بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک
ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

بررسی تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده و تشدید فانو در دوپار نانوذرات طلا و نقره

زهره آیاره و مهرداد مرادی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

z.ayareh@yahoo.com, m.moradi@kashanu.ac.*ir*

چکیده – شبیه سازی دوپار نانوذرات طلا و نقره با ا ستفاده از ماژول تفا ضل محدود در حوزه زمان (FDTD) در نرم افزار لومریکال انجام شده ا ست. تشدید پلا سمون سطحی جایگزیده نانوذرات طلا با تشدید پلا سمون سطحی جایگزیده و تشدید فانو مربوط به دوپار نانوذرات طلا و نقره محا سبه و مقایسه شده‌اند. با تغییر اندازه نانوذرات و فوا صل مختلف بین نانوذرات، قله تشدید فانو بهینه شد. بیشترین شدت قله تشدید فانو برای نسبت شعاع طلا و نقره ۱:۴ و فاصله ۹ نانومتری نسبت به هم محاسبه شده است. نکته قابل توجه این ا ست که در حسگرهای زیستی با تغییر اندک در ضریب شکست ماده، قله تشدید فانو، حسا سیت بیستری نسبت به قله تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده دارد.

کلید واژه- تفاضل محدود در حوزه زمان ، تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده، تشدید فانو، دوپار نانوذرات طلا و نقره.

Investigation of localized surface plasmon resonance and Fano resonance in Au:Ag heterodimers

Zohreh Ayareh and Mehrdad Moradi

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

z.ayareh@yahoo.com, m.moradi@kashanu.ac.ir

Abstract- Simulation of Au:Ag heterodimers was carried out in LUMERICAL software using FDTD solver. Localized surface plasmon resonance (LSPR) was calculated for Au nanoparticles and compared with LSPR and Fano resonance for Au:Ag heterodimers. The Fano resonance peak was optimized by changing the nanoparticle size and the distances between the nanoparticles. The highest intensity of the Fano resonance peak was achieved when the radius ratio of Au: Ag was 4:1, and the distance was 9 nm. The outcomes reveal that by a slight changing the refractive index of a substance in biosensors, the Fano resonance peak has higher sensitivity than the localized surface plasmon resonance peak.

Keywords: Finite difference time domain (FDTD), Localized surface plasmon resonance (LSPR), Fano resonance, Gold and silver nanodimers.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

مقدمه

علم نانو اپتیک به مطالعه پدیدهای اپتیکی در مقیاس نانومتری می‌پردازد. خواص و پاسخ اپتیکی نانوذرات فلزات نجیب از مهمترین مسائل مورد بررسی در حیطه علم فیزیک است. وقتی نانوذرات فلزات نجیب با موج الکترومغناطیسی نور فرودی برهمکنش می‌کنند، در مرز مشترک نانوذرات و محیط دی‌الکتریک پلاسمون سطحی جایگزیده (LSPR) [1] در نانوذرات تشدید می‌شود [۱]. در صورت وجود شرایط مناسب در ساخت نانوذرات فلزات نجیب، مانند نانوذرات هسته پوسته [۲] دوپار نانوذرات [۳] و نانوذرات نامتقارن [۴] در برهمکنش با نور فرودی تشدید فانو[2] اتفاق می‌افتد. به طور کلی تشدید فانو از برهم نهی یک حالت گسسته (مد باریک) و یک حالت پیوسته (مد گسترده) حاصل می‌شود، بطوریکه تداخل‌های سازنده و ویرانگر در مکان‌های انرژی نزدیک بهم رخ دهد و یک پروفایل نامتقارن ایجاد کند [۵].

نانو ساختار دوپار[3] پلاسمونیکی شامل دو نانوذره فلزی هستند که در نزدیکی یکدیگر قرارگرفته‌اند و می‌توانند شرایط تشدید شبه فانو را مهیا کنند [۶]. حساسیت تشدید فانو به تغییرات در ضریب شکست محیط چند برابر حساسیت تشدیدهای پلاسمونی سطحی است و این نتایج می‌تواند برای کاربردهای حسگری اپتیکی و حسگرهای زیستی استفاده شود [۳]. در این مقاله تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده و تشدید فانو در دوپار نانوذرات طلا و نقره از نظر اندازه نانوذرات، فاصله بین نانوذرات مورد بررسی قرار می‌گیرد به دلیل حساس‌تر بودن پیک تشدید فانو، پارامترهای موثر برای داشتن بیشترین پیک تشدید فانو محاسبه خواهد شد.

[1] Localized surface plasmon resonance
[2] Fano resonance
[3] Heterodimer

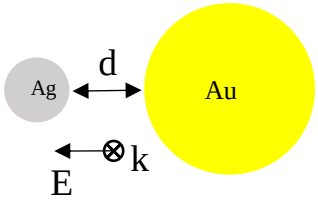
شبیه‌سازی

روش تفاضل محدود در حوزه زمان[4] (FDTD) روشی عددی بر پایه‌ی استفاده از تفاضل‌های متناهی در زمان و مکان می‌باشد. همچنین می‌توان گفت FDTD چگونگی انتشار میدان‌های الکترومغناطیسی تولید شده توسط منبع را در ساختار محاسبه می‌کند. میدان‌های مغناطیسی و ساختار مواد بر روی یک مش ساختگی که به سلول یی[5] معروف است تحلیل می‌شود [۱].

