

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

11074E

دانشکده علوم پایه  
گروه فیزیک  
(گرایش حالت جامد)

# تأثیر روش خشک سازی روی خواص اپتیکی و ساختاری فیلم های

## نازک اکسید روی تهیه شده به روش سل - ژل

از:

آرش پاکدل

استاد راهنما:

فرهاد اسمعیلی قدسی

۱۳۸۸ / ۳ / ۹

انجمن اطلاع رسانی مرکز علمی بزرگ  
تهران مرکز

بهمن ۱۳۸۷



۱۱۳۷۶۴

تقدیم به او که ثانیه مادر انتظار اجرای عدالتش سپری می شوند.

روح پاک پدرم که نمونه گذشت و خداکاری بود.

یگانه عاشقی منظر مهر و عطف و صداقت و سادگی مادرم

برادر و خواهر مهربان و صمیمی ام روزبه و اندیشه عزیزم که افتخار وجودشان برایم

از هر مدرک و مقامی ارزنده تر و بالاتر است

و آنان که ذره، ذره وجودم لبریز از عشق و محبتشان است.

## تقدیر و تشکر

بارالها سپاس می گویم تو را که به من نعمت زریستن عطا فرمودی و دکترین آن من را لایق آموختن دانستی که تا امروز که در زندگی و تحصیل به یاری تو پیش آمده ام. این مرحله از تحصیل من نیز به مدد تو با پایان بردن این پروژه گذشت حال به سگانه این موفقیت بر خود واجب می دانم که پس از سگرتو سپاس گذار کلیه عزیزانی باشم که در پیشبرد این پروژه به خواست تو یاریم کرده اند. و از تو می خواهم که تک تک این بزرگواران را در پرتو الطاف مهر خود مداری، و برای همه آنان زندگی سرشار از موفقیت و مهر آرزو مندم.

بزرگوارانی از جمله جناب آقای دکتر فرهاد اسمعیلی قدسی استاد راهنمای گرامی که بدون راهنمایی های ایشان این مهم میسر نمی شد، از جناب آقای دکتر سید محمد روضاتی و جناب آقای دکتر صابر فرجامی شایسته که مسئولیت داوری این پایان نامه را قبل نمودند و از استاد محترم جناب آقای دکتر حسین فرج الهی که به عنوان نایب تحصیلات تکمیلی در جلسه حضور داشته، تشکر می کنم.

از دوستان خوبم جناب آقای دکتر حمزه موسوی، آقای جمال مظلوم، سعید راگگو و محمد یونسی به خاطر راهنمایی های خوبشان و همکاریان خوبم در آزمایشگاه تحقیقاتی ماده چگال، آقای سیامک گلشاهی و خانم لاساراپشیدادیان، نفیسه معاریان، فاطمه زارع نژاد، الهام شادمانی، صدیقه سلیمان، طیه قاسمپور، ماندانا حمزه ساروی و سیه سعادت که در مراحل مختلف این پروژه مریاری نموده اند، تشکر می کنم.

از اساتید محترم گروه شیمی دانشگاه گیلان، جناب آقای دکتر علی اکبر و جناب آقای دکتر آرونز که از دانش و تجربیات ایشان در زمینه شیمی پروژه بهره برده و نیز از خانم ابراهیمیان و پور کریم که در تهیه نمونه های IR و XRD، همکاری داشته اند تشکر و قدردانی را دارم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
س	چکیده فارسی
ش	چکیده انگلیسی
۱	مقدمه
<b>فصل اول: فیلم های نازک و روش ساخت</b>	
۴	۱-۱- لایه های نازک
۵	۱-۲- تقسیم بندی انواع لایه ها
۵	۱-۳- فرآیند رشد لایه های نازک
۶	۱-۳-۱- رشد لایه به لایه (سازوکار ون در مرو)
۶	۱-۳-۲- هسته بندی سه بعدی، تشکیل، رشد و به هم پیوستن جزیره ها (سازوکار ولمر- ویر)
۷	۱-۳-۳- جذب سطحی تک لایه و هسته بندی بعدی روی این لایه (سازوکار استرانسکی- کراستائف)
۸	۱-۴- روش های ساخت لایه های نازک
۸	۱-۴-۱- روش های فیزیکی برای ساخت لایه های نازک
۹	۱-۴-۱-۱- روش های فیزیکی انباشت بخار
۹	۱-۴-۱-۱-۱- روش تبخیر حرارتی
۹	۱-۴-۱-۱-۲- روش کندوپاش
۱۰	۱-۴-۱-۲- روش انباشت به کمک باریکه یونی
۱۱	۱-۴-۱-۳- روش روئشانی باریکه مولکولی ( MBE )
۱۴	۱-۴-۱-۴- روش انباشت با پالس لیزر ( PLD )
۱۴	۱-۴-۲- روش های شیمیایی برای ساخت لایه های نازک
۱۴	۱-۴-۲-۱- روش انباشت شیمیایی بخار ( CVD )
۱۵	۱-۴-۲-۲- روش لایه نشانی به کمک حمام شیمیایی
۱۵	۱-۴-۳- روش های فیزیکی - شیمیایی برای ساخت لایه های نازک
۱۵	۱-۵- کاربرد لایه های نازک
۱۶	۱-۵-۱- کاربرد لایه های نازک در صنعت الکترونیک
۱۶	۱-۵-۲- کاربرد های نوری (اپتیکی) لایه نازک
۱۷	۱-۵-۳- سد های نفوذی
۱۷	۱-۵-۴- کاربردهای مکانیکی
<b>فصل دوم: سل - ژل</b>	
۱۹	تاریخچه ای بر روش سل-ژل
۱۹	۱-۲- فرآیند سل - ژل

