

نانوحسگر پلازمونیک با حساسیت بالا مبتنی بر دو تشدیدگر دیسکی 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

چکیده: در این مقاله، یک حسگر ضریب شکست پلازمونیک فلز-عایق-فلز مبتنی بر دو تشدیدگر دیسکی متوالی و تشدیدگر مستطیلی، ارائه و با روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) شبیه سازی شده است. حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت محاسبه شده برای این حسگر ضریب شکست به ترتیب 1450 nm/RIU ، 241.66 RIU^{-1} و 242.83 است که نشان دهنده ی بهبود ساختار پیشنهادی نسبت به حسگرهای ضریب شکست ارائه شده ی قبلی است.

کلید واژگان: حسگر ضریب شکست؛ پلازمونیک؛ تشدیدگر دیسکی؛ حساسیت

Plasmonic nanosensor with high sensitivity based on 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

Abstract- In this paper, a metal-insulator-metal (MIM) plasmonic sensor based on two consecutive disk resonators is presented and analyzed by the finite difference time domain (FDTD) method. The calculated sensitivity, the figure of merit, and the quality factor of this refractive index sensor are 1450 nm/RIU , 241.66 RIU^{-1} , and 242.83 , respectively, which indicates an improved performance compared to the previously reported refractive index sensors.

Keywords: refractive index sensor; plasmonic; disk resonator; sensitivity

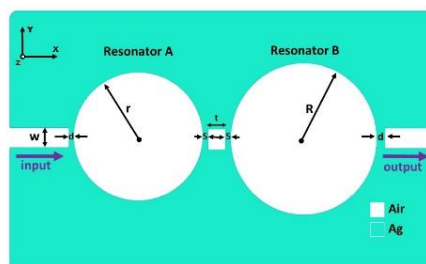
* zarifkar@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

ساختارهای پلاسمونیک فلز-عایق-فلز به دلیل مزایایی نظیر تلفات کم، طول انتشار مناسب و هم‌چنین توانایی بهتر در محدودسازی نور، از جمله ساختارهایی هستند که در طراحی انواع حسگرهای ضریب شکست به کار گرفته می‌شوند [1]. در کار پیشین این گروه، از دو تشدیدگر حلقوی متوالی ناهمسان در ساختار حسگر ضریب شکست استفاده شده بود [2]. انتظار می‌رود که با توجه به بالاتر بودن ضریب کیفیت^۱ تشدیدگرهای دیسکی نسبت به تشدیدگرهای حلقوی، بتوان با جایگزینی آنها، مشخصه‌های ساختار قبلی را ارتقا داد. هم‌چنین در کار دیگری از همین گروه [3] زیست حسگری مبتنی بر دو دیسک رزوناتور متوالی نیز ارائه شده بود. در این مقاله، یک حسگر ضریب شکست مبتنی بر دو تشدیدگر دیسکی متوالی ارائه شده که به منظور افزایش کوپلینگ بین دو دیسک، یک رزوناتور مربعی به ساختار افزوده گردیده است که در نهایت، شاخص‌های کارایی آن نسبت به ساختارهای پیشنهاد شده ی قبلی، بهبود یافته است. به همین دلیل از این سنسور ضریب شکست پیشنهادی، میتوان به عنوان سنسور دما و سنسور گاز نیز استفاده نمود.

۲- تئوری و شبیه‌سازی ساختار

شکل ۱، ساختار پیشنهادی حسگر ضریب شکست مبتنی بر دو تشدیدگر دیسکی متوالی ناهمسان را نشان می‌دهد که دو موج‌بر ورودی (سمت چپ) و خروجی (سمت راست) به آن‌ها تزویج شده‌اند. به منظور افزایش میزان تزویج دو دیسک، یک تشدیدگر مستطیلی بین آنها قرار داده شده است. این ساختار شامل لایه‌ای از فلز نقره می‌باشد که الگوی تشدیدگرها و موجبرها درون آن زدایش^۲ شده است. در این حسگر، ماده‌ی مورد نظر جهت شناسایی، وارد فضای خالی تشدیدگرها می‌شود. نور از طریق موجبر ورودی به تشدیدگر اول و سپس به تشدیدگر دوم تزویج می‌شود. با تغییر جنس ماده‌ی داخل تشدیدگرها، ضریب شکست موثر ساختار تغییر کرده و سبب جابه‌جایی در طول موج تشدید ساختار می‌شود که این جابه‌جایی، اساس کار این حسگر ضریب شکست است. پارامترهای این ساختار به صورت $r=390\text{nm}$, $w=50\text{nm}$ و $R=410\text{nm}$, $t=100\text{nm}$, $d=9\text{nm}$, $s=8\text{nm}$ شایان ذکر است که استفاده از دو تشدیدگر دیسکی متوالی، سبب افزایش چشمگیر بهره‌م کنش نور و ماده شده است، که این مسئله موجب بهبود خصوصیات حسگری می‌شود.



