



تأثیر شرایط رشد بر آرایه نانومیله‌های همراستای ZnO

ندا شاهی | علی رحمتی* | پروانه ایرانمنش

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، استان کرمان

چکیده: آرایه نانومیله‌های همراستا ZnO به روش نهشت حمام شیمیایی در دمای پایین (کمتر از 120°C) به کمک لایه‌جوانه‌زنی در شرایط مختلف مانند دما و غلظت حمام، ضخامت لایه جوانه‌زنی و بازپخت آن رشد کرده‌اند. ویژگی‌های ساختاری، ریختی و شیمیایی، و اپتیکی آرایه نانومیله‌های ZnO به ترتیب به وسیله پراش سنجی پرتو X، میکروسکوپ الکترونی روبشی-گسیل میدانی به همراه طیف‌سنجی پرتو X با پاشندگی انرژی (FE-SEM/EDX) و طیف سنجی جذبی UV-Vis-near IR بررسی می‌شوند. عملیات حرارتی پس از سنتز نانومیله‌ها افزایش در کیفیت بلوری نانومیله‌های رشد یافته با جهت‌گیری ترجیحی عمودی C به دنبال دارد. ارتفاع، قطر میانگین و چگالی نانومیله‌های به شدت همراستا بر لایه جوانه‌زنی ZnO به ترتیب در حدود 190nm ، 31nm – 52 و 290 – 413 (rods)/ μm^2 می‌باشند. بازپخت نانومیله‌ها در دمای 400°C باعث کاهش انرژی گاف نواری از مقدار $3/29\text{eV}$ برای نانومیله‌ها بدو-رشد به مقدار $3/19\text{eV}$ می‌شود. افزایش دمای حمام شیمیایی تا 110°C باعث جهت‌گیری رندوم نانومیله‌ها و کاهش انرژی گاف نواری می‌شود. بازپخت لایه جوانه‌زنی در بازه دمایی 200 – 600°C باعث کاهش در ارتفاع نانومیله‌ها، افزایش در قطر متوسط و کاهش در تراکم و همینطور کاهش در انرژی گاف نواری می‌شود. کاهش در ضخامت لایه جوانه‌زنی باعث کاهش در قطر نانومیله‌ها و افزایش تراکم آن‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: نانو ساختار یک بعدی ZnO، تجزیه گرمایی، بازپخت، لایه جوانه‌زنی ZnO، کندوپاش مگنترونی، آرایه نانومیله‌های همراستا.

alirahmati1980@gmail.com

تحرک الکترونی بالا، قابلیت اکسایش قوی، قابلیت فوتوکاتالیستی مناسب، رسانندگی خوب و شفافیت نوری در ناحیه مرئی است [۲۱].

کنترل ویژگی‌های نانومیله‌ها مانند همراستایی، تراکم، قطر متوسط و ارتفاع آنها به منظور بهینه‌سازی کارکرد سامانه‌ای که نانومیله‌ها بعنوان واحد سازنده آن هستند، مطالبه و خواسته معقولی است. رشد ساختارهای یک‌بعدی منظم به روش حمام شیمیایی به کمک لایه‌جوانه‌زنی روشی آسان، کم هزینه، کنترل‌پذیر و قابل تکرار است. در کار حاضر، آرایه نانومیله‌های

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، ساختارهای نیم‌رسانا یک‌بعدی، به دلیل نسبت جنبی (قطر به طول) بالا و عملکرد انتقال حامل عالی در مرکز توجه پژوهش‌های گسترده بوده است. در میان گستره وسیع نانو ساختارهای بر پایه اکسید فلزی، نانومیله‌های روی اکسید، به عنوان نیم‌رسانای تک بلور n، کاربرد مفید و جالب در سیستم‌های دوستدار محیط در بهره‌برداری از انرژی نوری می‌باشند. جنبه‌های کارآمدی این نانو ساختارها غیر سمی بودن،

سیلیکون در شکل ۱ نشان داده شده است. در طرح پراش مربوط به نانومیله‌های ZnO بدو-رشد قله‌های ظاهر شده در زوایای θ_2 برابر $32/9$ ، $34/4$ ، $35/3$ ، $47/9$ ، $56/7$ و $62/8$ درجه به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۰)، (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۱۰) و (۱۰۳) می‌باشد (JCPDS01-113) و طرح پراش مربوط به نانومیله‌های ZnO بازپخت شده در دمای 400°C قله‌های ظاهر شده در زوایای θ_2 برابر $34/2$ ، $35/2$ ، $46/8$ ، $56/5$ ، $63/8$ و $65/1$ درجه به ترتیب مربوط به صفحات (۰۰۲)، (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۱۰)، (۱۰۳) و (۲۰۰) می‌باشد (JCPDS01-113) که نشان دهنده ساختار شش‌گوشی روی اکسید است. افزایش شدت قله پراش (۰۰۲) در اثر بازپخت ناشی از افزایش کیفیت بلوری نانومیله‌ها و جهت‌گیری ترجیحی رشد در جهت c آنهاست که در توافق با تصاویر FE-SEM به صورت رشد عمودی نانومیله‌ها بر زیرلایه است.

مقادیر ثابت‌های شبکه‌ای مربوط به ZnO NRs، بدو-رشد و بازپخت شده با استفاده از بازتاب‌های (۰۰۲) و (۱۰۰) و قانون براگ ثابت شبکه‌ها در جدول ۱ آمده است. نسبت مقادیر ثابت شبکه با ساختار شش‌گوشی فشرده با $\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1/63$ در توافق است، [۶].

جدول ۱: ثابت‌های شبکه ZnO بدون بازپخت و همراه با بازپخت در دمای 400°C

Concentration	Mean diameter (nm)	Density (rods/ $(\mu\text{m})^2$)
0/025 M	52	290
0/025 M	86	84

ZnO به شدت همراستا و عمود بر زیرلایه به کمک لایه جوانه‌زنی به روش نهشت حمام شیمیایی بر روی زیرلایه‌های سیلیکن، کوارتز رشد داده می‌شوند. تأثیر شرایط رشد مانند غلظت و دمای حمام، ضخامت و بازپخت لایه جوانه‌زنی و عملیات حرارتی بر مشخصه‌های ریخت‌شناسی، ساختاری و نوری آرایه نانومیله‌های ZnO بررسی می‌شوند.

