

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/113

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-1227
Naslov projekta	Odvisnost funkcijskih lastnosti tankih plasti na osnovi okolju prijaznih perovskitov od mikrostrukture in kemijskih homogenosti
Vodja projekta	4587 Barbara Malič
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.170
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

1.1. Družbeno-ekonomski cilj¹

Šifra	13.02
Naziv	Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Sofinancerji²

1.	Naziv	
	Naslov	
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta³

Namen našega dela je bil ugotoviti, kako mikrostruktura, usmerjenost perovskitne faze in kemijska homogenost vplivajo na funkcijske lastnosti tankih plasti na osnovi kompleksnih perovskitov brez svinca, pri čemer smo se osredinili na alkalijske in zemljoalkalijske perovskite: kalijev natrijev niobat, ter trdne raztopine s stroncijevim titanatom, kalijev tantalat niobat, in kalcijev bakrov titanat. Plasti na platiniziranih silicijevih in na keramičnih podlagah smo pripravili s sintezo iz raztopin.

Priprava tankih plasti na osnovi alkalijskih niobatov in niobatov tantalatov je namreč zaradi higroskopnosti reagentov in visokega parnega tlaka alkalijskih oksidov pri temperaturah priprave zahtevna, zaradi česar je malo objav o pripravi in električnih lastnostih plasti. Mehanizem nukleacije in kristalizacije v tankih plasteh, pripravljenih s sintezo iz raztopin, še ni poznan, posledično tudi ni znanja o razvoju mikrostrukture. Delo v okviru projekta je potekalo v treh med sabo povezanih in soodvisnih programskih sklopih:

Sklop 1: Priprava tankih plasti s sintezo iz raztopin,

Sklop 2: Karakterizacija tekočih prekurzorjev in plasti,

Sklop 3: Meritve funkcijskih lastnosti.

Tanke plasti $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ (KNN) smo sintetizirali iz alkalijskih acetatov ali etoksidov in niobijevega etoksida v stehiometričnem molskem razmerju v 2-metoksietanolu, jih nanесли na podlage z metodo vrtenja, pirolizirali pri 350 °C in segrevali med 600 °C in 670 °C. Ugotovili smo, da je po segrevanju plasti iz etoksidnih solov poleg perovskitne faze kristalizirala še faza $K_4Nb_6O_{17}$. Plasti iz acetatno-alkoksidnih solov so kristalizirale v perovskitni fazi po segrevanju pri 670 °C s prevladujočo usmerjenostjo (001) glede na enostavno perovskitno osnovno celico. Mikrostrukturo plasti, debelih približno 350 nm, so sestavljala približno 50 nm velika enakoosna zrna. Vrednosti dielektričnosti in dielektričnih izgub pri 1 kHz sta 576 in 0.07, z naraščajočo frekvenco pa rahlo padata. feroelektričnih lastnosti plasti nismo mogli izmeriti, kar smo pripisali možnim izgubam alkalij med pripravo plasti. Rezultate smo objavili v članku (Ferroelectrics, 2008).

Na osnovi prvih raziskav smo se odločili preveriti, če in kako prebitok alkalij v raztopinah za pripravo plasti vpliva na potek kristalizacije perovskitnih plasti brez prisotnosti sekundarnih faz s primanjkljajem alkalij. Tanke plasti KNN na podlagah Pt (111)/TiO₂/SiO₂/Si smo pripravili iz acetatno-alkoksidnih solov s stehiometrično sestavo ali s prebitkom 5 ali 10 molskih % natrijevega ali kalijevega acetata. Plasti so po hitrem segrevanju pri 750 °C kristalizirale v perovskitni fazi z monoklinsko osnovno celico, z usmerjenostjo {100}, ki je naraščala z deležem prebitka alkalij. Nadalje smo ugotovili, da je za plasti z 10 % prebitka alkalij značilna usmerjenost (010), kar je posledica natezних napetosti, ki se pojavijo v plasti med ohlajanjem zaradi razlik v termičnih raztezkih plasti in silicijeve podlage. Količina prebitka alkalij v solih je izrazito vplivala na proces nukleacije in rasti kristalitov. Okrog 250 nm debele plasti, pripravljene iz solov z manjšim prebitkom alkalij so imele mikrostrukturo, sestavljeno iz približno 50 nm velikih zrn, z večjim pa mikrostrukturo iz okrog 200 nm velikih zrn kuboidalne oblike. Na osnovi poskusov žganj plasti pri različnih temperaturah smo ugotovili, da je za plasti z manjšim in z večjim prebitkom alkalij značilna homogena nukleacija, razlika je v temperaturnih odvisnostih procesov nukleacije in rasti. Na osnovi kemijske analize plasti z energijsko-disperzijsko rentgensko spektroskopijo (EDXS) v vrstičnem elektronskem mikroskopu na poljsko emisijo smo zaključili, da je odparevanje kalijevega oksida bolj izrazito kot odparevanje natrijevega oksida. Plasti, pripravljene iz raztopin s 5 % prebitka kalija, so imele sestavo, ki je najbolj ustrezala nominalni sestavi KNN. Dielektričnost in dielektrične izgube teh plasti, merjene pri 100 kHz in 300 K, so bile okrog 450 in 3%,

remanentna polarizacija in koercitivno polje pa $8 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ in $80 \text{ kV}/\text{cm}$. Plasti, pripravljene iz solov s stehiometrično sestavo, so dosegle nekoliko nižje vrednosti merjenih količin, medtem ko plasti KNN, pripravljenih iz raztopin z 10 % prebitka alkalij zaradi velike prevodnosti nismo mogli izmeriti. Doslej v literaturi še niso opisali kristalizacije in razvoja mikrostrukture tankih plasti KNN. Rezultate smo zbrali v članku, ki smo ga poslali v objavo (J. Mat. Chem.).

