

لایه‌نشانی اکسیدروی با امواج فراآوا و بررسی تأثیر حرارت‌دهی بر آن

فاطمه وفاداران تبریزی، اباذر حاج نوروزی*

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد

چکیده

در این مقاله، به چگونگی لایه‌نشانی به کمک امواج فراآوا در محلول آبی اکسیدروی بر روی اسلایدهای شیشه‌ای پرداخته شده است؛ همچنین تأثیر مکان تابش بر میزان لایه‌نشانی نانوذرات و حرارت‌دهی به اسلایدها بعد از لایه‌نشانی مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار و ریخت‌شناسی لایه نازک با استفاده از میکروسکوپ نیروی بین‌اتمی و میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که متوسط اندازه قطر ذرات لایه‌نشانی شده بر روی اسلایدهای شیشه‌ای در روبه‌رو و کناره پروب مولد فراآوا قبل و بعد از حرارت‌دهی از مرتبه نانومتر است. این روش لایه‌نشانی سریع، ساده، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست است.

کلیدواژه‌ها: نانوذرات اکسیدروی، مولد فراآوا، لایه‌نشانی، ریخت‌شناسی، حرارت‌دهی.

۱. مقدمه

از جمله لایه‌های نازکی که از گذشته مورد توجه بوده و هم‌اکنون نیز تحقیقات گسترده‌ای روی آن ادامه دارد، لایه‌های نازک اکسیدروی است. اکسیدروی یک نیمه‌هادی با گام انرژی ۳/۳۷ الکترون‌ولت است. اکسیدروی در کاتالیزورها، نیمه‌هادی‌ها، مبدل‌های پیزوالکتریک، حس‌گر گاز، نمایشگر انتشار میدان، یاخته‌های (سلول‌های) خورشیدی و غیره توجه بسیاری به خود جلب کرده است [۱].

اکسیدروی ماده‌ای سازگار با محیط‌زیست است و دارای سمیت کمی است و به علت خواص ضد باکتریایی آن به‌عنوان یک ماده فعال برای کاربردهای مربوط به پوست در کره‌ها، لوسیون‌ها و پمادها به‌طور گسترده استفاده می‌شود. خواص ضد باکتریایی آن در شکل‌های میکرو و نانو یافت می‌شود [۲].

روش‌های مختلفی برای سنتز لایه‌های نازک وجود دارد. در این مقاله از روشی بالا به پایین برای سنتز نانوذرات استفاده می‌شود. این روش لایه‌نشانی به کمک امواج فراآوا است [۳].

انتشار امواج فراآوا با شدت بالا در مایعات باعث کاواک‌زایی (تشکیل، رشد و فروریزش حباب) می‌شود. فروریزش حباب

حباب منجر به ایجاد دمای نقطه‌ای بالای ۵۰۰۰ کلوین و فشار بالای ۱۰۰ اتمسفر می‌گردد. این به همراه نرخ سرد شدن سریع، مقدمه اثرات فیزیکی و شیمیایی است. اثرات فیزیکی سبب افزایش سطح آسیب وجه مشترک مایع-جامد، افزایش سرعت اولیه در برخورد درون‌ذره‌ای در محلول آبی و ریزش ذرات جامد درون محلول است. اثرات شیمیایی نیز به دلیل تولید رادیکال آزاد ناشی از فروریزش حباب فراآوایی است که وابسته به شبه‌سنج‌های مختلف آزمایشگاهی مثل فشار بخار پیش‌ماده حل‌شونده، فشار بخار حلال و گاز درون محلول است [۴].

