

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/10



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-3623
Naslov projekta	Posebna optična vlakna za uporabo v optičnih senzorskih sistemih
Vodja projekta	15006 Denis Donlagić
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	8427
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2010 - 04.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	2103 OPTACORE d.o.o. Optična vlakna
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.15 Meroslovje 2.15.01 Senzorji in zajemanje podatkov
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V okviru projekta so bile vključene raziskave in razvoj prototipov posebnih senzorskih optičnih vlaken, na osnovi katerih so bili izdelani različni senzorji za zaznavanje raztezkov, temperatur, tlakov, toplotne prevodnosti in drugih fizikalnih parametrov. Z uspešnim razvojem posebnih senzorskih vlaken je bila ustvarjena nova generacija optičnih vlakenskih senzorjev, ki so izboljšali in dopolnili nabor obstoječih vlakenskih senzorjev, hkrati pa omogočili zaznavanje na nekaterih drugih področjih, kot sta na primer področji mikrofluidike in biomedicine. Za potrebe projekta so bile izvedene raziskave

na področju proizvodnih tehnologij za izdelavo optičnih vlaken, ki so omogočile nadzorovane vnose zahtevnih dopantov v kvarčno steklo v visokih koncentracijah, kot so na primer dopanti iz skupine prehodnih kovin, oksidov kovin in redkih zemelj. Uporabljena je bila tehnologija trenutnega uparjevanja prekursorskih kemikalij (FVS), ki omogoča uporabo tako tekočih kot praškastih prekursorskih kemikalij. Izdelana senzorska vlakna so vsa združljiva s standardnimi telekomunikacijskimi optičnimi vlakni in jih je mogoče uporabiti kot samostojne senzorje. Na osnovi razvitih in izdelanih posebnih optičnih vlaken in selektivnega jedkanja smo uspešno razvili učinkovit postopek mikro-obdelave, ki je omogočil izgradnjo kompleksnih mikro-struktur na vrhu in vzdolž optičnega vlakna. Prikazani postopki mikro-obdelave so preprosti, cenovno ugodni in primerni za proizvodnjo v velikih serijah. Poleg mikro-obdelave so bile narejene obširne raziskave vpliva različnih vrst manj običajnih dopantov na lastnosti kvarčnega stekla. Realizirane so bile nove kompleksne valovodne strukture za zmanjšanje vpliva makro-ukrivljenosti, vlakna za izdelavo valovodnih struktur z omogočenim dostopom do evanescentnega polja ter vlakna s povečano absorpcijo za izgradnjo optičnih varovalk ter termo-optičnih naprav z možnostjo modulacije dolžine optične poti.

ANG

The proposed project included research, investigation, design and manufacturing of special sensing optical fibers that were used for development of different optical sensors for measurement of strain, temperature, pressure, heat-conductivity, and other physical parameters. The successful creation of proposed sensing fibers allowed design of a new generation fiber optic sensors that did not only complemented to existing optical sensing technologies, but also opened new frontiers for fiber sensors in traditional and emerging application fields, such as microfluidics and biomedical field. To accomplish these goals, a new fiber structures and different kinds of less common dopants have been investigated and applied to the design of proposed sensing and signal processing fibers. In order to practically produce such fibers, the project included research and development of new fiber manufacturing technologies. New methods allowed introduction of high concentrations of rarely used dopants in silica glass, such as transition metals or heavy metal ions. Such an example of doping technology is a Flash Vaporization Technology (FVS), which utilizes liquid or dissolved powder precursor chemicals. The proposed sensor fibers are compatible with standard telecommunication fibers and are applicable as point sensors or as sensors integrated in quasi distributed optical sensing networks. Furthermore, we intensively worked on a creation of a new micromachining process, which was used to build complex micro-structures at the tip or within optical fiber, using special structure forming fibers and selective etching. The micromachining process is straightforward and efficient, which makes it appropriate for serial production. Besides sensing optical fibers and sensors this research provided new way for low-cost processing of signals generated by fiber optic sensors.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V obdobju trajanja projekta smo si zadali cilj, da raziščemo in razvijemo nove in ekonomsko učinkovite tehnologije za izdelavo optičnih vlakenskih merilnih sistemov. Specifični cilji projekta so bili:

- raziskati možnosti za razvoj nove generacije posebnih optičnih vlaken, ki bodo omogočala gradnjo kompaktnih in ekonomsko učinkovitih optičnih vlakenskih senzorjev,
- zasnovati optične vlakenske senzorje, ki bodo omogočali merjenje parametrov, ki jih do sedaj ni bilo mogoče meriti z obstoječimi optičnimi vlakenskimi senzorji,
- izdelati prototipe vlaken, ki bodo poenostavila in pocenila gradnjo sistemov za signalno procesiranje.

V sklopu projekta je bilo narejenih mnogo raziskav na področju posebnih optičnih vlaken za uporabo v senzorskih sistemih. Z načrtovanjem posebnih optičnih vlaken smo omogočili tudi izdelavo različnih novih fotonских naprav.

