بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۱۶۸۴-۱۰-A

ساخت و بررسی پایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایت معکوس

زهرا باقری[*]، احمد مشاعی[*]، آلدو دی‌کارلو[+]

[*]دانشکده فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[+] دانشکده مهندسی برق- دانشگاه تورورگاتا، رم، ایتالیا

zahrabagheri@modares.ac.ir, moshaii@modares.ac.ir, Aldo.dicarlo@uniroma2.it

چکیده - در مسیر تجاری سازی سلول‌های خورشیدی پروسکایت علاوه بر بازدهی بالای سلول، عملکرد پایدار آنها نیز بسیار ضروری است. در این پژوهش، پایداری سلول خورشیدی پروسکایت معکوس با لایه‌های انتقال بار آلی بررسی شده است. بررسی پایداری لحظه‌ای سلول معکوس با بازدهی٪۱۹، با میزان پسماند ناچیز محاسبه شده از رفتار J-V سلول در توافق است. همچنین سلول ساخته شده تحت تابش نوری پیوسته به مدت ۲۵۰h پایداری تابشی قابل قبولی را ارایه می‌دهد. پایداری طولانی مدت سلول‌های ساخته شده در شرایط محیطی با رطوبت نسبی متوسط ٪۵۰، نشان می‌دهد که سلول ٪۷۵ از عملکرد اولیه خود را پس از ۱۵۰۰h، حفظ می‌کند. افت عملکرد سلول‌ها در این مدت زمان، بیشتر متاثر از افت میزان J_{sc} (جریان مدار کوتاه) سلول‌ها است. میزان V_{oc} (ولتاژ مدار باز) و همچنین FF (عامل پرشوندگی) سلول‌ها در این دوره زمانی تقریباً پایدار است.

کلید واژه- پایداری، پروسکایت،ساختار معکوس، سلول خورشیدی

Stability Investigations on Inverted Perovskite Solar Cells

Zahra Bagheri[a], Ahmad Moshaii[a],Aldo Di Carlo[b]

[a]Department of physics, Tarbiat Modares University, Tehran, *Iran*
[b] Department of Electronic Engineering, University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy

Abstract- The Stability of solar cells is an important issue for commercial applications. In this study, the stability issue of inverted perovskite solar cells with organic charge transfer layers has been investigated. The Instant stability test of the inverted perovskite solar cell (PSK) with a (power conversion efficiency) PCE of 19% is in agreement with the small hysteresis estimated from the J-V behavior. The fabricated solar cells are stable against 250h continuous radiation of simulated sunlight. The long-term stability test indicates that the cells retain 75% of its original efficiency after 1500h shelf time in ambient conditions with an average relative humidity of 50%. The decreased performance is mostly due to the reduction in the J_{sc} (short circuit current) of the cells. The V_{oc} (open circuit voltage), as well as the FF (filling factor) of the cells, are almost constant.

Keywords: Stability, Perovskite, Solar cell, Invert structure

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

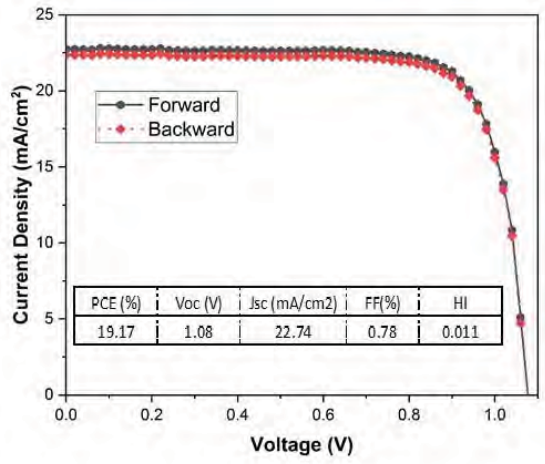
مقدمه

سلول خورشیدی از یک لایه پروسکایت جاذب نور ساندویچ شده در بین لایه‌های انتقال دهنده الکترون (ETL) و حفره(HTL) ساخته شده است. جذب نور توسط لایه پروسکایت، الکترون و حفره ایجاد می‌کند. سپس این بارهای برانگیخته‌شده، از پروسکایت به لایه انتقال دهنده مربوطه منتقل می‌شوند. لایه‌های انتقال‌دهنده بار به ترتیب به الکترودهای مربوطه وصل می‌شوند تا مدار الکترونیکی کامل شود. در ساختارp-i-n به عکس ساختار مرسوم n-i-p، که نور ابتدا از ETL عبور می‌کند، نور فرودی ابتدا از لایه HTL می‌گذرد. اخیراً، سلول‌های خورشیدی پروسکایت با ساختار p-i-n به دلیل پایین‌تر بودن دمای پردازش، انعطاف‌پذیری[۱]، هزینه تولید کمتر و امکان‌سنجی تولید انبوه توجه بیشتری را به خود جلب کرده است[۲.۳]. تا کنون تلاش‌های وسیعی در جهت بهبود بازدهی سلول‌های خورشیدی پروسکایت انجام شده است، اما در مسیر تجاری‌سازی این نوع سلول‌هاعلاوه بر بازدهی بالای سلول، عملکرد پایدار آنها نیز بسیار ضروری است. در این پژوهش،پایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایت معکوس ساخته شده بررسی شده است. در اینجا پایداری به عنوان توانایی حفظ بازده اولی هدر شرایط عملکردی سلول تعریف می-شود.

