

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/138



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-4273
Naslov projekta	Oksidne pasivne in aktivne komponente za transparentno elektroniko
Vodja projekta	4587 Barbara Malič
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije 2.09.01 Materiali za elektronske komponente
Družbeno-ekonomski cilj	04. Prevoz, telekomunikacije in druga infrastruktura
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

Transparentna elektronika za vsakdanjo uporabo naj bi vsebovala prozorna elektronska vezja in povezave na prozornih podlagah. Namen projekta je bil izdelati transparentne elektronske komponente in sicer kondenzatorje in tankoplastne tranzistorje (thin film transistor, TFT) s sintezo iz raztopine pri temperaturah, ki omogočajo uporabo steklenih podlag, to je manj kot 500 oC. Poleg priprave plasti prevodnih oksidov in dielektrikov iz raztopine z metodo vrtenja smo strukture oblikovali tudi brizgalnim tiskanjem. Nadalje je bil naš namen povezati kemijsko

sestavo in pogoje priprave, kemijsko in fazno sestavo, mikrostrukturo ter električne in optične lastnosti.

Materiali, ki smo jih raziskovali, so bili prevodni oksidi (transparent conductive oxides, TCO) n-tipa, predvsem sestave na osnovi ZnO-SnO₂ v različnih molskih razmerjih. Materiali, ki so sestavni del transparentnih komponent, so dielektriki z veliko dielektričnostjo, v našem primeru Ta₂O₅ in Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃ v molskem razmerju Ta:Al:Si = 8:1:1. Plasti izbranih oksidov smo pripravili iz kovinskih alkoxidov ali acetatov v ustreznih alkoholih s sintezo iz raztopine na izbrane podlage (silicij, platinizirani silicij, steklo, steklo s prevodno plastjo indij-kositrovega oksida, ITO). Za oblikovanje struktur z brizgalnim tiskanjem smo pripravili tekočine s primernimi reološkimi lastnostmi, kar smo dosegli z izborom topil z različnimi viskoznostmi v ustreznih volumenskih razmerjih. Pri temperaturah segrevanja, ki niso presegale 400 oC, so bile plasti na osnovi ZnO-SnO₂ in dielektrikov rentgensko amorfne, z majhno vertikalno hrapavostjo, plasti na steklu so izkazovale veliko optično prepustnost v vidnem delu spektra. Električna prevodnost plasti in tiskanih struktur na osnovi ZnO-SnO₂ je bila prenizka za možno uporabo. Dielektričnost plasti Ta₂O₅ na platiniziranem siliciju, segretil pri 400 oC je bila ≈27, vrednost za Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃ pa ≈22, tok puščanja je bil pri plasteh iz mešanice oksidov izrazito nižji.

Izdelali smo prozorni kondenzator, sestavljen iz dielektrika Ta₂O₅ na podlagi ITO/steklo in z napršenimi elektrodami Au/Cr. Plast dielektrika debeline približno 100 nm smo pripravili z nanašanjem raztopine na podlago z vrtenjem ali oblikovali v strukturo z dimenzijami 500 x 500 mikrometrov z brizgalnim tiskanjem, ter v obeh primerih segrevali pri 400 oC. Dielektričnost plasti je bila okrog 20.

Strukturo TFT smo izdelali tako, da smo na podlago platiniziranega silicija (vrata) natiskali plast dielektrika (1 mm x 1 mm), na to natiskali plast polprevodnika ZnO-SnO₂, in v obeh primerih po nanosa segrevali pri 400 oC. Za izvor in ponor smo natiskali komercialno srebrovo črnilo.

Z integracijo plasti Ta₂O₅ in Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃, segretil pri 300 in 350 oC, v TFT-je na steklenih podlagah z izkazanim razmerjem vklop/izklop > 10⁸, smo potrdili, da imajo plasti dielektrikov, pripravljenih iz raztopine primerne električne lastnosti za uporabo v aktivnih elektronskih komponentah.

ANG

Transparent electronics for everyday applications should contain invisible electronic circuitry deposited on transparent and in some cases also flexible substrates. The goal of the project is to realize transparent electronic components, such as transparent capacitors and thin film transistors (TFTs) from solutions at temperatures that enable use of temperature sensitive substrates, such as glass, i.e. below 500 oC. Beside chemical solution deposition (CSD) of thin films by spin coating also patterning of 2D-structures by inkjet printing was employed. The aim is to correlate the chemical composition and the conditions of the processing, the chemical and phase composition, and microstructure, and the electrical and optical properties.

The studied materials included transparent conductive oxides (TCOs), mainly those based on ZnO-SnO₂ in different molar ratios, and high-K dielectrics based on Ta₂O₅ and Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃ with Ta:Al:Si atom ratio = 8:1:1. Thin films of selected oxides were deposited by CSD from metal alkoxide- or acetate- containing organic solutions on different substrates: silicon, platinized silicon, borosilicate glass, indium-tin oxide (ITO) covered glass. To formulate the inks for inkjet printing, viscosity and surface tension of coating solution were adjusted by the addition of highly viscous alcohols. Upon heating at temperatures not exceeding 400 oC the films of both TCOs and dielectrics were amorphous, with low vertical roughness, and when deposited on glass they exhibited high optical transmittance in the visible range. Conductivity of the films and printed structures based on ZnO-SnO₂ was too low for possible use. The dielectric permittivity of Ta₂O₅ and Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃ films was ≈27 and ≈22, respectively, and the leakage current was lower for the mixed-oxide dielectrics.

A transparent capacitor, consisting of a Ta₂O₅ dielectric on ITO/glass substrate with sputtered Au/Cr electrodes was prepared. The about 100 nm thick dielectric layer was either deposited by spin-coating or by inkjet printing the pattern of 500 x 500 micrometers and heating at 400 oC. In both cases, the dielectric permittivity was about 20.

