

Hrvatsko vakuumsko društvo  
Društvo za vakuumsko tehniku Slovenije

9. Međunarodni sastanak  
Vakuumska znanost i tehnika

# ZBORNİK SAŽETAKA



Trakošćan  
15. svibnja 2002.

Uredio: Nikola Radić

Zagreb, 2002

### Programski odbor:

U. Desnica, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
J. Gasperič, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana  
M. Jakšić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
M. Jenko, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana  
M. Milun, Institut za fiziku, Zagreb  
P. Panjan, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana  
N. Radić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
A. Zalar, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Ljubljana

### Organizacijski odbor:

Ž. Andreić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
L. Belič, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana  
B. Etlinger, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
J. Kovač, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Ljubljana  
I. Kovačević, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
M. Kralj, Institut za fiziku, Zagreb  
A. Pregelj, Iskra Zaščite, Ljubljana  
M. Stubičar, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb  
J. Šetina, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana

### Sponzori:

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske  
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
Institut za fiziku, Zagreb

### Izlagači:

Kurt J. Lesker Co.  
MEREL d.o.o  
SCAN d.o.o.

**IX Međunarodni sastanak  
Vakuumska znanost i tehnika**

**Trakošćan  
15. svibnja 2002.**

**PROGRAM SASTANKA**

9:30-9:45 Otvaranje Sastanka - N. Radić, Predsjednik Hrvatskog vakuumskog društva  
A. Pregelj, Predsjednik Društva za vakuumsko tehniko Slovenije

USMENA IZLAGANJA:

9:45-11:00 I. Sekcija (voditelji: M. Jenko, U.V. Desnica)

O1: S. Južnić: **150-LETNICA NAPRŠENIH VAKUUMSKIH TANKIH PLASTI**

O2: P. Dubček: **ISTRAŽIVANJE STRUKTURE TANKIH FILMOVA RASPRŠENJEM RENDGENSKOG ZRAČENJA POD MALIM KUTEVIMA**

O3: M. Čekada, P. Panjan: **UPORABA PROFILOMETRA PRI ANALIZI POVRŠIN IN TANKIH PLASTI**

O4: M. Srzić, N. Radić: **MODELIRANJE DEBLJINE TANKIH SLOJEVA PRIPRAVLJENIH KRUŽNIM PLANARNIM MAGNETRONOM**

O5: I. Labazan, S. Milošević: **LASERSKA ABLACIJA ZA PRIPREMU NOVIH MATERIJALA, MOLEKULA I NANOČESTICA**

11:00-11:15 STANKA ZA KAVU

11:15-12:30 II Sekcija (voditelji: A. Zalar, M. Milun)

O6: N. Radić, A. Tonejc, J. Ivkov: **AMORFIČNI VOLFRAM**

O7: D. Gracin, M. Jakšić i P. Dubček: **VODIK U LEGURAMA AMORFNOG SILICIJA**

O8: A. Turković: **IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA**

O9: D. Korošak, B. Cvikl: **ADMITTANCE SPECTROSCOPY OF NONIDEAL METAL-SEMICONDUCTOR INTERFACES**

O10: D. Desnica-Franković, U.V. Desnica, K. Furić, J. Wagner, T. E. Haynes, R. Morton: **ANALIZA REZIDUALNE NESREĐENOSTI MATERIJALA I KONCENTRACIJE SLOBODNIH NOSIOCA U Si-IMPLANTIRANOM GaAs**

12:30-14:00 RUČAK

14:00-15:00 Pozvano predavanje:

E. Matijević: The Bridge Between Nanometer and Micrometer Size Uniform Particles

15:00-16:15 III Sekcija (voditelji: P. Panjan, M. Jakšić)

O11: A. Smontara, A. Bilušić, J.C. Lasjaunias, M. Saint Paul: **THERMAL AND ACOUSTIC MEASUREMENTS ON HARD CARBON PREPARED FROM C<sub>60</sub> FULLERENE**

O12: M. Buljan, K. Salamon, P. Dubček, S. Bernstorff, I.D. Desnica-Franković, O. Milat, U. V. Desnica: **ANALIZA 2D GISAXS SPEKTARA CdS NANOKRISTALA U SiO<sub>2</sub> SUPSTRATU**

O13: M. Klanjšek Gunde, M. Kunaver, M. Mozetič, A. Hrovat: **UGOTAVLJANJE STOPNJA DISPERSIRANJA PIGMENTOV V PRAŠKASTIH PREMAZIH PO JEDKANJU S KISIKOVO PLAZMO**

O14: A. Pregelj, A. Pirih, Ž. Hribar, A. Štagoj, F. Breclj, M. Bizjak: **ZAHTEVE PRI RAZVOJU PLINSKEGA ODVODNIKA**

O15: J. Šetina: **PREDSTAVITEV KALIBRACIJSKIH ZMOGLJIVOSTI LABORATORIJA ZA METROLOGIJO TLAKA**

16:15-16:30 STANKA ZA KAVU

16:30-17:45 IV Sekcija ( voditelji: A. Pregelj, B. Pivac)

O16: R. Brako, Ž. Crljen, P. Lazić, D. Šokčević: **PRORAČUN SVOJSTAVA ČISTIH (111) POVRŠINA I POVRŠINA S ADATOMIMA, ZA METALE Au, Cu I Pt**

O17: M. Kralj, P. Pervan, M. Milun: **STM BALISTIČKO TUNELIRANJE U ISPITIVANJU LOKALNE ELEKTRONSKE STRUKTURE NA POVRŠINI**

O18: J. Kovač, A. Zalar: **PREDNOSTNO JEDKANJE N MED OBSTRELJEVANJEM GaN Z IONI ARGONA**

O19: B. Praček, J. Kovač, A. Zalar: **AES PROFILNA ANALIZA OKSIDNIH PLASTI NA NERJAVNIH JEKLIH**

O20: U. Cvelbar, M. Mozetič, A. Zalar: **PLAZEMSKO ČIŠČENJE BAKROVIH POVRŠIN**

17:45-19:15 POSTERI: (Voditelji: J. Šetina, O. Milat)

- P1: V. Nemanič, M. Žumer, B. Zajec: **DOLOČEVANJE DELEŽA VODIKA V SPEKTRIH DEVTERIJA**
- P2: A. Pregelj, J. Gasperič, L. Južina, P. Šolar: **NAPRAVA ZA TESTIRANJE SUŠENJA Z GRETJEM IN EVAKUIRANJEM**
- P3: P. Vretenar, P. Mrković: **OPTIČKI PROZORI UV SPEKTRALNE OBLASTI**
- P4: P. Mrković, P. Vretenar: **ŠIROKOPOJASNI FILTER ZA Nd Yag LASER**
- P5: I.P. Studenyak, M. Kranjčec, O.T. Nahusko, O.M. Borets: **COMPOSITIONAL BEHAVIOUR OF OPTICAL AND REFRACTOMETRIC PARAMETERS OF (1-x)HfO<sub>2</sub>·xZrO<sub>2</sub> THIN FILMS**
- P6: B. Erjavec: **MODEL OF A VACUUM EVAPORATION EPITAXIAL GROWTH OF SEMI-TRANSPARENT BIALKALI-ANTIMONIDE PHOTOCATHODES**
- P7: B. Pivac, I. Kovačević, V. Borjanović: **IMPLANTACIJA C<sup>+</sup> U Si**
- P8: D. Grozdanić, B. Rakvin, B. Pivac, A. Slaoui, R. Monna: **STUDY OF PARAMAGNETIC DEFECTS IN RTCVD POLYCRYSTALLINE SILICON**
- P9: U.V. Desnica, I.D. Desnica-Franković, O. Gamulin, C.W. White: **UV-VIS. REFLECTIVITY AS A TOOL TO STUDY SYNTHESIS AND GROWTH OF COMPOUND SEMICONDUCTOR NANOCRYSTALS IN LIGHT MATRIX**
- P10: M. Pavlović, U. V. Desnica, Z.-Q. Fang i D. C. Look: **SPEKTROSKOPIJA TERMO-ELEKTRIČNIM EFEKTOM: PRIMJENA NA TANKOM FILMU VISOKO-OTPORNOG GaN**
- P11: B. Etlinger, M. Pavlović: **DEFEKT DUBOKOG ENERGETSKOG NIVOVA U NEDOPIRANOM InSe**
- P12: M. Kranjčec, I.P. Studenyak, L.M. Suslikov, I.D. Desnica-Frankovic, Gy.Sh. Kovács: **TEMPERATURE INVESTIGATION OF BIREFRINGENCE IN  $\gamma_1$ -(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> SINGLE CRYSTALS**
- P13: T. Car, N. Radić, A. Turković: **UV FOTOVODLJIVOST NANOKRISTALNIH TiO<sub>2</sub> FILMOVA NAPUŠTANIH U KISIKU**
- P14: K. Salamon, O. Milat, P. Dubček, N. Radić: **POVRŠINSKA I PODPOVRŠINSKA ANALIZA NANOSTRUKTURE W-C SLOJA NA SI PODLOZI**
- P15: M. Stubičar, A. Tonejc, N. Radić: **CHANGES OF MICROHARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF Al-W THIN FILMS DURING ISOCHRONAL ANNEALING**
- P16: I.P. Studenyak, M. Kranjčec, V.O. Stephanovich, V.V. Bilanchuk: **RAMAN SCATTERING STUDIES IN Cu<sub>6</sub>PS<sub>5</sub>I<sub>1-x</sub>Br<sub>x</sub> SUPERIONIC MIXED CRYSTALS**

- P17: P. Panjan, D. Kek, M. Čekada, F. Tietz: **GORIVNE CELICE S TANKOPLASTNIM ELEKTROLITOM NA OSNOVI YSZ**
- P18: I. Pucić, D. Posedel, A. Turković, Z. Crnjak Orel: **DIFERENCIJALNA PRETRAŽNA KALORIMetriJA (DSC), IMPEDANCIJSKE, IR I RAMANOVA SPEKTROSKOPIJA (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> POLIELEKTROLITA**
- P19: K. Hrestak, A. Turković, P. Dubček, Z. Crnjak Orel: **UTJECAJ INTERKALACIJE Li<sup>+</sup> IONA U MATRICU NANOSTRUKTURNIH V/Ce OKSIDA**
- P20: K. Radmanović, Z. Crnjak Orel, A. Turković: **IMPEDANCIJSKA, IR I RAMANOVA SPEKTROSKOPIJA NANOKOMPOZITNOG (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> POLIELEKTROLITA**
- P21: V. Vraneša, D. Posedel, M. Pavlović, A. Turković: **IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA I TERMIČKI STIMULIRANE STRUJE Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DOPIRANOG LITIJE**
- P22: M. Mozetič: **JEDKANJE OGLJIK-POLIMERNIH PREMAZOV S KISIKOVO PLAZMO**
- P23: A. Vesel, M. Mozetič, G. Evangelakis: **ŠTUDIJ INTERAKCIJE KISIKOVIH IONOV S POVRŠINO NiO Z MOLEKULARNO DINAMIKO**
- P24: Ž. Andreić, S. Pleslić, S. Ellwi, H.-J. Kunze: **KARAKTERISTIKA KAPILARNIH IZBOJA KAO IZVORA EUV ZRAČENJA U PODRUČJU 10-16 NM**

## Pozvano predavanje

### THE BRIDGE BETWEEN NANOMETER AND MICROMETER SIZE UNIFORM PARTICLES

Egon Matijević  
Center for Advanced Materials Processing  
Clarkson University, Potsdam New York, 13699-5814, USA

It is hardly necessary to stress the importance of finely dispersed matter in the future developments of science and technology. These materials are an integral part of nature, they are used in countless applications, yet they can be detrimental to our health and well being. From the applications point of view small particles are essential as pigments, catalysts, magnetic materials, etc. Their importance has become even more obvious with miniaturization of the components and equipment in all aspects of modern communications, computerization, medicine, etc. However, such dispersions can be harmful to the environment and to humans, causing many diseases.

One very important fact is, although not always recognized, that many properties of matter depend not only on the chemical composition, but also on the size, shape, structure, and surface uniqueness, when in the state of small particulates. It is, therefore, obvious that in order to obtain finely dispersed materials of desired qualities for specific applications, in a predictable and reproducible manner, it is necessary to develop techniques that can yield such materials as uniform as possible in terms of the size and shape of the solid constitutes.

Over the last 30 years or so, many «monodispersed» colloids have been described in the literature, mostly prepared by precipitation in homogeneous solutions. More recently, there has been an even larger flood of papers on nanoparticulates. It is fair to state, that the procedures used in the synthesis of all these dispersions have been mostly based on trial-and-error. Furthermore, the generally accepted mechanisms of the formation of uniform particles have been proven either incorrect or inadequate.

In this presentation, a number of monodispersed materials of simple and composite natures will be illustrated. It will be also documented that in most cases the uniform colloids are built of nanosized subunits. This finding explains many properties of matter, which have been difficult to understand.

Finally, a theoretical model will be described in order to account for the mechanism by which the aggregation of nanosize precursors could lead to identical larger particles.

## 150-LETNICA NAPRŠENIH VAKUUMSKIH TANKIH PLASTI

Dr. Stanislav Južnič, Fara 2, 6134 Vas, Slovenija

Letos mineva 150 let od prvega objavljenega opisa naprševanja tankih plasti. Sodobni naziv za specializirano tehnologijo tankih plasti se uporablja le za plasti, ki jih zgradimo s procesi nalaganja atoma na atom in ne s tanjšanjem razmeroma velikega kosa snovi. Tanke plasti uporabljamo v optiki kot odbojne plasti, filtre in antirefleksne plasti. V elektroniki jih uporabljamo za uporovne plasti, kondenzatorje in številne komponente v mikroelektroniki. V strojništvu jih uporabljamo za korozijsko zaščito in zaščito pred obrabo. Tanke plasti nam med drugim pridejo prav tudi kot funkcionalne in dekorativne plasti na pametnih oknih, ki prepuščajo infrardečo svetlobo samo v eno smer.

Tanke plasti lahko pripravimo z elektrokemijskimi postopki (galvanski nanos, kemijski nanos, anodna oksidacija), termičnimi in plazemskimi pršilnimi (sprej) postopki, kemijskimi postopki iz parne faze (CVD) ter fizikalnimi (vakuumskimi) postopki (PVD, naparevanje, naprševanje). Zaradi slabih vakuumskih materialov in sistemov so fizikalni postopki ostali predvsem laboratorijska posebnost do srede tridesetih let 20. stoletja.

Omejili se bomo na odkritje naprševanja. Ta netermični način uparitve snovi so prvič opazili pred poldrugim stoletjem po obstreljevanju kovinske katode z ioni visokih energij. Sprva je motilo raziskovalce katodnih elektronk. Danes je razmerje povsem obrnjeno, kot se v zgodovini rado zgodi. Tlivna razelektritev je le še zanimiv svetlobni pojav. Raziskovanje nekoč motečega pojava naprševanja tankih plasti pa se je razvilo v eno najbolj donosnih sodobnih tehnologij.

