



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۳۹۷ بهمن ۹-۱۱



طراحی حسگر ملکول‌های زیستی محلول در آب دی‌یونیزه با استفاده از پلاسمون‌های سطحی گرافن-طلا

زینب صادقی، حسین شیرکانی

گروه فیزیک دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

چکیده - در این مقاله با استفاده از گریٲینگ دوزنقه‌ای طلا در مجاورت گرافن، پلاسمون‌های سطحی در ناحیه فروسرخ نزدیک تشکیل داده شد. سپس وابستگی طول موج تشدید پلاسمون‌ها به پارامترهای نوری آب دی‌یونیزه که به عنوان حلال ملکول‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته است. این ساختار به عنوان حسگری زیستی در ناحیه فروسرخ نزدیک پیشنهاد شده است. بدین منظور ضریب حساسیت $S = \Delta\lambda / \Delta n$ و همچنین ضریب کیفیت سنسور $Q = S / \text{FWHM}$ در ضریب شکست های $n = 1.333$ و با تغییرات ضریب شکست $\Delta n = 0.001$ محاسبه شد. سپس به بررسی تاثیر گریٲینگ‌های دوزنقه و مربع در حساسیت و کیفیت حسگر پیشنهادی پرداخته شده و بهترین مقدار به ازای گریٲینگ دوزنقه به ترتیب 900 nm/RIU و 1731 گزارش شد.

کلید واژه- حسگر زیستی، پلاسمون سطحی، گرافن.

Designing a Sensor for Biomolecule in Deionization Water by Using Graphene-Gold SPs

Zeynab Sadeghi, Hossein Shirvani

Physics department of Persian Gulf University

Abstract- In this paper, by using trapezoid gold grating that covered by a graphene monolayer a surface Plasmon's were formed in the near infrared region. By using the wavelength dependence of the Plasmon's resonance on the optical properties of deionization water that is use for making biomolecules solution has been investigated. a biosensor in near infrared were suggested. By introducing the sensitivity coefficient of $S = \Delta\lambda / \Delta n$, and the quality factor $Q = S / \text{FWHM}$ in refractive index from $n = 1.333$ and $\Delta n = 0.001$ sensitivity of the structure for deionization water was calculated. Then, the effect of trapezoidal and square grating on the sensor sensitivity and Quality was investigated and the best value for trapezoidal grating 900 nm/RIU and 1731 , was reported respectively.

Keywords: biosensor, surface Plasmon, graphene.

مقدمه

حدود ۲۲۵,۰۰۰ مورد جدید سرطان ریه و حدود ۱۵۸,۸۷۰ مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در سال ۲۰۱۷ در ایالات متحده تشخیص داده شده است، که نشان‌دهنده حدود ۱۴٪ از تمام تشخیص‌های سرطان است [۱]. سیگار کشیدن و قرار گرفتن در معرض دود از علت‌های اصلی سرطان ریه است و برآورد می‌شود که هر ساله حدود ۷۰,۰۰۰ مرگ و میر ناشی از سرطان ریه را به همراه دارد [۲]. این بیماران مبتلا بی‌تردید نیازمند بهره‌گیری از یک حسگر دقیق، ارزان، سریع و با کاربری آسان برای تشخیص تومورهای سرطانی هستند. به همین دلیل توسعه حسگرهای زیستی قابل کاشت و غیرتهاجمی مورد توجه بسیاری قرار دارند. یکی از روش‌های مورد توجه و بسیار پرکاربرد در ساخت و طراحی حسگرهای حساس، استفاده از تکنیک پلاسمون‌های سطحی می‌باشد. یک موج پلاسمون سطحی، یک موج الکترومغناطیسی است که در مرز بین فلز و نافلز منتشر می‌شود. ثابت انتشار موج پلاسمون سطحی با فرمول زیر داده می‌شود:

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_D}{\epsilon_m + \epsilon_D}} \quad (1)$$

که در این فرمول ϵ_m و ϵ_D توابع دی‌الکتریک برای فلز و دی‌الکتریک هستند.

