

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/121



## 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>	P2-0105
<b>Naslov programa</b>	Elektronska keramika, nano-, 2D in 3D strukture Electronic ceramics, nano, 2D and 3D structures
<b>Vodja programa</b>	4587 Barbara Malič
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	66637
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2014
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
<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

Cilj raziskav programske skupine, ki deluje v okviru Odseka za elektronsko keramiko Instituta 'Jožef Stefan' je pridobivanje, uporaba

in posredovanje znanja na določenih področjih keramičnih materialov, ki večinoma opravljajo več funkcij, ter procesov in tehnologij, uporabnih v elektroniki, medicinski diagnostiki in energetiki.

Raziskovali smo sintezo, lastnosti in uporabo kompleksnih materialov, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali), predvsem keramičnih piezoelektrikov, feroelektrikov in relaksorjev, vključujoč visoko učinkovite svinčeve perovskite kot tudi okolju prijazne materiale brez svinca; materialov za 'prozorno' elektroniko: prevodnih oksidov n- in p- tipa ter dielektrikov; ter materialov za gorivne celice s trdnim elektrolitom. Poudarek raziskav je bil na kreiranju lastnosti s sintezo in strukturo na nano-, mikro- in makro-nivoju. Raziskovali smo osnove procesov, kot so sinteza (nano)-delcev, priprava tankih in debelih plasti in diskretnih struktur z različnimi metodami oblikovanja, tehnologije za pripravo debeloplastnih senzorjev tlaka, ultrazvočnih pretvornikov in keramičnih mikro-elektro-mehanskih sistemov (MEMS) na osnovi keramike z nizko temperaturo žganja ('Low Temperature Cofired Ceramics' - LTCC).

Raziskovalni program je predstavljal osnovo za izvedbo vrste domačih in mednarodnih projektov, pogodb z industrijskimi partnerji ter izobraževanja tako na dodiplomski kot na podiplomski stopnji.

ANG

The research goal of the programme group, which is active within the Electronic ceramics department, 'Jožef Stefan' Institute, is to obtain, use and to transfer knowledge in selected fields of ceramic materials, processes and technologies, with applications in electronics, medical diagnostics and energetics.

We studied the synthesis, properties and applications of complex materials, which perform several functions, i.e., multifunctional materials, mainly ceramic piezoelectrics, ferroelectrics and relaxors, including highly-efficient lead-based and environment-friendly lead-free materials, materials for transparent electronics: n- and p- type conductive oxides and dielectrics, materials for solid-oxide fuel cells. The emphasis was on creation of properties via synthesis and structure on nano-, micro- and macro-levels. We studied the synthesis of nanoparticles, chemical solution deposition of thin films, processing of thick films and patterning of discrete structures by different methods, such as electrophoretic deposition or inkjet printing; technologies for thick-film pressure sensors, ultrasound transducers and ceramic micro-electro-mechanical systems (c-MEMS) based on 'Low Temperature Cofired Ceramics' - LTCC.

The research programme was the basis for realization of many national and international projects, contracts with industrial partners and education on undergraduate and on postgraduate levels.

**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

Cilj programa je pridobivanje, uporaba in posredovanje znanja na določenih področjih keramičnih materialov in procesov, uporabnih v elektroniki, energetiki, medicini. Raziskovali smo sintezo, lastnosti in uporabo kompleksnih materialov in struktur, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali), predvsem keramičnih piezoelektrikov, feroelektrikov in relaksorjev, ter materialov za 'prozorno' elektroniko: prevodnih oksidov n- in p- tipa ter dielektrikov. Poudarek raziskav je na kreiranju lastnosti s sintezo in strukturo na nano-, mikro- in makronivoju; osnove procesov, kot so sinteza (nano)-delcev, priprava tankih in debelih plasti in diskretnih struktur, ter tehnologije za pripravo debeloplastnih senzorjev tlaka, ultrazvočnih pretvornikov in keramičnih mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) na osnovi keramike z nizko temperaturo žganja ('Low Temperature Cofired Ceramics' - LTCC).

Raziskovalni program je predstavljal osnovo za izvedbo vrste domačih in mednarodnih projektov, pogodb z industrijskimi partnerji ter izobraževanja tako na dodiplomski kot na podiplomski stopnji (podatki so vključeni v nadaljevanju). Zaradi omejitve prostora navajamo le pomembnejše raziskovalne rezultate, ostali so opisani v letnih poročilih in zbrani v bibliografiji programske skupine.

### **Alkalijski perovskiti** kot okolju prijazni piezo- in fero-elektriki:

Kristalna struktura in fazne premene piezoelektrične keramike  $K_xNa_{(1-x)}NbO_3$  ( $0,4 \leq x \leq 0,6$  (Tellier, 2009)). Pomen alotropne oblike  $Nb_2O_5$  za doseganje velike kemijske homogenosti trdne raztopine  $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$  (KNN) pri sintezi v trdnem stanju (Hreščak, 2013). Pomen  $180^\circ$ -domen za doseganje velikega elektrostriksijskega koeficienta v monokristalih KNN (Uršič, 2010).

Študij faznih premen in sintranja  $NaNbO_3$  kot mejne raztopine KNN (Koruza 2010, 2011). Pokazali smo, da je aktivacija površinske difuzije v začetni fazi sintranja odločujoči faktor za slabo zgoščevanje keramike in razložili, zakaj je sintranje pod pritiskom primerna metoda za doseganje velikih relativnih gostot in finostrukture. (Koruza, 2014)

V gosti keramiki feroelektrika v zmetku  $KTaO_3$  z veliko kemijsko homogenostjo je prispevek mej zrn k dielektričnim lastnostim tantalata zanemarljiv, kar je izrazito drugače, kot velja za najbolj raziskani feroelektrik v zmetku stroncijev titanat (Glinšek, 2010, 2012).

*Sodelovanje z Ecole Centrale, Pariz in Univerzo Limoges, Francija, Keio University, Tokio, Japonska, Institutom za fiziko, Češka akademija znanosti.*

### **Visokoučinkovita piezoelektrična keramika, ki vsebuje svinec**

Nova metoda sinteze  $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  v trdnem stanju, ki temelji na načrtovanju stikov med delci reagentov v vodnih suspenzijah, kar je nov pristop k sintezi v trdnem stanju v svetovnem merilu (Trefalt, 2011, 2012).

Transformacijsko utrjevanje  $Pb(Zr,Ti)O_3$  (PZT) z delci tetragonalno stabiliziranega  $ZrO_2$  (TZ) (Benčan, 2012).

*Sodelovanje s Tehniško univerzo Darmstadt, Univerzo Limoges, Francija, CSIC, Madrid, Španija*

### **BiFeO<sub>3</sub>: multiferoik in visokotemperaturni piezoelektrik**

Mobilnost domenskih sten in s tem feroelektrični odziv BiFeO<sub>3</sub> se močno poveča s tvorbo defektov, izmerjeni piezoelektrični koeficient  $d_{33} = 44$  pC/N je bil ob času objave najvišji objavljeni za to keramiko (Rojac, 2010). Skupina je objavila kritični pregled stanja raziskav na področju priprave in električnih in elektromehanskih lastnosti keramike BiFeO<sub>3</sub> (Rojac, 2014).

*Sodelovanje z EPFL, Lausanne, Švica, North Carolina State University, University of Florida, ZDA, University of New South Wales, Avstralija.*

### **Elektrokoloriki**

Ena največjih doslej objavljenih elektrokoloričnih (EC) sprememb temperature v tankih plasteh (Pb<sub>0.88</sub>La<sub>0.08</sub>)(Zr<sub>0.65</sub>Ti<sub>0.35</sub>)O<sub>3</sub>, izmerjena z direktno metodo, in sicer 40 K pri električnem polju 1,2 MV (Lu, 2010). Sistematične direktne meritve EC pojava v svinčevih perovskitih, predvsem v sistemu Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub> (PMN-PT) in v okolju prijaznih relaksorjih K<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>NbO<sub>3</sub>-SrTiO<sub>3</sub> (KNN-STO) (Rožič, 2012, 2012). Izmerili smo elektrokolorični odziv samostojnih debeloplastnih elementov (Rožič, 2014). Na osnovi modeliranja smo utemeljili negativni EC pojav v antiferoelektriku PbZrO<sub>3</sub> (Pirc, Rožič, 2014).

