

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: فیزیک

گروه: فیزیک حالت جامد

عنوان پایان نامه ارشد

رشد و مشخصه‌یابی لایه‌های نازک اکسید ایندیموم (In_2O_3)

دانشجو: خدیجه شمس‌الدینی

استاد راهنما:

دکتر حسین عشقی

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر بزرگوارم که الفبای معرفت و ایثار و از خودگذشتگی را به من آموخت و مادر گرامیم

که زیبایی از اندیشه و نام او آغاز می شود.

مشکر و قدردانی

اینجانب از استاد راهنمای محترم آقای دکتر حسین عشقی که در انجام این پروژه تلاش

و همکاری بی‌شائبه داشته‌اند نهایت سپاس و تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب **خدیجه شمس الدینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک حالت جامد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه رشد و مشخصه یابی لایه های نازک اکسید ایندیوم (In_2O_3) تحت راهنمایی جناب آقای **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

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.

چکیده

در این تحقیق تجربی به بررسی مورفولوژی، خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی نمونه های اکسید ایندیوم خالص که به روش اسپری پایرولیز رشد داده شده اند پرداخته ایم. در این مطالعه برای مشخصه یابی نمونه های رشد یافته از دستگاه های میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف سنجی UV-Vis-NIR، فوتولومینسانس (PL) و مشخصه جریان-ولتاژ (I-V) استفاده کرده ایم.

در طی این تحقیق به منظور ساخت نمونه ها از کلرید ایندیوم (با خلوص ۹۹/۹۹ درصد) در تهیه محلول اسپری استفاده کرده ایم. پارامترهای متغیر در این مطالعه عبارتند از: دمای زیرلایه (۳۵۰ تا ۴۵۰ درجه سلسیوس) و بازپخت، آهنگ لایه نشانی (۱/۷، ۳/۳ و ۴/۸ میلی لیتر بر دقیقه) و بازپخت، نوع زیرلایه (شیشه، سیلیکون و FTO) و سرانجام شیوه اسپری (پالسی و پیوسته).

تصاویر FESEM نمونه ها همواره مؤید شکل گیری نانو ساختارهای گوناگون در لایه بوده و طیف XRD آنها نشان دهنده ساختار های بس بلوری در تمامی لایه ها قبل و بعد از بازپخت است. همچنین طیف عبور نمونه ها بیانگر عبور بالا (< 0.70) در ناحیه مرئی با گاف نواری مستقیم اپتیکی در حدود ۳/۹ الکترون ولت می باشد. طیف فوتولومینسانس (PL) نمونه ها در دمای اتاق مبتنی بر وجود دو قله یکی در ناحیه فرابنفش (متناظر با بازترکیب نوار به نوار) و دیگری در ناحیه مرئی (وابسته به ترازهای ناکاملی های بلوری به ویژه تهی جاهای اکسیژن) می باشد. خواص الکتریکی اندازه گیری شده لایه ها حاکی از مقادیر بالای مقاومت الکتریکی (در حدود مگا اهم) در نمونه هاست به طوری که در معرض تابش نور فرابنفش کاهش قابل ملاحظه ای ملاحظه می شود.

کلید واژه ها: اکسید ایندیوم، اسپری پایرولیز، نانو ساختار، خواص ساختاری، خواص اپتیکی، خواص الکتریکی، مورفولوژی، فوتولومینسانس.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- شمس الدینی، خدیجه؛ عشقی، حسین (۱۳۹۱) «اثر آهنگ لایه نشانی بر خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار In_2O_3 خالص تهیه شده به روش اسپری پایرولیزیز»، دومین همایش سالانه نوآوری‌ها در پردازش لایه‌های نازک و مشخصه‌های آن‌ها، کرمان.
- ۲- شمس الدینی، خدیجه؛ عشقی، حسین (۱۳۹۱) « مطالعه اثر دمای زیر لایه بر خواص فیزیکی لایه های نازک نانو ساختار In_2O_3 تهیه شده به روش اسپری پایرولیزیز»، نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، دانشگاه زاهدان.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مروری بر مقالات، مقدمه‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی اکسیدایندیوم و لایه نازک آن.	

