بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

بررسی اثر کپسوله‌کردن پلیمری بر پایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایتی

آرزو گلچینی[۱]، محمود صمدپور[۱*]، کریم عبدی زاده[۲]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی شریف

samadpour@kntu.ac.ir

چکیده – سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، به دلیل بازدهی بالایی که در مدت زمان کوتاهی بدست آورده‌اند، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. اما پایداری کم این سلول‌ها در مقابل دما و رطوبت و نور به عنوان یک چالش اساسی در مورد آن‌ها مطرح است. در این تحقیق تأثیر پوشش های پلیمری بر روی پایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایتی در معرض دما و رطوبت، مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجاسلولهای خورشیدی پروسکایتی با استفاده از لایه نشانی پلیمرهای مختلف شامل پلی متیل متااکریلات و سیانواکریلات ، کپسوله شدند. به منظور بررسی پایداری،سلول‌ها به طور همزمان در معرض رطوبت اشباع و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. منحنی‌های جریان ولتاژ سلولها با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت و مشخصه های فتوولتاییک سلولها شامل جریان مدار کوتاه، ولتاژ مدار باز و بازدهی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این آزمایشها، نشان داد که لایه‌نشانی همزمان پلیمرهای پلی متیل متااکریلات و سیانواکریلات نقش موثرتری در افزایش پایداری سلولهای خورشیدی پروسکایتی دارد.

کلید واژه- پایداری، پروسکایت، سلول خورشیدی، کپسوله‌کردن

Polymeric encapsulation for improving the stability of perovskite solar cells

Arezo Golchini[1], Mahmoud Samadpour[1], Karim Abdizadeh[2]

[1]Physics Department, K.N.Toosi University of Technology, Tehran
[2]Department of Material Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract- Due to the high efficiency in a short period of time, perovskite solar cells have received much attention today. But the low stability of these cells against temperature, humidity and light is a major challenge for them. In this study, the effect of polymer coatings on perovskite solar cell stability was investigated. The perovskite solar cells were encapsulated using different polymers such as polymethyl methacrylate and cyanoacrylate. To investigate the viability, cells were exposed to saturated humidity at 90° C. The current-voltage curves of the cells were evaluated over time and the photovoltaic characteristics of the cells including short circuit current, open circuit voltage and their efficiency were investigated. The results of these experiments showed that co-deposition of polymethyl methacrylate and cyanoacrylate polymers had an effective role in enhancing the stability of perovskite solar cells.

Keywords: encapsulation, perovskite, solar cell, stability

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

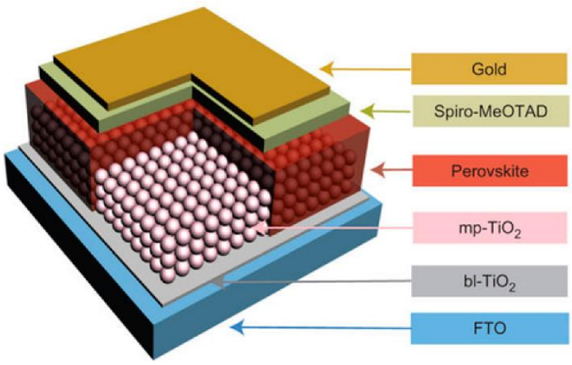
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

سلول‌های خورشید پروسکایتی (PSCs) از زمان گزارش‌های اولیه و به دلیل افزایش سریع بازدهی در سالهای اخیر، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند[۱]. سلول‌های خورشیدی پروسکایتی $CH_3NH_3PbI_3$ از بازدهی ۳,۸۱٪ گزارش شده در سال ۲۰۰۹ ، به بازدهی ۲۰,۱٪ در سال ۲۰۱۴ رسیده‌است، که آن‌ها را به یک جایگزین امیدوارکننده برای سلول‌های خورشیدی لایه نازک تبدیل کرده‌است. افت عملکرد در PSCها می‌تواند در اثر بی‌ثباتی حرارتی، حساسیت ماده‌ی پروسکایت به هوای محیط (رطوبت و اکسیژن)، و تخریب ناشی از سایر لایه های سلول (به عنوان مثال، تخریب در فصل مشترک TiO_2 در معرض نور و پایداری کم مواد انتقال حفره) باشد. در نتیجه، در سالهای اخیر پایداری فیلم‌های نازک پروسکایت و PSCها به طور گسترده ای در معرض رطوبت، نور، یا افزایش دما مورد مطالعه قرار گرفته‌است. برای بهبود پایداری PSCها، استراتژی‌های مختلفی ازجمله اصلاح ترکیبات مواد پروسکایت یا فرآیند لایه‌نشانی، جایگزینی لایه‌ی مزوپروس، استفاده از مواد افزودنی مختلف و یا مواد انتقال بار، اصلاحات سطحی، اصلاح لایه‌های فصل مشترک، و استفاده از الکترودهای برپایه‌ی کربن دنبال شده‌است [۲]. همچنین پلیمرهای آلی متخلخل به دلیل وزن کم، زیست سازگاری و پایداری حرارتی مناسب مورد مطالعه قرار گرفته‌است. مواد پلیمری به دلیل فرآیندپذیری بسیار خوب، استحکام، چسبندگی عالی و عایق بودن، اغلب برای کپسوله‌سازی استفاده می‌شوند[۳]. در این تحقیق به بررسی اثر پلیمرهای مختلف بر میزان پایداری سلولهای خورشیدی پروسکایتی پرداخته شده است.

