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

مدل‌سازی فیبر عصبی مبتنی بر موجبر نوری بازتابی ضد تشدید

مرضیه امیدی[۱]، محمد اسماعیل زیبائی[۲] ، نصرتا... گرانپایه[۱]

[۱] گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
m_zibaye@sbu.ac.ir

چکیده: امروزه به دلیل استفاده گسترده از روش‌های نوری در شناسایی و درمان بیماری‌های عصبی، شناخت ویژگی‌های نوری بافت عصبی و سلول عصبی بسیار اهمیت دارد. استفاده از منابع نوری در این روش‌ها چالش‌های اساسی را در نحوه انتشار پرتو در فیبر عصبی که بستر مناسبی برای سیگنالینگ عصبی است، مطرح می‌کند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که انتشار پرتو از هر دو ناحیه آکسون و لایه‌ی میلین امکان‌پذیر است. در این مقاله با توجه به پروفایل ضریب شکست فیبرعصبی و شباهت آن به فیبر با ضریب شکست مغزی کمتر از غلاف، رفتار فیبر عصبی مبتنی بر ساختار موجبرنوری بازتابی ضد تشدید در شرایط مختلف بررسی شده است و موجبری هر دو بخش آکسون و لایه‌ی میلین در شرایط مختلف تزویج نور به این دو ناحیه نشان داده شده است.

کلید واژگان: فیبرعصبی، آکسون میلین‌دار، موجبر نوری بازتابی ضد تشدید ، تزویج نور.

Simulation of Nerve Fiber Based on Anti-Resonant Reflecting Optical Waveguide

Marzieh Omidi[1], Mohammad Ismail Zibaii[2], Nosrat Granpayeh[1]

[1]Telecommunication Dept., Faculty of Electrical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
[2]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- Today, due to the widespread use of optical methods in the diagnosis and treatment of neurological diseases, it is very important to know the optical properties of nerve tissue and nerve cells. The use of light sources in these methods raises major challenges in how the beam propagates in the nerve fiber, which is a suitable substrate for neural signaling. Studies show that beam propagation is possible from both the axon and the myelin sheath. In this paper, according to the profile of nerve fiber refractive index and its similarity to fiber with a low refractive index core than the clad, the behavior of nerve fiber based on anti-resonant reflecting optical waveguide structure in different conditions are investigated. Light coupling to these two areas is shown by introducing axon and myelin sheath as a waveguide.

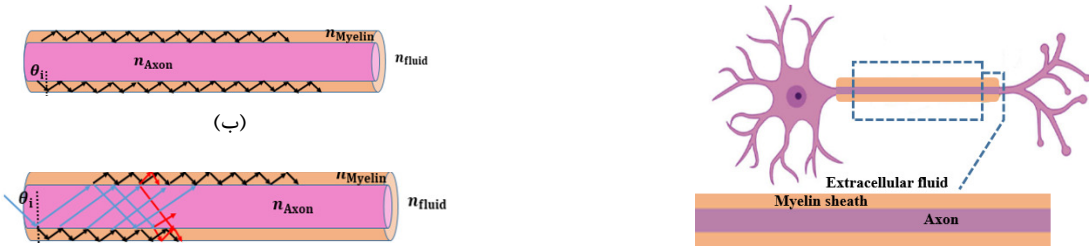
Keywords: Nerve fiber, Myelinated axons, Anti-Resonant Reflecting Optical Waveguide, Light coupling

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]

۱- مقدمه

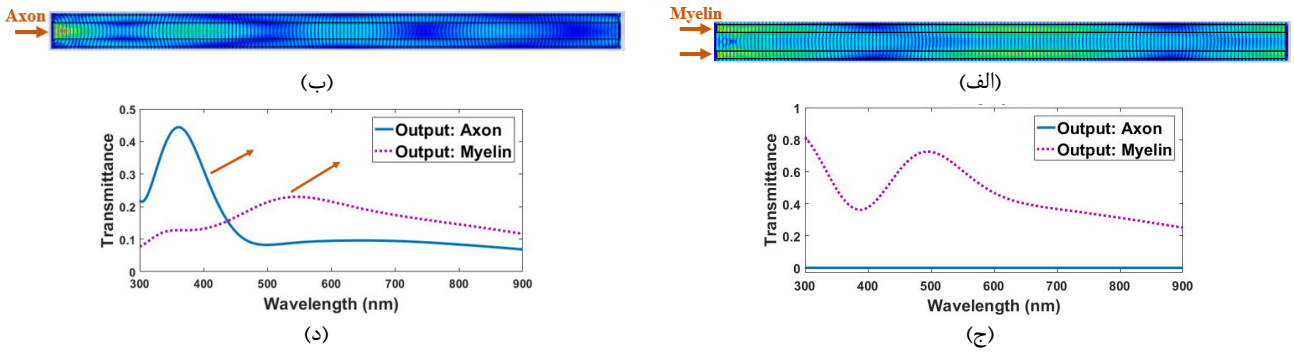
در دو دهه اخیر موجبر نوری بازتابی ضد تشدید[1](ARROW) یک جایگاه فراگیر برای کاربردهای مختلف پیداکرده است [۱]. این ساختار در فیبرهای نوری که ضریب شکست غلاف بیشتر از مغزی مانند DCF[2] وجود دارد [۲]. عملکرد غلاف آن در فرکانس‌های ضد تشدید مانند تشدیدکننده فابری-پرو است و پرتوهای نور را داخل مغزی به کمک پدیده شکست متمرکز می‌کند و همزمان به کمک پدیده بازتاب، داخل غلاف نیز هدایت می‌کند در نتیجه در هر دو بخش غلاف و مغزی انتشار پرتو دیده می‌شود. از طرفی در فرکانس‌های تشدید، مدهای هدایتی فقط داخل غلاف هدایت می‌شوند و از پدیده بازتابش کلی داخلی[3] (TIR) پیروی می‌کند [۱]. آکسون میلین‌دار نیز به دلیل ماهیت موجبری و شباهت نمایه ضریب شکست[4] آن به فیبرنوری DCF به عنوان یک ساختار ARROW قابل توصیف است. به عبارتی دیگر اگر نور به لایه‌ی میلین تابیده شود فرکانس‌های تشدید فعال شده و پدیده TIR داخل لایه‌ی میلین مشاهده می‌شود (شکل۱ (ب)) و اگر نور فقط به آکسون تابیده شود، فرکانس‌های ضد تشدید فعال می‌شود و لایه‌ی میلین مانند ساختار تداخل‌سنج فابری-پرو عمل می‌کند (شکل۱ (ج)).



شکل۱- (الف) سلول عصبی و آکسون میلین‌دار، (ب) انتشار پرتو در میلین توسط پدیده TIR و (ج) آکسون میلین‌دار به عنوان تداخل‌سنج فابری‌پرو

۲- عملکرد فیبرعصبی به عنوان ARROW

برای مدل‌سازی فیبرعصبی از روش انتگرال المان محدود[5] در نرم افزار CST Studio Suite با شعاع آکسون۰/۴میکرومتر، ضخامت لایه‌ی میلین ۰/۳۴ میکرومتر، طول آکسون ۲۷/۱ میکرومتر و طول لایه‌ی میلین ۲۷ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ضریب شکست لایه میلین، آکسون و محیط اطراف به ترتیب برابر با ۱/۴۴، ۱/۳۸ و۱/۳۴ است. توزیع میدان‌های الکتریکی آورده شده در طول موج ۴۷۳نانومتر است [۳]. در شکل۲ (الف) و (ب) توزیع میدان الکتریکی به ترتیب با قرار دادن پورت موجبری در نرم افزار CST به منظور تزویج نور به لایه‌ی میلین و آکسون و شکل۲ (ج) و (د) طیف انتقال پرتو در هر دو بخش را به ترتیب در شرایط تزویج نور به لایه‌ی میلین و آکسون نشان می‌دهد.



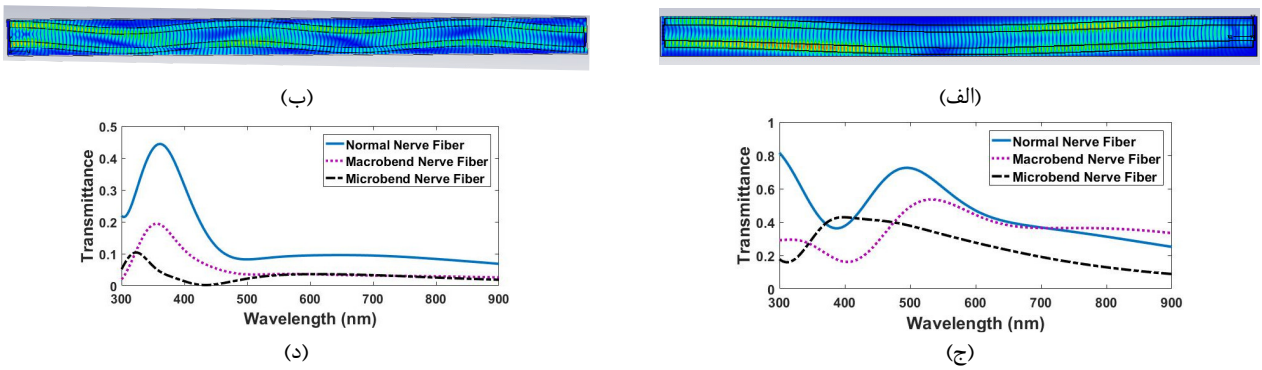
شکل۲- (الف) توزیع میدان الکتریکی در تزویج نور به لایه‌ی میلین، (ب) توزیع میدان الکتریکی تزویج نور به آکسون، (ج) طیف عبوری تزویج نور به لایه‌ی میلین و (د) طیف عبوری تزویج نور به آکسون.

