

طراحی فیلتر اپتیکی چند کانال بر پایه بلورهای فوتونی یک بعدی با لایه های گرافنی

حسینی، حسین؛ جعفری، اکبر؛ بک کشی زاده سمیه

گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده

در این مقاله، فیلتر اپتیکی چند کانالی بر پایه بلورهای فوتونی یک بعدی با لایه های گرافنی مورد بررسی قرار گرفته است. روش بررسی بر پایه ماتریس انتقال می باشد. در حالت لایه نقص دوگانه، دو مد نقص در ناحیه گاف براگ و یک مد نقص در ناحیه گاف القایی گرافن ظاهر می شود. با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن، تغییر زاویه تابش و تغییر تعداد لایه های نقص، مدهای نقص در ناحیه گاف به سمت فرکانس های متفاوت شیف می یابند. بنابراین با این تغییرات می توان به یک فیلتر تنظیم پذیر چند کانالی رسید.

کلید واژه - بلورهای فوتونی، مد نقص، نانو لایه گرافن، فیلتر نوری، روش ماتریس انتقال.

The design of multi-channel optical filter based on one-dimensional photonic crystals with layers of graphene

Hosseini, Hossein; Jafari, Akbar; Bakkeshizaadeh, Somayeh

Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract

In this paper, multi-channel optical filter based on one-dimensional photonic crystals with layers of graphene has investigated. Calculation is based on the transfer matrix. In the dual-layer defect, two defect modes in Bragg gap area and a defect modes in Induction gap area graphene appears. By changing the chemical potential of graphene, the angle of incidence and the number of defect layers, the defect modes in the gap area shift to different frequencies. So, by this change can accede to tunable multi-channel filter.

Keywords: Photonic Crystal, defect mode, Graphene nano-layer, Optical filter, Transfer Matrix Method.

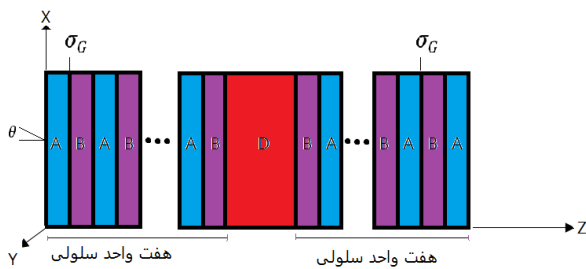
PACS No 42

مقدمه

در این مقاله با در نظر گرفتن یک بلور فوتونی ساختار پریودیک دی الکتریک _گرافن حاوی لایه نقص، با استفاده از روش ماتریس انتقال، به مطالعه فیلتر نوری تنظیم پذیر پرداخته می شود و نشان داده می شود که با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن، تعداد لایه نقص و زاویه تابش به فیلتر نوری تنظیم پذیر رسید.

مدل و محاسبات تئوری :

مطابق شکل ۱ یک ساختار متقارن پریودیک یک بعدی آرایش $(GBGA)^7 D^2 (AGBG)^7$ در نظر گرفته می شود که در آن A و B لایه های دی الکتریک های مختلف همسانگرد و غیر مغناطیسی، G نانولایه گرافن و D بعنوان لایه نقص در ساختار می باشند.



شکل ۱: ساختار پیشنهادی بلورهای فوتونی یک بعدی گرافن برای طراحی فیلتر اپتیکی

در این ساختار، محور Z در راستای عمود بر مرز لایه ها که به موازات صفحه X-Y می باشند، در نظر گرفته شده است. نانولایه های گرافن با ضخامت یک نانو متر بین لایه های دی الکتریک قرار گرفته اند و ویژگی اپتیکی گرافن با گذردهی نسبی آن بصورت $\epsilon_G = 1 + i\sigma_G \eta_0 / K_0 d_G$ بیان می شود که در آن η_0 امپدانس هوا و $k_0 = 2\pi/\lambda$ بردار موج خلاء و رسانندگی سطحی گرافن که به صورت زیر تعریف شده است [7]:

بلورهای فوتونیک آرایه ای از لایه های دی الکتریک می باشند که در آنها لایه ها بصورت متناوب برحسب ضریب شکست قرار می گیرند. بلورهای فوتونیک به دلیل خواص الکترومغناطیسی و کاربردهای بالقوه و منحصر به فرد مورد مطالعه محققان قرار می گیرد [1]. گاف باند فوتونی (PBG) می تواند در نتیجه دخالت پراکنندگی پراگ در یک ساختار دی الکتریک تشکیل شود [2]. از کاربردهای بالقوه این ترکیبات می توان به دستگاه های فوتونی، فیلترهای نوری، کاواک رزونانس، کاربردهای لیزر و مدارهای نوری اشاره کرد. معرفی یک لایه با خواص فیزیکی یا نوری مختلف بعنوان لایه نقص، منجر به ایجاد پیک باریکی در ناحیه PBG می شود که مد نقص نامیده می شود. از وجود مد نقص در ساختار بلورهای فوتونیک می توان در دستگاه های الکترونیک نوری و ریزموج ها مانند تعدیل کننده های نوری، تشدیدکننده کاواک، سوئیچ ها و دستگاه های سنجش استفاده کرد [3]. تغییر فیزیکی و یا نوری پارامترهای لایه نقص منجر به تغییر در فرکانس مد نقص می شود.

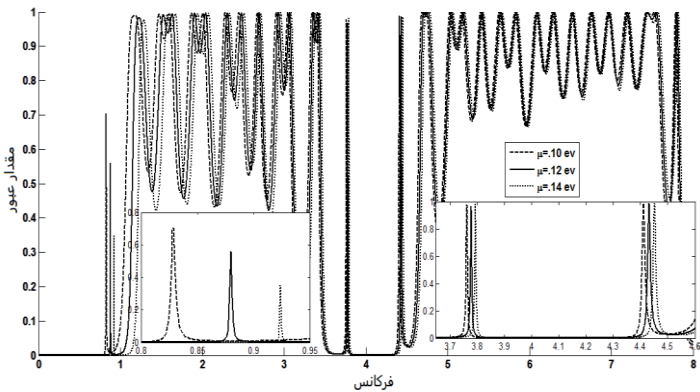
کاربردهای تراهرتز در حوزه های گوناگون، بویژه مخابرات انگیزه زیادی برای تحقیق فراهم آورده است تا بیشتر بر روی منابع تولید، آشکارسازی و کنترل این امواج مطالعه شود. در این راستا، فیلترهای تراهرتز جهت کاربرد در مخابرات نوری بسیار حائز اهمیت هستند [4,5]. گرافن تک لایه دارای ضخامتی در حدود یک اتم کربن است و به دلیل خواص الکترونیک منحصر به فردش توجه زیادی را در طراحی ساختارهای بلورهای فوتونیک در ناحیه تراهرتز به خود جلب کرده است. تحرک پذیری بالای حاملها در گرافن آن را به یک ماده ایده آل برای نانو الکترونیک بر پایه ی کربنی مبدل ساخته است. از لایه های گرافن می توان بعنوان فصل مشترک در لایه های دی الکتریک استفاده کرد [6].

$$T = \left| \frac{2}{M(1,1) + (M(1,2)q_0 + (M(2,1)/q_0) + M(2,2))} \right|^2 \quad (6)$$

نتایج و بحث ها

با توجه به اتلاف کم نانولایه های گرافن در فرکانس های تراهرتز محاسبات عددی در محدوده (0-8) تراهرتز انجام می شود. در شی سازی، پارامترهای نوری و هندسی سرچشم به شرح زیر است: لایه دی الکتریک A با ضریب شکست $n_A = 2.24$ ضخامت $d_A = 10 \mu m$ لایه دی الکتریک B با ضریب شکست $n_B = 1.58$ و ضخامت $d_B = 10 \mu m$ و همچنین لایه نقص با $n_D = 1.6$ و $d_D = 30 \mu m$ بررسی ها نیز در قطبش TE انجام می گیرد.

