KNO-1004-4206

مروری بر کاربرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنسورها

مهران کریمیان ریزی[1]

مریم فریور[2]

[1] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز، ایران، mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir

[2] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، Farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: *فیبرهای کریستال فوتونی یکی از تکنولوژی‌های پیشرفته در حوزه نور بیومدیکال است که به طور گسترده در علوم دیگر و همچنین در پزشکی و مهندسی پزشکی استفاده می‌شود. این فیبرها از ساختارهای کریستالی استفاده می‌کنند تا نور را درون خود راهنمایی وهدایت کرده و برای دست‌آوردن حساسیت بالا و انتقال دقیق اطلاعات نوری برای کاربردهای بیوسنسور کمک می‌کنند. فیبرهای کریستال فوتونی (**PCFs**) به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اپتیکی خود مانند ساختار قابل تنظیم و پراکندگی مهندسی شده به عنوان ابزاری قدرتمند در زمینه بیوسنسورها ظهور کرده‌اند. در این مرور کاربردهای فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر و همچنین در پزشکی و مهندسی پزشکی بررسی می‌شوند. همچنین مزایا و معایب استفاده از این فیبرها مورد بحث قرار می‌گیرند و در نهایت پیشنهاداتی برای بهبود کاربردهای آینده ارائه می‌شود.*

کلید واژه‌ها: *فیبرهای کریستال فوتونی، بیوسنور، حسگر زیستی، نور بیومدیکال، PCF، PCFs*

6. مقدمه

فیبرهای کریستال فوتونی فناوری‌های نوری بیومدیکال هستند که برای انتقال دقیق و حساس اطلاعات نوری در بیوسنورها استفاده می‌شوند. این فیبرها از ساختارهای کریستالی تشکیل شده‌اند که نور را درون خود راهنمایی و هدایت می‌کنند. کاربردهای گسترده این فناوری شامل مکانیک، برق، هوافضا و همچنین پزشکی و مهندسی پزشکی است. استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در پزشکی و مهندسی پزشکی امکاناتی را برای تشخیص و درمان بیماری‌ها فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در حوزه نوری بیومدیکال صورت گرفته است. فیبرهای کریستال فوتونی یکی از تکنولوژی‌های پیشرفته در این حوزه است که به طور گسترده در پزشکی و مهندسی پزشکی استفاده می‌شود. این فیبرها با استفاده از ساختارهای کریستالی قابلیت راهنمایی نور را دارند و امکان انتقال دقیق و حساس اطلاعات نوری را در بیوسنورها فراهم می‌کنند [1]. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی ارتباط بین علوم نانوتکنولوژی و پزشکی به‌عنوان یک زمینه مهم و موثر برای پیشرفت درمان‌ها و تشخیص بیماری‌ها در نظر گرفته می‌شود. در این زمینه، فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان یکی از ابزارهای مهم واقع شده‌اند. بیوسنسورها ابزاری برای تشخیص و اندازه‌گیری بیومولکول‌ها مانند DNA، پروتئین‌ها و سلول‌ها هستند. PCFs به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اپتیکی خود به عنوان ابزاری قدرتمند در زمینه بیوسنسورها ظهور کرده‌اند. بیوسنسورها ابزاری برای تشخیص و اندازه‌گیری مواد بیولوژیکی هستند. آن‌ها در طیف وسیعی از زمینه‌ها از جمله پزشکی، تحقیقات زیست‌شناسی و کنترل کیفیت مواد غذایی استفاده می‌شوند. آن‌ها در طیف وسیعی از زمینه‌ها از جمله پزشکی، تشخیص و مهندسی پزشکی کاربرد دارند. PCFs نوع جدیدی از فیبر نوری هستند که دارای ساختار هندسی منظم از حفره‌های هوا در هسته خود هستند. این ساختار هندسی به PCFs اجازه می‌دهد تا ویژگی‌های اپتیکی منحصر به فردی داشته باشند که در فیبرهای نوری معمولی یافت نمی‌شود [2].

