
The experimental design of an optimal gas pressure sensor, based on the Fabry-Perot optical fiber with regard to the effect of thickness on sensor sensitivity

A. Hasanshahi¹, J. Khalilzadeh^{2*}, A. Riahi³, H. Moradi⁴

* Center for Laser Science and Technology and Optics, Imam Hossein University, Tehran, Iran

(Received: 10/08/2021; Accepted: 22/11/2021)

Abstract

In this paper, the performance of a high sensitivity, low cost, small size Fabry-Perot based, fiber-optic sensor for measuring the argon gas pressure is reported. A Fabry-Perot sensor probe with an air cavity, a length of 1.25 mm and suitable diaphragms with different thicknesses is considered. The ultimate goal is to achieve a diaphragm that detects and measures gas pressures below 60 millibars. A PVC layer is used as the second Fabry-Perot plate of the sensor, and the sensing experimental arrangement for measuring gas pressure is set up in the laboratory. The effect of gas pressure and also the diaphragm thickness as an important parameter on the sensitivity of the gas pressure sensor is investigated. The diaphragm thicknesses of 42, 56 and 70 μm and cavities with a length of 1.25 mm are investigated at different pressures of argon gas. The results show that the best sensitivity with a value of 0.035 nm / mbar is related to the sensor with a diaphragm thickness of 42 μm .

Keywords: Fabry-Perot interferometer, Fiber sensor, Fabry-Perot sensor, Layer thickness, Cavity length, Length.

* Corresponding author E-mail: jkhalil@ihu.ac.ir

طراحی تجربی حسگر بهینه فشار گاز مبتنی بر فیبر نوری فابری پرو با در نظر گرفتن

اثر ضخامت بر حساسیت حسگر

علی حسن شاهی^۱، جواد خلیل زاده^{۲*}، علی ریاحی^۳، حامد مرادی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- دانشیار، ۳- پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران ۴- پژوهشگر، سازمان جهاد خودکفایی،

تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲)

چکیده

در این مقاله، عملکرد حسگر فیبر نوری با حساسیت بالا، قیمت پائین و ابعاد کم مبتنی بر فابری پرو برای اندازه‌گیری فشار گاز آرگون گزارش شده است. پروب حسگر فابری پرو با کاواک هوا، به طول ۱/۲۵ میلی‌متر و دیافراگم مناسب با ضخامت‌های مختلف مدنظر قرار گرفته است. هدف نهایی، دستیابی به دیافراگمی است که به کشف و اندازه‌گیری فشارهای گاز کمتر از ۶۰ میلی‌بار منجر شود. از ماده پی‌وی‌سی برای لایه‌نشانی حسگری استفاده شده و چیدمان حسگری اندازه‌گیری فشار گاز به صورت تجربی در آزمایشگاه برپا شد. تأثیر فشار گاز و همچنین ضخامت دیافراگم به عنوان مؤلفه مهم بر حساسیت حسگری فشار گاز مورد بررسی قرار گرفت. ضخامت‌های دیافراگم ۴۲، ۵۶ و ۷۰ میکرومتر و کاواک با طول ۱/۲۵ میلی‌متر در فشارهای مختلف گاز آرگون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین حساسیت با مقدار ۰/۰۳۵ nm/mbar مربوط به حسگری با ضخامت دیافراگم ۴۲ میکرومتر است.

کلید واژه‌ها: تداخل سنج فابری پرو، فیبر نوری، حسگر فابری پرو، ضخامت لایه، طول کاواک

۱. مقدمه^۱

یافته است. فناوری حسگر فیبر نوری مزایای قابل توجهی برای کاربردهای ساخت هواپیما، موشک، سامانه‌های فضایی، کشتی‌ها و در بدنه پل‌ها و ساختمان‌ها دارد. حسگرهای فیبر نوری دارای ویژگی‌های متعددی هستند که با توجه به نوع کاربرد، بعضی از آنها از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

پیشرفت در حوزه حسگرهای فیبر نوری، مدیون گسترش در دو حوزه تحقیقاتی مهم شامل اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰ و ساخت فیبرهای نوری با اتلاف کم در سال ۱۹۶۶ است. در سال ۱۹۷۰ با گسترش حسگرهای نوری، پیشنهاد استفاده از فیبرهای نوری در این عرصه مطرح گردید. رؤیای افزایش ظرفیت انتقال داده‌ها با حضور فیبرهای با اتلاف ناچیز به تحقق پیوست و پیشرفت‌های فوق‌العاده‌ای در زمینه فیبر نوری و ادوات نوری مربوطه فراهم گشت، سرعت رشد فناوری فیبر نوری و ادوات نوری و استفاده از آنها در حسگرهای فیبر نوری به گونه‌ای بوده که تاکنون چندین حسگر فیبر نوری برای کاربردهای مختلف طراحی و بررسی شده است [۴-۱].

