تاثیر مولیبدینیوم دی سولفات (MoS2) بر خواص مگنتواپتیکی ساختار شیشه/طلا/پرمالوی با استفاده از تشدید پلاسمون پولاریتون های سطحی

برادران قاسمی[۱] ، امیرحسین ؛ فریدی[۱]،احسان ؛ انصاری[۲]،نرگس ؛محسنی ارمکی،مجید[1] ؛

[1]دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی ،اوین درکه ، تهران

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا، تهران

چکیده

مواد دو بعدی بویژه مولیبدنیوم دی سولفایت (MoS_2) در ادوات الکترونیکی و نوری جایگاه ویژه ای پیدا کرده اند. در این مقاله پاسخ مگنتواپتیکی کر ساختار شیشه/طلا/پرمالوی/$MoS_2 \times n$ (که در آن n تعداد لایه های MoS2 می باشد)بصورت نظری بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که در شرایط تشدید پلاسمون های سطحی مقدار سیگنال کر ۱۸ برابر بزرگتر از ساختار شیشه/طلا/پرمالوی می باشد. این افزایش سیگنال کر، ناشی ازجذب نور در لایه نازک MoS_2 می باشد.

Influence of molybdenum disulfide (MoS_2) on the magneto-optical activity of glass/Au/Py via polasmon polariton excitation

A.H.B. Ghasemi[1] , E. Faridi[1], N. Ansari[2], S.M. Mohseni[1]

[1] Department of Physics, Shahid Beheshti University, G.C. Evin, Tehran
[2] Department of Physics, Alzahra University, Tehran

Abstract

Recently There has been much interest in some kinds of 2D transition metal dichalcogenide like Molybdenum disulfide (MoS_2) because of their novel electronic and optical properties. In this paper we investigated theoretically the magnetoplasmonic response of multilayer Glass/Au/Py/MoS_2×n (where n is the number of MoS_2 monolayer). The calculation shows large enhancement of transfer Kerr signal at the surface plasmon resonance condition due to the effect of extraordinary light absorbing mechanism of MoS_2 monolayer. The transverse MOKE (TMOKE) increases about 18 times larger than the Au/Py.

مقدمه

اثر مگنتواپتیکی کر به تغییر قطبش نور بازتابی از سطح یک ماده مغناطیسی اطلاق می شود. از این پدیده در بررسی خواص مغناطیسی مواد، ساخت حافظه های مغناطیسی وحسگرهای مگنتو اپتیکی و. ..استفاده می شود. یکی از مشکلات استفاده از این پدیده در صنعت کوچک بودن شدت این اثر می باشد. بنابراین راه های مختلفی جهت افزایش اثر کر بکار برده شده است. از جمله از این روش ها می توان افزایش اثر کر به واسطه ی تشدید پلاسمون های سطحی اشاره کرد.[1][2][3] پلاسمون پلاریتون سطحی امواج الکترومغناطیسی عرضی هستند که در مرز بین دو محیط با ضریب دی الکتریکی متضاد (فلز و دی الکتریک) انتشار می یابند. تشدید پلاسمون های سطحی باعث افزایش میدان الکتریکی در مرز شده و در نتیجه افزایش برهمکنش نور با ماده مغناطیسی را در پی خواهد داشت. در این مقاله به صورت تئوری ساختاری طراحی شده تا با استفاده از خواص نیمه هادی MoS_2 تشدید پلاسمونی را در ساختار ارائه شده افزایش داده و در نتیجه اثر کر افزایش یابد.

مباحث نظری

وقتی میدان مغناطیسی به فلزی که خواص مغناطیسی دارد اعمال می شود، تقارن معکوس زمانی در ساختار شکسته می شود در نتیجه بردار موج پلاسمون پولاریتون سطحی کاملا به جهت میدان مغناطیسی وابسته می شود. در نتیجه شدت موج بازتابی نیز وابسته به میدان مغناطیسی خواهد بود.

$$R(+H) \neq R(-H) \qquad (۱)$$

به منظور بررسی رفتار موج درون ساختارهای مغناطیسی از روش ماتریس های انتقالی استفاده می شود. رابطه بین دامنه میدان الکتریکی در لایه اول با دامنه آن در لایه پایانی به صورت زیر بیان می شود. [4]

$$E_i = D_i^{-1}\prod_{n=1}^{N}(D_{(n)}P_{(n)}D_{(n)}^{-1})D_f E_f \equiv ME_f, \qquad (۲)$$

