بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

افزایش سطح موثر نانوذرات اکسید تیتانیوم در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به کمک تزریق بار الکتریکی و اندازه‌گیری آن توسط طیف سنجی نوری

محسن شجاعی فر، افشین ابارقی، عزالدین مهاجرانی، محمد رضا فتح اللهی

تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما

چکیده – در این مقاله روشی نوین با عنوان تزریق بار الکتریکی در حین فرایند پخت لایه فوتو آند در مورد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای معرفی می‌شود. این روش به خوبی توانسته است تجمع نانو ذرات اکسید تیتانیوم را در ساختار فوتو آند کاهش دهد و سطح موثر را به منظور قرار گیری رنگدانه افزایش دهد. تصاویر *FESEM* به وضوح جدایی نانوذرات را در اثر تزریق بار الکتریکی نشان می‌دهند. نتایج جریان- ولتاژ نشان می‌دهد که بار الکتریکی توانسته است جریان مدار کوتاه را به میزان ۳۱ ٪ افزایش دهد. به منظور بررسی سطح موثر و میزان رنگ بار گذاری شده در ساختار فوتو آند از روش طیف سنجی جذبی نور استفاده شد. اطلاعات طیفی نشان می‌دهد که تزریق بار الکتریکی توانسته است میزان قرار گیری رنگ را در ساختار فوتو آند نانو متخلخل به میزان قابل توجه‌ای (٪۴۸) افزایش دهد.

کلید واژه- تجمع نانو ذرات، تزریق بار الکتریکی، طیف سنجی جذبی، سطح موثر، سلول خورشیدی حساس به رنگدانه

Surface area enhancement of TiO_2 nanoparticles in dye sensitized solar cell by electric charge injection and evaluation by optical spectroscopy

Mohsen Shojaeifar, Afshin Abareghi, Ezeddin Mohajerani, Mohammad Reza Fathollahi

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran 1983963113, Iran

Abstract- Here in, we report a physical novel method as charge injection assisted sintering process in the field of dye sensitized solar cell. Charge injection within sintering process can decrease TiO_2 nanoparticle aggregation and increase effective surface area very well which provide more space for dye settlement. Obviously, FESEM imaging exhibits surface area increased in nanoparticle matrix. Current and voltage characteristic shows that charge injection could enhance current density 31%. In order to survey the effect of charge injection on dye loading condition, absorption spectroscopy has been used. Spectroscopy analysis reveals that proposed method could increase dye capacity 48% in nanoporous photoanode.

Keywords: absorbance spectroscopy, Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), Aggregation, Charge Injection, surface area

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

افزایش نیاز بشری به الکتریسیته از یک سو و کاهش سوخت های فسیلی سبب شده است تا دانشمندان بیش از گذشته به دنبال راه حلی موثر به منظور بهره‌برداری از منابع تجدید پذیر و ارزان قیمت از جمله انرژی خورشیدی باشند. از این رو در دو دهه اخیر تحقیقات بسیاری در زمینه سلول‌های خورشیدی صورت گرفته است. سلول‌های خورشیدی حساس به رنگدانه از جمله سلول‌های خورشیدی نانو ساختار هستند که جزء سلول‌های خورشیدی نسل سوم دسته بندی می-شوند. اولین سلول خورشیدی حساس به رنگ در اوایل دهه-ی ۱۹۹۰ در دانشگاه صنعتی فدرال در لوزان سوییس توسط مایکل گرتزل و برایان اورگان به دست آمد [۲-۱]. سلول-های خورشیدی حساس به رنگدانه برخلاف بسیاری از سلول‌های خورشیدی، ساخت راحت، ارزان قیمت و قابلیت ساخت در رنگ‌های مختلف را دارند اما طول عمر پایین داشته و تا کنون توانسته‌اند در شرایط خاص آزمایشگاهی به راندمان حدود ۱۳ درصد برسند. تلاش به منظور افزایش راندمان و طول عمر این دسته از قطعات اپتوالکترنیک دغدغه بسیاری از محققان در این زمینه بوده است. سلول خورشیدی حساس شده با رنگ (DSSC)، گونه‌ای از سلول خورشیدی متعلق به دسته‌ی سلول‌های خورشیدی الکتروشیمیایی است. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای شامل یک فوتو آند متخلخل، رنگدانه، الکترولیت و الکترود مقابل است. فوتو آند متخلخل در این ساختار یک نیمه رسانای معدنی با ضخامت زیر ۲۰ میکرون مانند اکسید تیتانیوم است که حاوی نانوذراتی با ابعاد حدود ۳۵ نانومتر است. مولکول‌های رنگدانه بر روی نانوذرات فوتوآند قرار می‌گیرند تا نور خورشید را جذب کنند و الکترون را به ساختار فوتوآند تزریق کنند از طرفی الکترولیت هم که معمولا حاوی یون-های رسانا مانند ید بوده که الکترون از دست رفته رنگ را برمی‌گرداند و خود الکترون را از الکترود مقابل و یا کاتد میگیرد تا به این صورت جریان الکتریکی در ساختار برقرار بماند [۴-۳]. هر چه سطح مقطع نانوذرات در فوتو آند بیشتر باشند مولکول رنگ بیشتری در ساختار قرار می‌گیرد در نتیجه الکترون بیشتری در سلول تولید می‌شود این پدیده سبب افزایش جریان تولیدی و به نوعی افزایش راندمان کمک بسزایی می‌کند [۶-۵]. روش‌های شیمیایی زیادی به منظور افزایش سطح مقطع وجود دارد که خود مشکلاتی را به همراه دارند اما تزریق بار الکتریکی به فوتو آند در حین فرایند پخت می‌تواند راه حلی ساده و فیزیکی به منظور جداکردن نانو ذرات و افزایش سطح موثر در ساختار اکسید تیتانیوم باشد. در این گزارش تلاش می‌شود این تکنیک معرفی و با استفاده از روش‌های طیف سنجی افزایش سطح نانو ساختار را بررسی نمود.