حسگرهای فیبر نوری، ابزارهایی هستند که تغییرات کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی توسط آنها اندازه‌گیری می‌شود. با پیشرفت‌هایی که در سال‌های اخیر در حوزه فیبر نوری و ساخت حسگر فیبر نوری^۲ (FOS) صورت گرفته است، این نوع حسگرها به دلیل مزایایی از جمله: دقت در اندازه‌گیری، زمان پاسخ کوتاه و مصونیت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی، در حوزه حسگری مورد استقبال قرار گرفته‌اند. حسگرهای فیبر نوری به چهار دسته کلی؛ حسگرهای مبتنی بر شدت نور، حسگرهای مبتنی بر فاز نور (حسگرهای تداخلی)، حسگرهای مبتنی بر قطبش نور (حسگرهای قطبشی) و حسگرهای مبتنی بر طول موج نور (حسگرهای طیفی) تقسیم‌بندی می‌شوند.

از همان سال‌های ابتدای استفاده از فیبر، مطالعات بر روی حسگرهای فیبری صورت گرفت و تا به امروز به طور گسترده از این نمونه حسگر در کاربردهای مختلف استفاده شده و توسعه

* نویسنده پاسخگو: jkhalil@ihu.ac.ir

² Fiber optic sensor

³ Fabry-Pérot interferometer

حسگر برحسب ضخامت دارای یک نقطه بهینه می‌باشد [۱۳].

در این تحقیق، حسگر فیبر نوری ارزان قیمت، ابعاد کم و در عین حال با حساسیت مناسب مبتنی بر کاواک فابری پرو مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت بررسی تأثیر ضخامت لایه‌نشانی بر عملکرد حسگری، نوک تار نوری با لایه PVC با ضخامت‌های ۴۲، ۵۶ و ۷۰ میکرومتر برای طول کاواک ۱/۲۵ لایه‌نشانی می‌شود و سپس تست حسگری با گاز آرگون در فشارهای مختلف انجام می‌گیرد. فشار وارد شده به محفظه برحسب میلی‌بار اندازه‌گیری شده و باعث ایجاد شیفت طول موجی در تحلیلگر طیف نوری (OSA) می‌گردد. بعد از برپایی چیدمان حسگر، طیف بازتابی از پروب حسگری (شامل بازتاب‌ها از نواحی با ضریب شکست متفاوت) منجر به تشکیل یک طیف تداخلی در بازه وسیعی از طول موج‌ها در طیف‌سنج می‌شود. بعد از اعمال گاز در فشار مشخص و تحت تأثیر قرار گرفتن طول و ضریب شکست موثر کاواک، تغییر الگوی تداخلی با شاخصه تغییر طول موج در طیف‌سنج مشاهده می‌شود. میزان جابجایی طول موجی به ازای یک طول موج شاخص پایش و ثبت می‌شود که در آن طول موج شاخص، به ازای یکی از طول موج‌های قله در ابتدای اندازه‌گیری در نظر گرفته شده است. در واقع اعمال فشار گاز سبب انحراف دیافراگم و به تبع آن تأثیر بر طول کاواک خواهد داشت که تغییرات شدتی و طول موجی ناشی از آن در طیف‌سنج نوری قابل مشاهده است.

۲- مبانی نظری

در نورشناسی، تداخل‌سنج فابری پرو یا اتالون، از یک تیغه شفاف با دو سطح بازتابنده یا از دو آینه موازی با بازتابندگی زیاد ساخته می‌شود. نام این تداخل‌سنج از نام‌های چارلز فابری^۳ و آلفرد پرو^۴ گرفته شده است [۱۴-۱۵]. قلب تداخل‌سنج فابری پرو یک جفت شیشه نیمه بازتابنده تخت است که به فاصله چند میلی‌متر یا سانتی‌متر از هم قرار دارند که سطوح بازتابنده مقابل هم قرار دارند.

تداخل‌سنج فابری پرو^۵ (FPI) مبتنی بر فیبر نوری از نوع تداخل‌سنج‌های چند پرتویی است و اساس کار آن مشابه تداخل‌سنج‌های فابری پرو حجمی است [۱۶]. تداخل‌سنج فابری پرو که گاهی آن را اتالون فابری پرو می‌نامند، مطابق شکل (۱) از یک کاواک به طول L و دو آینه بازتابنده R_1 و R_2 تشکیل شده است.

