

افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی نانوساختار به کمک نانو پودر دی اکسید تیتانیم

جمشید محمودی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

بابل، ایران

Jamshidmahmmoodi68@gmail.com

حسین مرسلی

بخش توسعه فناوری

شرکت برق و انرژی صبا

تهران، ایران

Morsalihosein@gmail.com

چکیده — سلول‌های خورشیدی یا سلول‌های فوتولتائیک ابزاری هستند که انرژی نور خورشید را مستقیماً تحت اثر فوتولتائیک به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. سلول‌های خورشیدی دارای سه نسل کلی می‌باشند و انواع نانوساختار آن (نسل سوم) بیش از انواع دیگر نسل‌ها، مورد توجه هستند. در این مقاله ضمن معرفی سلول‌های خورشیدی نانوساختار و مدل ریاضی آن، اثر دی اکسید تیتانیم بر افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی را نشان خواهیم داد.

واژه‌های کلیدی — سلول خورشیدی، نانوساختار، دی اکسید تیتانیم، بازده

۱. مقدمه

امروزه گسترده شدن شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، در عین داشتن مزایایی نظیر افزایش قابلیت اطمینان شبکه، بهبود محدوده پایداری شبکه، می‌تواند مشکلاتی را نیز به سیستم قدرت تحمیل نمایند. از جمله آن‌ها می‌توان به غیر اقتصادی شدن انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه‌ها به مناطق دور دست و صعب العبور، افزایش تلفات انتقال و توزیع، پیچیده‌تر شدن سیستم حفاظت شبکه بعثت گستردگی آن اشاره نمود. همه این موارد، باعث افزایش چشمگیر منابع تولید پراکنده در سال‌های اخیر شده است، که اساس کار آن‌ها مبتنی بر تولید انرژی الکتریکی در محل مصرف می‌باشد [1]. استفاده از سلول‌های خورشیدی نانوساختار در شبکه‌های میکروگرید با

توجه به بازدهی بالای آنها روز به روز در حال افزایش است. سلول‌های خورشیدی بر اساس ترتیبی که اهمیت یافته اند به سه نسل طبقه بندی میشوند که در حال حاضر هر سه نسل مورد بررسی و تحقیق قرار دارند و نسل اول به صورت گسترده‌تری به بهره‌برداری تجاری رسیده است [2]. تولید نسل اول سلول‌های خورشیدی (انواع سیلیکونی) به انرژی بالاتر و هزینه ساخت بیشتری نیاز دارد. تولید نسل دوم (لایه‌های نازک) که با هدف کاهش مصرف انرژی و هزینه مورد بررسی و تولید قرار گرفت. ولی به طور کلی انواع نانوساختار آن (نسل سوم) بیش از انواع دیگر نسل‌ها، مورد توجه هستند. از مزیت‌های این سلول‌ها می‌توان به دسترسی آسان به مواد اولیه، هزینه پایین و سهولت تولید، عدم حساسیت قابلیت اجرا به دما، حساسیت کم به زاویه تابش، وابستگی کم تر ولتاژ خروجی با میزان نور اشاره کرد [3][4]. استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیم یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد بهینه سلول‌های خورشیدی نسل سوم به سبب افزایش سطح ویژه و جذب رنگدانه بیشتر توسط آن‌هاست. این نانو لایه همچنین از بازتاب نور خورشید جلوگیری کرده و همچنین نقش قرار گرفتن ذرات رنگی را بر عهده دارد. با توجه به مزیت‌های گفته شده می‌توان سلول خورشیدی نانوساختاری با پودر دی اکسید تیتانیم ساخت که بازدهی به مراتب بالاتری نسبت به انواع دیگر آن را داشته باشد. سلول خورشیدی حساس به رنگ که توسط گرتزل طراحی شد شامل یک آند شفاف از جنس SnO_2 است که بر روی شیشه لایه‌نشانی شده است [5]. در پشت این صفحه لایه نازکی از دی اکسید تیتانیم TiO_2 بسیار متخلخل با مساحت سطح موثر

