



روش رسوب گذاری سیلار بر پایه لایه نشانی چرخشی در مقایسه با روش سیلار در ساخت سلول خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی

فاطمه دوست حسینی^۱، عباس بهجت^۱، نعیمه کارگر^۱ و علی محمد دهقانی^۲

^۱ گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

^۲ گروه پژوهشی فوتونیک مرکز تحقیقات مهندسی، دانشگاه یزد

چکیده - در این تحقیق به منظور حساس کردن فوتوالکتروود در سلول های خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی کادمیوم سولفید از دو روش سیلار مبتنی بر لایه نشانی چرخشی و سیلار مرسوم استفاده شد. نتایج مشخصه یابی این دو نوع سلول نشان می دهد که روش سیلار مبتنی بر لایه نشانی چرخشی می تواند جایگزین مناسبی برای روش سیلار باشد زیرا بازدهی هر دو روش تقریباً یکسان است و روش نخست مزایای قابل توجهی از جمله: صرفه اقتصادی در ساخت سلول بدلیل استفاده از مواد کمتر، ساده و سریع بودن روش و کوتاه تر بودن زمان فرایند به همراه دارد.

کلید واژه - نقاط کوانتومی، روش سیلار، روش سیلار مبتنی بر لایه نشانی چرخشی

Spin-coating-based SILAR method versus SILAR method in fabrication of quantum dots sensitized solar cells

Fatemeh Doosthosseini^{1,2}, Abbas Behjat^{1,2}, Naeimeh Kargar^{1,2} and Ali Mohammad Dehghani^{1,2}

¹ Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, Yazd University

² Photonics Research Group, Engineering Research Center, Yazd University

Abstract- In this paper spin-coating-based SILAR and SILAR have been used for sensitization of photo electrode in CdS quantum dots sensitized solar cells. Characterization results obtained for prepared cells indicate that spin-coating-based SILAR scheme is can be replaced by SILAR method according to the same efficiency results. Furthermore, first method has several advantages such as less materials usage in fabrication of the cell, simple procedure and fast method.

Keywords: Quantum dots, SILAR method, Spin-coating-based SILAR method

۱- مقدمه

رشد مداوم نیاز به انرژی و مصرف سریع سوخت‌های فسیلی موجب می‌شود تا بشر به دنبال منابع انرژی تجدیدپذیر باشد که انرژی خورشیدی مناسب ترین کاندید در این زمینه است. در راستای تلاش برای بهبود بازده سلول‌های خورشیدی توجه زیادی به این امر شده است تا هزینه سلول برای کاربردهای گسترده کاهش یابد. سلول‌های خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی (QDSSCs) به عنوان تکنولوژی فوتوولتاییک نسل سوم ظاهر شدند که شاخه‌ای از سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه (DSSCs) هستند [۱]. نقاط کوانتومی نسبت به رنگدانه چندین مزیت دارند: اثرات کوانتشی سایز که اجازه می‌دهد تا پاسخ طیف خورشیدی تنظیم شود. بعلاوه نقاط کوانتومی نسبت به اکثر رنگدانه‌ها آلی ضریب جذب بالاتری دارند، بنابراین می‌توان از الکترودهای متخلخل نازک‌تری در مقایسه با الکترودهای حساس شده با رنگدانه استفاده کرد و پی برده شده است که نقاط کوانتومی این توانایی را دارند تا حامل‌های بار چندگانه را با یک فوتون تولید کنند [۲].

ساز و کار QDSSCs بسیار شبیه به DSSCs است. فوتوالکترودهای این سلول‌ها از یک نوع نیم‌رسانای نانوساختار متخلخل (مانند نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم) که با یک لایه نقطه کوانتومی جاذب نور پوشیده شده، تشکیل شده است. روش‌های مختلفی برای آماده کردن نقاط کوانتومی و اتصال آن‌ها به مواد نیم‌رسانا با گاف نواری پهن (مانند نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم) وجود دارد. این روش‌ها به دو دسته تقسیم بندی می‌شوند: سنتز و اتصال مستقیم (in-situ) و اتصال نقاط کوانتومی کلوییدی از پیش سنتز شده (ex-situ). در آماده سازی نقاط کوانتومی، رهیافت in-situ بیشتر مورد استفاده قرار گرفته زیرا آن به آسانی قابل اجرا و کم هزینه است. رسوب گذاری حمام شیمیایی (CBD) و جذب و واکنش لایه یونی متوالی (SILAR) دو تکنیک سنتز و اتصال مستقیم (in-situ) هستند که نه تنها ساده اند بلکه می‌توان از آن‌ها در تولیدات بزرگ مقیاس استفاده کرد. در این کار روش SILAR مد نظر ماست و در صدد یافتن روشی هستیم که علاوه بر سرعت و سادگی، مواد کمتری مورد نیاز باشد. در همین راستا روش SILAR مبتنی بر لایه‌نشانی چرخشی را معرفی می‌کنیم. از آنجایی که

