اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبرنوری- ۶ آبان ۱۴۰۰
ICOFS 2021
1st Iranian Conference on Optical Fiber Sensors
October 28, 2021
پژوهشکده لیزر و پلاسما

ساخت حسگر کرنش فابری پرو با استفاده از اثر ورنیه

علی رجبی فیروزآباد [۱*]، امید رضا رنجبر نائینی [۲]، مهدی میرزائی[۲]، حمید لطیفی [۲،۱]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده: در این پژوهش یک حسگر فیبرنوری به کمک دو تداخل‌سنج فابری‌پرو موازی ساخته شده است که به کمک آنها می‌توان کرنش را با حساسیت به مراتب بیشتر از یک تک‌حسگر فیبر نوری اندازه‌گیری نمود. دو تداخل‌سنج فابری‌پرو از ترکیب فیبرهای توخالی بین دو فیبر تک مد ساخته شده‌اند. یکی از این تداخل‌سنج ها به عنوان تداخل‌سنج مرجع و دیگری به عنوان تداخل‌سنج حسگری در نظر گرفته می‌شود. همچنین جداسازی و موازی کردن دو تداخل‌سنج به کمک یک کوپلر ۵۰ در ۵۰ صورت گرفته است. به کمک اثر ورنیه حساسیت $(^{pm}/_{\mu\varepsilon})$ ۱۲,۲۳ در بازه دینامیکی ۰ تا ۴۰۰۰ میکرو استرین حاصل گردیده است.این میزان حساسیت تقریبا ۱۳برابر بزرگتر نسبت به حالت تک حسگر فابری پرو می‌باشد. با توجه به اینکه همراه با اندازه‌گیری کرنش نیاز به حسگری دما و یا کاهش اثرات آن بر طیف حسگر می‌باشد، بدین منظور از اثر ورنیه غیرعادی استفاده شده‌است. به موجب اثر ورنیه تغییرات دمایی در بازه ۴۰ تا ۷۵ درجه سانتی گراد حدود ۸ نانومتر تغییرات طول موجی اتفاق می‌افتد در حالی که به کمک اثر ورنیه غیرعادی این تغییرات از ۸ نانومتر به حدود ۴۰ پیکومتر تقلیل پیدا می‌کند .

کلید واژگان: تداخل‌سنج فابری پرو، حسگر فیبر نوری، اثر ورنیه، اثر ورنیه غیرعادی، حسگر کرنش

Fabrication of optical fiber Fabry-Perot strain sensor based on the Vernier effect

Ali Rajabi Firoozabad [1], Omid Reza Ranjbar Naeini[2], Mahdi Mirzaei[2], Hamid Latifi[1,2]

1 Dept. of Physics, Faculty of Basic Sciences, shahid Beheshti University Tehran, Iran.

2 Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract: In this study, a pair of Fabry-Perot (FP) interferometers were used to construct an optical fiber sensor more sensitive than a single optical FP fiber sensor. In order to construct these interferometers, hollow-core fibers were combined and put between a pair of single-mode fibers. In the case of these interferometers, one was used as a reference while the other one was utilized as a sensing interferometer. Sensors integration was accomplished by a 50/50 coupler. We obtained 12.23 (pm/με) sensitivity within the dynamic ranges 0-4000 με, which are approximately 13 times greater than a single optical fiber FP sensor. Since there is a need for temperature compensation in the field of strain measurement, the complex optical Vernier effect has been used in the temperature range of 40-75°C, resulting in wavelength variations of 40pm

Keywords: Fabry-Perot interferometer, optical fiber sensor Vernier effect, complex Vernier effect, strain sensor

*a.rajabifiroozabad@mail.sbu.ac.ir

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

حسگرهای فیبرنوری معمولا بر پایه تداخل‌سنجی عمل میکنند . یکی از تداخل‌سنج‌های مرسوم در این نوع حسگرها تداخل سنج فابری پرو می‌باشد. برای ساخت تداخل سنج فابری پرو با استفاده از فیبرنوری می‌توان یک فیبر توخالی را بین دو فیبر تک مد قرار داد. مقداری از نور ورودی (حدود ۴ درصد) به علت تغییر ضریب شکست در محل اتصال دو فیبر به داخل کاواک بازتاب می‌شود[1]. همین اتفاق در محل اتصال دوم نیز روی می‌دهد. دو پرتو بازتابی به علت اختلاف راه نوری ایجاد شده درون فیبر توخالی با یکدیگر تداخل و طیف تداخلی را ایجاد می‌کنند. می‌توان از کمینه و بیشینه‌های این طیف تداخلی برای حسگری استفاده نمود. یکی از چالش‌های بزرگ در مسیر ساخت این نوع حسگر، افزایش حساسیت حسگر نسبت به پارامترها (کرنش) است. یک روش نوین برای حل این چالش استفاده از اثر ورنیه می‌باشد. برای ایجاد اثر ورنیه نیاز به دو مقیاس نزدیک به هم است.در این پژوهش از دو کاواک فابری‌پرو با طول کاواک‌های نزدیک به هم ولی متفاوت استفاده شده است . یکی از کاواک‌ها به عنوان کاواک مرجع در نظر گرفته می‌شود و از پارامترهای محیطی ایزوله می‌شود .کاواک دوم که کاواک حسگری نامیده می‌شود در معرض عوامل حسگری محیطی قرار داده می‌شود[2].برای ایجاد اثر ورنیه و ایزوله کردن یکی از کاواک‌ها از کوپلر ۵۰ ×۵۰ استفاده شده است. در این صورت نور ورودی از منبع به صورت مساوی بین دو بازوی کوپلر تقسیم می‌شود. این امر هم ایزوله کردن یکی از کاواک ها را ساده‌تر می‌کند و هم نمایانی طیف نهایی را افزایش می‌دهد[3].