Za razumevanje usmerjenosti perovskitne faze v plasteh smo potrebovali podatek o termičnem raztežku KNN. Po pregledu literature smo ugotovili, da ta še ni bil objavljen, zato smo pripravili keramiko in izmerili linearni termični raztezek med $30 \text{ }^\circ\text{C}$ in $790 \text{ }^\circ\text{C}$, torej v monoklinski, tetragonalni in kubični fazi. Med $30 \text{ }^\circ\text{C}$ in $195 \text{ }^\circ\text{C}$ je $2.96 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, med $208 \text{ }^\circ\text{C}$ in $364 \text{ }^\circ\text{C}$ $4.35 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, in med $434 \text{ }^\circ\text{C}$ in $790 \text{ }^\circ\text{C}$ $7.52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Rezultate smo zbrali v članku (J. Am. Ceram. Soc., sprejet v objavo).

Pripravili smo plasti $(1-x)\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3 - x\text{SrTiO}_3$, $x = 0.05 - 0.25$, z namenom, da bi raziskali vpliv dodatka SrTiO_3 na fazno sestavo, usmerjenost perovskitne faze, mikrostrukturo in dielektrične lastnosti plasti. Plasti so bile pripravljene iz solov z 10 molskimi % prebitka alkalij. Ugotovili smo, da se je z naraščajočim dodatkom SrTiO_3 monoklinska distorzija perovskitne faze alkalijskega niobata zmanjševala in da so se medravninske razdalje (d) zmanjševale, kar smo razložili z nastankom trdne raztopine z zemljoalkalijskim titanatom, podobno, kot so poročali v primeru volumenske keramike. Mikrostruktura plasti je bila granularna, pri čemer je velikost zrn padala z naraščajočim deležem SrTiO_3 . Dielektričnost plasti, izmerjena pri 100 kHz in sobni temperature je bila okrog 300 za $x = 0.05$ in okrog 150 za $x = 0.25$, izgube so bile v obeh primerih okrog 0.01. Rezultate smo predstavili na konferenci (referat v zborniku MIDEM, 2010).

Tanke plasti $\text{KTa}_{0.6}\text{Nb}_{0.4}\text{O}_3$ na podlagah poliranega polikristaliničnega aluminijevega oksida smo pripravili s sintezo z eno- ali 24-urnim refluksom iz kalijevega acetata in Ta- in Nb-etoksidov v 2-metoksietanolu z 10 molskimi % prebitka K, in s segrevanjem pri $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Raziskali smo vpliv refluksa na fazno sestavo, mikrostrukturo in dielektrične lastnosti plasti. Plasti s čisto perovskitno fazo smo pripravili le iz solov s 24-h refluksom, medtem ko so v primeru 1h-refluksa plasti bile večfazne. Približno 240 nm debele plasti, pripravljene iz sola z 1h-refluksom, so dosegle dielektričnost 860, izgube 0.01 in napetostno nastavljivost kapacitivnosti (C_{0V} / C_{30V}) 1.9, merjeno pri sobni temperature, 1 MHz in napetosti 300 mV. Vrednosti, dosežene za plasti iz solov, pripravljenih s 24h-refluksom so bile 1690, 0.04 in 2.6. izrazito izboljšanje dielektričnih lastnosti plasti smo pripisali večji homogenosti, ki smo jo dosegli z daljšim časom refluksa. Z infrardečo spektroskopijo smo pokazali, da je v solih, pripravljenih z daljšim časom refluksa, večji delež esterskih skupin kot posledica večje stopnje reakcije med acetatnimi in alkoksidnimi skupinami. Rezultate smo objavili v članku (Ferroel., 2009).

Dielektrične meritve tankih plasti, pripravljenih s 24h refluksom smo nadalje izvedli v širokem frekvenčnem območju, od radiofrekvenčnega do mikrovalovnega. Plasti izkazujejo frekvenčno odvisnost dielektričnosti, značilno za relaksorje, ki jo lahko opišemo z Vogel-Fulcherjevim zakonom, česar za plasti $\text{K}(\text{Ta},\text{Nb})\text{O}_3$ še niso objavili. Vrednosti dielektričnosti in dielektričnih izgub pri sobni temperaturi in pri 10 kHz so 2430 in, 0.08, pri 14.5 GHz pa 590 in 0.52. Rezultate smo objavili v članku (Appl. Phys. Lett., 2009).

Z namenom, da bi natančno analizirali mikrostrukturo tankih plasti alkalijskih niobatov in tantalatov na nanometrskem nivoju, torej v presevnem elektronskem mikroskopu, smo se najprej lotili analize prahu in volumenske keramike, pri čemer smo kot modelni alkalijski perovskit izbrali kalijev tantalat. Za analizo kemijske sestave smo uporabili dve tehniki analitske transmisijske elektronske mikroskopije: energijsko spektroskopijo rentgenskih žarkov (EDXS) ter spektroskopijo energijske izgube elektronov (EELS). Zaradi velike hlapnosti alkalijskih spojin smo posebno pozornost posvetili optimizaciji parametrov analize. Kot standard smo uporabili monokristal KTaO_3 in spremljali razmerje K/Ta v odvisnosti od jakosti elektronskega snopa; tako smo določili pogoje zajemanja podatkov, pri katerih ni prišlo do poškodb vzorcev. S kombinacijo obeh spektroskopskih metod smo lahko določili vsebnosti K, Ta in O. Rezultati analize, ki smo jo objavili v članku (J. Am. Ceram. Soc., doi - 2010), so osnova za analize mikrostrukture in

kemijske sestave tankih plasti alkalijskih perovskitov na nanometrskem nivoju.