## ISTRAŽIVANJE STRUKTURE TANKIH FILMOVA RASPRŠENJEM RENDGENSKOG ZRAČENJA POD MALIM KUTEVIMA

Pavo Dubček, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

SAXS (raspršenje rentgenskih zraka pod malim kutevima) kao tehnika se dokazao na istraživanju strukture u nanometarskom području veličina. Sinkrotronsko zračenje je proširilo mogućnosti primjene zahvaljujući velikom intenzitetu (veliki omjer signal/šum) i visokoj kolimaciji (rezoluciji). U novije vrijeme, zahvaljujući velikom interesu za tanke filmove nanomaterijala, raste interes za GISAXS (grazing incidence; mali upadni kut). Ovdje je uz signal nano-čestica prisutno i raspršenje na površini, pa je za uspješno modeliranje čestične strukture potrebno dobro opisati i površinu. Nakon analize mogućih doprinosa ukupnom raspršenju, uporedićemo GISAXS iz tri potpuno različita tanka filma sa različitim doprinosom čestičnog strukturnog faktora: a) monokristalni silicij impantiran vodikom u kojem su generirane mikropraznine aglomerirane dodatnim popuštanjem, b) magnetronski rasprašen volfram karbid u kojem su zrna kristalnog volfram karbida okružena amorfnom matricom bogatom ugljikom i c) nanokristalni kadmij sulfid proizveden u silicij dioksidu odvojenom ionskom implantacijom, te dodatnim napuštanjem. U sva tri slučaja su određene karakteristične veličine u sistemu, korištenjem istog opisa površine zasnovanog na Bornovoj aproksimaciji u računu smetnje (DWBA, distorted wave Born approximation).



## UPORABA PROFILOMETRA PRI ANALIZI POVRŠIN IN TANKIH PLASTI

Miha Čekada, Peter Panjan  
 Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

Profilometer je naprava, ki z drsečo iglo otipava površino v dani smeri. Metoda je hitra, enostavna in občutljiva ter zelo uporabna pri analizi površin in tankih plasti. Sodobni profilometri imajo vertikalno ločljivost v področju nekaj nanometrov. Osnovni podatki o stanju površine so parametri hrapavosti, med katerimi se največ uporablja  $R_a$ . Parametri so definirani glede na sredinsko črto. Če je vzorec ukrivljen, ne dobimo pravega rezultata. To težavo lahko odpravimo z nelinearnim prilagajanjem, npr. namesto sredinske črte uporabimo krožnico. Lahko pa z uporabo filtrov zgladimo dobljeni profil in ločimo prispevka hrapavosti (majhne valovne dolžine) in valovitosti (velike valovne dolžine). Pri tem je treba biti previden, saj filtri močno popačijo določene objekte na površini.

Z merjenjem ukrivljenosti vzorca, prekritega s tanko plastjo, lahko izračunamo tudi notranje napetosti v plasti. Če je plast mnogo tanjša od podlage, uporabimo Stoneyjevo formulo, kjer za izračun ne potrebujemo elastičnih konstant plasti. Naslednja možnost uporabe je merjenje debeline tanke plasti, če vzorec pred nanosom delno zastremo z masko. Interpretacija rezultatov pa je lahko problematična, saj je lahko nastala stopnica slabo prepoznavna zaradi senčenja in ukrivljenosti podlage. Če nam profilometer to omogoča, lahko z vzorednim merjenjem profilov pokrijemo določeno področje in dobimo 3D-topografijo površine.

## MODELIRANJE DEBLJINE TANKIH SLOJEVA PRIPRAVLJENIH KRUŽNIM PLANARNIM MAGNETRONOM

Mladen Srzić, dipl.ing. fizike  
 Nikola Radić, Institut "Ruder Bošković"

Kružni planarni magnetroni su uređaji kojima se pomoću ionskog raspršenja katode-mete efikasno formiraju tanki slojevi. Pri tome je raspodjela debljine tankih slojeva važan parametar u njihovoj primjeni. Ta raspodjela nije jednolika duž makroskopskih udaljenosti na podlozi zbog različitih faktora: nehomogenosti magnetskog polja, geometrijske konfiguracije samog uređaja, trošenja katode, utjecaja osobina samih materijala i parametara magnetronskog izboja. Redovito je potrebno da pripremljeni uzorak bude jednolike debljine preko što je moguće veće površine te da je reproducibilnost geometrije sloja održana kroz što duže vrijeme rada magnetrona sa istom katodom. U cilju dobivanja uvida i optimalizacije procesa depozicije, razvijen je analitički model s mogućnostima parametarskog variranja svih važnijih faktora koji utječu na raspodjelu debljine sloja:

- geometrija uređaja: veličina katode i udaljenost podloge
- raspodjela gustoće struje na katodi koja ovisi o geometriji magnetskog polja
- kutna raspodjela raspršenih čestica
- sudarni procesi u radnom plinu
- vjerojatnosti primanja raspršenih čestice na podlogu
- promjena geometrije katodne površine tijekom vremena eksploatacije.

Model obuhvaća samo raspršene čestice koje bez sudara dosegnu podlogu depozicije i zato najbolje rezultate daje kada je srednji slobodni put veći ili usporediv s udaljenosti podloge depozicije od magnetrona. Račun je proveden kompjuterskim programom u Fortranu, s unošenjem podataka koji definiraju proces narastanja, izračunom raspodjele debljine slojeva u svakom trenutku procesa, te grafičkim prikazom profila tankog sloja. Prikaz rezultata omogućava vizualnu prezentaciju i usporedbu različitih situacija, te donošenje odluka o parametrima procesa. Provjera modela je napravljena usporedbom sa odgovarajućim literaturnim eksperimentalnim podacima za bakar i aluminij.

## LASERSKA ABLACIJA ZA PRIPREMU NOVIH MATERIJALA, MOLEKULA I NANOČESTICA

Irena Labazan, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska  
Slobodan Milošević, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska, slobodan@ifs.hr

Laserska ablacija postaje temeljem pouzdanih i fleksibilnih tehnika u različitim područjima od fizike, geofizike, medicine do umjetnosti i industrijske obrade materijala. Posebno se pulsna laserska depozicija pokazala kao širokoprimjenjiva tehnika za pripremu najrazličitijih vrsta materijala i struktura (čestica, nanočestica) od visokotemperaturnih supravodiča, feroelektrika, metala, polimera, keramika do dijamantu sličnih ugljikovih tankih filmova. O širenju tehnika temeljenih na laserskoj ablaciji rječito govori podatak o više od 700 znanstvenih radova godišnje, s daljim trendom rasta.

Ovom prigodom bit će prikazane mogućnosti istraživanja koje postoje u našem laboratoriju. U proteklih nekoliko godina implementirali smo nekoliko tehnika za dijagnostiku laserski stvorene pare i plazme. Pored standardne vremenski razlučive optičke spektroskopije izgradili smo linearni time-of-flight maseni spektrometar i primijenili lasersku apsorpcijsku spektroskopiju pomoću optičkog rezonatora. To nam omogućuje kvantitativnu, vremensku i prostornu analizu pare i plazme s obzirom na atome, molekule i njihove ione u osnovnom i pobuđenom stanju. Mogućnosti i osobine pojedinih tehnika ilustrirat ćemo na nekoliko primjera laserske ablacije čistih metala (litij), nemetala (grafit), mješavina metala (LiZn) i mješavina metal-nemetal (Li-C). Naša istraživanja usmjerena su ka cilju određivanja i optimaliziranja uvjeta za formiranje novih molekula koje sadrže alkalijske (litijeve) atome. Razvijamo nove tehnike u kojima ćemo lasersku ablaciju kombinirati sa različitim izvorima molekularnih snopova.

### AMORFIČNI VOLFRAM

Nikola Radić, Zavod za fiziku materijala, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
Anton Tonejc, Prirodoslovno-matematički fakultet, Odsjek za fiziku, Zagreb, Hrvatska  
Jovica Ivkov, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

Amorfnu fazu čistih metala vrlo je teško pripremiti - za to su nužne izvanredno velike brzine hlađenja iz taline koje se postižu samo u kompjuterskim "eksperimentima", ili odgovarajuće efektivne brzine kaljenja pri depoziciji čestica iz plinske/ plazmatske faze u obliku tankog filma. Pri tome amorfni metalni filmovi spontano kristaliziraju nakon dosezanja kritične debljine, koja je za ispitane metale do nekoliko desetaka nanometara. Nedavno su pripremljeni filmovi amorfničkog (amorphous-like) volframa debljine 250 nm CVD postupkom ( $\text{SiH}_4/\text{WF}_6$ ) pri specijalnim uvjetima. U ovom radu prikazati ćemo preliminarnu karakterizaciju prvih filmova amorfničkog volframa dobivenih postupkom magnetronskog rasprašenja.

Tanki filmovi (reda 0,3  $\mu\text{m}$ ) volframa pripremljeni su magnetronskim rasprašenjem čistog volframa u cilindričnim magnetronima. Tlak radnog plina / argona variran je u rasponu 0,7 – 3,5 Pa, a podloge (staklo, mono-silicij, kvarc, safir) su rotirane i kontaktno hladene tekućim dušikom tijekom depozicije. Struktura pripremljenih filmova određena je rentgenskom difrakcijom: u filmovima pripremljenim pri nižem tlaku argona dominira stabilna  $\alpha$ -W (bcc) faza, a pri 2,8 Pa prevladava metastabilna  $\beta$ -W (A15 struktura) modifikacija. Difraktogrami volframskih filmova pripremljenih pri 3,5 Pa argona redovito imaju samo vrlo široki signal s maksimumom oko  $2\theta \approx 40^\circ$ , karakterističan za amorfne metale i slitine. Iz poluširine difrakcijske "linije" može se

veličina zrna pripremljenog materijala procijeniti na oko 2 nm. Temperaturni koeficijent električnog otpora takvih filmova je negativan, što je također karakteristika amorfnih metala. Na temelju toga zaključujemo da su filmovi volframa pripremljeni uz 3,5 Pa argona na hlađenim podlogama "amorfični". Termička stabilnost amorfnih W-filmova na safirnoj podlozi ispitana je grijanjem do 720°C u vakuumu uz kontinuirano mjerenje el. otpora: električna otpornost naglo pada oko 300°C, a rentgenska difrakcija uzorka nakon termičkog ciklusa pokazuje potpunu transformaciju u stabilnu  $\alpha$ -W fazu. Dobiveni rezultati potvrđuju da je moguće pripremiti amorfični volfram u relativno debelim filmovima, te da je takav materijal i termički prilično stabilan.

## VODIK U LEGURAMA AMORFNOG SILICIJA

D.Gracin, M.Jakšić i P.Dubček  
 Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Bijenička 54

Još kasnih 70 ovoga stoljeća se uočilo da legure amornog silicija ne mogu egzistirati kao poluvodički materijal ukoliko ne sadrži dodatke koji zasićuju "slobodne valencije". Naime, budući da je struktura neuređena, koordinacijski broj je manji od 4 pa u materijalu postoje nespreni elektroni u kovalentnoj vezi, tzv "viseće veze" koji djeluju kao električki aktivni defekti i diskvalificiraju materijal kao poluvodič.

Uvođenje vodika u materijal ima, osim ove osnovne funkcije, niz pratećih pojava. Jedna od njih je "elastičnost strukture" koja omogućava akomodaciju vrlo različitih dopirajućih atoma i relaksaciju raznih strukturnih defekata. Može se pokazati da koncentracija i način vezivanja vodika ima direktan utjecaj na uređenje srednjeg i kratkog doseg, što će biti ilustrirano rezultatima vibracione spektroskopije.

Nadalje, vodik svojim kemijskim potencijalom mijenja ukupnu energijsku raspodjelu elektronskih stanja što između ostalog ima utjecaj na širinu energijskog procijepa. Tako postoji direktna korelacija između Urbach-ovog nagiba, veličine koja određuje raspodjelu energijskih stanja elektrona na rubu vodljive i valentne zone i širine energijskog procijepa.

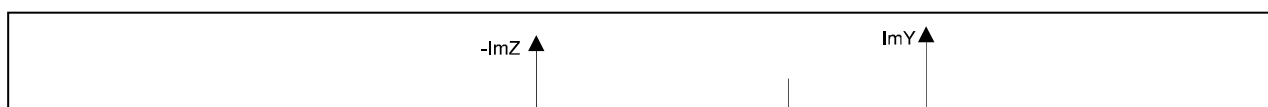
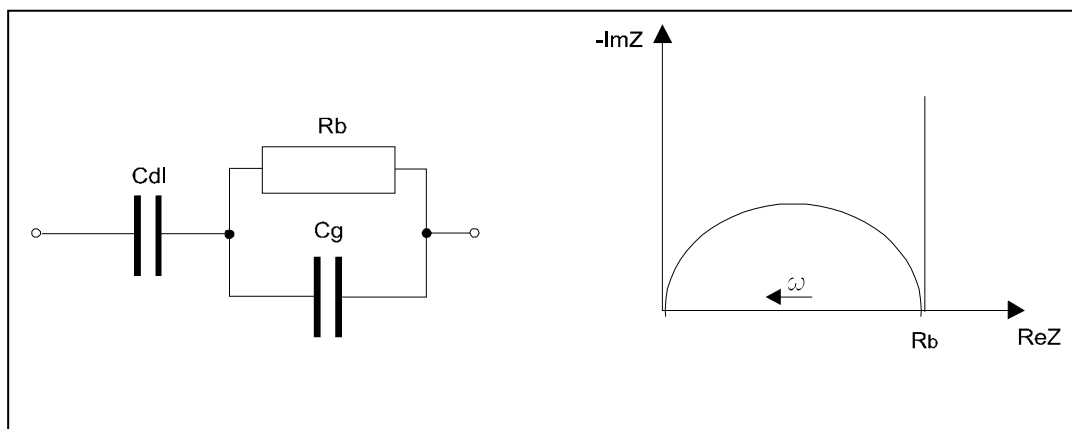
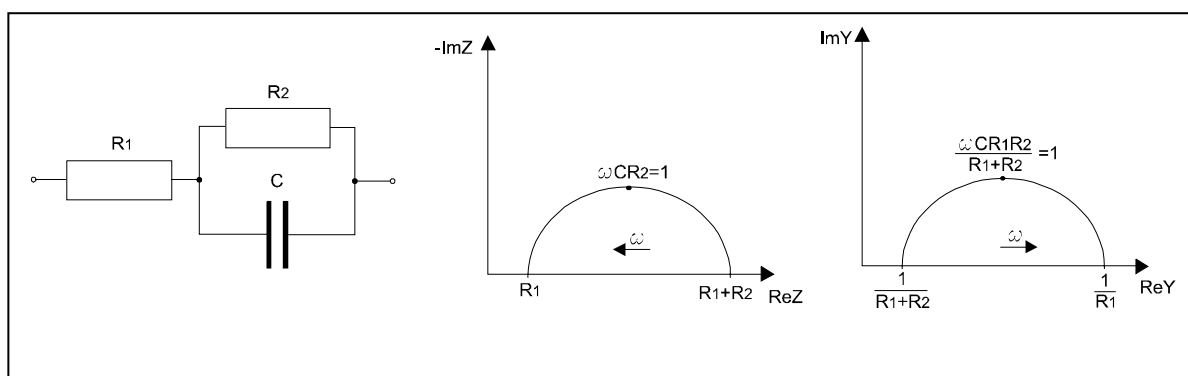
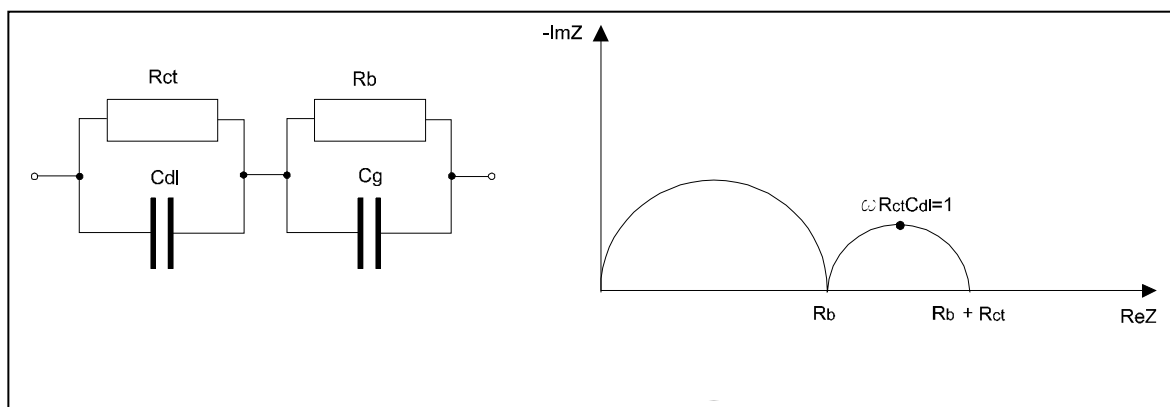
No vodik u legurama amornog silicija nije u potpunosti stabilan. Pod utjecajem svjetla i/ili povišene temperature dolazi do složene migracije vodikovih atoma u materijalu koja dovodi do njegove preraspodjele koja rezultira postepenim kvarenjem performansi materijala, što će biti ilustrirano eksperimentom sa infra-crvenim laserom.

