

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/109



## 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>	P2-0091
<b>Naslov programa</b>	Sodobni anorganski materiali in nanotehnologije Contemporary inorganic materials and nanotechnologies
<b>Vodja programa</b>	8012 Danilo Suvorov
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	67662
<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 2.04 Materiali
<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

Razvoj novih materialov in nanotehnologij v veliki meri vpliva na način življenja v sodobni družbi. Raziskave usmerjene v to področje se v zadnjih desetletjih uvrščajo med najbolj razširjene raziskovalne panoge v razvitem svetu. Cilj raziskav so predvsem novi materiali z izboljšanimi

lastnostmi, ki omogočajo razvoj novih aplikacij, miniaturizacijo obstoječih sistemov, boljše, izkoristke pri konvertiranju energije in razvoj okolju prijaznih tehnologij. Takšna je bila tudi raziskovalna usmeritev skupine za raziskave sodobnih materialov, ki deluje v okviru Instituta "Jožef Stefan". Izhodiščna hipoteza raziskovalnega dela skupine je bila, da fazna sestava, kristalna struktura, mikrostruktura in morfologija materiala z določeno kemijsko sestavo ključno vplivajo na njegove lastnosti. Raziskave so obsegale študij faznih relacij v večkomponentnih sistemih, določevanje kristalnih struktur in napak, študij mehanizmov in kinetike kemijskih reakcij, ki potekajo med sintezo, študij faznih transformacij in študij razvoja mikrostrukture polikristaliničnih materialov oziroma razvoja morfologije nanodelcev. Pri tem sta bila v ospredju ugotavljanje povezave med navedenimi parametri in lastnostmi sintetiziranih materialov ter razvoj novih sinteznih metod, ki vodijo do novih funkcionalnih lastnosti in posledično do razvoja novih aplikacij.

V preteklem 6-letnem obdobju je bilo raziskovalno delo članov skupine za raziskave sodobnih materialov razdeljeno v dve večji področji in sicer:

- I. Raziskave materialov s posebnimi električnimi lastnostmi, in
- II. Raziskave nano-strukturnih materialov in postopkov za njihovo pripravo.

Cilj raziskav je pridobitev originalnih znanstvenih spoznanj potrebnih za sintezo novih materialov z izboljšanimi električnimi lastnostmi in pridobitev znanj, ki bodo omogočala pripravo izbranih materialov v nano-strukturnih oblikah. Obe področji je glede na vsebino raziskav moč dalje razdeliti:

- I. Raziskave materialov s posebnimi električnimi lastnostmi:

1. Raziskave prilagodljivih materialov,
2. Raziskave mikrovalovnih dielektrikov,
3. Raziskave keramičnih materialov kompatibilnih s tehnologijo nizekotemperaturno sočasno sintrane keramike (LTCC).

- II. Raziskave nanostrukturnih materialov in postopkov za njihovo pripravo

1. Raziskave nanokompozitov,
2. Raziskave nizkodimenzionalnih nanostruktur,
3. Raziskave novih materialov pripravljenih z biomimetično sintezo,
4. Raziskave sodobnih metod za pripravo tankih filmov.

ANG

The development of new materials and nanotechnologies profoundly influences how we live our lives in modern societies. Research activities directed towards these areas have become popular scientific fields in the technologically developed parts of the world. One of the main goals is the development of materials with improved properties that will result in new applications, the miniaturisation of existing systems, improved energy-conversion efficiencies and the development of environmentally friendly technologies. These goals are also reflected in the scope of the research activities of the Advanced Materials Group that operates in the frame of the Jozef Stefan Institute. The basic research hypothesis of the group is that the phase composition, the crystal structure, the microstructure and the morphology of a material with a certain chemical composition crucially influence the properties of that material. The research activities of the group encompass studies of phase relations within multi-component systems, the determination of crystal structures and defects, studies of the mechanisms and kinetics of the chemical reactions that take place during the synthesis, studies of the phase transformations and studies of the microstructure development of polycrystalline materials as well as the morphology development of nanostructured materials. The main goals are exposing the relations between these parameters and the resulting properties of materials and the development of new synthesis methods that could lead to new functional properties and consequently to the development of new applications.

Within the past six-year period the research activities of the Advanced Materials Group were divided into two major research fields:

- I. Research on materials exhibiting special electrical properties, and
- II. Research on nanostructured materials and processes for their preparation.

The goal was to acquire original scientific knowledge that would enable the synthesis of new materials with improved electrical properties and to acquire knowledge which would enable the preparation of the selected materials in the form of nanostructures. Both these fields can be further subdivided:

I. Research on materials exhibiting special electrical properties:

1. Research on tunable materials,
2. Research on microwave dielectrics,
3. Research on ceramic materials compatible with low-temperature co-fired ceramic (LTCC) technology.

II. Research on nanostructured materials and the processes for their preparation:

1. Research on nanocomposites,
2. Research on low-dimensional nanostructures
3. Research on new materials prepared by biomimetic synthesis,
4. Research on advanced methods for the preparation of thin films.

### 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

Raziskovalne aktivnosti Odseka za raziskave sodobnih materialov v obdobju 2009-2014 so bile usmerjene v dve glavni raziskovalni področji:

**I. Raziskave materialov s posebnimi električnimi lastnostmi, in**  
**II. Raziskave nanostrukturiranih materialov in postopkov za njihovo izdelavo.**

**I. Raziskave materialov s posebnimi električnimi lastnostmi** so vključevale (i) prilagodljive materiale, (ii) mikrovalovne dielektrike in (iii) keramične materiale, kompatibilne s tehnologijo nizko-sinterabilne sočasno sintrane keramike. Študij napetostno prilagodljivih materialov je bil osredotočen na relaksorske feroelektrike na osnovi  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ . Za načrtovanje sobno-temperaturne dielektrične relaksacije smo  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$  dodali feroelektrike ( $\text{NaTaO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ ) in antiferoelektrike ( $\text{Li}_{0.45}\text{La}_{0.52}\text{TiO}_3$ ) v zametku. Frekvenčno nerazpršen dielektrični odziv in zelo stabilno temperaturno obnašanje smo dosegli s pripravo strukturiranih  $\text{SrTiO}_3/\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3/\text{SrTiO}_3$  tankih filmov. Feroelektrične in antiferoelektrične pojave smo študirali v celotnem koncentracijskem območju ( $0 \leq x \leq 1$ ) za  $\text{Ag}(\text{Nb}_x\text{Ta}_{1-x})\text{O}_3$ . Dokazali smo, da nehomogena razporeditev Nb in Ta v  $\text{Ag}(\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})\text{O}_3$  omogoča izboljšano temperaturno stabilnost resonančne frekvence.

Raziskave mehansko-prilagodljivih materialov so vključevale sestave iz naslednjih sistemov:  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-K}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ ,  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-KTaO}_3$  and  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-NaTaO}_3$ . Strukturne in električne lastnosti  $(\text{Na}_{1-x}\text{K}_x)_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$  trdnih raztopin smo določili z namenom, da bi ovrednotili to keramiko kot alternativni material, ki bi nadomestil piezoelektrike na osnovi svinca. Ugotovili smo, da se v trdnih raztopinah  $(\text{Na}_{1-x}\text{K}_x)_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$  morfoloptropno fazno območje z soobstojem romboedrične in tetragonalne strukture nahaja med  $x=0.17$  in  $0.25$ , kjer so bile dosežene tudi maksimalne vrednosti dielektrične konstante, remanentne polarizacije in piezoelektričnega koeficienta. Izboljšane feroelektrične in piezoelektrične lastnosti smo pripisali soobstoju različnih polarizacijskih osi zaradi raznolikih popačitev romboedričnih in tetragonalnih perovskitnih kristalov. Za dielektrične lastnosti  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$  trdnih raztopin s  $\text{KTaO}_3$  feroelektrikom v zametku smo ugotovili, da so te odvisne od pogojev žganja in sestave in se postopno spreminjajo od feroelektričnih preko relaksorskih do paraelektričnih z naraščanjem vsebnosti  $\text{KTaO}_3$ . V okviru magnetno prilagodljivih materialov smo raziskovali  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  in  $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ . Pri slednjem smo urejanje Fe in Re in posledično magnetne lastnosti kontrolirali s presežkom Re. Za  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  keramiko smo študirali korelacije med mikrostrukturnimi značilnostmi in magnetnimi lastnostmi. Za pretirano rast zrn v sintrani keramiki je bilo ugotovljeno, da povzroča zmanjšanje remanentne magnetizacije ( $M_r$ ) in koercitivnosti ( $H_c$ ), saj orientiranje magnetnih momentov ni prekinjeno z mejami med zrn. Na področju raziskav mikrovalovnih dielektrikov smo raziskali pogoje, ki

