بررسی انتقال‌دهنده حفره فتالوسیانین روی(Znpc) بر عملکرد سلول‌های خورشیدی پروسکایتی

فرزانه حاذقی[۱]، سید محمد باقر قریشی[۱]

[۱]دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک

چکیده - فتالوسیانین‌های فلزی بعنوان دسته‌ی مهمی از نیم‌رساناهای آلی یا مواد انتقال‌دهنده‌ی حفره بصورت گسترده‌ای در سلول‌های خورشیدی آلی استفاده می‌شوند. در این بررسی، فتالوسیانین روی (*Znpc*) با تحرک‌پذیری حفره نسبتا بالا و ترازهای *HOMO* و *LUMO* مناسب بعنوان لایه‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی متیل آمونیوم یدید سرب استفاده شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده در این بررسی نشان می‌دهند که استفاده از فتالوسیانین روی بعنوان لایه‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره باعث افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی در مقایسه با سلول‌های بدون لایه‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره است.

کلید واژه- بازدهی، پروسکایت، فتالوسیانین روی ، لایه انتقال دهنده حفره.

Investigation of zinc phthalocyanine as a hole transport material on performance of perovskite solar cells

Farzaneh Hazeghi[1], Seyed Mohamad Bagher Ghoreishi[1]

University of Kashan, Department of physics[1]

Abstract- Metal phthalocyanines as an important class of organic semiconductors or hole transport materials have been extensively used in organic solar cells. Herein, zinc phthalocyanine with relatively high hole mobility and favourable HOMU and LUMO levels has been used as a hole transport layer in methylammonium lead iodide perovskite solar cells. In this study, the results of experimental data show that the using of zinc phthalocyanine as a hole transport layer in perovskite solar cells increases power conversion efficiency in comparison with perovskite solar cells without a hole transport layer.

Keywords: Power conversion efficiency, Perovskite, zinc phthalocyanine, Hole-transport layer.

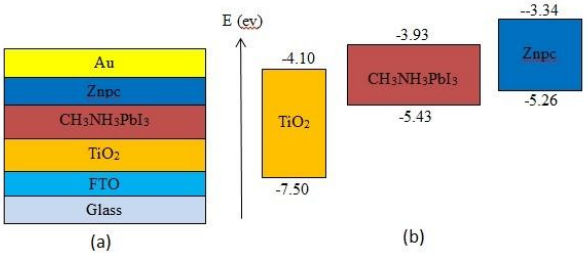
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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

۱- مقدمه

سلول‌های خورشیدی پروسکایتی اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. مواد پروسکایتی به دلیل داشتن خصوصیات اپتوالکترونیک عالی شامل گاف باند مناسب(1.5 ev)، ضریب جذب بالا($>10^{-4}\ cm^{-1}$) و طول پخش طولانی(100- 1000nm)، مناسب برای استفاده در ابزارهای فوتوولتائیک هستند. سلول‌های خورشیدی پروسکایتی در شرایط محیطی ناپایدار هستند. استفاده از مواد انتقال دهنده‌ی حفره و الکترون مناسب می‌تواند انتخاب خوبی برای کاهش هزینه‌ی ساخت سلول و افزایش مقاومت لایه‌ی جاذب پروسکایت در مقابل تخریب‌های محیطی از جمله رطوبت باشد. بطورکلی، سلول‌های خورشیدی پروسکایتی شامل سه لایه‌ی اصلی هستند که لایه‌ی جاذب پروسکایت بین لایه‌ی انتقال دهنده حفره نوع p و لایه‌ی انتقال دهنده الکترون نوع n واقع شده است[1,2,3]. لایه‌های انتقال‌دهنده‌ی حفره نقش مهمی در استخراج و انتقال حامل‌های بار دارند. مواد انتقال‌دهنده‌ی حفره مناسب برای استفاده در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی باید خصوصیاتی شامل: روش‌های پردازش و خالص‌سازی آسان، تحرک‌پذیری حفره بالا جهت جلوگیری از بازترکیب حامل‌های بار در سطح پروسکایت، ترازهای انرژی متناسب با ترازهای HOMO و LUMO لایه‌ی جاذب پروسکایت، پایداری گرمایی بالا و حساسیت پایین نسبت به رطوبت داشته باشند[4,5]. مواد انتقال‌دهنده حفره به دو دسته معدنی و آلی تقسیم می‌شوند، انتقال‌دهنده‌های حفره آلی مانند Spiro-OMETAD، PTAA که بسیار گران قیمت و ناپایدار هستند و به همین دلیل کمتر در صنعت استفاده می‌شوند. نیم‌رساناهای فلزی آلی بر پایه فتالوسیانین‌ها مانند فتالوسیانین مس و فتالوسیانین روی و انتقال دهنده‌های حفره معدنی مانند Cu_2O ، NiO معمولا از لحاظ شیمیایی پایدارتر و مقرون به صرفه‌تر هستند. فتالوسیانین‌های فلزی با پایداری گرمایی و شیمیایی عالی و هزینه پایین به دلیل تحرک‌پذیری حفره بالا معمولا بعنوان ماده نوع p در سلول‌های خورشیدی کابرد دارند[6]. اخیرا، بازدهی تبدیل توان سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با استفاده از Cupc بعنوان لایه انتقال‌دهنده حفره ۵٪ گزارش شده است[7].

