



بررسی اثر محیط سیلانکاری بر روی پایداری، مورفولوژی و خواص تشدید پلاسمون تراشه طلا

محمد قربان پور

اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فنی مهندسی استادیار)

چکیده

این تحقیق یک پروتکل جدید را برای تولید تراشه های طلای پوشانده شده از ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان ارائه می دهد. این روش بدون نیاز به میان لایه تیتانیوم یا کروم چسبندگی بالایی مابین طلا و زیرلایه شیشه ای ایجاد کرده و به تراشه خواص نوری مناسبی جهت استفاده در حسگر تشدید پلاسمون سطح می دهد. همچنین، در این تحقیق برای اولین بار اثر محیط های مختلف و تیمار حرارتی بر روی تشکیل لایه ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان بر روی نانولایه طلا و پاسخ تشدید پلاسمون سطح آن بررسی شده است. تراشه های سیلانه شده در نهایت با کمک روش های میکروسکوپ نیروی اتمی و تشدید پلاسمون سطح آنالیز شدند. چسبندگی تراشه نهایی توسط دو روش آزمایش چسب و آزمایش آب جوش ارزیابی شد. در نهایت روش پوشش دهی که بهترین پاسخ تشدید پلاسمون سطح و چسبندگی را ایجاد نمود بعنوان روش بهینه معرفی شد.

واژه های کلیدی: تشدید پلاسمون سطح، تراشه طلا، ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان، پایداری، مورفولوژی.

مقدمه

سیلان دار کردن سطوح جامد بطور وسیعی برای تثبیت حسگر بیولوژیک بر روی بسترها بکار می‌رود. سیلانها ملکولهای مونومر بر پایه سیلیکون می‌باشد که از چهار جزء تشکیل می‌شوند. سیلیکون هم خانواده کربن است و می‌تواند با چهار اتم دیگر واکنش کوالانس دهد. ملکول سیلان با حداقل یک اتم کربن پیوندی، ارگانوسیلان نامیده می‌شود. ارگانوسیلانهایی که علاوه بر یک یا دو گروه واکنش دهنده سیلانی حاوی گروه‌های عاملی عالی نیز هستند توانایی اتصال به ترکیبات عالی دیگر را دارند و از این رو مصارف بسیار زیادی دارند. در مقابل، گروه‌های سیلانی در برابر ترکیبات آلی بی اثرند، ولیکن می‌توانند با برخی بسترهای غیر آلی مانند شیشه واکنش دهند. بدین ترتیب ترکیبات عالی می‌توانند بر روی برخی بسترها، ذرات و سطوح غیر آلی تثبیت شوند [۱].

سیلانی که بطور شیمیایی بر روی یک سطح غیر آلی جذب شده، از طریق گروه عاملی که در سیلان وجود دارد سطحی برای واکنشهای بیشتر تامین می‌کند. معمولاً سطح اصلاح شده سیلانی توسط انباشت ترکیبات سیلانی بر روی بستر سیلیکا، شیشه یا اکسید آلومینیوم آماده می‌شود. واکنش سیلانکاری می‌تواند در هر یک از فازهای مایع و یا گاز صورت پذیرد. معمولاً لایه نازک سیلانی باید حرارت دهی شود تا مابین ملکولهای سیلان و بستر پیوندهای کوالانس برقرار گردد. در صورتیکه لایه نازک پخته نشود لایه سیلان تشکیل شده بجای واکنش شیمیایی با سطح شیشه هیدراته، جذب فیزیکی آن می‌شود. ساختار لایه نازک های سیلانی پخته نشده بطور قابل ملاحظه ای با لایه نازک های پخته شده تفاوت دارند؛ این تفاوت به دلیل نفوذ و آبگیری حین فرایند پخت می‌باشد. شکل لایه نازک سیلانی می‌تواند بر گروه های عاملی موجود در آن و در نتیجه قابلیت آن برای تثبیت ملکولهای بعدی تاثیر بگذارد [۱ و ۲]. نوع لایه نازک تشکیل شده به شرایط آزمایش بستگی دارد. مقدار آب موجود در سامانه و طبیعت حلال اهمیت بسیار زیادی در این رابطه دارند .