omogočajo pripravo  $Mg_3B_2O_6$  keramike z ekstremno visokimi Qxf vrednostmi (240 000 GHz). Pri raziskavah mikrovalovnih dielektrikov, kompatibilnih z LTCC tehnologijo, je bil poudarek na nizko-sinterabilni keramiki brez stekla na osnovi  $K_xBa_{1-x}Ga_{2-x}Ge_{2+x}O_8$  glinencev in  $MWO_4$  ( $M=Ca, Sr, Ba$ ) šelitov ter tudi na rekristalizirani steklo-keramiki na osnovi  $MgO-B_2O_3-SiO_2$  (MBS). Materiali brez stekla so še posebej zanimivi za mikrovalovne in LTCC aplikacije zaradi nizkih dielektričnih izgub (visoke Qxf vrednosti) in večje kemijske kompatibilnosti, medtem ko je za steklo-keramične sestave običajno značilna boljša mehanska trdnost. Raziskave MBS sistema so vključevale študije kristalizacije faz in mikrovalovnih dielektričnih lastnosti steklo-keramike ter določitev kristalizacijskih mehanizmov. Izkazalo se je, da dodatek  $TiO_2$  kot nukleacijskega sredstva poveča Qxf-vrednosti steklo-keramike in spremeni kristalizacijski mehanizem od difuzno do medfazno kontroliranega.

**II. Raziskave nanostrukturiranih materialov in procesov za njihovo pripravo** so vključevale raziskave nanokompozitov, tvorbo nizkodimenzionalnih delcev funkcijskih materialov, biomimetične sinteze in tanke filme. Za pripravo nanokompozitov kot so Ag, Pt/hidroksiapatit, Ag, Cu in CuO/titanatni trakovi in Pt/ $TiO_2$  smo razvili številne nove pristope, vključujoč sonokemijsko in hidrotermalno sintezo ter metodo uporabe polielektrolitov. Motiv za pripravo nanokompozitov na osnovi kovina-polprevodnik, polprevodnik-polprevodnik je izhajal iz pričakovane intenzivne elektronske interakcije med kovinskimi (Ag, Pt, Cu) ali CuO nanodelci in polprevodniškimi hidroksiapatitnimi, titanatnimi ali  $TiO_2$  nanostrukturami, kar vodi do učinkovite ločitve elektrona in vrzeli in posledično omogoča superiorno antibakterijsko in fotokatalitično učinkovitost. Med temi materiali predstavljajo kompoziti na osnovi Pt in hidroksiapatita biokompatibilni pristop za samočiščenje. Priprava nanodelcev funkcijskih materialov je vključevala  $BaTiO_3$ ,  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ ,  $CoFe_2O_4$ . Še posebej smo se posvetili razumevanju mehanizmov rasti delcev, kar je v nadaljevanju omogočalo kontrolo oblike, kristalne strukture in posledično funkcionalnih lastnosti materialov. Tako smo pri sintezi  $CoFe_2O_4$  delcev s pomočjo oleinske kisline nadzirali agregacijo in magnetne lastnosti od ferimagnetnih do superparamagnetnih.

Raziskave naprednih metod za pripravo tankih plasti so sledile že nekaj časa prisotnim težnjam po miniaturizaciji, tekom katerih se keramične komponente zamenjujejo s tankimi plastmi. Tanke plasti na osnovi  $Bi_{12}SiO_{20}$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ - $NaTaO_3$  so bile pripravljene z uporabo modificirane sol-gel metode in nanosene z metodo vrtenja na korundno in Pt/ $TiO_2$ / $SiO_2$ /Si podlago. Opazili smo, da je nastanek faz in razvoj mikrostrukture tankih plasti odvisen od pogojev sinteze in termične obdelave ter od vrste podlage.

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

SLO

Predlagani raziskovalni program je bil z vidika postavljenih raziskovalnih ciljev in časovnih okvirov v celoti realiziran. Do novih originalnih znanstvenih spoznanj smo prišli tudi na področju napetostno-prilagodljivih relaksorskih feroelektrikov na osnovi  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ , ki smo ga kombinirali s feroelektriki ( $NaTaO_3$ ,  $SrTiO_3$ ) in antiferoelektriki ( $Li_{0.45}La_{0.52}TiO_3$ ) v zametku. Dokazali smo, da sestave iz  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$  -  $Li_{0.45}La_{0.52}TiO_3$  sistema izkazujejo bolj primerno dielektrično konstanto in temperaturno bistveno stabilnejše dielektrične lastnosti v primerjavi s komercialnimi napetostno prilagodljivimi materiali na osnovi  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ . Zanimarjiva nepovratna sprememba dielektrične konstante pred in po meritvi prilagodljivosti in oblika krivulj prilagodljivosti kažejo, da so sestave s 5, 10 and 30 mol. %  $Li_{0.45}La_{0.52}TiO_3$  primerne za uporabo kot električna stikala in senzorji. V okviru študija mehansko-prilagodljivih materialov smo za  $(Na_{1-x}K_x)_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$  trdne raztopine v koncentracijskem območju  $0.17 \leq x \leq 0.25$  določili morfotropno sestavo. Na osnovi *in-situ* segregiranja in opazovanja s presevnim elektronskim mikroskopom smo strukturni prispevek k povečanim elektromehanskim lastnostim pripisali relaksorskemu značaju sestav iz morfotropnega faznega področja in njihovo sposobnostjo, da se pod vplivom polja spremenijo v feroelektrično fazo. Odvisnost dielektričnosti od tlačne obremenitve  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$  smo uspeli povečati z dodatkom  $NaTaO_3$ , medtem ko smo reverzibilnost izboljšali z mehansko modifikacijo domenske strukture. Raziskave mikrovalovnih dielektrikov so vodile do razvoja številnih novih materialov na osnovi  $Mg_3B_2O_6$ ,  $K_xBa_{1-x}Ga_{2-x}Ge_{2+x}O_8$ ,  $BaCo_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ , kateri vsi izkazujejo zelo visoke Qxf- vrednosti in temperaturno stabilne dielektrične lastnosti.

V okviru programa smo tudi razvili originalne pristope za pripravo nanokompozitov z antibakterijskim učinkom (Ag/hidroksiapatit), s fotokatalitično aktivnostjo za razgradnjo organskih barvil (Ag, Cu in CuO/titanatni trakovi in Pt/ $TiO_2$ ) in s samočistilno sposobnostjo (Pt/hidroksiapatit). Na osnovi razumevanja tvorbenih mehanizmov smo uspešno kontrolirali obliko, velikost, agregacijo in fazno sestavo  $BaTiO_3$ ,  $Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$  in  $CoFe_2O_4$  nanodelcev.

Na področju priprave tankih plasti smo uspeli razviti nove pristope sol-gel metode, ki so omogočale kontroliranje mikrostrukture, nastanek faz in posledično električne karakteristike  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-NaTaO}_3$  tankih plasti. Dodatno smo z uporabo analitičnih in numeričnih modelov preverili zanesljivost planarne kondenzatorske konfiguracije za določitev mikrovalovnih dielektričnih lastnosti tankih plasti.

Rezultati raziskav so bili predstavljeni v 170 originalnih znanstvenih člankih, ki so bili objavljeni v revijah z visokimi faktorji vpliva. Ugotovitve in postopki, ki so aktualni za praktično uporabo so bili patentirani (6 patentov).

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

SLO

Večji del raziskav v okviru raziskovalnega programa Sodobni anorganski materiali, poteka skladno s predvideno vsebino, najavljeno v prijavi. Do manjših vsebinskih sprememb je prišlo tekom raziskav le na tistih področjih, kjer so rezultati nakazali potrebo po dodatnih raziskavah bodisi zaradi boljšega razumevanja procesov in mehanizmov ali zaradi odkritja novih zanimivih pojavov. V vseh primerih so te dodatne raziskave in študije prispevale k večji relevantnosti objav in tudi nakazale smotrnejše poti za nadaljnje znanstvene usmeritve.

