



بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



افزایش ضریب مگنتوآپتیکی کر بر اساس جفت شدگی قوی اکسیتون - پلاسمون در چند لایه ایهای Au/Co/Au

امید غایبی^۱، سیده مهری حمیدی^۱، عزالدین مهاجرانی^۲

^۱آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

^۲آزمایشگاه فوتونیک مواد آلی و پلیمرها، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده - یکی از راه های بررسی جفت شدگی قوی اکسیتون-پلاسمون، لایه های نازک شامل فلز و مولکول های رنگدانه ای فلورسانس می باشد، در این مقاله به صورت تجربی، جفت شدگی قوی بین پلاسمون پلاریتون های سطحی چند لایه ای Au/Co/Au و اکسیتون های رنگدانه R6G از طریق چیدمان بازتابش کلینشان داده شد. سپس افزایش ضریب مگنتوآپتیکی کر بر پایه ذره جدید در چیدمان مگنتو پلاسمونی کر مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه نتایج آن با بازتابش کلی گویای افزایش خواص مگنتوآپتیکی بود.

کلید واژه- اکسیتون، پلاسمون، خواص مگنتوآپتیکی کر، جفت شدگی قوی، رنگدانه R6G

Study of enhanced Kerr magneto-optical coefficient based on exciton-plasmon strong coupling in Au/Co/Au multilayers

Omid Ghaebi¹, Seyyedeh Mehri Hamidi¹, Ezodin Mohajerani²

¹Magnetoplasmonics lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran.

²Photonics of organic materials and polymers lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran.

Abstract- One of the ways to examine exciton-plasmon Strong coupling is thin layers of metal containing dye fluorescent molecules, In this paper we experimentally show strong coupling of Au/Co/Au surface plasmon polaritons to R6G dye molecules using attenuated total reflection setup. Then enhanced Kerr magneto optical rotation was studied based on the new polaritonic particle via Kerr magnetoplasmonic setup and comparing results to attenuated total reflection setup revealed enhanced magneto-optical properties.

Keywords: Exciton, Plasmon, Kerr Magneto-optical properties, Strong coupling, R6G dye

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

۱. مقدمه

علیرغم گسترش بی حد و وصف فناوری نانو در حوزه های مواد و کاربرد های الکترونیکی و زیست-شیمیایی، علم فوتونیک به دلیل حد پراش هنوز جایگاه خود را در این فناوری تثبیت نکرده است. این در حالی است که پلاسمون پلاریتون های سطحی نامزد های عالی برای بازگشایی در های علم فوتونیک به سوی فناوری نانو می باشند. پلاسمون پلاریتون های سطحی، نوسانات جمعی در مرز فلز و دی الکتریک هستند و بخاطر خاصیت میدان نزدیکشان، امکان محدود کردن نور در ابعاد کوچکتر از طول موج را فراهم می سازند. از آنجایی که اکسیتون به عنوان حالت مقید الکترونو حفره، مکانیسم گسیل نور در نیم رسانا را کنترل می کند، جفت شدگی قوی پلاسمون و اکسیتون می تواند خواص فوتوفیزیکی اکسیتون را کنترل کند [۱]، [۲].

جفت شدگی قوی قادر است منابع غیر هم دوسر امجبور به رفتار هم دو سکند و از طرفی پلاسمون پلاریتون های سطحی امکان محدود کردن نور در ابعاد نانو را فراهم می سازد، در نتیجه این پدیده می تواند آینه های نازک و لیزر ها و همینطور مدار های مجتمع اپتیکی را تعیین کند [۳]. از طرفی بررسی خواص مگنتو اپتیکی نیز در توسعه مدولاتورها، حسگر ها و ایزلاتور های مگنتو پلاسمونیک نقش مهمی ایفا می کند. بنابراین در این مقاله سعی شده است، افزایش ضریب مگنتو اپتیکی بر پایه جفت شدگی قوی با رهیافتی تجربی بر اساس جفت شدگی قوی اکسیتون-پلاسمون مورد ارزیابی قرار گیرد.

