



Sensing performance evaluation of an optical surface plasmon resonance chip deposited using a thermal evaporation system: Glucose detection application

Zohreh Rahimabadi¹, Mehrdad Moradi^{1*}, Ramezan Ali Taheri²

¹Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

²Nanobiotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2025-11-02

Revised: 2026-01-08

Accepted: 2026-02-13

Abstract: This study investigates the fabrication of an optical chip for use in a surface plasmon resonance (SPR) system, and evaluates its sensing performance for detection of various glucose concentrations. The chip consists of a glass substrate coated with a 50 nm gold thin film, along with a thin chromium adhesion layer to enhance the thin film-substrate bonding. The Au and Cr layers were deposited consecutively with no break using a thermal evaporation device (PVD) under high vacuum with a uniform deposition rate. SEM and AFM analyses were employed to examine the thickness and surface topography of the chips. To determine the absorption characteristics, optical spectroscopy was carried out in the visible wavelength range. In the next step, reflection spectra and binding curves of distilled water to the surfaces of fabricated chips with different thicknesses were examined using Autolab ESPRIT device, and compared with a commercial chip. The optimal sample in terms of thickness, reflection spectrum and FWHM was found to be similar to the commercial chip, and selected for glucose detection experiments at concentrations of 5, 10, and 15 percent. The repeatability of the sample was also examined and confirmed. The results show that the optimal chip can be used as an equivalent to a commercially available product.

Keywords: Surface Plasmon Resonance, Chip, Resistive Thermal Evaporation, Glucose Sensing, Binding Curve

Corresponding Author. Email: m.moradi@kashanu.ac.ir

How to Cite This Article:

Rahimabadi Z, Moradi M, Taheri R A. Sensing performance evaluation of an optical surface plasmon resonance chip deposited using a thermal evaporation system: Glucose detection application. Nanomeghyas. 2026;12(4):e734016 (In Persian). doi:10.22034/ns.2026.2079714.1415



This is an open access article under the CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

بررسی عملکرد حسگری تراشه اپتیکی تشدید پلاسمون سطحی لایه‌نشانی شده بوسیله دستگاه تبخیر حرارتی: کاربرد در سنجش گلوکز

زهره رحیم آبادی^۱، مهرداد مرادی^{۱*}، رمضانعلی طاهری^۲

^۱پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، ایران

^۲مرکز تحقیقات نانوبیوتکنولوژی، پژوهشکده فناوری های نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

چکیده: این پژوهش بر روی ساخت تراشه اپتیکی کروم- طلا به منظور استفاده در دستگاه تشدید پلاسمون سطحی و بررسی عملکرد آن برای سنجش غلظت‌های مختلف گلوکز تحقیق شده است. تراشه از زیرلایه شیشه‌ای و یک لایه ۵۰ نانومتری طلا بر روی آن ساخته شده است. از یک لایه نازک کروم هم به منظور افزایش چسبندگی طلا به زیرلایه استفاده شده است. لایه‌نشانی‌ها به صورت پشت سر هم و بدون وقفه بوسیله دستگاه تبخیر حرارتی مقاومتی با نرخ یکنواخت در خلا بالا انجام شد. از آنالیزهای SEM و AFM برای بررسی ضخامت و توپوگرافی نمونه‌ها استفاده شد. به منظور مشاهده محدوده جذب، طیف نمونه در محدوده طول‌موج مرئی اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، طیف بازتاب و نمودار اتصال آب مقطر به سطح تراشه‌های ساخته شده با ضخامت‌های متفاوت توسط دستگاه Autolab ESPRIT بررسی شد و با تراشه تجاری مقایسه گردید. نمونه بهینه (از لحاظ ضخامت، طیف بازتاب و پهنای پیک کمتر) که مشابهت بیشتری با تراشه تجاری دارد، برای سنجش و اتصال فیزیکی مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد گلوکز انتخاب شد. تکرار پذیری نمونه نیز مورد بررسی و تایید قرار گرفت. نتایج نشان داد می‌توان از این نمونه به‌عنوان مشابه یک نمونه تجاری استفاده کرد.

واژگان کلیدی: تشدید پلاسمون سطحی، تراشه، تبخیر حرارتی مقاومتی، سنجش گلوکز، نمودار اتصال

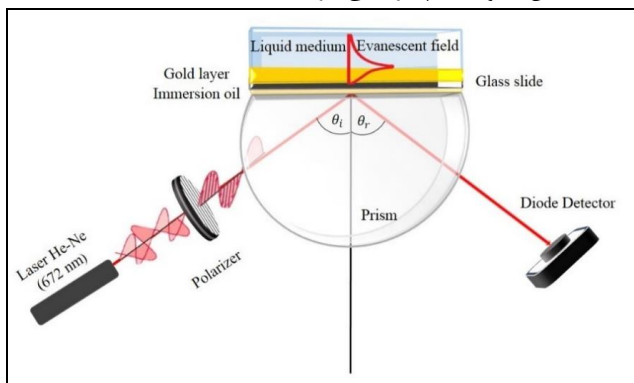
نویسنده مسئول: m.moradi@kashanu.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله: رحیم آبادی زهره، مرادی مهرداد، طاهری رمضانعلی. بررسی عملکرد حسگری تراشه اپتیکی تشدید پلاسمون سطحی لایه نشانی شده بوسیله دستگاه تبخیر حرارتی: کاربرد در سنجش گلوکز. Nanomeghyas. 1405;12(4):e734016. doi: 10.22034/ns.2026.2079714.1415



١- مقدمه

می‌شود [۴]. زاویه تشدید وابسته به تغییرات ضریب شکست (Refractive Index) محیط دی‌الکتریک است. زمانی که مقدار غلظت ماده دی‌الکتریک که منجر به تغییرات ضریب شکست می‌شود، تغییر می‌کند زاویه تشدید هم جابجا می‌شود و با اندازه‌گیری جابجایی زاویه می‌توان غلظت ماده مورد نظر را با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری کرد [۵]. برخورد موج الکترومغناطیسی به سطح فلز-دی‌الکتریک به تنهایی نمی‌تواند موجب برانگیخته شدن پلاسمون‌ها شود، برای این منظور، از چیدمان کریشمن، چیدمان اتو، فیبرنوری یا موجبر استفاده می‌شود [۶]. در این کار از چیدمان کریشمن (شکل ۱) برای مشاهده پدیده تشدید پلاسمونی سطح استفاده شد. همچنین قبل از برخورد نور به منشور یک پلاریزور با قطبش نوع p (قطبش موازی که در آن میدان الکتریکی با صفحه تابشی موازی و میدان مغناطیسی بر صفحه تابش عمود است) قرار می‌گیرد.