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

Znanstveni dosežek														
1.	<table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>28025383</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td>SLO</td> <td>Deoksidacija površine silicija z uporabo stroncijevega oksida nanešenega s pomočjo pulzne laserske depozicije</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Silicon surface deoxidation using strontium oxide deposited with the pulsed laser deposition technique</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td>SLO</td> <td>Z uporabo metode pulznega laserskega nanašanja se je raziskovala uporaba kemijsko mnogo bolj stabilnega SrO v primerjavi s kovinskim stroncijem, za namene odstranjevanja nativnega oksida s površine silicija in stabilizacije le-te. Tako pripravljene površine so se analizirale in-situ z refleksijsko visokoenergijsko elektronsko difrakcijo in ex-situ z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo, rentgensko refleksijsko analizo in mikroskopijo na atomsko silo. Po nanosu SrO na Si/SiO<sub>2</sub> v vakuumu so se takšne strukture žgale pod različnimi pogoji vse do temperature 850°C. Rezultati te študije so razkrili učinkovito sintezno pot za pripravo puferske plasti na silicijevem substratu, pripravljene s pomočjo SrO in PLD metode, ki se lahko nadalje uporabi za epitaksialno rast funkcionalnih oksidov.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>The applicability of the chemically much more stable SrO compared to metallic Sr in the process of native-oxide removal and silicon-surface stabilization was investigated using the pulsed-laser deposition technique (PLD), while the as-derived surfaces were analyzed in-situ using reflection high-energy electron diffraction and ex-situ using X-ray photoelectron spectroscopy, X-ray reflectivity, and atomic force microscopy. After the deposition of the SrO over Si/SiO<sub>2</sub>, in a vacuum, different annealing conditions, with the temperature ranging up to 850 °C, were applied. The results of the study revealed, for the first time, an effective pathway for the preparation of a SrO-induced buffer layer on a silicon substrate using PLD,</td> </tr> </table>	COBISS ID	28025383	Vir: COBISS.SI	Naslov	SLO	Deoksidacija površine silicija z uporabo stroncijevega oksida nanešenega s pomočjo pulzne laserske depozicije	ANG	Silicon surface deoxidation using strontium oxide deposited with the pulsed laser deposition technique	Opis	SLO	Z uporabo metode pulznega laserskega nanašanja se je raziskovala uporaba kemijsko mnogo bolj stabilnega SrO v primerjavi s kovinskim stroncijem, za namene odstranjevanja nativnega oksida s površine silicija in stabilizacije le-te. Tako pripravljene površine so se analizirale in-situ z refleksijsko visokoenergijsko elektronsko difrakcijo in ex-situ z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo, rentgensko refleksijsko analizo in mikroskopijo na atomsko silo. Po nanosu SrO na Si/SiO <sub>2</sub> v vakuumu so se takšne strukture žgale pod različnimi pogoji vse do temperature 850°C. Rezultati te študije so razkrili učinkovito sintezno pot za pripravo puferske plasti na silicijevem substratu, pripravljene s pomočjo SrO in PLD metode, ki se lahko nadalje uporabi za epitaksialno rast funkcionalnih oksidov.	ANG	The applicability of the chemically much more stable SrO compared to metallic Sr in the process of native-oxide removal and silicon-surface stabilization was investigated using the pulsed-laser deposition technique (PLD), while the as-derived surfaces were analyzed in-situ using reflection high-energy electron diffraction and ex-situ using X-ray photoelectron spectroscopy, X-ray reflectivity, and atomic force microscopy. After the deposition of the SrO over Si/SiO <sub>2</sub> , in a vacuum, different annealing conditions, with the temperature ranging up to 850 °C, were applied. The results of the study revealed, for the first time, an effective pathway for the preparation of a SrO-induced buffer layer on a silicon substrate using PLD,
COBISS ID	28025383	Vir: COBISS.SI												
Naslov	SLO	Deoksidacija površine silicija z uporabo stroncijevega oksida nanešenega s pomočjo pulzne laserske depozicije												
	ANG	Silicon surface deoxidation using strontium oxide deposited with the pulsed laser deposition technique												
Opis	SLO	Z uporabo metode pulznega laserskega nanašanja se je raziskovala uporaba kemijsko mnogo bolj stabilnega SrO v primerjavi s kovinskim stroncijem, za namene odstranjevanja nativnega oksida s površine silicija in stabilizacije le-te. Tako pripravljene površine so se analizirale in-situ z refleksijsko visokoenergijsko elektronsko difrakcijo in ex-situ z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo, rentgensko refleksijsko analizo in mikroskopijo na atomsko silo. Po nanosu SrO na Si/SiO <sub>2</sub> v vakuumu so se takšne strukture žgale pod različnimi pogoji vse do temperature 850°C. Rezultati te študije so razkrili učinkovito sintezno pot za pripravo puferske plasti na silicijevem substratu, pripravljene s pomočjo SrO in PLD metode, ki se lahko nadalje uporabi za epitaksialno rast funkcionalnih oksidov.												
	ANG	The applicability of the chemically much more stable SrO compared to metallic Sr in the process of native-oxide removal and silicon-surface stabilization was investigated using the pulsed-laser deposition technique (PLD), while the as-derived surfaces were analyzed in-situ using reflection high-energy electron diffraction and ex-situ using X-ray photoelectron spectroscopy, X-ray reflectivity, and atomic force microscopy. After the deposition of the SrO over Si/SiO <sub>2</sub> , in a vacuum, different annealing conditions, with the temperature ranging up to 850 °C, were applied. The results of the study revealed, for the first time, an effective pathway for the preparation of a SrO-induced buffer layer on a silicon substrate using PLD,												

		which can be subsequently utilized for the epitaxial growth of functional oxides.
	Objavljeno v	American Chemical Society; ACS applied materials & interfaces; 2014; Vol. 6, issue 20; str. 18205-18214; Impact Factor: 5.900; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: NS, PM; Avtorji / Authors: Jovanović Zoran, Spreitzer Matjaž, Kovač Janez, Klement Dejan, Suvorov Danilo
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	27352359 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Hidroksiapatit/zlato/arginin: Načrtovanje strukture za antibakterijsko delovanje
		<i>ANG</i> Hydroxyapatite/gold/arginine: Designing the structure to create antibacterial activity
	Opis	<i>SLO</i> Razvili smo hidroksiapatit/zlato/arginin (HAp/Au/arginine) nanokompozit, ki vsebuje: (i) hidrofobne zlate (Au) nanodelce, (ii) pozitivno nabite, hidrofilne molekule arginina, ki funkcionalizirajo površino Au nanodelcev, ter (iii) hidroksiapatit (HAp), ki je bioaktivni nosilec funkcionaliziranih Au nanodelcev. Posamezne komponente nanokompozita ne izkazujejo nobenega vpliva na rast bakterij, vendar njihova prisotnost v nanokompozitu, ki omogoča specifično strukturo in kemijo površine, omogoča tudi upliv nanokompozita na bakterijsko rast. V primerjavi z neselektivnim HAp/Ag referenčnim materialom izkazuje novi material, ki smo ga razvili, močnejše antibakterijsko delovanje in je bolj kompatibilen s človeškimi celicami. Glede na lasnosti, ki jih vsebuje nov material, je uporaben kot varnejša in bolj učinkovita zamenjava za biomateriale, ki vsebujejo srebro.
		<i>ANG</i> We designed hydroxyapatite/gold/arginine (HAp/Au/arginine) nanocomposite that contains: (i) hydrophobic gold (Au) nanoparticles, (b) positively charged, hydrophilic arginine molecules that functionalize the surface of the Au and (c) hydroxyapatite (HAp) bioactive carrier of the functionalized Au nanoparticles. None of the components used for the formation of the nanocomposite have any influence on bacterial growth; however, their combination within the nanocomposite that creates specific and surface provides this property. In comparison to the non-selective HAp/Ag reference, newly-developed material possesses stronger antibacterial action, is more compatible to human cells. Concerning the properties of new material it can be suggested as safer and more effective replacement of silver-based antibacterial components in biomaterials.
	Objavljeno v	RSC Publications; Journal of materials chemistry. B, Materials for biology and medicine; 2014; Vol. 2014, issue 11; str. 1557-1564; Impact Factor: 6.626; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: EI, PM; Avtorji / Authors: Vukomanović Marija, Logar Manca, Škapin Srečo D., Suvorov Danilo
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	27467815 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Kemijski razpad kot verjeten razlog za ambientno in temperaturno nestabilnost plastovitih natrijevih kobaltatov
		<i>ANG</i> Chemical decomposition as a likely source of ambient and thermal instabilities of layered sodium cobaltate
		V tem članku obravnavamo sintezo visokostrukturiranega Na <sub>0.75</sub> CoO <sub>2</sub> in spreminjanje njegovih lastnosti pri različnih sobnih pogojih. Izkazalo se je, da je nestabilen in zelo občutljiv na sobne razmere, zaradi česar je vprašljiva njegova praktična uporabnost. Sistematično smo raziskali vpliv

