mikroperipherik und der Mikrosystemtechnik zusammen. Aus wirtschaftlichen Erwägungen ist TAB immer dann die bevorzugte Gehäuse-technik sowohl von Halbleiterherstellern als auch von den wichtigsten Anwendern höchstintegrierte Bausteine, wenn die Zahl der Anschlüsse 200 bis 300 überschreitet. Deren Abstand liegt dann zwangsläufig deutlich unter 0,5 Millimeter, was wiederum hochpräzise Einzellötverfahren (beispielsweise das Laserlöten) in Reinräumen erforderlich macht.

Die Zahl der Unternehmen und Branchen die bereits in TAB eingestiegen sind oder sich zumindest mit der konkreten absicht tragen, nimmt ständig zu. weltweit

wird TAB überwiegend zu 40 Prozent) in LCD- anzeigen eingesetzt, gefolgt von Chipkarten (20 Prozent), und Computern (10 Prozent, Uhren und Taschenrechnern (je 8 Prozent). Dabei führt Japan deutlich mit 70 Prozent, gefolgt von den USA mit 20 und Europa mit 10 Prozent (bei diesen Erhebungen wird der Tape-Verbrauch als Maß genommen). Und demnächst werden sowohl koreanische als auch chinesische Unternehmen verstärkt in diese attraktive Technologie einsteigen. Die weltweiten Kapazitäten zur Herstellung von TAB-Tape sind im Vorjahr um rund ein Drittel angestiegen. In Deutschland freilich kann sich die TAB-Technik nur durchsetzen, wenn (Single-Point- oder Laser-) Bonder zu technisch und wirtschaftlich sinnvollen Bedingungen erhältlich sind; über den aktuellen Entwicklungsstand wird der Besucher der Productronica vom 12. bis 16. November 1991 aus erster hand informiert.

## TRŽIŠTE

### CAD/CAM SISTEMI

CAD i CAM sistemi promijenili su način inženjerskog rada, pa zbog toga nije čudno da prodaja tih sistema u svijetu neprekidno raste. Svjetska prodaja koja je 1989. godine iznosila 5,2 milijarde US dolara, 1995 vjerojatno će dostići 11 milijardi US dolara. Srednji godišnji porast prodaje u tom razdoblju biti će oko 14%. Očekuje se, da će tokom razdoblja cijena po jedinici opadati. Cijena hardwarea snižavati će se oko 2 do 4% godišnje. Naprotiv, može se očekivati porast cijena softwera. Većina sistema koristiti će UNIX operativni sistem.

Od ukupne prodaje CAD/CAM sistema 1989 godine u Evropi je prodano 44%, a u SAD 43%. Prema predviđanjima 1996. godine u Evropi bi se prodalo 4%, u SAD 37% a ostatak pretežno u Aziji.

Predviđanja se temelje na istraživanjima koje je obavila Market Intelligence Research Corp. iz Mountain View, Kalifornija.

### LITERATURA

Prema informacijama časopisa Electronic Design najpopularnije knjige u prvom polugodištu 1991 godine u Silicon Valleyu bile su:

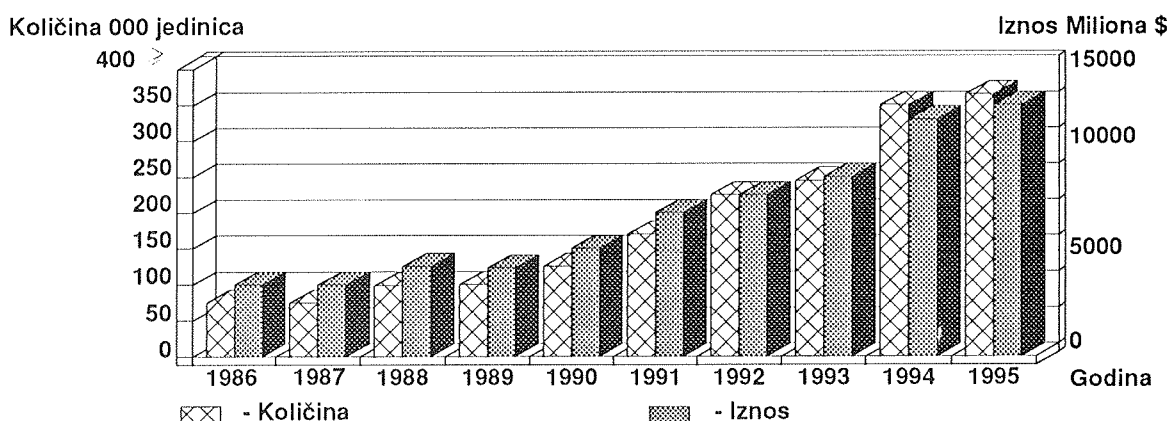
S područja elektronike:

1. *C. Language Algorithms for Digital Signal Processing* od Paul Embreea. Izdavač je Prentice-Hall 1990, cijena 50\$
2. *Circuits Interconnections and Packaging for VLSI* od H.B. Bakoglua, Izdavač je Addison-Wesley 1988, cijena 43,25 \$.
3. *Digital Communications* od John Proakisa. Izdavač je McGraw Hill, 1989, cijena 56,95 \$
4. *IC Op Amp Cookbook* treće izdanje od Walter Junga. Izdavač Howard Sams&Co. 1986, cijena 24,95\$
5. *Mixed mode simulation* od Resve Saleha. Izdavač Kluwer Academic Publishers, 1990, cijena 59,5\$

S područja kompjuterskih znanosti:

1. *Programming Windows*, drugo izdanje od Charles Petzolda. Izdavač je Microsoft Press, 1990. Cijena 29,95\$.
2. *Resedit Complete, with disk* od Peter Alleya. Izdavač Addison-Wesley, 1990. Cijena 29,95\$.
3. *C Programming Language*, drugo izdanje od Brian Kerinnghana i Dennis Ritchiea. Izdavač je Prentice-Hall 1989. Cijena je 32\$.
4. *Programming Perl* od Larry Walla. Izdavač je O-Reilly & Associates, 1990. Cijena je 24,95\$.
5. *Word for Windows Companion* od Mark Cranea. Izdavač je Microsoft Press, 1990. Cijena je 26,95\$.

Zbral in uredil  
M. Turina.





**3rd EUROPEAN SYMPOSIUM ON  
RELIABILITY OF ELECTRON DEVICES,  
FAILURE PHYSICS AND ANALYSIS**

**Schwäbisch-Gmünd, Germany  
5 - 8 October 1992**

organized by  
**Informationstechnische Gesellschaft im  
VDE (ITG)**

Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis (ESREF) is the annual event on reliability physics of electronic components in Europe.

Symposium **ESREF'92** will act as a forum for activities in Microelectronics Reliability in all phases of design, technological development, manufacturing, application, evaluation, control, specification and analysis. The technical programme is dedicated but not limited to the following main areas of interest:

- building-in reliability by design and manufacturing and integration of associated disciplines,
- advanced techniques for reliability evaluation of technologies and products
- failure analysis case studies and advanced analysis techniques,
- standardization of reliability evaluation.

The deadline for submission of abstracts is **the 2nd of March, 1992.**

For further information please contact:

Prof. H. Berger  
Programme Chairman  
Technische Universität Berlin  
Institut für Mikroelektronik  
Jebenstrasse 1  
D-1000 Berlin, GERMANY

Tel. +49 30 314 25880  
Fax +49 30 314 24597

DR. W. Gerling  
Conference Chairman  
SIEMENS AG  
HL QS  
Balanstrasse 73  
D-8000 München 80, GERMANY

Tel. +49 89 4144 2825  
Fax +49 89 4144 3828

## JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
5.2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multipleks sa raspodelom kanala prema talasnoj dužini</li> <li>• multipleks s raspodelom po valnoj dužini, krojni multipleks</li> <li>• брачов мултиплекс</li> <li>• valovnodolžinski multipleks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wavelength division multiplex (WDM)</li> </ul>	<p>Postopek, pri katerem se nekaj različno moduliranih optičnih nosilcev (signalov) istočasno prenaša prek istega optičnega vlakna. Spekter vsakega signala se pomakne tako, da ni motenj zaradi prekrivanja spektrov različnih signalov. Prenos se izvaja z uporabo več virov, ki imajo različne osnovne frekvence. Na sprejemni strani se različni signali izločijo s primernimi filtri.</p>
5.2.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• predajni element</li> <li>• predajni element</li> <li>• передателен дел</li> <li>• oddajni element</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transmitting element</li> </ul>	<p>Sevalna stran zaključka optičnega vlakna.</p>
5.2.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prijemni element</li> <li>• prijemni element</li> <li>• приемный дел</li> <li>• sprejemni element</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• receiving element</li> </ul>	<p>Sprejemna stran zaključka optičnega vlakna.</p>
6	Optični kabli in konektorji		
6.1	Optični vodniki in kabli		
6.1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nezaščiteno vlakno</li> <li>• nezaščiteno vlakno</li> <li>• голо оптичко влакно</li> <li>• golo vlakno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bare fibre</li> </ul>	<p>Optično vlakno brez osnovne obloge.</p>
6.1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vlakno sa predzaštitom</li> <li>• vlakno s primarnom zaštitom</li> <li>• оптичко влакно</li> <li>• vlakno z osnovno oblogo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• precoated fibre</li> </ul>	<p>Optično vlakno, prevlečeno z osnovno oblogo.</p>

