

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/92



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-4189
Naslov projekta	Raziskave kratkoročnih in dolgoročnih notranjih procesov pri delovanju elektrokemijskih sončnih celic
Vodja projekta	25420 Marko Berginc
Tip projekta	Z Podoktorski projekt
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.03 Energetika 2.03.03 Obnovljivi viri in tehnologije
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Elektrokemijske sončne celice (EKSC) so bile prvič predstavljene leta 1991 in spadajo v tretjo generacijo sončnih celic. Čeprav učinkovitosti pretvorbe današnjih EKSC presegajo 12%, do sedaj še niso doživele vidnega prodora na trg, saj ne izkazujejo potrebne stabilnosti, zato sem se s to tematiko ukvarjal v svojem podoktorskem projektu.

Projekt je bil razdeljen v dve večji skupini, *t.j.* raziskovanje kratkoročnih prehodnih pojavov in procesov stabilizacije, ki nastopajo takoj po izdelavi EKSC in raziskave dolgoročne stabilnosti. Po začetni optimizaciji sekundarnega tesnjenja EKSC sem se osredotočil na raziskovanje kratkoročnih prehodnih pojavov. Opazil sem, da se pri izdelavi celic z elektrolitom na osnovi

binarnih ionskih tekočin v celico z elektrolitom vnašajo majhni kristali na osnovi joda, ki s časom postopoma rastejo, kar vodi do nižanja učinkovitosti pretvorbe. S segrevanjem celice na 80 °C za 1 h je možno kristale popolnoma stopiti, kar privede do povišanja njene učinkovitosti, kot tudi stabilizacije njenega nadaljnjega delovanja. Izkazalo se je tudi, da kljub dolgotrajnemu obdobju mirovanja (npr. eno leto), ne pride do ponovnega oblikovanja kristalov, v kolikor si bili ti predhodno v celoti odstranjeni, zato je tak postopek po izdelavi vedno smiselno uporabiti.

Drugi del projekta je bil posvečen študiji stabilnosti EKSC. V ta namen je bilo večje število EKSC 7 mesecev starih na prostem v kratkem stiku, odprtih sponkah in v točki maksimalne moči, medtem ko je bilo za primerjavo nekaj celic shranjenih v temi pri sobni temperaturi v odprtih sponkah. Da bi ovrednotili vpliv staranja, sem v laboratoriju vsem EKSC izmerili tokovno-napetostne karakteristike pri standardnih testnih pogojih, pred staranjem, dvakrat med staranjem in po kocu staranja in uporabil elektroluminiscenco in optično transmisijo za opazovanje sprememb lokalnih defektov med staranjem. V celicah sem ponovno opazil majhne kristale joda, ki so se med staranjem postopoma stopili, medtem ko so kristali zrasli pri celicah, shranjenih v temi. Opazil sem tudi, da režim delovanja EKSC vpliva na hitrost degradacije. Vseeno so se vse EKSC izkazale za presenetljivo stabilne z izjemo celic starih v kratkem stiku, kjer sem opazil velik upad kratkostičnega toka, zaradi degradacije molekul barvila in zmanjšanja koncentracije tri-jodidnih ionov v elektrolitu. V zadnjem delu projekta sem opazoval degradacijo EKSC, ki so priključene na prevodno ali zaporno napetost. Izkazalo se je, da zaporna napetost povzroči hipen nastanek vodika in vodi do uničenja celice, medtem ko prevodna napetost pospeši rast kristalov in vodi do postopnega upada v učinkovitosti celice. Segrevanje celice na 80 °C je ponovno popolnoma raztopilo kristale in v celoti povrnilo začetno učinkovitost pretvorbe, čeprav je celica predhodno izgubila kar 88% svoje učinkovitosti.

ANG

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) were developed in 1991 and belong to the third solar cells generation. Although the DSSCs' efficiencies nowadays exceed 12% they have not fully enter the market since their stability remains an issue therefore this was the subject of the postdoc project.

The project consists of two parts, *i.e.* long-term stability and short-term transient which occur after the cell's production. After optimizing a secondary sealing of the cell I focused on the short-term transient study. A small iodine containing crystals were observed in the ionic liquid based DSSCs which were introduced with electrolyte during the production. The crystals grown with time which reduces the performance. Heating the cells (80 °C, 1 h) completely dissolve the crystals which increase the performances and stabilize their further operations. Moreover, the crystals did not reappear even after a long resting period (one year) if they have been completely removed; therefore the heating of the cells after the production is highly recommended.

The second part of the project was devoted to the long-term stability of the DSSCs. A number of DSSC have been aged outdoors for 7 months under short-circuit, open-circuit, and quasi maximum-power-point condition while a series of DSSCs have been stored in the dark at room temperature under open-circuit condition as a reference. The current-voltage characteristics of the cells have been measured indoors at standard test condition before ageing, twice during the ageing and after the ageing in order to evaluate the degradation. Additionally an electroluminescence and transmittance imaging have been used to track the evolution of local defects during the ageing. Initially small iodine containing crystals have been observed again. They dissolved during the outdoors ageing and they grow if the cells were stored in the dark (reference). Furthermore, the operating condition influences the degradation but the performance of the cells remained remarkably stable. The only exceptions are the cells aged under short-circuit condition where a degradation of the dye molecules and decreased tri-iodide concentration reduced the short-circuit current significantly. The degradation of the DSSCs when exposed to forward and reverse bias was observed in the final stage of the project. A reverse bias shortly forms hydrogen bubbles causing a cell's breakdown. On the other hand a forward bias accelerates crystals growth which progressively decreases the performance. Heating of the cells to 80 °C dissolve the crystals again and completely renew the cell's performance although a significant loss in the performance (up to 88% relatively) was observed in the first place.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Projekt obravnava stabilnost elektrokemijskih sončnih celic (EKSC) in je sestavljen iz štirih delovnih sklopov (DS):

