

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/145



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-2015
Naslov projekta	Napredni ferroelektrični polimerni in anorganski materiali: ogromen elektrokalični pojav in transportne lastnosti
Vodja projekta	10124 Zdravko Kutnjak
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4173
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.01 Fizika kondenzirane materije
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	1.03
- Veda	1 Naravoslovne vede
- Področje	1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

V okviru projekta smo študirali ogromen elektrokalični pojav in transportne lastnosti naprednih ferroelektričnih polimernih in anorganskih materialov.

Sam ogromen elektrokalični pojav je izrednega pomena za aplikacijo v hladilnih ali grelnih napravah nove generacije, ki bodo ekološko in energetsko bolj sprejemljive.

Z neposrednimi meritvami smo kot prvi potrdili obstoj ogromnega elektrokaličnega pojava v polimernih in anorganskih feroelektričnih relaksorjih. Pri tem so bili v sodelovanju s skupino M. Kosec Odsek za keramiko na Institutu J. Stefana razviti keramični anorganski feroelektrični relaksorji z ogromnim elektrokaličnim pojavom. Študij polimernih feroelektričnih filmov pa je potekal v sodelovanju s skupino prof. Q.M. Zhanga s Pennsylvania State University, ZDA. Karakterizirali ter optimizirali smo ogromen elektrokalični pojav tako v keramičnih kot polimernih materialih. Keramični in polimerni materiali z njihovimi mehanskimi in toplotnimi lastnosti ter možnostjo priprave v kakršnikoli obliki so zelo zanimivi za aplikacijo in imajo določene prednosti pred drugimi materiali.

Študirali smo tudi eksperimentalno dielektrične in električne transportne lastnosti nanožic in nanocevk ter ionskih tekočin v ionomerih. Te raziskave so zelo zanimive s stališča shranjevanja energije in razvoja novih baterijskih in akumulatorskih sklopov.

ANG

Within the frame of the project studies were performed of the giant electrocaloric effect and transport properties of advanced ferroelectric polymeric and inorganic materials.

The giant electrocaloric effect is of great importance for application in cooling or heating devices of new generation, which could be friendlier for environment and would contribute to reduction of power consumption. By performing direct measurements we confirmed among first the existence of the large electrocaloric effect in polymeric and inorganic ferroelectric relaxor materials. In addition, in collaboration with the group of Prof. M. Kosec from Ceramics department at J. Stefan Institute the ceramic inorganic ferroelectric relaxors with the giant electrocaloric effect were developed. Studies of polymeric materials were carried out in collaboration with the group of Prof. Q. M. Zhang from Pennsylvania State University, USA. The giant electrocaloric effect in these advanced materials was characterized and optimized. Ceramic and polymeric materials due to their mechanical and thermal properties and possibility to be prepared in almost any shape are very promising materials for application and thus have certain advantage in comparison to other materials.

We also studied experimentally the dielectric and electrical transport properties of nanowires and nanotubes as well as the ionic liquids in ionomers. This research is interesting from the aspect of energy storage and development of new batteries and accumulators.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

V okviru raziskovalnega projekta "Napredni ferroelektrični polimerni in anorganski materiali: ogromen elektrokalični pojav in transportne lastnosti" (J12015) so bile v letih 2009-2012 opravljene vse raziskave predvidene v predlogu projekta tako, da lahko sklepamo, da je bil projekt v celoti realiziran. Pri tem so bile izvedene sledeče raziskave:

- Meritve dielektrične konstante in meritve polarizacije na izbranih debelih "bulk" vzorcih relaksorskih ferroelektričnih keramik PMN, $\text{PMN}_{1-x}\text{PT}_x$ ($x=0.30$ in 0.35) in PLZT debeline večje od 0.08 mm. Ugotovitev v katerem temperaturnem območju je elektrokalični pojav največji.
- Meritve dielektrične konstante in meritve polarizacije na izbranih tankih in debelih filmih relaksorskih ferroelektričnih keramik PMN, $\text{PMN}_{1-x}\text{PT}_x$ ($x=0.30$ in 0.35) in PLZT. Ugotovitev v katerem temperaturnem območju je elektrokalični pojav največji.
- Meritve dielektrične konstante in meritve polarizacije na izbranih filmih relaksorskih ferroelektričnih polimerov P(VDF-TrFE) in P(VDF-TrFE-CFE) različnih sestav. Ugotovitev v katerem temperaturnem območju je elektrokalični pojav največji.
- Neposredne meritve elektrokaličnega efekta na zgoraj izbranih materialih kot funkcijo temperature in jakosti električnega polja s pomočjo kalorimetra visoke ločljivosti. Določitev spremembe entropije in toplote na enoto mase vzorca. Ugotovitev jakosti elektrokaličnega efekta za izbrane materiale ter ugotovitev vpliva površine, končnih dimenzij in velikosti keramičnih zrn nanj. Ugotovitev vpliva kemične sestave na jakost elektrokaličnega pojava.
- Študirali smo tudi vpliv kritične točke tipa tekočinapara na elektrokalični odziv v makroskopskih vzorcih relaksorskih perovskitnih materialov.
- Meritve dielektričnih in transportnih lastnosti na nanožicah in nanocevkah.
- Meritve elektromehanskih lastnosti novega relaksorskega polimera (reduced P (VDFTrFE) polymer).
- študij dielektričnih in transportnih lastnosti ionskih tekočin v ionomerih.

Te raziskave so bile narejene v sodelovanju s skupino M. Kosec odseka za elektronsko keramiko Instituta Jožef Stefan in skupino Q. M. Zhanga s Pennsylvania State University.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Vse predlagane raziskave projekta za vsa tri leta 2009-2012 so bile izvedene. Rezultati zgoraj omenjenih raziskav so bili objavljeni v obliki 17 znanstvenih člankov v uglednih mednarodnih znanstvenih revijah in enem poglavju v monografiji. Od tega več člankov v uglednih mednarodnih revijah s področja uporabne fizike (Applied Physics Letters in Journal of Applied Physics). Tri vabljena predavanja in šest drugih predavanj je bilo objavljeno v devetih konferenčnih zbornikih. Rezultati so bili predstavljeni na več konferencah v obliki predavanj in referatov, od tega kar trinajst vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah. Del rezultatov je še v pripravi za objavo ali pa je že poslan v objavo v ugledne mednarodne revije. pripravljajo se še poglavje o

elektrokaličnih meritvah, ki bo izšlo v knjigi o elektrokaličnih ugledne založbe Springer.

Raziskave so dale zelo zanimiva in ponekod celo presenetljiva spoznanja, posebej pri ogromnem elektrokaličnem pojavu v tankih filmih relaksorskih feroelektrikov in tankih filmih feroelektričnih polimerov, ki so pritegnila na mednarodnih konferencah precejšnjo pozornost. Največja dosežka pa sta potrditev obstoja ogromnega elektrokaličnega pojava v relaksorskih perovskitnih feroelektrikih z neposrednimi meritvami ter ugotovitev zelo velikega elektrokaličnega pojava v tankih filmih PLZT keramike in obsevanega kopolimera, ki znatno presega po svoji velikosti dosedaj znane elektrokalične materiale. Kot prvi smo tudi ugotovili, da je elektrokalična odzivnost največja v bližini kritične točke. Ta ugotovitev je izrednega pomena za razvoj novih elektrokaličnih materialov ter novih tehnologij hlajenja na bazi elektrokaličnega pojava.

Pri raziskavah dielektričnih in električnih transportnih lastnosti nanožic in nanocevk smo pokazali, da gre za kombinacijo prevajanja preko tuneliranja in t.i. "variable range hopping" mehanizma.

