مقایسه حساسیت حسگرهای گاز مبتنی بر فیبر نوری نازک شده با میزان ناآدیابتیک بودن متفاوت

بهناز فاتحی راویز ، محمد واحدی

دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده – این مقاله به مقایسه دو حسگر فیبر نوری نازک شده برای اندازه گیری فشار گاز با استفاده از بررسی توان خروجی در فشارهای مختلف گاز می‌پردازد. همچنین میزان جابجایی طیف تداخلی فیبر نازک شده در فشارهای مختلف بررسی شده است. دو فیبر نوری با قطر کمره ی حدود ۲۷ میکرومتر که به ترتیب طول نازک شدگی ۴ میلیمتر و ۸ میلیمتر و زاویه های نازک شدگی متفاوت با استفاده از شعله ساخته شده است. تغییرات توان خروجی فیبر نوری نازک شده که حاصل تغییرات ضریب شکست محیط اطراف فیبر نوری نازک شده است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که فیبر نازک شده ای که ناآدیابتیک تر می باشد، حساسیت بیشتری به عوامل خارجی نشان می دهد. حساسیت به دست آمده ۶,۸۳ *μW/Bar* در طول موج ۱۵۵۷*nm* می باشد. همچنین جابجایی طیفی ۰,۴ *nm/Bar* برای این فیبر به دست آمد.

کلید واژه- حسگر فشار ، فیبر نوری نازک شده، فیبر نوری نازک شده آدیاباتیک و ناآدیاباتیک

Comparison of Sensitivity of Tapered Fiber Optic Gas sensors with Different Non-adiabaticity Degrees

Behnaz Fatehi Raviz, Mohammad Vahedi

School of Physics, IUST, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, we compare sensor performance of two tapered fiber optic sensors. We use two fibers with the same taper waist diameter of about 27μm and the lengths of 4mm and 8mm and different tapering angles. Tapered fibers are made by using an oxy-butane torch. The response of two sensors to different N_2 gas pressures are measured which demonstrate different sensitivities. The fiber with more non-adiabaticity shows better results. A sensitivity to gas pressure variations equal to 6.83μW/Bar was obtained. Also, the spectrum shift dependence to gas pressure was 0.4nm/Bar for this fiber.

Keywords: pressure senor, tapered fiber optic, adiabatic and non-adiabatic tapered optical fiber

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

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

۱-مقدمه

با توجه به تنوع گسترده ای که امروزه در انواع حسگر مشاهده می‌شود، ارائه حسگری که از نظر سرعت و دقت حسگری نسبت به روش های پیش از خود دارای برتری‌هایی باشد اهمیت می‌یابد. فیبر نوری به دلیل حساسیت بالا و آشکارسازی سریع گزینه قابل قبولی برای ارائه یک حسگر مناسب در کاربردهای مختلف است. در فیبر نوری استاندارد شدت میدان موج در سطح خارجی تقریبا صفر است. بنابراین، انتشار نور در این‌گونه فیبرها به محیط اطراف حساسیت چندانی ندارد. برای ایجاد حساسیت فیبر نوری به محیط بیرونی، آن را به صورت نازک شده در می‌آورند. با نازک کردن فیبر نوری به دلیل کاهش قطر فیبر نوری و افزایش گشودگی عددی، مقدار عمق نفوذ و شدت میدان موج میرا میتواند به طور قابل توجهی زیاد باشد [۱و۲]. این امر موجب می‌شود که خروجی به تغییرات ضریب شکست محیط اطراف حساسیت قابل توجهی نشان بدهد.

فیبرهای نازک شده به دو دسته کلی آدیاباتیک و ناآدیاباتیک تفکیک می‌شوند. فیبر نازک شده آدیاباتیک است اگر بیشتر توان در مد اصلی باقی بماند و در طول مسیر انتشار با مدهای مرتبه بالاتر ترکیب نشود. فیبرهای آدیاباتیک تغییرات ملایمی در شعاع خود دارند به این معنی که زاویه نازک شدگی کوچک می باشد. در فیبرهایی با نازک شدگی ناآدیاباتیک بخشی از توان به مدهای پوسته نفوذ می‌کند و سپس هنگام انتشار در ناحیه نازک شدگی با مد اصلی ترکیب می‌شود. در این حالت زاویه نازک شدگی بزرگتر از حالت قبل است [۳]. در رابطه با حسگر های فیبر ناآدیاباتیک با توجه به حساسیت بالا، سهولت کاربرد، قیمت ارزان و ارائه زمان پاسخ واقعی در مقایسه با سایر روش های حسگری از کارامدی بالایی برخوردار هستند[۴].

