

ساخت میکروکره‌های نقره به عنوان پراکننده‌های فلزی برای جمع‌آوری نور در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

نفیسه شریفی*^۱، دانشجوی دکتری، نیما تقوی‌نیا^۲، دانشیار، اعظم ایرجی‌زاد^۳، استاد

^۱پژوهشکده علوم و فناوری نانو - دانشگاه صنعتی شریف - تهران - ایران

sharifi@ncl.sharif.edu

^۲دانشکده فیزیک - دانشگاه صنعتی شریف - تهران - ایران

taghavinia@sharif.edu

^۳دانشکده فیزیک - دانشگاه صنعتی شریف - تهران - ایران

iraji@sharif.edu

ارسال مقاله: ۹۱/۳/۱۸ اصلاحیه: ۹۱/۵/۳

پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۱۱

چکیده: میکروکره‌های توخالی نقره به روشی ساده و با استفاده از فرآیندی زیست‌محیطی و بهره‌گیری از قالب ساخته شدند. از میکروکره‌های کربنی که با روش گرمایی ساخته شده‌اند، به عنوان قالب استفاده شد. هسته کربنی با اعمال حرارت حذف شد تا کره‌های توخالی نقره تشکیل شود. ضخامت پوسته تشکیل شده بر روی قالب با تغییر غلظت پیش‌ماده‌ها قابل تنظیم است. با توجه به ضخامت پوسته تشکیل شده، پوسته می‌تواند یکنواخت و پیوسته، و یا ناپیوسته باشد. ذره‌های کروی نقره با سیلیکا پوشش داده شده و سپس به الکترولیت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اضافه شدند. به دلیل پراکندگی نور از این کره‌های نقره و در نتیجه به دام افتادن بخشی از نور که به وسیله رنگدانه‌های سلول خورشیدی جذب نشده بودند، افزایش ۵۰٪ در چگالی جریان سلول خورشیدی اصلاح شده با ذره‌های کروی نقره‌ای دیده شد که منجر به افزایش ۲۱٪ در بازده سلول فوتوولتایی می‌شود.

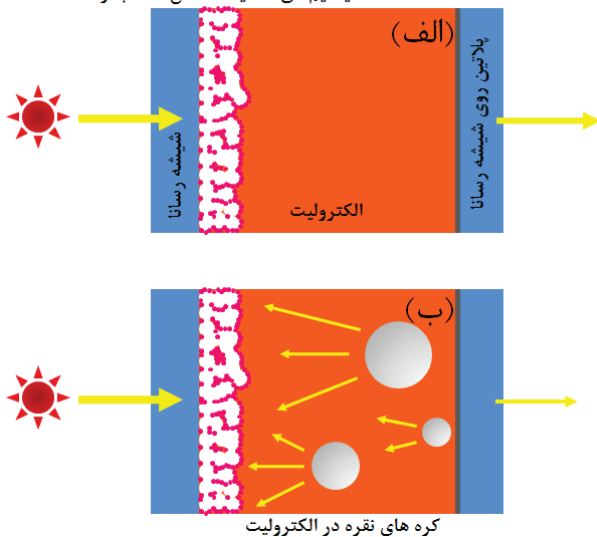
واژه‌های کلیدی: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، پراکندگی نور، فلز، نقره، تیتانیم دی‌اکسید.

۱. مقدمه

است، کاهش می‌یابد. از طرفی به منظور پراکنده کردن نور در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید و افزایش مسیر نور در این لایه، به طور متداول، ذره‌های بزرگ و کروی تیتانیم دی‌اکسید [۴] استفاده می‌شود. از آنجا که در میان فلزات گوناگون، نقره بالاترین بازتاب را در محدوده طول موج مرئی که مورد نیاز سلول‌های رنگدانه‌ای است، دارا می‌باشد، در این مطالعه از میکروکره‌های کربنی به عنوان قالب استفاده شد تا کره‌های نقره به عنوان پراکننده‌های نور ساخته شوند. با رسوب شیمیایی نقره بر روی سطح میکروکره‌های کربنی و سپس انجام عملیات حرارتی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد که منجر به حذف قالب کربنی می‌شود، میکروکره‌های توخالی نقره ساخته شدند. به منظور پایدار کردن نقره در الکترولیت و جلوگیری از تبدیل آن به AgI، پوششی از سیلیکا بر روی آن‌ها قرار گرفت. سپس کره‌های نقره‌ای با الکترولیت ترکیب شدند؛ بدین ترتیب طرح جدیدی از سلول رنگدانه‌ای که شامل پراکننده‌های نوری فلزی و خود ایستا در داخل الکترولیت است، معرفی شده است.

