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

ساخت سلول خورشیدی سه کاتیونه پروسکایتی و بررسی پایداری آن در شرایط مختلف محیطی

رضوان هوشمندفر، مجتبی رحیمی و محمد ثابت

دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، Rezvan73hooshmand@gmail.com

دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، M_rahimi@vru.ac.ir

دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، M.sabet@vru.ac.ir

چکیده - سلول‌های خورشیدی پروسکایتی به دلیل ساخت آسان و هزینه کم رشد بسیار زیادی داشته‌اند، اما حساسیت بالا نسبت به رطوبت برای این سلول‌ها وجود دارد. در این مقاله طراحی و ساخت سلول‌های خورشیدی پروسکایتی سه کاتیونه با فرمول شیمیایی $Cs_{0.05}(FA_{0.83}MA_{0.17})_{0.95}\ Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ مورد بحث قرار می‌گیرد و پایداری آن‌ها در چهار شرایط دسیکاتور-تاریک، دسیکاتور-نور، آزمایشگاه-تاریک و تحت نور مستقیم خورشید با نتایج حاصل از آنالیز جریان-ولتاژ بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند بهترین پایداری سلول‌های خورشیدی نانو ساختار پروسکایت مربوط به نمونه‌ها در شرایط دسیکاتور-تاریک که تا تقریبا ۳۵ روز پایداری خود را حفظ کردند می‌باشند، که با گذشت این زمان با کاهش ۳۰٪ بازده مواجه شدیم.

کلید واژه- پایداری، سلول‌های خورشیدی پروسکایت، فوتوولتائیک

Manufacturing of the three cations perovskite solar cell and investigation of its stability in different environmental situations

Rezvan Hooshmandfar, Mojtaba Rahimi, Mohammad Sabet

Valiasr University of Rafsanjan, Rezvan73hooshmand@gmail.com

Valiasr University of Rafsanjan, M_rahimi@vru.ac.ir

Valiasr University of Rafsanjan, M.sabet@vru.ac.ir

Perovskite solar cells are highly developed due to their easy manufacturing and low cost, but there is a high sensitivity to moisture for these cells. In this paper, the design and fabrication of three cationic perovskite solar cells with chemical formula $Cs_{0.05}(FA_{0.83}MA_{0.17})_{0.95}\ Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ are discussed and their stability under four dessicator-dark conditions, Dessicator-light, lab-dark and under direct sunlight are investigated with the results of a voltage-current analysis. The results show the best stability of the perovskite nanostructure solar cells for the samples under dessicator-dark conditions which maintained their stability for approximately 35 days, which resulted in a 30% decrease in yield.

keywords: Stability, Perovskite Solar Cells, Photovoltaic

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

سلول‌های خورشیدی در چهار نسل دسته بندی می شوند [۱] که سلول‌های خورشیدی پروسکایت، بخشی از نسل سوم را تشکیل می‌دهند آن چه باعث توسعه‌ی این نسل از سلول‌ها شده، پایین بودن نسبت قیمت بر عملکرد آن‌هاست که تولید انرژی را به طور چشم گیری مقرون به صرفه کرده است[۲]. سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با وجود پیشرفت‌های فراوان در حوزه‌ی فوتوولتائیک، با چالش‌هایی روبه‌رو هستند. از مهم‌ترین آن-ها می‌توان به پایداری، وابستگی شدید به شرایط محیطی اشاره کرد عوامل مؤثر بر پایداری سلول‌های پروسکایتی به دو دسته ذاتی و بیرونی تقسیم می‌شوند. هرکدام از این عوامل می‌توانند باعث تجزیه لایه پروسکایت و یا لایه‌های دیگر شود،که باعث کاهش بازدهی سلول در طول زمان می‌شود. تجزیه لایه پروسکایت اصلی‌ترین عامل عدم پایداری سلول پروسکایتی به شمار می‌آید. پایداری لایه‌ی پروسکایت تحت عوامل مختلفی است، مانند رطوبت، دما، تابش نور و قرار گرفتن در معرض اکسیژن کاهش می‌یابد.[۳].

