ساخت و مشخصه یابی سلول خورشیدی رنگینهای توسط پوششهای مزومتخلخل منظم دی اکسید تیتانیم

بنيامين يارمند*

استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکاه فناوری نانو و مواد پیشرفته

تاريخ ثبت اوليه: ٩٢/٥/٨، تاريخ دريافت نسخهٔ اصلاح شده: ٩٢/٨/١٩، تاريخ پذيرش قطعي: ٩٢/٨/٢٥

چکیده سلولهای خورشیدی رنگینه ی توسط پوششهای مزومتخلخل منظم دی اکسید تیتانیم ساخته و عملکرد آنها ارزیابی شد. بررسی خصوصیات ساختاری پوششها توسط پراش پرتو ایکس مشخص ساخت که فاز آناتاز در دمای ² ۳۰۰ جوانه زده و با افزایش دما تا ² ۲۰۰ تبلور می یابد. مساحت سطح ویژه پوششها با افزایش دمای آنیل از ۲۰۰ به ² ۶۰۰ به ۲۰۰ الا² ۲۰۰ کاهش و میانگین اندازه تخلخل ها از ۵۰/۵ به ۲۰۰ الازایش یافته است. میزان جذب پوششها با افزایش دمای آنیل از ۲۰۰ به ² ۶۰۰ واز ۱۶۳/۴۳ به ²/۸۷ کاهش و میانگین اندازه تخلخل ها از ۵۰/۵ به ۲۰۰۵ افزایش یافته است. میزان جذب پوششها با افزایش دمای آنیل از ۲۰۰۰ به ۲۰۰ ² ۲۰۰ و از ۲۵/۲۳ مار میزان جذب پوشش ها با افزایش دمای آنیل افزایش دمای آنیل افزایش یافته است. میزان جذب پوشش ها با افزایش دمای آنیل از ۲۰۰۰ به ² ۲۰۰۵ از ۲۵/۲۴ مار مار مار مانگین اندازه تخلخل ها از ۵۰/۵ به ۲۰۰۵ افزایش یافته است. میزان جذب پوشش ها در محدوده مرئی با افزایش دمای آنیل افزایش یافته و لبه جذب آنها به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا شده است. ارزیابی عملکرد سلولهای ساخته شده از پوشش های ماور میزه یوشش ها در محدوده مرئی با افزایش دمای آنیل افزایش یافته و نه جذب آنها به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا شده است. ارزیابی عملکرد سلولهای ساخته هده از پوشش های مرفی با افزایش دمای آنیل افزایش یافته و نه جذب آنها به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا شده است. ارزیابی عملکرد سلولهای ساخته شده از پوش های مزومتخلخل منظم دی اکسید تیتانیم در ضخامتهای مختلف مشخص ساخت که با افزایش ضماد از ۷/۰ تا ۲۰۰ پس به به به میزان اتصال کوتاه می شود. بیشترین بازده سلول در ضخامت از ۷/۰ با ۲۰۵ (۲/۱۰ به دست آمد.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی رنگینهای، پوشش مزومتخلخل منظم، دی اکسید تیتانیم.

Fabrication and characterization of dye-sensitized solar cell based on ordered mesoporous TiO₂ films

B. Yarmand^{1*}

¹Department of Nanotechnology and Advance Materials, Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran

Abstract Dye-sensitized solar cells based on ordered mesoporous TiO_2 films were fabricated by sol-gel technique. X-ray diffraction (XRD) analysis revealed that anatase phase was crystallized at 300 °C with initially crystallite size 3.2 nm and the crystallization was improved to 700 °C. Surface area analysis showed that the specific surface area of the films decreased from 163.43 to 87.15 m²/g and the pore size increased from 5.05 to 8.75 nm as the annealing temperature increased from 400 to 600 °C. The transmittance spectra that measured by UV/Vis spectrophotometer revealed that the transmittance maxima of the films decreased in the visible region and the absorption edges shifted to longer wavelengths. Photovoltaic measurements showed that the power conversion efficiency of the films initially enhanced to the maximum value of 3.61% with the increasing film thickness to 1.7 µm and then declined when the film thickness increased further.

