بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

فیزیک (گرایش حالت جامد)

بررسی خواص الکتریکی، ساختاری و اپتیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید قلع آلاییده با وانادیوم به روش اسپری پایرولیزیز

توسط:

ریحانه نصیرایی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا فدوی اسلام

استاد مشاور:

مهندس حسن عظیمی جویباری

شهریور ۱۳۹۲

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

فیزیک (گرایش حالت جامد)

بررسی خواص الکتریکی، ساختاری و اپتیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید قلع آلاییده با وانادیوم به روش اسپری پایرولیزیز

توسط:

ریحانه نصیرایی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا فدوی اسلام

استاد مشاور:

مهندس حسن عظیمی جویباری

شهریور ۱۳۹۲

تعهدنامه‌ی اصالت پایان نامه/رساله دانشگاه دامغان

اینجانب ریحانه نصیرایی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد/ دکتری رشته‌ی مهندسی کرایش حمل و نقل دانشکده‌ی فنی دانشگاه دامغان به شماره دانشجویی ۹۰۱۶۲۳۰۱۸ که در تاریخ ۹۲/۶/۱۸ از پایان‌نامه/ رساله‌ی تحصیلی خود تحت عنوان بررسی خواص الاستیک و ... مخلوط ... با ... و ... آسفالتی ... دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد و در موارد استفاده از نتایج دیگران به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

۳) در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/ رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاق علمی رعایت شده است.

٤) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه دامغان، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۵) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه دامغان را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

٦) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه دامغان را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

۷) مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

نام ونام خانوادگی دانشجو: ریحانه نصیرایی

امضاء:

تاریخ: ۹۲/۷/۶

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات، کتاب و نرم افزار حاصل از انجام این پایان نامه/ رساله، متعلق به **دانشگاه دامغان** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و ذکر منبع بلامانع است.

به نام خدا

بررسی خواص الکتریکی، ساختاری و اپتیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید قلع آلاییده با وانادیوم به روش اسپری پایرولیزیز

به وسیله‌ی:

ریحانه نصیرایی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

فیزیک (گرایش حالت جامد)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمدرضا فدوی‌اسلام، استادیار رشته فیزیک، گرایش ماده چگال تجربی دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

مهندس حسن عظیمی جویباری، مربی رشته فیزیک گرایش ماده چگال دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (استاد مشاور)

دکتر مهدی اردیانیان، استادیار رشته فیزیک گرایش ماده چگال تجربی، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر مهدی عادلی‌فرد، استادیار رشته فیزیک گرایش ماده چگال تجربی، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر حسین چراغچی، استادیار رشته فیزیک، گرایش ماده چگال نظری، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (نماینده تحصیلات تکمیلی)

شهریورماه ۱۳۹۲

تقدیم:

به پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و به همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

در ابتدا باید از استاد گرانقدر جناب دکتر محمدرضا فدوی‌اسلام که با راهنمایی و اعتماد به بنده سعی کردند «هدایتگر و راهنمای» اینجانب باشند نه «کنترل کننده»، قدردانی کنم که همیشه به گرمی پذیرای من و سؤالاتم بودند.

همینطور از آقای مهندس حسن عظیمی که به عنوان استاد مشاور من را در انجام هر چه بهتر این پروژه یاری کردند و فراتر از یک مشاور مرا همراهی کردند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

جا دارد از استاد عزیز و ارجمندم ،جناب آقای دکتر محمدمهدی باقری محققی بابت راهنمایی‌های گرانقدرشان کمال سپاس و تشکر را بجا آورم.

همچنین از جناب آقای دریانی بابت زحمات بی‌شائبه در آزمایشگاه تحقیقاتی حالت جامد دامغان تشکر می‌نمایم.

در نهایت بهترین سپاسها را به خانواده خوبم، که در این مدت بارِ مشکلات من بر دوش آنها بود، تقدیم می‌کنم.

چکیده

بررسی خواص الکتریکی، ساختاری و اپتیکی لایه های نازک نانو ساختار اکسید قلع آلاییده با وانادیوم به روش اسپری پایرولیزیز

به وسیله‌ی:

ریحانه نصیرایی

در این تحقیق، لایه‌های نازک اکسید قلع آلاییده با وانادیوم (SnO_2:V) به روش اسپری پایرولیزیز بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای تهیه شده است. تاثیر ناخالصی وانادیوم بر روی خواص ساختاری، الکتریکی، ترموالکتریکی، اپتیکی و فوتورسانایی لایه‌های نازک SnO_2 بررسی شد. نسبت‌های اتمی وانادیوم به قلع ([V]/[Sn]) از ۰ تا ۲۰ تغییر داده شد. نتایج آنالیز XRD تشکیل ساختار بس‌بلور تتراگونال SnO_2 را نشان داد. کمترین مقاومت ویژه برابر با (Ω-cm) $۱٫۴۸\times۱۰^{-۲}$ برای نمونه (SnO_2:V (5 at.%)) به دست آمد. اندازه‌گیری‌های اثر هال و سیبک رسانش نوع-n را در همه نمونه‌های جایگذاری شده نشان دادند. همچنین چگالی حامل‌ها از مرتبه cm^{-3} $۱۰^{۱۸}$ به دست آمد. میزان عبور در ناحیه مرئی برای نمونه‌های مورد بررسی در بازه ۹۰-۷۰ درصد می‌باشد. مقادیر گاف نوری نمونه‌ها در گستره eV ۳٫۲۷-۳٫۵۱ به دست آمد. نمونه‌های اکسید قلع آلاییده با وانادیوم خواص فوتورسانایی بهتری نسبت به نمونه خالص اکسید قلع از خود نشان دادند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: معرفی روش‌های ساخت و کاربردهای لایه‌های نازک ۱
۱-۱: مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک ۱
۱-۱-۱: مفهوم لایه‌های نازک ۱
۱-۱-۲: تاریخچه لایه‌های نازک ۳
۱-۱-۳: اهمیت لایه‌های نازک ۳
۱-۱-۴: فیزیک لایه‌های نازک ۴
۱-۱-۵: کیفیت لایه‌های نازک ۵
۱-۱-۶: خواص لایه‌های نازک ۶
۱-۱-۶-۱: خواص مکانیکی ۶
۱-۱-۶-۲: خواص الکتریکی ۷
۱-۱-۶-۳: خواص مغناطیسی ۹
۱-۱-۶-۴: خواص نوری ۱۰
۱-۱-۶-۵: خواص شیمیایی ۱۱
۱-۱-۶-۶: خواص حرارتی ۱۱
۱-۲: روش‌های سنتز لایه‌های نازک ۱۱
۱-۲-۱: روش‌های فیزیکی ۱۱
۱-۲-۱-۱: روش تبخیری ۱۲
۱-۲-۱-۲: کندوپاش ۱۳
۱-۲-۲: روش‌های شیمیایی ۱۴
۱-۲-۲-۱: رسوب‌دهی شیمیایی بخار ۱۴
۱-۲-۲-۲: آبکاری الکتریکی ۱۵
۱-۲-۲-۳: آبکاری الکترولس ۱۶
۱-۳: کاربردهای لایه‌های نازک ۱۷
۱-۳-۱: ترانزیستورها ۱۷
۱-۳-۲: مقاومت مغناطیسی عظیم ۱۸
۱-۳-۳: سلول‌های خورشیدی ۱۸
فصل دوم : معرفی نیمرساناهای شفاف، و خواص فیزیکی لایه‌های نازک نیمرساناهای شفاف ۲۰
۲-۱: تاریخچه و معرفی اکسیدهای نیمرسانای شفاف نوع n و p ۲۰

