



بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



بررسی تأثیر ضخامت نانوساختار TiO_2 بر بازده سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای

عبدالله مرتضی علی، شیما نوروزی

دانشکده فیزیک، آزمایشگاه فیزیک سطح و لایه های نازک، دانشگاه الزهرا، تهران

چکیده - در این پژوهش، اثرات تغییر ضخامت لایه نازک نانوساختار TiO_2 که بر روی شیشه شفاف رسنا FTO با مقاومت سطحی $15 \Omega/\square$ لایه نشانی شده، بر بازده سلول خورشیدی رنگدانه N719 در شرایط تهیه یکسان، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی که تحت نور خورشید با شارش انرژی 1000 W/m^2 نشان می دهد بیشترین بازده سلول خورشیدی برای لایه TiO_2 با $6.5 \mu\text{m}$ حاصل شده که در مقایسه با کارهای مشابه قابل توجه می باشد.

کلید واژه- بازده سلول خورشیدی، رنگدانه N719 ، نانوساختار TiO_2

The Effect of Nano Structured TiO_2 Thickness on Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells

Abdollah Mortezaali, Shima Norouzi

Department of Physics, Laboratory of surface physics and thin film, University of Alzahra, Tehran

Abstract- In this study, we investigated the effect of TiO_2 nanostructure thickness on glass was coated by FTO thin film, with surface resistivity of $15 \Omega/\square$ on Dye solar cell efficiency. The I-V results under sunlight with energy flux of 1000 w/m^2 showed that at $6.5 \mu\text{m}$ thickness of TiO_2 , the highest cell efficiency was obtained which is comparable with others.

Keywords: Solar Cell Efficiency, N719 Dye, TiO_2 Nanostructure

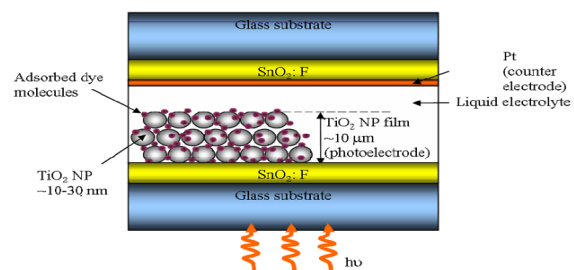
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای (DSCs) در چند دهه گذشته به دلیل پایین بودن هزینه تهیه و انعطاف پذیری در ساخت و راندمان قابل توجه و پتانسیل بالا در کاربردهای وسیع صنعتی، مورد توجه قرار گرفته است [۱-۲].

شکل ۱، شماتیک بخش‌های اصلی یک سلول خورشیدی رنگدانه‌ای را نشان می‌دهد که شامل رنگدانه که نقش جاذب نورمندی در بازه پهنای فرکانس خاصی را به عهده می‌گیرد و باعث تولید زوج الکترون-حفره می‌شود، انتقال الکترون به عهده لایه نانوساختار TiO_2 و انتقال حفره به عهده الکترولیت می‌باشد [۳].

ضخامت و ابعاد نانوذرات، تخلخل و در نهایت سطح مؤثر TiO_2 نقش مهمی در بازده سلول ایفا می‌کند، البته با ثابت نگه‌داشتن بقیه پارامترها این ترابری الکترون از رنگدانه به نانوساختار TiO_2 بر اساس مکانیزم پخش در تله‌ها صورت می‌گیرد [۴]، که طی این فرایند انتقال الکترون به صورت آرام و کارآمد، می‌تواند در بازده سلول خورشیدی نقش مهمی را ایفا کند.



شکل ۱: شماتیک یک سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

ازجمله کارهای برجسته در این زمینه، سیگو و همکارانش [۵] نشان دادند که با افزایش ضخامت TiO_2 در بازه $2-16 \mu\text{m}$ ، چگالی جریان افزایش و V_{oc} کاهش می‌یابد. همچنین تسای و همکارانش [۶] ضخامت‌های لایه TiO_2 در بازه $21-55 \mu\text{m}$ تهیه و ضخامت بهینه $26.6 \mu\text{m}$ بوده که بیشترین راندمان 0.9% را به دست آمده است [۷].

