

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الحمد لله الذي هدانا لهذا  
الذي كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه  
گروه فیزیک  
(گرایش حالت جامد)

رشد و مشخصه یابی لایه های نازک نانوساختار اکسید قلع تهیه شده بوسیله ی تبخیر با اشعه الکترونی

از:

طیبه قاسم پور قاضی محله

استادان راهنما:

دکتر سید محمد روضاتی

دکتر صابر فرجامی



دانشگاه سوادکوه  
مرکز تحقیقات فیزیک

۳ / ۷ / ۱۳۸۹

مرکز تحقیقات فیزیک  
سوادکوه

مرداد ۱۳۸۸

۱۴۱۶۱۴

تقریباً بہ :

عزیز ترین انسان کہ در زندگیم، هر آنجہ  
در تولا و استند بی منت بخشدند

## تقدیر و تشکر

از اساتید محترم دکتر سید محمد روضاتی و دکتر صابر فرجامی بخاطر راهنمایی های ارزشمندشان در طی انجام این پروژه. جناب دکتر قدسی و جناب دکتر مشایخی داوران این پایان نامه، استاد محترم دکتر صفاری نماینده تحصیلات تکمیلی سپاسگزارم.

از تمام دوستان گرانقدرم که در کنارشان تجربه های بسیاری کسب نموده ام، بسبب همراهی صمیمانه شان کمال تشکر را دارم و هر آنچه از همدلی و همراهیشان آموخته ام همیشه در خاطرم محفوظ خواهد ماند. به ویژه قدردان همیشگی خانواده عزیزم برای مساعدت و دلگرمی بی دریغشان هستم و از خداوند متعال خواستارم، توان جبران زحماتشان را به من ارزانی دارد.

خداوند تو را میبیند تو را دوست دارد و بهترین مخلوقاتش را در کنار تو قرار داده پس تو هم دوست بدار همراهانت را که سوغات خداوند هستند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ش	چکیده فارسی
ص	چکیده انگلیسی
۱	مقدمه
۴	فصل اول: روش‌های انباشت بخار فیزیکی
۵	(۱-۱) مقدمه
۶	(۲-۱) انباشت لایه نازک در محیط خلأ
۸	(۳-۱) تکنیکهای لایه نشانی در خلأ
۸	(۱-۳-۱) کندوپاش دیودی
۹	(۲-۳-۱) کندوپاش Triod
۱۰	(۳-۳-۱) کندوپاش اشعه-یون
۱۱	(۴-۳-۱) کندوپاش مغناطیسی
۱۱	(۵-۳-۱) انباشت توسط لیزر
۱۲	(۶-۳-۱) برارانی اشعه مولکولی
۱۲	(۷-۳-۱) تبخیر گرمائی
۱۴	(۸-۳-۱) تبخیر با اشعه الکترونی
۱۸	(۴-۱) قسمت‌های اصلی سیستم خلأ
۱۹	(۱-۴-۱) پمپ دوار
۱۹	(۲-۴-۱) پمپ پخشی
۲۱	(۳-۴-۱) فشار سنج پیرانی یا گیج‌های رسانندگی گرمائی
۲۱	(۴-۴-۱) فشار سنج پینینگ
۲۲	(۵-۴-۱) کنترل کننده ضخامت

۲۳	DTM-101 نحوه تنظیم کنترل کننده ضخامت مدل
۲۶	فصل دوم: لایه‌های نازک نیمه رسانای شفاف و دستگاه‌های آنالیز
۲۷	(۱-۲) لایه های اکسید رسانای شفاف (TCO)
۲۷	(۲-۲) خواص ساختاری
۲۸	(۱-۲-۲) خواص ساختاری $\text{SnO}_2$ و $\text{SnO}$
۲۸	(۲-۲-۲) نقایص نقطه ای در لایه های
۲۹	(۳-۲) خواص الکتریکی نیمه رساناهای شفاف
۲۹	(۱-۳-۲) غلظت حامل
۲۹	(۴-۲) خواص اپتیکی
۲۹	(۱-۴-۲) طیف تراگسیل در نیمه رساناهای اکسیدی رسانای شفاف
۳۵	(۵-۲) طیف سنج UV-Visible
۳۶	(۱-۵-۲) تعیین ضریب جذب وگاف نواری
۳۷	(۶-۲) طیف پراش اشعه x (XRD)
۳۸	(۱-۶-۲) معادله ی شرر
۳۹	(۲-۶-۲) لایه های Texture
۴۰	(۳-۶-۲) اندازه گیری ساختار
۴۱	(۷-۲) اثر هال
۴۱	(۱-۷-۲) اثر هال و نیروی لورنتز
۴۳	(۲-۷-۲) روش Vander Paw
۴۵	(۸-۲) میکروسکوپ نیرو اتمی (AFM)
۴۶	(۹-۲) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۴۷	(۱-۹-۲) نحوه آماده سازی نمونه ها
۴۷	(۲-۹-۲) علت لایه نشانی نموته ها با لایه نازکی از طلا یا کربن

