١٠٩٧٤٥

۸۷/۱/۱۰۷۹۷۶
۸۸/۱/۲۲

دانشگاه پیام نور

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته : فیزیک حالت جامد

دانشکده علوم پایه

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان‌نامه :

تهیه، مشخصه‌یابی و مطالعه خواص سیستم لایه نازک شفاف سه‌گانه $ZnO/TiO_2/ZnO$ به روش اسپری پایرولیزیز

استادان راهنما

دکتر ناصر شاه‌طهماسبی- دکتر جمیل آریایی

استاد مشاور

دکتر احمد کمپانی

۱۳۸۸ /۱/ ۱۸

نگارش

سیدمحمدرضا اکرمی زاده

اسفندماه ۱۳۸۷

۱۰۹۸۴۵

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم تحقیقات و فناوری

تاریخ : ۱۳۸۷/۱۲/۱۸
شماره : ۹۱/۲/٤۷۸۱۵
پیوست : ــــــ

دانشگاه پیام نور
خراسان رضوی
باسمه تعالی

تصویب نامه پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان:

تهیه، مشخصه‌یابی و مطالعه خواص سیستم لایه نازک شفاف سه‌گانه $ZnO/TiO_2/ZnO$ به روش اسپری پایرولیزیز

که توسط دانشجو سید محمدرضا اکرمی‌زاده تهیه و به هیئت داوران ارائه گردیده است مورد تائید می باشد

تاریخ دفاع : ۱۳۸۷/۱۲/۱۵ نمره : ۱۹/۵ درجه ارزشیابی عالی

اعضای هیئت داوران

نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبه علمی	امضاء
دکتر ناصر شاه طهماسبی	استاد راهنما	دانشیار	
دکتر جمیل آریایی	استاد راهنمای همکار	استادیار	
دکتر احمد کمپانی	استاد مشاور	استاد	
دکتر محمد مهدی باقری محققی	استاد داور	استادیار	
دکتر محمدرضا بانام	نماینده گروه امور آموزشی	استادیار	

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم تحقیقات و فناوری

تاریخ: ۱۳۸۷/۱۲/۱۸
شماره: ۸۱۲/ ٤٧٨١٧
پیوست: ــــــــــ

دانشگاه پیام نور

باسمه تعالی

صورت جلسه دفاع از پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان:

تهیه، مشخصه‌یابی و مطالعه خواص سیستم لایه نازک شفاف سه‌گانه $ZnO/TiO_2/ZnO$ به روش اسپری پایرولیزیز

که توسط دانشجو سید محمدرضا اکرمی‌زاده تهیه و به هیئت داوران ارائه گردیده است مورد تائید می باشد

تاریخ دفاع : ۱۳۸۷/۱۲/۱۵ نمره : نوزده و پنج ۱۹/۵ درجه ارزشیابی عالی

اعضای هیئت داوران

نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبه علمی	امضاء
دکتر ناصر شاه طهماسبی	استاد راهنما	دانشیار	
دکتر جمیل آریایی	استاد راهنمای همکار	استادیار	
دکتر احمد کمپانی	استاد مشاور	استاد	
دکتر محمد مهدی باقری محققی	استاد ممتحن	استادیار	
دکتر محمدرضا بانام	نماینده گروه امور آموزشی	استادیار	

سپاس خدای را که هرچه دارم از اوست و هرچه می خواهم از او

تقدیم به

عزیزترین عزیزانم

همسرم و فرزندم

که آسمان نگاه پر مهرشان شوق پیمودن این راه را در من زنده کرد.

سپاسگزاری

این پژوهش کاری است که توانسته ایم، نه آنچه خواسته ایم و حاصل آن تقدیم به تمام کسانی که در طول زندگی ام حتی به اندازه کلمه ای به من آموخته اند.

از راهنمایی های ارزنده اساتید ارجمندم آقایان دکتر شاه طهماسبی و دکتر آریایی و مشاوره های مؤثر آقای دکتر کمپانی که مرا در به انجام رساندن این کار یاری نموده اند و استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر باقری محققی که با ارائه ی نظرات و رهنمودهای ارزشمند خود موجبات اعتلای کیفیت این پژوهش را فراهم ساختند و آقای دکتر بنام نماینده گروه فیزیک و تمامی اساتید گرامیم در گروه فیزیک دانشگاه پیام نور مشهد صمیمانه و با کمال تواضع و افتخار سپاسگزارم.

