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

طراحی جاذب فراماده چند بانده و تنظیم پذیر مبتنی بر گرافن در محدوده تراهرتز

پریسا پورپارس، سعید گل محمدی هریس
دانشگاه تبریز

خلاصه- در این مقاله یک جاذب فراماده سه بعدی در حوزه تراهرتز با استفاده از گرافن الگو شده طراحی شده است. با استفاده از خاصیت تنظیم پذیری هدایت سطحی گرافن، قابلیت تنظیم پذیری در ساختار جاذب با تغییر پتانسیل شیمیایی امکان پذیر است. نتایج شبیه سازی جذب بیش از ۹۵٪ در سه باند وسیع در حوزه تراهرتز به ترتیب در طول موج های $\lambda=31/5\ \mu m$ و $\lambda=37/2\ \mu m$ و $\lambda=51\ \mu m$ را نشان می‌دهد. جاذب از آرایه گرافنی الگو شده متناوب بر روی لایه ای از طلا که با دی الکتریک ضخیم از جنس SiO_2 جدا شده است، شکل یافته‌است. به دلیل تقارن چهار قسمتی الگوی گرافنی مورداستفاده، جذب ساختار ارائه شده ، مستقل از قطبش می‌باشد که در حوزه تراهرتز هم می تواند در سنسور ها و سیستم های سویچینگ به کار برده شود.

کلمات کلیدی- پتانسیل شیمیایی، تنظیم پذیری، جاذب، گرافن

Design of Tunable Metamaterial Absorber Based on Graphene in Terahertz Frequency Range

Parisa.pourpars, Saeed.golmohammadi
Parisa.pourpars96@ms.tabrizu.ac.ir
Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir

Abstract- In this article a three dimensional metamaterial absorber in terahertz frequency range has been designed using of patterned Graphene. By using the tunability of surface conductivity in Graphene and changing the chemical potential the tunability is possible in the absorber. The simulation results shows about 95% absorption in three broad bands in $\lambda=31/5\mu m$, $\lambda = 37/2\ \mu m$ and $\lambda=51\ \mu m$ in the terahertz range. The structure absorber is composed of Graphene Array on top of the Gold separated by SiO2 thick dielectric layer. Finally, because of four-fold symmetry in the structure, polarization independent absorption for this structure is achieved, where proposed structure can be employed in sensors and switching systems.

Keywords- Absorber, Chemical Potential, Graphene , Tunable.

۱-مقدمه

اولین جاذب کامل فراماده در محدوده فرکانسی میکروویو توسط لندی و همکارانش نشان داده‌شد[۱]. طراحی جاذب های کامل فرلماده پس از مدتی با تبدیل مقیاس به محدوده فرکانسی تراهرتز منتقل شد[۲].

بسیاری از جاذب های موج الکترومغناطیس رایج نیازمند ضخامت حداقل λ_0 /۴ هستند، که λ_0 طول موج مرکزی نور تابشی است. با این حال، جاذب های فراماده ابزار کارآمدی برای کاهش این ضخامت فراهم می کنند[۳].

گرافن، تک لایه ای از اتم های کربن چیده شده در شبکه لانه زنبوری[۴،۵،۶] کاربردهای زیادی در زمینه

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

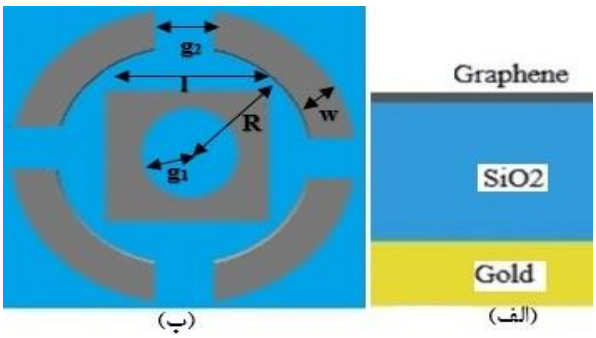
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

پلاسمونیک و فراماده در فرکانس های تراهرتز و فروسرخ دارد]۴،۵،۶[. خواص مکانیکی، الکترونیکی، نوری، و حتی حرارتی گرافن با تزریق شیمیایی و اعمال سیگنال الکتریکی قابل تنظیم است[۴،۷،۸]. گرافن یک نیم‌رسانای نازک اتمی است، که چگالی الکترون، و بنابراین فرکانس پلاسمای آن خیلی کمتر از فلزات نجیب است. در نتیجه، گرافن می‌تواند پلاسمون-پلاریتون‌های سطحی را همانند یک فلز نجیب پشتیبانی کند، در حالی که فرکانس کاری آن خیلی کمتر ازفلزات و در محدوده تراهرتز و فروسرخ است[۴،۹]. در نتیجه گرافن برای استفاده در فراماده در بازه تراهرتز گزینه‌ای مطلوب است [۱۰].

اغلب پژوهش ها بر روی جاذب های فراماده ای تک-باندی انجام یافته‌اند، و تحقیقات به ندرت جاذب‌های فراماده‌ای چند-بانده و باند وسیع را شامل می‌شوند[۱۱].

در این مقاله، یک جاذب مبتنی بر آرایه گرافن طراحی و به صورت تئوری بررسی شده‌است. نتایج شبیه سازی دستیابی به جذب تقریبا واحد در سه باند جذبی در محدوده ۳ تا ۱۰ تراهرتز نشان می‌دهد و قله جذب آن ها به دلیل تنظیم پذیری هدایت گرافن می‌تواند با تغییر سطح فرمی تغییرکند. جاذب ارائه شده به دلیل تقارن ساختار غیر حساس به قطبش است و می‌تواند جذب سه-بانده تقریبا کامل را در یک محدوده وسیع از زوایای فرودی نگه دارد.

۲-ساختار و روش ها



شکل ۱: (الف) نمایش لایه های سه گانه ساختار. (ب) نمایش گرافن الگو شده

شکل۱ سلول واحد ساختار جاذب متشکل از آرایه ای متناوب از تک لایه گرافنی الگو یافته بر روی لایه ای از طلا که با یک لایه ضخیم SiO_2 از جدا شده است را نشان می‌دهد. در شکل ۱-(الف) تصویر سه بعدی ساختار نشان داده شده است. شکل ۱-(ب) دید از بالای یک واحد سلولی و پارامترهای هندسی ساختار را نشان می‌دهد. ضخامت SiO_2 و طلا به ترتیب با t_{sio2}، t_{Au} نشان داده شده است.

گرافن به دلیل ضخامت تک-اتمی، می‌تواند به عنوان سطح بی نهایت نازک در نظر گرفته شود. مناسب‌ترین پارامتر برای مشخص کردن خواص الکترومغناطیسی گرافن با ساختار باند الکترونیکی بدون شکاف، رسانایی آن است. از این رو ورقه گرافنی با رسانایی سطحی مدل می‌شود[۱۲]. در این جا، آرایه گرافنی می تواند با استفاده از رسانایی سطحی مدل شود[۱۱]:

$$\sigma(\omega,\mu_c,\tau) = -\frac{e^2\mu_c}{\pi\hbar^2}\frac{i}{\omega+i/\tau} \qquad (۱)$$

در اینجا i ضریب واحد موهومی، e- واحد بار الکترون، ħ ثابت پلانک کاهش یافته، ω فرکانس زاویه ای نور فرودی و τ زمان واهلش الکترون-فونون می‌باشد. هدایت سطحی گرافن به صورت دینامیکی در طول موج های مختلف با تغییر سطح فرمی و زمان واهلش تغییر می‌کند. می توان τ و μ_c را با تزریق شیمیایی، بایاس ولتاژ ورودی یا پمپ نوری[۱۱] میزان جذب و طول موج قله‌های رزونانسی جاذب طراحی شده را تنظیم کرد.

در ادامه، ساختارهای ارائه شده و عملکرد جذبی آن ها ارائه و با فیزیک چندگانه نرم افزار لومریکال مبتنی بر روش المان محدود بررسی خواهد شد. در محیط شبیه‌سازی در جهت-x و-y شرایط مرزی پریودیک اعمال می شود، و در جهت –z شرایط مرزی لایه جذبی کاملا تطبیق شده به کار می رود. شبکه غیر یکنواخت برای تضمین دقت شبیه سازی های عددی به کار برده شده-است. مطابق با بقاء انرژی، جذب می‌تواند از طریق A =۱-R-T به دست آید، که در آن R بازتاب و T انتقال است. چون ضخامت فیلم طلای استفاده شده خیلی بزرگ تر از عمق پوستی نمونه است، انتقال را می‌توان نادیده گرفت. پس، T= 0 همیشه در این ساختار برقرار است، و عبارت A =۱-R در مبحث نتایج شبیه سازی استفاده

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

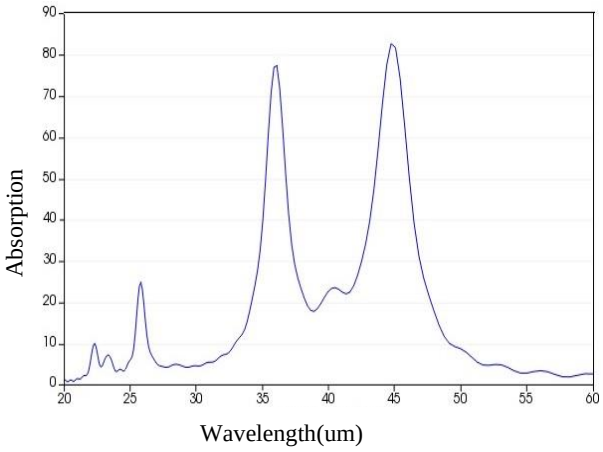
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

می‌شـــود. بنابراین، اگر R = ۰ باشـــد، جذب کامل A = ۱ خواهد بود[۱۱].

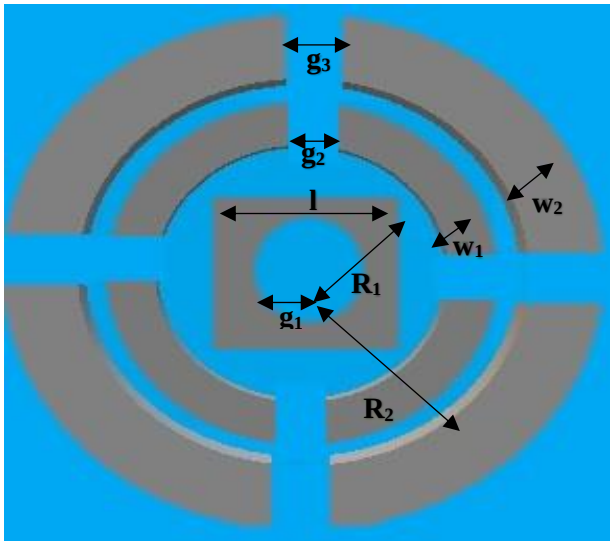
۳- بحث ونتایج

عملکرد جذبی ساختار نشان داده شده در شکل ۱ تحت تابش عمودی در شکل ۲ رسم شده‌است. پس از تغییرات در پارامترهای ساختار و سعی و خطا ، پارامتر های هندسی به ترتیب، $P= \quad ۳\mu m$ ،$T_{SiO2} = ۴/۷\ \mu m$ و $T_{Au} = ۰/۴۵\ \mu m$ به دست آمده است. ثابت دی الکتریک نسبی SiO2 و رسانایی طلا به ترتیب $\epsilon_r = ۳/۹$ و $\sigma_{Au} = ۴/۷ \times 10^7\ S/m$ هستند[۱۱].

