بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

حسگر ضریب شکست بر پایه‌ی فیبر نوری U شکل

سعید گرامی، محمدکاظم مروج فرشی

هسته پژوهشی نانو پلاسمو فوتونیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

در این کار تجربی، یک حسگر ضریب شکست **U** شکل زدایش شده، ساخته و مشخصه‌یابی شده‌است. برای این منظور، حدود ۳۰ میلی‌متر از طول یک فیبر تک‌مد را به روش شیمیایی زدوده و به شکل **U** خم کرده‌ایم. سپس آن را در محلول‌هایی با ضریب شکست‌های مختلف فرو برده‌ایم. برای تشخیص تغییرات ضریب شکست، تغییرات دامنه طیف خروجی نور از حسگر در بازه‌ی ضریب شکست ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۷۴ بررسی شده‌است. نتایج نشان می‌دهد حساسیت حسگر در دو گستره‌ی ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۶۰ و ۱/۴۶۰ تا ۱/۴۷۴ برابر است با **dBm/RIU** ۳۴/۳۲- و **dBm/RIU** ۲۹۸/۰۴-.

کلید واژه‌ها: حسگر فیبر نوری، حسگر ضریب شکست، حساسیت

Refractive index sensor based on U-shaped optical fiber

Saeid Gerami and Mohammad Kazem Moravvej Farshi

Nano-Plasmo Photonic Research Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Emails: saeid.gerami@modares.ac.ir and moravvej@modares.ac.ir

Abstract- We have chemically etched and bent a 30-mm long section of a single mode fiber in a U-shape, to fabricate a refractive index sensor. Then, we immersed this section into solutions of different refractive indices. To characterize the sensor, we have measured the change in power transmission, while changing the liquid refractive index in the range of 1.428-1.474. The experimental results show that the sensor sensitivity varies from −34.32 dBm/RIU for the refractive indices of 1.428-1.460 to −298.04 dBm/RIU for the refractive indices of 1.460-1.474.

Keywords: Fibre optic sensor, Refractive index sensor, Sensitivity

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

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

مقدمه

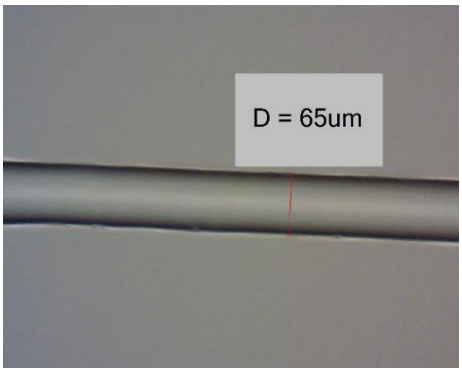
حسگرهای نوری به دلیل ویژگی‌های برترشان نسبت به حسگرهای غیر نوری مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. کنترل پذیری از راه دور، امکان تشخیص چند پارامتر به طور همزمان، اثر ناپذیری از امواج الکترومغناطیسی و حساسیت زیاد از جمله مزیت‌های حسگرهای نوری به شمار می‌رود. یکی از انواع حسگرهای نوری، حسگرهای فیبر نوری است. در نیم قرن گذشته، در راستای بهبود حساسیت، تفکیک پذیری، زمان پاسخ‌دهی و روش‌های ساخت پژوهش‌های بسیاری بر روی این‌گونه حسگرها انجام شده و پیشرفت‌های چشم‌گیری حاصل شده‌است. یکی از سازوکارهای حسگری در تشخیص مواد شیمیایی، زیستی و سیالات، بر پایه‌ی تغییر ضریب شکست استوار است. برخی از حسگرهای ضریب شکست برپایه‌ی ساختارهای تداخل سنج فابری پرو، تداخل سنج ماخ زندر و فیبر بلور فوتونی طراحی شده‌اند [۱و۲و۳].

