بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱- ۲۵۷۰- ۱۰-A

بررسی اثر پارامترهای هندسی نانوذرات طلای ستاره‌ای شکل روی ویژگی‌های تشدید پلاسمون سطحی موضعی

فاطمه زاده[۱]، آتوسا سادات عربانیان[۲*]،محمد رضایی پندری[۳]

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[1]f.zadeh@mail.sbu.ac.ir, [2]a_arabanian@sbu.ac.ir, [3]rezaei.m.p@gmail.com

چکیده –در این مقاله،پاسخ نوری میدان نزدیک نانوذره طلای ستاره‌ای شکل در برهمکنش با پالس لیزری شبیه سازی و نشان داده می شود که بواسطه تشدید پلاسمون سطحی موضعی، شدت میدان نزدیک در نوک شاخک‌ها به طور قابل توجهی تقویت می‌شود. بعلاوه نتایج نشان می دهد که سطح مقطع جذب نانوستاره شدیدا وابسته به تعداد، طول شاخک‌ها و اندازه هسته آن می‌باشد و دارای چندین قله طیفی بوده که ناشی از فرکانس‌های تشدیدی حاصل از ترکیب ساختار کروی، استوانه و مخروطی در هندسه ستاره ای شکل می‌باشد. بنابراین با مهندسی ساختار آنها بسته به نوع کاربردمی‌توان میدان های پر شدتجایگزیده مطلوب را به دست آورد که در بسیاری از کاربردها نظیرتصویربرداری بیولوژیکی، دارو رسانی، تشخیص و درمان‌های پزشکی و حسگرهای بیوشیمیایی مفید می باشد.

کلید واژه- سطح مقطع جذب، فرکانس رزونانس، میدان نزدیک، نانوذرات طلا،نانوذره ستاره‌ای شکل

Investigation of the effect of geometric parameters of star-shaped gold nanoparticles on localized surface plasmon resonance properties

Fatemeh Zadeh, Atoosa Sadat Arabanian, Mohammad Rezaei-Pandari
Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, the near-field optical response of star-shaped gold nanoparticles in interaction with a laser pulse is simulated and it is shown that due to the localized surface plasmon resonances the near field intensity at the tip of the tentacles is significantly amplified. In addition, the results show that the absorption cross-section of nanostar is strongly dependent on the number, length of the tentacles and the nucleus size and it has several spectral peaks due to the resonant frequencies resulting from the combination of spherical, cylindrical and conical structure in star-shaped geometry. As a result, by engineering their structure depending on the type of application, it is possible to obtainthe desired strong localized fieldswhich are useful in many applications such as biological imaging,drug delivery, medical diagnostics and therapeutics and biochemical sensors.

Keywords:absorption cross section, resonant frequencies,near-field ,gold nanoparticles, nanostars.

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

مقدمه

نانوذرات طلا(GNPs[1]) در تحقیقات علوم زیستی در دهه‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. هنگامی که نانوذرات طلا با تابش نور در طول موج مناسب تحریک می‌شوند، الکترون‌های هدایت یا رسانش روی سطح آن‌ها رفتار منحصر به فردی از نوسانات جمعی را نشان می‌دهند که به عنوان رزونانس پلاسمون سطحی موضعی(LSPR[2]) شناخته می‌شوند[۱]. یکی از ویژگی‌های مهم نانوذرات طلا، ارتباط قوی بین شکل فیزیکی و خصوصیات نوری آن‌هاست، بطوریکه اختلاف اندک در اندازه، هندسه و محیط اطراف GNPها طیف جذبی آن را به طور چشمگیری تغییر می‌دهد[۲] و با مهندسی شکل و اندازه GNPها می‌توان پاسخ نوری آن به یک طول موج خاص را افزایش داد.