شکل ۱: طرح شماتیک سیستم SPR بر پایه چیدمان کریشمن

از جمله پارامترهایی که عملکرد حسگر را مشخص می‌کنند می‌توان به پهنای کامل در نصف بیشینه قله یا دره (FWHM: Full Width at Half Maximum) اشاره کرد. توانایی حسگرها را برای اندازه‌گیری تغییرات کوچک ضریب شکست به تیز بودن نمودار بازتاب وابسته است، بنابراین FWHM کوچکتر مطلوب‌تر است [۷].

۲-۲- کالیبراسیون ضخامت سنج دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی

یکی از اجزای حیاتی دستگاه تشدید پلاسمون سطحی برای تشخیص مولکول زیستی، تراشه حسگر بوده و عنصر اصلی تراشه، لایه نازک ۳۰ تا ۸۰ نانومتری طلا است که روی زیر لایه شفاف قرار می‌گیرد. در درون دستگاه لایه‌نشانی یک ضخامت‌سنج کریستال کوآرتز به همراه یک شمارنده فرکانس مبتنی بر ریزپردازنده با فرکانس اولیه ۶ مگاهرتز تعبیه شده است. زمانی که عملیات لایه‌نشانی شروع می‌شود و اتم‌ها روی کریستال می‌نشینند، ضخامت‌سنج، تغییرات فرکانس را به نرخ رسوب و ضخامت تبدیل می‌کند. ضخامت‌سنج باید بر اساس ضریب هندسی (Tooling factor) برای تفاوت‌های بین فاصله منبع و زیر لایه و ضخامت‌سنج کالیبره

در دنیای پیشرفته امروز که بر پایه فناوری‌های نوین و سیستم‌های هوشمند و اتوماتیک استوار است، حسگرها نقش کلیدی برای اندازه‌گیری و سنجش در حوزه‌های محیط زیست، صنعت، پزشکی و سلامت دارند. در بین انواع حسگرها، حسگرهای نوری به خاطر دقت و حساسیت بالا، عدم تماس فیزیکی و غیر تهاجمی بودن، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی (SPR: Surface Plasmon Resonance) به دلیل توانایی و کاربردهای گسترده آن‌ها در زیست-حسگری مورد توجه پژوهشگران هستند. دستگاه حسگری SPR می‌تواند تغییرات ضریب شکست محیط دی‌الکتریک اطراف سطح لایه نازک فلزی (معمولاً طلا) را با حساسیت بالا تشخیص دهد. محیط دی‌الکتریک شامل محلول‌های آبی، بیومولکول‌ها و یا گازها می‌باشد و تغییرات آن‌ها موجب جابجایی کمینه زاویه یا طول‌موج در طیف بازتاب شده که اساس عملکرد تشخیص در این نوع حسگرها است. خروجی دستگاه SPR شامل نمودار اتصال بیومولکول‌ها به سطح تراشه یا لایه نازک طلا و همچنین طیف بازتاب می‌باشد [۱ و ۲]. تراشه‌های مورد استفاده در این دستگاه اغلب دایره‌ای شکل با قطر یک اینچ هستند و از یک زیرلایه شیشه‌ای و دو لایه نازک کروم و طلا که بر روی آن لایه‌نشانی شده‌اند، ساخته شده است. تهیه این تراشه‌ها علاوه بر هزینه بالا، چالش‌های تحریم‌ها و واردات را هم دارد. در این پژوهش روی ساخت تراشه و بررسی و مقایسه کیفیت آن با یک تراشه تجاری تحقیق شده است. در مراحل ساخت این نمونه‌ها از آنالیزهای مختلفی استفاده شد تا بتوان در حد امکان کیفیت تراشه ساخته شده را با نمونه تجاری مقایسه کرد.

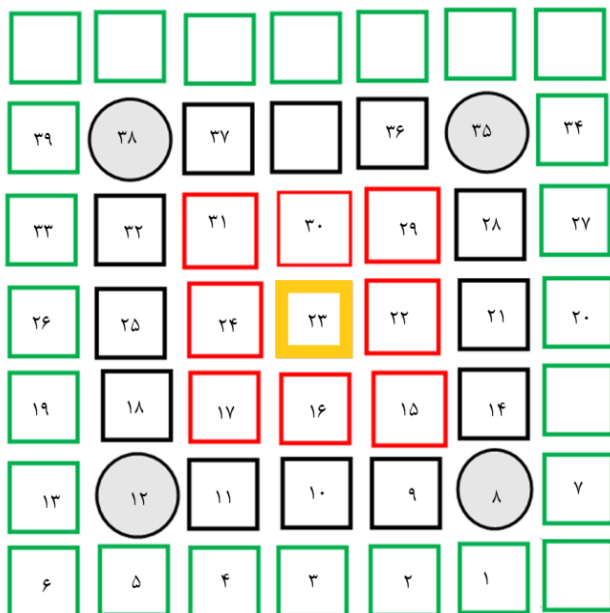
۲- بخش تئوری

۲-۱- پدیده تشدید پلاسمون سطحی

نوسان دسته‌جمعی و منسجم الکترون‌ها در سطح فلزات و مرز مشترک با دی الکتریک، به پلاسمون‌های سطحی (SPS)

