



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



## آشکارسازهای نوری نانوساختاری خود مولد با بکارگیری نانوژنراتورهای تریبووالکتریکی

لیلا شوشتری<sup>۱</sup>، راحله محمدپور<sup>۱</sup> و اعظم ایرجی زاد<sup>۱،۲</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده علوم و فن آوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

<sup>۲</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

[Mohammadpour@sharif.edu](mailto: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 تمامی آشکارسازها، دستیابی به افزاره های خود مولد بسیار ضرورت دارد. در این راستا، یکی از مناسبترین منابع، نانوژنراتورهای تریبووالکتریکی است. در این پروژه آشکارساز نوری خود مولد SnS<sub>v</sub>/perovskite با نانوژنراتورهای یکپارچه کیتون / FTO و کیتون/دست، جفت شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر D\* برای این آشکارساز نوری خودمولد تحت تابش نور سفید با نانوژنراتور تریبووالکتریک کیتون / FTO و کیتون/دست، به ترتیب برابر Jones<sup>۱</sup> ۱۰ × ۲۲ و Jones<sup>۱</sup> ۱۰<sup>۱۰</sup> × 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 تریبووالکتریکی، نانوساختار دوبعدی

## Nanostructured Self-Powered Photodetectors by Triboelectric Nanogenerators

Leyla Shoostari<sup>۱</sup>, Raheleh Mohammadpour<sup>۱</sup>, Azam Irajizad<sup>۱،۲</sup>

Institute for nanoscience and nanotechnology, Sharif University of Technology, Tehran

Physics department, Sharif University of Technology, Tehran

[Mohammadpour@sharif.edu](mailto: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<sub>v</sub>/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 ۴۵۰ (۱۰<sup>۱۰</sup> Jones) for each self-powered SnS<sub>v</sub>/PVK devices, respectively under the white light emission.

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

## مقدمه

و دو نوع آشکارساز خود مولد بر پایه تطابق امپدانس با TENG و آشکارساز فعال که بر پایه تغییرات بارهای تریبووالکتریک با تابش نور و بدون حضور آن است، می توان داشت. در این مقاله با بکارگیری آشکارساز نوری افقی ساخته شده از ترکیب ساختار دوبعدی  $\text{SnS}_2$  و پروسکایت سه کاتیونی بصورت خود مولد در مد اول که تطابق امپدانس با TENG همپارچه است، ساخته شده قرار 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 نانوذرات تریبووالکتریک فراهم می شود.

## مراحل ساخت / آماده سازی

برای انجام فرآیند CVD، زیرلایه های FTO/glass الگودار شده در محفظه کوره استوانه ای و در معرض شارش گاز آرگون، به فاصله مشخصی از منبع سولفور در دمای  $500^\circ\text{C}$  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  $\text{PbI}_2$ ،  $\text{PbBr}_2$ ، FAI و MABr در حلال  $\text{DMF:DMSO}(4:1)$  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  $100^\circ\text{C}$  حرارت یافت. برای ساخت نانوذرات تریبووالکتریک که از نوع اتصال نانوذرات مورد نظر که از اتصال جدایش-عمودی است لایه کپتون چسبیده به فویل آلومنیوم به الکتروود FTO/glass فراهم می شود و نانوذرات دیگر از ضربه زدن دست بر روی FTO/Glass ایجاد شد. در نهایت برای جفت کردن آشکار ساز نوری  $\text{SnS}_2/\text{PVK}$  ساخته شده با نانوذراتهای مدنظر و عملکرد بهتر آن از پل

آشکارسازهای نوری بعنوان افزاره هایی جهت تبدیل نور فرودی به سیگنال الکتریکی، در شاخه های مختلف مانند بیوپزشکی، کنترل کیفی صنایع غذایی، ارتباطات نوری<sup>۱</sup> و دیگر تحقیقات علمی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۱-۳]. بسته به نوع ماده جاذب بکار رفته در این ادوات، بطور کلی می توان دو نوع آشکارساز نور حساس به تک طول موج و باند پهن<sup>۲</sup> 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، کالکوژناید های فلزات واسطه، CNTها، و ... از جمله نانوساختارهای پر کاربرد 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<sup>۳</sup> CVD) ساخته می شوند [۵،۶]. 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 نانوذرات، جهت تامین انرژی و با استفاده از مواد پیزوالکتریک بکار گرفته شد [۷]. سپس در سال ۲۰۱۲، تریبووالکتریک نانوذرات<sup>۴</sup> (TENG)، به عنوان وسیله ای برای استحصال انرژی مکانیکی مبتنی بر اثر تریبووالکتریک و القای الکترواستاتیک ابداع شد. نحوه عملکرد این نانوذراتورها 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، تلاش های گسترده ای برای ساخت نانوساختارها و حسگرهای خودمولد انجام شده است