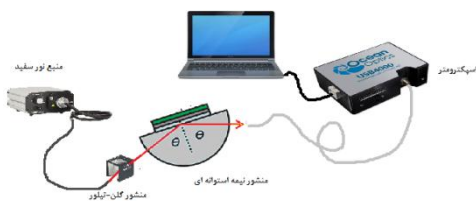
۲. شرح آزمایش

جفت شدگی قوی پلاسمون پلاریتون های سطحی با مولکول های رنگدانه ای از طریق چیدمان^۱ ATR و بررسی افزایش ضریب مگنتو اپتیکی کر از طریق چیدمان^۲ SPP-MOKE مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور،

یک چند لایه ای شامل کروم-طلا-کبالت-طلا به ضخامت های ۵-۱۰-۲/۵-۱۰ نانومتر از طریق لایه نشانی کندوپاشی بر روی یک زیر لایه از جنس شیشه تهیه شد. یک لایه شامل رنگدانه-PMMA بر روی این چند لایه ای از طریق لایه نشانی مغناطیسی قرار گرفت. دلیل استفاده از کبالت در این چند لایه ای، بررسی خواص مگنتو اپتیکی کر آن می باشد. رنگدانه مورد استفاده در این مقاله، R6G^۳ بوده و استفاده از PMMA به عنوان ماده شفاف، کنترل کننده ضخامت لایه و غلظت رنگدانه مورد نظر می باشد. برای مشخصه سنجی رنگدانه مورد استفاده، در ابتدا محلول ۰/۱ گرم بر لیتر PMMA-R6G بر روی یک شیشه لایه نشانی شد تا طیف جذب آن بررسی شود.

چند لایه ای مگنتو پلاسمونی مورد نظر به این ترتیب نهایی شد که محلول شامل ۴ میلی لیتر PMMA مایع به همراه ۴ میلی گرم R6G یک محلول با غلظت ۰/۱ گرم بر لیتر تشکیل دادند که بر روی چند لایه ای طلا-کبالت-طلا با سرعت ۳۰۰۰ rpm به مدت ۳۰ ثانیه لایه نشانی شد و با توجه به مشخصات سازنده، ضخامت در حدود ۱۴۰ نانومتر تخمین زده می شود.

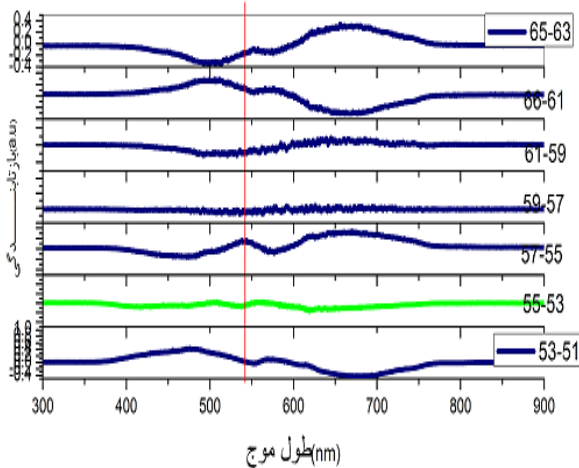
چیدمان بازتابی ATR به منظور مشخصه یابی این چند لایه ای در شکل (۱) نشان داده شده است، برای تولید نور سفید با قطبش TM، نور سفید از یک منشور گلن-تیلور عبور کرد و پس از عبور از منشور و برخورد به نمونه، بازتاب برای زوایای برخورد متفاوت و طول موج های مختلف توسط اسپکترومتر ثبت شد.



^۱attenuated total reflection

^۲Surface plasmon magneto optical kerr effect

^۳Rhodamine 6g

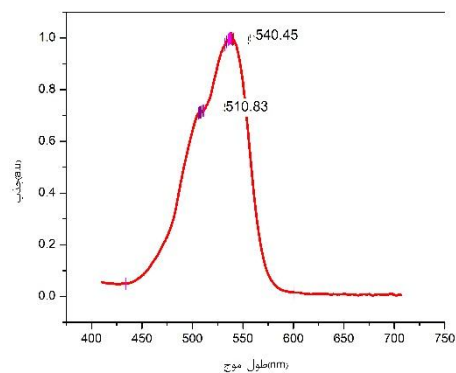


شکل (۱): چیدمان آزمایش ATR برای بررسی شدگی قوی اکسیتون های رنگدانه و پلاسمون پلاریتون های سطحی

پس از اطمینان از جفت شدگی قوی اکسیتون-پلاسمون پلاریتون سطحی، بررسی افزایش ضریب مگنتوآپتیکی کر در هندسه طولی در چیدمان [4] SPP-MOKE مورد بررسی قرار گرفت به این شکل که نور با قطبش TM به نمونه در تماس با منشور برخورد می کند با این تفاوت که این بار یک میدان مغناطیسی به اندازه ۶۹ میلی تسلا به صورت طولی بر نمونه وارد میشود.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه گیری طیف جذبی R6G در شکل ۲ آورده شده است.