معروف است. برانگیختن این پلاسمونها با کمک پرتو نور قطبیده فرودی منجر به پدیده تشدید پلاسمون سطحی می‌شود [۳۲]. زمانی که نور قطبیده با زاویه مشخصی، به سطح منشور و سپس به سطح فلز که در تماس با یک محیط دی‌الکتریک است تابیده می‌شود، نور با پلاسمون‌های سطحی جفت می‌شود و پدیده تشدید به وجود می‌آید و یک موج میرا در مرز مشترک فلز-دی‌الکتریک منتشر شده و موجب می‌شود که شدت نور بازتابی در آن زاویه به حداقل برسد. بدین ترتیب با جاروب کردن طیف بازتاب، در یک زاویه بخصوص بنام زاویه تشدید (θ_{SPR}) در نمودار بازتاب کمینه مشاهده

ضعیف است. برای بهبود بخشیدن چسبندگی از یک لایه نازک ۵ نانومتری کروم قبل از نشان دادن طلا استفاده شد.



شکل ۲: قرار گرفتن تراشه‌ها در دستگاه لایه‌نشانی تبخیر حرارتی (بالا) و نحوه چینش زیرلایه‌ها (پایین)

در این لایه‌نشانی نمونه‌ها همه در یک ارتفاع نسبت به بوته (۱۷ سانتیمتر) ولی نسبت به محور عمودی بوته در فواصل متفاوتی قرار گرفتند. نمونه ۲۳ نمونه‌ای هست که مستقیماً بالای بوته است، بدیهی است که هر چه از محور عمود بر بوته فاصله بیشتر باشد، ضخامت لایه‌ها کمتر می‌شود. نمونه‌های ۲۳، ۱۷، ۱۲ و ۶ در این تحقیق استفاده شدند و هر جا که نمونه‌ها اصلی دچار مشکل شدند از نمونه‌های مشابه استفاده شد. نمونه‌های ۳۱، ۲۹ و ۱۵ به عنوان نمونه مشابه نمونه شماره ۱۷ و نمونه‌های شماره ۳۸، ۳۵ و ۸ به عنوان رزرو نمونه ۱۲ استفاده شدند. فواصل نمونه‌های ۱۷، ۱۲ و ۶ از محور عمود به ترتیب ۲/۸، ۵/۶ و ۸/۴ سانتیمتر بود. ضریب هندسی کالیبراسیون با توجه به روابط و فواصل منبع با نمونه‌ها و ضخامت‌سنج بدست آمد. از طرفی ضخامت واقعی نمونه با آنالیز برش مقطعی SEM

شود. این ضریب با فرض تغییر قانون مربع ضخامت با فاصله و توزیع کسینوس نادسن با زاویه محاسبه می‌شود که از نسبت ضخامت اندازه‌گیری شده به ضخامت نشان داده شده بدست می‌آید. اگر T_t ضخامتی که بر روی ضخامت‌سنج که در ارتفاع H_t قرار دارد را نشان دهد و T_s ضخامت نمونه در ارتفاع H_s باشد. اگر به اندازه θ از روی خط مرکزی که از بوته عبور می‌کند (محور عمودی بوته) فاصله بگیریم روابط زیر صادق خواهد بود:

$$T_s = T_t \frac{\cos^4(\theta_s)}{\cos^4(\theta_t)} \times \left(\frac{H_t}{H_s}\right)^2 \quad (1)$$

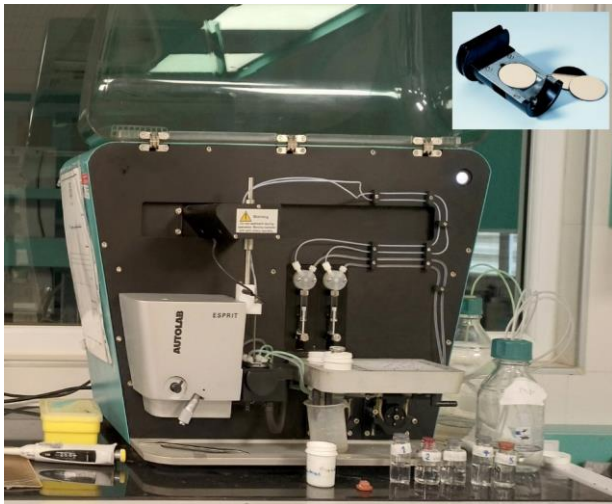
که H_t و H_s در رابطه (۱)، به ترتیب ارتفاع زیرلایه‌ها و ارتفاع ضخامت‌سنج نسبت به بوته و θ_t و θ_s به ترتیب زاویه قرارگیری زیرلایه‌ها و ضخامت‌سنج را نسبت به محور عمود بر بوته نشان می‌دهد [۸ و ۹].

