

بررسی تأثیر ضخامت فیلم دی‌اکسید تیتانیوم بر ساختار فتوالکتروود و عملکرد سلول خورشیدی رنگینه‌ای

کاوہ نوروزی لواسانی^۱، محمدحسین بازرگان^۱

تاریخ دریافت مقاله:

۸۸/۹/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله:

۸۸/۱۱/۱۷

چکیده:

الکتروود های دی اکسید تیتانیوم با ضخامت های مختلف ۰٫۷، ۱۴، ۲۸ و ۳۶ میکرون به روش لایه گذاری غلطکی (Squeege printing) ساخته و سپس تحت عملیات حرارتی قرار داده شدند. ساختار پوشش فیلم های دی اکسید تیتانیوم توسط تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM)، نشان داده شده است. آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نشان دهنده میزان افزایش زبری سطح فیلم ها با افزایش ضخامت بود و بالاترین فاکتور زبری مربعی میانگین (Root mean square slope) و میزان توسعه ناحیه سطحی (فاکتور ناهمواری ها) (Developed interfacial area ratio) به ترتیب برای الکتروود دی اکسید تیتانیوم با ضخامت ۳۶ میکرون، ۷۳٪ و ۲۳/۷٪ ثبت شد. با کمک آنالیز تعیین سطح ویژه (BET)، حجم تخلخل ها با افزایش ضخامت فیلم گزارش گردید و برای بالاترین ضخامت فیلم دی اکسید تیتانیوم کل حجم تخلخل ۰/۲۲۲۷ سانتیمتر مکعب بر گرم ثبت شد. تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه ها در ضخامت های مختلف پس از حساس سازی آنها در رنگینه، نشان دهنده افزایش درصد رونشینی رنگینه با افزایش ضخامت فیلم دی اکسید تیتانیوم بود. سلول های خورشیدی ساخته شده از ۴ نمونه ضخامت، تحت شدت نور ۳۰۰ وات بر متر مربع قرار گرفتند. بالاترین راندمان و فاکتور گنجایش به میزان ۳/۹٪ و ۶۸٪ به ترتیب برای فتوالکتروود با ضخامت ۱۴ و ۷ میکرون ثبت گردید.

کلمات کلیدی:

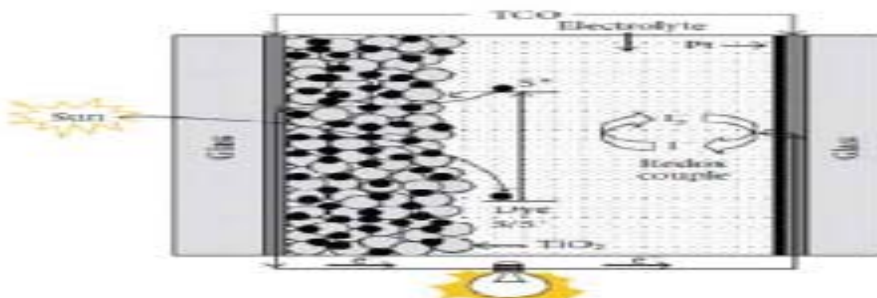
سلول خورشیدی رنگینه‌ای، جریان مداری کوتاه، جذب رنگینه، ضخامت فیلم دی اکسید تیتانیوم، ولتاژ مداری باز

(^۱) سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران - پژوهشکده مواد پیشرفته و انرژی‌های نو

مقدمه

در یک سلول خورشیدی، تبدیل نور به انرژی الکتریسیته در سه مرحله انجام می‌گیرد: ۱- جذب نور ۲- جدایش بار ۳- تجمع بار. مکانیزم انسجام مراحل بالا در سلول های خورشیدی مختلف متفاوت است. راندمان یک سلول خورشیدی به عملکرد هر کدام از این مراحل در سلول بستگی دارد و می‌توان بهترین عملکرد یک سلول را با طراحی و انتخاب مواد مناسب به حداکثر رساند. [۱]

همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود، یک سلول خورشیدی رنگینه ای از فتوالکتروود (Photoelectrode) حساس شده با رنگینه، الکتروود مقابل (Counter electrode) پوشش داده شده با پلاتین و محلول الکتروولیت تشکیل شده است. [۲]