For a TFT structure, a dielectric layer (1 mm x 1 mm) was inkjet printed on platinized silicon (gate), and on top of it a layer of ZnO-SnO₂. Each as-deposited layer was heated at 400 oC. Commercial silver ink was inkjet printed as source and drain electrodes.

By integrating Ta₂O₅ and Ta₂O₅-SiO₂-Al₂O₃, heated at 300 and 350 oC, into TFTs deposited on glass substrates, with the on/off ratio exceeding 10⁸, it was confirmed that solution-derived high-K dielectric films are suitable for use in active electronic components.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Namen projekta je bil izdelati transparentne elektronske komponente, in sicer kondenzatorje in tankoplastne tranzistorje (TFT) iz raztopin brez dodatnih stopenj litografije, torej z direktnim oblikovanjem struktur. V takem postopku bomo samo spodnjo plast nanесли z metodo vrtenja, ostale bomo tiskali. Plasti posameznih prevodnih oksidov in dielektrikov, ki jih bomo pripravili z metodo vrtenja, bomo analizirali in njihove lastnosti nam bodo služile kot referenčne vrednosti za strukture, ki jih bomo pripravili s tiskanjem. Nadalje je bil naš namen ugotoviti zvezo med kemijsko sestavo, izborom reagentov in pogoji priprave plasti in struktur oksidnih polprevodnikov in dielektrikov in posledično kemijsko, fazno sestavo in mikrostrukturo ter predvsem njihovimi električnimi in optičnimi lastnostmi.

Projekt je bil razdeljen v tri delovne sklope.

V prvem sklopu **DS1: Tekoči prekurzorji in njihova karakterizacija** smo raziskovali dve skupini materialov, in sicer prevodne okside n-tipa in dielektrike z veliko dielektričnostjo ('high-K dielectrics'). Med prevodnimi oksidi smo raziskali okside na osnovi In₂O₃-ZnO (IZO), in glede na to, da v svetu primanjkuje indija in posledično njegova cena narašča, tudi sistem ZnO-SnO₂ (ZTO) in sicer okside v molskih razmerjih Zn/Sn = 2/1, 1/1, in 1/2. Kot dielektrike smo raziskovali tako Ta₂O₅, za katerega je poleg velike kemijske obstojnosti značilen še relativno velik tok puščanja mešani oksid Ta₂O₅-Al₂O₃-SiO₂ z molskim razmerjem Ta:Al:Si = 8:1:1 (v nadaljevanju 8:1:1). Kot podlage smo uporabili platinizirani silicij, silicij, borosilikatno steklo in steklo s prevleko prevodnega In₂O₃-SnO₂ (ITO).

Tekoče prekurzorje za nanašanje tankih plasti z metodo vrtenja smo sintetizirali iz alkoksidnih in acetatnih reagentov po sol-gel metodi v ustreznih alkoholnih topilih. Pri vzorcih 8:1:1 smo po predhodnih eksperimentih, ki so pokazali nizko reaktivnost reagenta silicijevega etoksida v primerjavi s tantalovim in aluminijevim alkoksidom, prvega predhodno aktivirali s kontrolirano kislinsko katalizirano hidrolizo. Tekočine za tiskanje s piezoelektričnim tiskalnikom Dimatix morajo imeti vrednosti viskoznosti in površinske napetosti v območjih ≈ 10 mPa.s in ≈ 30 mN/m. Kot izhodišče smo imeli raztopine za nanos tankih plasti, ki so imele sicer primerno površinsko napetost, vendar predvsem izrazito prenizko viskoznost, okrog 1-2 mPas, zato smo se posvetili povečevanju viskoznosti z dodatkom bolj viskoznih topil. V primeru prevodnih oksidov smo dodali 1,3 propandiol v volumskem razmerju z osnovnim eter-alkoholom (2-metoksitanol) 0.55:0.45. Poleg 1,3 propandiola smo pri pripravi tekočin za tiskanje dielektrikov uporabili še glicerol. Slednji se je namreč izkazal kot primeren dodatek za povečevanje viskoznosti pri pripravi koloidnih disperzij.

V sklopu **DS2: Nanašanje tankih plasti in diskretnih 2D struktur in njihova karakterizacija** smo na osnovi termičnega razpada sušenih prekurzorjev, ki smo ga spremljali s termično analizo, določili program segrevanja tankih plasti in tiskanih struktur. Plasti smo pripravili z metodo vrtenja in segrevali do temperature, ki niso presegale 450 oC (IZO) oziroma 400 oC (ZTO, Ta₂O₅, 8:1:1). Tanke plasti na osnovi In₂O₃-ZnO in ZTO smo pripravili na silicijevih in steklenih podlagah, debeline plasti so bile do nekaj 100 nm. Vzorci so bili po segrevanju rentgensko amorfni, po analizi z infrardečo spektroskopijo niso vsebovali organskih nečistoč. Vzorci plasti ZTO na steklu so izkazovali optično prepustnost v vidnem delu spektra, ki je presegala 90 %. Električna prevodnost vzorcev je bila prenizka za možno uporabo, najboljše rezultate smo dosegli pri sestavi ZTO 2:1.

