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*[۱]، محمد جواد حاجی نجفی چمرکوه[۱]، وحید احمدی[۱]، سیده مهری حمیدی[۲]، فرزانه عربپور[۱و۳]**

[۱]گروه پژوهشی اپتوالکترونیک و نانوفوتونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[۲]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

[۳] دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

v_ahmadi@modares.ac.ir, *bita.saadatmand@modares.ac.ir

چکیده - در این مقاله حسگر زیستی مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی متشکل از لایه‌نازک طلا، گرافن و کانال ریزسیال ساخته‌شده‌است. گرافن با استفاده از روش تبخیر شیمیایی لایه‌نشانی و با کمک پلیمر، برروی بستر طلا منتقل می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده حاصل از پیکربندی کرشمن نشان می‌دهد که استفاده از گرافن منجربه افزایش جذب مولکول‌های زیستی و درنتیجه افزایش حساسیت حسگر می‌شود.

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

Performance Improvement of Surface Plasmon Resonance Biosensor Using Graphene layer

Seyyedeh Bita Saadatmand[1*], Mohammad Javad Haji Najafi Chemerkooh[1], Vahid Ahmadi[1**], **Seyyedeh Mehri Hamidi[2]**, Farzaneh Arabpour[1, 3]

[1]Optoelectronic and Nanophotonic Research Group, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

[2]Laser and Plasma Research Institue, Shahid Beheshti University, Tehran

[3] Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

**v_ahmadi@modares.ac.ir, *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 مبتی بر SPR[1] از امواج پلاسمون پلاریتون‌های سطحی استفاده می‌کنند. این حسگرها حساسیت بالایی نسبت‌به تغییر ضریب شکست محیط اطراف دارند. تغییر ضریب شکست با ساکن شدن مولکول زیستی برروی 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]:

$$S = \frac{\Delta P}{\Delta M} = \frac{\Delta P}{\Delta n} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta M} = S_{RI} \cdot E \qquad (۱)$$

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.

[1] Surface Plasmon Resonance

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

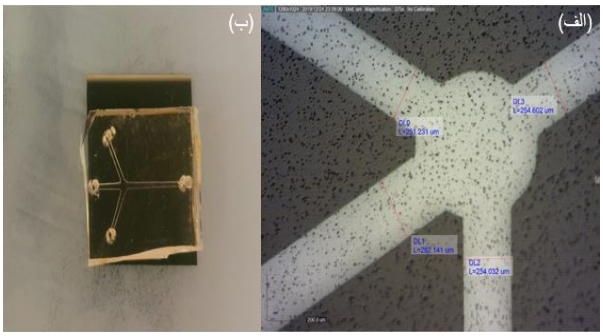
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

انتقال گرافن

به‌منظور انتقال گرافن لایه‌نشانی شده برروی ورق مس، ضخامت میکرومتری از پلی‌متیل‌متاکریلات (PMMA) جهت محافظت مکانیکی روی آن لایه‌نشانی می‌شود. سپس ورق مس توسط $FeCl_3$ خورده می‌شود و گرافن به‌همراه پلیمر، روی بستر طلا با ضخامت ۳۵ نانومتر قرار داده‌می‌شود. سپس پلیمر توسط بخار استون زدوده می‌گردد.

ساخت کانال ریزسیال[۲]

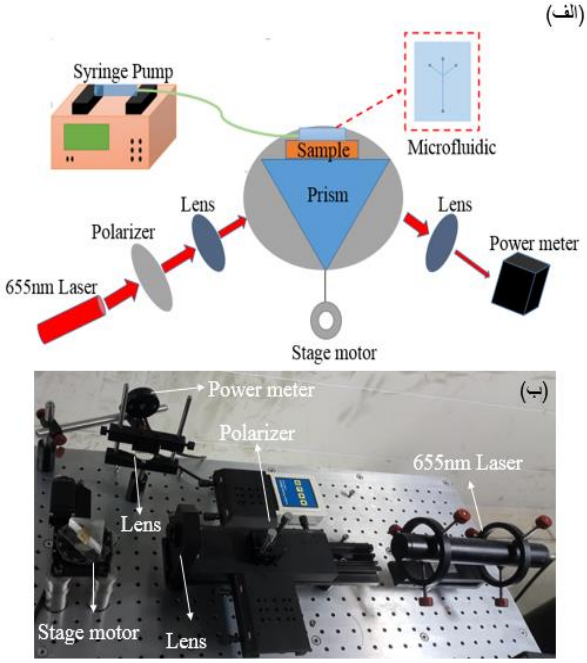
ساخت افزاره ریزسیال شامل دو مرحله است. در مرحله اول با استفاده از لیتوگرافی نوری، شکل کانال برروی ویفر سیلیکون الگودهی می‌شود و در مرحله دوم با ریختن پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان (PDMS) برروی ویفر، کانال ساخته می‌شود. شکل ۱ کانال ساخته‌شده پلیمری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: الف- تصویر میکروسکوپ نوری از کانال میکروفلوئیدیک ساخته شده با استفاده از لیتوگرافی نوری به‌ترتیب با عرض و عمق ۳۰۰ و ۱۰۰ میکرومتر ب-نمونه طلا و گرافن و کانال ریزسیال

پیکربندی کرشمن و تکنیک اندازه‌گیری

تشدید پلاسمون‌های سطحی پدیده‌ای است که با نور قطبش‌یافته TM[۳] به‌وجود می‌آید. با استفاده از ساختار کرشمن و بهره‌گیری از یک منشور به‌عنوان دی‌الکتریک، که در این پیکربندی از جنس شیشه فلینت با ضریب شکست ۱/۷۴ است، شرایط لازم جهت تشدید پلاسمون سطحی فراهم می‌شود. مطابق شکل ۲ توسط قطبش‌گر، نور لیزر با طول‌موج ۶۵۵ نانومتر به دو قطبش TM و TE[۴] جدا و با استفاده از عدسی کوژ، متمرکز می‌گردد. سپس در وجه دیگر منشور با استفاده از دستگاه توان‌سنج، توان نور بازتاب شده محاسبه می‌شود.



