

تأثیر ضخامت بذر لایه بر آبگریزی نانومیله های ZnO

بهناز بکا^۱، حمید غیور^{۲*}، فرهاد کریمخانی^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

* ghayour_ham@iust.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۲۰، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۰۹)

چکیده

امروزه نانومیله های اکسید روی بدلیل کاربرد های متعدد در صنایع مختلف از جمله سلولهای خورشیدی، ابزارهای گسیل نور، کاتالیستها، سنسورهای گازی، انواع نانو حسگرها و سطوح فوق آبگریز توجهات زیادی را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش ابتدا بر روی شیشه سودالایم توسط روش سل-ژل از طریق پوشش دهی چرخشی با سرعت ۴۰۰۰ rpm لایه نازک ZnO با ضخامت های ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر پوشش داده شد و پس از آنیل زیر لایه ها در دمای ۳۰۰°C، نانومیله های ZnO به روش هیدروترمال در محلول نیترات روی شش آب و آمونیاک به مدت دو ساعت بر روی آنها رشد داده شد. به منظور بررسی مورفولوژی (قطر و طول نانومیله ها) از SEM و جهت بررسی آنالیز فازی از XRD استفاده گردید. برای خاصیت آبگریزی و اندازه گیری زاویه تماس (CA) آزمون آبگریزی و برای توپوگرافی سطح بذر لایه آزمون AFM انجام گردید. نتایج نشان داد با افزایش ضخامت بذر لایه از ۵۰ به ۳۰۰ نانومتر، همراستی نانومیله های سنتز شده بر روی بذر لایه ها کاهش یافته و میانگین قطر نانومیله ها از ۵۵ نانومتر به ۹۰ نانومتر افزایش یافته است. همچنین نتایج بدست آمده از دستگاه Contact Angle نشان داد که زاویه تماس بر روی نانومیله های سنتز شده روی بذر لایه با ضخامت ۵۰ نانومتر، دارای بیشترین زاویه تماس (۱۴۵/۹°) و با ضخامت ۳۰۰ نانومتر دارای کمترین زاویه تماس (۱۳۵/۴°) می باشد.

واژه های کلیدی:

اکسید روی، نانومیله، هیدروترمال، ضخامت بذر لایه، خاصیت آبگریزی.

۱- مقدمه

همراستی ZnO می توان به ابزار گسیل نور طول موج کوتاه، سلولهای خورشیدی، ابزار پیزوالکتریک، کاتالیستها، پوشش های زیست سازگار و سطوح ابر آبگریز اشاره نمود [۱-۴]. برای بررسی خاصیت آبگریزی بایستی از نانومیله های همراستا استفاده گردد. جهت ساخت نانومیله های همراستا ZnO تاکنون روشهای متفاوتی استفاده شده که می توان به دو گروه کلی شیمیایی و رسوب فاز بخار اشاره نمود. از جمله روش های

اکسید روی بعنوان یک نیمه هادی نوع II-IV بسیار مورد توجه می باشد زیرا دارای ترکیبی توامان از خواص برجسته فیزیکی و نوری می باشد. با توجه به گاف انرژی پهن (ev ۳/۳۷ در دمای اتاق)، انرژی تهییج بالا (۶۰ meV)، گذردهی نور مناسب (۸۰%) و ساختارهای متنوع و منحصر به فرد، اکسید روی هم از نظر خواص و هم از نظر ساختار غنی ترین خانواده نانو ساختارها در میان تمامی مواد می باشد. از جمله کاربردهای نانومیله های

ساختار متخلخل پوششهایی شامل نانومیله‌های همراستای ZnO و بهبود سازی سطح با لایه ای از مواد کم انرژی صورت گرفته است [۷]. اگرچه تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه آبرگری نانومیله های اکسید روی صورت گرفته [۸] اما اثر بذرلایه بر ترشوندگی نانومیله ها هنوز به عنوان چالشی پیش روی محققین قرار دارد لذا در این پژوهش با تغییر ضخامت بذرلایه، مورفولوژی نانومیله ها مورد بررسی قرار گرفته و اثر قطر، دانسیته و همراستایی نانومیله ها بر ترشوندگی بررسی گردیده است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- مواد

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت Merck آلمان تهیه شده که بصورت جدول زیر می‌باشد.

جدول (۱): مواد مورد استفاده در آزمایش

نام ماده	نام لاتین	فرمول شیمیایی
استات روی ۲ آبه	Zinc acetate dehydrate	$Zn(CH_3COO)_2 \cdot (H_2O)_2$
دو متوکسی اتانول	2-Methoxy ethanol	$C_3H_8O_2$
مونواتانول آمین	Monoethanolamine	C_2H_7NO
نترات روی شش آبه	Zinc nitrate tetrahydrate	$Zn(NO_3)_2 \cdot (H_2O)_4$
آمونیاک	Ammonium hydroxide	NH_3OH

۲-۲- سنتز نانومیله های اکسید روی

۲-۲-۱- آماده سازی زیرلایه به روش پوشش دهی

چرخشی

به منظور تهیه محلول پیش ماده با استفاده از روش سل-ژل، در ابتدا اتانول آمین (MEA) و دو متوکسی اتانول (با نسبت ۰/۷۵

رسوب فاز بخار می توان به رشد بخار-مایع جامد (VLS)، رسوب شیمیایی بخار (CVD)، رسوب لیزری پالسی (MOCVD) و از جمله روش شیمیایی به رسوب الکتروشیمیایی (ED) و فرآیند هیدروترمال اشاره کرد. با توجه به اینکه روش های PLD، ED، CVD، VLS و MOCVD نیاز به تجهیزات بالا و شرایط خاص و دمای نسبتا بالا دارد، در این پژوهش از روش هیدروترمال که نیاز به تجهیزات ساده، دمای زیر $100^\circ C$ و سازگار با محیط زیست می‌باشد، استفاده شده است. در روش هیدروترمال با استفاده از یک بذرلایه مناسب می‌توان علاوه بر کاهش قطر و افزایش دانسیته، همراستایی نانومیله‌ها را نیز بهبود بخشید که این پارامتر برای خاصیت آبرگری بسیار حائز اهمیت است [۵-۶].

