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 دی‌اکسید به عنوان لایه پس پراکَنَنده 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 دی‌اکسیدِ حساس شده به رنگدانه افزایش می‌یابد که سبب افزایش ۲۶ درصدی در جریان الکتریکی سلول و در نهایت بهبود بازدهی می شود.

کلید واژه- جذب نور، سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، 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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

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

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 تیتانیم دی‌اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیم دی‌اکسید است. الکترود مقابل نیز معمولا شیشه رسانا پوشش داده شده با نانوذره‌های پلاتین است. رنگدانه وظیفه حساس کردن لایه‌ی متخلخل تیتانیم دی‌اکسید نسبت به نور خورشید را دارد تا با جذب نور خورشید، برانگیخته شود و الکترون رنگدانه به تیتانیم دی‌اکسید منتقل شود. این الکترون بعد از گذر از تیتانیم دی‌اکسید به زیر لایه‌ی شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکترود و تخلخل‌های لایه‌ی تیتانیم دی‌اکسید معمولا با الکترولیتی که حاوی گونه‌های اکسایشی- کاهشی است؛ پر می‌شود که الکترون منتقل شده از طریق مدار خارجی را به مولکول برانگیخته شده منتقل می کند تا به حالت اولیه خود بازگردد.

تحقیقات گسترده‌ای به منظورِ بهبودِ کارکرد و افزایشِ بازده سلول‌های خورشیدی رنگدانه ای در حال انجام است. یک از رهیافت ها، مدیریتِ نور است که به معنای استفاده از روش‌هایی است که با آن بتوان مسیرِ نور در داخلِ سلول‌های خورشیدی را به گونه‌ای کنترل کرد تا با در نظر داشتن تمامِ محدودیت‌های طراحی سلول؛ تعداد فوتون‌های جذب شده افزایش یابد. به طور متداول، لایه‌ای متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی اکسید به عنوان لایه بازتاب کننده و پس پراکَنَنده نور به کار گرفته می شود که با جلوگیری از خروج نور از سمتِ الکترود مقابل و در نتیجه به تله انداختنِ نور در لایه‌ی حساس شده به رنگدانه (لایه فعال)، میزان جمع آوری نور در این نوع سلول افزایش می‌یابد [۲].

در این مقاله، لایه‌ی فلزی مانند نقره به عنوان بازتاب-کننده کامل به جای لایه های 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 بخش های مختلف یک سلول خورشیدی رنگدانه و اندازه گیری ویژگی های نوری اجزای مختلف، میزان جذب در قسمت های مختلف بررسی و محاسبه شده است و اثر نوری این بازتاب کننده که بازتاب ٪۱۰۰ دارد؛ بر افزایش میزان جذب در بخش های مختلف سلول به خصوص لایه فعال مطالعه شده است.

۲- روش آزمایش

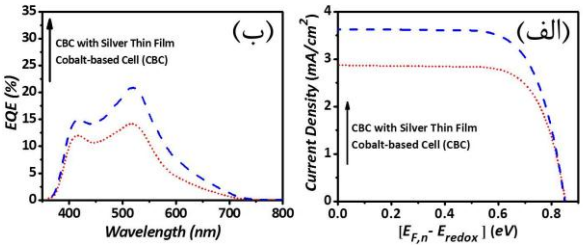
الکترودِ نوری شاملِ نانوذره‌های ۲۵ نانومتریِ تیتانیم دی-اکسید با استفاده از روش دکتر بلید روی شیشه رسانا ساخته شد. قبل و بعد از قرار گرفتن این لایه میکرومتری تیتانیم دی‌اکسید روی زیرلایه‌ی شیشه‌ای، با هیدرولیز محلول تتراکلرید تیتانیم در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه، پوشش نازکی از تیتانیم دی‌اکسید به ترتیب روی شیشه و روی لایه‌ی تیتانیم 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 ^oC ۴۰۰، الکترود مقابل ساخته شد. بعد از جذبِ شیمیایی رنگدانه‌ی Z907، الکترودِ نوری و الکترود مقابل به کمکِ پلاستیکی حرارتی به یکدیگر متصل شدند و فضای میان دو الکترود و تخلخل‌های داخل لایه‌ی فعالِ تیتانیم دی‌اکسید با الکترولیتِ مبتنی بر کبالت، Z1147 پر شد. لایه نازکی از نقره نیز به روشِ تبخیرِ حرارتی با بازتاب ٪۱۰۰ ساخته شد و در بخشِ خارجی سلولِ خورشیدی و در کنار کاتد قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

