

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/178



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4205	
Naslov projekta	Novi materiali za pretvorbo energije: oksidni polprevodni termoelektriki	
Vodja projekta	8012	Danilo Suvorov
Tip projekta	L	Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560	
Cenovni razred	C	
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014	
Nosilna raziskovalna organizacija	106	Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	103	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
	1446	GORENJE gospodinjski aparati, d.d.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2	TEHNIKA
	2.04	Materiali
	2.04.01	Anorganski nekovinski materiali
Družbeno-ekonomski cilj	05.	Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2	Tehniške in tehnološke vede
	2.05	Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V okviru projekta smo raziskovali oksidne termoelektrične materiale, ki bi lahko v prihodnosti predstavljali učinkovito rešitev za pridobivanje elektrike iz odvečne toplote. Dandanes poznani najučinkovitejši termoelektrični materiali so bili razviti na osnovi zlitin, kot so teluridi, ki vsebujejo škodljive elemente in so pri povišanih temperaturah v atmosferskih pogojih podvrženi

razpadu. V zadnjem desetletju pa so pokazali, da nekateri polprevodni oksidi izkazujejo obetajoče termoelektrične lastnosti. Uporaba oksidnih materialov namesto zlitin bi povečala stabilnost materialov v termoelektričnih pretvornikih, in tako omogočila izrabo odpadne toplote pri višjih temperaturah. Raziskovalno področje termoelektrikov je relativno novo, ter tako predstavlja možnost tako znanstvenih kot tudi tehnoloških raziskav.

Raziskave so bile osredotočene na korelacije med kristalno kemijo in procesnimi pogoji ter mikrostrukturo in dobljenimi termoelektričnimi lastnostmi, ki so do danes v literaturi slabo opisane. Na primeru plastnih kobaltatov s p-tipom električne prevodnosti smo raziskovali koherentno zraščanje med Na_xCoO_2 in $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ strukturnima tipoma. Na osnovi tovrstnih struktur smo sintetizirali materiale z visoko stopnjo teksturiranosti, odporne na atmosferske vplive, ki izkazujejo visoko električno prevodnost in Seebeckov koeficient. Med kandidati za n-tip termoelementov v visokotemperaturnih termoelektričnih modulih smo raziskovali donorsko dopiran ZnO in perovskit CaMnO_3 . V primeru dopiranega ZnO smo ugotovili, da elektronske napake odgovorne za električno prevodnost, pri povišanih temperaturah niso stabilne zaradi česar material ni primeren kot visoko temperaturni termoelektrik. Perovskit CaMnO_3 pa izkazuje stabilno električno prevodnost in je služil kot modelni sistem za raziskovanje prilagajanja termoelektričnega faktorja kvalitete z načrtovanjem razvoja mikrostrukture s pomočjo politipnih ploskovnih napak.

ANG

In the scope of the project we studied oxide thermoelectric materials, which could in the future present a sustainable solution for harvesting electricity from daily-generated excess heat. The most effective thermoelectric materials that have to date been developed are based on alloys such as tellurides, which contain toxic elements and are furthermore prone to decomposition at elevated temperatures under atmospheric conditions. In the last decade, however, it has been shown that some semiconductive oxides exhibit promising thermoelectric properties. Using oxide materials instead of alloys would improve the stability of materials in thermoelectric converters and thus enable harvesting "waste heat" at higher temperatures. The research field of oxide thermoelectrics is relatively young and therefore represents a scientific and technological opportunity.