۲- حسگر فیبر نوری نازک شده

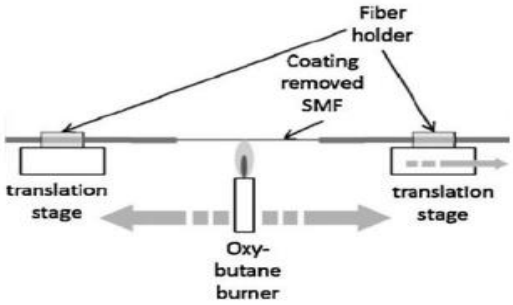
برای ساخت حسگر فیبر نوری نازک شده ابتدا به یک فیبر نوری تک مد و تک غلاف احتیاج داریم که آن را به روش گرما کششی نازک میکنیم. در این پژوهش همچنین از یک محفظه مناسب برای قرار گرفتن فیبر، گاز نیتروژن برای ایجاد فشار در محفظه، لیزر و آشکار ساز استفاده شده است. در ادامه به بررسی عملکرد حسگرهای فیبر نوری نازک شده با مشخصات متفاوت پرداخته شده است.

۱-۲- نازک کردن فیبر نوری

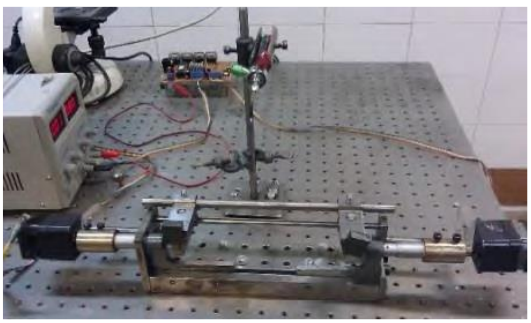
با استفاده از روش گرما-کششی بخشی از فیبر نوری گرم می‌شود تا به نقطه ی ذوب برسد و حالت خمیری پیدا کند. در این حالت با اعمال کشش به یک سر یا دو سر فیبر نوری قسمت نرم آن باریک می‌شود. منبع گرما میتواند شعله [۵]، لیزر[۶] و یا جرقه الکتریکی[۷] باشد.

در این پژوهش، از شعله ترکیبی گاز و اکسیژن برای گرم کردن فیبر نوری تک مد و تک غلاف (SMF-28) استفاده شده است. فیبر نوری بر روی دستگاه کشش فیبر قرار میگیرد و توسط دو موتور پله ای، با سرعت تقریبی یک دهم میلیمتر بر ثانیه از دو طرف کشیده می‌شود.

با در نظر داشتن مدت زمانی که کشش به فیبر اعمال می شود و میزان حرارتی که شعله ایجاد میکند، می‌توان به قطر تقریبی نازک شدگی رسید و با تصویربرداری نهایی از فیبر نازک شده، قطر دقیق آن را اندازه گیری نمود.



شکل ۱ : چگونگی ساخت فیبر نوری نازک شده با استفاده از شعله [۸].



شکل ۲ : نازک کردن فیبر نوری با استفاده از شعله

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

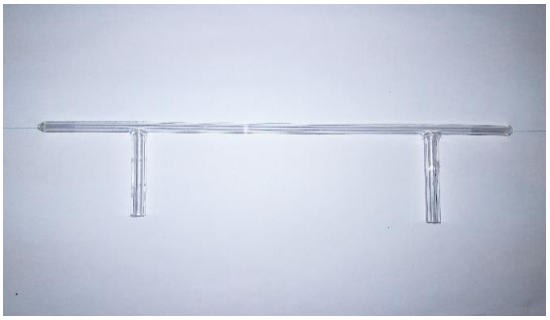
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

جدول ۱- مشخصات فیبرهای استفاده شده

زاویه	طول	قطر	
۴ درجه	۴ میلیمتر	۲۷ میکرومتر	فیبر اول
۲ درجه	۸ میلیمتر	۲۷ میکرومتر	فیبر دوم

۲-۲- طراحی محفظه

پس از آماده سازی فیبر نوری نازک شده، به محفظه ای احتیاج داریم که فیبر در آن قرار بگیرد و بتوان آزمایش های لازم را روی فیبر پیاده سازی کرد. محفظه ی مورد نظر باید علاوه بر محافظت از فیبر نازک شده، امکان کنترل فشار گاز را نیز فراهم کند. همچنین میزان مقاومت محفظه در برابر فشار گاز از مشخصه های قابل توجه در طراحی یک محفظه ی مناسب به شمار می‌رود. با در نظر گرفتن همه ی این نکات، محفظه ای طراحی کردیم که دو کانال برای ورود و خروج گاز داشته باشد و به طور مجزا مسیری برای عبور دادن فیبر نوری در آن تعبیه شده است.