*Sodelovanje z Odsekom za fiziko trdne snovi in Odsekom za teoretično fiziko, IJS.*

### **Materiali prozorne elektronike**

Keramične tarče z veliko čistočo in homogenostjo za naprševanje tankih plasti dielektrikov (Barquinha, 2009) in prevodnih oksidov p-tipa na osnovi CuAlO<sub>2</sub> (Vojisavljević, 2013).

Tanke plasti in 2D strukture prevodnikov na osnovi ZnO, pripravljene z brizgalnim tiskanjem (Tellier, 2010, 2011) in dielektrikov na osnovi Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Frunza, 2014, 2014), pri temperaturah, ki ne presegajo 400 oC. Z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo in-situ pripravljenih vzorcev smo določili prileganja energijskih pasov vrste eno- in večkomponentnih kovinskih oksidov (Li, Frunza, 2014).

*Sodelovanje z Univerzo NOVA, Lizbona, Portugalska in Univerzo Keio, Tokio, Japonska, Tehniško univerzo Darmstadt, Nemčija.*

### **Tanke plasti s sintezo iz raztopin**

Mikrostruktura, kemijska sestava in fazne premene tankih plasti KNN (Kupec, 2012, 2013, 2014). Mikrostruktura in dielektrične lastnosti relaksorjev KNN-STO na podlagah Pt/Si (Kupec, 2014, Eršte, Kupec, 2014).

*Sodelovanje z Ecole Centrale, Pariz, Francija in Odsekom za fiziko trdne snovi, IJS.*

### **Debele plasti piezoelektrikov**

Piezoelektrične lastnosti debeloplastnih struktur 0.65PMN-0.35PT, pripravljenih s sitotiskom so močno odvisne od mehanskih napetosti, ki so posledica različnih termičnih raztezkov plasti in podlage (Uršič, 2010, 2011). Vpliv hrapavosti podlage na feroelektrične lastnosti 0.65PMN-0.35PT smo razložili z reakcijami na medpovršini plast / elektroda (Uršič, 2014).

Visokofrekvenčni ultrazvočni (UZ) pretvorniki za preiskave v medicini, pripravljeni z metodo elektroforetskega nanosa (EPD) (Kuščer, 2011, Abellard, 2013, 2014).

Debeloplastne strukture PZT, pripravljene iz stabilnih vodnih suspenzij z metodo brizgalnega tiskanja, katerim smo s piezo-modulom mikroskopa na atomsko silo dokazali lokalni piezoelektrični odziv (Noschenko, 2014, Kuščer, 2013).

Piezoelektrične lastnosti debelih plasti KNN, pripravljenih z metodo sitotiska in z optimiziranim programom segrevanja: analiza relativno majhnega zmanjšanja piezoelektričnega odziva plasti glede na volumensko keramiko pokaže, da je le-to posledica elastičnih lastnosti KNN (Pavlič, 2013, 2014).

*Sodelovanje z Univerzo François-Rabelais iz Toursa, Francija, in Inštitutom za fizikalno kemijo, Romunska akademija, Bukarešta.*

### **Integracija materialov, senzorji, mikrosistemi**

Raziskave fazne sestave, mikrostrukture, upogibne trdnosti in žilavosti materiala LTCC (keramika z nizko temperaturo žganja, ang. Low-Temperature Co-Fired Ceramics), ki ga uporabljamo za izdelavo tridimenzionalnih struktur za elektromehanske (MEMS – micro-electro-mechanical system) in kemijske mikrosisteme (Makarovič, 2012, 2013,).

*Sodelovanje z Univerzo za montanistiko, Leoben, Avstrija.*

Z numeričnim modeliranjem podprt študij in izdelava debeloplastnih senzorjev tlaka (Santo-Zarnik, 2009, 2011, 2014). Izdelava kompleksnih MEMS struktur na osnovi LTCC kot mikro-reaktorjev za sintezo vodika (Hrovat, 2011, Dolanc, Belavič, 2014).

*Sodelovanje z Odsekom za sisteme in vodenje, IJS in Kemijskim inštitutom, podjetji HIPOT-RR, KEKON in CO NAMASTE.*

### **Tehnični porcelan**

Raziskave silikatnih materialov na osnovi steatita in kordierita, ki jih uporabljajo v elektrotehniki kot toplotne in električne izolatorje. Doseganje izboljšanih lastnosti steatitnih in kordieritnih materialov z izborom surovin in optimizacijo procesov (2 slovenska patenta, 3 PCT prijave sodelavcev P2-0105 in ETI).

*Sodelovanje s podjetjem ETI d.d., Izlake.*

Na osnovi analize dosedanjih rezultatov, potreb in razpoložljivih virov smo identificirali dve področji delovanja, kjer je potrebno okrepiti oziroma obnoviti raziskovalno dejavnost. Prvo področje so raziskave

komponent visokotemperaturnih gorivnih celic s trdnim elektrolitom (SOFC), drugo pa numerično modeliranje elektrokaličnega pojava. V letu 2014 smo v okviru povečanega obsega financiranja delovali na omenjenih področjih, kot je podrobneje opisano v nadaljevanju.

### **Komponente SOFC**

Namen raziskav na področju SOFC je bil oblikovanje primernih elektrodnih materialov na trdnem elektrolitu. Na elektrolit, monokristal z itrijevimi oksidom dopiranega cirkonijevega oksida (YSZ), smo z metodo sitotiska nanosili in odžgali plasti na osnovi NiO in YSZ (anoda) in  $(\text{La}_{0.80}\text{Sr}_{0.20})_{0.95}\text{MnO}_{3-x}$  in YSZ (katoda). Po žganju pri 1200 °C je bila adhezija obeh plasti na podlagi primerna, debelini katodne in anodne plasti sta bili približno 15 µm in 25 µm. V sodelovanju s kolegi iz *Sinhrotrona Elettra, Trst, Italija*, raziskujemo elektrokemijske reakcije na stikih elektroda / elektrolit, kot tudi možne spremembe mikrostrukture v posameznih materialih in na stikih med njimi pri realnih pogojih obratovanja v odvisnosti od časa.

### **Numerično modeliranje elektrokaličnega pojava**

Izdelali smo dva ločena modela elektrokaličnega hladilnega sistema na osnovi debeloplastnih struktur  $0.65\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.35\text{PbTiO}_3$ . Elektromehanski model smo uporabili za parametrično študijo vpliva geometrijskih lastnosti na odmike konzole. Z rezultati simulacij smo določili optimalne dimenzije strukture in študirali odmike naprave za zagotavljanje dobrih termičnih stikov med elementi v strukturi. Z drugim modelom smo opisali termično obnašanje elektrokalične strukture. Model nam je dal preliminarne informacije o učinkovitosti naprave in pokazal možnosti za njeno nadgradnjo.

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

SLO

Decembra 2012 smo se soočili s smrtjo prvotne vodje raziskovalne skupine prof. Marije Kosec. Prof. B. Malič je postala vodja programa. Člani skupine smo se v nadaljnjem obdobju resnično potrudili, da smo dosegli zastavljene cilje, kot je opisano v predhodni točki poročila.

