



تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی در کریستال مگنتوپلاسمونیک طلا/کبالت و بررسی پاسخ‌های مگنتوآپتیکی

مهرداد مرادی، سامان محمودی و داود رضوانی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده - با افزودن فلز پلاسمونیک به کریستال‌های مگنتوآپتیکی می‌توان به طور همزمان خواص مگنتوآپتیکی و پلاسمونی را مشاهده کرد. بنابراین با استفاده از روش محاسباتی ماتریس‌های انتقال 4×4 ، به دنبال ساختار بهینه برای تقویت اثر مگنتوآپتیکی کریستال مگنتو پلاسمونی طلا/کبالت هستیم. در این ساختار طلا نقش فلز پلاسمونیک را بازی می‌کند و از کبالت به عنوان ماده‌ی مغناطیسی استفاده شده است. در طول موج ۵۹۹ نانومتر و ضخامت‌های ۱۱ و ۶ نانومتر به ترتیب برای طلا و کبالت و زاویه پرتو فرودی ۴۹ درجه، بیشینه سیگنال کری به مقدار ۵۹/۸۳ بدست آمد.

کلید واژه: اثر مگنتوآپتیکی کری، پلاسمون پلاریتون سطحی، مگنتوپلاسمونیک

Optical Excitation of Surface Plasmon Polariton in Magneto-Plasmonic Crystal Au/Co and Investigation of Magneto-Optical Response

M. Moradi, S. Mahmoodi, D. Rezvani

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract- By adding a plasmonic metal in magneto-optical crystals one can examine both plasmonic and magneto-optical (MO) phenomena simultaneously. Therefore we want to design an optimal structure for amplifying the Magneto-optical Kerr Effect (MOKE) using calculation based on 4×4 transfer matrix method. In Glass/Au/Co structure a thin gold layer used as plasmonic metal and a cobalt layer as magnetic material. The maximum Kerr signal 59.83 degree was obtained by 11 nm thickness of gold layer and 6 nm thickness of cobalt layer in Glass/Au/Co structure in 599 nm wavelength at 49 degree of incident angle.

Keyword: Magneto-optical Kerr effect, Surface plasmon polariton, Magneto plasmonic

۱- مقدمه

پلاسمون پلاریتون سطحی^۱ موجی الکترومغناطیسی است که در سطح مشترک فلز دی الکتریک انتشار می یابد. این موج در اثر جفت شدگی نوسانات پلاسمون سطحی با پرتو نور ایجاد می شود. در دهه های اخیر این پدیده با توجه به کاربردهای فراوان و پر اهمیت بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این کاربردها می توان به کاربرد در موجبری [۱]، سنسورهای زیستی [۲]، افزایش پاسخ مگنتوپتیکی [۳] و غیره اشاره کرد. برای ایجاد جفت شدگی بین نوسانات پلاسمون و پرتو نور لازم است که اندازه بردار موج این دو نوسانات برابر شود [۴]، این امر لزوم فراهم کردن شرایط خاص را نشان می دهد. بررسی نحوه تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی و همچنین ایجاد شرایط تحریک بسیار اهمیت دارد. در این مقاله با ایجاد یک کد محاسباتی در برنامه MATLAB بلور مگنتوپتیکی طلا/کبالت شبیه سازی شده است. در این راستا با توجه به محاسبات مقدماتی چند ضخامت که رفتار نانوپلاسمونیک مناسب تر از آنها مشاهده است مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر طول موج پرتو تابشی و همچنین زاویه تابش پرتو مورد بررسی قرار گرفته و بررسی نظری کاملی بر روی تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی در این ساختار انجام شده است. همچنین پاسخ مگنتوپتیکی ساختار مطالعه شده، تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی به صورت دقیق تر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مبانی نظری

بردار موج پلاسمون پلاریتون سطحی صورت زیر تعریف می شود [۴]:

$$k_{spp} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}} \quad (1)$$

که در آن ϵ_m و ϵ_d به ترتیب گذردهی فلز و دی الکتریک هستند و k_0 عدد موج نور در هوا است. به منظور تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی، بایستی مولفه x بردار موج

پرتو فرودی با بردار موج پلاسمون پلاریتون سطحی برابر شود. چند راهکار عملی برای ایجاد جفت شدگی وجود دارد یکی از آنها استفاده از پیکربندی کرچمن^۲ است [۵]. در این حالت نور قبل از اینکه به ساختار پلاسمونی برسد از منشور عبور می کند. با توجه به رابطه (۲) برای لایه دی الکتریک (منشور) با ضریب شکست بزرگتر از ضریب شکست لایه دی الکتریک ساختار پلاسمونیک به ازای زاویه ای خاص جفت شدگی اتفاق افتاده و موج پلاسمون پلاریتون سطحی انتشار می یابد.

$$k_0 \sqrt{\epsilon_{d0}} \sin \theta = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}} \quad (2)$$

نتیجه تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی انتشار قسمت زیادی از پرتو در سطح مشترک و در نتیجه کاهش بازتاب نور است.

