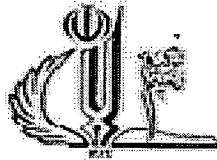




١٩٠٨ - ١٩٠٩



دانشگاه گیلان

دانشکده علوم

گروه حالت جامد و الکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک

عنوان:

بررسی برخی خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی فیلم های نازک اکسید

روی تهیه شده به روش سل - ژل

استاد راهنما:

دکتر حسن بیدادی

دکتر مجتبی پرهیزکار

استاد مشاور:

مهندس فرامرز هادیان

پژوهشگر:

بهارک محمدزاده

تیرماه ۱۳۸۹

ادامات درگن سلیز
۱۳۸۹

۱۳۸۹ / ۷ / ۲

تقدیم به پدر و مادر مهربانم که هر چه دارم از تلاش

بی دریغ و دعای خیر آنهاست.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

بی دریغ و دعای خیر آنهاست.

و تقدیم به خواهران عزیزم

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

تقدیم بہ استاد بزرگوارم

جناب آقای دکتر حسن پیداوی

کہ امید بہ موفقیت راز او آموختم

کتاب

لکھنؤ

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم است از استاد عزیزم جناب آقای دکتر حسن بیدادی که راهنمای بنده در به انجام رساندن این پایاننامه بوده اند بی نهایت تشکر نمایم.

از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر محتجبی پرمسزکار که راهنمایی این پایاننامه را بر عهده داشتن تشکر می-
نمایم.

از استاد محترم جناب آقای دکتر محمد حکمت شعار که زحمت داوری پایاننامه را تقبل فرمودند بی نهایت
پاسکدارم.

از جناب آقای مهندس فرامر زاهدیان که مشاوره امی پایاننامه را بر عهده داشتند، تشکر می نمایم.

از دوستان عزیزم خانم مطلب زاده و خانم دکتر ابراهیمی و همچنین از همه عزیزان که سخوی مراد پیشبرد
این کار پژوهشی یاری نمودند پاسکدارم.

نام خانوادگی: محمدزاده	نام: بهارک
عنوان پایان نامه: بررسی برخی خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری فیلم های نازک اکسیدروی تهیه شده به روش سل-ژل	
استادان راهنما: دکتر حسن بیدادی _ دکتر مجتبی پرهیزکار استاد مشاور: مهندس فرامرز هادیان	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: حالت جامد و الکترونیک	تاریخ فارغ التحصیلی: تیرماه ۱۳۸۹
دانشگاه: تبریز	دانشکده: فیزیک
تعداد صفحه: ۱۵۳	
کلمات کلیدی: فیلم های نازک اکسیدروی، سل-ژل، غوطه وری، ویژگی های الکتریکی و اپتیکی، میکروسکوپ الکترونی روبشی	
<p>چکیده: اکسیدروی یک نیمه رسانای نوع n- با محدوده گاف انرژی پهن eV $3.4-3.2$ می باشد. چون اکسید روی دارای فاصله بین ترازوی پهن در محدوده مرئی است، بعنوان یک ماده مفید برای گسترش قطعات الکترونیکی و اپتوالکترونیکی مانند رساناهای شفاف، حسگرهای گازی، واریستورها، دستگاه های موج اکوستیکی سطح (SAW)، همچنین در ساخت سلولهای خورشیدی نیز به کار می رود. روش های متعددی برای تهیه فیلم های نازک اکسیدروی با توجه به محدوده وسیع کاربردهایشان وجود دارد: کندوپاش پلاسمایی، روش تبخیر با استفاده از پرتو لیزر، اسپری-پیرولیزشیمیایی، و روش سل-ژل و غیره. از میان روش های فوق، فرایند سل-ژل یک روش جذاب بوده و امکان تهیه لایه نشانی با ابعاد بزرگ، کم هزینه و با شفافیت بالا را برای کاربرد در تکنولوژی فراهم می کند. روش سل-ژل که روش مناسبی برای پوشش فیلم های نازک می باشد اخیراً توانسته است جایگاه خوبی را در بین روش های مختلف لایه نشانی پیدا کند. در این کار تجربی فیلم های نازک اکسیدروی با استفاده از روش سل-ژل و بکارگیری تکنیک غوطه وری بر روی زیرلایه های شیشه ای تهیه شده اند. در این تحقیق، از زینک استات دی هیدرات بعنوان ماده اولیه و از محلول های ایزوپروپانول و دی اتانول امین بترتیب بعنوان حلال و پایدارساز استفاده شده است. فیلم های نازک اکسیدروی که با این روش تهیه می شوند در محدوده بالای ۴۰۰ نانومتر شفاف بوده و دارای لبه های جذب</p>	