Poleg plasti alkalijskih niobatov smo raziskovali tudi plasti na osnovi zemljoalkalijskega titanata $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. Za ta material, pripravljen v obliki volumenske keramike, so leta 2000 poročali o izjemno visoki dielektričnosti, okrog 10 000, ki je bila stabilna v širokem temperaturnem in frekvenčnem območju (Ramirez, Subramanian, 2000). O plasteh s sintezo iz raztopin je zaradi zahtevne priprave malo literaturnih podatkov. Plasti smo pripravili iz solov na osnovi kalcijevega in bakrovega nitrata ter titanovega butoksida v 2-metoksietanolu ter jih segrevali do 800 °C. Sole smo nanašali na podlago Pt/Si ali na podlago Pt/Si, na kateri smo predhodno kristalizirali približno 15 nm debelo plast $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, ki smo jo uporabili kot nukleacijsko plast. Debelina celotnih plasti po segrevanju je bila okrog 250 nm. Plasti, nanesene na nukleacijsko plast, so po segrevanju pri 750 °C kristalizirale v perovskitni fazi s prevladujočo (222) usmerjenostjo. Plasti, nanesene na Pt/Si, so kristalizirale v naključno usmerjeni perovskitni fazi že pri 700 °C. Plasti, pripravljene na nukleacijski plasti, imajo stebričasto mikrostrukturo, plasti, pripravljene na Pt/Si, pa enakoosna zrna. Merili smo dielektrične lastnosti plasti v območju od 1 kHz do 1 MHz in od 100 K do 400 K. Ugotovili smo, da imajo plasti, pripravljene na nukleacijski plasti, dielektričnost pri 1 kHz in 100 K okrog 80, ki z naraščajočo temperaturo narašča in doseže vrednost okrog 180 pri sobni temperaturi. Plasti, pripravljene na Pt/Si, imajo dielektričnost pri 1 kHz in 100 K okrog 180, ki zelo hitro narašča in doseže že pri 150 K vrednost okrog 1000 in pri sobni temperaturi okrog 1100. Z naraščajočo frekvenco dielektričnost pada, pri sobni T in pri 1 MHz je okrog 600. Dielektrične izgube imajo maksimum v območju največjega naraščanja dielektričnosti, vrh je torej frekvenčno odvisen in se z naraščajočo frekvenco pomika k višjim vrednostim temperature. Pokazali smo, da lahko na temperaturno odvisnost dielektričnosti plasti vplivamo tudi z atmosfero med ponovnim segrevanjem, pri čemer smo dosegli vrednosti dielektričnosti celo okrog 3000. Frekvenčno odvisnost dielektričnosti plasti smo razložili z električnimi heterogenostmi v mikrostrukturi (polprevodnimi zrnji in neprevodnimi mejami zrn), podobno kot so za volumensko keramiko predlagali Adams in sodelavci (PRB, 2006). Rezultate smo predstavili na mednarodni konferenci. Raziskave plasti $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ so potekale tudi v okviru projekta EU 6OP CAMELIA v sodelovanju s francoskim podjetjem 3DPlus in LETI, Grenoble.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Naša hipoteza je bila, da so funkcijske lastnosti okolju prijaznih kompleksnih perovskitnih tankih plasti brez svinca odvisne od mikrostrukture, kemijske homogenosti in od usmerjenosti perovskitne faze.

Pri raziskavah tankih plasti $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{NbO}_3$ (KNN) na podlagah Pt(111)/ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ smo se osredotočili na vpliv količine in kemijske sestave prebitka alkalij v raztopinah na kristalizacijo in razvoj mikrostrukture plasti. Ugotovili smo, da so plasti iz raztopin brez, s 5 ali 10 molskimi % prebitka alkalij kristalizirale v perovskitni fazi z usmerjenostjo {100}. Količina prebitka alkalij v solih je izrazito vplivala na proces nukleacije in rasti kristalitov: približno 250 nm debele plasti, pripravljene iz solov brez ali z manjšim prebitkom alkalij so imele manjša, približno 50 nm velika zrna, z večjim prebitkom pa okrog 200 nm velika zrna. Na osnovi kemijske analize plasti z energijsko-disperzijsko rentgensko spektroskopijo (EDXS) v vrstičnem elektronskem mikroskopu na poljsko emisijo smo zaključili, da je odparevanje kalijevega oksida bolj izrazito kot odparevanje natrijevega oksida. Plasti, pripravljene iz raztopin s 5 % prebitka kalija, so imele sestavo, ki je najbolj ustrezala nominalni sestavi KNN. Dielektričnost in dielektrične izgube teh plasti, merjene pri 100 kHz in 300 K, so bile okrog 450 in 3%, remanentna polarizacija in koercitivna polje pa $8 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ in 80 kV/cm.

Tanke plasti $\text{KTa}_{0,6}\text{Nb}_{0,4}\text{O}_3$ smo pripravili s sintezo s 24-urnim refluksom iz acetatno-alkoksidnih solov na korundnih podlagah in segrevanjem pri 900 °C. Plasti so kristalizirale v perovskitni fazi z enakomerno, gosto mikrostrukturo. Dielektrične meritve tankih plasti smo izvedli v širokem frekvenčnem območju; med 3 kHz in 1 MHz na planarnih kondenzatorjih, pripravljenih s fotolitografijo in med 7.3-14.5 GHz z resonatorsko metodo. Plasti izkazujejo frekvenčno odvisnost dielektričnosti, značilno za relaksorje, ki jo lahko opišemo z Vogel-Fulcherjevim zakonom, česar za plasti $\text{K}(\text{Ta},\text{Nb})\text{O}_3$ še niso objavili. Vrednosti dielektričnosti in dielektričnih izgub pri sobni temperaturi in pri 10 kHz so 2430 in 0.08, pri 14.5 GHz pa 590 in 0.52

Tanke plasti $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ na platiniziranem siliciju smo pripravili iz raztopin na osnovi nitratov in alkoksidov. Plasti, pripravljene na nukleacijski plasti, po segrevanju pri 750 °C kristalizirajo v perovskitni fazi s prevladujočo usmerjenostjo (222) in imajo stebričasto mikrostrukturo, medtem ko plasti, pripravljene z enkratnim žganjem amorfne plasti, nimajo usmerjenosti perovskitne faze, mikrostrukturo pa sestavljajo enakoosna zrna nanometrijske velikosti. Vrednost dielektričnosti plasti s stebričasto mikrostrukturo v širokem frekvenčnem območju med 100 K in sobno temperaturo je okrog 70, medtem ko je dielektričnost plasti z enakoosno mikrostrukturo v kHz-MHz frekvenčnem območju med 600 in 1000. Različni dielektrični odziv plasti smo razložili z električnimi heterogenostmi v mikrostrukturi, podobno kot velja za volumensko keramiko.