Tanke plasti dielektrikov Ta₂O₅ in 8:1:1 so bile po segrevanju do največ 400 oC rentgensko amorfne. V sodelovanju z dr. Janezom Kovačem, IJS Z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo plasti po globini smo potrdili sledove ogljika kot ostanka razpada organskih spojin, v plasteh, ki so bile segrevane po 2 minuti po vsakem nanosu, medtem ko se delež ogljika izrazito zmanjšal, če smo čas segrevanja podaljšali na 10 oziroma 30 minut. Prisotnost ogljika je potrdila tudi Ramanska spektroskopija izbranih plasti, ki jo je opravil dr. Marco Deluca, Montanuniversitaet Leoben, Avstrija. V sodelovanju s prof. Andreasom Kleinom, Tehniška univerza Darmstadt, Nemčija, smo z in-situ eksperimenti določili prileganje energijskih pasov ('band alignment') na medpovršini dielektrika s prevodnima rutenijevim oksidom in indijevim kositrovim oksidom (ITO). Vertikalna hrapavost plasti je bila pod 0,5 nm. Plasti na steklenih podlagah so izkazovale visoko optično prepustnost v vidnem delu spektra. Dielektričnost plasti Ta₂O₅ na platiniziranem siliciju je bila ≈ 27 , kar je primerljivo z objavljenimi rezultati z literature, vrednost za 8:1:1 pa ustrezno nižja, ≈ 22 , zaradi dodatka oksidov z nižjo dielektričnostjo. Z nižjo temperaturo segrevanja se je dielektričnost nižala, vendar bolj izrazito za Ta₂O₅. Tok puščanja vzorcev 8:1:1 je bil izrazito nižji od vrednosti Ta₂O₅, padal je tudi z nižjo temperature segrevanja. Vzorci, segreti pri 300 oC, so izkazali tok

puščanja $\approx 10^{(-6)}\text{A/cm}^2$. Pri izvedbi in interpretaciji električnih meritev je bilo izjemnega pomena sodelovanje s projektnim partnerjem, skupino prof. Marka Topiča, Fakulteta za elektrotehniko, UL. Analiza mehanizma prevajanja plasti dielektrikov je pokazala, da je le-ta odvisen tako od sestave kot od temperature segrevanja.

Tiskane strukture ZTO 2:1 in 8:1:1 smo pripravili iz tekočin z dodatkom 1,3-propandiola ali glicerola. Za posamezno tekočino smo optimizirali pogoje tiskanja, predvsem obliko signala (waveform), napetost na piezoelektričnem aktuatorju, temperature rezervoarja tekočine, temperature podlage, razdaljo med rezervoarjem in podlago ter razdaljo med kapljami. Tekočine so izkazovale dobro časovno stabilnost. Takoj po tiskanju so imele strukture ZTO dimenzije $1 \times 1 \text{ mm}^2$ in $2 \times 2 \text{ mm}^2$, vendar so se po sušenju pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$ in nadalje pri žganju pri $400 \text{ }^\circ\text{C}$ precej skrčile, robovi pa so se zaoblili. Podobno kot pri tankih plasteh je bila prevodnost tiskanih struktur ZTO nizka. Podobno smo pri tiskanih strukturah dielektrika Ta₂O₅ zaznali krčenje in zaobljenje robov po sušenju. Za pripravo približno 80 nm debelih struktur smo tekočino tiskali dvakrat. Strukture, segrete pri $350 \text{ }^\circ\text{C}$, so imele dielektričnost primerljivo vrednostim, ki so jih izkazovale primerljivo debele plasti.

V okviru sklopa **DS3: Elektronske komponente (transparentni kondenzator, TFT)** smo najprej izdelali prozorni kondenzator, sestavljen iz dielektrika Ta₂O₅ na podlagi ITO/steklo in z napršenimi elektrodami Au/Cr. Plast dielektrika smo pripravili s ponavljanjem postopka nanosa raztopine na podlago z vrtenjem, sušenja pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 min in segrevanja pri $400 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 min do debeline $\approx 100 \text{ nm}$. Dielektričnost plasti je bila okrog 20, tok puščanja je bil $\approx 4 \times 10^{(-7)}\text{A/cm}^2$ pri 100 kV/cm^2 , optična prepustnost v vidnem delu spektra je bila $>70 \%$.

Kondenzatorje z lateralnimi dimenzijami 500×500 mikrometrov smo oblikovali tudi z dvakratnim tiskanjem tekočine 8:1:1 na ITO /steklo pri optimalnih parametrih (napetost 21 V, razdalja med kapljami 20 mikrometrov), sušenjem pri $150 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 min in segrevanjem pri $350 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 min. Napršili smo zgornje elektrode Cr/Au (premer 0,4 mm). Dielektričnost je bila okrog 20, torej primerljiva z vrednostmi, ki jih izkazujejo plasti, pripravljene z metodo vrtenja.

Tanke plasti dielektrikov na osnovi tantalovega oksida so izkazovale primerne električne in optične lastnosti za uporabo v pasivnih komponentah.

Poskusili smo pripraviti TFTje s tiskanjem, pri čemer smo kot podlago uporabili platinizirani silicij, torej je platina služila kot vrata (gate). Na podlago smo natiskali plast dielektrika 8:1:1 z dimenzijami $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ s tekočino, ki je vsebovala glicerol. Da bi dosegli primerno debelino nekaj 100 nm, smo postopek tiskanja, sušenja in segrevanja pri $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ponavljali. Opazili smo, da z naraščajočo debelino narašča možnost pojava razpok, čemur smo se izognili s tiskanjem plasti iz bolj razredčenih tekočin, s čimer smo zmanjšali debelino posameznega nanosa. Plast polprevodnika ZTO 2:1, ki smog a pripravili sami, ni imela dovolj velike prevodnosti, zato smo uporabili tekočino za tiskanje ZTO 2:1 z drugačno formulacijo organskih topil in dodatkov, ki nam jo je odstopil dr. Gerhard Domann, Fraunhofer Institut fuer Silicatforschung, Wuerzburg, Nemčija. Tudi v tem primeru tiskana struktura po toplotni obdelavi ni obdržala oblike in imela debelejša robove kot sredino. Na površino plasti ZTO smo nadalje natisnili še elektrodi izvor in ponor s komercialnim srebrovim črnilom (SunTronic U5714). Zaključili smo, da bi za tiskanje večplastnih struktur s pravilno geometrijo in z debelinami med nekaj 10 nm in nekaj 100 nm morali še bolj optimirati tako formulacijo tekočin za tiskanje kot pogojev tiskanja.

