

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/153

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-0460
Naslov projekta	Sinteza in karakterizacija novih nanostruktur na osnovi prehodnih kovin
Vodja projekta	15288 Aleš Mrzel
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.170
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

1.1. Družbeno-ekonomski cilj¹

Šifra	13.01
Naziv	Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Sofinancerji²

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

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta³

V raziskovalnem programu smo raziskovali sintezo in karakterizacijo novih nanostruktur na osnovi prehodnih kovin, predvsem molibdenovih enadimenzionalnih nanostruktur v obliki nanožic in nanocevk. Uspeli smo razviti postopke, ki omogočajo sintezo čistih MoSI nanožic različnih dolžin in premerov. Raziskovali smo lastnosti teh nanožic za uporabo v senzoriki plinov, kjer smo dobili zelo spodbudne rezultate tako, da je predvidena nadaljna raziskava in razvoj senzorjev na osnovi MoSI nanožic. Z različnimi postopki sulfurizacije smo uspeli razviti sintezne poti za izdelavo različnih MoS₂ nanostruktur- predvsem nanocevk in t.i. mamacevk, ki predstavljajo do sedaj neznano hibridno obliko MoS₂ materiala. S segrevanjem na zraku smo pretvorili MoSI nanožice v molibdenove oksidne nanožice, ki ohranijo osnovno obliko začetnih materialov. Vsi ti materiali so primerni za pripravo kompozitnih materialov, vključno elastomerov. Prvi takšen elastomer je bil objavljen v letošnjem letu prav na osnovi naših oksidnih nanožic. V letu 2009 smo bili vključeni v COST projekt kot dobavitelji enadimenzionalnih nanomaterialov- rezultat so novi kompozitni materiali, katerih lastnosti in priprava je sprejeta v treh prispevkih, ki bodo objavljeni v letošnjem letu. Prav tako smo uspešno zaščitili postopke izdelave nanostruktur s patentnimi prijavi. Rezultati so bili predstavljeni na mednarodnih konferencah v obliki referatov, predavanj in vabljenih predavanj. Nekoliko bolj podrobni rezultati nekaterih dosežkov so predstavljeni v nadaljevanju.

Odkrili smo novo metodo za pripravo orientiranih Mo₆S_{9-x}I_x (4.5 < x < 6) nanožic zraslih pravokotno glede na podlago. Reakcijo smo izvedli pri pogojih kemijske transportne reakcije neposredno iz elementov. Svežnji nanožic s podobnimi premeri in dolžinami so zrasli na kvačnem steklu in molibdenovi foliji pri temperaturi okoli 1040 K. Nastali material smo določili z različnimi metodami in sicer X žarkovno difrakcijo (XRD), SEM in TEM mikroskopijo. Zaradi podobnih dolžin orientiranih svežnjev in dobre disperzljivosti v polarnih topilih je material v obliki nanožic med drugim potencialno uporaben tudi kot osnovni gradnik pri sestavi različnih nanonaprav.

Ugotovili smo, da omrežje na osnovi Mo₆S₃I₆ nanožic spreminja upornost v prisotnosti parne faze različnih analitov. Obnašanje senzorja smo uspeli kvantitativno zelo dobro pojasniti in opisati preko absorpcije molekul preiskanega analita, ki povzroči spremembo upornosti. Časovna odzivnost senzorja sledi preprosti kinetiki absorpcije desorpcije molekul. Senzor je zelo selektiven, kar pripisujemo njegovi odzivnosti na molekule z različnim dipolnim momentom. Opisani senzor omogoča hitro detekcijo nizkih koncentracij različnih analitov (npr. etanol, toluen, THF....). Meritve električnih transportnih lastnosti na prožnih Mo₆S₃I₆ (MoSI) nanožicah različnih premerov v neidealnih dvotočkovnih vezjih razkrivajo potenčno odvisnost prevodnosti $\sigma(T,V)$ od temperature in napetosti. Na podlagi meritev na večjih vezjih sklepamo, da obnašanje prevodnosti v tankih žicah lahko prepričljivo opišemo kot tuneliranje skozi Tomonaga-Luttinger tekočinske segmente MoSI žic, ki jih v nekaterih primerih spremlja še Coulombska blokada. Le-ta se pojavi ob deformacijah in defekti v MoSI žicah kar pomeni, da so take žice, upoštevajoč njihovo znano povezljivostjo preko žveplovih mostičev, potencialno uporabne kot subnanometrijske žice, pa tudi kot nelinearni elementi za molekularno elektroniko.