در این مقاله از روش مبتنی بر ماتریس انتقال^۳ 4×4 استفاده شده است، که به وسیله آن می توان ساختار را به صورت نظری مورد بررسی قرار داد [۶]. با بدست آوردن ضرایب انعکاس با استفاده از روابط زیر می توان میزان چرخش کر θ_k و بیضی گونگی کر ψ_k را برای p محاسبه کرد [۷]:

$$\theta_k^i = 1/2 \tan^{-1} \left(2 \operatorname{Re} \left(\frac{r_{sp}}{r_{pp}} \right) / 1 - \left| \frac{r_{sp}}{r_{pp}} \right|^2 \right) \quad (7)$$

$$\psi_k^i = 1/2 \sin^{-1} \left(2 \operatorname{Im} \left(\frac{r_{sp}}{r_{pp}} \right) / 1 + \left| \frac{r_{sp}}{r_{pp}} \right|^2 \right) \quad (8)$$

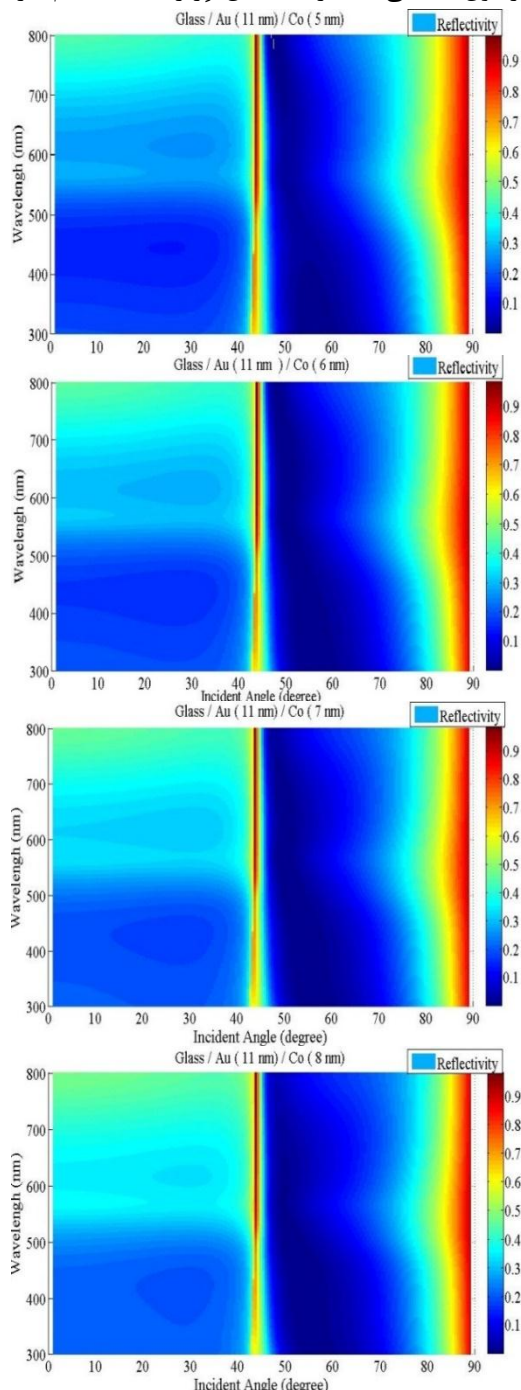
۳- انجام محاسبات

در این مقاله محاسبات در هندسه قطبی انجام شده نور در صفحه عمود بر سطح ماده تابیده می شود. همچنین پرتو فرودی دارای قطبش p در نظر گرفته شده و در پیکربندی کرچمن ساختار بررسی شده است. شکل (۱) این پیکربندی را به صورت طرحوار نشان می دهد.