شکل ۱: ساختمان یک سلول خورشیدی رنگینه ای

جذب نور در سلول خورشیدی رنگینه ای به وسیله مولکول های رنگینه که ناحیه وسیعی از فیلم دی اکسید تیتانیوم را می‌پوشانند، انجام می‌شود. یک جاذب نور ایده آل، نور را تا طول موج ۹۰۰ نانومتر جذب می‌کند که معادل فاصله لایه انرژی ۱/۳۵ الکترون ولت است. بهترین عملکرد حساس کننده های نوری در کمپلکس های پیریدیل روتنیوم بدست آمده است. [۳]

جدایش بار در سلول خورشیدی رنگینه ای شامل فرایند انتقال الکترون از مولکول رنگینه به دی اکسید تیتانیوم و فرایند انتقال حفره از رنگینه اکسید شده به الکتروولیت است. فرایند انتقال الکترون به سطح انرژی برانگیختگی مولکول رنگینه و باند هدایت دی اکسید تیتانیوم وابسته است. [۴] تزریق الکترون از رنگینه برانگیخته شده به ساختار نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم سریعترین واکنش در سلول خورشیدی رنگینه ای که در حد فمتوثانیه (10^{-15}) به طول می‌انجامد. از

آنجایی که سرعت انتقال الکترون به رنگینه 10^{12} برابر آهسته تر از سرعت تزریق الکترون به دی اکسید تیتانیوم می باشد، برگشت الکترونی به رنگینه (Recapture) از لحاظ سینتیکی مطلوب نمی باشد [۵]. شبکه متخلخل نانو ذرات نیمه رسانا علاوه بر اینکه به عنوان یک منطقه سطحی بزرگ برای پوشش مولکول های رنگینه عمل می کند، نقش یک واسطه به منظور انتقال الکترون تزریق شده از مولکول رنگینه را نیز ایفا می کند. می توان الکتروود دی اکسید تیتانیوم را یک شبکه متخلخل از ذرات مجزا دانست که الکترون به وسیله جهش (Hopping) از یک ذره به ذره دیگر نفوذ (Diffusion) می کند، بنابراین ذرات به عنوان مکان های جهش الکترونی (Trap) هستند و انتقال الکترون ها به این صورت به بخش نیمه رسانای شیشه ادامه می یابد. شکل (۲) انتقال الکترون در فیلم نانو کریستالی دی اکسید تیتانیوم را نشان می دهد. [۶]



شکل ۲: فرایند انتقال الکترون در شبکه متخلخل دی اکسید تیتانیوم و انتقال آن به سطح شیشه نیمه رسانای (TCO)

در فتوالکتروود حساس شده با رنگینه، برگشت الکترونی می تواند در هنگام تزریق الکترون از مولکول رنگینه به ساختار دی اکسید تیتانیوم و در هنگام مهاجرت الکترون در نانو ساختار انجام شود. وجود مکان های خالی از رنگینه و تماس الکتروولیت با سطح شیشه نیمه شفاف پوشش داده شده با دی اکسید تیتانیوم می تواند باعث برگشت الکترونی و کاهش ناخواسته یون یدید در محلول الکتروولیت شود [۷]. برگشت الکترونی در دمای محیط باعث کاهش ولتاژ مدارای باز تا ۵۹ میلی ولت می شود [۸].

یکی از نکات مهم در افزایش راندمان تبدیل نور به الکتریسیته، افزایش مقدار پوشش رنگینه در فیلم نانو کریستالی است که با افزایش ضخامت فیلم محقق می شود. ولی باید پدیده برگشت الکترونی در فیلم های ضخیم تر به دلیل تحرک (موبیلیته) کم الکترونها را نیز در نظر داشت (10^{-4} - 10^{-7} cm²/Vs) که باعث کاهش راندمان تولید جریان الکتریسیته می شود. بنابراین مطالعه بر روی ضخامت های مختلف فیلم دی اکسید تیتانیوم به منظور شناسایی ضخامت بهینه می تواند

بسیار حائز اهمیت باشد. [۹]