[1] Anti-resonant reflecting optical waveguide: ARROW
[2] Depressed core fiber: DCF
[3] Total internal reflection: TIR
[4] Refractive index profile
[5] Finite Integration Technique: FIT

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

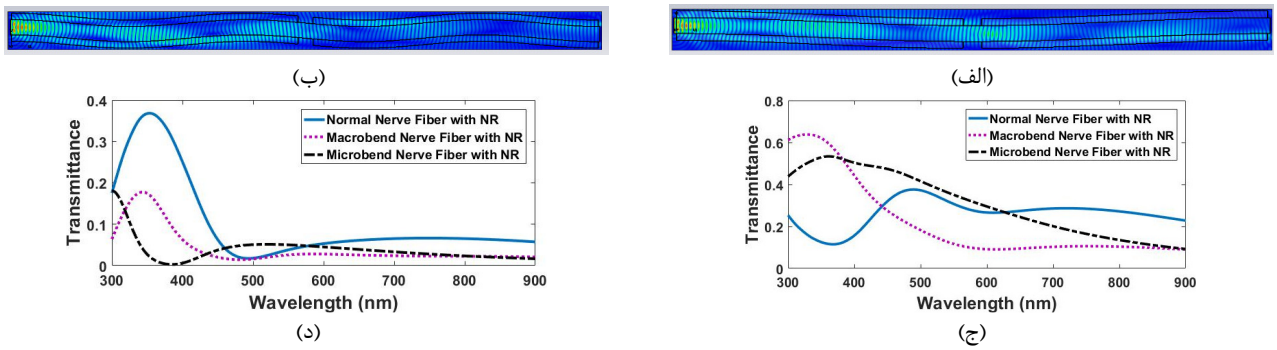
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]

در شکل۲ (ج)، انتقال پرتو از آکسون تقریبا صفر است و تمام پرتوها از لایه‌ی میلین عبور می‌کنند در نتیجه با توجه به نتایج شکل۱(الف) می‌توان گفت پدیده TIR رخ داده است. و شکل۲ (د) انتشار پرتو از هر دو بخش میلین و آکسون را نشان می‌دهد در نتیجه عملکرد لایه‌ی میلین با توجه به نتایج شکل۱ (ب) مانند تداخل‌سنج فابری-پرو است. از طرفی آکسون‌های میلین‌دار در طول خود خمش‌های بزرگ (شکل ۳ (الف)) و کوچک (شکل ۳ (ب)) دارند [۳]. شکل ۳ (ج) و (د) به ترتیب طیف خروجی در شرایط تزویج نور به لایه‌ی میلین و آکسون را در سه حالت فیبرعصبی عادی، دارای خمش بزرگ و خمش کوچک را نمایش می‌دهد. وجود خمش باعث کاهش انتقال پرتو، پراکندگی پرتو به محیط اطراف و همچنین تداخل مخرب مدهای هدایتی در هر دو شرایط تزویج نوری شده است.



شکل۳- بررسی تاثیر خمش بر انتشار پرتو (الف) توزیع میدان الکتریکی آکسون میلین‌دار با خمش بزرگ (تزویج نور به لایه‌ی میلین) (ب) توزیع میدان الکتریکی آکسون میلین‌دار با خمش کوچک (تزویج نور به لایه‌ی میلین)، (ج) انتشار پرتو در لایه‌ی میلین و (د) انتشار پرتو در آکسون.

شکل ۴ نیز مشابه شکل ۳، انتشار پرتو را در حضور گره رانویه و خمش نشان می‌دهد. مقایسه نتایج با شکل ۳ نشان می‌دهد که در حالت عادی، حضور گره باعث کاهش انتشار می‌شود اما زمانی‌که خمش ایجاد می‌شود نسبت به حالت بدون گره افزایش انتشار رخ می‌دهد. این پدیده می‌تواند به دلیل برهمکنش سازنده مدهای هدایتی درگره رانویه باشد که موقعیت گره نیز در نتیجه بدست آمده تاثیرگذار است.



شکل۴- بررسی تاثیر خمش و حضور گره رانویه بر انتشار پرتو (الف) توزیع میدان الکتریکی با خمش بزرگ و گره رانویه (تزویج نور به آکسون)، (ب) توزیع میدان الکتریکی با خمش کوچک و گره رانویه (تزویج نور به آکسون)، (ج) انتشار پرتو در لایه‌ی میلین و (د) انتشار پرتو در آکسون.

به طورخلاصه، در این مقاله ویژگی ARROW گونه آکسون میلین‌دار به عنوان یک موجبر فیبرنوری در انتقال سیگنال‌های عصبی در شرایط متفاوت تزویج نور در حضور خمش و گره رانویه بررسی شده است. نتایج بدست آمده یک روش حسگری زیستی برای مطالعه نوری و غیر نشاندار ساختار سلول عصبی مبتنی بر فیبرنوری را معرفی می‌کند که می‌توان از آن برای اندازه‌گیری خصوصیات نوری سیستم‌های عصبی و تشخیص زود هنگام بیماری‌های عصبی استفاده کرد.

مراجع

1. P. Steglich, *Electromagnetic Propagation and Waveguides in Photonics and Microwave Engineering*, Books on Demand, 2020.
2. X. Lian, *et. al.* **Optics Express 28**(11), 16526, (2020).
3. S. Kumar, *et. al*. **Scientific Reports 6**(1) 36508, (2016).

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]