Nadalje smo v sodelovanju z dr. Pedrom Barqinha, Univerza Nova, Lizbona, Portugalska v okviru projekta 7OP ORAMA preverili, če bi dielektrika Ta₂O₅ in 8:1:1, pripravljena s segrevanjem pri 300 in $350 \text{ }^\circ\text{C}$, lahko uporabili kot dielektrični plasti v TFT-jih na steklenih podlagah. TFT s plastjo dielektrika in kanalom polprevodnika galijevega indijevega cinkovega oksida (GIZO), pripravljenega z naprševanjem, ter izvorom in ponorom iz Au/Ti, je izkazoval dobre funkcijske lastnosti: razmerje vklop /izklop večje od 10^8 , pragovno napetost delovanja med -1 in 0 V , in mobilnost (angl.: *field-effect mobility*) večjo od $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Tako plasti Ta₂O₅ kot 8:1:1 so imele primerne lastnosti za uporabo v TFT-jih. Precej veliko histerezo prenosne karakteristike v nasprotni smeri urnega kazalca smo povezali s prisotnostjo sledov organskih snovi v plasteh dielektrikov, kot smo predhodno opisali v DS 1. Ko smo povečali čas segrevanja plasti, je histereza skoraj izginila. Posledično smo tako dosegli dobro delovanje TFT-jev, ki vključujejo plasti dielektrikov, pripravljenih s sintezo iz raztopine pri samo $300 \text{ }^\circ\text{C}$, s čimer smo potrdili njihovo uporabnost v aktivnih elektronskih komponentah.

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

Namen projekta, ki je bil razdeljen v tri delovne sklope, je bil izdelati transparentne elektronske komponente, in sicer kondenzatorje in tankoplastne tranzistorje (TFT) iz raztopin brez dodatnih stopenj litografije, torej z direktnim oblikovanjem struktur. Nadalje je bil naš namen ugotoviti zvezo med kemijsko sestavo, izborom reagentov in pogoji priprave plasti in struktur oksidnih polprevodnikov in dielektrikov in posledično kemijsko, fazno sestavo in mikrostrukturo ter predvsem njihovimi električnimi in optičnimi lastnostmi.

Projekt smo smiselno razdelili na posamezne kazalnike, ki so sledili ciljem posameznih delovnih sklopov, zato jih tu posebej ne navajamo, poleg tega smo si postavili mejnike za posamezne sklope, ki jih s komentarji navajamo v nadaljevanju.

M1.1: Tekočine za tiskanje TCO in dielektrikov z dovolj veliko časovno stabilnostjo in ciljnim lastnostmi, ki so potrebne za tiskanje struktur z majhno hrapavostjo in izbranimi dimenzijami smo dosegli.

M2.1: Tiskane strukture dielektrikov s ciljnim materialnimi in funkcijskimi lastnostmi smo dosegli. Glede na to, da je tiskanje struktur debeline nekaj 10 nm izrazito novo raziskovalno področje z malo objavljenimi članki, ocenjujemo to, da smo pripravili tiskane plasti dielektrikov z debelino okrog 80 nm in dielektričnostjo, ki je primerljiva vrednosti, ki jo imajo tanke plasti, pripravljene s sintezo iz raztopine ali z nanosom iz parne faze, kot dober rezultat.

M2.2: Tiskane strukture TCO s ciljnim materialnimi in funkcijskimi lastnostmi smo delno dosegli. Tiskane strukture na osnovi prevodnih oksidov z majhno relativno hrapavostjo smo pripravili. Na steklenih podlagah so izkazovale veliko optično prepustnost v vidnem delu spektra, vendar je bila električna prevodnost prenizka, zato nadaljujemo s poskusi dopiranja materialov na osnovi ZnO.

M3.1: Delujoč transparentni kondenzator smo dosegli, tako s tehnologijo nanašanja plasti iz raztopine z vrtenjem kot z brizgalnim tiskanjem

M3.2: Delujoč transparentni TFT smo le delno dosegli. TFT smo izdelali iz raztopin dielektrika in polprevodnika s kombinacijo tehnologij vrtenja in tiskanja, prevodne plasti (vrata, izvor, ponor) so bili kovinski. Problem je premajhna prevodnost plasti ZTO. Smo pa v sodelovanju s kolegi iz Portugalske potrdili primernost naših plasti dielektrikov, pripravljenih pri samo 350 oC, v TFTjih, pri katerih so bile ostale plasti pripravljene z nanosom iz parne faze in oblikovane z litografijo.

Rezultate raziskav smo objavili v štirih znanstvenih člankih in treh referatih, objavljenih v zbornikih konferenc.

