

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/26



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-4125
Naslov projekta	Debele plasti $Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})O_3/PbTiO_3$ za uporabo v senzorjih in aktuatorjih
Vodja projekta	26468 Hana Uršič Nemevšek
Tip projekta	Z Podoktorski projekt
Obseg raziskovalnih ur	2550
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije 2.09.06 Karakterizacija elektronskih komponent in materialov
Družbeno-ekonomski cilj	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V projektu smo preučevali material $0.57Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})O_3-0.43PbTiO_3$ (PSN-PT) za senzorje in aktuatorje. Glavni cilj projekta je bil pripraviti in razviti material PSN-PT, vse od prahu pa do keramike in debelih plasti ter nadalje uporabiti le-te v senzorskih/aktuatorskih strukturah (t.j., kot aktuator v piezoelektrični mikročrpalki). O debelih plasteh in keramiki PSN-PT v literaturi ni bilo veliko poročanega v primerjavi z ostalimi relaksor-feroelektričnimi materiali, kot na primer $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3$ (PMN-PT). Zato je razvoj materiala PSN-PT doprinesel veliko dodano vrednost k znanosti v okviru področja Elektronskih komponent in tehnologij. V okviru projekta smo dodatno pripravili tudi referenčni material $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ (PZT). Material

PZT smo potrebovali kot referenco, za primerjavo lastnosti piezoelektričnega aktuatorja na podlagi PZT z aktuatorjem PSN-PT ter nadalje tudi za primerjavo lastnosti samih mikročrpalk z integriranimi aktuatorji. Poleg tega pa smo se v okviru projekta tudi veliko naučili o pripravi in lastnostmi materiala PZT. Projekt je bil razdeljen v 5 delovnih sklopov (DS), ki so na kratko razloženi tukaj, bolj natančno pa v naslednjih točkah spodaj. Prvi DS je bil namenjen pripravi debelih plasti in volumenske keramike. V okviru tega sklopa smo z mehanokemijsko aktivacijo in segrevanjem pripravili prah PSN-PT. Prah smo sintetizirali z namenom pripraviti kakovostne in visoko zmogljive PSN-PT debele plasti in keramiko, kar nam je v okviru projekta tudi uspelo (Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*, COBISS.SI-ID [26309927](#) in Uršič et al., COBISS.SI-ID [26138919](#)). V okviru tega sklopa smo z mehanokemijsko aktivacijo pripravili tudi prah PZT ter nadalje iz prahu debele plasti PZT ter volumensko keramiko PZT.

Drugi DS je bil namenjen študiji vpliva termičnih napetosti na strukturne in električne lastnosti debelih plasti PSN-PT in PZT. Debele plasti smo pripravili na različnih podlagah. Materiale za podlage smo izbrali tako, da smo lahko kontrolirali termične napetosti v plasteh. Ugotovili smo, da debele plasti PSN-PT in PZT izkazujejo najboljše funkcionalne lastnosti, če so pripravljene na korundnih podlagah (predstavljeno na konferenci COBISS.SI-ID [26138407](#)). V tem primeru so namreč plasti med ohlajanjem pod tlačno napetostjo, ki deloma prispeva k boljšemu sintranju keramike. Nadalje smo ugotovili, da debele plasti PSN-PT izkazujejo najvišji piezoelektrični koeficient, če jih sintramo pri temperaturi 1100 °C, 2 uri, v 6 g zasipnega prahu.

Tretji, četrti in peti sklop, so bili povezani s pripravo aktuatorjev PSN-PT ter z integracijo aktuatorjev na osnovi PSN-PT v mikročrpalke. Črpalke so dizajnirane tako, da so uporabne tudi za črpanje inzulina. Črpalka deluje tako, da upogib piezoelektričnega elementa PSN-PT v priključeni črpalci potisne tekočino ven iz glavne komore črpalke. S pripravo mikročrpalke smo torej zaključili delo predvideno na projektu, saj smo pripravili vrednostno verigo od začetnega prahu materiala pa vse do prototipa mikročrpalke.

ANG

In this work we have studied $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PSN-PT) material for sensors and actuators. The main idea of this project was to synthesize and develop PSN-PT material from powder to ceramic pellets and films and to use them in prototype device, such as micro pump. In the literature PSN-PT thick films and ceramics have not been studied sufficiently in comparison to other relaxor-ferroelectric materials, for example $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT). Additionally, reference $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ (PZT) material was prepared for comparison of properties between PSN-PT and PZT. The project was divided into 5 tasks, which are shortly explained here and more in details below.

The first task was about processing of thick-films and bulk ceramics. In the frame of this task we have prepared the fine particle size PSN-PT powders by mechanochemical activation and thermal treatment. The mechanochemically activated powder has been processed with the aim to prepare good-quality and high-performance PSN-PT thick films and ceramics, which we also succeeded to do in the frame of this project (Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*, COBISS.SI-ID [26309927](#) in Uršič et al., COBISS.SI-ID [26138919](#)). In the frame of this task also PZT powder was prepared by mechanochemical activation and further also thick films PZT and bulk ceramics PZT.

The second task was actually a study of the influence of the thermal stresses on the structural and electrical properties of PSN-PT and PZT thick films. We have prepared the films on different substrates. The substrate materials were chosen so, that we were able to control the thermal residual stresses in the films (i.e., if we choose the substrate material, which has higher CTE than the piezoelectric thick-film layer, the thick-film layer is under compressive stress, while in the reverse case, the film is under tensile stress). We have found that the PSN-PT and PZT thick films possess the best functional properties, if they are clamped to alumina substrates (presented at the international conference COBISS.SI-ID [26138407](#)). In this case, the thick films are under compressive stress during cooling to room temperature, which partly contribute to a better sintering of ceramic thick-film layer. Further, PSN-PT thick films, which possess the highest piezoelectric coefficient, were sintered at 1100 °C, 2 h in the 6 g of lead-based packing powder.

The third, fourth and fifth tasks of the project were oriented on processing and integration of the actuators based on PSN-PT into the micro pumps. The micro pumps were prepared and design for pumping of fluids, such as insulin. Piezoelectric PSN-PT element bends and hence push fluid out from the main chamber. With the preparation of micro pumps we therefore conclude the work. In the project we have prepared the value chain from initial powder material to prototype micro pumps.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Delo je potekalo v vseh projektih sklopih ter po predvidenem programu:

1.) DS1 in DS2: procesiranje debelih plasti in volumenske keramike; študija vpliva termičnih napetosti na strukturne in električne lastnosti PSN-PT in PZT debelih plasti

Sprva smo pripravili mehanokemijsko aktiviran prah s sestavo $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ (PSN), ki nam je nadalje služil, kot referenca pri pripravi $0.57\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.43\text{PbTiO}_3$ (PSN-PT) prahu (znanstveni dosežek 2013, slika 1a). Priprava prahu je bila nov prispevek k znanosti (objava v reviji 1. na področju keramičnih materialov: H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*; 2012, COBISS.SI-ID [25219623](#)), saj predhodno o tako pripravljene prahu še ni bilo poročano.