7. تاریخچه

فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان یک فناوری نوظهور در حوزه نور بیومدیکال مطرح شده‌اند. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی در زمینه ساخت و کاربرد این فیبرها انجام شده است [3]. ابتدا استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر مانند فیزیک و الکترونیک مورد بررسی قرار گرفت و سپس توانست وارد حوزه پزشکی و مهندسی پزشکی شود. پیشرفت‌های بزرگی در زمینه کاربردهای بالینی این فناوری به دست آمده است. فیبرهای کریستال فوتونی در دهه‌های اخیر با تلاش‌های پژوهشی بسیار به وجود آمده‌اند. این ساختارهای نانومتری ابتدا در علوم فیزیک و نورشناسی مورد استفاده قرار گرفته و سپس به سرعت وارد حوزه‌های دیگر شده‌اند [3-1].

8. کاربرد در علوم دیگر

فیبرهای کریستال فوتونی در علوم دیگر نیز کاربردهای متنوعی دارند. در فیزیک این فیبرها برای انتقال اطلاعات نوری با حساسیت بالا و دقت بالا استفاده می‌شوند. همچنین، در الکترونیک فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان اجزایی از سیستم‌های ارتباطی نوری استفاده می‌شوند. این فیبرها همچنین در علوم مواد و نانوتکنولوژی، نانوالکترونیک، فوتونیک کوانتومی و حتی حوزه مواد هوشمند اشاره کرد. PCFs در زمینه‌های مختلفی از جمله علم مواد، شیمی و مهندسی برق، مخابرات، لیزر، حسگرها و تصویربرداری کاربرد دارند [5].

9. کاربرد در پزشکی و مهندسی پزشکی

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در پزشکی و مهندسی پزشکی امکاناتی جدید در تشخیص و درمان بیماری‌ها ایجاد کرده است. این فیبرها به عنوان ابزارهایی برای تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند [6]. آن‌ها می‌توانند اطلاعات نوری را به صورت دقیق و با وضوح بالا از بدن بیمار جمع‌آوری کنند و تصاویر با کیفیتی بالا ارائه دهند. همچنین این فیبرها می‌توانند در روش‌های تشخیصی مانند سیگنال‌دهی نوری و تشدید سطحی نوری به کار روند. در پزشکی فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان ابزاری برای تصویربرداری پزشکی پیشرفته و درمان‌های نوری نوین به‌کار می‌روند. این فیبرها در انتقال نور به مناطق داخلی بدن برای تشخیص و درمان بیماری‌ها به‌کار می‌روند [6و7].

برخی از کاربردهای PCFs در پزشکی و مهندسی پزشکی عبارتند از:

- تشخیص بیماری: PCFs می‌توانند برای تشخیص بیماری‌ها مانند سرطان و دیابت با استفاده از حسگرهای زیستی مبتنی بر PCF استفاده شوند (تشخیص زودهنگام بیماری‌ها، تشخیص بیماری‌های مختلف، مانند سرطان و دیابت) [4].
- نظارت بر سلامت: PCFs می‌توانند برای نظارت بر سلامت بیمار مانند سطح گلوکز خون و فشار خون با استفاده از حسگرهای زیستی مبتنی بر PCF استفاده شوند (رصد و پایش بیمار) [3].
- مهندسی بافت: PCFs می‌توانند برای مهندسی بافت مانند ساخت ساختار و داربست‌های مهندسی بافت با استفاده از چاپ سه بعدی PCF استفاده شوند [8].
- دارورسانی هدفمند
- پایش سلامت بیمار
- تصویربرداری پزشکی
- دارورسانی

10. مزایا

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها دارای مزایا ویژه‌ای است. در ادامه به برخی از این مزایا اشاره می‌کنیم:

1 .حساسیت بالا: فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل ساختار کریستالی خود، حساسیت بالایی در انتقال اطلاعات نوری دارند. این حساسیت به معنای تشخیص دقیق و قابل اعتماد برای تغییرات کوچک در نور است، که در پزشکی و تشخیص بیماری‌ها اهمیت بالایی دارد [9].

2 .انتقال دقیق اطلاعات: فیبرهای کریستال فوتونی قابلیت انتقال دقیق و صحیح اطلاعات نوری را دارند. این امر منجر به تصاویر با کیفیت بالا و وضوح بیشتری در تصویربرداری پزشکی می‌شود.

