ساخت نانوساختارهای مختلف طلا بر پایه نانوحفره‌های آلومینا

زهرا سلطانی*[۱]، فهیمه بهزادی[۲]، محمد نورمحمدی[۲]

چکیده

در این کار، نانوساختارهای مختلف طلا با استفاده از روش ساده و مقرون به صرفه‌ی آندایز تولید می‌شود. عوامل کلیدی در تولید این نانوساختارها، قطر و عمق نانوحفره‌های آلومینا می‌باشد که با شرایط آندایز قابل کنترل هستند. در اینجا، طلا با استفاده از روش تبخیر فیزیکی لایه نشانی می‌شود و مقدار آن تاثیر مهمی در مورفولوژی ساختار مورد نظر دارد. بعد از لایه-نشانی طلا در صورتی‌که عمق حفره‌ها زیاد باشد، نانوحفره‌های طلا حاصل می‌شود. قطر این نانوحفره‌های طلا، علاوه بر این‌که به قطر قالب نانوحفره آلومینا بستگی دارد، به مقدار لایه‌نشانی نیز وابسته است. اگر عمق حفره‌های آلومینا کم باشد، بعد از لایه‌نشانی، نانومیله‌های طلا ساخته می‌شود. قطر این نانومیله‌ها نیز به قطر قالب نانوحفره آلومینا و میزان لایه‌نشانی، بستگی دارد. ساختار دیگری که با کنترل ساختار نانوحفره‌های آلومینا و کنترل میزان لایه‌نشانی حاصل می‌شود، نانونقطه‌های طلاست. اگر عمق حفره‌های نانوقالب آلومینا در حدود اندازه قطر حفره‌ها باشد، نانونقطه‌ها حاصل می‌شوند. این روش را می‌توان جهت ساخت نانوساختارهایی از جنس‌های مختلف، با ویژگی عدم انحلال در اسیدی که جهت حل کردن نانوقالب آلومینا استفاده می‌شود، نیز به کار برد.

واژه‌های کلیدی: نانوحفره‌های آلومینا، نانوحفره‌های طلا، نانومیله‌های طلا، نانونقطه طلا، آندایز.

Archive of SID

[۱]- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، گروه فیزیک، شیراز، ایران

[۲]- دانشجو بخش فیزیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

*- نویسنده مسوول مقاله: zsoltany@yahoo.com

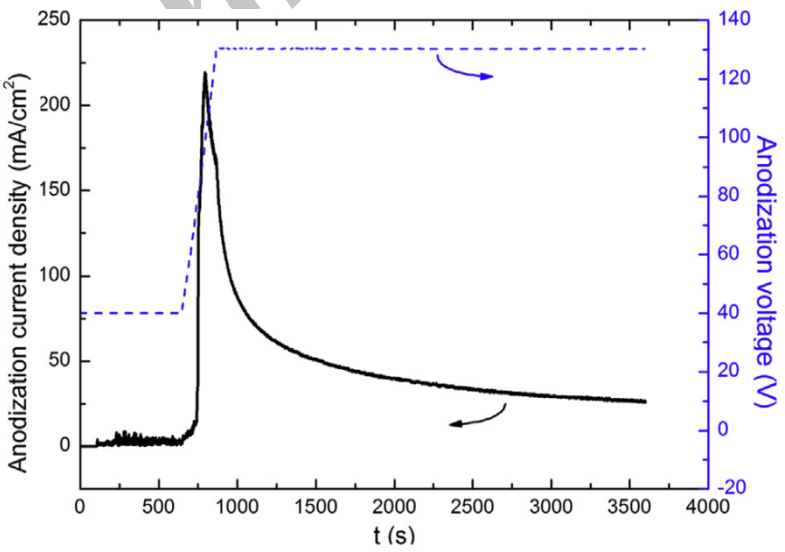
www.SID.ir

پیشگفتار

نانوساختارهای طلا، کاربردهای فراوانی در زمینه اپتوالکترونیک [۱-۲]، حسگرها [۳-۴]، زیست‌فناوری [۵] و کاتالیست‌ها [۶] دارند. برای ساخت انواع نانوساختارهای طلا بخصوص نانومیله‌ها می‌توان به روش‌های مختلفی از قبیل روش لیتوگرافی [۷-۸]، انباشت در داخل قالب [۹]، روش‌های خودآرا [۱۰] و سونش کنترل شده [۱۱] اشاره کرد. هم‌چنین برای تولید نانوحفره‌های طلا از روش حل کردن نقره از آلیاژ طلا-نقره[۱۲] و سونش طلا در اسید هیدروکلریک غلیظ[۱۳] استفاده می‌شود. در میان این روش‌ها، روش انباشت در قالب دارای مزیت‌های فراوانی است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به سهولت ساخت در عین کنترل ابعاد ساختار اشاره کرد. در این میان، قالب‌های آلومینا با توجه به نظم، پایداری شیمیایی و پایداری مکانیکی خوبی که دارند از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در این کار، روش ساخت نانوساختارهای مختلف با استفاده از این قالب‌ها مورد تحقیق و بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