۲-۲: مروری بر خواص اپتوالکترونیکی و ساختاری لایه‌های نازک ۲۲
۲-۲-۱: اکسیدهای نیمرسانای شفاف نوع n ۲۲
۲-۲-۲: خواص کلی لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف نوع n ۲۲
۲-۳: معرفی نیمرسانای شفاف اکسید قلع ۲۴
۲-۳-۱: خواص ساختاری SnO_2 ..... ۲۵
۲-۳-۲: خواص اپتیکی SnO_2 ..... ۲۶
۲-۳-۳: خواص الکتریکی SnO_2 ..... ۲۹
۲-۴: مطالعه خواص فیزیکی لایه‌های نازک اکسیدهای نیمرسانا بر پایه اکسید قلع ۳۱
۲-۴-۱: مطالعه خواص فیزیکی لایه‌های نازک اکسید نیمرسانای مغناطیسی SnO_2:Fe ۳۱
۲-۴-۱-۱: ویژگی‌های الکتریکی و ساختاری ۳۱
۲-۴-۱-۲: ویژگی‌های ترموالکتریکی ۳۵
۲-۴-۱-۳: ویژگی‌های اپتیکی ۳۶
۲-۴-۲: بررسی خواص فیزیکی لایه‌های نازک نیمرسانای مغناطیسی شفاف SnO2:V ۳۷
۲-۴-۳: بررسی خواص فیزیکی لایه‌های نازک نیمرسانای مغناطیسی شفاف SnO_2:Mn ۳۹
۲-۴-۴: مطالعه خواص فیزیکی لایه‌های نازک اکسیدقلع با ناخالصی دهنده فلوئور (F) ۳۹
۲-۴-۵: مطالعه خواص فیزیکی لایه‌های نازک اکسیدقلع با ناخالصی پذیرنده آنتیموان (Sb) ۴۲
۲-۴-۵-۱: ویژگی‌های ساختاری ۴۳
۲-۴-۵-۲: ویژگی‌های اپتیکی ۴۵
۲-۴-۶: بررسی خواص فیزیکی لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف SnO_2 با ناخالصی پذیرنده ایندیوم (In) . ۴۵
۲-۴-۶-۱: اثر دمای بازپخت ۴۶
۲-۴-۶-۲: اثرات نسبت [In/Sn] ۴۷
فصل سوم: کارهای آزمایشگاهی: بخش اول-تهیه محلول‌های شیمیایی و ساخت لایه‌های نازک نیمرسانای SnO_2:V به روش اسپری پایرولیزیز و معرفی روش‌های مشخصه‌یابی ۵۰
۳-۱: مقدمه ۵۰
۳-۲: معرفی روش اسپری پایرولیزیز ۵۰
۳-۳: فرایند تهیه لایه‌ها و شرایط لایه‌نشانی ۵۲
۳-۳-۱: شرایط تهیه لایه‌های نازک SnO_2:V ۵۴
۳-۳-۱-۱: تهیه محلول پایه ۵۵
۳-۳-۱-۲: تهیه محلول نهایی (کلرید قلع- کلرید وانادیوم) ۵۵
۳-۴: معرفی روش‌های مشخصه‌یابی ۵۶
۳-۴-۱: مشخصه‌یابی خواص ساختاری ۵۶
۳-۴-۲: مشخصه‌یابی خواص سطحی ۵۸
۳-۴-۳: مشخصه‌یابی خواص الکتریکی ۵۹
۳-۴-۳-۱: مقاومت الکتریکی ۵۹
۳-۴-۳-۲: اثر هال ۶۰
۳-۴-۳-۳: انرژی فعال‌سازی ۶۱
۳-۴-۴: مشخصه‌یابی خواص ترموالکتریکی ۶۳

