

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2014/43



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0244
Naslov programa	Mikrostrukture in nanostrukture
Vodja programa	1926 Slavko Amon
Obseg raziskovalnih ur	11900
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2013
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.09 Elektronske komponente in tehnologije
Družbeno-ekonomski cilj	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Raziskovalno delo programa Mikrostrukture in nanostrukture je potekalo v okviru sprejetega programa raziskav posameznih novih procesov mikroobelave standardnih ter novih naprednih materialov in njihove karakterizacije, s poudarkom na integraciji posameznih tehnologij za izdelavo inovativnih mikrosistemov.

Na področju raziskav novih postopkov mokrega jedkanja silicija smo raziskali lastnosti kombiniranega mokrega anizotropnega in izotropnega jedkanja Si.

Na področju suhega jedkanja z globokim reaktivnim ionskim jedkanjem (angl. DRIE) smo postavili nov DRIE sistem, razvili osnovne postopke usmerjenega (directional) jedkanja z nadgradnjo dvo-pulznega Bosch procesa in jih uspešno uporabili pri realizaciji različnih mikrofluidnih aplikacij.

Na področju tankih metalizacijskih plasti smo raziskali vplive termične obdelave strukture Ti/Pt na Si/SiO₂ podlagi na adhezijo, TCR in stabilnost, za realizacijo temperaturnih senzorjev in grelcev. Raziskali smo tvorbo napak v tankih Al plasteh (hillocks), deponiranih v PVD naprševalniku, v odvisnosti od kemijske sestave tarče, pogojev nanašanja in toplotne obdelave ter dokazali korelacijo med velikostjo zrn, teksturo zrn in tvorbo napak.

Na področju tankih dielektričnih plasti smo raziskali lastnosti deponiranih PECVD SiNx plasti, izdelanih z izmeničnim nanosom pri nizki in visoki frekvenci vzbujanja plazme, kar omogoča kontrolo vgrajenih mehanskih stresov v tankih plasteh.

Na področju piezoelektričnih plasti smo raziskovali lastnosti piezoelektričnih struktur, ki delujejo kot aktuatorji (mikročrpalke, mikroročice).

Raziskali smo metode spajanja Pyrex stekla po postopku anodnega bondiranja na različno pripravljene površine Si substrata (hidrofobni Si, hidrofilni Si, termično oksidiran Si) v kompleksnih MEMS strukturah in realizirali merilno metodo za analizo prehodnega pojava med procesom bondiranja.

Pri raziskavah numeričnega modeliranja v simulacijskem okolju COMSOL Multiphysic smo uspeli šele ob sklopitvi piezoelektričnega modela z mehanskim in fluidnim načrtati, izdelati in karakterizirati prototipe prvih trakastih PDMS mikročrpalk zgradbe steklo/PDMS/steklo.

Na področju raziskav pametne elektronike je bilo zasnovanih in realiziranih več naprednih elektronskih krmilnih sistemov kot npr. sistem za pulzno napajanje tankoplastnih Ti/Pt grelcev in obdelavo merilnih signalov temperaturnih senzorjev, elektronski sistem za merjenje gleženjskega indeksa ABPI na področju medicinske aplikacije ter elektronski sistem za generatorje pretoka na osnovi metode prediktivnega vodenja.

Rezultati omenjenih raziskav so bili sinergijsko povezani in so omogočili realizacijo kompleksnih mikrosistemov ter odmevnih objav (mikroreaktor: *J. micromechanics microengineering* 2011, LOC z Au elektrodami: *IEEE trans. biomed. eng.* 2009, *IEEE trans. nanobiosci.* 2011, mikrogorilnik: *Sens. Actuators, A, Phys.* 2012, mikročrpalke: *Sensors* 2013).

ANG

Investigations of research program Microstructures and Nanostructures were directed in new micromachining processes for standard and advanced materials, with emphasis on integration of technologies for realization of innovative microsystems.

In the field of wet silicon etching processes, properties of a new, combined anisotropic and isotropic wet etching of Si microstructures were investigated.

In the field of dry etching by deep reactive ion etching (DRIE), a new DRIE system was installed. Procedures of directional etching were developed by upgrading two-pulse Bosch process and results successfully used in realization of various microfluidic applications.

In the field of thin metallization layers, the influence of thermal annealing on microstructural properties of Ti/Pt deposited on Si/SiO₂, in terms of adhesion, TCR and longterm stability of temperature sensors and heaters were investigated. In thin Al layers deposited by DC sputtering, formation of defects was studied. Influence of target composition, deposition parameters and heat treatment were investigated. Correlation between grain size, texture, and formation of defects was established.

In the field of thin dielectric films, properties of PECVD SiNx layers, deposited by applying alternating low and high frequency plasma excitation, allowing control of built-in mechanical stress in thin films, were investigated.

In the area of piezoelectric layers, properties of piezoelectric structures which act as actuators (micropumps, microcantilevers) were investigated.

In the field of substrate bonding, covalent anodic bonding of Pyrex and Si substrate was investigated, with different Si surface terminations.

In the field of numerical modeling with COMSOL, we have successfully coupled piezoelectric model with mechanical and fluidic models, resulting in excellent correspondence between simulated and experimental results. By this approach, we were able to successfully simulate, design, build and characterize first prototypes of the strip-type piezoelectrically driven PDMS micropumps, built on glass/PDMS/glass structure.

In the field of smart electronics, we have designed and realized advanced electronic control systems such as pulse-mode power supply system for thin-film Ti/Pt heaters, acquisition system for temperature sensors, electronic system for measuring ankle index ABPI in the field of medical applications, and an electronic system for microfluidic flow generators, based on predictive control methods.

The results of the above studies were synergistically joined for realization of complex microsystems (microreactor: *J. Micromech. Microeng.* 2011, LOC with Au electrodes: *IEEE Trans . Biomed . Eng* 2009, *IEEE Trans . Nanobiosci .* 2011, microcombustor: *Sens . Actuators A, Phys.* 2012, micropumps: *Sensors* 2013).