۳- بخش تجربی

۳-۱- آماده‌سازی تراشه‌های SPR

تراشه‌های گرد تجاری مورد استفاده در دستگاه حسگری تشدید پلاسمون سطحی Outolab ESPRIT دارای قطر ۱ اینچ است، لذا ابعاد تراشه‌های ساخته شده با دستگاه لایه‌نشانی تبخیر حرارتی باید متناسب با تراشه تجاری و محل قرارگیری تراشه در دستگاه باشد. بدین منظور از لام‌های شیشه‌ای مربع شکل با ابعاد ۱/۷ سانتی‌متر مربع و ضخامت یک میلی‌متر استفاده شد. ضخامت لام اهمیت ویژه‌ای دارد، چون در قرار گرفتن در دستگاه SPR، باید عملیات آب‌بندی در آنها به خوبی نمونه تجاری انجام شود. در گام اول، لام‌ها با آب و صابون تمیز شدند و سپس با آب دیونیزه شسته و بعد در اسید کلریدریک ۱ درصد به مدت ۲۰ دقیقه و مرحله بعد در استون و سپس اتانول، هر کدام به مدت ۲۰ دقیقه در آلتراسونیک قرار داده شد و بعد از انجام هر کدام از مراحل، لام‌ها با آب دیونیزه شستشو داده شد و در نهایت با گاز نیتروژن خشک شد. در نهایت لام‌ها در آون در دمای ۸۰ درجه قرار داده شد تا اتانول و مواد باقی مانده از سطح لام حذف گردد. به منظور حذف کامل آلودگی‌ها و اتانول و استون باقی مانده و همچنین افزایش انرژی سطحی، نمونه‌ها تحت پلاسما با توان ۷۵ وات به مدت زمان ۵ دقیقه قرار داده شدند. زیرلایه‌ها بر روی نگهدارنده ساخته شده قرار داده شده (شکل ۲) و فواصل زیرلایه و ضخامت‌سنج تا منبع ثبت شدند. طلا و کروم درون دو عدد بوته تنگستن به طور همزمان در دستگاه قرار داده شدند. خلا اولیه محفظه با توسط پمپ روتاری و خلا ثانویه دستگاه توسط پمپ توربو تامین شد. خلأ فراهم شده در این دستگاه برای شروع عملیات لایه‌نشانی ۵×۱۰ میلی‌بار بود. با عبور جریان ۱۷۰ آمپر از بوته، طلا به آهستگی شروع به ذوب شدن و تبخیر می‌کند و بر روی زیر لایه می‌نشیند. طلا در عملیات لایه‌نشانی ماده‌ای خوش رفتار است، اما پیوند شیمیایی با دی کسید سیلیکون تشکیل نمی‌دهد، زیرا چسبندگی لایه‌های طلا روی شیشه بسیار

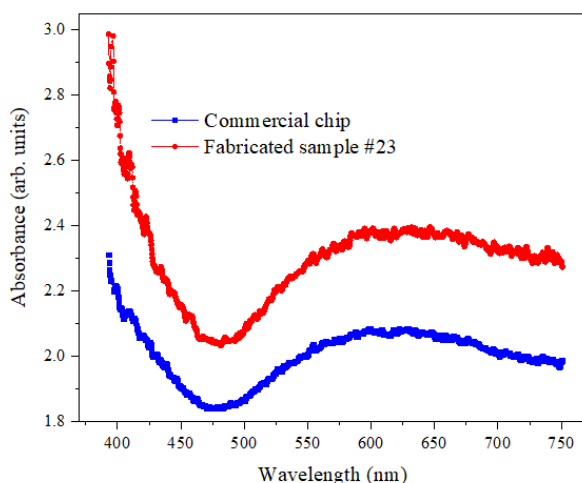
نقطه زمانی، یک منحنی بازتاب بر حسب زاویه را ارائه می‌دهد. افزایش ضریب شکست نمونه موجب افزایش زاویه کمینه بازتاب و جابجایی زاویه به سمت راست می‌شود.



شکل ۳: دستگاه SPR مدل Autolab ESPRIT

۴- نتایج و بحث

ابتدا از نمونه‌ها طیف جذب مرئی-فرابنفش (UV-Visible) گرفته شده و با نمونه تجاری مقایسه شد. بیشتر نمونه‌ها طیف جذب مشابه یکدیگر داشتند و حدوداً منطبق بر یکدیگر بودند که در شکل ۴ فقط طیف یکی از آنها (نمونه ۲۳) و نمونه تجاری آورده شده است. اغلب نمونه‌ها یک کمینه در بازه ۴۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر را نشان دادند که با رفتن به سمت طول موج ۶۳۰ نانومتر مقدار جذب آنها افزایش داشت که مناسب برای کاربرد SPR خواهند بود.



شکل ۴: طیف جذب تراشه تجاری و تراشه ساخته شده (نمونه ۲۳) در بازه طول موجی ۳۵۰ تا ۷۵۰ نانومتر

شکل شماره (۵) نمودار طیف پراش پرتو ایکس را بعد از لایه‌نشانی کروم و طلا بر روی زیرلایه شیشه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود

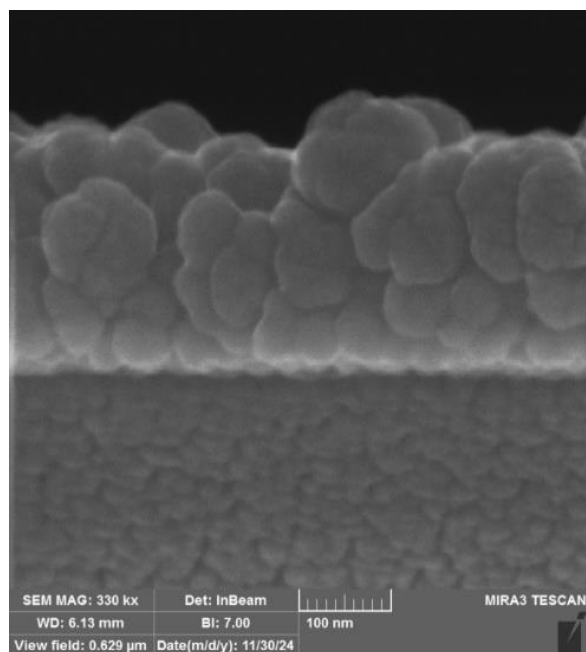
بدست آمد و ضریب تصحیح واقعی دستگاه بدست آمده و در مرحله دوم لایه‌نشانی برای ساخت تراشه‌های این ضریب اعمال شد.

