بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

تحریک نوری پلاسمون پلاریتون سطحی در کِریستال مگنتوپلاسمونیک طلا/کبالت و بررسی پاسخ‌های مگنتواپتیکی

مهرداد مرادی، سامان محمودی و داود رضوانی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده – با افزودن فلز پلاسمونیک به کریستال‌های مگنتواپتیکی می‌توان به طور همزمان خواص مگنتواپتیکی و پلاسمونی را مشاهده کرد. بنابراین با استفاده از روش محاسباتی ماتریس‌های انتقال ۴×۴ ، به دنبال ساختار بهینه برای تقویت اثر مگنتو اپتیکی کِر درکریستال مگنتو پلاسمونی طلا/کبالت هستیم. در این ساختار طلا نقش فلز پلاسمونیک را بازی می کند و از کبالت به عنوان ماده‌ی مغناطیسی استفاده شده است. در طول‌موج ۵۹۹ نانومتر و ضخامت‌های ۱۱ و ۶ نانومتر به ترتیب برای طلا و کبالت و زاویه پرتو فرودی ۴۹ درجه، بیشینه سیگنال کِر به مقدار ۵۹/۸۳ بدست آمد.

کلید واژه : اثر مگنتواپتیکی کِر، پلاسمون پلاریتون سطحی، مگنتوپلاسمونیک

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

پلاسمون پلاریتون سطحی[1] موجی الکترومغناطیسی است که در سطح مشترک فلز دی‌الکتریک انتشار می‌یابد. این موج در اثر جفت‌شدگی نوسانات پلاسمون سطحی با پرتو نور ایجاد می‌شود. در دهه‌های اخیر این پدیده با توجه به کاربردهای فراوان و پر اهمیت بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این کاربردها می‌توان به کاربرد در موجبری [۱]، سنسورهای زیستی [۲]، افزایش پاسخ مگنتواپتیکی [۳] و غیره اشاره کرد. برای ایجاد جفت‌شدگی 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 می‌دهد. 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 مگنتواپتیکی طلا/کبالت شبیه سازی شده است. در این راستا با توجه به محاسبات مقدماتی چند ضخامت که رفتار نانوپلاسمونیک مناسب‌تر از آنها مشاهده است مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر طول‌موج 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 مگنتواپتیکی ساختار مطالعه شده، تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی به صورت دقیق‌تر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مبانی نظری

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

$$k_{spp} = k_0\sqrt{\frac{\varepsilon_m\varepsilon_d}{\varepsilon_m+\varepsilon_d}} \qquad (۱)$$

که در آن ε_m و ε_d به ترتیب گذردهی فلز و دی‌الکتریک هستند و k_0 عددموج 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 جفت‌شدگی وجود دارد یکی از آنها استفاده از پیکربندی کرچمن[2] است [۵]. در این حالت نور قبل از اینکه به ساختار پلاسمونی برسد از منشور عبور می‌کند. با توجه به رابطه (۲) برای لایه دی‌الکتریک (منشور) با ضریب شکست بزرگتر از ضریب شکست لایه دی‌الکتریک ساختارپلاسمونیک به ازای زاویه‌ای خاص جفت‌شدگی اتفاق افتاده و موج پلاسمون پلاریتون سطحی انتشار می‌یابد.

$$k_0\sqrt{\varepsilon_{d0}}\sin\theta = k_0\sqrt{\frac{\varepsilon_m\varepsilon_d}{\varepsilon_m+\varepsilon_d}} \qquad (۲)$$

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[3] ۴×۴ استفاده شده است، که به وسیله آن می‌توان ساختار را به صورت نظری مورد بررسی قرار داد [۶]. با بدست آوردن ضرایب انعکاس با استفاده از روابط زیر می‌توان میزان چرخش کر θ_k و بیضی‌گونگی کر ψ_k را برای p محاسبه کرد [۷]:

$$\theta_k^i = 1/2\ tan^{-1}\left(2Re(\frac{r_{sp}}{r_{pp}})/1-\left|\frac{r_{sp}}{r_{pp}}\right|^2\right) \qquad (۷)$$

$$\psi_k^i = 1/2\ sin^{-1}\left(2Im(\frac{r_{sp}}{r_{pp}})/1+\left|\frac{r_{sp}}{r_{pp}}\right|^2\right) \qquad (۸)$$

۳- انجام محاسبات

در این مقاله محاسبات در هندسه قطبی انجام شده نور در صفحه عمود بر سطح ماده تابیده می‌شود. 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 می‌دهد.