Iz prahu PSN smo nato pripravili keramiko, ki smo jo nadalje potrebovali za referenco pri pripravi keramike PSN-PT. Preučevali smo pripravo ter strukturne in električne lastnosti keramike PSN (V. Bobnar, H. Uršič, et al., *Physica Status Solidi*; 2013, COBISS.SI-ID [26952743](#)). Nadalje smo s sodelavci iz Evropskega centra za keramiko (Centre Européen de la Céramique, Limoges Cedex), Francija določili fazno sestavo keramike od 25 °C do 500 °C. Ugotovili smo, da keramika preide iz romboedrične v kubično fazo pri približno 100 °C. Iz celičnih parametrov smo prvi določili termični raztezek keramike PSN. S sodelavci iz Inštituta za strukturno in funkcijsko keramiko (Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Leoben) v Avstriji, smo študirali urejenost skandijevih in niobijevih kationov v PSN strukturi ter vpliv urejenosti na funkcionalne lastnosti. Ugotovili smo, da se omenjeni kationi med seboj ne urejajo, torej so v tako imenovanem »neurejenem stanju«, kar močno vpliva na električne lastnosti materiala. Pripravljena keramika PSN izkazuje višje feroelektrične lastnosti (remanentna polarizacija $P_r = 31 \text{ uC/cm}^2$), kot je predhodno poročano v literaturi. Nadalje smo študirali vpliv pogojev sintranja na strukturne lastnosti keramike PSN in ugotovili, da je keramika pripravljena iz mehanokemijsko aktiviranega prahu v »neurejenem stanju«, ne glede na pogoje priprave keramike. Predvidevamo, da je to posledica velike kemijske homogenosti prahov PSN (H. Uršič et al. 2014, članek v zaključevanju).

V naslednjem koraku smo sistematično študirali vpliv pogojev sintranja na strukturne in električne lastnosti keramike PSN-PT pripravljene iz mehanokemijsko aktiviranega prahu. Ugotovili smo, da na funkcionalne lastnosti keramike vplivajo predvsem trije prispevki: poroznost, velikost zrn in fazna sestava keramike. Kot pomemben rezultat lahko navedemo, da smo uspeli pripraviti keramiko z relativno gostoto 97 % pri temperaturi sintranja 1000 °C, kar je 200–300 °C nižje, kot je bilo predhodno poročano v literaturi (H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*; 2012, COBISS.SI-ID [25219623](#)). S sodelavci iz Evropskega centra za keramiko v Franciji smo okarakterizirali keramiko PSN-PT z rentgensko difrakcijo ter z Rietveldovo analizo določili njeno fazno sestavo pri sobni temperaturi. Ugotovili smo, da v keramiki PSN-PT pri sobni temperaturi soobstajata tetragonalna in monoklinska faza. Preučevali smo tudi dielektrične, feroelektrične in piezoelektrične lastnosti tako pripravljenih keramik. Pokazali smo, da so te lastnosti keramike PSN-PT pripravljene iz mehanokemijsko aktiviranega prahu primerljive ali celo boljše, kot lastnosti keramike PSN-PT dopirane z Nb, kar je bilo predhodno v literaturi predlagano, kot keramika z zelo dobrimi električnimi lastnostmi. Najboljše funkcionalne lastnosti je izkazovala keramika sintrana pri 1000 °C, 8 ur t.s. dielektrična konstanta 2200, $P_r = 43 \text{ uC/cm}^2$, piezoelektrični koeficient $d_{33} = 570 \text{ pC/N}$ (H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*; vol. 33, no. 4, str. 795803; 2013, COBISS.SI-ID [26309927](#)).

V nadaljevanju projekta smo študirali pogoje priprave debelih plasti PSN-PT na različnih podlagah. Optimizirali smo pogoje priprave plasti. Tako smo pripravili goste, perovskitne plasti ter jim določili funkcionalne lastnosti (dielektrične in feroelektrične lastnosti). Plasti, ki so izkazovale najboljše lastnosti, so bile termično obdelane pri temperaturi 1100 °C, 2 uri v 6 g zasipnega prahu (znanstveni dosežek 2013, slika 1b in c). Plasti smo nadalje polarizirali in jim določili piezoelektrični koeficient d_{33} , ki je primerljiv z d_{33} predhodno študiranih debelih plasti $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT). Pripravo in karakterizacijo debelih plasti PSN-PT smo predstavili na mednarodni konferenci [COBISS.SI-ID [26138407](#)] in na vabljenem predavanju [COBISS.SI-ID [26138919](#)]. V okviru projekta smo pripravili tudi $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ (PZT) volumensko keramiko in debele plasti. Nedopirane plasti PZT so izkazovale nizke funkcionalne lastnosti, zato smo se odločili pripraviti plasti PZT dopirane z niobijem. Študirali smo pogoje priprave plasti na korundnih podlagah ter tako pripravili plasti z izredno dobrimi funkcionalnimi lastnostmi. Plasti sintrane pri temperaturi 1000 °C, 2 uri so imele relativno gostoto 98 %, kar je izreden dosežek za plasti pripravljene po metodi sitotiska. P_r plasti je bila kar 40 uC/cm^2 . Rezultate dobljene na debelih plasteh PZT smo predstavili na konferenci [COBISS.SI-ID [26138407](#)].

Nadalje smo študirali vpliv termičnih napetosti na strukturne in električne lastnosti debelih plasti. Sprva smo določili termični raztezek tako nepolariziranega, kot tudi polariziranega materiala PSN-PT v širokem temperaturnem območju, katerega smo potrebovali za izračune termičnih napetosti v plasteh (H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 33, no. 11, str.

21672171; 2013, COBISS.SI-ID [26695463](#)). Debele plasti PSN-PT in PZT smo pripravili na različnih podlagah (korund, AlN, Pt, safir, itd.). Materiale za podlage smo izbrali tako, da smo lahko kontrolirali termične napetosti v plasteh (t.j.: če izberemo material za podlago, ki ima višji termični raztezek kot piezoelektrična debela plast, potem je plast pod tlačno napetostjo, v obratnem primeru pa pod natezno napetostjo). Ugotovili smo, da podobno kot plasti PMN-PT (H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2010) tudi plasti PSN-PT in PZT izkazujejo najboljše funkcionalne lastnosti (dielektrične, feroelektrične, piezoelektrične), če so pripravljene na korundnih podlagah. V tem primeru so plasti med ohlajanjem do sobne temperature pod tlačnimi napetostmi, ki delno pripomorejo k boljšemu sintranju keramike. Te ugotovitve so bile predstavljene na mednarodni konferenci *Joint Conference COST SIMUFER MP0904 action*, COBISS.SI-ID [26138407](#).

2.) DS3, DS4 in DS5: priprava in karakterizacija diskretnih PSN-PT/Pt aktuatorjev; priprava in testiranje debeloplastnih PSN-PT/Pt struktur za uporabo v inzulinskih črpalkah

Pripravili smo diskretni PSN-PT/Pt aktuator (znanstveni dosežek 2013, slika 1d). Sprva smo aktuator poskusili pripraviti po postopku sorodnemu postopku priprave PMN-PT/Pt aktuatorja, vendar smo naleteli na ovire. PSN-PT/Pt plast namreč nismo mogli po enakem postopku odstraniti od korundne podlage, zato smo postopek priprave še nadgradili.

Nadalje smo v okviru izven-projektnega sodelovanja z Laboratorijem za mikrosenzorske strukture in elektroniko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani izdelali piezoelektrične mikročrpalke na osnovi materiala PSN-PT. Pripravili smo piezoelektrični aktuatorski element PSN-PT z elektrodami. Ugotovili smo, da material PSN-PT izkazuje največji piezoelektrični koeficient, če ga polariziramo z električnim poljem 3 kV/mm pri temperaturi 160 °C (H. Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.*; 2012, COBISS.SI-ID [25219623](#)). Polariziran PSN-PT aktuator smo togo pritrdili na membrano mikročrpalke. Membrana s piezoelektričnim aktuatorjem se je izmenično konveksno/konkavno deformirala, kar se je odrazilo na spreminjanju prostornine črpalne komore, sekvenčnem pripiranjju in razpiranju aktivnih pregradnih ventilov in posledično črpanju tekočine. Pripravljena črpalka izkazuje več kot dvakrat boljšo tlačno in pretočno zmogljivost, kot črpalka z aktuatorjem, pripravljenim iz standardnega PZT materiala (družbeno-ekonomski dosežek 2013, slika 1). Na primer, pri električnem polju 770 V/mm in frekvenci 150 Hz je pretok skozi črpalko z vgrajenim aktuatorjem na osnovi PZT 0.5 ml/min, pri črpalci z vgrajenim aktuatorjem na osnovi PSN-PT pa kar 1.1 ml/min. Mikročrpalke za inzulin z aktuatorji na osnovi PSN-PT so bile torej uspešno pripravljene, kar je bil eden glavnih ciljev projekta.