شکل (۱) شماتیکی از سلول خورشیدی اصلاح شده را در مقایسه با سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای متداول نشان می‌دهد.

تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه



شکل (۱): سلول خورشیدی رنگدانه‌ای (الف) متداول، (ب) اصلاح شده با میکروکره‌های نقره

۲. مواد و روش‌های ساخت

در ادامه، روش ساخت میکروکره‌های نقره، پوشش‌دهی آن‌ها با سیلیکا، و چگونگی استفاده از آن‌ها در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای شرح داده می‌شود.

امروزه سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای [۱] به دلیل باصرفه بودن از نقطه نظر اقتصادی، جایگزین مناسبی برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی محسوب می‌شوند. در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، مجموعه شیشه رسانای پوشش داده شده با لایه تیتانیم دی‌اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیم دی‌اکسید، فوتوآند نام دارد. الکتروود مقابل، حاوی نانوذره‌های پلاتین است که به عنوان کاتالیست در انجام واکنش شیمیایی که در داخل الکترولیت روی می‌دهد، عمل می‌کند. رنگدانه‌ای که وظیفه حساس کردن لایه متخلخل تیتانیم دی‌اکسید نسبت به نور خورشید را دارد، جذب شیمیایی سطح تیتانیم دی‌اکسید می‌شود تا با جذب نور خورشید، تحریک شود و الکترون رنگدانه به تیتانیم دی‌اکسید تزریق شود. الکترون تزریق شده در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید از میان شبکه ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید و بر اساس فرآیند ولگشت^۱ به زیر لایه شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکتروود و حفره‌های داخل لایه متخلخل تیتانیم دی‌اکسید با الکترولیت مایعی که حاوی گونه‌های اکسایشی - کاهش‌ی است، پر می‌شود. این گونه‌ها حفره را از مولکول رنگ اکسید شده به الکتروود مقابل منتقل می‌کنند.

بهینه ضخامت لایه تیتانیم دی‌اکسید به طول نفوذ الکترون در لایه تیتانیم دی‌اکسید و عمق نفوذ نور در این لایه بستگی دارد [۲ و ۳]. ضخامت لایه تیتانیم دی‌اکسید بایستی به اندازه کافی زیاد باشد تا تمام فوتون‌های فرودی را به وسیله رنگدانه‌های جذب شده بر سطح خود، جذب کند. در عین حال، ضخامت این لایه باید به اندازه کافی کوچک باشد تا به دلیل کاهش مساحت سطح در تماس با الکترولیت، میزان بازترکیب الکترون‌هایی که به لایه تیتانیم دی‌اکسید تزریق شده‌اند، با الکترولیت کاهش یابد و الکترون انتقال یافته به تیتانیم دی‌اکسید به طور مؤثر جمع شود و به مدار خارجی هدایت گردد؛ بنابراین به منظور جذب مؤثر نور استفاده از بازتاب‌کننده‌ها و یا پراکننده‌ها در این نوع سلول خورشیدی به خصوص سلول‌هایی که متشکل از لایه شفاف و نازک‌اند، ضروری است.

