

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



طراحی جذب کننده باند باریک به عنوان حسگر گاز پلاسمونیک

فاطمه سالاری، مریم پورمحی آبادی

آزمایشگاه الکترونیک نوری، دانشکده فنی– بخش برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان

Fatemesalary71@gmail.com, Pourmahyabadi@uk.ac.ir

چکیده – در این مقاله، یک جذبکننده باند باریک پلاسمونیک براساس ساختار متناوب فلز –دیالکتریک –فلز –دیالکتریک –فلز دو بعدی پیشنهاد و تحلیل عددی شدها ست. ساختار این قطعه، شامل آرایهای از نانو نوارهای آلومینیوم و یک فیلم نازک آلومینیوم ۱ ست که تو سط یک لایه دی الکتریک جدا شده اند. این جذب کننده در ناحیه مادون قرمز نزدیک عمل کرده و می تواند به عنوان یک ح سگر ضریب شک ست پلا سمونیک ا ستفاده شود. نتایج ن شان می دهد که این ساختار دارای ح سا سیت بالا به اندازه یک ح سگر ضریب شک ست پلا سمونیک ا ستفاده شود. نتایج ن شان می دهد که این ساختار دارای ح سا سیت بالا به اندازه آلیستگی حسگر پیشنهادی به ¹-۱۱۵ RIU می سد و بیشینه جذب بهینه نیز می تواند با تنظیم پارامترهای هندسی ساختار بدست آید.

كليد واژه- جذب كننده پلاسمونيك، ساختار فرامواد، حسكر گاز، ضريب شكست

Design of Narrow band absorber as a plasmonic gas sensor

Fateme Salari, Maryam Pourmahyabadi

Optoelectronic Laboratory, Faculty Of Electrical Engineering, Shahid Bahonar University of kerman,

Fatemesalary71@gmail.com, Pourmahyabadi@uk.ac.ir

Abstract- In this paper, a narrowband plasmonic absorber based on a metal-dielectric-metal-dielectric-metal periodic structure is proposed and numerically investigated, which consists of aluminium nanobar periodic array on a thin aluminium film separated by a dielectric layer. The absorber works at near-infrared region and can be operated as a refractive index sensor with a high sensitivity of around 2300 nm/RIU, a narrow absorption bandwidth (FWHM) of 20nm and the absorption peak of 86 % at normal incidence. Thus, the FOM of the proposed plasmonic sensor can be reached 115RIU⁻¹. By adjusting the structure parameters, the optimized absorption peak can be achieved.

Keywords: Gas sensor, Metamaterial structure, Plasmonic absorber, Refractive index

مقدمه

در سالهای اخیر، فرامواد پلاسمونیکی به دلیل کاربردهای بالقوه خود در تشخیص با حساسیت بالا توجه زیادی را به خود جلب كردهاند. با توجه به خواص عالى تشديد پلاسمون سطحى موضعی در محدود کردن نور در نانو شکاف ها و تبدیل آن به انرژی حرارتی، فرامواد فلزی دارای یک مزیت عالی برای طراحی جذب كنندهها هستند. افزايش جذب موج الكترومغناطيسي براي یک جذب کننده فراماده بسیار مطلوب است، در حالیکه تلفات نوری ذاتی فلزات در طراحی قطعه باید مورد توجه قرار گیرد. هنگامی که ساختار فراماده پلاسمونیک توسط گاز احاطه می شود، به علت تغییر ضریب شکست محیط یک تغییر طیفی در طول موج تشدید رخ میدهد. بنابراین جذب کننده های باند باریک به دلیل داشتن باند باریکتر جهت بهبود عملکرد سنجش اغلب به عنوان حسكر استفاده مي شوند [۱]. برخلاف طلا و نقره، آلومینیوم دارای خواصی است که تشدیدهای پلاسمون قوی در بخش های زیادی از طیف مرئی تا فرابنفش را فراهم می کند. این واکنش گسترده همراه با فراوانی طبیعی، هزینه کم و سازگاری با فرآیندهای ساخت، موجب شده تا از آلومینیوم بعنوان یک ماده پلاسمونیک کم هزینه با خواص و کاربردهای بالقوه شبیه به فلزات سکه ای استفاده شود و آن را یک ماده بسیار امیدوار کننده برای کاربردهای تجاری سازد[۲].