۴۸	۱۰-۲) طیف لومینسانس
۴۸	۱-۱۰-۲) مکانیزم و مواد لومینسانس
۴۹	۲-۱۰-۲) کاربرد طیف لومینسانس
۵۰	۱۱-۲) ناخالصی و لومینسانس در نیمه رساناها
۵۴	فصل سوم : لایه‌های نازک اکسید قلع
۵۵	۱-۳) مقدمه
۵۵	۲-۳) تهیه لایه‌ها با ماده هدف $\text{SnO}_2$
۶۹	۳-۳) لایه‌های اکسید قلع با ماده‌ی هدف فلز قلع
۷۲	فصل چهارم: رشد و مشخصه یابی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید قلع
۷۳	۱-۴) مقدمه
۷۴	۲-۴) روش آزمایش
۷۴	۱-۲-۴) روش تهیه قرص
۷۵	۲-۲-۴) روش تمییز سازی لایه ها
۷۵	۳-۲-۴) نحوه راه اندازی دستگاه و تهیه لایه
۷۸	۳-۴) خواص لایه‌های تهیه شده در آهنگ انباشت متفاوت قبل از حرارت دهی
۷۸	۱-۳-۴) خواص ساختاری
۷۹	۲-۳-۴) طیف عبور و خواص الکتریکی
۸۱	۴-۴) اثر حرارت دهی روی لایه‌های تهیه شده با آهنگ انباشت متفاوت در دمای $450^\circ\text{C}$ و در محیط هوا
۸۱	۱-۴-۴) خواص ساختاری
۸۳	۲-۴-۴) طیف عبور
۸۴	۳-۴-۴) خواص الکتریکی
۸۵	۵-۴) اثر حرارت دهی روی لایه‌های تهیه شده با آهنگ انباشت متفاوت در دمای $450^\circ\text{C}$ و در محیط اکسیژن
۸۵	۱-۵-۴) خواص ساختاری

- ۸۶ ۲-۵-۴ طیف عبور
- ۸۸ ۳-۵-۴ خواص الکتریکی
- ۹۰ ۶-۴ اثر تغییر دمای زیر لایه در هنگام انباشت روی لایه‌های اکسید قلع تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی
- ۹۰ قبل از حرارت دهی
- ۹۰ ۱-۶-۴ خواص ساختاری
- ۹۳ ۲-۶-۴ طیف عبور
- ۹۳ ۱-۷-۴ خواص ساختاری
- ۹۳ ۱-۱-۷-۴ طرح پراش اشعه X
- ۹۴ ۲-۱-۷-۴ تصاویر SEM
- ۹۷ ۲-۷-۴ طیف عبور
- ۹۷ ۳-۷-۴ خواص الکتریکی
- ۹۸ ۸-۴ تأثیر تغییرات ضخامت روی لایه‌های تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی اکسید قلع قبل از حرارت دهی
- ۹۹ ۱-۸-۴ خواص ساختاری
- ۹۹ ۱-۱-۸-۴ طرح پراش لایه‌ها
- ۱۰۰ ۲-۱-۸-۴ تصاویر SEM
- ۱۰۱ ۲-۸-۴ طیف عبور
- ۱۰۳ ۹-۴ اثر حرارت دهی در محیط هوا و در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳ h روی لایه‌های تهیه شده با ضخامتهای متفاوت
- ۱۰۳ ۱-۹-۴ خواص ساختاری
- ۱۰۳ ۱-۱-۹-۴ طرح پراش اشعه X
- ۱۰۴ ۲-۱-۹-۴ تصاویر SEM
- ۱۰۵ ۲-۹-۴ طیف عبور
- ۱۰۶ ۳-۹-۴ خواص الکتریکی
- ۱۰۷ ۱۰-۴ اثر حرارت دهی در محیط اکسیژن و دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳ h روی لایه‌های تهیه شده با ضخامتهای متفاوت



۱۰۷	۴-۱۰-۱) طیف عبور
۱۰۹	۴-۱۰-۲) خواص ساختاری
۱۰۹	۴-۱۰-۲-۱) طرح پراش اشعه X
۱۱۰	۴-۱۰-۲-۲) تصاویر SEM
۱۱۴	۴-۱۰-۳) خواص الکتریکی
۱۱۶	۴-۱۱) آنالیز AFM برای دو ضخامت ۸۰nm و ۱۸۰nm
۱۱۹	۴-۱۲) فوتولومینسانس لایه‌ها بر اساس تغییرات ضخامت
۱۲۲	نتیجه گیری
۱۲۵	پیشنهادات مربوط به پژوهشهای آینده
۱۲۶	مراجع