Naredili pa smo še več, v okviru izven-projektnega sodelovanja z družbama HIPOT-RR d.o.o. in KEKON d.o.o. je bil razvit keramični piezoelektrični resonančni senzor tlaka. Senzor temelji na debeloplastni tehnologiji (znanstveni dosežek 2013, slika 1e). Piezoelektrične plasti iz PSN-PT in PZT (dopiranega PZT materiala) materiala smo s sitotiskom nanесли na zelo tanko korundno podlago ter jih termično obdelali. 70 um debelo podlago smo iz korundnega prahu predhodno pripravili v sodelovanju s podjetjem KEKON d.o.o., Žužemberk. Pogoje žganja tanke korundne podlage smo optimizirali, tako da je po termični obdelavi podlaga ravna. Nato smo senzorsko membrano pritrdili na LTCC (keramika z nizko temperaturo žganja) ohišje s kanali in praznino. Piezoelektrično membrano smo nato polarizirali z električnim poljem 3 kV/mm pri temperaturi 160 °C. Polariziran piezoelektrični aktuator vzbuja nihanje membrane v njeni naravni resonančni frekvenci. Merjeni tlak upogne membrano in spremeni resonančno frekvenco. Pripravljene resonančne senzorje tlaka smo nadalje okarakterizirali. Senzorji so bili izmerjeni pri različnih tlakih (0, 50, 100, 300, 500 in 750 mbar) in različnih temperaturah (-25, 0, 25, 50 in 75 °C) ter konstantni vlagi 40 % RV. Z impedančnim analizatorjem HP4192A smo merili kapacitivnost C in tangens izgubnega kota aktuatorja v frekvenčnem področju od 90 do 94 kHz. Na osnovi meritev smo izračunali tlačno odvisnost resonančne frekvence, ki je 1,8 Hz/mbar. Meritve so zbrane v delovnem poročilu (D. Belavič, H. Uršič, S. Drnovšek, M. Jerlah: *Študij in izdelava resonančnega senzorja tlaka z debeloplastnim piezoelektričnim aktuatorjem: zaupno delovno poročilo*. Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2014, 12 strani, COBISS.SI-ID [27552039](#)). Resonančna frekvenca senzorja je tudi temperaturno odvisna (-10 Hz/°C), vendar jo je mogoče obvladati z eno izmed metod temperaturnih kompenzacij. Resonančni senzor tlaka je tehnološko šele v zgodnji razvojni fazi in je perspektivno uporaben za merjenje nizkih tlakov. Poudariti je še potrebno, da je resonančni senzor eden prvih senzorjev na osnovi materiala PSN-PT ter da v literaturi predhodno o njem še ni bilo poročano.

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

Ocena stopnje realizacije programa je pozitivna. V projektu smo dosegli eksperimentalno načrtan program, kar je posledica znanja skupine na področju priprave in karakterizacije

keramike in debelih plasti ter priprave senzorskih in aktuatorskih struktur. Po planu smo opravili vse delovne sklope DS1 do DS5.

V delovnem sklopu DS1 in DS2 smo izpolnili ves načrtan program. Sprva smo pripravili debele plasti PSN-PT, PZT ter PZT debele plasti dopirane z niobijem. Za primerjavo smo pripravili tudi volumensko keramiko PSN-PT in PZT. Dodatno pa smo pripravili še keramiko PSN. Rezultate o pripravi in lastnostih materiala PSN-PT smo objavili v dveh znanstvenih člankih: Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.* 2012 (COBISS.SI-ID [25219623](#)) in Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.* 33 (4), 2013 (COBISS.SI-ID [26309927](#)). Za določitev termičnih napetosti v debelih plasteh smo potrebovali ter zato določili termični raztezek materiala PSN-PT v širokem temperaturnem območju (Uršič et al., *J. Eur. Ceram. Soc.* 33(11), 2013, COBISS.SI-ID [26695463](#)). V študiji termičnih napetosti v plasteh smo ugotovili, da plasti na korundni podlagi izkazujejo najboljše lastnosti v primerjavi s plastmi na ostalih podlagah, saj so plasti med ohlajanjem pod tlačnimi napetostmi, ki delno pripomorejo k sintranju plasti. Rezultate o keramiki in debelih plasteh PSN-PT, PSN, PZT smo predstavili na petih mednarodnih konferencah (COBISS.SI-ID [25976615](#); COBISS.SI-ID [26176039](#); COBISS.SI-ID [25923111](#); COBISS.SI-ID [26138407](#); COBISS.SI-ID [25771303](#)) in v vabljenem predavanju na tuji univerzi (COBISS.SI-ID [26138919](#)). Poleg navedenega pa smo objavili še članek o dielektričnih lastnostih keramike PSN (V. Bobnar, H. Uršič, et al., *Physica Status Solidi*; 2013, COBISS.SI-ID [26952743](#)).

V delovnih sklopih DS3-5 smo prav tako izpolnili ves načrtan program. Sprva smo pripravili diskretni aktuator PSN-PT/Pt. Koncept priprave in lastnosti debeloplastnih aktuatorjev smo v letu 2012 predstavili na dveh mednarodnih konferencah MIDEM (COBISS.SI-ID [26116647](#)) in IMAPS/ACerS (COBISS.SI-ID [25758759](#)). Glavni cilj projekta je bil pripraviti mikročrpalko za inzulin z aktuatorjem na osnovi PSN-PT. Omenjeni cilj projekta smo izpolnili. V sodelovanju z Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani smo izdelali mikročrpalke na osnovi PSN-PT materiala za črpanje inzulina. Odziv črpalk smo optimizirali, tako da smo spreminjali debelino in površino piezoelektričnega aktuatorja PSN-PT. Odziv smo primerjali z odzivom črpalk narejenih iz aktuatorja na osnovi materiala PZT. Kot smo že omenili je črpalka na osnovi PSN-PT izkazovala dvakrat boljšo tlačno in pretočno zmogljivost, kot črpalka z aktuatorjem, pripravljenim iz PZT, kar je izredno dober rezultat. Naredili pa smo še več, kot je bilo sprva predvideno v projektu. S podjetjema HIPOT-RR d.o.o. in KEKON d.o.o. smo izdelali tudi resonančne senzorje tlaka, ki temeljijo na membrani iz materialov PSN-PT in PZT.

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

V projektu nismo zmanjšali programa dela. Obratno, dodali smo še pripravo in karakterizacijo keramike PSN, ki nam je nadalje služila kot referenca pri pripravi in karakterizaciji materiala PSN-PT. Še več, poleg mikročrpalk za inzulin na osnovi materiala, PSN-PT, pa smo v okviru izven-projektne sodelovanja z družbama HIPOT-RR d.o.o. in KEKON d.o.o. razvili še keramični piezoelektrični resonančni senzor tlaka na osnovi debelo-plastnih materialov PSN-PT in PZT.

