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 : ۱-۲۵۲۹-۱۰-A

تقویت موضعی میدان الکتریکی در طیف سنجی رامان تقویت‌شده با تیپ با استفاده از نور قطبیده خطی

عادله نوری، مریم بحرینی، سید هاشم عارف

دانشگاه قم، قم، ایمیل: a.noori1374@gmail.com

دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایمیل: M_Bahreini@iust.ac.ir

دانشگاه قم، قم، ایمیل: h-aref@qom.ac.ir

چکیده – در این مقاله از محاسبات تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) برای تخمین شدت و توزیع میدان الکتریکی بصورت موضعی تقویت شده در طیف سنجی رامان تقویت شده با تیپ (TERS) در مجاورت تیپ نقره ای به قطر ۱۰ نانومتر استفاده شده است. از شبیه سازی‌ها برای پیش بینی شدت و توزیع میدان الکتریکی بصورت تقویت شده موضعی در طیف سنجی رامان تقویت شده با تیپ (TERS) استفاده می‌شود. میدان الکتریکی تقویت شده ناشی از یک نور قطبیده خطی در دو پیکربندی (TERS) با زیرلایه و بدون زیرلایه در کنار هم مقایسه شده است. برای این‌منظور، یک منبع نور قطبیده خطی در مدل سازی FDTD بکار رفته است.علاوه بر این، تأثیر استفاده از یک لایه محافظ نازک آلومینا در میزان تقویت میدان الکتریکی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از یک لایه نازک از جنس طلا به‌عنوان یک بستر برای اندازه‌گیری TERS، می‌تواند افزایش قابل‌توجهی در حساسیت به‌دست دهد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن یک لایه محافظ نازک به تیپ TERS، شدت میدان الکتریکی را کاهش می‌دهد.

کلید واژه- تقویت میدان الکتریکی، طیف سنجی رامان تقویت شده با تیپ، تفاضل محدود در حوزه زمان

Localized enhancement of electric field in tip-enhanced-Raman spectroscopy using linearly polarized light

AdelehNoori, Maryam Bahreini, Seyed Hashem Aref
Qom University, Qom, Email:a.noori1374@gmail.com
Iran University of Science and Technology, Tehran,Email:M_Bahreini@iust.ac.ir
Qom University, Qom, Email:h-aref@qom.ac.ir

Abstract-Finite-Difference Time-Domain (FDTD) calculations are used estimate the electric field in the vicinity of a sharp silver conewith an apex diameter of 10 nm. The simulations are utilized to predict the intensity and the distribution of the locally enhanced electric field in Tip-Enhanced Raman Spectroscopy (TERS). A side-by-side comparison of the enhanced electric field induced by a linearly polarized light in both gap-mode and conventional TERS setup is performed. For this purpose, a linearly polarized source is introduced and integrated into the FDTD modelling. Additionally, the optical effect of a thin protective layerof alumina on the enhancement of the electric field is investigated.Results show that by utilizing a thin film of as a substrate for TERSmeasurements, a considerable increase in the sensitivity can be achieved. Additionally, results show that adding a thin protective layer to the TERS tip decreases the intensity of the electric field.
Keywords: Electric Field Enhancement, Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, Finite-Difference Time-Domain.

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

مقدمه

توسعه طیف‌سنجی رامان تقویت شده با تیپ (TERS)[1]یک پیشرفت انقلابی در طیف‌سنجی ارتعاشی مواد و بیومواد استکه وضوح مکانی و حساسیت بالا را در مقیاس چند نانومتر ارائه می‌دهد. به طور خلاصه، در این روش یک تیپ SPM[2] تحت تابش نور لیزر متمرکز شده قرار می‌گیرد و شدت پراکندگی رامان از سطح نمونه در مجاورت تیپ می تواند به دو دلیل: ۱.تشدید پلاسمون سطحی موضعی[3] و ۲.اثر رعد و برق میله[4] تقویت شود. برای طراحی یک سیستمTERS بهینه،تمام عامل هایموثر بر دو ویژگی حساسیت آشکارسازی و قدرت تفکیک مکانی باید مورد توجه قرار گیرند. تقویت میدان الکتریکی درTERSبه پارامترهای مختلفی از جمله قطبش پرتو تحریکی، جنس فلز و هندسه تیپ فلزی و همچنین بستر نمونه بستگی دارد[۱]. تاکنون، مدل‌سازی تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD)[5] با موفقیت برای بهینه‌سازی پارامترهای TERS مانند طول و شعاع تیپ، جنس تیپ و فاصله تیپ-نمونه استفاده شده است[۲]. در این پژوهش،از روش FDTD برای تخمین دقیق تاثیر منبع نور قطبیده خطی درتقویت میدان الکتریکی استفاده شده است. در TERS، مولفه قطبش نور تابشی در امتداد محور تیپ باعث افزایش چگالی بار سطحی در لبه تیز تیپ فلزی می‌شود که یک شرط لازم برای تقویت‌های موضعی است. شبیه‌سازی‌های ارائه‌شده در طول‌موج مشخص۵۳۲ نانومتر برای تحریک LSPR تیپ نقره‌ای انجام شده‌است.

