بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۶-۲۶۰-۱۰-A

جاذب دو بانده تنظیم‌پذیر شامل دوره‌ای از ضربدرها، تشکیل‌شده از بیضی‌وارهای گرافنی

محمدکاظم باقری، مهدی حسینی، مهدی بهادران

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

***hosseini@sutech.ac.ir**

چکیده: در اینجا یک ساختار سه بعدی جاذب مناسب برای ایجاد یک پروفایل جذب دو باندی پیشنهاد دادیم. این ساختار به صورت سیلیکن/طلا/ سیلیکا می‌باشد که در سطح آن طرحواره گرافن به صورت ضربدرهای بیضی شکل قرار گرفته است. این ساختار قادر به جذب بالای ۹۹٪ از نور فرودی در دو طول موج در ناحیه تراهرتز است. این ساختار با تغییر پارامترهای هندسی قابلیت تنظیم پذیری درمیزان جذب و طول موج‌های مختلف را داراست. از این قابلیت می‌توان جهت ساخت ردیاب‌های نوری، سنسورهای شیمیایی و دیگر ادوات اپتیکی استفاده شود.

کلیدواژه- پلاسمون سطح، جذب دوباندی، گرافن ، روش المان محدود

Tunable Double-Band Absorber Consists of Crossed Ovalsof Graphene

Mohammad Kazem Bagheri, Mehdi Hosseini, Mahdi Bahadoran
Dept. of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
***hosseini@sutech.ac.ir**

Abstract:In this paper, a three-dimensional double-bandabsorbent structure is proposed. This structure consists of silicon/gold/silica, and graphenepatternsin the form of crosses ovals on top of them. The results show that this structure absorbs over 99% of the incoming light at two wavelengths in the THz range. The absorption peaks and theirwavelengths could be tuned by changing the geometrical parameters. This propertycould beused to fabricateoptical detectors, chemical sensors and other optical devices.

Keywords: Surface Plasmon, Graphene, perfect absorber, FEM

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

مقدمه

افزایش و تنظیم‌پذیری جذب نور یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مهم است، که محققان در سالهای اخیر بر آن تمرکز کرده‌اند. اهمیت این موضوع به دلیل کاربرد زیاد جاذب‌ها در قطعات اپتیکی مانند سنسورهای فتوالکتریکی و سلول‌های خورشیدی است. [۱, ۲]

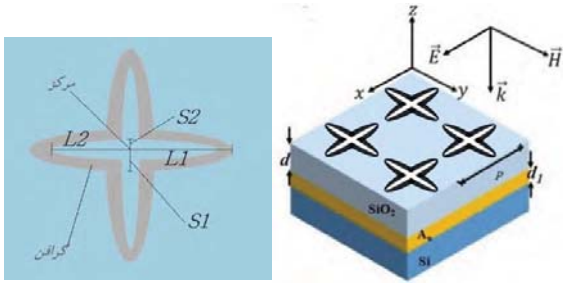
در سال‌های گذشته تشدید پلاسمون سطحی که روشی پرکاربرد در تجمع الکترون‌ها در سطح فلز یا دی‌الکتریک برای افزایش جذب نور می‌باشد، نقش بسیار اساسی در بهبود تحقیقات در جذب نور ایفا کرده است. یکی از موادی که از تشدید پلاسمون سطحی پیروی می‌کند گرافن است. گرافن یک ساختار دو بعدی از اتم‌های کربن است که به صورت لانه زنبوری کنار هم قرار گرفته‌اند، بعد از کشف گرافن در سال ۲۰۰۴ و یافتن خواص اپتیکی گرافن تحقیقات زیادی در مورد کاربردهای نوری گرافن انجام شده است.[۳, ۴]

جذب یک لایه گرافن در ناحیه مرئی یا نزدیک فروسرخ به شدت کم است. اما در ناحیه فراسرخ و تراهرتز به دلیل تشدید پلاسمون سطحی جذب نور می‌تواند افزایش یابد. [۵] این فرایند می‌تواند ویژگی‌های خاصی مانند محدودیت شدت میدان مغناطیسی، کاهش عبور نور، قابلیت تنظیم‌پذیری زیاد را رقم بزند.[۶] اخیرا تعداد زیادی تحقیقات در مورد اثر پلاسمون اشکال مختلف و دوره‌های گرافن مانند دوره‌ای از دیسک، دایره، صلیب و تکیه‌های نامنظم گرافن، مورد بررسی قرار گرفته است، که نشان می‌دهد تشدید پلاسمون سطح (SPP) می‌تواند جذب نور را افزایش دهد[۷].

اخیرا بررسی ساختارهای مختلف سه بعدی با اشکال مختلف گرافن در ناحیه تراهرتز مورد بررسی قرار گرفته است[۵]، ما در این مقاله یک ساختارسه بعدی سنتی سیلیکا/طلا/سیلیکن را در نظر گرفتیم و طرح ضربدر طراحی شده از بیضی‌وارهای گرافن را روی سطح سیلیکا طراحی کردیم و نشان دادیم، این ساختار باعث دو جذبی کامل در ناحیه تراهرتز می‌شود.