Keywords: Dye-sensitized solar cell; TiO₂; Ordered mesoporous films.

*عهدهدار مكاتبات

نشانی: کرج، پژوهشگاه مواد و انرژی تلفن: ۳۶۲۸۰۰۴۰-۲۶۰، دورن**گار:** ----، پیامنگار: byarmand@merc.ac.ir www.SID.ir

۱ – مقدمه

بحران انرژی یکی از چالشهای پیشروی بشر طی سالهای آینده میباشد. برای پیشگیری از این بحران با توجه به کاهش ذخایر فسیلی و آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف آنها باید سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تامین انرژی مورد نیاز افزایش یابد. سلولهای خورشیدی از جمله تجهیزات راهبردی برای استفاده مستقیم از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع فراوان، سازگار با محیط زیست و در دسترس میباشند. تاکنون تلاشهای بسیاری در راستای ساخت و بهبود راندمان سلولهای خورشیدی صورت گرفته اما بزرگترین مانع بکارگیری این تجهیزات هزینه ساخت زیاد میباشد [۱].

جدیدترین نسل سلولهای خورشیدی که در سالهای اخير توجه بسياري از محققان را به خود جلب نموده سلولهای خورشیدی رنگینهای' است. مزیت عمده این سلولها فرايند ساخت ساده و هزينه بسيار كم توليد در مقايسه با سلولهای متداول میباشد [۲]. تحقیقات بسیاری برای بهبود راندمان این سلولها صورت گرفته که از جمله آنها می توان به استفاده از ساختارهای نانوذره و نانولوله در ساخت سلول اشاره نمود. یکی از ساختارهای جدیدی که انتظار میرود تاثیر بسزایی در راندمان سلولها داشته باشد ساختار مزومتخلخل منظم است. این ساختار از یک سو میزان جذب نور برخوردی را افزایش میدهد و از سوی دیگر موجب سهولت جابجایی حاملهای بار میشود [۳ و۴]. از این رو در پژوهش حاضر ساخت سلول،های خورشیدی رنگینهای با استفاده از پوششهای مزومتخلخل منظم دی اکسید تیتانیم مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا شرایط ایجاد پوشش بهینه سازی شده و سیس عملکرد سلول در ضخامتهای مختلف مشخصه یابی شده است.

۲- نحوه آزمایش

سلول خورشیدی رنگینهای از دو بخش اصلی الکترود نوری و الکترود مقابل تشکیل شده است. الکترود نوری با ایجاد پوششهای مزومتخلخل منظم دی اکسید تیتانیم روی زیرلایههای رسانای شفاف FTO با مقاومت الکتریکی □/Ω ۸

ساخته شد. پوشش دهی توسط فرایند سل- ژل صورت گرفت. برای تهیه سل ابتدا g ۳/۲ اسید کلریدریک به g ۵ تترا ایزو یرویوکسید تیتانیم اضافه گردید و در دمای اتاق همزده شد. سیس g ۱ یلورونیک^۲ P123 در ۲۱ اتانول حل شد و به محلول هيدروليز شده فوق اضافه گرديد. لايهها به روش چرخشی با سرعت ۲۰۰۰ rpm به مدت s ۳۰ ایجاد شدند و سپس به مدت h ۲۴ در دمای C و رطوبت ٪۷۵–۶۵ نگهداری و در کوره تونلی به مدت ۱ h در محدوده دمایی ۳۰۰۰–۹۰۰° با سرعت گرمایش ۱°C/min در اتمسفر محیط آنیل شدند. برای افزایش ضخامت چرخه پوششدهی تکرار گردید. حساس سازی الکترودهای نوری توسط مولکولهای رنگی N719 با غلظت mM • /۳ mM انجام شد. برای ساخت الكترود مقابل مقدار معيني از محلول اسيد کلرویلاتنیک هگزا هیدرات برروی زیرلایه رسانای شفاف قرار داده شد و سپس درون کوره با دمای C° ۴۵۰ به مدت ۳۰ min حرارت داده شد. در ادامه برای سرهم کردن اجزای سلول ابتدا لایهای از چسب حرارتی که در آن حفرهای به شکل مربع و به ابعاد ^x+/۵ cm² بریده شده بود برروی الکترود نوری قرار داده شد. سپس چند قطره از الکترولیت AN-50 به درون آن ریخته و الکترود مقابل به آرامی به طوری که هیچ گونه حبابی از هوا بین دو الکترود باقی نماند برروی چسب حرارتی قرار داده شد. در نهایت اجزای سرهم شده سلول درون آون با دمای C به مدت ۳۰ min تحت فشار قرار گرفتند تا چسب حرارتی گیرایی لازم را ایجاد نماید.

