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

بررسی حسگر زیستی فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی حاوی گرافن و لایه نازک دی اکسید تیتانیوم

شاخوان جلال جبار[۱]، محمد کوهی[۱،۲،*]، ربابه طالب زاده[۱،۲]

[۱] گروه فیزیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
[۲] مرکز تحقیقات بیوفوتونیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

چکیده: در این مقاله ساختار یک حسگر زیستی فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی با لایه های هیبریدی گرافن و دی اکسید تیتانیوم برای افزایش کارآیی حسگر پیشنهاد شده است. با روش ماتریس انتقال، توان عبوری نرمالیزه محاسبه و طول موج تشدید بدست آمده است. با افزایش ضریب شکست محیط حساس طول موج های تشدید به طرف طول موج های بزرگتر جابجا می شوند. آهنگ افزایش طول موج تشدید، با افزایش ضریب شکست محیط حساس بیشتر می شود. نتایج نشان می دهند حساسیت حسگر زیستی با استفاده از ضخامت لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم افزایش می یابد. با اضافه کردن لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم به ضخامت 5 nm قبل از لایه ی گرافن حساسیت حسگر زیستی از 2350 nm/RIU به 2600 nm/RIU افزایش یافت.

کلید واژگان: حسگر زیستی؛ تشدید پلاسمون سطحی؛ گرافن؛ حساسیت

Investigation of Fiber Optic Surface Plasmon Resonance Biosensor Containing Graphene and Titanium Dioxide Thin Film

Shakhawan Jalal Jabar[1], Mohammad Kouhi[1, 2], Robabeh Talebzadeh[1, 2]

[1] Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
[2] Biophotonic Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Abstract- In this paper, a fiber optic surface plasmon resonance biosensor with hybrid layers of graphene and titanium dioxide is proposed to increase efficiency. The normalized transmission power and resonance wavelength have been calculated by the transfer matrix method. With increasing the refractive index of the sensing medium, the resonance wavelengths are shifted to the larger wavelengths. The rate of the increase in resonance wavelength increases with the increasing refractive index of the sensing medium. Therefore, in the range of larger refractive index of the sensing medium, greater sensitivity is obtained. The results show that the sensitivity of the biosensor increases with the use of the titanium dioxide thin layer. By adding a 5 nm thick layer of titanium dioxide before the graphene layer, the sensitivity of the biosensor was increased from 2350 nm/RIU to 2600 nm/RIU.

Keywords: Biosensor; Surface plasmon resonance; Graphene; Sensitivity

* kouhi@iaut.ac.ir

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

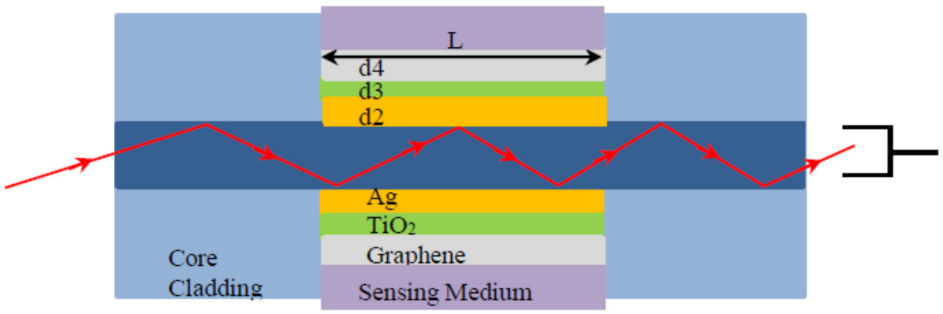
[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

۱- مقدمه

فرآیند تحریک پلاسمون سطحی در حسگرهای فیبر نوری با کمی اختلاف شبیه پیکربندی کریتشمن است. نور توسط فیبر نوری هدایت می شود و برعکس روش منشوری، کنترل زاویه تابش امکان پذیر نیست. بنابراین، ردیابی تغییر طول موج تشدید در طیف نوری اساس حسگری است. در مرجع[۱] برای افزایش حساسیت حسگر فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی از لایه ی گرافن پوشش داده شده روی طلا استفاده شده است. اما در مرجع [۲] لایه گرافن تنها نبوده و بصورت هیبرید شده مورد استفاده قرار گرفته است. در تحقیق حاضر لایه ی گرافن به همراه لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم جهت افزایش حساسیت حسگر زیستی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- ساختار حسگر زیستی

