

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Istraživanje nanostrukture za fotonaponske ćelije ili fotodetektore

Juraj Hanžek

Fizički odsjek, PMF, Bijenička 32, 10 000 Zagreb

24.1.2018

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM,TEM,HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

1 Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

2 Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM,TEM,HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

3 Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

4 Zaključak

5 Zahvale

6 Literatura

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

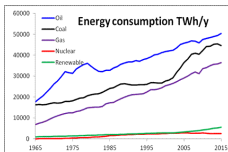
Zahvale

Literatura

Uvod

Izvor energije:

- 1 Obnovljiv
- 2 Ekološki prihvatljiv
- 3 Niska cijena
- 4 Dostupan u velikim količinama



Tri generacije solarnih ćelija

Uvod

Motivacija

Vrste solarnih ćelija

Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC

SEM, TEM, HAADF

Ramanova spektroskopija

UV-VIS spektroskopija

Solarni simulator

Model I-V

karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

Struktura uzoraka

Optička svojstva uzoraka

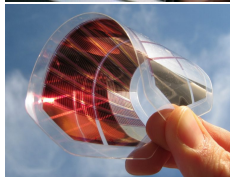
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

- Pločaste (wafer) fotoćelije:
 - monokristalni Si (25%)
 - polikristalni Si (20%)
 - multi-junction (40%)
- Fotoćelije na tankom filmu:
 - amorfni Si(13%)
 - CdTe(kadmij telurid)(17%)
 - CIGS (bakar indij galij selenid)(20%)
- Efikasne i jeftine fotoćelije:
 - polimerne/organske fotoćelije
 - perovskitne fotoćelije
 - bojom senzitivirane fotoćelije
 - kvantnom točkom senzitivirane fotoćelije



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

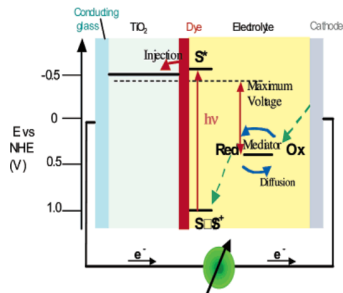
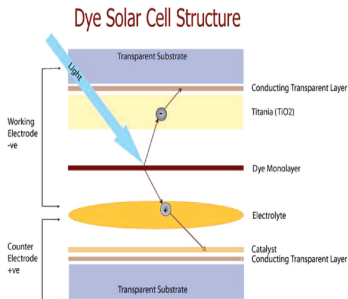
Zaključak

Zahvale

Literatura

Princip rada DSSC

- Bojom senzitivirane solarne ćelije (Dye-senzitized solar cells, skraćeno DSSC)
- Izumili Brian O'Regan i Michael Grätzel



Uvod

Motivacija

Vrste solarnih ćelija

Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC

SEM, TEM, HAADF

Ramanova
spektroskopija

UV-VIS spektroskopija

Solarni simulator

Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

Struktura uzoraka

Optička svojstva
uzoraka

Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

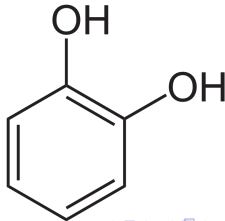
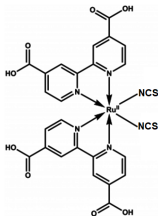
Literatura

Materijali i metode

Sinteza DSSC

Materijali:

- ① FTO (engl. fluorine doped tin oxide) staklo
- ② nanočestični prah:
 - TiO_2
 - TiO_2 dopiran 1%Sm
 - TiO_2 dopiran 1%Sm te modificiran kateholom (KAT)
- ③ etilen glikol (etan-1,2-diol)
- ④ grafit
- ⑤ N3 boja (Cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)ruthenium(II))
- ⑥ elektrolit (0.05M I_2 i 0.1M KI u acetonitrilu)