۱-۱-مقدمه	۲
۲-۱-اکسیدایندیوم	۲
۱-۲-۱-ساختار بلوری اکسیدایندیوم	۲
۱-۲-۲-لایه‌های نازک اکسیدایندیوم	۳
۱-۳-۲-کاربردهای لایه‌های نازک اکسیدایندیوم	۳
۱-۳-۱-خصوصیات فیزیکی لایه نازک اکسیدایندیوم	۴
۱-۳-۱-بررسی اثر دمای زیرلایه	۴
۱-۳-۲-بررسی اثر بازیخت	۱۵

فصل دوم : معرفی روش‌های مشخصه‌یابی لایه‌های نازک اکسیدایندیوم

۱-۲-مقدمه	۲۷
۲-۲-میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)	۲۷
۳-۲-طیف پراش پرتو ایکس (XRD)	۲۸
۱-۳-۲-ابعاد بلورکها (D)	۲۹
۲-۳-۲-چگالی دررفتگی (δ)	۳۰
۳-۳-۲-کرنش (ϵ)	۳۰
۴-۲-طیف‌نگاری عبور و بازتاب اپتیکی	۳۱

- ۳۱-۴-۱- ضریب جذب ۳۱
- ۳۲-۴-۲- گاف نواری ۳۲
- ۳۳-۴-۳- طیف‌سنجی فوتولومینسانس ۳۳
- ۳۵-۴-۴- فوتورسانایی ۳۵
- ۳۷-۵- ضخامت‌سنجی ۳۷
- ۳۸-۶- مشخصه‌یابی الکتریکی ۳۸
- ۳۸-۶-۱- مقاومت ورقه‌ای و رسانندگی الکتریکی لایه در دمای اتاق ۳۸
- ۳۹-۶-۲- بستگی دمایی مقاومت ورقه‌ای لایه‌ها ۳۹
- ۴۰-۷- ضریب بهینگی ۴۰

فصل سوم : مراحل رشد و لایه‌های نازک نانو ساختارهای اکسید ایندیوم (In_2O_3) به روش اسپری پایرولیز.

- ۴۲-۱-۳- مقدمه ۴۲
- ۴۲-۲-۳- روش‌های رشد لایه نازک اکسید ایندیوم ۴۲
- ۴۳-۳-۳- دستگاه اسپری پایرولیز ۴۳
- ۴۴-۱-۳-۳- آماده‌سازی زیرلایه ۴۴
- ۴۵-۲-۳-۳- تهیه محلول مورد نیاز در تهیه نمونه‌ها به روش اسپری پایرولیز ۴۵
- ۴۶-۳-۳-۳- پارامترهای لایه‌نشانی در روش اسپری پایرولیز ۴۶

فصل چهارم : نتایج بحث در مورد مورفولوژی، خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه نازک اکسید ایندیوم تهیه شده به روش اسپری پایرولیز

- ۴۹-۱-۴- مقدمه ۴۹

۲-۴- بررسی تاثیر دمای زیر لایه و بازپخت بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید

ایندیوم ۵۰

۲-۴-۱ بررسی تاثیر دمای زیر لایه بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید ایندیوم... ۵۰

(الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها ۵۰

(ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها ۵۱

(ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها ۵۴

(د) مطالعه خواص الکتریکی و ضریب بهینگی لایه‌ها ۵۷

(ه) مطالعه تحت نوردهی ۵۹

(و) مطالعه طیف فوتولومینسانس لایه‌ها ۶۱

۲-۲-۴: مطالعه تاثیر بازپخت بر خواص فیزیکی لایه‌های In_2O_3 ۶۱

(الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها ۶۲

(ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها ۶۳

(ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها ۶۶

(د) مطالعه خواص الکتریکی و ضریب بهینگی لایه‌ها ۶۹

(ه) مطالعه تحت نوردهی ۷۰

۳-۴ : بررسی آهنگ لایه‌نشانی و بازپخت بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید ایندیوم

..... ۷۳

۳-۴-۱ بررسی اثر آهنگ لایه‌نشانی خواص فیزیکی لایه‌های In_2O_3 ۷۳

(الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها ۷۳

(ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها ۷۴

(ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها ۷۷

(د) مطالعه خواص الکتریکی و ضریب بهینگی لایه‌ها ۸۰

- ۸۱..... (ه) مطالعه تحت نوردهی
- ۸۲..... ۲-۳-۴ مطالعه تاثیر بازپخت بر خواص فیزیکی لایه‌های In_2O_3
- ۸۲..... (الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها
- ۸۳..... (ب) مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها
- ۸۵..... (ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها
- ۸۸..... (د) مطالعه خواص الکتریکی و ضریب بهینگی لایه‌ها
- ۹۰..... (ه) مطالعه تحت نوردهی
- ۹۲..... ۴-۴ : بررسی اثر زیرلایه بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید ایندیوم
- ۹۲..... ۱-۴-۴ بررسی اثر نوع زیرلایه با آهنگ لایه‌نشانی $3/3 \text{ ml/min}$
- ۹۲..... (الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها
- ۹۳..... (ب) بررسی خواص ساختاری لایه‌ها
- ۹۵..... (ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها
- ۹۶..... ۲-۴-۴ بررسی اثر نوع زیرلایه با آهنگ لایه‌نشانی $1/7 \text{ ml/min}$
- ۹۶..... (الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها
- ۹۷..... (ب) بررسی خواص ساختاری لایه‌ها
- ۹۹..... (ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها
- ۱۰۱..... ۵-۴ : بررسی اثر اسپری به صورت پالسی بر خواص فیزیکی لایه‌های اکسید ایندیوم
- ۱۰۱..... (الف) مطالعه مورفولوژی سطح لایه‌ها
- ۱۰۲..... (ب) بررسی خواص ساختاری لایه‌ها
- ۱۰۵..... (ج) مطالعه خواص اپتیکی لایه‌ها
- ۱۱۰..... نتیجه‌گیری

فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
شکل ۱-۱: نمایش طرح‌وار ساختار مکعبی In_2O_3 ، دایره‌های کوچک اتم‌های اکسیژن و دایره‌های بزرگ اتم ایندیوم	۳
شکل ۲-۱: مورفولوژی سطح نمونه‌ها در دماهای زیرلایه‌ای مختلف	۴
شکل ۳-۱: توپولوژی سطح نمونه‌ها در دماهای مختلف	۵
شکل ۴-۱: طیف XRD لایه‌های نازک اکسید ایندیوم تهیه شده در دماهای متفاوت	۶
شکل ۵-۱: طیف عبوری نمونه‌ها	۶
شکل ۶-۱: طیف PL لایه‌های اکسید ایندیوم تهیه شده در زیرلایه با دماهای مختلف	۸
شکل ۷-۱: تصویر SEM لایه نازک اکسید ایندیوم لایه‌نشانی شده بر روی زیرلایه در دمای ۶۹۸ K	۸
شکل ۸-۱: طیف XRD نمونه‌های لایه‌نشانی شده در دماهای مختلف	۹
شکل ۹-۱: طیف عبور نمونه‌ها در زیرلایه با دمای‌های متفاوت: $T_a = 623 \text{ k}$ (a)، $T_b = 673 \text{ k}$ (b)	۹
شکل ۱۰-۱: $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی برای نمونه در دمای ۶۹۸ k	۱۰
شکل ۱۱-۱: طیف پرتو ایکس لایه‌های اکسید ایندیوم لایه‌نشانی شده در دمای ۶۹۸ K در زمان‌های مختلف	۱۱
شکل ۱۲-۱: تصاویر SEM لایه نازک اکسید ایندیوم لایه‌نشانی شده بر روی زیرلایه در دماهای متفاوت: $T_a = 250^\circ \text{C}$ (a)، $T_b = 300^\circ \text{C}$ (b)، $T_c = 350^\circ \text{C}$ (c) و $T_d = 400^\circ \text{C}$ (d)	۱۲
شکل ۱۳-۱: توپوگرافی سه بعدی سطح نمونه‌ها با استفاده از تصاویر AFM	۱۲
شکل ۱۴-۱: طیف XRD لایه‌های رشد داده شده در دماهای مختلف زیرلایه	۱۳

- شکل ۱-۱۵: تغییر ابعاد دانه و کرنش بر حسب دمای زیر لایه ۱۴
- شکل ۱-۱۶: طیف عبور لایه‌های اکسید ایندیوم لایه‌نشانی شده در دماهای متفاوت ۱۴
- شکل ۱-۱۷: تصویر SEM لایه‌های نازک اکسید ایندیوم نمونه‌های رشد داده شده: A (a و b) و C (c) ۱۵
- شکل ۱-۱۸: طیف پرتو ایکس لایه‌های اکسید ایندیوم لایه‌نشانی شده ۱۶
- شکل ۱-۱۹: تصاویر AFM لایه‌های نازک اکسید ایندیوم بازپخت شده‌ی نمونه B در دماهای: $^{\circ}\text{C}(a)$ ۵۰۰، $^{\circ}\text{C}(b)$ ۶۰۰، $^{\circ}\text{C}(c)$ ۸۰۰، $^{\circ}\text{C}(d)$ ۹۰۰، $^{\circ}\text{C}(e)$ ۱۰۰۰ و $^{\circ}\text{C}(f)$ ۱۱۰۰ ۱۷
- شکل ۱-۲۰: تصاویر AFM لایه‌های نازک اکسید ایندیوم بازپخت شده نمونه D در دماهای: $^{\circ}\text{C}(a)$ ۵۰۰، $^{\circ}\text{C}(b)$ ۶۰۰، $^{\circ}\text{C}(c)$ ۸۰۰، $^{\circ}\text{C}(d)$ ۹۰۰، $^{\circ}\text{C}(e)$ ۱۰۰۰ و $^{\circ}\text{C}(f)$ ۱۱۰۰ ۱۸
- شکل ۱-۲۱: میانگین اندازه دانه با استفاده از تصاویر AFM برای نمونه‌های بازپخت شده: نمونه‌های ۱۸ (1) D، (2) C و (3) B
- شکل ۱-۲۲: طیف پرتو ایکس لایه‌های اکسید ایندیوم (D-A) بازپخت شده در دمای ۸۰۰ و $^{\circ}\text{C}$ ۱۰۰۰ ۱۹
- شکل ۱-۲۳: تصاویر SEM از سطح و مقطع عرضی نمونه رشد داده شده (a,b) و نمونه‌های بازپخت شده در دماهای $^{\circ}\text{C}(c,d)$ ۴۰۰ و $^{\circ}\text{C}(e,f)$ ۵۰۰ ۲۰
- شکل ۱-۲۴: طیف پرتو ایکس نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت و ابعاد دانه‌ها بر حسب دمای بازپخت نمونه ۲۱
- شکل ۱-۲۵: جذب لایه‌های اکسید ایندیوم در دماهای بازپخت شده مختلف ۲۲
- شکل ۱-۲۶: گاف نواری اپتیکی لایه‌های اکسید ایندیوم در دماهای مختلف ۲۲
- شکل ۱-۲۷: تراکم حامل، تحرک و مقاومت الکتریکی نمونه‌ها بر حسب دماهای متفاوت بازپخت ۲۳
- شکل ۱-۲۸: طیف عبور لایه‌ها قبل (a) و بعد (b) از بازپخت ۲۴

- شکل ۱-۲۹: طیف بازتاب نمونه‌ها قبل (a) و بعد (b) از بازیخت ۲۴
- شکل ۱-۳۰: ضریب جذب (a) و گاف نواری (b) نمونه‌های رشد داده شده ۲۵
- شکل ۲-۱: (الف) دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل (S360MV2300) دانشگاه تهران. (ب) تصویر شماتیک از اجزاء داخلی مسیر عبور باریکه الکترونی تا سطح نمونه ۲۸
- شکل ۲-۲: (الف) بازتاب پرتو ایکس و تعیین فاصله صفحات بلوری (قانون براگ) و (ب) دستگاه پراش پرتو X مدل Bruker – AXS در دانشگاه دامغان ۲۹
- شکل ۲-۳: (الف) دستگاه اسپکتروفوتومتر (shimadzu UV-1800) دانشگاه صنعتی شاهرود، (ب) محل قرارگیری مرجع و شاهد ۳۱
- شکل ۲-۴: ساختار چاه کوانتومی کپه‌ای و نانوساختار ۳۳
- شکل ۲-۵: تابش حاصل از جفت‌گیری الکترون-حفره ۳۴
- شکل ۲-۶: دستگاه اسپکتروفوتومتر Cary eclipse fluorescence spectrometer-varian در دانشگاه صنعتی شریف ۳۵
- شکل ۲-۷: آشکارساز فوتونی شامل تیغه نیم‌رسانا و دو اتصال اهمی ۳۶
- شکل ۲-۸: (a) تصویر لامپ جیوه در دانشگاه صنعتی شاهرود و (b) خطوط طیف نشری متعلق به لامپ بخار جیوه ۳۷
- شکل ۲-۹: دستگاه ضخامت سنج (Profilemeter Taylor/Hobson) در دانشگاه صنعتی شاهرود ۳۷
- شکل ۲-۱۰: نمای شماتیک برای اندازه‌گیری مقاومت ۳۸
- شکل ۲-۱۱: اندازه‌گیری مقاومت در دماهای متفاوت ۴۰
- شکل ۳-۱: روش‌های گوناگون لایه نشانی به صورت فیزیکی و شیمیایی ۴۳

- شکل ۳-۲ : (الف) دستگاه اسپری پایرولیزیز استفاده شده (۸۶ Spray Coating System.S.C.S) در دانشگاه صنعتی شاهرود (ب) طرح شماتیک از دستگاه اسپری ۴۴
- شکل ۳-۳ : محلول کلرید ایندیوم حل شده در آب دو بار تقطیر ۴۶
- شکل ۴-۱ : مورفولوژی سطح نمونه‌ی رشد داده شده برای نمونه‌های T1, T2 و T3 ۵۱
- شکل ۴-۲ : طیف XRD نمونه‌ها در دمای زیر لایه : (T1) 350°C , (T2) 400°C و (T3) 450°C ۴۵۰
- شکل ۴-۳ : تغییرات ابعاد بلورک بر حسب دما ۵۳
- شکل ۴-۴ : طیف عبور (الف) و بازتاب (ب) لایه‌های اکسید ایندیوم برای نمونه‌های با دمای زیر لایه : (T1) 350°C , (T2) 400°C و (T3) 450°C ۵۴
- شکل ۴-۵ : منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌ها با دمای زیر لایه (T1) ۵۵
- شکل ۴-۶ : مقایسه منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای هر سه نمونه ۵۵
- شکل ۴-۷ : تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ ۵۶
- شکل ۴-۸ : (الف) تغییرات E_g بر حسب دمای زیر لایه و (ب) گاف نواری بر حسب معکوس مربع ابعاد بلورک ۵۷
- شکل ۴-۹ : بستگی $\ln(\rho)$ بر حسب معکوس دمای مطلق ۵۸
- شکل ۴-۱۰ : تغییرات ولتاژ بر حسب جریان در تاریکی (D) و در مجاورت نور فرابنفش (L) ۶۰
- شکل ۴-۱۱ : طیف‌های فوتولومینسانس (PL) با طول موج برانگیختگی 280 nm برای نمونه‌های T1, T2 و T3 ۶۱
- شکل ۴-۱۲ : مورفولوژی سطح نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۶۳
- شکل ۴-۱۳ : طیف XRD نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۶۴
- شکل ۴-۱۴ : ابعاد بلورک بر حسب دما قبل و بعد از بازپخت ۶۵

- شکل ۴-۱۵: طیف‌های عبور و بازتاب نوری لایه‌های اکسیدایندیوم برای نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۶۷.....
- شکل ۴-۱۶: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۶۸.....
- شکل ۴-۱۷: تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv برای نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۶۹.....
- شکل ۴-۱۸: تغییرات جریان بر حسب ولتاژ در تاریکی (D) و در مجاورت پرتو فرابنفش (L) ۷۱.....
- شکل ۴-۱۹: مورفولوژی سطح نمونه‌های R1، R2 و R3 ۷۴.....
- شکل ۴-۲۰: طیف XRD نمونه‌های با آهنگ لایه‌نشانی (R1) ۱/۷ ml/min، (R2) ۳/۳ ml/min و (R3) ۴/۸ ml/min ۷۵.....
- شکل ۴-۲۱: تغییرات ابعاد بلورک بر حسب آهنگ اسپری ۷۶.....
- شکل ۴-۲۲: تغییرات کرنش بر حسب آهنگ اسپری ۷۷.....
- شکل ۴-۲۳: (الف) طیف عبور و (ب) طیف بازتاب اپتیکی اکسیدایندیوم در آهنگ لایه‌نشانی مختلف ۷۷.....
- شکل ۴-۲۴: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌ها با آهنگ اسپری متفاوت ۷۸.....
- شکل ۴-۲۵: تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv و تغییرات E_g بر حسب آهنگ اسپری ۷۹.....
- شکل ۴-۲۶: تغییرات گاف نواری بر حسب معکوس مربع ابعاد بلورک ۸۰.....
- شکل ۴-۲۷: تغییرات ولتاژ بر حسب جریان در تاریکی (D) و در مجاورت تابش نور لامپ جیوه (L) ۸۱.....
- شکل ۴-۲۸: مورفولوژی سطح نمونه‌ها قبل از بازپخت (R1، R2 و R3) و بعد از بازپخت (R1a، R2a و R3a) ۸۳.....

- شکل ۴-۲۹: طیف XRD نمونه‌ها قبل از بازپخت (R1، R2 و R3) و بعد از بازپخت (R1a، R2a و R3a) در هوا در دمای ۵۰۰ درجه ۸۴
- شکل ۴-۳۰: طیف عبور و بازتاب نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۸۶
- شکل ۴-۳۱: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۸۷
- شکل ۴-۳۲: تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و گاف نواری بر حسب آهنگ اسپری برای نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت ۸۸
- شکل ۴-۳۳: مقاومت ویژه نمونه‌ها بر حسب آهنگ اسپری ۹۰
- شکل ۴-۳۴: تغییرات ولتاژ بر حسب جریان در تاریکی و در مجاورت تابش نور لامپ جیوه ۹۰
- شکل ۴-۳۵: مورفولوژی نمونه‌ها با زیرلایه‌های متفاوت با آهنگ ۳/۳ ml/min ۹۳
- شکل ۴-۳۶: طیف پرتو XRD نمونه‌های رشد یافته بر روی زیرلایه‌های متفاوت: شیشه (G)، شیشه پوشیده از اکسید قلع (F) و ویفر سیلیکون (S) ۹۴
- شکل ۴-۳۷: تصاویر الف و ب به ترتیب طیف عبور و بازتاب اکسید ایندیوم رشد یافته بر روی زیرلایه شیشه (G) و شیشه پوشیده از اکسید قلع (F) ۹۵
- شکل ۴-۳۸: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌های F و G ۹۵
- شکل ۴-۳۹: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ ۹۶
- شکل ۴-۴۰: مورفولوژی نمونه‌ها با زیرلایه‌های متفاوت با آهنگ ۱/۷ ml/min ۹۷
- شکل ۴-۴۱: طیف پرتو XRD نمونه‌ها با زیرلایه متفاوت ۹۸
- شکل ۴-۴۲: تصاویر الف و ب، به ترتیب طیف عبور و بازتاب اکسید ایندیوم رشد یافته بر روی زیرلایه شیشه (G) و شیشه پوشیده از اکسید قلع (F) ۹۹
- شکل ۴-۴۳: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌های F و G ۱۰۰