Navkljub temu, da smo dosegli in celo presegli vse predvidene cilje projekta pa je moralo podjetje HYB d.o.o. dne 23. 4. 2013 prekiniti sofinanciranje projekta, ker zaradi težke finančne situacije v letu 2013 niso več zmogli zagotavljati sofinanciranja. Vendar pa smo kljub zmanjšanim sredstvom projekt uspešno pripeljali do konca in ga zaključili po predvidenem planu.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25219623	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Strukturna in električna karakterizacija keramike 0.57PSN-0.43PT pripravljene z mehanokemijsko sintezo in sintrane pri nizki temperaturi
		ANG	Structural and electrical properties of 0.57PSN-0.43PT ceramics prepared by mechanochemical synthesis and sintered at low temperature
			Pripravili smo volumensko keramiko PSN-PT z zelo dobrimi funkcionalnimi lastnostmi. PSN-PT prah smo pripravili z mehanokemijsko aktivacijo in termično obdelavo. Iz prahu smo pripravili gosto volumensko keramiko (z relativno gostoto 97 %). Keramiko smo pripravili pri izredno nizki temperaturi 1000 °C, kar je približno 200-300 °C nižje, kot je bilo predhodno poročano v literaturi. Pokazali smo, da so dielektrične, feroelektrične in piezoelektrične lastnosti keramike PSN-PT pripravljene iz

	Opis	SLO	mehanokemijsko aktiviranega prahu primerljive ali celo boljše, kot lastnosti keramike PSN-PT dopirane z Nb, kar je bilo predhodno v literaturi predlagano, kot keramika z zelo dobrimi električnimi lastnostmi. Preučevali smo tudi strukturne in električne lastnosti keramike PSN-PT pri različnih pogojih polarizacije. Ugotovili smo, da ima keramika najvišje piezoelektrične lastnosti (d_{33} , k_p in k_t), če jo polariziramo z električnim poljem 3 kV/mm. Dielektrična konstanta, remanentna polarizacija, piezoelektrični koeficient, sklopitvena koeficienta k_p in k_t keramike PSN-PT so 2200, 43 mikroC/cm ² , 570 pC/N, 0.71 in 0.56.
		ANG	In this investigation we show that the dielectric, ferroelectric and piezoelectric properties of stoichiometric 0.57Pb(Sc _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -0.43PbTiO ₃ (0.57PSN-0.43PT) ceramics prepared by mechanochemical synthesis are comparable or even better than the properties of 0.57PSN-0.43PT ceramics with Nb doping, which was proposed to enhance the electrical properties. Here, the stoichiometric ceramic was sintered to 97% of theoretical density at a temperature of 1000 °C, which is 200–300 °C lower than previously reported. The highest d_{33} , k_p and k_t were measured for ceramics poled at an electric field of 3 kV/mm. The dielectric constant, remnant polarization, piezoelectric coefficient, coupling coefficients k_p and k_t of the ceramics prepared by mechanochemical synthesis were 2200, 43 microC/cm ² , 570 pC/N, 0.71 and 0.56, respectively.
	Objavljeno v	Elsevier; Journal of the European Ceramic Society; 2012; Vol. 32, no. 2; str. 449-456; Impact Factor: 2,360; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0,768; A'': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Tellier Jenny, Holc Janez, Drnovšek Silvo, Kosec Marija	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	26309927	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv pogojev sintranja na lastnosti keramike 0.57PSN-0.43PT pripravljene z mehanokemijsko aktivacijo prahu
		ANG	Influence of the sintering conditions on the properties of 0.57PSN-0.43PT ceramics prepared from mechanochemically activated powder
	Opis	SLO	Delo je sistematična študija vpliva pogojev sintranja na strukturne in električne lastnosti keramike 0.57Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ pripravljene iz mehanokemijsko aktiviranega prahu. Ugotovili smo, da najmanj trije prispevki močno vplivajo na funkcionalne lastnosti keramike: gostota keramike, velikost zrn in fazna kompozicija keramike. Najboljše lastnosti je izkazovala keramika sintrana 8 ur pri temperaturi 1000 °C.
		ANG	The work was a systematic study of the influence of the sintering conditions on the structural and electrical properties of 0.57Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ ceramics prepared from mechanochemically activated powder. Three or even more contributions competed for influence on the functional properties of the ceramics, i.e., the density, the grain size and the phase composition. However, all these contributions combined in such a way that the best functional properties were obtained for the ceramics sintered at 1000 °C for 8 h.
Objavljeno v	Elsevier; Journal of the European Ceramic Society; 2013; Vol. 33, no. 4; str. 795-803; Impact Factor: 2,360; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0,768; A'': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Holc Janez, Kosec Marija		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	26695463	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Linearni termični raztezni koeficient relaksor feroelektrične keramike 0.57Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ v širokem temperaturnem območju

		ANG	Linear thermal expansion coefficients of relaxor-ferroelectric 0.57Pb (Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ ceramics in a wide temperature range
Opis		SLO	S kontaktno dilatometrijo smo v temperaturnem območju med 30 °C in 600 °C preučili linearni termični raztezek nepolarizirane in polarizirane keramike 0.57Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ . Linearni termični razteznostni koeficient je eden glavnih parametrov, katerega moramo poznati pri načrtovanju plastnih struktur, kot so senzorji in aktuatorji.
		ANG	The objective of this work was to examine linear thermal expansion of virgin and poled 0.57Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -0.43PbTiO ₃ ceramics between 30 °C and 600 °C by contact dilatometry. The linear thermal expansion coefficient is one of the key material parameters needed for the successful design of layered structures, such as sensors, actuators and other thick-film devices.
Objavljeno v	Elsevier; Journal of the European Ceramic Society; 2013; Vol. 33, no. 11; str. 2167-2171; Impact Factor: 2,360; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0,768; A'': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Malič Barbara, Cilenšek Jena, Rojac Tadej, Kmet Brigita, Kosec Marija		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
4.	COBISS ID	26952743	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Dielektrični odziv relaksor feroelektrične keramike svinčevega skandijevega niobata
		ANG	Distinctive contributions to dielectric response of relaxor ferroelectric lead scandium niobate ceramic system
Opis		SLO	V širokem temperaturnem območju med 150 in 750 K smo študirali dielektrične lastnosti Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ (PSN) keramike pripravljene iz mehanokemijsko aktiviranega prahu. V dielektričnem obnašanju PSN keramike je prepoznanih več različnih prispevkov. Tipičen relaksorsko razpršen maksimum, ki ga spremlja ostra dielektrična anomalija, razkriva, da PSN keramika spontano preide iz relaksorskega v feroelektrično stanje tudi pod ničelni električnim poljem. Pri visokih temperaturah, pa pride do izraza močna dielektrična disperzija zaradi Maxwell-Wagnerjevih prispevkov vmesnih plasti med vzorcem in kontakti.
		ANG	Dielectric properties of Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ (PSN) ceramic system, prepared from mechanochemically activated powder, were studied in a broad temperature range of 150–750 K. Various distinctive contributions were recognized in the detected response. A typical relaxor dispersive maximum, accompanied by a sharp dielectric anomaly showing a hysteretic behavior, reveals that developed disordered PSN ceramics undergoes a spontaneous relaxor-to-ferroelectric phase transition, even in zero electric field. At high temperatures, a strong dielectric dispersion due to the Maxwell-Wagner-type contributions of interface layers between the sample and contacts governs the detected response.
Objavljeno v	Akademie-Verlag; Physica status solidi; 2013; Vol. 250, no. 10; str. 2232-2236; Impact Factor: 1,489; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3,827; WoS: UK; Avtorji / Authors: Bobnar Vid, Uršič Hana, Casar Goran, Drnovšek Silvo		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
5.	COBISS ID	26116647	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Multifunkcionalne piezoelektrične in elektrokalične prostostoječe debele plasti
		ANG	Multifunctional piezoelectric and electrocaloric self-standing thick films
			Prispevek opisuje pripravo in karakterizacijo piezoelektričnih in

