بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

آشکارسازهای نوری نانوساختاری خود مولد با بکارگیری نانوژنراتورهای تریبوالکتریکی

لیلا شوشتری[۱]، راحله محمدپور[۱] و اعظم ایرجی زاد[۱و۲]

[۱]پژوهشکده علوم وفن آوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

Mohammadpour@sharif.edu

چکیده – از آنجائیکه آشکارسازهای نوری در حوزه های مختلف تکنولوژی و پایش سلامت اهمیت دارند، دستیابی به ادواتی با هزینه های ساخت پایین و کارایی بالا مورد توجه است. با توجه به نیازمندی تجمیع آشکار سازها، دستیابی به افزاره های خود مولد بسیار ضرورت دارد. در این راستا، یکی از مناسبترین منابع، نانوژنراتورهای تریبوالکتریکی است. در این پروژه آشکار ساز نوری خود مولد $SnS_۲$/perovskite با نانوژنراتورهای یکپارچه کپتون/ FTO و کپتون/دست، جفت شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر*D برای این آشکار ساز نوری خودمولد تحت تابش نور سفید با نانوژنراتور تریبوالکتریک کپتون/FTO و کپتون/دست، به ترتیب برابر Jones $۱۰^{۱۰}$ ×۲۲ و Jones $۱۰^{۱۰}$ × ۴۵۰ بدست آمده است؛ مشخص است بکارگیری نانوژنراتور دست/ FTO این پارامتر را بیش از ۱۰ برابر افزایش داده است.

کلید واژه: آشکارساز نوری خودمولد، نانوژنراتور تریبوالکتریکی ، نانوساختار دوبعدی

Nanostructured Self-Powered Photodetectors by Triboelectric Nanogenerators

Leyla Shooshtari[۱], Raheleh Mohammadpour[۱], Azam Irajizad[۱,۲]
Institute for nanoscience and nanotechnology, Sharif University of Technology, Tehran

Physics department, Sharif University of Technology, Tehran

Mohammadpour@sharif.edu

Abstract- Photodetectors, as one of the most significant types of sensors in the technology and the health detecting are essential devices. In the other hand, the self-powered detectors are necessary due to importance of the integrated devices circuits. Harvesting the mechanical body motion is one of the best choice for the using for the power generation called triboelectric nanogenerators. In this project, the $SnS_۲$/Perovskite planar photodetector has been fabricated and then powered by the tapping the Kapton on the FTO and hand on the FTO, separately. The D* parameter is evaluated about ۲ and ٤٥٠ (۱۰ ^{۱۰} Jones) for each self-powered $SnS_۲$/PVK devices, respectively under the white light emission.

Keywords: ۲D dimensional nano structure, Self-powered Photodetector, Triboelectric nanogenerator

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدمه

آشکارسازهای نوری بعنوان افزاره هایی جهت تبدیل نور فرودی به سیگنال الکتریکی، در شاخه های مختلف مانند بیوپزشکی، کنترل کیفی صنایع غذایی، ارتباطات نوری[۱] و دیگر تحقیقات علمی بسیار مورتوجه قرار گرفته اند [۱-۳]. بسته به نوع ماده جاذب بکار رفته در این ادوات، بطور کلی می توان دو نوع آشکارسازنور حساس به تک طول موج و باند پهن[۲]را مدنظر داشت. مواد نانوساختار با ابعاد کم از حساسیت به نور بسیار بالاتری برخوردارند و انتقال حامل بار سریعتری دارند[۴] نانوساختارهای اکسیدهای فلزی، گرافن، کالکوژنایدهای فلزات واسطه، CNTها، و ... از جمله نانوساختارهای پرکاربرد در ادوات اپتوالکترونیکی است. مواد دوبعدی به دو روش بالا به پایین (شامل تورق سازی مکانیکی و شیمیایی) و روش پایین به بالا (مانند روش رشد رسوب بخار شیمیایی[۳] (CVD) ساخته می شوند[۶و۵]. همچنین با ورود ادوات الکترونیکی به زندگی انسان و گسترش کاربردهای آن در زندگی روزمره، تلاشهای بسیاری برای جایگزین کردن منابع انرژی کوچکتر و قابل حمل بجای باتری های متداول لحاظ شده است. در سال ۲۰۰۶ برای اولین بار واژه ی نانوژنراتور، جهت تامین انرژی و با استفاده از مواد پیزوالکتریک بکار گرفته شد[۷]. سپس در سال ۲۰۱۲، تریبوالکتریک نانوژنراتور[۴](TENG)، به عنوان وسیله ای برای استحصال انرژی مکانیکی مبتنی بر اثر تریبوالکتریک و القای الکترواستاتیک ابداع شد. نحوه عملکرد این نانوژنراتورها بر اساس بارهای تولید شده بر روی سطح و القای بار الکتریکی است[۸]. تعیین نوع بار روی هر یک از سطوح به تمایل ماده به گرفتن یا دادن الکترون بستگی دارد. از سال ۲۰۱۴، تلاش‌های گسترده ای برای ساخت نانوساختارها و حسگرهای خودمولد انجام شده است و دو نوع آشکارساز خود مولد برپایه تطابق امپدانس با TENG و آشکارساز فعال که بر پایه تغییرات بارهای تریبوالکتریک با تابش نور و بدون حضور آن است، می‌توان داشت. در این مقاله با بکارگیری آشکارساز نوری افقی ساخته شده از ترکیب ساختار دوبعدی SnS_2 و پروسکایت سه کاتیونی بصورت خود مولد در مد اول که تطابق امپدانس با TENG همپارچه است، ساخته شدهقرار گرفته و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. تولید انرژی این آشکارساز خود مولد بصورت همپارچه و از ضربه زدن کپتون و سپس دست به FTO/glass بعنوان نانوژنراتور تریبوالکتریکی فراهم می شود.