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu²

SLO

Na področju raziskav novih postopkov **mokrega jedkanja silicija** smo raziskali lastnosti kombiniranega mokrega anizotropnega in izotropnega jedkanja Si. S tem postopkom smo izboljšali gladkost površin in odpravili ostre prehode med kristalnimi ravninami izdelanih mikrostruktur za aplikacije v mikrofluidiki (meandrirani mikrokanali, mešalne stopnje, komore, itd.).

Trenutno najprimernejše orodje za izdelavo naprednih MEMS senzorskih in aktuatorskih mikrostruktur (elementov) na siliciju je globoko **suho jedkanje silicija** z reaktivnim ionskim jedkanjem (angl. DRIE), ki omogoča kristalografsko neodvisno 3-D mikroobdelavo z visokim geometrijskim razmerjem med višino in širino (angl. aspect ratio, AR). V okviru suhega jedkanja silicija smo postavili nov DRIE sistem, razvili osnovne postopke usmerjenega (directional) jedkanja s tehniko dvo-pulznega Bosch procesa in jih uspešno uporabili pri realizaciji različnih aplikacij, kot npr. silicijeve mikroigle, kalupi za mikročrpalke, viasi, mikrokanali za mikrofluidne elemente in kemijske procesne reaktorje (Ref.: *IEEE transactions on nanobioscience*, 2011). Za različne geometrije in oblike Si mikrokanalov, izdelanih s postopki mokrega in suhega jedkanja, smo postavili metode za merjenje pretokov in tlačnih padcev ter vzpostavili korelacije z ANSYS numeričnimi simulacijami.

Na področju tankih **metalizacijskih plasti** smo raziskali strukture Ti/Pt na Si/SiO₂ podlagi, za temperaturne senzorje in grelce. Karakterizacija DC napršenih plasti v odvisnosti od toplotne obdelave po naprševanju je bila izvedena s kombinacijo električnih in mikrostrukturnih meritev. Zahtevne mikrostrukturne analize so bile opravljene v sodelovanju z IJS in IMT. Ugotovljeno je bilo, da ustrezna toplotna obdelava tankih plasti omogoča večji TCR (2500 ppm/K), boljše adhezijo ter stabilno delovanje do 500° C. (Ref.: *J. of Microeng. and Micromech.*, 2011). Raziskava je bila izbrana s strani ARRS kot izjemni dosežek na področju tehnike za leto 2011. Raziskali smo tudi tvorbo napak v tankih Al plasteh (hillocks) v odvisnosti od sestave tarče, pogojev

PVD naprševanja in termičnega napuščanja (200-500 °C). Al plasti, nanešene iz tarče z dodatki Cu (0.5%), so rezultirale v manjši velikosti kristaliničnih zrn. Pokazana je bila korelacija med velikostjo zrn, teksturo (orientacija zrn), določeno z metodo EBSD in tvorbo napak. (Ref.: *Microelectron. eng.*, 2012)

Na področju **anodnega (elektrostatskega) bondiranja** smo raziskali spajanje Pyrex stekla na različne pripravljene površine Si substrata (hidrofobni Si, hidrofilni Si, termično oksidiran Si) v

kompleksnih MEMS strukturah. Zasnovan in izdelan je bil sistem za anodno bondiranje v kontroliranem temperaturnem območju 200-500 °C, z napajalnimi napetostmi 500-2500 V. Za podrobnejši študij mehanizma anodnega bondiranja smo zasnovali evalvacijsko metodo in realizirali elektronsko merilno vezje, ki je omogočilo spremljanje in analizo prehodnega pojava anodnega toka med procesom bondiranja tako Pyrex-Si kot tudi Pyrex-Pyrex struktur. Na osnovi študije porazdelitve električnega potenciala priključitvenih elektrod smo namesto točkaste uvedli grafitne elektrode ter s tem znižali potrebno napajalno napetost na 500V, kar je zelo pomembno pri bondiranju občutljivih struktur z malo stično površino. (Ref.: *Vakuumist* 2012)

Na področju **tankih dielektričnih plasti** smo raziskali lastnosti PECVD plasti dobljenih s kombinacijo nizko in visokofrekvenčnega vzbujanja plazme v sistemu Plasmalab 80Plus. Postavljeni procesi so omogočili izdelavo ponovljivih tankoplastnih silicijevih oksidnih in nitridnih plasti s kontrolirano sestavo, kontrolirano spremenljivim lomnim količnikom in kontroliranim vgrajenim mehanskim stresom. Na tankoplastnih materialih iz amorfne silicija, silicijevega karbida in silicijevega nitrida smo sodelovali z Inštitutom za bioinženirstvo in nanotehnologije iz Singapurja (IBN) na raziskavah vpliva procesnih parametrov PECVD na hitrost depozicije in rezidualne mehanske napetosti. (Ref.: *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2011)

Na področju raziskav **piezoelektričnih struktur** smo raziskali, načrtali, izdelali in testirali prototipe piezoelektričnih mikročrpalk zgradbe steklo/PDMS/steklo. V ta namen smo raziskali in razvili niz inovativnih tehnoloških korakov, potrebnih za realizacijo teh prototipov (Ref. patent *SI 24161*). Pri testiranju piezoelektričnih struktur smo sodelovali z IJS (K5), kjer smo preizkušali najnaprednejše piezoelektrične materiale izdelane iz PSNPT in PMNPT, za aktuacijo mikročrpalk. Za podroben vpogled v delovanje mikročrpalk in optimizacijo ključnih geometrijskih parametrov smo v simulacijskem okolju COMSOL Multiphysic izvedli sprva 2D, kasneje pa napredno 3D **modeliranje piezoelektričnih mikročrpalk** ob uspešni vzajemni sklopitvi treh fizikalnih modelov: piezoelektričnega modela z mehanskim in fluidnim. Na podlagi numeričnega modeliranja so bili načrtani, izdelani in karakterizirani tudi prototipi prvih trakastih PDMS mikročrpalk s pregradnimi ventili. Predlagana izvorna pravokotna oblika mikročrpalke je zanimiva alternativa standardnemu okroglemu dizajnu, primerna zlasti za realizacijo na paralelnih Lab-on-chip (LOC) sistemih. (Ref.: *Sensors* 2013, oddana vloga za patent)

Na področju **pametne elektronike** je bil za razvite integrirane Ti/Pt temperaturne senzorje in grelnike zasnovan in realiziran sistem za pulzno napajanje grelcev ter sistem za obdelavo merilnih signalov. Na področju medicinske aplikacije smo zasnovali, izdelali in testirali elektronski sistem za merjenje gleženjskega indeksa ABPI (točka 11 tega poročila). Na področju mikrofluidike je bila raziskana elektronika za generator pretoka na osnovi metode prediktivnega vodenja. (Ref.: *Inf. MIDEEM* 2012). Raziskave **novih postopkov pri izdelavi mikro/nano struktur** so med drugim obsegale načrtovanje, izdelavo in karakterizacijo izvedb ohišij za mikrofluidne platforme. Poleg zagotavljanja hermetičnosti fluidnih priključkov, dovodov za električne priključke (senzorji, grelci), smo raziskali tudi temperaturne, fizikalne in kemijske omejitve izbranih materialov. Realizirana so bila ohišja iz SS, PTFE, MACOR keramike.