خصوصیات ساختاری پوشش ها توسط پراش پرتو ایکس (XRD) با تابش Cu-kα و فیلتر Ni در ولتاژ V ۰ و شدت جریان PW3710 توسط دستگاه Philips مدل PW3710 تعیین شد. رفتار حرارتی پوشش ها توسط آنالیز حرارتی همزمان (STA) با سرعت گرمایش C/min ۵ در محدوده دمایی (STA) با سرعت گرمایش C/min ۵ در محدوده دمایی مطالعه شد. خصوصیات سطحی پوشش ها توسط دستگاه BELSORP II بررسی شد. مساحت سطح تخلخل ها به روش جذب سطحی همدمای برونر – امت – تلر (BET) با استفاده از گاز نیتروژن اندازه گیری گردید و توزیع اندازه تخلخل ها توسط مدل بارت – جوینر – هالندا (BJH) محاسبه شد. خصوصیات

نوری پوششها توسط طیف سنجی UV-vis در محدوده طول موج ۸۰۰ میر ۲۰۰۰ با سرعت روبش ۸۰۰ اندازه گیری شد. دستگاه Perkin Elmer مدل 25 abdbal اندازه گیری شد. ضخامت پوششها توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح مقطع نمونهها محاسبه شد. عملکرد سلولها تحت نور شبیه سازی شده خورشید با توان W/m² مالولها تحت نور شبیه سازی شده خورشید با توان ۱۰۰۳ مالولها ایک دمای ۲۵°۵ و جرم هوا (AM) ۱/۵ توسط پتانسیواستات Autolab

۳– نتايج و بحث

شکل (۱) طیفهای پراش پرتو ایکس پوششهای دی اکسید تیتانیم آنیل شده در محدوده دمایی C° ۹۰۰–۳۰۰ را نشان میدهد. پوشش ایجاد شده در دمای محیط ساختار آمورف دارد و پس از آنیل تبلور مییابد. در دمای C° ۳۰۰ پیکهای فاز آناتاز ظاهر میشوند که بیانگر جوانهزنی کریستال،های آناتاز و شروع استحاله فازی آمورف به آناتاز است. با افزایش دمای آنیل از ۳۰۰ به C° ۷۰۰ شدت پیکهای فاز آناتاز افزایش یافته که به معنای تبلور بیشتر این فاز در یوشش است. در دمای C° ۷۰۰ با ظاهر شدن پیکهای فاز روتیل استحاله فازی آناتاز به روتیل شروع می شود. با افزایش دمای آنیل به C° ۸۰۰ شدت پیکهای فاز آناتاز کاهش یافته در حالی که شدت پیکهای فاز روتیل افزایش مییابد. در دمای °C ۹۰۰ پیکهای فاز آناتاز به طور کلی ناپدید شده و شدت پیکهای فاز روتیل افزایش پیدا کرده که بیانگر تبلور کامل فاز روتیل در ساختار پوشش است. پیکهای شاخص فاز آناتاز و روتیل به ترتیب در ۲۵/۳۰=۲۵ و ۲۷/۴۰=۲۷ مشاهده می شود که مربوط به صفحات (۱۰۱) و (۱۱۰) است. بنابراین هیچ شواهدی مبنی بر تشکیل فاز بروکایت و یا ترکیبات دیگر نظیر ناخالصیهای کربن در پوششهای دی اکسید تیتانیم وجود ندار د.

