بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

بررسی اثرات حرارتی بر روی میکرو تشدیدگر فابری پرو هیبریدی ساخته شده با تار نوری سوخته

فاطمه حامدی[۱] ، امیدرضارنجبرنائینی[۱] ،امیرحیدری آذر[۱] ، حمید لطیفی[۱و۲]

[۱]پژوهشکده لیزرپلاسما،دانشگاه شهیدبهشتی ، تهران ، ایران

[۲]دانشکده فیزیک،دانشگاه شهیدبهشتی ، تهران ، ایران

در این مقاله حسگر فیبرنوری هیبریدی براساس تداخل سنج فابری_پرو ارائه شده است. حسگر از دوکاواک فابری_پرو مجزا تشکیل شده است: کاواک هوا و کاواک هواوسیلیکا.که هر یک حساسیت متفاوتی دارند. با جوش دادن فیبر تک مد و فیبر آسیب دیده براثر سوختگی(fused fiber) یک میکروکاواک درناحیه مغزی فیبر ایجاد می شود. حساسیت دمایی ۹pm/C و ۱۳pm/Cدربازه دمایی ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی گرادبا استفاده از تبدیل فوریه و تفکیک فرکانس فضایی مربوط به کاواک بدست آمده است. ازویژگی های این حسگر می‌توان به ساخت ساده ، مقرون به‌صرفه ،اندازه کوچک ،محکم بودن وحساسیت دمایی بالا اشاره نمود.

کلید واژه- حسگردما، حسگرکاواک فابری_پرو، فیبر سوخته

The Investigation of temperature response of the Hybrid Fabry_perot micro cavity sensor fabricated with Catastrophic fuse effect

Fatemeh Hamedi [1], Omid R Ranjbar-Naeini[1], Amir Heidariazar[1], Hamid Latifi[1]

[1] Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2]Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

latifi@sbu.ac.ir

The fabrication of a Hybrid Fabry Perot microcavity with a fiber destroyed by the catastrophic fuse effect is reported here. The sensor consists of two different cavities; an air cavity and the combination of the air and the silica cavity. Different cavity responses are extracted by using the Fast Fourier transform Method. temperature response of each individual cavity is also analyzed separately. The temperature sensitivity of ~ 9pm/°C and ~13pm/°C are obtained for hybrid and air cavity interferometer respectively in the temperature range of 60 to 90 °C. the sensor possesses some intrinsic properties such as simple fabrication procedure, cost-effective commodity, small size, solidity and high temperature sensitivity that makes it a good candidate for simultaneous measurement applications.

Keywords: Fabry Perot cavity, fused fiber, temperature sensor

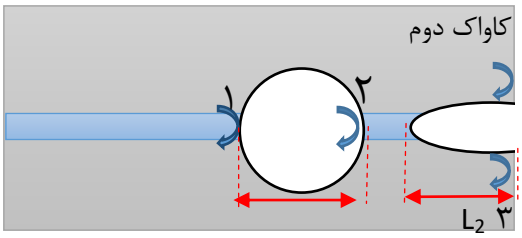
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]

مقدمه

امروزه اندازه گیری دما توسط انواع مختلفی از حسگرهای تار نوری انجام می شود. در این میان، حسگر FBG بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است که دارای حساسیت دمایی ~ 10pm/^{0}C می‌باشد [1]. اخیرا، تداخل سنج فیبری با هندسه چندمغزی برای اندازه گیری حساسیت دمایی گزارش شده است که ازانواع آنها می‌توان تداخل‌سنج چندمد[2]،فیبرهای نازک شده [3]،فیبربا مغزی نازک[3] را نام برد. هر چند این ساختارها ساده هستند ولی حساسیت دمایی و تکرارپذیری کم وحساسیت به تنش بالایی دارند که منجربه همپوشانی حساسیت ها می‌شود. دراین میان حسگر دمایی برپایه تداخل سنج فابری‌پرو مطالعه شده است که به واسطه ساختار ساده، انعطاف‌پذیری بالا، ابعاد کوچک و توانایی همزمان سنجی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مختلف مورداستفاده قرارمی‌گیرد.حسگرهای تداخل سنج فابری‌پرو باتکنیک های مختلف ساخته شده مثل حسگرفابری_پروداخلی خورده شده باهیدروکلریک اسید[4] ،قراردادن دو FBG ،فیبرهای فوتونیک کریستال [5]یا فیبربدون هسته که بین دوفیبرتک مد ساندویچ شده‌اند[5].که دراین موارد افزایش حساسیت و یا اندازه-گیری دمای بالا را دارد ولی استفاده از فیبرهای مخصوص هزینه بالا،قابلیت ساخت دوباره کم بخاطر دقت بالا درحین ساخت لازم دارد و مراحل ساخت پیچیده ازمعایب این حسگرها ست.

دراین مقاله با استفاده از روشی جدید، ساده ومقرون به-صرفه حسگر فابری_پرو از فیبرسوخته ساخته شده است. این حسگر دارای یک کاواک هوا و یک کاواک هیبریدی



شکل ۱) شماتیک حسگر

می‌باشدکه حساسیت هرکدام جداگانه در این مقاله بررسی شده است.

تئوری حسگر

حسگر کاواک فابری_پرودرتصویر (شکل ۱) نشان داده شده است دارای سه سطح بازتابنده که عبارتند از فصل مشترک سیلیکاهوا(سطح اول)،سطح مشترک هوا سیلیکا (سطح دوم)و سطح مشترک سیلیکاهوا(سطح سوم) می-باشد. نور پس از برخورد به سطح ۱ بر اثر بازتاب فرنل به درون مغزی برگشت داده می شود و در ادامه ۹۶/۵٪باقی مانده وارد کاواکی با طول ۸۲میکرومتر می شود، و به سطح ۲برخوردکندو دوباره ۹۶/۵٪ازآن وارد کاواک دوم می‌شودوبعدازبرخورد به سطح ۳ ، ۳/۵٪ازآن بازتابیده و۹۶/۵٪آن ازسطح ۳خارج می‌شود. شدت بازتابی کل جمع شده به درون فیبر نوری به صورت زیراست[6] :

$$I_{Rtotal} = \left|\frac{E_r}{E_0}\right|^2 = R_1 + (1-\alpha_1)^2(1-R_1)^2 R_2 + (1-\alpha_1)^2(1-\alpha_2)^2(1-R_1)^2(1-R_2)^2 R_3 + 2\sqrt{R_1R_3}(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-R_1)(1-R_2)\mathrm{Cos}[2(\phi_1+\phi_2)] + 2\sqrt{R_2R_3}(1-\alpha_1)^2(1-\alpha_2)(1-R_1)^2(1-R_2)\mathrm{Cos}(2\phi_2) + 2\sqrt{R_1R_2}(1-\alpha_1)(1-R_1)\mathrm{Cos}(2\phi_1)$$

$$\phi_1 = \frac{4\pi n_{air} L_1}{\lambda} \qquad \phi_2 = \frac{4\pi n_{effective} L_2}{\lambda} \qquad (۱)$$

اختلاف فاز ایجادشده، α_1 و α_2 ضریب اتلاف عبوری،n ضریب شکست درون کاواک، k_0 ثابت انتشار است.با توجه

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

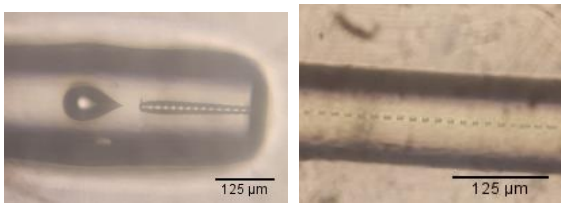
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]

به معادلات فرنل ضرایب بازتاب ازهر سه سطح (R_1 و R_2 و R_3)۰,۰۳۵ است که به دلیل کوچک بودن ضریب بازتاب فقط بازتاب مرتبه اول را درنظر می‌گیریم واز بازتاب های مرتبه بالاتر چشم‌پوشی می‌کنیم.تغییرات دمایی محیط اطراف حسگر ازطریق تغییر ضریب شکست و تغییر طول کاواک برروی طیف طول موج اثر می‌گذارد که این میزان وابسته به ضریب ترمواپتیک و ضریب انبساط دمایی است. رابطه(۲) شیفت طول موجی برحسب تغییرات دمایی را بیان می‌کند. برای سیلیکا ضریب انبساط دمایی K^{-1} ۱۰$^{-}$ ۰,۵۵×۱۰$^{-۶}$ و ضریب ترمواپتیکK^{-1} ۱۰$^{-۶}$×۸,۶ می‌باشد. اثرتغییر ضریب شکست بر اثر دما بیشتر از اثر انبساط دمایی است.برای هوا ضریب انبساط دماییk^{-1} ۱۰$^{-۶}$×۰,۵۵ وضریب ترمواپتیک K^{-1} ۱۰$^{-۶}$×۰/۹- می باشد [7]

$$\Delta\lambda_0 = \lambda_0(\alpha_{TO} + \alpha_{TE})\Delta T \qquad (۲)$$

ساخت حسگر

پدیده سوختگی در فیبرنوری برای لیزرهای توان بالاتراز 1W اتفاق می‌افتد که براثر خم شدگی فیبر یا کثیف بودن سر اتصالگرفیبر ، نور از فیبر خارج می‌شود و باعث افزایش دمای نقطه ای تا ۱۰۰۰درجه سانتی گراد می‌شود. پلاسمای ایجادشده منجر به تبخیر مغزی فیبر می شود وباسرعت چندمتربرثانیه به سمت منبع حرکت می‌کند در نهایت مغزی فیبردچارآسیب می‌شود وحباب های تناوبی بسته به میزان توان اولیه با فاصله های μm ۱۲تا۱۶ دربازه توان اولیه ۲تا۳/۶وات تشکیل می‌شود.[9,8] در ساختار حسگر ازفیبر سوخته و فیبرتک مد استفاده می‌کنیم.با دستگاه جوش فیبر نوری یک فیبر تک مد را با فیبر سوخته جوش می‌دهیم که در آن حباب ها باهم تشکیل کاواکی با طول μm ۸۲ بیشترین عرض۸۰μm می‌دهند(شکل ۲(الف)).درمرحله بعد، درفاصله چندمیکرومتر بعداز کاواک اول با استفاده از دستگاه جوش فیبرنوری، کاواک دوم ساخته می شود (شکل ۲(ب))طول کاواک نهایی ۳۵۰ میکرومتراست. به منظور بررسی پاسخ دمایی، حسگر درون کوره دمایی قرار داده شده است که در آن دما تا۹۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد و سپس رفتار کاهشی دما مورد بررسی قرار می گیرد. در محدوده تغییرات دمایی ۳۰ درجه سانتی گراد طیف حسگر با دستگاه braggmeter مشاهده و ثبت شده است.



الف ب

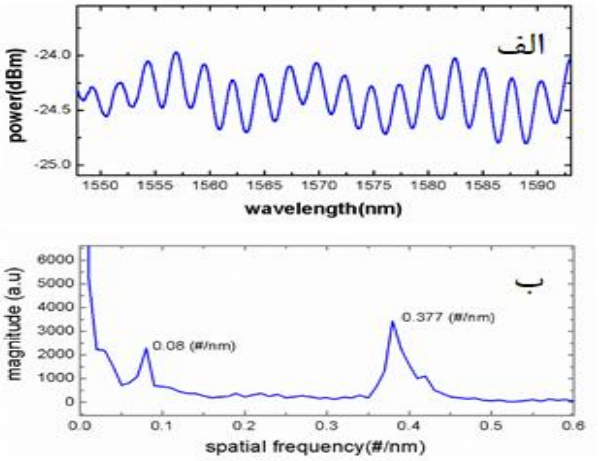
شکل ۲) الف) فیبرسوخته ب)کاواک نهایی که از یک کاواک هوا به طول طول ۸۲μm و بیشترین عرض۸۰μm و کاواک هیبریدی با طول۳۵۰μm

تحلیل طیف حسگردرپاسخ دمایی

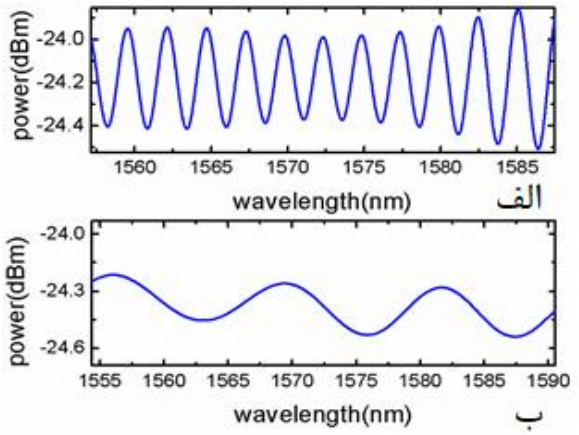
برای تحلیل طیف درمقابل تغییرات دمایی ابتدا از طیف طول موج تبدیل فوریه می‌گیریم.(شکل ۳)درادامه بااستفاده از فیلترمیان گذرنمودارمربوط به دو کاواک راجدامی‌کنیم و حساسیت هرکدام راجداگانه بررسی می-کنیم. باتوجه به رابطه(۲)مقدارحساسیت ۱۴/۲pm/C برای سیلیکا ومقدارحساسیت ۰/۵۴pm/C-برای هوا انتظار می رود که منجر به حساسیت ۱۳/۷ pm/C می شود. بارسم نمودارشیفت طول موجی حسگر برحسب دما برای کاواک اول حساسیت ۱۳pm/Cو کاواک بزرگتر حساسیت pm/C ۹/۸ بدست آمده است.(شکل ۴)

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

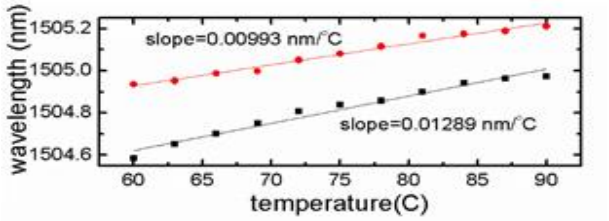
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]



شکل ۳) الف) طیف طول موج حسگر ب) FFTطیف طول موج



شکل۴) اعمال فیلترمیان‌گذربرای جداکردن طیف طول موج دو کاواک الف)کاواک ۳۷۰ µm ب)کاواک ۸۰µm



شکل ۵) نمودار شیفت طول موج برحسب تغییردما.داده های قرمز مربوط به کاواک دوم ودارای حساسیت ۹٫۸pm/C داده های مشکی مربوط به کاواک اول باحساسیت ۱۳ pm/C است

نتیجه گیری

در این مقاله روش جدید ساخت حسگر کاواک فابری_پروهیبریدی بررسی شد. اساس کاراین حسگرمیکروکاواک که بااستفاده از فیبر سوخته ساخته شده درون مغزی فیبر می‌باشد که درادامه با فیلترکردن طیف وتحلیل دو کاواک به طورجداگانه به حساسیت های ۱۳pm/C و ۹/۸ pm/Cدربازه ۶۰تا۹۰درجه سانتی گراد دست یافتیم. کاواک دوم حساسیت کمتری نسبت به کاواک داخلی اول دارد و برای اندازه گیری هم‌زمان می‌توان ازکاواک دوم به دلیل حساسیت کمتر برای اندازه‌گیری پارامترهایی همچون ضریب شکست و فشار استفاده کرد.

مرجع ها:

[1] Arregui, Francisco J. "Simultaneous measurement of humidity and temperature by combining a reflective intensity-based optical fiber sensor and a fiber Bragg grating." *IEEE Sensors Journal* 2.5 (2002): 482-487.

[2] Li, Enbang, Xiaolin Wang, and Chao Zhang. "Fiber-optic temperature sensor based on interference of selective higher-order modes." *Applied physics letters* 89.9 (2006): 091119.

[3]Frazão, O., et al. "Fabry-Perot refractometer based on an end-of-fiber polymer tip." *Optics letters* 34.16 (2009): 2474-2476**.**

[4] Gong, Yuan, et al. "Fiber-optic Fabry–Perot sensor based on periodic focusing effect of graded-index multimode fibers." *IEEE Photonics Technology Letters* 22.23 (2010): 1708-1710.

[5] Domingues, M. F. "Enhanced sensitivity high temperature optical fiber FPI sensor created with the catastrophic fuse effect." *Microwave and Optical Technology Letters* 57.4 (2015): 972-974.

[6] Rong, Qiangzhou. "A miniature fiber-optic temperature sensor based on a Fabry–Perot interferometer." *Journal of optics* 14.4 (2012): 045002.

[7] André, Ricardo M "Simultaneous measurement of temperature and refractive index using focused ion beam milled Fabry-Perot cavities in optical fiber micro-tips." *Optics Express* 24.13 (2016): 14053-14065.

[8] Todoroki, Shin-ichi. "Origin of periodic void formation during fiber fuse." *Optics Express* 13.17 (2005): 6381-6389.

[9] Antunes, Paulo FC, et al. "Optical fiber microcavity strain sensors produced by the catastrophic fuse effect." *IEEE Photonics Technology Letters* 26.1 (2014): 78-81.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]