سطوح از نظر خاصیت ترشوندگی را می توان به ۴ گروه مختلف طبقه بندی کرد:

- آبدوست: قطره آب روی این سطوح تمایل دارد که سطح تماس خود را حداکثر کند و زاویه تماس آب روی آن‌ها کوچکتر از 90° درجه خواهد بود.

- فوق آبدوست: زاویه تماس روی این سطوح تقریبا صفر است و قطره آب کاملا روی سطح پخش شده و سطح را تری می‌کند.

- آبرگری: آب روی این سطوح سعی در مینیمم کردن سطح تماس خود داشته و زاویه تماس آن با سطح بزرگتر از 90° درجه خواهد بود.

- ابر آبرگری: سطوح آبرگری که دارای ناهمواریهایی در حد نانو باشند این خاصیت را از خود نشان می دهند و قطره آب روی آن به شکل کره در آمده و زاویه تماس آن از 150° درجه بیشتر خواهد بود [۷].

ترشوندگی سطوح ZnO با آب فاکتور مهمی است چرا که در بسیاری از کاربردهای پایه اکسید روی از جمله الکترونیک و اپتیک فصل مشترک آب / ZnO به شدت بر خواص شیمیایی موثر است. نتایج نشان می‌دهد که سطح تک کریستال ZnO نسبتا آبدوست است، اما روشهایی برای تبدیل سطوح نانومیله های آبدوست ZnO به ابرآبرگریز با استفاده از ترکیب دو خاصیت

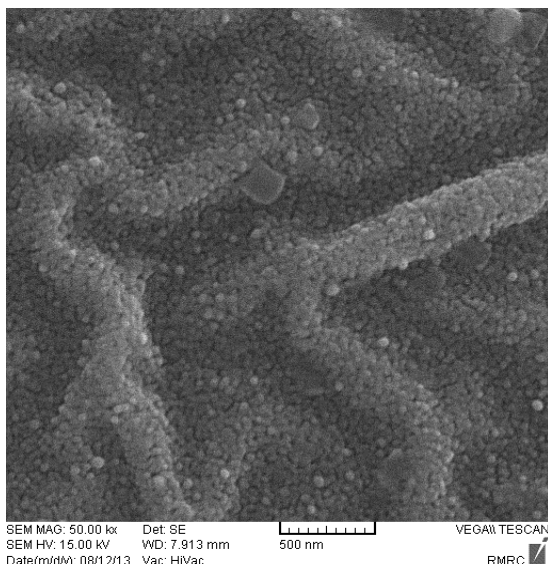
به منظور مطالعه مورفولوژی، قطر، طول و دانسیته نانومیله‌های ZnO و بذر لایه از دستگاه SEM مدل VEGA/TESCAN استفاده گردید که تمام نمونه‌ها پیش از انجام آزمون پوشش طلا داده شدند.

آزمون HR-TEM توسط دستگاه LEO با همکاری دانشگاه POSTECH کره جنوبی بر روی نانومیله‌ها جهت شناخت ساختار و جهت رشد آن‌ها صورت گرفت.

برای مشاهده رشد دانه های ستونی بذر لایه در ضخامت‌های مختلف از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مورفولوژی و ساختار



شکل (۲): تصویر SEM بذر لایه ZnO

شکل (۲) پوشش لایه نازک بذر لایه را نشان می‌دهد که بصورت یکنواخت بر روی سطح شیشه با روش پوشش‌دهی چرخشی ایجاد و در دمای 300°C آنیل گردیده است. همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود، پوشش دارای سطح یکنواخت از نانوذرات اکسید روی با اندازه تقریبی 50 نانومتر می‌باشد که این نانو ذرات می‌توانند بستر مناسبی برای جوانه‌زنی و رشد نانومیله‌های اکسید روی باشند.

مولار) مخلوط می‌گردند، سپس در این مخلوط استات روی - دوآبه (ZnA) را اضافه کرده و در دمای 100°C توسط همزن مغناطیسی همزده شده تا سل شفاف و پایداری حاصل گردد. عملیات پوشش دهی چرخشی (4000 دور بر دقیقه) بر روی شیشه سودالایم به ترتیب 3 و 6 مرتبه برای ضخامت‌های 150 nm و 300 nm انجام گردید. سپس لامهای پوشش داده شده در دمای 300°C آنیل گردید.

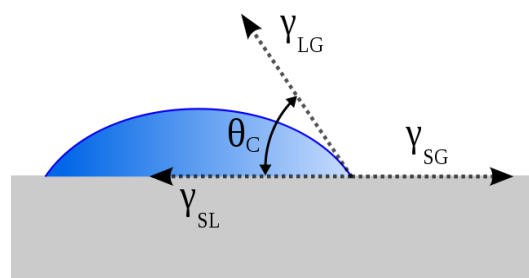
۲-۲-۲- رشد نانومیله‌ها بر روی سطوح پوشش داده شده

نانومیله‌های ZnO به روش هیدروترمال در محلول نترات روی شش آبه و آمونیاک (با نسبت $1:1$) در دمای 95°C به مدت 2 ساعت بر روی بذر لایه رشد داده شدند.