میانگین اندازه کریستالیت فازهای موجود در پوشش های دی اکسید تیتانیم با استفاده از نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس و رابطه شرر محاسبه شد [۵]:

 $D = \frac{k\lambda}{B\cos\theta} \tag{1}$

در این رابطه D میانگین اندازه کریستالیتها بر حسب www.SID.ir

k am عدد ثابت ۹/۰، λ طول موج پرتو ایکس (Å-۱/۵۴۰۶Å)، θ زاویه تفرق بر حسب درجه و B عرض کامل در نصف بیشینه (FWHM) پیک مورد نظر بر حسب رادیان است. کسر جرمی فاز روتیل موجود در پوششهای دی اکسید تیتانیم در غیاب فاز بروکایت توسط رابطه زیر محاسبه گردید [۵]:

$$X_{Rutile} = \frac{1}{1 + K(I_A / I_R)}$$
 (Y alatelete (Y)

در رابطه فوق I_A و I_R به ترتیب شدت پیکهای (۱۰۱) فاز آناتاز و (۱۱۰) فاز روتیل و K عدد ثابت۰/۷۹ است که توسط یک نمونه با مقادیر مشخص فازهای آناتاز و روتیل تعيين شده است. نمودار تغييرات ميانگين اندازه كريستاليتها و مقدار فاز روتیل بر حسب دمای آنیل در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش دمای آنیل اندازه کریستالیتهای هر دو فاز افزایش یافته است. میانگین اندازه کریستالیتهای فاز آناتاز با افزایش دمای آنیل از ۳۰۰ به °۰۸ بیش از هفت برابر شده و از ۳/۲ به ۲۲/۷ nm افزایش یافته و کریستالیتهای فاز روتیل با افزایش دمای آنیل از ۷۰۰ به C°۹۰ از ۱۵/۳ به nm ۲۷/۸ رشد کردهاند. مقدار فاز روتیل در دمای C°۷۰۰ برابر ۱۱/۱٪ بوده و در دمای C° ۹۰۰ به ۱۰۰٪ افزایش پیدا کرده است. اندازه کریستالیت فازهای موجود در پوششهای دی اکسید تیتانیم ایجاد شده در این تحقیق در مقایسه با نتایج تحقیقات دیگر کوچکتر است که به دلیل استفاده از پلورونیک به عنوان تميلت مي باشد [۴].



شده در دماهای مختلف.



آنيل

رفتار حرارتی پوششهای دی اکسید تیتانیم در محدوده دمایی °C-۱۰۰۰ – ۲۵ در نمودار شکل (۳) نشان داده شده است. در منحنی آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) پیک گرمازا با شدت نسبتاً زیادی در دمای °°۲۵۰ مشاهده می شود که مربوط به احتراق و حذف مواد آلی از پوشش است. پیک گرمازای پهنی با شدت کم در محدوده دمایی C°۳۵۰–۳۰۰ وجود دارد که بیانگر تبلور فاز آناتاز است. دمای شروع تبلور فاز آناتاز به دلیل همیوشانی با دمای تجزیه مواد آلی به صورت دقیق قابل تعیین نیست. پیک گرمازای دیگری با شدت کم در محدوده دمایی °°۷۳۰–۷۲۰ وجود دارد که تبلور فاز روتیل را مشخص میسازد. مطابق منحنی تغییرات وزن (TG)، کاهش وزن در سه مرحله رخ میدهد. مرحله اول در دماهای کمتر از °°۱۳۰ است. با توجه به اینکه هیچ پیکی در نمودار تغییرات دمایی مشاهده نمی شود می توان نتیجه گرفت که کاهش ۴/۱٪ وزن نمونه ناشی از تبخیر آبی است که به صورت فیزیکی جذب شده است. مرحله دوم کاهش وزن در محدوده دمایی °°۲۶۰-۱۸۰ رخ میدهد که در حدود ۲۸/۵٪ است. این کاهش وزن مربوط به حذف مواد آلی و آب باقی مانده است. در مرحله سوم، کاهش وزن ۹/۴٪ در محدوده دمایی C°۴۰۰–۲۶۰ اتفاق میافتد که ناشی از حذف آب ساختاری و تبدیل هیدروکسید تیتانیم به دی اکسید تیتانیم است. منحنی تغییرات وزن در دماهای بالاتر از °۴۵۰° تقریباً ثابت است که بیانگر حذف كامل آب، مواد آلي و تركيبات ديگر است. مطابق نتايج تحقیقات استحاله فازی آناتاز به روتیل در دمای حدود C° ۷۰۰ www.SID.ir



