بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

افزایش پایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایتی به روش کپسول سازی با پلیمر پلی متیل متاکریلات به منظور عایق کردن ساختار در مقابل رطوبت و حرارت

آسیه نظری مفرد، سید محمد باقر قریشی

گروه لیزر و فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
as.nazari1996@grad.kashanu.ac.ir, mghorashi@kashanu.ac.ir

چکیده - یکی از چالش‌های اساسی در مورد ساختارهای سلول‌های خورشیدی پروسکایتی (PSCs)، حساسیت بالای آن‌ها در مقابل رطوبت و اکسیژن محیط است که پایداری این ادوات را به شدت کاهش می‌دهد. بهمین منظور یک روش کپسول سازی برای PSCs ارائه شده است. برای کپسول کردن ساختار،لایه نازکی از پلیمر PMMA روی سلول خورشیدی پروسکایتی، لایه نشانی شد، سپس پوشش شیشه‌ای و در نهایت چسب اپوکسی UV به کار برده شده است. پس از محصور سازی، نمونه‌ها به مدت 600 ساعت تحت شرایط استاندارد قرار گرفتند و مشاهده شد که پایداری سلول خورشیدی، تا حد زیادی افزایش یافته است.

کلید واژه- کپسول سازی، سلول خورشیدی پروسکایتی، پلیمرPMMA، پایداری

Increasing the stability of perovskite solar cells by encapsulation with polymethyl methacrylate polymer to insulate the structure against moisture and heat

Asiyeh Nazarimofrad, Seyyed Mohammad Bagher Gorashi
Dept of Laser and Photonics, Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran
as.nazari1996@grad.kashanu.ac.ir, mghorashi@kashanu.ac.ir

Abstract- One of the major challenges for perovskite solar cell structures is their high sensitivity to ambient moisture and oxygen, which drastically reduces the stability of these devices. For this purpose, an encapsulation method for PSCs is proposed. To encapsulate the structure, a thin layer of PMMA polymer was applied on the perovskite solar cell, followed by glass coating and finally UV epoxy adhesive. After encapsulation, the samples were exposed to the standard conditions for 600 hours and it was observed that the stability of the solar cell, was greatly increased.

Keywords: Encapsulation, Perovskite solar cell, PMMA Polymer, Stability

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

مقدمه

انرژی جایگاه ویژه‌ای را در سطح بین المللی به خود اختصاص داده است. محدودیت منابع فسیلی و رشد روز افزون مصرف انرژی در میان ملت‌ها، آینده بشریت را با تهدیدهای جدیدی مواجه نموده است[1]. منابع خورشیدی به دلیل کم مصرف بودن، می‌توانند نقش قابل توجهی در حل بحران انرژی داشته باشند[2]. لذا برای ارائه بهترین عملکرد، باید طول عمر آنها را با فناوری محصورسازی با روش‌های مناسب و مقرون به صرفه، افزایش داد[4,3]. سلول‌های خورشیدی سیلیکونی نسل اول با یک لایه چسب شفاف از جنس پلی ونیل استات[1] [5-7] و سلول‌های خورشیدی لایه نازک با ماده انکپسولانت، محصورشده‌اند[9,8]. بنابراین، برای محصورسازی سلول خورشیدی پروسکایتی نسل سوم و افزایش طول عمر آن روشی ارائه داده می‌شود.

روش ساخت

روش ساخت سلول خورشیدی پروسکایتی(PSCs[2]) بسیار متنوع است، اما در بین آنها می‌توان یک روش ساخت واحد را در نظر گرفت. بر این اساس، روش ساختار زیر توضیح داده می‌شود:

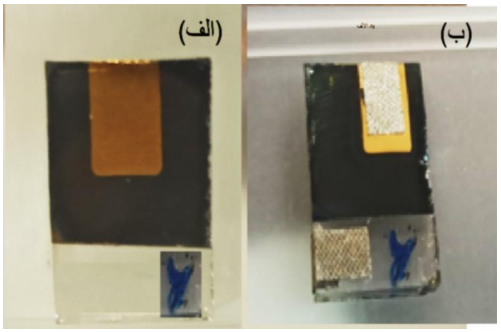
FTO/C_{60}/Perovskite(CH3NH3PbI3)/ CuPC / Au