تیزی در حوالی‌های ۳۸۰ و ۳۹۰ نانومتر (فرابنفش) می‌باشند. ضخامت فیلم‌هایی که تهیه شده‌اند در محدوده ۲۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر می‌باشد. قبل از بررسی هر نوع خواص فیزیکی، فیلم‌ها تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند تا سطح کاملاً صاف و یکنواختی را داشته باشند. برخی از خواص الکتریکی بوسیله پروپ چهارسوزنی و میکروسکوپ الکترونی، خواص اپتیکی بوسیله بیناب‌نمایی نوری فرابنفش-مرئی (UV-Vis) و خواص ساختاری بوسیله پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) بررسی گردید. فیلم‌های تهیه شده با این روش قبل از حرارت دادن دارای ساختاری آمورف می‌باشند که بعد از بازیخت بلورین شده و عبوری بالای ۸۵ درصد را نشان می‌دهند و با افزایش دمای عملیات حرارتی تا ۶۰۰ °C، می‌توان کیفیت ساختار فیلم‌ها را بالا برد.

در این تحقیق، چهار نوع فیلم با غلظت‌های ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ مول بر لیتر تهیه شده و در دماهای ۴۵۰، ۵۵۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد بازیخت شده‌اند. نتایج حاصل (XRD) برای هر کدام از فیلم‌ها با غلظت‌های مختلف نشان می‌دهد که در غلظت‌های پایین تحلیل‌های (XRD) پیکری را نشان نداده و ساختار فیلم حاصل آمورف می‌باشد. با افزایش غلظت، ساختار فیلم بهتر شده و با استفاده از پراش سنج پرتو ایکس پیک‌های اکسیدروی مشاهده می‌شود، بطوری که با افزایش دمای بازیخت جهت (۱۰۱) نسبت به بقیه جهت‌ها غالب می‌باشد.

منحنی طیف‌های عبوری حاصل از فیلم‌ها نشان می‌دهد که در غلظت‌های پایین درصد عبوری ۹۰-۸۵ بوده و با افزایش غلظت، فیلم‌ها کدرتر شده و درصد عبوری نیز کاهش می‌یابد.

برای بررسی‌های میکروسکوپی، دو نوع فیلم با غلظت‌های ۱/۲ و ۱/۲ مول بر لیتر بازیخت شده در دماهای ۴۵۰، ۵۵۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد فیلم‌های تهیه شده دارای ساختار منظم می‌باشند و با افزایش دمای بازیخت میزان تخلخل کاهش یافته، بلورینگی افزایش و اندازه دانه‌ها بزرگتر شده و فیلم انبوه‌تر می‌شود. میانگین اندازه دانه‌ها برای فیلم‌ها با غلظت‌های ۱/۲ مول بر لیتر بترتیب ۴۷ و ۶۸ نانومتر می‌باشد و فیلم‌ها ساختار نانوکریستالی دارند.

نتایج حاصل از پروپ چهارسوزنی نشان می‌دهد که با افزایش دمای بازیخت با افزایش مقاومت، مقدار مقاومت ویژه فیلم‌ها افزایش و میزان رسانندگی کاهش می‌یابد.