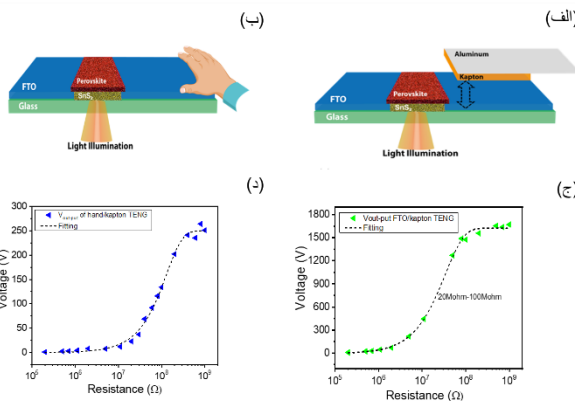
<sup>۲</sup> Chemical vapor deposition

<sup>۴</sup> TriboElectric Nano Generator

<sup>۱</sup> Optical communication

<sup>۲</sup> Broad-band

مشخص است که مقاومت ساختار در روشنایی برابر  $2M\Omega$  و برای حالت تاریکی برابر  $45M\Omega$  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  $20/7\ \mu s$  و  $31/6\ \mu s$  است (شکل ۱-د). نانوذراتورهای 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 آشکار ساز نوری همپارچه تلفیق شده با نانوذراتور بر پایه 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 نانوذراتورهای کپتون/FTO و کپتون/دست را با تغییرات مقاومت خارجی موجود در مدار را نشان می دهد که به ترتیب بیشینه حدود  $740\ V$  و ولتاژ  $1/5\ V$  را فراهم کرده است. تغییرات جریان و انرژی تولید شده برای FTO/کپتون، به ترتیب برابر حدود  $46\ \mu A$  و  $46\ \mu W/cm^2$  است و این مقادیر برای دست/FTO به ترتیب برابر با  $5/2\ \mu A$  و  $2/8\ \mu W/cm^2$  است.



شکل ۲: طرحواره ای از آشکار ساز خود مولد یکپارچه با سیستم تریبولکتریک 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  $50M\Omega$  و اضافه شدن مقاومت افزاره چه در حالت تاریکی و چه با تابش نور، محدوده مقاومت نهایی، در محدوده شیب نمودار تغییرات

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

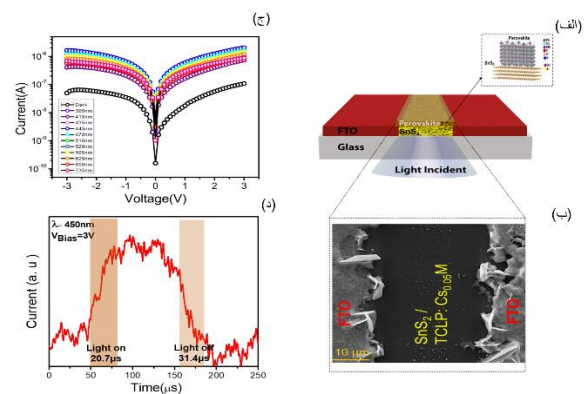
$$R = \frac{\Delta I}{P.S} \quad (1)$$

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

در این معادلات،  $\Delta I$  تغییرات جریان تاریکی و روشنایی، P توان نور فرودی، S مساحت فعال آشکار ساز، e واحد بار الکتریکی و  $I_d$  میزان جریان تاریکی است.

### بحث و بررسی

شکل ۱-الف، طرحواره ای از آشکار ساز 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 آشکار ساز 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 آشکار ساز نوری ساخته شده  $SnS_2/PVK$

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.

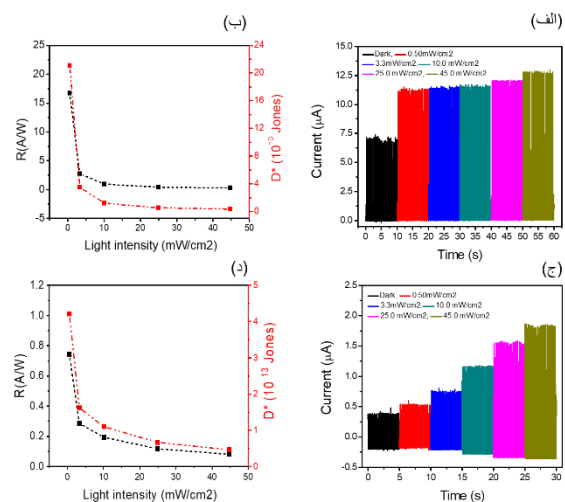
### نتیجه گیری

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  $\text{SnS}_2$  و پروسکایت سه کاتیونه ساخته و با انرژی ناشی از نانوذراتور تریبوالکتریکی کپتون/FTO و کپتون/دست تامین شد. بررسی ها نشانی می دهد با نانوذراتور ناشی از دست/FTO، پارامتر  $D^*$  این سیستم بیشتر از ۱۰ برابر نسبت به حالت ضربه کپتون به FTO بهبود یافته است.

### مرجع ها

- [۱] K.J. Baeg, M. Binda, D. Natali, M. Caironi, Y.Y. Noh, *Advanced materials*, ۲۵ (۲۰۱۳) ۴۲۶۷-۴۲۹۵
- [۲] Koppens, T. Mueller, P. Avouris, A. Ferrari, M. Vitiello, M. Polini, *Nature nanotechnology*, ۹ (۲۰۱۴) 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) ۱۱۸۵-۱۱۹۴.
- [۴] D.B. Velusamy, M.A. Haque, M.R. Parida, F. Zhang, T. Wu, O.F. Mohammed, H.N. Alshareef, *Advanced Functional Materials*, ۲۷ (۲۰۱۷) ۱۶۰۵۵۵۴.
- [۵] J. Yao, G. Yang, *Nanoscale*, ۱۲ (۲۰۲۰) ۴۵۴-۴۷۶.
- [۶] J.H. Qiao, Z. Huang, X. Ren, S. Liu, Y. Zhang, X. Qi, H. Zhang, *Advanced Optical Materials*, ۸ (۲۰۲۰) ۱۹۰۰۷۶۵.
- [۷] Z.L. Wang, J. Song, *Science*, ۳۱۲ (۲۰۰۶) ۲۴۲-۲۴۶.
- [۸] Z.L. Wang, *ACS nano*, ۷ (۲۰۱۳) ۹۵۳۳-۹۵۵۷  
Z.L. Wang, L. Lin, J. Chen, S. Niu, Y. Zi, *Triboelectric nanogenerators*, Springer ۲۰۱۶.

ولتاژ/مقاومت خارجی (شکل ۲ ج و د) قرار می گیرد. لذا در این محدوده می توان عملکرد مناسبی از آشکارساز خودمولد  $\text{SnS}_2/\text{PVK}$ ، انتظار داشت. تغییرات جریان و پارامترهای آشکارسازی منتج شده از آن با بکارگیری FTO/کپتون و دست/FTO، به ترتیب در شکل ۳- الف و ب آمده است. تغییرات جریان نرمال شده،  $R$  و همچنین  $D^*$  برای این دو نانوذراتور در جدول زیر خلاصه شده است؛



شکل ۳: نحوه تغییرات جریان بر حسب زمان تحت شدت های مختلف نور فرودی سفید رنگ با مقاومت  $50\text{-}M\Omega$  برای آشکارساز خود مولد  $\text{SnS}_2/\text{PVK}$  بر پایه نانوذراتور (الف) دست/FTO (ج) 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 نانوذراتور	$\Delta I/I$	$R(A/W)$	$D^*(10^{10}\text{ Jones})$
کپتون/FTO	۱/۲۱	۳۰	۲۲
دست/FTO	۲/۰۲	۰/۸	۴۵۰

مشخص است که  $D^*$  برای آشکارساز  $\text{SnS}_2/\text{PVK}$  خود-مولد یکپارچه با نانوذراتور کپتون/FTO و دست/FTO به ترتیب  $(10^{10}\text{ Jones})$  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

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