بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

اندازه گیری حساسیت ضریب شکستی و دمایی حسگر رزوناتور میکروکره

فاطمه درودمند[۱]، حمید لطیفی[۱،۲]، زینب چناری[۲]، شهین قمری[۲]

[۱]تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده فیزیک، [۲]تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما

چکیده – این مقاله به بررسی حساسیت ضریب شکستی و دمایی حسگر رزوناتور میکروکره به عنوان حسگر زیستی، از لحاظ تئوری و تجربی می پردازد. برای بررسی حساسیت حسگر از لحاظ تئوری از نرم‌افزار کامسول استفاده شده‌است. برای میکروکره ای با قطر ۲۲۰ میکرون حساسیت ضریب شکستی nm/RIU ۴۷ و حساسیت دمایی pm/K ۹/۳۳ در محیط آبی به دست آمده‌است. در بررسی حساسیت از لحاظ تجربی برای میکروکره با قطر ۲۳۷ میکرون، حساسیت nm/RIU ۳۸ برای ضریب‌شکست و حساسیت دمایی pm/K ۹ در محیط آبی به دست آمده‌است که تطابق خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد.

کلید واژه- حساسیت دمایی، حساسیت ضریب شکستی، رزوناتور میکروکره

Measurement of Refractive index and Temperature Sensitivity of the Microsphere Resonator Sensors

F. doroodmand[۱], H. Latifi[*,۱,۲], Z.Chenari[۲], Sh. Ghamari[۲]

[۱] Department of Physics, Shahid Beheshti University, ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳, Evin, Tehran, Iran

[۲] Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳, Evin, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, we theoretically and empirically investigate the refractive index and temperature sensitivity of the microspheres resonator sensor as biological sensors. To examine the sensitivity of the sensor theoretically, comsol software is used. For a microsphere with a diameter of ۲۲۰ microns, ۴۷ nm/RIU Refractive index sensitivity and temperature sensitivity of ۹/۳۳ pm/K in aquatic environment is provided. In the experimental study, for a microsphere with a diameter of ۲۳۷ microns, ۳۸ nm/RIU sensitivity for refractive index and ۹ pm/K temperature sensitivity in aquatic environment is measured which have good agreement with simulation results.

Keywords: Temperature Sensitivity, Refractive index Sensitivity, Microsphere resonators

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

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

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر میکروکاواک‌های کروی سیلیکایی توجه بسیاری را در زمینه حسگرهای زیستی به خود جلب کرده‌اند [۱]. در این کاواک‌ها، نور در نتیجه بازتاب کلی داخلی و به صورت مدهای تشدید سطحی WGM در مداری نزدیک به سطح میکروکره با شعاع a و ضریب شکست N به صورت متوالی انتشار می‌یابد. اگر نور پس از بازتاب‌های متوالی، با همان فاز اولیه به مکان اولیه بازگردد، پدیده برانگیزش مدهای سطحی رخ می‌دهد. از لحاظ هندسی این شرط به این صورت بیان می‌شود که اگر محیط دایره ای که نور بر روی آن طی مسیر می‌کند، مضرب صحیحی از طول موج نور باشد، با فرض بزرگتر بودن شعاع دایره از طول موج نور$(a \gg \lambda)$ تشدید اتفاق می‌افتد [۲]:

$$۲\pi a = m\lambda/n_{eff}$$

که m مرتبه تداخل، n_{eff} ضریب شکست موثر میکروکره (که تابعی از ضریب شکست میکروکره و محیط اطراف می‌باشد) و λ طول موج در خلا است.

میدان میرای این مدها به گونه‌ای است که می‌تواند تا فاصله چند طول موج در محیط اطراف کره انتشار یابد. اساس کار حسگرهای زیستی WGM بر پایه برهم‌کنش میدان میراشونده مدهای تشدید سطحی با محیط اطراف است. پارامترهای زیستی مختلف، در صورتی که در مجاورت ناحیه‌ای که موج میراشونده وجود دارد قرار گیرند، می‌توانند به عنوان هدف برای آشکارسازی و اندازه‌گیری در نظر گرفته شوند. پارامتر زیستی مورد نظر را با مشاهده تغییرات اعمال شده بر روی میدان میراشونده از جمله تغییر ضریب شکست اندازه‌گیری می‌کنند [۳]. از این رو اندازه گیری حساسیت ضریب شکستی حسگر، پارامتری است که در اینگونه حسگرها دارای اهمیت زیادی است.

