

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران. ۱۴-۱۴ بهمن ۱۴۰۰



طراحی حسگر با حساسیت زیاد با استفاد از تشدید پلاسمون سطحی در ساختار فلز/دی الکتریک/فلز H شکل

سوسن گمرکی^۱، محمدعلی منصوری بیرجندی^۲ و محمدرضا رخشانی^۳

^{۱۰۱} دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران ^۳گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده – در این مقاله یک حسگر فوتونی بر اساس تشدید پلاسمون سطحی (SPP) با حساسیت زیاد توسط روش تفاضل محدود در حوزه زمان تحلیل و شبیه سازی شده است. این حسگر بر اساس موجبر فلز/دی الکتریک/فلز و یک تشدیدگر H شکل ایجاد شده است. در سالهای اخیر نیاز به تجزیه و تحلیل پارامترهای مختلف شیمیایی و فیزیکی با استفاده از حسگرهای فوتونی افزایش یافته است. این حسـگر به دلیل اینکه مبتنی بر SPP اسـت برهمکنش خیلی قوی بین موج الکترومغناطیس ورودی و فلز وجود دارد که منجر به ایجاد حسا سیت زیاد می شود. حسا سیت این ساختار ۱۹۱۰ nm/RIU با عرض کامل در نصف بیشینه m ۱۶۵ در طول موج ۲۹۵۰ nm ترمه مواد زیستی مختلفی است آمده در این مقاله قابل رقابت با سایر مقالات منتشر شده قبلی است. این ساختار میتواند برای تشخیص مواد زیستی مختلفی استفاده شود.

كليد واژه- حسگر پلاسمونی، حساسيت، روش FDTD، ضريب شكست، فيلم فلزی.

Design of High Sensitivity Sensor Using Surface Plasmon Resonance in Metal/Dielectric/Metal H-Shaped Structure

Susan Gomroki', Mohammad Ali Mansouri-Birjandi', and Mohammad Reza Rakhshani^{*}

(mansouri@ece.usb.ac.ir^{*})

Abstract- In this paper, a high-sensitivity surface plasmon resonance (SPP) based sensor is analyzed and simulated by the finite difference time domain method. The sensor is based on a metal / dielectric / metal waveguide and an H-shaped resonator. In recent years, the need to analyze various chemical and physical parameters using photonic sensors has increased. Because this sensor is based on SPP, there is a very strong interaction between the input electromagnetic wave and the metal, which leads to high sensitivity. The sensitivity of this structure is 141, nm/RIU with an FWHM of 110 nm at a wavelength of 140, nm. The sensitivity obtained in this article is competitive with other previously published articles. This structure can be used to detect different biological materials. Keywords: Plasmonic Sensor, Sensitivity, Finite Difference Time Domain Method, Refractive Index, Metallic Film.

توزیع میدان در ساختار خواهد شد و باعث میشود عمل

حسگری با دقت بیشتری انجام شود.

طراحی و شبیهسازی

طرحواره کلی حسگر پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این حسگر از دو موجبر فلز/دی الکتریک/فلز (MIM) به همراه یک تشدیدگر H شکل استفاده شده است. فلز مورد استفاده نقره است.



شکل ۱: طرحواره ساختار حسگر طراحی شده با استفاده از موجبرهای MIM.

ثابت دی الکتریک نقرہ از مدل درود-لورنتز بدست می آید [9]:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} - \frac{\omega_p^{\mathsf{Y}}}{\omega(\omega - i\Gamma_{\cdot})} + \sum_{n=1}^{s} \frac{f_n \omega_p^{\mathsf{Y}}}{\omega_n^{\mathsf{Y}} - \omega^{\mathsf{Y}} + i\omega\Gamma_{\cdot}} \qquad (1)$$

شبیه سازی و نتایج

موج مسطح با قطبش TM برای تحریک پلاسمونهای سطحی در ساختار MIM بعنوان موج الکترومغناطیس ورودی استفاده می شود. در مرحله اول، با فرض اینکه ماده دی الکتریک هوا (n=1) است پاسخ طیفی بدست آمد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است در طول موج mm م۱۹۹۰همیزان انتقال به حدود ۹۹٪ رسیده است.

مقدمه

امروزه حسگرهای متعددی جهت تشخیص پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی از جمله حسگرهای ضریب شکست جهت تشخیص مواد مورد استفاده قرار گرفتهاند [۱]. استفاده از تشدید پلاسمون سطحی در زمینه حسگری بسیار رایج شده است که این به دلیل حساسیت زیاد و دقت بالا در حسگری است [۲]. تابیده شدن نور قطبیده به فیلم فلزی و تحریک نوسانات دسته جمعی الکترونهای آزاد در فیلم فلزی باعث ایجاد تشدید یلاسمون سطحی در مرز فلز/دیالکتریک می شود. با توجه به اینکه طول موج تحریک تشدید پلاسمون، به ضریب شکست ماده دیالکتریک در تماس با فلز بستگی دارد، تغییر ضریب شکست، ثابت انتشار پلاسمونهای سطحی را تغییر داده و باعث تغییراتی در جفتشدگی بین نور و پلاسمون سطحی میشود که به صورت مشخصههای نوری در خروجی قابل مشاهده است [۳]. از این خاصیت برای طراحی حسگرهای پلاسمونی استفاده می شود.

حسگرهای زیادی تاکنون بر اساس تشدید پلاسمونهای سطحی طراحی و معرفی شدهاند. حسگر ضریب شکست پلاسمونی با استفاده از تشدیدگر حلقوی تزویج شده به موجبر MIM در سال ۲۰۲۰ با مقدار حساسیت ۱۲۹۵ معرفی شده است [۴]. همچنین ساختار حسگر پلاسمونی با استفاده از تشدیدگر نیمه حلقوی و نانو نقاط پلاسمونی با استفاده از تشدیدگر نیمه حلقوی و نانو نقاط شده است [۵].