نتایج و بحث

رویکرد تفاضل محدود در حوزه زمان، یک روش موثر برای حل معادلات ماکسول در هندسه‌های پیچیده است.روش FDTD با ارائه اطلاعاتی در مورد الکترودینامیک سیستم، اطلاعات حوزه زمانی را ارائه می‌دهد. در FDTD، میدان الکترومغناطیسی و مواد ساختاری مورد نظر بر روی یک شبکه گسسته متشکل از سلولهائی به اصطلاحیی[6]توصیف می‌شوند. معادلات ماکسول مستقیماً در زمان حل می‌شوند و جایی که گام زمانی استفاده شده از طریق معیار پایداری[7] به اندازه مش مربوط می‌شود. این روش، یک نمایش دقیق از معادلات ماکسول می‌باشد در حدی که فاصله‌گذاری مش را به صفر می‌رساند. منطقه شبیه‌سازی به صورت یک سیستم سه‌بعدی توسط شرایط مرزی لایه کاملاً همسان[8] احاطه شده است تا تاثیر آن بر تشدید سیستم را محدود کند. برای شبیه‌سازی تیپ TERSاز یک مخروط گرد از جنس نقره با قطر تیپ ۱۰ نانومتر و زاویه مخروط ۲۵ درجه استفاده می‌شود. دامنه میدان الکتریکی موج فرودی ۱v/m در نظرگرفته می شود. این پارامترها بر اساس تصاویرSEM[9]از تیپ معمولی که در اندازه‌گیریTERSاستفاده می‌شوند تخمین زده می‌شود. برای نشان دادن هندسه‌های حالت شکاف[10]، بستری از جنس طلا با ضخامت ۵ نانومتر در داخل منطقه شبیه سازی معرفی شده و ۱ نانومتر در زیر راس مخروط قرار می‌گیرد. مش مکانی، ۰.۲ نانومتر تنظیم شده است که همگرایی عددی نتایج را تضمین می‌کند. از میدان پراکنده-میدان کل (TFSF)[11]برای جلوگیری از اتصال

[1]Tip-Enhanced Raman Spectroscopy (TERS)
[2]Scanning Probe Microscopy (SPM)
[3]Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)
[4]Lightening Rod Effect
[5]Finite-Difference Time-Domain

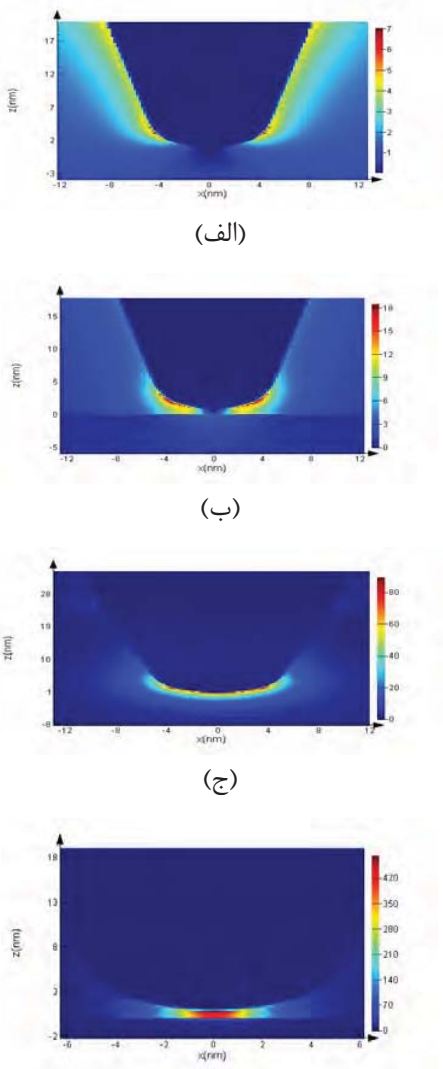
[6]Yee cell
[7]Stability Criterion
[8]Perfectly Matched Layer (PML)
[9]Scanning electron microscope
[10]gap-mode
[11]Total field scattered field

