

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/69



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	P2-0082
<b>Naslov programa</b>	Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin TankThin-film structures and plasma surface engineering
<b>Vodja programa</b>	10429 Miran Mozetič
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	51259
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2014
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

#### 2. Povzetek raziskovalnega programa<sup>1</sup>

SLO

Raziskovali smo interakcijo med plini v termično neravnovesnem stanju in površinami trdnih snovi. Za obdelavo materialov smo uporabili šibko in močno ionizirano plinsko plazmo kakor tudi zgodnjo in pozno porazelektritev. Šibko

ionizirano plazmo in njeno porazelektritev smo uporabili za krojenje površinskih lastnosti polimerov in polimernih kompozitov kakor tudi za obdelavo bioloških celic in tkiv. Rezultati bazičnih raziskav so omogočili razvoj tehnik za modifikacijo morfoloških značilnosti, funkcionalizacijo in selektivno jedkanje obdelovancev, ki so primerne za sterilizacijo občutljivih materialov, izboljšan oprijem različnih funkcionalnih nanosov in odlično biokompatibilnost kardiovaskularnih vsadkov. Zmerno in močno ionizirano plinsko plazmo smo uporabili za jedkanje različnih materialov od plasti hidrogeniranega vodika v sodobnih fuzijskih reaktorjih do kovinskih in drugih anorganskih materialov. Slednji postopek smo uporabili kot osnovo za nanos trdnih prevlek na kovinske podlage. Opravili smo podrobne preiskave izvora nepravilnosti, ki pogosto nastanejo v trdnih zaščitnih prevlekah. Razumevanje izvora je omogočilo bistveno zmanjšanje tega pojava in s tem razvoj postopkov za nanos izredno kakovostnih nanostrukturiranih trdnih zaščitnih prevlek. Površine in tanke plasti smo analizirali z vrhunskimi sodobnimi tehnikami, kar je omogočilo dobro razumevanje vpliva parametrov obdelave na kakovost tankih plasti in funkcionalnih lastnosti površin. Obsežno sodelovanje z industrijo je omogočilo razvoj tehnologij, ki so primerne za masovno uporabo v proizvodnji. Izvirne tehnološke pristope smo zaščitili s preko 10 patentnimi prijavi, znanstvene dosežke pa objavili v preko 200 člankih. O rezultatih naših raziskav smo poročali preko različnih medijev vključno s preko 80 vabljenimi predavanji na mednarodnih konferencah in tujih univerzah in raziskovalnih inštitutih.

ANG

Interaction between non-equilibrium gaseous media and solid materials has been studied. The media included weakly and highly ionized gaseous plasma as well as early and late flowing afterglows. Weakly ionized plasma and its afterglow was created in reactive gases in order to create a medium suitable for tailoring surface properties of polymers and polymer composites, as well as modification of biological cells and tissues. The results enabled development of techniques for modification of surface morphology, functionalization and selective etching suitable for various applications such as sterilization of delicate materials, enhanced printability, biocompatibility of cardiovascular implants and deposition of protective functional coatings. Moderately and highly ionized gaseous plasma was used for etching of various materials from hydrogenated carbon deposit in fusion reactors to metallic samples. The plasma-assisted deposition of inorganic coatings has been used in order to develop methods for depositing hard coatings of excellent properties onto metallic substrates. Detailed study on the origin of defect in such coatings enabled deposition of almost defect-free nanostructured coatings. Advanced techniques for surface and thin film characterization have been applied in order to reveal the influence of processing parameters on the quality of surface finish and thin films. Extensive collaboration with industry enabled development of technologies suitable for mass production. The technologies have been protected by over 10 different patent applications while the scientific results have been published in over 200 papers and disseminated by various means including over 80 invited lectures at international conferences and workshops as well as reputable universities.

### **3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)<sup>2</sup>**

SLO

Raziskovali smo značilnosti šibko in močno ionizirane plazme. Najšibkejšo plazmo, v kateri stopnja ioniziranosti ne doseže  $1E-6$ , smo uporabili za sterilizacijo delikatnih biomedicinskih materialov. Plazmo s stopnjo ioniziranosti do 0,01% smo uporabljali za sintezo nanodelcev na kovinskih filmih, medtem ko smo visoko ionizirano plazmo z stopnjo ioniziranosti preko 1% uporabili za depozicijo različnih tankih plasti.

Uporaba visoko ionizirane plazme pogosto vodi k nastanku različnih defektov, posebej še v prevlekah, nanesenih s PVD postopki. Natančno smo preučili razloge za nastanek tovrstnih defektov v izbranih sistemih. Poleg eksperimentov v naših plazemskih sistemih smo opravili karakterizacijo plazme v mnogih velikih plazemskih reaktorjih v tujini. Zmerno do močno ionizirana plazma z veliko gostoto ali kinetično energijo ionov predstavlja primerno orodje za jedkanje različnih materialov in posledično depozicijo materialov v obliki tanke plasti na različne podlage. Ker koeficienti razprševanja niso vselej poznani, smo opravili sistematične meritve na različnih materialih, posebej ogljik vsebujočih materialih kot so karbidi in polimeri. Meritve smo opravljali pri različnih vpadnih kotih curka argonski ionov. Pri nekaterih materialih smo ugotovili pomembna odstopanja naših rezultatov od teoretičnih predvidevanj in odstopanja tudi pojasnili. Razprševanje kakor tudi druge postopke atomizacije trdne snovi smo uspešno uporabili za nanos tankih plasti. Največjo pozornost smo posvetili nanosu plasti z vsebnostjo aluminija. Tovrstne prevleke za orodja namreč še posebej zanimajo enega od naših industrijskih partnerjev. Raziskovali smo difuzijo elementov v tankih zaščitnih in dekorativnih plasteh. Med drugim smo uspeli sintetizirati supernitridne prevleke modre barve, za kar smo prejeli zlato medaljo na mednarodnem orodjarskem sejmu. V tesnem sodelovanju s partnerji iz EU programa EURATOM smo jedkali depozite hidrogeniranega vodika iz fuzijskih reaktorjev z neravnovesnimi stanji plina. Pomembno odkritje o sinergijskih efekih različnih nevtralnih reaktivnih neravnovesnih delcev smo objavili v prestižni fizikalni reviji. Podobno sinergijo smo opazili tudi pri plazemskem inženirstvu organskih materialov, saj je vrsta in koncentracija funkcionalnih skupin močno odvisna od gostote toka različnih radikalov na površino organskih materialov, tako umetnih žil kot tudi bioloških celic. Plast hitozana na površini umetnih žil povsem spremeni afiniteto do sinteze nekaterih vrst funkcionalnih skupin. Modifikacija anorganskih materialov je precej manj odvisna od tovrstnih sinergij, kljub temu pa smo opazili defekte, ki so posledica neoptimiziranih plazemskih postopkov. Posebej to velja za nanos prevlek na osnovi ogljika. Vpliv ionskega jedkanja je slabo poznan za tanke plasti, ki temeljijo na nitridnih spojinah, zato smo sistematično izmerili koeficiente ionskega jedkanja v teh plasteh za Ar ione energije 1 keV. V teh plasteh smo ugotovili veliko kotno odvisnost koeficientov jedkanja in da so ti koeficienti večji v nitridnih plasteh z težjimi kovinskimi elementi kot v nitridnih plasteh, kjer je vezan lahek kovinski element. Pri višjih energijah ionskih curkov je pomembno ionsko mešanje, kar smo preiskali v večplastni strukturi nitridnih plasti  $5x(\text{AlN}/\text{TiN})/\text{Si}$ . Ugotovili smo zelo visoko stabilnost te večplastne strukture za ionsko mešanje po obdelavi z visokoenergijskimi ioni Ar. Pri študiju difuzije v tankoplastnih strukturah kompleksnih kovinskih zlitin Al/Cr, Cr/Fe Al/Cr in Al/Fe smo modelirali difuzijske procese in vplive meritve z modelom MRI ter iz primerjave med teoretično in izmerjeno porazdelitvijo elementov po difuziji, izračunali difuzijske koeficiente in energije. Postopki plazemskega inženirstva površin nam