۲-۲-۳- آماده‌سازی نانومیله‌های سنتز شده برای تست

آبگریزی

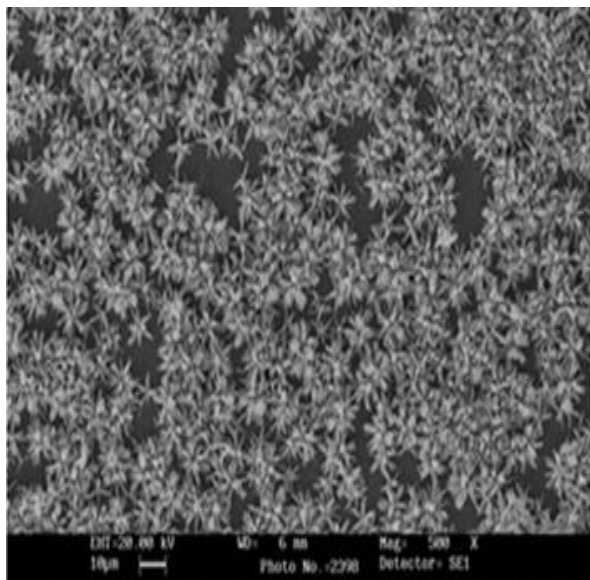
آزمایشات آبگریزی با استفاده از دستگاه Contact Angel دانشکده فیزیک دانشگاه شریف انجام شد. برای انجام آزمایش ترشوندگی بر روی سطح پوشش بذر لایه و نانومیله‌های ZnO، قطره‌ای با حجم 4 میکرولیتر بر روی سطح نانومیله‌ها قرار داده شده و سپس با رسم خطوط تقاطع قطره با سطح نانومیله‌ها توسط نرم افزار، زاویه ترشوندگی (CA) قطره با سطح نانومیله‌ها محاسبه گردید (شکل ۱).



شکل (۱): نیروهای وارده به قطره مایع مستقر روی سطح جامد

به منظور بررسی نوع ساختار و جهت گیری نانومیله‌های ZnO، آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) با دستگاه Philips انجام شد.

شکل (۴) تصویر SEM میکرومیله‌های ZnO که بر روی شیشه بدون بذرلایه در دمای 95°C به مدت ۲ ساعت به صورت هیدروترمال رشد یافته‌اند را نشان می‌دهد که قطری حدود ۶۵۰ نانومتر دارند. به علت نبود مکان‌های جوانه‌زنی بر روی زیرلایه، رشد بصورت کاملاً اتفاقی و با دانسیته پایین، بدون جهت‌گیری خاص و کاملاً غیریکنواخت بر روی زیرلایه صورت گرفته است.

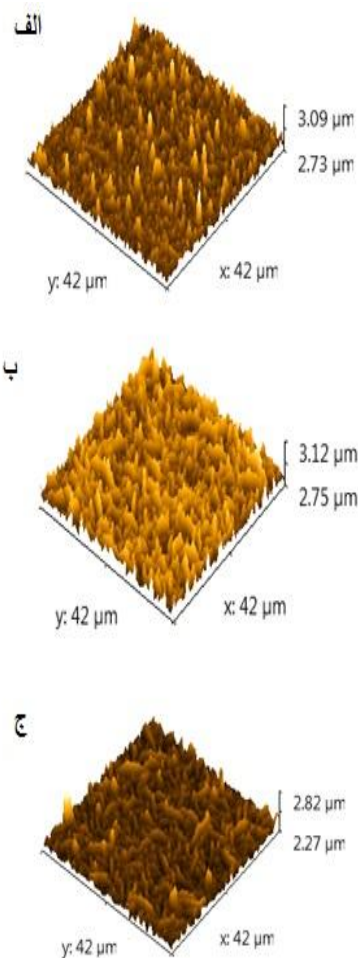


شکل (۴): تصویر SEM از میکرومیله‌های ZnO بر زیرلایه بدون بذرلایه

شکل (۵) نتیجه XRD از میکرومیله‌های رشد یافته بر روی زیرلایه شیشه بدون بذرلایه را نشان می‌دهد که پراش در صفحات مختلف از جمله صفحات (۱۰۰)، (۰۰۲)، (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۱۰)، (۱۱۳) و (۱۱۲) که مربوط به ساختار هگزاگونال اکسید روی است رخ داده است.

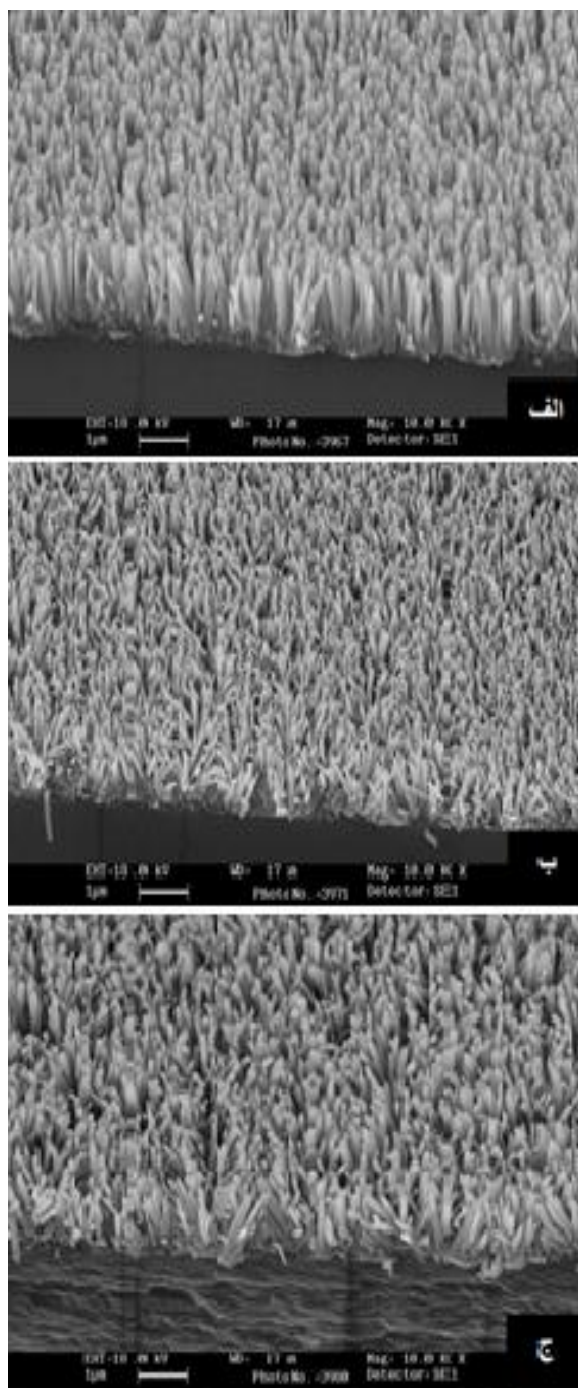
با توجه به اینکه پراش در صفحات مختلف و با شدت‌های متفاوت رخ داده است، موید عدم هم‌راستایی و دانسیته پایین میکرومیله‌ها می‌باشد. این نتیجه XRD با تصویر SEM (شکل ۴) که رشد غیرهمراستا و با جهت‌گیری اتفاقی و دانسیته پایین نانومیله‌ها را نشان می‌دهد، کاملاً تطابق دارد.