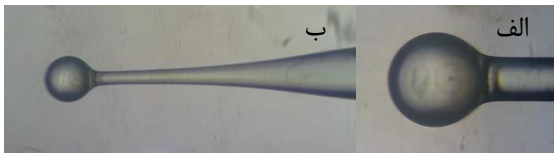
یکی دیگر از پارامترهایی که در حسگرهای زیستی تاثیر بسزایی دارند، نوسانات گرمایی می‌باشند. این نوسانات باعث ایجاد تغییر در ضریب انکساری ماده تشکیل دهنده‌ی میکروکاواک و محیط اطراف آن و هم‌چنین تغییر ابعاد میکروکاواک می‌شود [۴]. تغییرات طیفی ایجاد شده به عنوان نویز به سیگنال حسگر اضافه خواهد شد. در نتیجه بدون کنترل دمایی، نوسانات دمایی می‌تواند نویز زیادی ایجاد کند. بنابراین باید به دنبال راهکارهایی برای حذف این نویزها باشیم.

با توجه به اهمیت ضریب شکست و دما در حسگر های زیستی، در این مقاله به اندازه‌گیری حساسیت حسگر میکروکره نسبت به این دو پارامتر پرداخته شده‌است. این پارامترها از لحاظ تئوری و تجربی مورد بررسی قرار گرفته اند.

۲- مواد و روش

۲-۱ روش ساخت

برای ساخت میکروکره از فیبر تک‌مد (SM-۲۸) استفاده می‌شود. ابتدا لایه محافظ روی فیبر به صورت مکانیکی برداشته شده و با استفاده از پروپانول سطح فیبر تمیز می‌شود. سپس فیبر درون دستگاه جوش فیبر قرار داده شده و با استفاده از جرقه الکتریکی نوک فیبر به دمای ذوب می‌رسد. فیبر ذوب شده در اثر کشش سطحی به شکل کره در می‌آید. شکل ۱ تصویر دو نمونه از کره‌های ساخته‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱ : تصویر کره‌های ساخته شده با قطر الف) ۲۶۳ میکرون و ب) ۱۰۰ میکرون

جهت برانگیخته کردن مدهای WGM، از فیبر نوری باریک شده به روش خوردگی با اسید استفاده کرده ایم. برای برانگیزش مدهای میکروکره، تیپر را در نزدیکی استوای میکروکره قرار می دهیم. سپس با اسکن طول موج یک لیزر تنظیم پذیر در بازه طول موجی ۱/۵۵ µm و با تنظیم کنترل کننده قطبش نور ورودی به فیبر باریک می توان مدهای مختلف کره را تحریک نمود. آشکارسازی خروجی فیبر توسط یک فتودتکتور انجام می شود. در نهایت طیف رزونانس میکروکره را توسط برنامه labview ثبت می کنیم.

از آنجاییکه تقریبا تمامی فرایند های زیستی در محیط آبی انجام می شود، حسگر درون محفظه ای قرار دارد که امکان تزریق مایع به درون آن وجود دارد تا بتوان جفت شدگی در محیط آبی را مورد بررسی قرار داد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

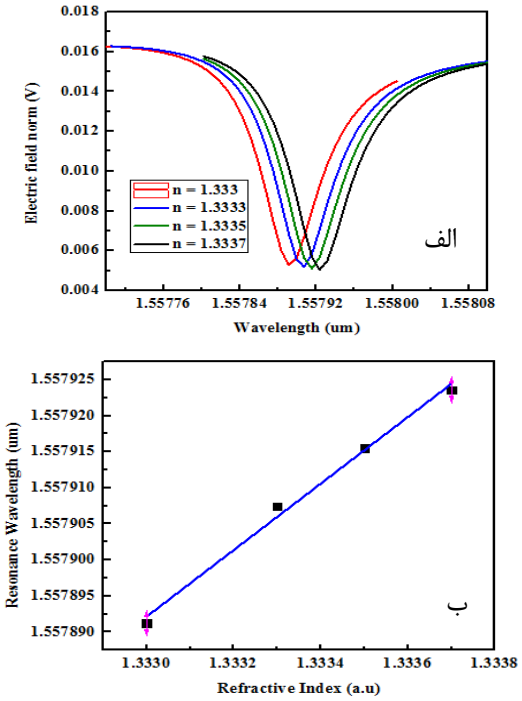
به منظور مقایسه نتایج تجربی با مقادیر تئوری از شبیه‌سازی حسگر میکرو کره توسط نرم‌افزار کامسول استفاده شده‌است. قطر فیبر باریک ۱ میکرون و ضریب شکست آن ۱/۴۶۲ می‌باشد. هم‌چنین از آنجاییکه قطر میکروکره استفاده شده در اندازه‌گیری حساسیت ضریب شکستی و دمایی حسگر، بین ۲۲۰ تا ۲۵۰ میکرون است، در شبیه‌سازی با کره با قطر ۲۲۰ میکرون (به دلیل کاهش تعداد مش‌بندی، این قطر انتخاب شده‌است) و ضریب شکست ۱/۴۵ انجام شده‌است.