در این پژوهش با ثابت نگه‌داشتن شرایط کار پارامترهای سلول، لایه TiO_2 با ضخامت‌های مختلف $6-13 \mu\text{m}$ بر روی شیشه FTO لایه‌نشانی شد. مرفولوژی سطح و اندازه ذرات این لایه‌ها و سطح مقطع ضخامت آن‌ها توسط

دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت، پارامترهای فوتوولتائیک شامل بازده، ضریب پرشدگی، ولتاژ مدار باز و جریان مدار-کوتاه سلول‌های خورشیدی تهیه شده با ضخامت‌های مختلف لایه نانوساختار TiO_2 به عنوان لایه انتقال حفره الکترون توسط منحنی $I-V$ تحت تابش شبیه ساز نور خورشید با شارش انرژی 1000 W/m^2 مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

۲- شرح آزمایش

قطعات شیشه رسانای شفاف FTO را در ابعاد $1/5 \text{ cm}$ در $1/5 \text{ cm}$ برش داده شدند، سپس چند مرحله با آب و صابون، استون، اتانول به کمک اولتراسونیک شسته شدند. به منظور جلوگیری از بازترکیب فتوالکترون‌های تشکیل شده در TiO_2 با FTO، لایه‌ها در محلول 40 میلی مولار TiCl_4 در آب دوبار تقطیر و در دمای 70 درجه سانتی گراد، به مدت 30 دقیقه قرار داده می‌شود. ابتدا لایه‌ای 20 نانومتری از TiO_2 ، به عنوان لایه بلوک کننده، به روش لایه نشانی چرخشی بر روی FTO لایه‌نشانی می‌شود، سپس خمیر TiO_2 به روش لایه‌نشانی دکتر-بلید بر سطح زیرلایه FTO به طور یکنواخت لایه‌نشانی می‌شود. لایه‌ها در دمای 450 درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت درون کوره پخت می‌شوند. پس از اتمام حرارت‌دهی لایه‌های TiO_2 به ابعاد استاندارد 0.25 سانتی متر مربع تراشیده می‌شوند. پس از تراشیدن لایه مجدداً تحت TiCl_4 در حمام آب قرار می‌گیرد. پس از آن لایه با آب دوبار تقطیر و اتانول شسته شده سپس به مدت 30 دقیقه در دمای 500 درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود. هنگامی که دمای کوره به 80 درجه رسید لایه را درون محلول رنگ (N719) با غلظت 0.3 میلی مولار به مدت 22 ساعت قرار می‌گیرد. به منظور تزریق الکترولیت به داخل سلول بسته شده، باید روزنه‌هایی در کاتد تعبیه شود، کاتد با استفاده از خمیر پلاتین به روش دکتر-بلید لایه‌نشانی می‌شود، در نهایت لایه را در دمای 450 درجه به مدت 30 دقیقه حرارت داده می‌شود تا پلاتین روی سطح تثبیت شود. ابتدا پلیمری به نام سرلین با اندازه مناسب با اتانول شسته شده و بین آند و کاتد قرار داده می‌شود و به مدت 90 ثانیه در دمای 120 درجه سانتی-گراد حرارت داده می‌شود تا پلیمر ذوب شده و سلول آب-

بندی شده و آماده تزریق الکترولیت می‌شود.

۲-۱- اندازه گیری

مهم ترین و ساده‌ترین آنالیزی که در مورد سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد بررسی منحنی جریان-ولتاژ می‌باشد. از تحلیل منحنی جریان ولتاژ سلول خورشیدی، مشخصه‌های سلول نظیر ولتاژ مدار باز (V_{oc})، جریان اتصال کوتاه (I_{sc})، بیشینه بازدهی (η) و ضریب پرشدگی (FF) به دست می‌آید. در این آنالیز، سلول خورشیدی را در معرض نور قرار داده و ولتاژ الکتروود را از ولتاژ مدار باز تا صفر ولت جاروب کرده و مقدار جریان عبوری سلول اندازه گیری می‌شود [۷]. با فرض این‌که مساحت سلول خورشیدی واحد باشد، رابطه ولتاژ-جریان به صورت زیر است:

$$I = I_o \left(e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right) - I_{sc} \quad (1)$$

در مدار باز یعنی به ازای $I=0$ ولتاژ برابر است با:

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \right) \quad (2)$$

بیشترین توان نقطه‌ای است که در آن توان الکتریکی خروجی سلول ماکسیمم گردد ($I_m V_m$). نسبت بیشینه توان الکتریکی خروجی از سلول به توان تابش نور فرودی به عنوان بازده سلول معرفی می‌شود:

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{in}} \quad (3)$$

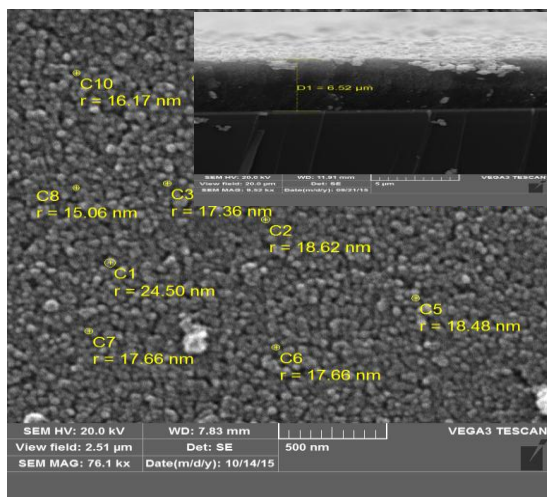
یک عامل تعیین کننده رفتار کلی یک سلول خورشیدی فاکتور پرشدگی است که برابر با نسبت بیشترین توان خروجی سلول به حاصل ضرب ولتاژ مدار باز و جریان مدار کوتاه سلول خورشیدی است. اندازه مقدار ضریب پرشدگی بین ۰ و ۱ است و هر چقدر که به ۱ نزدیک تر باشد نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر سلول خورشیدی است [۸].

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (4)$$

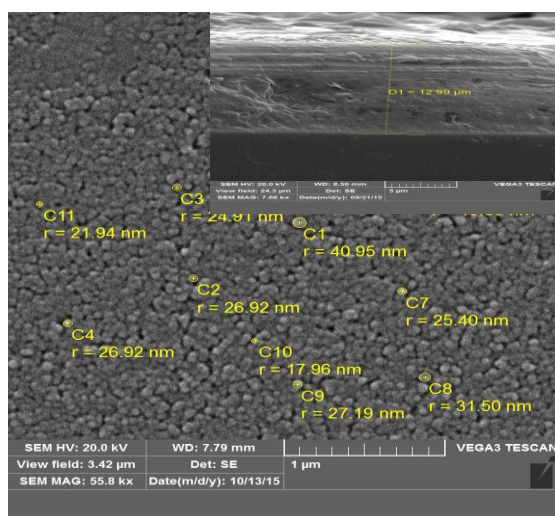
۳- بحث و نتایج

لایه‌های نازک فوتوآند تهیه شده از نانوساختار TiO_2 با

ضخامت‌های مختلف تهیه شدند. شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لایه‌ها با ضخامت‌های $6.5 \mu m$ و $13 \mu m$ را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت لایه‌ها، اندازه دانه‌ها درشت‌تر می‌شود. همچنین لایه‌ها با ضخامت کمتر دارای ساختار متخلخل بیشتری خواهد شد.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح FTO لایه نشانی شده با ضخامت $6.5 \mu m$ نانوساختار TiO_2 به روش دکتر-بلید



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح FTO لایه نشانی شده با ضخامت $13 \mu m$ نانوساختار TiO_2 به روش دکتر-بلید

شکل ۴ و شکل ۵ به ترتیب آنالیز جریان-ولتاژ نمونه‌های با ضخامت $6.5 \mu m$ و $13 \mu m$ را نشان می‌دهد که توسط دستگاه شبیه‌ساز خورشیدی تابش‌دهی شدند. مشخصه‌های فوتوولتائیک سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای در جدول ۱ آورده شده است.

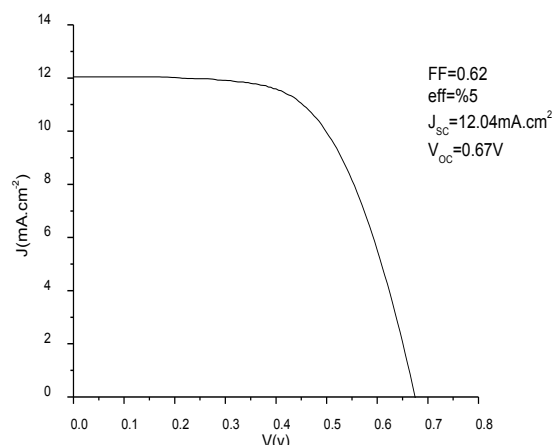
(۲) جریان اشباع (I_0) کمتر می‌شود. جریان مدار کوتاه (I_{sc}) نمونه‌ها دارای رابطه خاصی با ضخامت لایه‌ها از خود نشان نمی‌دهند به طوریکه نمونه با ضخامت $9/6 \mu m$ دارای جریان مدار کوتاه کمتری خواهد بود ولی برای لایه با ضخامت $6/5 \mu m$ دارای بیشترین مقدار خواهد بود.

