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

بررسی تجربی اثر جنس پلیمری بر حسگر تارنوری فشار گاز مبتنی بر فابری-پرو

فرزاد بشیری گودرزی*، علی ریاحی و حامد مرادی

مرکز تحقیقات لیزر و اپتیک دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران

چکیده - در این مقاله، دو عدد حسگر تار نوری نقطه‌ای فابری-پرو، برای بررسی فشار گاز اکسیژن و نیتروژن در بازه فشاری ۱۰ تا ۵۰ میلی‌بار معرفی می‌شود. پروب‌های حسگر فابری-پرو با کاواک هوا و با طول‌های ثابت ۰/۱ میلی‌متر ساخته شده و دیافراگم مناسب با ضخامت‌های ثابت ۳۰۰ میکرومتر بر روی تار نوری لایه‌نشانی شده است. از مواد پلی‌یورتان(PU) و پلیمر سخت (Rigid PVC) برای لایه‌نشانی حسگری استفاده شده و چیدمان حسگری اندازه‌گیری فشار گاز در آزمایشگاه برپا شد. تاثیر جنس پلیمر به عنوان پارامتر مهم بر حساسیت حسگری فشار گاز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که حسگر ساخته‌شده با لایه‌نشانی Rigid PVC حساسیت بیشتری نسبت به حسگر ساخته ساخته‌شده با لایه‌نشانی PU برای هر دو گاز دارد.

کلید واژه- «تار نوری»، «حسگر تار نوری»، «حسگر تار نوری فابری-پرو»، «فشار گاز»، «مواد پلیمری»

Experimental study of the effect of polymeric material on Fabry-Perot based gas pressure ternary sensor

Farzad Bashiri Godarzi*, Ali Riahi, Hamed moradi

Laser and Optics Research Center, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

*** Farzadbashiry۰۶۲۶@gmail.com**

Abstract- In this paper, two fabry-perot point optical fiber sensor are introduced to investigate the pressure of oxygen and nitrogen gas in the pressure range of ۱۰ to ۵۰ mbar. Fabry-Perot sensor probes are made with air cavity and with fixed lengths of ۰٫۱ mm and suitable diaphragm with fixed thicknesses of ۳۰۰ µm is layered on the optical fiber. Polyurethane (PU) and rigid polymer (Rigid PVC) materials were used for the sensor address layer and a sensor arrangement for measuring gas pressure was set up in the laboratory. The effect of polymer material as an important parameter on the sensitivity of gas pressure sensor was investigated. The results show that the sensor made with Rigid PVC coating is more sensitive than the sensor made with PU coating for both gases.

Keywords: Optical fiber, Optical fiber sensor, Fabry-Perot optical fiber sensor, Gas pressure, Polymer materials

[Downloaded from opsi.ir on 2025-01-31]

مقدمه

حسگرهای تار نوری، به‌عنوان ابزاری تعریف می‌شوند که از طریق آن‌ها کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی قابل اندازه‌گیری هستند. یک نوع از حسگرهای تار نوری، حسگرهای تار نوری فابری-پرو هستند. این حسگرها به‌صورت نقطه‌ای و آرایه‌ای قابل پیاده‌سازی هستند [۲-۱]. در بین حسگرهای تار نوری نقطه‌ای، حسگرهای مبتنی بر کاواک فابری-پرو در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این حسگرهای با ابعاد بسیار کوچک، دارای حساسیت خیلی زیاد هستند. در این حسگرها مواد مختلفی را می‌توان به‌عنوان دیافراگم مورد استفاده قرار داد. دیافراگم ساخته شده بر اساس تشدیدگر فابری-پرو قابلیت اندازه‌گیری فشار ناشی از گاز ایجاد شده در محیط را دارا می‌باشد [۳]. در این تحقیق، هدف ما بررسی حسگر تار نوری نقطه‌ای فابری-پرو برای اندازه‌گیری فشار گاز است. در این راستا از دو ماده‌ی مختلف پلیمری با نام‌های پلی‌یورتان (PU[۱]) و پلیمر سخت (Rigid PVC[۲]) به عنوان دیافراگم استفاده شده است که در آن تاثیر فشار گاز اکسیژن و نیتروژن بر روی حسگرهای تار نوری فابری-پرو انجام شد و حساسیت حسگرها مورد بررسی قرار گرفته است.