طیف جذبی ساختار در شکل ۲ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده از راه سعی و خطا به صورت $g_1 = ۰/۰۵\mu m$ ، $l = ۰/۶\mu m$ ، $R = ۰/۶۵\mu m$ ، $w = ۰/۴۵\mu m$ و $g_2 = ۰/۵\mu m$ انتخاب شده اند.



شکل ۲: طیف جذبی ساختار شکل ۱-(ب) که در طول موج های $\lambda= ۴۴/۷\ \mu m$ و $\lambda= ۳۵/۸۴۶\ \mu m$ دو قله جذبی ۸۰٪ مشاهده می‌شود.

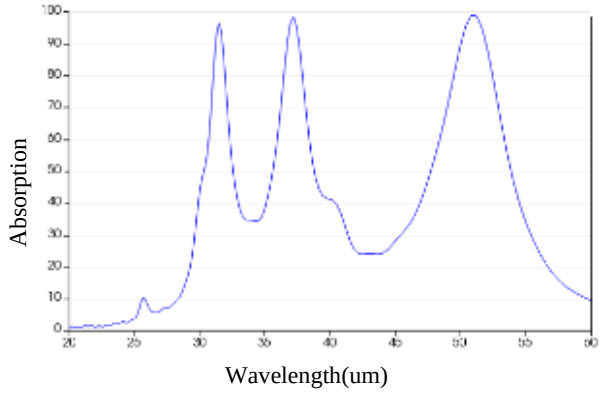


شکل ۳: نمایش گرافن الگو شده با دو رینگ

جهت بهبود جذب مطابق شـــکل ۳ یک رینگ دیگر به سـاختار اضـافه می‌کنیم. طیف جذبی سـاختار در شـکل ۴ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده از راه سعی و خطا در شـــکل ۳ عبارتند از: $g_1 =۰/۰۵\mu m$ ، $R_1 = l = ۰/۶\mu m$ ،۰/۶۵μm ، $w_1 = ۰/۴۵\mu m$ و $g_2 = ۰/۵\mu m$، $g_3 =۰/۴۲۷۵\mu m$ ، $R_2 = ۰/۶۵\mu m$ و $w_2 = ۰/۳۷۷۵\mu m$.

با مشـاهده طیف جذبی در می‌یابیم که در سـه باند وسـیع جذب تقریباً ۱۰۰٪ به دست آمده‌است.

رزونانس پلاسمون های سطحی محلی تشکیل شده در ســـطح گرافن بخشـــی از انرژی فرودی را در لایه SiO_2 نزدیک گرافن جذب می‌کند.



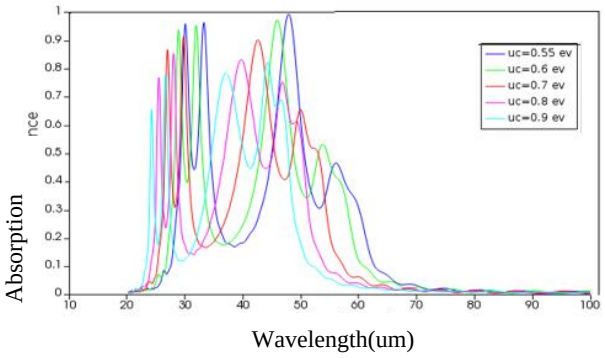
شکل ۴: طیف جذبی ساختار شکل. ۳ که در طول موج های = ؟ μm ۳۱/۵ و $\lambda= ۳۷/۲\ \mu m$ و $\lambda= ۵۱\ \mu m$ سه قله جذب باند وسیع تقریباً ۱۰۰٪ مشاهده می‌شود.

