بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

شبیه سازی اثر تغییر لایه‌های گرافن بر طول موج تشدید و سوییپ پارامتر ضریب شکست برای مشاهده روند تغییرات عبور از نوار گرافنی

مریم حسینی، حمیدرضا فلاح، مرتضی حاجی محمود زاده و محمد ملک محمد

گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان

یک آرایه از نوار گرافنی در طیف فروسرخ میانی مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته است. مشاهده شد که تغییرات طول موج تشدید با تغییرات اندک غلظت آلایش نوارهای گرافنی قابل دست‌یابی است. شبیه سازی نشان می‌دهد که با تعدیل انرژی فرمی بین ۰/۲ الکترون ولت تا ۰/۲۵ الکترون ولت برای آرایش نوار های گرافنی ۴ لایه می‌تواند به شیفت طول موج ۰/۹۴ میکرومتر در مقایسه با ۰/۸۵ میکرومتر برای حالت تک لایه برسد. این چشم اندازها راه را برای دستگاه‌های فوق سریع مبتنی بر گرافن برای کاربردهای مادون قرمز و تراهرتز فراهم می‌سازد.

کلید واژه- طیف فروسرخ میانی، نوارهای گرافنی، طول موج تشدید

Simulation of the effect of graphene layers on resonance wavelength and sweep of the refractive index parameter to observe the process of changing in transmission from graphene ribbon

Maryam Hosseini, Hamidreza Fallah, Morteza Hajimahmoudzadeh and mohammad malekmohammad

Department of physics, University of Isfahan

An array of graphene ribbon has been studied and simulated in the mid-infrared spectrum. It was observed that change the wavelength of resonance with slight changes in the concentration of doping of graphene ribbons can be achieved. The simulation shows that by modulating the Fermi-energy between 0.2 ev and 0.25 ev for the arrangement of the 4-layer graphene ribbon, it could be 0.94 μm in the shift of the wavelength, compared to 0.85 μm for the state single layer. These outlook provide the way for graphene-based ultra-fast devices for infrared and terahertz applications.

Keywords: mid-infrared spectrum, graphene ribbons, resonance wavelength, terahertz waves

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

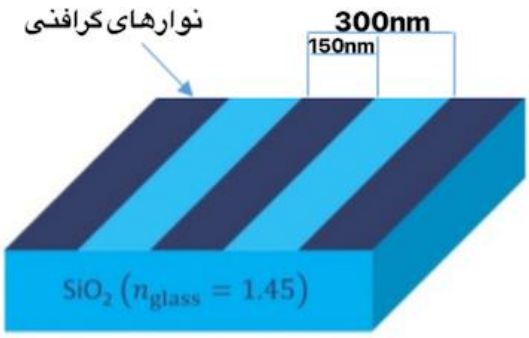
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱-مقدمه

اخیراً توجه علمی و تکنولوژی زیادی به طیف مادون قرمز میانی در محدوده ۲ تا ۲۰ میکرومتر نشان داده می‌شود. این محدوده طول موج، پتانسیل کاربردی زیادی را در زمینه‌های اپتیک و فوتونیک مثل طیف سنجی، پردازش مواد، سنجش شیمیایی و تشخیص انفجار از راه دور و سیستم‌های ارتباط مخفی فراهم کرده است [۱]. با توجه به ادغام با دستگاه‌های الکترونیکی و امکان طراحی دستگاه‌های با کنترل فعال بر روی رزونانس پلاسمون سطح در رابط‌های فلزی/دی الکتریک، ناحیه طیفی مادون قرمز میانی نیز برای مطالعه دستگاه‌های پلاسمونی مورد توجه است[۲]. با این حال، با توجه به تغییر نسبتا ضعیف ضریب شکست با بایاس الکتریکی، نیروی مکانیکی یا دما، دستگاه‌های پلاسمونی فعال معمولا عملکرد نوری پایین مانند توان مصرفی بالا یا زمان پاسخ کند را نشان می‌دهند. گرافن، یک لایه ی اتمی کربن در یک شبکه‌ی لانه زنبوری مانند، دارای بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی منحصر به فرد است و اخیرا برای مدارهای مجتمع نوری مورد بررسی قرار گرفته است. طول موج پلاسمون‌ها در گرافن بسیار کوچک است و بنابراین دارای طول عمر بزرگی هستند. چنین خصوصیاتی، گرافن را گزینه بسیار مناسبی برای کاربردهای نانو فوتونیک و نانو پلاسمونیک می‌کند. درضمن طیف فرکانسی پلاسمون‌ها در گرافن در حدود تراهرتز و محدوده میانی مادون قرمز است جایی که پلاسمون‌ها بر پایه فلزات معمولی نمی‌توانند تشکیل شوند. یکی دیگر از ویژگی‌های گرافن داشتن مدهای الکتریکی عرضی است که در فلزات و دی الکتریک‌های معمولی رخ نمی‌دهد [۳].