omogočajo, da dosežemo sinergijo lastnosti podlage in prevleke. Tako lahko bistveno izboljšamo lastnosti orodij. V preteklem obdobju je bilo raziskovalno delo usmerjeno tudi v razvoj nanostrukturnih trdih prevlek na osnovi AlTiN in TiN, ki so primerne za zaščito rezalnih orodij za obdelavo zelo trdih in žilavih materialov. Optimizirali smo prevleko TiAlN, da zmanjša prepustnost za vodik za štiri rede velikosti. Podrobneje smo tudi posvetili povezavi med gostoto defektov in korozijsko obstojnostjo trdih prevlek. Nadalje smo raziskovali diamantu podobne prevleke, nanesene z anodnim ionskim izvirom. Naredili smo kompletno karakterizacijo sistema in ugotovili, kakšni so optimalni pogoji nanašanja za različne aplikacije. V sodelovanju z znanstvenim centrom Joanneum iz Leobna, Avstrija, smo raziskovali tudi jedkanje različnih diamantu podobnih prevlek. Z ustreznimi metodami za preiskavo površin in tankih plasti (XPS, AES, SEM, AFM, FRIR, RS) smo določili specifično interakcije plazemskih radikalov s površino obdelovancev tako za ogljikove materiale, ki so zanimivi za fuzijsko orientirane raziskave, kakor tudi za polimerne materiale, ki se uporabljajo za umetne žile. V sodelovanju s polimernim centrom v Zlinu, Češka, in Le Mansu, Francija ter z Laboratorijem za oksidacijski stres celic na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu, smo opravili obsežne raziskave biokompatibilnosti polimerov oplaščenih s fukoidanom, albuminom in heparinom, ki kažejo na zapleten mehanizem adsorpcije in konformacije krvnih proteinov na tako pripravljenih materialih. Elektronske lastnosti in kemične interakcije med tanko organsko plastjo in silicijevo podlago smo preiskali na faznih mejah treh različnih aminosilanskih materialov (APTMS, APRDMS, APREMS), ki smo jih v obliki molekularnih plasti (12 nm) pripravili na Si kristalu z namenom modifikacije silicijeve površine za selektivno adsorpcijo nekaterih plinov. Študirali smo vpliv števila adsorpcijskih mest v aminosilanskih molekulah na potek reakcije in ugotovili, da najučinkovitejšo depozicijo dosežemo z APTMS aminosilanskimi molekulami. Pri nekaterih pogojih priprave vzorcev smo ugotovili nezaželen pojav polimerizacije silanov.

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

SLO

Program je bil v celoti izpolnjen in zastavljeni cilji doseženi. Naslednje aktivnosti so bile realizirane in objavljene v znanstvenih člankih:

- karakterizacija hladne kisikove plazme in neravnovesnega plina;
- karakterizacija plazme v različnih evropskih fuzijskih laboratorijih;
- določitev optimalnih plazemskih parametrov za modifikacijo umetnih žil;
- optimizacija večplastnih struktur za dosego nanostrukturnih efektov;
- analiza vzroka defektov v PVD-prevlekah;
- razvoj zaščitnih prevlek na aluminijevih podlagah;
- meritve razpršitvenega koeficienta karbidov in polimerov pri različnih vpadnih kotih ionov;
- jedkanje plasti hidrogeniranega ogljika z neravnovesnim plinom;
- nanos hitozana na umetne žile;

plazemsko inženirstvo organskih materialov s selektivnimi funkcionalnimi skupinami;  
raziskave prepustnosti nitridnih prevlek za vodik;  
meritve razpršitvenih koeficientov nitridov pri različnih vpadnih kotih ionov;  
raziskave hitrosti in selektivnosti jedkanja obstoječih CFC-materialov za divertor fuzijskih reaktorjev;  
nanos nitridnih prevlek na nizkolegirana jekla;  
optimizacija vodikovih zapornih plasti;  
izboljšanje oprijemljivosti prevlek AlCuFe in AlMgB na kovinskih podlagah;  
meritve razpršitvenega koeficienta tankih plasti organskih materialov;  
primerjava rezultatov preiskav organskih materialov, dobljenih z mikroskopijo z rentgenskimi žarki in fluorescenčno mikroskopijo.  
sistematične meritve rekombinacijskih koeficientov na fuzijsko relevantnih materialih;  
plazemska modifikacija organskih materialov za selektivno vezavo krvnih celic;  
uporaba vodikovih zapornih prevlek za plinske jeklenke;  
optimizacija lastnosti prevlek AlCuFe;  
optimizacija razpršitvenih parametrov za merjenje globinskih profilov tankih organskih plasti;  
raziskave interakcije in elektronskih značilnosti na meji kovina/organski material;  
raziskava vpliva temperature podlag na tvorbo urejenih nanostruktur;  
modifikacija oddaljenega plazemskega izvira za specifične potrebe fuzijskega reaktorja ITER;  
raziskave rasti endotelijskih celic na umetnih žilah;  
modifikacija podlag za selektivno rast fibroblastnih celic;  
razvoj samomazivnih površinskih plasti, ki temeljijo na diamatu podobnem ogljiku;  
implementacija prevlek AlCuFe za postopke preoblikovanja v vročem;  
modeliranje globinskih profilov;  
plazemska modifikacija organokovinskih heterostruktur;  
uporaba urejenih nanostruktur podlag za usmerjeno rast nanoplasti.  
rezultati raziskav o dolgoročni stabilnosti umetnih žil;  
priprava nitridnih prevlek na ogljikovih kompozitih;  
razvoj nanokompozitnih prevlek nitrid/DLC;  
optimizacija razpršitvenih parametrov za globinsko analizo organskih tankih plasti.

**5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014<sup>4</sup>**

SLO

Skladno z znanstvenimi usmeritvami programa P2 – 0082 smo dodatna sredstva v letu 2014 v višini 259 ur porabili za dodatne preiskave tankih plasti anorganskih vzorcev z metodama AES in XPS. Vzorce trdnih prevlek smo pripravili s postopkom plazemskega nanosa na izbrane podlage. Izmerili smo elektronske spektre, ki jih zajamemo ob

vzbujanju površine materiala z elektroni iz primarnega izvira, s čimer smo določili sestavo v površinski plasti, iz katere izhajajo Augerjevi elektroni. Vzorce smo jedkali z eno ali dvema argonskima puškama in sproti merili elektronske spektre, s čimer smo določili sestavo tanke plasti, predvsem gradiente koncentracije izbranih atomov. Obenem smo opravili simulacije radiacijskih poškodb, ki so posledica obstreljevanja površine vzorcev z argonskimi ioni, s čimer smo dosegli optimalno globinsko ločljivost. Metodo smo uporabili za karakterizacijo električno prevodnih materialov in polprevodnikov. Za neprevodne materiale smo uporabili alternativno tehniko rentgenske fotoelektronske spektrometrije. V teh primerih smo vzorce vzbujali z monokromatizirano svetlobo z energijo fotonov okoli 1000 eV, ki povzročijo na površini vzorcev fotoefekt. Z natančnim hemisferičnim elektronskim analizatorjem smo zajemali spektre, prav tako pa smo izvedli analize posameznih spektralnih vrhov, s čimer smo določili tudi strukturo površinske plasti debeline nekaj nanometrov. Posebno pozornost smo posvetili dekonvoluciji vrhov, posebej ogljika, kar je omogočilo določitev specifičnih funkcionalnih skupin na površini vzorcev. Izgubo elektronov, ki je posledica fotoefekta, smo nadomestili z izviro nizkoenergetskih elektronov, ki ne popačijo spektra fotoelektronov, omogočijo pa nevtralizacijo površine in s tem optimalno energijsko ločljivost. Večji del vzorcev je pomemben za slovensko industrijo.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>5</sup>