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

احتمالی با مرزهای منطقه شبیه‌سازی استفاده شده است. TFSFیک مورد خاص از موج تخت است که منطقه محاسبه را به دو منطقه مجزا تفکیک می‌کند. یکی شامل کل میدان است که مجموع میدان ورودی و میدان پراکنده است، در حالی که منطقه دوم فقط شامل میدان پراکنده است. نتایج مربوط به این شبیه‌سازی در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل۱ (الف)، نشان‌دهنده تقویت میدان الکتریکی موضعی در راس تیپ برای قطبش خطی می‌باشد. یک نور قطبیده خطی در امتداد محور تیپ (تابش محوری) یا عمود بر آن (تابشاز کنار) بر نوک تیپ تابیده می‌شود. در تابش از کنار، نور در امتداد محور تیپ قطبیده خطی است، در حالی‌که در تابش محوری، قطبیدگی نور عمود بر محور تیپ (قطبش خطی) است. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها در شکل ۱(الف) و ۱(ج) هنگامی که فقط تیپ در شبیه سازی نقش دارد و در شکل ۱(ب) و ۱(د) برای TERSحالت شکاف نمایش داده شده است. در حالت شکاف TERS، معمولاً از نانوپلاتهای[۱۲] طلای نازک و مسطح به عنوان بستر برای نمونه استفاده می شود. از آنجا که مولکول‌ها یا نانوذرات مورد نظر بین تیپ و نانوپلات فلزی قرار داده می‌شود، می‌توان به تقویت موضعی بزرگتری برای سیگنال رامان دست یافت[۳]. در شکل ۱(الف) و ۱(ب) که پرتو قطبیده خطی با پیکربندی تابش محوری می باشد، وجود تیپ باعث می شود که شدت میدان الکتریکی در راس تیپ برابر صفر شود.

هنگامی‌که نور قطبیده خطی از کنار به تیپ تابش می‌شود، میدان الکتریکی در سر تیپ محصور می‌شود (شکل۱(ج) و ۱(د)). تابش از کنار به طور خاص در هنگام بررسی نمونه‌های غیرشفاف (کدر) مفید است.در این حالت (تابش از

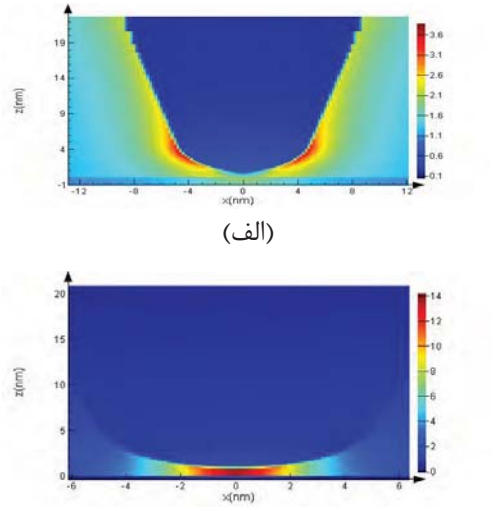


شکل ۱-توزیع میدان الکتریکی در راس تیپ نقره تحت تابش طول‌موج ۵۳۲ نانومتر توسط(الف) نور قطبیده خطی در امتداد محور تیپ(ب) نور قطبیده خطی در امتداد محور تیپ با فاصله ۱ نانومتر از یک بستر طلا، (ج) نور قطبیده خطی عمود بر محور تیپ و (د) نور قطبیده خطی عمود بر محور تیپ با فاصله ۱ نانومتر از یک بستر طلا.

[12]Nanoplates

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

کنار)، عدسی میکروسکوپ[13] با فاصله کاری بزرگ[14]، و درنتیجه توان تمرکز کم، در چیدمان تجربی استفاده می‌شود.



(الف)

(ب)

شکل۲- توزیع میدان الکتریکی در راس یک تیپ از جنس نقره با شعاع نوک ۱۰ نانومتر و لایه‌نشانی ۱ نانومتراز جنس Al2O3 واقع در فاصله ۱ نانومتری از یک بستر طلا. تیپ در طول موج ۵۳۲ نانومتر توسط (الف) نور قطبیده خطی در امتداد محور تیپ و (ب) نور قطبیده خطی عمود بر محور تیپ تحت تابش قرار می‌گیرد.