عبور امواج فراآوا از میان محیط مایع باعث ایجاد نوسان سینوسی می‌شود و نتیجه آن پدیده‌ی کاواک‌زایی است. این پدیده شامل تشکیل حباب در محلول بر اثر انتشار امواج فراآوا و در پی آن رشد و فروریزش حباب است. هنگامی که فشار متراکم‌شده در محیط به اندازه کافی زیر فشار استاتیک باشد، حباب‌ها رشد می‌کنند. این انبساط با تبخیر آب در سطح داخلی حباب همراه است (فرض بر این است که محیط واکنش فقط آب است) و مولکول‌های بخار آب در حباب پخش می‌شوند. تعدادی از مولکول‌های بخار واردشده در حباب، در سطح متراکم می‌شوند؛ ولی همه مولکول‌های بخار آب قادر نیستند در دیواره حباب جایگزین شوند. در نتیجه تعدادی از مولکول‌های بخار آب در داخل حباب به دام افتاده و در معرض دماهای شدید و

* نویسنده پاسخگو: ahajnorouzi@shahed.ac.ir

میکروجت‌ها نمی‌توانند بر ذرات جامد کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرومتر اثر کنند؛ زیرا تخریب ناشی از فروریزش حباب، وابسته به سطحی چندین برابر بزرگ‌تر از اندازه افزایش‌یافته آن است. به همین دلیل پودرهای آلی به‌صورت متداول به‌عنوان واکنشگرهای جامد یا کاتالیزور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در محلول مایع-جامد پس از فروریزش حباب، امواج شوک درون مایع منتشرشده و با برخورد به ذرات سبب برخورد آن‌ها با یکدیگر می‌شوند که نتیجه آن ایجاد ذوب مؤثر در نقطه برخورد است. همچنین این امواج سبب جابه‌جایی ذرات و حذف مکانیکی مواد از سطح یا اتصال مواد به سطح می‌شوند [۴]؛ پس به نظر می‌رسد در انجام فرایند لایه‌نشانی با کمک امواج فراآوا، هم امواج شوک و هم میکروجت‌ها تأثیرگذارند.

۲. مواد و روش‌ها

۲۰۰ میلی‌لیتر محلول اکسیدروی با حل کردن پودر اکسیدروی بالک با غلظت ۰/۰۵ مولار در آب دیونیزه به‌دست آمد. سپس اسلایدهای شیشه‌ای داخل ظرف واکنش تحت تابش قرار داده شدند و با یک پروب تیتانیوم غوطه‌ور (۲۰ کیلوهرتز، از نوع ۱۲۰۰ یوتی-اف‌ای‌پی‌ان^۱) با ۵۰ درصد توان بیشینه و تپ ۵۰ درصد برای مدت‌زمان ۱۰ دقیقه تحت تابش یکنواخت امواج فراآوا قرار گرفتند. مکان قرارگیری اسلایدهای شیشه‌ای در قسمت روبه‌رو و کناره سطح تابش امواج فراآوا است. پس از تابش امواج فراآوا به نمونه‌ها، اسلایدهای شیشه‌ای با آب دیونیزه، شسته شدند و در دمای محیط با هوا خشک شدند. پس از شست‌وشو، اسلاید کاملاً شفاف و تمیز می‌شود. سپس نمونه‌های لایه‌نشانی‌شده در کوره با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس در زمان‌های ۶، ۹، ۲۴ و ۴۸ ساعت قرار داده شدند. ساختار و ریخت‌شناسی سطوح و رسوبات نیز با میکروسکوپ نیروی بین‌اتمی (ای‌اف‌ام)^۲ و میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (اف‌ای‌اس‌ای‌ام)^۳ مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱ محل

شرایط فشار تولیدشده در زمان فروریزش قرار می‌گیرند و دچار گسستگی شده و رادیکال‌هایی هم‌چون OH رادیکال تولید می‌شوند. رادیکال‌ها کاملاً ناپایدارند [۵]. حباب‌ها تحت تأثیر امواج سینوسی در دمای ثابت رشد می‌کنند. تعدادی از حباب‌هایی که به حداکثر رشد خود می‌رسند ناپایدارند و دچار فروریزش می‌شوند. فروریزش حباب‌ها بسیار سریع صورت می‌گیرد و به همین دلیل این فرایند به‌صورت بی‌دررو اتفاق می‌افتد. فروپاشی حباب سبب تولید فشار و دمای بالای لحظه‌ای در نقطه فروپاشی می‌شود.