۳-۴-۵: مشخصه‌یابی خواص اپتیکی ۶۴
۳-۴-۶: مشخصه‌یابی خواص فوتورسانایی ۶۵
فصل چهارم: کارهای آزمایشگاهی: بخش دوم-مشخصه‌یابی و مطالعه خواص لایه‌های نازک نیمرسانای SnO_2:V ۶۶
۴-۱: خواص ساختاری لایه‌های نازک SnO_2:V ۶۶
۴-۲: خواص سطحی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۰
۴-۳: خواص الکتریکی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۲
۴-۴: خواص ترموالکتریکی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۶
۴-۵: خواص اپتیکی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۷
۴-۶: خواص فوتورسانایی لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۲
فصل پنجم : نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات ۸۵
۵-۱: مقدمه ۸۵
۵-۲: جمع بندی از خواص فیزیکی لایه های نازک SnO_2:V ۸۶
۵-۲-۱: جمع بندی از خواص الکتریکی و ترموالکتریکی ۸۶
۵-۲-۲: جمع بندی از خواص ساختاری ۸۶
۵-۲-۳: جمع بندی از خواص اپتیکی و فوتو رسانشی ۸۷
۵-۳: پیشنهادات ۸۸
مراجع ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱: بعضی از خواص فیزیکی SnO_2، In_2O_3 و ZnO ۲۵
جدول ۲-۲: پارامترهای لایه‌نشانی برای تهیه لایه‌های SnO_2:Fe ۳۱
جدول ۲-۳: خلاصه‌ای از پارامترهای XRD و اندازه دانه‌ای میانگین برای مقادیر مختلف Fe ۳۳
جدول ۲-۴: اندازه‌گیری‌های الکتریکی و ترموالکتریکی برای لایه‌های SnO_2 و آلاییده شده با آهن ۳۴
جدول ۲-۵: نتایج اندازه‌گیری اثر هال در دمای اتاق برای لایه‌های ATO ۴۳
جدول ۲-۶: چگالی و تحرک پذیری در دماهای مختلف در اکسید قلع-ایندیوم ۴۷
جدول ۳-۱: غلظت مولی و مقدار گرم وانادیوم مورد استفاده برای تهیه محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف ۵۵
جدول ۳-۲: پارامترهای لایه نشانی برای تهیه نمونه ۵۵
جدول ۴-۱: نتایج طیف‌های XRD لایه‌های نازک SnO_2:V با در صدهای مختلف ناخالصی وانادیوم ۷۰
جدول ۴-۲: مقاومت سطحی و ضخامت لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۲
جدول ۴-۳: نتایج بررسی مقاومت ویژه لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۲
جدول ۴-۴: نتایج اندازه‌گیری اثر هال برای لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۵
جدول ۴-۵: مقادیر گاف نواری لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۱
جدول ۴-۶: درصد تغییرات مقاومت سطحی با تابش نور در لایه‌های SnO_2:V ۸۴
جدول ۵-۱: اندازه اتمی عناصر Sn ,V ۸۷
جدول ۵-۲: بهترین نمونه‌ها در بررسی خواص فیزیکی لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: طرح ساختار لایه و زیرلایه نسبت به هم ۲
شکل ۱-۲: طرح گونه مقطع عرضی مدل یک مدار مجتمع (IC) سه بعدی ۴
شکل ۱-۳: طرحی از انواع فرایند رشد ۵
شکل ۱-۴: نمودار تعیین فرومغناطیس وآنتی فرو مغناطیسی مواد ۹
شکل ۱-۵: سامانه قرارگیری منبع و زیرلایه در روش تبخیری جهت دستیابی به رسوب یکنواخت ۱۲
شکل ۱-۶: واحد تبخیر پرتو الکترونی ۱۳
شکل ۱-۷: طرح ساده سیستم پراکنش ۱۳
شکل ۱-۸: مراحل انتقال گاز و فرایندهای واکنش در تشکیل لایه به روش CVD ۱۴
شکل ۱-۹: آبکاری الکتریکی با جریان مستقیم ۱۵
شکل ۱-۱۰: لایه نشانی به روش الکترولیز ۱۶
شکل ۱-۱۱: مقطع عرضی ساختار ترانزیستور MOS از منبع ۱۷
شکل ۱-۱۲: نحوه کار سلول خورشیدی (سمت راست)- نمونه سلول خورشیدی (سمت چپ) ۱۸
شکل ۲-۱: یاخته بسیط ساختار بلوری SnO_2:V ۲۵
شکل ۲-۲: منطقه بریلوئن متناظر با ساختار بلوری اکسید قلع ۲۶
شکل ۲-۳: منحنی شفافیت اپتیکی SnO_2 ۲۷
شکل ۲-۴: ساختار نوار الکترونی SnO_2 ۲۸
شکل ۲-۵: طیف اپتیکی SnO_2 با ضخامت ۲۴۰ نانومتر ۲۹
شکل ۲-۶: نمودار کاهش مقاومت مواد TCO در طی ۳۰ سال ۳۰
شکل ۲-۷: پراش پرتو-X از لایه‌های SnO_2:Fe با آلایندگی Fe از ۰ تا ۴۰٪ ۳۲
شکل ۲-۸: تغییرات اندازه میانگین دانه‌ها با مقادیر مختلف ناخالصی از آهن ۳۳
شکل ۲-۹: تصاویر SEM از لایه‌های SnO_2:Fe با آلایندگی Fe از ۰ تا ۴۰٪ ۳۴
شکل ۲-۱۰: نمودار تغییرات ضریب سیبک بر حسب دما (برای لایه‌های مختلف SnO_2:Fe) ۳۵
شکل ۲-۱۱: تغییرات ولتاژ ترموالکتریک با اختلاف دما برای لایه‌های غیرآلاییده و آلاییده SnO_2 ۳۶
شکل ۲-۱۲: نمودارتغییرات ($\alpha h\nu$) بر حسب $h\nu$ ۳۷
شکل ۲-۱۳: شفافیت اپتیکی لایه‌های SnO_2 آلاییده شده با Fe از ۰ تا ۴۰٪ ۳۷
شکل ۲-۱۴: نمونه پراش پرتو- X لایه‌های نازک SnO_2:V رشد داده شده بر روی زیرلایه‌های مختلف ۳۸
شکل ۲-۱۵: تصاویر AFM لایه‌های نازک SnO_2:V رشد داده شده بر روی زیرلایه‌های مختلف ۳۸
شکل ۲-۱۶: (الف) الگوی پراش پرتو X ، (ب) طیف جذب و شفافیت اپتیکی لایه‌های SnO_2:Mn ۳۹

