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

تحلیل عددی نانوحسگر پلاسمونی چهار بانده نقره-دی اکسید سیلیکون جهت تشخیص اوره و آمونیاک صنعتی در محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک

مریدعلی فولادوند[۱]، عباس حموله علی‌پور[۱،۲]، علی فرمانی[۱]، علی میر[۱] و عبدالصمد حمیدی[۱]

[۱]دانشگاه لرستان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه الکترونیک

[۲]دانشگاه صنعتی همدان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی

farid_foulad@yahoo.com[۱], a.alipour.۱۱۹۱@gmail.com[۱], farmani.a@lu.ac.ir[۱], mir.a@lu.ac.ir[۱]

چکیده- دراین مقاله شبیه‌سازی انتشار نور با قطبش مغناطیسی در حسگر پلاسمونی چهار بانده جهت تشخیص اوره و آمونیاک صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار نانوحسگر از نوع فلز-عایق-فلز است. نحوه عملکرد حسگر بدین گونه است که با قرار گرفتن در معرض نمونه با ضریب شکست‌های متفاوت، تشدید امواج الکترومغناطیسی متناسب با این تغییرات، ایجاد و جابجایی قله‌ها سازوکار تشخیص مواد شیمیایی را بیان می‌کند. سنسور فراسطح پلاسمونی دارای ویژگی‌های برجسته‌ای مانند تشخیص بدون برچسب، ساختار نانومتری، پاسخ‌دهی مناسب نسبت به مواد شیمیایی و تنظیم‌پذیری خوب را از خود نشان می دهند. شبیه‌سازی با استفاده روش حل عددی و با استفاده از نرم افزار CST صورت پذیرفته است.

کلیدواژه: بدون برچسب، تنظیم پذیر، فراسطح پلاسمونی، قطبش مغناطیسی

Numerical Analysis of Silver-Silicon Dioxide Four-Band Plasmonic in Near Infrared Nanosensor for Industrial NH۳ and Urea Detection Wavelength Range

M.A. Fouladvand[۱], A. Hamouleh-alipour[۱،۲], A. Farmani[۱] A. Mir[۱] and A. Hamidi[۱]

Department of Electrical Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran[۱]

Department of Biomedical Engineering, Hamadan University of Technology, Hamadan, Iran[۲]

farid_foulad@yahoo.com[۱], a.alipour.۱۱۹۱@gmail.com[۱], farmani.a@lu.ac.ir[۱], mir.a@lu.ac.ir[۱]

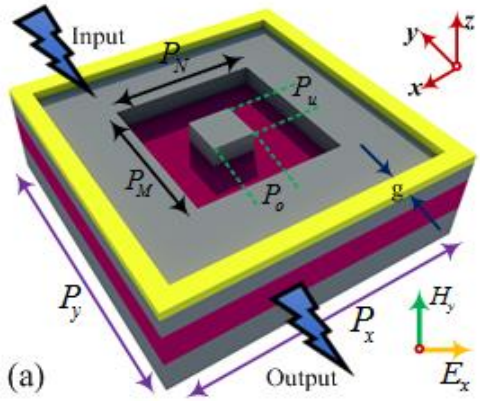
Abstract- In this paper, the simulation of light propagation of light with magnetic polarization in four-band plasmonic sensor for detection of industrial ammonia and urea is investigated. The nano-sensor is based on metal-dielectric-metal. The operation of the proposed sensor is based on exposure the sample with different refractive indexes, electromagnetic resonances is generated and the change of the peaks describes the mechanism for detecting chemicals material. The plasmonic metasurface have several advantages such as label free detection, nano-structure, suitable responsibility to chemicals material and good tunability. Simulation is investigated based on numerical analysis using CST.

Keywords: Electromagnetic Polarizat , Label Free, Plasmonic Metasurface , Tunability

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-17]

مقدمه

تشدید پلاسمون‌های سطحی سازوکار کارآمد برای بازیابی خواص نوری نانو مواد و بایو مواد است. تشدید الکترون‌های سطحی به دلیل برخورد نور قطبی شده در سطح مشترک عایق و دی‌الکتریک، نفوذپذیری منفی و مثبت ایجاد می-شود. حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون‌های سطحی متکی به ارزیابی میزان جذب نور روی لایه نازک فلزی طلا و یا نقره وابسته است. این حسگرها کاربردهای متعددی مانند ایمنی غذا، کشف دارو، حفاظت از محیط زیست و تشخیص پزشکی را دارا هستند. بنابراین، بسیاری از محققان بر بهبود حساسیت حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون-های سطحی با استفاده از ساختارهای جدید تمرکز کرده‌اند. اولین کابرد تشدید پلاسمون های سطحی به عنوان حسگر در سال ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار گرفت [۱]. در اوایل قرن بیستم، وود و همکاران تصور می‌کردند که نور پلاریزه شده در سطح توری پراش وجود دارد و الگوی نورهای نامنظم و خطوط تیره‌ای را که در نور منعکس شده رخ می‌دهد را مشاهده کردند [۲]. پیشرفت قابل توجهی در فرضیه تشدید پلاسمون‌های سطحی ایجاد شد که از لحاظ نظری وجود تحریکات پلاسمایی سطح فلز را تأیید می‌کرد [۳]. پاول و همکاران مشخص کردند که پلاسمون‌های سطحی با استفاده از الکترون در سطوح فلزی برانگیخته شده‌اند [۴]. بعداً استرن و همکاران مشاهده کردند که امواج الکترومغناطیسی روی سطح فلز حاوی ترکیب تشعشعی امواج الکترومغناطیسی با پلاسمون‌ها است. آنها همچنین روابط پراکندگی روی سطوح فلزی را استخراج کردند[۴]. در این مقاله یک ساختار فلز-عایق-فلز مطابق شکل ۱ مورد بررسی قرارگرفته است. ساختار مورد بحث یک ساختار جاذب شدید چند بانده برای تشخیص اوره و آمونیاک است.



شکل ۱: شکل حسگر پلاسمونیکی چهار بانده پیشنهادی.

پیکربندی حسگر فراسطح پلاسمونیکی

ساختار سه بعدی یک سلول واحد نانو حسگر پیشنهادی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. این حسگر از سه لایه اصلی نقره-دی اکسید سیلیکون- نقره تشکیل شده است. همچنین از یک لایه نازک طلا جهت کنترل میزان جذب تشدیدهای ساختار چهار بانده پیشنهادی استفاده شده است که نقش مهمی در کنترل این تشدیدها دارد. برای مدل-سازی ضریب گذردهی فلزات نجیب (طلا و نقره) مورد استفاده در این ساختار از مدل درود که شامل دو قسمت حقیقی و موهومی می‌باشد، به صورت زیر استفاده شده است.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{Re}(\omega) + i\varepsilon_{Im}(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\gamma_c\omega} \qquad (۱)$$

همچنین از دی‌اکسید سیلیکون به عنوان لایه عایق با ثابت دی الکتریک $\varepsilon = ۲/۲$ استفاده شده است. اندازه های حسگر پیشنهادی که در شکل شماره ۱ به جزییات کامل آمده است در جدول شماره ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می‌کنیم پیکربندی حسگر فراسطح پلاسمونیکی بسیار کم است که می‌توان به‌عنوان یک حسگر بسیار

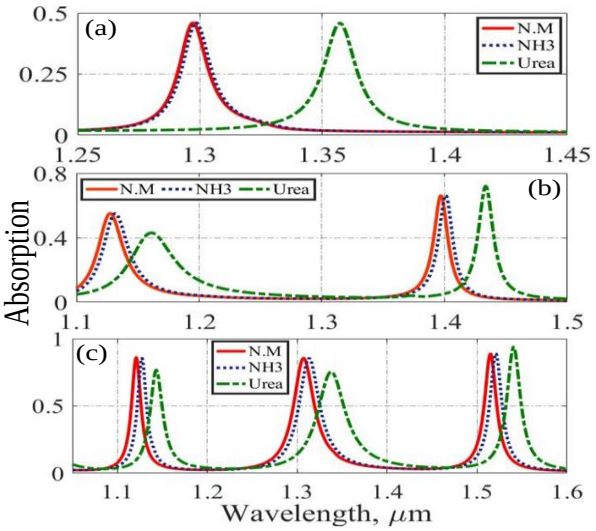
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-17]

کابردی در موارد مختلفی از جمله آزمایشگاه برروی تراشه استفاده شود.

