بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بهبود خواص پلاسمونیکی نانو خوشه‌های فلزی با اضافه کردن نانوذرات دی-الکتریک در محل‌های مشخص بین نانوذرات فلزی

الناز جمشیدی[۱]، سعید گل محمدی[۲]

۱-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی- گروه مهندسی برق- الکترونیک- تبریز

۲- دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین- دانشگاه تبریز

چکیده-در این مقاله اثرات اضافه کردن نانوذرات دی الکتریک بر روی خواص پلاسمونیکی نانو خوشه‌های فلزی با آرایش هپتامر بررسی شده است. نانوذرات از جنس کربن در محل‌های بخصوصی در بین نانوذرات فلزی در ساختار مذکور اضافه شده‌اند. این نانوذرات دی الکتریک باعث تبدیل مدهای پلاسمونی به مدهای پلاسمونی مغناطیسی شده‌اند. از این ساختارها که نانو خوشه های فلز-دی الکتریک نامیده می‌شوند می‌توان برای افزایش حساسیت ا نواع سنسورهای مبتنی بر تشدید پلاسمون های سطحی موضعی استفاده نمود. با افزودن نانوذرات دی –الکتریک مابین نانو دیسک های فلزی با آرایش هپتامر مدهای چهار قطبی پلاسمونی فلز-دی الکتریک فعال مشاهده شدند.

کلید واژه-فانو رزونانس،هپتامر،نانو ذرات دی الکتریک کربن

Modification Plasmonic Properties of Metallic Nanocluster by Adding Dielectric Nanoparticle In Selective Areas Between Metal Nanoparticle

Elnaz jamshidi[۱], saeed golmohammadi[۲]

۱- Department of Electronics Engineering, East Azarbaijan Science and Research Branch, Tabriz, Iran.

۲- School of Engineering-Emerging Technologies, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract- In this paper, effects of adding dielectric nanoparticles into metallic nanocluster with heptamer configuration on their plasmonic properties have been investigated. Carbon nanoparticles inter metal nanoparticles are added in specific zones in the given structure. These dielectric nanoparticles make magnetic plasmon modes from ordinary plasmon modes. Metal-dielectric nanocluster structures are known to increase the sensitivity of sensors based on localized surface Plasmon resonances. Depositing dielectric nanoparticles between metallic nanodisks in the heptamer structure leads to metal-dielectric quadrupole plasmon mode activation.

Keywords- Plasmonic, Fano resonance, Heptamer, Carbon dielectric nanoparticle

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

۱- مقدمه

همان‌طور که مولکول‌ها از آرایش اتم های متصل شده توسط پیوندهای شیمیایی متصل شده‌اند، نانوخوشه‌های پلاسمونیکی هم از چینش نانوذرات فلزی تشکیل شده‌اند که توسط میدان محلی ناشی از نور تزویج می‌شوند [۱]. برای ایجاد نوسانات تشدیدی در الکترون‌های سطحی، نانوساختارهای فلزی دارای چینش خاص به عنوان ساختار اساسی استفاده می‌شود. .تشدید پلاسمونیکی نانوساختارها به شکل و اندازه‌ی ان‌ها بستگی دارد [۲ و ۳]. از چینش نانو ذرات فلزی با ترتیب خاص مدهای پلاسمونی تشدید حاصل می‌شود که ازهیبریداسیون این مدهای تشدیدی مدهای الکتریکی و مغناطیسی مرتبه پلاسمونی بالاتر به وجود می‌آید.

اخیرا ساختارهای هپتامر[۱]ارائه شده‌اند که نانوخوشه‌های متقارن هستند این ساختارها از چینش هفت نانو ذره فلزی مشابه یکی در وسط و شش تای در اطراف ان به صورت کاملا متقارن تشکیل شده‌اند [۴]. کوپلینگ الکترو مغناطیسی قوی بین هفت ذره باعث تشکیل مدهای پلاسمون از نوع فانو رزونانس می‌شود.دو مد لازم برای تشکیل رزونانس فانو عبارتند از:۱-ابر انتشاری[۲] که در ان دو قطبی های پلاسمون کل نانو ذرات در یک فاز و در یک جهت نوسان می‌کنند.۲-زیر انتشاری[۳] که در آن گشتاور دو قطبی ذره مرکز با گشتاور دو قطبی ذرات اطراف متفاوت می‌باشند[۲]. از هیبریداسیون مدهای ابر انتشاری و زیر انتشاری در ساختار هپتامر بین نانو ذره مرکزی و نانو ذره‌های پیرامون، رزونانس از نوع فانو ایجاد می‌شود. با تغییر دادن اندازه نانوذرات و شکستن تقارن در هپتامر می توان فانو رزونانس را در طول موج های مختلف تنظیم کرد[۵].ساخت هپتامر با روش لیتوگرافی پرتو الکترونی باعث کنترل دقیق شکل و اندازه این نانوساختارها انجام می‌شود.

