# اثر افزودن گرافن به حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی

علیرضا کشاورز، ثریا زنگنه زاده

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

**چکیده - حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی به علت اندازه گیری با دقت بالا پارامترهای شیمیایی و زیستی اخیرا مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته اند. در این مقاله اثر افزودن گرافن به حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی به صورت عددی با استفاده از ضرایب بازتاب فرنل شبیه سازی و بررسی شده است. برای بررسی دقیق تر عملکرد این حسگرها نمودار تشدید پلاسمون سطحی در حالت های مختلف مانند تعداد لایه های متفاوت گرافن، ضخامت متفاوت لایه طلا و منشور های *2S2G* و *Silica* رسم شده است. نتیجه های شبیه سازی نشان می دهند که افزودن گرافن به حسگر موجب افزایش حساسیت آن می شود.**

کلید واژه- حسگر ، گرافن ، ضرایب فرنل ، تشدید پلاسمون سطحی

# The effect of adding graphene to sensors based on surface plasmon resonance

A. Keshavarz, S. Zangeneh Zadeh

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract-sensors based on surface plasmon resonance due to high accuracy measurement of chemical and biological parameters are considered by many scientists recently. In this paper, the effect of adding graphene to sensors based on surface plasmon resonance is numerically simulated and investigated by using Fresnel reflection coefficient. For accuracy investigation of performance of these sensors, surface plasmon resonance curve in different cases that is plotted versus different number of graphene layers, different thickness of gold and silica and 2S2G prisms. Simulation results show that adding graphene to sensors causes the increase of sensitivity.

Keywords: sensor, graphene, Fresnel coefficient, surface plasmon resonance

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01 ]



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

## ۱_مقدمه

روش های اندازه گیری حساسیت مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی کاربردهای وسیعی در اندازه گیری تغییرات پارامترهای شیمیایی و زیستی شامل ضریب شکست دارند. حسگرهایی که بر این اساس ساخته می شوند برای آشکارسازی بیومولکول ها در یک نمونه مایع استفاده می شوند[۱]. در متداول ترین ساختار این حسگرها یک لایه نازک فلزی از فلزات نجیب مانند طلا و نقره به روی سطح یک منشور لایه نشانی می شود. در سطح تماس بیومولکول ها با فلز جذب سطحی اتفاق می افتد که موجب تغییر ضریب شکست در نزدیکی سطح فلز می شود[۲]. به علت جذب سطحی پایین فلزات برای بهبود عملکرد حسگر ها از گرافن استفاده می شود. گرافن با استفاده از ساختار حلقه ای کربن تغییرات بیشتری در ضریب شکست در نزدیکی سطحش ایجاد می کند[۱].

شبیه سازی های انجام شده در این مقاله با استفاده از روش ضرایب بازتاب فرنل هستند که با نتایج ارائه شده در مرجع[۳] کاملا همخوانی دارند.

## ۲_مبانی نظری

زمانی که ثابت انتشار نور فرودی با قطبش P به روی سطح منشور و ثابت انتشار موج پلاسمون سطحی(SPW) برابر شوند پلاسمون های سطحی برانگیخته می شوند. این رخداد در یک زاویه ویژه اتفاق می افتد که شدت نور بازتاب شده از سطح منشور به حداقل می رسد و این پدیده توسط رابطه (۱) توصیف می شود [۱].

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} n_1 \sin\theta_{SPR} = \mathrm{Re}\left[\sqrt{\frac{2\pi}{\lambda_0}\left(\frac{\varepsilon_m n_s^2}{\varepsilon_m + n_s^2}\right)}\right] \qquad (۱)$$

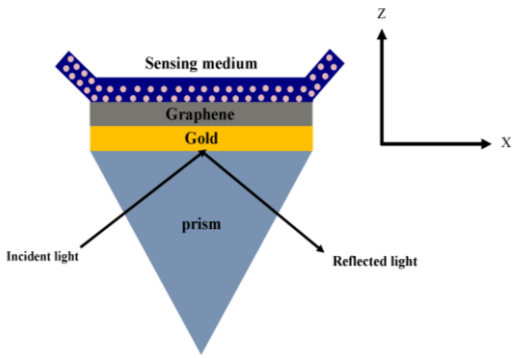
در این رابطه $n_1$ ضریب شکست منشور، $n_s$ ضریب شکست محیط نمونه، $\varepsilon_m$ ثابت دی الکتریک فلز و $\theta_{SPR}$ زاویه فرودی در حالت برانگیختگی است.