شکل ۲-۱۷: الگوهای XRD لایه‌های FTO بازپخت شده در هوا و در دماهای مختلف ۴۰
شکل ۲-۱۸: تغییرات پارامترهای الکتریکی(ρ,n_e,μ) با نسبت [Sn]/[F] ۴۱
شکل ۲-۱۹: الگوهای XRD لایه‌های ATO بازپخت شده در هوا و در دماهای مختلف ۴۴
شکل ۲-۲۰: مورفولوژی و میکروساختارهای لایه‌ها و سطح مقطع آنها ۴۴
شکل ۲-۲۱: طیف شفافیت اپتیکی برای لایه‌های SnO_2:Sb بازپخت شده در دماهای مختلف ۴۵
شکل ۲-۲۲: : الگوهای پراش پرتو-X لایه‌های با [In/Sn]=۰٫۲ و بازپخت شده در دماهای متفاوت ۴۶
شکل ۲-۲۳: وابستگی چگالی و تحرک‌پذیری حامل به دما ۴۷
شکل ۲-۲۴: مدل‌های پراش پرتو -X از لایه‌ها با نسبت‌های مختلف از [In/Sn] ۴۸
شکل ۲-۲۵: طیف عبور اپتیکی UV-Vis از لایه‌های با نسبت‌های مختلف از [In/Sn] ۴۸
شکل ۲-۲۶: وابستگی چگالی حامل لایه‌های آلاییده شده با نسبتهای مختلف از ایندیوم به دما ۴۹
شکل ۳-۱: طرح ساده‌ای از دستگاه اسپری پایرولیزیز و قسمت‌های مختلف آن ۵۳
شکل ۳-۲: دستگاه اسپری مورد استفاده در این پروژه برای تهیه لایه‌ها ۵۴
شکل ۳-۳: تصویر دستگاه تبخیر حرارتی در خلاء برای الکترودگذاری لایه‌ها ۵۴
شکل ۳-۴: دستگاه پراش پرتو-ایکس (XRD) مدل ADVANCE- BRUKER D8 دانشگاه دامغان ۵۷
شکل ۳-۵: دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل HITACHI S4160 ..... ۵۸
شکل ۳-۶: اندازه‌گیری مقاومت سطحی لایه‌ها به روش پروب دو- نقطه‌ای ۵۹
شکل ۳-۷: سامانه اندازه‌گیری ولتاژ هال و تعیین نوع حامل‌ها ۶۰
شکل ۳-۸: طرح مدار اندازه‌گیری آزمایش اثر هال ۶۱
شکل ۳-۹: طرحی از نوارهای انرژی ۶۲
شکل ۳-۱۰: رفتار گرمایی رسانایی نیمرسانای ذاتی و نیمرسانای غیر ذاتی ۶۳
شکل ۳-۱۱: سامانه اندازه‌گیری انرژی فعال‌سازی ۶۳
شکل ۳-۱۲: سامانه اندازه‌گیری ولتاژ ترموالکتریک با تغییرات دما ۶۴
شکل ۳-۱۳: دستگاه طیف‌سنجی UV-Vis مدل 4802 UNICO ۶۴
شکل ۳-۱۴: سامانه اندازه‌گیری تغییرات مقاومت سطحی برحسب مدت زمان نوردهی ۶۵
شکل ۴-۱: طیف‌های XRD لایه‌های نازک SnO_2:V با تراکم مختلف ناخالصی V ۶۸
شکل ۴-۲: مقایسه طیف‌های XRD لایه‌های نازک SnO_2:V ۶۹
شکل ۴-۳: تصاویر FESEM لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۱
شکل ۴-۴: نمودارهای تغییر مقاومت بر حسب دما لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۳
شکل ۴-۵: نمودار مقایسه‌ای تغییرات مقاومت بر حسب دما برای لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۴
شکل ۴-۶: تغییرات مقاومت سطحی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۴
شکل ۴-۷: تغییرات چگالی حامل‌های لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۵
شکل ۴-۸: مقایسه تغییرات چگالی حامل‌ها و مقاومت ویژه لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۵
شکل ۴-۹: تغییرات ولتاژ ترموالکتریک بر حسب اختلاف دما برای لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۶
شکل ۴-۱۰: نمودار مقایسه‌ای تغییرات ولتاژ ترموالکتریک بر حسب اختلاف دما لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۷
شکل ۴-۱۱: شفافیت اپتیکی لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۸
شکل ۴-۱۲: نمودار مقایسه‌ای شفافیت لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۹
شکل ۴-۱۳: نمودار تغییرات متوسط عبور و اندازه دانه‌های لایه‌های نازک SnO_2:V ۷۹

شکل ۴-۱۴: نمودار مقایسه‌ای گاف انرژی لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۰
شکل ۴-۱۵: تعیین گاف نواری لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۱
شکل ۴-۱۶: تغییرات گاف نواری لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۲
شکل ۴-۱۷: نمودار گاف اپتیکی و اندازه دانه‌ها بر حسب ناخالصی وانادیوم لایه‌های نازک SnO_2:V ۸۲
شکل ۴-۱۸: تغییرات مقاومت لایه‌های نازک SnO_2:V بر حسب مدت نوردهی ۸۳
شکل ۴-۱۹: نمودار مقایسه‌ای تغییرات مقاومت لایه‌های نازک SnO_2:V بر حسب مدت زمان نوردهی ۸۴

