



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 : ۲-۲۴۷۱-۱۰-A

جاذب پلاسمونیک دوبانده تنظیم پذیر با استفاده از گرافن دولایه

سامان حیدری، نجمه نزهت

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شیراز

Sa.Heidari@sutech.ac.ir, nozhat@sutech.ac.ir

چکیده- در این مقاله، یک جاذب ایده آل پلاسمونیک دوبانده تنظیم پذیر متشکل از نانودیسک گرافنی مربعی و آرایه L-شکل گرافنی بررسی شده است. با انتخاب پتانسیل شیمیایی ۱ eV، دو قله جذب ۱۰۰٪ و ۹۹/۶٪ با پهنای باند ۲۴۵ nm و ۳۸۷ nm به ترتیب در طول موج های ۱۱/۴۹ μm و ۱۴/۸۴ μm مشاهده می شود که به دلیل تحریک و تقویت پلاسمون های سطحی گرافن است. جذب در طول موج های کمتر و بیشتر به ترتیب مربوط به تحریک پلاسمون های سطحی نانودیسک گرافنی و آرایه L-شکل گرافنی است و دولایه گرافن تزویجی با یکدیگر ندارند. جاذب پیشنهادی می تواند در کاربردهایی مانند مدولاتورها، حسگرها و آشکارسازها استفاده شود.

کلید واژه- پتانسیل شیمیایی، پلاسمون سطحی، جاذب دوبانده، گرافن

Tunable Dual-band Plasmonic Absorber Utilizing Two-layer Graphene

Saman Heidari, Najmeh Nozhat

Department of Electrical Engineering, Shiraz University of Technology

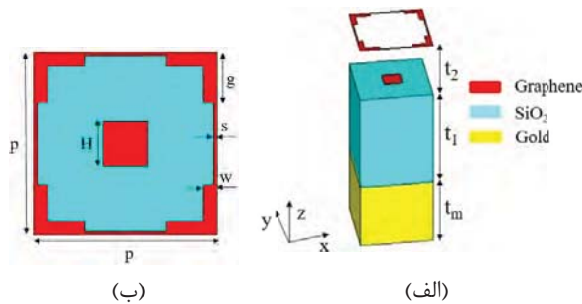
Sa.Heidari@sutech.ac.ir, nozhat@sutech.ac.ir

Abstract- In this paper, a tunable dual-band plasmonic perfect absorber composed of square graphene nanodisk and graphene L-shaped array is investigated. By choosing the chemical potential of 1eV, two absorption peaks of 100% and 99/6% with the bandwidths of 245 nm and 387 nm, respectively, at the wavelengths of 11.49 μm and 14.84 μm are achieved, which are due to the excitation and enhancement of surface plasmons of graphene. Absorptions at low and high wavelengths are related to the excitation of surface plasmons of graphene nanodisk and graphene L-shaped array, respectively. The proposed absorber can be also be used in more applications such as modulators, sensors and detectors.

Keywords: Chemical potential, Graphene, Dual-band absorber, Surface plasmon.

ساختار جاذب پیشنهادی

در شکل (۱) یک سلول واحد از ساختار جاذب پیشنهادی نشان داده شده است. جاذب متشکل از یک نانودیسک گرافنی مربعی و یک آرایه L-شکل گرافنی است که توسط لایه دی‌اکسید سیلیکون (SiO_2) از هم جدا شده‌اند. کل ساختار بر روی یک لایه SiO_2 و زیرلایه طلا (Au) قرار گرفته است. به منظور اعمال ولتاژ برای تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن، آرایه L-شکل به کمک سیم‌های گرافنی به هم متصل شده‌اند.



شکل ۱: نمای (الف) سه بعدی و (ب) دید از بالای یک سلول واحد جاذب پیشنهادی. $t_m=1000 \text{ nm}$, $t_2=300 \text{ nm}$, $t_1=1500 \text{ nm}$, $p=400 \text{ nm}$, $g=110 \text{ nm}$, $s=8 \text{ nm}$, $w=30 \text{ nm}$, $H=100 \text{ nm}$.