ابتدا آلومینیم با خلوص ٪۹۹/۹۹۹، بصورت دایره به قطر ۱/۲سانتی‌متر برش خورده و در استون با استفاده از حمام آلتراسونیک به خوبی شسته می‌شود. سپس بعد از سوار کردن قطعه بر روی سلول الکتروشیمیایی، با استفاده از محلول سونش، مرکب از اسید پرکلریک با خلوص ٪۸۵ و اتانول به نسبت حجمی یک به چهار، سطح آلومینیم در ولتاژ ۲۰ ولت به مدت ۳ دقیقه سونش می‌شود تا سطحی صاف و صیقلی بدست آید. سپس یک مرحله آندایز نرم در ۴۰ ولت در اسید اکسالیک ۰/۳ مولار و در دمای صفر درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام می‌شود و طی این مدت یک لایه به طور تقریبی ۳۰۰ نانومتری از اکسید آلومینیم برروی زیرلایه آلومینیم تشکیل می‌شود [۱۴]؛ که این لایه اکسیدی مانع سوختگی نمونه در جریان‌های بالای ناشی از آندایز سخت می‌شود. در ادامه ولتاژ آندایز با نرخ افزایش ۰/۵ ولت بر ثانیه از ۴۰ ولت به ۱۳۰ ولت رسانده می‌شود و در این ولتاژ به مدت یک ساعت حفظ می‌شود. در این مرحله نانوحفره‌های آلومینا با طول تقریبی ۸۰ میکرومتر ساخته می‌شود [۱۴]. شکل ۱، نمودارهای جریان و ولتاژ آندایز بر حسب زمان، حاصل از آزمایش انجام شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار جریان و ولتاژ آندایز بر حسب زمان.

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه مراحل آزمایش جهت ساخت نانوحفره‌ها و نانومیله‌های طلا در شکل ۲ به طور شماتیک نشان داده شده است. جهت تولید نانوحفره‌های طلا همان طور که در شکل ۲ قسمت الف نشان داده شده است. ابتدا از قسمت بالای نانوحفره‌ها، نمونه را روی لام شیشه‌ای به عنوان نگهدارنده چسبانده و سپس زیرلایه آلومینیوم در محلول اشباع شده کلرید مس و اسید کلریدریک ۱مولار، در دمای محیط حذف می‌شود (مرحله الف-۱)؛ آنگاه لایه سدی حفره‌ها (لایه‌ای از جنس آلومینا که در اولین مراحل آندایز شکل می‌گیرد و تقریبا به شکل برشی از یک کره، پایین حفره‌ها قرار دارد.) به مدت ۳ ساعت در معرض اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۰ درجه، قرار می‌گیرد تا در آن حل شود. بعد از این زمان لایه سدی حفره‌ها حذف شده و دهانه حفره‌ها در معرض اسید بازتر می‌شود (مرحله الف-۲). بعد از این فرآیند نانوقالب (نانوحفره‌های آلومینا) آماده‌ی لایه‌نشانی طلا می‌شود. مراحل تولید نانوقالب آلومینا جهت تولید نانومیله‌های طلا، کمی متفاوت است. مراحل کار شامل حذف آلومینا در محلول اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۰ درجه (مرحله ب-۱)، آندایز نرم در زمان کوتاه در محلول ۰/۰۵ مولار اسید اکسالیک و ۰/۰۲ مولار اسید فسفریک در ۱۰۴ولت (مرحله ب-۲)، و گشاد کردن حفره‌ها در محلول اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۰ درجه (مرحله ب-۳)، می‌باشد؛ سپس نمونه جهت لایه‌نشانی طلا آماده می‌شود.

