

اثر pH محلول آبی رنگدانه‌ی تمشک بر عملکرد سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه

سیدمحمد مهدی حسینی زارچ^{۱،۲}، عباس بهجت^{۱،۲}، فاطمه جعفری ندوشن^{۱،۲}، حجت امراللهی بیوکی^{۱،۲} و علیرضا رهنمانیک^۳

۱- گروه پژوهشی فوتونیک مرکز تحقیقات مهندسی، دانشگاه یزد

۲- گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

۳- گروه حالت جامد، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

چکیده - در این تحقیق از رنگدانه‌های طبیعی تمشک جهت حساس کردن فوتوآند سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ استفاده شده است. در این مطالعه به منظور بررسی اثر pH بر روی جذب رنگ و عملکرد سلول‌های خورشیدی، محلول آبی رنگدانه‌ی تمشک با pHهای مختلف آماده شد و میزان جذب رنگ توسط لایه‌ی متخلخل و نیز عملکرد نمونه‌های ساخته شده از این محلول‌ها، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. بررسی مشخصات فوتولتائیک نمونه‌ها، نشان داد عملکرد سلول خورشیدی نسبت به سلول مرجع، با افزایش میزان اسیدی بودن محلول رنگدانه، بهبود چشمگیری می‌یابد؛ هرچند میزان جذب رنگ توسط لایه متخلخل، کاهش پیدا کرده است.

کلید واژه- رنگدانه‌ی طبیعی، سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، لایه‌ی پراکنده‌کننده، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم.

Performance of Raspberry Natural Dye Sensitized Solar Cells: The Influence of pH aqueous solution

S.M.M. Hosseini Zarch^{a,b}, A. Behjat^{a,b}, F. Jafari Nodoushan^{a,b}, H. Amrollahi Bioki^{a,b}, A.R. Rahnmanic^{a,c}

^a Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran

^b Photonics Research Group, Engineering Research Center, Yazd University, Yazd, Iran

^c Solid State Group, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract- In this study, the natural dye raspberries were used to Dye-sensitized solar cells (DSSCs). Aqueous solution of dye raspberries with different pH prepared to investigate the effect of pH on Dye molecular absorption and performance of the devices compared with each other. The results shown that the performance of solar cells improved with decreasing pH of natural dye solution; however Dye absorption decreased in mesoporous layer.

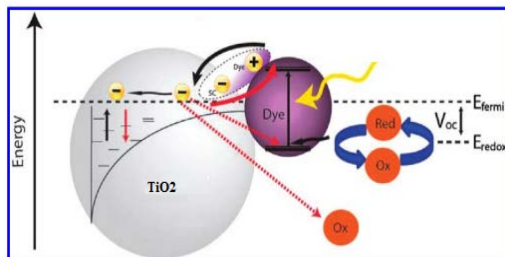
Keywords: Natural Dye, Dye Sensitized Solar Cells (DSSCs), Scatter layer, TiO₂ nanoparticles.