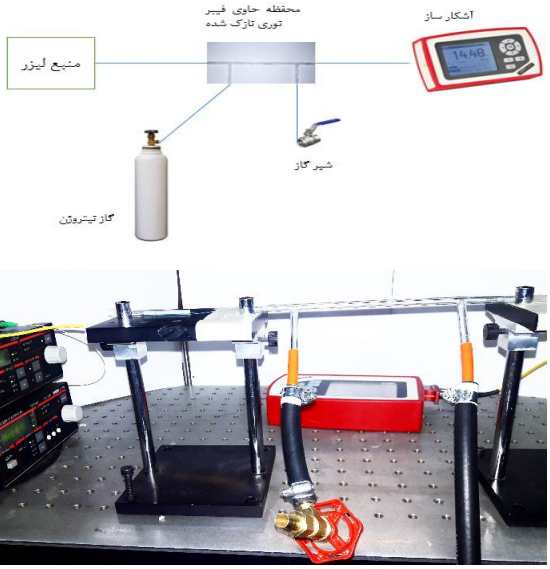


شکل ۳ : محفظه نگهدارنده فیبر نوری نازک شده

در این شکل گاز از یکی از ورودی های عمود بر بدنه وارد محفظه می‌شود و در مسیر خروج از کانال دیگری که به صورت عمود در سمت دیگر محفظه قرار دارد، به صورت طولی از مجاورت فیبر نوری میگذرد.

۲-۳-چیدمان بررسی تاثیر فشار بر فیبرنوری نازک شده

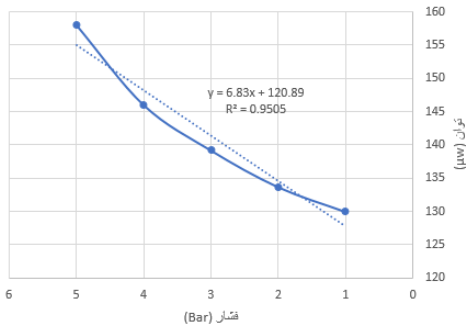
برای مشاهده ی تاثیرات فشار گاز بر فیبر نوری نازک شده از یک لیزر با طول موج ۱۵۵۷ و یک آشکار ساز برای بررسی توان خروجی از فیبر نوری نازک شده استفاده کردیم. لیزر مورد استفاده از نوع pigtail می باشد و نور توسط اتصال FC/PC به فیبر به فیبر باریک شده منتقل می‌شود و از سمت دیگر حسگر، نور به دستگاه آشکارساز نوری فرستاده می‌شود تا تغییرات توان ناشی از تغییر ضریب شکست محیط مجاور حسگر، مشاهده و ثبت شود.



شکل ۴ : چیدمان بررسی تغییرات توان فیبر نوری نازک شده در اثر تغییر فشار

۲-۴- بررسی توان خروجی در فشارها و طول موج های مختلف برای فیبر اول

در این بخش به دنبال اندازه گیری حساسیت فیبر نازک شده به تغییرات فشار گاز بودیم. برای دستیابی به این امر، ابتدا لیزر با طول موج ۱۵۵۷ نانومتر و در جریان ۲۰میلی آمپر را به داخل فیبر نوری نازک شده هدایت کردیم و توان عبوری از فیبر نازک شده را در آشکار ساز مشاهده کردیم. سپس با بالا بردن فشار داخل محفظه، به بررسی مجدد توان خروجی پرداختیم و این فرایند را برای فشار های بالاتر نیز تکرار کردیم. به این ترتیب به محاسبه ی میزان حساسیت فیبر نازک شده به فشار پرداختیم و میزان حساسیت فیبر ۶,۸۳ µW/Bar به دست آمد.



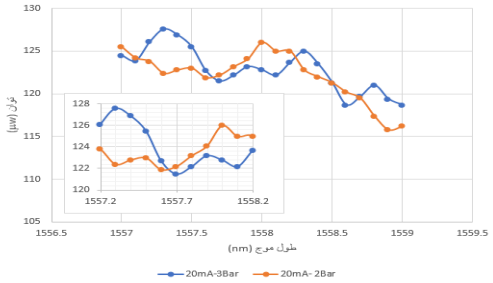
شکل ۵ : نمودار تغییرات توان فیبر نوری نازک شده در فشارهای

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

مختلف برای فیبر شماره ۱

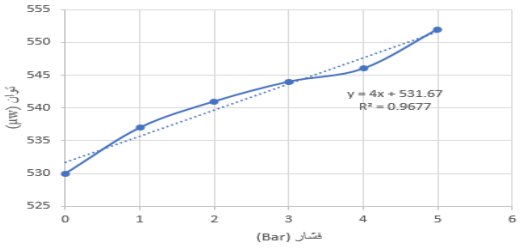
سپس به بررسی تغییرات طیف خروجی در اثر اعمال فشار های مختلف برای فیبر نوری با مشخصات ذکر شده پرداختیم. با اندازه گیری توان در طول موج‌های مختلف، توانستیم میزان جابجایی طیف خروجی فیبر نازک شده را مشاهده کنیم و همان طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است حساسیت طیف به تغییرات فشار معادل nm/Bar ۰,۴ می باشد.



