

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/112



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

## 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

|  |   |
|--|---|
| <b>Šifra projekta</b>                          | Z7-4325   |
| <b>Naslov projekta</b>                         | Karakterizacija polprevodniških nanomaterialov za določanje njihovih optičnih in toplotnih parametrov z uporabo fototermičnega učinka |
| <b>Vodja projekta</b>                          | 31463 Dorota A. Korte   |
| <b>Tip projekta</b>                            | Z Podoktorski projekt   |
| <b>Obseg raziskovalnih ur</b>                  | 3400  |
| <b>Cenovni razred</b>                          | A   |
| <b>Trajanje projekta</b>                       | 07.2011 - 12.2013   |
| <b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>       | 1540 Univerza v Novi Gorici   |
| <b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b> |   |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>  | 7 INTERDISCIPLINARNE RAZISKAVE  |
| <b>Družbeno-ekonomski cilj</b>                 | 05. Energija  |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>   | 2 Tehniške in tehnološke vede<br>2.05 Materiali   |

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Nanomateriali (NM) so zaradi svojih edinstvenih lastnosti privlačni materiali za uporabo pri različnih industrijskih izdelkih, kot tudi na področjih kot je medicina. Izmed vseh proučenih parametrov NM so toplotne lastnosti najmanj raziskane, čeprav so zelo pomembne za razumevanje in izboljšanje uporabe NM predvsem v mikroelektroniki. Te lastnosti so odvisne od notranje strukture NM, vendar so njihove vrednosti, kot tudi spremembe zelo majhne in prav zaradi tega so za njihovo določevanje potrebne zelo občutljive in natančne metode merjenja.

Takšnim zahtevam zadoščajo merilne tehnike, ki temeljijo na optotermičnih (PT) učinkih. Med njih uvrščamo metodo optotermičnega odklona (PD). Temelji ona na sproščanju toplote, ob

periodičnem vzbujanju vzorca. Kot rezultat neradiacijske sprostitve energije, ki jo absorbira vzorec, se vzpostavi temperaturni gradient ter posledično sprememba fizikalnih parametrov vzorca in njegove okolice.

PD tehnika temelji na zaznavanju periodičnih temperaturnih sprememb v mediju, ki obdaja osvetljen vzorec, s pomočjo zaznave laserskega žarka na površju. Spremembe zaznamo kot moten laserski žarek s periodičnimi vplivi lomnega količnika, ki izhajajo iz temperaturnih sprememb. Zaznani signal je odvisen od termooptičnih ter prenosljivih parametrov vzorca.

Med nanomateriali, ki so bili proučevali v okviru predlaganih raziskav, materiali s fotokatalitičnimi lastnostmi, kot titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ ), ki je eden izmed najpogosteje raziskovanih in uporabljenih materialov. Ena od njegovih slabosti je visoka energijska vrzel, katera omejuje njegovo uporabo v vidnem delu spektra (UV). Slabost predstavlja tudi rekombinacija nosilcev naboja, ki se meri v nanosekundah. Zaradi navedenih lastnosti ima  $\text{TiO}_2$  omejeno fotokatalitsko aktivnost, zato je potrebno preoblikovati notranjo njegovo strukturo z dopiranjem ali modificiranjem lastnosti površine. Ta procesa povzročata spremembe tako toplotnih kot optičnih parametrov, ki omogočajo izboljšano fotokatalitsko aktivnost.

Druga skupina materialov, ki so bili proučevali v okviru predlaganih raziskav so organski polprevodniki in polprevodniki manjših molekul ter polkovinski tanki filmi za optoelektronsko uporabo. Sprememba njihove notranje strukture vodi do večjega učinka prenosa naboja kar privede do povišanja hitrosti delovanja naprave in zmanjšanja izgube energije. To so obetavni materiali za uporabo v visoko učinkovitih sončnih celicah. Sam učinek prenosa naboja pa je odvisen od gostote naboja in rekombinacije širjenja oziroma mobilnosti, ki je pogojena s specifično toploto in termalno difuzivnostjo polprevodnikov NM.

Cilji predlagane raziskave so bile usmerjeni na uporabo novih, zelo občutljivih PT metod za določanje toplotnih in optičnih parametrov nekaterih izbranih NM. Določili smo njihove optotermične parametre, kemijske sestave in strukturne značilnosti.

ANG

Nanomaterials (NMs) due to their unique properties became attractive materials for many purposes ranging from the applications in medicine to various industrial products. Among all the parameters of NMs, their thermal properties are the least extensively investigated, even though they are very important for understanding and improving materials properties and applicability. NMs properties depend on the structure of NMs but their variations are very subtle, therefore, highly sensitive and precise detection methods are required for their determination. These requirements are satisfied by the methods based on photothermal effects as photothermal deflection (PD) techniques. The general principle of all of photothermal techniques relies on the generation of heat by periodical excitation of the sample. As a result of the nonradiative relaxation of the energy absorbed by the sample, a temperature gradient is generated, which changes the physical parameters of the sample and its surroundings. These changes can be probed in different ways depending on the chosen measurement technique. The PD technique is based on probing the periodic temperature disturbance in the medium surrounding the illuminated sample close to its surface by a laser beam, which is deflected by the periodic gradient of the refraction index resulting from these temperature disturbances. The detected signal depends on the thermooptical as well as transport parameters of the sample.

Among the NMs of our interest we are those with photocatalytic properties as  $\text{TiO}_2$ .

The disadvantage of  $\text{TiO}_2$  is high band gap energy, which limits its application in the visible light range. Another disadvantage is the charge carrier recombination which occurs within nanoseconds. As a consequence, the photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2$  is limited. Therefore, it is necessary to modify the structure of  $\text{TiO}_2$  materials, by doping or changing the conditions of deposition process. This changes its thermal and optical parameters, that can be related to improved photocatalytic activity.

Another group of materials which were examined were organic semiconductor materials used in optoelectronic applications. Modification of their structure leads to increase of charge transport efficiency, and consequently increased response time and reduced power loss in materials for devices such as solar cells. The charge transport efficiency is determined by eg. charge density, their recombination speed or mobility, which are also related to thermal diffusivity of the semiconductor NMs.