Opis	SLO	elektrokaličnih debelih plasti ter postopek odstranitve plasti stran od podlage.
	ANG	In the contribution the processing and properties of piezoelectric and electrocaloric thick films is explained. Additionally, an approach to preparing selfstanding, large displacement actuators is shown and discussed.
Objavljeno v	MIDEM - Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials; Proceedings; 2012; Str. 321-325; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Trefalt Gregor, Holc Janez, Rožič Brigita, Kutnjak Zdravko, Santo-Zarnik Marina, Kosec Marija	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	26138919 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Lastnosti relaksor feroelektričnih debelih plasti in volumenske keramike PMN-PT in PSN-PT
	ANG	Properties of relaxor-ferroelectric PMN-PT and PSN-PT thick films and bulk ceramics
Opis	SLO	Na vabljenem predavanju na tuji univerzi smo predstavili pripravo in lastnosti debelih plasti PMN-PT in PSN-PT na korundnih podlagah. Predavanje smo zaključili s primerom uporabe debelih plasti v senzorskih in aktuatorskih aplikacijah.
	ANG	At an invited lecture at a foreign university, we have discussed the preparation and properties of PMN-PT and PSN-PT thick films on Al ₂ O ₃ substrate. The lecture was concluded with an example of application of thick films in sensors and actuators.
Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
Objavljeno v	"Alexandru Ioan Cuza", University of Iasi; 2012; Avtorji / Authors: Uršič Hana	
Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi	
2.	COBISS ID	26138407 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Priprava in lastnosti debelih plasti PMN-PT, PZT in PSN-PT na korundni podlagi
	ANG	Processing and properties of PMN-PT, PZT and PSN-PT thick films on alumina substrates
Opis	SLO	Na predavanju smo predstavili pripravo in lastnosti debelih plasti PMN-PT, PZT in PSN-PT na različnih podlagah; korundni, platinski, MgO, AlN, PMN-PT. Predstavili smo tudi debeloplastne aplikacije, t.s., debeloplastne aktuatorske in senzorske strukture pripravljene iz omenjenih plasti.
	ANG	At a conference we have discussed the preparation and properties of PMN-PT, PZT and PSN-PT thick films on different substrates: alumina, Pt, MgO, AlN, PMN-PT. In addition also the thick film application in sensors and actuators were discussed.
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	"Alexandru Ioan Cuza", University of Iasi; Joint Conference COST SIMUFER MP0904 action "Single-and multiphase ferroics and multiferroics with restricted geometries" and the 9th Edition IEEE-ROMSC 2012; 2012; Str. 51; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Holc Janez, Rojac Tadej, Damjanović	

		Dragan, Algueró Miguel, Ricote Jesús, Kosec Marija	
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
3.	COBISS ID	25923111	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Strukturne in električne lastnosti keramike Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 in 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-0.43PbTiO3 pripravljene z mehanokemijsko aktivacijo
		ANG	Structural and electrical properties of Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 and 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-0.43PbTiO3 ceramics prepared by mechanochemical activation
	Opis	SLO	Na konferenci je bila predstavljena študija lastnosti keramike Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 in 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-0.43PbTiO3. Izpostavljena je bila povezava med funkcionalnimi lastnostmi keramike in njeno mikrostrukturo ter fazno sestavo.
		ANG	On this conference our work on Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 and 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-0.43PbTiO3 ceramics prepared from a mechanochemically activated powder was presented. Very good functional properties were discussed in correlation with structural and microstructural properties of ceramics.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	The Hong Kong Polytechnic University; ISIF 2012; 2012; Str. 91; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Kosec Marija, Holc Janez, Tellier Jenny, Bobnar Vid, Trefalt Gregor, Rojac Tadej	
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
4.	COBISS ID	25976615	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Priprava Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 keramike pri nizki temperaturi
		ANG	Low temperature processing of Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 ceramics
	Opis	SLO	V prispevku je bila predstavljena študija priprave keramike Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 pri nizkih temperaturah. Gosto keramiko (z relativno gostoto 98 %) smo namreč uspeli pripraviti že pri 1000 °C, kar je kar nekaj sto stopinj nižje kot je bilo predhodno poročano v literaturi. Tako pripravljene keramike izkazuje dobre dielektrične in feroelektrične lastnosti.
		ANG	Good quality Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 (PSN) ceramics was prepared from a mechanochemically activated powder. We sintered the ceramics at 1000°C, which is a few hundred degrees lower than the previously reported data for the sintering temperature of PSN ceramics. At a temperature of 1000 °C we were able to obtain PSN ceramics with 98 % of theoretical density, which showed good dielectric and ferroelectric properties.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society; Abstract book; 2012; Str. 55; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Tellier Jenny, Rojac Tadej, Holc Janez, Trefalt Gregor, Bobnar Vid, Kosec Marija	
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
5.	COBISS ID	25771303	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Lastnosti keramike Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 in 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O30.43PbTiO3 pripravljene z mehanokemijsko sintezo
		ANG	Properties of Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 and 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O30.43PbTiO3 ceramics prepared by mechanochemical synthesis
	Opis	SLO	Na konferenci smo predstavili študijo sintranja keramik Pb(Sc0.5Nb0.5)O3 in 0.57Pb(Sc0.5Nb0.5)O30.43PbTiO3 ter vpliv pogojev sintranja na strukturne in električne lastnosti.

	ANG	On this conference a systematic study of the influence of the sintering conditions on the structural and electrical properties of $Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})O_3$ and $0.57Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})O_{3.43}PbTiO_3$ ceramics prepared from mechanochemically activated powder were discussed.
Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	Vilnius University; Programme and book of abstracts; 2012; Str. 29; Avtorji / Authors: Uršič Hana, Holc Janez, Tellier Jenny, Rojac Tadej, Trefalt Gregor, Bobnar Vid, Kosec Marija	
Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

V okviru izven-projektne sodelovanja z Laboratorijem za mikrosenzorske strukture in elektroniko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani so bile na osnovi materiala PSN-PT izdelane mikročrpalke. Mikročrpalke s PSN-PT aktuatorjem izkazujejo več kot dvakrat boljše tlačno in pretočno zmogljivost, kot črpalke z aktuatorjem, pripravljenim iz standardnega PZT materiala. Taka mikročrpalke je primerna za črpanje inzulina, kar je bil eden izmed ciljev projekta.

V okviru izven-projektne sodelovanja z družbama HIPOT-RR d.o.o in KEKON d.o.o. je bil razvit keramični piezoelektrični resonančni senzor tlaka. Izdelana je bila tridimenzionalna keramična struktura in tanka membrana iz čiste keramike (99,9% Al_2O_3) na kateri je bil izdelan debeloplastni piezoelektrični aktuator, ki vzbuja nihanje membrane v njeni naravni resonančni frekvenci. Merjeni tlak upogne membrano in spremeni resonančno frekvenco. Pri tlaku 1 mbar je ta sprememba okoli 2 Hz. Tlačna občutljivost sensorja je večja od do sedaj dosežene in tak senzor je perspektiven za merjenje nizkih tlakov.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

V okviru projekta smo objavili 4 znanstvene članke v revijah z IF višjim od 1.4, od tega smo 3 članke objavili v reviji prvi na področju keramičnih materialov (t.j. J. Eur. Ceram. Soc.). Objavili smo tudi znanstveni prispevek na mednarodni konferenci Devices and Materials & the Workshop on Ceramic Microsystems 2012. Na mednarodnih konferencah smo predstavili 6 referatov ter imeli na Univerzi za fiziko (Alexandru Ioan Cuza, University of Iasi) v Romuniji vabljen predavanje na temo debelih plasti PSN-PT in PZT.