در آزمایشاتی که توسط هارا (HARA) و همکارانش انجام شد، مشخص گردید که جریان مداری کوتاه (I_{sc}) در فیلم با ضخامت ۱۶ میکرومتر به دلیل افزایش مقدار روئشینی رنگینه بیشتر می شود. اما راندمان و فاکتور گنجایش مورد بررسی قرار نگرفت. پارک و کوارتس (Park & Coauthors) نشان دادند که افزایش جریان مداری کوتاه به افزایش پوشش رنگینه در فیلم وابسته است. در این آزمایش آن ها از رنگینه روتنیوم با نام اختصاری (N719) و نانوکریستال های دی اکسید تیتانیوم با ساختار روتیل (Rutile) استفاده کردند که به کمک آن ها دو فتوالکتروود با ضخامت های ۶/۶ و ۱۱/۵ میکرومتر ساخته شد [۱۰، ۱۱]. در این پژوهش سعی بر این است که علاوه بر بررسی ساختار فیلم نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم در ضخامت های مختلف، جریان الکتریسیته تولید شده در تغییر پارامتر ضخامت مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

ساخت محلول رنگینه

محلول رنگینه از انحلال ۱۰ میلی گرم کمپلکس روتنیوم ۵۳۵ (شرکت سولارونیکس) در ۵۰ میلی لیتر اتانول (۹۹/۵٪) تهیه گردید [۱۲].

تهیه فتوالکتروود

به منظور تهیه ۴ نمونه فتوالکتروود دی اکسید تیتانیوم با ضخامت های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۳۶ میکرون، شیشه های نیمه رسانای شفاف (TCO10-10) با مقاومت سطحی ۱۰ اهم بر سانتیمتر مربع و ابعاد ۲۰×۲۰ میلیمتر (شرکت سولارونیکس) تهیه و با محلول سل-ژل نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم (TiO_2 -D) (شرکت سولارونیکس) با ساختار کریستالوگرافی آناتاز (Anatase) به روش لایه نشانی غلطکی با ابعاد ۱۰×۱۰ میلیمتر پوشش داده شدند. در این روش لایه نشانی، برای ساخت فیلم متخلخل با ضخامت های مختلف، از نوار چسب ها با ضخامت ۹۰ میکرون برای ایجاد حوضچه استفاده گردید. فرایند لایه نشانی شامل استفاده از یک میله شیشه ای با سطح یکنواخت و صاف است که با سرعت یکسان و تنظیم فشار وارده، بر روی سطح شیشه برای پخش کردن فیلم سل-ژل اغزیده می شود. بعد از آن نمونه ها در یک خشک کن به مدت ۱۰ دقیقه تحت دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک می شوند تا مواد حلال تبخیر شوند [۱۳].

بعد از لایه نشانی، الکتروودها در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه در کوره قرار و تا دمای محیط در کوره سرد شدند. فتوالکتروود پوشش داده شده با فیلم دی اکسید تیتانیوم به مدت ۲۴ ساعت در محلول رنگینه قرار داده شد. الکتروودها با اتانول شسته و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به منظور تثبیت رنگینه گذاشته شدند [۱۴].

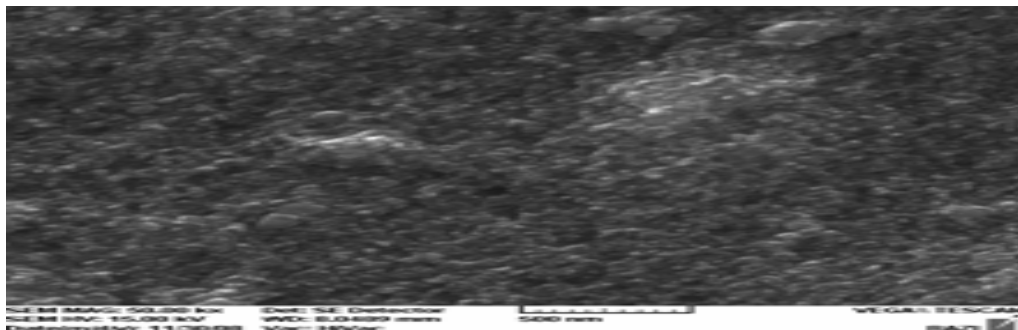
تهیه الکتروود مقابل

برای تهیه الکتروود مقابل، پوشش پلاتین با روش لایه نشانی اسپاترینگ (مدل Edwards Auto 306) تحت خلاء^{-۵} 8×10^{-5} تور با نرخ تبخیر $0/2$ آنگستروم بر دقیقه و ضخامت 100 نانومتر بر روی شیشه نیمه شفاف (TCO 10-10) اعمال گردید [۱۱].

