بررسی عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی لایه نازک بر پایه اکسید روی با استفاده از فولرن و فتالوسیانین مس

حمید مهرنژاد[۲و۱]، عباس بهجت[۲و۱]،نعیمه ترابی[۲و۱] و ناصر جهانبخشی‌زاده[۲و۱]

[۱] گروه پژوهشی فوتونیک، مرکز تحقیقات مهندسی، دانشگاه یزد

[۲] گروه اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

چکیده - سلول‌های خورشیدی پروسکایتی یکی از فناوری‌های پیشرو در زمینه تولید ارزان برق خورشیدی می‌باشند. سلول‌های خورشیدی لایه نازک و دما پایین یکی از انواع این سلول‌ها هستند که برای تولید در ابعاد بزرگ مناسب می‌باشند. در این مقاله، به‌منظور بررسی مشخصات فوتوولتائیکی سلول خورشیدی پروسکایتی لایه نازک و دما پایین، سلول هایی با دو ساختار متفاوت ساخته شد. ساختار اول بر پایه اکسید روی می باشد و درساختار دوم علاوه بر اکسید روی از فولرن و فتالوسیانین مس نیز استفاده شده و عملکرد این دو سلول بررسی گردید. پس از ساخت و مشخصه‌یابی صورت گرفته مشخص شد در نمونه‌ای که در آن از فولرن و فتالوسیانین مس استفاده شده است، عملکرد سلول خورشیدی بهبود یافته است.

کلید واژه- اکسید روی، انتقال دهنده الکترون، انتقال دهنده حفره، سلول خورشیدی پروسکایتی، فتالوسیانین مس، فولرن

Investigation Zinc Oxide thin film perovskite solar cell using Fullerene and copper Phthalocyanine

H. Mehrnezhad[a,b], A. Behjat[a,b], N. Torabi[a,b], N. Jahanbakhshizade[a,b]

[a] Photonics Research Group, Engineering Research Center, Yazd University, Yazd, Iran

[b] Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract- Perovskite solar cell is one of the most popular technologies in the manufacturing low cost electricity. Thin film solar cells with low temperature is useful to apply in large dimension. In this article the Perovskite solar cell properties are investigated by two different structures. The first structure bases on the zinc-oxide and another one bases on the fullerene and copper Phthalocyanine. Both of them are investigated. We found that the efficiency of solar cells is improved by using fullerene and copper Phthalocyanine.

Keywords: Copper Phthalocyanine, Electron Transport Material, fullerene, Hole Transport Material, Perovskite Solar Cells, Zinc Oxide

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

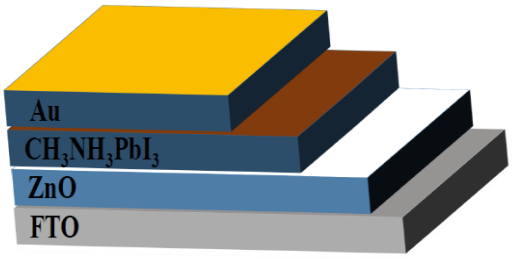
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

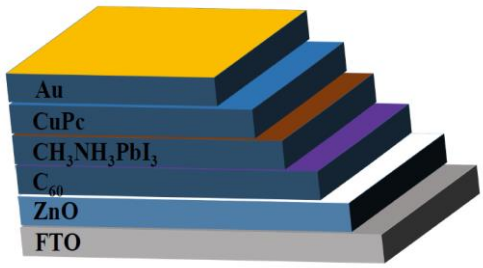
استفاده از پروسکایت در سلول‌های خورشیدی، اولین بار در سال ۲۰۰۹ میلادی توسط میاساکا گزارش شد. از ویژگیهای این ماده می‌توان به گاف انرژی مناسب (eV ۱/۵۵) ضریب جذب بالا و طول پخش زیاد الکترون-حفره اشاره کرد [۱, ۲]. رایج‌ترین ماده پروسکایت مورد استفاده در ساختار سلول‌های خورشیدی، ترکیب آلی-معدنی متیل آمونیوم لید تری هالید است. فرمول شیمیایی این ترکیب CH3NH3PbX3 است. اتم X می‌تواند یون‌های هالوژنی مانند برم، ید یا کلر باشد. گاف انرژی این ترکیب بین ۱/۶ تا ۲/۲ الکترون ولت قابل تغییر است [۳, ۴]. این مقدار گاف انرژی می‌تواند منجر به جذب بخش عمده‌ای از نور خورشید شود. از دیگر خصوصیات ترکیبات پروسکایت متیل آمونیوم لید تری هالید این است که طول پخش الکترون‌ها و همچنین حفره‌ها در محدوده یک میکرون است [۵]. طول پخش زیاد به این معنی است که این مواد قابلیت استفاده در ساختارهای لایه نازک را دارند. در این ساختارها، پروسکایت به طور همزمان وظایف؛ جذب نور، جدایش حامل‌های بار و انتقال حاملهای بار را بر عهده دارد. به طور کلی سلول‌های خورشیدی مسطح برای ساخت دستگاه‌های قابل انعطاف بسیار مفید هستند.