V letu 2010 smo prvič uspeli z dopiranjem prehodnih kovin (vanadij) doseči nadzorovan prirastek optične absorpcije, ki se konča z nesevalnimi prehodi (konverzijo svetlobnega valovanja v toploto), kar smo uporabili pri načrtovanju termo-optičnih naprav in senzorjev. Po postopku trenutnega uparjevanja prekursorjskih kemikalij (FVS) so bili izdelani surovci in vlakna z različnimi vsebnostmi vanadija ob tem pa so bila vlakna še dodatno dopirana z GeO_2 , tako da smo ustvarili valovodno strukturo v vlaknu. Izdelana vlakna so bila ovrednotena s stališča spektralne absorpcije pri različnih valovnih dolžinah. Ugotovili smo:

- a) da se absorpcija v z vanadijem dopiranim vlaknom močno spreminja z valovno dolžino. Poizkusno vlakno, ki je izkazovalo slabljenje 1,7 dB/cm pri 980 nm je pri 1310 nm izkazovalo slabljenje 0,4 dB/cm ter le še 0,08 dB/cm pri valovni dolžini 1550 nm (preliminarni rezultat).
- b) Krivulja slabljenja ima lokalni vrh pri približno 1070 nm, slabljenje nato doseže lokalni minimum pri približno 990 nm, nato pa ponovno narašča v smeri krajših valovnih dolžin. Slabljenje monotono upada za vse valovne dolžine, ki so daljše od približno 1070 nm.
- c) Slabljenje v z vanadijem dopiranim vlaknom je temperaturno odvisno. Presenetljivo je, da smo opazili relativno največjo spremembo v slabljenju pri valovni dolžini 1550 nm, ki je sicer daleč od lokalnega absorpcijskega vrha. Pri vseh valovnih dolžinah, ki so bližje lokalnemu vrhu, je bil relativni prirastek slabljenja zaradi segrevanja občutno nižji.

Na osnovi zgornjih ugotovitev smo pristopili k snovanju prvih senzorskih in drugih naprav na osnovi vanadijevih vlaken. Visoka absorpcija pri 980 nm ter sorazmerno nižja absorpcija pri 1550 nm omogoča uporabo kombiniranega vlakenskega sistema z valovnima dolžinama 980/1550 nm, pri katerem uporabimo valovno dolžino 980 nm za gretje segmenta z vanadijem dopiranega vlakna, medtem, ko uporabimo valovno dolžino 1550 nm za prenos/vodenje merilnih ali drugih signalov.

V letu 2011 smo nadaljevali na delu z vlakni, ki so dopirana z vanadijem. Na podlagi absorpcijskih lastnosti z vanadijem dopiranega vlakna je bila izdelana termo-optična naprava, ki služi za skeniranje optične poti v nizko-koherentnem interferometru. Koncentracija vanadijevih ionov v vlaknu je ustrezala slabljenju 12 dB/cm pri valovni dolžini 980 nm. Na dovodno vlakno smo zvarili krajši kos vlakna, katerega smo greli s črpalno diodo pri 980 nm. Raziskava je pokazala, da lahko z večanjem optične moči črpalne diode, dosežemo variacijo optične poti do 150 μm pri črpalni diodi z močjo 750 mW. Za dosego še večje variacije optične poti, smo podrobneje raziskali termične lastnosti gretega z vanadijem dopiranega vlakna in ugotovili, da je konvekcija dominanten način odvajanja toplote, katero lahko omejimo z uporabo plinov, ki imajo nižji konvekcijski koeficient (npr. Xe, kjer smo dosegli variacijo optične poti do 500 μm). Za povečanje variacije optične moči lahko uporabimo nizek tlak, ki močno zmanjša odvod toplote s konvekcijo (pri absolutnem tlaku $2,5 \cdot 10^{-2}$ mBar smo dosegli variacijo optične moči do 700 μm), z zmanjšanjem premera obloge vlakna pa skrajšamo odzivne čase. Opravljene so bile tudi preliminarne meritve za snovanje drugih termo-optičnih senzorjev. Eden izmed njih je senzor nivoja tekočine, katerega delovanje prav tako

temelji na konvekcijskem prenosu toplote med z vanadijem dopiranim vlaknom in zrakom/tekočino.

V istem letu smo izvedli tudi obsežne raziskave za uporabo posebnih vlaken za izdelavo mikro-optičnih senzorjev in drugih naprav. Pokazali smo, da je možno pomembno vplivati na hitrost jedkanja silicijevega stekla, dopiranega z različnimi dopanti. V okviru projekta smo tako v letu 2011 izvedli podrobne meritve in analize vpliva posameznih dopantov in temperature na hitrost jedkanja silicijevega stekla. Tako smo podrobno izmerili vpliv dopiranja z GeO_2 , TiO_2 , B_2O_3 , F in P_2O_5 na hitrost jedkanja v fluorovodikovi kislini (HF). Ugotovili smo, da se hitrost jedkanja silicijevega stekla najmočneje poveča, kadar ga dopiramo s P_2O_5 . Tako smo pri temperaturi 25°C dobili kar 100 krat večjo hitrost jedkanja dopiranega vlakna (dopirano s P_2O_5 – 15.5 mol %) v primerjavi z nedopiranim. Z nižanjem temperature na 0°C lahko dosežemo še dodatno 30% povečanje selektivnosti jedkanja (selektivnost je razmerje med hitrostmi jedkanja dopiranega in nedopiranega stekla).

Na osnovi zgornjih rezultatov smo v okviru projekta raziskovali in razvili zgodnje prototipe vlaken za izdelavo različnih senzorjev in mikro-optičnih naprav. Tako je bilo uspešno razvito vlakno za izdelavo vlakenskih mikrocelic in vlakno za izdelavo senzorja raztezka z W-strukturo. Ti vlakni sta bili uspešno uporabljeni za izdelavo delujočih prototipov senzorjev, ki je potekala v okviru dela programske skupine P2-0368. Delo na projektu je v letu 2011 tako nudilo dodatno podporo raziskavam programske skupine P20368, saj je dostop do proizvodnje optičnih vlaken (preko sodelujočega podjetja) omogočilo pridobitev temeljnih podatkov ter zmožnosti za realizacijo posebnih vlaken za nadaljnje raziskave in razvoj mikro-optičnih senzorjev.

