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

# 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]

[۱و۲] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
[۳]گروه 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 حسگر به دلیل اینکه مبتنی بر SPP است برهمکنش خیلی قوی بین موج الکترومغناطیس ورودی و فلز وجود دارد که منجر به ایجاد حساسیت زیاد می شود. حساسیت این ساختار ۱۹۱۰ nm/RIU با عرض کامل در نصف بیشینه ۱۶۵ nm در طول موج ۲۹۵۰ nm است. حساسیت بدست آمده در این مقاله قابل رقابت با سایر مقالات منتشر شده قبلی است. این ساختار می‌تواند برای تشخیص مواد زیستی مختلفی استفاده شود.**

کلید واژه- حسگر پلاسمونی، حساسیت، روش FDTD، ضریب شکست، فیلم فلزی.

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

**Susan Gomroki[۱], Mohammad Ali Mansouri-Birjandi[۲], and Mohammad Reza Rakhshani[۳]**
[۱،۲] □□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□, □□□□
(mansouri@ece.usb.ac.ir[۲])
[۳] □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□, □□□□□, □□□□
mrakhshani@uoz.ac.ir[۳])

**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 ۱۹۱۰ nm/RIU with an FWHM of ۱۶۵ nm at a wavelength of ۲۹۵۰ nm. The sensitivity obtained in this article is competitive with other previously published articles. This structure can be used to detect different biological materials.**

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02 ]

Keywords: Plasmonic Sensor, Sensitivity, Finite Difference Time Domain Method, Refractive Index, Metallic Film.

## مقدمه

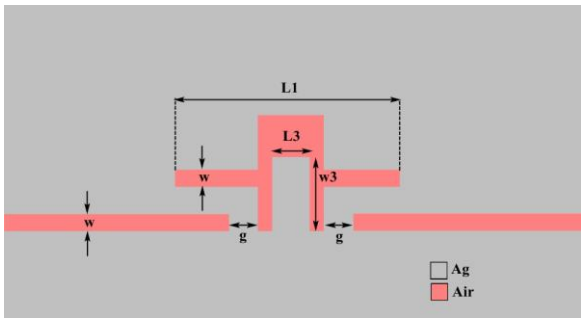
امروزه حسگرهای متعددی جهت تشخیص پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی از جمله حسگرهای ضریب شکست جهت تشخیص مواد مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. استفاده از تشدید پلاسمون سطحی در زمینه حسگری بسیار رایج شده است که این به دلیل حساسیت زیاد و دقت بالا در حسگری است [۲]. تابیده شدن نور قطبیده به فیلم فلزی و تحریک نوسانات دسته جمعی الکترون‌های آزاد در فیلم فلزی باعث ایجاد تشدید پلاسمون سطحی در مرز فلز/دی‌الکتریک می‌شود. 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 می‌شود.

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 nm/RIU معرفی شده است [۴]. همچنین ساختار حسگر پلاسمونی با استفاده از تشدیدگر نیمه حلقوی و نانو نقاط در سال ۲۰۲۰ با مقدار حساسیت ۱۰۸۴,۲۱ nm/RIU منتشر شده است [۵].

در این مقاله یک حسگر پلاسمونی H شکل طراحی و شبیه-سازی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد که در مقایسه با بسیاری از حسگرهایی که تاکنون گزارش شده است دارای حسایست زیادی است. نتایج نشان می‌دهد وجود تعداد گوشه های زیاد در نانوساختار (H شکل) باعث افزایش شدت 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 نقره از مدل درود-لورنتز بدست می آید [۶]:

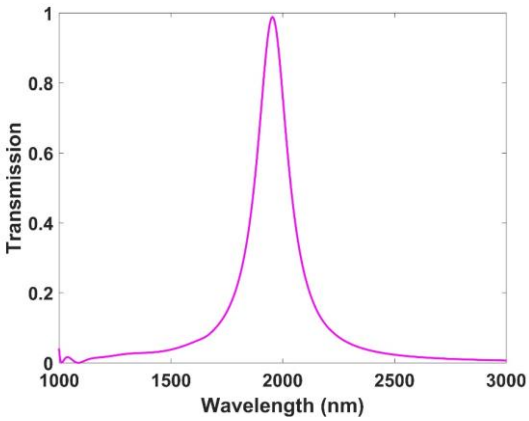
$$\varepsilon = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega - i\Gamma_0)} + \sum_{n=1}^{6} \frac{f_n \omega_p^2}{\omega_n^2 - \omega^2 + i\omega\Gamma_0} \qquad (1)$$

## 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=۱) است پاسخ طیفی بدست آمد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است در طول موج λ=۱۹۹۵ nm میزان انتقال به حدود ۹۹٪ رسیده است.