The focus of the project was correlation of crystal chemistry and processing parameters to the microstructure and resulting thermoelectric properties, which has up to now been poorly described in the literature. In the case of p-type conducting layered cobaltates we studied coherent intergrowth between Na_xCoO_2 and $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ structural type which leads to atmosphere-resistant materials with high degree of spontaneous texturing, exhibiting moderate electrical conductivity and enhanced Seebeck coefficient. As of n-type candidates for thermoelements in high-temperature thermoelectric modules we studied donor doped ZnO and perovskite CaMnO_3 . In the case of ZnO we found that the defects responsible for n-type electrical conductivity are unstable at elevated temperatures rendering this material unsuitable as a high-temperature thermoelectric. The perovskite CaMnO_3 , on the other hand, exhibits a stable electrical conductivity and was used as model material for establishing the possibility of tuning thermoelectric figure of merit by microstructural engineering through formation of polytypic planar defects.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Na področju razvoja novih oksidnih termoelektrikov s p-tipom nosilcev naboja so raziskave v okviru projekta zajemale študij ploskovnih napak v koherentno zraščanih kobaltatih in korelacijo le-teh z izmerjenimi transportnimi lastnostmi. Ugotovili smo da v $\text{Ca}_{3-x}\text{Na}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ materialih poleg zraščanja dveh strukturnih tipov nastajajo tudi posamične razlike v strukturi med prevodnimi CoO_2 plastmi. Medplastne natrijeve ione, lahko v Na_xCoO_2 strukturnem tipu zamenjajo kalcijevi ioni, kar pomeni, da del koherentno zraščanih struktur predstavlja Ca_xCoO_2 stehiometrija, ki kot samostojna kemijska spojina ne nastane. Opazili smo tudi, da se kalcijevi ioni v tovrstnem strukturnem tipu lahko lokalno urejajo. Nadalje se je izkazalo, da poleg koherentno zraščanih Na_xCoO_2 in $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ strukturnih tipov nastajajo tudi lokalne spremembe medplastne strukture in sicer samostojni vključki strukture kamene soli znotraj Na_xCoO_2 strukturnega tipa. Lokalne raznolikosti v medplastni kristalni strukturi, kemiji in zasedenosti smo raziskali z vrstičnim presevnim elektronskim mikroskopom z atomsko ločljivostjo in spekroskopijo izgube energije elektronov in teoretičnimi izračuni s teorijo gostotnih funkcionalov. Izkazalo se je, da medplastna raznolikost lokalno ne vpliva na oksidacijsko stanje kobalta znotraj prevodnih CoO_2 plasti lahko pa vpliva na raznolikost spinskih stanj kobaltovega iona, kar povečuje spinsko entropijo in posledično zvišuje termonapetost materiala. Meritve so pokazale, da opisane lokalne razlike v

kemijski sestavi in urejenosti medplastnih ionov ter prisotnost dveh različnih zlogovnih sekvenc bistveno ne vpliva na toplotno prevodnost v smeri vzdolž CoO_2 plasti, kar pomeni, da tovrstne napake v kristalni strukturi v tem sistemu ne povzročajo signifikantnega sipanja akustičnih fononov. Prednost koherentno zraščene strukture pred čistima Na_xCoO_2 in $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ je kombinacija visoke vrednosti termonapetosti in kemijske stabilnosti.

Ključnega pomena je spoznanje, da ionska izmenjava med plastmi Na_xCoO_2 strukturnega tipa omogoča zasedenost z različnimi ioni oziroma zlogovnimi sekvencami, kar bo v prihodnosti lahko služilo za načrtovanje novih termoelektričnih materialov z nižjo toplotno prevodnostjo.

