



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 پلاسمونیک 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 پلاسمونیک 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 986.3 nm/RIU ، 129.77 RIU^{-1} ، 130.53 و $0.38 \text{ nm/}^{\circ}\text{C}$ 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. Amoosoltani¹, A. Farmani², A. Zarifkar¹ and N. Yasrebi¹

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

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

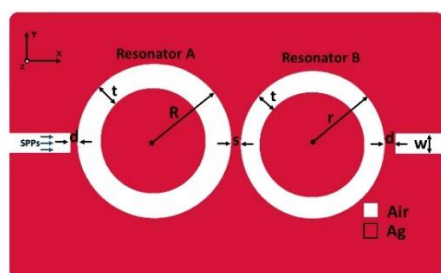
na.amoosoltani@shirazu.ac.ir, farmani.a@lu.ac.ir, zarifkar@shirazu.ac.ir, nyasrebi@shirazu.ac.ir

Abstract- In this paper, a metal-insulator-metal (MIM) plasmonic biosensor 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 $0.38 \text{ nm/}^{\circ}\text{C}$, 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

مقدمه

زیست حسگرها که به منظور تشخیص و اندازه‌گیری غلظت مولکول‌های زیستی مانند گلوکز، پروتئین‌ها و غیره استفاده می‌شوند از زمینه‌های تحقیقاتی مورد توجه طی سالیان اخیر می‌باشند و ساختارهای متنوعی برای پیاده‌سازی آنها به کار گرفته شده است. ساختارهای پلاسمونیکی فلز-عایق-فلز^۱ 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 شده‌اند [1]. در همین راستا در سال ۲۰۱۸، محبوب^۲ 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 به دست‌آمده برای این ساختار به ترتیب ۶۲.۶ و ۵۸۶.۸ nm/RIU بوده است [2]. در همان سال، گوو^۳ و همکاران با ارائه‌ی حسگر ضریب شکست مبتنی بر ساختار تشدیدگر حلقوی توانستند به حساسیت ۸۸۰ nm/RIU دست یابند [3]. همچنین اخیراً ساختاری شامل یک تشدیدگر شبه حلقه^۴ که موج‌برها در انتهای دو طرف به آن کوپل شده است توسط فانگ^۵ و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است و حساسیت ۸۶۸.۸ nm/RIU گزارش شده است [4]. با توجه به مطالب گفته‌شده، در این مقاله، یک زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی طراحی و ارائه‌شده است که



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

ماده‌ی عایق و فلز این ساختار به ترتیب هوا ($n=1$) و نقره است که ضریب گذردهی نقره با استفاده از مدل درود به صورت زیر در نظر گرفته شده است [2]:

⁴Semi-ring

⁵Fang

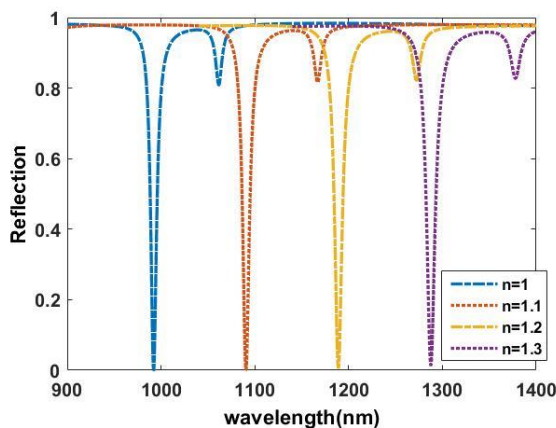
⁶Shoulder-coupled

¹Metal-Insulator-Metal (MIM)