روش آزمایش

در این آزمایش، از سلول‌های خورشیدی پروسکایتی سه‌کاتیونه استفاده شده است. ساختار کلی سلول‌های پروسکایتی در شکل۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار کلی سلول خورشیدی پروسکایتی

در اینجا لایه‌ی بلوکه‌کننده تیتانیا با استفاده از پیش ماده تیتانیا و به روش لایه نشانی چرخشی بر روی FTO لایه‌نشانی می‌شود. در مرحله‌ی بعدی لایه مزو(خمیر TiO_2) که باعث افزایش سطح، برای لایه‌نشانی پروسکایت و همچنین راحت‌تر کردن انتقال الکترون است لایه‌نشانی می‌شود. در ادامه لایه‌ی پروسکایت و لایه اسپایرو امتات پوشش داده شدند و در آخر اتصال پشتی سلول که در اینجا طلا است، به روش تبخیر فیزیکی بر روی سلول پوشش داده شد. به منظور بررسی پایداری سلولها ، قبل از لایه‌نشانی پلیمرها (نسبت 0.2g/mL)، با استفاده ازنوارسانای مسی و لاک نقره اتصال الکتریکی سلولها را ایجاد میکنیم تا پس از لایه نشانی پلیمرها بتوانیم به راحتی از سلول اتصال بگیریم و منحنی های جریان ولتاژ سلولها را اندازه گیری کنیم. (شکل ۲) . بعد از ایجاد اتصال و به منظور خشک شدن چسب نقره ، سلولها را به مدت ۲۴ساعت در دمای اتاق نگه می داریم.



شکل ۲: تصویر سلول خورشیدی پروسکایتی پس از اتصال چسب مس و لاک نقره

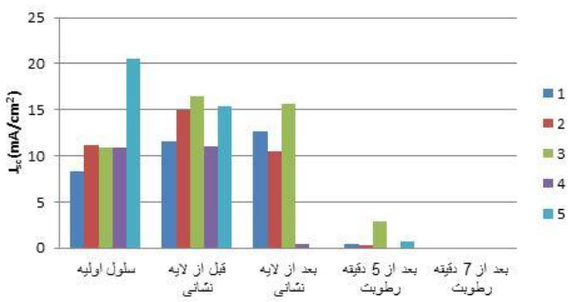
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