Na osnovi tega lahko ocenim, da so bili zastavljeni raziskovalni cilji projekta v celoti izpolnjeni.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Od predvidenih raziskovalnih ciljev projekta ni bilo nepredvidenih odstopanj. Vse raziskave zapisane v predlogu projekta so bile izvedene.

V okviru projekta smo izvedli tudi nekaj raziskav, na željo naših tujih partnerjev, ki niso bile omenjene v predlogu projekta, naprimer kalorimetrični študij prehoda iz steklastega relaksorskega stanja v feroelektrično stanje. Te raziskave so končno dale odgovor na več desetletij odprto vprašanje o naravi osnovnega stanja v relaksorskih feroelektrikih. Odgovor na to vprašanje je tudi neposredno povezan s cilji tega projekta, to je razumevanje ogromnega elektrokaličnega pojava v relaksorskih feroelektrikih. Te raziskave so bile objavljene v eni od najuglednejših revij s področja fizikalnih raziskav Physical Review Letters.

Izdelali smo tudi teorijo, ki opiše zakaj je elektrokalična odzivnost največja v bližini kritične točke, kar je važno za bodoče načrtovanje novih materialov.

V sodelovanju s skupino J.F. Scotta z University of Cambridge, Velika Britanija smo naredili tudi kalorimetrične raziskave organskega feroelektrika TSCC. Pri tem nas je zanimala narava in termodinamske lastnosti novo odkritih faz v tem materialu ter velikost elektrokaličnega pojava v organskem nepolimernem feroelektriku. Rezultati teh raziskav so bili poslani v Nature communications.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	24060199	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Organski in anorganski relaksorski feroelektriki z ogromnim elektrokaličnim pojavom
		ANG	Organic and inorganic relaxor ferroelectrics with giant electrocaloric effect

Opis	SLO	Z neposrednimi meritvami smo pokazali, da v tankih PLZT filmih in polimernih feroelektričnih elektrokalični pojav lahko preseže tudi 40 K.
	ANG	By direct measurements we demonstrated that in inorganic PLZT thin films and organic polymer ferroelectric the electrocaloric effect can exceed 40 K.
Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2010; Vol. 97, no. 16; str. 162904-1-162904-3; Impact Factor: 3.820;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.498; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Lu Sheng-Guo, Rožič Brigita, Zhang Q. M., Kutnjak Zdravko, Li Xinyu, Furman E., Gorný Lee J., Lin Minren, Malič Barbara, Kosec Marija, Blinc Robert, Pirc Raša
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	24168999 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Primerjava med neposredno in posredno izmerjenim elektrokaličnim pojavom v relaksorskih feroelektričnih polimerih
	ANG	Comparison of directly and indirectly measured electrocaloric effect in relaxor ferroelectric polymers
Opis	SLO	Pokazali smo, da prej mnogokrat uporabljane posredne meritve ne dajo pravih rezultatov v relaksorskih polimernih feroelektričnih.
	ANG	We show that indirect measurements do not give proper results of electrocaloric response in relaxor ferroelectric polymers.
Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2010; Vol. 97, no. 20; str. 202901-1-202901-3; Impact Factor: 3.820;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.498; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Lu Sheng-Guo, Rožič Brigita, Zhang Q. M., Kutnjak Zdravko, Pirc Raša, Lin Minren, Li Xinyu, Gorný Lee J.
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	24585255 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Ojačan elektrokalični pojav v poly(vinylidene-fluoride/trifluoroethylene) 55/45 mol % kopolimer pri prehodu iz paraelektrične v feroelektrično fazo
	ANG	Enhanced electrocaloric effect in ferroelectric poly(vinylidene-fluoride/trifluoroethylene) 55/45 mol % copolymer at ferroelectric-paraelectric transition
Opis	SLO	Pokazali smo, da je v poly(vinylidene-fluoride/trifluoroethylene) 55/45 mol % kopolimeru elektrokalični pojav največji v bližini prehoda iz feroelektrične v paraelektrično fazo.
	ANG	We show that the electrocaloric effect exhibits a maximum at the ferroelectric-paraelectric transition in ferroelectric poly(vinylidene-fluoride/trifluoroethylene) 55/45 mol % copolymer.
Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2011; Vol. 98, no. 12; str. 122906-1-122906-3; Impact Factor: 3.844;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Lu Sheng-Guo, Rožič Brigita, Zhang Q. M., Kutnjak Zdravko, Neese Bret
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25971495 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Študij $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3}O)_3$ s pomočjo kalorimetrije visoke ločljivosti
	ANG	High-resolution calorimetric study of $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3}O)_3$ single crystal
Opis	SLO	Rešili smo več deset let star problem osnovnega stanja relaksorskih feroelektrikov in pokazali, da je osnovno stanje steklasto in ne