	Opis	SLO	vlačnosti na keramične tablete in identificirali pogoje pri katerih material popolnoma razpade. S pomočjo mikrostrukturne in termične analize skupaj z analizo izhajajočih plinov smo identificirali kemijske reakcije, ki so vključene v proces razpada. Ugotovili smo, da so fizikalne spremembe posledica redukcije kobalta in posledično nastanka vključkov CoO, ki poveča količino natrija v kristalni strukturi natrijevega kobaltata.
		ANG	This article deals with synthesis of highly textured sodium cobaltate Na <sub>0.75</sub> CoO <sub>2</sub> and changes of their properties at different ambient conditions. At the same time, we identified its peculiarities that influence the measured parameters to a degree that poses serious questions about this material's potential for use. We have systematically studied the influence of humidity on the ceramic pellets and identified the conditions under which the material completely deteriorates. By performing microstructural and thermal analyses, coupled with a determination of the evolved gases, we identified the chemical reactions that are involved in this process. The changes in the physical parameters can be attributed to the reduction of cobalt and consequently to the formation of CoO inclusions, which increases the amount of sodium in the sodium cobaltate lattice.
	Objavljeno v	The Society; Chemistry of materials; 2013; Vol. 25, no. 23; str. 4791-4797; Impact Factor: 8.535; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; A'': 1; WoS: EI, PM; Avtorji / Authors: Vengust Damjan, Jančar Boštjan, Šestan Andreja, Ponikvar-Svet Maja, Budič Bojan, Suvorov Danilo	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	26882855	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pulzno lasersko nanašanje SrTiO <sub>3</sub> na H-terminiranem Si substratu
		ANG	Pulsed laser deposition of SrTiO <sub>3</sub> on a H-terminated Si substrate
	Opis	SLO	V delu se je pulzno lasersko nanašanje uporabilo za pripravo tanke plasti SrTiO <sub>3</sub> (STO) na H-terminiranem Si substratu. Glavni namen dela je bil preveriti sposobnost H-terminacije proti oksidaciji silicija tekom PLD procesa in analizirati dobljene vmesne plasti. V prvem delu študije smo STO nanесли neposredno na silicij, kar je vodilo do nastanka preferenčno teksturirane plasti STO z orientacijo (100). V drugem delu raziskave smo uporabili kot vmesno plast SrO, ki je omogočil delno epitaksialno rast plasti STO s STO(110)//Si(100) in STO[001]//Si[001]. Sprememba smeri rasti, ki jo je povzročila uporaba SrO je posledica nastanka SrO(111) vmesne plasti in posledično zmanjšanja razlike osnovnih celic med STO in SrO. Pri uporabljenih pogojih je zaradi reakcije med nanesenim materialom in silicijem nastala približno 10 nm debela plast. V primeru direktne rasti STO se je na stiku s silicijem tvoril SiO <sub>x</sub> , med tem ko pa je pri uporabi SrO vmesne plasti neposredno na siliciju rasel stroncijev silikat, ki je izboljšal kvaliteto rasti zgornjega STO.
		ANG	In our study, pulsed laser deposition was used to prepare a SrTiO <sub>3</sub> (STO) thin film on a H-terminated Si substrate. The main purpose of our work was to verify the ability of H-termination against the oxidation of Si during the PLD process and to analyze the resulting interfaces. In the first part of the study, the STO was deposited directly on the Si, leading to the formation of a preferentially textured STO film with a (100) orientation. In the second part, SrO was used as a buffer layer, which enabled the partial epitaxial growth of STO with STO (110)//Si(100) and STO[001]//Si[001]. The change in the growth direction induced by the application of a SrO buffer was governed by the formation of a SrO(111) intermediate layer and subsequently by the minimization of the lattice misfit between the STO and the SrO. Under the investigated conditions, approximately 10 nm thick interfacial layers formed due to reactions between the deposited material and the underlying Si. In the case of direct STO deposition, SiO <sub>x</sub> formed at

		the interface with the silicon, while in the case when SrO was used as a buffer, strontium silicate grew directly on the silicon, which improves the growth quality of the uppermost STO.
	Objavljeno v	RSC Publications; Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices; 2013; Vol. 1, issue 34; str. 5216-5222; Impact Factor: 6.626; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: EI, PM; Avtorji / Authors: Spreitzer Matjaž, Egoavil Escobar Ricardo Juan, Verbeeck Jo, Blank Dave H. A., Rijnders Guus
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	23788071 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Ag/TiO <sub>2</sub> nanokompozitni TiO <sub>2</sub> film kot plazmوني fotokatalitski material, pripravljen s pomočjo šibkih večplastnih polielektrolitov
		<i>ANG</i> Weak polyion multilayer-assisted in situ synthesis as a route toward a plasmonic Ag/TiO <sub>2</sub> photocatalyst
	Opis	<i>SLO</i> Polielektrolitne večplaste nanose samourejene na silicejevem substratu smo uporabili za in-situ sintezo srebrnih nanodelcev. Naknadno smo nanos izpostavili titanoven izopropoksidu, kar je sprožilo in-situ sol-gel reakcijo. Po termičnem razkroju organskih komponent je nastal Ag/TiO <sub>2</sub> nanokompozit. Kompozit je izkazoval boljše fotokatalitske lastnosti od komercialnega TiO <sub>2</sub> . Efekt smo pripisali interakciji separacije naboja s površinsko plazmonsko resonanco.
		<i>ANG</i> Polyelectrolyte multilayers were assembled on silicon substrate and used for in-situ synthesis of silver nanoparticles. Subsequently Ti-isopropoxide was applied which triggered in-situ sol gel reaction. After thermal decomposition of organic phases Ag/TiO <sub>2</sub> nanocomposite was obtained. The composite exhibited superior photocatalytic activity to that of titania. The effect was attributed to surface plasmon assisted charge separation.
	Objavljeno v	American Chemical Society; Langmuir; 2010; Vol. 26, issue 14; str. 12215-12224; Impact Factor: 4.268; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.13; A': 1; WoS: DY, EI, PM; Avtorji / Authors: Logar Manca, Jančar Boštjan, Šturm Sašo, Suvorov Danilo
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

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

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Ustanovitev laboratorija za pulzno lasersko depozicijo
		<i>ANG</i> New Laboratory for Pulse Laser deposition PLD
	Opis	<i>SLO</i> V 2013. letu smo ustanovili nov Laboratorij za pulzno lasersko depozicijo, ki omogoča sintezo oksidnih heterostruktur na nano-nivoju. V njem trenutno raziskuje 5 mladih doktorjev znanosti. Sistem za pulzno lasersko nanašanje je namenjen sintezi tankih plasti in omogoča rast plast po plasti. Opremljen je z viskotlačno RHEED diagnostiko, UVV črpalkami, virom za kisikovo plazmo, virom za magnetronsko nanašanje, laserskim gretjem in predkomoro, ki je povezana s suho komoro.
		<i>ANG</i> In 2013 we established a new laboratory for investigations of oxide materials by use of pulse laser deposition. At present 5 young PhD's are investigating oxide-based heterostructures. System for PLD is dedicated for the synthesis of nanosized thin layers which are grown layer by layer. The main parts of equipment are: high pressure RHEED diagnostics, UVV



			pumps, source of Oxygen plasma, source of magnontronic deposition, laser heating with pre-chamber which is conneted with glow-box.
	Šifra	D.02	Ustanovitev raziskovalnega centra, laboratorija, študija, društva
	Objavljeno v	Novice CO NiN	
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	
2.	COBISS ID	21528615	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Keramični material, sintrana keramika in komponente narejene iz njih, proizvodna metoda in uporaba keramike
		ANG	Ceramic material, sintered ceramic and component made therefrom, production method and use of the ceramic
	Opis	SLO	Patent opisuje različne vrste nizkosinterabilne keramike za uporabo v LTCC modulih. Poudarek je na materialih, ki se uporabljajo za brezžične komunikacijske sisteme za prenos zvoka in slike.
		ANG	This patent describes different kinds of ceramic materials used for contemporary LTCC modules. They play a crucial role in devices for wireless communications.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	United States Patent and Trademark Office; 2010; 9 str.; A': 1;A': 1; Avtorji / Authors: Dudešek Pavol, Hoffmann Christian, Suvorov Danilo, Valant Matjaž	
	Tipologija	2.24 Patent	
3.	COBISS ID	26609703	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kompozitni materiali na osnovi keramične faze in kovine s funkcionalizirano površino, kot okolju prijazni materiali z antibakterijskim delovanjem
		ANG	Functionalized hydroxyapatite/gold composites as "green" materials with antibacterial activity and a process for preparing and use thereof
	Opis	SLO	Razvili smo nov pristop za doseg zelo učinkovite antibakterijske zaščite s pomočjo uporabe aktivnega zlata.
		ANG	We have developed a novel approach for reaching highly effective antibacterial action by using active gold.
	Šifra	F.33	Patent v Sloveniji
	Objavljeno v	World Intellectual property organization; 2013; Avtorji / Authors: Vukomanović Marija, Škapin Srečo D., Suvorov Danilo	
	Tipologija	2.23 Patentna prijava	
4.	COBISS ID	262821632	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sinteza in funkcionalizacija enodimenzionalnih titanatnih nanostruktur
		ANG	Synthesis and functionalisation of one-dimensional titanate-based nanostructures
	Opis	SLO	Disertacija obravnava sintezo in karakterizacijo nizkodimenzionalnih titanatnih nanostruktur in njihovo funkcionalizacijo. Z uporabo polielektrolitov, ki so v reakciji služili kot nanoreaktor za in-situ sintezo kovinskih nanodelcev na površini titanatnih nanotrakov, je Ines Bračko sintetizirala kompozite s kontrolirano velikostjo nanodelcev in homogeno porazdelitvijo le-teh. Takšni kompoziti s srebrnimi in bakrenimi nanodelci izkazujejo povečano fotokatalitsko aktivnost v UV in vidnem območju.
			The dissertation deals with the synthesis and characterization of low dimensional nanostructures and their functionalization. By utilizing polyelectrolytes that served as nanoreactors for the in-situ synthesis of

