بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و
فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

طراحی و شبیه‌سازی حسگر گلوگز مبتنی بر رزونانسپلاسمون‌های سطحی با فیبر نوری

عبدالله علیزاده*[۱]، رضا اعلایی قراوانلو[۲]

[۱،۲] گروه مهندسی برق، دانشگاه بناب، بناب، alizadeh@ubonab.ac.ir

چکیده – در این مقاله حسگر گلوکوز مبتنی بر فیبر نوری طراحی و شبیه‌سازی شده است. ساختار حسگر متشکل از فیبر نوری تک مد بوده که قسمتی از آن صیقل داده شده است تا شکل سطح مقطع به صورت D دربیاید و با لایه فلزی پوشانده شده است. در نمونه‌هایی که از فلزات طلا یا نقره استفاده شده است، فرکانس رزونانس پلاسمون ها در ناحیه مرئی قرار میگیرد. اندازه گیری پروتئین‌ها و سایر مولکول‌های حیاتی اغلب در ناحیه IR انجام می شود. برای انتقال فرکانس رزونانس پلاسمون ها به ناحیه IR، از اکسیدقلع- ایندیم یا ITO(Indium tine oxide) استفاده می‌شود. برای تحریک بهتر پلاسمون‌های سطحی ازلایه گرافن نیز استفاده می‌شود که باعث افزایش حساسیت حسگر می‌شود. نتایج حاصل از شبیه سازی با روش FEM نشان می‌دهد که اگر در هر دو طرف لایه ITO، گرافن گذاشته شود، حساسیت حداکثر شده و مقدار ۶۵۰۰ nm/RIU بدست می‌آید.

کلید واژه- پلاسمون‌های سطحی، تلفات، حساسیت، حسگر، گرافن، گلوکز.

Design and simulation of glucose sensor based on SPR in optical fiber

Abdollah Alizade*[۱], Reza Alaie Qaravanlu[۲]

[۱،۲] □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□, □□□□□, □□□□

alizadeh@ubonab.ac.ir [۱], reza۱۳۷۳۰۹۰۶@gmail.com [۲]

Abstract- In this paper, a fiber optic based glucose sensor is designed and simulated. The structure of the biosensor consists of a single-mode optical fiber, with D shaped cross section, and coated by metal. When gold or silver used as metal layer, Plasmon resonant frequencies will be in the visible spectrum. Proteins and other biomolecules usually are measured in the IR region. To move plasmon resonant frequency to IR region, Indium Tin Oxside (ITO) is used such as metal layer. By introducing two graphene layer on the both side of ITO, performance of the sensor has been improved. The results of FEM simulation shows the sensitivity is ٦٥٠٠ nm / RIU.

Keywords: Biosensors, local surface plasmons, losses, sensitivity, graphene, glucose.

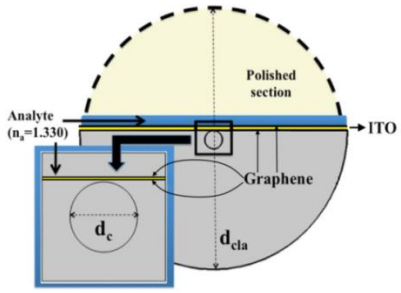
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

در طول دهه‌های گذشته، انواع مختلفی از حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری بر اساس رزونانس پلاسمون‌های سطحی ارائه شده است[۱]. پلاسمون‌های سطحی، نوسان دسته جمعی الکترون‌های آزاد فلزات در مرز مشترک با عایق‌ها است که در اثر تحریک نوری بوجود می‌آیند[۲]. پلاسمون‌های سطحی باعث افزایش میدان‌های محلی در مرز شده که می‌توان از آن‌ها در کاربردهای مختلف از جمله: سلول‌های خورشیدی، فیلترها و سوئیچ‌های نوری[۳]، آشکارسازهای نوری، گیت‌های منطقی نوری و حسگرهای نوری بهره جست. همچنین از طریق اندازه‌گیری ضریب شکست، می‌توان مواد شیمیایی مختلف و همچنین چندین پارامتر مختلف فیزیکی و بیولوژیکی را تشخیص داد. طی سال‌های گذشته، حسگر مبتنی بر رزونانس پلاسمون‌های سحطی با فیبر چند مد ، تک مد و قطبیده شده که با یک لایه فلزی نازک پوشش داده شده‌اند، ارائه شده است[۴].