The objectives of the proposed research were therefore focused on the development and application of novel, highly sensitive PT methods for determination of thermal and optical parameters of some selected NMs, which will include thin  $\text{TiO}_2$  films for photocatalysis and small molecule and organic semiconductors for solar cells. Their optothermal parameters, chemical composition and structural characteristics were determined.

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

Cilj predlaganih raziskav je razvoj in uporaba novih visoko občutljivih metod za določanje optičnih in termičnih lastnosti izbranih nanomaterialov (NM). Predlagana merilna tehnika je osnovana na metodi optotermičnega prečnega odklona (PBD) v posneti konfiguraciji, kjer se poskusni žarek razprši preko tekočega medija.

Razvit je bil nov teoretičen opis in dobljene rezultate smo primerjali z rezultati pridobljenimi na podlagi že obstoječih teoretičnih modelov, ki opisujejo fototermičen pojav, ki se pojavlja v tanki plasti polprevodnika po osvetlitvi z moduliranim laserskim žarkom kotne frekvence  $\Omega$ . Teoretični model temelji na rešitvi enačbe za toplotno difuzivnost in enačbe za nosilce naboja z upoštevanjem ustreznih robnih pogojev. Rešitev je bila izpeljana za prosto stoječe nanoplasti debeline nekaj sto nanometrov in tanjše plasti nanosene na nosilni substrat. Za izračun magnitude fototermičnega efekta je bilo zato najprej potrebno določiti spremembo temperature na površini vzorca, da se ugotovi gradient refrakcijskega indeksa v tekočini (plinu) nad vzorcem. Po določitvi spremembe temperature na površini vzorca, je bila določena deformacija poskusnega žarka, ki gre skozi medij in temelji na tako imenovani kompleksni žarkovni teoriji (CRT). CRT omogoča, da se upošteva sprememba amplitude in faze električnega polja v poskusnem žarku. Predpostavljeno je bilo, da je prečni prerez osvetljuječega žarka mnogo širši od širine poskusnega žarka, kar naredi teoretični opis enodimenzionalen. CRT definira poskusni žarek kot snop žarkov, ki se propagirajo v kompleksnem prostoru. Deformacija poskusnega žarka, ki gre skozi temperaturno polje je sestavljena iz dveh učinkov. Prvi je defleksija žarka: poskusni žarka, ki gre skozi medij, se bo preusmeril glede na površino vzorca. Drugi efekt je sprememba njegove faze. Defleksija žarka je posledica nastanka gradienta lomnega količnika v mediju skozi katerega gre poskusni žarek, kar ima za posledico spreminjanje žarkovne amplitude. Spremembo faze povzroča sprememba optične poti žarka, ko preide skozi temperaturno polje (zaradi spremembe vrednosti lomnega količnika) ter sprememba geometrijske poti žarka (zaradi gradienta lomnega količnika). Dodatno, pri razvoju teoretičnega modela je bil upoštevan tudi t.i. refrakcijski efekt, ki je povezan z refrakcijo poskusnega žarka na vhodu in izhodu iz temperaturnega polja.

V naslednjem koraku je bila narejena primerjava dobljenih teoretičnih rezultatov z rezultati, ki smo jih doblili na podlagi že obstoječih teoretičnih modelov. Prvi izmed njih temelji na tako imenovani žarkovni teoriji povprečnega ugiba (RDAT). Ko gre poskusni žarek skozi medij, se bo preusmeril v pravokotni smeri glede na površino vzorca. Pri predpostavki, da je poskusni žarek snop žarkov, lahko fototermični signal opišemo kot tehtano vsoto prispevkov vsakega žarka. RDAT ne upošteva spremembe faze električnega polja v poskusnem žarku, ko preide skozi temperaturno polje. Drugi iz obstoječih modelov se imenuje valovna teorija (WT). V tej teoriji upoštevamo samo spremembo faze električnega polja poskusnega žarka, ki preide skozi medij s temperaturnim poljem. Spremembe amplitude poskusnega žarka zaradi njegove defleksije WT ne upošteva. Iz pregleda že obstoječih metod je razvidno, da samo CRT upošteva oba učinka: spremembe amplitude in fazi poskusnega žarka v temperaturnem polju. Posledično predpostavljamo, da CRT omogoča boljši teoretičen opis analiziranih pojavov in zato bolj natančno določitev optotermičnih parametrov vzorcev. Da bi to dokazali, smo naredili teoretično analizo spremembe amplitude in faze fototermačnega signala v primerjavi s spreminjajočimi se toplotnimi (toplotna prevodnost in difuzivnost), transportnimi (npr. energija prehoda) in geometrijskimi parametri (debelina tankega sloja in plasti) prosto stoječih vzorcev tankih slojev in plasti naloženih na nosilec. Ugotovili smo, da razlike med CRT, RDAT in WT vidne samo za majhne vrednosti omenjenih parametrov, kar pomeni, da čim tanjši je vzorec, tem večje so razlike med naštetimi modeli. V primeru NM so te razlike pomembne. V naslednjem koraku, bom izvedla validacijo predlaganega teoretičnega modela CRT. Naredili bomo tudi primerjavo z že obstoječimi modeli (RDAT in WT) za določanje optotermičnih in transportnih parametrov nekaterih izbranih NM preko večparameterske vgradnje teoretične krivulje v eksperimentalne podatke z uporabo pristopa kvadratov.

Poleg tega, smo z teoretičnim izračunom napovedovali vedenje toplotnih parametrov tankih plasti pri spreminjanju njene kemijske sestave (npr. preko dopiranja) in strukturnih značilnosti (kot so debelina filma, poroznost, hrapavost površine). Ugotovljeno je bilo, da so vrednosti toplotnih parametrov tankih plasti močno odvisne od velikosti delcev dopandov, njihove volumenske frakcije, pa tudi od hrapavosti površine v vodoravni in pravokotni smeri glede na poveršino vzorca. Tanjši kot je vzorec, bolj izrazite so te spremembe in zato predpostavljamo,

da ti dejavniki močno uplivajo na fototermični signal v primeru NM.