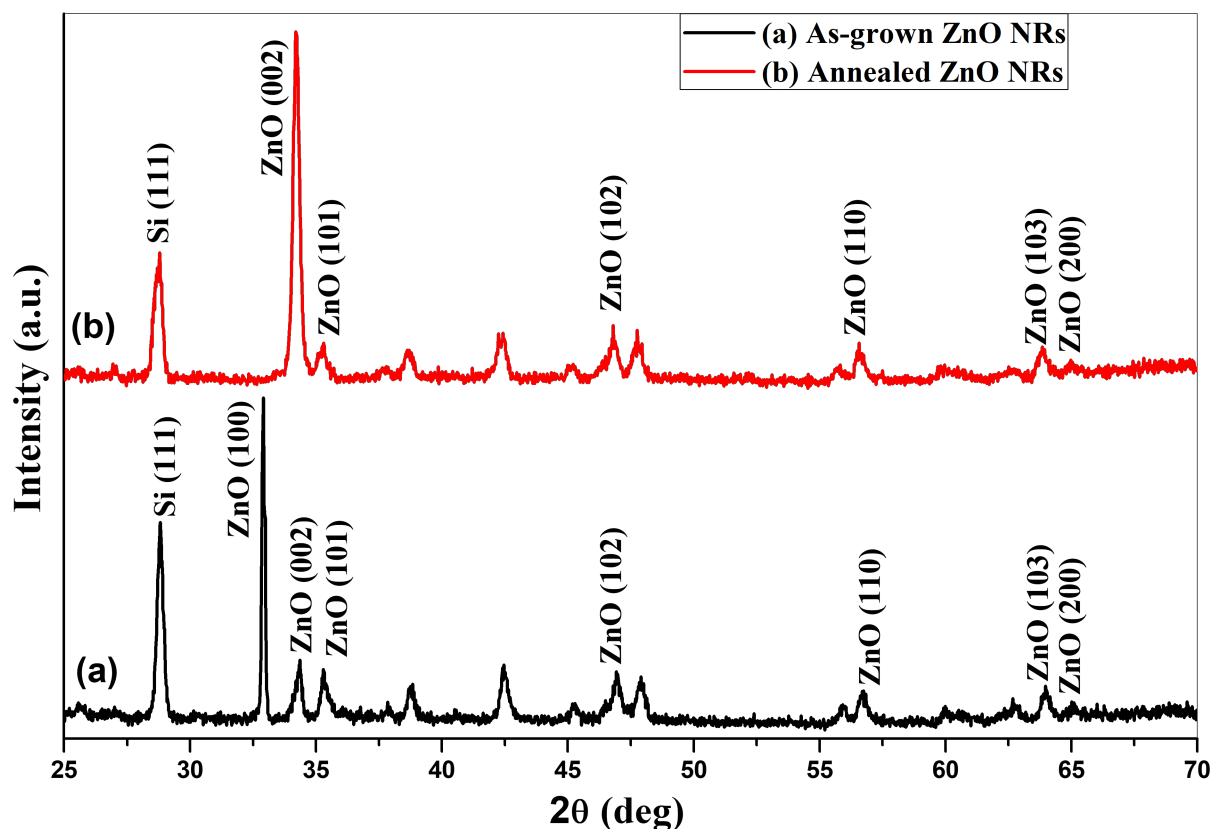
۲- مواد و روش‌ها

آرایه نانومیله‌های ZnO همراستا با روش نهشت حمام شیمیایی سنتز می‌شوند. لایه نازک ZnO که با کندوپاش مگنترونی RF نهشت می‌شود به عنوان لایه جوانه‌زنی برای رشد نانومیله ZnO استفاده می‌شود. لایه جوانه‌زنی به صورت افقی و رو به پایین در محلول آبی هم‌مولار 25mM از نیترات روی شش آب $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ و 25mM هگزا متیل تترا آمین $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4, \text{HMTA})$ در دمای 80°C به مدت 3h در آون فرو برده می‌شود. سپس نانومیله‌های حاصل برای تمیزی با آب دیونیزه شسته می‌شود و در دمای 80°C خشک می‌شوند، [۳-۵].

مرفولوژی سطحی و آنالیز عنصری با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان به همراه طیف‌سنج پرتو X با پاشندگی انرژی (FE-SEM/EDX, JSM-6330F) در دانشگاه کردستان مطالعه شد. چگالی عددی نانومیله‌ها بر واحد سطح و قطر متوسط آنها با شمارش و سنجش با مقیاس تصاویر دید از بالای FE-SEM بدست می‌آیند. ارتفاع نانومیله‌ها از راه سنجش با مقیاس تصاویر سطح مقطعی FE-SEM اندازه‌گیری می‌شوند. بلورینگی نانومیله‌ها با پراش سنج پرتو X (XRD, D8ADVANCE) با تابش $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=0.15418\text{ nm}$) بررسی شد. ویژگی‌های اپتیکی نانومیله‌ها با اندازه‌گیری طیف جذب با طیف‌سنج UV-Vis-near IR (Avantes-Spec2048) اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

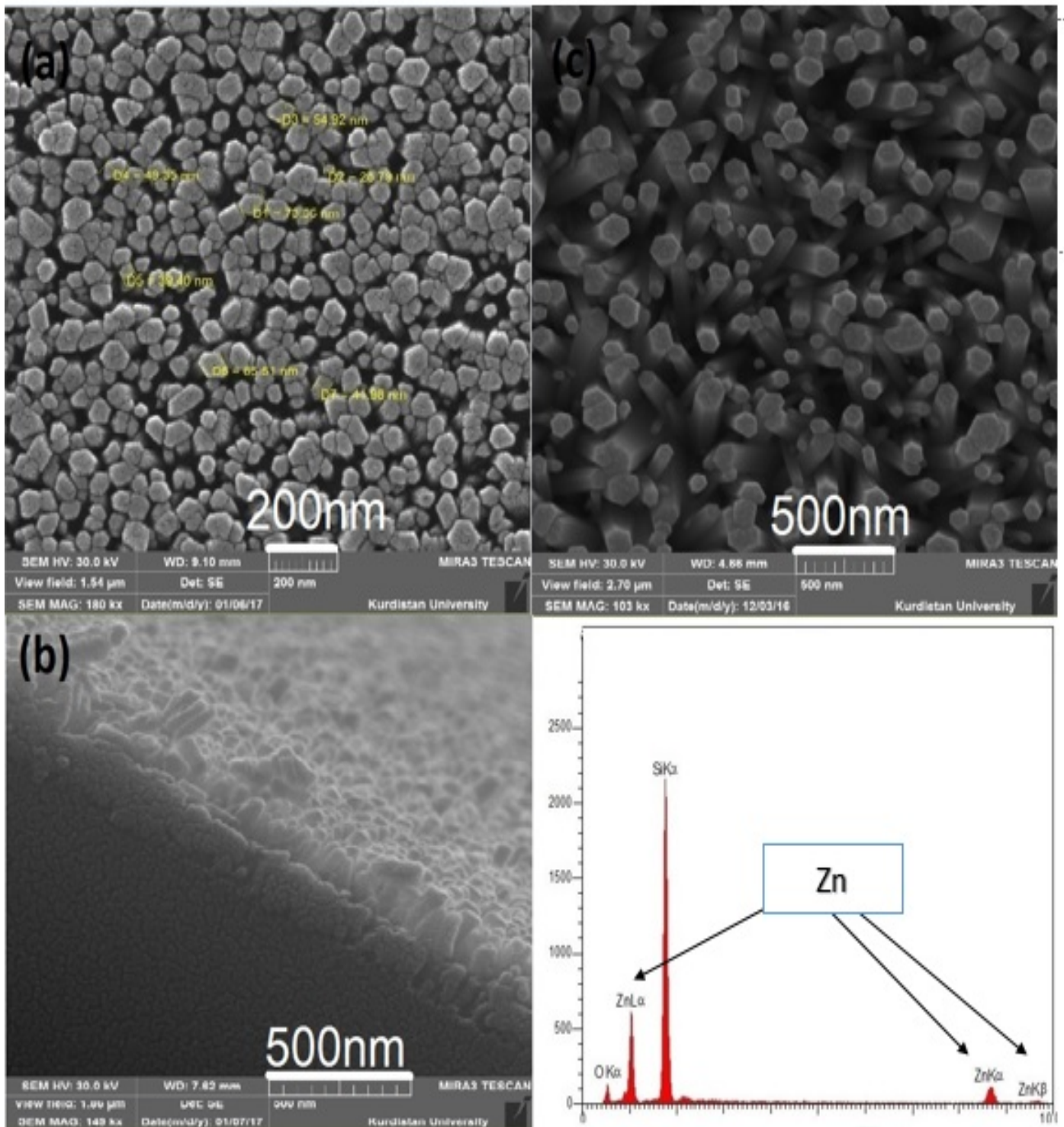
طرح پراش پرتو ایکس (XRD) مربوط به نانومیله‌های ZnO بدو-رشد و همراه با بازپخت در دمای 400°C بر روی زیرلایه