۱۹	۱-۱-۲- پارامترهای شیمیایی
۲۰	۱-۱-۱-۲- تهیه سل
۲۱	۲-۱-۱-۲- ژلاسیون
۲۳	۳-۱-۱-۲- اثر pH
۲۳	۲-۱-۲- پارامترهای فیزیکی
۲۴	۱-۲-۱-۲- انباشت
۳۲	۲-۲-۱-۲- خشک سازی
۳۲	۳-۲-۱-۲- بازپخت
۳۳	۲-۲- مزایا و کاربردهای روش سل - ژل
	<b>فصل سوم: ضخامت سنجی و اپتیک</b>
۳۶	۱-۳- روشهای اندازه گیری ضخامت لایه ها
۳۶	۱-۱-۳- روش مکانیکی استایلوس
۳۶	۲-۱-۳- روش گرانی سنجی
۳۷	۳-۱-۳- روش بلور کوارتز
۳۸	۴-۱-۳- اندازه گیری مقاومت الکتریکی
۳۹	۵-۱-۳- اندازه گیری ظرفیت
۳۹	۶-۱-۳- روشهای اپتیکی
۴۰	۷-۱-۳- روش قطبش سنجی (بیضی سنجی)
۴۱	۲-۳- پدیده های بنیادی دانش نور
۴۵	۱-۲-۳- دامنه های امواج بازتابش و تراگسیل
۴۸	۳-۳- ضرایب عبور و بازتاب یک تیغه در هوا
۴۹	۴-۳- تعیین ضرایب عبور و بازتاب سیستم لایه نازک- تیغه
۵۰	۵-۳- روشهای تعیین ثوابت اپتیکی فیلم های نازک با استفاده از اندازه گیری های تراگسیل
۵۱	۱-۵-۳- استفاده از دو اندازه گیری مستقل
۵۱	۲-۵-۳- برازش روابط پراکندگی
۵۵	۳-۵-۳- استفاده از اندازه گیری های مجازی
۵۵	۱-۳-۵-۳- روش پوشی
۵۶	۲-۳-۵-۳- آنالیزهای $kk$ ی داده های طیف تراگسیل
۵۷	۶-۳- تعیین ثوابت اپتیکی لایه های نازک با استفاده از روش پوش منحنی (سوان پول)
۵۹	۱-۶-۳- ناحیه شفاف
۶۰	۲-۶-۳- ناحیه جذب ضعیف و متوسط
۶۱	۳-۶-۳- ناحیه جذب قوی
۶۲	۴-۶-۳- تعیین ضریب شکست
۶۲	۵-۶-۳- تعیین ضخامت

- ۶۳ ۶-۶-۳- محاسبه ضریب جذب  $\alpha$  و ضریب خاموشی K  
 ۶۳ ۷-۳- روش بهینه سازی چامبولیرون

فصل چهارم: شناخت ساختاری و خصوصیات اپتیکی نیمرساناها و اکسید روی

- ۶۷ ۱-۴- ساختار کریستالی اکسید روی  
 ۶۸ ۲-۴- مواد نیمرسانا  
 ۷۰ ۱-۲-۴- نیمرساناهای ترکیبی  
 ۷۰ ۲-۲-۴- نیمرسانای غیر ذاتی  
 ۷۲ ۳-۲-۴- ویژگیهای نیمرسانا  
 ۷۲ ۱-۳-۲-۴- حفره  
 ۷۲ ۲-۳-۲-۴- خواص الکتریکی  
 ۷۳ ۴-۲-۴- گاف نواری  
 ۷۴ ۱-۴-۲-۴- گاف نواری مستقیم  
 ۷۵ ۲-۴-۲-۴- گاف نواری غیر مستقیم  
 ۷۵ ۵-۲-۴- شفافیت اپتیکی در نیمه رساناها  
 ۷۶ ۶-۲-۴- ضریب شکست و جذب  
 ۷۷ ۳-۴- لایه های نازک شفاف و رسانا  
 ۷۷ ۱-۳-۴- لایه های بسیار نازک فلزی  
 ۷۷ ۲-۳-۴- لایه های نازک اکسید نیمه رساناها  
 ۷۸ ۴-۴- لایه های نازک TCO  
 ۷۹ ۵-۴- مرور منابع

فصل پنجم: تأثیر خشک سازی بر خواص اپتیکی و ساختاری اکسید روی

- ۹۱ ۱-۵- مقدمه  
 ۹۲ ۲-۵- ویژگی های آنالیزهای انجام شده  
 ۹۳ ۳-۵- نحوه بهینه سازی سل ها  
 ۹۳ ۱-۳-۵- نسبت های آزمون شده در سل شماره ۱  
 ۹۳ ۲-۳-۵- نسبت های آزمون شده در سل شماره ۲  
 ۹۴ ۳-۳-۵- نسبت های آزمون شده در سل شماره ۳  
 ۹۵ ۴-۳-۵- نسبت های آزمون شده در سل شماره ۴  
 ۹۶ ۵-۳-۵- نسبت های آزمون شده در سل شماره ۵  
 ۹۷ ۴-۵- پارامتر های موثر  
 ۹۷ ۱-۴-۵- معرفی پارامترهای شیمیایی  
 ۹۷ ۲-۴-۵- معرفی پارامترهای فیزیکی  
 ۹۸ ۳-۴-۵- بستر

