بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

طراحی حسگرزیستی ضریب‌شکست پلاسمونی دو بعدی با حساسیت بالا

اکرم السادات نصیری، طناز اسدی شاد، سیده مهری حمیدی

آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

چکیده - در سال‌های اخیر با گسترش دانش و فناوری در ابعاد نانومتر شاخه‌ی جدیدی از علم مطرح شد که به بشر امکان ساخت ادوات مختلفی همچون حسگر زیستی را می‌دهد. این نانوساختارها که ابعاد آن‌ها کمتر از طول‌موج امواج تحریک پلاسمونیک می‌باشد، شامل لایه‌های فلز و دی-الکتریک می‌باشند. پلاسمون‌های سطحی، نتیجه‌ی اندرکنش امواج الکترومغناطیس (نور) با انبوه الکترون‌های آزاد موجود در مرز مشترک فلز-دی‌الکتریک می‌باشد. ازآنجایی‌که ثابت انتشار این امواج به تغییرات محیط دی‌الکتریک مجاور با سطح فلز وابسته است، از این ویژگی پلاسمون‌ها جهت تشخیص تغییرات محیط اطراف و به‌منظور حسگری استفاده می‌شود.. ساختار پلاسمونیکی پیشنهادی در این مقاله به‌عنوان حسگر ضریب شکست، نوعی حسگر با ساختار ساده و با دوره تناوب ۸۰۰ نانومتر می‌باشد که به علت استفاده از فلز طلا و پلیمر پلی دی متیل سیلوکسان در این ساختار، دارای قابلیت ساخت آسان است. با بهینه‌سازی ساختار در محدوده فروسرخ نزدیک و بررسی طیف جذب ساختار به ازای دو نمونه‌ی آب و محلول شامل نورون عصبی نتایج مطلوبی مشاهده شد که نشان می‌دهد این ساختار با جذب ۷۷٪، حساسیت ۷۱۵ و معیار شایستگی ۱۲/۴ عملکرد مناسبی جهت کاربردهای حسگری در حوزه‌ی پزشکی دارد.

کلیدواژه- پلاسمونیک، تشدید پلاسمون سطحی، زیست‌حسگر، ضریب شکست.

Design of Highly sensitive 2D plasmonic refractive index biosensor

Akram Sadat Nasiri, Tannaz Asadishad, Seyedeh Mehri Hamidi

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. M_hamidi@sbu.ac.ir

During the last few years with the significant developments in nanoscience and technology, a new field of science has been introduced which made it possible for human to design and manufacture the applications such as nano biosensors. These nanostructures with a dimension which is less than the wavelength of the exciting incident wave are made of metal and dielectric layers. The surface plasmons are the result of the interaction between electromagnetic waves and free electrons mass at the shared boundary of metal and dielectric. Since the propagation constant of these waves is strongly dependent on the changes in the dielectric medium, this feature of plasmons are used to detect the changes in mediums. In this biosensor, the information of these changes in mediums can be achieved by analyzing the structures optic response variation. The proposed plasmonic structure in this paper, as a refractive index sensor, is a kind of sensor with a simple structure which has a period of 800 nm, which is easy to operate due to the use of gold and Poly-dimethyl-siloxane polymers in the structure. Favorable results were reached by optimizing the structure in near infrared range and studying the absorption spectrum of the structure for two samples of water and neurons, which showed that this structure with 77% absorption, sensitivity 715 and figure of merit 12.4% is suitable for the sensor applications in the medicine.

Keywords: biosensor, Plasmonic, refractive index, surface plasmon resonance.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