DS 1.) izdelava in razvoj EKSC

DS 2.) raziskave prehodnih pojavov zmogljivosti po izdelavi EKSC in določitev protokola za hitro in učinkovito stabilizacijo zmogljivosti

DS 3.) preučevanje dolgoročne stabilnosti EKSC

DS 4.) standardni merilni protokol in dodatne tehnike karakterizacije

DS 1.) Za raziskave stabilnosti sem izbral in izdelal rekordne EKSC osnovane na ionskih tekočinah [1]. Sprva sem se osredotočil na različne materiale za primarno in sekundarno zatesnitev. Stabilnost EKSC v kombinaciji z različnim primarnim in sekundarnim tesnjenjem je bila spremljana 4 mesece pod realnimi zunanjimi pogoji. Kot najučinkovitejša se je izkazala primarna zatesnitev z Bynel folijo v kombinaciji s sekundarno zatesnitvijo, ki zahteva termično obdelavo po nanosu. Samosušeča sekundarna zatesnitev se je izkazala za manj ustrezno zaradi dolgega časa sušenja in slabe zatesnitve celice.

DS 2.) Študija lokalnih defektov je pokazala, da se pri izdelavi celic z elektrolitom na osnovi binarnih ionskih tekočin v celico z elektrolitom vnašajo majhni kristali na osnovi joda, ki s časom postopoma rastejo, kar vodi do nižanja učinkovitosti pretvorbe. S segrevanjem celice na 80 °C za 1 h je možno kristale popolnoma stopiti, kar privede do povišanja njene učinkovitosti, kot tudi stabilizacije njenega nadaljnjega delovanja. Izkazalo se je tudi, da kljub dolgotrajnemu obdobju mirovanja (npr. eno leto), ne pride do ponovnega oblikovanja kristalov, v kolikor si bili ti predhodno v celoti odstranjeni, zato je tak postopek po izdelavi vedno smiselno uporabiti.

Kljub začetnemu segrevanju so celice po osvetlitvi podvržene določenim reverzibilnim procesom. Celice so bile v odprtih sponkah 5 zaporednih dni po 8 ur izpostavljene pod (i) sončnim simulatorjem s spektrom AM1.5, (ii) sončnim simulatorjem s spektrom AM1.5 z UV filtrom, (iii) belo LED in (iv) na prostem pod realnimi pogoji. Rezultati so pokazali odlično stabilnost napetosti odprtih sponk EKSC med osvetljevanem z belo LED svetlobo. Pod sončnim simulatorjem s spektrom AM1.5 napetost odprtih sponk upada s časom in se nekoliko obnovi po mirovanju v temi, zato je napetost monotonno upadala preko opazovanih dni. Ob uporabi UV filtra je upad preko dneva podoben, medtem ko se je EKSC v času mirovanja v temi popolnoma regenerirala, zato so bili napetostni odzivi preko opazovanih zaporednih dni praktično identični. Te meritve nakazujejo, da so kljub začetnemu segrevanju prisotni določeni procesi, ki povzročijo monoton upad napetosti odprtih sponk in se jim ne da izogniti. Ti procesi so reverzibilni, zato ne vplivajo na degradacijo celice. Po drugi strani je študija kratkoročnih prehodnih pojavov tudi pokazala, da na degradacijo vpliva predvsem prisotnost UV spektra.

DS 3.) Pri preučevanju dolgoročne stabilnosti, je bilo izdelano večje število identičnih in trenutno najbolj učinkovitih EKSC osnovanih na ionskih tekočinah z izboljšanim tesnjenjem, **DS 1.)**. Uporabljene so bile pri dveh obširnejših študijah staranja:

Študija 1: Razvit je bil merilni sistem, ki omogoča *in-situ* merjenje toka ali napetosti pri poljubni obremenitvi EKSC med staranjem na prostem (**DS 4.**), kar je omogočilo 7-mesečno staranje EKSC na prostem pod realnimi zunanjimi pogoji v različnih režimih delovanja; v kratkem stiku, odprtih sponkah in v točki maksimalne moči. Za primerjavo so bile referenčne sončne celice shranjene v temi pri sobni temperaturi pri odprtih sponkah. Pred staranjem, dvakrat med staranjem in po staranju so bili celicam izmerjeni parametri zmogljivosti (kratkostični tok, napetost odprtih sponk, polnilni faktor in učinkovitost pretvorbe), medtem ko sta bili posneti elektroluminiscenca in optična transmisija za opazovanje evolucije lokalnih defektov (**DS 4.**). Staranje sem spremljal tudi z optičnimi meritvami (absorpcija), meritvami spektralnega odziva in električne impedančne spektroskopije za določitev degradiranih komponent celice (**DS 4.**). Rezultati so pokazali, da režim delovanja vpliva na stabilnost EKSC. Zmogljivost referenčnih celic se je po »staranju« v temi pri sobni temperaturi nekoliko izboljšala, medtem ko so zmogljivosti ostale dokaj nespremenjene v primeru staranja v odprtih sponkah ali v točki maksimalne moči. Nasprotno je učinkovitost celic starih v kratkem stiku močno padla, predvsem zaradi upada koncentracije tri-jodidnih ionov v elektrolitu in degradacije barvila, kar je vodilo do izrazitega upada kratkostičnega toka. Opisani rezultati staranja so bili predstavljeni na konferenci [2]. Še podrobneje so bili rezultati analizirani v znanstvenem članku [3].