Pri n-tipih polprevodnih oksidov smo ugotovili, da je ključni problem za delovanje pri visokih temperaturah stabilnost električne prevodnosti, ki je posledica načina kompenzacije dopantov. Za doseganje visoke električne prevodnosti je večino donorsko dopiranih oksidov za doseganje elektronske kompenzacije potrebno žgati v redukcijski atmosferi, kar povzroči nestabilnost kisikove podreže, katera se pri obratovanju pri povišanih temperaturah v zračni atmosferi odzove tako, da se elektronska kompenzacija pretvori v ionsko. Posledica je znižanje električne prevodnosti za nekaj velikostnih razredov. Med redkimi oksidi z v zračni atmosferi temperaturno stabilno električno prevodnostjo je donorsko dopiran perovskit CaMnO_3 , ki pa ima visoko toplotno prevodnost. Raziskave v okviru projekta so pokazale, da je moč toplotno prevodnost precej znižati z generiranjem politipnih ploskovnih defektov, ki povzročijo anizotropno rast perovskitnih zrn v zgodnji fazi sintranja, kar ima za posledico porozno celično mikrostrukturo. Pri materialih s tovrstno mikrostrukturo smo izmerili električne lastnosti primerljive z gosto keramiko. Možna razlaga za ohranitev in v nekaterih primerih celo zvišanje toplotne prevodnosti pri materialih s precejšnjo poroznostjo je obstoj nizkodimezionalnih prevodnih plasti med ploskovnimi defekti, kar bodo pokazale nadaljnje raziskave v okviru projekta in po izteku le-tega. Politipne napake v perovskitnih zrnih donorsko dopiranega CaMnO_3 smo generirali z dodatkom presežka ionov, ki se vgrajujejo na A mesta ABO_3 perovskitne strukture. To v termodinamskem ravnotežju povzroči nastanek Ruddleden-Popper-ovih faz, v kinetičnem režimu pa nastanek planarnih defektov-antifaznih mej, katere si lahko razlagamo kot urejanje vrzeli na B mestih, katere nastanejo kot posledica vgrajevanja presežnih A ionov in kisika. S prilagajanjem načina dodajanja presežnega AO smo dosegli pospešeno rast zrn vzdolž nastalih defektov in s tem nastanek celične mikrostrukture s čimer smo znižali toplotno prevodnost 3-4 krat.

V okviru dosedanjih raziskav zT vrednosti p in n tipov oksidnih termoelektričnih materialov nismo občutno zvišali smo pa definirali nove mehanizme, ki lahko v okviru prihodnjih raziskav privedejo do novih materialov ter do izboljšanja teoretičnih modelov.

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

Program raziskovalnega projekta je bil razdeljen v tri sklope in sicer: kristalna kemija in mikrostrukturalna analiza poznanih oksidov z visokim zT, raziskave novih oksidnih termoelektrikov in načrtovanje prototipnih oksidnih termoelektričnih modulov. Prvi sklop smo v celoti realizirali in spoznanja uporabili pri načrtovanju novih oksidnih termoelektrikov v okviru drugega sklopa. Pri raziskavah v okviru le-tega se je izkazalo, da sinteza materialov s ploskovnimi napakami, kot je bilo načrtovano lahko privede do izboljšanja tako električnih kot toplotnih lastnosti materiala. V okviru drugega sklopa smo raziskali fizikalnega ozadja izmerjenih lastnosti pri raziskanih tipih materialov. V okviru tretjega sklopa pa smo raziskali vpliv elektrodnega materiala in vpliv načina nanašanja le-tega na električne transportne lastnosti. Izbrali smo primerno metodo za realizacijo prototipnih modulov, katere bomo izdelali v okviru nadaljnjih raziskav.

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

Raziskovalni projekt smo izvajali skladno z vsebino in časovnimi opredelitvami, ki smo jih navedli v prijavi projekta.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			

