

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده : فیزیک

گروه : فیزیک حالت جامد

عنوان:

رشد و مشخصه یابی لایه های نازک CuAlO_2

دانشجو: بنت الهدی حمیدی

اساتید راهنما:

دکتر مرتضی ایزدی فرد

دکتر محمد ابراهیم قاضی

استاد مشاور:

دکتر بهرام بهرامیان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : فیزیک

گروه : حالت جامد

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای / خانم بنت الهدی حمیدی سابقی

تحت عنوان:

رشد و مشخصه یابی لایه های نازک CuAlO_2

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

(رساله دکتری) مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : بهرام بهرامیان		نام و نام خانوادگی : دکتر مرتضی ایزدی فرد
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر محمد ابراهیم قاضی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر محمد رضا شجاعی		نام و نام خانوادگی : دکتر سعید حسامی پیله رود
			نام و نام خانوادگی : دکتر هادی عربشاهی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.
در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر مرتضی ایزدی فرد و جناب آقای دکتر محمد ابراهیم قاضی، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده آنها، این مجموعه به انجام نمی‌رسید. از جناب آقای دکتر بهرام بهرامیان که زحمت مطالعه و مشاوره این رساله را تقبل فرمودند و در آماده‌سازی این رساله، به نحو احسن اینجانب را مورد راهنمایی قرار دادند، کمال امتنان را دارم.

بنت الهدی حمیدی سابقی

بهمن ماه ۱۳۹۰

تعهد نامه

اینجانب بنت الهدی حمیدی سابقی تأیید می نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودم می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده ام.

تاریخ و امضاء

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

هفدهم بهمن ماه ۱۳۹۰

چکیده

در این پایان نامه لایه های نازک اکسید مس آلومینیوم (CuAlO_2) با ضخامت متوسط 150 nm به روش سل - ژل چرخشی و غوطه وری آماده شدند. به منظور بدست آوردن شرایط بهینه سنتز این نمونه ها، اثر پارامترهایی نظیر نوع زیرلایه، دمای خشک سازی و دمای بازپخت، اتمسفر محیط بازپخت و نسبت مولی آلومینیوم به مس روی خواص ساختاری و اپتیکی نمونه ها بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که برای تبلور ساختار بلوری CuAlO_2 ، انجام عملیات بازپخت در دماهایی در حدود $750-1100^\circ\text{C}$ ضروری است. همچنین محیط بازپخت (خلا یا گاز بی اثر) می تواند خواص ساختاری و اپتیکی لایه ها را تحت تاثیر قرار دهد. مقایسه نتایج بدست آمده نشان دادند که عملیات بازپخت در محیط آرگون منجر به تولید نمونه هایی با کیفیت اپتیکی و ساختاری نسبتاً بهتری می شوند.

همچنین این مطالعه نشان داد که انتخاب دمای خشک سازی مناسب نیز می تواند روی خواص ساختاری و اپتیکی نمونه ها تاثیر مستقیم داشته باشد. نتایج این بررسی نشان داد که دمای خشک سازی مناسب برای لایه های نازک CuAlO_2 به روش سل - ژل چرخشی روی زیرلایه کوارتز دمای 400°C می باشد. اثر ضخامت لایه نیز روی خواص ساختاری و اپتیکی لایه های نازک اکسید مس آلومینیوم بررسی شد. این بررسی نشان داد که لایه با ضخامت 140 nm از کیفیت ساختاری و اپتیکی بهتری در مقایسه با لایه با ضخامت 180 nm برخوردار هستند.

در این کار اثر نسبت مولی Al/Cu نیز روی خواص ساختاری و اپتیکی نمونه ها بررسی شد. به این منظور کیفیت اپتیکی و ساختاری نمونه های تهیه شده با نسبت های مولی $0/8$ ، 1 و $1/2$ بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که کیفیت ساختاری و اپتیکی نمونه دارای نسبت مولی $0/8$ بهتر از سایر نمونه ها است.

کلمات کلیدی: لایه های نازک، سل - ژل، خواص ساختاری و اپتیکی.

مقاله استخراج شده از این پایان نامه:

[۱] بنت الهدی حمیدی، مرتضی ایزدی فرد، محمد ابراهیم قاضی، بهرام بهرامیان، بررسی عملیات حرارتی روی ویژگی های اپتیکی و ساختاری فییم نازک CuAlO_2 تهیه شده به روش سل - ژل، اولین کنفرانس ملی نوآوری ها در در پردازش لایه های نازک و مشخصه های آنها، دی ۱۳۹۰.

