

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف

تصنیف

دکتر سید محمد روضائی

استاد گروه فیزیک دانشگاه گیلان

با همکاری

الهام شادمانی

انتشارات دانشگاه گیلان

۱۳۹۰

سرشناسه	: روضائی، سید محمد، ۱۳۴۷-
عنوان و نام پدیدآور	: لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف / تصنیف سید محمد روضائی؛ با همکاری الهام شادمانی.
مشخصات نشر	: رشت: دانشگاه گیلان، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: ۳۰۸ ص.
شابک	: 978-600-153-013-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
موضوع	: نیمرسانای شفاف
شناسه افزوده	: شادمانی، الهام
شناسه افزوده	: دانشگاه گیلان.
رده بندی کنگره	: ۶۲۱/۳۸۱ : TKV ۷۸۳۵/۹ ج ۲ ۱۳۸۹
رده بندی دیسی	: ۶۲۱/۳۸۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۱۳۱۹۸۱



شابک: ۵-۰۱۳-۱۵۳-۶۰۰-۹۷۸

انتشارات دانشگاه گیلان

نام کتاب	: لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف
تصنیف	: دکتر سید محمد روضائی
با همکاری	: الهام شادمانی
ویراستار علمی	: دکتر غلامرضا نبیونی
طرح روی جلد	: زهرا فره‌وشی
نوبت چاپ	: اول، ۱۳۹۰
چاپ جلد و متن	: شرکت چاپ و نشر نوین
ناشر	: انتشارات دانشگاه گیلان
شمار	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۸۰۰۰۰ ریال

* هر گونه چاپ و تکثیر فقط در اختیار انتشارات دانشگاه گیلان است.*

پیشگفتار

لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف در سال‌های اخیر، بواسطه وجود همزمان شفافیت زیاد در ناحیه طول موج‌های مرئی و رسانایی الکتریکی بالای لایه‌ها و همچنین انعکاس زیاد در ناحیه طول موج‌های مادون قرمز، از نقطه نظر کاربردی مخصوصاً در صنعت توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. این لایه‌ها معمولاً از اکسید موادی نظیر قلع، ایندیم، روی و کادمیم و یا بصورت آلائیده شده به کمک روش‌های مختلف لایه نشانی تهیه می‌شوند. نظر به اهمیت موارد کاربردی این لایه‌ها بخصوص در صنعت الکتروسازی و عدم وجود منابع مستقل فارسی جهت دسترسی به علاقمندان این حوزه، کتاب حاضر که شامل پنج فصل و یک پیوست است به اساتید و دانشجویان عزیز تقدیم می‌گردد.

فصل اول مقدمه‌ای در خصوص اکسیدهای معروف در حوزه نیمرساناهای شفاف است. در فصل دوم، روش‌های مهمی که معمولاً در رشد این گونه مواد استفاده می‌شود به همراه مراجع مناسب ارائه می‌گردد. روش‌های مهم رشد شامل تسخیر در خلاء، کتدوپاش، پالس لیزر، لایه نشانی بخار شیمیایی، انباشت یونی، سل ژل و افشانه پلیرولیز است. در کنار روش‌های لایه نشانی، هدف این فصل آشنایی خواننده با ساختار لایه‌های نازک شفاف و رسانای مواد ذکر شده نیز می‌باشد. نظر به وجود همزمان شفافیت و رسانایی در این گونه لایه‌ها، در فصل‌های سوم و چهارم به ترتیب درمورد خواص الکتریکی و اپتیکی این لایه‌ها صحبت می‌شود. با توجه به جذابیت تحقیق در مقوله نیمرساناهای شفاف، فصل پنجم گوشه‌ای از کاربردهای فراوان این لایه‌ها را توضیح می‌دهد. پیوست کتاب نیز اشاره مختصری به برخی از روش‌های معمول آنالیز و مشخصه‌یابی در جهت بهینه سازی لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف دارد. در سال‌های اخیر بعلت کاربرد این لایه‌ها مخصوصاً در حسگرها، تهیه و مطالعه نانوساختارهای مواد نیمرسانای شفاف از اهمیت خاصی برخوردار شده است که در فصل‌های مختلف به آن اشاره شده است.