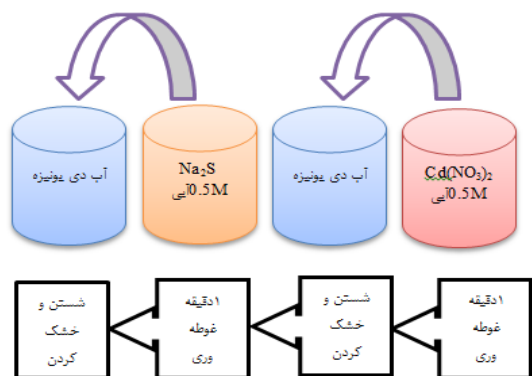
کاربرد الکترولیت یدید/تری یدید در QDSSCs مناسب نیست، از الکترولیت پلی سولفید استفاده شده است و الکتروده مخالف بر پایه CoS در نظر گرفته شد که به آسانی با روش SILAR آماده می‌شود که جایگزین مناسبی برای الکتروده پلاتین است که به میزان زیادی هزینه کل سلول را کاهش می‌دهد [۳].

۲- مواد مورد استفاده در آزمایش

شیشه لایه‌نشانی شده با فلورین آلیایده شده با قلع با مقاومت ۱۵ اهم (FTO) به عنوان زیرلایه در فوتو الکتروده و الکتروده مقابل، خمیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با اندازه‌های ۲۰ نانومتر به عنوان انتقال‌دهنده الکترون و ۴۰۰ نانومتر به عنوان پراکنده‌کننده نور، کادمیوم نیترات ۴ آب $(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ و سدیم سولفید ۹ آب $(\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ برای سنتز نقاط کوانتومی کادمیوم سولفید (CdS)، کبالت استات $(\text{Co}(\text{acetate})_2)$ و سدیم سولفید ۹ آب $(\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ برای آماده سازی الکتروده مخالف کبالت سولفید (CoS)، گوگرد (S)، سدیم سولفید ۹ آب $(\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ و پتاسیم کلرید (KCl) برای تهیه الکترولیت پلی سولفید، متانول خالص و آب دی یونیزه.

۳- آماده سازی محلول‌ها و ساخت سلول

برای ساخت فوتوآند از شیشه لایه‌نشانی شده با اکسید قلع آلیایده شده با فلورین با مقاومت ۱۵ اهم (FTO) به عنوان زیرلایه استفاده شد، سپس FTOها در محلول‌های آب دی‌یونیزه، استون و اتانول به ترتیب هرکدام به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه آلتراسونیک شستشو داده شد و پس از خشک شدن زیرلایه‌ها در کوره با دمای ۸۰ درجه، روی آن با خمیر دی‌اکسید تیتانیوم ۲۰ nm با روش دکتر بلید لایه‌نشانی شد و در کوره با دمای ۱۲۰ درجه به مدت یک ساعت پخت داده شد [۴]. روش دکتر بلید یک نوع روش غلطکی است که در آن زیرلایه مورد نظر (FTO) را با چسب اسکاچ به سطح زیرین می‌چسبانیم، سپس خمیر دی‌اکسید تیتانیوم را روی آن قرار داده و با استفاده از میله شیشه‌ای پهن می‌کنیم. در این روش حرکت یکنواخت میله شیشه‌ای برای ایجاد سطح یکنواخت بسیار مهم می‌باشد. سپس خمیر دی‌اکسید تیتانیوم ۴۰۰ nm روی آن به عنوان پراکنده‌گر با همین روش لایه‌نشانی شد و در کوره الکتریکی افقی در دمای ۵۰۰ درجه به مدت نیم ساعت

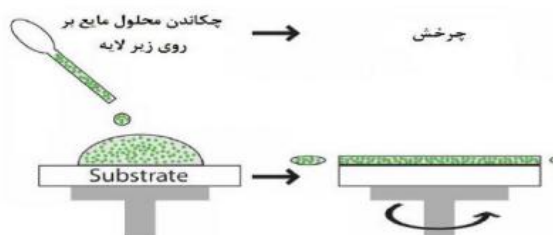


شکل ۲: طرح شماتیک یک سیکل سیلار برای سنتز نقاط کوانتومی

چهار نمونه با استفاده از این روش آماده شد که شامل ۳، ۶، ۹ و ۱۲ سیکل است و به ترتیب به عنوان نمونه‌های A1، A2، A3 و A4 در نظر گرفته شد.

