



بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



مطالعه جذب نور در سلول خورشیدی رنگدانه ای

نفیسه شریفی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو - دانشگاه کاشان - کاشان ۱۴۵۸۸ - ایران - sharifi@kashanu.ac.ir

چکیده - در سلول های خورشیدی رنگدانه ای، به طور متداول، لایه ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی اکسید به عنوان لایه پس پراکننده نور به کار گرفته می شود تا میزان جمع آوری نور را افزایش دهد. در این تحقیق، لایه بازتاب کننده نقره انتخاب شد تا جذب نور در بخش های مختلف سلول در غیاب و حضور این لایه بازتاب کننده بررسی شود. محاسبات نوری نشان می دهد که با اصلاح سلول با لایه بازتاب کننده نقره، میزان جذب نور در بخش های مختلف سلول مانند شیشه شفاف و رسانا، الکترولیت، پلاتین و به خصوص لایه تیتانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه افزایش می یابد که سبب افزایش ۲۶ درصدی در جریان الکتریکی سلول و در نهایت بهبود بازدهی می شود.

کلید واژه - جذب نور، سلول خورشیدی رنگدانه ای، لایه بازتاب کننده نقره.

Study of Optical Absorption in Dye-sensitized Solar Cells

Nafiseh Sharifi, Assistant Professor

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan 14588, Iran

Abstract- Conventionally, a film of TiO_2 particles of ~ 300 nm size is employed in dye-sensitized solar cells as the back reflector film to enhance the light harvesting. In this study, silver reflector film was used to investigate the light absorption in different parts of cells. Optical calculations demonstrate that the light absorption is increased in transparent conductive oxide glass, electrolyte, Platinum, and especially in sensitized TiO_2 layer when silver reflector film was used. This causes a 26% enhancement in photocurrent.

Keywords: Dye-sensitized Solar Cells, Light Absorption, Silver Reflector Film

۱- مقدمه

سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به دلیل باصرفه بودن از نظر اقتصادی، جایگزین مناسبی برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی محسوب می‌شوند [۱]. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای متشکل از فوتوآند و الکترود مقابل (کاتد) است که فوتوآند مجموعه شیشه‌ی رسانا پوشش داده شده با لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیوم دی‌اکسید است. الکترود مقابل نیز معمولاً شیشه رسانا پوشش داده شده با نانوذره‌های پلاتین است. رنگدانه وظیفه حساس کردن لایه‌ی متخلخل تیتانیوم دی‌اکسید نسبت به نور خورشید را دارد تا با جذب نور خورشید، برانگیخته شود و الکترون رنگدانه به تیتانیوم دی‌اکسید منتقل شود. این الکترون بعد از گذر از تیتانیوم دی‌اکسید به زیر لایه‌ی شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکترود و تخلخل‌های لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید معمولاً با الکترولیتی که حاوی گونه‌های اکسایشی-کاهش‌ی است؛ پر می‌شود که الکترون منتقل شده از طریق مدار خارجی را به مولکول برانگیخته شده منتقل می‌کند تا به حالت اولیه خود بازگردد.

تحقیقات گسترده‌ای به منظور بهبود کارکرد و افزایش بازده سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای در حال انجام است. یک از رهیافت‌ها، مدیریت نور است که به معنای استفاده از روش‌هایی است که با آن بتوان مسیر نور در داخل سلول‌های خورشیدی را به گونه‌ای کنترل کرد تا با در نظر داشتن تمام محدودیت‌های طراحی سلول؛ تعداد فوتون‌های جذب شده افزایش یابد. به طور متداول، لایه‌ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان لایه بازتاب کننده و پس پراکننده نور به کار گرفته می‌شود که با جلوگیری از خروج نور از سمت الکترود مقابل و در نتیجه به تله انداختن نور در لایه‌ی حساس شده به رنگدانه (لایه فعال)، میزان جمع‌آوری نور در این نوع سلول افزایش می‌یابد [۲].