1.	COBISS ID	27467815	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Kemijski razpad kot najverjetnejši vzrok nestabilnost plastnega natrijevega kobaltata	
		<i>ANG</i> Chemical decomposition as a likely source of ambient and thermal instabilities of layered sodium cobaltate	
	Opis	<i>SLO</i> Z uporabo kisikove atmosfere smo sintetizirali visoko teksturiran natrijev kobaltat in ovrednotili posebnosti, ki vplivajo na izmerjene vrednosti električne in toplotne prevodnosti z namenom evalvacije praktične uporabnosti materiala. Sistematično smo raziskali vpliv vlažnosti in ugotovili pri katerih pogojih keramika popolnoma razpade. Z mikrostrukturno analizo in termično analizo sklopljeno z masnim spektrometrom smo identificirali kemijske reakcije, ki potekajo pri procesu razpada.	
		<i>ANG</i> With the application of an oxygen atmosphere, we synthesized a highly textured sodium cobaltate. At the same time, we identified its peculiarities that influence the measured parameters to a degree that seriously questions this material's potential for use. We have systematically studied the influence of humidity on the ceramic pellets and found 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.	
	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	
2.	COBISS ID	26554407	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Parametrična študija nastanka nukleacijske plasti za nizkotemperaturno rast visokoorientiranih ZnO plasti na steklenih substratih	
		<i>ANG</i> Parametric study of seed-layer formation for low-temperature hydrothermal growth of highly oriented ZnO films on glass substrates	
	Opis	<i>SLO</i> Pokazali smo učinkovitost nizkotemperaturne hidrotermalne sinteze pri 90°C za rast visokoorientiranih ZnO plasti iz raztopin cinkovega nitrata in natrijevega citrata. Nastanek kontinuirnega nukleacijskega sloja s primerno debelino, velikostjo, povezanostjo in orientacijo zrn je glede na prostorsko omejeno rast zrn (SCOG-mehanizem) ključnega pomena za rast (0001) orientiranih gladkih transparentnih in prevodnih ZnO plasti. Plasti zrastle na homogenem nukleacijskem sloju z velikostjo zrn približno 20 nm izkazujejo optično prepustnost do 82% in relativno nizko električno upornost.	
		<i>ANG</i> We demonstrate the potential of highly oriented zinc oxide (ZnO) films grown on glass substrates under low-temperature hydrothermal (HT) conditions at 90 °C from aqueous solutions of Zn-nitrate and Na-citrate. Formation of a continuous ZnO seed-layer with proper thickness, grain size, connectivity, and orientation of seed-grains on glass is shown to be essential to achieve conditions for the growth of highly oriented (0001), smooth, transparent, and conductive ZnO films according to the spatially confined oriented growth (SCOG) mechanism. The film grown on homogeneous seed-layer with grain size of about 20 nm showed optical transmittance of up to 82% and relatively low resistivity.	
		Wiley-VCH-Verlag; Physica status solidi. A, Applications and materials science; 2013; Vol. 210, issue 6; str. 1083-1092; Impact Factor:	

	Objavljeno v	1.525; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; WoS: PM, UB, UK; Avtorji / Authors: Podlogar Matejka, Vengust Damjan, Richardson Jacob J., Strojnik Martin, Mazaj Matjaž, Trefalt Gregor, Daneu Nina, Rečnik Aleksander, Bernik Slavko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	27373863	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mikrostrukturalna karakterizacija sodobne keramike
		ANG	Microstructure characterization of advanced ceramics
	Opis	SLO	Poglavje v knjigi opisuje mikrostrukturne pojave, ki jih najdemo v sodobnih funkcionalnih keramičnih materialih in sodobne analitske tehnike za raziskavo le-teh. Opisani pojavi in metode delno temeljijo na izkušnjah pridobljenih pri izvajanju projekta.
		ANG	The book chapter describes microstructural features found in advanced functional ceramic materials and advanced analytical methods used for their investigation. The described features and methods are partially based on experience gained through the implementation of the project.
	Objavljeno v	Elsevier; Advanced ceramics for dentistry; 2013; Str. 151-170; Avtorji / Authors: Šturm Sašo, Jančar Boštjan	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	28426535	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Termoelektrični keramični materiali in generatorji na osnovi le-teh
		ANG	Thermoelectric ceramic materials and generators made thereof
	Opis	SLO	Patentna prijava opisuje razvoj novih termoelektričnih materialov na osnovi koherentno zraščanih plastnih kobaltatov in načrtovanje termoelektričnih modulov na osnovi le-teh. Koherentno zraščanje omogoča pripravo materialov z visoko stopnjo teksturiranja brez uporabe rigoroznih metod sintranja in tako povečuje ekonomsko učinkovitost proizvodnje tovrstnih materialov.
		ANG	Patent application describes development of new thermoelectric materials based on coherently intergrown layered cobaltates and design of thermoelectric modules based on them. Such intergrowth enables high degree of texturing without applying rigorous sintering methods and thus increases economic viability of material production.
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka	
	Objavljeno v	EP-patent Application No. 14177502.3	
	Tipologija	2.23 Patentna prijava	
2.	COBISS ID	28385575	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kemijski razpad kot najverjetnejši vzrok nestabilnosti plastnega natrijevega kobaltata
		ANG	Chemical decomposition as a likely source of ambient and thermal instabilities of layered sodium cobaltate
	Opis	SLO	Odlični v znanosti 2013
		ANG	Excellence in science 2013

