

---

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : فیزیک

گروه : حالت جامد

# رشد و مشخصه یابی لایه های نازک اکسید رسانای

## شفاف $Cd_2SnO_4$

سیده فاطمه طباطبائی زاده

اساتید راهنما :

دکتر مرتضی ایزدی فرد

دکتر محمد ابراهیم قاضی

استاد مشاور :

دکتر بهرام بهرامیان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۸۹



---

تقدیم بہ

پدرم کہ صداقت و محبتش دریایی بی انتہاست و

مادرم کہ اقیانوس بیکران بخشش، مہربانی و ایثار است...

## تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران پروردگاری را که بلند مرتبه است و مهربان، و جویندگان راه دانش را ره‌نماور، نمونه.  
با استعانت از خداوند منان، در این مقطع از تحصیل بر خود لازم می‌دانم که از راهنمایی‌ها و زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای محترم جناب آقای دکتر مرتضی ایزدی فرد و جناب آقای دکتر محمد ابراهیم قاضی تقدیر نمایم.  
همچنین از راهنمایی‌های استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر بهرام بهرامیان نیز بسیار تشکر کنم. از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر عثمی و جناب آقای دکتر حسامی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل کردند، بسیار سپاسگذارم.

همچنین از جناب آقای رضا مسکنی، کارشناس محترم آزمایشگاه نانوفزیک که همواره در مراحل آزمایشگاهی از کمک‌هایشان بهره‌مند بودیم و از همه دوستانم به ویژه سرکار خانم مهدیه مصاحبه، سرکار خانم زینب ترابی و سرکار خانم مرگن همدینزاده به خاطر همه‌ی همراهی‌ها و همکاری‌هایشان نهایت سپاس و قدردانی را دارم.  
از زحمات و همراهی‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در همه مراحل تحصیلی همواره یاریم کردند بسیار

ممنونم.



## چکیده:

در این پایان نامه ابتدا لایه‌های نازک استنات کادمیم ( $Cd_2SnO_4$ ) خالص به روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای<sup>1</sup> رشد داده شدند. سپس اثر پارامترهای مختلفی مانند دمای لایه‌نشانی، آهنگ شارش محلول، فاصله نازل افشانه از زیرلایه، میزان حجم محلول اسپری، نوع حلال، دمای بازپخت و نیز مدت زمان آن بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های تهیه شده بررسی شده است. همچنین در این کار نمونه‌های استنات کادمیم آلایش یافته با فلئور ( $Cd_2SnO_4 : F$ ) به روش فوق رشد داده شدند و اثر این ناخالصی روی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی آنها بررسی گردید.

برای بررسی خواص ساختاری نمونه ها از اندازه‌گیری‌های پراش پرتو X (XRD) و تصاویر ثبت شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. خواص اپتیکی نمونه ها با کمک اندازه گیری های طیف تراگیسیل آنها بررسی شد. همچنین خواص الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه مقاومت سنج چهارپایانه‌ای اندازه‌گیری شده است.

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که پارامترهایی مانند دمای لایه نشانی، حجم محلول اسپری، میزان آلایش فلئور، دمای بازپخت و مدت زمان آن تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه های نازک استنات کادمیم دارد.

**کلمات کلیدی:** تجزیه گرمایی افشانه‌ای – استنات کادمیم – اکسید رسانای شفاف –

خواص ساختاری- خواص اپتیکی

---

<sup>1</sup> Spray pyrolysis

---

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- طباطبائی زاده، سیده فاطمه؛ ایزدی فرد، مرتضی؛ قاضی، محمد ابراهیم؛ بهرامیان، بهرام؛ (۱۳۸۸)، « بررسی خواص ساختاری و اپتیکی لایه نازک استنات کادمیم رشد داده شده به روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای »، شانزدهمین کنفرانس انجمن اپتیک و فوتونیک / ایران، بهمن ۱۳۸۸، دانشگاه یزد.
- ۲- طباطبائی زاده، سیده فاطمه؛ ایزدی فرد، مرتضی؛ قاضی، محمد ابراهیم؛ بهرامیان، بهرام، (۱۳۸۸)، « تاثیر دمای لایه نشانی و فاصله نازل افشانه از زیرلایه بر خواص اپتیکی لایه‌های نازک استنات کادمیم آماده شده به روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای »، کنفرانس فیزیک / ایران، شهریور ۱۳۸۹، دانشگاه بوعلی سینا - همدان.



## فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

### فصل اول

#### اکسیدهای رسانای شفاف، خواص و کاربردها

- مقدمه ای بر اکسیدهای رسانای شفاف ..... ۲
- ۱-۱) معرفی ..... ۴
- ۲-۱) خصوصیات الکتریکی ..... ۵
- ۳-۱) خصوصیات اپتیکی ..... ۷
- ۱-۳-۱) شیفت برشتین - ماس ..... ۸
- ۴-۱) مسیر پیشرفت اکسیدهای رسانای شفاف ..... ۹
- ۵-۱) تشریح برخی کاربردهای اکسیدهای رسانای شفاف ..... ۱۱
- ۱-۵-۱) پنجره های معماری ..... ۱۱
- ۲-۵-۱) نمایشگرهای صفحه تخت ..... ۱۱
- ۳-۵-۱) پنجره های با قابلیت نشر پایین ..... ۱۳
- ۴-۵-۱) پنجره های هوشمند ..... ۱۴

### فصل دوم

#### روش های رشد و مشخص یابی لایه های نازک

- مقدمه ..... ۱۷
- ۱-۲) روش های رشد لایه های نازک ..... ۱۸
- ۱-۱-۲) روش های لایه نشانی فیزیکی ..... ۱۸
- الف) تبخیر حرارتی یا مقاومتی ..... ۱۸

۱۹	..... (ب) تبخیر پرتو الکترونی
۱۹	..... (ج) تبخیر به کمک اشعه لیزر
۲۰	..... (د) کندوپاش
۲۲	..... (ه) روآراستی با پرتو مولکولی (MBE)
۲۲	..... (۲-۱-۲) روش های لایه نشانی شیمیایی
۲۳	..... (الف) انباشت بخار شیمیایی (CVD)
۲۳	..... (ب) سل-ژل
۲۴	..... (ج) تجزیه گرمایی افشانه ای
۲۴	..... (۲-۲) روش های مشخصه یابی لایه های نازک
۲۵	..... (۱-۲-۲) پراش پرتو X (XRD)
۲۸	..... (۲-۲-۲) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۳۲	..... نمونه‌هایی از کاربرد
۳۲	..... (۳-۲-۲) دستگاه اسپکتروفتومتر
۳۴	..... (الف) آشکار ساز
۳۵	..... (۳-۳-۲) روش بهینه سازی چامبلیرون
۳۸	..... (الف) نرم افزار Puma
۴۱	..... (ب) گاف نواری
۴۳	..... (ج) دستگاه چهارپایانه ای
۴۶	..... (د) ضریب بهینگی

## فصل سوم

### معرفی لایه نازک اسنات کادم و آشنایی با روش گرمایی افشانه‌ای و مراحل آزمایشگاهی

۴۸	..... مقدمه
----	-------------

۴۸	..... معرفى لايه نازك استنات كادميم
۵۳	..... روش هاى رشد استنات كادميم و كارهاى انجام شده در اين زمينه:
	..... (۲-۱-۳) آشنايى با روش تجزيه گرمايى افشانه اى و شرح مراحل آزمونى تهيه لايه نازك استنات كادميم
۵۸	..... (۱-۲-۳) آشنايى با روش تجزيه گرمايى افشانه اى
۵۹	..... (الف) محفظه و صفحه داغ دستگاه
۶۱	..... (ب) نازل افشانه
۶۲	..... حرکت عمودى نازل افشانه
۶۲	..... حرکت روبشى نازل افشانه
۶۳	..... (ج) هود
۶۳	..... (۳-۳) مراحل آزمونى
۶۴	..... (۱-۳-۳) شستشوى زيرلايه
۶۴	..... (۲-۳-۳) تهيه محلول
۶۴	..... (الف) تهيه محلول براى لايه نشانى استنات كادميم خالص
۶۶	..... (ب) تهيه محلول براى لايه نشانى استنات كادميم با ناخاصى فلئورين