بر خود لازم می دانم از زحمات دوستان عزیزم آقایان مسعود کریمی پور و محمد آماده طاهری که در تمام مراحل انجام پایان نامه صمیمانه مرا یاری داده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از سایر دوستان و همکارانم در آزمایشگاه تحقیقاتی نانو فناوری دانشگاه فردوسی به خاطر تمام لحظه های زیبایی که برایم آفریدند سپاسگزارم و برایشان آرزوی سلامت و بهروزی دارم.

سپاس و قدردانی قلبی ام را تقدیم به پدر و مادرم، همسرم و پدر و مادر بزرگوارایشان، فرزندم و سایر عزیزانم می نمایم که حضور بی مدعایشان در کمال صداقت و محبت همواره آرامش بخش زندگی ام است.

چکیده:

لایه‌های نازک مواد از خواص فیزیکی ویژه‌ای برخودار هستند. گروهی از این مواد تحت عنوان رساناهای شفاف نقش مهمی را در کاربردهای الکترونیکی و اپتیکی پیدا کرده‌اند و ازاین‌رو، در چند دهه گذشته تحقیقات زیادی در مورد آنها انجام شده‌است. اخیرا مشاهده شده است که لایه‌های نازک چندگانه می‌توانند خواص جالبتری ارائه دهند. یکی از موادی که خواص لایه‌های نازک آن قبلا بطور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است اکسید روی ZnO می‌باشد. امروزه توجه پژوهشگران به ساخت سیستم چندلایه‌ای این ماده معطوف شده است. در این پروژه ساخت و مطالعه خواص فیزیکی و شیمیایی سیستم لایه نازک شفاف سه‌گانه $ZnO/TiO_2/ZnO$ با روش اسپری پایرولیزیز انجام شد. بررسی ساختاری نمونه‌های (XRD) حاصل، موٴید شکل‌گیری لایه‌ها و تبلور در ساختار مورد نظر بصورت کریستالی می‌باشد. علاوه براین اندازه‌گیری‌های انجام شده روی خواص اپتیکی و الکتریکی نمونه‌های - چندلایه‌ای بیانگر تاثیر وجود لایه میانی TiO_2 در گاف انرژی و مقاومت الکتریکی سیستم سه‌لایه‌ای در مقایسه با تک‌لایه‌ای ZnO می‌باشد. وجود لایه میانی نقش موثری نیز در شفافیت و اندازه بلورکها دارد. همچنین نشان داده شد که با انجام عملیات بازپخت می‌توان اندازه بلورکها، گاف انرژی و نیز شفافیت و مقاومت الکتریکی را تغییر داد. نتایج ارائه شده بیانگر توانایی روش ساده اسپری پایرولیز در تولید سیستم چندلایه‌ای با خواص مطلوب می‌باشد.

کلید واژه: ، سیستم های لایه نازک چندلایه‌ای، اسپری پایرولیزیز، اثر سیبک، اثر نوررسانایی، اثربازپخت

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول: سیستم های چندلایه ای	۴
۱-۱: مقدمه معرفی لایه های نازک	۵
۱-۲: مروری بر خواص اساسی سیستم‌های لایه نازک اکسیدهای رسانای شفاف	۸
۱-۲-۱: اکسیدهای رسانای شفاف نوع n (نسل اول)	۸
۱-۲-۲: رساناهای شفاف نوع p (نسل دوم)	۹
۱-۲-۳: نیمرساناهای شفاف نانو ساختار(نسل سوم)	۱۱
۱-۲-۴: نیمرساناهای شفاف مغناطیسی (نسل چهارم)	۱۲
۱-۲-۵ : خواص اپتوالکترونیکی، ساختاری و کاربردهای اکسیدهای رسانای شفاف	۱۳
۱-۲-۵-۱: خواص اپتیکی	۱۴
۱-۲-۵-۲: خواص الکتریکی	۱۵
۱-۲-۵-۳: خواص ساختاری	۱۵
۱-۲-۶: کاربردهای اکسیدهای رسانای شفاف	۱۸
۱-۳: مطالعه خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی لایه نازک ZnO	۱۹
۱-۳-۱: خواص ساختاری لایه‌های ZnO	۱۹
۱-۳-۲: خواص اپتیکی	۲۲
۱-۳-۳: خواص الکتریکی	۲۳
۱-۳-۴: خواص پیزوالکتریکی	۲۴
۱-۳-۵: کاربردهای لایه‌های نازک اکسید روی	۲۴
۱-۴: مروری برخواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی TiO_2	۲۵
۱-۴-۱: خواص فیزیکی اکسید تیتانیوم	۲۸

۱-۴-۲: خواص الکتریکی ۲۸
۱-۴-۳: خواص اپتیکی ۲۹
۱-۴-۴: اثر ابر آبدوستی ۳۰
۱-۴-۵: اثر هوندا - فوجی‌شیما ۳۰
۱-۴-۶: اثر فوتوکاتالیست ۳۱
۱-۴-۷: کاربردهای دی اکسید تیتانیوم ۳۱
۱-۵: سیستم‌های چندلایه‌ای ۳۳
فصل دوم: مطالعه روشهای تهیه سیستم‌های چندلایه‌ای ۳۷
۲-۱: مقدمه ۳۸
۲-۲: روشهای لایه‌نشانی فیزیکی ۳۸
۲-۲-۱: روش تبخیر حرارتی در خلاء ۳۹
۲-۲-۲: روش تبخیر حرارتی لیزری ۴۰
۲-۲-۳ : کندوپاش ۴۱
۲-۲-۳ : همبستگی یونی ۴۳
۲-۳: مروری بر خواص لایه‌های تهیه شده به روشهای فیزیکی ۴۴
۲-۴: روشهای لایه‌نشانی شیمیایی ۴۹
۲-۴-۱ : روش لایه‌نشانی بخار شیمیایی (CVD) ۴۹
۲-۴-۲: روش لایه‌نشانی افشانه حرارتی(اسپری پایرولیزیز) ۵۲
۲-۴-۳ : روش فروبردنی ۵۴
۲-۴-۴: روش سل- ژل ۵۴
۲-۵: مروری بر خواص لایه‌های تهیه شده به روشهای شیمیایی ۵۵
۲-۶: روشهای دیگر ۵۷
فصل سوم: کارهای آزمایشگاهی بخش اول ۵۹

۳-۱: معرفی دستگاه اسپری و بررسی عوامل مؤثر در لایه‌نشانی به روش اسپری پایرولیزیز ۶۰
۳-۱-۱: معرفی دستگاه و روش اسپری پایرولیزیز ۶۰
۳-۱-۲: بررسی عوامل مؤثر در لایه‌نشانی به روش اسپری پایرولیزیز ۶۱
۳-۱-۳: آماده سازی دستگاه و زیرلایه‌ها(بستر) ۶۲
۳-۲: تهیه محلول‌های اولیه لایه‌های نازک ZnO و TiO_2 ۶۲
۳-۲-۱: تهیه محلول اولیه لایه‌های ZnO ۶۳
۳-۲-۲: تهیه محلول اولیه لایه TiO_2 ۶۴
۳-۳: عملیات لایه‌نشانی و تهیه لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ براساس تغییر نسبت مولی Ti/Zn به روش اسپری پایرولیزیز ۶۵
۳-۳-۱: تهیه لایه‌ها به روش اسپری پایرولیزیز ۶۵
۳-۴: فلزنشانی (الکترودگذاری) لایه‌ها ۶۷
۳-۵: بازپخت لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ در هوا و در دمای $550\ ^\circ C$ ۶۸
۳-۶ : مشخصه‌یابی لایه‌های تهیه شده ۶۸
۳-۶-۱: بازپخت در خلا نسبی(فشار پایین) ۶۸
۳-۶-۲: مشخصه‌یابی خواص ترموالکتریک ۶۹
۳-۶-۳: مشخصه یابی‌های اپتیکی و ساختاری ۷۰
۳-۶-۴: مشخصه یابی نوررسانایی ۷۱
فصل چهارم: کارهای آزمایشگاهی بخش دوم، مشخصه‌یابی نتایج و بحث سیستم سه-لایه‌ای $ZnO/TiO_2/ZnO$ و نتیجه‌گیری کلی ۷۴
۴-۱: مشخصه‌یابی، نتایج و بحث خواص ساختاری لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ ۷۵
۴-۱-۱- مطالعه خواص ساختاری سیستم $ZnO/TiO_2/ZnO$ قبل از بازپخت ۷۶
۴-۱-۲- خواص ساختاری لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ پس از بازپخت در هوا ۸۱
۴-۲ اندازه‌گیری اپتیکی و تعیین ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ ۸۵

