

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/86



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-2352
Naslov projekta	Hibridni nanomateriali za samo-mazalne kompozite in za pretvorbo energije
Vodja projekta	7560 Maja Remškar
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4170
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.01 Fizika kondenzirane materije
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	1.03
- Veda	1 Naravoslovne vede
- Področje	1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Nanobrstiči WS2 in nedavno odkriti MoS2 stroki, imenovani „mama“-tube, kjer so anorganski fullereni ujeti v nanocevke, so prve hibridne strukture na osnovi anorganskih nanocevk v svetovnem merilu (M. Remskar et al., Nano Letters 2008, Advanced Materials 2007)-Appx.1. Kemijske, fizikalne in elektro-kemijske lastnosti so še povsem neznane. Uporaba MoS2

nanocevk v nanotribologiji kot dodatek oljem in mastem se je v predhodnem testiranju v zadnjih mesecih izkazala kot zelo obetavna. Druge možne aplikacije čistega materiala so v sončnih celicah za pretvorbo vidne in infra-rdeče svetlobe v električni tok, v izgradnji shranjevalnikov vodika, in skupaj z MoOx in WOx nanožicami, ki jih znamo sintetizirati iz istih prekursorskih materialov, tudi za reverzibilne litijeve baterije

Kompoziti hibridnih nanomaterialov s polimeri so naslednja možnost za pripravo samomazalnih površinskih prevlek. Nedavno je bila odkrita tudi metoda priprave vijačnic in nanovzmeti z elektro-sukanjem tekoče kristalne faze celuloze in priprave preje, ki jo je mogoče oplemenititi z „mama“-tubami. Mehanske lastnosti filmov in mikro-nano vlaken je tako mogoče kontrolirati, kar odpira nove horizonte možne uporabe celuloze in celuloznih derivatov v mikro in nano-tehnologiji.

Cilja projekta sta:

- poglobiti znanje na osnovi nano-fizike (strukturne, električne in mehanske lastnosti) na edinstvenih hibridnih nanomaterialih, ki smo jih odkrili pri nas in PCT zaščitili
- vsaj na enem od predlaganih področij raziskav najti direktno aplikacijo

Projekt je v celoti skladen z usmeritvami Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije for 2009

3.- raziskovanje materialov in nove tehnologije- raziskave strukturnih lastnosti in mehanizma rasti teh edinstvenih nanohybridov- fulerenom-podobnih nanokroglic, nano-škatic in nanocevk spontano vgrajenih v večje nanocevke- imenovane „mama“-tube, in nanokroglic, ki so pritrjene na površino nanocevk imenovanih nanobrsteči,

4.-energetika-vodikova energija, pretvarjanje in shranjevanje energije: ugotavljanje učinkovitosti shranjevanja vodika in litija v MoS2 „mama“-tube in MoOx ter WOx;

5.-interdisciplinarnost- povezava fizike, kemije, fotovoltaike in tribologije

6.-raziskave, vpete v razvojne potrebe slovenskih podjetij.

Podjetje Nanotul d.o.o., spin-off IJS, je direktno namenjeno komercializaciji aplikativnih rezultatov, razvitih v projektu.

Projekt bo vpet v pedagoški proces, saj bo direktno povezan z doktorskim delom dveh mladih raziskovalcev in enega bodočega doktorskega študenta ter bo razjasnjeval možnosti za vključevanje novih študentov.

ANG

WS2 nanobuds, together with recently synthesized MoS2 peapods, called »mama«-tubes, where fullerenes are encapsulated inside MoS2 nanotubes, were discovered in Slovenia recently (M. Remskar et al., Nano Letters 2008, Advanced Materials 2007)-Appx.1). They represent the first hybrid structures based on inorganic nanotubes in general. Chemical, physical and electro-chemical properties are completely unknown. Use of MoS2 nanotubes in nanotribology as oil or grease additive is already preliminarily tested revealing promising results. Other possible applications of pure material are in solar cell technology for conversion of visible and infra-red light into photo-current, in hydrogen storage technology, and together with nanowires of MoOx and WOx, which can be synthesized from the same precursor materials, for reversible lithium batteries.

Composite materials with polymers are the next possibilities for preparing self-lubricated coatings. Recently found helical micro and nano springs obtained from cellulose liquid crystalline phases can be tailored with "mama"-tubes by electrospinning technique. The mechanical properties of films and micro-nano fibers can be tuned opening new horizons for potential application of cellulose and cellulose derivatives in micro nano-engineering..

The main goals of the project are:

- to develop knowledge in nano-physics on these unique hybrid nanomaterials, which have been discovered in our group and PCT protected
- to make a breakthrough in at least one applicable direction

The project entirely matches the priorities of the Guidance of work from Ministry for High Education, Science and Technology of Republic Slovenia for 2009.

The 3rd priority: materials science and new technologies- investigating structure and growth mechanisms of unique morphology of hybrid nanostructures, i.e. fullerene-like nanospheres, nanoboxes and nanotubes embedded inside larger nanotubes, called "mama"-tube hybrids, and

fullerene-like nanoparticles attached on the surface of nanotubes, named nanobuds.
The 4th priority: hydrogen energy, energy storage-determination the efficiency of hydrogen storage into MoS₂ nanotubes and "mama"-tubes and lithium storage into MoO_x and WO_x nanowires
The 5th priority: interdisciplinary: physics, chemistry, photovoltaics, tribology
The 6th priority: research as a part of technological need of Slovenian enterprises-

A "spin-off" company Nanotul, d.o.o. was established to commercialize "mama"-tubes. The proposed work will be done in a close relationship with this company.

The project will be part of pedagogical process. It will be directly connected with a work of two PhD students, which are currently young researchers in our group and it will enable an employment of an additional PhD student. Knowledge developed in the project will open new possibilities for further PhD studies.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Cilja projekta sta bila:

- poglobiti znanje na osnovi nano-fizike (strukturne, električne in mehanske lastnosti) na edinstvenih hibridnih nanomaterialih, ki smo jih odkrili pri nas in PCT zaščitili
- vsaj na enem od predlaganih področij raziskav (tribologija, fotovoltaika, shranjevanje vodika, reverzibilne baterije) najti direktno aplikacijo

Za doseg teh ciljev so bili načrtovani naslednji koraki: a) Študij strukture in mehanizmov rasti, b) določitev učinkovitosti shranjevanja vodika ali litija, c) priprava polimernih kompozitov iz nanohibridov z namenom priprave samo-mazalnih prevlek in za pretvorbo energije, d) prenos znanja, razvitega v tem projektu in patentna zaščita rezultatov, ki so industrijsko uporabni.