## فصل چهارم

### نتايج حاصل از مطالعه لايه نازك $Cd_2SnO_4$ خالص

۶۸	..... مقدمه
۶۸	..... (۱-۴) مطالعه نمونه هاى انباشت شده با حجم محلول اسپرى ۵۰ ميلى ليتر
۶۹	..... (۱-۱-۴) اثر دماى لايه نشانى
۷۲	..... (۲-۱-۴) اثر آهنگ شارش محلول
۷۸	..... (۳-۱-۴) اثر فاصله نازل افشانه از زيرلايه

- 
- ۴-۱-۴) اثر نسبت وزن مولی استات کادمیم دوآبه به کلرید قلع دوآبه در محلول ..... ۸۳
- ۴-۱-۵) اثر تغییر حلال ..... ۸۷
- ۲-۴) نمونه های آماده شده با حجم محلول ۱۵۰ میلی لیتر ..... ۹۱
- ۴-۲-۱) اثر حجم محلول بر روی خواص فیزیکی لایه های انباشت شده ..... ۹۱
- الف) اثر حجم محلول - دمای  $400^{\circ}\text{C}$  ..... ۹۲
- بررسی خواص ساختاری ..... ۹۲
- بررسی تصویر برداری SEM ..... ۹۷
- بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی ..... ۹۸
- ب) اثر حجم محلول - دمای  $450^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۰۰
- بررسی خواص ساختاری ..... ۱۰۰
- بررسی تصویر برداری SEM ..... ۱۰۵
- بررسی خواص اپتیکی ..... ۱۰۶
- بررسی خواص الکتریکی ..... ۱۰۹
- ج) اثر حجم محلول - دمای  $500^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۱۰
- بررسی خواص اپتیکی ..... ۱۱۰
- بررسی خواص الکتریکی ..... ۱۱۴
- ۴-۲-۲) اثر دمای لایه نشانی ..... ۱۱۴
- الف) بررسی خواص ساختاری ..... ۱۱۵
- ب) بررسی تصویر برداری SEM ..... ۱۲۱
- ج) بررسی خواص اپتیکی ..... ۱۲۲
- د) بررسی خواص الکتریکی ..... ۱۲۵

## فصل پنجم

### نتایج حاصل از مطالعه لایه نازک $Cd_2SnO_4$ آلیش یافته با فلونور

۱۲۸	.....مقدمه
۱۲۸	..... (۱-۵) اثر آلیش
۱۲۸	..... (۱-۱-۵) بررسی خواص ساختاری
۱۳۱	..... (۲-۱-۵) بررسی تصویربرداری SEM
۱۳۳	..... (۳-۱-۵) بررسی خواص اپتیکی
۱۳۶	..... (۴-۱-۵) بررسی خواص الکتریکی
۱۳۷	..... (۲-۵) اثر بازپخت
۱۳۸	..... (۱-۲-۵) بررسی خواص ساختاری
۱۴۱	..... (۲-۲-۵) بررسی تصویربرداری SEM
۱۴۳	..... (۳-۲-۵) بررسی خواص اپتیکی
۱۴۸	..... (۴-۲-۵) بررسی خواص الکتریکی
۱۴۹	..... نتیجه گیری:

## فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل (۱-۱): طبقه بندی جامدات رسانا: نمودار چگالی الکترونی ( $n$ ) بر حسب تحرک پذیری الکترون ( $\mu$ ). فاصله‌ی جامدات برای شبه فلزات، فلزات خوب، اکسیدهای رسانای شفاف و نیمه‌هادی‌ها داده‌ها در دمای اتاق هستند و خطوط مستقیم، خطوط با رسانایی ثابت می‌باشند [۳].	۳
شکل (۲-۱) : طول موج لبه جذب (نقطه A) و طول موج پلاسما (نقطه B) در اکسیدهای رسانای شفاف [۶].	۷
شکل (۳-۱) : بزرگ شدن اندازه گاف نواری بوسیله شیفت برشتین-ماس.	۹
شکل (۴-۱): OLEDهای قابل انعطاف، (Flexible OLED).	۱۳
شکل (۵-۱): پنجره‌های Low-E. این پوشش‌ها همیشه گرما را به سوی منبع آن انعکاس می‌دهند.	۱۴
شکل (۶-۱): پنجره‌های هوشمند و نحوه کار آن به طور ساده.	۱۵
شکل (۱-۲): طرحی ساده از چگونگی انباشت در روش تبخیر به کمک اشعه لیزر.	۲۰
شکل (۲-۲) : طرحی ساده از روش کندوپاش.	۲۱
شکل (۳-۲): طیف پراش پرتو X برای لایه نازک CdO رشد داده شده با روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای [۱۰].	۲۶
شکل (۴-۲): دستگاه XRD، مدل D8.ADVANCE.BRUKER که برای ثبت طیف XRD نمونه‌های مورد مطالعه در این کار استفاده شد.	۲۸
شکل (۵-۲) : نمایی ساده از میکروسکوپ الکترونی روبشی.	۲۹
شکل (۶-۲): برخورد پرتو الکترونی با نمونه و اشعه‌های گسیل شده از نمونه.	۳۰

- شکل (۷-۲): نمایی از دستگاه FE-SEM مدل Hitachi S-۴۱۶۰ موجود در دانشکده فنی  
دانشگاه تهران. ۳۱
- شکل (۸-۲): طرحی از دستگاه اسپکتروفوتومتر تک باریکه‌ای. ۳۴
- شکل (۹-۲): تصویر دستگاه اسپکتروفوتومتر، مدل RAY LEIGH UV-۲۶۰۱. ۳۵
- شکل (۱۰-۲): گاف نواری مستقیم برای لایه نازک اکسید کادمیم با درصدهای مختلف آلاینش  
تیتانیوم [۲۲]. ۴۳
- شکل (۱۱-۲): یک طرح شماتیک از دستگاه چهارپایانه‌ای. ۴۴
- شکل (۱۲-۲): تصویری از دستگاه چهارپایانه ای، مدل RM۳-AR محصول شرکت  
Jandel موجود در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود. ۴۴
- شکل (۱۳-۲): اندازه گیری مقاومت صفحه‌ای با دستگاه چهارپایانه‌ای. ۴۵
- شکل (۱-۳): سمت راست: چهارگوشی ساده و سمت چپ: چهارگوشی مرکز پر. ۴۹
- شکل (۲-۳): نمایی از ساختار رومبوهدرال. ۵۰
- شکل (۳-۳): چهار مدل ساختار اورتورومبیک، (الف) ساده، (ب) مرکز حجمی، (ج) مرکز پایه  
و (د) مرکز سطحی. ۵۱
- شکل (۴-۳): ساختار اسپینل. در شکل پایین هر مکعب A با ۶ مکعب B همسایه است [۸]. ۵۲
- شکل (۵-۳): دستگاه لایه نشانی تجزیه گرمایی افشانه‌ای مدل (S. C. S-۸۶) مستقر در  
آزمایشگاه رشد بلور دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود. ۵۹
- شکل (۶-۳): المنت‌های حرارتی برای گرم کردن صفحه داغ. ۶۰
- شکل (۷-۳): طرح شماتیکی از دستگاه رشد روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای [۱۳]. ۶۱
- شکل (۸-۳): اثر تغییر فاصله‌ی نازل افشانه از زیرلایه روی میزان سطح انباشت زیرلایه. ۶۳
- شکل (۱-۴): افزایش شفافیت نمونه‌ها با افزایش دمای لایه نشانی. ۶۹
- شکل (۲-۴): نمودار طیف پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در دمای  $400^{\circ}\text{C}$ . ۷۱

