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 حسگر پلاسمونی فیبرنوری H شکل لایه نشانی با TiO_2 برای بهبود عملکرد

نیوشا اسلامی[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: در سال‌های اخیر، نیاز به تجزیه و تحلیل پارامترهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک با کمک حسگرهای فیبرنوری افزایش یافته است. استفاده از حسگر فیبرنوری مبتنی بر روش تشدید پلاسمون سطحی، جایگزینی مناسب برای ساختارهای مبتنی بر منشور است. در این مقاله، حسگر فیبرنوری به شکل حرف H با هدف بررسی تغییرات طیف تلفات تمرکز[۱] فیبر به ازای تغییرات ضریب شکست ماده محیط سنجش، تأثیر تغییر ضخامت طلا، عایق، عمق ناحیه صیقل‌خورده، تجزیه و تحلیل شد. حساسیت طیفی، حساسیت دامنه‌ای و معیار شایستگی این ساختار به ترتیب ۶۸۳۳/۳۳ نانومتر بر واحد ضریب‌شکست، ۲۵۳۹ بر واحد ضریب‌شکست، و ۵۲/۱۹۷ است. این ساختار می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای سنجش پارامترهای زیستی محسوب شود.

کلید واژگان: حسگر، فیبرنوری به شکل اچ، تشدید پلاسمون سطحی، حساسیت، فیلم فلزی نازک.

Simulation of a Titanium oxide coated H shaped Optical Fiber Plasmonic Sensor for Enhancing Performance

Niusha Eslami[1], Mohammad Ismail Zibaii[2], Nosrat Granpayeh[1]

[1]Communication 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- In recent years, the need to analyze various physical, chemical, and biological parameters with the help of optical fiber sensors has increased. The use of fiber-optic surface plasmon resonance is a suitable alternative to prism-based structures. In this paper, the H-shaped optical fiber sensor is analyzed to investigate changes in the fiber confinement loss spectrum in exchange for changes in the refractive index of the assay material, the effect of changing the thickness of gold, insulation, and depth of the polished area. The wavelength sensitivity, amplitude sensitivity, and figure of merit (FOM) of this structure are 6833.33 (nm / RIU), 2539 (1 / RIU), and 52.197, respectively. A model like this can be effective in measuring biological parameters.

Keywords: Sensor, H-shaped optical fiber, Surface plasmon resonance, Sensitivity, Thin metal film.

[1] Confinement

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

۱- مقدمه

روش تشدید پلاسمون سطحی (SPR) دلیل انتخاب‌پذیری، حساسیت بالا و تکرارپذیری خوب در بین روش‌های مختلف سنجش بسیار محبوب است. در روش SPR، تحریک موج پلاسمون سطحی (SPW) یا نوسان چگالی بار در امتداد مرز فلز- عایق، توسط نور با قطبش مغناطیسی عرضی[1] صورت می‌گیرد. این تحریک به شرایط تشدید، یعنی برابری ثابت انتشار موج میرا[2] و SPW بستگی دارد [۱]. اینگونه حسگرها به کمک رویکرد SPR می‌توانند مقدار بسیار کمی از مولکول‌های هدف برای تشخیص برخی بیماری‌ها را در نمونه‌های خون و مایع مغزی نخاعی[3] آشکارسازی کنند [۲]. تغییر طول‌موج تشدید و دامنه طیف تلفات به تغییرات بسیار کوچک در ضریب‌شکست محیط سنجش حساس است [۳]. در این مقاله، یک حسگر فیبرنوری H شکل براساس روش تشدید پلاسمون سطحی با استفاده از شبیه‌سازی عددی اجزای محدود[4] در نرم‌افزار کامسول(COMSOL) طراحی و تحلیل شده است. لایه طلا به عنوان فلز فعال برای تحریک پلاسمون‌های سطحی و لایه عایق اکسید تیتانیوم[5] برای افزایش عملکرد حسگر، بر روی شکاف فیبر لایه‌نشانی می‌شوند [۳]. نشانگرهای زیستی تشخیص برخی بیماری‌ها مانند نقص سیستم ایمنی و دیابت، عموماً ضریب شکستی بین ۱/۳۳-۱/۴۰ دارند، بنابراین حسگر پیشنهادی می‌تواند در تشخیص زودهنگام نشانگرهای زیستی برخی بیماری‌ها با ضریب شکست‌هایی در بازه ۱/۳۶-۱/۳۹، مفید باشد [۴].