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	24120615	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zmanjševanje zadrževanja tritija v odročnih predelih ITERja z vpihavanjem reaktivnega plina
		ANG	Suppression of tritium retention in remote areas of ITER by nonperturbative reactive gas injection
	Opis	SLO	Člani programske skupine smo v zadnjih 5 letih objavili preko 250 SCI člankov, več kot polovico v 1. četrtini. Z oznako A" se jih ponaša preko 30. Med znanstvenimi dosežki navajamo zgolj najbolj reprezentativne. Ta članek je bil objavljen v prestižni fizikalni reviji s faktorjem vpliva preko 7. V sodelovanju s partnerji iz evropskih fuzijskih centrov v okviru programa EURATOM smo opisali pomembne sinergijske učinke, ki vodijo k močnemu zmanjšanju vezave radioaktivnega tritija v plasteh hidrogeniranega ogljika.
		ANG	Members of research program have published over 250 SCI papers in last five years, over half are assigned A'. Over 30 papers are assigned A". Within scientific achievements we list typical ones only. The paper was published in a prestigious physical journal with impact factor over 7. In collaboration with a couple of foreign European fusion centres we managed to suppress the tritium retention using synergistic effects of plasma particles produced from reactive gases.
	Objavljeno v	American Physical Society; Physical review letters; 2010; Vol. 105, no. 17; str. 175006-1-175006-4; Impact Factor: 7.621; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A": 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Tabarés Francisco L., Ferreira Jose, Rooij G. van, Rooij G. van, Rapp J., Drenik Aleksander, Mozetič Miran	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	26571303	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Plazemska sinteza SiO <sub>2</sub> nanotočk in spontana organiziranost zaradi električnega naboja
		ANG	Nanoherding : plasma chemical synthesis and electric charge driven self organization of SiO <sub>2</sub> nanodots

Opis	SLO	Odkrili smo postopek za sintezo urejenih struktur nanopik silicijevega oksida in njihove spontane ureditve na površini silicijeve podlage preko fizikalnih procesov, ki so posledica porazdelitve površinskega naboja. Postopek temelji na uporabi kemijsko reaktivne kisikove plazme, ki omogoča lokalizirano oksidacijo, prerazporeditev nanopik na površini obdelovanca in v končni fazi tudi nastanek skupkov tovrstnih nanostruktur. Tovrstno obnašanje smo pojasnili z vplivom električnega polja na kinetiko površinskih procesov.	
	ANG	We reported on the chemical synthesis of the arrays of silicon oxide nanodots and their selforganization on the surface via physical processes triggered by surface charges. The method based on chemically active oxygen plasma leads to the rearrangement of nanostructures and eventually to the formation of groups of nanodots. This behaviour is explained in terms of the effect of electric field on the kinetics of surface processes. The direct measurements of the electric charges on the surface demonstrate that the charge correlates with the density and arrangement of nanodots within the array.	
Objavljeno v	American Chemical Society; The journal of physical chemistry letters; 2013; Vol. 4, issue 4; str. 681-686; Impact Factor: 6.687; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; A': 1; WoS: EI, NS, PM, UH; Avtorji / Authors: Levchenko Igor, Cvelbar Uroš, Modic Martina, Filipič Gregor, Zhong Xiaoxia, Mozetič Miran, Ostrikov Kostya		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	27395879	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Odstranjevanje krvnih proteinov v zgodnjem in poznem porazelektrivnem delu reaktorja s kisikovo plazmo	
	ANG	Etching of blood proteins in the early and late flowing afterglow of oxygen plasma	
Opis	SLO	Pomembna aktivnost programske skupine je usmerjena na hitro rastoče področje interdisciplinarnih znanosti - plazemsko biomedicino. V tem članku, ki je bil objavljen v prestižni reviji s področja plazemskega inženirstva polimerov, smo pokazali možnosti čiščenja polimernih katetrov z uporabo nevtralnih kisikovih atomov, katerih izvir je brezelektrodna nizkotlačna plinska razelektreitev. Pokazali smo, da kisikovi atomi popolnoma odstranijo ostanke krvnih proteinov, lastnosti katetra pa ostanejo nespremenjene.	
	ANG	An important activity of the program group is devoted to a rapidly growing field of interdisciplinary research - plasma biomedicine. This particular paper was published in a prominent journal specialized in plasma surface engineering of polymers. We showed clearly that even traces of blood proteins can be removed from surfaces of catheters using neutral oxygen atoms which are created by lowpressure electrodeless gaseous discharges. The treatment is benign to catheters themselves so the method is suitable for application in medical praxis.	
Objavljeno v	Wiley-VCH.; Plasma processes and polymers; 2014; Vol. 11, no. 1; str. 12-23; Impact Factor: 2.964; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.752; A': 1; WoS: UB, UF, UK, UY; Avtorji / Authors: Vesel Alenka, Kolar Metod, Recek Nina, Kutasi Kinga, Stana-Kleinschek Karin, Mozetič Miran		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
4.	COBISS ID	27288615	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Nastanek defektov v trdih PVD prevlekah, pripravljenih z različnimi	

		postopki nanašanja
	ANG	Growth defect density in PVD hard coatings prepared by different deposition techniques
Opis	SLO	Pri magnetronskem naprševanju se material nanaša samo na tiste podlage, ki so v vidnem polju podlag. V industrijskih sistemih za nanašanje tankih plasti so podlage namestijo na mizo, ki izvaja vrtenje, podobno planetarnemu vrtenju. Vrtenje in pozicije tarč določajo enakomernost nanosenega materiala. V članku smo uporabili računalniško simulacijo rasti tankih plasti, ki smo jo razvili za industrijski naprševalnik s planetarnim vrtenjem. S simulacijo smo študirali vpliv rotacije in postavitve tarč na rast tankih plasti ter na enakomernost nanosa. Rezultati simulacij so pokazali, da zelo periodični načini vrtenja, ki so odvisni od prestavnega razmerja vrtljive plošče in premične vzmeti, povzročijo velike neenakomernosti, tako v debelini kot v kemijski sestavi večplastnih prevlek. Manj periodični načini vrtenja izboljšajo enakomernost nanosa, čeprav se pri določenih parametrih vrtenja lahko pojavijo velike razlike v enakomernosti nanosa. Simulacija je pritegnila zanimanje raziskovalcev in podjetij ter omogočila podpis raziskovalne pogodbe z enim od večjih proizvajalcev PVDsistemov. Ker je naša raziskovalna skupina ena vodilnih v svetu na področju diagnostike defektov, je imel na to temo sodelavec dr. Peter Panjan vabljen na mednarodni konferenci o tankih plasteh v San Diegu, ZDA.
	ANG	In magnetron sputtering the material is sputtered from a target and deposited on the areas of substrates that are in the lineofsight of the vaporization source. In industrial deposition systems the substrates are normally fixed on a turntable, which performs a planetarytype of rotation. In this work, our previously developed simulation of coating growth in an industrial deposition system with a planetary type of rotation has been used to analyze the influence of the rotation and target arrangement on the uniformity and periodicity of layered coatings. Results of simulations show that highly periodic modes of rotation, which are determined by the turntable gear ratio and the switch angle, cause large nonuniformities both in the thickness and the composition of layered coatings. On the other hand, less periodic modes of rotation produce better coating uniformity although for certain rotation parameters significant nonuniformities may also occur. The simulation has attracted interest of researchers and several companies, and resulted in signing a research contract with one of the largest manufacturers of PVD systems for deposition of hard coatings. As our research group is one of the world's leading on the topic of growth defect diagnostics, our coworker Dr Peter Panjan had an invited lecture at the International Conference of Metallurgical Coatings and Thin Films in San Diego, USA.
Objavljeno v		Elsevier Sequoia; Proceedings of the 40th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, 29 April 3 - May 2013, San Diego, California; Surface & coatings technology; 2013; Vol. 237; str. 349-356; Impact Factor: 2.199;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.361; A': 1; WoS: QG, UB; Avtorji / Authors: Panjan Peter, Gselman Peter, Kek-Merl Darja, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Dražić Goran, Bončina Tonica, Zupanič Franc
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	26326567   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Rast amorfnе plasti SiC na Si z metodo mešanja z ionskim curkom
		ANG Growth of amorphous SiC film on Si by means of ion beam induced mixing



Opis	SLO	Na fazni meji v tankoplastni hibridni strukturi C/Si/C/Si/C/Si smo z ionskim curkom na fazni meji Si/C kontrolirano formirali novo fazo, to je SiC. Med obstreljevanjem z ionskim curkom je prišlo do asimetričnega mešanja atomov C in Si, pri čemer je zreagiralo del atomov v amorfnu fazo SiC. Ugotovili smo parametre kontrolirane rasti SiC plasti.
	ANG	Focused ion beam induced mixing was studied in a hybrid C/Si/C/Si/C/Si multilayer structure, where amorphous SiC thin film with thickness in the nanometer range was produced. The ion irradiation induced a slightly asymmetric intermixing of the top C and Si layers. During ion mixing, part of the intermixed C and Si atoms reacted, forming amorphous SiC. The amount of SiC depends on the square root of the ion fluence.
Objavljeno v	North-Holland; Applied Surface Science; 2012; Vol. 263; str. 367-362; Impact Factor: 2.112; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.172; A'': 1; A': 1; WoS: EI, QG, UB, UK; Avtorji / Authors: Barna Árpád, Gurban Sandor, Kotis László, Lábár János L., Sulyok Attila, Tóth Attila L., Menyhárd Miklós, Kovač Janez, Panjan Peter	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