- جدول (۱-۳) نتایج الگوی پراش لایه‌ها بر اساس تغییرات دمای زیر لایه قبل و بعد از انیلینگ ۵۵
- جدول (۲-۳) الگوی پراش لایه‌ی تهیه شده در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  و حرارت داده شده در دماهای متفاوت ۵۶
- جدول (۳-۳) خواص الکتریکی لایه‌ها بر اساس دمای زیر لایه ۵۷
- جدول (۴-۳) خواص الکتریکی و شفافیت برای لایه‌های حرارت داده شده بمدت ۲ h در دماهای متفاوت زیر لایه و انیلینگ ۶۲
- جدول (۵-۳) نتایج طرح پراش و میزان X برای لایه‌های اکسید قلع تهیه شده بوسیله‌ی تبخیر پودر SnO و  $\text{SnO}_2$  در دماهای زیر لایه‌ی متفاوت و زیر لایه‌های مختلف ۶۵
- جدول (۱-۴): نتایج تغییرات خواص لایه‌ها بر اساس تغییر آهنگ انباشت با شرایط ثابت دیگر ۸۰
- جدول (۲-۴): نتایج داده فیگراومریت و مقاومت سطحی لایه‌ها بر اساس تغییرات آهنگ انباشت بعد از حرارت دهی در هوا ۸۴
- جدول (۳-۴): نتایج داده های فیگراومریت و خواص الکتریکی لایه‌ها بر اساس تغییرات آهنگ انباشت بعد از حرارت دهی در محیط اکسیژن ۸۹
- جدول (۴-۴): نتایج داده های فیگراومریت و خواص الکتریکی لایه‌ها با تغییرات ضخامت لایه بعد از حرارت دهی در محیط هوا ۹۷
- جدول (۵-۴): نتایج تغییرات خواص لایه‌ها بر اساس تغییرات ضخامت قبل از حرارت دهی ۱۰۲
- جدول (۶-۴): نتایج داده های فیگراومریت و خواص الکتریکی لایه‌ها با تغییرات دمای زیر لایه بعد از حرارت دهی در محیط هوا ۱۰۷
- جدول (۷-۴): نتایج داده های فیگراومریت و خواص الکتریکی لایه‌ها با تغییرات ضخامت لایه بعد از حرارت دهی در محیط اکسیژن ۱۱۵
- جدول (۸-۴): پارامترهای ناهمواری سطح و میانگین ارتفاع برای لایه با ضخامت پیش فرض  $80\text{ nm}$  ۱۱۷
- جدول (۹-۴): پارامترهای ناهمواری سطح و میانگین ارتفاع برای لایه با ضخامت پیش فرض  $180\text{ nm}$  ۱۱۸

- ۷ (شکل ۱-۱). سه مرحله ی بنیادی در روش انباشت بخار فیزیکی
- ۹ (شکل ۲-۱). طرح شماتیک از سیستم کندوپاش دیودی
- ۹ (شکل ۳-۱). طرح شماتیک از سیستم کندوپاش Triod
- ۱۰ (شکل ۴-۱). طرح شماتیک از سیستم کندوپاش اشعه یون
- ۱۰ (شکل ۵-۱). طرح شماتیک از نحوه ی عملکرد سیستم کندوپاش اشعه یون برای انباشت لایه وپاکسازی زیر لایه
- ۱۱ (شکل ۶-۱). طرح شماتیک از سیستم کندوپاش مغناطیسی از مقطع بالا
- ۱۱ (شکل ۷-۱). طرح شماتیک از سیستم کندوپاش مغناطیسی
- ۱۲ (شکل ۸-۱). طرحی از سیستم لیزر
- ۱۳ (شکل ۹-۱). طرح شماتیک از سیستم تبخیر گرمائی بوسیله ی اتصال بوته به دو پایانه با ولتاژ پائین و جریان بالا
- ۱۳ (شکل ۱۰-۱). نمونه ای از فیلامنتها
- ۱۴ (شکل ۱۱-۱). نمونه ای از بوته ها
- ۱۴ (شکل ۱۲-۱). نمونه ای از سبدها
- (شکل ۱۳-۱). طرح شماتیک از سطح مقطع و قسمت بالای محفظه ی تفنگ الکترونی و تمرکز آن روی نمونه در سیستم تبخیر اشعه الکترونی
- ۱۷ (شکل ۱۴-۱). شمایی از نحوه ی عملکرد تفنگ الکترونی در سیستم خلأ
- ۱۷ (شکل ۱۵-۱). نحوه ی قرار گرفتن تفنگ الکترونی در سیستم خلأ
- ۱۹ (شکل ۱۶-۱). طرح شماتیک از پمپ دوار
- ۲۰ (شکل ۱۷-۱). طرح شماتیک از پمپ پنخشی
- ۲۱ (شکل ۱۸-۱) فشار سنج پیرانی
- ۲۲ (شکل ۱۹-۱) فشار سنج پینینگ
- ۲۳ (شکل ۲۰-۱). طرح شماتیک از کریستال کوارتز ونحوه ی قرار گرفتن آن در سیستم خلأ
- ۲۸ (شکل ۱-۲). شمایی از سلول واحد  $\text{SnO}_2$