شکل ۱: طرح پراش پرتو X نانومیله‌های ZnO (a) بدو-رشد و (b) بازپخت شده در دمای ۴۰۰°C

۰/۰۲۵ را نشان می‌دهد. ارتفاع نانومیله‌های روی اکسید ۱۹۰ nm می‌باشد. ضخامت لایه جوانه‌زنی حدود ۲۰۰ nm مشاهده می‌شود. شکل ۲- c نانومیله‌های رشد کرده در محلول به غلظت ۰/۰۵M نشان داده است. چگالی نانومیله‌ها در حدود $۸۴ \text{ rods} \cdot (\mu\text{m})^{-2}$ محاسبه می‌شود. شکل ۲- d طیف‌سنجی پرتو ایکس با پاشندگی انرژی مربوط به ZnO NRs را نشان می‌دهد که حضور عناصر Zn, O, Si زیر لایه Si را تایید می‌کند.

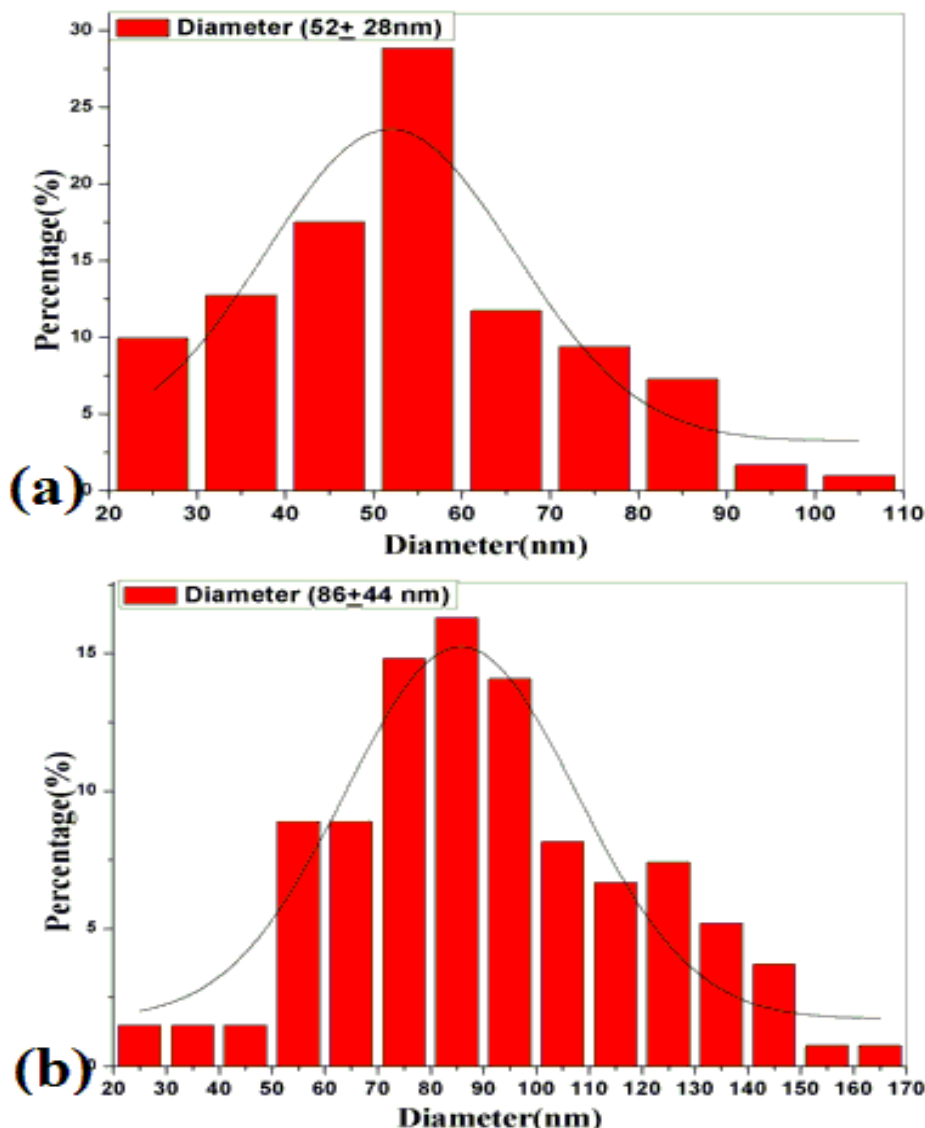
تصاویر FE-SEM دید از بالا مربوط به نانومیله‌های ZnO، بر روی زیر لایه سیلیکون که به صورت افقی در محلول‌هایی با دو غلظت ۰/۰۲۵M و ۰/۰۵M قرار گرفته‌اند در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. نانومیله‌ها به صورت هم‌راستا، متراکم و عمود بر زیر لایه رشد کرده‌اند و ساختار شش‌گوشی آن‌ها در شکل ۲- a مربوط به نانومیله‌های ۰/۰۲۵ M به خوبی نشان داده شده است. چگالی (تعداد بر واحد سطح) نانومیله‌ها در حدود $۲۹۰ \text{ rods} \cdot (\mu\text{m})^{-2}$ است. شکل ۲- b سطح مقطعی مربوط به ZnO NRs با غلظت M



شکل ۲: تصاویر FE-SEM مربوط به (a) دید از بالا (b) سطح مقطع مربوط به (c) ZnO NRs (0/025M) دید از بالا (d) ZnO NRs (0/05M) طیف EDX مربوط به ZnO NRs

قطر متوسط نانومیله‌ها با برازش توزیع گاوسی با داده‌های اندازه-گیری شده به ترتیب در حدود 28 ± 52 nm و 44 ± 86 nm برآورد می‌شود.