نانو خوشه‌های پلاسمونیکی دارای خصوصیات مفید نوری هستند که به ویژه در حسگرها کاربرد زیاد دارند. در این حسگرها، نانوخوشه های با فانو رزونانس اخیرا مورد توجه قرار گرفته‌اند. ساختار هپتامر به دلیل قابلیت دستکاری LSPR[۴]،ساختاری بسیار مناسب برای کاربردهای حسگری است.حسگرهای پلاسمون سطحی موضعی LSPR قادر به سنس کردن اختلالات محیطی با دقت بالا هستند[۶].

فرکانس تشدید پلاسمونی در نانوساختارها با تابع دی-الکتریک وابسته به فرکانس فلز،اندازه و شکل نانوذرات و تابع دی الکتریک تعیین می‌شود.اساس عملکرد حسگرهای مبتنی بر LSPR ،تغییرات در طیف پراکندگی با تغییر در خواص دی الکتریک محیط اطراف هست.میزان حساسیت حسگرهای LSPR، با پارامترهای معیار کیفیت FOM[۵] ارائه می‌شود.FOM از تقسیم نسبت جا به جایی انرژی پلاسمون در واحد ضریب شکست بر پهنای طیفی قله تشدید به دست می‌اید.

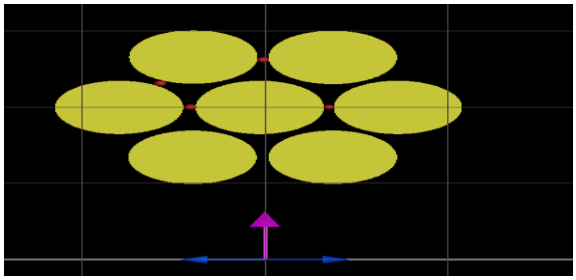
۲-ساختار هپتامر با نانوذرات دی الکتریک کربن

نانو خوشه پلاسمونیکی مورد بحث در این مقاله ساختار هپتامر شامل هفت دیسک می باشد یک دیسک مرکزی و شش دیسک خارجی در اطراف آن وجود دارد شعاع کلیه دیسک ها ۳۵ نانو متر وجنس ان ها از طلا است. فاصله بین دیسک ها ۷ نانومتر است. نانو ذرات دی الکتریک کربن به شعاع ۳,۵ نانومتر در محل های نشان داده شده بین نانوذرات خوشه قرار داه شده است.منبع نور کل-میدان پراکندگی –میدان[۶] که برای تحریک نانو ذرات استفاده می شود به کار برده شده است. منبع نور کل میدان پراکندگی میدان برای جدا کردن منطقه شبیه‌سازی به دو منطقه مجزا استفاده می‌شود. منطقه اول شامل کل میدان (مجموع میدان تابشی ومیدان پراکنده شده) در حالی که منطقه دوم تنها شامل میدان پراکنده شده است. این نوع منبع برای مطالعه رفتار پراکندگی اجسام مفید هستند. دامنه این منبع یک،فاز ان صفر درجه وزاویه پلاریزاسیون ان صفر درجه است.

---

[۱] heptamer
[۲] Superradiant
[۳] Subradiant
[۴] Localized surface plasmon resonance
[۵] Figure of merit
[۶] Total-field scattered-field

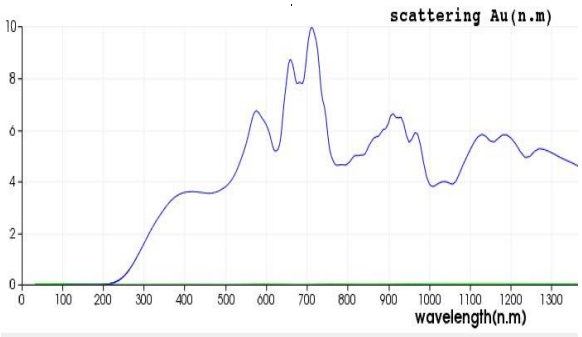
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]