از سیلان کاری توسط آمینوسیلانها بطور وسیعی برای آماده سازی آمین دار کردن) سطوح جامد برای تثبیت پروتئین ها استفاده شده است. یکی از پرکاربردترین آمینوسیلانها ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان با گروه عاملی آمین می‌باشد. بواقع اتم سیلیکون در ملکول ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان به سه گروه اتوکسی قابل هیدرولیز و یک گروه پروپیل آمین متصل شده است. به دلیل حضور گروه آمین در ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان و ورود آن در واکنش سیلانکاری، بر همکنشهای مابین ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان با SiO_2 بسیار پیچیده می‌باشد. بر اساس شرایط آزمایش، لایه نازک تشکیل شده می‌تواند تک لایه و یا چند لایه باشد. ساختار لایه نازک سیلانی تولید شده می‌تواند توسط چندین فاکتور تحت تاثیر قرار گیرد. این فاکتورها عبارتند از: آب موجود بر روی بستر و یا در محلول، غلظت سیلان، زمان واکنش تشکیل لایه نازک، دمای واکنش، بر هم کنش شیشه-آمین، نوع حلال و نوع سیلان [۳ و ۴]. درجه آب جذب شده توسط حلال بر تشکیل لایه آمینو سیلانی و نیز طبیعت لایه تشکیل شده تاثیر دارد. بدون حضور آب ممکن است لایه تشکیل شده غیر کامل باشد. درحالیکه، حضور آب منجر به هیدرولیز بیشتر و در نتیجه پلیمریزاسیون بهتر ملکول ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان می‌شود [۵].

تراشه حسگر معمولاً از یک زیر لایه که معمولاً اسلاید شیشه ای است تشکیل می شود که سطح آن توسط لایه ای از فلز پوشانده می شود. فلزاتی از قبیل آلومینیوم، کبالت، مس، طلا، آهن، سرب، نیکل، پلاتین، نقره و تیتانیوم بعنوان لایه نازک فلزی بر روی سطح تراشه تراشه تشدید پلاسمون سطح استفاده شده است. از میان تمامی این فلزات، طلا و نقره گسترده ترین استفاده را دارند. طلا تغییر زاویه رزونانس بیشتری ایجاد کرده و پایداری خوبی دارد و مصارف تجاری بیشتری یافته است. لایه های کندوپاش شده طلا با دو مساله روبرو می باشند: چسبندگی ضعیف لایه طلا به زیر لایه شیشه ای و چسبندگی ضعیف ذرات طلا به یکدیگر. برای حل این مشکل دو راه حل در منابع ارائه شده است: (۱) استفاده از لایه چسباننده کروم [۶] و تیتانیوم [۷] (۲) حرارت دهی لایه کمپوزیت.

سکستون و همکارانش نشان داد که استفاده از تیتانیوم به دلیل جذب کمتر نور و در نتیجه اعمال تغییرات کمتر در نور عبوری ارجحیت بیشتری نسبت به کروم دارد [۷]. از سوی دیگر تیمار حرارتی کمپوزیتهای شیشه/نانولایه طلا موجب تضعیف پاسخ تشدید پلاسمون سطح آن می شود [۸]. علیرغم این موضوع، تیمار حرارتی منجر به بهم پیوستن ذرات طلا شده و استحکام مکانیکی لایه طلا را افزایش می دهد.

بر روی اصلاح سطوح جامد، بالاخص سطح شیشه و سیلیکون، توسط واکنش سیلانکاری بمنظور استفاده از آن در تکنولوژیهای مختلف مطالعات بسیار زیادی صورت گرفته است [۲]. پوشش دهی سطح توسط آمینوسیلان ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان جایگاهی را مهیا می کند که برای تثبیت جزء بیولوژیک مناسب است و گروه آمین موجود به سطح مزایای بسیار زیادی را می دهد. در منابع کارهای بسیار کمی وجود دارند که بر روی سیلانکاری سطح طلا توسط ملکولهای ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان اشاره کنند (۵۷، ۵۸). در هردو این موارد نیز از میان لایه چسباننده کروم استفاده شده است و در آنها هیچ تحقیقی در مورد بهینه سازی فرایند سیلانکاری انجام نشده است.