Osim ovoga, poznavajući korelaciju načina vezivanja vodika i strukture, moguće je upotrijebiti vezu silicij-vodik kao sondu za stupanj strukturnog uređenja. Ovakva mogućnost će biti ilustrirana na procijeni volumnog udjela šupljina u materijalu te distribuciji šupljina po veličini korištenjem infracrvene spektroskopije, difrakcije x-zraka pod malim kutem i nuklearnih metoda.

## IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA

Aleksandra Turković, Institut "Ruder Bošković", Zagreb, Hrvatska

Izravna mjerenja električne vodljivosti predstavljaju jednu od najkorisnijih tehnika karakterizacije čvrstih elektrolita i zato se intenzivno provode u istraživanjima. Takva je mjerenja moguće izvesti pomoću istosmjerne (dc) i izmjenične (ac) struje. Međutim dc-mjerenja povezana su s više poteškoća praktične prirode, a osim toga iz rezultata ac-mjerenja može se dobiti više podataka o ispitivanom uzorku. Zato su u ispitivanjima čvrstih elektrolita ac-mjerenja izbila u prvi plan. Problemi koji se javljaju kod materijala visoke vodljivosti, kad se u mjerenju mora ići do vrlo visokih frekvencija (1 MHz i više) pri čemu razni efekti maskiraju pravi otpor elektrolita, nadilaze se mjerenjem ac-odziva preko velikog raspona frekvencija. Takva mjerenja nazivamo impedancijskom spektroskopijom. Analiza tako dobivenih podataka vrši se metodom kompleksne ravnine. Bilo koji ispitivani sistem može se prikazati u obliku ekvivalentnog R-C-L kruga uspoređujući eksperimentalno dobijene krivulje u kompleksnoj ravnini sa standardnim krugovima. Tri primjera takvih krugova prikazana su na donjoj slici.



## ADMITTANCE SPECTROSCOPY OF NONIDEAL METAL-SEMICONDUCTOR INTERFACES

Dean Korošak<sup>1</sup> and Bruno Cvikl<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Maribor, Slovenia

<sup>2</sup>“J. Stefan” Institute, Ljubljana, Slovenia

The capacitance-voltage characteristics of ionized cluster beam (ICB) deposited metal-semiconductor structures exhibit large excess capacitance for both forward and reverse values of the bias. The origin of the excess capacitance has been ascribed to the presence of the bias dependent excess charge density residing at the interface between the disordered interlayer between the metal and the bulk semiconductor [1,2]. The disorder is introduced by the metal ions incorporated in the host semiconductor lattice, and the width of the interlayer approximately equals the penetration length of the metal ions in the semiconductor. The model function of the excess charge was given [1,2], in which the charge tends to zero for very large values of applied bias, in either direction, and reaches the maximum value. The decreasing of the charge at the interface under carrier injection was described in conjunction with the observation of negative capacitances at metal-semiconductor interfaces [3], based on the modified occupancy function of the interface states.

In the present work the analysis of admittance spectroscopy [4,5] of the metal-semiconductor interface prepared by ICB technique is given. The observed peaks in both conductance and capacitance vs. bias plots (i.e. excess capacitance), as well as the observed peaks in the imaginary part of the complex capacitance (and also in tangent loss) spectra at different temperatures and applied biases indicates to the presence of the interface states at metal-disordered layer and disordered layer-semiconductor interfaces. The frequency dependence of the conductance and capacitance of the ICB m/s interface is well described assuming the distribution of electronic states in the semiconductor bandgap and the frequency response of the conductance is related to the alternating tunnel currents to interface states [6].

[1] B. Cvikl and D. Korošak, *Vacuum* **61**, 355 (2001).

[2] B. Cvikl and D. Korošak, *J. Appl. Phys.* **91**, 4281 (2002).

[3] X. Wu and E. S. Yang, *J. Appl. Phys.* **85**, 3560 (1990).

[4] D. L. Losee, *J. Appl. Phys.* **46**, 2204 (1975).

[5] P. Muret, D. Elguennouni, M. Missous and E. H. Rhoderick, *Appl. Phys. Lett.* **58**, 155 (1990).

[6] J. Shewchun, A. Waxman and G. Warfield, *Solid State Electronics* **10**, 1165 (1967).

## ANALIZA REZIDUALNE NESREĐENOSTI MATERIJALA I KONCENTRACIJE SLOBODNIH NOSIOCA U Si-IMPLANTIRANOM GaAs

Dunja Desnica-Franković, Institut “Ruđer Bošković”, Zagreb, Hrvatska

U.V. Desnica, Institut “Ruđer Bošković”, Zagreb, Hrvatska

K. Furić, Institut “Ruđer Bošković”, Zagreb, Hrvatska

J. Wagner, Fraunhofer-Institut, Freiburg, Germany

T. E. Haynes, Solid State Division, Oak Ridge, TN 37831, USA.

R. Morton, Solid State Division, Oak Ridge, TN 37831, USA.

Ispitivali smo seriju uzoraka galij-arsenida implantiranih visokim dozama silicija. Nakon implantacije uzorci su odgrijavani na visokim temperaturama u standardnom tehnološkom

postupku da se uklone implantacijom-izazvani defekti u kristalnoj rešetci i postigne aktivacija dopanata.

Mjerenjem Hall-efekta određeni su koncentracija i pokretnost nosioca u temperaturnom intervalu od 77-300 K. Različiti mehanizmi raspršenja djelotvorni u pojedinim temperaturnim područjima uzeti su u obzir prilikom analize Hallova pokretnosti,  $\mu_H$ .

Početno oštećenje rešetke mjereno je s Rutherfordovim raspršenjem unazad (RBS), dok je uređivanje nakon termičkog tretmana praćeno ramanskom spektroskopijom. Dodatno, ramansko raspršenje na spregnutim LO-fonon-plazmon modovima korišteno je za analizu slobodnog elektronskog plina u n-tipu GaAs. Korištenjem tri različite pobudne energije, omogućeno je profiliranje i analiza implantiranog sloja po dubini. Tako dobivene vrijednosti koncentracija slobodnih nosioca uspoređene su s onima iz mjerenja Hall-efekta. Na temelju dobivenih rezultata predložena su moguća poboljšanja koja bi vodila boljoj aktivaciji dopanata kod implantiranja GaAs s vrlo visokim dozama Si.

## **THERMAL AND ACOUSTIC MEASUREMENTS ON HARD CARBON PREPARED FROM C<sub>60</sub> FULLERENE**

A. Smontara, A. Bilušić, Institute of Physics, Zagreb, Croatia  
J.C. Lasjaunias, M. Saint Paul, C.R.T.B.T., C. N. R. S., BP 166, Grenoble, France

We report on the investigations of thermal transport and acoustical properties on hard fullerene-based carbon. The novel material was obtained from pressure-temperature treatment of C<sub>60</sub> and is known for a unique combination of its diamond-like hardness and amorphous carbon-like electrical conductivity. The study is motivated by enormous technological applications of the material. The latter range from protective coatings for infrared and other windows to fibers and cutting tools with properties approaching those of natural diamond. The thermal conductivity increases with  $T^{1.4}$  power law, for T ranging from 0.09 K to 10 K, without any well defined plateau, and a strictly linear temperature dependence between 20K and 300K. Sound velocity decreases linearly from 4K up to 100K. Both linear regimes are characteristic of disordered structures, and can be analysed by the phonon-fracton hopping model developed for fractal and amorphous structures.

## **ANALIZA 2D GISAXS SPOKTARA CdS NANOKRISTALA U SiO<sub>2</sub> SUPSTRATU**

M. Buljan<sup>1</sup>, K. Salamon<sup>2</sup>, P. Dubcek<sup>1,3</sup>, S. Bernstorff<sup>3</sup>, I.D. Desnica-Frankovic<sup>1</sup> O. Milat<sup>2</sup> and U. V. Desnica<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut, R. Bošković, PO Box 180, 10000 Zagreb, Hrvatska,

<sup>2</sup>Institut za fiziku, Bijenička c. 52, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup>Sincrotrone Trieste, SS 14 km163,5, 34012 Basovizza, Italia

Raspršenje rendgenskih zraka pod malim upadnim kutom (grazing incidence small-angle X-ray scattering-GISAXS), primijenjeno je na nanokristale poluvodiča u SiO<sub>2</sub> supstratu. GISAXS analiza bazirana je na metodi lokalne monodisperzne aproksimacije (local monodisperse approximation-LMA) i raspršenja sa realnih površina u Bornovoj aproksimaciji distordiranih valova (distorted wave Born approximation-DWBA). Lokalna monodisperzna aproksimacija pretpostavlja da su položaj i veličina čestica unutar supstrata međusobno korelirani, te da se sustav čestica sastoji od niza monodisperznih podsustava. Ukupno raspršenje sa čestica unutar supstrata jednako je sumi raspršenja sa tih podsustava. Raspršenje na samoj površini daje dodatni doprinos ukupnom intenzitetu, te se mora uzeti u obzir prilikom analize GISAXS spektara.

Ispitivani su nanokristali CdS formirani metodom sinteze iz atoma konstituentata, koji su uvedeni ionskom implantacijom. Serije profila duž raznih polarnih kutova detektora (2D GISAXS spektara), prilagođavane su teoretskom modelu. Analizom spektara određeni su oblik, veličina, raspodjela veličina i međusobna udaljenost čestica unutar supstrata. Izračunata veličina čestica u dobrom je slaganju (unutar 10 %) sa rezultatima mjerenja transmisijskim elektronskim mikroskopom.

## **UGOTAVLJANJE STOPNJA DISPERGIRANJA PIGMENTOV V PRAŠKASTIH PREMAZIH PO JEDKANJU S KISIKOVO PLAZMO**

Marta Klanjšek Gunde<sup>1</sup>, Matjaž Kunaver<sup>1</sup>, Miran Mozetič<sup>2</sup>, Anton Hrovat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kemijski inštitut, Ljubljana, Hajdrihova 19, Slovenija

<sup>2</sup>Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Ljubljana, Teslova 30, Slovenija

<sup>3</sup>Color, d.d., Cesta komandanta Staneta 4, Medvode, Slovenija

Stopnja dispergiranja pigmentov je ena od osnovnih lastnosti kateregakoli pigmentiranega premaza, saj ima direkten vpliv na njegov videz (barvno nianso), pa tudi na ostale funkcionalne lastnosti kot je antikorozijska zaščita podlage in podobno. Pigmentni delci polno razvijejo svojo koloristično in funkcionalno vlogo, kadar so v premazni plasti razbiti čimbolj do osnovnih delcev.

V premazih, kjer kot topilo uporabljamo bodisi organsko topilo ali pa vodo, je stopnja dispergiranja posledica vmešavanja pigmentov v sistem vezivo/topilo/pigment in morebitnega kasnejšega grupiranja delcev. Časovni potek teh procesov je razmeroma dolg in omogoča razne korekcije, s katerimi optimiziramo lastnosti premaznega sredstva. Pri praškastih premazih (*powder coatings, PC*) je situacija precej drugačna. Pri proizvodnji in tudi pri nanašanju teh premazov ne uporabljamo nikakršnih hlapnih substanc. Specifičnost proizvodnje PC je izdelava v talini, kar pomeni, da ni praktično nobene možnosti kasnejšega popravljanja stanja disperzije. Čas dispergiranja je izredno kratek in poteka med procesom mešanja sestavin PC v talini. V večini primerov ne poteče do konca, kar povzroča razmeroma velika nihanja barvne nianse premaza. Metode, ki se uporabljajo za ugotavljanje stanja disperzije v premazih s topili, v večini primerov niso primerne za PC. Učinkovitih metod za določanje stopnje dispergiranja PC ne poznamo, saj ni nobenih tovrstnih objav, pa tudi problematika je razmeroma nova.

V predavanju prikazujemo naš postopek določevanja stopnje dispergiranja v PC. Prvo fazo predstavlja tehnološki postopek hladnega selektivnega jedkanja. Vzorce PC smo obdelovali v plazemskem reaktorju v nizkotlačni šibko-ionizirani visoko-disociirani plazmi. Z optimizacijo parametrov plazme smo dosegli selektivno odstranjevanje slojev polimera (veziva). SEM posnetke ustrezno pojedkanih vzorcev smo kvantitativno ovrednotili z uporabo »image analysis«. Vzorce smo ovrednotili glede na število delcev, njihovo velikost in porazdelitev velikosti. S primerjavo dimenzij osnovnih delcev pigmenta in polnil tako dobimo kvantitativne podatke o stopnji dispergiranja konkretnega PC.

Uporabo metode prikazujemo na konkretnih vzorcih PC v črni in rumeni niansi. Pri izdelavi premazov so bile uporabljene identične sestavine v popolnoma enakih količinskih razmerjih, med seboj pa so se ločili po načinu priprave. To razliko lahko pojasnimo z različnimi strižnimi silami pri pripravi taline za PC. Izmerili smo barvne razlike med vzorci in jih povezali z razlikami v velikostih delcev, ki smo jih dobili iz analize SEM posnetkov ustrezno pojedkanih površin PC.