برای مطالعه بیشتر حسگرهایی که بر اساس گرافن کار می کنند لازم است خواص گرافن را بررسی کنیم. اندازه گیری های تجربی روی نور عبوری از گرافن نشان می دهند که شفافیت گرافن یک ثابت جهانی است که به طول موج فرودی وابسته نیست[۲]. ثابت دی الکتریک و ضریب شکست گرافن در ناحیه مرئی از محاسبات ضرایب فرنل بدست می آیند[۴].

$$n = 3.0 + i\frac{c_1}{3}\lambda_0 \qquad (۲)$$

در اینجا $c_1 = 5.446\mu m^{-1}$ می باشد .

ضخامت گرافن که بین دو لایه خلا قرار گرفته از $d = L \times 0.34nm$ محاسبه می شود که L تعداد لایه های گرافن است [۵]. هر لایه گرافن ۹۷/۷٪ نور فرودی را از خود عبور می دهد و ۲/۳٪ آن را جذب می کند که با افزایش تعداد لایه های گرافن نور عبوری کاهش می یابد [۲]. برای نور عبوری از منشور در فصل مشترک فلز _منشور بازتاب کلی رخ می دهد و یک موج ناپایدار شکل می گیرد که به لایه فلزی نفوذ می کند و با ثابت انتشار $k_x = n_{prism}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)$ در راستای x منتشر می شود [۲]. ساختار مورد مطالعه شامل ۴ لایه به ترتیب منشور، طلا، گرافن و محیط نمونه است که در شکل ۱ نشان داده شده است.




شکل ۱: ساختار حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی شامل منشور ، ورقه ی نازک طلا ، لایه گرافن و محیط نمونه .

منحنی تغییرات شدت بازتاب نسبت به زاویه فرودی را منحنی تشدید پلاسمون سطحی می نامند. بازتاب در این ساختار از روابط فرنل محاسبه می شود. برای نور عبوری از لایه iام به لایه kام ضریب بازتاب فرنل از رابطه (۳) محاسبه می شود[۶].

$$r_{ik} = \frac{\left(\frac{k_{zi}}{\varepsilon_i} - \frac{k_{zk}}{\varepsilon_k}\right)}{\left(\frac{k_{zi}}{\varepsilon_i} + \frac{k_{zk}}{\varepsilon_k}\right)} \qquad (۳)$$

$$k_{zi} = \frac{2\pi}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon_i - \varepsilon_0 (\sin\theta)^2} \qquad (۴)$$



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01 ]

که در آن θ زاویه فرودی است. $k_{zi}$ و $\varepsilon_i$ به ترتیب بردار موج و ثابت دی الکتریک iامین لایه هستند. ضریب بازتاب ساختار از رابطه زیر بدست می آید:

$$r_{012}=\frac{r_{01}+r_{12}\exp\left(2ik_{z2}d_2\right)}{1+r_{01}r_{12}\exp\left(2ik_{z2}d_2\right)} \qquad (۵)$$

رابطه (۵) برای ساختار سه لایه ای است که با جایگزینی $r_{123}$ به جای $r_{12}$ به چهار لایه تعمیم می یابد [۷].

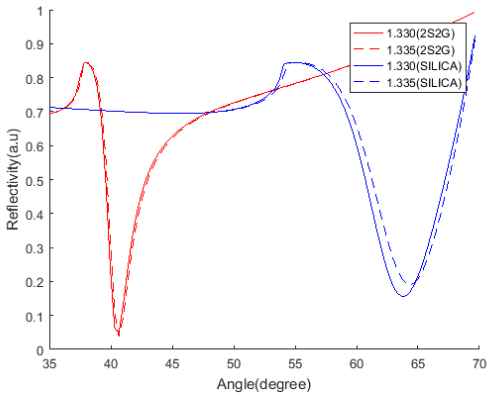
عملکرد این حسگرها بر اساس دو عامل سنجیده می شود. ابتدا حساسیت S که نسبت تغییرات زاویه تشدید به تغییرات ضریب شکست است و دوم دقت آشکار سازی D که عکس تمام پهنا در نصف بیشینه (FWHM) منحنی تشدید پلاسمون سطحی است [3].

