بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و دهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۱۰ الی ۱۲ بهمن ۹۶ – دانشگاه شهرکرد
24th Iranian Conference on Optics and Photonics (ICOP 2018) and
9th Iranian Conference on Photonics Engineering and Technology (ICPET 2018)
Jan 30 - Feb 1 , 2018 - Shahrekord University

بررسی و مقایسه اثر غلظت خمیر ZrO_2 بعنوان لایه مزوپروس بر عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی ابرساختار بدون لایه انتقال دهنده حفره

علی اکبر دهقانی تفتی[۱و۲]، محمود برهانی زرندی[۱و۲]، ناصر جهانبخشی زاده[۱و۲]، حجت امراللهی بیوکی[۱و۲]، ابوالفضل صفاری[۱و۲]

[۱]گروه پژوهشی فوتونیک، دانشگاه یزد

[۲]گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

چکیده – سلول‌های خورشیدی پروسکایتی بر پایه اکسید زیرکونیوم (ZrO_2) نسبت به سلول‌های دیگر که بر پایه اکسیدهای فلزی مانند TiO_2 و ZnO ساخته می‌شوند دارای پایداری بیشتر و همچنین ولتاژمدار بالاتری می‌باشند. غلظت و شرایط لایه نشانی خمیر ZrO_2 که بعنوان لایه زیرین پروسکایت در جهت رشد بهتر بلور پروسکایت مورد استفاده قرار می‌گیرد، نقشی موثر در کارایی بهتر این لایه دارد. در این مقاله خمیر ZrO_2 ابتدا سنتز شده و سپس با نسبت‌های یک به پنج و یک به هشت در اتانول رقیق شده و ترکیب حاصل بعنوان لایه متخلخل زیرین لایه پروسکایت در ساختار سلول‌های خورشیدی پروسکایتی مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصه یابی سلول-های ساخته شده نشان می‌دهد میزان رقیق کردن خمیر ZrO_2 بر عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی موثر است و سلول ساخته شده بر اساس نسبت یک به هشت عملکرد بهتری را نشان می‌دهد.

کلیدواژه: اکسید زیرکونیوم، سلول خورشیدی پروسکایتی، لایه نشانی

Investigation and comparison of zro2 paste concentration as mesoporous in super structure perovskite solar cell without hole transport layer

A.A. dehghani tafti[a,b], M. borhani zarandi[a,b], N. jahanbakhshi zade[a,b], H. amrollahi biyoki[a,b], A. saffari[a,b]

[a] Photonics Research Group, Engineering Research Center, Yazd University, Yazd, Iran

[b] Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract- Perovskite solar cell based on zirconium oxide (ZrO_2) has more stability and efficiency in comparison to the cells based on metallic oxides such as TiO_2 and ZnO. There are two important factors, concentration and coating paste conditions of ZrO_2, which is used as perovskite bottom layer to support its growth. In this paper, firstly, ZrO_2 paste was synthesized and then with ratios 1:5 and 1:8, it was diluted in the ethanol. This mixture was used in the perovskite solar cell as porous bottom layer. Characterization of manufactured solar cell show that ZrO_2 paste dilution rate has high impact on the perovskite solar cell and hence ratio 1:8 presents more efficiency.

Keywords: Solar cell Perovskite ،ZrO_2 ،spin coatting

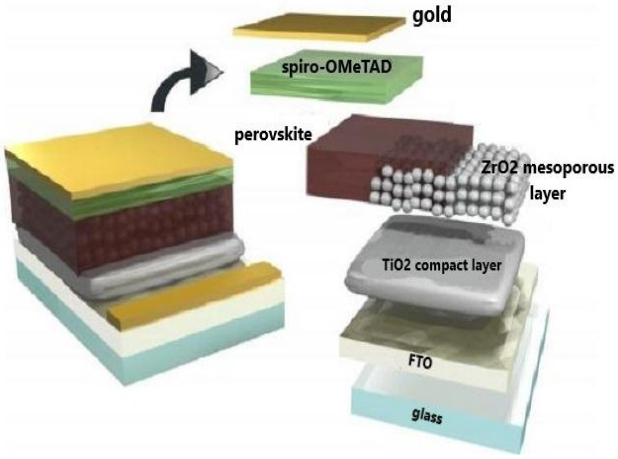
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