ساختار حسگر زیستی فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. در طول L=15 mm پوشش فیبر نوری برداشته شده و بجای آن ابتدا لایه ی نقره به ضخامت 50 nm پوشش داده شده و سپس لایه ی نازکی از دی اکسید تیتانیوم لایه نشانی شده و بعد لایه هایی از گرافن قرار داده می شود و نهایتا محیط حساس که می تواند انواع پروب های DNA یا ماده زیستی با غلظت های متفاوت حاوی عناصر شیمیایی باشد. در اینجا برای مشابهت سازی با عوامل بیولوژیکی، ضریب شکست ناحیه ی حساس از 1.33 تا 1.37 تغییر داده شده است. قطر فیبرنوری 62.5 µm و روزنه عددی 0.14 منظور و مشخصات اپتیکی لایه های مختلف از مراجع[۳-۵]اخذ شده اند.



شکل ۱- ساختار حسگر زیستی پیشنهادی

رابطه توان عبوری نرمالیزه یک حسگر فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی برای تمام پرتوهای هدایت شده به صورت زیر است[۵].

$$P_{trans}=\frac{\int_{\theta_{cr}}^{\pi/2} R_p^{N_{ref}(\theta)} \frac{n_1{}^2 sin\theta cos\theta}{\left(1-n_1^2 cos^2\theta\right)^2} d\theta}{\int_{\theta_{cr}}^{\pi/2} \frac{n_1{}^2 sin\theta cos\theta}{\left(1-n_1^2 cos^2\theta\right)^2} d\theta} \qquad (۱)$$

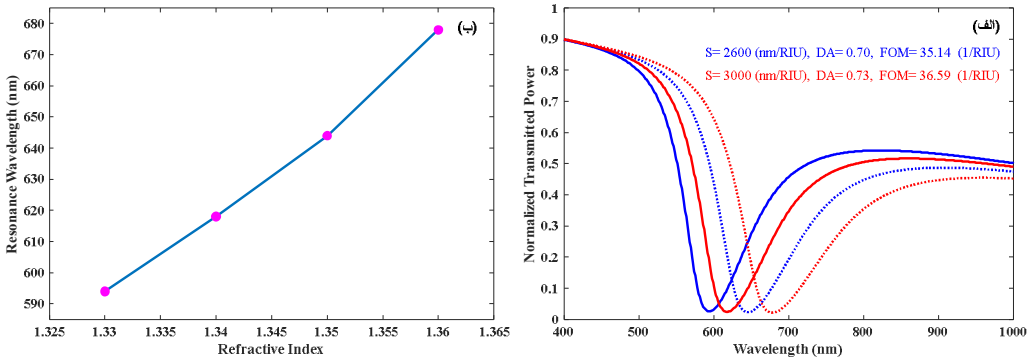
که R_p بازتابندگی برای پرتو نور پلاریزه خطی نوع p با مدل ماتریس انتقال N لایه ای بدست می آید. پرتو نور از یک انتها به داخل فیبر نوری تزریق شده و توان عبوری نرمالیزه در انتهای دیگر محاسبه می شود. به ازای طول موجی که تشدید پلاسمون سطحی اتفاق می افتد، توان عبوری نرمالیزه مینیمم خواهد شد. اگر ضریب شکست محیط حساس به اندازه Δn_s افزایش یابد، طول موج تشدید به اندازه $\Delta\lambda_{res}$ افزایش یافته و حساسیت حسگر بصورت نسبت اندازه جابجایی طول موج تشدید به تغییر ضریب شکست ($S=\frac{\Delta\lambda_{res}}{\Delta n_s}$) تعریف می شود[۵]. پارامتر بدون بُعد دقت تشخیص(DA) بصورت نسبت جابجایی طول موج تشدید $\Delta\lambda_{res}$ به پهنا در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM)، $\Delta\lambda_{0.5}$ تعریف می شود. و نسبت حساسیت حسگر به $\Delta\lambda_{0.5}$ طیف تشدید پلاسمون سطحی را معیار شایستگی (FOM) حسگر زیستی می نامند[۳]. در این مقاله سه پارامتر (حساسیت، دقت تشخیص و معیار شایستگی) به عنوان پارامترهای کارآیی مطالعه شده اند.