پس از آنکه لاک نقره خشک شد، جریان- ولتاژ سلول‌ها، اندازه گیری شده و در ادامه لایه نشانی پلیمرها صورت می گیرد. در اینجا منحنی‌های جریان-ولتاژ سلول‌ها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز طیف خورشیدی، تحت تابش استاندارد AM ۱,۵ و با شدت ۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع، اندازه گیری شد. به منظور بررسی تاثیر پلیمرها، پلیمرها در ۴ شرایط مختلف لایه نشانی شدند و با سلول های بدون پوشش پلیمری (مرجع) مقایسه شدند. سلول شماره ۳، یک لایه پلیمر PMMA با دور ۶۰۰۰ و در زمان ۹۰ثانیه و مقدار ۲۰ میکرولیتر بر روی سلول، لایه‌نشانی شده‌است. سلول شماره ۴، یک لایه پلیمر سیانواکریلات با دور ۴۰۰۰ و زمان ۹۰ ثانیه، با روش لایه‌نشانی دورانی، لایه نشانی شده است. سلول شماره ۲ یک لایه PMMA، با دور ۶۰۰۰ و زمان ۹۰ ثانیه و پس از آن یک لایه پلیمر سیانواکریلات با دور ۴۰۰۰ و مدت زمان ۹۰ ثانیه، به روش لایه‌نشانی دورانی، لایه‌نشانی شده‌است. سلول شماره‌ی ۱ دو لایه PMMA و یک لایه پلیمر سیانواکریلات به همان روش و با همان دورهای سلول شماره‌ی ۳، لایه‌نشانی شده‌است و سلول شماره‌ی ۵، به عنوان مرجع (بدون پوشش) جهت مقایسه‌ی سلول‌ها درنظر گرفته‌شده‌است. پس از اتمام لایه-نشانی پلیمرها، منحنی جریان- ولتاژ سلول‌ها اندازه گیری شد و پس از آن، هر ۵ سلول را در شرایطی یکسان و در معرض رطوبت اشباع و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم. منحنی جریان-ولتاژ سلولها، قبل از اتصال نوار رسانای مسی و لاک نقره و بعد از آن، بعد از لایه‌نشانی و همچنین در زمانهای ۵ و ۷ دقیقه در شرایط فوق اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

در اینجا به منظور بهینه سازی نوع و پارامترهای لایه نشانی پلیمرها، مشخصه های فتوولتاییک سلول‌ها: چگالی جریان مدار کوتاه(J_{sc})، ولتاژ مدارباز (V_{oc})، فاکتور کارکرد (FF) و بازدهی(η) بر حسب نوع لایه‌نشانی مورد استفاده، بررسی شد و نمودارهای مربوطه به دست آمد. باتوجه به شکل شماره‌ی ۳، وقتی دو لایه پلیمر PMMA بر روی سلول، لایه‌نشانی شده است و سپس پلیمر سیانواکریلات بر روی آن لایه نشانی شده(سلول شماره ۱)، J_{sc} در این سلول، پس از رطوبت اشباع در مقایسه با سلولی که فقط یک لایه PMMA و سیانواکریلات دارد(سلول شماره ۲)، نتیجه‌ی بهتری را نشان می‌دهد همچنین J_{sc} در سلول شماره ۱ پس از لایه‌نشانی افزایش یافته در صورتی‌که J_{sc} در سلول شماره ۲ پس از لایه‌نشانی، کاهش یافته‌است. پس از آنکه سلول‌ها در رطوبت اشباع قرار گرفتند، با توجه به نتایج، سلولی که فقط یک لایه PMMA دارد(سلول شماره ۳)، J_{sc} بهتری در مقایسه با دیگر سلول‌ها از خود نشان می‌دهد. J_{sc} در سلولی که فقط یک لایه پلیمر سیانواکریلات دارد (سلول شماره‌ی ۴) پس از لایه‌نشانی، به شدت کاهش یافته و ۵ دقیقه پس از آنکه این سلول در شرایط رطوبت اشباع قرار داده‌شد، دیگر J_{sc} نشان نداد. همچنین تمام سلول‌ها پس از آنکه ۷ دقیقه در رطوبت قرار گرفتند، جریانی از خود نشان ندادند. با توجه به نتایج، در سلول شماره‌ی ۵ (مرجع) ، J_{sc} روند کاهشی بسیار سریعی دارد و این نتایج حاکی از افزایش پایداری سلول مرجع بعد از اعمال پوششهای پلیمری می باشد.

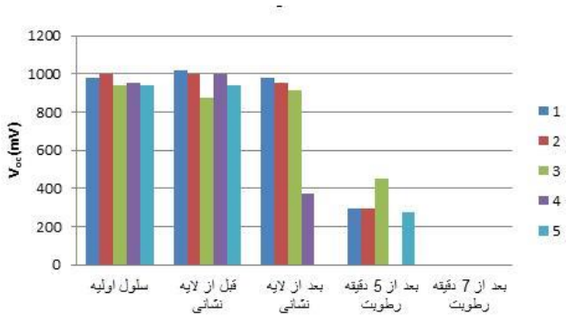


شکل۳: J_{sc} سلولها تحت شرایط رطوبت اشباع در زمانهای مختلف

V_{oc} تمام سلول‌ها مطابق شکل شماره ۴ روند مشابهی را نشان می‌دهند ولی V_{oc} سلول شماره ۴، کاهش بیشتری بعد از لایه‌نشانی نسبت به باقی سلول‌ها دارد. و پس از آنکه در رطوبت اشباع و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت دیگر ولتاژی را نشان نداد. همچنین تمام سلول‌ها پس از ۷ دقیقه که در معرض رطوبت اشباع قرار گرفتند، ولتاژی نشان ندادند.