فصل اول: اکسید های رسانای شفاف و خواص آنها

- ۲-۱- طبقه بندی مواد جامد..... ۲
- ۳-۱- مواد نیمرسانا..... ۲
- ۱-۳-۱- نیمرسانای نوع n و نیمرسانای نوع p..... ۲
- ۲-۳-۱- گاف نواری مستقیم و گاف نواری غیرمستقیم..... ۴
- ۴-۱- ویژگی های لایه های نازک رسانای شفاف اکسیدی..... ۵
- ۱-۴-۱- ویژگی های ساختاری اکسید های رسانای شفاف..... ۵
- ۲-۴-۱- اکسید های نیمرسانای شفاف بر اساس آرایش آنیون و کاتیون..... ۶
- ۳-۴-۱- اکسید های نیمرسانای شفاف بر اساس حامل های اکثریت..... ۷
- ۵-۱- ساختار بلوری اکسید های دلافوسیت..... ۸
- ۶-۱- ویژگی های اپتیکی..... ۱۰
- ۱-۶-۱- طول موج لبه جذب..... ۱۰
- ۲-۶-۱- طول موج پلاسما..... ۱۲
- ۷-۱- ویژگی های الکتریکی CuAlO_2 ۱۲
- ۱-۷-۱- تهی جاهای اکسیژن در شبکه..... ۱۶
- ۲-۷-۱- وجود عناصر آلاینده..... ۱۷
- ۸-۱- کاربرد های CuAlO_2 ۱۸
- ۱-۸-۱- سنسور های گازی..... ۱۸

۱۹..... کاتالیست ۲-۸-۱

۱۹..... وسایل اپتیکی شفاف ۳-۸-۱

فصل دوم: لایه های نازک و مراحل آزمایشگاهی رشد آنها

۲۰..... مقدمه ۱-۲

۲۱..... لایه نازک ۲-۲

۲۱..... روشهای رشد لایه نازک ۳-۲

۲۳..... سل - ژل ۴-۲

۲۴..... پارامترهای شیمیایی موثر در روش سل - ژل ۱-۴-۲

۲۴..... طول عمر سل ۱-۱-۴-۲

۲۴..... pH محیط سل ۲-۱-۴-۲

۲۵..... پارامترهای فیزیکی موثر در روش سل - ژل ۲-۴-۲

۲۵..... ویژگی های ساختاری زیر لایه ۱-۲-۴-۲

۲۵..... روش انباشت ۲-۲-۴-۲

۲۶..... خشک سازی ۳-۲-۴-۲

۲۶..... بازپخت ۴-۲-۴-۲

۲۶..... مزایای روش سل - ژل ۳-۴-۲

۲۷..... معایب روش سل - ژل ۴-۴-۲

۲۷..... روش کار آزمایشگاهی ۵-۲

۲۷..... تمیز کردن زیرلایه ۱-۵-۲

۲۸	..... تهیه لایه نازک ۲-۵-۲
۲۸	..... ژل غوطه وری ۲-۵-۲-۱ سل
۲۹	..... ژل چرخشی ۲-۵-۲-۲ سل
۳۱	..... ۶-۲ - نگاهی به کار های قبلی
۳۲	..... ۱-۶-۲ - اثر دمای بازپخت
۳۴	..... ۲-۶-۲ - اثر دمای بازپخت و فشار اتمسفر
۳۸	..... ۳-۶-۲ - نسبت مولی متفاوت

فصل سوم: برخی از روش های مشخصه یابی لایه های نازک رسانای شفاف

۴۰	..... ۱-۳ - مقدمه
۴۰	..... ۲-۳ - اندازه گیری طیف پراش پرتو X (XRD)
۴۳	..... ۳-۳ - روش های مشخصه یابی خواص اپتیکی
۴۳	..... ۱-۳-۳ - طیف عبوری اپتیکی (UV-VIS)
۴۴	..... ۲-۳-۳ - تعیین ضخامت
۴۴	..... ۳-۳-۳ - ضریب جذب (α)
۴۵	..... ۴-۳-۳ - گاف نواری
۴۶	..... ۵-۳-۳ - ضریب خاموشی و ضریب شکست
۴۷	..... ۶-۳-۳ - بازتاب اپتیکی
۴۸	..... ۴-۳ - مشخصه یابی الکتربیکی
۴۸	..... ۱-۴-۳ - مقاومت ورقه ای و مقاومت ویژه