Zaključek: Omenjene raziskovalne aktivnosti so vodile tudi k uspešnemu sodelovanju z odličnimi domačimi in tujimi raziskovalnimi partnerji (FE- LBK, FE-LMFE, FE-LBF, Fakulteta za strojništvo, Inštitut Jožef Stefan, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Kemijski Inštitut, Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije, Fraunhofer Inštitut Munchen, Univerza v Udinah, Inst.of Bioengineering and Nanotechnology Singapur) kot tudi pridobitev ustreznih referenc in povečano konkurenčnost skupine pri pridobitvi projektov izven okvira ARRS. Člani programske skupine so bili aktivni tudi pri vključevanju študentov v raziskovalno delo, pri diseminaciji znanj na domačih in tujih konferencah, ter gostovanjih na tujih inštitutih (Fraunhofer, Munchen, Nemčija) in univerzah (Udine, Italija). Rezultati omenjenih raziskav so bili sinergijsko povezani in so omogočili realizacijo kompleksnih MEMS sistemov (mikroreaktor; *J. micromechanics microengineering* 2011, LOC z Au elektrodami; *IEEE trans. biomed. eng.* 2009, *IEEE trans. nanobiosci.* 2011, mikrororilnik; *Sens. Actuators, A, Phys.* 2012, mikročrpalke; *Sensors* 2013).

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

SLO

Ocenjujemo, da je bil načrtani program dela na raziskovalnem programu realiziran v celoti in da so bili raziskovalni cilji doseženi.

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

Sprememb sprejetega programa raziskav ni bilo.

Sestava programske skupine se v obdobju trajanja programa ni spreminjala.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	7346772	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Blumleinova konfiguracija za generacijo hitrih impulzov s spremenljivo dolžino in polarizacijo z uporabo sinhroniziranih preklopnih vezij	
	ANG	Blumlein configuration for high-repetition-rate pulse generation of variable duration and polarity using synchronized switch control	
Opis	SLO	V delu smo pokazali, da se z delovanjem visokonapetostnih nanosekundnih pulzov na celice poveča propustnost plazemskim membranam in celičnim organelom. Načrtali smo novo Blumlein konfiguracijo za nastavitev hitrega ponavljanja bodisi enopolnih kot dvopolnih visokonapetostnih pulzov. Maksimalna dosežena hitrost ponavljanja nanosekundnih pulzov je 1.1 MHz. Načrt pulznega generatorja je bil izdelan, preverjen in testiran. Fleksibilnost sistema se je pokazala kot uporabna pri »in vitro« eksperimentih, kjer je pomembna hitrost in pulzna polariteta električnih pulzov.	
	ANG	It was demonstrated that by applying highvoltage nanosecond pulses to cells, plasma membrane and cell organelles are permeabilized. New Blumlein configuration that enables a higher repetition rate of variable duration of either bipolar or unipolar highvoltage pulses was designed. A maximal pulse repetition rate of 1.1 MHz was achieved. The new design of pulse generator was built, verified, and tested. The resulting flexibility and variability allow further in vitro experiments to determine the importance of the pulse repetition rate and pulse polarity on membrane permeabilization.	
Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on bio-medical engineering; 2009; Vol. 56, no. 11; str. 2642-2648; Impact Factor: 2.154; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.093; WoS: IG; Avtorji / Authors: Reberšek Matej, Kranjc Matej, Pavliha Denis, Batista Napotnik Tina, Vrtačnik Danilo, Amon Slavko, Miklavčič Damijan		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	23475495	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Kapacitivni števec nanodelcev v zraku	
	ANG	Capacitive-type counter of nanoparticles in air	
Opis	SLO	Detekcija nanodelcev v zraku je zahtevna, saj so delci tako majhni, da jih ni mogoče zaznati z običajnimi detekcijskimi metodami. V članku je predstavljena in hkrati preverjena ideja detekcije nanodelcev s pomočjo kondenzacije nanodelcev v mikronske velike kapljice, ki jih nato zaznavamo s kapacitivnim senzorjem. Koncept je potrjen tako na teoretski in simulacijski podlagi kot tudi z eksperimentom.	
		Detection of nanoparticles in the air is difficult because the particles are so small that they can not be detected by conventional detection methods. The article presents an innovative approach of detection of airborne	