۲- تجربی و نتایج

ابتدا زیر لایه شفاف رسانای (FTO) شسته و خشک شد، سپس لایه‌ای از خمیر حاوی نانوذرات اکسید تیتانیوم بر روی زیر لایه توسط روش بلید لایه نشانی شد. در مرحله بعد به منظور پخت لایه فوتو آند، نمونه درون کوره قابل تنظیم قرار گرفت و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه پخت شد. در حین فرایند پخت سعی شد تا به لایه فوتو آند بار الکتریکی تزریق شود. بعد از اینکه نمونه به دمای اتاق رسید به مدت ۲۴ ساعت درون رنگ N719 قرار گرفت تا مولکول رنگ بر روی نانوذرات اکسید تیتانیوم بچسبد، سپس نمونه از محلول رنگ خارج شده و با اتانول مطلق شسته شد. در مرحله بعد لایه‌ای پلیمری به ضخامت ۲۵ میکرون اطراف لایه فوتو آند قرار گرفت و بعد لایه‌ای از پلاتین که بر روی لایه شفاف رسانا لایه نشانی شده بود به عنوان لایه کاتد روی لایه آند قرار گرفت سپس به منظور آب بندی، سلول به مدت ۲ دقیقه درون آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در مرحله آخر الکترولیتی از نمک ید از طریق یک سوراخ از قبل ایجاد شده بر روی کاتد، توسط پمپ خلا به داخل سلول تزریق شد.

سپس نمونه‌های با بار تزریقی و بدون بار تزریقی زیر تابش شبیه ساز خورشیدی قرار گرفتند و با استفاده از دستگاه Kiethley 2400، جریان و ولتاژ نمونه تحت تابش اندازه‌گیری شد. جدول ۱ مشخصات الکتریکی نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. به منظور بررسی سطح موثر نانو ذرات اکسید تیتانیوم و مشاهده اثر تزریق بار به ساختار فوتو آند از روش طیف سنجی نوری استفاده شد، به این صورت که لایه فوتو آند قبل از بستن سلول مورد ارزیابی قرار گرفت در این مرحله دو نمونه، با تزریق بار الکتریکی و بدون بار الکتریکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به این صورت که نمونه‌ها درون محلول NaOH قرار گرفتند تا رنگینه چسبیده شده به نانوذرات جدا شده و در محلول حل شود [۸-۷]. بعد از زمان