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

5.2 Naprave

1	2	3	4
5.2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regenerator</li> <li>• repititor, ponavljač</li> <li>• регенератор</li> <li>• regenerator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• repeater</li> </ul>	<p>Naprava za regeneriranje optičnega signala.</p>
5.2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Q-prekidač</li> <li>• Q-sklopka</li> <li>• Q-преклинувач</li> <li>• Q-preklopnik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Q switch</li> </ul>	<p>Sestav, ki onemogoča lasersko emisijo, dokler se energija v aktivnem sredstvu ne poveča do določenega nivoja.</p> <p>Q se nanaša na „dobrost“ laserskega resonatorja. Pri impulznih laserjih Q-preklopnik povečuje moč impulza z zmanjšanjem dolžine impulza, med tem ko ostane energija impulza konstantna. Sestav tvori krajše in intenzivnejše impulse z višjo ponavljalno frekvenco, kakršni se ne morejo doseči z impulznim vzbujanjem aktivnega sredstva.</p>
5.2.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• parametarski oscilator</li> <li>• parametarski oscilator</li> <li>• параметарски осцилатор</li> <li>• parametrski oscilator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• parametric oscillator</li> </ul>	<p>Sestav, navadno kristal, ki spremeni valovno dolžino emisije pri polprevodniškem laserju.</p>
5.2.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• faktor režima rada</li> <li>• faktor radnog ciklusa</li> <li>• фактор на исполнетост</li> <li>• obratovalni faktor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• duty factor</li> </ul>	<p>Razmerje med časom trajanja in periodo impulzov pri impulznem nizu.</p>



JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

1	2	3	4
5.1.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lavinska fotodioda; APD</li> <li>• lavinska fotodioda</li> <li>• лавинска фотодиода</li> <li>• plazovna fotodioda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• avalanche photodiode (APD)</li> </ul>	<p>Fotodioda, načrtovana tako, da uporablja plazovno ojačenje foto toka. Če se zaporna prednapetost približuje prebojni napetosti, dobijo dvojice elektron-vrzel, ki so nastale z vpijanjem fotonov, zadostno energijo, da tvorijo dodatne dvojice elektron-vrzel pri trčenju z atomi podloge. Na ta način se doseže množilni pojav.</p>
5.1.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• led-dioda</li> <li>• LED; elektroluminiscentna dioda</li> <li>• светлечка диода; LED-диода</li> <li>• svetleča dioda;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LED (light emitting diode)</li> </ul>	<p>Polprevodniška dioda, ki oddaja svetlobo.</p>
5.1.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• superluminescentna dioda; SLD</li> <li>• SLD; superluminescentna dioda</li> <li>• суперлюминисцентна диода; SLD-диода</li> <li>• superluminescentna dioda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SLD (superluminescent diode)</li> </ul>	<p>Laserska dioda, kjer se lasersko sevanje tvori zaradi luminescence laserskega aktivnega sredstva brez kakršnegakoli resonatorja.</p>
5.1.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• laserska dioda</li> <li>• laserska dioda</li> <li>• диоден лазер</li> <li>• diodni laser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diode laser</li> </ul>	<p>Laser, ki ima laserski resonator v polprevodniški snovi.</p>
5.1.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• širina linije</li> <li>• širina linije</li> <li>• ширина на линијата</li> <li>• širina črte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• linewidth</li> </ul>	<p>Pas valovnih dolžin, na katerem je porazdeljena izsevana laserska energija.</p>
5.1.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fotomnožavač</li> <li>• fotomultiplikator</li> <li>• фотоумножувач, фотомultiplikator</li> <li>• fotomnoževalka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• photomultiplier</li> </ul>	<p>Elektronka, ki sestoji iz katode, ene ali več dinod in anode. Iz katode emitirani elektroni se pomnožujejo s sekundarno emisijo na dinodah.</p>

JUGOSLOVANSKI TERMINOLOŠKI STANDARDI

5 Optoelektrične priprave in naprave

5.1 Splošne določbe

1	2	3	4
5.1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optoelektronski uređaj</li> <li>• optoelektronički uređaj</li> <li>• оптоелектронска направа</li> <li>• optoelektronska naprava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optoelectronic device</li> </ul>	<p>Naprava, ki:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) reagira na elektromagnetno sevanje v vidnem, infrardečem in ultravijoličnem delu spektra,</li> <li>b) emitira ali modificira nekoherentno ali koherentno elektromagnetno sevanje v istih spektralnih področjih,</li> <li>c) uporablja tako elektromagnetno sevanje za svoje notranje delovanje.</li> </ul>
5.1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerova ćelija</li> <li>• Kerrova ćelija</li> <li>• Керова ќелија</li> <li>• Kerrova ćelica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerr cell</li> </ul>	<p>Elektrooptični sestav, pri katerem je sprememba lomnega količnika sorazmerna kvadratu poljske jakosti.</p>
5.1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pokelsova ćelija</li> <li>• Pockelova ćelija</li> <li>• Покелсова ќелија</li> <li>• Pockelsova ćelica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pockel's cell</li> </ul>	<p>Elektrooptični sestav, pri katerem se lomni količnik linearno spreminja v odvisnosti od električne poljske jakosti.</p>
5.1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• detektor</li> <li>• detektor</li> <li>• Детектор</li> <li>• detektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• detector</li> </ul>	<p>Sestav, ki pretvarja energijo v druge oblike energije.</p>
5.1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• struja mraka <math>I_d(A)</math></li> <li>• struja tame <math>I_d(A)</math></li> <li>• струја на мракот <math>I_d(A)</math></li> <li>• temni tok, <math>I_d(A)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dark current <math>I_d(A)</math></li> </ul>	<p>Tok, ki teče v fotoobčutljivih detektorjih, kadar ni vpadnega sevanja.</p>