فیبر نوری فابری پرو هستند. حسگرهای مبتنی بر کاواک فابری پرو در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این حسگرها با ابعاد بسیار کوچک، دارای حساسیت خیلی زیاد هستند. بخش اصلی این حسگرها، همان کاواک فابری پرو است. این حسگرها به صورت نقطه‌ای و آرایه‌ای قابل پیاده‌سازی هستند [۷-۵]. حسگر فیبر نوری مبتنی بر تداخل‌سنج فابری پرو (FPI)^۱ یک حسگر ذاتی است که دارای حساسیت بسیار خوب، پاسخ‌دهی سریع و دقت بالا بوده و برای سنجش دما، کشش و فشار به کار می‌رود. در سال ۲۰۱۱ حسگر فیبر نوری میکروکاواک مبتنی بر فیبر نازک شده را برای اندازه‌گیری فشار مورد استفاده قرار گرفت. حسگر ساخته شده دارای پایداری دمایی بسیار بالا، ابعاد کم و همچنین استحکام مکانیکی خوب می‌باشد. در آن کار نشان دادند که با افزایش فشار، جابه‌جایی طول موجی کاهش یافته و همچنین با افزایش ضخامت دیافراگم حساسیت حسگر کاهش می‌یابد. حساسیت به دست آمده برای این حسگر $(\frac{pm}{MPa})$ ۳۱۵ می‌باشد [۸]. یک سال بعد همان گروه در کار دیگری حسگر فیبر نوری فابری پرو نوک مبتنی بر دیافراگم گرافن را ساختند. آنها به صورت دقیقی فیبر را تا قطر ۲۵ میکرومتر نازک نموده و روی آن لایه گرافن با ضخامت دیافراگم ۱۳۰ نانومتر نشاندهند. با این مشخصات، حساسیت این حسگر $(\frac{nm}{KPa})$ ۰/۱۱ را به دست آوردند [۹]. گروه وانگ در سال ۲۰۱۳ حسگر فیبر نوری فشار را براساس ایجاد یک حفره هوای میکرونی در انتهای فیبر ساختند. آنها این کاواک هوای ایجاد شده را به یک لوله شیشه‌ای جوش داده و با قرار دادن آن در مایعات، حسگر فابری پرو را مورد بررسی قرار دادند. حساسیت به دست آمده با چنین ساختاری از مرتبه $\frac{nm}{KPa}$ ۱۰۰۰ بود [۱۰]. لیاو و همکارانش در سال ۲۰۱۴، به طور تجربی حسگر فابری پرو نوک مبتنی بر دیافراگم شیشه‌ای میکرونی را برای اندازه‌گیری فشار مورد بررسی قرار دادند. پاسخ فشار این حسگر برای دیافراگم با ضخامت ۵۰۰ نانومتر دارای بیشترین حساسیت $(\frac{pm}{MPa})$ ۱۰۶۳ می‌باشد [۱۱]. لیاو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ برای دستیابی به حسگر فابری پرو مبتنی بر فشار از سیلیکا با ضخامت ۱۷۰ نانومتر استفاده کردند و توانستند به حساسیت $(\frac{nm}{KPa})$ ۱۲/۲۲ برسند. این حسگر قابلیت به کارگیری تا دماهای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را نیز دارد [۱۲]. علاوه بر این، مرادی و همکاران در سال ۲۰۲۰ حسگر فیبر نوری مبتنی بر تکنولوژی فابری پرو را برای اندازه‌گیری سیگنال صوتی با استفاده از اندازه‌گیری فاز نور ارائه کردند. در این پژوهش از ماده PVC^۲ با ضخامت‌های مختلف استفاده کرده و نشان دادند که خروجی

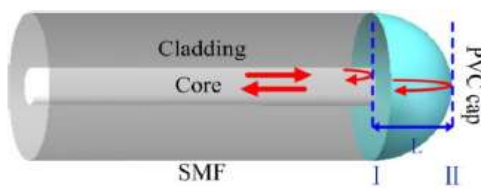
^۳ Charles Fabry

^۴ Alfred Perot

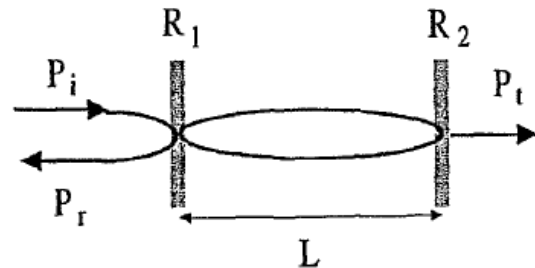
^۵ Fabry-Pérot interferometer

^۱ Fabry-Pérot interferometer

^۲ Poly Vinyl Chloride



شکل (۲): نمای سه بعدی FPI نوک فیبر نوری [۱۸].



شکل (۱): تداخل سنج فابری پرو، P_i ، P_r ، P_t به ترتیب بیانگر توان ورودی، بازتابی و عبوری هستند [۱۶].

۳- فعالیت‌های آزمایشگاهی

ابتدا تجهیزات مورد نیاز معرفی و در ادامه مراحل طراحی و ساخت حسگر فابری پرو بیان می‌شود. در بخش بعدی نیز چیدمان اپتیکی جهت تست حسگر فراهم می‌شود.