Rezultati raziskovalnega projekta so naredili napredek tako v razvoju piezokeramičnih prahov, debelih plasti, keramike kot tudi v osnovnem razumevanju procesov v debelih plasteh vse do razvoja novih senzorskih/aktuatorskih struktur. Večina rezultatov je novih in zato originalnih prispevkov k znanosti, še posebej na področju »Elektronskih komponent in tehnologij«. Glede na odlične rezultate mikročrpalke, ki smo jih dosegli, bo vpeljava materiala PSN-PT v področje piezoelektričnih aktuatorjev za pogon mikročrpalke omogočila vzbujanje črpalke z nižjimi krmilnimi amplitudami in uporabo preprostejših, manj zmogljivih in cenejših krmilnih vezij. S tem se bo povečala varnost za uporabnike nosljivih integriranih mikrofluidnih sistemov, kot so npr. mikrodozirni sistemi z mikroiglami za injiciranje inzulina.

ANG

In the frame of this project we published four scientific articles in the scientific journals with the impact factor higher than 1.4. Three of these articles were published in the journal, which is the first in the field of ceramic materials (i.e., J. Eur. Ceram. Soc.). Additionally, we have published a scientific contribution at the International Conference Devices and Materials & the Workshop on Ceramic Microsystems 2012. Furthermore, we have presented 6 papers at the international conferences and invited talk on thick layers of PSN-PT and PZT at the University of Physics (Alexandru Ioan Cuza University of Iasi), Romania.

The results of the research project have promoted the progress in the development of piezoceramic powder, thick films and ceramics all the way to the development of new

sensor/actuator structures. Within the project also the basic understanding of the processes in thick-film layers were developed and promoted. Most of the results are new and therefore the original contributions to science, particularly in the area of "electronic components and technologies."

The introduction of PSN-PT material in the field of piezoelectric actuators for driving micropumps will enable excitation of pumps with lower electric fields and the use of simpler, less powerful and less expensive control circuits. This will increase the security of the user wearable integrated microfluidic systems, such as one for insulin.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Uporabnost raziskovalnih dosežkov se je pokazala na področju elektronskih komponent. Uspešno načrtovanje, razvoj in izdelava dveh demonstracijskih izdelkov je uporabnost tehnologije in materialov opredelila s 4. stopnjo tehnološke pripravljenosti (TRL). Omenjena demonstracijska izdelka sta mikročrpalka in resonančni senzor tlaka.

Dejavnost znotraj projekta je bila izrazito multi disciplinarna. Dodana vrednost za slovensko gospodarstvo je vidna v sodelovanju tako slovenskih, kot tudi evropskih raziskovalnih inštitucij s slovenskimi podjetji. Sodelovali smo z dvema laboratorijema v Evropi: z Evropskim centrom za keramiko v Franciji in z Inštitutom za strukturno in funkcijsko keramiko v Avstriji. V slovenskem prostoru pa smo poleg sodelovanja z družbo HYB d.o.o., ki je bila tudi delni sofinancer projekta, sodelovali tudi z Laboratorijem za mikrosenzorske strukture in elektroniko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, z Odsekom za fiziko trdne snovi na Inštitutu Jožef Stefan ter z družbama HIPOT-RR d.o.o., Otočec in KEKON d.o.o., Žužemberk. S skupnim sodelovanjem smo povezali tako raziskovalno, kot tudi industrijsko znanje ter na ta način pripravili dva demonstracijska izdelka. Izdelka imata veliko vrednost za sodelujoče organizacije, tako v znanstvenem kot tudi v družbeno-ekonomskem pomenu.

V okviru projekta vidimo največji doseženi strateški cilj vzpostavitev vrednostne verige; od temeljne znanosti pa vse do demonstracijskega izdelka. Po drugi strani je projekt omogočal nove verige znanja in povezav: od priprave in karakterizacije funkcionalnih materialov pa vse do mikrosenzorskih in mikroaktuatorskih struktur.

ANG

The biggest impact of the research achievements of this project is in the area of electronic components. Successful design, development and manufacture of two demonstration products place the applicability of the technology and materials into the 4th technology readiness level (TRL). These demonstrators are the micro-pump and resonant pressure sensor.

Activity within the project was highly multi-disciplinary. The added value of the project for the Slovenian economy is visible in collaboration of Slovenian as well as European research institutions with Slovenian companies. We collaborate with:

- scientific laboratories in the Europe; Centre Européen de la Céramique, Limoges Cedex, France and Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Leoben, Austria.
- scientific laboratories in Slovenia; Laboratory of Microsensor Structures and Electronics, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana and Condensed Matter Physics department at Jožef Stefan Institute and
- three Slovenian companies; HYB d.o.o., Šentjernejska (who was also a co-funding organisation within the first 18 months of the project), HIPOT-RR d.o.o., Otočec and KEKON d.o.o., Žužemberk.

In our opinion the most important achievement within the project is in the strategic objective of setting up the value chain, from basic research to demonstration product. On the other hand, the project is starting a new chain of knowledge from processing and characterization of functional materials to the microsensor and microactuator structures.

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 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

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 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="text"/>	<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="text"/>	<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