در کار حاضر یک تحقیق انجام شده است تا تراشه طلای با سطحی آمین دار و بدون نیاز به میان لایه چسباننده کروم تولید شود که پایداری مکانیکی مناسبی داشته باشد. همچنین در این تحقیق شرایط سیلانکاری بهینه سازی شده و در نهایت روشی که بهترین خواص تشدید پلاسمون سطح و استحکام مکانیکی را داشته باشد معرفی شد.

مواد و روش تحقیق

روش بر روی سطح اسلایدهای شیشه ای تمیز شده، طلا با ضخامت ۵۰ nm کندوپاش شد. ضخامت لایه طلا به کمک زمان کندوپاش کنترل شد. برای آماده سازی لایه نازک سیلانی بر روی شیشه های پوشانده شده از لایه طلا از روش وانگ [۲] با اعمال برخی اصلاحات استفاده شد. شایان به ذکر است تمامی این روش های سیلانکاری حداقل ۲ بار تکرار شده اند.

- روش ترسیب از فاز بخار رقیق شده: مقدار ۵۰ μL از ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در یک ظرف شیشه ای تمیز ۲۰۰ میلی لیتر ریخته شد و سپس تراشه های طلا داخل ظرف قرار داده شدند. در ادامه در ظرف بسته شده و در یک آون با دمای 100°C به مدت ۱ ساعت حرارت دهی شد.

- روش ترسیب از فاز بخار غلیظ: مقدار $50 \mu\text{L}$ از ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان (۰/۱ میلی لیتر آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در ۱۰ میلی لیتر ایزو پروپانول) در یک ظرف شیشه ای تمیز ۲۰۰ میلی لیتر ریخته شد و سپس تراشه های طلا داخل ظرف قرار داده شدند. در ادامه در ظرف بسته شده و در یک آون با دمای 100°C به مدت ۱ ساعت حرارت دهی شد.
 - روش ترسیب از فاز آلی: تراشه های طلا داخل محلول ۲٪ ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در تولوئن، ۱۰ میلی لیتر قرار داده شدند و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق واکنش انجام شد. پس از شستشوی تراشه ها با تولوئن و آب سه بار تقطیر، تراشه ها داخل یک ظرف قرار داده شدند. در ادامه، در ظرف بسته شده و در یک آون با دمای 100°C به مدت ۱ ساعت حرارت دهی شد.
 - روش ترسیب از فاز آبی: تراشه های طلا داخل محلول آبی ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان ۲٪ ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در آب، ۱۰ میلی لیتر قرار داده شدند و به مدت یک ساعت در دمای اتاق واکنش انجام شد. پس از شستشوی تراشه ها با آب سه بار تقطیر تراشه ها داخل یک ظرف قرار داده شدند. در ادامه، در ظرف بسته شده و در یک آون با دمای 100°C به مدت ۱ ساعت حرارت دهی شد.
- تغییرات حاصل از سیلانکاری بر روی مورفولوژی و پاسخ تشدید پلاسمون سطح تراشه طلا پیش و پس از سیلانکاری توسط دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی (Nanoeducator, Russia) و اسپکتروفتومتر تشدید پلاسمون سطح تشدید پلاسمون سطح، اندازه گیری شد.

برای ارزیابی پایداری تراشه های تهیه شده از روشهای زیر استفاده شد.

۱. آزمایش چسب بدین صورت انجام گرفت که ابتدا تراشه ها از طرفی که لایه فلزی بر روی آنها پوشانده شده، به آرامی بر روی یک تکه چسب بصورت افقی قرار داده شده، سپس یک وزنه 100 گرمی به مدت 30 ثانیه بر روی آنها قرار داده شد. پس از برداشتن وزنه و جدا کردن نمونه از چسب، از آن عکس گرفته شد. در صورت کنده شدن لایه فلز از روی زیرلایه جواب آزمایش منفی و در غیر اینصورت مثبت گزارش شد.
۲. آزمایش آب جوش با فرو بردن نمونه ها در آب در حال جوش در یک ظرف شیشه ای با ظرفیت 200 میلی لیتر حاوی 50 میلی لیتر آب به مدت 30 دقیقه انجام شد. جدا شدن جزئی و یا کامل لایه فلزی از زیرلایه شیشه ای بعنوان مردود شدن آزمایش مدنظر قرار گرفتند. هر یک از آزمایشهای چسب و آزمایش آب جوش حداقل دو بار تکرار شدند.