		feroelektrično zamrznjeno v slučajnih poljih.
	ANG	We solve the decades old problem about the ground state of relaxor ferroelectrics by showing that it is the glassy state and not random-field frozen ferroelectric state.
Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2012; Vol. 109, no. 3; str. 037601-1-037601-5; Impact Factor: 7.370;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A": 1;A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Novak Nikola, Pirc Raša, Wencka Magdalena, Kutnjak Zdravko
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	24382759 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Zgornja meja elektrokaličnega pojava v polarnih trdninah
		ANG Upper bounds on the electrocaloric effect in polar solids
	Opis	SLO Teoretično smo ocenili zgornjo mejo elektrokaličnega pojava v polarnih trdninah
		ANG We calculated theoretically the upper bond on the electrocaloric effect in polar solids
Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2011; Vol. 98, no. 2; str. 021909-1-021909-3; Impact Factor: 3.844;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Pirc Raša, Kutnjak Zdravko, Blinc Robert, Zhang Q. M.
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	261067008 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Pojavi z ogromno energijsko pretvorbo v mehkih in trdnih naprednih materialih
		ANG Giant energy-conversion effects in soft and solid advanced materials
	Opis	SLO Doktorska teza, narejena delno v okviru raziskav tega projekta.
		ANG PhD thesis partially made within the research frame of this project.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[B. Rožič]; 2012; XII, 161 str.; Avtorji / Authors: Rožič Brigita
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija
2.	COBISS ID	23772711 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Neposredne meritve ogromnega elektrokaličnega pojava v mehkih in trdnih feroelektričnih relaksorjih
		ANG Direct measurements of giant electrocaloric effect in soft and solid ferroelectric relaxors
	Opis	SLO Vabljen predavanje na mednarodne znanstvem srečanju.
		ANG Invited talk at international scientific meeting.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	s. n.]; Abstracts book; 2010; Str. 69; Avtorji / Authors: Kutnjak Zdravko
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)
3.	COBISS ID	23772199 Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Ogromen elektrokalorični pojav v feroelektričnih polimerih
		ANG	Giant electrocaloric effect in ferroelectric polymers
	Opis	SLO	Vabljen predavanje na mednarodne znanstvenem srečanju.
		ANG	Invited talk at international scientific meeting.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	s. n.]; Abstracts book; 2010; Str. 447-448; Avtorji / Authors: Zhang Q. M., Lu Sheng-Guo, Neese Bret, Li Xinyu, Rožič Brigita, Kutnjak Zdravko	
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)	
4.	COBISS ID	23771943	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Neposredne meritve ogromnega elektrokaloričnega pojava v mehkih in trdnih relaksorskih feroelektrikih
		ANG	Direct measurements of giant electrocaloric effect in soft and solid ferroelectric relaxors
	Opis	SLO	Vabljen predavanje na mednarodne znanstvenem srečanju.
		ANG	Invited talk at international scientific meeting.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	s. n.]; Abstracts book; 2010; Str. 449-450; Avtorji / Authors: Kutnjak Zdravko	
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)	
5.	COBISS ID	261614336	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Od procesiranja odvisne širokopasovne dielektrične lastnosti KTaO [sub] 3 keramik in filmov ter KTa [sub] 0.6 Nb [sub] 0.4 O [sub] 3 filmov
		ANG	Processing-dependent broadband dielectric properties of KTaO [sub] 3 ceramics, films and KTa [sub] 0.6 Nb [sub] 0.4 O [sub] 3 films
	Opis	SLO	Doktorska teza, narejena delno v okviru raziskav tega projekta.
		ANG	PhD thesis partially made within the research frame of this project.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom	
	Objavljeno v	[S. Glinšek]; 2012; 169 str.; Avtorji / Authors: Glinšek Sebastjan	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Za svoje delo na elektrokaloričnih materialih v okviru tega projekta je B. Rožič kot mlada raziskovalka prejela pred kratkim nacionalno L'Orealovo štipendijo/nagrado ženske v znanosti. Njeno doktorsko delo je bilo tudi že citirano več kot 160 krat v znanstveni literaturi.