در این مطالعه، سلول خورشیدی مزومتخلخل پروسکایتی $Glass/FTO/TiO_2(b)/TiO_2(m)/CH_3NH_3PbI_3/Znpc/Au$ ساخته و بررسی شد. در این ساختار فلورین دوپ شده در اکسید قلع لایه‌ی رسانای شفاف و الکترود آند(FTO)، تیتانیوم دی اکساید ($TiO_2(b)$) لایه‌ی سد کننده‌ی حفره، تیتانیوم دی اکساید مزومتخلخل ($TiO_2(m)$) لایه انتقال‌دهنده الکترون، متیل آمونیوم یدید سرب ($CH_3NH_3PbI_3$) لایه‌ی جاذب پروسکایت، فتالوسیانین روی (Znpc) لایه‌ی انتقال دهنده حفره و لایه‌ی سد کننده الکترون و طلا (Au) الکترود کاتد است. شکل ۱ شماتیک ترازهای انرژی ساختار سلول خورشیدی ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل۱: (a) ساختار سلول، همبستگی تراز انرژی سلول خورشیدی پروسکایتی.

۲- مواد

تیتانیوم ترا ایزوپروپکساید (TTiP)، هیدروکلریک اسید(HCL)، اتانول ($C2H_5OH$)، ۲-ایزوپروپانول ($CH_3CH(OH)CH_3$) و دی متیل فرمامید (C_3H_7NO) از شرکت مرک خریداری شده است. روی(Zn)، تیتانیوم دی اکساید(TiO_2) و شیشه رسانای شفاف (FTO) از شرکت شریف سولار خریداری شدند. سرب یدید (PbI_2) و متیل آمونیم یدید(CH_3NH_3I) از شرکت ایساتیس یزد خریداری شده است. فتالوسیانین روی (Znpc) از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شده است. طلا (Au).

۲-۱- روش ساخت سلول

یکی از مراحل مهم در ساخت سلول شستشوی آن است. شستشوی نامناسب سلول‌ها باعث افزایش مقاومت FTO