به منظور آنالیز تراشه‌های ساخته شده، از دستگاه AFM و SEM برای بررسی مورفولوژی و توپوگرافی سطح استفاده شد و از طیف‌سنج UV-Vis از بازه طول موجی ۲۵۰ تا ۷۵۰ نانومتر برای گرفتن طیف جذب تراشه ساخته شده استفاده شد. سپس به منظور سنجش فیزیکی گلوکز، تراشه‌های ساخته شده با دستگاه Autolab ESPRIT بررسی شد و طیف بازتاب و نمودار اتصال با استفاده از این نمودارها ترسیم شد. در تمامی قسمت‌ها آنالیزها با یک تراشه تجاری نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

۳-۲- نحوه کار دستگاه SPR

برای بررسی کیفیت تراشه ساخته شده از دستگاه Autolab ESPRIT استفاده شد. این دستگاه از سیستم اندازه‌گیری زاویه‌ای استفاده می‌کند و دارای پیکربندی دو کاناله بوده و از یک عدد کووت (Cuvette) برای تزریق مستقیم مایع به سطح تراشه استفاده می‌شود (شکل شماره ۳). طول موج لیزر مورد استفاده در دستگاه ۶۷۰ نانومتر است. این دستگاه، زاویه ۶۲ تا ۷۸ درجه را روبش می‌کند مربوط به محدوده ضریب شکست ۱/۲۶ تا ۱/۳۳ را پوشش می‌دهد [۱۰]. تزریق نمونه به سطح تراشه باعث تغییر ضریب شکست ناحیه نزدیک سطح و در نتیجه تغییر زاویه می‌شود. نرم افزار دستگاه (Data Acquisition Software)، داده‌ها را به صورت نمودار بازتاب (R-θ) و نمودار سنسوگرام پردازش می‌کند. نرم‌افزار به طور پیش‌فرض برای هر تزریق سیکل ۱۲۰ ثانیه‌ای را در طی می‌کند و با تزریق نمونه با غلظت بالاتر و در نتیجه افزایش ضریب شکست مقدار زاویه تشدید افزایش می‌یابد و منحنی در سنسوگرام به صورت پله‌ای بالاتر می‌رود.

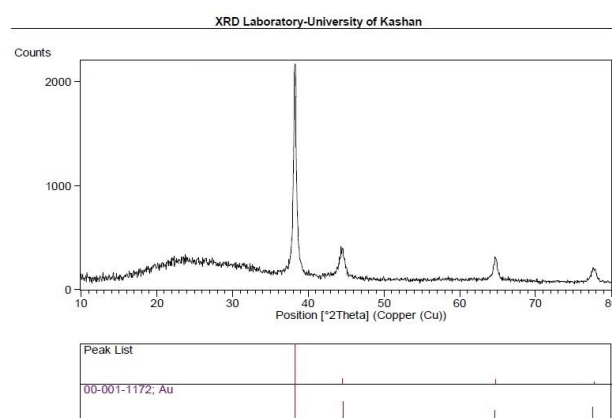
در این کار، در ابتدا تراشه با اتانول شستشو داده شده و سپس با کمک یک قطره روغن ایمرسیون بر روی منشور قرار داده شد و کووت با کمک پیچ مخصوص بر روی تراشه محکم شد. سه غلظت متفاوت گلوکز (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) آماده شد. برای تهیه محلول‌های ذکر شده به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم گلوکز در ۵ سی سی آب حل شد. ضریب شکست محلول‌ها از رابطه $n = 0.001436 \times C + 1.3317$ محاسبه شد که C در این رابطه غلظت بر حسب درصد است [۱۱]. در تمام غلظت‌ها مقدار گلوکز ذکر شده در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده است. در ابتدا برای رسیدن به سیگنال پایدار، تزریق آب دی‌یونیزه بر روی سطح تراشه انجام می‌شود و تا رسیدن به یک سیگنال پایدار، اجازه می‌دهیم دو تا سه سیکل ۱۲۰ ثانیه‌ای را طی کند. سپس غلظت ۵ درصد گلوکز را به سطح تراشه تزریق کرده و شاهد افزایش پله در نمودار سنسوگرام می‌باشیم. به ترتیب با افزایش درصدهای بیشتر گلوکز شاهد افزایش پله‌های بیشتری می‌باشیم که هر کدام ۱۲۰ ثانیه طول می‌کشند. بنابراین هر مرحله‌ای افزایش سیگنال مربوط به تزریق یک غلظت جدید است. علاوه بر منحنی سنسوگرام، نمودار بازتاب را هم می‌توان از این دستگاه به عنوان خروجی دریافت کرد. نرم‌افزار در هر



شکل ۶: تصاویر آنالیز سطح مقطع عرضی لایه کروم طلا در مقیاس ۱۰۰ نانومتر

همانگونه که در شکل شماره (۶) مشاهده می‌شود حدود ۱۳ نانومتر کروم (لایه سفید رنگ در تصویر) و ۲۲۶ نانومتر طلا بر روی لایه نشسته‌اند که این ضخامت بزرگتر از ضخامت نشان داده شده بر روی ضخامت‌سنج بودند لذا ضریب تصحیح کوچکتر از یک برای ضخامت محاسبه شده و در مرحله بعد، نمونه‌های اصلی با در نظر گرفتن این ضریب تصحیح لایه‌نشانی شدند. شکل ۷ تصاویر آنالیز سطح مقطع عرضی دو لایه کروم/طلا با مد الکترون‌های برگشتی back scatter، را به ترتیب از سمت راست به چپ برای نمونه‌های شماره ۲۳، ۱۷ و ۶ نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است ضخامت‌های ۶۳/۴۲، ۵۴/۰۶ و ۱۷/۵۷ نانومتر به ترتیب برای نمونه‌های شماره ۲۳، ۱۷ و ۶ به دست آمده‌اند که قابل قبول می‌باشند.