Poročilo po posameznih fazah:

1. Optimizirali smo pogoje rasti za sintezo nanostrokov MoS₂. Na enem nanostroku smo izmerili trenje in ugotovili, da je koeficient trenja za štirikrat manjši na mestih, kjer stena nanocevke ni podprta z nanokroglicami, ki spontano rastejo znotraj cevke. Podoben efekt smo našli v 25 let starem japonskem poročilu, ki je ostalo do sedaj nepotrjeno. Gre za vpliv strižnih deformacij iz delov materiala, ki je daleč od kontaktne površine. Če tega materiala ni, se pri trenju sprošča manj energije, kar posledično vodi v nižji koeficient trenja. S tem odkritjem smo načrtali novo vrsto maziv, pri katerih naj bi aktivno vlogo igrale med seboj ločene nanoluske. Nadalje smo naredili študijo trenja tudi na eni sami nanokroglici in potrdili napovedi, da se pri nizkih obremenitvah take kroglice lahko kotalijo. Te napovedi so bile predmet strokovnih debat skoraj dve desetletji. Članek je objavljen v *Nanoscale Research Letters* [COBISS.SI-ID 25737255].

Koaksialne nanocevke, ki jih zdaj znamo sintetizirati v več desetgramskih količinah na teden, smo vmešali v PAO (Polyalphaolefin) v 5 ut.% koncentraciji in izmerili trenje med kroglico in diskom iz nerjavnega jekla ("pin-on-disc" geometrija). V primerjavi s čistim PAO oljem se je trenje zmanjšalo za dvakrat, obraba pa od 5 do 9 krat. Meritve so bile izvedene v partnerski skupini na Centru za tribologijo in tehnično diagnostiko Fakultete za strojništvo, UL. Članek avtorjev M. Kalin, J. Kogovsek, M. Remskar z naslovom "Mechanisms and improvements in the friction and wear behaviour using MoS₂ nanotubes as potential oil additives" je objavljen v specializirani reviji *Wear* [[COBISS.SI-ID 12245787]. Za sintezo tovrstnih nanocevok smo dobili ameriški patent US 8007756 B2 [COBISS.SI-ID 16432935].

V sodelovanju s Korean Basic Science Institute smo naredili prve meritve interkalacije litija v naše nanocevke MoS₂, ki so pokazale napredujočo količino interkaliranega litija s cikliranjem. Dosegli smo kapacitivnost 700 mAh/g pri 0.1C interkaliranega naboja. Meritve nadaljujemo na Kemijskem inštitutu. Raziskali smo

strukturne in električne lastnosti nanocevk MoS₂ s kontroliranim premerom pod 100 nm in ugotovili, da visoka koncentracija defektov pogojuje kovinsko prevodnost v sicer polprevodnem materialu. Članek je objavljen v *Nanoscale Research Letters* [COBISS.SI-ID 24231463].

Naredili smo prve transistorje (FET) na osnovi WS₂ in MoS₂ kot analogij grafenu. Članka sta objavljena v *Applied Physics Letters* [COBISS.SI-ID [26518311](#), [26026535](#)].

Dvodimenzionalni Schottky-jev FET je pokazal ambipolarno obnašanje in visoko ($\sim 10^5 \times$) on/off razmerje pri sobni temperature in nasičenje toka. Obnašanje smo razložili z obstojem energijske reže v 2D kristalu. FET je pokazal odziv na vidno svetlobo. Zaradi obetavnih elektronskih in optičnih lastnosti skupaj z 2D kristalno fleksibilnostjo sta WS₂ in MoS₂ obetavna nanomateriala za bodoče elektronske in optične naprave.

Ponovili in optimizirali smo sintezo podstehiometričnih volframovih oksidov v obliki nanožičk W₅O₁₄. Za njihovo sintezo smo dobili podeljen evropski patent EP 2114827 B1 [COBISS.SI-ID 20624167]. Gre za električno prevodne nanožičke, ki so uporabne za nanoelektroniko in za začetni material za sintezo nanobrstičev.

2. Nadaljevali smo raziskave razslojenih nanocevk MoS₂ v lističe debele samo eno molekulsko plast. Razslojen MoS₂ je namreč uporaben tako za elektrolitske kot tudi za polimerne litijeve baterije. V primeru polimernih litijevih baterij se razslojen MoS₂ uporablja v kombinaciji s polimerom PEO (Polyethylene glycol). Optične raziskave razslojenih nanocevk so pokazale nizko stopnjo aglomeracije, kvantno omejenost zaradi velikosti in močan modri premik eksitonov. MoS₂ monoplasti predstavljajo analogijo grafenu. Članek je objavljen v *Nanoscale Research Letters* [COBISS.SI-ID [25352743](#)]. Pri meritvah obstojnosti monoplasti MoS₂ v etanolu smo ugotovili tvorbo "Mo-blue" makromolekul in tako objavili novo sintezno pot za tvorbo tega nanomateriala. Članek je objavljen v *Material Research Bulletin* [COBISS.SI-ID [26333223](#)]. Obe tematiki sta bili odobreni za tematiko doktorskega dela mlade raziskovalke.

3. Pripravili smo še več kompozitov s polimernimi materiali za samomazalne prevleke. Objavljeni so trije članki o nanocevkah MoS₂ vmešanih v iPP (isotactic polypropylene) [COBISS.SI-ID [24593191](#), [24490279](#), [26026279](#)]. Nanocevke MoS₂ prispevajo k hitrejši kristalizaciji polimera in ohranjajo zaželeno monoklinsko fazo iPP polimera. iPP/MoS₂ nanokompozit, ki vsebuje le 1 ut.% nanocevk MoS₂ izkazuje zmanjšanje trenja za 15 %, zmanjšanje obrabe za 50 % in povečanje termične stabilnosti za 60 °C. Pripravili smo prvi nanokompozit na osnovi vodotopnega polimera polietilen oksida (PEO) z vmešanimi nanocevkami MoS₂. Nanokompozit kot tanka prevleka na nerjavnem jeklu zniža trenje za več deset odstotkov. Ko pride do prvega preboja polimera, nanocevke MoS₂ še naprej znižujejo trenje. Polimer PEO služi kot nosilni medij za nanos nanocevk MoS₂ na kontaktno površino in za oporo za njihovo razslojevanje v nanoluske, ki so optimalna oblika maziva. Nanocevke MoS₂ smo v količini 0,5, 1 in 2 ut.% vmešali v PVDF (Polyvinylidene fluorid) in ugotovili stabilizacijo nove konformacije gama faze s podvojitvijo osnovne celice v smeri b-osi polimera. Članek je poslan v objavo v *Journal of Polymers*. Izmerili smo dielektrične lastnosti kompozitov, omočitveni kot in ramansko spektroskopijo. Testiranje trenja v ploskovni geometriji (flat-on-flat) smo dokazali znižanje trenja za 50 % pri 1 ut.% nanocevk in za 75 % pri 2 ut.% nanocevk v PVDF. Dva članka in ena patentna prijava sta v pripravi. Naredili smo tudi prva mikrovlakna z elektropredilnico.