- شکل (۳-۴) : طیف پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  . ۷۲
- شکل (۴-۴) : تاثیر آهنگ شارش محلول در دمای زیرلایه  $500^{\circ}\text{C}$  بر عبور لایه ها. فاصله نازل  
افشانه از زیرلایه : ۴۵ سانتیمتر. ۷۳
- شکل (۵-۴) : ضریب شکست محاسبه شده برای سه آهنگ مختلف شارش محلول بر حسب  
تابعی از طول موج. ۷۳
- شکل (۶-۴) : ضریب خاموشی برای سه آهنگ مختلف شارش محلول. ۷۴
- شکل (۷-۴) : ضریب جذب برای سه آهنگ مختلف شارش محلول. ۷۴
- شکل (۸-۴) : تغییرات  $(\alpha hv)^2$  بر حسب انرژی فوتون‌های فرودی برای سه آهنگ مختلف  
شارش محلول. ۷۵
- شکل (۹-۴) : تغییرات  $(\alpha hv)^{1/2}$  بر حسب انرژی فوتون‌های فرودی برای سه آهنگ مختلف  
شارش محلول. ۷۵
- شکل (۱۰-۴) : طیف عبور بر حسب طول موج برای لایه‌های تهیه شده با فاصله نازل افشانه از  
زیرلایه متفاوت. ۷۸
- شکل (۱۱-۴) : افزایش فاصله نازل افشانه از زیرلایه و بزرگتر شدن سطح مقطع مخروط و  
نازکتر شدن لایه انباشت شده. ۷۹
- شکل (۱۲-۴) : نمودار تغییر ضریب شکست نمونه‌ها با طول موج با افزایش فاصله نازل. ۸۰
- شکل (۱۳-۴) : نمودار تغییر ضریب خاموشی نمونه‌ها با طول موج با افزایش فاصله نازل. ۸۰
- شکل (۱۴-۴) : نمودار تغییر ضریب جذب نمونه‌ها با افزایش فاصله نازل. ۸۱
- شکل (۱۵-۴) : طیف عبور نمونه‌ها با افزایش نسبت وزن مولی استات کادمیم دو آبه به کلرید  
قلع دو آبه در محلول. ۸۳
- شکل (۱۶-۴) : ضریب شکست نمونه‌ها با افزایش نسبت استات کادمیم دو آبه به کلرید قلع دو  
آبه در محلول. ۸۴



- شکل (۴-۱۷): ضریب خاموشی نمونه‌ها با افزایش نسبت استات کادمیم دو آبه به کلرید قلع دو  
 ۸۵ آبه در محلول.
- شکل (۴-۱۸): ضریب جذب نمونه‌ها با افزایش نسبت استات کادمیم دو آبه به کلرید قلع دو  
 ۸۵ آبه در محلول.
- شکل (۴-۱۹): طیف پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در نسبت ۱:۶ استات کادمیم دو  
 ۸۷ آبه به کلرید قلع دو آبه در محلول.
- شکل (۴-۲۰): نمودار اثر حلال در میزان شفافیت نمونه‌ها (۱) - آب مقطر Merck (۲) - آب  
 ۸۸ مقطر یکبار تقطیر.
- شکل (۴-۲۱): نمودارهای ضریب شکست بر حسب طول موج برای (۱) - آب مقطر Merck  
 ۸۹ (۲) - آب مقطر یکبار تقطیر.
- شکل (۴-۲۲): نمودارهای تغییر ضریب خاموشی بر حسب طول موج برای (۱) - آب مقطر  
 ۸۹ Merck (۲) - آب مقطر یکبار تقطیر.
- شکل (۴-۲۳): ضریب جذب (۱) - آب مقطر Merck (۲) - آب مقطر یکبار تقطیر.  
 ۹۰
- شکل (۴-۲۴): طیف پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده با حجم محلول ۵۰ میلی لیتر و  
 ۹۳ در دمای لایه نشانی  $40.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۲۵): طیف پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده با حجم محلول ۱۵۰ میلی لیتر  
 ۹۳ و در دمای لایه نشانی  $40.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۲۶): نمودار تابع نیلسون-ریلی برای نمونه رشد داده شده با حجم اسپری ۱۵۰ میلی  
 ۹۶ لیتر در دمای  $40.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۲۷): نمودار  $\beta \cos\theta / \lambda$  بر حسب  $\sin\theta / \lambda$  برای نمونه رشد داده شده با حجم اسپری  
 ۹۷ ۱۵۰ میلی لیتر در دمای  $40.0^{\circ}\text{C}$ .