		ANG	nanoparticles. It is based on condensation of nanoparticles forming micron sized water droplets which are fed and detected by a capacitive type sensor. The concept is confirmed theoretically and through numerical modelling as well as by experiments.
	Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2010; Vol. 96, no. 9; str. 093504-1-093504-3; Impact Factor: 3.820;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.498; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Iskra Ivan, Detela Andrej, Viršek Marko, Nemanič Vincenc, Križaj Dejan, Golob Damjan, Elteren Johannes Teun van, Remškar Maja
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	8160596	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Eksperimentalna študija temperaturno obdelanih tankih plasti Ti/Pt in lastnosti temperaturnega senzorja na silicijevi mikrofluidni platformi
		ANG	Experimental study of heat-treated thin film Ti/Pt heater and temperature sensor properties on a Si microfluidic platform
	Opis	SLO	Raziskan je bil vpliv termičnega napuščanja napršenih Ti/Pt plasti na spremembo električne upornosti. Ugotovljen je bil tudi porast temperaturnega koeficienta upornosti (TCR) s temperature napuščanja za izdelane tankoplastne Ti/Pt grelce in senzorske upore. Narejena je bila mikrostrukturalna analiza z AES in AFM metodama, ki sta pokazali, da se prične rekristalizacija in rast zrn že pri 500 °C, kar sovpada z ugotovljenimi električnimi lastnostmi. Ugotovljeno je bilo, da dodatni izolacijski ukrepi mikrofluidnega sistema močno zmanjšajo porabo moči Ti/Pt grelcev, obenem pa podaljšajo termični časovni odziv sistema.
		ANG	Thermal annealing of deposited Ti/Pt layers in the temperature range of 300-700°C was investigated revealing strong impact on the Ti/Pt resistivity. Furthermore, it was determined that temperature coefficient of resistance (TCR) for Ti/Pt temperature sensors and the heater increased with the annealing temperature. Microstructural analysis of deposited and annealed Ti/Pt layers carried out by AES and AFM revealed that recrystallization followed by grain growth process of heat treated Ti/Pt layers started at around 500°C and correlated well with the behavior of electrical properties. Additional insulation steps of assembled microfluidic platform further reduced the power consumption, but also increased the time response of the microfluidic reactor.
	Objavljeno v		Institute of Physics Publishing; Journal of micromechanics and microengineering; 2011; Vol. 21, no. 2; str. 1-10; Impact Factor: 2.105;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.301; A': 1; WoS: IQ, NS, OA, PM, PU; Avtorji / Authors: Resnik Drago, Vrtačnik Danilo, Možek Matej, Pečar Borut, Amon Slavko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	8864596	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv visokih električnih polj na svetlobno generiranje elektronov zaradi tuneliranja v a-Si
		ANG	Effects of high electric fields on tunneling-assisted optical electron transitions in a-Si
	Opis	SLO	Opisan je razvit teoretični model optične absorpcije v amorfnem siliciju (a-Si) pod vplivom visokega električnega polja. Optična absorpcija je proporcionalna številu možnih prehodov iz valenčnega v prevodni energijski pas. Fotonsko vzbujeni elektroni povzročijo ionizacijo atomov, kar posledično ukrivi energijske nivoje ter formira Coulombov lijak. Visoko električno polje povzroči zamik energijskih nivojev. Zamaknjeni energijski nivoji ter Coulombov lijak formirajo potencialno bariero skozi katero elektroni lahko tunelirajo. Ta efekt poveča gostoto energijskih stanj v reži

		ter s tem poveča optično absorpcijo.
	ANG	A theoretical model for the optical absorption of amorphous silicon (a-Si) at high electric field aimed for ease of use is developed. Optical absorption is proportional to the number of possible transitions from valence band to conduction band. When an electron is excited by a photon, the atom it was bound to is ionized and bends all the energy levels to form a Coulombic potential funnel. A high electric field tilts all the energy levels. The Coulombic funnel and the tilted conduction band form a potential barrier through which an electron can tunnel, giving rise to additional available density of conduction band states, thus increasing the optical absorption.
Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on electron devices; 2011; Vol. 58, no. 12; str. 4318-4323; Impact Factor: 2.318; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A': 1; WoS: IQ, UB; Avtorji / Authors: Pirc Matija, Furlan Jože
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	9729620 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Trakasta mikropregadna črpalka
		ANG A strip-type microthrottle pump
	Opis	SLO V članku je predlagana geometrijska modifikacija mikropregadne črpalke. Pravokotna oblika mikročrpalke je primerna za realizacijo na LOC sistemu. Sistem trakastih mikročrpalk za paralelno (vendar individualno) črpanje kapljev in zagotavlja boljšo izrabo prostora v primerjavi z sistemom klasičnih mikročrpalk z diskastim aktuatorjem. V simulacijskem okolju COMSOL smo sestavili sklopljen 3D elektro-mehansko-fluidni model črpalke, ki ga odlikuje hiperelastični Mooney-Rivlin model za PDMS elastomer, vpeljava inercije v model kapljevine in vpeljava robnega pogoja idealnega lepénja kapljevine na stene kanala. Model je omogočil virtualno prototipiranje naprave, natančno analizo delovanja in optimizacijo ključnih geometrijskih parametrov.
		ANG This article reports a novel strip-type micro-throttle pump with a rectangular actuator geometry, with more efficient chip surface consumption compared to existing micro-pumps with circular actuators. Due to the complex structure and operation of the proposed device, determination of detailed structural parameters is essential. Therefore, we developed an advanced, fully coupled 3D electro-fluid-solid mechanics simulation model in COMSOL that includes fluid inertial effects and a hyper-elastic model for PDMS and no-slip boundary condition in fluid-wall interface. Numerical simulations resulted in accurate virtual prototyping of the proposed device, detailed operation analysis and optimization of crucial geometrical parameters.
Objavljeno v		MDPI; Sensors; 2013; Vol. 13, no. 3; str. 3092-3108; Impact Factor: 1.953; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.269; A': 1; WoS: EA, HQ, OA; Avtorji / Authors: Pečar Borut, Vrtačnik Danilo, Resnik Drago, Možek Matej, Aljančič Uroš, Dolžan Tine, Amon Slavko, Križaj Dejan
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	10054484 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Piezoelektrična mikrocilindrska črpalka