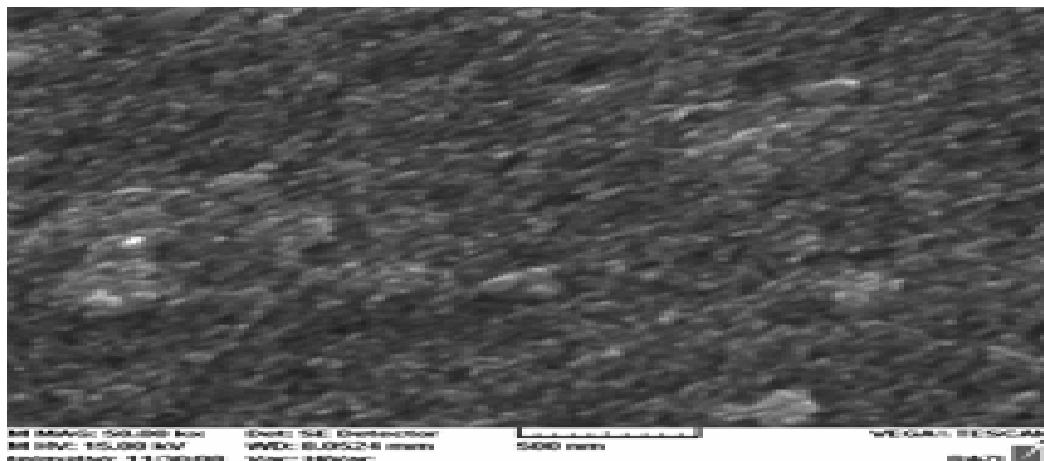
ساخت سلول خورشیدی رنگینه ای

برای ساخت سلول، فتوالکتروود از سطح پوشش داده شده و الکتروود مقابل بر روی هم قرار داده شدند و محلول الکتروولیت با ترکیب $0/5$ مول یدید پتاسیم و $0/05$ مول یدید در اتیلن گلیکول به میان الکتروودها اضافه شد. محلول الکتروولیت توسط خاصیت موینگی به فضای محصور بین دو الکتروود وارد شده و بعد از آن برای محکم نگه داشتن الکتروودها در کنار هم، از دو گیره استفاده شد [۱۵].

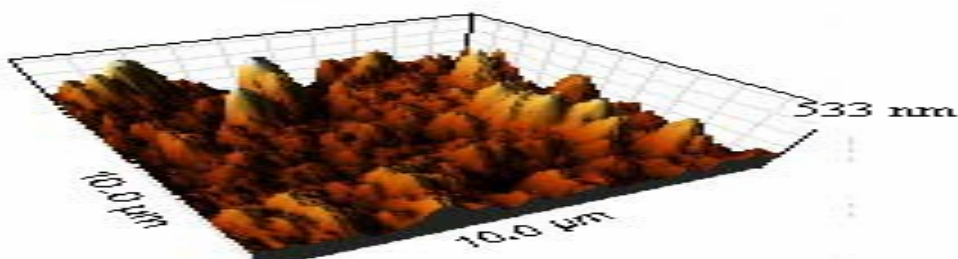
بررسی ساختار فیلم دی اکسید تیتانیوم توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به منظور بررسی ساختار نانوکریستال های دی اکسید تیتانیوم در فتوالکترودهای لایه نشانی شده روش تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (مدل T Scan Vega) بکار گرفته شد. تصاویر ۳ - الف، ۳ - ب به ترتیب ساختار اسفنجی و بسیار ریز ذرات دی اکسید تیتانیوم در فتوالکترودها را با ضخامت 14 و 36 میکرون را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، اندازه ذرات ریزتر شده به طور نسبی کمتر از 50 نانومتر بوده که باعث تشکیل ناحیه سطحی متخلخلی بر روی سطح فتوالکترود شده است [۱۶].

