بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

بهبود کارایی زیست حسگر پلاسمونیکی نانوساختار فلز-عایق-فلز با استفاده از دو تشدیدگر حلقوی متوالی

نرجس عموسلطانی [۱]، علی فرمانی [۲] ، عباس ظریفکار [۱] و نوید یثربی [۱]

[۱] دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، بخش مخابرات و الکترونیک

[۲] دانشگاه لرستان، دانشکده مهندسی، گروه برق

na.amoosoltani@shirazu.ac.ir, farmani.a@lu.ac.ir, zarifkar@shirazu.ac.ir, nyasrebi@shirazu.ac.ir

چکیده – در این مقاله، یک زیست حسگر پلاسمونیکی فلز-عایق-فلز مبتنی بر دو تشدیدگر متوالی حلقوی، ارائه و با روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) شبیه سازی شده است. حساسیت، معیار شایستگی، ضریب کیفیت و حساسیت دمایی محاسبه شده برای این زیست حسگر به ترتیب nm/RIU 986.3 ، RIU^{-1} 129.77، 130.53 و $nm/°C$ 0.38 است که نشان دهنده ی بهبود ساختار پیشنهادی نسبت به حسگرهای ارائه شده ی قبلی، جهت شناسایی نوع و میزان غلظت مواد زیستی مختلف است.

کلید واژه- زیست حسگر ، پلاسمونیک، تشدیدگر حلقوی، اتانول، حساسیت

Performance improvement of a metal-insulator-metal plasmonic nanostructure biosensor using two consecutive disk resonators

N. Amoosoltani[1], A. Farmani[2] , A. Zarifkar[1] and N. Yasrebi[1]

[1]School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz

[2] School of Electrical and Computer Engineering, Lorestan University, Khoramabad

na.amoosoltani@shirazu.ac.ir , farmani.a@lu.ac.ir , zarifkar@shirazu.ac.ir, nyasrebi@shirazu.ac.ir

Abstract- In this paper, a metal-insulator-matel (MIM) plasmonic **bio**sensor based on two consecutive disk resonators is presented and analyzed by the finite difference time domain (FDTD) method. The calculated sensitivity, figure of merit, quality factor, and temperature sensitivity of this biosensor are 986.3 nm/RIU, 129.77 RIU^{-1}, 130.53, and 0.38 nm/°C, respectively, which indicates an improved performance for identification of the type and concentration of different biomaterials, compared to the previously reported biosensors.

Keywords: biosensor, plasmonic, ring resonator, ethanol, sensitivity

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

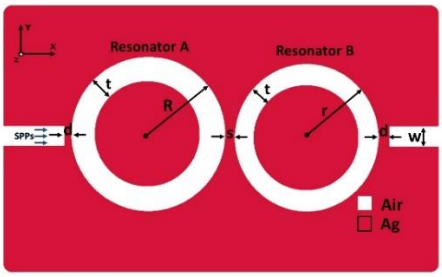
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مقدمه

زیست حسگرها که به‌منظور تشخیص و اندازه‌گیری غلظت مولکول‌های زیستی مانند گلوکز، پروتئین‌ها و غیره استفاده می‌شوند از زمینه های تحقیقاتی مورد توجه طی سالیان اخیر می باشند و ساختارهای متنوعی برای پیاده سازی آنها به کار گرفته شده است. ساختارهای پلاسمونیکی فلز-عایق-فلز[1] به دلیل مزایایی نظیر تلفات کم، طول انتشار مناسب و هم‌چنین توانایی بهتر در محدودسازی نور، از جمله ساختارهایی هستند که در طراحی انواع حسگرها به کار گرفته شده اند[1]. در همین راستا در سال 2018، محبوب[2] و همکاران ساختاری شامل یک تشدیدگر حلقوی شیاردار پیشنهاد دادند که موج‌برهای آن از بالا و پایین به آن تزویج شده است. هم‌چنین معیار شایستگی و حساسیت به‌دست‌آمده برای این ساختار به ترتیب 62.6 و 586.8 nm/RIU بوده است[2]. در همان سال، گوو[3] و همکاران با ارائه‌ی حسگر ضریب شکست مبتنی بر ساختار تشدیدگر حلقوی توانستند به حساسیت 880 nm/RIU دست یابند[3]. هم‌چنین اخیراً ساختاری شامل یک تشدیدگر شبه حلقه[4] که موج‌برها در انتهای دو طرف به آن کوپل شده است توسط فانگ[5] و همکاران موردبررسی قرارگرفته است و حساسیت 868.8 nm/RIU گزارش‌شده است[4]. با توجه به مطالب گفته‌شده، در این مقاله، یک زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی طراحی و ارائه‌شده است که شاخص های کارایی آن نسبت به ساختارهای پیشنهاد شده ی قبلی، بهبودیافته است.

