فصلنامه‌ی علمی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۰

بررسی تاثیر دمای بازپخت روی چگالی اپتیکی، توپوگرافی و خواص ساختاری سطح لایه‌های اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم

نوع مقاله: علمی پژوهشی

ولی دلوجی[۱،*]، نسیم رحیمی[۱]، سحر رضایی[۲]، علیرضا سوری[۳]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر.

[۲] گروه فیزیک، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

[۳] گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر.

Dalouji@yahoo.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۱ خرداد ۱۳۹۹

پذیرش: ۱۵ بهمن ۱۳۹۹

کلیدواژه:

ابعاد فراکتال، خواص ساختاری، اندازه عرضی نانو ذرات، توپوگرافی سطح لایه ها، چگالی اپتیکی، منطقه تحمل.

چکیده:

لایه های مختلف اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی با فرکانس رادیویی در دمای اتاق بر روی لایه های شیشه ای ساخته شدند. لایه ها در یک کوره الکتریکی با حضور گاز آرگون در سه دمای مختلف ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی بازپخت شدند. مقدار چگالی اپتیکی اکسید روی نسبت به اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم بیشتر است. مقادیر اندازه عرضی نانو ذرات برای لایه های اکسید روی با افزایش دمای بازپخت، افزایش یافتند. لایه های اکسید روی بازپخت شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد دارای کمترین مقدار اندازه عرضی نانو ذرات در حدود ۲۲/۵۹ نانومتر هستند. لایه های اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم و بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد دارای بیشترین مقدار اندازه عرضی نانو ذرات در حدود ۳۴/۴۱ نانومتر هستند. تغییرات ارتفاع سطح روبش شده لایه ها نشان دادند که لایه اکسید روی در دمای اتاق دارای یک جهش تند ۲۵ نانومتر می باشد. همچنین لایه اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد دارای فراز و نشیب کمتری نسبت به بقیه دماها دارا می باشد و ارتفاع حول ۶ نانومتر است. باافزایش دمای بازپخت مقادیر ابعاد فراکتالی لایه های اکسید روی کاهش می یابد.

۱- مقدمه

امروزه نانو مواد نقش مهمی در شاخه های مختلف علوم مانند مواد، مهندسی و صنعت، پزشکی ایفا می کنند [۱،۲].

یکی از پرکاربردترین مطالعات ساختاری لایه های نازک مواد، تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) است. اکسید روی (ZnO) یک نیمه هادی از نوع n با شکاف باند گسترده

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

برابر با ۳ ۳۷ ولت است [۳] و به شکل پودری سفید رنگ و غیر محلول در آب است. نانو ذرات اکسید روی در بسیاری از زمینه ها کاربردهای گسترده ای دارند از جمله در روکش ها [۴] و سنسورهای گازی [۵]، سلول خورشیدی سنتز شده (DSSC) [۶]، تخریب فوتوکاتالیستی آلاینده ها (TCO) [۷]، دیودهای نوری (LED) [۸] مورد استفاده قرار می گیرند. لایه های اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم (AZO) و اکسید روی به دلیل انتقال نوری زیاد، مقاومت نسبتاً کم، عدم سمیت و هزینه کم مواد، سازگاری با فیزیولوژی بدن انسان برای ساخت برخی آنزیم ها مورد استفاده قرار می گیرد [۹]. امروزه، لایه های اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم بر روی بسترهای قابل انعطاف [۱۰-۱۲] توجه بیشتری را به خود جلب کرده اند زیرا می توانند به دلیل مزیت های ویژه از جمله سبک بودن، عدم شکستگی، حجم کم، نیازهای در حال گسترش دستگاه های مدرن فوتوالکتریک را برآورده کنند. لایه های نازک اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم (AZO) با تبخیر حرارتی [۱۳،۱۴] ، رسوب شیمیایی بخار شیمیایی (CVD) [۱۵] ، تبخیر شیمیایی تقویت شده با پلاسما (PECVD) [۱۶]، سل - ژل [۱۷،۱۸]، اتلاف حرارتی[۲۱-۱۹]، رسوب لیزر پالسی (PLD) [۲۲] و کندوپاش مغناطیسی [۲۳-۲۸] و غیره تهیه می شوند. در این کار تاثیر دمای بازپخت بر روی توپوگرافی سطح لایه ها و ابعاد فراکتال و همچنین چگالی اپتیکی لایه های اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- فعالیت های تجربی

لایه های مختلف اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی با فرکانس رادیویی در دمای اتاق با خلوص ۹۹ درصد بر روی لایه های شیشه ای ساخته شدند. گاز کندوپاش آرگون و اکسیژن با نسبت ۳۰ درصد بود و در حین کار با به کارگیری دو پمپ دوار و توربینی ثابت ماند. فشار پایه محفظه کندوپاش ۶×۱۰^{-۳} میلی بار و فشار کاری در حدود ۲×۱۰^{-۵} میلی بار در نظر گرفته شده بود. لایه ها در مدت زمان یکسان ۷۵ دقیقه و توان ۱۲۵ وات انباشت شدند. برای از بین بردن هرگونه ناخالصی احتمالی، بسترها توسط آب مقطر تمیز شدند. سپس، به مدت۱۰ دقیقه در تمیزکننده اوالتراسونیک، اتانول و استون قرار داده شدند تا هرگونه اکسید احتمالی از بین برود. ضخامت لایه های رسوب داده شده (اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم با ۹۰ درصد روی و ۱۰ درصد آلومینیوم در خلوص ۹۹ درصد) در حدود ۲۳۰ نانومتر بود که در هنگام رسوب توسط مانیتور شیشه ای دستگاه اندازه گیری شد. لایه ها در یک کوره الکتریکی با حضور گاز آرگون در سه درجه حرارت مختلف ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت با سرعت ۱۰ درجه سانتی گراد در دقیقه بازپخت شدند و اثرات پازپخت در خواص مختلف لایه ها مورد بررسی قرار گرفت. توپوگرافی سطح لایه ها و زبری RMS لایه ها توسط دستگاه Veeco-Autoprobeدر حالت غیر تماسی تعیین شد. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی در ابعاد$1\mu \times 1\mu$بدست آمدند. اندازه گیری های مربوط به ضرایب جذب با استفاده از یک دستگاه اسپکتروسکوپی UV-sivاستفاده شد.

چگالی اپتیکی D_{opt} لایه های اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم را می توان از رابطه زیر بدست

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

آورد[۲۹-۳۰]:

$D_{opt} = \alpha t$

t ضخامت لایه است و α ضریب جذب که از رابطه لامبرت بدست می آید مطابق قانون لامبرت جذب یک نمونه به طور مستقیم به ضخامت (طول مسیر) متناسب است[۳۱]:

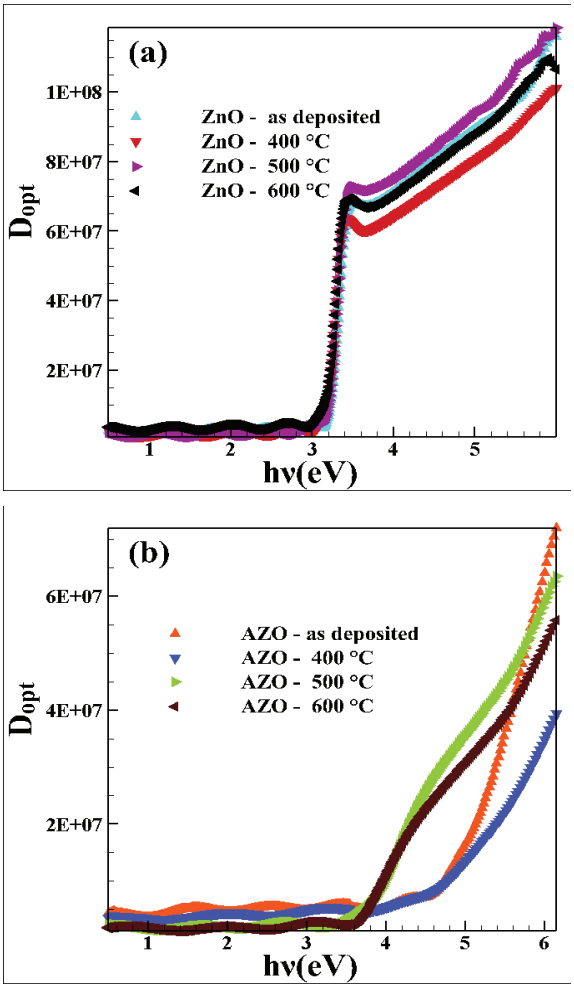
$\alpha = 2.303\ A/\ t$

Aجذب کنندگی لایه ها است.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ چگالی اپتیکی نسبت به انرژی (الکترون ولت) را در دماهای مختلف (دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد) برای لایه اکسید روی(ZnO) و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم (AZO) نشان می دهد. چگالی اپتیکی برای لایه اکسید روی بین یک تا سه الکترون ولت ثابت است و بعد از سه الکترون ولت با شیب تندی افزایش می یابد سپس بعد از ۳/۵ الکترون ولت با شیب یکنواخت ملایم تری افزایش می یابد. نمودارهای چگالی اپتیکی لایه اکسید روی برای همه دماها دارای افت و خیزهای یکسانی می باشد. لایه اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم (AZO) در دمای سنتز و ۴۰۰ درجه سانتی گراد تا ۳/۵ الکترون ولت و در دمای ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد تا ۴/۵ الکترون ولت به صورت متناوب و بعد از آن با شیب ملایم تری افزایش می یابد. با لایه نشانی آلومینیوم بر روی اکسید روی، چگالی اپتیکی دارای شیب تند نمی باشد. در این کار ضخامت ثابت است. چگالی اپتیکی اکسید روی نسبت به اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم دارای حداکثر مقدار است.

شکل ۲ به ترتیب تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

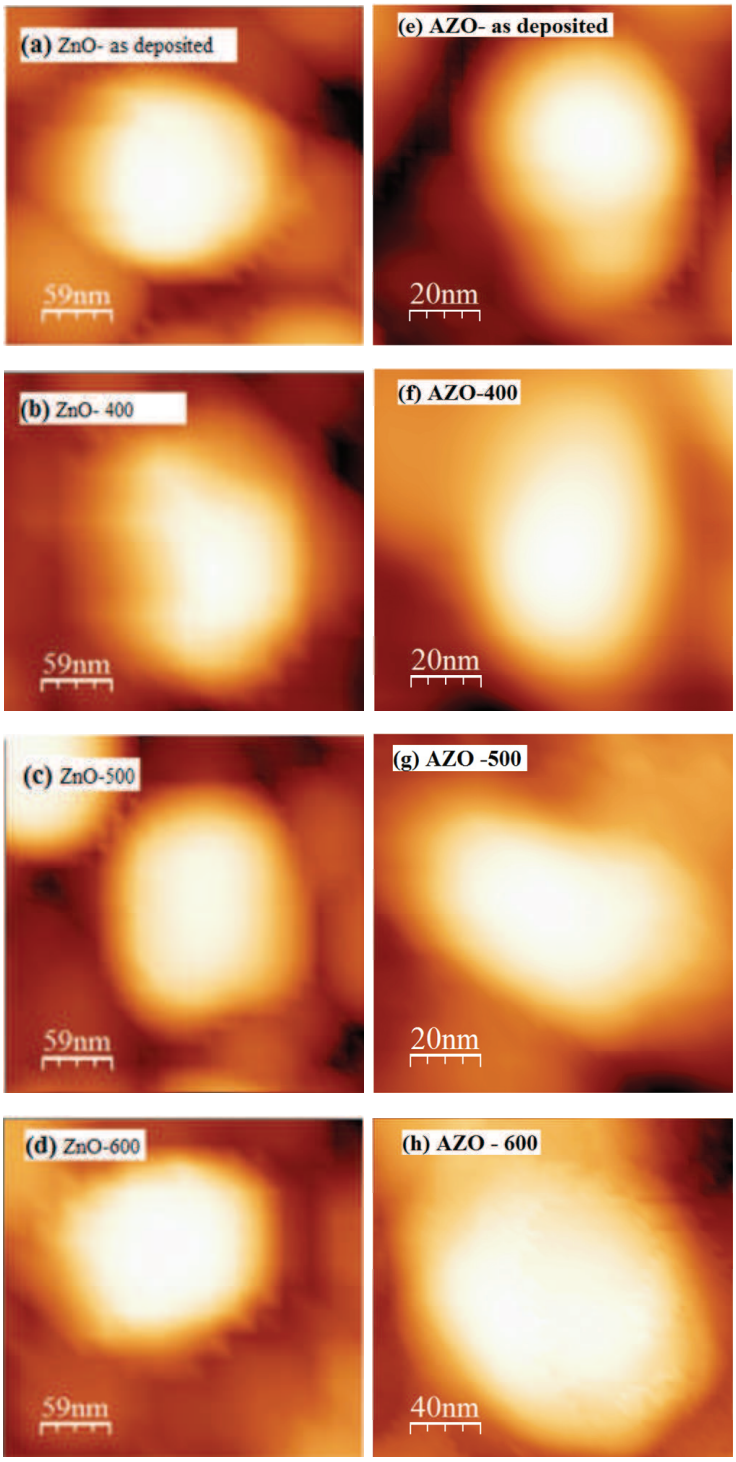


شکل ۱- نمودار چگالی اپتیکی بر حسب انرژی برای لایه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق ، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد.

نانو ذرات روی سطح لایه ها در دماهای بازپخت ۴۰۰ ,۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد برای دو لایه اکسید روی (ZnO) و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم (AZO) را نشان می دهد. با تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی می توان اندازه عرضی نانو ذرات روی سطح نمونه را تخمین زد. مقادیر اندازه عرضی نانو ذرات بازپخت شده در دمای اتاق و در دماهای ۴۰۰ ،۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد برای لایه های اکسید

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

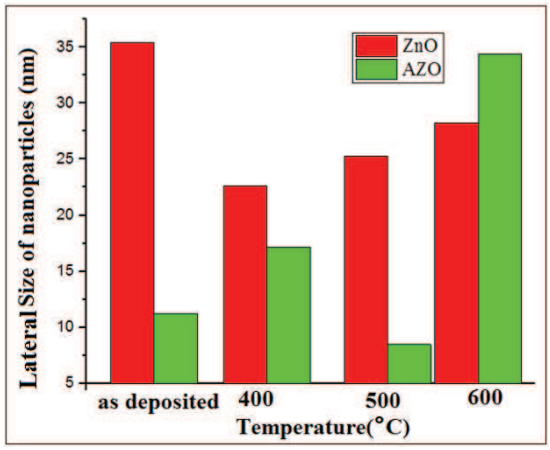


شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نانو ذرات روی سطح لایه‌های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

روی بـه ترتیـب ۳۵/۴، ۲۲/۵۹، ۲۵/۲۸، ۲۸/۲۷ نـانومتر ، همچنـین بـرای لایـه هـای اکسـید روی تزریـق شـده بـا آلومینیوم در دمای اتـاق و ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجـه سـانتی گراد به ترتیب ۱۱/۲۴، ۱۷/۱۴، ۸/۴۷، ۳۴/۴۱ نانومتر اسـت. نمودار تغییرات اندازه عرضی نانوذرات روی سطح لایه ها در شکل ۳ برای هر دو لایه اکسید روی و اکسـید روی تزریـق شده با آلومینیوم نشان داده است که اندازه عرضی نـانوذرات با استفاده از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بـه صـورت تقریبـی محاسـبه شـده اسـت. بـرای اکسـید روی بیشترین تغییرات عرضی نانوذرات مربوط به دمای اتاق مـی باشد که در ۵۰۰ درجه سانتی گراد به حداقل مقدار می رسد و برای دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد تغییرات عرضی نسـبت به۵۰۰ درجه سانتی گراد به صورت افزایشی است.



شکل ۳- نمودار تغییرات اندازه عرضی نانو ذرات روی سطح لایه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد.

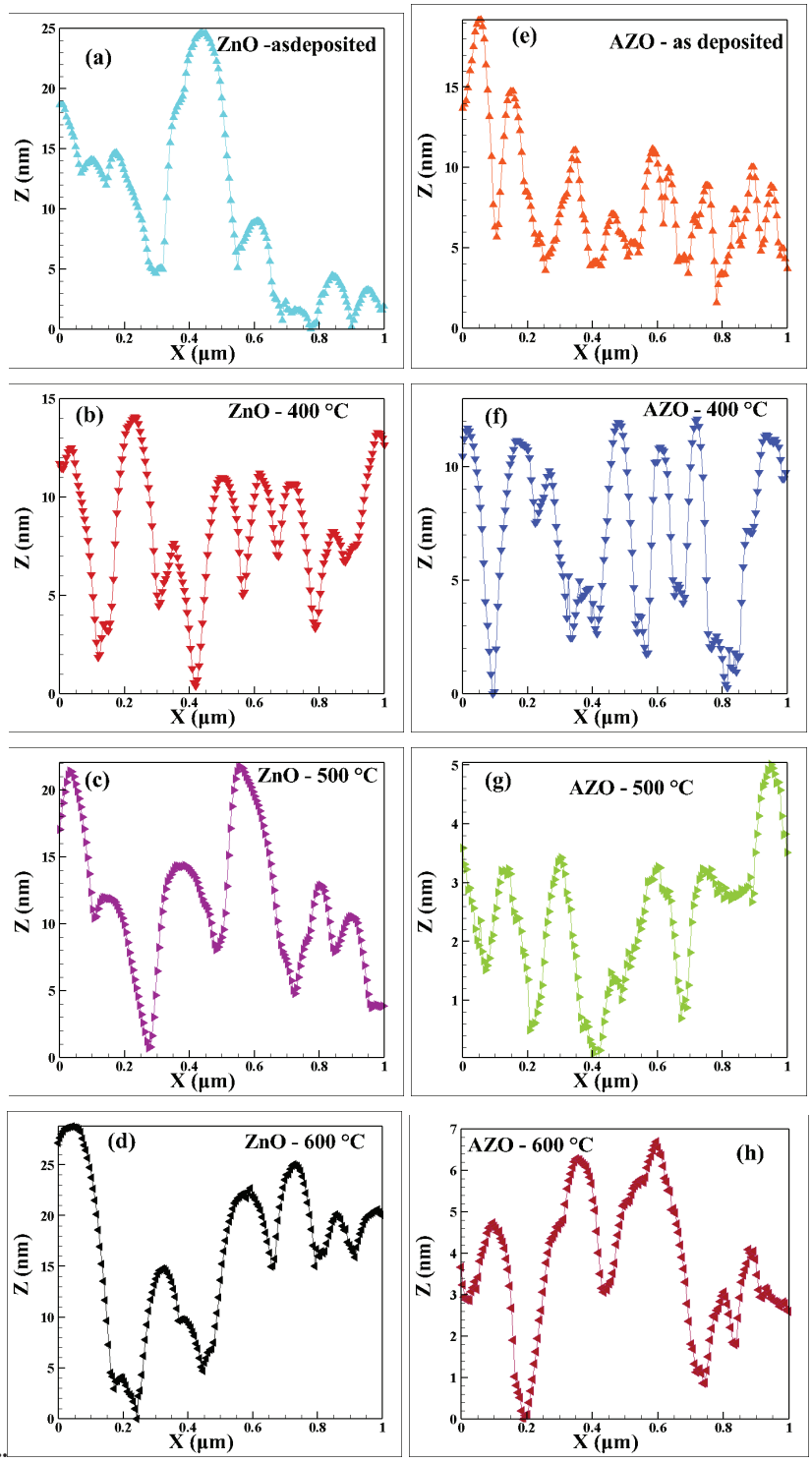
تغییـرات عرضـی نـانوذرات اکسـید روی تزریـق شـده بـا آلومینیوم در دمای بازپخت نسبت به ۵۰۰ درجه سانتی گـراد تغییرات چندانی نداشته است اما در ۶۰۰ درجه سـانتی گـراد جهش بزرگی داشته است. نـانو ذرات تقریبـا شـکل کـروی دارند و با افـزایش دمـا از حالـت کـروی خـارج مـی شـوند. همچنین می توان مشاهده کـرد کـه تغییـرات عرضـی نـانو ذرات اکسید روی با شیب کم در حال تغییـر مـی باشـد امـا تغییرات عرضی اندازه نانو ذرات اکسید روی تزریق شـده بـا آلومینیوم حالت تناوبی داشته و تقریبا مـی تـوان گفـت کـه اندازه عرضی نانو ذرات اکسید روی تزریق شده با آلومینیـوم وابسته به تغییرات دمـا دارد و دارای افـت و خیزهـایی مـی باشد.

شکل ۴ تغییرات ارتفاع(Z(nm برحسب X(µm)برای لایـه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده بـا آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد. با توجه به اینکه اندازه روبشی روی سـطح لایه ها توسط دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمـی AFM در حدود ۱×۱ میکرومتـر مربـع اسـت بنـابراین حـداکثر مقـدار عددی روی محور X همان یک میکرومتـر اسـت. تغییـرات ارتفاع سطح روبش شده لایه ها نشان مـی دهـد کـه لایـه اکسید روی در در دمـای اتـاق دارای یـک جهـش تنـد ۲۵ نانومتر می باشد و نشان می دهـد کـه لایـه در ایـن حالـت خیلی هموار هست و ثانیا مـی توانـد دارای یـک تغییـر فـاز باشد، اکسید روی تزریق شده با آلومینیـوم در دمـای ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد یک تغییر فاز دارند. لایه اکسید روی در دمای ۴۰۰ درجه دارای فراز و نشیب کمتری می باشـد و قله ها دارای شیب ملایم تری نسبت به بقیه دماها دارند.

همچنین لایه اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمـای ۶۰۰ درجه سانتی گراد دارای فراز و نشیب کمتری نسبت به

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]



شکل ۴- تغییرات ارتفاعZ(nm)برحسب X(برای لایه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

بقیه دماها دارا می باشد و ارتفاع حول ۶ نانومتر است. از لحاظ ساختار نموداری دو ماده نزدیک به هم می باشند. نمودارهای تغییر توان تراکم طیفی لایه ها (PSD) بر حسب فرکانس هر نمونه، از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) در ابعاد 1μ x 1μ استخراج شده است. مشاهده می شود که تمام نقطه های PSD از یک منطقه با فرکانس بالا تشکیل شده است. مطابق تئوری مقیاس گذاری دینامیکی، برای سیستم با اندازه عرضی L ، رابطه P(k)و فرکانس k به صورت زیر داده می شود[۳۲] :

$$P(n)=2L/N[<\sum_{i=1}^{N/2}(FFT(h(x_i))^2>_y+<\sum_{i=1}^{N/2}\sum(FFT(h(y_i))^2>_x]$$

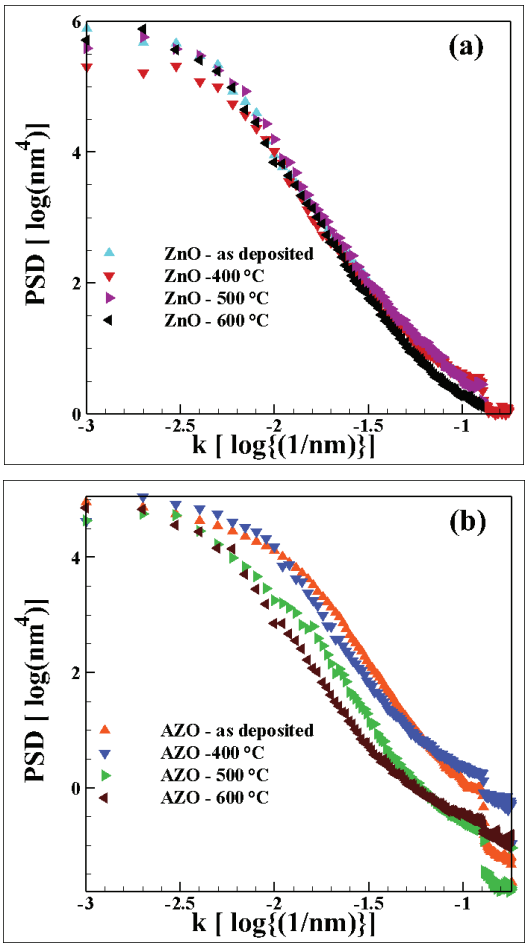
جایی که FFT تبدیل فوریه بین مکان های حقیقی و دو طرفه است:

$$P(k) \propto k^{-\beta}$$

هرکجا β است، به عنوان شیب نمودار log-log در PSDفرکانس بالا محاسبه می شود. ابعاد فراکتال D_f از حل β شیب نمودار log-log بدست می آید [۳۲] :

$$D_f = 4+\beta/2$$

شکل۵ نمودار تغییر توان تراکم طیفی لایه ها بر حسب فرکانس برای لایه های اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد. توان تراکم طیفی درکلیه لایه ها، تغییرات توان جریان معکوس را به ویژه در ناحیه فرکانس بالا نشان می دهد که وجود اجزای فراکتالی را در توپوگرافی های برجسته نمایان می کند. بنابراین، روش توان تراکم طیفی به اندازه مجموعه داده ها، فرکانس و دامنه خاص حساس است. این مقادیر نسبی بی نظمی های سطح را در مقیاس های مختلف سطح تعیین می کند. برای لایه اکسید روی با افزایش دمای بازپخت از۴۰۰ تا۶۰۰ درجه سانتی گراد ، همچنین برای لایه اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم با افزایش دمای اتاق تا۴۰۰ درجه سانتیگراد و از ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی گراد، شیب عملکرد توان تراکم طیفی کاهش می یابد که این رفتار می تواند به دلیل افزایش اندازه عرضی نانوذرات باشد.

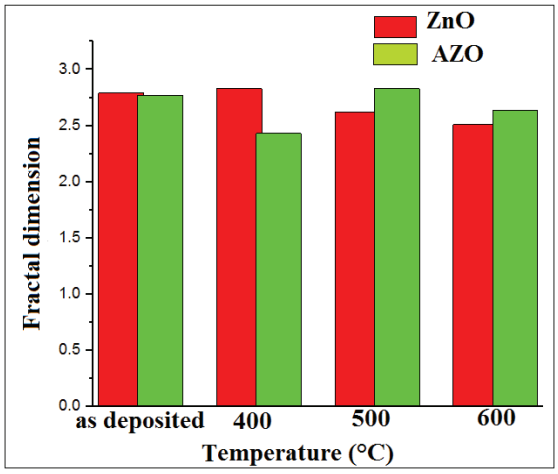


شکل ۵- نمودار تغییر توان تراکم طیفی بر حسب فرکانس برای لایه‌های اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و۶۰۰ درجه سانتی گراد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

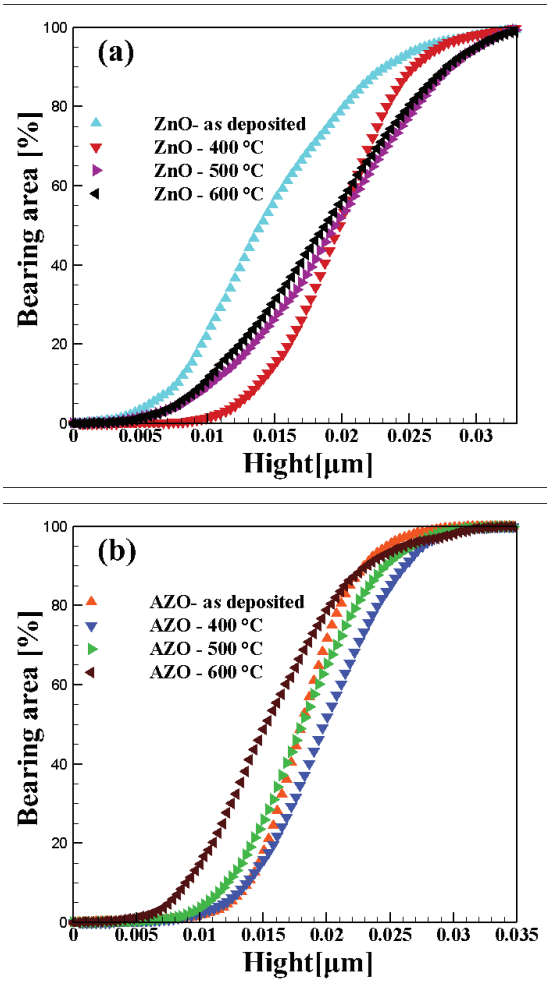
[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

با تزریق آلومینیوم بـر لایـه اکسـید روی تغییـری در تـوان تراکم طیفی ایجاد نمی شود و هر دو لایه یک روند را طـی می کنند. مقادیر ابعاد فراکتال لایه هـای بازپخـت شـده در دماهای مختلف، در شکل ۶ نشان داده شده است. مشخص است که مقادیر ابعـاد فراکتـال بـه درجـه حـرارت بازپخـت بستگی دارد. مقادیر ابعاد فراکتالی برای لایـه هـای اکسـید روی بازپخت شده در دمـای اتـاق، ۴۰۰، ۵۰۰ و۶۰۰ درجـه سانتی گراد به ترتیـب برابـر بـا ۲/۷۹، ۲/۸۳، ۲/۶۲ و ۲/۵۱ نـانومتر و بـرای لایـه هـای اکسـید روی تزریـق شـده بـا آلومینیـوم بـه ترتیـب ۲/۷۷، ۲/۴۳، ۲/۸۳ و ۲/۶۴ نـانومتر برآورد شده است، بنابراین با افزایش دمای بازپخـت مقـادیر ابعاد فراکتالی لایه های اکسید روی افزایش می یابد.



شکل ۶- ابعاد فراکتال لایه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد.

شکل ۷ منطقه تحمل نسبت به ارتفاع را نشان می دهـد در واقع نشان دهنده میزان خلا, پوششی صفر (حفـره، انحنـای پایین نمودار) و تک لایه (انحنای بالای نمودار) و ایزوله (ما بین حفره و تک لایه) لایه ها می باشد. مشخص شده است که فیلم رسوب شده اکسـید روی در دمـای اتـاق و ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی گراد میزان پوشش حفره کمتر از ده درصد و میزان تک لایه بالای ۹۵ درصد است، بـرای دمـای ۶۰۰ درجه سانتی گراد حول ۵٪ است و میزان تـک لایـه از ۱۰۰ درصد فراتر رفته است که میزان ۹۰ درصد ایزوله (مـا بـین حفره و تک لایه) می باشد.



شکل ۷- منطقه تحمل نسبت به ارتفاع لایه های بازپخت شده اکسید روی و اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم در دمای اتاق، ۴۰۰ ، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد.

برای نانو ذرات اکسید روی تزریق شده بـا آلومینیـوم نشـان

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

می دهد که لایه های رسوب شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد میزان پوشش حفره کمتر از ده درصد و میزان تک لایه حول ۹۰ ٪ است که ۸۰ درصد آن از ارتفاع ایزوله است، همچنین برای دماهای دیگر میزان ایزوله بودن لایه ها بالای ۹۵ درصد است. لایه نشانی تاثیر چندانی برای میزان ایزوله بودن نداشته است در نتیجه هردو نمودار دارای نتایج نزدیک به هم و یکسانی می باشند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله متوجه شدیم که نانو ذرات تقریبا شکل کروی دارند و با افزایش دما از حالت کروی خارج می شوند. چگالی اپتیکی برای لایه اکسید روی بین یک تا سه الکترون ولت ثابت است و بعد از سه الکترون ولت با شیب تندی افزایش می یابد سپس بعد از ۳/۵ الکترون ولت با شیب یکنواخت ملایم تری افزایش می یابد. در دماهای کمتر از ۴۰۰ درجه سانتی گراد تاثیر دمای بازپخت روی افزایش ابعاد فرکتال از تاثیر تزریق آلومینیوم بیشتر است. در دماهای بازپخت بیشتر ۴۰۰ درجه سانتی گراد تاثیر تزریق الومینیوم روی لایه های اکسید روی در افزایش ابعاد فرکتالی بیشتر از تاثیر افزایش دمای بازپخت روی ابعاد فرکتالی است. مقادیر افت و خیز ارتفاع Z نانوذرات بر حسب X برای لایه های اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم کمتر از لایه های اکسید روی می باشد.مشخص شده است که لایه های انباشت شده اکسید روی در دمای اتاق و بازپخت شده در دماهای ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی گراد میزان پوشش حفره کمتر از ده درصد و میزان تک لایه بالای ۹۵ درصد است. برای نانو ذرات اکسید روی تزریق شده با آلومینیوم نشان داده شد که لایه های انباشت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد میزان پوشش حفره کمتر از ده درصد و میزان تک لایه حول ۹۰ است.

۵- مراجع

[1] L. Dejam, S. M. Elahi, H. H. Nazari, H. Elahi, S. Solaymani, A. A. Ghaderi, "Structural and optical characterization of ZnO and AZO thin films: the influence of post-annealing", Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol 27, PP. 685– 696, 2016.

[2] S. Talu, M. Bramowicz, S. Kulesza, A. Shafiekhani, A. Ghaderi, F. Mashayekhi, S. Solaymani, "Microstructure and Tribological Properties of FeNPs@a-C:H Films by Micromorphology Analysis and Fractal Geometry", Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 54, 33, PP. 8212-8218, 2015.

[3] M. Matsumura, R. P. Camata, "Pulsed laser deposition and photoluminescence measurements of ZnO thin films on flexible polyimide substrates", Thin Solid Films, Vol 476, Issue 2, PP. 317-321, 2015.

[4] T. Minami, Y. Nishi, T. Miyata, "Effect of the thin Ga2O3 layer in ZnO/n-Ga2O3/p-Cu2O heterojunction solar cells", Thin Solid Films, Vol. 549, PP. 65–69, 2013.

[5] L. Chow, O. Lupan, G. Chai, H. Khallaf, L. K. Ono, B. Roldan Cuenya, I. M. Tiginyanu, V. V. Ursaki, V. Sontea, A. Schulte,

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

"Synthesis and characterization of Cu-doped ZnO one-dimensional structures for miniaturized sensor applications with faster response", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 189, PP. 399 – 408, 2013.

[6] L. Zhang, K. Jin, S. Li, L. Wang, Y. Zhang, X. Li, "Synthesis of Flower-Like ZnO Films and Their Photovoltaic Properties for Dye-Sensitized Solar Cells", Journal of Electronic Materials, Vol. 44, PP. 244–251, 2015.

[7] X. Jiang, F.L. Wong, M. K. Fung, S. T. Lee, "Aluminum-doped zinc oxide films as transparent conductive electrode for organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett. Vol. 83, PP. 1875–1877, 2003.

[8] H. Masui, S. Nakamura, S. P. Den Baars, U.K. Mishra, "Nonpolar and semi polar iii-nitride light-emitting diodes: achievements and challenges", Electron Devices IEEE Trans, Vol. 57, PP. 88–100, 2018.

[9] H. Natsuhara, K. Matsumoto, N. Yoshida, T. Itoh, S. Nonomura, M. Fukawa, K. Sato, "TiO2 thin films as protective material for transparent-conducting oxides used in Si thin film solar cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, Issue 17, PP. 2867-2880, 2006.

[10] J. Lee, D. Lee, D. Lim, K. Yang, "Structural, electrical and optical properties of ZnO: Al films deposited on flexible organic substrates for solar cell applications", Thin Solid Films, Vol. 515, PP. 6094-6098, 2007.

[11] Y. Lin, M. Chen, C. Kuo, W. Yen, "electrical and optical properties of ZnO: Al film prepared on polyether sulfone substrate by RF magnetron sputtering", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 337, PP. 52-56, 2009.

[12] X. J. Wange, Q. S. Lei, W. XU, W. ZHOU, J. YU, "Preparation of ZnO: Al thin film on transparent TPT substrate at room temperature by RF magnetron sputtering technique", Materials Letters. Vol. 63, PP. 1371-1373, 2009.

[13] Y. Masuda, M. Yamagishi, W. S. Seo, K. Koumoto, "Photoluminescence from ZnO Nanoparticles Embedded in an Amorphous Matrix", Cryst. Growth Des. 8, 5, PP. 1503–1508, 2008.

[14] F. Lu, C. H. Xu, L. S. Wen, "Analysis on the process of ZAO films by DC magnetron reactive sputtering", Science China Technological Sciences. Vol 54, PP. 28–32, 2011.

[15] R. Baca, G. Juárez, H. Solache, J. Andraca, J. Martinez, A. Esparza, T. Kryshtab, R. Peña, "Luminescence and structural properties of ZnO thin films annealing in air", Materials Science and Engineering. Vol 8, PP. 8–12, 2010.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

[16] K. Sivakumar, S. M. Rossnagel, "Deposition of aluminum-doped zinc oxide thin films for optical applications using rf and dc magnetron sputter deposition", Journal of Vacuum Science & Technology. A 28, 515, 2010.

[17] E. Jimenez-Gonzalez, J. A. Soto Urueta, R. J. Suarez-Parra, "Optical and electrical characteristics of aluminum-doped ZnO thin films prepared by solgel technique", Journal of Crystal Growth. Vol. 192, Issues 3–4, PP. 430-438, 1998.

[18] M. Shakeri Shamsi, M. Ahmadi, M. Sabet, "Al Doped ZnO Thin Films; Preparation and Characterization", J. Nanostruct. Vol. 8, No. 4, PP. 404-407, 2018.

[19] R. Balu,"CdO thin films fabricated by a simplified spray technique using perfume atomizer with different molar concentrations of cadmium acetate for optoelectronic applications", International Journal of Chemical and Physical Sciences. Vol. 3, No. 4, 2014 .

[20] D. Mondelaers, G. Vanhoyland, H. Van den Rul. et al. "Chemical Solution Deposition of ZnO Thin Films by an Aqueous Solution Gel Precursor Route", Journal of Sol-Gel Science and Technology. Vol. 26, PP. 523–526, 2003.

[21] M. C. Jun, J. H. Koh, "Effects of NIR annealing on the characteristics of al-doped ZnO thin films prepared by RF sputtering", Nanoscale Res Lett. Vol. 7, 294, 2012.

[22] Kim, Y. Kim, G. Nam, D. Kim, M. Park, H. Kim, W. Lee, J. Y. Leem, J. S. Kim, J. S. Kim, J. S., "Effect of different sol concentrations on the properties of nanocrystalline ZnO thin films grown on FTO substrates by sol-gel spin-coating", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 65, PP. 480–486, 2014.

[23] Q. Zhu, X. Xu, M. Meng, F. Yang, J. Guo, "Coupling of polarization orientations of the ferroelectric layers in an oxide sandwich structure", Appl. Phys. Lett. 116, 181602, 2020.

[24] T. Minemoto, Y. Hashimoto, T. Satoh, T. Negami, H. Takakura, "Variable Light Soaking Effect of Cu(In,Ga)Se2 Solar Cells with Conduction Band Offset Control of Window/Cu(In,Ga)Se2 Layers", MRS Online Proceedings Library. 1012, 703, 2007.

[25] D. S. Liu, C. C. Wu, C. T. Lee, "A Transparent and Conductive Film Prepared by RF Magnetron Cosputtering System at Room Temperature", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, Number 7, 2005.

[26] Lin, W. Fu, L. Jing, Y. C. Qu , Z. J. Li, " Electrochemical deposition of nano-structured ZnO on the nanocrystal line TiO2 film and its characterization", Sci. China Chem. 53, PP. 1732–1736, 2010.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]

[27] Tominaga, N. Umezu, I. Mori, T. Ushiro, T. Moriga, I. Nakabayashi, "Properties of ZnO: In film prepared by sputtering of facing ZnO: In and Zn targets". Journal of Vacuum Science & Technology A. Vol. 16, 1213, 1998 .

[28] X. Qi, S. Y. Zhang, X. B. Mi, X. J. Liu, "Theoretical and experimental study of photo-modulated reflectivity detections for transparent film/opaque substrate structures", Applied Physics A. Vol. A 89, PP. 537–542, 2007.

[29] S. Hassanien, A. A. Akl, "Effect of Se addition on optical and electrical properties of chalcogenide CdSSe thin films", Super lattices and Microstructures. Vol. 89, PP. 153-169, 2016 .

[30] Raftari, N. V. Budko, C. Vuik, "Self-consistent drift-diffusion-reaction model for the electron beam interaction with dielectric samples", Journal of Applied Physics. Vol. 118, 204101, 2015.

[31] V. Dalouji, S. Goudarzi, S. Solaymani, "The optical density and topography characterizations of MWCNTs on Ni-Cu/ a-C: H substrates with different copper percentage", Microscopy Research and Technique, 2020.

[32] N. Rahimi, V. Dalouji, A. Souri, "Studying the Optical Density, Topography, and Structural Properties of CZO and CAZO Thin Films at Different Annealing Temperatures", Advanced Ceramics Progress. Vol. 6, 2, PP. 17-23, 2020.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.5.0]