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

ساخت آشکارسازهای نوری برپایه پروسکایت هالیدی سه کاتیونه با لایه فشرده و مزومتخلخل بهینه شده تیتانیوم دی اکسید

دریا خرم[۱]، لیلا شوشتری[۲]، محمود صمدپور*[۱] ، علی اسفندیار[۲]

[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

samadpour@kntu.ac.ir

چکیده - در این تحقیق آشکارساز نوری بر پایه پروسکایت سه کاتیونه با کاتیون‌های فرم آمیدینیوم، متیل آمونیوم و سزیم ساخته شد. به منظور بهینه سازی ساختار، لایه مزومتخلخل تیتانیوم دی اکسید با ضخامت‌های مختلف لایه نشانی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهترین عملکرد آشکارساز ساخته شده، با حضور لایه سدی و دو لایه مزومتخلخل تیتانیوم دی اکسید بدست می‌آید. این ساختار با تابش نور آبی رنگ و در ولتاژ بایاس اعمال ۳ ولت، جریان ۱۲۶ نانوآمپر را از خود عبور می‌دهد که حاکی از افزایش دو برابری نسبت به جریان بدست آمده از ساختار مشابه بدون حضور لایه سدی است. همچنین ساختار بهینه بعد از گذشت ۸ دقیقه با جریان خاموش-روشن ۲۰ ثانیه با تابش نور آبی، جریان پایداری را نشان می‌دهد.

کلید واژه-آشکارساز نوری، پروسکایت، تیتانیوم دی اکسید، مزومتخلخل، لایه سدی

Fabrication of three cationic halide perovskite-based photodetectors with blocking & optimized mesoporous TiO_2

Darya Khorram[1], Leyla shooshtari[2], Mahmoud Samadpour[1], Ali Esfandiar[2]

[1]Physics Department, K.N.Toosi University of technology, Tehran, Iran
[2]Physics Department, Sharif University of technology, Tehran, Iran

Abstract- In this study, perovskite-based photodetectors were fabricated with mixture of FA, MA and Cs cations. Reaching to the best structure, we deposited mesoporous TiO_2 layer with different thicknesses on the substrates. Investigations show that the best performance of the photodetector is achieved by the presence of a barrier layer and two layers of mesoporous TiO_2. This structure transmits a current of 126 nA at 3 V under blue light illumination, which shows a two-fold increase over the current obtained from the same structure without the presence of a barrier layer. Also, the optimum structure reflects the steady current after 8 minutes under on/off switching irradiation with the blue light and an on/off interval of 20 s.

Keywords: Photodetector, perovskite, TiO_2, mesoporous, block

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

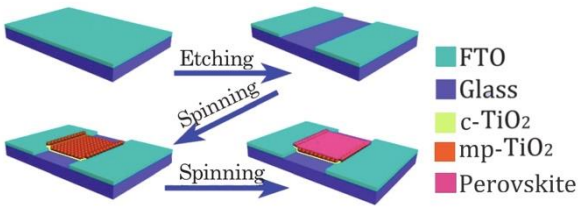
۱.مقدمه

آشکارسازهای نوری کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارند و مواد جاذب نور بخش اصلی آن را تشکیل می‌دهند. اخیراً نشان داده شده که پروسکایت‌های هالیدی به علت تحرک حامل بار بالا و جذب نور موثر کاندیدای مناسبی برای عملکرد بالای آشکارسازهای نوری هستند[۱]. محققان با تغییر در شکل لایه، ترکیب شیمیایی و مواد انتقال دهنده الکترون و حفره بهینه شده توانستند بازدهی فوتوولتائیک پروسکایت را از ۳% به ۲۲/۱% در مدت ۶ سال افزایش دهند و بهترین بازده گزارش شده در حال حاضر ۲۵/۲% است [۲و۳]. پروسکایت‌های هالیدی آلی-غیرآلی با ساختار ABX_3 در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تاکنون در اغلب آشکارسازهای نوری پروسکایت‌های تک کاتیون استفاده شده و بخش A از یک کاتیون آلی تک ظرفیتی تشکیل شده است. اما امروزه بهترین سلول‌های خورشیدی پروسکایتی از ترکیب کاتیون‌های تک ظرفیتی فرم آمیدینیوم(FA) و متیل آمونیوم(MA) با سزیم غیرآلی ساخته می‌شوند، زیرا پایداری حرارتی بالا، ناخالصی‌های فاز کمتر و حساسیت کمتری در طول مراحل ساخت از خود نشان می‌دهند. این ترکیب سه گانه از کاتیون‌ها یک استراتژی ترکیبی جدید در مسیر صنعتی شدن سلول‌های خورشیدی پروسکایت با پایداری بهتر و بازدهی بالا و قابل تکرار است[۴].