مراحل ساخت/ آماده سازی

برای انجام فرآیند CVD، زیرلایه‌های FTO/glass الگودار شده در محفظه کوره استوانه ای و در معرض شارش گاز آرگون، به فاصله مشخصی از منبع سولفور در دمای ۵۰۰°C به مدت دو ساعت قرار می گیرند. در مرحله بعد برای تکمیل ساخت آشکار ساز نوری با اتصال لایه پروسکایت، این ماده به روش شیمیایی لایه نشانی شد؛ بدین منظور ابتدا محلول پروسکایت با استفاده از ترکیب مقدار مشخصی از PbI_2، $PbBr_2$، FAI و MABr در حلال DMF:DMSO(۴:۱) ساخته شد. برای لایه نشانی از روش لایه نشانی چرخشی با بکارگیری ضدحلال کلروبنزن فرآیند تشکیل کریستال های پروسکایت انجام شد. سپس ساختار نهایی به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ °C حرارت یافت. برای ساخت نانوژنراتور تریبوالکتریکی که از نوع اتصال نوژنراتور موردنظر که از اتصال جدایش-عمودی است لایه کپتون چسبیده به فویل آلومنیوم به الکترود FTO/glass فراهم می شود و نانوژنراتور دیگر از ضربه زدن دست بر روی FTO/Glass ایجاد شد. در نهایت برای جفت کردن آشکار ساز نوری SnS_2/PVK ساخته شده با نانوژنراترهای مدنظر و عملکرد بهتر آن از پل

---

[۱] Optical communication
[۲] Broad-band
[۳] Chemical vapor deposition
[۴] TriboElectric Nano Generator

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

یکسو کننده استفاده شد. برای ارزیابی میزان پاسخ آشکارساز که معیاری از میزان جریان نوری تولید شده در واحد شدت نور فرودی است از روابط[۱] و [۲] زیر استفاده شد :

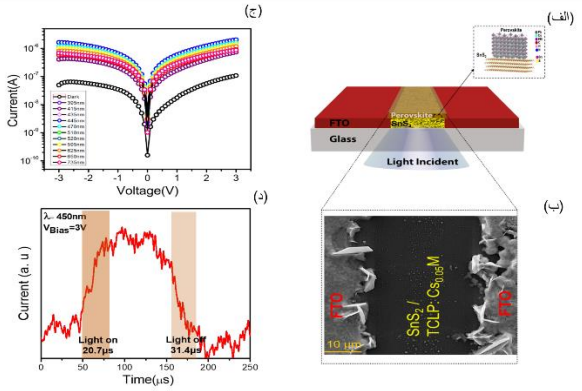
$$R = \frac{\Delta I}{P.S} \qquad (۱)$$

$$D^* = R\sqrt{\frac{S}{(2eI_d)}} \qquad (۲)$$

در این معادلات، ΔI تغییرات جریان تاریکی و روشنایی، P توان نور فرودی، S مساحت فعال آشکارساز e، واحد بار الکتریکی و I_d میزان جریان تاریکی است.

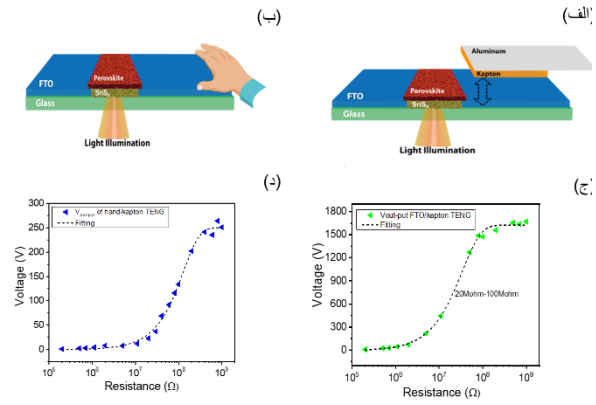
بحث و بررسی

شکل ۱- الف، طرحواره‌ای از آشکارساز نوری SnS_2/PVK و نحوه تابش نور به آن را نشان می دهد. در شکل داخلی، ساختار اتمی دو لایه SnS_2 و PVK در مجاورت یکدیگر مشخص شده است. آنالیز FESEM از ساختار SnS_2/PVK که در شکل ۱-ب آمده است، نفوذ کامل پروسکایت در داخل ساختار SnS_2 را نشان می دهد. تغییرات نیمه لگاریتمی I-V، این افزاره تحت طول موج های مرئی با شدت یکسان $5mW/cm^2$ در شکل ۱-ج آمده است.



شکل ۱: الف) طرحواره ای از آشکارساز نوری SnS_2/PVK، شکل داخلی نمایشی از قرار گیری لایه های اتمی SnS_2 و پروسکایت روی همدیگر است ب) تصویر SEM از لایه پروسکایت بر روی ساختار SnS_2، ج) تغییرات نیمه لگاریتمی جریان-ولتاژ و د) نمودار تغییرات زمان اوج و فرودی شکارساز نوری ساخته شده SnS_2/PVK

مشخص است که مقاومت ساختار در روشنایی برابر ۲MΩ و برای حالت تاریکی برابر ۴۵ MΩ است. زمان اوج و فرود این آشکار ساز (که معادل اختلاف بین ۹۰٪ بیشینه مقدار سیگنال دریافتی در فراز و فرود است)، به ترتیب برابر μs ۲۰/۷ و μs ۳۱/۶ است (شکل ۱-د). نانوژنراتورهای بکار رفته در این بررسی که از اتصال/جدایش عمودی کپتون به FTO/glass و همچنین از ضربه زدن دست به FTO/glass فراهم می شود. طرحواره ای آشکارساز نوری همپارچه تلفیق شده با نانوژنراتور برپایه کپتون/FTO و دست/ FTO به ترتیب در شکل ۲-الف و ۲-ب نشان داده شده است. شکل ۲-ج و د به ترتیب تغییرات ولتاژ خروجی نانوژنراتورهای کپتون/ FTO و کپتون/ دست را با تغییرات مقاومت خارجی موجود در مدار را نشان می‌دهد که به ترتیب بیشینه حدود ۷۴۰ V و ولتاژ ۱/۵ V را فراهم کرده است. تغییرات جریان و انرژی تولید شده برای FTO/کپتون، به ترتیب برابر حدود ۴۶ μA و $\mu W/cm^2$ ۳۶۰ است و این مقادیر برای دست/FTO به ترتیب برابر با ۵/۲ μA و $\mu W/cm^2$ ۲/۸ است.

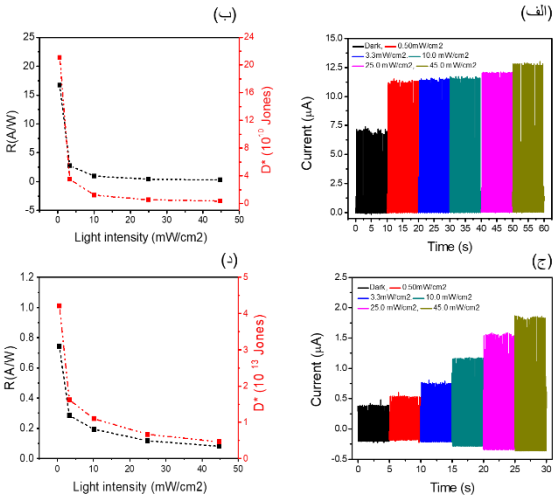


شکل ۲: طرحواره‌ای از آشکارساز خود مولد یکپارچه با سیستم تریبوالکتریک بر پایه ضربه زدن الف) کپتون و ب) دست بر روی FTO. نحوه تغییرات ولتاژ بر حسب مقاومت خارجی در مدار ج) کپتون/ FTO و د) دست/ FTO

با بکارگیری مقاومت خارجی حدود ۵۰MΩ و اضافه شدن مقاومت افزاره چه در حالت تاریکی و چه با تابش نور، محدوده مقاومت نهایی، در محدوده شیب نمودار تغییرات

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

ولتاژ/مقاومت خارجی(شکل ۲ج و د) قرار می‌گیرد. لذا در این محدوده می توان عملکرد مناسبی از آشکارساز خودمولد SnS_2/PVK ،انتظار داشت.. تغییرات جریان و پارامترهای آشکارسازی منتج شده از آن با بکارگیری FTO/کپتون و FTO/دست، به ترتیب در شکل۳- الف و ب آمده است. تغییرات جریان نرمال شده ، R و همچنین *D برای این دو نانوژنراتور در جدول زیر خلاصه شده است؛



شکل ۳: نحوه تغییرات جریان بر حسب زمان تحت شدت های مختلف نور فرودی سفید رنگ با مقاومت ۵۰MΩ برای آشکارساز خود مولد SnS_2/PVK بر پایه نانوژنراتور الف) FTO/Kapton و ج) دست/ FTO و تغییرات پارامترهای *R و D آشکارساز نوری خودمولد بر حسب شدت های مختلف اعمالی نور سفید ورودی.

جدول ۱- پارامترهای آشکارساز بدست آمده برای آشکارساز نوری.

ساختار نانوژنراتور	ΔI/I.	R(A/W)	D*(۱۰^۱۰ Jones)
کپتون/FTO	۱/۲۱	۳۰	۲۲
دست/ FTO	۲/۰۲	۰/۸	۴۵۰

مشخص است که *D برای آشکارساز SnS_2/PVK خود- مولد یکپارچه با نانوژنراتور کپتون/FTO و دست FTO/ به ترتیب (۱۰ ^۱۰ Jones)۲۲ و ۴۵۰ بدست می آید.

در واقع، با استفاده از این نوع TENG، امکان اندازه گیری جریان تاریکی کمتری میسر و لذا پارامتر حساسیت آشکارساز نوری خود مولد بیشتر می شود. با گسترش این سیستم می توان انرژی های هدر رفت را برای ارزیابی سیگنال ها خیلی ضعیف تخصیص داد که خود باعث طراحی مناسبی از مدار های الکترونیکی برای استفاده از این نوع آشکارساز های نوری در کاربرهای پایش سلامت، مانند بررسی اندازه گیری ضربان قلب و بررسی میزان اکسیژن خون بدون بکارگیری باتری های متداول می شود.

نتیجه گیری

با توجه به توسعه تکنولوژی و ادوات الکترونیکی نیاز به سیستم های بدون بکارگیری باتری مانند آشکارسازهای نوری خودمولد جهت استفاده در پایش سلامت ضرورت دارد. در این پروژه آشکارساز نوری با ساختار لایه دوبعدی SnS_2 و پروسکایت سه کاتیونه ساخته و با انرژی ناشی از نانوژنراتور تریبوالکتریکی کپتون/FTO و کپتون/دست تامین شد.. بررسی ها نشانی می دهد با نانوژنراتور ناشی از دست/FTO ، پارامتر *D این سیستم بیشتر از ۱۰ برابر نسبت به حالت ضربه کپتون به FTO بهبود یافته است.

مرجع‌ها

[۱] K.J. Baeg, M. Binda, D. Natali, M. Caironi, Y.Y. Noh, Advanced materials, ۲۵ (۲۰۱۳) ٤٢٦٧-٤٢٩٥

[۲] Koppens, T. Mueller, P. Avouris, A. Ferrari, M. Vitiello, M. Polini, Nature nanotechnology, ۹ (۲۰۱٤) ۷۸۰-۷۹۳.

[۳] Z.-X. Zhang, L.-H. Zeng, X.-W. Tong ,Y. Gao, C. Xie, Y.H. Tsang, L.-B. Luo, Y.-C. Wu, The journal of physical chemistry letters, ۹ (۲۰۱۸) ۱۱۸٥-۱۱۹٤.

[٤] D.B. Velusamy, M.A. Haque, M.R. Parida, F. Zhang, T. Wu, O.F. Mohammed, H.N. Alshareef, Advanced Functional Materials, ۲۷ (۲۰۱۷) ۱٦۰٥٥٥٤.

[٥] J. Yao, G. Yang, Nanoscale, ۱۲ (۲۰۲۰) ٤٥٤-٤٧٦.

[٦]]H. Qiao, Z. Huang, X. Ren, S. Liu ,Y. Zhang, X. Qi, H. Zhang, Advanced Optical Materials, ۸ (۲۰۲۰) ۱۹۰۰۷٦٥.

[۷] Z.L. Wang, J. Song, Science, ۳۱۲ (۲۰۰٦) ۲٤۲-۲٤٦

[۸] Z.L. Wang, ACS nano, ۷ (۲۰۱۳) ۹٥۳۳-۹٥٥۷

Z.L. Wang, L. Lin, J. Chen, S. Niu, Y. Zi, Triboelectric nanogenerators, Springer۲۰۱٦.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]