۹۹	۵-۵- تشریح آنالیزها
۹۹	۵-۵-۱- تاثیر پارامترهای فیزیکی
۹۹	۵-۶-۱- بررسی اثر خشک سازی
۱۰۰	۵-۶-۱-۱- اثر خشک سازی با آون
۱۰۹	۵-۶-۱-۲- خشک سازی با دستگاه های دیگر
۱۱۱	۵-۶-۱-۳- تاثیر خشک سازی بر خاصیت نور نابی فیلم ها
۱۱۳	۵-۶-۱-۳- بررسی تاثیر غلظت در روند خشک سازی
۱۱۷	۵-۶-۱-۴- بررسی اثر دمای خشک سازی بر خواص مورفولوژیکی فیلم های نازک اکسید روی
۱۲۴	۵-۶-۱-۶- نقش حلالها و تاثیر آنها در دمای خشک سازی و ساختار فیلم ها
۱۳۴	۵-۶-۱-۷- تاثیر زمان خشک سازی بر خواص اپتیکی فیلم ها
۱۴۰	۵-۶-۱-۸- تاثیر خشک سازی بر خواص اپتیکی لایه های تهیه شده با سل اسیدی
۱۴۴	۵-۶-۲- تاثیر دما و زمان بازیخت بر خواص اپتیکی و ساختاری اکسید روی
۱۴۴	۵-۶-۲-۱- طرز تهیه سل و نانو پودر های اکسید روی
۱۴۵	۵-۶-۲-۲- طرح الگوی پراش نانو پودر و لایه های اکسید روی در دماها و زمانهای مختلف
۱۴۷	۵-۶-۲-۳- تاثیر دما و زمان بازیخت بر خواص اپتیکی فیلم های اکسید روی
۱۵۱	۵-۶-۱- نقش ماندگی سل بر خواص اپتیکی و ساختاری فیلم های اکسید روی
۱۵۳	۵-۶-۲- روش تهیه سل مورد استفاده
۱۵۷	۵-۸- نتایج
۱۵۹	۵-۹- پیشنهاداتی براب پیشبرد تحقیقات در آینده
۱۶۱	مراجع



صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۶		شکل (۱-۱): رشد لایه به لایه
۷		شکل (۲-۱): رشد جزیره ای
۷		شکل (۳-۱): رشد استرانسکی - کراستائف
۸		شکل (۴-۱): تقسیم بندی روشهای لایه نشانی بر حسب ضخامت
۱۰		شکل (۵-۱): الف، نمایی از لحظه برخورد اتم یا یون پرانرژی با سطح فلز در روش کندوپاش
۱۰		شکل (۵-۱): ب، نمایی از لحظه کنده شدن و پخش شدن اتم های فلز در اثر برخورد در همان کندوپاش
۱۱		شکل (۶-۱): طرحواره ای از محفظه Knudsen
۱۲		شکل (۷-۱): طرحواره ای از یک سیستم رشد بلور MBE
۱۳		شکل (۸-۱): الگوی RHEED در حین فرآیند رشد لایه GaAs یا AlAs بر روی زیرلایه (۰۰۱) GaAs. یک دوره تناوب نوسانگر شامل رشد یک تک لایه GaAs یا AlAs می باشد
۲۰		شکل (۱-۲): (a) ژل کلونیدی، (b) ژل پلیمری
۲۱		شکل (۲-۲): واکنش هیدرولیز و چگالش.
۲۴		شکل (۳-۲): سیستم انباشت غوطه وری آزمایشگاه سل - ژل دانشگاه گیلان
۲۵		شکل (۴-۲): مراحل مختلف انباشت با تکنیک غوطه وری
۲۷		شکل (۵-۲): نمایی از پروسه ژلاسیون در تکنیک غوطه وری
۲۷		شکل (۶-۲): تصویر روش غوطه وری زاویه ای آزمایشگاه سل - ژل دانشگاه گیلان
۲۸		شکل (۷-۲): نمودار الگو وار فرایند لایه نشانی چرخشی
۳۰		شکل (۸-۲): نمودار طرح وار نازک شدگی فیلم در فرایند لایه نشانی چرخشی (a) مرحله اول، (b) مرحله دوم
۳۱		شکل (۹-۲): نما هایی از سیستم لایه نشانی الکتروفورز
۳۷		شکل (۱-۳): سمگگیری تیغه کوآرتز از نوع برشی AT
۳۸		شکل (۲-۳): اندازه گیری ضخامت با استفاده از پل ویتستون
۳۹		شکل (۳-۳): تعیین ضخامت لایه دی الکتریک با روش اندازه گیری ظرفیت
۴۱		شکل (۴-۳): دستگاه مربوط به آنالیز بیضی سنجی
۴۳		شکل (۵-۳): راستاهای انتشار نور غیر قطبیده را نشان می دهد
۴۴		شکل (۶-۳): رابطه بین میدانهای تابش و عبوری برای یک قطبگر خطی
۴۴		شکل (۷-۳): بردارهای موج برای نورتابشی برمرز جدائی دو محیط نوری متفاوت
۴۴		شکل (۸-۳): دستگاه مختصات برای تحلیل بازتابش و شکست در یک مرز تخت
۴۶		شکل (۹-۳-الف): بردارهای موج و میدانهای مربوطه برای قطبش TE
۴۶		شکل (۹-۳-ب): بک بردارهای موج و میدانهای مربوطه برای قطبش TM
۴۸		شکل (۱۰-۳): پرتوهای عبوری و بازتابی از یک تیغه قرار گرفته در هوا
۴۹		شکل (۱۱-۳): پرتوهای عبوری و بازتابی از سیستم لایه - زیر لایه
۵۷		شکل (۱۲-۳): سیستم یک فیلم نازک جاذب روی یک زیرلایه شفاف متناهی ضخیم
۵۹		شکل (۱۳-۳): نمایی از طیف عبوری از فیلم و زیرلایه
۶۷		شکل (۱-۴) ساختار هگزاگونال ورتسایت ZnO، در این تصویر کره های بزرگ اتمهای اکسیژن و کره های کوچکتر

