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 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 شده است. ساختار این قطعه، شامل آرایه‌ای از نانو نوارهای آلومینیوم و یک فیلم نازک آلومینیوم است که توسط یک لایه دی الکتریک جدا شده اند. این جذب کننده در ناحیه مادون قرمز نزدیک عمل کرده و می تواند به عنوان یک حسگر ضریب شکست پلاسمونیک استفاده شود. نتایج نشان می‌دهد که این ساختار دارای حساسیت بالا به اندازه ۲۳۰۰nm/RIU و همچنین پهنای باند جذب باریک ۲۰nm با بیشینه جذب بیش از ۸۶٪ در تابش عمودی است. همچنین عدد شایستگی حسگر پیشنهادی به $115\ RIU^{-1}$ می‌رسد و بیشینه جذب بهینه نیز می‌تواند با تنظیم پارامترهای هندسی ساختار بدست آید.

کلید واژه- جذب کننده پلاسمونیک، ساختار فراماده، حسگر گاز، ضریب شکست

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

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مقدمه

در سال‌های اخیر، فرامواد پلاسمونیکی به دلیل کاربردهای بالقوه خود در تشخیص با حساسیت بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. با توجه به خواص عالی تشدید پلاسمون سطحی موضعی در محدود کردن نور در نانو شکاف ها و تبدیل آن به انرژی حرارتی، فرامواد فلزی دارای یک مزیت عالی برای طراحی جذب‌کننده‌ها هستند. افزایش جذب موج الکترومغناطیسی برای 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 می‌شود، 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 حسگر استفاده می‌شوند[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].

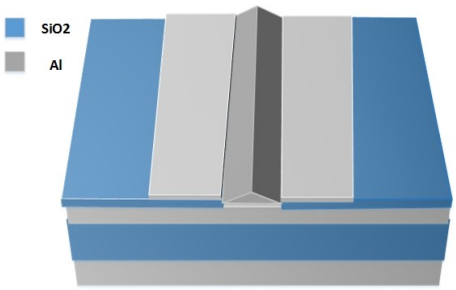
طرح پیشنهادی

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[1] 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.

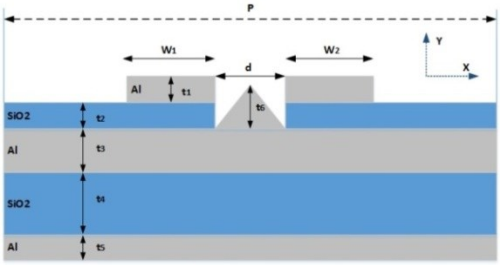
پارامترهای هندسی بهینه‌شده حسگر به شرح زیر تنظیم شده‌اند: شکاف d بین دو نانو نوار آلومینیوم در یک سلول واحد d=۲۰nm است و دیگر پارامترهای ساختار شامل عرض نانو نوارها $w_1=w_2=360nm$، $t_1=20nm$، $t_2=10nm$، $t_3=25nm$، $t_4=170nm$، $t_5=100nm$، $t_6=30nm$ و p=۲۴۰۰nm است.

نتایج شبیه سازی

جهت بررسی عملکرد ساختار پیشنهادی، از روش تفاضل محدود در حوزه زمان[2] دو بعدی جهت شبیه سازی استفاده شده است. ضرائب شکست در طول‌موج مرکزی برای آلومینیوم n=۳/۲۵ و SiO_2 برابر با n=۱/۴۳ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- الف: سلول واحد ساختار حسگر



شکل ۱- ب: برش عرضی ساختار

1.Metal-Dielectric-Metal-Dielectric-Metal (MDMDM)

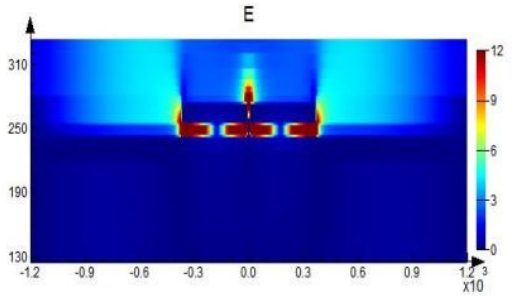
2. Finite Difference Time Domain(FDTD)

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

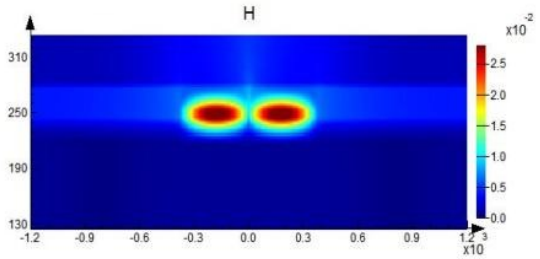
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مشخصه طیف بازتاب و جذب شبیه‌سازی شده ساختار جهت ارزیابی عملکرد حسگر بسیار مهم است. یک موج صفحه ای به صورت عمودی در جهت y– به ساختار می‌تابد. مقادیر بازتاب و انتقال به ترتیب در بالای ساختار و در بستر ساختار اندازه‌گیری شده‌اند. جذب ساختار به صورت $A=1-T-R$ تعریف می‌شود. از شرایط مرزی متناوب در جهت x و لایه تطبیق کامل[3] در 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.