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

مقدمه

پلاسمونیک حوزه‌ای از علم نانوفوتونیک است که به دنبال راه‌حل‌هایی برای محصورسازی میدان الکترومغناطیسی در ابعاد طول‌موج یا کوچک‌تر از آن می‌باشد. نانوساختارهای پلاسمونی شامل فلز و دی‌الکتریک می‌باشند که ابعاد آن‌ها کمتر از طول‌موج تحریکی است و امکان کوچک‌سازی مدارها و پیاده‌سازی ادوات کاملاً اپتیکی را فراهم می‌سازد [۱]. در همین راستا تشدیدهایی به دلیل نوسانات جمعی الکترون‌ها در مرز مشترک فلز و دی‌الکتریک که «پلاسمون» نامیده می‌شوند به وجود می‌آید. درنتیجه‌ی این پدیده، نوری که از سطح فلز بازتاب می‌کند یا طیف نور جذبی در فرکانس‌های خاص، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای را خواهد داشت که از این خاصیت برای ساخت افزاره‌های مختلفی همچون تشدیدگر، حسگر و زیست‌حسگر بهره گرفته می‌شود [۲]. از سال ۱۹۸۲ که تشدید پلاسمون سطحی برای اولین بار معرفی شد، از آن برای بررسی تغییرات ضریب شکست محیط پیرامون فلز استفاده شد[۳]. سپس استفاده از حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی به علت مزیت‌های ویژه رونق گرفت .ازجمله مزیت‌های این نوع حسگرها می‌توان به حساسیت بالا، واکنش سریع، عدم نیاز به فرآیند برچسب‌زنی و پاسخگویی به موقع اشاره کرد [۴-۶]. در زیست‌حسگرهای پلاسمونیکی جهت آشکارسازی آنالیت روش‌های متعددی وجود دارد که روش تشدید پلاسمون سطحی در مقایسه با دیگر روش‌ها، به آرایش پیچیده‌ای نیاز نداشته و حساسیت بالایی ایجاد می‌کند. همچنین این روش، پتانسیل زیادی برای بهبود مجتمع سازی با استفاده از نانو ذرات ساکن شده دارد. علاوه بر این‌ها، روش تشدید پلاسمون سطحی از مزایای مبدل نوری نیز بهره‌مند بوده و نسبت به سایر زیست‌حسگرها دوام و مقاومت بیشتری داشته و از تداخلات الکترومغناطیسی نیز در امان می‌باشد.

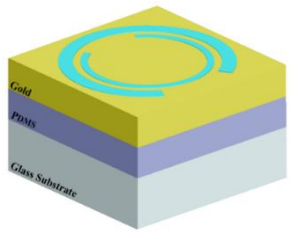
طیف‌سنجی تشدید پلاریتون پلاسمون سطحی نانو ذرات فلزی، یک روش معتبر برای انجام آزمایش‌های حساس شیمیایی و بیولوژیکی است. فاکتورهای مهم در عملکرد حسگرهای نوری حساسیت و معیار شایستگی طیف خروجی سیستم است که طبق روابط (۱) محاسبه می‌شوند[۷].

$$S=\frac{\Delta\lambda}{\Delta n} \qquad (۱)$$

$$FOM=\frac{S}{FWHM}$$

معرفی ساختار

ساختار پلاسمونیکی که در این مقاله پیشنهاد می‌شود نوعی حسگر با ساختار ساده و قابلیت ساخت آسان است که در بازه‌ی طول‌موجی۱۲۰۰-۹۰۰نانومتر کاربرد دارد. همان‌طور که هندسه‌ی ساختار در شکل(۱) نشان داده می‌شود این ساختار دارای سلول واحد ۸۰۰nm*۸۰۰nm است که از دو لایه‌ی فلز و دی‌الکتریک، به ترتیب از بالا لایه‌ی طلا به ضخامت ۳۰۰نانومتر و لایه‌ی پایینی پلیمر پلی دی متیل سیلکسان به ضخامت ۳۰۰نانومتر بر روی یک بستره‌ی شیشه‌ای تشکیل‌شده است. در لایه‌ی طلا دو شکاف حلقوی Cشکل به عمق ۱۵۰نانومتر، جهت قرارگیری آنالیت ایجاد گردید.



شکل ۱: هندسه‌ی سه‌بعدی از سلول واحد ساختار حسگر

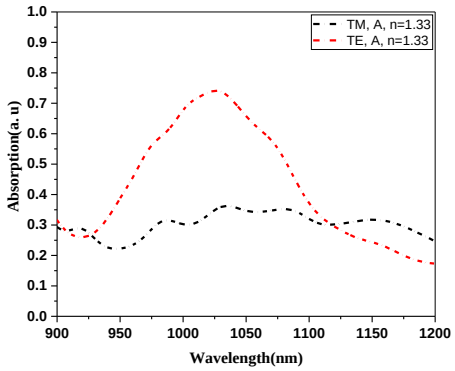
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

حسگر معرفی‌شده به علت در دسترس بودن مواد تشکیل‌دهنده‌ی لایه‌ها، قابلیت ساخت آسان و کم‌هزینه بودن، یک ساختار پلاسمونیکی مطلوب به شمار می‌رود.