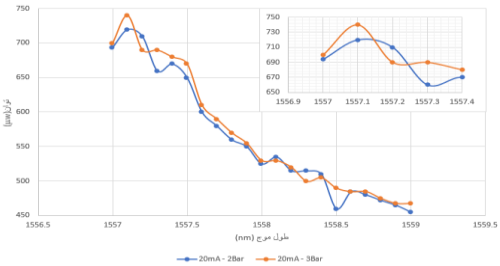
شکل ۶ : نمودار ارتباط تغییرات فشار و طول موج برای دو فشار ۲ بار و ۳ بار برای فیبر نوری نازک شده شماره ۱

۵-۲- بررسی توان خروجی در فشارها و طول موج‌های مختلف برای فیبر دوم

در این مرحله همه‌ی مراحل ذکر شده را مجددا برای فیبر نوری نازک شده دوم انجام دادیم و نمودار های به دست‌آمده در شکل های ۷ و ۸ آورده شده اند. میزان حساسیت خروجی فیبر به تغییرات فشار ۴μW/Bar به دست آمد. جابجایی طیف به تغییرات فشار هم به میزان ۰,۱ nm/Bar می باشد.



شکل ۷ : نمودار بررسی تغییرات توان فیبر نوری نازک شده و فشار برای فیبر نازک شده ی شماره ۲



شکل ۸ : نمودار ارتباط تغییرات فشار و طول موج برای دو فشار ۱بار و ۳ بار برای فیبر نوری نازک شده شماره ۲

۳- نتیجه گیری

با بررسی نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که توان خروجی فیبرهای نازک شده با فشار گاز رابطه خطی دارد که این به دلیل رابطه خطی فشار و ضریب شکست در گازها برطبق رابطه هاف-گریگول می باشد (تغییرات ضریب شکست گاز برای فشار ۳ بار، معادل 2×10^{-4} می‌باشد). همچنین نتایج نشان می دهند که فیبری که درجه ناآدیابتیک بودن بیشتری دارد (فیبر اول) حساسیت بیشتری به تغییرات ضریب شکست محیط بیرون (و در نتیجه به تغییرات فشار گاز خارجی) نشان می دهد. این نتیجه قابل انتظار بود. چرا که همانطور که در مقدمه گفتیم در فیبر ناآدیابتیک بخشی از توان به مدهای بالاتر فیبر نازک شده نفوذ می‌کند و زنش بین مدی خواهیم داشت که با افزایش میزان ناآدیاباتیک شدن میزان زنش بیشتر خواهد شد. این عامل به اندازه ای در حساسیت حسگر مؤثر بوده که طول بیشتر ناحیه نازک شده فیبر دوم هم کمکی به افزایش حساسیت این حسگر نکرده است.

مراجع

[1] A. M. Valadez, C. A. Lana, S. I. Tu, M. T. Morgan, and A. K. Bhunia, “Evanescent wave fiber optic biosensor for Salmonella detection in food,” Sensors, vol. 9, no. 7, pp. 5810–5824, (2009).

[2] J. D. Love and W. M. Henry, “Quantifying loss minimisation in single-mode fiber tapers,” Electronics Letters, vol. 22, no. 17, pp. 912–914, (1986).

[3] T. K. Yadav, R. Narayanaswamy, M. H. Abu Bakar, Y. Mustapha Kamil, M. A. Mahdi, “Single mode tapered fiber-optic interferometer based refractive index sensor and its application to protein sensing”, Optics Express 22807, vol. 22, no. 19, (2014).

[4] M. I. Zibaii , H. Latifi, M. Karami, M. Gholami, S. M. Hosseini and M. H. Ghezelayagh, “Non-adiabatic tapered optical fiber sensor for measuring the interaction between α-amino acids in aqueous carbohydrate solution, Volume 135, 5 June 2014, Pages 55-64.

[5] T. K. D. Keng, “Whispering gallery mode bioparticle sensing and transport,” Ph.D. Thesis, POLYTECHNIC INSTITUTE OF NEW YORK UNIVERSITY, (2009).

[6] A. Grellier, “Characterisation of optical fiber tapering using co2 laser”. Ph.D. Thesis, University of Kent, England, (2000).

[7] F. Messager, Lissillour, D. Stephan, G. and Feron, P., "Whispering-gallery-mode laser at 1.56 um excited by a fiber taper", Opt Lett, 26 (14), 1051-1053, (2001).

[۸] مهدی حیدری داینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فیزیک، ۱۳۹۵.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]