



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه خوارزمی،  
تهران، ایران.  
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸



## بهبود عملکرد حسگر زیستی مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی با استفاده از لایه گرافن

سیده بیتا سعادت‌مند<sup>۱\*</sup>، محمد جواد حاجی نجفی چمرکوه<sup>۱</sup>، وحید احمدی<sup>۱\*\*</sup>، سیده مهری حمیدی<sup>۲</sup>،  
فرزانه عربپور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه پژوهشی اپتوالکترونیک و نانوفوتونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت  
مدرس، تهران

<sup>۲</sup>پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

<sup>۳</sup>دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[\\*\\*v\\_ahmadi@modares.ac.ir](mailto:v_ahmadi@modares.ac.ir), [bita.saadatmand@modares.ac.ir](mailto:bita.saadatmand@modares.ac.ir)

چکیده - در این مقاله حسگر زیستی مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی متشکل از لایه نازک طلا، گرافن و کانال ریزسیال ساخته شده است. گرافن با استفاده از روش تبخیر شیمیایی لایه‌نشانی و با کمک پلیمر، بر روی بستر طلا منتقل می‌شود. نتایج به دست آمده حاصل از پیکربندی کرشمن نشان می‌دهد که استفاده از گرافن منجر به افزایش جذب مولکول‌های زیستی و در نتیجه افزایش حساسیت حسگر می‌شود.

کلید واژه- پیکربندی کرشمن، تشدید پلاسمون سطحی، حسگر زیستی، گرافن.

## Performance Improvement of Surface Plasmon Resonance Biosensor Using Graphene layer

Seyyede Bita Saadatmand<sup>1\*</sup>, Mohammad Javad Haji Najafi Chemerkoo<sup>1</sup>, Vahid  
Ahmadi<sup>1\*\*</sup>, Seyyede Mehri Hamidi<sup>2</sup>, Farzaneh Arabpour<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Optoelectronic and Nanophotonic Research Group, Faculty of Electrical and Computer  
Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

<sup>2</sup>Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

<sup>3</sup> Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

[\\*\\*v\\_ahmadi@modares.ac.ir](mailto:v_ahmadi@modares.ac.ir), [\\*bita.saadatmand@modares.ac.ir](mailto:bita.saadatmand@modares.ac.ir)

**Abstract-** In this paper, surface plasmon resonance biosensor consisting of functionalized gold surface by graphene and microfluidic channel is fabricated. Graphene is synthesized by chemical vapor deposition method and transferred to the gold substrate using polymer. The results obtained from the Kretschmann configuration show that the biosensor based on graphene functionalized gold is more sensitive than the bare one in biomolecules adsorption.

**Keywords:** Biosensor, Graphene, Kretschmann configuration, Surface plasmon resonance

## مقدمه

پلاسمون پلاریتون‌های سطحی، امواج الکترومغناطیسی هستند که در فصل مشترک یک فلز و یک دی‌الکتریک منتشر می‌شوند. حسگرهای زیستی مبتنی بر SPR<sup>۱</sup> از امواج پلاسمون پلاریتون‌های سطحی استفاده می‌کنند. این حسگرها حساسیت بالایی نسبت به تغییر ضریب شکست محیط اطراف دارند. تغییر ضریب شکست با ساکن شدن مولکول زیستی بر روی سطح حسگر ایجاد می‌شود و منجر به ایجاد تغییر در مشخصات SPR از قبیل تغییر زاویه‌ی تحریک، تغییر طول‌موج تحریک و یا تغییر شدت طیف بازتاب می‌گردد [۱-۳]. حساسیت حسگر زیستی SPR به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۳]:

$$S = \frac{\Delta P}{\Delta M} = \frac{\Delta P}{\Delta n} \frac{\Delta n}{\Delta M} = S_{RI} \cdot E \quad (1)$$