۱.....مقدمه

فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش

۱-۱-۱.....مقدمه

۱-۲-۱.....تعریف لایه نازک

۱-۲-۱-۱.....لایه‌های رسانا

۱-۲-۱-۲.....لایه‌های عایق

۱-۲-۱-۳.....لایه‌های نیمرسانا

۱-۳-۱.....روش‌های تهیه لایه‌های نازک

۱-۳-۱-۱.....روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی

۱-۳-۱-۱-۱.....روش انباشت الکترولیتی

۱-۳-۱-۱-۲.....انباشت بدون الکتروود

۱-۳-۱-۱-۳.....اکسایش آند

۱-۳-۱-۴.....انباشت به روش بخار شیمیایی (CVD)

۱-۳-۱-۵.....رونشست فاز مایع (LPE)

۱-۳-۲.....انباشت به روش تبخیر فیزیکی (PVD)

۱-۳-۲-۱.....روش تبخیر حرارتی

۱-۳-۲-۲.....تهیه لایه‌های نازک به روش کندوپاش

۱-۳-۲-۳.....روکش کاری یونی

۱-۴-۱.....تبخیر در خلاء

۱-۴-۱-۱.....مقدمه

۱-۴-۲.....روش‌های تجربی

۱-۴-۲-۱.....دستگاه تبخیر

۱-۴-۳.....مهم‌ترین مواد برای تبخیر

۱-۴-۳-۱.....چشمه‌های تبخیری

۱-۴-۳-۱-۱.....تبخیر حرارتی مقاومتی

۱-۴-۳-۱-۱-۱.....گرم کردن مقاومتی مستقیم

۱-۴-۳-۱-۱-۲.....گرم کردن مقاومتی غیرمستقیم

۳۳.....	۲-۱-۳-۴-۱ تبخیر آبی.....
۳۳.....	۳-۱-۳-۴-۱ تبخیر با استفاده از قوس الکتریکی.....
۳۳.....	۴-۱-۳-۴-۱ روش انفجاری سیم فلزی.....
۳۴.....	۵-۱-۳-۴-۱ تبخیر لیزری.....
۳۶.....	۶-۱-۳-۴-۱ استفاده از بمباران الکترونی.....
۳۸.....	۷-۱-۳-۴-۱ تبخیر با استفاده از گرمای امواج RF
۳۸.....	۵-۱ اصول تخلیه الکتریکی.....
۳۸.....	۱-۵-۱ فیزیک پلاسما.....
۴۰.....	۶-۱ مکانیسم تشکیل لایه‌های نازک.....
۴۱.....	۱-۶-۱ مدهای رشد.....
۴۲.....	۲-۶-۱ مراحل رشد.....
۴۳.....	۱-۲-۶-۱ جذب فیزیکی.....
۴۴.....	۲-۲-۶-۱ تشکیل خوشه.....
۴۴.....	۳-۲-۶-۱ هسته‌سازی.....
۴۴.....	۴-۲-۶-۱ تشکیل جزیره.....
۴۶.....	۵-۲-۶-۱ انعقاد.....
۴۶.....	۶-۲-۶-۱ تشکیل حفره‌ها و کانال‌ها.....
۴۶.....	۳-۶-۱ انعقاد خوشه‌ها و تهی‌سازی.....

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۵۱.....	۱-۲ عنصر روی.....
۵۱.....	۱-۱-۲ تاریخچه.....
۵۱.....	۲-۱-۲ کاربردها.....
۵۲.....	۳-۱-۲ ترکیبات روی.....
۵۲.....	۲-۲ اکسیدروی.....
۵۴.....	۱-۲-۲ ساختار بلوری.....
۵۶.....	۲-۲-۲ خواص ساختاری.....
۵۹.....	۳-۲-۲ خواص الکتریکی.....