4. Prenos znanja: V letu 2010 je bila zagovorjena doktorska disertacija mladega raziskovalca Marka Virška z naslovom: *Strukturne, električne in optične lastnosti nizkodimenzionalnih kristalov molibdenovih* [COBISS.SI-ID [2286692](#)]. Leta 2009 sta bili na tematiki projekta izdelani dve diplomski in zagovorjeni na Fakulteti za matematiko in fiziko (FMF): [COBISS.SI-ID [2196580](#), [2201700](#), v letu 2011 pa bila zagovorjena

diploma na smer Merilna tehnika (Maja Češarek-[COBISS.SI-ID [2358372](#)]), nadaljevalo se je eksperimentalno delo doktorske kandidatke Bojane Višić (zagovor predvidoma junij 2013) in doktorskega kandidata (Janez Kogovšek) na Fakulteti za strojništvo v skupnem mentorstvu M. Kalin (Fakulteta za strojništvo) in M. Remškar (IJS) in začelo doktorsko delo na FMF (Ana Dergan) na polimernih sončnih celicah na osnovi MoS₂. Zaščita znanja: podeljena evropski in ameriški patent za sintezo nitkastih volframovih oksidov ter ameriški patent za sintezo naših nanomaterialov MoS₂.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Program je bil v celoti realiziran. Zastavljeni cilji so bili 100 % doseženi. Razviti so samomazalni materiali, znanje je zaščiteno s podeljenimi mednarodnimi patenti, optimizacija nanomaterialov je izvedena.

Izbrane nanomateriale smo okarakterizirali pred vgrajevanjem v kompozite in po vgrajevanju z metodami elektronske mikroskopije (TEM, SEM, EDAX), atomske sonde (AFM, STM) in ramanske spektroskopije. Dokazali smo zmanjšanje trenja ter obrabe pri triboloških testiranjih polimernih nanokompozitov PVDF/MoS₂, PEO/MoS₂ in PEEK/MoS₂. Naredili smo prvi prototip sončne celice na osnovi nanocevk MoS₂, ki je v začetni fazi testiranj. Na temo sončnih celic smo prijavi bilateralni projekt z Vseučiliščem v Splitu, a je bil žal zavržen.

Izmerili smo izboljšane lastnosti polimera iPP zaradi vsebnosti nanocevk MoS₂, izmerili smo velik vpliv koncentracije nanocevk v polimerih na omočitveni kot. Uspešno smo opravili prenos znanja, pridobili ameriški in evropski patent.

Pri nanokompozitu PEO/MoS₂ in FET transistorjih na osnovi WS₂ ter MoS₂ smo sodelovali z Notre Dane University, Indiana, ZDA.

V sodelovanju s Centroma odličnosti Polimat in Namaste smo vzpostavili nov laboratorij za meritve polimernih kompozitov na Reaktorskem centru Podgorica, ki ima naslednje naprave: elektropredilnico, merilec mehanskih lastnosti (DMA), merilec trenja polimernih kompozitov in mikroskop v bližnjem polju opremljen z ramansko konfokalno spektroskopijo in mikroskopom na atomsko silo.

Delo je potekalo v tesni zvezi in deloma tudi na opremi podjetja Nanotul d.o.o., „spin-off“ Instituta Jožef Stefan, ki je bilo ustanovljeno z namenom komercializacije naših nanomaterialov.

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

Ni bilo sprememb, ki bi vplivale na izvedbo projekta.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	24490279	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nasproti novi generaciji polimernih nanokompozitov na osnovi anorganskih nanocevk
		ANG	Towards a new generation of polymer nanocomposites based on inorganic nanotubes
	Opis	SLO	Opazili smo izrazito povečanje termične stabilnosti nanokompozita in efekt nukleacije anorganskih nanocevk v primerjavi z ogljikovimi nanocevkami. Izjemni rezultati dinamične mehanske analize dokazujejo primernost teh novih nanokompozitov iPP/IN-MoS ₂ za industrijsko uporabo.
		ANG	A significant enhancement of the thermal stability of the nanocomposites and a nucleating effect of the inorganic nanotubes comparable to carbon nanotubes has been observed. The excellent dynamic mechanical data