V sodelovanju s Q.M. Zhangom Penn State University, ZDA in M. Kosec, Institut Jozef Stefan smo razvili v teku projekta nekaj novih keramičnih in polimernih elektrokaloričnih materialov, ki jih bomo poskusili uporabiti pri izdelavi prvih elektrokaloričnih hladilnih elementov.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

S pomočjo zgoraj omenjenih raziskav smo v okviru tega projekta med prvimi pokazali, da v

polimernih feroelektrikih in relaksorskih materialih obstaja ogromen elektrokalični pojav, pri katerem lahko s pomočjo električnega polja spreminjamo temperaturo snovi za več deset stopinj v pozitivno in negativno smer (gretje/hlajenje), kar omogoča razvoj novih hladilnih tehnologij na osnovi dielektričnega hlajenja. Raziskave so naletele na velik odmev v znanstveni srenji in spodbudile raziskave elektrokaličnega pojava in razvoj novih elektrokaličnih materialov. To področje je sedaj postalo "hot topic" med raziskavami feroelektričnih in dielektričnih materialov, za kar so zaslužne predvsem naše objave, ki so bile v mednarodni literaturi samo v zadnjih dveh letih citirane več kot 120 krat. To se odraža v podvajanju števila člankov iz tega področja v vsakem letu, ter pojavljanju novih sekcij v okviru mednarodnih znanstvenih srečanj, oziroma novih mednarodnih znanstvenih srečanj, posvečenih raziskavam elektrokaličnega pojava. Študij dielektričnih in transportnih lastnosti nanomaterialov pa je pomemben s stališča shranjevanja energije in razvoja novih baterijskih in akumulatorskih sklopov.

ANG

Research within the frame of this project has shown that the giant electrocaloric effect indeed exists in the ferroelectric polymers and in the relaxor ferroelectrics with the change of temperature exceeding several tens of degrees both in positive and negative directions, i.e., heating/cooling. This enables development of new cooling technologies based on dielectric refrigeration. Our research has attracted huge attention of the ferroelectric scientific community and has invigorated research of electrocaloric effect and developments of new electrocaloric materials. This research topic became recently a hot topic, for that success our research which was cited within last two years more than 120 times was one of key elements. The number of publications is more than a doubled each year since our initial publications confirming by direct measurements the existence of a giant electrocaloric effect. In addition, new sections and scientific meetings are organized in recent year dealing with the electrocaloric subject. Research of the dielectric and electric transport properties of nanomaterials is important for development of new ways of energy storage.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Rezultati predlaganega projekta so zelo pomembni za potencialne aplikacije, kar je tudi razvidno iz mnogih publikacij tako predlagatelja projekta kot drugih raziskovalnih skupin v mednarodnih aplikativnih revijah, ker so pomembni pri razvoju novih naprednih materialov z izboljšanimi transportnimi in elektrokaličnimi lastnostmi. Nekateri med njimi so bili razviti na Institutu J. Stefan in Univerzi v Ljubljani. To je posebej pomembno za razvoj novih detektorjev in aktuatorjev na bazi teh novih materialov. Raziskave znotraj tega projekta bodo (v sodelovanju z odsekom za kemijo na Institutu J. Stefan in fakulteto za strojništvo, Univerze v Ljubljani) posebej pomagale pri razvoju novih elementov v hladilnih ali grelnih napravah nove generacije, ki bi bile ekološko bolj sprejemljive. Zaradi drugačnega hladilnega principa ne bi imele gibljivih delov, kar bi vodilo do zmanjšanja teže teh naprav ter močnega zmanjšanja težav s hrupom in porabo električne energije. Vgradnja novih materialov bi v principu dolgoročno lahko tudi vplivala na nižjo ceno proizvodnje in zanesljivost delovanja teh naprav. Poleg tega bi podjetjem, ki bi prve uveljavile proizvodnjo teh naprav omogočilo prestiž na trgu in zagotovilo dodaten zaslužek z novim visokotehnološkim proizvodom. Uvedba nove tehnologije temelječe na novih materialih z ogromnim elektrokaličnim pojavom je zelo zanimiva posebej za slovenski prostor (potencialno zanimiva nova tehnologija za koncern Gorenje). Za dielektrično hlajenje so pokazale veliko zanimanje dva mednarodna koncerna BASF in PARKER HANNIFIN. Projekt je tudi velikega pomena za usposabljanje novih mladih raziskovalcev.