۵۹.....	۱-۳-۲-۲ ساختار نواری و تعیین نوار انرژی
۶۱.....	۲-۳-۲-۲ تراکم حامل ها
۶۱.....	۳-۳-۲-۲ تحرک پذیری
۶۴.....	۳-۲ مطالعات طیف عبوری و بازتابی
۶۶.....	۱-۳-۲ مطالعات جذب اپتیکی
۶۷.....	۲-۳-۲ خواص پیزوالکتریکی
۶۹.....	۴-۲ عوامل موثر در خواص الکتریکی
۶۹.....	۱-۴-۲ اثر اکسیژن
۷۰.....	۲-۴-۲ اثر دمای زیرلایه
۷۳.....	۵-۲ عوامل موثر در خواص اپتیکی
۷۴.....	۶-۲ روش های نهشت لایه های اکسیدروی
۷۴.....	۱-۶-۲ انباشت به روش سل - ژل
۷۶.....	۱-۱-۶-۲ انواع مسیرهای تهیه سل - ژل
۷۸.....	۲-۱-۶-۲ مراحل فرایند سل - ژل
۷۹.....	۳-۱-۶-۲ خشک کردن
۸۰.....	۴-۱-۶-۲ انواع ژل ها
۸۱.....	۵-۱-۶-۲ روش های تهیه فیلم به روش سل - ژل
۸۱.....	۱-۵-۱-۶-۲ غوطه وری
۸۶.....	۲-۵-۱-۶-۲ فرایند پوشش دهی اسپینی (چرخشی)
۸۸.....	۱-۲-۵-۱-۶-۲ تعیین ضخامت فیلم
۹۰.....	۳-۵-۱-۶-۲ تکنیک الکتروفورز
۹۲.....	۴-۵-۱-۶-۲ تکنیک ترموفورز
۹۲.....	۷-۲ ثابت های اپتیکی
۹۳.....	۸-۲ روش تداخل اپتیکی برای تعیین ضریب شکست و ضخامت لایه شفاف بر روی زیرلایه شفاف
۹۹.....	۹-۲ زیرلایه ها
۱۰۰.....	۱-۹-۲ انواع زیرلایه
۱۰۰.....	۲-۹-۲ آماده سازی زیرلایه ها
۱۰۳.....	۱۰-۲ بررسی خواص الکتریکی لایه های نازک

۱۰۳..... ۱-۱۰-۲ مقاومت ویژه (ρ)

۱۰۵..... ۱۱-۲ بررسی خواص ساختاری لایه‌های نازک

۱۰۷..... ۱-۱۱-۲ میکروسکوپ الکترونی

فصل سوم: نتایج و بحث

۱۱۳..... ۱-۳ مقدمه

۱۱۳..... ۲-۳ بررسی کارهای تجربی

۱۱۴..... ۱-۲-۳ تهیه محلول لایه نشانی

۱۱۴..... ۲-۲-۳ آماده سازی زیرلایه‌ها برای پوشش

۱۱۵..... ۳-۲-۳ روش لایه نشانی

۱۱۵..... ۴-۲-۳ بررسی‌های انجام شده

۱۱۶..... ۳-۳ کارهای انجام شده

۱۱۶..... ۱-۳-۳ محلول اول با غلظت ۰/۶ مول بر لیتر

۱۱۹..... ۲-۳-۳ محلول دوم با غلظت ۰/۸ مول بر لیتر

۱۲۶..... ۳-۳-۳ محلول سوم با غلظت ۱ مول بر لیتر

۱۳۲..... ۴-۳-۳ محلول چهارم با غلظت ۱/۲ مول بر لیتر

۱۴۰..... ۴-۳ بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی فیلم‌ها

۱۴۰..... ۱-۴-۳ بررسی میکروسکوپی الکترونی فیلم‌های نازک اکسیدروی تهیه شده با غلظت ۱ مول بر لیتر

۱۴۳..... ۲-۴-۳ بررسی میکروسکوپی الکترونی فیلم‌های نازک اکسیدروی تهیه شده با غلظت ۱/۲ مول بر لیتر

۱۴۷..... نتیجه گیری

۱۴۹..... پیشنهادات

۱۵۱..... منابع

فهرست شکل‌های فصل اول:

- شکل (۱-۱) - نمونه‌ای از یک سیستم *CVD*..... ۱۲
- شکل (۲-۱) - وابستگی فشار بخار به دما برای مواد مختلف..... ۱۸
- شکل (۳-۱) - طرحی برای تعیین توزیع ضخامت..... ۲۴
- شکل (۴-۱) - اجزای اصلی یک دستگاه تبخیر حرارتی..... ۲۸
- شکل (۵-۱) - طرحی از سیستم تبخیر در خلاء..... ۲۹
- شکل (۶-۱) - انواع مختلف چشمه‌های تبخیری که از طریق مقاومت بوته گرم می‌شوند..... ۳۲
- شکل (۷-۱) - الف - تبخیر آبی، ب - تبخیر با قوس الکتریکی، ج - تبخیر به روش انفجاری..... ۳۴
- شکل (۸-۱) - تبخیر با پرتو لیزر..... ۳۶
- شکل (۹-۱) - چشمه‌های حرارتی با استفاده از بمباران الکترونی..... ۳۷
- شکل (۱۰-۱) - مدهای اساسی رشد لایه‌های نازک..... ۴۲
- شکل (۱۱-۱) - ساختمان و مراحل مختلف رشد یک لایه..... ۴۳
- شکل (۱۲-۱) - فرآیند تشکیل فیلم جیوه روی MoS_2 ۴۶
- شکل (۱۳-۱) - انعقاد جزایر..... ۴۷
- شکل (۱۴-۱) - میکرو عکس‌های الکترونی متوالی از *Au* نهشته روی مولیبدینیت در $400^\circ C$ بیانگر..... ۴۹