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

۱- مقدمه

انرژی خورشیدی از جمله مناسب‌ترین منابع تأمین انرژی است. سلول‌های خورشیدی حساس‌شده با رنگ‌دانه، جزء سلول‌های فوتوولتائیک نسل سوم به شمار می‌آیند که به علت سهولت ساخت و کارایی مناسب، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با گذشت حدود دو دهه از شروع فعالیت‌های گراتزل و همکارانش [۱] روی سلول خورشیدی رنگ‌دانه‌ای، تحقیقات روی این نوع سلول‌ها همچنان در حال انجام است. سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای، به دلیل استفاده از مواد ارزان نسبت به سلول‌های سیلیکونی، به عنوان یک سیستم فوتوولتائیک مقرون‌به‌صرفه شناخته می‌شود. فوتوالکتروود این نوع سلول‌ها از یک نوع نیمه‌رسانای نانوساختار متخلخل تشکیل شده است که با یک لایه‌ی رنگ، به نور مرئی حساس می‌شود. با تغییر اندازه این نانوکریستال‌ها، میزان سطح موثر تغییر می‌کند که این موضوع بر روی بازده تبدیل نور به الکترون (IPCE)، تأثیر می‌گذارد. رنگ‌های برپایه‌ی روتانیوم (Ruthenium-based dyes) و جفت عامل اکسایش-کاهش I_3^-/I_2 ، بیشترین استفاده را در سلول‌های رنگ دارد. با جایگزینی رنگ‌های پورفرین (Porphyrin dyes) و جفت عامل اکسایش-کاهش برپایه-ی کبالت (Cobalt-based redox couple) بازده از ۱۱/۱٪ به ۱۲/۳٪ تغییر کرد [۳و۲]. رنگ‌دانه‌های طبیعی به علت ارزان بودن، منابع فراوان و کارایی نسبتاً قابل قبول به عنوان حساس‌کننده، جایگزین مناسبی برای رنگ‌دانه‌های شیمیایی گران‌قیمت می‌باشند [۴]. اساس کار سلول خورشیدی رنگ‌دانه‌ای در شکل ۱ توضیح داده شده است. آب تمشک دارای رنگ‌دانه‌ی آنتوسیانین می‌باشد. این رنگ‌دانه جذب نور مناسبی در ناحیه مرئی است و پیوند نسبتاً خوبی با TiO_2 برقرار می‌کند [۵]. بررسی سلول‌های ساخته شده با رنگ‌دانه‌های طبیعی (تمشک، توت فرنگی، انگور، رنگدانه کلروفیل و ترکیبی از این رنگدانه‌ها) نشان داده است که ترکیب رنگدانه‌های تمشک، کلروفیل و گل بابونه با نسبت‌های برابر بهترین عملکرد را در بین دیگر سلول‌های ساخته شده را دارد [۶]. حلال‌های مختلفی برای استخراج رنگدانه از عصاره‌ها استفاده می‌شود که بهترین عملکرد را رنگدانه جدا شده با اتانول ۷۰٪ در قیاس با رنگدانه جدا شده با متانول و آب داشته است [۷]. در این

تحقیق ما به طور مستقیم از عصاره تمشک با pHهای مختلف به عنوان حساس‌کننده در سلول خورشیدی رنگ‌دانه‌ای، استفاده کردیم. در نهایت مشخصات فوتوولتائیک سلول‌های ساخته شده با یکدیگر مقایسه شد.



شکل ۱: طرح کلی از روند کار سلول رنگ‌دانه‌ای؛ جذب نور، برانگیخته شدن رنگ، انتقال الکترون به نوار رسانش TiO_2 ، بازترکیب شدن الکترون-حفره و اکسایش-کاهش الکترولیت [۸].

۲- روش انجام آزمایش

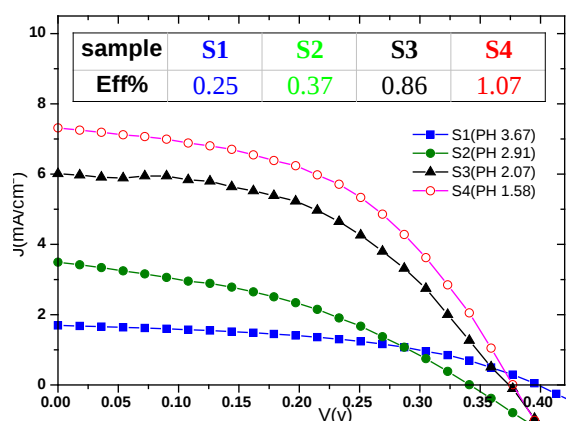
مواد مورد نیاز

شیشه لایه‌نشانی شده با اکسید رسانا (FTO) به عنوان زیرلایه در فوتوالکتروود و الکتروود مقابل، خمیر نانوذرات تیتانیوم‌دی‌اکسید با اندازه‌های ۲۰ نانومتر به عنوان انتقال‌دهنده‌ی الکترون و ۴۰۰ نانومتر به عنوان پراکننده-کننده‌ی نور، رنگ‌دانه‌ی طبیعی تهیه‌شده از آب تمشک به عنوان حساس‌کننده، پتاسیم یدید (KI)، ید (I_2) و استونیتریل برای تهیه‌ی الکترولیت، خمیر پلاتین، استونیتریل و اسید کلریدریک مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اندازه‌گیری‌های مشخصات فوتوولتائیک سلول‌های خورشیدی توسط دستگاه Keithley2400 صورت گرفت.