Raziskovali smo vpliv temperature pri sulfurizaciji nanožic Mo₆S₂I₈. Odkrili smo, da lahko pri temperaturno kontrolirani sulfurizaciji in s tem kemijski transformaciji nanožic Mo₆S₂I₈ v MoS₂ dobimo zelo raznolik in zanimiv sistem MoS₂ hibridnih nanostruktur. MoS₂ hibridne nanostructure predstavljajo družino nanomaterialov, kjer predstavljajo nanocevkke MoS₂ nekakšne nanoreaktorje, v nekaterih primerih pa tudi nanoskladišča,

kjer se nahajajo krogličasti MoS₂ delci. Ti delci zrastejo v nanocevkah tekom pretvorbe nanožic v nanocevke. S kontrolo temperature pri kateri poteka sulfurizacija, lahko uspešno kontroliramo obliko, velikost ter notranjo strukturo materialov, kar vodi do selektivne sinteze MoS₂ nanostruktur- npr. koaksialnih nanocevk, brstičev, kroglic MoS₂ in mama cev. Predvidevamo, da raste ovojnica pri cevkah od zunanje površine proti notranjosti medtem, ko nastajajo in rastejo kroglice MoS₂ iz notranjosti proti površini. Pri sulfurizaciji prekursorskih kristalov pride najprej do zamenjave halogena z žveplom na površini kristalov, kar vodi do tvorbe nekakšne ovojnice s heksagonalno strukturo. Znotraj te ovojnice je vsebnost žvepla nekoliko manjša in določena z difuzijo skozi stene nanocevk. Rahlo podstehiometrična vsebnost žvepla običajno vodi do romboedrične (3R) strukture, kar pojasnjuje tudi 3R strukturo enkapsuliranih nanokroglic znotraj nanocevk. Pri visokih temperaturah rastejo te kroglice zunaj nanocevk, kjer je vsebnost žvepla dovolj visoka, zato lahko pričakujemo, da imajo heksagonalno 2H strukturo.

Odkrili smo pripravo MoO₃-x nanožic primernih za uporabo v različnih aplikacijah- za litijeve baterije, pametna okna, senzoriko vodika. Sinteza poteka s segrevanjem MoSI nanožic na zraku pri temperaturah nad 300 °C. Morfologija začetnega materiala se ohrani. Te nanožice so mešanica dveh faz in sicer MoO₃ in prevodne Mo₅O₁₄ faze. Mešanico nanožic smo uporabili za pripravo kompozitnega filma na osnovi tekoče kristalnih elastomerov. Pokazali smo, da je pri določenem razmerju elastomera in nanožic možno dopiranje nanožic, pri čemer so nanožice orientirane, mehanske značilnosti in optične lastnosti matrike pa se ohranijo.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Ocenjujemo, da smo v celoti dosegli zastavljene cilje. Rezultati so bili predstavljeni v nekaj izvirnih znanstvenih člankih, patentnih prijavih, ter v obliki prispevkov na mednarodnih konferencah. Prav tako smo uspeli na osnovi tega projekta uspostaviti mednarodno sodelovanje v COST projektu, ki je začel svoje delovanje v letu 2009.

