

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



حسگر اپتیکی بر پایه شفافیت القایی پلاسمونی در فراماده گرافنی

عبدالرسول قرائتی'، جمال ایزدشناس جهرمی

^۱استاد گروه فیزیک دانشگاه پیام نور، تهران، agaraati@pnu.ac.ir

^۲دانشجوی ارشد فیزیک دانشگاه پیام نور، تهران، <u>vahidizadshenas@gmail.com</u>

چکیده – در این کار به حل عددی یک ساختار فرامواد متشکل از گرافن پرداخته میشود که در آن دو میله گرافنی بـر روی یـک دیالکتریک قرارگرفتهاند. درواقع برهمکنش مخربی که بین دو مد پلاسمونی روشن–تاریک در این ساختار ایجاد میشود منجر بـه ایجاد شفافیت القایی در پاسخهای طیفی میشود. برای مشاهده پنجره روشن از شکست تقارن در ساختار استفاده شده است. علاوه بر این با تغییر ولتاژ ورودی گرافن یا تغییر در آلایش شیمیایی گرافن میتوان محدوده این روزنه روشن را کنترل کرد کـه محـدوده مادونقرمز دور را پوشش میدهد. بنابراین از دو طریق شکست تقارن در ساختار برابر با ۲۰۱۳م. ایجاد میشود. ضریب شکست نور در این ساختار برابر با ۳۶۱/۳ است و حساسیت این ساختار برابر با U

كليد واژه- شفافيت القايى پلاسمونى، شفافيت القايى الكترومغناطيسى، حسكر، گرافن، كنترل پذيرى

Optical sensor based on plasmon induced transparency in metamaterial graphene

Abdolrasoul Gheraati¹, Jamal Izadshenas Jahromy² ¹Professor of Department of Physics, Tehran, <u>agharaati@pnu.ac.ir</u> ²Student of physics, Tehran, <u>vahidizadshenas@gmail.com</u>

Abstract- In this work, considers the numerical solution of a metamaterials structure consisting of graphene in which two graphene bars are on a dielectric. Actually, the destructive interaction occurred in this structure between the two bright-dark plasmonic modes leads to stimulated transparence in spectral responses. In fact, observe induced transparency by symmetry breaking in structure. Furthermore, controls the scope of this clear aperture by changing the graphene input voltage and changes in the chemical doping of graphene covered the far infrared range. So, in two ways, resonance range controls which are that symmetry breaking in structure and chemical potential. Reduce of group velocity is order of 361.3 and sensitivity of this structure calculated as 20 um/RIU. Results show that graphene metamaterials may offer new possibilities for applications in optical switches, light slowing and biosensors.

Keywords: Plasmon Induced Transparency (PIT), Electromagnetically Induced Transparency (EIT), Sensors, Graphene, Tunablity.

مقدمه

شفافيت القايي الكترومغناطيسي(EIT) يك اثر كوانتومي است که در سیستمهای اتمی رخ میدهد و باعث کاهش جذب در محیط می شود. روش های متفاوتی برای ایجاد EIT معرفی شده است که از سیستمهای نوسانی کلاسیک استفاده شده است همانند: استفاده از تشدید کنندههای ميكرو و جريانهاى الكتريكي است[1]. شفافيت القايي پلاسمونی روشی جدید برای ایجاد پدیده شبه EIT است که بهتازگی توجه زیادی را به خود جلب کرده است و کاربردهای همچون طراحی حسگرها، ذخیرهسازی اطلاعات، مبدل قطبش، كليدهاى اپتيكى و مدولاتورها دارد. شفافیت القایی پلاسمونی با در کنار هم قرار گرفتن مدهای تاریک روشن پلاسمونی صورت می گیرد. درواقع برهمکنش مخربی که از این دو مد تاریک و روشن ایجاد مى شود پديده شفافيت القايى پلاسمونى (PIT) را ايجاد می کند که باعث کاهش جذب و ایجاد نور کند در نانو ساختارها می شود [۲].

توانایی کنترل محدوده فرکانسی در ساختارهای فراموادی از اهمیت ویژهای برخوردار است. تابه حال ساختارهای زیادی برای روش PIT پیشنهادشده است که در بیشتر این ساختارها از فلزات نجیب همچون طلا و نقره استفادهشده است. روشهای متفاوتی برای ایجاد کنترل پذیری فرکانس تشدید وجود دارد که میتوان به مواد غیرخطی و کریستالهای مایع اشاره کرد. در کار حاضر ساختاری معرفی میشود که از گرافن به جای فلزات نجیب استفادهشده است. رفتار رسانندگی الکتریکی گرافن در مهم ترین ویژگیهای گرافن رسانندگی قابل کنترل آن است مهم ترین ویژگیهای گرافن رسانندگی قابل کنترل آن است که توسط پتانسیل شیمیایی یا تغییر ولتاژ قابل کنترل است. رسانندگی گرافن در غیاب میدان مغناطیسی از

