بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

بررسی حسگر تشدید پلاسمون سطحی مبتنی بر طلا و اکسید تیتانیوم دریک فیبر بلور فوتونی دی-شکل

ندا علی پرقوه[۱]؛ جمال بروستانی[۱]؛ بهار مشگین‌قلم[۱]
[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز

چکیده – در این کار، یک نوع فیبر بلور فوتونی با سطح مقطع دی-شکل به عنوان حسگر ارائه شده است که مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی است. سازوکار حسگر پیشنهادی مبتنی بر تغییرات ضرایب شکست آنالیت موجود در محیط می باشد. تاثیر تغییرات هندسه سطح و ساختار بر روی حساسیت طول موجی و دامنه مطالعه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در هندسه سطح، ساختار و استفاده از اکسید تیتانیوم موجب بهبود عملکرد حسگری شده است. این ساختار پیشنهادی می تواند کاربرد قابل توجهی در شناسایی انواع بیماریها و مولکول های زیستی داشته باشد.

کلید واژه-« تشدید پلاسمون سطحی؛ حسگر ضریب شکست؛ حساسیت طول موج؛ حساسیت دامنه؛ فیبر بلور فوتونی».

The investigation of Au and TiO_2 based surface plasmon resonance sensor in a D-shape photonic crystal fiber

Neda, Ali-Porghoveh[۱]; Jamal, Barvestani[۱]; Bahar, Meshginqalam[۱]
[۱]□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□, □□□□□□□□□□ □□ □□□□□□

nedaporghoveh@yahoo.com, barvestani@tabrizu.ac.ir, bahar.meshginqalam@tabrizu.ac.ir

Abstract –In this work, a photonic crystal fibre with a D-shaped cross section is presented as a sensor which is based on surface plasmon resonance. Mechanism of proposed sensor related to the variations of refractive index of analyte in the environment. The effect of surface geometry and structure on the wavelength and amplitude sensitivities has been investigated. The results show that changes in the surface geometry, structure and also introducing of titanium oxide have improved the performance of proposed sensor. The proposed sensor might have significant applications in identifying a variety of diseases and biomolecules.

Keywords: Surface plasmon resonance, Refractive index sensor, Wavelength Sensitivity, Amplitude Sensitivity, Photonic crystal fibre

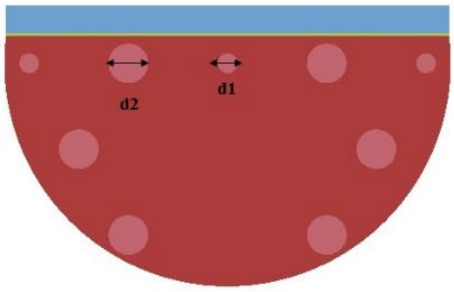
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

امروزه به دلیل نیاز به حسگرهای نوری، به ویژه برای کاربردهای پزشکی و شیمی افزایش حساسیت حسگرها در ابعاد کوچک اهمیت بسیاری یافته است[۱]. فرآیند تشدید پلاسمون سطحی در مرز بین یک ماده دی الکتریک و فلز با تزویج نور و نوسان دسته‌جمعی الکترونها رخ می دهد. اغلب فلزاتی مانند طلا، نقره، آلومینیوم بدلیل اتلاف کمتر برای تشدید پلاسمون سطحی استفاده میشود. جهت استفاده از این فرآیند، فلزات می‌تواند در سطح فیبر بلور فوتونی قرار گیرد. بخش نشتی مدهای بنیادی پشتیبانی شده در حجم فیبر با این پلاسمون‌ها میتواند تزویج یابد. مقدار این تزویج وابسته به ضریب شکست محیط دی‌الکتریک متصل به فلزات میباشد که بعنوان عاملی برای حسگری محیط استفاده می شود. بعبارتی، تغییرات درضریب شکست محیط سیال را می‌توان آشکارسازی کرد. هندسه داخلی و سطح فیبر بلور فوتونی، اهمیت بسزایی در طراحی و بهبود مشخصه‌های حسگری دارد. در واقع، از ویژگی ها و خواص بلورهای فوتونی برای محبوس سازی نور استفاده می شود و به همین دلیل به طور کلی با فیبر های معمولی متفاوتند. اولین حسگر مبتنی بر فیبر بلور فوتونی توسط جورگنسون در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد شد که در آن حسگرهای فیبر بلورفوتونی را با تغییرات اندازه حفره ها و ثابت شبکه بلوری مورد مطالعه قرار داده اند [۲]. هندسه دیگری از این فیبرها، فیبر بلورفوتونی دی-شکل هست که ماده پلاسمونی در غلاف دی- شکل با ضخامت خاصی قرار می گیرد که آنالیت را می توان به صورت لایه ای روی ماده پلاسمونی قرار داد [۳]. در این کار، ما ساختار مشابه یک فیبر بلور فوتونی در کار چاکما و همکاران را[۴] انتخاب و هندسه آنرا به دی-شکل تغییر داده و سپس المان‌های موجود در ساختار را بهینه و همچنین تغییراتی در بخش پلاسمونی ساختار ایجاد کرده ایم. در ساختار پیشنهادی فیلم ساده طلا در غلاف فیبر به ضخامت خاصی پوشش داده و از اکسید تیتانیوم زیربستر لایه طلا استفاده شده است. دلیل استفاده از اکسید تیتانیوم زیر فیلم طلا افزایش چسبندگی فیلم طلا می باشد. از نرم افزار لومریکال که بر پایه روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) است برای بدست آوردن نتایج استفاده کرده ایم.