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

Tekom trajanja projekta je prišlo do delne zamenjave članov in razporejanja raziskovalnih ur v projektni skupini zaradi odhoda na drugo delovno mesto enega od članov. Zamenjava ni vplivala na potek nadaljnjega dela in končne rezultate projektne skupine.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Priprava pravokotno orientiranih svežnjev Mo ₆ S ₉ -xIx, (4.5 < x < 6) nanožic
		ANG	Preparation of vertically aligned bundles of Mo ₆ S ₉ -xIx, (4.5 < x < 6) nanowire
	Opis	SLO	Odkrili smo novo metodo za pripravo orientiranih Mo ₆ S ₉ -xIx (4.5 < x < 6) nanožic pravokotno glede na podlago. Reakcijo smo izvedli pri pogojih kemijske transportne reakcije neposredno iz elementov. Svežnji nanožic s podobnimi premeri in dolžinami so zrastle na kvačnem steklu in molibdenovi foliji pri temperaturi okoli 1040 K. Zaradi podobnih dolžin orientiranih svežnjev in dobre disperzljivosti v polarnih topilih je material v obliki nanožic med drugim potencialno uporaben tudi kot osnovni gradnik pri sestavi različnih nanonaprav.
			We discovered a method for growing vertically aligned bundles of Mo ₆ S ₉ -xIx (4.5 < x < 6) nanowires perpendicular with respect to the substrate. In this efficient method, one step synthesis direct from molybdenum, sulphur and

		ANG	iodine in the temperature gradient conditions is used. The bundles with similar lengths and diameters could be grown on quartz or conductive materials like molybdenum foil at the temperature around 1040 K. This material could be potentially used for some applications like as building blocks in nanodevices.
	Objavljeno v		MICROELECTRONICS JOURNAL Volume: 39 Issue: 3-4 Pages: 475-477 Published: MAR-APR 2008
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		21526567
2.	Naslov	SLO	Mo ₆ S ₃ I ₆ molekularne žice od enadimenzionalnih kvantnih fluidov do samourejanja v mreže
		ANG	Mo ₆ S ₃ I ₆ molecular wires : from a one-dimensional quantum fluid to self-organized critical self-assembled networks
	Opis	SLO	Transportna merjenja nabojev na prožnih Mo ₆ S ₃ I ₆ molekularnih žicah različnih premerov kažejo, da je najboljša razlaga meritev t.i. tuneliranje skozi posamezne segmente Tomonaga-Luttinger tekočine , ki je v nekaterih primerih dodatno spremenjena z Columbovo blokado, zaradi nepravilnosti ali deformacije. Zlati nanodelci omogočajo povezavo molekularnih nanožic v velika omrežja.
		ANG	Charge transport measurements on flexible Mo ₆ S ₃ I ₆ molecular wires of different diameters are best described by tunnelling through Tomonaga-Luttinger liquid segments, which is in some cases modified by environmental Coulomb blockade arising from deformations or imperfections. The unique S-bonding chemistry of Mo ₆ S ₃ I ₆ wires and gold nanoparticles enables self-assembly of large molecular-scale inorganic networks. The topological characteristics of networks indicate an intrinsic tendency to self-organize into a scale-invariant critical state.
	Objavljeno v		Phys. status solidi, b Basic res., 2010, vol. 247, no. 11/12, str. 3014-3017.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		24255015
3.	Naslov	SLO	Uporaba MO ₆ S ₃ I ₆ omrežje nanožic kot senzorja različnih plinov
		ANG	MO ₆ S ₃ I ₆ nanowire network vapor pressure chemisensors
	Opis	SLO	Ugotovili smo , da omrežje na osnovi MO ₆ S ₃ I ₆ nanožic spreminja upornost v prisotnosti parne faze različnih analitov. Obnašanje senzorja smo uspeli kvantitativno zelo dobro pojasniti in opisati preko absorpcije molekul preiskanega analita, ki povzroči spremembo upornosti. Časovna odzivnost senzorja sledi preprosti kinetiki absorpcije desorpcije molekul. Senzor je zelo selektiven, kar pripisujemo njegovi odzivnosti na molekule z različnim dipolnim momentom. Opisani senzor omogoča hitro detekcijo nizkih koncentracij različnih analitov (npr etanol, toluen THF....)
		ANG	Mo ₆ S ₃ I ₆ nanowire networks of interest are found to change their resistance in response to the presence of analyte vapors. The vapor sensing behavior is quantitatively described very well phenomenologically in terms of the concentration of adsorbed analyte molecules in the contact tunneling junctions, and an expression is derived for the dynamics and sensor resistance in terms of analyte vapor pressure. The time response of the sensor is observed to follow simple adsorption-desorption kinetics. The network sensor shows very clear selectivity.
	Objavljeno v		CHEMISTRY OF MATERIALS Volume: 20 Issue: 5 Pages: 1773-1777 Published: MAR 11 2008
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		21527591
4.	Naslov	SLO	MoS ₂ nanoceevaste hibridne strukture
		ANG	The MoS ₂ nanotube hybrids
	Opis	SLO	Raziskovali smo vpliv temperature pri sulfurizaciji nanožic MoS ₂ I ₈ . Odkrili smo, da lahko pri temperaturno kontrolirani sulfurizaciji in s tem kemijski transformaciji nanožic MoS ₂ I ₈ v MoS ₂ dobimo zelo raznolik in zanimiv sistem MoS ₂ hibridnih nanostruktur. S kontrolo temperature pri kateri poteka sulfurizacija, lahko uspešno kontroliramo obliko, velikost ter notranjo strukturo materialov.