شکل (۲): جذب رنگدانه R6G بر حسب طول موج، بیشینه جذب در ۵۴۰/۴۵

همچنانکه دیده می شود، طیف جذبی R6G دارای یک بیشینه در ۵۴۰ نانومتر و یک شانه در حوالی ۵۰۰ نانومتر می باشد که تبیین فیزیکی آن ها به اکسیتون های یگانه و دوگانه H-dimer باز میگردد [۵].

جهت بررسی جفت شدگی قوی طیف بازتاب در زوایای ۳۰ تا ۶۰ درجه در بازه طول موجی ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر ثبت شد (شکل ۳). انتظار می رفت بازتابندگی برای زوایای بین ۵۳-۵۵ دو بیشینه پلاریتونی به فاصله یکسان از بیشینه جذب رنگدانه R6G به وجود آورد و این موضوع بیانگر جفت شدگی قوی بین پلاسمون پلاریتون های سطحی چند لایه ای طلا-کبالت-طلا و مولکول های R6G می باشد.

شکل (۳): نمودار بازتابندگی بر حسب طول موج برای زوایای متفاوت، خط قرمز رنگ بیانگر بیشینه جذب رنگدانه R6G، در فاصله ۵۳-۵۵ درجه دو بیشینه به فاصله مساوی از خط جذب رنگدانه قرار دارند.

بررسی دقیق تر بازتابندگی (شکل ۴) نشان می دهد که دو بیشینه حاصل از جفت شدگی قوی کاملاً نسبت به R6G در تقارن کامل قرار دارند و این موضوع حاکی از آن است که دو ذره قبلی جای خود به یک ذره جدید با خواص تازه داده اند. در صورتی می توان به این واقعیت جفت شدگی قوی استناد نمود که دو ذره به یک شبه ذره تبدیل شوند و این امر در صورتی محقق می گردد که دو پیک جذبی در تقارن کامل نسبت به پیک جذبی رنگدانه باشند.

حال باید دید که آیا این جفت شدگی قوی پلاسمون-اکسیتون باعث افزایش ضریب مگنتوآپتیکی کر می شود یا خیر؟

به این منظور خواص مگنتوآپتیکی کر پس از جمع آوری نتایج و بررسی آنها (شکل ۵) نشان می دهد در مکان هایی که کمینه و بیشینه بازتاب را داریم، در آن نقاط به ترتیب بیشینه و کمینه اثر مگنتوآپتیکی را داریم.

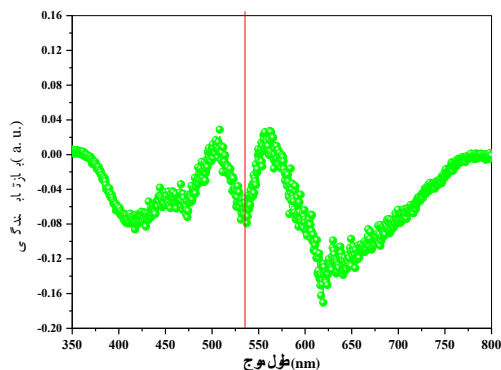
نمونه نیز با توجه به اینکه فقط در ابتدای بازه مرئی در ۴۶۷ نانومتر پاسخ مگنتوپتیکی دارد، بر جفت شدگی پلاسمون-اکسیتون صحنه می گذارد.

