



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 مگنتواینتیک غیرهسمانگرد 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 لایه میانی مگنتواینتیک 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 مگنتواینتیک به دست آورده شد. نتایج بررسی نشان می‌دهند که در موجبر سه لایه گرافین-مگنتواینتیک-گرافین، بهبود چشمگیری در افزایش طول انتشار و کاهش تلفات حاصل شد که امکان طراحی ایزولاتور پلاسمونیک مگنتواینتیک با استفاده از موجبرهای MIM وجود خواهد داشت.

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

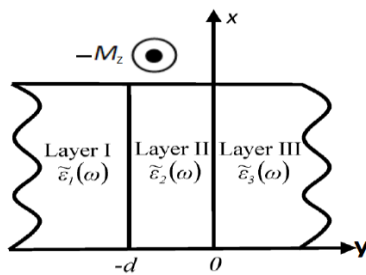
## Increasing of Propagation Length of the Anisotropic Magneto-Optic Plasmonic Slab waveguide Using Graphene

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 دی الکتریک نسبی تانسوری بصورت زیر است:

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

در این معادله،  $\epsilon_{xxi}(\omega), \epsilon_{yyi}(\omega), \epsilon_{zz}(\omega)$  به ترتیب بیانگر ثابت دی الکتریک در جهت  $x, y$  و  $z$  هستند و عنصر غیر قطری  $\epsilon_{xyi}(\omega)$  با مغناطیس شدگی رابطه ای 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 تنظیم پذیر و به عنوان یک بستر مناسب برای انتشار پلاسمون ها مورد استفاده قرار گیرد. رابطه ی رسانایی گرافین در غیاب میدان مغناطیسی، با استفاده از رابطه ی Kuba بصورت زیر تعریف می شود [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<sup>۱</sup> (DLL) عامل محدود کننده برای کاهش ابعاد افزاره های نوری است، لذا دانشمندان برای غلبه بر این مشکل از پلاریتون پلاسمون های سطحی<sup>۲</sup> (SPP) بهره می برند. SPPها در مرز مشترک فلز و عایق منتشر می شوند و در دو طرف مرز بصورت نمایی کاهش می یابند. این ویژگی ها امکان کاهش ابعاد ساختارهای موجبری را فراهم می سازند [۱]. استفاده از مواد مگنتوپتیک و گرافین در ساخت موجبرهای پلاسمونیک، قابلیت های جدیدی ایجاد می کند که می توان 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 می شود. در بخش سوم رابطه ی رسانندگی گرافین به منظور استخراج ضریب گذردهی آن عنوان خواهد شد. در بخش بعدی موجبرهای لوحه ای با لایه های کناری طلا و گرافین و لایه ی میانی مگنتوپتیک بررسی می شوند و بخش پایانی مقاله شامل نتیجه گیری است.

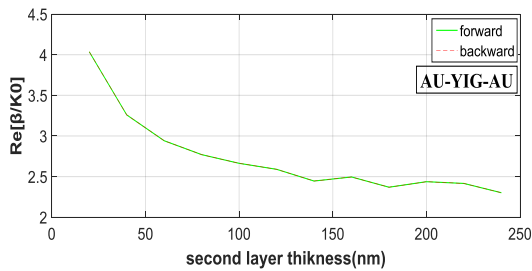
### رابطه پاشندگی عمومی

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 لایه ی نیمه بی نهایت 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.

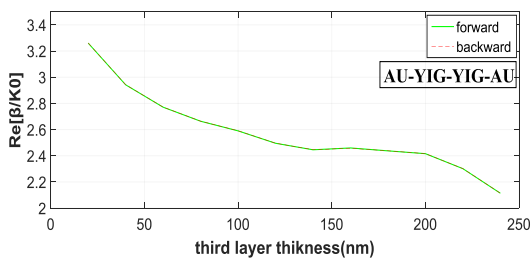
<sup>1</sup> Diffraction Limit of Light (DLL)

<sup>2</sup> Surface Plasmon Polariton (SPP)