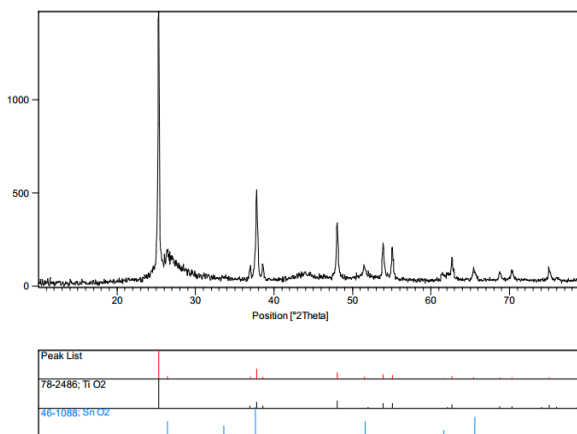
سپس ۴ نمونه دیگر با همین تعداد سیکل‌ها (۳، ۶، ۹ و ۱۲) از روش سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی چرخشی آماده شد که به ترتیب نمونه‌های B1، B2، B3 و B4 نامیده شد.

این روش به این صورت است که فوتوآند آماده شده در دستگاه لایه‌نشانی چرخشی قرار داده و یک قطره پیش ماده کاتیونی کادمیوم سولفید ۰/۵ مولار روی آن چکانده می‌شود، سپس به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ لایه‌نشانی چرخشی می‌شود و سپس یک قطره پیش‌ماده آنیونی سدیم سولفید روی فوتوآند چکانده می‌شود و لایه نشانی چرخشی مشابه مرحله اول تکرار می‌شود، این دو مرحله یک سیکل فرایند سیلار مبتنی بر لایه نشانی چرخشی در نظر گرفته می‌شود. این روش بدون مراحل شستشو و خشک کردن است. در شکل ۳ طرح شماتیک سنتز نقاط کوانتومی به روش سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی چرخشی نشان داده شده است:



شکل ۳: طرح شماتیک یک سیکل سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی

بازپخت داده شد، پس از سرد شدن نمونه‌ها تا دمای ۸۰ درجه آن‌ها را از کوره خارج کردیم. الگوی XRD فوتوآند آماده شده در شکل ۱ مشاهده می‌شود که از آن استنباط می‌شود که فاز دی‌اکسید تیتانیوم آناتاز است و دو سایز متفاوت از آن در نمونه موجود است، یکی تقریباً ۴۰۰ nm و دیگری ۲۰ nm است:



شکل ۱: الگوی XRD فوتوآند آماده شده

سپس پیش‌ماده‌های کاتیونی و آنیونی را جهت سنتز نقاط کوانتومی کادمیوم سولفید آماده کردیم که به ترتیب محلول آبی ۰/۵ مولار کادمیوم نیترات و محلول آبی ۰/۵ مولار سدیم سولفید هستند. فوتوآندها را به مدت ۱ دقیقه داخل محلول کادمیوم نیترات غوطه‌ور کرده، سپس آن‌ها را بیرون آورده و با آب دی یونیزه شسته و در دمای محیط خشک می‌کنیم. بار دیگر نمونه‌ها را داخل محلول سدیم سولفید به مدت ۱ دقیقه قرار داده و دوباره آن‌ها را شسته و خشک می‌کنیم، به این مراحل یک سیکل سیلار می‌گویند. سایز نقاط کوانتومی رسوب‌گذاری شده می‌تواند با تعداد سیکل‌های غوطه‌وری کنترل شود. این روش چنان طراحی شده است سایز ذرات در یک تک لایه در طی یک سیکل غوطه‌وری افزایش می‌یابد. می‌توان با تکرار چند بار آزمایش، سیکل بهینه را به دست آورد که به ازای آن بازده بیشینه می‌شود [۵]. در این کار سیکل بهینه ۹ به دست آمد. منظور از سیکل بهینه، تعداد دفعاتی است که در آن چگالی جریان، ولتاژ مدار باز و در نتیجه بازده سلول بیشینه است. در شکل ۲ طرح شماتیک سنتز نقاط کوانتومی به روش سیلار نشان داده شده است:

چرخشی برای سنتز نقاط کوانتومی

بازدهی‌های بدست آمده از سلول‌های حساس شده با نقاط کوانتومی
به روش سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی چرخشی

	V _{OC} (V)	J _{SC} (mA)	FF	Eff
B1	۰/۳۲	۰/۹	۰/۳۴	۰/۰۹
B2	۰/۵۱	۲/۷۸	۰/۳۲	۰/۴۶
B3	۰/۵۶	۵/۸۳	۰/۲۸	۰/۹۲
B4	۰/۴	۲/۶۹	۰/۳۲	۰/۳۴