در این مقاله، لایه‌ی فلزی مانند نقره به عنوان بازتاب‌کننده کامل به جای لایه‌ی پس پراکننده متداول استفاده شده است که در بیرون سلول و در کنار الکترود مقابل قرار گرفته است تا نوری را که به وسیله سلول جذب نشده است و نور تلف شده محسوب می‌شود دوباره

به سمت لایه فعال هدایت کند [۳]. با ساخت بخش‌های مختلف یک سلول خورشیدی رنگدانه و اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری اجزای مختلف، میزان جذب در قسمت‌های مختلف بررسی و محاسبه شده است و اثر نوری این بازتاب کننده که بازتاب ۱۰۰٪ دارد؛ بر افزایش میزان جذب در بخش‌های مختلف سلول به خصوص لایه فعال مطالعه شده است.

۲- روش آزمایش

الکترود نوری شامل نانوذره‌های ۲۵ نانومتری تیتانیوم دی‌اکسید با استفاده از روش دکتر بلید روی شیشه رسانا ساخته شد. قبل و بعد از قرار گرفتن این لایه میکرومتری تیتانیوم دی‌اکسید روی زیرلایه‌ی شیشه‌ای، با هیدرولیز محلول تتراکلرید تیتانیوم در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه، پوشش نازکی از تیتانیوم دی‌اکسید به ترتیب روی شیشه و روی لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید قرار گرفت تا میزان بازترکیب الکترون تزریق شده با الکترولیت را روی شیشه شفاف و رسانا که می‌تواند در تماس با الکترولیت باشد و فرآیند نامطلوبی است؛ کاهش دهد. فوتوآند ساخته شده با حرارت دهی در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه کریستالی و در یکدیگر سینتر شوند. با پخش کردن ۱۰ میکرولیتر محلول ۳ میلی‌مولار H_2PtCl_6 روی شیشه‌ی رسانا و حرارت‌دهی آن در دمای $400^\circ C$ ، الکترود مقابل ساخته شد. بعد از جذب شیمیایی رنگدانه‌ی Z907، الکترود نوری و الکترود مقابل به کمک پلاستیکی حرارتی به یکدیگر متصل شدند و فضای میان دو الکترود و تخلخل‌های داخل لایه‌ی فعال تیتانیوم دی‌اکسید با الکترولیت مبتنی بر کبالت، Z1147 پر شد. لایه نازکی از نقره نیز به روش تبخیر حرارتی با بازتاب ۱۰۰٪ ساخته شد و در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

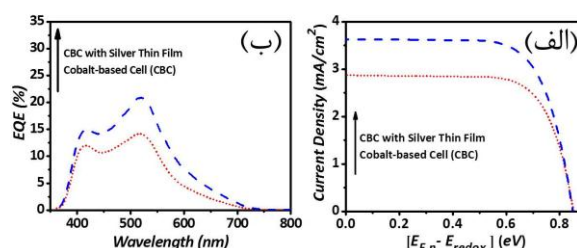
بازتاب پخشی لایه بازتاب کننده نقره نشان داد که در محدوده ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر دارای بازتاب ۱۰۰٪ است. منحنی فوتوولتایی و مشخصه‌های فوتوولتایی سلول‌های خورشیدی در غیاب و حضور لایه بازتاب کننده نقره به ترتیب در شکل ۱ الف و جدول ۱ نمایش داده شده است. حضور لایه‌ی مسطح نقره سبب می‌شود تا نور جذب

جدول ۱: مشخصه‌های فوتوولتایی سلول خورشیدی مرجع (بدون لایه بازتاب کننده) و سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با لایه بازتاب کننده نقره.