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC

SEM, TEM, HAADF

Ramanova
spektroskopija

UV-VIS spektroskopija

Solarni simulator

Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

Struktura uzoraka

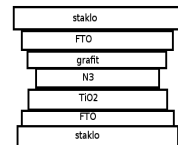
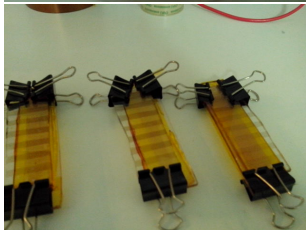
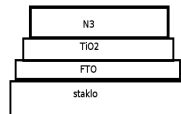
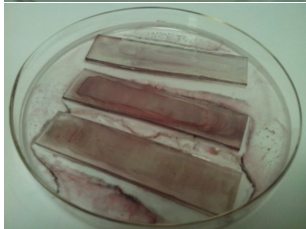
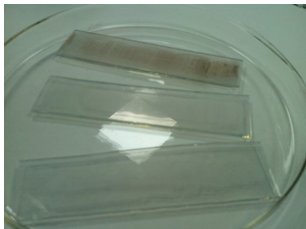
Optička svojstva
uzoraka

Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF

Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

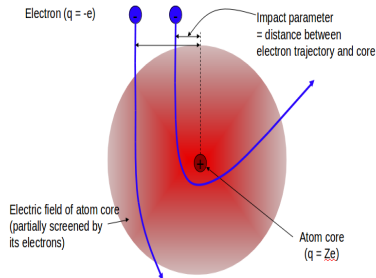
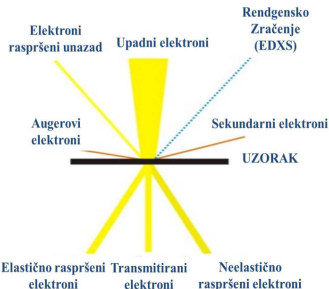
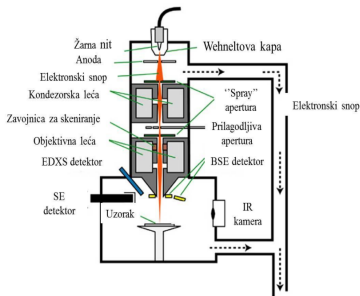
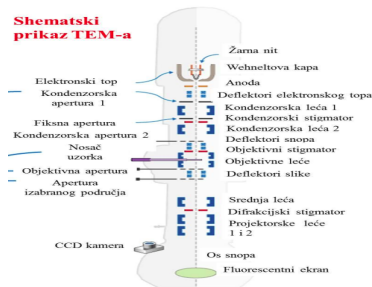
Zaključak

Zahvale

Literatura

SEM, TEM, HAADF

Shematski prikaz TEM-a



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Ramanova spektroskopija

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF

Ramanova spektroskopija

UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

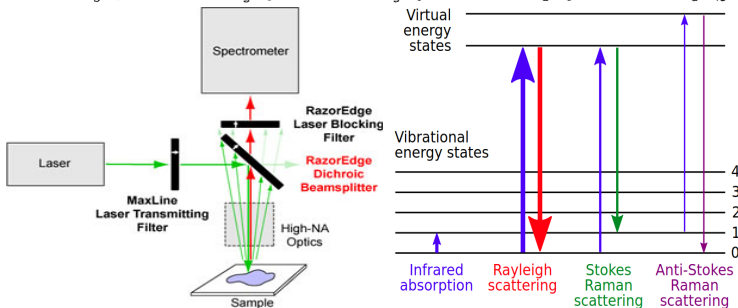
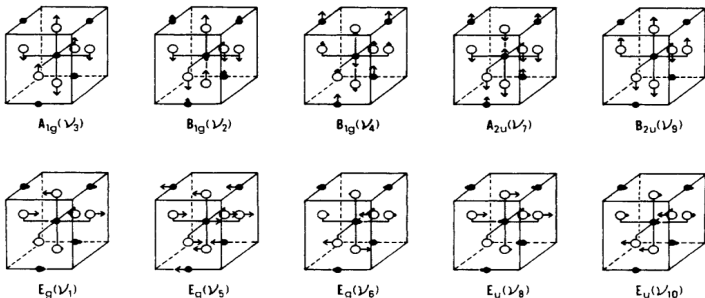
Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