- شکل (۲-۴): تصویر سمت راست فاز زینک بلاند و سمت چپ فازنمک معدنی اکسید روی را نشان می دهد در این  
 ریز کره های بزرگ اتمهای اکسیژن و کره های کوچکتر اتمهای روی
- شکل (۳-۴): رسانندگی و مقاومت ویژه برای مواد مهم در هر سه گروه
- شکل (۴-۴): وابستگی مقاومت ویژه به دما برای فلزات شکل (الف) و برای نیمرساناها شکل (ب)
- شکل (۵-۴): آلایندگی با یک اتم پذیرنده (الف) و آلایندگی با یک اتم دهنده (ب)
- شکل (۶-۴): جذب اپتیکی در نیمرسانا مستقیم در دمای صفر درجه کلوین
- شکل (۷-۴): نمودار پاشندگی انرژی برای گاف مستقیم
- شکل (۸-۴): نمودار پاشندگی انرژی برای گاف غیرمستقیم
- شکل (۹-۴): جذب نواری نیمه رساناها با گاف مستقیم و غیرمستقیم
- شکل (۱۰-۴): شماتیکی از شفافیت در نیمه رساناها
- شکل (۱۱-۴): نمودار SDTA-TGA بر سل اکسید روی
- شکل (۱۲-۴): طیف FT-IR مربوط به سل (a)، فیلم های در دماهای (b)  $300^{\circ}\text{C}$ ، (c)  $400^{\circ}\text{C}$  و (d) و (e)  $450^{\circ}\text{C}$
- شکل (۱۳-۴): طرح پراش فیلم ها تحت عملیات گرمایش مختلف
- شکل (۱۴-۴): تصویر AFM فیلم های خشک سازی شده در دماهای  $300^{\circ}\text{C}$ ،  $400^{\circ}\text{C}$  و  $450^{\circ}\text{C}$  و بازیخت  $700^{\circ}\text{C}$
- شکل (۱۵-۴): طرح پراش XRD اکسید روی در دمای خشک سازی  $250^{\circ}\text{C}$  و دمای بازیخت  $650^{\circ}\text{C}$
- شکل (۱۶-۴): نمودار TG/DTA برای سل  $0.7\text{ M}$
- شکل (۱۷-۴): طرح پراش XRD فیلم های اکسید روی در دماهای خشک سازی متفاوت و و بازیخت  $650^{\circ}\text{C}$
- شکل (۱۸-۴): تصویر SEM فیلم های اکسید روی (a) خشک سازی شده در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  (b)  $225^{\circ}\text{C}$  (c)  $250^{\circ}\text{C}$  (d)  $275^{\circ}\text{C}$  و (e)  $300^{\circ}\text{C}$  و دمای بازیخت  $650^{\circ}\text{C}$  را به مدت ۱ ساعت نشان می دهد
- شکل (۱۹-۴): طیف عبوری فیلم های اکسید روی در دماهای خشک سازی مختلف و دمای بازیخت  $650^{\circ}\text{C}$  را به مدت ۱ ساعت
- شکل (۲۰-۴): تصویر ضریب شکست (n) و ضریب خاموشی (k) با طول موج ( $\lambda$ ) برای (a): اکسید روی (b): اکسید روی با آلایندگی  $2\%$  آلایندگی Al و (c): اکسید روی با  $1\%$  آلایندگی Al
- شکل (۲۱-۴): مقدار جذب بر حسب طول موج برای فیلم های ZnO غیر آلایندگی ( $\Delta$ )، آلایندگی  $1\%$  آن با Al (O) و با مقدار  $2\%$  آلایندگی Al
- شکل (۲۲-۴): مقدار گاف نواری برای فیلم های ZnO غیر آلایندگی (O)، آلایندگی  $1\%$  آن با Al (●) و با مقدار  $2\%$  آلایندگی Al ( $\Delta$ )
- شکل (۱-۵): طیف IR از سل و لایه های خشک سازی شده به مدت ۲۰ دقیقه در دماهای مختلف  $110^{\circ}\text{C}$ ،  $150^{\circ}\text{C}$  و  $180^{\circ}\text{C}$  را نشان می دهد
- شکل (۲-۵): طیف عبوری فیلمهای اکسید روی خشک سازی شده در دماهای مختلف  $100^{\circ}\text{C}$ ،  $175^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$ ،  $225^{\circ}\text{C}$  و  $250^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ دقیقه و دمای بازیخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳-۵): الگوی پراش پرتو X فیلم های اکسید روی تهیه شده در دماهای مختلف خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$  و  $225^{\circ}\text{C}$  و  $250^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۲۰ دقیقه و بازیخت  $500^{\circ}\text{C}$