	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije; Odlični v znanosti ...; 2014; 2014; 1. str.; Avtorji / Authors: Vengust Damjan, Jančar Boštjan, Šestan Andreja, Ponikvar-Svet Maja, Budič Bojan, Suvorov Danilo	
	Tipologija	1.25 Drugi sestavni deli	
3.	COBISS ID	27921959	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zraščeni termoelektrični kobaltati
		ANG	Integrown thermoelectric layered cobaltates
	Opis	SLO	Pokazali smo da plasti oktaedrično koordiniranih kobaltovih ionov, ki so skupen strukturni element Na_xCoO_2 in $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, faz dovoljujejo spontano koherentno zraščanje dveh strukturnih tipov, kar povzroči učinkovito teksturiranje in znatno poveča stabilnost polikristaliničnega materiala. Preferenčna rast zrn poteka vzdolž CoO_6 ravnin kar omogoči visoko električno prevodnost.
		ANG	We showed that the sheets of octahedrally coordinated Co ions, which are the common structural element of Na_xCoO_2 and $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ phases allow spontaneous intergrowth of the two structures leading to significant improvement of environmental stability. Furthermore coherent intergrowth of the two structural types results in effective texturing in polycrystalline material with the preferred grain growth aligned in-plane with common CoO_6 layers thus allowing high electrical conductivity.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	Janvani Prakashan Pvt. Ltd.; Book of abstracts & souvenir; 2014; Str. 39-40; Avtorji / Authors: Jančar Boštjan, Vengust Damjan, Dražič Goran, Šestan Andreja, Suvorov Danilo	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

V pripravi so tri publikacije s področja spontanega teksturiranja in vpliva le tega na visokotemperaturne termoelektrične lastnosti.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Raziskave v zadnjih dveh desetletjih so pokazale, da so materiali s plastno kristalno strukturo glede na kombinacijo električnih in toplotnih transportnih lastnosti najprimernješi kandidati za razvoj novih termoelektrikov. Nekateri tipi plastnih struktur namreč izkazujejo nizkodimenzionalno ujetost elektronov kar povzroči povečanje termonapetosti in prevodnosti materiala. Plastnost omogoča tudi učinkovitejše sipanje elektronov. Za izkoriščanje teh lastnosti plastnih struktur je potrebno polikristalinične materiale teksturirati za kar se največkrat uporablja metode kot so vroče stiskanje in sintranje z električnimi pulzi, ki pa so z industrijskega stališča velikokrat ekonomsko neupravičeni. Projektna skupina je nedvoumno pokazala, da je možno na osnovi koherentno zraščanih struktur s konvencionalnim sintranjem pripraviti materiale z visoko stopnjo teksturiranosti, kar je iz ekonomskega stališča izredno pomembno pri nadaljnjem razvoju področja. Nadalje je projektna skupina z uporabo atomske ločljivostne mikroskopije in teoretičnih izračunov razkrila do sedaj še neopisane strukturne anomalije med plastmi plastnih kobaltatov. Ugotovitve odpirajo nove možnosti za zniževanje toplotne prevodnosti materialov in s tem nove pristope k načrtovanju termoelektrikov.

ANG

The research performed during the last two decades indicates that materials with layered crystal structure exhibit combination of electrical and thermal transport properties most favorable for development of new thermoelectric materials. Some types of layered structures confine electrons, which results in an increase of thermopower and electrical conductivity. Simultaneously layered structures effectively scatter phonons, which leads to a decrease of thermal conductivity. To make use of these characteristics of layered structures polycrystalline materials need to be textured for which methods like hot pressing and sintering with electrical pulses are most frequently employed. The project team has shown that coherently intergrown structures can be readily sintered to a high degree of texturing using conventional sintering methods, which is economically important for further development of the field. Furthermore the project team discovered, utilizing atomically resolved microscopy and theoretical calculations, so far unknown structural anomalies between the layers of layered cobaltates. These findings point to new possibilities of lowering the thermal conductivity of materials and thus new approaches to the design of thermoelectric materials.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Raziskave termoelektričnih materialov sodijo v sklop prizadevanj za trajnostno in ekološko sprejemljivo rešitev energetskega problema. Področje se v zadnjih letih hitro razvija, kar dokazuje vse večje število publikacij in vpetost vse večjega števila raziskovalnih skupin. Projektna skupina je z začetkom raziskav termoelektričnih materialov v Sloveniji odprla novo raziskovalno področje, ki bo v prihodnosti prispevalo k uveljavljanju in prepoznavnosti države v svetu. Nadalje razvoj novih termoelektričnih materialov pomeni možnost povečanja učinkovitosti novih in obstoječih sistemov za pretvorbo energije z lastnim znanjem.