ساخت سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای

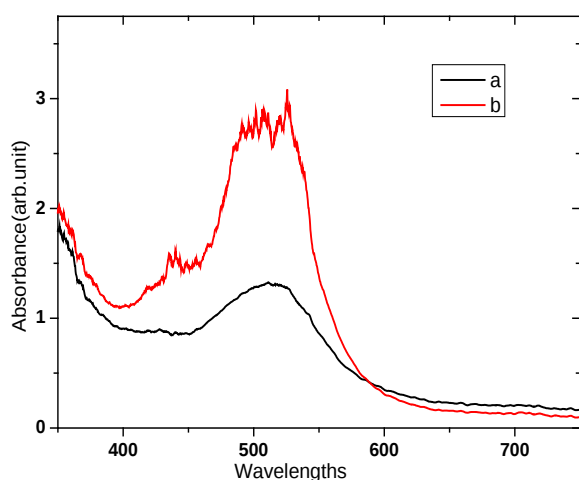
برای ساخت فوتوآند سلول‌های خورشیدی پس از شستشوی شیشه لایه‌نشانی‌شده از اکسید رسانا (FTO) با مایع ظرفشویی، آب مقطر، استون و اتانول تحت اولتراسونیک و خشک شدن در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتی-گراد به عنوان زیرلایه استفاده شد. خمیر تیتانیوم-دی‌اکسید ۲۰nm روی زیرلایه‌ها با روش دکتر بلید لایه‌نشانی شد و در دمای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی-گراد به مدت نیم ساعت پخت داده شد. سپس خمیر تیتانیوم-دی‌اکسید ۴۰۰nm به عنوان پراکننده‌کننده با همین روش لایه‌نشانی شد و در دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد به مدت یک ساعت بازپخت داده شد. طرح شماتیکی از فوتوآند را می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد. پس از

ولی همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود این نمونه عملکرد ضعیف‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. نمودار شکل ۴ اثر تغییر pH را روی مشخصات ولتاژ-جریان سلول‌های ساخته شده نشان می‌دهد. مطابق نمودار با کاهش pH محلول، عملکرد سلول‌های خورشیدی بهبود می‌یابد. به‌طوری که نمونه S4 بهترین عملکرد را نسبت به سایر نمونه‌ها داشته است.



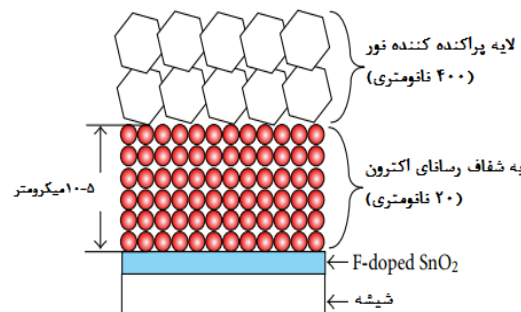
شکل ۴: نمودار جریان ولتاژ نمونه‌های ساخته شده با pHهای مختلف به همراه جدول بازده سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ طبیعی.

تغییرات میزان جذب طیف نور مرئی توسط دو نمونه محلول رنگدانه‌ی تمشک با pHهای متفاوت در نمودار شکل ۵ مشاهده می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد با کاهش pH محلول (اسیدی شدن)، قله‌ی جذب نور افزایش می‌یابد؛ هر چند با توجه به شکل ۳، میزان جذب سطحی رنگدانه، کاهش یافته است. این افزایش، می‌تواند علت بهبود عملکرد کلی سلول‌های خورشیدی باشد.



شکل ۵: افزایش قله‌ی جذب در ناحیه‌ی مرئی با کاهش pH (اسیدی شدن) محلول آبی رنگدانه‌ی تمشک؛ (a) نمونه S1، (b) نمونه S4.

سردشدن، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محلول‌های آبی رنگدانه با pHهای مختلف قرار گرفت؛ نمونه‌های S1، S2، S3 و S4 به ترتیب با pHهای ۳/۶۷، ۲/۹۱، ۲/۰۷ و ۱/۵۸. الکترولیت مورد نیاز با استفاده از محلول ۰/۰۵ مولار پتاسیم یدید و ۰/۵ مولار یدید در استونیتریل، تهیه شد.