برای ساخت این حسگر نیاز به تجهیزات اپتیکی جهت طیف سنجی و تست حسگر، ابزارها و وسایل مکانیکی جهت ساخت پروب حسگر فابری پرو با کاواک هوا و ایجاد دیافراگم مناسب با ضخامت‌های مختلف با هدف دستیابی به کمینه ضخامت ممکن روی کاواک فابری پرو است.

این تجهیزات عبارت‌اند از: دستگاه تحلیل‌گر طیف نوری^۱ (OSA)، لیزر پهن باند کوک‌پذیر^۲، پیچ کورد^۳ (FC)، محفظه خلا^۴، کپسول گاز آرگون، فیبر نوری تک‌مد ۱۲۵ میکرومتر، کوپلر، دستگاه پمپ‌خلا، پی‌وی‌سی (PVC)، کولیس دیجیتال، گیج خلا^۵.

۳-۱ ساخت حسگر فابری پرو

حسگر فیبر نوری ساخته شده در شکل (۳) - الف نشان داده شده است. باریکه نور از شکاف هوای موجود بین فیبر نوری و PVC بازتاب شده و داخل فیبر نوری تزویج می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۳) - الف نشان داده شده است حسگر دارای دو سطح مرزی می‌باشد که عبارت‌اند از سطح مشترک فیبر و هوا و سطح مرزی بین هوا و محیط پی‌وی‌سی. هنگامی که نور از منبع نوری به درون فیبر منتشر می‌شود، با برخورد به هریک از این سطوح بازتاب کرده و در نهایت پرتوهای بازتابی از سطوح، مجدداً به درون فیبر تزویج شده و با یکدیگر تداخل می‌کنند. با توجه به معادلات فرنل، ضریب بازتاب دو سطح درگیر (فیبر تک مد - هوا) و نیز (هوا - پی‌وی‌سی) در حسگر به ترتیب برابر با ۰/۰۳۵ و ۰/۰۲۸ می‌باشد. در ساختار حسگر فیبر نوری ارائه شده در این

از جمله مؤلفه‌های مؤثر در حساسیت حسگرهای فابری پرو، ضخامت کاواک فابری پرو است. حساسیت حسگر به میزان جابه‌جایی دیافراگم بستگی دارد. در واقع هر چه ضخامت دیافراگم کمتر باشد؛ به تبع آن میزان جابه‌جایی دیافراگم حسگر فابری پرو در اثر فشار گاز اعمالی به آن بیشتر خواهد بود. طبیعتاً با تغییر قابل توجه در جابه‌جایی دیافراگم، طول کاواک و راه نوری تغییر خواهد کرد و در نتیجه مؤلفه‌های مدولاسیون (مثل شدت، طول موج و فاز نوری) دچار تغییر می‌شوند. اعمال فشار گاز سبب انحراف دیافراگم و به تبع آن تأثیر بر طول کاواک خواهد داشت. شدت نور بازتابی با تغییر طول کاواک تغییر می‌کند که این موضوع برای تمام طول موج‌های بازتابی از پروب صدق می‌کند. بنابراین در طیف‌سنج نوری تغییرات شدتی و طول موج قابل مشاهده است. رابطه انحراف دیافراگم نسبت به ضخامت آن با رابطه (۱)

$$w_0 = \frac{3(1 - \mu^2)Pa^4}{16Eh^3} \quad (1)$$

توصیف می‌شود که در آن P فشار نرمال، a شعاع کاواک، h ضخامت دیافراگم، μ نسبت پواسون دیافراگم، E مدول یانگ دیافراگم، r فاصله از مرکز صفحه دیافراگم (متغیری است که از صفر تا شعاع دیافراگم تغییر می‌کند) و w_0 میزان انحراف در $r=0$ است [۱۷].

شایان ذکر است؛ با توجه به شکل ۱، نقش دیافراگم مربوط به بازتابنده R_2 می‌باشد.

شکل (۲)، شماتیک FPI نوک فیبر نوری (سر فیبر نوری که به‌صورت اتصال FC درآمده است) که دیافراگم لایه‌نشانی شده PVC را نمایش می‌دهد که دو موج منعکس شده یکی از انتهای فیبر یعنی سطح I و دیگری از سطح بیرونی کلاهدک پی‌وی‌سی یعنی سطح II به فیبر نوری منتقل می‌شوند.