نتایج و بحث

ظاهر و رنگ سطوح طلای کندوپاش شده هیچ تغییری را پس از سیلانکاری با ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان نشان ندادند..

حرارت دهی موجب تغییر در ساختار لایه نازک طلای پوشش داده شده بر روی شیشه شده و در نتیجه آن تاثیری منفی بر روی خواص تشدید پلاسمون سطح دارد. مشخص شده است که حرارت دهی نانولایه طلا،

چهاردهمین سمینار ملی مهندسی سطح

بالاخص در دماهای بالا، موجب تضعیف پاسخ تشدید پلاسمون سطح آن می شود. بنابراین، در فرایندهای سیلانکاری دماها و زمان های حرارت دهی کمتر مطلوبتر است. دما و زمان حرارت دهی در این تحقیق 100°C و ۱ ساعت انتخاب شد. این زمان و دما تاثیری قابل چشم پوشی بر روی خواص تشدید پلاسمون سطح تراشه های طلا دارد.

مورفولوژی

جدول ۱ متوسط زبری سطح تراشه طلای اولیه و سیلانه شده با روش های مختلف را نشان می دهد. همانطور که جدول ۱ نشان می دهد زبری لایه نازک سیلانی تولید شده به روش ترسیب از فاز آلی حدود 24 nm بطور آشکاری بزرگتر از لایه نازک های تولید شده با روش های دیگر ($12/52-13/32\text{ nm}$) است. شکل ۱ مورفولوژی سطح لایه طلای اولیه و سیلانه شده با هر یک از روش های روش ترسیب از فاز بخار غلیظ، روش ترسیب از فاز بخار رقیق، روش ترسیب از فاز آلی و روش ترسیب از فاز آبی را نمایش می دهد. سطح اسکن شده $2000 \times 2000\text{ nm}^2$ می باشد. زبری و مورفولوژی سطح سیلانه تولید شده با روش های روش ترسیب از فاز بخار غلیظ، روش ترسیب از فاز بخار رقیق و روش ترسیب از فاز آبی مشابه تراشه اولیه بوده ولیکن، روش ترسیب از فاز آلی شکل سطح را تغییر می دهد. بر اساس نتایج میکروسکوپ نیروی اتمی، مقایسه ضخامت لایه های سیلانی تشکیل شده به روش های مختلف ممکن نیست. این مقایسه در بخش بعدی آنالیز تشدید پلاسمون سطح (انجام خواهد شد.

آنالیز تشدید پلاسمون سطح

تاثیر روش سیلانکاری بر روی پاسخ تشدید پلاسمون سطح نمونه های پوشانده شده از ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در شکل ۲ نشان داده شده است. بطور قابل توجهی، تمامی نمونه های سیلانه شده ویژگی تشدید پلاسمون سطح خود را پس از سیلانکاری حفظ کردند هر چند با کمی تغییر. تغییر در زاویه تشدید پلاسمون سطح و بازتابش کمینه یا همان عمق تشدید پلاسمون سطح در جدول ۲ خلاصه شده است. مشاهده می شود که روش ترسیب از فاز آبی کمترین تغییر را در زاویه تشدید پلاسمون سطح ($0/22^{\circ}$) و عمق تشدید پلاسمون سطح ($3/15\%$) در مقایسه با تراشه اولیه ایجاد می کند. سیلانکاری با روش ترسیب از فاز آلی پاسخ تشدید پلاسمون سطح را بشدت کاهش می دهد.

افزایش در زاویه تشدید پلاسمون سطح و کاهش در عمق پیک تشدید پلاسمون سطح با افزایش ضخامت لایه نازک سیلیکاتی ارتباط دارد. بنابراین و با در نظر گرفتن ضریب شکست ثابت برای ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در نمونه های مختلف، نتایج حاصل از مطالعات تشدید پلاسمون سطح نشان داد که روش ترسیب از فاز آبی کمترین ضخامت لایه را و روش ترسیب از فاز آلی بیشترین ضخامت لایه سیلانی را بوجود آورده اند. روش های روش ترسیب از فاز بخار رقیق و روش ترسیب از فاز بخار غلیظ لایه سیلانی با ضخامت

میانہ را نتیجہ می دهند. در مورد این دو روش، ضخامت لایہ نازک با افزایش غلظت ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان در فاز بخار افزایش می یابد. یادآور می شود کہ روش روش ترسیب از فاز آلی بیشترین زبری سطح را نتیجہ می داد. بنابر این نتایج حاصل از میکروسکوپ نیروی اتمی و تشدید پلاسمون سطح یکدیگر را تایید می کنند.

