



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،

دانشگاه شهید چمران اهواز،

خوزستان، ایران.

۱۴-۱۲ 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<sup>۱</sup>، عباس حموله علی پور<sup>۱،۲</sup>، علی فرمانی<sup>۱</sup>، علی میر<sup>۱</sup> و عبدالصمد حمیدی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه لرستان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه الکترونیک

<sup>۲</sup>دانشگاه صنعتی همدان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی

farid\_foulad@yahoo.com<sup>۱</sup>، a.alipour.۱۱۹۱@gmail.com<sup>۱</sup>، farmani.a@lu.ac.ir<sup>۱</sup>، mir.a@lu.ac.ir<sup>۱</sup>

چکیده- در این مقاله شبیه سازی 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 شکست های متفاوت، تشدید امواج الکترومغناطیسی متناسب با این تغییرات، ایجاد و جابجایی قله ها سازوکار تشخیص مواد شیمیایی را بیان می کند. سنسور فراسطح پلاسمونی دارای ویژگی های برجسته ای مانند تشخیص بدون برچسب، ساختار نانومتری، پاسخ دهی مناسب نسبت به مواد شیمیایی و تنظیم پذیری خوب را از خود نشان می دهند. شبیه سازی 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 NH<sub>3</sub> and Urea Detection Wavelength Range

M.A. Fouladvand<sup>۱</sup>، A. Hamouleh-alipour<sup>۱،۲</sup>، A. Farmani<sup>۱</sup>، A. Mir<sup>۱</sup> and A. Hamidi<sup>۱</sup>

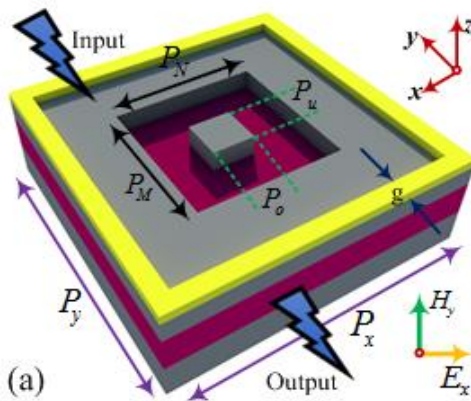
<sup>۱</sup>Department of Electrical Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

<sup>۲</sup>Department of Biomedical Engineering, Hamadan University of Technology, Hamadan, Iran

farid\_foulad@yahoo.com<sup>۱</sup>، a.alipour.۱۱۹۱@gmail.com<sup>۱</sup>، farmani.a@lu.ac.ir<sup>۱</sup>، mir.a@lu.ac.ir<sup>۱</sup>

**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



شکل ۱: شکل حسگر پلاسمونیکی چهار بانده پیشنهادی.

### پیکربندی حسگر فراسطح پلاسمونیکی

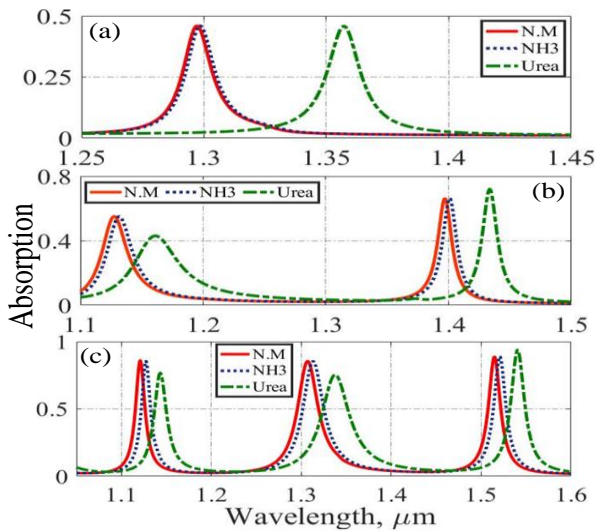
ساختار سه بعدی یک سلول واحد نانو حسگر پیشنهادی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. این حسگر از سه لایه اصلی نقره-دی اکسید سیلیکون-نقره تشکیل شده است. همچنین از یک لایه نازک طلا جهت کنترل میزان جذب تشدیدهای ساختار چهار بانده پیشنهادی استفاده شده است که نقش مهمی در کنترل این تشدیدها دارد. برای مدل سازی ضریب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

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\text{Re}}(\omega) + i\epsilon_{\text{Im}}(\omega) = \epsilon_{\infty} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\gamma_c\omega} \quad (1)$$

همچنین از دی اکسید سیلیکون به عنوان لایه عایق با ثابت دی الکتریک  $\epsilon = 2/2$  استفاده شده است. اندازه های حسگر پیشنهادی که در شکل شماره ۱ به جزئیات کامل آمده است در جدول شماره ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می کنیم پیکربندی حسگر فراسطح پلاسمونیکی بسیار کم است که می توان به عنوان یک حسگر بسیار

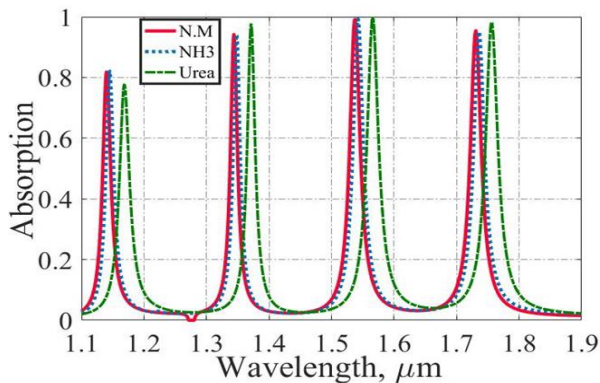
### مقدمه

تشدید پلاسمون های سطحی سازوکار کارآمد برای بازیابی خواص نوری نانو مواد و بایو مواد است. تشدید الکترون های سطحی به دلیل برخورد نور قطبی شده در سطح مشترک عایق و دی الکتریک، نفوذپذیری منفی و مثبت ایجاد می شود. حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون های 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 کرده اند. اولین کاربرد تشدید پلاسمون های سطحی به عنوان حسگر در سال ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار گرفت [۱]. در اوایل قرن بیستم، وود و همکاران تصور می کردند که نور پلاریزه شده در سطح توری پراش وجود دارد و الگوی نورهای نامنظم و خطوط تیره ای را که در نور منعکس شده رخ می دهد را مشاهده کردند [۲]. پیشرفت قابل توجهی در فرضیه تشدید پلاسمون های سطحی ایجاد شد که از لحاظ نظری وجود تحریکات پلاسمایی سطح فلز را تأیید می کرد [۳]. پاول و همکاران مشخص کردند که پلاسمون های سطحی با استفاده از الکترون در سطوح فلزی برانگیخته شده اند [۴]. بعداً استرن و همکاران مشاهده کردند که امواج الکترومغناطیسی روی سطح فلز حاوی ترکیب تشعشعی امواج الکترومغناطیسی با پلاسمون ها 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 قرار گرفته است. ساختار مورد بحث یک ساختار جذاب شدید چند بانده برای تشخیص اوره و آمونیاک 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 می‌کنیم در مقایسه با نمودار شکل شماره ۲، نه تنها تعداد تشدیدها به چهار عدد افزایش یافته بلکه تشدیدها تیزتر و دارای نصف بیشینه در عرض کامل کمتر است. با اضافه کردن نمونه اوره و آمونیاک، شیفت قرمز برای نمودار طیف جذب حاصل می‌شود. نمودار نشان داده شده نمایشگر پاسخ مناسب حسگر پیشنهادی نسبت به مواد صنعتی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمودار جذب برای ساختار چهار بانده حسگر پلاسمونیک

کاربردی در موارد مختلفی از جمله آزمایشگاه بر روی تراشه استفاده شود.

جدول ۱: اندازه حسگر فراسطح پلاسمونیک پیشنهادی.

Parameters	Description	Value (nm)
$d_s$	Ag ground thickness	۴۰
$d_t$	SiO <sub>2</sub> layer thickness	۳۰
$d_r$	Second Ag thickness	۴۰
$d_i$	Gold thickness	۳۰
$g$	Gap between two Ring	۲۰
$P_x$	Total length	۷۲۰
$P_y$	Total width	۷۲۰
$P_N$	Etched length	۵۰۰
$P_M$	Etched width	۵۰۰

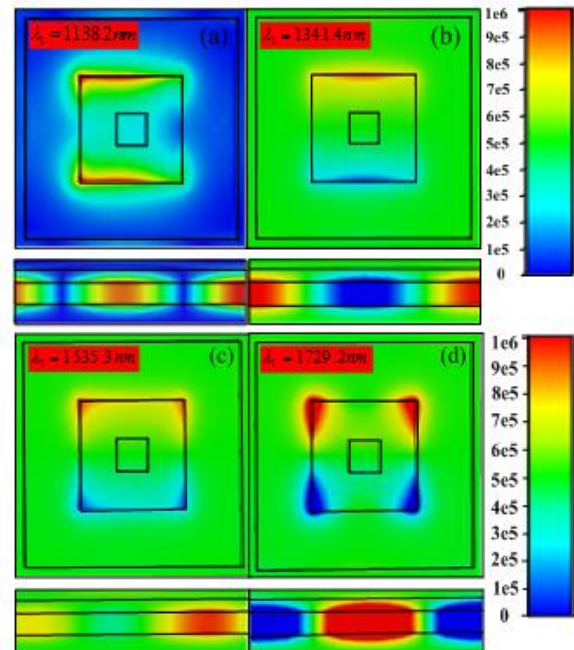
شکل شماره ۲ نمودار طیفی جذب را برای ساختار معرفی شده در بازه طول موجی ۱ میکرومتر تا ۱/۶ میکرومتر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هنگامی که ساختار تحت تابش نور در با قطبش مغناطیسی قرار می‌گیرد قله های تشدید شدیدی در نمودار جذب مشاهده می‌گردد که بیانگر جفت شدگی قوی با نور تابیده شده بر ساختار پیشنهادی 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 می‌دهیم 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 و آمونیاک صنعتی قرار داده و نمودار جذب را به ازای ساختارهای تک باند، دو باند و سه باند را مشاهده می‌کنیم. همانطور که از شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود، با اضافه کردن سمپل اوره و آمونیاک، طیفی جذبی دارای شیفت قرمز است. همچنین به ازای سمپل آمونیاک طیف جذبی دارای تغییرات 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.

### نتیجه گیری

در این مقاله یک نانوحسگر فراسطح پلاسمونیک چهار بانده برای تشخیص اوره و آمونیاک پیشنهاد شده است. ساختار پیشنهادی دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله پاسخ بسیار مناسب نسبت به مواد شیمیایی از جمله اوره و آمونیاک، توانایی کنترل و جذب نور در تشدیدهای الکترومغناطیسی و تنظیم پذیری 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 پلاسمونیک 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* ۴ (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) ۲۶۹.
- [۳] R.H. Ritchie, Plasma losses by fast electrons in thin films, *Phys. Rev.* ۱۰۶ (۱۹۵۷) ۸۷۴-۸۸۱.
- [۴] C.J. Powell, J.B. Swan, Effect of oxidation on the characteristic loss spectra of aluminum and magnesium, *Phys. Rev.* ۱۱۸ (۱۹۶۰) ۶۴۰-۶۴۳.
- [۵] E.A. Stern, R.A. Ferrell, Surface plasma oscillations of a degenerate electron gas, *Phys. Rev.* ۱۲۰ (۱۹۶۰) ۱۳۰-۱۳۶.



شکل ۴: نمودار توزیع میدان مغناطیسی به ازای طول موج‌های 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 ورودی با ساختار فراسطح پلاسمونیک است را نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌کنیم که با افزایش طول موج به سمت طول موج‌های بالاتر برهمکنش نور ورودی با ساختار بسیار قوی‌تر بوده و باعث حبس و کنترل بهتر نور در ساختار حسگر پیشنهادی می‌شود. حسگر فراسطح پلاسمونیک پیشنهاد شده دارای پاسخ بسیار مناسب در کنترل و جذب نور در فرکانس‌های تراهرتز می‌باشد که به صورت کاربردی توانایی استفاده در تشخیص اوره و آمونیاک صنعتی را دارا می‌باشد.