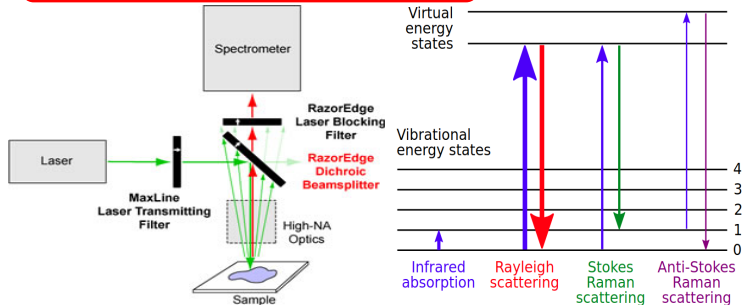
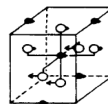
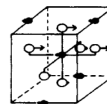
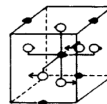
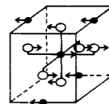
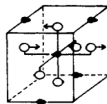
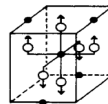
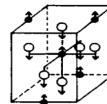
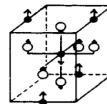
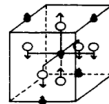
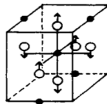
Zaključak

Zahvale

Literatura

Ramanova spektroskopija

Raman aktivni!



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

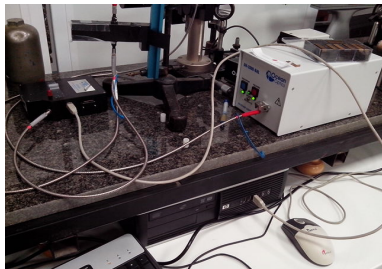
UV-VIS spektroskopija (transmisija i refleksija)

- Kubelka-Munk model:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

- Pretpostavke:
 - materijal homogen
 - svjetlost pada okomito
 - materijal beskonačno debel
- Za indirektan energijski procjep:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (2)$$



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

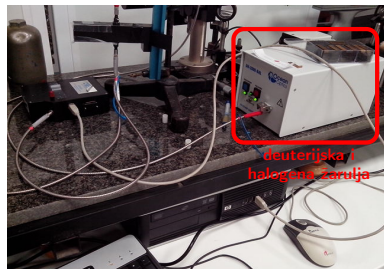
UV-VIS spektroskopija (transmisija i refleksija)

- Kubelka-Munk model:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

- Pretpostavke:
 - materijal homogen
 - svjetlost pada okomito
 - materijal beskonačno debel
- Za indirektan energijski procjep:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (2)$$



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

UV-VIS spektroskopija (transmisija i refleksija)

- Kubelka-Munk model:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

- Pretpostavke:
 - materijal homogen
 - svjetlost pada okomito
 - materijal beskonačno debel
- Za indirektan energijski procjep:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (2)$$



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

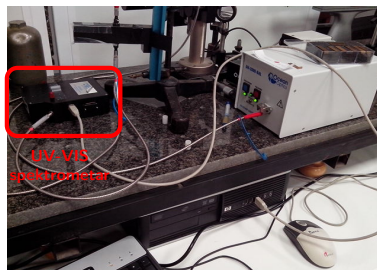
UV-VIS spektroskopija (transmisija i refleksija)

- Kubelka-Munk model:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

- Pretpostavke:
 - materijal homogen
 - svjetlost pada okomito
 - materijal beskonačno debel
- Za indirektan energijski procjep:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (2)$$