V naslednjem koraku je bila dobljena teoretična sprememba amplitude in faza fototermalnega signala v primerjavi s spreminjajočo se kotno frekvenco modulacije za različne polprevodne materiale. Ugotovljeno je bilo, da je fototermični signal močno odvisen od vrste materiala iz katerega je sestavljen nosilec, kar pomeni da lahko občutljivost in selektivnost metode povečamo preko izbire nosilca.

Vzpostavili smo eksperimentalne nastavitve za metodo optotermičnega odklona za določanje termičnih lastnosti, kemijske sestave in strukturnih značilnosti nanomaterialov kot so  $\text{TiO}_2$ ,  $\alpha$ - in  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tankoslojni filmi za fotokatalizo ter organski in drugi polprevodniki za sončne celice (npr. ITO/PEDOT/P3HT:PCBM).

Za filme iz  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , polkovine in hibridne plasti je bila struktura vzorca sestavljena iz nosilca filma (steklo, aluminij oz silikon), filme ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ,  $\alpha$ - in  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) in plinu (zrak) nad filmom, pa za organski in drugi polprevodniki za sončne celice z nosilca (ITO), filma (P3HT:PCBM, P3HT oz P3HT:PCBM/PEDOT:PSS) in plinu (dušik) nad filmom. Vsi vzorci so bili zaprti v stekleni celici.

Za meritve optotermičnega odklona smo kot sevalni vir uporabili He-Ne laser (Meller Griot) z emisijo žarka pri 632.8 nm pri moči 75 mW. Vzbujevalni žarek je bil moduliran z akustično-optičnim modulatorjem (4102-M, Newport) s frekvenco modulacij od DC do GHz, ki so potrebne v primeru merjenja vzorcev s tankimi sloji. Modulator je bil opremljen z napajalnikom, ki zagotavlja natančno modulacijo (New Focus, Model 3211). Frekvenca modulacij in njen interval sprememb, kjer smo spreminjali frekvenco za določanje termooptičnih parametrov tankih slojev, je bila izbrana glede na geometrijo vorcev. Namreč, dolžina termične difuzivnosti mora biti primerljiva ali manjša od debeline obsevanega vzorca.

He-Ne laser (Uniphase, Model 1103P), ki seva žarek z valovno dolžino 533 nm z močjo 4 mW, je bil izbran kot poskusni žarek in He-Ne laser (MELLES GRIOT, Model 25-LHP—928-230, 632,8 nm, 75 mW) kot vzbujevalni žarek. Merilni sistem je omogočil meritve s konfiguracijo imenovano povprečni fototermični odklon. Da smo dobili gradiente lomnega količnika v plinu nad površino vzorca, smo sevalni žarek usmerili navpično navzdol na površino vzorca s pomočjo ogledala (CVI Meller Griot, Thorlabs). Maksimalen signal za oba žarka smo dobili z umerjanjem žarkov z lečami (Edmund Optics, Newport). Občutljivost sistema je močno odvisna geometričnih parametrov kot so višina poskusnega žarka nad površino vzorca, lega vzorca in pozicija detektorja itd., tako da je bil eksperimentalni sistem optimiziran za vsako merilno konfiguracijo. Vzorec je bil nameščen na držalu, ki je dopuščal spremembe njegove lege (2493M x-y-z stage, CVI Meller Griot). Vsi eksperimenti so bile narejeni pri sobni temperaturi. Uklon poskusnega žarka je bil zaznan s pomočjo kvadrantne fotodiode (C30846E, RBM R. Brauman GmbH), slednja je bila povezana z ojačevalnikom (Stanford Research Instruments, Model SR830 DSP) ta pa z računalnikom.

S prilagajanjem teoretičnega modela s eksperimentalnimi podatki za velikost in fazo optotermičnega odklona pri različnih frekvencah modulacije (1 Hz – 50 kHz) smo lahko za različne vzorce izračunali lastnosti preiskovanih materialov in sicer energije tvorbe parov elektron-vrzel, termična difuzivnost, toplotna prevodnost ter z njimi povezanih lastnosti nanoslojev kot so gostota nosilcev naboja, kemijska sestava in strukturne lastnosti kot so debelina tankih slojev, poroznost in hrapavost površine.

Z meritvami nerabljenih, 1-krat in večkrat rabljenih  $\text{TiO}_2$  vzorcev za fotokatalizo, ki so se nalagale na stekleni/alumnijasti substrat, smo dobili različne vrednosti toplotnih parametrov ter različne vrednosti poroznosti in hrapavosti površine vzorca. Na podlagi teh vrednosti toplotnih parametrov  $\text{TiO}_2$  filmov, uporabljenih v procesu fotokatalize smo ugotavljali kako se spreminjata poroznost in hrapavost površine vzorcev ter učinkovost in speminjanje  $\text{TiO}_2$  filmov za fotokatalizo po uporabi v procesu čiščenja vode.

S prilagajanjem teoretičnega modela eksperimentalnim podatkom za velikost in fazo optotermičnega odklona pri različnih frekvencah modulacije (1 Hz – 50 kHz) vzbujevalnega žarka smo lahko tudi za različne nerabljene  $\text{TiO}_2$  vzorce ( $\text{TiO}_2$  dopiran z  $\text{N}_2$  in C,  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ) izračunali lastnosti preiskovanih materialov kot so energije tvorbe parov elektron-vrzel, termična difuzivnost in toplotna prevodnost, kot tudi z njimi povezanih lastnosti nanoslojev – npr. gostota nosilcev naboja, kemijska sestava (npr. razmerje  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ) in strukturne lastnosti (debelina tankih slojev, poroznost, hrapavost površine).