در این تحقیق از پروسکایت سه کاتیونه با فرمول شیمیایی $Cs_x(MA_{0.17}FA_{0.83})_{100-x}Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ در ساختار آشکارساز نوری استفاده شده است. یک طرحواره‌ای از این آشکارساز در شکل ۱ آمده است. در این ساختار لایه مزومتخلخل تیتانیوم دی اکسید (mp-TiO_2) با گاف نواری ۳/۲ الکترون ولت به منظور افزایش تعداد حامل‌های بار با افزایش سطح موثر جدایش آن‌ها و به دنبال آن بهبود جریان خروجی افزاره، استفاده شده است. همچنین وجود لایه فشرده تیتانیوم دی اکسید(c-TiO_2) به عنوان لایه‌ی سدی(bl)، مانعی برای انتقال حفره‌های حاصل از نور به الکترود کاتد است و موجب کاهش بازترکیب آن‌ها و افزایش جریان نوری می‌شود[۵]. تعداد لایه‌های مختلف مزو با ضخامت مشخص جهت بهینه سازی جریان، بر روی لایه فشرده تیتانیوم دی اکسید لایه نشانی شدند و تأثیر این لایه سدی در عملکرد افزاره بررسی گردید.

۲.روش آزمایش

برای انجام این تحقیق ۶ نمونه ساخته شد. در همه نمونه‌ها الکترودهای FTO با اچ کردن FTO بر روی شیشه به اندازه ۱ میلی متر از عرض وسط، توسط پودر زینک و محلول رقیق شده HCl ساخته شد. سپس زیرلایه به ترتیب در محلول آب DI وصابون، آب DI، محلول ۰/۱ مولار HCl با اتانول، استون، ایزوپروپانول(IPA) در حمام التراسونیک شستشو داده شد و پس از خشک کردن در کوره با دمای ۴۵۰°C به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد.



شکل ۱: شماتیک دستگاه آشکارساز نوری ساخته شده بر پایه پروسکایت سه کاتیونه[۶]

برای تهیه محلول TiO_2 جهت پوشش دهی لایه سدی، تترااایزوپروپیل اورتوتیتانات (TTIP) با HCl و اتانول ترکیب شده سپس با فیلتر ۲۲۰ نانومتر فیلتر گردید و بر روی قسمت اچ شده به روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۲۰۰۰rpm و زمان ۳۰ ثانیه لایه نشانی سپس در کوره ۴۵۰°C کلسینه شد و لایه TiO_2 به ضخامت ۵۰-۸۰ نانومتر برروی زیرلایه تشکیل شد. برای لایه مزو متخلخل TiO_2(meso)، خمیر TiO_2(P20) از شرکت شریف سولار با اتانول رقیق شده و سپس به روش لایه نشانی چرخشی و با دور ۴۰۰۰rpm روی لایه سدی لایه نشانی شد و سپس ۱۰ دقیقه روی هات پلیت خشک گردید تا لایه‌ای به ضخامت ۲۰۰-۱۵۰ نانومتر تشکیل شود. برای ضخامت‌های بیشتر این لایه، لایه نشانی با همین مشخصات تکرار گردید و بین هر لایه نشانی نمونه داخل آون به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰°C حرارت دید و در نهایت داخل کوره ۵۰۰°C قرار گرفت.