گرافن یک ماده دوبعدی با ساختار شش وجهی از اتم‌های کربن است که در رنج فرکانسی THz و mid infrared کاربردهای بسیاری را در اطلاعات و ارتباطات، علوم پزشکی، امنیت داخلی، نظامی و حسگرهای زیستی دارد. قرارگیری گرافن بر روی طلا علاوه بر بهبود کیفیت پلاسمون‌های سطحی به علت نسبت سطح به حجم بالای آن می‌تواند با ملکول‌های گازی و زیستی بیشتری در تماس بوده و همچنین از اکسیداسیون فلز جلوگیری

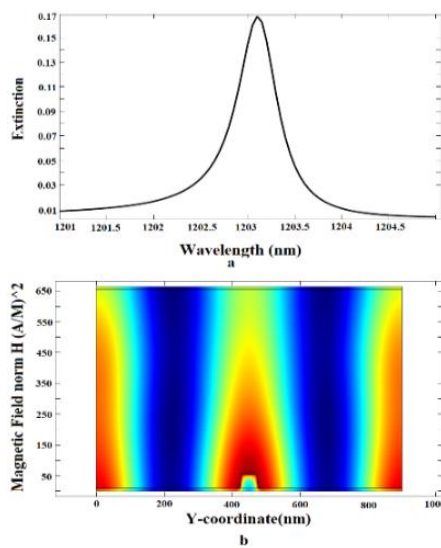
کند [۳]. که منجر به استفاده گسترده آن در حسگرها شده است.

با توجه به این واقعیت که بیشترین میزان از میدان پلاسمون‌های سطحی در دی‌الکتریک متمرکز شده است. ثابت انتشار پلاسمون‌های سطحی نسبت به تغییرات ضریب شکست دی‌الکتریک بسیار حساس است. بنابراین وقتی المان‌های تشخیصی بر روی سطح فلز، ملکول‌های زیستی موجود در آب دی‌یونیزه را شناسایی کرده و گیر می‌اندازند، جذب آنالیت موجود در مایع نمونه باعث یک افزایش محلی در ضریب شکست سطح فلز شده و در نتیجه موجب افزایش غلظت محلول می‌شود که می‌توان بوسیله روش‌های نوری به‌طور دقیق آن را اندازه‌گیری کرد.

در این مقاله حسگری زیستی متشکل از گریپینگ دوزنقه-ای گرافن-طلا پیشنهاد داده شده است. حساسیت و کیفیت پیشنهادی بر اساس تغییرات ضریب شکست لایه حساس نیز محاسبه و بررسی شده است و این محاسبات با برنامه شبیه‌سازی COMSOL Multiphysics و روش المان محدود (FEM) صورت پذیرفته است.

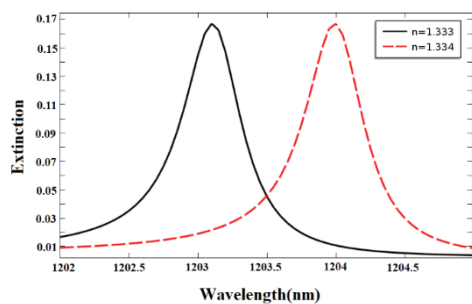
ساختار

در این مقاله، گرافن بر روی ساختاری با گریپینگ دوزنقه طلا به منظور اهدافی همانند سنجش ملکول‌های زیستی پیشنهاد شده است. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود گریپینگ دوزنقه طلا با ضخامت $a=46\text{nm}$ ، ضلع بزرگ $b=56\text{nm}$ و ضلع کوچک $c=46\text{nm}$ بر روی زیرلایه طلا با ضخامت $h=10\text{nm}$ قرار گرفته شده و یک لایه گرافن با ضخامت 0.34nm بر روی آن قرار داده شده است. در مجاورت گرافن یک لایه حساس، روی کل ساختار پوشانده شده و میزان حساسیت پلاسمون‌های سطحی نسبت به ضریب شکست این لایه مورد بررسی قرار گرفته است. ضریب شکست برای لایه حساس 1.333 مطابق با آب



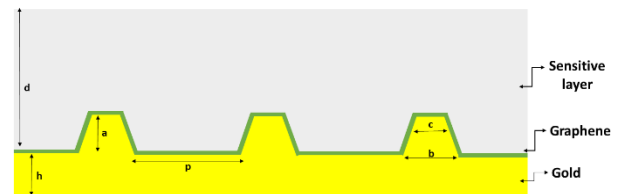
شکل ۲: الف. نمودار خاموشی سیستم بر حسب طول موج و ب. نمودار دوبعدی شدت میدان مغناطیسی در بیشینه مقدار خاموشی.

پس از اطمینان از حاصل شدن پلاسمون‌های سطحی، به بررسی حساسیت و کیفیت سنسور پرداخته می‌شود. حساسیت عملکرد سنسورهای ضریب شکست با پارامترهای حساسیت S و کیفیت سنسور Q ، که به ترتیب با $S = \Delta\lambda/\Delta n$ و $Q = S/\text{FWHM}$ تعریف می‌شوند، ارزیابی می‌شود. $\Delta\lambda$ تغییرات طول موج تشدید برانگیخته شده ناشی از تغییرات ضریب شکست Δn است و FWHM نیز پهنای پیک در نیمه ارتفاع بیشینه نمودار خاموشی است. تغییرات نمودار خاموشی سیستم را به ازای تغییر کوچکی به اندازه $\Delta n = 0.001$ در ضریب شکست در شکل ۳ رسم کرده و حساسیت و کیفیت حسگر محاسبه شد و به ترتیب مقادیرهای 900 nm/RIU و 1636 به دست آمد.



شکل ۳: نمودار خاموشی سیستم بر حسب طول موج به ازای تغییرات $\Delta n = 0.001$ ضریب شکست لایه حساس.

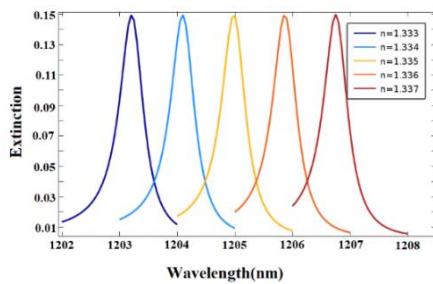
دی‌یونیزه شده در نظر گرفته شد. ساختار با دوره nm $p=900$ تکرار می‌شود. موج الکترومغناطیسی تخت با قطبش TM (مدهای TE پلاسمون‌های سطحی را برای این ساختار تشکیل نمی‌دهند) تحت زاویه تابش صفر درجه به ساختار تابیده شده است.



شکل ۱: شمایی از ساختار حسگر زیستی پیشنهادی مبتنی بر پلاسمون‌های تشکیل شده در گریٹینگ زوزنقه گرافن-طلا.

بحث و بررسی نتایج

در بسیاری از تکنیک‌ها تغییر ضریب شکست یک ماده، پارامتر اساسی و مهم تعیین کننده غلظت و ویژگی‌های آن ماده است [۴]. به همین منظور ساختاری بر مبنای گرافن-پلاسمون‌ها برای سنجش ضریب شکست آب دی‌یونیزه شده پیشنهاد داده شد. در شکل ۲-الف خاموشی ساختار بر حسب طول موج رسم شده است. همان‌طور که دیده می‌شود طیف خاموشی در طول موج 1203.1 به بیشترین مقدار خود می‌رسد. سپس شدت میدان مغناطیسی در بیشینه مقدار خاموشی برای لایه حساس به ازای ضریب شکست $n=1.333$ رسم شد (شکل ۲-ب).



شکل ۶: رسم خاموشی ساختار به ازای ضریب شکست‌های ۱.۳۳۳ تا ۱.۳۳۷ برای نشان دادن حساسیت حسگر.