### 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	258659584	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Priprava novih neadhezivnih materialov za potrebe specifičnih raziskav s področja neurodegenerativnih bolezni	
	ANG	Development of new anti-bioadhesive surfaces for specific neurodegenerative agents	
Opis	SLO	Izobraževanje mladih raziskovalcev, tako MRjev kot ostalih, sodi med prednostne aktivnosti naše programske skupine. V zadnjih 5 letih je v naši skupini pod mentorstvom članov programske skupine doktoriralo preko 10 študentov. Ta doktorat smo izbrali, ker se od mnogih drugih razlikuje po tem, da je bil opravljen hkrati v dveh državah: na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana v Ljubljani in Univerzi du Maine v Le Mansu, Francija. Komplementarnost obeh ustanov je doktorandka izkoristila za obsežne interdisciplinarne raziskave, ki so omogočile razvoj nove tehnike za rokovanje s krvnimi proteini, ki so povzročitelji nevrodegenerativnih bolezni. Odlični rezultati, predstavljeni v tej disertaciji, so neposredno uporabni v medicinski praksi.	
	ANG	Education of young researchers is among priorities of our program group. Well over 10 students defended their PhD theses in past five years. Among them, we selected this particular one since the thesis was prepared within the agreement between a Slovenian and a French University. The defense was organized both at Jožef Stefan International postgraduate school in Ljubljana and Universite du Maine in Le Mans. A novel approach to handling with blood proteins – causes of neurodegenerative diseases has been invented and the methods disclosed in the thesis are suitable for application in medical praxis.	
Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom		
Objavljeno v	[T. Vrlinič]; 2011; XVI, 154 str.; Avtorji / Authors: Vrlinič Tjaša		
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija		
2.	COBISS ID	20346407	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Metoda in naprava za lokalizirano funkcionalizacijo polimernih materialov	

		ANG	Method and device for local functionalization of polymer materials
Opis		SLO	Izvirne tehnološko zanimive postopke in naprave naša programska skupina pogosto zaščiti s patentno prijavo. V zadnjih 5 letih smo prijavi preko 10 patentnih prijav, podeljeni pa so bili 3 evropski ali ameriški patenti. Patent US 8247039 (B2) je podelil ameriški urad 21. avgusta 2012, prioritete pravice pa izhajajo iz mednarodne (PCT) prijave iz leta 2005. Patent ščiti originalno metodo, ki temelji na plazemski obdelavi celotne površine polimernega izdelka, del površine pa naknadno obdelamo z usmerjenim curkom energetskih elektronov, s čimer povzročimo lokalizirano defunkcionalizacijo. Kombinacija obeh metod torej zagotavlja domala poljubno porazdelitev površinskih funkcionalnih skupin na mikrometerskem nivoju.
		ANG	Our programme group often protects original methods or devices of high technological potential with patent applications. We have filed over 10 applications in last 5 years. Three patents have been granted by European or American patent offices, among them this one.  Patent US 8247039 (B2) has been granted by United States Patent and Trademark Office on 21. avg. 2012 (the priority rights date back to 2005). The patent protects an original method based on plasma treatment of entire surface of a product made from a polymer and subsequent treatment with a collimated beam of energetic electrons causing local defunctionalization thus enable for arbitrary distribution of surface functional groups on micrometer scale.
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
Objavljeno v	Washington State University Research Foundation; 2012; 12 str.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Mozetič Miran, Vesel Alenka, Cvelbar Uroš		
Tipologija	2.24 Patent		
3.	COBISS ID	26578727	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Plazma za obdelavo površin na nanonivoju
		ANG	Plasmas for nanoscale Industrial surface processing
Opis		SLO	Programska skupina je v zadnjih 5 letih sodelovana v preko 10 EU projektih. Navedemo zgolj enega. V obdobju 2008-2012 smo uspešno sodelovali v štiriletnem EU FP7 projektu »Atmosferske plazme za nanoskopsko obdelavo površin v industrijskih procesih – PlasmaNice«, (Atmospheric Plasmas for Nanoscale Industrial Surface Processing), (NMPIP 211473), na temo industrijske uporabe atmosferske plazme za obdelavo embalaže in nanašanje organskih prevlek nanometrskih dimenzij. Projekt je združeval 15 evropskih partnerjev med njimi tudi našo skupino. Proračun projekta je bil 5,9 milijona EUR. Rezultat projekta je nova opreme in tehnologija za nanašanje tankih funkcionalnih hibridnih plasti v kombinaciji z zračno plazmo v industrijskem okolju in pri velikih hitrostih na različne podlage, kot so papir in drugi polimerni materiali namenjeni embalaži. Nova tehnologija dobljena pri projektu PlasmaNice bo povečala možnosti recikliranja obstoječih plastičnih materialov za embalažo. Prispevek naše skupine je bila natančna preiskava površin plazemsko nanešenih solgel prevlek, pri kateri smo ugotovili povezave med plazemskimi procesnimi parametri, stopnjo funkcionalizacije površin in debelino ter strukturo plasti.
			Members of program group were partners in over 10 EU projects in past 5 years. Only the following one is described below. In period 2008-2012 we succesfully collaborated in the European FP7 project "Atmospheric plasmas for nanoscale industrial surface processing

		ANG	PlasmaNice". In the project 15 European partners from research and industry areas were involved. The budget of the project was 5.9 millions EUR. The results of the PlasmaNice project are a new equipment and technology for industrial inline deposition of functional coatings on paper and plastic substrates for packaging assisted by atmospheric plasmas. Our group carried out precise surface characterization of plasma deposited solgel coatings using XPS, AFM and TOFSIMS methods. We determined the correlation between the plasma process parameters, degree of surface functionalization and thickness of the deposited coatings.
	Šifra	D.01	Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Objavljeno v	s. n.]; 2012; 31 str.;	Avtorji / Authors: Lahti Johanna, Kovač Janez
	Tipologija	2.14	Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)
4.	COBISS ID	24447271	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Trde zaščitne prevleke z možnostjo spreminjanja njihove barve
		ANG	Hard protective colors with the possibility to change their color
	Opis	SLO	Programska skupina je razvila različne tehnologije in izdelke, ki jih danes redno uporabljajo industrijski partnerji. Izbrali smo naslednji dosežek. V splošnem sicer dekorativna funkcija trdih zaščitnih prevlek ni pomembna za obdelovalna orodja, vendar ima barva orodja dodatne prednosti: (1) omogoča vizualno oceno obrabe orodja; (2) uporablja se lahko za identifikacijo orodij; (3) ima estetski videz, ki je lahko prepoznavna blagovna znamka proizvajalca orodij. Zaščitno dekorativno prevleko smo sintetizirali iz nitridnih materialov v industrijski PVDnapravi za nanašanje tankih plasti. Določeno barvo prevleke smo dosegli z interferenčnim učinkom med vrhno plastjo nanoplastne prevleke AlTiN in odbojno plastjo. AlTiN je delno prosojen material v vidnem območju, zato interferenčni efekt ne spremeni barvnega premika ob različnih kotih opazovanja. Na ta način smo pripravili intenzivne modre, vijolične in zelene barve kovinskega sijaja. To smo dosegli z natančno kontrolo debeline in stehiometrije vrhnje plasti, pri čemer nam je bila v pomoč simulacija rasti tankih plasti, ki smo jo predhodno razvili. Barvne prevleke smo nanесли na rezalna orodja različnih oblik, vendar se take prevleke lahko uporabljajo v vseh primerih, kjer je potrebna dekorativna in z aščitna funkcija površine izdelka. Za ta dosežek smo na mednarodnem orodjarskem sejmu Forma tool prejeli zlato priznanje v kategoriji »Izdelki, oprema, postopki in storitve iz podporne dejavnosti orodjarstvu«.
		ANG	The program group has developed various technologies and products nowadays used at by industrial partners. We selected the following one. In general, a decorative function of hard protective coatings is not important for the performance of the tool, however, the color of coating provides several advantages: (1) in the machining process, color of the tool indicates its wear; (2) it can be used to distinguish between the tools; (3) it has an aesthetic appearance and can be a recognizable brand for the tool manufacturer. We developed a protective/decorative coating in an industrialscale deposition system using standard hard coating materials. Color of the coating was obtained using the interference effect between the top layer of nanolayered AlTiN coating and the reflective layer. Since AlTiN is a semitransparent material in the visible range it does not cause significant shift in color with the angle of view and the color has a metallic appearance. In this way intense colors of blue, violet and green were produced by precisely controlling the thickness of the top layer – for this purpose a previously developed simulation of coating growth was used. Coatings were prepared on cutting tools of different geometries but can be applied to any