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

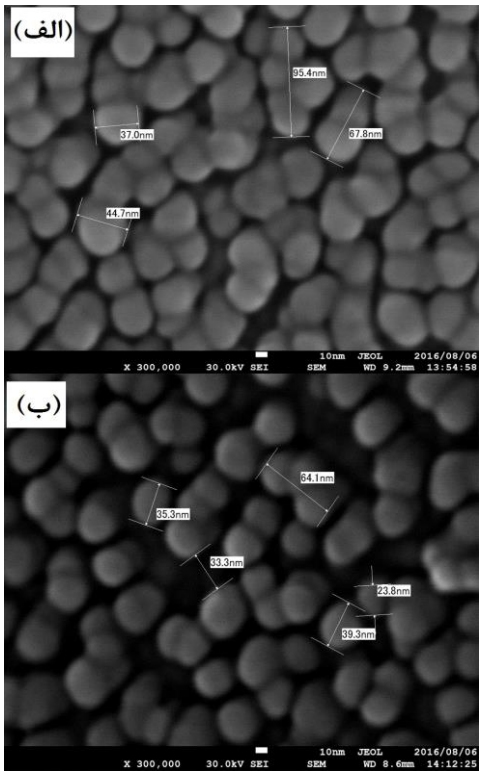
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۶ دقیقه نمونه‌ها از درون محلول خارج شدند و محلول مورد نظر درون کوتی از جنس کوارتز ریخته شد تا طیف جذبی محلول توسط طیف سنج Ocean Optic HR4000 اندازه گیری شود. بر اساس میزان جذب رنگ و اندازه‌گیری غلظت محلول، مقدار رنگ بار گذاری شده در ساختار فوتو آند تخمین زده شد (جدول ۱). همچنین به منظور بررسی موفولوژی نمونه‌هایی که بار الکتریکی به آنها تزریق شده است از تصویربرداری FESEM بهره برده شد. به این صورت که بعد از اینکه لایه فوتو آند از کوره بیرون اورده شد از وسط دو نیم شد و به صورت مقطعی در دستگاه تصویر برداری FESEM (JEOL) قرار گرفت. شکل ۱ تصاویر FESEM سطح مقطع لایه فوتو آند دو نمونه با تزریق بار و بدون تزریق بار را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی بارگذاری رنگدانه در مدت زمان ۲۴ ساعت در مورد نمونه‌های تزریق بار و بدون تزریق بار، لایه فوتو آند را بعد از مرحله پخت داخل کوتی از جنس کوارتز قرار داده و سر کوت کاملا آببندی شد (شکل ۲) و در داخل نگه دارنده طیف سنج به منظور ارزیابی رنگ جذب شده قرار داده شد و طیف جذبی محلول طی مدت ۲۴ ساعت اندازه-گیری و ثبت شد. شکل ۳ طیف جذبی محلول رنگ را در ناحیه جذبی رنگدانه N719 را طی مدت زمان ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.

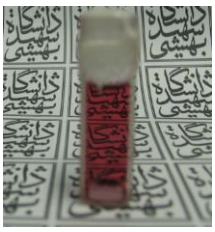
جدول۱: مشخصات الکتریکی و میزان رنگ بار گذاری شده در مورد نمونه‌های با بار تزریقی و بدون بار تزریقی

نمونه	تزریق بار الکتریکی	چگالی جریان مدار کوتاه (mA/cm^2)	ولتاژ مدار باز (V)	بازدهی (٪)	رنگینه بار گذاری شده $\left(\times 10^3\ nmol/cm^2\right)$
۱	بله	۱۱/۲	۰/۷۱	۳/۸۷	۱/۱۴
۲	خیر	۱۴/۷	۰/۷۰	۵/۵۹	۱/۶۹



شکل ۱: تصاویر FESEM از سطح مقطع لایه فوتو آند حاوی نانو ذرات اکسید تیتانیوم الف) بدون تزریق بار ب) با تزریق بار الکتریکی در حین فرایند ساخت

مطابق با شکل ۳ با گذر زمان، میزان جذب کاهش یافته است به این معنا که مولکول‌های رنگ از محلول جدا شده و در ساختار نانو متخلخل اکسید تیتانیوم قرار گرفته است بنابراین میزان جذب محلول رنگ با غلظت محلول ارتباط داشته و از طرفی غلظت محلول مورد نظر میزان رنگ بارگذاری شده را در نانو ساختار اکسید تیتانیوم نشان می-دهد. شکل ۴ نرخ بارگذاری رنگ N719 را در ساختار اکسید تیتانیوم در مورد نمونه‌ای که بار الکتریکی به ساختار آن تزریق شده و بدون بار تزریقی نشان می‌دهد.