پروسکایت‌های آلی- معدنی اخیراً به عنوان نسل جدیدی از مواد حساس به نور در سلول‌های خورشیدی به‌کار برده می‌شود. در سال ۲۰۰۹ اولین سلول خورشیدی پروسکایتی، با اقتباس از سلول‌های خورشیدی حساس شده به رنگ، توسط میاساکا معرفی گردید. وی و همکارانش $CH_3NH_3PbI_3$ و $CH_3NH_3PbBr_3$ را به عنوان حساس‌کننده در سلول خورشیدی حساس‌شده به رنگ مورد استفاده قرار دادند. ولی به دلیل خوردگی پروسکایت توسط الکترولیت مایع، این نوع سلول‌ها از پایداری کمی برخوردار بود [۱]. پارک و همکارانش با تغییر روش لایه‌نشانی پروسکایت توانستند بازده و پایداری این نوع سلول‌ها را بهبود بخشند [۲]. همچنین استفاده از الکترولیت‌های جامد مانند spiro-MeOTAD به‌جای الکترولیت مایع، عملکرد و پایداری این سلول‌ها را نیز بهبود بخشید [۳]. در سلول‌های مزوپروس پروسکایتی، اکسید تیتانیوم و ماده‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره به ترتیب، وظیفه انتقال الکترون و حفره را بر عهده دارند. اسنیس و همکارانش با جایگزین کردن لایه‌ی اکسیدتیتانیوم با لایه‌ی متخلخل اکسیدآلومینیوم متوجه شدند که پروسکایت می‌تواند علاوه بر جذب نور، وظیفه‌ی انتقال الکترون را نیز بر عهده بگیرد [۴]. از طرف دیگر تحقیقات صورت گرفته، نشان داد که پروسکایت می‌تواند به‌جای انتقال‌دهنده‌ی حفره نیز به‌کار رود. اگرچه بازده اولیه‌ی سلول‌های پروسکایتی ٪ ۸/۳ بود؛ ولی در حال حاضر به بازده ٪ ۲۲/۱ رسیده است که این بازده بسیار نزدیک به بازده سلول های خورشیدی سیلیکونی می باشد. [۵]. تجاری سازی سلول های خورشیدی پروسکایتی با مشکل پایداری این از سلول ها روبروست که یکی از راههای بهبود پایداری این سلول ها استفاده از اکسیدهای فلزی مثل اکسید تیتانیوم[۱]، اکسید آلومینیوم[۲] و اکسیدزیرکونیوم[۳] است .

در این پژوهش، از خمیر اکسیدزیرکونیوم بعنوان لایه مزوپروس با نسبت‌های رقیق شده مختلف خمیر در اتانول مورد بررسی قرار گرفت و حالت بهینه آن بدست آمد. در شکل ۱ ساختار سلول خورشیدی بر پایه اکسیدزیرکونیوم با لایه انتقال دهنده حفره نشان داده شده است.



شکل ۱: طرح شماتیک از سلول خورشیدی پروسکایتی

۲- روش آزمایش

۲-۱- مواد مورد نیاز

شیشه‌ی لایه‌نشانی شده با اکسید رسانای فلزی، آلفا-ترپینئول، اتیل سلولز، اتانول، استیک اسید، دی متیل فرم‌آمید[۴]، ایزوپروپانول، پودر نانوذرات زیرکونیوم، پودر سرب یدید[۵] و پودر متیل آمونیوم - یدید (مای)[۶]. این مواد از شرکت ادوات نوری نانوساختاری ایساتیس، شریف سولار و سیگما خریداری شده است. اندازه‌گیری مشخصات فوتوولتائیک سلول خورشیدی نیز توسط دستگاه Keithley2400 صورت گرفته است.