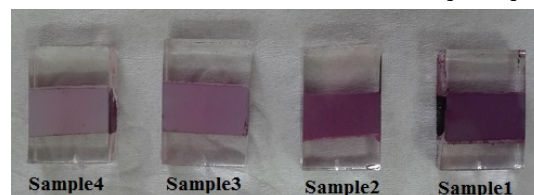


شکل ۲: طرح شماتیک فوتوالکترود لایه‌نشانی شده با لایه‌ی رسانای اکترون حساس به رنگ تمشک (۲۰ نانومتری) و لایه‌ی پراکنده‌کننده نور (۴۰۰ نانومتری) [۹].

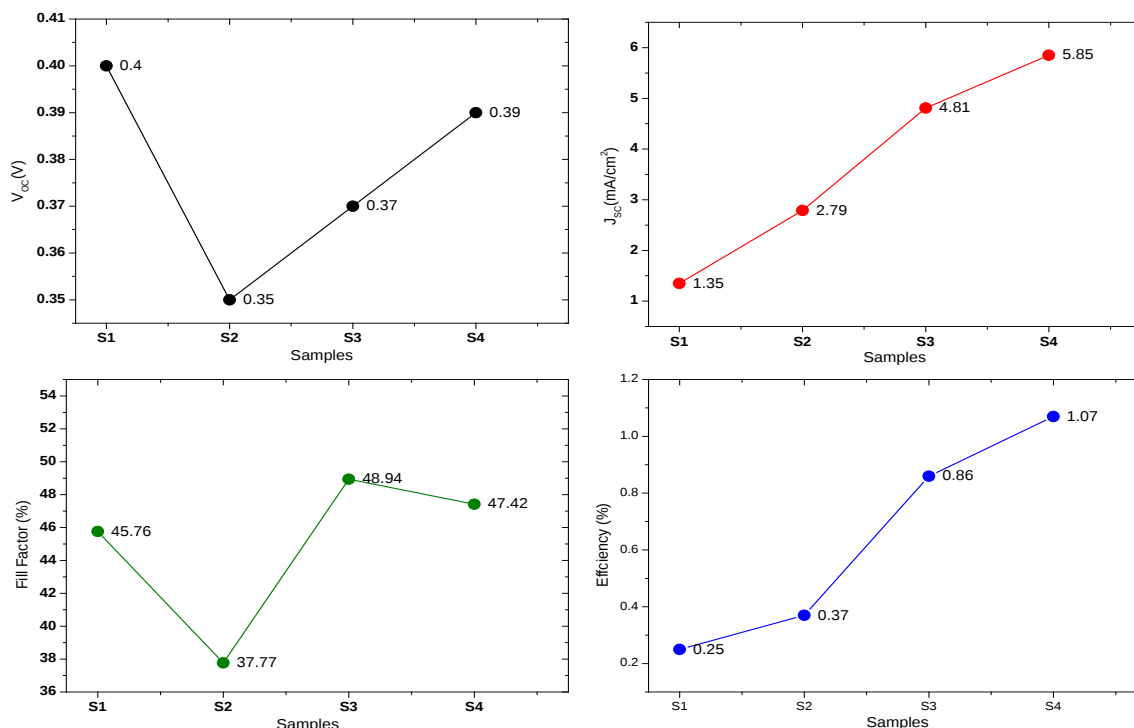
الکترود مقابل با لایه‌نشانی لایه‌ی نازکی از خمیر پلاتین به روش دکتر بلید و پس از پخت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، تهیه شد. به منظور مجتمع کردن سلول‌های خورشیدی، فوتوالکترود و الکترود مقابل به وسیله دو گیره به یکدیگر متصل و الکترولیت به داخل آن تزریق شد و با استفاده از دستگاه Keithley 2400 و شبیه‌ساز خورشیدی ۱۰۰ mW/cm² با AM 1.5 G مشخصه‌یابی صورت گرفت.