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

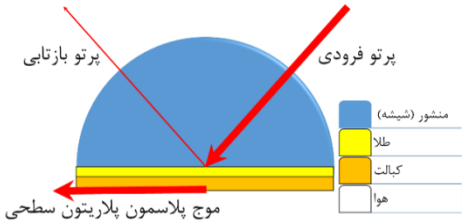
[1] Surface Plasmon Polariton (SPP)

[2] Kretschmann Configuration

[3] Transfer Matrix Method (TMM)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

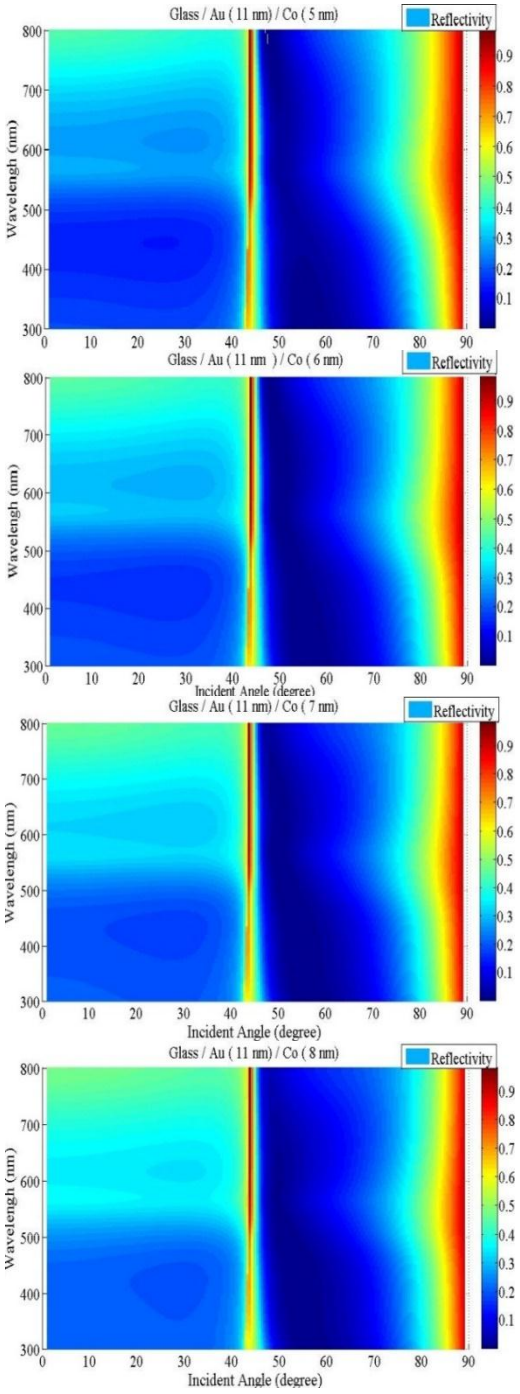
طول‌موج‌های مختلف از پایگاه‌های داده استخراج شده و در کد محاسباتی لحاظ شد.



شکل ۱: بلور مگنتوپلاسمونیک طلا/کبالت بر پایه پیکربندی کرچمن.