در این تحقیق ابتدا سلول خورشیدی پروسکایت با ساختار FTO/ZnO/CH3NH3PbI3/Au به عنوان سلول مرجع ساخته و مشخصه‌یابی شد. از اکسید روی (ZnO) در این نوع ساختار که به ساختار لایه نازک نرمال شناخته می‌شود در نقش انتقال‌دهنده الکترون و سدکننده حفره، و جایگزین TiO2 که به شکل رایج استفاده می‌شود، استفاده شده است. اکسید روی دارای گاف نواری ۳/۳۷ الکترون ولت است و از جمله ویژگی‌های آن می‌توان به تحرک پذیری بالای الکترون‌ها، شفافیت زیاد، پایداری محیطی و نیاز نداشتن به دمای پخت بالا اشاره کرد [۶].

در ادامه برای بهبود عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی از فولرن (C60) به عنوان انتقال دهنده الکترون و فتالوسیانین مس (CuPc) به عنوان انتقال دهنده حفره استفاده شد. فولرن، یکی از دگرشکل‌های مصنوعی عنصر کربن است که از گرما دادن به گرافیت ساخته می‌شود. فولرن خود انواع مختلفی دارد و می تواند به شکل‌های متفاوتی باشد. اما فتالوسیانین مس، یکی از ترکیبات مهم خانواده فتالوسیانین‌های فلزی است که کاربردهای فراوانی دارد. فتالوسیانین مس دارای پایداری گرمایی و شیمیایی مناسبی می‌باشد [۷]. شکل ۱ ساختار شماتیک سلول‌های ساخته شده و شکل ۲ مولکول های اکسید روی، فولرن و فتالوسیانین مس را نشان می‌دهد.

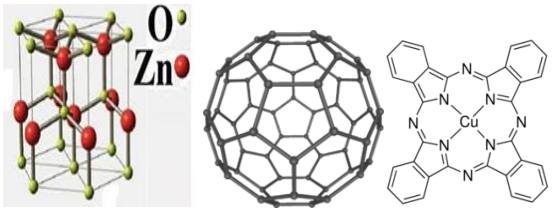


(الف)



(ب)

شکل ۱: ساختار سلول خورشیدی لایه نازک بر پایه الف: اکسید روی ب: اکسید روی، فولرن و فتالوسیانین مس



(ج) (ب) (الف)

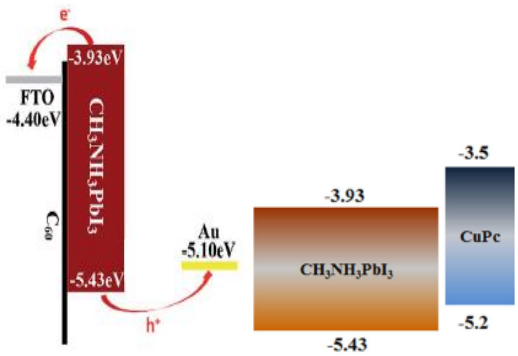
شکل۲: مولکول الف: اکسید روی ب: فولرن ج: فتالوسیانین مس

فولرن دارای تحرک پذیری الکترونی۱/۶ Cm-1VS-1 و رسانندگی ۲/۳ * ۱۰۳ S Cm-1 می‌باشد [۸]. همین امر استفاده از فولرن در سلول‌های خورشیدی در نقش انتقال دهنده الکترون را ممکن می‌سازد. فتالوسیانین مس هم یک