V nadaljevanju smo se ukvarjali tudi s problemom izdelave optične varovalke. Za potrebe izdelave optične varovalke je bilo razvito specialno optično vlakno z V-dopiranim enorodovnim jedrom in s P_2O_5 dopirano oblogo, katerega segment dolžine $700\ \mu\text{m}$ smo zvarili med standardna enorodovna dovodna vlakna. Po jedkanju se kos dopiranega vlakna transformira v $13\ \mu\text{m}$ tanko jedro z dvema podpornima nosilcema iz čistega SiO_2 . Optično varovalko smo obdali s pirotehnično snovjo, ki je pospešila prekinitev optičnega signala pri povišanju optične moči čez prag $200\ \text{mW}$. Nastali optični sklop je imel pri valovni dolžini $1550\ \text{nm}$ $3\ \text{dB}$ izgub.

V letu 2012 smo nadaljevali z razvojem posebnih optičnih vlaken za uporabo v senzorskih sistemih. Iskali smo nove rešitve vlaken, ki omogočajo mikro-obdelavo na osnovi selektivnega jedkanja in izgradnjo novih vrst termo-optičnih naprav.

Za potrebe izdelave tlačno temperaturnega senzorja je bilo načrtovano in izdelano vlakno, ki omogoča izdelavo tlačnega resonatorja na vrhu dovodnega enorodovnega vlakna z dolgim resonatorjem. Dolgi resonator ($>15\ \mu\text{m}$) je omogočil procesiranje signalov ob uporabi obstoječih virov z omejeno s spektralno širino. Zaradi popolne steklene zgradbe je senzor primeren za uporabo pri aplikacijah, kjer so navzoče visoke temperature. Predstavljena tlačna spektralna občutljivost $36\ \text{nm}/\text{bar}$ pa je dovolj za uporabo v področjih biomedicine in mikrofluidnih aplikacij. V sklopu raziskav vlaken za izdelavo kombiniranega tlačno-temperaturnega senzorja smo se orientirali tudi na izvedbo z mnogorodovnim dovodnim vlaknom, kar prinaša številne prednosti v smislu cenovno ugodnejšega signalnega procesiranja. V ta namen nam je uspelo izdelati senzor z visoko tlačno občutljivostjo $570\ \text{nm}/\text{bar}$, ki je primeren za uporabo v okolju z visokimi temperaturami, saj deluje v področju do 500°C z občutljivostjo $0,25\ \text{nm}/\text{K}$. V okviru

projekta smo veliko časa namenili izdelavi mikro-evanescentne linijske naprave. Načrtovano je bilo posebno optično vlakno. Rezultati so pokazali, da lahko z načrtovanjem jedra optičnega vlakna vplivamo na efektivni lomni količnik rodu, ki se širi skozi izpostavljeno jedro in s tem na prenosne karakteristike optične naprave. Postopek načrtovanja je preprost in nam omogoča, da z dodajanjem dopantov kot sta GeO_2 in TiO_2 , z zelo finimi koraki nastavljamo efektivni lomni količnik rodu.

V sklopu raziskav posebnih optičnih vlaken, dopiranih z vanadijem smo v zadnjem letu nadaljevali z delom na termo-optičnih napravah in termo-optičnih senzorjih. Za potrebe dokončanja optičnega modulatorja je bilo optimizirano in izdelano dopirano optično vlakno z vanadijem, ki omogoča kratke dolžine termo-optičnega modulatorja (okoli 1 mm). Dopirano optično vlakno je uporabljeno v Fabry-Perot interferometerskem sestavu, kjer lahko neposredno merimo temperaturo v odvisnosti od spremembe optične poti. Na opisanem principu merjenja termične prevodnosti je bil zasnovan senzor za merjenje podtlakov in senzor za razločevanje različnih snovi. Raziskan je bil vpliv toplotne prevodnosti in premera optičnega vlakna na modulacijo optične poti, pri čemer je bilo ugotovljeno, da znižanje toplotne prevodnosti snovi, v kateri se greto optično vlakno nahaja, močno poveča skupno spremembo optične poti, medtem ko se časovna konstanta podaljša. S tanjšanjem gretega optičnega vlakna pa se časovna konstanta močno skrajša, pri čemer je tudi skupna sprememba optične poti nekoliko večja. Največja dosežena skupna sprememba optične poti je bila 1 mm, medtem ko je najkrajša časovna konstanta znašala 11 ms. Kot primer uporabe v aplikaciji, je bil termo-optični modulator uporabljen v nizko-koherentnem interferometru, kjer je v interferometru za izločanje merilne vrednosti ciklično moduliral optično pot s hitrostjo dveh preletov na sekundo. Za sprotne merjenje modulirane optične poti je bila uporabljena laserska dioda z valovno dolžino 1310 nm, za nizko-koherentni interferenčni vzorec pa je bila uporabljena led dioda z valovno dolžino 1550 nm.