Solarni simulator

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

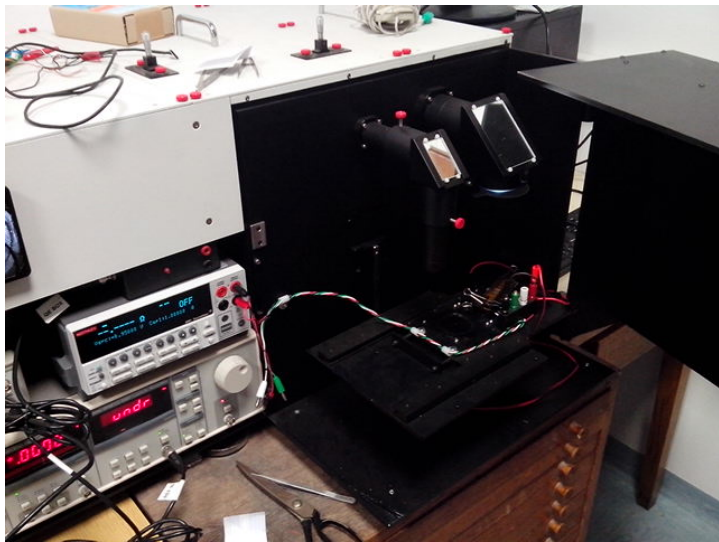
Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

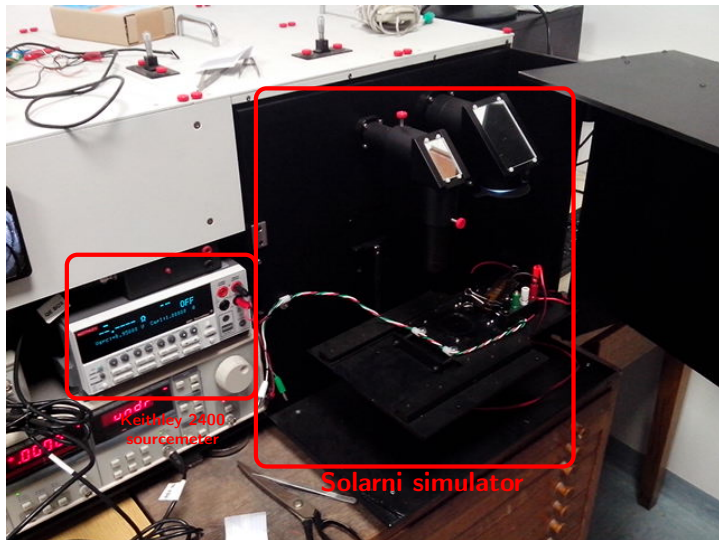
Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Solarni simulator



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Model I-V karakteristike DSSC

Rješenje ekvivalentnog strujnog kruga:

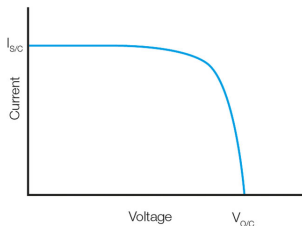
$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V - R_s I}{nV_T}} - 1 \right) - \frac{V - R_s I}{R_{sh}} \quad (3)$$

Aproksimacije:

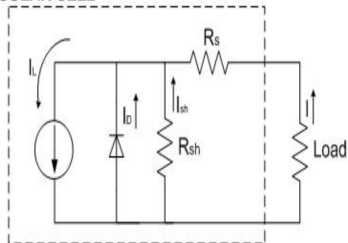
$$R_{sh} \gg i \quad R_s \ll$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) \quad (4)$$