شکل ۲ منحنی عبور ساختار را در پتانسیل های شیمیایی مختلف $\mu_c = .10 eV$, $\mu_c = .12 eV$, $\mu_c = .14 eV$ برای زاویه تابش نرمال نشان می دهد که در آن از لایه نقص دوگانه استفاده شده است. این ساختار دارای دو ناحیه باند گاف در محدوده ۰-۱ THz (گاف القایی گرافن) و ۳/۷-۴/۵ THz (گاف براگ) می باشد.



شکل ۲: نمودار طیف عبوری برای پتانسیل شیمیایی $\mu_c = .10, .12, .14 eV$

می توان از این ساختار بعنوان یک فیلتر سه کانالی استفاده کرد که دو تا از کانال ها در ناحیه گاف براگ بلور فوتونی و یک مورد نیز در ناحیه گاف القایی گرافن ایجاد می شود که مدهای حاصل با

$$\sigma_G = \sigma_G^{intra} + \sigma_G^{inter}$$

$$\sigma_G^{intra} = \frac{e^2}{4\hbar} \frac{i}{2\pi} \left\{ \frac{16K_B T}{\hbar\omega} \ln(2 \cosh(\frac{\mu}{2K_B T})) \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_G^{inter} = \frac{e^2}{4\hbar} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctan \frac{\hbar\omega - 2\mu_c}{2K_B T} - \frac{i}{2\pi} \ln \frac{(\hbar\omega + 2\mu_c)^2}{(\hbar\omega - 2\mu_c)^2 + (2K_B T)^2} \right\}$$

در رابطه (۱) بار الکترون، K_B ثابت بولتزمن، T دمای مطلق و μ_c پتانسیل شیمیایی گرافن می باشد. از روش ماتریس انتقال انتشار امواج استفاده می شود. ماتریس انتقال در لایه های مختلف دی الکتریک به صورت زیر تعریف می شود:

$$M_j = \begin{bmatrix} \cos(\gamma_j l_j) & -\frac{i}{q_j} \sin(\gamma_j l_j) \\ -iq_j \sin(\gamma_j l_j) & \cos(\gamma_j l_j) \end{bmatrix} \quad (2)$$

در این رابطه $j = A, B, G, D$ می باشد و

$$\gamma_j = \frac{\omega}{c} \sqrt{n_j^2 - \sin^2 \theta}$$

q_j برابر است با:

$$q_j = \begin{cases} (-\gamma_j / \omega \mu_0) & TE \\ (+\gamma_j / \omega \epsilon_0 n_j^2) & TM \end{cases} \quad (3)$$

از طرفی، ماتریس انتقال برای نانولایه گرافن با در نظر گرفتن ساندگی سطح یان برای امواج با قطبش TE, TM بصورت زیر می باشد:

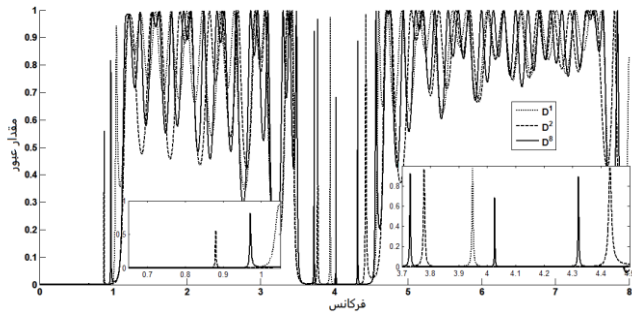
$$M_G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\sigma_G & 1 \end{bmatrix} TE \quad (4)$$

$$M_G = \begin{bmatrix} 1 & \sigma_G \\ 0 & 1 \end{bmatrix} TM$$

برای استفاده از روش ماتریس انتقال در طراحی فیلتر چندکانالی، ماتریس های انتقال لایه ها به هم ضرب می شوند تا ماتریس انتقال کل ساختار موجود (در شکل ۱) بصورت زیر بدست آید:

$$M = (M_A M_G M_B M_G)^N M_D (M_G M_B M_G M_A)^N = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

مقدار عبور سیستم از رابطه زیر بدست می آید:



شکل ۴: تغییرات طیف عبوری بر حسب فرکانس برای تعداد مختلف از لایه های نقص.

