

اثر شفافیت الکترولیت بر پس پراکندگی نور از لایه پس پراکننده نوری در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای

نقیسه شریفی*

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۵ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۳/۰۷/۰۲)

چکیده - در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، به‌طور متداول، لایه‌ای متشکل از ذرات نانوکربنی با عنوان لایه بازتاب‌کننده و پس‌پراکننده نور کار می‌کند تا میزان آوری نور در این نوع سلول افزایش یابد. در این مطالعه، از دو نوع الکترولیت با رسانندگی و کبالت که در این نوع سلول‌ها استفاده شد تا اثر شفافیت الکترولیت بر میزان نور پس‌پراکنده شده از لایه پس‌پراکننده و اثر آن بر عملکرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای بررسی شد. به‌دلیل جذب نور در الکترولیت، مقدار جریان الکترولیت تلف شده برای الکترولیت با رسانندگی و کبالت و رسانندگی برابر با 1 mA/cm^2 و 10 mA/cm^2 است. بنابراین از نظر رسانندگی و کبالت، استفاده از الکترولیت با رسانندگی و کبالت به دلیل جریان شده کم، از طرف دیگر بازه نانومتر در حالیکه الکترولیت کبالت عبور ۱۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت مشاهده می‌شود. برخلاف سلول خورشیدی حاوی الکترولیت با بازده کوانتوم خارج سلول حاوی الکترولیت کبالت برای طول‌موج‌های کمتر از نانومتر، با استفاده از لایه پس‌پراکننده افزایش رسانندگی باید که ناشی از عبوری است که الکترولیت کبالت در آن مشاهده دارد. محاسبات نوری نشان می‌دهد که در بازه نانومتر - نانومتر که رنگدانه جذب قابل‌توجهی دارد، حدود ۱۰٪ و ۱۰٪ نور در الکترولیت کبالت و کبالت جذب و تلف می‌شود.

واژگان کلیدی: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، الکترولیت، رسانندگی، کبالت، نور، تابش دی‌اکسید

Transparency Effect of Electrolyte on Light Back-Scattering in Dye-Sensitized Solar Cells

N. Sharifi*

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sharifi@kashanu.ac.ir

Abstract: Conventionally, a film of TiO_2 particles of ~ 300 nm size is employed in DSCs as the back reflector film to enhance the light harvesting. In this study, two electrolytes with different transparencies, iodide-based and cobalt-based electrolytes, were used to investigate the transparency effect of electrolytes on light back-scattering from back scattering layer and also to study its effect on the performance of DSCs. The use of cobalt-based electrolyte is recommended from the view point of optical properties as due to the light absorption in electrolytes, the current density losses are 2.9 mA/cm^2 and 4.2 mA/cm^2 in cobalt- and iodide-based electrolytes, respectively, and the transmission of 100% is observed for cobalt-based electrolyte in 500-600 nm in spite of iodide-based electrolyte. Use of light back-scattering layer, unlike iodide-based cell, causes external quantum efficiency in cobalt-base cell to increase for the wavelengths lower than 350 nm since cobalt-base electrolyte has transparency in this region. In addition, optical calculations demonstrate that in the range 400-500 nm, in which dye has a noticeable absorption, absorption loss is 40% and 30% for iodide- and cobalt-based electrolytes, respectively.

Keywords: Dye-sensitized Solar Cells, Electrolyte, Transparency, Light Back-scattering, TiO_2

۱- مقدمه

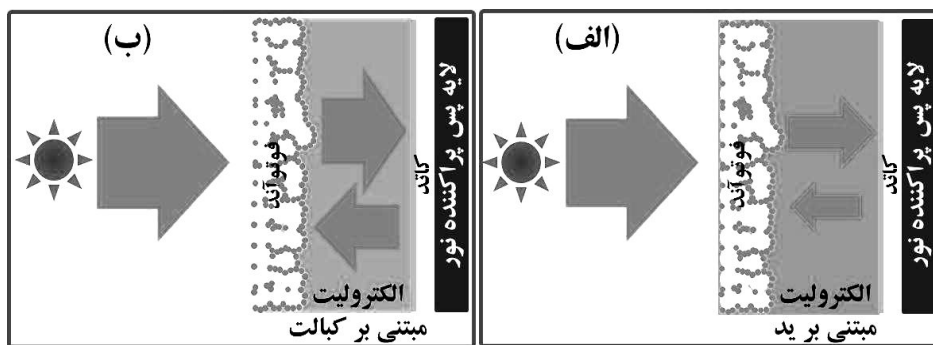
امروزه سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای [۱] به دلیل باصرفه بودن از نظر اقتصادی، جایگزین مناسبی برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی محسوب می‌شوند. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، متشکل از فوتوآند و الکتروود مقابل (کاتد) است که فوتوآند مجموعه شیشه‌ی رسانا پوشش داده شده با لایه تیتانیم دی‌اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیم دی‌اکسید است. الکتروود مقابل دارای نانوذره‌های پلاتین است که به عنوان کاتالیزور در انجام واکنش شیمیایی که در داخل الکتروولیت روی می‌دهد، عمل می‌کند. رنگدانه وظیفه حساس کردن لایه متخلخل تیتانیم دی‌اکسید نسبت به نور خورشید را دارد که با پیوند شیمیایی به سطح تیتانیم دی‌اکسید متصل می‌شود تا با جذب نور خورشید، تحریک شود و الکترون رنگدانه به تیتانیم دی‌اکسید تزریق شود. الکترون تزریق شده از رنگدانه به داخل لایه‌ی تیتانیم دی‌اکسید، از میان شبکه ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید می‌گذرد و به زیر لایه‌ی شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکتروود و حفره‌های داخل لایه متخلخل تیتانیم دی‌اکسید با الکتروولیت مایعی که دارای گونه‌های اکسایشی- کاهش‌ی است، پر می‌شود که حفره را از مولکول رنگ اکسید شده به الکتروود مقابل منتقل می‌کنند.