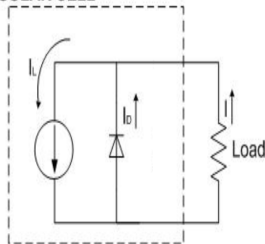
$$V_T = \frac{e}{k_B T} \quad (5)$$



SOLAR CELL



SOLAR CELL



Uvod

Motivacija

Vrste solarnih ćelija

Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC

SEM, TEM, HAADF

Ramanova
spektroskopija

UV-VIS spektroskopija

Solarni simulator

Model I-V

karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

Struktura uzoraka

Optička svojstva
uzoraka

Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Rezultati i diskusija

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

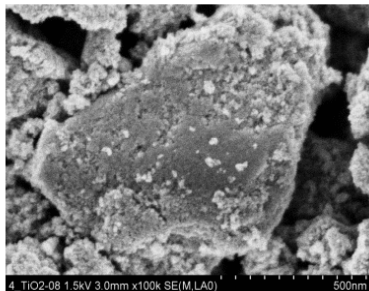
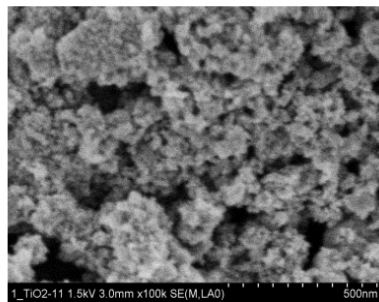
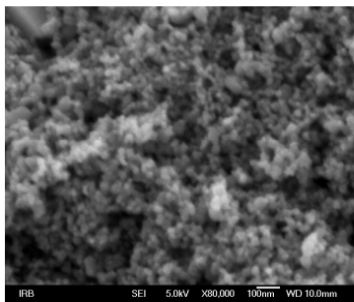
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Morfologija uzoraka



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

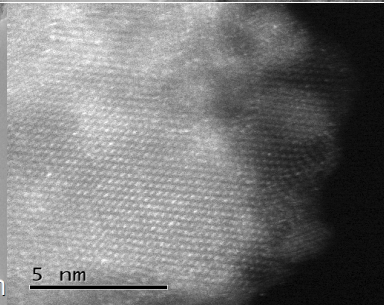
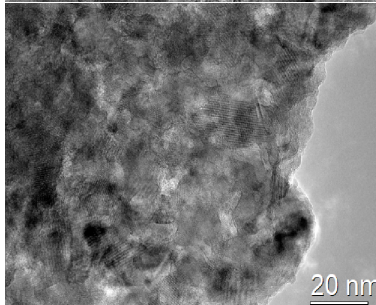
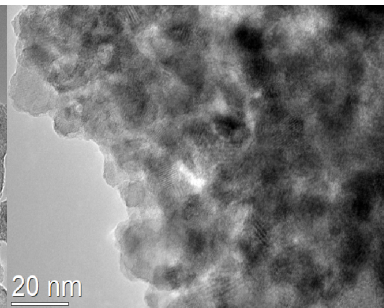
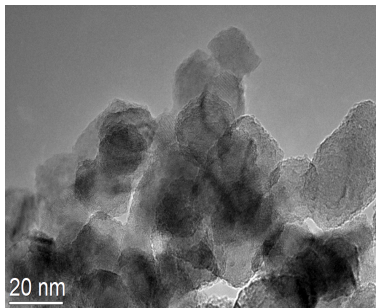
Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura



Uvod

Motivacija

Vrste solarnih ćelija

Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC

SEM, TEM, HAADF

Ramanova
spektroskopija

UV-VIS spektroskopija

Solarni simulator

Model I-V

karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka

Struktura uzoraka

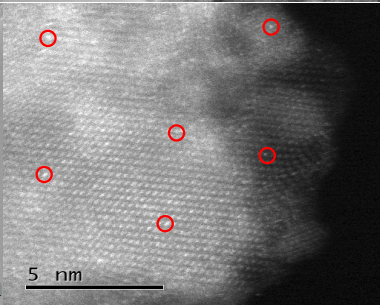
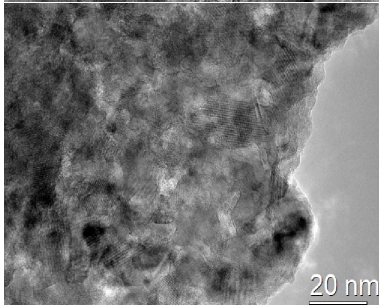
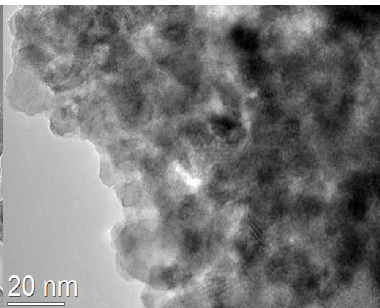
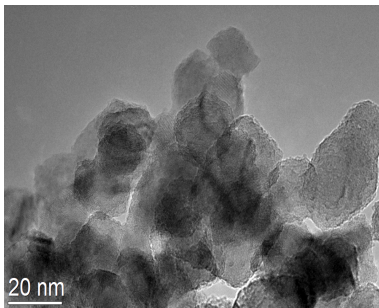
Optička svojstva
uzoraka

Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

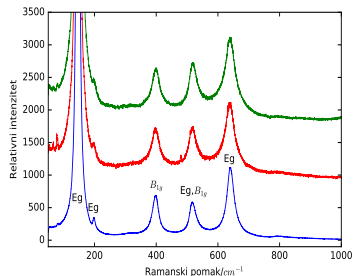
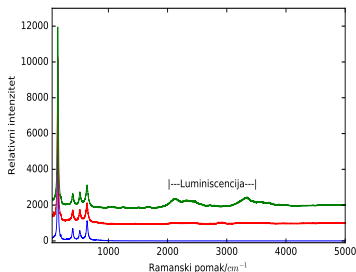
Zaključak

Zahvale

Literatura

Struktura uzoraka

TiO_2	TiO_2 -Sm	TiO_2 -Sm-KAT	anatas[9]
146	145	146	144Eg
198	196	197	197Eg
399	397	400	399 B_{1g}
517	520	520	513 A_{1g}
639	642	639	519 B_{1g}
			639Eg



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

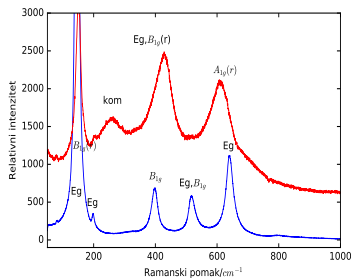
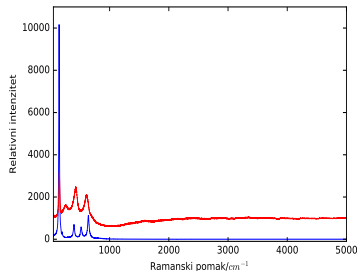
Zaključak

Zahvale

Literatura

<i>TiO₂-Sm-KAT</i>	rutil[9]
152	143 B_{1g}
300kom	235kom
429	447 E_g
607	612 A_{1g}
-	826 B_{2g}

- Fazni prijelaz iz monokristala anatasa u rutil je na 900°C



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva uzoraka
Efikasnost DSSC

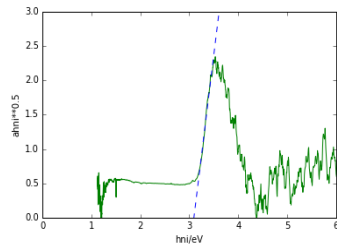
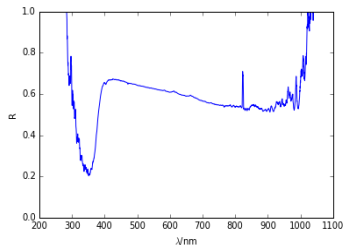
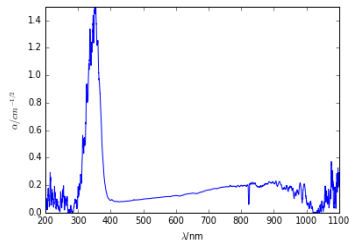
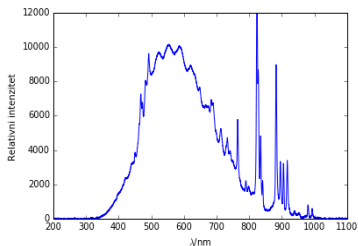
Zaključak