3 .انطباق با بافت بیولوژیک: فیبرهای کریستال فوتونی می‌توانند به خوبی با بافت بیولوژیک تعامل کنند. این به معنای قابلیت استفاده از آن‌ها در داخل بدن بیماران است به ویژه در روش‌های تشخیصی و درمانی داخلی.

4 .انتقال بی‌دردسر نور: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل انتقال دقیق و بی‌دردسر نور، از روش‌هایی است که بیماران را با کمترین ناراحتی و درد درمان می‌کند [10].

5 .قابلیت چندکاره: فیبرهای کریستال فوتونی قابلیت انجام چندین کار را همزمان دارند. در این راستا می‌توانند به عنوان سنسورهای نوری برای اندازه‌گیری پارامترهای بیولوژیکی، ابزارهای تصویربرداری پزشکی و همچنین برای تحریک بافت‌ها در روش‌های درمانی استفاده شوند.

- حساسیت بالا
- وضوح طیفی
- قابلیت تشخیص چندگانه
- اندازه کوچک
- قابلیت انعطاف‌پذیری
- هزینه کم

11. معایب

علاوه بر مزایا، استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها نیز معایبی را به همراه دارد. در ادامه به برخی از این معایب اشاره می‌کنیم [11و12].

1 .هزینه: فیبرهای کریستال فوتونی از جمله فناوری‌های پیشرفته هستند و تولید و استفاده از آنها هزینه‌بر است. این موضوع می‌تواند محدودیتی برای استفاده گسترده از این فیبرها در برخی از کاربردها ایجاد کند.

2.اعتمادسازی و استانداردسازی: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد و نیاز به اعتمادسازی و استانداردسازی بیشتری دارد. این امر می‌تواند به دلیل عدم اطمینان درباره کارایی و ایمنی آن‌ها مانع انتشار گسترده‌تر این فناوری شود.

3 .مشکلات انتقال: در برخی موارد انتقال نور در فیبرهای کریستال فوتونی ممکن است با مشکلاتی مواجه شود. مثلاً از دست دادن قدرت نوری در طول مسیر یا تداخل با نویز و سایر اشکال در انتقال نور می‌تواند این مشکلات باشند.

4 .محدودیت‌های فیزیکی: فیبرهای کریستال فوتونی ممکن است محدودیت‌هایی در مقاومت فیزیکی داشته باشند. این معضل می‌تواند تأثیری در کارایی و عمر مفید بیوسنورها داشته باشد.

5 .توسعه فناوری: فناوری فیبرهای کریستال فوتونی هنوز در مراحل پژوهشی است و نیاز به توسعه و بهبود بیشتر دارد. این مسئله ممکن است باعث تأخیر در گسترش و استفاده گسترده‌تر از آن در صنایع مختلف شود. به طور کلی، استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی

در بیوسنورها با مزایا و معایب خاص خود همراه است. با توسعه و بهبود فناوری، امیدواریم که این معایب کاهش یابد و بتوانیم از این فناوری برای کاربردهای پزشکی و سایر حوزه‌ها بهره‌برداری کنیم.

6 .مشکلات تولید: تولید فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل پیچیدگی فرایند و نیاز به تکنولوژی پیشرفته ممکن است با مشکلاتی همراه باشد. این شامل هزینه بالا، نیاز به تجهیزات پیچیده و مواد خاص و مشکلات کنترل کیفیت تولید است.

7 .محدودیت در خاصیت انعطاف‌پذیری: فیبرهای کریستال فوتونی به دلیل ساختار خاص خود، انعطاف‌پذیری کمتری نسبت به برخی سایر فیبرها دارند. این محدودیت ممکن است در برخی کاربردها مانند مناطق منحنی، انحنا و تغییر جهت مناسب نباشد.

8 .تداخل نوری: استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در سیستم‌های پرنوری ممکن است با تداخل نوری همراه باشد. این مشکل می‌تواند منجر به از دست دادن انتقال دقیق اطلاعات یا تداخل در تصاویر تشخیصی شود.

- پیچیدگی ساخت
- شکنندگی، تردی
- عدم تطابق با سیستم‌های موجود
- پیچیدگی ساخت
- هزینه بالا در PCFs به دلیل پیچیدگی ساخت، گران‌تر از فیبرهای نوری معمولی هستند.
- تلفات نوری PCFs به دلیل پراکندگی نور مهندسی شده تلفات نوری بیشتری نسبت به فیبرهای نوری معمولی دارند.
- پیچیدگی ساخت: ساخت PCFs پیچیده‌تر از ساخت فیبرهای نوری معمولی است.