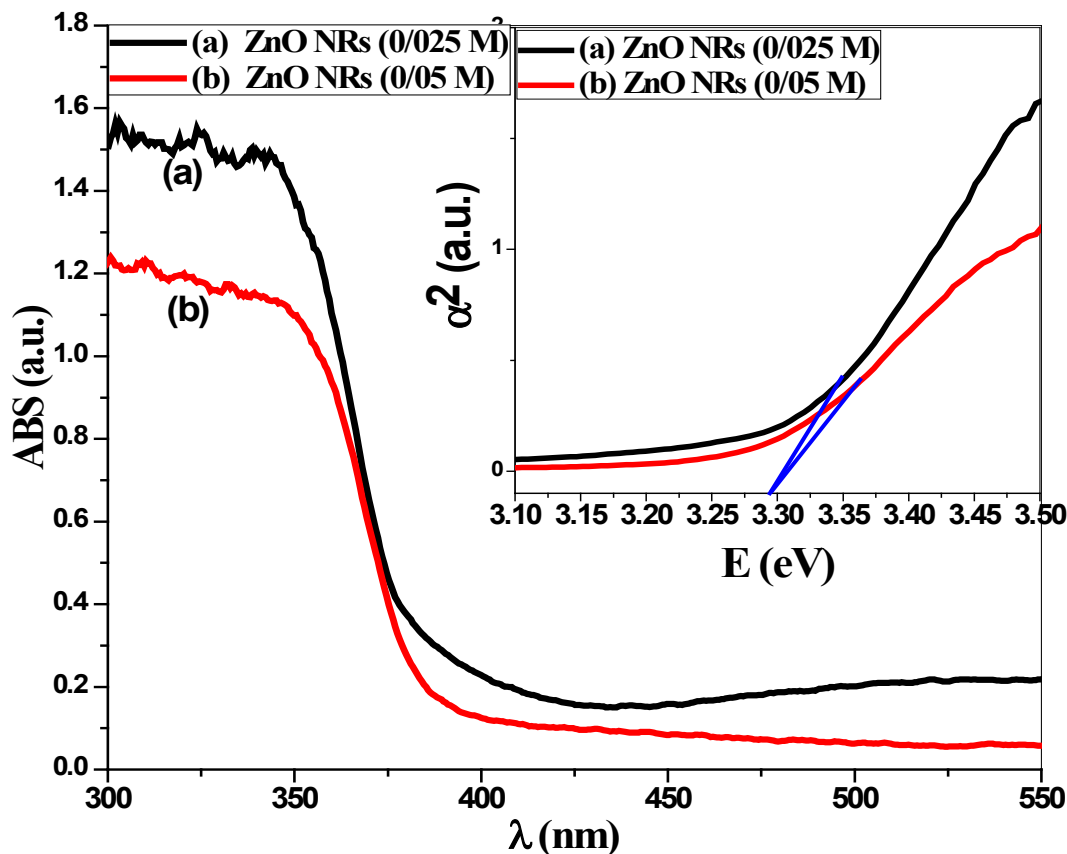
شکل ۳ نمودار هیستوگرام مربوط به توزیع قطر نانومیله‌های روی اکسید با غلظت‌های 0.025 M و 0.05 M را نشان می‌دهد که



شکل ۳: نمودار هیستوگرام توزیع قطر ZnO NRs با غلظت‌های ۰/۰۲۵ M (a) و ۰/۰۵ M (b)

اکسید است. با استفاده از نمودار α^2 بر حسب انرژی و برازش خطی آن در ناحیه جذب بالا، انرژی گاف نواری تخمین زده می‌شود که در شکل ۵ انرژی گاف نواری مستقیم ZnO NRs در شرایط رشد با هر دو غلظت ۰/۰۲۵ M و ۰/۰۵ M برابر با ۳/۲۹ eV تخمین زده می‌شود.

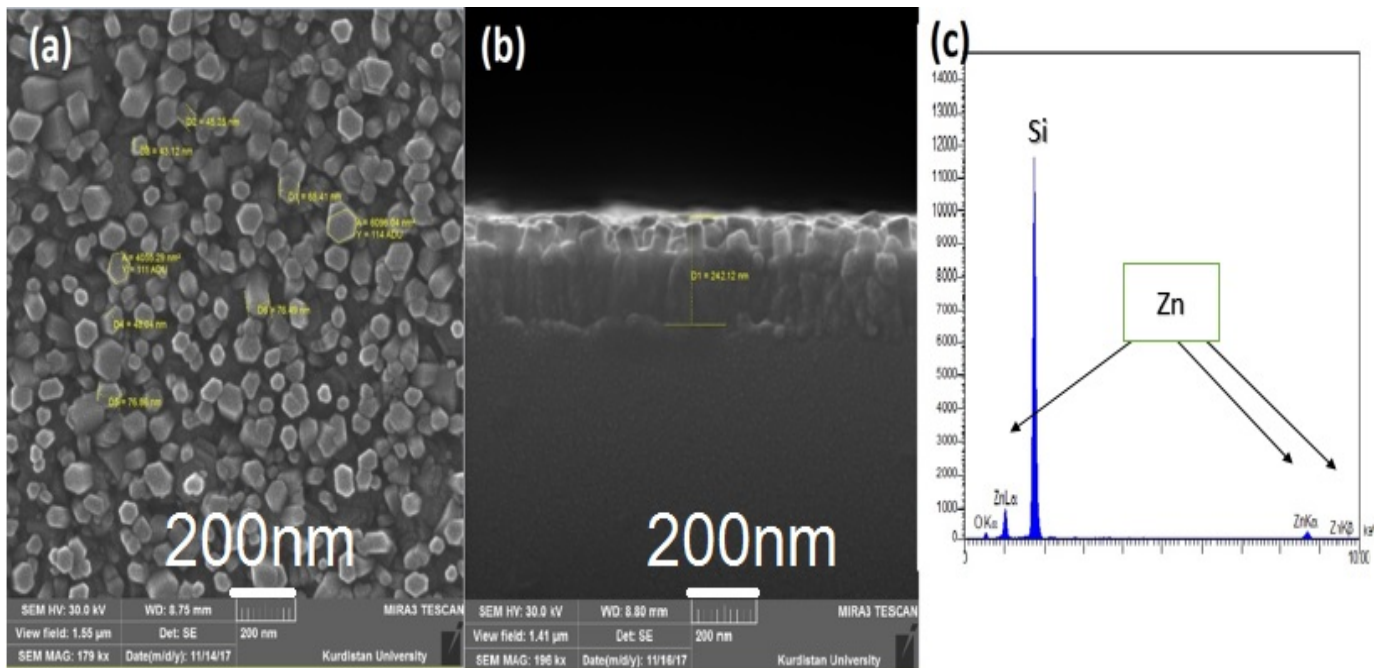
شکل ۴ طیف جذب نوری UV-Vis - near IR و تخمین انرژی گاف نواری ZnO NRs در شرایط رشد با دو غلظت ۰/۰۲۵ M و ۰/۰۵ M روی زیرلایه کوارتز را نشان می‌دهد. طیف جذب نانومیله-های سنتز شده جذب قوی در ناحیه UV واقع در حوالی طول موج ۳۹۰ nm نزدیک به ناحیه مرئی متناظر با گاف نواری بزرگ ۳/۲۹ eV نشان می‌دهد [۴-۷]. جذب اپتیکی در طول موج‌های کمتر از ۳۹۰ nm مربوط به گذارهای لبه نواری الکترونی در روی



شکل ۴: طیف جذب نوری UV-Vis - near IR و تخمین انرژی گاف نوری مربوط به ZnO NRs(0/05M,0/025M)

افقی یا عمودی آن در حمام شیمیایی بر نانومیله‌ها آورده شده است. از مقایسه شکل ۲ و شکل ۴ برای نانومیله‌های رشد کرده در غلظت‌های همسان با جهت‌گیری متفاوت زیرلایه، شار فرودی و سطح مقطع برخورد محصول‌های واکنش با زیرلایه متفاوت است.

