

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/183



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4225
Naslov projekta	Raziskave sinteze nanožic za regenerativne energijske celice
Vodja projekta	22289 Uroš Cvelbar
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1682 KOLEKTOR GROUP Vodenje in upravljanje družb d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije 2.09.05 Vakuumistika
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.10 Nanotehnologija

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Urejeni sistemi nekaterih nanožic kovinskih oksidov na kovinskih podlagah so zanimivi za številne elektrokemične in fotoelektrokemične aplikacije pri pretvorbi energije. Poleg tega je mogoče uporabiti primanjkljaj kisikovih atomov v nanostrukturah kovinskih oksidov za prirejanje elektronskih lastnosti struktur za spreminjanje absorpcije svetlobe in prenosa naboja skozi nanožice kovinskih oksidov. Pri tem ponuja plazemska oksidacija kovinskih folij edinstveno možnost za rast vertikalnih struktur nanožic neposredno na kovinskih podlagah. Ta omogoča tudi

sintezo nanostruktur s primanjkljajem kisikovih atomov, tako da kontrolirano spreminjamo plazemske parametre. Projekt je zato usmerjen v plazemsko sintezo različnih sistemov kovinskih oksidov (predvsem α -Fe₂O₃, TiO₂, Fe₃O₄, CuO₂ in V₂O₅) nanožic in testiranje njihovih lastnosti v novih aplikacijah kot so izdelava barvnih sončnih celic in celic za fotoelektrokemično cepitev vodnih molekul.

Bolj natančno, raziskave bodo temeljile na sintezi novih sistemov kovinskih oksidov nanožic v nizkotemperaturni kisikovi plazmi pod kontroliranimi plazemskimi parametri in njihovi uporabi v elektrokemijskih napravah. S tem namenom bomo študirali vpliv plazemskih parametrov (gostota elektronov, nevtralnih atomov, ionov; kinetične energije ionov, temperature nevtralnega plina ipd.) in radikalov (ionov, nevtralnih atomov, vzbujenih molekul in fotonov) na sintezo nanožic na kovinskih podlagah kot so titan, železo, baker in vanadij. Dodatno bomo sintetizirali nano sisteme na podlagah s plazemskim naprševanjem ali iz kovinskih filmov. Posvetili se bomo tudi spremembam v morfologiji in karakteristikam nanostruktur, ki so bile sintetizirane pod različnimi pogoji, s tem bomo poizkušali določiti deteministična pravila sestavljanja nanostruktur v plazmi. Sintetizirane kovinske nanostrukture oksidov (kot so α -Fe₂O₃, TiO₂, Fe₃O₄, CuO₂ in V₂O₅) bodo uporabljene v regenerativnih energijskih celicah. Strukture bodo uporabljene kot elektrode za fotoelektrokemične celice, ki absorbirajo sončno svetlobo in omogočijo cepitev vodnih molekul in pridobivanje gorivnih plinov (kisika in vodika) pa tudi v barvnih sončnih celicah.

ANG

Metal oxide nanowire arrays on metal substrates are interesting for various electrochemical and photoelectrochemical applications in energy conversion. Additionally, the lack of oxygen atoms in nanostructures of metal oxides can be used for tailoring electronic properties of the structure in order to modify adsorption of light quanta and to transfer the charge through the nanowire. In this view, plasma oxidation of metal foils provides a unique possibility for large scale vertical growth of nanowire arrays on metal surfaces as well as synthesis of nanostructures with oxygen vacancies, which can be achieved by changing plasma parameters in a controlled manner. The project is focused on plasma synthesis of various metal oxides nanowires (predominantly α -Fe₂O₃, CuO₂, MoO₃ in V₂O₅) and testing their properties in regenerative energy cell applications, like dye-sensitized solar cells or cells for photoelectrochemical splitting of water molecules

In more detail, the main focus of the research will be based on synthesis of new metal oxide nanowire arrays in low-temperature oxygen plasma under controlled plasma parameters and their applications in photoelectrochemical cells. With this aim, we will extensively study the role of plasma parameters (e.g. density of electrons, neutral atoms, excited molecules and photons) on the nanowire synthesis from metal substrates such as iron, copper and vanadium. In addition, we will grow nano systems also on surfaces with plasma vapour deposition or from thin metal films. The modifications of surface morphology and characteristics of nanostructures, synthesised under different plasma conditions, will be studied as well. We will try to find the deterministic rules for nanowire growth in oxygen plasma. Synthesised metal oxides nanostructures (like α -Fe₂O₃, CuO₂ in V₂O₅) will be used in the regenerative energy cells. The structures will be used as electrodes for photoelectrochemical cells which adsorb sun light and enable splitting of water molecules and thus production of fuel gases (oxygen and hydrogen) as well as for dye-sensitized solar cells.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V prvi fazi projekta smo se omejili na iskanje primernih plazemskih parametrov pri katerih bi uspeli sintetizirati nanožic kovinskih oksidov na površini kovin med izpostavo plazmi. S tem namenom smo sistematično raziskovali vpliv kisikove plazme na železo in baker ter rast oksidnih plasti na njuni površini. Pri tem smo uporabljali nizkotlačno plazmo na območju med 50 in 150 Pa, ki smo jo generirali pri različnih močeh, sklopitvah in pretoku plina. Kisikovo plazmo smo nato sistematično okarakterizirali in s tem določili koncentracije nevtralnih kisikovih atomov in kisikovih ionov. Pri obdelavi kovinskih površin pa smo merili spreminjanje površinske temperature, ki je bila posledica interakcij kisikovih radikalov s površino. Ugotovili smo, da na površini železa nastajajo tako nanožice kot nanopasovi ali pa celo nanodelci. Sinteza različnih nanostruktur pa je bila močno odvisna od gostote nevtralnih kisikovih atomov, gostote kisikovih ionov in površinske temperature. Že manjše spremembe v gostoti, npr. $1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ atomov rezultira popolnoma drugačno