فهرست شکل‌های فصل دوم:

- شکل (۱-۲) - ساختارهای مختلف اکسیدروی..... ۵۴
- شکل (۲-۲) - ساختار ورتزیت ایده‌آل اکسیدروی..... ۵۵
- شکل (۳-۲) - رشد ستونی لایه‌های اکسیدروی..... ۵۷
- شکل (۴-۲) - ساختار کریستالی اکسیدروی..... ۵۸
- شکل (۵-۲) - نمودار تغییرات باند ممنوع لایه‌های اکسیدروی..... ۶۰
- شکل (۶-۲) - نمودار نوار رسانش لایه‌های اکسیدروی..... ۶۲
- شکل (۷-۲) - منحنی تغییرات تحرک‌پذیری اکسیدروی بر حسب دما..... ۶۳
- شکل (۸-۲) - طیف‌های عبوری و بازتابی لایه‌های اکسیدروی..... ۶۴
- شکل (۹-۲) - نمودار بستگی هدایت الکتریکی و شفافیت لایه‌های اکسیدروی با تراکم دما..... ۷۰
- شکل (۱۰-۲) - نمودار تغییرات تحرک‌پذیری بر حسب دمای زیر لایه..... ۷۱

- شکل (۲-۱۱) - نمودار تغییرات تحرک‌پذیری بر حسب درصد ناخالصی ۷۲
- شکل (۲-۱۲) - نمودار تراکم حامل‌ها بر حسب درصد ناخالصی ۷۳
- شکل (۲-۱۳) - فرایند سل-ژل ۷۵
- شکل (۲-۱۴) - مراحل فرایند سل-ژل ۷۹
- شکل (۲-۱۵) - مراحل فرایند غوطه‌وری ۸۲
- شکل (۲-۱۶) - نمای زیر لایه غوطه‌ور شده در محلول ۸۳
- شکل (۲-۱۷) - تغییرات ضخامت بر حسب نسبت‌های آب به اکسید فلزی ۸۴
- شکل (۲-۱۸) - سیستم انباشت الکتروفروز ۹۲
- شکل (۲-۱۹) - بازتاب و عبور نور از یک لایه شفاف برای حالت کلی تابش در زاویه‌ای عمود بر نمونه ۹۴
- شکل (۲-۲۰) - بازتاب و عبور نور از یک لایه شفاف برای نمونه‌ای با تابش عمودی ۹۶
- شکل (۲-۲۱) - طیف تراگیسل نوعی لایه SnO_2 با ضخامت یکنواخت $25\mu m$ ۹۸
- شکل (۲-۲۲) - حمام بخار شیمیایی ۱۰۱
- شکل (۲-۲۳) - نگهدارنده زیر لایه، ۱۰۲
- شکل (۲-۲۴) - طرحی از سیستم چهار سوزنی بر روی سیستم مکعبی ۱۰۴
- شکل (۲-۲۵) - نمایش پدیده‌ی پراش پرتو X از صفحه‌های اتمی با فاصله d از یکدیگر ۱۰۷
- شکل (۲-۲۶) - دستگاه میکروسکوپ الکترونی ۱۰۷

فهرست شکل‌های فصل سوم:

- شکل (۳-۱) - الگوی پراش ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۹ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است ۱۱۸
- شکل (۳-۲) - الگوی پراش ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۸ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است ۱۱۸
- شکل (۳-۳) - الگوی پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۸ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است ۱۲۰
- شکل (۳-۴) - الگوی پراش ایکس گرفته شده از پودر فیلم اکسیدروی که در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است ۱۲۱
- شکل (۳-۵) - نمودار تغییرات ضریب عبور بر حسب طول موج ۱۲۲
- شکل (۳-۶) - نمودار تغییرات ضریب جذب بر حسب طول موج ۱۲۳