روش آزمایش

زیرلایه‌های ITOلایه برداری شده با الگوی تعیین شده، باروش تمیزکاری التراسونیک به ترتیب با مایع شوینده، آب دیونیزه، استون و دو پروپانول به دقت شستشو شدند و در معرض لامپ UV قرار گرفتند. محلول لایه انتقال دهنده حفره یعنیPTAA با غلظت mg/ml ۲ در حلال بدون آب تولوین به مدت ۳۰ s و با سرعت rpm ۶۰۰۰ بر روی نمونه‌های تمیز به‌طور چرخشی لایه‌نشانی شدند. بالافاصله نمونه‌ها به مدت min ۱۰ روی حرارت یکنواخت °C ۱۲۰ در شرایط محیط قرار گرفتند. پس از نور درمانی لایه‌های پلیمری[۴]، نمونه‌ها به گلاوباکس انتقال داده شدند. محلول پروسکایت سه کاتیونی در حلال مخلوط DMF/DMSO، با روش گفته شده در [۵] تهیه شد. محلول نهایی پروسکایت با ترکیب $Cs_{0.05}(MA_{0.17}FA_{0.83})_{0.95}Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ روی نمونه‌های ITO/PTAA تهیه شده با سرعت چرخشی rpm ۴۰۰۰به مدت s ۳۵ لایه‌نشانی شدند. ازکلروبنزن به عنوان ضدحلال استفاده کرده ایم. سپس لایه‌های تهیه شده به مدت حداقل min ۱۵در دمای°C ۱۰۰ آنیل شده اند. تمامی‌این مراحل در شرایط گلاوباکس انجام گرفت. لایه‌های انتقال دهنده الکترونC_{60}با ضخامت nm ۱۶ با روش تبخیر در خلا لایه‌نشانی و بالافاصله محلول(mg/ml ۰/۵) BCP در ۲-پروپانول با سرعت rpm ۴۰۰۰ به مدت (۳۰ s) لایه‌نشانی چرخشی شد. با لایه نشانی تبخیر گرمایی نقره به عنوان الکترود پشتی ساخت سلول‌های پروسکایت معکوس کامل می‌شود.

بحث و نتیجه گیری

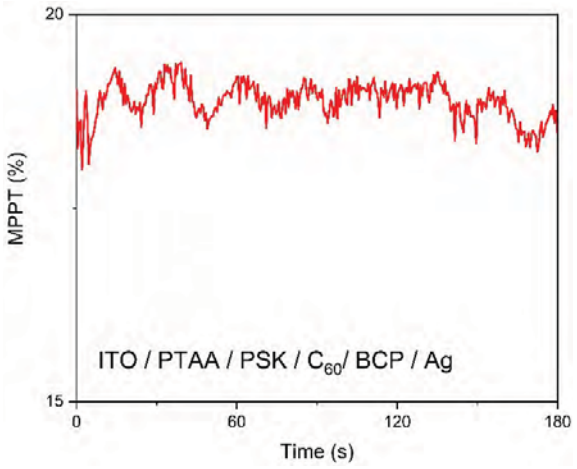


شکل۱: رفتارجریان- ولتاژ سلول بهینه در دو جهت جاروب مستقیم و معکوس ولتاژ ، و پارامترهای فوتولتایی استخراج شده تحت تابش باشدتAM1.5

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

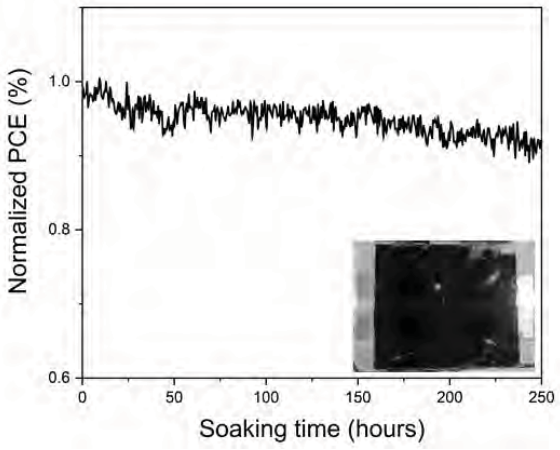
سلول‌های خورشیدی پروسکایت مورد بررسی به ترتیب دارای لایه‌های انتقال دهنده بار ITO/ PTAA/ PSK/C_{60}/ BCP/ Ag است.