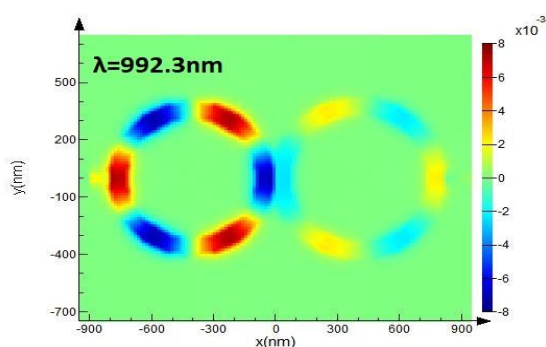
²Mahboub

³Guo

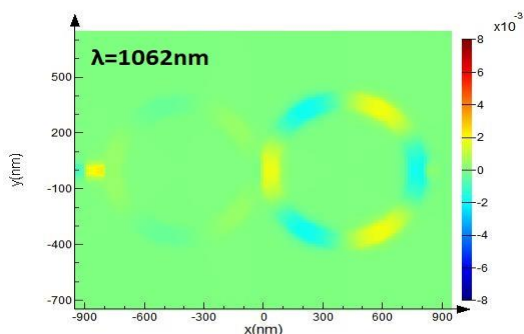
نشان می دهد. همان طور که مشخص است در طول موج تشدید 992.3nm نور تابشی به طور کامل به تشدیدگر A کوپل شده است و میزان بازتاب به صفر رسیده است.



شکل ۲: نمودار بازتاب بر حسب طول موج به ازای ضریب شکست های مختلف



(الف)



(ب)

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon(\infty) - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 + i\omega\gamma_p)} \quad (1)$$

که در آن $\varepsilon(\infty) = 3.7$ ، $\gamma_p = 2.85 * 10^{+13} \text{ rad/sec}$ و $\omega_p = 1.39 * 10^{+16} \text{ rad/sec}$ به ترتیب ثابت دی الکتریک در فرکانس بی نهایت، 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 $\Delta x = \Delta y = 1 \text{ nm}$ 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:

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n} (nm/RIU), FoM = \frac{S}{FWHM} (RIU^{-1}) \quad (2)$$

$$Q = \frac{\lambda_0}{FWHM} \quad (3)$$

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.

شکل ۲ 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 روابط ۲ و ۳ حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت زیست حسگر به ترتیب 986.3 nm/RIU ، 129.77 RIU^{-1} و 130.53 محاسبه شده است.

شکل ۳ نحوه ی انتشار میدان مغناطیسی در راستای محور z را به ترتیب به ازای طول موج 992.3 nm و 1062 nm

⁹Figure of merit (FoM)

¹⁰Quality factor (Q)

⁷Finite Difference Time Domain (FDTD)

⁸Sensitivity (S)

جدول ۱-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}

نتیجه گیری

در این مقاله یک زیست حسگر پلاسمونیک 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 $0.38 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ 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.

مرجع ها

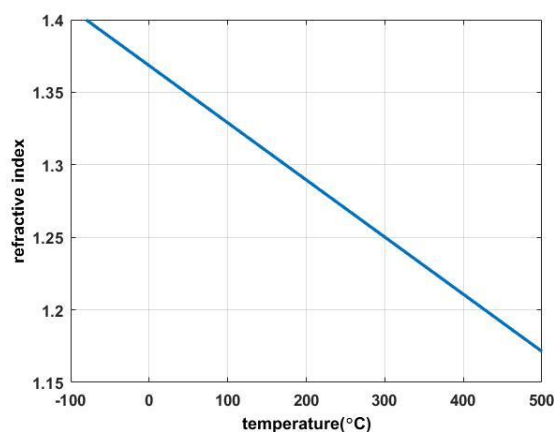
- [1] A. Farmani, "Three-dimensional FDTD analysis of a nanostructured plasmonic sensor in the near-infrared range," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 36, no. 2, pp. 401–407, 2019.
- [2] O. Mahboub, R. El Haffar, and A. Farkhsi, "Optical Fano Resonance in MIM Waveguides with a Double Splits Ring Resonator," *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

شکل ۳: توزیع میدان مغناطیسی در راستای محور z (الف) به ازای طول موج 992.3nm (ب) به ازای طول موج 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) $-3.94 \times 10^{-4} \text{ RIU/}^\circ\text{C}$ است. هم چنین رابطه ی وابستگی ضریب شکست اتانول به دمای آن به صورت زیر تعریف می گردد[5]:

$$n = n_0 + \frac{dn}{dT}(T - T_0) \quad (4)$$

که $T_0 = 20^\circ\text{C}$ و $n_0 = 1.36048$ به ترتیب بیان کننده ی دمای اتاق و ضریب شکست اتانول در دمای اتاق است. در این رابطه n و T 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 درجه ی سانتی گراد نشان می دهد. در نتیجه حساسیت دمایی این ساختار $0.38 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ به دست آمده است.



شکل ۴: نمودار ضریب شکست اتانول به ازای تغییرات دما برحسب درجه ی سانتی گراد

در جدول ۱ 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.