- شکل (۴-۲۸) : تصاویر SEM تهیه شده از نمونه رشد داده شده با حجم محلول اسپری  
۹۸ ۱۵۰ میلی لیتر.
- شکل (۴-۲۹) : نمودارهای الف) میزان عبور، ب) ضریب شکست، ج) ضریب خاموشی و د)  
ضریب جذب برای نمونه‌های رشد داده شده با سه حجم مختلف محلول اسپری  
۹۹ در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد.
- شکل (۴-۳۰) : طرح پراش پرتو X نمونه رشد داده شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  با حجم ۵۰ میلی  
۱۰۱ لیتر.
- شکل (۴-۳۱) : طرح پراش پرتو X نمونه رشد داده شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  با حجم ۱۰۰  
۱۰۱ میلی لیتر.
- شکل (۴-۳۲) : طرح پراش پرتو X نمونه رشد داده شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  با حجم ۱۵۰ میلی  
۱۰۲ لیتر.
- شکل (۴-۳۳) : طرح پراش پرتو X برای سه نمونه با حجم‌های مختلف محلول اسپری، رشد  
۱۰۳ داده شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۳۴) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه با حجم محلول اسپری (a) ۵۰  
۱۰۶ میلی لیتر، (b) ۱۰۰ میلی لیتر (c) ۱۵۰ میلی لیتر.
- شکل (۴-۳۵) : نمودار طیف عبور سه نمونه با حجم‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی لیتر رشد داده  
۱۰۷ شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  با افزایش حجم محلول، شفافیت لایه کاهش یافته است.
- شکل (۴-۳۰) : نمودارهای مربوط به الف) ضریب شکست، ب) ضریب خاموشی و ج) ضریب  
۱۰۹ جذب برای سه حجم مختلف محلول اسپری برای رشد نمونه‌ها در دمای  $450^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۳۷) : منحنی عبور برحسب طول موج لایه‌ها برای سه حجم مختلف محلول اسپری  
۱۱۲ در دمای لایه نشانی  $50^{\circ}\text{C}$ .