Rezultate raziskav smo objavili v več kot 200 izvirnih znanstvenih člankih, pretežno v revijah, ki so vodilne na področju in 6 preglednih člankih, od katerih je bil eden objavljen v ugledni reviji *Chemical Society Reviews* (Balaž, Rojac et al., 2013, faktor vpliva: 24,89). Bili smo avtorji 17 poglavij v knjigah, objavljenih je bilo 5 vabljenih in 121 znanstvenih prispevkov na konferencah in 5 poljudnih člankov. Prof. Koščeva je bila sourednica knjige o tankih plasteh funkcijskih oksidov iz raztopin (Springer).

Sodelavci smo imeli 6 plenarnih in 35 vabljenih predavanj na konferencah in več kot 40 predavanj na tujih univerzah. Organizirali smo simpozij EMRS, Varšava, Poljska, 2011, konferenco MIDEM, Otočec, Slovenija, 2012, zimsko šolo COST o karakterizaciji materialov, 2013, in simpozij EMRS, Lille, Francija, 2014.

Prof. Koščeva je bila habilitirana na Univerzi v Ljubljani. 6 sodelavcev je habilitiranih na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana, B. Malič

in A. Benčan Golob sta tudi nosilki predmetov. B. Malič je v letu 2009 imela serijo predavanj za podiplomske študente na Univerzi Oulu, Finska, v letu 2013 (junij-avgust) je bila gostujoča profesorica na Univerzi Shizuoka, Japonska.

V preteklem obdobju je pod mentorstvom ali somentorstvom sodelavcev diplomiralo 8 študentov, magistrirala je študentka iz industrije, doktoriralo jih je 11, od teh 2 iz industrije.

Intenzivno sodelujemo s skupinami s področij fizike materialov in elektronike iz tujine. V letih 2009 - 14 smo imeli na daljših obiskih ali usposabljanjih 17 doktorskih študentov ali podoktorskih sodelavcev ter 2 uveljavljena raziskovalca iz tujine, aktivni smo bili v dveh projektih CMEPIUS in več bilateralnih projektih.

Sodelavci so prijaviili ameriški in evropski patent, podeljenih je bilo 6 slovenskih patentov in ameriški patent (2013).

Člani skupine smo bili nosilci 6 temeljnih, 3 aplikativnih, 1 aplikativnega postdoktorskega ter 1 postdoktorskega projekta ARRS.

Prof. Koščeva je v letih 2009-2012 vodila Center odličnosti NAMASTE.

Sodelovali smo oziroma sodelujemo s podjetji HYB d.o.o, HIPOT-RR d.o.o, ETI Elektroelement d.d., z RC eNeM Novi materiali d.o.o., KEKON d.o.o., v zadnjem letu in pol še s podjetjema KEKO-Oprema d.o.o. in KEKO-Varicon d.o.o. v skupno 5 projektih.

Skupina je (bila) intenzivno vključena v mednarodne projekte, in sicer v 9 projektov EU (6. in 7. OP), 2 projekta ESA, projekt EUREKA in v 4 projekte COST.

Sodelavci so za raziskovalne in razvojne dosežke prejeli dve državni nagradi (Puhovo priznanje, 2009, Zoisovo priznanje, 2010) in mednarodno nagrado (IEEE UFFC, 2010). Šest podiplomskih študentov je dobilo nagrade za prispevke na konferencah.

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

SLO

Sprememb programa dela ni bilo, razen da smo v letu 2014 zaradi povečanja števila ur uvedli dodatni raziskovalni tematiki, ki smo ju opisali v točki 2 tega poročila.

V letu 2014 se je upokojil član programske skupine dr. Marko Hrovat (avgust), približno ob istem času se je s porodniškega dopusta vrnila sodelavka dr. Hana Uršič Nemevšek, ki v veliki meri nadaljuje raziskovalno tematiko upokojenega kolega Hrovata. V septembru se je upokojila strokovna sodelavka Jena Cilenšek. Zaradi prenehanja zaposlitve smo iz programske skupine izključili naslednje postdoktorske sodelavce: dr. Eleno Chernychovo, dr. Jurija

Koruzo, dr. Georgio Basina ter mlado raziskovalko Jerco Praprotnik. V programsko skupino smo vključili nove podoktorske sodelavce: dr. Katjo Makovšek (mladi doktorji), dr. Maro Bernardo Sacristan ter dr. Juliana Bradleya Walkerja. Spremembe sestave programske skupine niso vplivale na potek raziskovalnega dela v okviru programske skupine.

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

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	22292775	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kristalna struktura in fazne premene perovskitnega natrijevega kalijevega niobata
		ANG	Crystal structure and phase transitions of sodium potassium niobate perovskites
	Opis	SLO	Eden od boli obetavnih piezoelektrikov, ki ne vsebuje svinca temelji na sistemu $K_xNa_{(1-x)}NbO_3$ z maksimumom piezoelektričnih lastnosti pri $x=0.5$ . Do sedaj so pojav razlagali z obstojem morfotropne fazne meje pri tej sestavi. Raziskali smo kristalno strukturo in fazne premene sestav v območju $0,4 \leq x \leq 0,6$ . V preiskovanem območju sestav nismo opazili izrazitih sprememb celičnih parametrov, ki so značilne za morfotropno fazno mejo, kar je pomembno za razumevanje fizike teh piezoelektrikov. Potrebno bo najti ustreznejšo razlago za maksimum piezoelektričnih lastnosti sestave z $x = 0,5$ .
		ANG	Potassium sodium niobate based solid solutions are among the most promising candidates for lead-free piezoceramics. The highest piezoelectric response was found in the vicinity of $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ . It was explained by the presence of morphotropic phase boundary. Our results show a continuous change of crystallographic parameters in the composition range $K_xNa_{(1-x)}NbO_3$ , for $0.4 \leq x \leq 0.6$ , which would indicate the presence of the morphotropic phase boundary, meaning that a suitable physical background should be found for the enhanced piezoelectric response of $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ composition.
	Objavljeno v	Elsevier; Solid State Sciences; 2009; Vol. 11, no. 2; str. 320-324; Impact Factor: 1.675; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.673; WoS: EC, EI, UK; Avtorji / Authors: Tellier Jenny, Malič Barbara, Dkhil Brahim, Jenko Darja, Cilenšek Jena, Kosec Marija	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS ID	24015655	Vir: COBISS.SI	
Naslov	SLO	Močno pripenjanje domenskih sten v keramiki $BiFeO_3$	
	ANG	Strong ferroelectric domain-wall pinning in $BiFeO_3$ ceramics	
Opis	SLO	Pripenjanje feroelektričnih domenskih sten v keramiki $BiFeO_3$ . Feroelektricitnost $BiFeO_3$ zaznamuje izrazita vpetost domenskih sten zaradi prisotnosti defektov, kar vpliva ključno na remanentno polarizacijo in koercitivno polje. Ugotovili smo tudi, da se mobilnost domenskih sten in stem feroelektrični odziv ferita močno poveča s tvorbo defektov povezanih z izgubo hlapnega $Bi_2O_3$ pri visokotemperaturnih zganjih. Izmerili smo piezoelektrični koeficient $d_{33} = 44$ pC/N, kar je po našem najboljšem vedenju najvisja vrednost za $BiFeO_3$ keramiko do sedaj objavljena v literaturi.	
		The ferroelectricity of $BiFeO_3$ ceramics is characterized by strong domain-wall pinning effect caused by the presence of charged defects. Formation of	