محاسبه تشدید فانو در ساختار دوپار نانوذرات اهمیت فراوانی دارد که برای مجموعه‌ای از سیستم‌های متنوع، شکل کلی تشدید فانو به صورت رابطه

$$I = \frac{(F\gamma+\omega-\omega_0)^2}{\gamma^2+(\omega-\omega_0)^2} \qquad (۱)$$

است که در آن γ پارامتر پهنای طیف، ω_0 فرکانس تشدید و F فانو است. پارامتر فانو عدم تقارن تشدید را تعیین می‌کند. شبیه‌سازی دوپار نانوذرات طلا و نقره با نرم‌افزار لومریکال انجام شده است. منبع نور فرودی، موج تخت انتخاب و در بالای ساختار به طور عمود بر نانوذرات اعمال شده است. جهت میدان الکتریکی اعمالی در راستای محور x می‌باشد(شکل ۱). این جهت میدان الکتریکی اعمالی نسبت به محور نانو دیمر ارجح‌تر از بقیه جهات است و بیشترین شدت فانو در این جهت اتفاق می‌افتد [۱ و۳].

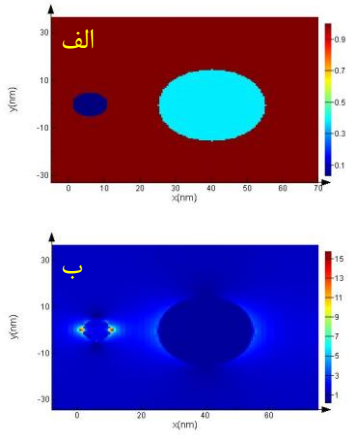


[4] Finite difference time domain
[5] Yee

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

شکل ۱: تصویر شماتیک قرارگیری دوپار نانوذرات طلا و نقره و جهت موج الکترومغناطیسی فرودی و میدان الکتریکی.

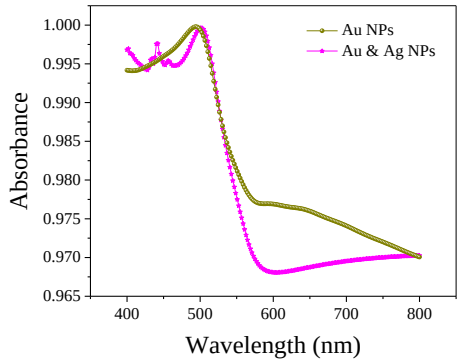
به منظور اطمینان از صحت طراحی ساختار، ابتدا پروفایل ضریب شکست آن محاسبه شد (شکل ۲ الف). با استفاده از مشاهده‌گر پروفایل میدان، توزیع میدان الکتریکی برای محدوده طول موجی ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر محاسبه شد. توزیع میدان الکتریکی در شکل ۲ ب نشان می‌دهد که میدان الکتریکی در اطراف نانوذره نقره که اندازه کوچکتری نسبت به نانوذره طلا دارد بیشتر است.



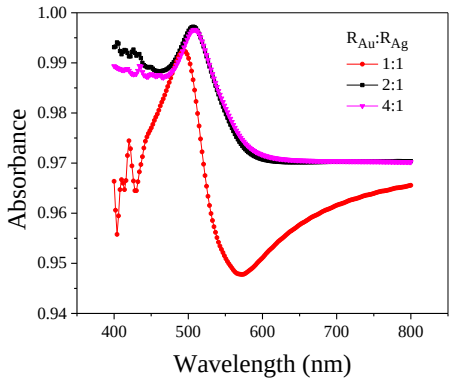
شکل ۲: الف) پروفایل ضریب شکست ب) پروفایل توزیع میدان الکتریکی ساختار دوپار نانوذرات طلا و نقره برای نسبت شعاع ۱:۴.

بحث و بررسی

برای محاسبه جذب ساختار دوپار نانوذرات طلا و نقره از مانیتور میدان و توان استفاده شده است. طبق شکل ۳ طیف جذب برای نانوذرات طلا و برای دوپار نانوذرات طلا و نقره محاسبه شده است و مشاهده می‌شود که در طیف جذب نانوذرات طلا تک قله جذب مربوط به پلاسمون‌های سطحی جایگزیده وجود دارد ولی در طیف جذب دوپارنانوذرات به جز قله تشدید پلاسمون‌های سطحی، قله دیگری وجود دارد که مربوط به تشدید فانو می‌باشد.



شکل ۳: طیف جذب برای نانوذرات طلا و برای دوپار نانوذرات طلا و نقره.



