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

طراحی و ساخت فیلتر فابری-پرو کوک‌پذیر فیبرنوری با استفاده از ساختار تخت-مقعر برپایه فرول و جابه‌جاگر نانومتری با کنترل در حالت حلقه بسته

همایون خسروجردی[۱]، حمید لطیفی[۲]، امید رنجبر[۳]، محمداسماعیل زیبایی[۴]

[۱] گروه حسگرتارنوری، پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده: در این مقاله از ساختار تخت-مقعر به علت کاهش اتلاف درون کاواک و افزایش پایداری، برای ساخت فیلتر فابری-پرو کوک‌پذیر فیبرنوری استفاده می‌شود. برای ایجاد ساختار مقعر در انتهای فیبرنوری مولتی‌مد با ضریب شکست تدریجی از روش خوردگی اسیدی با NH_4F-HF و پالس لیزر Co_2 برای افزایش صافی سطح استفاده می‌شود. نوآوری این مقاله ساخت فیلتر فابری-پرو پایدار، با سطح سیگنال به نویز بالا و هم‌ترازی فیبرهای نوری با استفاده از آداپتور، Pigtail و Bare Adaptor فیبرنوری است که هم‌ترازی را توسط فرول سرامیکی انجام می‌دهند. برای افزایش بازتابندگی سطوح فیلتر از لایه‌نشانی طلا و آلومینیوم استفاده می‌شود. فیلتر فابری-پرو ساخته شده دارای فینس ۶۱ و گستره طیفی آزاد بیشتر از ۱۰۰ نانومتر است. کوک‌پذیری فیلتر بر پایه تغییرات طول محرک پیزوالکتریک با رزولوشن ۵نانومتر در حالت کنترل حلقه بسته است. از مزیت‌های اصلی این ساختار سهولت در تغییر گستره طیفی آزاد، تعویض آسان فیبرنوری بدون برهم‌خوردن هم‌ترازی و تکرارپذیری بالاست.

کلید واژگان: فیبرنوری ؛ فیلتر فابری-پرو ؛ فرول سرامیکی ؛ کنترل حلقه بسته

Design and fabrication of tunable fiber fabry-perot filter with flat-concave cavity based on ceramic ferrule and nanostage with closeloop control mode

Homayoun Khosrojerdi[1], Hamid Latifi[2] ,Omid Ranjbar[3], Mohamad Esmail Zibaee[4]

1 Dept. of Optical Fiber Sensor, Faculty of Laser and Plasma research institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, The flat-concave structure is used to fabricate tunable fiber fabry-perot filter due to reducing the loss within the cavity and increasing the stability. NH_4F-HF etching and Co_2 laser pulse are used for polishing to create a concave structure at the end of GRIN multimode fiber. The innovation of this paper is the construction of a stable fabry-perot filter with a high SNR and prefect alignment, using an optical fiber adapter, pigtail and bare Adapter, which performs alignment by ceramic ferrule.Gold and Aluminum coatings are used to increase the reflectivity of the filter surfaces. The fabry-perot made Filter with Finesse of 61 and FSR More Than 100 nm. The filter tunability is based on piezoelectric actuator with 5nm resolution in closed loop control mode. One of the main advantages of this structure is the capability to change the FSR conveniently, easy replacement of fiber Optic Without misalignment and high Repeatability.

Keywords: Fabry-perot filter ; GRIN optical fiber ; Closeloop control ; Piezoelectric actuator

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

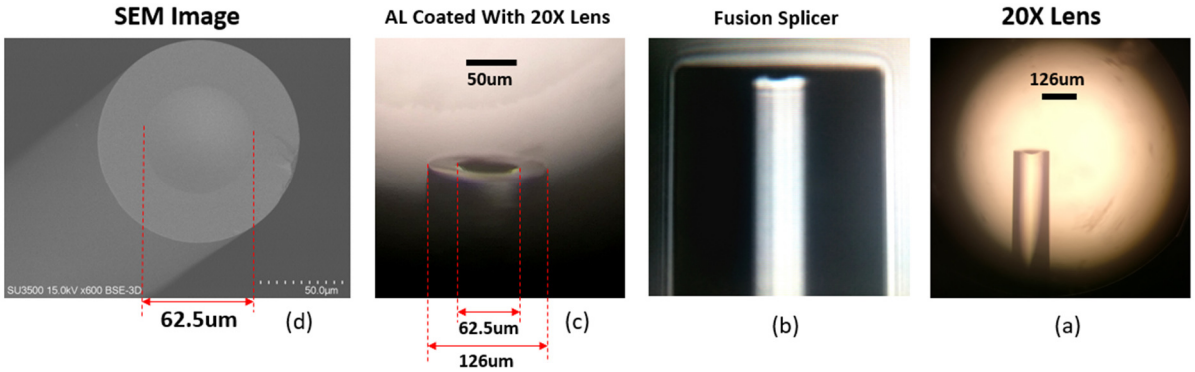
[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