		application where decorative and protective functionality is required. For this achievement we were awarded in the international tooling fair Forma tool with the golden prize in the category »Tools, equipment, processes and services from tooling support activities«.
Šifra	F.06	Razvoj novega izdelka
Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2012; Avtorji / Authors: Panjan Matjaž, Čekada Miha, Panjan Peter, Matelič Damjan, Mohar Andrej, Sirknik Tomaž, Fišer Jožko	
Tipologija	2.24	Patent
5.	COBISS ID	27360807 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Interakcija ekstremno neravnovesne plinske plazme z organskimi materiali
	ANG	Interaction between extremely non-equilibrium oxygen plasma and organic materials
Opis	SLO	Člani programske skupine so imeli preko 50 vabljenih predavanj na znanstvenih konferencah in tematskih delavnicah, redno pa gostujejo kot predavatelji na različnih univerzah v tujini. Na četrti največji ameriški univerzi je imel vodja programa predavanja za podiplomske študente. Predstavil je osnovne značilnosti neravnovesne kisikove plazme s poudarkom na metodah za doseganje ekstremne neravnovesnosti. Tovrstne plazme so primerne za obdelavo različnih organskih materialov od kompozitov za elektro industrijo do bioloških celic in tkiv. Predstavljeni so bili tudi ustrezni patenti programske skupine, ki so bili podeljeni v različnih državah od ZDA do Japonske.
	ANG	Members of program group gave over 50 invited lectures at international scientific conferences and workshops. They frequently serve as guest lecturers at prominent foreign universities. The programme leader gave lectures at the fourth largest American university. He introduced nonequilibrium gaseous plasma and emphasized methods for achievement extremely nonequilibrium oxygen plasma. Such plasma is suitable for treatment of various organic materials from composites used in electronic industry to biological cells and tissues. He also presented his recent patents granted worldwide from USA to Japan.
Šifra	B.05	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v	University of Illinois, department of Nuclear, Plasma and radiological Engineering; 2013; Avtorji / Authors: Mozetič Miran	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

### 8. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>Z</sup>

Programska skupina je močno vpeta v industrijske raziskave, ki omogočajo razvoj inovativnih tehnologij. V preteklem obdobju je bilo podeljenih 8 patentov, med drugim:

1. JUNKAR, Ita, MOZETIČ, Miran, VESEL, Alenka, CVELBAR, Uroš, Verfahren Zur Behandlung Biomedizinischer Implantate Zur Verbesserung Deren Antithrombogener Eigenschaften patent AT 513072 B1. Wien: Österreichisches Patentamt, 15. feb. 2014. 16 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 22883879] kategorija: 2E (Z1, A", A')

2. MOZETIČ, Miran, VESEL, Alenka, CVELBAR, Uroš. Method and device for local functionalization of polymer materials : patent US 8247039 (B2). Pullman: Washington State University Research Foundation, 21. avg. 2012. 12 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 20346407] kategorija: 2E (Z1, A", A')

3. PRIMC, Gregor, MOZETIČ, Miran. Method for dynamically controlling the density neutral atoms with an active element in a plasma vacuum chamber and a device for treatment of solid materials by using the present method : patent SI23626 A. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 31. jul. 2012. [COBISS.SI-ID 24586279] kategorija: SU (S)

4. ELERŠIČ, Kristina, MOZETIČ, Miran, VESEL, Alenka, PAVLIČ, Janez Ivan, IGLIČ, Aleš, ŽNIDARŠIČ, Andrej, KOŠAK, Aljoša. Metoda za sintezo magnetnih liposomov v električnem polju : patent : SI 23095 (A). Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 15 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 22811431] kategorija: SU (S)

5. VESEL, Alenka, MOZETIČ, Miran. Method and device for measuring ultrahigh vacuum : patent : US 7800376 (B2), 2010-09-21. New York: United States Patent and Trademark Office, 2010. 8 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 18211879] kategorija: 2E (Z1, A", A')

6. MOZETIČ, Miran, VESEL, Alenka, JUNKAR, Ita, CVELBAR, Uroš, STRNAD, Simona. Metoda in naprava za modifikacijo implantatov in umetnih žil iz PET polimera : patent : SI 22608 (A), 2009-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 15 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 21212711]

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>2</sup>

SLO

Programska skupina sodi med vodilne v svetovnem merilu na področju ekstremno neravnovesnih stanj reaktivnih plinov. Postavila je originalno metodo za merjenje koeficientov heterogene površinske rekombinacije nevtralnih plinskih radikalov. Skupina sodi med zelo redke na svetu, ki so sposobne ustvariti izbrano stopnjo disociiranosti plinskih molekul v neravnovesni plazmi neodvisno od parametrov plinske razelektritve. Tovrstno krojenje lastnosti plinske plazme omogoča podrobno preučevanje vloge različnih plazemskih delcev pri površinskih obdelavah trdnih snovi kakor tudi razumevaje sinergijskih učinkov. Naša skupina je razvila izvirno metodo in napravo za merjenje gostote nevtralnih plinskih radikalov z dobro prostorsko in časovno ločljivostjo, kar omogoča optimizacijo obdelave različnih materialov, posebej nanostrukturiranih in tistih za uporabo v biomedicini. Tovrstni pristop je še posebej pomemben pri raziskavah funkcionalizacije površine polimernih materialov, saj omogočajo izbrane vrste nevtralnih radikalov bistveno učinkovitejšo obdelavo kot klasična plinska plazma, ki jo uporablja večina raziskovalnih skupin po svetu. Pravilna izbira plazemskih parametrov omogoča tudi razvoj površinske morfologije na nanometerskem ali podmikronskem nivoju neodvisno od stopnje funkcionaliziranosti površine. Programska skupina je dobro opremljena z vrhunskimi napravami za analizo površin in tankih plasti. Poleg standardnih analitskih tehnik uporablja tudi v svetu malo znane tehnike derivatizacije, ki omogočajo meritve zelo majhnih koncentracij specifičnih funkcionalnih skupin na površinah trdnih snovi. Odlične lastnosti materialov po obdelavi z radikali in neravnovesnih stanj reaktivnih plinov omogočajo bistveno izboljšanje biokompatibilnosti različnih telesnih vsadkov in podlag za gojenje bioloških tkiv.

ANG

The team is a world leading group in the scientific niche of extremely non-equilibrium states of reactive gases. It has established a reliable experimental procedure for measuring the coefficients of heterogeneous surface recombination of neutral radicals. It is one of very few groups worldwide capable of tailoring dissociation fractions of gaseous molecules in non-equilibrium plasma independently from discharge parameters. This allows for studying the roles different types of plasma species play in interaction between gaseous plasma and solid materials, as well as synergistic effects. The group has invented a novel technique for reliable, space and time resolved measurements of neutral radical densities in non-equilibrium gaseous plasma suitable for tailoring surface properties of solid materials, especially nanostructured materials and those applied in biomedicine. Such an approach allows for optimization of surface functionalization of polymer materials since neutral reactive particles often cause richer functionalization with selected functional groups than application of gaseous plasma what is a standard approach. Proper selection of treatment parameters also allows for independent

control of surface functionalities and development of polymer roughness on sub-micrometer and nanometer scale. The group is well equipped with techniques for surface and thin film characterization and apart standard measurements it has been using also derivatization techniques in order to be able to detect minute quantities of specific surface functional groups. Excellent surface properties of treated polymers allow for improved biocompatibility of body implants and scaffolds.