12. پیشنهادات

با توجه به معایب و چالش‌های موجود در استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها پیشنهاد می‌شود:

1. تحقیقات و توسعه بیشتر: برای حل مشکلات و بهبود عملکرد فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها نیاز به تحقیقات و توسعه بیشتر در این زمینه وجود دارد. این اقدامات می‌توانند به بهبود کیفیت و کارایی فیبرها و همچنین کاهش هزینه‌ها منجر شوند [9].

2. همکاری صنعت و دانشگاه: برای تسریع فرآیند تحقیقات و توسعه همکاری بین صنعت و دانشگاه‌ها بسیار اهمیت دارد. این همکاری می‌تواند به اشتراک گذاری دانش و تجارب، استفاده از تجهیزات پیشرفته و تسهیل انتقال فناوری کمک کند [7].

3. استانداردها و مقررات: تعیین استانداردها و مقررات دقیق برای استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها اهمیت دارد. این اقدام می‌تواند به اطمینان بخشیدن درباره کیفیت، ایمنی و عملکرد این فیبرها کمک کند.

13. نتیجه‌گیری

استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی در بیوسنورها با مزایا و معایب خاصی همراه است. این فیبرها به دلیل خواص منحصر به فردشان مانند عدم تداخل الکترومغناطیسی، انعطاف‌پذیری در طول موج و قابلیت راه‌اندازی حالت‌های نوری مختلف برای کاربردهای حسگری در بیوسنورها بسیار مناسب هستند. آن‌ها قادر به تشخیص و اندازه‌گیری تغییرات فیزیکی و شیمیایی در محیط‌های زیستی هستند. با این حال استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی نیز با مشکلاتی همراه است از جمله مشکلات تولید، محدودیت در انعطاف‌پذیری و تداخل نوری. با وجود برخی معایب PCF ها پتانسیل زیادی برای کاربرد در بیوسنسورها دارند. تحقیقات بیشتر در زمینه ساخت و کاربرد PCF ها می‌تواند منجر به توسعه بیوسنسورهای جدید و کارآمدتر برای تشخیص و درمان بیماری‌ها شود.

14. مراجع

[1] Li, M., Zhang, Y., & Li, F. (2019). Photonic crystal fiber sensors: A review. Sensors, 19(6), 1422.
[2] Canning, J., & Lancry, M. (2019). Photonic crystal fibers for sensing applications. Journal of Lightwave Technology, 37(2), 151-166.
[3] Ding, M., Wang, D., Wu, D., & Liu, T. (2020). Recent advances in photonic crystal fiber sensors and their applications. Optical Fiber Technology, 56, 102175.
[4] Sharma, A. K., & Yadav, R. (2019). Recent advances in photonic crystal fiber-based biosensors. Sensors and Actuators B: Chemical, 287, 115-132.
[5] Zhang, Y., Hu, X., Li, F., & Peng, G. D. (2018). Recent advances in photonic crystal fiber sensors and their applications. Sensors, 18(9), 2782.
[6] Yablonovitch, E. (1993). Photonic band-gap structures. Journal of the Optical Society of America B, 10(2), 283-295.
[7] Russell, P. St. J. (2003). Photonic crystal fibers. Science, 299(5605), 358-362.
[8] Li, J., & Zhang, L. (2011). Photonic crystal fiber biosensors. Sensors, 11(11), 10441-10460.
[9] Wang, P., & Wang, X. (2015). Photonic crystal fiber biosensors for medical diagnostics. Analyst, 140(15), 5001-5013.
[10] X. Wang et al., "Photonic crystal fibers for biomedical applications," Advances in Optics and Photonics, vol. 7, no. 2, 2015.
[11] Y. Zhang et al., "Applications of Photonic Crystal Fibers in Biomedical Research and Clinical Medicine," Journal of Healthcare Engineering, vol. 2017, 2017.
[12] A. M. Armani et al., "Photonic crystal resonators in silicon-based materials," Nature Materials, vol. 4, no. 3, 2005.