شکل (۳الف)، (۳ب)، (۳ج) به ترتیب تصاویر AFM بذرلایه با ضخامت‌های ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر می‌باشد که تاثیر ضخامت بر مورفولوژی و رشد دانه‌های ستونی بذرلایه را نشان می‌دهد. در ضخامت ۵۰ نانومتر رشد دانه‌های ستونی بذرلایه به صورت یکنواخت می‌باشد. با افزایش ضخامت بذرلایه از ۵۰ به ۱۵۰ نانومتر، رشد ستونی دانه‌ها افزایش یافته و دانه‌ها به صورت پهن‌تر دیده می‌شود. با افزایش ضخامت بذرلایه از ۱۵۰ به ۳۰۰ نانومتر، رشد ستونی دانه‌ها به صورت کاملاً پهن می‌باشد. تصاویر نشان می‌دهد با افزایش ضخامت بذرلایه، یکنواختی سطح کمتر شده و اندازه دانه‌های کریستالی اکسید روی بزرگتر می‌شود.

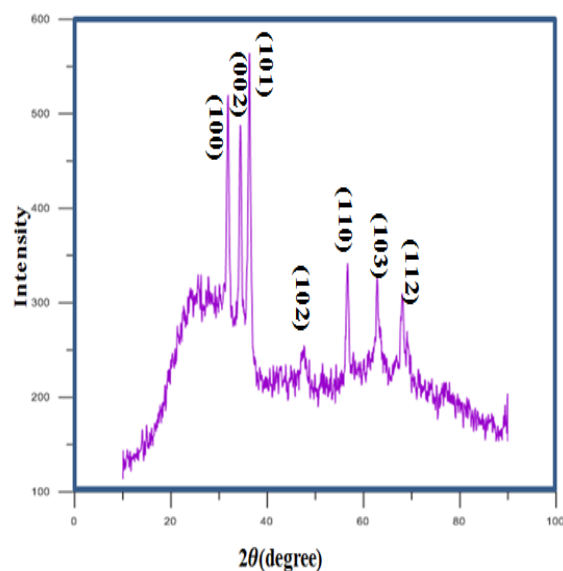


شکل (۳): تصاویر AFM بذرلایه با ضخامت‌های: (الف): ۵۰nm، (ب): ۱۵۰nm و (ج): ۳۰۰nm

که این هم‌راستایی از مقاطع عرضی کاملاً مشهود است. ضمن اینکه هر چه ضخامت بذر لایه بیشتر شده است، هم‌راستایی کاهش یافته است.



شکل (۶): تصاویر SEM مقطع عرضی نانومیله های ZnO رشد یافته بر روی بذر لایه با ضخامتهای: (الف): ۵۰nm، (ب): ۱۵۰nm و (ج): ۳۰۰nm