		ANG	defects associated with Bi2O3 loss during annealing at high temperatures leads to depinning of domain walls. To the best of our knowledge, the measured piezoelectric d33 coefficient of 44 pC/N is presently the highest reported in the literature.
	Objavljeno v		American Institute of Physics.; Journal of applied physics; 2010; Vol. 108, no. 7; str. 074107-1-074107-8; Impact Factor: 2.064; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.498; WoS: UB; Avtorji / Authors: Rojac Tadej, Kosec Marija, Budič Bojan, Setter Nava, Damjanović Dragan
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	25804583	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Dinamika kristalne rešetke in dielektrične lastnosti v širokem frekvenčnem območju keramike KTaO <sub>3</sub>
		ANG	Lattice dynamics and broad-band dielectric properties of the KTaO <sub>3</sub> ceramics
	Opis	SLO	Enofazna gosta keramika kalijevega tantalata je bila pripravljena s pomočjo mehanokemijske aktivacije reagentov. Dielektričnost keramike pri 5 K in 1 kHz z več kot 95 % relativno gostoto je primerljiva z vrednostjo, ki jo dosegajo monokristali in je med največjimi objavljenimi vrednostmi za kalijev tantalat brez dodatkov za sintranje ali dopanto. Rezultat nakazuje, da je prispevek mej zrn k dielektričnim lastnostim tantalata zanemarljiv, kar je izrazito drugače, kot velja za najbolj raziskani feroelektrik v zmetku stroncijev titanat.
		ANG	Highly dense potassium tantalate bulk ceramic was processed by mechanochemical activation of the reagents. The dielectric permittivity of the ceramic with more than 95 % relative density at 5 K and 1 kHz is comparable to the values obtained in single crystals and it is among the highest reported values for potassium tantalate ceramics without chemical modification or sintering aids. The result indicates a negligible influence of grain boundaries on the dielectric response in the tantalate unlike in the most studied incipient ferroelectric strontium titanate.
	Objavljeno v		American Institute of Physics.; Journal of applied physics; 2012; Vol. 111, no. 10; str. 104101-1-104101-6; Impact Factor: 2.210; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.629; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Glinšek Sebastjan, Nuzhnyy Dmitri, Petzelt Jan, Malič Barbara, Kamba Stanislav, Bovtun Viktor, Kempa Martin, Skoromets Volodymyr, Kužel Petr, Gregora Ivan
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	26654759	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Značilnosti mehanokemije
		ANG	Hallmarks of mechanochemistry
	Opis	SLO	Namen preglednega članka je osvetliti nedavni razvoj mehanokemije in prikazati napredek, dosežen na tem področju, vključujoč procese na atomarni ravni, fazne premene, eno- in večkomponentne sisteme in posebne značilnosti mehanokemijskih reakcij.
		ANG	The aim of this review article on recent developments of mechanochemistry is to provide a comprehensive overview of advances achieved in the field of atomistic processes, phase transformations, simple and multicomponent nanosystems and peculiarities of mechanochemical reactions.
	Objavljeno v		Chemical Society; Chemical Society reviews; 2013; Vol. 42, issue 18; str. 7571-7637; Impact Factor: 30.425; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.395; A'': 1; A': 1; WoS: DY; Avtorji / Authors: Baláž Peter, Rojac Tadej

	Tipologija	1.02 Pregledni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	27023911	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Piezoelektrične lastnosti debelih plasti svinčevega cirkonata titanata, pripravljenih z brizgalnim tiskanjem, potrjena s piezo-modulom mikroskopa na atomsko silo
		ANG	Piezoelectric properties of ink-jetprinted lead zirconate titanate thick films confirmed by piezoresponse force microscopy
	Opis	SLO	V članku smo poročali o brizgalnem tiskanju piezoelektričnih debelih plasti. Stabilno disperzijo Pb(Zr <sub>0.53</sub> Ti <sub>0.47</sub> )O <sub>3</sub> (PZT) s primerno velikostjo delcev, površinsko napetostjo in viskoznostjo smo s piezoelektričnim tiskalnikom natisnili na platinizirane korundne podlage. Po sušenju in žganju pri 1100oC smo pripravili goste strukture debeline okoli 5 µm. Lokalni piezoelektrični odziv plasti PZT smo potrdili z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom.
		ANG	The study reports the inkjet printing of Pb(Zr <sub>0.53</sub> Ti <sub>0.47</sub> )O <sub>3</sub> (PZT) thick films. An ink consisting of particles with a median size of 170 nm and a narrow size distribution, in a dispersion of water and glycerol, and with a low viscosity and surface tension, was used for the fabrication of thick films by piezoelectric ink-jet printing on platinized alumina substrates. A local piezoelectric response of 15 pm/V was measured in the ink-jet-printed PZT thick film by piezoresponse force microscopy.
	Objavljeno v	American Ceramic Society; Journal of the American Ceramic Society; 2013; Vol. 96, no. 9; str. 2714-2717; Impact Factor: 2.428;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.892; A'': 1;A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Kuščer Danjela, Noshchenko Oleksandr, Uršič Hana, Malič Barbara	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

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

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	24553511	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Material v obliki litijevega fluoridnega prahu z barvnimi centri, metoda priprave in uporaba
		ANG	Material in the form of lithium fluoride powder containing colour centres, method for preparation and use thereof
	Opis	SLO	V patentu smo opisali metodo za pripravo prahu litijevega fluorida (LiF) z aktiviranimi barvnimi centri. Prah s povprečno velikostjo delcev 160 nm in ozko porazdelitvijo velikosti delcev, smo pripravili z mletjem kristalov LiF milimeterske velikosti. Po mletju smo prah osvetlili s svetlobo bele barve energije med 3 in 15 keV (sinhrotronska radiacija) ter tako aktivirali med 1016 in 1019 barvnih centov na cm <sup>3</sup> praha. Aktiviran prah je prosojen, ko pa ga izpostavimo ultravijolični svetlobi, postane belo obarvan. To lastnost smo izkoristili za nevidno označevanje različnih predmetov, primer so umetniška dela in muzejski eksponati.
		ANG	The patent describes method for the preparation of lithium fluoride (LiF) powder containing colour centres. Powder with an average size of 160 nm and a narrow size distribution was prepared by milling of millimetre-sized crystals of LiF. The powder was exposed to the white light beam with the energy between 3 and 15 keV (synchrotron radiation) and thus between 1016 to 1019 colour centres per cm <sup>3</sup> of the powder were activated. The so activated powder was transparent but if exposed to ultraviolet light, it

		become white. This property was used for invisible marking of various objects such as artistic works and objects in museums.
	Šifra	F.32 Mednarodni patent
	Objavljeno v	US Patent Office; 2013; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Gregoratti Luca, Peloi Marco, Kosec Marija, Kuščer Danjela, Palma Giuseppina
	Tipologija	2.24 Patent
2.	COBISS ID	2161147 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Oksidne tanke plasti za elektroniko s sintezo iz raztopine, nanostrukture in oblikovanje, od materialov do komponent
		<i>ANG</i> Solution-derived electronic-oxide films, nanostructures and patterning, from materials to devices
	Opis	<i>SLO</i> B. Malič je v letu 2011 organizirala mednarodni simpozij v okviru European Materials Research Society (E-MRS) Fall meeting z naslovom Solution-Derived Electronic-Oxide Films, Nanostructures and Patterning, from Materials to Devices, Varšava, Poljska, 19.-23. 9. 2011. V letu 2012 je uredila zbornik konference. Sopredsedniki simpozija Viorica Musat, Marlies Van Bael in Theodor Schneller so tudi souredniki zbornika.
		<i>ANG</i> B. Malič organised the symposium within the European Materials Research Society (E-MRS) 2011 Fall Meeting, entitled Solution-Derived Electronic-Oxide Films, Nanostructures and Patterning, from Materials to Devices, (Warsaw, Poland, 19.-23. 9. 2011). She was also the editor of the conference proceedings in 2012 together with the co-chairs of the symposium Viorica Musat, Marlies Van Bael and Theodor Schneller.
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	IOP Publishing; 2012; 1 zv. (loč. pag.); Avtorji / Authors: Malič Barbara
	Tipologija	2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci
3.	COBISS ID	25741607 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Večplastna keramična struktura za nekontaktno dielektrično gretje tekočin
		<i>ANG</i> Multilayer ceramic structure for non-contact dielectric heating of fluids
	Opis	<i>SLO</i> Patent ščiti izvedbo segrevanja v keramičnih tridimenzionalnih strukturah, kot na primer v malih kemijskih reaktorjih, kjer je potrebno hitro in enakomerno segreti tekočine v času kemijske reakcije ali pred njo. Izum predstavlja postopek izdelave keramične večplastne strukture namenjene nekontaktnemu dielektričnemu gretju tekočin s pomočjo radijskih valov (okrog 14 MHz). Tekočino na opisani način segrevamo po celotnem volumnu in ne ustvarja za keramiko nevarne velike temperaturne gradientne.
		<i>ANG</i> The patent describes the heating of three-dimensional ceramic structures, such as small chemical reactors, where fast and uniform heating of the liquid within the reactor during the chemical reaction is required. The invention includes the method of fabrication of a ceramic multilayer structure for non-contact dielectric heating of a liquid in the radio-frequency range (about 14 MHz). The liquid is heated throughout the volume and thus hazardous temperature gradients may be avoided.
	Šifra	F.33 Patent v Sloveniji
	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2013; Avtorji / Authors: Makarovič Kostja, Holc Janez, Belavič Darko, Hrovat Marko, Kosec Marija
	Tipologija	2.24 Patent
4.	COBISS ID	22576423 Vir: COBISS.SI
		<i>SLO</i> Puhovo priznanje 2009 za izume, razvojne dosežke in uporabo znanstvenih