		ANG	the MoS2 nanotube hybrids represent a family of nanomaterials, where nanotubes serve as nanoreactors and in some cases also as nanocontainers of MoS2 fullerene-like particles, which have in situ grown in a confined geometry of nanotubes. A simple temperature control of morphology, size, and inner structure of nanohybrids leads to a selective morphology.
	Objavljeno v		APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 95 Issue: 13 Article Number: 133122 Published: SEP 28 2009
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		23045415
5.	Naslov	SLO	Meritve električnih transportnih lastnosti na Mo6S3I6 nanožicah
		ANG	Quantum charge transport in Mo6S3I6 molecular wire circuits
	Opis	SLO	Meritve električnih transportnih lastnosti na prožnih Mo6S3I6 (MoSI) nanožicah različnih premerov v neidealnih dvotočkovnih vezjih razkrivajo potenčno odvisnost prevodnosti $\sigma(T,V)$ od temperature in napetosti. Na podlagi meritev na večjih vezjih sklepamo da obnašanje prevodnosti v tankih žicah lahko prepričljivo opišemo kot tuneliranje skozi Tomonaga-Luttinger tekočinske segmente MoSI žic, ki jih v nekaterih primerih spremlja še Coulombska blokada. Le-ta se pojavi ob deformacijah in defekti v MoSI žicah
		ANG	Charge transport measurements on flexible Mo6S3I6 (MoSI) nanowires with different diameters in highly imperfect two-terminal circuits reveal systematic power-law behavior of the conductivity $\sigma(T,V)$ as a function of temperature and voltage. On the basis of measurements on a number of circuits we conclude that the behavior in thin wires can be most convincingly described by tunneling through Tomonaga-Luttinger liquid segments of MoSI wire, which is in some cases modified by environmental Coulomb blockade.
	Objavljeno v		Source: PHYSICAL REVIEW B Volume: 80 Issue: 8 Article Number: 085402 Published: AUG 2009
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		22783015