Na osnovi posebnega optičnega vlakna in mikro-obdelave optičnih vlaken s selektivnim jedkanjem je bil izdelan senzor lomnega količnika. Razvoj in delovanje senzorja temelji na izdelavi do 1 mm dolge nano-žičke kot senzorskega elementa na vrhu optičnega vlakna. Pokazana je bila visoka občutljivost senzorja 800 nm/RIU v vodnem mediju ter zmožnost razločevanja med različnimi plini kot so vodik, kisik, zrak in vakuum. Predstavljen senzor ima polmer nano-žičke v območju med 225 in 600 nm, v celoti je izdelan iz stekla in hkrati zagotavlja mehansko oporo-zaščito za nano-žičko. Tovrsten senzor je robusten in za uporabo ne potrebuje dodatnih podpornih nosilcev, kar močno poenostavi rokovanje in pakiranje. Senzor ima pomemben potencial za uporabo v biomedicini, saj nudi novo platformo za senzorje, ki delujejo na osnovi zaznavanja aktivnih plasti, na primer v različnih "label-free" senzorskih sistemih.

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

Delo na projektu je potekalo skladno s pričakovanji in najavo. Velik poudarek je bil namenjen mikro-obdelavi z razvojem tehnologije selektivnega jedkanja in razvoju posebnih optičnih vlaken dopiranih s prehodnimi kovinami. Obe tehnologiji sta pokazali pomemben praktičen potencial za izdelavo različnih optičnih senzorjev in senzorskih sistemov.

Na osnovi temeljite raziskave različnih dopantov s katerimi vplivamo na hitrost jedkanja smo uspešno določili najučinkovitejši, t.j. P_2O_5 , ki smo ga implementirali v specialna optična vlakna načrtovana za potrebe izdelave mikro-celice, senzorja raztezka, vlakenske evanescentne naprave, optične varovalke, dvo-parametričnega senzorja tlaka in

temperature, senzorja lomnega količnika, itd. Vsa ta vlakna so bila uporabljena za izdelavo mikro-senzorjev ali mikro-naprav. Uspešno so bili raziskani tudi dopanti iz prehodnih kovin, ki so v kombinaciji z drugimi neobičajnimi dopanti prispevali k novim rešitvam na področju posebnih vlaken s posebnimi valovodnimi lastnostmi kot so termo-optični modulatorji, vlakna neobčutljiva na makro ukrivljenost ter vlakna za izdelavo optičnih varovalk.

Kot zelo uporaben dopant iz nabora prehodnih kovin za izdelavo senzorjev se je izkazal vanadij, ki smo ga zaradi dobrih absorpcijskih lastnosti uporabili za izdelavo termo-optične naprave, ki služi za skeniranje optične poti v nizko-koherentnem interferometru, kjer z variacijo optične moči črpalne diode dosegamo variacije optične poti. V skladu s pričakovanji smo z uporabo nizkih tlakov uspeli pokazati, da ima konvekcijski odvod toplote dominanten vpliv na velikost variacije optične poti in na časovne odzive, kar smo s pridom uporabili za izdelavo različnih termo-optičnih senzorjev. Z optimizacijo z vanadijem dopiranega optičnega vlakna nam je uspelo zgraditi optični modulator dolžine 1 mm, ki je bil s postopkom jedkanja dopiranega optičnega vlakna ustrezno stanjšano (skupno na 20 μm), kar je povzročilo občutno krajše odzivne čase. Z optimiziranim optičnim vlaknom smo tako dosegli 600 μm modulirane optične poti pri modulacijski frekvenci 50 Hz. S tako veliko optično modulacijo je bilo izdelanih vrsta senzorjev kot so: temperaturni senzor, senzor podtlaka, senzor za razločevanje različnih snovi in senzor nivoja tekočin.

Na osnovi doseženih rezultatov ocenjujemo, da projekt teče v skladu z napovedmi in celo ponekod bistveno presega zastavljene cilje. Ker predvidevamo dober potencial za komercializacijo teh rezultatov, smo v obdobju trajanja projekta pri US PTO (ameriški patentni urad) vložili tri redne in eno začasno patentno prijavo, dokončno pa sta bila v zadnjem letu pri US PTO registrirana dva patenta.

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

Brez sprememb

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	16870678	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Termo-optična modulacija optične pote na osnovi optičnih vlaken dopiranih z vanadijem
		ANG	All-optical, thermo-optical path length modulation based on the vanadium-doped fibers
	Opis	SLO	Članek predstavlja povsem vlakenski in povsem optični krmiljen modulator optične poti na osnovi vlakna z visoko absorpcijo. Modulator vsebuje črpalno diodo 980 nm in kratek kos enorodovnega vlakna z dodatno dopiranim vanadijem, ki je segreto le na osnovi absorpcije. Dosežena območje modulacije optične poti je primarno odvisno od črpalne moči diode in konvekcijskega koeficienta za prenos toplotne energije na plin v okolici, medtem ko je časovni odziv primarno odvisen od premera gretega optičnega vlakna. Eksperimentalno je bila prikazana absolutna sprememba dolžine optične poti več kot 500 μm in časovne konstante v področju 11 ms. Povsem vlakenska zgradba omogoča pasiven in oddaljen nadzor modulatorja. Predstavljen modulator je lahko uporabljen znotraj različnih vlakenskih-optičnih sistemov, ki zahtevajo nadzor dolžine optične poti ali

