بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

# روش رسوب‌گذاری سیلار برپایه لایه‌نشانی چرخشی در مقایسه با روش سیلار در ساخت سلول خورشیدی حساس‌شده با نقاط کوانتومی

فاطمه دوست حسینی[۱و۲]، عباس بهجت[۱و۲]، نعیمه کارگر[۱و۲] و علی محمد دهقانی[۱و۲]

[۱] گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد
[۲] گروه پژوهشی فوتونیک مرکز تحقیقات مهندسی، دانشگاه یزد

**چکیده – در این تحقیق به منظور حساس‌کردن فوتوالکترود در سلول‌های خورشیدی حساس‌شده با نقاط کوانتومی کادمیوم سولفید از دو روش سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی چرخشی و سیلار مرسوم استفاده شد. نتایج مشخصه‌یابی این دو نوع سلول نشان می‌دهد که روش سیلار مبتنی بر لایه نشانی چرخشی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش سیلار باشد زیرا بازدهی هر دو روش تقریبا 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 کوتاه‌تر بودن زمان فرایند به همراه دارد.**

کلید واژه- نقاط کوانتومی، روش سیلار، روش سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی 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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

## 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 حساس‌شده 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 کوانتش سایز که اجازه می‌دهد تا پاسخ طیف خورشیدی تنظیم شود. بعلاوه نقاط کوانتومی نسبت به اکثر رنگدانه‌ها آلی ضریب جذب بالاتری دارند، بنابرین می‌توان از الکترودهای متخلخل نازک‌تری در مقایسه با الکترودهای حساس‌شده با رنگدانه استفاده کرد و پی برده شده‌است 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. فوتوالکترود این سلول‌ها از یک نوع نیمرسانای نانوساختار متخلخل (مانند نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم) که با یک لایه نقطه کوانتومی جاذب نور پوشیده شده، تشکیل شده‌است. 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 سنتزشده (ex-situ) . در آماده‌سازی 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 می-توان 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 الکترود مخالف بر پایه CoS در نظر گرفته شد که به آسانی با روش SILAR آماده می‌شود که جایگزین مناسبی برای الکترود پلاتین است که به میزان زیادی هزینه کل سلول را کاهش می‌دهد[۳] .

## ۲-مواد مورد استفاده در آزمایش

شیشه لایه‌نشانی شده با فلورین آلاییده شده با قلع با مقاومت ۱۵اهم (FTO) به عنوان زیرلایه در فوتو الکترود و الکترود مقابل، خمیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با اندازه‌های۲۰ نانومتر به عنوان انتقال‌دهنده الکترون و ۴۰۰ نانومتر به عنوان پراکنده‌کننده نور، کادمیوم نیترات ۴آبه ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) و سدیم سولفید ۹آبه ($Na_2S.\ 9H_2O$) برای سنتز نقاط کوانتومی کادمیوم سولفید (CdS) ، کبالت استات ($Co(acetate)_2$) و سدیم سولفید ۹آبه ($Na_2S.\ 9H_2O$) برای آماده سازی الکترود مخالف کبالت سولفید (CoS)، گوگرد (S) ، سدیم سولفید ۹آبه ($Na_2S.\ 9H_2O$) و پتاسیم کلرید (KCl) برای تهیه الکترولیت پلی سولفید، متانول خالص و آب دی یونیزه.

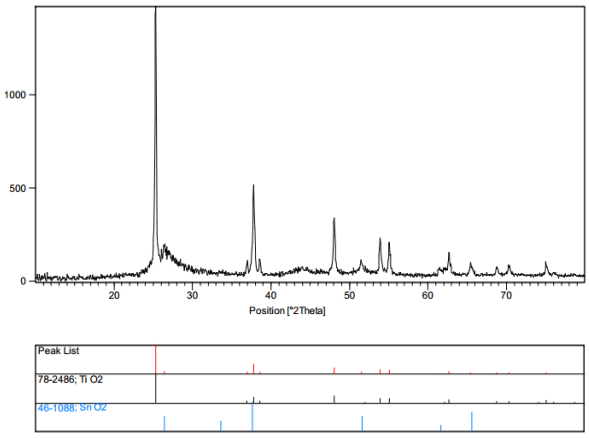
## ۳-آماده‌سازی محلول‌ها وساخت سلول

برای ساخت فوتوآند از شیشه لایه‌نشانی شده با اکسید قلع آلاییده شده با فلورین با مقاومت ۱۵اهم (FTO) به عنوان زیرلایه استفاده شد، سپس FTOها در محلول‌های آب دی‌یونیزه، استون و اتانول به ترتیب هرکدام به‌مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه آلتراسونیک شستشو داده‌شد و پس از خشک‌شدن زیرلایه‌ها در کوره با دمای ۸۰ درجه، روی آن با خمیر دی‌اکسیدتیتانیوم ۲۰nm با روش دکتر بلید لایه‌نشانی شد و در کوره با دمای ۱۲۰ درجه به مدت یک ساعت پخت داده‌شد[۴]. روش دکتر بلید یک نوع روش غلطکی است که در آن زیرلایه موردنظر (FTO) را با چسب اسکاچ به سطح زیرین می‌چسبانیم، سپس خمیر دی‌اکسیدتیتانیوم 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 می-باشد. سپس خمیر دی‌اکسیدتیتانیوم ۴۰۰nm روی آن به عنوان پراکنده‌گر با همین روش لایه‌نشانی شد و در کوره الکتریکی افقی در دمای ۵۰۰ درجه به مدت نیم ساعت



