



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 $986.3 \text{ nm}/\text{RIU}$ ، 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

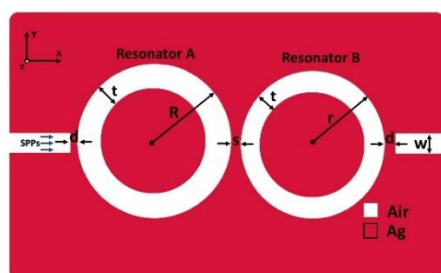
Abstract- In this paper, a metal-insulator-metal (MIM) plasmonic biosensor based on two consecutive disk resonators is presented and analyzed by the finite difference time domain (FDTD) method. The calculated sensitivity, figure of merit, quality factor, and temperature sensitivity of this biosensor are $986.3 \text{ nm}/\text{RIU}$, 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

شاخص های کارایی آن نسبت به ساختارهای پیشنهاد شده ی قبلی، بهبود یافته است.

تئوری و شبیه سازی ساختار

شکل ۱ ساختار پیشنهادی زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی ناهمسان را نشان می دهد که دو موج بر یکسان به صورت شانه ای به آن تزویج شده است.^۴ پارامترهای این ساختار به صورت $s=10\text{nm}$, $r=400\text{nm}$, $d=7\text{nm}$, $t=70\text{nm}$ و $R=420\text{nm}$ و $w=50\text{nm}$ در نظر گرفته شده 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 به صورت زیر در نظر گرفته شده است [2]:

مقدمه

زیست حسگرها که به منظور تشخیص و اندازه گیری غلظت مولکول های زیستی مانند گلوکز، پروتئین ها و غیره استفاده می شوند از زمینه های تحقیقاتی مورد توجه طی سالیان اخیر می باشند و ساختارهای متنوعی برای پیاده سازی آنها به کار گرفته شده است. ساختارهای پلاسمونیک 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 شده اند [1]. در همین راستا در سال 2018، محبوب^۲ و همکاران ساختاری شامل یک تشدیدگر حلقوی شیاردار پیشنهاد دادند که موج برهای آن از بالا و پایین به آن تزویج شده است. همچنین معیار شایستگی و حساسیت به دست آمده برای این ساختار به ترتیب 62.6 و 586.8 nm/RIU بوده است [2]. در همان سال، گوو^۳ و همکاران با ارائه ی 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^۴ که موج برها در انتهای دو طرف به آن کوپل شده است توسط فانگ^۵ و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است و حساسیت 868.8 nm/RIU گزارش شده است [4]. با توجه به مطالب گفته شده، در این مقاله، یک زیست حسگر مبتنی بر دو تشدیدگر حلقوی متوالی طراحی و ارائه شده است که

⁴Semi-ring

⁵Fang

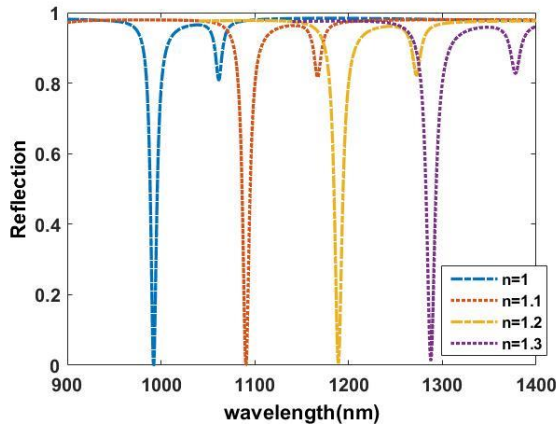
⁶Shoulder-coupled

¹Metal-Insulator-Metal (MIM)