با کاهش ضخامت لایه تیتانیم دی‌اکسید، میزان رنگدانه مصرفی که یکی از مؤلفه‌های مؤثر و گران‌قیمت در این نوع سلول خورشیدی

1. Random walk



شکل (۲): فرآیند ساخت کره‌های توخالی نقره

۱.۲. ساخت میکروکره‌های نقره

میکروکره‌های کربنی به روش گرمایی و با استفاده از سوکروز به عنوان پیش‌ماده تولید شدند. در طی این فرآیند، از حرارت‌دهی محلول سوکروز در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تحت فشار و به مدت ۲۴ ساعت، میکروکره‌های جامد و سیاه که غنی از کربن‌اند، تشکیل شد [۵] که بعد از جداسازی و شستشو، خشک شدند. محلولی متشکل از ۱۰۰ میلی‌مولار محلول نقره نیترات، ۲۰۰ میلی‌مولار پتاس، و آمونیوم هیدروکسید (۲۵٪) تهیه شد [۶]. با استفاده از پروب فراصوت و به مدت ۱۰ دقیقه، ۷ میلی‌گرم از میکروکره‌های کربنی در محلول آمونیایی نقره پراکنده^۲ شد. سپس محلول اسیدی ۱۴۰ میلی‌مولار از سوکروز به آن اضافه شد تا یون‌های نقره به کمک این کاهنده، روی سطح میکروکره‌های کربنی احیا شوند. غلظت‌های ذکر شده با نماد [C] مشخص شده است. با غلظت [C/2] نیز میکروکره‌های پوشش یافته با نقره تهیه شد که ۲ درجه رقیق شدن پیش‌ماده‌ها را نشان می‌دهد. رسوب‌دهی نقره بر روی میکروکره‌ها به مدت ۳۰ دقیقه و بوسیله هم‌زدن محلول انجام شده است. پس از این زمان، میکروکره‌های نقره‌اندود با آب فاقد یون شسته و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خشک شدند.

به منظور حذف میکروکره‌های پوشش نیافته با نقره و محصولات جانبی مانند اکسید نقره و همچنین حذف قالب از داخل پوشش نقره و تشکیل کره‌های توخالی نقره، محلول به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. این عمل باعث افزایش میزان بازتاب کره‌های نقره نیز می‌شود. پس از این عملیات حرارتی، پودر خاکستری اولیه به پودری به رنگ نقره‌ای تبدیل می‌شود. شکل (۲) شماتیکی از مراحل ساخت کره‌های توخالی نقره را نشان می‌دهد.

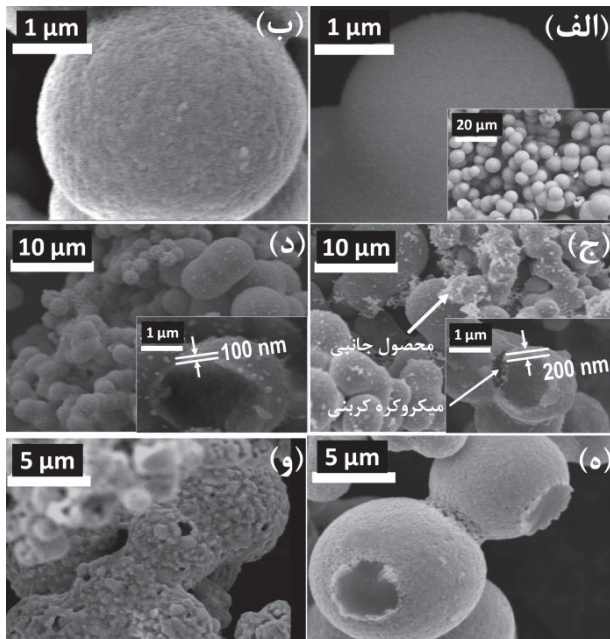
۲.۲. پوشش‌دهی کره‌های نقره با سیلیکا

کره‌های توخالی نقره با پوسته‌ای از جنس سیلیکا پوشش‌دهی شدند تا با وارد شدن کره‌های توخالی نقره در فضای میان دو الکترود، در الکترولیت پایدار بمانند. از طرفی، این لایه مانع از اتصال الکتریکی کره‌های نقره با فوت‌آند و الکترود مقابل و در نتیجه مختل شدن کار سلول رنگدانه‌ای می‌شود. ابتدا سطح کره‌های توخالی نقره با ۳- آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان فعال شدند. اضافه کردن سدیم سیلیکات در غلظت‌های فوق اشباع نیز منجر به تشکیل پوسته نانومتری سیلیکا روی کره‌های نقره می‌شود که در نهایت با اضافه کردن اتانول پوسته همگنی از سیلیکا روی کره‌های نقره شکل می‌گیرد [۷].