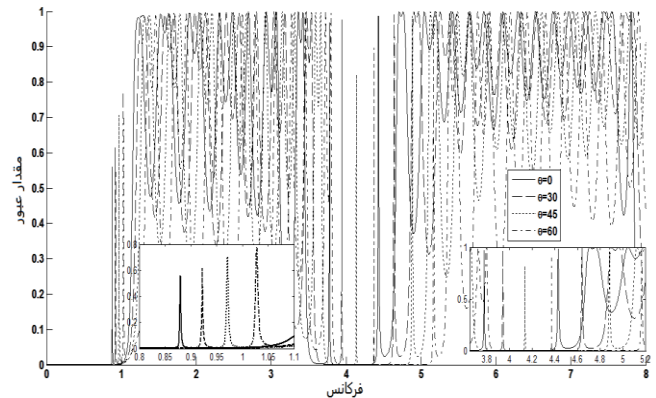
نتیجه گیری

در این مقاله، یک فیلتر اپتیکی چند کانالی بر پایه بلورهای فوتونی یک بعدی با لایه های گرافنی مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آنکه می توان با تغییر مقدار پتانسیل شیمیایی گرافن، تغییر زاویه تابش و همچنین تعداد لایه های نقص به یک فیلتر تنظیم پذیر چندکانالی رسید.

مراجع

- [1] S. John, "Strong localization of photons in certain disordered dielectric super lattices," vol. 58, no. 23, 1987.
- [2] L. G. Wang, H. Chen, and S. Y. Zhu, "Omnidirectional gap and defect mode of one-dimensional photonic crystals with single-negative materials," *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, vol. 70, no. 24, pp. 1-6, 2004.
- [3] X. Gu, X. Chen, Y. Chen, X. Zeng, Y. Xia, and Y. Chen, "Narrowband multiple wavelengths filter in aperiodic optical superlattice," *Opt. Commun.*, vol. 237, no. 1-3, pp. 53-58, 2004.
- [4] A. J. Gallant, M. A. Kaliteevski, S. Brand, D. Wood, M. Petty et al, "Terahertz frequency bandpass," *Anthropol. Notebooks*, no. 102, 2007.
- [5] Yizhe Li, Limei Qi,* Junsheng Yu, Zhijiao Chen, Yuan Yao, and Xiaoming Liu; "One-dimensional multiband terahertz graphene photonic crystal filters," *Optical Materials Express* 1228, vol 7, no. 4, 2017
- [6] F. Xia, T. Mueller, Y. Lin, A. Valdes-Garcia, and P. Avouris, "Ultrafast graphene photodetector," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 4, no. 12, pp. 839-843, 2009.
- [7] A. Madani, S. R. Entezar, "Tunable enhanced Goos-Hänchen shift in one-dimensional photonic crystals containing graphene monolayers," *Superlattices and Microstructures*, 2015

تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن تنظیم پذیر می شوند. همچنین مدهای عبوری در ناحیه براگ دارای مقدار عبور نزدیک یک می باشند. در شکل ۳ نیز مقدار عبور بر حسب زاویه های تابش مختلف و در پتانسیل شیمیایی $\mu_c = 1.2\text{eV}$ مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳: نمودار طیف عبوری بر حسب فرکانس برای تغییرات زاویه یی

$$\mu_c = 1.2\text{eV} \quad \theta = 0, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$$

مشاهده میکنیم که با تغییر زاویه تابش نیز می توان فیلتر تنظیم پذیر بدست آورد که در هر دو ناحیه با افزایش زاویه تابش، مد عبوری به سمت فرکانس های بالاتر شیفت داده می شوند. همچنین مطابق شکل ۴ می توان با تغییر تعداد لایه های نقص، تعداد کانال های عبوری را تغییر داد. طوریکه در حالت لایه نقص دوگانه می توان یک مد عبوری در ناحیه گاف القایی گرافن و دو مد در ناحیه گاف براگ ایجاد می شوند. با انتخاب عدد ۸ برای تعداد لایه های نقص می توان سه مد در ناحیه براگ و یک مد در ناحیه گاف القایی گرافن مشاهده کرد. همچنین با افزایش تعداد لایه های نقص مدهای موردنظر به سمت فرکانس های پایین شیفت داده می شوند.