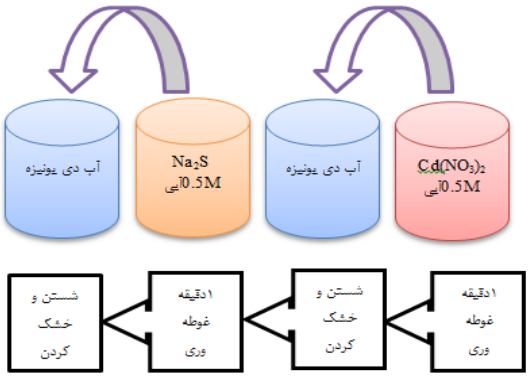
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

بازپخت داده شد، پس از سردشدن 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 ۴۰۰nm و دیگری ۲۰ nm است:




شکل ۱: الگوی XRD فوتوآند آماده‌شده

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 آن ها 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 رسوب‌گذاری‌شده 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 مدارباز و در نتیجه بازده سلول بیشینه است. در شکل ۲ طرح شماتیک سنتز نقاط کوانتومی به روش سیلار نشان داده شده است:

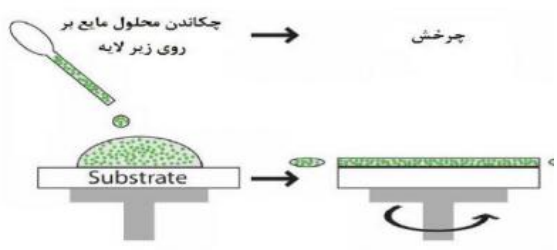



شکل ۲: طرح شماتیک یک سیکل سیلار برای سنتز نقاط کوانتومی

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 وB4 نامیده شد.

این روش به این صورت است که فوتوآند آماده شده در دستگاه لایه‌نشانی چرخشی قرارداده و یک قطره پیش ماده کاتیونی کادمیوم سولفید ۰/۵ مولار روی آن چکانده می‌شود، سپس به مدت ۱دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ لایه-نشانی 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:



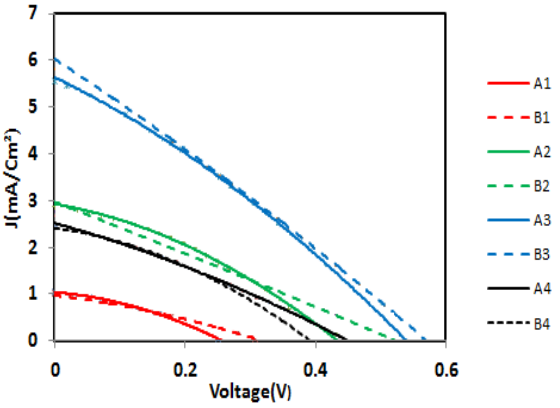

شکل ۳: طرح شماتیک یک سیکل سیلار مبتنی بر لایه‌نشانی



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

چرخشی برای سنتز نقاط کوانتومی

الکترولیت نیز شامل گوگرد ۲مولار، سدیم سولفید ۰.۵مولار و پتاسیم کلرید ۰.۲مولار در حجم ۱۰میلی لیتر آب/متانول (به نسبت حجمی ۷/۳) است که به مدت ۴ساعت روی همزن مغناطیسی گذاشته می‌شود. الکترود مخالف CoS نیز به روش سیلار با پیش‌ماده‌های سدیم سولفید۰/۵مولار و کبالت استات ۰/۵مولار طی ۶ سیکل ۳۰ثانیه 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:




نمودار۲: نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های A1، A2، A3، A4، B1، B2، B3 وB4

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

جدول۱: ولتاژ مداربار، جریان اتصال کوتاه، فاکتور گنجایش و بازدهی‌های بدست آمده از سلول‌های حساس‌شده 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 |

جدول۲: ولتاژ مداربار، جریان اتصال کوتاه، فاکتور گنجایش و بازدهی‌های بدست آمده از سلول‌های حساس‌شده 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 ساخته‌شده از دو روش، تقریبا 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 حساس‌کردن فوتوآند با نقاط کوانتومی با تعداد سیکل‌های پایین مناسب است.

## مراجع


[1] Shengyuan Y., Nair S., Peining Zh., Ramakrishna S., *Electrospun TiO2nanostructures 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 $TiCl_4$ 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




[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]