ANG

Results of the proposed project are very much relevant for the potential applications as can be seen from the work published in international applied journals and as they are relevant to the development of novel advanced materials with enhanced transport and electrocaloric properties. Some of them were developed at the Jozef Stefan Institute and University of Ljubljana. This is especially important for development and engineering of new detectors and actuators on the basis of these materials. Research within this project (in cooperation with the chemistry department at the J. Stefan Institute and Engineering Faculty, University of Ljubljana) will also

help to develop new elements for cooling or heating devices of new generation, which could be friendlier for environment. Due to different cooling principles they would not have moving parts, what would lead to reduced weight of these products as well as to elimination of problems with noise and power consumption. Introduction of these new materials would in long term lead to possible reduction of production and service costs, while the reliability of these products could be improved. In addition, the companies which would first introduce production of such high-tech products would achieve commanding position on markets what would lead to additional extra profits. This new technology is also potentially very interesting for slovenian economy, i.e., for company Gorenje. Our research has already attracted considerable attention of two international companies BASF and PARKER HANNIFIN. Project has also significant importance in professional training of young researchers.

**11.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 type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input 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 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 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 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 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 type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input 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 type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Osnačite 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 type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input 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 type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input 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 type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<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 type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input 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 type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input 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 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 type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input 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 type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer	
1.	Naziv	
	Naslov	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	
	2.	
3.		
4.		

	5.	
Komentar		
Ocena		

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Kalorimetrični študij prehoda iz steklastega relaksorskega stanja v feroelektrično stanje je končno dal odgovor na več desetletij odprto vprašanje o naravi osnovnega stanja v relaksorskih feroelektrikih. Odgovor na to vprašanje je tudi neposredno pomemben za razumevanje ogromnega elektrokaličnega pojava v relaksorskih feroelektrikih. Te raziskave so bile objavljene v eni od najuglednejših revij s področja fizikalnih raziskav Physical Review Letters.

Naše raziskave, ki so med prvimi pokazale, da v polimernih feroelektrikih in relaksorskih materialih obstaja ogromen elektrokaličen pojav, pri katerem lahko s pomočjo električnega polja grejemo ali hladimo snov za več deset stopinj so bile citirane v letu 2012 skoraj stokrat. Te raziskave, ki omogočajo razvoj novih hladilnih tehnologij na osnovi dielektričnega hlajenja so naletele na velik odmev v znanstveni srenji in povzročile, da je to področje sedaj postalo "hot topic" med raziskavami feroelektričnih in dielektričnih materialov.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2012 sta dva mlada raziskovalca doktorirala z raziskavami delno v okviru tega projekta. Rezultati tega projekta so bili predstavljeni na mednarodnih znanstvenih srečanjih s šestimi vabljenimi predavanji.