		demonstrates the high-performance of these novel iPP/IN-MoS2 nanocomposites for industrial applications.
	Objavljeno v	Royal Society of Chemistry; Journal of materials chemistry; 2011; Vol. 21, no. 11; str. 3574-3578; Impact Factor: 5.968; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.27; A': 1; WoS: EI, PM; Avtorji / Authors: Naffakh Mohammed, Remškar Maja, Marco Carlos, Gómez-Fatou Marián A., Jiménez Ignacio
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	25352743 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Optične lastnosti razslojenih MoS2 koaksialnih nanocevk-analogija grafenu <i>ANG</i> Optical properties of exfoliated MoS ₂ coaxial nanotubes - analogues of graphene
	Opis	<i>SLO</i> Optične raziskave razslojenih MoS2 nanocevk so pokazale nizko stopnjo aglomeracije, kvantno omejenost zaradi velikosti in močan modri premik eksitonov. MoS2 monoplasti predstavljajo analogijo grafenu. <i>ANG</i> Optical investigation of exfoliated MoS2 nanotubes has shown low degree of restacking, quantum confinement as a size effect and a strong blue shift of excitons. The MoS2 single layers represent inorganic graphene analogy.
	Objavljeno v	Springer; Nanoscale research letters; 2011; Vol. 6, no. 1; str. 593-1-593-6; Impact Factor: 2.726; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.27; A': 1; WoS: NS, PM, UB; Avtorji / Authors: Višič Bojana, Dominko Robert, Klanjšek Gunde Marta, Hauptman Nina, Škapin Srečo D., Remškar Maja
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	26518311 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Primerjalne študije kemijsko sintetiziranih in razslojenih večplastnih MoS2 tranzistorjev na poljski pojav <i>ANG</i> Comparative study of chemically synthesized and exfoliated multilayer MoS ₂ field-effect transistors
	Opis	<i>SLO</i> Sodelovali smo pri izgradnji prvega poljsega FET tranzistorja na osnovi tankih lusk MoS2 narejenih s kemijsko transportno reakcijo in primerjali delovanje s FET na osnovi razslojenega MoS2. Elektronske in strukturne lastnosti so zelo podobne, tranzistorske karakteristike pa skoraj identične. <i>ANG</i> We have collaborated in construction of the first field effect transistor based on thin flakes produced by chemical transport reaction and compared results with FET based on exfoliated MoS2. While electronic and structural properties are similar, the transistor characteristics are almost identical.
	Objavljeno v	American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2013; Vol. 102, no. 4; str. 043116-1-043116-3; Impact Factor: 3.844; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Hwang Wan Sik, Remškar Maja
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	26026535 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Tranzistor s kemijsko sintetiziranim WS2, ki kaže 10 exp5 modulacijo pri sobni temperaturi in ambipolarno obnašanje <i>ANG</i> Transistors with chemically synthesized layered semiconductor WS ₂ exhibiting 10 ⁵ room temperature modulation and ambipolar behavior
	Opis	<i>SLO</i> Sodelovali smo pri izdelavi FET na osnovi 2D kristala WS2. Dvodimenzionalni Schottky-jev FET je pokazal ambipolarno obnašanje in visoko (~105x) on/off razmerje pri sobni temperaturi in nasičenje toka. Osvetljevanje z vidno svetlobo je močno povečalo kolektorski tok zaradi

		kreiranja eksitonov.
	ANG	We collaborated in construction of FET based on 2D WS ₂ crystals. Two-dimensional Schottky FET demonstrated ambipolar behavior and a high (~105x) on/off ratio at room temperature with current saturation. irradiation with visible light strongly increased drain current due to formation of excitons.
Objavljeno v		American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2012; Vol. 101, no. 1; str. 013107-1-013107-4; Impact Factor: 3.844;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Hwang Wan Sik, Remškar Maja
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	25737255 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Trenja na posamezni nanocevki Mos2 ANG Friction on a single MoS2 nanotube
	Opis	SLO Z AFM v UHV smo prvič izmerili trenje na posamezni nanocevki in nanokroglici MoS2 ter potrdili napovedi, da se pri nizkih obremenitvah take kroglice lahko kotalijo. Dokazali smo odvisnost trenja od interakcije s podlago in razložili pojav preko disipacije energije. ANG For the first time we have measured friction on a single MoS2 nanotube and nano-onion. We confirmed predictions of rolling mechanisms at low loads. We evidenced dependance of friction on interaction strength with the substrate and explained the effect with dissipation of energy.
	Objavljeno v	Springer; Nanoscale research letters; 2012; Vol. 7; str. 208-1-208-17; Impact Factor: 2.726;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.27; A': 1; WoS: NS, PM, UB; Avtorji / Authors: Jelenc Janez, Remškar Maja
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine^Z

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	16432935 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Postopek za sintezo nanocevk in fulerenom podobnih nanostruktur dihalogenidov prehodnih kovin, kvazi eno-dimenzionalnih struktur prehodnih kovin in oksidov prehodnih kovin. ANG Process for the synthesis of nanotubes and fullerene-like nanostructures of transition metal dichalcogenides, quasi one-dimensional structures of transition metals and oxides of transition metals
	Opis	SLO Zaščitili smo sintezo nanocevk in nanostrokov MoS2, geometrijo nanostrokov in nitkaste oblike molibdenovih oksidov. Nanocevke MoS2 so uporabne za industrijska maziva, sončne celice, katalizatorje pri razžveplevanju nafte in za samomazalne polimerne prevleke. ANG We have protected synthesis of MoS2 nanotubes and peapods, geometry of peapods and threadlike molybdenum oxides. MoS2 nanotubes are applicable in industrial lubricants, solar cells, as catalysts in desulfurization of petroleum and for self lubricative polymer coatings.
	Šifra	F.32 Mednarodni patent
	Objavljeno v	United States Patent and Trademark Office; 2011; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Mrzel Aleš, Remškar Maja, Jesih Adolf, Viršek Marko
	Tipologija	2.24 Patent

2.	COBISS ID	26299687	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Nano hladilno mazalna sredstva in analiza tornih razmer pri obrezovalnih procesih	
	ANG	Nano cooling fluids and analysis of friction properties at cutting processes	
Opis	SLO	Nanocevpke MoS2 smo vmešali v hladilno mazalna sredstva za obdelavo kovin in pokazali njihovo najboljšo učinkovitost glede na obstoječa hladilno mazalna sredstva.	
	ANG	We have prepared cooling fluids with added MoS2 nanotubes for metal cutting processes. We evidenced their superior performance in relation with currently used cooling fluids.	
Šifra	F.04 Dvig tehnološke ravni		
Objavljeno v	Slovensko društvo za tribologijo = Slovenian Society for Tribology; Zbornik predavanj Posvetovanja o tribologiji, hladilno mazalnih sredstvih in tehnični diagnostiki; 2012; Str. 199-210; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Jelenc Janez, Krajnik Peter, Remškar Maja		
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
3.	COBISS ID	26299431	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Samo-mazalni polimerni nanokompozit na osnovi polietilenov oksida-PEO z dodanimi nanocevkami MoS[spodaj]2	
	ANG	Self-lubricative polymer nanocomposite based on polyethylen oxide-PEO with added MoS2 nanotubes	
Opis	SLO	Pripravili smo prvi nanokompozit na osnovi vodotopnega polimera polietilen oksida (PEO) z vmešanimi nanocevkami MoS2. Nanokompozit kot tanka prevleka na nerjavnem jeklu zniža trenje za več deset odstotkov. Ko pride do prvega preboja polimera, nanocevpke MoS2 še naprej znižujejo trenje.	
	ANG	We prepared the first nanocomposite based on water soluble polyethilen oxide (PEO) with added MoS2 nanotubes. The nanocomposite thin coating on stainless steel decrease friction for several tens percents. After the breakthrough the MoS2 nanotubes continue with friction reduction.	
Šifra	F.10 Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije		
Objavljeno v	Slovensko društvo za tribologijo = Slovenian Society for Tribology; Zbornik predavanj Posvetovanja o tribologiji, hladilno mazalnih sredstvih in tehnični diagnostiki; 2012; Str. 193-197; Avtorji / Authors: Remškar Maja, Jelenc Janez, Paskvale Srečko, Iskra Ivan		
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
4.	COBISS ID	24455463	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Monoplasti MoS2 kot analogija grafenu	
	ANG	The Mos[sub]2 single layers as graphene analogy	
Opis	SLO	V vabljenem predavanju, ki je zaključilo gostovanje na Notre dame University, sem predstavila monoplasti MoS2, ki smo jih naredili z razslojevanjem nanocevk MoS2 ter opisala njihove optične in morfološke značilnosti.	
	ANG	In invited talk as a conclusion of invited proffesor position I represented MoS2 monolayers, which have been prepared by exfoliation of MoS2 nanotubes. Their optical and morphological properties have been descibed.	
Šifra	B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi		
Objavljeno v	University of Notre Dame; 2011; Avtorji / Authors: Remškar Maja		
Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi		
5.	COBISS ID	25308199	Vir: COBISS.SI