کتاب حاضر نتیجه ۲۵ سال آشنایی مؤلف در این حوزه و جمع‌آوری قسمتی از گزارش‌ها و اطلاعات منتشر شده مؤلف از مقاله‌ها، همایش‌ها، طرح‌های تحقیقاتی، پروژه‌های تحصیلات تکمیلی دانشجویان، تدریس دروس مرتبط با نیمرساناهای شفاف و منابع ارزشمند دیگر است.

از آنجا که بجز آثار الهی هیچ اثری بی نقص نمی باشد، امید است کتاب حاضر بتواند به عنوان یک منبع درسی و پژوهشی مناسب، جهت آشنایی و مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک شفاف و رسانا باشد. در پایان از سرکار خانم الهام شادمانی که از دانش‌آموختگان ممتاز این رشته است جهت همکاری و مساعدت در تنظیم کتاب، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از ریاست محترم دانشگاه گیلان، معاونت محترم پژوهشی دانشگاه، مدیر محترم پژوهشی دانشگاه، شورای محترم پژوهشی دانشکده علوم و دانشگاه گیلان، مدیر و همکاران محترم اداره انتشارات دانشگاه، همکاران محترم گروه فیزیک و تمامی دانشجویان عزیزم که از نام آنها در لیست مراجع نیز یاد شده است و همچنین دیگر عزیزانی که در تهیه این اثر حقیر را یاری و راهنمایی نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم. در پایان از استاد گرامی جناب آقای دکتر غلام رضا نبیونی که زحمت ویراستاری علمی این کتاب را قبول نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

دکتر سید محمد روضاتی

استاد گروه فیزیک دانشگاه گیلان

۱۳۹۰

فصل اول: اکسیدهای رسانای شفاف

۳	مقدمه	(۱-۱)
۴	اکسید قلع	(۲-۱)
۷	اکسید ایندیم	(۳-۱)
۱۰	اکسید روی	(۴-۱)
۱۵	اکسید گادمم	(۵-۱)

فصل دوم: روش‌های رشد

۲۱	مقدمه	(۱-۲)
۲۱	فرایند رشد لایه‌های نازک	(۲-۲)
۲۳	روش‌های لایه نشانی	(۳-۲)
۲۵	تبخیر در خلاء	(۱-۳-۲)
۲۸	کندوپاش	(۲-۳-۲)
۳۰	پالس لیزر	(۳-۳-۲)
۳۳	لایه نشانی بخار شیمیایی	(۴-۳-۲)
۳۴	انباشت یونی	(۵-۳-۲)
۳۵	تفنگ یونی	(۱-۵-۳-۲)
۳۵	تخلیه گاز	(۲-۵-۳-۲)
۳۷	سل-ژل	(۶-۳-۲)
۳۸	روش غوطه‌وری	(۱-۶-۳-۲)
۳۸	روش چرخشی	(۲-۶-۳-۲)
۳۹	فروکش کردن	(۳-۶-۳-۲)
۳۹	افشاندن	(۴-۶-۳-۲)

۳۹.....	اسپری پایرولیز (۷-۳-۲)
۴۲.....	اسپری فراصوتی (۱-۷-۳-۲)
۴۲.....	اسپری پایروهیدرولیز اصلاح شده (۲-۷-۳-۲)
۴۳.....	اسپری پایرولیز کرونا (۳-۷-۳-۲)
۴۴.....	اسپری پایرولیز الکترواستاتیک (۴-۷-۳-۲)
۴۴.....	رشد لایه‌های نازک اکسید قلع (۴-۲)
۴۵.....	انباشت بخار شیمیایی لایه‌های SnO_2 (۱-۴-۲)
۴۸.....	اسپری لایه‌های SnO_2 (۲-۴-۲)
۵۷.....	تبخیر در خلاء لایه‌های SnO_2 (۳-۴-۲)
۶۱.....	کندوپاش لایه‌های SnO_2 (۴-۴-۲)
۶۵.....	سل - ژل لایه‌های SnO_2 (۵-۴-۲)
۶۸.....	رشد لایه‌های نازک اکسید ایندیم (۵-۲)
۶۸.....	اسپری لایه‌های In_2O_3 (۱-۵-۲)
۷۵.....	کندوپاش لایه‌های In_2O_3 (۲-۵-۲)
۷۸.....	رشد لایه‌های نازک ITO (۶-۲)
۷۸.....	انباشت بخار شیمیایی لایه‌های ITO (۱-۶-۲)
۸۰.....	اسپری لایه‌های ITO (۲-۶-۲)
۸۲.....	تبخیر در خلاء لایه‌های ITO (۳-۶-۲)
۸۵.....	کندوپاش لایه‌های ITO (۴-۶-۲)
۸۸.....	سل - ژل لایه‌های ITO (۵-۶-۲)
۹۱.....	رشد لایه‌های نازک اکسید روی (۷-۲)
۹۱.....	انباشت بخار شیمیایی لایه‌های ZnO (۱-۷-۲)
۹۵.....	اسپری لایه‌های ZnO (۲-۷-۲)
۱۰۵.....	تبخیر در خلاء لایه‌های ZnO (۳-۷-۲)
۱۱۰.....	کندوپاش لایه‌های ZnO (۴-۷-۲)