آزمایشهای پایداری

برای تخمین چسبندگی لایہ نازک کمپوزیت نهایی ساخته شده بر روی زیرلایہ شیشه ای، آزمایش چسب و آزمایش آب جوش انجام شد. بر پایه نتایج حاصل از آزمایش چسب، مشاهده می شود کہ سیلانکاری لایہ طلا موجب بهبود چسبندگی لایہ طلا به زیرلایہ شیشه ای می شود. تنها پاسخ نمونه سیلانه نشده به این آزمایش منفی می باشد. بر اساس نتایج آزمایش چسب، تنها نمونه سیلانکاری شده توسط روش روش ترسیب از فاز آبی چسبندگی قابل قبولی را ایجاد می کند. برای روشن شدن بهتر اصلاح چسبندگی مابین لایہ طلا و SiO_2 توسط لایہ ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان، سطوح سیلانه شده طلا در آب جوش قرار داده شد. در نمونه های بدون ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان، لایہ خیلی سریع از سطح طلا جدا شد و هیچ طلائی بر روی سطح باقی نماند. ولیکن، نمونه های دیگر حاصل از سیلانه کردن توسط هر یک از چهار روش دیگر بدون تغییر باقی ماندند. این آزمایش برای شبیه سازی تحمل حرارتی تراشه ها در محیط آبی انجام شد.

لایہ نازک ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان پلیمریزه شده می تواند از طریق برهمکنش های شیمیایی و یا فیزیکی به سطح شیشه متصل شود. لایہ نازک تولید شده به روش روش ترسیب از فاز آبی بهترین اتصال را در لایہ نازک پوشانده شده نهایی طلا ایجاد می کند. دلیل این موضوع را می توان در وفور گروه های سیلانول تولید شده حین واکنش هیدرولیز گروه های اتوکسی دنبال کرد. این گروهها می توانند با گروه های سیلانول سطحی شیشه و گروه های سیلانول ملکولهای ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان دیگر حین مرحله حرارت دهی واکنش شیمیایی دهند. در نتیجہ پیوندهای کوالانس بسیار زیادی می تواند ملکولهای ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان را به یکدیگر و سطح شیشه اتصال داده و همانند یک شبکه ذرات طلا را در بر بگیرند. این لایہ نازک ممکن است حاوی بخش کوچکی از ملکولهای ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان باشد کہ جذب فیزیکی شده و یا بطور کامل پلیمریزه نشده باشند.

نتیجہ گیری

زیرلایہ شیشه ای پوشانده شده از طلا توسط روش های مختلف ترسیب از فاز آبی، ترسیب از فاز آلی، ترسیب از فاز بخار رقیق شده و ترسیب از فاز بخار غلیظ) توسط آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان سیلانکاری شدند. در ساخت تراشه ها از هیچ میان لایہ چسباننده کروم و یا تیتانیوم استفاده نشد. بر اساس آنالیزهای چسبندگی و پاسخ

تشدید پلاسمون سطح بهترین روش برای سیلانکاری تراشه های طلا ترسیب آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان از فاز آبی می باشد.

مراجع.