Študija je tudi pokazala, da so med izdelavo običajno z elektrolitom v celico vneseni majhni in neraztopljeni kristali joda, ki močno vplivajo na nadaljnji razvoj lokalnih defektov in zmogljivosti EKSC. Ti kristali so med »staranjem« v temi pri sobni temperaturi rasli, pri staranju na prostem so se raztopili, medtem ko so se kristali včasih ponovno pojavili v sklepnih fazi staranja na prostem v odprtih sponkah. Zato je bilo opazovanje kristalov osrednji del

Študije 2.

Študija 2: Opazoval sem vpliv temperature in priključne napetosti na razvoj kristalov. Izkazalo se je, da se začnejo kristali pri povišani temperaturi (60-80 °C) topiti, kar v elektrolitu povečuje koncentracijo tri-jodidnih ionov. To vodi do majhnega znižanja napetost odprtih sponk, a predvsem do zvečanja kratkostičnega toka. Po dveh urah so se kristali popolnoma raztopili in učinkovitost pretvorbe celice je celo preseгла začetno vrednost, predvsem pa je izkazalo, da so tovrstni defekti reverzibilni. Poleg segrevanja, so bile celice v temi priključene na pozitivno ali negativno napetost, da bi lahko simuliral senčeno celico povezano v serijo ali paralelno v PV modulu. Izkazalo se je, da reverzna napetost povzroči nastanek vodikovih mehurčkov in vodi do trajnega uničenja celice, medtem ko prevodna napetost na celici povzroči pospešeno rast kristalov, ki postopoma znižuje učinkovitost pretvorbe. Segrevanje celice na 80 °C raztopi kristale in v celoti povrne njeno zmogljivost, čeprav je predhodno celica izgubila kar 88% svoje začetne zmogljivosti. Rezultati medsebojnega vpliva velikosti kristalov in zmogljivosti celice med segrevanjem ali izpostavitvi prevodni ali reverzni napetosti so bili predstavljeni v rokopisu z naslovom »*Recovery of dye-sensitized solar cell's performance by annealing*«, ki je bil poslan v revijo *Energy & Environmental Science*.

DS 4.) Razvita in izdelana je bila razčlenjena celica (t.j. celica, ki je sestavljena iz dveh »električno ločenih« EKSC na istem substratu, ki si delita skupen elektrolit). Struktura razčlenjenih celic je bila prilagojena za preučevanje procesov in materialov, ki povzročajo upad napetosti odprtih sponk pri osvetlitvi pod sončnim simulatorjem. Poleg osnovnih tehnik merjenja učinkovitosti smo v laboratoriju izmerili tudi optične lastnosti, elektroluminiscenco in lokalne občutljivosti (LBIC) EKSC z namerno vneseni defekti (nehomogeno obarvana površina aktivne plasti, vnos rekombinacijskih centrov na aktivno plast, odstranjena Pt na zadnji elektrodi, dodatne odprtine na zadnji elektrodi za vnos elektrolita, itd.). Različen odziv posameznih defektov na vseh treh tehnikah določevanja lokalne občutljivosti je bil nepogrešljiv za določevanje defektov takoj po izdelavi in pri določevanju stabilnosti EKSC.

Ostali dosežki in opažanja:

Študije opravljene v okviru podoktorskega projekta so dale tudi nekatere pomembne iztočnice za nadaljnja raziskovanja in tudi nekatere rezultate, ki sicer niso neposredno vezani na študijo stabilnosti, a so vseeno bili ali bodo v prihodnje objavljeni:

- Rekombinacije v elektrokemijski sončni celici (EKSC) so izjemno kompleksne, saj je lahko istočasno vključenih več različnih rekombinacijskih poti. Vse vplivajo na odvisnost napetosti odprtih sponk in intenzitete vpadne svetlobe, zato poznavanje teh odvisnosti lahko veliko pove o rekombinacijah v celicah. To problematiko sem podrobneje študiral v znanstvenem članku [4], kjer sem pri različnih temperaturah obravnaval celice z različno koncentracijo tri-jodidnih ionov ali z različnimi debelinami aktivne plasti. **DS 4.)**

- Pri staranju na prostem je bila točka maksimalne moči dosežena z uporabo upora ali z uporabo diode. Izkazalo se je, da uporaba upora omogoča zadovoljivo sledenje točki maksimalne moči. Po drugi strani je sledenje mnogo boljše pri uporabi diode, še zlasti zaradi staranja celic in spremenljivih razmer med staranjem (temperatura celice, intenziteta svetlobe). Ta tematika bo obravnavana v znanstvenem članku z delovnim naslovom »*Maximum-power-point tracking with resistor or diode during annual outdoor ageing of dye-sensitized solar cells*«, ki je trenutno v fazi pisanja in bo predvidoma oddan v revijo *Solar Energy Materials & Solar Cells*. **DS 4.)**

- Študija elektrolitov na osnovi novejših redoks parov (npr. $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$) je pokazala, da nekatere EKSC pri tokovnem vzbujanju ne sevajo IR svetlobe, kljub temu da imajo dokaj visoko učinkovitost pretvorbe. V teh primerih je elektroluminiscenca neprimerna za opazovanje lokalnih defektov EKSC, kar nameravam v prihodnje opisati v znanstvenem članku. **DS 4.)**

Publikacije:

[1] U. Opara Krašovec, M. Berginc, M. Hočevnar, M. Topič, *Unique TiO₂ paste for high efficiency dye-sensitized solar cells. Solar energy materials & solar cells* **93** (2009) 379-381.

[2] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Bokalič, M. Topič, *Study of spatial changes associated with the outdoor ageing of the dye-sensitized solar cell under different operation regimes*, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Nemčija, 24-28 September 2012.

[3] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Topič, *Outdoor ageing of the dye-sensitized solar cell*

under different operation regimes. Solar energy materials & solar cells **120** (2014) 491-499.
 [4] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Topič, *Evaluation of the recombination processes in DSSC by measuring the open circuit voltage over a wide illumination intensity range. Physica status solidi. A, Applications and materials science* **210** (2013) 1750-1757.