۳.۲. ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

مقدار کره‌های توخالی نقره در الکترولیت به میزان ۵٪ وزنی/حجمی انتخاب شد. لایه ۰/۶ میکرومتری از تیتانیم دی‌اکسید با تکنیک دکتر بلید^۳ روی شیشه شفاف و رسانا که به عنوان زیرلایه در ساخت سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به کار می‌رود، ساخته شد. قبل و بعد از قرار گرفتن لایه ۰/۶ میکرومتری تیتانیم دی‌اکسید روی زیرلایه 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 لایه تیتانیم دی‌اکسید قرار می‌گیرد. این پوشش، میزان بازترکیب الکترون تزیق‌شده با الکترولیت را روی شیشه شفاف و رسانا که می‌تواند در تماس با الکترولیت باشد و فرآیند نامطلوبی ایجاد کند، کاهش می‌دهد، زیرا تشکیل تک‌لایه‌ای از تیتانیم دی‌اکسید روی شیشه رسانا مانع از تماس شیشه رسانا با الکترولیت می‌شود. تشکیل لایه نازک تیتانیم دی‌اکسید روی لایه تیتانیم دی‌اکسید ۰/۶ میکرومتری نیز منجر به بهبود انتقال الکترون در داخل این لایه می‌شود. سپس فوت‌آند در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰

نانومتر است. از طرفی، میزان بازتاب از لایه مسطح ۱۰۰ نانومتری نقره حدود ۹۰٪ است [۱۰]، که این مقدار برای لایه مسطح ۲۰۰ نانومتری برای طول موج‌های بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر ۱۰۰٪ محاسبه شد؛ بنابراین با در نظر گرفتن ضخامت ۲۰۰ نانومتر، کارایی کره‌های نقره توپر و توخالی مشابه یکدیگر است. در ضمن، ساخت کره‌های توخالی سبب می‌شود که مقدار کمتری نقره در ساخت کره‌های پراکنده نوری استفاده شود. پوشش‌دهی نقره روی میکروکره‌های کربنی همراه با تشکیل محصولات جانبی مانند AgO است که در شکل (۳-ج و د) قابل مشاهده است. با عملیات حرارتی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، رسوب AgO به نقره فلزی تجزیه می‌شود و میکروکره‌های کربنی از بخش داخلی پوسته نقره حذف می‌شود و میکروکره‌های توخالی نقره تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳-ه) دیده می‌شود، حفره روی کره توخالی نقره در اثر سوختن کره‌های کربنی و خروج گازهای متصاعد شده مانند دی‌اکسید کربن و آب، ایجاد شده است. در مورد کره‌هایی که با غلظت [C/2] ساخته شده، عملیات حرارتی منجر به تشکیل لایه ناپیوسته‌ای می‌شود که شامل نانوذره‌های بی‌شکل و متصل به یکدیگر است (شکل (۳-و)).



شکل (۳): تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی

(الف) میکروکره‌های کربنی، (ب، ج، د، ه) میکروکره‌های پوشش داده شده با نقره با غلظت (ب، ج، ه) [C] و غلظت (د، و) [C/2]، (ج، د) قبل و (ه) بعد از حرارت‌دهی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت

دقیقه حرارت دید تا ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید کریستالی و به یکدیگر متصل و محکم^۴ شوند. الکتروده‌های مقابل که حاوی سوراخی به منظور وارد کردن الکترولیت است، با نانوذره‌های پلاتین پوشش داده شدند. بعد از جذب شیمیایی رنگدانه متداول و بر پایه روتنیوم و با نام تجاری Z907 روی سطح لایه ۰/۶ میکرومتری تیتانیم دی‌اکسید، فوتوآند و الکتروود مقابل به کمک واشر پلاستیکی با ضخامت ۲۵ میکرومتر و با نام تجاری سرلین^۵ و با اعمال حرارت و نیرو که منجر به ذوب شدن می‌شود، به یکدیگر متصل شدند. سپس فضای میان دو الکتروود و حفره‌های داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید با الکترولیت Z959 پر شد. [۸]

۳. نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به دست آمده از بررسی ساختاری و نوری میکروکره‌های نقره، و مشخصه‌های فوتولتایی و بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی ارائه می‌شود.

