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

اثر تابش گاما با نرخ دز بسیار کم بر آشکارساز فرابنفش GaN برای کاربردهای فضایی

لیلا برغمدی[۱]، شهاب نوروزیان علم[۱]، سیدحسن صدیقی[۲]، بیژن غفاری[۱]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران

۲- دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران

چکیده – آشکارساز نوری فرابنفش MSM بر پایه لایه هم‌بافته GaN نوع n ساخته شده است. تاثیر تابش گاما از منبع ^{60}Co با نرخ تابش بسیار کم ۰/۰۰۰۱ rad(Si)/s در دمای اتاق بر جریان الکتریکی آشکارساز مورد بررسی قرارگرفته است. برخلاف مشاهدات قبلی، افزایش و سپس کاهش تدریجی جریان تاریک با افزایش دز تابش گاما به‌وضوح مشاهده شد. با به‌کار گیری سازوکار انتقال حامل‌ها در حالت‌های جایگزیده، تولید حامل‌ها توسط تابش و سپس به دام افتادن آن‌ها در نقص‌های شبکه، یک توضیح پیشنهادی برای رفتار نمودار مشخصه ولتاژ-جریان آشکارساز ارائه گردید. نتایج حاصله برای درک چگونگی برهم‌کنش فوتون‌های گاما با لایه هم‌بافته n-GaN بسیار مهم است.

کلید واژه- آشکارساز نوری، GaN،گاما، جریان تاریک

Effect of ^{60}Co γ-irradiation at very low dose rate on n-GaN UV photodetector for space applications

Leyla Barghamadi[1], Shahab Norouzian Alam[1], Seyed Hassan Sedighy[2], Bijan Ghafary[1]

1-Physics Department , Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- School of Advanced Tecnologies, , Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract- GaN MSM UV photodetector were fabricated on n-GaN epitaxial layer. The effect of room temperature ^{60}Co γ-radiation at very low dose rate (0.0001 rad(Si)/s) on the electric current of photodetector was studied. In contrast to earlier observations, by increasing the gamma dose, an initial increasing of the dark current followed by the gradual decrease has been observed. The abnormal behavior of the voltage-current characteristic of the photodetector can be explained by considering the carriers transfer mechanism in localized states, which is very common in III-Nitride semiconductors. The results presented here are found to be important in understanding the mechanism of interaction of ^{60}Co γ-irradiation with n-GaN epilayer.

Keywords: photodetector, GaN, gamma, dark current.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

مقدمه

فضای بالای جو بـه دلیـل وجـود انواع پرتوهـای یون‌ساز، بـرای ماهواره‌ها و تجهیزات الکترونی آن‌ها یک محیط تشعشعی محسوب می‌شود. با قرارگرفتن تجهیزات در این محیط، در قطعات نیمه‌رسانا و عایق‌ها منجر به یونیزش ماده، ایجاد نقص در ساختار کریستالی از طریق جابه‌جایی اتم‌ها در شبکه یا منجر به تشکیل باندهای اضافی رسانشی در نیمه‌رساناها و دی‌الکتریک‌ها می‌شود. جابه‌جایی ولتاژ آستانه، افزایش جریان نشتی و نیز خاموش نشدن قطعه (در زمانی که به آن ولتاژ اعمال نمی‌شود) از جمله آسیب‌های تشعشعی محسوب می‌گردد. این آسیب‌ها به‌صورت تدریجی عملکرد قطعه را با افت کیفیت مواجه می‌کنند. بنابراین بررسی اثر تشعشعات بر مجموعه تجهیزاتی که در محیط‌های تشعشعی قرار می‌گیرند، بسیار مهم است[۱] یکی از تجهیزاتی که امروزه در در برخی ماموریت‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، آشکارسازهای نور فرابنفش می‌باشند. از جمله کاربردهای آشکارسازی UV در فضا می‌توان به تهیه عکس‌های نجومی و نیز بررسی شدت نور UV در شفق قطبی سیاره‌های منظومه شمسی و بررسی اثرات آن بر تغییرات شرایط آب‌وهوایی سیاره‌ها اشاره کرد.

در این مقاله اثر تابش گاما را بر مشخصات نوری آشکارساز فرابنفش MSM گالیوم‌نیترید نوع n بررسی می‌شود.

آشکارساز UV گالیوم‌نیترید

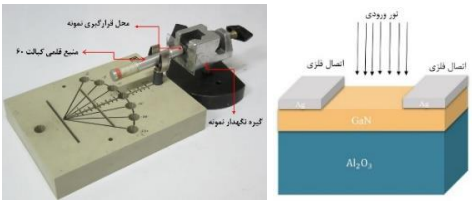
گالیوم‌نیترید و آلیاژهای آن $Al_xGa_{1-x}N$ و $In_xGa_{1-x}N$ به‌دلیل کاربردهای بی‌شمار در زمینه جذب و گسیل نور UV در جامعه نیمه‌رساناها بسیار مورد توجه است. گاف انرژی پهن (۳/۴ev) ، ولتاژ شکست بالا، پایداری حرارتی، پایداری شیمیایی و مقاومت در برابر تشعشعات، از ویژگی‌های GaN است. مزیت استفاده از GaN پهنای باند زیاد و در نتیجه کور بودن نسبت به طول‌موج‌های بالاتر از فرابنفش، (نور مرئی و IR) است[۲]. تاکنون مطالعات بسیاری در مورد اثر تشعشعات بر GaN صورت‌گرفته‌است. مثلا در مرجع [۳] سازوکار آسیب تابش پروتونی بر فتودیود بهمنی GaN بررسی شده و نشان داده شده‌است که با افزایش شار پروتونی، به دلیل برخورد پروتون‌ها با الکترون‌ها و انتقال انرژی به آن‌ها، منجربه تولید حامل‌های بار و افزایش چگالی جریان تاریک می‌شود. همچنین در [۴] اثر تابش گاما بر ترابرد الکترونی آشکارساز شاتکی GaN آلائیده نوع n با نرخ تابش‌دهی ۱kGy/hr تا دز ۵۰۰kGy بررسی شده‌است. برخلاف مشاهدات قبلی، در اینجا نشان داده شده که چگالی حامل‌ها پیوسته با افزایش دز تابش، افزایش می‌یابد. این افزایش بیان می‌کند که هیچ نقص شبکه‌ای توسط تابش گاما حتی در دز ۵۰۰kGy ایجاد نمی‌شود، بلکه افزایش حامل‌ها ناشی از فعال شدن ناخالصی Si در توده GaN است.

جزئیات آزمایش و نتایج

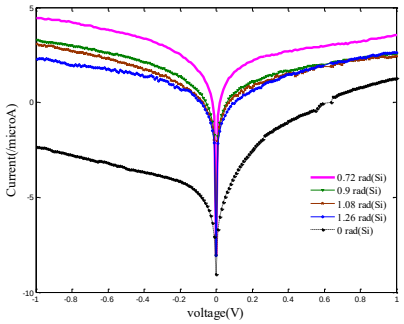
لایه نازک هم‌بافته GaN آلائیده نوع n با ضخامت ۱/۵μm و ناحیه فعال ۴mm تا ۶mm (در $۱/۳\times۱\ cm^2$) به روش رسوب‌دهی بخار شیمیایی آلی-فلزی (MOCVD) رشد هم‌بافته داده‌شده‌است. چگالی آلائیدگی در n-GaN برابر $۱۰^{۱۷}cm^{-۳}$ می‌باشد. به‌منظور برقراری اتصالات از چسب نقره استفاده شده‌است. ساختار آشکارساز MSM می‌باشد. به‌وسیله منبع قلمی $Co^{۶۰}$ با فعالیت اولیه ۲μCi و نرخ تابش ۰/۱ mrad(Si)/s تابش‌دهی در دمای مانند شکل (۱) اتاق انجام شد. در ابتدا نمونه با ناحیه فعال ۴mm به مدت ۲ ساعت پیوسته (معادل ۰/۷۲ rad(Si)) و سپس در سه مرحله نیم ساعته (معادل ۰/۱۸ rad(Si)) تابش‌دهی شد. پس از پایان هر نیم ساعت، بلافاصله جریان الکتریکی اندازه‌گیری شد (شکل ۲). بعد از پایان مرحله نهایی، نمونه در دمای اتاق تا ۲۴ ساعت بازپخت و سپس جریان مجددا اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

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

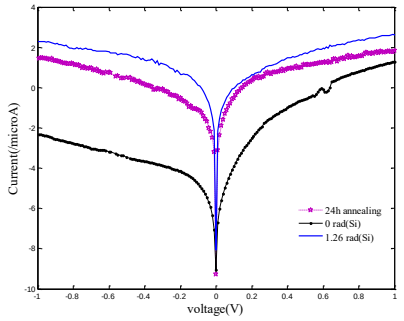
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]



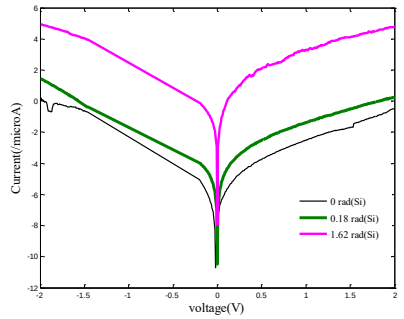
شکل ۱- ساختار آشکارساز نوری MSM گالیوم‌نیترید با ضخامت ۱/۵μm و ناحیه فعال ۴mm تا ۶mm (در cm^2 ۱×۱/۳) و ب) تابش‌دهی آشکارساز با منبع قلمی ^{60}Co



شکل ۲- مشخصه ولتاژ–جریان، در قبل و پس از تابش‌دهی گاما



شکل ۳- ماندگاری اثر دز گاما بر مشخصه ولتاژ–جریان



شکل ۴- مقایسه جریان تاریک قبل و پس از تابش‌دهی: نیم ساعت اول و دو ساعت تابش‌دهی پیوسته.

برای بررسی وابستگی رفتار نمودار جریان به مدت زمان تابش‌دهی و افزایش میزان دز، نمونه‌ی دیگری با ناحیه فعال ۶mm به مدت ۲/۵ ساعت در پنج مرحله نیم ساعته تحت تابش گرفت. پس از اندازه‌گیری جریان، نمونه به مدت ۲ ساعت، پیوسته تابش‌دهی شد. در این حالت جریان تا حدود ۱۵۰ برابر، نسبت به حالت قبل‌از تابش و نیز نسبت به جریان پس از ۲/۵ ساعت تابش گام‌به‌گام، افزایش یافت (شکل ۴). شایان ذکر است که عدم تقارن در رفتار نمودار ولتاژ–جریان ناشی از تفاوت جزئی در شکل الکترودهاست.

تحلیل و بحث

تاکنون مطالعات بسیاری مبنی بر اثرات تشعشعات با نرخ دز بسیار پایین تا ۰/۰۰۱ rad(Si)/s بر قطعات نیمه‌هادی صورت‌گرفته‌است. این بررسی به‌دلیل رفتارهای غیرعادی قطعات در تابش‌دهی با نرخ بسیار کم مهم شده‌است. در اینجا نرخ دز تا ۰/۰۰۰۱ rad(Si)/s کاهش داده شده و رفتار غیرعادی تغییرات جریان تاریک آشکارساز مورد بررسی قرارگرفته است. برای توجیه این رفتار از سازوکار انتقال حامل‌ها در حالت‌های جایگزیده که در تحلیل رفتار دیودهای نوری که بر اثر تغییرات دما و توان تحریکی اتفاق می‌افتد، ایده گرفته شده‌است[۵]. ما در اینجا سازوکار حرارتی را به رفتار الکترون‌های GaN پس از مراحل تابش‌دهی گاما با نرخ دز کم، نسبت می‌دهیم. زیرا تابش گاما به اندازه کافی پرانرژی است که در مواجه با ماده، انرژی اضافی قابل توجهی در آن برجای بگذارد. مطابق با این سازوکار، با تابش‌دهی پیوسته آشکارساز تا ۲ ساعت، حامل‌های بار در نیمه‌هادی GaN تولید می‌شود و چگالی حامل‌ها افزایش می‌یابد. فرآیند افزایش چگالی حامل‌ها ناشی از تولید فوتوالکترون‌ها و نیز افزایش چگالی جاهای خالی نیتروژن (نقص نیتروژن) است که سبب افزایش حامل‌ها در توده GaN می‌شود[۴و۶]. بخشی از این حامل‌ها در نقص‌های شبکه به دام می‌افتند و بخش بزرگی، حالت‌های جایگزیده در توده GaN را پر می‌کنند. با برقراری ولتاژ خارجی به آشکارساز، الکترون‌هایی که در اثر تابش در حالت‌های جایگزیده جمع‌آوری شده‌اند، تحت

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

میدان الکتریکی حرکت می‌کنند و چگالی جریان الکتریکی افزایش می‌یابد. در مرحله بعد که نمونه برای مدت زمان نیم ساعت تحت تابش قرار می‌گیرد، مجددا مقداری از حامل‌ها به دلیل برخورد فوتون‌های پرانرژی گاما تولید می‌شوند. اما هم‌زمان برخی الکترون‌هایی که در حالت‌های جایگزیده انباشته‌اند می‌توانند انرژی دریافت کرده و از پتانسیل حالت‌ها خارج شوند. هم‌چنین دام‌های نقوص شبکه که پس از اشباع به دلیل افزایش انرژی الکترون‌های به دام افتاده و اتلاف حرارتی فعال شده‌اند، می‌توانند الکترون‌های دیگری را به دام بیندازند. بدین ترتیب بخشی از حامل‌های تولید شده و نیز حامل‌هایی که با دریافت انرژی حالت‌های جایگزیده را ترک کرده‌اند، در دام‌های شبکه مستقر می‌شوند. پس از اعمال ولتاژ، الکترون‌های باقی مانده در شارش جریان الکتریکی شرکت می‌کنند. این تفسیر با کاهش جریان در مرحله دوم تا چهارم سازگار است (شکل ۲). پس از گذشت یک روز از آخرین مرحله تابش‌دهی، درصدی از کل حامل‌های تولید شده بازترکیب کرده، بخشی از حامل‌ها در هم‌چنان در حالت‌های جایگزیده انباشته شده‌اند. هنگامی که جریان الکتریکی مجدد اندازه‌گیری می‌شود، مشاهده می‌شود که جریان نسبت به قبل کاهش یافته‌است (شکل ۳). هنگامی که آشکارساز به‌طور پیوسته (۲ ساعت) تحت تابش‌دهی قرار می‌گیرد، زمان کافی برای تولید بیش‌ترین حامل‌ها و به تعادل رسیدن فرآیندهای تولید-بازترکیب در دسترس است. در این فاصله الکترون‌های تولید شده فرصت خواهند داشت تا بارها حالت‌های جایگزیده را پر کنند، انرژی در یافت کرده و آن را ترک کنند، به دام بیافتند و با حفره‌ها بازترکیب کنند. در واقع می‌توان گفت که در حالت تابش-دهی طولانی مدت نرخ تولید حامل‌هایی که بعدا در شارش جریان الکتریکی شرکت می‌کنند از نرخ بازترکیب و یا فعال شدن دام‌ها بیش‌تر است. بدین ترتیب جریان الکتریکی که پس از این تابش‌دهی اندازه گرفته می‌شود، نسبت به حالت قبل از تابش یا نسبت به حالت‌های تابش-دهی کوتاه مدت، افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری در شکل (۴) با این سازوکار هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

اثر تابش گاما با منبع ^{60}Co و با نرخ دز بسیار کم بر رفتار نمودار ولتاژ-جریان آشکارساز نوری MSM بر پایه GaN نوع n مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که تابش‌دهی سبب افزایش جریان تاریک در آشکارساز می‌شود و این اثری ماندگار است. اگر آشکارساز در محیط تشعشعی با دز کم به‌طور مداوم قرار گیرد، میزان تغییر جریان محسوس خواهد بود. با به کارگیری مدل سازوکار انتقال حامل‌ها در حالت‌های جایگزیده پتانسیل حالت‌های جایگزیده، این مشاهدات توجیه‌پذیر می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] زمانی مقدم، " شبیه‌سازی اثر تشعشعی دز یونیزان کل بر ماهواره مخابراتی با جعبه ابزار GEANT4"، مجلسه سنجش و ایمنی پرتو، ۱۳۹۵.

[2] A. Y. Polyakov, *Radiation Effects in GaN*.

[3] G. P. Liu, X. Wang, “Effects of high-energy proton irradiation on separate absorption and multiplication GaN avalanche photodiode,” *Nucl. Sci. Tech.*, 2018.

[4] A. Chatterjee, S. K. Khamari, S. Porwal, S. Kher, and T. K. Sharma, “Effect of 60Co γ-irradiation on the nature of electronic transport in heavily doped n-type GaN based Schottky photodetectors,” *J. Appl. Phys.*, 2018.

[5] Q. Wang *et al.*, “Influences of excitation power and temperature on photoluminescence in phase-separated InGaN quantum wells,” *Chinese Phys. B*, 2015.

[6] Piezospectroscopy and first-principles calculations of the nitrogen-vacancy center in gallium arsenide Journal of Applied Physics, 2018.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]