Naslov	SLO	Varna nanotehnologija in monitoring ter potencialna uporaba pri obdelavi materialov
	ANG	Safe nanotechnology and monitoring and potential applications in materials processing
Opis	SLO	Vabljen predavanje na nacionalnem srečanju: Meeting of Swedish Centre for Metalworking Fluids
	ANG	Invited talk at national meeting: Meeting of Swedish Centre for Metalworking Fluids
Šifra	B.04	Vabljen predavanje
Objavljeno v	2011; Avtorji / Authors: Remškar Maja	
Tipologija	3.16	Vabljen predavanje na konferenci brez natisa

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Samostojno poglavje v tuji monografski publikaciji:

1. REMŠKAR, Maja. Inorganic nanotubes beyond cylindrical matter. V: ADREWS, David L. (ur.), SCHOLLES, Gregory D. (ur.), WIEDERRECHT, Gary Phillip (ur.). Comprehensive nanoscience and technology. London: Elsevier, cop. 2011, zv. 1, str. 315-333. [COBISS.SI-ID 26306343]
2. REMŠKAR, Maja. Inorganic nanotubes based on transition metal dichalcogenides : synthesis and mechanical properties. V: BELIN-FERRÉ, Esther (ur.). Mechanical properties of complex intermetallics, (Book series on complex metallic alloys, vol. 4). New Jersey ... [etc.]: World Scientific, 2011, str. 345-357. [COBISS.SI-ID 24473895]
3. REMŠKAR, Maja. Inorganic nanotubes. V: HAYDEN, Oliver (ur.), NIELSCH, Kornelius (ur.). Molecular- and nano-tubes. New York [etc.]: Springer, cop. 2011, str. 391-412. [COBISS.SI-ID 25142311]

Mednarodni patenti:

4. REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, KOČMUR, Miha, JESIĆ, Adolf. Procedure for synthesis of threadlike tungsten oxide $W_{50}(14)$: patent EP 2114827 B1. München: European Patent Office, 2011. 17 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 20624167]
5. MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, JESIĆ, Adolf, VIRŠEK, Marko. Process for the synthesis of nanotubes and fullerene-like nanostructures of transition metal dichalcogenides, quasi one-dimensional structures of transition metals and oxides of transition metals : patent US 8007756 B2. [S. l.]: United States Patent and Trademark Office, 30. avg. 2011. [COBISS.SI-ID 16432935]
6. Vzpostavitev novega laboratorija za meritve polimernih kompozitov na Rektorskem centru Podgorica, ki ima naslednje naprave: elektroreducirnik, merilec mehanskih lastnosti (DMA), merilec trenja polimernih kompozitov in mikroskop v bližnjem polju opremljen z ramansko konfokalno spektroskopijo in mikroskopom na atomsko silo.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Projekt je omogočil raziskave novih nanohibridov na osnovi nanocevk MoS₂ in WS₂, ki so bile prvič sintetizirane na Institutu Jožef Stefan in katerih sintezo smo uspeli patentno zaščititi z mednarodnimi patenti. Gre za edinstvene nanostrukture, kot so nanobrstiči WS₂, pri katerih nanokroglice WS₂ rastejo na površini nanocevk MoS₂, "mama"-tube, kot smo poimenovali nanocevke MoS₂, v katere so vgrajene MoS₂ nanokroglice, koaksialne nanocevke MoS₂, kjer so cevke znotraj cevk in tudi nanocevke MoS₂ s kontrolirano velikostjo, ki zaradi velike količine

defektov kažejo kovinsko obnašanje za razliko od poleprevodniškega MoS₂. Glavni cilj tega projekta je bil razumeti mehanizme rasti hibridnih nanomaterialov, njihovo interakcijo s polimerno matriko ter oceniti možne smeri uporabe teh novih materialov za varčevanje z energijo zaradi zmanjševanja izgub, ki jih povzročata trenje, za proizvodnjo energije s fotovoltaike ter za shranjevanje energije z interkalacijo vodika in litija. Vsi ti cilji so bili doseženi in smeri nadaljnjih raziskav s tem odprte.

Trenje je staro področje raziskav in njegova kontrola je velikega pomena za tehnologijo, še posebej pri nedavnih težnjah po učinkovitejši rabi fosilnih goriv za manjši porabi energije. Medtem ko je mogoče makroskopsko trenje pripisati kolektivnim pojavom zaradi hrapavosti in so tovrstne študije tradicionalno spadale na strojno fakulteto, se je mogoče z uporabo mikroskopije na atomsko silo sfokusirati na posamezno izboklinico kot dela hrapave površine, kar pa zahteva znanje fizike. Nadalje, atomska ločljivost pri meritvah trenja omogoča kontrolo AFM tipala in hkrati razkriva detajlnjo strukturo opazovanega objekta. Medtem ko je bila prvotna želja pri razvoju meritev trenja z AFM študirati posledice lokalne obrabe, kar ni bilo možno z makroskopskimi napravami, so nanomateriali v vlogi lubrikantov odprli nove perspektive pri merjenju trenja na površini posamezne nanocevke oz. fulerenom-podobne nanokroglice.

