

## ساخت سلول‌های خورشیدی از لایه‌های نانوبلوری متخلخل تیتانیای حساس شده به رنگ

کریمی پور، مسعود<sup>1</sup> - شاه طهماسبی، ناصر<sup>1</sup> - ملوندی، امیر محمد<sup>1,3</sup> - آسوده، احمد<sup>2</sup> -

ابریشم چی، پروانه<sup>3</sup> - ملوندی، احسان<sup>1</sup> - رضوانی، حسین<sup>1</sup>

<sup>1</sup> مرکز نانوتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد - آزمایشگاه تحقیقاتی نانوتکنولوژی - [amalvandi@gmail.com](mailto:amalvandi@gmail.com)

<sup>2</sup> گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد.

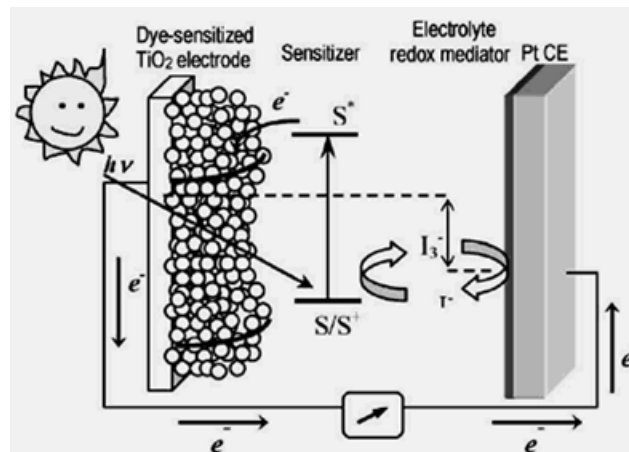
<sup>3</sup> گروه زیست شناسی دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد.

### چکیده

در این پروژه لایه‌های اکسید قلع دارای فاز کاستریت با ناخالصی فلئوئور (FTO) با جهتگیری ترجیحی صفحات (200) به عنوان بستر هادی و لایه نازک اکسید تیتانیوم (تیتانیا) با فاز آناتاس با جهتگیری ترجیحی صفحات (101) با ضخامتی در حدود 100-150nm به عنوان لایه سدی (blocking layer) با استفاده از روش اسپری پایرولیز تهیه شدند و لایه‌گذاری متخلخل نانوذرات اکسید تیتانیوم به روش دکتر بلیدینگ انجام گردید. سپس با استفاده از رنگ‌های گیاهی کلروفیل و متیلن آبی به عنوان حساس کننده و محلول‌های یدید و یدید لیتیم به عنوان الکترولیت سلول‌های خورشیدی نسل سوم تهیه گردیدند که بر اساس خصوصیات لایه‌های نازک اکسید قلع به 3 دسته 0%، 3% و 15% وزنی ناخالصی فلئوئور تقسیم گردیدند که به ترتیب آنها  $V_{oc}$  410 mV،  $V_{oc}$  866 mV و  $V_{oc}$  279 mV و نیز  $I_{sc}$   $80 \mu A$ ،  $80 \mu A$  و  $70 \mu A$  و بازده انرژی ( $\eta$ ) نمونه‌ها در میزان انرژی نور گسیل شده  $7.3 \text{ mW/cm}^2$  به ترتیب 0.10%، 0.14%، 0.11% محاسبه گردید. نتایج این پروژه بیان کننده روشی ساده و قابل انجام با حداقل امکانات برای ساخت سلول‌های خورشیدی است.