۱.۳. مشخصه‌های ساختاری میکروکره‌ها

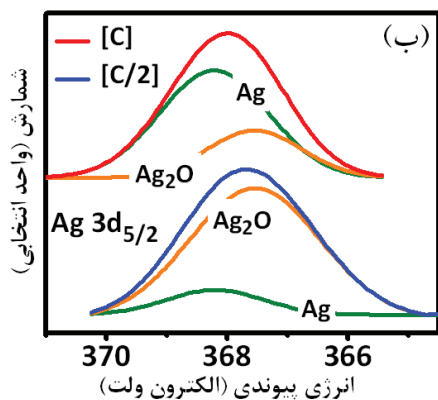
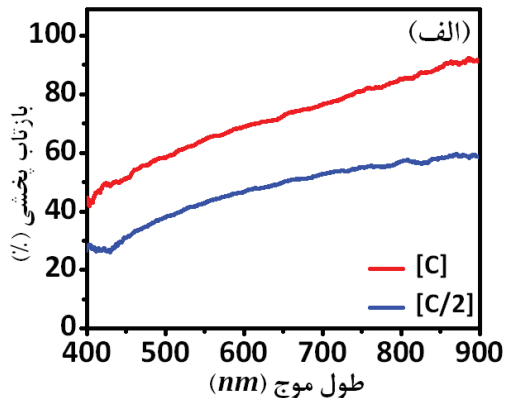
شکل (۳-الف) تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی از میکروکره‌های کربنی را نشان می‌دهد که کروی‌اند و قطر آنها به طور متوسط ۵ تا ۱۵ میکرومتر است. از آنجا که توزیع اندازه ذره‌ها منجر می‌شود که پراکندگی نور در محدوده طول موجی وسیع‌تری رخ دهد، این توزیع اندازه میکروکره‌های کربنی برای پراکندگی و متمرکز کردن نور در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید مفید است.

سطح میکروکره‌های کربنی شامل تعداد بسیاری گروه‌های هیدروکسیل است که به راحتی با کمپلکس نقره واکنش می‌دهند؛ بنابراین پوششی یکنواخت از نقره روی میکروکره‌های کربنی تشکیل می‌شود (شکل (۳-ب)). برای غلظت‌های [C] و [C/2]، ضخامت پوشش نقره به ترتیب حدود ۲۰۰ (شکل (۳-ج)) و ۱۰۰ (شکل (۳-د)) نانومتر است. از آنجا که عمق نفوذ نور در فلزها بسیار کوچک است، کره‌های توخالی نقره (شکل (۳-ج)) به اندازه کافی ضخیم (حدود ۲۰۰ نانومتر) هستند تا اتلاف نور در این میکروکره‌ها اندک باشد. با در نظر گرفتن بخش موهومی ضریب شکست نقره [۹]، عمق نفوذ نور برای نقره به ترتیب برای طول موج‌های ۴۰۰ و ۷۰۰ نانومتر، ۳۳ و ۲۵

4. Sinter

5. Surllyn

اعمال حرارت، کره‌های توخالی نقره اکسید می‌شوند که هر چه ضخامت کمتر باشد، میزان اکسید شدن بیشتر است. میزان اکسیدشدگی به رقابت میان اکسید شدن در اثر اعمال حرارت و ویژگی کاهندگی میکروکره‌های کربنی بستگی دارد. از طرفی، نقره دارای این ویژگی است که احیای حرارتی نیز در مورد آن روی می‌دهد؛ بنابراین با نزدیک شدن نقره به ویژگی‌های توده، برای ضخامت بیشتر پوسته نقره‌ای، با اعمال حرارت، به طور طبیعی احیای نقره روی می‌دهد.