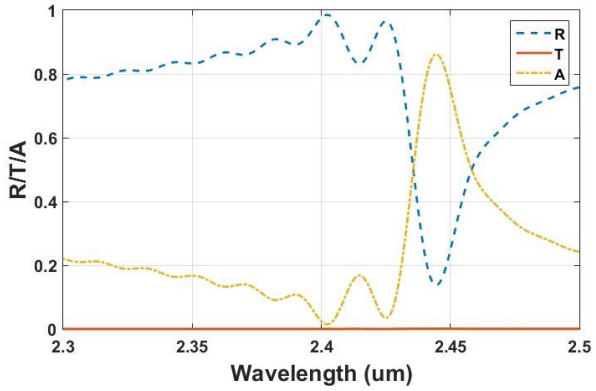
شکل ۲-الف: توزیع میدان الکتریکی



شکل ۲-ب: توزیع میدان مغناطیسی

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 فراماده می‌تواند منجر به افزایش شدت میدان الکتریکی شود.

طیف جذب و بازتاب ساختار در شکل ۳ نشان داده شده است.



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[4] برای ارزیابی عملکرد آنها استفاده می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌شوند:

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

$$FOM=\frac{S}{FWHM} \qquad (۲)$$

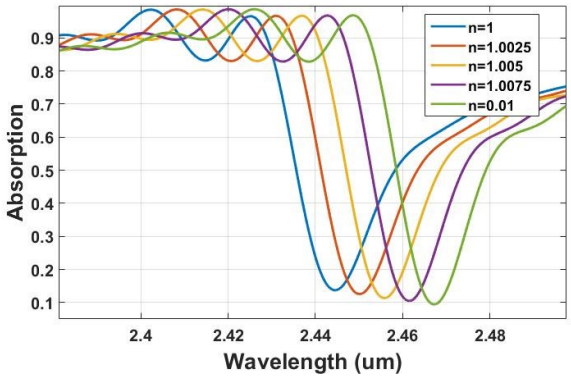
جهت به دست آوردن حساسیت حسگر، طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست محیط بررسی می‌شود. شکل ۴-الف نشان دهنده طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه 10^{-2} و شکل ۴-ب و ۴-ج به ترتیب نشان دهنده طیف بازتاب و طیف جذب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه 10^{-3} هستند.

3.perfectly matched layer(PML)

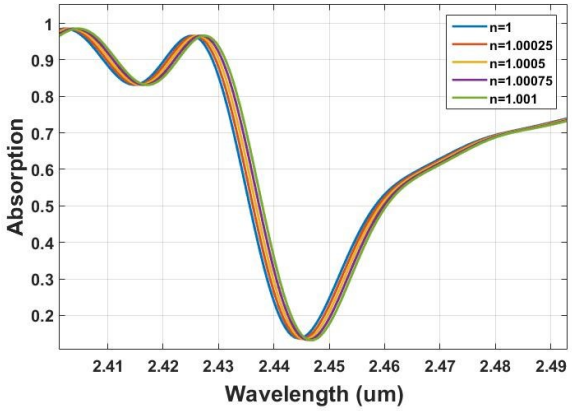
4.Figure Of Merit (FOM)

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

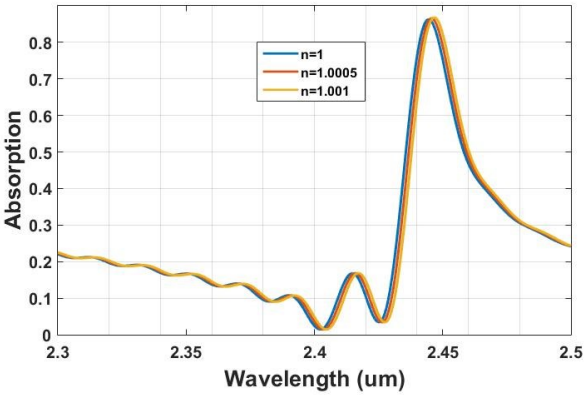
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]



شکل ۴-الف: طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه 10^{-2}



شکل ۴-ب: طیف بازتاب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه 10^{-3}



شکل ۴-ج: طیف جذب بر حسب تغییرات ضریب شکست به اندازه 10^{-3}

هنگامی که ضریب شکست به اندازه 10^{-2} تغییر می‌کند، طول موج تشدید از ۲۴۴۴nm به ۲۴۶۶nm جابجا می‌شود و در نتیجه حساسیت حسگر ۲۲۰۰nm/RIU به دست می‌آید، که در مقایسه با حسگر گزارش شده در [۵] دارای حساسیت بسیار بالاتری است. همچنین با تغییر ضریب شکست به اندازه 10^{-3} طول موج تشدید به اندازه ۲/۳nm جابجا شده و حساسیت ۲۳۰۰nm/RIU به دست می‌آید. در نتیجه عدد شایستگی حسگر حدودا RIU^{-1} 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.

نتیجه گیری

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 ۲۳۰۰nm/RIU و عدد شایستگی به اندازه RIU^{-1} ۱۱۵ 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.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]