			metallic nanoparticles on the surface of titanate nanobelts, Ines Bračko synthesized nanocomposites with controlled size and homogenous distribution of nanoparticles. Such nanocomposites with silver and copper nanoparticles exhibit enhanced photocatalytic activity in UV and visible region.
	Šifra	D.09	Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[I. Bračko]; 2012; VII, 101 str.; Avtorji / Authors: Bračko Ines	
	Tipologija	2.08	Doktorska disertacija
5.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Journal of the European Ceramic Society Editorial Board
		ANG	Journal of the European Ceramic Society Editorial Board
	Opis	SLO	SLO D. Suvorov: član uredniške odbora od 2007. leta
		ANG	D. Suvorov: member of the Editorial Board from 2007
	Šifra	C.06	Članstvo v uredniškem odboru
	Objavljeno v	Journal of the European Ceramic Society	
	Tipologija	3.25	Druga izvedena dela

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

Poseben pomen opravljenim raziskavam dajejo tudi:

### 1. Patenti:

- M. Vukomanović, S. D. Škapin, D. Suvorov: Kompozitni materiali na osnovi keramične faze in kovine s funkcionalizirano površino, SI24094 (A), 2013.
- A. Dakskobler, A. Kocjan, M. Logar: Postopek priprave nosilnega koloidnega prahu z visoko specifično površino, SI23502 (A), 2012.
- A. Dakskobler, A. Kocjan, M. Logar: Postopek priprave nosilnega koloidnega prahu z visoko specifično površino, SI23580 (A), 2012.
- P. Dudašek, C. Hoffmann, D. Suvorov, M. Valant, Keramični material, sintrana keramika in iz njih narejene komponente: DE102006024231 (B4), Deutsches Patent, 2010.
- P. Dudašek, C. Hoffmann, D. Suvorov, M. Valant, Keramični material, sintrana keramika in iz njih narejene komponente, US7816293 (B2), United States Patent, 2010.

### 2. Patentni prijavi:

- M. Vukomanović, S. D. Škapin, D. Suvorov: Kompozitni materiali na osnovi keramične faze in kovine s funkcionalizirano površino, WO2013187846 (A1), 2013.
- M. Gruenbichler, B. Jančar, D. Suvorov: Termoelektrični keramični materiali in generatorji na osnovi le-teh, EP-patent Application No. 14177502.3

### 3. Izobraževanje:

Ob izvajanju kvalitetnega raziskovalnega dela člani programske skupine P2-0091 veliko pozornost posvečajo izvajanju izobraževanja in vzgoji kadrov, ki se nato uspešno vključujejo v kolektive-uporabnike pridobljenih znanj. V preteklem 6-letnem obdobju je doktorsko disertacijo dokončalo 11 sodelavcev, izmed katerih so v navedem obdobju v gospodarstvo prešli naslednji:

- dr. Jana Ferčič (2009-)

Inovacijski center, Gorenje, d.d.

- dr. Urban Došler (2012-)

MS&T, Lek farmacevtska družba d.d.

- dr. Ines Bračko (2012-)

Medex d.o.o.

- dr. Tina Šetinc (2013)

Keko-Varicon d.o.o. Žužemberk

Še posebno pomembno je, da se v izobraževalni proces vključujejo tudi sodelavci, ki so redno zaposleni v gospodarstvu. Trije med njimi so v preteklem obdobju dokončali svoja magistrska dela.

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

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

SLO

Znanstvena vsebina predlaganega raziskovalnega programa je zasnovana tako, da je po znanstveni vsebini originalna in mednarodno primerljiva, saj vodi do novih, originalnih, znanstvenih spoznanj s področja raziskav novih materialov. Vsebinsko posega na mednarodno prioriteta področja raziskav, to je raziskave in razvoj novih materialov ter raziskave nanomaterialov in nanotehnologij. Upoštevana je tudi ekološka komponenta ter raziskovanje človeku prijaznih tehnologij, saj raziskovani materiali ne bodo vsebovali svinčevih komponent, v sinteznem delu pa bomo pretežno uporabili vodne raztopine.

Pričakujemo, da bodo pridobljena nova spoznanja tudi v mednarodnem okolju pomembno prispevala k razvoju, razumevanju in izkoriščanju novih materialov ter širila nova originalna znanstvena spoznanja na področjih telekomunikacijske in informacijske tehnologije in nano-znanosti. Vsa navedena raziskovalna področja so tudi prioriteta v raziskovalnih usmeritvah Evropske unije in v raziskovalno-razvojno najrazvitejših državah.

V preteklem 5-letnem obdobju so bili rezultati opravljenih raziskav v mednarodnem merilu priznani kot originalni in pomembni za razvoj znanosti in novih izdelkov. Programska skupina se zato danes uvršča med vodilne na področju raziskav keramičnih dielektrikov, predvsem tistih, ki so uporabni v GHz frekvenčnem področju, pomembnem za brezžični prenos zvoka in slike. Na področju raziskav materialov za LTCC tehnologije pa smo med prvimi pričeli z raziskavami sodobnih materialov, ki ne vsebujejo stekel.

Pričakujemo, da bodo tudi predlagane raziskave v mednarodnem merilu pomembno doprinesle k nadaljnji znanstveni uveljavitvi skupine. Nova spoznanja bodo prispevala k razvoju, razumevanju in izkoriščanju novih materialov, saj so raziskave po vsebini in izvedbi zasnovane tako, da vodijo do novih odkritij o strukturi in lastnosti materialov, pri čemer posebno pozornost posvečamo raziskavam kompozitnih materialov in novo razvitim nano-materialom s posebnimi elektronskimi lastnostmi. Predlagane raziskave bodo omogočile tudi širjenje mednarodnega sodelovanja, saj so delno že vključene v tekoče mednarodne projekte z ZDA, Finsko, Švedsko, Francijo in tekoče projekte EU, pričakujemo pa tudi nadaljnje povečanje mednarodnega sodelovanja.

Predlagane raziskave bodo vodile do nadaljnje mednarodne znanstvene uveljavitve skupine. V preteklem programskem obdobju so člani raziskovalne skupine prispevali 61 originalnih znanstvenih publikacij, izkazujejo pa tudi kontinuirano rast citiranosti. Prav tako so predstavili več kot 40 vabljenih predavanj (8 plenarnih) na najbolj priznanih mednarodnih konferencah. Posebno pomembnih je tudi 8 podeljenih mednarodnih patentov, ki so rezultat intenzivnega sodelovanja s slovenskimi in tujimi industrijskimi partnerji.

Predlagani raziskovalni program je pomemben tudi za vzgojo novih strokovnjakov, saj sodelavci programske skupine redno sodelujejo v pedagoškem procesu ljubljanske Univerze (FKKT in FMF) in Mednarodne podiplomske šole Jozefa Stefana. V preteklem 5-letnem obdobju se je programski skupini pridružilo tudi 7 mladih raziskovalcev, ki v rednem roku končujejo svoje podiplomsko izobraževanje.

Člani programske skupine so zelo aktivni v organizaciji mednarodnih znanstvenih srečanj. Tako smo 2005. leta v Portorožu organizirali največjo evropsko konferenco s področja keramike, IXth European Ceramic Society Meeting. Vsako leto sodelujemo v organizaciji Simpozija o dielektrični keramiki v okviru letnega srečanja ameriškega keramičnega društva. Pomemben je tudi organizacijski prispevek v konferenci Microwave Materials and Their Applications, ki smo jo leta 2000 prvič organizirali na Bledu. Letno člani programske skupine sodelujejo pri organizaciji vsaj 10 mednarodnih konferenc, aktivni pa so tudi kot recenzenti v najbolj priznanih mednarodnih

revijah s področja materialov in nanotehnologij.