۳- یافته ها

۳-۱ نتایج شبیه سازی

۳-۱-۱ بررسی حساسیت ضریب‌شکستی

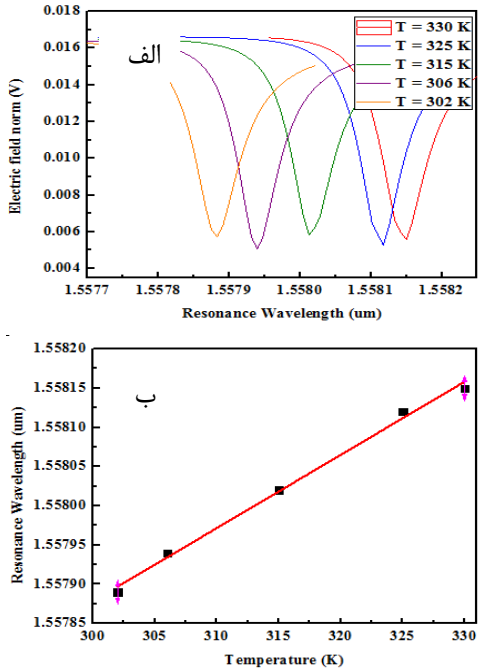
برای اندازه‌گیری حساسیت حسگر نسبت به تغییرات غلظت (ضریب شکست)، از محلول نمک در آب با غلظت ۰/۴—۰ درصد وزنی (بازه ضریب شکستی ۱/۳۳۳۷-۱/۳۳۳) استفاده شده‌است. شکل ۲ الف) بیانگر طیف خروجی حسگر و تغییرات آن برحسب تغییر غلظت نمک می‌باشد. طبق شکل ۲ ب) حساسیت ضریب شکستی به صورت خطی و معادل با nm/RIU ۴۷ بدست آمده است.



شکل ۲ : الف) تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات ضریب شکست به دست آمده از شبیه‌سازی، ب) تغییرات طول موج نسبت به ضریب شکست. شیب نمودار نمایانگر حساسیت حسگر و برابر nm/RIU ۴۷ می باشد.

۳-۱-۲ بررسی حساسیت دمایی

تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات دما در محیط آبی در شکل ۳ الف) آمده است. طبق شکل ۳ ب) حساسیت دمایی محاسبه شده نیز رفتاری خطی دارد و معادل pm/K ۹/۳۳ می باشد.



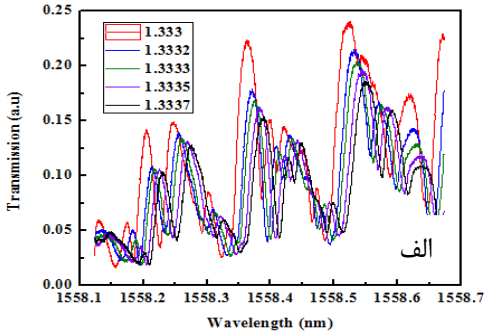
شکل ۳ : الف) تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات دما در محیط آبی به دست آمده از شبیه‌سازی، ب) تغییرات طول موج نسبت به تغییرات دما. شیب نمودار نمایانگر حساسیت و برابر pm/K ۹/۳۳ می باشد.

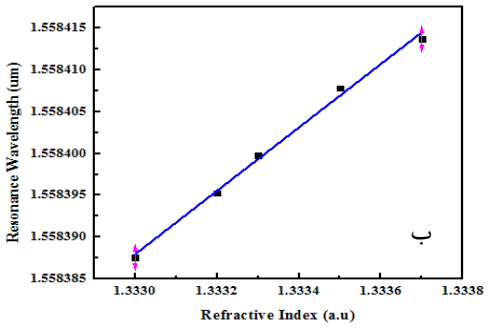
۳-۲ نتایج تجربی

۳-۲-۱ بررسی حساسیت ضریب‌شکستی حسگر

جهت اندازه‌گیری حساسیت ضریب‌شکستی حسگر، از میکروکره با قطر ۲۳۷ میکرون استفاده شده‌است. در هر مرحله از آزمایش با تزریق محلول‌های مختلف نمک به درون محفظه، سیگنال عبوری از حسگر ثبت می‌شود. در شکل ۴ الف) طیف خروجی حسگر و تغییرات آن برحسب تغییر غلظت نمک نشان داده شده است. مطابق شکل ۴ ب) حساسیت طول موجی بدست آمده nm/RIU ۳۸ می باشد که با نتایج تئوری تطابق نسبتا خوبی دارد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