Zahvale

Literatura

Optička svojstva uzoraka

- Izmjereni $TiO_2 - Sm$ $E_g=3.09eV$
- TiO_2 $E_g=3.30eV$ [11]



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

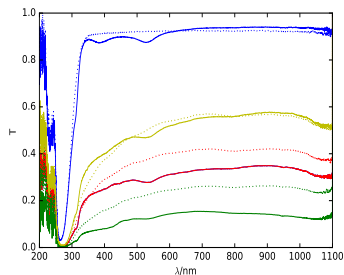
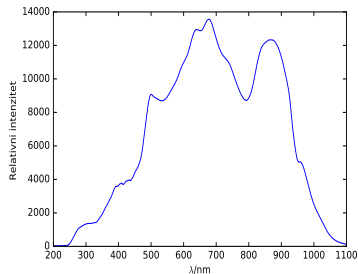
Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
**Optička svojstva
uzoraka**
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

- Podloge:
 - Staklo (plavo)
 - TiO_2 (crveno)
 - $TiO_2 - Sm$ (zeleno)
 - $TiO_2 - Sm - KAT$ (žuto)
- prije (isprekidano) i nakon (puna linija) stavljanja N3 boje



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka

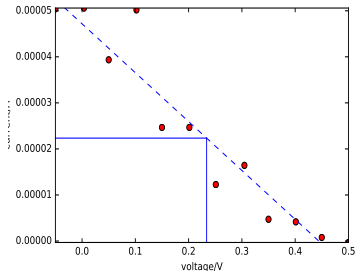
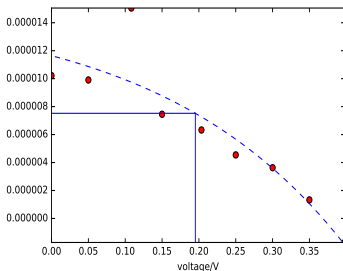
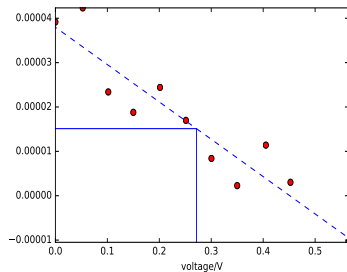
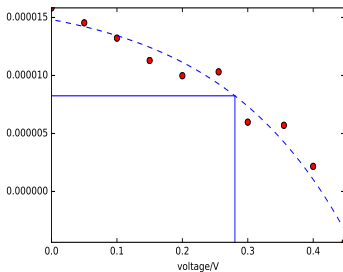
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Efikasnost DSSC



Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

	Ćelija	V_{oc}/V	$I_{sc}/\mu A$	Eff/%	ff/%	$P_{max}/\mu W$
TiO_2	1.	0.412	14.8	0.605	39.6	2.42
	2.	0.368	11.6	0.359	33.5	1.44
	3.	0.34	8.95	0.148	19.5	0.592
	4.	0.409	7.82	0.177	22.1	0.707
$TiO_2 - Sm$	5.	0.451	38	0.991	23.1	3.96
	6.	0.444	47.2	1.1	21.0	4.41
	7.	0.442	24.3	0.587	21.9	2.35
	8.	0.44	23.8	0.669	25.6	2.67