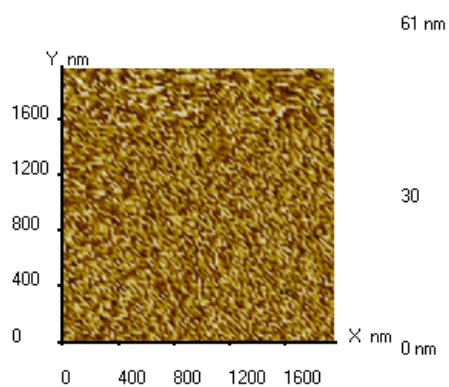
۱. T. Greg Hermanson, Bioconjugate Techniques, Elsevier Inc, ۲۰۰۸.
۲. W. wang and M. W. Vaughn, "Morphology and Amine Accessibility of ۳-Aminopropyl) Triethoxysilane Films on Glass Surfaces", SCANNING, ۳۰, ۲۰۰۸, ۶۵-۷۷.
۳. G. Allen, F. Sorbello, C. Altavilla, A. Castorina and E. Ciliberto, "Macro-, micro- and nano-investigations on ۳-aminopropyl trimethoxysilane self-assembly-monolayers", Thin Solid Films, ۴۸۳, ۲۰۰۵, ۳۰۶-۳۱۱.
۴. N. Crampton, W.A. Bonass, J. Kirkham and N.H. Thomson, "Formation of aminosilane-functionalized mica for atomic force microscopy imaging of DNA", Langmuir, ۲۱, ۲۰۰۵, ۷۸۸۴-۷۸۹۱.
۵. J.W. Lee, S.J. Sima, S.M. Cho and J. Lee, "Characterization of a self-assembled monolayer of thiol on a gold surface and the fabrication of a biosensor chip based on surface plasmon resonance for detecting anti-GAD antibody", Biosensors and Bioelectronics, ۲۰, ۲۰۰۵, ۱۴۲۲-۱۴۲۷.
۶. A. Parisi, A.C. Cino, A.C. Busacca, M. Cherchi and S. Riva-Sanseverino, "Integrated Optic Surface Plasmon Resonance Measurements in a Borosilicate Glass Substrate", Sensors, ۸, ۲۰۰۸, ۷۱۱۳-۲۴.
۷. B.A. Sexton, B.N. Feltis, and T.J. Davis, "Characterisation of gold surface plasmon resonance sensor substrates", Sens. Actuators A, ۱۴۱, ۲۰۰۸, ۴۷۱-۵.
۸. A. Serrano, O. Rodríguez de la Fuente and M.A. García, "Extended and localized surface plasmons in annealed Au films on glass substrates", J. Appl. Phys, ۱۰۸, ۲۰۱۰, ۰۷۴۳۰۳-۱۰.

جدول ۱. اثر روش سیلانکاری بر روی زبری متوسط تراشه های طلای سیلان شده

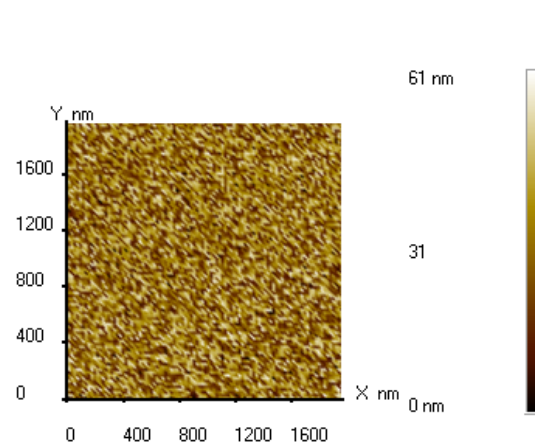
نمونه	Ra nm)
اسلاید شیشه ای	۵/۱۲
تراشه طلا	۱۲/۵۲
روش ترسیب از فاز بخار غلیظ	۱۳/۳۲
روش ترسیب از فاز بخار رقیق	۱۲/۷۲
روش ترسیب از فاز آلی	۲۴/۰۵
روش ترسیب از فاز آبی	۱۲/۳۵

جدول ۲. اثر روش سیلانکاری بر روی پاسخ تشدید پلاسمون سطح تراشه های طلای سیلان شده

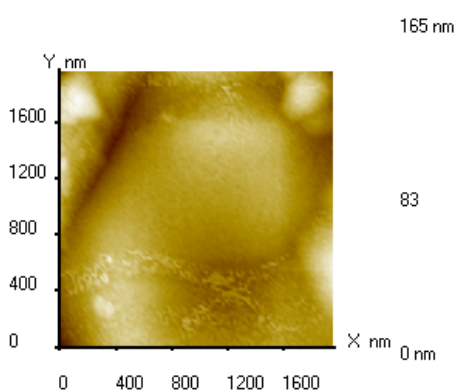
روش سیلانکاری	تغییر عمق تشدید پلاسمون سطح (%)	تغییر زاویه رزونانس (°)
روش ترسیب از فاز بخار غلیظ	۴۱/۳۷	۱/۰۲
روش ترسیب از فاز بخار رقیق	۲۷/۸۳	۰/۹۰
روش ترسیب از فاز آلی	۵۸/۳۴	۱/۱۸
روش ترسیب از فاز آبی	۳/۱۵	۰/۲۲