چندین ساختار مختلف GNP وجود دارد که گزینه‌های مناسب برای کار در پنجره بیولوژیکی (ناحیه مادون قرمز در گستره ۸۰۰-۱۱۰۰ نانومتر) هستند. نانومیله‌های طلا[۳]، نانوپوسته‌های طلا[۴] و نانوستاره‌ها[۵]، نمونه‌هایی از GNP با LSPR در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک هستند. در بین این ساختارها، نانوستاره‌ها به عنوان کاندید ایده‌ال هستند، چرا که می‌توانند به راحتی سنتز و تولید شوند[۶].بعلاوه یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد در مورد نانوستاره‌ها شاخکهای تیز آن‌هاست.نشان داده شده است که یک اثر تقویت میدان رزونانس پلاسمون قوی در نوک نانوساختارهای طلا وجود دارد[۷].جین و همکارانش ویژگی‌های اپتیکی نانوذره‌های طلا در گستره اندازه ۲۰تا ۸۰ نانومتر را مطالعه کردند[۸]. نتایج مبنی بر این بود که افزایش اندازه منجر به یک جابجایی قرمز در طیف جذب نوری می‌شود. برای نانوذرات بزرگ‌تر اثر چندقطبی مهم می‌شود و این جابجایی قرمز به دلیل طول موج‌های مختلف قله چندقطبی و میرایی تابش تشدیدی به دلیل افزایش سریع سطح مقطع پراکندگی است. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد با تغییر شکل نانوذره، جذب پلاسمون سطحی به شدت تغییر می‌کند[۹]. همچنانکه در نانومیله‌های طلا علاوه بر باند پلاسمون سطحی در اطراف ۵۲۸ نانومتر که در نانوکره‌های طلا دیده می‌شود، یک باند در طول موج بلندتر به دلیل نوسانات الکترون‌های پلاسمون در امتداد محور طولی نانومیله دارند. بویژه در نانوساختارهای ستاره‌ای شکل بدلیل هندسه نوک تیز شاخک‌ها عوامل هندسی در موقعیت قله‌های جذبی بسیار موثر بوده و براحتی با تغییر هندسی شاخک‌ها قابل تنظیم خواهد بود. لذا در این مقاله عوامل تاثیر گذار در تشدید پلاسمون سطحی از جمله تاثیر شکل، اندازه و تعداد شاخک‌ها در نانوذرات طلا ستاره‌ای شکل را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

شبیه سازی عددی

در این مطالعه، شبیه‌سازی‌های عددی پاسخ نوری پلاسمونیک را با استفاده از نرم افزار COMSOL 5.3 انجام داده‌ایم. میدان الکتریکی با حل معادله موج بدست می‌آید:

$$\nabla \times \mu_r^{-1}(\nabla \times E) - k_\lambda^2 \varepsilon_r E = 0 \qquad (۱)$$

سطح مقطع جذب نانوذرات (σ_{abs})، سطح مقطع پراکندگی (σ_{sca}) و سطح مقطع خاموشی (σ_{ext})براساس معادلات زیر ارزیابی می‌شوند

$$\sigma_{abs} = \frac{P_{abs}}{I_0}$$

$$\sigma_{sca} = \frac{P_{sca}}{I_0}$$

$$\sigma_{ext} = \sigma_{abs} + \sigma_{sca}$$

که در آن P_{abs} و P_{sca} به ترتیب توان جذب شده و توان پراکنده شده می‌باشند و به صورت زیر تعیین می‌شوند:

$$P_{abs} = \iiint \frac{1}{2} Re[J.E^*] dxdydz \qquad (۳)$$

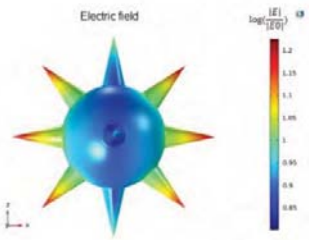
$$P_{sca} = \oiint \frac{1}{2} Re[E_s \times H_s^*] dS \qquad (۴)$$

که J بردار چگالی جریان و E^* مزدوج مختلط بردار میدان الکتریکی است. با تاباندن نور لیزر بر نانوذرات طلا ستاره‌ای شکل افزایش شدت میدان در نوک شاخک‌ها که ناشی از پدیده‌ی تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده است، حاصل

[1]Gold Nanoparticles
[2]Localized surface plasmon resonance

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

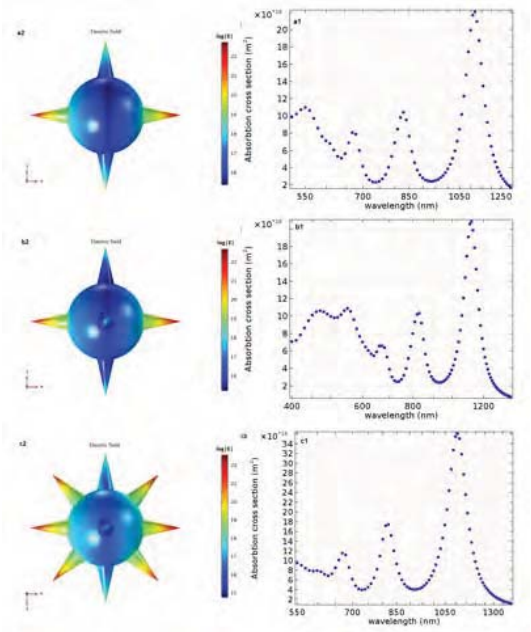
می‌شود. فرض می شود که یک پالس با طول زمانی ۵۰ فمتوثانیه و طول موج ۱۰۴۰نانومتر، قطبش در راستای x و میدان 10^{8} V/m به نانوستاره فرود می‌آید. این امر باعث تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده در نوک شاخک‌ها و در نتیجه جایگزیدگی میدان الکترومغناطیسی درنوک آن‌ها می‌شود(شکل ۱)