nanostrukturo. Ugotovili smo, da je rast nanožic tako v termično neravnovesni hladni plazmi možna samo na zelo omejenem področju plazemskih parametrov in temperaturi površine. Vse to kaže na nujnost uporabe in spremljanja plazemskih parametrov, saj lahko le s tem zagotovimo stabilno in ponovljivo sintezo enakovrednih nanožic kovinskih oksidov na kovinskih podlagah, ki jih bomo uporabili kot elektrode v fotoelektrokemičnih celicah. Nato smo izvedli vrsto raziskav rasti nanožic ob izpostavi kisikovi plazmi. Na tak način smo uspešno sintetizirali nanožice $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$, V_2O_5 , Cu_2O in CuO . V teh primerih smo nanožice sintetizirali neposredno na površini brez nanosov iz plinske faze. Z metodo plazemsko-pospešenega kemijskega nanosa iz plinske faze (PECEVD) pa smo sintetizirali še MoO_3 , WO_3 in ZnO . Neposredna sinteza nanožic titanovega oksida pa ni bila mogoča s standardnim postopkom, zato smo razvili metodo za posredno sintezo, kjer pospešimo rast nanožic TiO_2 s katalizatorjem. Za pripravo in izboljšavo rasti nanožic smo uporabili omočenje kovin z NaOH . Obširne raziskave pogojev rasti nanožic pri različnih plazemskih parametrih smo analizirali s preiskavami površin. Veliko časa smo namenili preiskavam površine predvsem z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) in transmisijsko elektronsko mikroskopijo (TEM). Ugotovili smo različne načine rasti nanožic v odvisnosti od gostote nevtralnih atomov kisika in atomarnih ionov kisika, ki določajo tudi obliko nanožic. Ugotovili smo, da je za rast nanožic zelo pomembno razmerje med vpadnimi ioni in nevtralnimi kisikovimi atomi ter temperatura površine. Temperatura površine pa se aktivno spreminja s površinskim el. potencialom ter gostoto vpadnega toka plazemskih delcev. Ugotovili smo tudi, da pri zelo počasni rasti nanožic nimamo ravnin s primanjkljajem kisikovih atomov, saj smo v temperaturnem ravnovesju na površini. V kolikor poteka zelo hitra rast pa nastanejo spremembe v strukturi nanožic. Na ta način dobimo urejene periodične ravnine s primanjkljajem kisikovih atomov ali tako imenovane kristalne superstrukture. Tekom druge faze projekta smo raziskovali tudi spremembe energijske reže materiala. Namesto dopiranja smo razvili novo tehniko spreminjanja reže obsevanjem nanožic z elektroni. Tok elektronov povzroči sprostitve posameznih kisikovih atomov v kristalni mreži nanožice. Ti kisikovi atomi difundirajo prozi površino in v okolje, za seboj pa rekombinacijah pustijo vrzeli. Tako dobimo zelo nanoporozne nanožice kovinskih oksidov. Rezultat tega procesa je nižja oblika stabilnega oksida, ki ima spremenjeno energijsko režo. Ta mehanizem smo taro uspešno uporabili na vrsti plazemsko sintetiziranih nanožic v okviru tega projekta. Pokazali smo, da je ta mehanizem uspešno deluje na nanožicah oksidov $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$, CuO , SiO_2 , MoO_3 , WO_3 , TiO_2 in ZnO . V okviru projekta smo izvedli tudi dopiranje in spreminjanje energijske reže s plazemsko/plinsko konverzijo, kjer smo omenjene nanožice izpostavili plinu N_2 ali H_2S . Rezultat je bil epitaksialna nukleacija v nanožicah in generiranje nitritne ali sulfidne faze. Mehanizmi generiranja faze so se razlikovali glede uporabljen plin, plinsko stanje (molekule, atomi), temperaturo površine in premer nanožic. V kolikor so nanožice tanjše od cc 10 nm je bila možna pretvorba tudi v monokristalinične nanožice, za večje premere pa smo dobili polikristalinične nanožice. Mehanizme pretvorbe smo razložili s Kirkendallovim pojavom. Na tak način nam je uspelo spremeniti energijsko režo npr. iz 3.0 eV v 2.5 eV za WO_3 / $\text{W}_{18}\text{O}_{48}$ v prehodu v W_2N fazo. V tretji fazi pa smo uporabili vrsto teh materialov za izdelavo različnih fotoelektrokemičnih celic in uporabo v nanopolimernih sistemih kot so kompoziti. O uspešni izdelavi fotoelektrokemičnih celic, ki proizvajajo električni tok pri obsevanju s sončevo svetlobo smo poročali v reviji Nanotechnology, kjer smo primerjali tako nanožice sintetizirane v nizkotlačni plazmi kot pri atmosferskem pritisku. Pri tem velja omeniti, da nam je uspelo znatno znižati stroške sinteze saj smo uspeli sintetizirati nanožice na atmosferskem tlaku z atmosfersko plazmo, brez uporabe cenovno neugodnega vakuumskega sistema. Pomanjkljivost te metode je kvaliteta nanožic in omejenost na manjši del površine, ki je povezana z lastnostmi plazemskega curka. Pri izdelavi fotoelektrokemičnih celic smo uporabili inovativen pristop pri katerem smo nanodelce (nanožice) dispergirali v tekočinah in opazovali stabilnost takih sistemov ob prisotnosti tekočin ter njihov odziv na svetlobo. Ugotovili smo, da lahko izboljšamo optoelektronske lastnosti nanomaterialov s tako imenovano plazemsko inducirano tekočinsko kemijo. To pomeni, da spreminjamo lastnosti nanomaterialov v tekočinah na tak način, da obdelujemo tekočino z atmosfersko plazmo in spreminjamo tudi kemijo tekočine. S tem nam je dejansko uspelo izboljšati odziv nanomateriala na svetlobo za 4-10-krat v odvisnosti od uporabljenega materiala in dobiti večje izkoristke. Za ta princip smo se odločili, ker smo pri izdelavi barvnih sončnih celic ugotovili, da se fotokatalitična barva slabo veže na površino nanožic, kar se je odrazilo v nezadostnem odzivu celic. Testirali smo tudi možnost vgradnje nanožic v polimerne kompozite. Za zelo zanimive so se izkazali nanokompoziti sestavljeni iz mreže ogljikovih nanocevk in nanožic kovinskih oksidov na poliuretanskih podlagah, ki so imeli zelo dober odziv za zaznavanje plinskih molekul.