۴۹..... ۳-۴-۲-آزمایش اثر حال

۵۰..... ۳-۴-۳- تعیین ضریب حال با استفاده از روش وان در پاو

۵۱..... ۳-۵- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

فصل چهارم: نتایج حاصل از نمونه های سنتز شده

۵۳..... ۴-۱- لایه های نازک اکسید مس آلومینیوم

۵۳..... ۴-۲- استفاده از حلال آب دو بار یونیزه در تهیه سل مورد نیاز برای انباشت نمونه ها

۵۴..... ۴-۲-۱- لایه نشانی به روش سل - ژل غوطه وری

۵۴..... ۴-۲-۱-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس

۵۵..... ۴-۲-۱-۲- بررسی خواص اپتیکی

۵۷..... ۴-۲-۲- لایه نشانی به روش سل - ژل چرخشی

۵۸..... ۴-۲-۲-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس

۵۹..... ۴-۲-۲-۲- مورفولوژی نمونه ها

۶۰..... ۴-۲-۲-۳- بررسی خواص اپتیکی

۶۴..... ۴-۳- استفاده از حلال ۲- متوکسی اتانول در تهیه سل مورد نیاز برای انباشت نمونه ها

۶۵..... ۴-۳-۱- خواص ساختاری و اپتیکی نمونه های بازپخت شده در محیط آرگون

۶۵..... ۴-۳-۱-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس

۶۸..... ۴-۳-۱-۲- مورفولوژی نمونه ها

۶۹..... ۴-۳-۱-۳- بررسی خواص اپتیکی

۷۴..... ۴-۳-۲- بررسی خواص ساختاری و اپتیکی نمونه های بازپخت شده در خلأ

- ۷۵.....۴-۳-۲-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه ها
- ۷۶.....۴-۳-۲-۲- مورفولوژی نمونه ها
- ۷۸.....۴-۳-۲-۳- خواص اپتیکی
- ۸۵.....۴-۳-۳- بررسی اثر دمای خشک سازی
- ۸۵.....۴-۳-۳-۱- بررسی طیف های پراش اشعه ایکس
- ۸۸.....۴-۳-۳-۲- مورفولوژی نمونه ها
- ۸۹.....۴-۳-۳-۳- بررسی خواص اپتیکی
- ۴-۳-۴ - بررسی اثر ضخامت روی خواص ساختاری و اپتیکی لایه های نازک $CuAlO_2$
- ۹۳.....
- ۹۴.....۴-۳-۴-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس
- ۹۶.....۴-۳-۴-۲- مورفولوژی نمونه ها
- ۹۷.....۴-۳-۴-۳- ویژگی های اپتیکی
- ۱۰۳.....۴-۳-۵- بررسی اثر نسبت مولی آلومینیوم با مس
- ۱۰۳.....۴-۳-۵-۱- بررسی طیف پراش اشعه ایکس
- ۱۰۷.....۴-۳-۵-۲- بررسی مورفولوژی نمونه ها
- ۱۰۸.....۴-۳-۵-۳- بررسی طیف عبوری نمونه ها
- ۱۱۲.....۴-۴- نتیجه گیری

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱) - طرح شماتیکی از نیمرسانای نوع n ۳
- شکل (۲-۱) - طرح شماتیکی از نیمرسانای نوع p ۴
- شکل (۳-۱) - طرح شماتیکی از ساختار نواری یک نیمرسانا با گاف نواری مستقیم و غیر مستقیم ۴
- شکل (۴-۱) - یک طرح شماتیک از یک ساختار آمورف ۵
- شکل (۵-۱) - یک طرح شماتیک از یک ساختار چند بلوری ۶
- شکل (۶-۱) - یک طرح شماتیک از یک ساختار تک بلور ۶
- شکل (۷-۱) - ترکیبات ساختاری اکسید های نیمرسانای نوع p ۸
- شکل (۸-۱) - سلولی از ساختار بلوری ABO_2 (a ، $3R$) (b $2H$) ۹
- شکل (۹-۱) - طرح شماتیکی از افزایش گاف نواری یک ماده نیمرسانا بر اثر افزایش تراکم حامل های آزاد ۱۱
- شکل (۱۰-۱) - طرح شماتیک نظریه نواری مواد ۱۳
- شکل (۱۱-۱) - یک طرح شماتیک از (a شبکه ی استوکیومتری $CuAlO_2$ (b اتم های اکسیژن اضافی در جایگاه های بلوری (c اتم های اکسیژن اضافی در جایگاه های بینابینی ۱۷
- شکل (۱-۲) - مهمترین روش های رشد لایه نازک ۲۲
- شکل (۲-۲) - ساختار های تولید شده با استفاده از روش سل - ژل ۲۳
- شکل (۳-۲) - دستگاه تمیز کننده آلتراسونیک موجود در آزمایشگاه نانو فیزیک دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود ۲۸
- شکل (۴-۲) - مراحل لایه نشانی به روش سل - ژل غوطه وری ۲۹

- شکل (۲-۵) - مراحل مختلف روش سل - ژل چرخشی الف) انباشت ب) شروع چرخش ج) پایان چرخش د) تبخیر..... ۳۰
- شکل (۲-۶) - طرح پراش پرتو X برای نمونه های CuAlO_2 در دماهای بازپخت مختلف..... ۳۲
- شکل (۲-۷) - تصاویر SEM سطح نمونه های a) بازپخت نشده و بازپخت شده در دماهای b) 850°C c) 950°C d) 1050°C e) 1100°C f) 1150°C درجه سانتیگراد..... ۳۳
- شکل (۲-۸) - نمودار شفافیت اپتیکی لایه نازک $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CuAlO}_2$ در دمای بازپخت $^\circ\text{C}$ ۱۱۵۰ به مدت ۴ ساعت تحت محیط خلأ..... ۳۴
- شکل (۲-۹) - طرح پراش پرتو X برای نمونه های CuAlO_2 روی زیرلایه سفایر در دماهای بازپخت $^\circ\text{C}$ ۱۰۵۰ - ۶۵۰ تخت فلوی نیتروژن در فشار اتمسفر ۴۰۰ sccm..... ۳۵
- شکل (۲-۱۰) - تصاویر FESEM سطح نمونه های بازپخت شده در دماهای a) 850°C b) 950°C c) 1050°C برای نمونه های CuAlO_2 روی زیر لایه سفایر تخت فلوی نیتروژن در فشار اتمسفر ۴۰۰ sccm..... ۳۶
- شکل (۲-۱۱) - نمودار شفافیت اپتیکی لایه های نازک CuAlO_2 در دماهای بازپخت مختلف روی زیرلایه سفایر تحت فلوی نیتروژن در فشار اتمسفر ۴۰۰ sccm..... ۳۷
- شکل (۲-۱۲) - نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ برای لایه های CuAlO_2 در دمای بازپخت مختلف روی زیرلایه سفایر تحت فلوی نیتروژن در فشار اتمسفر ۴۰۰ sccm..... ۳۷
- شکل (۲-۱۳) - طرح پراش پرتو X برای نمونه های CuAlO_2 در دمای بازپخت $^\circ\text{C}$ ۷۵۰ با نسبت مولی متفاوت ۳۸
- شکل (۲-۱۴) - تصاویر FESEM سطح نمونه های CuAlO_2 بازپخت شده در دمای بازپخت $^\circ\text{C}$ ۷۵۰ با نسبت مولی متفاوت Al/Cu..... ۳۹
- شکل (۳-۱) - دستگاه XRD مورد استفاده برای آنالیز نمونه ها واقع در دانشگاه دامغان..... ۴۱

- شکل (۳-۲) - نمایی از بازتاب اشعه X از صفحات بلوری..... ۴۱
- شکل (۳-۳) - شماتیکی از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-160 شرکت Shimadzu واقع در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۴۳
- شکل (۳-۴) - جریان الکتریکی عبوری از یک لایه نازک..... ۴۸
- شکل (۳-۵) - تصویر دستگاه چهار پایانه ای مستقر در آزمایشگاه نانو فیزیک دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۴۹
- شکل (۳-۶) - طرح شماتیکی از اثر هال..... ۵۰
- شکل (۳-۷) - طرح شماتیکی از روش وان در پاو در اندازه گیری ولتاژ هال..... ۵۱
- شکل (۳-۸) - طرح شماتیکی از اجزاء اصلی میکروسکوپ الکترونی..... ۵۱
- شکل (۴-۱) - طیف های XRD نمونه های بازپخت شده به مدت ۴ ساعت در دماهای بازپخت متفاوت..... ۵۵
- شکل (۴-۲) - طیف تراگیسیل نمونه های مطالعه شده در دماهای بازپخت مختلف..... ۵۷
- شکل (۴-۳) - تصاویر XRD نمونه ها در دماهای بازپخت مختلف الف) 950°C ب) 1050°C ج) 1150°C ۵۹
- شکل (۴-۴) - تصویر FESEM لایه اکسید مس آلومینیم سنتز شده در دمای 1150°C الف) مقیاس ۵۰۰ nm ب) مقیاس $3\mu\text{m}$ ۶۰
- شکل (۴-۵) - طیف تراگیسیل نمونه های آماده شده قبل و بعد از بازپخت در دماهای مختلف..... ۶۱
- شکل (۴-۶) - تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های بدون بازپخت و بازپخت شده در دماهای بازپخت مختلف..... ۶۲
- شکل (۴-۷) - تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های بدون بازپخت

- و بازپخت شده در دماهای بازپخت مختلف.....۶۲
- شکل (۴-۸)- تصاویر XRD (الف) نمونه بدون بازپخت و نمونه های بازپخت شده تحت اتمسفر آرگون در دمای (ب) 750°C (ج) 800°C (د) 850°C۶۷
- شکل (۴-۹)- تصاویر FESEM نمونه های تهیه شده در دماهای بازپخت مختلف۶۹
- شکل (۴-۱۰)- نمودار شفافیت اپتیکی لایه ها در دماهای بازپخت مختلف در محیط آرگون.....۷۱
- شکل (۴-۱۱)- تصویر FESEM از مقطع نمونه بازپخت شده در دمای 800°C در محیط آرگون. ۷۲.
- شکل (۴-۱۲)- نمودار ضریب جذب لایه ها در دماهای بازپخت مختلف در محیط آرگون.....۷۲
- شکل (۴-۱۳)- (الف) تغییرات $(\alpha hv)^2$ و (ب) تغییرات $(\alpha hv)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های بدون بازپخت و بازپخت شده در دماهای بازپخت مختلف در محیط آرگون.....۷۳
- شکل (۴-۱۴)- تصاویر XRD (الف) نمونه بدون بازپخت و نمونه های بازپخت شده تحت شرایط خلأ در دمای (ب) 750°C (ج) 800°C (د) 850°C۷۵
- شکل (۴-۱۵)- تصاویر FESEM نمونه های تهیه شده در دماهای بازپخت مختلف.....۷۷
- شکل (۴-۱۶)- نمودار شفافیت اپتیکی لایه های نازک تهیه شده در دماهای بازپخت مختلف در محیط خلأ.....۷۹
- شکل (۴-۱۷)- تصاویر شفافیت اپتیکی لایه های نازک CuAlO_2 تهیه شده با شرایط متفاوت توسط گروه جیانگ و همکاران.....۸۰
- شکل (۴-۱۸)- تغییرات ضریب جذب نمونه ها با طول موج در دمای بازپخت متفاوت در محیط خلأ.....۸۱

- شکل (۴-۱۹) - تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های بدون بازپخت و بازپخت شده در محیط خلأ در دماهای متفاوت. ۸۲
- شکل (۴-۲۰) - تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های بدون بازپخت و بازپخت شده در محیط خلأ در دما های متفاوت..... ۸۲
- شکل (۴-۲۱) - نمودار تغییرات الف) ضریب شکست و ب) ضریب خاموشی نمونه ها قبل و بعد از بازپخت در دماهای مختلف تحت محیط خلأ. ۸۴
- شکل (۴-۲۲) - نمودار تغییرات الف) ϵ_1 و ب) ϵ_2 نمونه ها قبل و بعد از بازپخت در دماهای مختلف تحت محیط خلأ..... ۸۴
- شکل (۴-۲۳) - تصاویر XRD نمونه های خشک سازی شده در دماهای الف) 200°C ب) 300°C ج) 400°C ۸۷
- شکل (۴-۲۴) - تصاویر FESEM نمونه ها با دمای خشک سازی متفاوت الف) 200°C ب) 300°C ج) 400°C ۸۸
- شکل (۴-۲۵) - نمودار شفافیت اپتیکی لایه های نازک در دماهای خشک سازی مختلف الف) قبل از بازپخت ب) بعد از بازپخت در دمای 800°C در محیط آرگون..... ۹۰
- شکل (۴-۲۶) - نمودار های تغییرات ضریب جذب بر حسب طول موج نمونه های خشک سازی شده در دو دمای 300°C و 400°C ۹۰
- شکل (۴-۲۷) - الف) تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ و ب) تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه های خشک سازی در دو دمای 300°C و 400°C ۹۱
- شکل (۴-۲۸) - الف) تغییرات ضریب شکست بر حسب طول موج ب) تغییرات ضریب خاموشی