ضخامت لایه تیتانیم دی‌اکسید بایستی به اندازه کافی زیاد باشد تا تمام فوتون‌های فروودی به وسیله رنگدانه‌ها جذب

شوند [۲، ۳] و در عین حال ضخامت این لایه باید به اندازه کافی کوچک باشد تا به دلیل کاهش مساحت سطح در تماس با الکتروولیت، میزان بازترکیب الکترون‌ها با الکتروولیت کاهش یابد و الکترون انتقال یافته به تیتانیم دی‌اکسید به طور موثر جمع‌آوری و به مدار خارجی هدایت شود. پس به منظور جذب موثر نور در این نوع سلول خورشیدی به خصوص سلول‌هایی که متشکل از لایه شفاف و نازک هستند، استفاده از بازتاب کننده‌ها و یا پراکننده‌ها ضروری است.

میزان مصرف رنگدانه که از مولفه‌های گران قیمت است با کاهش ضخامت لایه تیتانیم دی‌اکسید، کاهش می‌یابد. از طرفی به منظور پراکنده کردن نور در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید و افزایش مسیر نور در این لایه، به طور متداول از ذره‌های 300 نانومتری تیتانیم دی‌اکسید استفاده می‌شود [۴]. در این مطالعه، از دو نوع الکتروولیت مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت که شفافیت‌های مختلفی دارند استفاده شد تا اثر شفافیت الکتروولیت بر میزان نور پس پراکنده شده از لایه پس پراکننده و اثر آن بر عملکرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای بررسی شود. ذره‌های 300 نانومتری تیتانیم دی‌اکسید با فاز روتایل تهیه، و لایه‌ای که شامل این نانوذره‌ها است، به روش بلید تهیه شد. موقعیت این لایه، همان‌طور که در

شکل ۱ نشان داده شده است، در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد است.



شکل ۱- طرح‌واره سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اصلاح شده حاوی: الف) الکترولیت مبتنی بر ید با شفافیت کم تر و ب) الکترولیت مبتنی بر کبالت با شفافیت بیش تر. در هر دو لایه پس‌پراکنده نور در خارج از سلول، به‌منظور هدایت و برگشت نور جذب نشده و عبور کرده از لایه حساس شده به رنگدانه به داخل سلول خورشیدی و افزایش طول مسیر نور در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ قرار داده شده است.

۲- مواد و روش‌های ساخت

در ادامه، تهیه نانوذره‌های ۳۰۰ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید و ساخت لایه پس‌پراکنده و همچنین نحوه ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای شرح داده می‌شود.

۲-۱- تهیه نانوذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید ۳۰۰ نانومتری

ذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید با فاز روتایل از رنگ سفید تجاری استخراج شدند و خمیری متشکل از ۱۵٪ وزنی پراکنده‌های غیرفلزی تیتانیم دی‌اکسید و ۹٪ وزنی اتیل سلولز^۱ در تریپتول^۲ تهیه شد [۵].

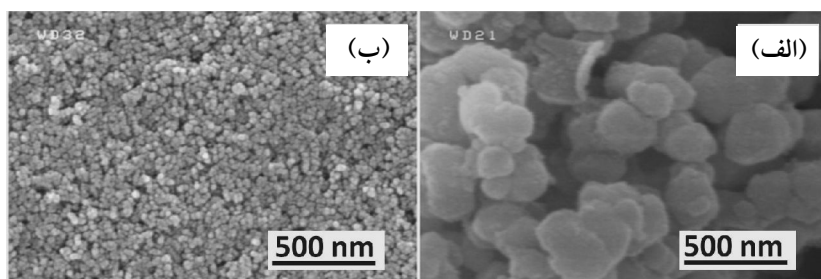
۲-۲- ساخت لایه‌های پس‌پراکنده نور متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید

لایه پراکنده‌ی نانوذره‌ی تیتانیم‌دی‌اکسید به‌روش بلید ساخته شدند و با گرمادهی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه پخت شدند.