$$ff = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (6)$$

$$\eta = \frac{ff * V_{oc} * I_{sc}}{I_{svjetlosti}} \quad (7)$$

- površina ćelija iznosi oko 0.4 cm^2

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Zaključak

- $TiO_2 - Sm$ nanočestice aglomeriraju, a na $TiO_2 - Sm - KAT$ je to još izraženije
- dimenzije nanočestica TiO_2 od 30-40nm, dok su od $TiO_2 - Sm$ i $TiO_2 - Sm - KAT$ 10-20nm.
- Sm supstitucijski ugrađen u kristalnu rešetku TiO_2
- Sm i KAT ne mijenjaju kristalnu strukturu
- efikasnost DSSC na $TiO_2 - Sm$ iznosi 1.1% što je gotovo duplo više od efikasnosti DSSC na TiO_2 (0.6%).
- mogući razlog neuspjelih DSSC na $TiO_2 - Sm - KAT$ je da katehol pokrije cijelu površinu od TiO_2 i onemogućuje prijelaz fotopobuđenih elektrona sa N3 boje u vodljivu vrpcu TiO_2 .

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM, TEM, HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Zahvale

Hvala mentoru dr. sc. Krunoslavu Juraiću na vođenju kroz metode mjerenja uzoraka i dr. sc. Andreji Gajović na pomoći pri pisanju seminara. Zahvaljujem se i doktorandu Ivani Panžić te studentima Mariji Ivezić i Petri Papež pri pomoći oko sinteze DSSC.



2

Uvod

Motivacija
Vrste solarnih ćelija
Princip rada DSSC

Materijali i metode

Sinteza DSSC
SEM,TEM,HAADF
Ramanova
spektroskopija
UV-VIS spektroskopija
Solarni simulator
Model I-V
karakteristike DSSC

Rezultati i diskusija

Morfologija uzoraka
Struktura uzoraka
Optička svojstva
uzoraka
Efikasnost DSSC

Zaključak

Zahvale

Literatura

Literatura

- [1] Brian O'Regan & Michael Grätzel, 1991, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature* 353, 737–740
- [2] P. Y. Simons and F. Dacheille, 1967, The structure of TiO₂II, a high-pressure phase of TiO₂, *Acta Cryst.* 23,334-336
- [3] Milivoj Plodinec, 2014, Fizikalna i kemijska svojstva funkcionaliziranih titanatnih nanostruktura, doktorski rad
- [4] Michael Grätzel*, 2005, *Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells*, *Inorg. Chem.*, 44 (20), pp 6841–6851
- [5] Demtröder, W., *Laser spectroscopy* 3rd edition, Springer-Verlag Braun Heidelberg, New York (2003)
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raman_energy_levels.svg
- [7] Paul Kubelka, Franz Munk, 1931, An Article on Optics of Paint Layers
- [8] Earnest J . Johnson, chapter 6, Absorption near the Fundamental Edge
- [9] Toshiaki Ohsaka, Fujio Izumi and Yoshinori Fujiki, 1978, Raman Spectrum of Anatase, TiO, 321-324
- [10] S. P. S. Porto, P. A. Fleury and T. C. Damen, 1966, Raman Syectra of *TiO₂*, *MgF₂*, *ZnF₂* *FeF₂*, and *MnF₂*, *Phisical review* volume 154
- [11] Rosendo López and Ricardo Gómez, 2011, Band-gap energy estimation from diffuse reflectance measurements on sol–gel and commercial *TiO₂*: a comparative study, *J Sol-Gel Sci Technol* 61:1–7
- [12] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, and Takehito Mitate,2014,Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells,Aplied physic letter volume 84, number 13
- [13] Tian Hanmin, Zhang Xiaobo, Yuan Shikui, Wang Xiangyan, Tian Zhipeng,Liu Bin, Wang Ying, Yu Tao, Zou Zhigang, 2009, An improved method to estimate the equivalent circuit, parameters in DSSCs, *Science Direct, Solar Energy* 83 715–720