که در آن E_i و E_f به ترتیب دامنه میدان الکتریکی در لایه ابتدایی و انتهایی ساختار می باشند. $D_{(n)}$ و $P_{(n)}$ به ترتیب ماتریس مرزی و ماتریس انتشار نام دارد که به خواص اپتیکی مانند ضریب شکست و هندسی مانند ضخامت بستگی دارد. دامنه میدان الکتریکی بازتابی با قطبش P به صورت زیر بیان می شود :

$$r_{pp} = \frac{M_{11}M_{43} - M_{13}M_{43}}{M_{11}M_{33} - M_{13}M_{31}}, \qquad (۳)$$

$$R_{pp} = |r_{pp}|^2, \qquad (۴)$$

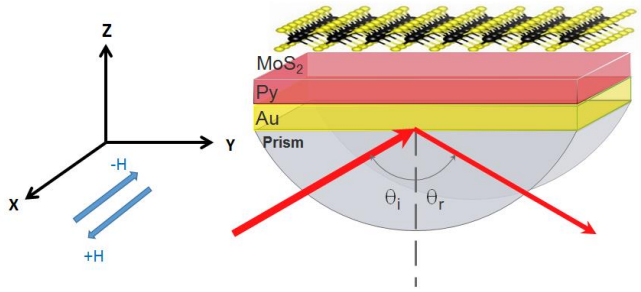
که در آن R_{pp} شدت موج بازتابی با قطبش P می باشد.

سیگنال کر عرضی به صورت زیر به دست می آید:

$$TMOKE = \frac{\Delta R_{pp}}{R_{pp}} = \frac{R(+H) - R(-H)}{R(H=0)} \qquad (۵)$$

بحث و نتایج

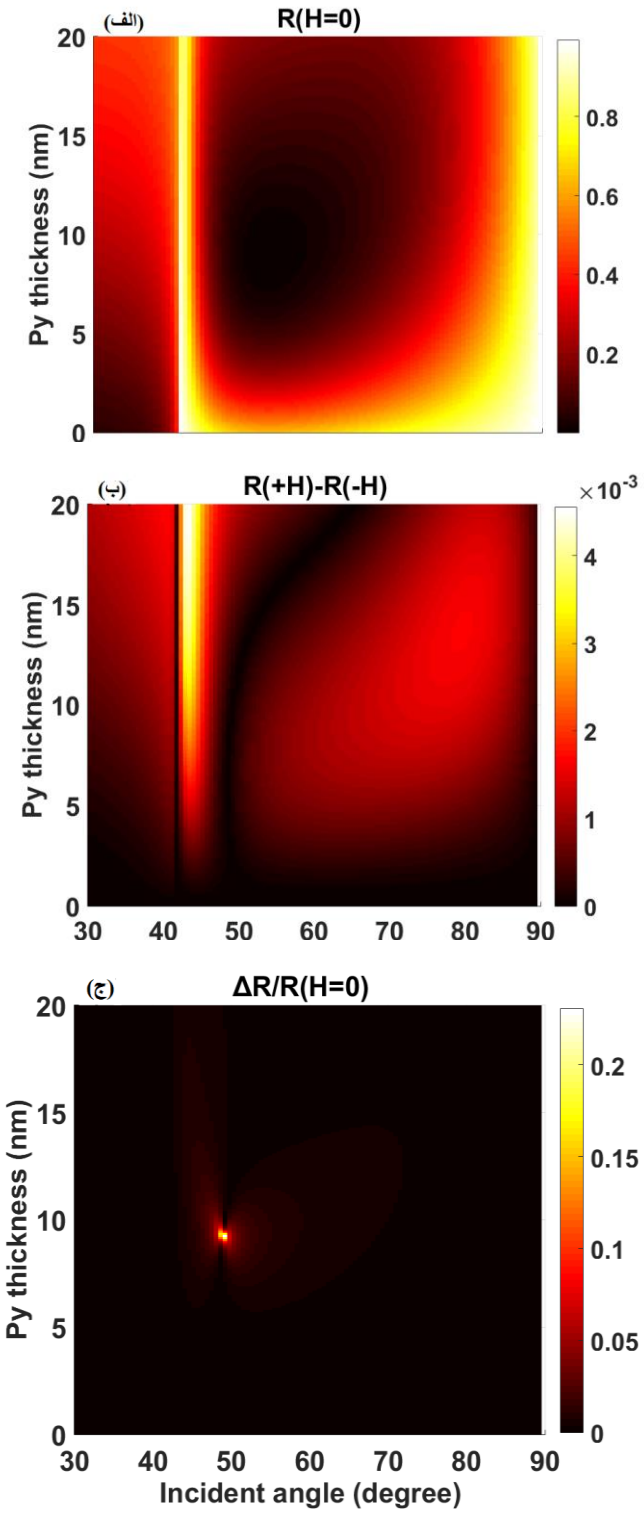
در این مقاله به منظور تحریک پلاسمون های سطحی و افزایش اثر کر به وسیله آن ها از پیکربندی کرچمن در هندسه عرضی استفاده شده است. لایه به صورت شیشه/طلا/پرمالوی/MoS_2 می باشد که بر روی یک منشور نیمه استوانه ای قرار داده شده است. از طلا به دلیل بالا بودن خاصیت پلاسمونی واز پرمالوی به دلیل بالا بودن خاصیت مغناطیسی آن در میدان های پایین استفاده شده است.از MoS_2 به عنوان یک نیمه هادی که قابلیت تولید حاملین بار آزاد دارد، برای افزایش خاصیت پلاسمونی استفاده شده است. پرتو فرودی با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر (قرمز) با قطبش P ، از طرف منشور به ساختار تابیده می شود. شکل ۱ ساختار مورد نظر را به صورت طرحوار نشان می دهد:



شکل ۱: بلور مگنتوپلاسمونیک در هندسه کرچمن. H میدان مغناطیسی اعمالی به ساختار در راستای محور X می باشد.

ضریب شکست و ثابت مگنتواپتیکی لایه ها از منابع اطلاعاتی استخراج شده است[5][6] به منظور دستیابی به بیشترین سیگنال کر عرضی و مطابق با مطالعات قبلی ضخامت لایه طلا را مقدار ثابت۹ (نانومتر) در نظر می گیریم [1] و رفتار شدت نور بازتابی R(H=0) و مولفه مگنتو اپتیکی خالص ΔR_{pp} و شدت سیگنال کر $\Delta R_{pp}/R_{pp}$ را برحسب ضخامت پرمالوی وزاویه فرودی با استفاده از نرم افزار متلب رسم کرده و بررسی میکنیم. (شکل ۲).

با توجه به شکل(۲ الف) شدت نور بازتابی در زاویه ۴۲/۲ درجه به بیشترین مقدار خود می رسد که متناظر با بازتاب کلی می باشد. مقدار کمینه بازتاب که متناظر با تشدید پلاسمون های سطحی می باشد در زاویه ۴۸ و برای ضخامت ۹ نانومتر پرمالوی اتفاق می افتد. در شکل (۲ ب) نمودار ΔR_{pp} بر حسب زاویه فرودی و ضخامت لایه کبالت رسم شده است. با توجه به شکل در ضخامت های کمتر از ۱ نانو متر مقدار ΔR_{pp} به صفر می رسد. زیرا ضخامت لایه مغناطیسی کمتر از آن است که نور بتواند با آن برهمکنش کند. با افزایش ضخامت پرمالوی و در زاویه ۴۴/۳ درجه