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

Odstopanj od programa ni bilo. Do sprememb sestave projektne skupine je prišlo izključno zaradi prenehanja zaposlitve sodelavcev (povečini postdoktorskih) na projektu. Sprememba sestave projektne skupine ni vplivala na potek dela, saj smo delo prerazporedili bodisi na nove sodelavce ali na ostale sodelavce projektne skupine, tako, da so lahko aktivnosti na projektu potekale nemoteno naprej.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	27297831	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tanke plasti na osnovi dielektrika Ta ₂ O ₅ s sintezo iz raztopine, pripravljene pri nizkih temperaturah
		ANG	Ta ₂ O ₅ -based high-K dielectric thin films from solution processed at low temperatures
	Opis	SLO	Študirali smo tanke plasti dielektrikov na osnovi Ta ₂ O ₅ in Ta ₂ O ₅ - Al ₂ O ₃ - SiO ₂ z molskim razmerjem Ta:Al:Si = 8:1:1, ki smo jih pripravili pri temperaturah do 400 oC s sintezo iz raztopine na podlagah platiniziranega silicija. Plasti so bile rentgensko amorfne. Hrapavost površin ni presegala 0.5 nm. Dielektričnost plasti na osnovi mešanice oksidov, segretyh pri 300 - 400 oC, je bila med 19 in 22. Meritve toka v odvisnosti od napetosti so pokazale, da je tok puščanja plasti na osnovi mešanice oksidov pri izbrani temperature vedno nižji kot za sam Ta ₂ O ₅ .
		ANG	The properties of high-K dielectric films of Ta ₂ O ₅ and the ternary composition Ta ₂ O ₅ - Al ₂ O ₃ - SiO ₂ with the Ta:Al:Si = 8:1:1 atomic ratio prepared by Chemical Solution Deposition on platinized silicon at temperatures not exceeding 400 oC were studied. All thin films were amorphous, and had smooth and flat surfaces with the average roughness of below 0.5 nm. The mixed oxide samples heated between 300 oC and 400 oC showed little difference in the dielectric permittivity with the values ranging from about 19 to 22. The current-voltage measurements revealed considerably improved characteristics of the Ta ₂ O ₅ - Al ₂ O ₃ - SiO ₂ samples within the investigated heating temperature range, with a significant overall decrease of the leakage currents in contrast to that of the pure Ta ₂ O ₅ thin films.
	Objavljeno v	Pergamon; Materials research bulletin; 2014; Vol. 50; str. 323-328; Impact Factor: 1.968; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; WoS: PM; Avtorji / Authors: Frunza Raluca-Camelia, Kmet Brigita, Jankovec Marko, Topič Marko, Malič Barbara	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	27169831	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tanke plasti na osnovi dielektrika Ta ₂ O ₅ s sintezo iz raztopine za transparentne elektronske komponente
		ANG	Solution-derived Ta ₂ O ₅ -based dielectric thin films for transparent electronic devices
	Opis	SLO	V delu so opisane lastnosti plasti tankoplastnih kondenzatorjev na osnovi Ta ₂ O ₅ na steklenih podlagah s prevodno plastjo In ₂ O ₃ -SnO ₂ , ki smo jih pripravili s segrevanjem pri 400 oC. Analiza površine z XPS je potrdila prisotnost oksidov. Plasti so bile amorfne. Površina plasti je bila gladka, s hrapavostjo 0,2 nm (rms), medtem ko je bila hrapavost podlage 1 nm.

		Optična prepustnost struktur v vidnem delu spektra je presegala 70 %. Vrednosti dielektričnosti plasti, debelih okrog 120 nm, so bile med 19 za Ta ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃ -SiO ₂ in 25 za Ta ₂ O ₅ .
	ANG	The present study reports on the preparation of solution-derived Ta ₂ O ₅ -based high-K dielectric thin films suitable for transparent electronic devices. Thin films of the ternary composition Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ with the Ta:Al:Si = 8:1:1 atomic ratio and pure Ta ₂ O ₅ were processed at 400 °C. The XPS surface composition analysis showed that the surfaces of both films were fully oxidized. The samples were amorphous, and had smooth and flat surfaces with low average roughness. In the visible range they exhibited optical transparency higher than 70%. Their dielectric permittivity values were in the range from 19 to 25.
	Objavljeno v	MIDEM - Society for Microelectronics, Electronic Components and Materials; Proceedings; 2013; Str. 239-244; Avtorji / Authors: Frunza Raluca-Camelia, Kmet Brigita, Rachut Karsten, Jankovec Marko, Topič Marko, Klein Andreas, Malič Barbara
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	24566311 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Brizgalno tiskanje dvodimenzionalnih struktur In ₂ O ₃ /ZnO iz raztopine
	ANG	Ink-jet printing of In ₂ O ₃ /ZnO two-dimensional structures from solution
	Opis	SLO S piezoelektričnim brizgalnim tiskanjem smo pripravili plastne strukture In ₂ O ₃ -ZnO in jih segrevali pri 150 oC in pri 450 oC. Viskoznost in površinsko napetost raztopine heterometalnega prekursorja smo prilagodili zahtevam tiskalnika. Optimizirali smo pogoje tiskanja, tako da smo dosegli ločljivost 40 mikrometrov na podlagah stekla in SiO _x /Si. Strukture so bile po segrevanju pri 150 oC amorfne, pri 450 oC pa kristalinične.
	ANG	In ₂ O ₃ -ZnO two-dimensional structures were patterned by piezoelectric inkjet printing and heating at 150 oC and 450 oC. Viscosity and surface tension of the ink were adapted to the printer requirements. The printing parameters were optimised to reach the 40 micrometers resolution on glass and SiO _x /Si substrates. The patterned structures were amorphous or crystalline upon heating at 150 oC or 450 oC, respectively.
	Objavljeno v	American Ceramic Society; Journal of the American Ceramic Society; 2011; Vol. 94, no. 9; str. 2834-2840; Impact Factor: 2.272; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.774; A': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Tellier Jenny, Malič Barbara, Kuščer Danjela, Trefalt Gregor, Kosec Marija
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25158439 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Priprava vodne suspenzije titanovega oksida in oblikovanje struktur z brizgalnim tiskanjem
	ANG	Formulation of an aqueous titania suspension and its patterning with ink-jet printing technology
	Opis	SLO V članku je opisan postopek priprave okolju prijaznih vodnih suspenzij nano-strukturnih delcev kovinskih oksidov in v nadaljevanju oblikovanje plastne strukture z metodo brizgalnega tiskanja. Kritične stopnje postopka vključujejo pripravo in stabilizacijo nano-delcev v tekočem mediju in prilagajanje fizikalnih lastnosti suspenzije, ki so nujne za uspešno tiskanje. Za poskuse tiskanja modelnega sistema delcev titanovega oksida sta bili viskoznost in površinska napetost suspenzije modificirani z dodatkom površinsko aktivnih snovi in glicerola. Določeni so bili pogoji tiskanja, ki so