V primeru organskih polprevodniških materialov, kot so dianhidrid perilenetetrakarboksilne kisline, pentacena in tanke plasti različnih mešanice polimerov (npr. ITO/PEDOT/P3HT:PCBM) smo določili vrednosti toplotnih parametrov za različna razmerja P3HT:PCBM (3:1, 1:1, 1:3), samo P3HT kot tudi efektivne vrednosti toplotnih parametrov celotne strukture P3HT:PCBM+PEDOT:PSS pred in po segrevanju na temperaturo 130°C. Meritve smo ponovili dvakrat z uporabo dodatnega vira svetlobe dobljenega s Krypton laserjem (Coherent, Innova 300C), ki emitira žarek pri 406.7 nm pri uporabljeni moči 60 ali 120 mW. Zaradi tega smo

določili spremembo vrednosti toplotnih parametrov brez in pri prisotnosti voltaičnega učinka kot tudi pred in po spremembi notrajne strukture filma po segretju vzorca pri temperaturi 130° C. Raziskave te so bile opravljene pri sodelovanju s skupino iz Laboratorija za fiziko organskih snovi (Univerza v Novi Gorici) s katero tudi sodelovanje v prihodnosti je predvideno. Razvili smo tudi metodo optotermičnega odklona za določevanje termičnih lastnosti, kemijske sestave in strukturnih značilnosti nanomaterialov kot so  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tankoslojni filmi za fotokatalizo. Določili smo temperaturno polje v večplastni strukturi, na podlagi katerega smo, v naslednjim koraku, zračunali fototermični signal. S prilagajanjem teoretičnega modela eksperimentalnim podatkom za velikost in fazo optotermičnega odklona pri različnih frekvencah modulacije (1 Hz – 50 kHz) vzbujevalnega žarka (He-Ne laser, 632,8 nm, 35 mW) smo lahko za različne vzorce ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ter  $\alpha$ -,  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>,  $\alpha$ -,  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ag,  $\alpha$ -,  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO,  $\alpha$ -,  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au) izračunali lastnosti preiskovanih materialov kot so energije tvorbne parov elektron-vrzel, termična difuzivnost in toplotna prevodnost, kot tudi z njimi povezanih strukturnih lastnosti nanoslojev – npr. debelina tankih slojev, poroznost, hrapavost površine. To del projekta je bil opravljen pri sodelovanju s skupino iz IENI-CNR in INSTM, Oddelek za Kemijo, Univerza v Padovi, Italija, s katero predvidujemo sodelovanje in piravljanje skupnih projektov tudi v prihodnosti. Dobljeni rezultati se dobro ujemajo s podatki dobljenimi iz literature oz uporabo drugih merilnih tehnik (npr. AFM) ter podatkov dobljenih na podlagi teoretične analize iz literature.

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

Realizacija ciljev v letu 2011-2013 je bilo:

1. Vzpostavitev najprimernejših PT metod za optotermično karakterizacijo izbranih tankih filmov in razvoj teoretičnih modelov, ki opisujejo pojave, ki se pojavljajo na področju polprevodnikov tankih slojev po osvetlitvi z moduliranim laserskim žarkom s kotno frekvenco  $W$ . Izbrana merilna tehnika je osnovana na metodi optotermičnega prečnega odklona (PBD) v posneti konfiguraciji, kjer se poskusni žarek razprši preko tekočega medija.
2. Primerjava dobljenih rezultatov iz naše na novo postavljene teorije (kompleksna žarkovna teorija; angl. Complex Rate Theory - CRT) z rezultati, ki smo jih pridobili na podlagi že obstoječih teoretičnih modelom in sicer žarkova teorija povprečnega ugiba (angl. Ray Deflection Averaging Theory - RDAT) ter valovna teorija (angl. Wave Theory - WT). CRT je osnovan na spremembi amplitude in faze poskusnega žarka ki gre skozi medij pri čemer smo spreminjali temperaturno polje medija.
3. Opredelitev povezave med termooptičnimi, transportnimi kakor tudi strukturnimi lastnostmi in določitev optimalnih eksperimentalnih pogojev za sintezo novih materialov, ki zagotavljajo boljše optoelektronske lastnosti. Med analiziranimi parametri so bili npr. frekvenca modulacije temperaturnega polja, vrsta nosilca na katerim so nanosene tanke plasti.
4. Vzpostavitev eksperimentalne nastavitve za metodo optotermičnega odklona. Izvedba meritev na izbranih anorganskih in organskih tankih slojih, prej značilnih za druge metode, kot so: konjugirani polimeri, polprevodniki majhne molekule (P3HT:PCBM, PEDOT:PSS), polimeri, grafenski in grafemski oksid, hibridne zascitne tanke sloje, TiO<sub>2</sub> in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanke plasti različnih termooptičnih in transportnih parametrov, ki so posledica njihove različne kemijske sestave in strukturnih značilnosti ter eksperimentalno določitev njihovih termooptičnih in transportnih parametrov.
5. Poslovanje večparametrskve vgradnje teoretičnih odvisnosti na eksperimentalne podatke in na podlagi tega določitev termooptičnih,

strkturnih in transportnih parametrov preiskovanih vzorcev. Primerjave dobljenih vrednosti z rezultati, pridobljenimi s drugimi preizkusi kot je npr AFM (angl. Atomic Force Microscopy) tehnika

6. Opredelitev povezave med termooptičnimi, transportnimi, fotokatalitskimi kakor tudi strkturnimi lastnostmi in določitev optimalnih eksperimentalnih pogojev za sintezo novih držav članic, ki temelji na TiO<sub>2</sub> oz Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> z boljšo učinkovitostjo fotokatalitskih polprevodniških filmov, ki zagotavljajo boljše optoelektronske lastnosti

Vse cilji ki so bile omejene v planu raziskovalnega dela na projektu v vsih 6. mesečnih obdobjah so bili realizirani tako kot je nevedeno v načrtu opravljenega dela na projektu.