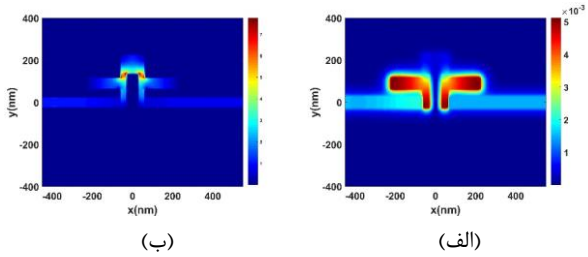


[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02 ]




شکل ۲: پاسخ طیفی در طول موج تشدید. Transmission بیانگر ضریب انتقال در ساختار است.

در شکل ۳، توزیع میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی نیز نشان می‌دهد که در طول موج تشدید بیشترین تمرکز میدان در بازوی افقی تشدیدگر H شکل است.

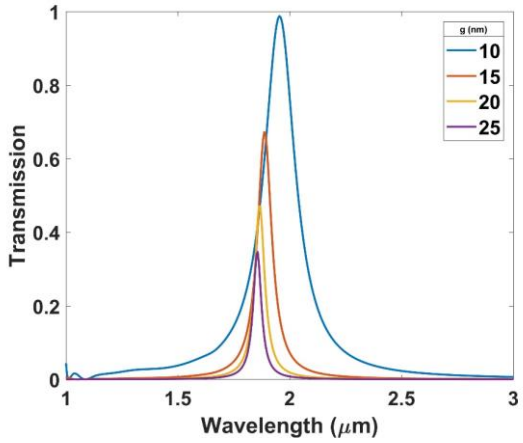



شکل ۳: الف) توزیع میدان مغناطیسی و ب) توزیع میدان الکتریکی ساختار در طول موج تشدید.

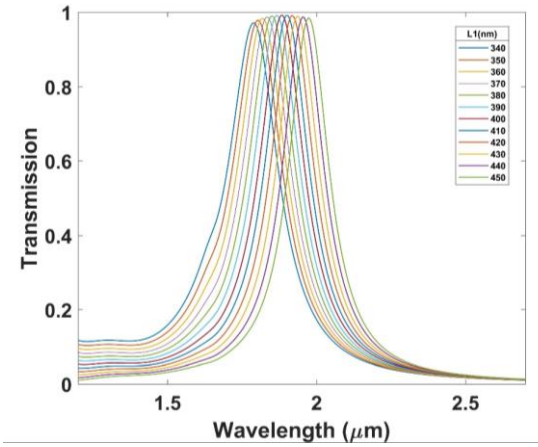
برای دستیابی به عملکرد بهینه، می‌توان اثر تغییرات پارمترهای هندسی ساختار را در طیف خروجی در نظر گرفت. ابتدا مطابق شکل ۴، اثر پارامتر g، فاصله بین موجبرها و تشدیدگر، به ازای تغییر از ۱۰ nm به ۲۵ nm در نظر گرفته شده است. افزایش g باعث تغییر طول‌موج تشدید و کاهش توان خروجی شده است.

در شکل ۵، طیف خروجی ساختار به ازای مقادیر مختلف $L_1$، طول بازوی افقی تشدیدگر، رسم شده است. تغییر از $L_1$=۳۴۰ nm به $L_1$=۴۵۰ nm 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 $w_3$، طول بازوی داخلی تشدیدگر، رسم شده است. تغییر از $w_3$=۱۴۰ nm به $w_3$=۲۲۰ nm موجب تغییر در طول موج تشدید (شیفت قرمز) می‌شود. توان خروجی به ازای $w_3$=۱۶۰ nm بیشینه می‌شود. تغییر $w_3$ تاثیر بیشتری در طیف خروجی نسبت به $L_1$ دارد.




شکل ۴: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف g.




شکل ۵: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف $L_1$.

در شکل ۷، طیف خروجی ساختار به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست موجبرها و تشدیدگر رسم شده است. تغییر از n=۱ به n=۱٫۵ موجب تغییر در طول موج تشدید (شیفت قرمز) می‌شود.

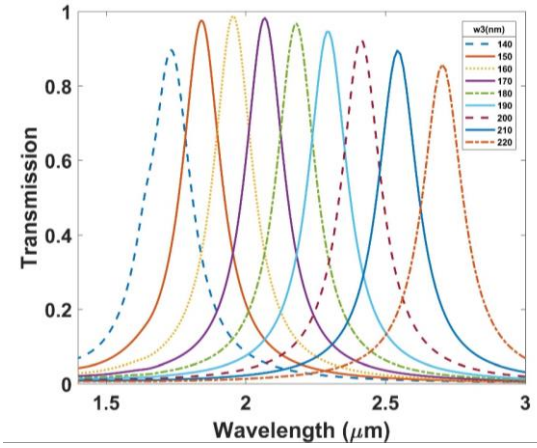
حساسیت یک حسگر با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید [۷]:

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n} \qquad (۲)$$

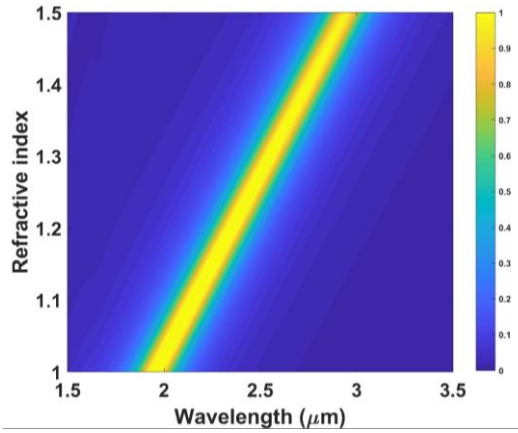
در این معادله $\Delta n$ بیانگر تغییر ضریب شکست و $\Delta\lambda$ نیز نشان دهنده تغییر طول موج تشدید به ازای تغییر $\Delta n$ است.



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02 ]




شکل ۶: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف W۳.




شکل ۷: طیف انتقال ساختار به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست.

طول موج تشدید در n=۱ برابر ۱۹۹۵ nm و در n=۱٫۵ برابر ۲۹۵۰ nm است. بنابراین مقدار حساسیت S=۱۹۱۰ nm/RIU بدست می‌آید. معیار شایستگی (FOM[۱]) 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[۲]) بدست می‌آید. با توجه به اینکه مقدار FWHM= ۱۶۵ nm است، مقدار FOM = ۱۱٫۶ حاصل می‌شود.

## نتیجه‌گیری

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=۱۶۵ nm بدست آمد که نشان می‌دهد مقادیر بهبودیافته‌ای هستند. این حسگر به راحی می‌تواند برای تشخیص مواد زیستی مختلف بعنوان حسگر زیستی استفاده شود.

## مرجع‌ها

[۱] Im, H., Shao, H., Park, Y.I., Peterson, V.M., Castro, C.M., Weissleder, R. and Lee, H., ۲۰۱۴. Label-free detection and molecular profiling of exosomes with a nano-plasmonic sensor. Nature biotechnology, ۳۲(۵), □□.۴۹۰-۴۹۵.

[۲] Tong, L., Wei, H., Zhang, S. and Xu, H., ۲۰۱۴. Recent advances in plasmonic sensors. Sensors, ۱۴(۵), □□.۷۹۵۹-۷۹۷۳.

[۳] Andam, N., Refki, S., Hayashi, S. and Sekkat, Z., ۲۰۲۱. □□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□ □□□ □□□□ □□□□ sensing in metal–insulator–metal structures. Scientific reports, ۱۱(۱), pp.۱-۱۲.

[۴] Rahmatiyar, M., Afsahi, M. and Danaie, M., ۲۰۲۰. Design of a refractive index plasmonic sensor based on a ring resonator coupled to a MIM waveguide containing tapered defects. *Plasmonics*, *15*(۶), pp.۲۱۶۹-۲۱۷۶.

[۵] Kazanskiy, N.L., Butt, M.A. and Khonina, S.N., ۲۰۲۰. □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□ □□□□-□□□□ □□□□□□□□□□ cavity for biochemical sensing applications. Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications, ۴۲, p.۱۰۰۸۳۶.

[۶] Rakhshani, M.R. and Mansouri-Birjandi, M.A., ۲۰۱۷. □□□□ □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□ sensing and its application for human blood group identification. Sensors and Actuators B: Chemical, ۲۴۹, □□.۱۶۸-۱۷۶.

[۱] Figure of merit

[۲] Full width at half maximum

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02 ]

**[۷]** 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., ۲۰۲۱. Significantly enhanced coupling effect and gap plasmon resonance in a MIM-cavity based sensing structure. Scientific Reports, ۱۱(۱), pp.۱-۱۷.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02 ]