فَنگ و همکاران[۱] [۴] در سال ۲۰۱۶ ساختاری بر پایه‌ی فیبر تک‌مد و خمیده را برای حسگری ضریب شکست بررسی کردند. در این ساختار، ۶۰ میلی‌متر از پوشش حفاظ یک فیبر تک‌مد را حذف کردند تا پوسته‌ی فیبر با محیط اطراف در ارتباط باشد و تغییر در ضریب شکست آن را حس کند. در بخش خمیده‌ی فیبر، امکان نفوذ بخشی از نور به داخل پوسته فیبر نوری فراهم و مُدهای پوسته فعال می‌شوند. به این ترتیب هر تغییری در ضریب شکست محیط اطراف بر طیف نور خروجی از ساختار اثر گذاشته حسگری میسر می‌شود.

در این مقاله، گزارش ساخت یک حسگر ضریب شکست با زدایش شیمیایی پوسته‌ی بخشی از یک فیبر تک‌مد و خم کردن آن بخش به شکل U و همچنین مشخصات حسگری آن ارائه می‌شود. هدف این کار بررسی حساسیت حسگر در مجاورت با محلولی با ضریب شکست متغیر است. نتایج نشان می‌دهد، در عین سادگی ساخت، حساسیت این حسگر در برابر تغییرات ضریب شکست محیط اطراف خود چشم‌گیر است.

ساختار و اصول کارکرد حسگر پیشنهادی

ابتدا پوسته‌ی ۳۰ میلی‌متر از طول یک فیبر تک‌مد با قطر هسته‌ی ۸ µm و پوسته‌ی ۱۲۵ µmرا به روش شیمیایی تا قطر ۶۵ µm می‌زداییم (شکل ۱). سپس آن قسمت از طول فیبر را به شکل U در می‌آوریم.



شکل ۱. تصویر قسمتی از فیبر نوری زدایش شده.

باریک‌تر شدن قطر پوسته در ناحیه حسگری، بیش از حد استاندارد یک فیبر تک‌مد، باعث می‌شود نور عبوری از آن قسمت از فیبر به محیط خارج از فیبر بیشتر نشت کند. خم کردن قسمت باریک شده باعث می‌شود تا نور به درون پوسته نفوذ کند و مدهای آن بخش پوسته نیز فعال شوند. این پدیده ناشی از بزرگتر بودن زاویه‌ی انتشار بیشتر پرتوهای نور درون پوسته از زاویه بحرانی لازم برای رخداد پدیده‌ی بازتابش کلی درون هسته است. از این‌رو، بخش زیادی از مدهای پوسته به محیط خارج از فیبر در ناحیه خمیده نفوذ می‌کند. در هرحال برخی از پرتوهای درون پوسته از پدیده بازتابش کلی داخلی پیروی می‌کنند. این

[۱] Fang et. al.

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

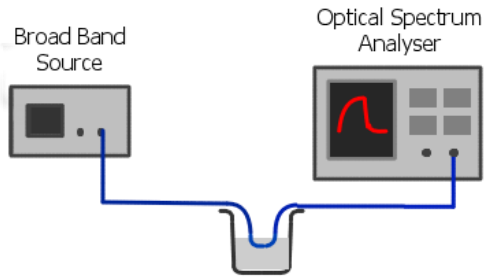
[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

مدها در ناحیه U شکل در پوسته منتشر می‌شوند و در انتهای ناحیه خمیده به درون جفت می‌شوند. چون ثابت‌های انتشار مدهای پوسته با ثابت انتشارمد موجبری هسته متفاوت اند، مسیرهای نوری طی شده توسط آن‌ها نیز متفاوت است. در نتیجه، مدهای پوسته هنگام جفت شدن با مد هسته تداخل می‌کنند و در نهایت طیف خروجی ساختار حسگر را می‌سازند.