- شکل (۵-۴): راستای جهت گیری بلورهای اکسیدروی در راستای (۰۰۲) محور نوری C-axis را نشان می دهد ۱۰۵
- شکل (۵-۵): نمودار طیف عبوری تجربی و تئوری فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال متانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C ۱۰۶
- شکل (۵-۶): نمودار ضریب شکست فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال متانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C ۱۰۷
- شکل (۵-۷): نمودار ضریب خاموشی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال متانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C ۱۰۷
- شکل (۵-۸): نمودار گاف نواری اپتیکی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال متانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C ۱۰۸
- شکل (۵-۹) الف: خشک سازی تحت تابش IR را نشان می دهد. شکل (۵-۹) ب لایه های خشک شده تحت تابش IR را نشان می دهد. ۱۱۰
- شکل (۵-۹) ج: طیف عبوری فیلم ها را که با دستگاه های مختلف خشک سازی شده اند را نشان می دهد. ۱۱۰
- شکل (۵-۱۰): طرح پراش XRD لایه های خشک سازی شده تحت تابش IR با تعداد دفعات لایه نشانی ۱۰ بار و دمای بازپخت ۵۰۰°C را به مدت ۳۰ دقیقه نشان می دهد ۱۱۱
- شکل (۵-۱۱): طیف نورتایی فیلم ها فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال متانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت و خشک سازی شده با IR ۱۱۲
- شکل (۵-۱۲): نمودار طیف عبوری فیلم های خشک سازی شده در دماهای مختلف ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و دمای بازپخت ۵۰۰°C برای ۵ بار لایه نشانی با سل ۰/۶M را نشان می دهد ۱۱۳
- شکل (۵-۱۳): نمودار ضریب شکست فیلم های اکسید خشک سازی به مدت ۲۰ دقیقه در دماهای مختلف ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C برای ۵ بار لایه نشانی با سل ۰/۶M را نشان می دهد ۱۱۴
- شکل (۵-۱۴) الف: از راست به چپ تصویر فیلم های تهیه در دماهای خشک سازی ۲۰۰ و ۱۵۰°C ۱۱۵
- شکل (۵-۱۴) ب: از راست به چپ تصویر فیلم های تهیه در دماهای خشک سازی ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰°C ۱۱۵
- شکل (۵-۱۵): نمودار ضریب خاموشی فیلم های اکسید روی خشک سازی در دماهای مختلف ۱۷۵، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C برای ۵ بار لایه نشانی با سل ۰/۶M را نشان می دهد ۱۱۶
- شکل (۵-۱۶): نمودار گاف نواری اپتیکی فیلم های اکسید روی خشک سازی در دماهای مختلف ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰، ۲۲۵ و ۲۵۰°C و بازپخت ۵۰۰°C برای ۵ بار لایه نشانی با سل ۰/۶M را نشان می دهد ۱۱۶
- شکل (۵-۱۷) الف: تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد ۱×۱ میکرومتر و شکل (۵-۱۷) ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده با IR را برای نمونه های تهیه شده با سل ۰/۶M و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد ۱۱۸
- شکل (۵-۱۸) الف: تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد ۱×۱ میکرومتر و شکل (۵-۱۸) ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای ۱۰۰°C را برای نمونه های تهیه شده با سل ۰/۶M و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد ۱۱۹
- شکل (۵-۱۹) الف: تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد ۱×۱ میکرومتر و شکل (۵-۱۹) ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای ۱۵۰°C را برای نمونه های تهیه شده با سل ۰/۶M و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد ۱۲۰

- شکل (۲۰-۵-الف): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر و شکل (۲۰-۵-ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه های تهیه شده با سل  $0.7\text{M}$  و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد
- شکل (۲۱-۵-الف): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر و شکل (۲۱-۵-ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای  $225^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه های تهیه شده با سل  $0.7\text{M}$  و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد
- شکل (۲۲-۵-الف): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر و شکل (۲۲-۵-ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه های تهیه شده با سل  $0.7\text{M}$  و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد
- شکل (۲۳-۵-الف): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر و شکل (۲۳-۵-ب) پروفیل نقاط عمود بر خط مقطع طولی را برای نمونه خشک شده در دمای  $300^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه های تهیه شده با سل  $0.7\text{M}$  و تعداد لایه نشانی ۵ بار را نشان می دهد
- شکل (۲۴-۵): نمودار طیف عبوری فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ایزوپروپیل الکل با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۲۵-۵): نمودار ضریب شکست فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ایزوپروپیل الکل با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۲۶-۵): نمودار ضریب خاموشی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ایزوپروپیل الکل با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۲۷-۵): نمودار گاف نوای اپتیکی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ایزوپروپیل الکل با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۲۸-۵): طیف IR مربوط به سل تهیه شده با ۲-متوکسی اتانول و لایه های خشک شده در دماهای مختلف  $175, 250$  و  $300^{\circ}\text{C}$  را نشان می دهد.
- شکل (۲۹-۵): نمودار طیف عبوری فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ۲-متوکسی اتانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳۰-۵): نمودار ضریب شکست فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ۲-متوکسی اتانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳۱-۵): نمودار ضریب خاموشی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ۲-متوکسی اتانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳۲-۵): نمودار گاف نواری اپتیکی فیلم های اکسید روی تهیه شده با حلال ۲-متوکسی اتانول با ۳ بار لایه نشانی و خشک سازی در دماهای مختلف  $175, 200, 225, 250, 275^{\circ}\text{C}$  و بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳۳-۵): طرح پراش XRD مربوط به فیلم های ۳ بار لایه نشانی شده با سل های  $0.5\text{M}$  و حلالهای مختلف متانول، ایزوپروپیل الکل و ۲-متوکسی اتانول برای این حلالها به ترتیب بادماهای خشک سازی  $250, 225$  و  $250^{\circ}\text{C}$  و  $30$  دقیقه بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$
- شکل (۳۴-۵): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر برای نمونه خشک شده در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه های تهیه شده با سل  $0.5\text{M}$  با حلال متانول و تعداد لایه نشانی ۳ بار را نشان می دهد