- ۵-۷-۲) سل - ژل لایه‌های ZnO ۱۱۴
- ۸-۲) رشد لایه‌های نازک اکسید کادمیم ۱۱۸
- ۱-۸-۲) انباشت بخار شیمیایی لایه‌های CdO ۱۱۹
- ۲-۸-۲) اسپری لایه‌های CdO ۱۲۴
- ۳-۸-۲) تبخیر در خلأ لایه‌های CdO ۱۲۶
- ۴-۸-۲) کنتروپاش لایه‌های CdO ۱۳۱
- ۵-۸-۲) سل - ژل لایه‌های CdO ۱۳۵

فصل سوم: خواص الکتریکی

- ۱-۳) مقدمه ۱۴۳
- ۲-۳) پدیده انتقال در لایه‌های نیمرسانا ۱۴۴
- ۳-۳) خواص الکتریکی لایه‌های SnO_2 خالص و آلاینده شده ۱۴۶
- ۱-۳-۳) اثر آلاینده بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید قلع ۱۴۷
- ۲-۳-۳) اثر دما و ضخامت بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید قلع خالص و آلاینده ۱۵۳
- ۳-۳-۳) اثر حرارت دهی بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید قلع خالص و آلاینده شده ۱۵۸
- ۴-۳) خواص الکتریکی لایه‌های In_2O_3 خالص و آلاینده شده ۱۶۱
- ۱-۴-۳) اثر آلاینده بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید ایندیم ۱۶۱
- ۲-۴-۳) اثر دما و ضخامت بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید ایندیم خالص و آلاینده شده ۱۶۴
- ۳-۴-۳) اثر میزان جریان گاز بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید ایندیم خالص و آلاینده شده ۱۶۷
- ۴-۴-۳) اثر حرارت دهی بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید ایندیم خالص و آلاینده شده ۱۶۹
- ۵-۴-۳) اثر پارامترهای کنتروپاش بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید ایندیم خالص و آلاینده شده ۱۷۵
- ۵-۳) خواص الکتریکی لایه‌های ZnO خالص و آلاینده شده ۱۷۷
- ۱-۵-۳) اثر آلاینده بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید روی ۱۷۸
- ۲-۵-۳) اثر دما و ضخامت بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید روی خالص و آلاینده شده ۱۸۳
- ۳-۵-۳) اثر میزان جریان گاز بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید روی خالص و آلاینده شده ۱۸۶
- ۴-۵-۳) اثر حرارت دهی بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید روی خالص و آلاینده شده ۱۸۸

- ۶-۳) خواص الکتریکی لایه‌های CdO خالص و آلاینده شده ۱۹۱
- ۱-۶-۳) اثر آلاینده بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید کادمیم ۱۹۱
- ۲-۶-۳) اثر دما و ضخامت بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید کادمیم خالص و آلاینده شده ۱۹۶
- ۳-۶-۳) اثر میزان جریان گاز بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید کادمیم خالص و آلاینده شده ۲۰۱
- ۴-۶-۳) اثر حرارت دهی بر خواص الکتریکی لایه‌های اکسید کادمیم خالص و آلاینده شده ۲۰۲