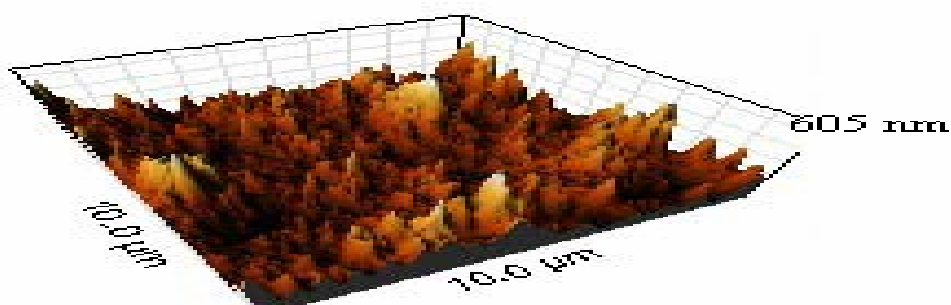


شکل ۳ - الف: تصویر ساختار فیلم با ضخامت 14 میکرون



از آنالیز میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM) (مدل Dualscope C26, DME) به منظور تعیین زبری سطح و ساختار نانوکریستال های دی اکسید تیتانیوم استفاده گردید. تصاویر ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج نشان دهنده ناهمواری ها در فیلم ها بعد از زینتر نمودن در ضخامت های ۱۴،۷ و ۳۶ میکرون می باشد. همانطور که در تصاویر مشاهده می شود با افزایش ضخامت، ارتفاع ناهمواری ها و منطقه سطحی گسترش می یابد. با توجه با آنالیز (AFM)، فاکتور زبری فیلم های مورد نظر در ضخامت های ۱۴،۷ و ۳۶ میکرون به ترتیب، ۴۲٪، ۴۸٪ و ۷۳٪ است. بنابراین با افزایش ضخامت، میزان ناهمواری ها و زبری سطح بیشتر شده است و در نتیجه می توان حدس زد که میزان جذب رنگینه و جذب نور به دلیل پدیده تفرق افزایش خواهد یافت. میزان نسبت توسعه ناحیه سطحی فیلم های مورد نظر در ضخامت های ۱۴،۷ و ۳۶ میکرون به ترتیب ۸/۳۵٪، ۱۰/۵٪ و ۲۳/۷٪ است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با افزایش ضخامت، منطقه سطحی ناحیه زبر افزایش می یابد [۱۷].





شکل ۴ - ب: تصویر سه بعدی فیلم با ضخامت ۱۴ میکرون



آنالیز تعیین سطح ویژه (BET)

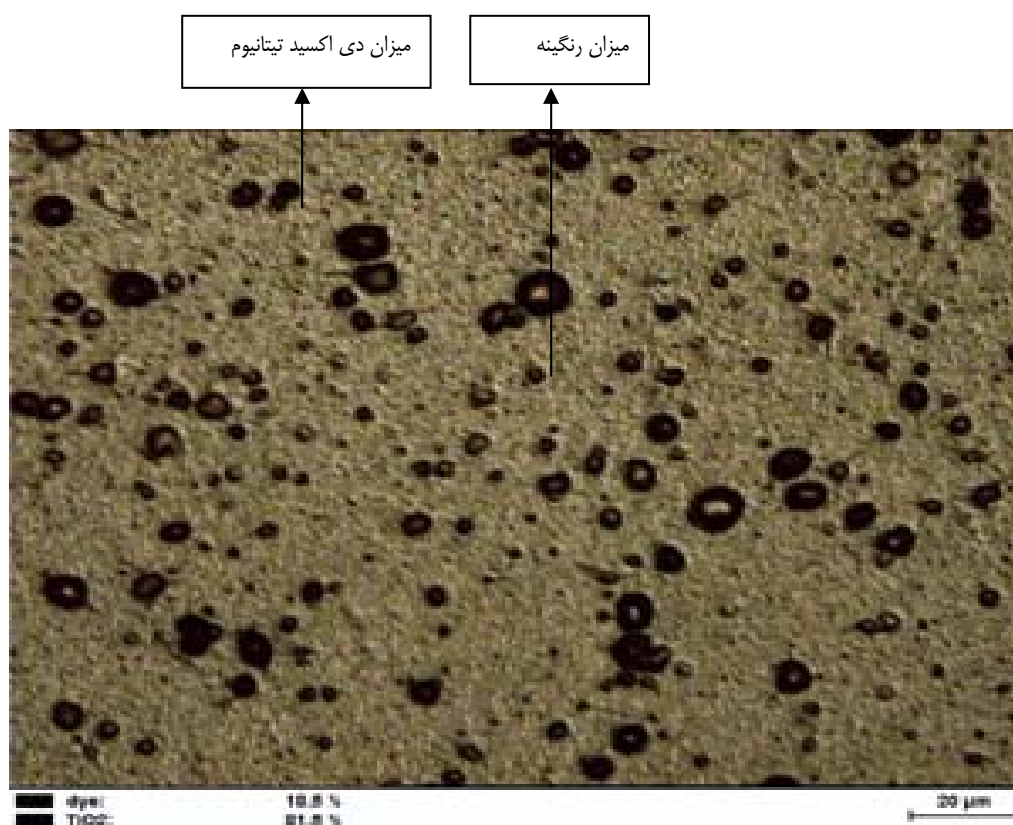
به منظور تعیین ناحیه سطحی و میزان تخلخل ها از آنالیز تعیین سطحی (مدل BELSORP-Mini) استفاده گردید. جدول (۱) نتایج بدست آمده از آنالیز تعیین سطحی را برای فیلم ها با ضخامت ۷ و ۳۶ میکرون نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود ناحیه سطحی ویژه و حجم تخلخل ها با افزایش ضخامت افزایش یافته است اما میزان تغییرات آن اندک است.