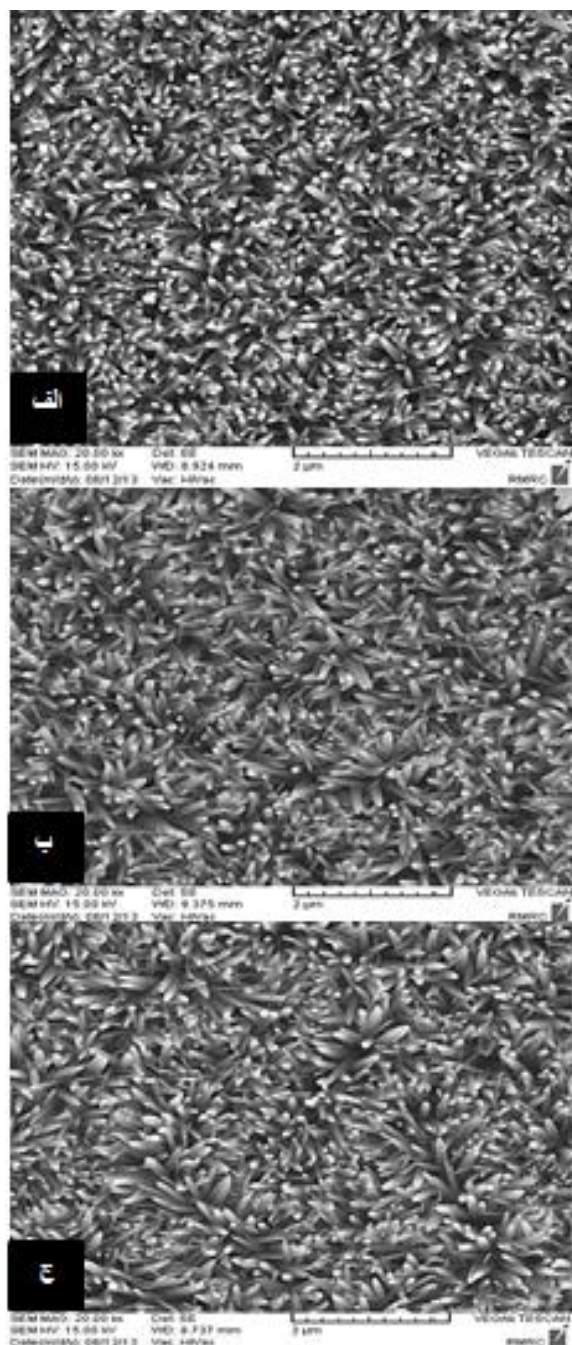


شکل (۵): نتیجه XRD میکرومیله های ZnO بر روی زیر لایه شیشه

شکل (۶الف)، (۶ب) و (۶ج) به ترتیب تصاویر SEM از مقطع عرضی نانومیله های ZnO رشد یافته بر روی بذر لایه با ضخامتهای ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر می باشد.

نتایج نشان می دهد در هر سه ضخامت ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر، نانومیله ها به صورت هم‌راستا و با دانسیته بالا بر روی بذر لایه ستر شده اند و نسبت به شرایط بدون بذر لایه (شکل ۴) از هم‌راستایی بهتری برخوردارند که نشان دهنده نقش موثر بذر لایه در کنترل مورفولوژی و اندازه نانومیله ها است به طوریکه دانه های کریستالی بذر لایه به عنوان یک بستر مناسب برای رشد نانومیله های ZnO عمل می کنند و وجود بسیار زیاد این مکان های جوانه زنی باعث رشد هم‌راستای نانومیله های ZnO با دانسیته بالا می شود. با افزایش ضخامت بذر لایه، قطر نانومیله ها نیز افزایش یافته است.

همانطور که در تصاویر AFM پوشش بذر لایه (شکل ۳) نشان داده شده، با افزایش ضخامت بذر لایه، دانه های ستونی بزرگتر و پهن تر شده که نشان از بزرگتر شدن اندازه دانه های ZnO و یکنواختی کمتر پوشش با افزایش ضخامت بذر لایه دارد و همانطور که در شکل های (۶الف)، (۶ب) و (۶ج) دیده می شود، نانومیله ها عمود بر سطح بذر لایه و کاملاً هم‌راستا رشد یافته اند



شکل (۷): تصاویر SEM نانومیله سنتز شده بر روی بذرلایه با ضخامت‌های:

(الف): ۵۰nm، (ب): ۱۵۰nm و (ج): ۳۰۰nm

برای نانومیله های رشد یافته بر روی بذرلایه (شکل ۷)، از آنجا که بذرلایه نقش یک قالب را برای سنتز نانومیله‌ها دارد، بنابراین دانه های بذرلایه می توانند به عنوان مکانی برای جوانه زنی و رشد نانومیله ها باشد.

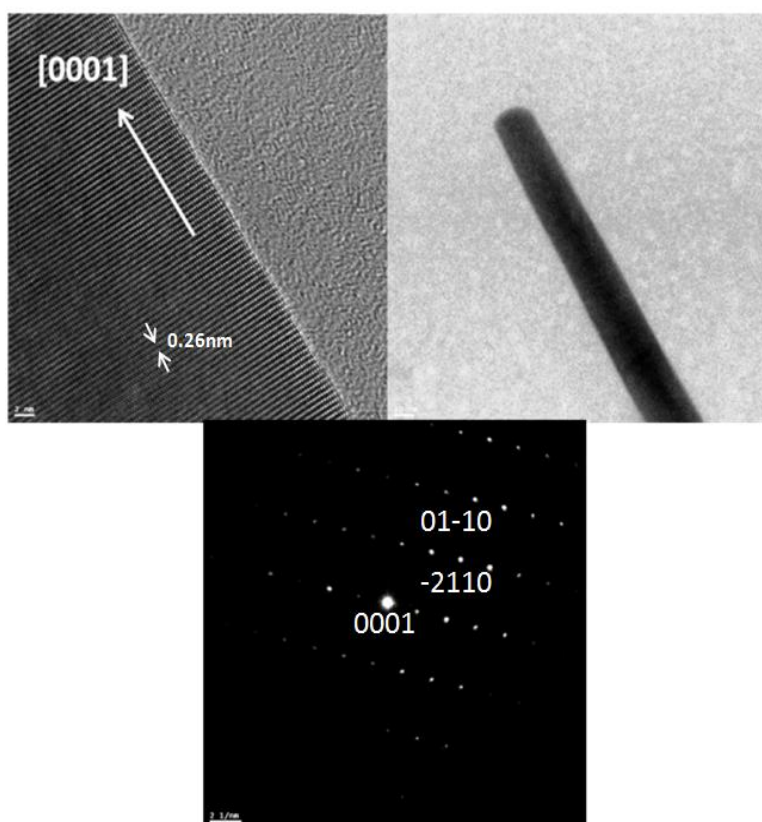
از نظر جوانه‌زنی غیر همگن، پوشش زیرلایه توسط بذرلایه ZnO راهی موثر جهت کنترل مورفولوژی (قطر، طول، دانسیته) و حتی جهت‌گیری نانومیله‌ها می‌باشد. در میان محققان Vayssiers و همکارانش [۶] که پیشگام در سنتز نانومیله‌های ZnO به روش هیدروترمال بودند گزارش کردند که بذرلایه‌ها اثر ضعیفی بر مورفولوژی نانومیله‌ها دارند ولی نتایج این تحقیق نشان داد که میان سطح بدون بذرلایه و سطح با بذرلایه و همچنین سطح با بذرلایه با ضخامت‌های متفاوت مورفولوژی و اندازه نانومیله‌ها به طور آشکارا متفاوت است.