۲-۲- روش ساخت خمیر ZrO_2

مقدار ۰/۵ میلی لیتر استیک اسید به ۳ گرم پودر اکسید زیرکونیوم اضافه شد، سپس ۱۲/۵ گرم آلفا-ترپینئول در حین چرخش، قطره قطره به آن اضافه شد و در نهایت ۳۰ میلی‌لیتر اتیل سلولز (۱۰٪

۱: TiO_2 ۲: Al_2O_3 ۳: ZrO_2 ۴: DMF ۵: PbI_2 ۶: CH_3NH_3I

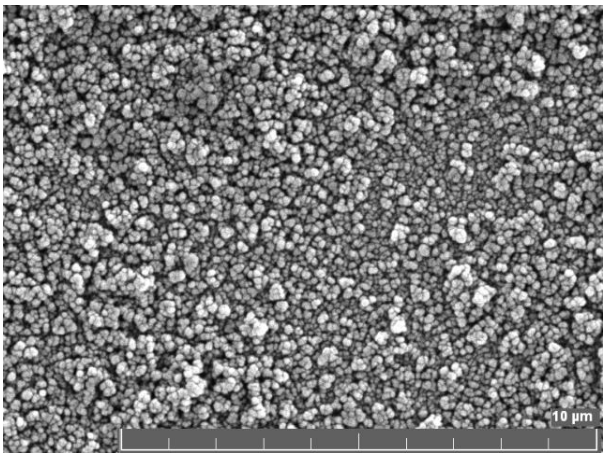
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

وزنی در اتانول) در حین چرخش، قطره قطره به محلول اضافه شد سپس محلول بر روی دستگاه هم زن مغناطیسی قرار داده شد و خمیر بدست آمده با نسبت های ۱ به ۵ و ۱ به ۸ در اتانول رقیق شد. درصد وزنی خمیر ساخته شده ۱۰٪ می‌باشد.

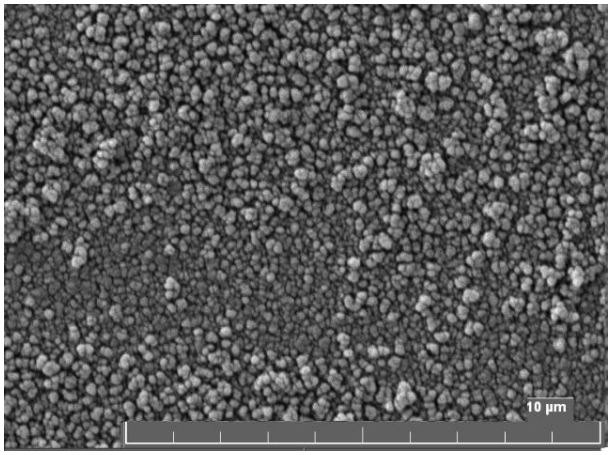
۲-۳- روش ساخت سلول خورشیدی

شیشه‌ی لایه‌نشانی شده با اکسید رسانای آلاییده با فلورین (FTO) با مقاومت ۱۵ اهم بر مربع به عنوان زیرلایه مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌ی FTO به روش شیمیایی (پودر روی و هیدروکلریک اسید) با توجه به مدل مورد نیاز الگودهی شد. سپس توسط مایع شست‌وشو، آب مقطر، استون و اتانول تحت اولتراسونیک قرار داده تا هرگونه آلودگی سطحی آن از بین رود. لایه‌ی سدکننده‌ی الکترون با ضخامتی در حدود ۱۰۰ نانومتر با روش لایه‌نشانی چرخشی، لایه-نشانی و سپس تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه پخت داده شد. بعد از آن لایه‌ای از محلول رقیق شده خمیر زیرکونیم‌دی‌اکسید با روش لایه‌نشانی چرخشی با سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه، به مدت ۶۰ ثانیه لایه‌نشانی شد. زیرلایه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس به مدت یک ساعت، تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت داده شد. برای لایه‌نشانی پروسکایت بر روی لایه‌ی متخلخل از روش غوطه‌وری استفاده شد. ابتدا ۴۶۰ میلی گرم پودر سرب یدید در ۱ میلی‌لیتر دی‌متیل فرم‌آمید در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت هم خورد و بعد به روش لایه نشانی چرخشی، لایه نشانی شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد پخت داده شد. در مرحله بعدی هر کدام از نمونه ها به مدت ۵ دقیقه در محلول مای غوطه ور شده و به مدت ۱۵ دقیقه داخل دسی کاتور قرار گرفت و بعد به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۷۰ درجه پخت داده شده و در نهایت لایه نازک طلا با ضخامت ۴۰ نانومتر با روش اسپاتر در خلأ بر روی لایه پروسکایت قرار گرفت.