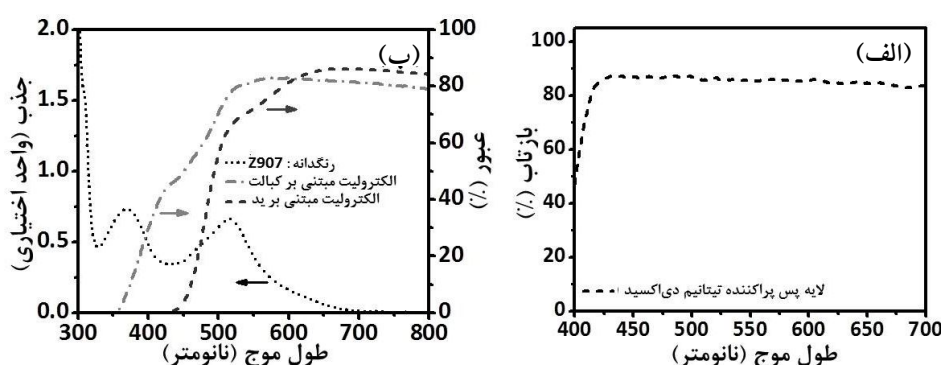
۲-۳- ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اصلاح شده با لایه‌های پراکنده نوری

الکتروود نوری شامل نانوذره‌های ۲۵ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید^۳ به‌روش بلید با ضخامت نهایی ۱/۷ میکرومتر ساخته شد. پیش و پس از قرار گرفتن این لایه میکرومتری تیتانیم‌دی‌اکسید روی

زیرلایه شیشه‌ای، با هیدرولیز محلول تتراکلرید تیتانیم در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه، پوشش نازکی از تیتانیم‌دی‌اکسید به‌ترتیب روی شیشه و روی لایه تیتانیم‌دی‌اکسید قرار می‌گیرد. این پوشش میزان بازترکیب الکترون تزریق شده با الکترولیت را روی شیشه شفاف و رسانا که می‌تواند در تماس با الکترولیت باشد و فرایند نامطلوبی است، کاهش می‌دهد، زیرا تشکیل تک‌لایه‌ای از تیتانیم‌دی‌اکسید روی شیشه رسانا مانع از تماس شیشه‌ی رسانا با الکترولیت می‌شود. تشکیل لایه نازک تیتانیم‌دی‌اکسید روی لایه تیتانیم‌دی‌اکسید ۱/۷ میکرومتری نیز منجر به‌بهبود انتقال الکترون در داخل این لایه می‌شود. سپس فوتوآند در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه گرما دیده تا ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید بلوری و در یک‌دیگر سیتر شوند. الکتروود مقابل (کاتد) با پخش کردن ۱۰ میکرولیتر محلول ۳ میلی‌مولار H_2PtCl_6 روی شیشه رسانا و گرمادهی آن در دمای ۴۰۰ سانتی‌گراد ساخته شد. بعد از جذب شیمیایی رنگدانه Z907، الکتروود نوری و الکتروود مقابل به‌کمک پلاستیکی گرمایی با ضخامت ۲۵ میکرومتر به یک‌دیگر متصل شدند. سپس فضای میان دو الکتروود و حفره‌های داخل لایه فعال تیتانیم‌دی‌اکسید با الکترولیت پر شد که در یکی، از الکترولیت مبتنی بر کبالت، Z1147، و در دیگری، از الکترولیت مبتنی بر ید، Z959، استفاده شد. الکترولیت مبتنی



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی: (الف) پراکنده‌های ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی‌اکسید و (ب) نانوذره‌های تیتانیم دی‌اکسید ۲۵ نانومتری



شکل ۳- (الف) طیف بازتاب پخش‌ی لایه پس‌پراکنده تیتانیم دی‌اکسید و (ب) طیف جذب رنگدانه Z907 که از سطح الکتروود نوری در دی‌متیل‌فرامید واجذب شده است (نقطه‌چین) و طیف عبور الکتروولیت Z959 (مبتنی بر ید) (خط‌چین) و Z1147 (مبتنی بر کبالت) (نقطه-خط‌چین)

۳-۱- مشخصه‌های ساختاری ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید روتایل ۳۰۰ نانومتری و ۲۵ نانومتری به ترتیب در شکل ۲- الف و شکل ۲- ب مشاهده می‌شود.