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

Izrazitih sprememb programa ali sestave projektne skupine ni bilo.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Priprava in lastnosti tankih plasti $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{NbO}_3$ s sintezo iz raztopin
		ANG	Processing and properties of $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{NbO}_3$ thin films prepared by chemical solution deposition
	Opis	SLO	Tanke plasti kalijevega natrijevega niobata na podlagah platiniziranega silicija smo pripravili iz solov na osnovi alkalijskih acetatov in niobijevega etoksida v stehiometričnem molskem razmerju v 2-metoksietanolu. Plasti po segrevanju pri 670 °C kristalizirajo v perovskitni fazi. Dielektričnost in dielektrične izgube plasti, debelih 350 nm, izmerjene pri 1 kHz so 570 in 0.07.
		ANG	Thin films of potassium sodium niobate $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{NbO}_3$ on Pt (111)/ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ substrates have been prepared by chemical solution deposition. The stoichiometric sols were synthesized from corresponding alkali metal ethoxides or acetates and niobium ethoxide in 2-methoxyethanol. The thin film quality is affected by choice of alkali metal precursors. Thin films prepared from the acetate-based sol upon heating to 670°C crystallize in pure perovskite phase. The dielectric permittivity of the 350 nm thick KNN film at 1 kHz is 570 and the dielectric loss factor is 0.07.
	Objavljeno v	ČAKARE-SAMARDŽIJA, Laila, MALIČ, Barbara, KOSEC, Marija. $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{NbO}_3$ thin films prepared by chemical solution deposition. <i>Ferroelectrics</i> , 2008, vol. 370, [4], 113-118.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	22155559		
2.	Naslov	SLO	Zveza med pripravo in napetostno odvisnimi dielektričnimi lastnostmi tankih plasti $\text{KTa}_{0.6}\text{Nb}_{0.4}\text{O}_3$
		ANG	Relation between processing and electric field dependent dielectric properties of $\text{KTa}_{0.6}\text{Nb}_{0.4}\text{O}_3$ thin films
			Tanke plasti $\text{KTa}_{0.6}\text{Nb}_{0.4}\text{O}_3$ na podlagah aluminijevega oksida smo pripravili iz acetatno-alkoksidnega prekursorja z eno- ali 24-urnim refluksom in s

	Opis	SLO	segrevanjem pri 900 °C. Plasti, ki smo jih pripravili iz solov s 24-h reflukso, so kristalizirale v perovskitni fazi in dosegle dielektričnost 1690, izgube 0.04 in napetostno nastavljivost kapacitivnosti (C0V / C30V) 2.6. Plasti, pripravljene z enournim reflukso so bile večfazne in imele izrazito slabše dielektrične lastnosti. Izboljšanje dielektričnih lastnosti plasti smo pripisali večji homogenosti, ki smo jo dosegli z daljšim časom refluksa.
		ANG	KTa0.6Nb0.4O3 thin films on alumina substrates were prepared from acetate-alkoxide derived precursor with 1 h or 24 h of reflux and heating at 900°C. Perovskite films were obtained from the 24 h-refluxed solutions. The 240 nm thick films had room temperature dielectric permittivity value of 1690, dielectric loss value of 0.04 and tunability (C0V / C30V) value of 2.6, measured at 1 MHz with the voltage amplitude of 300 mV. The films, prepared from the 1 h-refluxed solutions, were multi-phase and had inferior dielectric properties.
	Objavljeno v	GLINŠEK, Sebastjan, MALIČ, Barbara, VUKADINOVIČ, Mišo, KUŽNIK, Brigita, KOSEC, Marija. Processing and electric field dependent dielectric properties of KTa0.6Nb0.4O3 thin films on alumina. Ferroelectrics, 2009, vol. 387, [1], 112-117.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID	23108135	
3.	Naslov	SLO	Dielektrične lastnosti tankih plasti KTa0,6Nb0,4O3 v širokem frekvenčnem območju
		ANG	Dielectric properties of KTa0,6Nb0,4O3 thin films from radio frequency to microwave range
	Opis	SLO	Tanke plasti KTa0,6Nb0,4O3 smo pripravili s sintezo s 24-urnim reflukso iz acetatno-alkoksidnih solov na korundnih podlagah in segrevanjem pri 900 oC. Dielektrične meritve tankih plasti smo izvedli v širokem frekvenčnem območju. Plasti izkazujejo frekvenčno odvisnost dielektričnosti, značilno za relaksorje, ki jo lahko opišemo z Vogel-Fulcherjevim zakonom, česar za plasti K(Ta,Nb)O3 še niso objavili. Vrednosti dielektričnosti in dielektričnih izgub pri sobni temperaturi in pri 10 kHz so 2430 in, 0.08, pri 14.5 GHz pa 590 in 0.52.
		ANG	Dielectric properties of solution derived KTa0.6Nb0.4O3 thin films on polycrystalline alumina substrates were investigated in radio frequency and in microwave frequency range. The relaxorlike behavior of dielectric properties was unambiguously confirmed by the fit to the Vogel-Fulcher law. The room temperature values of permittivity and dielectric losses, measured at 10 kHz, are 2430 and 0.08, respectively. The corresponding values, measured at 14.5 GHz, are 590 and 0.52.
	Objavljeno v	GLINŠEK, Sebastjan, MALIČ, Barbara, KUTNJAK, Zdravko, KRUPKA, J., KOSEC, Marija, WANG, H. Dielectric properties of KTa0.6Nb0.4O3 thin films on alumina substrates prepared by chemical solution deposition. Appl. phys. lett., 2009, vol. 94, [17], 172905-1-3.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID	22594599	
4.	Naslov	SLO	Kvantitativna kemijska analiza KTaO3 s spektroskopskimi metodami analitske preseвне elektronske mikroskopije
		ANG	Quantitative compositional analysis of KTaO3 with spectroscopic methods of transmission electron microscopy
	Opis	SLO	Za analizo kemijske sestave alkalijskih perovskitov, kot na primer KTaO3, na nanometrskem nivoju, smo uporabili dve tehniki analitske transmissijske elektronske mikroskopije: energijsko spektroskopijo rentgenskih žarkov (EDXS) ter spektroskopijo energijske izgube elektronov (EELS). Zaradi velike hlapnosti alkalijskih spojin smo posebno pozornost posvetili optimizaciji parametrov analize. Ugotovili smo, da so v prahu prisotne kemijske nehomogenosti, ki močno vplivajo na lastnosti keramike, v kateri smo zaznali do 5 % nihanja v sestavi.
		ANG	Our aim was to obtain a reliable quantitative composition of alkali perovskites at nanoscale, with KTaO3 as the case study, by a combination of two analytical methods of transmission electron microscopy: energy-dispersive X-ray and electron energy-loss spectroscopy. Because of the volatile nature of alkali-based compounds, special attention was paid to optimization of acquisition parameters. Compositional inhomogeneities,