شکل (۷الف)، (۷ب)، (۷ج) بیانگر تصاویر SEM نانومیله‌های سنتز شده بر روی بذرلایه با ضخامت‌های ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر می‌باشد. شکل (۷الف) نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه با ضخامت ۵۰nm نانومتر از هم‌راستایی بسیار عالی برخوردار بوده و دارای قطر میانگین ۵۵nm هستند که این به علت پوشش یکنواخت بذرلایه و اندازه‌دانه ریزتر کریستالهای بذرلایه می‌باشد که با تصویر AFM (شکل ۳الف)، پوشش بذرلایه ۵۰nm دارای رشد ستونی یکنواخت دانه های ZnO، کاملاً مطابقت دارد. در شکل (۷ب) نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه با ضخامت ۱۵۰nm نانومتر از هم‌راستایی کمتری نسبت به نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه با ضخامت ۵۰nm می‌باشند. همچنین از میانگین قطر بیشتری (۷۰nm) برخوردار هستند که این نتیجه نیز به دلیل افزایش اندازه‌دانه و همچنین یکنواختی کمتر پوشش بذرلایه است که با تصاویر AFM قسمت (۳ب) کاملاً مطابقت دارد.

شکل (۷ج) مربوط به پوشش با ضخامت ۳۰۰nm است که اندازه دانه‌های پوشش بزرگتر و یکنواختی پوشش کمتر از دو حالت قبل (۱۵۰nm و ۵۰nm) می‌شود که این تغییر در اندازه دانه و یکنواختی پوشش بذرلایه باعث می‌شود نانومیله‌های رشد یافته بر روی این پوشش از میانگین قطر بزرگتر (۹۰nm) و هم‌راستایی کمتر نسبت به دو حالت قبل برخوردار باشند.

غیرهم‌راستا و بدون جهت‌گیری خاصی رشد نموده‌اند در حالیکه وجود بذر لایه باعث رشد نانومیله‌ها عمود بر سطح زیر لایه و کاملاً هم‌راستا می‌گردد.

شکل (۸) نتایج بررسی HR-TEM از نانومیله منفرد را نشان می‌دهد. این نانومیله‌ها بر روی بذر لایه رشد یافته‌اند که نتایج حاصل، صفحات (۰۰۲) با فاصله صفحات ۰/۲۶ نانومتر که عمود بر جهت رشد [۰۰۰۱] هستند را نشان می‌دهد که این فاصله دقیقاً مطابق با فاصله صفحات (۰۰۲) شبکه هگزاگونال ZnO می‌باشد و علاوه بر آن نتیجه پراش از سطوح منتخب (SAED) نیز موید ساختار تک کریستال ZnO می‌باشد.



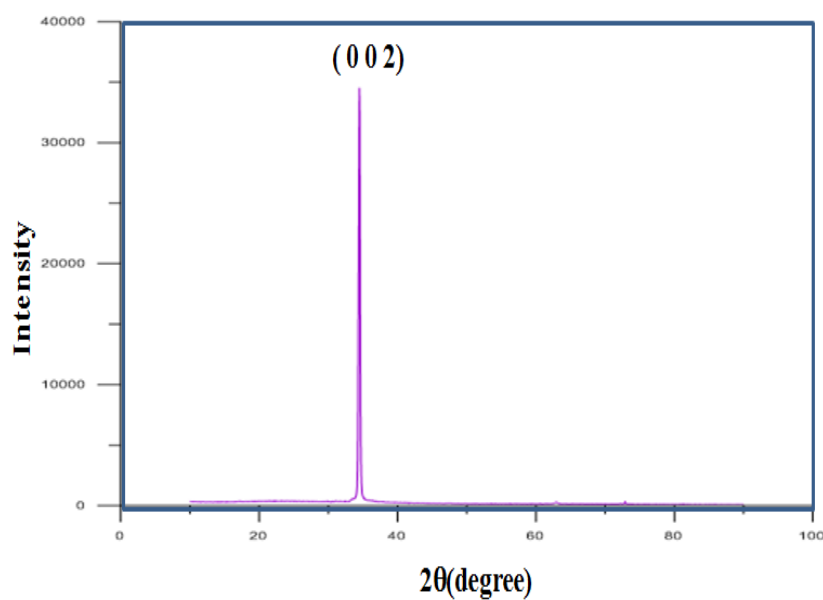
شکل (۸): تصویر HR-TEM نانومیله های ZnO بر روی بذر لایه

و عملاً هیچگونه تفرقی از صفحات دیگر حاصل نشده است که موید هم‌راستایی عالی و منحصر به فرد نانومیله‌ها می‌باشد که با تصاویر SEM شکل (۶) و TEM شکل (۸) مطابقت دارد.

وجود بسیار زیاد این مکان‌های جوانه زنی بر روی سطح زیر لایه باعث افزایش قابل ملاحظه دانسیته و کاهش قابل توجه قطر از ۶۵۰ نانومتر به کمتر از ۷۰ نانومتر می‌گردد.