- ۳۰ (شکل ۲-۲). طرحی از طیف تراگسیل لایه های نازک نیمه رسانای شفاف
- ۳۲ (شکل ۲-۳). طرح شماتیک از لبه های نواری سهمیگون و شیفیت Moss-Burstein
- (شکل ۲-۴). کاهش مقاومت ویژه تحت افزایش دمای انیلینگ برای لایه های ITO تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی
- ۳۲ (شکل ۲-۵). افزایش گاف نواری بر حسب دمای انیلینگ با افزایش غلظت حاملها تحت شیفیت موس- برشتین
- ۳۳ (شکل ۲-۶). طیف تراگسیل نمونه های ITO تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی بر اساس ضخامت
- ۳۴ (شکل ۲-۷). مقاومت سطحی نمونه ها بر اساس افزایش ضخامت مربوط به لایه های ITO
- ۳۵ (شکل ۲-۸). طرح مربوط به طیف سنج UV-Visible
- ۳۶ (شکل ۲-۹). ساختار نوار انرژی گذار اپتیکی مستقیم و غیر مستقیم
- (شکل ۲-۱۰). نمودار  $(\alpha h \nu)^n$  بر حسب  $h\nu$  و محاسبه ی گاف انرژی مستقیم و غیرمستقیم برای لایه های ITO تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی
- ۳۷ (شکل ۲-۱۱). طرحی از دسته صفحات براگ
- ۳۷ (شکل ۲-۱۲). طرحی فرضی از منحنی پراش
- ۳۹ (شکل ۲-۱۳). منحنی پراش دارای عرضی به میزان B در نیمه ی شدت آن
- ۳۹ (شکل ۲-۱۴). تغییرات ضریب ترکیب نسبت به دما برای لایه های اکسید قلع
- ۴۰ (شکل ۲-۱۵). تغییرات انحراف از حالت استاندارد ضریب ترکیب نسبت به دماهای مختلف برای لایه های اکسید قلع.
- ۴۱ (شکل ۲-۱۶). طرح شماتیک از اثر هال
- ۴۲ (شکل ۲-۱۷). طرحی از روش Vander paw
- ۴۴ (شکل ۲-۱۸). نحوه اتصالات برای محاسبه ی مقاومت های  $R_a$  و  $R_b$
- ۴۴ (شکل ۲-۱۹). طرح شماتیک از میکروسکوپ نیرو اتمی AFM
- ۴۵ (شکل ۲-۲۰). نمودار نیرو وارد شده به پروب بر اساس فاصله نوک پروب تا سطح نمونه
- ۴۶ (شکل ۲-۲۱). نگهدارنده های نمونه در میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۴۷

- ۴۹ (شکل ۲-۲۲). طرحی از ماده لومینسانس شامل یونهای فعال A و یونهای حساسگر S
- ۵۱ (شکل ۲-۲۳). ترازهای کم عمق در یک نیمه رسانا
- ۵۲ (شکل ۲-۲۴). طرحی از تراز عمقی که در یک ساختار سهموی قرار گرفته
- ۵۳ (شکل ۲-۲۵). فرایند منجر به لومینسانس جفت پذیرنده \_ دهنده
- (شکل ۳-۱). خواص الکتریکی لایه‌ها بر اساس دمای زیر لایه بعد از حرارت دهی منحنی (۱) مقاومت ویژه، منحنی (۲) غلظت حامل و منحنی (۳) موصلیتی هال
- ۵۸ (شکل ۳-۲). مقاومت ویژه براساس دمای حرارت دهی منحنی (۱) و زمان حرارت دهی برای نمونه‌ی تهیه شده در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  منحنی (۲)
- ۵۹ (شکل ۳-۳). طیف عبور لایه‌های حرارت داده شده در محیط هوا در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  بمدت ۲h منحنی (۱)
- ۵۹  $150^{\circ}\text{C}$ ، منحنی (۲)  $250^{\circ}\text{C}$ ، منحنی (۳)  $350^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۳-۴). گاف نواری لایه‌های حرارت داده شده در محیط هوا و در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  بمدت ۲h براساس دمای زیر لایه
- ۶۰ (شکل ۳-۵). گاف نواری لایه تهیه شده در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  و حرارت داده شده در محیط هوا بر اساس دماهای انیلینگ متفاوت بمدت ۲h
- ۶۱ (شکل ۳-۶). طیف عبور برای لایه‌های تهیه شده در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  حرارت داده نشده و حرارت داده شده در دمای  $650^{\circ}\text{C}$  و مدت زمان انیلینگ (a) ۰ (b) ۵ (c) ۱۰ (d) ۲۰ (e) ۳۰ و (f) ۱۲۰ دقیقه
- ۶۲ (شکل ۳-۷). طرح پراش لایه‌های تهیه شده در دمای زیر لایه  $50^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$ ،  $350^{\circ}\text{C}$
- ۶۳ (شکل ۳-۸). طرح پراش لایه‌ی حرارت داده شده در محیط اکسیژن در دماهای  $450^{\circ}\text{C}$ ،  $550^{\circ}\text{C}$  و  $650^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۳-۹). میزان ترکیب X بر اساس دمای زیر لایه برای پودر  $\text{SnO}_2$  منحنی (۱) و  $\text{SnO}$  منحنی (۲) و برای زیر لایه کوارتز (علامتهای مربع) و زیر لایه  $\text{NaCl}$  (علامتهای دایروی شکل)
- ۶۶ (شکل ۳-۱۰). طرح پراش لایه‌های حرارت داده شده  $\text{Sn-O}$  در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  برای بازه‌های زمانی متفاوت
- ۶۷ (شکل ۳-۱۱). رسانندگی و غلظت حامل مربوط به لایه‌های حرارت داده شده در دمای  $550^{\circ}\text{C}$
- ۶۸ (شکل ۳-۱۲). میزان ترکیب X برای لایه‌های حرارت داده شده در دمای ۵۵۰ یا ۵۰۰ درجه سانتیگراد
- ۶۹ (شکل ۳-۱۳). طرح پراش لایه‌ی قلع و لایه‌ی حرارت داده شده