- شکل (۷-۳) - منحنی $(ahv)^2$ بر حسب انرژی فوتون فرودی..... ۱۲۴
- شکل (۸-۳) - منحنی تغییرات ضریب شکست فیلم نازک اکسیدروی تهیه شده در سرعت 3 cm/min ۱۲۵
- شکل (۹-۳) - منحنی تغییرات ضریب خاموشی فیلم بر حسب طول موج..... ۱۲۵
- شکل (۱۰-۳) - الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۴ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۲۷
- شکل (۱۱-۳) - الگوی پراش ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۴ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۲۷
- شکل (۱۲-۳) - الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۴ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۲۸
- شکل (۱۳-۳) - طیف‌های عبوری اکسیدروی در دماهای مختلف..... ۱۲۹
- شکل (۱۴-۳) - منحنی تغییرات طیف‌های جذبی اکسیدروی در دماهای مختلف..... ۱۳۰
- شکل (۱۵-۳) - نمودار منحنی تغییرات $(ahv)^2$ بر حسب (hv) به منظور تعیین E_g ۱۳۱
- شکل (۱۶-۳) - منحنی تغییرات ضریب خاموشی برای فیلم‌های اکسیدروی در دماهای مختلف..... ۱۳۱
- شکل (۱۷-۳) - الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۴ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۳۳
- شکل (۱۸-۳) - الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۶ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۳۳
- شکل (۱۹-۳) - الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از فیلم نازک اکسیدروی که ۱۸ بار لایه‌نشانی شده و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات گرمایشی قرار گرفته است..... ۱۳۴
- شکل (۲۰-۳) - طیف‌های عبوری فیلم‌های اکسیدروی بازپخت شده در دماهای مختلف با غلظت $1/2$ مول بر لیتر..... ۱۳۵
- شکل (۲۱-۳) - نمودار تغییرات ضریب جذب بر حسب طول موج..... ۱۳۵
- نمودار (۲۲-۳) - منحنی تغییرات $(ahv)^2$ بر hv حسب برای تعیین باند گاف..... ۱۳۷
- شکل (۲۳-۳) - منحنی تغییرات ضریب خاموشی فیلم‌ها بر حسب طول موج در دماهای مختلف بازپخت..... ۱۳۷
- شکل (۲۴-۳) - منحنی نوار انرژی بر حسب دمای بازپخت برای فیلم‌های اکسیدروی با غلظت ۱ مول بر لیتر..... ۱۳۸
- شکل (۲۵-۳) - منحنی نوار انرژی بر حسب دمای بازپخت برای فیلم‌های اکسیدروی با غلظت $1/2$ مول بر لیتر..... ۱۳۸

- شکل (۳-۲۴) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۰
- شکل (۳-۲۵) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۱
- شکل (۳-۲۶) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۱
- شکل (۳-۲۷) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۲
- شکل (۳-۲۸) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۲
- شکل (۳-۲۹) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت 1 Mol/lit ۱۴۳
- شکل (۳-۳۰) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۴
- شکل (۳-۳۱) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۴
- شکل (۳-۳۲) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۵
- شکل (۳-۳۳) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۵
- شکل (۳-۳۴) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی $1 \mu m$ و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۶
- شکل (۳-۳۵) - سطح مقطع فیلم اکسیدروی بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی 500 nm و با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۴۶

فهرست جدول‌های فصل اول:

- جدول (۱-۱) - داده‌های جنبشی مختلف برای هوا ۲۳
- جدول (۱-۲) - اندازه‌های ثابت K برای فشارهای p و آهنگ‌های مختلف تبخیر R ۲۳
- جدول (۱-۳) - نقطه ذوب چند فلز ۳۱

فهرست جدول‌های فصل سوم:

- جدول (۱-۳) - مربوط به شرایط لایه‌نشانی محلول با غلظت 0.6 Mol/lit ۱۱۹
- جدول (۲-۳) - داده‌های θ و d -value فیلم تهیه شده در دمای 500 درجه سانتیگراد ۱۲۰
- جدول (۳-۳) - داده‌های θ و d -value پودر تهیه شده در دمای 500 درجه سانتیگراد ۱۲۱
- جدول (۴-۳) - شرایط لایه‌نشانی محلول با غلظت $1/8 \text{ Mol/lit}$ ۱۲۲
- جدول (۵-۳) - مربوط به شرایط لایه‌نشانی محلول با غلظت 1 Mol/lit ۱۲۶
- جدول (۶-۳) - مربوط به شرایط لایه‌نشانی محلول با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۳۲
- جدول (۷-۳) - پارامترهای مربوط به خواص الکتریکی و اپتیکی فیلم‌های اکسیدروی با غلظت 0.8 Mol/lit ۱۳۹
- جدول (۸-۳) - پارامترهای مربوط به خواص الکتریکی و اپتیکی فیلم‌های اکسیدروی با غلظت 1 Mol/lit ۱۳۹
- جدول (۹-۳) - پارامترهای مربوط به خواص الکتریکی و اپتیکی فیلم‌های اکسیدروی با غلظت $1/2 \text{ Mol/lit}$ ۱۳۹

مقدمه

پیشرفت سریع فناوری لایه‌های نازک، به ویژه پیشرفت روش‌های روشنایی در خلأ، و نیاز به پایداری و قابلیت تولیدپذیری مجددشان در کاربردهای الکترونیکی را می‌توان از انگیزه‌های اصلی پیشرفت پژوهش در فیزیک لایه‌های نازک دانست. مفید بودن خصوصیات لایه‌های نازک و جالب توجه بودن مطالعه بر روی رفتار جامدهای دوبعدی باعث شده است که چه از نظر علمی و چه از نظر تکنولوژی به لایه‌های نازک توجه ویژه‌ای مبذول شود. لایه‌های نازک در ساخت وسایل نوری، الکترونیکی، اپتوالکترونیک، آئینه‌های لیزری و قطعات آکوستیکی نقش اساسی دارند.

تکنولوژی فیلم نازک به طور همزمان یکی از قدیمی‌ترین هنرها و یکی از جدیدترین علوم به شمار می‌آید. امروزه مطالعه و پژوهش در زمینه‌های فیزیک سطح فصل مشترک و لایه‌های نازک به عنوان یکی از با اهمیت‌ترین شاخه‌های فیزیک ماده چگال و سطوح جامد که خود منجر به پیشرفت‌های بسیار در زمینه نانو تکنولوژی شده، شکوفایی بسیار یافته است. دلیل اصلی گسترش سریع تکنولوژی لایه‌های نازک این است که تولید فیلم‌های نازک نسبتاً آسان است. این امتیاز سبب می‌شود فیلم‌های نازک برای کاربرد در میکروالکترونیک و زمینه اپتیک خیلی مناسب باشند.

امروزه مدارهای مجتمع با مقیاس بزرگ^۱ LSI و مدارهای مجتمع با مقیاس خیلی بزرگ^۲ VLSI ساخته می‌شوند که برای تولید تقویت ضبط انتقال و انتشار علائم الکترونیکی و نوری به کار می‌روند. همچنین مدارهای مجتمع توانسته‌اند در کامپیوتر و در دستگاه‌های محاسبه ظرفیت حافظه سرعت محاسبات و انتقال اطلاعات را افزایش دهند.

۱- Large Scale Integrated Circuit

۲- Very Large Scale Integrated Circuit

یک ماده جامد زمانی به شکل لایه نازک (ساختار دوبعدی) درمی آید که اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌های ماده مذکور در طی فرایند فیزیکی و شیمیایی کاملاً کنترل شده، بر روی یک زیرلایه نشاندۀ شوند.

اولین لایه نازک در سال ۱۸۳۸ به روش الکترولیز تهیه شد. پس از آن در سال ۱۸۵۲ بانسن^۱ و گرو^۲ توانستند به ترتیب با استفاده از روش واکنش شیمیایی و کندوپاش توسط تخلیه نورانی، لایه‌های نازکی از فلزات را تهیه کنند. در سال ۱۸۵۸ مایکل فارادی با عبور دادن جریان الکتریکی زیاد از یک سیم فلزی و تبخیر آن (تبخیر حرارتی) توانست لایه‌های نازک فلزی به دست آورد. این عمل در محیط گاز بی‌اثر انجام شد.