## **ZAHTEVE PRI RAZVOJU PLINSKEGA ODVODNIKA**

Andrej Pregelj, Andrej Pirih, Žiga Hribar, Aleš Štagoj, France Brecej, \*Martin Bizjak  
Iskra Zaščite, Stegne 35, 1000 Ljubljana; \*Iskra Stikala, Savska Loka 4, 4000 Kranj

Ob vsakem prenapetostnem udaru v omrežje lahko napetostni val povzroča poškodbe na bližnjih šibkotokovnih aparataturah. Za zaščito se uporabljajo prenapetostni odvodniki, med katerimi zavzemajo posebno mesto plinski odvodniki. To so hermetično zaprte celice, v katerih plin med izolirano elektrodo in ohišjem ob udaru ionizira. Plin ali plinska mešanica postane v tem trenutku prevodna in omogoči prevajanje električnega toka. Plinski odvodnik, kakršnega razvijamo, je s še drugimi električnimi elementi vezan v sklop, ki deluje zaščitno tako, da omogoči takojšen odvod energije – npr. udara strele - v zemljo. Sestavljen je iz osmih ali devetih delov, ki so medsebojno spojeni z zahtevnimi tehnološkimi postopki. Pri izdelavi je potrebno doseči zahtevane karakteristike na naslednjih področjih: tesnost celice, vžigna napetost, energetska vzdržljivost, električna upornost izolacije, ponovljivost itd. Prispevek prikazuje poleg omenjene problematike še sedanje stanje razvoja in nekatera poskusna testiranja.

## **PREDSTAVITEV KALIBRACIJSKIH ZMOGLJIVOSTI LABORATORIJA ZA METROLOGIJO TLAKA**

Janez Šetina  
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije  
Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

Na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije (IMT) v Ljubljani je bil v letu 1999 ustanovljen Laboratorij za metrologijo tlaka (LMT). V začetku letošnjega leta je Slovenska akreditacija podelila laboratoriju akreditacijo za področje kalibracij merilnikov tlaka pod zaporedno številko L-030.

Sedanji obseg akreditacije zajema absolutni in relativni tlak v področju od 1 kPa (10 mbar do 7 MPa (70 bar). V LMT lahko zagotovimo sledljivost meritev tlaka na mednarodno raven v širšem obsegu, kot je obseg trenutne akreditacije: v področju vakuuma navzdol do  $10^{-5}$  Pa ( $10^{-7}$  mbar) in v področju visokih tlakov do 200 MPa (2000 bar). Načrtujemo, da bomo obseg akreditacije v naslednjih dveh letih razširili na celotno območje merilne zmogljivosti laboratorija.

Merilno območje tlaka in negotovosti, ki jih lahko dosežemo, pokrivajo večino potreb po zagotavljanju sledljivosti tlaka v Sloveniji. V LMT opravljamo storitve kalibracij vakuumetrov in merilnikov tlaka v industrijski proizvodnji, preskusnih laboratorijih in drugih panogah industrije, kjer potrebujejo sledljive kalibracije predvsem zaradi zahtev raznih sistemov zagotavljanja kakovosti.

V prispevku bo predstavljena merilna oprema LMT, njene zmogljivosti in sedanja shema sledljivosti.

## **PRORAČUN SVOJSTAVA ČISTIH (111) POVRŠINA I POVRŠINA S ADATOMIMA, ZA METALE Au, Cu I Pt**

Radovan Brako, Željko Crljen, Predrag Lazić, Damir Šokčević  
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

Koristeći teoriju funkcionala gustoće (program *dacapo*) proračunali smo svojstva (111) površina metala Au, Cu i Pt. Korišteni su periodični rubni uvjeti za sistem od pet slojeva metala i pet



slojeva vakuuma. Dva najdonja sloja metala su bila nepomična, a gornja tri su se relaksirala. Računi su rađeni za pravilan položaj najgornjeg sloja (fcc poredak), te s pomakom u ravnini površine u položaje hcp, most (“bridge”), točno iznad atoma drugog sloja (“on-top”), itd. Prema očekivanju, pravilni fcc poredak je energetski najpovoljniji za sve metale. Energija konfiguracije s prvim slojem u hcp položaju je nepovoljnija za 10-30 meV po atomu, a za “bridge” za 30-85 meV po atomu. Ove su vrijednosti najmanje za Au, što je u skladu s poznatom činjenicom da površina Au(111) rekonstruira već kod niskih temperatura. Razlike su veće za Pt, a pogotovo za Cu, koji ne pokazuje sklonost rekonstrukciji.

Također smo računali konfiguracije kod kojih je na idealnu površinu metala dodan po jedan adatom iste vrste na svaka četiri atoma najgornjeg sloja podloge. Izračunate su inducirane sile na okolne atome prije relaksacije, te energije i pomaci atoma nakon relaksacije. Za sve metale nađeno je da je energetski najpovoljnija konfiguracija s adatomima u hcp položajima. Adatomi induciraju jake sile u ravnini površine na atome u svojoj okolini, odnosno pomake atoma nakon relaksacije. Te sile su posebno velike za površine Au i Pt, što odražava postojanje velike intrinzične površinske napetosti.

Dobiveni rezultati značajni su za bolje razumijevanje svojstava čistih površina i površina s adsorbatima. To uključuje samodifuziju, rekonstrukciju površina, površinsku napetost i njezinu promjenu u okolini adsorbata, što može biti važno za stabilnost pojedinih konfiguracija adsorbata.

## **STM BALISTIČKO TUNELIRANJE U ISPITIVANJU LOKALNE ELEKTRONSKE STRUKTURE NA POVRŠINI**

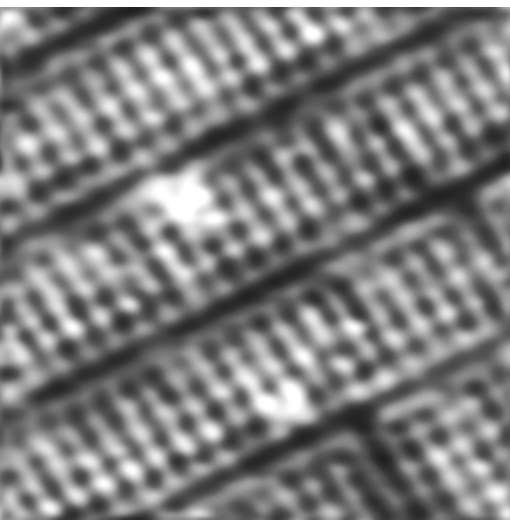
Marko Kralj, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska, e-mail: mkralj@ifs.hr

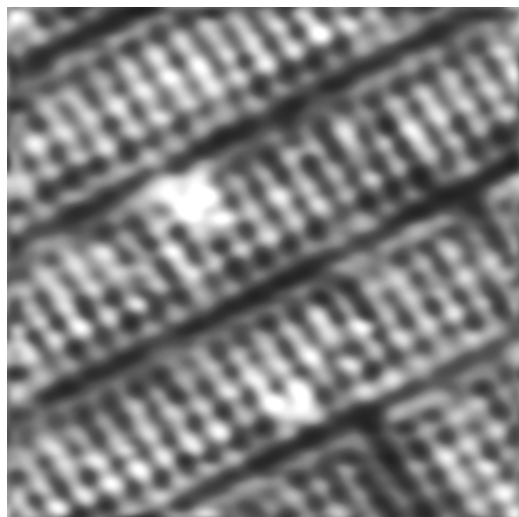
Petar Pervan, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

Milorad Milun, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

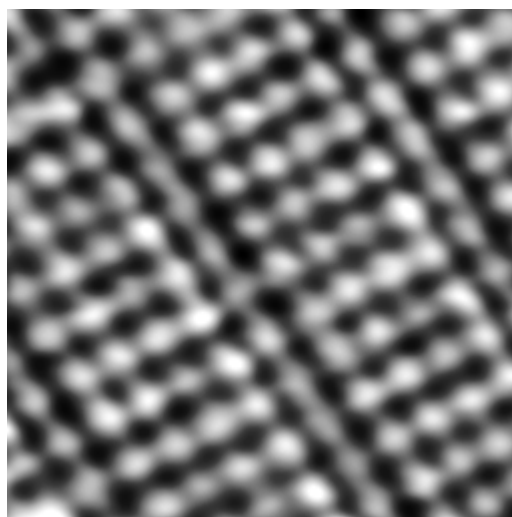
Današnja saznanja u skenirajućoj tunelirajućoj mikroskopiji (STM) jasno pokazuju da je kriva predodžba kako postoji direktna veza između eksperimentom dobivene slike i geometrijske strukture površine na lokalnoj skali, odnosno lokalne gustoće stanja površine (LDOS). Vrlo često je ta veza puno kompleksnija. Bez obzira na udaljenost igle od površine u eksperimentu, međudjelovanje igle i površine uvijek je prisutno. Za dobivanje neperturbirane informacije o LDOS potrebno je smanjiti interakcije na minimum, što podrazumijeva male struje tuneliranja i male potencijalne razlike između igle i uzorka. Suprotno, u granici malih udaljenosti, velikih struja tuneliranja i napona, STM postaje alat za nanostrukturiranje po površini, što uključuje i manipulacije pojedinačnim atomima.

U našem eksperimentu smo pomoću STM metode ispitivali strukturu kisikom inducirane (5x1) rekonstruirane (100) površine vanadija, V(100)-(5x1). Postizanje atomske rezolucije bilo je moguće za ograničeni raspon tunelirajućih parametara. To podrazumijeva struje tuneliranja iznad 3.5 nA i potencijalne razlike između igle i uzorka u rasponu od -100 do +70 meV (slika 1). U limitu vrlo malih napona (nekoliko meV) i struja 5 nA i većih, kada je igla vrlo blizu površine, uočili smo pojavu kompleksne inverzije atomske razlučivih slika (slika 2). Analizom rezultata





Slika 1. STM V(100)-(5x1);  
 $I_T = 3.8 \text{ nA}$ ,  $U_B = -10 \text{ mV}$



Slika 2. STM V(100)-(5x1);  
 $I_T = 5.0 \text{ nA}$ ,  $U_B = -1.7 \text{ mV}$

dolazimo do zaključka da su opažene inverzije posljedica lokalnog urušavanja tunelirajuće barijere. To dovodi do pojave, tako zvanog balističkog tuneliranja. Dobiveni rezultati, odnosno kolaps tunelirajuće barijere nam omogućuje točnu geometrijsku identifikaciju elektronskih stanja lokaliziranih na površini, u odnosu na stanja koja se prostiru u cijelom volumenu kristala. Dobiveni STM rezultati poklapaju se s provedenim fotoemisijским mjeranjima, koja ukazuju na postojanje lokaliziranog elektronskog stanja kisika na V(100)-(5x1) površini.

Janez Kovač, Anton Zalar,  
Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Polprevodniški materiali s široko režo, ki temeljijo na GaN in spojinah GaN z In ter Al, se v zadnjih letih intenzivno uporabljajo za optoelektronske naprave (modre in zelene LED-diode, laserske diode), visokotemperaturne elektronske naprave in UV senzorje. Uporaba teh materialov je povezana z novimi spoznanji o pripravi stabilnih tankoplastnih struktur GaN v optoelektronskih napravah. Za preiskavo teh struktur se pogosto uporablja profilna analiza s spektroskopijo Augerjevih elektronov (AES) ali spektroskopija rentgensko vzbujenih fotoelektronov (XPS) v kombinaciji z ionskim jedkanjem. Za pravilno razlago rezultatov tovrstnih preiskav je pomembno poznavanje spremembe sestave površine GaN povzročene med ionskim jedkanjem.

Prednostno jedkanje GaN smo preiskali v odvisnosti od energije ionov Ar in njihovega vpadnega kota. Vzorec GaN smo obstreljevali z ioni z energijami od 0,5 do 5 keV pri različnih vpadnih kotih. Med in po profilni analizi AES smo v spektrih Augerjevih elektronov merili vrhove Ga (1070 eV) in N (379 eV), nato pa smo med seboj primerjali ravnotežne sestave vzorcev. Ugotovili smo, da je N tisti element, ki se med obstreljevanjem GaN z ioni Ar jedka prednostno. Ta pojav je močnejši pri večjih energijah in pri manjših vpadnih kotih ionov Ar.

### **AES PROFILNA ANALIZA OKSIDNIH PLASTI NA NERJAVNIH JEKLIH**

Borut Praček, Janez Kovač, Anton Zalar,  
Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Pri toplotni obdelavi nerjavnih jekel na njihovi površini nastanejo oksidne plasti, ki so lahko obarvane, kar je za uporabnika pogosto nezaželeno in je za njihovo odstranitev potreben eden od tehnoloških postopkov čiščenja, kot so čiščenje v plazmi, žarenje v reduktivni atmosferi ali peskanje. Izbrani način čiščenja zavisi od debeline in vrste oksidov, ki jih je zato potrebno natančno karakterizirati

Različno obarvane oksidne plasti, nastale na večih vzorcih nerjavnega jekla po naključni ali namerni izpostavi povišani temperaturi, smo po njihovem profilu preiskali s spektroskopijo Augerjevih elektronov (AES) v kombinaciji z ionskim jedkanjem. Analizirali smo oksidne plasti ob zvarih nerjavnih cevi, nosilec katod iz naprave za nanos tankih plasti in površino nerjavne pločevine vakuumskega izolacijskega panela. Dobljeni profilni diagrami kažejo, da se različno obarvani oksidi razlikujejo med seboj po njihovi sestavi in/ali debelini.

## PLAZEMSKO ČIŠČENJE BAKROVIH POVRŠIN

Uroš Cvelbar, Miran Mozetič in Anton Zalar  
 Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko  
 Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Zahtevane električne karakteristike elektronskih in mikroelektronskih komponent so pogosto povezane s čistostjo njihovih površin in faznih mej. Plazemsko čiščenje površin je ekološko neoporečen postopek, ki se vse pogosteje uporablja za čiščenje površin materialov.

Za odstranjevanje oksidnih plasti se uporablja vodikova plazma, za druge načistoče, kot so oljni madeži in različne organske nečistoče, pa uporabljamo kisikovo plazmo. V proizvodnjem procesu se na industrijskih vzorcih pojavlja veliko različnih nečistoč, zato za njihovo učinkovito odstranjevanje uporabljamo kombinacijo kisikove in vodikove plazme.

Predstavljamo rezultate plazemskega čiščenja površin bakrenih vzorcev. Vzorce smo izpostavili kisikovi in vodikovi plazmi. Tako obdelane vzorce smo primerjali s tistimi, ki so bili vzeti iz proizvodnjega procesa ter so bili kemijsko čiščeni. Učinkovitost metod čiščenja bakra smo preverili s spektroskopijo Augerjevih elektronov (AES) in sestavo površin posameznih vzorcev medsebojno primerjali. Izkaže se, da so industrijski vzorci onesnaženi predvsem z oljnimi madeži in hladilnimi tekočinami, ki jih je težko povsem odstraniti z industrijskim mokrim čiščenjem v organskih topilih (tetraklorietilenu) ali z uporabo ultrazvočne kopeli. Čiščenje samo z vodikovo plazmo ni učinkovito, saj ostane del neoksidnih nečistoč še naprej na površini. Najbolj učinkovit način čiščenja je kombinacija uporabe kisikove plazme, ki odstrani organske snovi s površine, z dodatno uporabo vodikove plazme pa površino bakra popolnoma očistimo, ker odstranimo tudi oksidne plasti, ki so nastale na površini med skladiščenjem in obdelavo s kisikovo plazmo.