فصل اول

معرفی روش‌های ساخت و کاربردهای لایه‌های نازک

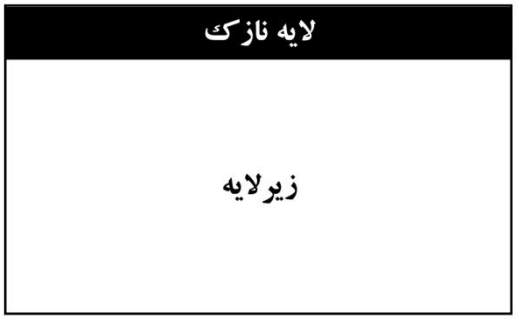
۱-۱- مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک

لایه نازک در واقع لایه‌ای از مواد است که ضخامت آن در گستره‌ی کسری از یک نانومتر تا چند میکرومتر قرار گرفته باشد. اهمیت عمده‌ی لایه‌های نازک در صنایع الکترونیک، میکروالکترونیک و صنایع نوری می‌باشد که در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری نانو، رشد قابل ملاحظه‌ای را در اصلاح خواص سطحی مواد داشته است. خواص لایه‌های نازک وابسته به ساختار و مورفولوژی آنها طی فرایند رشد و جوانه‌زنی است.

۱-۱-۱- مفهوم لایه‌های نازک

به طور کلی لایه به ماده یا موادی گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک زیرلایه یا ماده می‌نشینند و باعث ایجاد خواص الکتریکی، فیزیکی و مکانیکی سطحی جدیدی می‌شوند که خصوصیات سطحی زیرلایه را ارتقا می‌بخشند.

معمولا در فیزیک حالت جامد، مواد را به صورت توده‌ای مورد بررسی قرار می‌دهند. در عموم روش‌های لایه نشانی، هنگامی که ماده از حالت توده‌ای به صورت اتم‌ها، ملکول‌ها یا یون‌های مجزا درآیند و روی سطح زیرلایه نشینند، پوششی ایجاد می‌شود که آنرا لایه می‌نامند. چگالش ذرات اتمی، ملکولی یا یونی برای تشکیل لایه بر روی زیرلایه توسط فرایندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی صورت می‌گیرد. شکل (۱-۱) طرحی از ساختار لایه و زیرلایه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: طرح ساختار لایه و زیرلایه نسبت به هم [۱].

معمولا اگر لایه تشکیل شده نازک باشد، خواص فیزیکی جدیدی از خود بروز می‌دهد که با خواص همان لایه به صورت توده‌ای متفاوت است که به این ترتیب می‌توان قابلیت‌های جدیدی به محصول افزود.

اصولا لایه‌ها و پوشش‌های مختلف از نقطه نظر ضخامت به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- لایه‌های بسیار نازک با ضخامت کمتر از ۵۰ آنگستروم
۲- لایه‌های نازک با ضخامت بین ۵۰ تا ۵۰۰۰ آنگستروم
۳- لایه‌های ضخیم با ضخامت بیش از ۵۰۰۰ آنگستروم

طبق تعریف بالا، لایه‌های نازک لایه‌هایی هستند که ضخامت آنها بین ۵۰ تا۵۰۰۰ آنگستروم می‌باشد. به بیان دیگر لایه‌های نازک، لایه‌هایی با دقت اتمی طراحی شده‌ای از انواع مواد اعم از فلزات، عایق‌ها و نیمه‌رساناها هستند. لایه‌های نازک را می‌توان در دسته پوشش‌های نانوساختار دسته‌بندی کرد. همچنین کاربرد عمده این لایه‌های نازک در اصلاح خواص سطح جامدات است.

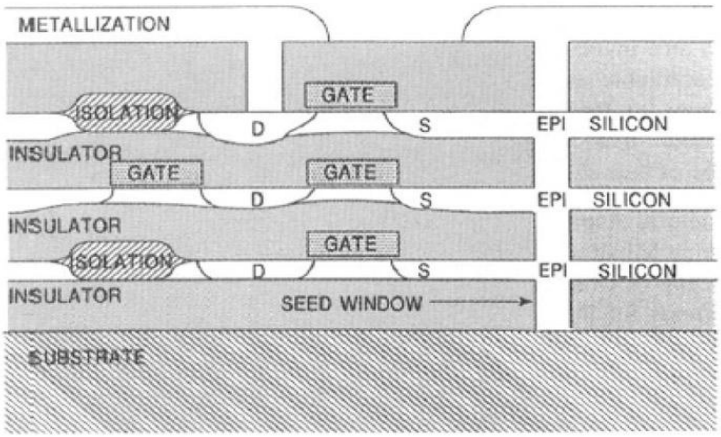
لایه‌های نازک و بسیار نازک، از دو ویژگی مهم برخوردار هستند. اولین ویژگی، ضخامت زیرمیکرونی آن است که هر چه به اندازه نانو نزدیک‌تر شود، ویژگی‌های متفاوت‌تری را برای لایه به وجود می‌آورد. دومین ویژگی آن است که لایه‌ها می‌توانند سطوح فوق‌العاده بزرگی نسبت به ضخامت داشته باشند. این دو ویژگی باعث پدید آمدن خواص متفاوت‌تر و کاربردی می‌شوند که در قسمت خواص لایه‌های نازک به آن پرداخته خواهد شد [۱-۲].