طرح پیشنهادی

در این مقاله طرح یک حسگر گاز پیشنهاد شده که دارای حساسیت طول موج بالا و پهنای باند جذب باریک است. ساختار پیشنهادی این جذب کننده بر اساس ساختار متناوب فلز-دیالکتریک-فلز-دی الکتریک-فلز^۱ دوبعدی است که شامل آرایه نانو نوار های آلومینیوم و یک لایه نازک آلومینیوم است که توسط یک لایه دیالکتریک دیاکسیدسیلیکون از یکدیگر جدا شدهاند.

یک نانو نوار مثلثی آلومینیوم نیز بین دو نانونوار مستطیلی آلومینیوم قرار گرفته است. شکل ۱- الف ساختار فراماده طراحی شده را نشان میدهد. برش عرضی ساختار در شکل ۱- ب نشان داده شده است.

پارامترهای هندسی بهینه شده حسگر به شرح زیر تنظیم شده اند: شکاف d بین دو نانو نوار آلومینیوم در یک سلول واحد T ۰ nm است و دیگر پارامترهای ساختار شامل عرض نانو نوارها راها t₃=۲۵ nm t₃=۲۰ nm t₃=۲۰ nm t₃=۱۰۰ nm t₄=۱۷۰ nm

نتایج شبیه سازی

جهت بررسی عملکرد ساختار پیشنهادی، از روش تفاضل محدود در حوزه زمان^۲ دو بعدی جهت شبیه سازی استفاده شده است. ضرائب شکست در طول موج مرکزی برای آلومینیوم n=۳/۲۵ و SiO2 برابر با n=۱/۴۳ در نظر گرفته شده است.



شكل ۱- الف: سلول واحد ساختار حسكر



شکل ۱- ب: برش عرضی ساختار

^{1.}Metal-Dielectric-Metal-Dielectric-Metal (MDMDM)

مشخصه طیف بازتاب و جذب شبیه سازی شده ساختار جهت ارزیابی عملکرد حسگر بسیار مهم است. یک موج صفحه ای به صورت عمودی در جهت y- به ساختار می تابد. مقادیر بازتاب و انتقال به ترتیب در بالای ساختار و در بستر ساختار اندازه گیری شدهاند. جذب ساختار به صورت R - T - I = A تعریف می شود. از شرایط مرزی متناوب در جهت x و لایه تطبیق کامل ⁷در جهت y استفاده شده است.

توزیع میدان های الکتریکی و مغناطیسی E و H به ترتیب در شکل های ۲-الف و ۲-ب نشان داده شده است.







با توجه به شکل ۲-الف تقریبا تمام میدان الکتریکی به لایه نازک دی الکتریک دی اکسید سیلیکون که بین نانونوارهای آلومینیوم و فیلم آلومینیوم قرار گرفته، محدود شده و شدت آن تقریبا ۱۱ برابر بزرگتر از موج فرودی است که نشان میدهد رفتار تزویج در ساختار فرامواد میتواند منجر به افزایش شدت میدان الکتریکی شود.

شكل ۲-ب: توزيع ميدان مغناطيسي





شکل ۳ طیف جذب و بازتاب ساختار

بیشینه جذب تشدید ساختار با جذب بیش از ۸۶٪ در ۲۴۴۴/۲۸nm با عرض پیک در نصف مقدار بیشینه ۲۰nm رخ دادهاست.

