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

آشکارساز نوری سدشاتکی با قابلیت پاسخدهی بالا

سلیمان رضائیان کوچی، ناصر هاتفی کرگان، احمد رضا دارائی

دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

Soleiman_rezaeian@yahoo.com, n.hatefi@phys.usb.ac.ir, **daraei@phys.usb.ac.ir**

چکیده – در این مقاله، ساختاری از آشکارساز نوری گالیوم آرسنایدبا پیوند شاتکی فلز طلا شبیه سازی شده است. یک توری فلزی بر روی لایه نیم‌رسانا قرار داده شد. توری فلزی همراه با شکاف‌های خیلی باریک و عمق کافی، تشدیدهای عبور را برای طول موج‌های بزرگتر از دوره توری تحریک می‌کند. در این طرح، برای افزایش جذب نور، فاصله شکاف‌ها به نحوی تنظیم شد که باعث تحریک پلاسمون‌های سطحی در محل اتصال فلز-نیم‌رسانا گردید. تحریک پلاسمون‌های سطحی در محل اتصال فلز-نیم‌رسانا باعث تشدید میدان الکترومغناطیسی در پیوندگاه می‌شود. در این آشکارساز، جریان نوری و پاسخ‌دهی نوری به ترتیب ۳/۵ mA و ۱۰/۵ A/W در بایاس ۱ V و در طول موج ۸۵۰ nm بدست آمد.

کلید واژه- آشکارساز نوری، سد شاتکی، پلاسمون سطحی، نانو توری

Schottky barrier photodetector with High Responsivity

Soleiman Rezaeian koochi, Naser Hatefi Kargan, Ahmadreza Daraei

Department of Physics, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan

Abstract- **In this Paper, a structure of the gallium arsenide photodetector with a gold metal Schottky junction has been simulated. A metal grating was placed on the semiconductor layer. Metal grids with very narrow slits and sufficient depth, increase the transmission resonance for wavelengths larger than the grating period. To increase the light absorption, the slits distance was adjusted to excite surface plasmons at the metal-semiconductor junction. excitation of surface plasmons at the metal-semiconductor junction, intensifies electromagnetic field at the junction. The photocurrent and responsivity of the photodetector were respectively 3.5 mA and 10.5 A/W at a bias voltage of 1V bias and at Wavelength of 850.**

Keywords: Photodetector, Schottky barrier, surface plasmon, nano-grating.

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

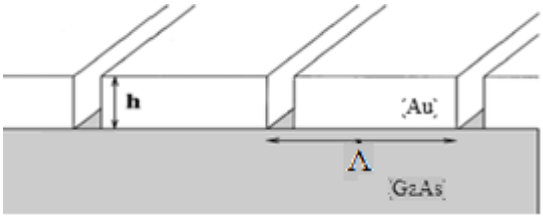
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