مشخصه‌های فوتوولتایی	مرجع	لایه‌ی مسطح نقره
$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	۲/۸۷	۳/۶۲
$V_{oc}(\text{mV})$	۸۵۳	۸۵۰
FF	۰/۷۲	۰/۷۱
η	٪۱/۷۵	٪۲/۱۸

به منظور محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول-موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه ($\text{TiO}_2\text{-dye}$)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود، با استفاده از طیف-سنجی و انتخاب مرجع مناسب، کمیت‌هایی مانند عبور پوشش‌های رسانا با دو نوع مختلف (T_{TEC7} و T_{NSG})، الکترولیت ($T_{\text{Electrolyte}}$)، تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه ($T_{\text{TiO2-Dye}}$) و پلاتین (T_{Pt})، و بازتاب شیشه (R_{glass}) و لایه‌ی بازتاب کننده (R_{RL})، در محدوده‌ی ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه این کمیت، از آن جایی که ضریب شکست تمام مواد داخل سلول تقریباً یکسان‌اند، بازتاب‌های چندگانه روی نمی‌دهد و از این اثر صرف‌نظر شده است. محاسبات بر اساس ساختاری است که نور از سمت فوتوآند به سلول وارد می‌شود و بخشی از نور به ترتیب در FTO، لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه، الکترولیت، پلاتین و FTO جذب می‌شود و سپس نور برگشت داده شده به وسیله لایه‌های پراکننده مختلف، به وسیله‌ی FTO، پلاتین، الکترولیت، لایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه و FTO جذب می‌شود (شکل ۲).

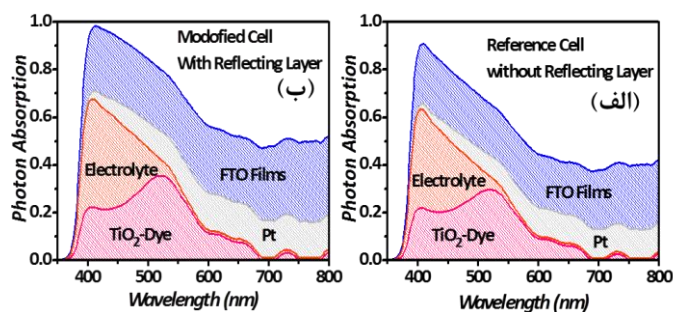
نشده به وسیله‌ی رنگدانه به داخل سلول بازگردد تا با برگشت به داخل لایه‌ی حساس شده به رنگدانه و جذب به وسیله رنگدانه، جریان الکتریکی افزایش یابد.



شکل ۱: (الف) منحنی چگالی جریان - ولتاژ و (ب) بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای. (نقطه چین) سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مرجع بدون به کارگیری لایه‌ی بازتاب کننده نور و (خط چین) سلول خورشیدی اصلاح شده با لایه‌ی بازتاب کننده مسطح نقره.

بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی بر حسب طول‌موج در شکل ۱ ب نمایش داده شده است که اثر برگشت نور به وسیله‌ی لایه‌ی بازتاب کننده به داخل لایه‌ی فعال و در نتیجه، اثر آن بر افزایش جریان الکتریکی سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. بیشینه بازده کوانتومی حدود ۵۲۰ نانومتر مشاهده می‌شود که منطبق بر قله‌ی جذب رنگدانه Z907 است. افزایش بازده کوانتومی تنها محدود به این طول‌موج نمی‌شود و در محدوده‌ی طول موجی که رنگدانه جذب دارد، افزایش در بازده کوانتومی مشاهده می‌شود. مقدار افزایش بازده کوانتومی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر نسبت با استفاده از لایه مسطح نقره برابر با ۲۷٪ است و این افزایش در طول-موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۴۱٪ است که نشان می‌دهد لایه‌ی بازتاب کننده در طول‌موج‌های بلندتر که رنگدانه جذب کم‌تری دارد، به طور کارآمدتر نور فرودی را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کنند.

بازدهی سلول مشاهده می شود (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۳: جذب فوتون در سلول (الف) بدون حضور و (ب) در حضور لایه بازتاب کننده نقره که نشان می دهد در هر طول موج چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله شیشه FTO یا لایه تی تانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه یا الکترولیت و یا پلاتین جذب می شود.