تصاویر FE-SEM دید از بالا، سطح مقطعی به همراه طیف EDX مربوط به نانومیله‌های ZnO که بصورت عمودی در محلول قرار گرفته در شکل ۵ در غلظت محلول ۰/۰۲۵M نشان داده شده است. در جدول ۲ برای مقایسه بهتر اثر وضعیت قرارگیری زیرلایه



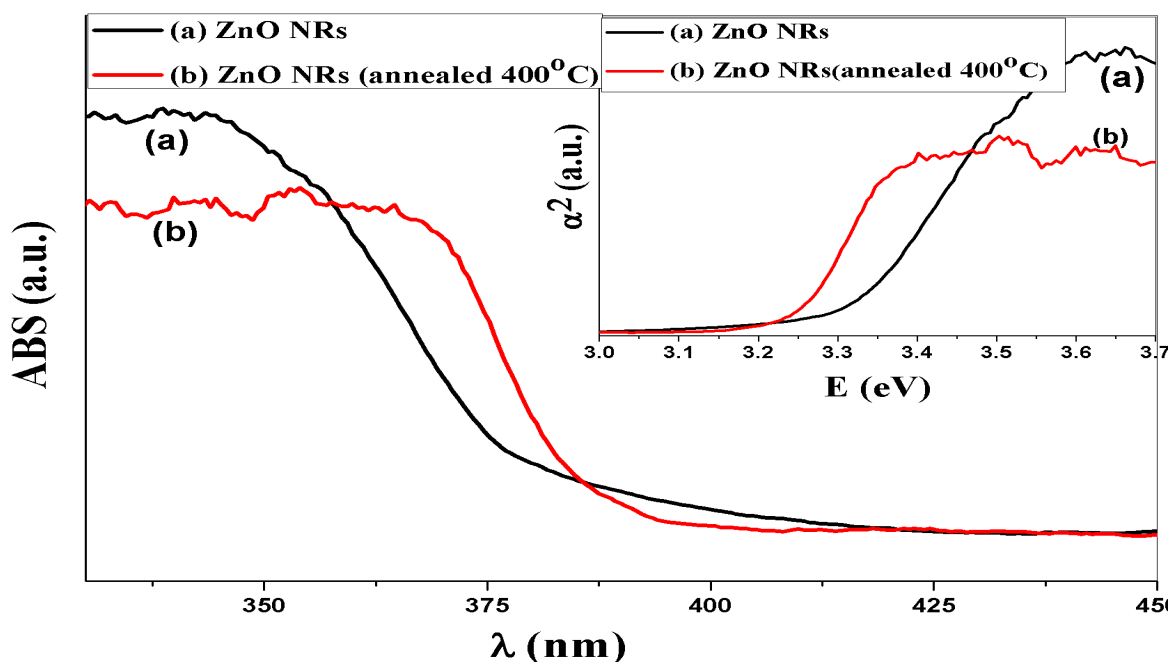
شکل ۵: تصاویر FE-SEM مربوط به ZnO NRs به صورت عمودی قرارگرفتن زیرلایه در محلول (a) دید از بالا، (b) سطح مقطعی و (c) طیف EDX

جدول ۲: ارتفاع، قطر متوسط و تراکم نانومیله‌های ZnO با موقعیت زیرلایه متفاوت

position	Height (nm)	Mean diameter (nm)	Density (rods/ $(\mu\text{m})^2$)
Horizontal	190	52	290
Vertical	50	58	54

قرمز نشان می‌دهد. انرژی گاف نواری از مقدار ۳/۲۹ eV برای نمونه بدو-رشد به مقدار ۳/۱۹ eV برای نمونه بازپخت در دمای ۴۰۰°C کاهش می‌یابد.

شکل ۶ طیف جذب مربوط به ZnO NRs در غلظت حمام ۰/۰۲۵M در بدو-رشد و بازپخت شده در دمای ۴۰۰°C را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که لبه جذب در اثر بازپخت جابجایی

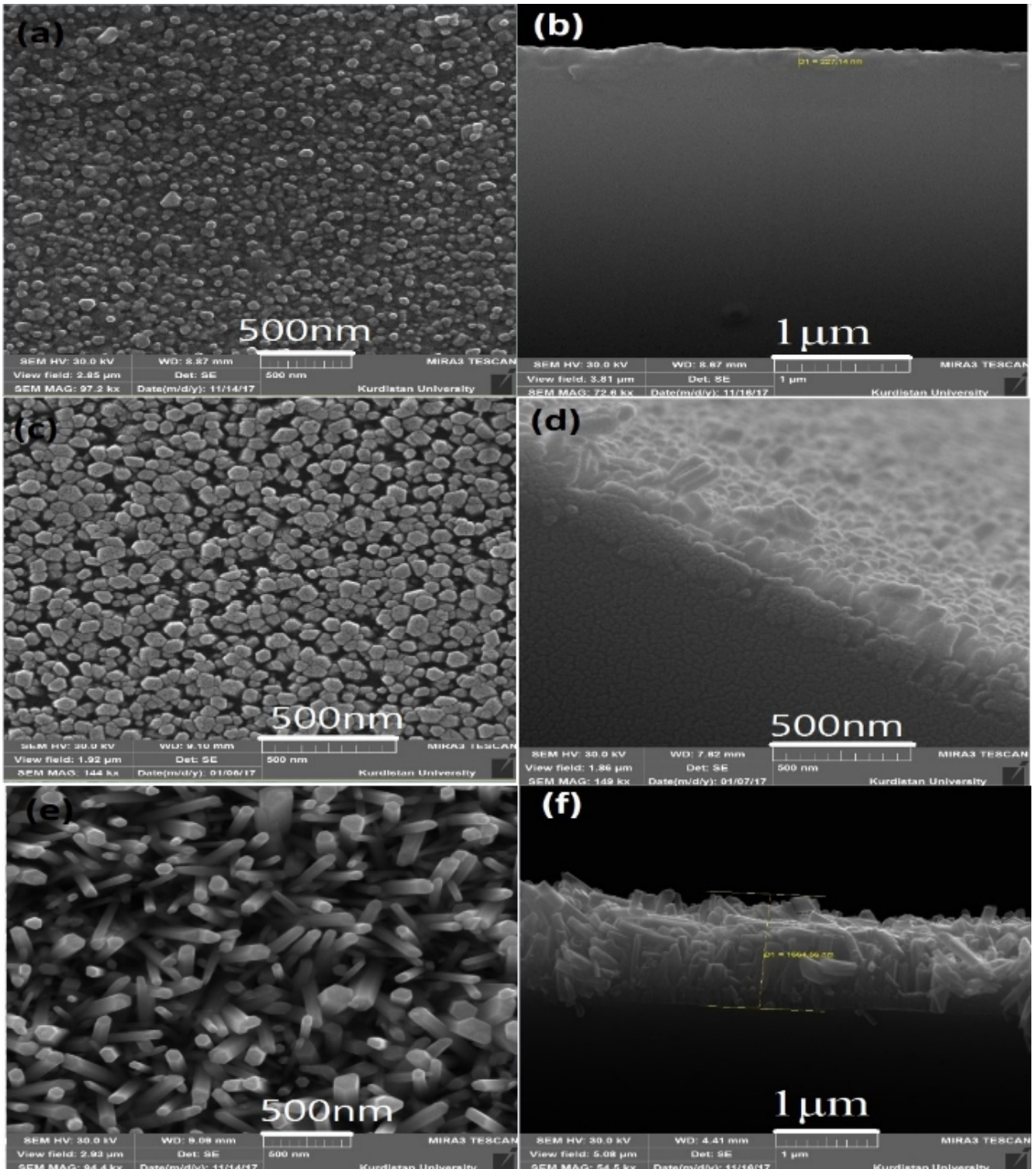


شکل ۶: طیف جذب نوری UV-Vis - near IR و تخمین انرژی گاف نوری مربوط به ZnO NRs (0.025M, 400 °C)

جدول ۳: ارتفاع، قطر متوسط و تراکم نانومیله‌های ZnO با دماهای حمام متفاوت

Temp (°C)	Height (nm)	Mean diameter (nm)	Density (rods/(μm) ²)
60	40-50	47	96
80	190	52	290
110	1600-1700	88	30