In to nam je v projektu uspelo. Kot prvi na svetu smo izmerili trenje na površini posamezne nanocevke in posamezne nanokroglice MoS₂. Potrdili smo skoraj četrstoletno staro ugotovitev, da je trenje pri zdrsu med plastmi večje kot pri zdrsu med posameznimi kristali in pojav razložili z o,ejeno disipacijo energije. Uporaba ultra-visokega vakuumu kot eksperimentalnega okolja nam je omogočila izogib vplivom zračne vlage ali tveganja za oksidacijo, ki zameglita osnovne procese trenja med drse.

Poznavanje medsebojne interakcije nanoobjektov z različnimi tehnološko pomembnimi polimeri za specialne namene je pomembno za razvoj multi-funkcionalnih prevlek. Pripravili smo prevleke na osnovi vodotopnega in biokompatibilnega polyetilen oksida (PEO), pri katerih smo eksperimentalno ugotovili 75 % zmanjšanje obrabe pri dodatku 25 ut.% nanocevke glede na maso polimera. Vmešavanje nanocevke MoS₂ v kemijsko in temperaturno zelo obstojen polimer PVDF je povzročilo stabilizacijo nove konformacije tega polimera, ki do sedaj še ni bila poznana, čeprav je PVDF eden najbolj raziskanih polimerov nasploh. Že 1 ut.% nanocevke v PVDF povzroči zmanjšanje trenja za 50 %. Dokazali smo tvorbo tribo-filma pri mehanskih strižnih obremenitvah med tribološkim testiranjem PAO olja z vmešanimi nanocevkami MoS₂, ki zmanjša obrabo na jeklenem kontaktu do 90 % napram čistemu olju. Razslojevanje nanocevke na kontaktu je mehanski ekvivalent kemijski eksfoliaciji, s katero smo sintetizirali MoS₂ monoplasti, ki predstavljajo analogijo grafenu. Sintezna pot, ki smo jo izbrali kot razslojevanje nanocevke MoS₂ in ne običajnih plastičnih kristalov, preprečuje hitro samourejanje in omogoča študij na posameznih plasteh. Ugotovili smo močan kvantni efekt zaradi majhne debeline monoplasti. Iz premika ramanskih vrhov smo sklepali na podobno kvantno omejenost v plasteh tribo-filma.

Na osnovi tankih lusk MoS₂ in WS₂ smo v sodelovanju naredili prvi poljski transistor na osnovi naših nanomaterialov.

ANG

The project enabled research of new nanohybrids based on MoS₂ and WS₂ nanotubes, which have been synthesized at Jozef Stefan Institute for the first time. Their synthesis has been successfully patent protected by international patents. These are completely unique structures, like eWS₂ nanobuds, where WS₂ nano-onions grow on the WS₂ nanotubes, or MoS₂ "mama"-tubes, where MoS₂ nano-onions are incorporated inside MoS₂ nanotubes, co-axial MoS₂ nanotubes, where nanotubes are inside nanotubes, or size controlled MoS₂ nanotubes, which show metallic behaviour due to high density of structural defects, in contrary with otherwise semiconductive MoS₂. The main goal of the project was understanding of growth processes of hybrid nanomaterials, their interaction with polymer matrix and evaluation of possible application for energy saving with reduction of friction, for energy production through photovoltaics or for energy storage with hydrogen or lithium intercalation. All these goals have been achieved and directions of further research have been designed. Friction is an old subject of research and its control is of a great technological importance, especially in recent attempts of energy saving and higher fuel economy. While macroscopic

friction can be related to the collective action of small asperities and those studies were traditionally attributed to faculties of mechanical engineering, use of an atomic force microscopy (AFM) enables a focus on a single asperity and demands knowledge of nano-physics. Atomic resolution in measuring the friction forces reveals a detailed structure of an investigated sample and indirectly it controls a time dependent quality of the AFM tip, which represents a dynamic probe in the system. While the conventional interest of friction measurements with AFM was to focus on phenomena such as local wear, which are not accessible with macroscopic apparatus, nanomaterials in a role of lubricants opened a new challenge of measuring friction on a surface of a single nanotube or fullerene-like particle.

And this goal was achieved. We have measure friction on a surface of a single MoS₂ nanotube and single MoS₂ nano-onion for the first time in general. We have confirmed more than quarter of century old statement phenomena that intra-crystalline friction is higher than inter crystalline one. Use of an ultra-high vacuum experimental environment enabled elimination of humidity or risks of oxidation, which can blur a basic process of friction during sliding.

Knowledge on mutual interaction of nanoobject and different polymers for special purposes is important for development of multi-functional coatings. We have prepared coatings based on water soluble and biocompatible polyethylene oxide (PEO), where we have experimentally obtained 75 % wear reduction at 25 Wt.% of the MoS₂ nanotubes related to the mass of the polymer. The MoS₂ nanotubes mixed into chemical and temperature resistant PVDF caused stabilization of a new conformation of this polymer, which was unknown although PVDF belongs to the most studied polymers in general. Only 1 wt.% of PVDF decreases friction of PVDF for 50 %. We have evidenced growth of tribo-film during mechanical shear load using PAO oil with added MoS₂ nanotubes. Wear at the metal contact has been reduced for 90 % with respect to pure oil.

Exfoliation of the nanotubes at mechanical contact is a mechanical equivalent to chemical exfoliation, which was used for synthesis of MoS₂ monolayers as graphene analogy. We have chosen MoS₂ nanotubes for exfoliation and not usual platelets. This enabled us to prepare material with a low degree of restacking and research on single monolayers. We have found a strong quantum effect due to small thickness of a monolayer. Raman shift revealed a similar quantum confinement effect in layers consisted tribo-film.

We participated in construction of the first field effect transistor based on thin flakes of our MoS₂ and WS₂ nanomaterials.