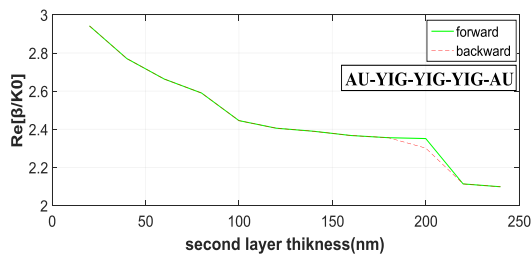
هستند و لایه میانی دی الکتریک مگنتوایپتیک (YIG) است [۴]. در شبیه سازی های انجام شده، لایه میانی تا ۳ زیر لایه به طور نامتقارن نیز تقسیم شده است. تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت هر کدام از لایه های YIG در شکل (۲) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۲) تغییرات قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت بر حسب ضخامت لایه های 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، هیچ کدام از حالت های موجود، به دلیل اختلاف کم قسمت حقیقی ثابت انتشار در دو جهت رفت و برگشت برای طراحی ایزولاتور مناسب نیستند. به منظور کاهش تلفات ناشی از جذب بالای طلا، در موجبر شکل (۱)، بجای لایه های 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 کلون و  $\mu_c$  پتانسیل شیمیایی گرافین هستند [۳]، نتایج برای طول موج ۱۵۵۰ نانومتر در دمای  $T=300\text{K}$  به دست آمده اند. 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 می کند [۲].

### اثر مگنتوایپتیک و گرافین در ساختار MIM<sup>۳</sup>

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 می دهند که اختلاف آنها می تواند 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 می شود [۴]:

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

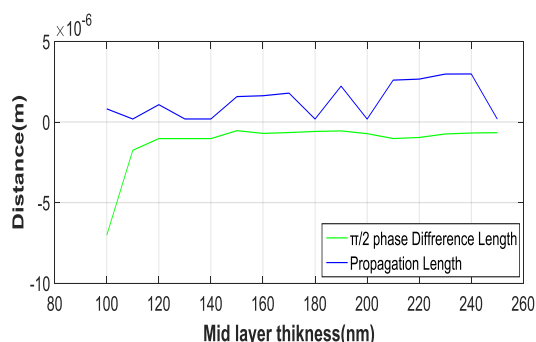
در این رابطه  $\beta$  مقدار ثابت انتشار موج در جهت رفت (+) و برگشت (-) است. به منظور امکان سنجی ساخت ایزولاتور به کمک موجبرهای پلاسمونیک مگنتوایپتیک لازم است طول  $L_{\pi/2}$  با طول انتشار موجبر مقایسه شود [۴].

### ساختار سه لایه MIM

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

<sup>3</sup> 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.

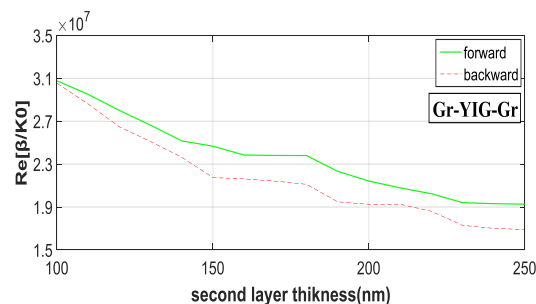


شکل (۵) تغییرات طول انتشار و طول مورد نیاز برای ایجاد اختلاف فاز  $\frac{\pi}{2}$  بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی در موجبر سه لایه گرافین-مگنتوپتیک-گرافین

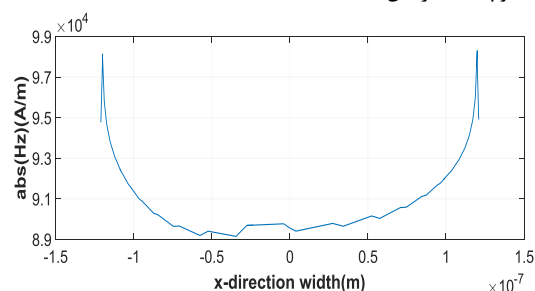
## مرجع‌ها

- [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", OptiK 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