در این تحقیق خمیر اکسید زیرکونیوم ساخته شده در آزمایش اول با نسبت ۱ به ۵ و در آزمایش دوم با نسبت ۱ به ۸ در اتانول رقیق شد که تصویر SEM مربوط به آزمایش اول و دوم به تربیت در شکل ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: تصویر SEM مربوط به آزمایش اول



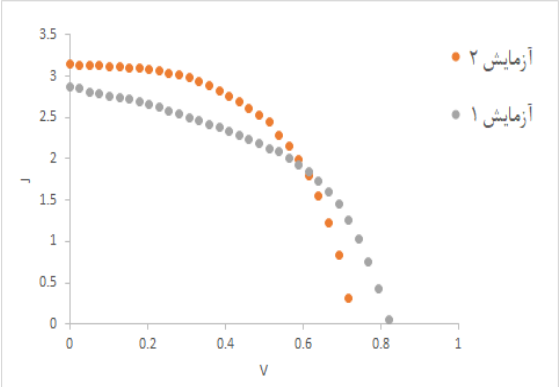
شکل ۳: تصویر SEM مربوط به آزمایش دوم

همان طور که از شکل۲ و شکل۳ مشاهده می‌شود رقیق کردن با نسبت ۱ به ۸ باعث کاهش میزان چسبندگی نانوذرات ZrO_2 و باعث یکنواخت‌تر شدن لایه تشکیل شده، می‌شود.

همچنین نمودار جریان-ولتاژ در شکل۴ و مشخصات فوتوولتاییکی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

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



شکل ۴: نمودار جریان ولتاژ سلول‌های ساخته شده

FTO / b – TiO_2 / m – ZrO_2 / $CH_3NH_3PbI_3$ / Au	I_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (v)	ff (%)	Eff (%)
آزمایش ۱	۲/۸۷	۰/۷۸۲	۰/۴۷	۱/۱۴
آزمایش ۲	۳/۱۴	۰/۷۳۱	۰/۵۱	۱/۴۹

جدول ۱: پارامتر مرتبط با سلول های ساخته شده

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از دو نسبت مختلف برای رقیق شدن خمیر ZrO_2 در اتانول استفاده شد. با توجه به جدول مشخصات فوتوولتاییکی و تصاویر SEM مشاهده شد که نسبت رقیق شدن ۱ به ۸ برای سلول خورشیدی پروسکایتی بر پایه ZrO_2 عملکرد بهتری را نسبت به رقیق شدن ۱ به ۵ داشته است. با توجه به اینکه ZrO_2 یک اکسید فلزی نارسانا می‌باشد و در صورت ضخامت زیاد لایه به عنوان یک عایق عمل می‌کند، هرچه غلظت و ضخامت لایه مورد نظر کمتر باشد اثر مربوط به نارسانایی به حداقل رسیده و انتقال بار به سمت فوتوآند افزایش یافته و باعث افزایش جریان و در نتیجه افزایش عملکرد سلول خورشیدی خواهد شد. این موضوع نشان دهنده این است که میزان رقیق کردن خمیر ZrO_2 نیز پارامتری مهم و موثر بر عملکرد سلول‌های خورشیدی بر پایه اکسید زیرکونیوم می‌باشد. همچنین رقیق کردن با نسبت ۱ به ۸ باعث کاهش میزان چسبندگی نانوذرات ZrO_2 بهم می‌شود که باعث یکنواخت‌تر شدن لایه تشکیل شده، می‌شود.