		ANG	Piezoelectric Microcylinder Pump
Opis		SLO	Izum rešuje tehnični problem, kako ob majhni dimenziji mikročrpalke in enostavni izdelavi zagotoviti čim večjo pretočno in tlačno zmogljivost ob hkratnem zanesljivem in dolgoročno stabilnem delovanju. Inovativna centralna lega vhodnega cilindrskega ventila na mestu največje membranske deformacije omogoči realizacijo velike mikročrpalne komore, kar znatno poveča pretočno in tlačno zmogljivost mikročrpalke. Kompresijsko razmerje sistema se poveča, zaradi česar se omogoči črpanje dvofaznega medija in samostojno polnjenje.
		ANG	The invention solves micropump technical problem of how to ensure maximum flow-rate and back-pressure performance as well as maximum reliability and long-term stability at small device dimensions. Innovative central cylinder valve positioned at membrane maximum deformation point enables realization of large micropump chamber which improves flow-rate and back-pressure performance considerably. Moreover, innovation increases system compression ratio which results in micropump self-priming and bubble tolerance capability.
Šifra	F.33 Patent v Sloveniji		
Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2013; Avtorji / Authors: Pečar Borut, Križaj Dejan, Vrtačnik Danilo, Resnik Drago, Možek Matej, Aljančič Uroš, Dolžan Tine, Amon Slavko		
Tipologija	2.23 Patentna prijava		
2.	COBISS ID	13228059	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Senzorska izvedba za karakterizacijo kriogenih medijev
		ANG	Sensor system for cryogen media characterization
Opis		SLO	Izum rešuje izvedbo senzorskega sistema za karakterizacijo kriogenih medijev. Izum natančno opisuje senzorski sistem, ki z optično (reflektivno in/ali presevno) metodo uspešno detektira različne faze kriogenega medija. Senzorski sistem kvantitativno določa razmerje plinaste in kapljevinate faze v pretoku kriogenega medija.
		ANG	The invention solves sensor system for cryogen media characterization. It precisely describes sensor system, which uses optical (reflective and/or transmissive) method for detection of various phases of cryogen media. Sensor system quantitatively determines the ration between gas and liquid phase in the flow of cryogen media.
Šifra	F.33 Patent v Sloveniji		
Objavljeno v	Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2013; 13 str., 4 str. pril.; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Aljančič Uroš, Kopač Janez, Amon Slavko		
Tipologija	2.23 Patentna prijava		
3.	COBISS ID	7562324	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Mikro / nano tehnologije in strukture v LMSE
		ANG	Micro/nano technologies and structures in LMSE
Opis		SLO	Podan je bil pregled novjših raziskovalnih aktivnosti na področju mikro/nano tehnologij in struktur v LMSE, s poudarkom na mikroobdelavi silicija. Poročali smo tudi o naših novih raziskovalnih rezultatih in v razgovoru pretresli njihov pomen in uporabnost ter možnosti za sodelovanje.
		ANG	Recent research activities on micro/nano technologies and structures with emphasis on silicon micromachining in LMSE were reviewed. Latest results were reported and discussed. Possible topics for cooperation were identified.

	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	Institute of Bioengineering and Nanotechnology; 2009; Avtorji / Authors: Amon Slavko, Vrtačnik Danilo, Resnik Drago, Možek Matej	
	Tipologija	3.14 Predavanja na tuji univerzi	
4.	COBISS ID	9562708	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Načini mikroobdelave in realizacija senzorskih in aktuatorskih struktur
		ANG	Micromachining approaches in realization of sensor and actuator structures
	Opis	SLO	Prvi del vabljenega predavanja prinaša pregled pomembnih postopkov mikroobdelave in s tem povezanih senzorskih in aktuatorskih struktur. Podan je kritičen pogled na prednosti in slabosti konkretnih tehnoloških pristopov. Drugi del predavanja podaja princip in realizacijo temperaturnih Ti/Pt tankoplastnih senzorjev in mikrogrelcev. Poudarek je na mikrostrukturnih lastnostih tankih Ti/Pt plasti in predhodne toplotne obdelave ter vpliv na spremembe električne upornosti. Predstavljene so karakterizacijske metode za merjenje TCR in uporabnost pristopa v mikroreaktorjih. Zadnji del predavanja je osredotočen na piezoresistivne senzorske tlaka, tehnologijo izdelave, temperaturne kompenzacije s poudarkom na vplivu mehanskega stresa na tankih membranah na končne karakteristike senzora.
		ANG	The first part of the invited lecture provides overview of some important micromachining processes and related microstructures which are constitutional structures used for sensing and actuating. The limitations of certain technological approaches are discussed and explained. The second part of the presentation is dedicated to thin film Ti/Pt temperature sensors and microheaters with emphasis on microstructural properties, which affect the electrical resistance. Characterization methods are presented for extraction of TCR and dependency on the thermal annealing parameters. The fabrication process steps provide insight into the integration of temperature sensors and heater on Si platform for microreactor applications. Last part of the presentation focuses on the piezoresistive pressure sensor structure, giving detailed analysis of membrane fabrication process and important mechanical stress issues regarding the thin film deposited layers on the membrane.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Gestionale e Meccanica; 2012; Avtorji / Authors: Resnik Drago, Aljančič Uroš, Vrtačnik Danilo, Možek Matej, Amon Slavko	
	Tipologija	3.14 Predavanja na tuji univerzi	
5.	COBISS ID	30102489	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Človeška mehanika
		ANG	Human Mechanics
	Opis	SLO	Predstavitev novega senzora za neinvazivno merjenje mehanskih lastnosti skeletnih mišic. Senzor temelji na silicijevem piezouporovnem tipalu, ki prek Wheatstoneovega mostiča mehanske napetosti generirane v mišici pretvarja v električne signale.
		ANG	Presentation of sensor developed for noninvasive skeleton muscles characterisation. Sensor, based on silicon piezoresistors connected into Wheatstone bridge, converts mechanical stresses generated in muscle into electrical signal.
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka	
	Objavljeno v	Radio Slovenija; 2012; [13 min.]; Avtorji / Authors: Amon Slavko, Tomažič Sašo, Djordjević Srdjan, Meglič Andrej, Žumer Jan	

Tipologija	3.11	Radijski ali TV dogodek
------------	------	-------------------------

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Pedagoško delo (učbeniki)

- AMON, Slavko. Sensorji in aktuatorji. Del 1, Osnove sensorike. 1. izd. Ljubljana: Založba FE in FRI, 2013. ISBN 978-961-243-226-3. <http://lmse.fe.uni-lj.si/amon/>. [COBISS.SI-ID 265722624]

- AMON, Slavko. Sensorji in aktuatorji. Del 2, Pregled senzorjev in aktuatorjev. 1. izd. Ljubljana: Založba FE in FRI, 2013. ISBN 978-961-243-240-9. http://lms.fe.uni-lj.si/amon/knjiga/Senzorji_in_aktuatorji_II_del.pdf. [COBISS.SI-IDI 269037056]

- MOŽEK, Matej. Zbirka rešenih nalog pri predmetu Digitalna tehnika. 1. izd. Ljubljana: Založba FE in FRI, 2010. ISBN 978-961-243-147-1. http://dt.fe.uni-lj.si/digitalna_tehnika/a_vaje/Delovni-Zvezek.pdf. [COBISS.SI-ID 251290368]