هنگام وارد کردن بخش U شکل در درون محلولی با ضریب شکست معین، ضریب شکست مؤثر پوسته تغییر می‌کند و بر روی ضریب انتشار و طول مسیر نوری مدهای پوسته اثر می‌گذارد. درحالیکه ضریب شکست هسته و مد انتشاری در آن تحت تاثیر ضریب شکست محلول قرار نخواهد گرفت. در نتیجه حضور یک محلول باعث تغییر در طیف تداخلی خروجی از حسگر می‌شود [۵و۶]. به‌علاوه، تغییر ضریب شکست محلول مزید بر علت خواهد شد، به این صورت که با افزایش ضریب شکست و نزدیک شدن مقدار آن به ضریب شکست پوسته نشت نور به خارج از فیبر افزایش می‌یابد. به این ترتیب علاوه بر تغییر در طیف تداخلی خروجی، توان خروجی را نیز تغییر می‌دهد. مقدار ضریب شکست پوسته فیبر در حدود ۱/۴۶ است لذا با توجه به توضیحات فوق انتظار داریم که شیب افت توان به ازای محلول‌هایی که ضریب شکست آن‌ها نزدیک به مقدار ذکر شده است، بیشتر باشد. در نهایت با محاسبه شیب این تغییرات نسبت به تغییر در واحد ضریب شکست RIU[۱] حساسیت حسگر به دست می‌آید.

مشخصه یابی حسگر

شکل ۲ نحوه ی چینش ابزار لازم برای مشخصه یابی حسگر را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این چینش مشاهده می‌شود، حسگر فیبری در یک طرف به یک منبع نوری پهن طیف (۱۴۳۰ µm تا ۱۶۵۰µm) و در طرف دیگر به یک طیف‌سنج نوری متصل شده است، در حالی‌که قسمت زدایش شده و U شکل حسگر به درون بشری حاوی محلول



شکل ۲. نمایش چینش آزمایشگاهی استفاده شده برای اندازه گیری طیف عبوری از حسگر.

در آب فرو برده شده است.

در پایان، با تغییر درصد حجمی گلسیرین از ۷۰٪ تا ۱۰۰٪ ضریب شکست محلول را از ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۷۴ تغییر داده و طیف های نوری عبوری از حسگر را اندازه گیری شده‌است [۸]. شکل ۳ نتایج حاصل را با طیف عبوری در غیاب محلول (در مجاورت هوا) مقایسه می‌کند. همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب شکست محلول آب-گلیسرین اطراف حسگر افت توان عبوری از فیبر بیشتر می‌شود. این رفتار با مشاهدات قبلی نیز مطابقت دارد [۷].

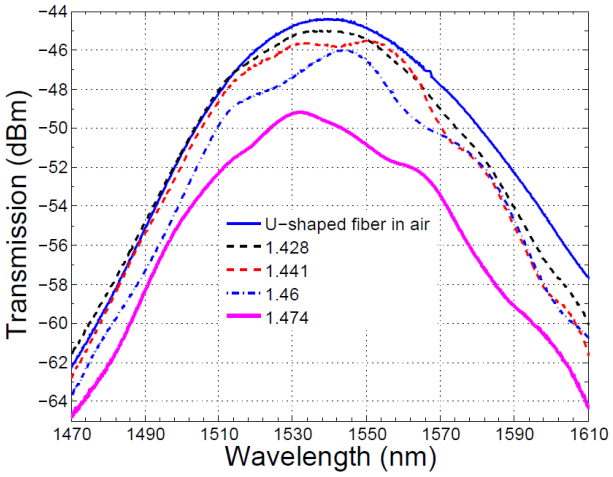
شکل ۴ توان عبوری از فیبر در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر را برحسب dBm نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود توان عبوری در دو بازه‌ی ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۶۰ و ۱/۴۶۰ تا ۱/۴۷۴ به طور تقریبا خطی با شیب‌های تقریبی dBm/RIU

[۱] Refractive index unit

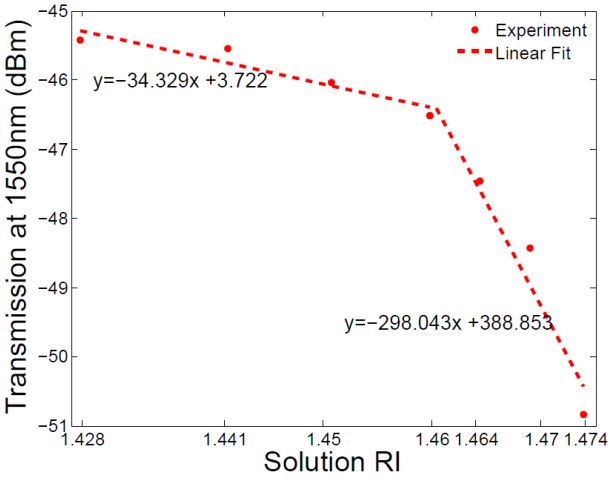
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