$S$  حساسیت کلی حسگر،  $P$  خروجی حسگر،  $M$  تعداد مول مولکول زیستی،  $n$  ضریب شکست،  $S_{RI}$  حساسیت به تغییر ضریب شکست و  $E$  بازده جذب مولکول‌های زیستی است و تعیین می‌کند که چند درصد مولکول‌های زیستی می‌توانند جذب و منجر به تغییر ضریب شکست شوند. برهمکنش ساختار لانه‌زنبوری کربنی در گرافن با حلقه‌های کربنی مولکول‌های زیستی، منجر به افزایش جذب مولکول‌های زیستی می‌گردد [۲]. از طرفی گرافن حساسیت به تغییر

ضریب شکست را افزایش می‌دهد، لذا استفاده از آن حساسیت کلی حسگر را بهبود می‌بخشد [۳]. در این تحقیق، حسگر زیستی با استفاده از لایه‌نازک طلا به‌دلیل پایداری خواص نوری و شیمیایی و انتشار SPR در طول‌موج مرئی، ساخته می‌شود. همچنین از گرافن به‌دلیل نسبت سطح به حجم بالا، برای جذب موثرتر مولکول‌های زیستی در مقایسه با طلا استفاده می‌شود.

## روش تجربی

### لایه‌نشانی گرافن با روش تبخیر شیمیایی

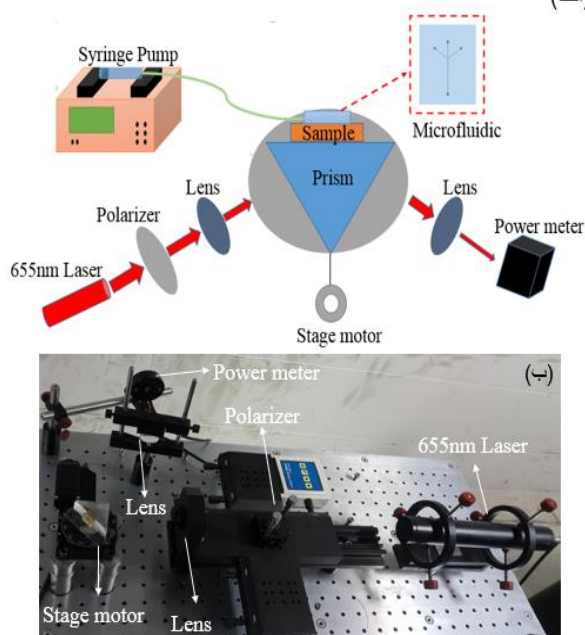
به‌دلیل انحلال‌پذیری کم اتم‌های کربن در دمای بالا روی سطح مس، از یک ورق مس با ضخامت ۲۰ میکرومتر به‌عنوان سطح کاتالیزور در لایه‌نشانی استفاده می‌گردد. ورق مس پس از تمیزکاری درون لوله کوارتز قرار داده می‌شود و گازهای استیلن، آرگون و هیدروژن با زمان، نسبت و دمای مشخص به لوله تزریق می‌گردند. همچنین از یک پمپ خلاء جهت کنترل فشار در طی لایه‌نشانی استفاده می‌شود. لازم به‌ذکر است که گرافن لایه‌نشانی شده توسط این روش کاملاً تک‌لایه نیست، زیرا نقص‌های نقطه‌ای موجود در ورق مس، اتم‌های کربن را به‌دام می‌اندازند، سپس این اتم‌ها جدا می‌شوند و منجر به افزایش تعداد لایه‌های گرافن می‌گردند.

<sup>۱</sup> Surface Plasmon Resonance

## انتقال گرافن

در این پیکربندی از جنس شیشه فلینت با ضریب شکست  $1/74$  است، شرایط لازم جهت تشدید پلاسمون سطحی فراهم می‌شود. مطابق شکل ۲ توسط قطبش گر، نور لیزر با طول موج  $655$  نانومتر به دو قطبش  $TM$  و  $TE^4$  جدا و با استفاده از عدسی کوژ، متمرکز می‌گردد. سپس در وجه دیگر منشور با استفاده از دستگاه توان سنج، توان نور بازتاب شده محاسبه می‌شود.