۲. مدل سلول خورشیدی نانوساختار

مشخصه ی ولتاژ - جریان سلول خورشیدی نانوساختار را نیز می‌توان به کمک روابط زیر بدست آورد [8]:

$$I_{pv} - I_T - I_d - I_p \quad (1)$$

$$I_L = I_o \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

$$I_p = \frac{V_{pv} - R_s I_{pv}}{R_p} \quad (3)$$

که در آن $I_L = NP I_{ph}$ جریان تولیدی آرایه ی خورشیدی است که NP تعداد ماژول‌های موازی و I_{ph} جریان تولیدی ناشی از برخورد نور به سطح هر کدام از سلول‌ها می‌باشد. $I_o = NP I_{os}$ که I_o جریان اشباع معکوس آرایه ی خورشیدی است و I_{os} جریان اشباع معکوس هر سلول خورشیدی می‌باشد.

$V_T = (N_s n k B T) / q$ ولتاژ حرارتی است که در آن N_s تعداد سلول‌های سری، n ضریب ایده‌آلی، T دمای سلول و q بار الکتریکی می‌باشد. R_s مقاومت سری و R_p مقاومت شنت جهت در نظر گرفتن نشی می‌باشد.

برای مدلسازی اثر تغییرات دما و شدت تابش می‌توان از روابط زیر استفاده نمود [8]:

$$I_L = I_{L(T_1)} (1 + K_o (T - T_1)) \quad (4)$$

$$I_{L(T_1)} = \frac{G}{G_{(nom)}} \times I_{SC(T_1, nom)} \quad (5)$$

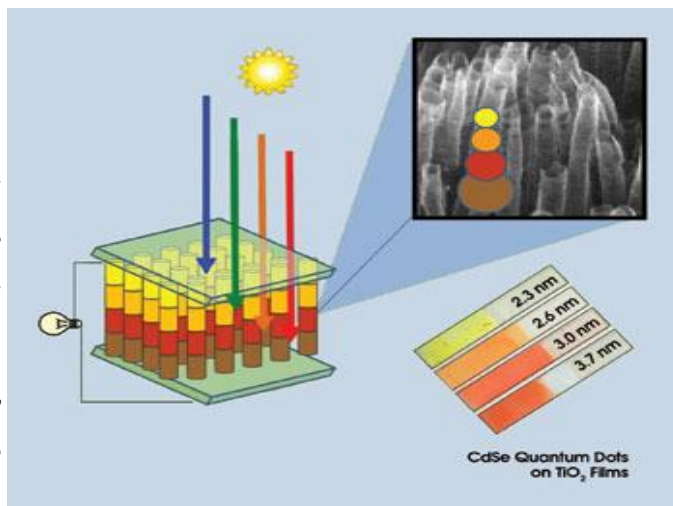
$$K_o = \frac{I_{SC(T_2)} - I_{SC(T_1)}}{(T_2 - T_1)} \quad (6)$$

$$I_o = I_{o(T_1)} \times \left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{3}{n}} \times e^{\frac{-qV_g}{nk \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}} \quad (7)$$

$$I_{o(T_1)} = \frac{I_{SC(T_1)}}{\left(e^{\frac{qV_{oc(T_1)}}{nkT_1}} - 1\right)} \quad (8)$$

در روابط (۴) تا (۸) G شدت تابش، $G(nom)$ شدت تابش مبنا و V_g فاصله نوارهای انرژی بر حسب الکترون ولت می‌باشد. البته باید در نظر داشت برای سلول‌های نانوساختار این ضرایب نسبت به سلول‌های

زیاد قرار دارد. سپس با فرو بردن این صفحه در داخل ترکیب رنگی روتینیم پولیپیریدین حساس به نور و یک حلال لایه نازکی از ماده رنگی با پیوند کووالانسی بر روی سطح TiO_2 مینشیند. سطح پشتی سلول نیز از الکترولیت دیدید که بر روی صفحه‌های رسانا معمولا از جنس پلاتین قرار گرفته تهیه شده و به بخش جلویی متصل میشود. این سلول گرچه از مواد پیشرفته ساخت شده ولی طراحی آن بسیار ساده و کم هزینه است [6]. شکل (۱) مکانیزم عمل سلولهای خورشیدی نانوساختار را نشان می دهد:



شکل ۱: مکانیزم عمل سلول خورشیدی نانوساختار لایه نازک [7]