¹ Optical Spectrum Analyzer

² Tunable Laser Wide Source

³ Fixed Connector

⁴ Vacuum chamber

⁵ Analog vacuum gauge



(الف) (ب)

شکل (۴): (الف) لیزر دیود به همراه کنترل کننده دما و جریان ساخت شرکت تورلیس (ب) نمایی کلی از طیف‌سنج نوری شرکت تورلیس

نور ورودی پس از بازتاب از مرزهای درون حسگر و تداخل با یکدیگر، در نهایت درون فیبر تزویج می‌شود. به منظور مشاهده طیف عبوری از حسگر از دستگاه تحلیل گر طیف نوری شکل (۴) - ب استفاده می‌شود. به کمک این دستگاه می‌توان نمودار پاسخ زمانی، توان کل زیر سطح نمودار، توان دره‌ها و قله‌های طیفی، طول موج دره‌ها و قله‌های طیفی و... را مشاهده نمود. تحلیلگر طیف نوری مورد استفاده شرکت تورلیس مدل B ۲۰۳ است که ورودی نور به آن هم به صورت اتصال به کانکتور (پچ کورد) FC فیبر نوری و هم به صورت نور مستقیم یا آزاد می‌باشد. کاربری این تحلیل گر با اتصال به لپ‌تاپ امکان پذیر می‌شود. دقت این دستگاه ۱ میکرومتر و در محدوده طول موجی ۱۰۰۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر است.

در این آزمایش مطابق شکل (۵)، نور از منبع با طول موج مرکزی ۱۵۴۷ نانومتر و پهنای باند ۷۹/۶ نانومتر از یکی از ورودی‌های کوپلر ۲*۲ و از طریق خروجی‌های آن به پروب حسگری می‌رسد. نور بازتابیده شده از کوپلر ۲*۲ از طریق پورت ورودی استفاده نشده به OSA می‌رسد و طیف بازتابی و اندازه‌گیرهای مربوطه قابل مشاهده خواهند بود. قابل ذکر است یکی از خروجی‌های کوپلر ۲*۲ مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و به دلیل عدم نیاز به این پورت رها می‌گردد. در واقع در اینجا کوپلر استفاده شده نقش سیرکولاتور را بازی می‌کند که به دلیل نبودن سیرکولاتور، از کوپلر استفاده شده که یکی از خروجی‌های آن رها شده است. میزان خلا مورد نیاز توسط پمپ روتاری انجام می‌شود که با یک شیر سوزنی بسیار دقیق متصل به گیج خلا تنظیم می‌شود همچنین از یک شیر سوزنی دیگر برای ایجاد فشار گاز به محفظه استفاده می‌شود. ایجاد فشار گاز به بعد از انجام اتصالات لازم و با استفاده از رگلاتور نصب شده روی کپسول و همچنین شیرسوزنی‌های تعبیه شده در مسیر، فشارهای مختلف گاز به محفظه‌ای که در شکل (۶) نمایش داده شده است، وارد

مقاله، پی‌وی‌سی نقش اصلی را ایفا می‌کند. پی‌وی‌سی به کار رفته در آزمایش جزء مواد پلیمری است که دارای کمترین مدول یانگ ممکن می‌باشد. در واقع خاصیت کشسانی چشم‌گیر پی‌وی‌سی سبب می‌شود با کمترین فشار گاز اعمالی به دیافراگم پی‌وی‌سی و انحراف آن طول کاواک حسگر دچار تغییر شود و این موضوع سبب تغییر شدت تداخلی در طیف سنج شود.

با توجه به شکل (۳) - ب، ابتدا طول کاواک هوا با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شده و در ادامه لایه‌های پی‌وی‌سی روی کاواک هوا لایه‌نشانی شده است. سپس لایه پی‌وی‌سی با چسب در جای خود ثابت نگه داشته شده است.



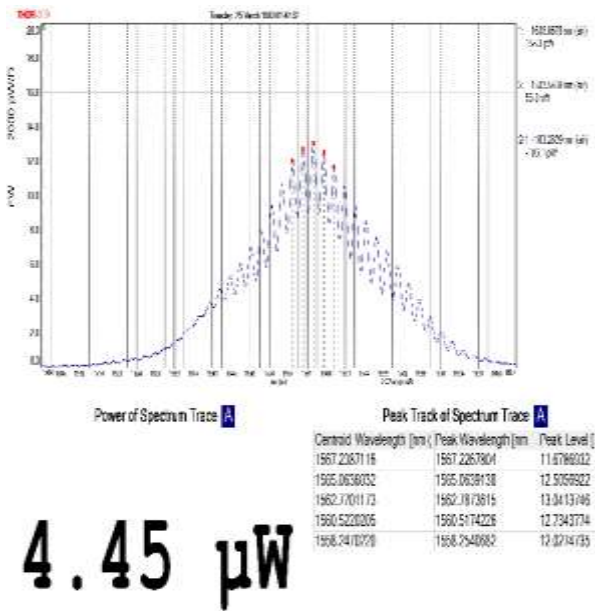
(الف) (ب)

شکل (۳): (الف) سر فیبر نوری لایه‌نشانی شده با پی‌وی‌سی (ب) اندازه‌گیری طول کاواک هوا

۳-۲- آماده‌سازی چیدمان اپتیکی جهت تست حسگرها

پس از اتمام فرآیند ساخت، حسگر مربوطه جهت تست و بررسی آماده شد. برای این منظور از لیزر پهن باند شکل (۴) - الف با طول موج مرکزی ۱۵۵۰ نانومتر و پهنای تقریبی ۸۰ نانومتر پهن باند به عنوان منبع نوری استفاده شد. این منبع نوری مدل SLD1550S-A40 ساخت شرکت تورلیس می‌باشد. حداکثر توان خروجی این دستگاه برابر ۴۰ میلی‌وات بوده و دارای خروجی فیبر نوری و کانکتور FC است که قابلیت اتصال به ورودی FC طیف‌سنج موجود را دارد. البته برخی از منابع نوری و طیف‌سنج‌ها دارای خروجی و ورودی به صورت کانکتور SMA و یا بدون کانکتور (اتصال از طریق فضای آزاد) را دارند. برای راه‌اندازی این منبع نوری از کنترل کننده جریان و دمای ساخت شرکت تورلیس با مدل CLD1015 استفاده شد. این کنترل کننده برای منابع نور و لیزرهای پروانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. منبع نوری مجهز به کنترل دما و جریان به همراه طیف‌سنج در شکل (۴) نشان داده شده است.

که بر روی صفحه تحلیل گر طیف نوری نمایان می شود، در شکل (۷) ارائه شده است.



SpectraView (v10.0) | Thorlabs OS4, Version 2.40.1028.2574

شکل (۷): طیف نور خروجی نمایان شده در صفحه نمایش تحلیل گر طیف نوری که بطور بلادرنگ می توان تغییرات طول موج و توان را در آن مشاهده کرد

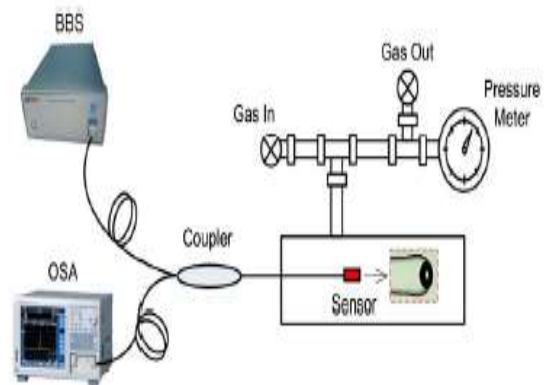
جهت بررسی تأثیر ضخامت لایه نشانی بر حساسیت حسگر، از کاواکی با طول ۱/۲۵ میلی متر و لایه PVC با ضخامت های ۴۲، ۵۶ و ۷۰ میکرومتر در نظر گرفته شد. حالت ایده آل آن است که با استفاده از محاسبات تئوری و بررسی تجربی به طول کاواک و ضخامت بهینه دیافراگم دست یافت. اما با توجه به اینکه ضخامت هر لایه PVC حدود ۱۴ میکرومتر می باشد لذا انتخاب ضخامت های ۴۲، ۵۶ و ۷۰ میکرومتر با توجه به تعداد لایه های ۳، ۴ و ۵ می باشد. از طرفی با توجه به محدودیت در دسترسی به ابزارهای دقیق اندازه گیری طول کاواک، با دسترس پذیرترین و مطمئن ترین ابزار طول کاواک روی ۱/۲۵ میلی متر تنظیم گردید. در نهایت تست های حسگری با گاز آرگون در فشارهای مختلف انجام گرفت.

با استخراج اطلاعات مهم از طیف خروجی OSA به کمک نرم افزار اکسل و رسم نمودار تغییرات طول موج بر حسب فشار و تحلیل نمودار هر کدام از این فیبرها و قیاس آن ها با یکدیگر، می توان ضخامت لایه نشانی مناسب را بدست آورد. نتایج اندازه گیری های انجام شده در نمودارهای شکل های (۸) تا (۱۰) و جدول (۱) ارائه شده است.

می شود. فشار ایجاد شده توسط گیج خلا آنالوگ که قابلیت اندازه گیری تا فشارهای یک میلی بار را دارد، اندازه گیری می شود.