#### 5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

sprememb programa ali sestave projektne skupine ni bilo

#### 6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

| Znanstveni dosežek |  |
|--------------------|--|
| 1.                 | COBISS ID 1635323 Vir: COBISS.SI   |
| Naslov             | <i>SLO</i> Določanje koloidnega in ionskega srebra v vodi z uporabo detekcije s termičnimi lečami  |
|                    | <i>ANG</i> Thermal lens spectrometric determination of colloidal and ionic silver in water   |
| Opis               | <i>SLO</i> Razvoj pretočno injekcijske metode (FIA) za določanje koloidnega in ionskega srebra v vodi. Novo razvita metoda je osnovana na redukciji ionskega v koloidno srebro z natrijevim borohidridom (NaBH <sub>4</sub> ). Spremenljivke reakcije kot so pretok, dolžina mešalne, zanke, koncentracija in pH natrijevega borohidrida, ki vplivajo na občutljivost metode, so bile podrobno raziskane in eksperimentalna postavitev je bila optimizirana glede na te spremenljivke. Nadalnja izboljšava občutljivosti je bila dosežena z uporabo kolinearne dvojne žarkove detekcije s termičnimi lečami (TLS) s katero smo mejo detekcije (LOD) lahko znižali s koncentracije 50 g/L za transmisijski spektrometrični način menrjenja do 1.5 g/L v primeru TLS. Optimizirano metodo smo uporabili za analizo pitne vode poslana na Mednarodno vesoljsko postajo ob izstrelitvi Automated Transfer Vehicle (ATV) modula Jules Verne (9. marec, 2008).   |
|                    | <i>ANG</i> Development of the flow injection method (FIA) for determination the colloidal and ionic silver in water. The newly developed method is based on on-line generation of silver colloids by sodium borohydride (NaBH <sub>4</sub> ). The reaction variables such as the flow rate, length of the mixing coil, volume of the sample loop, concentration and pH of the sodium borohydride, which affect sensitivity were investigated and the experimental setup was optimized. Further improvements in sensivity of the method were achieved by the use of collinear dual beam thermal lens spectrometric (TLS) detection unit. TLS detection resulted in significant decrease of the limit of detection (LOD) from 50 g/L provided by the transmission mode spectrometry to 1.5 g/L in case of TLS.. The optimized method was applied for the analysis of a drinking water sample provided for the launch of the Automated Transfer Vehicle (ATV) module Jule Verne to the International Space Station (March 9, 2008). |
| Objavljeno v       | Springer; Selected papers presented at the 15th Workshop on Photoacoustics and Thermal Wave Methods and the 6th Workshop on Molecular Acoustics, Relaxation and Calorimetric Methods; International journal of thermophysics; 2011; Vol. 32, no. 4; str. 818-827; Impact Factor: 0.953;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor:  |

|    |              |   |
|----|--------------|---|
|    |              | 1.475; WoS: DT, EI, PU, UB; Avtorji / Authors: Korte Kobylinska Dorota, Bruzzone Maria Concetta, Sarzanini Corrado, Franko Mladen   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |
| 2. | COBISS ID    | 2538747 Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | <i>SLO</i> Določevanje termo-optičnih lastnosti fotokatalitskih tankih filmov TiO <sub>2</sub> , za okoljske [!] aplikacije<br><i>ANG</i> DETERMINATION OF THERMO-OPTICAL PROPERTIES OF TiO <sub>2</sub> THIN FILMS USED AS PHOTOCATALYSTS IN ENVIRONMENTAL APPLICATION   |
|    | Opis         | <i>SLO</i> Cilj tega dela je določevanje optičnih in toplotnih lastnosti čistih in spremljenih TiO <sub>2</sub> tankih plasti (toplotna difuzivnost in prevodnost, energija prehoda etc.) ki so povezane z lastnostmi ki determinirajo njihovo fotokatalitsko aktivnost (hrapavost površine, poroznost, prostorninski delež dodanih atomov). Analiza je bila opravljena z uporabo metode optotermečnega odklona (PDS) in večparameterskega prilagajanja za ta namen razvitega teoretičnega modela eksperimentalnim podatkom.<br><i>ANG</i> The goal of this work is to determine the thermo-optical parameters of pure and modified TiO <sub>2</sub> thin films (thermal diffusivity and conductivity, optical energy band gap and minority Abstract carrier life time) which were further related to properties determining their photocatalytic activity (surface structure, porosity, volume fraction of introduced atoms). The analysis was performed by the use of photothermal beam deflection spectrometry (PDS) and multiparameter fitting of theoretical dependences to experimental data.   |
|    | Objavljeno v | FKKT; Slovenski kemijski dnevi 2012, Portorož, 12.-14. september 2012; 2012; Str. 1-7; Avtorji / Authors: Korte Kobylinska Dorota, Franko Mladen  |
|    | Tipologija   | 1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci  |
| 3. | COBISS ID    | 2979067 Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | <i>SLO</i> Karakterizacija čistih in spremljenih TiO <sub>2</sub> tankih plasti z uporabo metode optotermečnega odklona<br><i>ANG</i> Characterization of pure and modified TiO [sub] 2 layer on glass and aluminum support by beam deflection spectrometry   |
|    | Opis         | <i>SLO</i> Cilj tega dela je določevanje lastnosti TiO <sub>2</sub> tankih plasti za fotokatalizo za okoljske aplikacije z uporabo metode optotermečnega odklona (angl. beam deflection spectroscopy BDS) in mikroskopije na atomsko silo (AFM). Razvit je bil nov teoretičen opis, ki opisujejo BDS pojav. S prilagajanjem teoretičnega modela s eksperimentalnimi podatki smo določili lastnosti preiskovanih materialov in sicer energije tvorbe parov elektron-vrzel, termična difuzivnost, toplotna prevodnost ter z njimi povezanih lastnosti nanoslojev kot so kemijska sestava in strukturne lastnosti kot so debelina tankih slojev, poroznost in hrapavost površine. Z uporabo BDS tehnike smo opazili da velikosti termične difuzivnosti in toplotne prevodnosti so odvisne od poroznost in hrapavost površine proučevanega materiala. To pomeni da lahko ocenimo fotokatalitsko aktivnost na podlagi termičnih parametrov plasti. Poleg tega, smo pokazali, da hrapavost površine plasti se spreminja, ko je ona uporabljena v procesu fotokatalize pri čiščenju vode. V času tega procesa hrapavost površine plasti se zmanjša kaj povzroča tudi zmanjšanje se fotokatalitske učinkovitosti materiala. Smo pokazali tudi, da toplotne električne in strukturne lastnosti proučevanih tanki plasti so odvisne od vrste nosilca na katerem se nahaja plast. Te medsebojne povezave med parametri raziskvanega materiala kažejo, da je potrebno poznati vrednosti osnovnih fizičnih parametrov da izboljšamo fotokatalitsko učinkovitost TiO <sub>2</sub> tankih plasti. Zato z opisano metodo lahko neporušno in nekontaktno preverjamo in napovedujemo lastnosti uporabljenih ali novo sintetiziranih materialov, ki jim želimo izboljšati fotokatalitske ali polprevodniške lastnosti. |