تئوری حسگر

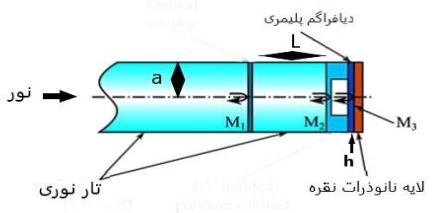
بخش اصلی حسگرها، همان کاواک فابری-پرو است. این کاواک از دو وجه تار نوری بریده شده و یک دیافراگم حساس به فشار تشکیل شده است که بین آن‌ها، لایه هوا می‌باشند. مواد مختلفی را می‌توان به‌عنوان دیافراگم مورد استفاده قرار داد. حساسیت دیافراگم به‌تغییرات فشار به‌صورت تغییر در طول کاواک مشخص می‌شود. رابطه بین تغییر فشار ایجاد شده و تغییر طول کاواک به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$\Delta L = \frac{3(1-\nu^2)D^4}{256Et^3}\Delta P \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، D و t به ترتیب، قطر و ضخامت دیافراگم هستند. همچنین υ و E به ترتیب نسبت پواسون و مدول یانگ دیافراگم هستند. با توجه به‌رابطه (۱)، حساسیت دیافراگم با افزایش نسبت پواسون و قطر و نیز کاهش مدول یانگ و ضخامت دیافراگم، افزایش می‌یابد [۴]. از جمله پارامترهای موثر در حساسیت حسگرهای فابری-پرو، مدول یانگ ماده‌ای است که به عنوان دیافراگم استفاده می‌شود. حساسیت حسگر به میزان مدول یانگ نیز بستگی دارد. ما به دنبال آن هستیم که با استفاده از دیافراگم‌هایی با مدول یانگ پایین مانند مواد پلیمری خاص، حساسیت حسگر را بیشتر کنیم. این موضوع و رابطه (۱) را می‌توان به صورت رابطه (۲) بیان کرد:

$$w_0 = \frac{3(1-\mu^2)pa^4}{16Eh^3}\Delta P \qquad (۲)$$

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 و w_0 میزان انحراف در r=۰ می‌باشد [۵]. شکل (۱)، شماتیک تداخل-سنج فابری-پرو دیافراگمی را نمایش می‌دهد که در انتهای تار نوری، دیافراگم پلیمری قرار دارد.



شکل ۱: شماتیک تداخل‌سنج فابری-پرو دیافراگمی

[۱] Poly Urethane
[۲] Rigid Polyvinyl Chloride

[Downloaded from opsi.ir on 2025-01-31]

باریکه نور از گاف هوای موجود بین تار نوری و پلیمر بازتاب شده و داخل تار نوری تزویج می‌شوند. سه موج منعکس شده یکی از انتهای تار نوری یعنی سطح M_1 و دو موج دیگری از سطوح داخلی و بیرونی کلاهک پلیمری یعنی سطح M_2 و سطح M_3 به تار نوری منتقل می‌شوند.