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

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

می‌شود. در مرحله‌ی اول زیرلایه‌های FTO با پودر روی و هیدروکلریک اسید رقیق شده سونش شده و طی چندین مرحله با آب صابون ، آب دو بار تقطیر ، اتانول و استون در حمام آلتراسونیک شسته و سپس در آون خشک می‌شوند. مرحله دوم، لایه نشانی لایه سد کننده حفره است. این لایه وظیفه ممانعت از عبور حفره‌های تولید شده در لایه پروسکایت را دارد. تیتانیوم دی‌اکساید سد کننده حفره با پیش ماده TTIP به روش چرخشی با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۶۰ ثانیه لایه نشانی می‌شود و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره بازپخت می‌شود. مرحله سوم، لایه نشانی لایه انتقال‌دهنده الکترون است. پروسکایت درون این لایه‌ی متخلخل نفوذ کرده و با افزایش نسبت سطح به حجم آن، باعث افزایش جذب نور و به دنبال آن تولید جفت الکترون و حفره می‌شود و الکترون‌ها را به سمت الکترود آند هدایت می‌کند. خمیر تیتانیوم با اتانول رقیق شده و با روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۶۰ ثانیه لایه نشانی می‌شود. نمونه های لایه نشانی شده به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره بازپخت می‌شوند. مرحله چهارم، لایه نشانی سرب یدید است. جهت تهیه محلول سرب یدید، دی متیل فرمامید را با سرب یدید محلول کرده و به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد هم می‌خورد. محلول بدست آمده به روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۶۰ ثانیه روی نمونه‌ها لایه نشانی می‌شود. زیرلایه‌ها و محیط لایه-نشانی که همان گلاوباکس است باید در دمای ۷۰ درجه قرار داشته باشد. نمونه‌های لایه نشانی شده به مدت ۲۰ دقیقه روی هیتر ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک می‌شوند. مرحله پنجم، لایه نشانی متیل آمونیوم یدید است. جهت تهیه محلول متیل آمونیوم یدید، متیل آمونیوم یدید را با ۲-ایزوپروپانول خالص مخلوط کرده و سپس روی همزن قرار داده تا محلول کرم رنگ و شفاف و یکنواختی ایجاد شود. لایه نشانی این مرحله معمولا به دو روش لایه نشانی چرخشی و روش لایه نشانی غوطه‌وری انجام می‌شود در این آزمایش از روش غوطه‌وری استفاده شده است. . پس از سرد شدن زیرلایه‌ها ، سلول‌ها درون بشری کوچک، که حاوی محلول متیل‌آمونیوم یدید است به مدت ۵ دقیقه قرار می‌گیرند و پس از آن سلول‌ها به وسیله ۲-ایزوپروپانول شستشو داده می‌شوند. رنگ زرد لایه سرب یدید به رنگ قهوه‌ای تیره تغییر رنگ می‌دهد. پس از آن سلول‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه روی هیتر خشک می‌شوند. در این مرحله لایه جاذب پروسکایت تشکیل می‌شود. در اینجا برای بررسی تاثیر لایه انتقال‌دهنده حفره Znpc بر عملکرد سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، تعدادی از سلول‌ها درون گلاوباکس قرار گرفته و تعداد دیگری برای لایه نشانی Znpc انتخاب می‌شوند. فتالوسیانین‌ها حل‌پذیری ضعیفی در محلول های آلی دارند و از طرفی محلول‌های آلی سبب تخریب زیرلایه پروسکایت می‌شوند. از اینرو در این آزمایش از روش لایه نشانی تبخیر حرارتی برای لایه‌نشانی لایه انتقال‌دهنده حفره Znpc استفاده شده است. یک لایه ۶۵ نانومتری از ماده آبی رنگ Znpc توسط دستگاه تبخیر حرارتی تحت فشار 1.5×10^{-4} میلی بار و با آهنگ 0.1 نانومتر بر ثانیه بر روی لایه‌ها لایه‌نشانی شد. آخرین مرحله ساخت سلول‌ها، نشاندن یک لایه ۶۰ تا۱۰۰ نانومتری طلا روی لایه‌ها است. این کار با استفاده از دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی انجام شده است. سلول‌ها با Znpc و بدون Znpc در شابلون بعنوان ماسک قرار می‌گیرند تا ناحیه‌ی فعال سلول‌ها کاملا مشخص باشد. ناحیه فعال برای آزمایش‌های ما ۳×۴ میلی‌متر مربع است. طلا تحت فشار 3.5×10^{-4} میلی بار و با آهنگ ۰.۲ نانومتر بر ثانیه بر روی نمونه‌ها لایه‌نشانی می‌شود.