ساختار اصلی حسگر

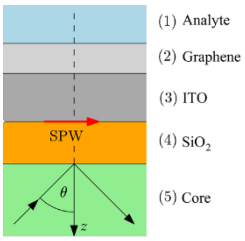
شماتیک حسگر طراحی شده در شکل ۱، نشان داده شده است. ساختار نسور متشکل از فیبر نوری تک مد بوده که قسمتی از آن صیقل داده شده تا سطح مقطع ان به شکل D رو به پایین دربیاید. از دو لایه گرافن در زیر و روی ITO بعنوان لایه فلزی استفاده شده است و آنالیت مورد سنجش بر بالای این لایه ها قرار می‌گیرد. قطر مغزی فیبر که با (dc) نشان داده شده،۸/۲ میکرومتر و قطر غلاف(clad)، ۱۲۵ میکرومتر در نظر گرفته شده است. سطح صیقل داده شده ۰/۲۵ میکرومتر از ناحیه مغزی فاصله دارد. عملکرد حسگر در محیط نرم‌افزار COMSOL شبیه سازی شده است. در این مقاله حالت‌های مختلف قرارگیری گرافن بر روی ITO، زیرITO ، و در هر دو طرف آن بررسی و نتایج مورد نظر ارایه می‌شود.



شکل ۱: شماتیک حسگر مبتنی بر فیبرنوری D-شکل [۱].

حالت اول: قرارگیری گرافن بر روی ITO

در شکل ۲، سطح مقطع حسگر نشان داده شده که در آن تمامی لایه‌های مورد استفاده مشهود است. در حسگر ۵ لایه تشکیل خواهد شد که به ترتیب از پایین به بالا، مغزی، اکسید سیلیکون، لایه ITO، گرافن و آنالیت هستند. اگر مطابق شکل ۲، یک لایه گرافن بر روی ITO، استفاده شود، تلفات و ضریب شکست موثر برای ساختار شکل۲ مطابق نمودار شکل ۳ بدست می‌آید.

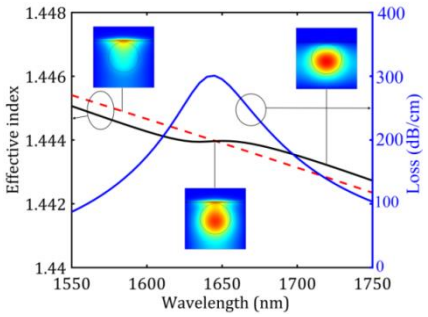


شکل۲: شماتیک لایه‌های مختلف حسگر در حالت اول.

بالاترین میزان تلفات بدست آمده حدود ۳۰۰(dB/cm) است که در طول‌موج ۱۶۵۰ نانومتر اتفاق افتاده است. در این طول‌موج شاهد برخورد دو ضریب شکست موثر مغزی و SPP هستیم. همان طور که از شکل ۳ معلوم می‌شود، در طول موج هایی پایین تر از رزونانس، ضریب شکست پلاسمونی(خط چین قرمز) بیشتر است و مد پلاسمونی حاکم می‌باشد. در طول موج های بزرگتر از طول موج رزونانس، ضریب شکست مغزی (خط سیاه ممتد) بیشتر

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

از ضریب شکست موثر پلاسمونی است و مد انتشار حاکم، مد حبس شده در مغزی می‌باشد.



شکل ۳: میزان تلفات و ضریب شکست موثر بر حسب طول‌موج برای ضریب شکست آنالیت ۱,۳۳.