۱- مقدمه

فیلترهای فابری-پرو کوک‌پذیر فیبرنوری یکی از تجهیزات اپتیکی مهم در کاربردهای حسگر فیبرنوری، سیستم ارتباطات اپتیکی و لیزرهای کوک‌پذیر به‌شمار می‌آید. افزایش فینس و پایداری کاواک فابری-پرو به هندسه کاواک، صافی سطح آینه‌ها و همچنین بازتابندگی آینه‌ها وابسته است. در این مقاله هندسه کاواک، ساختار تخت-مقعر می‌باشد. برای ایجاد ساختار مقعر در انتهای تارنوری از روش‌های متعددی از جمله لیزر Co_2 [1] ، استفاده از کره با صافی سطح بالا و فشردن آن به انتهای فیبرنوری [2] و روش لیتوگرافی[3] استفاده می‌شود. روش ارائه شده در این مقاله استفاده از بافر NH_4F اسید HF به منظور خوردگی نوک فیبرنوری و استفاده از پالس لیزر Co_2 برای افزایش صافی سطح فیبرنوری پس از ایجاد ساختار مقعر است. این روش از نظر عملیاتی روش آسانی بوده و علاوه بر هزینه چیدمان کمتر نسبت به سایر روش‌ها، صافی سطح مناسبی دارد. از دیگر مزیت‌های این روش کنترل‌پذیری شعاع انحنای ساختار مقعر ، تکرارپذیری بالا و تقارن ساختار مقعر نسبت به مغزی فیبرنوری است. این روش مشکل عدم تقارن در ساختار را به طور کامل حل کرده است. برای کوک‌پذیری فیلترهای فابری-پرو کوک‌پذیر فیبرنوری به طور معمول از محرک پیزوالکتریک استفاده می‌شود، با اعمال ولتاژ به محرک و افزایش طول آن، طبق رابطه فازی تداخل‌سنج فابری-پرو $\phi = 4\pi nd/\lambda$ و همچنین رابطه فرود نرمال $\Delta d = m\left(\Delta\lambda/2\right)$ که (در این رابطه d طول کاواک فابری-پرو است) با تغییرات طول کاواک، جابه‌جایی طول‌موجی رخ داده و مد تشدیدی در یک بازه طول‌موجی اسکن می‌شود. برای اعمال ولتاژ به محرک پیزوالکتریک از دو مد Openloop و Closeloop استفاده می‌شود. در مد Closeloop هیسترسیز توسط سنسور موقعیت از بین رفته و نمودار ولتاژ برحسب جابه‌جایی خطی است و همچنین مسیر رفت و برگشت محرک پیزوالکتریک یکسان است.

۲- بخش تجربی و نتایج

فیبر نوری GRIN MMF به مدت ۲۰ دقیقه در بافر ۱ به ۱۰ اسید HF و محلول NH_4F قرارگرفته و سپس با ۲۰۰ پالس ۲کیلوهرتز و توان ۳۰۰ میلی‌وات لیزر Co_2 گرم شده است. شکل ۱ تصاویری از ایجاد ساختار مقعر در انتهای فیبر نوری GRIN MMF را نشان می‌دهد.



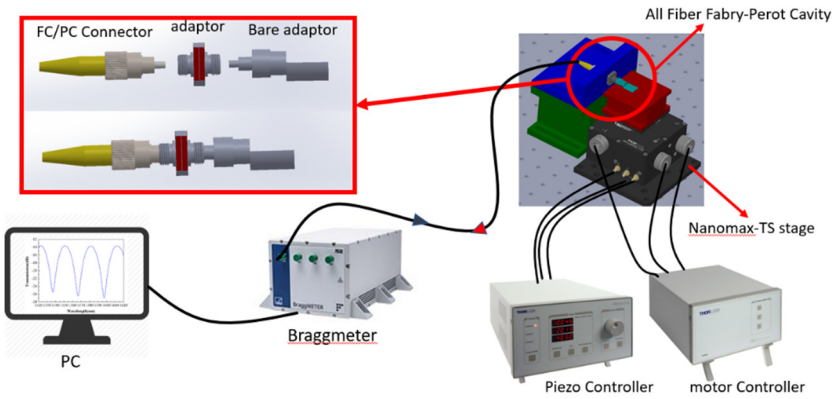
شکل ۱: تصاویر مختلف ازایجاد ساختار مقعر با استفاده از بافر و پالس لیزر Co2 را نشان می‌دهد.

