



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۱۱-۹ بهمن ۱۳۹۷



افزایش طول انتشار در موجبر لوحه‌ای پلاسمونیک مگنتوآپتیک غیر همسانگرد با استفاده از گرافین

سمانه رسولیان لافمجان، مهدی خطیر

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی برق-مخابرات، تهران، ایران

Emails: samaneh_rasolian@yahoo.com, m-khatir@srbiau.ac.ir

چکیده - در این مقاله انتشار نور در موجبرهای لوحه‌ای پلاسمونیک با لایه‌های کناری طلا و گرافین و لایه‌ی میانی مگنتوآپتیک در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر بررسی شده است. تغییرات ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه میانی در دو جهت رفت و برگشت با در نظر گرفتن اثرات مگنتوآپتیک به دست آورده شد. نتایج بررسی نشان می‌دهند که در موجبر سه لایه گرافین-مگنتوآپتیک-گرافین، بهبود چشمگیری در افزایش طول انتشار و کاهش تلفات حاصل شد که امکان طراحی ایزولاتور پلاسمونیک مگنتوآپتیک با استفاده از موجبرهای MIM وجود خواهد داشت.

کلید واژه- ایزولاتور پلاسمونیک، ضریب ایزولاسیون، گرافین، مگنتوآپتیک، موجبر لوحه‌ای.

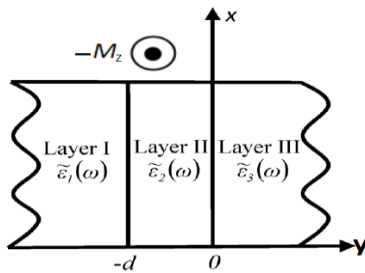
Increasing of Propagation Length of the Anisotropic Magneto-Optic Plasmonic Slab waveguide Using Graphene

Samaneh Rasolian Lafmejani, Mehdi Khatir

samaneh_rasolian@yahoo.com, m-khatir@srbiau.ac.ir

Abstract-This paper analyzes three layer surface plasmon polariton (SPP) slab waveguides with side layers of gold and graphene and mid layer of magneto-optic (MO) as a function of the mid layer thickness at a wavelength of 1550 nm. Propagation constant were obtained versus thickness of mid layer in two propagation directions, forward and backward, by considering MO effects. The results show that three layer waveguide of Graphene-Magneto-optic-Graphene (GMOG) increases propagation length and decreases loss. As a result, it is possible to design magneto-optic plasmonic isolator by using metal-insulator-metal (MIM) waveguides.

Keywords: Plasmonic Isolator, Isolation Coefficient, Graphene, Magneto-optic, Slab waveguide.



شکل (۱) شمای کلی ساختار موجبر سه لایه مگنتوپتیک با بایاس عرضی

میدان مغناطیسی با بایاس در راستای z و عمود بر صفحه اعمال شده است. مشخصات ماده مگنتوپتیک با $\mu_r = 1$ و ثابت دی‌الکتریک نسبی تانسوری بصورت زیر است:

$$\tilde{\epsilon}_{ij}(\omega) = \begin{pmatrix} \epsilon_{xxi}(\omega) & \epsilon_{xyi}(\omega) & 0 \\ -\epsilon_{xyi}(\omega) & \epsilon_{yyi}(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zzi}(\omega) \end{pmatrix} \quad (1)$$

در این معادله، $\epsilon_{xxi}(\omega), \epsilon_{yyi}(\omega), \epsilon_{zzi}(\omega)$ به ترتیب بیانگر ثابت دی‌الکتریک در جهت x, y و z هستند و عنصر غیر قطری $\epsilon_{xyi}(\omega)$ با مغناطیس شدگی رابطه‌ای بصورت $\epsilon_{xyi}(\omega) = aM_z$ دارد که a ثابت مغناطیس شدگی و M_z مغناطیس شدگی در راستای z است [۱]. از روش جداسازی متغیرها برای به دست آوردن رابطه پاشندگی استفاده شده است [۱].

رابطه رسانندگی گرافین

گرافین ساختاری تک لایه از اتم‌های کربن کریستال گرافیت است. خاصیت تغییر مشخصات گرافین با تغییر پتانسیل شیمیایی آن، سبب شده است تا گرافین در ساختارهای تنظیم‌پذیر و به عنوان یک بستر مناسب برای انتشار پلاسمون‌ها مورد استفاده قرار گیرد. رابطه‌ی رسانایی گرافین در غیاب میدان مغناطیسی، با استفاده از رابطه‌ی Kuba بصورت زیر تعریف می‌شود [۳]:

$$\sigma_g(\omega, \mu_c, \Gamma, T) = -j \frac{e^2 k_B T}{\pi \hbar^2 (\omega - j 2\Gamma)} \left[\frac{\mu_c}{k_B T} + 2 \ln(e^{-\mu_c/k_B T} + 1) \right] - j \frac{e^2}{4\pi \hbar} \ln \left[\frac{2|\mu_c| - (\omega - j 2\Gamma)\hbar}{2|\mu_c| + (\omega - j 2\Gamma)\hbar} \right] \quad (2)$$

مقدمه

محدویت حد تفرق^۱ (DLL) عامل محدود کننده برای کاهش ابعاد افزاره‌های نوری است، لذا دانشمندان برای غلبه بر این مشکل از پلاریتون پلاسمون‌های سطحی^۲ (SPP) بهره می‌برند. SPPها در مرز مشترک فلز و عایق منتشر می‌شوند و در دو طرف مرز بصورت نمایی کاهش می‌یابند. این ویژگی‌ها امکان کاهش ابعاد ساختارهای موجبری را فراهم می‌سازند [۱]. استفاده از مواد مگنتوپتیک و گرافین در ساخت موجبرهای پلاسمونیک، قابلیت‌های جدیدی ایجاد می‌کند که می‌توان در طراحی و ساخت ادوات نوری در مقیاس نانو بکار برد [۲].

ساختار مقاله به این صورت است که: در بخش دوم رابطه پاشندگی با توجه به اثرات مگنتوپتیک بیان می‌شود. در بخش سوم رابطه‌ی رسانندگی گرافین به منظور استخراج ضریب گذردهی آن عنوان خواهد شد. در بخش بعدی موجبرهای لوحه‌ای با لایه‌های کناری طلا و گرافین و لایه‌ی میانی مگنتوپتیک بررسی می‌شوند و بخش پایانی مقاله شامل نتیجه‌گیری است.

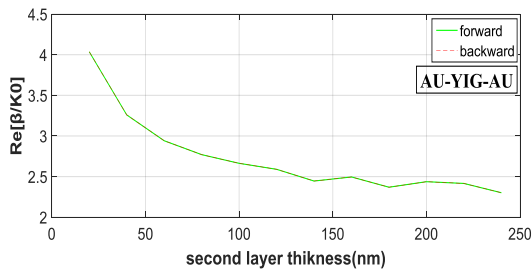
رابطه پاشندگی عمومی

شمای کلی موجبرهای سه لایه مگنتوپتیک در شکل (۱) نشان داده شده است، در این ساختار، لایه میانی دارای ضخامت d است که به وسیله دو لایه‌ی نیمه بی‌نهایت احاطه شده است. راستای انتشار این ساختار در جهت x در نظر گرفته شده است و هیچ تغییر فضایی در جهت z وجود ندارد و هر سه لایه دارای اثر مگنتوپتیک هستند.

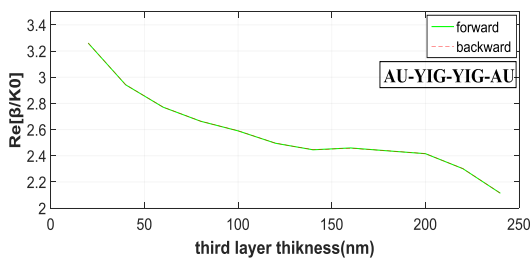
¹ Diffraction Limit of Light (DLL)

² Surface Plasmon Polariton (SPP)

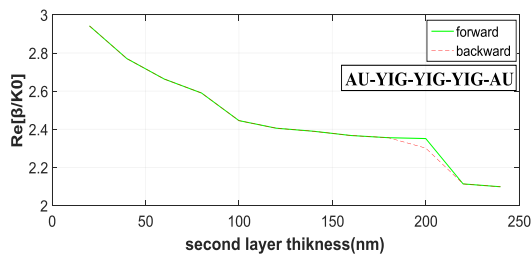
هستند و لایه میانی دی‌الکتریک مگنتوایپتیک (YIG) است [۴]. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، لایه میانی تا ۳ زیر لایه به‌طور نامتقارن نیز تقسیم شده است. تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت هر کدام از لایه‌های YIG در شکل (۲) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۲) تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت لایه‌های YIG، (الف) موجبر با یک لایه مگنتوایپتیک (ب) موجبر با دو لایه مگنتوایپتیک و تغییر لایه دوم (ج) موجبر با سه لایه مگنتوایپتیک و تغییر لایه اول.

همانطور که در شکل (۲) مشخص است، هیچ‌کدام از حالت‌های موجود، به دلیل اختلاف کم قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت برای طراحی ایزولاتور مناسب نیستند. به‌منظور کاهش تلفات ناشی از جذب بالای طلا، در موجبر شکل (۱)، بجای لایه‌های طلا از گرافین با خاصیت فلزی استفاده شده است. تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در

که در آن e شار الکترون، \hbar ثابت پلانک، K_B ثابت بولتزمن، T دما بر حسب کلوین و μ_c پتانسیل شیمیایی گرافین هستند [۳]، نتایج برای طول موج ۱۵۵۰ نانومتر در دمای $T=300\text{K}$ به‌دست آمده‌اند. همچنین، گرافین بصورت دو بعدی و عرض ۱ نانومتر با پتانسیل شیمیایی $\mu_c = 0.7\text{eV}$ در نظر گرفته شده است. گرافین با این پتانسیل شیمیایی خاصیت فلزی پیدا می‌کند [۲].

اثر مگنتوایپتیک و گرافین در ساختار MIM^۳

در ایزولاتورهای موجبری مگنتوایپتیک، طول انتشار یکی از عوامل محدود کننده برای دستیابی به ایزولاسیون قابل قبول است [۴]. مواد مگنتوایپتیک با بایاس عرضی، به دلیل اثر غیرمتقابل، مقادیر متفاوتی برای ثابت انتشار موج در دو جهت رفت و برگشت، از خود نشان می‌دهند که اختلاف آنها می‌تواند در طراحی ایزولاتورهای نوری موجبری مورد توجه قرار گیرد [۴]. برای این منظور لازم است که اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ ، بین دو جهت رفت و برگشت انتشار موج در یک موجبر مگنتوایپتیک ایجاد شود تا امکان دستیابی به ضریب ایزولاسیون بالا بوجود آید. طول مورد نیاز برای ایجاد اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ ، بصورت زیر محاسبه می‌شود [۴]:

$$L_{\pi/2} = \frac{\pi}{2\text{Re}[\beta^+ - \beta^-]} \quad (۳)$$

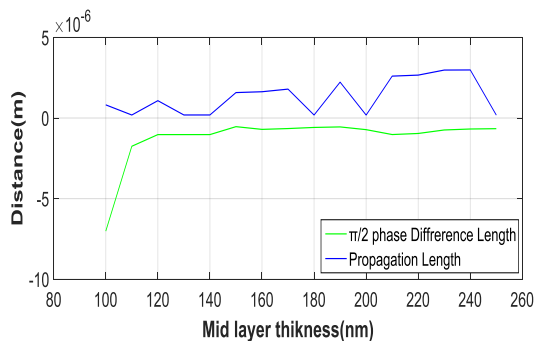
در این رابطه β مقدار ثابت انتشار موج در جهت رفت (+) و برگشت (-) است. به‌منظور امکان سنجی ساخت ایزولاتور به کمک موجبرهای پلاسمونیک مگنتوایپتیک لازم است طول $L_{\pi/2}$ با طول انتشار موجبر مقایسه شود [۴].

ساختار سه لایه MIM

ساختار کلی پیشنهادی برای موجبر سه لایه پلاسمونیک مگنتوایپتیک در شکل (۱) نمایش داده شده است. در پیکربندی اول، لایه‌های کناری طلا با ثابت دی‌الکتریک $\epsilon_m^{Au} = -115.53 + 11j$ در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر

³ Metal-Insulator-Metal

می‌دهند که در موجبر با لایه‌ی کناری طلا، با افزایش تعداد لایه‌های مگنتوپتیک بهبودی در طول انتشار حاصل نمی‌شود و نمی‌توان به اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ برای طراحی ایزولاتور مگنتوپتیک دست یافت. اما در موجبر سه لایه گرافین-مگنتوپتیک-گرافین، بهبود چشمگیری در افزایش طول انتشار و کاهش تلفات حاصل شد، که در مقایسه با طول مورد نیاز برای رسیدن به اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ ، امکان طراحی ایزولاتور پلاسمونیک مگنتوپتیک با استفاده از موجبرهای MIM وجود خواهد داشت.

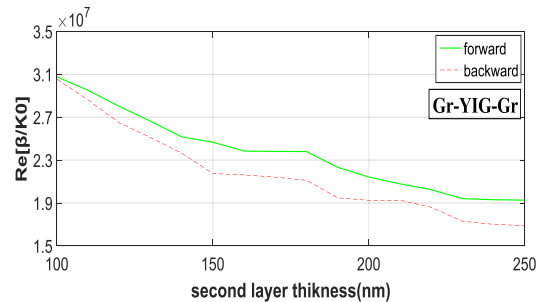


شکل (۵) تغییرات طول انتشار و طول مورد نیاز برای ایجاد اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی در موجبر سه لایه گرافین-مگنتوپتیک-گرافین

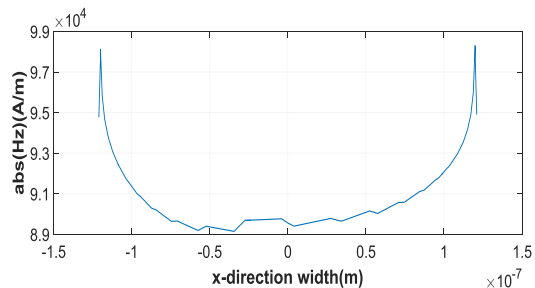
مرجع‌ها

- [1] M. Khatir, N. Granpayeh, "A Wide band and High Confinement Surface Plasmon Polariton Mode Converter Based on Magneto-Optic Effect", IEEE Transactions on Magnetics, VOL. 49, NO. 4, April 2013.
- [2] Ran Hao, Wei Du, Hongsheng chen, Xiaofeng jin, Longzhi Yang, Erping Li, "Ultra-compact optical modulator by graphene induced electro-refraction effect", Appl. Phys. Lett. 103. 061116(2013).
- [3] Mohammad Sadegh Zare, Najme Nozhat, Reza Rashiditabar, " Tunable graphene based plasmonic absorber with grooved metal film in near infrared region", Optics Communications 398 (2017) 56-61.
- [4] M. Khatir, N. Granpayeh "An exact analysis method of SPP propagation in the anisotropic magneto-optic slab waveguide: I. Transversal configuration", OptK 124(2013)276-281.

دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی، در شکل (۳) قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهند که در این پیکربندی، اختلاف ضریب شکست در دو جهت رفت و برگشت، به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. توزیع میدان به ازای ضخامت لایه میانی ۲۳۰ نانومتر بصورت شکل (۴) است.



شکل (۳) تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی موجبر گرافین-مگنتوپتیک-گرافین



شکل (۴) توزیع میدان به ازای ضخامت لایه میانی ۲۳۰ نانومتر موجبر گرافین-مگنتوپتیک-گرافین

تغییرات طول انتشار و طول مورد نیاز برای ایجاد اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی در موجبر سه لایه گرافین-مگنتوپتیک-گرافین در شکل (۵) نمایش داده شده است. همانگونه که مشخص است در این نوع موجبر، به ازای تمامی مقادیر ضخامت لایه میانی، امکان طراحی ایزولاتور مگنتوپتیک پلاسمونیک وجود دارد.

نتیجه گیری

در این مقاله انتشار نور در موجبرهای لوحه‌ای با لایه‌های کناری طلا و گرافین و لایه‌ی میانی مگنتوپتیک در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر بررسی شد. نتایج بررسی نشان