ANG

The research of thermoelectric materials falls in the scope of efforts to find sustainable and ecologically acceptable solution to the emerging energy problem. Increasing number of publications and involvement of numerous research groups indicate that thermoelectrics are a fast growing scientific field. With the research of thermoelectric materials the project team started a new research direction in Slovenia, which will contribute to scientific establishing and recognizability of the country. Furthermore development of new thermoelectric materials represents possibility of increasing efficiency of new and existing systems for energy conversion using locally generated knowledge.

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

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

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	

	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Delno
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

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

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

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

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv	Gorenje gospodinjski aparati, d.d.	
	Naslov	Partizanska cesta 12, 3320 Velenje	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	92.233	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	

	1.	Opisali smo kemijski razpad, ki omejuje praktično uporabnost plastnih kobaltatov kot visokotemperaturnih termoelektričnih materialov	F.02
	2.	Opisali smo koherentno zraščanje kristalnih struktur kot možnost razvoja novih, stabilnih oksidnih termoelektrikov z visoko stopnjo teksturiranja	F.01
	3.	Opisali smo možnost zmanjševanja toplotne prevodnosti z načrtovanim razvojem mikrostrukture termoelektričnih materialov	F.01
	4.		
	5.		
Komentar	<p>Program raziskovalnega projekta je bil razdeljen v tri sklope in sicer: kristalna kemija in mikrostrukturna analiza poznanih oksidov z visokim zT, raziskave novih oksidnih termoelektrikov in načrtovanje prototipnih oksidnih termoelektričnih modulov. Prvi sklop smo v celoti realizirali in spoznanja uporabili pri načrtovanju novih oksidnih termoelektrikov v okviru drugega sklopa. Pri raziskavah v okviru le-tega se je izkazalo, da sinteza materialov s ploskovnimi napakami, kot je bilo načrtovano lahko privede do izboljšanja tako električnih kot toplotnih lastnosti materiala. V drugem sklopu smo raziskali fizikalno ozadje izmerjenih lastnosti pri raziskanih tipih materialov. V okviru tretjega sklopa pa smo raziskali vpliv elektrodnega materiala in vpliv načina nanašanja le-tega na električne transportne lastnosti. Izbrali smo primerno metodo za realizacijo prototipnih modulov.</p>		
Ocena	<p>Razvoj novih materialov za pretvorbo energije je za Gorenje izjemnega pomena za nadaljnje uveljavljanje na konkurenčnem mednarodnem trgu predvsem z vidika njihove uporabe v termoelektričnih modulih, ki so dobra alternativa za klasične hladilne sisteme. Za slednje je značilno, da vsebujejo veliko gibljivih delov (npr. uprjalnik, kondenzator, kompresor) in okolju škodljive pline, medtem ko novi termoelektrični moduli ne vsebujejo gibljivih delov, imajo večjo energijsko učinkovitost, nižjo ceno proizvodnje in so prijaznejši do ljudi in okolja. Kot taki novi termoelektrični moduli in raziskave na področju novih materialov za pretvorbo energije za Gorenje predstavljajo velik strokovni izziv, ki lahko privede tudi do pomembnih finančnih učinkov.</p>		

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS

- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Danilo Suvorov

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/178

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

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

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

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

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

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

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

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

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

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

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

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.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-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

8A-33-1B-EE-9C-C2-9A-36-A2-DB-E7-77-59-76-19-33-97-FA-62-A9