منحنی های همدمای جذب و دفع سطحی گاز نیتروژن و توزيع اندازه تخلخلهای شاخه جذب پوششهای دی اکسيد تیتانیم آنیل شده در دماهای مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. هر سه منحنی دارای جذب و دفع تدریجی مولکولهای گاز بوده و از نظر شکل ظاهری شبیه منحنی نوع چهار مىباشند. بنابراين پوشش،هاى دىاكسيد تيتانيم ساختار مزومتخلخل دارند [٨]. دامنه توزيع اندازه تخلخلها همان طور که در منحنی های شکل (۴–ب) نشان داده شده بسیار محدود مى باشد كه بيانگر يكنواختى اندازه آنها است. جدول (۱) خصوصیات سطحی پوشش های دی اکسید تیتانیم آنیل شده در دماهای مختلف را نشان میدهد. با افزایش دمای آنیل از ۴۰۰ به °C مساحت سطح ویژه پوششها از ۱۶۳/۴۳ به m²/g ۸۷/۱۵ کاهش یافته در حالی که میانگین اندازه تخلخلها از ۵٬۰۵ به ۸/۷۵ nm افزایش پیدا کرده است. افزایش دمای آنیل همان طور که نتایج پراش پرتو ایکس مشخص ساخت موجب رشد کریستالیتهای موجود در ساختار پوشش می شود که در اثر آن تخلخلهای ریز به یکدیگر پیوسته و درشت میشوند. نیروی محرکه این فرایند کاهش انرژی آزاد سیستم با کاهش انرژی سطح است.



شکل ۴. منحنیهای الف- همدمای جذب و دفع سطحی گاز نیتروژن و ب- توزیع اندازه تخلخلهای شاخه جذب پوششهای دی اکسید تیتانیم آنیل شده در دماهای مختلف.

جدول۱. خصوصیات سطحی پوشش های دی اکسید تیتانیم آنیل شده در دماهای مختلف.

میانگین اندازه تخلخلهای شاخه دفع (nm) [BJH]	میانگین اندازه تخلخلهای شاخه جذب (nm) [BJH]	میانگین اندازه تخلخل ها (BET] (nm)	مساحت سطح ویژه (m²/g)	دمای آنیل (°C)
٣/٢٨	٣/٢٨	۵/۰۵	1837/88	4
۶/۱۸	۶/۱۸	٨/٢١	۱•۸/۹۱	۵۰۰
٧/•٣	۶/۶۵	Λ/ΥΔ	AV/10	v

تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از پوشش دی اکسید تیتانیم آنیل شده دمای C^o ۴۰۰ در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود نانو کریستالهای فاز آناتاز به یکدیگر متصل شده و شبکه متخلخل را ایجاد ir.ewww



شکل۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری پوشش دی اکسید تیتانیم آنیل شده در دمای C° ۴۰۰.

شکل (۶) طیفهای عبور نور مرئی فرابنفش پوششهای دی اکسید تیتانیم آنیل شده در دماهای مختلف را در محدوده طول موج mn ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ نشان می دهد. تمامی پوششها در محدوده نور مرئی عبور بیش از ۷۰٪ دارند و در محدوده فرابنفش دارای جذب می باشند که ناشی از انرژی گاف آنها است. با افزایش دمای آنیل میزان عبور نور از پوششها در محدوده مرئی کاهش یافته و لبه جذب آنها به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا شده است. این تغییرات در دماهای آنیل 2° ۸۰۰ و بالاتر از آن به علت تغییر فاز کریستالی از آناتاز به روتیل مشخص تر است.