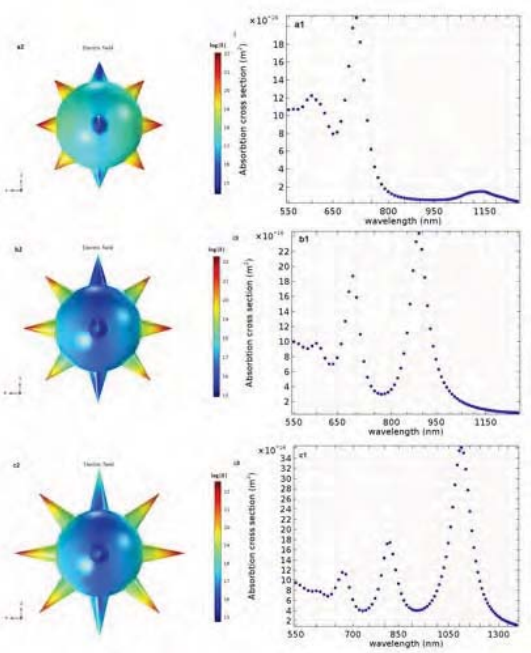
شکل ۱: نسبت توزیع میدان الکتریکی به میدان فرودی در مقیاس لگاریتمی در اطراف نانوذره طلا ستاره ای شکل محاسبه شده برای لیزر پالسی ۵۰ فمتوثانیه با طول موج فرودی ۱۰۴۰ نانومتر و دامنه میدان 10^{8}V/m

تقویت میدان الکتریکی نسبت به میدان فرودی در شکل ۱مشهود است و اینکه میدان در نوک شاخک‌ها تقویت شده است.در ادامه عوامل موثر بر طول موج جذبی نانوذرات طلا ستاره ای شکل، از جمله تعداد شاخک‌ها، طول شاخک‌ها و نیز اندازه هسته مرکزی نانوذره را بررسی می‌کنیم. شکل ۲(a1-c1), (a2-c2) به ترتیب تغییرات سطح مقطع جذب بر حسب طول موج و توزیع میدان را برای نانوذرات با تعداد شاخکهای مختلف ۴، ۶ و ۱۰ را نشان می دهد. با افزایش تعداد شاخک‌های نانوستاره، قله سطح مقطع جذب افزایش یافته زیرا که در هر شاخک تشدید پلاسمون سطحی رخ داده که با افزایش تعداد شاخک، جمع کل جذب انرژی از میدان افزایش می‌یابد.

شکل ۳ تغییرات سطح مقطع جذب و توزیع میدان را به ازای طول‌های شاخک متفاوت نانوذرات ستاره ای نشان می‌دهد. همانطور که از نمودارهای شکل ۳ مشخص است، با افزایش طول شاخک‌های نانوستاره، طول موج تشدید به سمت طول موج‌های بلندتر رفته که به دلیل نوسانات الکترون‌های پلاسمون در امتداد طول شاخک‌ها اتفاق می‌افتد.



شکل۲: (a1,b1, c1) تغییرات سطح مقطع جذب بر حسب طول موج و (a2,b2,c2) توزیع میدان الکتریکی شبیه سازی شده برای نانوذرات با تعداد شاخک ۴و۶و ۱۰