ساختار هندسی

شکل ۱ (الف) طرح‌واره ساختار سه بعدی پیشنهاد شده برای این مقاله مشاهده می‌شود. در این ساختار یک لایه گرافن به صورت صلیب‌هایی تشکیل شده از دو بیضی بزرگ با بازویL1 و S1 و کوچک با بازوی L2 و S2 تشکیل شده است. گرافن روی یک ساختار سیلیکن/طلا/سیلیکا قرار داده شده است. شکل ۱ (ب)نماشی از صفحه x-y ساختار می‌باشد که مولفه‌های هندسی ساختار گرافن در آن مشخص شده است. ضریب گذردهی سیلیکن در این ساختار ۳/۹ در نظر گرفته شده است. یک موج تخت نرمال در جهت z به ساختار تابانده شده است. این محاسبات به روش المان محدود (FEM) انجام شده است.[۸]



شکل ۱ (الف) ساختار ارائه شده برای مقاله (ب) طرح واره گرافن L1 وS1 به ترتیب بازوی بزرگ وکوچک بیضی بزرگ و L2 و S2 بازوی بزرگ وکوچک بیضی کوچک

روش شبیه‌سازی گرافن

گرافن توسط فرمول کوبو شبیه‌سازی می‌شود و دارای دو بخش انتقال درون‌نواری و بین‌نواری می‌باشد. رسانندگی کل در گرافن به صورت جمع دوبخش رسانندگی انتقال درون-نواری و بین‌نواری تعریف می‌شود، در ناحیه تراهرتز

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

و مادون قرمز قسمت درون نواری ساختار غالب است به طوری که می‌توان بخش انتقال بین‌نواری را در نظر نگرفت که منجر به ساده شدن رسانایی سطحی به مدل درود می‌شود.[۹]

$$\sigma_g(\omega)=\frac{e^2E_F}{\pi\hbar^2}\left[\frac{j}{\omega+j\tau^{-1}}\right] \quad (۱)$$

در اینجا E_F پتانسیل شیمیایی می‌باشد و در طول محاسبات ۰/۹ الکترون‌ولت در نظر گرفته شده است. $\hbar$ ثابت پلانک، e بار الکتریکی، K_B ثابت بولتزمن، τ زمان واهلش و j عدد موهومی است.

رابطه بنیادی بین رسانندگی و گذردهی به صورت زیر تعریف می‌شود:[۱۰]

$$\varepsilon_g(\omega)=1-\frac{j\sigma_g(\omega)}{\varepsilon_0\omega d} \quad (۲)$$

ε_0 ثابت دی الکتریک خلا می‌باشد و d ضخامت لایه گرافن که در این مقاله یک در نظر گرفته شده است.

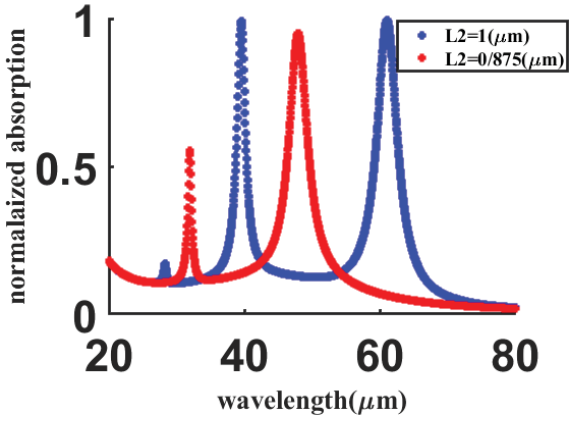
با توجه به حضور طلا، فرض بر این بنا شده عبور نور در ساختار صفر است پس با توجه به فرمول A=1-R در صورتی که انعکاس صفر شود جذب کامل انجام می‌شود. که A جذب و R بازتاب ساختار می‌باشد.

بحث و نتایج

گرافن در این مقاله به صورت صلیب‌هایی درست شده از بیضی‌هایی، که بیضی بزرگ دارای بازوی بزرگ L1=۱ میکرومتر و بازوی کوچک S1=۴۰۰ نانومتر و بیضی کوچک دارای بازوی بزرگ L2=۰/۸۷۵ میکرومتر و بازوی کوچک S2=۱۰۰ نانومتر می‌باشد. عرض سلول واحد P=۲۴۵۰ نانومتر در نظر گرفته شده است و ضخامت طلا به اندازه d1=۴۵۰ نانومتر و ضخامت سیلیکا d=۴/۲ میکرومتر در نظر گرفته شده است. زمان واهلش سیستم ۱ پیکوثانیه و زاویه نور فرودی صفر درجه با قطبش TM است.