		omogočili ponovljivo tiskanje plastnih struktur.
	ANG	The paper describes a protocol for processing cost-beneficial, environmentally benign aqueous-type suspensions containing metal-oxide nanostructured particles, and their patterning with piezoelectric ink-jet printing technology. The critical issues relevant to ink-jet printing are the preparation and stabilization of nanosized particles in a fluid and adjusting its physical properties to the values appropriate for a particular ink-jet printer mechanism. For the ink-jet printing experiments of a model titania system, the surface tension and the viscosity of the suspension were modified by the addition of a small amount of the appropriate non-ionic amphiphiles and glycerol. The printing parameters which allowed reproducible patterning of 2D-structures were determined.
Objavljeno v		American Ceramic Society; Journal of the American Ceramic Society; 2012; Vol. 95, issue 2; str. 487-493; Impact Factor: 2.107; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.768; A': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Kuščer Danjela, Stavber Gaj, Trefalt Gregor, Kosec Marija
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek					
1.	COBISS ID	26235431 Vir: COBISS.SI				
	Naslov	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Električne lastnosti tankih plasti dielektrikov na osnovi tantalovega oksida, pripravljene pri nizkih temperaturah</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Electrical properties of solution derived tantalum oxide-based dielectric thin films processed at low temperatures</td> </tr> </table>	SLO	Električne lastnosti tankih plasti dielektrikov na osnovi tantalovega oksida, pripravljene pri nizkih temperaturah	ANG	Electrical properties of solution derived tantalum oxide-based dielectric thin films processed at low temperatures
SLO	Električne lastnosti tankih plasti dielektrikov na osnovi tantalovega oksida, pripravljene pri nizkih temperaturah					
ANG	Electrical properties of solution derived tantalum oxide-based dielectric thin films processed at low temperatures					
	Opis	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Prispevek je na konferenci Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 dobil nagrado za najboljši poster. Delo je študija električnih lastnosti tankih plasti Ta₂O₅ in Ta₂O₅ – Al₂O₃ – SiO₂ (molsko razmerje Ta:Al:Si = 8:1:1), pripravljenih s sintezo iz raztopine in segretil pri 250 oC, 300 oC, 350 oC in 400 oC. Plasti na osnovi mešanice oksidov so izkazale nižji tok puščanja kot plasti Ta₂O₅, kar pomeni, da bi bile primerne kot dielektriki v tankoplastnih tranzistorjih.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>The contribution at the Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 obtained the best poster award. The study of electrical properties of Ta₂O₅ and Ta₂O₅ – Al₂O₃ – SiO₂ (Ta:Al:Si = 8:1:1 atomic ratio), prepared by Chemical Solution Deposition and heated at 250 oC, 300 oC, 350 oC and 400 oC revealed that the mixed-oxide based thin films exhibited lower leakage currents than the pure Ta₂O₅ films.</td> </tr> </table>	SLO	Prispevek je na konferenci Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 dobil nagrado za najboljši poster. Delo je študija električnih lastnosti tankih plasti Ta ₂ O ₅ in Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (molsko razmerje Ta:Al:Si = 8:1:1), pripravljenih s sintezo iz raztopine in segretil pri 250 oC, 300 oC, 350 oC in 400 oC. Plasti na osnovi mešanice oksidov so izkazale nižji tok puščanja kot plasti Ta ₂ O ₅ , kar pomeni, da bi bile primerne kot dielektriki v tankoplastnih tranzistorjih.	ANG	The contribution at the Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 obtained the best poster award. The study of electrical properties of Ta ₂ O ₅ and Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (Ta:Al:Si = 8:1:1 atomic ratio), prepared by Chemical Solution Deposition and heated at 250 oC, 300 oC, 350 oC and 400 oC revealed that the mixed-oxide based thin films exhibited lower leakage currents than the pure Ta ₂ O ₅ films.
SLO	Prispevek je na konferenci Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 dobil nagrado za najboljši poster. Delo je študija električnih lastnosti tankih plasti Ta ₂ O ₅ in Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (molsko razmerje Ta:Al:Si = 8:1:1), pripravljenih s sintezo iz raztopine in segretil pri 250 oC, 300 oC, 350 oC in 400 oC. Plasti na osnovi mešanice oksidov so izkazale nižji tok puščanja kot plasti Ta ₂ O ₅ , kar pomeni, da bi bile primerne kot dielektriki v tankoplastnih tranzistorjih.					
ANG	The contribution at the Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 obtained the best poster award. The study of electrical properties of Ta ₂ O ₅ and Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (Ta:Al:Si = 8:1:1 atomic ratio), prepared by Chemical Solution Deposition and heated at 250 oC, 300 oC, 350 oC and 400 oC revealed that the mixed-oxide based thin films exhibited lower leakage currents than the pure Ta ₂ O ₅ films.					
	Šifra	E.02 Mednarodne nagrade				
	Objavljeno v	s. n.]; TCM 2012; 2012; Avtorji / Authors: Frunza Raluca-Camelia, Jankovec Marko, Malič Barbara, Strojnik Martin, Stoica Mihai, Kosec Marija				
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci				
2.	COBISS ID	28050215 Vir: COBISS.SI				
	Naslov	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Tanke plasti večkomponentnih oksidnih dielektrikov za transparentne elektronske komponente s sintezo iz raztopine</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Multicomponent solution-derived high-K dielectric thin films for transparent electronic devices</td> </tr> </table>	SLO	Tanke plasti večkomponentnih oksidnih dielektrikov za transparentne elektronske komponente s sintezo iz raztopine	ANG	Multicomponent solution-derived high-K dielectric thin films for transparent electronic devices
SLO	Tanke plasti večkomponentnih oksidnih dielektrikov za transparentne elektronske komponente s sintezo iz raztopine					
ANG	Multicomponent solution-derived high-K dielectric thin films for transparent electronic devices					
		Tanke plasti dielektrikov Ta ₂ O ₅ in Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (molsko razmerje Ta:Al:Si = 8:1:1), pripravljene s segrevanjem pri 300 in 350 oC, lahko uporabili kot dielektrični plasti v tankoplastnih tranzistorjih (TFT). Plasti v				