شعاع انحنا و عمق ساختار مقعر به ترتیب ۱۰۶و ۴/۱ میکرون است. کیفیت سطح برای طول‌موج ۱۵۵۰نانومتر کمتر از $\lambda/50$ می‌باشد. برای لایه‌نشانی سطوح فابری-پرو از ۱۵۶نانومتر آلومینیوم برای فیبر مقعر و ۲۰ نانومتر طلا روی ۵ نانومتر زیرلایه کروم [4] برای فیبر تخت تک مد استفاده شده است. بازتابندگی سطوح به ترتیب ۱۰۰ و ۸۹/۹ درصد می‌باشد. شکل۲ چیدمان و ساختار فابری-پرو کوک‌پذیر فیبری را

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

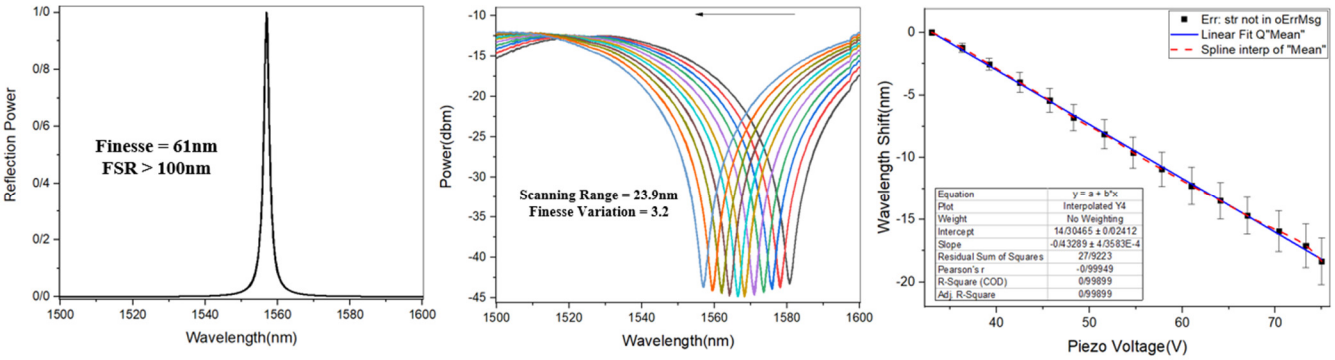
[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

نشان می‌دهد. قطعه Bare adapter دارای فرول سرامیکی است و فیبرمقعر پس از لایه‌نشانی در فرول آن قرار می‌گیرد. کادر قرمز در شکل ۱ کاواک فابری-پرو ساخته شده در آداپتور فیبرنوری را نشان می‌دهد.



شکل۲: چیدمان و ساختار فابری-پرو کوک‌پذیر فیبرنوری با استفاده از آداپتور، Bare adapter و جابه‌جاگر نانومتری Nanomax-TS

جابه‌جاگر نانومتری توسط موتورکنترلر و پیزوکنترلر کنترل می‌شود. برای ثبت طیف فابری-پرو از دستگاه Braggmeter استفاده شده است، که دارای لیزر فیبری کوک‌پذیر و طیف‌سنج نوری در ناحیه ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر است. شکل۳ طیف ثبت شده از کانال بازتابی Braggmeter را نشان می‌دهد.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۳: **الف.** طیف نرمال بازتابی چیدمان شکل ۲ را نشان می‌دهد. گستره طیفی آزاد فیلتر بیش از ۱۰۰ نانومتر و فینس فیلتر فابری-پرو ۶۱ است. **ب.** با اعمال ولتاژ و افزایش طول کاواک فابری-پرو جابه‌جایی طول‌موجی Red shift رخ می‌دهد. میزان جابه‌جایی به ازای ۱۷ میکرون جابه‌جایی محرک پیزوالکتریک ۲۳/۹ نانومتر با رزولوشن ۷ نانومتر است. **ج.** خطی بودن جابه‌جایی طول‌موجی بر حسب ولتاژ اعمال شده به محرک پیزوالکتریک در مد Closeloop با ۰/۹۹۹ $R^2 =$ را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Ruelle T, Poggio M, Braakman F. Optimized single-shot laser ablation of concave mirror templates on optical fibers. **Applied optics**. 2019 May 10;58(14):3784-9.

[2] Yeh Y, Park SH. Fiber-optic tunable filter with a concave mirror. **Optics letters**. 2012 Feb 15;37(4):626-8.

[3] Najer D, Renggli M, Riedel D, Starosielec S, Warburton RJ.. **Applied Physics Letters**. 2017 Jan 4;110(1):011101.

[4] Sheppard CJ. Pure and **Applied Optics**: Journal of the European Optical Society Part A. 1995 Sep 1;4(5):665

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]