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

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

انتخاب خوب به عنوان انتقال‌دهنده حفره برای سلول‌های خورشیدی پروسکایتی می‌باشد. از ویژگی های مهم آن می-توان به تحرک‌پذیری بالای الکترون‌ها و قیمت نسبتاً ارزان آن اشاره کرد. شکل ۳ گاف نواری فولرن و فتالوسیانین مس را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

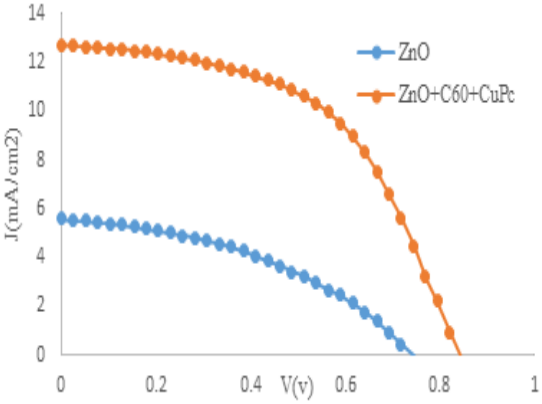
شکل ۳: گاف نواری الف: فولرن ب: فتالوسیانین مس

۲- روش تجربی

به منظور ساخت سلول از FTO با مقاومت ۱۵ اهم بر سانتی‌متر مربع به عنوان زیرلایه استفاده شد. سلول‌های خورشیدی لایه نازک و نانو ساختار، نسبت به آلودگی‌های سطحی زیرلایه، بسیار حساس است. بنابراین زیر لایه مورد استفاده باید عاری از هر گونه چربی، رسوبات و سایر آلودگی‌ها باشد. به همین منظور زیرلایه‌ها در چندین مرحله شستشو می‌شود. ابتدا شیشه‌های FTO با آب و صابون شستشو داده شده و درون یک بشر قرار داده می‌شود و با محلول آب دو بار تقطیر، استون و اتانول به ترتیب هر کدام به مدت ۱۵ دقیقه در حمام فراصوت شستشو داده می‌شود. سپس زیرلایه‌ها با جریان هوا خشک شده و در آون، تحت دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا مرحله شستشو به اتمام برسد. در ادامه برای لایه‌نشانی ZnO، ابتدا مقدار ۶ میلی‌گرم اکسید روی در ۱ میلی‌لیتر بوتانول، ۷۲ میکرولیتر کلروفرم و ۷۲ میکرولیتر متانول حل شد، سپس لایه‌نشانی با استفاده از دستگاه لایه‌نشانی چرخشی (سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۳۰ ثانیه) برای سه مرتبه تکرار شد و نمونه‌ها بعد از هر مرحله لایه‌نشانی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه پخت داده شدند. در مرحله بعد به منظور تشکیل پروسکایت به روش تک مرحله‌ای بر روی لایه‌های اکسید روی، محلول PbI2 (متشکل از ۴۶۱ میلی گرم سرب یدید، ۱۵۹ میلی‌گرم پودر مای، ۶۳۵ میکرولیتر DMF و ۷۱ میکرولیتر DMSO) به روش لایه‌نشانی چرخشی بر روی زیرلایه، لایه‌نشانی شد. در نهایت لایه نازک طلا با ضخامت ۴۰ نانومتر با روش تبخیر در خلأ بر روی لایه پروسکایت قرار گرفت. اما همانطور که گفته شد، برای بهبود عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی از فولرن و فتالوسیانین مس استفاده گردید. مراحل لایه نشانی تا قبل از لایه‌نشانی فولرن مانند آنچه گفته شد انجام می‌گیرد. سپس برای لایه‌نشانی فولرن مقدار ۱۰ میلی گرم فولرن در ۱ میلی‌لیتر دی‌کلرو بنزن حل شد و بعد از آن لایه نشانی با استفاده از دستگاه لایه نشانی چرخشی (سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۴۰ ثانیه) انجام گرفت. بعد از لایه‌نشانی نمونه ها به مدت ۲ ساعت تحت دمای ۷۰ درجه‌سانتی گراد پخت داده شدند. در مرحله بعد، فتالوسیانین مس (به ضخامت ۱۰ نانومتر) با روش تبخیر در خلأ، لایه‌نشانی شد. در نهایت لایه طلا با ضخامت ۴۰ نانومتر با روش تبخیر در خلأ بعنوان لایه الکترود مقابل لایه نشانی شد. سلول‌های ساخته‌شده با استفاده از دستگاه Keithley ۲۴۰۰ و شبیه‌ساز خورشیدی ۱۰۰Mw/Cm2 با AM ۱,۵ G مشخصه‌یابی شدند. شکل ۴ و جدول ۱ به ترتیب نمودار جریان-ولتاژ و مشخصات فوتوولتاییکی سلول‌های ساخته شده را نشان می‌دهند.