Iz vsega navedenega, zaključujemo, da je bil projekt zelo uspešno izveden, saj smo pridobili

veliko rezultatov in novih znanj, ki se bodo v nadaljevanju lahko uporabila pri izdelavi novih produktov.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Ocenjujemo, da je bil projekt zelo uspešno realiziran saj je bila dosežena večina raziskovalnih ciljev.

Do manjših odstopanj pri izvajanju nalog je prišlo zaradi obširnih in zahtevnih preiskav površin velike količine vzorcev, predvsem z elektronsko mikroskopijo (s presevno elektronsko mikroskopijo (TEM) in vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM)) in določanja ugodnih parametrov rasti nanožic. Pri izvajanju zastavljenega programa smo predvidene sistematične raziskave plazemskega dopiranja s plini deloma nadomestili z novo tehniko elektronskega obsevanja, ki ravno tako omogoča spreminjanje energijske reže materiala. Veliko časa smo namenili tudi spreminjanju energijske reže s tehniko elektronskega obsevanja in dopiranju s plazemsko/plinsko substitucijo. Izvedli pa smo vrsto eksperimentov z dopiranjem s plini dušika in amonijaka ter vodikovega sulfida. Veliko ur je bilo porabljeno tudi za testiranje lastnosti sintetiziranih in modificiranih materialov ter njihovi uporabi. Pri tem smo posvetili tudi veliko energije izboljšanju lastnosti delovanja nanomaterialov v napravah. Zaradi zmanjšanja sredstev s prekategorizacijo ur na projektu smo izgubili zgleden del sredstev za polno izvedbo projekta in aplikacij, kjer smo se večinoma omejili na fotoelektrokemična testiranja celic, modifikacijo nanomaterialov v tekočinah za izboljšanje izkoristka svetlobe in izdelavo vzorcev za zaznave plinov.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Ni bilo odstopanj ali večjih sprememb raziskovalne skupine na projektu.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25972263	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Fotokemična aktivnost elektrode iz nanožic alfaFe ₂ O ₃ za cepitev vodnih molekul	
	ANG	Photoelectrochemical activity of as-grown, [alpha]-Fe[sub]2O[sub]3 nanowire array electrodes for water splitting	
Opis	SLO	V tem znanstvenem delu smo poročali o najvišje doseženem izkoristku pretvorbe sončne energije za cepitev vodnih molekul s pomočjo plazemsko sintetiziranih nanožic železovega oksida. Pokazali smo tudi, da imajo plazemsko sintetizirane nanožice zaradi svoje kristalne strukture boljše izkoristke pri pretvorbi energije kot termično sintetizirane nanožice. Te celice še vedno delujejo z enakim izkoristkom po 3 letih.	
	ANG	In this scientific work, we mark the highest reported conversion rate for water splitting with plasma made iron oxide nanowire electrodes. The plasma made nanowires have better performance due to their crystalline structure compared to thermally synthesized nanowires. These cells are still fully operational after 3 years.	
Objavljeno v		IOP Publishing; Nanotechnology; 2012; Vol. 23, no. 19; str. 194009-1-194009-9; Impact Factor: 3.842; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.402; A': 1; WoS: NS, PM, UB; Avtorji / Authors: Chernomordik Boris, Russell Harry B, Cvelbar Uroš, Jasinski Jacek B., Kumar Vivekanand, Deutsch Todd, Sunkara Mahendra K.	
Tipologija		1.01	

		Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	26404903	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Enakomerno-nanoporozne kristalinične nanožice pod-oksidi ali kovin narejene s plazemsko oksidacijo in elektronsko redukcijo
		ANG	Sub-oxide-to-metallic, uniformly-nanoporous crystalline nanowires by plasma oxidation and electron reduction
	Opis	SLO	Znanstveni članek objavljen v ugledni reviji z visokim faktorjem vpliva v katerem smo prvi poročali o pojavu nastanka nanopor v nanožicah kovinskih oksidov, ki nastanejo po obsevanju površine nanožice z curkom elektronov. Nanožice različnih kovinskih oksidov postanejo med obsevanjem nanoporozne s homogeno porazdelitvijo por. Spremeni se tudi energijska reža, ki se premakne proti nižjim vrednostim za 0.3 eV.
		ANG	This scientific paper was published in the high impact journal. For the first time we reported the phenomena of nanopore creation within the nanowires of metal oxides after the irradiation with electron beam. The nanowires of different metal oxides over go the phase transformation and become ultra-nanoporous with homogeneous distribution of pores. With this, we also modified energy band gap of material, where the values are shifted for 0.3 eV to lower values.
	Objavljeno v		Royal Society of Chemistry; Chemical communications; 2012; Vol. 48, no. 90; str. 11070-11072; Impact Factor: 6.378; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.175; A': 1; WoS: DY; Avtorji / Authors: Cvelbar Uroš, Chen Zhiqiang, Levchenko Igor, Sheetz R. Michael, Jasinski Jacek B., Menon Madhu, Sunkara Mahendra K., Ostrikov Kostya
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	24638759	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Proti plazemsko podprti sintezi nanožic v velikem obsegu
		ANG	Towards large-scale plasma-assisted synthesis of nanowires
	Opis	SLO	V kolikor želimo prenesti nanotehnologijo v vsakodnevno rabo in številne naprave moramo premagati problem sinteze nanožic v velikem obsegu. Sintetizirati moramo po več kilogramov nanožic na dan. Pri tem pa nam plazemske tehnologije edine omogočajo sintezo v tako velikem obsegu. Problemi s katerimi se soočamo so opisani na primeru primerjalnih sintez nanožic železovega in cinkovega oksida.
		ANG	In order to bring nanotechnology to everyday use and multiple devices we need to overcome the problem of large scale nanowire synthesis in bulk quantities. In this respect, we need several kilograms of nanowires per day, and plasma technology is the only route which can meet at the moment such requirements. The problems which we have to address are described in the case of iron and zinc oxide nanowire synthesis.
	Objavljeno v		Institute of Physics; Journal of physics. D, Applied physics; 2011; Vol. 44; str. 174014-1-174014-9; Impact Factor: 2.544; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Cvelbar Uroš
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	25501991	Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Plazemsko podprta rast nanožic velikega obsega
		ANG	Large-scale, plasma-assisted growth of nanowires
	Opis	SLO	Poglavje v knjigi "Plasma processing of nanomaterials Nanomaterials and their applications" založbe CRC, ki opisuje osnove sinteze različnih žic kovinskih oksidov.
		ANG	The chapter in the book "Plasma processing of nanomaterials Nanomaterials and their applications" issued by CRC press, which describes the basics for plasma synthesis of metal oxide nanowires.
	Šifra		F.35 Drugo
	Objavljeno v		CRC Press; Plasma processing of nanomaterials; 2012; Str. 109-146; A': 1; Avtorji / Authors: Cvelbar Uroš
	Tipologija		1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
2.	COBISS ID		1011215 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Posebna izdaja revije J. Phys. D - Plazemska nanoznanost
		ANG	Special Issue J. Phys. D on Plasma Nanoscience
	Opis	SLO	Vodja projekta je bil gostujoči urednik posebne številke revije J. Phys. D: Appl. Phys., ki je predstavljala presek raziskav na področju plazemske nanoznanosti. Ta posebna izdaja je bila v letu 2011 sodeč po številu presnetih člankov najbolje brana številka.
		ANG	The project leader was guest editor of the special issue on Plasma Nanoscience of J. Phys. D: Appl. Phys. journal, which represented the overview of the work on the field. According to the number of web downloads, this issue was the top read edition of the journal in year 2011
	Šifra		C.03 Vabljeni urednik revije (guest-associated editor)
	Objavljeno v		Journal of Physics D: Applied Physics, 2011
	Tipologija		3.25 Druga izvedena dela
3.	COBISS ID		277821184 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Plazemska sinteza nanožic kovinskih oksidov in njihova uporaba
		ANG	Plasma synthesis of metal-oxide nanowires and their application
	Opis	SLO	V okviru raziskav na projektu L2-4225 je nastalo tudi doktorsko delo mladega raziskovalca Gregorja Filipiča, ki se je v svojem delu ukvarjal z raziskavami sinteze nanožic v plazmi. Motivacija za njegovo delo je bilo raziskovanje nastanka nanožic ob različnih plazemskih pogojih na površinah kovin in uporaba teh materialov v aplikacijah.
		ANG	The work performed in the frame of this project L2-4225 was base for doctoral thesis of young researcher Gregor Filipič. His work was set around problem of plasma nanowire synthesis, where he researched how plasma parameters lead to creation of nanostructures and later nanowires, which are created on metallic surfaces.
	Šifra		D.10 Pedagoško delo
	Objavljeno v		[G. Filipič]; 2014; VIII, 81 str.; Avtorji / Authors: Filipič Gregor
	Tipologija		2.08 Doktorska disertacija