طلا به روش لایه‌نشانی فیزیکی تبخیر گرمایی بر روی بستر نانوقالب انباشت می‌شود. طی این نوع لایه‌نشانی اتم‌های تبخیر شده مسیر مستقیمی را طی می‌کنند و به دلیل خلأ بالای اتاقک خلأ، احتمال تغییر مسیر آن‌ها بسیار کم است. نرخ لایه‌نشانی در حدود ۳ آنگستروم بر ثانیه است و فشار محفظه خلأ در حدود ۴۵ میکروپاسکال می‌باشد. باتوجه به شرایط ذکرشده برای ساخت نانوحفره‌های طلا نیاز به حدود ۲۰۰ نانومتر لایه‌نشانی وجود دارد که این مقدار برای نانومیله‌ها به بیش از ۱ میکرومتر می‌رسد. بعد از لایه‌نشانی، از سمتی که طلا لایه‌نشانی شده فیلم طلا بر روی سطح شیشه با چسب دوقلو چسبانده شده و لایه آلومینا با استفاده از محلول ۱مولار NaOH حل می‌شود و سپس تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای بررسی نحوه‌ی شکل‌گیری و ساختار هندسی آن‌ها تهیه می‌شود.

نتایج و بحث

برای ساخت نانوقالب‌ها می‌توان از روش آسان و مقرون به صرفه آندایز استفاده کرد. آندایز سخت نسبت به آندایز نرم دارای این مزیت هست که می‌توان نانوقالب‌هایی با قطر حفره و فاصله بین‌حفره‌ای، را در محدوده وسیع‌تری ساخت. هم‌چنین در این روش سرعت رشد نانوحفره‌ها بسیار بالاتر از سرعت رشد در آندایز نرم است [۱۴]. برای ساخت نانوقالب جهت تولید نانوحفره طلا تنها از روش آندایز سخت و برای ساخت نانومیله و نانونقطه، هم از آندایز سخت و هم آندایز نرم استفاده می‌شود. با ترکیب آندایز سخت و نرم می‌توان ساختارهایی با قطر و فاصله بین‌حفره‌ای دلخواه و هم‌چنین ساختارهایی با عمق کم ساخت. در ادامه نتایج حاصل برای ساخت انواع نانوساختارهای طلا بیان می‌گردد.

نانوحفره‌های طلا: جهت ساخت نانوحفره‌های طلا فقط از آندایز سخت استفاده می‌شود. این نوع آندایز دارای این قابلیت است که می‌توان در زمانی کوتاه نانوقالب‌هایی بسیار منظم را ساخت. در طی فرآیند آندایز سخت نانوحفره‌های آلومینا با نظم بسیار بالا با ساختاری شش‌وجهی تشکیل می‌شود. نظم و ساختار شش‌وجهی این نانوحفره‌ها را می‌توان در شکل ۳-a مشاهده نمود. در این شکل، پشت حفره‌ها بعد از حل شدن لایه آلومینیوم دیده می‌شود. شکل ۳-b نانوحفره‌های آلومینا بعد از حل شدن لایه‌سدی و افزایش قطرحفره‌ها در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش زمان سونش قطرحفره‌ها افزایش می‌یابد. نکته کلیدی برای ساخت نانوحفره‌های طلا این است که باید عمق حفره‌های نانوقالب زیاد باشد تا اتم‌های طلایی که وارد حفره‌ها می‌شوند، باعث پرشدن حفره‌ها نشود. وقتی طول حفره زیاد باشد، اتم‌های طلا در فاصله دورتری از ورودی حفره بر روی دیواره حفره‌ها نشت می‌کند و باعث می‌شود که ساختار حفره‌ای نانوقالب به نانوساختار طلا منتقل شود.

Archive of SID

www.SID.ir

بعد از لایه‌نشانی طلا و حذف لایه آلومینا می‌توان به خوبی شکل‌گیری نانوحفره‌های طلا را در شکل ۳-c مشاهده نمود. طرح روی بستر این نانوحفره‌ها کاملا شبیه بستر آلومینا بوده و شکل نانوقالب آلومینا که روی آن لایه‌نشانی شده است را به خود گرفته است؛ انتقال هندسه و الگوی نانو حفره‌های آلومینا به نانوحفره‌های طلا را بخوبی در مقایسه شکل‌های۳-b و ۳-c می‌توان مشاهده نمود. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود قطر حفره در نانوحفره‌های طلا کمتر از قطر حفره در نانوحفره‌های آلومینا است. در واقع اندازه قطر حفره در نانوحفره طلا به مقدار لایه نشانی وابسته است. دلیل آن این است که برخی از اتم‌های طلا حین وارد شدن به حفره در اطراف دهانه حفره انباشت می‌شود و قطر آن را کمتر می‌کند. هم‌چنین عمق نانوحفره‌های طلا به میزان لایه‌نشانی بستگی دارد. هرچه مقدار لایه‌نشانی بیش‌تر شود به دلیل انباشت بیش‌تر اتم‌های طلا، در نهایت انتهای حفره طلا بسته شده و عمق این نانوحفره‌ها ثابت می‌ماند. در این شرایط آزمایش، نانوحفره‌های طلا با عمق در حدود ۳۰۰ نانومتر حاصل شد (شکل ۳-d). بنابراین با ساخت قالب‌هایی با قطر حفره‌های مختلف و هم‌چنین کنترل مقدار ماده لایه‌نشانی شده می‌توان نانوحفره‌های طلا با ابعاد مورد نظر را ساخت.