$$S=\frac{\delta\theta_{SPR}}{\delta_n} \qquad (۶)$$

$$D=\frac{1}{FWHM} \qquad (۷)$$

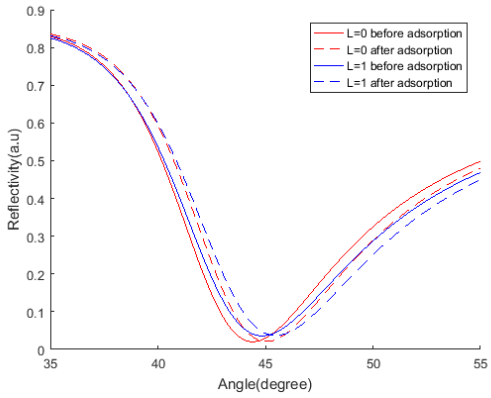
## ۳_ محاسبات

در شکل ۲ منحنی SPR برای دو منشور متفاوت سیلیکا و چلکوجناید (2S2G) رسم شده است. انتقال زاویه در دو نمونه متفاوت با ضرایب شکست ۱,۳۳۰ و ۱,۳۳۵ برای سیلیکا و 2S2G به ترتیب ۰,۴۶۶و ۰,۲۲۲ می باشد. این داده ها نشان می دهند که با افزودن منشور 2S2G حساسیت حسگر بیشتر می شود. با در نظر گرفتن تمام پهنا در نصف بیشینه برای دو منشور مشاهده می کنید که دقت آشکارسازی برای منشور 2S2G بالاتر است.



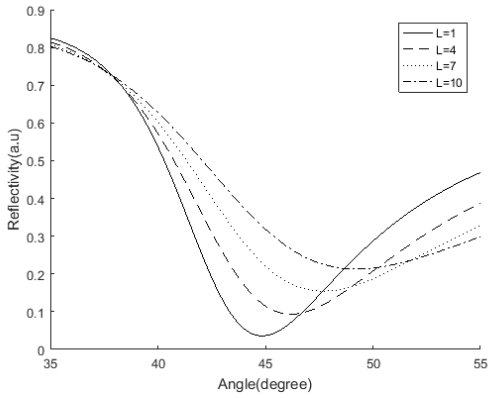

شکل ۲: نمودار تشدید پلاسمون سطحی برای دو منشور متفاوت 2S2G و سیلیکا برای طول موج فرودی ۶۳۲,۸nm

در شکل ۳ منحنی SPR برای دو حالت متفاوت قبل و بعد از افزودن یک لایه گرافن رسم شده است. منحنی های قرمز جذب سطحی را بعد از افزودن گرافن و آبی قبل از افزودن گرافن نشان می دهند. انتقال زاویه در مورد اول و دوم به ترتیب۰,۲۳۰ و ۰,۲۲۲ است که نشان می دهد اضافه کردن گرافن حساسیت حسگر را بهبود می بخشد.




شکل ۳: نمودار تشدید پلاسمون سطحی در طول موج فرودی ۶۳۲,۸nm برای قبل و بعد جذب سطحی .

در شکل ۴ منحنی SPR برای حسگر با تعداد لایه های مختلف گرافن رسم شده است. همانطور که مشاهده می کنید با افزایش تعداد لایه گرافن تمام پهنا در نصف بیشینه (FWHM) نمودار افزایش می یابد و به این ترتیب دقت آشکارسازی حسگر کاهش و حساسیت آن افزایش می یابد.




شکل ۴: نمودار تشدید پلاسمون سطحی در طول موج ۶۳۲,۸nm برای تعداد لایه های مختلف گرافن

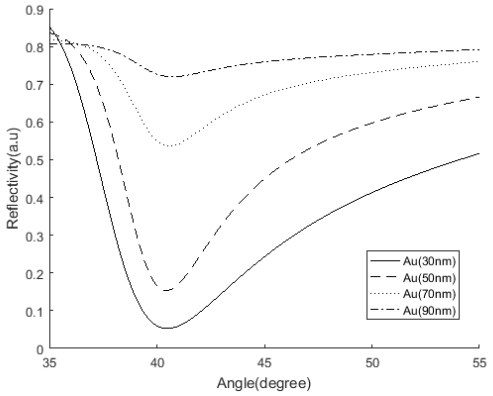
از دیگر عوامل موثر در سنجش عملکرد حسگرهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی تغییر ضخامت طلا در این



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

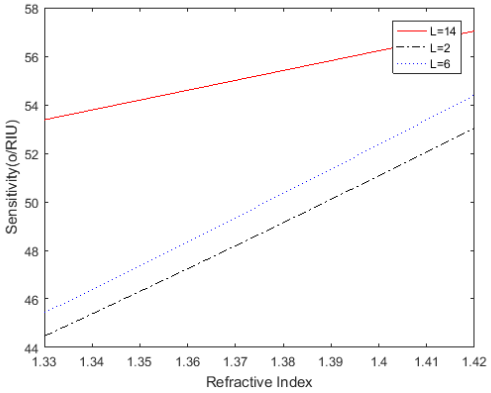
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01 ]

ساختار می باشد. در شکل ۵ نمودار برای ضخامت های متفاوت لایه طلا رسم شده است. در این نمودار تعداد لایه های گرافن L=۷ انتخاب شده است. از این شکل میتوان نتیجه گرفت که هرچه ضخامت لایه طلا بیشتر باشد دقت آشکارسازی حسگر افت پیدا می کند.