	Naslov		izsledkov
		ANG	Puh award 2009 for inventions and development achievements
	Opis	SLO	Dr. Martina Oberžan, mag. Marjan Buh, Ivan Lavrač iz podjetja ETI Elektroelement in dr. Janez Holc ter prof. dr. Marija Kosec iz Odseka za elektronsko keramiko, Instituta "Jožef Stefan", so prejeli Puhovo priznanje 2009 za izume, razvojne dosežke in uporabo znanstvenih izsledkov pri razvoju visoko gliničnega porcelana z izboljšanimi mehanskimi in toplotnimi lastnostmi. Slovenski patent: Glinični porcelan z izboljšanimi termičnimi lastnostmi in postopek njegove izdelave.
		ANG	Dr. Martina Oberžan, M.Sc. Marjan Buh, Ivan Lavrač from ETI Elektroelement company and Dr. Janez Holc, Prof. Dr. Marija Kosec from Electronic Ceramics Department, Institute Jozef Stefan, received Puh award 2009 for inventions, development achievements and the use of scientific results in planning and introducing the production of high alumina porcelain with improved mechanical and thermal properties. (Slovenian patent)
	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2010; 14 str.; Avtorji / Authors: Oberžan Martina, Holc Janez, Buh Marjan, Lavrač Ivan, Kosec Marija	
	Tipologija	2.24 Patent	
5.	COBISS ID	22594599	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju raziskav feroelektrične keramike in tankih plasti, 2010
		ANG	Zois recognition for important scientific achievements for research of ferroelectric ceramics and thin films, 2010
	Opis	SLO	B. Malič je v zadnjih letih dosegla pomembne znanstvene in strokovne rezultate na področju sinteze okolju prijaznih piezoelektrikov brez svinca in sinteze feroelektričnih tankih plasti in delcev iz raztopin ter jih v vrsti odmevnih člankov predstavila strokovni javnosti. Članek Alkaline earth doping in (K, Na)NbO <sub>3</sub> based piezoceramics. J. Eur. Ceram. Soc., 2005, 25, 2707 je bil v obdobju 2005-2010 med desetimi najbolj citiranimi članki revije.
		ANG	B. Malič obtained important scientific results in the field of synthesis of environment friendly leadfree piezoelectrics, chemical solution deposition of ferroelectric thin films and solution synthesis of nanoparticles in published them in a number of papers. The paper Alkaline earth doping in (K, Na) NbO <sub>3</sub> based piezoceramics. J. Eur. Ceram. Soc., 2005, 25, 2707 COBISS.SI-ID 19093031 has been among the top 10 cited articles published in the (2005-2010) period.
	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	American Institute of Physics; Applied physics letters; 2009; Vol. 94, no. 17; str. 172905-1-172905-3; Impact Factor: 3.554; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.216; A <sup>1</sup> : 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Glinšek Sebastjan, Malič Barbara, Kutnjak Zdravko, Krupka Jerzy, Kosec Marija, Wang H.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

### 8. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>2</sup>

--

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

### 9.1.Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

Pomen raziskovalnega programa Elektronska keramika, nano, 2D in 3D struktur za razvoj znanosti je na naslednjih področjih:

- Novi materiali ali materiali z izboljšanimi lastnostmi, predvsem piezo- in feroelektriki in feroelektriki v zametku, napetostno nastavljivi feroelektriki, relaksorji, ter materiali za prozorno elektroniko (dielektriki, prevodni oksidi): razumevanje vpliva sestave, strukture in mikrostrukture na funkcijske lastnosti.
- Prispevek k razumevanju mehanizmov nekaterih procesov, kot so mehanokemijska sinteza, sinteza v trdnem stanju, sintranje, sinteza tankih plasti iz raztopin, oblikovanje in sintranje plastnih struktur na podlagah.
- Razumevanje temeljnih problemov integracije keramičnih materialov: primerjava lastnosti volumenske keramike, debelih, tankih plasti in diskretnih struktur.

Navajamo rezultate, ki bodo bistveno vplivali na razvoj področja:

Prispevek k razumevanju sinteze, sintranja, kristalne strukture in faznih premen okolju prijazne piezoelektrične keramike kalijevega natrijevega niobata, razlaga feroelektričnega in elektromehanskega odziva visokotemperaturnega piezoelektrika bizmutovega ferita; novi postopek sinteze kompleksnih svinčevih perovskitov v trdnem stanju, ki temelji na načrtovanju stikov med delci reagentov v vodnih suspenzijah.

Prispevek k razumevanju sinteze tankih plasti iz raztopine, kar omogoča pripravo plasti prevodnih oksidov in dielektrikov pri temperaturah, ki ne presegajo 400 oC, sinteza plasti kalijevega natrijevega niobata z načrtovano mikrostrukuro in lastnostmi; oblikovanje plastnih struktur z brizgalnim tiskanjem.

Prispevek k pripravi debelih plasti kalijevega natrijevega niobata s sitotiskom in razlaga njihovih piezoelektričnih lastnosti; vpliv mehanskih napetosti na piezoelektrične lastnosti debelih plasti, oblikovanje debeloplastnih struktur z elektroforetsko depozicijo za ultrazvočne pretvornike za preiskave v medicini.

Nove zasnove, modeliranje in izvedba kompleksnih tridimenzionalnih struktur na osnovi keramike z nizko temperaturo žganja (LTCC) za kemijske mikro-reaktorje ali keramične mikro-elektro-mehanske sisteme (c-MEMS).

ANG

The importance of the research programme for the development of science is in the following fields:

- New materials or materials with improved properties, mainly piezoelectrics, ferroelectrics, tunable ferroelectrics, and relaxors, materials for transparent electronics (dielectrics, n- and p-type conducting oxides): understanding composition – structure – functional properties relationship.
- Contribution to understanding of mechanisms of selected processes, including mechanochemical synthesis of particles, solid state synthesis, sintering, chemical solution deposition of thin films, patterning and constrained sintering of discrete structures on different substrates.
- Understanding of fundamental problems of integration of ceramic materials: comparison of properties of bulk ceramics, thick-, thin films and discrete structures.

Selected research topics:

Contribution to understanding of synthesis, sintering, crystal structure and phase transitions of environment friendly piezoelectric ceramics based on sodium potassium niobate, understanding of ferroelectric and electromechanical properties of high-temperature piezoelectric bismuth ferrite; new approach to solid state synthesis of complex lead-based perovskites based on designing contacts between reagent particles in water dispersions.

