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

ساخت آشکارساز خودمولد نور فرابنفش بر پایه گرافن اکساید به کمک نانومولد تریبوالکتریک

فائزه اژه‌ای، لیلا شوشتری، راحله محمدپور، الهام اسدیان و پژمان ساسانپور

تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، ۸۹۶۹۴- ۱۴۵۸۸

Fa.ejei۱٤@gmail.com, l.shooshtari@sharif.edu, mohammadpour@sharif.edu, e.asadian@sbmu.ac.ir, pesasanpour@sbmu.ac.ir

چکیده – آشکارسازهای نور فرابنفش علاوه بر اندازه‌گیری تابش پرتو فرابنفش نور خورشید، در بررسی میزان آلودگی آب‌وهوا، مطالعات نجومی و سنجش احتراق موتور کاربرد دارند. نیاز به منبع الکتریکی پایان‌پذیر می‌تواند مع ضلی برای ا ستفاده گ سترده از افزاره‌های نوری با شد. نانومولدهای تریبوالکتریک جایگزین منا سبی برای باتری‌ها ه ستند که انرژی مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می‌کنند. در این پژوهش که در آن از گرافن اک ساید به عنوان ماده ح ساس به تابش فرابنفش ا ستفاده شده ا ست، منبع ولتاژ با یک نانومولد تریبوالکتریک جایگزین شده ا ست. طبق نتایج پا سخ نوری و بازدهی کوانتومی آ شکار ساز تا ۷۵ برابر بهبود یافته ا ست. نتایج به دست آمده آینده روشنی را برای استفاده از نانومولدهای تریبوالکتریک در ساخت آشکارسازهای خودمولد نوید می‌دهد.

کلید واژه- آشکارساز، خودمولد، فرابنفش، گرافن اکساید، نانومولد تریبوالکتریک.

Fabrication of a Self-Powered UV-Photodetector based on Graphene Oxide via Triboelectric Nanogenerators

Faezeh Ejehi, Leyla Shooshtari, Raheleh Mohammadpour, Elham Asadian, Pezhman Sasanpour

Institute for Nanoscience and Nanotechnology, Sharif University of Technology, Tehran, ۱٤٥٨٨-٨٩٦٩٤

Fa.ejei۱٤@gmail.com, l.shooshtari@sharif.edu, mohammadpour@sharif.edu, e.asadian@sbmu.ac.ir, pesasanpour@sbmu.ac.ir

Abstract- UV-photodetectors are widely applied not only for measurement of UV irradiation of sunlight, but also for air pollution, astronomical, and engine combustion studies. Unsustainable power sources may restrict the utilization of photodetectors, which can be solved by triboelectric nanogenerators, converting mechanical agitation to electricity. In this research, we have applied graphene oxide as the light-sensitive material and the conventional electricity source was replaced by a triboelectric nanogenerator. The obtained results show that the photoresponsivity, as well as quantum efficiency, can be augmented by ٧٥ times, which open new avenues for self-powered photodetectors.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

Keywords: Graphene Oxide, Photodetector, Self-powered, Triboelectric Nanogenerator, Ultraviolet.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

مقدمه

آشکارسازهای نوری به روش‌های متنوعی تابش الکترومغناطیس را به به بارهای الکتریکی تبدیل می‌کنند که ساده‌ترین آن‌ها روش مقاومتی است. در این روش با تابش نور به ماده، مقاومت تغییر می‌کند و باعث ایجاد تغییرات جریان در یک ولتاژ مشخص می‌شود [۱]. به منظور اعمال اختلاف ولتاژ در دو سر قطعه، نیاز به یک منبع الکتریکی خارجی وجود دارد که بایستی پس از مدتی تعویض و دور انداخته شود که خود باعث مصرف هزینه و آلودگی محیط زیست خواهد بود. هم‌چنین، با توجه به گسترش روزافزون حسگرهای متنوع جهت بررسی شرایط محیطی، تلاش می‌شود تا حسگرهای خودمولد جایگزین حسگرهای متداول شوند [۲].

در سال‌های اخیر نانومولدهای تریبوالکتریک به عنوان جایگزین مناسبی برای باتری‌ها در ادوات الکترونیکی معرفی شده‌اند که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۷ وارد بازار شوند [۳]. این نانومولدها قادرند که انرژی مکانیکی در اشکال مختلف (حرکت بدن انسان، امواج دریا، ارتعاشات صوتی و ...) را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند [۴]. ساختار نانومولدهای تریبوالکتریک به گونه‌ایست که دو سطح متفاوت روی یکدیگر ضربه می‌خورند و یا ساییده می‌شوند تا بارهای تریبوالکتریک روی سطوح ایجاد شود. سپس به کمک القای الکتریکی در اتصالات پشت سطوح، این بارها در مدار جریان می‌یابند [۴].

در این پژوهش ابتدا یک آشکارساز مقاومتی بر پایه گرافن اکساید ساخته و پاسخ آن به نور فرابنفش بررسی شد. سپس منبع تغذیه با یک نانومولد تریبوالکتریک جایگزین شد و مجددا پاسخ نوری مورد مطالعه قرار گرفت. این جایگزینی علاوه بر مرتفع کردن نیاز به منبع انرژی پایان‌پذیر، باعث افزایش پاسخ نوری و بازدهی کوانتومی تا حدود ۷۵ برابر گردید.

روش انجام پژوهش

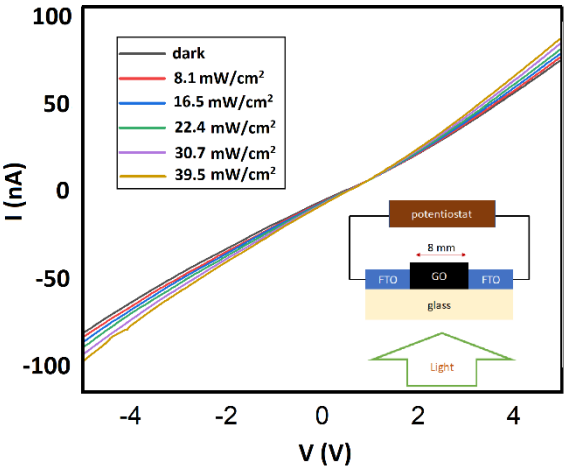
ابتدا محلول گرافن اکساید با غلظت ۷ mg/ml به روش هامرز تهیه شد و سپس ۲۰ ml از آن داخل قالب پلاستیکی با ابعاد $۴\times۴\ cm^۲$ ریخته شد تا در هوا خشک شود. ورقه گرافن اکساید به دلیل انعطاف بالا به راحتی از قالب جدا و در ابعاد $۱۰\times۸\ mm^۲$ بریده شد. شیشه حاوی یک لایه FTO به عنوان زیرلایه انتخاب و ۸ mm از سطح آن خراشیده شد تا گرافن اکساید بین دو لایه FTO قرار گیرد. از چسب پلاتین برای تثبیت اتصال گرافن اکساید و FTO استفاده شد. سپس تغییرات جریان در اثر عمال ولتاژ از ۵ تا ۵- V تحت تابش LED فرابنفش (۳۹۵ nm) به کمک پتنشیواستات (Ivium Compactstat) بررسی شد.

نانومولد تریبوالکتریک به کمک یک شیشه حاوی FTO (الکترود بالایی) و یک ورقه کپتون که در پشت آن چسب آلومینیوم قرار دارد (الکترود پایینی)، ساخته شد. از یک دستگاه ضربه‌زن با نیروی ثابت ۸ N و بسامد ۲ Hz به منظور اعمال ضربه استفاده شد. سپس قطعه ساخته شده در مدار با نانومولد قرار گرفت تا اثر تابش فرابنفش بررسی شود.

نتایج و بحث

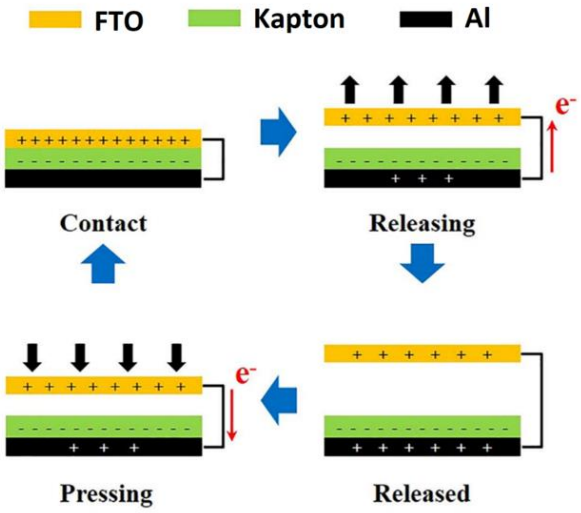
شکل ۱ تغییرات جریان بر حسب ولتاژ را در شدت‌های مختلف تابش نور فرابنفش نشان می‌دهد. با افزایش شدت تابش، الکترون‌های بیشتری به نوار هدایت برانگیخته می‌شوند و در نتیجه جریان نوری بالاتری ایجاد می‌گردد. طرحواره داخل شکل ۱، ساختار قطعه ساخته شده را نشان می‌دهد. در صورتی که یک نانومولد تریبوالکتریک جایگزین پتنشیواستات شود، می‌توان یک آشکارساز خودمولد داشت که با ضربات مکانیکی کار می‌کند.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]



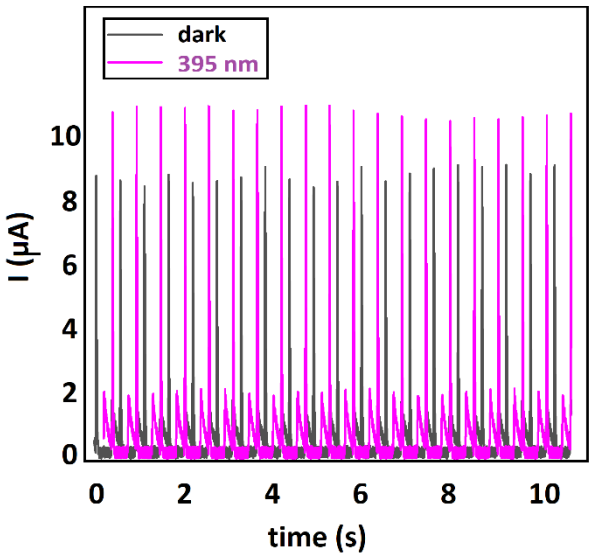
شکل ۱: تغییرات جریان بر حسب ولتاژ بایاس در شدت‌های تابش مختلف نور فرابنفش با طول موج ۳۹۵ nm.

ساختار نانومولد تریبوالکتریک مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ مشاهده می‌شود. به منظور تولید انرژی الکتریکی، لازم است یک الکترود روی دیگری ضربه بزند. هنگام ایجاد تماس بین دو الکترود، بار سطحی متفاوتی روی سطوح ایجاد می‌شود که بستگی به تمایل الکترونی دو ماده دارد. روی سطح FTO بار مثبت و روی سطح کپتون بار منفی ایجاد می‌شود. در حین جدا شدن سطوح از یکدیگر، یک اختلاف ولتاژ بین دو سطح ایجاد می‌شود. از آن جایی که سطح رسانای FTO با آلومینیومِ پشت کپتون اتصال الکتریکی دارد، الکترون‌ها در مدار حرکت می‌کنند تا شرایط تعادل برقرار شود. در این حالت یک قله مثبت در نمودار جریان مشاهده می‌شود. هنگامی که دو الکترود در بیشترین فاصله از یکدیگر قرار دارند، جریانی عبور نمی‌کند. در حین نزدیک شدن مجدد الکترودها به یکدیگر، لازم است الکترون‌ها مسیر عکس را در مدار طی کنند و به همین دلیل یک قله منفی در نمودار جریان ایجاد می‌شود. بدین ترتیب با هر ضربه یک قله مثبت و منفی در نمودار ایجاد می‌شود. در این حالت می‌توان از یک پل دیود جهت یکسویه کردن جریان استفاده کرد.



شکل ۲: نحوه تولید جریان به کمک نانومولد تریبوالکتریک در اثر اعمال ضربه.

میزان جریان خروجی نانومولد به مقاومتی که در مدار با آن قرار می‌گیرد، بستگی دارد. به عبارت دیگر هر چه مقاومت کاهش یابد، جریان بیشتری در مدار مشاهده می‌شود. در اثر تابش نور فرابنفش به نمونه، مقاومت نمونه کاهش و در نتیجه قله‌های جریان ارتفاع بیشتری می‌یابند (شکل ۳).



شکل ۳: افزایش جریان تولیدی توسط نانومولد تریبوالکتریک در اثر تابش فرابنفش با طول موج ۳۹۵ nm.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

برای مقایسه عملکرد آشکارساز در این دو مدار، می‌توان از تغییرات مقادیر پاسخ نوری ($R = (I-I_0)\times S/P_{opt}$) و بازدهی کوانتومی ($EQE = (Rhc/e\lambda)\times 100$) استفاده نمود که بر اساس کمیت‌های جریان روشن (I)، جریان تاریک (I_0)، شدت تابش (P_{opt})، مساحت تحت تابش (S) و طول موج نور تابیده (λ) تعریف می‌شوند.

جدول ۱ مقادیر محاسبه شده برای این دو آشکارساز را در شدت تابش ۸ mW/cm^2 نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با استفاده از نانومولد تریبوالکتریک، مقادیر R و EQE به ترتیب به میزان ۷۵ و ۷۲ برابر افزایش یافته است. این امر نشان می‌دهد که جایگزینی نانومولد تریبوالکتریک می‌تواند علاوه بر حذف باتری‌ها و استفاده از انرژی مکانیکی موجود در محیط، ویژگی‌های آشکارساز فرابنفش را نیز به طرز قابل توجهی بهبود دهد.

جدول ۱: مقایسه آشکارساز مقاومتی معمولی و آشکارساز به کمک نانومولد تریبوالکتریک تحت تابش فرابنفش با طول موج ۳۹۵ nm با شدت ۸ mW/cm^2.

نوع آشکارساز	مقاومتی	نانومولد تریبوالکتریک
R (mA/W)	۰/۰۱۱	۰/۸۳
EQE (%)	$۳/۴۷\times۱۰^{-۳}$	۰/۲۵

علاوه بر آنچه اشاره شد، از آن جایی که اتصالات رسانا در دو سر ورقه گرافن اکساید از جنس FTO است و مشابه یکی از الکترودهای نانومولد انتخاب شده است، می‌توان با مجتمع‌سازی دو قطعه با یکدیگر، یک آشکارساز بسیار کم‌حجم با قابلیت حمل آسان طراحی نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شد تا با جایگزینی نانومولد تریبوالکتریک به جای منابع الکتریکی متداول، یک آشکارساز نوری خودمولد طراحی شود. در ساخت قطعه حساس به نور و نانومولد از روش‌های تولید ارزان‌قیمت و آسان استفاده شده است و همگی مواد به راحتی در دسترس هستند. این آشکارساز علاوه بر عدم نیاز به باتری، پاسخ نوری و بازدهی بالاتری را نسبت به ساختار رایج آشکارسازهای نوری مقاومتی نشان می‌دهد.

مرجع‌ها

[۱] S.-K. Chang-Jian, J.-R. Ho, J.-W.J. Cheng, Y.-P. Hsieh, "Characterizations of photoconductivity of graphene oxide thin films", AIP Adv., Vol. ۲, pp. ۰۲۲۱۰۴-۰۲۲۱۰۸, ۲۰۱۲.

[۲] F. Ejehi, R. Mohammadpour, E. Asadian, P. Sasanpour, O. Akhavan, "Graphene Oxide Papers in Nanogenerators for Self-Powered Humidity Sensing by Finger Tapping", Sci. Reports, Vol. ۱۰, pp. ۷۳۱۲-۷۳۱۸, ۲۰۲۰.

[۳] C. Wu, A.C. Wang, W. Ding, H. Guo, Z.L. Wang, "Triboelectric Nanogenerator: A Foundation of the Energy for the New Era", Adv. Energy Mater., Vol. ۹, □□. ۱۸۰۲۹۰۶-۱۸۰۲۹۱۲, ۲۰۱۹

[٤] Z.L. Wang, L. Lin, J. Chen, S. Niu, Y. Zi, *Triboelectric Nanogenerators*, p. ۲٤, Springer International Publishing, Cham, ۲۰۱٦.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]