- شکل ۴-۴۴: منحنی تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv ۱۰۰
- شکل ۴-۴۵: مورفولوژی سطح نمونه‌های A, A1 و A2 رشد داده شده ۱۰۲
- شکل ۴-۴۶: طیف XRD نمونه‌های رشد یافته به صورت پیوسته (A) و پالسی (A1 و A2) ۱۰۳
- شکل ۴-۴۷: تغییرات ابعاد بلورک بر حسب تغییر پالس اسپری ۱۰۴
- شکل ۴-۴۸: تغییر پالس بر حسب کرنش ۱۰۵
- شکل ۴-۴۹: (الف) طیف بازتاب و (ب) طیف عبور اپتیکی اکسید ایندیوم بدون پالس و با پالس‌های متفاوت ۱۰۶
- شکل ۴-۵۰: ابعاد بلورک بر حسب ضخامت لایه‌ها ۱۰۶
- شکل ۴-۵۱: منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌ها بدون پالس و با پالس - های متفاوت ۱۰۷
- شکل ۴-۵۲: مقایسه منحنی ضریب جذب اپتیکی بر حسب طول موج برای نمونه‌ها ۱۰۷
- شکل ۴-۵۳: تغییرات $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv ۱۰۸
- شکل ۴-۵۴: (الف) تغییرات E_g بر حسب تغییر پالس و (ب) گاف نواری بر حسب معکوس مربع ابعاد بلورک ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ : مقاومت ویژه، تراکم و تحرک حامل‌ها و ضریب بهینگی نمونه‌ها در دماهای مختلف ... ۷	
جدول ۲-۱ ابعاد بلورک در دماهای مختلف ۹	
جدول ۳-۱ : ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی لایه‌های اکسید ایندیوم بر حسب تابعی از دمای رشد .. ۱۰	
جدول ۴-۱ : مقاومت ویژه الکتریکی و انرژی فعالسازی نمونه‌ها ۱۵	
جدول ۵-۱ : میانگین ابعاد بلورک با استفاده از آنالیزهای مختلف برای نمونه‌های رشد داده شده..... ۱۶	
جدول ۶-۱ : اندازه ابعاد بلورک با استفاده از طیف XRD برای نمونه‌های بازپخت شده ۱۹	
جدول ۴-۱ : نتایج حاصل از آنالیز پرتو ایکس برای نمونه‌های رشد یافته در دمای T1، T2 و T3..... ۵۲	
جدول ۴-۲ : چگالی در رفتگی و کرنش نمونه‌ها در دماهای متفاوت در راستای جهت ترجیحی ۵۳	
جدول ۴-۳ : مقاومت ورقه ای، مقاومت ویژه، رسانندگی الکتریکی و انرژی فعالسازی نمونه‌ها ۵۸	
جدول ۴-۴ : طیف عبور و ضریب بهینگی نمونه‌ها ۵۹	
جدول ۴-۵ : نسبت مقاومت نمونه‌ها در مجاورت نور فرابنفش به تاریکی ۶۰	
جدول ۴-۶ : نتایج حاصل از آنالیز پرتو ایکس برای نمونه‌های بازپخت شده در دمای ۵۰۰ درجه .. ۶۵	
جدول ۴-۷ : فاصله بین صفحات بلوری، چگالی در رفتگی و کرنش در نمونه‌های بازپخت شده در هوا ۶۶	
جدول ۴-۸ : مقاومت ورقه ای، مقاومت ویژه و رسانندگی الکتریکی نمونه‌ها قبل و بعد از بازپخت..... ۷۰	
جدول ۴-۹ : طیف عبور و ضریب بهینگی نمونه‌ها بعد از بازپخت ۷۰	
جدول ۴-۱۰ : نسبت مقاومت نمونه‌های بازپخت شده در مجاورت نور فرابنفش به تاریکی ۷۲	
جدول ۴-۱۱ : نتایج حاصل از آنالیز پرتو ایکس برای نمونه‌های رشد یافته با آهنک لایه‌نشانی متفاوت ۷۵	
R و R2، R1 :	