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

V prvem delu podoktorskega projekta sem se udeležil dveh mednarodnih konferenc, kjer sem na predavanjih predstavil dve tehnike karakterizacije, ki sta nepogrešljivi tudi pri raziskovanju stabilnosti EKSC **DS 4.** [1,2], rezultati pa so bili kasneje podrobneje opisan tudi v znanstvenem članku [3]. V vmesnem času so bile celice 7 mesecev stare na prostem pod različnimi obremenitvami, kar je bilo ključno za nadaljnji potek projekta. Rezultati so pokazali, da je degradacija celic izrazitejša predvsem v kratkem stiku, zaradi zmanjšanja koncentracije tri-jodidnih ionov in degradacije barvila, medtem ko ostale obremenitve niso izkazale večje degradacije. Ti rezultati so bili v letu 2012 predstavljeni na konferenci [4] in kasneje objavljeni v članku [5]. Vsi rezultati so tudi podali številne iztočnice za znanstvene objave, ki so bile oddane v objavo, oz. so v fazi pisanja; (1) v revijo *Energy & Environmental Science* je bil oddan rokopis z naslovom »Recovery of dye-sensitized solar cell's performance by heat treatment«, ki obravnava vpliv temperature in reverzne ali prevodne napetosti na rast ali raztapljanje kristalov, podaja pa tudi napotek za stabilizacijo zmogljivosti celice takoj po izdelavi, (2) v fazi oddaje je rokopis z delovnim naslovom »Maximum-power-point tracking with resistor or diode during annual outdoor ageing of the small size dye-sensitized solar cells«, ki obravnava natančnost sledenja točki maksimalne moči z uporabo upora ali diode med staranjem na prostem skozi celo leto, (3) v raziskovalni fazi pa je tudi študija, zakaj nekatere EKSC pri tokovnem vzburjanju ne sevajo IR svetlobe, kljub temu da imajo dokaj visoko učinkovitost pretvorbe (ts. primeri, ko elektroluminiscenca ni primerna za opazovanje lokalnih defektov v EKSC).

Glede na delo, dosežene rezultate in objave menim, da je bil podoktorski projekt uspešno zaključen in je potekal skladno s planom.

[1] M. Berginc, M. Hočevar, U. Opara Krašovec, M. Drev, M. Topič, *47th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials and the Workshop on Organic Semiconductors, Technologies and Devices*, 28.-30. september 2011, Ajdovščina, Slovenija

[2] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Hočevar, M. Filipic, M. Bokalic, M. Topic, *21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference*, 28. november – 2. december 2011, Fukuoka, Japonska

[3] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Topic, *Physica status solidi. A, Applications and materials science*, **210** (2013) 1750-1757

[4] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Bokalič, M. Topič, *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Frankfurt, Nemčija, 24.-28. september 2012

[5] M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Topic, *Solar Energy Materials & Solar Cells* **120** (2014) 491-499

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

Tekom projekta ni bilo sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	10268756	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Staranje elektrokemijskih sončnih celic na prostem pod različnimi obremenitvami
		ANG	Outdoor ageing of the dye-sensitized solar cell under different operation regimes
			Elektrokemijske sončne celice (EKSC) z elektrolitom na osnovi ionskih tekočin so bile 7 mesecev stare na prostem v Ljubljani (april-oktober, 906 kWh/m ²) v kratkem stiku, odprtih sponkah in v točki maksimalne

Opis	SLO	moči, medtem ko je bilo za primerjavo nekaj celic shranjenih v temi pri sobni temperaturi v odprtih sponkah. Da bi ovrednotili vpliv staranja, smo v laboratoriju vsem EKSC izmerili tokovno-napetostne karakteristike pri standardnih testnih pogojih, pred staranjem, dvakrat med staranjem in po kocu staranja, medtem ko smo uporabili elektroluminiscenco in optično transmisijo za opazovanje sprememb lokalnih defektov med staranjem. Opazili smo, da režim delovanja EKSC vpliva na hitrost degradacije. Vseeno so se vse EKSC izkazale za presenetljivo stabilne z izjemo celic starih v kratkem stiku, kjer smo opazili velik upad v kratkostičnem toku, predvsem zaradi degradacije molekul barvila in zmanjšanja koncentracije tri-jodidnih ionov v elektrolitu.	
	ANG	Ionic liquid based dye-sensitized solar cells (DSSCs) were exposed to outdoor irradiation for seven months in Ljubljana (April-October, 906 kWh/m ²) under short-circuit, open-circuit, and quasi maximum-power-point regime. As a reference we kept a series of DSSCs in the dark at room temperature under open-circuit regime. The performance of the DSSCs was evaluated indoor under standard test conditions prior to ageing, twice during ageing and after ageing. Additionally, the electroluminescence and transmittance imaging were used to follow the evolution of local defects with ageing. Operating condition has a strong influence on the ageing of DSSCs but despite this the performance of DSSCs remained remarkably stable. The exceptions were cells aged under short-circuit condition, which led to a significant decrease in short-circuit current. This resulted from the degradation of the dye molecules and a decrease in the tri-iodide concentration in the electrolyte.	
	Objavljeno v	North-Holland;Elsevier Science; Solar energy materials and solar cells; 2014; Vol. 120, part B; str. 491-499; Impact Factor: 4.630;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.402; A': 1; WoS: ID, PM, UB; Avtorji / Authors: Berginc Marko, Opara Krašovec Urša, Topič Marko	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	9544788	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Študija lokalnih defektov pri staranju elektrokemijskih sončnih celic na prostem pri različnih režimih delovanja	
	ANG	Study of spatial changes associated with the outdoor ageing of the dye-sensitized solar cell under different operation regimes	
Opis	SLO	Elektrokemijske sončne celice (EKSC) na osnovi ionskih tekočin so bile v Ljubljani 7 mesecev stare pod realnimi zunanjimi pogoji v kratkem stiku, odprtih sponkah in v točki maksimalne moči. Istočasno so bile referenčne sončne celice shranjene v temi pri sobni temperaturi v odprtih sponkah. Zmogljivost EKSC je bila pred staranjem, dvakrat med staranjem in po staranju izmerjena pod standardnimi testnimi pogoji v laboratoriju, medtem ko smo uporabili elektroluminiscenco in optično transmisijo za opazovanje razvoja lokalnih defektov med staranjem. Rezultati so pokazali, da režim delovanja vpliva na stabilnost EKSC. Zmogljivosti celic so ostale dokaj stabilne. Izjema so EKSC starane v kratkem stiku, kjer je upad koncentracije tri-jodidnih ionov v elektrolitu povzročil močan upad kratkostičnega toka.	
	ANG	Ionic liquid based dye-sensitized solar cells (DSSCs) were exposed to outdoor irradiance for seven months (906 kWh/m ²) on faculty's roof in Ljubljana at short circuit, open circuit, and quasi maximum power point condition. During the ageing we also kept the reference DSSCs in the dark at room temperature under open circuit condition. The performance of DSSCs was evaluated indoor at standard test conditions before ageing, two times during the ageing and after aging. Additionally, the electroluminescence and transmittance imaging were used to follow the	