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer																													
1.	<table border="1"> <tr> <td>Naziv</td> <td>Hyb d.o.o.</td> </tr> <tr> <td>Naslov</td> <td>Levičnikova cesta 34, 8310 Šentjernej</td> </tr> <tr> <td>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</td> <td>19.883,63 EUR</td> </tr> <tr> <td>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</td> <td>20 %</td> </tr> <tr> <td>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</td> <td>Šifra</td> </tr> <tr> <td>1.</td> <td>Priprava in karakterizacija Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-PbTiO3 (PSN-PT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike</td> <td>F.02</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>Priprava in karakterizacija Pb(Zr,Ti)O3 (PZT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike. Izboljšava plasti z dodatkom niobijevega oksida.</td> <td>F.02</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>Senzorsko/aktuatorske strukture na osnovi PSN-PT in PZT debelih plasti</td> <td>F.08</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td>Properties of relaxor-ferroelectric PMN-PT and PSN-PT thick films and bulk ceramics: invited talk. Iasi: "Alexandru Ioan Cuza", University of Iasi, 27. sep. 2012 [COBISS.SI-ID 26138919]</td> <td>B.04</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td>Linear thermal expansion coefficients of relaxor-ferroelectric 0.57Pb(Sc1/2Nb1/2)O3-0.43PbTiO3 ceramics in a wide temperature range, J. Eur. Ceram. Soc. 2013, 33, 2167-2171 [COBISS.SI-ID 26695463]</td> <td>A.01</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Eksperimentalno načrtani program projekta je bil dosežen. Delo je potekalo na pripravi debelih plasti in volumenske keramike na osnovi obeh materialov PSN-PT in PZT. Iz debelih plasti so bili pripravljene in okarakterizirane debeloplastni upogibni aktuatorji in</td> <td></td> </tr> </table>	Naziv	Hyb d.o.o.	Naslov	Levičnikova cesta 34, 8310 Šentjernej	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	19.883,63 EUR	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	20 %	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	1.	Priprava in karakterizacija Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-PbTiO3 (PSN-PT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike	F.02	2.	Priprava in karakterizacija Pb(Zr,Ti)O3 (PZT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike. Izboljšava plasti z dodatkom niobijevega oksida.	F.02	3.	Senzorsko/aktuatorske strukture na osnovi PSN-PT in PZT debelih plasti	F.08	4.	Properties of relaxor-ferroelectric PMN-PT and PSN-PT thick films and bulk ceramics: invited talk. Iasi: "Alexandru Ioan Cuza", University of Iasi, 27. sep. 2012 [COBISS.SI-ID 26138919]	B.04	5.	Linear thermal expansion coefficients of relaxor-ferroelectric 0.57Pb(Sc1/2Nb1/2)O3-0.43PbTiO3 ceramics in a wide temperature range, J. Eur. Ceram. Soc. 2013, 33, 2167-2171 [COBISS.SI-ID 26695463]	A.01	Eksperimentalno načrtani program projekta je bil dosežen. Delo je potekalo na pripravi debelih plasti in volumenske keramike na osnovi obeh materialov PSN-PT in PZT. Iz debelih plasti so bili pripravljene in okarakterizirane debeloplastni upogibni aktuatorji in		
Naziv	Hyb d.o.o.																												
Naslov	Levičnikova cesta 34, 8310 Šentjernej																												
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	19.883,63 EUR																												
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	20 %																												
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra																												
1.	Priprava in karakterizacija Pb(Sc0.5Nb0.5)O3-PbTiO3 (PSN-PT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike	F.02																											
2.	Priprava in karakterizacija Pb(Zr,Ti)O3 (PZT) materiala v obliki debelih plasti in volumenske keramike. Izboljšava plasti z dodatkom niobijevega oksida.	F.02																											
3.	Senzorsko/aktuatorske strukture na osnovi PSN-PT in PZT debelih plasti	F.08																											
4.	Properties of relaxor-ferroelectric PMN-PT and PSN-PT thick films and bulk ceramics: invited talk. Iasi: "Alexandru Ioan Cuza", University of Iasi, 27. sep. 2012 [COBISS.SI-ID 26138919]	B.04																											
5.	Linear thermal expansion coefficients of relaxor-ferroelectric 0.57Pb(Sc1/2Nb1/2)O3-0.43PbTiO3 ceramics in a wide temperature range, J. Eur. Ceram. Soc. 2013, 33, 2167-2171 [COBISS.SI-ID 26695463]	A.01																											
Eksperimentalno načrtani program projekta je bil dosežen. Delo je potekalo na pripravi debelih plasti in volumenske keramike na osnovi obeh materialov PSN-PT in PZT. Iz debelih plasti so bili pripravljene in okarakterizirane debeloplastni upogibni aktuatorji in																													

	Komentar	senzorsko/aktuatorske strukture. V okviru projekta so bili objavljeni trije znanstveni članki o PSN-PT materialu, vsi v reviji, ki je prva na področju keramičnih materialov (t.j.: J. Eur. Ceram. Soc.). Objavljen je bil tudi znanstveni članek v fizikalni znanstveni reviji Physica Status Solidi. Rezultati o keramiki in debelih plasteh PSN-PT, PSN, PZT so bili predstavljeni na petih mednarodnih konferencah (COBISS.SI-ID25976615; COBISS.SI-ID26176039; COBISS.SI-ID25923111; COBISS.SI-ID26138407; COBISS.SI-ID25771303) in v vabljenem predavanju na tuji univerzi (COBISS.SI-ID26138919).	
	Ocena	Potrjujemo, da so bili rezultati raziskovalnih aktivnosti v sklopu podoktorskega aplikativnega projekta: "Debele plasti Pb(Sc _{0.5} Nb _{0.5})O ₃ -PbTiO ₃ za uporabo v senzorjih in aktuatorjih" (št. Z2-4125) v skladu z načrtovanim razvojnim programom družbe HYB d.o.o. Rezultati raziskav na področju priprave in karakterizacije tako volumenske keramike kot debelih plasti na osnovi materialov PSN-PT in PZT so izpolnili pričakovanja družbe. Družba je imela dolgoročni interes raziskovalne rezultate uporabiti pri razvoju različnih senzorskih oz. aktuatorskih struktur. Zato je družba sofinancirala raziskave na tem področju kljub temu, da so se razmere na ključnih trgih naših kupcev že nekaj let poslabševale. Vendar se razmere na trgih v letu 2013 in posledično v družbi niso izboljšale. Ker so bile tudi napovedi slabe, je družba morala sprejeti ukrepe, med katerimi je tudi prekinitev sofinanciranja raziskovalnega projekta v njegovi zaključni fazi.	
2.	Naziv	Sklep agencije o znižanju sofinanciranja	
	Naslov	Sklep agencije o znižanju sofinanciranja	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	0	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	5	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.	.	E.03
	2.	.	E.03
	3.	.	E.03
	4.	.	E.03
	5.	.	E.03
	Komentar	.	
	Ocena	.	

13. Izjemni dosežek v letu 2013¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Naslov dosežka: Od keramičnega prahu Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})O₃-PbTiO₃, preko debelih plasti, do senzorskih struktur

Za izjemen znanstveni dosežek štejemo vrednostno verigo od priprave keramičnega prahu PSN-PT pa vse do prototipa debeloplastnega resonančnega senzorja.

Bolj natančen opis dosežka: pripravili smo keramični prah PSN-PT iz katerega smo nadalje pripravili debele plasti PSN-PT na korundnih podlagah (slike 1a, 1b in 1c). Debele plasti PSN-PT smo odstranili od podlag ter tako pripravili samostoječe upogibne aktuatorje PSN-PT/Pt (slika 1d). Debele plasti PSN-PT smo vgradili tudi v resonančne senzore tlaka: Membrano iz PSN-PT materiala smo s sitotiskom nanесли na zelo tanko korundno podlago ter jo termično obdelali.

Polarizirano debeloplastno senzorsko membrano smo pritrdili na LTCC (keramika z nizko temperaturo žganja) ohišje s kanali in praznino (slika 1e). Resonančni senzor je eden prvih senzorjev na osnovi materiala PSN-PT, v literaturi predhodno o njem še ni bilo poročano.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Naslov dosežka: Izdelava črpalk za inzulin na osnovi materiala $Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})O_3-PbTiO_3$

Za izjemen družbeno-ekonomski dosežek štejemo pripravo mikročrpalke z vgrajenim mikroaktuatorjem na osnovi PSN-PT materiala.

Bolj natančen opis dosežka: Pripravili smo piezoelektrični aktuator PSN-PT z elektrodami. Material smo polarizirali z električnim poljem 3 kV/mm pri temperaturi 160 °C. Polariziran PSN-PT aktuator smo vgradili v mikročrpalke za inzulin. Tako pripravljena črpalka izkazuje več kot dvakrat boljšo tlačno in pretočno zmogljivost, kot črpalka z aktuatorjem, pripravljenim iz standardnega $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT) materiala (slika 1).