روش انجام آزمایش

برای ساخت سلول‌های خورشیدی پروسکایت سه کاتیونه ابتدا زیر لایه‌های شفاف و رسانای FTO برش داده شدند و بعد از اچ کردن زیرلایه‌ها، پنج مرحله شست و شو با حساسیت بالا انجام شد. اولین مرحله لایه نشانی لایه بلاک می‌باشد که محلول آن به شرح زیر ساخته می‌شود:

TTIP(369 µl) + Ethanol (2.53 ml) (۱)

HCl (35 µl) + Ethanol (2.53 ml) (۲)

دو محلول بالا را ساخته و سپس قطره قطره محلول ۲ را به ۱ اضافه می‌کنیم. لایه‌نشانی به وسیله دستگاه لایه‌نشانی چرخشی با روش اسپین کستینگ، با دور لایه نشانی ۲۰۰۰ در مدت زمان ۳۰ ثانیه انجام گرفت. بعد از اتمام لایه نشانی، گوشه FTO (موازی قسمت اچ شده) باگوش‌پاک‌کن آغشته به اتانول با دقت پاک شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱ساعت تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره حرارت داده شدند. دومین مرحله، لایه‌نشانی لایه مزومتخلخل Tio_2 می‌باشد ابتدا خمیر۲۰ نانومتری با اتانول با نسبت وزنی ۱:۵/۵ (۱ گرم خمیر با ۵/۵ گرم اتانول) ترکیب شد و سپس به مدت حداقل ۷ ساعت بر روی همزن مغناطیسی تحت چرخش قرار گرفت. در این مرحله نیز گوشه‌ی FTO با گوش‌پاک‌کن آغشته به اتانول پاک شد و سپس نمونه‌ها به مدت نیم ساعت تا دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در کوره حرارت داده شدند. لایه‌نشانی به روش اسپین کوتینگ با دور ۵۰۰۰ در مدت زمان ۳۰ ثانیه صورت گرفت. سومین مرحله‌ی لایه‌نشانی، لایه‌نشانی پروسکایت می‌باشد. پروسکایت به روش تک مرحله‌ای لایه‌نشانی شد. به منظور آماده‌سازی محلول پروسکایت سه کاتیونه ابتدا محلول‌های اصلی آماده گردید، حلال مورد استفاده در این محلول‌ها ترکیب DMF:DMSO با نسبت وزنی ۴:۱ می‌باشد. محلول شماره یک شامل ۰/۶۵۶۹ گرم PbI_2، با ۹۵۰ میکرولیتر از حلال مورد نظر آماده گردید سپس به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد هم زده شد. محلول شماره‌ی دو شامل ۰/۵۵ گرم $PbBr_2$ با ۱ میلی‌لیتر از حلال مورد نظر آماده شد و سپس همانند قبل به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر ۱۸۰ درجه هم زده شد. بعد از خنک شدن محلول‌ها مقدار ۹۵۰ میکرولیتر از محلول شماره یک با ۰/۲ گرم از FAI و ۱۸۳ میکرولیتر از محلول شماره دو با ۰/۰۲۵ گرم از MABr ترکیب شد و به ترتیب محلول شماره سه و چهار نامگذاری شدند. سپس ۸۳۰ میکرولیتر از محلول شماره سه با ۱۷۰ میکرولیتر از محلول شماره چهار ترکیب شدند و ۵۲/۶ میکرولیتر از محلول CsI به آن‌ها اضافه گردید. لایه‌نشانی در این مرحله در دو استپ انجام شد، که در استپ اول محلول پروسکایت با روش اسپین کوتینگ با دور ۱۰۰۰ در مدت زمان ۱۰ ثانیه لایه‌نشانی شد، و در استپ دوم ضد حلال(کلروبنزن) به روش اسپین کستینگ با دور ۶۰۰۰ در مدت زمان ۲۰ ثانیه لایه نشانی شد. به‌منظور لایه‌نشانی لایه انتقال دهنده حفره ابتدا ۷۲/۳ میلی‌گرم اسپایروامتاد در ۱ میلی‌لیتر حلال کلروبنزن حل شد. همچنین محلول دیگری شامل ۵۲۰ گرم نمک LiTFSI در ۱ میلی‌لیتر استونیتریل تهیه گردید. ۲۸/۸ میکرولیتر محلول ترت‌بوتیل‌پریدین به محلول اول اضافه شد، سپس ۱۷/۵ میکرولیتر از محلول نمک LiTFSI به محلول اول اضافه شد. لایه نشانی در این مرحله با دور ۴۰۰۰ در مدت زمان ۳۰ ثانیه صورت گرفت. در آخر