ساختار حسگر پیشنهادی

فیبر بلور فوتونی دی شکل با نمایی دو بعدی در شکل (۱) نشان داده شده است. ساختار دارای شبکه شش‌گوش با ثابت شبکه $\Lambda = ۲\ \mu m$، قطر حفره های هوای کوچک و بزرگ پوششی $d۱ = ۰,۲\ \mu m$ و $d۲ = ۰,٤\ \mu m$ می باشد. ضخامت طلا ۴۰ نانومتر و ضخامت اکسید تیتانیوم ۱۱ نانومتر و همچنین جنس ماده زمینه سیلیکا انتخاب شده است. آنالیت در قسمت بالایی ساختار روی ماده پلاسمونی نشان شده است



شکل (۱). طرحواره‌ای از سطح مقطع فیبر بلور فوتونی دی- شکل

. ضریب شکست وابسته به طول موج برای سیلیکا از رابطه سلمیر و برای لایه طلا از رابطه جانسون کریستی استخراج شده است و برای اکسید تیتانیوم مقدار $n = ۲,٦۹٦٤$ در نظر گرفته شده است[۴].

نحوه محاسبه اتلاف و حساسیت

برای بررسی عملکرد حسگر پیشنهادی پارامترهای مختلفی نظیر اتلاف، حساسیت طول موجی و حساسیت دامنه محاسبه می شود. اتلاف فیبر با رابطه ی زیر بدست می آید:

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

$$\alpha(\lambda) = 8.686 \times k_0 \times \mathrm{Im}(n_{eff}) \times 10^4 \ (\frac{dB}{cm}) \quad (۱)$$

در رابطه بالا $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ و $\mathrm{Im}(n_{eff})$ قسمت موهومی ضریب شکست می باشد.

بعلاوه حساسیت طول موجی برای حسگر پیشنهادی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_w = \frac{\Delta\lambda_{peak}}{\Delta n_a} (nm/RIU) \quad (۲)$$

$\Delta\lambda_{peak}$اختلاف بین دو طول موج تشدیدی و Δn_a اختلاف ضرایب شکست آنالیت می باشد.

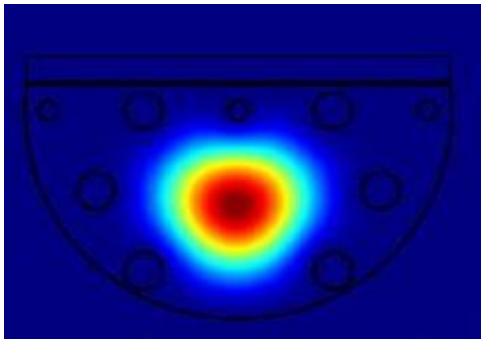
یکی دیگر از پارامترهای مهم در بررسی پاسخ حسگرحساسیت دامنه است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$S_A = -\frac{1}{\alpha(\lambda,n_a)} \frac{\partial\alpha(\lambda,n_a)}{\partial n_a} (RIU^{-1}) \quad (۳)$$

در رابطه فوق $\alpha(\lambda,n_a)$ مقدار اتلاف در طول موج λ و ضریب شکست آنالیت n_a می باشد. و همچنین $\frac{\partial\alpha(\lambda,n_a)}{\partial n_a}$ اختلاف اتلاف مربوط به دو ضریب شکست مجاور در طول موج یکسان است.

نتایج

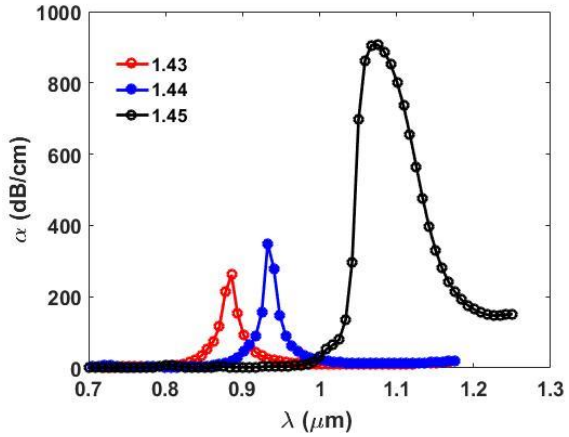
در شکل (۲) پروفایل مد بنیادی فیبر بلور فوتونی دی شکل پیشنهادی نمایش داده شده است.



شکل (۲) پروفایل میدان مد بنیادی فیبر بلور فوتونی دی شکل

حضور حفره مرکزی بالایی و لایه ی اکسید تیتانیوم با افزایش محبوس شدگی و بالا بردن میزان تزویج پلاسمونی سبب بهبود عملکرد حسگری می شود.

