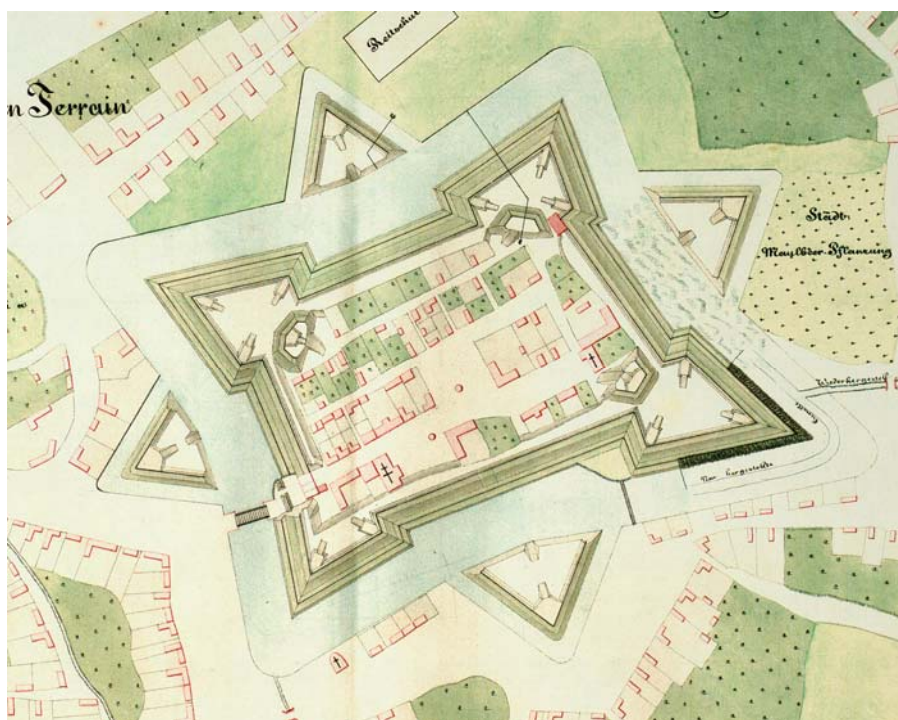


Hrvatsko vakuumsko društvo  
Društvo za vakuumsko tehniku Slovenije

13. Međunarodni sastanak  
Vakuumska znanost i tehnika

# ZBORNİK SAŽETAKA



Koprivnica  
13. lipnja 2006.

Uredio: Nikola Radić

Zagreb, 2006

## Programski odbor:

M. Jenko, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana  
O. Milat, Institut za fiziku, Zagreb  
M. Mozetič, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana  
B. Pivac, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
N. Radić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
D. Resnik, Fakulteta za Elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana  
J. Šetina, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana  
A. Tonejc, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

## Organizacijski odbor:

L. Belič, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, Ljubljana  
LJ. Car, Gimnazija "Fran Galović", Koprivnica  
T. Car, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
M. Čekada, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana  
M. Jakšić, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
J. Kovač, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana  
I. Kovačević, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
A. Smontara, Institut za fiziku, Zagreb  
A. Vesel, Inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana

## Sponzori:

Ministarstvo znanost, obrazovanja i športa Republike Hrvatske  
**Grad Varaždin**  
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb  
Institut za fiziku, Zagreb

## Izlagači:

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

ISBN 953-98154-2-8

**XIII Međunarodni sastanak  
Vakuumska znanost i tehnika**

**Koprivnica  
13. lipnja 2006.**

**PROGRAM SASTANKA**

9:30-10:00 Otvaranje Sastanka - N. Radić, Predsjednik Hrvatskog vakuumskog društva  
J. Šetina, Predsjednik Društva za vakuumsko tehniko  
Slovenije  
Izaslanik ministra MZOŠ RH  
Z. Mršić, Gradonačelnik Koprivnice

USMENA IZLAGANJA:

10:00-11:00 I. Sekcija (voditelji: A. Smontara, J. Šetina)

O1: M. Čekada, P. Panjan, J. Dolinšek, B. Vrtič, A. Zalar: **DIFUZIJSKI PROCESI  
MED NANAŠANJEM TANKIH PLASTI Al-Cr-Fe**

O2: P. Dubček, N. Radić, S. Bernstorff, I. Djerdj: **STRUKTURA NEUREĐENE  
FAZE U NANOKRISTALNOM NIKLU**

O3: P. Panjan, D. Kek-Merl, M. Čekada, M. Panjan: **SEM STUDY OF DEFECTS  
IN PVD HARD COATINGS**

O4: N. Radić, R. Grötzschel, Ž. Skoko, A. Tonejc, J. Ivkov: **NANOKRISTALNE  
SLITINE SREBRA I VOLFRAMA - DVA POTPUNO NEMJEŠLJIVA METALA**

11:00-11:15 STANKA ZA KAVU

11:15-12:15 II Sekcija (voditelji: B. Pivac, A. Zalar)

O5: N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević: **ISTRAŽIVANJE DVOSTRUKE  
LASERSKE ABLACIJE TITANA U VAKUUMU LASERSKOM  
APSORPCIJSKOM SPEKTROSKOPIJOM POMOĆU OPTIČKOG  
REZONATORA**

O6: Z. Vratnica, M. Bele, N. Hauptman, M. Klanjšek-Gunde, M. Mozetič, U.  
Cvelbar: **PREISKAVA POVRŠINE BAKTERIJ PO OBDELAVI S PLAZMO**

O7: D. Šokčević, P. Lazić, R. Brako: **AB INITIO RAČUNI SVOJSTAVA  
STRUKTURA NA METALNIM POVRŠINAMA**

12:00-14:00 RUČAK

14:00-15:00 III Sekcija (voditelji: P. Panjan, A. Tonejc)

O8: D. Gracin, K. Juraić, A. Gajović, I. Bogdanović-Radović: **AMORFNO-KRISTALINIČNI TANKI FILM SILICIJA KAO POTENCIJALNI MATERIJAL ZA SOLARNE ČELIJE TREĆE GENERACIJE**

O9: M. Jakšić, Z. Medunić, Ž. Pastuović, N. Skukan, M. Bogovac: **TRODIMEZIONALNO STRUKTURIRANJE DEFEKATA U SILICIJSKIM FOTODIODAMA**

O10: J. Kovač, A. Zalar, T. Filipič: **MIKROSKOPIJA NA ATOMSKO SILO (AFM), NOVA PREISKOVALNA METODA V LABORATORIJU ZA PREISKAVO POVRŠIN IN TANKIH PLASTI NA INSTITUTU »JOŽEF STEFAN«**

O11: J. Sancho-Parramon: **PHOTOTHERMAL DEFLECTION SPECTROSCOPY. PRINCIPLES, IMPLEMENTATION AND APPLICATION**

15:00-15:15 STANKA ZA KAVU

15:15-16:00 IV Sekcija (voditelji: O. Milat, J. Kovač)

O12: J. Šetina, B. Erjavec, L. Irmančnik-Belič: **MERJENJE MNOŽINE DESORBIRANIH PLINOV S STENE VAKUUMSKE POSODE**

O13: V. Janicki, S. Wilbrandt, O. Stenzel, D. Gaebler: **DIZAJN, IZRADA I SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE HIBRIDNOG ANTIREFLEKSNOG SLOJA**

O14: M. Torkar, M. Godec: **PREISKAVA LUSK NA POVRŠINI GRELCEV Z EDS SPEKTROSKOPIJO**

16:00-17:45 POSTERI: (Voditelji: M. Jakšić, M. Čekada)

P1: S. Lugomer, A. Maksimović, G. Peto, A. Karach: **TWO-DIMENSIONAL LOCALIZED PULSES IN THE LIQUID FLOW GENERATED BY LASER ON THE INCLINED SURFACE**

P2: N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević: **DVOSTRUKA LASERSKA ABLACIJA I LASEROM INDUCIRANA BREAKDOWN SPEKTROSKOPIJA NA ATMOSFERSKOM ZRAKU**

P3: I. Sharma, Ž. Andreić: **NEKI MATEMATIČKI ASPEKTI SEKVENCIJALNE APROKSIMACIJE LINIJSKIH SPEKTARA**

P4: U. Cvelbar: **KARAKTERISTIKE RF KISIKOVE PLAZME**

P5: N. Glavan, N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević: **SPEKTROSKOPIJA OH RADIKALA ZA KARAKTERIZACIJU NISKOTLAČNE RF PLAZME**

P6: A. Drenik, A. Vesel, M. Mozetič: **MEASURING RECOMBINATION COEFFICIENT FOR HYDROGEN ATOMS ON SURFACES OF FUSION RELEVANT MATERIALS**

P7: D. Vujošević, U. Cvelbar, M. Mozetič: **PLASMA REACTOR FOR STERILIZATION OF IMPLANTS**

P8: A. Turković, V. Vraneša, H. Fulgosi, Z. Crnjak Orel: **NANOPOROUS POLYMERS AS ELECTROLYTES IN SUPERCAPACITORS**

P9: I. Pucić, T. Jurkin, A. Turković: **IRRADIATED POLY(ETHYLENE OXIDE) FOR PREPARATION OF POLYELECTROLYTES AND NANOCOMPOSITES**

P10: U.V. Desnica, M. Buljan, P. Dubček, I.D. Desnica-Frankovic, N. Radic, M. Ivanda, Z. Siketic, I. Bogdanovic-Radovic, K. Salamon, S. Bernstorff: **FORMATION OF Ge NANOCRYSTALS IN SiO<sub>2</sub> SUBSTRATE BY MAGNETRON SPUTTERING AND POST-DEPOSITION THERMAL TREATMENT**

P11: M. Buljan, U.V. Desnica, M. Ivanda, P. Dubček, I. Bogdanović-Radović, Z. Siketić, N. Radić, K. Salamon, S. Bernstorff: **SAMORGANIZACIJA Ge NANOČESTICA U SUPERREŠETKU UNUTAR AMORFNE SiO<sub>2</sub> MATRICE**

P12: I. Capan, P. Dubček, S. Duguay, H. Zorc, N. Radić, B. Pivac, A. Slaoui, S. Bernstorff: **SILICON NANOPARTICLES FORMATION IN ANNEALED SiO/SiO<sub>2</sub> MULTILAYERS**

P13: S. Duguay, I. Capan, P. Dubček, B. Pivac, A. Slaoui, S. Bernstorff: **EFFECT OF VACUUM ANNEALING OF Ge IMPLANTED SiO<sub>2</sub> LAYERS AND RELATED STRUCTURAL PROPERTIES**

P14: A. Smontara, A. Bilušić, J. Dolinšek, E. S. Zijlstra, S. K. Bose: **ELEKTRONSKA STRUKTURA *i*-Al-Pd-Mn AND *i*-Al-Pd-Re KVAZIKRISTALA**

P15: I. Smiljanić, J. Lukatela, A. Bilušić, Ž. Bihar, A. Smontara, J. Dolinšek: **FIZIKALNA SVOJSTVA BERGMANOVE FAZE Mg<sub>32</sub>(Al,Zn)<sub>49</sub>**

P16: B. Šantić: **O STATISTICI SLOBODNIH NOSILACA NABOJA U JAKO DOPIRANIM POLUVODIČIMA - PRIMJER MAGNEZIJA U GALIJ-NITRIDU (GaN:Mg)**

P17: M. Pavlović, A. Turković, P. Dubček, M. Lučić-Lavčević, B. Etlinger i S. Bernstorff: **ISTRAŽIVANJE (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> POLIMERNIH ELEKTROLITA POMOĆU SAXS I DSC MJERENJA**

P18: I. Pucić, B. Mihaljević, M. Jakšić: **SPECTROSCOPIC DETERMINATION OF VAPOR PHASE CORROSION INHIBITOR CONCENTRATION IN ANTICORROSION FILMS**

P19: N. Zorić, K. Juraić, D. Gracin: **ANALIZA DEGRADACIJE SOLARNIH ĆELIJA NA BAZI AMORFNOG SILICIJA POMOĆU 1-D RAČUNALNOG MODELIRANJA**

P20: K. Juraić, D. Gracin: **AFM KARAKTERIZACIJA TANKIH FILMOVA KOSITRENOG OKSIDA**

P21: I. Bogdanović Radović, Z. Siketić, N. Skukan, Z. Medunić, M. Bogovac, M. Jakšić: **TOF-ERDA SPEKTROMETAR NA 6.0 MV TANDEM AKCELERATORU - PRVI REZULTATI**