شکل (۴): (الف) بازتاب پخشی و (ب) طیف فوتوالکترون اشعه ایکس کره‌های توخالی نقره‌ای ساخته شده با غلظت‌های مختلف

۳.۳. مشخصه‌های فوتولتایی و نوری سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

با توجه به اینکه کره‌های نقره‌ای که با غلظت بیشتری ساخته شده‌اند، بازتاب بیشتری دارند و اثرهای ناشی از پلاسمون‌های سطحی را نشان نمی‌دهند، از آن‌ها به عنوان پراکننده‌های فلزی در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اصلاح شده استفاده شد. با توجه به شکل (۵-الف)، سلول رنگدانه‌ای مرجع که در الکترولیت آن از پراکننده‌های فلزی استفاده نشده است، چگالی جریان ۱/۶۳ میلی‌آمپر بر سانتی‌متر مربع، ولتاژ مدار باز ۷۹۵ میلی‌ولت، ضریب پرشدگی ۰/۷۶ و بازده ۰/۹۹٪ را نشان می‌دهد، در حالی که بازده سلول رنگدانه‌ای اصلاح شده با پراکننده‌های نقره‌ای ۱/۲۰٪

۳.۲. مشخصه‌های نوری و حالت شیمیایی میکروکره‌های نقره

میزان بازتاب کره‌های نقره با استفاده از طیف‌سنجی بازتاب‌پخشی^۶ اندازه‌گیری شد (شکل (۴-الف) که کره‌های نقره‌ای ساخته شده با ضخامت‌های پوسته ۱۰۰ و ۲۰۰ نانومتر، رفتار بازتابی مشابهی در گستره طول موجی از خود نشان می‌دهند و با حرکت از طول موج ۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر، میزان بازتاب افزایش می‌یابد. نوار جذبی ضعیفی پیرامون ۴۰۰ نانومتر، در طیف بازتاب کره‌های فلزی ساخته شده با غلظت [C/2] مشاهده می‌شود که به تشدید پلاسمونی حاصل از نانوذره‌های نقره که در شکل (۳-و) دیده می‌شود، نسبت داده می‌شوند که منجر به کاهش میزان بازتاب در این محدوده طول موجی می‌شود. در طیف بازتابی کره‌های توخالی نقره ساخته شده با غلظت [C]، اثری از جذب پلاسمون‌های سطحی که به تشکیل نانوذره‌های نقره نسبت داده می‌شوند، مشاهده نمی‌شود و میزان بازتاب آن‌ها در مقایسه با کره‌های ساخته شده با غلظت [C/2] بیشتر است.

با استفاده از طیف‌سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس، حالت شیمیایی کره‌های توخالی نقره بررسی شدند. قله کربن ۱s در انرژی پیوندی ۲۸۴/۵ الکترون‌ولت که ناشی از آلودگی‌های هیدروکربنی است، به عنوان انرژی مرجع برای کالیبراسیون استفاده شد که به جز مقدار اندکی کربن سطحی که همواره به صورت ناخالصی بر روی سطح وجود دارد، ناخالصی دیگری روی سطح کره‌های توخالی وجود ندارد. (شکل (۴-ب) طیف فوتوالکترون اشعه ایکس نقره 3d را نشان می‌دهد. وقتی کره‌ها با کمترین غلظت ساخته می‌شوند اجزاء سازنده آن‌ها نانوذره‌ها هستند، که با حرارت‌دهی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل داشتن سطح بیشتر به راحتی اکسید می‌شوند، در حالی که کره‌های ساخته شده با غلظت بیشتر، در مقابل اکسید شدن در این دما پایدارترند [۱۱]؛ بنابراین انرژی پیوند مربوط به قله 3d_{5/2} برای کره‌هایی که با غلظت کمتری ساخته شده‌اند، نسبت به کره‌هایی که با غلظت بیشتر پیش‌ماده‌ها تهیه شده‌اند، جابه‌جایی منفی‌ای را در انرژی پیوندی نشان می‌دهد. به منظور تعیین میزان اکسید نقره، قله 3d_{5/2} به دو قله تجزیه شد. این دو قله به ترتیب، انرژی پیوندی ۳۶۸/۲ و ۳۶۷/۵ الکترون‌ولت را برای نقره خالص و Ag₂O [۱۲] نشان می‌دهد. سهم قله اکسیدی نقره نسبت به قله کل، به ترتیب برای غلظت‌های [C] و [C/2]، ۲۷/۸٪ و ۸۷/۷٪ است. بنابراین، با

6. Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)

بازده کوانتومی خارجی هر دو سلول بر حسب طول موج در شکل (۵ب) نمایش داده شده است. افزایش بازده کوانتومی سلول رنگدانه‌ای اصلاح شده با کره‌های نقره‌ای نسبت به سلول مرجع، تأیید می‌کند که پراکنده‌های فلزی، نور جذب نشده را به داخل سلول باز می‌گردانند. بدین ترتیب با به تله افتادن نور در داخل سلول، جریان الکتریکی تولیدی افزایش می‌یابد. بیشینه مقدار بازده کوانتومی پیرامون ۵۳۰ نانومتر روی می‌دهد که منطبق بر قله جذبی رنگدانه Z907 است. در این طول موج، با اصلاح سلول با پراکنده فلزی، مقدار بازده کوانتومی از ۱۶٪ به ۲۴٪ افزایش می‌یابد. افزایش بازده کوانتومی به دلیل بازتاب خوب نقره در گستره‌ی طول موج‌هایی که رنگدانه جذب دارد، روی می‌دهد.

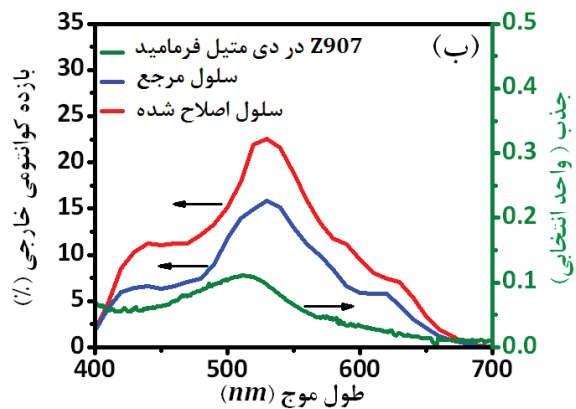
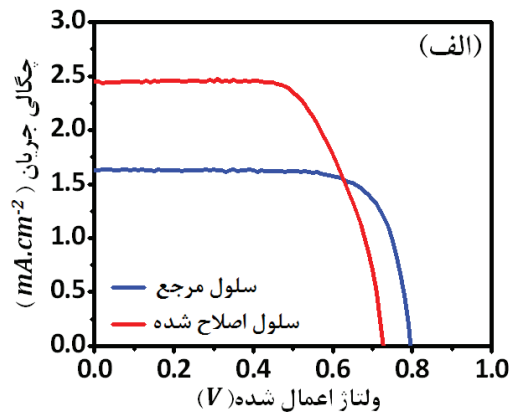
۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش آسانی برای تبدیل کره‌های توخالی نقره با استفاده از قالب‌های میکروکروی کربنی معرفی شد. قالب‌های کربنی از پیش ماده‌های ارزان، و با استفاده از روش سازگار با محیط زیست ساخته شدند. به منظور حذف قالب، عملیات حرارتی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. کره‌های توخالی نقره به عنوان پراکنده‌های فلزی در داخل الکترولیت سلول رنگدانه‌ای به کار گرفته شدند که با به تله انداختن و استفاده از بخشی از نور که به وسیله رنگدانه جذب نشده است، منجر به افزایش ۵۰ درصدی در چگالی جریان و افزایش ۲۱ درصدی در بازده می‌شوند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، وظیفه خود می‌دانند که از خانم دکتر شبنم دادگستر به دلیل ساخت میکروکره‌های کربنی تشکر کنند.