شکل ۲ نمودار جذب این ساختار را برای طول موج ورودی بین ۲۰ تا ۸۰ میکرومتر را نشان می‌دهد، این ساختار قادر به جذب ۹۹/۸٪ از نور فرودی درحالتی که L2=۱ میکرومتر باشد. با این فرض در دو ناحیه فرکانسی ۳۹/۵ و ۶۱/۱ میکرومتر جذب کامل است.

همچنین این ساختار در حالتی که L1=۰/۸۷۵ میکرومتر در ناحیه ۴۸ میکرومتر جذب بیشتر از ۹۵٪ است، اما در پیک اول افت جذب اتفاق می‌افتد. با این نمودار قابلیت تنظیم‌پذیری جذب در این ساختار را می‌توان نتیجه گرفت. با مقایسه این نتایج با مرجع شماره [۱۱] مشخص است که است که جذب کامل در این ساختار حفظ شده است اما طرح‌واره بیضی قابلیت شیفت پیک دوم از ۳۰ میکرومتر به ۶۱ میکرومتر و شیفت پیک اول از ۲۵ میکرومتر به ۴۰ میکرومتر را داراست.

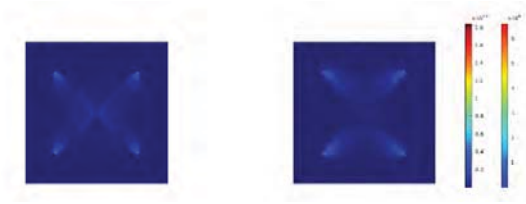


شکل ۲) نمودار جذب ساختار، در دو حالتی که بازوی بزرگ بیضی کوچک ۰/۸۷۵ و ۱ میکرومتر است.

شکل ۳ (الف) توزیع میدان در این ساختار برای طول موج ۳۹/۵میکرومتر و شکل ۳ (ب)توزیع میدان برای طول موج ۶۱/۱ میکرومتر برای حالتی که L2=۱ میکرومتر است، را نشان می‌دهد.کاملا مشخص است جذب اول قسمت بالای

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

پرهای بیضی را درگیر می‌کند و جذب دوم قسمت پایین بیضی را درگیر می‌کند.



شکل ۳(الف) توزیع میدان در ۳۹/۵ میکرومتر، (ب). توزیع میدان در ۶۱/۱ میکرومتر.

نتیجه‌گیری

در این مقاله جاذب کامل سه بعدی تنظیم‌پذیر با دوره ای از تک لایه گرافن روی ساختار سیلیکا/طلا/سیلیکن به شکل ضربدر تشکیل‌شده از بیضی را در نظر گرفتیم. این ساختار باعث جذب کامل دو طول موج در ناحیه تراهرتز شده است.همچنین تنظیم‌پذیری جذب ساختار مورد بررسی قرار گرفت و با مقایسه نتایج با نتایج مقاله مرجع نتیجه شد، در صورتی که از بیضی به جای مستطیل استفاده شود می‌توان یک شیفت چند ده میکرومتری در جذب دو باندی داشت. به طور کلی با تغییر طرح گرافن، جذب از ناحیه ای به ناحیه ای دیگر تغییر یافت.

مرجع‌ها

1. P.-Y.Chen, and A. Alu, Atomically thin surface cloak using graphene monolayers. ACS nano, 5(7): p. 5855-5863.2011.
2. M.D. Kelzenberg, et al., Enhanced absorption and carrier collection in Si wire arrays for photovoltaic applications. Nature materials, 9(3): p. 239-244.2010.
3. T. Low, and P. Avouris, Graphene plasmonics for terahertz to mid-infrared applications. ACS nano, 8(2): p. 1086-1101.2014.
4. S.A. Maier, *Plasmonics: fundamentals and applications*. Springer Science & Business Media.2007.
5. A. Nikitin,et al., Edge and waveguide thz surface plasmon modes in graphene micro-ribbons. Phys. Rev. B. 84(16): p. 1401-1408.2012.
6. K.S. Novoselov, et al., Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. nature, 438(7065): p. 197-200.2005.
7. K.S. Novoselov,et al., Electric field effect in atomically thin carbon films. science, 306(5696): p. 666-669.2004.
8. B. Zhu,et al., Tunable absorption in a dielectric–graphene–metal groove-grating absorber. Optics Communications, 2013. 308: p. 204-210.
9. F. Wang, et al., Rabi oscillations of plasmonic supermodes in graphene multilayer arrays. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 23(1): p. 125-129.2016.
10. C.M. Watts,X. Liu, and W.J. Padilla, Metamaterial electromagnetic wave absorbers. Advanced materials, 24(23): p. OP98-OP120.2012.
11. Z. Yi, et al., Tunable dual-band perfect absorber consisting of periodic cross-cross monolayer graphene arrays. Results in Physics, 13: p. 102217.2019.

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