شکل۳ طیف اتلاف ساختار مورد بررسی را برای سه ضریب شکست متوالی ۱/۴۳ و ۱/۴۴ و ۱/۴۵ نمایش می‌دهد.

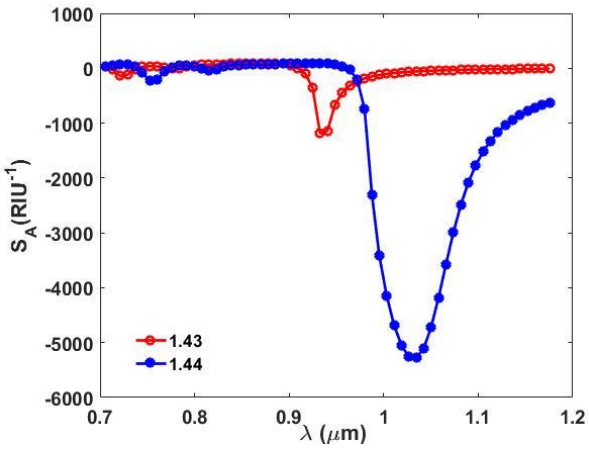


شکل (۳) : طیف اتلاف فیبر با ضرایب شکست ۱/۴۳ و۱/۴۴ و ۱/۴۵برای ساختار با فیبر دی شکل

از شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، قله اتلاف برای ضرایب شکست ۱/۴۳ و ۱/۴۴ و ۱/۴۵ به ترتیب ۲۶۱ dB/cm و ۳۴۹ و ۹۰۷ dB/cm است که در طول موج های تشدیدی ۰/۸۸ µm ۰/۹۳ µm و ۱/۰۷ µm بدست می آیند. اختلاف این طول موج های تشدیدی حساسیت ۱۳۰۰۰ nm/RIU را نتیجه می‌دهد. در مقایسه با کار چاکما و همکاران [۴] با حساسیت طول موجی ۹۰۰۰ nm/RIU ، حساسیت فیبر بلور فوتونی دی شکل پیشنهادی افزایش چشمگیری داشته است.

شکل ۴ حساسیت دامنه را برای دو ضریب شکست متوالی ۱/۴۳ و ۱/۴۴ نمایش می‌دهد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]



شکل (۴) : حساسیت دامنه با ضرایب شکست ۱/۴۳ و ۱/۴۴ برای فیبر دی- شکل

در این ساختار حساسیت دامنه برای آنالیت ۱/۴۳ و ۱/۴۴ به ترتیب $(\mathbf{RIU^{-1}})$ ۱۱۸۷ و $(\mathbf{RIU^{-1}})$ ۵۲۸۱ می‌باشد که در مقایسه با مرجع [۴] که حساسیت دامنه $(\mathbf{RIU^{-1}})$.۳۱۸ را گزارش کرده است افزایش چشمگیری را نشان می دهد.

نتیجه گیری

هندسه ساختار به صورت دی - شکل، منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در حساسیت حسگر پیشنهادی شده است. حساسیت طول موجی ۱۳۰۰۰nm/RIU و حساسیت دامنه ۵۲۸۱ برای حسگر پیشنهادی به دست آمده است که آن را برای کاربردهای مختلف حسگری شیمیایی و زیستی مناسب می سازد. به نظر می رسد که ساختار مورد نظر با افزایش سطح موثر تماس و تقویت تزویج مد بنیادی با پلاسمونهای سطحی موجب بهبود عملکرد حسگری شده است.

مرجع‌ها

[۱] Md.B. Hossain, Md.S. Hossain, Md. Moznuzzaman, Md.A. Hossain, Md. Tariquzzaman, Md.T Hasan, Md.M Rana. Numerical Analysis and Design of photonic crystal Fiber Based surface plasmon Resonance Biosensor, Journal of Sensor Technology, ۹ ۲۷-۳۴, ۲۰۱۹.

[۲] M. Al. Mahfuz, Md. A. Mollah, M. R. Momotaa, A. K. Paulb, A. Masudc, S. Akterb, Md. R. Hasan. Highly sensitive photonic crystal fiber plasmonic biosensor: Design and analysis, Optical Material ۹۰ - ۳۷۵-۳۲۱, ۲۰۱۹.

[۳] M. Al. Mahfuz, Md.A Hossain, E. Haque, N. Hoang Hai, Y. Namihira, F. Ahmed. A Biometallic-coated, Low propagation Loss, Photonic crystal Fiber Based Plasmonic Refractive Index sensor, Sensors۱۹-۳۷۹٤, ۲۰۱۹.

[٤] S. Chakma, Md. A. Khalek, B. K. Paul, K. Ahmed, Md. R. Hasan, A. N. Bahar, Gold-coated photonic crystal fiber biosensor based on surface plasmon resonance: Design and analysis, Sensing and Bio-Sensing Research ۱۸ -۷-۱۲, ۲۰۱۸.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]