برای تهیه محلول پیش‌ماده پروسکایت سه محلول A و B و C به این صورت ساخته شد که ابتدا محلول‌های ۱/۵ مولار سرب دو یدید و سرب دو برمید با حلال دی متیل سولفوکساید ترکیب شده با دی متیل فرم آمید در دمای

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

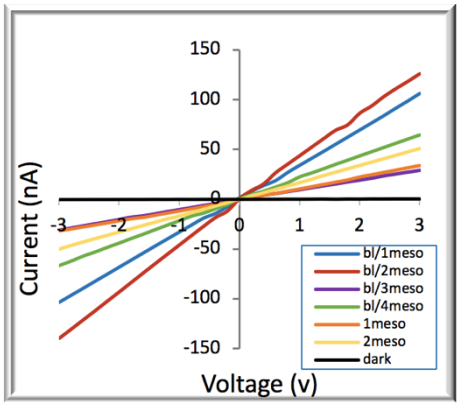
۱۸۰°C روی استیرر هم خورد. پس از سرد شدن هر کدام به ترتیب با پودرهای فرم آمیدینیوم یدید و متیل آمونیوم برمید ترکیب شدند تا دو محلول A و B بدست آیند. سپس سزیم یدید ۱/۵ مولار با دی متیل سولفوکساید به عنوان محلول C تهیه گردید و در نهایت این سه محلول با هم ترکیب شده و به روش چرخشی دو مرحله‌ای بر روی لایه مزو لایه نشانی شد. در ثانیه‌های پایانی کلروبنزن به عنوان ضد انحلال تزریق شد. هر نمونه به مدت ۱ ساعت پخت گردید. برای بررسی دقیق ساختارها، ۴ نمونه با بکارگیری یک ضخامت مشخص از لایه سدی و ضخامت‌های متفاوتی (تک لایه، دو لایه، سه لایه، چهار لایه) از لایه مزومتخلخل با لایه نشانی چرخشی TiO_2 فراهم شدند. در دو نمونه دیگر پوشش‌های مزو بدون حضور لایه سدی، با یک و دوبار لایه نشانی چرخشی ساخته شدند.

منحنی‌های جریان-ولتاژ برای تمام نمونه‌ها توسط دستگاه Keithley 6487 electrometer اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها تحت تابش LED به رنگ‌های آبی، سبز و سفید قرار گرفتند. برای هر LED، بیشینه ولتاژ ۴ ولت که منجر به جریان آستانه آن‌ها می‌شد، اعمال گردید و جریان‌های حاصل از آشکارسازهای نوری در تاریکی و تحت تابش با هم مقایسه شدند. برای افزاره با ساختار بهینه شده بدون حضور لایه سدی، جریان وابسته به زمان در ولتاژ بایاس اعمالی ۳ ولت و تحت تابش LED آبی اندازه گیری شد. فاصله بین خاموش و روشن شدن LED، ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد.

۳.نتایج و بحث

شکل ۲ نمودار جریان-ولتاژ دستگاه آشکارساز نوری بر پایه پروسکایت سه کاتیونه با تعداد لایه‌های مختلف مزو جهت بهینه سازی ساختار را نشان می‌دهد. در این اندازه‌گیری تمامی نمونه‌ها در تاریکی و تحت تابش LED آبی با بیشنه توان اعمالی آن که از اعمال ولتاژ ۴ولت فراهم شده بود، قرار گرفتند. به دلیل پایین بودن جریان تاریک نسبت به جریان تحت تابش، جریان تاریک برای تمامی نمونه‌ها روی هم افتاد(خط مشکی). همانطور که از نمودار مشخص است، ساختار آشکارساز با حضور لایه سدی TiO_2 که دارای پوشش مزومتخلخل TiO_2 تک لایه و دو لایه است، بیشنه جریان تحت تابش LED آبی را نشان می‌دهد. میزان جریان‌های بدست آمده در ولتاژ بایاس ۳ ولت به ترتیب برابر ۱۰۶ و ۱۲۶ نانوآمپر است. میزان افزایش جریان برای این دو ساختار در مقایسه با ساختار مشابه بدون حضور لایه سدی به ترتیب برابر ۷۲/۳ و ۷۰/۵ نانوآمپر است. به نظر می‌رسد لایه سدی به عنوان مانعی برای حفره‌های حاصل از نور در لایه پروسکایت، الکترون‌ها را به مدار خارجی(کاتد) منتقل کرده و مانع رسیدن حفره‌ها به کاتد می‌شود. این لایه اثرات هیسترزیس دستگاه را با کاهش بازترکیب حامل‌های بار در فصل مشترک پروسکایت و زیرلایه کاهش می‌دهد و باعث بهبود جریان نوری می‌شود.

همچنین در این ساختار، لایه‌های مزومتخلخل TiO_2 با ضخامت‌های مختلف، بکار رفت. مشخص است که بهترین ساختار از حضور لایه سدی و دو لایه مزومتخلخل TiO_2 با ضخامت حدود ۴۰۰-۳۰۰ نانوآمپر فراهم می‌شود. جریان بهینه این ساختار در ولتاژ بایاس ۳ ولت برابر ۱۲۶ نانوآمپر است.



شکل ۲: نمودار جریان-ولتاژ آشکارساز نوری پروسکایت با ساختارهای مختلف در تاریکی و تحت تابش LED آبی ۴ ولت.

به منظور مقایسه دقیق‌تر جریان‌های عبوری، هر۶ نمونه ساخته شده در ولتاژ بایاس ۳ ولت و تحت تابش LEDهای مختلف آبی، سبز، سفید با بیشینه ولتاژ اعمالی ۴ ولت قرار گرفتند؛ نتایج جریان‌های بدست آمده در جدول زیر آمده است. همانطور که انتظار می‌رفت نمونه بهینه شده که از حضور لایه سدی و دو لایه مزو متخلخل TiO_2 فراهم شده است، دارای بیشینه جریان از تابش تمامی LEDها است. همچنین کمترین جریان تاریک را نمونه با لایه سدی همراه با دو لایه مزو دارد. که این امر نیز دلیلی بر کاهش بازترکیب حامل‌های بار در این ساختار است.

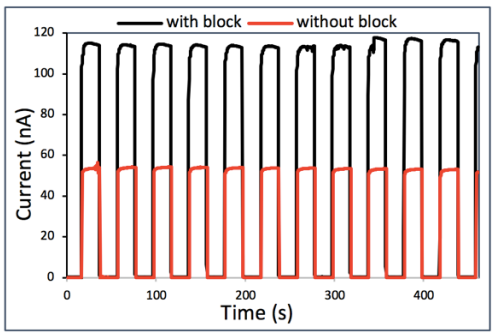
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

جدول ۱: جریان‌ها در پتانسیل ۳ ولت درساختارهای مختلف تحت تابش نورهای سبز، سفید و آبی با ولتاژهای یکسان ۴ ولت و درتاریکی

Structure	I_{dark}(nA)	I_{green}(nA)	I_{white}(nA)	I_{blue}(nA)
1meso/psk	۰/۱۵	۱۵	۲۹/۵	۳۳/۷
2meso/psk	۰/۲۱	۵۳/۶	۵۱	۵۵/۵
bl/1meso/psk	۰/۲۵	۲۵/۳	۳۲/۱	۱۰۶
bl/2meso/psk	۰/۱۲	۸۶/۲	۶۹/۵	۱۲۶
bl/3meso/psk	۰/۳۱	۱۸/۳	۲۶/۸	۲۸/۶
bl/4meso/psk	۰/۲	۵۸/۸	۲۰/۹	۶۴/۳

از جدول شماره ۱ مشخص است که بیشنه جریان‌ها از تابش LED آبی رنگ بدست می‌آید. این امر به دلیل زیاد بودن انرژی این طول موج و گسستگی موثر حامل‌های بار در آشکارساز با تابش این طول موج است. برای مشاهده رفتار جریان وابسته به زمان مربوط به نمونه بهینه شده(bl/2meso) و تأثیر لایه سدی بر پاسخ زمانی آن، این نمونه و نمونه دیگر با همین مشخصات ولی بدون لایه سدی(2meso) تحت تابش LED آبی با فاصله بین خاموش و روشن ۲۰ ثانیه، قرار گرفتند. با اعمال پتانسیل ۳ ولت پاسخ زمانی بررسی شد (شکل۳). مشخص است که ساختار بهینه در مدت زمان حدود ۸ دقیقه با خاموش و روشن کردن نور آبی، حالت پایدار دارد. در واقع مشخص است که ساختار bl/meso با بکارگیری پروسکایت، جریان ثابت حدود ۱۲۰ نانوآمپر را فراهم می‌کند و این درحالی است که همین ساختار بدون حضور لایه سدی، جریان حدود ۵۵ نانوآمپر را در نور آبی ایجاد می کند. بنابراین حضور لایه سدی در ساختار بهینه، افزایش دو برابری را در جریان با تابش نور و در مدت زمان ۸ دقیقه فراهم کرده است.



شکل ۳: نمودار جریان بر حسب زمان برای ساختار 2meso/perovskite ، بدون لایه سدی و با آن در پتانسیل ۳ ولت

۴.نتیجه گیری

در این تحقیق ساختار آشکارساز نوری بر پایه پروسکایت سه کاتیونه با حضور لایه سدی و مزومتخلخل TiO_2 ساخته شد. بهترین ساختار از دوبار لایه نشانی پوشش مزومتخلخل TiO_2 فراهم می‌شود. با بکارگیری پوشش سدی TiO_2 در این ساختار، جریان روشنایی با تابش LED آبی رنگ، سبز رنگ و سفید رنگ به ترتیب برابر ۱۲۶، ۸۶/۲ و ۶۹/۵ نانوآمپر است. افزایش جریان از مقدار ۵۵ نانوآمپر برای ساختار دولایه مزومتخلخل TiO_2 به میزان ۱۲۶ نانوآمپر برای ساختار مشابه با حضور لایه سدی TiO_2 ، در تابش نور آبی، موثر بودن لایه سدی را در کاهش بازترکیب و انتقال موثر حامل‌های بار را نشان می‌دهد.

۵.مراجع

[1] F. Li, C. Ma, H. Wang, W. Hu, W. Yu, A. D. Sheikh and T. Wu, *Nat. Commun.*, 2015, 6, 8238.

[2] Research Cell Record Efficiency Chart http://www.nrel.gov/pv (National Renewable Energy Laboratory, accessed 7 May 2017).

[3] National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2019, https:// www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html, accessed August 2019.

[4] D. Bi, W. Tress, M. I. Dar, P. Gao, J. Luo, C. Renevier, K. Schenk, A. Abate, F. Giordano, J. P. Correa Baena, J. D. Decoppet, S. M. Zakeeruddin, M. K. Nazeeruddin, M. Gratzel and A. Hagfeldt, *Sci. Adv.*, 2016, 2, e1501170.

[5] R. Wu, B. Yang, J. Xiong, C. Cao, Y. Huang, F. Wu, J. Sun, C. Zhou, H. Huang, J. Yang, Dependence of device performance on thickness of compact TiO2 layer in perovskite/TiO2 planar heterojunction solar cells, J. Renew. Sustain. Energy 7 (2015) 043105.

[6] Hua-Rong Xia, Jia Li, Wen-Tao Sun and Lian-Mao Peng, *Chem. Commun.*, 2014, 50, 13695.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

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