## DOLOČEVANJE DELEŽA VODIKA V SPEKTRIH DEVTERIJA

Vincenc Nemanič, Marko Žumer, Bojan Zajec  
 Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Določanje natančnih vrednosti parametrov v interakcijah vodika s kovinami poteka v UVV sistemu s kvadrupolnim masnim spektrometrom in zahteva ločevanje deleža vodika, ki izhaja iz ozadja. Za lažje eliminiranje le tega se zato eksperimenti pogosto izvajajo z devterijem. Po kalibraciji spektrometra ob dotoku čistega devterija lahko masno število 4 uporabimo kot njegov dober indikator, ne oziraje se na masno število 2, ki pripada  $D^+$  in ozadju  $H_2^+$ . Pri vseh prehodnih pojavih kot tudi pri permeaciji devterija skozi membrano, ki poteka z disociacijo in naknadno rekombinacijo, pa se znaten delež devterija lahko javi pri masnem številu 3, ki pripada  $HD^+$ . Če želimo tega uporabiti za kvantitativno sledenje procesov z zaostalim vodikom, je treba v masnem številu 2 nujno ločiti deleža  $D^+$  in  $H_2^+$ . To pa znova privede do osnovnega problema, zaradi katerega smo uporabili devterij.

V prispevku opisujemo eksperimente v UVV posodi, s katerimi smo skušali iz razmerij masnih števil 2, 3 in 4 sklepati na vpliv vodika iz ozadja. Posoda se je v večdnevem nabiranju razplinjevala z  $Q(H_2)=5 \times 10^{-9}$  mbar  $l\ s^{-1}$ , tlak smo merili s kapacitivnim merilnikom. Pokazali smo, da konstanten dotok čistega devterija ( $Q(D_2)=3 \times 10^{-7}$  mbar  $l\ s^{-1}$ ; čistoča 99.7%) povzroči intenzivno stimulirano desorpcijo molekularnega vodika s stene predhodno dobro razplinjene posode. Že v nekajurni akumulaciji se deleža vodika in devterija lahko izenačita, čeprav bi moral biti delež vodika neprimerljivo manjši. Poleg tega nepričakovana pojava s pasivnim

merilnikom tlaka smo za primerjavo izmerili še vpliv merilnika na vročo katodo. Le ta je sestavo v isti posodi pri enakih pogojih spremenil tako, da je postal ogljikov dioksid prevladujoč plin.

## **NAPRAVA ZA TESTIRANJE SUŠENJA Z GRETJEM IN EVAKUIRANJEM**

Andrej Pregelj, \*Jože Gasperič, \*Leopold Južina, \*\*Peter Šolar  
Iskra Zaščite, stegne 35, \*TC SEMTO, Stegne 25, \*\*Vakuum-TC, Teslova 30, vsi iz Ljubljane

Za potrebe preverjanja postopka sušenja papirnih kondenzatorjev je bilo potrebno izdelati napravo, ki bi omogočala zasledovanje teže sušičnega vzorca pri različnih temperaturah v vakuumu in pri atmosferskem tlaku v odvisnosti od časa. V ta namen je bila predelana komora vakuumskega sušilnika in vanj vgrajena posebna tehtnica. Prispevek predstavi razvoj naprave, ki omogoča različne režime sušenja in sproti izpisuje težo na računalnik; podanih je tudi nekaj zanimivejših meritev sušenja kondenzatorskih zvitkov.

## **OPTIČKI PROZORI UV SPEKTRALNE OBLASTI**

Petar Vretenar, Mašinski Fakultet, Šetalište 9, Sarajevo, BiH  
Predrag Mrković, Zrak-Holding, Adema Buće 96, Sarajevo, BiH

U radu su prikazani parametri kakvoće UV optičkih prozora te optičke i mehaničke osobine širokog antirefleksnog sloja za UV spektralnu oblast. Sloj je realiziran na planparalelnom optičkom prozoru od topljenog kvarca. Analiziran je odabir materijala i izvršena optimizacija parametara nanošenja sloja na visokovakuumskom uređaju Bak 760. Kontrola nanošenja vršena je optičkim mjeračem GSM 420. Spektralne krive refleksije i transmisije supstrata sa slojem i bez sloja ukazuju na zanemarivu apsorpciju sloja. Energetska postojanost optičkih prozora doseže visoku vrijednost. Sloj je otporan na djelovanje sredstava čišćenja, vlagu, kemijska sredstva i energetske udare

## **ŠIROKOPOJASNI FILTER ZA Nd YAG LASER**

Predrag Mrković, Zrak-Holding, Adema Buće 86, Sarajevo, BiH  
Petar Vretenar, Mašinski Fakultet, Šetalište 9, Sarajevo, BiH

U radu su analizirane karakteristike zaštitnog uskopojasnog filtra od zračenja YAG lasera. Osim optičkih karakteristika analiza obuhvata potrebne tehnološke zahvate kojim se eliminiraju zvjezdaste i mrke fleke na površini KG-3 filtra. Filter je realiziran s preko 30 podslojeva tipa HML. Visoko, srednje i nisko indeksni tankoslojni materijali su odabrani po kriteriju minimalnog napona u filtru te je izvršena optimizacija optičkih parametara. Realizacija filtra je sprovedena u uređaju BAK 760 uz predhodno programiranje automatskog postupka nanošenja filtra. Po realizaciji filtra nanijet je širokopojasni antirefleksni sloj. Filter je rezistentan na djelovanje sredstava pranja, kemikalije i spada u grupu tvrdih slojeva

## COMPOSITIONAL BEHAVIOUR OF OPTICAL AND REFRACTOMETRIC PARAMETERS OF (1-x)HfO<sub>2</sub>-xZrO<sub>2</sub> THIN FILMS

I.P. Studenyak<sup>a</sup>, M. Kranjčec<sup>b,c</sup>, O.T. Nahusko<sup>a</sup>, O.M. Borets<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Uzhhorod National University, 46 Pidhirna St., Uzhhorod 88000, Ukraine

<sup>b</sup>University of Zagreb, Geotechnical Department Varaždin, 7 Hallerova Aleja, 42000 Varaždin, Croatia

<sup>c</sup>Ruder Boškovic Institute, 54 Bijenička Cesta, 10000 Zagreb, Croatia

<sup>d</sup>Department of Institute of information recording problems, Ukrainian National Academy of Sciences, P/box 47c, Uzhhorod 88000, Ukraine

Thin films, based on the complex oxides of HfO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> system, are promising materials for creation of multilayer dielectric coatings for optical elements of laser engineering. For their elaboration the values of optical and refractometric parameters of the films are of special importance.

The films were sputtered onto a quartz substrate, their thickness being 0.4–0.6 μm. The ellipsometric parameters were measured at room temperature by a LEF-2M laser ellipsometer (λ=632.8 nm). The transmission spectra of the films at room temperature were studied by a LOMO MDR-3 grating monochromator.

Based on the experimental values of the ellipsometric parameters, using a special modernized ellipsometric software, the refractive index and the absorption index of the film and substrate for optical elements with coatings were calculated. The computer processing of the interferential transmission spectra enabled the dispersive dependences of the refractive index and the absorption index of the investigated films within the spectral range 0.2–0.7 μm to be obtained. The analysis of the dispersive dependences of the refractive indices  $n$  has shown them to be well described by the optical-refractometric relation [1]. From the obtained absorption edge spectra for the exponential range the values of optical pseudogap  $E_g^*$  (the absorption edge energy position at the fixed absorption coefficient value  $\alpha=10^3 \text{ cm}^{-1}$ ) were calculated.

The performed studies have enabled the character of the compositional behaviour of  $n$  and  $E_g^*$  to be elucidated. With the increase of ZrO<sub>2</sub> content in the (1-x)HfO<sub>2</sub>-xZrO<sub>2</sub> system  $E_g^*$  is shown to decrease noticeably from 4.86 eV for HfO<sub>2</sub> to 4.7 eV at  $x=0.17$ , followed by a monotonous decrease of  $E_g^*$  to 4.55 eV for ZrO<sub>2</sub>. Contrary, the refractive index of the films nonlinearly increases (with downward bowing) with ZrO<sub>2</sub> content from  $n=1.972$  for HfO<sub>2</sub> to the maximal value  $n=2.028$  (at  $x=0.83$ ), and then slightly decreases to  $n=2.016$  for ZrO<sub>2</sub>.

1. A.N. Borets, Ukr. Fiz. Zhurnal, 28 (1983) 1346.

## MODEL OF A VACUUM EVAPORATION EPITAXIAL GROWTH OF SEMI-TRANSPARENT BIALKALI-ANTIMONIDE PHOTOCATHODES

B. Erjavec, Institute of Metals and Technology, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenia

A standard semi-transparent bialkali antimonide K<sub>2</sub>CsSb photocathode exhibits the highest quantum efficiency in the blue region of the visible spectrum accompanied with a relatively low thermionic current. It has been widely used for many decades in scintillation counting applications. Batch manufacturing of compact photo-tubes, such as channel photomultipliers, consists of separate conditioning of anode sub-assemblies and processing of photocathodes. The latter are transferred in vacuum from a process can onto the anode parts and sealed using the hot indium technique.

Processing of the standard  $K_2CsSb$  photocathode is based on the exposition of an evaporated Sb layer to K and Cs vapours at elevated temperatures, usually leading to a layer with small and non-oriented crystals. Besides increased light- and electron losses at the grain boundaries the stability of such layers in alkali-free environment is critical.

A modern processing of the  $K_2CsSb$  photocathode is aimed at the improvement of its crystallinity. It is based on the evaporation of Sb in the presence of a particular alkali vapour at elevated temperatures. A vacuum evaporation epitaxial growth is started by the formation of a hexagonal  $K_3Sb$  layer with (001) crystal planes parallel to the photocathode substrate. The growth is continued by the formation of a cubic  $K_{2.08}Cs_{0.92}Sb$  layer (with (111) crystal planes parallel to the photocathode substrate) on the initial  $K_3Sb$  layer. Continuing the evaporation of Sb in the presence of Cs, the whole layer is due to the interdiffusion of alkali metals transformed first into the  $K_{2.08}Cs_{0.92}Sb$ , and then into a cubic  $K_2CsSb$  layer. An elementary translation vector is increased from 0.6025 nm in the plane (001) to 0.6074 nm in the plane (111), and finally to 0.6092 nm in the same crystal plane. According to this model the photocathode stability is increased mainly due to the reduced diffusion of alkali atoms along the grain boundaries.

### IMPLANTACIJA $C^+$ U Si

Branko Pivac,<sup>1</sup> Ivana Kovačević,<sup>1</sup> Vesna Borjanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Ruđer Bošković, Bijenička c. 54, Zagreb

<sup>2</sup> Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb

Koristeći tranzijentnu spektroskopiju dubokih nivoa istraživali smo intersticijske klustere u  $C^+$  implantiranom siliciju. Unatoč velikoj dozi iona ( $10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ) koja je dovela do amorfizacije, kvalitativna analiza defekata uvedenih ionskom implantacijom i termičkim tretmanom ( $T < 300^\circ\text{C}$ ) pokazala je njihovu povezanost s vakancijama i intersticijskim defektima kao u slučaju malih doza iona. Na  $T < 300^\circ\text{C}$  defekti povezani sa vakancijama i intersticijalima imaju jednako ponašanje. Međutim na  $T \approx 350^\circ\text{C}$  preostaju samo intersticijski defekti što je u skladu s modelom +1 (jedan intersticijal po jednom implantiranom ionu) te Monte Carlo simulacijama koje predviđaju manju stabilnost vakancija. Vrhovi zabilježeni u DLTS spektru ( $T > 350^\circ\text{C}$ ) širi su od vrhova karakterističnih za točkaste defekte što upućuje na male klustere ( $n=2-5$ ). Klasterima su pridružene aktivacijske energije 0,28eV i 0,45eV. U skladu s teorijskim predviđanjima klasteri su stabilni do  $\sim 650^\circ\text{C}$  nakon čega je zabilježeno znatno proširenje vrhova u DLTS spektru odnosno kada dolazi do formiranja složenih {311} defekata.

### STUDY OF PARAMAGNETIC DEFECTS IN RTCVD POLYCRYSTALLINE SILICON

D. Grozdanić<sup>1</sup>, B. Rakvin<sup>2</sup>, B. Pivac<sup>2</sup>, A. Slaoui<sup>3</sup>, and R. Monna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty for Electrical Engineering and Computing, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Rudjer Bošković Institute, P.O.B. 1016, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>Laboratoire PHASE, 23, rue du Loess, 67037 Strasbourg, France

Intrinsic polycrystalline silicon, grown by rapid thermal chemical vapor deposition is characterized with electron paramagnetic resonance (EPR). It is shown that obtained EPR signal constitutes of two components. One symmetrical signal due to dangling bonds at grain boundaries is typically found in polycrystalline material. Another asymmetrical signal is attributed to the multivacancy or multivacancy-oxygen complex formed at the grain boundaries.

It is also shown that contribution of the asymmetric component gradually decreases as the deposition temperature increases, meaning growth of film with less defect grain boundaries.

### **UV-VIS. REFLECTIVITY AS A TOOL TO STUDY SYNTHESIS AND GROWTH OF COMPOUND SEMICONDUCTOR NANOCRYSTALS IN LIGHT MATRIX**

U.V. Desnica, I.D. Desnica-Franković, R. Bosković Institute, Zagreb, Croatia  
 O. Gamulin, School of Medicine, Zagreb University, Zagreb, Croatia  
 C.W. White, Oak Ridge National Laboratory, P.O. Box 2008, Oak Ridge TN 37831, USA

The formation and growth of CdS nanocrystals after implantation of Cd and S ions into SiO<sub>2</sub> and subsequent annealing ( $T_a$  in 300 to 900° C range) was studied by X-ray Diffraction (XRD), Raman spectroscopy, Transmittance and Reflectance measurements, and Grazing Incidence Small Angle Scattering (GISAXS). Here we present in details of the results of the reflectivity (R) study in UV-visible range, and demonstrate that data in this spectral range can also give very useful information about the process of nanocrystal formation and size growth. The mere incorporation of Cd and S atoms into the substrate did not alter the reflectivity of SiO<sub>2</sub> significantly, meaning that the refractive index of the Cd+S implanted layer,  $n_i$ , has not deviated substantially from the SiO<sub>2</sub> value, ( $n_{SiO_2} = 1.44 - 1.46$  in the above range). However, as  $T_a$  increases, the formation of CdS material in SiO<sub>2</sub> becomes nicely observable through the appearance of strong interference fringes, resulting from the increase of the average  $n_i$ , since the refractive index of CdS is substantially higher ( $n_{CdS} = 2.4-2.7$ ). Annealing temperatures above 500° are sufficient to produce strong interference fringes, indication the formation of CdS material, but without any features characteristic of bulk, crystalline CdS. However, for  $T_a$  in 700°-900° C range do the CdS crystals become large enough to show - superimposed on fringes - a distinct structure at about 2.5 eV (related to the  $E_0$  transitions), while for highest dose and  $T_a$  even the structures related to higher gaps of the  $E_{1A}$  and  $E_{1B}$  transitions become discernable. The average size of nanocrystals, depending strongly on ion dose and  $T_a$ , varied from just few nm up to above 100 nm. The results show that, by appropriate choice of ion dose and  $T_a$ , the average size of CdS crystallites can be controlled and predicted.