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Nekateri odmevnejši znanstveni članki projekta:

- 1) OSTRIKOV, Kostya, CVELBAR, Uroš, MURPHY, Anthony B. Plasma nanoscience : setting directions, tackling grand challenges. Journal of physics. D, Applied physics, 2011, vol. 44, 174001 [COBISS.SI-ID 24638503]
- 2) FILIPIČ, Gregor, CVELBAR, Uroš. Copper oxide nanowires, Nanotechnology, 2012, vol. 23, no. 19, str. 194001 [COBISS.SI-ID 25968679]
- 3) CVELBAR, Uroš, LEVCHENKO, Igor, FILIPIČ, Gregor, MOZETIČ, Miran, OSTRIKOV, Kostya. Plasma control of morphodimensional selectivity of hematite nanostructures. Appl. phys. lett., 2012, vol. 100, no. 24, str. 243103 [COBISS.SI-ID 26382375]
- 4) ALTAWHEEL, A., FILIPIČ, Gregor, GRIES, T., BELMONTE, Thierry. Controlled growth of copper oxide nanostructures by atmospheric pressure micro-afterglow. Journal of crystal growth, 2014, vol. 407, str. 17-24 [COBISS.SI-ID 28231975]
- 5) FILIPIČ, Gregor, BARANOV, Oleg, MOZETIČ, Miran, CVELBAR, Uroš. Growth dynamics of copper oxide nanowires in plasma at low pressures. Journal of applied physics, 2015, vol. 117, no. 4, str. 043304 [COBISS.SI-ID 28346407]

Nekatera vabljenja predavanja s projektnih rezultatov v letu 2014:

- 1) CVELBAR, Uroš. Plasma synthesis and conversion of nanowires. V: PLASMA 2014, 29th National Symposium on Plasma Science and Technology & International Conference on Plasma and Nanotechnology, 8-11 December 2014, str. 35. [COBISS.SI-ID 28211495]
- 2) CVELBAR, Uroš, FILIPIČ, Gregor, SUNKARA, Mahendra K. Plasma synthesized nanowires and their conversions. V: IUMRS-ICA 2014, The 15th International Conference in Asia, 24-30 August, Fukuoka, Japan. Abstracts. The Materials Research Society of Japan, 2014. [COBISS.SI-ID 27907623]
- 3) CVELBAR, Uroš. Deterministic growth of metal oxide nanowires in oxygen plasma. V: 72nd IUVESTA workshop [on] plasma-assisted vapour deposition of oxide-based thin films and coatings, 6-11 April 2014, Schloss Seggau, Austria. 2014, str. 34. [COBISS.SI-ID 27644967]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Raziskave neposredne rasti velike količine urejenih sistemov nanožic na kovinskih ali prevodnih podlagah ob izpostavitvi neravnovesni kisikovi plazmi je novo področje, ki omogoča pripravo materialov v velikem obsegu. To posledično pomeni tudi premostitev mostu med raziskavami in uporabnostjo nanomaterialov kot so nanožice v industrijskih aplikacijah, saj bodo te dostopne v velikih količinah. S tem namenom smo raziskali rast nanožic kovinskih oksidov in vpliv plazemskih parametrov nanje, kjer igrata najpomembnejšo vlogo gostota nevtralnih atomov in tok ionov na površino ter električni potencial površine. Tako smo uspeli določiti deterministične pogoje pri katerih lahko rastemo nanožice in pripraviti prvi model, ki takšno rast lahko opiše. Med vrhunske znanstvene dosežke projekta spada tudi odkritje pojava spreminjanja energijske reže materiala s pomočjo obsevanja nanožice z elektronskim curkom. Pri tem nastanejo na nanožicah nanopore, ki so posledica sproščanja in difuzije kisikovih atomov iz kristalne mreže. Pokazali smo tudi, da je mogoče lastnosti nanožic kovinskih oksidov spreminjati tudi z dopiranjem z zamenjavami kisika v kristalni mreži z dušikom ali žveplom. Na osnovi plazemsko sintetiziranih nanožic hematita smo uspeli pripraviti tudi prvo zelo dobro delujočo celico za cepitve vodnih molekul. Iz obilice rezultatov pričakujemo v prihodnosti še več znanstvenih objav, prav tako pa tudi patentno zaščito za procese pretvorbe nanožic.