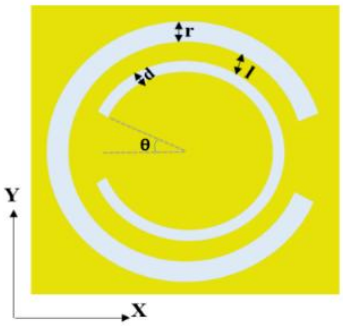
تحلیل و شبیه‌سازی

برای تجزیه‌وتحلیل رفتار تشدید ساختار پلاسمونیکی از تکنیک FDTD استفاده‌شده است. در اولین گام برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار لومریکال شماتیک ساختار طراحی گردید. شبیه‌سازی این ساختار به‌صورت سه‌بعدی، با مش-بندی ۱۰نانومتر انجام گرفت. مطابق با هندسه‌ی ساختار، شرایط مرزی در راستای x و y متناوب و در راستای z، PML تعریف شد. همچنین برای تحریک ساختار، یک موج صفحه‌ای با دو قطبش TE و TMموردبررسی قرارگرفته است. همان‌طور که در شکل ۲ قابل‌مشاهده است، مد TE دارای پاسخ اپتیکی منظم و بهتری در محدودی فروسرخ نزدیک می‌باشد. لذا تحریک ساختار با موج تخت تحت قطبش TE انجام گردید.



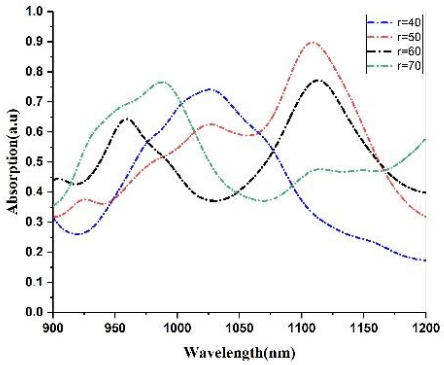
شکل ۲: طیف جذبی ساختار به ازای قطبش‌های TMو TE

به‌منظور بهینه‌سازی ساختار، شبیه‌سازی برای مقادیر متفاوت از پارامترهای مختلف بخش Cشکل ساختار که در شکل (۳) قابل‌مشاهده است، صورت گرفت. هدف از بهینه‌سازی ساختار، یافتن تشدیدهایی با دامنه‌ی منظم در طیف جذب است. به این منظور، ساختار حسگر با تغییر پارامترهای مختلف، بهینه‌سازی شده است.



شکل ۳: هندسه‌ی دوبعدی ساختار در راستای xy

به‌گونه‌ای که به ازای تغییر پارامتر ضخامت پوسته خارجی (r) در چهار مقدار مختلف ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ نانومتر (شکل ۴)، پاسخ منطقی در مقدار ۶۰ نانومتر مشاهده‌شده است.

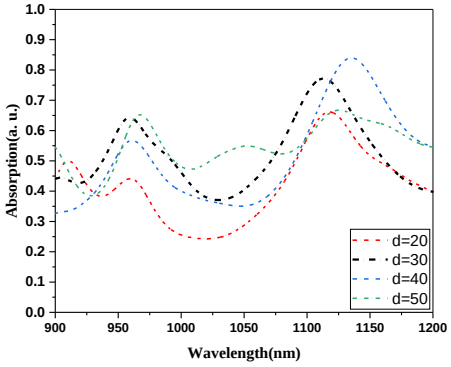


شکل ۴: طیف جذب ساختار به ازای مقادیر متفاوت پارامترr

از سوی دیگر، نقش ضخامت پوسته داخلی (d)، با همین مقادیر موردبررسی قرار گرفت و با توجه به پاسخ ثبت‌شده در شکل ۵، مقدار ۳۰ نانومتر را اختیار کردیم. فاکتور زاویه‌ای دو حلقه که با کمیت θ در شکل ۳ نشان داده‌شده است، نقش کمرنگ‌تری در پاسخ اپتیکی جذبی حسگر بازی می‌کند که می‌توان در شکل ۶، به‌خوبی این واقعیت را مشاهده کرد. در این مورد، جهت ساخت آسان‌تر، زاویه ۳۰ درجه اختیار شد.