		evolution of local defects upon ageing. The results revealed that operating condition has a strong influence on the ageing of the DSSCs. The performance of DSSCs remained remarkably stable with an exception of the cells aged under short circuit condition which caused a significant decrease in short-circuit current mainly due to a decrease of tri-iodide concentration in the electrolyte.
Objavljeno v	WIP; Proceedings of the International Conference; 2012; Str. 2897-2902; Avtorji / Authors: Berginc Marko, Opara Krašovec Urša, Bokalič Matevž, Topič Marko	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3.	COBISS ID	8807508 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Vpliv zunanjih dejavnikov in komponent na napetost odprtih sponk elektrokemijske sončne celice
	ANG	The influence of external parameters and cell components on the photovoltage of the dye-sensitized solar cells
Opis	SLO	Rekombinacije v elektrokemijski sončni celici (EKSC) so izjemno kompleksne, saj je lahko istočasno vključenih več različnih rekombinacijskih poti. Vse vplivajo na medsebojno odvisnost napetosti odprtih sponk (U_{oc}) in intenzitete vpadne svetlobe (G), zato je v objavah možno najti številne vrednosti $dU_{oc}/d\log(G)$ gradientov. Da bi pojasnili vzroke za različne gradiente, smo raziskovali vpliv debeline aktivne plasti, temperature celice skupaj s koncentracijo tri-jodidnih ionov na gradiente. Rezultati so pokazali, da ima debelina aktivne plasti zanemarljiv vpliv na gradient. Nasprotno temperature celice in koncentracija tri-jodidnih ionov močno vplivata na gradient, katerega vrednost je le 60 mV/dekado, ko sta koncentracija tri-jodidnih ionov in temperatura celice majhni (delovanje EKSC je omejeno z difuzijo) in presega 130 mV/dekado pri večjih koncentracijah in temperaturah (rekombinacije postanejo prevladujoče). Izmerili smo tudi temperaturni koeficient napetosti odprtih sponk EKSC pri različnih koncentracijah tri-jodidnih ionov in intenzitetah vpadne svetlobe. Absolutna vrednost temperaturnega koeficienta napetosti odprtih sponk narašča z naraščajočo koncentracijo tri-jodidnih ionov v elektrolitu in z upadajočo intenziteto vpadne svetlobe, kar je povezano z večjo verjetnostjo rekombinacij.
	ANG	The recombination reactions in the dye-sensitized solar cells (DSSCs) are extremely complex since many different recombination paths simultaneously exist. They all affect the open circuit voltage (V_{oc}) vs. illumination intensity (G) dependence. In the literature many contradictory results about the $dV_{oc}/d\log(G)$ gradient exist. In order to resolve the discrepancies we have studied the influence of the thickness of the active layer and temperature dependence along with tri-iodide concentration on the $dV_{oc}/d\log(G)$ gradient. The results revealed that the thickness of the active layer has only a small effect on the gradient. Contrary, the gradient very strongly depends on the cell temperature and tri-iodide concentration. The gradient could be only 60 mV/decade when the concentration and the cell temperature are low (when the DSSC is diffusion limited) and it could exceed 130 mV/decade at higher concentrations and higher temperatures (when recombinations prevails). Additionally, the open circuit voltage temperature coefficient of the DSSCs having different tri-iodide concentration has been measured at different light intensities. The absolute value of the dV_{oc}/dT increases with tri-iodide concentration in the electrolyte and with decreasing light intensity which is both associated with a higher probability of the recombinations.
Objavljeno v	s. n.]; PVSEC-21; 2011; Str. 1-2; Avtorji / Authors: Berginc Marko, Opara Krašovec Urša, Hočvar Mateja, Filipič Miha, Bokalič Matevž, Topič Marko	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	10478676	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Predavanje na poletni šoli »Bioinspired Materials for Solar Energy Utilization«
		ANG	A lecture on summer school "BiMaSoUti - Bioinspired Materials for Solar Energy Utilisation"
	Opis	SLO	V času podoktorskega projekta sem imel predavanje na poletni šoli »Bioinspired Materials for Solar Energy Utilization«. Poletna šola je potekala med 22. julijem in 2. avgustom 2013 na Oddelku za kemijo na Univerzi na Kreti. Na njej sem predstavil širše področje fotovoltaike in se osredotočil na EKSC.
		ANG	I had a lecture on summer school "BiMaSoUti - Bioinspired Materials for Solar Energy Utilisation", which took place at University of Crete, Department of Chemistry between 22. July and 2. August 2013. My lecture gave overview in the field of Photovoltaics with a focus on dye-sensitized solar cells.
	Šifra	B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi	
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Berginc Marko	
	Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi	
2.	COBISS ID	8808532	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Ključni dosežki na področju DSSC v LPVO
		ANG	LPVO activities in DSSC technology
	Opis	SLO	Na konferenci "BioInspired Materials for Solar Energy Utilization" v Grčiji smo predstavili ključne dosežke Laboratorija za fotovoltaike in optoelektroniko (LPVO) na področju elektrokemijskih sončnih celic (EKSC).
		ANG	The activities of the Laboratory of Photovoltaics and Optoelectronics (LPVO) in the field of dye-sensitized solar cell (DSSC) technology have been presented at BIOSOL conference in Greece ("BioInspired Materials for Solar Energy Utilization").
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	s. n.]; BIOSOL 2011; 2011; 1 str.; Avtorji / Authors: Opara Krašovec Urša, Hočevar Mateja, Berginc Marko, Bokalič Matevž, Topič Marko	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)	
3.	COBISS ID	9243220	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določevanje rekombinacijskih mehanizmov v elektrokemijski sončni celici z merjenjem napetosti odprtih sponk pri različnih intenzitetah vpadne svetlobe
		ANG	Assessment of the recombination processes in DSSC by measuring the open circuit voltage in wide illumination intensity range
	Opis	SLO	Kot predavatelj sem sodeloval na delavnici 4. slovenske fotovoltaične konference (SLO-PV 2012), kjer sem slovenski in tuji laični in strokovni javnosti predstavil nekatere rezultate dela na področju elektrokemijskih sončnih celic v Laboratoriju za fotovoltaike in optoelektroniko.
			I had a lecture on the workshop of the 4th Slovenian Photovoltaic Conference (SLO-PV 2012) where I presented some results from the field of