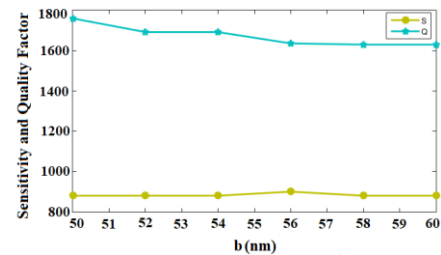
نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختاری متشکل از گریتینگ‌های گرافن-طلا با شکل دوزنقه به منظور سنجش ملکول‌های زیستی در ناحیه فروسرخ نزدیک پیشنهاد شده است. با بررسی طیف خاموشی، پلاسمون‌های سطحی شناسایی گردیده‌اند و تغییرات ماکزیمم فرکانس تشدید پلاسمون‌ها برحسب تغییرات ضریب شکست محلول زیستی مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات ضریب شکست نسبت به آب دی-یونیزه شده (۱.۳۳۳) در نظر گرفته شد و به ازای تغییرات ضریب شکست ۰.۰۰۱ ساختار هندسی گریتینگ بهینه گردید. بهترین مقادیر حساسیت و کیفیت برای ساختار به ترتیب ۹۰۰ nm/RIU و ۱۷۳۱ به دست آمد.

مرجع‌ها

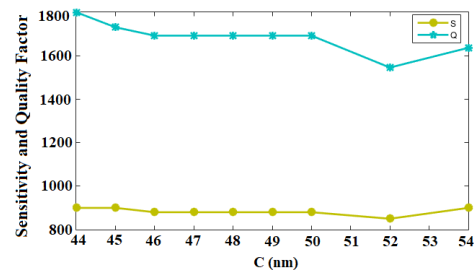
- [1]. Siegel, Rebecca L., Kimberly D. Miller, and Ahmedin Jemal. "Cancer statistics, 2017." CA: a cancer journal for clinicians 67, no. 1: 7-30, 2017.
- [2]. Boer, Rob, Suresh H. Moolgavkar, and David T. Levy. "Chapter 15: Impact of Tobacco Control on Lung Cancer Mortality in the United States Over the Period 1975–2000—Summary and Limitations." Risk Analysis: An International Journal 32: S190-S201, 2012.
- [3]. Chen, Ying, Jing Dong, Teng Liu, Qiguang Zhu, and Weidong Chen. "Refractive index sensing performance analysis of photonic crystal containing graphene based on optical Tamm state." Modern Physics Letters B 30, no. 04: 1650030, 2016.
- [4]. Zhao, Huaying, Patrick H. Brown, and Peter Schuck. "On the distribution of protein refractive index increments." Biophysical journal 100, no. 9: 2309-2317, 2011.

اکنون به منظور بهتر شدن حساسیت و کیفیت سنسور پیشنهادی به بهینه‌سازی ضلع پایین دوزنقه پرداخته‌شد. بهترین مقدار بهینه برای این پارامتر، مقدار ۵۴ nm می‌باشد که به ازای این مقدار، حساسیت و کیفیت حسگر پیشنهادی ۸۸۰ nm/RIU و ۱۶۹۲ افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۴: بهینه‌سازی ضلع پایین دوزنقه و محاسبه حساسیت (نمودار سبز-دایره) و کیفیت (نمودار آبی-ستاره) حسگر پیشنهادی.

اکنون به بهینه‌سازی ضلع بالای دوزنقه از ۴۴ nm تا ۵۴ nm پرداخته و مقدار بهینه ۴۵ برای این پارامتر انتخاب شد، که به ازای این پارامتر مقدار حساسیت و کیفیت حسگر به ترتیب ۹۰۰ nm/RIU و ۱۷۳۱ به دست آمد.



شکل ۵: بهینه‌سازی ضلع پایین دوزنقه و محاسبه حساسیت (نمودار سبز-دایره) و کیفیت (نمودار آبی-ستاره) حسگر پیشنهادی.

با انتخاب ساختار بهینه به بررسی میزان حساسیت و کیفیت حسگر زیستی نسبت به تغییرات غلظت ملکول‌های زیستی در حلال آب دی یونیزه پرداخته شد. برای این منظور طیف خاموشی سیستم به ازای ضریب شکست محلول در بازه ۱.۳۳۳ تا ۱.۳۳۷ با تغییرات ۰.۰۰۱ به دست آورده شد. (شکل ۶)