تئوری و شبیه‌سازی ساختار

شکل ۱ ساختار پیشنهادی زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی ناهمسان را نشان می‌دهد که دو موج‌بر یکسان به صورت شانه ای به آن تزویج شده است[6]. پارامترهای این ساختار به‌صورت r=400nm، s=10nm، d=7nm، t=70nm، R=420nm و w=50nm در نظر گرفته‌شده است. شایان ذکر است در نظر گرفتن دو تشدیدگر متوالی حلقوی، میزان برهمکنش نور و ماده ی زیستی را افزایش می دهد و سبب بهبود خاصیت های حسگری می گردد.



شکل ۱: ساختار دو بعدی پیشنهادی زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی ناهمسان

ماده ی عایق و فلز این ساختار به ترتیب هوا (n=1) و نقره است که ضریب گذردهی نقره با استفاده از مدل درود به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است[2]:

[1]Metal-Insulator-Metal (MIM)
[2]Mahboub
[3]Guo
[4]Semi-ring
[5]Fang
[6]Shoulder-coupled

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

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

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon(\infty) - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 + i\omega\gamma_p)} \quad (۱)$$

که در آن $\varepsilon(\infty) = 3.7$، $\gamma_p = 2.85 * 10^{+13}\ rad/_{sec}$ و $\omega_p = 1.39 * 10^{+16}\, rad/_{sec}$ به ترتیب ثابت دی‌الکتریک در فرکانس بی‌نهایت، فرکانس برخورد و فرکانس پلاسمای الکتریکی است. در این معادله ω فرکانس نورتابشی در خلأ است. هم چنین، شبیه سازی به صورت دوبعدی و به روش تفاضل متناهی در حوزه ی زمان[۷] انجام شده است که در آن ابعاد مش بندی Δx=Δy=1nm و شرایط مرزی، PML در نظر گرفته شده است. روابط حساسیت[۸]، معیار شایستگی[۹] و ضریب کیفیت[۱۰] زیست حسگر به ترتیب به صورت زیر بیان می گردد:

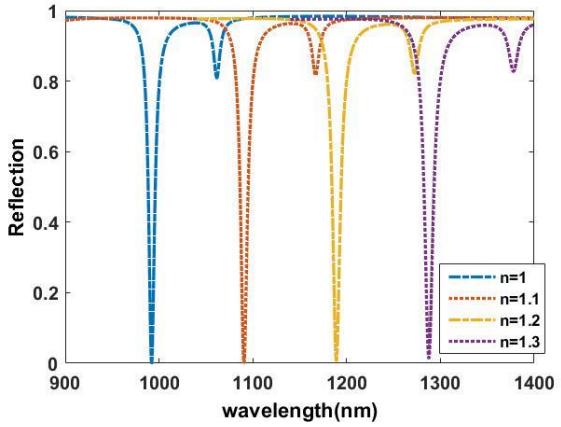
$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n}(nm/RIU)\,,\ FoM = \frac{S}{FWHM}\left(RIU^{-1}\right) \quad (۲)$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{FWHM} \quad (۳)$$

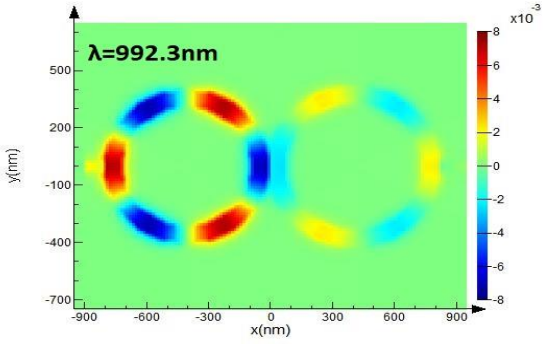
که در این روابط $\Delta\lambda$ ، Δn ، FWHM و λ_0 به ترتیب بیان کننده ی تغییرات طول موج تشدید نسبت به طول موج تشدید به ازای ضریب شکست n=1، تغییرات ضریب شکست نسبت به n=1، پهنای باند کم در نصف مقدار بیشینه و طول موج تشدید است.

شکل۲ نمودار میزان بازتاب بر حسب طول موج به ازای ضریب شکست های مختلف که حاکی از تغییر جنس ماده ی زیستی است، را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش ضریب شکست، طول موج تشدید به سمت طول موج های بیشتر جابجا می شود. باتوجه به این نمودار و روابط۲ و۳ حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت زیست حسگر به ترتیب nm/RIU 986.3، RIU^{-1} 129.77 و 130.53 محاسبه شده است.

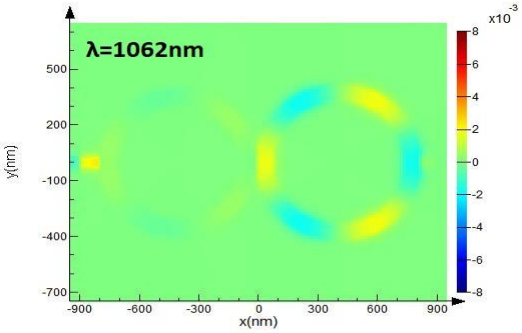
شکل۳ نحوه ی انتشار میدان مغناطیسی در راستای محور z را به ترتیب به ازای طول‌موج 992.3 nm و 1062 nm نشان می دهد. همان طور که مشخص است در طول موج تشدید 992.3nm نور تابشی به طور کامل به تشدیدگر A کوپل شده است و میزان بازتاب به صفر رسیده است.