است. این بازده برای چگالی جریان ۲/۴۵ میلی آمپر بر سانتی مترمربع، ولتاژ مدارباز ۷۲۶ میلی‌ولت و ضریب‌پیشدگی ۰/۶۶ به دست آمده است. اگر چه با استفاده از پراکنده‌ی نقره‌ای، کاهش در ولتاژ مدار باز و ضریب‌پیشدگی مشاهده می‌شود، افزایش ۵۰ درصدی در چگالی جریان و افزایش ۲۱ درصدی در بازده به دست آمده است. بهبود در چگالی جریان به دلیل پراکنده‌ی نور از کره‌های نقره‌ای در داخل الکترولیت است که نور جذب نشده به وسیله رنگدانه را به داخل سلول باز می‌گرداند تا این نور به طور کارآمدتر به وسیله رنگدانه جذب شود و تعداد الکترون بیشتری به نوار رسانش تیتانیم دی‌اکسید منتقل شود. کاهش در مقدار ضریب پیشدگی و ولتاژ مدار باز را می‌توان به افزایش بازترکیب‌های نامناسب نسبت داد که در طی آن الکترون از تیتانیم دی‌اکسید و گونه‌های موجود در الکترولیت به نقره منتقل می‌شود؛ بنابراین به نظر می‌رسد که بخش‌هایی از کره‌های نقره‌ای کاملاً با پوسته سیلیکایی پوشش نیافته‌است.



شکل (۵): (الف) مشخصه چگالی جریان - ولتاژ سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مرجع و اصلاح شده تحت تابش استاندارد AM1/5، نور خورشید شبیه‌سازی شده (۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع) (ب) بازده کوانتومی خارجی سلول خورشیدی مرجع و سلول اصلاح شده با پراکنده‌های نقره‌ای و طیف جذب رنگدانه Z907 در حلال دی متیل فرمامید

- [1] O'Regan B., Grätzel 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., Arakawa H., "Quantitative Analysis of Light-Harvesting Efficiency and Electron-Transfer Yield in Ruthenium-Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO_2 Solar Cells", Chemistry of Materials, Vol. 14, pp. 2527-2535, 2002.
- [3] Grätzel M., "Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells", Inorganic Chemistry, Vol. 44, pp. 6841-6851, 2005.
- [4] Ito S., Murakami T. N., Comte P., Liska P., Grätzel C., Nazeeruddin M. K., Grätzel M., "Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%", Thin Solid Films, Vol. 516, pp. 4613-2008.
- [5] Sevilla S. M., Fuertes A. B., "Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides", Chemistry A European Journal, Vol. 15, pp. 4195-4203, 2009.
- [6] Sharifi N., Taghavinia N., "Nanometric silver islands on glass fibers using heat segregation method", Materials Chemistry and Physics, Vol. 113, pp. 63-66, 2009.
- [7] Ung T., Liz-Marzan L. M., Mulvaney P., "Controlled Method for Silica Coating of Silver Colloids. Influence of Coating on the Rate of Chemical Reactions", Langmuir, Vol. 14, pp. 3740-3748, 1998.
- [8] Giribabu L., Bessho T., Srinivasu M., Vijaykumar C., Soujanya Y., Reddy V. G., Reddy P. Y., Yum J., Grätzel M., Nazeeruddin M. K., "A new family of heteroleptic ruthenium(II) polypyridyl complexes for sensitization of nanocrystalline TiO_2 films", Dalton Transaction, Vol. 40, pp. 4497-4504, 2011.
- [9] Palik E. D., *Handbook of Optical Constants of Solids*, second ed., Academic, New York, 1997, p 356.
- [10] Sun X., Hong R., Hou H., Fan Z., Shao J., "Thickness dependence of structure and optical properties of silver films deposited by magnetron sputtering", Thin Solid Films, Vol. 515, pp. 6962-, 2007.
- [11] Sharifi N., Tajabadi F., Taghavinia N., "Nanostructured silver fibers: Facile synthesis based on natural cellulose and application to graphite composite electrode for oxygen reduction" International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 3258-3262, 2010.
- [12] Zhang Q., Dandeneau C. S., Park K., Liu D., Zhou X., Jeong Y., Cao G., "Light scattering with oxide nanocrystallite aggregates for dye-sensitized solar cell application", J. Nanophotonics, Vol. 4, 041540, 2010.