ضریب رسانندگی طلا برابر $\sigma = 4.56 \times 10^7 \text{ S/m}$ [۴] و ضریب گذردهی الکتریکی SiO_2 ، $\epsilon_r = 3/9$ [۵] انتخاب شده است. رسانایی گرافن در حالت کلی از فرمول کوبو محاسبه می‌شود که شامل قسمت‌های انتقال درون بانندی و انتقال بین بانندی است. در محدوده فرکانسی فرسوخ دور می‌توان از انتقال بین بانندی صرف نظر نمود. بنابراین، با در نظر گرفتن انتقال درون بانندی، رسانایی گرافن از رابطه زیر به دست می‌آید [۲]:

$$\sigma_g = \frac{e^2 \mu_c}{\pi \hbar^2} \frac{j}{\omega + j\tau^{-1}} \quad (1)$$

که e بار الکترون، μ_c پتانسیل شیمیایی گرافن، \hbar ثابت پلانک کاهش یافته، ω فرکانس زاویه‌ای و τ زمان استراحت است. در این مقاله، μ_c و τ به ترتیب برابر eV (ps) و

مقدمه

پلاسمونیک بخشی از علم نانوفوتونیک است که به بررسی چگونگی متمرکز شدن میدان‌های الکترومغناطیسی در ابعاد طول موج یا کمتر از آن می‌پردازد و مبتنی بر برهم‌کنش بین امواج الکترومغناطیسی با الکترون‌های آزاد فلز است. پلاسمون‌ها به سه دسته پلاریتون پلاسمون سطحی^۱، پلاسمون سطحی محلی^۲ و پلاسمون حجمی^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. SPPها تحریک‌های الکترومغناطیسی هستند که در فصل مشترک فلز و عایق منتشر می‌شوند و در جهت عمود بر سطح میرا می‌شوند. ساده‌ترین ساختار برای تحریک SPP، مرز یکنواخت و صاف بین رسانا و عایق است [۱].

گرافن، یک ساختار تک لایه از اتم‌های کربن است و به دلیل خواص منحصر به فرد حامل‌هایش توجه زیادی را به خود جلب کرده است. زمانی که پتانسیل شیمیایی گرافن از نصف انرژی فوتون بیشتر باشد، انتقال درون بانندی در باند هدایت غالب شده و گرافن به صورت یک فلز رفتار می‌کند. SPP به دلیل رفتار فلزی گرافن در بازه فرکانسی تراهرتز و یا پایین‌تر قابل مشاهده است، اما در فرکانس‌های نوری به دلیل رفتار عایقی گرافن، قابل دست‌یابی نیست [۲]. گرافن می‌تواند در کاربردهای مختلفی مانند مدولاتورها [۳] و حسگرها [۴] مورد استفاده قرار گیرد.

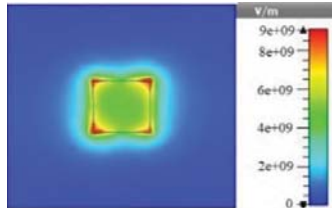
در این مقاله با استفاده از گرافن دولایه، یک جاذب ایده‌آل پلاسمونیک تنظیم‌پذیر دوبانده در محدوده فرکانسی فرسوخ دور طراحی و شبیه‌سازی شده است. همچنین تاثیر پارامترهای هندسی و پتانسیل شیمیایی بر روی طیف جذب ساختار بررسی شده است.

¹Surface Plasmon Polariton (SPP)

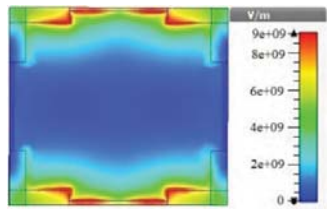
²Localized Surface Plasmon (LSP)

³Volume Plasmon (VP)

تشدید اول به سمت طول موج‌های بزرگتر جابه‌جا شده و جذب ایده‌آل به‌ازای $H=100\text{ nm}$ به دست می‌آید. اما تغییر طول نانودیسک تاثیری بر روی میزان جذب و طول-موج تشدید دوم ندارد.