۳-۲- مشخصه‌های نوری لایه‌های پس‌پراکنده‌ی نور و مشخصه‌های نوری الکتروولیت مبتنی بر ید و الکتروولیت مبتنی بر کبالت

بازتاب پخش‌ی لایه پس‌پراکنده تیتانیم دی‌اکسید در شکل ۳- الف مشاهده می‌شود که در محدوده ۴۲۰ تا ۷۰۰ نانومتر بازتابی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد دارد. بیش جذب رنگدانه واجذب شده از سطح لایه تیتانیم دی‌اکسید با ضخامت ۱/۷ میکرومتر در شکل ۳- ب نشان داده شده است. با در نظر گرفتن مساحت سطحی ۱/۷۳ نانومتر مربع برای مولکول‌های رنگدانه Z907، مقدار ۱۱۴

بر کبالت حاوی ۰/۲۲ مولار $\text{Co(L)}_3(\text{PF}_6)_2$ ، ۰/۳۳ مولار $\text{Co(L)}_3(\text{PF}_6)_3$ ، ۰/۱ مولار لیتیم کلرات^۴ و ۰/۲ مولار ترش‌بوتیل پیریدین^۵ در حلال استونیتریل^۶ است که L بیانگر لیگاند $[\text{Co}(\text{bpy})_3]^{2+/3+}$ است [۶]. الکتروولیت مبتنی بر ید نیز حاوی ۱/۰ مولار ۱، ۳- دی‌متیل‌ایمیدازولیوم آیداید^۷، ۳۰ میلی‌مولار ید^۸، ۰/۵ مولار ترت-بوتیل پیریدین، و ۰/۱ مولار گوانیدینیوم تیوسیانیات^۹ در حلال استونیتریل و ولرنیتریل^{۱۰} به نسبت حجمی ۸۵ به ۱۵ است [۷]. لایه‌های پس‌پراکنده‌ی نوری نیز در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد قرار داده شدند.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به‌دست آمده از بررسی لایه پس‌پراکنده، الکتروولیت‌ها و سلول‌های خورشیدی ساخته شده ارائه می‌شود.

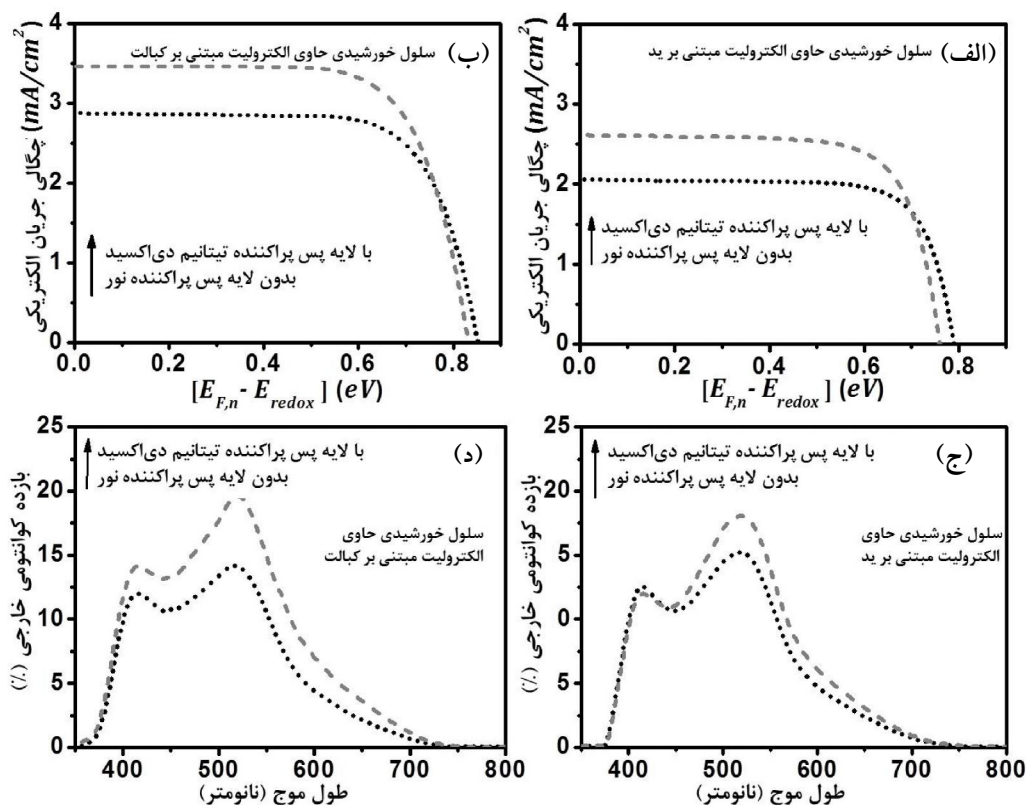
برای عامل زبری^{۱۱} (نسبت مساحت میکروسکوپی لایه به مساحت هندسی یا مساحت بخشی از زیرلایه که با لایه تیتانیم دی اکسید پوشش یافته است) لایه تیتانیم دی اکسید ۲۵ نانومتری به دست آمد. طیف عبور هر دو الکترولیت مبتنی بر کبالت و ید برای ضخامتی برابر با ۲۵ میکرومتر در شکل ۳-ب نمایش داده شده است. هر دو الکترولیت در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر جذب نور دارند که میزان این جذب در مورد الکترولیت یدی بیش تر است و نورهای با طول موج های کوتاه تر از ۴۰۰ نانومتر به طور کامل جذب شده، میزان عبور صفر می شود. در این محدوده، میزان عبور بعد از گذشت از الکترولیت هایی با ضخامت ۲۵ میکرومتر، به طور متوسط برابر با ۳۳٪ برای الکترولیت مبتنی بر ید و ۵۴٪ برای الکترولیت مبتنی بر کبالت است. با در نظر گرفتن این نکته که فوتون های محدوده ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر در صورتی که یک بار از الکترولیت عبور کنند، می توانند جریان الکتریکی $6/3 \text{ mA/cm}^2$ تولید کنند، مقدار تلف شدن جریان الکتریکی برای الکترولیت مبتنی بر کبالت و ید به ترتیب برابر با $2/9 \text{ mA/cm}^2$ و $4/2 \text{ mA/cm}^2$ است. بنابراین از نظر ویژگی های نوری، استفاده از الکترولیت مبتنی بر کبالت به دلیل تلف شدگی کم تر توصیه می شود. از طرفی در بازه ۵۰۰-۶۰۰ نانومتر در حالی که الکترولیت کبالتی عبور ۱۰۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت یدی مشاهده می شود.