|    |              |  |
|----|--------------|--|
|    |              | <p>TiO<sub>2</sub> thin films used as photocatalysts in environmental application were studied by beam deflection spectroscopy (BDS) and by atomic force microscopy (AFM). A novel multiparameter theoretical model was developed in order to explain BDS experimental data. The fundamental parameters of examined films: thermal diffusivity, thermal conductivity, and charge transport properties such as the value of energy band gap, carrier life time, concentration and type of dopants, were obtained as results of the modeling of BDS data. With BDS we observed that the material's thermal conductivity and thermal diffusivity depend also on the porosity and the surface roughness of films. Consequently, we can estimate photocatalytic performance by measuring the thermal diffusivity of films. Furthermore, we found that surface roughness is prone to changes when the film is used as photocatalysts in water purification processes. During purification process the roughness decreases and the photocatalytic performance drops. Moreover, we discovered that the thermal, electrical and morphological properties of photocatalysts films depend on the support to which the TiO<sub>2</sub> layer is deposited. These complex relations demonstrate that knowledge of fundamental physical parameters is required in order to improve the photocatalytic performance of TiO<sub>2</sub> films. In this view, the BDS measurements offer a tool for noncontact and nondestructive evaluation of thermal and electronic parameters of thin film TiO<sub>2</sub> photocatalysts as demonstrated in this work.</p>  |
|    | Objavljeno v | Plenum Press; International journal of thermophysics; 2013; 11 str.; Impact Factor: 0.568; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.451; WoS: DT, EI, PU, UB; Avtorji / Authors: Korte Kobylinska Dorota, Pavlica Egon, Bratina Gvido, Franko Mladen   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |
| 4. | COBISS ID    | 2875387 Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | <p><i>SLO</i> Površinska funkcionalizacija za nanostrukturalne Fe [sub] 2 O [sub] 3 polimorfi</p> <p><i>ANG</i> Surface functionalization of nanostructured Fe [sub] 2 O [sub] 3 polymorphs</p>  |
|    | Opis         | <p><i>SLO</i> Nanostrukturalne železovo(III) oksidne plasti smo kemično naparovali (angl. Chemical vapor deposition CVD) pri temperaturi 400–500 °C na Si(100) nosilcu pri uporabi Fe(hfa) TMEDA (hfa = 1,1,1,5,5,5-hexafluoro-2,4-pentanedionate; TMEDA = N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine), pri čemer smo dobili selektivno postavitve α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oz ε-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> polimorfi pri ustrezno optimiziranih ostalih parametrih tega procesa. Pri uporabi Ti(OPri)<sub>4</sub> (OPri= iso-propoxy) in vodi kot predhodnika v procesu ALD (angl. atomic layer deposition), smo funkcionalizirali pridobljene materiale pri zmernih temperaturah (&lt;300 °C) s ultra tanko Fe<sub>3</sub>-xTi<sub>x</sub>O<sub>4</sub> plastjo. Lastnosti teh materialov so bile proučevane pri uporabi različnih tehnik tako da smo določili različne lastnosti preiskovanih materialov in sicer strukturalne lastnosti, morfologijo, kemijsko sestavo, optične lastnosti, na podlagi katerih lahko sklepamo, da hidrofilne in fotokatalitske lastnosti dobljenih materialov so odvisne od sestave fazi železovih oksidov kot tudi modifikacije površine materiala v procesu ALD.</p> <p><i>ANG</i> Nanostructured iron(III) oxide deposits are grown by chemical vapor deposition (CVD) at 400–500 °C on Si(100) substrates from Fe(hfa) TMEDA (hfa = 1,1,1,5,5,5-hexafluoro-2,4-pentanedionate; TMEDA = N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine), yielding the selective formation of α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or the scarcely studied ε-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> polymorphs under suitably optimized preparative conditions. By using Ti(OPri)<sub>4</sub> (OPri= iso-propoxy) and water as atomic layer deposition (ALD) precursors, we subsequently functionalized the obtained materials at moderate temperatures (&lt;300 °C) by an ultrathin titanomagnetite (Fe<sub>3</sub>-xTi<sub>x</sub>O<sub>4</sub>) overlayer. An extensive multitechnique characterization,</p> |