ابتدا برای جلوگیری از اتصال کوتاه، باید مقداری از رسانای شفاف FTO از روی شیشه لایه برداری شود. بدین منظور، از پودر روی و محلول هیدروکلریک اسید دو مولار استفاده می‌شود. سپس نوبت به لایه نشانی لایه C_{60} بوسیله دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی در خلا، می‌رسد. در ادامه PbI2 را در ظرف ریخته و حلال DMF و DMSO را به آن اضافه کرده و پودر MAI را به آن افزوده تا محلول نهایی پروسکایت آماده شود و آن را روی نمونه توزیع کرده، اجازه داده می‌شود تا نفوذ کند. مواد انتقال‌دهنده‌ی حفره که در این ساختار از CuPC استفاده شده با روش لایه‌نشانی چرخشی روی لایه‌ی پروسکایت لایه‌نشانی شده اند. در نهایت، برای لایه‌نشانی کاتد، می‌توان از طلا به دلیل تابع کار مناسب آن، با روش تبخیر حرارتی در خلا استفاده کرد. فناوری محصورسازی بخش مهمی از تکنولوژی ساخت سلول‌های خورشیدی نسل سوم را در بر می‌گیرد. لذا با توجه به اهمیت طول عمر سلول‌های خورشیدی، فناوری محصورسازی جایگاه ویژه‌ای پیدا می‌کند که با روش‌های مختلفی قابل انجام است. مواد محصورکننده، باید دارای شکست دی الکتریک بالا باشند که با ضریب شکست دیگر لایه‌ها مطابقت داشته و حجم زیادی از مقاومت را دارا باشند. همچنین این مواد باید کم هزینه بوده، ثبات ابعادی داشته باشند و لایه نشانی آن‌ها، راحت باشد. بنابراین، بعد از ساخت PSCs و محاسبه بازدهی آن، با مواد آلی و معدنی متفاوت پوشش داده شده است تا بهترین ماده با خصوصیات ذکر شده تعیین گردد. برای محصور کردن ساختار مورد نظر ابتدا از الکترودهای سلول به‌وسیله نوار چسب رسانای آلومینیومی اتصال گرفته می‌شود و پلیمر پلی متیل متاکریلات[3](PMMA) به عنوان ماده محصورساز PSCs که تمامی خصوصیات لازم را دارا است با حلال کلرو بنزن ترکیب می‌شود و به مدت ۱ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار می‌گیرد تا محلول یکنواختی ایجاد شود سپس با روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، فیلم نازک و یکنواختی از این محلول روی سلول لایه نشانی می‌شود، در ادامه لام را روی سلول گذاشته و تحت فشار قرار داده می‌شود تا پس از گذشت ۲۰ دقیقه چسبندگی و استحکام کافی حاصل شود. برای آب‌بندی ساختار مورد نظر اطراف آن با UV اپوکسی پوشش داده می‌شود و به مدت ۱ دقیقه تحت تابش نور UV قرار می‌گیرد تا به طور کامل

[1] poly vinyl acetate
[2] perovskite Solar Cells
[3] poly methyl methacrylate

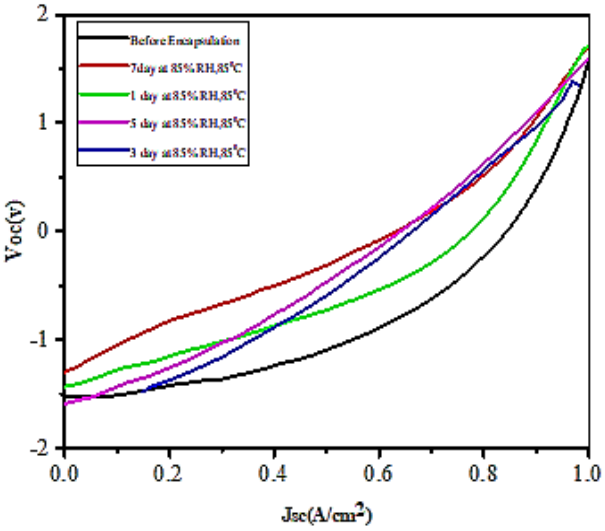
[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