۳-۳- مشخصه های فوتوولتایی و نوری سلول های خورشیدی رنگدانه ای

منحنی فوتوولتایی و مشخصه های فوتوولتایی سلول های خورشیدی به ترتیب در شکل ۴-الف و ب و جدول ۱ نمایش داده شده است. از مقایسه دو سلول مرجع (بدون استفاده از لایه های پراکننده) پر شده با الکترولیت مبتنی بر ید و کبالت، مشاهده می شود که با تغییر الکترولیت از ید به کبالت، عمل کرد سلول خورشیدی بهبود می یابد که افزایش در چگالی جریان الکتریکی، ولتاژ مدار باز و بازده (۷) به ترتیب برابر با ۲۸٪، ۸٪ و

۴۳٪ است. بالاترین جریان الکتریکی سلول های مرجع متعلق به سلول حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت است که با در نظر گرفتن ویژگی های نوری الکترولیت ها، الکترولیت مبتنی بر کبالت، در محدوده گسترده تری از طیف عبور دارد و نور فرودی کم تری را در مقایسه با الکترولیت مبتنی بر ید جذب می کند، تا نور فرودی به طور مؤثرتر برای تبدیل به جریان الکتریکی مصرف شود. در هر دو نوع سلول، با الکترولیت های مختلف، سلول خورشیدی اصلاح شده با لایه پس پراکننده تیتانیم دی اکسید به دلیل برگشت نور به وسیله لایه پس پراکننده، افزایش جمع آوری نور^{۱۲} جذب نشده به وسیله رنگدانه و برگشت آن به داخل لایه فعال رخ می دهد. در نتیجه، افزایش جریان الکتریکی بیش تری را با استفاده از این پراکننده نور می توان مشاهده کرد.

بازده کوانتومی خارجی سلول های خورشیدی برحسب طول موج در شکل ۴-ج و د نمایش داده شده است که اثر برگشت نور به وسیله لایه پس پراکننده به داخل لایه فعال و در نتیجه، اثر آن بر افزایش جریان الکتریکی سلول های خورشیدی را نشان می دهد. بیشینه بازده کوانتومی حدود ۵۲۰ نانومتر مشاهده می شود که منطبق بر قله جذب رنگدانه Z907 است. افزایش بازده کوانتومی تنها محدود به این طول موج نمی شود و در محدوده طول موجی که رنگدانه جذب دارد، افزایش در بازده کوانتومی مشاهده می شود. برای سلول ها با الکترولیت مبتنی بر کبالت، مقدار افزایش بازده کوانتومی در طول موج ۵۲۰ نانومتر نسبت به سلول مرجع (بدون لایه های پس پراکننده ی نور) برابر با ۱۹٪ و این افزایش در طول موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۳۰٪ است. برای سلول ها با الکترولیت مبتنی بر ید، این افزایش در طول موج ۵۲۰ نانومتر برابر با ۱۹٪ و در طول موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۲۸٪ است که نشان می دهد در این محدوده ها شفافیت دو الکترولیت در میزان پس پراکنندگی نور تفاوت قابل ملاحظه ای با یکدیگر ندارند. از طرفی استفاده از لایه پس پراکننده سبب می شود در طول موج های بلندتر که رنگدانه جذب کم تری دارد، به طور کارآمدتر



شکل ۴- منحنی چگالی جریان - ولتاژ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای: (الف) حاوی الکترولیت مبتنی بر ید، (ب) حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت. منحنی بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی، (ج) حاوی الکترولیت مبتنی بر ید و (د) حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت. (نقطه چین: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مرجع بدون به کارگیری لایه پس پراکننده نور، خط چین: سلول خورشیدی اصلاح شده با پس پراکننده تیتانیم دی اکسید)

جدول ۱- مشخصه‌های فوتوولتایی سلول‌های خورشیدی مرجع و سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با پس پراکننده تیتانیم دی اکسید