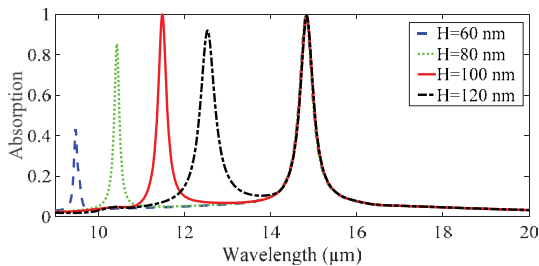


(الف)



(ب)

شکل ۳: توزیع اندازه میدان الکتریکی در طول موج‌های (الف) $11/49\ \mu\text{m}$ و (ب) $14/84\ \mu\text{m}$



شکل ۴: طیف جذب ساختار به‌ازای تغییر طول نانودیسک مربعی

در شکل (۵) تاثیر طول گرافن L-شکل (g) بر روی طیف جذب بررسی شده است. شرایط تشدید گرافن L-شکل را می‌توان مطابق رابطه زیر بیان کرد [۲]:

$$2K_{SP}L_{eqv} + 2\delta = 2p\pi \quad (۲)$$

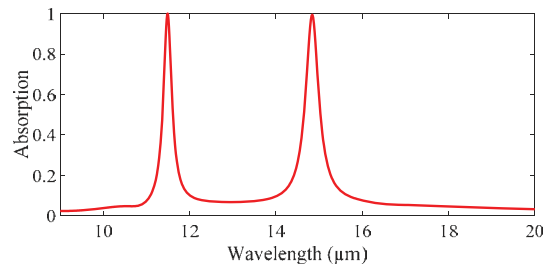
که $K_{SP} = \frac{2\pi n_{sp}}{\lambda_m}$ ، ضریب شکست SPP، λ_m طول-موج تشدید، L_{eqv} طول تشدید معادل، و δ تغییر فاز در انتهای بازوهای افقی است. زمانی که طول موج نور تابشی بیشتر از g باشد، p یک در نظر گرفته می‌شود.

۱۶ است. همچنین، ضخامت لایه گرافن در شبیه‌سازی-ها ۱ nml در نظر گرفته شده است.

نتایج شبیه‌سازی

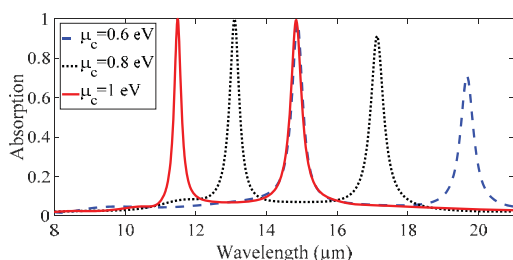
یک موج صفحه‌ای با قطبش میدان الکتریکی x در جهت z -به‌صورت عمودی به ساختار تابیده می‌شود. میزان جذب ساختار با استفاده از رابطه $A=1-R-T$ به دست می‌آید، که R میزان بازتاب و T میزان انتقال ساختار است. به دلیل اینکه ضخامت زیرلایه طلا بیشتر از عمق پوستی فلز در باند فرسرخ دور است، میزان انتقال صفر است.

شکل (۲) طیف جذب ساختار را نشان می‌دهد. دو قله جذب ایده‌آل در طول موج‌های $11/49\ \mu\text{m}$ و $14/84\ \mu\text{m}$ مشاهده می‌شود. نانودیسک مربعی و آرایه L-شکل گرافنی باعث تحریک و تقویت پلاسمون‌های سطحی شده و در نتیجه جذب ۱۰۰٪ به دست آمده است. توزیع اندازه میدان الکتریکی ساختار در طول موج‌های تشدید در شکل (۳) رسم شده است. مشاهده می‌شود که جذب در طول-موج $11/49\ \mu\text{m}$ به دلیل تحریک SPP در نانودیسک مربعی شکل گرافنی است و یک چهارقطبی شکل گرفته است. همچنین، جذب در طول موج $14/84\ \mu\text{m}$ به دلیل تحریک SPP در آرایه L-شکل گرافنی است. تزویجی بین نانودیسک مربعی و آرایه L-شکل وجود ندارد و بنابراین تغییر ضخامت لایه SiO_2 بین آن‌ها تاثیری دولایه تاثیری بر روی تزویج بین آن‌ها ندارد.



