همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

نانوحسگر پلازمونیکی 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 پلازمونیکی 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. 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

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

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

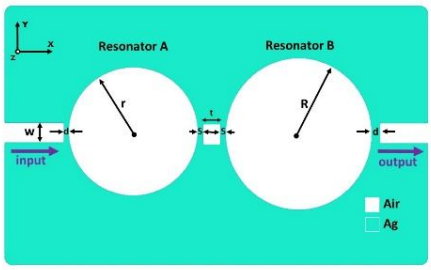
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]

۱- مقدمه

ساختارهای پلاسمونیکی 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 می شوند[1]. در کار پیشین این گروه، از دو تشدیدگر حلقوی متوالی ناهمسان در ساختار حسگر ضریب شکست استفاده شده بود[2]. انتظار می رود که با توجه به بالاتربودن ضریب کیفیت[1] تشدیدگرهای دیسکی نسبت به تشدیدگرهای حلقوی، بتوان با جایگزینی آنها، مشخصه های ساختار قبلی را ارتقا داد. هم چنین 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، شاخص های کارایی آن نسبت به ساختارهای پیشنهاد شده ی قبلی، بهبودیافته 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 آن ها تزویج شده اند. به منظور افزایش میزان تزویج دو دیسک، یک تشدیدگر مستطیلی بین آنها قرار داده شده است. این ساختار شامل لایه ای از فلز نقره می باشد که الگوی تشدیدگرها و موجبرها درون آن زدایش[2] شده است. در این حسگر، ماده ی مورد نظر جهت شناسایی، وارد فضای خالی تشدیدگرها می شود. نور از طریق موجبر ورودی به تشدیدگر اول و سپس به تشدیدگر دوم تزویج می شود. با تغییر جنس ماده ی داخل تشدیدگرها، ضریب شکست موثر ساختار تغییر کرده و سبب جابه جایی در طول موج تشدید ساختار می شود که این جابه جایی، اساس کار این حسگر ضریب شکست است. پارامترهای این ساختار به‌صورت r=390nm، s=8nm، d=9nm، t=100nm، R=410nm و w=50nm طراحی شده است. شایان ذکر است که استفاده از دو تشدیدگر دیسکی متوالی، سبب افزایش چشمگیر برهم کنش نور و ماده شده است، که این مسئله موجب بهبود خصوصیات حسگری می شود.



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 ماده ی عایق و فلز استفاده شده است. به منظور کاهش تلفات فلز نقره، ضریب گذردهی آن با استفاده از مدل جانسون و کریستی[3] در نظر گرفته شده است. روابط حساسیت، معیار شایستگی و ضریب کیفیت حسگر به ترتیب به صورت زیر بیان می شود:

[1] Quality factor
[2] Etch
[3] Johnson and christy

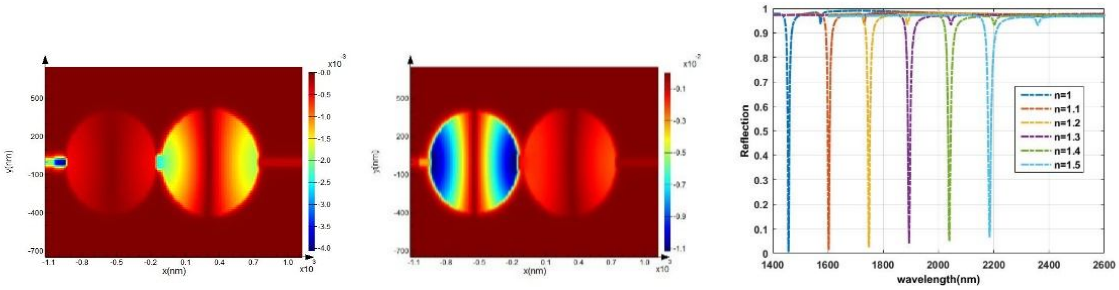
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]

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

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 های1.3، 1.4 و 1.5 به ترتیب بیان کننده ی زیست مواد اتر، اتیلن گیلیکول 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 1450 nm/RIU ، 241.66 RIU^{-1} و 242.83 محاسبه شده است.



(ج) (ب) (الف)

شکل ۲- الف) نمودار بازتاب برحسب طول‌موج به ازای ضریب شکست‌های مختلف. توزیع میدان مغناطیسی در راستای محور z: ب) به ازای طول‌موج 1457nm ج) به ازای طول‌موج 1573nm

در شکل های ۲(ب) و ۲(ج)، چگونگی انتشار میدان مغناطیسی در راستای محور z ، به ترتیب به ازای طول‌موج 1457 nm و 1573 nm و به ازای ماده ی هوا (n=1) مشاهده می شود. همان طور که مشخص است در طول موج تشدید 1457nm 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.

جدول۱-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*	~5.91*nm
[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)

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]