۳- بحث و تحلیل داده‌ها

با قرار دادن نمونه‌ها در محلول‌های آبی رنگدانه‌ی تمشک با pHهای مختلف، مشاهده شد میزان جذب رنگدانه‌ها، بسته به اسیدی بودن محلول کاهش می‌یابد. تفاوت میزان جذب رنگدانه‌ها با pHهای مختلف توسط لایه‌ی متخلخل TiO₂ در شکل ۳ مشاهده می‌شود. مطابق شکل در نمونه-ی S1 میزان جذب سطحی رنگدانه نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است.



شکل ۳: تفاوت میزان رنگ جذب شده در نمونه‌های مختلف، به‌وضوح قابل رؤیت است.



شکل ۶: تغییرات میانگین مشخصات فوتوولتائک نمونه‌های ساخته شده با pHهای مختلف (۹ نمونه)؛ چگالی جریان مدار کوتاه (J_{sc})، ولتاژ مدار باز (V_{oc})، ضریب پرشدگی (FF) و بازده (Eff).

۶- مراجع

- [1] B. O'regan, M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films". nature, Vol. 353, No. 6346, 737-740, 1991.
- [2] N. Gómez-Ortiz, I. Vázquez-Maldonado, A. Pérez-Espadas, G. Mena-Rejón, J. Azamar-Barrios, G. Oskam, "Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds". Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 94, No. 1, 40-44, 2010.
- [3] S. M. Feldt, G. Wang, G. Boschloo, A. Hagfeldt, "Effects of driving forces for recombination and regeneration on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells using cobalt polypyridine redox couples". The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 115, No. 43, 21500-21507, 2011.
- [4] M. R. Narayan, "Review: dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers". Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 1, 208-215, 2012.
- [5] H. Zhou, L. Wu, Y. Gao, T. Ma, "Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers". Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 219, No. 2, 188-194, 2011.
- [6] M. Alhamed, A. S. Issa, A. W. Doubal, "STUDYING OF NATURAL DYES PROPERTIES AS PHOTO-SENSITIZER FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)". The Journal of Electron Devices, Vol. 16, No. 21, 1370-1383, 2012.
- [7] F. Teoli, S. Lucioli, P. Nota, A. Frattarelli, "Role of pH and pigment concentration for natural dye-sensitized solar cells treated with anthocyanin extracts of common fruits". Journal of Photochemistry and Photobiology A, 24-30, 2016.
- [8] J. A. Anta, E. Guillén, R. n. Tena-Zaera, "ZnO-based dye-sensitized solar cells". The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 116, No. 21, 11413-11425, 2012.
- [9] S. Ito, M. K. Nazeeruddin, S. M. Zakeeruddin, P. Péchy, P. Comte, M. Grätzel, T. Mizuno, A. Tanaka, T. Koyanagi, "Study of Dye-Sensitized Solar Cells by Scanning Electron Micrograph Observation and Thickness Optimization of Porous Electrodes". International Journal of Photoenergy, Vol. 2009, No., 2009.

همچنین تغییرات مشخصات فوتوولتائیک سلول‌های ساخته شده در نمودارهای شکل ۶ نشان داده شده است. این تغییرات نشان می‌دهد با افزایش اسیدی بودن محلول آبی رنگدانه، عملکرد کلی سلول‌های خورشیدی بهبود یافته است. نمودار تغییرات بازده بر حسب pH نشان می‌دهد که بازده سلول‌ها از ۰/۲۵٪ به ۱/۰۷٪ افزایش می‌یابد. همچنین روند تغییرات J_{sc} نیز صعودی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نشان داده شد تغییر pH محلول آبی رنگدانه تأثیر مناسبی در عملکرد و مشخصات فوتوولتائیک سلول‌های خورشیدی دارد. از طرف دیگر اسیدی شدن محلول، باعث کاهش جذب غیرشیمیایی رنگدانه به لایه انتقال‌دهنده الکترون می‌شود و این خود می‌تواند عامل اصلی در افزایش جریان اتصال کوتاه سلول‌های خورشیدی باشد.

۵- سپاسگزاری

از اعضای محترم گروه پژوهشی فوتونیک دانشگاه یزد که در انجام آزمایشات، به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌شود.