پلاسمون‌های سطحی در نانوفوتونیک کریستال‌های گرافن– طلا به عنوان آشکارساز در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک

بنفشه یکتاپرست، زینب صادقی و حسین شیرکانی

گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

چکیده–پلاسمون‌های سطحی در گرافن به علت ویژگی‌های فوق‌العاده، کاربردهای بسیاری پیدا کرده‌اند. در این مقاله، با استفاده از فوتونیک کریستال یک بعدی از جنس نانو روبان‌های طلا در مجاورت گرافن، پلاسمون‌های سطحی در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک ایجاد شده و خواص اپتیکی گرافن و ضریب خاموشی ساختار مورد بررسی قرار گرفته است. وابستگی طول موج تشدید پلاسمون‌ها به پارامترهای نوری از جمله ضریب شکست ماده مورد آشکارسازی بررسی شده و با معرفی ضریب حساسیت $S=\Delta\lambda/\Delta n$ میزان حساسیت ساختار نسبت به تغییرات جزئی ضریب شکست محاسبه شده است. همچنین مشاهده شد، ساختار بیشترین میزان حساسیت را به ازای ضریب شکست‌های $n=2$ الی $n=3$ در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک با مقدار تقریبی $300nm/RIU$ نشان می‌دهد.

کلید واژه- پلاسمون های سطحی ، گرافن ، ضریب حساسیت ، سنسورهای اپتیکی.

Surface Plasmon in Graphene-Gold Nano Photonic Crystal as Detector in Near Infrared and Visible Regimes

Banafsheh Yektaparast, Zeynab Sadeghi, Hossein Shirkani

Department of Physics, Persian Gulf University, Boushehr

Abstract-Surface Plasmon's in graphene have been used extensively due to their extraordinary specifications. In this paper, surface Plasmon's in visible and near infrared regions using a photonics crystal of gold nanoribbons in the vicinity of graphene was constructed and the optical properties of the graphene and the 1-R of the structure was studied. We have studied, the wavelength dependence of the Plasmon's resonance on the optical properties of the structure including the refractive index of the detected material. By introducing the sensitivity coefficient of $S = \Delta\lambda / \Delta n$, the sensitivity of the structure to the partial changes of the refractive index was calculated. It was also observed that this structure shows the highest sensitivity for the refractive indexes n = 2 to n = 3 with approx. 300 nm/RIU in the visible and infrared region.

Keywords: Surface Plasmon, Graphene, Sensitivity Coefficient, Photonic Crystal

.

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

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

۱- مقدمه

گرافن نامی است که به یک تک‌لایه تخت از اتم‌های کربن به شکل شبکه لانه‌زنبوری در صفحه دوبعدی اختصاص داده اند[۱]. مدول یانگ بالا، مقاومت بالا دربرابر شکست، رسانایی حرارتی خوب، تحریک‌پذیری بالای حاملان‌بار یا به‌عبارت دیگر رسانایی الکتریکی بالا، مساحت سطحی ویژه‌ی بالا از خواص فوق‌العاده گرافن هستند. تک لایه گرافن تنها حدود ۲,۳ درصد از نور خورشید را جذب می-کند، اما می‌توان این مقدار جذب را با قراردادن گرافن در ساختارهای فتونیکی یک بعدی و همچنین ساختارهای پلاسمونیکی افزایش داد. تشدید پلاسمون‌های سطحی یک تکنیک اپتیکی در زمینه حسگرهای شیمیایی است که تحت شرایط مناسب، بازتاب از سیستم به شدت نسبت به تغییرات اپتیکی فصل مشترک دی‌الکتریک–فلز حساس است [۲].

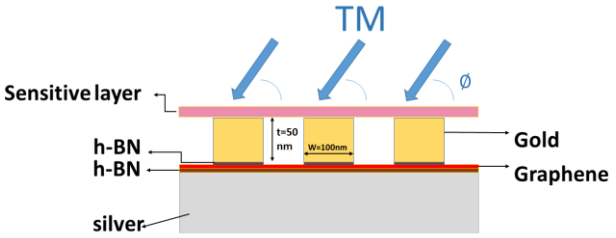
با استفاده از پلاسمون‌های سطحی در گرافن می‌توان به بسیاری از فن‌آوری‌های مفید، من جمله طراحی سنسور های گازی و بیوسنسورها برمبنای خواص اپتیکی مواد دست پیدا کرد[۳]. خواص الکترواپتیکی قابل تنظیم، پایداری کریستالی، اپتیک غیرخطی، میدان الکترومغناطیسی بزرگ با شدت بالا از مزایای پلاسمون گرافن‌ها هستند.[۳]

در این مقاله گرافن پلاسمون‌های تشکیل شده در ساختاری از فوتونیک کریستال‌های یک بعدی از نانو روبان های طلا در طول موج فروسرخ نزدیک و مرئی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- ساختار

از آنجایی‌که در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک امکان جفت شدگی بین تکانه فوتون و تکانه پلاسمون در گرافن وجود ندارد، پلاسمون‌ها در گرافن نمی‌توانند مستقیما توسط نور برانگیخته شوند[۴]. به همین دلیل برای بالا بردن برهمکنش گرافن و نور از نانوساختارهای بر پایه فلزات نجیب و دارای گریتنیگ استفاده می‌شود تا اولاً برانگیختی پلاسمون‌ها بیشتر شود و دوماً نانوساختارهای گرافنی با قابلیت آشکارسازی حاصل شود[۵,۴].