- MOŽEK, Matej. Prvi koraki pri delu z STM32 DISCOVERY razvojnimi moduli. Ljubljana: [M. Možek], 2013. http://ndv.fe.uni-lj.si/predmet/ostalo/ST32ValueLineDiscovery/STM32%20navodila%20uVision4_signed.pdf. [COBISS.SI-ID 9731412]

- MOŽEK, Matej. Potek namestitve razvojnega okolja Eclipse s prevajalnikom MSP430 GCC in vmesnikom USB-JTAG. Ljubljana: [M. Možek], 2010. <http://dt.fe.uni-lj.si/music/Eclipse-MSPGCC/Programi/Installer/Out/MSP430GccEclipse.exe>. [COBISS.SI-ID 7831380]

Vabljeni predavanja:

- FP7 Proposal Workshop Fraunhofer EMFT, Munich, May 15-16, 2011, AMON, Slavko, VRTAČNIK, Danilo, RESNIK, Drago, MOŽEK, Matej, ALJANČIČ, Uroš, PEČAR, Borut. Activities in LMSE. Munich: [s. n.], 2011. [COBISS.SI-ID 8470100]

- International Thematic Conference Implementation of Microreactor Technology into Biotechnology, September 29-30, 2010, Ljubljana, AMON, Slavko, VRTAČNIK, Danilo, RESNIK, Drago, MOŽEK, Matej, ALJANČIČ, Uroš, PEČAR, Borut. Manufacturing of microreactors. Ljubljana: Faculty of Chemistry and Chemical Technology, 2010. [COBISS.SI-ID 8105300]

- Microreactors Technology for Healthcare Applications, Fiesca, Slovenia, 26-28 September, 2010, AMON, Slavko. Micromachined structures for microfluidics. Strasbourg: European Science Foundation, 2010. [COBISS.SI-ID 8105044]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Opravljenе raziskave na področju mikro/nano struktur predstavljajo infrastrukturo oz. osnovo za razvoj pomembnih naprednih znanstveno-raziskovalnih področij kot so npr. veda o mikro/nano materialih in tehnologijah, mikro/nano senzorji in aktuatorji, MEMSi (Micro-Electro-Mechanical Systems), mikrofluidika, mikroreaktorji, numerično modeliranje tehnoloških procesov, numerično modeliranje pojavov v mikro/nano strukturah, informacijska in računalniška znanost in tehnologija, napredna elektronika senzorskih, aktuatorskih, krmilnih in komunikacijskih sistemov in drugo. Znanstveni dosežki omenjenih raziskav so bili objavljeni v uglednih znanstvenih revijah in konferencah.

ANG

Reported investigations in the field of micro/nano structures represent an infrastructural basis for further development of advanced R&D fields such as science of micro/nano materials and technologies, micro/nano sensors and actuators, MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems), microfluidics, microreactors, numerical modeling of technological processes, numerical modeling of effects in micro/nano structures, in information and computer science, in advanced electronics of sensor, actuator, in controlling and communication systems and others. Scientific results of these investigations were published in relevant journals and conferences.

9.2.Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Opravljenе raziskave na področju mikro/nano materialov, tehnologij in struktur bodo imele zaradi splošnega, infrastrukturnega značaja nedvomno važen vpliv tudi na družbeno-ekonomski in posledično tudi na kulturni razvoj Slovenije, podobno kot ga je imela mikroelektronika pred desetletji na razvoj računalništva in informatike ter nato na splošni napredek slovenske družbe. Rezultati teh raziskav se bodo, kot je razvidno iz obstoječih študij in napovedi glede nadaljnega človeškega razvoja, nedvomno močno odražale tudi v napredku na mnogih pomembnih področjih znanosti, tehnologije in ekonomije v Sloveniji, kot so npr.:

- spodbujanje produktivnosti, konkurenčnosti in gospodarske rasti na področju naprednih tehnologij in izdelkov z visoko dodano vrednostjo
- obvladovanje novih naprednih sistemov in storitev za uporabnike, novih metod dela ter ključnih tehnologij
- na področju izobraževanja kadrov, zlasti za potrebe slovenskih industrijskih partnerjev
- dostopanje do tujih znanj preko mednarodnega sodelovanja enakopravnih partnerjev
- pospešen razvoj stroke in inženirske prakse v Sloveniji

ANG

Research program investigations in the field of micro/nano materials, technologies and structures will have, due to their general, infrastructural nature, a strong impact on socio-economic and cultural progress of Slovenia, similar as was the case with microelectronics and its impact on the development of computer and information science and technology, influencing then in general the development of slovenian society. Results of these investigations will have a strong impact, as predicted also by numerous studies on future development, to further progress in many important fields of science, technology and economy in Slovenia, e.g.:

- stimulation of productivity, competitiveness and economical growth in the field of advanced technologies and products with high added value
- mastering of new systems and services for Slovenian end users, new working schemes and key technologies
- in the field of education of Slovenian people for industrial needs
- access to knowledge by international cooperation with foreign partners on equal basis
- development of technical and engineering practice in Slovenia

10.Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2013¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	1
bolonjski program - II. stopnja	
univerzitetni (stari) program	29

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR		
30683	Borut Pečar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

28467	Samo Penič	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33111	Matija Pirc	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Cernatič Matej	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
24378	Boštjan Žagar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29295	Ivan Iskra	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

- Mag.** - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
30683	Borut Pečar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
28467	Samo Penič	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
24378	Boštjan Žagar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
29295	Ivan Iskra	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
B - gospodarstvo
C - javna uprava
D - družbene dejavnosti
E - tujina
F - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2013

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
		<input type="text"/>		

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
B - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
C - študent – doktorand iz tujine
D - podoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2013 z vsebinsko obrazložitvijo porabe dodeljenih sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja mednarodnega sodelovanja na podlagi pozivov za EU vpetost.¹⁵

SLO

Programska skupina je bila v obdobju 2009-2013 vključena v naslednja mednarodna sodelovanja oz. programe:

- Center odličnosti **NAMASTE**
- **Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Gestionale e Meccanica, Udine, Italija**