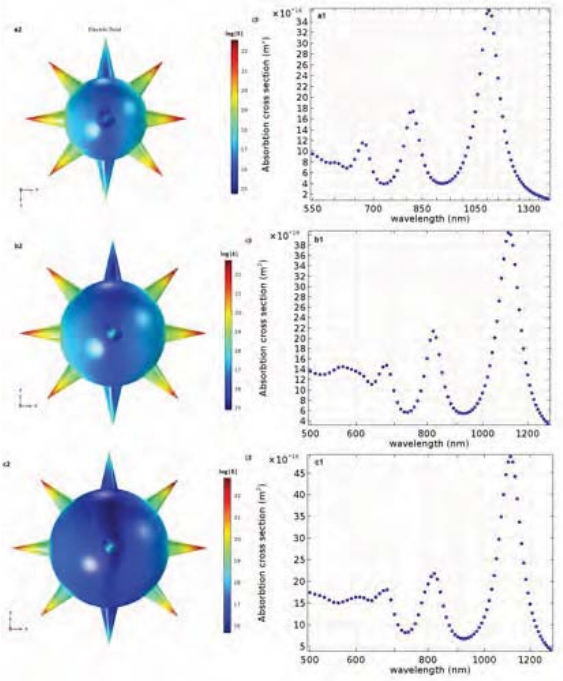


شکل۳: نمودارهای a1,b1,c1 تغییرات سطح مقطع‌های جذب بر حسب طول موج و .a2,b2,c2 توزیع‌های میدان برای طول شاخک های مختلف ۲۰و ۳۰و ۴۰نانومتر

شکل ۴ تغییرات سطح مقطع جذب و توزیع میدان اطراف نانوذره را به ازای اندازه های سایز هسته نانوذره متفاوت

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

۴۰، ۵۰ و ۶۰ نانومتر نشان می دهد. با افزایش سایز هسته مرکزی نانوستاره، سطح مقطع جذب افزایش می‌یابد. طبق تئوری Mie سطح مقطع خاموشی رابطه مستقیم با حجم نانوذره دارد [۱۰]، که با افزایش سایز هسته حجم نانوذره افزایش می‌یابد.



شکل۴: نمودارهای a1,b1,c1 سطح مقطع جذب بر حسب طول و a2,b2,c2 توزیعهای میدان برای نانوذرات ستاره ای با اندازه های هسته مرکزی متفاوت ۴۰و ۵۰و ۶۰ نانومتر.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاثیر تغییرات ساختاری و پارامترهای هندسی نانوذرات ستاره‌ای طلا (نظیر اندازه هسته، طول شاخک و تعداد شاخک‌ها) روی طیف جذبی و تشدید پلاسمون سطحی موضعی آن مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه‌ی نانوذرات طلا با تعداد شاخک‌های متفاوت نشان داد که با افزایش تعداد شاخک‌ها قله طول موجی سطح مقطع جذب افزایش می‌یابد. همچنین هر چه طول شاخک‌ها افزایش یابد، شدت میدان جایگزیده در رأس شاخک‌ها افزایش می‌یابد و فرکانس این قله‌ها به سمت طول موج‌های بلندتر جابجا می‌شود. با افزایش سایز هسته مرکزی نیز سطح مقطع جذب افزایش می‌یابد.

مرجع‌ها

1. Dam, D.H.M., K.S. Culver, and T.W. Odom, Grafting aptamers onto gold nanostars increases in vitro efficacy in a wide range of cancer cell types. Molecular pharmaceutics, 2014. **11**(2): p. 580-587.
2. Hutter, E. and J.H. Fendler, Exploitation of localized surface plasmon resonance. Advanced materials, 2004. **16**(19): p. 1685-1706.
3. Brioude, A., X. Jiang, and M. Pileni, Optical properties of gold nanorods: DDA simulations supported by experiments. The Journal of Physical Chemistry B, 2005. **109**(27): p. 13138-13142.
4. Tuersun, P. and X.e. Han, Optical absorption analysis and optimization of gold nanoshells. Applied optics, 2013. **52**(6): p. 1325-1329.
5. Nehl, C.L., H. Liao, and J.H. Hafner, Optical properties of star-shaped gold nanoparticles. Nano letters, 2006. **6**(4): p. 683-688.
6. Cao, J., Laser pulse duration optimization for photothermal therapy with gold nanostars. International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 2018. **7**(03): p. 391.
7. Nehl, C.L. and J.H. Hafner, Shape-dependent plasmon resonances of gold nanoparticles. Journal of Materials Chemistry, 2008. **18**(21): p. 2415-2419.
8. Sundaramurthy, A., et al., Field enhancement and gap-dependent resonance in a system of two opposing tip-to-tip Au nanotriangles. Physical Review B, 2005. **72**(16): p. 165409.
9. Jain, P.K., et al., Calculated absorption and scattering properties of gold nanoparticles of different size, shape, and composition: applications in biological imaging and biomedicine. The journal of physical chemistry B, 2006. **110**(14): p. 7238-7248.
10. Link, S. and M.A. El-Sayed, Shape and size dependence of radiative, non-radiative and photothermal properties of gold nanocrystals. International reviews in physical chemistry, 2000. **19**(3): p. 409-453.

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