- شکل (۴-۳۸) : نمودار ضریب شکست محاسبه شده لایه ها برای سه حجم مختلف محلول  
 ۱۱۲ اسپری در دمای لایه نشانی  $50.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۳۹) : نمودار ضریب خاموشی لایه ها برای سه حجم مختلف محلول اسپری بری رشد  
 ۱۱۳ لایه ها در دمای لایه نشانی  $50.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۴۰) : نمودار ضریب جذب لایه ها برای سه حجم مختلف محلول اسپری در دمای  
 ۱۱۳ لایه نشانی  $50.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۴۱) : طرح پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در دمای  $40.0^{\circ}\text{C}$ .  
 ۱۱۶
- شکل (۴-۴۲) : طرح پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در دمای  $45.0^{\circ}\text{C}$ .  
 ۱۱۶
- شکل (۴-۴۳) : طرح پراش پرتو X برای نمونه رشد داده شده در دمای  $50.0^{\circ}\text{C}$ .  
 ۱۱۷
- شکل (۴-۴۴) : طرح پراش پرتو X برای سه نمونه تهیه شده با دماهای لایه نشانی متفاوت.  
 ۱۱۷
- شکل (۴-۴۵) : نمودار نیلسون-ریلی برای نمونه رشد داده شده در دمای  $40.0^{\circ}\text{C}$ .  
 ۱۱۹
- شکل (۴-۴۶) : نمودار  $\beta \cos\theta / \lambda$  برحسب  $\sin\theta / \lambda$  برای نمونه رشد داده شده در دمای لایه  
 ۱۲۰ نشانی  $40.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۴۷) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای نمونه با دمای لایه نشانی (a)  $^{\circ}\text{C}$   
 ۱۲۱  $40.0^{\circ}\text{C}$  (b)  $45.0^{\circ}\text{C}$  (c)  $50.0^{\circ}\text{C}$ .
- شکل (۴-۴۸) : نمودار طیف عبور برحسب طول موج برای سه نمونه با دماهای لایه نشانی  
 ۱۲۳ مختلف.
- شکل (۴-۴۹) : نمودار ضریب شکست برای سه نمونه با دماهای لایه نشانی مختلف.  
 ۱۲۴
- شکل (۴-۵۰) : نمودار ضریب خاموشی برای سه نمونه با دماهای لایه نشانی مختلف.  
 ۱۲۵
- شکل (۵-۱) : طیف پراش پرتو X برای نمونه بدون آرایش.  
 ۱۲۹
- شکل (۵-۲) : طیف پراش پرتو X برای نمونه با ۲٪ وزنی آرایش فلئوئور.  
 ۱۲۹
- شکل (۵-۳) : طیف پراش پرتو X برای نمونه با ۷٪ وزنی آرایش فلئوئور.  
 ۱۳۰

- شکل (۴-۵) : طیف پراش پرتو X برای نمونه با ۱۰٪ وزنی آلاینش فلئور. ۱۳۰
- شکل (۵-۵) : طیف پراش پرتو X برای درصدهای وزنی مختلف آلاینش فلئور. ۱۳۱
- شکل (۶-۵) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای نمونه (a) بدون آلاینش (b) ۲٪ آلاینش (c) ۷٪ آلاینش (d) ۱۰٪ آلاینش. ۱۳۲
- شکل (۷-۵) : طیف های عبور سه نمونه با درصدهای آلاینش مختلف فلئور. با افزودن ماده آلاینده، شفافیت کاهش یافته است. ۱۳۳
- شکل (۸-۵) : تغییرات ضریب شکست نمونه‌ها با افزایش درصد ناخالصی. ۱۳۵
- شکل (۹-۵) : تغییرات ضریب خاموشی نمونه‌ها با افزایش درصد ناخالصی. ۱۳۵
- شکل (۱۰-۵) : تغییرات ضریب جذب نمونه‌ها با افزایش درصد ناخالصی. ۱۳۶
- شکل (۱۱-۵) : طیف پراش پرتو X برای نمونه بازپخت شده شامل ۲٪ ناخالصی فلئور. ۱۳۸
- شکل (۱۲-۵) : طیف پراش پرتو X برای نمونه شامل ۲٪ ناخالصی فلئور قبل و بعد از عملیات بازپخت. ۱۳۹
- شکل (۱۳-۵) : طیف پراش پرتو X برای نمونه شامل ۷٪ ناخالصی فلئور قبل و بعد از عملیات بازپخت. ۱۳۹
- شکل (۱۴-۵) : طیف پراش پرتو X برای نمونه شامل ۱۰٪ ناخالصی فلئور قبل و بعد از عملیات بازپخت. ۱۴۰
- شکل (۱۵-۵) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه ۲٪ آلاینش (a) قبل و (b) بعد از عملیات بازپخت. ۱۴۱
- شکل (۱۶-۵) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه ۷٪ آلاینش (a) قبل و (b) بعد از عملیات بازپخت. ۱۴۲
- شکل (۱۷-۵) : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه ۱۰٪ آلاینش (a) قبل و (b) بعد از عملیات بازپخت. ۱۴۳