۲- تئوری و روش شبیه‌سازی

در این بررسی، فیبر نوری H شکل با سطح مقطع عرضی مطابق شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود. درشکل شماتیک، فاصله مشخص d در دوطرف، قسمت باقی‌مانده از غلاف در ناحیه سنجش است. ابعاد قطر هسته فیبر، قطر غلاف و پهنای لایه‌های روی فیبر به ترتیب، ۸/۲، ۶۰ و ۱۰ میکرومتر است. پهنای دو لایه فلز و عایق در طول شبیه‌سازی ثابت است [۳ و ۵].

شکل۱- شماتیک مقطع عرضی ساختار مورد نظر [۵].

ضریب شکست‌های هسته و غلاف طبق معادله سلمیر[6]، ضریب شکست طلا و عایق طبق رابطه مدل درود[7] و رابطه تجربی تعریف می‌شوند [۳-۴]. طیف تلفات به طور مستقیم با قسمت موهومی ضریب شکست مؤثر(n_{eff}) طبق رابطه زیر مرتبط است و واحد تلفات در طول به صورت (dB/cm) بیان می‌شود. دراین رابطه طول‌موج، λ ، برحسب میکرومتر است [۳].

$$\alpha = 8.686\times\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\mathrm{Im}\left[n_{eff}\right]\times 10^{4} \qquad (۱)$$

۳-بحث و بررسی نتایج

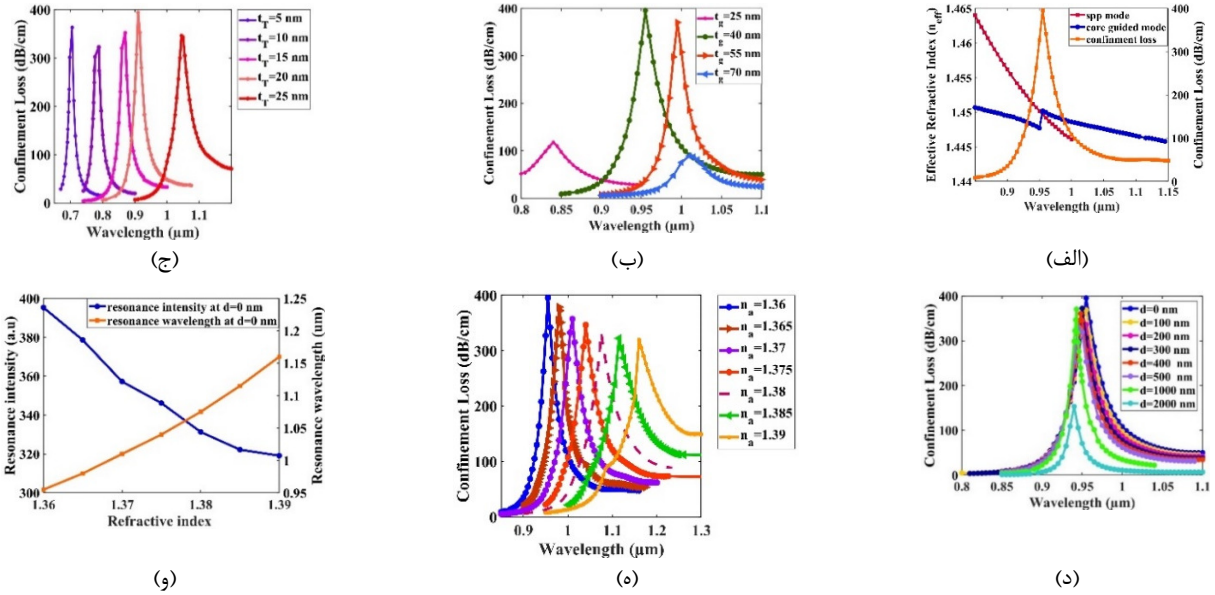
در شکل ۲(الف)، با برقراری شرایط تشدید و مقادیر بهینه پارامترها(ضخامت طلا ۴۰ نانومتر، ضخامت عایق ۲۰ نانومتر، غلاف فاصله d صفر و ضریب‌شکست محیط سنجش ۱/۳۶) که با شبیه‌سازی مشخص شد، بیشینه انرژی از هسته به سمت ناحیه سنجش انتقال می‌یابد [۳]. با تغییر ضخامت لایه نازک طلا در ساختار در شرایط ثابت بودن سایر پارامترها، طیف تلفات مطابق شکل ۲(ب) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. نتایج تغییر ضخامت عایق در شرایط بهینه بودن سایر پارامترها در شکل ۲(ج) مشاهده می‌شود. نتایج طیف تلفات به‌ازای تغییر فاصله