- **Fraunhofer Research Institution for Modular Solid State Technologies EMFT**, Hansastraße 27 d, 80686 Munchen, Nemčija
 - **Institute of Bioengineering and Nanotechnology**, 31 Biopolis Way, The Nanos, #04-01, Singapur 138669
 - **Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvaška

Prof.dr. Slavko Amon je Slovenski predstavnik v znanstvenem svetu Evropske tehnološke platforme za nanoelektroniko **ENIAC**

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki v so obdobju trajanja raziskovalnega programa (1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

Programska skupina je bila v obdobju 2009-2013 vključena v naslednje projekte, ki so potekali izven financiranja ARRS:

- RLS d.o.o. Slovenija, RR aktivnosti na področju optičnih senzorjev
- PMS d.o.o. Slovenija, RR aktivnosti na področju optičnih senzorjev
- TMG-BMC d.o.o. Slovenija, RR aktivnosti na področju meritev mehanskih lastnosti skeletnih mišic
- Microopto, Italija, RR aktivnosti na področju optičnih mikrostruktur
- ULFS, LABOD, Slovenija, RR aktivnosti na področju senzorjev in meritev pretokov tekočega dušika v obdelovalnih strojih
- Renishaw, Anglija, RR aktivnosti na področju optičnih mikrostruktur
- Fagor, Španija, RR aktivnosti na področju optičnih senzorjev
- Univerza v Novi Gorici, Laboratorij za fiziko organskih snovi, Slovenija, RR aktivnosti na področju "organic FET-a".
- ULFE, Laboratorij za biokibernetiko, Slovenija, RR aktivnosti na področju Bio-MEMS struktur
- IJS, Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev, Slovenija, RR aktivnosti na področju odkrivanja in merjenja x-žarkov

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Znanstveni rezultati opravljenih raziskav programa že sedaj kažejo možnosti za napredne aplikacije.

Omenjeni rezultati so tako vodili do ideje, simuliranja, načrtovanja, izdelave in karakterizacije izvirne, prve piezoelektrične peristaltične dozirne mikročrpalke z enim piezoelektričnim aktuatorjem (gl. npr. Točko 17.2).

Na področju medicinskih aplikacij smo zasnovali, izdelali in testirali prototip elektronskega sistema za merjenje gleženjskega indeksa (ABPI), o čemer smo poročali na devetnajsti mednarodni Elektrotehniški in računalniški konferenci ERK 2010 z referatom "An automated ankle brachial pressure index measurement device" [COBISS.SI-ID 7909460]. Na projektu so sodelovali trije študentje Matija Podhraški, Tomo Krivc in Jakob Šušterič pod mentorstvom doc. dr. Mateja Možka.

Kasneje so omenjeni študentje prototip dodelali, certificirali na SIQ in klinično testirali. Študenta Jakob Šušterič in Tomo Krivc sta ustanovila podjetje MESI d.o.o., ter razvila tržni izdelek naprave, ki se prodaja pod imenom ABPI MD device (<http://www.mesimedical.com/home/>). Med drugimi se podjetje ponaša z:

- Rektorjeva nagrada za naj inovacijo
- finale Start:up Slovenija
- Najboljša inovacija start up podjetja na Slovenskem forumu inovacij 2011
- Zlato priznanje za inovacijo na lizzivih gospodarskega razvoja 2012
- trženje in prodaja v 13 Evropskih državah, Rusiji, Maroku, Bližnjem vzhodu
- podjetje zaposluje 6 redno zaposlenih in 4 študente

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	cca 120.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	Infrastrukturo (prostori itd.) bi v začetni fazi najeli, npr. v enem od tehnoloških centrov oz. inkubatorjev. Opremo za izdelavo mikrostruktur z mikroobdelavo (mokro in suho jedkanje, enostavna fotolitografija) bi

nabavili pri prodajalcih rabljene ali obnovljene (second hand, refurbished) opreme na svetovnem tržišču.
--

17. Izjemni dosežek v 2013¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Virtualno prototipiranje in optimizacijo dozirne mikročrpalk za potrebe projekta smo uspešno realizirali z naprednim 3D popolno sklopljenim elektro-mehansko-fluidnim (EMF) numeričnim modeliranjem po metodi končnih elementov (FEM). Simulacijski model je bil verificiran z realnim sistemom. Rezultati raziskovalnega dela na področju modeliranja in simulacij so bili objavljeni v mednarodni reviji z IF (B Pečar et al. A strip-type microthrottle pump: modeling, design and fabrication. Sensors 2013 vol. 3 133092-3108). Po naših podatkih gre za prvi objavljen popolno sklopljen 3D simulacijski model, primeren zaradi svoje točnosti že za virtualno prototipiranje, ki pokriva široko področje piezoelektričnih mikročrpalk z zapiralnimi ventili (vključno z mikropregradnimi ventili) in področje peristaltskih mikročrpalk.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V LMSE smo v okviru projekta izdelali, karakterizirali in patentirali (Patent SI 24161 A 2014-02-28) prvo piezoelektrično peristaltsko dozirno mikročrpalko z enim piezoelektričnim aktuatorjem. Dosežek omogoča možnost krmiljenja peristaltske mikročrpalk z enofaznim krmilnikom, katere je do sedaj obstajala le pri ventilnih mikročrpalkah. Ob tem se ohranijo superiorne lastnosti konvencionalnih peristaltskih mikročrpalk (robustnost, čistost, nedestruktivnost do bioloških medijev, nezahtevnost dizajna in izdelave, nizka cena) ter dodatno izboljšajo zanesljivost in cena izdelave mikročrpalk s pripadajočim električnim krmilnikom.

-Nagrada Koncerna Kolektor d.d. za inovativno diplomsko delo na področju elektronskega krmiljenja tankoplastnih integriranih Ti/Pt grelcev na mikroreaktorski platformi (D. Peruško: Mikrosistem za kontrolo temperature v mikroprocesorju goriva", pod mentorstvom doc. dr. Mateja Možeka).