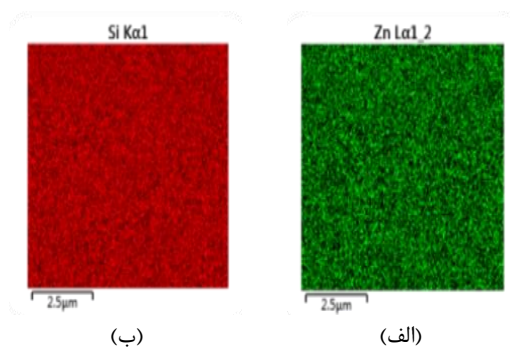
اثرات انتشار امواج فراآوا در محلول‌ها در قالب اثرات فیزیکی و شیمیایی بررسی می‌شوند. اصلی‌ترین تأثیر این امواج به اثرات فیزیکی آن مربوط می‌شود.

اثرات فیزیکی ناشی از انتشار امواج فراآوا عبارتند از: ریزجریان، آشفتگی کوچک، امواج شوک و میکروجت‌ها. در مورد امواج شوک می‌توان گفت که در طول فاز فشرده‌سازی، عناصر مایع در مجاورت دیواره حباب به سمت دیواره همگرا می‌شوند. فشرده‌سازی حباب گاز (حاوی گاز غیرمتراکم مانند هوا) به‌صورت بی‌دررو اتفاق می‌افتد. در نقطه حداقل شعاع (حداکثر فشرده‌سازی) دیواره حباب دچار توقف ناگهانی و برگشت‌پذیر با سرعت بالا شده و این بازتاب امواج شوک را می‌سازد که در محیط پخش می‌شود. همچنین حباب در طول حرکت شعاعی، تا زمانی که حرکت مایع در مجاورت آن متقارن و یکنواخت است هندسه کروی خود را نگه می‌دارد؛ در نتیجه گرادیان فشار وجود ندارد. اگر حباب نزدیک به مرز قرار بگیرد، از حرکت مایع در نزدیکی آن مرز ممانعت می‌شود و نتیجه آن رشد گرادیان فشار است. این غیریکنواختی فشار سبب از دست‌دادن هندسه کروی حباب می‌شود. در طول حرکت شعاعی نامتقارن بخشی از حباب که در معرض فشار بالاتر است زودتر از بقیه حباب دچار فروپاشی می‌شود که این باعث تولید جت مایع با سرعت بالا می‌گردد. برای یک مرز سخت میکروجت به سمت مرز هدایت می‌شود؛ درحالی‌که این اتفاق برای یک مرز آزاد به سمت دور از مرز رخ می‌دهد. در مورد مرزهای سخت، این جت‌ها می‌توانند باعث آسیب شدید در نقطه ضربه شده و سطح را ساییده کنند [۵].

¹ 1200 UT -FAPAN

² AFM (Atomic Force Microscope)

³ FESEM (Field Emmision Scanning Electron Microscope)



شکل ۳ تصویربرداری از عناصر شیشه‌های پوشش داده‌شده و حرارت داده‌شده به مدت ۲۴ ساعت در کوره؛ (الف) روی، (ب) سیلیکون.

نکته بعدی مربوط به مکان قرار گرفتن زیرلایه است. شکل ۴ نشان می‌دهد که علاوه بر قسمت انتهایی ظرف واکنش که مقابل پروب قرار دارد، در کناره‌های ظرف واکنش نیز لایه‌نشانی صورت می‌پذیرد. هم‌چنین مشخص شد که زیرلایه‌های شیشه‌ای که در کناره‌ها قرار دارند، در دو طرف پوشش داده‌شده‌اند؛ یعنی هم در قسمت رو به پروب و هم در قسمت پشت به پروب لایه‌نشانی انجام شده است. متوسط اندازه نانوذرات رو به پروب در شکل ۴-د، ۲۵ نانومتر است.