این در حالی است که بر روی نمونه بدون بذر لایه (شکل ۴)، در مقایسه با نمونه با بذر لایه مکانهای جوانه زنی نانومیله‌ها بسیار کمتر می‌باشد و به همین دلیل دانسیته میله‌های رشد یافته بر روی این سطح بسیار پایین بوده و از طرفی به دلیل محدود بودن مکان‌های جوانه‌زنی، نرخ رشد بر روی هر کدام از این نقاط بیشتر می‌باشد. تصاویر SEM (شکل ۴)، همچنین نشان می‌دهد که بر روی سطح بدون بذر لایه، تنها تعداد بسیار محدودی از میله‌ها عمود بر سطح شیشه رشد یافته‌اند و اکثر میله‌ها بصورت

شکل (۹) نتیجه XRD از نانومیله های ZnO رشد یافته بر روی بذر لایه را نشان می‌دهد که تنها پیک مربوط به صفحات (۰۰۲) دیده می‌شود که همان صفحه قاعده منشور شش ضلعی است و

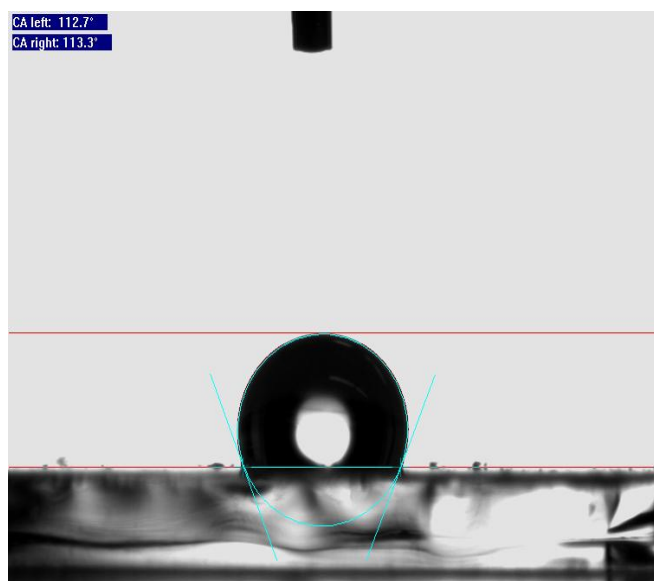


شکل (۹): نتیجه XRD نانومیله های ZnO رشد یافته بر روی بذرایه با ضخامت ۱۵۰nm

بذرایه ZnO برابر 112° که نشان می دهد سطح پوشش بذرایه آبگریز می باشد.

۳-۲- آزمایشات ترشوندگی

شکل (۱۰) قطره آب بر روی سطح پوشش بذرایه ZnO آنیل شده در دمای 300°C می باشد. زاویه ترشوندگی بر روی پوشش



شکل (۱۰): قطره آب بر روی بذرایه ZnO آنیل شده در دمای 300°C

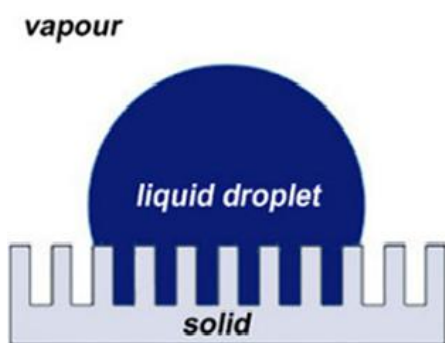
۵۰، ۱۵۰ و 300 نانومتر می باشد.

شکل (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب نمایانگر قطره آب بر روی سطح نانومیله های همراهی ZnO با بذرایه ضخامت های

بذرلایه ۳۰۰nm به ۱۳۹° رسیده است. این نتایج نشان می‌دهد که با رشد نانومیله‌ها بر روی هر سه ضخامت پوشش بذرلایه، سطح آبگریز پوشش، آبگریزتر شده است.

با افزایش ضخامت بذرلایه از ۵۰ به ۳۰۰ نانومتر، آبگریزی نانومیله‌های رشد یافته بر روی پوشش کاهش یافته است بطوریکه با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۵۰nm به ۱۵۰nm، آبگریزی نانومیله‌ها از ۱۵۵° به ۱۴۴°، و با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۱۵۰nm به ۳۰۰nm، آبگریزی نانومیله‌ها از ۱۴۴° به ۱۳۹° کاهش یافته است.

برای استدلال نتایج فوق از مدل ترشوندگی ونزل استفاده می‌گردد. اساسین مدل بر این قاعده استوار است که با ایجاد زبری، سطح ماده افزایش می‌یابد و مایع درون خلل و فرج سطح نفوذ میکند [۸-۹]



شکل (۱۲): شماتیک مدل ونزل [۸]

طبق مدل ونزل، زاویه ترشوندگی بر روی سطح نانومیله‌ها برابر θ_w می‌باشد و از رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$\cos \theta_w = r \cos \theta_Y$$

در این رابطه:

θ_w : زاویه ترشوندگی بر روی سطح نانومیله‌های ZnO

θ_Y : زاویه ترشوندگی بر روی سطح صاف تک کریستال ZnO

r : فاکتور زبری

در این رابطه r برابر نسبت سطح واقعی (با در نظر گرفتن زبری سطح ناشی از رشد نانومیله‌ها) به سطح صاف می‌باشد که همواره از یک بزرگتر است.



شکل (۱۱): قطره آب بر روی سطح نانومیله‌های همراه ZnO با ضخامتهای بذرلایه: (الف): ۵۰nm، (ب): ۱۵۰nm و (ج): ۳۰۰nm

زاویه ترشوندگی برای نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه ۵۰nm به ۱۵۵° افزایش می‌یابد و زاویه ترشوندگی برای نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه ۱۵۰nm به ۱۴۴° و برای

۱۵۰ nm، از 155° به 144° ، و با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۱۵۰ nm به ۳۰۰ nm، از 144° به 139° کاهش یابد.