انرژی گاف پوشش ها با استفاده از طیفهای عبور نور و رابطه تاک محاسبه شد [۹]:

 $\alpha = \frac{k(h\upsilon - E_g)^n}{h\upsilon}$ (Y alackie (Y)

hv در این رابطه α ضریب جذب نور، k عدد ثابت، α

انرژی فوتون و n دارای مقادیر ۵/۰ و ۲ به ترتیب برای انتقال مستقیم مجاز و غیر مستقیم مجاز است. انرژی گاف یوشش ها توسط برون یابی خط مماس بر ناحیه خطی نمودار (αhv)بر حسب hv تخمین زده می شود. شکل (۷) نمودار تغییرات انرژی گاف پوشش های دی اکسید تیتانیم را بر حسب دمای آنیل نشان میدهد. انرژی گاف پوشش آنیل شده در دمای C° ۳۰۰ برابر ۳/۶۱ eV است و با افزایش دمای آنیل به تدریج کاهش یافته و به ۳/۴۳ eV در دمای C° ۷۰۰ میرسد. با افزایش دما به C°۹۰۰ انرژی گاف یوشش ها به طور ناگهانی به ۳/۲۵ eV کاهش مییابد که ناشی از تبدیل فاز آناتاز به روتیل است. کاهش انرژی گاف پوشش های دی اکسید تیتانیم ناشی از افزایش اندازه کریستالیت و چگالی پوشش ها با افزایش دما و استحاله آناتاز به روتیل است. مقادیر انرژی گاف به دست آمده برای پوششهای نانوساختار مزومتخلخل دی اکسید تیتانیم در این تحقیق بیشتر از پوششهای ضخیم است که ناشی از اثرات کوانتومی نانوکریستالهای پوشش به دلیل اندازه بسيار كوچك مى باشد.



بهترین دمای آنیل برای دستیابی به پوشش با خصوصیات مناسب برابر Σ° ۲۰۰ انتخاب گردید. منحنی های چگالی جریان بر حسب اختلاف پتانسیل سلول های ساخته شده در ضخامت های مختلف و نتایج حاصل از آنها به ترتیب در شکل (۸) و جدول (۲) آورده شده است. با افزایش چرخه های پوشش دهی از ۴ به ۱۲ ضخامت پوشش دی اکسید تیتانیم از ۷/۰ به mμ ۲ افزایش یافته است. چگالی جریان اتصال کوتاه سلول با افزایش ضخامت از ۷/۰ تا mμ ۱/۷ از ۲/۵۹ تا سلول با افزایش پیدا کرده اما افزایش بیشتر ضخامت تا

۷/۵۷ mA/cm² موجب کاهش جریان اتصال کوتاه به ۷/۵۷ mA/cm² شده است. اختلاف پتانسیل مدار باز سلول از ۷ ۰/۷۰۱ به ۷ شده است. اختلاف پتانسیل مدار باز سلول از ۷ ۰/۷۰۱ به ۳ ۱/۷ بیشترین بازده ۲/۶۱٪ را دارد. افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه در ضخامتهای کمتر از mμ ۱/۷ ناشی از افزایش مساحت سطح پوشش است. با افزایش مساحت سطح مولکولهای رنگی بیشتری جذب شده که موجب تزریق بیشتر الکترون به نوار هدایت دی اکسید تیتانیم میشوند. در ضخامتهای بیشتر از mμ ۱/۷ میزان بازترکیب الکترونهای تزریق شده با حاملهای الکترولیت افزایش مییابد که موجب کاهش جریان اتصال کوتاه میشود. همچنین این احتمال وجود دارد که با افزایش چرخه پوشش دهی مساحت جدیدی که ایجاد میشود کمتر از مساحتی باشد که به دلیل آنیل از لایههای زیرین حذف می گردد [۱۰].



جدول۲. نتایج حاصل از منحنیهای چگالی جریان بر حسب اختلاف پتانسیل سلولهای ساخته شده در ضخامتهای مختلف.