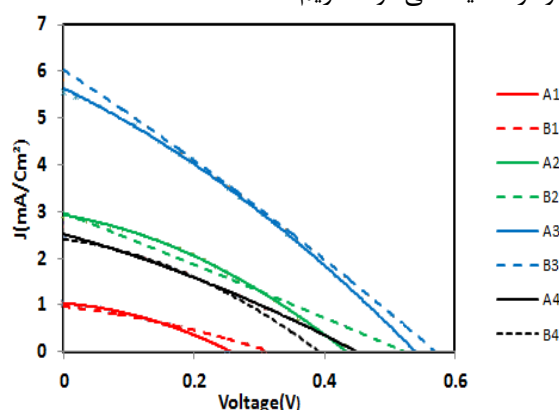
۴-نتیجه‌گیری

نتایج مشخصه‌یابی (داده‌های جدول) نشان می‌دهد که بازده سلول‌های ساخته شده از دو روش، تقریباً مشابه است و روش معرفی شده سیلار مبتنی لایه‌نشانی چرخشی با توجه به مزایایی که دارد از جمله نیاز به مواد کمتر برای ساخت، سریع و ساده بودن روش در مقایسه با روش سیلار مرسوم برای حساس کردن فوتوآند با نقاط کوانتومی با تعداد سیکل‌های پایین مناسب است.

مراجع

- [1] Shengyuan Y., Nair S., Peining Zh., Ramakrishna S., *Electrospun TiO₂ nanostructures sensitized by CdS in conjunction with CoS counter electrodes: Quantum dot-sensitized solar cells all prepared by successive ionic layer adsorption and reaction*, **Materials Letters**. 76 (2012) 43–46
- [2] Kim J., Choi H., Nahm Ch., Kim Ch., Nam S., Kang S., Jung R., Kim J., Kang J., Park B., *The role of a TiCl₄ Treatment on the performance of CdS quantum dot sensitized solar cells*, **journal of power sources**. 220 (2012) 108–113
- [3] Jun H K., Cream M A., Arof A K., *Quantum dot-sensitized solar cells—perspective and recent developments: A review of Cd chalcogenide quantum dots as sensitizers*, **Renewable and sustainable energy review**. 22 (2013) 148–167
- [4] Perera V., Pitigala P., Senevira M., Tennakone K., *A solar cells sensitized with three different dyes*, **Solar energy materials and solar cells**. 86 (2005) 91–98
- [5] Deng J., Wang M., Song X., Shi Y., Zhang X., *CdS and CdSe quantum dots subsectionally sensitized solar cells using a novel double-layer ZnO nanorod arrays*, **Journal of colloid and interface science**. 388 (2012) 118–122

الکترولیت نیز شامل گوگرد ۲ مولار، سدیم سولفید ۰.۵ مولار و پتاسیم کلرید ۰.۲ مولار در حجم ۱۰ میلی لیتر آب/متانول (به نسبت حجمی ۷/۳) است که به مدت ۴ ساعت روی همزن مغناطیسی گذاشته می‌شود. الکتروکد مخالف CoS نیز به روش سیلار با پیش‌ماده‌های سدیم سولفید ۰.۵ مولار و کبالت استات ۰.۵ مولار طی ۶ سیکل ۳۰ ثانیه ای آماده شد. سپس سلول‌ها بسته و مشخصه‌یابی شدند [۱]. مهمترین مشخصه‌یابی، اندازه‌گیری I/V است که پارامترهای مهم سلول حاصل می‌شود. چنان که در نمودار ۱ دیده می‌شود، داریم:



نمودار ۲: نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های A1، A2، A3.

A4، B1، B2، B3 و B4

جدول‌های ۱ و ۲، پارامترهای ولتاژ مدارباز، جریان اتصال کوتاه، فاکتور گنجایش و بازدهی سلول‌های ساخته شده گروه A و B را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ولتاژ مدارباز، جریان اتصال کوتاه، فاکتور گنجایش و بازدهی‌های بدست آمده از سلول‌های حساس شده با نقاط کوانتومی به روش سیلار

	V _{OC} (V)	J _{SC} (mA)	FF	Eff
A1	۰/۲۶	۱/۰۲	۰/۴۰	۰/۱۰
A2	۰/۴۴	۲/۸۸	۰/۳۳	۰/۴۴
A3	۰/۵۵	۵/۵۴	۰/۳۲	۰/۹۶
A4	۰/۴۴	۲/۴۷	۰/۳۰	۰/۳۲

جدول ۲: ولتاژ مدارباز، جریان اتصال کوتاه، فاکتور گنجایش و