Contribution to understanding of chemical solution deposition of thin films, that enables processing of films of conductive oxides and high-K dielectrics at temperatures not exceeding 400 oC; sodium potassium thin films with designed microstructure and functional properties; patterning of discrete structures by inkjet printing.

Contribution to processing of sodium potassium niobate thick films by screen-printing and understanding of their piezoelectric properties; influence of mechanical stress on piezoelectric properties of thick films; patterning of thick-film structures by electrophoretic deposition for ultrasonic transducers.

Design, modelling and realization of complex three-dimensional structures based on Low-temperature-cofired-ceramics (LTCC) for chemical micro-reactors and ceramic micro-electro-

mechanical systems (c-MEMS).

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

SLO

Po našem mnenju je raziskovalni program Elektronska keramika, nano, 2D in 3D strukture pomemben za Slovenijo iz naslednjih razlogov. Skupina je nosilka raziskav in razvoja na področju keramičnih materialov in struktur za elektroniko ter keramičnih mikrosistemov, tako kemijskih kot mikro-elektro-mehanskih sistemov (C-MEMS). Rezultati raziskav so vir znanja za aplikativne in razvojne projekte. Skupina dobro sodeluje z vrsto slovenskih podjetij, omenjamo HIPOT-RR, KEKO-Oprema, KEKON, KEKO Varicon, HYB, ETI Elektroelement, BSH, LPKF. V skupino je stalno vključenih nekaj sodelavcev, ki so zaposleni v industriji (HIPOT-RR, HYB, KEKO-Oprema), kar se je izkazalo za zelo učinkovito pri prenašanju rezultatov v industrijo. Sodelovanje s podjetjem ETI Elektroelement d.d. iz Izlake na področju raziskav silikatnih materialov za uporabo v elektrotehniki je vodilo do Puhovega priznanja (2009) za razvoj visokogliničnega porcelana z izboljšanimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi, in srebrnega priznanja za inovacijo, ki jo je podelila Gospodarska zbornica Slovenije, Območna zbornica Zasavje (2014) za razvoj kordieritne keramike z izboljšanimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi, dveh slovenskih patentov in treh PCT patentnih prijav.

Mikrosistemi so dimenzijsko majhni sistemi, ki poleg elektronske opravljajo še vrsto drugih funkcij, kot so: mehanske, elektromehanske, kemične. Keramični materiali kot gradniki mikrosistemov omogočajo izdelavo različnih 3D zaprtih in odprtih struktur, integracijo funkcionalnih materialov in komponent, so kemijsko odporni ter dimenzijsko in termično stabilni. S povezovalno vlogo Centra odličnosti NAMASTE se v Sloveniji ustvarja vrednostna veriga raziskovalnih skupin in podjetij: poleg naše skupine še Odsek za sisteme in vodenje na Institutu Jožef Stefan, Kemijski inštitut, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo in Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, HIPOT-RR, TC SEMTO, KEKO Oprema, KEKON in HYB. Materiali in tehnologije keramičnih senzorjev tlaka so viden rezultat sodelovanja z družbo HYB v preteklem obdobju.

Poleg sodelovanja z industrijo (večinoma z elektronsko in elektroindustrijo, ki je ena najpomembnejših gospodarskih panog v Sloveniji) so aktivnosti skupine obsegale: (i) vključevanje raziskovalcev in strokovnjakov iz podjetij v programsko skupino, kar ima obojestranske učinke; (ii) prenos znanja, ki je reden proces in se izvaja s svetovanjem in ekspertnimi mnenji, vzgojo in izobraževanjem kadrov ter pretokom mladih raziskovalcev; (iii) izvajanje projektov in storitev po naročilu; (iv) sodelovanje v skupnih projektih. Povezovanje z drugimi RR skupinami je tudi pomembno, ne samo za doseganje kritične mase na nekaterih področjih, temveč tudi za povečanje izkoriščanja drage raziskovalno-razvojne infrastrukture. Sodelavci so vidni člani strokovnih društev v Sloveniji in Evropi in sodelujejo pri organizaciji različnih strokovnih dogodkov (konference, delavnice, ...). Omenimo naj aktivno vlogo sodelavcev v strokovnem društvu MIDEM in v Tehnološkem centru SEMTO, ter v evropski asociaciji Piezo Institut.

Šest sodelavcev je habilitiranih na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana in aktivno sodelujejo pri izobraževanju študentov.

Raziskovalna skupina vzdržuje stik z vodilnimi laboratoriji po svetu, kar se odraža v velikem številu vabljenih predavanj sodelavcev na mednarodnih konferencah in medsebojnih obiskih, ter nedvomno tudi v vključenosti v mednarodne projekte.

ANG

In our opinion the research programme Electronic ceramics, nano, 2D and 3D structures is important for Slovenia for several reasons. The group is active in the fields of basic and applied research of ceramic materials for electronic components and ceramic microsystems (chemical, micro-electro-mechanical systems, MEMS). This enables cooperation with many Slovenian companies, for example HIPOT-RR, KEKO-Equipment, KEKON, KEKO Varicon, HYB, ETI Elektroelement, BSH, LPKF. To improve the cooperation and to enable the technology transfer some of the researchers from industry are permanent members of the research group. Collaboration with the company ETI Elektroelement d.d. in the field of silicate materials for applications in electrotechnics resulted in obtaining (national) Puh award for inventions and development achievements (2009) for R&D of high-alumina porcelain with improved mechanical properties and thermal shock resistance, and Silver innovation award of the regional Chamber of commerce (2014) for R&D of cordierite ceramics with improved mechanical and thermal

properties, two national patents and three PCT patent applications. Microsystems are miniaturized devices that perform electronic and non-electronic functions. Typically, they have mechanical parts; electrical parts; different fluidic, thermal and optical structures; different sensors and actuators; etc. Complex microsystems combine different materials and technologies. With the linking role of Centre of Excellence NAMASTE, the value chain in the field of ceramic-microsystems has been established, including also Department of Systems and Control, Jožef Stefan Institute, National Institute of Chemistry, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana and industrial partners HIPOT-RR, TC SEMTO, KEKO Equipment, KEKON and HYB. Materials and technology for fabrication of ceramic pressure sensors can be mentioned as an outstanding result of the cooperation with the company HYB in the previous period.

Beside intensive cooperation with electronics and electrical industry, which is one of the most important industrial segments in Slovenia, the activities of the research group include: (i) inclusion of researchers and experts from industry into the group; (ii) dissemination of knowledge as a continuous process based on consulting, expertise, education, and exchange of experts; (iii) projects and services; (iv) cooperation in joint projects. Networking with other research and development groups is also important, not only to obtain a critical mass in selected fields but also for more effective use of expensive research infrastructure.

Researchers are members of professional associations in Slovenia and Europe, and participate in organization of different events (conferences, workshops ...). They are active also in MIDEM, Society for microelectronics, electronic components and materials, Technological centre SEMTO and are founding members of the European Piezo Institute.

Six colleagues of the research group are habilitated at the Jožef Stefan International Postgraduate School and are involved in the education process. Beside PhD students within the Young researchers programme also two postgraduate students from industry are included in the group.

The research group maintains close research contacts with leading laboratories in the field of electronic ceramics, which is reflected also in many invited papers at international conferences, lectures at Universities, and several multi-institutional international projects.