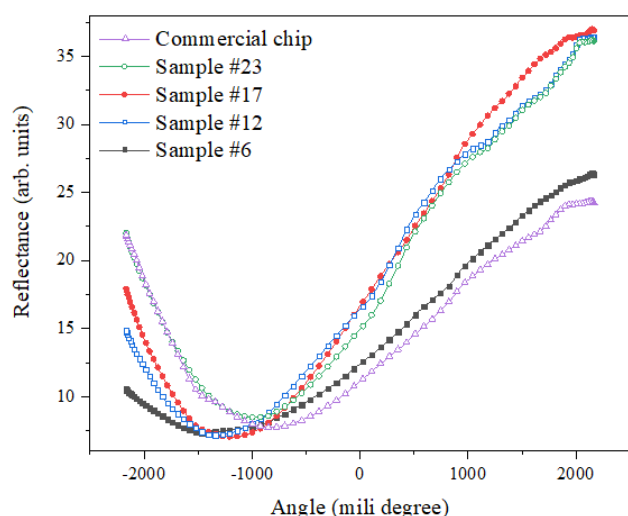
نمونه دارای یک قله بلند در زاویه ۳۸/۲ درجه که مربوط به صفحه (۱۱۱) است و دارای سه پیک کوتاه مربوط به صفحات (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) به ترتیب در زوایای 2θ مقادیر ۴۴/۳، ۶۴/۴ و ۷۷/۵ درجه است. پیک‌ها با ساختار مکعبی کارت JCPDS: 00-001-1172 مربوط به ماده طلا هم‌خوانی دارد. قله بلند در زاویه ۳۸/۲ درجه مربوط به جهت‌گیری رشد ترجیحی طلا در (۱۱۱) می‌باشد. طیف پراش پرتو ایکس هیچ نشانه‌ای از لایه نازک کروم نیست که یکی به دلیل نازک بودن این لایه است و دیگری بخاطر آن است که بخاطر ضخامت کم لایه، ساختار بلوری تشکیل نشده است که بتواند توسط سیستم پراش قابل اندازه‌گیری باشد.



شکل ۵: طیف پراش پرتو ایکس تراشه ساخته شده

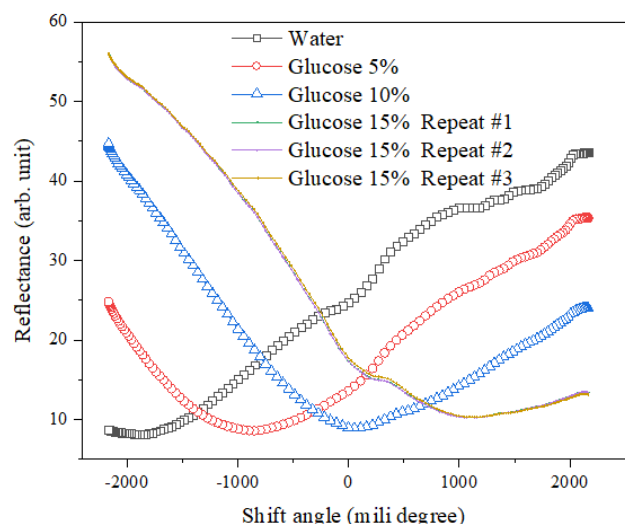
۴-۱- کالیبراسیون ضخامت‌سنج به کمک آنالیز SEM

به منظور کالیبراسیون ضخامت‌سنج دستگاه لایه‌نشانی، قبل از لایه‌نشانی اصلی، ابتدا یک لایه ضخیم از طلا و کروم زده شد و ضخامت آن با آنالیز مقطع عرضی دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Cross-Section) FE-SEM گرفته شد. با توجه به ضخامت بدست آمده از آنالیز FE-SEM و ضخامت نمایش داده شده بر روی مانیتور ضخامت‌سنج، فاکتور هندسی ضخامت‌سنج یا به اصطلاح ضریب تصحیح ضخامت‌سنج محاسبه شد.



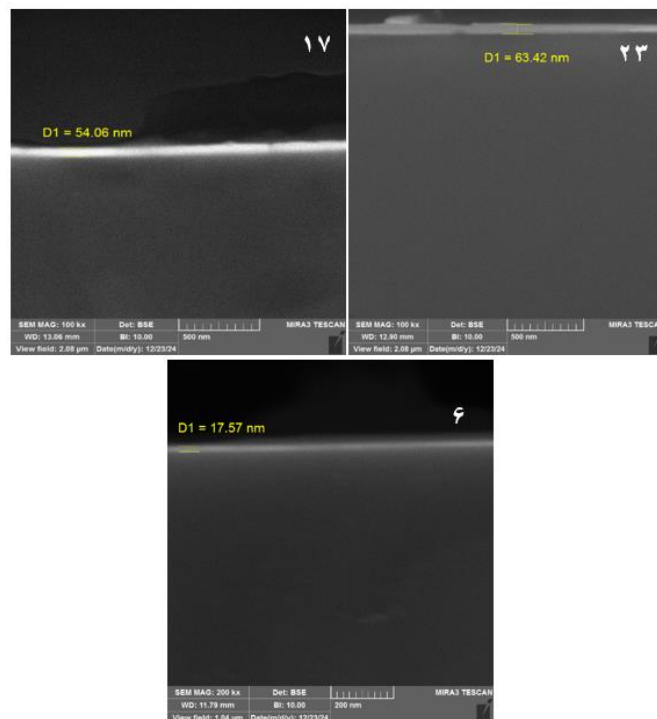
شکل ۹: نمودار مقدار بازتاب بر حسب زاویه برای نمونه‌های ۱۲، ۱۷، ۲۳ و نمونه تجاری ۶

شکل ۹ نمودار مقدار بازتاب بر حسب زاویه را برای نمونه‌های ۱۲، ۱۷، ۲۳ و نمونه تجاری ۶ نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که نمونه‌های ۱۲، ۱۷ و ۲۳ به ترتیب دارای FWHM کمتر نسبت به نمونه تجاری و نمونه شماره ۶ هستند. اما نمونه‌های ۱۲، ۱۷ و ۶ دارای کمینه بازتاب کمتری نسبت به نمونه‌های ۲۳ و تجاری هستند. لذا نمونه ۱۷ با ضخامت ۵۰/۶۴ نانومتر و FWHM برابر با ۱۵۳۸ میلی‌درجه و کمترین مقدار کمینه انتخاب شد. نمونه شماره ۲۳ با اینکه مقدار FWHM کمتری نسبت به نمونه ۱۷ داشت بخاطر کمینه بهتر نمونه ۱۷ در اولویت دوم قرار گرفت.