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

همچنین به‌وسیله یک موتور چرخاننده دو محوری، منشور و توان‌سنج هم‌زمان با هم می‌چرخند و زاویه‌های مختلف جهت تشخیص زاویه تشدید بررسی می‌شوند.

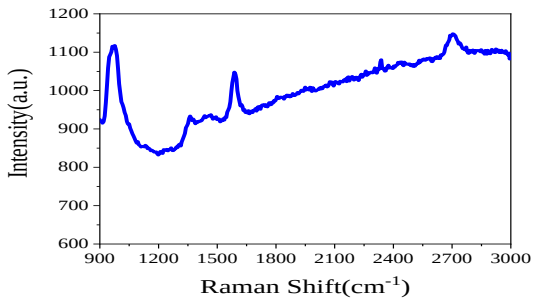
نتایج

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

[۲] Microfluidic
[3] Transverse Magnetic
[4] Transverse Electric

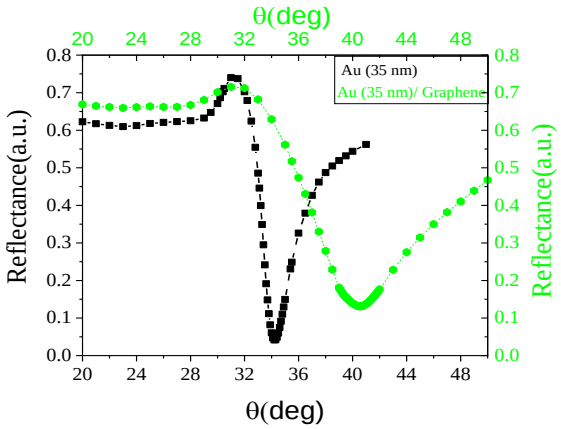
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

پیک‌های مشاهده شده، تعداد لایه‌های این ساختار زیاد نمی‌باشد.



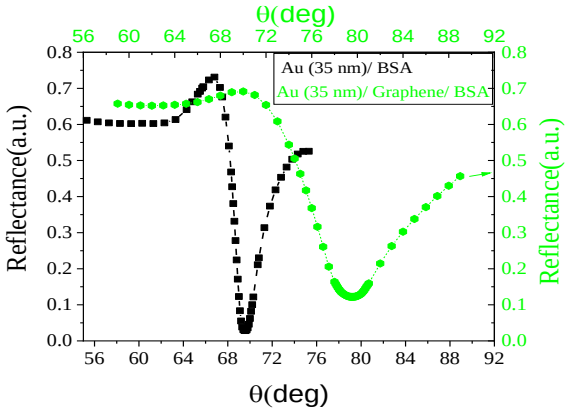
شکل ۳: طیف رامان گرافن منتقل شده برروی ویفر سیلیکون

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که زاویه تحریک طلا برابر با ۳۴/۳ درجه است و پس از انتقال گرافن روی طلا، زاویه تحریک به ۴۱ درجه منتقل می‌گردد. همچنین طیف بازتابی به‌دلیل تلفات نوری گرافن پهن‌شدگی دارد.



شکل ۴: طیف SPR طلا بدون/ با گرافن

برای بررسی عملکرد حسگر، ابتدا آب دیونیزه در کانال ریزسیال تزریق می‌شود و پس از ۲۰ دقیقه، ۵۰۰ نانومولار از سرم پروتئین آلبومین (BSA) وارد کانال می‌گردد. مشاهده می‌شود که مطابق با شکل ۵، زاویه تحریک بدون گرافن حدود ۳۵ درجه و درحضور گرافن حدود ۳۸ درجه جابه‌جا شده‌است که نشانگر افزایش حساسیت حسگر در صورت استفاده از گرافن است. مطابق با فرمول شماره ۱ به‌دلیل جذب بیشتر مولکول زیستی روی سطح گرافن نسبت به سطح بدون گرافن، تغییرات خروجی حسگر که زاویه تحریک است افزایش یافته است و حساسیت کلی ساختار بیشتر شده‌است.



شکل۵: طیف SPR طلا بدون/ با گرافن پس از تزریق پروتئین BSA

نتیجه‌گیری

در این تحقیق حسگر زیستی مبتنی بر SPR با حساسیت بالا ساخته شد. گرافن علاوه‌بر زیست‌سازگاری به‌علت خواص نوری و شیمیایی منحصربه‌فرد، باعث افزایش حساسیت حسگر شد. با ادغام این حسگر و کانال ریزسیال، می‌توان مولکول‌های زیستی با غلظت و حجم کم را تشخیص داد.

مرجع‌ها

[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 an 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.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]