نانومیله‌های طلا: همان طور که اشاره شد، در صورتی که عمق نانوحفره‌های آلومینا کم باشد، اتم‌های تبخیر شده طلا، حفره‌ها را کاملا پر می‌کند و نانوساختارهایی به‌نام نانومیله تشکیل می‌شود. برای ساخت نانومیله‌های طلا می‌توان از غشاهایی با طول ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر که به روش آندایز دومرحله‌ای آندایز سخت و نرم ساخته می‌شوند، استفاده کرد. از آن جایی‌که سرعت رشد در آندایز سخت بسیار بالاست، برای تولید قالب‌هایی با طول کنترل شده کوتاه، در مرحله دوم آندایز، از آندایز نرم که سرعت رشد در آن بسیار پایین است، استفاده می‌شود. روش ساخت نانوقالب آلومینا با استفاده از روش آندایز دو مرحله‌ای (آندایز سخت و نرم)، قبلا بطور مفصل توضیح داده شده است [۱۵]. در این روش، ابتدا حفره‌های با طول زیاد به روش آندایز سخت ساخته می‌شود، سپس همان‌طور که در شکل ۲ قسمت ب نشان داده شده است، آلومینا در محلول اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۰ درجه‌ای سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت حل می‌شود (مرحله ب-۱)، سپس روی آلومینیوم الگوبندی شده توسط آندایز اولیه، آندایز نرم انجام می‌شود تا نانوحفره‌هایی با عمق کم حاصل شود (مرحله ب-۲). این نانوحفره‌ها الگوی ایجاد شده از آندایز سخت را حفظ کرده و با همان نظم رشد می‌کنند. شکل ۴ الگوی سه‌بعدی در تصویر AFM از سطح آلومینیوم بعد از حذف آلومینا را نشان می‌دهد. این الگو بیانگر ایجاد ساختاری با پیکربندی شش‌وجهی بر روی زیرلایه آلومینیمی است که می‌توان آن را طی آندایز مرحله دوم ادامه داد و این الگو را به ساختاری که طی آندایز نرم ایجاد می‌شود، انتقال داد.

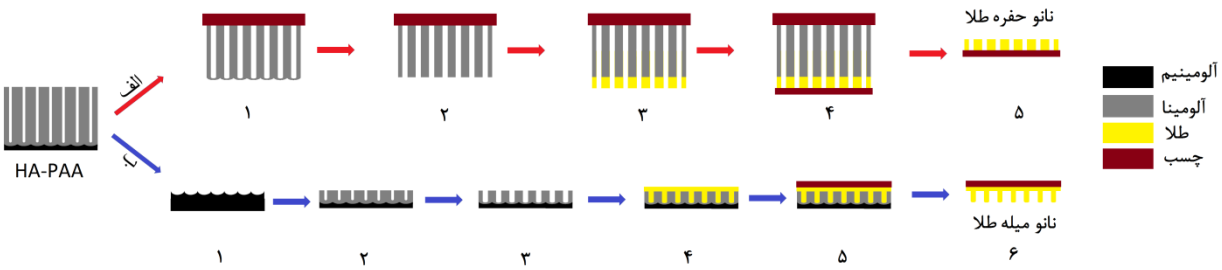
شکل ۵-a، بالای حفره‌های آلومینا را نشان می‌دهد. در شکل ۵-b پشت و سطح مقطع حفره‌ها نشان داده شده است. لایه سدی به طور واضح در شکل دیده می‌شود. هم‌چنین مشاهده می‌شود که طی آندایز مرحله دوم، حفره‌ها نظم خود را حفظ می‌کنند. شکل ۵-c نانومیله‌های تولید شده به کمک نانوحفره‌های آلومینا را نشان می‌دهد. قطر نانومیله‌ها در طول نانومیله متغیر است. قسمت سر نانومیله‌ها که در انتهای حفره قرار دارد بیش‌تر است و در حدود ۲۴۰ نانومتر است و با حرکت به سمت بالای حفره‌ها که به قسمت توده طلا متصل است به ۱۴۰ نانومتر می‌رسد. این مطلب به این دلیل است که در ابتدا قطر دهانه حفره زیاد بوده و اتم‌های طلا در سطح وسیع‌تری وارد حفره می‌شوند، ولی با لایه‌نشانی بیش‌تر چون بعضی از اتم‌ها بروی دهانه انباشت می‌شوند، قطر دهانه کاهش یافته و اتم‌های طلای کمتری می‌توانند وارد حفره شوند و به نوعی می‌توان گفت دهانه بر روی داخل حفره سایه می‌اندازد. قطر سر نانومیله‌ها تقریبا هم اندازه قطر حفره است و دارای بیش‌ترین مقدار است این بخش از نانومیله در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به رنگ روشن‌تر مشاهده می‌شود که علت آن اندازه بزرگتر آن نسبت به دیگر قسمت‌های نانومیله است که این امر باعث می‌شود الکترون‌ها برخورد کرده به این ناحیه و بازتابیده از آن به سمت حسگر میکروسکوپ این تفاوت را بصورت تغییر رنگ نشان دهند. البته می‌توان با کنترل میزان انباشت به گونه‌ای لایه‌نشانی را انجام داد که حفره‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