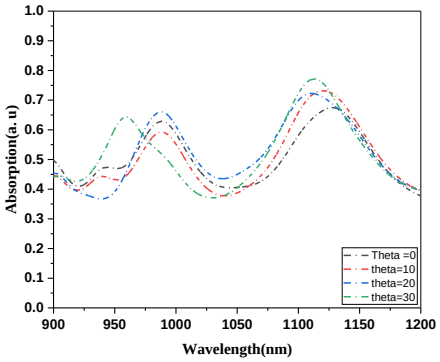
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

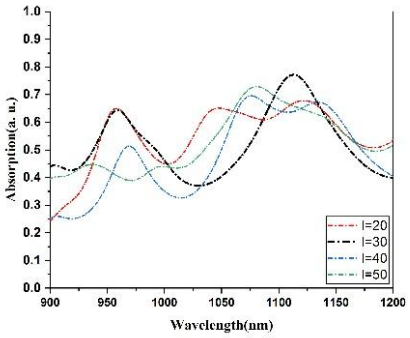


شکل ۵: طیف جذب ساختار به ازای مقادیر متفاوت پارامتر d

به‌عنوان کمیت آخر، فاصله بین دو حلقه را به‌عنوان کمیت l را معرفی کرده و با بررسی تغییرات جذب، مقدار ۳۰ نانومتر را در نظر گرفتیم.

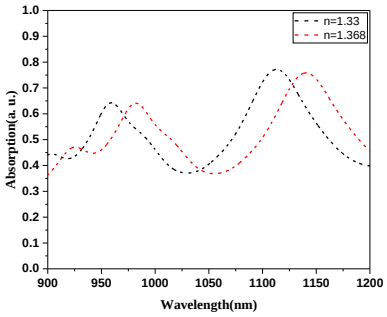


شکل ۶: طیف جذب ساختار به ازای مقادیر متفاوت پارامتر θ



شکل ۷: طیف جذب ساختار به ازای مقادیر متفاوت پارامتر l

حال پاسخ ساختار به دو نمونه‌ی آب و محلول شامل نورون عصبی با ضریب شکست‌های به ترتیب n=۱/۳۳ و n= ۱/۳۶۸ در شکل ۸ نشان داده‌شده است. با افزایش ضریب شکست، طول‌موج تشدید به سمت طول‌موج‌های قرمز منتقل می‌شود.



شکل ۸: پاسخ طیف جذب ساختار به ازای ضریب‌شکست‌های آب و نورون عصبی

حساسیت و معیار شایستگی به‌دست‌آمده برای این ساختار در طول‌موج‌های تقریبی ۹۵۰ و ۱۱۰۰ به ترتیب ۵۹۵ و ۷۱۵ است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک جاذب پلاسمونیک در ناحیه طول‌موج فروسرخ نزدیک، برای کاربرد حسگری و به‌ویژه زیست-حسگری، طراحی و شبیه‌سازی شد. با بررسی طیف جذب برای دو نمونه‌ی آب و نورون عصبی، میزان بیشینه جذب ۷۷٪ و بیشینه حساسیت ۷۱۵ nm/RIU و معیار شایستگی ۱۲/۴ حاصل شد.

مرجع‌ها

[1] S. A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications, Springer, 2007.
[2] K. A. Willets and R. P. Van Duyne, Annu. Rev. Phys. Chem., vol. 58, pp. 267-297, 2007.
[3] C. Nylander, B. Liedberg, and T. Lind, Sens. Actuators, vol. 3, pp. 79-88, 1982.
[4] K. Jindal, M. Tomar, R. S. Katiyar, and V. Gupta, Opt. Lett, vol. 38, pp. 3542-3545, 2013.
[5] K. Lin, Y. Lu, J. Chen, R. Zheng, P. Wang, and H. Ming, Opt. Express, vol. 16, pp. 18599–18604, 2008.
[6] C. Perrotton, R. J. Westerwaal, N. Javahiraly, M. Slaman, H. Schreuders, B. Dam, and P. Meyrueis, Opt. Express, vol. 21, pp. 382-390, 2013.
[7] S. Gaur, R. Zafar, and D. Somwanshi, IEEE Int. Conf. in Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), pp. 1-4, 2016

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]