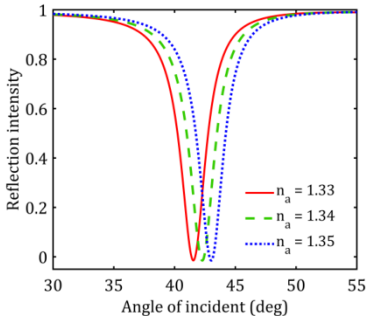
به منظور ارزیابی ومقایسه عملکرد حسگر، از پارامتر حساسیت استفاده می‌کنند که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_\lambda(\lambda)(\mathrm{nm/RIU}) = \partial\lambda_{res}/\partial n_a \qquad (۱)$$

که S، حساسیت، λ_{res} ، طول موج رزونانس، و n_a، ضریب شکست آنالیت می‌باشند. ضریب شکست آنالیت (گلوکز حل شده در آب خالص) به غلظت گلوکز وابسته است، این وابستگی علاوه بر غلظت گلوکز به دما نیز وجود دارد. در این تحقیق دما را ثابت و وابستگی ضریب شکست آنالیت به غلظت گلوکز با رابطه ۲ در نظر گرفته شده است [۵].

$$n(p) = ۱.۳۳۲۵ + ۱.۴۱۱e^{-۳}p + ۰.۵۱۰۸۸e^{-۵}p \qquad (۲)$$

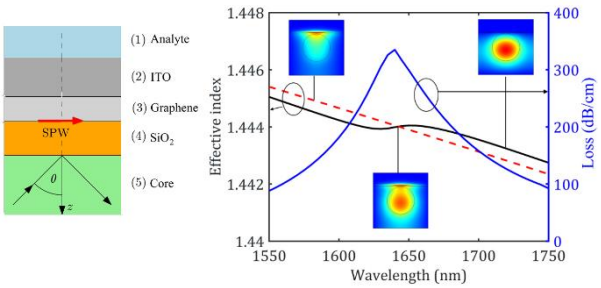
در رابطه۲، p غلظت گلوکز و n ضریب شکست آنالیت میباشد. بیشترین حساسیت بدست آمده در آرایش فوق، برابر ۵۵۰۰ (nm/RIU) بدست آمد. در شکل ۴، نمودار انعکاس برحسب زاویه فرودی به ازای آنالیت‌های مختلف، رسم شده است. طول موج نور تابشی ۱۵۵۰ نانومتر در نظر گرفته شده و همانطور که دیده می‌شود، میزان انعکاس با تغییر زاویه فرودی تغییر یافته و در یک زاویه‌ای خاص مقدار آن به صفر می‌رسد (زاویه بروستر). در این زاویه هیچ مولفه انعکاسی نداریم و تمام نور فرودی صرف تحریک پلاسمون‌های سطحی شده است. مطابق شکل ۴، با تغییر ضریب شکست، زاویه بروستر تغییر می‌کند. برای آنالیت با ضریب شکست ۱/۳۳، این زاویه برابر با ۴۱/۵ درجه، برای ضریب شکست ۱/۳۴، ۴۲/۲ درجه و برای ضریب شکست ۱/۳۵، ۴۳ درجه است.



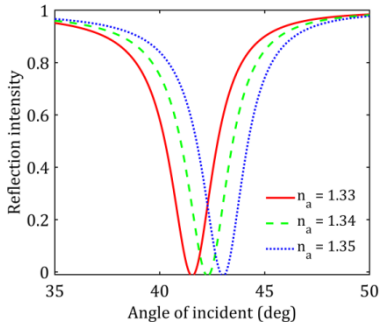
شکل ۴: نمودار میزان انعکاس برحسب زاویه فرودی برحسب درجه.

حالت دوم) قرارگیری لایه گرافن در زیر ITO

شکل ۵، شماتیک و تلفات و ضرایب شکست موثر، و شکل ۶ تغییرات زاویه بروستر را برای این حالت را نشان می‌دهند.



شکل ۵: شماتیک حالت دوم به همراه نمودار تلفات و ضریب شکست موثر برای مدهای مغزی و SPP به ازای ضریب شکست آنالیت ۱,۳۳.



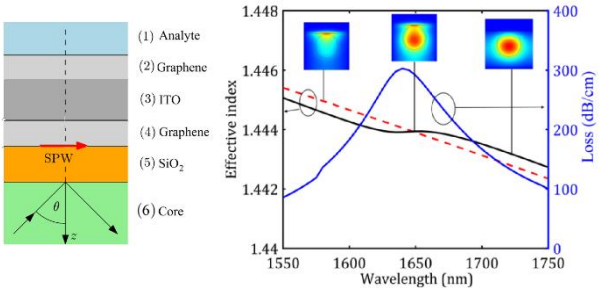
شکل ۶: نمودار میزان انعکاس برحسب زاویه فرودی برحسب درجه.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

برای آنالیت با ضریب شکست ۱/۳۳، مقدار تلفات بدست آمده حدود (dB/cm) ۳۵۰ بوده که در طول موج ۱۶۴۵ نانومتر اتفاق افتاده است. بالاترین حساسیت بدست آمده (nm/RIU) ۶۰۰۰ است که نسبت به حالتی که گرافن بر روی ITO قرار داشت (nm/RIU)۵۰۰ افزایش داشته است.