- ۷۰ (شکل ۳-۱۴). طرح پراش لایه‌های حرارت داده شده در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  برای زمانهای متفاوت
- ۷۰ (شکل ۳-۱۵). تصویر SEM لایه‌ی حرارت داده شده در دمای  $400^{\circ}\text{C}$
- ۷۱ (شکل ۳-۱۶). آنالیز EDAX ناحیه‌ی (۱) و (۲)
- ۷۱ (شکل ۳-۱۷). مقاومت ویژه و اندازه‌ی دانه بر اساس زمان انیلینگ
- ۷۷ (شکل ۴-۱). شمایی کلی از سیستم خلأ مورد استفاده
- ۷۷ (شکل ۴-۲). شمایی از قرص ساز (سمت راست)، شمایی از محفظه قرص ساز و قرص تهیه شده (سمت چپ)
- ۷۷ (شکل ۴-۳). طرحی از محفظه‌ی پمپ پخشی (سمت چپ) و مخزن خلأ (سمت راست)
- (شکل ۴-۴). طرح پراش لایه‌های تهیه شده در آهنگ انباشت متفاوت قبل از حرارت دهی  $0.6 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (a)  $0.6 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (b)  $2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (c)  $4/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (d)  $10/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$
- ۷۹ (شکل ۴-۵). طیف عبور لایه‌های اکسید قلع تهیه شده با آهنگ انباشت متفاوت قبل از حرارت دهی
- (شکل ۴-۶). طرح پراش لایه‌های تهیه شده در آهنگ انباشت متفاوت بعد از حرارت دهی در محیط هوا و
- ۸۲ در دمای  $450^{\circ}\text{C}$ ،  $0.6 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (a)  $2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (b)  $4/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (c)  $10/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (d)
- (شکل ۴-۷) طیف عبور لایه‌های اکسید قلع تهیه شده با آهنگ انباشت متفاوت بعد از حرارت دهی در محیط هوا
- ۸۳ و در دمای  $450^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۴-۸) طرح پراش لایه‌های تهیه شده در آهنگ انباشت متفاوت بعد از حرارت دهی در جو اکسیژن و در
- ۸۶ دمای  $450^{\circ}\text{C}$ ،  $0.6 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (a)  $2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (b)
- (شکل ۴-۹) طیف عبور لایه‌های اکسید قلع تهیه شده با آهنگ انباشت متفاوت بعد از حرارت دهی
- ۸۹ در جو اکسیژن و در دمای  $450^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۴-۱۰) طیف عبور لایه‌ها قبل و بعد از انیلینگ در محیط هوا و اکسیژن در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  برای آهنگ انباشت
- ۸۸  $0.6 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (a) آهنگ انباشت  $2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (b) آهنگ انباشت  $4/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (c) و آهنگ انباشت  $10/2 \text{ A}^{\circ}\text{S}$ ، (d)
- ۹۱ (شکل ۴-۱۱). طرح پراش لایه‌ی تهیه شده در دمای زیر لایه‌ی  $150^{\circ}\text{C}$  قبل از حرارت دهی
- ۹۱ (شکل ۴-۱۲). طرح پراش لایه‌ی تهیه شده در دمای زیر لایه‌ی  $200^{\circ}\text{C}$  قبل از حرارت دهی
- ۹۲ (شکل ۴-۱۳). طرح پراش لایه‌ی تهیه شده در دمای زیر لایه‌ی  $250^{\circ}\text{C}$  قبل از حرارت دهی
- ۹۲ (شکل ۴-۱۴). طرح پراش لایه‌ی تهیه شده در دمای زیر لایه‌ی  $280^{\circ}\text{C}$  قبل از حرارت دهی