		which were identified in the as-calcined and KTaO_3 powder sample, were found to affect the subsequently produced ceramic, which showed compositional deviations of up to 5%.
	Objavljeno v	TCHERNYCHOVA, Elena, GLINŠEK, Sebastjan, MALIČ, Barbara, KOSEC, Marija. Combined analytical transmission electron microscopy approach to reliable composition evaluation of KTaO_3 . J. Am. Ceram. Soc., published online: 17 Dec. 2010, 8 pp., doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.04288.x.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	24363047
5.	Naslov	<i>SLO</i> Priprava in lastnosti tankih plasti $(1-x)\text{K}(0.5)\text{Na}(0.5)\text{NbO}_3 - (x)\text{SrTiO}_3$ s sintezo iz raztopine <i>ANG</i> Processing and properties of $(1-x)\text{K}(0.5)\text{Na}(0.5)\text{NbO}_3 - (x)\text{SrTiO}_3$ thin films by chemical solution deposition
	Opis	<i>SLO</i> Pripravili smo plasti $(1-x)\text{K}_0.5\text{Na}_0.5\text{NbO}_3 - x\text{SrTiO}_3$, $x = 0.05 - 0.25$, z namenom, da bi raziskali vpliv dodatka SrTiO_3 na fazno sestavo, mikrostrukturo in dielektrične lastnosti plasti. Z naraščajočim dodatkom SrTiO_3 se je monoklinska distorzija perovskitne faze zmanjševala, kar smo razložili z nastankom trdne raztopine. Velikost enakoosnih zrn in dielektričnost sta padali z naraščajočim deležem SrTiO_3 . Dielektričnost plasti pri 100 kHz in sobni temperaturi je bila okrog 300 za $x = 0.05$, izgube pa okrog 0.01. <i>ANG</i> The $(1-x)\text{K}_0.5\text{Na}_0.5\text{NbO}_3 - x\text{SrTiO}_3$ thin films, $x = 0.05 - 0.25$, were prepared in order to study the influence of the SrTiO_3 on the phase composition, microstructure and dielectric properties of the films. Increasing the SrTiO_3 content decreased the monoclinic distortion, characteristic for pure $\text{K}_0.5\text{Na}_0.5\text{NbO}_3$ due to the formation of a solid solution. The grain size, the dielectric permittivity and the dielectric loss factor were reduced with increasing SrTiO_3 content. The RT permittivity and losses of the films with $x = 0.005$ were about 300 and 0.01 at 100 kHz.
	Objavljeno v	KUPEC, Alja, MALIČ, Barbara, KOSEC, Marija. Chemical solution deposition of $(1-x)\text{K}(0.5)\text{Na}(0.5)\text{NbO}_3 - (x)\text{SrTiO}_3$. V: ĐONLAGIĆ, Denis (ur.), ŠORLI, Iztok (ur.), ŠORLI, Polona (ur.). Proceedings. Ljubljana: MIDEM - Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials, 2010, 141-145.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	24341031

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	<i>SLO</i> Vpliv mikrostrukture na dielektrične lastnosti tankih plasti $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, pripravljenih s sintezo iz raztopin <i>ANG</i> Influence of microstructure on dielectric properties of solution-derived $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ thin films.
	Opis	<i>SLO</i> Tanke plasti $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ smo pripravili iz raztopin na osnovi nitratov in alkoksidov. Mikrostruktura plasti, pripravljenih s segrevanjem pri 750 oC, je vsebovala okrog 20 nm velika enakoosna zrna, medtem, ko smo z uporabo nukleacijske plasti pripravili plasti s kolumnarnimi zrnji širine nekaj 100 nm. Vrednosti dielektričnosti finostrukturnih plasti pri sobni temperaturi in 1 kHz so bile okrog 1100, medtem ko so plasti s kolumnarnimi zrnji dosegle nekajkrat nižje vrednosti. Pokazali smo, da lahko na temperaturno odvisnost dielektričnosti plasti vplivamo tudi z atmosfero med ponovnim segrevanjem. <i>ANG</i> The $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ thin films were prepared from the nitrate-alkoxide based solutions. The films, prepared by rapid annealing at 750 oC of the as-deposited layers consisted of equiaxed grains of a few 10 nm. By introducing a nucleation layer, the microstructure with columnar grains of a few 100 nm across was obtained. The RT value of dielectric permittivity of the granular films was about 1100 at 1 kHz, more than five times larger than that of the columnar films. The temperature dependence of dielectric permittivity of the films could be tailored by post-annealing in different atmospheres.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
		MALIČ, Barbara, KUŽNIK, Brigita, GLINŠEK, Sebastjan, BENČAN, Andreja, KOSEC, Marija, ERŠTE, Andreja, BOBNAR, Vid. Influence of microstructure on