کاملا پر نشوند. در این صورت علاوه بر عمق حفره، میزان انباشت نیز می‌تواند طول نانومیله را تعیین کند، البته در این صورت اگر نانوحفره آلومینا حل شود نانومیله‌های طلا آزاد می‌شوند و باید به گونه‌ای آن‌ها را با فیلترهای مناسب استخراج نمود. مساله دیگری که در تصاویر نانومیله‌های طلا در شکل ۵-d می‌توان مشاهده نمود، به هم چسبیدن این نانومیله‌ها است البته این مساله برای نانومیله‌هایی ایجاد می‌شود که طول بلندتری دارند. با کاهش طول میله‌ها همانگونه که در شکل ۵-c مشاهده می‌شود، نانومیله‌ها به هم نچسبیده و بصورت یک ساختار منظم میله‌ای شکل باقی می‌مانند. بنابراین با کنترل طول و قطر نانوحفره‌های آلومینا می‌توان هر نوع نانومیله با طول مشخص را طراحی نموده و ساخت.

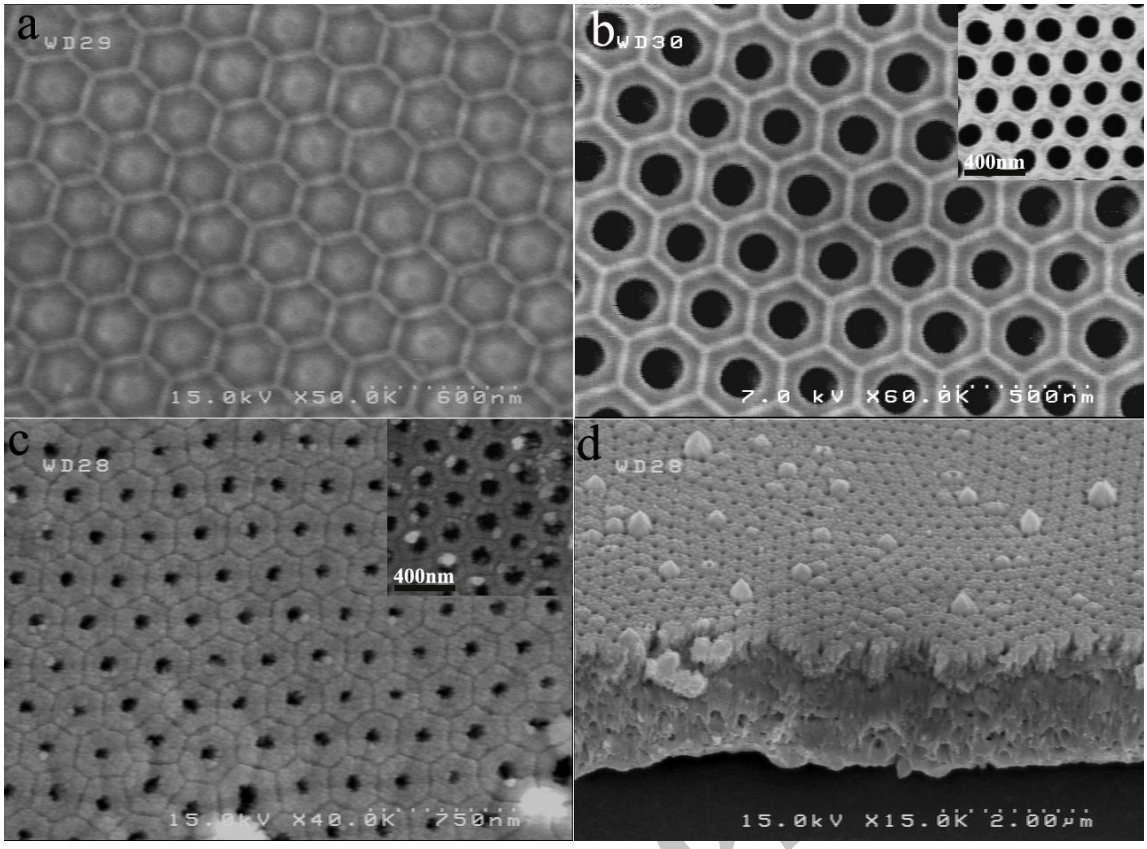
نانونقطه‌های طلا: ساختار دیگری که می‌توان با استفاده از نانوحفره‌های آلومینا ساخت، نانونقطه‌های طلا است. با استفاده از آندایز سخت و نرم قالب‌های آلومینا مشابه آنچه که برای تولید نانومیله‌ها ساخته شد، تولید می‌شود؛ ولی میزان لایه‌نشانی باید در حد قطر حفره‌ها و یا کمتر از آن‌ها باشد زیرا در نانونقطه‌ها، ارتفاع آن‌ها کمتر از قطرشان است. اگر عمق نانوحفره‌ها در حد قطر آن‌ها و تقریبا کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر باشد، در داخل حفره‌ها نانونقاط شکل می‌گیرند. مطابق شکل ۶، این نانونقطه‌ها دارای طول و عرض تقریبا یکسانی خواهند بود و با توجه به پیکربندی منظم شش‌وجهی حفره‌های آلومینا مطابق شکل می‌توان آن‌ها را در چیدمانی با نظم شش‌وجهی رشد داد.