در ساختار مورد مطالعه همانطور که در شکل ۱ دیده می-شود یک لایه نقره در پایین‌ترین قسمت ساختار قرار دادیم، زیرا نقره دارای بیشترین زمان واپاشی دامنه پلاسمون‌های سطحی است. سپس نانو روبانهای طلا با پهنای ۱۰۰ نانومتر و فاصله ۵۰ نانومتر از یکدیگر روی تک لایه‌ای از گرافن که توسط دو لایه ۱ و ۲ نانومتری h-BN به ترتیب در بالا و پایین آن، ساندویچ شده است قرار داده شده است. قرار دادن یک لایه h-BN بین گرافن و نانو روبان‌های طلا از افت پلاسمون‌های سطحی تشکیل شده جلوگیری می‌کند و قرار دادن یک لایه دیگر از h-BN در زیرگرافن طول عمر پلاسمون‌های تشکیل شده را افزایش میدهد. در انتها یک لایه حساس، روی کل ساختار پوشانده شده و میزان حساسیت پلاسمون‌های سطحی نسبت به ضریب شکست این لایه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور موج الکترومغناطیسی تخت با قطبش TM(مد های TE پلاسمون‌های سطحی را برای این ساختار تشکیل نمی-دهند) تحت زاویه تابش Ø به ساختار تابیده شده است.



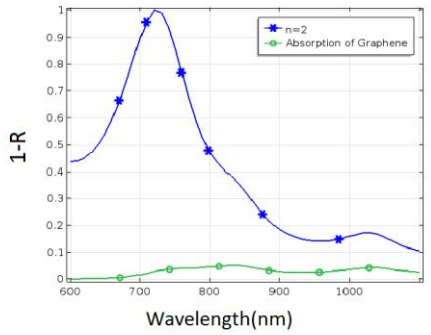
شکل ۱. شمایی از ساختار فتونیک کریستال یک بعدی متشکل از نانو روبان‌های طلا، در مجاورت گرافن ساندویچ شده بین دو لایه h-BN که بر روی بستری از نقره قرار گرفته و لایه حساس بر بالای آن واقع شده است.

۳- بحث و بررسی نتایج

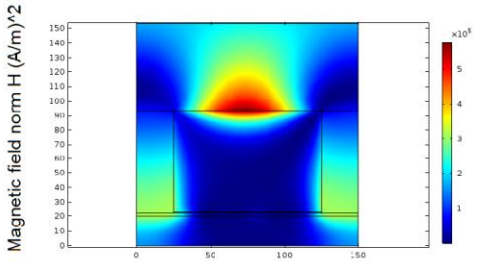
پتانسیل بالقوه گرافن در بالا بردن بازدهی سیستم‌های اپتیکی، ما را بر آن داشت تا به بررسی پلاسمون‌های سطحی گرافنی در سیستم‌های نانواپتیکی در بازه طول موج فروسرخ و مرئی بپردازیم. با محاسبه ضریب جذب گرافن و ضریب خاموشی ساختار طول موج پیک‌های تشدید پلاسمون‌های سطحی را پیدا کرده و سپس اثر تغییرات ضریب شکست لایه حساس بر روی جابه‌جایی طول موج تشدید بررسی می‌گردد.

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

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

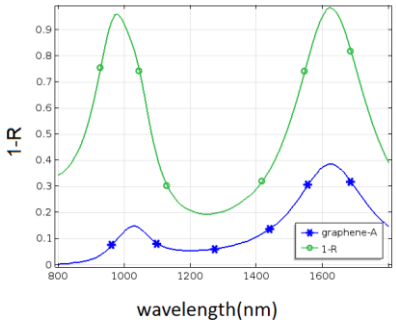


شکل 2-الف

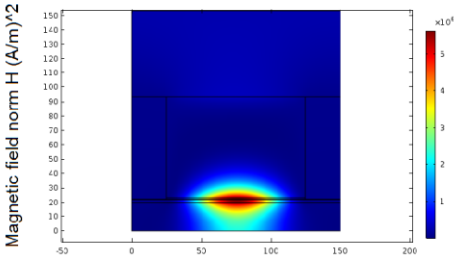


2-ب

شکل ۲-الف مقایسه جذب گرافن(نمودار سبز) و خاموشی ساختار (نمودار آبی) بر حسب طول موج ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ را نشان می‌دهد شکل ۲-ب نمودار شدت میدان مغناطیسی بر حسب محور y در طول موج بیشترین مقدار خاموشی سیستم برای ضریب شکست n=۲ هستند.



شکل 3-الف



3-ب

شکل ۳-الف مقایسه جذب گرافن(نمودار سبز) و خاموشی ساختار (نمودار آبی) بر حسب طول موج ۸۰۰تا ۱۸۰۰ را نشان میدهد شکل ۳-ب نمودار شدت میدان مغناطیسی بر حسب محور y در طول موج بیشترین مقدار خاموشی سیستم برای ضریب شکست n= ۳ هستند.

در شکل ۲ الف، نمودار آبی رنگ، خاموشی سیستم (1-R) را در مقایسه با نمودار سبز رنگ که جذب گرافن است، نشان می‌دهد. به ازای ضریب شکست۲ =n لایه حساس، ضریب خاموشی سیستم دارای پیکی در طول موج ۷۲۰nm و مقداری نزدیک به یک است و در این طول موج جذب گرافن مقدار بسیار کمی دارد. برای پیدا کردن دلیل بالا بودن ضریب خاموشی، شدت میدان مغناطیسی را در طول موج ۷۲۰ بر حسب مکان رسم می کنیم (شکل ۲ب و ۲ج)، همانطور که مشاهده می شود پلاسمون‌های سطحی در مرز بین طلا و لایه حساس تشکیل شده‌اند.

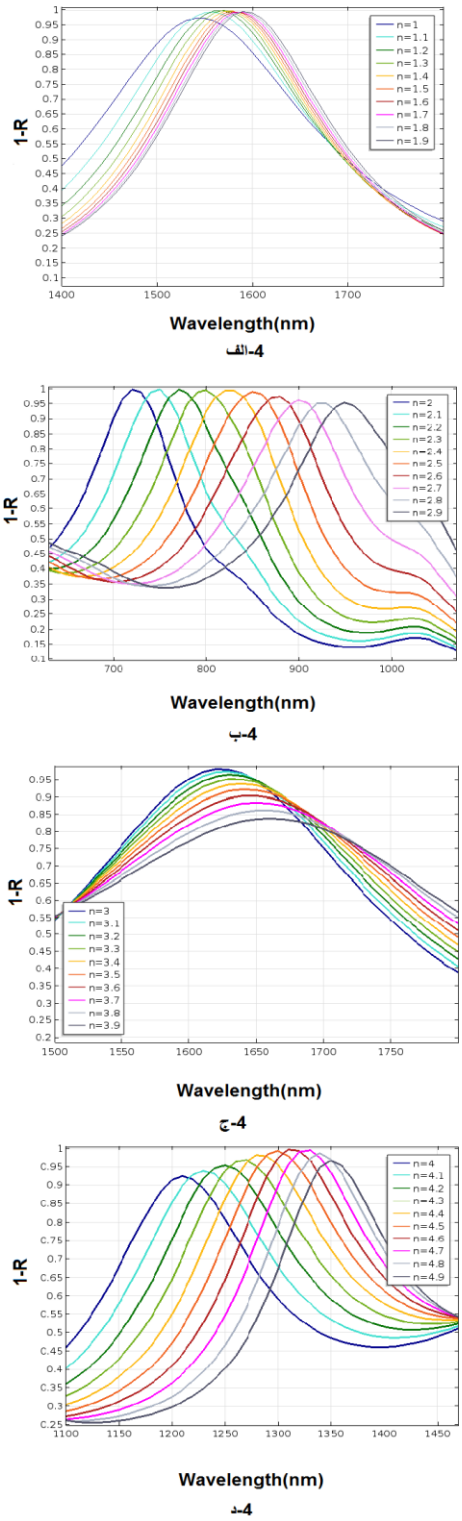
به منظور بررسی اثر تغییر ضریب شکست بر چگونگی تشکیل پلاسمون های سطحی، ضریب خاموشی و ضریب جذب گرافن را به ازای۳ =n رسم می‌کنیم(شکل ۳الف). مشاهده می‌کنیم، درضریب خاموشی دوپیک تشدید ایجاد می شود که به ازای طول موج ۱۶۲۰nm علاوه بر پیک در ضریب خاموشی، ضریب جذب گرافن نیز بیشینه می شود. با رسم نمودار شدت میدان مغناطیسی بر حسب مکان (شکل ۳ب) دیده می‌شود پلاسمون‌های سطحی در مرز طلا و گرافن ایجاد شده اند .

تشخیص ضریب شکست در یک سنسور مبتنی بر فوتونیک کریستال، بر اساس خواص نوری آن فوتونیک کریستال و ویژگی‌های پلاسمون‌های سطحی بنا گذاشته شده است. طول موج تشدید می‌تواند بوسیله تنظیم پارامترهای نوری پلاسمون‌های سطحی من جمله ضریب شکست، عوض شود[۶].

به منظور بررسی حساسیت پلاسمون‌های سطحی نسبت به مواد مختلف، با تغییر ضریب شکست لایه حساس، ضریب خاموشی سیستم رسم شده است و مشاهده می‌شود پیک-های تشدید پلاسمون‌ها به ازای تغییرات کوچکی در ضریب شکست، شیفت پیدا می‌کنند. لذا به منظور بررسی میزان حساسیت سیستم، ضریب حساسیت $S=\Delta\lambda/\Delta n$ را معرفی می‌کنیم که نشان دهنده میزان شیفت طول موج پیک پلاسمون‌های سطحی به ازای تغییرات ضریب شکست است و هرچه این ضریب بزرگتر باشد، سنسور حساس‌تر است.

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

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



شکل ۴-رسم نمودار خاموشی سیستم پیشنهادی برحسب طول موج، برای تغییرات ضریب شکست از n=۱ تا۲ =nشکل۴-الف.برای n=۲ تا n=۳ شکل۴-ب. برای n=۳ تا n=۴ شکل۴-ج و برای n=۴ تا n=۵ شکل ۴-د.

با محاسبه این کمیت برای ضریب شکست‌های n=۱ الی n= ۵ به ازای Δn=۰,۱ (شکل های ۴-الف الی ۴-د)، درمی-یابیم این کمیت به ازای ضریب شکست‌های بین n= ۲ تا n= ۳ بیشترین میزان خود بین ۲۰۰ الی ۳۰۰ را دارد. این میزان حساسیت برای بازه‌های ضریب شکستی n=۴ تا n=۵ ،مقدار نسبتا خوب ۱۰۰ الی ۲۰۰ و به ازای ضریب شکست های n=۱ تا n= ۲ و n=۳ تا n=۴ کمترین میزان حساسیت (مقادیر ۰ الی ۱۰۰) به دست می‌آید.

۴- نتیجه‌گیری

با بررسی خواص اپتیکی سیستم، به محاسبه میزان حساسیت ساختار نسبت به ضریب شکست پرداخته‌ایم. مهم‌ترین نتایج بدست آمده از این قرار است: با استفاده از فوتونیک کریستال های ۱بعدی در مجاورت گرافن، پلاسمون‌های سطحی در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک ایجاد شد. همچنین ضریب جذب گرافن و ضریب خاموشی ساختار مورد بررسی قرار گرفت و بر اثر تشکیل پلاسمون های سطحی، میزان جذب گرافن تا ۱۸ برابر گرافن معلق افزایش یافت. با بررسی اثرات تغییر ضریب شکست ماده مورد آشکارسازی در ضریب خاموشی ساختار، طول موج-های تشدید پلاسمون‌های سطحی بدست آمد. با معرفی و محاسبه ضریب حساسیت در بازه ضریب شکستی n=1 الی n=5 برای ماده مورد آشکارسازی، مشاهده شد بیشترین حساسیت سیستم به ازای n=2 الی n=3 اتفاق می‌افتد، لذا باتوجه به میزان حساسیت بالای سیستم در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک، می‌توان از این ساختار برای اهداف سنسوری و بیوسنسوری برای مواد با ضریب شکست های ۲ الی ۳ استفاده کرد.

مراجع

۱. *Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. "The rise of graphene." Nature materials 6, no. 3 pp: 183-191,2007.*

۲. *Liedberg, Bo, Claes Nylander, and Ingemar Lunström. "Surface plasmon resonance for gas detection and biosensing." Sensors and actuators n0,4 pp: 299-304,1983.*

۳. *Constant, Thomas J., Samuel M. Hornett, Darrick E. Chang, and Euan Hendry. "All-optical generation of surface plasmons in graphene." Nature Physics 12, no. 2 pp: 124-127,2016.*

۴. *Huang, Shenyang, Chaoyu Song, Guowei Zhang, and Hugen Yan. "Graphene plasmonics: Physics and potential applications." Nanophotonics ,2016.*

۵. *Thongrattanasiri, Sukosin, Frank HL Koppens, and F. Javier Garcia De Abajo. "Complete optical absorption in periodically patterned graphene." Physical review letters 108, no. 4 pp: 047401, 2012.*

۶. *Chen, Ying, Jing Dong, Teng Liu, Qiguang Zhu, and Weidong Chen. "Refractive index sensing performance analysis of photonic crystal containing graphene based on optical Tamm state." Modern Physics Letters B 30, no. 04 pp: 1650030,2016.*

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

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