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Programska skupina je vzpostavila plodno sodelovanje z industrijo. Preko 100 slovenskih podjetij ima koristi od raziskav, ki jih opravljamo v okviru programske skupine. Sodelovanje poteka na naslednje načine:

- Svetovanje. Gre za aktivnosti, ki sicer niso razvidne iz raziskovalčeve bibliografije, so pa izredno koristne za našo industrijo. Raziskovalci se domala dnevno pogovarjajo s tehnologi iz industrije in svetujejo ustrezne rešitve. Poleg takšnega neformalnega izobraževanja člani programske skupine organiziramo tudi tehnološke tečaje, najvišja oblika pa so predavanja na Mednarodni podiplomski šoli, kjer je 5 sodelavcev nosilcev predmetov, katerih vsebina je izrazito tehnološka.
- Razvoj tehnologij. Ta aktivnost je pogosto sofinancirana iz javnih sredstev, tako nacionalnih kot evropskih. Člani programske skupine so sposobni opraviti celoten sklop od temeljnih in aplikativnih raziskav do razvoja prototipov in celih industrijskih linij. Inovativne tehnologije običajno zaščitimo z ustreznimi patentnimi prijavi. Največji tovrstni dosežek je postavitev proizvodnje linije v podjetju Kolektor, ki je ena redkih multinacionalk v slovenski lasti. Na segmentu komponent za črpalke za gorivo, ki so izdelane po naši tehnologiji, dosega podjetje preko 70% svetovni delež.
- Storitve. Preko 100 slovenskih podjetij izkorišča storitve našega Centra za trde prevleke. Člani programske skupine razvijemo specifično prevleko glede na potrebe kupcev, obenem pa inovativne prevleke za orodje tudi nanašamo v maloserijski proizvodnji, kjer uporabljamo reaktorje industrijske velikosti.
- Optimizacija proizvodnje. Industrijski plazemski reaktorji običajno niso opremljeni s sodobnimi senzorji za nadzor kakovosti proizvodnje. Raziskovalci naše programske skupine pogosto opravljajo meritve parametrov obdelave in priporočajo optimizacijo glede na dane razmere. Včasih tudi razvijejo in izdelajo ustrezne sisteme za nadzor in krmiljenje ključnih proizvodnih parametrov.
- Rutinske analize. Naša programska skupina izvaja storitve analiz vzorcev iz industrije, posebej z napravami za analize površin in tankih plasti.

ANG

The team has established fruitful collaboration with industry. Over 100 Slovenian industrial partners benefit from research performed by team members. In particular, the following types of collaboration have been established:

- Consulting. This type of services does not appear in researchers' bibliography but is extremely important for industry. The team members are always ready to help industry solve technological problems. Education of staff from industry is also performed formally through organization of technical training courses as well as lecturing at International postgraduate school in Ljubljana where 5 team members serve as professors.
- Development of technologies. This activity is often partially funded by national or international agencies. The research team is capable of performing all steps from basic research and industrial research to validation of prototypes and occasionally even construction of suitable production lines. Innovative technologies are usually protected with appropriate patents. The key achievement is massive production of commutators at Slovenia based Multinational company Kolektor Group, which has reached over 70% of market share in the niche of components for gasoline pumps.
- Services. Over 100 Slovenian companies benefit from the services provided by our Centre of Hard Coatings. Different types of coatings are developed according to specific requirements of industrial partners and small scale deposition on commercial bases is then performed using industrial size reactors for plasma assisted physical or chemical vapour deposition.
- Optimization of production. Industrial plasma reactors often lack appropriate techniques for real time monitoring of processing parameters. The team members often provide techniques for

characterization of key plasma parameters and suggest modification of processing parameters for better efficiency.  
 - Routine characterization of industrial samples. The team members provide services for numerous industrial partners, especially surface and thin film characterization.

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>11</sup>

### 10.1. Diplome<sup>12</sup>

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	
bolonjski program - II. stopnja	
univerzitetni (stari) program	3

### 10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti<sup>13</sup>

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
0	Zoran Vratnica	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Daniela Vujošević	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
26476	Aleksander Drenik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28480	Ita Junkar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18791	Gorazd Golob	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29275	Tjaša Vrlinič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29520	Kristina Eleršič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31618	Rok Zaplotnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32159	Martina Modic	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29536	Srečko Paskvale	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26463	Matjaž Panjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33326	Gregor Primc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33428	Peter Gselman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

**Mag.** - Znanstveni magisterij  
**Dr.** - Doktorat znanosti  
**MR** - mladi raziskovalec

### 11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju<sup>14</sup>

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
26476	Aleksander Drenik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
28480	Ita Junkar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26463	Matjaž Panjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29536	Srečko Paskvale	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29520	Kristina Eleršič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
32159					

	Martina Modic	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
33326	Gregor Primc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
33428	Peter Gselman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B** - gospodarstvo
- C** - javna uprava
- D** - družbene dejavnosti
- E** - tujina
- F** - drugo

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Agelos Mourkas	C - študent - doktorand	3	
0	Harinarayanan Puliyalil	C - študent - doktorand	30	
0	Giorgos Evangelakis	B - uveljavljeni raziskovalec	6	
0	Kostya Ostrikov	B - uveljavljeni raziskovalec	3	
0	Saša Lazović	D - podoktorand	15	
0	Sabu Thomas	B - uveljavljeni raziskovalec	3	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine
- D** - podoktorand iz tujine

## 13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>15</sup>

SLO

COST MP1101 – Atmospheric pressure plasma for biomedical applications, Uroš Cvelbar.  
 COST TP1208 – Discharges in liquids, Uroš Cvelbar.  
 EFDASFA1.4.2. - Removal of Deposits by Oxygen and Nitrogen Atoms, Miran Mozetič.  
 EFDASFA1.4.5. - Plasma Deposition of H:C Metal Coatings, Peter Panjan.  
 WP12TAEXP06/JW12OMHST02 EFDAJET Experimental Campaign, Aleksander Drenik  
 SFERA - Synthesis of nanowires on metals and ceramics by plasma treatment, Alenka Vesel.  
 COST MP0804, Highly Ionised Pulse Plasma Processes, Miha Čekada.  
 STREP - Atmospheric Plasmas for Nanoscale Industrial Surface Processing – PlasmaNice, Janez Kovač 7. OP.  
 Development of wear resistant coatings based on complex metallic alloys for functional applications, Miha Čekada, 7. OP.  
 SFERA - Modification of W-C materials by highly reactive plasma at high temperatures by concentrated solar energy, Alenka Vesel  
 ERA-SME - Application of NANO coatings on the vital cutting edges and forming parts of progressive and transfer tools and milling tools for automotive production, to increase productivity, persistence and longer life time, Peter Panjan.  
 ERA-NET - Hydrogen impermeable nanomaterial coatings for steels, Peter Panjan.  
 EURATOM - Removal of hydrogenated carbon deposits, 7. OP, Miran Mozetič  
 EUREKA - Development of bioactive packaging, Miran Mozetič.



SFERA - Synthesis of carbon nanocones at non-equilibrium conditions at elevated temperature, Alenka Vesel

Bilateralni projekti:

1. Karakterizacija plinske plazme za sintezo nanodelcev, Louisville, Kentucky, A. Vesel
2. Nanos prevlek na plazemsko pripravljene medicinske stente, Podgorica, Črna gora, U. Cvelbar
3. Karakterizacija procesnih plazem s katalitičnimi sondami, Daejeon, Koreja, M. Mozetič
4. Karakterizacija neravnovesnih plazem za modifikacijo nano in biokompatibilnih materialov, Urbana, Illinois, M. Mozetič
5. Visoko nanoporozne nanožice kovinskih oksidov, Louisville, Kentucky, U. Cvelbar
6. Kondicioniranje površine vakuumske posode stelaratorja, Kharkiv, Ukrajina, M. Mozetič
7. Karakterizacija prašnih plazem, Toulouse, Francija, A. Vesel
8. Plazemsko podprta sinteza nanostruktur, Zagreb, Hrvaška, U. Cvelbar
9. Raziskave mikrovalovnih razelektritev za uporabo v biomedicini, Budimpešta, Madžarska, M. Mozetič
10. Plazemska obdelava stentov iz titana, Podgorica, Črna gora, U. Cvelbar
11. Plazemska diagnostika prašne plazme z anodelci, Daejeon, Koreja, U. Cvelbar
12. Meritev interdifuzijskih koeficientov v nanoplastnih strukturah, Shantou, Kitajska, J. Kovač
13. Plazemska sinteza in nanos kvantnih pik, Shanghai, Kitajska, U. Cvelbar
14. Sinteza mehkomagnetnih nanodelcev za biomedicinske aplikacije, Singapore, M. Mozetič
15. Plazemska sinteza in uporaba nanosten, Nagoya, Japonska, U. Cvelbar
16. Nanos in analiza nanostrukturnih trdih prevlek s prirejenimi optičnimi lastnostmi, Praga, Češka, Miha Čekada
17. Nanos prevlek diamantu podobnega ogljika z anodnim ionskim izvirom za tribološke aplikacije, Leoben Avstrija, Miha Čekada
18. Samoorganizirane plazemske strukture v magnetronskem naprševanju, Berkley, ZDA, M. Panjan
19. Študij rastnih defektov v nanoplastnih strukturah, Zagreb, Hrvaška, M. Čekada