جدول ۱: اطلاعات بدست آمده از آنالیز تعیین سطحی ذرات

ضخامت فیلم ها	۷ میکرون	۳۶ میکرون
بیشینه شعاع تخلخل (nm)	۵/۲۹	۶/۹۳ و ۵/۲۹
کل حجم تخلخل در پودر (cm^3/gr)	۰/۲۰۶	۰/۲۲۲۷

تصویر میکروسکوپی نوری از فتوالکترودهای حساس شده با رنگینه

پس از حساس سازی فتوالکترودها با ضخامت ۰،۷ و ۱۴ میکرون با رنگینه، از میکروسکوپ نوری (مدل Olympus BX60) به منظور تصویر برداری از نمونه ها استفاده شد. شکل (۵)، تصویر میکروسکوپ نوری را در ناحیه سطحی ۲۴۸۱۶ میکرومتر مربع برای فیلم با ضخامت ۳۶ میکرون نشان می دهد. در جدول (۲) نتایج بدست آمده از میکروسکوپ نوری به ترتیب برای فیلم ها با ضخامت ۰،۷ و ۱۴ میکرون مشاهده می شود. نتایج دلالت بر افزایش میزان رونشینی رنگینه بر روی سطوح نانوکریستالی دی اکسید تیتانیوم با افزایش ضخامت دارد و انتظار می رود با توجه به نتایج، میزان رونشینی رنگینه در زیر لایه نیز با افزایش ضخامت بیشتر شود و بنابراین می توان افزایش میزان جذب نور را انتظار داشت.



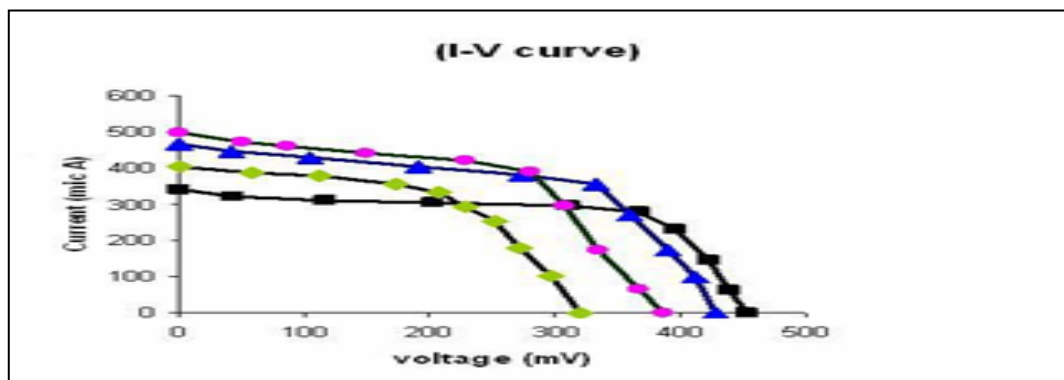
شکل ۵: تصویر میکروسکوپ نوری از فتوالکترودهای حساس شده با ضخامت ۳۶ میکرون