			modulacijo.
		ANG	This paper presents an all-fiber, fully-optically controlled, optical-path length modulator based on highly absorbing optical fiber. The modulator utilizes a high-power 980 nm pump diode and a short section of vanadium-co-doped single mode fiber that is heated through absorption and a non-radiative relaxation process. The achievable path length modulation range primarily depends on the pump's power and the convective heat-transfer coefficient of the surrounding gas, while the time response primarily depends on the heated fiber's diameter. An absolute optical length change in excess of 500 m and a time-constant as short as 11 ms, were demonstrated experimentally. The all-fiber design allows for an electrically-passive and remote operation of the modulator. The presented modulator could find use within various fiber-optics systems that require optical (remote) path length control or modulation.
	Objavljeno v	Optical Society of America; Optics express; 2013; Vol. 21, no. 10; str. 11794-11807; Impact Factor: 3.546; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.857; A': 1; WoS: SY; Avtorji / Authors: Matjašec Žiga, Čampelj Stanislav, Donlagić Denis	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	16108822	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Miniaturni Fabry-Perot senzor za simultano merjenje tlaka in temperature.
		ANG	Miniature all-fiber Fabry-Perot sensor for simultaneous measurement of pressure and temperature
	Opis	SLO	Predstavljen je prototip miniaturnega, visoko občutljivega, optičnega vlakenskega Fabry-Perot senzorja, ki je primeren za simultano merjenje tlaka in temperature in katerega dimenzije v celoti ne presegajo standardnega premera optičnega vlakna, to je 125 μ m. Senzor je sestavljen iz dveh polprepustnih FP resonatorjev, narejenih na vrhu optičnega vlakna. Prvi resonator je izdelan v obliki kratke zračne reže na vrhu optičnega vlakna in združuje tanko stekleno membrano, ki je potrebna za doseg tlačnega odziva. Namen drugega resonatorja je izkoriščanje odvisnosti spremembe lomnega količnika vlakna od temperature, da senzorju omogoči funkcijo merjenja temperature. Oba resonatorja imata dovolj različni dolžini, ki omogočata razločitev signalov, potrebnih za določitev obeh merjenih parametrov.
		ANG	This paper presents a miniature, high-sensitive, all-silica Fabry-Perot fiber optic sensor suitable for simultaneous measurements of pressure and temperature. The proposed sensor consists of two low fines Fabry-Perot resonators, created at the tip of an optical fiber. The first resonator is embodied in the form of a short air cavity positioned at the tip of the fiber. This resonator utilizes a thin silica diaphragm to achieve the sensor's pressure response. The second resonator exploits the refractive index-dependence of silica fiber in order to provide the proposed sensor's temperature measurement function. Both resonators have substantially different lengths that permit straightforward spectrally-resolved signal-processing and unambiguous determination of the applied pressure and temperature.
	Objavljeno v	Optical Society of America; Applied optics; 2012; Vol. 51, no. 19; str. 4536-4541; Impact Factor: 1.689; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.857; WoS: SY; Avtorji / Authors: Pevec Simon, Donlagić Denis	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	16494870	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Miniaturna optična naprava na osnovi mikro žičke in dostopa do optičnega polja

		ANG	Miniature micro-wire based optical fiber-field access device
Opis	SLO	Članek predstavlja napravo iz optičnega vlakna z omogočenim dostopom do optičnega polja, ki je primerna v različnih optičnih vlakenskih sistemih in optičnih komponentah. Predstavljena naprava je zgrajena iz tanke steklene mikro žičke, ki je nameščena med dva dovodna enorodovna vlakna. Tanka žička deluje kot valovod z majhnimi izgubami med obema dovodnima vlaknoma. Žička hkrati omogoča interakcijo med optičnim poljem, ki se širi skozi njo in poljem, ki je odvisno od medija, ki žičko obdaja. Velikost interakcije, skupne izgube in fazni zamik so parametri, ki jih lahko nadziramo z načrtovanjem naprave. Predstavljena naprava je miniaturne izvedbe in je v celoti izdelana iz stekla. Mehanske lastnosti so primerne za rokovanje z napravo in pakiranje, ne da bi pri tem potrebovali kakšne dodatne podporne konstrukcije. Naprava je bila izdelana z uporabo tehnologije mikro-obdelave na osnovi selektivnega jedkanja posebnega z P2O5 dopiranega optičnega vlakna. Metoda je enostavna in primerna za proizvodnjo v velikih serijah.	
	ANG	This paper presents an optical fiber-field access device suitable for use in different in-line fiber-optics systems and fiber-based photonics components. The proposed device utilizes a thin silica micro-wire positioned in-between two lead-in single mode fibers. The thin micro-wire acts as a waveguide that allows for low-loss interconnection between both lead-in fibers, while providing interaction between the guided optical field and the surrounding medium or other photonic structures. The field interaction strength, total loss, and phase matching conditions can be partially controlled by device-design. The presented all-fiber device is miniature in size and utilizes an all-silica construction. It has mechanical properties suitable for handling and packaging without the need for additional mechanical support or reinforcements. The proposed device was produced using a micromachining method that utilizes selective etching of a purposely-produced phosphorus pentoxide-doped optical fiber. This method is simple, compatible with batch processes, and has good high-volume manufacturing potential.	
Objavljeno v		Optical Society of America; Optics express; 2012; Vol. 20, no. 25; str. 27874-27887; Impact Factor: 3.546; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.857; A': 1; WoS: SY; Avtorji / Authors: Pevec Simon, Donlagić Denis	
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	16918038	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO	Senzor lomnega količnika na osnovi nano-žičke na vrhu optičnega vlakna
		ANG	Nanowire-based refractive index sensor on the tip of an optical fiber
		SLO	Članek predstavlja senzor lomnega količnika izdelanega na osnovi nano-žičke s polmerom med 225 in 600 nm na vrhu optičnega vlakna. Senzorski element je krajši od 1mm in premer ne presega premera standardnega dovodnega vlakna. Izmerjena je bila visoka občutljivost 800 nm/RIU v okolici vodnega medija. Predstavljen senzor je v celoti izdelan iz stekla in hkrati zagotavlja mehansko oporo-zaščito za nano-žičko. Tovrsten senzor je robusten in za uporabo ne potrebuje dodatnih podpornih nosilcev, kar močno poenostavi rokovanje in pakiranje.
		ANG	This letter presents a refractive index sensor created at the tip of an optical fiber that utilizes silica nanowire within a radius of between 225 nm and 600 nm, as a sensing element. Sensitivity in excess of 800 nm/RIU was demonstrated within an aquatic medium, while the entire sensor structure was shorter than 1mm with a diameter equal to or less than the standard fiber diameter. The presented sensor structure is made entirely from silica and provides the mechanical protection of sensitive nanowire. The proposed sensor is thus a robust and self-sustained structure, which does not require