۴-۳ مطالعه خواص الکتریکی سیستم $ZnO/TiO_2/ZnO$ ۹۱
۴-۳-۱: مقاومت سطحی و مقاومت ویژه لایه‌های $ZnO/TiO_2/ZnO$ ۹۱
۴-۳-۲: اندازه‌گیری مقاومت سطحی لایه‌های بازپخت شده درفشار پایین (خلأ نسبی) ۹۴
۴-۴: خواص ترموالکتریک سیستم لایه نازک سه‌گانه$ZnO/TiO_2/ZnO$ ۹۵
۴-۵: اندازه‌گیری‌های نوررسانایی ۱۰۰
۴-۶: جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۰۲
۴-۶-۱: جمع‌بندی از خواص ساختاری ۱۰۴
۴-۶-۲: جمع‌بندی از خواص اپتیکی ۱۰۴
۴-۶-۳: جمع‌بندی از خواص اپتوالکتریکی ۱۰۵
۴-۶-۴: نتیجه‌گیری کلی- پیشنهادات ۱۰۶
مراجع ۱۰۷
پیوست: مقالات پذیرفته‌شده در همایش‌ها ۱۱۲
همایش ماده چگال اهواز ۱۱۳
همایش تخصصی فیزیک دانشگاه پیام نور اهواز ۱۱۸
همایش ملی فیزیک اصفهان ۱۲۳

مقدمه

بررسی خواص فیزیکی ماده در طول صد سال اخیر آن قدر 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. با ظهور فناوری نانو، خواص مواد در این مقیاس تغییرات شگرفی را نسبت به مقیاس‌های بزرگتر از خود نشان داده‌اند، کاهش ابعاد ماده از سه بعد به ابعاد پایین‌تر موجب ایجاد خواص فیزیکی جدیدی نسبت به حالت کپه‌ای می‌شود. یکی از شاخه‌های مهم و مستقل که در سالهای اخیر توسعه زیادی یافته، فیزیک لایه‌های نازک است. اگر لایه بسیار نازکی از یک ماده را در نظر بگیریم با شرایطی مواجه هستیم که در آن دو سطح لایه، آن قدر به هم نزدیک‌اند که می‌توانند تاثیر به سزایی روی خواص فیزیکی داخلی لایه‌ها داشته باشند و بر اثر فرایندهای برهمکنشی متقابل به پدیده‌های کاملا"جدیدی منجر می‌شوند. علاوه براین، کاهش یک بعد ماده تا مرتبه چندلایه اتمی، سیستم حد فاصلی بین ماکروسیستمها و سیستمهای مولکولی پدید می‌آورد و به این ترتیب روشی برای بررسی ماهیت میکروفیزیکی فرایندهای گوناگون در دسترس قرار می‌دهد. به همین دلیل سیستم‌های لایه نازک توجه فیزیکدان‌ها را به خود جلب کرده است. البته دلیل دیگر رشد سریع فناوری لایه‌های نازک این است که تولید لایه‌های نازک با خواص پیچیده نسبتا آسان است. این وضعیت، لایه‌های نازک را به خصوص برای کاربرد در میکروالکترونیک و اپتوالکترونیک مناسب می‌سازد[۱]. سیستم‌های لایه نازک اکسیدهای رسانای شفاف (TCO)[1] نیز بیش ازنیم قرن است که شناخته شده و مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته‌اند. آنها در گستره‌ی نور مرئی دارای شفافیت بالا و به طور همزمان دارای هدایت الکتریکی خوبی نیز می‌باشند[۲]. افزون براین، امروزه محققان برآنند تا لایه‌هایی با بهترین کیفیت، بالاترین رسانایی، بیشترین شفافیت اپتیکی و پایدارترین حالت شیمیایی و مکانیکی را با روشهای نسبتا ساده و ارزان تهیه کنند[۳۰]. به این منظور روشهای مختلفی برای بهبود خواص اپتیکی، ساختاری و الکتریکی سیستم‌های لایه نازک پیشنهاد و بررسی شده است. یکی از جدیدترین