مشخصه‌های	سلول خورشیدی حاوی الکترولیت مبتنی بر ید		سلول خورشیدی حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت	
فوتوولتایی	مرجع	اصلاح شده با لایه پس‌پراکننده تیتانیم‌دی‌اکسید	مرجع	اصلاح شده با لایه پس‌پراکننده تیتانیم‌دی‌اکسید
J_{sc} (mA/cm ²)	۲/۰۶	۲/۶۲	۲/۸۷	۳/۴۷
V_{oc} (mV)	۷۹۰	۷۶۱	۸۵۳	۸۳۲
^{۱۳} FF	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۱
η (%)	۱/۲۲	۱/۴۴	۱/۷۵	۲/۰۴

کبالت برای طول‌موج‌های کم‌تر از ۳۵۰ نانومتر، افزایشی مشاهده می‌شود که ناشی از عبوری است که الکترولیت کبالتی در این ناحیه دارد (شکل ۳- ب). همین تفاوت دلیلی بر عمل‌کرد بهتر سلول خورشیدی مبتنی بر کبالت نسبت به سلول خورشیدی مبتنی بر ید است.

نور فرودی را به جریان الکتریکی تبدیل کنند. سلول‌های حاوی الکترولیت ید، در طول‌موج‌های کم‌تر از ۴۰۰ نانومتر به دلیل جذب کامل نور به وسیله الکترولیت یدی (شکل ۳- ب)، افزایشی در مقدار بازده کوانتومی خارجی خود نشان نمی‌دهند در حالی که در بازده کوانتومی خارجی سلول حاوی الکترولیت

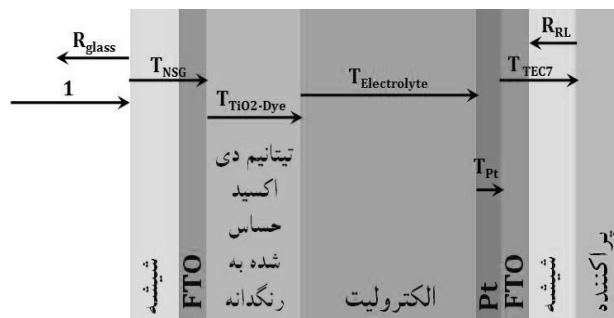
می‌شود (شکل ۵).

تحلیل کمی جذب برای فوتون فرودی به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی برای سلول‌ها با دو الکترولیت مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت و در حضور لایه پس‌پراکننده تیتانیم‌دی‌اکسید در شکل ۶ نمایش داده شده است که نشان می‌دهد در هر طول‌موج، چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌های تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود. بخش‌های باقی‌مانده که هاشور ندارند، نمایش نور جذب نشده به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی است. روند جذب فوتون به وسیله لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه مشابه منحنی‌های بازده کوانتومی خارجی است با این تفاوت که مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهند. این تفاوت به این دلیل است که تمامی نور جذب شده در تولید جریان الکتریکی سهم نیست که می‌تواند ناشی از کاستی در بازده جمع‌آوری الکترون در الکتروود نوری باشد (بازده جمع‌آوری الکترون، کم‌تر از واحد است). با توجه به این نکته که منحنی‌های نمایش داده شده در شکل ۶ برای سلول‌های شکل ۱ محاسبه شده است که نور فرودی دو مرتبه از میان سلول می‌گذرد، مشاهده می‌شود که بخش بزرگی از نور با جذب به وسیله الکترولیت، تلف می‌شود. به‌ویژه در بازه ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر که رنگدانه جذب قابل‌ملاحظه‌ای دارد، حدود ۴۰٪ و ۳۰٪ نور به‌ترتیب در الکترولیت یدی و کبالتی جذب و تلف می‌شود. میزان اتلاف نور در پلاتین در تمامی گستره طول‌موجی به‌جز طول‌موج‌های کوتاه که جذب به وسیله الکترولیت غالب است، حدود ۱۵٪ است. FTO نیز حدود ۲۰٪ نور را در گستره طول موجی نمایش داده شده، جذب و تلف می‌کند.

۵-۳- فرایند بازترکیب سلول‌های خورشیدی حاوی

الکترولیت‌های مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت

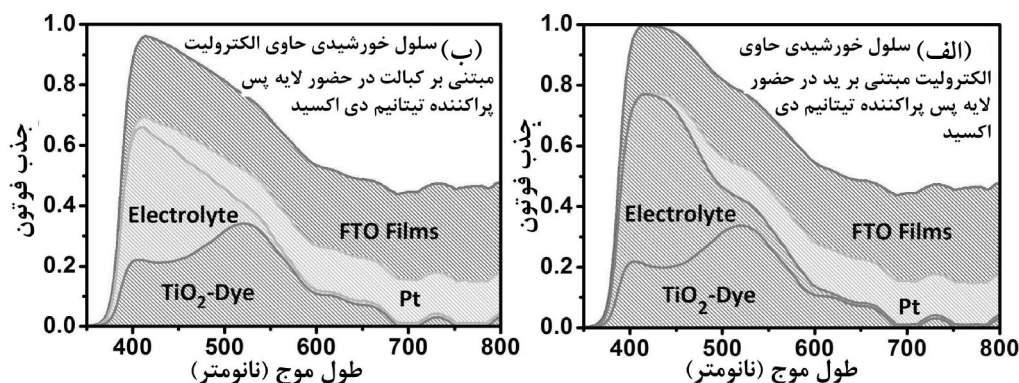
شکل ۷- الف مقاومت بازترکیب سلول‌های حاوی الکترولیت‌های ید و کبالت را برای مقادیر یکسانی از چگالی