- بر حسب طول موج نمونه های خشک سازی در دو دمای 300°C و 400°C ۹۲
- شکل (۴-۲۹) - نمودار الف) تغییرات ϵ_1 و ب) تغییرات ϵ_2 بر حسب طول موج برای نمونه های خشک سازی در دو دمای 300°C و 400°C ۹۳
- شکل (۴-۳۰) - تصاویر XRD نمونه های رشد داده شده با ضخامت های متفاوت الف) ۱۴۰ nm ب) ۱۸۰ nm ۹۵
- شکل (۴-۳۱) - اندازه گیری های FESEM لایه های نازک CuAlO_2 با ضخامت های متفاوت الف) ۱۴۰ nm ب) ۱۸۰ nm ۹۷
- شکل (۴-۳۲) - نمودار شفافیت اپتیکی لایه های نازک با ضخامت های متفاوت الف) قبل از بازپخت ب) بعد از بازپخت ۹۸
- شکل (۴-۳۳) - ضریب جذب نمونه های تهیه شده با ضخامت های متفاوت ۹۹
- شکل (۴-۳۴) - تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه ها با ضخامت های متفاوت ۹۹
- شکل (۴-۳۵) - تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه ها با ضخامت های متفاوت ۹۹
- شکل (۴-۳۶) - نمودار تغییرات الف) ضریب شکست و ب) ضریب خاموشی بر حسب طول موج برای نمونه ها با ضخامت متفاوت ۱۰۲
- شکل (۴-۳۷) - نمودار تغییرات الف) ϵ_1 و ب) ϵ_2 بر حسب طول موج برای نمونه ها با ضخامت های متفاوت ۱۰۲

شکل (۴-۳۸) - تصاویر XRD نمونه های رشد داده شده با نسبت های مولی متفاوت..... ۱۰۵

شکل (۴-۳۹) - اندازه گیری های FESEM نمونه ها با نسبت مولی متفاوت الف) $Al/Cu=0/8$

ب) $Al/Cu=1$ ج) $Al/Cu=1/2$ ۱۰۸

شکل (۴-۴۰) - نمودار شفافیت اپتیکی لایه های نازک $CuAlO_2$ با نسبت های مولی Al/Cu

متفاوت بعد از بازپخت..... ۱۰۹

شکل (۴-۴۱) - ضریب جذب نمونه های تهیه شده با تعداد دفعات متفاوت..... ۱۱۰

شکل (۴-۴۲) - تغییرات الف) $(\alpha hv)^2$ و ب) $(\alpha hv)^{1/2}$ بر حسب انرژی فوتون های فرودی برای نمونه

های با نسبت های مولی Al/Cu متفاوت..... ۱۱۰

فهرست جدول ها

- جدول (۱-۱) - دسته بندی مواد جامد بر اساس مقاومت ویژه ۲
- جدول (۲-۱) - اکسید های نیمرسانای شفاف از نظر آرایش آنیون و کاتیون ۷
- جدول (۳-۱) - پارامتر شبکه CuAlO_2 برای ساختار فضایی هگزاگونال (2H) و رومبوهدرال (3R) ۹
- جدول (۴-۱) - محدوده گاف نواری مستقیم و گاف نواری غیر مستقیم CuAlO_2 ۱۰
- جدول (۵-۱) - اکسید های نیمرسانای شفاف نوع n ۱۵
- جدول (۶-۱) - اکسید های نیمرسانای شفاف نوع p ۱۵
- جدول (۱-۲) خلاصه ای از روشهای به کار برده شده در تهیه لایه نازک CuAlO_2 و نتایج آنها ۳۱
- جدول (۱-۳) - ضرایب n در رابطه (۷-۳) با توجه به نوع گاف نواری ماده ۴۶
- جدول (۱-۴) - گاف نواری لایه ها در دمای بازپخت مختلف ۶۴
- جدول (۲-۴) - ثابت های شبکه نمونه رشد داده شده تحت اتمسفر آرگون ۶۸
- جدول (۳-۴) - گاف نواری لایه ها در دمای بازپخت مختلف ۷۴
- جدول (۴-۴) - گاف نواری لایه های بدون بازپخت و بازپخت شده در دماهای مختلف تحت محیط خلا ۸۳
- جدول (۵-۴) - گاف نواری لایه ها در دماهای خشک سازی متفاوت ۹۱
- جدول (۶-۴) - اندازه متوسط بلورک ها برای نمونه ها با ضخامت های متفاوت ۹۵
- جدول (۷-۴) - گاف نواری لایه های CuAlO_2 تهیه شده با ضخامت های متفاوت ۱۰۱