پروب موجب انتشار امواج آشفته در راستای شعاعی در طول تابش امواج فراآوایی بسامد پایین با قدرت بالا می‌شود. با انتشار امواج فراآوا در محیط مایع یک جریان عمودی درست زیر پروب به سمت پایین ظرف واکنش و یک جریان گرداب که به‌عنوان منطقه تجدیدپذیر نامیده می‌شود در کناره‌های ظرف واکنش به وجود می‌آیند. اگرچه سرعت ناشی از تابش امواج فراآوا در زیر پروب نقش مهمی در حرکت ذرات در محیط مایع در جهت محوری ایفا می‌کند؛ اما الگوهای جریان ثانویه مانند مناطق تجدیدپذیر نیز باید موردتوجه قرار گیرند. برای بررسی قدرت مناطق تجدیدپذیر، سرعت جریان جرم مایع بازگشتی به‌عنوان یک شاخص قوی در داخل ظرف واکنش معرفی می‌شود [۶]. به نظر می‌رسد این گرداب‌ها باعث انجام فرایند لایه‌نشانی بر روی زیرلایه‌های قرارگرفته در کناره ظرف واکنش تحت تابش امواج فراآوا می‌شوند.

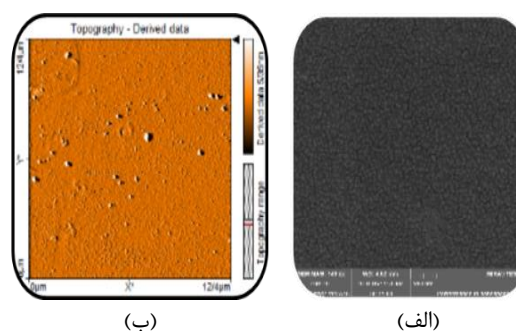
قرار گرفتن نمونه‌ها در قسمت زیر و کنار راکتور تحت تابش امواج فراآوا را نشان می‌دهد.



شکل ۱ نمایی از راکتور تحت تابش و محل قرار گرفتن نمونه‌ها در قسمت زیر و کنار پروب مولد امواج فراآوا.

۳. نتایج

شکل ۲، تصاویر ای‌اف‌ام و اف‌ای‌اس‌ای‌ام نمونه لایه‌نشانی‌شده حاصل در مدت ۱۰ دقیقه تابش امواج فراآوا را نشان می‌دهد. ذرات بالک اکسیدروی تحت امواج فراآوا شکسته شده و به‌صورت لایه نازک نانومتری بر روی سطح اسلایدهای شیشه‌ای قرار گرفته‌اند. متوسط اندازه نانوذرات در شکل ۲-الف، ۲۱ نانومتر است.

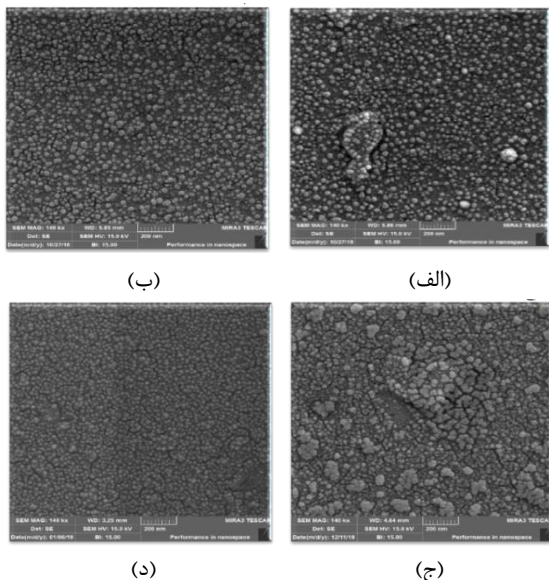


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ‌های (الف) اف‌ای‌اس‌ای‌ام و (ب) ای‌اف‌ام از نمونه زیر پروب.

شکل ۳ مربوط به تصویر ایدکس^۱ از شکل ۱-الف است که جای عنصر روی مربوط به ماده اکسیدروی و جای عنصر سیلیس مربوط به شیشه را نشان می‌دهد.