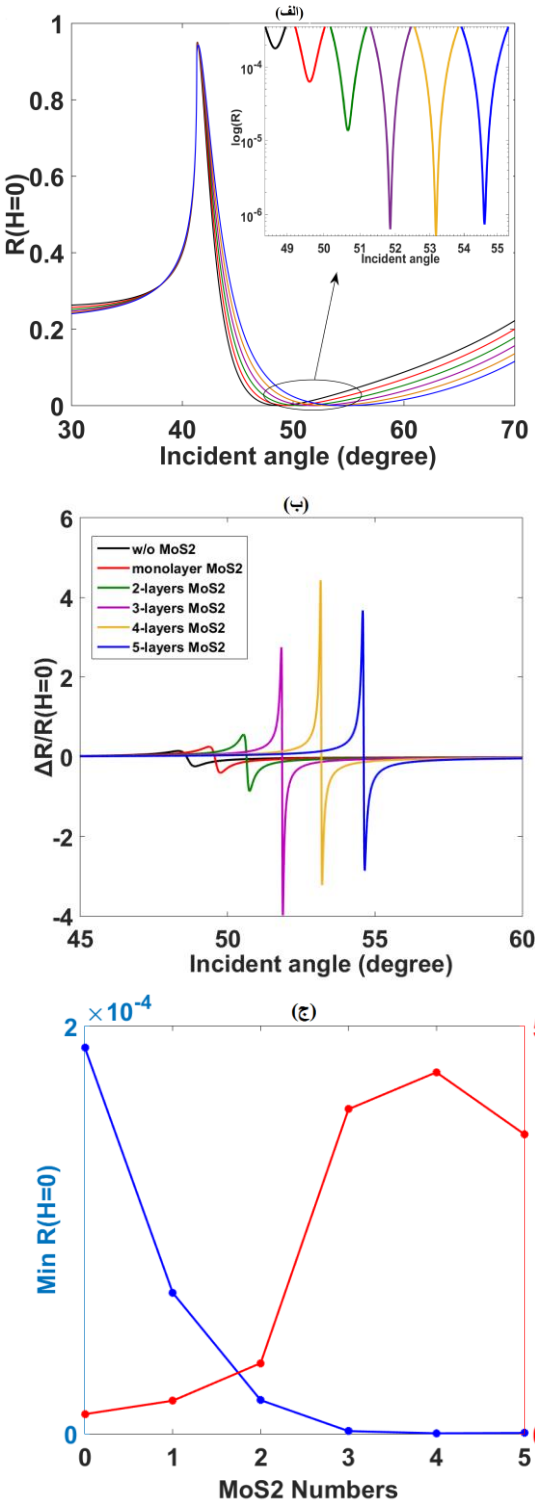


شکل(۲): الف) نمودار مولفه اپتیکی خالص ب) مگنتواپتیکی خالص ج) سیگنال کر برای ساختار شیشه/طلا/پرمالوی

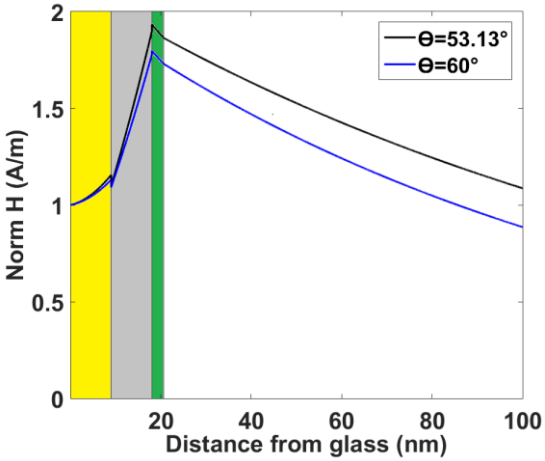
مقدار ΔR_{pp} به علت افزایش برهمکنش نور با ماده مغناطیسی به بیشترین مقدار میرسد. ولی با افزایش ضخامت لایه مغناطیسی مقدار اتلاف اپتیکی و همچنین مقدارکمینه بازتاب نیز افزایش می یابد. در نتیجه مقدار سیگنال کر کاهش می یابد. و در نهایت با توجه به نمودار سوم بیشینه سیگنال کر ۰/۲٤ و در ضخامت ۹ نانومتر برای پرمالوی می باشد.