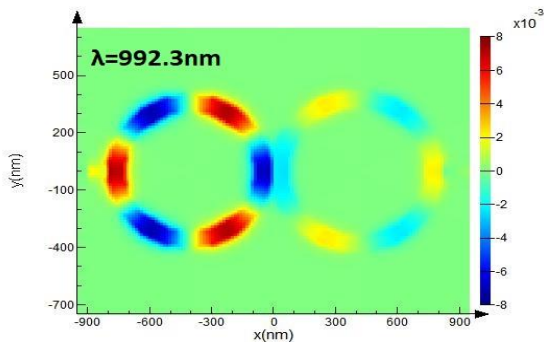
²Mahboub

³Guo

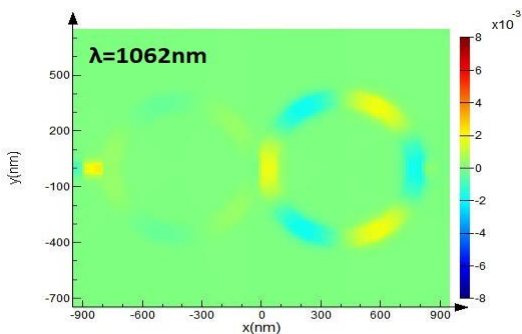
نشان می دهد. همان طور که مشخص است در طول موج تشدید 992.3nm نور تابشی به طور کامل به تشدیدگر A کوپل شده است و میزان بازتاب به صفر رسیده است.



شکل ۲: نمودار بازتاب بر حسب طول موج به ازای ضریب شکست‌های 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 دی‌الکتریک در فرکانس بی‌نهایت، فرکانس برخورد و فرکانس پلاسمای الکتریکی است. در این معادله ω فرکانس نورتابشی در خلأ است. هم‌چنین، شبیه‌سازی به صورت دوبعدی و به روش تفاضل متناهی در حوزه‌ی 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} زیست‌حسگر به ترتیب به صورت زیر بیان می‌گردد:

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

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

که در این روابط Δn ، $\Delta\lambda$ و λ_0 به ترتیب بیان‌کننده‌ی 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 شکست‌های مختلف که حاکی از تغییر جنس ماده‌ی زیستی است، را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ضریب شکست، طول موج تشدید به سمت طول موج‌های بیشتر جابجا می‌شود. با توجه به این نمودار و روابط ۲ و ۳ حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت زیست‌حسگر به ترتیب 986.3 nm/RIU ، 129.77 RIU^{-1} و 130.53 محاسبه شده است.

شکل ۳ نحوه‌ی انتشار میدان مغناطیسی در راستای محور z را به ترتیب به ازای طول‌موج 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 $0.38 nm/°C$ 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.

مرجع ها

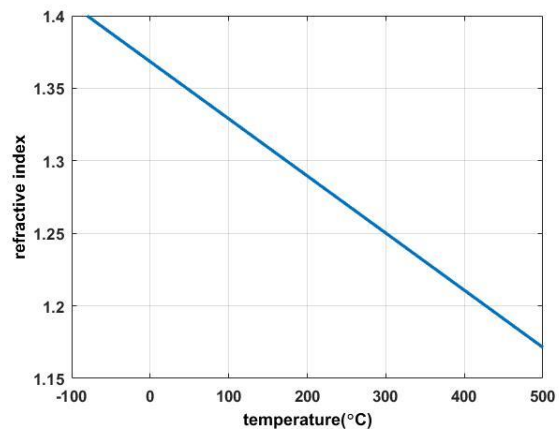
- [1] A. Farmani, "Three-dimensional FDTD analysis of a nanostructured plasmonic sensor in the near-infrared range," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 36, no. 2, pp. 401–407, 2019.
- [2] O. Mahboub, R. El Haffar, and A. Farkhsi, "Optical Fano Resonance in MIM Waveguides with a Double Splits Ring Resonator," *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) $-3.94 * 10^{-4} RIU/°C$ است. هم چنین رابطه ی وابستگی ضریب شکست اتانول به دمای آن به صورت زیر تعریف می گردد [5]:

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

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 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 $0.38 nm/°C$ 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.