در طراحی حسگرها بطور کلی دو پارامتر حساسیت و عدد شایستگی^۴ برای ارزیابی عملکرد آنها استفاده می شود که به شکل زیر تعریف می شوند:

$$S = \frac{\Delta \lambda}{\Delta n}$$

$$FOM = \frac{S}{FWHM} \tag{(Y)}$$

جهت به دست آوردن حساسیت حسگر، طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست محیط بررسی می شود. شکل ۴-الف نشان دهنده طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه ^{۲-}۱۰ و شکل ۴-ب و ۴-ج به ترتیب نشان دهنده طیف بازتاب و طیف جذب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه ۱۰^{-۳} هستند.

3.perfectly matched layer(PML)

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

بیست وپنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ۹–۱۱ بهمن ۱۳۹۷



شکل ۴-الف: طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه ۲۰-۱۰



شکل ۴-ب: طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه ۳-۱۰



شکل ۴-ج: طیف جذب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه ۲۰۰۳

هنگامی که ضریب شکست به اندازه ^۲ ۱۰^{-۲} تغییر می کند، طول موج تشدید از ۲۴۴۴۳ به ۲۴۶۶nm جابجا می شود و در نتیجه حساسیت حسگر ۲۲۰۰nm/RIU به دست می آید، که در مقایسه با حسگر گزارش شده در [۵] دارای حساسیت بسیار بالاتری است. همچنین با تغییر ضریب شکست به اندازه ^{۲۰}-۱۰ طول موج

تشدید به اندازه ۲/۳nm جابجا شده و حساسیت RIU^{-۱} اید. به دست میآید. در نتیجه عدد شایستگی حسگر حدودا ^۱ RIU ۱۱۵ به دست میآید، که نسبت به حسگرهای پلاسمونیک گزارش شده در [۳،۴] دارای حساسیت و FOM بالاتری است. با توجه به استفاده از فلز آلومینیوم در ساختار پیشنهادی، این ساختار در مقایسه با ساختار ذکر شده در [۱] دارای مزیت هزینه ساخت بسیار پایین میباشد که درنتیجه بسیار امیدوارکننده برای کاربردهای تجاری است.

نتيجه گيرى

در این مقاله یک جذب کننده باند باریک مبتنی بر ساختار MDMDM با عملکردی در طیف مادون قرمز نزدیک طراحی شده است. نتایج نشان میدهد این جذب کننده فراماده دارای پهنای باند جذب باریک ۲۰nm با بیشینه جذب بیش از ^۸۶٪ در تابش نرمال است. این ساختار پلاسمونیک یک عملکرد سنجش عالی با حساسیت طول موج بالا به اندازه Tr۰۰nm/RIU و عدد شایستگی به اندازه ^{۱-}۱۱۵ RIU ارائه میدهد. با توجه به استفاده از فلز آلومینیوم در ساختار پیشنهادی، این ساختار دارای مزیت هزینه ساخت بسیار پایین میباشد که درنتیجه برای کاربردهای تجاری مناسب است.

مرجع ها

[1] WU, Dong, et al. Infrared perfect ultra-narrow band absorber as plasmonic sensor. *Nanoscale research letters*, vol. 11, No. 1. pp. 483, 2016.

[2] KNIGHT, Mark W., et al. Aluminum for plasmonics. *ACS nano*, vol. 8, No. 1. pp. 834-840, 2013.

[3] Shen, Yang, et al. "Plasmonic gold mushroom arrays with refractive index sensing figures of merit approaching the theoretical limit." *Nature communications*, vol. 4, pp. 2381, 2013.

[4] LIU, Na, et al. Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor. *Nano letters*, vol. 10, No. 7. pp. 2342-2348, 2010.

[5] WU, Dong, et al. Ultra-narrow band perfect absorber and its application as plasmonic sensor in the visible region. *Nanoscale research letters*, vol. 12, No. 1, pp. 427, 2017.

[6] MAIER, Stefan A.; ATWATER, Harry A. Plasmonics: Localization and guiding of electromagnetic energy in metal/dielectric structures. *Journal of applied physics*, vol. 98, No. 1. pp. 10, 2005.