Za svoje delo na elektrokaličnih materialih v okviru tega projekta je B. Rožič kot mlada raziskovalka prejela v letu 2012 nacionalno L'Orealovo štipendijo/nagrado ženske v znanosti. Njeno doktorsko delo je bilo tudi že citirano več kot 160 krat v znanstveni literaturi.

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"

Zdravko Kutnjak

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	28.2.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/145

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ 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](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ 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](#)

⁶ 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](#)

⁷ 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](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ 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](#)

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

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

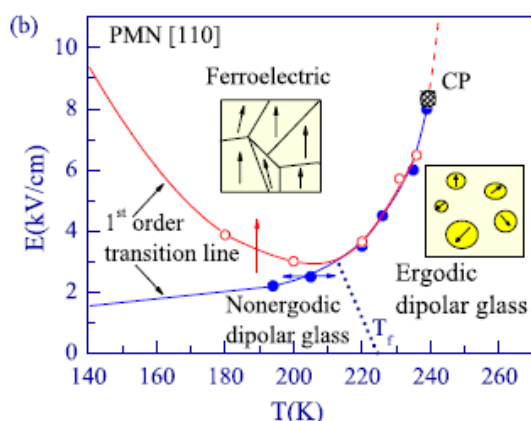
¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (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](#)

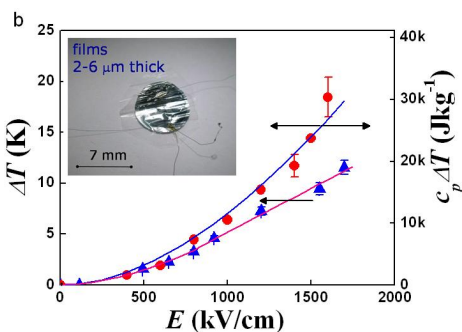
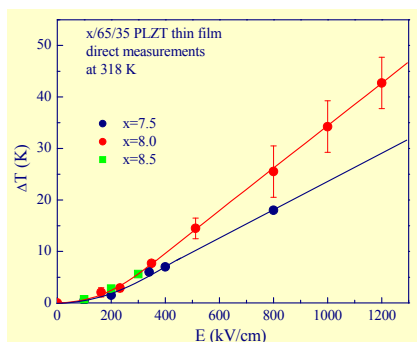
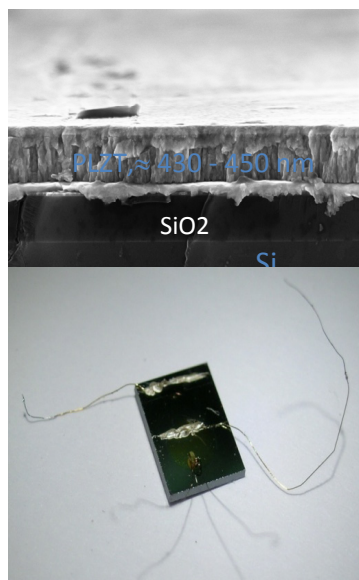
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00
29-6A-84-CF-8F-C4-3E-C6-45-89-53-71-78-C6-47-90-0C-3A-77-6D

Osnovno stanje relaksorskih feroelektrikov in ogromen elektrokaličen pojav

Nikola Novak,¹ Raša Pirc,^{1,2} Magdalena Wencka,³ and Zdravko Kutnjak^{1,2}



Kalorimetrični študij prehoda iz steklastega relaksorskega stanja v feroelektrično stanje je dal odgovor na več desetletij odprto vprašanje o naravi osnovnega stanja v relaksorskih feroelektrikih.



Elektrokalične raziskave narejene v sodelovanju z B. Malič, H. Uršič in Q.M. Zhangom so bila v 2012 več kot sto krat citirana v mednarodni literaturi