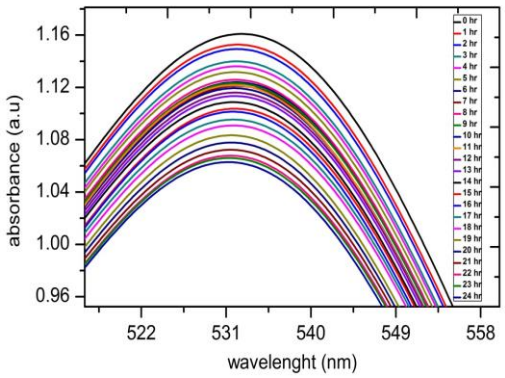
شکل ۲: کوت حاوی محلول رنگینه N719 که نمونه فوتو آند در آن قرار دارد.

همانطور که مشاهده می‌شود نرخ بارگذاری رنگ در مورد نمونه‌ای که بار الکتریکی به آن تزریق شده است نسبت به

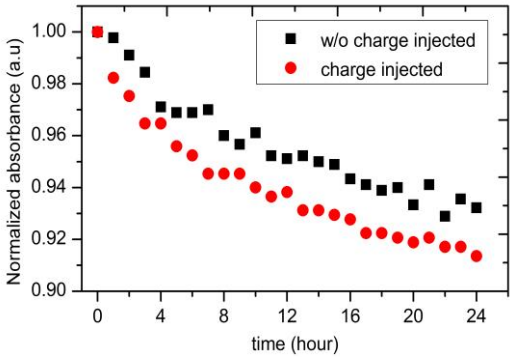
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

دیگری بیشتر است این مسئله نشان می‌دهد که بار الکتریکی توانسته است یک نیروی دافعه بین نانوذرات ایجاد کند که فضای بین آن‌ها بازتر از قبل باشد بنابراین سطح موثر به منظور نشستن مولکول‌های رنگدانه بیشتر است.



شکل۳: کاهش میزان جذب محلول رنگینه در ناحیه جذبی رنگدانه N719 در مدت زمان ۲۴ ساعت



شکل۴: نمودار میزان جذب محلول رنگ در مورد دو نمونه با بار تزریقی و بدون بار تزریقی طی مدت ۲۴ ساعت

۳- نتیجه‌گیری

تزریق بار الکتریکی به ساختار فوتوآند در حین فرایند پخت می‌تواند روشی نوین و کاربردی به منظور کاهش تجمع نانوذرات و افزایش سطح در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به کار گرفته شود. نتایج نشان می‌دهد که تزریق بار الکتریکی به فوتو آند در حین فرایند پخت توانسته است میزان جریان مدار کوتاه و همچنین راندمان را افزایش دهد و از طرفی تصاویر FESEM جدا شدن نانوذرات از یکدیگر و افزایش سطح را نشان می‌دهد. ارزیابی طیف جذبی در مورد باز جذب و جذب دینامیکی محلول رنگینه N719 بیانگر افزایش سطح موثر نانوذرات تیتانیوم در لایه فوتو آند است.

مراجع

[1] O'Regan, B. & Gratzel, M, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized," *Nature*, vol. 353, p. 737–740, 1991
[2] Wu, W. Q. et al, "Hydrothermal fabrication of hierarchically anatase TiO2 nanowire arrays on FTO glass for dye-sensitized solar
[3] Mohsen Ameri, Feridoun Samavat, Ezeddin Mohajerani, Mohammad-Reza Fathollahi, "Facile realization of efficient blocking from ZnO/TiO2mismatch interface in dye-sensitized solar cells and precise microscopic modeling adapted by circuit analysis," *Physics D: Applied Physics*, vol. 49, 2016.
[4] Zhang, Q., Dandeneau, C. S., Zhou, X. & Cao, G. Z, "ZnO nanostructures for dye-sensitized solar cells," *Adv. Mater*, vol. 21, p. 4087–4108, 2009
[5] JenningsJ.R. et al, "Dye-sensitized solar cells based on oriented TiO2 nanotube arrays: Transport, trapping, and transfer of electrons," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 130, p. 13364– 13372, 2008.
[6] Shao, W., Gu, F., Li, C. Z. & Lu, M. K, "Highly efficient dye-sensitized solar cells by using a mesostructured anatase TiO2 with high dye loading capacity," *Ind. Eng. Chem. Res*, vol. 49, p. 9111–9116, 2010
[7] I. Concina, E. Frison, A. Braga, S. Silvestrini, M. Maggini G. Sberveglieri, A. Vom-iero and T. Carofiglio, *chm.commun*, vol. 47, p. 11656, 2011
[8] K. J. Hwang, S. J. Yoo, S. H. Jung, D. W. Park, S. I. Kim and J. W. Lee, *Bull. Korean Chem. Soc*, vol. 30, p. 172, 2009

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]