ANG

The scientific content of the proposed research programme has been prepared in such a way that it is original and internationally comparable, leading to new, original scientific findings based on the research of new materials. It deals with research themes that are internationally recognised as priority research areas, i.e., the research and development of new materials, and research on nanomaterials and nanotechnologies. It also considers the environmental component and research on human-friendly technologies, as the researched materials will not contain lead components and mainly water-based solutions will be used during the synthesis. We expect that the newly acquired findings will also contribute significantly to the development, understanding and exploitation of new materials important in the areas of telecommunications and information technology, and in the area of nanoscience. All these research areas are also recognised as research priorities in the policies of the European Union and other countries that have the most developed research and development programmes.

In the past five-year period the results of the completed research were internationally recognised as original and significant for the development of science and new products. For this reason the programme group is now one of the world's leading groups in the area of the research on dielectric ceramics, mainly those that can be used in the GHz frequency range. With respect to applications, this research is important mainly for the development of the wireless transmission of sound and images. With respect to the achieved results, we are also one of the most recognised groups in the area of researching materials for LTCC technologies. For this reason it is realistic to expect that the proposed new research will also contribute significantly to the increased scientific recognition of the programme group. The acquired new findings will contribute to the development, understanding and exploitation of new materials, as, with respect to the programme and their implementation, this research has been designed in such a way that it will lead to new discoveries relating to the structure and properties of the materials, whereby special attention will be paid to research on composite materials and research on newly developed nanomaterials with specific electronic properties.

The proposed research will also allow the broadening of the group's international cooperation, which already involves international projects with the USA, Finland, Sweden, France and in current EU projects.

The proposed research will allow the further international scientific recognition of the group. We expect that the very positive trend in the increasing number of scientific articles published will be continued. In the past five-year programme period we contributed a total of 61 original scientific articles. The citation rate has also been continually on the increase. In addition, in the past five years the members of the group presented more than 40 invited talks (8 as plenary talks) at the most prestigious international conferences.

The significance of this research was also emphasized by the granting of eight international patents that cover the EU, USA, Japan and other countries. They are the result of an intense research cooperation with industrial partners.

The proposed research programme is important for the education of new specialists, as the members of the programme group are regularly involved in lecturing at the University of Ljubljana and at the Jožef Stefan International Postgraduate School. In the past five-year period the programme group was joined by seven young researchers completing their postgraduate courses on time.

Each year members of the research group participate in the organization of various international scientific Conferences. In addition, they serve as referees in most recognized international Journals from the field of ceramic materials and nanotechnologies.

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

SLO

V predloženem raziskovalnem programu se prepletajo temeljne usmerjene in aplikativne raziskave. Področje raziskav posega v zahtevne tehnologije in proizvodne procese, za katere je značilno, da jih lahko izvajamo le ob visokem nivoju strokovnega znanja.

Raziskovalni program je zasnovan tako, da bo ob originalnih znanstvenih spoznanjih omogočil pridobitev znanja, ki je pomembno za razvoj novih materialov in tehnologij, za katere bo značilna visoka stopnja inovativnosti in znanja ter dodane vrednosti na enoto izdelka. S tem bomo prispevali k zmanjševanju slovenske tehnološke in tehnične odvisnosti od bolj razvitih

držav. Uvajanje novih izdelkov in tehnologij z visokim deležem domačega znanja s področja raziskav novih materialov, kar je prioriteta vseh tehnološko razvitih držav, bo povečalo mednarodno konkurenčnost domače industrije. Sodelovanje s tujimi industrijskimi partnerji omogoča tudi uspešno vključevanje slovenskih industrijskih partnerjev v skupne raziskovalne projekte, s tem pa tudi njeno intenzivnejše povezovanje ter skupen nastop na mednarodnem trgu. Za vsak segment predlaganih raziskav že obstoja interes domačih in tujih industrijskih partnerjev, ki se bodo v izvajanje programa tudi aktivno vključevali. Potencialno pomeni takšen interes tudi širjenje proizvodnje z uvajanjem novih izdelkov in novih tehnologij, s tem pa tudi možnost povečevanja števila zaposlenih. Realizacija predloženega raziskovalnega programa bo omogočila tudi pridobitev takšnih znanj, ki bodo učinkovito doprinesla k načrtovanju ekoloških proizvodnih procesov ter človeku prijaznih izdelkov. Ker se slovenski industrijski partnerji nahajajo v različnih slovenskih regijah (Ljubljana, KEKOn, Varicon in KEKO-Oprema - Žužemberk, Gorenje-Velenje, Termo Knauf-Škofja Loka, ETA-Cerkno, Novoterm Pflaidere-Novo Mesto, Steklarna Hrastnik, Steklarna-Rogaška Slatina, Impol-Slovenska Bistrica, Trimo-Trebnje), je izvajanje predlaganega raziskovalnega programa pomembno tudi za regijski razvoj industrije v Sloveniji. Glede na vsebino predlaganih raziskav so za industrijske partnerje pomembne predvsem na področjih ekonomske kompetitivnosti in energijskega varčevanja, vpeljujejo pa tudi okolju prijaznejše izdelke in tehnologije. Realizacija predloženega raziskovalnega programa je pomembna ne le za posamezne industrijske partnerje, temveč na področju razvoja novih elektronskih komponent za celotno slovensko industrijsko panogo. Prav tako so raziskave mineralnih in steklenih vlaken ter stekel pomembne za celotno panogo, istočasno pa tudi za vse slovenske industrijske partnerje s tega proizvodnega področja. Pričakovani rezultati pa so pomembni tudi zato, ker bodo pospeševali interes za nastanek manjših, spin-off podjetij z visoko zahtevno tehnologijo in velikim deležem dodanega znanja. Ker predlagani raziskovalni program temelji na znanstveni vsebini, ki je prioriteta v raziskovalnih smernicah vseh tehnološko razvitih držav, bo prenos pridobljenega znanja v proces izobraževanja pomembno prispeval tudi k ustvarjanju uporabnega znanja, pomembnega za slovenske in tuje industrijske partnerje. V preteklem programskem obdobju so se v okviru programske skupine že uspešno na podiplomski študiju izobraževali 4 strokovnjaki iz industrije: 1 iz Steklarne Rogaška Slatina, 2 iz Gorenja ter 1 iz Trima Trebnje, v izvajanje sedanjega projekta pa sta že vključena 2 sodelavca Gorenja.

V preteklem 5-letnem programskem obdobju je raziskovalna skupina izvajala skupne raziskovalne projekte z naslednjimi slovenskimi in tujimi industrijskimi partnerji: KEKOn, Žužemberk, Varicon, Žužemberk, KEKO-Oprema - Žužemberk, Gorenje-Velenje, Termo Knauf-Škofja Loka, ETA-Cerkno, Novoterm Pflaidere-Novo Mesto, Steklarna Hrastnik, Steklarna-Rogaška Slatina, Impol-Slovenska Bistrica, Trimo, Trebnje in EPCOS, Deutschlandsberg, Avstrija (več kot 10 let sodelovanja), Heraklith, Fūrnitz, Avstrija, Paroc, Finska in Gamma Mecanica, Bibbiano, Italija.

ANG

The research programme for the following period has been prepared in such a way that it will allow, by means of original scientific findings, the acquisition of knowledge important for the development of new materials and technologies, whose characteristic will be a high level of innovation, expertise and added value per product. In this way we will contribute towards the reduction of Slovenia's technological and technical dependency on the more developed countries. The introduction of new products and technologies with a significant input of domestic knowledge in the area of new-materials research, which is a priority for all technologically developed countries, will increase the international competitiveness of domestic industry. The cooperation with foreign industrial partners allows the successful participation of Slovenian industrial partners in joint research projects, leading to a more intense integration and a joint operation in the international market. For each segment of the proposed research there is already a show of interest expressed by domestic and foreign industrial partners, which will be actively involved in the realisation of the programme. Such an interest has the potential for an expansion of the production that can introduce new products and new technologies, and, in this way, increase the number of employees. The realisation of the proposed research programme will allow the acquisition of the knowledge that will effectively contribute towards the planning of ecological production processes and human-friendly products. As Slovenian industrial partners come from different regions of Slovenia (Ljubljana; KEKOn, Varicon and KEKO-Oprema-Žužemberk; Gorenje-Velenje; Termo Knauf-Škofja Loka; ETA-Cerkno; Novoterm - Novo Mesto; Steklarna Hrastnik; Steklarna-Rogaška Slatina; Impol-Slovenska Bistrica; Trimo-

Trebnje), the realisation of the proposed research programme is important also for the regional development of Slovenian industry. With respect to the content of the proposed research, the interest of industrial partners lies mainly in findings related to economic competitiveness and energy saving, and also in environment-friendly products and technologies. The realisation of the proposed research programme is important not only for individual industrial partners, but, with respect to the development of new electronic components, for the whole of Slovenian industry. Similarly, the research on mineral and glass fibres, and on glass, are important for the whole of Slovenian industry, as well as for all the Slovenian partners from this production area. In addition, the expected results are important because they will stimulate the interest for funding small, spin-off companies using highly demanding technologies and having a large fraction of added knowledge.