	ANG	dye-sensitized solar cells that were done at the Laboratory of Photovoltaics and Optoelectronics. The results were presented to the specialists and laics from Slovenia and abroad.
Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	Faculty of Electrical Engineering; Book of abstracts; 2012; Str. [17]; Avtorji / Authors: Berginc Marko, Opara Krašovec Urša, Hočevar Mateja, Filipič Miha, Bokalič Matevž, Topič Marko	
Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

Podoktorski projekt je dal številne zanimive rezultate, za katere pričakujem objavo v znanstvenih revijah.

Članek »Recovery of dye-sensitized solar cell's performance by annealing« je bil poslan v revijo Energy & Environmental Science. V njem se ukvarjamo s kristali, ki nastanejo med staranjem EKSC. Opazili smo, da se velikost kristalov med staranjem reverzibilno spreminja in s tem vpliva na zmogljivost. Med staranjem v temi kristali zrastejo. Rast kristalov je zelo pospešena, v kolikor je celica v temi izpostavljena prevodni napetosti, medtem ko zaporna napetost povzroči hipen nastanek vodika in vodi do uničenja celice. Rezultati so tudi pokazali, da lahko rast kristalov za kar 88% zmanjša učinkovitost EKSC, ki jo je možno popolnoma obnoviti s segrevanjem celice na 80 °C.

Drugi članek z delovnim naslovom »Maximum-power-point tracking with resistor or diode during annual outdoor ageing of dye-sensitized solar cells« je trenutno v fazi pisanja in bo predvidoma poslan v revijo Solar Energy Materials & Solar Cells. V članku prikažemo, kako natančno lahko sledimo točki maksimalne moči EKSC med staranjem na prostem, če uporabimo upor ali diodo, hkrati pa podamo tudi napotke, kako izbrati najprimernejši upor ali diodo. Rezultati so pokazali, da je mnogo boljše sledenje mogoče doseči z diodo. Prav tako se je izkazalo, da le ozko območje vrednosti uporov zagotavlja optimalno sledenje, medtem ko različne diode lahko zagotavljajo optimalno sledenje.

V pripravi je tudi članek o EKSC z različnimi redoks pari, v katerem bomo razložili, zakaj nekatere celice ni možno okarakterizirati z elektroluminiscenco, kljub temu, da izkazujejo visoko učinkovitost pretvorbe.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rezultati pridobljeni v podoktorskem projektu so pokazali, da se v elektrokemijske sončne celice (EKSC) med izdelavo pogosto skupaj z elektrolitom nenamerno vnašajo majhni kristali na osnovi joda. Segrevanje celic na 80 °C za 1 h raztopi kristale, kar poveča učinkovitost pretvorbe in prepreči nadaljnjo rast kristalov. To stabilizira delovanje EKSC, zato je segrevanje celic po izdelavi vselej priporočljivo.

Rezultati so tudi pokazali, da celice v veliki meri degradirajo, če so starane v kratkem stiku, medtem ko izkazujejo presenetljivo dobro stabilnost v odprtih sponkah in še zlasti v točki maksimalne moči, kjer sončne celice tudi običajno delujejo. Izkazalo se je tudi, da se zaradi rasti ali raztapljanja kristalov zmogljivost EKSC lahko reverzibilno spreminja, zato je oznaka nestabilnosti pri EKSC lahko včasih tudi neupravičena; v temi in na hladnem kristali postopoma rastejo in znižujejo učinkovitost EKSC, rast je pospešena pri priključeni prevodni napetosti, medtem ko se kristali topijo pri povišani temperaturi ($T > 60$ °C), kar pomeni, da imajo EKSC sposobnost samoobnove med delovanju na prostem. Zaključki projekta niso vezani le na ozko področje elektrokemijskih sončnih celic, temveč jih bo možno koristno uporabiti tudi na

področju pametnih oken (angl. »photochromic devices«), ki v svoji zgradbi vključujejo EKSC majhnih moči, ki poskrbi za obarvanje okna pod osvetlitvijo.