### **SPEKTROSKOPIJA TERMO-ELEKTRIČNIM EFEKTOM: PRIMJENA NA TANKOM FILMU VISOKO-OTPORNOG GaN**

M. Pavlović<sup>1</sup>, U. V. Desnica<sup>1</sup>, Z.-Q. Fang<sup>2</sup> i D. C. Look<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska  
<sup>2</sup>Semiconductor Research Center, Wright State University, Dayton, Ohio 45435, U. S. A.

Načinjena je nova, pojednostavljena metoda za mjerenje spektroskopije termo-električnim efektom (TEES). Metoda je pogodna za mjerenja na tankim filmovima deponiranim na podlogu. Temperaturni gradijent duž uzorka postignut je bez ugradbe dodatnog grijača. Metoda je primjenjena na tankom, visoko-otpornom filmu GaN, deponiranom na podlozi od safira (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), metodom MBE (molecular beam epitaxy) sa ciljem određivanja predznaka dubokih zamki, tj. određivanja elektronskih i šupljinskih zamki. Mjerenja su pokazala da su TEES struje negativne na nižim temperaturama a pozitivne na višim. To znači da plići nivoi pripadaju elektronskim, a dublji šupljinskim zamkama. U karakterizaciji dubokih zamki korištena su i mjerenja termički stimuliranih struja (TSC) te analitička metoda SIMPA (Simultaneous Multiple Peak Analysis). Utvrđeno je da najplića elektronska zamka ima aktivacijsku energiju  $E_c - 0.09$  eV, a najplića šupljinska  $E_v + 0.167$  eV.



## DEFEKT DUBOKOG ENERGETSKOG NIVOVA U NEDOPIRANOM InSe

Božidar Etlinger i Mladen Pavlović

Institut "Ruđer Bošković", Zavod za fiziku materijala, 10000 Zagreb, Bijenička 54

e\_mail: [etlinger@rudjer.irb.hr](mailto:etlinger@rudjer.irb.hr)

Indij-selenid (InSe) je slojevit binarni poluvodič skupine III – VI koji kristalizira u romboedarskom trigonalnom sustavu (prostorna grupa  $R3m$ ,  $C_{3v}^5$ ,  $Z = 2$ ) i čija je glavna karakteristika, slično kao kod grafita, jaka kovalentna veza unutar slojeva te slaba međuveza Van der Waalsovih silama između slojeva. Pojedini sloj je debljine oko 0.8 nm i sastoji se od četiri niza atomskih ravnina koji čine Se-In-In-Se atomi [1]. Spojevi InSe su prikladni za istraživanja posebno zbog njihovih električnih i optičkih svojstava u primjeni za fotonaponske čelije, u mogućoj primjeni za preklopne elemente u memorijama te posebno što ih slojevita struktura čini atraktivnim materijalom za primjenu u litijevim baterijama [2].

Polikristalinični uzorci InSe dobiveni su direktnom sintezom stehiometrijskih omjera In i Se u vakuumiziranoj kvarcnoj ampuli na temperaturi od 850°C te polagano hlađeni brzinom od 20°C/sat. Tako dobiveni uzorci su n-tip. Iz ranije objavljenih radova [3], poznato je da InSe ima anizotropiju u električnoj vodljivosti s obzirom na transport nosilaca naboja paralelno i okomito na slojeve. Izračunata energija tzv. prirodnih plitkih donora ( $E_D$ ) za InSe iznosi 0,018 eV ispod vodljive vrpce [4,5]. Dopiranje InSe akceptorskim primjesama (Cu, Zn, Cd, Pb, As) niz autora [na pr.6,7] ukazivalo je da kod InSe postoji efekat djelomične samokompencijacije, dobiveni uzorci p-tipa InSe su slabije električne vodljivosti nego što se očekivalo s obzirom na koncentracije dopanada. Ustanovljeno je i anomalno svojstvo Hallovog napona, kod temperatura ispod  $(215 \pm 6)$  K, koji se mijenja iz p u n-tip vodljivosti. Pretpostavka za takvo ponašanje je postojanje dubokog donorskog nivoa smještenog ispod polovice procjepa zabranjene energije ( $1/2E_g$ ) te da je koncentracija tog defekta ( $N_T$ ) veća od koncentracije akceptora ( $N_A$ ). (Slično ponašanje opaženo je i kod p-tipa Si dopiranog sa Fe) [8]. Kako u nedopiranom InSe intersticijski In daje plitke donore [9], predvidivi model dubokog donora ukazuje na kompleksni međuslojni planarni defekt čija transportna svojstva bitno utječu na električnu vodljivost InSe.

Da bi otkrili položaj takvog kompleksnog defekta u procjepu zabranjene energije ( $E_g$ ) izvršili smo niz mjerenja termostimulirane struje (TSC) na nedopiranim uzorcima n-InSe u intervalu od 80 do 400 K. Korištene su metode mjerenja razrađene već prije kod određivanja dubokih nivoa u GaAs [9]. Sva mjerenja ukazivala su na postojanje samo jednog vrha u TSC. Iz oblika i položaja vrha u ovisnosti o temperaturi izračunate su vrijednosti energije dubokog nivoa od  $E_T = (0,65 \pm 0,02)$  eV. (Ta vrijednost se dobro poklapa sa mjerenjima DLTS [4] gde je za nedopirani InSe izmjeren duboki defekt od 0,64 eV). Kako je procjep zabranjene energije za InSe  $E_g = 1,2$  eV [12], vrijednosti energije za izračunati duboki defekt u potpunost zadovoljavaju pretpostavku da je traženi kompleksni defekt smješten ispod polovice energije zabranjenog pojasa, a to nadalje pojašnjava i anomalno ponašanje u p-tipu InSe. Model konfiguracije i smještaja takvog dubokog defekta biti će predmet daljnjih istraživanja.

- [1] V.Panella i sur., J. Phys: Condens. Matter **9** (1997) 5575.
- [2] R.F.Wallis i sur., Phys. stat. sol. (b) **194** (1996) 175.
- [3] B.Mari i sur., Phys. stat. sol. (b) **130** (1985) 793.
- [4] A.Segura i sur., Appl. Phys. **A 31** (1983) 139.
- [5] B.Mari i sur., Appl. Phys. **A 46** (1988) 125.
- [6] S Shigetomi i sur., Jpn. J. Appl. Phys. **21** (1982) L343.
- [7] A.Segura i sur., Appl. Phys. **A 44** (1987) 249.
- [8] K.Wünstel i sur., Appl. Phys. **A 27** (1982) 207.

- [9] R.M.de la Cruz i sur., J. Phys. C: Solid State Phys. **21** (1988) 4403.  
 [10] M.Pavlović i sur., J. Phys. D: Appl. Phys. **28** (1995) 934.  
 [11] C.Ulrich i sur., Phys. stat. sol. (b) **221** (2000) 777.

**TEMPERATURE INVESTIGATION OF BIREFRINGENCE  
 IN  $\gamma_1$ -(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> SINGLE CRYSTALS**

M. Kranjčec<sup>a,b</sup>, I.P. Studenyak<sup>c</sup>, L.M. Suslikov<sup>c</sup>, I.D. Desnica-Frankovic<sup>b</sup>, Gy.Sh. Kovács<sup>c</sup>

<sup>a</sup>University of Zagreb, Geotechnical Department Varaždin, 7 Hallerova Aleja, 42000 Varaždin, Croatia

<sup>b</sup>Ruđer Bošković Institute, 54 Bijenička Cesta, 10000 Zagreb, Croatia

<sup>c</sup>Uzhhorod National University, 46 Pidhirna St., Uzhhorod 88000, Ukraine

(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> solid solutions with 0.02 < x < 0.45 are crystallized in defect wurtzite structure with hexagonal symmetry. A typical feature of this structure is high concentration of vacancies due to the fact 1/3 of sites in the cation sublattice being empty.

The birefringence measurements were carried out in the spectral range 0.6 ÷ 1.1 μm and in the temperature range 77 ÷ 295 K. The investigated crystals were grown by Bridgman technique. The light was propagating along [100] direction. The birefringence Δn was measured by the technique of interference of polarized beams.

The studies of birefringence dispersion Δn(λ) in uniaxial γ<sub>1</sub>-(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> crystals with 0.1 ≤ x ≤ 0.4 have shown that temperature decrease results in two effects observed: (i) a slight (~6 %) shift of the curves towards shorter wavelengths; (ii) a rather considerable (~30 %) decrease of the Δn value. The temperature dependence of Δn is linear and characteristic for all the compositions of γ<sub>1</sub>-(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> crystals under investigation. The spectral dependence of the dΔn/dT coefficient is shown to represent weak dispersion, somewhat increasing in the vicinity of the absorption edge.

The compositional dependence of birefringence is characterized by nonlinear decrease of Δn with x both at T=295 K and at T=77 K. This is the evidence for the physical reasons, responsible for the Δn compositional variation character, being independent of temperature. Only quantitative parameters, describing these reasons, are temperature-dependent, what results in the observed change of the Δn(x) curves nonlinearity. The coefficient dΔn/dT, similarly to the birefringence Δn, decreases nonlinearly with x in the spectral range under investigation and is well described by a quadratic dependence.

It is shown that the temperature behaviour of birefringence in γ<sub>1</sub>-(Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> crystals is well described by the temperature variation of the energy parameters of these compounds, namely the average energy gap and the absorption edge anisotropy value.

**UV FOTOVODLJIVOST NANOKRISTALNIH TiO<sub>2</sub> FILMOVA NAPUŠTANIH U  
 KISIKU**

Tihomir Car, Nikola Radić i Aleksandra Turković

Institut Ruđer Bošković, Zavod za fiziku materijala,

Bijenička cesta 54, P.O.B. 180, Zagreb, Hrvatska

U ovom su radu provedena istraživanja učinka napuštanja u reaktivnim plinovima (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) na optoelektrična svojstva nanofaznog titan-dioksida, proizvedenog kemijskom depozicijom u pari (CVD). Nanokristalna struktura s nano granulama i porama određena je raspršenjem rentgenskih zraka pod malim upadnim i izlaznim kutem (GISAX). Napuštanje u H<sub>2</sub> i N<sub>2</sub> (do 1073 K) općenito ne doprinosi fotovodljivosti, stoga smo naša razmatranja ograničili na mjerenja fotovodljivosti u UV (248 – 404 nm) spektru za filmove napuštane u kisiku na 773 i 1073 K.

Dugo vrijeme osvjetljavanja (tipično 2 sata) dozvoljava nam jasno razlikovanje dvije vrste vremenske ovisnosti neravnotežne fotovodljivosti. Brzi eksponencijalni porast fotovodljivosti dešava se u kratkoj prvoj fazi osvjetljavanja, dok se lagani "potencijski" porast dešava ostatak vremena. Izveli smo približnu formulu koja uključuje nelinearnu kombinaciju obiju funkcija i njome dobro opisali dobiveno ponašanje vodljivosti. Relativna kvantna efikasnost za inicijalno pripremljene i napuštane uzorke pokazuje nemonotonu varijaciju u fotonskoj energiji. Takva ovisnost o valnoj duljini može biti uzrokovana funkcijom elektronske gustoće na rubovima valentne vrpce ili nivoima koji se nalaze u procjepu a bliski su valentnoj vrpci. Općenito uzorci napušteni na višim temperaturama pokazuju višu kvantnu efikasnost i kraće vremenske konstante eksitacijskih procesa u razmatranom UV području.

## POVRŠINSKA I PODPOVRŠINSKA ANALIZA NANOSTRUKTURE W-C SLOJA NA SILICIJSKOJ PODLOZI

Krešimir Salamon<sup>1</sup>, Ognjen Milat<sup>1</sup>, Pavo Dubček<sup>2</sup>, Nikola Radić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut za Fiziku, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

Sloj volfram-karbida (debljine oko 0.5  $\mu\text{m}$ ) nanešen je na silicijsku podlogu magnetronskim rasprašenjem volframa u reaktivnoj atmosferi mješavine benzena i argona. Struktura površine i podpovršinskog W-C sloja u smjeru okomitom na površinu istraživana je raspršenjem x-zračenja pod malim kutem uz mali upadni kut (*GISAXS* tehnika); nanostruktura uzduž sloja analizirana je raspršenjem x-zračenja pod malim kutem u transmisivskoj geometriji (*SAXS* tehnika); a kristalografska tekstura raspršenjem pod velikim kutem (*WAXS* tehnika). *GISAXS* spektri su analizirani kao suma dva doprinosa: površinsko i podpovršinsko raspršenje. Površinsko raspršenje smo analizirali u okviru Bornove aproksimacije distordiranih valova (*DWBA*), a podpovršinsko koristeći teoriju *local monodisperse approximation* (*LMA*). Kritični kut površinskog sloja ukazuje na  $\text{WC}_{1-x}$  kompoziciju istog, uz  $x \approx 0.5$ . Difuzno raspršenje prstenastog oblika, izvan spekularne ravnine, posljedica je korelacije podpovršinskih nehomogenosti koje smo pripisali nanočesticama  $\text{WC}_{1-x}$  faze u matrici nevezanog ugljika. Oblik čestica je približno sferičan s relativno uskom širinom raspodjele veličina (promjer:  $2 \pm 0.2$  nm). *SAXS* spektri otkrivaju izotropnu korelaciju među nanočesticama, a *WAXS* spektri djelomičnu teksturu  $\text{WC}_{1-x}$  nanokristalića duž nanešenog sloja.

## CHANGES OF MICROHARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF Al-W THIN FILMS DURING ISOCHRONAL ANNEALING

M. Stubičar<sup>1</sup>, A. Tonejc<sup>1</sup> and N. Radić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Bijenička c. 32, P.O. Box 331,  
HR-10002 Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Ruđer Bošković Institute, Bijenička c. 54, P.O. Box 1016, HR-10001 Zagreb, Croatia

Thin films of Al-W alloys were prepared on sapphire substrates by magnetron co-sputtering. The results of X-ray diffraction analysis proved that the as-prepared samples, within a composition range  $\text{Al}_{80}\text{W}_{20}$  to  $\text{Al}_{67}\text{W}_{33}$ , were amorphous. The increase of tungsten content in the films ( $\text{Al}_{60}\text{W}_{40}$  and  $\text{Al}_{50}\text{W}_{50}$ ) resulted in the appearance in a mixture of two or three metastable crystalline phases. The thermal stability of films was investigated after isochronal annealing the samples for one hour in a temperature range from 293 to 1273 K. It was revealed that there was slight increase in the microhardness during annealing up to a temperature chosen within the

interval  $\sim(773-848)$  K, and such annealing has a small influence on the XRD patterns. In contrast, the annealing above this temperature interval induced detectable changes in the microhardness and significant changes in X-ray diffraction patterns. The results of analysis of XRD patterns demonstrated that amorphous thin films do not disintegrate directly into the ordered equilibrium ( $\alpha$ -W, Al<sub>4</sub>W, and Al<sub>5</sub>W) co-existing phases, but the metastable ( $\alpha$ -W(Al),  $\beta$ -W(Al), and Al(W)) intermediary phases were observed to appear in the films before the former phases were observed. Thus, for the microhardness behavior during isochronal annealing of Al-W thin films an explanation given for the metallic glasses investigated earlier can be offered, and this explanation is based also on the results of the XRD investigation we performed. All our microhardness isochronal curves obtained for the both types of annealed samples indicate that mechanisms influencing microhardness change during annealing are similar for amorphous and crystalline states.