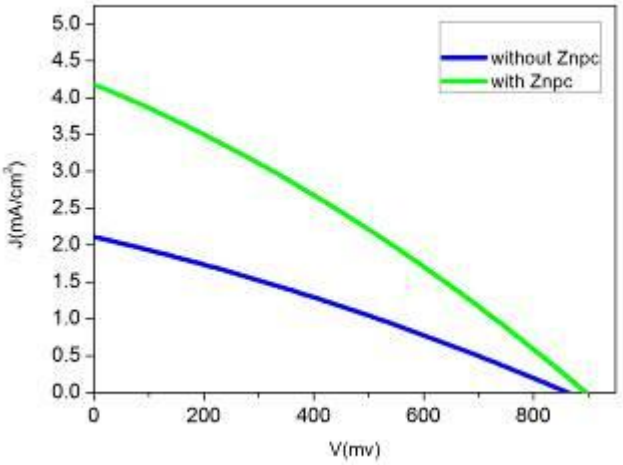
۳- نتیجه‌گیری

منحنی‌های چگالی جریان-ولتاژ تحت تابش 1.5Am و توان تابشی $100(mW/cm^2)$ برای سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با فتالوسیانین روی و بدون فتالوسیانین روی اندازه‌گیری شدند (شکل۲). پارامترهای فوتوولتائیک سلول شامل جریان اتصال کوتاه (J_{SC}) ، ولتاژ مدار باز (V_{OC})، عامل انباشت (FF) و بازدهی تبدیل

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

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

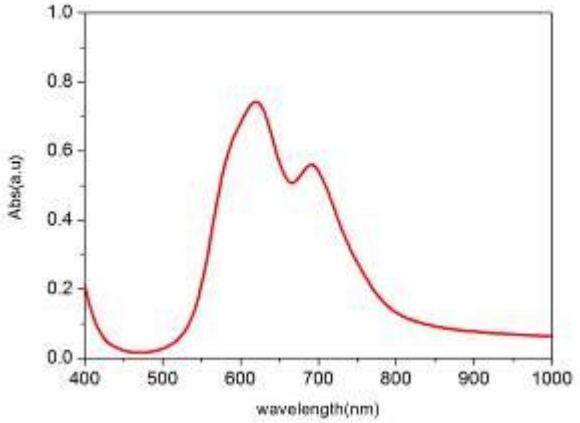
توان (η) از منحنی‌های چگالی جریان-ولتاژ استخراج شدند (جدول۱). شکل ۳ طیف UV-vis ماده انتقال‌دهنده حفره Znpc را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از نمودارهای چگالی جریان-ولتاژ نشان می‌دهند که سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با استفاده از ماده انتقال‌دهنده حفره Znpc بعنوان لایه انتقال‌دهنده حفره در مقایسه با سلول‌های خورشیدی بدون لایه انتقال‌دهنده حفره عملکرد بهتری داشته و بازدهی سلول به دو برابر مقدار بازدهی سلول‌های پایه (سلول‌های بدون Znpc) افزایش یافته است.



شکل۲: نمودار چگالی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با انتقال‌دهنده حفره Znpc (سبز رنگ) و بدون Znpc (آبی رنگ).

جدول۱: پارامترهای فوتوولتائیک سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با Znpc و بدون Znpc .

Photovoltaic parameters	J_{SC}(mA/cm^2)	V_{OC}(mV)	FF(%)	η(%)
Without Znpc	2.125	872	29	0.63
With Znpc	4.308	900	29	1.33



شکل۳: نمودار طیف جذب UV-vis ماده انتقال‌دهنده حفره Znpc.

مراجع

[1] D. Wang, M. Wright, N. Kumar Elumalai, A. Uddin, "*Stability of perovskite solar cells*", Solar Energy Materials Solar Cells. 147, 255–275 (2016).

[2] M. I. Hossain, F. H. Alharbi, N. Tabet, "*Copper oxide as inorganic hole transport material for lead halide perovskite based solar cells*", Solar Energy. 120, 370–380 (2015).

[3] Peng Zhang and Jiang Wu, "Enhanced efficiency and environmental stability of planar perovskite solar cells by suppressing photocatalytic decomposition Journal of Materials Chemistry A (2017).

[4] Jin-Miao Wang, Zhao-Kui Wang, "Small Molecule−Polymer Composite Hole-Transporting Layer for Highly Efficient and Stable Perovskite Solar Cells" ACS Applied Materials & Interfaces, 253508 (2017).

[5] Xichang Bao, Junyi Wang, "Interface Engineering of a Compatible PEDOT DerivativeBilayer for High Performance Inverted PerovskiteSolar Cells", Advanced Materials Interfaces(2016).

[6] Shufang Wu, Ya Zheng, "Low cost and solution-processable zinc phthalocyanine as alternative hole transport material for perovskite solar cells", RSC Advances, No. 1, 13–17 (2016).

[7] Laura Caliò,a Jorge Follana-Berná, "Cu(II) and Zn(II) based Phthalocyanine as Hole selective layers for Perovskite Solar Cells", Sustainable Energy & Fuels (2017).

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

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