ANG

Research of direct growth of large scale nanowire arrays on metallic or conducting surfaces, when exposed to reactive oxygen plasma is the new emerging topic. This process enables preparation of abundant quantity of nanowires in short time scales. This might represent a bridge between basic research and transition to industrial applications, since bulk quantities of nanowires are available. With this aim, we researched nanowire growth in plasma and determined which plasma parameters play important role in their growth. Systematic studies demonstrated that changing the density of neutral atoms and flux of ions as well as electrical potential on the substrate determines the growth properties and dynamics of nanowires. With this, we gain new deterministic conclusions on plasma conditions needed for growth of

nanowires and its description. Extreme novelty and top scientific achievement is our determination of energy band gap alternation with electron beam irradiation of nanowires. In this process, the nanowires become also ultra-nano-porous as a result of oxygen atom relaxation from crystalline structure of metal oxide. Moreover, we gain new knowledge on modifications of metal oxide with nitrogen or sulphite doping, which occurs via exchange of oxygen atoms in the material. Based on obtained and modified nanowire materials, we managed to prepare operational photoelectrocatalytic cell for water splitting with good output. From large number of results, we expect more publications in near future as well as patent protection for nanowire conversion processing.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Neposredni vpliv izvedenega projekta na razvoj Slovenije je za našega industrijskega partnerja razvoj novih tehnologij in produktov, ki bodo v prihodnosti narekovali trend novih naprav in tehnologij. V to področje nedvomno spadajo novi nanomateriali kot so nanožice kovinskih oksidov, ki jih lahko pridobimo v zadostnih količinah. S tem projektom je tako podjetje pridobilo novo znanje in postopke, s katerimi lahko preoblikujejo material in gradijo nanostrukture v svojih plazemskih reaktorjih. To je izrednega pomena v njihovi dejavnosti pri izdelavi različnih polizdelkov kot so kompoziti, kjer jim večja količina takega materiala predstavlja konkurenčno prednost. S pridobitvijo novega znanja za razvoj novih aplikacij kot so celice za cepitev vodnih molekul, ki izkoriščajo obnovljiv vir energije, pa so pridobili evaluacijo in testne primere celic za razvoj novih produktov. Podjetje namreč ocenjuje, da lahko le s tako raziskovalno politiko ohrani višjo dodano vrednost in delovna mesta v svojih podjetjih v Sloveniji.

ANG

The direct impact of finished project to Slovenia development is for our industrial partner, the development of new technologies and products, which will in the near future drive the market of new devices and technologies. This field definitely covers new nanomaterials like the nanowires of metal oxides, when acquired in large-bulk quantities. With this project, the company gain new knowledge and processing methods for modifications of materials and synthesis of nanostructures in their own plasma reactors. This is highly important in their line of work during manufacturing of semi-products like composites, where such large quantities of nanomaterial can present competitive advantage. Moreover, the company gained also new insides into development of new applications like cells for water splitting, which use renewable energy resources. This might be important in development of their own new products, since first testing cells proved successful. The company assessed that only such research policy can lead to higher value added products and preservation of jobs in their own companies in Slovenia.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☒	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☒	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☒	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☒	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☒	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☒	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☒	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☒	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☒	☐	☐	

G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☒	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☒	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☒	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☒	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☒	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☒	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☒	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☒	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☒	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☒	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☒	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☒	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☒	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☒	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☒	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☒	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv	Kolektor Group d.o.o.	
	Naslov	Vojkova ulica 10, 5280 Idrija	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	128.733	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%

Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1. Izdelava novih nanomaterialov za uporabo	F.06
	2. Inovativna metoda za sintezo nanožic velikega obsega	F.05
	3. Izdelava prototipne celice za cepitev vodnih molekul	F.08
	4. Metoda za spremembe lastnosti nanožic	F.01
	5. Novo znanje za izdelavo plinskih senzorjev iz nanožic	F.02
Komentar		
Ocena	Podjetje je v okviru tega projekta pridobilo obilo novih podatkov in razvoj postopka za pripravo in sintezo nanomaterialov s plazmo. Še več, raziskali smo možnost sinteze nanomaterialov v velikem obsegu, ki bi lahko zadovoljili industrijski proizvodnji. Pri tem smo izpolnili in okarakterizirali testne reaktorje primerne za proizvodnjo. Pridobili smo zadostne vzorčne količine nanomaterialov, ki smo ga lahko uporabili za izdelavo novih aplikaciji. Zelo zadovoljni smo tudi s preliminarimi študijami o celicah za cepitev vodnih molekul. Projekt ocenjujemo kot zelo uspešen.	

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Znanstveni članek: ALTAWHEEL, A., et al. Controlled growth of copper oxide nanostructures by atmospheric pressure micro-afterglow. Journal of crystal growth, 2014, vol. 407, str. 17-24
 Sintezo nanostruktur bakrovega oksida neposredno na površini smo kot prvi na svetu izvedli s plazmo generirano v mikrovalovni razelektritvi na atmosferskem pritisku. Pri interakciji plazmskega curka s površino bakra je ta oksidiral, na površini oksidne plasti pa so se tvorile različne nanostrukture bakrovega oksida. Te strukture so se razlikovale glede na oddaljenost od centra interakcije plazmskega curka s površino. V centru so tako nastale 3D strukture, 500 µm stran 2D CuO nanozidovi, na oddaljenosti 2 mm pa 1D strukture t.j. nanožice, nadaljnje pa 3D nano-pike in nato zgolj tanka oksidna plast. Na osnovi rezultatov analize površine je bilo ugotovljeno, da rastejo nanostrukture zaradi difuzije bakrovih ionov na površino s pomočjo napetosti, ki se formira ob rasti oksidne plasti.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Doktorska disertacija na temo projekta: Plasma synthesis of metal-oxide nanowires and their application : doctoral dissertation = Plazemska sinteza kovinsko-oksidnih nanožic in njihova uporaba : doktorska disertacija. Ljubljana: [G. Filipič], 2014. VIII, 81 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 277821184]

V okviru projekta L2-4225 je bil pripravljen znanstveni doktorat, ki zaobsega večletne raziskave plazemske sinteze in karakterizacije kovinsko-oksidnih nanožic za namen izdelave elektrod v fotoelektrokemičnih celicah. V tem delu so predstavljene sistematične raziskave rasti nanožic od začetnega nastanka nanosemen do rasti nanožic in vpliva plazemskih parametrov na gostoto, dolžino in debelino nanožic. Prednost tega procesa je, da nanožice rasejo neposredno na površini elektrod brez nanosa materiala iz plinske faze.

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 ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Uroš Cvelbar

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

16.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/183

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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 projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

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

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). 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 priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.rrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.rrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

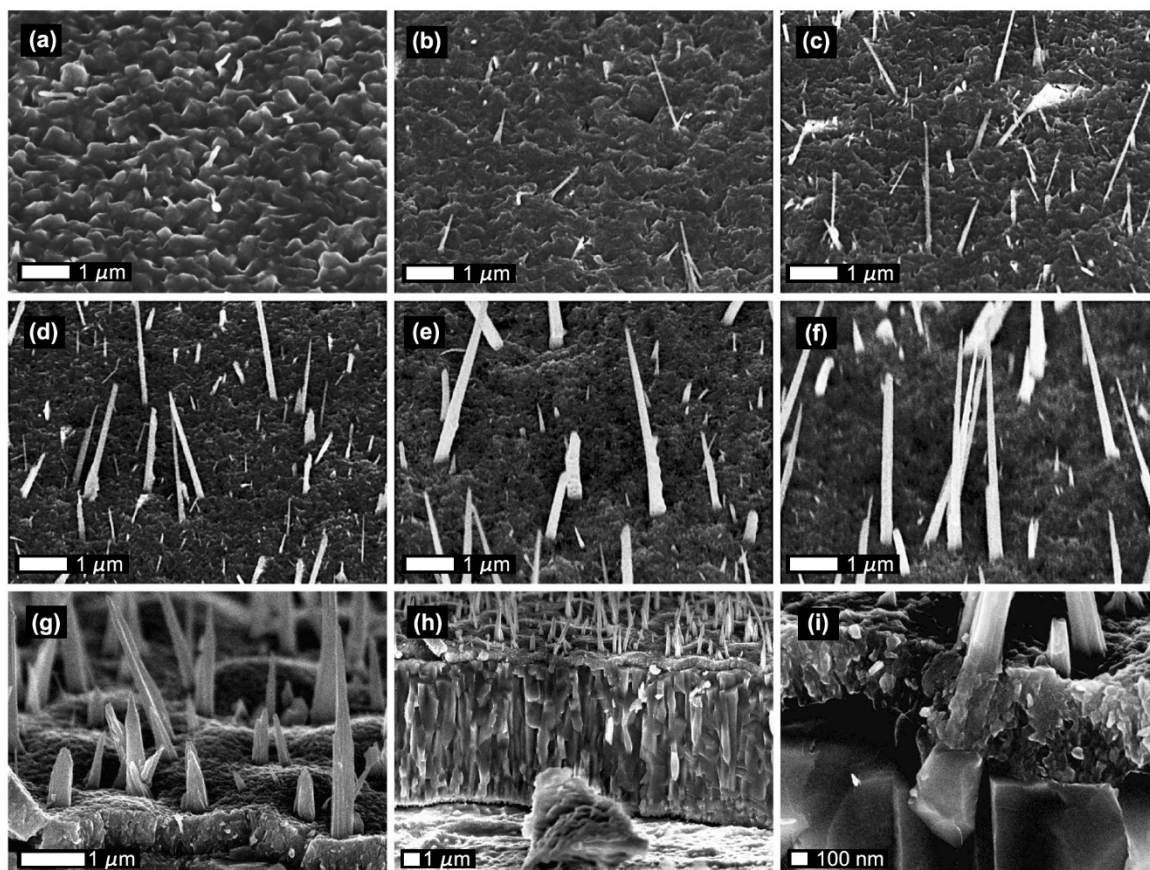
77-A4-F3-96-7C-D9-B9-25-86-39-45-A7-8D-AE-7B-68-AB-33-3C-DF

Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

Dosežek 1: Doktorska disertacija: Gregor Filipič: *Plazemska sinteza nanožic kovinskih oksidov in njihova uporaba*, COBISS 277821184



Sinteza nanožic na površini bakra v nizekotlačni plazmi iz mešanice kisika in argona.

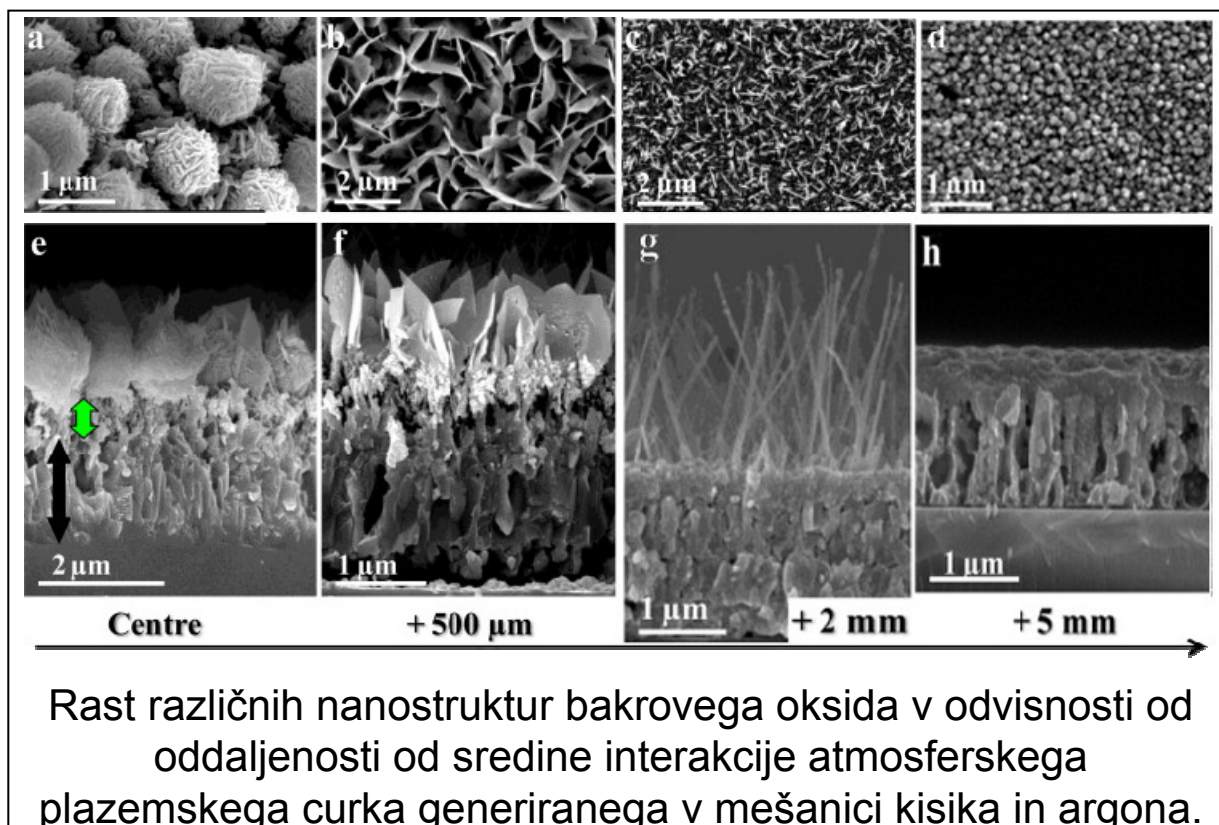
V okviru projekta L2-4225 je bil pripravljen znanstveni doktorat, ki zaobsega večletne raziskave plazemske sinteze in karakterizacije kovinsko-oksidskih nanožic za namen izdelave elektrod v fotoelektrokemičnih celicah. V tem delu so predstavljene sistematizirane raziskave rasti nanožic od začetnega nastanka nanosemen do rasti nanožic in vpliva plazemskih parametrov na gostoto, dolžino in debelino nanožic. Prednost tega procesa je, da nanožice rastejo neposredno na površini elektrod brez nanosa materiala iz plinske faze.

Priloga 2

TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

Dosežek 1: Članek: Altaweel A., Filipič G., et al Controlled growth of copper oxide nanostructures by atmospheric pressure micro-afterglow. *Journal of crystal growth*, 2014, vol. 407, str. 17-24, doi: 10.1016/j.jcrysgr.2014.08.029. [COBISS.SI-ID 28231975]



Sintezo nanostruktur bakrovega oksida neposredno na površini smo kot prvi na svetu izvedli s plazmo generirano v mikrovalovni razelektritvi na atmosferskem pritisku. Pri interakciji plazemskega curka s površino bakra je ta oksidiral, na površini oksidne plasti pa so se tvorile različne nanostrukture bakrovega oksida. Te strukture so se razlikovale glede na oddaljenost od centra interakcije plazemskega curka s površino. V centru so tako nastale 3D strukture, 500 μm stran 2D CuO nanozidovi, na oddaljenosti 2 mm pa 1D strukture t.j. nanožice, nadaljnje pa 3D nano-pike in nato zgolj tanka oksidna plast. Na osnovi rezultatov analize površine je bilo ugotovljeno, da rastejo nanostrukture zaradi difuzije bakrovih ionov na površino s pomočjo napetosti, ki se formira ob rasti oksidne plasti.