بازتابِ پخشی لایه بازتاب کننده نقره نشان داد که در محدوده ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر دارای بازتابِ ٪۱۰۰ است. منحنی فوتوولتاییِ و مشخصه‌های فوتوولتاییِ 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 می شود تا نورِ جذب

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

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



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

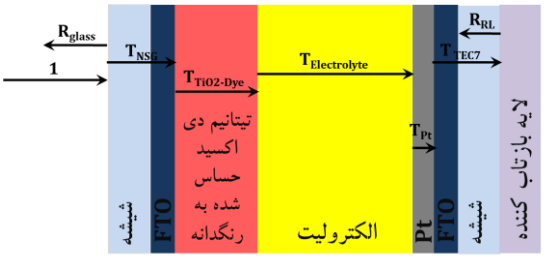
بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی بر حسب طول‌موج در شکل ۱ ب نمایش داده شده است که اثرِ برگشتِ نور به وسیله‌ی لایه‌ی بازتاب کننده به داخلِ لایه‌ی فعال و در نتیجه، اثرِ آن بر افزایشِ جریانِ الکتریکیِ سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. بیشینه بازده کوانتومی حدود ۵۲۰ نانومتر مشاهده می‌شود که منطبق بر قله‌ی جذبِ رنگدانه Z907 است. افزایشِ بازده کوانتومی تنها محدود به این طول‌موج نمی‌شود و در محدوده‌ی طولِ موجی که رنگدانه جذب دارد، افزایش در بازده کوانتومی مشاهده می‌شود. مقدارِ افزایشِ بازده کوانتومی در طول‌موجِ ۵۲۰ نانومتر نسبت با استفاده از لایه مسطح نقره برابر با ۲۷٪ است و این افزایش در طول‌موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۴۱٪ است که نشان می‌دهد لایه‌ی بازتاب کننده در طول‌موج‌های بلندتر که رنگدانه جذب کم‌تری دارد، به طورِ کارآمدتر نورِ فرودی را به جریانِ الکتریکی تبدیل می‌کنند.

جدول1 : 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
$J_{sc}(mA/cm^2)$	۲/۸۷	۳/۶۲
$V_{oc}(mV)$	۸۵۳	۸۵۰
FF	۰/۷۲	۰/۷۱
η	٪۱/۷۵	٪۲/۱۸

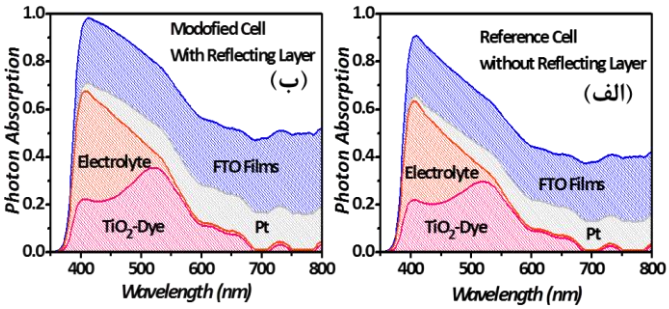
به منظور محاسبه درصد فوتونِ فرودی که در هر طول-موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌ی تیتانیم دی‌اکسیدِ حساس شده به رنگدانه (TiO_2-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود، با استفاده از طیف-سنجی و انتخابِ مرجع مناسب، کمیت‌هایی مانند عبورِ پوشش‌های رسانا با دو نوع مختلف (T_{NSG} و T_{TEC7})، الکترولیت ($T_{Electrolyte}$)، تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه ($T_{TiO2-Dye}$) و پلاتین (T_{Pt})، و بازتابِ 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 شکستِ تمامِ مواد داخلِ سلول تقریباً یکسان‌اند، بازتاب‌های چندگانه روی نمی-دهد و از این اثر صرف‌نظر شده است. محاسبات بر اساس ساختاری است که نور از سمت فوتوآند به سلول وارد می-شود و بخشی از نور به ترتیب در FTO، لایه‌ی تیتانیم 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 تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه و FTO جذب می‌شود (شکل ۲).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]