	Objavljeno v		dielectric properties of solution-derived CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ thin films. Electroceramics XII, June, 13-16, 2010, Trondheim, Norway. Abstracts and CD proceedings. Trondheim: NTNU: = Norwegian University of Science and Technology, 2010.
	Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID		23776295
2.	Naslov	SLO	Perovskitne tanke plasti brez svınca z visoko dielektričnostjo, pripravljene s sintezo iz raztopin
		ANG	Lead-free perovskite thin films with high permittivity by chemical solution deposition routes
	Opis	SLO	Keramične tanke plasti z visoko dielektričnostjo smo raziskovali zaradi možnosti uporabe v mikroelektroniki, na primer za tankoplastne kondenzatorje, senzorje, aktuatorje ali napetostno nastavljive mikrovalovne elemente. Materiali brez svınca predstavljajo okolju prijazno alternative kompleksnim svinčevim perovskitom, predvsem zaradi dobrih piezoelektričnih ali feroelektričnih lastnosti. V delu smo predstavili rezultate raziskav tankih plasti na osnovi alkalijskih niobatov tantalatov in zemljoalkalijskih titanatov, ki smo jih pripravili s sintezo iz raztopin.
		ANG	Ceramic thin films with high dielectric permittivity have been studied for different microelectronic applications, including for example thin film capacitors, sensors or actuators, or tunable microwave devices. Due to environmental concerns, lead-free materials represent an alternative to complex lead-based perovskites, mainly for piezoelectric or ferroelectric applications. The contribution addressed thin films based on selected compositions within the alkaline tantalate/niobate, and on alkaline earth titanate systems, prepared by Chemical Solution Deposition routes.
	Šifra		B.04 Vabljen predavatelj
	Objavljeno v		MALIČ, Barbara, GLINŠEK, Sebastjan, KUŽNIK, Brigita, CILENŠEK, Jena, TCHERNYCHOVA, Elena, VUKADINOVIĆ, Mišo, KOSEC, Marija. Lead-free perovskite thin films with high permittivity by chemical solution deposition routes : [invited talk]. V: IUMRS-ICA 2008, The IUMRS International Conference in Asia 2008, December 9-13, 2008, Nagoya, Japan. Abstracts. [S. l.]: The Materials Research Society of Japan, 2008.
	Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		22362663	
3.	Naslov	SLO	Serijski predavanja Processing of electronic ceramics: from bulk to nanoparticles za podiplomske študente, Univerza Oulu, Finska
		ANG	Series of lectures Processing of electronic ceramics: from bulk to nanoparticles for postgraduate students, University of Oulu, Finland,
	Opis	SLO	V okviru podiplomskega študija elektronike sem imela štiri predavanja za podiplomske študente Univerze Oulu, Oulu, Finska (9. – 14. oktober 2009). Tema predavanj je bila priprava elektronske keramike od sinteze in karakterizacije prahov, priprave keramike, priprave tankih plasti iz raztopin in sinteze nanodelcev.
		ANG	In the frame of the postgraduate study of electronics a series of lectures Processing of electronic ceramics: from bulk to nanoparticles was performed at the University of Oulu, Infotech Graduate School, 9 – 14 October 2009. The topics included powder processing, processing of bulk ceramics. chemical solution deposition (CDS) of thin films and synthesis of (nano)particles.
	Šifra		B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
	Objavljeno v		MALIČ, Barbara. Processing of electronic ceramics : from bulk to nanoparticles : course notes. Oulu: University of Oulu, 2009. 1 el. optični disk (CD-ROM).
Tipologija		2.05 Drugo učno gradivo	
COBISS.SI-ID		23204903	
4.	Naslov	SLO	Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju raziskav feroelektrične keramike in tankih plasti, 2010 (B. Malič)
		ANG	Zois award for important scientific achievements for research of ferroelectric ceramics and thin films, 2010 (B. Malič)
			B. Malič je v zadnjih letih dosegla pomembne znanstvene in strokovne rezultate na področju sinteze okolju prijaznih piezoelektrikov brez svınca in

Opis	SLO	sinteze feroelektričnih tankih plasti in delcev iz raztopin ter jih v vrsti odmevnih člankov predstavila strokovni javnosti. Članek iz leta 2005 je bil v letu 2010 med desetimi najbolj citiranimi članki revije J. European Ceramic Society v zadnjih petih letih.
	ANG	B. Malič obtained important scientific results in the field of synthesis of environment friendly lead-free piezoelectrics, chemical solution deposition of ferroelectric thin films and solution synthesis of nanoparticles in published them in a number of papers. The paper from 2005, has been among the top 10 cited articles published in Journal of the European Ceramic Society in the (2005-2010) period.
Šifra	E.01 Domače nagrade	
Objavljeno v	MALIČ, Barbara, BERNARD, Janez, HOLC, Janez, JENKO, Darja, KOSEC, Marija. Alkaline-earth doping in (K, Na)NbO ₃ based piezoceramics. J. Eur. Ceram. Soc.. [Print ed.], 2005, vol. 25, 2707-2711.	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	19093031	
5. Naslov	SLO	Raziskave tankoplastnih kondenzatorjev z veliko dielektričnostjo za brezžične komunikacije
	ANG	Research of high-K thin film capacitors for wireless communications
Opis	SLO	V projektu EU 6OP CAMELIA smo se ukvarjali z raziskavami tankoplastnih kondenzatorjev z veliko dielektričnostjo. Za plasti CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ , ki smo jih pripravili s sintezo iz raztopine, se je izkazalo, da je njihova dielektričnost izrazito odvisna od mikrostrukture in pogojev toplotne obdelave. Izmerili smo frekvenčno in temperaturno odvisnost dielektričnosti in dielektričnih izgub plasti z granularno in kolumnarno mikrostruturo.
	ANG	In the EU 6FP project CAMELIA we studied thin film capacitors with high values of permittivity. We found that the dielectric permittivity of CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ thin films prepared by chemical solution deposition was strongly dependent on the film microstructure. We determined the frequency and temperature dependence of dielectric permittivity and losses of the films with fine granular and with columnar microstructures.
Šifra	D.06 Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu	
Objavljeno v	MALIČ, Barbara, KUŽNIK, Brigita, GLINŠEK, Sebastjan, BENČAN, Andreja, CILENŠEK, Jena, KOSEC, Marija. CAMELIA : monolithic above IC ultra high value capacitors for mobile and wireless communication systems : final project report,	
Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	
COBISS.SI-ID	23622439	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Članek, v katerem poročamo o vrednosti linearnega termičnega razteznostnega koeficienta keramike K_{0.5}Na_{0.5}NbO₃, z naslovom Linear thermal expansion of lead-free piezoelectric K_{0.5}Na_{0.5}NbO₃ ceramics in a wide temperature range (avtorji: Barbara Malič, Helena Razpotnik, Jurij Koruza, Samo Kokalj, Jena Cilenšek, Marija Kosec) je bil sprejet v objavo v Journal of the American Ceramic Society. Rezultati tega dela so nam pomagali razložiti usmerjenost perovskitne faze v članku o fazni in kemijski sestavi ter razvoju mikrostrukture tankih plasti K_{0.5}Na_{0.5}NbO₃ z naslovom Compositional and Structural Studies of Lead free Potassium Sodium Niobate Thin Films from Solutions (avtorji: Alja Kupec, Barbara Malic, Jenny Tellier, Elena Tchernychova, Sebastjan Glinsek, Marija Kosec), ki je bil poslan v objavo v Journal of Materials Chemistry.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