شکل ۵: طیف جذب ساختار پیشنهادی

در شکل (۴) طیف جذب ساختار به‌ازای تغییر طول نانودیسک مربعی (H) نشان داده شده است. با افزایش H ،



شکل ۷: طیف جذب ساختار به‌ازای تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن

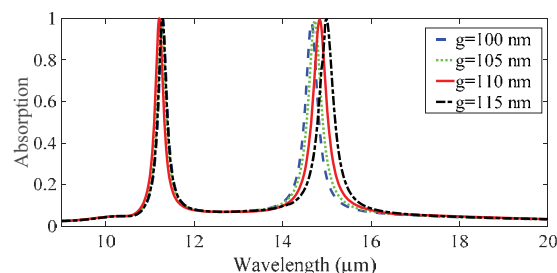
نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک جاذب پلاسمونیک تنظیم‌پذیر دوبانده مبتنی بر گرافن در محدوده فرکانسی فرورسرخ دور طراحی، شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. دو قله جذب ۱۰۰٪ در طول‌موج‌های $14/84 \mu\text{m}$ و $11/49 \mu\text{m}$ مشاهده شد که به ترتیب مربوط به تحریک و تقویت پلاسمون‌های سطحی گرافن در نانودیسک مربعی و آرایه L-شکل گرافنی هستند. ساختار پیشنهادی تنظیم‌پذیر بوده و با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن طول‌موج جذب تغییر می‌کند. همچنین تاثیر پارامترهای هندسی ساختار بر روی طیف جذب ساختار بررسی شد.

مرجع‌ها

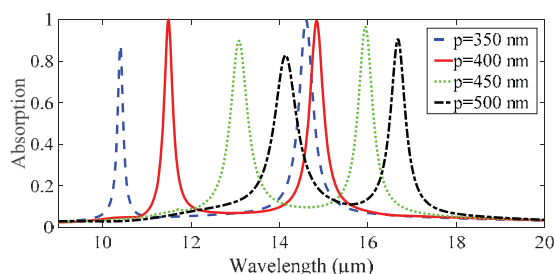
- [1] F. Babaei, M. Javidnasab, and A. Rezaei, "Supershape nanoparticle plasmons," *Plasmonics*, vol. 13, pp. 1491–1497, 2018.
- [2] D. Wu, M. Wang, H. Feng, et al., "Independently tunable perfect absorber based on the plasmonic in double-layer graphene structure," *Carbon*, Vol. 155, pp. 618-623, 2019.
- [3] V. Marinova, S. H. Lin, S. Petrov, et al., "Graphene-based spatial light modulator operating at near infrared spectral range," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 472, pp. 2-9, 2019.
- [4] M. Nejat and N. Nozhat, "Ultrasensitive THz refractive index sensor based on a controllable perfect MTM absorber," *IEEE Sensors J.*, Vol. 19, pp. 10490-10497, 2019.
- [5] Z. Yi, C. Liang, X. Chen, et al., "Dual-band plasmonic perfect absorber based on graphene metamaterials for refractive index sensing application," *Micromachines*, Vol. 10, pp. 443-2-11, 2019.

تشدید دوم مربوط به گرافن L-شکل است و با افزایش طول گرافن، به دلیل افزایش طول تشدید معادل، به سمت طول‌موج‌های بزرگتر جابه‌جا می‌شود.



شکل ۵: طیف جذب ساختار به‌ازای تغییر طول گرافن L-شکل

در شکل (۶) تاثیر دوره تناوب ساختار بر روی طیف جذب بررسی شده است که با افزایش دوره تناوب، به دلیل کاهش تزویج بین گرافن‌های مجاور، جذب کاهش می‌یابد. در شکل (۷) می‌توان نتایج حاصل از تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن (μ_c) بر روی طیف جذب را مشاهده نمود، که با افزایش μ_c به دلیل افزایش چگالی حامل‌ها جذب بیشتر می‌شود و ساختار دارای قابلیت تنظیم‌پذیری است. همچنین به دلیل کاهش ضریب شکست موثر ساختار، طول‌موج جذب کاهش می‌یابد. چنانچه پتانسیل شیمیایی گرافن کمتر از $0/6 \text{ eV}$ انتخاب شود، مقدار جذب کاهش می‌یابد.



شکل ۶: طیف جذب ساختار به‌ازای تغییر دوره تناوب ساختار