### مقدمه

سلول‌های خورشیدی حساس شده به رنگ (DSSC) مفهوم جایگزینی که از لحاظ اقتصادی و تکنیکی دارای برتری است را فراهم می‌کند که ابزارهای فتوولتائیک نوع p-n جدیدی را برای به عنوان فناوری روز ارائه می‌دهد [1;2]. عملکرد این سلول به این صورت است که فوتون فرودی توسط رنگ جذب می‌شود و آن را به تراز برانگیخته خودش می‌برد. رنگ طوری انتخاب شده است که نوار رسانش آن بالاتر از نوار رسانش  $\text{TiO}_2$  است و بنابراین الکترون برانگیخته شده در رنگ می‌تواند به نوار رسانش  $\text{TiO}_2$  تونل‌زنی کند، این الکترون توسط نانو ذرات  $\text{TiO}_2$  حمل و به الکتروود  $\text{SnO}_2:\text{F}$  می‌رسد. در این بین رنگ توسط محلول احیا شده و آماده دریافت فوتون بعدی است. الکترونی که به الکتروود رسیده بود، توسط سیم به الکتروود احیا کننده در سمت راست می‌رسد و در آنجا محلول الکترولیت را احیا می‌کند. به این ترتیب جریان برقرار شده است [3]. در این پژوهش جهت بررسی اثر تغییر هدایت الکتریکی بستر بر کارکرد سلول، سه گروه آزمایشی بر اساس مقادیر ناخالصی فلئوئور در لایه اکسید قلع تعریف گردید و علاوه بر مشخصه‌یابی ساختاری و اپتیکی لایه‌های نازک اکسید قلع و اکسید تیتانیوم، خصوصیات و بازده سلول‌ها مورد آزمایش قرار داده شد که نتایج آن در ادامه آمده است.



شکل 1: شمائی از یک سلول خورشیدی حساس شده به رنگ، S نشاندهنده رنگ حساس کننده و  $I/I_3^-$  واسطه انتقال بار است.

### نتایج و بحث

#### بخش اول: تهیه الکتروود جامد سلول خورشیدی

لایه های نازک اکسید قلع و اکسید تیتانیوم (به عنوان blocking layer) به روش اسپری پایرولیز (SPD) بر طبق روش پیشنهادی [5,4] تهیه شد که در جدول 1 مشخصات و شرایط لایه نشانی آورده شده است.

محلول اولیه برای اسپری از حل کردن  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$  0.01 M جامد و آب مقطر دوبار یونیزه و اتانول خالص هرکدام 10cc و کمی هم زدن تهیه شد. ناخاصی F با اندازه های تعیین شده با استفاده از ترکیب  $NH_4F$  جامد حل شده در آب مقطر به این محلول اضافه شد. برای لایه نشانی تیتانیا نیز ترکیب اصلی محلولها شامل تیتانیوم ایزوپروپوکساید، الکل اتیلیک با نسبت های حجمی 1 به 3 میباشد. مشخصات لایه نشانی در جدول 1-ب آورده شده است. برای تهیه لایه های متخلخل و با ضخامت های بالا بر روی دولایه قبلی می توان از نانوذرات پودری با فاز آناتاس و روش دکتر بلیدینگ استفاده کرد، در این تحقیق بر اساس روش پیشنهادی هارت و همکاران [6] لایه نشانی انجام گرفت.

جدول 1- الف: شرایط لایه نشانی  $SnO_2:F$

درصد ناخالصی F (%)	ارتفاع نازل - بستر (cm)	آهنگ اسپری (milt/ min)	دمای بستر ( $^{\circ}C$ )	حجم محلول (cc)	مراحل
0	40	4.5	500	20	اول
3	40	4.5	500	20	دوم
15	40	4.5	500	20	سوم

جدول 1-ب: پارامتر های لایه نشانی لایه های نازک اکسید تیتانیوم بر اساس تغییر ناخالصی بستر

حجم (V) (TTIP/ethanol)	ارتفاع نازل - بستر (cm)	آهنگ اسپری (milt/ min)	دمای بستر ( $^{\circ}C$ )	حجم محلول (cc)	بستر $SnO_2$ با درصد ناخالصی F (%)	مراحل
10cc/30Cc	37	3.5	470	40	0	اول
10cc/30Cc	37	3.5	470	40	3	دوم
10cc/30Cc	37	3.5	470	40	15	سوم

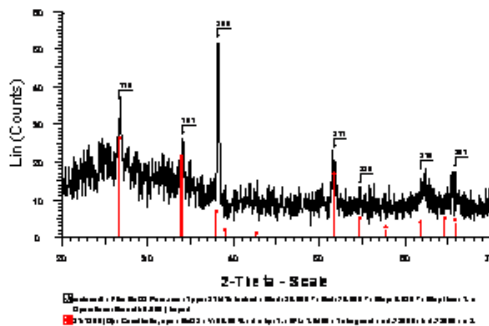
بخش دوم: مشخصه‌یابی الکتروود جامد سلول خورشیدی