شکل ۲: نمودار بازتاب برحسب طول‌موج به ازای ضریب شکست‌های مختلف



(الف)



(ب)

[7]Finite Difference Time Domain (FDTD)
[8]Sensitivity (S)
[9]Figure of merit (FoM)
[10]Quality factor (Q)

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

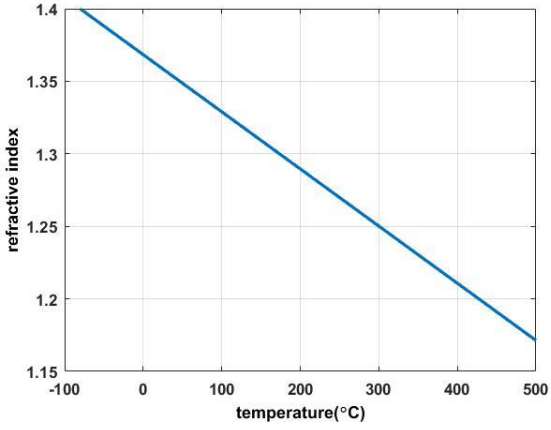
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

شکل ۳: توزیع میدان مغناطیسی در راستای محور z: الف) به ازای طول‌موج 992.3nm- ب) به ازای طول‌موج 1062nm

به منظور بررسی اثر تغییرات دما بر عملکرد زیست حسگر ارائه شده، درون تشدیدگرها و موجبرها به جای هوا، اتانول جایگزین شده است. ضریب دمایی اتانول($^{dn}/_{dT}$) $-3.94 * 10^{-4}\ RIU/°C$ است. هم چنین رابطه ی وابستگی ضریب شکست اتانول به دمای آن به صورت زیر تعریف می گردد[5]:

$$n = n_0 + {}^{dn}/_{dT}\,(T - T_0) \qquad (۴)$$

که $T_0 = 20°C$ و $n_0 = 1.36048$ به ترتیب بیان کننده ی دمای اتاق و ضریب شکست اتانول در دمای اتاق است. در این رابطه T و n به ترتیب دمای محیط و ضریب شکست متناسب با آن دما می باشد[5]. شکل ۴، رابطه ۴ را به ازای بازه ی 100- تا 500 درجه‌ی سانتی‌گراد نشان می دهد. در نتیجه حساسیت دمایی این ساختار $0.38\ nm/°C$ به دست آمده است.



شکل ۴: نمودار ضریب شکست اتانول به ازای تغییرات دما برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد

در جدول۱ مقایسه ی بین نتایج به دست آمده در این کار با چندین کار پیشین ارائه شده است. همان طور که دیده می شود مشخصه های زیست حسگر پیشنهاد شده بهبود یافته است.

جدول۱-مقایسه ی نتایج با تحقیقات قبلی

Ref.	S(nm/RIU)	Q	FoM
[2]	586.8	-	62.6 RIU^{-1}
[3]	880	-	964 RIU^{-1}
[4]	876.88	-	49.24 dB
This work	986	130.53	129.77 RIU^{-1}

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک زیست حسگر پلاسمونیکی نانوساختار فلز-عایق-فلز مبتنی بر دو تشدیدگر متوالی حلقوی طراحی و ارائه شد که معیار شایستگی، ضریب کیفیت، حساسیت و حساسیت دمایی آن به ترتیب 129.77 RIU^{-1}، 130.53، 986.3 nm/RIU و 0.38 $nm/°C$به دست آمده است. زیست حسگر طراحی شده به دلیل حساسیت بالا، سهولت در ساخت و امکان مجتمع سازی، می تواند به سادگی در شرایط مختلف جهت تشخیص انواع مواد زیستی استفاده گردد.

مرجع‌ها

[1] A. Farmani, “Three-dimensional FDTD analysis of a nanostructured plasmonic sensor in the near-infrared range,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 36, no. 2, pp. 401–407, 2019.

[2] O. Mahboub, R. El Haffar, and A. Farkhsi, “Optical Fano Resonance in MIM Waveguides with a Double Splits Ring Resonator,” *Int. J. Microw. Opt. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 181–187, 2018.

[3] Z. Guo, K. Wen, Q. Hu, W. Lai, J. Lin, and Y. Fang, “Plasmonic Multichannel Refractive Index Sensor Based on Subwavelength Tangent-Ring Metal–Insulator–Metal Waveguide,” *sensors*, vol. 18, 2018.

[4] Y. Fang, K. Wen, Z. Li, B. Wu, L. Chen, and J. Zhou, “Multiple Fano Resonances Based on End-Coupled Semi-Ring Rectangular Resonator,” *IEEE Photonics J.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–8, 2019.

[5] M. R. Rakhshani and M. A. Mansouri-birjandi, “High Sensitivity Plasmonic Sensor Based on Metal – Insulator – Metal Waveguide and Hexagonal-Ring Cavity,” *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 9, pp. 3041–3046, 2016

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

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