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO	Nadaljnji razvoj in implementacija magneto-optične pincete
		ANG	Additional development and implementation of magneto-optical tweezers
	Opis	SLO	Razvoj in implementacija magneto-optične pincete Edinstvena eksperimentalna postavitev domače izdelave, ki uspešno združuje optično pinceto z magnetnim poljem, omogoča celo vrsto novih poskusov za osnovne raziskave materialov in uporabo v tehnološkem sektorju.
		ANG	A unique and home made combination of optical tweezers with magnetic field enables a large variety of novel experiments, which can be used in both basic and applied research.
	Šifra		F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v		VILFAN, Mojca, POTOČNIK, Anton, KAVČIČ, Blaž, OSTERMAN, Natan, POBERAJ, Igor, VILFAN, Andrej, BABIČ, Dušan. Self-assembled artificial cilia. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 2010, vol. 107, no. 5, str. 1844-1847,
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		23251239
2.	Naslov	SLO	Aktivna udeležba na mednarodnih konferencah
		ANG	Active participation at the international scientific conferences
	Opis	SLO	Na mednarodni konferenci First International Nanotechnology Congress, 7-11 June 2010, Quito, je vodja projekta predstavil predavanje z naslovom MoS2 hybride nanostructures. Predavanje je bilo s področja sinteze in karakterizacije novih struktur.
		ANG	Project leader has presented a talk on First International Nanotechnology Congress, 7-11 June 2010, Quito, Lecture title was MoS2 hybride nanostructures Lecture topics was synthesis and characterization of new

			structures.
	Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v		MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, JESIH, Adolf, KALIN, Mitjan. Synthesis and properties of Mo ₂ hybri nanostructures. V: First International Nanotechnology Congress, 7-11 June 2010, Quito, Ecuador.
	Tipologija		1.13 Objavljeni povzetek strokovnega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID		23734055
3.	Naslov	SLO	Postopek za sintezo nanocerk in fulerenom podobnih nanostruktur dihalogenidov prehodnih kovin
		ANG	Procedure of synthesis of nanotubes and fullerene-similar nanostructures of dichalcogenides
	Opis	SLO	Kot rezultat raziskave novih enodimenzionalnih struktur v ternarnem sistemu molibden, halogen, halkogen je bilo podeljenih več domačih in tujih patentnih prijav in patentov na področju sinteze
		ANG	Owing to the research of new onedimensional structures in the ternary system molybden, halogen, chalcogen, several patent applications and patents were granted in the field of synthesis
	Šifra		F.01 Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Objavljeno v		MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, JESIH, Adolf, VIRŠEK, Marko. Postopek za sintezo nanocerk in fulerenom podobnih nanostruktur dihalogenidov prehodnih kovin : patent : SI 22485 (A), 2008-10-31. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2008. 17 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 20828199] kategorija:
	Tipologija		2.24 Patent
	COBISS.SI-ID		20828199
4.	Naslov	SLO	Organiziranje mednarodne konference
		ANG	Organisation of the international conference
	Opis	SLO	Mojca Vilfan has coorganised the yearly international nanoscience and nanotechnology conference SLONANO 2009
		ANG	Mojca Vilfan je organizirala mednarodno konferenco s področja nanotehnologije SLONANO 2009
	Šifra		B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v		Abstact book SLONANO 2009
	Tipologija		2.30 Zbornik strokovnih ali nerecenziranih znanstvenih prispevkov na konferenci
	COBISS.SI-ID		23023143
5.	Naslov	SLO	Postopek za sintezo kvazi enodimenzionalnih struktur dihalogenidov in oksidov prehodnih kovin
		ANG	Procedure of synthesis of quasi one-dimensional structures of dichalcogenides and transition metal oxides
	Opis	SLO	MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, JESIH, Adolf. Postopek za sintezo kvazi enodimenzionalnih struktur dihalogenidov in oksidov prehodnih kovin : patent : SI 22623 (A), 2009-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 19 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 21189927]
		ANG	MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, JESIH, Adolf. Postopek za sintezo kvazi enodimenzionalnih struktur dihalogenidov in oksidov prehodnih kovin : patent : SI 22623 (A), 2009-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 19 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 21189927]
	Šifra		F.01 Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Objavljeno v		MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, JESIH, Adolf. Postopek za sintezo kvazi enodimenzionalnih struktur dihalogenidov in oksidov prehodnih kovin : patent : SI 22623 (A), 2009-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 19 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 21189927]
	Tipologija		2.24 Patent
	COBISS.SI-ID		21189927