Številni pridobljeni rezultati so bili predstavljeni na konferencah in so ali bodo objavljeni v znanstvenih člankih. Glede na zanimivost rezultatov kot tudi izredno aktualnost tematike je upravičeno pričakovati veliko število citatov v prihodnjih letih. Raziskave v okviru projekta so odprla tudi nova sodelovanja s tujimi laboratoriji in utrdila že obstoječa sodelovanja.

ANG

The results of the postdoc project showed that together with the electrolyte also small iodine based crystals get introduced into the dye-sensitized solar cells (DSSCs) during the production. Heating the cells to 80 °C for 1 h dissolve the crystals, increase the conversion efficiency and prevent a further grow of the crystals which stabilize operation of the DSSCs therefore the heating after the production is recommended.

The results also showed significant degradation of the cells that were aged under short-circuit condition. On contrary, the cells were remarkably stable when aged under open-circuit condition and especially in maximum-power point, i.e. the condition where the cells normally operate. After the production the small crystals were observed again and they can reversibly grow or dissolve which strongly and reversibly influence also the performance. Therefore the conclusions about DSSC's instability found in the literature are sometimes unjustified. The crystals gradually grow in the dark and in the cold environment and reduce the performance. The growth is even accelerated when a forward bias is applied. On contrary the crystals dissolve at elevated temperatures ($T > 60$ °C) meaning that the DSSCs are capable restoring their performances during operation outdoors. The conclusions obtained with the project are not related only to the field of dye-sensitized solar cells. They can be also applied to the photochromic devices which have integrated low-power DSSCs to colour the device under illumination.

The results were presented at the conferences and they were or will be published in the scientific journals. The results are interesting therefore numerous citations are expected in the following years. In addition, new collaborations with foreign laboratories were established.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati pridobljeni v podoktorskem projektu so pokazali, da se v elektrokemijske sončne celice (EKSC) med izdelavo pogosto skupaj z elektrolitom nenamerno vnašajo majhni kristali na osnovi joda. Segrevanje celic na 80 °C za 1 h raztopi kristale, kar poveča učinkovitost pretvorbe in prepreči nadaljnjo rast kristalov. To stabilizira delovanje EKSC, zato je segrevanje celic po izdelavi vselej priporočljivo.

Rezultati so tudi pokazali, da celice v veliki meri degradirajo, če so starane v kratkem stiku, medtem ko izkazujejo presenetljivo dobro stabilnost v odprtih sponkah in še zlasti v točki maksimalne moči, kjer sončne celice tudi običajno delujejo. Izkazalo se je tudi, da se zaradi rasti ali raztapljanja kristalov zmogljivost EKSC lahko reverzibilno spreminja, zato je oznaka nestabilnosti pri EKSC lahko včasih tudi neupravičena; v temi in na hladnem kristali postopoma rastejo in znižujejo učinkovitost EKSC, rast je pospešena pri priključeni prevodni napetosti, medtem ko se kristali topijo pri povišani temperaturi ($T > 60$ °C), kar pomeni, da imajo EKSC sposobnost samoobnove med delovanju na prostem. Zaključki projekta niso vezani le na ozko področje elektrokemijskih sončnih celic, temveč jih bo možno koristno uporabiti tudi na področju pametnih oken (angl. »photochromic devices«), ki v svoji zgradbi vključujejo EKSC majhnih moči, ki poskrbi za obarvanje okna pod osvetlitvijo.

Številni pridobljeni rezultati so bili predstavljeni na konferencah in so ali bodo objavljeni v znanstvenih člankih. Glede na zanimivost rezultatov kot tudi izredno aktualnost tematike je upravičeno pričakovati veliko število citatov v prihodnjih letih. Raziskave v okviru projekta so odprla tudi nova sodelovanja s tujimi laboratoriji in utrdila že obstoječa sodelovanja.

ANG

Photovoltaic (PV) is one of the cleanest ways to generate electricity since it directly converts

solar into electrical energy. The PV is a valuable technology which will reduce the CO₂ emissions, mitigate the global climate change and contribute to a sustainable energy supply. Additionally, the PV will reduce pollution, noise and waste therefore the development of PV has very important impact on the quality of our lives. As outlined in numerous reports and studies, the PV will become an important source of energy in the long run. Thus the postdoc project dealt with the dye-sensitized solar cells (DSSCs) which are potentially the most cost-effective technology. However their stability remains an issue therefore this was a main subject of the postdoc project.

The results showed that performances of DSSCs inevitably vary but variations can be reversible. Moreover initial performance of degraded cells can be sometimes completely renewed under certain conditions therefore instability of the DSSCs is often unjustified. One of such conditions showing healing effect is heating of the cells to 80 °C which demonstrates that the DSSCs are even capable of self-healing during operation outdoors. In addition, the results of the project showed that heating the cells (80 °C) after the production slightly increases initial performance and stabilized further operation therefore heating after production is highly recommended.

Most probably the DSSCs will never provide sustainable energy supply. However, improved stability and their low-cost might be an opportunity for Slovenian industry to produce specific products which demand low-power DC electricity and does not demand stability over several decades (e.g. chargers for self-phones, tablets, power supply for calculators, watches, PV for backpacks, tents, etc.). The results can be applied also to the photochromic devices which changes their transparency according to the outdoor illumination and that is why a low-power DSSC needs to be integrated. The DSSCs are appropriate also for education in high schools since their technology is relatively easy.