Opis	SLO	konfiguraciji kovina-dielektrik-polprevodnik smo karakterizirali z meritvami kapacitivnosti v odvisnosti od napetosti pri različnih frekvencah. TFT s plastjo dielektrika, pripravljenega iz raztopine, in kanalom polprevodnika galijskega indijskega cinkovega oksida (GIZO), pripravljenega z naprševanjem, je izkazoval dobre funkcijske lastnosti: razmerje vklop /izklop večje od 10^8 , pragovno napetost delovanja med -1 in 0 V, in mobilnost (angl.: field-effect mobility) večjo od $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Tako plasti Ta ₂ O ₅ kot 8:1:1 so imele primerne lastnosti za uporabo v TFT-jih.	
	ANG	Ta ₂ O ₅ and Ta ₂ O ₅ – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ (atomic ratio Ta:Al:Si = 8:1:1) thin films processed at 300 and 350 °C were studied for possible use as gate dielectrics in thin-film transistors (TFTs). Metal-insulator-semiconductor structures of the high-K dielectric layers were characterized by analyzing capacitance-voltage curves recorded at different frequencies. TFTs with the solution-derived gate insulators and sputtered gallium indium zinc oxide (GIZO) channel layer rendered good operating properties, such as on-off ratio above 10^8 , turn-on voltage between -1 and 0 V and field-effect mobility above $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Therefore, both Ta ₂ O ₅ and 8:1:1 thin films from solution proved to be suitable for TFT applications.	
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci		
Objavljeno v	s. n.]; IS-TCM 2014; 2014; Avtorji / Authors: Frunza Raluca-Camelia, Barquinha Pedro, Pereira Luis, Fortunato Elvira, Martins Rodrigo, Malič Barbara		
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci		
3.	COBISS ID	27755303	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Brizgalno tiskanje struktur dielektrika na osnovi Ta ₂ O ₅ iz raztopine	
	ANG	Inkjet printing of Ta ₂ O ₅ -based dielectric patterns from solution	
Opis	SLO	V prispevku smo predstavili brizgalno tiskanje 2D-struktur dielektrikov na osnovi Ta ₂ O ₅ za kondenzatorje in izolatorje v tankoplastnih tranzistorjih. Viskoznost in površinsko napetost organske raztopine kovinskega alkoksida, ki je bila sintetizirana za pripravo tankih plasti, smo prilagodili vrednostim, primernim za brizgalno tiskanje. Tekočine za tiskanje so bile stabilne. Nastavitve tiskanja, kot temperatura rezervoarja tekočine, oblika signala, razdalja med kapljami in temperatura podlage, smo prilagodili, da smo lahko natisnili 2D strukture na izbranih podlagah.	
	ANG	In the contribution patterning of 2D-structures of Ta ₂ O ₅ -based dielectrics for capacitors or gate insulators in thin-film transistors is presented. Alkoxide-based organic solutions originally designed for chemical solution deposition of thin films were modified in terms of surface tension and viscosity to be suitable for piezoelectric inkjet printing. All inks were stable and jetting even after long periods of time. The printing parameters including the temperatures of the cartridge, waveform, drop spacing, and the substrate temperature were adjusted to allow patterning of 2D structures on selected substrates.	
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci		
Objavljeno v	European Materials Research Society; E-MRS 2014 Spring Meeting, May 26th-30th, Lille, France S; 2014; Str. 55; Avtorji / Authors: Matavž Aleksander, Frunza Raluca-Camelia, Malič Barbara		
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci		
4.	COBISS ID	26234919	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Brizgalno tiskanje funkcijskih materialov	
	ANG	Ink-jet printing of functional materials	

Opis	SLO	Tema plenarnega predavanja na konferenci Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 je bilo direktno oblikovanje plastnih struktur funkcijskih materialov z brizgalnim tiskanjem, ki je aktualno področje raziskav. Strukturo lahko načrtujemo v računalniku, pri tiskanju porabimo malo materiala, saj ga nanašamo le tam, kjer ga potrebujemo. Tehnologijo je mogoče prilagoditi za tiskanje na velikih površinah. Brizgalno tiskanje lahko uporabimo za izdelavo tankoplastnih tranzistorjev, diod, sončnih celic in tako naprej. V tekočini za tiskanje je funkcijski material v obliki suspenzije (disperzije) ali raztopine. Med lastnostmi tekočin, ki kritično vplivajo na proces tiskanja, sta predvsem viskoznost in površinska napetost.
	ANG	The topic of the plenary lecture at the Transparent Conductive Materials (TCM) 2012 meeting was the use of ink-jet printing for patterning the structures of functional materials, which is currently a field of extensive research. The design of the structure is made directly in the computer, it needs low amounts of materials, it reduces wastes and costs, and the scalability to large area manufacturing is possible. Therefore the ink-jet printing technology found its use in a lot of different applications, like thin film transistors, light-emitting diodes, solar cells, and so on. In the printing ink, the functional material is either suspended or dissolved in a carrier liquid. The fluid properties of the ink which influence the drop formation include viscosity and surface tension.
Šifra	B.04	Vabljen predavanje
Objavljeno v	s. n.]; TCM 2012; 2012; Avtorji / Authors: Kosec Marija, Trefalt Gregor, Kuščer Danjela, Frunza Raluca-Camelia, Malič Barbara	
Tipologija	1.10	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine^Z

Vodja projekta Barbara Malič je bila soorganizatorica simpozija konference »E-MRS Spring Meeting – Conference« z naslovom »Solution processing and properties of functional oxide thin films and nanostructures« ki je potekala v Franciji, Lille, od 26. 5. 2014 do 30. 5. 2014.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine^B

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Transparentna elektronika predstavlja novo področje raziskav in tehnologij, ki temeljijo na prevodnih oksidih s primerno velikim prepovedanim pasom in dovolj veliko mobilnostjo nosilcev naboja in omogočajo izvedbo prozornih elektronskih komponent, na primer tankoplastnih tranzistorjev, česar s silicijevo tehnologijo ne moremo doseči. Tudi dielektriki morajo izkazovati primerno veliko dielektričnost in optično prepustnost. Glede na to, da je običajno podlaga steklo, so procesne temperature nizke, običajno pod 500 oC. Področje je novo in se intenzivno razvija.

