

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



طراحی و مدل سازی جاذب نوری تنظیمپذیر مبتنی بر ساختارهای هیبریدی گرافن-کریستال مایع

حسن صادقی، هادی صوفی

دانشکده مهندسی برق- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران

چکیده – در این مقاله یک جاذب نوری تنظیم پذیر مبتنی بر سـاختار هیبریدی گرافن– کریسـتال مایع ارائه شـده اسـت. در این ساختار از یک توری سیلیکونی برای تنظیم طول موج به بازه مخابراتی و سپس اعمال ولتاژ به کریستال مایع برای تنظیم دقیق آن به طول موج مد نظر ا ستفاده شده ا ست. جاذب ارائه شده قادر به تنظیم طول موج جذب در بازه nm ۱۵۲۳ تا ۱۵۷۴ ا ست که این بازه، کل باند C و قسمتی از باند L مخابراتی را پوشش می دهد. نکته مهم این که، جاذب ارائه شده بسیار باند باریک است. به طوری که FWHM آن، تقریبا ۲/۲ nm بوده و لذا برای سیستم های مخابراتی مبتنی بر تسهیم طول موج بهر مول موج بسیار مایع برای تال است که این ساختار می توان برای طراحی افزاره های مختلف مخابراتی نظیر آشکارساز و یا مدولاتور بهره برد.

كليد واژه- جاذب نورى تنطيم پذير، كريستال مايع، گرافن.

Design and modeling of tunable Absorber based on Graphene-Liquid Crystal hybrid structures

Hasan Sadeghi, Hadi Soofi

Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract- In this article a tunable optical absorber based on hybrid graphene- liquid crystal structure is presented. In this structure, a silicon grating is employed to adjust the absorption wavelength to the communication range. Afterwards, applying voltage to the liquid crystal can fine tune the absorption to the desired wavelength. The presented absorber can effectively tune the absorption wavelength in a range of 152**3** nm to 1574 nm which covers the entire C band plus a portion of the L band. It is worth noting that the presented absorber is ultra-narrow band having a FWHM of only 2.2 nm which makes it perfect for communication systems based on wavelength division multiplexing. The presented device can be utilized to design various devices such as photodetectors or modulators for optical communications.

Keywords: Tunable optical absorber, Liquid crystal, Graphene.

مقدمه

جاذبهای نوری کاربرد وسیعی در حسگرها، سلولهای خورشیدی، مدولاتورها، سوئیچها و آشکارسازهای نوری دارند. یکی از قسمتهای مهم و پیچیدهی تمامی موارد ذکر شده در بالا، طراحی بخش جاذب نوری آنهاست. به طور مثال اینکه یک آشکارساز در چه حوزهای از طول موج باید کار کند در طراحی قسمت جاذب نوری آن مشخص می شود. در این بین باند C مخابراتی[۱۵۶۸-۱۵۲۸] نانومتر و باند L مخابراتی [۱۶۲۰-۱۵۶۱] نانومتر، اهمیت و توجه ویژهای پیدا کرده است[۱]. جاذبهای نوری تنها میتوانند در یک طول موج مشخص و یا حوزهی بسیار محدودی از طول موج کار کنند. یک روش برای تغییر فرکانس جذب ساختار، تغییر هندسهی ساختار است، در هر حال تنظیم پذیری دینامیکی چنین ساختارهایی بسیار مشکل است. استفاده از تغییر تراز فرمی گرافن هم به دلیل تنظیم پذیری بسیار ناچیز آن عملا قابل کاربرد نیست. یک پژوهش دیگر استفاده از عملکرد حرارتی و الکترواستاتیکی فناوری MEMS می باشد که به دلیل سرعت تنظیم پذیری کم، توان مصرفی بالا و اندازه بسیار بزرگ آن، طراحی پیچیده و ساخت پرهزینهای دارد[۲]. جایگزین مناسب برای همهی این راه حلها استفاده از کریستال مایع است که می تواند یک تنظیم پذیری بزرگی را در ضریب شکست با اعمال ولتاژ متوسط و توان مصرفي پايين فراهم كند. اساس کار کریستال های مایع به این صورت است که با اعمال ولتاژ به دو سر کریستال جهت مولکولهای کریستال مایع تغییر مىكنند و اين باعث تغيير ضريب شكست مؤثر كريستال مایع می شود. در مقالهی حاضر جاذب نوری تنظیم پذیری ارائه شده است که بدون هیچگونه تغییر مکانیکی ساختار، تنها با تغییر ولتاژ AC اعمالی به دو سر کریستال مایع، مولكول هاى كريستال به عنوان فيلتر تنظيم پذير فبرى-پرو ۵۰ یکنند و تنظیم پذیری بیش از ۵۰ LC-FP نانومتر را در اطراف طول موج ۱۵۵۰ نانومتر فراهم می کنند.