(الف)



شکل ۲: الف- شماتیک ب- چیدمان تجربی پیکربندی کرشمن جهت تشدید پلاسمون سطحی

همچنین به وسیله یک موتور چرخاننده دو محوری، منشور و توان سنج هم‌زمان با هم می‌چرخند و زاویه‌های مختلف جهت تشخیص زاویه تشدید بررسی می‌شوند.

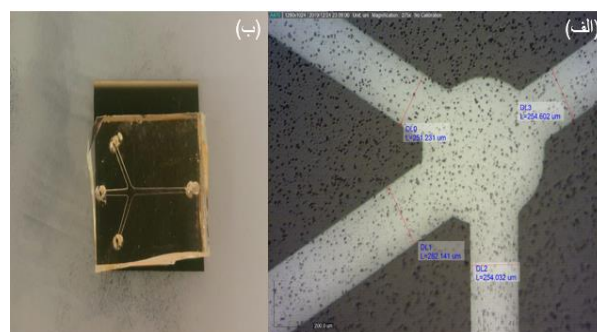
## نتایج

طیف رامان گرافن لایه‌نشانی شده و منتقل شده بر روی ویفر سیلیکون در شکل ۳ مشاهده می‌شود. براساس نسبت

به‌منظور انتقال گرافن لایه‌نشانی شده بر روی ورق مس، ضخامت میکرومتری از پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) جهت محافظت مکانیکی روی آن لایه‌نشانی می‌شود. سپس ورق مس توسط  $FeCl_3$  خورده می‌شود و گرافن به همراه پلیمر، روی بستر طلا با ضخامت  $35$  نانومتر قرار داده می‌شود. سپس پلیمر توسط بخار استون زدوده می‌گردد.

## ساخت کانال ریزسیال<sup>۲</sup>

ساخت افزاره ریزسیال شامل دو مرحله است. در مرحله اول با استفاده از لیتوگرافی نوری، شکل کانال بر روی ویفر سیلیکون الگودهی می‌شود و در مرحله دوم با ریختن پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان (PDMS) بر روی ویفر، کانال ساخته می‌شود. شکل ۱ کانال ساخته‌شده پلیمری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: الف- تصویر میکروسکوپ نوری از کانال میکروفلوئیدیک ساخته شده با استفاده از لیتوگرافی نوری به ترتیب با عرض و عمق  $300$  و  $100$  میکرومتر ب- نمونه طلا و گرافن و کانال ریزسیال

## پیکربندی کرشمن و تکنیک اندازه‌گیری

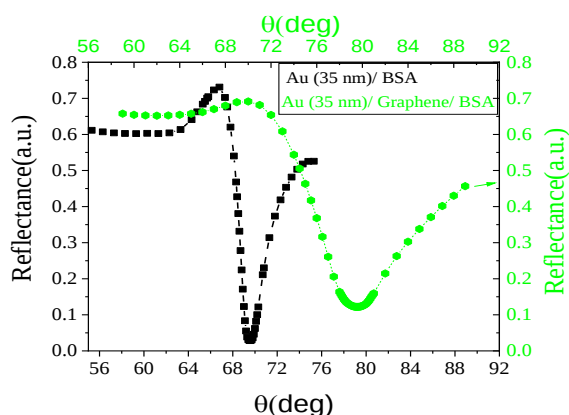
تشدید پلاسمون‌های سطحی پدیده‌ای است که با نور قطبش‌یافته  $TM^3$  به‌وجود می‌آید. با استفاده از ساختار کرشمن و بهره‌گیری از یک منشور به‌عنوان دی‌الکتریک، که

<sup>۲</sup> Microfluidic

<sup>۳</sup> Transverse Magnetic

<sup>۴</sup> Transverse Electric

زاویه تحریک است افزایش یافته است و حساسیت کلی ساختار بیشتر شده است.