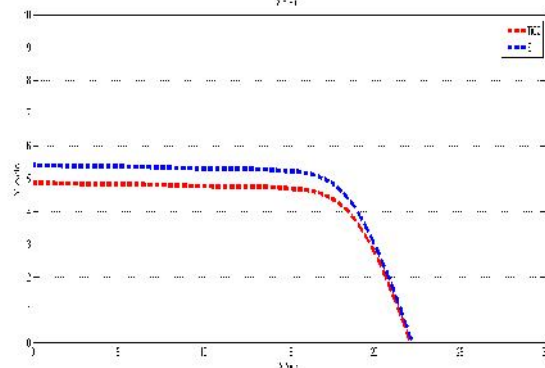
در سلولهای خورشیدی نانوساختار معمولا لایه ضدانعکاسی به روش پرینت اسکرین بر زیرپایه شیشه ای اعمال میشود. برای این منظور نانو ذرات دی اکسید تیتانیم باید به صورت خمیر مناسب درآید و با استفاده از روش چاپ توری بر سطح اعمال شود. تهیه خمیر مذکور تاثیر زیادی بر کارایی نهایی سلول خورشیدی و یکنواختی سلول خورشیدی نهایی میگذارد. در بخش بعدی این مقاله درمورد مدلسازی سلول خورشیدی نانوساختار، در بخش سوم روش تولید خمیر دی اکسید تیتانیم و نحوه اثر گذاری آن بر مدلسازی سلول خورشیدی بحث خواهد شد. در بخش چهارم این مقاله به مقایسه بازدهی سلول‌های خورشیدی سیلیکونی و نانوساختار می پردازیم و در پایان نتیجه گیری از این قسمت خواهیم داشت.

افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی نانو ساختار به کمک نانو پودر دی اکسید تیتانیم

دومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی - ۱۳۹۳ - تهران، ایران

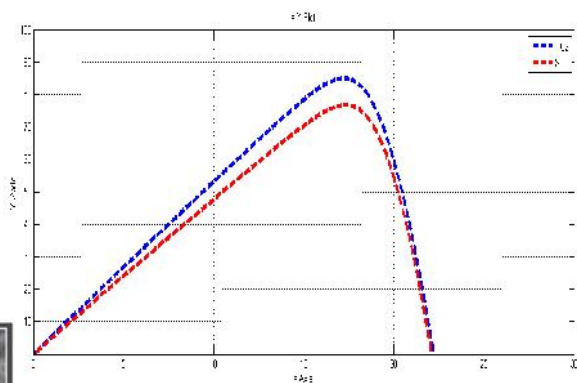
سیلیکونی تفاوت دارند. مثلا V_g فاصله نوارهای انرژی سیلیکونی یا نانو ساختار بر حسب الکترون ولت می باشد.

در شکل (۲) منحنی I-V سلول خورشیدی سیلیکونی و نانو ساختار دی اکسید تیتانیم با هم مقایسه شده اند:



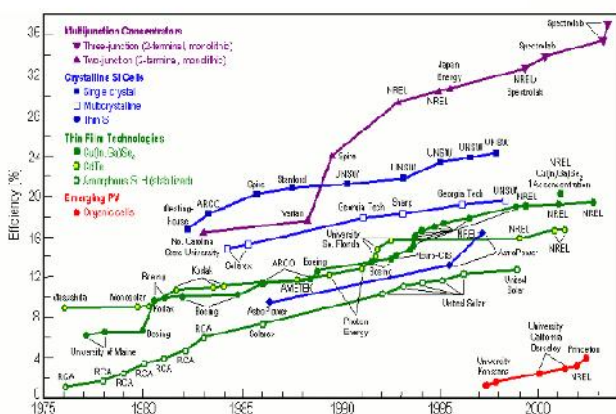
شکل ۲: مقایسه منحنی I-V سلول خورشیدی نانو ساختار و سیلیکونی

در شکل (۳) منحنی P-V این دو نوع نیز با هم مقایسه شده اند:



شکل ۳: مقایسه منحنی P-V سلول خورشیدی نانو ساختار و سیلیکونی

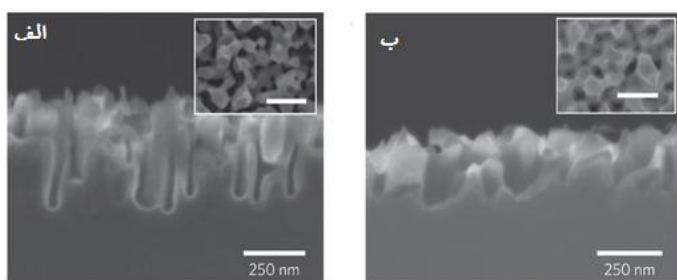
همچنین در مرجع [9] مقایسه‌ای کلی در مورد بازدهی انواع سلول‌ها؛ خورشیدی طی سال‌های اخیر صورت گرفته که در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: مقایسه بازدهی انواع سلول‌های خورشیدی [9]

۳. روش ساخت خمیر و تجهیزات

مواد اولیه مورد استفاده جهت ساخت خمیر عبارتند از: دی اکسید تیتانیم نانو، PVP، اتیلن گلیکول، آب دی یونیزه، تریپتول، اتانول و اتیل سلولز. شکل (۵) تصویر ریزساختاری خمیر تولید شده با استفاده از ترکیب گفته شده و خمیر عادی را نشان داده شده است [10]. خمیر پیشنهادی به راحتی از توری عبور کرده و لایه یکنواختی را بروی سطح زیرپایه ایجاد می‌کند. در این ترکیب به علت حضور تریپتول ذرات نانوپودر در دی اکسید تیتانیوم آگلومره نشده و به راحتی از توری عبور کرده و لایه یکنواخت ایجاد می‌کند. برای اعمال خمیر بروی زیرپایه ابتدا مواد خمیر را به صورت قطره قطره به پودر دی اکسید تیتانیوم اضافه می‌کنیم سپس با همزن دستی مواد خمیر را مخلوط کرده و خمیر را بروی توری اعمال می‌کنیم [10].



شکل ۵: تصویر ریزساختاری خمیر نانو ساختار عادی (الف) و خمیر تولید شده با ترکیب گفته شده (ب)

افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی نانو ساختار به کمک نانو پودر دی اکسید تیتانیم

دومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی - ۱۳۹۳ تهران، ایران

آن در جدول (1) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود سلول نانو ساختار ساخته شده با خمیر دی اکسید تیتانیم (به روش دکتر بلید یا چاپ توری که مرجع [10] پیشنهاد و ساخته شده است) به دلیل یکنواختی لایه هادر الکتروود کاری، میزان جریان بیشتر و راندمان بالاتری نسبت به سلول های معمولی دارد.

جدول ۱: مقایسه بازده سلول خورشیدی نانو ساختار و سیلیکونی

نوع سلول	V_{oc}	J_{sc}	FF	$\gamma\%$
نانو ساختار	0.76	-19.6	0.88	9.3%
سیلیکونی	0.73	-15.1	0.63	6.1%

نتیجه گیری

در این مقاله به بحث مدل ریاضی سلول خورشیدی پرداختیم و اثر سلول نانو ساختار را بر روی آن نشان دادیم. روشی هم برای ساخت سلول نانو ساختار دی اکسید تیتانیم گفته شد که با مدل سازی و شبیه سازی سیستم، به وضوح افزایش بازدهی سیستم قابل مشاهده بود. نتایج را نیز با مدل واقعی مقایسه کردیم.

با توجه به افزایش بازدهی سلول های خورشیدی نانو ساختار دی اکسید تیتانیم، می توان پیشبینی کرد که آینده ای نه چندان دور شرکت های تولید انرژی به سمت استفاده از این فناوری برای تولید هرچه بهتر انرژی با بازدهی بالا، بروند.

منابع

[1]. Kerkache L., Layadi A., Hadjersi F., Dogheche E., Gokarna A., Stolz A., Halbwx M., Vilcot J.P., Decoster D., Zein B. El, Habib, S. S. "Sputtered Indium Tin Oxide thin films deposited on glass substrate for photovoltaic application", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), Granada (Spain), 23th to 25th March, 2010.