خشک شود. با توجه به اندازه گیری بازدهی قبل و بعد از کپسول نهایی با پلیمر تحت تابش UV، و عدم کاهش بازدهی، مشخص شد که تابش UV، تاثیر مخربی بر پروسکایت نداشته است. سپس به مدت ۶۰۰ ساعت به صورت مداوم، نمونه‌ها تحت رطوبت ۸۵ درصد و دمای ۸۵ درجه‌ی سانتیگراد قرار گرفتند تا در دفعات مختلف بازدهی آن‌ها اندازه‌گیری شود. در شکل ۱، تصویر سلول خورشیدی پروسکایتی قبل و بعد از لایه نشانی با لایه کپسول کننده پلی متیل متاکریلات آورده شده است. در قسمت (الف)، سلول خورشیدی پروسکایتی قبل از کپسول نمایش داده شده است. در قسمت (ب) سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده با لایه نازک و شفاف پلی متیل متاکریلات آورده شده است که از نوار چسب رسانای آلومینیومی نیز به به منظور برقراری اتصال کاتد و آند، استفاده شده است.



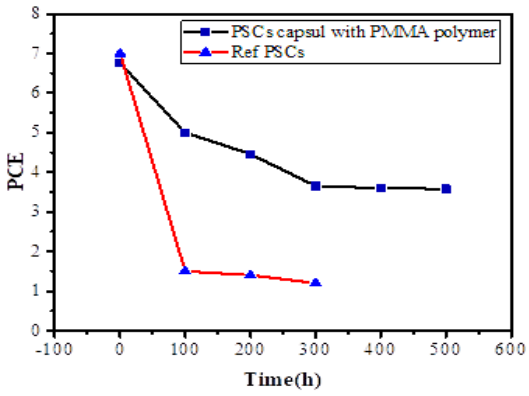
شکل ۱- تصویر سلول خورشیدی پروسکایتی قبل و بعد از لایه نشانی با لایه کپسول کننده پلی متیل متاکریلات

در شکل۲، نمودار جریان بر حسب ولتاژ سلول خورشیدی کپسول شده با پلیمر پلی متیل متاکریلات قبل و بعد از کپسول و پس از قرار گرفتن در شرایط رطوبت و حرارت به منظور تست پایداری، پس از ۵،۳،۱ و ۷ روز اندازه‌گیری شده است. بدین منظور و برای اندازه گیری J_{sc} و V_{oc} از دستگاه I-V measurement تحت تابش AM 1.5، استفاده شده است. پس از اندازه گیری پارامترهای J_{sc} و V_{oc} و محاسبه بازدهی، نمودار پایداری بر اساس بازدهی های ساختار در مدت زمان اندازه گیری آن، در نرم افزار Origin، رسم شده است.



شکل ۲- نمودار جریان ولتاژ سلول خورشیدی کپسول شده با پلی متیل متاکریلات

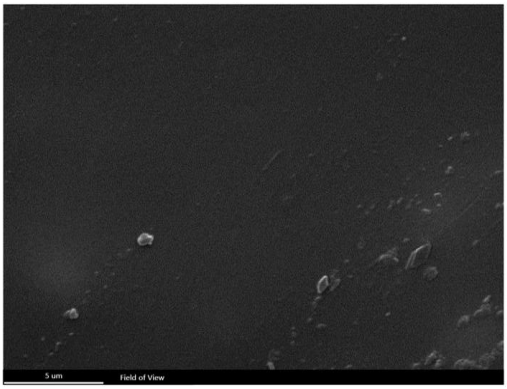
نمودار پایداری سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده با پلیمر پلی‌متیل‌متاکریلات آورده شده است که در شکل۲ قابل مشاهده است. همانطور که در شکل مشخص است، پس از مدت زمان بالغ بر ۶۰۰ ساعت اندازه‌گیری بازدهی سلول خورشیدی کپسول شده در شرایط رطوبتی ۸۵ درصد RH و حرارت ۸۵ درجه سانتی‌گراد، ساختار کپسول شده، برخلاف ساختار مرجع که ساختار پس از مدت کوتاهی تخریب شده است، پایداری مناسبی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار پایداری سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده با پلیمر پلی متیل متاکریلات