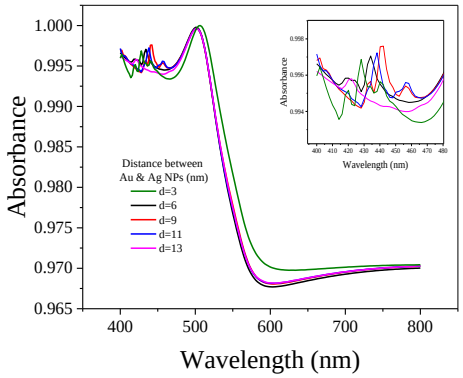
شکل ۴: طیف جذب دوپار نانوذرات طلا و نقره با نسبت شعاع نقره: طلا ۱:۱، ۲:۱ و ۴:۱.

در ادامه برای یافتن بیشینه قله تشدید فانو، دوپار نانوذرات طلا و نقره با اندازه‌های متفاوت شبیه‌سازی و در شکل ۴ نشان داده شده است. شعاع نانوذره طلا ۲۰ نانومتر و به ترتیب شعاع های ۲۰، ۱۰ و ۵ نانومتر برای نانوذره نقره انتخاب و طیف جذب دوپارهای نانوذرات با اندازه‌های مختلف محاسبه شده است. تیزترین قله تشدید فانو مربوط به اندازه شعاع ۵ نانومتر نانوذره نقره و کمترین شدت مربوط به شبیه سازی دو سایز برابر برای نانو دیمر محاسبه شده است و تفاوت سایز

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

نانوذرات و کاهش فاصله بین آنها باعث می‌شود که یک نانوذره در منطقه میدان نزدیک نانوذره دیگر قرار گیرد و باعث افزایش شدت پیک فانو شود [۱]. در نتیجه در ادامه محاسبات مربوط به فاصله‌های متفاوت دوپار نانوذرات طلا و نقره برای نسبت شعاع ۱:۴ انجام شده است.



شکل ۵: طیف جذب دوپار نانوذرات طلا و نقره با نسبت شعاع ۱:۴ برای فواصل: ۶، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ نانومتر.

شبیه سازی دوپار نانوذرات طلا و نقره برای فواصل ۳، ۶، ۹، ۱۱، و ۱۳ نانومتر بین نانوذرات انجام و طیف جذب ساختار در شکل ۵ آمده است. در این شکل یک یا دو پیک تشدید فانو بوجود آمده که بلندترین پیک اهمیت بیشتری دارد که در اینجا تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده طلا ایجاد چند قطبی کرده و با انتقال‌های درون باندی نقره جفت شده است [۱ و۷]. با افزایش فاصله پیک تشدید فانو در فاصله ۱۳ نانومتر حذف شده است. فاصله بهینه ۹ نانومتر می‌باشد که پیک فانو بیشترین شدت دارد. استفاده از تشدید فانو نسبت به تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده نانوذرات برای کاربردهای حسگری مناسب‌تر است زیرا حسگرهای زیستی که بر مبنای تغییر ضریب شکست کار می‌کنند، با تغییر بسیار اندک در ضریب شکست ماده‌ی زیستی، قله تشدید فانو تغییر بیشتری نسبت به قله تشدید پلاسمون سطحی دارد و حساس‌تر می‌باشد [۳].

نتیجه‌گیری

طیف جذب دوپار نانوذرات طلا و نقره برای اندازه‌های متفاوت نانوذرات و فواصل متفاوت بین نانوذرات نشان می‌دهد که بیشترین شدت قله تشدید فانو برای نسبت شعاع ۱:۴ نانوذره طلا و نقره و فاصله ۹ نانومتر وجود دارد. قله تشدید فانو حساسیت بیشتری به تغییرات ضریب شکست نسبت به تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده دارد به همین دلیل برای کاربردهای حسگری استفاده می‌شود.

مرجع‌ها

[1] G. Bachelier, et al., Phys. Rev. Lett. Vol. 101, pp. 197401, 2008.

[2] S. Mukherjee, et al., "Fanoshells: nanoparticles with built-in Fano resonances," Nano Lett. Vol. 10, No. 7, pp. 2694-2701, 2010.

[3] O. Pena-Rodríguez, et al., "Enhanced Fano resonance in asymmetrical Au: Ag heterodimers", J. Phys. Chem. C, Vol. 115, No. 14, pp. 6410-6414, 2011.

[4] A. E. Cetin, H. Altug, "Fano resonant ring/disk plasmonic nanocavitieson conducting substrates for advanced biosensing", ACS nano, Vol. 6, No .11, pp. 9989-9995, 2012.

[5] S. Sadeghi, S. M. Hamidi, "Enhanced Faraday rotation in one dimensional magneto plasmonic structure due to Fano resonance", J. Magn. Magn. Mater. Vol. 451, No., pp. 305-310, 2018.

[6] J. Vlcek, et al., "Magneto-plasmonic properties of Au/Fe/Au planar nanostructures: theory and experiments", Proc. Mat. Sci. Vol. 12, pp. 136-141, 2016.

[7] F. Shafiei, "A subwavelength plasmonic metamolecule exhibiting magnetic-based optical Fano resonance", Nat. Nanotechnol. Vol. 8, pp. 95–99, 2013.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]