این تنظیم پذیری باند C مخابراتی را به طور کامل و بخشی از باند L را پوشش میدهد. این جاذب نوری در طول موج ۱۵۶۳ نانومتر در حالی یک جاذب کامل است(جذب ۱۰۰٪) که FWHM آن ۲/۲ نانومتر است و این برای کاربردهای مخابرات نوری بسیار حائز اهمیت است.

طراحي و مدلسازي جاذب نوري تنظيم پذير

نمای سه بعدی از جاذب پیشنهادی در شکل ۱ دیده می شود.یک لایه دی الکتریک به ضخامت $m = 4 \operatorname{reg} T$ وی تک الایه گرافن قرار داده شده است تا علاوه بر ولتاژ DC گیت گرافن، اعمال ولتاژ AC جداگانه به کریستال مایع به سهولت انجام شود. ضخامت کریستال مایع سیل M = 1/9 است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می کنید، شبکهای از ماده سیلیکون به ضخامت $d_{si} = 110 \operatorname{nm} t$ که تنها در یک جهت یعنی جهت X به صورت متناوب تکرار می شود، زیر لایه ی شبکه سیلیکونی بر اساس نظریه ی عملکرد طراحی این شبکه سیلیکونی بر اساس نظریه ی TM (۶) انجام شده است. سیلیکونی بر اساس نظریه ی عملکرد طراحی این شبکه سیلیکونی بر اساس نظریه کرای TM (۶) انجام شده است. سیلیکونی بر اساس نظریه ی TM (۶) انجام شده است. سیلیکونی بر اساس نظریه ی TM (۶) انجام شده است. سیلیکونی بر اساس نظریه ی TM (۶) انجام شده است. سیلیکونی بر اساس نظریه ی TM (۶) انجام شده است.



شکل۱. ساختار جاذب نوری تنظیمپذیر مبتنی برساختار هیبریدی گرافن-کریستال مایع

نظریه CLMT یک مدل تئوری قدرتمند برای تحلیل طول موج تشدید جذب نور در نانوساختارهای نیمههادی

$$\frac{V}{V_{th}} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\cos^2 \theta + (k_{33}/k_{11})\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\max} - \sin^2 \theta} \right)^{\frac{1}{2}} d\theta \quad (1)$$

با مشخص شدن θ_{\max} با استفاده از یک تغییر متغیر مناسب برای رابطهی بالا میتوان تغییر زاویه را هم بر حسب ولتاژ اعمالی بدست آورد. ضریب شکست مؤثر کریستال مایع از رابطهی زیر بدست میآید:

$$n_{eff}(\theta) = \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_e \cos^2 \theta + n_o \sin^2 \theta}}$$
(7)

نتايج و بحث

شبیه سازی جاذب نوری تنظیم پذیر ارائه شده در این مقاله با روش FDTD انجام شده است. شکل ۲ توزیع میدان الکتریکی نور در فرکانس تشدید ساختار در راستای Z را نشان می دهد. همانطور که انتظار می فت شدت میدان الکتریکی در اطراف شبکه یمتناوب سیلیکن و گرافن نسبتا زیاد است. البته ساختار طوری طراحی شده است که مولکول های کریستال مایع هم میدان الکتریکی نوری لازم برای حساسیت به ضریب شکست متناسب با تنظیم پذیری مورد نظر را احساس کنند.



شکل۲ . توزیع میدان الکتریکی در فرکانس تشدید ساختار.

شکل ۳ طیف جذب نوری ساختار در مدهای تشدید فبری-پرو بر حسب جهتهای مختلف مولکولهای کریستال مایع متناسب با ولتاژ اعمالی را نشان میدهد. این مدهای تشدید فبری-پرو بر حسب θ های متناسب با ولتاژ اعمالی، به صورت مجزا با روش FDTD شبیه سازی شده است. همانطور که مشاهده میشود تنظیم پذیری بیش از ۵۰nm با FWHM کم نظیر ۲/۲nm به ثبت رسیده است. است، به این صورت که جذب نانوساختار با کوپلینگ نوری مابین نور ورودی و مد نشتی ساختار تعیین می شود و با فرض یک طول موج تشدید جذب مشخص (۱۵۵۰ نانومتر) با استفاده روش طراحی معکوس بر مبنای مدل CLMT ضرایب شکست قسمتهای مختلف ساختار به ترتیب بدست میآید[۴]. بر اساس نظریهی CLMT و برای تنظیم عملکرد جاذب نوری در باند p=۶۹۲ nm ،w=۶۷۲ nm ،C و ضخامت سیلیکون $d_{si} = 1.1 \cdot nm$ بدست آمده است. ارتفاع بستر دی الکتریک ما بین طلا و سیلیکون هم ۲۰۰*nm* = است. نرخ پراکندگی ۰٫۰۰۳۳ eV و پتانسیل شیمیایی d_{Sio_2} گرافن ۰٫۴۵*eV* بدست آمده است. کریستال مایعی که در این مقاله استفاده شده استW1791LC نام دارد. ضریب دو $n_o = 1/\Delta T$ است. $\Delta n = n_e - n_o = \cdot/\epsilon$ است. $\Delta n = n_e - n_o = \cdot/\epsilon$ و غیرعادی و غیرعادی و غیرعادی و $n_e = 1/9$ ۴ کریستال در طول موج ۱۵۵۰ *nm* هستند. ضرایب الاستیک $k_{22} = 8.3 pN$ ، $k_{11} = 21.2 pN$ مايع کر پستال 1.5kHz و در ولتاژ AC اعمالی در فرکانس $k_{33} = 25.2 pN$ $arepsilon_{\sqcap}=20.9, arepsilon_{\perp}=4.5$ دارای ضرایب دی الکتریک $arepsilon_{\parallel}=20.9, arepsilon_{\perp}=4.5$ هستند[۵]. ولتاژ آستانهی کریستال مایع از رابطهی بەدىست مىآيد. $[\mathcal{F}]V_{th} = \pi . (k_{11}/(\varepsilon_0 . \Delta \varepsilon))^{1/2} L/d$ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F.m^{-1}$ $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{\Box} - \varepsilon_{\bot} = 16.4$ و $d = 1.9 \mu m$ که به ترتیب ضریب گذردهی $L = 2 \mu m$ الكتريكي خلا، ضريب دى الكتريك ناهمسانگرد، فاصلهي بین دو الکترود کریستال مایع و ضخامت کریستال مىباشند.ولتاژ آستانه كريستال مايع 1.1v بدست مىآيد. با اعمال ولتاژ AC به کریستال مایع، زمانی که دامنه ولتاژ از ولتاژ آستانه فراتر رفت، مولکولهای کریستال مایع شروع به تغییر جهت دادن میکنند که رابطهی بین بیشترین تغییر زاویه θ_{\max} و V ولتاژ اعمالی از حل عددی معادلهی زير بدست ميآيد[۶]:

نتيجه گيرى

در این مقاله نشان داده شد که میتوان از کریستال مایع برای تنظیم پذیری ساختارهای جاذب نوری بهره برد. همچنین نشان داده شد که بدون تغییر مکانیکی قسمتهای مختلف ساختار و تنها با اعمال ولتاژ به دو سر کریستال مایع و تغییر دامنه ی آن به تنظیم پذیری مورد نظر دست یافت. در این مقاله جاذب نوری تنظیم پذیری طراحی شده است که باند C مخابراتی را به طور کامل و بخشی از باند L مخابراتی را هم پوشش می دهد. FWHM این جاذب نوری در طیف اشاره شده ۲/۲nm است که آن را برای کاربردهای مخابراتی ایده آل می سازد.

مرجعها

- M. Casalino, G. Coppola, R. M. De La Rue, and D. F. Logan, "Stateof-the-art all-silicon sub-bandgap photodetectors and telecom and datacom wavelengths," Laser Photon. Rev., vol. 10, pp. 895– 921, 2016.
- [2] L. P. Schuler, J. S. Milne, J. M. Dell, and L. Faraone, "MEMS-based microspectrometer technologies for NIR and MIR wavelengths," J. Phys. D Appl. Phys. 42(13), 133001 (2009).
- [3] J. Lin, Q. Tong, Y. Lei, Z. Xin, X. Zhang, A. Ji, H. Sang, and C. Xie, "An arrayed liquid crystal Fabry– Perot infrared filter for electrically tunable spectral imaging detection," IEEE Sens. J. 16(8), 2397–2403 (2016).
- [4] Yu YL, Cao LY (2012) "Coupled leaky mode theory for light absorptionin2D,1D,and 0D semiconductor nanostructures". Opt Express 20(13):13847–13856.
- [5] RASZEWSKIZ., KRUSZELNICKINOWINOWSKI E., KĘDZIERSKI J., PERKOWSKI P., PIECEK W., DĄBROWSKI R., MORAWIAK P., OGRODNIK K., "Electrically tunable liquid crystal filters, Molecular Crystals and Liquid Crystals" 525(1), 2010 pp. 112–127.
- [6] Yeh, P.; Gu, C. "Optics of Liquid Crystal Displays"; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1



همانطور که قبلا اشاره شد با تغییر هندسهی ساختار میتوان طول موج تشدید ساختار را تغییر داد. در شکل ۴ با تغییر w و p می توان جذب ساختار را به طول موجهای بالاتر انتقال داد.



همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش عرض شبکه توری سیلیکونی و طول دورهی تناوب، همزمان با ثابت نگه داشتن گپ توری سیلیکونی به اندارهی ۲۰nm طول موج جذب ساختار به مقادیر بالاتر انتقال می یابد. در واقع با تغییر w و p می توانیم طول موج جذب ساختار را به باندهای مختلف مخابراتی انتقال داده و با کمک کریستال مایع تنظیم پذیری مورد نظر را اعمال کنیم.