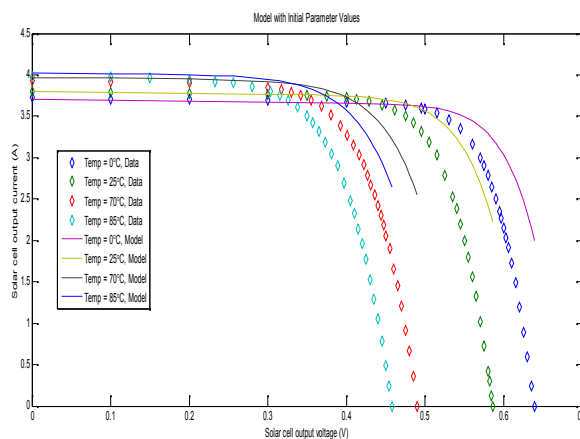
[2]. Kima Ki Young, Park Seung Bin, "Preparation and property control of nano-sized indium tin oxide particle", Materials Chemistry and Physics 86,

همانگونه که از تصاویر ریزساختاری نیز مشخص است، تصاویر به دست آمده از خمیر پیشنهاد شده یکنواختی مناسب تری نسبت به نوع دیگر داشته است و ضمن اینکه میزان ترک در آن به چشم نمی خورد.

۴. بازدهی سلول نانو ساختار با کمک مدل ریاضی

با توجه به مطالبی که در بخش دوم در مورد مدلسازی ریاضی سلول خورشیدی گفته شده است می توان مدلی را برای سلول خورشیدی نانو ساختار دی اکسید تیتانیم و سیلیکونی در نظر گرفت و با مدل واقعی نانو ساختاری آن مقایسه کرد.

در شکل (۶) نمودار V-I سیستم مدلسازی شده سلول نانو ساختار و مقادیر واقعی را در دمای های ۰، ۲۵، ۷۰ و ۸۵ درجه نشان می دهد.



شکل ۲: مقایسه منحنی V-I مدل سلول خورشیدی نانو ساختار. داده های واقعی

از طرفی راندمان تبدیل نور خورشید به توان الکتریکی در یک سلول خورشیدی به صورت زیر بدست می آید:

$$y = \frac{P_{dm}}{P_s} = \frac{J_m V_m}{P_s} \quad (9)$$

فاکتور پراکندگی (FF) به صورت زیر تعریف می شود:

$$y = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_s} \quad (10)$$

بدین ترتیب با استفاده از منحنی V-I، دانسیته جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور پراکندگی می توان راندمان سلول را بدست آورد که نتایج

افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی نانو ساختار به کمک نانو پودر دی اکسید تیتانیم

دومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی - ۱۳۹۳ تهران، ایران

2004, 210-221.

[3] S. Hao, J. Wu, Y. Huang, J. Lin, M. Huang, in: 15th International Photovoltaic Science & Engineering Conference, PVSEC-15 paper (2005) 1297.

[4] T.N. Murakami, Y. Kijitori, N. Kawashima, T. Miyasaka, J. Photochem. Photobiol. A, Chem. 164 (2004) 187.

[5]. Wang Haiwen, Xu Xiujuan, Zhangy Jianrong and Li Chunzhong, "A Cost-Ejective Coprecipitation Method for Synthesizing Indium Tin Oxide Nanoparticles without Chlorine Contamination", J. Mater. Sci. Technol., 26(11), 2010, 1037-1040.

[6]. Tok A.I.Y., Su L.T. & Ng S.H., "Synthesis of Indium Tin Oxide (ITO) Nano-particles via Sol-Gel technology", School of Materials Science & Engineering, Nanyang Technological University, 2009.

[7] Dae-Un Lee, Song-Rim Jang, R. Vittal, Jiwon Lee, Kang-Jin Kim, Solar Energy 82 (2008) 1042.

[8]T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Doumbia, A. Cheriti , " An Improved Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Systems.", Renewable Energy 33 (2008) 1508-1516

[9] Ito, S.; Murakami, T. N.; Comte, P.; Liska, P.; Grätzel, C.; Nazeeruddin, M. K. & Grätzel, M. (2008). Fabrication of Thin Film Dye Sensitized Solar Cells With Solar to Electric Power Conversion Efficiency over 10%, Thin Solid Films, Vol.516, No.14, (2008), pp.4613-4619.

[10] Liang Ma, Min Liu, Tianyou Peng, Ke Fan, Lanlan Lu, Ke Dai, "Fabrication and properties of mesomacroporous electrodes screen-printed from mesoporous titania nanoparticles for dye-sensitized solar cells", Materials Chemistry and Physics 118 (2009) 477-483.