شکل ۱: ساختار دو بعدی حسگر پیشنهادی ضریب شکست مبتنی بر دو تشدیدگر دیسکی متوالی ناهمسان

در این ساختار، به ترتیب از هوا ($n=1$) و نقره به عنوان ماده‌ی عایق و فلز استفاده شده است. به منظور کاهش تلفات فلز نقره، ضریب گذردهی آن با استفاده از مدل جانسون و کریستی^۳ در نظر گرفته شده است. روابط حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت حسگر به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود:

¹ Quality factor

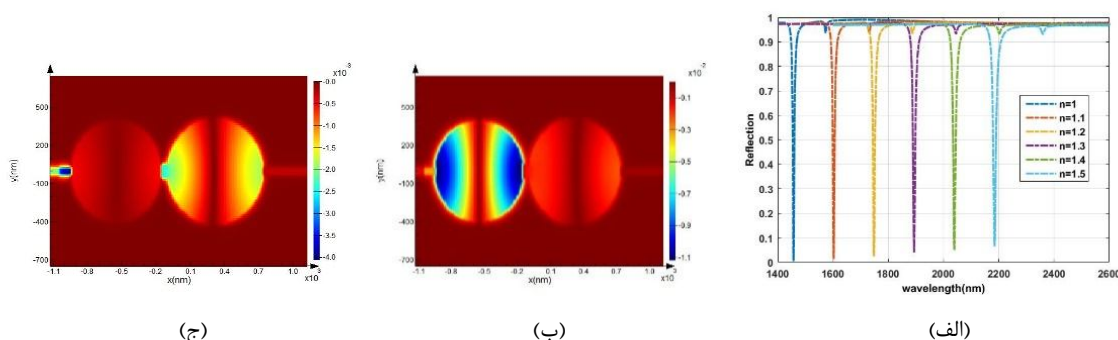
² Etch

³ Johnson and christy

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n} (nm / RIU) \quad FoM = \frac{S}{FWHM} (RIU^{-1}) \quad Q = \frac{\lambda_0(nm)}{FWHM(nm)} \quad (۱)$$

که در این روابط $\Delta\lambda$ و Δn به ترتیب بیان کننده ی تغییرات طول موج تشدید نسبت به طول موج تشدید و تغییرات ضریب شکست است. FWHM پهنای کامل در نصف مقدار بیشینه و λ_0 طول موج تشدید است.

شبیه سازی عددی ساختار به روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD)، میزان بازتاب بر حسب طول موج به ازای ضریب شکست های مختلف مطابق شکل ۲(الف) حاصل شده است. در این نمودار، ضریب شکست های ۱.۳، ۱.۴ و ۱.۵ به ترتیب بیان کننده ی زیست مواد اتر، اتیلن گلیکول و کلروبنزن است که به وسیله ی این حسگر می توان آنها را شناسایی نمود. با توجه به این شکل، مشاهده می شود با افزایش ضریب شکست، طول موج تشدید به سمت طول موج های بیشتر جابه جا می شود. با توجه به نتایج شبیه سازی و روابط (۱)، حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت این حسگر به ترتیب ۱۴۵۰ nm/RIU، ۲۴۱.۶۶ RIU⁻¹ و ۲۴۲.۸۳ محاسبه شده است.



شکل ۲- (الف) نمودار بازتاب بر حسب طول موج به ازای ضریب شکست های مختلف. توزیع میدان مغناطیسی در راستای محور z: به ازای طول موج ۱۴۵۷ nm (ج) به ازای طول موج ۱۵۷۳ nm

در شکل های ۲(ب) و ۲(ج)، چگونگی انتشار میدان مغناطیسی در راستای محور z، به ترتیب به ازای طول موج ۱۴۵۷ nm و ۱۵۷۳ nm و به ازای ماده ی هوا (n=1) مشاهده می شود. همان طور که مشخص است در طول موج تشدید ۱۴۵۷ nm میزان بازتاب به صفر رسیده و نور تابشی به طور کامل به تشدیدگر A تزویج شده است. در جدول ۱، مشخصات حسگر پیشنهادی با کارهای قبلی مقایسه شده است. علت ارتقاء مشخصه های حسگری نسبت به تحقیقات پیشین، افزایش برهم کنش نور و ماده در ساختار پیشنهادی از طریق استفاده از دو تشدیدگر دیسکی متوالی است.

جدول ۱-مقایسه ی نتایج با تحقیقات قبلی (موارد ستاره دار، طبق اطلاعات داده شده در مرجع، توسط نویسنده محاسبه شده است.)

Ref.	S(nm/RIU)	Q-factor	FoM (RIU ⁻¹)	FWHM (nm)
[2]	986	130.53	129.77	7.7nm
[4]	892	~60.76*	~68.61*	~13nm*
[5]	1000	41	~169.2*	~5.91nm
[6]	1320	18.9	16.7	76nm
This work	1450	242.83	241.66	6nm

مراجع

1. N. Amoosoltani, et. al. *J. Comput. Electron* ,18, (2019)
2. N. Amoosoltani, et. al. *The 26th Iranian Conference on Optics and Photonics* (2020)
3. N. Amoosoltani, et. al. *IEEE Sens. J.*, 20, (2020)
4. M. R. Rakhshani, et. al. *Appl. Opt.* , 57(27), (2018)
5. X. Shi, et. al. *Opt. Commun.* , 427, (2018)
6. M. A. Butt, et. al. *Waves in Random and Complex Media*, (2019)