شکل ۲: نمایش عبور و بازتاب بخش‌های مختلفِ سلولِ خورشیدی برای محاسبه‌ی درصد فوتونِ فرودی که در هر طول‌موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌ی تیتانیم دی‌اکسیدِ حساس شده به رنگدانه (TiO_2-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود.

تحلیلِ کمّی جذبِ فوتون فرودی به وسیله‌ی اجزای مختلفِ سلولِ خورشیدی در غیاب و حضورِ لایه‌ی بازتاب کننده در شکل ۳ نمایش داده شده است که نشان می‌دهد در هر طول‌موج، چه درصدی از فوتونِ فرودی به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌های تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO_2-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود. بخش‌های باقیمانده که هاشور ندارند، نمایشِ نورِ جذب نشده به وسیله اجزای مختلفِ سلولِ خورشیدی است. روند جذبِ فوتون به وسیله‌ی لایه تیتانیم دی‌اکسید 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 جریانِ الکتریکی سهیم نیستند که می‌تواند ناشی از کاستی در بازده جمع‌آوری الکترون در الکترودِ نوری باشد (بازده جمع‌آوری الکترون، کم‌تر از واحد است). با توجه به این نکته در سلول اصلاح شده نورِ فرودی دو مرتبه از میان سلول می‌گذرد، مشاهده می‌شود که بخش بزرگی از نور، با جذب به وسیله‌ی الکترولیت، تلف می‌شود. به ویژه در بازه‌ی ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر که رنگدانه جذبِ قابل ملاحظه‌ای دارد، حدودِ ۳۰٪ نور جذب و تلف می‌شود. میزان اتلافِ نور در پلاتین در تمامی گستره‌ی طول‌موجی به جز طول‌موج‌های کوتاه که جذب به وسیله الکترولیت غالب است، حدود ۱۵٪ است. شیشه رسانای شفاف نیز حدود ۲۰٪ نور را در گستره‌ی طول موجی نمایش داده شده؛ جذب و تلف می‌کند. استفاده از لایه بارتاب 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 بازدهی سلول مشاهده می شود (شکل ۱ و جدول1).



شکل ۳: جذب فوتون در سلول (الف) بدون حضور و (ب) در حضور لایه بازتاب کننده نقره که نشان می‌دهد در هر طول‌موج چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله‌ی شیشه FTO یا لایه‌ی تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه یا الکترولیت و یا پلاتین جذب می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور استفاده از نور جذب نشده به وسیله لایه فعالِ سلول خورشیدی (نور تلف شده) و بازگشت آن به داخل سلول، از لایه بازتاب کننده نقره استفاده شد. با استفاده از اندازه‌گیری 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 تیتانیم دی‌اکسیدِ حساس شده به رنگدانه افزایش می‌یابد که با افزایش ۲۶ درصدی در جریان الکتریکی سلول، کارکرد سلول را بهبود بازدهی می‌بخشد.

سپاسگزاری

نویسنده مقاله وظیفه خود می‌داند که از آقای دکتر نیما تقوی نیا به خاطر فراهم آوردن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و همفکری و تبادل اطلاعات تشکرکند.

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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]