

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



مطالعه چرخش کر در ساختارGraphene/SiC/Al در ناحیهی تراهرتز

صبرا مرادی ^{۱و*}، رضا عبدیقلعه'، بیتا رومی'، امیر مدنی' ۱ گروه مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، ایران *s.moradi@ubonab.ac.ir

چکیده – در این مقاله، طیفهای بازتاب، چرخش کر و بیضی گونگی آن در ساختار سه لایهای متشکل از گرافن، سیلیکون کربید و آلومینیم در ناحیهی فرکانسی تراهرتز مطالعه شده است. با استفاده از روش ماتریس انتقال ۴×۴ طیفهای ساختار Graphene/SiC محاسبه و با طیفهای ساختار Graphene/SiC/Al مقایسه شده است. نتایج نشان میدهد که طیفهای بازتاب هر دو ساختار دارای رفتار تشدیدی است، ولی در ساختار حاوی Al مقدار بازتاب در فرکانسهای مشابه متفاوت است. همچنین رفتار تشدیدی در طیف های چرخش کر و بیضی گونگی هر دو ساختار نیز مشاهده می شود که با به کار گرفتن Al، مقدار بیشینهی آنها تغییر یافته است. همچنین با افزایش شدت میدان مغناطیسی خارجی، رفتار طیفهای چرخش کر و بیضی گونگی نیز تغییر میکنند.

کلید واژه- گرافن، چرخش کر، بازتاب.

Study of Kerr Rotation in Graphene/SiC/Al Structure in THz Region

Sabra Moradi¹, Reza Abdi-Ghaleh¹, Bita Roumi¹, Amir Madani¹ ¹Department of Laser and Optical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

Abstract- In this paper, reflection, Kerr rotation and ellipticity spectra of a three layered structure constituted of Graphene, Silicon Carbid, and Aluminium were studied in terehertze frequency region. Using 4×4 transfer matrix method the spectra of Graphene/SiC structure were calculated and compared with the spectra of Graphene/SiC/Al structure. The results show that both reflection spectra have resonance behaviors. But, in the structure containing the Al, the reflection values at similar frequencies are different. Moreover, resonance behavior in Kerr rotation and ellipticity spectra were seen for both of the structures, inwhich by using the Al layer their maximum values were changed. Also, by increasing the external magnetic field strength, behavior of Kerr rotation and ellipticity spectra were changed.

Keywords: Graphene, Kerr rotation, Reflection.

مقدمه

گرافن به عنوان مادهی دو بعدی که از شبکهی کربنی لانه-زنبوری با ضخامت یک اتم تشکیل شده است، خواص الکترونی و اپتیکی ویژهای دارد. گرافن به دلیل تحرکپذیری بسیار بالای حاملین بار و رسانندگی حرارتی و الکتریکی بسیار زیاد و نیز کنترلپذیر بودن این ویژگیها با عوامل خارجی مانند اعمال میدان الکتریکی یا مغناطیسی، تفاوت چشم گیری با یک لایهی فلزی یا نیمرسانای نازک دارد [1]. اخیرا از لحاظ نظری و تجربی اثبات شده است که گرافن میتواند انتخاب خوبی در مگنتواپتیک نیز باشد. از جمله اثرات مگنتواپتیکی که در بررسی خواص مغناطیسی سطوح، حسگرهای مگنتواپتیکی، حافظههای مغناطیسی و ایزولاتورها استفاده میشود، اثر کر مگنتواپتیکی است [۲]. در این مقاله طیفهای بازتابی، چرخش کر و بیضی گونگی ساختار AII می می می می می در ناحیهی فرکانسی تراهرتز مورد مطالعه قرار می گیرد.

مدل و محاسبات نظری

ساختار مورد بررسی در این مقاله به صورت ساختار مورد بررسی در این مقاله به صورت Graphene/SiC/Al است. همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده، در این ساختار گرافن به عنوان لایهای فوق ناز ک با ضخامت $d_g = 0.335 \, \text{nm}$ قرار دارد لایه مخامت $d_{\text{SiC}} = 10 \, \mu m$ قرار دارد و این لایه از وی یک لایه از آلومینیوم به ضخامت و این لایه او داده شدهای تشکیل دهنده مساختار در صفحات x-y قرار دارند و محور z عمود بر سطوح لایه است. هم چنین میدان مغناطیسی خارجی در راستای



محور Z بر ساختار اعمال شده است. در محاسبات عددی ضریب گذردهی الکتریکی SiC برابر $\epsilon_{\rm SiC} = 12.25$ فرض شده است. همچنین ضریب گذردهی الکتریکی آلومینیوم شده است. همچنین ضریب گذردهی الکتریکی آلومینیوم V^{-1} فرکانس نور فرودی است [۳]. با توجه به اینکه گرافن تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی خواص ژیروتروپی از خود نشان میدهد، رسانندگی اپتیکی آن به صورت تانسور زیر خواهد بود:

$$\sigma_{G} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & 0 \\ -\sigma_{xy} & \sigma_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$
(1)

مولفههای ماتریس گذردهی به صورت $\mathcal{E}_{zz} = \mathbf{1} \cdot \mathcal{E}_{xy} = (\sigma_{xy} / \omega \mathcal{E}_0 d_g) \cdot \mathcal{E}_{xx} = 1 + (\sigma_{xx} / \omega \mathcal{E}_0 d_g)$ هستند [۴]، که در آن ω فرکانس زاویهای نور فرودی است. المانهای قطر اصلی، گذردهی الکتریکی ماده را نشان میدهد و المانهای غیرقطری در اثر اعمال میدان مغناطیسی خارجی بوجود میآید [۵]:

$$\varepsilon_{g} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & 0 \\ -\varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$
(7)

عناصر قطری و غیرقطری تانسور رسانندگی گرافن تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی از معادلات زیر به دست میآیند که از مدل درود نتیجه می شود [۶]:

$$\sigma_{xx}(\omega, \mathbf{B}) = \frac{2D}{\pi} \frac{1/\tau - i\omega}{(\omega_c)^2 - (\omega + i/\tau)^2}$$
(٣)

$$\sigma_{xy}(\omega, \mathbf{B}) = -\frac{2D}{\pi} \frac{\omega_c}{(\omega_c)^2 - (\omega + i/\tau)^2}$$
(f)

در این رابطه $D = 2\sigma_0 |\varepsilon_F| / \hbar$ وزن درود، $\sigma_0 = e^2 / 4\hbar$ $\omega_c = eBV_F^2 / \varepsilon_F$ رسانندگی عمومی گرافن، ε_F انرژی تراز فرمی، τ زمان پراکندگی و $V_F = 1.02 \times 10^6 m / s$

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

٨٨٢

[٧]. ما از روش ماتریس انتقال ۴×۴ برای محاسبه ی طیف-های بازتاب، چرخش کر و بیضی گونگی استفاده کرده ایم. در این روش برای هر لایه از ساختار یک ماتریس انتقال در نظر گرفته می شود که به ضخامت، ضریب گذردهی الکتریکی و فرکانس نور فرودی بستگی دارد. با داشتن المان های ماتریس انتقال کل، می توان کمیت های اشاره شده را محاسبه نمود [۸].

نتايج و بحث

المانهای قطری و غیرقطری رسانندگی تک لایهی گرافن در حضور میدان مغناطیسی B=1 T در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: قسمتهای حقیقی و موهومی المانهای قطری و غیرقطری رسانندگی گرافن در میدان مغناطیسی B=1T برحسب فرکانس نور فرودی.

ملاحظه میشود که قسمتهای حقیقی و موهومی رسانندگیهای قطری و غیرقطری گرافن در فرکانسهای کم دارای بیشینه مقدار بوده و در ادامه در فرکانسهای بالاتر سیر نزولی داشته و به صفر می رسد. طیفهای بازتاب، چرخش کر و بیضی گونگی ساختار Graphene /SiC به ازای میدانهای مغناطیسی Tepper در شکل ۳ نمایش داده شدهاند. با تغییر میدان مغناطیسی، المان غیرقطری شدهاند. با تغییر میدان مغناطیسی، المان غیرقطری اسانندگی اپتیکی گرافن و به تبع آن المان غیرقطری ثابت گذردهی الکتریکی گرافن و به تبع آن المان غیرقطری ثابت همانگونه که در شکل (a)۳ مشاهده می شود، طیفهای بازتاب ساختار به ازای میدانهای مغناطیسی مختلف تفاوت

زیادی را نشان نمیدهند و این سه نمودار عملا روی یکدیگر



شکل۳: طیفهای (a) بازتاب، (b) چرخش کر و (c) بیضی گونگی ساختار Graphene/Sic بر حسب فرکانس نور فرودی و به ازای میدانهای مغناطیسی مختلف.

در طیف بازتاب ساختار Graphene/SiC رفتار تشدیدی مشاهده می شود که ناشی از متناسب بودن ضخامت لایه ی SiC با طول موج نور فرودی است. دامنه ی نوسانات ضریب بازتاب این ساختار در محدوده ی 0.070 می باشد. همان طور که در شکلهای (d) ۳ و (c) ۳ مشاهده می شود هیچ چرخش کر و بیضی گونگی به ازای B=0T وجود ندارد. چون به ازای B=0، المان غیرقطری رسانندگی اپتیکی و بنابراین المان فیرقطری ضریب گذردهی الکتریکی آن صفر می شود و ماده به لحاظ مگنتواپتیکی غیر فعال خواهد بود. به ازای میدان – شکل (d) ۳ مشاهده می شود. هم چنین مشاهده می شود که فرکانس های تشدیدی نیز افزایش می یابد. طیف های بازتاب، فرکانس های تشدیدی نیز افزایش می یابد. طیف های بازتاب،

ازای میدانهای مغناطیسی مختلف در شکل ۴ نمایش داده شده است.

ساختار مشاهده می شود، ولی مقدار ضریب بازتاب ساختار حاوی آلومینیوم مقادیر بیشتری دارد، به طوری که در برخی فرکانسها به یک نیز می رسد. طیفهای چرخش کر و بیضی گونگی هر دو ساختار در فرکانسهایی نزدیک فرکانسهای تشدید طیف بازتاب، رفتار تشدیدی را نشان می دهند که با افزایش شدت میدان مغناطیسی اندازهی آنها افزایش یافته است.

مرجعها

- K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, "Electric field effect in atomically thin carbon films", Science 306, 666-669, 2004.
- [2] Crassee, J. Levallois, A. L. Walter, M. Ostler, A. Bostwick, E. Rotenberg, T. Seyller, D. van der Marel, and A. B. Kuzmenko, "Giant Faraday rotation in single-and multilayer graphene", Nature Physics, 7, 48-51, 2011.
- [3] K. Bane and G. Stupakov, in Proceeding of EPAC 2006 (JACoW, Edinburgh, 2006), pp. 2955–2957.
- [4] Y. S. Lee, Principles of Terahertz Science and Technology, Springer, 2009.
- [5] S. Sakaguchi and N. Sugimoto, "Transmission properties of multilayer films composed of magneto-optical anddielectric materials", J. Lightwave Technol. 17, 1087–1092, 1999.
- [6] M. Tymchenko, A. Yu. Nikitin, L. Martin-Moreno, "Faraday rotation due to excitation of magnetoplasmons in graphene microribbons", ACS nano 7, 9780-9787, 2013.
- [7] D. L. Sounas, and C. Caloz, "Gyrotropy and nonreciprocity of graphene for microwave applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 60, 901-914, 2012.
- [8] S. Visnovsky, K. Postava, and T. Yamaguchi, "Magnetooptic polar Kerr and Faraday effects in magnetic superlattices", Czechoslovak Journal of Physics 51, 917-949, 2001.



شکل۴: طیفهای (a) بازتاب، (b) چرخش کر و (c) بیضی گونگی ساختار Graphene/SiC/Al بر حسب فرکانس نور فرودی و به ازای میدانهای مغناطیسی مختلف.

مشاهده می شود که با قرار دادن لایه AI در ساختار، دامنه نوسان طیف بازتاب کاهش و مقدار آن افزایش یافته است به طوری که در بعضی فرکانسهای خاص به مقدار بازتاب به یک نیز رسیده است. مشابه ساختار بدون AI، به ازای فرکانسهای تشدیدی، افزایش چرخش کر نیز مشاهده – می شود که با افزایش شدت میدان مغناطیسی، مقدار آنها افزایش یافته است. هم چنین بیضی گونگی نیز در فرکانس– های تشدیدی افزایش یافته است.

نتيجهگيرى

در این مقاله، ابتدا طیفهای بازتاب، چرخش کر و بیضی-گونگی ساختار Graphene/SiC مطالعه شد. سپس با قرار دادن لایهی آلومینیوم در ساختار، طیفهای مذکور برای ساختار Graphene/SiC/AI بدست آمد. بررسی نتایج نشان میدهد که رفتار تشدیدی در طیفهای بازتاب هر دو