- شکل (۳۵-۵): تصویر توپوگرافی دو بعدی و سه بعدی در ابعاد  $1 \times 1$  میکرومتر برای نمونه خشک شده در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  را برای ۱۳۴ نمونه های تهیه شده با سل  $0.5\text{M}$  با حلال ایزوپروپیل الکل و تعداد لایه نشانی ۳ بار را نشان می دهد
- شکل (۳۶-۵): طیف عبوری فیلم ها در دمای خشک سازی  $100^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و قبل از بازپخت
- شکل (۳۷-۵): طیف عبوری فیلم ها در دمای خشک سازی  $100^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و بعد از بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳۰ دقیقه
- شکل (۳۸-۵): طیف عبوری فیلم ها در دمای خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و قبل از بازپخت
- شکل (۳۹-۵): طیف عبوری فیلم ها در دمای خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و بعد از بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳۰ دقیقه
- شکل (۴۰-۵): نمودار ضریب شکست فیلم ها در دمای خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و بعد از بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳۰ دقیقه
- شکل (۴۱-۵): نمودار ضریب شکست فیلم ها در دمای خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و بعد از بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳۰ دقیقه
- شکل (۴۲-۵): نمودار ضریب شکست فیلم ها در دمای خشک سازی  $175^{\circ}\text{C}$  و زمانهای خشک سازی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر روی صفحات داغ برای ۴ بار لایه نشانی با حلال ۲-متوکسی اتانول و بعد از بازپخت در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳۰ دقیقه
- شکل (۴۳-۵): طرز تهیه سل اسیدی با برقراری رفلکس را نشان می دهد
- شکل (۴۴-۵): طیف عبوری فیلم ها را در دماهای مختلف خشک سازی و خشک سازی تحت تابش را برای سل اسیدی نشان می دهد.
- شکل (۴۵-۵): نمودار ضریب شکست فیلم های خشک شده در دماهای مختلف خشک سازی و IR برای سل اسیدی
- شکل (۴۶-۵): نمودار ضریب خاموشی فیلم های خشک شده در دماهای مختلف خشک سازی و IR برای سل اسیدی
- شکل (۴۷-۵): نمودار گاف واری اپتیکی فیلم های خشک شده در دماهای مختلف خشک سازی IR برای سل اسیدی
- شکل (۴۸-۵): مقایسه بین طرح پراش  $X(\lambda_{Co}=1,79)$  فیلم های اکسید روی در دمای بازپخت  $500^{\circ}\text{C}$  و در زمانهای ۱ و ۶۰ دقیقه
- شکل (۴۹-۵): طرح پراش  $X(\lambda_{Co}=1,79)$  فیلم های در دماهای مختلف بازپخت  $400^{\circ}\text{C}$  و  $500^{\circ}\text{C}$  و زمانهای بازپخت ۳۰ و ۶۰ دقیقه
- شکل (۵۰-۵): نمودار طیف عبوری تجربی و تئوری فیلم های اکسید روی در دماهای مختلف بازپخت ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰،  $500^{\circ}\text{C}$  و زمانهای بازپخت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه
- شکل (۵۱-۵): نمودار ضریب شکست تجربی و تئوری فیلم های اکسید روی در دماهای مختلف بازپخت ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰،  $500^{\circ}\text{C}$  و زمانهای بازپخت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه
- شکل (۵۲-۵): نمودار ضریب خاموشی تجربی و تئوری فیلم های اکسید روی در دماهای مختلف بازپخت ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰،  $500^{\circ}\text{C}$  و زمانهای بازپخت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه

- ، ۴۰۰ و ۵۰۰°C و زمانهای بازپخت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه
- شکل (۵۳-۵): نمودار گاف نواری فیلم های اکسید روی در دماهای مختلف بازپخت ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰°C و ۱۵۰ زمانهای بازپخت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه
- شکل (۵۴-۵): تصویر سل در روزهای ماندگی مختلف ۱، ۲۰ و ۳۰
- شکل (۵۵-۵): وضعیت ذرات در داخل محلول لایه نشانی را نشان می دهد ۱۵۲
- شکل (۵۶-۵): طیف عبوری فیلم های ۳ بار لایه نشانی شده در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و خشک سازی در دمای ۲۰۰°C و بازپخت در دمای ۵۰۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه ۱۵۳
- شکل (۵۷-۵): نمودار ضریب شکست فیلم های لایه نشانی شده در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و خشک سازی در دمای ۲۰۰°C و بازپخت در دمای ۵۰۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه ۱۵۴
- شکل (۵۸-۵): نمودار ضریب خاموشی فیلم های لایه نشانی شده در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و خشک سازی در دمای ۲۰۰°C و بازپخت در دمای ۵۰۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه ۱۵۴
- شکل (۵۹-۵): نمودار گاف نواری اپتیکی فیلم های لایه نشانی شده در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و خشک سازی در دمای ۲۰۰°C و بازپخت در دمای ۵۰۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه ۱۵۵
- شکل (۶۰-۵): طرح پراش XRD پودر و فیلم های ۳ بار لایه نشانی شده در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و بازپخت در دمای ۵۰۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه ۱۵۶

- جدول (۱-۴): نیمرساناهای تک عنصری A، و دو عنصری AB ۷۰
- جدول (۲-۴): محدوده طول موجی برای رنگهای مختلف را نشان می دهد ۷۷
- جدول (۳-۴): انواع انتقالات انرژی در نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی ۸۰
- جدول (۴-۴): نواحی تقریبی ای که پیوندهای مختلف در آن نواحی جذب می دهند ۸۰
- جدول (۱-۵): نسبت های آزمون شده در سل شماره ۲ ۹۴
- جدول (۲-۵): نسبت های آزمون شده در سل شماره ۳ ۹۵
- جدول (۳-۵): نسبت های آزمون شده در سل شماره ۵ ۹۶
- جدول (۴-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در دماهای مختلف خشک سازی و در  $550\text{nm}$  در مورد سل بازی.  $0.5\text{M}$  ۱۰۹
- جدول (۵-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در دماهای مختلف خشک سازی و در  $550\text{nm}$  در مورد سل بازی.  $0.5\text{M}$  ۱۱۷
- ۰/۶ با حلال اتانول
- جدول (۶-۵): خصوصیات حلالهای مختلف در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ۱۲۵
- جدول (۷-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در دماهای مختلف خشک سازی و در  $550\text{nm}$  در مورد سل بازی.  $0.5\text{M}$  ۱۲۸
- ۰/۵ با حلال ایزوپروپیل الکل
- جدول (۸-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در دماهای مختلف خشک سازی و در  $550\text{nm}$  در مورد سل بازی.  $0.5\text{M}$  ۱۳۲
- ۰/۵ با حلال ۲-متوکسی اتانول
- جدول (۹-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در زمانهای مختلف خشک سازی در دمای  $175^{\circ}\text{C}$  بر روی صفحه داغ و در  $550\text{nm}$  در مورد سل بازی.  $0.5\text{M}$  با حلال ۲-متوکسی اتانول ۱۳۹
- جدول (۱۰-۵): مقایسه مقادیر به دست آمده در دماهای مختلف خشک سازی و خشک سازی با IR در  $550\text{nm}$  در مورد سل اسیدی.  $0.5\text{M}$  با حلال متانول ۱۴۴