<http://www.kolektor.com/index.php?t=news&l=sl&ty pe=1&id=1143>

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 in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba JRO
in/ali RO s koncesijo:*

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Slavko Amon

ŽIG

Kraj in datum:

Oznaka prijave: ARRS-RPROG-ZP-2014/43

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol

strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

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

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

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa (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 (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa (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 programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

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

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

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času trajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času trajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite MR. [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2013), ustrezno označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Točko izpolnijo tudi izvajalci raziskovalnega programa, prejemniki sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanja v projektih okvirnih programov Evropske unije). Izvajalec, ki je na podlagi pogodbe prejel sredstva iz navedenega naslova, vsebinsko opiše porabo prejetih sredstev za financiranje stroškov blaga in storitev ter amortizacije, nastalih pri izvajanju tega raziskovalnega programa. V primeru, da so bili v okviru raziskovalnega programa prejemniki sredstev različni izvajalci, vsak pripravi vsebinsko poročilo za svoj delež pogodbenih sredstev. Vodja raziskovalnega programa poskrbi, da je vsebinsko poročilo, ločeno za vsakega izvajalca, vključeno v navedeno točko poročila. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa

oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). 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-RPROG-ZP/2014 v1.00a

88-6C-D3-08-56-36-CA-1F-CA-7B-5F-8F-EE-70-8C-41-17-9A-91-78

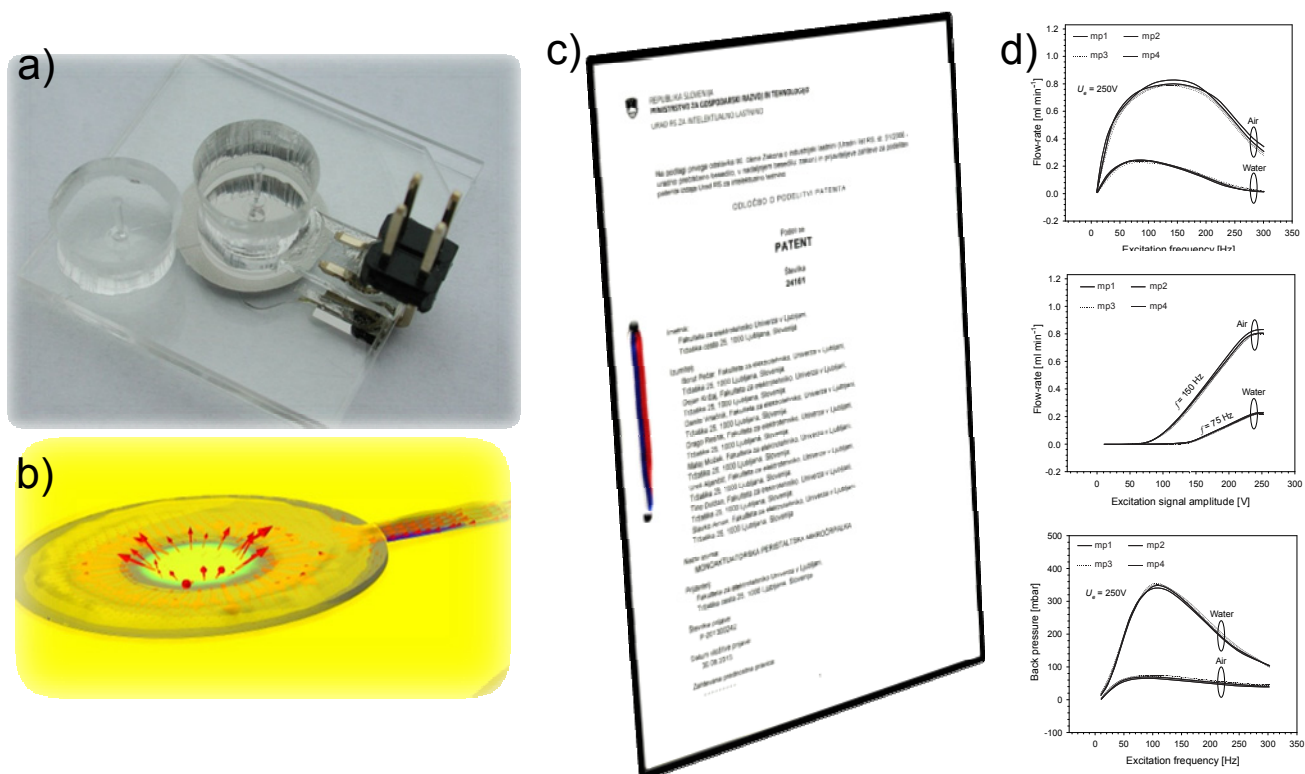
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.09 in Elektronske komponente in tehnologije

Dosežek 1: Izdelana in patentirana **prva peristaltika** dozirna mikročrpalka z **enim samim piezoelektričnim aktuatorjem** in z možnostjo **enofaznega** električnega krmiljenja.

Vir: B Pečar et al. *Monoaktuatorska peristaltika mikročrpalka: SI 24161 A 2014-02-28*. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino 2014



Slika 1: (a) fotografija izdelane monoaktuatorske piezoelektrične peristaltiske (MAP) mikročrpalke (b) virtualno prototipiranje z uporabo v LMSE zgrajenega 3D popolno sklopljenega EMF modela (c) družbeno ekonomski dosežek - objavljen patent MAP mikročrpalke (d) rezultati karakterizacije MAP mikročrpalke

V LMSE smo v okviru projekta izdelali in okarakterizirali prvo piezoelektrično peristaltisko mikročrpalko z **enim piezoelektričnim aktuatorjem**. Dosežek omogoča možnost krmiljenja peristaltiske mikročrpalke z enofaznim krmilnikom, katera je do sedaj obstajala le pri ventilnih mikročrpalkah. Ob tem se ohranijo superiorne lastnosti konvencionalnih peristaltiskih mikročrpal (robustnost, čistost, nedestruktivnost do bioloških medijev, nezahtevnost dizajna in izdelave, nizka cena) ter dodatno izboljšajo **zanesljivost** in **cena** izdelave mikročrpalke s pripadajočim električnim krmilnikom. Nov princip je rezultat dolgoletnih laboratorijskih raziskav na področju naprednega **3D popolno sklopljenega elektro-mehansko-fluidnega (EMF)** modeliranja po metodi končnih elementov (FEM). Vir: B Pečar et al. A strip-type microthrottle pump: modeling, design and fabrication. *Sensors* 2013 vol. 3 133092-3108