### RAMAN SCATTERING STUDIES IN $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}_{1-x}\text{Br}_x$ SUPERIONIC MIXED CRYSTALS

I.P. Studenyak<sup>a</sup>, M. Kranjčec<sup>b,c</sup>, V.O. Stephanovich<sup>a</sup>, V.V. Bilanchuk<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Uzhhorod National University, 46 Pidhirna St., Uzhhorod 88000, Ukraine

<sup>b</sup>University of Zagreb, Geotechnical Department Varaždin, 7 Hallerova Aleja, 42000 Varaždin, Croatia

<sup>c</sup>Ruder Boškovic Institute, 54 Bijenička Cesta, 10000 Zagreb, Croatia

$\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{X}$  ( $\text{X} = \text{I}, \text{Br}$ ) superionic crystals are of special interest while the effect of various types of disordering on the optical properties of solids being studied. Due to high concentration of disordered vacancies, besides traditional temperature-related disordering due to the lattice thermal vibrations, they possess two types of structural disordering (dynamic and static).

$\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}_{1-x}\text{Br}_x$  solid solution single crystals were grown by chemical transport reaction technique. Raman scattering was studied at 295 K in a  $90^\circ$  geometry using a LOMO DFS-24 double grating monochromator, the excitation being provided by a He-Ne laser ( $\lambda=0.6328 \mu\text{m}$ ).

In the Raman spectra of  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}_{1-x}\text{Br}_x$  crystals three groups of bands can be distinguished, characteristic for the whole solid solution system. In the low-frequency range ( $\nu < 100 \text{ cm}^{-1}$ ) a band, corresponding to the diffusive-type vibrations of Cu atoms or Cu-I and Cu-Br bond vibrations, is observed. In the vicinity of  $310 \text{ cm}^{-1}$  a broad asymmetric band is observed, resulting from the superimposition of a doubly degenerate E mode and a triply degenerate  $F_2$  mode. The discussed bands correspond to internal stretching vibrations of  $\text{PS}_4^{3-}$  tetrahedral groups. The most intense band, observed in the range  $400\text{--}450 \text{ cm}^{-1}$ , corresponds to the  $A_1$  symmetry vibration. In the range  $500\text{--}600 \text{ cm}^{-1}$  two Raman bands, related to TO and LO phonons of  $F_2$  symmetry, are observed, corresponding to the internal vibrations of  $\text{PS}_4^{3-}$  tetrahedral groups.

The results of the Raman studies of  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}_{1-x}\text{Br}_x$  solid solutions have shown the one-mode type of compositional transformation of their phonon spectra. The frequencies of the observed bands shift monotonously under anionic substitution  $\text{I} \rightarrow \text{Br}$ , while their halfwidths increase due to the compositional disordering of the mixed crystal lattice. The most essential changes at  $\text{I} \rightarrow \text{Br}$  substitution occur in the low-frequency range ( $\nu < 100 \text{ cm}^{-1}$ ). The band, observed in this range, characterizes the cation sublattice disordering and motion of  $\text{Cu}^+$  mobile ions in the superionic phase.

## GORIVNE CELICE S TANKOPLASTNIM ELEKTROLITOM NA OSNOVI YSZ

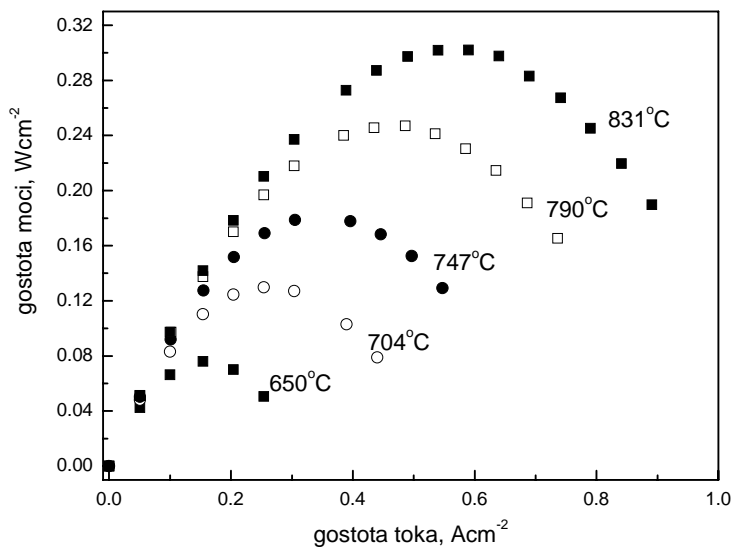
P. Panjan<sup>1</sup>, D. Kek<sup>1</sup>, M. Čekada<sup>1</sup>, F. Tietz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

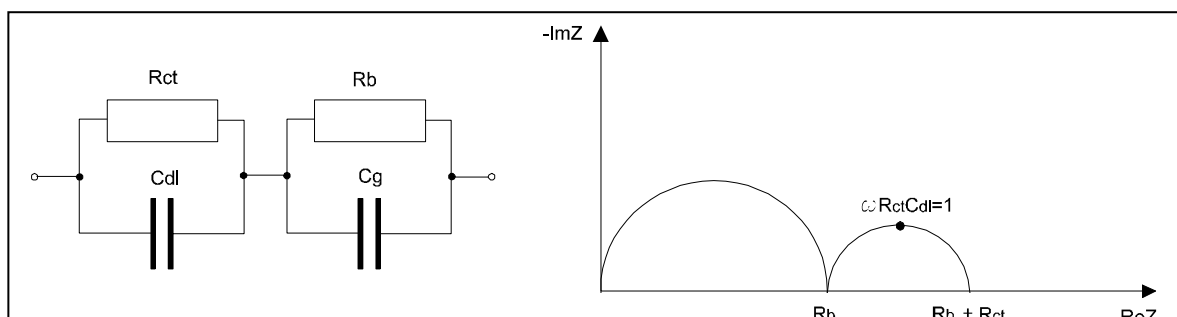
<sup>2</sup>Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik, Forschungszentrum Julich, D-52425 Germany

Gorivne celice so najbolj obetavna alternativa konvencionalnim motorjem z notranjim izgorevanjem za pogon vozil, zato je razvoj na tem področju zelo inteziven. Izkoristek gorivnih celic pri pretvarjanju fosilnih goriv v elektriko je veliko večji od alternativnih postopkov. Njapomembnejše pa je, da je ta postopek pridobivanja elektrike okolju prijazen.

V sodelovanju z raziskovalno skupino iz Forschungszentrum Julich (Nemčija) smo v okviru bilateralnega slovensko-nemškega projekta nadaljevali s študijem tankoplastnih elektrolitov za gorivne celice s trdnim tankoplastnim elektrolitom (solid oxide fuel cell, SOFC). Z naprševanjem na vroče podlage (temperatura podlag iz NiO-YSZ je bila 600°C) smo uspeli pripraviti plinotesen elektrolit na osnovi ZrYO, ki je omogočil izdelavo in karakterizacijo celotne gorivne celice anoda/elektrolit/katoda. Gorivne celice z elektrolitom, smo testirali v odvisnosti od temperature in delnega tlaka vodne pare na anodni strani gorivne celice. Za elektrokemijsko testiranje smo uporabili klasične elektrokemijske meritve (odvisnost gostote toka od vsiljene napetosti) in impedančno spektroskopijo. Izkazalo se je, da imajo gorivne celice s PVD elektrolitom boljše elektrokemijske lastnosti kot do sedaj pripravljene gorivne celice na osnovi elektrolita, ki ga pripravijo z ulivanjem ("slip-casting").



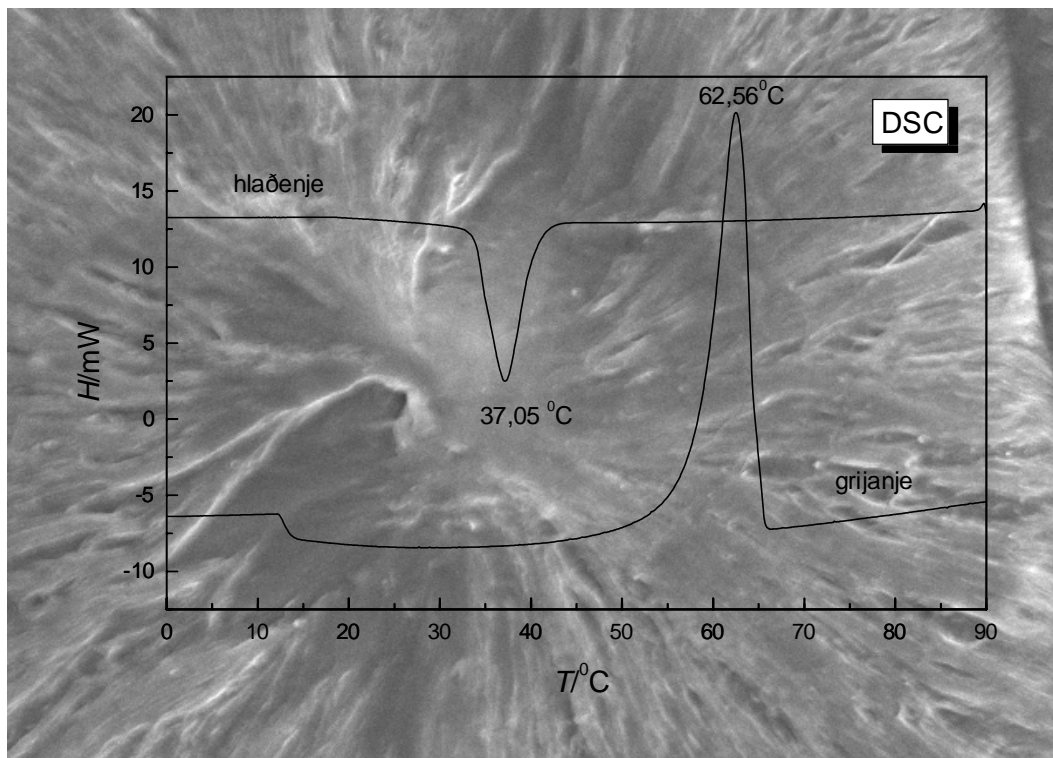
**Slika 1** Gostota moči gorivne celice s tankoplastnim elektrolitom na osnovi YSZ v



## DIFERENCIJALNA PRETRAŽNA KALORIMETRIJA (DSC), IMPEDANCIJSKA, IR I RAMANOVA SPEKTROSKOPIJA (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> POLIELEKTROLITA

Irina Pucić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
 Dario Posedel, Kalibracioni laboratorij "Laboring" d.o.o., A.Bauera 2, Zagreb, Hrvatska  
 Aleksandra Turković, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
 Zorica Crnjak Orel, Nacionalni kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija

Polielektrolit (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> karakteriziran je diferencijalnom pretražnom kalorimetrijom, impedancijskom, infracrvenom (IR) i Ramanovom spektroskopijom. Kompleksna impedancijska spektroskopija polimernog elektrolita (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> mjerena je između 10 Hz i 1 MHz. Temperatura početka faznog od prijelaza taljenja sferulita od 62,5 °C dobivena impedancijskom spektroskopijom ista je kao ona dobivena s DSC (62,56 °C). Toplina taljenja iznosi 150,27 J/g, a kristalizacije -111,58 J/g. Kod hlađenja u DSC mjerenjima vidljiva je histereza, te ponovna kristalizacija polimera nastaje na 37,05 °C. Čitava krivulja vodljivosti nalazi se u području vrijednosti  $\sigma \approx 10^{-4} \Omega\text{cm}^{-1}$ . Infracrveni spektri polielektrolita dobiveni su kao transmisioni spektri između 370 i 6000  $\text{cm}^{-1}$ . Raman spektri polielektrolita snimljeni su između 20 i 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Na fotografiji pretražnog elektronskog mikroskopa, koji je na donjoj slici dan kao podloga za DSC krivulje, vidljiv je sferulit dijametra veličine oko 200  $\mu\text{m}$ .



## UTJECAJ INTERKALACIJE $\text{Li}^+$ IONA U MATRICU NANOSTRUKTURNIH V/Ce OKSIDA

Kristina Hrestak, studentica 4 godine PMF-a, Zagreb, Hrvatska  
Aleksandra Turković, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
Pavo Dubček, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
Zorica Crnjak Orel, Nacionalni kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija

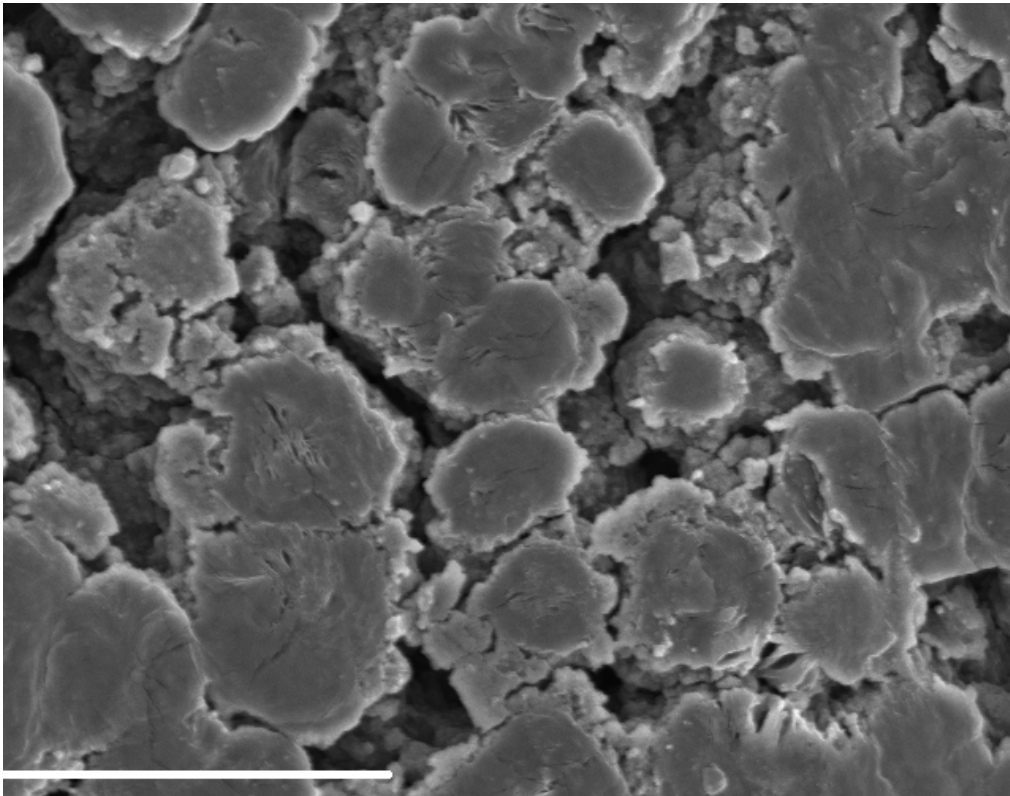
GISAXS podaci za V/Ce nanostrukturne okside dobiveni su sa Gabriel tipom, plinom ispunjenim 1D i 2D detektorima na sinkrotronu ELETTRA. GISAXS krivulje za čiste V/Ce okside mjerene su u sekvencama fiksnih kuteva priklona. Ova mjerenja vršena su na 1D detektoru. Rezultati veličina nanozrna i poroziteta ovih filmova uspoređeni su sa fotografijama dobivenim AFM. U ovom radu pokazani su rezultati GISAXS-a za čisti  $\text{V}_2\text{O}_5$  i za V/Ce oksid sa 38% težinskih udjela V.