۴- نتیجه گیری

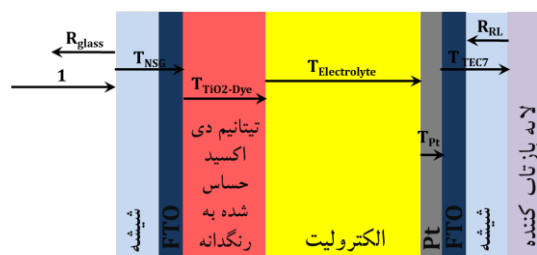
در این تحقیق به منظور استفاده از نور جذب نشده به وسیله لایه فعال سلول خورشیدی (نور تلف شده) و بازگشت آن به داخل سلول، از لایه بازتاب کننده نقره استفاده شد. با استفاده از اندازه گیری خصوصیات نوری اجزای مختلف سلول و محاسبات نوری، میزان نور جذب شده در بخش های مختلف سلول محاسبه شد که نشان می دهد میزان جذب نور به خصوص در لایه تی تانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه افزایش می یابد که با افزایش ۲۶ درصدی در جریان الکتریکی سلول، کارکرد سلول را بهبود بازدهی می بخشد.

سپاسگزاری

نویسنده مقاله وظیفه خود می داند که از آقای دکتر نیا تقوی نیا به خاطر فراهم آوردن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و همفکری و تبادل اطلاعات تشکر کند.

مراجع

- [1] O'Regan B. and Graetzel M., A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films, *Nature*, 353 (1991) 737-740.
- [2] 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*, 516 (2008) 4613-4619.
- [3] Sharifi N., Dadgostar S., Taghavinia N., Irajizad A., Freestanding Light Scattering Hollow Silver Spheres Prepared by a Facile Sacrificial Templating Method and Their Application in Dye-sensitized Solar Cells, *J. Power Sources*, 225 (2013) 46-50.



شکل ۲: نمایش عبور و بازتاب بخش های مختلف سلول خورشیدی برای محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه تی تانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می شود.

تحلیل کمی جذب فوتون فرودی به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی در غیاب و حضور لایه بازتاب کننده در شکل ۳ نمایش داده شده است که نشان می دهد در هر طول موج، چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه های تی تانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO₂-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می شود. بخش های باقیمانده که هاشور ندارند، نمایش نور جذب نشده به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی است. روند جذب فوتون به وسیله لایه تی تانیم دی اکسید حساس شده به رنگدانه مشابه منحنی های بازده کوانتومی خارجی است با این تفاوت که مقادیر بیشتری را نشان می دهند. این تفاوت به این دلیل است که تمامی نور جذب شده در تولید جریان الکتریکی سهم نیستند که می تواند ناشی از کاستی در بازده جمع آوری الکترون در الکتروود نوری باشد (بازده جمع آوری الکترون، کمتر از واحد است). با توجه به این نکته در سلول اصلاح شده نور فرودی دو مرتبه از میان سلول می گذرد، مشاهده می شود که بخش بزرگی از نور، با جذب به وسیله الکترولیت، تلف می شود. به ویژه در بازه ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر که رنگدانه جذب قابل ملاحظه ای دارد، حدود ۳۰٪ نور جذب و تلف می شود. میزان اتلاف نور در پلاتین در تمامی گستره ی طول موجی به جز طول موج های کوتاه که جذب به وسیله الکترولیت غالب است، حدود ۱۵٪ است. شیشه رسانای شفاف نیز حدود ۲۰٪ نور را در گستره ی طول موجی نمایش داده شده؛ جذب و تلف می کند. استفاده از لایه بازتاب کننده سبب می شود که به خصوص مقدار جذب در لایه حساس شده به رنگدانه که قلب سلول خورشیدی رنگدانه است؛ افزایش یابد که اثر آن به صورت افزایش در جریان الکتریکی و در نهایت