As the proposed research programme is based on scientific foundations that are included, as priorities, in the research policies of all technologically developed countries, the transfer of acquired knowledge into the process of education will significantly contribute towards the acquisition of applied knowledge important for Slovenian and foreign industrial partners. In the previous programme period, four industrial specialists were successfully trained at the postgraduate level within the programme group – one of them from Steklarna Rogaška Slatina, two from Gorenje and one from Trimo Trebnje.

In the previous five-year programme period, the research group carried out joint research projects with the following Slovenian and foreign industrial partners: KEKOn, Žužemberk; Varicon, Žužemberk; KEKO-Oprema – Žužemberk; Gorenje-Velenje; Termo Knauf-Škofja Loka; ETA-Cerkno; Novoterm Pflaidere-Novo Mesto; Steklarna Hrastnik; Steklarna-Rogaška Slatina; Impol-Slovenska Bistrica; Trimo, Trebnje; EPCOS, Deutschlandsberg, Austria (more than 10 years of cooperation); Heraklith, Fürnitz, Austria; Paroc, Finland; and Gamma Mecanica, Bibbiano, Italy.

## 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	4
bolonjski program - II. stopnja	
univerzitetni (stari) program	7

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
26081	Jana Ferčič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26153	Manca Logar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25630	Jakob Konig	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23571	Asja Veber	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25839	Urban Došler	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28014	Ines Bračko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
21587	Jože Katanec	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30613	Tina Šetinc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35074	Marija Vukomanović	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31083	Vojka Žunič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29547	Mojca Otoničar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33431	Sonja Jovanović	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

34927	Vladimira Petrovič	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Tomaž Petan	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input 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	
26081	Jana Ferčič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
26153	Manca Logar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
25630	Jakob Konig	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
23571	Asja Veber	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
30613	Tina Šetinc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
31083	Vojka Žunič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29547	Mojca Otoničar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
33431	Sonja Jovanović	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	

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	
35074	Marija Vukomanović	C - študent – doktorand	29	
0	Ismail Fabregas	D - podoktorand	20	
0	Lei Li	D - podoktorand	16	
0	Zoran jovanović	D - podoktorand	18	
21587	Jože Katanec	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
19241	Jyoti Prosad Guha	B - uveljavljeni raziskovalec	9	
0	Tomaž Petan	A - raziskovalec/strokovnjak	2	

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

EU-projekti:

- Nadzorovana proizvodnja visoko tehnoloških multifunkcijskih izdelkov in njihovo recikliranje: SAPHIR, 6.FP, NMP2-CT-2006-026666, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Razvoj obstojnih prevlek iz kompleksnih kovinskih spojin za funkcionalno uporabo: AppliCMA, 7.FP, 214407, vodja: doc. dr. Srečo Škapin

Mednarodni projekti:

- NATO SFP - Prilagodljivi mikrovalovni materiali, kompoziti in naprave, SFP-984091, vodja: doc.dr. Boštjan Jančar
- Nova anorganska črnila za hibridna elektronska tiskana vezja: INNOINKS, MATERA-ERA.NET, 3211-11-000206, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Nanostrukturirani feroelektrični filmi: NAFERBIO, MNT-ERA.NET II 3211-11-000259, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov

Bilateralni projekti:

- Multifunkcionalni feroelektrični materiali na osnovi  $\text{Ag}(\text{Nb,Ta})\text{O}_3$ , BI-UA/13-14-005, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Oblikovanje nanostrukturnih multifunkcionalnih in sintranih funkcionalno gradientnih električnih in bioloških materialov, BI-RS/12-13-006, vodja: doc. dr. Srečo Davor Škapin
- Sinteza dielektričnih materialov s kemijsko depozicijo iz raztopin in karakterizacija njihovih dielektričnih lastnosti, BI-BR/11-13-002, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Dielektrični materiali z ultra-nizko dielektrično konstanto za tehnologijo nizko-temperaturno sočasnega sintranja, BI-CN/09-11-013, vodja: doc. dr. Srečo Davor Škapin
- Funkcionalni nanostrukturni keramični materiali, BI-AR/09-11-001, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Sinteza piezo električnih tankih filmov iz magnetoelektričnih kompozitov z metodo plastnega samourejanja, BI-KR/09-11-001, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Nanodelci mešanih oksidov redkih zemelj: sinteza, karakterizacija, aplikacije, BI-RS/10-11-016, vodja: doc. dr. Boštjan Jančar
- Biomimetična sinteza anorganskih nanomaterialov, BI-HR/09-10-037, vodja: doc. dr. Srečo Davor Škapin
- Načrtovanje in sinteza funkcionalnih materialov na molekularnem in nano nivoju, BI-RS/08-09-027, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Električno prilagodljivi feroelektrični materiali na osnovi  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ , BI-UA/09-10-007, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Mikrovalovni keramični filtri za brezžične telekomunikacije na osnovi lantanidne keramike, BI-US/08-10-005, vodja: prof. dr. Danilo Suvorov

**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

Industrijski projekti:

- Nizkotemperaturno sintrani materiali za aplikacije v visokofrekvenčnem območju, EPCOS OHG, Deutschlandsberg, Avstrija (2009), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov, dr. Marjeta Maček Kržmanc



- Raziskave prilagodljivosti relaksorskih feroelektrikov, EPCOS OHG, Deutschlandsberg, Avstrija (2009), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov, doc. dr. Boštjan Jančar
- Mikrovalovni dielektrični resonatorji s povečanim faktorjem kvalitete, EPCOS OHG, Deutschlandsberg, Avstrija (2009-2011), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Feroelektrični material z visoko dielektrično konstanto, EPCOS OHG, Deutschlandsberg, Avstrija (2010), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov, dr. Marjeta Maček Kržmanc
- Termoelektrični oksidni materiali, EPCOS OHG, Deutschlandsberg, Avstrija (2010-2013), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov, doc.dr. Boštjan Jančar
- Samočistilni antibakterijski fotokatalitski premazi v beli tehniki, Gorenje gospodinjski aparati d.d., Velenje (2009-2012), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Antibakterijske zaščite površin v vodnih medijih, Gorenje gospodinjski aparati d.d., Velenje (2010), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Antibakterijske zaščite hladilnih aparatov, Gorenje gospodinjski aparati d.d., Velenje (2010), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Novi materiali za pretvorbo energije: oksidni polprevodni termoelektriki, Gorenje gospodinjski aparati d.d., Velenje (2011-2014), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Razvoj postopkov za ekonomsko upravičeno uporabo odpadne mineralne volne iz procesov Trimo, Trimo d.d., Trebnje (2009), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov
- Razvoj in karakterizacija mineralnih vlaken, Knauf Insulation, d.o.o. Škofja Loka, (2011-2014), vodja: prof. dr. Danilo Suvorov

**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

Rezultati raziskav opravljenih v obdobju 2009-2014 so ob znanstvenih dosežkih izkazali tudi pomemben aplikativen pomen v različnih segmentih opravljenih raziskav. Tako so bili v redno proizvodnjo industrijskih partnerjev že vpeljane nove mikrovalovne keramike, ki se odlikujejo po novih dielektričnih lastnostih in/ali po uporabi LTCC tehnologije za njihovo integracijo v module. Uporabni potencial kažejo tudi materiali, ki so bili raziskovani v sklopu mehansko prilagodljivih dielektrikov na osnovi  $(\text{Na}_{1-x}\text{K}_x)_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$  trdnih raztopin, še posebno v primeru, če bodo v prihodnje pričele veljati še strožje omejitve v uporabi človeku in okolju neprijaznih svinčevih spojin v današnjih piezoelektrikih. Pomembne rezultate pa smo dosegli tudi na področju študija novih sinteznih postopkov, ki so nam omogočili sintezo različnih nanokompozitov in nizkodimenzionalnih delcev funkcijskih materialov. Tako smo npr. za pripravo nanokompozitov kot so Ag, Pt/hidroksiapatit, Ag, Cu in CuO/titanatni trakovi in Pt/TiO<sub>2</sub> razvili številne nove pristope, vključno s sonokemijsko in hidrotermalno sintezo ter metodo uporabe polielektrolitov. Le-ti so nam omogočili razviti popolnoma nov, originalen pristop sinteze novih antibakterijskih nanokompozitov na osnovi (Ag, Pt, Cu) ali CuO nanodelcev in polprevodniških hidroksiapatitnih, titanatnih ali TiO<sub>2</sub> nanostruktur, kar vodi do učinkovite ločitve elektrona in vrzeli in posledično omogoča superiorno antibakterijsko in fotokatalitično učinkovitost. Med temi materiali predstavljajo kompoziti na osnovi Pt in hidroksiapatita novost zaradi biokompatibilnega pristopa za samočiščenje. Prav to pa je tudi področje, na katerem želimo v sodelovanju z Institutom Jožef Stefan postaviti novo spin-off podjetje v Tehnološkem parku Ljubljana.