۴- نتیجه گیری

۱- نانومیله‌های هم‌راستای اکسید روی (ZnO) با ساختار هگزاگونال طی فرآیند هیدروترمال به مدت ۲ ساعت در دمای 90°C سنتز شد.

۲- با استفاده از فرآیند سل - ژل و با استفاده از روش پوشش دهی چرخشی بذرلایه اکسید روی در ضخامت‌های ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ نانومتر بر روی زیرلایه شیشه ای پوشش داده شد.

۳- نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه با ضخامت ۵۰ نانومتر، دارای هم‌راستایی عالی و قطر میانگین ۵۵ نانومتر هستند، در حالیکه نانومیله‌های رشد یافته بر روی بذرلایه با ضخامت ۳۰۰ نانومتر نسبت به ضخامت ۵۰ نانومتر از هم‌راستایی کمتر و میانگین قطر بیشتر (۹۰ nm) برخوردار می‌باشند.

۴- بررسی نتایج آبریزی بر روی نمونه‌ها نشان داد که زاویه ترشوندگی با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۵۰ nm به ۱۵۰ nm، از 155° به 144° ، و با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۱۵۰ nm به ۳۰۰ nm، از 144° به 139° کاهش یافته است.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس چمی به‌خاطر فراهم آوردن کلیه امکانات انجام این تحقیق و جناب مهندس نکوبین به علت اطلاعات مفید در این زمینه، تشکر نمایند.

۶- مراجع

- [1] G. Vi. C. Wang & W. Pnrk, "ZnO nanorods: synthesis, characterization and applications", *Semicond. Sci Techno*, Vol. 20, pp. 22-34, 2005.
- [2] RYung, "Oxide nanomaterials. synthesis, structure, properties and novel devices", USA, 2007.

در این پژوهش چون $\theta_Y = 112^\circ$ می‌باشد، بنابراین سطح صاف تک کریستالهای ZnO ذاتاً آبرگیز هستند. با رشد نانومیله‌های ZnO بر روی سطح به دلیل وجود خلل و فرج بسیار زیاد بین نانومیله‌ها، سطح واقعی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد بطوریکه $r \gg 1$.

از آنجا که زاویه تماس بر روی سطح صاف تک کریستال ZnO برابر 112° می‌باشد ($\theta_Y = 112^\circ$)، لذا با رشد نانومیله‌های ZnO بر روی سطح، فاکتورهای زبری افزایش قابل ملاحظه می‌یابد ($r \gg 1$)؛ لذا طبق معادله و نزل سطح باید آبرگیزتر شود، به عبارت دیگر:

$$\theta_w > \theta_Y \rightarrow \theta_Y = 112^\circ, r \gg 1$$

با توجه به اینکه در ضخامت‌های مختلف پوشش بذرلایه، آبرگیزی نانومیله‌های ZnO از 112° بیشتر شده است، لذا سطح آبرگیزتر شده است، لذا طبق مدل و نزل این نتیجه قابل توجه می‌باشد.

نتایج حاصل از تاثیر ضخامت بر زاویه تماس با استفاده از مدل و نزل نیز قابل توجه می‌باشد. تنها پارامتر متغیر رابطه و نزل، r یعنی فاکتور زبری می‌باشد، که برابر است با نسبت سطح واقعی (سطح نانومیله‌های ZnO) به سطح صاف. با توجه به اینکه θ_Y ثابت و برابر 112° می‌باشد، با افزایش r ، زاویه ترشوندگی (θ_w) افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج AFM شکل (۳)، با افزایش ضخامت بذرلایه از ۵۰ nm به ۳۰۰ nm، رشد ستونی دانه‌های بذرلایه افزایش و دانه‌های کریستالی ZnO بزرگتر می‌شوند، در نتیجه در ضخامت ۵۰ nm، اندازه دانه‌ها کوچک و به ترتیب با افزایش ضخامت به ۱۵۰ nm و ۳۰۰ nm دانه‌های کریستالی بزرگتر می‌شوند.

با توجه به نتایج بدست آمده، با افزایش ضخامت بذرلایه از ۵۰ nm به ۳۰۰ nm، به علت اینکه قطر نانومیله‌ها افزایش یافته است، تعداد کمتری نانومیله در یک سطح قرار می‌گیرند و سطح واقعی نانومیله‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش سطح واقعی، r یعنی فاکتور زبری، کاهش می‌یابد، که باعث می‌شود زاویه ترشوندگی با افزایش ضخامت پوشش بذرلایه از ۵۰ nm به

- [3] S. Sakka, "Handbook of sol-gel science and technology: processing, characteration and applications", Springer; 1st, edition 1, 2004.
- [4] D. Polsongkram, P. Chamminok, S. Pukird, L. Chow, O. Lupan ,G. Chai, H. Khallaf, S. Park, & A. Schulte, "Effect of synthesis conditions on the growth of ZnO nanoroads via hydrothermal method", *Physica B:Condensed Matter*, Vol. 403,pp. 3713-3717, 2008.
- [5] C. J. Brinker & G. W. Scherer, "Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing", Academic Press; I st edition 12, pp. 4775, 1990.
- [6] L. Vayssiers, "Growth of arrayed nanoroads and nanowires of ZnO from aqueous solution", *AdvMater*, Vol. 15, No. 5, 2003.
- [7] M. Ma, R. M. Hill, "Superhydrophobic surfaces" , *Current opinion in colloid & Interface Science*, Vol. 11, pp. 193-202,2006.
- [8] R. N. Wenzel, "Surface roughness and contact angle". *Journal of Physical and Colloid Chemistry*, Vol. 53, No. 9, pp. 1466-1467, 1949.
- [9] R. N. Wenzel, "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water" *Industrial & Engineering Chemistry*, Vol. 28, No. 8, pp. 988-994, 1936.