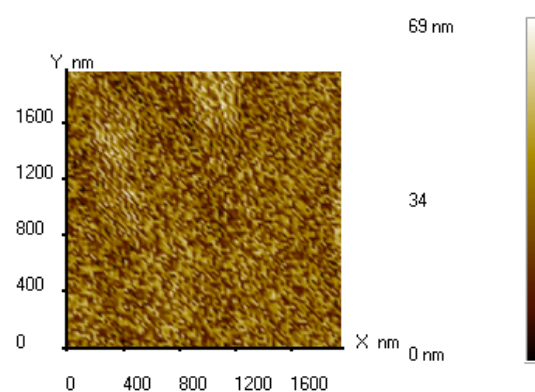
a)



b)

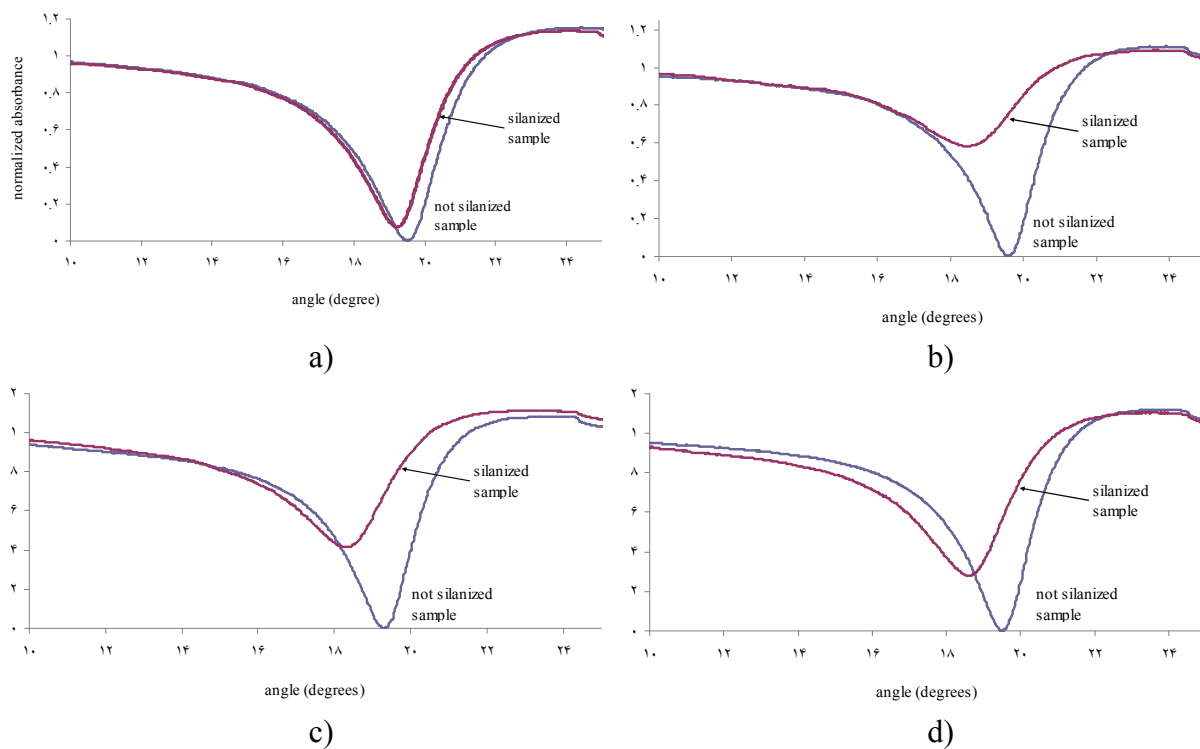


c)



d)

شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی سطح لایه طلای اولیه (a) و سیلان شده با ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان توسط هر یک از روش های روش ترسیب از فاز آبی (b)، روش ترسیب از فاز آلی (c)، روش ترسیب از فاز بخار غلیظ (d).



شکل ۲. پاسخ تشدید پلاسمون سطح تراشه طلای سیلانه شده با ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان توسط هر یک از روش های روش ترسیب از فاز آبی (a)، روش ترسیب از فاز آلی (b)، روش ترسیب از فاز بخار غلیظ (c) و روش ترسیب از فاز بخار رقیق (d).