نمودارهای بررسی شده در شکل ۲ بدون در نظر گرفتن لایه MoS_2 می باشد. در قدم بعدی لایه های MoS_2 را بر روی ساختار قرار داده و تاثیر آن را بررسی می کنیم. نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳ الف) با اضافه شدن لایه MoS_2 زاویه مربوط به بازتاب کلی تغییر نمیکند، ولی زاویه مربوط به کمینه بازتاب به سمت زاویه های بزرگترجابه‌جا می شود. علت این امر را می توان به بزرگ بودن قسمت حقیقی ضریب شکست MoS_2 ربط داد. مقدارکمینه بازتاب نسبت به حالت قبلی کاهش می یابد. این امر باعث می شود که موج پلاسمون پولاریتون بیشتری در سطح ساختار منتشر شده و در نتیجه مقدار سیگنال کر شکل(۳ ب) افزایش می یابد. با توجه به غیر صفر بودن قسمت موهمی ضریب شکست MoS_2 با افزایش تعداد آن مقدار جذب اپتیکی نیز افزایش یافته و نمودار بازتاب در ناحیه مربوط به تشدید پلاسمونی پهن تر می شود. با توجه به شکل(۳ ب) اندازه سیگنال کر کاملا وابسته به تعداد لایه های MoS_2 می باشد. تاثیر تعداد لایه های MoS_2 بر روی کمینه بازتاب و سیگنال کر در نمودار (۳ ج) نشان داده شده است. بیشترین مقدار سیگنال کر به مقدار ٤/٤۰ و در زاویه فرودی ۵۳/۱۳ درجه و برای ساختار شامل ٤ لایه MoS_2 به دست آمده است. این مقدار حدود ۱۸ برابر بیشتر از سیگنال کر نسبت به ساختار بدون MoS_2 می باشد. باافزایش تعداد لایه های MoS_2 بیشتر از ٤، مقدار مینیمم بازتاب افزایش یافته و در نهایت مقدار سیگنال کر کاهش می یابد. در شکل ٤ نمودار مربوط به توزیع میدان الکترومغناطیسی شیشه/طلا/پرمالوی/(٤×) MoS_2 رسم شده است. همانطور که دیده می شود (٤ الف)، در زاویه۵۳/۱۳ درجه وقتی که پلاسمون پولاریتون سطحی تشدید می شود بیشترین مقدار شدت موج الکترومغناطیسی در مرز بین پرمالوی و MoS_2 جایگزیده شود. این امر باعث می شود که برهمکنش موج با پرمالوی افزایش یافته و در نهایت پاسخ مگنتواپتیکی ساختار افزایش یابد. در زاویه تابشی ٦۰ درجه قسمتی از نور تابیده شده به محیط اول بر میگردد.

در نتیجه ازشدت میدان الکترومغناطیسی جایگزیده شده درون ساختار کاسته می شود.



شکل (۳): الف)نمودار مولفه اپتیکی خالص ب)مگنتواپتیکی خالص ج) سیگنال کر برای ساختار شیشه/طلا/پرمالوی/MoS_2(×۴)



شکل(٤) :توزیع شدت میدان الکترومغناطیسی داخل ساختار شیشه/طلا(زرد)/پرمالوی(خاکستری)/MoS_2(×۴) (سبز)

نتیجه گیری

در این مقاله به صورت نظری پاسخ مگنتواپتیکی ساختارشیشه/طلا/پرمالوی / MoS_2 برای تعداد لایه های مختلف MoS_2 بررسی شد. بیشینه سیگنال کر عرضی به مقدار ٤/٤٠ برای ساختاری که شامل ٤ لایه MoS_2 بود و در زاویه تابشی ٥٣/١٣ درجه که متناظربا تشدید پلاسمون های سطحی می باشد بدست آمد. مقدار سیگنال کر بدست آمده ١٨ برابر همان ساختار بدون لایه MoS_2 می باشد. بیشترین جایگزیدگی نور در این ساختار در مرز بین پرمالوی و MoS_2 بود که باعث افزایش برهمکنش نور با ماده مغناطیسی و در نتیجه افزایش سیگنال کر عرضی شد.

مرجع ها

[1] M. Moradi, S. M. Mohseni, S. Mahmoodi, D. Rezvani, N. Ansari, S. Chung, and J. Åkerman, "Au/NiFe magnetoplasmonics: Large enhancement of magneto-optical kerr effect for magnetic field sensors and memories," *Electron. Mater. Lett.*, vol. 11, no. 3, pp. 440–446, May 2015.

[2] S. Mahmoodi, M. Moradi, and S. M. Mohseni, "Magneto-optical response of Cu/NiFe/Cu nanostructure under surface plasmon resonance," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 420, pp. 258–262, 2016.

[3] A. H. Baradaran Ghasemi, E. Faridi, N. Ansari, and S. M. Mohseni, "Extraordinary magneto-optical Kerr effect via MoS 2 monolayer in Au/Py/MoS 2 plasmonic cavity," *RSC Adv.*, vol. 6, no. 108, pp. 106591–106599, 2016.

[4] S. Visnovsky, R. Lopusnik, M. Bauer, J. Bok, J. Fassbender, and B. Hillebrands, "Magnetooptic ellipsometry in multilayers at arbitrary magnetization," *Opt. Express*, vol. 9, no. 3, p. 121, Jul. 2001.

[5] E. D. Palik, "Handbook of Optical Constants of Solids," in *Handbook of Optical Constants of Solids*, Academic Press, 1997, p. 989.

[6] I. Song, C. Park, and H. C. Choi, "Synthesis and properties of molybdenum disulphide: from bulk to atomic layers," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 10, pp. 7495–7514, 2015.