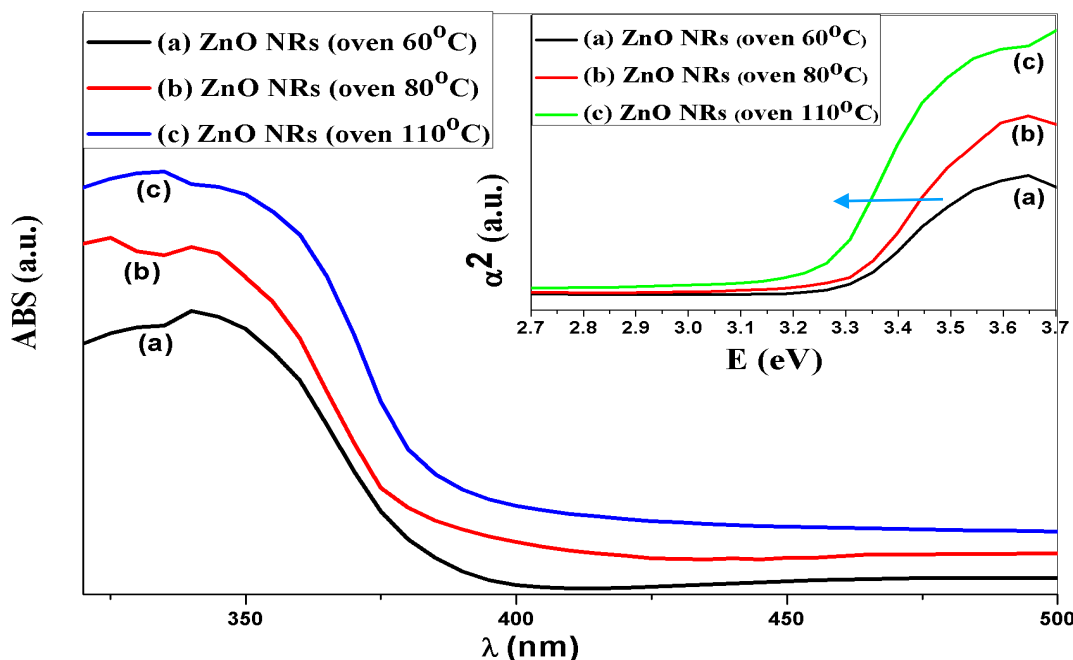
شکل ۷ تأثیر دمای حمام در بازه $60^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ بر جهت‌گیری نانومیله‌های ZnO نشان داده شده است. در دمای 60°C و 80°C نانومیله‌های همراستا، عمود بر زیرلایه تشکیل می‌شوند. اما ZnO NRs رشد یافته در دمای 110°C دارای جهت‌گیری رندوم می‌باشد. قطر متوسط ZnO NRs با افزایش دما از 60°C به 80°C و از 110°C مقدار 47nm به 52nm و 88nm افزایش می‌یابد. با افزایش دما از 60°C به 80°C تراکم NRs افزایش می‌یابد و با افزایش دما تا 110°C تراکم نانومیله‌ها به شدت کاهش می‌یابد. در دمای مختلف حمام آهنگ تولید هیدروکسیدروی Zn(OH)₂ تغییر می‌کند و از این رو میزان گونه‌های ZnO که در اثر تجزیه گرمایی Zn(OH)₂ به دست می‌آیند متفاوت خواهد بود [۴]. تصاویر سطح مقطعی نشان می‌دهد ارتفاع نانومیله‌ها با افزایش دمای حمام شیمیایی تا 1700nm افزایش می‌یابد. جدول ۳ مشخصات نانومیله‌ها شامل قطر متوسط، تراکم و ارتفاع آورده شده است.



شکل ۷: تصاویر دید از بالا و سطح مقطعی FE-SEM مربوط به نانومپله‌های ZnO که (a,b) دمای حمام ۶۰°C، (c,d) دمای حمام ۸۰°C و (e,f) دمای حمام ۱۱۰°C در غلظت محلول ۰/۰۲۵M رشد داده شده

تولید $Zn(OH)_2$ و تجزیه حرارتی آن به ZnO ارتباط داشته باشد، [۳].

شکل ۸ تأثیر دمای حمام را در جذب اپتیکی ZnO NRs نشان می‌دهد با افزایش دمای حمام لبه جذب نواری کاهش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند به سینماتیک واکنش شیمیایی



شکل ۸: طیف جذب نوری UV-Vis - near IR و تخمین انرژی گاف نواری مربوط به ZnO NRs با دماهای رشد متفاوت

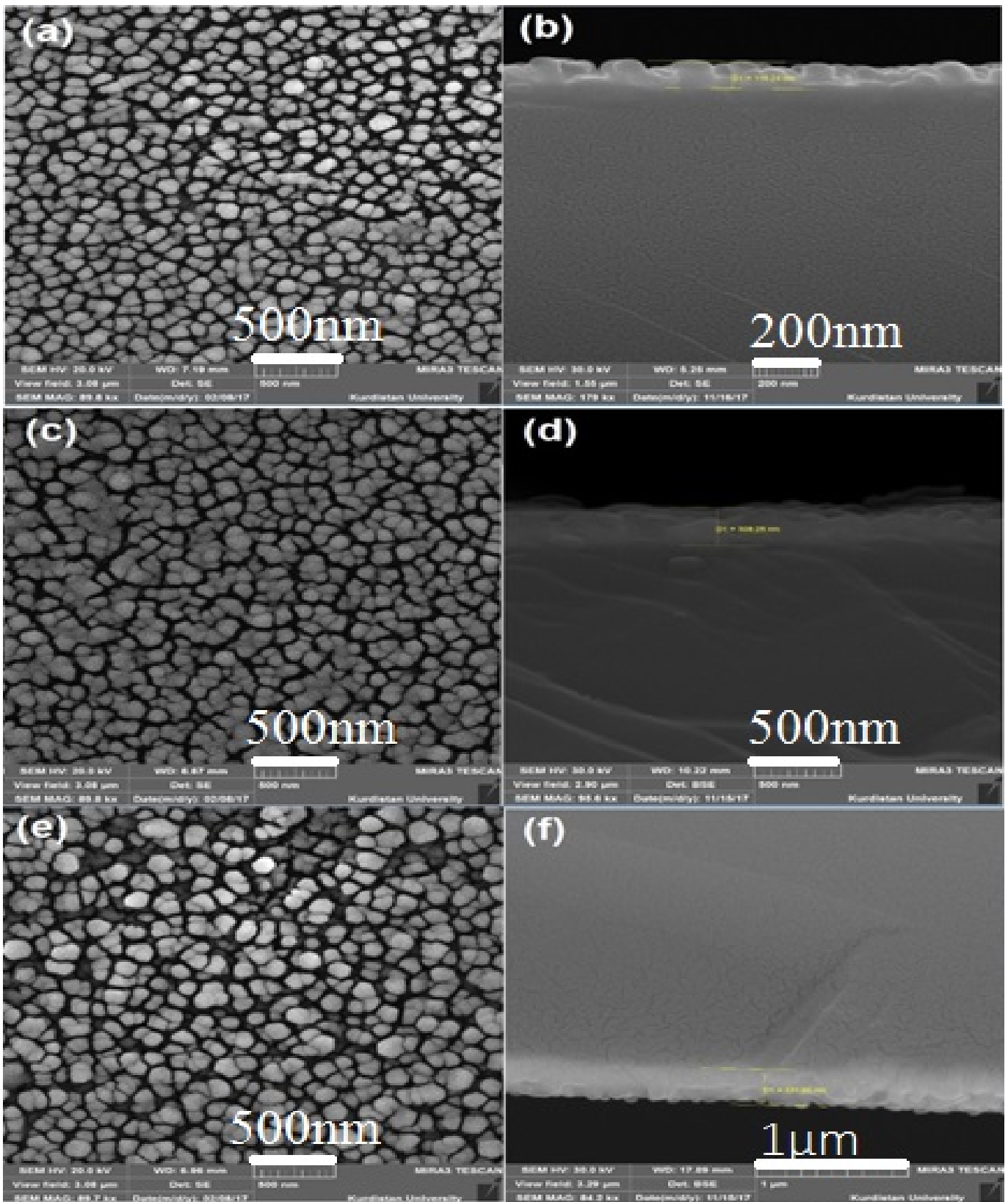
بازپخت شده در دماهای مختلف $200 - 600^\circ\text{C}$ در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: ارتفاع، قطر متوسط و تراکم نانومیله‌های ZnO بر لایه‌های جوانه‌زنی بازپخت شده در دماهای مختلف