9.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Tanke plasti na osnovi alkalijskih in zemljoalkalijskih kompleksnih perovskitov bi lahko nadomestile plasti na osnovi svinčevih perovskitov. Slednji imajo veliko dielektričnost, odlične piezo- in feroelektrične lastnosti, vendar so zaradi velike vsebnosti svinčevega oksida, ki presega 60 ut. %, možna nevarnost za okolje. V okviru projekta smo raziskovali plasti na

osnovi $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$, $KTa_{0.6}Nb_{0.4}O_3$ in $CaCu_3Ti_4O_{12}$.

Namen našega dela je bil ugotoviti, kako mikrostruktura, usmerjenost perovskitne faze in kemijska homogenost vplivajo na funkcijske lastnosti plasti. Priprava tankih plasti na osnovi alkalijskih niobatov in niobatov tantalatov je namreč zaradi higroskopnosti reagentov in visokega parnega tlaka alkalijskih oksidov pri temperaturah priprave zahtevna, zaradi česar je malo objav o pripravi in električnih lastnostih plasti. Mehanizem nukleacije in kristalizacije v tankih plasteh, pripravljenih s sintezo iz raztopin, še ni poznan, posledično tudi ni znanja o razvoju mikrostrukture.

Pri raziskavah feroelektričnih tankih plasti $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ na podlagah $Pt(111)/TiO_2/SiO_2/Si$ smo se osredotočili na vpliv količine in kemijske sestave prebitka alkalij v raztopinah na kristalizacijo in razvoj mikrostrukture plasti. Ugotovili smo, da so monoklinska distorzija perovskitne faze, delež usmerjenosti $\{100\}$ in velikost zrn večji v plasteh, pripravljenih iz raztopin z večjim prebitkom alkalij. Na osnovi kemijske analize plasti z energijsko-disperzijsko rentgensko spektroskopijo (EDXS) v vrstičnem elektronskem mikroskopu na poljsko emisijo smo zaključili, da je odparevanje kalijevega oksida bolj izrazito kot odparevanje natrijevega oksida. Plasti z enakoosnimi zrnji so imele najboljše dielektrične in feroelektrične lastnosti. Materiali, ki so pri temperaturah uporabe v paraelektrični fazi, kot na primer kalijev tantalat niobat imajo veliko napetostno odvisnost kapacitivnosti in so zanimivi za brezžične komunikacije. Ugotovili smo, da lahko pripravimo perovskitne plasti $KTa_{0.6}Nb_{0.4}O_3$ na korundnih podlagah z enakomerno, gosto mikrostrukuro iz acetatno-alkoksidnih solov s sintezo s 24-urnim refluxom. Po krajših časih refluxa nismo mogli pripraviti plasti s homogeno mikrostrukuro. Pokazali smo, da imajo plasti, pripravljene z daljšim časom refluxa izrazito večjo dielektričnost in napetostno nastavljenost, poleg tega pa kažejo frekvenčno odvisnost dielektričnosti, značilno za relaksorje, ki jo lahko popišemo z Vogel-Fulcherjevim zakonom. Pri tankih plasteh $CaCu_3Ti_4O_{12}$ na platiniziranem siliciju smo raziskovali zvezo med frekvenčno odvisno dielektričnostjo in mikrostrukuro. Mikrostruktura plasti, pripravljene s segrevanjem pri $750\text{ }^\circ\text{C}$, je vsebovala okrog 20 nm velika enakoosna zrna, medtem, ko smo z uporabo nukleacijske plasti pripravili plasti s kolumnarnimi zrnji širine nekaj 100 nm. Vrednosti dielektričnosti finostrukturnih plasti pri sobni temperaturi in 1 kHz so bile okrog 1100, medtem ko so plasti s kolumnarnimi zrnji dosegle nekajkrat nižje vrednosti. Pokazali smo, da lahko na temperaturno odvisnost dielektričnosti plasti vplivamo tudi z atmosfero med ponovnim segrevanjem.

ANG

Alkali niobates, niobate tantalates and/or their solid solutions with alkali-earth titanates form a group of ceramic materials which could replace lead-based complex perovskites with excellent di-, ferro- or piezoelectric properties. The latter contain more than 60 wt. % lead oxide and they represent an environmental hazard. Materials, which are at working temperatures in paraelectric phase, such as potassium tantalate niobates, exhibit high capacitance tunability with applied electric field and are interesting for wireless communications. Miniaturization and integration of electronic components are the drivers for the research of thin films. The processing of thin films based on alkali niobates or niobate tantalates is demanding due to hygroscopicity of the reagents and a high vapor pressure of alkali species at processing temperatures which consequently results in a low number of publications. There is no data on the mechanism of nucleation in alkali niobate based films from solutions and consequently also not on the evolution of microstructure. Our research is oriented towards study of nucleation, evolution of microstructure and texture of thin films based on $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$, $KTa_{0.6}Nb_{0.4}O_3$ in $CaCu_3Ti_4O_{12}$ and their influence on functional properties. Within the research of $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ thin films on $Pt(111)/TiO_2/SiO_2/Si$ substrates we focused on the influence of the amount and chemical composition of the alkali excess in coating solutions on crystallization and microstructure evolution. Upon rapid thermal annealing at $750\text{ }^\circ\text{C}$ the films crystallized in pure perovskite monoclinic phase with a $\{100\}$ preferential orientation. The amount of alkali excess in the precursor solutions, 5 or 10 mole %, influenced the nucleation and growth processes, resulting in the films with granular equiaxed microstructures or columnar microstructures, respectively. The energy-dispersive X-ray spectroscopy in field-emission scanning electron microscope revealed that volatilization of potassium oxide was more pronounced than volatilization of sodium oxide. The films prepared from the solution with 5 mole % potassium excess had the composition which was the closest to the nominal KNN composition among all samples and exhibited the best dielectric and ferroelectric properties among the studied films. Dielectric measurements of $KTa_{0.6}Nb_{0.4}O_3$ thin films on alumina substrates, prepared by CSD from acetate-alkoxide based sols with 24-h reflux were performed in radio frequency range by patterning planar capacitors on the film surface and in microwave frequency range by split-post dielectric resonator method. The relaxorlike behavior of dielectric properties, which has not been determined in $K(Ta,Nb)O_3$ thin films previously, was unambiguously confirmed by the fit to the Vogel-Fulcher law.