|    |              |  |
|----|--------------|--|
|    |              | aimed at elucidating the system structure, morphology, composition and optical properties, evidenced that the photoactivated hydrophilic and photocatalytic behavior of the synthesized materials is dependent both on iron oxide phase composition and ALD surface modification. The proposed CVD/ALD hybrid synthetic approach candidates itself as a powerful tool for a variety of applications where semiconductor-based nanoarchitectures can benefit from the coupling with an ad hoc surface layer.  |
|    | Objavljeno v | American Chemical Society; ACS applied materials & interfaces; 2013; Vol. 5, no. 15; str. 7130-7138; Impact Factor: 5.008; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.402; A': 1; WoS: NS, PM; Avtorji / Authors: Barreca Davide, Carraro Giorgio, Gasparotto Alberto, Maccato Chiara, Rossi Francesca, Salviati Giancarlo, Tallarida Massimo, Das Chittaranjan, Fresno Fernando, Korte Kobylinska Dorota, Lavrenčič Štangar Urška, Franko Mladen, Schmeisser Dieter   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |
| 5. | COBISS ID    | 3255803 Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | <i>SLO</i> Meritve s uporabo metode fototermičnega učinka  |
|    |              | <i>ANG</i> Photothermal deflection experiments   |
|    | Opis         | <i>SLO</i> Razvili smo tudi metodo optotermičnega odklona za določevanje termičnih lastnosti, kemijske sestave in strukturnih značilnosti nanomaterialov kot so TiO <sub>2</sub> tankoslojni filmi za fotokatalizo. Metoda je osnovana na novem teoretičnem modelu, ki smo ga v ta namen razvili na podlagi kompleksne geometrijske optike za opisovanje odklona laserskega žarka pri njegovi interakciji s temperaturnim gradientom ob vzbujanem vzorcu. Je bilo ugotovljeno, da toplotne lastnosti snovi so povezane z lastnostmi ki determinirajo njihovo fotokatalitsko aktivnost (hrapavost površine, poroznost, prostorninski delež dodanih atomov, energija tvorbe parov elektron-vrzel). S prilagajanjem teoretičnega modela eksperimentalnim podatkom za velikost in fazo optotermičnega odklona pri različnih frekvencah modulacije smo izračunali lastnosti preiskovanih materialov kot so energije tvorbe parov elektron-vrzel, termična difuzivnost in toplotna prevodnost, kot tudi z njimi povezanih strukturnih lastnosti nanoslojev – npr. debelina tankih slojev, poroznost, hrapavost površine. Naredili smo tudi primerjavo dobljenih rezultatov z rezultati ki smo jih dobili pri uporabi že obstoječimi modeli za določanje optotermičnih in transportnih parametrov različnih materialov. Ugotovili smo, da izbira teoretičnega modela je zelo pomembna za ta vrste raziskav, zato da razlike njima so vidne predvsem za majhne vrednosti omenjenih parametrov, kar pomeni, da čim tanjši je vzorec, tem večje so razlike med naštetimi modeli. To pa je zelo pomembno, če gre za določevanje parametrov tankih plasti. |
|    |              | <i>ANG</i> A method for determination of thermo-optical, transport and structural parameters of TiO <sub>2</sub> based thin films is presented. The measurements were conducted using a beam deflection spectroscopy (BDS) and supporting theoretical analysis performed in the framework of complex geometrical optics providing a novel method of BDS data modeling. It was observed that the material's thermal parameters strongly depend on sample properties determining its photocatalytic activity such as energy band gap, carrier life time, surface structure or porosity. Because of that the fitting procedure of theoretical dependence into experimental data was developed to determine the sample's thermal parameters, on the basis of which the information about its structure was further found. The obtained results were compared to those based on geometrical and wave optics approaches that are currently widely used for that purpose. It was demonstrated that the choice of proper model for data modeling is a crucial point when performing such type of analysis.   |
|    |              | Plenum Press; International journal of thermophysics; 2014; str. 1-11;   |

|              |   |
|--------------|---|
| Objavljeno v | Impact Factor: 0.568;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.451; WoS: DT, EI, PU, UB; Avtorji / Authors: Korte Kobylinska Dorota, Franko Mladen |
| Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |

## 7.Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

|    |                            |            |
|----|----------------------------|------------|
|    | Družbeno-ekonomski dosežek |            |
| 1. | COBISS ID                  |            |
|    | Naslov                     | <i>SLO</i> |
|    |                            | <i>ANG</i> |
|    | Opis                       | <i>SLO</i> |
|    |                            | <i>ANG</i> |
|    | Šifra                      |            |
|    | Objavljeno v               |            |
|    | Tipologija                 |            |

## 8.Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>7</sup>

|  |
|--|
|  |
|--|

## 9.Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 9.1.Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

*SLO*

|  |
|--|
| <p>Pomen za znanost:</p> <p>Najpomembnejše prispevke predlaganega projekta k razvoju znanosti so:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ovrednotenja obstoječe teorije optotermičnih pojavov in razvoja novih teoretičnih modelov, ki opisujejo optotermične pojave v tankih slojih nanostrukturiranih polprevodniških materialov.</li> <li>2) Optimizacije in izbire najprimernejše optotermične metode za meritve optičnih in termičnih lastnosti nanoslojnih polprevodniških materialov za fotokatalizo in fotovoltaiiko,</li> <li>3) Meritev optičnih (absorpcijski spektri) in termičnih lastnosti (termična difuzivnost in efuzivnost, toplotna prevodnost) na tankih slojih polprevodnikov, ki jih ne moremo opraviti z drugimi metodami</li> <li>4) Razvoj novih metod za določanje strukturnih lastnosti tankih plasti (poroznost, gladkost površine) in gostote nosilcev naboja, na osnovi merjenja termičnih lastnosti</li> </ol> <p>Vsi omenjeni dosežki predlaganih raziskav pomenijo nove prispevke za razvoj znanosti, ki so in še bodo napej vzpodbudili nadaljni razvoj na področju optotermičnih raziskav in tehnik, kot tudi na področju nanostrukturiranih polprevodniških materialov za fotokatalizo in fotovoltaiiko.</p> <p>Pomen za industrijo:</p> <p>Nova znanja in konkretne aplikacije, ki jih je dal projekt so pomembne za razvoj novih nanomaterialov z izboljšanimi lastnostmi in delovanjem, npr. večjo fotokatalitsko aktivnostjo,</p> |
|--|

višjo stopnjo konverzije materialov za fotovoltaike. Optične, termične in strukturne lastnosti nanomaterialov, ki bodo ugotovljene in opisane s predlaganimi raziskavami, so ključne za izdelavo novih polprevodniških materialov z izboljšanimi lastnostmi kot tudi za optimizacijo obstoječih tehnologij za njihovo proizvodnjo in so zato velikega pomena za proizvajalce tovrstnih materialov.

ANG

Relevance to the science:

Most important contributions of the proposed project to development of science are :

- 1) validation of existing theory of photothermal effects and development of novel theoretical models which describe photothermal effects in thin film semiconductor materials.
- 2) Optimization and selection of the best suited optothermal technique for determination of optical and thermal properties of nanolayered semiconductor materials applied in photocatalysis and photovoltaics
- 3) Measurements of optical (absorbance spectra, band gap energies) and thermal properties (thermal diffusivity, effusivity, thermal conductivity) of thin film semiconductors, which can not be performed by other techniques.
- 4) Development of novel approaches to determination of structural properties of thin films (porosity, surface roughness) and charge carrier densities, based on measured thermal parameters

All mentioned outcomes of this project represent novel contributions to science, which stimulate further progress in the field of photothermal phenomena and techniques, as well in the field of nanostructured semiconductors for photocatalysis and photovoltaics.

Relevance to the industry:

New knowledge and applications of techniques and materials within this project are important for development of nanomaterials with improved properties and performance, i.e. higher photocatalytic activity and higher conversion efficiency of photovoltaic materials. In fact, important optical, thermal and structural characteristics were determined and described, which should lead to production of semiconductor nanomaterials with improved properties and to optimization and modifications of existing production technologies, which are all of great interest to manufacturers of such materials.

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Rezultati projekta pomembno vplivajo na razvoj novih pristopov v sintezi in analizi materialov v Sloveniji, kot tudi v mednarodnem merilu. Poleg sodelovanja s skupino iz IENI-CNR in INSTM, Oddelek za Kemijo, Univerza v Padovi, Italija, s katero predvidujemo sodelovanje in pravljanje skupnih projektov tudi v prihodnosti, razvijamo tudi mednarodne sodelovanje s Inštitutom za fiziko, Tehnična univerza Silesia, Poljska.

Drugo pomembno področje uporabe rezultatov projekta je kakovost in varnost procesa čiščenja vode ter varnost okolja in uporaba obnovljivih virov energije, zato razvita metoda za analizo različnih tankoslojnih filmov za fotokatalizo in tankih plasti različnih mešanice polimerov za sončne celice, prispeva za razvoj solarne tehnologije in tehnologije proizvodnje novih materialov za fotokatalizo. To je ena od glavnih prioritet EU, prav tako je tudi eno pomembnejših področij tudi v Sloveniji. Razvita metoda zagotavlja visoko občutljivost detekcije v primerjavi z drugimi metodami, kar bo razširilo nabor analiznih detekcijskih tehnik kot tudi spekter določevanih parametrov ter snovi, katerih lastnosti z njimi lahko določimo.

ANG

The results of the project are expected to impact the practice of synthesis and analysis of new materials in Slovenia at international level. Apart from the cooperation with IENI-CNR and INSTM, Chemistry Department, University of Padovi, Italy, that is already developed and going

to be continued in the future by the way of preparation of projects application together, the cooperation with another insitutions as Institute of Physics, Technical Univeristy of Silezia, Poland is also under development.

Another focus of possible applications is water purification quality and safety, as well as the usage of renewable sources of energy. Because of that, the developed method for different thin films analysis for photocatalyical applications and different polimer thin fims materials for solar cells, has an impact to the development of solar technology and technology of making new materials for the need of water purification. This is a primary priority area in EU, and is one of the more important fields in Slovenia as well. The results of the project provide very high sensitivity compared to other technques and a will expand the circle of analytical detection techniques as well as the spectrum of determining parameters and examined materials, which parameters we want to determine.

**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        |  |   |
| <b>F.01</b> | <b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.02</b> | <b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.03</b> | <b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.04</b> | <b>Dvig tehnološke ravni</b>                                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.05</b> | <b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>       |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.06</b> | <b>Razvoj novega izdelka</b>                                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |

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

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.16</b> | <b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>                     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.17</b> | <b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>                    |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.18</b> | <b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>    |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.19</b> | <b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>                          |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.20</b> | <b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.21</b> | <b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                             |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.22</b> | <b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.23</b> | <b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.24</b> | <b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b> |   |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.25</b> | <b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.26</b> | <b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.27</b> | <b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.28</b> | <b>Priprava/organizacija razstave</b>                                  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.29</b> | <b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>              |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.30</b> | <b>Strokovna ocena stanja</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.31</b> | <b>Razvoj standardov</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.32</b> | <b>Mednarodni patent</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |

|             |                             |   |
|-------------|-----------------------------|---|
| <b>F.33</b> | <b>Patent v Sloveniji</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.34</b> | <b>Svetovalna dejavnost</b> |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.35</b> | <b>Drugo</b>                |   |
|             | 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!**  
**Osnačite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

|             | <b>Vpliv</b>                                       | <b>Ni vpliva</b>      | <b>Majhen vpliv</b>   | <b>Srednji vpliv</b>  | <b>Velik vpliv</b>    |  |
|-------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| <b>G.01</b> | <b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>         |                       |                       |                       |                       |  |
| 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"/> |  |
| <b>G.02</b> | <b>Gospodarski razvoj</b>                          |                       |                       |                       |                       |  |
| G.02.01     | Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.02.    | Širitev obstoječih trgov                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.03.    | Znižanje stroškov proizvodnje                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.04.    | Zmanjšanje porabe materialov in energije           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.05.    | Razširitev področja dejavnosti                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.06.    | Večja konkurenčna sposobnost                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.07.    | Večji delež izvoza                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.08.    | Povečanje dobička                                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.09.    | Nova delovna mesta                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.10.    | Dvig izobrazbene strukture zaposlenih              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.11.    | Nov investicijski zagon                            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.12.    | Drugo: <input type="text"/>                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.03</b> | <b>Tehnološki razvoj</b>                           |                       |                       |                       |                       |  |



|              |  |                       |                       |                       |                       |  |
|--------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| 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"/> |  |
| <b>G.04</b>  | <b>Družbeni razvoj</b>   |                       |                       |                       |                       |  |
| 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"/> |  |
| <b>G.05.</b> | <b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.06.</b> | <b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>                                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.07</b>  | <b>Razvoj družbene infrastrukture</b>  |                       |                       |                       |                       |  |
| 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"/> |  |
| <b>G.08.</b> | <b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.09.</b> | <b>Drugo:</b>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |

**Komentar**

|  |
|--|
|  |
|--|

**12.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

|    |  |       |
|----|--|-------|
|    | 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 2013<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščenca oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Novi Gorici

Dorota A. Korte

### ŽIG

Kraj in datum:

**Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/112**

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

<sup>2</sup> 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](#)

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

<sup>4</sup> 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](#)

<sup>5</sup> 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](#)

<sup>6</sup> 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](#)

<sup>7</sup> 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](#)

<sup>8</sup> 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](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

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

<sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2014 v1.03  
1E-5D-93-86-AB-16-51-FE-9C-DB-00-DC-94-15-1E-61-C8-67-CD-3E