تغییرات چگالی جریان در اثر جاروب ولتاژ اعمال شده به سلول بهینه، در شکل ۱ نشان داده شده است. پارامترهای فوتولتایی استخراج شده از نمودار در جدول پیوست آورده شده است. بازدهی (*PCE*) قابل قبول ٪۱۹، بررسی میزان توانایی حفظ بازده اولیه آنهادر شرایط عملکردی را جذاب‌تر می‌کند.



شکل۲: رفتار MPPT سلول بهینه در شرایط تابش استاندارد شبیه ساز خورشیدی در محیط.

به دلیل اثرات پسماند مشهور در منحنی‌های J-Vنه تنها کارآیی حاصل از جاروب رو به جلو ولتاژ (یعنی از ۰ ولت تاV_{OC}) بامقدار آن در جاروب معکوس ولتاژ (یعنی ازV_{OC} تا ۰ ولت) متفاوت است، بلکه تمام پارامترهای فتوولتایی نیز به سرعت جاروب ولتاژ و شرایط اولیه مانند پیش بایاس[۶] و دمای سلول[۷،۸] بستگی دارد. اگرچه بیشتر جاروب‌های J-V گزارش شده با طیف خورشیدی شبیه سازی شده AM1.5تحت شرایط استاندارد انجام می‌شوند، اما پسماند تحت تأثیر بایاس نوری است، به عبارت دیگر رفتار سلول تحت تأثیر شدت و طیف نور ورودی قرار می‌گیرد[۹]. همچنین در سلول‌های مبتنی بر کاتیون‌های چندگانه پروسکایت سرعت جنبش یونی بیشتر گزارش شده است. از این رو، فراهم آوردن شرایط دقیق آزمایش اندازه‌گیری J-V برای سلول خورشیدی پروسکایت و تکمیل مشخصه یابیJ-V سلول با خروجی توان تثبیت شده، که از ردیابی بیشینه توان سلول (MPPT) سلولبرای چند دقیقه استخراج می‌شود، بسیار مهم است. در شکل ۲ رفتار پایدار خروجی سلول ساخته شده تحت تابش مداوم نور استاندارد در مدت زمان ۳min نشان داده شده است. که با میزان پسماند *(HI)* ناچیز۰/۰۱۱استخراج شده از شکل ۱ درتوافق است.

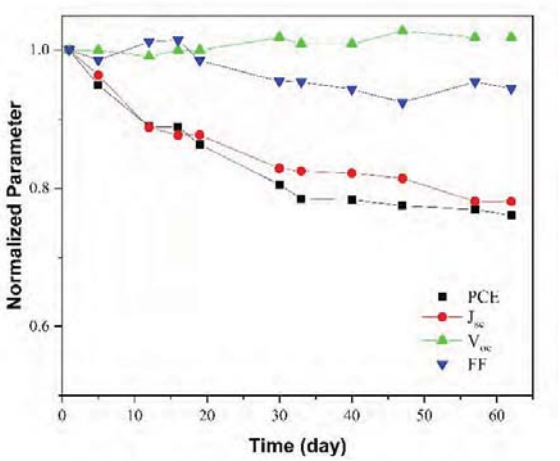


شکل۳: تغییرات میزان بازدهی بهنجار شده در شرایط تابش پیوسته ۰/۸Sun نور LED در مدت زمان ۲۵۰ h در محیط اتمسفر.

بررسی تغییرات عملکرد سلول‌ها تحت تابش مداوم نور شبیه سازی در شرایط MPP، بیانگر میزان پایداری نوری سلول‌های بهینه تحت تابش مستمر نور است. شکل ۳ رفتار تقریباً یکنواخت بازدهی بهنجار شده سلول‌های بهینه ساخته شده، در شرایط تابش پیوسته ۰/۸Sun نور شبیه ساز در مدت زمان ۲۵۰ hرا نشان می‌دهد. به وضوح مشخص است که بازدهی سلول‌ها پس از این مدت، به میزان اندکی کاهش پیدا کرده است. شکل ظاهری سلول تحت تابش مستمر پس از این مدت در شکل نمایش داده شده است. سرانجام پایداری طولانی مدت سلول‌های ساخته در شرایط محیطی با رطوبت نسبی متوسط ٪۵۰، مورد توجه قرار گرفته اند. تغییرات عملکرد این سلول‌ها در