				ضخامت	تعداد
η (%)	FF	Voc (V)	J _{SC} (mA/cm ²)	پوشش	چرخەھاى
				(µm)	پوششدهی
۰/۹۸	•/۵۴	۰/۷۰۱	۲/۵۹	•/V	۴
۲/۳۱	•/۵۶	•/\٣٣	۵/۶۵	١/٢	۶
٣/٢۵	۰/۵۹	٠/٧۴٩	V/TD	١/۵	٨
٣/۶١	۰/۵۹	۰/V۶۱	٨/•۵	1/V	١٠
۳/۴۵	•/9•	•/V۶•	V/QV	٢	١٢

- 7. Negishi, N., Takeuchi, K., Structural changes of transparent TiO₂ thin films with heat treatment, *Mater. Lett.*, 1999, 38, 150.
- Wark, N., Tschirch, J., Bartels, O., Bahnemann, D., Rathousky, J., Photocatalytic activity of hydrophobized mesoporous thin films of TiO₂, *Micropor. Mesopor. Mater.*, 2005, 84, 247.
- Sreemany, M., Sen, S., A simple spectrophotometric method for determination of the optical constants and band gap energy of multiple layer TiO₂ thin films, *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 83, 169.
- Wang, H., Liu, Y., Xu, H., Dong, X., Shen, H., Wang, Y., Yang H., An investigation on the novel structure of dye-sensitized solar cell with, integrated photoanode, *Renewable Energy*, 2009, 34, 1635.

۴- نتیجه گیری

يوشش هاي مزومتخلخل منظم دي اكسيد تيتانيم به منظور ساخت سلولهای خورشیدی رنگینهای ایجاد و ارزیابی شدند. نتایج پراش پرتو ایکس نشان داد که کریستالهای فاز آناتاز در دمای °C با اندازه کریستالیت ۳/۲ شروع به جوانهزنی کرده و در دمای C[°] ۷۰۰ به فاز روتیل با اندازه کریستالیت ۱۵/۳nm تبدیل می شوند. مساحت سطح ویژه پوشش ها با افزایش دمای آنیل از ۴۰۰ به [°]C از ۱۶۳/۴۳ به ۸۷/۱۵ m²/g کاهش می یابد در حالی که میانگین قطر حفرات از ۵٬۰۵ به ۸/۷۵nm افزایش پیدا می کند. میزان جذب یوشش ها در محدوده مرئی با افزایش دمای آنیل افزایش یافته و لبه جذب آنها به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا شده است. با افزایش دما آنیل گاف انرژی پوشش ها از ۳/۶۱ eV در دمای ۳۰۰°C به ۳/۲۵ eV در دمای ۹۰۰°C کاهش یافته است. ارزيابي عملكرد سلولها مشخص ساخت كه با افزايش ضخامت از ۰/۷ تا μm ۱/۷ جریان اتصال کوتاه از ۲/۵۹ به ۸/۰۵ mA/cm² افزایش می یابد اما افزایش بیشتر ضخامت موجب كاهش جريان اتصال كوتاه مىشود. بيشترين بازده سلول در ضخامت μm ۱/۷ بر ابر ۳/۶۱٪ به دست آمد.

- مراجع
- 1. Grätzel, M., Dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 2003, 4, 145.
- Wang, H., Liu, Y., Xu, H., Dong, X., Shen, H., Wang, Y., Yang, H., An investigation on the novel structure of dye-sensitized solar cell with integrated photoanode, *Renewable Energy*, 2009, 34, 1635.
- Gan, W.Y., Zhao, H., Amal, R., Photoelectrocatalytic activity of mesoporous TiO₂ thin film electrodes, *Applied Catalysis A: General*, 2009, 354, 8.
- Zhang, Q., Cao, G., Nanostructured photoelectrodes for dye-sensitized solar cells, *Nano today*, 2011, 6, 91.
- Cullity, B.D., Elements of X-ray diffraction, Addison-Wesley Publishing Company Inc, London, 1978.
- Yun, H., Miyazawa, K., Honma, I., Zhou, H., Kuwabara, M., Synthesis of semicrystallized mesoporous TiO₂ thin films using triblock copolymer templates, *Mat. Sci. and Eng. C*, 2003, 23, 487.