شکل ۵: نمودار تشدید پلاسمون سطحی برای لایه طلا با ضخامت های ۳۰nm، ۵۰nm، ۷۰nm و ۹۰nm در طول موج ۶۳۲,۸nm .

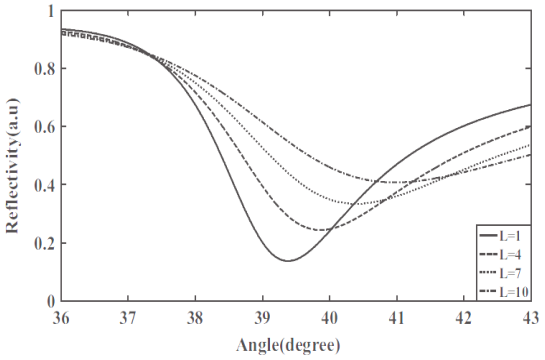
به علت جذب سطحی در لایه گرافن ضریب شکست در این ناحیه تغییر می کند که باعث تغییر در حساسیت حسگر می شود. شکل ۶ این تغییر حساسیت را برای تغییر ۰,۰۷ در ضریب شکست محیط نمونه نشان می دهد.




شکل ۶: نمودار حساسیت برحسب تغییرات ضریب شکست برای تعداد لایه های متفاوت گرافن

## ۴_نتیجه‌گیری

در این مقاله به صورت خلاصه تاثیر افزودن گرافن در حساسیت حسگرهایی که بر اساس تشدید پلاسمون سطحی کار می کنند مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از ضرایب بازتاب فرنل شبیه سازی شد. نتیجه ها نشان می دهند که افزودن گرافن موجب افزایش حساسیت حسگر می شود.




شکل ۷: نمودار تشدید پلاسمون سطحی در طول موج ۶۳۲,۸nm برای تعداد لایه های مختلف گرافن از مرجع[۳].

تعداد لایه های گرافن باید به صورت بهینه انتخاب شوند تا دقت آشکارسازی حسگر افت نکند. همچنین افزایش ضخامت لایه طلا موجب افت دقت آشکارسازی حسگر می شود و بهترین عملکرد حسگر در ضخامت های ۳۰nm و ۵۰nm طلا می باشد. همانطور که مشاهده می کنید میتوان از مقایسه کردن شکل های ۴ و ۷ استدلال کرد که نتیجه های ارائه شده در مرجع [۳] با روش ماتریس ABCD کاملا همخوانی دارند و میتوانند در طراحی های مشابه مورد استفاده قرار گیرند.

## مراجع

[1]R. Verma, BD.Gupta, R. jha, *Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance based biomolecules sensor using graphene and silicon layers*, p. 623-631, Sensors and Actuators B: Chemical 160, 2011.

[2]Wu. L., HS. Chu, WS. Koh, EP. Li, *Highly sensitive graphene biosensors based on surface plasmon resonance*, p.14395-14400, Optics express 18, 2010.

[3] PK. Maharana, R. Jha, *Chalcogenide prism and graphene multilayer based surface plasmon resonance affinity biosensor for high performance*, p. 161-166, Sensors and Actuators B: Chemical 169, 2012.

[4]M. Bruna, S. Borini, *Optical constants of graphene layers in the visible range*, p. 031901, Applied Physics Letters 94 ,2009.

[5]T. Tsukamoto, T. Ogino, *Morphology of graphene on step-controlled sapphire surfaces*, p. 075502, Applied physics express 2, 2009.

[6]N. Mehan, V. Gupta, K. Sreenivas, A. Mansingh, *Surface plasmon resonance based refractive index sensor for liquids*, 2005.

[7]K. Choi, H. Kim, Y. Lim, S. Kim, B. Lee, *Analytic design and visualization of multiple surface plasmon resonance excitation using angular spectrum decomposition for a Gaussian input beam*, p. 8866-8874, Optics express 13, 2005.



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01 ]