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

در شکل ۴، تصویر SEM سطح سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده با پلیمر پلی‌متیل‌متاکریلات، به روش لایه نشانی چرخشی، آورده شده است. این تصویر در ابعاد ۵ میکرومتر گرفته شده است. ساختار مورد نظر، پس از قرار گرفتن تحت شرایط استاندارد تست ۸۵ درصد RH و ۸۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۷۲ ساعت، تصویربرداری شده است. تصویر SEM سطح ساختار لایه کپسول کننده، متراکم، یکنواخت و فشرده است و به همین علت از نفوذ رطوبت و بخار آب به درون ساختار جلوگیری می‌کند. این تصویر نشان دهنده لایه نشانی یکنواخت ماده پلیمری نیز می‌باشد. عملکرد محافظتی ماده PMMA از ساختار PSCs، مانند لایه بسیار نازکی از شیشه بسیار بالاست، زیرا از استحکام بالایی برخوردار است. و در نتیجه وقتی سطح سلول خورشیدی با این پلیمر کپسول شود، در طولانی مدت و تحت شرایط رطوبت و حرارت محیط عملکرد بهتری نسبت به ساختار بدون کپسول خواهد داشت.



شکل ۴- تصویر SEMسطح سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده با پلیمر پلی متیل متاکریلات

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر کپسوله کردن بر پایداری PSCs بررسی گردید و پس از تست مواد مختلف، مشاهده شد که استفاده از پوشش پلیمری به عنوان ماده کپسول کننده نقش موثری ایفا می‌کند. همچنین اثرات ماده کپسول PMMA بر روی ساختار مورد نظر بررسی شد و نمودارها و نتایج قبل و بعد از به کار بردن این ماده و تست ادوات در شرایط ۸۵ درصد RH و ۸۵ درجه سانتیگراد انجام گرفت. نمودار پایداری سلول خورشیدی پروسکایتی کپسول شده در مقایسه با ساختار مرجع نیز بررسی شد و مشاهده شد که پایداری آن در مقایسه با ساختار مرجع، بسیار بالاتر است. تصویر SEM سطح ساختار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از مفید واقع شدن لایه کپسول در مقابل نفوذ رطوبت و حرارت در ساختار و افزایش پایداری است.

مرجع‌ها

[1] P. Boland, K. Lee, G. Namkoong, **Solar Energy Materials and Solar Cells 94**, (2010) .

[2] P. V. Kamat, **The Journal of Physical Chemistry C**, Vol. 111, No. 7, (2007).

[3] Y. Il Lee *et al.*, "A Low - **Temperature Thin - Film Encapsulation for Enhanced Stability of a Highly Efficient Perovskite Solar Cell**," *Adv. Energy Mater.*, vol. 8, no. 9, p. 1701928, Mar. 2018.

[4] Q. Dong *et al.*, "**Encapsulation of Perovskite Solar Cells for High Humidity Conditions**," *ChemSusChem*, vol. 9, no. 18, pp. 2597–2603, 2016.

[5] C. Li, M. Liu, N. G. Pschirer, M. Baumgarten, K. Mullen, **Chemical Reviews**, vol. 110, (2010).

[6] M. A. Green, **Prog. Photovoltaics Res**, vol. 17, no. 3, pp. 183–189,(2009).

[7] M. A. Green, "**The path to 25% silicon solar cell efficiency: History of silicon cell evolution**," Prog. Photovoltaics Res. Appl., vol. 17, no. 3, pp. 183–189, May 2009.

[8] B. Azarm, "**Different Generations Of Solar Cells and Mechanisms of Their Performance**," *J. Sel. Top. Energy*, vol. 1, no. 2, pp. 1–11, 2018.

[9] J.Britt and C. Ferekides, "**Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency**," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 62, no. 22, pp. 2851–2852, May 1993.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]