۲- تئوری و انجام آزمایش

بعد از تقسیم شدت نور ورودی بین دو بازوی کوپلر، نور از دو سطح کاواک بازتاب می‌شود در نتیجه می‌توان چهار میدان الکتریکی بازتابی از چهار سطح دو کاواک فابری‌پرو را در نظر گرفت و شدت نهایی را از آن‌ها به دست آورد. شدت بازتابی کل از این چهار میدان الکتریکی به صورت رابطه ۱ می‌باشد[2].

$$I_{out} = I_0 - 2AB\left[cos\left(\frac{4\pi n_1 L_1}{\lambda}\right) + cos\left(\frac{4\pi n_2 L_2}{\lambda}\right)\right] + B^2 cos\left[4\pi\left(\frac{n_1 L_1 - n_2 L_2}{\lambda}\right)\right] \quad (۱)$$

که در آن $I_0 = 2A^2 + B^2$ ، $A = \sqrt{R_1}$ ، $B = (1-A_1)(1-R_1)\sqrt{R_2}$ ، R_1 و R_2 به ترتیب میزان بازتاب از سطوح اول و دوم، A_1 اتلاف عبوری از سطح ۱، n_1, n_2 به ترتیب ضریب شکست داخلی کاواک دوم و اول است. هر دو ضریب شکست هوا در نظر گرفته می‌شود، L_1, L_2 به ترتیب طول کاواک‌های دوم و اول است. λ طول موج ورودی به داخل کاواک‌ها می‌باشد. بخش اول و دوم رابطه همان قسمت آشنا در رابطه طیف تداخلی تک کاواک فابری‌پرو می‌باشد و بخش سوم قسمت مربوط به اثر ورنیه است که در واقع مربوط به پوش طیف دریافتی می‌باشد. اکنون اگر از کمینه و بیشینه‌های این بخش برای حسگری استفاده کنیم و آن را با حسگری به کمک کمینه و بیشینه‌های طیف یک تک کاواک مقایسه کنیم به رابطه ۲ می‌رسیم[3].

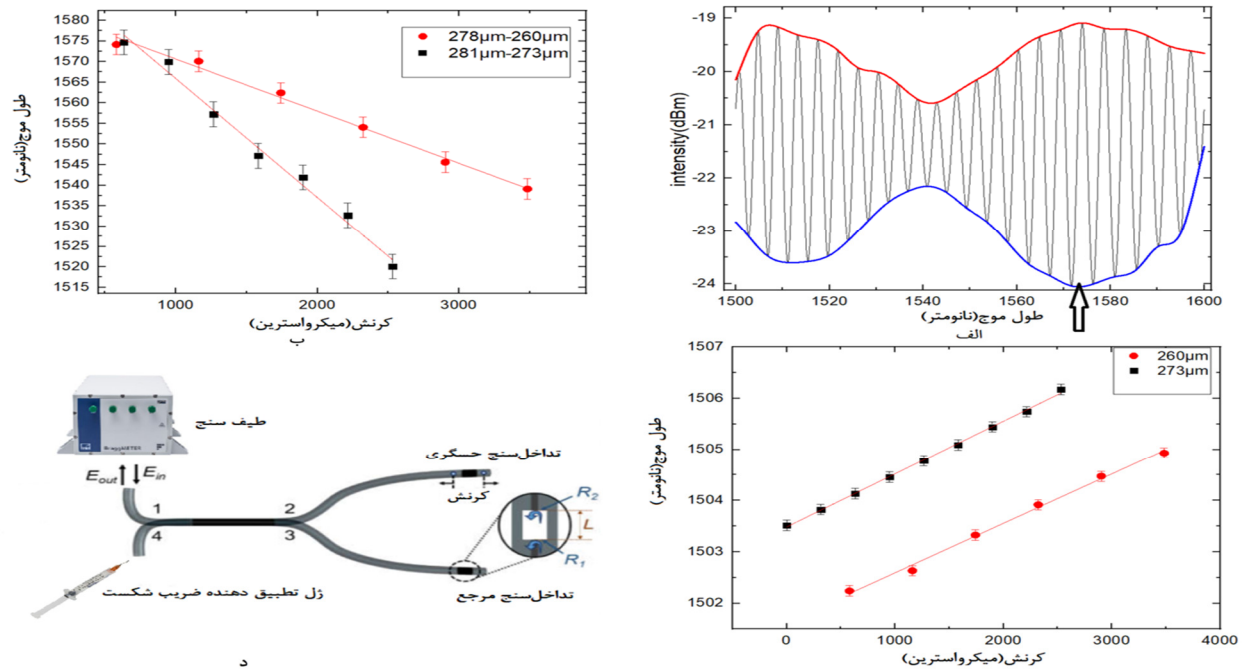
$$S_{envelope} = S_{sensor} * \frac{n_{sensor} L_{sensor}}{n_{sensor} L_{sensor} - n_{reference} L_{reference}} \quad (۲)$$