۲- بررسی و شبیه سازی آرایه نوار گرافنی و اعمال تغییرات غلظت لایه‌های گرافن

در اینجا نشان می‌دهیم که با افزایش سطح انرژی فرمی از ۰/۲ تا ۰/۲۵ الکترون ولت (افزایش غلظت حامل‌ها از ۲/۹ تا ۴/۶) می‌تواند منجر به تغییر قابل توجهی از طول موج تشدید پلاسمون سطحی شود. با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان تغییرات طول موج تشدید به عنوان عملکردی از تعداد لایه‌های گرافن را بررسی می‌کنیم. ساختار چند لایه به طول موج تشدید اجازه می‌دهد که یک شیفت آبی به سمت محدوده مادون قرمز نزدیک داشته باشد و امکان عملکرد آن را در آن محدوده طیفی فراهم می‌کند. بر این اساس از ساختار زیر برای شبیه سازی استفاده می‌کنیم.



شکل ۱: شماتیک پیشنهادی شبیه سازی به روشFDTD

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود ساختار دوره ای نوارهای گرافنی به گونه‌ای است که نسبت تناوب به عرض نوار ۲ است. نوارهای گرافنی بالای بستره سیلیکونی قرار گرفته است. برای اجازه دادن به دوپینگ از طریق جایجایی الکترواستاتیک، یا یک فیلم سیلیکونی یا یک فیلم ITO می-تواند به عنوان دروازه[۱] پایین در نظر گرفته شود. با دو لایه فلزی که به عنوان تخلیه و منبع عمل می‌کند. نور عمودی ورودی که به صورت عمود بر نانو نوار قطبیده شده است مورد استفاده قرار می‌گیرد تا حالت پلاسمون سطح را تحریک کند.

آرایه متناوبی از نوارهای گرافنی که توسط موج تخت تحریک شده، که موج به صورت عمود بر ساختار وارد شده است. نوارهای گرافنی در راستای y قرار گرفته اند، بنابراین شرط مرزی متناوب را در راستای y قرار می‌دهیم و در راستای x غیر متقارن[۲] انتخاب می‌کنیم. همچنین برای منبع نور، موج تخت[۳] با فرکانس ۱۵ تا ۴۵ THz (طول موج حدود ۷ تا ۲۰μm) را قرار می‌دهیم. دو مقدار پتانسیل شیمیایی اینجا در نظر گرفته شده است: ۰/۲۶۵و ۰/۲۱۷ الکترون ولت. مش بندی برای شناختن لایه‌های گرافن در حدود ۰,۰۰۲۵ میکرون در همه جهات برای dx, dy, dz در نظر گرفتیم.

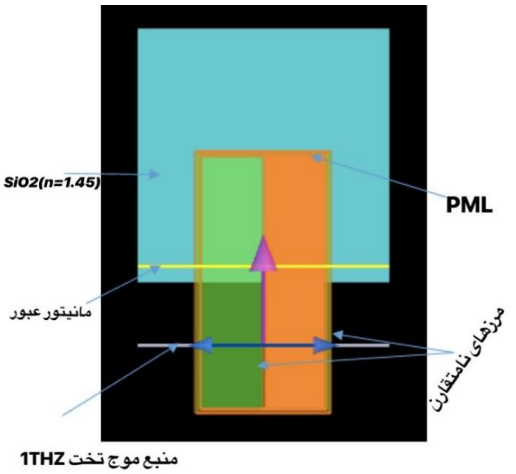
ساختاری که در فضای شبیه ساز طراحی کرده‌ایم به همراه شرایط مرزی قرار داده شده به صورت شکل ۲ می‌باشد.

---

[۱] gate
[۲] Antisymmetric
[۳] Plane wave

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



شکل۲: تنظیمات سه بعدی شبیه سازی FDTD

در دمای اتاق T=۳۰۰ و برای طول موج‌های مادون قرمز میانی، رسانایی تک لایه گرافن با عبارت شبه درود تقریب زده میشود:

$$\sigma \approx \frac{ie^2 E_F}{\pi\hbar^2(\omega + i\tau^{-1})} \quad (۱)$$

که ω فرکانس زاویه‌ای و τ زمان استراحت الکترون است که ۰/۳ پیکوثانیه بر اساس مقادیر معمول تحرک حامل‌ها، در نظر گرفتیم[4] . در ابتدا طول موج تشدید نوار تک لایه گرافن را به عنوان تابعی از پهنای نوار گرافنی و سطح فرمی بررسی شده است. تشدید طول موجی آرایه نوار گرافنی λ_0 از آنالیزهای شبه استاتیک نوشته می‌شود و به صورت زیر بیان می‌شود[۵, ۶]:

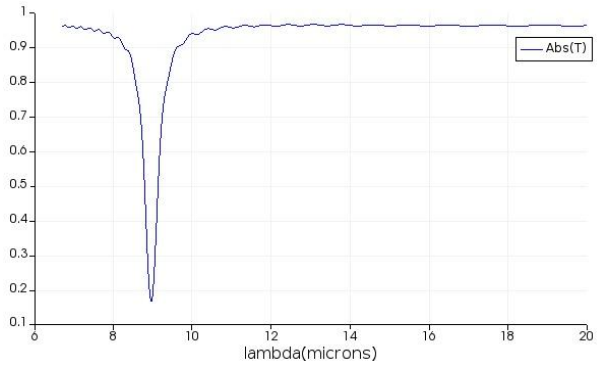
$$\lambda_0 \approx \frac{2\pi c\hbar}{e}\sqrt{\frac{\eta\varepsilon_{eff}\varepsilon_0\omega}{E_F}} \quad (۲)$$

که ε_{eff} گذر دهی موثر ناحیه اطراف نوار گرافنی و مقدار آن $\varepsilon_{eff} = (\varepsilon_{SiO_2} + 1)/2$ است. ثابت بدون بعد $\eta = 3.1$، پارامتر جفت سازی است که از شبیه سازی عددی استنباط میشود.

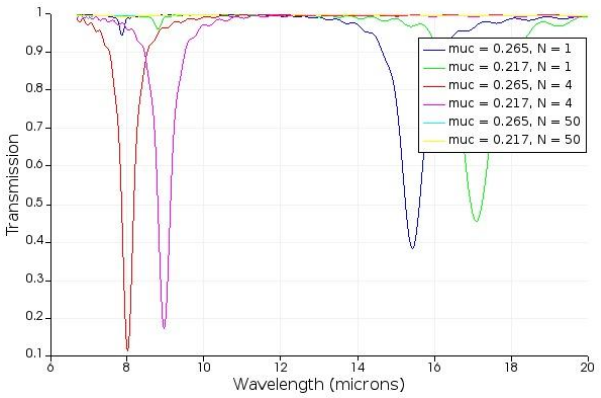
۳-نتایج شبیه سازی

نتایج حاصل از شبیه سازی به روش FDTD: همانطور که در ابتدا گفته شد هدف از این شبیه سازی به دست آوردن میزان عبور نور از میان آرایه تناوبی از نوارهای گرافنی است که روی یک لایه شیشه لایه نشانی شده است. میزان تغییرات عبور نور را بر حسب تغییرات تعداد لایه‌های گرافن بررسی می‌کنیم. این عملیات توسط اسکریپت نویسی با اعمال تغییرات لایه‌ها (N=1,4,50)و همچنین پتانسیل شیمیایی(۰/۲۶۵ و۰/۲۱۷ الکترون ولت) به دست می‌آید.

ابتدا میزان عبور نوار تک لایه گرافنی را نشان می‌دهیم.



آ)



ب)

شکل۳: نتیجه توان عبوری حاصل از شبیه سازی ۳ بعدی FDTD برای آ) یک لایه ب) مقایسه لایه های مختلف و پتانسیل شیمیایی

با توجه به نمودار به دست آمده در شکل۳، با افزایش تعداد لایه‌ها و پتانسیل شیمیایی، تشدید به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر حرکت می‌کند. هر یک از خط‌های نمودار شکل۳ با یک شبیه سازی با تنظیمات مش بندی و منبع نور یکسان به دست آمده است.

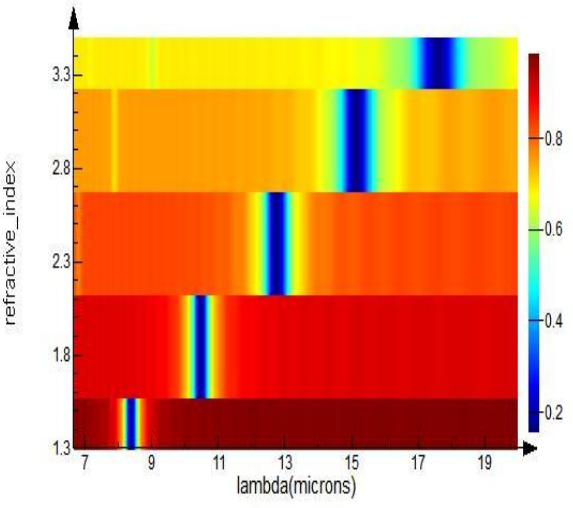
۴-سوییپ پارامتر ضریب شکست زیر لایه و مشاهده تغییرات میدان عبوری

با اعمال بازه برای ضریب شکست بررسی می کنیم که با تغییر زیر لایه شیشه با ضریب شکست (۱/۴۵) چه زیر لایه ای پاسخ بهتری به شرایط مطلوب ما می‌دهد. در شکل ۳ نمودار حاصل

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

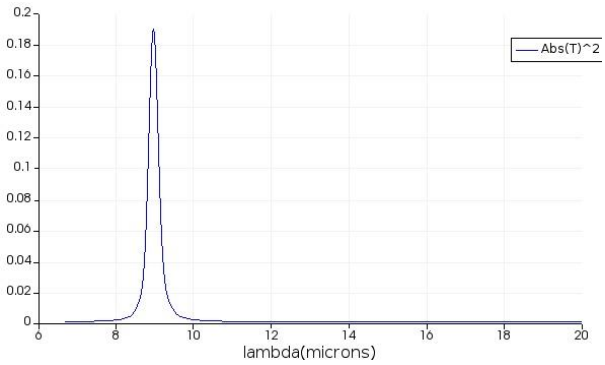
از سوییپ پارامتر n را آورده ایم. محدوده بررسی ضریب شکست را از ۱/۳ تا ۳/۵ در نظر گرفتیم و نمودار شکل۴ میزان عبور برای مواد مختلف برای زیر لایه را نشان می‌دهد.



شکل۴: تغییرات عبور در بازه طول موج شبیه سازی به نسبت تغییرات ضریب شکست زیر لایه های مختلف

۵-اندازه گیری بازتاب نوار تک لایه گرافنی

همچنین برای بررسی میزان بازتاب در تک لایه یک مانیتور شدت میدان قبل از منبع نور قرار می‌دهیم و نتیجه بازتاب را مشاهده می‌کنیم. شکل۵ نمودار بازتاب را برای تک لایه نوار گرافنی نشان می‌دهد.



شکل۵: نمودار بازتاب نوار تک لایه گرافنی

۶- به دست آوردن مقدار حداکثر عبور

در انتها یک آنالیزگر برای به دست آوردن حداکثر میزان عبور تعریف کردیم و دستور T_max را برای آن نوشتیم تا بتوانیم مقدار ماکزیمم را به دست آوریم. که مقدار آن دقیقا برابر ۰/۹۶۶۶۷۹ می‌باشد.

۷-نتیجه گیری

همانطور که مشاهده شد با افزایش تعداد لایه‌های گرافن میزان عبور نور کاهش می‌یابد و همچنین تغییرات پتانسیل شیمیایی نشان می‌دهد که با افزایش پتانسیل شیمیایی میزان عبور افزایش می‌یابد. در قسمت تغییرات ضریب شکست هم مشاهده شد که با استفاده از زیرلایه-هایی با ضریب شکست بالاتر میزان عبور به سمت طول موج‌های بلندتر شیفت پیدا می‌کند.

مراجع

[1] R. Soref, Mid-infrared photonics in silicon and germanium, Nature photonics, 4 (2010) 495.
[2] R. Heinz, Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings, New York, DOI (1988).
[3] H.-S. Chu, C. How Gan, Active plasmonic switching at mid-infrared wavelengths with graphene ribbon arrays, Applied Physics Letters, 102 (2013) 231107.
[4] T. Stauber, N. Peres, F. Guinea, Electronic transport in graphene: A semiclassical approach including midgap states, Physical Review B, 76 (2007) 205423.
[5] A.Y. Nikitin, AY Nikitin, F. Guinea, FJ García-Vidal, and L. Martín-Moreno, Phys. Rev. B 84, 161407 (2011), Phys. Rev. B, 84 (2011) 161407.
[6] L. Ju, L. Ju, B. Geng, J. Horng, C. Girit, M. Martin, Z. Hao, HA Bechtel, X. Liang, A. Zettl, YR Shen, and F. Wang, Nat. Nanotechnol. 6, 630 (2011), Nat. Nanotechnol., 6 (2011) 630.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

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