۳۴/۳۲− و ۲۹۸/۰۴ dBm/RIU− تغییر می‌کند. این اعداد حساسیت حسگر در دو بازه‌ی مذکور را نشان می‌دهند.



شکل ۳. طیف عبوری از حسگر به ازای تغییرات ضریب شکست محیط اطراف.



شکل ۴. توان عبوری از حسگر در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر برحسب dBm.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، برای ساخت حسگر فیبری ضریب شکست، ابتدا ۶۰ میکرومتر از ضخامت پوسته‌ی یک فیبر نوری تک‌مد به ضخامت کلی ۱۲۵ میکرومتر را به طول ۳۰ میلی‌متر با روش شیمیایی برداشته ایم. سپس آن قسمت را به شکل U در آورده ایم. با فرو بردن ناحیه U شکل در محلول گلیسیرین در آب با غلظت های حجمی ۷۰٪-۱۰۰٪ (معادل گستره‌ی ضریب شکست ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۷۴)، طیف‌های عبوری از حسگر را در گستره طول موج ۱۴۳۰ تا ۱۶۵۰ میکرومتر اندازه‌گیری کرده‌ایم. نتایج آزمایش نشان می‌دهد. با افزایش غلظت گلیسیرین در آب (ضریب شکست محلول) توان عبوری از حسگر کاهش می‌یابد. به‌علاوه، این تغییرات در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر در دو بازه‌ی ۱/۴۲۸ تا ۱/۴۶۰ و ۱/۴۶۰ تا ۱/۴۷۴ تقریبا خطی است. در ضمن، شیب تغییرات توان که بیانگر حساسیت حسگر در طول موج پیش‌گفته است، در این دو ناحیه به ترتیب برابر است با ۳۴/۳۲ dBm/RIU− و ۲۹۸/۰۴ dBm/RIU−.

مرجع‌ها

[1] M. Yasin, S. W. Harun و and H. Arof, *Fiber Optic Sensors*, InTech, 2012.

[2] J. L. Santos and F. Farahi, *Handbook of Optical Sensors*, CRC Press, 2015.

[3] M. j. Yin, B. Gu, Q. F. An, C. Yang, Y. L. Guan, and K. T. Yong, "Recent development of fiber-optic chemical sensors and biosensors: Mechanisms, materials, micro/nano-fabrications and applications," *Coordination Chemistry Reviews*, Vol. 376, pp. 348-392, 2018.

[4] Y .L. Fang, C. T. Wang, and C. C. Chiang, "A Small U-Shaped Bending-Induced Interference Optical Fiber Sensor for the Measurement of Glucose Solutions." *Sensors*, Vol. 16, p. 1460, 2016.

[5] Y. Zhang, M. Lei, H. Hu, Y. Zhao, J. Li, and H. Gao, "Determination of refractive index by a U-shaped multimode fiber sensor." *Instrumentation Science & Technology*, 2018.

[6] Peng, X., Cha, Y., Zhang, H., Li, Y. and Ye, J., "Light intensity modulation temperature sensor based on U-shaped bent single-mode fiber." *Optik*, Vol. 130, p.813-817, 2017.

[7] H. Apriyanto, G. Ravet, O. D. Bernal, M. Cattoen, H. C. Seat, V. C., F. Surre, and J. H. Sharp, "Comprehensive Modeling of Multimode Fiber Sensors for Refractive Index Measurement and Experimental Validation." *Scientific Reports*, Vol. 8, p. 5912, 2018.

[8] *Physical Properties of Glycerine and its Solutions*, Glycerine Producers' Association, New York, p.14, 1969.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]