وجود لایه نازک فلزی به عنوان بستر (شکل ۱(ب) و ۱(د)) در مقایسه با چیدمان معمولی (TERS شکل۱(الف) و ۱(ج)) باعث می‌شود که یک ناحیه محصور موضعی‌تر در اطراف راس تیپ ایجاد شود. شبیه‌سازی‌ها افزایش شدت میدان الکتریکی را در محل اتصال بین تیپ و بستر فلزی نشان می‌دهد. اثر اپتیکی یک لایه محافظ دی‌الکتریک با افزودن یک لایه آلومینا به ضخامت ۱ نانومتر بر روی سطح مخروط فلزی همانطور که در شکل ۲(الف) و ۲(ب) نشان داده شده است، بررسی شده است[۴]. با توجه به شکل توزیع میدان به نظر می‌رسد میزان جایگزیده شدن انرژی هم با اضافه شدن لایه آلومینا تحت تاثیر می‌باشد. افزودن ۱نانومتر لایه محافظ دی‌الکتریک آلومینا به منظور کاهش اکسیداسیون و ساییدگی مکانیکی تیپ،میزان افزایش میدان الکتریکی تقویت‌شده راکاهش می‌دهد.کاهش مشاهده شده می‌تواند ناشی از تغییر در فرکانس تشدید پلاسمون سطحی باشد. اگر راس تیپ فلزی به عنوان یک نانو کره در نظر گرفته شود، شرایط تشدید پلاسمون شبه-استاتیک دوقطبی برای این تیپ عبارتست از

$$\varepsilon_{metal} = -2\varepsilon_{medium} \qquad (۱)$$

که در آن ε_{metal} و ε_{medium} به ترتیب گذردهی کره فلزی و محیطاطراف هستند. در نتیجه، افزودن یک لایه دی-الکتریک می‌تواند تشدیدپلاسمونی محل اتصال تیپ-بستر را تغییر دهد، بنابراین باعث کاهش تقویت میدان الکتریکی موضعی می‌شود. وجود لایه دی‌الکتریک آلومینا همچنین می‌تواند باعث تداخل مخرب نور ورودی و میدان الکتریکی پراکنده از پیکربندی‌های مختلف شود.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر حضور یک بستر فلزی نازک در ساختار طیف‌سنجی تقویت شده با تیپ می‌باشد. نتایج نشان می دهد با استفاده از یک لایه نازک از جنس طلای شفاف به‌عنوان یک بستر برای اندازه‌گیریTERS، می‌توان افزایش قابل‌توجهی در حساسیت به‌دست آورد.برای قطبش فرودی خطی، تابش از کنار برتابش در امتداد با محور ترجیح داده می‌شود .همچنین تحریک به خواص اپتیکی محل اتصال تشکیل‌شده توسط تیپ فلزی و بستر بستگی دارد. محل اتصالی که توسط یک تیپ نقره-ای و یک بستر نازک از طلا تشکیل شده است، بسیار کارآمد است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن یک لایه محافظ نازک به تیپ TERS به‌منظور کاهش اکسیداسیون و ساییدگی مکانیکی، شدت میدان الکتریکی را کاهش می‌دهد.

مرجع‌ها

[1] J. Stadler, B. Oswald, T. Schmid, and R. Zenobi, "Characterizing unusual metal substrates for gap-mode

[13] Microscope objectives
[14] Long working distances

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

tipenhanced Raman spectroscopy", Raman Spectrosc,Vol. 44, No. 2, pp. 227–233, 2013.

[2] N. K. Zanjani, S. Vedraine, and F. Lagugné-Labarthet, "Localized enhancement of electric field in tip-enhanced Raman spectroscopy using radially and linearly polarized light", Opt. Exp, vol. 21, no. 21, pp. 25271-25276, 2013.

[3] T. Deckert-Gaudig and V. Deckert, "Ultraflat transparent gold nanoplates - ideal substrates for tip-enhanced Raman scattering experiments", Small,Vol. 5, No. 4, pp. 432–436, 2009.

[4] C. A. Barrios, A. V. Malkovskiy, A. M. Kisliuk, A. P.Sokolov, and M. D. Foster, "Highly stable, protected plasmonic nanostructures for tip enhanced Raman spectroscopy", Phys.Chem. C,Vol. 113, No. 19, pp. 8158–8161, 2009.

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