

بررسی بازدهی سلول‌های خورشیدی رنگینه ای انعطاف پذیر با الکترودهای گرافیت، طلا و پلاتین

مهدی ملکشاهی بیرانوند^{۱*}، محمد حسین بازرگان^۲، علی نعمتی خراط^۳

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۹/۹/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۸۹/۱۲/۱۴

چکیده:

سلول خورشیدی رنگینه ای انعطاف پذیر از خانواده سلول های خورشیدی لایه نازک و نسل جدید سلولهای فتوولتائیک می باشد که درسال های اخیر به علت سهولت ساخت و هزینه مناسب مورد توجه قرار گرفته اند. فرایند فتوولتائیک در سلول های حساس شده با رنگینه (Dye)، مدل شبیه سازی شده فتوستنتز در گیاهان می باشد که انرژی حاصل از آن در تطابق کامل با محیط زیست می باشد. در این پژوهش روش ساخت این سلول ها و بررسی عملکرد آنها با الکترودهای مقابل مختلف مورد مطالعه قرار گرفت، که منجر به ساخت سلول هایی با ابعاد ۲۵×۲۵ میلیمتر گردید. جهت ساخت این سلول ها از روش لایه گذاری دی اکسید تیتانیوم (TiO₂) و رونشینی رنگینه روتنیوم استفاده گردید. به منظور آنالیز و بررسی فیلم دی اکسید تیتانیوم، الکترودهای مقابل (Counter electrode) و محلول رنگینه از تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM)، آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و آنالیز طیف سنجی جذبی استفاده شد. راندمان سلول های ساخته شده با الکترودهای مقابل گرافیت، طلا و پلاتین تحت تابش منبع نوری با توان ۱۰۰۰ وات بر متر مربع به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۵۵، و ۰/۸۱ درصد محاسبه گردید.

کلمات کلیدی:

سلول خورشیدی رنگینه ای انعطاف پذیر، الکترودهای مقابل، نانوکریستال دی اکسید تیتانیوم

۱) تهران، دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده شیمی

۲) تهران، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

۳) تهران، دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده شیمی

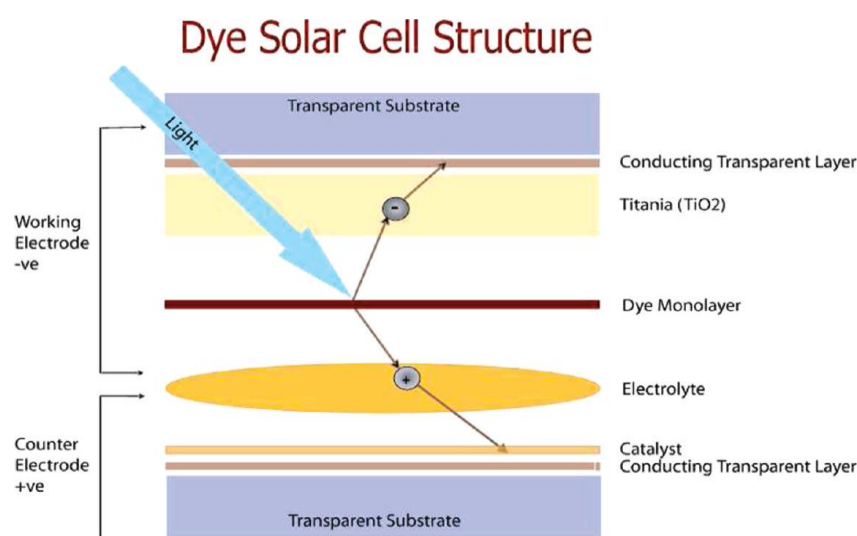
* نویسنده مسئول، mahdi.malekshahi@gmail.com

مقدمه

این سلول ها از قدمت چندانی برخوردار نبوده و اولین بار در سال ۱۹۹۱ تحت عنوان سلول خورشیدی رنگینه ای بر پایه ی نانوساختار تیتان یا به اختصار سلول خورشیدی رنگینه ای توسط گراتزل (Gratzel) در انستیتو علمی پژوهشی لوزان سوئیس مطرح شدند. این سلول ها به دلیل قدرت رقابتی بالا می توانند به عنوان جایگزینی مناسب برای سلول های پایه ی سیلیکونی مطرح باشند [۱].

این سلول ها بر اساس فرایند فوتوالکتروشیمیایی (photo electro chemical) کار می کنند، که مدل شبیه سازی شده از فتوسنتز گیاهان است. در این سلول ها، عملکرد رنگینه های شیمیایی و طبیعی شباهت زیادی به عملکرد کلروفیل گیاهان دارد، که توانایی جذب نور و انتقال انرژی از حالت پایدار الکترونی به حالت تحریک شده آن را دارند [۲].

بخش دیگر سلول، شامل بستر رسانای شفاف (Transparent Conductive Oxide) پوشش داده شده با یک کاتالیست الکترونی مانند پلاتین، طلا یا گرافیت است که آن را الکتروود مقابل می نامند. در نهایت، محلول الکترولیت شامل یک زوج اکسایشی-کاهشی که شامل یدید-تری یدید (I/I_3^-) می باشد بین دو الکتروود را احاطه می کند.



شکل ۱: شماتیک کلی از بخش های مختلف سلول خورشیدی رنگینه ای

بستر های پلیمری یا شیشه ای رسانای استفاده شده در ساخت سلول های خورشیدی به طور معمول با لایه ای از اکسید قلع-فلوئور یا اکسید ایندیم-قلع به روش لایه نشانی رسوب گذاری شیمیایی بخار (Chemical Evaporation Deposition) یا اسپاترینگ (Sputtering) پوشش داده می شوند. ضخامت لایه پوشش داده در حدود ۱۰۰ نانومتر می باشد و پوشش اعمال شده باید دارای تفرق نور بالا، قابلیت گذردهی نور و رسانایی الکتریکی باشد [۵].

رنگینه ی مناسب در ساخت این سلول ها بایستی قابلیت جذب نور در ناحیه مرئی را داشته باشد. وجود گروههایی از قبیل کربوکسیل یا فسفونات در ساختار مولکولی رنگینه موجب پیوند مناسب تر رنگینه به سطح نیمه هادی می شوند. چنین

اتصال علاوه بر تضمین چسبندگی باعث تسهیل در تزریق الکترون از رنگینه به نوار رسانش نیمه هادی شده و بازده سلول را افزایش می دهد. یک مولکول رنگینه ایده آل، در بازه زمانی متعارف کارکرد سلول خورشیدی که ۲۰ سال است (معادل با 10^4 بار سیکل گردش الکترون) باید بدون تغییر زیاد در راندمان سلول، کارایی داشته باشد [۶].

محلول الکترولیت در سلول خورشیدی رنگینه ای شامل زوج اکسایش-کاهش (دید-تری دید) در یک حلال می باشد. وظیفه ی الکترولیت احیاء مولکول رنگینه در سلول می باشد که به نوعی یک حدواسط احیاء کننده بین ملکول های رنگینه و الکتروود مقابل است [۷].

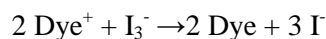
الکتروود مقابل، الکتروود اکسایش-کاهش نامیده می شوند و مکمل الکترولیت در سلول خورشیدی رنگینه ای می باشد. این الکتروود، نقش کاهش تری دید به دید را در الکترولیت دارد و در واقع باعث موازنه شدن الکترون ها در این بخش از سلول می شود. فلز پلاتین با مقاومت الکتریکی خیلی کم و قابلیت احیاء کنندگی بالا، انتخاب بسیار مناسبی در پوشش الکتروود مقابل است. عملکرد لایه کاتالیست به ضخامت و مرفولوژی سطح و روش پوشش وابسته است. روشهای معمول پوشش دهی پلاتین شامل پوشش به روش الکتروشیمیایی، رسوب دهی بخار و اسپاترینگ بر روی بستر سانا می باشد. بهترین پوشش باید دارای سطح یکنواخت، پایداری مکانیکی، شیمیایی، الکتروشیمیایی و انعکاس نور بالا (شبهه به آینه) باشد. علاوه بر فلز پلاتین، طلا و گرافیت نیز می توانند به عنوان کاتالیست کننده الکترونی در سلول ها به کار روند ولی این دو خاصیت احیاء کنندگی کمتری نسبت به پلاتین دارند [۸].

مکانیسم چرخه الکترون در سلول های خورشیدی رنگینه ای به شرح زیر است (شکل ۲) [۹]:

(۱) در مرحله اول نور خورشید به رنگینه برخورد می کند و توسط آن جذب می شود. در این حالت الکترون موجود در رنگینه توسط نور خورشید برانگیخته می شود و متعاقباً الکترون برانگیخته به نوار رسانش TiO_2 تزریق می شود:

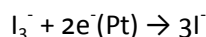


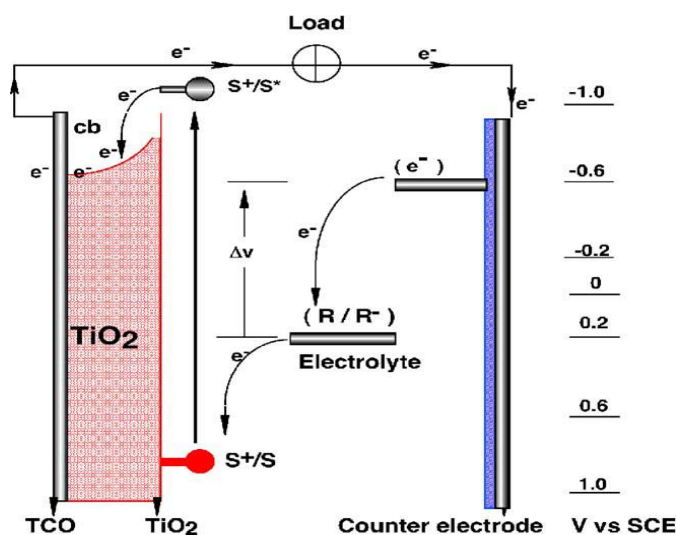
(۲) رنگینه اکسید شده متعاقباً توسط یک الکترولیت الکترون دهنده که شامل دید/تری دید کاهش پیدا می کند، یا به عبارت ساده تر الکترون از دست رفته رنگینه برای تولید جریان الکتریسیته توسط الکترولیت سلول جبران می شود. که این امر باعث می شود چرخه انتقال الکترون همچنان ادامه یابد.



(۳) الکترون تزریق شده به نوار رسانش تیتانیم دی اکسید متعاقباً از میان این نیمه رسانا به مدار اتصال خارجی جریان می یابد.

(۴) سپس مجدداً الکترون توسط جریان به الکتروود مقابل بر می گردد و باعث احیاء ید می شود و الکترون هایی که در مرحله اول به رنگینه داده شده بودند را جبران کنند و چرخه کامل شود.





شکل ۲: چرخه انتقال الکترون در سلول خورشیدی رنگینه ای

روش تحقیق و آزمایش

سنتز نانو ذرات آناتاز دی اکسید تیتانیوم به روش سل-ژل

در یک بالن مقدار ۶۲ mL آب مقطر و ۲۰ mL استیک اسید تحت شرایط حمام یخ در بازه زمانی ۲۰ دقیقه با هم مخلوط می کنیم. به طور جداگانه ۹/۵ mL تیتانیوم بوتوکساید (Titanium (IV) butoxide) و ۲/۵ mL، -۲ پروپانول را باهم مخلوط کردیم، سپس این مخلوط به صورت قطره قطره در بازه زمانی ۳۰ دقیقه تحت شرایط به همزدن شدید به محلول اولیه اضافه کردیم. محلول شفاف بدست آمده تحت شرایط رفلکس به مدت ۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد هم زده شد. شرایط هیدروترمال برای نانو کریستال های سنتزی دمای ۲۳۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان ۱۲ ساعت می باشد. پس از این شرایط رسوب حاصل را ابتدا با استفاده از روش سانتریفوژ صاف کردیم، سپس آن را با آب مقطر چندین بار شستشو دادیم. رسوب حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد تا کاملاً خشک شود.

ساخت محلول رنگینه

محلول رنگینه مورد استفاده در این پژوهش با نام تجاری 535-4TBA از شرکت سولارونیکس خریداری شد. محلول ۲۰ ppm این رنگینه از انحلال ۲۰ میلی گرم از آن در ۱۰۰ میلی لیتر اتانول ۹۹/۹۹٪ تهیه گردید.

ساخت فوتوالکتروود

لایه نشانی فیلم دی اکسید تیتانیوم، به روش غلطکی انجام شد. بعد از شناسایی سطح رسانای پلیمر، در مرحله بعد جهت کنترل ضخامت لایه پوششی از چسب 3M با ضخامت تقریبی ۵۰ میکرون استفاده گردید. بر روی ناحیه

محدود شده پلیمر توسط چسب، چند قطره خمیر دی اکسید تیتانیوم توسط قطره چکان اضافه شد. فرایند لایه نشانی TiO_2 با استفاده از یک میله شیشه ای صاف انجام گردید. بعد از این مراحل فرایند زینترینگ بر روی الکتروود انجام گردید. عملیات حرارتی بر روی الکتروود در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آن انجام گردید. بعد از لایه نشانی فیلم دی اکسید تیتانیوم و عملیات زینتر شدن، به منظور حساس سازی فوتوالکتروود آن را در محلول ppm ۲۰ رنگینه روتینیومی قرار دادیم. مدت زمان انجام فرایند حساس سازی در دمای اتاق برای فوتوالکتروود به مدت ۲۴ ساعت می باشد.