10.2.Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Pomen projekta je v tem, da smo z njim poglobili naše poznavanje lastnosti materiala, ki je bil odkrit v Sloveniji in ustrezno patentno zaščiteno v Evropi in ZDA. Poleg promocije Slovenije na tehnološko pomembnem področju nanotehnologije in nanoelektronike, smo z rezultati projekta razpoznali možne smeri uporabe nanocevk MoS₂. Tu gre predvsem za izrazito povečano samomazalno funkcijo tehnoloških polimerov, v katere so vgrajene nanocevke MoS₂, kot so PVDF, PEO in iPP. Z metodo mikroskopije na atomsko silo smo na posameznih nanocevkah dokazali, da imajo cevke manjše trenje kot običajni plastni kristali MoS₂ in v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo naredili testiranja tudi v oljih in masteh. Material je izjemen in je pripravljen za tehnološko uporabo. Za to sta potreba še dva aplikativna koraka: razvoj tehnologije za povečanje proizvodnje in razvoj končnega izdelka. Oba koraka presegata doseg tega projekta in čakata na ustrezne razvojne razpise oz. investicije.

Projekt je bil povezovalne narave, saj je združeval raziskovalce s področja tehnike in naravoslovja in postavil fiziko v center najsodobnejših raziskav materialov pomembnih za industrijske aplikacije. Sodelovanje s Fakulteto za strojništvo ni naključje, saj je dr. Kalin mednarodno priznan strokovnjak za tribologijo in so-urednik knjige: Tribology of mechanical systems : a guide to present and future technologies. New York: ASME Press, 2004. Neformalno sodelovanje se je v tem projektu formaliziralo in upamo, da se bo tudi nadaljevalo po koncu tega projekta. Na temi projekta je bil opravljen en doktorat, dva sta še v teku in narejena tri diplomska dela.

ANG

Project was important for better understanding of new nanomaterials, which have been discovered in our group in Slovenia and appropriately patent protected in Europe and US. Besides promotion of Slovenia at technologically important field of nanotechnology and nanoelectronics, the results of the project are applicable for evaluation of possible directions of applied research of MoS2 nanotubes. Particularly strongly enhanced self-lubricative function of technological polymers with added MoS2 nanotubes, like PVDF, PEO and iPP is important. With atomic force microscopy studies we have evidenced lower friction on the tubes than on flat plate like crystals and in collaboration with the faculty for Mechanical Engineering performed friction testing in oils and greases. The material is unique and ready for technological utilization. Two further steps are necessary: development of scale up production and development of a final product. Both steps are beyond the limits of current project and wait for a new applied oriented call or an investment.

The project is interdisciplinary, because it combined researchers from technique with those from natural science, but it is centered in physics, which is therefore involved into the most recent development of materials important for industrial applications. The collaboration with the Faculty for Mechanical Engineering was based on very fruitful cooperation with dr. Kalin, who is internationally recognized expert in tribology and a co-editor of a book: Tribology of mechanical systems : a guide to present and future technologies. New York: ASME Press, 2004. Informal cooperation formalized in this project and hopefully will last also after the project end. One PhD student defended his PhD from the topic of the project, other two PhD students still work in the topic, and three diploma works were completed.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

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

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih	

procesov		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer	
1.	Naziv	
	Naslov	

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

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

WS2 tranzistor na poljski pojav (FET): Skupaj s sodelavci iz Notre Dame University, Indiana, smo izdelali FET na osnovi 2D kristala WS2. Dvodimenzionalni Schottky-jev FET je pokazal ambipolarno obnašanje in visoko ($\sim 105x$) on/off razmerje pri sobni temperature in nasičenju toka. Obnašanje smo razložili z obstojem energijske reže v 2D kristalu. FET je pokazal odziv na vidno svetlobo. Zaradi obetavnih elektronskih in optičnih lastnosti skupaj z 2D kristalno fleksibilnostjo je WS2 obetaven za bodoče elektronske in optične naprave. Objavljeno v: W.S. Hwang, M. Remškar, et al., Appl. Phys. Lett. 101, 013107-1-013107-4 (2012).

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Zmanjšanje trenja z uporabo nanocevk MoS2 kot dodatek sintetičnemu Polyalphaolefinskemu (PAO) olju: Nanocevk MoS2 pomembno znižajo trenje in obrabo med AISI 52100/DIN 100Cr6 kontaktoma v procesu mejnega mazanja. Koeficient trenja se je zmanjšal za več kot 2-krat, obraba pa za 5-9 krat. Dodatek nanocevk povsem prepreči kakršnokoli abrazijo ali deformacijo kontaktnih površin v času meritve. Raziskava je pokazala, da se na kontaktu tvori tribološka plast na osnovi nanocevk MoS2, ki je ključnega pomena za zmanjšanje trenja in obrabe. Objavljeno v: M. Kalin, J. Kogovšek, M. Remškar, Wear 280/281, 36-45 (2012), doi: 10.1016/j.wear.2012.01.011

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Maja Remškar

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	28.2.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/86

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost 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, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

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

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

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (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](#)

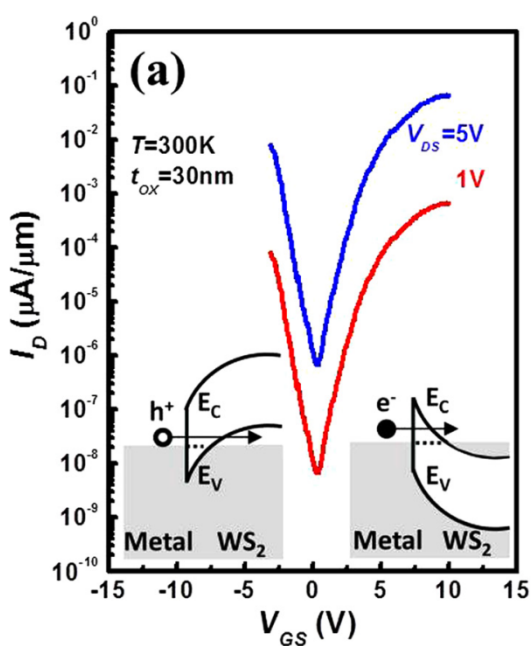
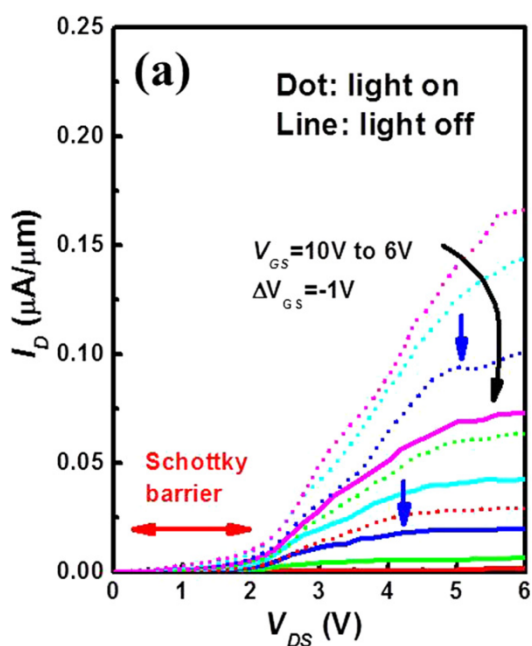
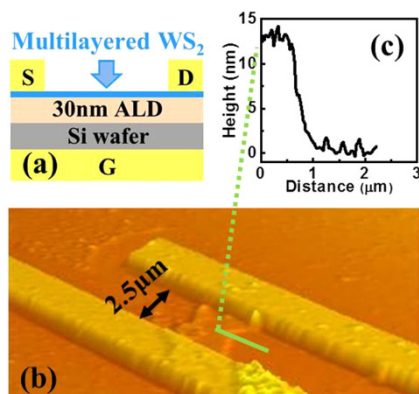
¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