در این مقاله یک حسگر پلاسمونی H شکل طراحی و شبیه-سازی شده و مورد بررسی قرار می گیرد که در مقایسه با بسیاری از حسگرهایی که تاکنون گزارش شده است دارای حسایست زیادی است. <mark>نتایج نشان میدهد وجود تعداد</mark> <mark>گوشه های زیاد در نانوساختار (H شکل) باعث افزایش شدت</mark> بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰





شکل ۳: الف) توزیع میدان مغناطیسی و ب) توزیع میدان الکتریکی ساختار در طول موج تشدید.

برای دستیابی به عملکرد بهینه، میتوان اثر تغییرات پارمترهای هندسی ساختار را در طیف خروجی در نظر گرفت. ابتدا مطابق شکل ۴، اثر پارامتر g، فاصله بین موجبرها و تشدیدگر، به ازای تغییر از ۱۰ سا ۱۰ به ۲۵ در نظر گرفته شده است. <mark>افزایش g باعث تغییر طول موج تشدید</mark> و کاهش توان خروجی شده است.

در شکل ۵، طیف خروجی ساختار به ازای مقادیر مختلف L۱، طول بازوی افقی تشدیدگر، رسم شده است. تغییر از L۱=۳٤۰ nm به L۱=۴۵۰ موجب تغییر در طول موج تشدید (شیفت قرمز) می شود. توان خروجی تغییرات چندانی ندارد.

در شکل ۶، طیف خروجی ساختار به ازای مقادیر مختلف wr، طول بازوی داخلی تشدیدگر، رسم شده است. تغییر از

wr=۱٤۰ nm به wr=۲۲۰ nm موجب تغییر در طول موج تشدید (شیفت قرمز) میشود. توان خروجی به ازای wr=۱٦۰ nm بیشینه میشود. <mark>تغییر wr تاثیر بیشتری در</mark> طیف خروجی نسبت به L۱ دارد.



شكل ۴: طيف انتقال ساختار به ازاى مقادير مختلف g.



شکل ۵: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف L۱.

در شکل ۷، طیف خروجی ساختار به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست موجبرها و تشدیدگر رسم شده است. تغییر از ۱=n به ۱٫۰ =n موجب تغییر در طول موج تشدید (شیفت قرمز) می شود. حساسیت یک حسگر با استفاده از رابطه زیر بدست می آید [۷]:

$$S = \frac{\Delta \lambda}{\Delta n} \tag{(1)}$$

در این معادله Δn بیانگر تغییر ضریب شکست و Δλ نیز نشان دهنده تغییر طول موج تشدید به ازای تغییر Δn است.

نتيجهگيرى

در این مقاله یک حسگر پلاسمونی با تشدیدگر H شکل در با استفاده از موجبرهای MIM طراحی و شبیهسازی شد. حساسیت این حسگر S=۱۹۱۰ nm/RIU با مقدار FWHM=۱٦٥ nm بهبودیافتهای هستند. این حسگر به راحی میتواند برای تشخیص مواد زیستی مختلف بعنوان حسگر زیستی استفاده شود.

مرجعها

- [1] Im, H., Shao, H., Park, Y.I., Peterson, V.M., Castro, C.M., Weissleder, R. and Lee, H., ^γ · ¹ ^ε. Label-free detection and molecular profiling of exosomes with a nano-plasmonic sensor. Nature biotechnology, ^γγ(Δ), □□.^F9·-^F9Δ.
- [Y] Tong, L., Wei, H., Zhang, S. and Xu, H., Υ· ν. Recent advances in plasmonic sensors. Sensors, ν(ω), ΠΩ.ν(ω)-ν(γν.
- [*] Andam, N., Refki, S., Hayashi, S. and Sekkat, Z., Y•Y1. DDDDDDDD DDDD DDDD DDD DDD DDD sensing in metal-insulator-metal structures. Scientific reports, 11(1), pp. 1-17.
- [4] Rahmatiyar, M., Afsahi, M. and Danaie, M., Y.Y. Design of a refractive index plasmonic sensor based on a ring resonator coupled to a MIM waveguide containing tapered defects. *Plasmonics*, 15(7), pp.Y179-Y1Y7.
- [*] Rakhshani, M.R. and Mansouri-Birjandi, M.A., Y•1Y.0000 000000000 00000000 00000000 00000 sensing and its application for human blood group identification. Sensors and Actuators B: Chemical, Yf9, 00.19A-1Y9.



شکل ۶: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف wr.



شکل ۷: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست. طول موج تشدید در ۱=n برابر nm ۱۹۹۵ و در ۱۹۱۰=n برابر ۲۹۵۰ nm است. بنابراین مقدار حساسیت ۱۹۱۰= ۱۳/۳ بدست میآید. معیار شایستگی (FOM) نیز دیگر پارمتری است که نشان دهنده عملکرد بهینه حسگر است و نشان دهنده باریک بودن طیف خروجی است. مقدار FOM از تقسیم حساسیت بر عرض کامل در نصف بیشینه (FWHM) بدست میآید. با توجه به اینکه مقدار

Full width at half maximum

Figure of merit

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰

> [V] Chou Chau, Y.F., Ming, T.Y., Chou Chao, C.T., Thotagamuge, R., Kooh, M.R.R., Huang, H.J., Lim, C.M. and Chiang, H.P., Y.YY. Significantly enhanced coupling effect and gap plasmon resonance in a MIM-cavity based sensing structure. Scientific Reports, 11(1), pp.1-1Y.