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

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<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/varovanju 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

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
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"/>	
	Zmanjšanje porabe materialov in					

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

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

--	--

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

13. Izjemni dosežek v letu 2013¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Raziskovalni projekt Z2-4189 se osredotoča na raziskave stabilnosti elektrokemijskih sončnih celic. Opazuje spremembe zmogljivosti preko celotne aktivne površine, kot tudi opazovanja evolucije posameznih lokalnih defektov. Dosedanje raziskave so pokazale, da se med izdelavo v celico pogosto vnesejo tudi majhni kristali joda. Pri sobni temperaturi v temi in včasih tudi pod osvetlitvijo začnejo kristali joda rasti. Rast kristalov postopoma znižuje koncentracijo trijodidnih ionov in vpliva na delovanje celic; kratkostični tok malo upade, medtem ko napetost odprtih sponk naraste, kar vodi do sprememb v učinkovitosti pretvorbe. Odkrili smo, da je možno te kristale popolnoma raztopiti s segrevanjem (tipično $T \geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 h). Po segrevanju napetost odprtih sponk upade in doseže začetno vrednost, medtem ko kratkostični tok močno naraste in običajno celo preseže začetno vrednost. Zdravilni efekt je zanimiv, saj odstrani lokalne defekte in hkrati izboljša učinkovitost pretvorbe celice.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

-nič

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Marko Berginc

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	28.3.2014
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/92

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot 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/2014 v1.01
BA-49-3A-13-F9-AB-58-4A-F5-A9-FB-0C-ED-F2-14-E2-CD-54-CC-89

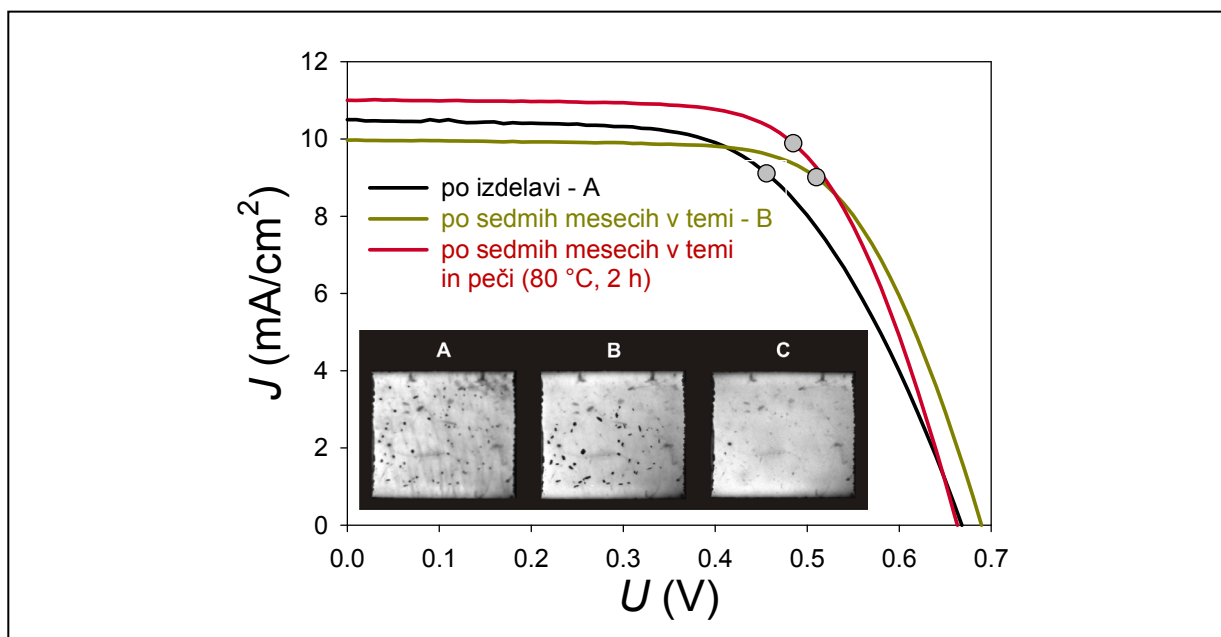
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.03 – Energetika

Dosežek: Odkritje pojava reverzibilne evolucije kristalov joda v elektrokemijski sončni celici

Vir: M. Berginc, U. Opara Krašovec, M. Topič, „*Outdoor ageing of the dye-sensitized solar cell under different operation regimes*“, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **120** (2014) 491–499



Raziskovalni projekt „Raziskave kratkoročnih in dolgoročnih notranjih procesov pri delovanju elektrokemijskih sončnih celic“ (Z2-4189) se osredotoča na raziskave stabilnosti elektrokemijskih sončnih celic. Opazuje spremembe zmogljivosti preko celotne aktivne površine, kot tudi opazovanja evolucije posameznih lokalnih defektov. Dosedanje raziskave so pokazale, da se pri izdelavi elektrokemijskih sončnih celic z elektrolitom v celico pogosto vnesejo tudi majhni kristali joda (**A**). Pri sobni temperaturi v temi in včasih tudi pod osvetlitvijo v režimu odprtih sponk začnejo kristali joda rasti (**B**). Rast kristalov postopoma znižuje koncentracijo trijodidnih ionov v elektrolitu in s tem vpliva na delovanje celic; kratkostični tok malo upade, medtem ko napetost odprtih sponk naraste, kar vodi do sprememb v učinkovitosti pretvorbe.

Odkrili smo, da je možno te kristale popolnoma raztopiti (**C**) s segrevanjem celice (tipično $T \geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 h). Po segrevanju napetost odprtih sponk upade in doseže podobno vrednost kot na začetku, medtem ko kratkostični tok močno naraste in običajno celo preseže začetno vrednost celice. Zdravilni efekt je zanimiv, saj ne le da odstrani lokalne defekte, temveč celo izboljša učinkovitost pretvorbe celice.