P22: K. Salamon, O. Milat, N. Radić: **RENDGENSKA REFLEKTOMETRIJA TANKIH FILMOVA**

P23: T. Car, N. Radić, M. Čekada, A. Tonejc: **MEHANIČKA SVOJSTVA Al-(Nb, Mo, Ta, W) TANKIH FILMOVA**

P24: J. Ivkov, N. Radić, A. Tonejc, T. Car: **ELEKTRIČNA SVOJSTVA Al<sub>x</sub>TM<sub>100-x</sub> (TM=Mo, W, Nb i Ta) TANKIH FILMOVA**

P25: A. Nagode, B. Ule i M. Jenko: **VISOKOTEMPERATURNO LEZENJE JEKLA 9Cr-1Mo-0.2V (P91)**

P26: A. Vesel, M. Mozetič, A. Zalar, M. Balat-Pichelin: **VISOKOTEMPERATURNA OKSIDACIJA NERJAVNEG JEKLA**

P27: V. Henč-Bartolić, D. Pipić, L. Čurković, M. Stubičar: **LASEROM IZAZVANA MODIFIKACIJA POVRŠINE Sn-Pb SLITINE**

P28: J. Kovač, A. Zalar, B. Praček: **AFM PREISKAVA VALOVITE PERIODIČNE STRUKTURE POVZROČENE Z IONSKIM JEDKANJEM GRAFITNIH PLASTI**

P29: V. Desnica, S. Fazinić, Ž. Pastuović, M. Jakšić: **PRIMJENE PIXE METODA ZA ANALIZU OBJEKATA KULTURNE BAŠTINE**

P30: K. Ažbe, M. Jenko, P. Fajfar, M. Jeram, F. Marinšek: **VPLIV HLADNE DEFORMACIJE NA REKRISTALIZACIJO IN ELEKTROMAGNETNE LASTNOSTI ELEKTROPLOČEVINE**

P31: A. Jaklič, F. Vode, B. Brezovec: **DOLOČANJE GEOMETRIJSKIH FAKTORJEV VIDNOSTI V VAKUUMSKI PEČI**

## DIFUZIJSKI PROCESI MED NANAŠANJEM TANKIH PLASTI Al-Cr-Fe

M. Čekada<sup>1</sup>, P. Panjan<sup>1</sup>, J. Dolinšek<sup>1,2</sup>, B. Vrtič<sup>2</sup>, A. Zalar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut "Jozef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

<sup>2</sup>*Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska 21, 1000 Ljubljana, Slovenija*

Kompleksne kovinske zlitine (Complex metallic alloys – CMA) so skupina materialov, ki imajo zelo veliko osnovno celico in veliko gostoto točkovnih napak. Doslej so bile raziskave osredotočene na masivne materiale, zelo malo pa je podatkov o tankoplastnih CMA. Med bolj zanimivimi fazami je heksagonalni Al<sub>4</sub>Cr, ki ima v osnovni celici 574 atomov. Lahko mu dodamo železo in dobimo ternarno fazo Al<sub>4</sub>(Cr,Fe).

Ena od možnosti nanašanja takšnih plasti je sekvenčni nanos posameznih kovin z naknadnim pregrevanjem, da pride do homogenizacije globinskega profila. Predpogoj za to pa je dobro poznavanje difuzijskih procesov, ki potekajo v večplastni strukturi. Za ta namen smo nanесли več dvo- in triplastnih struktur s triodnim naprševanjem. Toplotna obdelava je potekala v vakuumu v temperaturnem obsegu 300–600 °C in časom pregrevanja 2–5 ur.

Spreminjanje globinskega profila sestave smo spremljali s spektroskopijo Augerjevih elektronov. Uporabili smo tudi posredne metode, kot so uklon rentgenskih žarkov, nanovtiskovanje in merjenje električne upornosti. Ugotovili smo, da večje spremembe globinskega profila spremljajo spremembe fazne sestave, sprememba mehanskih lastnosti (trdota, Youngov modul) in električne upornosti. Takšne posredne metode merjenja omogočajo hitro, vendar učinkovito spremljanje toplotne obdelave. V binarnih sistemih je najhitrejši proces difuzija kroma v aluminij (poteče že pri 400 °C), ki mu sledita para Al/Fe in Cr/Fe.

## STRUKTURA NEUREĐENE FAZE U NANOKRISTALNOM NIKLU

P. Dubček<sup>1</sup>, N. Radić<sup>1</sup>, S. Bernstorff<sup>2</sup>, I. Djerdj<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institut Ruđer Bošković, HR-10000, Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Elettra Sincrotrone Trieste, 34312 Basovizza (TS), Italija*

<sup>3</sup>*Prirodoslovno matematički fakultet, Fizički zavod, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

Nanokristalni nikel je tehnološki zanimljiv materijal zbog svojih mehaničkih i korozijskih svojstava. Međutim, metastabilan je i na povišenim temperaturama struktura mu postaje mikrokristalna. U ovom radu smo proučavali utjecaj temperature depozicije, temperature napuštanja, te tlaka radnog plina na strukturu magnetronski naprašenih filmova nanokristalnog nikla.

Tanki filmovi nikla su naprašeni na kvarcne podloge. Rezidualni tlak bio je 10<sup>-6</sup> – 10<sup>-5</sup> Pa, dok je tlak argona kao radnog plina mijenjan u intervalu 0,35-1,3 Pa, a temperatura podloge je mijenjana u rasponu od sobne do 700°C. Brzina depozicije bila je 7-8 nm/min, a konačna debljina filmova oko 400 nm.

Struktura filmova proučavana je raspršenjem rendgenskih zraka pod malim kutom pri malom upadnom kutu (Grazing incidence small angle X-ray scattering, GISAXS). 2D slike raspršenog intenziteta dobivene su na 2D CCD detektoru postavljenom okomito na smjer upadnog zračenja.

Ukupni GISAXS signal se može razlučiti u sumu dva doprinosa, čiji relativni intenzitet ovisi o parametrima depozicije: a) izotropni doprinos koji dominira na niskim



temperaturama podloge i b) raspršenje koncentrirano uz ravninu zrcalne refleksije, koje je dominantno na visokim temperaturama. Veličine nanočestica nastalih pri niskim temperaturama je oko 6-8 nm, dok dimenzije onih nastalih na visokim temperaturama monotono padaju sa temperaturom od 8 do 3 nm.

Rendgenska difrakcija pokazuje da veličina zrna raste od oko 15 do 150 nm u spomenutom rasponu temperatura, tako da nanočestice na niskim temperaturama pripisujemo neuređenoj fazi među zrnima, dok je na visokoj temperaturi dominantan doprinos površine filma.

## SEM STUDY OF DEFECTS IN PVD HARD COATINGS

P. Panjan, D. Kek-Merl, M. Čekada and M. Panjan  
*Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia*

Surface defects plays important role in corrosion protection coatings/substrate systems. Good protection of the substrate requires the coating to have a high corrosion resistance and a low porosity. While the corrosion resistance depends on the choice of materials, the porosity depends on the surface pre-treatment and the deposition conditions. It has been suggested that the corrosion performance of PVD coated steel systems is related to the microstructure characteristics, where surface defects have to be taken into account.

In this work the hard coatings of CrN, TiAlN and CrN/TiAlN multilayer hard coatings on different substrates (ASP, CK45, OCR12) have been prepared by thermoionic arc ion plating deposition system BAI 730 (Balzers) and by sputter deposition in CemeCon CC 800 apparatus with four unbalanced magnetron sources in closed field configuration. Special attention is devoted to the surface defects: defects results of insufficient cleaning procedure, as well as those, which appear due to deposition processes (droplets, particles incorporate during deposition). Attempt have been made to find out the correlation between deposition parameters, surface pre-treatment, cleaning and type of substrate with the number and size of defects.

## NANOKRISTALNE SLITINE SREBRA I VOLFRAMA - DVA POTPUNO NEMJEŠLJIVA METALA

N. Radić<sup>1</sup>, R. Grötzschel<sup>2</sup>, Ž. Skoko<sup>3</sup>, A. Tonejc<sup>3</sup>, J. Ivkov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Institut "Ruđer Bošković", Zavod za fiziku materijala, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Forschungszentrum Rossendorf, Department Ion Beam Analysis (FWIA), D-01328 Dresden (OT Rossendorf), BR Deutschland*

<sup>3</sup>*Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>4</sup>*Institut za fiziku, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

Metastabilne slitine Ag-W se odnedavno ispituju kao podesan materijal za metalizaciju u sub-100 nm integriranim poluvodičima. Zbog potpune nemješljivosti svojih komponenata, takve slitine se moraju pripravljati termodinamički neravnotežnim postupcima. Izložićemo rezultate ispitivanja strukture tankih filmova Ag-W pripremljenih postupkom magnetronskog rasprašenja u širokom rasponu sastava slitine.

**Tanki filmovi Ag-W slitina pripremljeni su kodepozicijom čistog srebra i čistog volframa iz dva nezavisno kontrolirana magnetronska izvora. Brzina depozicije na**

podloge (staklo, korund, safir, mono-Si) na sobnoj temperaturi bile je oko 0,33 nm/s, a konačna debljina filma oko 0,5  $\mu\text{m}$ . Ispitan je i utjecaj tlaka radnog plina, te dodatka kisika odnosno aluminijsa na strukturu slitine odabranog sastava.

Kemijski sastav pripremljenih filmova određen je RBS metodom: Ustanovljeno je da stvarni sastav odstupa od nominalnog u korist volframa, i to sve više kako udio volframa u slitini raste. Struktura pripremljenih slitina ispitana je difrakcijom X-zraka: Potpuno amorfni film nije dobiven u ispitanoj rasponu sastava  $\text{Ag}_{94}\text{W}_6$ - $\text{Ag}_{12}\text{W}_{88}$ . Prezasićena čvrsta otopina Al(W) sa fcc strukturom formira se pri udjelu volframa <30 at.%, dok se bcc čvrsta otopina dobiva za slitine sa udjelom volframa većim od 30 at.% W. Granična koncentracija volframa koja dijeli slitine sa različitim kristalnim strukturama je znatno niža od teorijski određene u nedavnom atomističkom modeliranju Ag-W slitina (57 at.% W). Veličina zrna pripremljenih filmova jako ovisi o sastavu - nanokristalna bcc faza (zrna veličine oko 5 nm) dobiva se u slitinama sa 30-50 at.% udjelom volframa, dok veličina zrna raste prema rubovima faznog dijagrama. Ugrađivanje kisika u nanokristalne slitine dodatno smanjuje prosječnu veličinu zrna, ali se još uvijek ne postiže potpuna amorfnost.

## ISTRAŽIVANJE DVOSTRUKE LASERSKE ABLACIJE TITANA U VAKUUMU LASERSKOM APSORPCIJSKOM SPEKTROSKOPIJOM POMOĆU OPTIČKOG REZONATORA

Nikša Krstulović, Nino Čutić, Slobodan Milošević  
*Institut za fiziku, Bijenička 46, 10000 Zagreb*  
kontakt: niksak@ifs.hr

Prikazano je istraživanje jednostruke i dvostruke laserske ablacije titana laserskom apsorpcijskom spektroskopijom pomoću optičkog rezonatora (LASPOR) s ciljem proučavanja dinamike isparenog oblaka. Za ablaciju, pri usporednom razmještanju laserskih snopova, upotrebljena su dva nanosekundna Nd-YAG lasera s Q-prekidanjem (Brilliant 350 mJ na 1064 nm i Brio 100 mJ na 1064 nm). Metae su bile pričvršćene na X-Y stalku s preciznim pozicioniranjem i zakretane kako bi se izbjeglo bušenje. Metae i leća za fokusiranje su pokretane koračnim motorima. Laseri, uređaj za kašnjenje, osciloskop i koračni motori upravljani su osobnim računalom pomoću vlastitog LabVIEW programa. U slučaju dvostruke laserske ablacije, za određeni vremenski razmak dvaju laserskih pulseva, rezultati pokazuju višestruko povećanje atomske apsorpcije u odnosu na slučaj ablacije samo s jednim laserom. Drugi laserski puls mijenja ispareni oblak stvoren prvim laserskim pulsom što rezultira značajnim horizontalnim širenjem oblaka. Upotrebom LASPOR metode nađeno je da su apsorpcijske linije Doppler pomaknute, i gore i dolje u frekvenciji. Pri velikim Dopplerovim pomacima u odnosu na apsorpcijsku poluširinu spektralne linije cijepaju se u dvije. Razmak vrhova linija proporcionalan je iznosu komponente brzine paralelne osi rezonatora. Taj efekt je to izraženiji što se opažanje vrši više van osi isparenog oblaka. To svojstvo LASPOR metode iskorišteno je za mapiranje raspodjele brzina u isparenom oblaku.