- ۹۳ (شکل ۴-۱۵). طیف عبور لایه‌های تهیه شده در دماهای متفاوت
- (شکل ۴-۱۶). طرح پراش لایه‌های تهیه شده در دمای زیر لایه‌ی متفاوت و حرارت داده شده در محیط هوا
- ۹۴ و در دمای  $450^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۴-۱۷). تصاویر SEM لایه‌های تهیه شده در دمای  $280^{\circ}\text{C}$  (a) قبل از حرارت دهی (b) بعد از
- ۹۵ حرارت دهی در محیط هوا در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳ h (مقیاس ۵۰۰ nm)
- (شکل ۴-۱۸). طیف عبور لایه‌های تهیه شده در دماهای متفاوت و حرارت داده شده در محیط هوا و در
- ۹۵ دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳ h
- (شکل ۴-۱۹). طیف عبور لایه‌ها قبل و بعد از انیلینگ در محیط هوا در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  برای دمای زیر لایه‌ی
- ۹۶  $50^{\circ}\text{C}$  (a)،  $150^{\circ}\text{C}$  (b)،  $200^{\circ}\text{C}$  (c)،  $250^{\circ}\text{C}$  (d) و  $280^{\circ}\text{C}$  (e)
- (شکل ۴-۲۰). طرح پراش لایه‌های تهیه شده در ضخامت‌های ۸۰ nm، ۱۸۰ nm، ۴۸۰ nm در دمای
- ۹۹ زیر لایه‌ی  $280^{\circ}\text{C}$  قبل از حرارت دهی لایه‌ها
- (شکل ۴-۲۱). تصاویر SEM لایه‌های تهیه شده در ضخامت‌های ۸۰ nm (a)، ۱۸۰ nm (b)
- ۱۰۱ ، ۴۸۰ nm (c) قبل از حرارت دهی در مقیاس  $1\ \mu\text{m}$
- ۱۰۱ (شکل ۴-۲۲). طیف تراگسیل لایه‌های تهیه شده در ضخامت‌های متفاوت قبل از حرارت دهی
- ۱۰۲ (شکل ۴-۲۳). مقاومت سطحی لایه‌ها بر اساس ضخامت قبل از حرارت دهی
- ۱۰۴ (شکل ۴-۲۴). طرح پراش لایه‌های تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت و حرارت داده شده در محیط هوا و دمای  $450^{\circ}\text{C}$
- (شکل ۴-۲۵). تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت و حرارت داده شده در محیط هوا،
- ۱۰۵ با ضخامت‌های پیش فرض ۸۰ nm (a)، ۱۸۰ nm (b)، ۴۸۰ nm (c) (مقیاس ۵۰۰ nm)
- (شکل ۴-۲۶). نمودار طیف عبور لایه‌های بدست آمده با ضخامت‌های متفاوت بعد از حرارت دهی در
- ۱۰۶ دمای  $450^{\circ}\text{C}$  و در محیط هوا بمدت ۳ h
- (شکل ۴-۲۷). طیف عبور لایه‌های تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت و حرارت داده شده در جو اکسیژن و در
- ۱۰۸ دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳ h
- (شکل ۴-۲۸). طیف عبور لایه‌ها قبل و بعد از انیلینگ در محیط هوا و اکسیژن در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  برای ضخامت‌های
- ۱۰۹ اولیه‌ی ۸۰ nm (a)، ۱۸۰ nm (b)، ۲۸۰ nm (c) و ۴۸۰ nm (d)