لایه‌های نازک خواص اپتیکی، الکتریکی، مکانیکی و دیگر خواص قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهند. علاوه بر این، ممکن است لایه‌های نازک، روی فرایندهای مختلفی که در سطح و فصل مشترک روی می‌دهد مانند خوردگی، اصطکاک، کاتالیز و غیره اثر قابل ملاحظه‌ای داشته باشند.

بررسی خواص فیزیکی ماده در طول صد سال اخیر، آن‌چنان پیشرفت کرده است که امروزه علم فیزیک به گروه بزرگی از شاخه‌های خاص که اغلب شکاف بزرگی هم بین آن‌ها وجود دارد، تقسیم شده است. این شاخه‌ها در واقع به علت گستردگی زیاد خود علم به وجود آمده‌اند و عملاً یا بخش خاصی که مطالعه می‌شود، روش بررسی و مواردی از این قبیل متمایز می‌شوند. یکی از این شاخه‌های مهم و مستقل که در سال‌های اخیر توسعه یافته، فیریک لایه‌های نازک است. این شاخه از فیزیک با سیستم‌هایی سروکار دارد که فقط یک ویژگی مشترک دارند، یعنی سیستم‌هایی که یکی از ابعادشان بسیار کوچک

۱- Bunson

۲- Grove

است، هر چند ممکن است سایر خواص چنین سیستم‌هایی و همچنین روش‌های بررسی آن‌ها متفاوت باشند.

از دیگر کاربردهای مهم لایه‌های نازک کاربردهای اپتیکی می‌باشد. که این کاربردها اولین مواردی بودند که استفاده گسترده صنعتی پیدا کردند. آئینه‌ها اولین قطعات اپتیکی بودند که در سال ۱۹۱۲ با تبخیر فلزها ساخته شدند. از آن زمان لایه‌های نازک مواد جاذب به طور گسترده‌ای در دستگاه‌های اپتیکی به کار برده شده‌اند. کاربردهای گسترده‌تر و متنوع‌تری برای لایه‌های نازک مواد ناجاذب با استفاده از پدیده‌های تداخلی در اپتیک پیدا شده است. با ترکیب لایه‌هایی یا ضخامت‌ها و ضریب شکست‌های مناسب، پوشش‌های ضد بازتاب را می‌توان روی سطوح شیشه تولید کرد که تراگسیلندگی سیستم را افزایش می‌دهند. بنابراین خواص اپتیکی ساختارهای لایه نازک که به نحو خاصی طراحی شده‌اند را می‌توان به عنوان پوشش‌های بازتابی یا چندبازتابی و به عنوان جاذب‌های گزینشی به کار برد. در سال‌های اخیر کاربرد حافظه‌های اپتیکی در فناوری ذخیره اطلاعات به سرعت توسعه یافته است. این حافظه‌ها دارای مزیت‌های ظرفیت بالا، طول عمر طولانی، قیمت پایین و سبک هستند.

لایه‌های نازک در چند سال گذشته در الکترونیک کاربردهای زیادی پیدا کرده است. باید توجه داشت که نیاز به پیشرفت بیشتر در کوچک‌سازی ابعاد و وزن سیستم‌های الکترونیک، مدت استفاده بیشتر، سرعت عمل و هزینه کم تولید آن‌ها وجود دارد. ساخت رایانه‌های دیجیتالی و سیستم‌های الکترونیک پیچیده برای اندازه‌گیری یا کنترل، نیاز به تولید نسخه‌های متعددی از اجزای فعال مشابه دارد (مثلاً مدارهای منطقی، حافظه‌ها، تقویت کننده‌ها و غیره). هدف از این کار، طبقه‌بندی این اجزاء به واحدهای مستقل و مدارهای یکپارچه است که برای تولید آن‌ها لایه‌های نازک از اهمیت بسیاری برخوردار هستند.

تکنولوژی لایه‌های نازک برای ساخت اتصالات الکترونیکی، اتصال‌های بینابینی و مقاومت‌ها، خازن‌ها و القاگرها، قطعات الکترونیکی فعال (دیودها و ترانزیستورها)، مدارهای یکپارچه (IC)، لایه‌های فرومغناطیسی و ابررسانا، قطعات میکرو آکوستیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.