۱-۱-۲- تاریخچه لایه‌های نازک

فناوری لایه‌های نازک قدمتی چند هزار ساله دارد. این فناوری، به طور همزمان، هم یکی از قدیمی‌ترین هنرها و هم یکی از جدیدترین علوم می‌باشد. احتمالا مصریان اولین کسانی بودند که از هنر زرکوبی و طلاکاری برای تزیین و مقاوم سازی سطوح استفاده می‌کرده‌اند. در حدود چهار هزار سال پیش، هنر چکش‌کاری طلا با تولید ورقه‌های بسیار نازک زیبا و پایدار در برابر فرایندهای شیمیایی کاربرد داشته است. همچنین در گذشته، سالیان متمادی لایه نشانی جیوه بر روی قطعات مسی انجام می‌گرفته است. صرف‌نظر از امکان استفاده لایه‌های نازک، فناوری تولید لایه نازک از حدود ۳۰۰ سال پیش آغاز شد. اولین روشی که منجر به تولید لایه نازک فلزی شد، در سال ۱۸۳۸ به روش الکترولیز بود. در قرن ۱۹ میلادی لایه نازک مایع از دیدگاه اپتیکی بسیار مورد توجه بوده است. رفته رفته با پیشرفت فناوری، در قرن ۲۰ میلادی تولید لایه نازک جامد رشد کرد. در اوایل قرن ۲۰ میلادی، با رشد فناوری میکروالکترونیک، ساخت لایه‌های نازک‌تر از ۱میکرومتر (زیرمیکرونی) اهمیت ویژه‌ای بدست آورد و در اواخر قرن ۲۰ با ظهور و پیشرفت مباحث نانومتری و پیدایش روش‌های شناسایی نظیر XPS، تولید لایه‌ی نازک نانومتری (زیر۱۰۰نانومتر) پیشرفت چشمگیری پیدا کرد [۲-۵].

۱-۱-۳- اهمیت لایه‌های نازک

در سال‌های اخیر، علم لایه‌های نازک در میان سایر علوم رشد قابل ملاحظه‌ای داشته و حجم وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. بی‌شک رشد چشمگیر ارتباطات، پردازش اطلاعات، ذخیره‌سازی، صفحه‌های نمایش، صنایع تزئینی، ابزارآلات نوری، مواد سخت و عایق‌ها نتیجه تولید لایه‌های نازک براساس فناوری‌های نوین می‌باشد. در ساخت لایه‌های نازک نیز در سال‌های اخیر تحولات وسیعی صورت گرفته است که خود ناشی از پیشرفت در فناوری خلاء، تولید میکروسکوپ‌های الکترونی و ساخت وسایل دقیق و پیچیده‌ی شناسایی مواد است. همچنین باز شدن مباحثی نظیر میکروالکترونیک، اپتیک و نانوفناوری مدیون اهمیت پوشش‌های لایه نازک می‌باشد. از نقطه نظر تاریخی در ابتدا فناوری لایه نازک در صنایع مدارهای مجتمع (شکل ۱-۲) استفاده شد. در ادامه طی ۴۰ سال اخیر، نیاز صنایع به ابزارهای کوچکتر و سریعتر، فناوری و فیزیک لایه‌های نازک را جهت رسیدن به این هدف بهبود بخشید.



شکل ۱-۲: طرح گونه مقطع عرضی مدل یک مدار مجتمع (IC) سه بعدی [۵].

لایه‌های نازک با ضخامت زیر میکرونی، با خواصی ناشی از همان دو ویژگی اصلی آنها که شامل نازک بودن و بزرگی فوق‌العاده نسبت سطح به حجم است، کاربردهای فراوانی در فناوری‌های نوین یافته‌اند. برخی خصوصیاتی که در اثر نازک بودن سطح به وجود می‌آید شامل افزایش مقاومت ویژه، ایجاد پدیده تداخل نور، پدیده تونل‌زنی، مغناطیس‌شدگی سطحی و تغییر دمای بحرانی ابررساناها می‌باشد. همچنین برخی خصوصیاتی که از بزرگی سطح لایه‌های نازک ناشی می‌شود شامل پدیده جذب سطحی فیزیکی، پدیده جذب سطحی شیمیایی، پدیده پخش و فعالسازی می‌باشد.