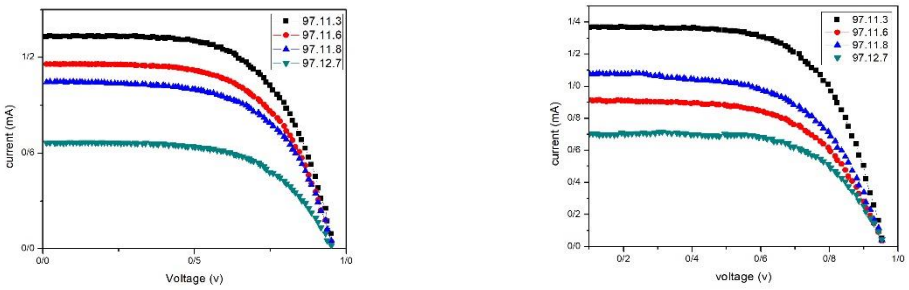
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

لایه نشانی طلا با به ضخامت ۷۰ نانومتر با دستگاه لایه نشانی
تبخیر حرارتی انجام شد.

جدول شماره ۱ بازده و فاکتورگنجایش ۱۶ نمونه

شماره نمونه	$\eta_{avg}(\%)$				FF_{avg}			
	۹۷/۱۱/۳	۹۷/۱۱/۶	۹۷/۱۱/۸	۹۷/۱۲/۷	۹۷/۱۱/۳	۹۷/۱۱/۶	۹۷/۱۱/۸	۹۷/۱۲/۷
۱	–	۶/۵۲	۶/۳۲	۴/۹۱	-	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۵
۲	۹/۰۹	۸/۰۳	۶/۵۸	۶/۳۰	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱
۳	۵/۹۱	۵/۴۱	۴/۸۵	۴/۷۸	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۶
۴	۹/۴۲	۵/۲۴	۵/۶۶	۳/۸۲	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۶۲
۵	۶/۴۵	۶/۸۳	۵/۱۷	۲/۹۴	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۶۲
۶	۵/۲۷	۷/۵۵	۶/۰۲	۴/۴۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۳
۷	۷/۹۰	۶/۷۴	۶/۰۲	۳/۱۵	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۶۰
۸	۶/۹۰	۷/۲۰	۴/۶۰	۴/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۵۵
۹	۱۰/۱۲	۸/۴۹	۶/۷۹	۵/۷۸	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷
۱۰	۷/۹۳	۶/۰۳	۶/۷۴	۴/۴۰	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۵
۱۱	۸/۶۰	۶/۹۰	۵/۹۷	۴/۰۸	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۵۵
۱۲	۷/۱۱	۵/۰۸	۶/۲۹	۴/۹۸	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۴
۱۳	۸/۷۶	۶/۳۲	۲/۹۱	–	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۵۸	–
۱۴	۸/۰۲	۵/۸۱	۳/۰۰	–	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۴	–
۱۵	۶/۴۱	۸/۱۸	۲/۷۳	۰/۵۱	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۳۸
۱۶	۸/۳۰	۷/۳۹	۱/۴۴	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۴۹

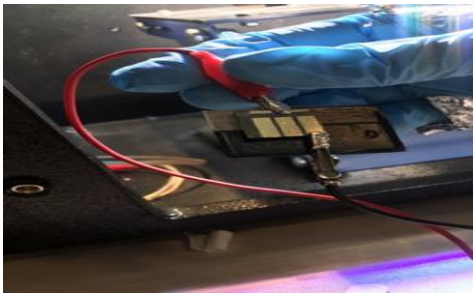


ب الف

شکل ۱: الف- منحنی جریان-پتانسیل سلول‌های نگهداری شده در تاریکی در دسیکاتور در روزهای مختلف
ب- منحنی جریان-پتانسیل سلول‌های نگهداری شده تحت نور استاندارد در دسیکاتور AM 1.5 در روزهای