		any complex packing.
	Objavljeno v	American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2013; Vol. 102, iss. 21; str. 213114-1-213114-4; Impact Factor: 3.794; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.629; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Pevec Simon, Donlagić Denis
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	15204374 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Mikroobdelava s fosforjevim pentoksidom dopiranih optičnih vlaken na osnovi selektivnega jedkanja
		<i>ANG</i> Micromachining of optical fibers using selective etching based on phosphorus pentoxide doping
	Opis	<i>SLO</i> Članek predstavlja proces mikro-obdelave, s katerim lahko segment optičnega vlakna preoblikujemo v kompleksno 3-D optično mikro-strukturo. Predstavljen postopek mikro-obdelave temelji na osnovi nadzora hitrosti jedkanja, ki ga dosežemo z vgraditvijo fosforjevega pentoksida v silicijevo steklo skozi standardne postopke proizvodnje optičnih vlaken. Področja v preseku optičnega vlakna, dopirana s fosforjevim pentoksidom, se lahko v fluorovodikovi kislini jedkajo tudi do 100 krat hitreje kot čisto silicijevo steklo. Na osnovi opisanega principa je možno učinkovito in ekonomično izdelati široko paleto optičnih naprav, kjer z jedkanjem ustrezno dopiranih optičnih vlaken, ki jih privarimo na vrh ali med standardna dovodna vlakna, dosežemo izdelavo zelene končne mikro-fotonske strukture.
		<i>ANG</i> This paper presents a maskless micromachining process that can reform or reshape a section of an optical fiber into a complex 3-D photonic microstructure. This proposed micromachining process is based on the etching rate control achieved by the introduction of phosphorus pentoxide into silica glass through standard fiber manufacturing technology. Regions within a fiber cross section doped with phosphorus pentoxide can etch up to 100 times faster than pure silica when exposed to hydrofluoric acid. Various new photonic devices can be effectively and economically created by design and production of purposely doped fibers that are spliced at the tip or in-between standard lead-in fibers, followed by etching into a final structure.
	Objavljeno v	IEEE Photonics Society; IEEE photonics journal; 2011; Vol. 3, no. 4; str. 627-632; Impact Factor: 2.320; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A': 1; WoS: IQ, SY, UB; Avtorji / Authors: Pevec Simon, Cibula Edvard, Lenardič Borut, Donlagić Denis
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID		17241110	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metode za izdelavo optičnih naprav	
		ANG	Methods of manufacturing optical devices	
	Opis	SLO	V patentu je predstavljen Fabry-Perot optični senzor za zaznavanje parametrov kot je tlak in drugih. Senzor je sestavljen iz dovodnega optičnega vlakna, ki ima na koncu distančnik zaokrožen navznoter. Na koncu distančnika je nameščena fleksibilna membrana, ki je občutljiva na merjene parametre. Membrana hkrati določa eno izmed odbojnih površin Fabry-Perot resonatorja znotraj optičnega senzorja. V patentu so predstavljene tudi metode za izdelavo takšnih senzorjev.	
		Methods of manufacturing optical devices are disclosed. The method		

		ANG	includes providing a structure-forming fiber bonded to at least one other optical component, the structure-forming fiber having a preferentially-etchable portion including at least one radial etching boundary and at least one axial etching boundary, and etching the preferentially-etchable portion to the radial and axial etching boundaries to produce a precise optical structure. The preferentially-etchable portion may be removed through one or more radial openings in the structure-forming fiber. Numerous other aspects are provided.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	s. n.]; 2013; [36] f.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Đonlagić Denis, Pevec Simon	
	Tipologija	2.24	Patent
2.	COBISS ID	17639446	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Evanescentne optične naprave, optični sistemi in metode
		ANG	In-line optical fiber devices, optical systems, and methods
	Opis	SLO	Patent se nanaša na evanescentne optične naprave oz. na evanescentne naprave, ki so prirejene za sklop z optičnim vlaknom. Evanescentna optična naprava je primerna za uporabo v različnih optičnih vlakenskih sistemih za interakcijo vodenega optičnega polja z medijem, ki evanescentno optično napravo obdaja. Evanescentna naprava vsebuje polje, kjer poteka interakcija z optično valovodno strukturo (jedro vlakna), oporne nosilce, ki so odmaknjeni od centralne osi in odprtine, ki obdajajo valovodno strukturo. Evanescentni optični sistem vsebuje obe dovodni vlakni med katerima je sklopljena evanescentna optična naprava. Metoda izdelave zajema izdelavo specialnega optičnega vlakna z integrirano oporno strukturo, polje za interakcijo in del hitro jedkajočega vlakna. Metoda izdelave prav tako zajema izdelavo celotnega skopa evanescentne naprave, ki temelji na spajanju specialnega optičnega vlakna med obe dovodni vlakni v strukturo, ki se na koncu še jedka. Z jedkanjem se oblikuje ključni segment evanescentne naprave, ki vsebuje polje za interakcijo in oporne nosilce.
		ANG	The present invention relates to an in-line optical device, and more particularly to an in-line optical device adapted to be connected to an optical fiber. The in-line optical device is suitable for use in different in-line fiber optics systems to provide interaction of the guided optical field with the surrounding medium or other photonics structure. The in-line optical device includes a field interaction region of an optically-transmissive material or at least the fiber core, a support structure spaced from the central axis having one or more radial openings; and a void between the support structure and the field interaction region, the void substantially surrounding the field interaction region. An in-line optical system includes a first and second lead-in optical fiber, and in-line optical device, which is coupled between both lead-in fibers. The method of manufacturing includes providing a structure-forming fiber with support structure forming portion, a field interaction region forming portion, and a preferentially etchable portion. It also includes bonding the structure forming fiber between both lead-in fibers to form a fiber assembly that is further etched. Etching is needed to remove the etchable portion in order to form an in-line optical device having a field interaction region with support structures.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	s. n.]; 2014; [38] f.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Đonlagić Denis	
	Tipologija	2.24	Patent