ساخت حسگر

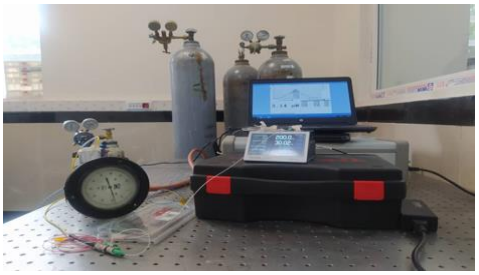
برای ساخت این حسگر نیاز به تجهیزات اپتیکی جهت طیف‌سنجی و تست حسگر، ابزارها و وسایل مکانیکی جهت ساخت پروب حسگر فابری-پرو با کاواک هوا و ایجاد دیافراگم مناسب با ضخامت‌های یکسان است. حسگرهای تار نوری ساخته‌شده در شکل (۲) نشان داده شده است. مهمترین قدم در ساخت حسگر، ایجاد لایه‌نشانی (ایجاد دیافراگم) بر روی تار نوری می‌باشد. در این آزمایش پلیمرهایی که لایه‌نشانی کردیم PU و Rigid PVC بود که در بازار با ضخامت‌های مختلف به صورت آماده موجود است. این لایه‌ها را با ضخامت‌های ۳۰۰ میکرومتر تهیه کردیم و بر روی نوک قرار دادیم و آنرا با چسب در جای خود ثابت نگه داشتیم. البته برای آماده کردن لایه راه دومی هم می‌باشد اینکه ماده پلیمری را تهیه و حدود پنج درصد ماده سفت‌کننده مخصوص خودش را به آن اضافه کنیم. سپس قالبی با اندازه مورد نظر آماده کرده و ماده درست شده را به آن اضافه کنیم. سپس یک تار نوری بلا استفاده را درون قالب گذاشته و با قرار دادن در مایکروفر حدود ۹۰ دقیقه صبر کنیم تا خشک شوند. در نهایت آن تار نوری را از قالب جدا کرده و تار نوری اصلی خود که بر روی نوک آن فرول سرامیکی قرار داده‌ایم و توسط کولیس دیجیتال کاواک هوا با طول مربوطه ایجاد کرده‌ایم را قرار دهیم و لایه ایجاد شده را با چسب محکم در جای خود ثابت نگه داریم. برای کامل کردن مراحل ساخت حسگرها، لایه‌نشانی نانو ذرات نقره به اندازه ۵۰ نانومتر بر روی دیافراگم‌ها انجام شد. حسگر ساخته شده برای قرارگیری در محفظه خلاء باید آماده شود. برای این کار قطعه آلومینومی تو خالی هم اندازه با محفظه خلاء توسط دستگاه‌های تراشکاری درست کرده و حسگر را درون محفظه قرار داده و درون آن را با رزین اپکسی پر می‌کنیم و یک روز صبر کرده تا آن به خوبی خشک شده و سپس درون محفظه خلاء قرار می‌دهیم تا ایجاد خلاء کند.

شکل ۲: حسگرهای تار نوری فابری-پرو آماده‌شده برای قرارگیری در محفظه خلاء

آماده سازی چیدمان اپتیکی جهت تست حسگر

تجهیزات اپتیکی مورد نیاز جهت تست این حسگر عبارتند از: دستگاه تحلیل‌گر طیف نوری با دقت ۱ پیکومتر در بازه طول موجی ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر، لیزر پهن باند، پچ کورد، محفظه خلاء، گپسول گاز اکسیژن و نیتروژن، تار نوری تک‌مد ۱۲۵ میکرومتر، کوپلر، پمپ خلاء، کولیس دیجیتال، گیج خلاء، PU و Rigid PVC. در این آزمایش مطابق شکل (۳) نور از لیزر پهن باند با طول‌موج مرکزی ۱۵۴۷ نانومتر و پهنای باند ۷۹/۶ نانومتر از طریق تار نوری تک‌مد به یک کوپلر می‌رسد. نور توسط کوپلر ۲*۲ گسیل شده و به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود. یکی از بازوهای خروجی کوپلر به حسگر فابری-پرو متصل و دیگری به دستگاه تحلیل‌گر طیف نوری متصل می‌شود. گیج خلا آنالوگ مستقیما به محفظه خلا متصل شده و فشار را بر حسب میلی‌بار اندازه‌گیری می‌کند. سپس توسط گاز فشاری به محفظه وارد شده و فشار ایجاد شده توسط گیج خلاء آنالوگ اندازه‌گیری می‌شود.

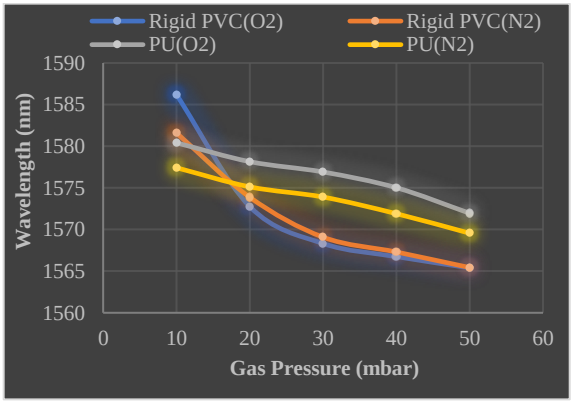
[Downloaded from opsi.ir on 2025-01-31]