Annealing Temperature ($^\circ\text{C}$)	Height (nm)	Mean Diameter (nm)	Density rods/ $(\mu\text{m})^2$
As-deposit	190	52	290
200	100-120	107	70
400	120	126	53
600	140-150	129	48

تصاویر دید از بالا و سطح مقطعی FE-SEM مربوط به نانومیله‌های ZnO که در حمام شیمیایی با غلظت 0.25M بر لایه جوانه‌زنی بازپخت شده در دماهای متفاوت رشد کرده‌اند، در شکل ۹ نشان داده شده است. مشخصات ZnO NRs شامل قطر متوسط، تراکم و ارتفاع آن‌ها در جدول ۵ آمده است. مشاهده می‌شود با بازپخت لایه جوانه‌زنی ویژگی‌های نانومیله‌ها نسبت به لایه جوانه‌زنی بازپخت نشده بطور قابل توجهی تغییر می‌کند. دلیل این امر اینست که بازپخت سبب کاهش زبری لایه جوانه‌زنی به دنبال آن کاهش مراکز هسته سازی اولیه برای رشد نانومیله‌ها می‌گردد.

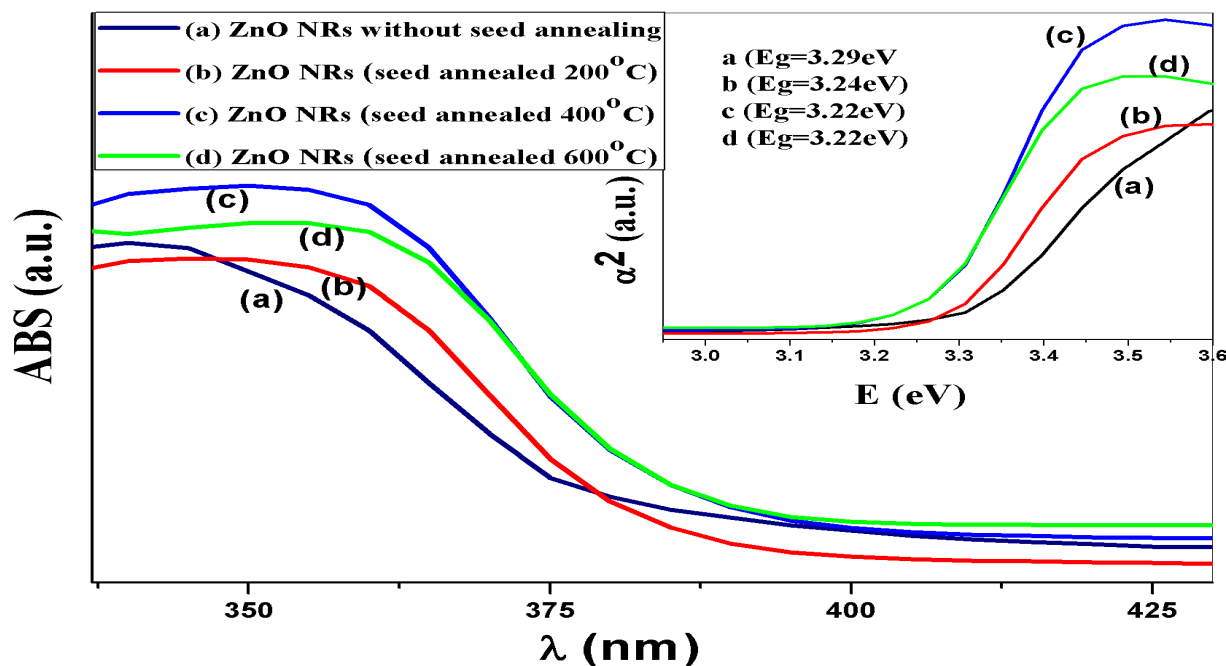
شکل ۹ نشان می‌دهد ارتفاع نانومیله‌ها در دمای بازپخت 200°C حدود 100 تا 120nm ، دمای بازپخت 400°C حدود 120nm و دمای بازپخت 600°C حدود 140 تا 150nm تخمین زده شد. ارتفاع، قطر متوسط و تراکم ZnO NRs که بر لایه‌های جوانه‌زنی



شکل ۹: تصاویر دید از بالا و سطح مقطعی FE-SEM مربوط به نانومیله‌های ZnO که لایه جوانه‌زنی آنها (a,b) در دمای ۲۰۰°C، (c,d) در دمای ۳۰۰°C و (e,f) در دمای ۴۰۰°C در ۰.۰۲۵M غلظت محلول رشد داده شده. دمای ۶۰۰°C بازپخت شده که نانومیله‌ها با غلظت محلول ۰.۰۲۵M رشد داده شده.

از ۴۰۰°C انرژی گاف نواری به دلیل افزایش کیفیت بلوری نانومیله‌ها، کاهش می‌یابد.

شکل ۱۰ تأثیر بازپخت لایه جوانه‌زنی در دماهای مختلف در جذب نوری را نشان می‌دهد. با بازپخت لایه جوانه‌زنی تا دماهای بالاتر