با توجه به عملکرد و خواص لایه‌های نازک، می‌توان از آنها جهت بهبود فناوری‌هایی نظیر سلولهای خورشیدی، حسگرها، کاربردهای نوری، مهندسی الکترونیک و فروالکترونیک نیز استفاده نمود. امروزه کاربرد لایه‌نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته‌ای است. به گونه‌ای که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه‌نشانی می‌دانند [۲و۶].

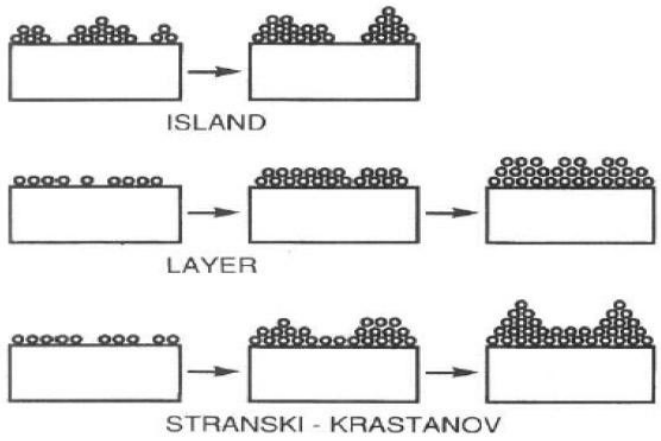
۱-۱-۴- فیزیک لایه‌های نازک

فرایند رشد لایه‌های نازک در حالت لایه‌نشانی شبیه حالت توده مواد، بصورت صفحه کامل نیست. وقتی با حجم ماده مقایسه می‌شود، خواص فیزیکی لایه نازک روی زیرلایه، قویا ممکن است متفاوت باشد که وابسته به ساختار و مورفولوژی آن است. ویژگی‌هایی نظیر اندازه دانه، شکل، جهت و... به مقدار زیادی مرتبط با مراحل جوانه‌زنی و رشد تعیین می‌شود و می‌تواند متاثر از شرایط لایه‌نشانی باشد [۵و۷]. فرایند رشد اتمی به این صورت است که در ابتدا یک ذره از فاز بخار، لایه‌نشانی می‌شود که ممکن است بلافاصله تبخیر مجدد شود و یا در میان سطح نفوذ کند. فرایند نفوذ ممکن است به جذب در مکان‌های خاصی بیانجامد. طی فرایند

رشد، برای بدست آمدن لایه‌ای با سطح صاف، به موبیلیته سطحی کافی جزء نفوذ کننده و دمای بالا نیاز می‌باشد.

برای تشکیل لایه، ماده اولیه سه مرحله اساسی را طی می‌کند. در مرحله اول، ماده اولیه به ذره‌های اتمی، ملکولی یا یونی تبدیل می‌شود. سپس در مرحله دوم، فاصله بین منبع تا زیرلایه را طی می‌کند و در مرحله آخر، چگالش ذرات بر روی زیرلایه و تشکیل یک لایه جامد صورت می‌گیرد. چگالش لایه‌های نازک به شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد که هر شکل آن به عوامل متعددی وابسته است که از آن دسته می‌توان به برهم‌کنش بین اتم‌های لایه‌ی در حال رشد و اتم‌های لایه و زیرلایه اشاره کرد. بطور عمده سه نوع رشد لایه نازک مشاهده گردیده است که در شکل (۱-۳) طرح گونه‌های سه فرایند نشان داده شده است.

۱- رشد لایه به لایه
۲- رشد جزیره‌ای
۳- رشد لایه‌ای-جزیره‌ای



شکل ۱-۳: طرحی از انواع فرایند رشد [۵].

۱-۱-۵- کیفیت لایه‌های نازک

با توجه به نوع کاربرد لایه‌های نازک می‌توان کیفیت ساخت آنها را تغییر داد. از عواملی که در کیفیت لایه نازک مؤثرند می‌توان به سرعت لایه‌نشانی، دمای زیرلایه، نوع خلاء، ساختار زیرلایه و تطابق آن با لایه اشاره نمود. در مورد سطح مشترک لایه و زیرلایه، بایستی مرز مشترک آن عاری از آلودگی و ناخالصی باشد و ناصافی آن به حداقل ممکن خود برسد تا اتصال