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

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

۳- نتایج و بحث

در حضور یک لایه ی گرافن و بدون لایه ی دی اکسید تیتانیوم، حساسیت حسگر زیستی 2350 nm/RIU بدست آمد. در حالیکه اضافه کردن لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم به ضخامت 5 nm قبل از لایه ی گرافن باعث افزایش حساسیت حسگر زیستی به 2600 nm/RIU شد. شکل ۲الف نمودارهای تشدید پلاسمونی برای ضریب شکستهای مختلف محیط حساس را نشان می دهد. با افزایش ضریب شکست محیط حساس، طول موج های تشدید به طرف طول موج های بزرگتر جابجا می شوند. مطابق شکل ۲ب اندازه افزایش طول موج تشدید با افزایش ضریب شکست بیشتر می شود. لذا انتظار می رود، در ناحیه ی ضریب شکست های بزرگتر حساسیت حسگر زیستی بزرگتر باشد.



شکل ۲-الف) توان عبوری نرمالیزه برای ضرایب شکست محیط حساس 1.33، 1.34، 1.35 و 1.36 **ب)** طول موج تشدید برحسب ضریب شکست

در جدول ۱ محاسبات مربوط به کارآیی حسگر زیستی با یک لایه ی گرافن و 5 nm لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم در بازه های یکسان تغییر ضریب شکست 0.01 نشان داده شده است. ملاحظه می شود با افزایش محدوده تغییرات ضریب شکست محیط حساس، پارامترهای کارآیی حسگر زیستی افزایش یافته است. روند افزایش پارامترهای کارآیی تا ضریب شکست 1.36 تقریبا خطی بوده اما با افزایش بیشتر از آن به نظر می رسد که آهنگ افزایش پارامترهای کارآیی رشد بیشتری داشته باشد. این رفتار با توجه به نحوه ی جابجایی طول موج تشدید پلاسمون سطحی، مطابق شکل ۲ب، به طول موج های بزرگتر در اثر افزایش ضریب شکست محیط حساس قابل توجیه است. در این مقاله ساختار یک حسگر زیستی فیبر نوری تشدید پلاسمونی با لایه های هیبریدی گرافن و دی اکسید تیتانیوم برای افزایش کارآیی حسگر پیشنهاد شد. حساسیت حسگر زیستی با افزودن لایه ی نازک دی اکسید تیتانیوم نسبت به حسگر متداول افزایش می یابد. نویسندگان مرجع [۱] با استفاده از لایه های گرافن و نویسندگان مرجع [۵] با استفاده از لایه های گرافن و دی سولفید تنگستن حساسیت حسگر زیستی را به ترتیب 2550 nm/RIU و 3200 nm/RIU بدست آورده اند. بنابراین، حداکثر حساسیت 4800 nm/RIU به دست آمده در اینجا نشان دهنده قابل توجه بودن طرح حسگر زیستی پیشنهاد شده در این مقاله است.

جدول ۱- پارامترهای کارآیی حسگر زیستی برحسب محدوده ضریب شکست محیط حساس

ns(i)	ns(f)	S (nm/RIU)	DA	FOM (1/RIU)
1.33	1.34	2400	0.32	32.43
1.34	1.35	2800	0.34	34.15
1.35	1.36	3200	0.36	35.56
1.36	1.37	3900	0.39	38.61
1.37	1.38	4800	0.44	43.64

مراجع

1. K. N. Shushama et. al. **Optics Communications 383**(15) 186, 2017.
2. M. S. Rahman et. al. **Optics Communications 396**(1) 36, 2017.
3. A. K. Mishra et. al. J. Phys. Chem. C 120(5) 2893, 2016.
4. S. Singh, B. Gupta, **Meas. Sci. Technol. 21**(11) 5202, 2010.
5. M. S. Rahman *et. al*. **Photonics Nanostructures-Fundamentals Applications 33** 29, 2019.

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

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