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

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



شکل۴: مقایسه نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده

جدول۱: مشخصات فوتوولتاییکی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده

	Jsc(mA/cm2)	Voc(v)	FF(%)	Eff(%)
ZnO	۵/۵۸	۰/۷۳	۴۱	۱/۶۹
ZnO+C60+CuPc	۱۲/۷	۰/۸۳	۵۳	۵/۶۲

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، دو نوع سلول خورشیدی پروسکایت با ساختار لایه‌نازک ساخته شد. پس از ساخت و بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد در نمونه‌ای که در آن از فولرن و فتالوسیانین مس استفاده شده است، عملکرد سلول خورشیدی بهبود یافته است. فولرن به دلیل تحرک پذیری بالایی که برای الکترون دارد در انتقال سریعتر الکترون از لایه پروسکایت به فوتوآند نقش موثری را ایفا می‌کند. همچنین فتالوسیانین مس به دلیل گاف نواری مناسب، نقش لایه انتقال دهنده حفره را ایفا می‌کند. وجود این دو لایه، سرعت انتقال حامل‌های بار (الکترون-حفره) از لایه جاذب نور (پروسکایت) به فوتو آند و الکترود مقابل را افزایش می‌دهد. این موضوع باعث افزایش چگالی جریان سلول‌های ساخته شده و کاهش بازترکیب حامل‌های بار می‌شود که این خود منجر به بهبود عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی لایه نازک بر پایه اکسید روی خواهد شد.

سپاسگزاری

از همکاری اعضای محترم گروه پژوهشی فوتونیک دانشگاه یزد و شرکت ادوات نوری نانوساختاری ایساتیس که در انجام این آزمایشات به ما یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] C. Wehrenfennig, M. Liu, H. J. Snaith, M. B. Johnston, and L. M. Herz, "Homogeneous Emission Line Broadening in the Organo Lead Halide Perovskite CH3NH3PbI3–x Cl x," *The journal of physical chemistry letters*, vol. 5, no. 8, pp. 1300-1306, 2014.

[2] G .Xing *et al.*, "Long-range balanced electron-and hole-transport lengths in organic-inorganic CH3NH3PbI3," *Science*, vol. 342, no. 6156, pp. 344-347, 2013.

[3] G. E. Eperon, S. D. Stranks, C. Menelaou, M. B. Johnston, L. M. Herz, and H. J. Snaith, "Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells," *Energy & Environmental Science*, vol. 7, no. 3, pp. 982-988, 2014.

[4] J. H. Noh, S. H. Im, J. H. Heo, T. N. Mandal, and S. I. Seok, "Chemical management for colorful, efficient, and stable inorganic–organic hybrid nanostructured solar cells," *Nano letters*, vol. 13, no. 4, pp. 1764-1769, 2013.

[5] S. D. Stranks *et al.*, "Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber," *Science*, vol. 342, no. 6156, pp. 341-344, 2013.

[6] Y. Sun, J. H. Seo, C. J. Takacs, J. Seifter, and A. J. Heeger, "Inverted polymer solar cells integrated with a low-temperature-annealed sol-gel-derived ZnO film as an electron transport layer," *Advanced Materials*, vol. 23, no. 14, pp. 1679-1683, 2011.

[7] N. Torabi, A. Rahnamanic, H. Amrollahi, F. Mirjalili, M. Sadeghzade, and A. Behjat, "Performance enhancement of perovskite solar cell by controlling deposition temperature of copper phthalocyanine as a dopant-free hole transporting layer," *Organic Electronics*, 2017.

[8] W. Ke *et al.*, "Efficient planar perovskite solar cells using room-temperature vacuum-processed C 60 electron selective layers," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 3 ,no. 35, pp. 17971-17976, 2015.

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

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