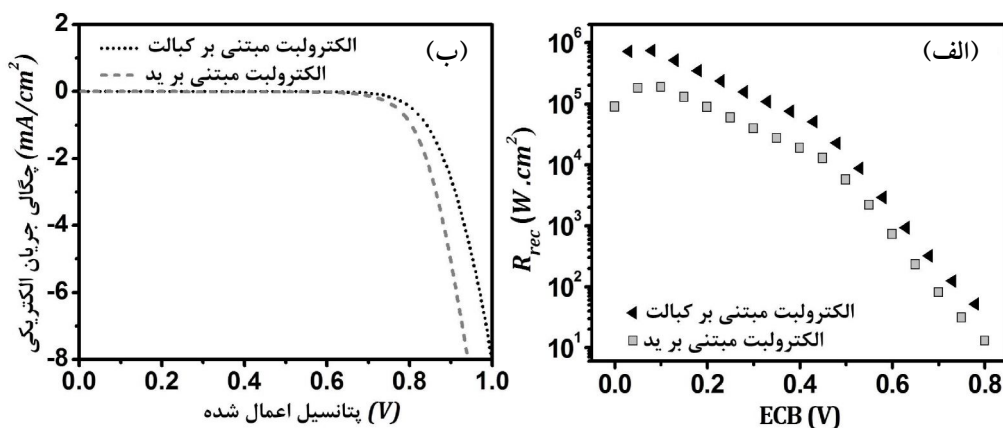
شکل ۵- نمایش عبور و بازتاب بخش‌های مختلف سلول خورشیدی برای محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود.

۳-۴- محاسبه جذب فوتون فرودی در اجزای مختلف سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با لایه پس‌پراکننده نانوذره‌ای تیتانیم‌دی‌اکسید

به‌منظور محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول‌موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود، با استفاده از طیف‌سنجی، کمیت‌هایی مانند عبور نور از شیشه دارای پوشش رسانا (T_{glass})، الکترولیت‌ها (T_{Electrolyte})، تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (T_{TiO2-Dye}) و پلاتین (T_{Pt})، بازتاب شیشه (R_{glass}) و بازتاب لایه پس‌پراکننده (R_{RL})، در محدوده ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. از آنجایی که ضریب شکست تمام مواد داخل سلول تقریباً یکسان است، بازتاب‌های چندگانه^{۱۴} روی نمی‌دهد و از این اثر صرف‌نظر شده است. محاسبات بر اساس ساختاری هن در ره‌های ساخته شده است که نور از سمت فوتوآند به سلول وارد می‌شود و بخشی از نور به‌ترتیب در FTO، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه، الکترولیت، پلاتین و FTO جذب می‌شود و سپس نور برگشت داده شده به وسیله لایه پس‌پراکننده، به وسیله FTO، پلاتین، الکترولیت، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه و FTO جذب



شکل ۶- جذب فوتون در سلول‌های حاوی الف) الکترولیت مبتنی بر ید و ب) الکترولیت مبتنی بر کبالت در حضور لایه پس پراکنده‌ی نور که نشان می‌دهند در هر طول موج چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله‌ی شیشه FTO یا لایه‌ی تیتانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه یا الکترولیت و یا پلاتین جذب می‌شود.



شکل ۷- الف) مقاومت بازترکیب (R_{rec}) بر حسب ولتاژ در نوار رسانش معادل (V_{ECB}) و ب) جریان تاریک سلول‌های کبالتی و یدی بر حسب ولتاژ اعمال شده به سلول‌ها

جریان، آهنگ کاهش ولتاژ بر حسب زمان ثبت می‌شود. جریان تاریک سلول‌ها نیز نشان می‌دهند که سلول کبالتی در مقایسه با سلول یدی، جریان تاریک کم‌تری تولید می‌کند (شکل ۷- ب) که به این معناست که تمایل برگشت الکترون‌های تزریق شده به تیتانیم دی اکسید از این ساختار به الکترولیت، برای الکترولیت کبالتی کم‌تر از الکترولیت یدی است یا الکترون‌های تزریق شده به تیتانیم دی اکسید برای برگشت به الکترولیت کبالتی با مقاومت الکتریکی بیش‌تری مواجه‌اند که این مشاهده، داده‌های مبنی بر مقاومت بازترکیب بیش‌تر سلول کبالتی که در شکل ۷- الف نمایش داده شده است را تأیید می‌کند.