هر دو رزونانس الکتریکی و مغناطیســی منجر به حبس

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

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

و اتلاف انرژی الکترومغناطیسی فرودی می‌شوند [۱۱]. در شکل ۵ نتایج حاصل از تغییر پتانسیل شیمیایی و ثابت زمانی گرافن نشان داده شده است. مشاهده می‌کنیم که به ازای $\mu_c = ۰/۵۵$ ev بیش ترین جذب را داریم و با افزایش و کاهش پتانسیل شیمیایی طول موج رزونانس شیف می‌کند و شرایط تطبیق امپدانس به امپدانس فضای آزاد از بین می رود و درنتیجه جذب کاهش می‌یابد.



شکل ۵. طیف جذبی ساختار شکل ۳ در مقادیر مختلف پتانسیل شیمیایی

طیف جذبی ساختار برای تابش TM و TE به دلیل تقارن ساختار الگو شده طیف جذبی تقریبا مستقل از زاویه تابش می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

به طور خلاصه، یک جاذب سه بانده پریودیک با جذب نزدیک به ۱۰۰٪ در حوزه تراهرتز با حلقه‌های شکاف‌دار گرافن الگو شده بر روی دی الکتریک SiO_2 که روی لایه طلا قرار گرفته است، ارائه شد. نتایج نشان می دهد که در سه طول موج رزونانسی شرایط تطبیق امپدانس فراهم و جذب کامل به دست می‌آید. همچنین تنظیم پذیری جاذب با تغییر پتانسیل شیمیایی نشان داده شد. در نهایت به دلیل تقارن ساختار جذب مستقل از قطبش به دست آمد.

۵- مرجع

[1] Landy, N. I., Sajuyigbe, S., Mock, J. J., Smith, D. R., & Padilla, W. J. (2008). Perfect metamaterial absorber. Physical review letters, 100(20), 207402.

[2] Tao, H., Landy, N. I., Bingham, C. M., Zhang, X., Averitt, R. D., & Padilla, W. J. (2008). A metamaterial absorber for the terahertz regime: design, fabrication and characterization. Optics express, 16(10), 7181-7188.

[3] Cheng, Y., Yang, H., Cheng, Z., & Wu, N. (2011). Perfect metamaterial absorber based on a split-ring-cross resonator. Applied Physics A, 102(1), 99-103.

[۴] Boltasseva, A., & Atwater, H. A. (2011). Low-loss plasmonic metamaterials. Science, 331(6015), 290-291.

[5] Morozov, S. V., Novoselov, K. S., Geim, A. K., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... & Mussell, J. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. Science (New York, NY).

[6] Novoselov, K. S., Jiang, D., Schedin, F., Booth, T. J., Khotkevich, V. V., Morozov, S. V., & Geim, A. K. (2005). Two-dimensional atomic crystals. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(30), 10451-10453.

[7] Jablan, M., Buljan, H., & Soljačić, M. (2009). Plasmonics in graphene at infrared frequencies. Physical review B, 80(24), 245435.

[8] Bonaccorso, F., Sun, Z., Hasan, T., & Ferrari, A. C. (2010). Graphene photonics and optoelectronics. Nature photonics, 4(9), 611.

[9] Neto, A. C., Guinea, F., Peres, N. M., Novoselov, K. S., & Geim, A. K. (2009). The electronic properties of graphene. Reviews of modern physics, 81(1), 109.

[10] He, X., Yao, Y., Zhu, Z., Chen, M., Zhu, L., Yang, W., ... & Jiang, J. (2018). Active graphene metamaterial absorber for terahertz absorption bandwidth, intensity and frequency control. Optical Materials Express, 8(4), 1031-1042.

[11] Zhang, J., Tian, J., & Li, L. (2018). A dual-band tunable metamaterial near-unity absorber composed of periodic cross and disk graphene arrays. IEEE Photonics Journal, 10(2), 1-12.

[12] Shi, Y., & Zhang, Y. (2018). Design of Graphene-Based Metamaterial Absorber and Antenna. In Metamaterials and Metasurfaces. IntechOpen.

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

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