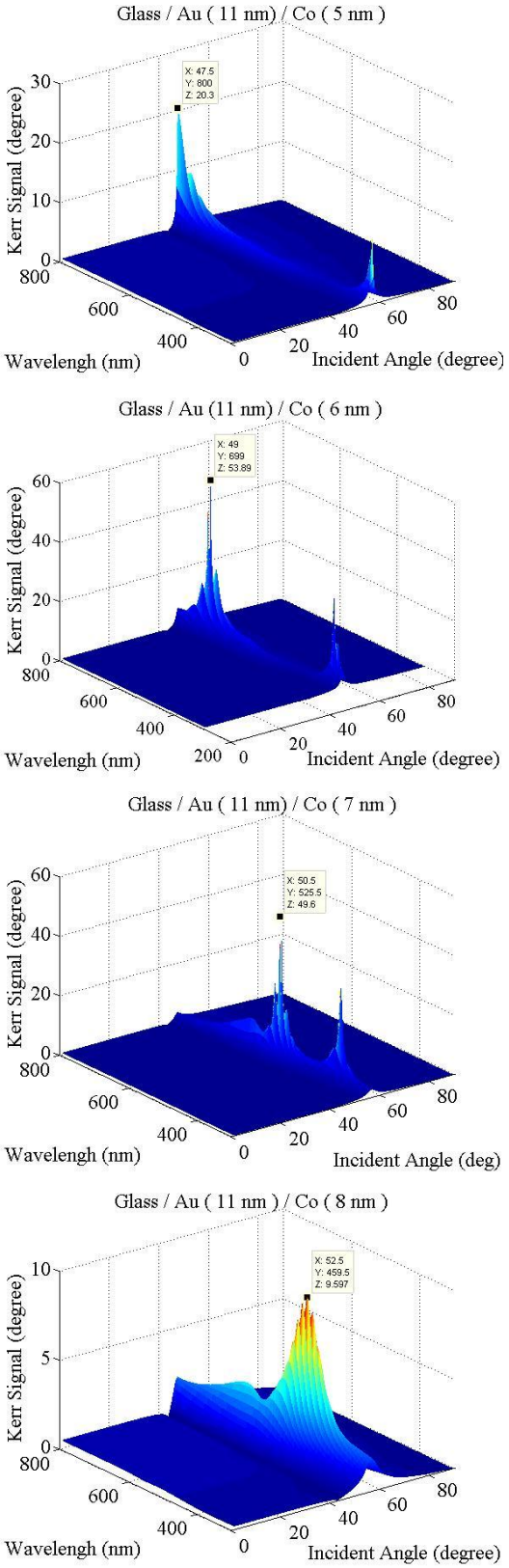
ضخامت ثابت ۱۱ نانومتر برای لایه طلا و ضخامت های ۵، ۶، ۷ و ۸ نانومتر از لایه کبالت در نظر گرفته شد. برای ساختارهای منشور/طلا (11 nm)/کبالت (d nm) بازتاب نور به ازای پرتو فرودی با طول‌موج‌های ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با گام نیم نانومتر در زوایای تابشی ۰ تا ۹۰ با گام نیم درجه محاسبه شد. بازتاب از ساختار در شکل (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 امّا 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 پلاسمون‌پلاریتون 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 مگنتواپتیکی ساختار می‌شود. با بررسی خواص مگنتواپتیکی ساختار به خوبی می‌توان شدت تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی را تحقیق کرد.

در همین راستا سیگنال کِر قطبی ساختارهای پیشین محاسبه شده و در شکل (۳) نمایش داده شده است. شکل (۳) نمایشگر سیگنال کِر 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 با گام ۰/۵ نانومتر برای زوایای تابشی ۰ تا ۹۰ درجه با گام ۰/۵ درجه محاسبه شده است. با مقایسه نتایج بازتاب و سیگنال کِر به خوبی تقارن کمینه بازتاب و بیشینه سیگنال کِر مشاهده می‌شود. شدت تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی با اندازه سیگنال کِر 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



شکل ۳: سیگنال کِر از ساختار طلا/کبالت برای ضخامت ۱۱ نانومتر طلا و ضخامت‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نانومتر کبالت در طول‌موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با گام ۰/۵ نانومتر و زوایای فرودی ۰ تا ۹۰ درجه.

بیشترین سیگنال کِر محاسبه شده یعنی ۵۳/۸۹ درجه مربوط به ساختار منشور/طلا (۱۱ نانومتر)/ کبالت (۶ نانومتر) بوده که در زاویه فرودی ۴۹ درجه و برای طول‌موج 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 ۴×۴ 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 طول‌موج ۵۹۹ نانومتر در زاویه ۴۹ درجه پرتو فرودی به مقدار ۵۳/۸۹ درجه رسید. این بیشینه سیگنال کِرنشان دهنده جفت‌شدگی قوی و نهایتا 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, *Magnetooptic Effects in Surface-Plasmon-Polaritons Slab Waveguides*, **J. Lightwave Technol.** 24 (2006) 945.

[2] Cheng Wang, Ho-PuiHo, PingShum, *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. Ferreiro-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 Tractsin 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]