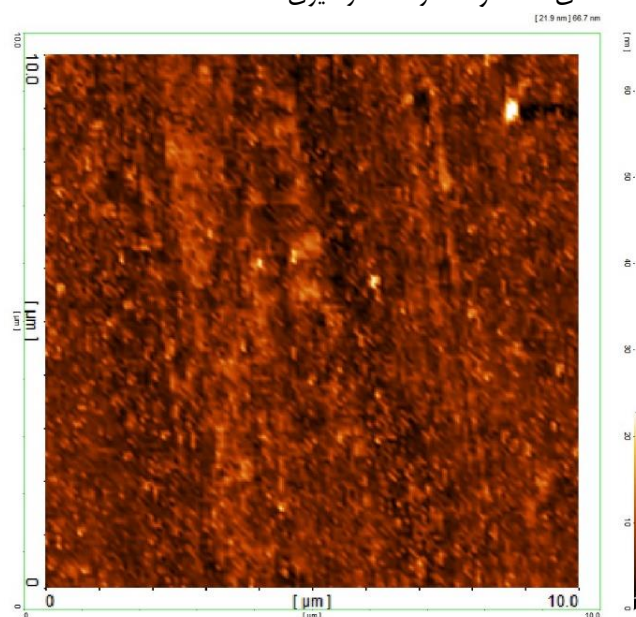
شکل ۱۰: نمودار تغییرات زاویه برای تشخیص گلوکز ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد برای نمونه شماره ۱۷

در مرحله بعد نمونه شماره ۱۷ داخل دستگاه Autolab ESPRIT قرار داده شد و نمودار بازتاب بر اساس زاویه در بازه زاویه‌ای منفی ۲۰۰۰ تا مثبت ۲۰۰۰ میلی‌درجه رسم شد. دره‌ها کمینه بازتاب را در شکل ۱۰ نشان می‌دهد. در ابتدا آب مقطر بر روی تراشه تزریق شد و سپس گلوکز با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به صورت خودکار بر روی تراشه طلا قرار



شکل ۷ تصاویر آنالیز سطح مقطع عرضی SEM از لایه کروم- طلا برای نمونه‌های شماره ۱۷، ۲۳ و ۶

شکل ۸ نمودار AFM از سطح تراشه را به حالت یک بعدی نشان می‌دهد مقادیر زبری میانگین (Sa) و ریشه‌ی میانگین مربعات (Sq) به‌ترتیب برابر $Sa = 1/69$ و $Sq = 2/29$ نانومتر به‌دست آمده‌اند. این مقادیر بیانگر صافی سطح و یکنواختی مناسب نمونه برای کاربرد SPR هستند. در مرحله بعد تراشه ساخته شده در دستگاه قرار گرفت و نمودار اتصال برای نمونه گلوکز با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد اندازه‌گیری شد.



شکل ۸ نمودار AFM از سطح تراشه در حالت یک بعدی

تجاری از خود نشان دادند. در مرحله آخر غلظت ۱۵ درصد دو بار دیگر تکرار شد تا تکرارپذیری تراشه نیز مورد بررسی قرار گرفته باشد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله بدینوسیله اعلام می‌دارند که در ارتباط با انجام، تحلیل، نگارش و انتشار این پژوهش، هیچگونه تعارض منافع مالی، شخصی، علمی یا سازمانی وجود ندارد.

مراجع

[1] R. A. Taheri, A. H. Rezayan, F. Rahimi, J. Mohammadnejad, M. Kamali, "Evaluating the potential of an antibody against recombinant OmpW antigen in detection of Vibrio cholerae by surface plasmon resonance (SPR) biosensor", Plasmonics, 12(5), 1493-1504, 2017.

<https://doi.org/10.1007/s11468-016-0411-2>.

[2] Z. Ayareh, S. Mahmoodi, M. Moradi. "Magneto-plasmonic biosensing platform for detection of glucose concentration", Optik, 178, 765-773, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.10.066>.

[3] Z. Ayareh, M. Moradi, M. Shafiei, D. S. Sutherland, "Accessible Sensing Sites in Metal-Insulator-Metal Plasmonic Nanostructure for Biosensing Applications", ACS Applied Materials & Interfaces, 17(38), 53122-53130, 2025.

<https://doi.org/10.1021/acsami.5c10116>.

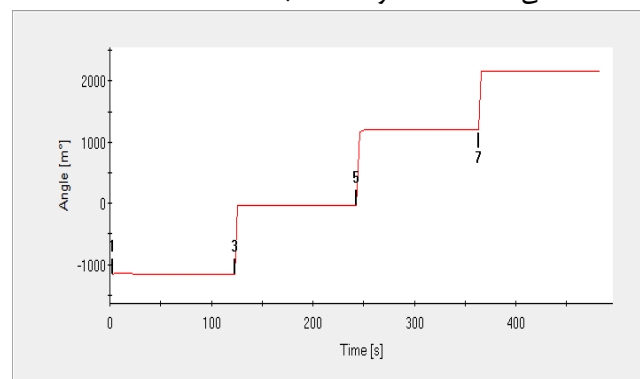
[4] D. D. Stuart, W. Van Zant, S. Valiulis, A.S. Malinick, V. Hanson, Q. Cheng, "Trends in surface plasmon resonance biosensing: materials, methods, and machine learning", Analytical and bioanalytical chemistry, 416(24), 5221-5232, 2024.

<https://doi.org/10.1007/s00216-024-05367-w>.

[5] S. Ahamed, K. K. Venkatesan, S.A. Jalaludeen, "A review on various surface plasmon resonance-based sensors", Plasmonics, 20, 6869-6885, 2025.

<https://doi.org/10.1007/s11468-025-02837-4>.

داده شد و نمودار بازتاب بر حسب زاویه ترسیم شد. به منظور بررسی تکرارپذیری غلظت ۱۵ درصد دو بار دیگر نیز تکرار شد و نتایج در شکل ۱۰ ترسیم شده است. همانگونه که قبلاً هم ذکر شده تغییر غلظت موجب تغییر ضریب شکست اپتیکی و به تبع تغییر محل کمینه بازتاب می‌شود. محل بازتاب برای آب، گلوکز با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به ترتیب منفی ۱۸۹۸/۲، منفی ۸۴۷/۷، ۵۴/۴ و ۱۱۳۷/۵ بدست آمد.