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Raziskovalno delo in razvoj novih-posebnih optičnih vlaken so vodili k ustvarjanju temeljnega znanja, ki je omogočilo originalne pristope v snovanju novih optičnih senzorjev in fotonских naprav. Predlagan koncept načrtovanja in izdelave optičnih vlaken v neposredni povezavi z mikro-obdelavo na osnovi selektivnega jedkanja je osnova za razvoj nove generacije optičnih vlaken in optičnih senzorjev, ki bodo in že predstavljajo pomemben prispevek na področju fotonike ter številnih znanstvenih področjih, kot so na primer mikrofluidika, biomedicina, gradbeništvo, in mnoge druge tehniške vede, ki uporabljajo tehnologijo vlakenskih senzorjev. Opravljene raziskave imajo velik pomen na vzpostavitev novih konceptov za kvazi-porazdeljeno merjenje temperature, mehanskih napetosti, raztezkov ter drugih fizikalnih parametrov. Predlagani koncepti so izvirni po svoji zasnovi kakor tudi po praktični uporabnosti, kar omogoča neposredno uporabo rezultatov raziskovalnega dela v praktičnih aplikacijah.

Raziskave na področju novih dopantov in njihovih učinkov na optične, termo-dinamične in druge lastnosti, zlasti v višjih koncentracijah, so odprle raziskovalne možnosti na drugih področjih, ko so npr. vlakenski laserji in telekomunikacije. Nove valovodne strukture, ustvarjene znotraj in na vrhu optičnih vlaken, imajo učinek na razvoj inovativnih fotonских komponent, ki so lahko v prihodnje pomembni gradniki tudi na številnih drugih področjih, kjer se uporabljajo vlakenski ali drugi fotonски sistemi.

Rezultati znanstvenih del so predstavljeni v uglednih znanstvenih revijah z visokim faktorjem vpliva ter zaščiteni z vloženimi mednarodnimi patentnimi prijavi in že registriranimi patenti. Na osnovi pridobljenih raziskav, rezultatov, in gotovih senzorjev so postavljeni boljši pogoji za sodelovanje z novimi domačimi in tujimi industrijskimi partnerji, s čimer se vzpostavlja boljša povezava z znanstveno sfero in gospodarstvom.

ANG

Proposed research and development of new and novel specialty optical fibers lead to creation of new and fundamental knowledge enabling original approaches in design of fiber optic sensors and photonic devices. Implemented solutions that all base on micromachining including selective etching are used for development of new generation of optical fiber sensors, presenting an important contribution in the field of photonics and other scientific fields like microfluidics, biomedicine, civil engineering and other technical fields that use and rely upon fiber optic sensing technologies. The proposed concepts are original in their design as well as in practical usability, which enabled direct application of research results in practical applications. Research conducted in the field of new dopants and their impact on optical, thermal and other properties, particularly in high concentrations extends research options in other scientific fields, such as fiber lasers and telecommunication applications. New waveguide structures created inside and on the tip of optical fibers have been opened the novel development approaches for innovative photonic components applicable to numerous other areas of science and technology, where fibers or photonic systems are used. The results of the research work have been published in prominent scientific journals with high impact factor and secured with international patents. Fabrication of prototypes may lead directly to practical industrial products and applications. On base of the research work, results and produced sensors we establish better conditions for cooperation among local and global industrial partners with the aim of assuring better cooperation of scientific sphere with business sector.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Projekt je z neposredno vpletenostjo industrijskih partnerjev iz področja Slovenije pripomogel k razvoju in napredku tako podjetij kot tudi razvoju novih tehnologij v Sloveniji. Kot je bilo

načrtovano, so rezultati projekta neposredno uporabljivi v smislu realizacije praktičnih prototipov senzorjev in posebnih senzorskih vlaken, ki so v fazi, da lahko ob primernem nadaljnjem razvoju in financiranju vodijo v industrijske izdelke. Tako so raziskave na področju dopiranja z neobičajnimi dopanti neposredno prispevale k razvoju temeljnih znanj in izdelkov v podjetju Optacore. Slednja so osnova za razvoj novih izboljšanih sistemov za dopiranje optičnih vlaken, ki je osrednji produkt podjetja. Raziskave in rezultati so praktično pomembni za vsa slovenska podjetja, ki so že ali skušajo biti uporabniki fotonjskih tehnologij. Z nekaterimi teh podjetij člani raziskovalne skupine že dlje časa aktivno sodelujejo. Projekt je omogočil razvoj skupine (trenutno edina v Sloveniji), ki ima poglobljena znanja in obvladuje tehnologije s področja optičnih vlaken. Optična vlakna so ena izmed temeljnih fotonjskih tehnologij, ki jih je EC uvrstila med KET (key enabling technologies), zato je razvoj tovrstnih tehnologij pomemben za dolgoročen razvoj slovenskega gospodarstva, saj lahko bistveno pripomore h dvigu konkurenčnosti domačih podjetij in dvigu gospodarske rasti.