**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	1.000.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	Za proizvodnjo novih antibakterijskih materialov bi glavni strošek predstavljala postavitve proizvodne dvorane s stopnjo čistosti najmanj 4.

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

### 17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Glej Priponko 1

### 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Glej Priponko 2

## 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"

Danilo Suvorov

### ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

12.3.2015

### Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/109

<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 v1.00b  
12-75-11-16-5B-04-70-9F-B6-14-48-10-AB-B2-5C-2B-7D-44-2D-67

## **Priloga 1**

Področje: 2.04 – Materiali

Dosežek: Kemijski razpad kot najverjetnejši vzrok nestabilnosti plastnega natrijevega kobaltata

Kombinacija izmerjene visoke prevodnosti in visoke termonapetosti plastnega natrijevega kobaltata ob koncu devetdesetih let je bila osnova za pričetek raziskav oksidnih materialov kot kandidatov za termoelektrične elemente. Od tedaj se vrednosti v številnih literaturnih navedbah med seboj močno razlikujejo. Naše raziskave so pokazale, da sta vzroka za takšne razlike različna teksturiranost različno pripravljenih materialov in visoka kemijska reaktivnost z atmosfersko vodo in ogljikovim dioksidom. Z uporabo visokega nadtlaka čistega kisika smo pripravili visokoteksturiran material na primeru katerega smo raziskali reaktivnost medsojnih natrijevih ionov z okolico. Rezultati pojasnjujejo razlike v literaturnih navedbah in postavljajo nov izziv pri razvoju termoelektričnih oksidov.

CHEMISTRY OF  
MATERIALS

Article

pubs.acs.org/cm

## Chemical Decomposition as a Likely Source of Ambient and Thermal Instabilities of Layered Sodium Cobaltate

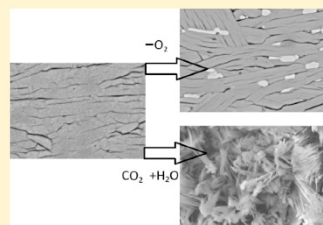
Damjan Vengust,<sup>\*,†</sup> Boštjan Jancar,<sup>†</sup> Andreja Šestan,<sup>†</sup> Maja Ponikvar Svet,<sup>‡</sup> Bojan Budič,<sup>§</sup> and Danilo Suvorov<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Advanced Materials Department and <sup>‡</sup>Department of Inorganic Chemistry and Technology, Jozef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

<sup>§</sup>Laboratory for Analytical Chemistry, National Institute of Chemistry, Hajdrihova 19, 1000 Ljubljana, Slovenia

**ABSTRACT:** With the application of an oxygen atmosphere, we synthesized a highly textured sodium cobaltate,  $\text{Na}_{0.75}\text{CoO}_2$ . At the same time, we identified its peculiarities that influence the measured parameters to a degree that poses serious questions about this material's potential for use. We have systematically studied the influence of humidity on the ceramic pellets and identified the conditions under which the material completely deteriorates. By performing microstructural and thermal analyses, coupled with a determination of the evolved gases, we identified the chemical reactions that are involved in this process. In addition, we re-examined the performance of sodium cobaltate under the working conditions and found that the material behaves in a manner different from the expected manner. We have shown, in contrast to many other reports, that the oxygen vacancies do not play a very important role because the changes in the physical parameters can be attributed to the reduction of cobalt and consequently to the formation of CoO inclusions, which increases the amount of sodium in the sodium cobaltate lattice.

**KEYWORDS:** thermoelectric oxide materials, hydrated  $\text{Na}_{0.75}\text{CoO}_2$ , oxygen vacancies, CoO



Vir:

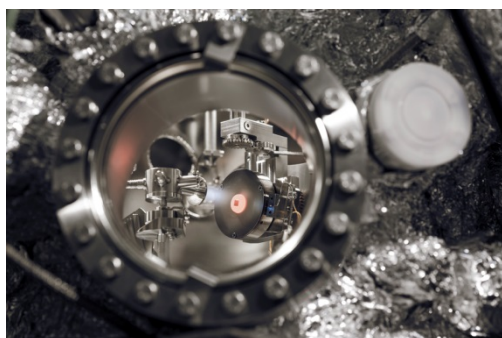
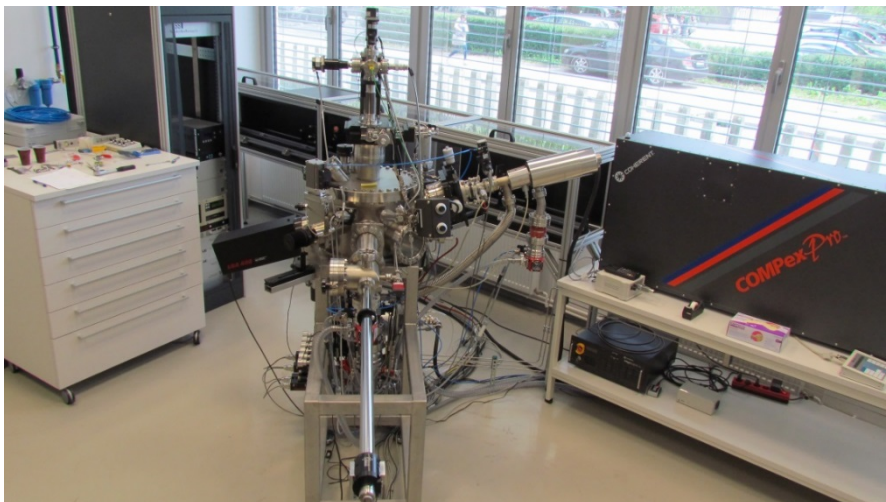
VENGUST, Damjan, JANČAR, Boštjan, ŠESTAN, Andreja, PONIKVAR-SVET, Maja, BUDIČ, Bojan, SUVOROV, Danilo. Chemical decomposition as a likely source of ambient and thermal instabilities of layered sodium cobaltate. Chemistry of materials, ISSN 0897-4756, 2013, vol. 25, no. 23, str. 4791-4797,

## **Priloga 2**

## Področje: 2.04 – Materiali

### Dosežek: Ustanovitev Laboratorija za pulzno lasersko nanašanje

V 2012/13 smo na Odseku za raziskave sodobnih materialov Instituta »Jožef Stefan« skupaj s Centrom odličnosti Nanoznanosti in nanotehnologije namestili sistem za pulzno lasersko nanašanje, ki je namenjen pripravi tankih plasti pretežno anorganske narave. Postavljen sistem omogoča rast »plast-po-plasti« in s tem pripravo visoko-kvalitetnih tankih plasti strukturiranih na nanometriškem nivoju, ki odgovarjajo zahtevam naprednih aplikacij v elektronski in energijski industriji. Sistem je opremljen s sledečimi glavnimi komponentami: stojalo za lasersko in uporovno gretje substratov, stojalo za tarče, predkomora za prenos vzorcev in tarč, sistem za visokotlačno refleksijsko visokoenergijsko elektronsko difrakcijo, nadgradnja z UHV črpalkami, vir za kislikovo plazmo, vir za napraševanje, povezava sistema s suho komoro. Za odstranjevanje materiala iz tarče uporabljamo KrF ekscimerni laser z energijo do 700 mJ na pulz in najvišjo hitrost pulzov 50 Hz.



Prikaz procesa nanašanja

- ✓ Kontrola rasti na atomskem nivoju
- ✓ In-situ analiza rasti

#### Prednost:

- Umetne plasti:** - Izboljšane lastnosti
- Novi pojavi