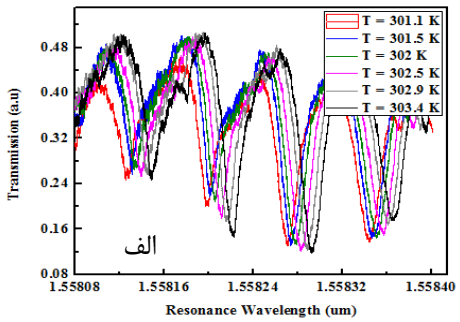


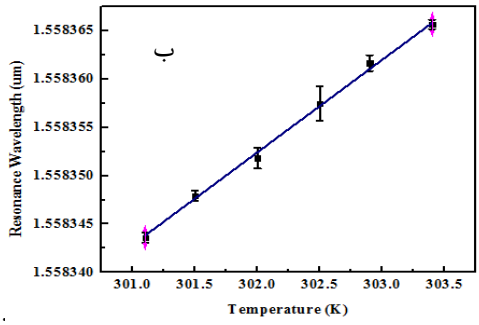


شکل ۴ : الف) تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات ضریب شکست، ب) تغییرات طول موج نسبت به ضریب شکست. شیب نمودار نمایانگر حساسیت حسگر و برابر ۳۸ nm/RIU می باشد.

۳-۲-۲ بررسی حساسیت دمایی

برای گرمادهی به حسگر از هات پلیت و جهت اندازه‌گیری دما از دماسنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ K استفاده شده‌است. دماسنج در نزدیکی حسگر قرار دارد (تقریبا در فاصله ۱۲/۵ میلی متری از حسگر؛ طول قسمتی که مایع درون آن قرار می‌گیرد ۲۵ میلی‌متر است)، به‌گونه‌ای که مطمئن باشیم عدد روی دماسنج، تقریبا همان دمای حسگر را نشان می‌دهد. بازه دمایی که در آن حساسیت حسگر در محیط هوا بررسی شده است، ۲۵/۸ – ۲۷/۸°C می باشد. شکل ۵ الف) تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات دما در محیط آبی آمده است. مطابق شکل ۵ ب) حساسیت حسگر pm/K ۹ می باشد که تطابق بسیار خوبی با مقادیر تئوری دارد.





شکل ۵ : الف) تغییرات طیف خروجی حسگر نسبت به تغییرات دما در محیط آبی، ب) تغییرات طول موج نسبت به تغییرات دما. شیب نمودار نمایانگر حساسیت و برابر pm/K ۹ می باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله حساسیت حسگر میکروکره به تغییرات ضریب شکست و دمای محیط به صورت تئوری و تجربی، به منظور استفاده از این حسگر به عنوان حسگر زیستی اندازه گیری شد. نشان دادیم که نتایج تجربی درتطابق نسبتا خوبی با مقادیر بدست آمده از شبیه سازی هستند.

مراجع

[۱]] K. A. Wilson, C. A. Finch, Ph. Anderson, F. Vollmer, and J. J. Hickman, “Whispering gallery mode biosensor quantification of fibronectin adsorption kinetics onto alkylsilane monolayers and interpretation of resultant cellular response,” **Biomaterials**, Vol. ۳۳, pp. ۲۲۵-۲۳۶, Jan. ۲۰۱۰.

[۲] A. Boleininger, T. Lake,S. Hami, and C. Vallance, “Whispering Gallery Modes in Standard Optical Fibres for Fibre Profiling Measurements and Sensing of Unlabelled Chemical Species,” **Sensors,** Vol. ۱۰, pp. ۱۷۶۵-۱۷۸۱, ۲۰۱۰.

[۳] S. Arnold, M. Khoshsima, I. Teraoka, S. Holler, and F. Vollmer, “Shift of whispering-gallery modes in microspheres by protein adsorption,” **Optics Letter,** Vol. ۲۸, No. ٤, pp. ۲۷۲-۲۷٤, Feb. ۲۰۰۳.

[٤] S. Arnold, and M. V. Otugen, “Temperature Measurments Using a Microoptical Sensor on Whispering Gallery Modes,” **AIAA Journal**, Vol. ٤٤, No. ۱۰, pp. ۲۳۸۵-۲۳۸۹. Oct. ۲۰۰٦.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]