جدول ۱: اندازه حسگر فراسطح پلاسمونیکی پیشنهادی.

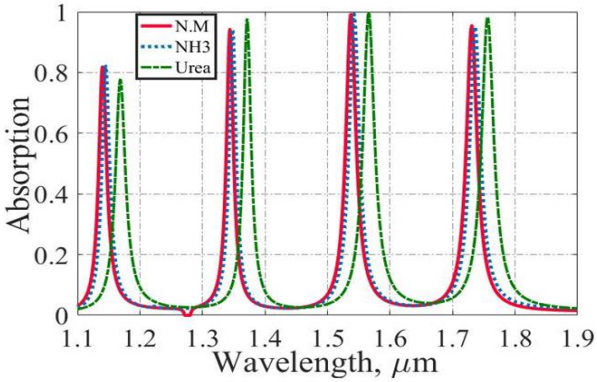
Parameters	Description	Value (nm)
$d_۱$	Ag ground thickness	٤٠
$d_۲$	$SiO_۲$ layer thickness	٣٠
$d_۳$	Second Ag thickness	٤٠
$d_٤$	Gold thickness	٣٠
g	Gap between two Ring	٢٠
P_X	Total length	٧٢٠
P_Y	Total width	٧٢٠
P_N	Etched length	٥٠٠
P_M	Etched width	٥٠٠

شکل شماره ۲ نمودار طیفی جذب را برای ساختار معرفی شده در بازه طول موجی ۱ میکرومتر تا ۱/۶ میکرومتر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هنگامی که ساختار تحت تابش نور در با قطبش مغناطیسی قرار می‌گیرد قله های تشدید شدیدی در نمودار جذب مشاهده می‌گردد که بیانگر جفت شدگی قوی با نور تابیده شده بر ساختار پیشنهادی می‌باشد. با تغییر اندازه کلی حسگر پیشنهادی از ۶۰۰ نانومتر تا ۶۸۰ نانومتر در طیف نمودار جذب ساختار به ترتیب، تک باند، دو باند و سه باند مشاهده می‌شود. همچنین هنگامی که ابعاد ساختار را تغییر می دهیم قله های تشدید هم از لحاظ دامنه تغییر نموده که نشان دهنده تنظیم پذیر بودن حسگر را نشان می‌دهد. حال ساختار را در معرض نمونه اوره وآمونیاک صنعتی قرار داده و نمودار جذب را به ازای ساختارهای تک باند، دو باند و سه باند را مشاهده می کنیم. همانطور که از شکل شماره ۲ مشاهده می شود، با اضافه کردن سمپل اوره و آمونیاک، طیفی جذبی دارای شیفت قرمز است. همچنین به ازای سمپل آمونیاک طیف جذبی دارای تغیرات بسیار جزئی نسبت به ماده اوره است که نشان دهنده این می‌باشد که حسگر پیشنهادی مورد نظر دارای حساسیت بیشتری نسبت به ماده صنعتی اوره است.



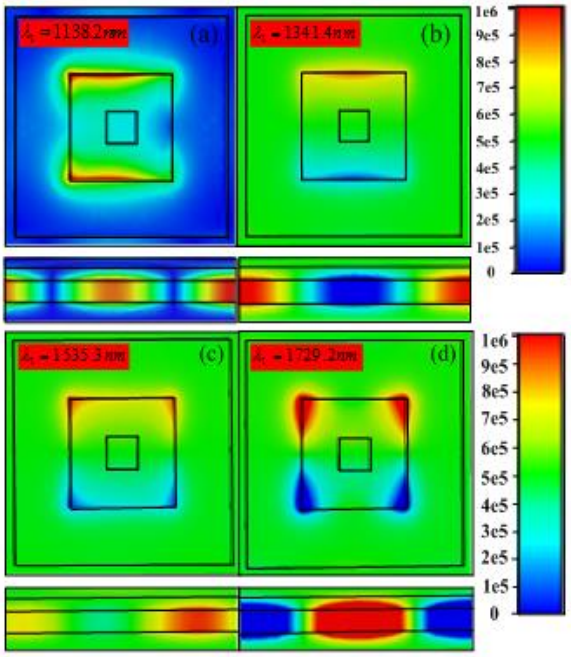
شکل ۲: نمودار جذب برای ساختار حسگر پیشنهادی به ازای طول و عرض‌های مختلف (P_x , P_y) .

