

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فیزیک

رشته فیزیک حالت جامد

عنوان:

بررسی اثر فتو رسانایی در لایه های نازک نیم رسانای نانو ساختار

دانشجو:

نرگس یاسین زاده

استاد راهنما:

پروفسور حسین عشقی

پایان نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۳

تقدیم بہ:

ساحت مقدس مولایم آقا امام زمان (عج) کہ عنایتشان بدرقہ راہم بودہ است.

پاس خدای را کہ سخوران، دستودن او بانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را
گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، ہم آنان کہ وجودان و امدار وجودشان
است؛ و نفرین پیوستہ بردشمنان ایشان تاروز رستاخیز...

بدون شک جایگاہ و منزلت معلم، اجل از آن است کہ در مقام قدردانی از زحمات بی شائبہ می او، بازبان
قاصر و دست ناتوان، چیزی بجا ریم.

اما از آنجایی کہ تجلیل از معلم، پاس از انسانی است کہ ہدف و غایت آفرینش را تائین می کند و سلامت

امانت بانی را کہ بہ دستش سپردہ اند، تضمین؛ بر حسب وظیفہ و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم

یشکر اللہ عزوجل":

از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و گریانه از کنار غفلت هایم

گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کمالت و شایسته؛ جناب آقای پروفور حسین عثمی که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ

گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمات راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از همسر عزیزم؛ که سایه مهربانش سایه ساز زندگی من می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را بر ایمن

تسهیل نمود.

و از اساتید فرزانه و دلوز؛ جناب آقای دکتر محمد ابراهیم قاضی و دکتر محمد مهدی باقری محقق که زحمات داوری

این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید

تعهد نامه

اینجانب نرگس یاسین زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثر فتو رسانایی در لایه های نازک نیمرسانای نانو ساختار تحت راهنمایی دکتر حسین عشقی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ : ۱۳۹۳/۱۱/۱۴

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

دانشگاه صنعتی شاهرود


دانشکده : فیزیک

گروه : حالت جامد

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم نرگس یاسین زاده به شماره دانشجویی: ۹۱۰۸۰۳۴

تحت عنوان: بررسی اثر فتو رسانایی در لایه های نازک نیم رسانای نانو ساختار

در تاریخ ۱۴/۱۱/۱۳۹۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر حسین عشقی

امضاء	نمایندة تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر مجتبی هاشم زاده		نام و نام خانوادگی : دکتر محمد ابراهیم قاضی
			نام و نام خانوادگی : دکتر محمد مهدی باقری محقق
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

چکیده

در این تحقیق تجربی لایه های نازک نانو ساختار اکسید روی به روش اسپری پیرولیز سنتز و خواص فیزیکی گوناگون آنها شامل خواص مورفولوژی، ساختاری، اپتیکی، الکتریکی، ترمو الکتریکی و همچنین کاربرد آنها در فوتو رسانایی UV مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای مشخصه یابی نمونه ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف سنجی UV-Vis، دستگاه اندازه گیری منحنی جریان - ولتاژ (I-V) و نیز اثر سیبک استفاده شده است.

در این کار تحقیقی ما به بررسی تاثیر: آهنگ اسپری در نمونه های خالص و نیز آرایش یافته با نیتروژن اکسید روی (ZnO:N)، تراکم نیتروژن و سرانجام تاثیر زیرلایه (حضور لایه واسط) در خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید روی و به کارگیری آنها در آشکار سازهای نوری فرابنفش پرداخته ایم. دریافتیم تمامی نمونه ها با رسانندگی نوع n به صورت نانو ساختارهای بسببوری در فاز ششگوشی با جهتگیرهای ترجیحی (۰۰۲) و (۱۰۱) رشد پیدا کرده اند. معلوم شد که مورفولوژی سطح، ابعاد بلورک ها و خواص الکتریکی لایه ها نقش بسزایی در خواص آشکار سازی نور فرابنفش دارند.

کلید واژها: اکسید روی، اسپری پیرولیز، نانو ساختار، آشکار سازی فرابنفش.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- یاسین زاده، نرگس؛ عشقی، حسین، (۱۳۹۳) " مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه های رسانای شفاف (ZnO:N) به روش اسپری پیرولیز"، کنفرانس سالانه فیزیک ایران - دانشگاه زاهدان.

۲- یاسین زاده، نرگس؛ عشقی، حسین، (۱۳۹۳) " مطالعه خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های نازک اکسید روی آلاینده با ناخالصی نیتروژن (ZnO:N) رشد یافته بر روی شیشه و لایه واسط ZnO به روش اسپری پیرولیز"، پنجمین کنفرانس بین المللی نانو تکنولوژی ICNN5 - دانشگاه تربیت مدرس.

۳- یاسین زاده، نرگس؛ عشقی، حسین، (۱۳۹۳) " مطالعه تاثیر میزان آلاینش نیتروژن بر خواص فوتو رسانایی در لایه های نازک اکسید روی (ZnO:N) رشد یافته به روش اسپری پیرولیز"، بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران - دانشگاه شهید بهشتی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه‌ای بر ویژگی های فیزیکی اکسید روی، پارامترهای موثر در حسگری این لایه‌ها و مروری بر مقالات
۱-۱-مقدمه.....	۲
۲-۱:نانو ساختارها.....	۲
۳-۱: اکسید روی.....	۳
۱-۳-۱: مقدمه.....	۳
۲-۳-۱: ساختار بلوری، پارامترهای شبکه و صفحات قطبی اکسید روی.....	۳
۳-۳-۱: برخی کاربردهای لایه‌های ZnO.....	۴
۴-۱: فوتو رسانایی.....	۵
۱-۴-۱: انواع آشکار ساز های UV.....	۵
۲-۴-۱: مشخصه‌های مهم آشکار ساز های UV.....	۵
۳-۴-۱: سازوکار پاسخ.....	۵
۵-۱: مروری بر مقالات.....	۷
۱-۵-۱: بررسی فوتو رسانایی UV در نمونه‌های ZnO.....	۷

فصل دوم: معرفی برخی روش های مشخصه یابی نمونه‌ها

۱-۲: مقدمه.....	۲۸
۲-۲: مورفولوژی سطح (ریخت شناسی).....	۲۸
۱-۲-۲: میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM).....	۲۸
۳-۲: مشخصه‌یابی ساختاری.....	۳۰
۱-۳-۲: پراش پرتو ایکس X.....	۳۰
۴-۲: مشخصه یابی اپتیکی.....	۳۳

- الف) طیف‌های عبور، بازتاب و جذب اپتیکی ۳۳
- ب) گاف نواری ۳۳
- ۵-۲: مشخصه یابی الکتریکی ۳۴
- ۱-۵-۲: مقاومت الکتریکی ۳۴
- ۲-۵-۲: اثر سیبک ۳۵

فصل سوم: معرفی جزییات کارهای آزمایشگاهی و تهیه لایه‌های نازک ZnO و ترکیبات آلایشی آن

- ۱-۳: مقدمه ۳۸
- ۱-۱-۳: مراحل شکل‌گیری لایه ۳۸
- ۲-۳: روش‌های ساخت لایه‌های نازک ۳۹
- ۳-۳: تهیه نانو ساختارها به روش اسپری پایرولیز ۴۰
- ۴-۳: دستگاه اسپری پایرولیز ۴۱
- ۵-۳: آماده‌سازی زیرلایه ۴۲
- ۶-۳: تهیه محلول ۴۲
- ۷-۳: پارامترهای لایه نشانی ۴۳
- ۸-۳: الکتروود گذاری ۴۳

فصل چهارم: نتایج مشخصه یابی آشکار سازهای فتو رسانی ساخته شده بر پایه ی نانو ساختارهای

اکسید روی

- ۱-۴: مقدمه ۴۶
- ۲-۴: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار ZnO خالص ۴۶
- ۱-۲-۴: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها ۴۶
- ۳-۴: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار اکسید روی آلایش شده با نیتروژن (ZnO:N) ۵۴
- ۱-۳-۴: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها ۵۴

بررسی تاثیر میزان آلاینش نیتروژن بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار ZnO:N و مطالعه نورتابی آن ها	۴-۴
برای لامپ UV.....	۶۱
۱-۴-۴: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها.....	۶۱
۵-۴: مطالعه تاثیر لایه واسط ZnO بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های نازک اکسید روی آلاینش یافته با	۶۸
ناخالصی نیتروژن (ZnO:N).....	۶۸
۱-۵-۴: مقدمه.....	۷۴
۲-۵-۴: مقدمه.....	۸۰
۳-۵-۴: مقدمه.....	۸۵
۴-۵-۴: مقدمه.....	۹۱
نتیجه گیری.....	۹۴
چشم انداز آینده.....	۹۵
مراجع.....	

فهرست شکلها

شکل	صفحه
شکل ۱-۱: ساختار ششگوشی اکسید روی، اتم های O با کره های بزرگ سفید و اتم های Zn با کره های کوچک سیاه رنگ نشان داده شده اند [۶].....	۳
شکل ۱-۲: طرح شماتیک جذب اکسیژن بر روی سطح آشکار سازهای نوری اکسید-فلزی [۸].....	۶
شکل ۱-۳: شکل شماتیک ساختار قطعه آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:N بر روی زیر لایه شیشه [۱۳] و بر روی زیر لایه آلومینا [۱۱].....	۸
شکل ۱-۴: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی و نورتایی آشکار ساز فوتو رسانای خالص و ZnO:N تحت تابش نوری با طول موج ۳۶۵ nm و توان $2 \mu W$ (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].....	۸
شکل ۱-۵: طیف پاسخ آشکار ساز فوتو رسانا برای نمونه خالص و آرایش یافته با نیتروژن (ZnO:N) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].....	۱۰
شکل ۱-۶: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($2 \mu W/cm^2$) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].....	۱۰
شکل ۱-۷: شکل شماتیک لایه نازک ZnO بر اساس قطعه آشکار ساز فوتو رسانای UV [۱۴].....	۱۱
شکل ۱-۸: طیف های XRD لایه های نازک ZnO در دماهای مختلف زیر لایه [۱۴].....	۱۱
شکل ۱-۹: تصاویر SEM لایه های نازک ZnO در دماهای مختلف زیر لایه [۱۴].....	۱۲
شکل ۱-۱۰: طیف عبور و بازتاب لایه های نازک ZnO [۱۴].....	۱۳
شکل ۱-۱۱: طیف جذب لایه های نازک ZnO در دماهای زیر لایه ای مختلف (الف) ۴۰۰ (ب) ۴۲۵ (ج) ۴۵۰ و (د) ۴۷۵. نمودار ضمیمه تغییرات $(ahv)^2$ بر حسب (hv) را نشان می دهد. [۱۴].....	۱۳
شکل ۱-۱۲: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی (D) و نورتایی (L) آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO تهیه شده در دماهای زیر لایه ای مختلف [۱۴].....	۱۴
شکل ۱-۱۳: مشخصه جریان-زمان پاسخ و بازگشت آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO در دماهای زیر لایه ای مختلف (الف) ۴۰۰ (ب) ۴۲۵ (ج) ۴۵۰ و (د) ۴۷۵ نشان می دهد [۱۴].....	۱۵
شکل ۱-۱۴: طیف پاسخ آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO در دماهای زیر لایه ای مختلف (الف) ۴۰۰ (ب) ۴۲۵ (ج) ۴۵۰ و (د) ۴۷۵ در بایاس ۵V [۱۴].....	۱۵

شکل ۱-۱۵: شکل شماتیک ساختار قطعه آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:N بر روی زیر لایه شیشه [۱۵] و زیر لایه آلومینا [۱۶]..... ۱۶

شکل ۱-۱۶: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی و نورتایی آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:Ga در ۳۶۵ nm در بایاس ۵V: (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (با لایه واسط) و (ب) بر روی زیر لایه شیشه (با و بدون لایه واسط) [۱۶ و ۱۵]..... ۱۶

شکل ۱-۱۷: طیف پاسخ آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:Ga در بایاس ۵V: (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (با لایه واسط) و (ب) بر روی زیر لایه شیشه (با و بدون لایه واسط) [۱۶ و ۱۵]..... ۱۸

شکل ۱-۱۸: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۶ و ۱۵]..... ۱۹

شکل ۱-۱۹: طیف XRD نمونه خالص (ZnO) و نمونه آلیش یافته (ZnO:Sb) [۱۷]..... ۲۰

شکل ۱-۲۰: تصاویر SEM: (الف) نمونه خالص ZnO، (ب) نمونه آلیش یافته با ۲ at% و (ج) نمونه آلیش یافته با ۳ at% [۱۷]..... ۲۱

شکل ۱-۲۱: طیف عبور لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷]..... ۲۲

شکل ۱-۲۲: طیف بازتاب لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷]..... ۲۲

شکل ۱-۲۳: تغییرات $(ah\nu)^2$ بر حسب $(h\nu)$ برای لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷]..... ۲۲

شکل ۱-۲۴: مشخصه جریان-ولتاژ تحت تاریکی و نورتایی (توان $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ و طول موج ۳۶۵ nm) برای نمونه خالص و آلیش یافته با ۳ at% [۱۷]..... ۲۳

شکل ۱-۲۵: پاسخ طیفی فوتو آشکار ساز MSM در بایاس ۵V تحت تابش نور UV با توان $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (غلظت های مختلف آلیش ZnO:Sb) [۱۷]..... ۲۴

شکل ۱-۲۶: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) در بایاس ۵V (غلظت های مختلف آلیش برای لایه های نازک ZnO:Sb) نشان می دهد [۱۷]..... ۲۵

شکل ۲-۱: (الف) نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) بکار گرفته شده در مورفولوژی سطح نمونه در دانشگاه تهران و (ب) تصویر شماتیک از اجزای داخلی مسیر عبور باریکه الکترونی تا سطح نمونه [۲۰]..... ۲۹

شکل ۲-۲: (الف) دور نمایی از دستگاه پراش پرتو X مدل Bruker-AAXS در دانشگاه دامغان (ب) محل قرار گرفتن نمونه..... ۳۱

1-1..... ۳۱

شکل ۲-۳: تصویری شماتیک از نحوه ی فرود پرتو ایکس و بازتاب آن از صفحات بلوری در یک ماده..... ۳۱

شکل ۲-۴: (الف) دستگاه اسپکتروفوتومتر Shimadzu (UV-1800) در دانشگاه شاهرود (ب) جایگاههای قرار گیری نمونه های شاهد مرجع..... ۳۳

- شکل ۲-۵: دستگاه اندازه گیری مشخصه جریان-ولتاژ در دانشگاه شاهرود..... ۳۵
- شکل ۲-۶: تصویر شماتیک آزمایش بررسی اثر سیبک..... ۳۵
- شکل ۳-۱: مراحل شکل گیری لایه نازک و ایجاد تخلخل های سطحی..... ۳۹
- شکل ۳-۲: الف) دستگاه اسپری پاپرولیز استفاده شده در این تحقیق Spary Coating System. S. C. S. 86 در دانشگاه شاهرود و ب) طرح شماتیک از دستگاه اسپری [۲۸]..... ۴۱
- شکل ۳-۳: طرح هندسی یک نمونه حسگری نوری تهیه شده در آزمایشگاه..... ۴۴
- شکل ۴-۱: تصاویر FESEM لایه های نازک ZnO تهیه شده با آهنگ های لایه نشانی مختلف: ۲/۵، ۳/۵ و ۴۷.۵ ml/min
- شکل ۴-۲: طیف های XRD لایه های نازک ZnO با آهنگ های لایه نشانی مختلف..... ۴۸
- شکل ۴-۳: تغییرات میانگین (الف) ابعاد بلورک (ب) چگالی دررفتگی (ج) کرنش بر حسب آهنگ لایه نشانی..... ۵۰
- شکل ۴-۴: الف) طیف عبور و ب) طیف جذب نمونه های تهیه شده با آهنگ رشد مختلف..... ۵۱
- شکل ۴-۵: الف) تغییرات $2(\nu_{OH})$ بر حسب $h\nu$ و ب) تغییرات گاف نواری بر حسب آهنگ اسپری..... ۵۱
- شکل ۴-۶: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط (الف) تاریکی و (ب) تحت تابش نور UV..... ۵۲
- شکل ۴-۷: الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتایی در این نمونه ها..... ۵۳
- شکل ۴-۸: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۵ V..... ۵۳
- شکل ۴-۹: تصاویر FESEM لایه های نازک ZnO: N تهیه شده با آهنگ های لایه نشانی مختلف: ۲/۵، ۳/۵ و ۵۵ ml/min..... ۵۵
- شکل ۴-۱۰: طیف های XRD لایه های نازک ZnO با آهنگ های لایه نشانی مختلف..... ۵۶
- شکل ۴-۱۱: تغییرات میانگین (الف) ابعاد بلورک (ب) چگالی دررفتگی (ج) کرنش بر حسب آهنگ لایه نشانی..... ۵۶
- شکل ۴-۱۲: الف) طیف عبور و ب) طیف جذب نمونه ها..... ۵۸
- شکل ۴-۱۳: الف) تغییرات $2(\nu_{OH})$ بر حسب $h\nu$ و ب) تغییرات گاف نواری بر حسب آهنگ اسپری در نمونه های ZnO:N (1۰ at/%)..... ۵۹
- شکل ۴-۱۴: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط (الف) تاریکی و (ب) تحت تابش نور UV..... ۵۹
- شکل ۴-۱۵: الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتایی در این نمونه ها..... ۶۰
- شکل ۴-۱۶: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۵ V..... ۶۰
- شکل ۴-۱۷: تصاویر FESEM لایه های نازک ZnO: N تهیه شده با آرایش های صفر، ۵ و ۱۰ درصد اتمی..... ۶۱

- شکل ۴-۱۸: طیف XRD لایه های نازک ZnO با آهنگ های لایه نشانی مختلف..... ۶۲
- شکل ۴-۱۹: تغییرات میانگین ابعاد بلورک بر حسب آهنگ لایه نشانی..... ۶۳
- شکل ۴-۲۰: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱: (الف) تغییرات (α_2) بر حسب $h\nu$ و (ب) تغییرات گاف نواری بر حسب میزان آلاینش..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲: نتایج بدست آمده از آزمایش سیبک..... ۶۵
- شکل ۴-۲۳: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط (الف) تاریکی و (ب) تحت تابش نور UV..... ۶۶
- شکل ۴-۲۴: (الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتایی در این نمونه ها..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵: (الف) پاسخ طیفی، (ب) بهره فوتورسانایی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۷ V..... ۶۷
- شکل ۴-۲۶: (الف) جریان نوری بر حسب تابعی از زمان، (ب) زمان پاسخ برای نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۷ V..... ۶۸
- شکل ۴-۲۷: تصاویر FESEM مربوط به نمونه های مورد بررسی..... ۶۹
- شکل ۴-۲۸: طیف XRD لایه های نازک آلاینش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR1 و NR1)..... ۷۰
- شکل ۴-۲۹: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه های آلاینشی بر روی شیشه و لایه واسط ZnO..... ۷۱
- شکل ۴-۳۰: تغییرات (α_2) بر حسب $h\nu$ در نمونه های مورد بررسی..... ۷۲
- شکل ۴-۳۱: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV..... ۷۲
- شکل ۴-۳۲: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm..... ۷۳
- شکل ۴-۳۳: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۷ V..... ۷۳
- شکل ۴-۳۴: تصاویر FESEM مربوط به نمونه های مورد بررسی..... ۷۴
- شکل ۴-۳۵: طیف XRD لایه های نازک آلاینش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR2 و NR2)..... ۷۵
- شکل ۴-۳۶: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها..... ۷۷
- شکل ۴-۳۷: تغییرات (α_2) بر حسب $h\nu$ در نمونه های مورد بررسی..... ۷۸
- شکل ۴-۳۸: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV..... ۷۸

- شکل ۴-۳۹: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm نشان می دهد..... ۷۹
- شکل ۴-۴۰: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V..... ۷۹
- شکل ۴-۴۰: تصاویر FESEM مربوط به نمونه های مورد بررسی..... ۸۰
- شکل ۴-۴۱: طیف XRD لایه های نازک آلاینش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR3 و NR3)..... ۸۱
- شکل ۴-۴۲: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها..... ۸۳
- شکل ۴-۴۳: تغییرات $(\nu h\alpha)^2$ بر حسب hv در نمونه های مورد بررسی..... ۸۳
- شکل ۴-۴۴: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV..... ۸۴
- شکل ۴-۴۵: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm نشان می دهد..... ۸۴
- شکل ۴-۴۶: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V..... ۸۵
- شکل ۴-۴۷: تصاویر FESEM مربوط به نمونه های مورد بررسی..... ۸۶
- شکل ۴-۴۸: طیف XRD لایه های نازک آلاینش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR4 و NR4)..... ۸۷
- شکل ۴-۴۹: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها..... ۸۸
- شکل ۴-۵۰: تغییرات گاف نواری در نمونه های مورد بررسی..... ۸۸
- شکل ۴-۵۱: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV..... ۸۹
- شکل ۴-۵۲: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm نشان می دهد..... ۸۹
- شکل ۴-۵۳: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V..... ۹۰

فهرست جداول

صفحه	جدول
۱۲	جدول ۱-۱: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در خصوص پارامترهای مختلف در نمونه های مورد بررسی [۱۴].....
۴۹	جدول ۱-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....
۵۷	جدول ۲-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....
۶۳	جدول ۳-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه ها با میزان آلایش نیتروژن متفاوت.....
۷۰	جدول ۴-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....
۷۶	جدول ۵-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....
۸۲	جدول ۶-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....
۸۷	جدول ۷-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.....

فصل اول

مقدمه‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی اکسید روی،

پارامترهای موثر بر نورتابی این لایه‌ها و مروری بر

مقالات

۱-۱: مقدمه

فناوری نانو عبارت از کاربرد ذرات در ابعاد نانو می‌باشد. به بیان دیگر ساخت مواد، قطعات و سامانه‌های مفید در مقیاس نانو متر و بهره برداری از خصوصیات و پدیده‌های جدید حاصل از آن است. در حالی که تعاریف زیادی برای فناوری نانو وجود دارد، به نظر می‌رسد تعریف بنیاد نانو فناوری آمریکا از جامع‌ترین تعاریف بوده که در بر گیرنده مفاهیم ذیل است [۱]: الف) توسعه فناوری و تحقیقات در سطوح اتمی، مولکولی و یا ماکرومولکولی در مقیاس اندازه‌ای یک تا ۱۰۰ نانومتر. ب) خلق و استفاده از ساختار، ابزار و سیستم‌هایی که به دلیل اندازه کوچک، خواص و عملکرد نوینی ارائه می‌دهند. ج) توانایی کنترل یا دست‌کاری در سطوح اتمی مواد.

۱-۲: نانو ساختارها

نانو ساختارها بر اساس ابعاد هندسی‌شان تعریف می‌شوند. ساختارهایی که حداقل دو بعد با اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰nm دارند تعریفی محدودی از نانو ساختارها ارائه می‌دهند. تعریفی گسترده‌تر شامل ساختارهایی با یک بعد زیر ۱۰۰nm و بعد دیگر زیر ۱μm است. بر اساس این تعریف لایه‌های بسیار نازک با اندازه جانبی زیر میکرون نیز نانو ساختار محسوب می‌شوند [۲].

دو ویژگی مهم یکی نسبت سطح به حجم بالای مواد و دیگری تاثیرات کوانتومی، نانو مواد را از دیگر گروه‌ها متمایز می‌سازد. این دو عامل می‌تواند سبب ایجاد تغییراتی در واکنشها، مقاومت مکانیکی و مشخصه‌های الکتریکی در نانو مواد شوند [۳].

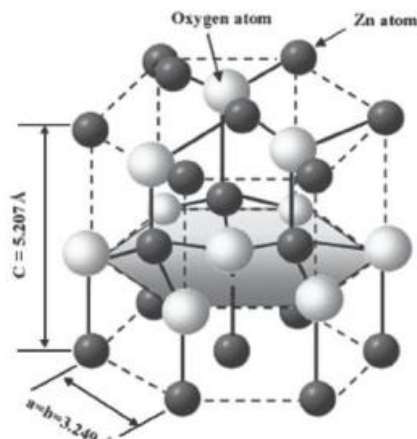
۳-۱: اکسید روی

۱-۳-۱: مقدمه

لایه‌های اکسید روی در کاربردهای وابسته به نانو فناوری از سه مزیت عمده بر خوردار می‌باشند: (الف) این ترکیب ماده‌ای نیم‌رسانا با گاف انرژی مستقیم و پهن در حدود $3/37 \text{ eV}$ بوده و از انرژی اکسیتونی $60 \text{ meV} \approx$ برخوردار می‌باشد. در نتیجه در دمای اتاق و دماهای بالاتر دارای جذب و گسیل قوی در ناحیه فرابنفش بوده و در ناحیه مرئی شفاف است. (ب) به علت فقدان تقارن مرکزی ماده‌ای پیزوالکتریک بوده که پدیده‌ای کلیدی در حسگرهای الکترومکانیکی است. ضریب پیزوالکتریک این ماده در شرایط نانو تسمه‌ای در حدود سه برابر مقدار وابسته به شرایط کپه‌ای آن است. (ج) از آنجا که این ماده از نظر فیزیولوژیکی زیست سازگار است می‌تواند بدون پوشش دهی در کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار گیرد [۴].

۲-۳-۱: ساختار بلوری، پارامترهای شبکه و صفحات قطبی اکسید روی

در شرایط فشار و دمای اتاق، ZnO در ساختار ششگوشی (ورتزایت) بلوری می‌شود، شکل ۲-۱ این ساختار را که متشکل از دو زیر شبکه Zn^{2+} و O^{2-} است نشان می‌دهد، به طوری که یونهای Zn با چهار وجهی یونهای O و بر عکس محاصره شده‌اند [۵].



شکل ۱-۱: ساختار ششگوشی اکسید روی، اتم‌های O با کره‌های بزرگ سفید و اتم‌های Zn با کره‌های کوچک سیاه رنگ نشان داده شده‌اند [۶].

متداول ترین چهار صفحه انتهایی ZnO در ساختار ورتزایت صفحات (0001) منتهی به Zn و صفحات (000 $\bar{1}$) منتهی به O که قطبی هستند و صفحات (11 $\bar{2}$ 0) و (10 $\bar{1}$ 0) که شامل تعداد مساوی اتم‌های O و Zn غیر قطبی می باشند [۵]. از آنجا که این ساختار تقارن مرکزی نداشته و در راستای C قطبیده است، باعث شده تا ZnO دارای خواص پیزوالکتریکی و پیزوالکتریکی باشد. در این ساختار جرم موثر الکترون $m_0 = 0.24$ و جرم موثر حفره $m_0 = 0.59$ گزارش شده است. ثوابت شبکه ZnO در دمای اتاق $a = 3.249 \text{ \AA}$ و $b = a = 3.249 \text{ \AA}$ و $c = 5.2056 \text{ \AA}$ با نسبت $c/a = 1.602$ است. اکسید روی یک نیمرسانای شفاف نوع n یکی از مهمترین نیمرساناهای ترکیب VI - II است [۵].

۱-۳-۳: برخی کاربردهای لایه‌های ZnO

استفاده از لایه های نازک اکسید روی در ساخت وسایل پیچیده و مدرن امروزی بسیار متداول شده است، به طوری هر روز شاید بتوان با کاربردهای جدیدی از لایه های نازک این ماده آشنا شد. با توجه به عملکرد و خواص لایه های نازک اکسید روی، می‌توان از آنها جهت بهبود تکنولوژی‌هایی نظیر سلولهای خورشیدی، سنسورهای گازی، آشکارسازهای نوری، مبدل‌های پیزوالکتریک، دیودهای نوری شفاف، لیزرها، دستگاه موج آکوستیک سطح و غیره نیز استفاده کرد. امروزه کاربرد لایه نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته‌ای است، به طوری که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه نشانی می‌دانند [۷-۱۰].

یکی از کاربردهای مهم لایه های ZnO استفاده آنها در آشکار ساز نوری UV است که این موضوع مورد مطالعه ما در این پایان‌نامه می‌باشد. در این رساله آشکارسازهای مبتنی بر فلز- نیمرسانا- فلز (MSM) را مورد بررسی قرار می‌دهیم. اساس آشکارسازهای مبتنی بر لایه‌های اکسید فلزی بر پایه تغییر مقاومت سطحی لایه‌ها بر اثر جذب نور است. بر هم‌کنش مولکولهای نور-جامد بر تراکم الکترونی لایه نازک اثر گذاشته و رسانندگی الکتریکی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۴-۱: فوتو رسانیایی

۱-۴-۱: انواع آشکار ساز های UV

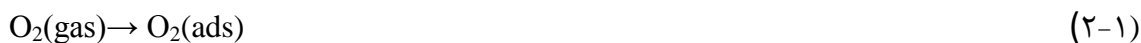
انواع مختلف آشکار ساز های UV مانند: آشکار ساز فلز- نیمرسانا- فلز (MSM)، دیود های شاتکی، دیود های نوری p-n و غیره وجود دارد، که ساده ترین آن ها آشکار ساز فوتورسانیایی MSM با دو اتصال اهمی می باشد [۱۱].

۲-۴-۱: مشخصه های مهم آشکار ساز های UV

از مشخصه های مهم طراحی این آشکار ساز های نوری حساسیت بالا، سرعت، تکرارپذیری، نویز پایین و همچنین هزینه کم در ساخت می باشد [۱۱].

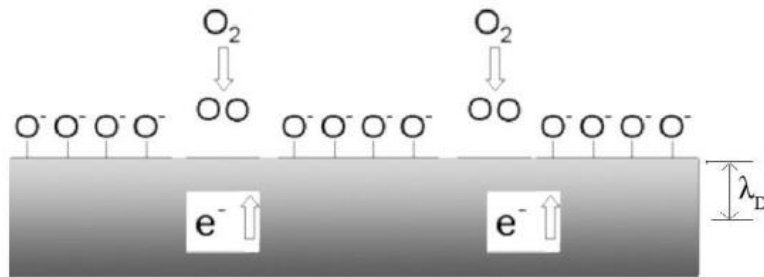
۳-۴-۱: سازوکار پاسخ

ZnO یک نیمرسانی اکسید فلزی است که ماده مورد نظر ما در این پایان نامه می باشد. هنگامی که لایه نازکی از این ماده در هوای معمولی قرار دارد را در نظر می گیریم. اکسیژن یکی از عناصر فعال در هواست که ۲۰/۹ % حجم هوا را تشکیل می دهد. تهی جاهای اکسیژن در سطح اکسید- فلز بصورت الکتریکی و شیمیایی فعال هستند. این مراکز در دماهای پایین ($200^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$) [۸ و ۱۲] در مجاورت مولکولهای اکسیژن مخلوط در هوا، سبب جذب سطحی آنها شده و الکترونهای آزاد را در سطح لایه به دام می اندازند (شکل ۱-۲). نتیجه این فرایند تشکیل آنیونهای باردار اکسیژن مقید بر روی سطح می باشد. این الکترونهای به دام افتاده، دیگر در رسانش جامد شرکت نداشته و به افزایش مقاومت آن می انجامد. این فرآیندها توسط واکنش های زیر بیان می شوند [۸]:





در این واکنش‌های سطحی، کلمات gas و ads به ترتیب نشانگر گاز و مولکول‌های جذب شده در سطح و \bar{e} نشان دهنده یک الکترون رسانشی است.



شکل ۱-۲: طرح شماتیک جذب اکسیژن بر روی سطح آشکار سازهای نوری اکسید-فلزی [۸].

لایه بار فضایی ناحیه‌ای است که به دلیل گیر افتادن الکترونها توسط اکسیژن‌های جذب شده کمبود حامل‌های بار دارد. ضخامت نوعی لایه بار فضایی (ضخامت دبی یا طول دبی، λ_D) برای ZnO بدون آلایش در حدود ۳۰ nm می‌باشد [۸].

در نتیجه در شرایط تاریکی، اکسیژن با گرفتن یک الکترون آزاد از لایه در حضور هوا جذب شده و یک ناحیه تهی نزدیک سطح و بلورک‌ها به جا می‌گذارد. یون‌های اکسیژن منفی به سطح و سطح مشترک مرز دانه‌های لایه چسبیده و تشکیل یک حالت جذب سطحی شیمیایی می‌دهد. به همین علت رسانندگی تاریکی نمونه‌ها کوچک است [۱۳].

تحت روشنایی UV زوج الکترون - حفره‌هایی در ماده تولید می‌شوند. حفره‌های تولید شده توسط یون‌های اکسیژن باردار منفی به دام افتاده و الکترون‌های اضافی در نوار رسانش به جا می‌گذارد. این پدیده می‌تواند به کاهش ارتفاع سد پتانسیل در مرز دانه‌ها انجامیده و سبب افزایش تحرک حامل‌ها و در نتیجه رسانندگی آنها گردد [۱۳].

۱-۵: مروری بر مقالات

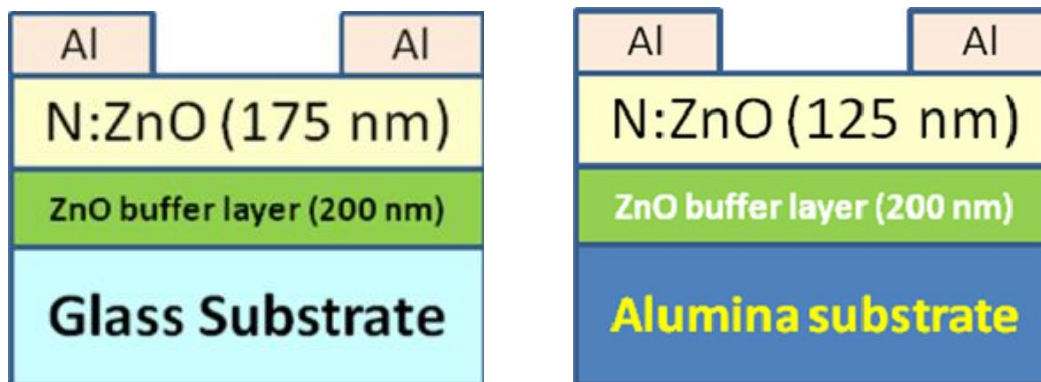
در این بخش به بررسی مقالات گزارش شده در خصوص فوتو رسانایی نانو ساختار اکسید روی که به روش اسپری پایرولیز تهیه شده‌اند، پرداخته‌ایم.

۱-۵-۱: بررسی فوتو رسانایی UV در نمونه‌های ZnO

فوتو رسانایی لایه‌های نازک اکسید روی به روش اسپری پایرولیز توسط گروه‌های مختلف و با پارامترهای متفاوت مورد ساخت و بررسی قرار گرفته است. از جمله این گروه‌ها می‌توان از شیند و راجپور [۱۱] اسم برد که به بررسی اثر ناخالصی نیتروژن ZnO:N بر خواص فوتو رسانایی UV روی لایه واسط ZnO رشد یافته بر روی زیرلایه آلومینا پرداخته‌اند. شیند، بسل و راجپور [۱۳] اثر ناخالصی نیتروژن ZnO:N بر خواص فوتو رسانایی UV روی لایه واسط ZnO رشد یافته روی زیر لایه شیشه را بررسی کردند. همچنین اینمدر و راجپور [۱۴] به بررسی اثر دمای لایه نشانی ZnO بر خواص فوتو رسانایی UV پرداخته‌اند. شیند و راجپور [۱۵] در مقاله دیگر خود به بررسی اثر ناخالصی گالیوم ZnO:Ga بر خواص فوتو رسانایی UV روی لایه واسط ZnO رشد یافته روی زیر لایه شیشه پرداخته‌اند. علاوه بر این شیند و راجپور [۱۶] به بررسی اثر ناخالصی گالیوم ZnO:Ga بر خواص فوتو رسانایی UV روی لایه واسط ZnO رشد یافته روی زیر لایه آلومینا و مهینت و راجپور [۱۷] به بررسی اثر ناخالصی آنتیموان ZnO:Sb بر خواص فوتو رسانایی UV روی زیر لایه شیشه پرداخته‌اند. که در ادامه به شرح نتایج آنها می‌پردازیم.

الف) شینده، بوسل و راجپور [۱۳ و ۱۱] تاثیر ناخالصی N روی لایه واسط ZnO رشد یافته بر روی زیرلایه شیشه [۱۱] و زیرلایه آلومینا [۱۳] با روش اسپری پایرولیز در دمای 450°C مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها در ابتدا محلول ۰/۱ مولار استات روی دو آبه در آب مقطر را تهیه کرده و با آهنگ 5 ml/min بر روی زیر لایه مربوطه خود اسپری کرده‌اند. این لایه با ضخامت 200 nm ~ به

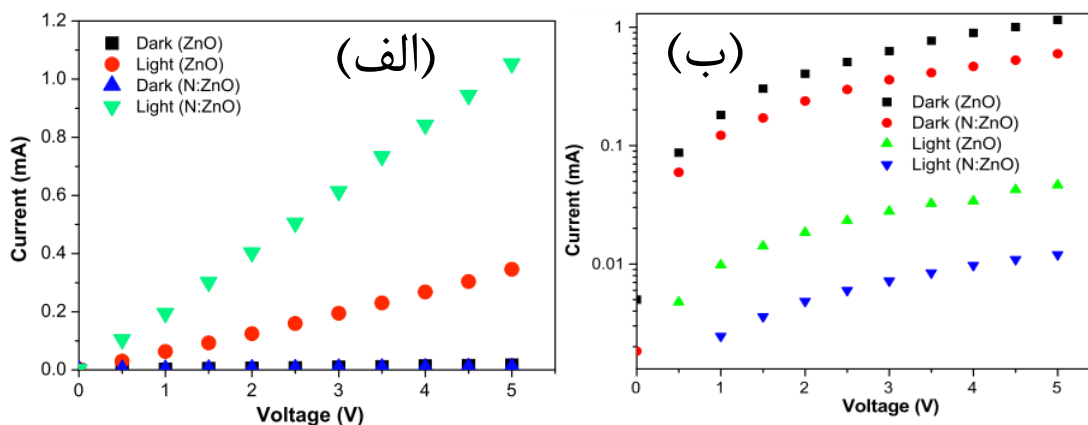
عنوان لایه واسط عمل می کند. سپس محلول ۰/۱ مولار استات روی دو آبه را که همراه ۱۰ درصد اتمی (at%) ان. ان دی متیل فرمامید ($\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$) به عنوان آلاینده در آب مقطر حل شده است بر روی لایه واسط اسپری کرده اند. ساختار سطح مقطع قطعه ها در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: شکل شماتک ساختار قطعه آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:N بر روی زیر لایه شیشه [۱۳] و بر روی زیر لایه آلومینا [۱۱].

شکل ۴-۱: مشخصه جریان-ولتاژ تاریکی و نورتابی نمونه خالص و آشکار ساز ساخته شده

ZnO:N (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (ب) بر روی زیر لایه شیشه را نشان می دهد.

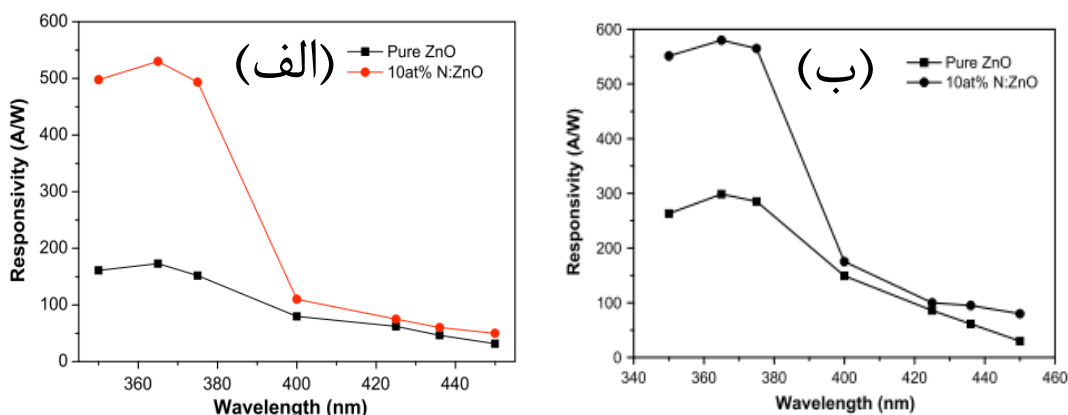


شکل ۴-۱: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی و نورتابی آشکار ساز فوتو رسانای خالص و ZnO:N تحت تابش نوری با طول موج ۳۶۵ nm و توان $2 \mu\text{W}$ (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].

مشخصه جریان-ولتاژ نمونه ها نشان دهنده اهمی بودن اتصالات می باشد. برای رسم نمودار تاریکی، نمونه ها را ۲۴ ساعت تحت تاریکی برای ایجاد ثبات در جریان تاریکی نگه داشته اند. جریان تاریکی

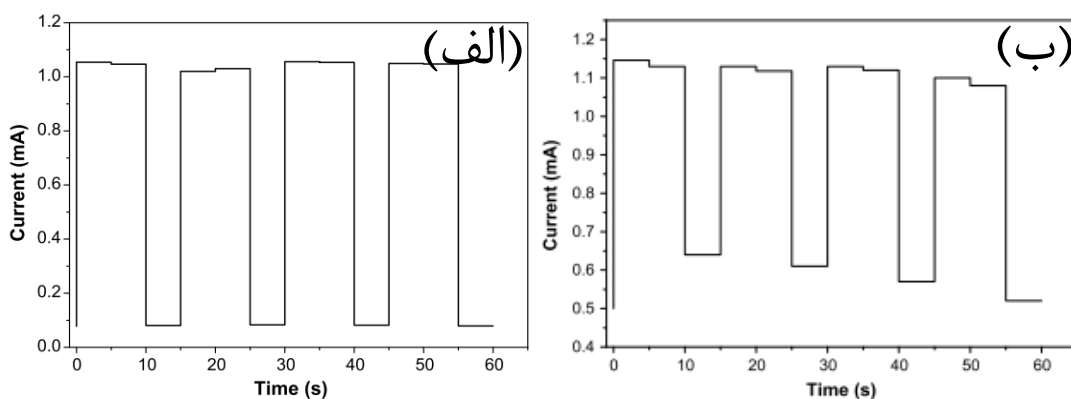
در حدود $16 \mu\text{A}$ و 8 برای نمونه خالص و آلاینده با نیتروژن بر روی زیر لایه آلومینا و در حدود 12 و $46/5$ برای نمونه خالص و آلاینده با نیتروژن بر روی زیر لایه شیشه در بایاس 5V بدست آوردند. که نشان دهنده نواقص بخشنده ذاتی بسیاری نظیر جاهای خالی اکسیژن و جایگزینی درون شبکه ای اتم های روی دارد. تحت روشنایی نور UV با استفاده از نور تک رنگ با طول موج 365 nm و توان $2 \mu\text{W}$ به ازای ولتاژ 5V جریان نوری به مقدار 0.346 mA (ZnO) و 1.06 mA (ZnO:N) بر روی زیر لایه آلومینا و 0.597 mA (ZnO) و 1.6 mA (ZnO:N) بر روی زیر لایه شیشه بدست آوردند. علت این افزایش جریان به تولید زوج الکترون - حفره در اثر نورتایی نسبت داده شده و اینکه حفره های تولید شده توسط یون های منفی اکسیژن جذب سطحی شده به دام افتاده و الکترون های اضافی در نوار رسانش به جا می گذارد. این امر همچنین می تواند به کاهش ارتفاع سد پتانسیل در مرز دانه ها انجامیده و سبب افزایش تحرک حامل ها و در نتیجه رسانندگی آنها گردد.

شکل ۱-۵ پاسخ طیفی آشکار ساز Al/ (ZnO and ZnO:N) /Al (الف) بر روی زیر لایه آلومینا و (ب) بر روی زیر لایه شیشه را نشان می دهد. جریان نوری نسبت به طول موج تا 365 nm افزایش یافته و سپس در ناحیه مرئی به شدت افت می کند. وقتی طول موج کم می شود، ضریب جذب افزایش می یابد و عمق نفوذ نور UV کم می شود. در نتیجه، بر اثر کاهش طول عمر حامل ها در نزدیک سطح فیلم پاسخ قطعه کاهش می یابد. افت پاسخ نوری در این نمونه ها به طور قابل توجهی در نزدیکی طول موج قطع در بازه 16 nm از لبه نوار است. این داده ها نشانگر افزایش 5 برابری پاسخ نوری در ناحیه 365 nm نسبت به ناحیه مرئی می باشد. وجود دنباله پاسخ در این داده ها در نزدیکی طول موج قطع (373 nm) به توزیع ترازهای وابسته به ناخالصی ها و ناراستی ها (شامل در رفتگی ها، مرزهای دانه ها و ترازهای سطح) نسبت داده شده اند.



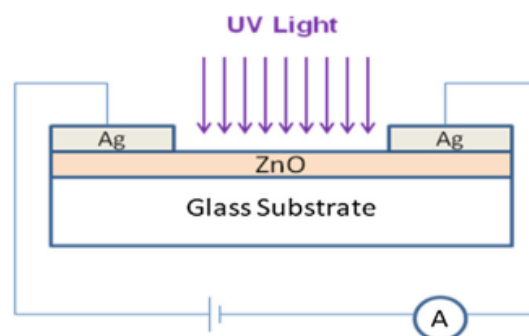
شکل ۱-۵: طیف پاسخ آشکار ساز فوتو رسانا برای نمونه خالص و آلیاژ یافته با نیتروژن (ZnO:N) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].

تکرار پذیری قطعه به وسیله ی خاموش و روشن کردن پشت سر هم نور UV در بازه های زمانی یکسان بررسی شده است. شکل ۱-۶ نشان می دهد که جریان قطعه می تواند با تابش نور UV مدوله شده برگشت پذیر باشد. وقتی قطعه تحت روشنایی نور UV قرار میگیرد جریان به شدت افزایش می یابد و هنگامی که نور ثابت است مقدار جریان پایدار باقی می ماند و هنگامی که منبع نور خاموش می شود، جریان به مقدار اولیه خود باز می گردد، که تکرار پذیری بسیار خوبی را برای حداقل ۵ بار بدون تغییر زیاد برای هر دو قطعه نشان می دهد. مقدار قله جریان نوری با توان $2 \mu W$ برای قطعه با زیرلایه آلومینا (شکل ۱-۶ الف) مقدار 1.06 mA و برای قطعه با زیرلایه شیشه (شکل ۱-۶ ب) مقدار 1.16 mA می باشد. پاسخ سریع و ثبات نشان می دهد که قطعه ساخته شده برای فوتو آشکار ساز UV مفید است.



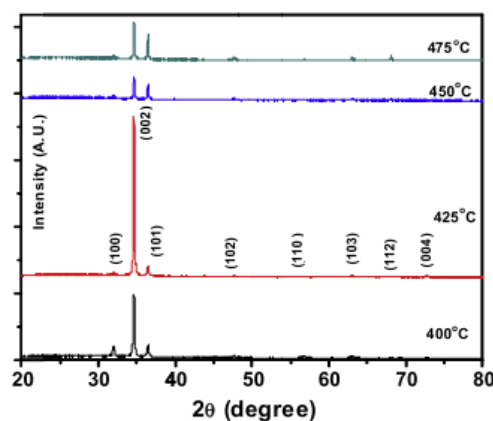
شکل ۱-۶: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($2 \mu W/cm^2$) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا [۱۳]، (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۱].

ب) اینمدر و راجپور [۱۴] تاثیر دماهای مختلف لایه نشانی ZnO بر روی زیرلایه شیشه به روش اسپری پارولیز برای کاربرد در فوتو رسانایی نور UV در دمای اتاق مورد بررسی قرار داده اند. آن ها از استات روی دوآبه حل شده در آب مقطر با غلظت ۰/۱ مولار را تهیه و بر روی زیرلایه های شیشه ای در دماهای مختلف ۴۰۰، ۴۲۵، ۴۵۰ و ۴۷۵°C با آهنگ ۵/۵ ml/min اسپری کردند. شکل ۷-۱ ساختار سطح مقطع لایه ها در این قطعه را نشان می دهد.



شکل ۷-۱: شکل شماتیک لایه نازک ZnO بر اساس قطعه آشکار ساز فوتو رسانای UV [۱۴].

شکل ۸-۱ طیف XRD لایه های نازک ZnO را برای دماهای لایه نشانی مختلف نشان می دهد. ساختار ایجاد شده هگزا گونال بس بلوری با جهت ترجیحی (۰۰۲) است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که مناسبترین دمای زیرلایه برای لایه نشانی دمای ۴۲۵ °C است. این دما به نفوذ اتم های جذب شده روی زیرلایه کمک می کند و سریعاً اتم ها را به موقعیت های مناسب انرژی منتقل کرده و در نتیجه سبب افزایش اندازه بلورک و جهت گیری در راستای محور C می شود. ZnO معمولاً در امتداد (۰۰۲) به علت سطح پایین انرژی آزاد رشد پیدا می کند.



شکل ۸-۱: طیف های XRD لایه های نازک ZnO در دماهای مختلف زیر لایه [۱۴].

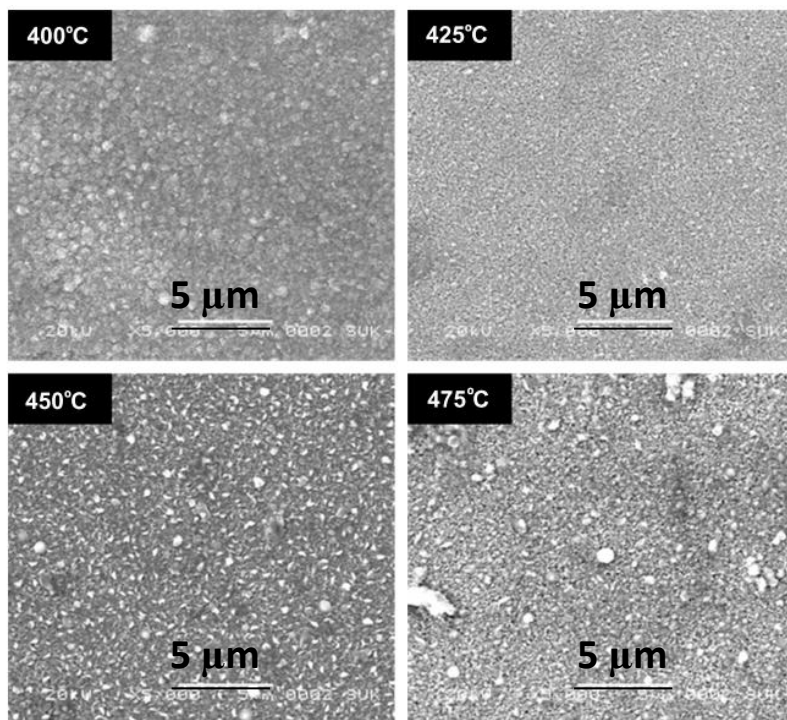
اطلاعات مربوط به این لایه ها از جمله ضخامت و همچنین نتایج حاصل از این طیف ها شامل ابعاد بلورک ها و پارامترهای شبکه ای در جدول ۱-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۱: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در خصوص پارامترهای مختلف در نمونه های

مورد بررسی [۱۴]

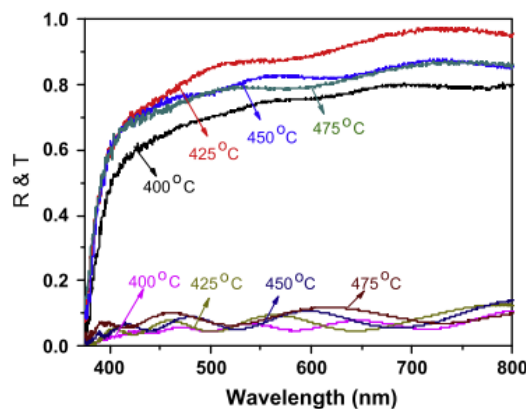
Substrate temperature (°C)	Film thickness (nm)	Lattice parameters (Å ^o)	Crystallite size (nm)
400	382	$a = 3.2209, c = 5.17$	40
425	396	$a = 3.2211, c = 5.17$	43
450	415	$a = 3.2202, c = 5.17$	48
475	385	$a = 3.2215, c = 5.17$	42

شکل ۹-۱ تصاویر SEM مربوط به این نمونه ها را نشان می دهد. این تصاویر نشانگر توزیع یکنواخت دانه ها روی سطح با اندازه های مختلف را نشان می دهد. دانه بندی ها ترجیحا با ساختار شش گوشه تشکیل شده اند.



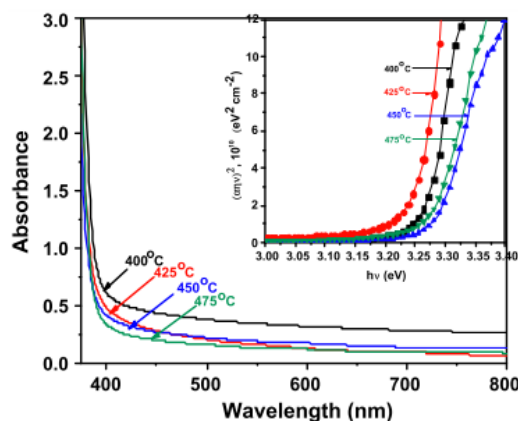
شکل ۹-۱: تصاویر SEM لایه های نازک ZnO در دماهای مختلف زیر لایه [۱۴].

شکل ۱-۱۰ طیف عبور و بازتاب نمونه های مورد بررسی را نشان می دهند. مشاهده می شود که نمونه ها تا حد بسیار زیادی صاف هستند. کلیه نمونه ها در ناحیه ی مرئی بسیار شفاف اند، به طوری که نمونه رشد یافته در دمای 425°C از بیشترین عبور (حدود ۰.۸۵٪ در 550 nm) برخوردار بوده و همچنین نشانگر حضور یک لبه ی جذب تیز در ناحیه UV در طول موج 375 nm به علت گذار نوار به نوار می باشد.



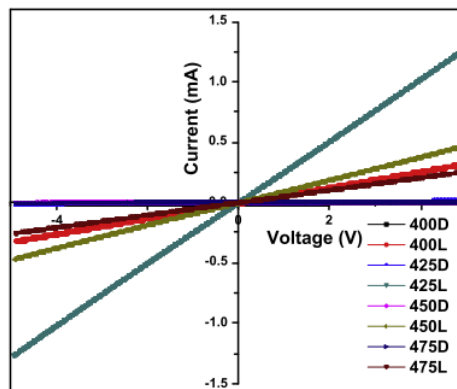
شکل ۱-۱۰: طیف عبور و بازتاب لایه های نازک ZnO [۱۴].

شکل ۱-۱۱ طیف جذب لایه ها و شکل ضمیمه انرژی گاف نواری اپتیکی نمونه ها را با داشتن طیف جذب آن ها نشان می دهد. چنانچه پیداست انرژی گاف نواری نمونه های رشد یافته تابع دمای زیرلایه است. معلوم شده است که گاف نواری ZnO به تغییرات کوچک در تراکم حامل ها، پیکربندی مرزخانه ها و تنش در لایه حساس است. کاهش گاف نواری بر اثر افزایش دمای زیرلایه ناشی از تغییر پیکربندی مرزخانه ها در حین رشد لایه ZnO است.



شکل ۱-۱۱: طیف جذب لایه های نازک ZnO در دماهای زیرلایه ای مختلف (الف) 400°C (ب) 425°C (ج) 450°C و (د) 475°C . نمودار ضمیمه تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ را نشان می دهد. [۱۴].

شکل ۱-۱۲ نمودار I-V در حالت تاریکی و نور تابی ($\lambda=365 \text{ nm}$ در بایاس 5 V و توان اپتیکی نور فرودی $1/8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) را نشان می دهد. جریان تاریکی و نور تابی در دمای زیر لایه 425°C به ترتیب $20 \mu\text{A}$ و $1/3 \text{ mA}$ در بایاس 5 V است. این نمونه بالاترین جریان فوتو الکترونی را در بین نمونه ها دارد علت این امر می تواند ناشی از بهینگی بلورینگی این لایه در مقایسه با دیگر نمونه ها باشد که می تواند به کاهش باز ترکیب حامل های نوری تولید شده منجر شود.

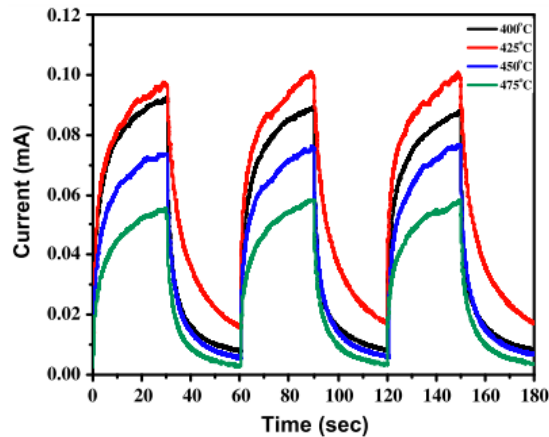


شکل ۱-۱۲: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی (D) و نورتابی (L) آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO تهیه شده در دماهای زیر لایه ای مختلف [۱۴].

در شکل ۱-۱۳ مشخصه کلید زنی^۱ آشکار ساز UV در بایاس 5 V با بازه زمانی 30 S را نشان می دهد. هنگامی که نور روشن است فوتو جریان به سرعت افزایش می یابد، و زمانی که نور خاموش است فوتو جریان به سرعت به سطح اولیه آن کاهش می یابد که نشان دهنده ثبات و تکرار پذیری قطعه می باشد. زمان ارتقا و تنزل سریع ترین نانو قطعه به ترتیب 16 S و 18 S است. مشاهده می شود که یک سوق اندک در جریان تاریکی نسبت به زمان وجود دارد. که ممکن است به دلیل اثر ماندگاری فوتو رسانایی^۲ باشد.

¹ Switching characteristics

² Persistent effect of photoconductivity

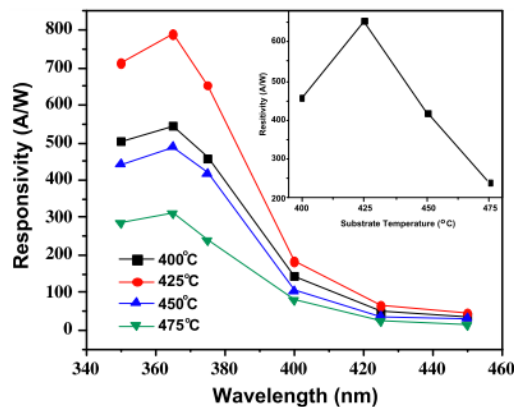


شکل ۱-۱۳: مشخصه جریان- زمان پاسخ و بازگشت آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO در دماهای زیرلایه مختلف (الف) ۴۰۰ (ب) ۴۲۵ (ج) ۴۵۰ و (د) ۴۷۵ °C نشان می دهد [۱۴].

شکل ۱-۱۴ پاسخ طیفی این آشکار سازهای Ag/ZnO/Ag را نشان می دهد. حداکثر پاسخ در محدوده طول موج ۳۷۰ nm تا ۳۵۰ nm با طول موج قطع در ۳۷۵ nm است. بیشترین پاسخ در ۳۶۵ nm متعلق به نمونه رشد یافته در دمای ۴۲۵ °C به مقدار ۷۸۸ A/W است. بهره فوتو رسانایی (G) به صورت نسبت تعداد الکترون های جمع شده در واحد زمان (N_{ei}) به تعداد فوتون های جذب شده در واحد زمان (N_{ph}) تعریف می شود. این نسبت به صورت زیر به دست می آید:

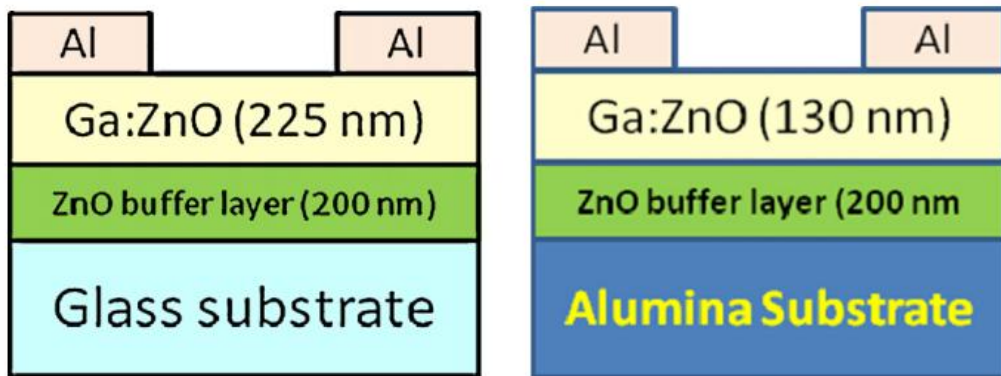
$$G = \frac{N_{ei}}{N_{ph}} = R \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad (4-1)$$

در رابطه بالا R پاسخ طیفی از یک آشکار ساز است و λ طول موج نور فرودی است. با قرار دادن مقادیر $R=622$ A/W و $\lambda=350$ nm بهره آشکار ساز ۲۲۰۴ به دست می آید.



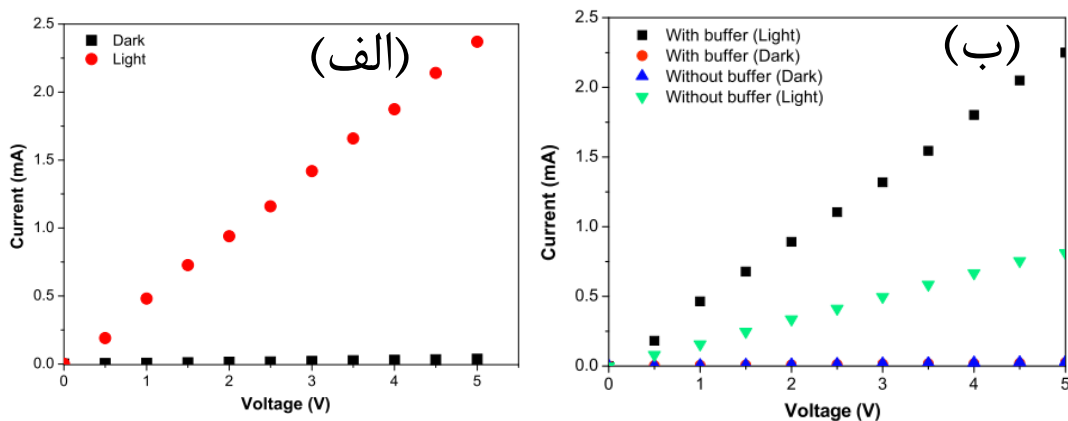
شکل ۱-۱۴: طیف پاسخ آشکار سازهای نوری لایه نازک ZnO در دماهای زیرلایه مختلف (الف) ۴۰۰ (ب) ۴۲۵ (ج) ۴۵۰ و (د) ۴۷۵ °C در بایاس ۵V [۱۴].

ج) شینده و راجپور [۱۶ و ۱۵] تاثیر ناخالصی Ga با روش اسپری پایرولیز را روی لایه واسط ZnO رشد یافته (الف) بر روی زیرلایه آلومینا (ب) بر روی زیرلایه شیشه در دمای 450°C مورد بررسی قرار داده اند. آن ها ابتدا لایه بدون آلیش ZnO را با ضخامت 200 nm به عنوان لایه واسط روی شیشه در جهت بهبود کیفیت بلوری رشد داده و سپس، لایه آلییده با دو درصد اتمی (۲at%) گالیوم نیترات را در محلولی با غلظت ۰/۱ مولار روی لایه واسط با آهنگ 5 ml/min اسپری کرده‌اند. شکل ۱-۱۵ ساختار سطح مقطع مورد نظر را نشان می دهد.



شکل ۱-۱۵: شکل شماتیک ساختار قطعه آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:N بر روی زیر لایه شیشه [۱۵] و زیرلایه آلومینا [۱۶].

شکل ۱-۱۶ مشخصه جریان-ولتاژ نمونه ها را در شرایط تاریکی و نور تابی نشان می دهد.

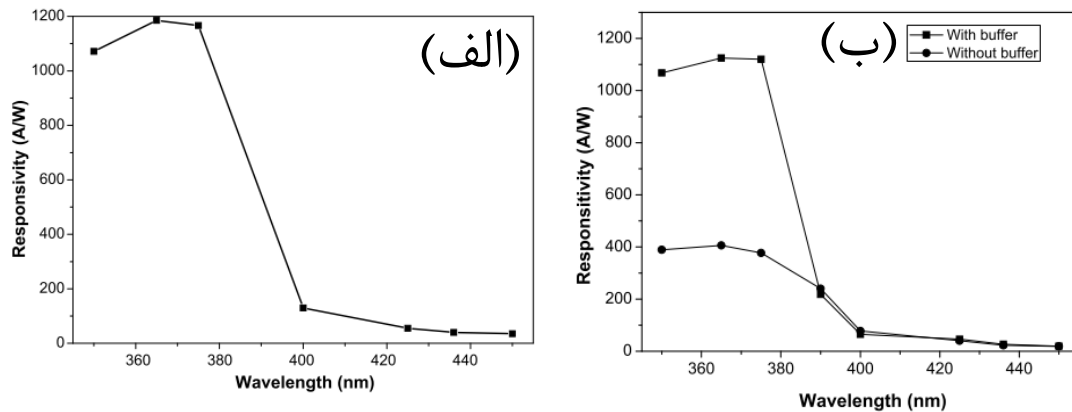


شکل ۱-۱۶: مشخصه جریان-ولتاژ جریان تاریکی و نورتابی آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:Ga در 365 nm در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (با لایه واسط) و (ب) بر روی زیر لایه شیشه (با و بدون لایه واسط) [۱۶ و ۱۵].

مشخصه جریان-ولتاژ حاکی از اهمی بودن اتصالات در این نمونه ها ست. برای رسم نمودار تاریکی، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت تحت تاریکی برای پایداری در جریان تاریکی نگه داشته اند. جریان تاریکی برای نمونه بر روی زیرلایه آلومینا (شکل ۱۶ (الف)) با لایه واسط برابر $34 \mu A$ و برای نمونه بر روی زیرلایه شیشه (شکل ۱۶ (ب)) با لایه واسط برابر $23 \mu A$ و برای نمونه بدون لایه واسط $28 \mu A$ در بایاس $5V$ بدست آمده است. که نشان دهنده وجود نواقص بخشنده ذاتی بسیار نظیر جاهای خالی اکسیژن و درون شبکه ای اتم های روی دارد. تحت روشنایی UV با استفاده از نور تک رنگ با طول موج $365nm$ و توان $2 \mu W/cm^2$ در بایاس $5V$ مقدار جریان برای نمونه بر روی زیرلایه آلومینا (شکل ۱۶ (الف)) $2/38 mA$ (نمونه با لایه واسط) و مقدار جریان برای نمونه بر روی زیرلایه شیشه (شکل ۱۶ (ب)) برابر $2/26 mA$ (نمونه با لایه واسط) و $0/81 mA$ (بدون لایه واسط) بدست آمده است.

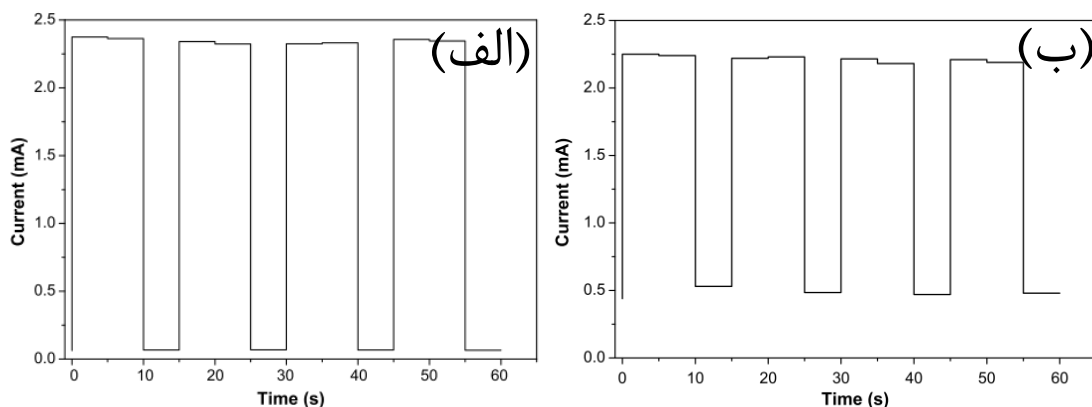
فوتو پاسخ ZnO:Ga به طور کلی به وسیله ی جذب و واجدبی مولکول های اکسیژن بر روی سطح اتفاق می افتد. مولکول های اکسیژن جذب شده روی سطح لایه باعث کاهش چگالی حامل ها و به دام افتادن الکترون های آزاد نیمرسانای نوع n و همچنین باعث کاهش تحرک حامل های باقی مانده از طریق ایجاد یک لایه تهی نزدیک سطح می شود. این فرایند به شدت باعث خمش نوار، نزدیک سطح می گردد. با توجه به بزرگی نسبت سطح به حجم، جذب اکسیژن به طور قابل توجهی رسانندگی لایه را کاهش می دهد. هنگامی که انرژی فوتون ها ی تابشی بیشتر از انرژی گاف نواری ماده باشد زوج الکترون - حفره ایجاد می شود. حفره ها در امتداد سطح توسط شیب پتانسیل که باعث خمش نوار شده است، جابجا می شوند و با الکترون های به دام افتاده توسط O_2^- باز ترکیب شده و باعث رها شدن O_2^- از سطح می شود: $O_2^-(ad) + h^+ \rightarrow O_2(g)$. الکترون های جفت نشده باقی مانده، حامل های اصلی در لایه می باشند و باعث افزایش جریان می شوند، مگر اینکه دوباره توسط

مولکول های اکسیژن در سطح جذب شوند. زوج الکترون - حفره های فوتو تولید شده هم زمان با افزایش تعداد حامل ها و کاهش ارتفاع سد، رسانندگی را افزایش می دهند.



شکل ۱۷-۱: طیف پاسخ آشکار ساز فوتو رسانای ZnO:Ga در بایاس ۵V: (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (با لایه واسط) و (ب) بر روی زیر لایه شیشه (با و بدون لایه واسط) [۱۶ و ۱۵]..

شکل ۱۷-۱ (الف) پاسخ طیفی آشکار ساز Al/ZnO:Ga/Al با لایه واسط بر روی زیر لایه آلومینا و شکل ۱۷-۱ (ب) پاسخ طیفی آشکار ساز Al/ZnO:Ga/Al با و بدون لایه واسط بر روی زیر لایه شیشه را نشان می دهد. فوتو جریان نسبت به طول موج تا ۳۶۵ nm افزایش یافته و سپس در ناحیه مرئی به شدت افت می کند. با کاهش طول موج ضریب جذب افزایش یافته و عمق نفوذ نور UV کم می شود. در نتیجه، تراکم حامل ها در نزدیک سطح فیلم افزایش می یابد و منجر به کاهش در پاسخ قطعه می شود. افت پاسخ نوری در این نمونه به طور قابل توجهی در نزدیکی طول موج قطع در بازه ۱۵ nm از لبه ی نوار است. طول موج در محدوده ۳۶۵ nm پاسخ نوری ۶ بار بزرگتر نسبت به طول موج های ناحیه مرئی دارند. برای نمونه تهیه شده بر روی زیر لایه آلومینا با لایه واسط (شکل ۱۷ (الف)) پاسخ طیفی در حدود ۱۱۸۷ A/W و پاسخ طیفی برای نمونه سنتز شده بر روی زیر لایه شیشه (شکل ۱۷ (ب)) برابر ۱۱۲۵ A/W (با لایه واسط) و ۴۰۶ A/W (بدون لایه واسط) بدست آمده است.



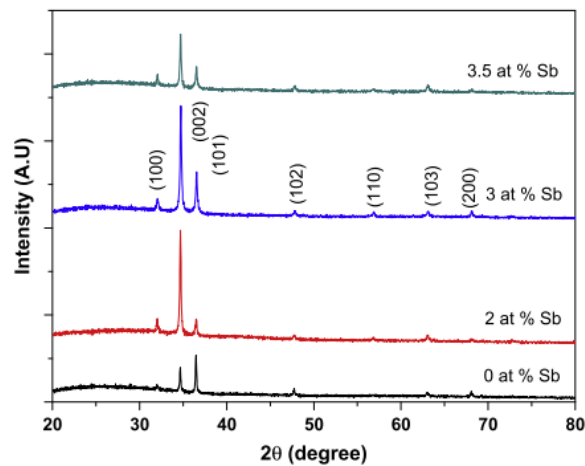
شکل ۱۸-۱: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) در بایاس ۵V (الف) بر روی زیر لایه آلومینا (ب) بر روی زیر لایه شیشه [۱۶ و ۱۵].

تکرار پذیری قطعه به وسیله ی خاموش و روشن کردن پشت سر هم نور UV در بازه های زمانی یکسان بررسی شده است. شکل ۱۸-۱ نشان می دهد که جریان قطعه می تواند با تابش نور UV مدوله شده برگشت پذیر باشد. وقتی قطعه تحت روشنایی نور UV قرار میگیرد جریان به شدت افزایش می یابد و هنگامی که نور ثابت است مقدار جریان پایدار باقی می ماند و هنگامی که منبع نور برداشته می شود، جریان به مقدار اولیه خود باز می گردد. که تکرارپذیری بسیار خوبی برای حداقل ۵۰ بار بدون تغییر زیاد برای قطعه با زیرلایه آلومینا (شکل ۱۸-۱ الف) و برای قطعه با زیرلایه شیشه (شکل ۱۸-۱ ب) برای حداقل ۶ بار بدون تغییر زیاد است این نتیجه همچنین نشان می دهد که سازوکار سنجش UV شامل برخی برهم کنش های برگشت پذیر بین ZnO:Ga، گازهای محیط و نور UV می باشد. پاسخ سریع و ثبات نشان می دهد که قطعه ساخته شده برای فوتو آشکار ساز UV مفید است.

د) مهیت و راجپور [۱۷] تاثیر ناخالصی Sb با روش اسپری پیرولیز بر روی زیر لایه شیشه با دمای 450°C را برای تراکم های آلاینش مختلف (۰،۲،۳،۳/۵ at.%) با آهنگ ۵ ml/min و حجم ۱ ml مورد بررسی قرار داده اند. آن ها از پیش ماده ای شامل ۰/۱ مولار استات روی حل شده در محلول حاوی آب مقطر دوبار یونیزه شده، استیک اسید و متانول (۲۵،۱۰،۲۵) و ۰/۱ مولار کلرید

آنتیموان محلول در استیک اسید تهیه کردند. آشکار ساز UV، ZnO:Sb بر مبنای ساختار فلز-نیمرسانا-فلز (MSM) است. فاصله اتصالات ۱۰ mm و فلز به کار رفته شده برای اتصالات فلزی چسب نقره می باشد.

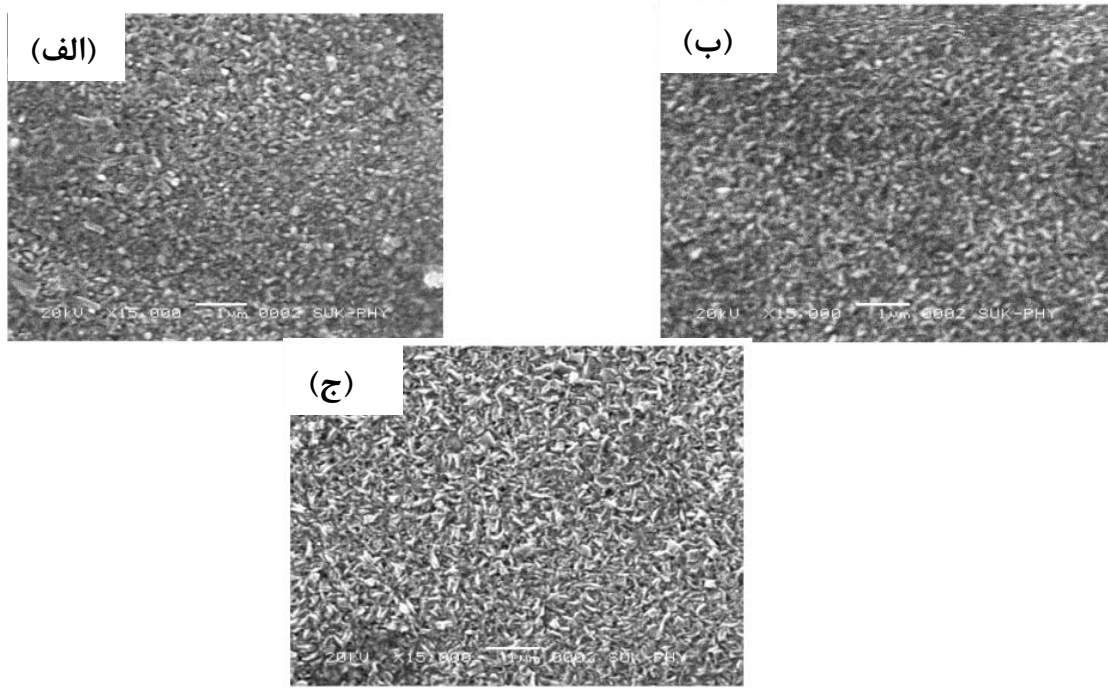
شکل ۱-۱۹ طیف های XRD نمونه خالص (ZnO) و آلیس یافته (ZnO:Sb) را نشان می دهد. این طیف ها حاکی از شکل گیری ساختار شش گوشه بس بلوری با جهتگیری ترجیحی در امتداد محور C برای تمام نمونه ها است و هیچ قله اضافی از دیگر فاز ها را نشان نمی دهد. با افزایش غلظت آلیس تا ۳ در صد اتمی شدت قله (۰۰۲) افزایش یافته و برای غلظت های بالاتر شاهد کاهش شدت این قله هستیم. این تغییرات می تواند به امکان جایگزین شدن اتم های Sb به جای Zn در داخل شبکه ZnO وابسته باشد. این نتایج همچنین نشان می دهد که در اثر آلیس یون های Sb ساختار شش گوشه ماده تغییر نکرده است.



شکل ۱-۱۹: طیف XRD نمونه خالص (ZnO) و نمونه آلیس یافته (ZnO:Sb) [۱۷].

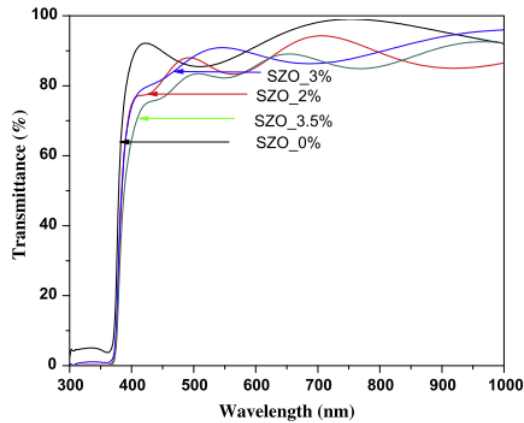
شکل ۱-۲۰ مورفولوژی سطح لایه های نازک ZnO آلیس شده با غلظت های مختلف Sb را نشان می دهد. تصاویر SEM نشان می دهند که زیر لایه به خوبی با تعداد زیادی از دانه های به هم فشرده شده که به صورت یکنواخت توزیع شده اند پوشیده شده است. با افزایش غلظت آلیس Sb

اندازه دانه ها کاهش پیدا می کند و تعداد دانه ها به علت افزایش مراکز جوانه زنی افزایش پیدا کرده است. در آرایش ۳ در صد اتمی دانه ها فشرده و بسیار منظم است.

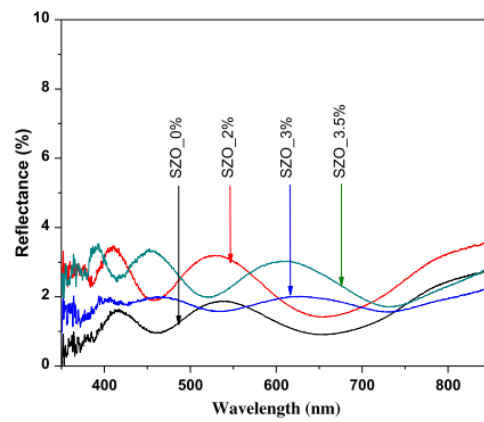


شکل ۱-۲۰: تصاویر SEM: (الف) نمونه خالص ZnO، (ب) نمونه آرایش یافته با ۲ at% و (ج) نمونه آرایش یافته با ۳ at% [۱۷].

شکل های ۱-۲۱ و ۱-۲۲ به ترتیب طیف های عبوری و بازتابی لایه های نازک ZnO خالص و آرایش یافته ZnO:Sb را نشان می دهد. لایه ها دارای عبور بالا در ناحیه ی مرئی و جذب بالا در ناحیه UV هستند. میانگین عبور لایه ها در ناحیه مرئی ۹۰٪ می باشد و همه ی لایه ها دارای یک لبه ی جذب تند در حدود ۳۶۵ nm بوده و از بازتاب پایینی برخوردارند. طرح تداخل در طیف بازتاب نشان دهنده ماهیت صاف نمونه ها است. ضخامت میانگین محاسبه شده از طیف بازتاب لایه های نازک در غلظت های مختلف آرایش در گستره ۲۵۰-۳۰۰ nm می باشد.

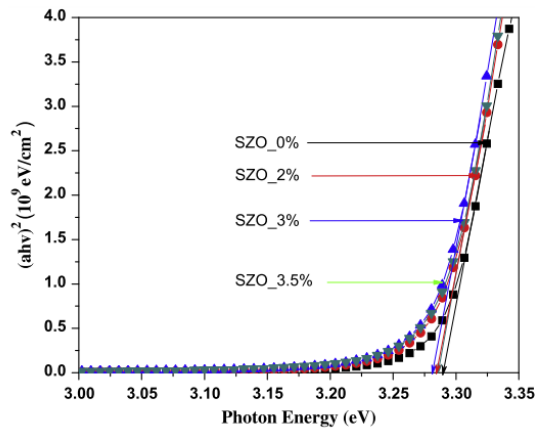


شکل ۱-۲۱: طیف عبور لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷].



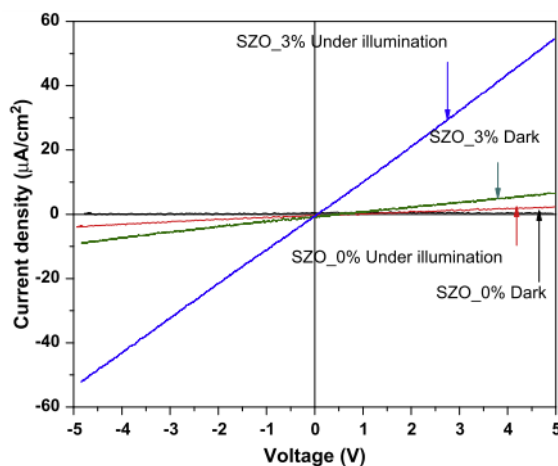
شکل ۱-۲۲: طیف بازتاب لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷].

شکل ۱-۲۳ تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب تابعی از $(h\nu)$ برای لایه های نازک ZnO:Sb را نشان می دهد. گاف نواری نمونه خالص ۳/۲۹ eV می باشد و تغییرات جزئی در انرژی گاف نواری به علت اختلاف در تناسب عنصری در اثر غلظت های مختلف آلیش نسبت داده شده است.



شکل ۱-۲۳: تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $(h\nu)$ برای لایه نازک ZnO:Sb در غلظت های مختلف آلیش [۱۷].

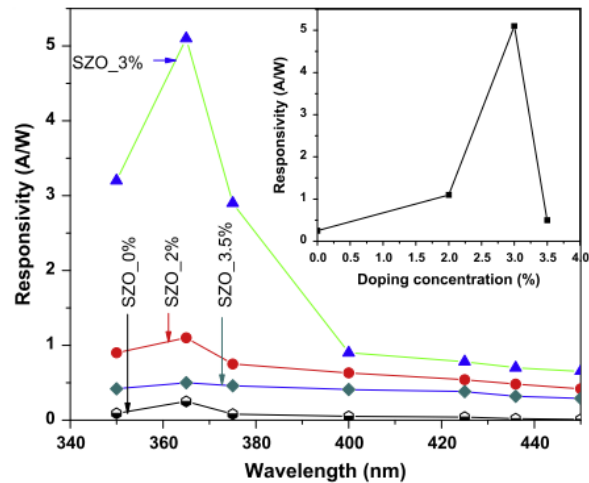
به منظور بررسی خواص فوتو رسانایی ZnO:Sb بر مبنای فوتو آشکار ساز MSM، نمودار تاریکی و نورتابی ($10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) فوتو آشکار ساز خالص و آرایش یافته با ۳ at% در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است. نور استفاده شده دارای طول موج ۳۶۵ nm می باشد. رابطه خطی (جریان-ولتاژ) نشان دهنده اتصالات اهمی نمونه ها است. جریان تاریکی برای نمونه خالص برابر $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ و برای نمونه آرایش یافته با ۳ at% برابر $6/5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ می باشد. جریان تاریکی پایین برای بالا بردن نسبت سیگنال به نویز S/N آشکار ساز مفید است. جریان نور تابی برای نمونه خالص برابر $2/4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ و برای نمونه آرایش یافته با ۳ at% برابر $55 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ در بایاس ۵V است. مشاهده می شود که فوتو جریان قطعه تحت نور ۳۶۵ nm به طور واضح بزرگتر از جریان تاریکی است. تحت نورتابی هر دو عامل جذب شیمیایی یون های اکسیژن و همچنین کاهش ارتفاع سد پتانسیل و افزایش چگالی حامل ها باعث افزایش رسانندگی می شوند.



شکل ۱-۲۴: مشخصه جریان-ولتاژ تحت تاریکی و نورتابی (توان $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ و طول موج ۳۶۵ nm) برای نمونه خالص و آرایش یافته با ۳ at% [۱۷].

شکل ۱-۲۵ پاسخ طیفی فوتو آشکار ساز ZnO:Sb با ساختار MSM را نشان می دهد. فوتو جریان نسبت به طول موج تا ۳۶۵ nm افزایش یافته و سپس در ناحیه مرئی به شدت افت می کند. به طور نسبی می توان چگالی فوتو جریان و همچنین پاسخ بیشتر را به افزایش حامل ها در شرایط روشنایی نسبت داد. فوتو آشکار ساز MSM پاسخ در حدود $0/5$ ، $5/1$ ، $1/1$ ، $25/0$ برای غلظت

های مختلف آلیش ۰, ۲, ۳, ۳/۵ at% در طول موج ۳۶۵ nm را نشان می دهد. فوتو جریان در ناحیه UV به علت انتقال های نوار به نوار می باشد.

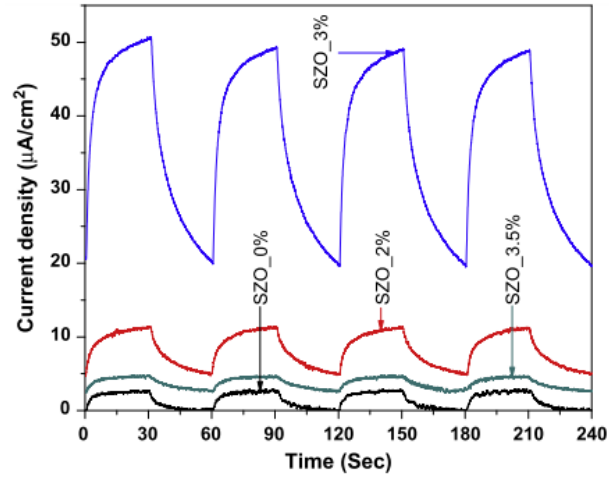


شکل ۱-۲۵: پاسخ طیفی فوتو آشکارساز MSM در بایاس ۵V تحت تابش نور UV با توان $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (غلظت های مختلف آلیش ZnO:Sb) [۱۷].

فوتو پاسخ قطعه ZnO:Sb تحت نور UV در بایاس ۵V برابر $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ با فاصله زمانی ۳۰ s در شکل ۱-۲۶ نشان داده شده است. تحت روشنایی به وسیله نور UV جریان به شدت افزایش می یابد و زمانی که منبع نور برداشته می شود جریان به صورت نمایی به مقدار اولیه اش کاهش می یابد. تعداد کمی از حفره های فوتو تولید کننده به آسانی در سطح لایه به دام می افتند. هنگامی که نور UV خاموش می شود ممکن است جریان تاریکی مربوط به رها شدن حفره های گیر افتاده مشاهده شود.

فوتو پاسخ قدری بزرگتر برای لایه نازک آلیش یافته با ۳ at% به علت بلورینگی و رسانندگی بیشتر لایه در این غلظت مشاهده می شود. زمان اوج (زمان پاسخ) عبارت است از بازه ی زمانی اندازه گیری شده برای افزایش پاسخ از ۱۰٪ به ۹۰٪ مقدار قله. زمان افت (زمان بازگشت) عبارت است از بازه ی زمانی اندازه گیری شده برای کاهش پاسخ از ۹۰٪ به ۱۰٪ مقدار قله. مقدار زمان اوج و زمان

افت برای فوتو آشکارساز ZnO:Sb آرایش یافته با ۳ at% به ترتیب ۱۱/۳۵ و ۱۷/۹ s در بایاس ۵V می باشد.



شکل ۱-۲۶: فوتو جریان بر حسب تابعی از زمان به وسیله ی خاموش و روشن کردن نور UV ($10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) در بایاس ۵V (غلظت های مختلف آرایش برای لایه های نازک ZnO:Sb) نشان می دهد [۱۷].

فصل دوم

معرفی برخی روش های مشخصه یابی نمونه ها

۲-۱: مقدمه

تولید لایه های نازک از حدود ۳۰۰ سال پیش آغاز شده است اما طی چند سال اخیر با پیشرفت فناوری نانو، شمار زیادی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. اهمیت لایه های نازک علاوه بر خواص پوششی آنها، شامل خواص الکتریکی، نوری و ... نیز می باشد که از دو ویژگی اساسی لایه های نازک که همان نازک بودن و بزرگی فوق العاده نسبت سطح به حجم است، حاصل می گردد و باعث پیشرفت در صنایع میکروالکترونیک، فروالکترونیک، اپتیک و ... گشته است.

به دنبال رشد نانو ساختارها لازم است لایه مورد نظر از لحاظ مورفولوژی سطح، مشخصه یابی های ساختاری، اپتیکی، الکتریکی و ... مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه به معرفی روش های مشخصه یابی های متداول در این خصوص می پردازیم.

۲-۲: مورفولوژی سطح (ریخت شناسی)

۲-۲-۱: میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM^۳)

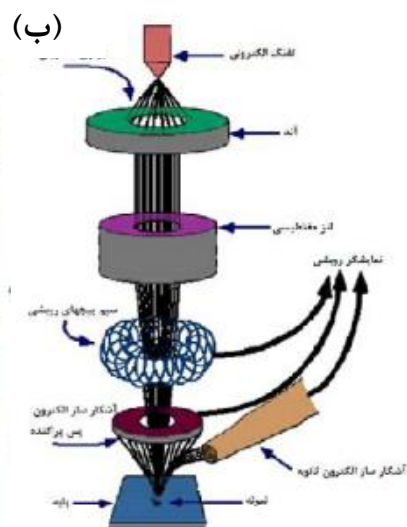
بر خلاف میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM^۴) که منبع باریکه آن الکترون های گسیلی (تفنگ الکترونی) بر اثر گسیل گرما یونی از فیلمان یا رشته تنگستنی حاصل می شود، در میکروسکوپ های الکترونی گسیل میدانی از اعمال یک میدان الکتریکی برای تولید پرتو الکترونی مبتنی بر پدیده تونل زنی استفاده می شود. شکل ۲-۱ نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM; Hitachi S-4160) به همراه طرح شماتیکی از آن را نشان داه است.

اعمال یک میدان الکتریکی قوی بر سطح فلز سبب کاهش ارتفاع و پهنای سد پتانسیل الکترونی شده و احتمال پدیده تونل زنی از سطح فلز افزایش یافته و شار بزرگی از الکترون ها ایجاد

^۳ - Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)

^۴ - Scanning Electron Microscopy (SEM)

می‌گردد. مقدار بار گسیل شده در این فرایند به بزرگی میدان الکتریکی اعمال شده بستگی دارد. معمولاً برای بدست آوردن بهره هر چه بیشتر برای تولید جریان الکترونی لازم است از فلزی با نوک بسیار تیز استفاده کرد و برای جلوگیری از اکسید شدن نوک فلز به خلا بسیار بالا نیاز است. الکترون‌های ایجاد شده را می‌توان به کمک میدانهای مغناطیسی (موسوم به لنز مغناطیسی) کانونی کرده و باریکه الکترونی و مناسب را تولید کرد. در اثر برخورد باریکه الکترونی با ماده علاوه بر الکترون‌های ثانویه الکترون‌های پس پراکنده شده (بازگشتی) نیز وجود دارند. پرتو الکترون‌های ثانویه که از نزدیکی سطح گسیل می‌شوند، حاوی اطلاعاتی از مشخصات سطحی یا توپوگرافی سطح نمونه هستند، در صورتی که پرتو الکترون‌های پس پراکنده شده حاوی اطلاعاتی در رابطه با ترکیب شیمیایی ماده می‌باشند [۱۸ و ۱۹].



شکل ۱-۲: (الف) نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) بکار گرفته شده در مورفولوژی سطح نمونه در دانشگاه تهران و (ب) تصویر شماتیک از اجزای داخلی مسیر عبور باریکه الکترونی تا سطح نمونه [۲۰].

در آماده سازی نمونه‌های نارسانا معمولاً سطح آنها با لایه نازکی از کربن، طلا و یا آلیاژ طلا پوشش داده می‌شوند. علت این امر آن است که لازم است بین نمونه و پایه دستگاه اتصال الکتریکی برقرار گردد. در نمونه‌های پودری لازم است پودر مورد نظر بر روی یک لایه نازک رسانا پخش شده و کاملاً

خشک شوند. نمونه‌ها باید عاری از مایعاتی با فشار بخار بالا نظیر آب، محلول‌های پاک کننده آلی و فیلم‌های روغنی باقیمانده باشند.

۳-۲: مشخصه‌یابی ساختاری

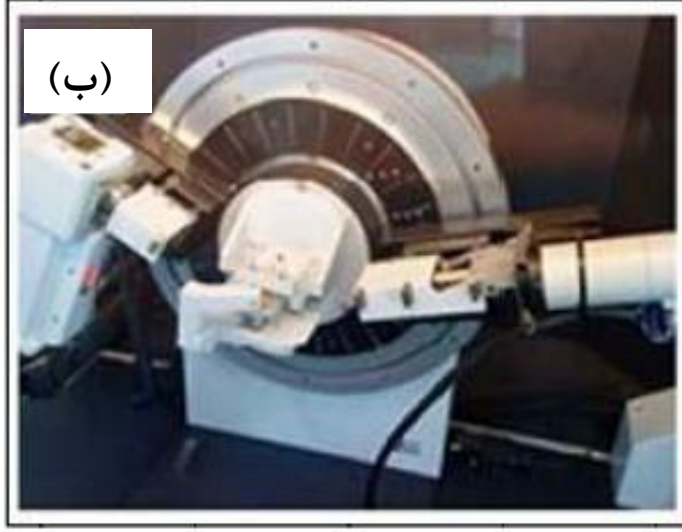
۲-۳-۱: پراش پرتو ایکس X

در صورتی الکترون‌های وابسته به اتم‌های یک بلور توسط پرتو ایکس از طریق نوسانات متناوب تحریک شوند، تعداد زیادی منابع نوری با فرکانس یکسان با پرتو فرودی، ایجاد میکند. موج‌های پراکنده شده با یکدیگر تداخل نموده و در صورتی که فاز بین دو پرتو متوالی مضرب درستی از 2π یا اختلاف راهشان مضرب درستی از طول موج باشد، بیشینه‌ی شدت حاصل می‌شود. بدین ترتیب نقاط تاریک و روشن به دست می‌آید. این نقاط روشن دارای شدت‌های مختلف می‌باشد که مقدار آن به عامل پراکندگی اتم‌ها یعنی به تعداد و توزیع الکترونی در اتم‌ها و به عامل ساختار که مربوط به پیکربندی یاخته اولیه است بستگی دارد [۲۱]. شکل ۲-۲ دستگاه پراش پرتو X از سطح یک بلور را نشان می‌دهد. نمونه‌ها در محل مورد نظر قرار گرفته و پرتوی تابش $CuK\alpha$ با طول موج 1.54 آنگستروم به سطح نمونه فرود می‌آید. از آنجا که نگهدارنده نمونه قابل چرخش است تابش فرودی می‌تواند با زوایای مختلف سطح را جاروب کند. به کمک الگوی پراش بدست آمده می‌توان پارامترهای مهمی از ساختارها نظیر نوع ساختار بلوری (با توجه به موقعیت قله‌ها و مقایسه آن با کارتهای استاندارد^۵ JCPDS) و راستای رشد ترجیحی را یافت. شکل ۳-۲ شرایط فرود پرتو ایکس و بازتاب آن از صفحات بلوری که منجر به فراهم شدن الگوی پراش می‌شود را نشان می‌دهد. به کمک این داده‌ها می‌توان ثابت‌های شبکه‌ای ماده مورد نظر، اندازه بلورک‌ها، میزان کرنش‌های موجود در لایه و چگالی دررفتگی‌ها را به شرح زیر محاسبه کرد.

⁵Joint Committee of Powder Diffraction Society

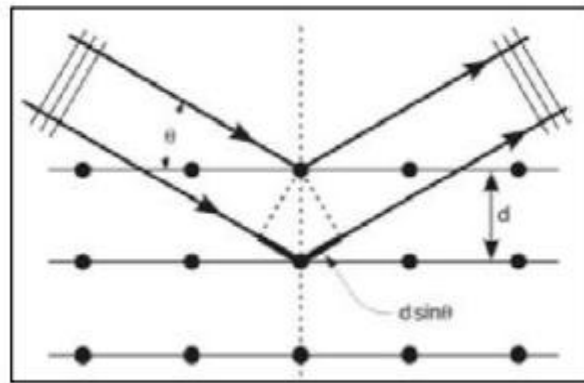


(الف)



(ب)

شکل ۲-۲: (الف) دور نمایی از دستگاه پراش پرتو X مدل Bruker-AAXS در دانشگاه دامغان (ب) محل قرار گرفتن نمونه.



شکل ۲-۳: تصویری شماتیک از نحوه ی فرود پرتو ایکس و بازتاب آن از صفحات بلوری در یک ماده.

(الف) به منظور تعیین ثابت‌های شبکه‌ای یک بلور لازم است ابتدا از فاصله بین صفحات بلوری (d) آن اطلاع داشته باشیم. برای این مقصود می‌توان از قانون براگ به صورت [۲۲]:

$$2d_{hkl} \sin(\theta_{hkl}) = n\lambda \quad (۱-۲)$$

استفاده کرد. در این رابطه d_{hkl} فاصله بین صفحات بلوری مجاور در راستای hkl (شکل ۲-۳)، θ زاویه پراش، n مرتبه پراش و λ طول موج پرتو ایکس X است. اختلاف راهی را که پرتوی X در اثر برخورد

به دو صفحه متوالی طی می‌کند برابر $2d_{hkl} \sin(\theta)$ می‌باشد [۲۲]. اکنون با معلوم شدن d و با استفاده از رابطه زیر که برای ساختارهای شش‌گوشی استفاده می‌شود [۲۳]:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (۲-۲)$$

می‌توان a و c ثابت‌های شبکه مورد نظر را یافت.

(ب) برای تعیین ابعاد بلورک‌ها در نمونه‌های بسببوری می‌توان از فرمول شرر [۲۴]:

$$D = (0.9\lambda) / (\beta \cos\theta) \quad (۳-۲)$$

استفاده کرد. در این فرمول λ طول موج پرتو X و β تمام پهنا در نیمه بیشینه (FWHM) قله پراش است.

(ج) از نتایج مربوط به آنالیز ساختاری نمونه‌ها، می‌توان میزان کرنش‌های (ε) موجود در لایه را محاسبه کرد. کمیت کرنش (ε) که از بزرگی تمام پهنا در نیمه بیشینه قله‌های متعلق به طیف XRD نمونه‌ها بدست می‌آید با رابطه‌ی (۴-۲) بیان می‌شود [۲۵].

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos\theta}{4} \quad (۴-۲)$$

(د) علاوه بر کمیت‌های فوق می‌توان چگالی دررفتگی‌ها (δ) که به عنوان طول خطوط در رفتگی بر واحد حجم بلور تعریف می‌شود از رابطه‌ی (۵-۲) بدست می‌آید که در آن D ، ابعاد بلورک‌ها در نمونه است [۲۶].

⁶-Full Width of Half Maximum (FWHM)

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (5-2)$$

۴-۲: مشخصه یابی اپتیکی

الف) طیف‌های عبور، بازتاب و جذب اپتیکی

به کمک طیف عبور اپتیکی لایه‌های نازک در روابط فیزیکی وابسته می‌توان به برخی از خصوصیات ماده از جمله ضریب جذب، گاف نواری، ضریب شکست و ... پی برد. این کار غالباً توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام می‌گیرد که نمونه‌ای از آن در شکل ۴-۲ برای طیف سنجی در گستره ۳۰۰-۱۱۰۰ nm نشان داده شده است. این دستگاه شامل یک مسیر برای قرارگیری نمونه لایه نشانی شده (مرجع) و مسیر دیگر برای قرارگیری برای نمونه شاهد (زیرلایه به تنهایی) است. پس از پردازش داده‌ها دستگاه کمیت‌هایی شامل ضریب عبور، بازتاب و جذب نمونه مورد آزمایش را به بدست می‌دهد.



شکل ۴-۲: الف) دستگاه اسپکتروفوتومتر (Shimadzu UV-1800) در دانشگاه شاهرود (ب) جایگاه‌های قرار گیری نمونه‌های شاهد مرجع.

ب) گاف نواری

هرگاه انرژی فوتون فرودی ($h\nu$) برابر یا بزرگتر از انرژی گاف نواری (E_g) ماده نیمرسانا باشد، الکترون‌ها از نوار ظرفیت به حالت‌های خالی در نوار رسانش برانگیخته شده و این انرژی جذب می‌شود. اما اگر انرژی فوتون‌ها کوچکتر از E_g باشد از ماده عبور می‌کند. فرآیند جذب در نیمرساناها

به نوع گاف نواری (مستقیم یا غیرمستقیم) ماده بستگی دارد. برای ساختار نواری سهمی، رابطه ضریب جذب (α) با گاف نواری ماده طبق فرمول (۶-۲) بیان می‌شود. که در آن A مقداری ثابت و در صورتی که گاف نواری لایه مورد نظر مستقیم باشد، $m=0.5$ و در صورت غیر مستقیم بودن $m=2$ خواهد بود. از این معادله می‌توان با رسم منحنی $(\alpha hv)^m$ برحسب hv و محاسبه شیب نمودار در انرژی‌های بالا با محور افقی ($\alpha hv=0$)، مقدار گاف نواری را برای هر نمونه به دست آورد [۲۸].

$$(\alpha hv) = A (hv - E_g)^m \quad (۶-۲)$$

۲-۵: مشخصه یابی الکتریکی

۲-۵-۱: مقاومت الکتریکی

یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت سطحی روش تعیین مشخصه جریان (I) - ولتاژ (V) لایه است. به منظور انجام این آزمایش نخست بایستی یک قسمت مربعی شکل از لایه را ماسک گذاری کرده و توسط یک ماده رسانا الکتروود گذاری نمود. پس از برداشتن ماسک، می‌توان با استفاده از یک منبع جریان متغییر DC مقدار افت پتانسیل بین دو الکتروود را اندازه‌گیری نمود. شیب مشخصه I-V نشانگر مقدار R_s مقاومت سطحی است.

$$R_s = \rho L/A = \rho a/adx = \rho/dx \quad (۷-۲)$$

که در این رابطه ρ مقاومت ویژه، dx ضخامت نمونه و a طول ضلع نمونه می‌باشد.

برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی نمونه‌ها از دستگاه اندازه‌گیری مشخصه جریان-ولتاژ که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، استفاده شد. برای استفاده از این دستگاه ابتدا دستگاه را در حالت CV قرار می‌دهیم، سپس بازه ولتاژ و همچنین دوره تناوب را تنظیم می‌کنیم. نمونه‌ی الکتروودگذاری

شده در ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ را به دو سر الکترودهای دستگاه وصل می‌کنیم. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، تغییرات جریان بر حسب ولتاژ را به ما می‌دهد. در صورت دریافت داده‌های بدست آمده با رفتار خطی (اتصال اهمی) می‌توان به کمک قانون اهم مقدار مقاومت سطحی نمونه را بدست آورد.



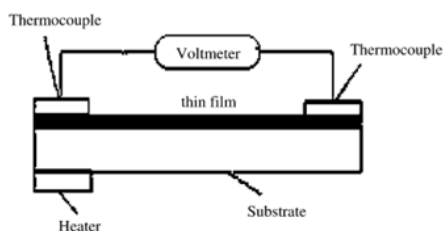
شکل ۲-۵: دستگاه اندازه‌گیری مشخصه جریان-ولتاژ در دانشگاه شاهرود

۲-۵-۲: اثر سبیک^۷

توان ترموالکتریکی مطلق Q با استفاده از میدان الکتریکی که گرادیان دما در مدار باز ایجاد می‌کند، تعریف می‌شود.

$$E = QVT \quad (۲-۸)$$

در این رابطه Q به ضریب سبیک موسوم است. اندازه‌گیری علامت ولتاژ در دو سر یک نمونه نیمرسانا، که یک انتهایش گرم شده، راه تقریبی و آسانی است که بگوییم نمونه از نوع n و یا p است. شکل ۲-۶ طرح شماتیکی برای بررسی خواص ترموالکتریکی لایه‌ها را نشان می‌دهد [۳۰].



شکل ۲-۶: تصویر شماتیک آزمایش بررسی اثر سبیک.

⁷ Seebeck Effect

فصل سوم

معرفی جزییات کارهای آزمایشگاهی و تهیه

لایه‌های نازک ZnO و ترکیبات آلایشی آن

۳-۱: مقدمه

۳-۱-۱: مراحل شکل گیری لایه

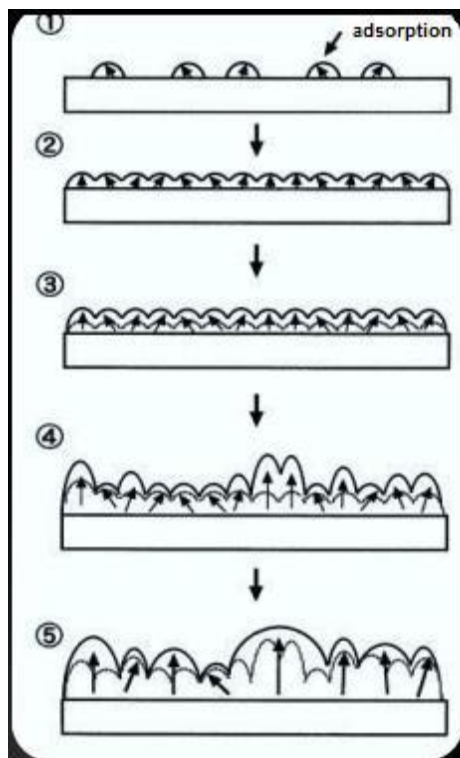
در فرآیند لایه نشانی هنگامی که ذره ای به سمت زیرلایه حرکت می کند، بسته به سرعت آن، و همچنین ساختار سطح زیرلایه فرآیند شکل گیری لایه نازک تحقق می یابد. برای تشکیل لایه، ماده اولیه سه مرحله اساسی را طی می کند: در مرحله اول ماده اولیه به ذره های اتمی، مولکولی یا یونی تبدیل می شوند، در مرحله دوم، فاصله بین منبع تا زیرلایه را طی کرده و در مرحله آخر چگالش ذرات بر روی زیرلایه و تشکیل یک لایه جامد صورت می گیرد. هنگامی که ذره به سطح زیرلایه برخورد کرد، چند حالت پیش می آید:

الف) ممکن است به دلیل سرعت عمودی زیاد دوباره از سطح جدا شده، به عبارت دیگر واجذب گردد.

ب) ذره ممکن است پس از برخورد به سطح، مولفه عمود بر سطح خود را از دست دهد و بر روی زیرلایه جذب سطحی فیزیکی یا جذب سطحی شیمیایی شود. نام این نوع جذب ها بر اساس نوع پیوندهای ایجاد شده بین ذره و اتم های سطح معمولاً در حالت جذب فیزیکی از نوع واندروالس و در حالت جذب شیمیایی از نوع پیوندهای یونی و قطبی می باشند. پس از جذب سطحی ذره شروع به حرکت بر سطح می کند، این حرکت را مهاجرت یا پخش سطحی می نامند. هنگامی که این ذره ها در حال حرکت اند به یکدیگر برخورد کرده و خوشه های اتمی را تشکیل می دهند.

ج) با برخورد بیشتر ذره ها، خوشه ها بزرگتر می شوند تا در یک پایداری ترمودینامیکی که اندازه ی خوشه از یک مقدار آستانه گذشت، هسته ها تشکیل می شوند. در مرحله هسته سازی خوشه سازی کاهش می یابد و عمدتاً ذره ها به هسته ها می پیوندند و باعث بزرگتر شدن آن ها می شوند. با بزرگتر شدن هسته ها و به هم پیوستن آن ها، جزایر تشکیل می شوند.

د) پس از آنکه جزایر به اندازه کافی بزرگ شدند مرحله ی به هم پیوستگی رخ می دهد که در آن جزایر به هم متصل می شوند. در این حالت، سطح قسمتی از زیرلایه که پوشیده نشده است، کاهش می یابد و فضاهای کوچکی بین جزایر به هم پیوسته ایجاد می شود که حفره و کانال نامیده می شوند. این نوع لایه را لایه ی شبکه ای متخلخل می نامند که در ادامه با پر شدن این حفره و کانال ها، یک لایه پیوسته و یکنواخت حاصل می شود. شکل ۱-۳ مراحل مختلف تشکیل لایه را نشان می دهد [۲۹ و ۳۰].



شکل ۱-۳: مراحل شکل گیری لایه نازک و ایجاد تخلخل های سطحی.

۲-۳: روش های ساخت لایه های نازک

ساخت لایه های نازک یا همان لایه نشانی را می توان قابلیت کنترل اتم ها از منبع تا سطح زیرلایه تعریف کرد. امروزه روش های گوناگونی برای لایه نشانی مورد استفاده قرار می گیرند که هر کدام از این روش ها با مزایا و معایبی همراه هستند. با استفاده از روش هایی مانند لایه نشانی بخار

شیمیایی فلزآلی (MOCVD^۸) روآراستی پرتوی مولکولی (MBE^۹) می توان لایه هایی با کیفیت بسیار بالا تولید کرد. ایراد وارد بر این روش ها پیچیدگی دستگاهی و نیز پرهزینه بودن لایه های حاصل از آن است. روش های دیگر مانند روش آبی گرمایی^{۱۰}، اسپاترینگ، لایه نشانی بخار فیزیکی (PVD^{۱۱})، لایه نشانی با لیزر پالسی (PLD^{۱۲})، سل-ژل^{۱۳}، الکتروانباشت^{۱۴}، اسپری پایرولیز^{۱۵}، تبخیر حرارتی و ... روش هایی ساده و اقتصادی در سطح وسیع هستند. از ایرادهای وارد بر این روش ها عدم امکان کنترل رقیق بر پارامترهای لایه نشانی است. به طور کلی روش های به کار گرفته شده در لایه نشانی لایه های نازک را بر اساس طبیعت فرایند لایه نشانی می توان به دو گروه روش های لایه نشانی فیزیکی و شیمیایی تقسیم بندی کرد [۳۱ و ۳۲].

در ادامه با توجه به علاقه مندی ما در این پایان نامه به تهیه لایه های نازک نیمرسانای ZnO به روش اسپری پایرولیز، به ذکر جزئیات این روش می پردازیم.

۳-۳: تهیه نانو ساختارها به روش اسپری پایرولیز

در این روش برای تهیه نانو ساختارها از محلول آماده مورد نظر حل شده در یک حلال واسط (معمولا آب) استفاده می شود.

در این روش ابتدا ماده ای که قرار است لایه نشانی شود به صورت محلول تهیه شده و تحت فشار یک گاز حامل بر روی سطح زیرلایه اسپری می شود. محلول اسپری به گونه ای انتخاب می شود که پس از انجام یک واکنش شیمیایی گرماگیر بتواند ماده مورد نظر را روی سطح زیر لایه بنشاند.

⁸Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)

⁹Molecular Beam Epitaxy (MBE)

¹⁰Hydrothermal

¹¹Physical Vapor Deposition (PVD)

¹²Pulse Laser Deposition (PLD)

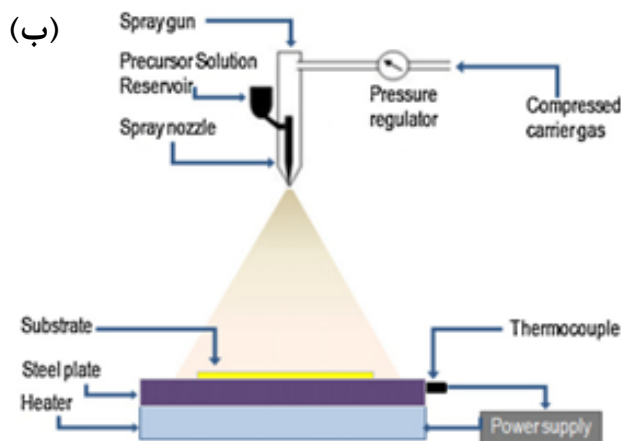
¹³Sol-gel

¹⁴Electro deposition

¹⁵Spray pyrolysis

۳-۴: دستگاه اسپری پایرولیز

شکل ۳-۱ دستگاه اسپری پایرولیز و قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. با این دستگاه امکان کنترل دمای زیرلایه فشار گاز حامل فاصله زیرلایه از نازل، آهنگ افشاندن محلول بر روی زیرلایه، سرعت چرخش زیر لایه وجود دارد.



شکل ۳-۲: (الف) دستگاه اسپری پایرولیز استفاده شده در این تحقیق S. C. S. 86 در Spary Coating System. دانشگاه شاهرود و (ب) طرح شماتیک از دستگاه اسپری [۲۸].

این دستگاه شامل سیستم‌های کنترل کننده دما، صفحه داغ قابل چرخش و نازل با حرکت روبشی بر روی سطح زیرلایه می‌باشد. محلول اسپری توسط کمپرسور هوای خشک تعبیه شده در این سیستم به ازای فشار تنظیم شده از استوانه بالایی نازل خارج و به صورت پودر بر روی سطح زیرلایه اسپری می‌شود. با تغییر میزان جریان الکتریکی عبوری از المنت‌های تعبیه شده در قسمت زیرین دستگاه می‌تواند دمای سطح صفحه داغ را تنظیم کرد. به علت دمای بالای زیرلایه عمل تجزیه حرارتی پس از اسپری محلول بر اثر دما رخ داده و لایه مورد نظر بر روی زیر لایه رسوب می‌کند.

۳-۵: آماده سازی زیر لایه

پیش از انجام اسپری لازم است سطح زیر لایه از انواع آلودگی های سطحی پاک شود فرایند تمیز سازی شامل چند مرحله به شرح زیر است: (۱) شستشوی زیر لایه ها با آب مقطر، (۲) قرار دادن زیر لایه در محلول آب مقطر و مایع ظرفشویی و جوشاندن به مدت ۱۰ دقیقه، (۳) قرار دادن زیر لایه در حمام آب مقطر و جوشاندن به مدت ۱۰ دقیقه. (۴) آلتراسونیک در محلول استون، اتانول و آب مقطر به مدت ۱۶ دقیقه. (۵) خشک کردن لایه ها با جریان هوای گرم.

۳-۶: تهیه محلول

برای تهیه لایه های نانو ساختار اکسید روی خالص از محلول اولیه استات روی دو آب (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O) با جرم مولی M = ۲۱۹/۴۹ gr/mol و آب مقطر دوبار یونیزه، استفاده شد.. شیوه محاسبه وزن ماده به ازای مثلا ۵۰ ml محلول بصورت زیر می باشد:

$$0.05(1) \times 0.1 \text{ (mol/l)} \times 219/94 \text{ (gr/mol)} = 1/457 \text{ (gr)}$$

برای تهیه لایه های نازک ZnO:N از محلول ان-ان دی متیل فرماید (HCON(CH₃)₂) به عنوان منبع نیتروژن استفاده کردیم، این ناخالصی در نسبت های ۵، ۱۰، ۱۵ درصد اتمی اضافه شده است. (مثلا نمونه ۱۰ درصد اتمی) به صورت زیر عمل می کنیم:

$$N/Zn=10/100 \longrightarrow N=(10/100) \times Zn$$

جرم Zn با یک تناسب ساده از قسمت قبل (با داشتن جرم استات روی) محاسبه می شود. حال با داشتن جرم نیتروژن و اطلاع از اینکه در هر میلی لیتر از محلول ان-ان دی متیل فرماید

(HCON(CH₃)₂) ۰/۹۴ گرم نیتروژن وجود دارد. می توان با یک تناسب مقدار میلی لیتر محلول ان-
ان دی متیل فرماید به دست آورد.

قبل از شروع عمل اسپری باید فاصله افشانه تا صفحه داغ و آهنگ شارش محلول را تنظیم و
دهانه نازل را توسط الکل تمیز کرد. با مقدار کمی اسپری کردن الکل می توان گرفتگی دهانه افشانه را
به علت رسوب محلول در اثر حرارت بر طرف کرد.

۳-۷: پارامترهای لایه نشانی

لایه نشانی به روش اسپری پائرولیز می تواند تحت تاثیر پارامترهای گوناگون باشد ما در این
تحقیق برای لایه نشانی پارامترهای مختلف را به شرح زیر تنظیم کرده ایم:

(۱) سرعت دوران صفحه داغ : ۱۰ دور بر دقیقه

(۲) فاصله نازل تا زیرلایه : ۳۰ cm

(۳) آهنگ اسپری : ۵، ۳/۵، ۲/۵ mil/min

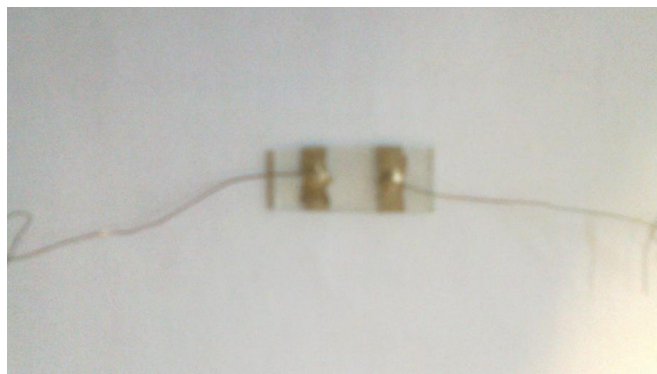
(۴) دمای زیرلایه: ۴۵۰ °C

(۵) فشار گاز حامل : ۱ bar

۳-۸: الکتروود گذاری

یکی از متغیرهای مهم در پاسخ حسگری حسگرهای هدایت سنجی الکترودهای میکروساختار
است. لایه های نازک ساخته شده از اکسید روی المان حسگری نوری مورد استفاده در این پروژه

هستند. انجام عملیات حسگری به اندازه‌گیری تغییرات جریان لایه‌های نازک نیاز است. شکل ۳-۳ نمونه الکتروگذارى شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳: طرح هندسی یک نمونه حسگری نوری تهیه شده در آزمایشگاه.

فصل چهارم

نتایج مشخصه یابی آشکار سازهای فتو

رسانای ساخته شده بر پایه ی نانو ساختارهای

اکسید روی

۴-۱: مقدمه

در این فصل مورفولوژی (ریخت شناسی)، خواص ساختاری، اپتیکی، الکتریکی در حالت تاریکی و نورتابی برای نانو ساختارهای اکسید روی (ZnO) تهیه شده به روش اسپری پایرولیز را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. در بخش ۲-۴ به مطالعه خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار ZnO و مطالعه فوتو رسانایی آن تحت نور UV و همچنین ضمن بررسی خواص فیزیکی ZnO:N و فوتو رسانایی آنها می‌پردازیم. در بخش ۳-۴ بررسی تاثیر میزان آلاینش نیتروژن بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار ZnO:N و نورتابی آن‌ها برای لامپ UV مطالعه شده است. سر انجام در بخش ۴-۴ مطالعه خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک اکسید روی آلاینده با ناخالصی نیتروژن (ZnO:N) رشد یافته بر روی شیشه و لایه واسط ZnO و مطالعه نورتابی آن‌ها به توسط لامپ UV.

۴-۲: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو

ساختار ZnO خالص

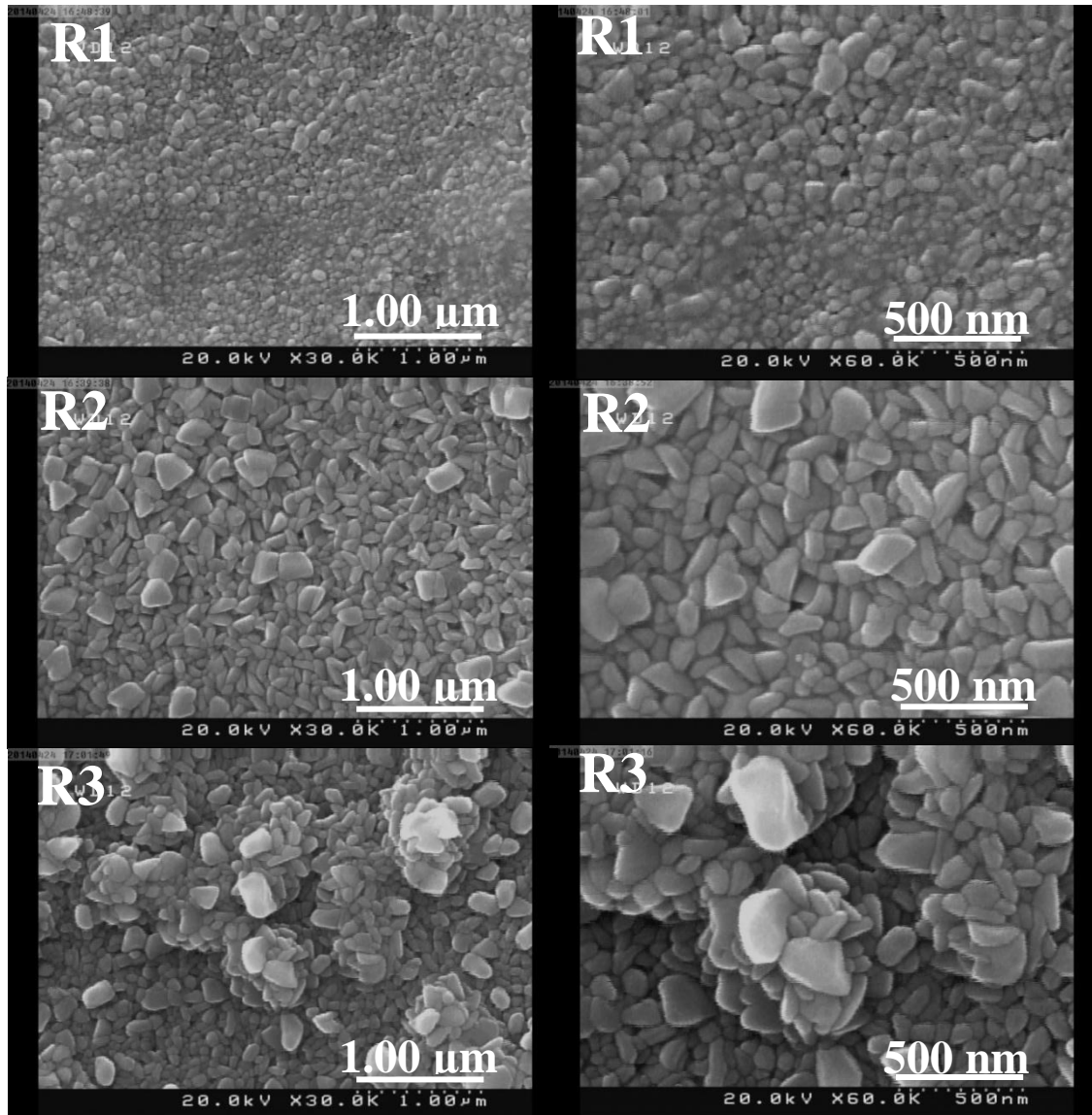
۴-۲-۱: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها

در این بخش به مطالعه نمونه‌های اکسید روی (ZnO) که با استفاده از محلول استات روی دو آبه با به ازای دمای زیرلایه (شیشه) برابر 450°C با آهنگ اسپری $2/5$ و $3/5$ و 5 ml/min (به ترتیب نمونه‌های R1، R2 و R3) می‌پردازیم.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

شکل ۱-۴ تصاویر FESEM نمونه‌ها را در دو مقیاس $1 \mu\text{m}$ و 500 nm نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود نمونه R1 و R2 با دانه‌هایی با ابعاد حدود $150 - 70 \text{ nm}$ پوشیده شده است. در این

بین نمونه R₃ به صورت دانه ای و ورقه ای با ابعاد نسبتاً بزرگتر از دو نمونه قبلی که در برخی موارد به حدود ۲۵۰ nm می رسد پوشیده شده است.

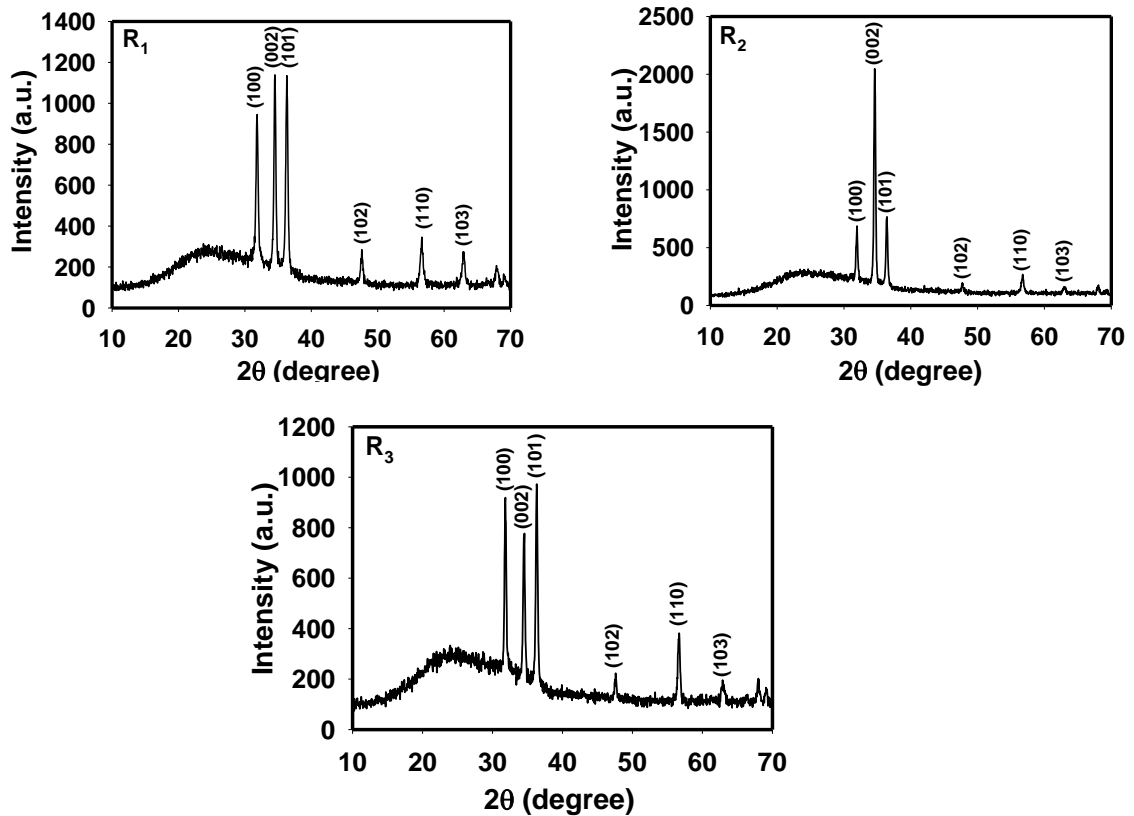


شکل ۴-۱: تصاویر FESEM لایه های نازک ZnO تهیه شده با آهنگ های لایه نشانی مختلف: ۲/۵، ۳/۵ و ۵ ml/min.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه ها

شکل ۴-۲ طیف های XRD نمونه های رشد یافته را نشان می دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که هر سه نمونه دارای ساختار شش گوشه بسلوری است. از مقایسه این طیف ها ملاحظه می شود که نمونه R₂ عمدتاً با جهت رشد ترجیحی (۰۰۲) به موازات محور C بوده و نمونه های R₁ و

R₃ در مقایسه با نمونه R₂ علاوه بر قله (۰۰۲) دارای قله‌هایی با شدت‌های قابل مقایسه با آن در جهت‌های (۱۰۰)، (۱۰۱) و (۱۱۰) هستند.



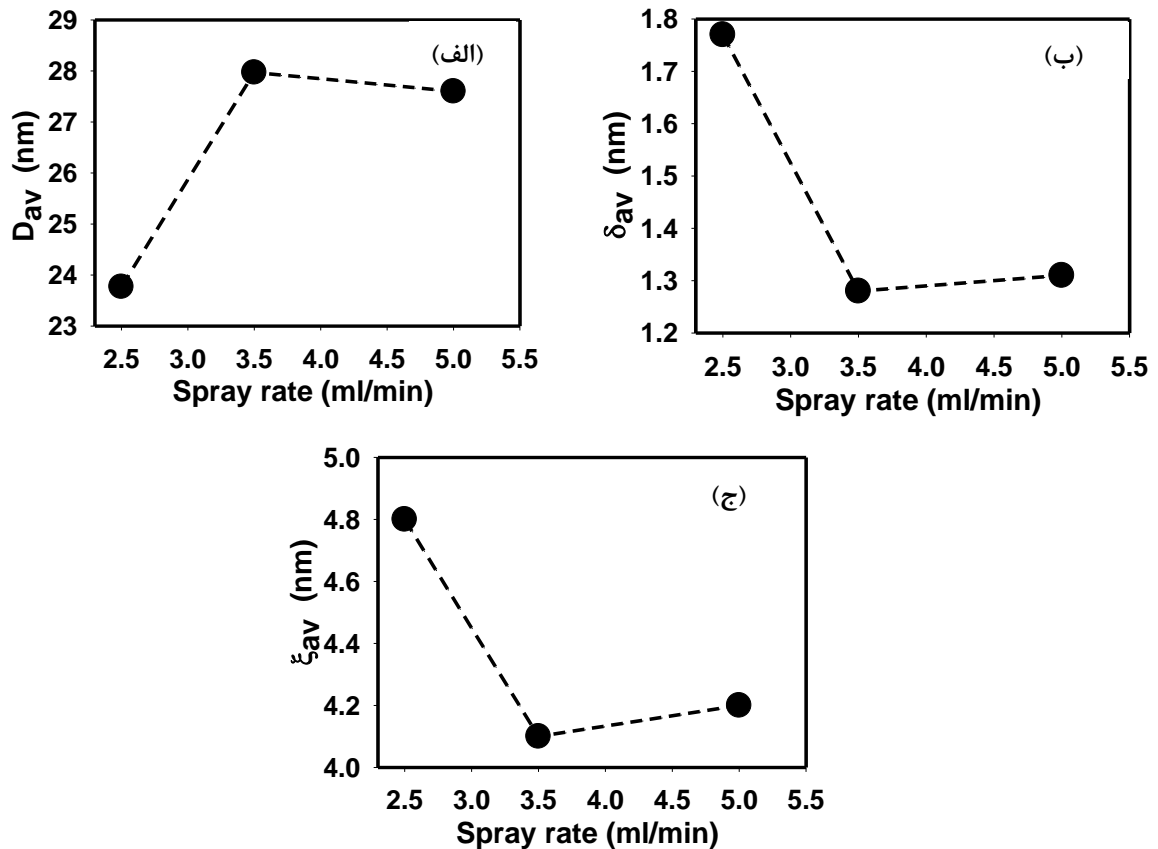
شکل ۴-۲: طیف‌های XRD لایه‌های نازک ZnO با آهنگ‌های لایه‌نشانی مختلف.

با استفاده از رابطه شرر (معادله ۲-۳) می‌توان اندازه بلورک‌ها را محاسبه کرد. علاوه بر این کمیت می‌توان پارامترهای دیگر نظیر کرنش (ϵ) ایجاد شده و نیز چگالی در رفتگی‌ها (δ) به عنوان طول خطوط در رفتگی‌ها بر واحد حجم بلور را به کمک روابط ۲-۴ و ۲-۵ تعیین کرد. تمامی نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۴-۱ ارائه گردیده است. شکل ۴-۳ نحوه‌ی تغییرات میانگین این کمیت‌ها را در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی.

نمونه	(hkl)	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)
R1	(۱۰۰)	۲۲/۵۸	۱/۹۶	۵/۴	a=b=۳/۱۴۶۶ c=۵/۰۷۲۸	۲۳/۷۷	۱/۷۷	۴/۸
	(۰۰۲)	۲۵/۹۷	۱/۴۸	۴/۴				
	(۱۰۱)	۲۲/۴۹	۱/۹۸	۴/۸				
R2	(۰۰۲)	۲۷/۹۷	۱/۲۸	۴/۱	a=b=۳/۱۹۳۹ c=۵/۱۰۳۵	۲۷/۹۷	۱/۲۸	۴/۱
R3	(۱۰۰)	۲۸/۳۴	۱/۲۴	۴/۴	a=b=۳/۱۴۶۶ c=۵/۰۸۳۹	۲۷/۶	۱/۳۱	۴/۲
	(۰۰۲)	۲۷/۴۴	۱/۳۳	۴/۲				
	(۱۰۱)	۲۷/۰۷	۱/۳۶	۴/۰۴				

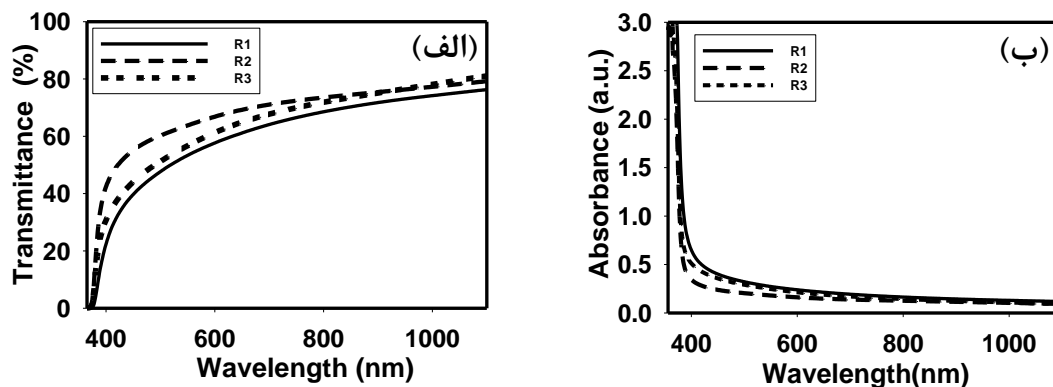
ملاحظه می شود نمونه R₁ دارای بالاترین تراکم در رفتگی و کرنش در مقابل کوچکترین ابعاد بلورکی و نمونه R₂ از کمترین مقدار ناراستی بلوری ولی از بزرگترین ابعاد بلورکی برخوردار هستند. این تغییرات ساختاری می تواند بر دیگر خواص فیزیکی لایه ها از جمله خاصیت فوتو رسانایی لایه ها که در ادامه بدان پرداخته ایم تاثیرگذار باشد.



شکل ۳-۴: تغییرات میانگین (الف) ابعاد بلورک (ب) چگالی دررفتگی (ج) کرنش بر حسب آهنگ لایه نشانی.

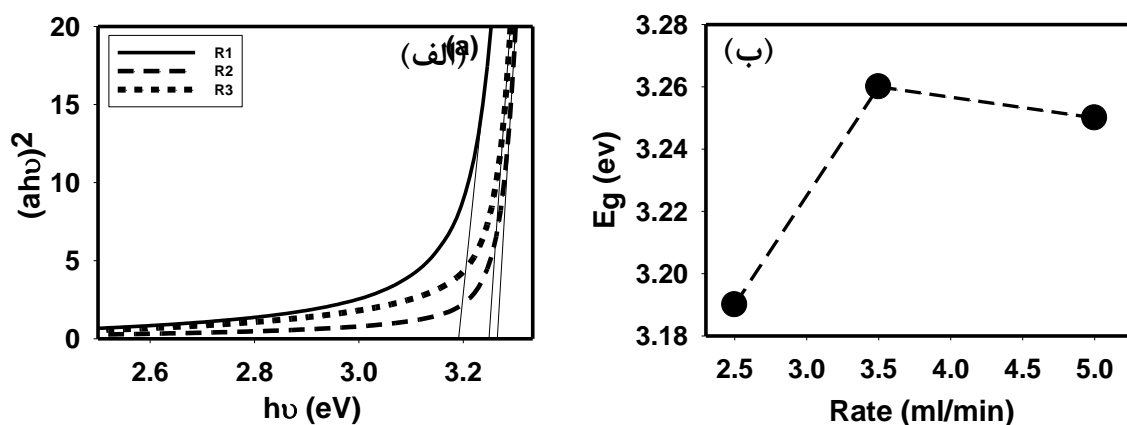
ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها

شکل ۴-۴ طیف های عبوری و جذبی لایه ها را بر حسب تابعی از طول موج در بازه ۳۵۰ nm-۱۱۰۰ نشان می دهد. رفتار کلی در این داده ها در طیف های عبور نوری لایه ها به ترتیبی نامنظم قرار گرفته اند به طوری که $T_{R_2} > T_{R_3} > T_{R_1}$. این تغییرات به ظاهر نامنظم بخوبی با تغییرات ابعاد بلورک ها در این نمونه ها (جدول ۱) که به صورت $\bar{D}_{R_2} > \bar{D}_{R_3} > \bar{D}_{R_1}$ است سازگار می باشد. در این مورد انتظار می رود هر چه ابعاد بلورک ها کوچکتر باشد میزان پراکندگی فوتون ها در عبور از مرز دانه ها افزایش یافته و در نتیجه از عبور اپتیکی لایه کاسته شود.



شکل ۴-۴: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه های تهیه شده با آهنگ رشد مختلف.

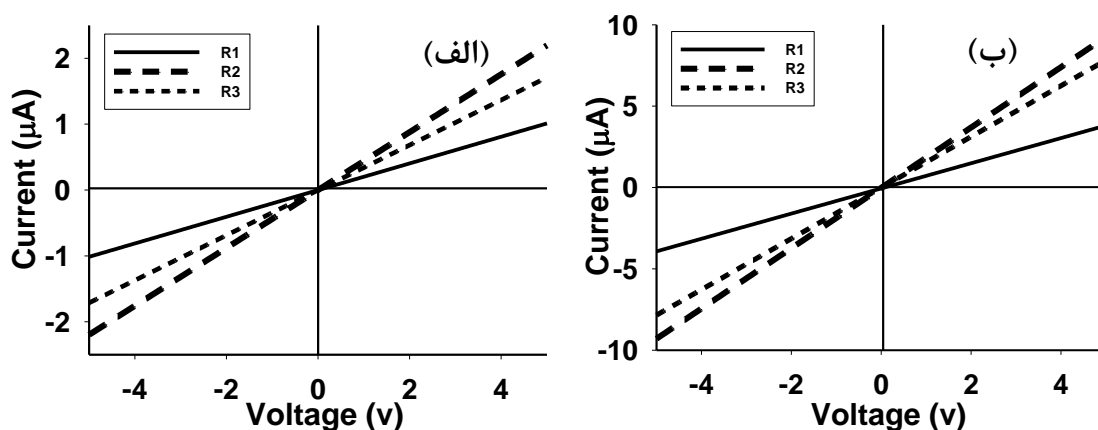
با داشتن طیف جذب لایه ها (α) می توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک معادله ۲-۷ تعیین نمود. شکل ۴-۵ (الف) جزئیات عملیات انجام شده و شکل ۴-۵ (ب) تغییرات E_g را در این نمونه ها نشان می دهد. این نتایج حاکی از آن است که نمونه R_1 دارای کمترین مقدار گاف نواری (3.19 eV) و نمونه R_2 از بیشترین مقدار (3.26 eV) برخوردار می باشد. با توجه به تغییرات وابسته به میزان نارستی های بلوری در این نمونه ها کرنش ها و تراکم دررفتگی های بلوری، عمدتاً ناشی از تهی جاهای اکسیژن در شبکه بلوری ZnO گاف نواری متاثر از شکل گیری دنباله نواری در این مواد در نزدیکی لبه های نواری تغییر پیدا می کند. با توجه به نظریه های وابسته در این مورد [۳۱] انتظار می رود هر چه دنباله نواری از پهنای بیشتری برخوردار باشد پهنای گاف نواری اپتیکی لایه کوچکتر باشد.



شکل ۴-۵: (الف) تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ ، و (ب) تغییرات گاف نواری بر حسب آهنگ اسپری.

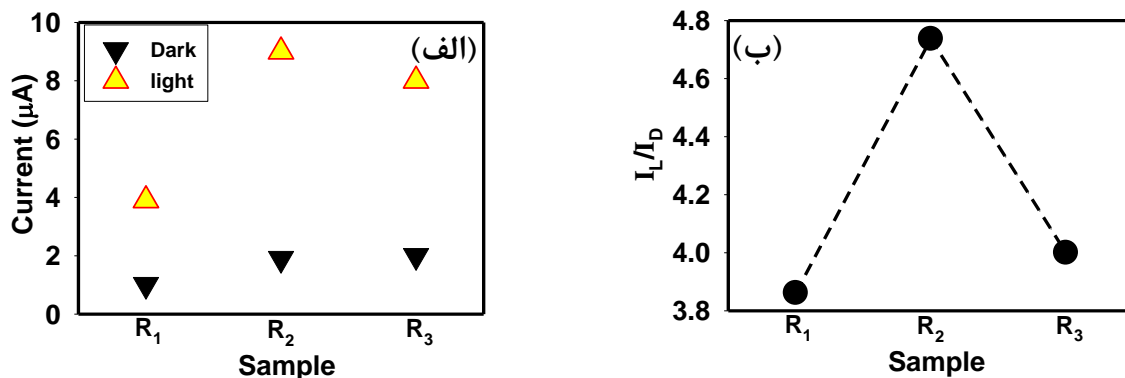
د) مطالعه خواص الکتریکی و فتو رسانی لایه‌ها

شکل ۴-۶ نتایج اندازه گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه‌ها را در شرایط تاریکی (الف) و روشنایی (ب) در یک سامانه دو الکترودی در یک نمونه مربعی شکل با ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ در بازه -5 تا 5 V تحت تابش نور دیود نورگسیل UV به مدت یک دقیقه با طول موج 373 nm و شدت اپتیکی $\mu\text{W/cm}^2$ $85/3$ نشان می‌دهد.



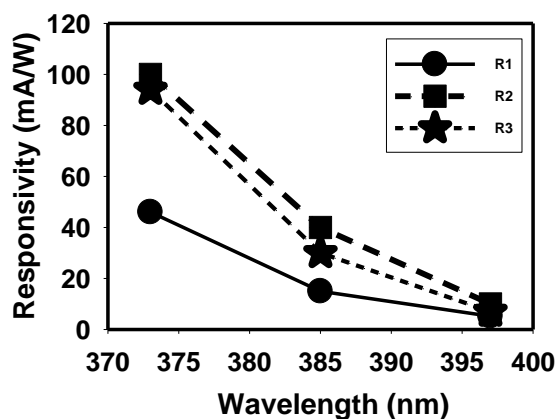
شکل ۴-۶: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه‌های مورد بررسی در شرایط تاریکی (الف) و تحت تابش نور UV.

رفتار این داده‌ها موید اهمی بودن اتصالات در تاریکی و روشنایی است. در شرایط تاریکی، اکسیژن با گرفتن یک الکترون آزاد از لایه در حضور هوا جذب شده و یک ناحیه تهی نزدیک سطح و مرز دانه‌ها به جا می‌گذارد به همین دلیل رسانندگی تاریکی نمونه‌ها بسیار کوچک است. تحت روشنایی نور UV زوج الکترون و حفره‌هایی تولید شده و حفره‌های تولید شده توسط یون‌های اکسیژن باردار منفی به دام افتاده و الکترون‌های اضافی در نوار رسانش به جا می‌گذارند. این پدیده می‌تواند به کاهش ارتفاع سد پتانسیل در مرز دانه‌ها انجامیده و سبب افزایش تحرک حامل‌ها و در نتیجه رسانندگی آنها گردد [۱۳]. شکل ۴-۷ (الف) نشانگر موقعیت جریان‌های الکتریکی در نمونه‌ها در بایاس مستقیم 5 ولت در شرایط تاریکی و نورتایی بوده و شکل ۴-۷ (ب) نسبت جریان تاریکی به جریان نورتایی در این نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: (الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتایی در این نمونه ها.

شکل ۴-۸ پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO را نشان می دهد. با کاهش طول موج به علت افزایش ضریب جذب در نمونه ها (شکل ۴-۴) شاهد افزایش در پاسخ طیفی می باشیم. طبق شکل بالاترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه R₂ مقدار ۱۰۰ mA/W و کمترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه R₁ با مقدار ۴۶ mA/W می باشد. بهره فوتو رسانایی (G) با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۴-۱) برای نمونه های R₁ و R₂ به ترتیب ۳۳۲ و ۱۵۳ به دست می آید.



شکل ۴-۸: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۵ V.

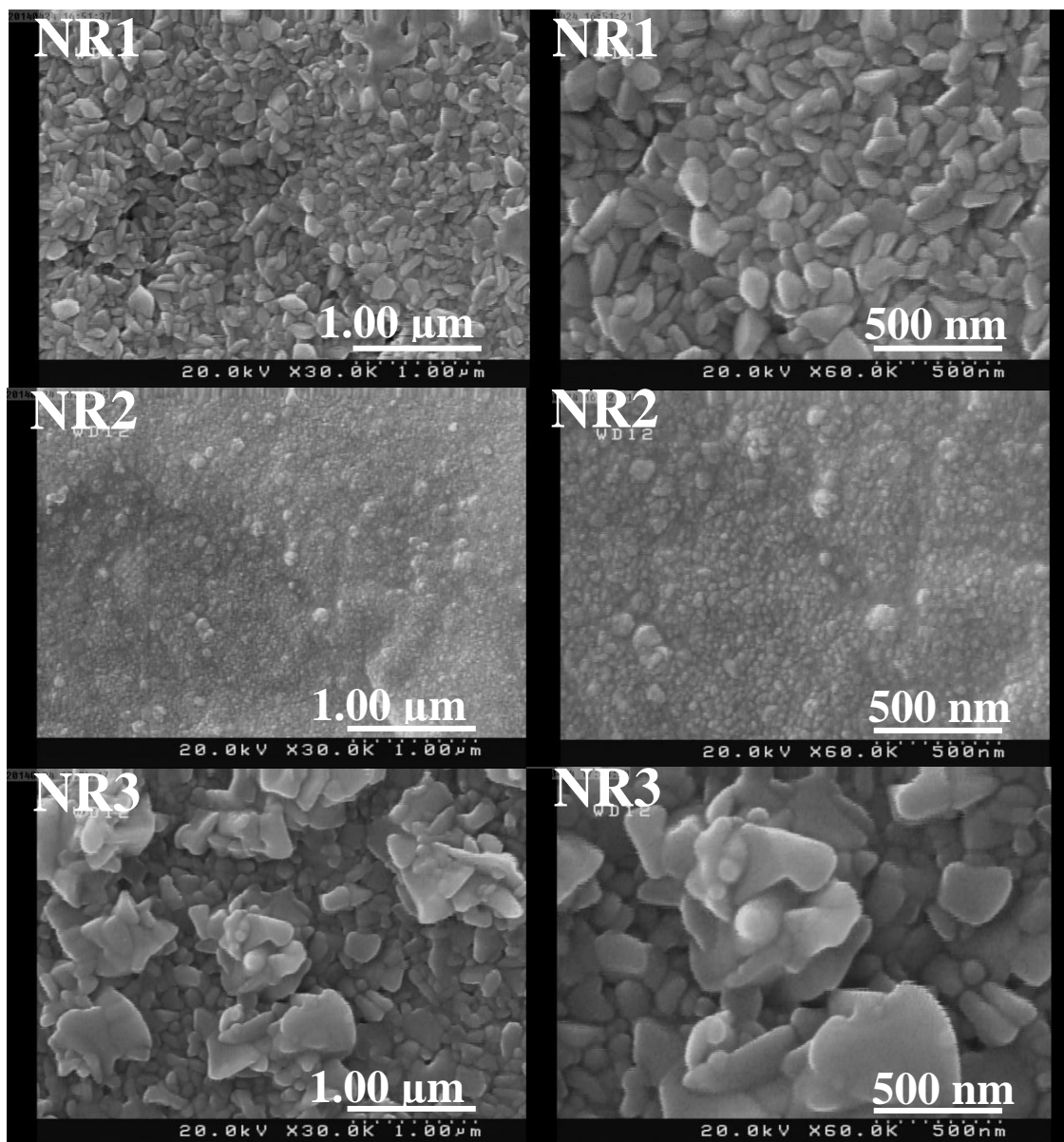
۳-۴: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار اکسید روی آرایش شده با نیتروژن (ZnO:N)

۱-۳-۴: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها

در این بخش به مطالعه نمونه‌های اکسید روی آرایش یافته با ۱۰ درصد اتمی (N/Zn= ۱۰ at%) نیتروژن که با آهنگ‌های اسپری متفاوت ۲/۵ و ۳/۵ و ۵ ml/min و دمای ۴۵۰°C به ترتیب به صورت NR₁، NR₂ و NR₃ نامگذاری شده‌اند.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

شکل ۴-۹ تصاویر FESEM نمونه‌ها را در دو مقیاس ۱ μm و ۵۰۰ nm نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود نمونه NR₁ با دانه‌هایی با ابعاد حدود ۱۰۰-۷۰ nm پوشیده شده و در نمونه NR₂ شامل دانه‌هایی ریز در حدود ۴۰ nm می‌باشد. در این بین نمونه NR₃ به صورت دانه‌ای و ورقه‌ای با ابعاد نسبتاً بزرگ که در برخی موارد به حدود ۲۰۰ nm می‌رسد پوشیده شده است.

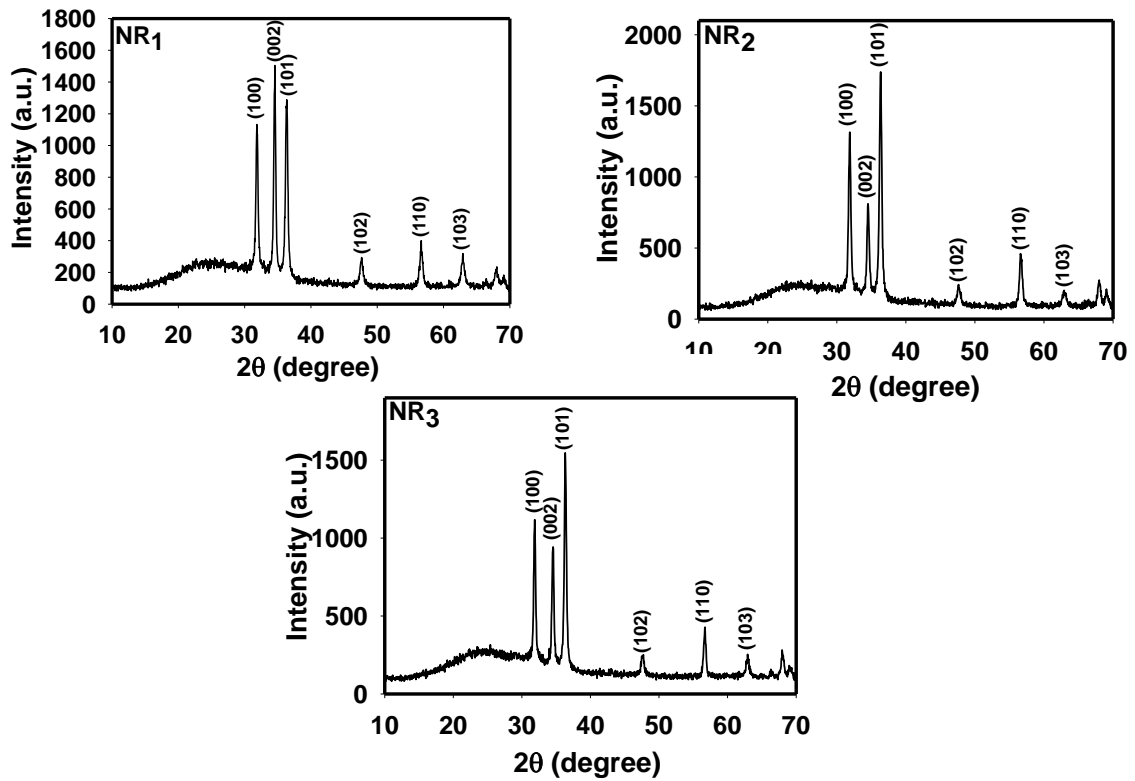


شکل ۴-۹: تصاویر FESEM لایه های نازک ZnO:N تهیه شده با آهنگ های لایه نشانی مختلف: ۲/۵، ۳/۵ و ۵/۵ ml/min.

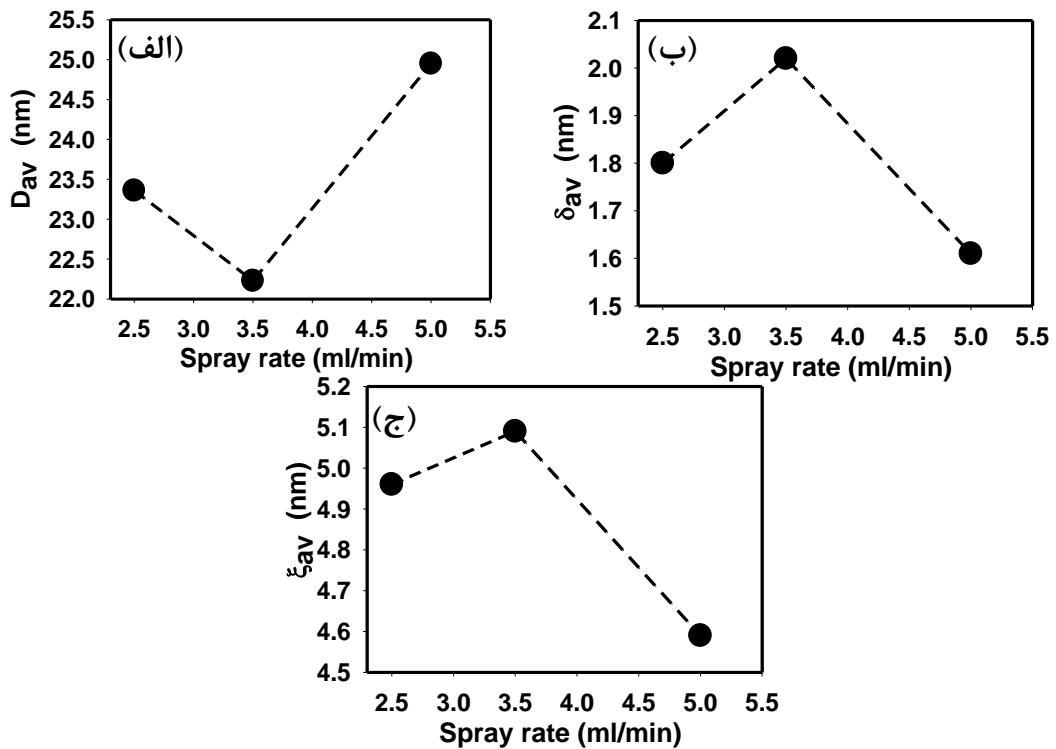
ب) مطالعه خواص ساختاری لایه ها

شکل ۴-۱۰ طیف XRD نمونه های رشد یافته را نشان می دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که هر سه نمونه دارای ساختار شش گوشه بی بلوری است. از مقایسه این طیف ها ملاحظه می شود که هر سه نمونه دارای سه راستای رشد قابل مقایسه (۱۰۱)، (۰۰۲) و (۱۰۰) می باشند،

بطوریکه در نمونه NR₁ راستای (۰۰۲) از بیشترین شدت برخوردار بوده و با افزایش آهنگ اسپری عمدتاً به راستای (۱۰۱) تغییر یافته است.



شکل ۴-۱۰: طیف های XRD لایه های نازک ZnO با آهنگ های لایه نشانی مختلف.



شکل ۴-۱۱: تغییرات میانگین (الف) ابعاد بلورک (ب) چگالی دررفتگی (ج) کرنش بر حسب آهنگ لایه نشانی.

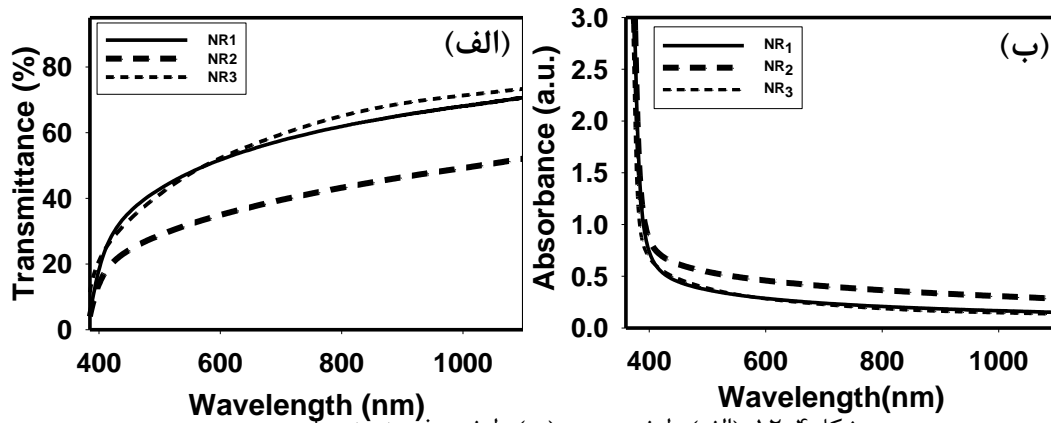
جدول ۴-۲: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی

نمونه	(hkl)	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)
NR ₁	(۱۰۰)	۲۲/۹۲	۱/۹	۵/۴	a=b=۳/۱۳۲۲ c=۵/۰۹۵۱	۲۳/۳۶	۱/۸۳	۴/۹۶
	(۰۰۲)	۲۵/۰۷	۱/۶	۴/۶				
	(۱۰۱)	۲۱/۷۷	۲/۱	۵				
NR ₂	(۱۰۰)	۲۲/۵۹	۲/۰	۵/۴	a=b=۳/۱۶۵۳ c=۵/۰۸۹۵	۲۲/۲۳	۲/۰۲	۵/۰۹
	(۰۰۲)	۲۲/۸۰	۱/۹	۵/۰				
	(۱۰۱)	۲۱/۷۰	۲/۱	۴/۹				
NR ₃	(۱۰۰)	۲۵/۸۰	۱/۵	۴/۸	a=b=۳/۱۵۷۸ c=۵/۰۷۲۸	۲۴/۹۵	۱/۶۱	۴/۵۹
	(۰۰۲)	۲۵/۵۱	۱/۵	۴/۵				
	(۱۰۱)	۲۳/۹۹	۱/۷	۴/۵				

با استفاده از رابطه شرر (معادله ۲-۳) می توان اندازه بلورکها را محاسبه کرد. علاوه بر این کمیت می توان پارامترهای دیگر نظیر کرنش (ϵ) ایجاد شده در یک لایه و نیز چگالی در رفتگی ها (δ) را به کمک روابط ۲-۴ و ۵-۲ تعیین کرد. تمامی نتایج حاصل از این محاسبات نیز در جدول ۴-۲ ارائه گردیده است. ملاحظه می شود نمونه NR₃ دارای بزرگترین مقدار میانگین ابعاد بلورکی ۲۴/۹۵ nm و نمونه NR₂ از کوچکترین ابعاد ۲۲/۲۳ nm برخوردار می باشد.

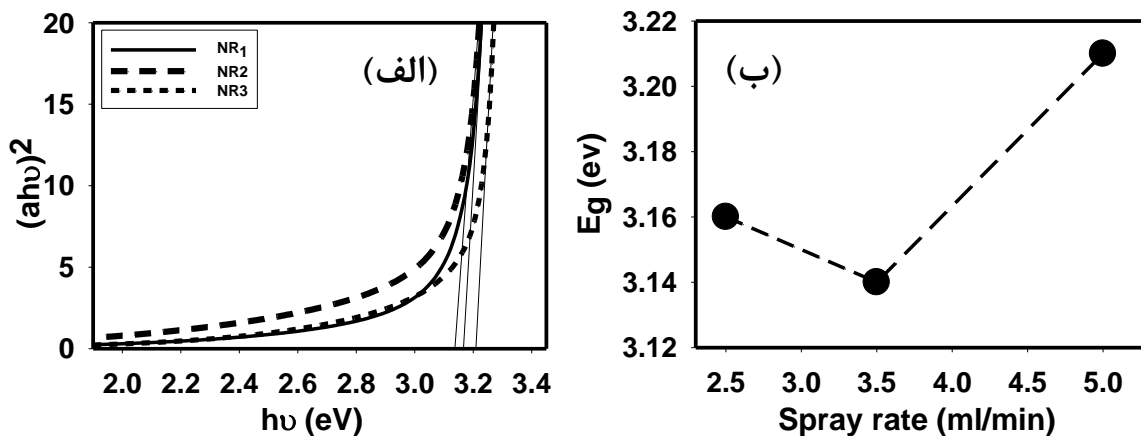
ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها

شکل ۴-۱۲ طیف‌های عبوری و جذبی لایه‌ها را بر حسب تابعی از طول موج در بازه ۳۵۰ nm-۱۱۰۰ نشان می‌دهد. رفتار کلی در این داده‌ها در طیف‌های عبور نوری لایه‌ها به ترتیبی نامنظم قرار گرفته‌اند به طوری که $T_{NR_3} > T_{NR_1} > T_{NR_2}$. این تغییرات به ظاهر نامنظم بخوبی با تغییرات ابعاد بلورک‌ها در این نمونه‌ها (جدول ۴-۲) که به صورت $\bar{D}_{NR_3} > \bar{D}_{NR_1} > \bar{D}_{NR_2}$ است سازگار می‌باشد. در این مورد انتظار می‌رود هر چه ابعاد بلورک‌ها کوچکتر باشد میزان پراکندگی فوتون‌ها در عبور از مرز دانه‌ها افزایش یافته و در نتیجه از عبور اپتیکی لایه کاسته شود [۳۳].



شکل ۴-۱۲: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه‌ها.

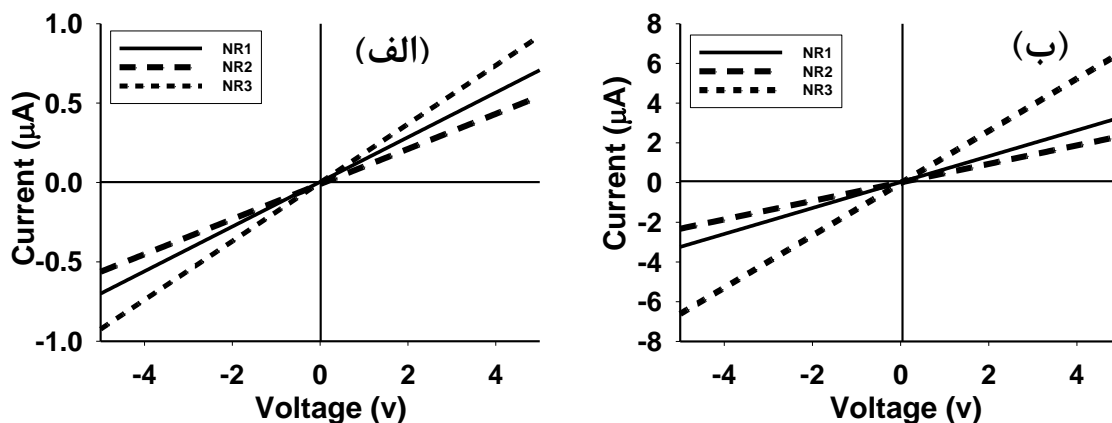
با داشتن طیف جذب لایه‌ها (α) می‌توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک (معادله ۲-۷) تعیین نمود. شکل ۴-۱۳ (الف) جزئیات عملیات انجام شده و شکل ۴-۱۳ (ب) تغییرات E_g را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که نمونه NR2 دارای کمترین مقدار گاف نواری (۳/۱۴ eV) و نمونه NR3 از بیشترین مقدار (۳/۲۲ eV) برخوردار می‌باشد. با توجه به تغییرات وابسته به میزان نارستی‌های بلوری در این نمونه‌ها (کرنش‌ها و تراکم دررفتگی‌ها که در جدول ۴-۲ گزارش شده است که عمدتاً ناشی از تهی‌جا‌های اکسیژن در شبکه بلوری ZnO می‌باشد) این تغییرات در بزرگی گاف نواری می‌تواند متأثر از شکل‌گیری دنباله نواری در این مواد در نزدیکی لبه‌های نواری باشد [۳۳].



شکل ۴-۱۳: (الف) تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و (ب) تغییرات گاف نواری بر حسب آهنگ اسپری در نمونه های ZnO:N (۱۰ at/%)

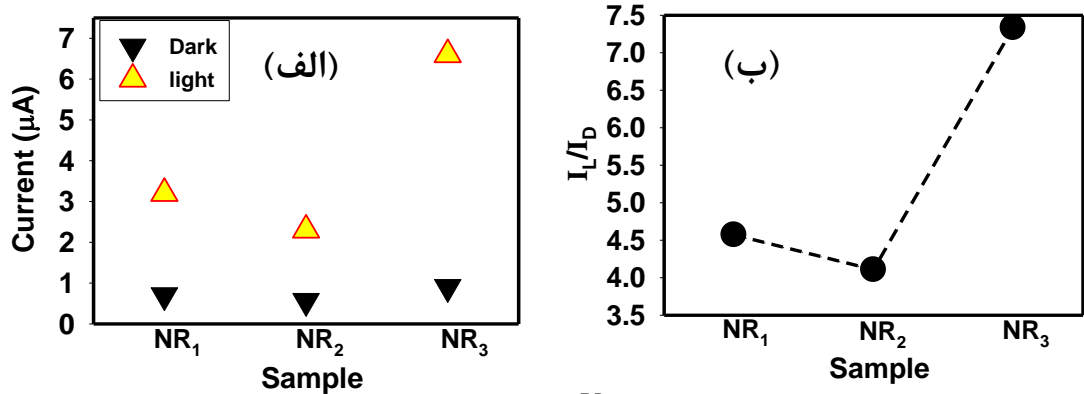
د) مطالعه خواص الکتریکی و فتورسانایی لایه‌ها

شکل ۴-۱۴ نتایج اندازه‌گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه‌ها را در شرایط تاریکی (الف) و روشنایی (ب) در یک سامانه دو الکترودی در یک نمونه مربعی شکل با ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ در بازه -5 V تا $+5 \text{ V}$ تحت تابش نور دیود نورگسیل UV به مدت یک دقیقه با طول موج 373 nm و شدت اپتیکی $85/3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ نشان می‌دهد.



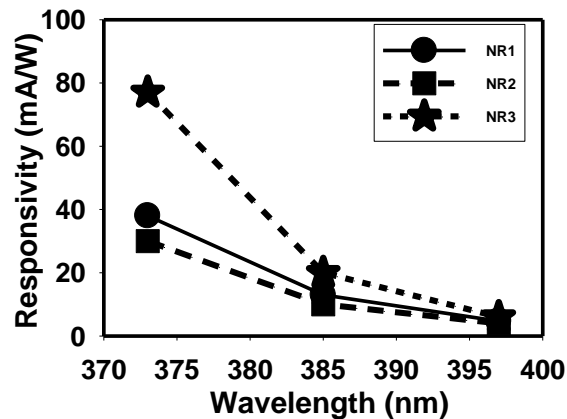
شکل ۴-۱۴: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه‌های مورد بررسی در شرایط (الف) تاریکی و (ب) تحت تابش نور UV.

شکل ۴-۱۵ (الف) نشانگر موقعیت جریان‌های الکتریکی در نمونه‌ها در بایاس مستقیم ۵ ولت در شرایط تاریکی و نورتابی بوده و شکل ۴-۱۵ (ب) نسبت جریان تاریکی به جریان نورتابی در این نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۵: (الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتز شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتایی در این نمونه ها.

شکل ۴-۱۶ پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO را نشان می دهد. با کاهش طول موج به علت افزایش ضریب جذب در نمونه ها (شکل ۴-۱۲) شاهد افزایش در پاسخ طیفی می باشیم. طبق شکل بالاترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه NR₃ تحت نورتایی با طول موج nm ۳۷۳ و شدت اپتیکی $85/3 \mu W/cm^2$ ، با مقدار $77 mA/W$ و کمترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه NR₂ با مقدار $30 mA/W$ می باشد. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتو رسانایی برای نمونه های NR₃ و NR₂ به ترتیب ۲۵۶ و ۱۰۰ به دست می آید.



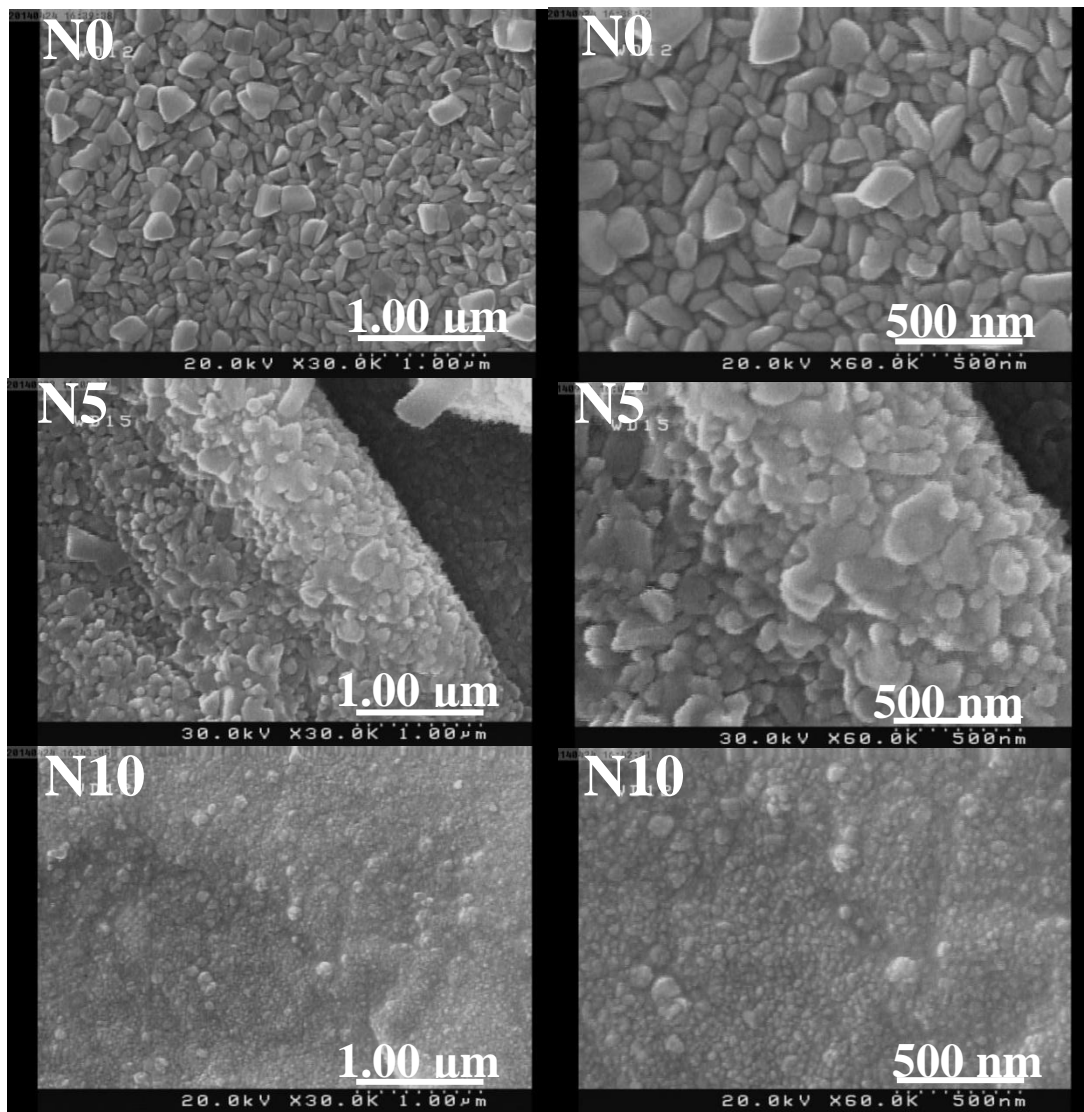
شکل ۴-۱۶: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۵ V.

۴-۴: بررسی تاثیر میزان آرایش نیتروژن بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانو ساختار ZnO:N و مطالعه نورتابی آن‌ها برای لامپ UV

۴-۴-۱: بررسی خواص فیزیکی لایه‌ها

در این بخش به مطالعه نمونه‌های اکسید روی آرایش یافته با صفر، ۵ و ۱۰ درصد اتمی (at%) نیتروژن می‌پردازیم. نمونه‌ها را با آهنگ اسپری ۳/۵ ml/min با دمای ۴۵۰°C روی زیرلایه شیشه تهیه شده‌اند، به ترتیب نمونه‌های N0، N5 و N10.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

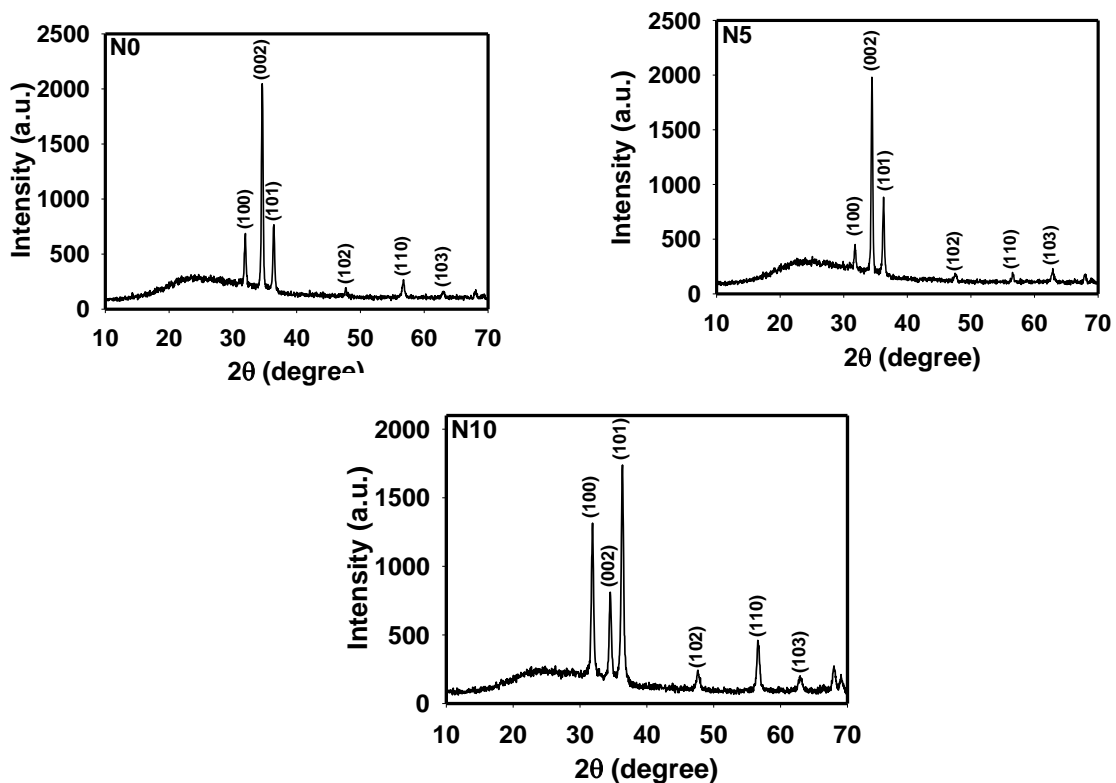


شکل ۴-۱۷: تصاویر FESEM لایه‌های نازک ZnO:N تهیه شده با آرایش‌های صفر، ۵ و ۱۰ درصد اتمی.

شکل ۴-۱۷ تصاویر FESEM مربوط به نمونه های رشد داده شده را نشان می دهد. با توجه به تصاویر مشاهده می شود نمونه های N0 و N5 دارای مورفولوژی سطحی نسبتا مشابه بوده و با دانه هایی با ابعاد حدود ۱۵۰-۵۰ nm پوشیده شده اند لکن نمونه N10 شامل دانه هایی به هم پیوسته و ریز با ابعادی در حدود ۴۰ nm است.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه ها

شکل ۴-۱۸ طیف XRD نمونه های رشد یافته را نشان می دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در نمونه های N0 و N5 با ساختار ششگوشی بسپلوری و جهتگیری ترجیحی (۰۰۲) بوده لیکن نمونه N10 در راستاهای (۱۰۱)، (۰۰۲) و (۱۰۰) رشد پیدا کرده بطوریکه جهتگیری (۱۰۱) از شدت بیشتری برخوردار می باشد.

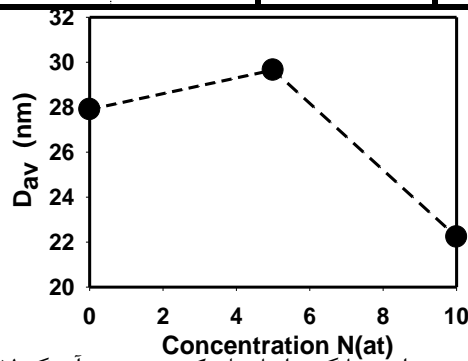


شکل ۴-۱۸: طیف XRD لایه های نازک ZnO با آهنگ های لایه نشانی مختلف.

نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۳-۴ ارائه گردیده است. شکل ۴-۱۹ نحوه ی تغییرات میانگین ابعاد بلورک ها را در نمونه های مورد بررسی نشان می دهد. این نتایج حاکی از آن است که در نمونه N10 اندازه میانگین بلورک ها به کمترین مقدار (۲۲ nm) و میزان ناراستی های بلورین به بیشترین مقدار رسیده است لکن نمونه N5 از بزرگترین ابعاد بلورکی (۳۰ nm) در مقایسه با دیگر نمونه ها برخوردار شده است.

جدول ۳-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه ها با میزان آلابش نیتروژن متفاوت.

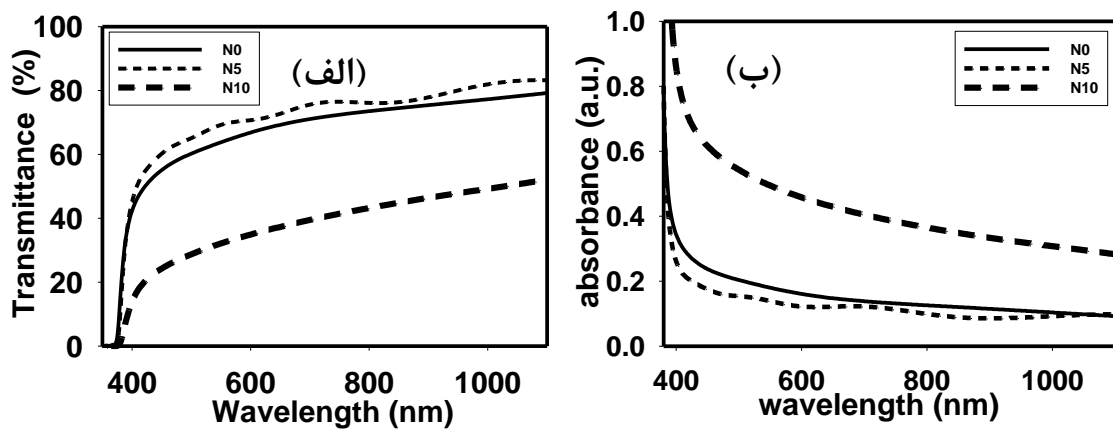
نمونه	(hkl)	D(nm)	$\delta(\times 10^{-3})$ (nm ⁻²)	$\epsilon(\times 10^{-3})$	ثابت شبکه (Å)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	$\delta(\times 10^{-3})$ (nm ⁻²)	$\epsilon(\times 10^{-3})$
N0	(۰۰۲)	۲۷/۹۷	۱/۳	۴/۰۶	a=b=۳/۱۹۳۹ c=۵/۱۰۳۵	۲۷/۹۷	۱/۳	۴/۱
N5	(۰۰۲)	۲۹/۶۵	۱/۱	۳/۹	a=b=۳/۲۱۲۲ c=۵/۱۱۷۶	۲۹/۶۵	۱/۱	۳/۹
N10	(۱۰۰)	۲۲/۵۹	۲/۰	۵/۴	a=b=۳/۱۳۲۲ c=۵/۰۸۹۵	۲۲/۲۳	۲/۰	۵/۱
	(۰۰۲)	۲۲/۸۰	۱/۹	۵				
	(۱۰۱)	۲۱/۷۰	۲/۱	۴/۹				



شکل ۴-۱۹: تغییرات میانگین ابعاد بلورک بر حسب آهنگ لایه نشانی.

ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها

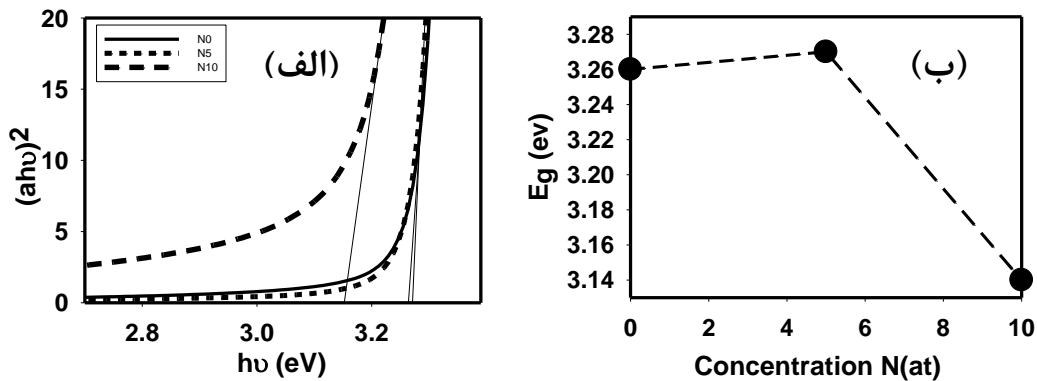
شکل ۴-۲۰ طیف عبور و بازتاب لایه‌ها را بر حسب تابعی از طول موج تابشی در بازه ۳۰۰-۴۰۰ nm نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۲۰ (الف) ملاحظه می‌شود که میزان عبور در نمونه N5 بالاتر از نمونه N0 و N10 می‌باشد. این تغییرات با توجه به افزایش ابعاد بلورک‌ها در این نمونه N5 (جدول ۴-۳) و کاهش پراکندگی فوتون‌ها از مرز دانه‌ها امری قابل انتظار است. با توجه به طیف جذبی نمونه‌ها، شکل ۴-۲۰ (ب)، ملاحظه می‌شود که نمونه N5 از لبه جذب بسیار تیزی در ناحیه فرابنفش ($\lambda < 400$ nm) برخوردار است که نشان از کمبود ناراستی‌های بلوری در این نمونه در مقایسه با دیگر نمونه‌هاست.



شکل ۴-۲۰: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه‌ها.

با داشتن طیف جذب لایه‌ها (α) می‌توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک (معادله ۲-۷) تعیین نمود. شکل ۴-۲۱ (الف) جزئیات عملیات انجام شده و شکل ۴-۲۱ (ب) تغییرات E_g را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که نمونه N5 از بیشترین گاف اپتیکی (۳/۲۷ eV) و نمونه N10 از کوچکترین مقدار (۳/۱۴ eV) برخوردار است. علت این تغییرات می‌تواند ناشی از حضور دنباله نواری وابسته به ناراستی‌های ذاتی در اکسید روی خالص (عمدتاً تهیج‌های اکسیژن) به عنوان مراکز شبه-بخشنده و نیز تراز‌های ناخالصی نیتروژن باشد [۳۳]. این موضوع با میزان تراکم ناراستی‌ها حاصل از مشخصه‌یابی پرتو ایکس در جدول ۴-۳ بخوبی سازگار

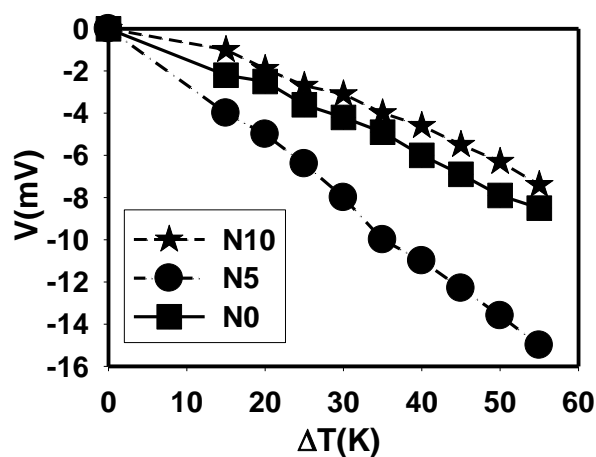
می باشد. با توجه به نظریه های وابسته در این مورد انتظار می رود هر چه دنباله نواری از پهنای بیشتری برخوردار باشد گاف نواری اپتیکی لایه کوچکتر باشد.



شکل ۴-۲۱: الف) تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و ب) تغییرات گاف نواری بر حسب میزان آلیش.

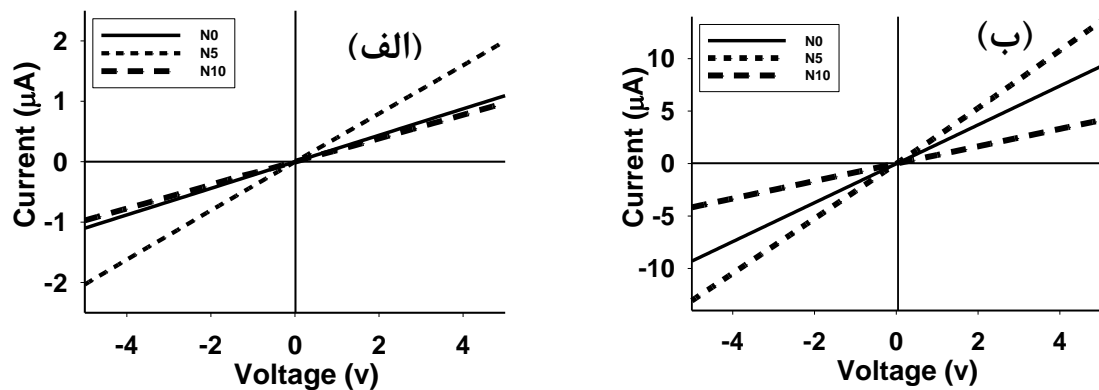
د) مطالعه خواص الکتریکی و فتورسانایی لایه ها

به منظور تحقیق در نوع رسانندگی (n یا p) لایه های مورد مطالعه از خاصیت ترموالکتریک موسوم به اثر سیبک استفاده کرده ایم (معادله ۱-۸) نتایج حاصل از اندازه گیری ولتاژ الکتریکی ایجاد شده در دو سر نمونه بر اثر تغییرات دمای اعمال شده، در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است. شیب منفی نمودار موید آن است که حامل ها در نمونه ها از نوع الکترون است.



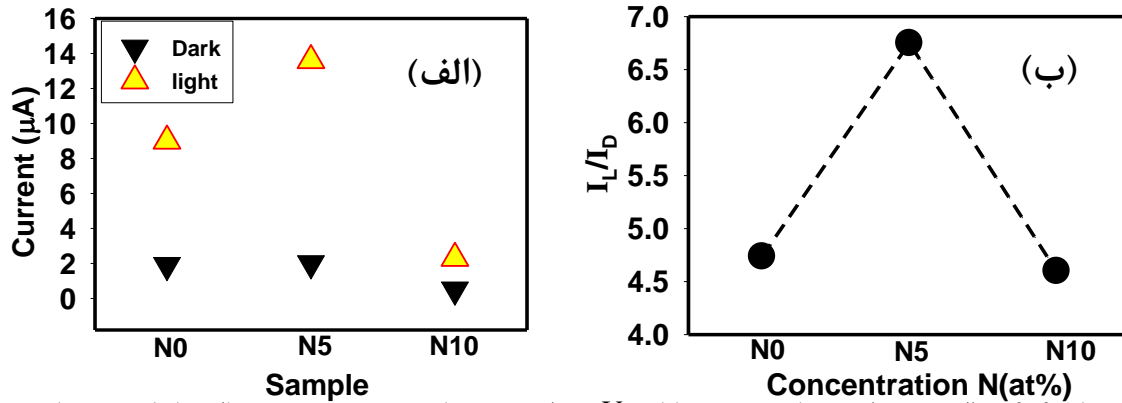
شکل ۴-۲۲: نتایج بدست آمده از آزمایش سیبک.

شکل ۴-۲۳ نتایج اندازه گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه ها را در شرایط تاریکی (الف) و روشنایی (ب) در یک سامانه دو الکترودی در یک نمونه مربعی شکل با ابعاد ۱ cm در بازه -۵ تا ۵ V تحت تابش نور دیود نورگسیل UV به مدت یک دقیقه با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ۸۵/۳ نشان می دهد.



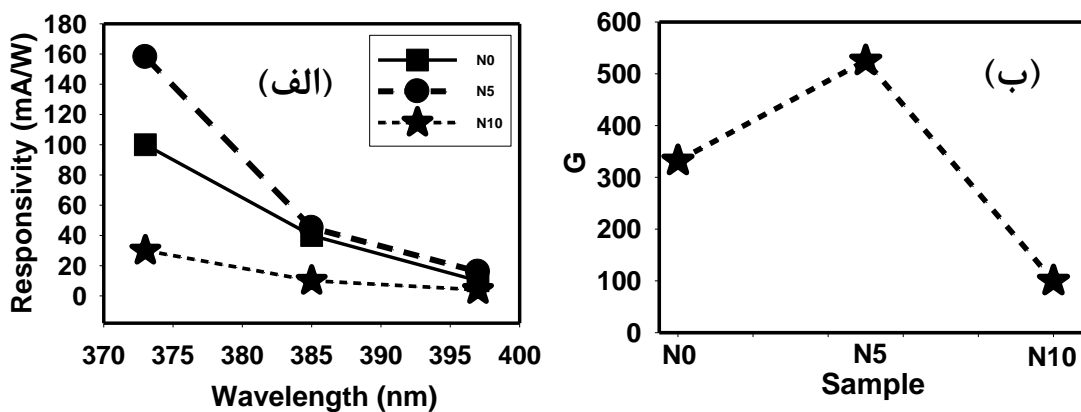
شکل ۴-۲۳: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط (الف) تاریکی و (ب) تحت تابش نور UV.

رفتار این داده ها موید اهمی بودن اتصالات در تاریکی و روشنایی است. در شرایط تاریکی، اکسیژن با گرفتن یک الکترون آزاد از لایه در حضور هوا جذب شده و یک ناحیه تهی نزدیک سطح و مرز دانه ها به جا می گذارد به همین دلیل رسانندگی تاریکی نمونه ها بسیار کوچک است. تحت روشنایی نور UV زوج الکترون و حفره هایی تولید شده و حفره های تولید شده توسط یون های اکسیژن باردار منفی به دام افتاده و الکترون های اضافی در نوار رسانش به جا می گذارند. این پدیده می تواند به کاهش ارتفاع سد پتانسیل در مرز دانه ها انجامیده و سبب افزایش تحرک حامل ها و در نتیجه رسانندگی آنها گردد [۱۱]. نتایج تجربی ما نشانگر آن است که نمونه N5 به علت کیفیت بلورینگی بالاتر در مقایسه با دیگر نمونه ها از بیشترین میزان نسبی جریان نوری به جریان تاریکی ($I_{\text{light}}/I_{\text{dark}}$) به مقدار ۶/۸ و نمونه N10 از کمترین مقدار (۴/۷) برخوردار است. شکل ۴-۲۴ (الف) نشانگر موقعیت جریان های الکتریکی در نمونه ها در بایاس مستقیم ۵V در شرایط تاریکی و نورتابی بوده و شکل ۴-۲۴ (ب) نسبت جریان تاریکی به جریان نورتابی در این نمونه ها را نشان می دهد.



شکل ۴-۲۴: (الف) تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتابی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm. (ب) نسبت جریان تاریکی به نورتابی در این نمونه ها.

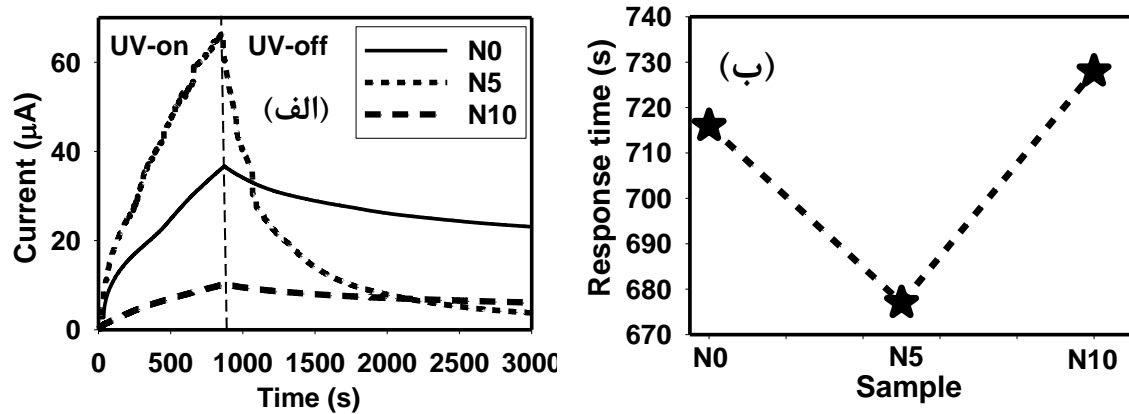
شکل ۴-۲۵ (الف) پاسخ طیفی و (ب) بهره فوتورسانایی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO:N را نشان می دهد. با کاهش طول موج به علت افزایش ضریب جذب در نمونه ها (شکل ۴-۴) شاهد افزایش در پاسخ طیفی می باشیم. طبق این نتایج بالاترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه N5 (تحت نورتابی با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی $۸۵/۳ \mu\text{W}/\text{cm}^2$) مقدار $۱۵۸ \text{ mA}/\text{W}$ و کمترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه N10 با مقدار $۳۰ \text{ mA}/\text{W}$ می باشد. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتورسانا برای نمونه های N5 و N10 به ترتیب ۵۲۵ و ۱۰۰ به دست می آید.



شکل ۴-۲۵: (الف) پاسخ طیفی، (ب) بهره فوتورسانایی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V.

شکل ۴-۲۶ (الف) جریان نوری بر حسب تابعی از زمان برای نمونه های N0، N5 و N10 تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵V را نشان می دهد. و در شکل ۴-۲۶ (ب) زمان پاسخ

نمونه های مورد بررسی رسم شده است. مشاهده می شود که نمونه N5 کمترین زمان پاسخ در بین نمونه ها را دارد.



شکل ۴-۲۶: (الف) جریان نوری بر حسب تابعی از زمان، (ب) زمان پاسخ برای نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V.

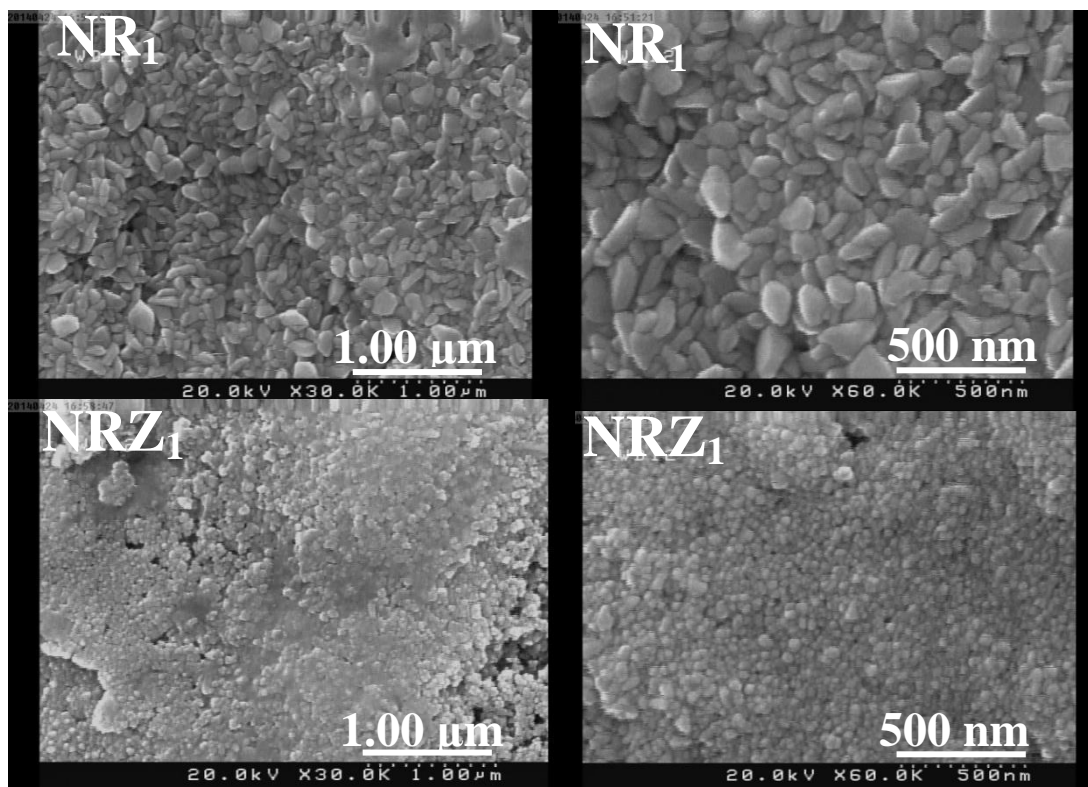
۴-۵: مطالعه تاثیر لایه واسط ZnO بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های نازک اکسید روی آلایش یافته با ناخالصی نیتروژن (ZnO:N)

۴-۵-۱: مقدمه

ما در این بخش به بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه نازک اکسید روی آلایش شده با ناخالصی نیتروژن به میزان ۱۰ درصد اتمی ($N/Zn = 10 \text{ at\%}$) بر روی زیرلایه شیشه (نمونه NR₁) و لایه ای واسط از اکسید روی (نمونه NRZ₁) پرداخته ایم. نمونه ها با آهنگ اسپری ml/min و ۲/۵ و دمای ۴۵۰°C تهیه شده اند.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

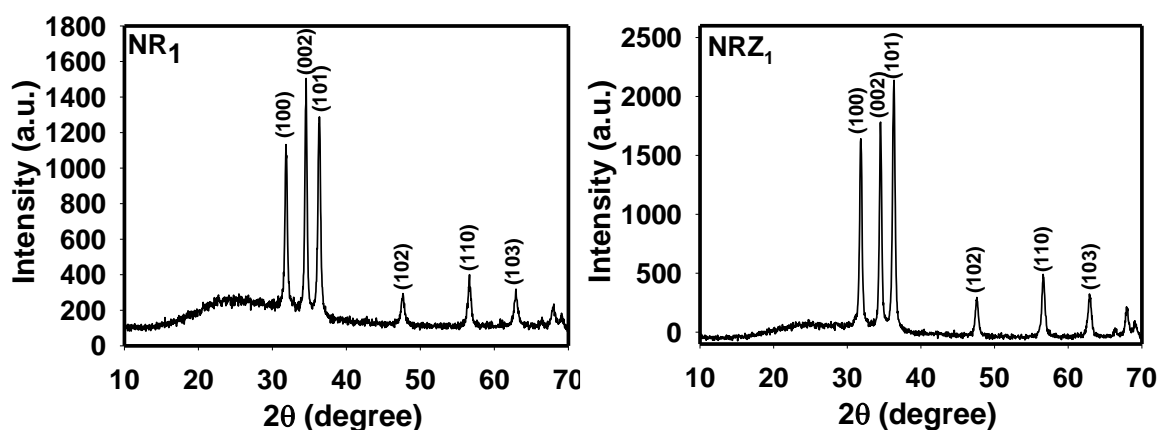
شکل ۴-۲۷ تصاویر FESEM نمونه‌ها را در دو مقیاس $1\ \mu\text{m}$ و $500\ \text{nm}$ نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود نمونه NR_1 با دانه‌هایی با ابعاد حدود $165\text{--}70\ \text{nm}$ پوشیده شده و نمونه NRZ_1 شامل دانه‌هایی ریز در حدود $40\ \text{nm}$ می‌باشد.



شکل ۴-۲۷: تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های مورد بررسی.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها

شکل ۴-۲۸ طیف XRD نمونه‌های رشد یافته را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نمونه‌ها دارای ساختار ششگوشی بس بلوری با سه قله اصلی (100) ، (002) و (101) می‌باشد.



شکل ۴-۲۸: طیف XRD لایه های نازک آلیش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR₁ و NRZ₁).

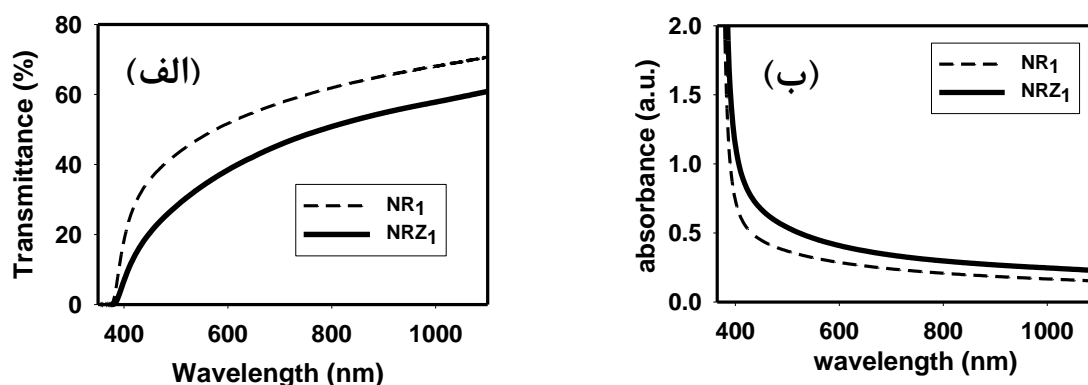
جدول ۴-۴: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی

نمونه	(hkl)	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)
NR ₁	(100)	۲۲/۹۲	۱/۹	۵/۳۷	a=b=۳/۱۶۵۳ c=۵/۰۹۵۱	۲۳/۳۶	۱/۸	۴/۹۵
	(002)	۲۵/۰۷	۱/۶	۴/۵۷				
	(101)	۲۱/۷۷	۲/۱	۴/۹۸				
NRZ ₁	(100)	۲۲/۹۲	۱/۹	۵/۳۷	a=b=۳/۱۳۱۷ c=۵/۰۸۳۹	۲۲/۷۹	۱/۹	۵/۰۸
	(002)	۲۴/۲۰	۱/۷	۴/۷۲				
	(101)	۲۱/۵۰	۲/۲	۵/۱۰				

نتایج حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در جدول ۴-۴ ارائه گردیده است. این نتایج حاکی از آن است که با استفاده از لایه واسط میزان ناراستی های بلوری افزایش یافته است.

ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها

شکل ۴-۲۹ طیف عبور اپتیکی و بازتاب این لایه‌ها را بر حسب تابعی از طول موج نور تابشی در بازه ۳۰۰-۱۱۰۰ nm نشان می‌دهد. لازم به ذکر آنکه طیف نشان داده شده در هر یک از نمونه‌ها تنها متعلق به لایه فوقانی آن بوده و به هنگام اندازه‌گیری بخش زیرین آن به عنوان نمونه شاهد در دستگاه طیف نگار قرار داده شده است.

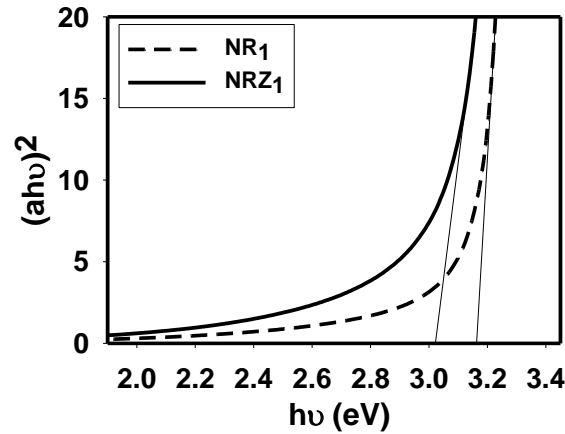


شکل ۴-۲۹: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه‌های آلایشی بر روی شیشه و لایه واسط

ZnO

با توجه به شکل ۴-۲۹ (الف) ملاحظه می‌شود که میزان عبور در نمونه NRZ₁ پایینتر از نمونه NR₁ می‌باشد. این تغییرات با توجه به کاهش ابعاد بلورک‌ها در این نمونه NRZ₁ (جدول ۴-۴) و افزایش پراکندگی فوتون‌ها بر اثر افزایش تراکم مرز دانه‌ها امری قابل انتظار است. شکل ۴-۲۹ (ب) طیف جذبی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. با داشتن طیف جذب لایه‌ها (α) می‌توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک معادله ۲-۷ تعیین نمود. شکل ۴-۳۰ جزئیات عملیات انجام شده در این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که نمونه NRZ₁ از گاف نواری کوچکتری نسبت به نمونه NR₁ برخوردار بوده علت این تغییرات می‌تواند ناشی از شکل‌گیری دنباله نواری وابسته به ناراستی‌های ذاتی در اکسید روی خالص (عمدتاً تهیج‌های اکسیژن) به عنوان مراکز شبه-بخشنده و نیز حضور تراز‌های ناخالصی وابسته به اتم‌های نیتروژن باشد. با توجه به جدول ۴-۴ تراکم این ناراستی‌ها در NRZ₁ بیشتر از NR₁ می‌باشد که با توجه به نظریه‌های وابسته در این مورد

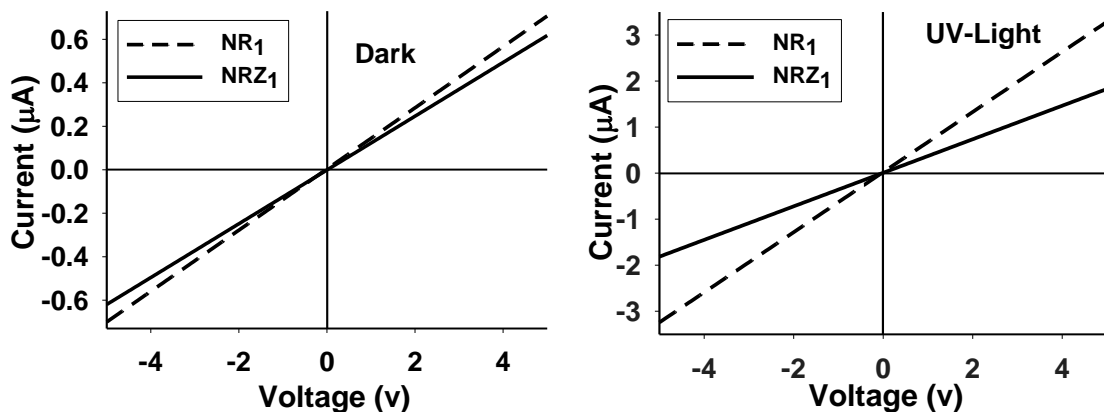
[۳۳] انتظار می رود هر چه دنباله نواری از پهنای بیشتری برخوردار باشد گاف نواری اپتیکی لایه کوچکتر باشد.



شکل ۴-۳۰: تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv در نمونه های مورد بررسی.

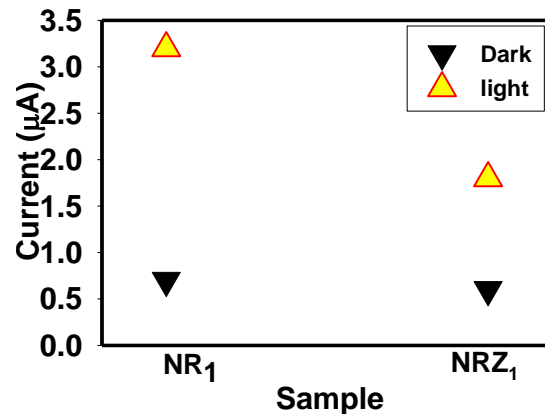
د) مطالعه خواص الکتریکی و فوتو رسانایی لایه ها

شکل ۴-۳۱ نتایج اندازه گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه ها را در شرایط تاریکی و روشنایی در یک سامانه دو الکترودی در یک نمونه مربعی شکل با ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ در بازه -5 تا $+5 \text{ V}$ تحت تابش نور دیود نورگسیل UV با طول موج 373 nm و شدت اپتیکی $85/3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ به مدت یک دقیقه نشان می دهد.



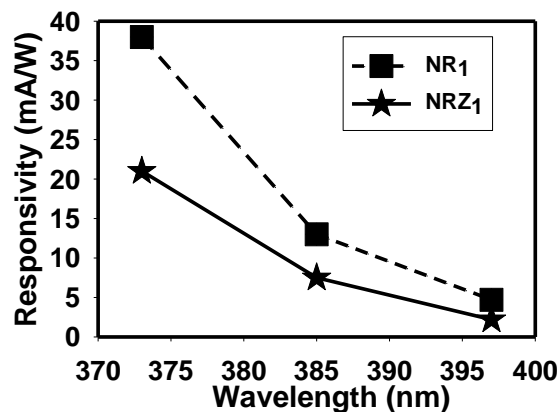
شکل ۴-۳۱: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV.

شکل ۴-۳۲ نشانگر موقعیت جریان های الکتریکی در نمونه ها در بایاس مستقیم ۵ ولت در شرایط تاریکی و نورتابی می باشد. نسبت جریان تاریکی به روشنایی برای نمونه NR₁ و NRZ₁ به ترتیب برابر ۴/۶ و ۳ می باشد.



شکل ۴-۳۲: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتابی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm.

شکل ۴-۳۳ پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری را نشان می دهد. با توجه به این نتایج پاسخ طیفی نمونه های NR₁ و NRZ₁ (تحت نورتابی با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی ۸۵/۳ µW/cm²) به ترتیب مقدار ۳۸ mA/W و ۲۱ است. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتو رسانایی برای نمونه NR₁ مقدار ۱۲۶/۳ و برای نمونه NRZ₁ مقدار ۷۰ به دست می آید.



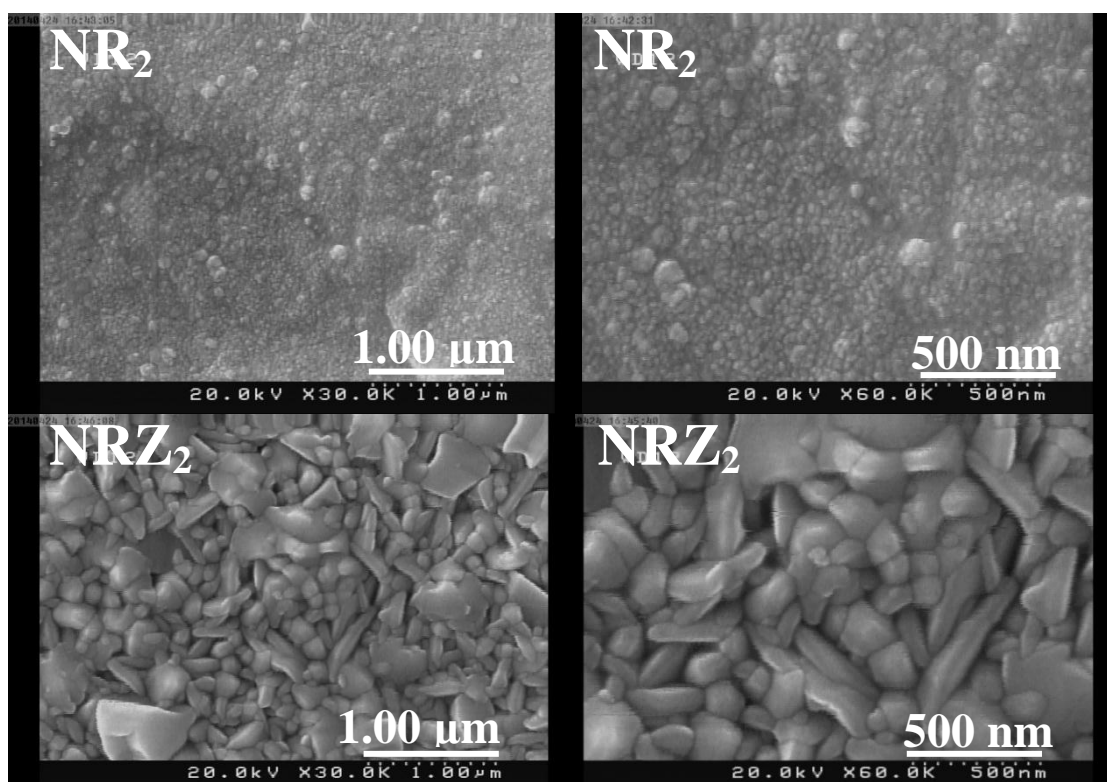
شکل ۴-۳۳: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی در بایاس ۵ V.

۴-۵-۲: مقدمه

ما در این بخش به بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه نازک اکسید روی آرایش شده با ناخالصی نیتروژن به میزان ۱۰ درصد اتمی ($N/Zn= 10 \text{ at\%}$) بر روی زیرلایه شیشه (نمونه NR_2) و لایه ای واسط از اکسید روی (نمونه NRZ_2) پرداخته ایم. نمونه‌ها را با آهنگ اسپری $3/5 \text{ ml/min}$ و دمای 450°C تهیه شده‌اند.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

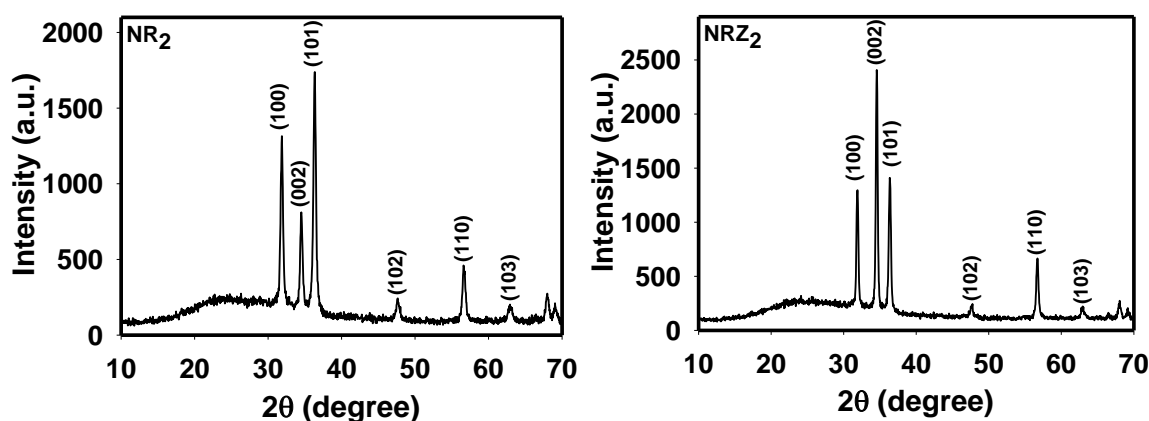
شکل ۴-۳۴ تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های رشد داده شده را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر مشاهده می‌شود اندازه دانه‌ها در نمونه NRZ_2 که با لایه واسط می‌باشد نسبت به نمونه بدون لایه واسط NR_2 رشد یافته و بزرگتر شده‌اند.



شکل ۴-۳۴: تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های مورد بررسی.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها

شکل ۴-۳۵ طیف XRD نمونه‌های رشد یافته را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نمونه‌ها دارای ساختار ششگوشی بس بلوری با سه قله اصلی (۱۰۰)، (۰۰۲) و (۱۰۱) می‌باشند، به طوری که در نمونه NR₂ قله (۱۰۱) و در نمونه NRZ₂ قله (۰۰۲) از شدت بالاتری برخوردارند.



شکل ۴-۳۵: طیف XRD لایه‌های نازک آرایش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه‌های NR₂ و NRZ₂).

نتایج حاصل از تحلیل داده‌های پراش پرتو ایکس در جدول ۴-۵ ارائه گردیده است. این نتایج حاکی از آن است که ابعاد بلورک‌ها در نمونه NRZ₂ با لایه واسط نسبت به نمونه بدون لایه واسط NR₂ افزایش و میزان ناراستی‌های بلوری کاهش یافته است در ادامه به تاثیر این تغییرات ساختاری بر خواص اپتیکی و الکتریکی لایه‌ها پرداخته ایم.

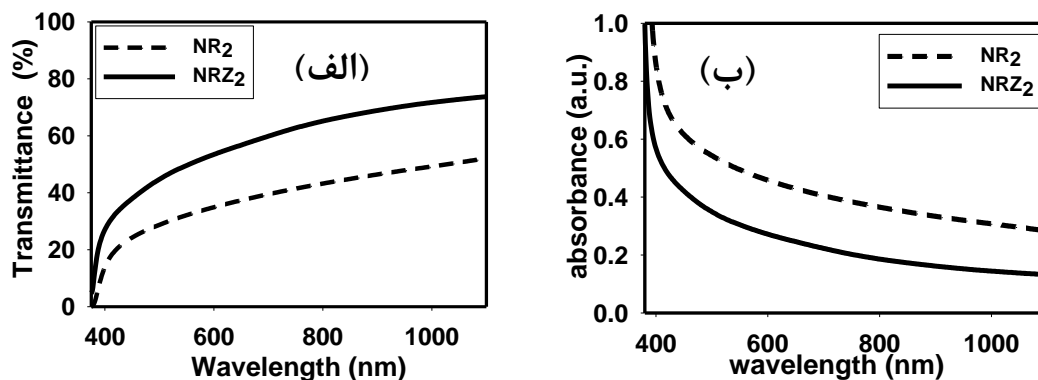
جدول ۴-۵: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی

نمونه	(hkl)	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)
NR₂	(۱۰۰)	۲۲/۵۹	۲/۰	۵/۴				
	(۰۰۲)	۲۲/۸۰	۱/۹	۵/۰	a=b=۳/۱۳۲۲	۲۲/۲۳	۲/۰۲	۵/۱
	(۱۰۱)	۲۱/۷۰	۲/۱	۴/۹	c=۵/۰۸۹۵			
NRZ₂	(۱۰۰)	۲۵/۸۰	۱/۵	۴/۸				
	(۰۰۲)	۲۹/۱۸	۱/۲	۳/۹	a=b=۳/۲۰۹۷	۲۷/۱۱	۱/۳۶	۴/۲
	(۱۰۱)	۲۴/۷۸	۱/۶	۴/۳	c=۵/۰۸۴۴			

ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه ها

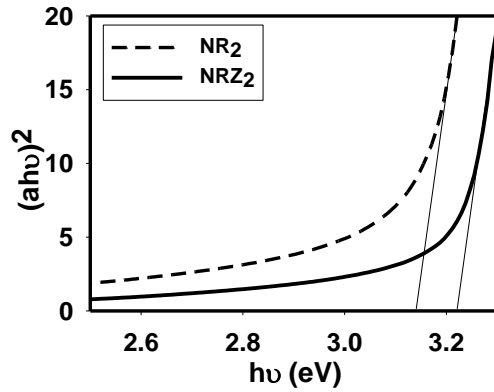
شکل ۴-۳۶ طیف عبور اپتیکی و بازتاب این لایه ها را بر حسب تابعی از طول موج نور تابشی در بازه ۳۰۰-۱۱۰۰ nm نشان می دهد. لازم به ذکر آنکه طیف نشان داده شده در هر یک از نمونه ها تنها متعلق به لایه فوقانی آن بوده و به هنگام اندازه گیری بخش زیرین آن به عنوان نمونه شاهد در دستگاه طیف نگار قرار داده شده است. با توجه به شکل ۴-۳۶ (الف) ملاحظه می شود که میزان عبور در نمونه NRZ₂ بالاتر از نمونه NR₂ می باشد. این تغییرات با توجه به افزایش ابعاد بلورک ها در این نمونه NRZ₂ (جدول ۴-۵) و کاهش پراکندگی فوتون ها بر اثر کاهش تراکم مرز دانه ها امری قابل انتظار است. با توجه به طیف جذبی نمونه ها، شکل ۴-۳۶ (ب)، ملاحظه می شود که نمونه NR₂ از جذب اپتیکی بیشتری در مقایسه با نمونه NRZ₂ برخوردار می باشد. این امر می تواند متاثر از وجود

ناراستی های بلوری بیشتر در این نمونه باشد که منشاء تشکیل تراز هایی در داخل گاف نواری ماده شده و امکان جذب فوتون های با انرژی های گوناگون را امکانپذیر می سازند.



شکل ۴-۳۶: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها.

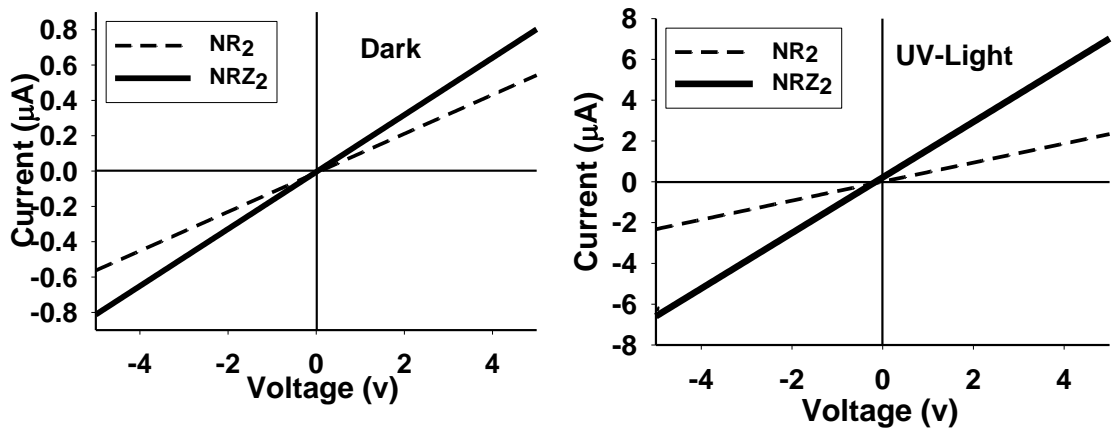
با داشتن طیف جذب لایه ها (α) می توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک (معادله ۲-۷) تعیین نمود. شکل ۴-۳۷ جزئیات عملیات انجام شده را در این نمونه ها نشان می دهد. با توجه به این نتایج مشاهده می شود که گاف نواری نمونه NR₂ از مقدار کوچکتری در مقایسه با نمونه NRZ₂ برخوردار می باشد. علت این تغییرات می تواند ناشی از شکل گیری دنباله نواری وابسته به ناراستی های ذاتی در اکسید روی خالص (عمدتا تهیجهای اکسیژن) به عنوان مراکز شبه-بخشنده و نیز حضور تراز های ناخالصی وابسته به اتم های نیتروژن باشد. با توجه به جدول ۴-۵ تراکم این ناراستی ها در NR₂ بیشتر از NRZ₂ می باشد که با توجه به نظریه های وابسته در این مورد [۳۳] انتظار می رود هر چه دنباله نواری از پهنای بیشتری برخوردار باشد گاف نواری اپتیکی لایه کوچکتر باشد.



شکل ۴-۳۷: تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv در نمونه های مورد بررسی.

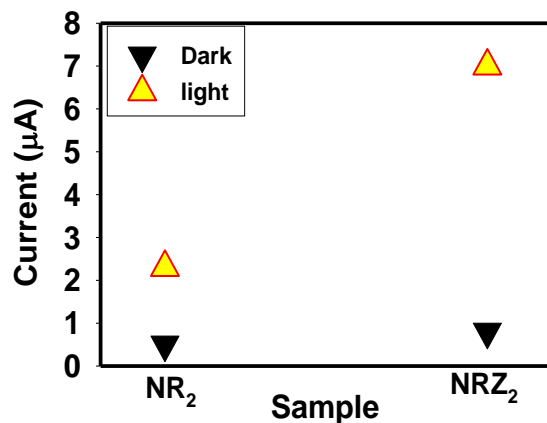
د) مطالعه خواص الکتریکی و فوتو رسانایی لایه ها

شکل ۴-۳۸ نتایج اندازه گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه ها را در شرایط تاریکی و روشنایی در یک سامانه دو الکترودی در بازه -۵ تا +۵ V تحت تابش نور دیود با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی $۸۵/۳ \mu W/cm^2$ به مدت یک دقیقه نشان می دهد.



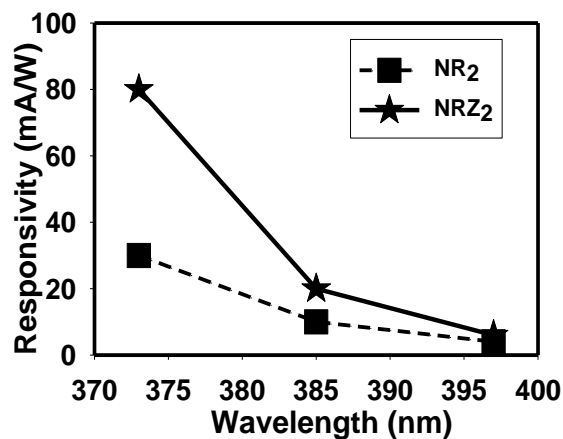
شکل ۴-۳۸: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV.

شکل ۴-۳۹ نشانگر موقعیت جریان های الکتریکی در نمونه ها در بایاس مستقیم ۵V در شرایط تاریکی و نورتابی می باشد. نسبت جریان تاریکی به روشنایی I_L/I_D برای نمونه NR₂ و NRZ₂ به ترتیب برابر ۴/۶ و ۸/۷ می باشد.



شکل ۴-۳۹: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm نشان می دهد

شکل ۴-۴۰: پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO را نشان می دهد. طبق شکل بالاترین پاسخ طیفی مربوط به نمونه با لایه واسط NRZ₂ (تحت نورتایی با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی ۸۵/۳ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) مقدار ۸۰ mA/W و پاسخ طیفی مربوط به نمونه بدون لایه واسط NR₂ مقدار ۳۰ mA/W می باشد. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتو رسانایی برای نمونه های NR₂ و NRZ₂ به ترتیب ۱۰۰ و ۲۶۶ به دست می آید.



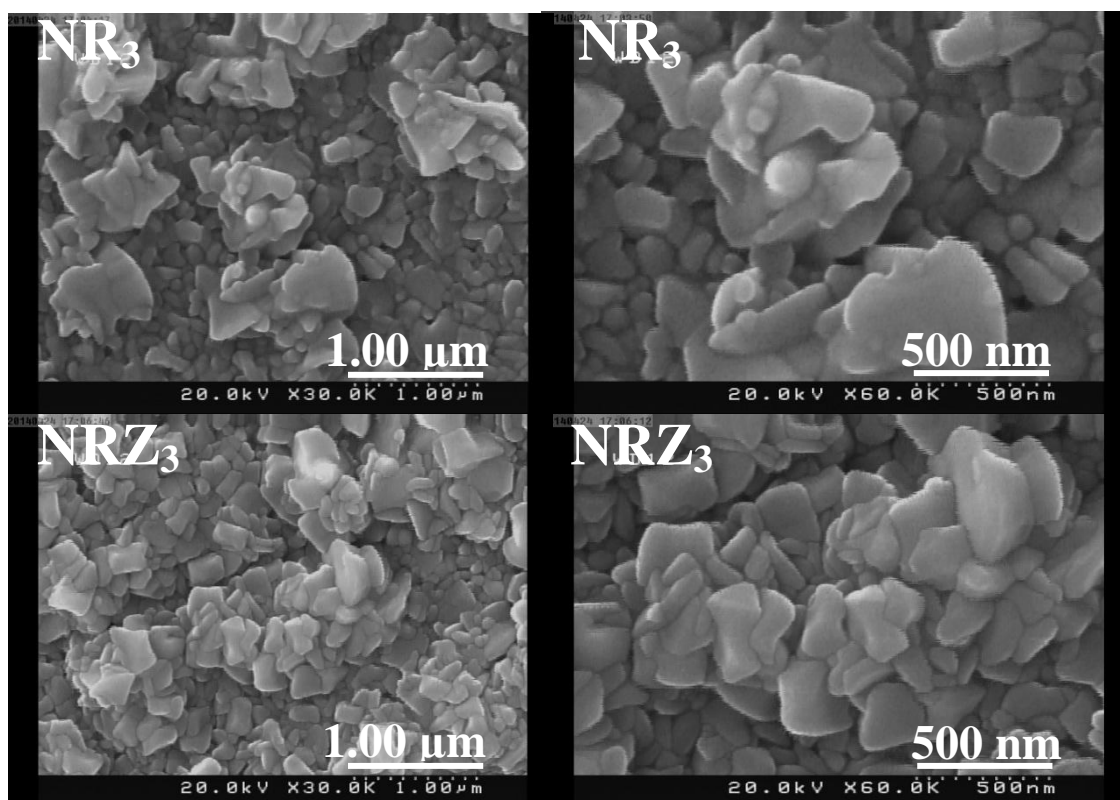
شکل ۴-۴۰: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V.

۴-۵-۳: مقدمه

ما در این بخش به بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه نازک اکسید روی آرایش شده با ناخالصی نیتروژن به میزان ۱۰ درصد اتمی ($N/Zn= 10 \text{ at\%}$) بر روی زیرلایه شیشه (نمونه NR_3) و لایه ای واسط از اکسید روی (نمونه NRZ_3) پرداخته ایم. نمونه‌ها را آهنگ اسپری 5 ml/min و دمای 450°C تهیه شده‌اند.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

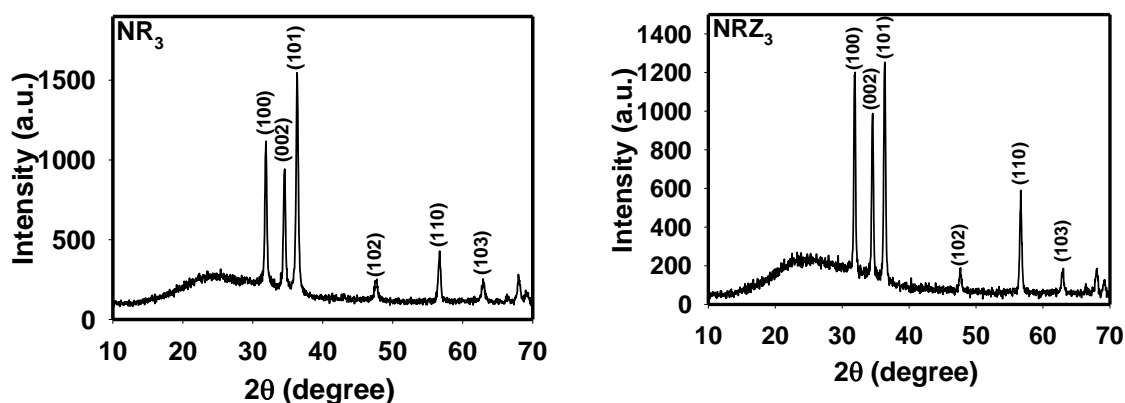
شکل ۴-۴ تصاویر FESEM نمونه‌ها را در دو مقیاس $1 \mu\text{m}$ و 500 nm نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود. نمونه NR_3 دارای دانه‌های ورقه‌ای با ابعاد $50-500 \text{ nm}$ بوده و نمونه NRZ_3 به صورت دانه‌های و ورقه‌ای با ابعاد نسبتاً بزرگ که در برخی موارد به حدود $250-500 \text{ nm}$ می‌رسد پوشیده شده است.



شکل ۴-۴: تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های مورد بررسی.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها

شکل ۴-۴۱ طیف پراش پرتو x این نمونه‌ها دارای ساختار ششگوشی بسببوری می باشد. از مقایسه این طیف‌ها ملاحظه می‌شود که هر سه نمونه شامل قله های اصلی (۱۰۱)، (۱۰۰) و (۰۰۲) می باشند. جدول ۴-۶ محاسبات مربوط به اندازه بلورکها، چگالی در رفتگی‌ها و نیز کرنش (ϵ) وابسته به این قله ها را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده نمونه NRZ_3 اندازه بلورک بزرگتری نسبت به نمونه NR_3 دارد.



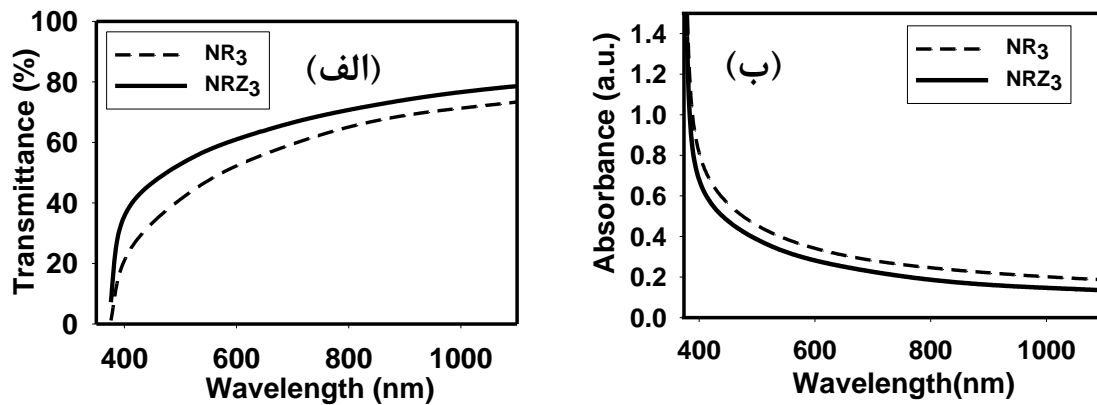
شکل ۴-۴۱: طیف XRD لایه های نازک آرایش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR_3 و NRZ_3).

جدول ۴-۶: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی

نمونه	(hkl)	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)	مقادیر میانگین		
						D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)
NR₃	(۱۰۰)	۲۵/۸۱	۱/۵۰	۴/۸				
	(۰۰۲)	۲۵/۵۱	۱/۵۴	۴/۵	a=b=۳/۱۵۷۸	۲۴/۹۵	۱/۶۱	۴/۶
	(۱۰۱)	۲۳/۹۹	۱/۷۳	۴/۵	c=۵/۰۷۲۸			
NRZ₃	(۱۰۰)	۲۷/۷۶	۱/۳۰	۴/۴				
	(۰۰۲)	۲۷/۹۷	۱/۲۸	۴/۱	a=b=۳/۱۷۶۷	۲۷/۲۲	۱/۳۵	۴/۲
	(۱۰۱)	۲۶/۱	۱/۴۷	۴/۲	c=۵/۱۱۲۰			

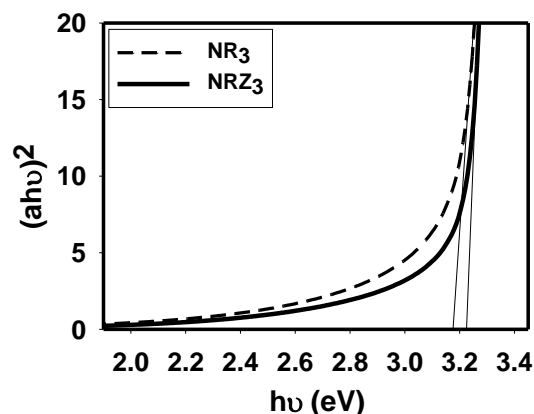
ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه ها

شکل ۴-۴ طیف عبور اپتیکی این لایه ها را بر حسب تابعی از طول موج نور تابشی در بازه nm ۳۰۰-۱۱۰۰ نشان می دهد. لازم به ذکر آنکه طیف نشان داده شده در هر یک از نمونه ها تنها متعلق به لایه فوقانی آن بوده و به هنگام اندازه گیری بخش زیرین آن به عنوان نمونه شاهد در دستگاه طیف نگار قرار داده شده است. با توجه به شکل ۴-۴ (الف) ملاحظه می شود که میزان عبور در نمونه NRZ₃ بالاتر از نمونه NR₃ می باشد. این تغییرات با توجه به افزایش ابعاد بلورک ها در این نمونه NRZ₃ (جدول ۴-۶) و کاهش پراکندگی فوتون ها بر اثر کاهش تراکم مرز دانه ها امری قابل انتظار است.



شکل ۴-۴۲: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه‌ها.

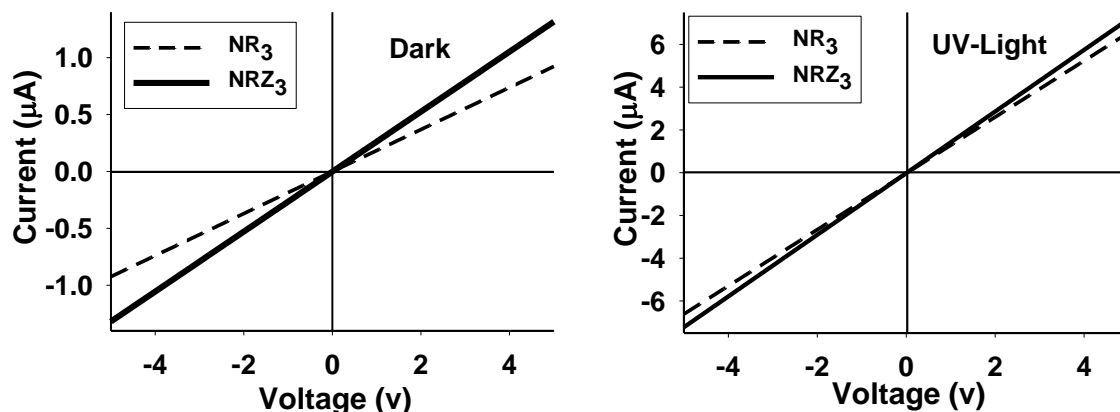
با داشتن طیف جذب لایه‌ها (α) می‌توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک (معادله ۷-۲) تعیین نمود. شکل ۴-۴۳ جزئیات عملیات انجام شده با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که نمونه NR_3 از مقدار کوچکتری ($3/18 \text{ eV}$) در مقایسه با نمونه NRZ_3 ($3/23 \text{ eV}$) برخوردار می‌باشد. علت این تغییرات می‌تواند ناشی از شکل‌گیری دنباله نواری وابسته به ناراستی‌های ذاتی در اکسید روی خالص (عمدتاً تهیج‌های اکسیژن) به عنوان مراکز شبه-بخشنده و نیز حضور ترازهای ناخالصی وابسته به اتم‌های نیتروژن باشد. با توجه به جدول ۴-۷ تراکم این ناراستی‌ها در NR_3 بیشتر از NRZ_3 می‌باشد که با توجه به نظریه‌های وابسته در این مورد [۳۳] انتظار می‌رود هر چه دنباله نواری از پهنای بیشتری برخوردار باشد گاف نواری اپتیکی لایه کوچکتر باشد.



شکل ۴-۴۳: تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ در نمونه‌های مورد بررسی.

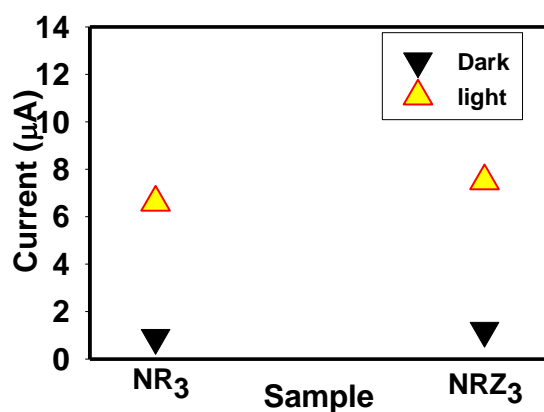
(د) مطالعه خواص الکتریکی و فوتو رسانایی لایه‌ها

شکل ۴-۴۴ نتایج اندازه گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه ها را در شرایط تاریکی و روشنایی در یک سامانه دو الکترودی در بازه -۵ تا ۵ V تحت تابش نور دیود نورگسیل UV با طول موج nm ۳۷۳ و شدت اپتیکی $۸۵/۳ \mu W/cm^2$ به مدت یک دقیقه نشان می دهد.



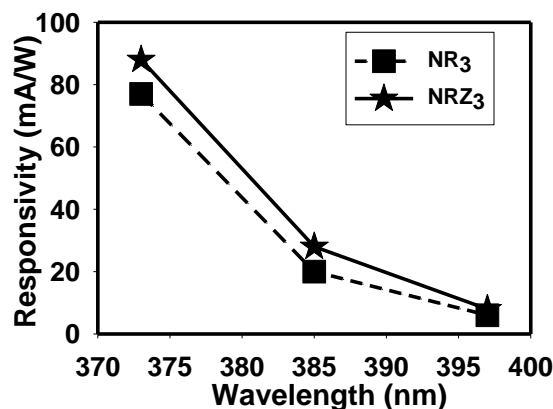
شکل ۴-۴۴: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV.

شکل ۴-۴۵ نشانگر موقعیت جریان های الکتریکی در نمونه ها در بایاس مستقیم ۵ ولت در شرایط تاریکی و نورتایی می باشد. نسبت جریان تاریکی به روشنایی I_L/I_D برای نمونه NR₃ و NRZ₃ به ترتیب برابر ۶/۶ و ۷/۵ می باشد.



شکل ۴-۴۵: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتایی تحت نور UV با طول موج nm ۳۷۳ نشان می دهد

شکل ۴-۴ پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO را نشان می دهد. طبق شکل پاسخ طیفی مربوط به نمونه NRZ₃ (تحت نورتایی با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی ۸۵/۳ μW/cm²) مقدار ۸۸ mA/W و پاسخ طیفی مربوط به نمونه NR₃ با مقدار ۷۷ mA/W می باشد. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتو رسانی برای نمونه های NR₃ و NRZ₃ به ترتیب ۲۵۶ و ۲۹۲ به دست می آید.



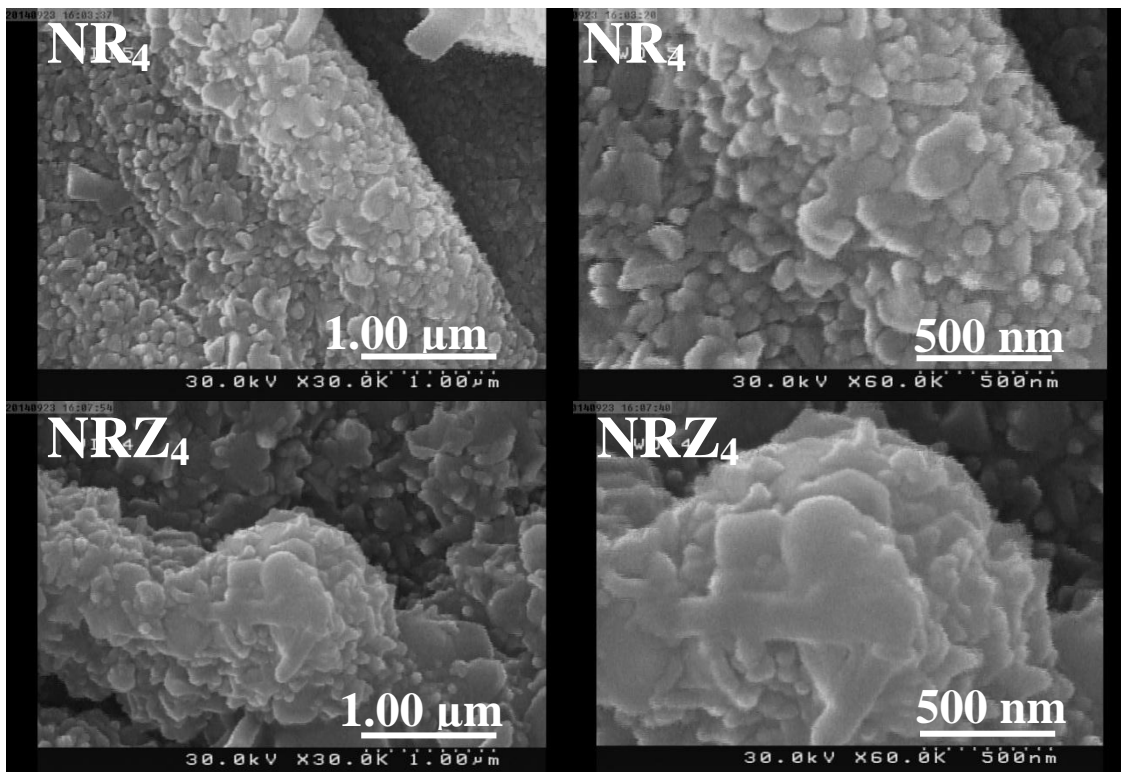
شکل ۴-۴: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V.

۴-۵-۴ مقدمه

ما در این بخش به بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه نازک اکسید روی آلایش شده با ناخالصی نیتروژن به میزان ۵ درصد اتمی (N/Zn=۵ at%) بر روی زیرلایه شیشه (نمونه NR₄) و لایه ای واسط از اکسید روی (نمونه NRZ₄) پرداخته ایم. نمونه ها را با آهنگ اسپری ۳/۵ ml/min و دمای ۴۵۰°C تهیه شده اند.

الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها

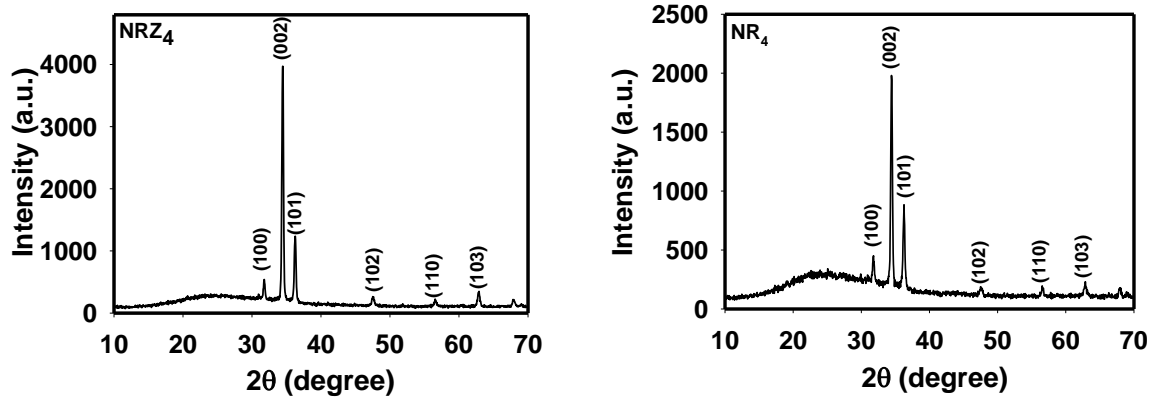
شکل ۴-۴۷ تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های رشد داده شده را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر مشاهده می‌شود نمونه NR₄ با دانه‌هایی با ابعاد حدود ۵۰-۱۵۰ nm پوشیده شده و نمونه NRZ₄ شامل دانه‌هایی با ابعادی در حدود ۵۰-۲۵۰ nm است.



شکل ۴-۴۷: تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های مورد بررسی.

ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها

شکل ۴-۴۸ طیف XRD نمونه‌های رشد یافته را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نمونه‌ها دارای ساختار ششگوشی بس‌بلوری با جهت رشد ترجیحی (۰۰۲) به موازات محور C است. جدول ۴-۷ محاسبات مربوط به اندازه بلورکها، چگالی در رفتگی‌ها و نیز کرنش (ε) را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: طیف XRD لایه های نازک آرایش یافته با نیتروژن ZnO:N با و بدون لایه واسط (نمونه های NR₄ و NRZ₄).

چنانچه پیداست با استفاده از ZnO به عنوان لایه واسط در نمونه NRZ₄ باعث افزایش کیفیت بلورینگی در این نمونه نسبت به نمونه NR₄ شده است.

جدول ۴-۷: مقادیر حاصل از تحلیل داده های پراش پرتو ایکس در نمونه های مورد بررسی

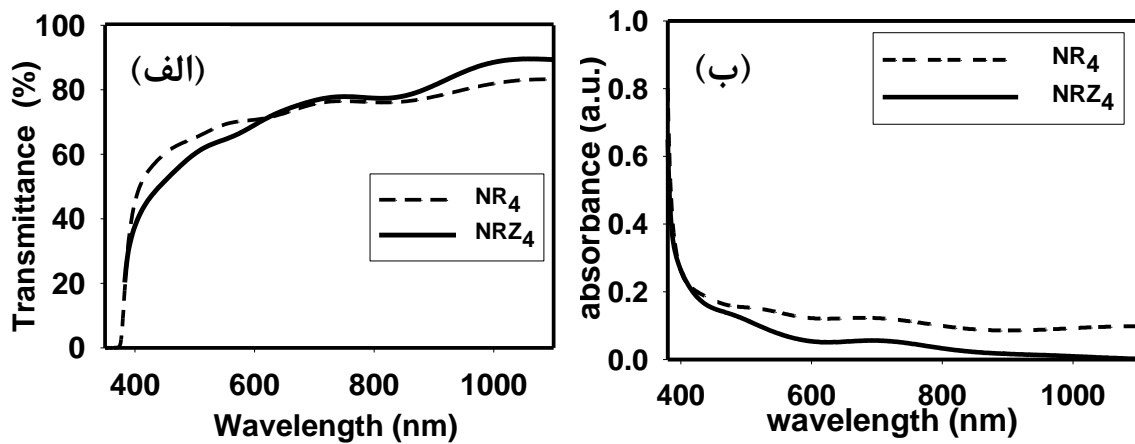
نمونه	D(nm)	δ ($\times 10^{-3}$) (nm^{-2})	ϵ ($\times 10^{-3}$)	ثابت شبکه (\AA)
NR ₄	۲۹/۶۵	۱/۱۴	۳/۹	a=b=۳/۲۱۲۲ c=۵/۱۱۷۶
NRZ ₄	۳۰/۳	۱/۱۰	۳/۸	a=b=۳/۲۱۲۴ c=۵/۱۰۹۱

ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه ها

شکل ۴-۴۹: طیف عبور و بازتاب لایه ها را بر حسب تابعی از طول موج تابشی در بازه ۳۰۰-

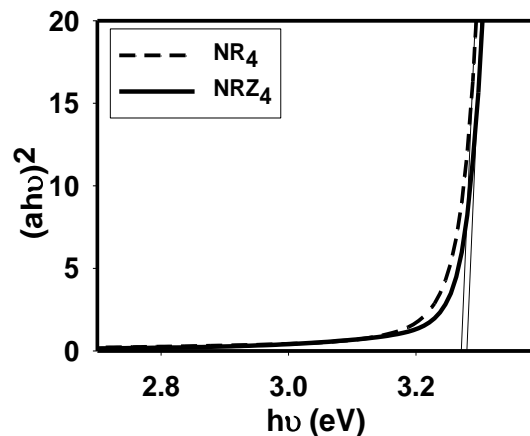
۱۱۰۰ nm نشان می دهد. با توجه به شکل ۴-۵۰ (الف) ملاحظه می شود که میزان عبور در نمونه

NRZ₄ بالاتر از نمونه NR₄ می باشد. این تغییرات با توجه به افزایش ابعاد بلورک ها در این نمونه NRZ₄ (جدول ۴-۷) و کاهش پراکندگی فوتون ها از مرز دانه ها امری قابل انتظار است. با توجه به طیف جذبی نمونه ها، شکل ۴-۵۰ (ب)، ملاحظه می شود که نمونه NRZ₄ از لبه جذب بسیار تیزی در ناحیه فرابنفش ($\lambda < 400 \text{ nm}$) برخوردار است که نشان از کمبود ناراستی های بلوری در این نمونه در مقایسه با نمونه NR₄ است.



شکل ۴-۴۹: (الف) طیف عبور و (ب) طیف جذب نمونه ها.

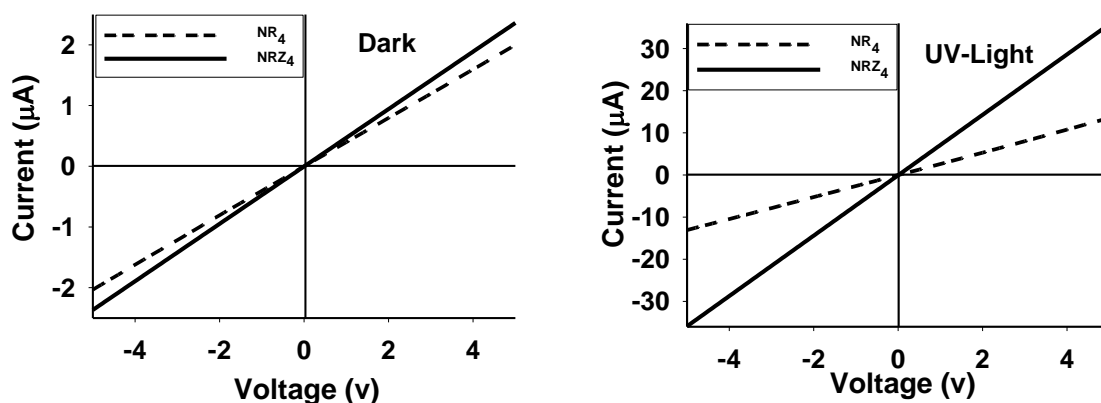
با داشتن طیف جذب لایه ها (α) می توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم آنها را به کمک (معادله ۲-۷) تعیین نمود. شکل ۴-۵۰ جزئیات عملیات انجام شده را نشان می دهد. با توجه به این نتایج مشاهده می شود که گاف اپتیکی نمونه NRZ₄ مقدار $3/28 \text{ eV}$ و نمونه NR₄ مقدار $3/27 \text{ eV}$ را دارد.



شکل ۴-۵۰: تغییرات گاف نواری در نمونه های مورد بررسی.

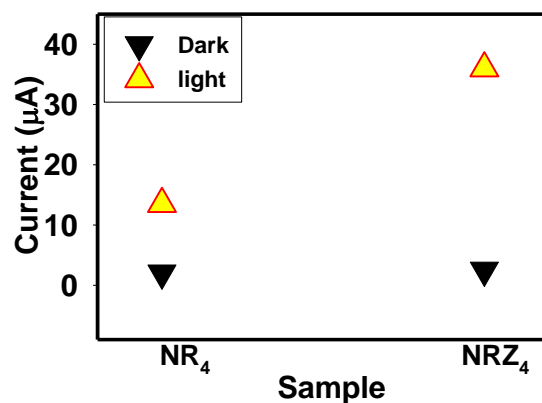
د) مطالعه خواص الکتریکی و فوتورسانایی لایه‌ها

شکل ۴-۵۱ نتایج اندازه‌گیری مربوط به مشخصه I-V نمونه‌ها را در شرایط تاریکی و روشنایی در یک سامانه دو الکترودی در بازه -۵ تا ۵ V تحت تابش نور دیود با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی $۸۵/۳ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ به مدت یک دقیقه نشان می‌دهد.



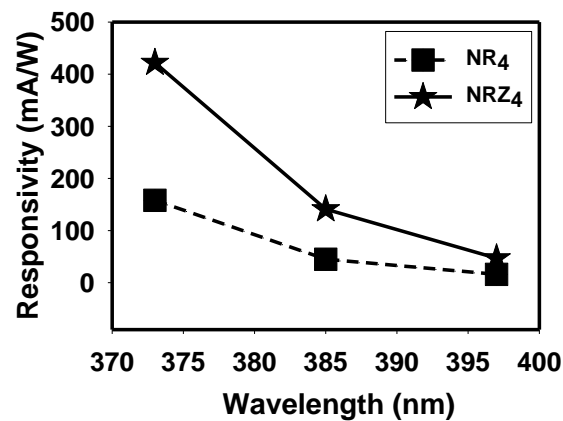
شکل ۴-۵۱: مشخصه جریان-ولتاژ نمونه‌های مورد بررسی در شرایط تاریکی و تحت تابش نور UV.

شکل ۴-۵۲ نشانگر موقعیت جریان‌های الکتریکی در نمونه‌ها در بایاس مستقیم ۵ ولت در شرایط تاریکی و نورتابی می‌باشد. نسبت جریان تاریکی به روشنایی I_L/I_D برای نمونه NR₄ و NRZ₄ به ترتیب برابر ۶/۶۵ و ۱۴/۴ می‌باشد.



شکل ۴-۵۲: تغییرات جریان نوری در بایاس ۵ V را برای نمونه‌های سنتر شده در دو حالت تاریکی و نورتابی تحت نور UV با طول موج ۳۷۳ nm نشان می‌دهد

شکل ۴-۵۳ پاسخ طیفی قطعه آشکارساز نوری ساخته شده از لایه نازک ZnO را نشان می دهد. طبق شکل پاسخ طیفی مربوط به نمونه NRZ₄ (تحت نورتابی با طول موج ۳۷۳ nm و شدت اپتیکی ۸۵/۳ μW/cm²) مقدار ۴۲۲ mA/W و پاسخ طیفی مربوط به نمونه NR₄ با مقدار ۱۵۸ mA/W می باشد. طبق رابطه (۴-۱) بهره فوتو رسانی برای نمونه های NR₄ و NRZ₄ به ترتیب ۵۲۵ و ۱۴۰۳ به دست می آید.



شکل ۴-۵۳: پاسخ طیفی نمونه های مورد بررسی تحت طول موج ۳۷۳ nm در بایاس ۵ V.

نتیجه گیری

الف: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار ZnO خالص

لایه های نازک اکسید روی خالص (ZnO) به روش اسپری پیرولیز بر روی زیرلایه شیشه در دمای 450°C با آهنگ های مختلف (۲/۵، ۳/۵ و ۵ ml/min) اسپری شدند. مطالعه مورفولوژی سطح لایه ها نشانگر افزایش اندازه دانه ها با افزایش آهنگ لایه نشانی بوده و طیف XRD نمونه ها بیانگر ساختار شش گوشه بسلوری عمدتاً با جهتگیری در راستاهای (۰۰۲) و (۱۰۰) و (۱۰۱) برای هر سه نمونه است. طیف عبور اپتیکی لایه ها نشانگر افزایش عبور اپتیکی لایه ها با افزایش آهنگ لایه نشانی بوده که خود سازگار با تغییر در ابعاد بلورک ها می باشد. تغییر مقادیر گاف نواری مستقیم در این نمونه ها در گستره $3/19$ تا $3/26$ eV است که با تغییر در پهنای دنباله نواری نمونه ها مطابقت دارد. خواص الکتریکی لایه ها نشان دهنده افزایش رسانندگی با توجه به کاهش در ناراستی های بلوری و افزایش در ابعاد بلورک ها است. داده های فوتورسانایی نمونه ها در برابر تابش نور UV حاکی از آن است که بالاترین پاسخ طیفی و بهره فوتورسانایی متعلق به نمونه R_2 می باشد که می تواند متاثر از بزرگی ابعاد بلورک ها در مقایسه با دیگر نمونه ها باشد.

ب: مطالعه تاثیر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید روی آلایش شده با نیتروژن (ZnO:N)

لایه های نازک اکسید روی آلایش شده با اتم های نیتروژن (ZnO:N) به روش اسپری پیرولیز بر روی زیرلایه شیشه در دمای 450°C با آهنگ های مختلف اسپری شدند. داده ها حاکی از آن است که با افزایش آهنگ لایه نشانی: (۱) نمونه ها ساختار شش گوشه بسلوری دارند. (۲) طیف عبور اپتیکی لایه ها با تغییرات رخ داده در ابعاد بلورک ها سازگار است. (۳) تغییر مقادیر گاف نواری

مستقیم در این نمونه ها (در گستره ۳/۱۴ تا ۳/۲۲ eV) با تغییر در پهناهای دنباله نواری نمونه ها مطابقت دارد. خواص الکتریکی لایه ها نشان دهنده افزایش رسانندگی با توجه به کاهش در ناراستی های بلوری و افزایش در ابعاد بلورک ها است. داده های فوتورسانایی نمونه ها در برابر تابش نور UV حاکی از آن است که بالاترین پاسخ طیفی و بهره فوتورسانایی متعلق به نمونه NR₃ می باشد که می تواند متاثر از بزرگی ابعاد بلورک ها در مقایسه با دیگر نمونه ها باشد.

ج) بررسی تاثیر میزان آلاینش نیتروژن بر خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار ZnO:N و مطالعه نورتابی آن ها برای لامپ UV

نمونه های اکسید روی آلاینش یافته با صفر، ۵ و ۱۰ درصد اتمی ناخالصی نیتروژن (ZnO:N)، بترتیب نمونه های N0، N5 و N10 بر روی شیشه به روش اسپری پایرولیز لایه نشانی شدند. طیف XRD نمونه ها نشان می دهد که نمونه N5 از بالاترین کیفیت بلوری با جهتگیری ترجیحی (۰۰۲) و کمترین میزان ناراستی های بلوری برخوردار بوده و در مقایسه با دیگر نمونه ها از لبه جذب اپتیکی تیزتری در ناحیه فرابنفش برخوردار می باشد. این عوامل می تواند منشاء حساسیت بالاتر در خاصیت فوتورسانایی در این نمونه باشد.

د) مطالعه تاثیر لایه واسط ZnO بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های نازک اکسید روی آلاینش یافته با ناخالصی نیتروژن (ZnO:N)

۱) نمونه های اکسید روی آلاینده با ده درصد اتمی نیتروژن بر روی شیشه با آهنگ ۲/۵ ml/min و نیز بر روی لایه واسط اکسید روی خالص (۲) نمونه های اکسید روی آلاینده با ده درصد اتمی نیتروژن بر روی شیشه با آهنگ ۳/۵ ml/min و نیز بر روی لایه واسط اکسید روی خالص (۳) نمونه های اکسید روی آلاینده با ده درصد اتمی نیتروژن بر روی شیشه با آهنگ ۵ ml/min و نیز بر روی لایه واسط اکسید روی خالص (۴) نمونه های اکسید روی آلاینده با ۵ درصد اتمی نیتروژن بر روی

شیشه با آهنگ ۳/۵ ml/min و نیز بر روی لایه واسط اکسید روی خالص به روش اسپری پیرولیز لایه نشانی شدند. اگرچه در تمامی این موارد طیف XRD نمونه ها نشان دهنده ساختار شش گوشه بسی بلوری است بجز مورد (۱) در سایر موارد همواره لایه های رسوب گذاری شده بر روی لایه واسط از کیفیت بلوری بالاتری در مقایسه با نمونه رشد یافته بر روی شیشه برخوردار بوده است. این موضوع عینا در مورد تصاویر FESEM صدق می کند به طوری که نمونه های رشد یافته بر روی لایه واسط همگی از ابعاد دانه ای بزرگتر و تخلخل بیشتر برخوردار شده اند. به همین ترتیب گاف نواری لایه های رشد یافته بر روی لایه واسط از مقادیر بزرگتری بهره مند بوده اند. سرانجام معلوم شد که به طور کلی لایه های سنتز شده بر روی لایه واسط پاسخ فوتورسانایی بیشتری از لایه های رشد یافته بر روی شیشه نشان می دهند.

چشم انداز آینده

در این پایان نامه به بررسی نانو ساختارهای اکسید روی آرایش شده با نیتروژن و پس از آن اثر زیر لایه را برای خواص فوتورسانایی UV مورد بررسی قرار دادیم. در حین انجام این تحقیقات، چندین زمینه‌ی جذاب برای تحقیق یافته شد. بنابراین امیدواریم برای دیگر محققانی که سعی در ادامه دادن این تحقیق دارند این زمینه‌ها جالب توجه باشد:

۱. ساخت لایه‌های نازک اکسید روی با آرایش‌های دیگر نظیر مس، آهن، ایندیم و بررسی خواص خواص فوتورسانایی UV آنها.

۲. تاثیر ضخامت لایه بر خواص فوتورسانایی UV آنها.

۳. سنتز نانو ساختارها با استفاده از روش‌های دیگر نظیر ^{۱۶}CVD، سل-ژل، ^{۱۷}CBD و... و مقایسه آنها با نمونه‌های رشد یافته به روش اسپری پیرولیز.

۴. اثر نوع زیرلایه مانند آلومینا بر خواص فوتورسانایی UV.

¹⁶ -Chemical Vapor Deposition (CVD)

¹⁷ - Chemical Bath Deposition (CBD)

مراجع

[۱] A. Nouailhat, (2006), "An Introduction to Nanoscience and Nanotechnology", Wiley, France, 1-14.

[۲] چ. پ. پول، ف. ج. اونسر (۱۳۸۹)، "مقدمه‌ای بر نانو فناوری"، نیما تقوی نیا، چاپ دوم، دانشگاه صنعتی شریف، تهران. ص ۱-۱۱.

[۳] ر. لیت. سیلبرگ، ج. اشنايدر، (۱۳۸۰) "انقلاب جهانی تکنولوژی: روندهای جهانی در بیوتکنولوژی، نانو تکنولوژی، تکنولوژی مواد و هم افزایی آنها با تکنولوژی اطلاعات" مترجم: وحیدی مطلق، ملکی فر ع، دفتر همکاری‌های فن آوری ریاست جمهوری، ص ۲۴-۳۸.

[۴] یاسر ارجمند، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "رشد نانو ساختارهای اکسید روی به روش اسپری پیرولیزیز-تبخیر حرارتی"، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۵] C.Jagadish and S.J.Pearnton, (2006) "Zinc Oxide-Bulk, Thin Films and Nanostructures", Elsevier

[۶] M.Vaseem, A.Umar, Y.B.Hahn, (2010), "Metal Oxide Nanostructures and Their Applications", American Scientific Publishers, Vol 5.

[۷] M. Alaoui Lamrani, M. Addou, Z. Sofiani, B. Sahraoui, J. Ebothe, A. E. Hichou, N. Fellahi, J.C. Bernede, R. Dounia, (2007), Cathodoluminescent and nonlinear optical properties of undoped and erbium doped nanostructured ZnO films deposited by spray pyrolysis, "Optics Communications". 277 196-201.

[۸] U. Alver, T. Kılınc, E. Bacaksız, S. Nezir, (2007), Temperature dependence of ZnO rods produced by ultrasonic spray pyrolysis method, *“Materials Chemistry and Physics”*. **106** 227–230.

[۹] Z. Sofiani, B. Derkowska, P. Dalasinski, M. Wojdyła, S. Dabos-Seignon, M. Alaoui Lamrani, L. Dghoughi, W. Bała, M. Addou, B. Sahraoui, (2006), *“Optics Communications”*. **267** 433–439.

[۱۰] الهام شفقت دهکردی، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " بررسی تجربی لایه های نازک نانو ساختار اکسید روی و کاربرد آن در حسگرهای گازی"، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۱] S.S. Shinde, K.Y. Rajpure, (2012), Fabrication and performance of N-doped ZnO UV photoconductive detector *“Journal of Alloys and Compounds”* **522** 118– 122.

[۱۲] N.S.Ramgir, M. Ghosh, P. Veerender, N. Datta, M. Kaur, D.K. Aswal, S.K.Gupta, (2011), Growth And gas sensing characteristics of p- and n-type ZnO nanostructures *“Sensors And Actuators B:Chemical”*. **B 156** 875-880.

[۱۳] S.S. Shinde, C.H. Bhosale, K.Y. Rajpure, (2012), N-doped ZnO based fast response ultraviolet photoconductive detector *“Solid-State Electronics”* **68** 22–26.

[۱۴] S.I. Inamdar, K.Y. Rajpure, (2014), High-performance metal semiconductor–metal UV photodetector based on spray deposited ZnO thin films *“Journal of Alloys and Compounds”* **595** 55–59

[۱۵] S.S. Shinde, K.Y. Rajpure, (2011), High-performance UV detector based on Ga-doped zinc oxide thin films *“Applied Surface Science”* **257** 9595– 9599

[۱۶] S.S. Shinde, K.Y. Rajpure, (2011), Fast response ultraviolet Ga-doped ZnO based photoconductive detector *“Materials Research Bulletin”* **46** 1734–1737

[۱۷] S.V. Mohite, K.Y. Rajpure, (2014), Synthesis and characterization of Sb doped ZnO thin films for photodetector application "Optical Materials" **36** 833–838

[۱۸] Elton N.Kaufmann, (2003), Charactrization of Maerial, John Wiley & Sons, INC.

[۱۹] A. Alyamani and O. M. Lemine, (2012) "Scanning Electron Microscopy", Tech, 465-472.

[۲۰] http://en.wikipedia.org/wiki/scanning_electron_microscope.

[۲۱] کریشنر. هه، ۱۳۷۰، "شناسایی مواد به کمک اشعه ایکس"، عباس طائب، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران.

[۲۲] B. Fultz. and J. Howe. (2007). "Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials", Springer.

[۲۳] T. Prasada Rao, M.C. Santhoshkumar, (2009), Effect of thickness on structural, optical and electrical properties of nanostructured ZnO thin films by spray pyrolysis, "Applied Surface Science". **255** 4579–4584.

[۲۴] H. Gomez, A. Maldonado, M. de la L. Olvera, D.R. Acosta, (2005), Gallium-doped ZnO thin films.

[۲۵] U. Alver, T. Kilinc, E. Bacaksiz, T. Kucukomeroglu, S. Nezir, I.H. Mutlu, F. Aslan, (2007), Thin solid Films, **515** PP 3448-3451.

[۲۶] Abhay A. Sagade, Ramplal Sharma, (2008), Copper sulphide (Cu x S) as an ammonia gas sensor working at room temperature "Sensors and Actuators" **B133** PP 135-143.

[۲۷] N. Chahmat, A. Haddad, A. Ain Souya, R. Ganfoudi, N. Attaf, M. S. Aida, M. Ghers, (2012), Effect of Sn Doping on the Properties of ZnO Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis, "Modern Physics" 3 1781-1785.

[۲۸] C.S. Prajapati, P.P. Sahay, (2013), Influence of In doping on the structural, optical and acetone sensing properties of ZnO nanoparticulate thin films, "Materials Science in Semiconductor". 2000-2010.

[۲۹] M.Ohring, (2002), Material Science of Thin Films Deposition and Structure, Second Edition, "Academic press".

[۳۰] هدی عنایتی تلو باغی، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "رشد و مشخصه یابی لایه های نازک و نانوساختارهای سولفید مس ($CuxS$)"، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۳۱] Perednis.D, (2003), PhD. Thesis, Thin Film Deposition by Spray Pyrolysis and the Application in Solid Oxide Fuel Cells, "Swiss Federal Institute of Technology Zurich".

[۳۲] A. Boller, M. Grossberg, B. Asenjo, M. T. Gutierrez, (2009) CuS-based thin films for architectural glazing applications produced by co-evaporation: Morphology, optical and electrical properties "Surf. Coat.Tech" 204 503.

[۳۳] Jasprit Singh; (1995), "Semiconductor Optoelectronics", McGraw-Hill International Edition

Abstract

In this experimental investigation zinc oxide nanostructured thin films synthesized by spray pyrolysis method and were characterized by various physical properties including: morphological, structural, optical, electrical, thermoelectrical properties also their application in ultraviolet (UV) photoconductivity properties. In this study we have used the Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), X-ray diffractometer (XRD), UV-Vis spectrophotometer, I-V curve, and Seebeck effect measurements.

In this research work we have studied the effect of: spray rate in pure and nitrogen doped zinc oxides (ZnO:N), nitrogen concentration and finally substrate (presence of a buffer layer) on physical properties of zinc oxide nanostructure thin films and their usage in UV photodetectors. We found all samples with n-type conductivity, are grown in nanostructure wurtzite phase polycrystalline nature with (002) and (101) as preferred orientations. It is shown that surface morphologies, crystallite sizes and electrical properties of the films have crucial effects on the ultraviolet photo-detections properties.

Keywords: Zinc oxide; spray pyrolysis; nanostructure; ultraviolet detection.



Shahrood University of Technology

Faculty of Physics

Master of Science Thesis

**An investigation on photoconductivity effects in this
film semiconductor nanostructure**

By:

Narges Yasinzade

Supervisor:

Dr. Hosein Eshghi

Feb. 2015