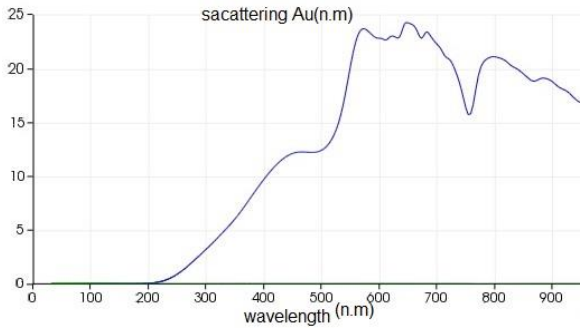
شکل۱-ساختار هپتامر با ۷ دیسک به شعاع ۳۵ نانومتر از جنس طلا با نانوذرات دی الکتریک از جنس کربن به شعاع ۳٫۵ نانومتر در محل های نشان داده‌شده

۳-نتایج وبحث

برای نانو خوشه های پلاسمونیکی که در آن‌ها پدیده همدوسی وجود دارد اضافه کردن ذرات دی الکتریک به نانو ساختار ها باعث تغییرات اساسی در مدهای پلاسمون می-شود. اندازه ثابت دی الکتریک افزایش می‌یابد و به تبع آن شدت تزویج بین دو نانو ذره فلزی مجاور افزایش می یابد. نمودار پراکندگی با حل معادلات ماکسول با استفاده از نرم افزار FDTD[۷] بدست آمده است. شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب نمودار پراکندگی ساختار هپتامر با نانو دیسک‌های فلزی را بدون نانو ذرات کربن و همچنین با نانو ذرات کربن نشان می‌دهد.



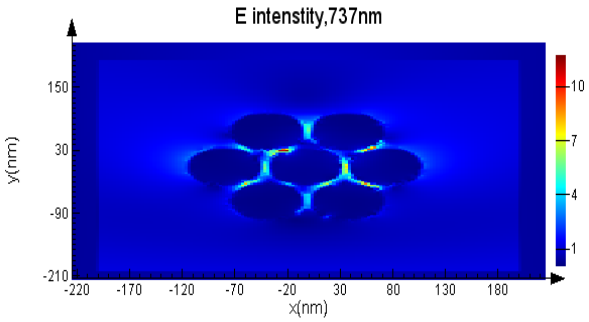
شکل۲-نمودار پراکندگی هپتامر بدون نانوذرات دی الکتریک کربن



شکل۳-نمودار پراکندگی هپتامر با نانوذرات دی الکتریک کربن

در نمودار پراکندگی هپتامر بدون نانوذرات دی الکتریک مینمم فانورزونانس در طول موج ۶۴۰ نانومتر وماکسیمم فانو رزونانس در۷۰۰ اتفاق می‌افتد با افزودن نانوذرات دی الکتریک مینمم فانو رزونانس به سمت طول موج‌های بزرگتر ۷۳۷ نانومتر و ماکسیمم فانو به سمت طول موج ۸۰۰ نانومترشیفت پیدا می‌کند. این تغییرات طیفی را می‌توان با کاهش دادن فاصله بین نانوذرات نیز مشاهده کرد. در نتیجه اضافه کردن نانوذرات به خوشه فلزی باعث افزایش کوپلینگ بین نانوذرات بدون کاهش دادن فیزیکی فاصله بین نانوذرات فلزی می شود.مدهای چهار قطبی در طول موج ۴۵۰ نانومتر مشاهده می‌شود.

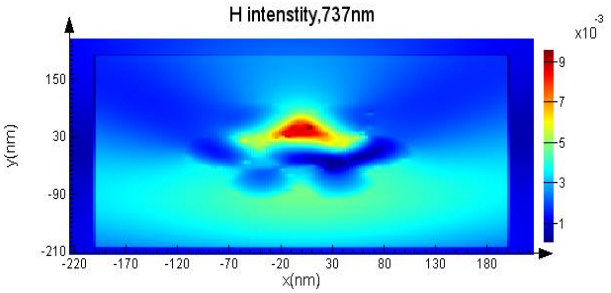
درشکل‌های ۴ تا ۷ شدت میدان الکتریکی **E** وشدت میدان مغناطیسی **H** در طول موج فانو هپتامر با نانوذرات دی الکتریک و بدون نانوذرات دی الکتریک نشان داده شده است.