۴. نتیجه گیری

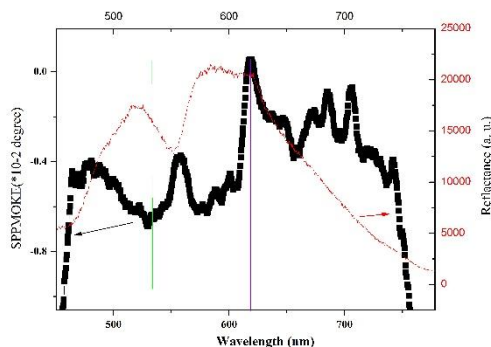
همانطور که در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شد، اکستریم پلاسمونی با افزایش زاویه به سمت طول موجی حرکت می کند که بیشینه جذب رنگدانه R6G می باشد و پس از وارد شدن به پهنای انرژی رنگدانه شروع به برهمکنش کرده و در فاصله زاویه ای ۵۳-۵۵ درجه دو بیشینه پلاریتونی به وجود می آیند که از لحاظ ارتفاع و فاصله تا بیشینه جذب رنگدانه فاصله یکسانی دارند، می توان این رفتار را به واسطه جفت شدگی قوی بین این دو ذره دانست، پلاسمون پلاریتون های سطحی و اکسیتون های رنگدانه جای خود را به ذره جدیدی دادند که دیگر خواص فیزیکی حالت های غیر جفت شده ی قبلی را ندارد و این در حالی است که هنوز اندرکنش این دو ذره از لحاظ فیزیکی جای بحث دارد. در ادامه سعی شد تا با وجود میدان مغناطیسی، ذره ای به نام مگنتوپلاسمون سطحی را فعال کنیم و از نقطه نظری می توان گفت که نمودار شکل ۵ در واقع جفت شدگی قوی مگنتوپلاسمون پلاریتون های سطحی و اکسیتون های رنگدانه را نشان می دهد ولی از نگاهی ساده تر نیز می توان پاسخ شکل ۴ را نسبت به میدان مغناطیسی مورد بررسی قرار داد. از هر دو دیدگاه نتیجه یکسان است چرا که می تواند راهی جدید در راستای بهینه سازی دستاورد های فوتونیک پدید آورد.

۵. مراجع

- [1] Wang, W., et al. "Interplay between Strong Coupling and Radiative Damping of Excitons and Surface Plasmon Polaritons in Hybrid Nanostructures." *ACS Nano* 8(1): 10561064.(2014).
- [2] Bellessa, J., et al. "Strong Coupling between Surface Plasmons and Excitons in an Organic Semiconductor." *Physical Review Letters* 93(3): 036404.(2004).
- [3] Khitrova G, Gibbs H M, et al, 1(2):531-523(2008).
- [4] S.M.Hamidi, H.Goudarzi, S.Sadeghi, J.superconductivity and Novel magnetism, 28,1565 (2015).
- [5] Melnikau, D., et al. "Strong plasmon-exciton coupling in a hybrid system of gold nanostars and J-aggregates." *Nanoscale Research Letters* 8(1): 1-6.(2013).



شکل (۴): نمودار بازتابندگی بر حسب طول موج برای زوایای ۵۳-۵۵، خط قرمز رنگ بیانگر بیشینه جذب رنگدانه



شکل (۵): منحنی قرمز رنگ نشان دهنده ی بازتاب بر حسب طول موج بدون حضور میدان مغناطیسی، منحنی مشکی نشان دهنده نتایج چیدمان ppmoke برای زوایای ۵۳-۵۵ درجه، خط سبز رنگ طول موج بیشینه جذب R6G، خط بنفش طول موج ۶۲۰ نانومتر را نشان می دهد.

واضح است که در تشابه با پاسخ ATR، دو سمت طول موج جذبی بیشینه R6G، در اثر برآورده شدن جفت شدگی قوی، پاسخ مگنتوپتیکی بهینه اتفاق افتاده است. به علاوه در طول موج ۶۳۲ نانومتر، متناسب با طول موج تغییر نقطه عطف ضریب بازتاب، به دلیل تشدید پلاسمون پلاریتون سطحی در مرز مشترک لایه نازک طلا و کبالت، افزایش برهمکنش امواج پلاسمونی در کنار تغییر عناصر غیر قطری تانسور دی الکتریک در لایه کبالت، افزایش خاصیت مگنتوپتیکی مشاهده می شود.

به علاوه جداسازی سهم پلاسمونی از سهم اکسیتونی سیستم با اندازه گیری پاسخ مگنتوپلاسمونی چند لایه ای طلا/ کبالت/ طلا اندکی ممکن می گردد. بررسی پاسخ این