عنوان: تأثیر خشک سازی بر خواص اپتیکی و ساختاری لایه های نازک اکسید روی تهیه شده به روش سل-ژل

آرش پاکدل

در این تحقیق فیلم های نازک اکسید روی با روش غوطه وری سل-ژل بر روی زیر لایه های شیشه ای تهیه شدند. فیلم های اکسید روی با محلولی از استات روی دو آبه با حلالهای مختلف و پایدار ساز مونواتانول آمین تهیه شدند. فیلم ها در دماهای مختلف و تابش IR خشک شده و سپس در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  تحت باز پخت قرار گرفتند. نتایج XRD نشان می داد که دمای خشک سازی بر روی جهت گیری های کریستالی در راستای صفحه (002) تأثیر گذار است. طیف عبوری فیلم ها با طیف سنج UV-Visible اندازه گیری شد و ثوابت اپتیکی و ضخامت آنها با روش الگوریتم بهینه سازی نامقید عطف به نقطه پوما در ناحیه مرئی تعیین شد. نتایج نشان می داد که فیلم های اکسید روی که دارای بالاترین جهت گیری در راستای محور c-axis را داشتند بیشترین شفافیت و در نتیجه کمترین پراکندگی اپتیکی را داشته، پس ضریب شکست و ضریب خاموشی آنها کاهش داشت. مورفولوژی سطح فیلم ها به وسیله میکروسکپ نیروی اتمی (AFM) مورد مطالعه قرار گرفت. زبری و ضخامت فیلم ها با افزایش دمای خشک سازی کاهش می یافتند. شدت طیف فوتولومینسانس فیلم ها نیز با خشک سازی در انتشار ماوراء بنفش و نزدیک لبه باندها با تابش نور سبز در  $465\text{nm}$  تغییر می کرد.

کلید واژه ها: فیلم های نازک، اکسید روی، سل-ژل، خشک سازی، خواص اپتیکی، خواص ساختاری، روش بهینه سازی

نامقید.



## Abstract

**Title: Effect of drying on optical and structural properties of Zinc Oxide thin films by sol-gel process**

**Arash Pakdel**

In this investigation, zinc oxide thin films are prepared on glass substrate by sol-gel dip-coating method. Zinc oxide thin films have been prepared by different solvent solution of zinc acetate dehydrate stabilized by monoethanolamine. The films were dried in different temperatures and was exposed on IR radiation, then films were annealed in 500°C. The XRD results, show that the drying temperature affect on the orientation of crystallization along the (002) plane. The transmission spectra of films were measured by means of UV-Visible spectrophotometer. The optical constant and the thickness of the films were determined by Unconstraint Optimization Algorithm method using empirical transmittance spectra in the visible region range. The result show that the ZnO thin film highly oriented along the c-axis has high transmittance due to the decrease of optical scattering. Thus, the refractive index and extinction coefficient are decrease. The surface morphology of the films was studied by Atomic force microscopy (AFM) analys. The roughness and thichness of the films decreased with increasing dried temperatures. The photoluminescence of films show the UV emission at near band edge and broad green radiation at 465nm.

**Key words:** Thin films, Zinc Oxide, Sol-Gel, Drying, Optical Properties, Structural Properties, Unconstrained Optimization Method.

اکسیدهای فلزی با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار متنوعی که دارند، آنها را برای پژوهش های بنیادی و کاربردهای تکنولوژی جذاب ساخته است. این اکسیدها با گستره وسیع کاربردی، از عایق ها با گاف نواری پهن تا فلزی و ابر رسانایی را در بر می گیرند. لایه به موادی گفته می شود که به صورت پوشش بر سطح یک ماده دیگر سبب ایجاد خواص فیزیکی و مکانیکی جدیدی می شود. فیزیک لایه نازک یکی از شاخه های فیزیک حالت جامد می باشد که امروزه به دلیل ساختار ویژه (هندسه دو بعدی و فیزیک سطح) در تکنولوژی سیستم های پیچیده اپتیکی، الکتریکی و مغناطیسی به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. اخیراً لایه های نازک اکسید روی به علت داشتن خصوصیات برجسته مورد مطالعات گسترده ای قرار گرفته اند. اکسید روی یک اکسید فلزی نیم رسانا است که به علت رسانایی الکتریکی خوب و تراگسیلندگی بالا در ناحیه مرئی و بازتابندگی خوب در ناحیه فرو سرخ جزء دسته مهم اکسیدهای فلزی شفاف<sup>1</sup> قرار می گیرد. این خصوصیات به همراه داشتن گاف نواری پهن از فیلم های این ماده بعنوان الکتروود های رسانای شفاف در ابزارهای نوری نظیر سلول های خورشیدی، دیودهای گسیل کننده نور، نمایشگرهای صفحه تخت، پنجره های هوشمند و آینه های گرمایی و... استفاده می شود. در فصل اول پژوهش روش های متداول تهیه فیلم های نازک اکسید روی نظیر انباشت فیزیکی بخار<sup>2</sup>، لایه نشانی باریکه مولکولی<sup>3</sup>، اسپری پایرولیز و کندوپاش به طور خلاصه بررسی شده است. در فصل دوم بطور اجمالی فرایند سل-ژل و تکنیک های لایه نشانی مرتبط با این روش مورد مطالعه قرار گرفت. روش سل-ژل به دلیل داشتن مزایای فراوان از جمله دمای پایین فرایند لایه نشانی، یکنواختی و خلوص بالای فیلم ها و امکان لایه نشانی سطوح بزرگ و پیچیده با کیفیت خوب از روش های مناسب لایه نشانی می باشد. امروزه محققین ترجیح می دهند برای انجام لایه نشانی از روش هایی نوین و ارزان استفاده کنند از این میان روش سل-ژل به دلیل داشتن این خصوصیات مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در فصل سوم خواص اپتیکی فیلم های نازک نیمه رسانا و روش های متفاوت تعیین ثوابت اپتیکی فیلم های شفاف مورد بررسی قرار گرفت. و در فصل چهارم به بررسی خصوصیات برجسته اکسید روی و ساختار آن پرداختیم. در فصل پنجم این پژوهش فیلم های نازک اکسید روی از روش سل-ژل و به کمک تکنیک غوطه وری تهیه شدند. سپس به تاثیر دمای خشک سازی بر خواص اپتیکی و ساختاری فیلم های اکسید روی پرداختیم. در روش سل-ژل عملیات گرمایشی روی فیلم ها در دو مرحله