الکتریکی گرافن شامل دو قسمت درون باندی و میان باندی است که در محدوده تراهرتزی سهم برهمکنشهای درون باندی غالب است که در زیر رسانندگی الکتریکی گرافن را مشاهده میکنیم[۳].

$$\sigma = \frac{j}{\omega + j/\tau} \frac{e^2 2k_B T}{\pi \hbar^2} \ln \left[2 \cosh \frac{\mu_c}{2k_B T} \right] \quad (1)$$

که در آن au آهنگ واهلش برای گذارها است، μ_c پتانسیل شیمیایی، T دما برحسب درجه کلوین، ω فرکانس زاویهای است. برای محاسبه تابع دیالکتریک گرافن از است. برای محاسبه میکنیم که در آن d ضخامت $\mathcal{E} = 1 + \frac{i\sigma}{\omega \varepsilon_0 d}$ گرافن استفادهشده در ساختار است.

هندسه و ساختار

در این ساختار پیشنهادی از دو میله از جنس گرافن استفاده شده است که بر روی یک بستر از جنس شیشه قرار دارد که ضخامت دو میله گرافنی ۱ nm و ضخامت زیر لایه ۱۰۰ nm است که در شکل(۱) مشاهده می شود. این ساختار به صورت دوره ای بوده و نور در راستای z بر آن می تابد [۴].



شکل ۱: شماتیک نانوساختار پلاسمونی

همان طور که از شکل(۱) مشخص است میله افقی با رنگ قرمز، مد روشن است و میله عمودی با رنگ زرد مد تاریک ساختار است. همان طور که قبلاً بحث شد برای تولید PIT اصلی ترین نقش را بر هم زدن تقارن در ساختار ایفا می کند. در این ساختار برای بر هم زدن تقارن از جابه جا کردن میله عمودی به سمت راست استفاده می کنیم. به این ترتیب که میله عمودی را با گام های mm ۵ به سمت

راست حرکت میدهیم و اثر بر هم زدن تقارن را در پاسخهای طیفی ساختار بررسی میکنیم. در ابتدا میله عمودی در مرکز میله افقی قرار دارد که تنها یک تک رزونانس در پاسخ طیفی آنها مشاهده میکنیم که نشان از جفتشدگی ضعیف بین دو میله گرافنی است اما در مرحله بعد میله عمودی را جابهجا میکنیم و اثر آن را در پاسخهای طیفی بررسی میکنیم.



شکل ۲: نمودارهای (الف)عبور (ب)جذب برای دو حالت متقارن و همراه با شکست تقارن در هندسه ساختار

همان طور که در شکل(۲) مشاهده می کنیم زمانی که میله عمودی در مرکز میله افقی قرار دارد تنها یک تک رزونانس مشاهده می شود اما با جابجا کردن میله عمودی یا به عبارتی بر هم زدن تقارن در هندسه ساختار مشاهده می شود که پدیده PIT در پاسخهای طیفی ظاهر می شود. همان طور که در شکل(۲) مشاهده می شود با شکست تقارن در ساختار جذب بهشدت کاهش پیدا میکند که یکی از ویژگیهای پدیده EIT است. برای توجیه این پدیده به بررسی توزیع میدانی الکتریکی در این ساختار می پردازیم. در ابتدا میله عمودی در مرکز میله افقی قرار دارد که همان طوری که در شکل (۳) قسمت (الف) مشاهده مىكنيم، در ابتدا ميله افقى به يك دوقطبى الكتريكي تبدیل شده است که دلیل بر وجود یک تک فرکانس در حالت S=0 است. شکل(۳) قسمت (ب) توزیعهای میدانی را برای حالت عدم تقارن نمایش میدهد که دو میله تشکیل یک چهار قطبی الکتریکی دادهاند. بنابراین برهمکنش مخربی که این دو مد روشن و تاریک ایجاد

می کنند پدیده PIT را در پاسخهای طیفی ایجاد می کند که باعث کاهش شدید جذب می شود. می توان نتیجه گرفت که برهم زدن تقارن در هندسه ساختار سبب تغییر در توزیعهای میدانی الکتریکی و تولید PIT می شود.



شکل ۳: توزیع میدان الکتریکی (الف) در حالت متقارن (ب) در حالت شکست تقارن

كنترل پذيرى محدوده تراهرتز

یکی از ویژگیهای فوقالعاده گرافن تغییرپذیر بودن رسانندگی الکتریکی گرافن است. در بازه تراهرتزی تغییرات پتانسیل شیمیایی بسیار چشمگیر است. درواقع تغییرات پتانسیل شیمیایی بهوسیله تغییر در ولتاژ ورودی یا تغییر در آلایشهای شیمیایی امکانپذیر است[۵].