شکل ۵: طیف SPR طلا بدون / با گرافن پس از تزریق پروتئین BSA

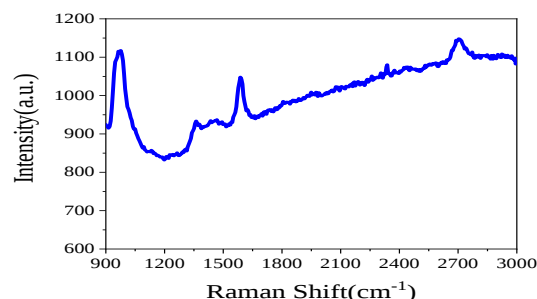
### نتیجه گیری

در این تحقیق حسگر زیستی مبتنی بر SPR با حساسیت بالا ساخته شد. گرافن علاوه بر زیست سازگاری به علت خواص نوری و شیمیایی منحصربه فرد، باعث افزایش حساسیت حسگر شد. با ادغام این حسگر و کانال ریزسیال، می توان مولکول های زیستی با غلظت و حجم کم را تشخیص داد.

### مرجع ها

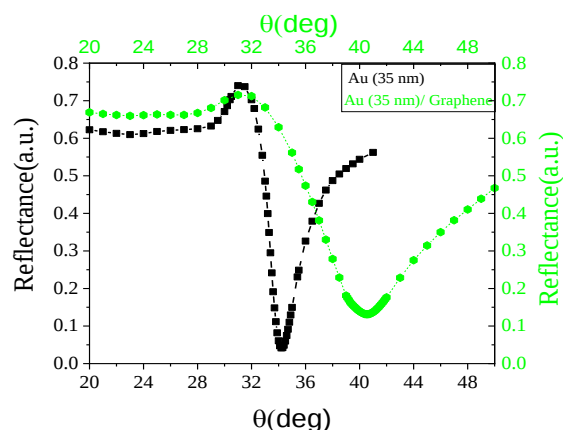
- [1] O. Salihoglu, S. Balki, and C. Kocabas, "Plasmon-polaritons on graphene-metal surface and their use in biosensors", *Applied Physics Letters*, Vol. 100, no. 21, pp. 213110, 2012.
- [2] S. Szunerits, N. Maalouli, E. Wijaya, J. Vilcot, and R. Boukherroub, "Recent advances in the development of graphene-based surface plasmon resonance (SPR) interfaces", *Analytical and bioanalytical chemistry*, Vol. 405, no. 5, PP.1435-1443, 2013.
- [3] L. Wu, H. S. Chu, W. S. Koh, and E. P. Li, "Highly sensitive graphene biosensors based on surface plasmon resonance", *Optics express*, Vol. 18, no. 14, pp. 14395-14400, 2010.

پیک های مشاهده شده، تعداد لایه های این ساختار زیاد نمی باشد.



شکل ۳: طیف رامان گرافن منتقل شده بر روی ویفر سیلیکون

در شکل ۴ مشاهده می شود که زاویه تحریک طلا برابر با ۳۴/۳ درجه است و پس از انتقال گرافن روی طلا، زاویه تحریک به ۴۱ درجه منتقل می گردد. همچنین طیف بازتابی به دلیل تلفات نوری گرافن پهن شدگی دارد.



شکل ۴: طیف SPR طلا بدون / با گرافن

برای بررسی عملکرد حسگر، ابتدا آب دیونیزه در کانال ریزسیال تزریق می شود و پس از ۲۰ دقیقه، ۵۰۰ نانومولار از سرم پروتئین آلبومین (BSA) وارد کانال می گردد. مشاهده می شود که مطابق با شکل ۵، زاویه تحریک بدون گرافن حدود ۳۵ درجه و در حضور گرافن حدود ۳۸ درجه جابه جا شده است که نشانگر افزایش حساسیت حسگر در صورت استفاده از گرافن است. مطابق با فرمول شماره ۱ به دلیل جذب بیشتر مولکول زیستی روی سطح گرافن نسبت به سطح بدون گرافن، تغییرات خروجی حسگر که