## 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	2
bolonjski program - II. stopnja	0
univerzitetni (stari) program	6

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
21058	Martina Oberžan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
26468	Hana Uršič Nemevšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28810	Roman Pačnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29745	Gregor Trefalt	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29522	Sebastjan Glinšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22313	Janez Bernard	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32155	Kostja Makarovič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30877	Jurij Koruza	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26016	Helena Razpotnik	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

32332	Oleksandr Noshchenko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33761	Andre-Pierre Abellard	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31064	Alja Kupec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

**Mag.** - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju<sup>14</sup>**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
26468	Hana Uršič Nemevšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29745	Gregor Trefalt	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
29522	Sebastjan Glinšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
30877	Jurij Koruza	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
32155	Kostja Makarovič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
32332	Oleksandr Noshchenko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
31064	Alja Kupec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

Legenda zaposlitev:

**A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi**B** - gospodarstvo**C** - javna uprava**D** - družbene dejavnosti**E** - tujina**F** - drugo**12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Mamoru Senna	B - uveljavljeni raziskovalec	3	
28808	J.J. Angeline Tellier	D - podoktorand	9	
33761	Andre-Pierre Abellard	C - študent – doktorand	10	
34261	Katarina Vojisavljevič	D - podoktorand	40	
36747	Mara Bernardo Sacristan	D - podoktorand	12	
36221	Georgia Basina	D - podoktorand	12	
32922	Giovanna Canu	D - podoktorand	12	
0	Dandan Wei	C - študent – doktorand	3	
0	Gaoqun Zhang	C - študent – doktorand	3	
0	Candice Thomas	C - študent – doktorand	2	
0	Julian Bradley Walker	C - študent – doktorand	8	



0	Bensemma Nouar	C - študent – doktorand	2	
0	Ridvan Demiryurek	C - študent – doktorand	3	
0	Bilal Demir	C - študent – doktorand	3	
0	Oana Catalina Mocioiu	D - poddoktorand	5	
0	Biljana Stojanović	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Naonori Sakamoto	D - poddoktorand	6	
0	Mahdi Feizpou	C - študent – doktorand	5	
0	Nadia Elfels	C - študent – doktorand	3	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

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

projekt 7. OP ORAMA: Oksidni materiali za obdobje elektronike po siliciju, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

projekt 7. OP CERAMPOL: Keramične in polimerne membrane za odstranjevanje težkih kovin in strupenih organskih spojin v vodi, nosilca: doc. dr. Danjela Kuščer, doc. dr. Tadej Rojac

projekt 7. OP PI: Evropski ekspertni center za večfunkcionalne in integrirane piezoelektrične naprave, nosilki: prof. dr. Barbara Malič, doc. dr. Danjela Kuščer

projekt 7. OP MICROFLEX: Mikro proizvodnja tehnologije za MEMS na novi generaciji tekstilij in upogljivih podlagah nosilca: prof. dr. Marija Kosec, dr. Janez Holc

projekt 7. OP HIPERACT: Nove tehnologije za visokozmogljive piezoelektrične aktuatorje, nosilki: prof. dr. Marija Kosec, doc. dr. Andreja Benčan Golob

projekt 6. OP CAMELIA: Monolitni kondenzatorji z zelo veliko kapacitivnostjo za prenosne in brezžične komunikacijske sisteme, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

projekt 6. OP MULTICERAL: Multifunkcionalne keramične tanke plasti z visoko elektro-magnetno-elastično sklopitvijo v kompleksni geometriji, nosilca: prof. dr. Marija Kosec, dr. Janez Holc

projekt 6. OP MULTIFLEXIOXIDES: Večkomponentni oksidi za prilagodljivo in prosojno elektroniko, nosilka: doc. dr. Danjela Kuščer

projekt 6. OP MIND: Večfunkcijske integrirane piezoelektrične naprave, nosilki: prof. dr. Marija Kosec, prof. dr. Barbara Malič

COST 539 ELENA: Elektronska keramika iz nanoprahov, sintetiziranih z

inovativnimi metodami, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

COST MP0904 SIMUFER: Eno- in večfazni feroiki in multiferoiki z omejenimi geometrijami, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

COST MP1308 TO-BE: Na poti k oksidni elektroniki, nosilka: dr. Katarina Vojisavljevič

COST TD1105 EuNetAir: Evropska mreža za nove senzorske tehnologije za kontrolo onesnaževanja zraka in okoljski trajnostni razvoj -EuNetAir, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

EUREKA IPCTECH: Nova generacija 3D integriranih pasivnih komponent in mikrosistemov v LTCC tehnologiji, nosilec: doc. dr. Marko Hrovat

CMEPIUS: Študijski obiski - Gostovanje skupin iz Slovenije v državah Norveške, Islandije in Liechtensteina, nosilka: prof. dr. Marija Kosec

CMEPIUS: Usposabljanje v sklopu programa mobilnosti Leonardo da Vinci na Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, nosilka: dr. Hana Uršič Nemevšek

ESA CERACON: Intergration and control of the ceramic micro reactor for liquid fuel processing, nosilec: doc. dr. Marko Hrovat

ESA FERRO-PATCH: Prilagodljiva mikrotrakasta antena na osnovi feroelektričnih kondenzatorjev, nosilka: prof. dr. Barbara Malič

**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*

Projekt KeraPro: Keramični procesor za razklop goriva in čiščenje izhodnih plinov, naročnik: Ministrstvo za obrambo, nosilec: doc. dr. Marko Hrovat

Projekt: Raziskave na področju steatitnih materialov, naročnik: RC eNeM Novi materiali d.o.o., nosilka: doc. dr. Danjela Kuščer

Projekt: Raziskave na področju kordieritnih materialov, naročnik: RC eNeM Novi materiali d.o.o., nosilka: doc. dr. Danjela Kuščer

Projekt: Nanomateriali v keramiki-študija izvedljivosti, naročnik RC eNeM Novi materiali d.o.o., nosilki: prof. dr. Barbara Malič, doc. dr. Danjela Kuščer

Projekt: Razvoj mikrostrukture neporozne volumenske keramike s posebnimi lastnostmi za potencialno uporabo v LTCC strukturah, naročnik: KEKO Oprema d.o.o., nosilka: prof. dr. Barbara Malič

Projekt: Strokovno svetovanje na področju priprave in razvoja keramičnih čip varistorjev in analize keramičnih prahov, surovih in sintranih vzorcev varistorske keramike, naročnik: KEKO Varicon d.o.o., nosilka: prof. dr. Barbara Malič

### 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

Uporabnost raziskovalnih dosežkov se je pokazala na področju keramičnih materialov, elektronskih komponent in mikrosistemov. Uporabnost dosežkov zagotavlja kvalitetno raziskovalno delo, sodelovanje s slovenskimi in mednarodnimi partnerji, ter v zadnji fazi izdelava demonstracijskih izdelkov in njihova validacija. Tako pridobimo znanja, potrebna za naslednji člen vrednostne verige in hkrati dvig stopnje tehnološke pripravljenosti (TRL), ki jo opredeljujemo s stopnjami od 3 do 5.

Z vidika tržne uporabnosti so nekateri dosežki spoznani kot potencialno uporabni, za nekatere so partnerji naredili študije izvedljivosti, nekateri pa so uporabljeni v izdelkih, ki so jih industrijski partnerji že predstavili na trgu. Izkazalo se je, da so partnerji pripravljeni implementirati inovativne raziskovalne dosežke, zato ustanavljanje spin-off podjetja ni bilo potrebno.

Primer potencialne tržne uporabnosti je visokoenergijsko mletje, ki je zelo primerna metoda sinteze prahov in jo uspešno uporabljamo pri raziskovalnem delu. Metoda je zanimiva za podjetja, ki se ukvarjajo s pripravo dobro definiranih nano-prahov. Blizu uporabnosti so tankoplastne elektronske komponente, na primer napetostno nastavljivi kondenzatorji za mikrovalovno območje. Tu sodelujemo s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani v okviru projekta Evropske vesoljske agencije (ESA). Izjemni funkcionalni odziv elektrokalicov, ki smo jih sintetizirali v naši skupini, v sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi, IJS, so vzbudili zanimanje doma in v svetu. Področje je novo in zahteva še veliko raziskovalnega dela in usmerjeno financiranje.