جهت انجام تست های حسگرهای ساخته شده به ترتیب مراحل زیر انجام شد:

- ۱- قرار دادن حسگر درون محفظه خلا
- ۲- انجام اتصالات مربوط به کوپلر (اتصال سر دیگر فیبر حسگر و همچنین اتصال لیزر و تحلیل گر طیف نوری به کوپلر)
- ۳- اتصال گیج خلا به محفظه و تخلیه محفظه با پمپ
- ۴- تزریق گاز به محفظه با فشارهای مختلف
- ۵- ثبت طیف حاصل در هر مرحله اندازه گیری



شکل (۵): شماتیک چیدمان آزمایشگاهی [۱۸]



شکل (۶): نمایش محفظه خلا

۴- نتایج و بحث

بعد از انجام مراحل ساخت حسگر و قرار دادن PVC بر روی فیبر نوری، حسگر فابری پرو به کمک تحلیل گر طیف نوری، مورد تست و آزمایش قرار گرفت. طیف حاصل در تحلیل گر بعد از هر مرحله بررسی و ثبت شد. نمونه طیف نور خروجی از فیبر نوری فابری پرو

جدول (۱): شیب گاز Ar برای طول کاواک و ضخامت لایه‌نشانی مختلف

ضخامت	گاز
۴۲ میکرومتر	Ar
۵۶ میکرومتر	۰/۰۱۰ nm/mbar
۷۰ میکرومتر	۰/۰۰۹ nm/mbar

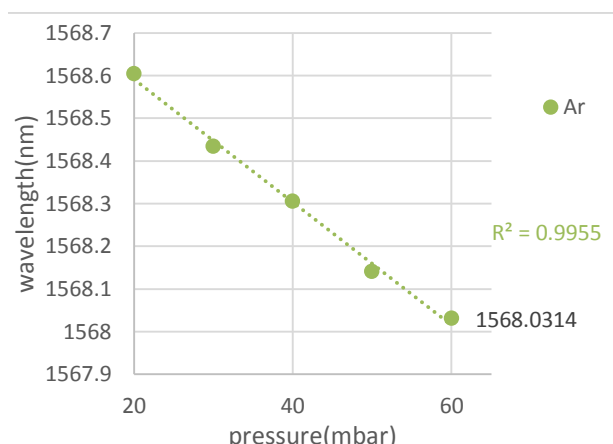
با دقت به جدول (۱) و مقایسه درصد تغییرات و شیب نمودار (که معیاری است برای تشخیص حساسیت حسگر)، مشاهده می‌شود حسگر با ضخامت لایه‌نشانی شده ۴۲ میکرومتر و طول کاواک ۱/۲۵ میلی‌متر برای گاز آرگون دارای حساسیت بسیار بالاتری است.

۵- نتیجه‌گیری

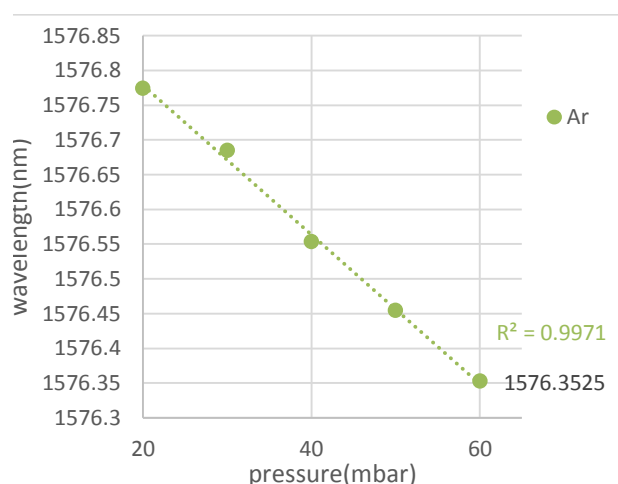
در این مقاله، طراحی و ساخت یک حسگر فابری پرو فیبر نوری برای اندازه‌گیری فشار گاز آرگون در شرایط آزمایشگاهی با لایه نشانی PVC معرفی شده و جزئیات طراحی، ساخت و تست آن مورد بررسی قرار گرفت. حسگر EFPI ساخته شده در بازه فشاری ۲۰ میلی‌بار تا ۶۰ میلی‌بار در یک محفظه خلا، به‌منظور بررسی تأثیر فشار گاز بر حساسیت حسگر مورد آزمایش قرار گرفت. مزیت آن سادگی ساخت پروب حسگر با استفاده از پلیمر پی‌وی‌سی ارزان و در دسترس می‌باشد. با بررسی نمودارها، مشاهده می‌شود که با افزایش فشار گاز، جابه‌جایی طول موجی به سمت مقادیر کمتر صورت می‌گیرد. علاوه‌بر بررسی اثر فشار، بررسی تأثیر ضخامت لایه نشانی بر عملکرد حسگر فابری پرو فیبر نوری، از لایه PVC با ضخامت‌های ۴۲، ۵۶ و ۷۰ میکرومتر استفاده شد. تست‌های حسگری انجام شد که با بررسی شیب نمودارها، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش ضخامت لایه، حساسیت حسگر کمتر می‌شود؛ بنابراین در بین حسگرهای بررسی شده حسگری با طول کاواک ۱/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه‌نشانی ۴۲ میکرومتر بهترین حساسیت را دارد.