- (شکل ۴-۲۹). طرح پراش لایه‌های تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت و حرارت داده شده در محیط اکسیژن و دمای  $450^{\circ}\text{C}$  ۱۱۰
- (شکل ۴-۳۰). تصاویر SEM لایه‌های تهیه شده با ضخامت  $80\text{ nm}$  قبل از حرارت دهی (a) (مقیاس  $1\ \mu\text{m}$ ) ،  
 بعد از حرارت دهی در هوا (b) ، بعد از حرارت دهی در محیط اکسیژن (d) (مقیاس  $500\text{ nm}$ ) ۱۱۱
- (شکل ۴-۳۱). تصاویر SEM لایه‌های تهیه شده با ضخامت  $180\text{ nm}$  ، قبل از حرارت دهی (a) ، بعد از  
 حرارت دهی در هوا (b) ، بعد از حرارت دهی در محیط اکسیژن (d) (مقیاس  $500\text{ nm}$ ) ۱۱۲
- (شکل ۴-۳۲). تصاویر SEM لایه‌های تهیه شده با ضخامت  $480\text{ nm}$  ، قبل از حرارت دهی (a) ،  
 بعد از حرارت دهی در هوا (b) (مقیاس  $500\text{ nm}$ ) ۱۱۳
- (شکل ۴-۳۳). طیف EDX لایه با ضخامت بیش فرض  $180\text{ nm}$  حرارت داده شده در محیط هوا و در  
 دمای  $450^{\circ}\text{C}$  بمدت  $3\text{ h}$  ۱۱۴
- (شکل ۴-۳۴). تصاویر دو بعدی و سه بعدی AFM و نمودار هیستوگرام لایه با ضخامت بیش فرض  $80\text{ nm}$   
 حرارت داده شده در محیط هوا ۱۱۷
- (شکل ۴-۳۵). تصاویر دو بعدی و سه بعدی AFM و نمودار هیستوگرام لایه با ضخامت بیش فرض  $180\text{ nm}$   
 حرارت داده شده در محیط هوا ۱۱۸
- (شکل ۴-۳۶). طیف فوتولومینسانس لایه‌ها با ضخامت بیش فرض  $80\text{ nm}$  ،  $180\text{ nm}$  و  $480\text{ nm}$  بعد از حرارت دهی  
 نمونه‌ها در محیط هوا ۱۱۹
- (شکل ۴-۳۷). طیف فوتولومینسانس لایه‌های  $80\text{ nm}$  ،  $180\text{ nm}$  و  $480\text{ nm}$  بعد از حرارت دهی نمونه‌ها در محیط هوا ۱۲۰
- (شکل ۴-۳۸). طیف فوتولومینسانس لایه‌ی  $80\text{ nm}$  ، بعد از حرارت دهی نمونه‌ها در محیط هوا، اکسیژن و  
 قبل از حرارت دهی ۱۲۱



رشد و مشخصه یابی لایه‌های نازک نانوساختار اکسید قلع تهیه شده بوسیله‌ی تبخیر اشعه الکترونی طیفه قاسم پور قاضی محله

لایه های نازک رسانا و شفاف اکسید قلع بوسیله ی روش تبخیر اشعه الکترونی که یکی از روشهای انباشت بخار فیزیکی است تهیه شده اند، انباشت لایه ها روی زیر لایه ی شیشه انجام شده است و ماده ی هدف قرص  $\text{SnO}_2$  خالص بوده که قبل از انباشت در دمای  $600^\circ\text{C}$  حدود ۱۲ ساعت سینتر شده است. در این تحقیق لایه های نازک در آهنگ انباشت متفاوت (۰/۶، ۲، ۴/۲ و  $10^\circ\text{A/S}$ )، دمای زیر لایه ی متفاوت در گستره ی  $50^\circ\text{C}$  تا  $280^\circ\text{C}$  (۵۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و  $280^\circ\text{C}$ ) و ضخامت های متفاوت (۸۰، ۱۸۰، ۲۸۰، ۴۸۰ nm) تهیه شده اند و بعد از آن در دمای  $450^\circ\text{C}$  بمدت ۳ ساعت و در محیطهای گوناگون (هوا و اکسیژن) تحت حرارت دهی قرار گرفته اند و در نهایت خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی لایه ها مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار فیلمها توسط طرح پراش اشعه X (XRD) و شفافیت اپتیکی و مقاومت سطحی این لایه ها بترتیب توسط طیف سنج ماورابنفش - مرئی (مدل CARRY 100) و روش چهار نقطه ای مورد اندازه گیری قرار گرفته و همچنین خواص مورفولوژی و توپوگرافی لایه ها بترتیب بوسیله ی میکروسکوپ الکترونی و میکروسکوپ نیرو اتمی مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج نشان می دهد که لایه های تهیه شده با آهنگ انباشت پائین تر دارای خواص ساختاری و اپتوالکترونی بهینه می باشند و لایه های تهیه شده تا دمای  $200^\circ\text{C}$  ساختار آمورف را نشان می دهند و طبیعت پلی کریستال در دماهای بالاتر بدست می آید. اکثر لایه های تهیه شده در ضخامت های متفاوت قبل از حرارت دهی فاز  $\text{SnO}$  را نشان می دهند ولی بعد از حرارت دهی ساختار وابسته به ضخامت بوده و فازهای  $\text{SnO}_2$  و  $\text{Sn}_2\text{O}_3$  را نشان می دهند رابطه ی بین ساختار و خواص لایه ها ی اکسید قلع مورد بررسی قرار گرفته است و در همه ی موارد بعد از حرارت دهی افزایش شفافیت و کاهش مقاومت سطحی دیده می شود.

کلید واژه ها: لایه های نازک نانوساختار اکسید قلع، تبخیر اشعه الکترونی، خواص ساختاری

## Abstract

### **Growth and characterization of nanostructured tin oxide thin film prepared by electron beam evaporation** **Ttayebeh Ghasempoor**

Transparent Conducting Tin Oxide thin films have been prepared by e-beam evaporation which is of the physical vapor deposition techniques. These layers are deposited on glass substrate. The target was from a tablet of pure SnO<sub>2</sub> which was sintered for about 12 h at 600 °C before deposition.