جدول ۲: نتایج بدست آمده از میکروسکوپ نوری

ضخامت فیلم (میکرون)	درصد رنگینه جذب شده	درصد زمینه (TiO ₂)
۷	٪۱۳/۶	٪۸۶/۴
۱۴	٪۱۴/۹	٪۸۵/۱
۳۶	٪۱۸/۵	٪۸۱/۵

بررسی عملکرد سلول

منحنی های ولتاژ - آمپراژ بدست آمده از تست سلول ها تحت لامپ هالوژن با شدت نور ۳۰۰ وات بر متر مربع، در شکل (۶) نشان داده شده است. منحنی با نقاط مربعی شکل مربوط به سلول خورشیدی ساخته شده با فتوالکتروود ۷ میکرونی، مثلثی شکل مربوط به فتوالکتروود ۱۴ میکرونی، دایره ای شکل مربوط به فتوالکتروود ۲۸ میکرونی و در نهایت نقاط لوزی شکل مربوط به سلول خورشیدی ساخته شده با فتوالکتروود ۳۶ میکرونی است.



شکل ۶: منحنی های ولتاژ-آمپراژ سلول های خورشیدی تهیه شده از فتوالکتروودها با ضخامت های مختلف، تحت شدت نور ۳۰۰ وات بر متر مربع. نقاط مربعی شکل، مربوط به سلول ساخته شده با فتوالکتروود ۷ میکرونی، مثلثی شکل مربوط به فتوالکتروود ۱۴ میکرونی، دایره ای شکل مربوط به فتوالکتروود ۲۸ میکرونی و نقاط لوزی شکل مربوط به سلول ساخته شده با فتوالکتروود ۳۶ میکرونی

نتایج استخراج شده از منحنی ولتاژ - آمپراژ، در جدول (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت در سلول های خورشیدی ولتاژ مداری باز و فاکتور گنجایش کاهش می‌یابد. جریان مداری کوتاه برای سلول ها تا ضخامت ۲۸ میکرون افزایش یافته و سپس با افزایش ضخامت فتوالکتروود به ۳۶ میکرون افت جریان ایجاد می‌شود. بدلیل افزایش جذب رنگینه با افزایش ضخامت فتوالکتروود، سلول خورشیدی جذب طیفی و خواص نوری بالاتری را نشان می‌دهد [۱۸]. اما افزایش ضخامت، افزایش انتقال ناخواسته الکترون و برگشت الکترونی به مکان تعادلی (حفره) را به همراه دارد که باعث افت پتانسیل و کاهش ولتاژ در سلول های خورشیدی می‌شود. در سلول خورشیدی با فتوالکتروود ۳۶ میکرونی، مقاومت انتقال بار و انباشتگی الکترونی ایجاد شده بر افزایش جذب نور چیرگی دارد و باعث کاهش جریان اتصال کوتاه در سلول خورشیدی می‌گردد. کاهش فاکتور گنجایش را می‌توان به دلیل افزایش انتقال بار با افزایش ضخامت نانو ساختار دی اکسید تیتانیوم دانست [۱۶].

نتیجه گیری

تاثیر ضخامت فتوالکتروود بر عملکرد سلول های خورشیدی رنگینه ای نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت فتوالکتروود، ساختار متخلخل و اسفنجی، منطقه سطحی و میزان زبری فیلم نانو ساختار دی اکسید تیتانیوم افزایش پیدا می‌کند. بیشینه ولتاژ مداری باز در سلول با ضخامت ۷ میکرونی، ۴۵۳ میلی ولت و بیشینه جریان اتصال کوتاه در سلول با ضخامت ۲۸ میکرونی، ۴۹۹ میکروآمپر بر سانتیمتر مربع ثبت گردید. با افزایش ضخامت فتوالکتروود، میزان جذب رنگینه افزایش پیدا کرد. اما به دلیل افزایش برگشت الکترونی، ولتاژ مداری باز کاهش یافت. بنابراین در ساخت سلول خورشیدی رنگینه ای، باید ضخامت فتوالکتروود بهینه ای ایجاد شود.