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



شکل ۲: نحوه اتصال گیری از سل هر نمونه

نتایج

با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز خورشیدی ساخت شرکت شریف سولار مشخصه‌یابی جریان-ولتاژ طی چهار روز انجام گرفت. نحوه‌ی اتصال گرفتن از هر سل یک نمونه را در شکل ۲ مشاهده می‌کنید. داده‌های مربوط به ۱۶ نمونه، که با توجه به شرایط ایده‌آل و واقعی موجود بدست آمده‌اند در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشند. پایداری سلول‌های خورشیدی نانو ساختار پروسکایت سه کاتیونه در شرایط ایده‌آل (بدون رطوبت و نور مستقیم) و واقعی (تحت نور مستقیم خورشید در محیط آزمایشگاه) بررسی شد. شرایط محیطی نمونه‌ها به صورت زیر است:

- ✓ نمونه‌های شماره ۱ تا ۴ در دسیکاتور-تاریک
- ✓ نمونه‌های شماره ۵ تا ۸ در دسیکاتور-نور
- ✓ نمونه‌های شماره ۹ تا ۱۲ در آزمایشگاه-تاریک
- ✓ نمونه‌های شماره ۱۳ تا ۱۶ تحت نور مستقیم خورشید(پشت پنجره)

برای بدست‌آوردن بازده وفاکتورگنجایش نمونه‌ها، ابتدا نمودار I-V آن‌ها رسم شد. لازم به ذکر است که در دو تاریخ اول از نمونه‌ها در شرایط کاملا یکسان آنالیز گرفته شده و بعد از گرفتن آنالیز در تاریخ دوم بلافاصله نمونه‌ها در چهار شرایط ایده‌آل و واقعی قرار گرفتند. با توجه به این‌که فقط نمونه‌های داخل دسیکاتور در یک بازه‌ی زمانی ۳۵ روزه پایداری خود را حفظ کرده و با گذشت زمان بازده و فاکتور گنجایش قابل قبولی نشان دادند، منحنی‌های جریان-ولتاژ دو نمونه در دو حالت موجود دسیکاتور در شکل ۱ قابل مشاهده هستند. قسمت الف تغیرات I-V نمونه در حالت دسیکاتور-تاریک قسمت ب در حالت دسیکاتور-نور را در ۴ روز آنالیز می‌باشد. نمودار بازده میانگین نمونه‌ها در ۴ روز آنالیز و در شرایط موجود نیز در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهند با توجه به تکرارپذیری بالا در طراحی و ساخت سلول‌های خورشیدی پروسکایت سه کاتیونه در آزمایشگاه بعد از ۲۴ ساعت از لایه نشانی طلا η و FF قابل قبولی بدست آمد و پایداری سلول‌ها بعد از گذشت ۳۵ روز در شرایط ایده‌آل خوب بوده است. در شرایط واقعی در حالت تاریک نمونه‌ها حدودا ۲۷ روز پایداری خوبی داشتند و نمونه‌ها تحت نور مستقیم خورشید بعد از گذشت ۲۰ روز ناپایدار گردیدند. وابستگی شدید سلول‌های خورشیدی پروسکایت به شرایط محیطی در این پژوهش به طور واضح مشاهده می‌شود. نمونه‌هایی که در معرض نور، پشت پنجره قرار گرفتند با گذشت زمان پروسکایت از روی سطح آن‌ها از بین رفت و سلول‌ها ناپایدار گردیدند. همچنین با توجه به نمونه‌های موجود در دسیکاتور می‌توان بیان کرد بیشتر از نور، گرما و رطوبت باعث افت شدید سلول‌ها می‌شود .

مرجع

1- P.C.Choubey, A. Oudhia, R. Dewangan, "A review: Solar cell current scenario and future trends*," Recent Res. Sci. Technol*. 4(8), 2012.

2- J. Bisquert, *The physics of solar cells: perovskites, organics, and photovoltaic fundamentals*, CRC Press, 2017

3- J. Burschka, N. Pellet, S. J. Moon, R. Humphry-Baker, P. Gao, M. K. Nazeeruddin, M. Grätzel, "Sequential Deposition as a Route to High-Performance Perovskite-Sensitized Solar Cells,'' Nature. 499, 316-319(2013).

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]