۱- مقدمه

آشکارسازهای نوری افزاره‌های نیم‌رسانایی هستند که می‌توانند سیگنال‌های نوری را با استفاده از فرآیندهای الکترونیکی آشکار کنند. گسترش طول موج منابع نوری همدوس و غیر همدوس به درون ناحیه مادون قرمز دور از یک سو و ناحیه‌ی فرابنفش از سوی دیگر نیاز به آشکارسازهای نوری سریع و حساس را افزایش داده است [۱]. عملکرد یک آشکارساز نوری در حالت کلی از سه فرآیند تولید حامل با نور ورودی، ترابری حامل‌ها و یا تکثیر با فرآیند تقویت جریان در صورت وجود، و خارج کردن حامل‌ها به صورت جریان برای ایجاد سیگنال خروجی تشکیل شده است [۲]. شکل‌های مختلف سیگنال ورودی را می‌توان به آشکارساز وارد کرد، سیگنال خروجی تولید شده همانند جریان الکتریکی یا ولتاژ، قابل اندازه‌گیری است. انواع مختلف آشکارساز وابسته به جسم و خواص فیزیکی که آن‌ها حس می‌کنند وجود دارد. سیگنال ورودی می‌تواند ارتعاشات مکانیکی، تابش الکترومغناطیسی، ذرات کوچک و سایر پدیده‌های فیزیکی باشد [۳]. شاید بتوان گفت اولین قطعه الکترونیکی مورد استفاده بشر پیوند فلز- نیم‌رسانا می‌باشد که به عنوان قطعه‌ای با مشخصه ولتاژ جریان غیر متقارن کشف شد. امروزه می‌توان پیوندگاهای فلز و نیمرسانا را در دو نوع، اهمی و شاتکی ساخت. بیشتر اطلاعات تئوری درباره پیوند شاتکی مرهون اختراع ترانزیستور دو قطبی و سیل تحقیقات در زمینه میکروالکترونیک می‌باشد [۴]. اخیرا برای بهبود جذب نوری در آشکارسازهای نوری از تحریک پلاسمون سطحی استفاده می‌کنند و از روش‌های مختلفی مانند کوپلرها یا توری‌ها استفاده می‌کنند [۵]. بطور ویژه، آشکارسازهای پلاسمونی برای افزایش جذب امواج الکترومغناطیسی بوسیله پلاسمون‌های سطحی، برای افزایش پاسخدهی نوری مناسب هستند [۶]. آیمن و همکارانش برای بهینه سازی جذب نور در یک آشکارساز فلز-نیم‌رسانا-فلز از توری‌های فلزی استفاده کردند [۷]. ماسوله و روزاتی با بکار بردن یک پوسته فلزی درون شکاف مرکزی همراه با نانو توری‌های فلزی، بهبود عملکرد آشکارساز نوری فلز-نیم‌رسانا-فلز را مورد بررسی قرار دادند. گزارش‌های فوق نشان می‌دهد پلاسمونیک تاثیر بسزایی در عملکرد آشکارسازها دارد.

۲- طراحی آشکارساز نوری

در این مقاله به سبب ویژگی‌های نوری منحصر بفرد آشکارسازهای پلاسمونی سدشاتکی در راستای تحقق امر آشکارسازی، به شبیه‌سازی آشکارساز نوری پلاسمونی گالیوم آرسناید (GaAs) با اتصال شاتکی فلز طلا (Au)، به روش المان محدود (FEM) با استفاده از نرم افزار کامسول پرداخته شده است. مزیت استفاده از گالیوم آرسناید بازترکیب سریع حامل‌ها و طلا بخاطر اتلاف پایین در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک نسبت به سایر فلزات است. ساختار آشکارساز نوری در شکل ۱ نشان داده شده است. این ساختار متشکل از یک لایه گالیوم آرسناید به ضخامت ۵۰۰ nm و یک دوره توری فلزی از جنس طلا به ضخامت ۲۰۰ nm که بر روی لایه نیم‌رسانا با دوره تناوب ۱/۷ میکرون قرار گرفته و اتصال شاتکی بوجود آمده است.



شکل۱: ساختار آشکارساز نوری سدشاتکی

در یک آرایه دوره‌ای از نانوشکاف‌های فلزی، تکانه فوتون‌های فرودی به صورت $2\pi/\Lambda$ بدست می‌آید، در این صورت زمانی پلاسمون‌های سطحی تحریک خواهند شد که:

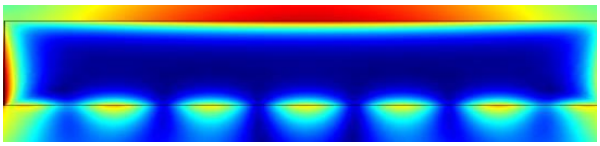
$$k_{sp} = k_0 sin\theta_0 + 2\pi i/\Lambda \qquad (۱)$$

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

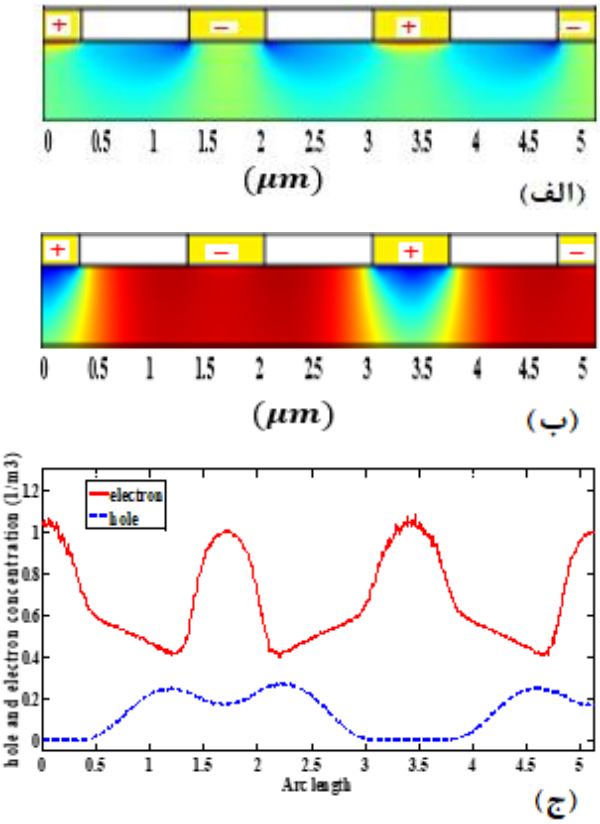
۳- محاسبات و شبیه‌سازی‌های انجام شده

همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، توری فلزی همراه با شکاف‌های خیلی باریک و عمق کافی، تشدیدهای عبور را برای طول موج‌های بزرگتر از دوره توری تحریک می‌کند. هنگامی که نور به سطح فلز برخورد می‌کند، در طول سطح فلز اگر تکانه فوتون فرودی با تکانه پلاسمون سطحی برابر باشد، پلاسمون‌های سطحی طبق معادله ۱ تحریک می‌شوند. هر نوری نمی‌تواند پلاسمون‌های سطحی را تحریک کند، برای این منظور از امواج الکترومغناطیسی با قطبش TM استفاده می‌شود. پلاسمون‌های سطحی تشکیل شده در محل اتصال دو ماده، از نمای نزدیک در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲: پلاسمون‌های سطحی تشکیل شده در محل اتصال دو ماده گالیوم آرسنایید و طلا

با اعمال ولتاژ به آشکارساز، توزیع الکترون-حفره تولید شده در نزدیکی محل اتصال مورد بررسی قرار داده شد. غلظت الکترون‌ها در محل اتصال فلز-نیم‌رسانا در بیشینه حالت ممکن هستند (شکل ۳ الف) و اگر پیوسته از اتصال‌ها فاصله گرفته شود، از غلظت الکترون‌ها کاسته می‌شود و بر غلظت حفره‌ها افزوده می‌شود (شکل ۳ ب). به عبارتی در نانو شکاف‌ها توزیع حفره‌ها بیشتر است، چون با اعمال ولتاژ، الکترون در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت می‌کند و سرعتی بیشتر از حفره‌ها دارند و در محل اتصال جمع می‌شوند. همانطور که در شکل ۳ (ج) نمایان است، تجمع الکترون‌ها در محل اتصال‌هایی که ولتاژ اعمال شده است به نسبت با محل اتصال‌های دیگر بیشتر است.



شکل۳: الف) توزیع الکترون‌ها ب) توزیع حفره‌ها ج) نمودار توزیع الکترون‌ها و حفره‌ها در نزدیک محل اتصال

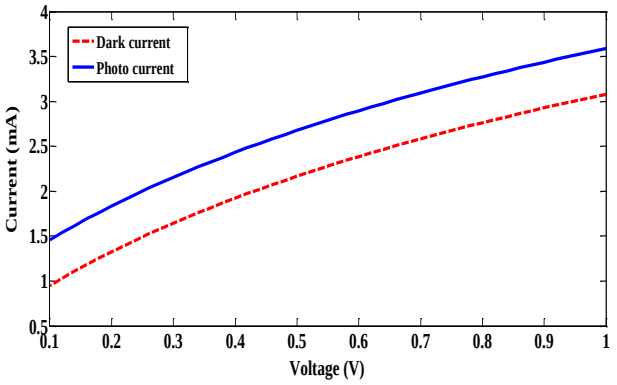
با توجه به شکل فوق، پلاسمونیک به طور بالقوه جذب نور را در نانو ساختارها افزایش داده است. جریان یک دیود تحت تابش با رابطه ۲ تعریف می‌شود که در واقع عبارت اول مربوط به جریان تاریک و عبارت دوم مربوط به جریان دیود تحت تابش است.

$$I = I_0[exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1] - I_p \qquad (۲)$$

در عبارت بالا q بار، V اختلاف پتانسیل، k ثابت بولتزمن و I_p جریان فوتونی است. در شکل (۴) جریان تاریک و جریان تحت تابش آشکارساز بر حسب ولتاژ نشان داده شده است.

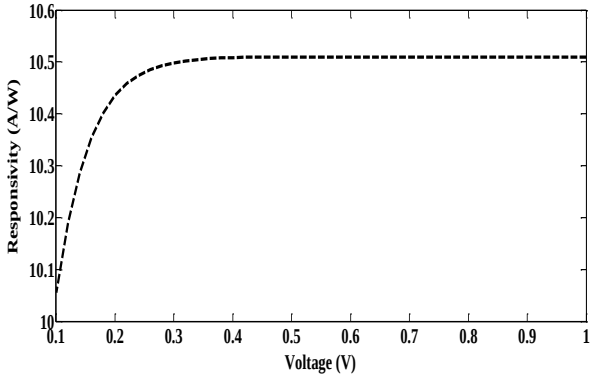
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]



شکل۴: نمودار جریان بر حسب ولتاژ

با توجه به شکل بیشینه جریان نوری در بایاس ۱V، بیش از ۳/۵ mA است، بنابراین پاسخ دهی آشکارساز ۱۰/۵ A/W خواهد بود. با وجود میدان الکتریکی در آشکارساز، حامل‌های نور از هم جدا می‌شوند و به سمت الکترودهای مخالف می‌روند و یک پاسخ‌دهی نوری بی‌نظیر را بوجود می‌آورند. شکل (۵) پاسخ‌دهی آشکارساز بر حسب ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل۵: پاسخ‌دهی نوری آشکارساز بر حسب ولتاژ

آشکارساز نوری پلاسمونی گالیوم آرسناید با اتصال شاتکی فلز طلا در طول موج ۸۵۰ nm با توان ۱ mW در مقایسه با آشکارسازهای طرح شده در [۸] با توان نور فرودی ۳ mA و پاسخ‌دهی نوری۲/۵ A/W و نیز در [۹] که با توان ۸۰ mW دارای پاسخ‌دهی نوری ۰/۱ A/W بوده است از برتری آشکارساز طراحی شده به طرح‌های موجود است.

۴- نتیجه گیری

در یک آشکارساز سدشاتکی با ساختار توری فلز طلا طراحی شده است که تحت تابش نور، پلاسمون‌های سطحی تحریک می‌شوند. تحریک پلاسمون‌های سطحی باعث افزایش جذب نور در ناحیه فعال آشکارساز می‌شود. برای آشکارساز طراحی شده مقدار پاسخدهی نور ۱۰/۵ A/W بدست آمد که در مقایسه با آشکارسازهایی با ساختار مشابه برتری ساختار طراحی شده را نشان می‌دهد.

مرجع‌ها

[1] G. Keiser, *Optical Fiber Communication*, McGraw-Hill, 1999.

[2] C. Scales, P. Berini, “Thin film Schottky barrier photodetector models”, IEEE J. Quantum Electron., Vol. 46, pp. 633-643, 2010.

[3] M. Razeghi, *Technology of Quantum Device*, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010.

[4] S.O. Kasap, Opteoelectronics and photonics principles and practices, second Ed., p. 383, India, 2013.

[5] G. Mie, “Contributions to the optics of turbid media, particularly of colloidal metal solutions”, Leipzig Ann. Phys., Vol. 25, pp. 377-445, 1908.

[6] P. Berini, “Surface plasmon photodetectors and their applications”, Laser Photon. Rev., Vol. 8, pp. 197-220, 2014.

[7] A. Karar, C. Leong Tan, K. Alameh, Y. Tak Lee, Nano-patterned High-responsivity GaAs Metal-Semiconductor-Metal Photodetector, ECU Publication, 2011.

[8] Di. Bartolomeo, A. Luongo, G. Iemmo, L. Urban, F. Giubileo, “Graphene-silicon schottky diodes for photodetection”, IEEE T. Nanotechnol., Vol. 17, pp. 1133-1137, 2018.

[9] B. Chitara, L. S. Panchakarla, S. B. Krupanidhi , C. N. R. Rao, “Infrared photodetectors based on reduced graphene oxide and graphene nanoribbons”, Adv. Mater., Vol. 23, pp. 5419-5424, 2011

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]