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS<sup>16</sup>**

SLO

Vsi ARRS aplikativni projekti skupine so bili sofinancirani s strani industrijskih partnerjev. Spodaj navajamo le tiste večje projekte, ki niso povezani z ARRS projekti.

Raziskovalni vavčer, Okolju prijazno čiščenje vakuumskih komponent za velike sisteme, podjetje Vacutech Ljubljana, Miran Mozetič

Raziskovalni vavčer, Raziskava značilnosti plinske plazme v režah in obnašanja trdih plazemskih nanosov na specialna rezilna orodja, podjetje Kolektor Idrija, Uroš Cvelbar

Raziskovalni vavčer, Študij funkcionalnih lastnosti trdih prevlek v sistemu (Al,Cr)N, podjetje Kovinos d.o.o., Peter Panjan

Raziskovalci na začetku kariere, Zmanjšanje trenja in obrabe orodja z uporabo naprednih maziv in PVD zaščitnih prevlek, Srečko Paskvale

#### **15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)<sup>17</sup>**

SLO

Tehnološka zrelost naših raziskovalnih dosežkov je na različnem nivoju.

Znanje, ki smo ga pridobili na področju trdnih zaščitnih prevlek, redno uporabljamo za izboljšanje tehnološkega procesa nanosa na najrazličnejše izdelke. Orodja, oplemenitena s pri nas razvitimi prevlekami, uporablja preko 100 industrijskih partnerjev iz Slovenije. Postopek zaščite poteka v Centru za trdne prevleke, ki je sestavni del Instituta.

Tehnologijo obdelave ogljikovih kompozitov s kisikovo plazmo, ki smo jo razvili v okviru programske skupine, uporablja podjetje Kolektor Idrija v masovni proizvodnji, ki je leta 2013 preseгла 30 milijonov kosov. Preko 70% novih avtov, izdelanih v svetu v letu 2013, uporablja naše komutatorje. Za ta dosežek smo prejeli Puhovo priznanje leta 2011.

Optimizacija hemokompatibilnosti kardiovaskularnih vsadkov še ni primerna za predklinična testiranja. V kratkem pričakujemo poskuse na modelnih živalih. V kolikor bodo rezultati zadovoljivi, bomo novo tehnologijo, ki je zaščitena s patenti, poskusili tržiti preko večjih proizvajalcev.

Inovativni senzor za karakterizacijo plazme smo zaščitili s patentno prijavo. Konec leta 2014 smo ustanovili odcepljeno (spin off) podjetje Plasmadis d.o.o., ki bo izdeloval in tržil senzorje. Vsi deležniki podjetja smo raziskovalci programske skupine.

**16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali**

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	200.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	Modelne živali za in-vitro teste biokompatibilnosti inovativnih kardiovaskularnih vsadkov

**17. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>19</sup>**

**17.1. Izjemni znanstveni dosežek**

Transport nabitih delcev v magnetronski plazmi

Fizikalni procesi v magnetronski plazmi so dobro poznani. Napetost na katodi pospeši ione proti tarči in povzroči razprševanje atomov ter emisijo sekundarnih elektronov. Elektrone električno polje pospeši stran od katode in jim dovede dovolj energije za nadaljnjo ionizacijo. Raziskave v zadnjih letih so pokazale, da je naše razumevanje magnetronske plazme nepopolno. Slike plazme posnete z navadno fotografsko kamero kažejo homogeno prostorsko porazdelitev sevanja, če pa plazmo posnamemo s kamero, ki ima zelo kratek čas ekspozicije, opazimo nehomogeno porazdelitev. Plazma namreč tvori periodične strukture imenovane ionizacijske cone, ki potujejo s hitrostjo 5-10 km/s. Z različnimi eksperimenti smo pokazali, da ionizacijske cone igrajo ključno vlogo pri transportu nabitih delcev v plazmi. Uredniki revije Plasma Sources Science & Technology so naše raziskave izpostavil na spletni strani: [iopscience.iop.org/0963-0252/labtalk-article/56997](http://iopscience.iop.org/0963-0252/labtalk-article/56997).

## 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Prvič v Sloveniji je bila uvedena nova metoda ToF-SIMS za preiskavo površin

Uvedli smo masno spektroskopijo sekundarnih ionov: ToF-SIMS. Omogoča natančne preiskave strukture površin, še posebej pa je primerna za preiskave organskih materialov kot tudi za preiskave površin anorganskih materialov, kot so kovine, polprevodniki, kompozitni materiali, nanostrukturirani materiali itd. Metoda omogoča zajemanje slik kemijske sestave površin z lateralno ločljivostjo do 50 nm in zajemanje masnih spektrov do 10 000 masnih enot z visoko masno ločljivostjo. Analizna globina nove metode je samo 1 nm, kar jo uvršča med najbolj površinsko občutljive metode. V ToF-SIMS-spektrometru je nasprotno od večine drugih površinsko občutljivih metod mogoče detektirati tudi vodik na površini vzorcev. Z novo pridobitvijo bomo lažje sledili svetovnim usmeritvam pri razvoju, obdelavi in karakterizaciji novih materialov, obenem pa bomo lahko pridobili ustrezne informacije o pri nas razvitih novih materialih.

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

**Podpisi:**

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
matične RO (JRO in/ali RO s  
koncesijo):*

in

*vodja raziskovalnega programa:*

Institut "Jožef Stefan"

Miran Mozetič

**ŽIG**

Kraj in datum:

Ljubljana

2.3.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/69**

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

<sup>14</sup> Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

<sup>15</sup> Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>16</sup> Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>17</sup> Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>18</sup> Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>19</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložitev k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00a  
DB-B5-BF-CE-7E-61-90-2E-0C-8D-1F-7F-00-67-63-B6-52-EC-82-90