سپاسگزاری

از همکاری اعضای محترم گروه پژوهشی فوتونیک دانشگاه یزد و شرکت ادوات نوری نانوساختاری ایساتیس که در انجام این آزمایشات به ما یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, T. Miyasaka, "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells", Journal of the American Chemical Society, Vol. 131, No. 17, pp 6050-6051, 2009.

[2] J.-H. Im, C.-R. Lee, J.-W. Lee, S.-W. Park, N.-G. Park, "6.5% efficient perovskite quantum-dot-sensitized solar cell", Nanoscale, Vol. 3, No. 10, pp 4088-4093, 2011.

[3] H.-S. Kim, C.-R. Lee, J.-H. Im, K.-B. Lee, T. Moehl, A. Marchioro, S.-J. Moon, R. Humphry-Baker, J.-H. Yum, J. E. Moser, "Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9%", Scientific reports, Vol. 2, pp, 2012.

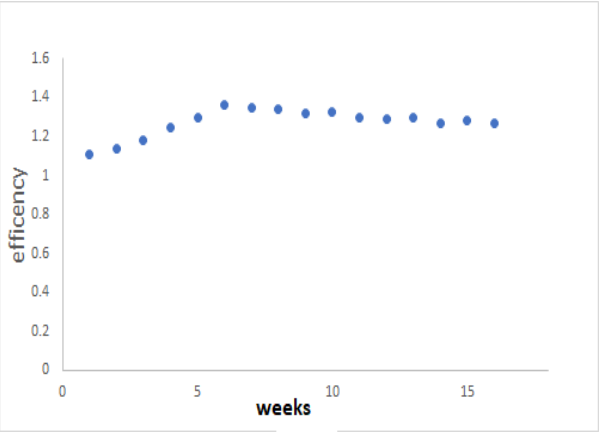
[4] M. M. Lee, J. Teuscher, T. Miyasaka, T. N. Murakami, H. J. Snaith, "Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites", Science, Vol. 338, No. 6107, pp 643-647, 2012.

[5] L. Etgar, P. Gao, Z. Xue, Q. Peng, A. K. Chandiran, B. Liu, M. K. Nazeeruddin, M. Grätzel, "Mesoscopic CH3NH3PbI3/TiO2 heterojunction solar cells", Journal of the American Chemical Society, Vol. 134, No. 42, pp 17396-17399, 2012.

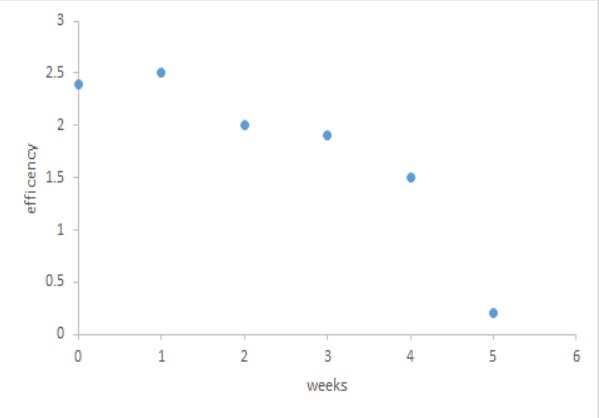
[6] Bi, D., Moon, S. J., Häggman, L., Boschloo, G., Yang, L., Johansson, E. M., ... & Hagfeldt, A. Using a two-step deposition technique to prepare perovskite (CH 3 NH 3 PbI 3) for thin film solar cells based on ZrO 2 and TiO 2 mesostructures. *Rsc Advances*, *3*(41), 18762-18766. 2013.

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

شکل۵ و شکل۶ به ترتیب پایداری سلول خورشیدی ساخته شده با اکسید زیرکونیوم و اکسید تیتانیوم را نشان می دهد.



شکل ۵: پایداری سلول ساخته شده با اکسید زیرکونیوم



شکل ۶: پایداری سلول ساخته شده با اکسید تیتانیوم

همان طور که از شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود اگرچه بازده سلول ساخته شده با اکسید تیتانیوم بالاتر است اما پایداری آن نسبت به سلول ساخته شده با اکسید زیرکونیوم کمتر می‌باشد.

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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد