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

افزایش طول انتشار در موجبر لوحه‌ای پلاسمونیک مگنتواپتیک غیرهسمانگرد با استفاده از گرافین

سمانه رسولیان لفمجانی، 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 مگنتواپتیک در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر بررسی شده است. تغییرات ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه میانی در دو جهت رفت و برگشت با درنظر گرفتن اثرات مگنتواپتیک به دست آورده شد. نتایج بررسی نشان می‌دهند که در موجبر سه لایه گرافین-مگنتواپتیک-گرافین، بهبود چشمگیری در افزایش طول انتشار و کاهش تلفات حاصل شد که امکان طراحی ایزولاتور پلاسمونیک مگنتواپتیک با استفاده از موجبرهای MIM وجود خواهد داشت.

کلید واژه- ایزولاتور پلاسمونیک، ضریب ایزولاسیون، گرافین، مگنتواپتیک، 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.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

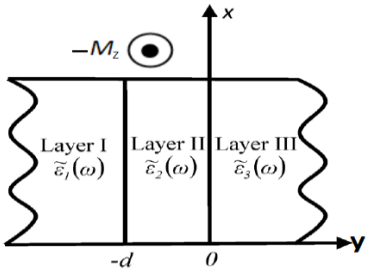
مقدمه

محدویت حد تفرق[1] (DLL) عامل محدود کننده برای کاهش ابعاد افزاره‌های نوری است، لذا دانشمندان برای غلبه بر این مشکل از پلاریتون پلاسمون‌های سطحی[2] (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 مگنتواپتیک 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: دربخش دوم رابطه پاشندگی با توجه به اثرات مگنتواپتیک بیان می‌شود. در بخش سوم رابطه‌ی رسانندگی گرافین به‌منظور استخراج ضریب گذردهی آن عنوان خواهد شد. در بخش بعدی موجبرهای لوحه‌ای با لایه‌های کناری طلا و گرافین و لایه‌ی میانی مگنتواپتیک بررسی می‌شوند و بخش پایانی مقاله شامل نتیجه‌گیری است.

رابطه پاشندگی عمومی

شمای کلی موجبرهای سه لایه مگنتواپتیک در شکل (۱) نشان داده شده است، در این ساختار، لایه میانی دارای ضخامت d است که به‌وسیله 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 مگنتواپتیک هستند.



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

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

$$\tilde{\varepsilon}_{ri}(\omega) = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xxi}(\omega) & \varepsilon_{xyi}(\omega) & 0 \\ -\varepsilon_{xyi}(\omega) & \varepsilon_{yyi}(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zzi}(\omega) \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

در این معادله، $\varepsilon_{zzi}(\omega), \varepsilon_{yyi}(\omega), \varepsilon_{xxi}(\omega)$ به‌ترتیب بیانگر ثابت دی‌الکتریک در جهت x، y و z هستند و عنصر غیر قطری $\varepsilon_{xyi}(\omega)$ با مغناطیس شدگی رابطه‌ای بصورت $\varepsilon_{xyi}(\omega) = aM_z$ دارد که a ثابت مغناطیس شدگی و M_z مغناطیس شدگی در راستای z است [۱]. از روش جداسازی متغیرها برای به‌دست 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]:

$$\sigma_g(\omega, \mu_c, \Gamma, T) = -j \frac{e^2 k_B T}{\pi \hbar^2 (\omega - j2\Gamma)} \left[\frac{\mu_c}{k_B T} + 2\ln(e^{-\mu_c/k_B T} + 1) \right] - j \frac{e^2}{4\pi\hbar} \ln\left[\frac{2|\mu_c| - (\omega - j2\Gamma)\hbar}{2|\mu_c| + (\omega - j2\Gamma)\hbar} \right] \qquad (۲)$$

[1] Diffraction Limit of Light (DLL)
[2] Surface Plasmon Polariton (SPP)

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

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 طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر در دمای $T=300^{\circ}\mathrm{k}$ به‌دست آمده‌اند. همچنین، گرافین بصورت دو بعدی و عرض ۱ نانومتر با پتانسیل شیمیایی $\mu_c=0.7ev$ در نظر گرفته شده است. گرافین با این پتانسیل شیمیایی خاصیت فلزی پیدا می‌کند [۲].

اثر مگنتواپتیک و گرافین در ساختار MIM[3]

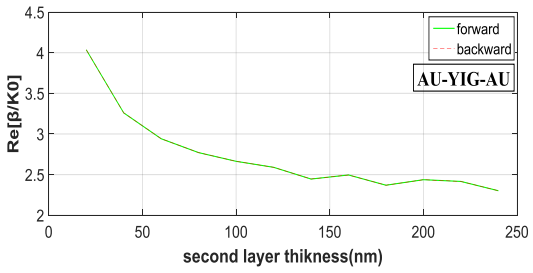
در ایزولاتورهای موجبری مگنتواپتیک، طول انتشار یکی از عوامل محدود کننده برای دستیابی به ایزولاسیون قابل قبول است [۴]. مواد مگنتواپتیک با بایاس عرضی، به‌دلیل اثر غیرمتقابل، مقادیر متفاوتی برای ثابت انتشار موج در دو جهت رفت و برگشت، از خود نشان می‌دهند که اختلاف آنها می‌تواند در طراحی ایزولاتورهای نوری 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 مگنتواپتیک 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]:

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

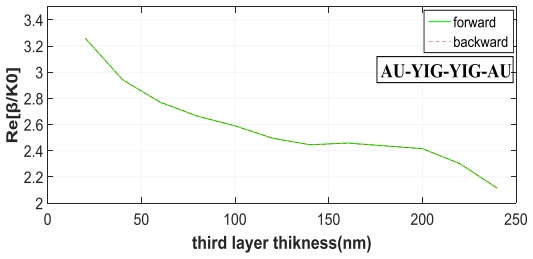
در این رابطه β مقدار ثابت انتشار موج در جهت رفت (+) و برگشت (−) است. به‌منظور امکان سنجی ساخت ایزولاتور به کمک موجبرهای پلاسمونیک مگنتواپتیک لازم است طول $L_{\pi/2}$ با طول انتشار موجبر مقایسه شود [۴].

ساختار سه لایه MIM

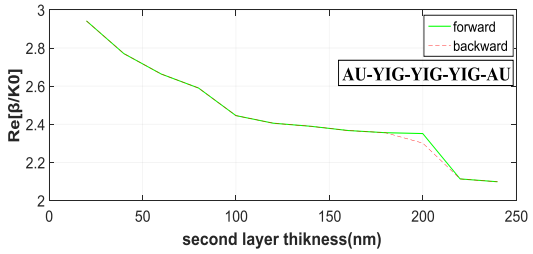
ساختار کلی پیشنهادی برای موجبر سه لایه پلاسمونیک مگنتواپتیک در شکل (۱) نمایش داده شده است. در پیکربندی اول، لایه‌های کناری طلا با ثابت دی‌الکتریک $\varepsilon_m^{Au}=-115.53+11j$ در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر هستند و لایه میانی دی‌الکتریک مگنتواپیتک (YIG) است [۴]. در شبیه سازی‌های انجام شده، لایه میانی تا ۳ زیر لایه بطور 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 مگنتواپتیک ب) موجبر با دو لایه مگنتواپتیک و تغییر لایه دوم ج) موجبر با سه لایه مگنتواپتیک 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.

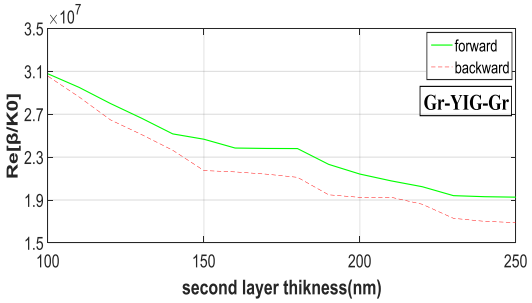
به‌منظور کاهش تلفات ناشی از جذب بالای طلا، در موجبر شکل (۱)، بجای لایه‌های طلا از گرافین با خاصیت فلزی استفاده شده است. تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در

[3] Metal-Insulator-Metal

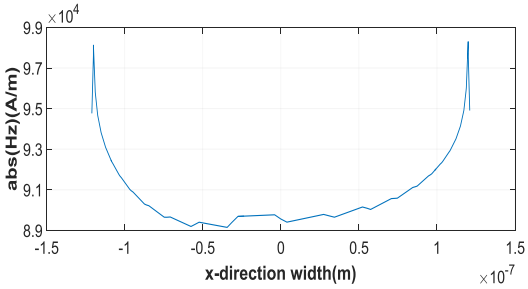
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

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-مگنتواپتیک-گرافین

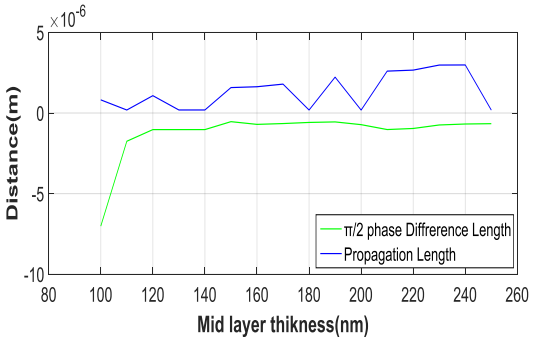


شکل(۴) توزیع میدان به ازای ضخامت لایه میانی ۲۳۰ نانومتر موجبر گرافین-مگنتواپتیک-گرافین

تغییرات طول انتشار و طول مورد نیاز برای ایجاد اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی در موجبر سه لایه گرافین-مگنتواپتیک-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 مگنتواپتیک پلاسمونیک وجود دارد.

نتیجه گیری

در این مقاله انتشار نور در موجبرهای لوحه‌ای با لایه‌های کناری طلا و گرافین و لایه‌ی میانی مگنتواپتیک در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر بررسی شد. نتایج بررسی نشان می‌دهند که در موجبر با لایه‌ی کناری طلا، با افزایش تعداد لایه‌های مگنتواپتیک بهبودی در طول انتشار حاصل نمی‌شود و نمی‌توان به اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ برای طراحی ایزولاتور مگنتواپتیک دست یافت. اما در موجبر سه لایه گرافین-مگنتواپتیک-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 مگنتواپتیک 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-مگنتواپتیک-گرافین

مرجع‌ها

[1] M. Khatir, N. Granpayeh, "A Wide band and High Confinement Surface Plasmon Polariton Mode Converter Based on Magneto-Optic Effect",.IEEE Tranctions on Magnetics, VOL. 49, NO. 4, Aprill 2013.

[2] Ran Hao, Wei Du, Hongsheng chen, Xiaofeng jin, Longzhi Yang, Erping Li, "Ultra-compact optical modulator by grapheme 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.Tranversal configuration", OptiK 124(2013)276-281.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]