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

9.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Raziskave v okviru projekta Sinteza in karakterizacija novih nanostruktur na osnovi prehodnih kovin so vključevale sintezo in karakterizacijo lastnosti novih nanostruktur na osnovi prehodnih kovin, predvsem molibdena. Izpopolnili smo uveljavljen postopek sinteze MoSI nanožic, ki omogoča sintezo velikih količin svežnjev dobro dispergljivih nanožic s podobnimi premeri. S kontroliranim postopkom sulfurizacije MoSI nanožic smo razvili metodo izdelave kvazi enadimenzionalnih MoS₂ nanostruktur, (nanocevke, mamatube). Tako nastale nanostrukture imajo sicer enako osnovno morfologijo kot obstoječi svežnji MoSI nanožic, ki služijo kot prekursorji, vendar se odlikujejo po svojih fizikalnih lastnostih, ki so ključnega pomena pri načrtovani uporabi v industriji (mazave lastnosti). Preliminarni rezultati kažejo, da nastale nanocevke odlikujejo izjemne lastnosti, ki jih z drugimi postopki sinteze ne moremo doseči: velika dolžina (nekaj mm) in velika mehanska stabilnost, ter preprostejša in učinkovitejša izdelava. Določili smo tudi hitrost sulfurizacije nanožic, kar je ključna informacija za pripravo zanimivih binarnih enadimenzionalnih spojin z zanimivimi lastnostmi. Z raziskavami smo pokazali, da so osnovne MoSI nanožice, poleg zelo zanimivih lastnosti, tudi odlični prekursorski materiali za pripravo enadimenzionalnih struktur na osnovi molibdena. S preprostim gretjem na zraku lahko tako pripravimo molibden oksidne nanožice, ki so potencialno uporabne v celi vrsti različnih aplikacijah. Morfologija prekursorskim svežnjem MoSI nanožic se po vseh kemijskih spremembah (sulfurizacija, oksidacija) ohrani, torej lahko s kontrolo premerov in dolžin MoSI svežnjem kontroliramo tudi morfologijo končnih produktov. Vse te strukture so zelo zanimiva alternativa ogljikovim nanocevkam s tem, da je njihova sinteza preprosta, poceni, vse nanožice, ki tvorijo svežnje pa enakih premerov. Nanožive in nanocevke sintetizirane v projektu so zelo primeren material za polnila polimerov pri pripravi različnih kompozitnih materialov z izboljšanimi mehanskimi, električnimi ter termičnimi lastnostmi. Naš projekt je s tem pripomogel k napredku tako sinteze anorganskih nanosnovi kot tudi njihove široke uporabnosti.