GISAXS krivulje V/Ce oksida sa interkaliranim  $\text{Li}^+$  ionima snimljene su 2D detektorom. Osim signala hrapave površine, prisutan je i doprinos raspršenja na nanozrnima. AFM fotografije istih filmova sa interkaliranim  $\text{Li}^+$  ionima pokazuju razliku u veličini nanozrna i porozitetu prema početnim uzorcima. Analiza GISAXS rezultata pokazat će detaljnije utjecaj  $\text{Li}^+$  iona na nanostrukturu poroznih V/Ce oksida, što je od interesa za konstrukciju "pametnih prozora", solarnih i galvanskih nanostrukturiranih ćelija. U ovim opto-elektroničkim uređajima V/Ce oksidi imaju ulogu elektroda.

## IMPEDANCIJSKA, IR I RAMANOVA SPEKTROSKOPIJA NANOKOMPOZITNOG (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> POLIELEKTROLITA

Kristijan Radmanović, student 4 godine PMF-a, Zagreb, Hrvatska  
Zorica Crnjak Orel, Nacionalni kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija  
Aleksandra Turković, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

Nanokompozitni (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> karakteriziran je impedancijskom, infracrvenom (IR) i Ramanovom spektroskopijom. Kompleksna impedancijska spektroskopija polimernog elektrolita (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> mjerena je između 10Hz i 1MHz. Infracrveni spektri polielektrolita dobiveni su kao transmisioni spektri između 370 i 6000 cm<sup>-1</sup>. Raman spektri polielektrolita snimljeni su između 20 i 4000 cm<sup>-1</sup>. Utjecaj dodanih nanovelčina TiO<sub>2</sub> studirali smo impedancijskom, IR i Ramanovom spektroskopijom te usporedili s rezultatima skenirajuće elektronske spektroskopije.



Slika 1. SEM (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> sa 10% nanovelčina TiO<sub>2</sub>, ozračen  $\gamma$ -zrakama Co<sup>60</sup> (Bijela crta označuje 100  $\mu$ m).

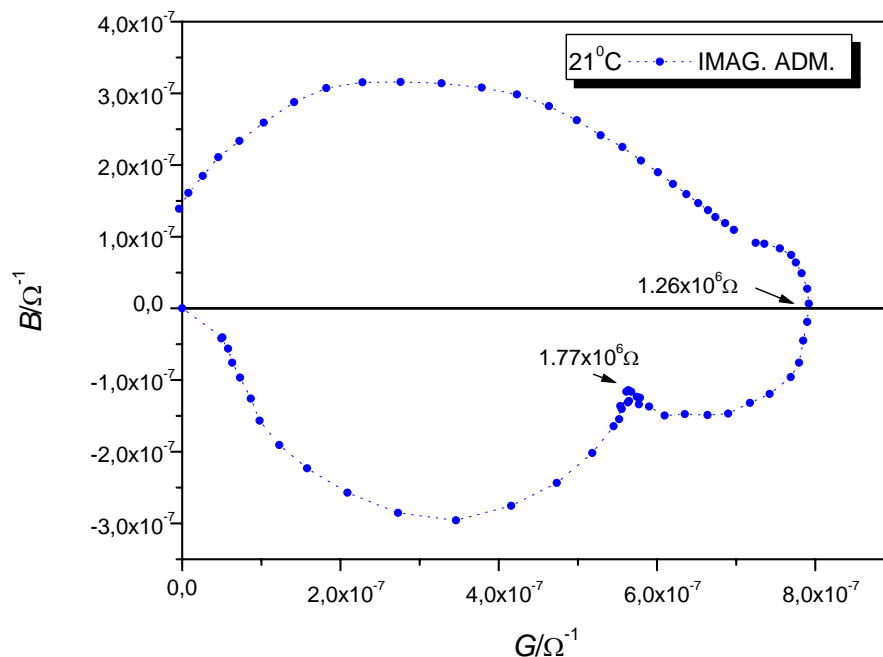


## IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA I TERMIČKI STIMULIRANE STRUJE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ DOPIRANOG LITIJEJEM

Vladimir Vraneša, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
 Dario Posedel, Kalibracioni laboratorij "Laboring", Zagreb, Hrvatska  
 Mladen Pavlović, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska  
 Aleksandra Turković, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

Tanki filmovi željeznog oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) u širokoj su upotrebi u istraživanjima pretežno magnetskih i elektroničkih uređaja. Njihova svojstva interkalacije litijevih iona značajna su kod konstrukcije galvanskih ćelija druge generacije. U takvoj bateriji željezni oksid ima funkciju radne elektrode.

U cilju karakterizacije električnih svojstava  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  primjenili smo mjerenja impedancijskom spektroskopijom i termički stimuliranim strujama. Kompleksna admitancija  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mjerena je između 1 Hz i 1 MHz. Mjerenja su vršena na filmovima čistog željeznog oksida,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sa 1% Li i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sa 10% Li. Admitancija  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mjerena je između sobne temperature i 300 K. Termički stimulirane struje mjerene su od 80 K do 350 K. Oba mjerenja pokazuju razlike u električnim svojstvima željeznog oksida prije i poslije dodavanja litijevih iona u matricu tog metal-oksidnog filma. Slika prikazuje admitancijsku krivulju za  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  na sobnoj temperaturi.



Slika 1. STM V(100)-(5x1);  
 $I_T = 3.8 \text{ nA}$ ,  $U_B = -10 \text{ mV}$

Slika 2. STM V(100)-(5x1);  
 $I_T = 5.0 \text{ nA}$ ,  $U_B = -1.7 \text{ mV}$

## JEDKANJE OGLJIK-POLIMERNIH PREMAZOV S KISIKOVO PLAZMO

Miran Mozetič  
 Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko  
 Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Temeljni premazi pogosto sestojijo iz polimera, v katerem so dispergirani ogljikovi delci. Lastnosti premaza so odvisni od vrste polimera in koncentracije ter porazdelitve ogljikovih delcev. Ogljikovih delcev znotraj premaza ni mogoče opaziti brez predhodne obdelave površine premaza. S površine je potrebno odstraniti plast polimera. Najboljša metoda za kontrolirano odstranjevanje polimera je selektivno plazemsko jedkanje. Reaktivni delci, ki nastajajo v plazmi, selektivno reagirajo z ogljikom, ki je kemijsko vezan na različne načine. Največja je verjetnost za oksidacijo polimera, sledijo saje, fulereni, grafit, najmanjša pa je verjetnost za oksidacijo diamanta.

Predstavljamo rezultate plazemskega jedkanja temeljnega premaza, ki sestoji zgolj iz polimera in delcev črnega ogljika, katerih velikost je okoli 12 nm. Vzorce smo izpostavili kisikovi plazmi, ki smo jo vzbujali z visokofrekvenčnim generatorjem s frekvenco 27,12 MHz in izhodno močjo 200W. Spreminjali smo čas delovanja plazme. Stanje površine smo opazovali z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Na neobdelanih vzorcih nismo opazili ogljikovih delcev. Po 5 sekundah izpostave kisikovi plazmi so postali vidni prvi delci, ki so se nahajali tik pod površino premaza. S podaljševanjem časa izpostave vzorcev kisikovi plazmi smo opazili vedno več ogljikovih delcev. Po 30 sekundah jedkanja so postali ogljikovi delci tako gosti, da ni bilo več opaziti polimerne osnove. Opisana metoda je odličen način za ugotavljanje stopnje razpršenosti delcev v premazu.

## ŠTUDIJ INTERAKCIJE KISIKOVH IONOV S POVRŠINO NiO Z MOLEKULARNO DINAMIKO

Alenka Vesel, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Ljubljana, Slovenija  
 Miran Mozetič, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Ljubljana, Slovenija  
 Giorgos Evangelakis, Univerza v Ioannini, Ioannina, Grčija

Za določanje koncentracije nevtralnih atomov kisika v kisikovi plazmi se standardno uporabljajo nikljeve katalitične sonde, ki običajno delujejo pri temperaturah od 100 do 1000°C. Med izpostavo sonde kisikovi plazmi pride na sondi že pri okoli 700°C do sublimacije kovine s površine sonde. Kovina se nanese na notranjo površino plazemskega reaktorja in že tanek sloj bistveno spremeni lastnosti plazme. Glede na diagrame ravnovesnih parnih tlakov pri teh temperaturah ne bi smelo prihajati do izdatne sublimacije niklja. Za nikelj velja, da v kisikovi atmosferi tvori površinsko plast NiO, ki pa ima še nižji parni tlak od niklja. Z ravnovesno termodinamiko torej ne moremo tolmačiti sublimacije Ni ali NiO s površine sonde, saj imata oba materiala pri tej temperaturi zanemarljiv parni tlak. Zato smo pojav sublimacije poskušali razložiti z molekularno dinamiko. S to metodo smo simulirali dogajanje na površini nikljeve sonde pri izpostavi kisikovi plazmi. Rezultati računalniške simulacije so pokazali, da do sublimacije pride zaradi interakcije kisikovih ionov, nastalih v plazmi, s površino nikljevega oksida na sondi, pri čemer pride do nastanka metastabilnih molekul NiO<sub>2</sub>, ki že pri razmeroma nizki temperaturi sublimirajo s površine, nato pa na notranjih površinah plazemske komore razpadejo v nikljev(II) oksid in kisik.

## **KARAKTERISTIKA KAPILARNIH IZBOJA KAO IZVORA EUV ZRAČENJA U PODRUČJU 10-16 NM**

Željko Andreić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska

Sanda Pleslić, Fakultet Elektronike i Računarstva, Zagreb, Hrvatska

Samir Ellwi, Institute for Experimental Physics V, Ruhr-University, 44780 Bochum, Germany

Hans-Joachim Kunze, Institute for Experimental Physics V, Ruhr-University, 44780 Bochum, Germany

Prikazani su prvi rezultati sistematskog pručavanja ablativnog kapilarnog izvora na bazi PVC kapilara kao izvora pojasnog EUV zračenja. Pokazuje se da se promjenom vrste PVCa od kojeg je kapilara izrađena i radnih parametara izboja može dobiti vrlo intenzivno EUV zračenje u pojasu širine oko 1 nm, sa maksimumom u blizini 10, 13,5 ili 16 nm. Ukupni intenzitet zračenja u pojasu je za oko red veličine veći nego kod ostalih izvora baziranih na plinskom izboju. Velika prednost ovakvog izvora je relativno malena količina EUV zračenja izvan samog pojasa što u tehnološkim aplikacijama može biti velika prednost jer znatno smanjuje termičko opterećenje optičkih elemenata. Zasada najveći problem je potreba za učestalom promjenom kapilara i prisustvo velikog broja makročestica u ekspandirajućoj plazmi nakon izboja.

LISTA AUTORA:

Ž. Andreić, 34

S. Bernsdorff, 14  
V.V. Bilanchuk, 27  
A. Bilušić, 14

M. Bizjak, 16  
O.M. Borets, 21  
V. Borjanović, 22  
R. Brako, 16  
F. Breclj, 16  
M. Buljan, 14

T. Car, 25  
Ž. Crljen, 16  
Z. Crnjak-Orel, 29, 30, 31  
U. Cvelbar, 19  
B. Cvikl, 13

M. Čekada, 9, 28

D. Desnica-Franković, 13, 14,  
23, 25  
U.V. Desnica, 13, 14, 23, 23  
P. Dubček, 8, 11, 14, 26, 30

S. Ellwi, 34  
B. Erjavec, 21  
B. Etlinger, 24  
G. Evangelakis, 33

Z.-Q. Fang, 23  
K. Furić, 13

O. Gamulin, 23  
J. Gasperič, 20  
D. Gracin, 11  
D. Grozdanić, 22

T.E. Haynes, 13  
K. Hrestak, 30  
Ž. Hribar, 16  
A. Hrovat, 15

J. Ivkov, 10

M. Jakšić, 11  
L. Južina, 20  
S. Južnič, 8

D. Kek, 28  
M. Klanjšek-Gunde, 15  
D. Korošak, 13

Gy.Sh. Kovacs, 25  
J. Kovač, 18, 28  
I. Kovačević, 22  
M. Kralj, 17  
M. Kranjčec, 21, 25, 27

M. Kunaver, 15  
H.-J. Kunze, 34

I. Labazan, 10  
J.C. Lasjaunias, 14  
P. Lazić, 16  
D.C. Look, 23

E. Matijević, 7  
O. Milat, 14, 26  
S. Milošević, 10  
M. Milun, 17

R. Monna, 22  
R. Morton, 13  
M. Mozetič, 15, 19, 33, 33  
P. Mrković, 20, 20

O.T. Nahusko, 21  
V. Nemanič, 19

P. Panjan, 9, 28  
M. Pavlović, 23, 24, 32  
P. Pervan, 17

A. Pirih, 16  
B. Pivac, 22, 22  
S. Pleslić, 34  
D. Posedel, 29, 32  
B. Praček, 18  
A. Pregelj, 16, 20  
I. Pucić, 29

N. Radić, 9, 10, 25, 26  
K. Radmanović, 31  
B. Rakvin, 22

M. Saint Paul, 14  
K. Salamon, 14, 26  
A. Slaoui, 22  
A. Smontara, 14

M. Srzić, 9  
V.O. Stephanovich, 27  
M. Stubičar, 26  
I.P. Studenyak, 21, 25, 27  
L.M. Suslikov, 25

J. Šetina, 16  
D. Šokčević, 16  
P. Šolar, 20  
A. Štagoj, 16

F. Tietz, 28  
A. Tonejc, 10, 26  
A. Turković, 12, 25, 29, 30, 31, 32

A. Vesel, 33  
V. Vraneša, 32  
P. Vretenar, 20, 20

J. Wagner, 13  
C.W. White, 23

B. Zajec, 19  
A. Zalar, 18, 18, 19

M. Žumer, 19

# BILJEŠKE