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

فاصله‌های زمانی چند روز از هم، در شرایط بدون حفاظ و در شرایط اندازه‌گیری کاملا یکسان، در مدت زمان بیشتراز دو ماه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل۵: پایداری بلند مدت سلول ساخته شده برای مدت زمان ۱۵۰۰h، در شرایط دمایی ۳۰°C و رطوبت نسبی ٪۵۰

شکل ۴ میزان تغییر پارامترهای فتوولتایی سلول با عملکرد بهینه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سلول‌ها ٪۷۵ از عملکرد اولیه خود را پس از ۶۰ روز (۱۵۰۰h)، در شرایط محیطی با رطوبت نسبی متوسط ٪۵۰، حفظ می‌کنند. افت عملکرد سلول‌ها در این مدت زمان، بیشتر متاثر از افت میزان J_{sc}(جریان مدار کوتاه) سلول‌ها است. میزان V_{oc}(ولتاژ مدار باز) و همچنین FF(عامل پرشوندگی) سلول‌ها در این دوره زمانی تقریباً پایدار است.

نتیجه‌گیری

بررسی پایداری لحظه‌ای سلول خورشیدی پروسکایت معکوس با بازدهی٪۱۹، با میزان پسماند ناچیز محاسبه شده از رفتار J-V سلول در توافق است. همچنین سلول ساخته شده تحت تابش نوری پیوسته به مدت ۲۵۰h پایداری تابشی قابل قبولی را ارایه داد. پایداری طولانی مدت سلول‌های ساخته شده در شرایط محیطی با رطوبت نسبی متوسط ٪۵۰ نشان می‌دهد که سلول ٪۷۵ از عملکرد اولیه خود را پس از ۶۰ روز (۱۵۰۰h)، حفظ می‌کند. افت عملکرد سلول‌ها در این مدت زمان، بیشتر متاثر از افت میزان J_{sc}(جریان مدار کوتاه) سلول‌ها است. میزان V_{oc}(ولتاژ مدار باز) و همچنین FF(عامل پرشوندگی) سلول‌ها در این دوره زمانی تقریباً پایدار است.

مرجع‌ها

[1] L. Meng, Y. Zhang, X. Wan, C. Li, X. Zhang, Y. Wang, X. Ke, Z. Xiao, L. Ding, R. Xia, "Organic and solution-processed tandem solar cells with 17.3% efficiency", Science, 361 (2018) 1094-1098.

[2] W. Chen, Y. Wu, Y. Yue, J. Liu, W. Zhang, X. Yang, H. Chen, E. Bi, I. Ashraful, M. Grätzel, "Efficient and stable large-area perovskite solar cells with inorganic charge extraction layers", Science, 350 (2015) 944-948.

[3] Y. Deng, E. Peng, Y. Shao, Z. Xiao, Q. Dong, J. Huang, "Scalable fabrication of efficient organolead trihalide perovskite solar cells with doctor-bladed active layers", Energy Environ. Sci., 8 (2015) 1544-1550.

[4] Z. Bagheri, F. Matteocci, E. Lamanna, D. Di Girolamo, A.G. Marrani, R. Zanoni, A. Di Carlo, A. Moshaii, "Light-induced improvement of dopant-free PTAA on performance of inverted perovskite solar cells, Sol. Energy Mater and Sol. Cells", 215 (2020) 110606.

[5] M. Saliba, J.-P. Correa-Baena, C.M. Wolff, M. Stolterfoht, N. Phung, S. Albrecht, D. Neher, A. Abate, "How to Make over 20% Efficient Perovskite Solar Cells in Regular (n–i–p) and Inverted (p–i–n) Architectures", Chem. Mater., 30 (2018) 4193-4201.

[6] P. Calado, A.M. Telford, D. Bryant, X. Li, J. Nelson, B.C. O'Regan, P.R. Barnes, "Evidence for ion migration in hybrid perovskite solar cells with minimal hysteresis", Nat. Commun., 7 (2016) 1-10.

[7] D. Bryant, S. Wheeler, B.C. O'Regan, T. Watson, P.R. Barnes, D. Worsley, J. Durrant, "Observable hysteresis at low temperature in hysteresis free organic–inorganic lead halide perovskite solar cells", J. Phys. Chem., 6 (2015) 3190-3194.

[8] L.K. Ono, S.R. Raga, S. Wang, Y. Kato, Y. Qi, "Temperature-dependent hysteresis effects in perovskite-based solar cells", J. Mater. Chem. A, 3 (2015) 9074-9080.

[9] M. Pazoki, T.J. Jacobsson, S.H. Cruz, M.B. Johansson, R. Imani, J. Kullgren, A. Hagfeldt, E.M. Johansson, T. Edvinsson, G. Boschloo, "Photon Energy-Dependent Hysteresis Effects in Lead Halide Perovskite Materials", J. Phys. Chem. C, 121 (2017) 26180-26187.

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