^۱ EDAX; Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy

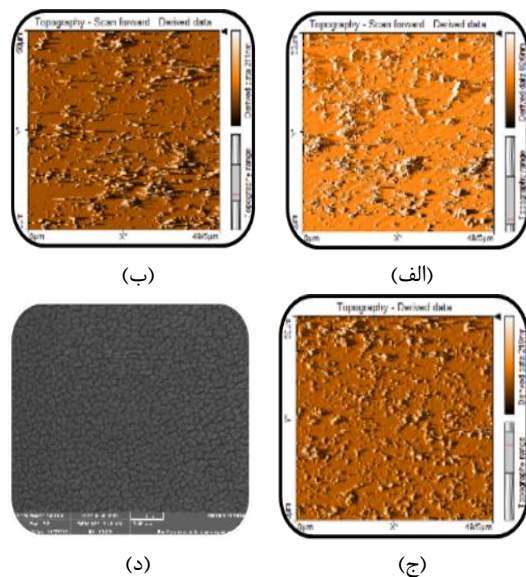
شکل ۶ نیز، تصاویر مربوط به میکروسکوپ (افایی‌اس‌ای‌ام) از نمونه‌ها بعد از ۶، ۹، ۲۴ و ۴۸ ساعت حرارت‌دهی را نشان می‌دهد.



شکل ۶ تصاویر افایی‌اس‌ای‌ام از نمونه‌های قرارگرفته به مدت (الف) ۶، (ب) ۹، (ج) ۲۴ و (د) ۴۸ ساعت در کوره با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس.

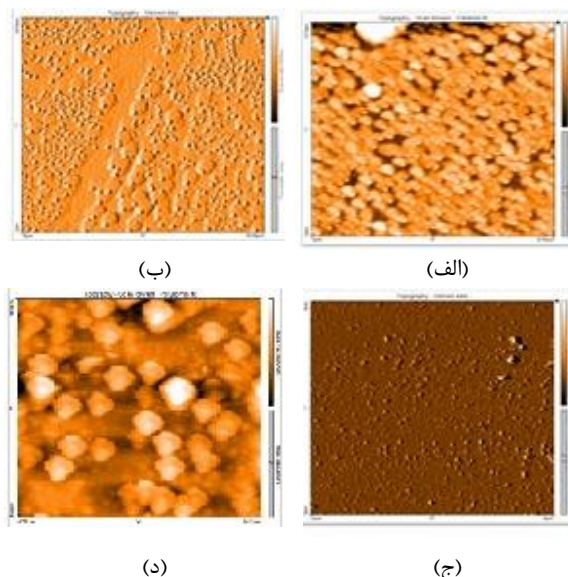
با توجه به عکس‌های افایی‌اس‌ای‌ام با استفاده از نرم‌افزار دایجیمایزر، اندازه نانوذرات به دست آمد و متوسط آن محاسبه شد. متوسط اندازه نانوذرات در اسلاید شیشه‌ای روبه‌رو و کناره پروب به ترتیب ۲۰ و ۲۵ نانومتر است. متوسط اندازه نانوذرات نمونه روبه‌روی پروب بعد از قرار گرفتن در کوره پس از ۶، ۹، ۲۴ و ۴۸ ساعت حرارت‌دهی به ترتیب ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۳ نانومتر شد؛ بنابراین نانوذرات با قرار گرفتن در کوره رشد کرده‌اند.

علاوه بر عکس‌برداری از سطح نمونه‌ها، از کناره نمونه‌های حرارت داده شده نیز عکس‌برداری انجام شد. شکل ۷ تصاویر افایی‌اس‌ای‌ام در حالت متقابل از نمونه‌های لایه‌نشانی شده در قسمت زیر پروب پس از ۶، ۹، ۲۴ و ۴۸ ساعت حرارت‌دهی را نشان می‌دهد. در شکل ۷ در قسمت الف ارتفاع سه ناحیه تصادفی از سطح لایه نشانی شده برابر با ۷۳، ۷۷ و ۹۰ نانومتر است.



شکل ۴ تصاویر افایی‌اس‌ای‌ام از نمونه‌های لایه‌نشانی شده در قسمت‌های (الف) زیر، (ب) روبه‌رو، (ج) پشت به پروب فراآوا، (د) تصویر افایی‌اس‌ای‌ام از نمونه کنار پروب (قسمت رو به پروب).