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"

Hana Uršič Nemevšek

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	31.3.2014
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/26

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 2013 (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/2014 v1.01

65-FB-9B-5D-49-26-BA-BC-4C-82-0E-43-67-3C-FD-EE-D8-26-34-A5

Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

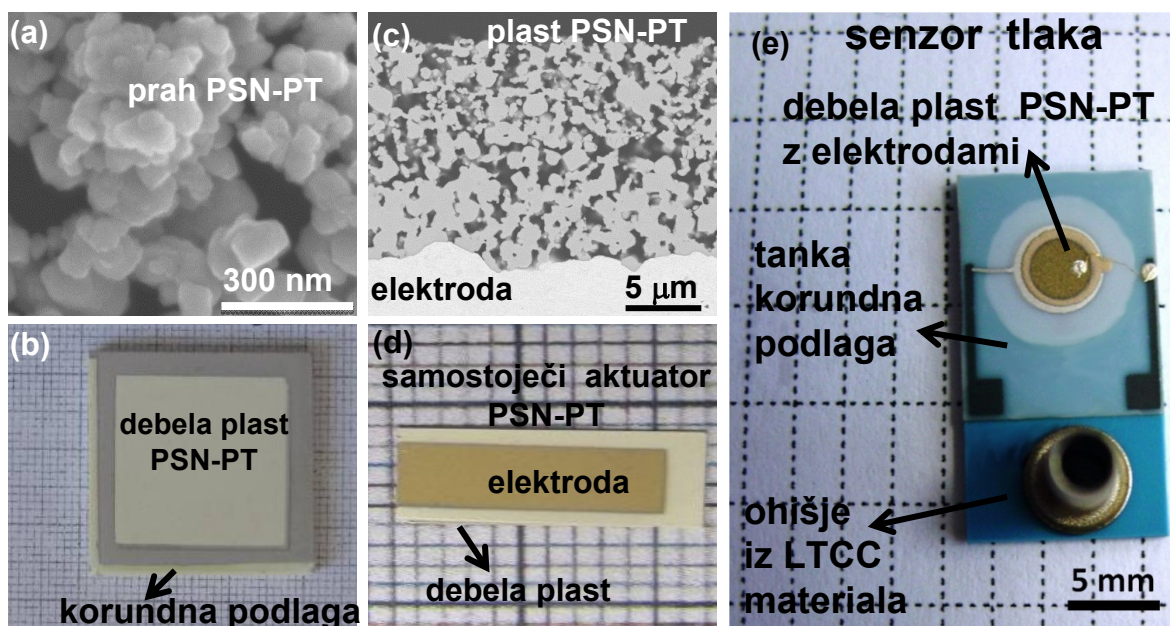
Dosežek 1: Od keramičnega prahu $0.57\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.43\text{PbTiO}_3$ preko debelih plasti do senzorskih struktur

Vir: H. Uršič (1), S. Drnovšek (1), D. Belavič (2), M. Jerlah (2), B. Kmet (1), M. Vrabelj (1), K. Makarovič (1), J. Cilenšek (1), B. Malič (1), neobjavljeno

(1)Odsek za elektronsko keramiko, Institut Jožef Stefan; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

(2)Center odličnosti NAMASTE, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

Pripravili smo keramični prah $0.57\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.43\text{PbTiO}_3$ (PSN-PT) iz katerega smo nadalje pripravili debelo plast PSN-PT na korundni podlagi (slike 1a, 1b in 1c). Debelo plast PSN-PT smo odstranili od korundne podlage ter tako pripravili samostoječi upogibni aktuator PSN-PT/Pt (slika 1d). Debelo plast PSN-PT smo vgradili tudi v resonančni senzor tlaka. Membrano iz PSN-PT materiala smo s sitotiskom nanесли na korundno podlago z debelino samo $70\ \mu\text{m}$, ter jo termično obdelali. Polarizirano debeloplastno senzorsko membrano smo pritrdili na ohišje iz keramike z nizko temperaturo žganja (LTCC) s kanali in praznino (slika 1e). O resonančnem senzorju na osnovi debelih plasti v literaturi predhodno še ni bilo poročano.



Slika 1: (a) slika prahu PSN-PT, narejena z vrstičnim elektronskim mikroskopom, (b) fotografija debele plasti PSN-PT na korundni podlagi, (c) slika debele plasti PSN-PT, narejena z vrstičnim elektronskim mikroskopom, (d) samostoječi upogibni debeloplastni aktuator PSN-PT (sofinancer HYB d.o.o., Šentjernej) in (e) keramični resonančni senzor tlaka na osnovi PSN-PT materiala (izven-projektno sodelovanje z družbama HIPOT-RR d.o.o, Otočec in KEKON d.o.o., Žužemberk).

Priloga 2

TEHNIKA

Področje: 2.09 – Elektronske komponente in tehnologije

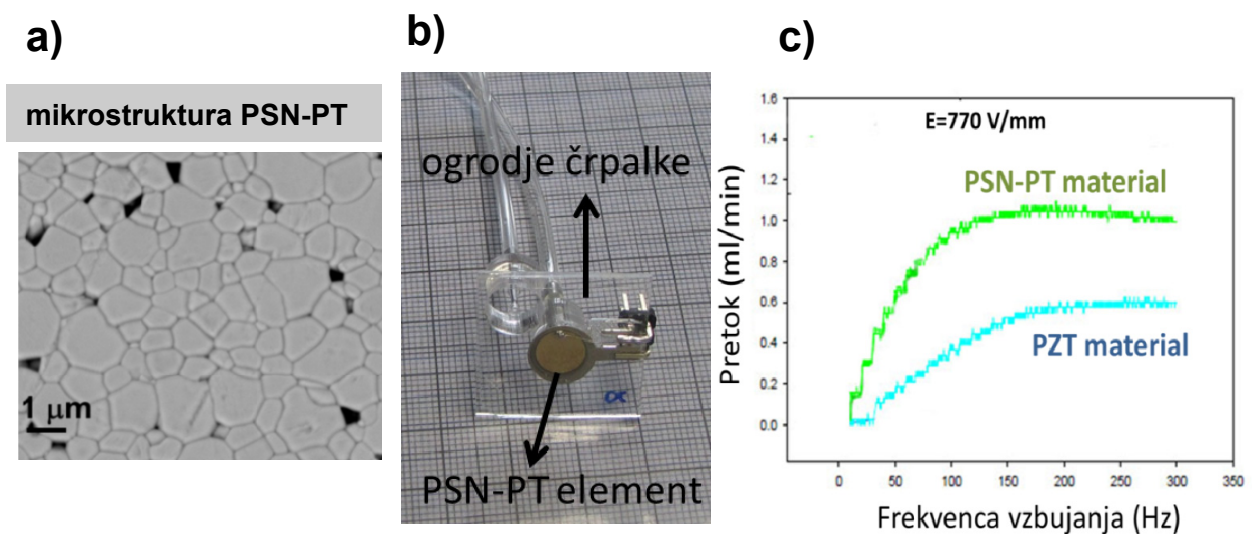
Dosežek 1: Izdelava črpalk za inzulin na osnovi materiala $0.57\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-}0.43\text{PbTiO}_3$

Vir: H. Uršič (1), B. Pečar (2), D. Vrtačnik (2), D. Resnik (2), U. Aljančič (2), M. Možek (2), T. Dolžan (2), S. Amon (2), S. Drnovšek (1), J. Cilenšek (1), B. Malič (1), neobjavljeno

(1) Odsek za elektronsko keramiko, Inštitut Jožef Stefan; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

(2) Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

Pripravili smo piezoelektrični aktuator na osnovi $0.57\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-}0.43\text{PbTiO}_3$ (PSN-PT). Material smo polarizirali z električnim poljem 3kV/mm pri temperaturi $160\text{ }^\circ\text{C}$. Aktuator smo vgradili v črpalko za inzulin. Tako pripravljena črpalka izkazuje več kot dvakrat boljšo tlačno in pretočno zmogljivost, kot črpalka z aktuatorjem, pripravljenim iz referenčnega $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT) materiala (slika 1).



Slika 1: (a) Mikrostruktura aktuatorja na osnovi PSN-PT (sofinancer HYB d.o.o., Šentjernej) (b) Slika črpalke za inzulin (c) Pretok črpalke v odvisnosti od frekvence vzbujanja (pri električnem polju 770 V/mm) za črpalke, narejeni iz materialov PSN-PT in PZT.