شکل ۴: نمودار عبور بر حسب فرکانس با تغییر پتانسیل شیمیایی

در شکل(۴) با تغییر در پتانسیل شیمیایی یک انتقال فرکانسی در محدوده تراهرتزی مشاهده میشود چرا که با تغییر پتانسیل شیمیایی، چگالی حاملهای بار در گرافن تغییر میکند. این کاربرد بسیار مهمی برای گرافن محسوب میشود چون با یک ساختار گرافنی میتوانیم طیف وسیعی از محدوده فرکانسی را پوشش دهیم.

بررسی اثر کاهش سرعت گروه

یکی از ویژگیهای پدیده EIT کاهش سرعت گروه است[۱]. کاهش سرعت گروه نقش مهمی در ذخیرهسازی اطلاعات اپتیکی دارد. مثبت و منفی بودن ضریب گروه به نسبت به [۷] که مقدار ۹۲۸,۹ nm/RIU محاسبه شده است بسیار بالاتر است.

نتيجهگيرى

در کار حاضر یک ساختار فراموادی مبتنی بر گرافن معرفی شده است که با برهم زدن تقارن در هندسه ساختار، میزان جذب در فرکانس تشدید را به شدت کاهش داده و مقدار ان به کمتر از یک درصد رسیده است. همچنین با استفاده از قابلیتهای شگفت انگیز گرافن، محدوده تراهرتزی پوشش داده شده است. در مرحله بعد به بررسی تراهرتزی پوشش داده شده است. در مرحله بعد به بررسی سرعت گروه پرداخته شد که کاهش سرعت گروه از مرتبه سرعت گروه پرداخته شد که کاهش سرعت آن ترامتر محاسبه شد که مقدار حساسیت آن برابر با ۲۰ um/RIU

مرجعها

- [1] Y. Fan, T. Qiao, F. Zhang, Q. Fu, J. Dong, B. Kong, and H. Li; "An electromagnetic modulator based on electrically controllable metamaterial analogue to electromagnetically induced transparency" Scientific reports 7, (2017) 40441.
- [2] X. Zhao, C. Yuan, L. Zhu, and J. Yao; "Graphene-based tunable terahertz plasmon-induced transparency metamaterial" Nanoscale 8, No. 33, (2016) 15273-15280.
- [3] L. A. Falkovsky; "Optical properties of graphene" In Journal of Physics: Conference Series 129, No. 1, 012004, 2008.
- [4] C. Sun, J. Si, Z. Dong, and X. Deng; "Tunable multispectral plasmon induced transparency based on graphene metamaterials" Optics express 24, No. 11, (2016) 11466-11474.
- [5] J. Ding, B. Arigong, H. Ren, M. Zhou, J. Shao, M. Lu, Y. Chai, Y. Lin, and H. Zhang; "Tuneable complementary metamaterial structures based on graphene for single and multiple transparency windows" Scientific reports 4, (2014) 6128.
- [6] X. Shi, D. Han, Y. Dai, Z. Yu, Y. Sun, H. Chen, X. Liu, and J. Zi; "Plasmonic analog of electromagnetically induced transparency in nanostructure graphene" Optics express 21, No. 23, (2013) 28438-28443.
- [7] X. J. He, L. Wang, J. M. Wang, X. H. Tian, J. X. Jiang, and Z. X. Geng; "Electromagnetically induced transparency in planar complementary metamaterial for refractive index sensing applications" Journal of Physics D: Applied Physics 46, No. 36, (2013) 365302.

معنای کندی و تندی سرعت گروه است[۶]. سرعت گروه V_g معنای کندی و تندی سرعت گروه است $V_g = \frac{c}{N_g}$ محاسبه می شود که در آن V_g از طریق رابطه می مود و $V_g = \frac{c}{N_g}$ محاسبه می شود که در آن



شکل ۵: نمودار ضریب گروه برای حالت متقارن و شکست تقارن

در شکل(۵) در حالتی که ساختار در تقارن کامل است هیچ کاهش سرعت گروهی مشاهده نمیشود درصورتی که با از بین بردن تقارن در ساختار کاهش سرعت گروه از مرتبه ۳۶۱٫۳ مشاهده میشود که نسبت به [۲] که سرعت گروه از مرتبه ۱۱۰ کاهش می یابد بسیار قوی تر است.

بررسی اثر حسگر اپتیکی

یکی از ویژگیهای جالب فرامواد حساسیت آنها به ضریب شکست محیط اطراف هست که به آن قابلیت طراحی حسگرهای وابسته به ضریب شکست میدهد[۷].



محيط اطراف

همان طور که در شکل(۶) مشاهده می شود ساختار را درون آب و گلوکز با ضریب شکست های مشخص قرار داده ایم و نمودار عبور و حساسیت این نانو ساختار را محاسبه کردیم که حساسیت این نانوساختار برابر با ۲۰ um/RIU است که