با توجه به مبانی نظری کد محاسباتی آماده شده همچنین ضرایب شکست مواد و ضریب مگنتوپتیکی آنها در

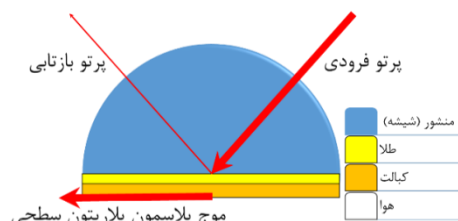
^۲ Kretschmann Configuration^۳ Transfer Matrix Method (TMM)^۱ Surface Plasmon Polariton (SPP)

با گام 0.5° نانومتر برای زوایای تابشی 0° تا 90° درجه با گام 0.5° درجه محاسبه شده است. با مقایسه نتایج بازتاب و سیگنال که به خوبی تقارن کمینه بازتاب و بیشینه سیگنال که مشاهده می‌شود. شدت تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی با اندازه سیگنال که رابطه مستقیم دارد.



شکل ۲: بازتاب از ساختار طلا (۱۱ نانومتر)/کبالت، با ضخامت‌های ۵ تا ۸ نانومتر لایه کبالت با طول‌موج‌های ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر.

طول‌موج‌های مختلف از پایگاه‌های داده استخراج شده و در کد محاسباتی لحاظ شد.



شکل ۱: بلور مگنتوپلاسمونیک طلا/کبالت بر پایه پیکربندی کرچمن. ضخامت ثابت ۱۱ نانومتر برای لایه طلا و ضخامت‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نانومتر از لایه کبالت در نظر گرفته شد. برای ساختارهای منشور/طلا (۱۱ nm)/کبالت (d nm) بازتاب نور به ازای پرتو فرودی با طول‌موج‌های ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با گام نیم نانومتر در زوایای تابشی 0° تا 90° با گام نیم درجه محاسبه شد. بازتاب از ساختار در شکل (۲) آمده است. در تمامی حالات مشاهده می‌شود که در زوایای بزرگتر از زاویه بازتاب کلی یک کمینه بازتاب اتفاق افتاده سپس با افزایش زاویه تابشی بازتاب نیز افزایش می‌یابد. این پدیده در تمامی ساختارها و برای همه طول‌موج‌های تابشی اتفاق می‌افتد اما شدت این پدیده در حالات مختلف متفاوت است. هرچه جفت‌شدگی قویتر باشد شدت موج پلاسمون پلاریتون سطحی انتشار یافته بیشتر بوده و بازتاب کمتر خواهد بود. به این طریق با بررسی شدت بازتاب می‌توان حالتی را که در آن بیشترین تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی اتفاق می‌افتد را پیدا کرد. انتشار موج پلاسمون پلاریتون سطحی در سطح مشترک باعث تقویت شدت نور در سطح ماده شده شدت نور بیشتری با ماده برهم‌کنش خواهد کرد. این پدیده باعث افزایش پاسخ مگنتوپاتیکی ساختار می‌شود. با بررسی خواص مگنتوپاتیکی ساختار به خوبی می‌توان شدت تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی را تحقیق کرد.

در همین راستا سیگنال که قطبی ساختارهای پیشین محاسبه شده و در شکل (۳) نمایش داده شده است. شکل (۳) نمایشگر سیگنال که قطبی در ساختار منشور/طلا (۱۱ نانومتر)/کبالت با ضخامت‌های ۵ تا ۸ نانومتر از لایه کبالت است. سیگنال به ازای طول‌موج‌های ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر

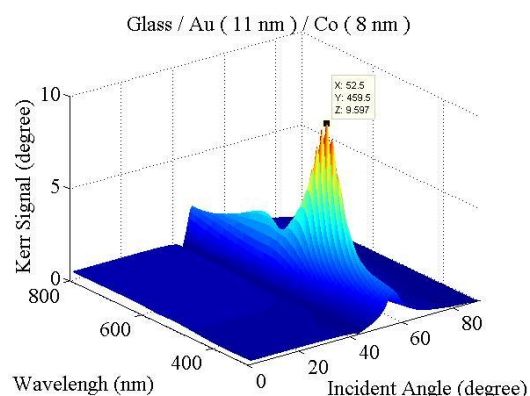
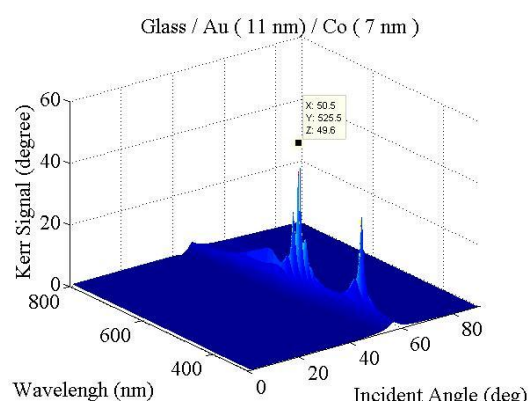
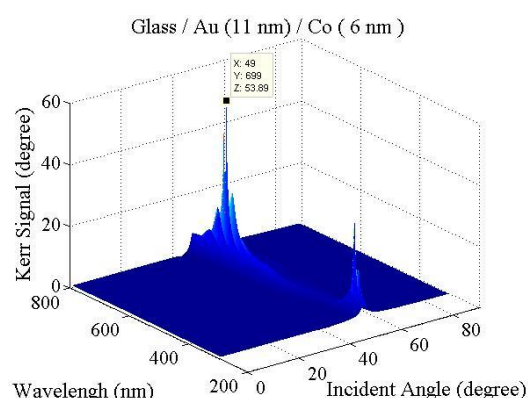
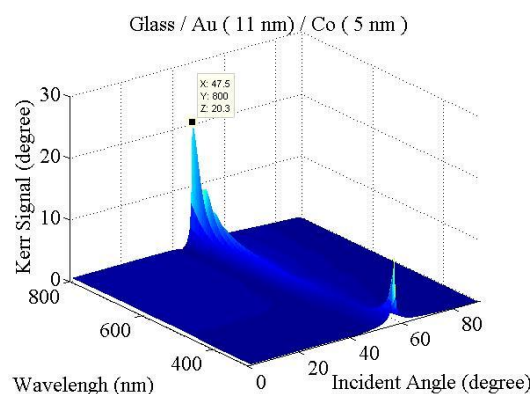
مربوط به ساختار منشور/طلا (۱۱ نانومتر)/کبالت (۶ نانومتر) بوده که در زاویه فرودی ۴۹ درجه و برای طول موج تابشی ۶۹۹ نانومتر بدست آمده است. این امر نشان دهنده جفت‌شدگی قوی و انتشار شدید پلاسمون پلاریتون سطحی در این حالت است.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از ماتریس‌های انتقال 4×4 تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی در ساختار مگنتوپلاسمونیک طلا/کبالت و پاسخ مگنتوپلاسمونیک آن مورد بررسی قرار داده شد. بیشینه سیگنال کِر که متناظر با بیشینه تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی است در ضخامت ۱۱ نانومتر طلا و ۶ نانومتر کبالت و در طول موج ۵۹۹ نانومتر در زاویه ۴۹ درجه پرتو فرودی به مقدار $53/89$ درجه رسید. این بیشینه سیگنال کِر نشان دهنده جفت‌شدگی قوی و نهایتاً انتشار شدید موج پلاسمون پلاریتون سطحی به دلیل حضور طلا و ایجاد موج پلاسمون پلاریتون سطحی در بلور مگنتوپلاسمونی طراحی شده است.

۵- مراجع

- [1] B. Sepúlveda, L. M. Lechuga, and G. Armelles, *Magneto-optic Effects in Surface-Plasmon-Polaritons Slab Waveguides*, **J. Lightwave Technol.** 24 (2006) 945.
- [2] Cheng Wang, Ho-Pui Ho, Ping Shum, *High performance spectral-phase surface plasmon resonance biosensors based on single and double-layer schemes*, **P. Soc. Photo-Opt. Ins.** 291 (2013) 470–475.
- [3] E. Ferreira-Vila, J. B. Gonzalez-Diaz, R. Fermento, M. U. González, A. García-Martín, J. M. García-Martín, A. Cebollada, and G. Armelles, *Intertwined magneto-optical and plasmonic effects in Ag/Co/Ag layered structures*, **Phys. Rev. B**, 80 (2009) 125132.
- [4] H. Raether, *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings*, **Springer Tracts in Modern Physics**, 111(1988) 4-39.
- [5] E. Kretschmann, "The determination of the optical constants of metals by the excitation of surface plasmons," **Z. Phys.** 241, (1971) 313-324.
- [6] J. Zak, E. R. Moog, C. Liu and S. D. Bader, *Universal Approach to Magneto-Optics*, **J. Mater. Sci. Forum**, 89 (1990) 107.
- [7] M. Moradi, M. Ghanaatshoar, *Cavity enhancement of the magneto-optic Kerr effect in glass/Al/SnO₂/PtMnSb/SnO₂ structure*, **Optics Communications**, 283 (2010) 5053–5057.



شکل ۳: سیگنال کِر از ساختار طلا/کبالت برای ضخامت ۱۱ نانومتر طلا و ضخامت‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نانومتر کبالت در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با گام ۰/۵ نانومتر و زوایای فرودی ۰ تا ۹۰ درجه. بیشترین سیگنال کِر محاسبه شده یعنی $53/89$ درجه