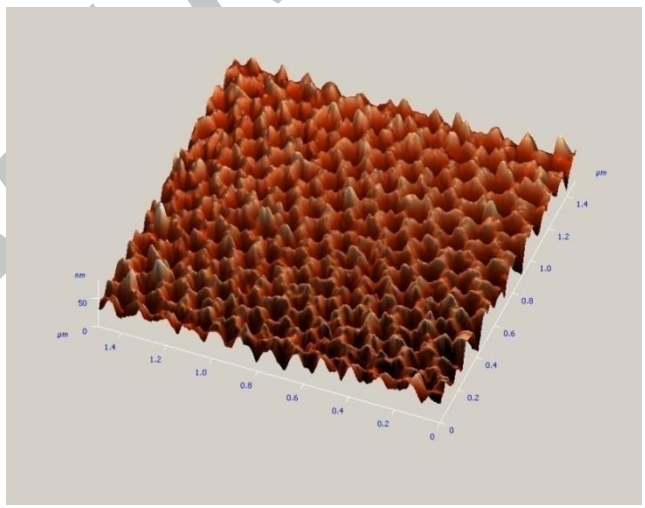
شکل ۲- تصویر شماتیک از رشد نانومیله‌ها و نانوحفره‌های طلا. الف: مرحله (۱) حذف زیرلایه آلومینیم، مرحله (۲) حذف لایه سدی، مرحله (۳) لایه‌نشانی تبخیر گرمایی طلا، مرحله (۴) چسباندن لایه طلا به زیرلایه شیشه‌ای، مرحله (۵) حذف لایه آلومینا ب:مرحله (۱) حذف لایه آلومینای شکل گرفته در آندایز سخت، مرحله (۲) آندایز نرم، مرحله (۳) افزایش قطر حفره‌های آلومینای شکل گرفته در آندایز نرم، مرحله (۴) لایه‌نشانی تبخیر گرمایی طلا، مرحله (۵) چسباندن لایه طلا به زیرلایه شیشه‌ای، مرحله (۶) حذف لایه آلومینا و آزاد کردن نانومیله‌ها.