Raziskave in rezultati projektne skupine lahko imajo tudi ugodne učinke na globalnem nivoju, saj so razviti in praktično predstavljeni senzori uporabni na področjih, kjer to do sedaj, bodisi zaradi cenovnih ali zmogljivostnih omejitev, ni bilo izvedljivo. Primer takšnih področij sta na primer mikrofluidni in biomedicinski senzori. S tem so odprte možnosti za izvedbo novih in energijsko učinkovitejših naprav.

ANG

Project linked together more industrial partners from Slovenia, which contribute to the development of industrial partners involved in the project, as well as other industrial partners that cooperate with members of the project group. Like it was expected that developed prototypes are easily convertible into marketable industrial products with suitable after project development. Research of doping technology and process for specialty optical fibers provided fundamental knowledge for future product and technology development in Optacore and possible development of new fabrication equipment and system for doping of optical fiber preforms and similar products, the area of development where Optacore is still one of the main players globally.

Success of proposed project provided direct as well as indirect benefits to many Slovenian enterprises, which already use or want to use photonic or optical fiber based solutions. Such companies are, among others, Hidria, Fotona, Metrel, Optotek, LPKF and Mikrobīt. Project group members have already established cooperation with these companies.

Since project group members are the only Slovenian companies with profound and extensive knowledge of optical fiber technologies, is very important that group members continue in proposed direction, because in broader area is expected to see even higher interest for optical technology use, which is belong functionality, simplicity and novelty, the base condition for further product commercialization. That can significantly improve competitiveness of domestic partners and increase the economic growth.

Beneficial effects are also foreseen on the global level. With development of technologies that provide the possibility for more cost effective implementation of sensor systems, based on novel specialty fibers and photonic devices, fiber optic sensing have been gained much wider acceptance in the fields where cost or other characteristics presented a critical limitation (for example in microfluidics, biomedicine, automotive industry, etc).

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	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30 Strokovna ocena stanja		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31 Razvoj standardov		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32 Mednarodni patent		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33 Patent v Sloveniji		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34 Svetovalna dejavnost		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35 Drugo		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

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	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
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	☐	☐	☐	☐	

G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
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 2013¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V letu 2013 je bil v okviru projekta izdelan senzor lomnega količnika z nano-žičko na vrhu optičnega vlakna. V uporabljen je bila tehnologija selektivnega jedkanja ter razvito posebno optično vlakno dopirano s fosforjevim pentoksidom, ki v danem primeru omogoča, da se določene strukture optičnega vlakna jedkajo 30 krat hitreje v primerjavi s hitrostjo jedkanja čistega SiO₂. Rezultati in izsledki raziskav so bili objavljeni v ugledni reviji Applied physics letters. Članek predstavlja senzor lomnega količnika izdelanega na osnovi nano-žičke s polmerom med 225 in 600 nm na vrhu optičnega vlakna. Senzorski element je krajši od 1 mm in premer ne presega premera standardnega dovodnega vlakna. Izmerjena je bila visoka občutljivost 800 nm/RIU v vodnem mediju. Tovrsten senzor je robusten in za uporabo ne potrebuje dodatnih podpornih nosilcev, kar močno poenostavi rokovanje in pakiranje. Senzor omogoča nove, predvsem pa praktične pristope za detekcijo na biomedicinskih in drugih področjih.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2013 je bil na ameriškem patentnem podeljen patent, ki se navezuje na metode in tehnologije za izdelavo različnih optičnih naprav z uporabo posebnih vlaken. Metode temeljijo na izdelavi posebnega optičnega vlakna ter na uporabi tehnologije selektivnega jedkanja.

Posebno optično vlakno ima prednostna področja, ki se jedkajo mnogo hitreje. Med jedkanjem se prednostna področja odstranijo, tako da ostanejo na vlaknu točno določene optične strukture. Komplementarni tehnologiji načrtovanja-izdelave posebnih optičnih vlaken in selektivnega jedkanja omogočata učinkovito izdelavo linijskih vlakenskih, vlakenskih mikro zrcal v obliki zračnih žepkov, mikro-celic, nihal, mikro resonatorjev in koničnih struktur na vrhu optičnega vlakna. Predstavljena tehnologija mikro-obdelave je potencialno cenovno-učinkovita saj lahko iz enega kilometra optičnega vlakna izdelamo več 10.000 optičnih naprav. Tehnologija je primerna za serijsko proizvodnjo in s tem uspešno uporabo v industrijskem okolju.

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:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za
elektrotehniko, računalništvo in
informatiko

Denis Donlagić

ŽIG

Kraj in datum:

Mariboru	25.3.2014
----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/10

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

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

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

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

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

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

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

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih

raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

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

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

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

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

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

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

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2014 v1.01

F2-39-27-05-23-7C-16-1C-A9-9B-40-23-7A-44-02-FC-CD-D3-29-76