## **Priloga 1**

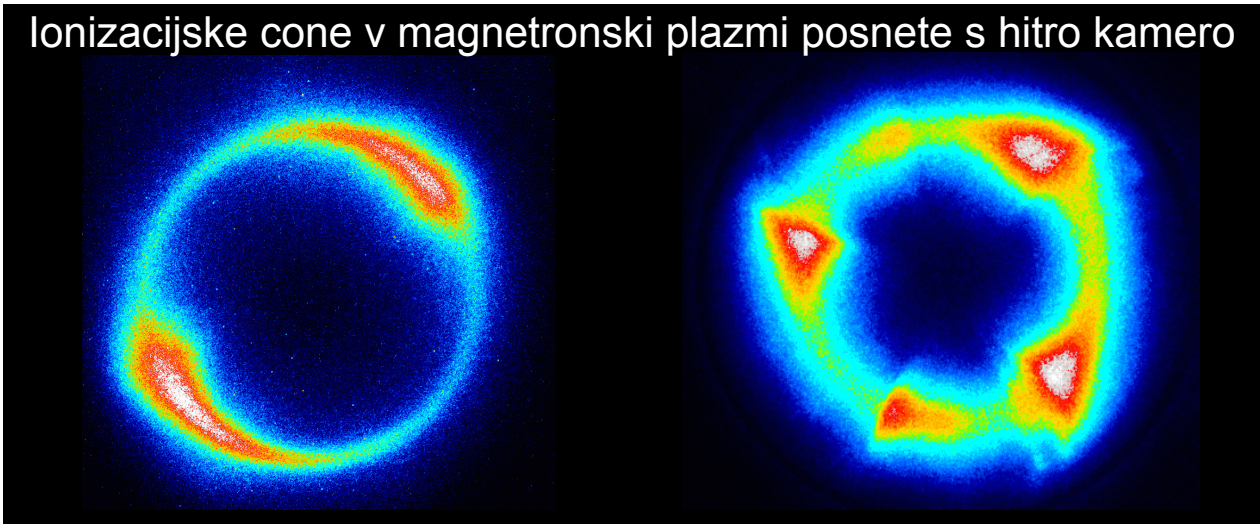
# TEHNIKA

## Področje: 2.04 – Materiali

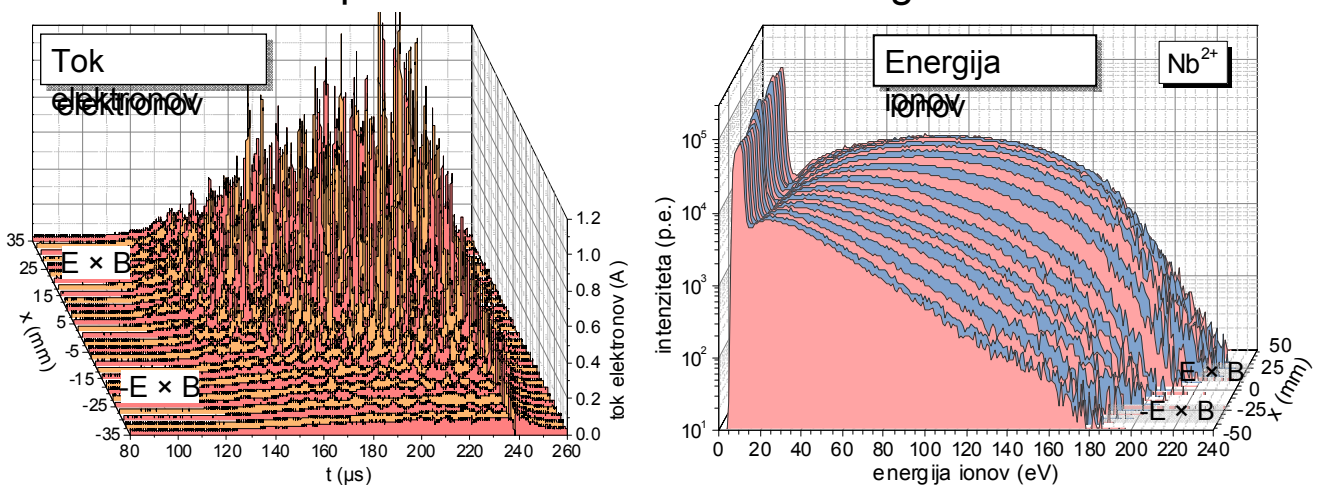
### Dosežek 1: Transport nabitih delcev v magnetronski plazmi

Dosežek je nastal v okviru podoktorskega izpopolnjevanja Dr. Matjaža Panjana na inštitutu Lawrence Berkeley National Laboratory, ZDA. Magnetronsko naprševanje je ena najpogosteje uporabljenih PVD-tehnik za nanašanje tankih plasti v mikroelektroniki, optiki, fotovoltaiiki, tribologiji in drugih področjih. Osnovni procesi v magnetronski plazmi so poznani že desetletja, vendar so raziskave v preteklih letih pokazale, da je naše razumevanje procesov nepopolno. Magnetronska plazma je prostorsko nehomogeno porazdeljena, kar je v nasprotju s preteklimi prepričanji. Plazma namreč ustvari periodične strukture imenovane ionizacijske cone, ki se vrtijo s hitrostjo 5-10 km/s. Z različnimi tehnikami za diagnostiko plazme je Dr. Panjan pokazal, da ionizacijske cone igrajo pomembno vlogo pri transportu nabitih delcev v plazmi. Uredniki revije Plasma Sources Science & Technology so raziskave izpostavili kot ene najzanimivejših na področju sodobnih plazemskih tehnologij: [iopscience.iop.org/0963-0252/labtalk-article/56997](http://iopscience.iop.org/0963-0252/labtalk-article/56997).

Ionizacijske cone v magnetronski plazmi posnete s hitro kamero



Transport nabitih delcev vzdolž magnetrona



Vir: Matjaž Panjan, Robert Franz, Andre Anders, Plasma Sources Sci. Technol., 23 (2014) 025007

Povzetek raziskav: <http://iopscience.iop.org/0963-0252/labtalk-article/56997>

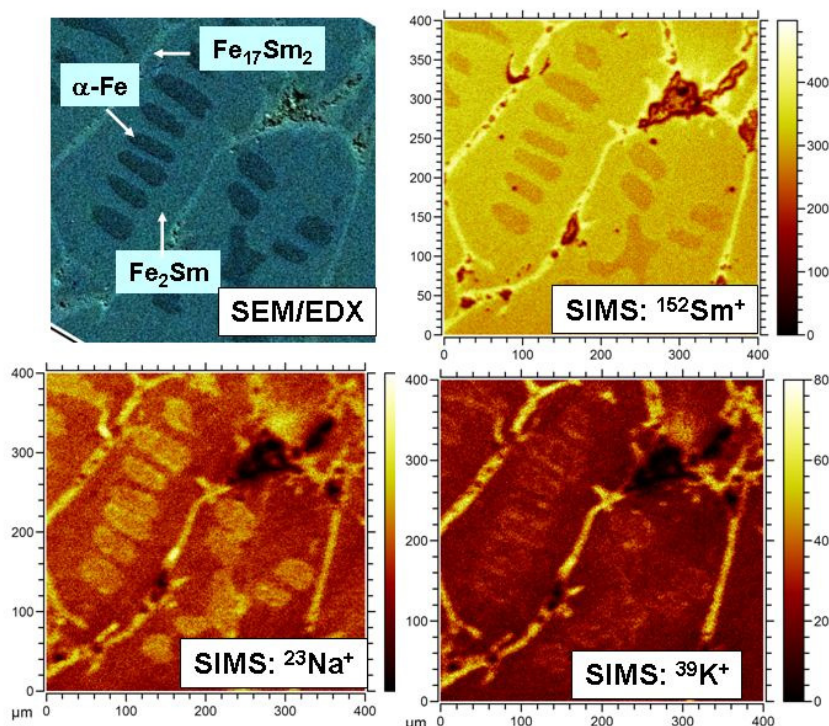
## **Priloga 2**

## TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

Dosežek 1: Prvič v Sloveniji je bila uvedena metoda ToF-SIMS za preiskavo tankih organskih plasti

Vir: Gregor Jakša, Janez Kovač, Tatjana Filipič, Bogdan Štefane, ToF-SIMS, XPS and AFM study of technologically important surfaces modified with APTS, 15th Joint Vacuum Conference, Dunaj, junij 2014, W. Werner (ur.) in A. Bellissimo (ur.): Programme schedule and book of abstracts, 2014, str. 77.



Porazdelitev faz v sistemu Fe-Sm po segrevanju na 1250 °C.

V programski skupini smo uvedli novo metodo za preiskavo površin, to je masna spektroskopija sekundarnih ionov s kratico ToF-SIMS. Omogoča natančne preiskave kemijske strukture površin, še posebej pa je primerna za preiskave organskih materialov, kot so polimeri in bio-materiali, kot tudi za preiskave površin anorganskih materialov, kot so kovine, polprevodniki, kompozitni materiali, nanostrukturirani materiali itd. Metoda omogoča zajemanje slik kemijske sestave površin z lateralno ločljivostjo do 50 nm in zajemanje masnih spektrov do 10 000 masnih enot z visoko masno ločljivostjo. Analizna globina nove metode je samo 1 nm, kar jo uvršča med najbolj površinsko občutljive metode. V ToF-SIMS-spektrometru je nasprotno od večine drugih površinsko občutljivih metod mogoče zaznati tudi vodik na površini vzorcev. Z novo pridobitvijo bomo lažje sledili svetovnim usmeritvam pri razvoju, obdelavi in karakterizaciji novih materialov, obenem pa bomo lahko pridobili ustrezne informacije o pri nas razvitih novih materialih.