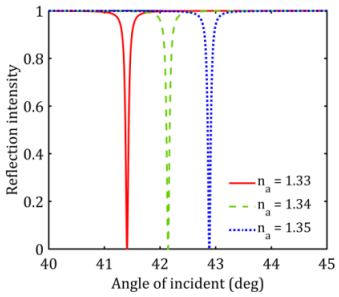
حالت سوم) گرافن در دو طرف ITO

موقعی که گرافن در زیر و بر روی ITO قرار گرفته باشد، نتایج با دو حالت قبلی متفاوت خواهد بود. در شکل ۷، ساختار لایه ها، نمودار تلفات، ضرایب شکست موثر و پروفایل توزیع میدان نشان داده شده است.



شکل ۷: شماتیک حالت سوم به همراه نمودار تلفات و ضریب شکست موثر برای مدهای مغزی و SPP به ازای ضریب شکست آنالیت ۱,۳۳.

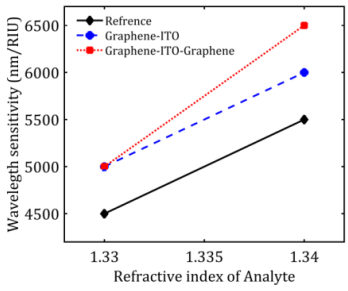
درضریب شکست آنالیت برابر با ۱/۳۳، مقدار تلفات بدست آمده حدود (dB/cm) ۳۰۰ بوده که در طول موج ۱۶۴۵ نانومتر اتفاق افتاده است. در شکل ۸، نمودار انعکاس برحسب زاویه فرودی به ازای آنالیت‌های مختلف، برای حالت سوم رسم شده است.



شکل ۸: نمودار میزان انعکاس به ازای ضرایب شکست مختلف آنالیت برحسب زاویه تابش

مقایسه و نتیجه گیری

حساسیت محاسبه شده در فرمول ۱، برای همه حالت ها برای دو ضریب شکست متفاوت در شکل ۹، نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، در صورتی که گرافن در زیر ITO و بر روی آن قرار گرفته باشد، بیشترین حساسیت را شاهد خواهیم بود که در ضریب شکست ۱/۳۴، به مقدار (nm/RIU)۶۵۰۰ رسیده است.



شکل ۹: مقایسه میزان حساسیت حسگر در سه حالت

نتایج حاصل از شبیه‌سازی حسگر آشکارساز سطح گلوکز مبتنی بر فیبر نوری D- شکل، نشان می‌دهد که در صورت استفاده از گرافن در هر دو طرف ITO به دلیل تحریک پلاسمون‌های سطحی و تقویت میدان الکتریکی، عملکرد حسگر بهبود یافته و حساسیت آن افزایش می‌یابد.

مرجع‌ها

[۱] Kim, H. et all. “Localized surface plasmon resonance biosensor using nanopatterned gold particles on the surface of an optical fiber”, Sensors and Actuators B: Chemical, ۲۸۰, ۱۸۳-۱۹۱,۲۰۱۹

[۲] Nicoletti, O et all. “Three-dimensional imaging of localized surface plasmon resonances of metal nanoparticles.” Nature, ۵۰۲(۷۴۶۹), ۸۰-۸۴. ۲۰۱۳.

[۳] Wang, A. “Mid-infrared plasmonic multispectral filters”, Scientific reports, ۸(۱), ۱-۷, ۲۰۱۸

[٤] Nasirifar, R., et all. “Dual channel optical fiber refractive index sensor based on surface plasmon resonance. Optik, ۱۸٦, ۱۹٤-۲۰٤, ۲۰۱۹

[٥] Carl F. et all. “Refractive Indices and Densities of Aqueous Solutions of Invert Sugar", National Bureau of Standards Monograph ٦٤, June ۷, ۱۹٦۳

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]