شکل ۱۱: نمودار اتصال که نشان دهنده مقدار جابجایی زاویه بازتاب برای نمونه شماره ۱۷ در غلظت‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد.

محور سمت چپ نمودار در شکل ۱۱ مقدار جابجایی کمینه منحنی بازتاب را نشان می‌دهد. محور افقی نمودار بر حسب زمان است و نشان‌دهنده آن است که هر غلظت به مدت ۱۲۰ ثانیه بر روی تراشه بوده است و طیف بازتاب بر حسب جاروب زاویه اندازه‌گیری شده است. در مرحله اول یعنی ۱۲۰ ثانیه اول آب مقطر بر روی تراشه قرار داشته است و در ۱۲۰ ثانیه‌های بعدی (زمان‌های ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ ثانیه) غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر روی تراشه تزریق شدند. در مرحله ۵ اندازه‌گیری (مرحله آخر) یعنی در زمان بین ۴۸۰ تا ۶۰۰ ثانیه مجدداً آب مقطر بر روی تراشه تزریق شد و مقدار جابجایی زاویه کمینه شدت اندازه‌گیری شد (در شکل ۱۰ نمایش نشده است). نتایج نشان می‌دهد که به ازای سه غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از گلوکز مقدار جابجایی زاویه به ترتیب ۱۰۵۰/۵، ۱۸۴۳/۸ و ۳۰۳۵/۷ میلی‌درجه بوده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل طراحی و ساخت یک تراشه اپتیکی به منظور استفاده در دستگاه SPR مورد بررسی قرار گرفت. تراشه‌ها توسط دستگاه لایه‌نشانی حرارتی ساخته شد. ۴ عدد نمونه مورد بررسی قرار گرفتند. طیف جذب نمونه‌ها بیانگر کیفیت اولیه مناسب برای کاربری در دستگاه را داشتند. در مراحل بعد آنالیز طیف پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ نیروی اتمی رشد مناسب و صافی سطح مطلوب را تایید کردند. طیف بازتاب برای آب مقطر توسط دستگاه Autolab ESPRIT انجام شد که نمونه شماره ۱۷ با ضخامت ۵۴/۰۶ نانومتر به‌خاطر پهنای کم پارامتر FWHM جهت ادامه بررسی‌ها انتخاب شد. در انتها سه غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از گلوکز بوسیله این تراشه اندازه‌گیری شد که جواب‌های قابل قبولی در مقایسه با تراشه

- [6] M. Aftab, M. S. Mansha, T. Iqbal, M. Farooq, "Surface plasmon excitation: theory, configurations, and applications", *Plasmonics*, 19(4), 1701-1719, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11468-023-02095-2>.
- [7] D. Levy, R. E. Camley, "Enhancement of sensitivity in surface plasmon resonance", *AIP Advances*, 15(3), 035036 2025. <https://doi.org/10.1063/5.0245116>.
- [8] B. Wang, X. Fu, S. Song, H.O. Chu, D. Gibson, C. Li, Z. Wu. "Simulation and optimization of film thickness uniformity in physical vapor deposition", *Coatings*, 8(9), 325, 2018. <https://doi.org/10.3390/COATINGS8090325>.
- [9] H. A. Macleod, "Thin-Film Optical Filters", CRC press, pp. 488–509, 2010. <https://doi.org/10.1201/b21960>.
- [10] R. A. Taheri, A. H. Rezayan, F. Rahimi, J. Mohammadnejad, M. Kamali, "Comparison of antibody immobilization strategies in detection of *Vibrio cholerae* by surface plasmon resonance", *Biointerphases*, 11(4), 041006 2016. <https://doi.org/10.1116/1.4971270>.
- [11] A. Belay, G. Assefa, "Concentration, wavelength and temperature dependent refractive index of sugar solutions and methods of determination contents of sugar in soft drink beverages using laser lights", *J. Lasers Opt. Photonics*, 5(2), 1000187, 2018. <https://doi.org/10.4172/2469-410X.1000187>.



Sensing performance evaluation of an optical surface plasmon resonance chip deposited using a thermal evaporation system: Glucose detection application

Zohreh Rahimabadi¹, Mehrdad Moradi^{1*}, Ramezan Ali Taheri²

¹Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

²Nanobiotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2025-11-02

Revised: 2026-01-08

Accepted: 2026-02-13

Abstract: This study investigates the fabrication of an optical chip for use in a surface plasmon resonance (SPR) system, and evaluates its sensing performance for detection of various glucose concentrations. The chip consists of a glass substrate coated with a 50 nm gold thin film, along with a thin chromium adhesion layer to enhance the thin film-substrate bonding. The Au and Cr layers were deposited consecutively with no break using a thermal evaporation device (PVD) under high vacuum with a uniform deposition rate. SEM and AFM analyses were employed to examine the thickness and surface topography of the chips. To determine the absorption characteristics, optical spectroscopy was carried out in the visible wavelength range. In the next step, reflection spectra and binding curves of distilled water to the surfaces of fabricated chips with different thicknesses were examined using Autolab ESPRIT device, and compared with a commercial chip. The optimal sample in terms of thickness, reflection spectrum and FWHM was found to be similar to the commercial chip, and selected for glucose detection experiments at concentrations of 5, 10, and 15 percent. The repeatability of the sample was also examined and confirmed. The results show that the optimal chip can be used as an equivalent to a commercially available product.

Keywords: Surface Plasmon Resonance, Chip, Resistive Thermal Evaporation, Glucose Sensing, Binding Curve

Corresponding Author. Email: m.moradi@kashanu.ac.ir

How to Cite This Article:

Rahimabadi Z, Moradi M, Taheri R A. Sensing performance evaluation of an optical surface plasmon resonance chip deposited using a thermal evaporation system: Glucose detection application. Nanomeghyas. 2026;12(4):e734016 (In Persian). doi:10.22034/ns.2026.2079714.1415



This is an open access article under the CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).