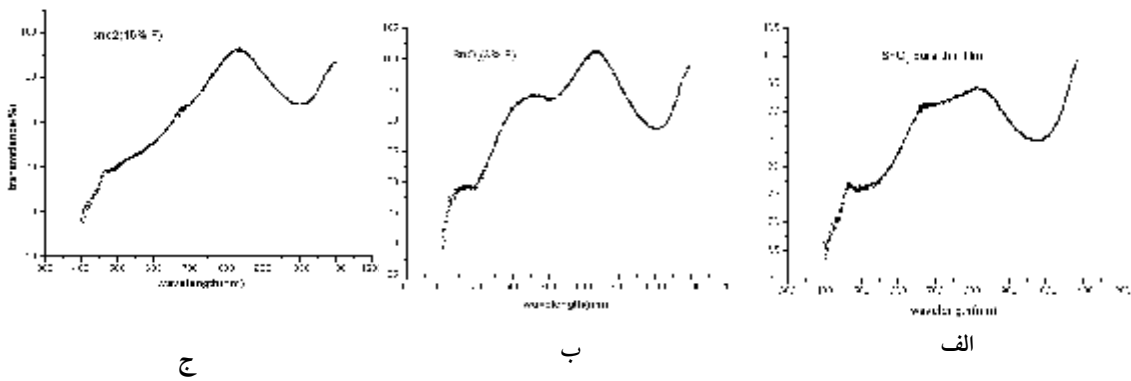
مشخصه‌یابی لایه های  $\text{SnO}_2:\text{F}$  تهیه شده:

طیف پراش پرتو ایکس تهیه شده از لایه‌ها در شکل 2 نشان دهنده تشکیل فاز کاستریت اکسید قلع در راستای بلوری [200] است، شکل 3 تصویر SEM تهیه شده از این لایه‌ها نشان‌دهنده نانو ساختار شدن آنهاست که با افزایش ناخالصی اندازه دانه‌ها بزرگ تر میشود، همچنین شکل 4 و 5 به ترتیب طیف عبوری و جذبی را که نشان‌دهنده شفافیت بالای لایه‌ها و گاف اپتیکی این لایه‌ها است را نشان میدهد که با افزایش ناخالصی مقدار گاف کاهش می‌یابد.

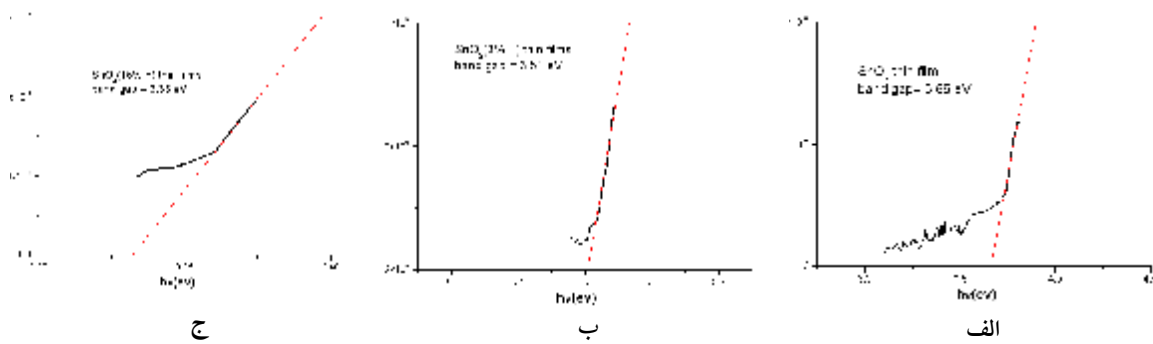
مشخصه‌یابی لایه‌های نازک اکسید تیتانیوم تهیه شده روی بسترهای  $\text{SnO}_2:\text{F}$

شکل 6 طیفهای پراش پرتو ایکس (XRD) برای لایه‌های نازک تیتانیا را نشان میدهد، کنترل دمای بستر ( $470^\circ\text{C}$ ) فاز دلخواه آناتاس با جهت گیری ارجح [101] که دارای خواص فوتوکاتالیستی بالاتری نسبت به دو فاز دیگر آن (روتایل و بروکایت) دارد، تشکیل شده است، همچنین شکل 7 تصاویر SEM دانه بندی تیتانیا را بر روی بستر اکسید قلع نشان می‌دهد. اندازه کوچک دانه‌ها حکایت بر چگال بودن این لایه‌ها که شرط لازم برای ایفای نقش آن در سلول خورشیدی دارد. در شکل 8 مقدار گاف نواری این لایه محاسبه شده است که نسبت به مقادیر گزارش شده ( $3-3.2\text{eV}$ ) بیشتر میباشد که به دلیل ضخامت بسیار کم ( $100-150\text{nm}$ ) این لایه‌ها و دانه‌بندی کوچک آنهاست.