S partnerjem HIPOT-RR smo razvili tehnologijo LTCC za izdelavo tankih membran in velikih votlin v keramičnih strukturah. Tehnologija omogoča načrtovanje, razvoj in izdelavo keramičnih senzorjev tlaka za zelo različna tlačna področja (od 0÷100 mbar do 0÷50 bar). Partnerja HIPOT-RR in Center odličnosti NAMASTE sta razvila družino takih senzorjev, partner HYB d.o.o. je prispeval elektroniko in ohišje, ter predstavil izdelke na sejmu Sensors+Test (2013). T.i. »wet-wet« izvedba senzorjev tlaka je izzvala veliko zanimanje in tudi naročila vzorčnih izdelkov.

Zelo pomembna uporabnost raziskovalnih rezultatov je na področju keramičnih mikrosistemov. V sodelovanju z Odsekom za sisteme in vodenje, IJS, HIPOT-RR in Kemijskim inštitutom smo razvili in izdelali kompleksne kemijske mikrosisteme za naročnika MORS in ESA. Na LTCC področju sodelujemo tudi s CO NAMASTE in podjetjema KEKON in KEKO Oprema.

Uporabnost dosežkov se izkazuje tudi kot vključenost in zaželenost raziskovalcev v projektih industrijskih raziskav in evropskih projektih.

### 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	600.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	Možnost ustanovitve spin-off podjetja vidimo na tematiki keramični mikrosistemi. Za gostovanje v obstoječem laboratoriju in pri partnerjih (IJS, NAMASTE, KEKO Oprema, KEKON) je potreben ustanovitveni in semenski finančni vložek v višini 60.000 EUR, infrastrukturna podpora (30.000 EUR letno) in investicije v dodatno opremo v višini od 50.000 do 100.000 EUR. Za popolno samostojno delovanje je poleg ustanovitvenega in semenskega kapitala v višini 60.000 EUR potrebna tudi investicija v prostore in opremo za izdelovanje 3D keramičnih struktur (500.000 do 900.000 EUR) in elektronske opreme (50.000 EUR).

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

#### 17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Objavili smo pregledni članek z naslovom "BiFeO<sub>3</sub> Ceramics: Processing, Electrical and Electromechanical Properties" avtorji T.Rojac, A. Bencan, B. Malic, G. Tutuncu, Jacob L. Jones, John E. Daniels, D. Damjanovic, J. Am. Ceram. Soc. 97 [7], 1993–2011, 2014. Članek zajema obsežen pregled najpomembnejših rezultatov raziskav na sintezi in funkcijski karakterizaciji keramike BiFeO<sub>3</sub>.

Prvi del članka obravnava in razloži kinetične in termodinamske mehanizme, ki so odgovorni za nastanek in stabilizacijo sekundarnih (ne-perovskitnih) faz med sintezo BiFeO<sub>3</sub>. V drugem delu predstavljamo in kritično analiziramo električne in elektromehanske lastnosti BiFeO<sub>3</sub>, predvsem električno prevodnost, dielektričnost, piezoelektrični odziv in polarizacijo ter deformacijo, merjeni pri visokih električnih poljih.

Izjemni znanstveni dosežek programa je hkrati tudi dosežek projekta J2-5483: Učinkoviti piezoelektrični materiali za senzorje in aktuatorje v visokotemperaturnih aplikacijah, vodja: dr. Tadej Rojac.

## 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Kordieritna keramika z izboljšanimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi

V sodelovanju s podjetjem ETI Elektroelement d.d. iz Izlake smo razvili kordieritni material tipa C 410, ki se uporablja v elektrotehnikih kot toplotni in električni izolator. Z zmanjšanjem števila naravnih surovin, optimizacijo količine posamezne surovine in kontrolo velikosti delcev smo razvili nov material z ustrezno upogibno trdnostjo in termičnim razteznostnim koeficientom. Novi material ustreza zahtevam standarda IEC 60672, je cenejši od obstoječega, zagotavlja izdelavo proizvodov s ponovljivimi lastnostmi, zato ga v podjetju uporabljajo v redni proizvodnji.

Inovativnost sodelavcev potrjuje vložena PCT patentna prijava in nagrada Srebrno priznanje za inovacijo, ki jo je podelila Gospodarska zbornica Slovenije, Območna zbornica Zasavje.

[COBISS.SI-ID 27850279]

## 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"

Barbara Malič

**ŽIG**

Kraj in datum:

Ljubljana

14.3.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/121**

<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 priponko/-i 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/analyze/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

8D-5E-F1-A1-2C-D5-17-1F-A4-70-F7-3F-B5-71-AE-38-DD-ED-FF-08

## **Priloga 1**

VEDA Tehnika

Področje: 2.09 Elektronske komponente

Dosežek: Kordieritna keramika z izboljšanimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi

Vir: BANTAN, Ines, HOLC, Janez, KUŠČER, Danjela. *Manufacturing process of cordierite ceramics with controlled and repeatable mechanical and thermal properties* : patentna prijava PCT/SI2014/000058. Ljubljana: Slovenian Intellectual Property Office, 9. okt. 2014. [COBISS.SI-ID [27850279](#)]

V sodelovanju s podjetjem ETI Elektroelement d.d. iz Izlake smo razvili kordieritni material tipa C 410, ki se uporablja v elektrotehniki kot toplotni in električni izolator. Z zmanjšanjem števila naravnih surovin, optimizacijo količine posamezne surovine in kontrolo velikosti delcev smo razvili nov material z ustrezno upogibno trdnostjo in termičnim razteznostnim koeficientom. Novi material ustreza zahtevam standarda IEC 60672, je cenejši od obstoječega, zagotavlja izdelavo proizvodov s ponovljivimi lastnostmi, zato ga v podjetju uporabljajo v redni proizvodnji.

Inovativnost sodelavcev potrjuje vložena PCT patentna prijava in nagrada Srebrno priznanje za inovacijo, ki jo je podelila Gospodarska zbornica Slovenije, Območna zbornica Zasavje.

Sodelavci Instituta „Jožef Stefan“ so skupaj s sodelavci podjetja ETI Elektroelement d.d. prejeli Srebrno priznanje za inovacijo “Nov kordieritni material C 410 za elektrotehniko in postopek njegove izdelave”, ki ga je podelila Gospodarska zbornica Slovenije, Območna zbornica Zasavje junija 2014.





## **Priloga 2**

## TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

### Dosežek: **Keramika $\text{BiFeO}_3$ : Sinteza, električne in elektromehanske lastnosti**

Vir: T.Rojac, A. Bencan, B. Malic, G. Tutuncu, Jacob L. Jones, John E. Daniels, D. Damjanovic, J. Am. Ceram. Soc. 97 [7], 1993–2011, 2014.

Objavili smo pregledni članek z naslovom “ $\text{BiFeO}_3$  Ceramics: Processing, Electrical and Electromechanical Properties” v reviji, ki je vodilna na področju znanosti o materialih (podpodročje: keramika). Članek zajema obsežen pregled najpomembnejših rezultatov raziskav na sintezi in funkcijski karakterizaciji keramike  $\text{BiFeO}_3$ . Prvi del članka obravnava in razloži kinetične in termodinamske mehanizme, ki so odgovorni za nastanek in stabilizacijo sekundarnih (ne-perovskitnih) faz med sintezo  $\text{BiFeO}_3$ . V drugem delu predstavljamo in kritično analiziramo električne in elektromehanske lastnosti  $\text{BiFeO}_3$ , predvsem električno prevodnost, dielektričnost, piezoelektrični odziv in polarizacijo ter deformacijo, merjeni pri visokih električnih poljih.



**Slika:** Naslovnica julijske izdaje revije Journal of the American Ceramics Society (2014) s sliko, ki prikazuje keramično matrico  $\text{BiFeO}_3$  (zrna obarvana oranžno), v kateri se nahaja večji kristal sekundarne faze  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  (rdeče obarvan) in vključki  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  (beli vključki). Avtorji slike so sodelavci iz Odseka za elektronsko keramiko, Instituta Jožef Stefan.