The CaCu₃Ti₄O₁₂ thin films were prepared from the nitrate-alkoxide based solutions. The films, prepared by rapid annealing at 750 °C of the as-deposited layers consisted of equiaxed grains of a few 10 nm. By introducing a nucleation layer, the microstructure with columnar grains of a few 100 nm across was obtained. The RT value of dielectric permittivity of the granular films was about 1100 at 1 kHz, more than five times larger than that of the columnar films. The temperature dependence of dielectric permittivity of the films could be tailored by post-annealing in different atmospheres.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Raziskave funkcijskih keramičnih materialov brez svinca so pomembne za tako za Slovenijo kot za Evropsko skupnost, kar je posledica ne le čedalje večjega zavedanja družbe o nujnosti varovanja okolja in zdravja temveč tudi ustreznih zakonodajnih okvirov v Evropski skupnosti, predvsem Direktive o omejitvi uporabe nevarnih snovi (Restriction of Hazardous Substances Directive - RoHS, 2002/95/EC) in Direktive o odpadni električni in elektronski opremi (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive - WEE, 2002/96/EC). Raziskave feroelektričnih tankih plasti na osnovi kalijevega natrijevega niobata imajo poudarek na odvisnosti funkcijskih lastnosti od mikrostrukture, kemijske homogenosti in od usmerjenosti perovskitne faze.

Raziskave plasti kalijevega tantalata niobata so bile usmerjene v študij dielektričnih lastnosti od radiofrekvenčnega do mikrovalovnega področja v odvisnosti od homogenosti mikrostrukture z možnostjo uporabe kot aktivni elementi v mikrovalovnih antenah. Pri raziskavah plasti kalcijevega bakrovega titanata smo spremljali odvisnost dielektričnosti od mikrostrukture. V vseh treh primerih smo pokazali, da lahko dosežemo boljše funkcijske lastnosti plasti z optimizacijo mikrostrukture.

Člani projektne skupine smo oziroma so bili aktivni v slovenskih Centrih odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije (vodja: prof. Tomaž Rodič), Nanocenter (vodja: prof. Dragan Mihailović) in NAMASTE: Napredni materiali in tehnologije prihodnosti (vodja: prof. Marija Kosec). Znanje, ki smo ga pridobili v projektu, je prispevalo tudi k znanju v vseh treh centrih. Kot primer naj navedemo raziskave tankoplastnih kondenzatorjev z napetostno odvisno kapacitivnostjo na osnovi kalijevega tantalata niobata kot faze sukalnike v mikrovalovnih antenah, kjer v okviru Centra odličnosti VESOLJE v delovnem sklopu Satelitske komunikacije, hibridne antene in radar, sodelujemo z Laboratorijem za sevanje in optiko Fakultete za elektrotehniko. Partner v sklopu je še podjetje Iskra TELA. Raziskave so pomembne tudi za naše vključevanje v projekte Evropske vesoljske agencije.

ANG

Research of lead-free piezoelectric materials is important for Slovenia and for the EU, which is a consequence of the increased awareness of the society in regard of protection of environment and health and also of the legislation within the EU, namely Restriction of Hazardous Substances Directive (RoHS, 2002/95/EC) and Waste Electrical and Electronic Equipment Directive - (WEE, 2002/96/EC). The research of thin films based on sodium potassium niobate focused on the correlation of microstructure, chemical homogeneity and orientation of the perovskite phase and functional properties of thin films. In calcium copper titanate thin films the relation between the microstructure and the frequency dependent dielectric permittivity was established. The research of potassium tantalate niobate films included dielectric properties from radio frequency to microwave range with a possibility of application as active elements in microwave antennas. Members of the research team have been active in Slovenian Centres of Excellence SPACE: Science and technology (coordinator: Prof. Tomaž Rodič), NANOCENTER (coordinator: Prof. Dragan Mihailović) and NAMASTE: Advanced Materials and Technologies for the Future (coordinator: Prof. Marija Kosec). The knowledge and expertise gained within the project has contributed also to research aims of the three centres. For example, the research on thin film voltage tunable capacitors based on potassium tantalate niobate as phase shifters in microwave antennas has taken place also within the Centre of Excellence SPACE, Workpackage Satellite communications, hybrid antennas and radar together with the Laboratory for radiation and optics, Faculty for Electronics, University of Ljubljana. The company Iskra TELA, producer of antennas, is also a partner. The research is important also for possible collaboration in the projects of the European Space Agency.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem 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!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega 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="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

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	Sofinancer		
	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			
2.	Sofinancer		
	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			
3.	Sofinancer		
	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			

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, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> 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:

Barbara Malič	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

21.4.2011

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/113

¹ Zaradi spremembe klasifikacije družbeno ekonomskih ciljev je potrebno v poročilu opredeliti družbeno ekonomski cilj po novi klasifikaciji. [Nazaj](#)

² Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti 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 (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMZL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates β 2 - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁷ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [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/prepišite 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](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2011-1 v1.01

E6-CE-70-B9-3D-4D-73-7A-38-EF-4E-D6-14-00-20-C8-2B-4C-94-1E