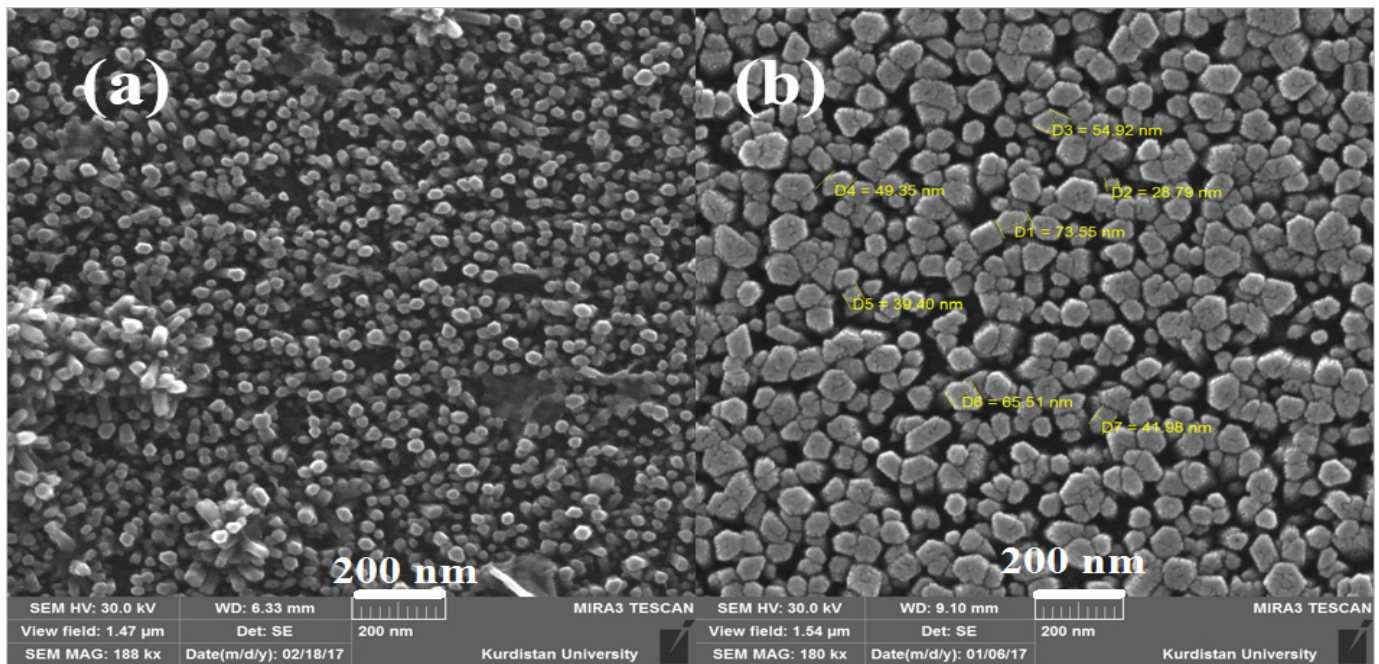
شکل ۱۰: طیف جذب نوری UV-Vis - near IR و تخمین انرژی گاف نواری مربوط به ZnO NRs با بازپخت دماهای متفاوت لایه جوانه‌زنی

تصاویر دید از بالا FE-SEM مربوط به نانومیله‌های ZnO که بر لایه جوانه‌زنی نهشت شده به مدت ۰/۵h و ۲h در حمام شیمیایی غلظت محلول ۰/۰۲۵M رشد کرده‌اند در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۵: ارتفاع، قطر متوسط و تراکم نانومیله‌های ZnO با مدت زمان لایه جوانه‌زنی متفاوت

Time (h)	Mean diameter (nm)	Density (rods/(μm) ²)
0/5	31	413
2	52	290

مشخص می‌باشد که قطر نانومیله‌ها زمانی که مدت زمان نهشت لایه جوانه‌زنی کاهش یافته به اندازه قابل توجهی کاهش یافته است. قطر متوسط ZnO NRs بر لایه جوانه‌زنی نهشت شده به مدت ۰/۵h و ۲h به ترتیب ۳۱nm و ۵۲nm است در حالی تراکم نانومیله‌ها به ترتیب ۴۱۳rods/(μm)² و ۲۹۰rods/(μm)² است. ویژگی‌های ZnO NRs در جدول ۵ آمده است.



شکل ۱۱: نانومیله‌های ZnO با مدت زمان لایه جوانه‌زنی متفاوت (a) نیم ساعت و (b) ۲ ساعت

۵- نتیجه گیری

آرایه نانومیله‌های ZnO به شدت همراستا، عمود بر سطح زیرلایه و با تراکم بالا با روش حمام شیمیایی در دمای پایین رشد کرده‌اند.

افزایش غلظت حمام شیمیایی باعث کاهش تراکم نانومیله‌ها و افزایش قطر نانومیله‌ها می‌گردد. مشخصات نانومیله‌ها به شدت به جهت‌گیری افقی یا عمودی زیرلایه در حمام بستگی دارد. بازپخت نانومیله‌ها سبب افزایش کیفیت بلوری نانومیله‌ها و کاهش در لبه جذب می‌شود. جهت‌گیری و همراستایی نانومیله‌ها به دمای حمام وابسته است. افزایش دمای حمام باعث کاهش لبه جذب می‌شود. بازپخت لایه جوانه‌زنی قبل از رشد نانومیله‌ها، ویژگی‌های نانومیله‌ها را.

مراجع

[1] K. Xu, J. Wu, C. F. Tan, G. W. Ho, A. Wei, M. Hong, "Ag-CuO-ZnO metal-semiconductor multiconcentric nanotubes for achieving superior and perdurable photodegradation", *Nanoscale*, 9, 11574-11583, 2017.

[2] X. Liu, J. Cao, B. Feng, L. Yang, M. Wei, H. Zhai, H. Liu, Y. Sui, J. Yang, Y. Liu, "Facile fabrication and photocatalytic properties of ZnO nanorods/ZnSe nanosheets heterostructure.", *Superlattices and Microstructures*, 83, 447-458, 2015.

[3] A. Rahmati and M. Yousefi, "Well Oriented ZnO Nanorods Array: Negative Resistance and Optical Switching." *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 643, 870-876, 2017.

[4] A. Rahmati and S. Zakeri-Afshar, "Heteroepitaxial ZnO/CuO thin film and nanorods array: photoconductivity and field emission effect." *J. Mater. Sci: Mater. In Electronics*, 28, 13032-13040, 2017.

[5] A. Rahmati, B. Rahmani, A. Farokhipour, "Hetero Plasmonic 2D and 3D ZnO/Ag Nanostructures: Electrical and Photocatalytic

Applications.” J. Mater. Sci. Mater. In Electronics, 2018.

[6] C. Kittel, “Quantum theory of solids.”, Wiley, 1987.

[7] L. Wang, G. Tian, Y. Chen, Y. Xiao and H. Fu, “In situ formation of ZnO/ZnSe nanonail array as photoelectrode for enhanced photoelectrochemical water oxidation performance”, *Nanoscale*, 8, 9366-9375, 2016.



Effect of Growth Condition on Characteristic of ZnO nanorods

N. Shahi, A. Rahmati*, P. Iranmanesh

Department of Physics, Faculty of Science, Vali-e-asr University, Rafsanjan

Abstract: Well-aligned ZnO nanorods array have been synthesized through chemical bath deposition at low temperature (less than 120°C) using seed layer under different condition such as bath concentration and temperature, growth time, thickness of seed layer and it's annealing. Structural, morphological, chemical and optical properties of ZnO nanorods array were studied by X-ray diffractometry, field emission-scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectroscopy (FE-SEM/EDX) and UV-Vis-near IR optical absorption spectroscopy, respectively. The post-synthesized thermal treatment results in increased crystalline quality of nanorods as vertical c preferred orientation. The height, mean diameter and density of strongly well-oriented ZnO nanorods array are 190nm, 31-52 nm and 290-413 rods/ μm^2 on ZnO seed layer, respectively. The annealing of nanorods at 400°C causes to decrease in bandgap energy from 3.29eV for the as-grown nanorods to 3.19 eV. The increase in bath temperature to 110°C results in random direction of nanorods and decreasing in bandgap energy. The annealing of seed layer at temperature range of 200-600°C causes to increase in mean diameter and decrease in nanorods height and concentration and bandgap energy. The decrease in seed layer thickness causes to decrease in nanorods concentration.

Keywords: ZnO one-dimensional nanostructure, Thermal decomposition, Annealing, ZnO seed layer, Magnetron sputtering, Well-aligned nanorods array