---

<sup>1</sup> TCO

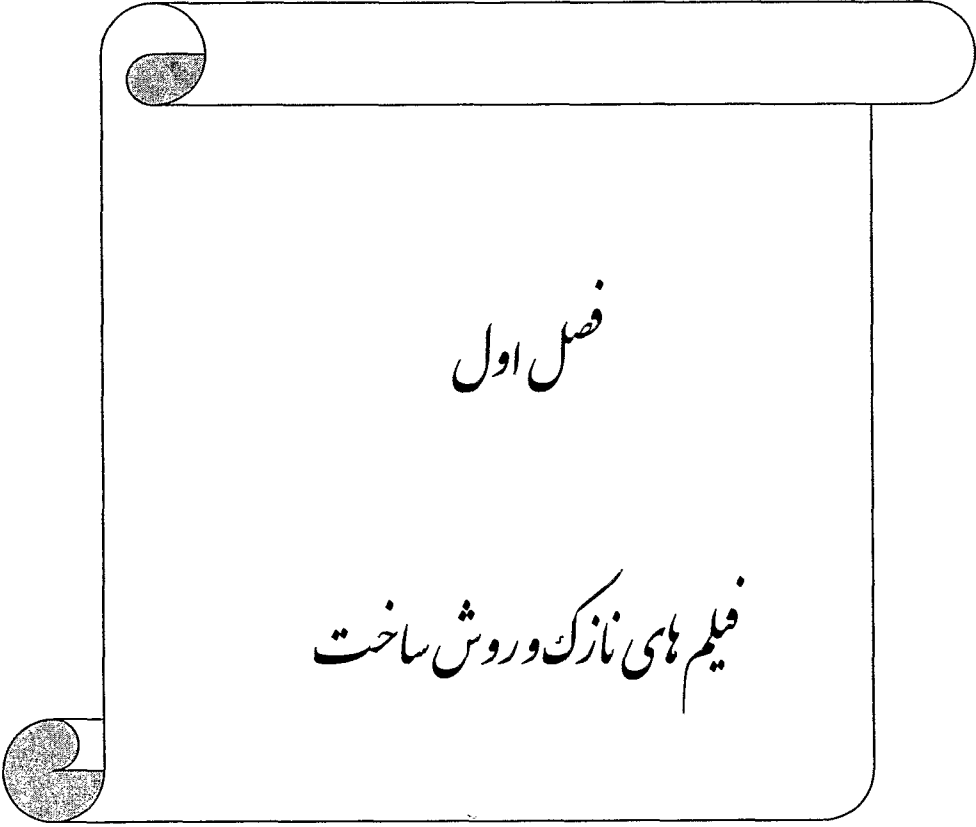
<sup>2</sup> CVD

<sup>3</sup> MBE

خشک سازی و بازیخت صورت می گیرد. که در زمینه بازیخت در دماهای بالا کارهای متعددی صورت گرفته ولی در زمینه عملیات خشک سازی کار زیادی صورت نگرفته، حال آنکه همان طور که در این پژوهش دیده می شود عملیات خشک سازی می تواند تأثیرات اساسی بر ساختار فیلم ها و به طبع بر خواص فیزیکی آنها داشته باشد. در این پژوهش بعد از تأثیر پارامترهای مختلف برای بررسی خواص اپتیکی و ضخامت فیلم ها از طریق داده های حاصل از طیف تراگسیل تجربی در گستره طول موج مرئی (۳۰۰-۸۰۰nm) و با استفاده از روش بهینه سازی نامقید ثابت های اپتیکی و ضخامت فیلم ها تعیین گشت. پاشیدگی داده های حاصل با استفاده از روابط کوشی<sup>۱</sup> برازش شد. برای بررسی بیشتر از طیف فوتولومینسانس فیلم ها نیز استفاده شد. در ادامه خصوصیات ساختاری فیلم ها و پودرهای حاصل از فرایند سل-ژل با استفاده از الگوی پراش پرتو X و تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی مورد بررسی قرار گرفت. در پایان فصل، نتایج حاصل از تحقیق و پیشنهاداتی برای فعالیت های آینده بیان شده است.

---

<sup>۱</sup> Cauchy



فصل اول

فیلم های نازک و روش ساخت