۴- نتیجه گیری

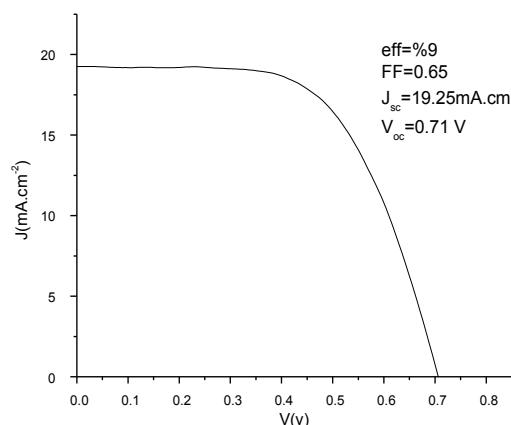
اثر ضخامت لایه فوتوآند نانوساختار TiO_2 بر روی پارامترهای فوتوولتائیک سلول خورشیدی رنگدانه‌ای بر پایه رنگدانه N719 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از پارامترهای مهم سلول خورشیدی نانوساختار TiO_2 شامل ولتاژ مدار باز، جریان مدار کوتاه، ضریب پرشدگی و بازده آن‌ها برای ضخامت‌های مختلف لایه TiO_2 حاکی از آن است که سلول‌های با لایه TiO_2 با ضخامت‌های خیلی کم به دلیل حفره‌ها و تخلخل‌های زیاد و ناپیوستگی نانوذرات، ترابری الکترون و در نتیجه مقاومت بیشتری نسبت به ضخامت‌های بالا، از خود نشان می‌دهد. اما در ضخامت‌های زیاد به دلیل افزایش پراکندگی و تله‌ها، مقاومت نیز افزایش پیدا می‌کند، بنابراین یک ضخامت بهینه برای این لایه وجود دارد که در این پژوهش مقدار $6/5 \mu m$ به دست آمده است که بازده سلول ۹٪ می‌باشد که نتیجه آن قابل توجه است.

مراجع

- [1] B. O'regan, M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films", nature, Vol. 353, No. 6346, pp. 737-740, 1991.
- [2] M. Grätzel, "Dye-sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol. 4, No. 2, pp. 145-153, 2003.
- [3] M. Fitra, I. Daut, M. Irwanto, N. Gomesh, Y. Irwan, "Effect of TiO_2 Thickness Dye Solar Cell on Charge Generation", Energy Procedia, Vol. 36, pp. 278-286, 2013.
- [4] M. Law, L. E. Greene, J. C. Johnson, R. Saykally, P. Yang, "Nanowire dye-sensitized solar cells", Nature materials, Vol. 4, No. 6, pp. 455-459, 2005.
- [5] I. Seigo, M. Shaik, "Zakeeruddin, R Hamphry-Baker", Adv. Mater, Vol. 18, pp. 1202-1205, 2006.
- [6] J. K. Tsai, W. D. Hsu, T. C. Wu, T. H. Meen, W. J. Chong, "Effect of compressed TiO_2 nanoparticle thin film thickness on the performance of dye-sensitized solar cells", Nanoscale research letters, Vol. 8, No. 1, pp. 1-6, 2013.
- [7] J. Nelson, *The physics of solar cells*. World Scientific, 2003.
- [8] V. Baglio, M. Girolamo, V. Antonucci, A. Aricò, "Influence of TiO_2 film thickness on the electrochemical behaviour of dye-sensitized solar cells", Int. J. Electrochem. Sci, Vol. 6, No. 8, pp. 3375-3384, 2011.



شکل ۴: نمودار چگالی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی رنگدانه‌ای دارای فوتوآند نانوساختار TiO_2 با ضخامت $13 \mu m$



شکل ۵: نمودار چگالی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی رنگدانه‌ای دارای فوتوآند نانوساختار TiO_2 با ضخامت $6.5 \mu m$

جدول ۱: پارامترهای به دست آمده از نمودار I-V سلول خورشیدی رنگدانه‌ای با ضخامت‌های مختلف لایه فوتوآند نانوساختار TiO_2

نمونه ضخامت TiO_2	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	η (%)	FF
$13 \mu m$	۰/۶۷	۱۲/۰۴	۵/۰۰	۰/۶۲
$11 \mu m$	۰/۶۶	۱۸/۹۰	۶/۹۱	۰/۵۴
$9/6 \mu m$	۰/۵۶	۹/۶۸	۳/۶۸	۰/۶۶
$6/5 \mu m$	۰/۷۱	۱۹/۲۵	۹/۰۱	۰/۶۵

همانطور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود هرچه ضخامت لایه نانوساختار TiO_2 کمتر باشد سلول دارای بازده بیشتری خواهد شد. همچنین ولتاژ مدار باز (V_{oc}) سلول با کاهش ضخامت لایه TiO_2 افزایش می‌یابد. این نتایج بیانگر این است که با افزایش ضخامت لایه فوتوآند TiO_2 نرخ باز ترکیب در سلول افزایش پیدا می‌کند و طبق رابطه