Projekt je prispeval k znanju o pripravi komponent transparentne elektronike iz raztopin, predvsem plasti in 2D struktur dielektrikov na osnovi tantalovega oksida. Sestava raztopine za pripravo tankih plasti, nanašanje na podlago in program segrevanja so bili načrtovani tako, da so omogočili odstranjevanje funkcionalnih skupin pri nizkih temperaturah, zgoščevanje plasti in primerne električne lastnosti, primerljive z vrednostmi, značilnimi za plasti, pripravljene z nanosom iz parne faze. Plasti na osnovi tantalovega oksida, pripravljene pri temperaturah, ki niso presegale 400 oC, so izkazovale dobre funkcijske lastnosti za transparentne pasivne in aktivne komponente.

Reološke lastnosti raztopin kovinskih prekurzorjev smo prilagodili pogojem brizgalnega tiskanja

s piezoelektričnim tiskalnikom. Parametre tiskanja in pogoje segrevanja pri temperaturah, ki niso presegle 350 oC, smo optimizirali za tisk enakomernih plastnih struktur z dobrimi električnimi lastnostmi. Izdelali smo kondenzatorje na steklenih podlagah z električnimi lastnostmi, primerljivimi lastnostim kondenzatorjev, pripravljenih z metodo vrtenja. Za razvoj transparentnih tankoplastnih tranzistorjev potrebujemo kvalitetne amorfne dielektrike z veliko dielektričnostjo, pripravljene na steklenih podlagah pri nizkih temperaturah. Raziskali smo vpliv temperature segrevanja na strukturo, mikrostrukturo, optične in električne lastnosti tankih plasti na osnovi tantalovega oksida. Z njihovo integracijo v tranzistorje, ki so izkazali razmerje vklop /izklop večjim od 10^8 , smo potrdili njihovo primernost za uporabo v aktivnih elektronskih komponentah.

ANG

Transparent electronics encompasses a new field of research and technology based on oxide materials with a large enough band-gap and a high enough mobility of charge carriers - transparent conducting oxides (TCOs) which enable transparent electronic components, such as thin film transistors (TFTs), which cannot be realized by silicon technology. Also dielectrics employed in such components should exhibit high dielectric permittivity and high optical transmittance. Substrates, typically glass, require use of low processing temperatures, not exceeding 500 oC. This new research field has encountered extremely fast evolution in the last years.

This project contributed to knowledge on solution processing of components for transparent electronic devices, mainly on amorphous high-K dielectric Ta₂O₅-based thin films and 2D structures. The formulation of the coating solution and the processing were designed to enable the removal of functional groups at low temperatures, to densify the film and to obtain suitable electrical properties, comparable to those obtained by physical vapor deposition. The investigated Ta₂O₅-based thin films from solution processed at temperatures not exceeding 400 °C, exhibited promising properties for both transparent passive and active electronic devices.

The precursor solutions originally designed for CSD of thin films were further adapted for piezoelectric inkjet printing. The printing procedure and the heat treatment not exceeding 350 °C were optimized in order to pattern uniform structures with high electrical performance (dielectric permittivity, leakage current). The capacitors printed on glass showed an electrical performance comparable with the one of the spin coated thin films, and thus promising for further applications.

The development of transparent TFTs requires high-quality amorphous high-K dielectrics processed on glass substrates at low temperatures. The influence of heating temperature upon structural, microstructural, optical and electrical properties of the Ta₂O₅-based thin films was studied, and gave a proof of concept for their use in TFTs, which exhibited the on/off ratio exceeding 10^8 .

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Raziskave na področju transparentne elektronike so v veliki meri odvisne od aplikacij. Upogljive transparentne elektronske komponente in naprave za vsakdanjo uporabo vsebujejo tako pasivne kot aktivne komponente na osnovi prevodnih oksidov in dielektrikov z veliko dielektričnostjo in veliko optično prepustnostjo, ki jih večinoma izdelujejo s fizikalnimi metodami nanosa iz parne faze in oblikujejo z litografijo.

Priprava plastnih struktur iz raztopin je v primerjavi z metodami nanosa iz parne faze cenovno ugodna, omogoča hitro spreminjanje kemijske sestave plasti in posledično njihovih lastnosti. V projektu smo raziskali pripravo tankoplastnih komponent transparentne elektronike iz raztopin, pri čemer smo raztopine nanесли na podlage z metodo vrtenja ali pa smo direktno oblikovali izbrane strukture z brizgalnim tiskanjem. Slednje je učinkovita tehnologija oblikovanja struktur skoraj brez ostankov in je po našem mnenju zelo zanimiva za prenos v industrijo.

ANG

The research in the field of transparent electronics has been mainly application driven. Transparent electronics for everyday applications consisting of both passive and active components based on transparent conductive oxides and high-K dielectrics are usually processed by physical vapor deposition (PVD) and patterned by lithography. In contrast to PVD, chemical solution deposition (CSD) of thin films is cost efficient and it

enables quick modifications of chemical composition and thus properties. The project was focused on research of thin-film components of transparent electronics, processed from solutions. The films were prepared by CSD and spin-coating. Inkjet printing of inks with suitable rheological properties allowed direct patterning of 2D structures. The latter proved to be an efficient technology for patterning almost without residues and has got a strong potential for industrial use.

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
	<input type="text"/>

	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/varovanju 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="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					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					

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					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer			
1.	Naziv			
	Naslov			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

13.Izjemni dosežek v letu 2014¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V okviru projekta smo izjemni znanstveni dosežek izkazali v letu 2013 in ga vključili v predhodno poročilo.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

--

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Barbara Malič

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

16.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/138

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni

strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

6E-58-CC-1C-B6-A4-D1-1A-88-75-B8-DF-69-D5-57-23-AE-D3-40-59