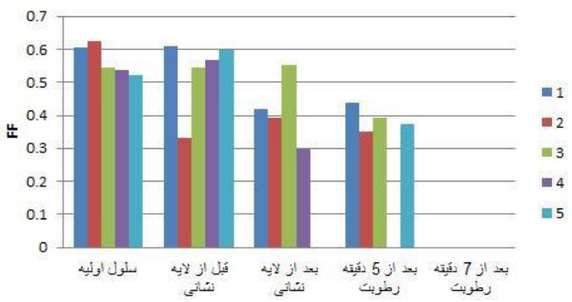
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]



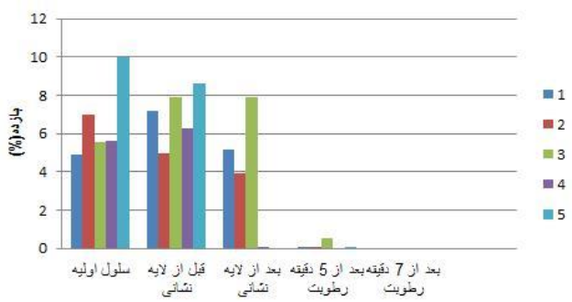
شکل ۴: ، V_{oc} سلولها تحت شرایط رطوبت اشباع در زمان-های مختلف

بررسی فاکتور کارکرد نشان داد که این مقادیر در سلول‌های شماره‌ی ۲ و ۴ نسبت به سلول‌های دیگر، کاهش و تغییر بیشتری دارند و فاکتور کارکرد در سلول شماره ۱ پس از ۵ دقیقه قرار گرفتن در رطوبت، مقدار بیشتری نسبت دیگر سلول‌ها نشان می‌دهد (شکل۵).



شکل۵: FF سلولها تحت شرایط رطوبت اشباع و در زمانهای مختلف

نتایج شکل شش نشان می دهد که سلول شماره‌ی ۴، پس از آنکه در معرض رطوبت اشباع قرار گرفته است، بازدهی نشان نداده ولی سلولی که ۲ لایه‌ی PMMA بر روی آن لایه‌نشانی شده‌است، بازدهی بهتری نسبت به سلولی که فقط یک لایه PMMA دارد نشان می‌دهد (شکل شماره‌ی ۶).



شکل ۶: بازده سلولها تحت شرایط رطوبت اشباع در زمانهای مختلف

با توجه به نتایج ونمودارهای بدست آمده، نمونه‌ای که بعد از ۵ دقیقه همچنان بازدهی آن قابل اندازه‌گیری و غیر صفر است، سلول شماره‌ی ۳ با بازدهی تقریبی ۰٫۵٪ است و بنابر این پوشش پلیمری PMMA و سیانواکریلات، تأثیر نسبی در افزایش پایداری سلول دارند.

نتیجه‌گیری

در این جا تأثیر پوشش های پلیمری بر روی پایداری سلول-های خورشیدی پروسکایتی، مورد بررسی قرار گرفت. سلولها با استفاده از لایه نشانی پلیمرهای مختلف مانندپلی متیل متااکریلات و سیانواکریلات ، کپسوله شدند. به منظور بررسی پایداری،سلول‌ها به طور همزمان در معرض رطوبت اشباع و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. منحنی‌های جریان ولتاژ سلولها با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این آزمایشها، نشان داد که لایه‌نشانی همزمان پلیمرهای پلی متیل متااکریلات و سیانواکریلات نقش موثرتری، (نسبت به لایه‌نشانی تنها پلیمر سیانواکریلات) در افزایش پایداری سلولهای خورشیدی پروسکایتی دارد.

مرجع‌ها

[1] Dong, Qi, et al. "Encapsulation of perovskite solar cells for high humidity conditions." *ChemSusChem* 9.18 (2016): 2597-2603.

[2] Han, Yu, et al. "Degradation observations of encapsulated planar CH 3 NH 3 PbI 3 perovskite solar cells at high temperatures and humidity." *Journal of Materials Chemistry A* 3.15 (2015): 8139-8147.

[3] Huang, Xiang, Yaxue Lin, and Guiyin Fang. "Thermal properties of polyvinyl butyral/graphene composites as encapsulation materials for solar cells." Solar Energy 161 (2018): 187-193.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]