[1] Transverse Magnetic (TM)
[2] Evanescent Field
[3] Cerebrospinal fluid
[4] Finite Element Method (FEM)
[5] Titanium Oxide (TiO_2)
[6] Sellmeier equation
[7] Drude model

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

d در شکل ۲(د) بیان می‌شود، با افزایش این فاصله، دامنه طیف تلفات کاهش می‌یابد و جابه‌جایی به سمت طول‌موج‌های کمتر دارد. شکل ۲(ه)، تغییرات طیف تلفات به ازای تغییر ضریب‌شکست محیط پیرامون است و منجر به جابه‌جایی طیف تلفات به سمت طول‌موج‌های بالاتر (انتقال قرمز) و کاهش دامنه تشدید می‌شود. عملکرد حسگر با محاسبه حساسیت طیفی، حساسیت دامنه‌ای به کمک شیب منحنی شکل ۲(و) مشخص می‌شود.



شکل ۲- بررسی های مختلف طیف تلفات در ساختار پیشنهادی. (الف) طیف پاشندگی مد هدایتی هسته، مد پلاسمونی و طیف تلفات به ازای ضریب شکست آنالیت ۱/۳۶، (ب) بررسی طیف تلفات به ازای تغییر ضخامت طلا در شرایط ثابت بودن سایر پارامترها، (ج) بررسی تغییرات خروجی با تغییر ضخامت عایق، (د) تغییر طیف تلفات به ازای تغییر در فاصله مرز هسته و طلا، (ه) نتایج بررسی طیف تلفات به ازای تغییر در ضریب شکست آنالیت و (و) نمودار طول‌موج و شدت تشدید در بازه ضریب‌شکستی مورد نظر.

منحنی‌های شکل ۲(و)، شدت تشدید و طول‌موج تشدید را براساس نمودارهای قسمت(ه) بیان می‌کند در شرایطی که ضخامت لایه طلا، ۴۰ نانومتر و عایق، ۲۰ نانومتر است. حساسیت طول‌موجی و دامنه ای، به ترتیب، ۶۸۳۳/۳۳ nm/RIU، 1/RIU ۲۵۳۹ و حداقل معیار شایستگی[1] ۵۲,۱۹۷ بدست می آید. این نتایج در مقایسه با نتایج حسگر فیبرنوری D شکل [۶]، حساسیت و FOM بالاتری دارند. معیار شایستگی در این ساختار ۱۱/۴۸ درصد افزایش یافته است و رفتار خطی بهتری دارد.

۴-نتیجه‌گیری

حسگرهای زیستی فیبر نوری به عنوان ابزاری قدرتمند برای تبدیل تعامل‌های شیمیایی به سیگنال الکتریکی قابل اندازه‌گیری می‌توانند یکی از روش‌های نوین و مؤثر در تشخیص بیماری‌های مختلف به حساب آیند. تلفیق اینگونه حسگرها با روش تشدید پلاسمون سطحی، حساسیت تشخیص را افزایش می‌دهد. در این مقاله تغییر در هندسه ساختار فیبر نوری H شکل پوشیده شده با طلا به حساسیت بالاتری منجر و تاثیر تغییرات ضخامت طلا و عایق و فاصله d بررسی شده است.

مراجع

1. J. Homola and J. Dot˙lek. *Surface Plasmon Resonance Based Sensors*, Springer (2006).
2. A. Rezabakhsh, *et. al*. **Biosensors and Bioelectronics 167(11)** 112511, (2020).
3. RK. Gangwar, *et. al.* **IEEE Sensors 19**(20) 9244-9248, (2019).
4. I. Danlard, *et. al*. **Optical Fiber Technology 54** 102083, (2020).
5. Y. Esfahani Monfared. **Biosensors 10**(7) 77, (2020).
6. A. Patnaik, *et. al*. **J. IEEE Photon. Technol. Lett 27**(23) 2437-2440, (2015).

[1] Figure Of Merit (FOM)

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]