جدول ۲: نتایج بدست آمده از منحنی های ولتاژ-آمپراژ

سلول های خورشیدی در ضخامت های فتوالکتروود مختلف	فتوالکتروود ۷ میکرونی	فتوالکتروود ۱۴ میکرونی	فتوالکتروود ۲۸ میکرونی	فتوالکتروود ۳۶ میکرونی
ولتاژ مداری باز (mV)	۴۵۳	۴۲۸	۳۸۷	۳۲۰
جریان مداری کوتاه ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	۳۴۰	۴۶۵	۴۹۹	۴۰۳
ولتاژ ماکزیمم (mV)	۳۶۷	۳۳۳	۲۸۱	۲۰۶
جریان ماکزیمم ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	۲۸۷	۳۵۶	۳۹۰	۳۳۲
فاکتور گنجایش (FF)	%۶۸	%۵۹	%۵۶	%۵۳
راندمان (η)	%۳/۵	%۳/۹	%۳/۶	%۲/۲۷



منابع

- [1] M. Gratzel, J. Photochem, (2003), "Dye Sensitized Solar Cell," *Photobiol*, 4, pp 145-153.
- [2] Kristofer Fredin, Jar Nissfolk, et al, (2007), "The Influence Of Cations On Charge Accumulation In Dye Sensitized Solar Cells," *Electroanalytical Chemistry*, 609, pp 55-60.
- [3] Hagfeldt A., Grätzel M., (2000), "Molecular Photovoltaics," *Acc. Chem. Res*, 33, 5, pp 269-277.
- [4] Haque SA, Palomares E, Cho BM, Green ANM, Hirata N, Klug DR, Durrant JR. (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.
- [5] Cahen D., et al., (2000), "Nature of Photovoltaic Action in Dye-Sensitized Solar Cells," *J. Phys. Chem*, 104, pp 2053-2059.
- [6] H.Tributsch, (2004), "Dye Sensitization Solar Cells: A Critical Assessment Of The Learning Curve," *Coordination Chemistry Reviews*, 248, 13-14, pp 1511-1530.
- [7] Green, M. A., (1982), "Solar Cells, Operating Principles, Technology and System Applications," Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc, 276 s, ISBN 0-13-822270-3.
- [8] M. Gratzel, (1999), "Mesoporous Oxide junctions and nanostructured solar cells *Curr. Opin. Colloid Interf.*" *Sci*,4, pp 314.
- [9] Man Gukan, Kwan. SunRyu, et al, (2004), "Dependence of TiO₂ film thickness on photocurrent-voltage characteristics of dye sensitized solar cells," *Korean Chem. Soc.* 25, 5, pp 742-747.
- [10] Hara, K., et al., (2000), "Highly efficient photonto- electron conversion with mercurochrome sensitized nanoporous oxide semiconductor solar cells," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 64, pp 115-134.
- [11] Park, N.G., J. van de Lagemaat, and A.J. Frank. (2000), "Comparison of Dye-Sensitized Rutile- and Anatase-Base TiO₂ Solar Cells," *J.Phys. Chem*, 104, pp 8989-8994.
- [12] Xiaoming Fang L, Tingli Ma,etal, (2004), "Effect of the thickness of the Pt film coated on a counter electrode on the performance of a dye-sensitized solar cell," *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 570, pp 257-263.
- [13] Seigo., Kitamura, T., Wada, Y. and Yanagida, S.(2003), "Facile fabrication of mesoporous TiO₂ electrodes for dye solar cells: chemical modification and repetitive coating," *Elsevier. SolarEnergy Materials & Solar Cells*, 76, pp 3-13.
- [14] Hagfeldt A., et al., (1994), "Verification of high efficiencies for the Grätzel-cell. A 7% Efficient solar cellbased on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Solar EnergyMaterials & Solar Cells*, 31, pp 481-488.



- [15]Olsen, E., et al., (2000), "Dissolution of platinum in methoxy propionitrile containing Li/I₂, Solar Energy Materials and Solar Cells," 63, pp 267- 273.
- [16]Brabec, et al., (2001), "Plastic Solar Cells," Adv. Funct. Mater, 11, 1, pp 15-26.
- [17]Athanasios, I. Kontos; Athanasios, G Kontos; et al; (2008), "Nanostructured TiO₂ films for Dssc prepared by combining doctor blade and sol gel techniques," Processing Technology, 196, pp 243-248.
- [18]Nelson, J.; Eppler, A. M.; Ballard, I. M. J. (2002), "Solar Cells by Self-Assembly,"Photochem.Photobiol, A. Chem, 148, pp 25.