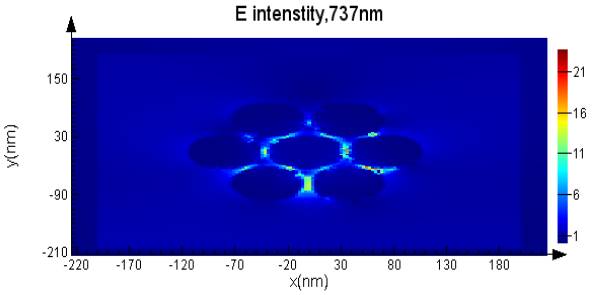
شکل۴-نمودار شدت میدان الکتریکی هپتامر بدون نانوذرات دی الکتریک در طول موج فانو رزونانس ۷۳۷ نانومتر و اندازه مش ۳ نانومتر

[۷] Finite-difference time-domain

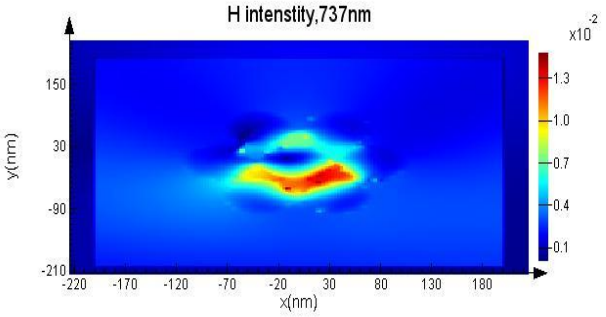
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]



شکل۵-نمودار شدت میدان مغناطیسی هپتامر بدون نانوذرات دی الکتریک در فانو رزونانس ۷۳۷ نانو متر و اندازه مش۳ نانو متر



شکل۶-نمودار شدت میدان الکتریکی هپتامتر با نانوذرات دی الکتریک کربن در طول موج فانو رزونانس ۷۳۷ نانومتر و اندازه مش ۳ نانومتر



شکل۷-نمودار شدت میدان مغناطیسی هپتامر با تاتوذرات دی الکتریک کربن در طول موج فانو رزونانس ۷۳۷ نانومتر و اندازه مش ۳ نانومتر با افزودن نانوذرات دی الکتریک کربن کوپلینگ میدان مغناطیسی قوی تر می‌شود.

۴-نتیجه گیری

همان طور که مشاهده شد افزودن نانوذرات دی الکتریک کربن موجب تغییر مدهای پلاسمون به مدهای پلاسمونی مغناطیسی می‌شود. با افزودن یک نانوذره دی الکتریک کربن در محل انتخابی مدهای چهار قطبی پلاسمون در نمودار پراکندگی مشاهده می‌شود. افزودن نانوذرات دی الکتریک بعدی باعث افزایش مدهای پلاسمون مغناطیسی می‌شود. هم چنین افزودن نانوذرات دی الکتریک کربن باعث شیفت شدن فانو رزونانس به سمت طول موج‌های بزرگتر می‌شود. از این خصوصیت در حسگرهای LSPR استفاده می‌شود.

۵-مراجع

[۱] F. Wen, J. Ye, N. Liu, P. V. Dorpe, P. Nordlander, N. .Halas "*Plasmon Transmutation: inducing new modes in Nanoclusters by Adding Dielectric Nanoparticles*" Nano letters, ۱۲, ۵۰۲۰-۵۰۲۶, ۲۰۱۲

[۲] J. B. Lassiter, H. Sobhani, J. A. Fan, J. Kundu, F. Capasso, P. Nordlander, N. J, Halas "*Fano Resonances in plasmonic structures :Geometrical and Chemical Tunibility*" Nano Letters, ۱۰, ۳۱۸٤-۳۱۸۹, ۲۰۱۰

[۳] J. B. Lassiter, J. Aizpurua, L. Hernandez, D. W. Brandl, L. Romero, S. Lal, J. H. Hafner, P. Nordlander, N. Halas, "*close Encounters between Two Nanoshells*", Nano Letters, vol۸, No٤, ۱۲۱۲-۱۲۱۸, ۲۰۰۸

[٤] J. A. Fan, C. Wu, K. Bao, R. Bardhan, N. J. Halas, V. N. Manoharan, P. Nordlander, G. Shvets, F. Capasso "*self-Assembled Plasmonic Nanoparticle usters*" Science, ۲۰۱۰, vol ۳۲۸, ۱۱۳۵-۱۱۳, ۲۰۱۰.

[٥] E. Prodan, C. Radloff, N. Halas,P.Nordlander"*A Hybridization model for the Plasmon response of complex nanostructures*" Science, vol ۳۰۲, pp:٤۱۹-٤۲۲, ۲۰۰۳.

[٦] S. Golmohammadi, A. ahmadivand "Fano resonances in compositional clusters of aluminum nanodisks at UV spectrum: a route to design efficient and precise biochemical sensors" Plasmonics, ۹, pp: ۱٤٤۷-۱٤٥٦, ۲۰۱٤.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]