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

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložitev/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00
FF-36-E1-C6-30-9C-E1-94-02-99-9C-00-5C-7E-24-93-DF-C5-A1-6D

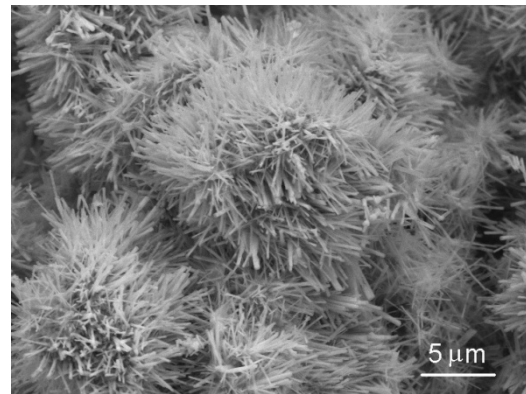
Transistor na poljski pojav (FET) na osnovi tanke luske WS₂



WS₂ tranzistor na poljski pojav (FET): Skupaj s sodelavci iz Notre Dame University, Indiana, smo izdelali FET na osnovi 2D kristala WS₂. Dvodimenzionalni Schottky-jev FET je pokazal ambipolarno obnašanje in visoko (~105x) on/off razmerje pri sobni temperature in nasičenje toka. Obnašanje smo razložili z obstojem energijske reže v 2D kristalu. FET je pokazal odziv na vidno svetlobo. Zaradi obetavnih elektronskih in optičnih lastnosti skupaj z 2D kristalno fleksibilnostjo je WS₂ obetaven za bodoče elektronske in optične naprave.

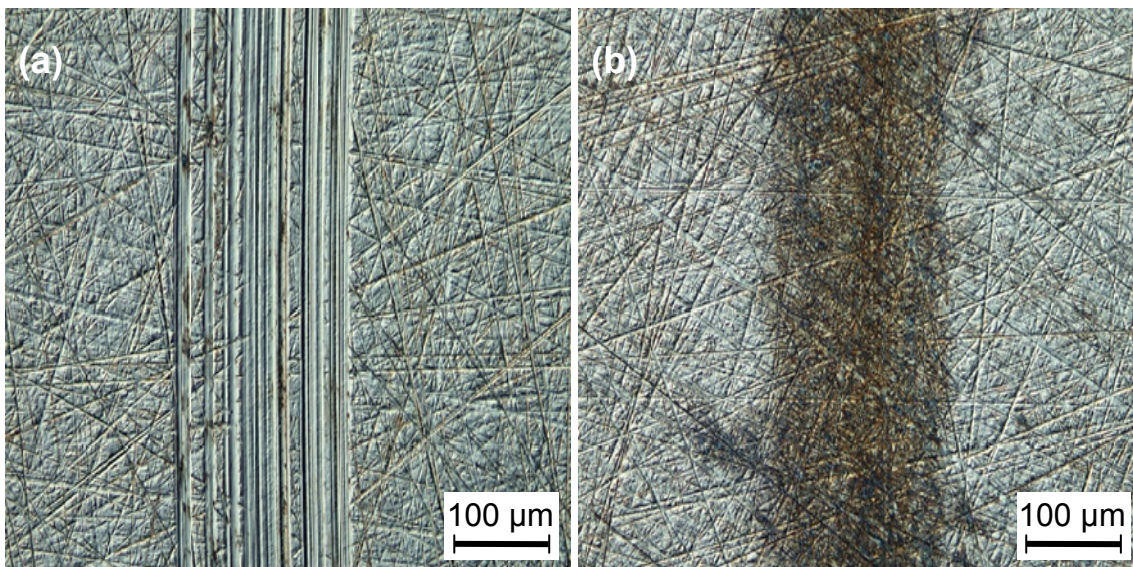
Objavljeno v: W.S. Hwang, M. Remškar, et al., Transistors with chemically synthesized layered semiconductor WS₂ exhibiting 10⁵ room temperature modulation and ambipolar behavior. Appl. Phys. Lett. 101, 013107-1-013107-4 (2012).

MoS₂ nanocevkke za zmanjšanje trenja



MoS₂ je znano mazivo, ki se uporablja že desetletja kot suho mazivo in kot dodatek oljem in mastem. Standardna oblika so tanke ploščice, ki med seboj drsijo z nizkim koeficientom trenja. Na Inštitut Jožef Stefan razvite nanocevkke MoS₂ zaradi specifične strukture še dodatno zmanjšajo trenje in obrabo med AISI 52100/DIN 100Cr6 kontaktoma v procesu mejnega mazanja. Koeficient trenja se je zmanjšal za več kot 2-krat, obraba pa za 5-9 krat. Dodatek nanocevk povsem prepreči kakršnokoli abrazijo ali deformacijo kontaktnih površin v času meritve. Raziskava je pokazala, da se na kontaktu tvori tribološka plast na osnovi nanocevk MoS₂, ki je ključnega pomena za zmanjšanje trenja in obrabe.

Objavljeno v: M. Kalin, J. Kogovšek, M. Remškar, Mechanisms and improvements in the friction and wear behavior using MoS₂ nanotubes as potential oil additives, *Wear* 280/281, 36-45 (2012).



Optični slike obrabnih sledi na jeklenem disku po 100 m drsenja jeklene kroglice. Kontakt je bil mazan s (a) čistim PAO baznim oljem in (b) s PAO oljem, ki mu je bilo dodanih 5 ut.% nanocevk MoS₂.