Archive of SID

www.SID.ir

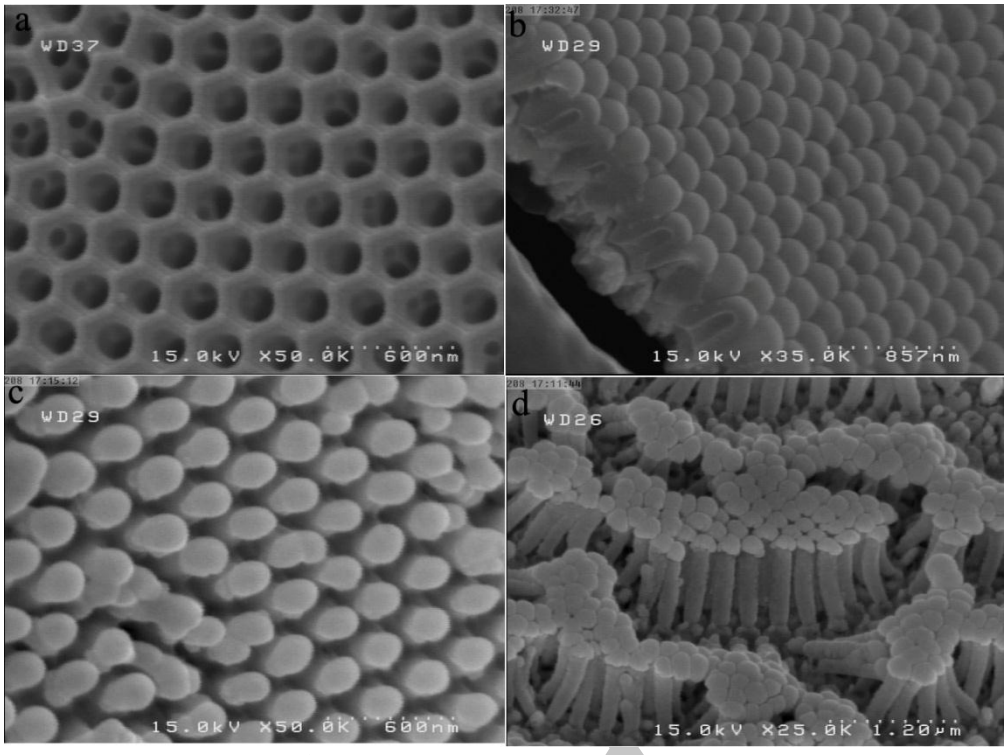


شکل ۳- تصاویرمیکروسکوپ الکترونی روبشی ازحفره‌ها (a) قبل ازحذف لایه‌سدی، (b) بعد از باز شدن و افزایش قطرحفره‌ها بعد از گذشت۳ ساعت و ۱۵ دقیقه، و ۴ ساعت و ۵ دقیقه (تصویرداخلی)، (c) نانوحفره‌های طلای ساخته شده برپایه نانوقالب‌های آلومینای متناظر در قسمت b، (d) سطح مقطع جانبی نانوحفره‌های طلا.

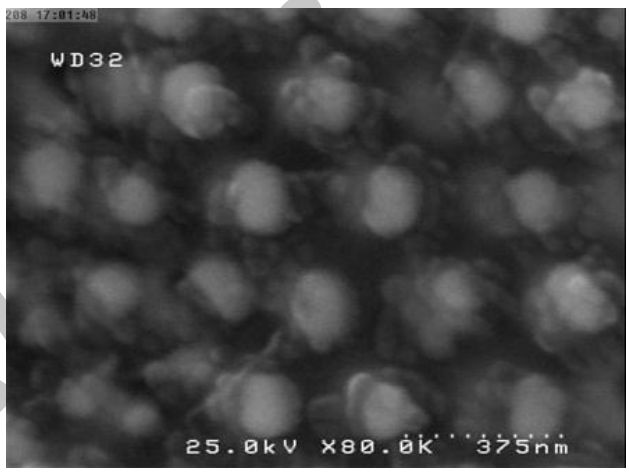


شکل ۴- تصویر AFM از الگوی ایجاد شده بر روی بستر آلومینیمی.

www.SID.ir



شکل ۵- (a) و (b) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از حفره‌ها بعد از آندایز مرحله دوم. (c) و (d) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانومیله‌های طلا با طول‌های مختلف.



شکل ۶- نانونقطه‌های طلا بعد از حذف آلومینا که نظم شش‌وجهی نانوحفره را به خود گرفته است.

نتیجه‌گیری

روش آندایز، روشی آسان و مقرون به صرفه برای تولید نانوساختارهای مختلف است. با کنترل شرایط آندایز می‌توان نانوحفره‌هایی با اندازه قطر و عمق مختلف ساخت. دراین کار، عمق حفره نقش کلیدی در تولید نانوساختارهای مختلف دارد. بعد از لایه‌نشانی طلا، اگر عمق حفره، بسیار بلند و در حدود ۸۰ میکرومتر باشد، نانوحفره طلا و اگر عمق حفره کمتر از ۱ میکرومتر باشد، نانومیله طلا ساخته می‌شود. در حالتی که عمق حفره در حد قطر آن (حدود ۱۰۰نانومتر) باشد، نانونقطه طلا حاصل می‌شود. در مورد نانوحفره طلا، از آنجایی‌که در حین لایه‌نشانی، ذرات ماده تبخیری در کنار دهانه حفره آلومینا انباشت می‌شود، محل عبور ذرات طلا بسته می‌شود و با لایه‌نشانی بیشتر، عمق حفره طلا تغییر نمی‌کند.