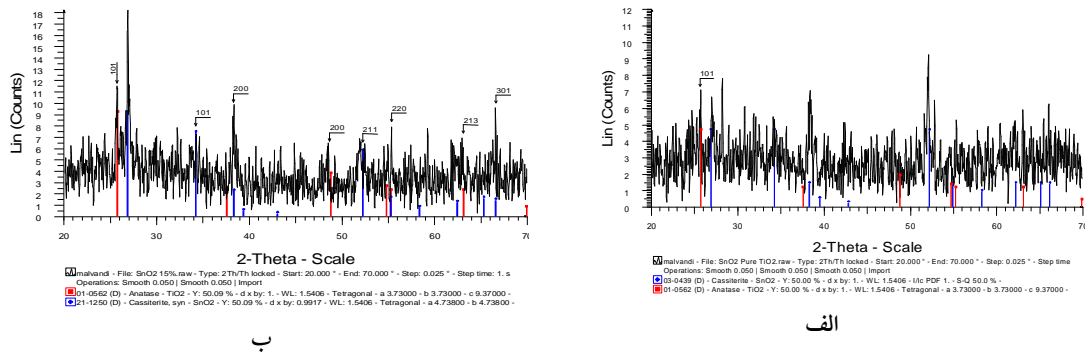




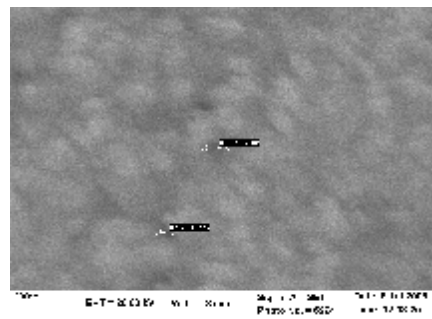
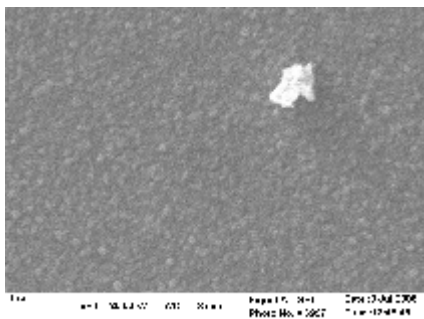
شکل 4: طیف عبوری مشخصه شفافیت لایه های اکسید قلع (الف) خالص، (ب) F 3%، (ج) F 15%.



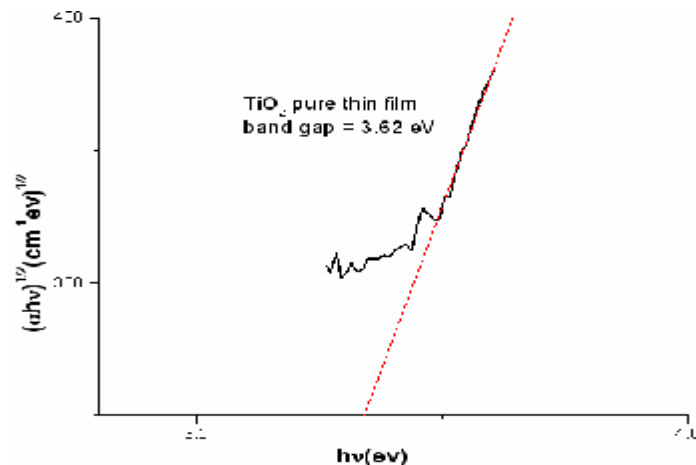
شکل 5: طیف جذبی برای تعیین گاف نواری لایه های اکسید قلع (الف) خالص، (ب) F 3%، (ج) F 15%.



شکل 6: طیف XRD تهیه شده از لایه های تیتانیا با فاز آناتاس با بستر اکسید قلع (الف) خالص، (ب) F 15% ناخالص شده.



شکل 7: تصویر SEM تهیه شده از لایه های تیتانیا با فاز آناتاس با بستر اکسید قلع (الف) خالص، (ب) F 15% ناخالص شده.