الکترون‌ها نشان می‌دهد که سلول حاوی الکترولیت کبالت مقاومت بازترکیب بیش‌تری (میزان بازترکیب کم‌تری) را نسبت به سلول حاوی الکترولیت یدی نشان می‌دهد. با توجه به این که ساختار الکترولیت نوری در هر دو نوع سلول یکسان است، بازترکیب کم‌تر در سلول کبالتی ناشی از گونه‌هایی است که در داخل الکترولیت کبالتی اند به گونه‌ای که تمایل کم‌تری نسبت به گونه‌های الکترولیت یدی در دریافت الکترون منتقل شده به تیتانیم دی اکسید (بازترکیب) دارند. برای اندازه‌گیری جریان تاریک، با اعمال جریان در حدود یک میلی آمپر به سلول‌ها به مدت ۵ ثانیه، ولتاژ دو سر سلول‌ها افزایش می‌یابد تا به ولتاژ مدار باز سلول برسد و سپس با قطع

۴- جمع بندی

به طور متداول، لایه ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری به عنوان لایه بازتاب کننده و پس پراکننده نور در سلول های خورشیدی رنگدانه ای به کار گرفته می شود تا میزان جمع آوری نور در این نوع سلول افزایش یابد. به منظور بررسی شفافیت الکترولیت بر میزان نور پس پراکنده شده از لایه پس پراکننده، دو سلول با دو نوع الکترولیت با شفافیت های مختلف ساخته شد. در بازه ۵۰۰-۶۰۰ نانومتر در حالی که الکترولیت مبتنی بر کبالت عبور ۱۰۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت دیگر که الکترولیت یدی است، مشاهده می شود که به دلیل جذب نور بیش تر در الکترولیت یدی، مقدار تلف شدن جریان الکتریکی برابر با $4/2 \text{ mA/cm}^2$ است در حالی که این تلف شدن برای الکترولیت کبالتی $2/9 \text{ mA/cm}^2$ است. افزایش بازده کوانتومی

واژه نامه

مراجع

خارجی در اثر به کارگیری لایه پس پراکنده نور در سلول حاوی الکترولیت کبالت برای طول موج های کم تر از ۳۵۰ نانومتر، نیز مشاهده می شود که ناشی عدم جذب نور به وسیله الکترولیت در این بازه است. محاسبات نوری نشان می دهد که حدود ۴۰٪ و ۳۰٪ نور به ترتیب در الکترولیت یدی و کبالتی جذب و تلف می شود. تمایل برگشت الکترون های تزریق شده در تیتانیم دی اکسید از تیتانیم دی اکسید به الکترولیت؛ برای الکترولیت کبالتی کم تر از الکترولیت یدی است.

تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله وظیفه خود می داند که از آقای دکتر نیما تقوی نیا به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و تبادل اطلاعات تشکر کند.

1. Ethylcellulose
2. Terpeneol
3. dyesol paste (DSL 18NR-T)
4. LiClO_4
5. Tert-butylpyridine (TBP)
6. Acetonitrile
7. 1,3-dimethylimidazolium iodide (DMII)

8. I2
9. Guanidinium Thiocyanate (GNCS)
10. Valeronitrile
11. roughness factor
12. light harvesting
13. Fill Factor
14. multiple reflections

1. O'Regan, B.C. and Graetzel, M., "A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO_2 Films", *Nature*, Vol. 353, pp. 737-740, 1991.
2. Tachibana, Y., Hara, K., Sayama, K. and Arakawa, H., "Quantitative Analysis of Light-Harvesting Efficiency and Electron-Transfer Yield in Ruthenium-Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO_2 Solar Cells", *Solar Cells*, Vol. 14, pp. 2527-2535, 2002.
3. Graetzel, M., "Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells", *Inorganic Chemistry*, Vol. 44, pp. 6841-51, 2005.
4. Ito, S., Murakami, T., Comte, P. and Liska, P., "Fabrication of Thin Film Dye Sensitized Solar Cells with Solar to Electric Power Conversion Efficiency over 10%", *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp. 4613-4619, 2008.
5. Sevilla, M. and Fuertes, A.B., "Chemical and

- Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides", *Chemistry (Easton)*, Vol. 15, pp. 4195-4203, 2009.
6. Feldt, S.M., Gibson, E.A., Gabrielsson, E., Sun, L., Boschloo, G. and Hagfeldt, A., "Design of Organic Dyes and Cobalt Polypyridine Redox mediators for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells", *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 132, pp. 16714-24, 2010.
7. Giribabu, L., Bessho, T., Srinivasu, M., Vijaykumar, C., Soujanya, Y., Reddy, V.G., Reddy, P.Y., Yum, J., Graetzel, M. and Nazeeruddin, M.K., "A New Family of Heteroleptic Ruthenium(II) Polypyridyl Complexes for Sensitization of Nanocrystalline TiO_2 Films", *Dalton Transactions: An International Journal of Inorganic Chemistry*, Vol. 40, pp. 4497-4504, 2011.