## PREISKAVA POVRŠINE BAKTERIJ PO OBDELAVI S PLAZMO

Zoran Vratnica<sup>1,2</sup>, Marjan Bele<sup>3</sup>, Nina Hauptman<sup>3</sup>, Marta Klanjšek Gunde<sup>3</sup>, Miran Mozetič<sup>1</sup>, Uroš Cvelbar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut za javno zdravlje, Ljubljanska bb, Podgorica, Črna Gora*

<sup>2</sup>*Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

<sup>3</sup>*Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana, Slovenija*

Značilnosti različnih vrst bakterij smo preiskovali z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Bakterije smo vzgojili v hranljivem bujonu. Odvečne hranljive snovi smo odstranili z večkratnim centrifugiranjem. Tako smo dobili gosto porazdeljene bakterije v domala čisti vodi. Bakterije smo nanесли na podlage iz aluminijeve folije. Podlage smo pred nanosom temeljito aktivirali s kisikovo plazmo s čimer smo preprečili aglomeracijo bakterij na podlagah. Nekatere bakterije smo izpostavili dolgotrajnemu vakuumu, nekatere pa nizkotlačni kisikovi plazmi. Ugotovili smo, da dobimo najlepše slike bakterij z uporabo primarnega elektronskega curka z energijo 1000 eV. Za detekcijo tankih membran smo uporabili elektrone z energijo 600 eV, ker pri večji energiji membrane niso opazne. Ugotovili smo tudi, da dolgotrajna izpostava bakterij vrste *Escherichia coli* povzroči bistvene spremembe površine, kar smo tolmačili z izgubo vode in padcem citoplazmatskega tlaka v bakteriji. Pokazali smo, da kisikova plazma močno poškoduje bakterije, saj dobimo po plazemski obdelavi na površini le še ostanke celične membrane.

## **AB INITIO RAČUNI SVOJSTAVA STRUKTURA NA METALNIM POVRŠINAMA**

Damir Šokčević, Predrag Lazić, Radovan Brako  
*Institut Ruđer Bošković, p.p. 180, 10002 Zagreb*

U okviru istraživanja nanoskopskih struktura na površinama metala metodom *ab initio* numeričkih računa pomoću DFT teorije, razmatrali smo adsorpciju monosloja srebra na (100) površini bakra koji čini (2x10) strukturu. Sistem smo modelirali jednim slojem atoma bakra i slojem srebra, i to 9 Ag atoma na 10 Cu atoma u jednoj elementarnoj ćeliji. Dozvolili smo da atomi Ag relaksiraju u energetski najpovoljnije položaje, pri čemu tvore blago valovitu strukturu u smjeru okomitom na površinu. Nađene visine atoma Ag u odnosu na podlogu dobro se slažu sa STM mjerenjima. Dobili smo i malu lateralnu relaksaciju Ag atoma koji se nalaze na padinama "valova".

Također, razmatrali smo monoatomske stepenice i otoke na metalnim površinama niskih indeksa. Proveli smo račun za tzv. A- i B-stepenice na (111) površini bakra. Račun daje energije stvaranja stepenica te veličinu relaksacije atoma pri rubu stepenice. Iz takvih rezultata se mogu izvesti zaključci o ravnotežnom obliku atomskih otoka, sklonosti k facetiranju i sl.

Ovi računi pokazuju kolika je mogućnost za *ab initio* modeliranje realističnih nanostrukture.

## **AMORFNO-KRISTALINIČNI TANKI FILM SILICIJA KAO POTENCIJALNI MATERIJAL ZA SOLARNE ĆELIJE TREĆE GENERACIJE**

Davor Gracin, Krunoslav Juraić, Andreja Gajović i Iva Bogdanović-Radović  
*Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Bijenička 54, Hrvatska*

U posljednjih nekoliko dekada učestale krize oko vitalnih energenata kao što su nafta i zemni plin uzrokovale su intenziviranje znanstvenih i razvojnih aktivnosti u korištenju obnovljivih izvora energije, posebice fotonaponskih ćelija. Jedan od rezultata teoretskih razmatranja na tom polju je mogućnost korištenja višekomponentnih materijala za ćelije vrlo visoke efikasnosti nazvane solarne ćelije treće generacije. Za ovakve materijale je karakteristično postojanje više faza sa različitim vrijednostima optičkog gepa unutar pojedine faze a jedan od potencijalnih kandidata je mješavina amornog i nanokristaliničnog silicija.

U pokušaju eksperimentalne potvrde ovih teorijskih razmatranja, deponiran je veći broj tanki filmova silicija, debljina od 100 – 1000 nm plazmom pojačanom kemijskom depozicijom iz plinske faze (PECVD). Variranjem parametara rasta napravljeni su slojevi različitog stupnja uređenja koje se određivalo korištenjem Ramanove spektroskopije, elektronske mikroskopije visoke rezolucije, nuklearnim metodama i analizom spektralne ovisnosti dielektrične funkcije uz korištenje aproksimacije efektivnog medija. Dobiveni rezultati će biti diskutirani u smislu ocjene upotrebljivosti dobivenih slojeva u potencijalnim solarnim ćelijama.

## **TRODIMEZIONALNO STRUKTURIRANJE DEFEKATA U SILICIJSKIM FOTODIODAMA**

Milko Jakšić, Zvonko Medunić, Željko Pastuović, Natko Skukan, Mladen Bogovac  
*Zavod za eksperimentalnu fiziku, Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

Detekcija ionizirajućeg zračenja pomoću silicijskih pn ili pin fotodioda se zbog njihove niske cijene sve više koristi. Da bi proširili mogućnosti primjena fotodioda, razvili smo metodu selektivnog unošenja defekata u silicij, pri čemu se lokalno mijenjaju transportna svojstva naboja. Defekti se proizvode pomoću fokusiranog snopa težih iona (npr. He, Li, O, Si), čiji se položaj i frekvencija kontrolira u sustavu nuklearne mikroprobe. Teški ioni su posebno pogodni zbog njihove velike nuklearne komponente zaustavne moći, te stoga i velike koncentracije defekata koji oni mogu proizvesti. Uz to, kod teških iona najveći udio u proizvedenim defektima čine relativno stabilni 'cluster' defekti. Najveća koncentracija defekata nalazi se stoga na kraju dosega iona. Kod snopa energije 4 MeV, za ione  ${}^7\text{Li}$  doseg je 9  $\mu\text{m}$  a za ione  ${}^{16}\text{O}$  on iznosi 4  $\mu\text{m}$ . Prikazat ćemo postupak unošenja defekata, mogućnosti primjene ove tehnologije, kao i primjere koji pokazuju da se proizvedene strukture mogu koristiti kao poziciono osjetljivi detektori nabijenih čestica i x-zraka.

## **MIKROSKOPIJA NA ATOMSKO SILO (AFM), NOVA PREISKOVALNA METODA V LABORATORIJU ZA PREISKAVO POVRŠIN IN TANKIH PLASTI NA INSTITUTU »JOŽEF STEFAN«**

Janez Kovač, Anton Zalar, Tatjana Filipič  
*Odsek za tehnologijo površin in optoelektroniko  
Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

Laboratorij za preiskavo površin in tankih plasti na Odseku za tehnologijo površin in optoelektroniko Instituta »Jožef Stefan« (IJS) ima dolgoletno tradicijo na področju

preiskav površin in tankoplastnih struktur. V zadnjih dveh letih so bile v laboratorij vpeljane nove preiskovalne metode, kar nam je omogočil nakup visokoločljivega spektrometra za rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS) in mikroskopa na atomsko silo (AFM). S tem je bila dopolnjena obstoječa instrumentalna oprema, to je spektrometer Augerjevih elektronov (AES) ter elektronski mikroskop z mikroanalizatorjem (SEM/EDX). Sredstva za nakup novega mikroskopa na atomsko silo so prispevali Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Odsek za tehnologijo površin in optoelektroniko (F4) in Odsek za tanke plasti in površine (F3) na IJS.

AFM mikroskop proizvajalca NT-MDT, model Solver PRO, omogoča preiskavo topografije površine vzorca z atomsko ločljivostjo v smeri pravokotno na podlago. Mikroskop deluje na osnovi sile med atomi igle in atomi površine vzorca, ki jo zaznamo z ubogibom nosilca igle pri njenem pomikanju nad vzorcem. Upogib nosilca igle zaznamo s pomočjo laserskega žarka. Mikroskop deluje v kontaktnem, nekontaktnem in semikontaktnem načinu. Z njim lahko merimo velikosti sile med iglo in podlago, ki je v mejah od  $10^{-9}$  do  $10^{-15}$  N. Z mikroskopom lahko preiskujemo površine do  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ . Področje preiskave izberemo z optičnim mikroskopom. V mikroskop AFM lahko vstavimo vzorec širine do 3 cm in višine do 8 mm. Poleg slike topografije lahko na površini posnamemo porazdelitev električnega in magnetnega polja, upornosti in kapacitete. Vzorce preiskujemo na zraku, mikroskop pa je opremljen tudi z modulom za delo v tekočinah. Med snemanjem slik lahko v mikroskopu segrevamo vzorce do  $130^\circ\text{C}$ , lahko pa izvajamo tudi litografski postopek tako, da z iglo kontrolirano razimo površino vzorca in rišemo zelene strukture.

Zmogljivost mikroskopa bo predstavljena s primeri preiskav različno obdelanih površin tankih plasti, grafita in bioloških vzorcev.

## **PHOTOTHERMAL DEFLECTION SPECTROSCOPY. PRINCIPLES, IMPLEMENTATION AND APPLICATION**

Jordi Sancho-Parramon

*Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, Zagreb 10000, Croatia*

The determination of the absorption coefficient of materials for photon energies below the band gap has high interest in thin film research. Thus, the sub-gap absorption of semiconductors is closely linked to the presence and density of structural defects and reveals size-related effects in materials containing nanometric inclusions. Another example is found in optical thin films, where a typical requirement of high quality coatings is to present negligible absorption.

Usual techniques for the determination of the absorption coefficient are photometric measurements. However, these techniques do not present enough accuracy for very low values of the absorption coefficient (i.e.  $\alpha < 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) and are not suitable for sub-gap measurements. For this purpose, specific techniques have been developed over the last two decades, being those based in calorimetric principles the most successful. Particularly, in thin film metrology, photothermal deflection spectroscopy has appeared to be one of the most versatile. We present the principles of this technique and some of its common applications. Besides, we discuss different specific aspects of its practical

implementation: the description of the experimental set-up, the influence of different set-up parameters and the development of a calibration procedure.

## **MERJENJE MNOŽINE DESORBIRANIH PLINOV S STENE VAKUUMSKE POSODE**

Janez Šetina, Bojan Erjavec, Lidija Irmančnik-Belič  
*Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana*

Ko vakuumski sistem odpremo na atmosfero, se razni plini iz atmosfere v zelo kratkem času adsorbirajo na vse površine v posodi. Adsorpcija plinov na čistih površinah sprva poteka do pokritja z monoatomskim slojem, ko se za nekatere pline ustavi. Za nekatere pline, kot je vodna para, pa se adsorpcija lahko nadaljuje z nadaljnjo rastjo plasti (kondenzacija).

Ko površine, ki so bile izpostavljene atmosferi, prenesemo v vakuumsko okolje, se prične obraten proces - desorpcija. V začetnih fazah črpanja vakuumske posode predstavlja desorpcija plinov s površin poglavitni prispevek k rezidualni atmosferi in omejuje dosegljiv končni vakuum. Predstavili bomo postopek za določanje skupne množine desorbiranih plinov s sten vakuumske posode. Postopek združuje statično metodo merjenja množine plinov z naraščanjem tlaka v zaprti posodi in dinamično metodo z merjenjem tlačne razlike na znani prevodnosti. Obravnavali bomo tudi problem "spominskega efekta" pri meritvah pretoka vodne pare, ki se z lahkoto adsorbira na preostale stene merilnega sistema.

## **DIZAJN, IZRADA I SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE HIBRIDNOG ANTIREFLEKSNOG SLOJA**

Vesna Janicki<sup>1</sup>, Steffen Wilbrandt<sup>2</sup>, Olaf Stenzel<sup>2</sup>, Dieter Gaebler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup> *Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Albert Einstein Strasse 7, 07745 Jena, Njemačka*

Predstavljen je antirefleksni sloj za staklo, dizajniran za vidljivi dio spektralnog područja i funkcionalan u širokom rasponu upadnih kutova. Hibridni slojevi su kombinacija klasičnih filmova čistih materijala, indeksa loma koji se ne mijenja kroz debljinu sloja i filmova koji su smjesa materijala i čiji se indeks loma mijenja sa debljinom sloja, ovisno o koncentraciji danih materijala. Predstavljeni dizajn je napravljen u posebnom kompjuterskom programu za dizajn naboranih (rugate) slojeva. Dizajn je debljine oko 500 nm. Hibridni antirefleksni sloj je izrađen metodom koevaporacije niobij pentoksida i silicij dioksida pomoću elektronskog topa. Predstavljene su i spektralne karakteristike staklenih podloga prekrivenih ovakvim slojem s jedne i sa obje strane, za normalni kut upada svjetla, te za kut upada od 45 stupnjeva, za  $s$  i  $p$  polarizaciju. Spektralne karakteristike uzoraka su uspoređene sa teorijskim spektrima dizajna i dan je komentar na reproducibilnost.

## **PREISKAVA LUSK NA POVRŠINI GRELCEV Z EDS SPEKTROSKOPIJO**

M. Torkar, M. Godec  
*Inštitut za kovinske materiale in tehnologije*  
*Lepi pot 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*  
matjaz.torkar@imt.si

Na plašču grelcev, ki je iz nerjavnega jekla, so se pri prvem ogrevanju pojavile površinske luske. Vzorci plašča grelca in pločevine iz katere so bili grelci izdelani so bili pregledani s svetlobno mikroskopijo in z elektronsko mikroskopijo (SEM). Izvršene so bile EDS analize lusk, škaje in kovinske površine pod odpadlo lusko. Prikazani so rezultati metalografskih in EDS analiz.

**Metalografski pregled preseka pločevine je na posameznih mestih odkril luske na površini pločevine in razpotegnjene vključke tik pod površino pločevine, ki so lahko posledica notranje oksidacije zaradi neprimerne atmosfere pri žarjenju traku. Vzrok za nastanek lusk je v pločevini, iz katere je izdelan plašč grelcev. Rezultati kažejo, da gre za drobne razpoke, ki so ostale v obliki lusk zavaljane na površini. Analiza je pokazala, da je kovinska površina pod luskami osiromašena s Cr. Pri kratkem času ogrevanja grelca tako osiromašenje s Cr ni mogoče, zato je vzrok za napake potrebno poiskati v postopku izdelave trakov iz nerjavnega jekla.**

## TWO-DIMENSIONAL LOCALIZED PULSES IN THE LIQUID FLOW GENERATED BY LASER ON THE INCLINED SURFACE

S. Lugomer<sup>1</sup>, A. Maksimović<sup>1</sup>, G. Peto<sup>2</sup>, A. Karach<sup>2</sup>  
*1 «Ruđer Bošković» Institute, Bijenička c.54, 10001 Zagreb, Croatia*  
*2 «Research Institute for Technical Physics and Material Sciences», Hungarian Academy of Sciences, POB 49, H – 1525 Budapest, Hungary*

We have shown that nanosecond laser-metal interaction under an angle causes the formation of nonlinear micron scale waves and localized structures analogous to the evolution of the flow structures in the case of gravitationally caused phenomenon on the inclined plate. The experiments and the numerical simulation confirmed the dependence of the structure evolution on the laser power profile, on the inclination angle and on the target surface composition. Dispersion in structures in the local oscillations is the same as that one observed by Frenkel and Indireskumar.

## DVOSTRUKA LASERSKA ABLACIJA I LASEROM INDUCIRANA BREAKDOWN SPEKTROSKOPIJA NA ATMOSFERSKOM ZRAKU

Nikša Krstulović, Nino Čutić, Slobodan Milošević  
*Institut za fiziku, Bijenička 46, 10000 Zagreb*  
Kontakt: slobodan@ifs.hr

Poduzeta je laserski inducirana breakdown spektroskopija različitih meta metala i nemetala na atmosferskom zraku uz jednostruku ili dvostruku lasersku ablaciju s ciljem razmatranja mogućnosti primjene metode za analizu elementarnog sastava meta te proizvodnju i neparavanje različitih novih materijala. Za ablaciju, pri usporednom razmještaju laserskih snopova, upotrebljena su dva nanosekundna Nd-YAG lasera s Q-

prekidanjem (Brilliant 350 mJ na 1064 nm i Brio 100 mJ na 1064 nm). Mete su bile pričvršćene na X-Y stalku s preciznim pozicioniranjem i zakretane kako bi se izbjeglo bušenje. Meta i leća za fokusiranje su pokretane koračnim motorima. Laseri, uređaj za kašnjenje, i koračni motori upravljani su osobnim računalom pomoću vlastitog LabVIEW programa. Za opažanje emisije iskorišten je LIBS2000+ spektrometar koji omogućava opažanje spektra u području od 200 nm do 960 nm, u realnom vremenu, sa spektralnom rezolucijom od 0.1 nm. Istraživane su mete titana, mangana, cinka, grafita, te SiC i grafit-polimer kompozita. Preliminarni rezultati pokazuju deseterostruko pojačanje intenziteta emisije za slučaj primjene dvostruke laserske ablacije u usporedbi s jednostrukom laserskom ablacijom, za većinu meta. U slučaju grafit-polimer kompozita opaženo je, u odnosu na čisti grafit, značajno povećanje emisije C<sub>2</sub> radikala, koji se smatra prekursorom za rast ugljikovih nanočestica.

## **NEKI MATEMATIČKI ASPEKTI SEKVENCIJALNE APROKSIMACIJE LINIJSKIH SPEKTARA**

Indramani Sharma i Željko Andreić

*Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb,  
Croatia*

E-mail: isharma@rgn.hr i zandreic@rgn.hr

Eksperimentalno dobiveni spektri vrućih plazmi dekomponirani su u pojedinačne spektralne linije sekvencijalnim aproksimacijama linija pojedinačnim profilima. Kriterij točnosti aproksimacije je minimum kvadratne norme razlika vektora eksperimentalnog i sintetskog spektra dobivenog superpozicijom izračunatih profila. Diskutirani rezultati i postupak aproksimacije popraćeni su primjerima aproksimacija realnih spektara.

## **KARAKTERISTIKE RF KISIKOVE PLAZME**

Uroš Cvelbar

*Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

Kisikove plazme se uporabljaju pri vrsti naprednih tehnologij, kot so plazemsko jedkanje, vrtanje, oksidacija, čišćenje površin, hladno upepeljevanje, površinske aktivacije in plazemske sterilizacije. Različne tehnologije temeljijo na različnih parametrima plazme. Za jedkanje in vrtanje je potrebna velika stopnja ionizacije plazme, medtem ko pri drugih tehnologijah potrebujemo le malo nabitih delcev v plazmi. Za občutljive obdelave polimerov potrebujemo stanje plina, ki ima zanemarljivo malo nabitih delcev in veliko nevtralnih radikalov. Take vrste plazme izbiramo z primerno vrsto razelektritve, kjer je pomembna predvsem vrsta izvora, geometrija plazemskega reaktorja, frekvenca in moč razelektritve ter tlak, pretok in sestava plina v katerem generiramo razelektritev. Na plazmo pa vpliva tudi material in temperatura sten plazemskega reaktorja. S tem izberemo in kontroliramo želene reakcije, ki stečejo v kisikovi plazmi. Za nas najzanimivejše so RF kisikove plazme, ki so hladne in imajo veliko nevtralnih radikalov ter malo ionov. Tem plazmam merimo dane karakteristike t.i. plazemske parametre, kot so temperatura elektronov, gostota elektronov, gostota



ionov in gostota nevtralnih atomov. Podan je primer RF kisikove plazme generirane pri 27.16 MHz in 250 W razelektrivne moči.

## SPEKTROSKOPIJA OH RADIKALA ZA KARAKTERIZACIJU NISKOTLAČNE RF PLAZME

Nataša Glavan<sup>1</sup>, Nikša Krstulović, Nino Čutić, Slobodan Milošević  
*Institut za fiziku, Bijenička 46, 10000 Zagreb*  
<sup>1</sup> *Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka*  
kontakt: natasag@riteh.hr

Niskotlačne plazme kao što je radio-frekventni induktivno vezani izboj imaju značajan potencijal u različitim tehnologijskim i znanstvenim primjenama kao što je tretman površina materijala, sterilizacija medicinske opreme ili pročišćavanje voda. Postoji stalna potreba za unapređenjem metoda karakterizacije plazme u realnom vremenu tijekom procesa obrade materijala kad se događaju brze promjene sadržaja plazme. OH radikal je vrlo često prisutan u spektrima takvih plazmi. U ovom radu istražili smo mogućnosti primjene različitih minijaturnih spektrometara s optičkim vlaknom za karakterizaciju sadržaja plazme kroz opažanje OH A-X molekularne vrpce (309 nm). Prikazujemo i raspravljamo utjecaj nekoliko karakteristika minijaturnih CCD spektrometara kao što je spektralni odziv, spektralno razlučivanje i vremensko usrednjavanje. Istraživanje je poduzeto s ciljem iskorištavanja svojstava OH spektralne pojave u dijagnostičke svrhe pri tretmanu materijala hladnom plazmom. U tu svrhu pored eksperimenata poduzete su detaljne spektralne simulacije pomoću kojih se mogu odrediti vibracijske i rotacijske temperature OH radikala za različite uvjete u plazmi.

## MEASURING RECOMBINATION COEFFICIENT FOR HYDROGEN ATOMS ON SURFACES OF FUSION RELEVANT MATERIALS

Aleksander Drenik<sup>1</sup>, Alenka Vesel<sup>1</sup>, Miran Mozetič<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Jozef Stefan Institute*  
*Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

We have performed experiments in plasma afterglow in order to determine recombination coefficients of various fusion relevant materials such as graphite and tungsten. Plasma was created by means of a radio frequency generator in a mixture of argon and hydrogen at pressures from 60 Pa to 240 Pa. The degree of dissociation of hydrogen molecules was found to be between 0.1 and 1. The hydrogen atom density was measured by nickel Fiber Optic Catalytic Probe. The recombination coefficient was determined by using the side arm diffusion method first described by Smith et al. A side arm of the plasma reactor was lined with aluminium foil coated with 10 nm thick layer of tungsten and carbon which was prepared by plasma deposition technique.

## PLASMA REACTOR FOR STERILIZATION OF IMPLANTS

Danijela Vujošević<sup>1,2</sup>, Uroš Cvelbar<sup>2</sup>, Miran Mozetič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Public Health, Ljubljanska bb, Podgorica, Montenegro*

<sup>2</sup>*Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia*

Plasma reactor for sterilization of biocompatible materials such as TiO<sub>2</sub> and polymer implants is presented. The plasma reactor discharge characteristics are shown, where sterilization was performed with a low pressure weakly ionised oxygen plasma created with a RF generator of the output power of 300 W and frequency of 27.12 MHz. The density of charged particles, density of neutral oxygen atoms and the electron temperature was about  $1 \times 10^{16} \text{ mP}^{-3}$ ,  $1.5 \times 10^{22} \text{ mP}^{-3}$ , and 5 eV, respectively. The sterilization effects were observed by SEM and by bacterial cultivation. It was found that the surface recombination of O-atoms plays an important roll, since it causes temperature changes of the substrate. The sterilization efficiency increased with increasing plasma exposure time. The results showed that the sterilization efficiency is not necessarily just the effect of oxygen plasma radical interactions, but also of the sample heating due to radical interaction with the substrate.

## NANOPOROUS POLYMERS AS ELECTROLYTES IN SUPERCAPACITORS

A. Turković<sup>\*1</sup>, V. Vraneša<sup>1</sup>, H. Fulgosi<sup>1</sup> and Z. Crnjak Orel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute "Ruđer Bošković", P.O.Box 1016, 10000 Zagreb, Croatia*

<sup>2</sup>*National Institute of Chemistry, SI-1001, Ljubljana, Hajdrihova 19, Slovenia*

\*E-mail: [turkovic@irb.hr](mailto:turkovic@irb.hr)

**Nanoporous conducting polymers have shown superior ability to store ionic charge in comparison to the high surface area carbons, which are at present used in supercapacitors (1). As for supercapacitors, they are unique energy storage devices presenting high technological interest due basically to their high power density and long durability. The mechanism of energy storage in these devices divides them in two main groups: electrochemical double layer capacitors and redox supercapacitors. In the former, energy storage arises mainly from the separation of electronic and ionic charge at the interface between high specific area electrode materials and the electrolyte. In the latter, faradaic reactions take place at the electrode materials at characteristic potentials and give rise to what is known as pseudocapacitance.**

**The amount of electrical energy accumulated in a supercapacitor is proportional to the capacitance. The value of capacitance is connected with the nature of the interface electrode-electrolyte. The higher the specific surface area, the higher will be the capacitance arising from the increased ability for charge accumulation at the interface. However, this surface must be accessible for the ions of the electrolyte, so, in addition of high specific surface area, the dimension of pores of electrode material should be adapted to the size of solvated anions and cations in the electrolyte.**

In order to replace toxic and carcinogen monomers, we have used harmless, cheaper and commercially easily available polymers in our preparation. We have prepared:

1. Porous polymer by co-dissolution of polystyrene and malachite green in common solvent. After removal of dye compound by dissolution, rinsing

with alcohol was performed. Films were characterized by Field Emission Microscope SEM Zeiss Supra 35 VP.

2. Porous polymer by dissolution of the chosen polymer with suspension of calcium carbonate in a common solvent and subsequent evaporation in normal atmosphere for two days. Films were characterized by Optical Microscope Zeiss Aksiovert 35.

The advantages gained by use of the new nanoporous materials in supercapacitors are in their ability to store a higher concentration of ionic charge carriers than in state-of-the-art electrodes. Another distinct advantage with the use of the new electrode materials is that they may be used without incorporation of liquid electrolytes. An all-solid state supercapacitor will be operable over a much wider range of temperatures than that with a device containing liquid electrolyte. There is also the added advantage that a higher voltage can be applied for charging an all solid- state capacitor without fear of electrolytic decomposition.

Reference:

- 1) A. Gilmour, M. Gardner, A. Turković, I. Cendoya, M. Gaberšek, Supercapacitors for High Energy Density Electrical Storage, SHEDES, 17<sup>th</sup>, November 2004.

## **IRRADIATED POLY(ETHYLENE OXIDE) FOR PREPARATION OF POLYELECTROLYTES AND NANOCOMPOSITES**

*Irina Pucić, Tanja Jurkin, Aleksandra Turković  
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Bijenička 54 Croatia  
E-mail: pucic@irb.hr*

Polyethylene oxide (PEO) based solid electrolytes are gaining significance so improvement of their electrical and/or mechanical properties is increasingly important. PEO is semicrystalline polymer and ion transport is 2 to 3 orders of magnitude faster in the amorphous phase so stable PEO films with high amorphous content and low melting temperatures are preferred. That can be achieved by crosslinking that can preferably be induced by ionizing radiation because it is homogeneous throughout the sample, initiation rate is independent of temperature, can be varied by varying dose rate, etc. Depending on the irradiation conditions, deterioration of other properties can occur due to degradation of PEO that has to be avoided. The presented results are a part of the ongoing research on the optimization of irradiation conditions.

The samples were <sup>60</sup>Co-irradiated PEO powder irradiated to various doses, (PEO)<sub>8</sub>ZnCl<sub>2</sub> polyelectrolytes, prepared of both unirradiated PEO and PEO, and nanocomposites prepared by addition TiO<sub>2</sub> nanograins. The changes in thermal properties and in morphology were monitored in temperature range from below the room temperature to 100 °C. Depending on the dose, reduction of spherulite size and decrease of temperature and heat of fusion/crystallization was determined. The changes depended on the dose to which the PEO was irradiated to. The temperature dependence of conductivity of polyelectrolytes and nanocomposites was also measured and the room temperature conductivities between 10<sup>-3</sup> to 10<sup>-4</sup> (Ω cm)<sup>-1</sup> were achieved. Addition of nanograins increased conductivity more than can be ascribed just to crystallinity reduction, possibly because of interactions of anion with nanograins. The changes in thermal behaviour and in morphology of PEO were in excellent correlation to conductivity changes of corresponding polyelectrolytes and nanocomposites so can be used to predict its properties.

## FORMATION OF Ge NANOCRYSTALS IN SiO<sub>2</sub> SUBSTRATE BY MAGNETRON SPUTTERING AND POST-DEPOSITION THERMAL TREATMENT

U.V. Desnica<sup>1</sup>, M. Buljan<sup>1</sup>, P. Dubcek<sup>1</sup>, I.D. Desnica-Frankovic<sup>1</sup>, N. Radic<sup>1</sup>, M. Ivanda<sup>1</sup>, Z. Siketic<sup>1</sup>, I. Bogdanovic-Radovic<sup>1</sup>, K. Salamon<sup>2</sup>, S. Bernstorff<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>R. Boskovic Institute, Physics Department, Bijenicka 54, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Institute of Physics, Bijenicka 56, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>Sincrotrone Trieste, SS 14 km 163.5, 34012 Basovizza (TS) Italy

We performed grazing incidence small angle x-ray scattering (GISAXS), Raman and Rutherford-Back-Scattering study of the formation Ge nanoparticles in SiO<sub>2</sub> matrix, produced by magnetron sputtering deposition. Ge and SiO<sub>2</sub> are deposited simultaneously with Ge (atoms): SiO<sub>2</sub> (molecules) ratio 40:60 on SiO<sub>2</sub> substrate. Influence of deposition conditions and thermal annealing after deposition process on formed nanoparticles properties are analyzed. Five different deposition conditions on SiO<sub>2</sub> substrate are analyzed: (i) one layer with thickness 340 nm deposited at room temperature, (ii) 15 bilayers, with composition Ge+SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>, with thickness 8 nm of each layer, deposited at room temperature, (iii) the same procedure as (ii) but with deposition temperature 500 - 700<sup>0</sup>C, (iv) 15 bilayers, with composition Ge-SiO<sub>2</sub> layer 4 nm thick and SiO<sub>2</sub> layer 8 nm thick, deposited at room temperature (v) the same structure as (iv) but with deposition temperature 500-700<sup>0</sup>C. As-deposited samples are subsequently thermally annealed up to 1000<sup>0</sup>C.

We found strong dependence of nanoparticles sizes and depth distribution on the deposition and annealing conditions. We also found the best regime of parameters for formation spherical, completely crystalline Ge nanoparticles. The average size of the nanocrystals at a given annealing temperature can be controlled by the thickness of the Ge-SiO<sub>2</sub> co-sputtered layer. Special effects are obtained for 8+8 nm bilayers and 500<sup>0</sup> C deposition, when 3D lattice of Ge nanocrystals can be formed.

## SAMORGANIZACIJA Ge NANOČESTICA U SUPERREŠETKU UNUTAR AMORFNE SiO<sub>2</sub> MATRICE

M.Buljan<sup>1\*</sup>, U.V.Desnica<sup>1</sup>, M. Ivanda<sup>1</sup>, P.Dubček<sup>1</sup>, I.Bogdanović-Radović<sup>1</sup>, Z. Siketić<sup>1</sup>, N.Radić<sup>1</sup>, K.Salamon<sup>2</sup>, S.Bernstorff<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut Ruđer Bošković, PO BOX 180 10002 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup>Sincrotrone Trieste, SS 14 km 163,5, 34012 Basovizza, Italy

Ispitivano je stvaranje Ge nanočestica unutar (Ge-SiO<sub>2</sub>)/SiO<sub>2</sub> višeslojeva deponiranih metodom rasprašenja u magnetronskom izvoru čestica. Unutar višeslojeva uočena je spontana samoorganizacija nanočestica u trodimenzionalne rešetke za vrlo usko područje uvjeta depozicije i naknadnog grijanja. Faza formiranih nanočestica, te parametri superrešetke mogu biti varirani uvjetima

**depozicije i grijanja nakon depozicije. Formirane nanočestice imaju vrlo usku raspodjelu veličina i prostornu gustoću što otvara velike mogućnosti primjene.**

## **SILICON NANOPARTICLES FORMATION IN ANNEALED SiO/SiO<sub>2</sub> MULTILAYERS**

I. Capan<sup>1</sup>, P. Dubček<sup>1</sup>, S. Duguay<sup>2</sup>, H. Zorc<sup>1</sup>, N. Radić<sup>1</sup>, B. Pivac<sup>1</sup>, A. Slaoui<sup>2</sup>, S. Bernstorff<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*R. Bošković Institute, P.O.Box 180, Zagreb, Croatia*

<sup>2</sup>*InESS, CNRS, 23 rue du Loess, Strasbourg, France*

<sup>3</sup>*Sincrotrone Trieste, SS 14, km 163.5, Basovizza (TS), Italy*

We present a study on amorphous SiO/SiO<sub>2</sub> superlattice using grazing-incidence small-angle X-ray scattering (GISAXS). Amorphous SiO/SiO<sub>2</sub> superlattices were prepared by high vacuum evaporation of 3 nm thin films of SiO and SiO<sub>2</sub> (10 layers each) on Si(100) substrate. After the evaporation, samples were annealed at 1100 °C for 1h in vacuum, yielding to Si nanocrystals formation. Using a Guinier approximation, the shape and the size of the crystals were obtained. The size of the growing nanoparticles in the direction perpendicular to the film surface is well controlled by the bilayer thickness. However, their size varies more significantly in the direction parallel to the film surface.

## **EFFECT OF VACUUM ANNEALING OF Ge IMPLANTED SiO<sub>2</sub> LAYERS AND RELATED STRUCTURAL PROPERTIES**

S. Duguay<sup>1</sup>, I. Capan<sup>2</sup>, P. Dubček<sup>2</sup>, B. Pivac<sup>2</sup>, A. Slaoui<sup>1</sup>, S. Bernstorff<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*InESS, CNRS, 23 rue du Loess, Strasbourg, France*

<sup>2</sup>*R. Bošković Institute, P.O. Box 180, Zagreb, Croatia*

<sup>3</sup>*Sincrotrone Trieste, SS 14, km 163.5, Basovizza (TS), Italy*

Thin silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) on Si layers with embedded germanium nanocrystals (Gencs) were fabricated using <sup>74</sup>Ge<sup>+</sup>-implantation and subsequent annealing. Transmission electron microscopy, Rutherford backscattering spectrometry and GISAXS measurements have been used to study the Ge redistribution in the SiO<sub>2</sub> films as a function of annealing conditions. Samples were annealed under low, medium and high vacuum. The redistribution of Ge is found to be strongly dependent of the vacuum level. Diffusion lowers as vacuum increases. H atoms or OH molecules from residual humidity in the annealing atmosphere are believed to play an important role in the Ge diffusion within the SiO<sub>2</sub> layer. GISAXS have shown that the particle size is the same in all cases. However, the inter-particle distance vary depending on the annealing vacuum and for the highest vacuum this correlation is completely lost suggesting formation of larger clusters.

## **ELEKTRONSKA STRUKTURA *i*-Al-Pd-Mn AND *i*-Al-Pd-Re KVAZIKRISTALA**

A. Smontara<sup>\*1</sup>, A. Bilušić<sup>1,2</sup>, J. Dolinšek<sup>3</sup>, E. S. Zijlstra,<sup>4</sup> S. K. Bose,<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Institu za fiziku, Bijenička 46, POB 304, HR-10001 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja, N. Tesle 12, 21000 Split, Hrvatska*

<sup>3</sup>*J. Stefan Institute, University of Ljubljana, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*

<sup>4</sup>*Theoretische Physik, Universität Kassel, Heinrich-Plett 40, D-34132 Kassel, Germany*

<sup>5</sup>*Department of Physics, Brock University, St. Catharines, Ontario, Canada L2S 3A1*

\* e-mail: ana@ifs.hr

Poznato je da polikristalinični uzorci kvazikristala *i*-Al-Pd-Re pokazuju bitno drugačija elektronska transportna svojstva od svih drugih kvazikristala na bazi aluminija. Najnovija istraživanja elektronskog transporta i elektronske strukture polikristaliničnih i monokristaliničnih uzoraka kvazikristala *i*-Al-Pd-Re govore u prilog tvrdnji da su velika otpornost i prijelaz metal-izolator u polikristaliničnim *i*-Al-Pd-Re kvazikristalima uzorkovane jakom poroznošću materijala te prisutnošću kisikom bogatih malih izolatorskih područja u materijalu fraktalne geometrije, a ne instrinzično svojstvo kvaziperiodične rešetke materijala. Usporedbom mjerenja električne otpornosti uzoraka monokristala *i*-Al-Pd-Re i *i*-Al-Pd-Mn i rezultata *ab initio* računa elektronske gustoće stanja kvazikristala *i*-Al-Pd-Re i *i*-Al-Pd-Mn zaključujemo, suprotno prije donesenom zaključku na temelju samo mjerenja na uzorcima polikristala *i*-Al-Pd-Re, da ove dvije isostrukturne porodice kvazikristala imaju vrlo slična elektronska transportna svojstva.

## FIZIKALNA SVOJSTVA BERGMANOVE FAZE $\text{Mg}_{32}(\text{Al,Zn})_{49}$

I. Smiljanić<sup>1</sup>, J. Lukatela<sup>1</sup>, A. Bilušić<sup>1</sup>, Ž. Bihar<sup>1</sup>, A. Smontara<sup>1</sup> and J. Dolinšek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institut za fiziku, Bijenička 46, POB 304, HR-10001 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Institut J. Stefan, Sveučilište u Ljubljani, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*

mail: [ismiljanic@ifs.hr](mailto:ismiljanic@ifs.hr), [dada@ifs.hr](mailto:dada@ifs.hr), [bilusic@pmfst.hr](mailto:bilusic@pmfst.hr), [zeljko.bihar@zg.htnet.hr](mailto:zeljko.bihar@zg.htnet.hr),

[ana@ifs.hr](mailto:ana@ifs.hr),

[jani.dolinsek@ijs.si](mailto:jani.dolinsek@ijs.si)

Prikazani su rezultati istraživanja fizikalnih svojstava kompleksnog metalnog sistema, tzv. Bergmanove faze  $\text{Mg}_{32}(\text{Al,Zn})_{49}$ , čija se jedinična ćelija sastoji od 162 atoma. Atomi su grupirani u politetraedarske klustere s ikozaedarskim okruženjem. Od uzorka monokristala, dobivenog Czochralskijevom tehnikom rasta kristala, izrezana je pravokutna prizma s dužom osi paralelnom smjeru (100). Korištenjem tehnike raspršenja elektrona unatrag potvrđeno je da je kemijski sastav uzorka unutar onog koji određuje Bergmanovu fazu, te da se radi o monofaznom uzorku.

Rezultati električne otpornosti, u temperaturnom intervalu od 4 K do 300 K, pokazuju ponašanje slično onomu nemagnetskih amorfnih slitina male otpornosti. Iz mjerenja magnetske susceptibilnosti može se zaključiti da se radi o Paulijevom paramagnetu sa značajnim doprinosom Landauove orbitalne susceptibilnosti. Ovi rezultati zajedno s NMR mjerenjima Knightovog pomaka ukazuju da se slaba pozitivna temperaturna ovisnost susceptibilnosti može pripisati utjecaju srednjeg slobodnog puta elektrona na orbitalnu susceptibilnost. Rezultati toplinske vodljivosti, u intervalu od 8 K do 300 K, ukazuju da je na sobnoj temperaturi dominantan elektronski doprinos, dok je doprinos rešetke znatno manji. Po tome je Bergmanova faza negdje između običnih metala i kvazikristala. Seebeckov koeficijent dobiven mjerenjem termostruje je negativan u

cijelom intervalu od 4 K do 300 K, što ukazuje da su elektroni glavni nosioci naboja. Naši rezultati pokazuju da se u slučaju Bergmanove faze kompleksnost u strukturi atoma ne odražava na elektronskoj strukturi.

## O STATISTICI SLOBODNIH NOSILACA NABOJA U JAKO DOPIRANIM POLUVODIČIMA - PRIMJER MAGNEZIJA U GALIJ-NITRIDU (GaN:Mg)

B.Šantić,

*Institut R. Bošković, Bijenička 54, P.P. 180, 10002 Zagreb,*  
email: [santic@irb.hr](mailto:santic@irb.hr)

Energetski nivo nekog dopanta ili defekta u poluvodiču,  $E_i$ , se najčešće određuje iz dvaju električnih mjerenja: vodljivosti i Hall konstante. Iz tih rezultata možemo odrediti i stupanj kompenzacije, a za plitke nivoe i koncentraciju dopanata i/ili defekata. U tim analizama se pretpostavljaju diskretni energetski nivoi. No u slučaju jakog dopiranja dolazi do stvaranja širokih vrpce, zbog kulonskih interakcija između ioniziranih dopanada/nečistoća. Vrpce mogu biti široke čak i po nekoliko stotina meV. Stoga pretpostavka diskretnog nivoa nije korektna. Jednadžbu električne neutralnosti treba riješiti numerički, uz pretpostavku neke zvonolike raspodjele za stanja unutar vrpce.

Koncentracije magnezija, [Mg], u  $p$ -tipu GaN su vrlo velike, tipično u području  $[Mg]=10^{19}-10^{20}\text{cm}^{-3}$ . To dovodi do nastanka akceptorske vrpce s (polu)širinom do 200meV, a koja se jasno detektira u PL-spektru (photo-luminescence). U ovom se radu analizira ovisnost koncentracije slobodnih šupljina o temperaturi,  $p(1/T)$ . U skladu s PL mjerenjima, centar Mg-vrpce je postavljen na  $E_0=0.2\text{eV}$ , što je osjetno veća vrijednost od literaturnih podataka. Pokazuje se da se eksperimentalni podatci mogu dobro opisati s modelom vrpce. S porastom koncentracije magnezija raste i širina vrpce, što dovodi do smanjenje nagiba krivulje  $p(1/T)$ , a što se pak u modelu s diskretnim nivoom interpretira kao smanjenje 'dubine nivoa'. Nadalje, u modelu vrpce se pokazuje da i povećanje stupnja kompenzacije smanjuje nagib krivulje  $p(1/T)$ , a taj se efekt u modelu s diskretnim nivoom ne može dobiti, nego se, uobičajeno, interpretira kao promjena dubine 'nivoa'. Kombinacija dva opisana efekta može objasniti zašto je raspršenost literaturnih podataka, dobivenih uz pretpostavku diskretnog nivoa, tako velika ( $\approx 80-220\text{meV}$ ). Zaključci razmatranja su općeniti te primjenjivi i na druge slučajeve u kojima dolazi do tvorbe vrpce unutar energetskog procjepa.

## ISTRAŽIVANJE $(\text{PEO})_8\text{ZnCl}_2$ POLIMERNIH ELEKTROLITA POMOĆU SAXS I DSC MJERENJA

Mladen Pavlović,<sup>1</sup> Aleksandra Turković<sup>1\*</sup>, Pavo Dubček<sup>1</sup>, Magdy Lučić-Lavčević<sup>2</sup>,  
Božidar Etlinger<sup>1</sup> i Sigrid Bernstorff<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut "Ruđer Bošković", P.O. Box 180, HR-10002 Zagreb, Hrvatska, <sup>2</sup>Odjel za fiziku, Kemijsko-tehnološki fakultet, Sveučilište u Splitu, Teslina 10/V, 21000 Split, Hrvatska,

<sup>3</sup>Sinchronone Trieste, ss. 14, km 163,5 Basovizza, 34012 Trst, Italija

Polimerni elektroliti i nano-kompoziti pripremljeni su od PEO ozračenog  $\gamma$ -zrakama do doze 309 Kgy te dodatkom  $\text{TiO}_2$  nanozrna. Utjecaj dodanih  $\text{TiO}_2$  nanozrna, te

primjenjenog  $\gamma$ -zračenja iz Co-60 izvora na svojstva elektrolita, proučavan je mjerenjem raspršenja X-zraka pod malim kutom (SAXS) uz istovremeno mjerenje diferencijalne pretražne kalorimetrije (DSC). Mjerenja su izvedena na sinkrotronu ELETTRA u Trstu. Dobiveni rezultati pokazuju promjenu veličine zrna kristalne faze PEO tzv. "sferulita", te nano-kristalita PEO-ZnCl<sub>2</sub> i u grijanju i u hlađenju ali na različitim temperaturama. Ove promjene se odlično slažu sa vrhovima u entalpiji, mjerenoj pomoću DSC-a, koji se događaju na potpuno istim temperaturama. Na istim uzorcima mjerena je i impedancijska spektroskopija (IS). Gore navedeni tretmani bitno povećavaju vodljivost elektrolita što se može objasniti promjenom u veličini nanozrnaca.

## **SPECTROSCOPIC DETERMINATION OF VAPOR PHASE CORROSION INHIBITOR CONCENTRATION IN ANTICORROSION FILMS**

Irina Pucić, Branka Mihaljević, Milko Jakšić  
*Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Bijenička 54, Croatia*  
E-mail: pucic@irb.hr

Anticorrosion films, produced by coextrusion of polymer and vapour phase corrosion inhibitor (VCI) that provides protection by migrating out of the film and forming a layer on a metallic surface covered by it, are being increasingly used in corrosion protection. This investigation had several goals:

- to identify the polymer carrier and the VCI of a particular set of anticorrosion films,
- to confirm migration of VCI and determine how long the films provide protection,
- since the VCI was identified as an organomolybdate salt, to determine its concentration using UV-VIS spectroscopy.

The polymer carriers of analysed films of various ages were identified as LD-polyethylene. Particle induced X-Ray emission (PIXE) spectroscopy showed that the films contained significant amounts of molybdenum implying the VCI was molybdate-based. Based on the concentration of molybdenum and the age of the film, the samples were divided into three groups. One group had almost constant concentration of molybdenum below 4000 ppm, accordingly 4000 ppm was chosen as lowest concentration offering protection. The other two groups of films had initial concentration of Mo about 6000 ppm and about 8000 ppm that decreased at different rate to reach 4000 ppm in more than 6 years. To confirm the migration of the VCI and the validity of division of samples into the groups, the selected films were kept in vacuum at 50°C for 8 months and then the PIXE measurements were repeated showing significant decrease in Mo concentration corresponding to age of a particular film, the differences between the groups remained.

The UV-VIS spectra of the anticorrosion films were recorded showing two prominent absorptions at about 710 and 610 nm. The intensities of absorptions at 710 nm had excellent correlation to molybdenum concentrations determined by PIXE so UV-VIS spectroscopy could be used to control the decrease of VCI concentration.

## **ANALIZA DEGRADACIJE SOLARNIH ČELIJA NA BAZI AMORFNOG SILICIJA POMOĆU 1-D RAČUNALNOG MODELIRANJA**



*N. Zorić, K. Juraić i D. Gracin*

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

E-mail: [nzoric@irb.hr](mailto:nzoric@irb.hr)

Karakteristike jednostavne p-i-n solarne ćelije na bazi amorfno silicija su modelirane u 1-D računalnoj simulaciji koristeći nekomercijalan računalni program. U prvom koraku, program je testiran na dobro poznatim činjenicama vezanim uz jednostavne p-i-n spojeve i ovisnosti parametara solarne ćelije o strukturi i svojstvima materijala. Budući da je program davao plauzibilne rezultate, korišten je za određivanje nivoa defekata u optičkom gepu u tek napravljenoj ćeliji i nakon procesa degradacije. U računu su korištena izmjerena svojstva pojedinih slojeva ćelije i rezultati mjerenja degradacije svojstava toka vremena. U modeliranju procesa degradacije, pretpostavljeno je da dominantni doprinos čini stvaranje tzv. «visećih veza» («dangling bonds») a moguće difuzije između pojedinih slojeva ćelije su zanemarene. Na temelju ovih računa, procijenjena je brzina degradacije u dvostrukoj p-i-n ćeliji («tandem ćeliji») napravljenoj od istog materijala.

## **AFM KARAKTERIZACIJA TANKIH FILMOVA KOSITRENOG OKSIDA**

**K. Juraić, D. Gracin**

*Institut Ruđer Bošković, POB 180, HR-10002 Zagreb, Hrvatska*

(e-mail: [kjuraic@irb.hr](mailto:kjuraic@irb.hr))

U proizvodnji solarnih ćelija na bazi amorfno i nanokristaliničnog silicija vrlo često se kao prednji prozirni vodljivi sloj koristi kositreni oksid nanosen na staklo, te se na njega kao podlogu nanosi aktivni dio solarne ćelije (p-i-n struktura). Osim velike vodljivosti i prozirnosti, te male reflektivnosti, za što veću efikasnost solarne ćelije potrebno je da SnO<sub>x</sub> sloj ima i hrapavu površinu, kako bi se svjetlo što pada na ćeliju difuzno raspršilo i tako povećalo put kroz p-i-n strukturu solarne ćelije, a time i ukupnu apsorpciju. Pažljivim izborom uvjeta pri kojima se odvija rast SnO<sub>x</sub> sloja može se postići stvaranje takvih polikristaliničnih struktura u sloju i na njegovoj površini, koje doprinose difuznom raspršenju svjetla.

Međutim, povećanje hrapavost površine SnO<sub>x</sub> sloja preko neke određen vrijednost negativno utječe na kvalitetu solarne ćelije (smanjuju se napon i efikasnost). Budući da je debljina p sloja redovito manja nego što je hrapavost površine SnO<sub>x</sub> sloja, može doći do pucanja p sloja. U praksi se taj negativan utjecaj može smanjiti izlaganjem SnO<sub>x</sub> sloja Ar plazmi tijekom određenog vremena, neposredno prije nanošenja silicijskog sloja.

Da bi se istražila pozadina ovog efekta, tanki filmovi kositrenog oksida su deponirani APCVD metodom (Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition) na staklenu podlogu i nakon toga izloženi radiofrekventnom izboju u argonu (10 minuta). Struktura površine SnO<sub>x</sub> slojeva istraživana je upotrebom AFM mikroskopa (Atomic Force Microscope) u kontaktnom modu.

Početna površina se sastoji od relativno oštih koničnih struktura a nakon izlaganja plazmi, te konične strukture postaju manje oštre pa je time smanjena i hrapavost površine. Vjerojatno koničan oblik struktura na površini, tijekom izlaganja plazmi uzrokuje pojačanje lokalnog polja, što je naročito naglašeno u

**blizini oštih šiljaka, što rezultira jačom interakcijom plazme i površine na tim mjestima te promjenom njihovog oblika.**

## TOF-ERDA SPEKTROMETAR NA 6.0 MV TANDEM AKCELERATORU - PRVI REZULTATI

I. Bogdanović Radović, Z. Siketić, N. Skukan, Z. Medunić, M. Bogovac, M. Jakšić  
*Ruđer Bošković Institute, PO BOX 180 10002 Zagreb, Croatia*

Na Institutu "Ruđer Bošković" u Laboratoriju za interakcije ionskih snopova upravo je dovršena gradnja TOF-ERDA (Time-of-Flight Elastic Recoil Detection Analysis) spektrometra. Spektrometar se sastoji od dvije vremenske stanice s MCP detektorima međusobno udaljene 52.5 cm, te čestičnog detektora. Ulazni ion u sudaru s metom izbija lakše atome iz mete koji ulaze u TOF ERDA spektrometar smješten pod kutem od  $37.5^\circ$  prema ulaznom snopu. Vrijeme koje je potrebno ionu da dođe od prve do druge vremenske stanice definira se kao vrijeme proleta dok se energija iona registrira u čestičnom detektoru na kraju putanje. Na taj način su signali detektiranih izbijenih čestica (elemenata) sasvim izdvojeni u dvodimenzionalnim spektrima.

Prvi testovi sistema pokazuju da je vremenska rezolucija spektrometra približno 300 ps, te da je masena razlučljivost 1 amu. Dubinsko razlučivanje znatno ovisi o promjenljivim geometrijskim parametrima, te vrsti i energiji upotrebljenog ionskog snopa. Kod prvih mjerenja načinjenih s 25 MeV snopom  $^{36}\text{Cl}$  iona, dubinska razlučivost za sve elemente u siliciju bila je bolja od 5 nm. Prikazat ćemo prve spektre višeelementnih i višeslojnih uzoraka.

## RENDGENSKA REFLEKTOMETRIJA TANKIH FILMOVA

Krešimir Salamon<sup>(1)</sup>, Ognjen Milat<sup>(1)</sup>, Nikola Radić<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>*Institut za fiziku, Zagreb, Bijenička 46, Hrvatska*

<sup>(2)</sup>*Institut „Ruđer Bišković“, Zagreb Bijenička 54, Hrvatska*

Istraživane su mogućnosti karakterizacije tankih filmova i slojevitih naslaga na debelim podlogama mjerenjem spektara reflektancije (XR) i difuznog raspršenja (GISAXS). U tu svrhu korištena je novoadaptirana kamera s 1-D pozicijski osjetljivim detektorom za niskokutno rendgensko raspršenje pri okrnjujućem kutu upada. Spektri reflektancije i difuznog raspršenja s površinskih naslaga sadrže informaciju o njihovim morfološkim i optičkim karakteristikama kao što su: debljina i slojevitost, homogenost sastava i konformacija slojeva, te hrapavost površine i međuslojnih granica.

Za analizu su upotrebljeni uzorci raznih debljina NbGe/SiO<sub>2</sub>, te raznih sastava i debljina Ge-SiO<sub>2</sub>/Si.

Nađeno je da naš eksperimentalni postav omogućuje pouzdano mjerenje varijacije homogenosti po dubini, t.j. određivanje prosječne debljine kod jednoslojne naslage (u intervalu: 1-200 nm), a kod višeslojnih naslaga - određivanje debljine i broja pojedinih slojeva (ako je mjerljiva razlika u njihovoj gustoći), i konformacija međuslojnih granica (ako je veća od njihove hrapavosti).

## MEHANIČKA SVOJSTVA Al-(Nb, Mo, Ta, W) TANKIH FILMOVA

Tihomir Car<sup>1</sup>, Nikola Radić<sup>1</sup>, Miha Čekada<sup>2</sup>, Anton Tonejc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institut Ruđer Bošković, Zavod za fiziku materijala, HR-10 000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Institut Jožef Štefan, Ljubljana, Slovenija*

<sup>3</sup>*Prirodoslovno matematički fakultet, Zavod za Fiziku, HR-10 000 Zagreb, Hrvatska*

Tanki filmovi  $Al_xNb_{1-x}$  ( $95 \geq x \geq 20$ ),  $Al_xMo_{1-x}$  ( $90 \geq x \geq 20$ ),  $Al_xTa_{1-x}$  ( $95 \geq x \geq 20$ ),  $Al_xW_{1-x}$  ( $50 \geq x \geq 80$ ), dobiveni su magnetronskom depozicijom na sobnoj temperaturi korištenjem uređaja za depoziciju CMS 18. Struktura filmova ispitana je rentgenskim zračenjem, i ustanovljeno je da su filmovi AlNb amorfni u području od 30% do 85% udjela aluminijsa, dok su potpuno kristalni filmovi  $Al_{95}Nb_5$  i  $Al_{20}Nb_{80}$ . Filmovi AlMo amorfni u području od 45% do 85% udjela aluminijsa, a potpuno kristalni filmovi su  $Al_{90}Mo_{10}$  i  $Al_{40}Mo_{60}$ . Za AlTa amorfno je područje od 40% do 85% udjela aluminijsa, a kristalno  $Al_{95}Ta_5$  i  $Al_{40}Ta_{60}$ . AlW filmovi amorfni su u području od 65% do 80% udjela aluminijsa, a kristalni su uzorci  $Al_{60}W_{40}$  i  $Al_{50}W_{50}$ . Kod svih kombinacija između granica potpuno amorfni i kristalni filmova nalazi se područje u kojem su kristalna i amorfna faza mješana. Debljine filmova i naprezanja mjerena su na instrumentu *Rank Taylor Hobson Form Talysurf*. Debljine uzoraka kreću se prosječno od 325 do 400 nm, ovisno o sastavu. Naprezanja u AlMo i AlNb uzorcima su dominantno vlačnog tipa dok u AlTa naprezanja su dominantno tlačna. Mikrotvrdoća (opterećenje 2mN) mjerena je uređajem *Mitutoyo MVK-H2*. Mikrotvrdoće AlW i AlTa filmova, u amorfnom području, više su od virjednosti tvrdog elementa u kombinaciji (W, Ta). Kod AlNb i AlMo filmova tvrdoća je dominantno pod utjecajem tvrdog elementa i kontinuirano opada sa povećanjem udijela aluminijsa. Udio elastične energije u tvrdoći kreće se od približno 20% kod AlMo do 60% kod AlTa filmova.

## ELEKTRIČNA SVOJSTVA $Al_xTM_{100-x}$ (TM=Mo, W, Nb i Ta) TANKIH FILMOVA

J. Ivkov<sup>1</sup>, N. Radić<sup>2</sup>, A. Tonejc<sup>3</sup>, T. Car<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institut za fiziku, Bijenička 46, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Institut "Ruđer Bošković", Zavod za fiziku materijala, Bijenička 54, POB 180, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>3</sup>*Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Bijenička 34, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

Tanki filmovi  $Al_xTM_{100-x}$  (TM = Mo, W, Nb i Ta) slitina pripravljeni su kodepozicijom čistog aluminijsa i čistih prijelaznih metala iz dva nezavisno kontrolirana magnetronska izvora. Filmovi su deponirani na različite podloge (staklo, korund, safir) a debljina ispitanih filmova iznosi oko 400 nm, izuzev AlW filmova čija debljina iznosi oko 2  $\mu$ m.

Struktura pripravljenih slitina ispitana je difrakcijom X-zraka. Intervali sastava za koje su dobiveni filmovi amorfni iznose  $63 \leq x \leq 88$  za  $Al_xW_{100-x}$  slitine,  $45 \leq x \leq 85$  za  $Al_xMo_{100-x}$ , te  $30 \leq x \leq 90$  za  $Al_xNb_{100-x}$  i  $Al_xTa_{100-x}$  slitine.

Temperaturna stabilnost amorfni filmova ispitana je mjerenjem električne otpornosti,  $\square$  pri izokronom grijanju ( $dT/dt=2$  K/min) na osnovu čega su određene dinamičke temperature kristalizacije,  $T_C$ . Najstabilnije su amorfne AlW slitine sa temperaturama kristalizacije iznad  $500^\circ\text{C}$ , zatim slijede AlMo slitine sa  $450^\circ\text{C} \leq T_C \leq 520^\circ\text{C}$  te AlNb i AlTa slitine sa  $300^\circ\text{C} \leq T_C \leq 400^\circ\text{C}$ . Iz ovoga vidimo da temperature kristalizacija nije

moguće direktno korelirati sa širinom intervala sastava u kojem je moguće dobiti amorfnе slitine.

Električna otpornost amorfnih AlMo i AlW filmova pokazuje izraziti maksimum (1200 odnosno 500  $\square\square$ cm) na koncentracijama koje odgovaraju intermetalnim Al<sub>3</sub>Mo i Al<sub>4</sub>W spojevima. Nadalje, bez obzira na odsustvo izrazitog maksimuma u otpornosti AlNb i AlTa ( $\square < 400\square\square$ cm) slitina, temperaturni koeficijent otpornosti,  $\square$ , u sva četiri sistema ima minimum za koncentracije koje odgovaraju redom Al<sub>3</sub>Mo, Al<sub>4</sub>W, Al<sub>3</sub>Nb i Al<sub>3</sub>Ta intermetalnim spojevima. Nakon kristalizacije ovisnost  $\square$  i  $\square$  o sastavu slitina ostaje kvalitativno ista za svaki pojedini sistem a omjer otpornosti poslije i prije kristalizacije pokazuje za sve slitine istu ovisnost o koncentraciji aluminija.

## VISOKOTEMPERATURNO LEZENJE JEKLA 9Cr-1Mo-0.2V (P91)

**Aleš Nagode, Boris Ule i Monika Jenko,**  
*Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija*

Jeklo P91 spada v družino jekel z 9-12 % Cr. Zaradi dobre odpornosti na visokotemperaturno lezenje, dobre korozijske odpornosti in nizke hitrosti oksidacije ter dobre varivosti se jeklo P91 pogosto uporablja za izdelavo različnih komponent v termocentralah. Za nadaljnji razvoj tega jekla pa je potrebno osnovno razumevanje mikrostrukture in mehanizmov, ki so odgovorni za visoko odpornost na lezenje. Raziskovalci so skušali obnašanje tega jekla pri lezenju opisati s potenčno Mukherjee-Bird-Dornovo enačbo, pri čemer so ugotovili, da je napetostni eksponent v enačbi močno odvisen od temperature, medtem ko aktivacijska energija kaže napetostno odvisnost. Dobljeni napetostni eksponenti,  $n$ , so praviloma večji od 10, navidezne aktivacijske energije pa lahko presegajo tudi 800 kJ/mol, torej so torej bistveno večje, kot aktivacijska energija za samodifuzijo, ki znaša 237 kJ/mol. Potenčna Mukherjee-Bird-Dornovo enačba, ki je bila izpeljana za opis lezenja pri konstantnem potenčnem eksponentu in navidezni aktivacijski energiji je zato neuporabna za opis jekla P91. Čadek s sod. je predlagal Rösler-Arztov model termičnega ločevanja dislokacij od izločkov, ki pa se tudi ni obnesel. Spigarelli pa je obnašanje jekla skušal pojasniti s konceptom napetostnega praga (threshold stress), pri čemer je konstitucijsko enačbo zapisal kot enostavni potenčni zakon, ki pa ne vključuje eksponentni Arhenissov faktor z navidezno aktivacijsko energijo. Iz navedenega sledi, da še ni znana konstitucijska enačba za fenomenološki opis lezenja jekla P91 pri enoosni natezni obremenitvi oz. napetosti, kot tudi ne pri ekvi-dvoosnem napetostnem stanju, ki je značilno za preizkus lezenja miniaturnega tankega diska, obremenjenega s konstantno, centralno delujočo statično obremenitvijo.

## VISOKOTEMPERATURNA OKSIDACIJA NERJAVNEG JEKLA

Alenka Vesel<sup>1</sup>, Miran Mozetič<sup>1</sup>, Anton Zalar<sup>1</sup>, Marianne Balat-Pichelin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jozef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

<sup>2</sup>CNRS-PROMES, Laboratoire Procédés, Matériaux & Energie Solaire, UPR 8521, 7 rue du four solaire, F-66120 Font Romeu, Odeillo, France

Raziskovali smo vpliv oksidacije nerjavnega jekla AISI 316L na spremembo rekombinacijskega koeficienta za kisikove atome v plazmi. Jeklo smo oksidirali na tri

različne načine. En vzorec nerjavnega jekla smo oksidirali v peči pri 1070 K, drugi vzorec smo oksidirali v kisikovi plazmi pri 400 K, tretji vzorec pa v zračni plazmi, pri čemer smo vzorec s pomočjo dodatnega segrevanja s fokusirano sončevo svetlobo segreli do 1250 K. Čas oksidacije je bil 4 min. Površino tako obdelanih jekel smo preiskali z metodama AES in XPS. Debelina in vrsta oksida na nerjavem jeklu je bila odvisna od temperature vzorca med oksidacijo in medija, v katerem je potekala oksidacija.

Debelina naravne oksidne plasti na neobdelanem vzorcu je bila 3 nm, na jeklu oksidiranemu v plazmi 4 nm, na jeklu segrevanem v peči na 1070 K pa 60 nm. Daleč najdebelejša plast oksida je bila na vzorcu, ki je bil oksidiran v zračni plazmi s pomočjo fokusirane sončeve svetlobe, kjer je znašala 350 nm. Naravna plast oksida je bila železov oksid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Isto vrsto oksida smo našli tudi na vzorcu, ki je bil oksidiran v plazmi pri 400 K. Oksidna plast pri vzorcu, ki je bil oksidiran v peči pri 1070 K je bila kromov oksid  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Na vzorcu, ki je bil pri povišani temperaturi (1300 K) oksidiran v zračni plazmi, pa je prišlo do segregacije mangana na površino. Tako je na površini nastala 35 nm debela plast manganovega oksida  $\text{MnO}_2$ , pod njim pa mešanica železovega ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) in kromovega oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Pri tem vzorcu smo med oksidacijo v plazmi z nikljevo katalitično sondo istočasno merili tudi gostoto nevtralnih kisikovih atomov v plazmi. Ugotovili smo, da se je po 100 s izpostave, ko je temperatura vzorca presegla 800 K, pojavila sprememba signala Ni sonde, ki jo lahko pripišemo spremembi rekombinacijskega koeficienta za kisikove atome na površini nerjavnega jekla. Kaj je razlog za spremembo bodo pokazale nadaljnje bolj sistematične raziskave. Možna razloga za to pa sta dva; bodisi sprememba v morfologiji in hrapavosti vzorca, bodisi sprememba v vrsti oksida na površini.

## LASEROM IZAZVANA MODIFIKACIJA POVRŠINE Sn-Pb SLITINE

Visnja Henč-Bartolić<sup>1</sup>, Davor Pipić<sup>1</sup>, Lidija Ćurković<sup>2</sup> i Mirko Stubičar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zavod za primijenjenu fiziku, FER, Sveučilište u Zagrebu

<sup>2</sup>Zavod za materijale, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

<sup>3</sup>Zavod za fiziku, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Izvršena je kemijska i mikroskopska analiza površine Sn-Pb slitine. Ultra-violetni snop dušikovog lasera je fokusiran na ravnu površinu Sn-Pb mete. Ozračena površina smještena u zraku na normalnom tlaku promatrana je metalografskim mikroskopom. Oštećenja površine su diskutirana.

## AFM PREISKAVA VALOVITE PERIODIČNE STRUKTURE POVZROČENE Z IONSKIM JEDKANJEM GRAFITNIH PLASTI

Janez Kovač, Anton Zalar, Borut Praček

*Odelek za tehnologijo površin in optoelektroniko*

*Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

Med profilno analizo tankoplastnih struktur se zaradi ionskega jedkanja lahko poveča hrapavost površine vzorcev, kar poslabša globinsko ločljivost profilne analize. Zato smo z mikroskopijo na atomsko silo (AFM) preiskali hrapavost na amorfnih grafitnih plasteh, povzročeno z ionskim jedkanjem pri različnih parametrih jedkanja. Pri

preiskavi smo uporabili dvoplastno strukturo C-grafit (60 nm)/Ta(50 nm), naneseno z naprševanjem na gladko podlago iz silicija. Preiskali smo površino neobdelanega vzorca in površine vzorcev, ki smo jih jedkali z ioni Ar energije 1 keV, pri vpadnih kotih 22°, 49° in 71° glede na normalo na površino vzorca. AFM preiskave smo izvedli v sredini grafitnih plasti in na fazni meji med plastjo C in Ta. Stacionarne vzorce smo jedkali z enim ali dvema ionskima curkoma, nekaj vzorcev pa smo med jedkanjem vrteli. Hrapavost površine nejedkanih vzorcev je bila  $0,13 \pm 0,05$  nm. Na stacionarnih vzorcih, jedkanih pri vpadnih kotih ionov 49° in 71°, smo ugotovili nastanek valovitih periodičnih struktur (*ang. ripples*) nanometrskih dimenzij. Te strukture smo ugotovili v sredini grafitnih plasti, kakor tudi na fazni meji C/Ta. Njihove valovne dolžine so bile med  $18,0 \pm 4,0$  nm in  $31,4 \pm 4,0$  nm in njihove amplitude med  $1,0 \pm 0,2$  nm in  $4,9 \pm 0,2$  nm. Hrapavost  $R_a$ , pomerjena na področju  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ , je bila med  $0,4 \pm 0,1$  nm in  $1,6 \pm 0,1$  nm. V nasprotju s pričakovanji, največje valovite periodične strukture nastanejo pri jedkanju z ioni pri velikem vpadnem kotu, to je 71°. Z vrtenjem vzorcev smo preprečili nastanek periodične strukture, namesto nje pa je na površini grafita nastala fino zrnata otočkasta struktura.

## PRIMJENE PIXE METODA ZA ANALIZU OBJEKATA KULTURNE BAŠTINE

Vladan Desnica, Stjepko Fazinić, Željko Pastuović, Milko Jakšić  
*Laboratorij za interakcije ionskih snopova, Zavod za eksperimentalnu fiziku  
Insitit Ruđer Bošković, Bijenička 54, P.P. 180, 10002 Zagreb, Hrvatska*

Aktivnosti Laboratorija za interakcije ionskih snopova na Institutu Ruđer Bošković u području istraživanja objekata kulturne baštine traju već 20-tak godina, pri čemu se od metoda analize ionskim snopovima najviše koristi PIXE (Particle Induced X-Ray Emission) sa standardnim snopom i nuklearna mikroproba. Uz nedestruktivnost, univerzalnost primjene ovih metoda pokazana je na nizu provedenih istraživanja na različitim vrstama uzoraka. Najnovije primjene uključuju karakterizaciju metalnih niti s crkvenog ruha iz 17. stoljeća, analizu anorganskih pigmenta slikara Hansa Georga Gaigera, proučavanje porijekla i elementne distribucije u glazurama kineske keramike Tang Sancai te analizu uzoraka metala antičke skulpture Apoxyomenos. Nadalje, u Laboratoriju je u tijeku izgradnja nove izlazne stanice snopa iona koja će omogućiti kako nedestruktivnu, tako i neinvazivnu analizu objekata na zraku (external line PIXE). U tu svrhu, pomoću tankih izlaznih prozora ionski snop se tik pred metom izvlači iz vakuumiranog okruženja, što omogućuje analizu niza raznolikih predmeta, neovisno o njihovoj veličini ili obliku. U slučaju da su objekti preveliki ili preosjetljivi da bi se prenijeli u laboratorij te za potrebe preliminarnih elementnih karakterizacija na terenu koristi se prijenosni uređaj za analizu rengenkom fluorescencijom (XRF).

## VPLIV HLADNE DEFORMACIJE NA REKRISTALIZACIJO IN ELEKTROMAGNETNE LASTNOSTI ELEKTROPLOČEVINE

Križaj Ažbe<sup>1</sup>, Monika Jenko<sup>1</sup>, Peter Fajfar<sup>2</sup>, Martin Jeram<sup>3</sup>, Filip Marinšek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija*

<sup>2</sup>*Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za materiale in metalurgijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija*

<sup>3</sup>*ACRONI, d. o. o., Jesenice, Slovenija*

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv skupne hladne deformacije, temperature žarjenja in kritične hladne deformacije na elektromagnetne lastnosti elektro pločevin.

Žarjenje, pri različnih temperaturah je potekalo v zaščitni atmosferi suhega vodika. Z poizkušanjem smo določili čase potrebne za potek rekristalizacije. Temu je sledilo hladno valjanje za doseg kritične deformacije. Po valjanju smo pločevino žarili po postopku, kot ga zahtevajo mednarodni standardi za izdelavo elektropločevine. Zaradi težav, ki so se pojavile pri hladnem valjanju, nismo mogli izmeriti elektromagnetnih lastnost po standardnih postopkih. Zato smo se odločili, da le te določimo na podlagi merjenja orientacij zrn, saj vemo da želimo imeti čim več zrn z kristalno lego (100). Za te meritve smo uporabljali metodo uklona povratno sipanih elektronov (EBSD). Izbrali smo pločevino, ki je bila žarjena pri 680°C in tako smo opazovali le vpliv kritične hladne deformacije na število zrn z zeleno orientacijo. Ugotovili smo da se z nižanjem stopnje deformacije večja število zrn z orientacijo (100), kar pomeni da naj bi pločevina z nižjo stopnjo hladne kritične deformacije imela boljše elektromagnetne lastnosti.

## **DOLOČANJE GEOMETRIJSKIH FAKTORJEV VIDNOSTI V VAKUUMSKI PEČI**

Anton Jaklič, Franci Vode, Barbara Brezovec  
*IMT Ljubljana, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenia*

Toplotno sevanje je glavni mehanizem prenosa toplote v vakuumskih pečeh. Za izračun toplotnega sevanja v peči je potrebno poznavanje geometrijskih faktorjev vidnosti med posameznimi ploskvami pečnega prostora. Geometrijski faktor vidnosti govori o tem, kolikšen delež toplotnega sevanja, ki ga seva ploskev, se prenese na drugo ploskev, in je odvisen od medsebojne lege ter velikosti posameznih ploskev. V literaturi obstajajo analitični izračuni za posamezne enostavne geometrijske oblike. V praktičnih primerih peči se srečujemo s kompleksnejšimi primeri geometrij, kjer se nekatere ploskve med seboj ne »vidijo«, nekatere se »vidijo« le delno, zaradi emisivnosti sten in vložka v peči, ki je manjša od 1, pa nastopajo tudi večkratni odboji sevanja.

V prispevku je prikazan splošen algoritem za določitev geometrijskih faktorjev vidnosti za poljubno kompleksno geometrijo pečnega prostora, ki je sestavljena iz pravokotnih ploskev. Algoritem temelji na statistični simulacijski metodi Monte Carlo. Predstavljen je algoritem za sledenje posameznih fotonov v pečnem prostoru z upoštevanjem odbojev.

Prikazan je uporabljen algoritem za iskanje točke trka fotona s ploskvijo na osnovi izločitvenih kriterijev. Ker gre za statistično metodo, je predstavljen tudi način določanja negotovosti izračunanih geometrijskih faktorjev vidnosti.

Metoda je bila vrednotena na primeru enostavne geometrije, za katero obstaja analitična rešitev. Prikazan je tudi vpliv izbranega števila fotonov na negotovost izračuna geometrijskih faktorjev vidnosti.