۶- مراجع

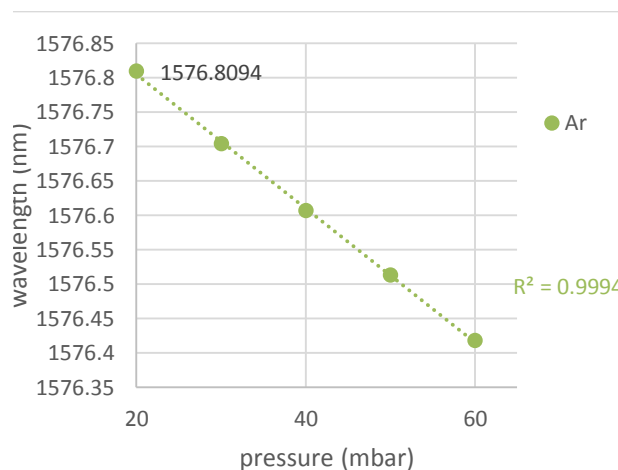
- [1] K. T. V. Grattan and T. Sun. "Fiber optic sensor technology: an overview," Sensors and Actuators A: Physical, vol. 82, pp. 40-61, 2000.
- [2] N. Rasouli, "Design and Simulation of a Novel Surface Plasmon Based Bio-Nanosensor for Detection of DNA Hybridization," Journal of Passive Defence Science and T 11, pp. 275-278, 2020.
- [3] A. Riahi "Simulation and Fabrication of Tapered Fiber Optics Hydrogen Sensor," Journal of Applied Electromagnetic, pp. 15-21. (In pPersian)



شکل (۸): نمودار تغییرات طول موج بر حسب فشار برای گاز Ar برای ضخامت ۴۲ میکرومتر و طول کاواک ۱/۲۵ میلی‌متر



شکل (۹): نمودار تغییرات طول موج بر حسب فشار برای گاز Ar برای ضخامت ۵۶ میکرومتر و طول کاواک ۱/۲۵ میلی‌متر



شکل (۱۰): نمودار تغییرات طول موج بر حسب فشار برای گاز Ar برای ضخامت ۷۰ میکرومتر و طول کاواک ۱/۲۵ میلی‌متر

- [12] L. Shen, "Nano silica diaphragm in-fiber cavity for gas pressure measurement," *Scientific reports* 7.1, pp. 1-9, 2017.
- [13] H. Moradi, "Fiber optic Fabry-Pérot acoustic sensor using PVC and GO diaphragms," pp. 943-951, 2020. (In pPersian)
- [14] F. Charles. "Theorie et applications d'une nouvelle methods de spectroscopie intereferentielle," *Ann. Chim. Ser. vol. 7*, pp. 115-144, 1899.
- [15] S. Mallika, V. Bhatia, and K. A. Murphy, "Recent advances in the fiber extrinsic Fabry-Perot interferometric strain sensor development," *Proceedings of LEOS'94. vol. 2*, 1994.
- [16] Y. Shizhuo, B. Ruffin, and T. S. Francis, eds. *Fiber optic sensors*. CRC press, 2017.
- [17] S. Muzalifah Mohd, "A new diaphragm material for optical fibre Fabry-Perot pressure sensor," 2009 Fifth International Conference on mems nano, and Smart Systems. IEEE, 2009. (In pPersian)
- [18] Z. Zhe, "High-sensitivity gas-pressure sensor based on fiber-tip PVC diaphragm Fabry-Pérot interferometer," *Journal of Lightwave Technology* pp. 4067-4071, 2017.
- [4] Ali. Riahi, "Investigation of the effect of the taper geometry on the sensitivity of tapered-fibre gas sensors," *Journal of Modern Optics* 67.14, pp. 1259-1266.
- [5] L. Thomas, "Optical transduction methods for the photoacoustic and photothermal detection of trace gas," PhD diss., Université Grenoble Alpes, 2021.
- [6] L. Sanderson, "Mandrel-based fiber-optic sensors for acoustic detection of partial discharges—A proof of concept," *IEEE Transactions on Power Delivery* 25, pp.2526-2534,2010
- [7] N. Wang, "An easily fabricated high performance Fabry-Perot optical fiber humidity sensor filled with graphene quantum dots," *Sensors* 21.3, 2021.
- [8] M. Jun, "A compact fiber-tip micro-cavity sensor for high-pressure measurement," *IEEE Photonics Technology Letters* 23.21, pp. 1561-1563, 2011.
- [9] M. Jun, "High-sensitivity fiber-tip pressure sensor with graphene diaphragm," *Optics letters* 37.13, pp. 2493-2495.
- [10] Y. Wang, "Compressible fiber optic micro Fabry Pérot cavity with ultra-high pressure sensitivity *Optics express* 21.12, pp. 14084-14089, 2014
- [11] L. Changrui, "Sub-micron silica diaphragm-based fiber-tip Fabry-Pérot interferometer for pressure measurement." *Optics letters* 39.10, pp. 2827-2830, 2014.