ساخت الکتروود مقابل با استفاده از بستر پلیمری

در این پژوهش از سه نوع کاتالیست الکترونی متفاوت شامل کربن، طلا و پلاتین به عنوان الکتروود مقابل استفاده گردید. برای ساختن الکتروود کربن از اسپری گرافیت برای پوشش دهی سطح پلیمر هادی شده استفاده گردید و به منظور حذف محمل و حلال آن، الکتروود مقابل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. به منظور نشانیدن یک لایه ۳۰ نانومتری از طلا و پلاتین بر روی سطح پلیمر از روش اسپاترینگ تحت شرایط 8×10^{-5} تور با نرخ تبخیر ۰/۲ آنگستروم بر دقیقه و ۱۴ میلی آمپر به مدت ۲۴۰ ثانیه استفاده گردید.

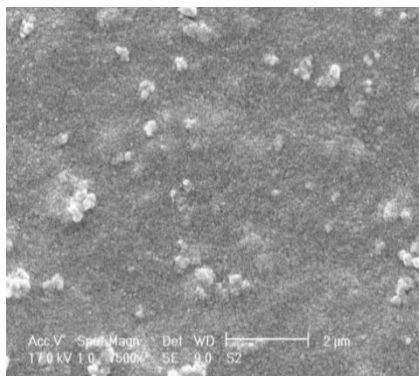
اتصال اجزای مختلف سلول خورشیدی رنگینه ای انعطاف پذیر

برای این کار دو بخش فوتوالکتروود و الکتروود مقابل بر روی هم قرار داده شدند. بین دو الکتروود از یک لایه چسب دو طرفه با ضخامت ۱۰۰ میکرون به عنوان فضا دهنده استفاده گردید. در این حالت در فاصله بین دو الکتروود حوضچه ای ایجاد شد که در آن الکتروولیت به وسیله یک سرنگ تزریق گردید.

نتایج و تحلیل نتایج

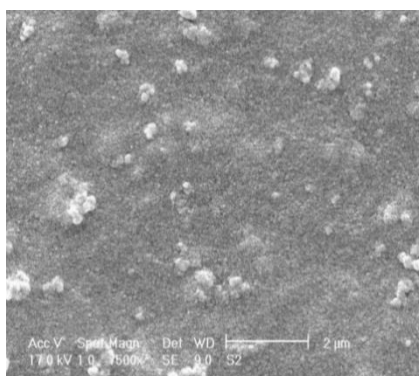
بررسی مورفولوژی سطح توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

پوشش یکنواخت و عاری از ترک خوردگی فیلم دی اکسید تیتانیوم بر روی سطح فوتوالکتروود در شکل (۳) مشخص است.



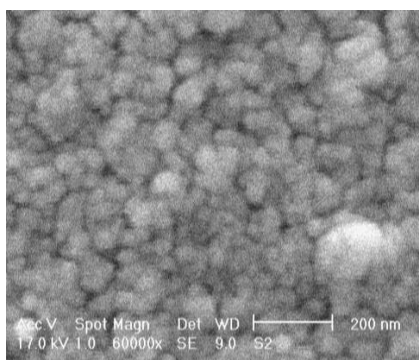
شکل ۳: تصویر سطح فوتوالکتروود در مقیاس ۱ میکرون

همانطوری که در شکل (۴) مشاهده می شود ذرات می توانند در هنگام پوشش ایجاد انباشتگی بر روی سطح نمایند، در این حالت عدم یکنواختی در پوشش فیلم دی اکسید تیتانیوم بر روی سطح فوتو الکتروود مشاهده می گردد. با مطالعات انجام شده مشخص گردید که قبل از استفاده از خمیر (سوسپانسیون) TiO_2 بایستی آن را به مدت ۱ ساعت در حمام التراسونیک قرار دهیم تا نانوذرات کاملاً یکنواخت شوند، در این حالت اگر آن را بر روی سطح پلیمر پوشش دهیم سطح کاملاً یکنواخت و عاری از هرگونه کلوخه و ناهمواری بدست می آید.



شکل ۴: انباشتگی و رشد ذرات بر روی فوتوالکتروود

ساختار اسفنجی و بسیار ریز ذرات دی اکسید تیتانیوم در شکل ۵ قابل مشاهده است. اندازه ذرات زینتر شده حدوداً کمتر از ۵۰ نانومتر است و همانطور که مشاهده می شود به هم پیوستگی ذرات بسیار ریز، باعث تشکیل ناحیه سطحی متخلخل بر روی سطح فوتوالکتروود شده است. ذرات نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم زینتر شده با ایجاد تماس درونی با هم، اتصال الکترونیکی جهت انتقال الکترون فراهم آورده اند. ساختار متخلخل، زمینه مناسبی را جهت حساس سازی فوتوالکتروود ایجاد می کند. بنابر گزارشات بهترین ساختار فیلم نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم هنگامی بدست می آید که اندازه ذرات در محدوده پائین تر از ۵۰ نانومتر بوده که منجر به جذب بهینه ی رنگینه در سطح آن می گردد. در محدوده ی ذکر شده احتمال برگشت الکترون تزریق شده از نوار رسانایی دی اکسید تیتانیوم به مولکول های رنگینه نیز کاهش پیدا می کند.

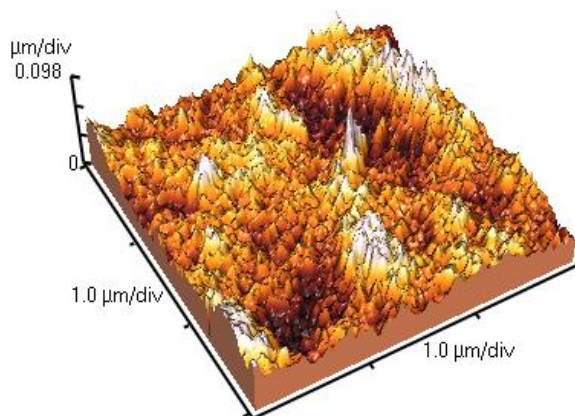


شکل ۵- تصویر ساختار اسفنجی از فیلم TiO_2

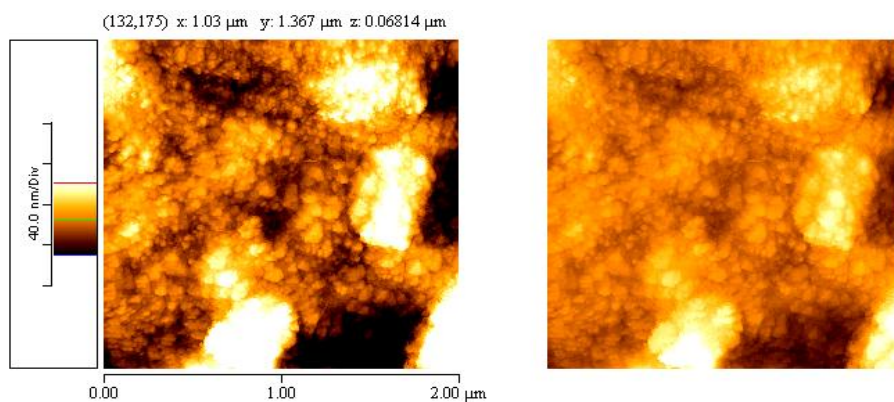
بررسی مورفولوژی سطح توسط میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

میکروسکوپ نیروی اتمی AFM ابزاری قدرتمندی برای شناسایی سطح با قدرت تفکیک فوق العاده بالا است که توانایی تصویر برداری سه بعدی با کیفیت بالا از نمونه را دارا می باشد.

شکل (۶ و ۷) تصاویر AFM فیلم TiO_2 را بعد از عملیات زینترینگ نشان می دهد که تصدیق بر تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی است. تصاویر دو بعدی و سه بعدی بیانگر رشد ذرات در فیلم ها است. پراکندگی ناهموازی ها در این تصاویر به خوبی دیده می شود. با توجه به اطلاعات میکروسکوپ نیروی اتمی، فاکتور زبری مربعی میانگین که معیاری از زبری سطح است، در حدود $33/27$ نانومتر است. از این پارامتر می توان برای تعیین خاصیت نوری سطح فوتوالکتروود نیز استفاده کرد. هر چه این فاکتور کوچکتر باشد، سطح فیلم پوشش داده شده انعکاس نور بالاتری دارد. هرچه فاکتور زبری مربعی میانگین بیشتر باشد ساختار اسفنجی فیلم بیشتر است و میزان تفرق نور افزایش می یابد. افزایش مقدار جذب مولکول رنگینه با افزایش زبری سطح باعث افزایش میزان جذب نوری شود. از طرفی تفرق باعث پدیده شکست نور در خلل و فرج فیلم شده و جذب طیف نور به ویژه در مناطق با مینیمم جذب رنگینه افزایش می یابد.



شکل ۶: تصویر سه بعدی از فیلم نانوکریستالی TiO_2 بعد از عملیات زینترینگ

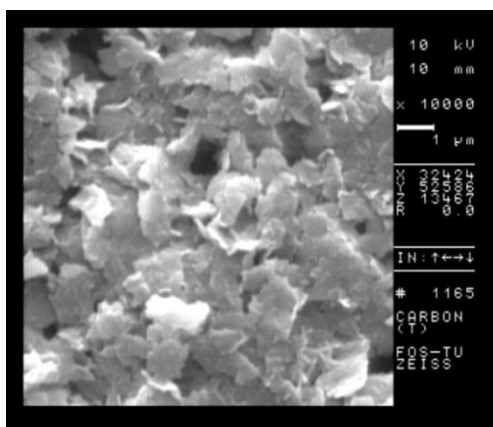


شکل ۷: تصویر دو بعدی از فیلم نانوکریستالی TiO_2 بعد از عملیات زینترینگ

بررسی انجام شده بر روی الکتروود مقابل

نشاندن مواد کاتالیست کننده ی الکترونی بروی بستر پلیمری کار حساسی است و بایستی با بیشترین دقت ممکن انجام شود، زیرا اگر کوچکترین آلودگی بر روی این بستر باشد گرافیت، طلا و پلاتین به عنوان کاتالیست کننده ی الکترونی به مرور زمان دچار ترک خوردگی می شوند و در نتیجه نمی توانند به درستی وظیفه ی خود را به عنوان الکتروود مقابل انجام دهند. در ضمن کار کردن با بستر پلیمری در هنگام سوار کردن قطعات مختلف سلول خورشیدی بسیار مشکلی است، زیرا این بستر با کوچکترین نیروی خارجی دچار تنش می شود و در نتیجه موادی که بر روی آن نشاندن شده اند دچار ترک خوردگی می شوند که به ضرر کارایی سلول است. استفاده از ورقه مسی به جای بستر پلیمر به منظور نشاندن مواد کاتالیست کننده ی الکترونی این گونه مشکلات را برطرف نمود.

استفاده از ورقه مسی از یک طرف مشکلات مربوط به تنش و سختی کار کردن با بستر پلیمری را بر طرف نمود و از طرف دیگر انعطاف پذیری سلول خورشیدی را که مهمترین مزیت برای این نوع سلول ها به شمار می آید، را حفظ نمود. شکل (۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح الکتروود مسی پوشش داده شده با گرافیت را نشان می دهد. در این شکل به خوبی اتصال بین ذرات کربنی با یکدیگر را بعد از عملیات حرارتی مشاهده می شود.



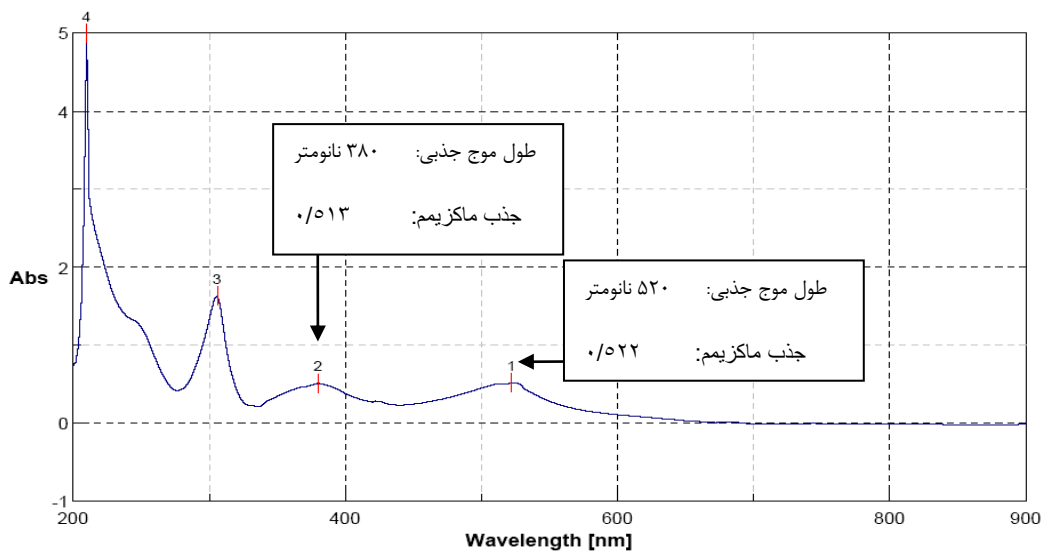
شکل ۸: گرافیت نشاندن شده بر روی ورقه ی مسی

اندازه گیری طیف جذبی محلول رنگینه

طیف جذبی رنگینه روتینیوم به منظور تعیین بیشینه جذب نوری آن توسط دستگاه طیف سنجی جذبی ثبت گردید. با توجه به اطلاعات این دستگاه بیشینه جذب رنگینه در ناحیه مرئی ۴۰۰-۸۰۰ نانومتر مشاهده گردید.

نمودار مربوط به شکل (۹) آنالیز طیف سنجی جذبی مربوط به رنگینه روتینیوم مورد استفاده در ساخت سلول خورشیدی رنگینه ای را نشان می دهد. در این نمودار همانطور که مشاهده می شود، پیک های بیشینه جذبی طیف نوری و میزان جذب آنها مشخص شده است. با توجه به اینکه طیف نور مرئی از ۳۸۰-۸۰۰ نانومتر تغییر می کند، بیشینه طول موج جذبی ۳۸۰ و ۵۲۰ نانومتر در رنگینه روتینیوم به ترتیب با میزان جذب ۰/۵۱۳ و ۰/۵۲۲ دارای اهمیت است. با توجه به

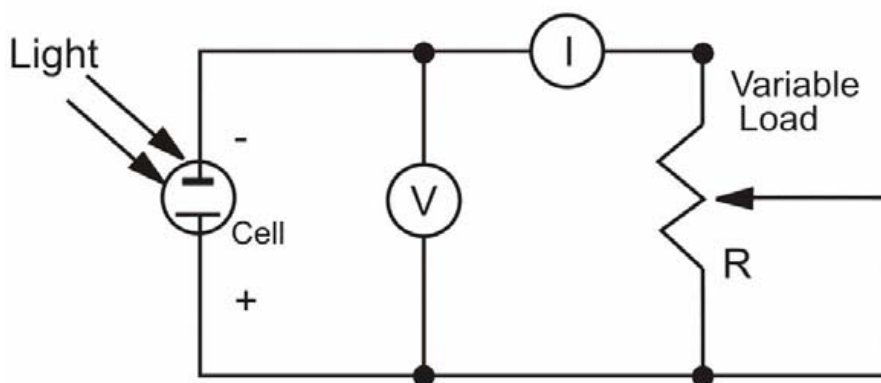
آنالیز طیف جذبی رنگینه ی روتنیوم که پیک های پهن جذبی در نواحی مرئی، مخصوصاً در محدوده ی ۵۲۰ نانومتر نشان می دهد می توان نتیجه گرفت که این رنگینه می تواند عملکرد بالایی در سلول خورشیدی داشته باشد.



شکل ۹: آنالیز طیف سنجی جذبی مربوط به رنگینه روتنیوم

ابزارآزمون سلول خورشیدی رنگینه ای

جهت اندازه گیری راندمان سلول خورشیدی، از مدار زیر استفاده می شود (شکل ۲-۱۲).

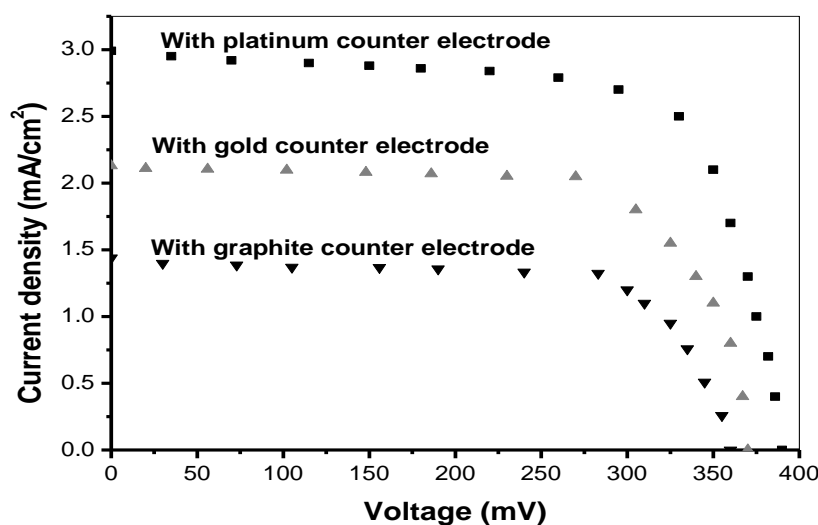


شکل ۱۰: مدار استفاده شده جهت اندازه گیری ولتاژ و جریان سلول خورشیدی

در مدار بالا، ولت متر به صورت موازی و آمپر متر به صورت سری با سلول خورشیدی بسته شد. مقاومت متغیر ۱۰۰۰-۰ اهم در مدار قرار گرفت و پروژکتور با لامپ هالوژن ۱۰۰۰ وات به عنوان منبع نور به کار برده شد. به منظور اندازه گیری میزان شدت نور تابشی توسط لامپ هالوژنی از دستگاه سولار پاور متر استفاده گردید. در ابتدا ولتاژ مداری باز V_{op} و جریان مداری کوتاه I_{sc} به صورت اتصال مستقیم ولت متر و آمپر متر به سلول خورشیدی ثبت گردید، سپس با اتصال مقاومت متغیر، ولتاژ و جریان محاسبه شده به صورت منحنی جریان-ولتاژ ثبت گردید.

بررسی عملکرد سلول خورشیدی رنگینه ای

به منظور آزمون سلول های خورشیدی رنگینه ای ساخته شده با TiO_2 نانوساختار که در این پژوهش تهیه گردید، از الکترود های مقابل مختلف (گرافیت، طلا و پلاتین) بر روی بستر پلیمری استفاده گردید. در نهایت منحنی ولتاژ-آمپر برای سلول های ساخته شده تحت شدت تابش نور ۱۰۰۰ وات بر متر مربع ثبت گردید. شکل (۱۰) منحنی مربوط به سلول ساخته شده با الکترودهای مقابل گرافیت، طلا و پلاتین را نشان می دهد.



شکل ۱۱: نمودار ولتاژ-جریان برای الکترودهای مقابل مختلف بر روی بستر پلیمری

اندازه گیری

جدول (۱) نتایج بدست آمده از منحنی های ولتاژ-جریان را برای سلول های ساخته شده را نشان می دهد. همانطور که در این شکل و جدول مشاهده می شود فاکتور گنجایش برای هر سه سلول یکسان است، اما جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مداری باز، جریان ماکزیمم، ولتاژ ماکزیمم و راندمان سلول از گرافیت به طلا و از طلا به پلاتین در حال افزایش است. بنابراین الکترود پلاتین بالاترین بازدهی را برای سلول ما به وجود می آورد.

جدول ۱: اطلاعات بدست آمده از سلول خورشیدی رنگینه با الکترودهای مقابل مختلف بر روی بستر پلیمری

پلاتین	طلا	گرافیت	الکتروده مقابل
۳۹۰	۳۷۰	۳۶۰	ولتاژ مدار باز (V_{op}) میلی ولت
۲/۹۹	۲/۱۳	۱/۴۴	جریان مدار کوتاه (I_{sc}) میلی آمپر بر سانتیمتر مربع
۳۳۰	۳۰۰	۲۷۰	ولتاژ ماکزیمم (V_m) میلی ولت
۲/۵۰	۲/۰۴	۱/۲۰	جریان ماکزیمم (I_m) میلی آمپر بر سانتیمتر مربع
۷۰	۷۰	۷۰	فاکتور گنجایش (FF)
۰/۸۸	۰/۵۵	۰/۳۶	راندمان (%) (η)

منابع

- [1] M. Gratzel, B. O'Regan, (1991), "Dye Sensitized Solar Cell," Nature 1991, 353, 737-740.
- [2] K. Nazeeruddin, et al., (2004), "Highly Efficient Photonto- Electron Conversion with Mercuriochromesensitized Nanoporous Oxide Semiconductor Solar Cells," Solar Energy Materials & Solar Cells, 248, 1317-1328.
- [3] Y. Chen , et al., (2007), cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder Nov. 26-28, Tainan, Taiwan.
- [4] F.Pichot, et al., (2000), Preparation of Nanocrystalline TiO₂ with Mixed Template and Its Application for Dye-Sensitized Solar Cells , Langmuir, 16, 5626-5630.
- [5] J. Chen, et al., (2009), High efficient dye-sensitized solar cells based on carbon black counter electrodes, carbon, 47, 2704 -2708.
- [6] M.H. Bazargan, (2009), Performance of Nano Structured Dye-Sensitized Solar Cell Utilizing Natural Sensitizer Operated with Patinum and Carbon Coated Counter Electrodes, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, Vol. 4, No. 4, p. 723-727.
- [7] D. Zhang, et al., (2008), A new method for manufacturing nanostructured electrodes on plastic substrates, Journal of Nanomaterials, ID 271631, 4 pages.
- [8] S.A. Haque, E. Palomares, B.M.Cho, A.N.M. Green, N.Hirata, D.R. Klug, J.R.Durrant. (2005), "Charge Separation Versus Recombination in Dyesensitized Nanocrystalline Solar Cells: the Minimization of Kinetic Redundancy," Journal of American Chemical Society, 127,10, pp 3456- 3462.
- [9] K. Hara, et al., (2000), "Highly Efficient Photonto- Electron Conversion with Mercuriochromesensitized Nanoporous Oxide Semiconductor Solar Cells," Solar Energy Materials & Solar Cells, 64, pp 115-134.