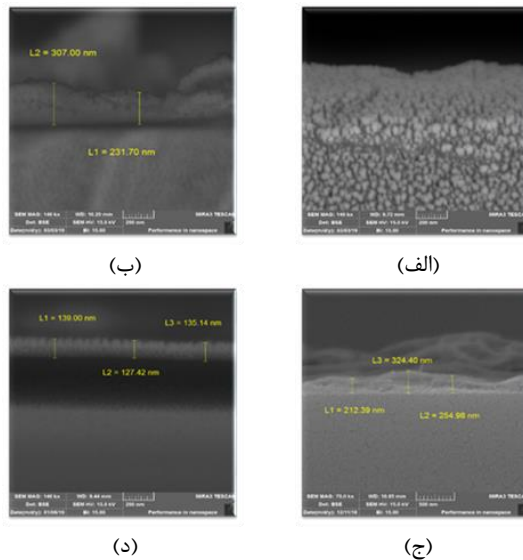
پدیده جالبی که در نمونه‌های قرارگرفته در کوره مشاهده شد، رشد نانوذرات است. بعد از لایه‌نشانی و قرار گرفتن در کوره با میکروسکوپ (افایی‌اس‌ای‌ام) از نمونه‌ها عکس‌برداری شد. شکل ۵ تصاویر مربوط به میکروسکوپ (افایی‌اس‌ای‌ام) از نمونه‌ها بعد از ۶، ۹، ۲۴ و ۴۸ ساعت حرارت‌دهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵ تصاویر افایی‌اس‌ای‌ام از نمونه‌های قرارگرفته به مدت (الف) ۶، (ب) ۹، (ج) ۲۴ و (د) ۴۸ ساعت در کوره با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس. طول هر تصویر ۶ میکرون است.

در پژوهش حاضر بررسی شده است که زیرلایه در کدام قسمت از راکتور می‌تواند قرار بگیرد و آیا تنها تابش مستقیم امواج فراآوا توانایی لایه‌نشانی را دارد یا در هر مکانی از راکتور لایه‌نشانی صورت می‌گیرد. با توجه به نتایج در هرکجایی از راکتور که تحت تأثیر امواج فراآوا است، فرایند لایه‌نشانی انجام می‌پذیرد. پس همه نقاط در راکتور تحت تابش توانایی لایه‌نشانی با امواج فراآوا را دارند. هم نقطه‌ای که در مسیر مستقیم تحت تابش است و هم نقطه‌ای که در دورترین منطقه در لبه راکتور قرار دارد. اما به نظر می‌رسد قطر و عمق راکتور تحت تابش باید با قطر پروب و توان آن و فاصله از مکان نمونه‌ها متناسب باشد و این مسئله نیازمند تحقیقات بیشتر است. متوسط اندازه قطر نانوذرات در نمونه زیر و کنار پروب به ترتیب برابر ۲۱ و ۲۵ نانومتر است. بزرگ‌تر بودن متوسط اندازه نانوذرات در نمونه کنار پروب نسبت به زیر آن ناشی از این است که جریان صوتی مداوم در زیر پروب مانع از رشد نانوذرات شده و قوی‌تر از جریان گرداب است. همچنین رفتار اکسیژن در فیلم‌های اکسیدروی رسوب‌شده با روش کندوپاش پس از حرارت‌دهی و تأثیر آن بر مقاومت فیلم‌ها توسط هیراماتسو و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت. تبلور فیلم‌های اکسیدروی با بازپخت رسوب در خلاء بهبود یافته است. با این حال، مقاومت فیلم اکسیدروی در دمای بیش از ۳۰۰ درجه سلسیوس به طرز چشمگیری کاهش یافته است، درحالی‌که اکسیژن از فیلم جدا می‌شود. جای خالی اکسیژن توسط حرارت‌دهی در خلاء تشکیل می‌شد. مقاومت ورق فیلم‌ها با بازپخت در محیط اکسیژن بهبود یافتند. بنابراین جای خالی اکسیژن که توسط بازپخت پس از رسوب در خلاء ایجاد می‌شود توسط حرارت‌دهی در محیط اکسیژن جبران می‌شود [۸].

فرایند تشکیل نانو ساختارهای اکسیدروی در مطالعات دانگ و همکارانش به دو مرحله هسته‌گذاری اولیه و سپس رشد آن تقسیم شده است. نانومیله‌های اکسیدروی با واکنش هیدروترمال در محلول آمونیاک و کلریدروی بدون هیچ‌گونه پیش ماده در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در یک ظرف آب‌بندی شده ساخته شدند. تأثیر واکنش‌های



شکل ۷ تصاویر افایم‌اس‌ای‌ام در حالت متقابل از نمونه‌های لایه‌نشانی شده قرار گرفته در زیر پروب بعد از (الف) ۰، (ب) ۶، (ج) ۲۴ و (د) ۴۸ ساعت حرارت‌دهی در کوره با دمای ثابت ۲۰۰ درجه سلسیوس.

۴. بحث

آپلروت و همکارانش نانوذرات اکسیدروی را سنتز و روی سطح اسلایدهای شیشه‌ای با استفاده از امواج فراآوا لایه‌نشانی کردند. در این پژوهش ساختار و ریخت‌شناسی نانوذرات به‌عنوان تابع زمان بررسی شد. آن‌ها دریافتند که زیرلایه‌های شیشه‌ای در دو طرف پوشش داده شده و پایدار هستند و نمی‌توان از طریق شستشو با آب، اتانول و استون در طی هفت روز آن را پاک کرد. حضور هیچ نانوذره‌ای نیز در محلول شستشو یافت نشد. این بدان معناست که رسوب نانوذرات اکسیدروی لایه‌نشانی شده با روش آواشیمی (سونوشیمی) به‌شدت به بستر شیشه چسبیده است. درباره سازوکار رسوب بیان شده است که دما در بعضی از ناحیه‌های موضعی به علت امواج شوک ساخته شده در نزدیکی سطوح جامد پس از فروپاشی حباب ایجاد می‌شود که ممکن است منجر به تصعید برخی از ذرات اکسیدروی شود. در همین حال، جت‌هایی که باعث ذوب شدن ذرات فلزی می‌شوند، به بلور اکسیدروی به سمت سطح شیشه با سرعت بسیار بالا فشار می‌آورند و باعث تشکیل یک تجمع کروی از ذرات اکسیدروی می‌شوند [۷].

- preparation of zinc oxide Powders Using Thai autoclave unit,” *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 801–807, 2013.
- [2] N. Jones, B. Ray, K.T. Ranjit, A.C. Manna, “Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms,” *FEMS Microbiology Letters*, vol. 279, no. 1, pp. 71-76. 2008.
- [3] V.R. Manikam, K.Y. Cheong, K.A. Razak, “Chemical reduction, methods for synthesizing Ag and Al nanoparticles and their respective nanoalloys,” *Materials Science and Engineering B*, vol. 176, pp. 187–203, 2011.
- [4] K.S. Suslick, G.J. Price, “Applications of ultrasound to materials chemistry,” *Annual Review of Material Science*, vol. 29, pp. 295–326, 1999.
- [5] R. Kuppa, V.S. Moholkar, “Physical features of ultrasound-enhanced heterogeneous permanganate oxidation,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 17, pp. 123–131, 2010.
- [6] M. Rahimi, S. Movahedirad, S. Shahhosseini, “CFD study of the flow pattern in an ultrasonic horn reactor: introducing a realistic vibrating boundary condition,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 35, pp. 359–374, 2017.
- [7] G. Applerot, N. Perkas, G. Amirian, O. Girshevitz, A. Gedanken, “Coating of glass with ZnO via ultrasonic irradiation and a study of its antibacterial properties,” *Applied Surface Science*, vol. 256, no. 3, pp. S3-S8, 2009.
- [8] T. Hiramatsu, M. Furuta, T. Matsuda, C. Li, T. Hirao, “Behavior of oxygen in zinc oxide films through thermal annealing and its effect on sheet resistance,” *Applied Surface Science*, vol. 257, no. 13, pp. 5480-5483, 2011.
- [9] C.X. Xu, A. Wei, X.W. Sun, Z.L. Dong, “Aligned ZnO nanorods synthesized by a simple hydrothermal reaction,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 39, no. 8, pp. 1690-1693, 2006.