با توجه به نزدیک بودن طول دو کاواک فابری‌پرو به هم ،باعث افزایش میزان حسگری نسبت به تک کاواک می‌گردد. برای ساخت کاواک فابری‌پرو از یک فیبر توخالی با قطر داخلی ۴۵ میکرومتر و قطر خارجی ۱۲۵ میکرومتر استفاده شده‌است که بین دو فیبر تک مد قرار می‌گیرد. ابتدا کاواک‌ها به طول ۲۶۰ و ۲۷۸ میکرومتر ساخته شده‌اند و کاواک به طول ۲۷۸ میکرومتر به عنوان کاواک مرجع انتخاب شده است. طیف خروجی بعد از اعمال فیلتر پایین گذر به صورت شکل 1 قسمت (الف) می‌باشد. شکل 1 قسمت (ب) و (ج) به ترتیب تغییرات

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

طول موجی بر حسب کرنش را برای حالت ورنیه و حالت تک کاواک نشان می‌دهند که در حالت تک کاواک حساسیت $(\frac{pm}{\mu\varepsilon})$۰,۹ با حدپایین اندازه‌گیری ۵۵ $\mu\varepsilon$ و در حالت اثر ورنیه $(\frac{pm}{\mu\varepsilon})$۱۲,۲۳با حد پایین اندازه‌گیری ۸۰ $\mu\varepsilon$ به دست آمده اند. در مرحله بعدی کاواک ها به طول ۲۷۳ و ۲۸۱ میکرومتر ساخته شده‌اند که کاواک به طول ۲۷۳ به عنوان کاواک حسگری انتخاب شد و حساسیت‌ها در حالت تک حسگر و در حالت ورنیه به ترتیب $(\frac{pm}{\mu\varepsilon})$۱,۰۹با حد پایین اندازه‌گیری ۴۵ $\mu\varepsilon$ و $\left(\frac{pm}{\mu\varepsilon}\right)$۲۷,۷۶ با حد پایین اندازه‌گیری ۵۴ $\mu\varepsilon$ به دست آمدند.



شکل۱- طیف خروجی بعد از اعمال فیلتر پایین گذر ترکیب کاواک‌های ۲۷۸و۲۶۰میکرومتر،کمینه دوم پوش پایینی برای حسگری اثر ورنیه انتخاب شده است (الف) نمودار تغییرات طول موجی بر حسب کرنش حاصل از اثر ورنیه (ب)نمودار تغییرات طول موجی بر حسب کرنش اعمالی برای حسگرهای فابری‌پرو به طول کاواک ۲۶۰ و۲۷۳ میکرومتر (ج) شماتیک کلی استفاده شده در آزمایش(د) [2]

اگر هر دو کاواک تحت تاثیر پارامتر های محیطی قرار بگیرند، حساسیت نهایی به صورت رابطه ۳ در نظر گرفته می شود [3]

$$S_{envelope} = \frac{n_1 L_1}{n_1 L_1 - n_2 L_2} S_1 - \frac{n_2 L_2}{n_1 L_1 - n_2 L_2} S_2 \qquad (۳)$$

که در آن S_1 حساسیت تک حسگر اول و S_2 حساسیت تک حسگر دوم می باشد،این اثر را ورنیه غیر عادی مینامند.درصورتی حساسیت‌های هر دو حسگر نزدیک به هم باشد و پاسخ هر دو حسگر به پارامتر مد نظر یکی باشد اثرات یکدیگر را تقریبا حذف خواهند کرد.به منظور انجام تست دمایی کاواک به طول ۲۷۳ میکرومتر را در داخل کوره قرار داده و با کمک اثر ورنیه ایجاد شده از ترکیب این کاواک با کاواک ۲۸۱میکرومتر تست دما انجام شد. با تغییرات دمایی از ۴۵ تا ۷۵ درجه سانتی گراد، تغییرات طول موجی ۸ نانومتری مشاهده شد در صورتی که با اعمال تغییرات دمایی بر هر دو کاواک این تغییرات طول موجی به حدود ۰,۰۴ نانومتر کاهش می‌یابد.

مراجع

1-Yuqiang YangaOptik - International Journal for Light and Electron Optics 196 (2019) 163181
2-André D. Gomes ***Sensors*** 2019, ***19***(24), 5431
3-**André D. Gomes***Laser & Photonics Reviews* (2021): 2000588

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]