در این قسمت به بررسی ساختار پیشنهادی به ازای چهار تشدید با قطبش مغناطیسی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. شکل شماره ۳ نمودار طیفی جذب را به ازای طول و عرض ۷۲۰ نانومتر حسگر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می-کنیم در مقایسه با نمودار شکل شماره ۲، نه تنها تعداد تشدیدها به چهار عدد افزایش یافته بلکه تشدید ها تیزتر و دارای نصف بیشینه در عرض کامل کمتر است. با اضافه کردن نمونه اوره و آمونیاک، شیفت قرمز برای نمودار طیف جذب حاصل می شود. نمودار نشان داده شده نمایشگر پاسخ مناسب حسگر پیشنهادی نسبت به مواد صنعتی را نشان می دهد.



شکل ۳: نمودار جذب برای ساختار چهار بانده حسگر پلاسمونیکی

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-17]



شکل ۴: نمودار توزیع میدان مغناطیسی به ازای طول موج های معادل با تشدیدهای الکترومغناطیسی.

برای نشان دادن پدیده جذب در بسامد تشدید، توزیع میدان مغناطیسی نانو ساختار پیشنهادی نمایش داده شده است. شکل شماره ۴ توزیع میدان مغناطیسی مماسی را در طول موج‌های تشدید نمایش می‌دهد. همان گونه که انتظار می‌رود برهمکنش لایه فلزی با نور تابشی بسیار قوی است و باعث بوجود آمدن قله‌های تشدید در ساختار می‌شود. شکل شماره ۴ میدان مغناطیسی را به ازای طول موج‌های تشدید که بیانگر جفت‌شدگی قوی نور وردی با ساختار فراسطح پلاسمونیکی است را نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌کنیم که با افزایش طول‌موج به سمت طول موج‌های بالاتر بر همکنش نور ورودی با ساختار بسیار قوی‌تر بوده و باعث حبس و کنترل بهتر نور در ساختار حسگر پیشنهادی می‌شود. حسگر فراسطح پلاسمونیکی پیشنهاد شده دارای پاسخ بسیار مناسب در کنترل و جذب نور در فرکانس‌های تراهرتز می‌باشد که به صورت کابردی توانایی استفاده در تشخیص اوره و آمونیاک صنعتی را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک نانوحسگر فراسطح پلاسمونیکی چهار بانده برای تشخیص اوره و آمونیاک پیشنهاد شده است. ساختار پیشنهادی دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله پاسخ بسیار مناسب نسب به مواد شیمیای از جمله اوره و آمونیاک، توانایی کنترل و جذب نور در تشدیدهای الکترومغناطیسی و تنظیم‌پذیری خوب است. در این ساختار طیف‌های جذب و توزیع میدان مغناطیسی براساس برهمکنش نور ورودی و پلاسمون‌های سطحی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بسیار خوبی متناسب با نمونه تزریقی به حسگر حاصل گردید. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، حسگر پلاسمونیکی توانایی استفاده به عنوان نانو ساختارها جهت تشخیص مواد شیمیایی را دارد.

منابع:

[۱] B. Liedberg, C. Nylander, I. Lunstrom, Surface plasmon resonance for gas detection and biosensing, Sens. Actuators, B ٤ (۱۹۸۳) ۲۹۹–۳۰۴.

[۲] R.W. Wood, on a remarkable case of uneven distribution of light in a diffraction grating spectrum, Phys. Soc. ۱۸ (۱) (۱۹۰۲) ۲٦۹.

[۳] R.H. Ritchie, Plasma losses by fast electrons in thin films, Phys. Rev. ۱۰٦ (۱۹٥۷)۸۷٤–۸۸۱.

[٤] C.J. Powell, J.B. Swan, Effect of oxidation on the characteristic loss spectra of aluminum and magnesium, Phys. Rev. ۱۱۸ (۱۹٦۰) ٦٤۰–٦٤۳.

[٥] E.A. Stern, R.A. Ferrell, Surface plasma oscillations of a degenerate electron gas, Phys. Rev. ۱۲۰ (۱۹٦۰) ۱۳۰–۱۳٦.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-17]