www.SID.ir

بنابراین، برای تولید نانوحفره طلا با عمق بیش‌تر، بایستی نانوقالب آلومینا با قطر بزرگتر ساخت، تا دهانه آن دیرتر مسدود شود. به‌طورکلی، با کنترل ساختار نانوقالب آلومینا و میزان لایه‌نشانی می‌توان نانوساختارهای مختلف طلا را ساخت. نکته قابل توجه این است که این روش جهت ساخت نانوساختارهای دیگر نیز استفاده می‌شود. البته این مواد باید از جنسی باشند که در اسیدی که جهت حل کردن قالب آلومینا استفاده می‌شود حل نشوند. بدین ترتیب می‌توان آرایه‌ای از نانوساختارهای مختلف مثل نانوحفره‌ها، نانومیله‌ها و نانوذرات از جنس‌های مختلف ساخت که در این کار نانوساختارهایی از جنس طلا ارائه شد.

سپاسگذاری

این‌کار با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز تحت عنوان طرح پژوهشی انجام شده است.

Refrences

1. S. H. Lim, W. Mar, P. Matheu, D. Derkacsand, and E. T. Yu, "Photocurrent spectroscopy of optical absorption enhancement in silicon photodiodes via scattering from surface Plasmon Polaritons in gold nanoparticles", Journal of applied Physics. 101, pp. 104309-104315, 2007.
2. M. K. Kwon, J. Y. Kim, B. H. Kim, I. K. Park, C. Y. Cho, C. C. Byeon and S. J. Park, "Surface-Plasmon-Enhanced Light-Emitting Diodes", Advanced Materials. 20, pp.1253-1257, 2008.
3. K. Aslan, J. R. Lakowicz and C. D. Geddes,"Plasmon light scattering in biology and medicine: new sensing approaches, visions and perspectives", Current Opinion in Chemical Biology.9, pp. 538-544, 2005.
4. H. Haick, "Chemical sensors based on molecularly modified metallic nanoparticles", Journal of Physics D: Applied Physics.40, pp.7173–7186,2007.
5. W.R. Glomm, "Gold nan oparticles for Applications in Bionanotechnology", Journal of Dispersion Science and Technology.26, pp. 389-414, 2005.
6. M. S. El-Deab and T. Ohsaka, "Hydrodynamic Voltammetric Studies of the Oxygen Reduction at Gold Nanoparticles Electrodeposited Gold Electrodes", Electrochimica Acta.47, pp. 4255-4261, 2002.
7. G. M. Wallraff and W. D. Hinsberg, "Lithographic Imaging Techniques for the Formation of Nanoscopic Features", Chemical Review.99, pp. 1801-1821, 1999.
8. R. M. Nyffenegger and R. M. Penner, "Nanometer Scale Surface Modification Using the Scanning Probe Microscope", Chemical Review.97, pp. 1195-1230, 1997.
9. J. Viernow, D. Y. Petrivykh, E. K. Men, A. Kirakosian, J. L. Lin and E. J. Himpsel, "Linear arrays of CaF2 nanostructures on Si", Applied Physics Letters. 74, pp. 2125-2127, 1999.
10. B. G. Prevo, J. C. Fuller and O. D.Velev, "Rapid Deposition of Gold Nanoparticle Films with Controlled Thickness and Structure by Convective Assembly", Chemistry of Materials. 17, pp. 28-35, 2005.
11. F. K. Liu, Y.C. Chang, F. H. Ko, T. C. Chu and B. T. Dai, "Rapid fabrication of High Quality Self-assembled Nanometer Gold Particles by Spin Coating Method" ,Microelectronic Engineering. 67-68, pp. 702-709, 2003.
12. M. C. Dixon, T. A. Daniel, M. Hieda, D. M. Smilgies, M. H. W. Chan, and D. L. Allara, "Preparation, structure, and optical properties of nanoporous gold thin films", Langmuir.23, pp. 2414–2422, 2007.

Archive of SID

www.SID.ir

13. M. Hakamada and M.Mabuchi, “Nanoporous Gold Prism Microassembly through a Self-Organizing Route”,Nano Letters.6, pp.882-885, 2006.
14. W. Lee, R. Ji, U. Gosele and K. Nielsch, “Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization”, Nature Materials 5, pp. 741-747, 2006.
15. Z. Soltani, M. Moradi, M. Noormohammadi and F. Behzadi, “Fabrication of Highly Ordered Gold Nanorods Film Using Alumina Nanopores”, Journal of Nanostructures2, pp. 235-240, 2012.

Archive of SID

www.SID.ir