شیمیایی و رشد وابسته به عمق در طول جنبه‌های مختلف اکسیدروی بحث شده‌اند [۹].

برای شناسایی تأثیر حرارت‌دهی به زیرلایه‌ها پس از لایه‌نشانی گرما از کوره با دمای ثابت ۲۰۰ درجه سلسیوس استفاده شد. با افزایش زمان حرارت‌دهی متوسط اندازه قطر نانوذرات نسبت به نمونه لایه‌نشانی‌نشده افزایش می‌یابد. اما در بین نمونه‌های حرارت‌دهی‌شده ابتدا افزایش قطر تا ۲۴ ساعت مشاهده می‌شود و سپس کاهش قطر اتفاق می‌افتد. با توجه به تصاویر نانوذرات لایه‌نشانی‌شده بر روی بستر شیشه‌ای در ابتدا به شکل کلوخه بر روی هم انباشته می‌شوند و با افزایش مدت‌زمان حرارت‌دهی تبدیل به کلوخه‌های بزرگ‌تری شده و سپس این کلوخه‌ها با گذر زمان مثل گل‌ها می‌شکفتند. با توجه به تصاویر عرضی از سطح مقطع، کلوخه‌ها در ابتدا حالت کروی دارند و با افزایش زمان حرارت‌دهی ارتفاع کلوخه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته و نیز حالت دندان‌های پیدا می‌کنند. در واقع پس از ۴۸ ساعت حرارت‌دهی کم‌کم بلورک‌ها نمایان شده و ساختار، به هگزاگونال اکسیدروی نزدیک گردید. به‌علاوه سطح تماس لایه نازک نیز افزایش یافته است.

۵. نتیجه‌گیری

استفاده از امواج فراآوا به‌عنوان روشی ساده، به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست برای سنتز و لایه‌نشانی نانوذرات پیشنهاد می‌شود. تصاویر به‌دست‌آمده نشان می‌دهند با استفاده از امواج فراآوا پوشش همگن و یکنواخت از نانوذرات با ساختار تقریباً کروی ایجاد می‌شود. برای انجام لایه‌نشانی با پروب فراآوا می‌توان علاوه بر انتهای ظرف واکنش، از کناره‌ها نیز به‌عنوان مکان‌های مؤثر استفاده کرد. استفاده از کوره سبب رشد اندازه قطر نانوذرات و افزایش سطح مقطع آن‌ها می‌شود. گرچه به نظر می‌رسد انجام مطالعات تا رسیدن به شرایط بهینه از جمله غلظت محلول، مدت‌زمان تابش امواج فراآوا، دمای کوره و مدت‌زمان استفاده از آن باید ادامه یابد.

۶. فهرست منابع

- [1] T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, S. Pavasupree, “Simple hydrothermal

Zinc oxide coating by ultrasonic waves and investigation of the effect of heating on it

F. Vafadaran Tabrizi, A. Hajnorouzi*

Department of physics, Faculty of Basic Science, Shahed University

Abstract

In this paper, the coating on glass slides by ultrasonic irradiation in the aqueous ZnO solution is discussed. We investigate the effect of irradiation location on the amount coating, and the role of heat on the coated slide. The structure and morphology of the thin film were obtained by using atomic force microscopy (AFM) and field emission scanning electron microscopy (FESEM). The results showed that average diameter deposited particles on the glass slides (In beside and front of the ultrasonic probe), before and after heating is in the nanometer range.

Keywords: ZnO nano-particles, Ultrasonic probe transducer, Coating, Morphology, Heating.

pp. 58-63 (In Persian)

* Corresponding author E-mail: ahajnorouzi@shahed.ac.ir