ANG

Research within the project was included synthesis and characterization of mechanical, electrical and magnetic properties of novel nanostructures based on transition metals. We improve the existing synthesis procedure and by using the optimized production method, we are able to control the morphology of MoS₂ nanostructures. The basic structure of the nanotubes, mamatubes of MoS₂ remain unchanged in comparison with existing MoSI nanowires, which serve as a precursor material, but we expect enhanced physical properties, which are of great importance in industrial applications like tribological properties. In order to confirm our predictions, we used several different spectroscopic and microscopic methods to quantitatively characterize physical properties of the new nanostructures. The results show that the nanotubes, synthesized by this method, exhibit exceptional properties (they can be several mm long and have great mechanical stability), which cannot be achieved using standard preparation procedure. We report the preparation, structure characterization, and application of new molybdenum oxide nanowires synthesized by heating of the MoSI nanowire in the air. The morphology of the starting nanowires are retained. New MoO_{3-x} nanowires are promising candidates for lithium intercalation, hydrogen sensing, and smart windows due to their photochromic property. Our nanotubes and nanowires are an interesting alternative to carbon nanotubes, showing advantages such as easy synthetic access, and good uniformity and solubility. They are very promising candidates as fillers for composites with enhanced thermal, mechanical and electrical properties. Target applications for this kind of composites are materials for heat management, electrostatic dissipaters, wear protection materials.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Uspeli smo sintetizirati nove nanostrukture na osnovi molibdena in jih tudi ustrezno patentno zaščitili. Na osnovi dela teh patentov je bilo nadaljevano delo v visoko-tehnološkem podjetju v okviru Tehnološkega parka Ljubljana, katerega glavna naloga je sinteza novih tehnološko uporabnih nanostruktur (predvsem nanožic in nanocevk), ter njihov uspešen prenos za uporabo za industrijske namene. Raziskave in razvoj v okviru projekta predstavljajo izreden doprinos k nanotehnološkemu področju pri nas in tako utrjujejo položaj in konkurenčnost Slovenije v svetu. Ponuja se nam možnost nadaljne izrabe obstoječe opreme, pridobljenega znanja in

uporabe materialov, ki so edinstveni v svetu. Poleg promocije države raziskave odpirajo vrata sodelovanju z drugimi vrhunskimi strokovjaki s tega področja. Uporaba in karakterizacije novih nanomaterialov je poleg vrhunskih raziskav omogočala tudi redno izobraževanje perspektivnih raziskovalcev na visokem nivoju. Na osnovi tega projekta smo dobili tudi mesto v COST projektu, ki bo traja do leta 2013. Kot delni rezultat tega projekta pričakujemo tudi razvoj novih bionanosenzorjev na osnovi nanožic in nanocerk na osnovi prehodnih kovin, ki bodo namenjeni za odkrivanje in določevanje koncentracije različnih biološko pomembnih spojin in ekslovizov. Glede na hitro rastoč trg biosenzorjev in ogromno tržišče bi bili bionanosenzorji poleg izjemne zanimivosti za znanstvene raziskave tudi trženjsko zelo zanimivi. POMEMBNO JE, DA SO VSE NANOSTRUKTURE SINTENTIZIRANE V TEM PROJEKTU TUDI USTREZNO PATENTNO ZAŠČITENE.

ANG

Research within this project contributed significantly to improvement in nanotechnology in Slovenia and thus strengthen the competitive position of our country in the world. This was a great opportunity to use the existing equipment and obtained knowledge for optimizing preparation procedures of unique and highly interesting samples. Besides promotion of our country the new materials are a good basis for further collaborations with leading researchers from all over the world. The combination of synthesis of new structures and precise characterization of their physical properties also provide excellent working conditions and are used for training of perspective researchers. The project was the basis for formation and further development of a new high-technological company and also base for our collaboration in the international COST project.

The main goal of the project was synthesis of new structures and above all, their possible successful transfer to industrial applications. The production, which is already protected by several patents, was optimized and enable more rational and effective production of new materials. Due to the excellent physical properties, the materials could be used for lubrication, nanoelectronics, emitters, even gas nanosensors. Eminent Slovenian companies showed interest for collaboration, preparation and characterization of test samples were performed. A spin-off company been formed as part of the Technology Park, Ljubljana. New materials and matter increase the competitiveness in key segments of Slovene industry. In general, novel nanostructures based on transition could be of key importance for the development of industry in larger segments, from composites to electronics. It is important that all the nanostructures developed in our project are under patent application protection.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ 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/varovanje 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!**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
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 sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

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

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

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS

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

Podpisi:

Aleš Mrzel	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/153

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

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

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

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

PRIMER (v slovenskem jeziku):

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

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

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

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

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

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

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

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

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

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

¹¹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite/prepišite skladno z obrazcem "Izjava sofinancerja" (<http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>), ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

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

51-77-33-B1-FF-41-A1-5E-53-A0-A5-2D-46-FA-E7-F5-16-73-DB-8C