شکل 8: طیف جذبی برای تعیین گاف نواری غیر مستقیم لایه های اکسیدتیتانیوم با فاز آناتاس

بخش سوم: بستن سلول های خورشیدی و محاسبه بازده سلول ها

برای اندازه گیری ضریب بهره وری یک مدار ساده شامل یک رثوستا، ولتمتر، آمپر متر و یک منبع نور قوی با توان تابشی حداقل 40000 لوکس نیاز است. برای اندازه گیری ضریب بهره وری پس از تشکیل دادن مدار و بدست آوردن داده های مورد نیاز، نمودارهای ولتاژ جریان هریک از سلول ها ترسیم گردید و سپس از رابطه های زیر برای بدست آوردن بازده تبدیل انرژی و عامل پراکندگی (ff) استفاده گردید.

$$h = \frac{v_{oc} \times i_{sc} \times ff}{I_{photocurrent}} \times 100\% \quad , \quad ff = \frac{v_m \times i_m}{v_{oc} \times i_{sc}}$$

که  $I_{photocurrent}$  توان نور تابشی بر حسب  $mW/cm^2$  است.

برای محاسبه  $V_{oc}$  دو سر سلول مستقیماً به ولتمتر دیجیتال متصل گردید. شکل 9 تصویری از چیدمان اندازه گیری را ارائه میکند. لازم به ذکر است که با توان تابشی  $7.3 mW/cm^2$  معادل 50000 lux تمام اندازه گیری ها انجام شد.



شکل 9 تصویری از چیدمان اندازه گیری مولفه ولتاژ و جریان سلول خورشیدی.

مقادیر بدست آمده از اندازه گیری مولف ولتاژ و جریان سلول خورشیدی و محاسبه بازده آنها در جدول 2 ارائه می شود.

جدول 2: مقادیر ff و بازدهی سلول در توان تابشی  $7.3 mW/cm^2$

نوع بستر	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )	ff	$\eta$ (%)
$SnO_2$ خالص	410	80	0.21	0.10
$SnO_2:3\%F$	866	80	0.15	0.14
$SnO_2:15\%F$	279	70	0.37	0.11

## نتیجه گیری

برای ساخت الکتروود جامد سلول خورشیدی لایه های اکسید قلع و اکسید تیتانیوم با فاز دلخواه و به صورت کنترل شده و با ساختار بلوری دلخواه تهیه شده و نتایج به وضوح نشان دهنده تولید جریان توسط نمونه های ساخته شده است. توجه به کم بودن مقدار انرژی نوری گیسل شده به سیستم توسط منبع نور نمایان کننده توانایی بالای سیستم در جذب انرژی و تولید جفت الکترون حفره می باشد. ورود ناخالص به شبکه لایه نازک شفاف بستر در مقدار بازده تبدیل انرژی تاثیر دارد. نتایج بدست آمده از کاری مشابه [7] که از رنگ های گیاهی استفاده نموده است تایید کننده کیفیت بالاتر سلول های ساخته شده در این پروژه است.

## تشکر و قدردانی

این پروژه تحت طرح پژوهشی با حمایت دفتر استعدادهای درخشان دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. همچنین این مقاله با تسهیلات حمایتی بنیاد ملی نخبگان در این همایش ارائه می گردد.

## مرجع ها:

- 1- Grätzel, M. J of Photochem and Photobio C: Photochem Rev. 4 (2003): 145–153.
- 2- Y. F. Hsu, Y. Y. Xi, C. T. Yip, A. B. Djurišić, and W. K. Chan. J. Appl. Phys. 103, 083114 (2008); DOI:10.1063/1.2909907
- 3- B. O'Regan, M. Grätzel. Nature (1991) 353 (6346): 737–740
- 4- Mohammad-Mehdi Bagheri-Mohagheghi and Mehrdad Shokooh-Saremi, J. Phys. D: Appl. Phys. 37 (2004) 1248–1253
- 5- M. Karimipour, N. Shahtahmasebi, M. M. Bagheri Mohagheghi, H.Rezvani,  
"سومین همایش سراسری دانشجویی فناوری نانو- شیراز، بهمن 86"
- 6- Hart, J.N., Menzies, D., Cheng, Y-B., Simon, G. and Spiccia, L. Comptes Rendus Chimie, 9(2006), 622-626.
- 7- Hao SC,; Wu JH,; Huang YF,; Lin JM , Solar Energy, (2006) 80 (2): 209-214,