In this work thin films were fabricated at various deposition rates (0.6, 2, 4.2, 10.2 Å/S), different substrate temperatures (50, 150, 200, 250 & 280 °C) & various film thicknesses (80, 180, 280 & 480 nm). After deposition the layers were annealed for about 3 h at 450 °C in different ambient conditions (air, O<sub>2</sub>). The structural, electrical and optical properties of SnO<sub>2</sub> films were investigated. The structure of the films and optical transmittance were monitored by X-ray diffraction (XRD) and UV-Visible spectrophotometer (model Carry 100) respectively. Sheet resistance of prepared thin films was measured by four-point probe technique. Morphological properties & photography of thin films were studied using scanning electron microscopy and atomic force microscopy respectively.

The results were showed that layers prepared with lower deposition rate had optimal structural and optoelectronic properties. Films fabricated up to 200 °C exhibited amorphous structures and polycrystalline nature obtained in higher substrate temperatures. Most of as-deposition layers with different thicknesses had SnO phase. After annealing the films structure is correlated on films thickness and showed SnO<sub>2</sub> & Sn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phases. Correlation between structural, optical and electrical properties of Tin Oxide films has studied and in all cases transmittance increased while sheet resistance decreased after annealing.

Keywords: nanostructure thin film tin oxide, e-beam evaporation, structural properties

الله

اکسیدهای رسانای شفاف<sup>۱</sup> که شامل اکسید قلع بویژه دوپ شده با فلور<sup>۲</sup> یا آنتیموان<sup>۳</sup> یا اکسید ایندیوم آلانید شده با قلع و یا اکسید کادمیوم می شوند از دسته ی مواد نیمه رسانای نوع n با گاف عریض محسوب می شوند که خواص اپتیکی و الکتریکی ویژه ای دارند. خواص ویژه ی اکسیدهای رسانای شفاف سبب مفید بودن آنها برای شمار بزرگی از کاربردهای متنوع می گردد. به همین دلایل خواص این مواد و روشهای تولید آنها از نقطه نظر فیزیک حالت جامد سالهای زیادی است مورد توجه واقع شده و هنوز هم به بررسی خواص این مواد بسبب تولید لایه هایی با خواص ساختاری متفاوت تحت تکنولوژیهای انباشت متفاوت پرداخته می شود. روشهای تولید در کل به دو دسته ی انباشت بخار شیمیایی و انباشت بخار فیزیکی می شود که در فصل اول به خلاصه ای از روشهای انباشت فیزیکی نحوه ی عملکرد آنها و سیستم های مربوط به هر کدام می پردازیم و معایب و مزایای آنها را بیان می کنیم و همچنین در مورد ابزار و قطعات مورد استفاده در سیستم خلأ و نحوه ی عملکرد آنها توضیحاتی داده شده است.

اکسیدهای رسانای شفاف جز نیمه رسانای تبهکن بشمار می آیند و می توانند غلظت بالایی از الکترونها ی شبه آزاد را توسط حضور ترازهایی زیر باند رسانش داشته باشند که طیف عبور این لایه ها به این غلظت حامل وابسته است در طول موجهای پائین لایه های تهیه شده توسط این مواد جذب فرابنفش را در نتیجه ی گاف نواری  $3/6\text{eV}$  برای اکسید ایندیوم آلانید با قلع و اکسید قلع ( $3/6$  تا  $4/2\text{ eV}$ ) [۱] خواهند داشت و در طول موجهای بالا انعکاس ۹۰٪ را به علت پلاسما الکترونها ی شبه آزاد دارند و بین طول موج جذب و طول موج مربوط به انعکاس زیاد، شفافیت بالایی برای لایه ها وجود خواهد داشت که در نتیجه این گروه از مواد لایه های رسانایی را تشکیل می دهند که دارای شفافیت در گستره ی نور مرئی هستند و شامل انعکاس در گستره ی تابش مادون قرمز می شوند [۲] در فصل دوم مباحث مربوط به خواص نیمه رساناهای شفاف مورد بررسی قرار می گیرد و در مورد روشهای آنالیز بحث می شود.

اکسید قلع نیز در دسته ی اکسیدهای نیمه رسانای شفاف جای می گیرد که گاف نواری در گستره ی  $3/6$  تا  $4/2\text{ eV}$  را داراست و کاربردهای متنوعی را به عنوان حسگرهای گازی و الکترودهای شفاف و قطعات مربوط به میکرو باطری ها دارد، علی رغم اینکه در فصل سوم به بررسی اجمالی روی مقالات مربوط به لایه های اکسید قلع تهیه شده به روش تبخیر با اشعه الکترونی می پردازیم در فصل چهارم نتایج تجربی لایه های اکسید قلع تهیه شده به روش تبخیر اشعه الکترونی و تفسیر و بحث روی نتایج بدست آمده آورده شده است و خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی (مقاومت سطحی) آنها بترتیب توسط

<sup>1</sup> Transparent Conductive Oxide

<sup>2</sup> F

<sup>3</sup> Sb