فصل چهارم: خواص اپتیکی

- ۱-۴) مقدمه ۲۱۱
- ۲-۴) تعیین ثابت‌های اپتیکی ۲۱۲
- ۱-۲-۴) تعیین ثابت‌های اپتیکی با استفاده از طیف عبور ۲۱۲
- ۲-۲-۴) تعیین ثابت‌های اپتیکی با استفاده از روش پوش منحنی (سوانوپل) ۲۱۲
- ۳-۲-۴) تعیین ضخامت و ثابت‌های اپتیکی با استفاده از روش بهینه سازی نامقید ۲۱۳
- ۳-۴) رابطه بین خواص الکتریکی و اپتیکی ۲۱۴
- ۴-۴) خواص اپتیکی لایه‌های SnO_2 خالص و آلاینده شده ۲۱۶
- ۱-۴-۴) گام نواری ۲۱۶
- ۲-۴-۴) ضریب شکست و خاموشی ۲۱۹
- ۳-۴-۴) بازتاب، عبور و جذب ۲۲۵
- ۵-۴) خواص اپتیکی لایه‌های In_2O_3 خالص و آلاینده شده ۲۲۸
- ۱-۵-۴) گام نواری ۲۲۸
- ۲-۵-۴) ضریب شکست و خاموشی ۲۳۱
- ۳-۵-۴) بازتاب، عبور و جذب ۲۳۶
- ۶-۴) خواص اپتیکی لایه‌های ZnO خالص و آلاینده شده ۲۴۰
- ۱-۶-۴) گام نواری ۲۴۰
- ۲-۶-۴) ضریب شکست و خاموشی ۲۴۳
- ۳-۶-۴) بازتاب، عبور و جذب ۲۴۷
- ۷-۴) خواص اپتیکی لایه‌های CdO خالص و آلاینده شده ۲۵۱

۲۵۱.....	گام نواری (۱-۷-۴)
۲۵۶.....	ضریب شکست و خاموشی (۲-۷-۴)
۲۵۷.....	بازتاب، عبور و جذب (۳-۷-۴)

فصل پنجم: کاربردها

۲۶۵.....	مقدمه (۱-۵)
۲۶۵.....	حسگرهای گاز (۲-۵)
۲۶۶.....	آشکارسازی گاز NO (۱-۲-۵)
۲۶۷.....	آشکارسازی گاز CO (۲-۲-۵)
۲۶۹.....	آشکارسازی گاز H _۲ (۳-۲-۵)
۲۷۳.....	آشکارسازی بخار اتانول C _۲ H _۵ OH (۴-۲-۵)
۲۷۵.....	آشکارساز LPG (۵-۲-۵)
۲۷۷.....	آینه‌های گرمایی (۳-۵)
۲۸۰.....	سلول‌های خورشیدی (۴-۵)
۲۸۳.....	لایه‌های نازک هوشمند (۵-۵)
۲۸۴.....	ابزارهای نمایشی بلور مایع (۶-۵)
۲۸۶.....	الکترولومینسانس (EL) (۱-۶-۵)
۲۸۶.....	دیود نورانی (LED) (۲-۶-۵)
۲۸۶.....	لامپ فلورسانس کاند سرد (CCFL) (۳-۶-۵)
۲۸۷.....	لوازم آرایشی (۷-۵)

پیوست

۲۹۳.....	دستگاه‌های آنالیز ساختاری (۱-پ)
۲۹۳.....	بیناب پراش اشعه X (XRD) (۱-۱-پ)
۲۹۵.....	میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (۲-۱-پ)
۲۹۷.....	آنالیز شیمیایی در میکروسکوپ الکترونی (EDX) (۳-۱-پ)

- پ-۱-۴) میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۲۹۸
- پ-۱-۵) میکروسکوپ الکترونی تراکسیلی (TEM) ۲۹۹
- پ-۱-۶) آنالیز حرارتی ۳۰۱
- پ-۱-۷) تبدیل فوریه طیف مادون قرمز (FT-IR) ۳۰۲
- پ-۲) دستگاه‌های آنالیز الکتریکی ۳۰۴
- پ-۲-۱) اثر هال و نیروی لورنتز ۳۰۴
- پ-۳) دستگاه‌های آنالیز اپتیکی ۳۰۶
- پ-۳-۱) سیناب سنج UV-Visible ۳۰۶
- مراجع ۳۰۹