شکل ۳: چیدمان آزمایشگاهی جهت تست حسگر تار نوری

تحلیل طیف خروجی از حسگر

پس از انجام مراحل تست، نوبت به تحلیل طیف‌های خروجی از حسگر می‌شود. حسگرها به‌کمک تحلیل‌گر طیف‌نوری مورد تست قرار گرفتند. با استخراج اطلاعات مهم طیف خروجی از دستگاه تحلیل‌گر طیف نوری، به کمک نرم‌افزار اکسل و رسم نمودار تغییرات طول موج بر-حسب فشار و تحلیل نمودار هر کدام از این تارها و قیاس آن‌ها با یکدیگر، می‌توان حساسیت حسگرها را با یکدیگر مقایسه کرد. اگر در شکل (۴) به شیب تغییرات طول موجی حسگری نسبت به هم دقت شود، مشاهده خواهد شد که تغییرات طول موج نسبت به فشار کاهشی است. با محاسبه مقدار حساسیت برای هر حسگر، بدست خواهیم آورد که حسگر با لایه‌نشانی Rigid PVC برای گاز اکسیژن و نیتروژن به ترتیب دارای حساسیت $۵/۲۵\times۱۰^{-۱}$ و ۴×۱۰^{-۱} نانومتر بر میلی‌بار و حسگر با لایه‌نشانی PU برای گاز اکسیژن و نیتروژن هر دو دارای حساسیت یکسان ۲×۱۰^{-۱} نانومتر بر میلی‌بار هستند.



شکل ۴: نمودار تغییرات فشار بر حسب طول موج برای گاز اکسیژن و نیتروژن مربوط به حسگرهای تار نوری لایه‌نشانی شده با PU و Rigid PVC

نتیجه‌گیری

در این مقاله، طراحی و ساخت دو عدد حسگر تار نوری فابری-پرو با لایه‌نشانی مواد پلیمری PU و Rigid PVC برای اندازه‌گیری فشار گازهای اکسیژن و نیتروژن معرفی شده و تاثیر این دو مواد پلیمری بر حساسیت حسگری فشار گاز مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه حسگر با لایه-نشانی Rigid PVC برای گاز اکسیژن و نیتروژن به ترتیب دارای حساسیت $۵/۲۵\times۱۰^{-۱}$ و ۴×۱۰^{-۱} نانومتر بر میلی‌بار و حسگر با لایه‌نشانی PU برای گاز اکسیژن و نیتروژن هر دو دارای حساسیت ۲×۱۰^{-۱} نانومتر بر میلی‌بار هستند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که حسگر ساخته‌شده با لایه‌نشانی Rigid PVC حساسیت بیشتری نسبت به حسگر ساخته ساخته‌شده با لایه‌نشانی PU برای هر دو گاز دارد.

مرجع‌ها

[۱] J. Xu, X. Wang, and A. Wang, "Miniature all-silica fiber optic pressure and acoustic sensor," Optics Letters ۳۷(۲), ۳۲٦۹–۳۲۷۱ (۲۰۰۵).

[۲] G Z. Xiao et all, "Fiber optic Fabry Perot gas pressure sensors embedded in pressure fitting", Microwave and optical Technology Letters, ٤۲(٦), ۴۸۶–۴۸۹, ۲۰۰۴.

[۳] Z. Zhang et all, "High sensitivity gas pressure sensor based on fiber tip PVC diaphragm Fabry Perot interferometer", Journal of lightwave technology, ۳٥(۱۸), ٤۰٦۷-٤۰۷۱, ۲۰۱۷.

[٤] J. Ma, H. Xuan, H. Ho, and W. Jin, "Fiber-optic Fabry-perot acustic sensor with Multilayer Graphene diaphragm," IEEE Photonics Technology Letters **۲٥**(۱۰), ۹۳۲-۹۳٥ (۲۰۱۳).

[٥] Said, Muzalifah Mohd, et al. "A new diaphragm material for optical fibre Fabry-Perot pressure sensor." ۲۰۰۹ Fifth International Conference on mems of nano, and Smart Systems. IEEE, ۲۰۰۹.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-01-31]