[1] Transparent Conductive Oxide

روشها در دستیابی به چنین سیستم‌هایی تهیه سیستم‌های لایه نازک شفاف چندلایه‌ای است. معمولا پوشش‌های چندلایه‌ای با لایه‌گذاری جداگانه شامل سیستم‌های دو، سه و چند لایه‌ای که لایه ثانویه معمولا ازجنس فلز، نیمرسانا و نارسانا است، تهیه می‌شوند[۳۱،۳۲]. به عنوان مثال تا به حال ابزارهای اپتوالکترونیکی شامل الکترودهای فلزی شفاف طلا، نقره و مس در سیستم‌های سه‌لایه‌ای دی‌الکتریک/فلز/ دی‌الکتریک[1](D/M/D) و با ضخامت خیلی کم (در حدود ۱۵nm) مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۳۰]. از مهمترین ویژگی‌های سیستم‌های لایه نازک شفاف چندلایه‌ای توانایی تولید لایه‌هایی با خواص گزینشی، از مواد اولیه ارزان و با استفاده از روشهای تهیه نسبتا آسان می‌باشد به همین دلایل این سیستم‌ها اخیرا مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته‌اند[۳۰]. به گونه‌ای که برخی از مؤلفین معتقدند که در سال‌های آتی سیستم‌های چندلایه‌ای جایگزین سیستم‌های تک لایه‌ای شوند[۳۱،۳۲،۳۳]. با این وجود، درحال حاضر گزارشات بسیار اندکی از سیستم‌های چندلایه‌ای در سطح جهانی در دسترس است. و از این لحاظ سیستم‌های چندلایه‌ای جزو پژوهش‌های جدید درعلم لایه‌های نازک می‌باشد[۳۰]. از اینرو مطالعه خواص فیزیک سطح و فصل مشترک لایه‌های نازک و اثر فرایندهای پخش و نفوذ اتمها در لایه‌های میانی در چندلایه‌ای‌ها، از مباحث جالب توجه و با اهمیت در فیزیک سطح بوده و مطالعاتی در این زمینه‌ها انجام گردیده است. در این پروژه همگام با پیشرفتهای روز دنیا در زمینه علوم و فناوری نانو و با توجه به اهمیت ساختارهای چندلایه‌ای و ترکیبی از مواد مختلف، به بررسی خواص فیزیکی سیستم لایه نازک شفاف سه‌گانه $ZnO/TiO_2/ZnO$ می‌پردازیم. این سیستم لایه نازک سه‌گانه را با استفاده از روش ساده و مقرون به صرفه اسپری پایرولیزیز تهیه و به کمک ساده‌ترین امکانات و روشها، خواص آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. روند ارائه مطالب در این پایان‌نامه به شرح زیرمی‌باشد؛

درفصل اول خواص و ویژگی‌های سیستم‌های لایه نازک شفاف و به طور ویژه خواص اکسیدهای رسانای شفاف روی و تیتانیوم که به عنوان لایه‌های میزبان و میهمان درتهیه سیستم سه‌لایه‌ای

[1] Dielectric/Metal/Dielectric

$ZnO/TiO_2/ZnO$ استفاده شده‌اند و همچنین ویژگی‌های سیستم‌های چندلایه‌ای، بررسی می‌شود. فصل دوم به روشهای لایه‌نشانی سیستم‌های چندلایه‌ای اختصاص دارد. در فصل سوم، به روش ساخت سیستم سه‌لایه‌ای $ZnO/TiO_2/ZnO$ می‌پردازیم. و بالاخره در فصل چهارم خواص و ویژگی‌های نمونه‌هایی را که ساخته‌ایم مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهیم و نتایج اندازه‌گیری‌های ساختاری(XRD)، اپتیکی (UV-Vis)، الکتریکی، ترموالکتریکی و نوررسانایی را در مورد این نمونه‌ها ارائه داده و در نهایت، به بحث و بررسی در مورد نتایج می‌پردازیم در انتها مراجعی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است، و مقالات پذیرفته شده در کنفرانس های مختلف ارائه شده است. شایان ذکر است که نتایج حاصل از این پژوهش در توافق بسیار خوبی با نتایج گزارش شده مشابه، می‌باشند[۲۳]. که نوید استفاده کاربردی در داخل کشور و با امکانات موجود را می‌دهد.

فصل اول

آشنایی با سیستم‌های لایه نازک چندلایه‌ای

۱-۱: مقدمه معرفی لایه‌های نازک

۱-۲: مروری بر خواص اساسی سیستم‌های لایه نازک اکسیدهای رسانای شفاف

۱-۳: مطالعه خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی لایه نازک ZnO

۱-۴: مروری بر خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی TiO_2

۱-۵: سیستم‌های چندلایه‌ای

۱-۱: مقدمه معرفی لایه‌های نازک

بررسی خواص فیزیکی ماده در یک قرن اخیر آن قدر 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. یکی از این شاخه‌های مهم و مستقل که در نیم قرن اخیر بسیار توسعه یافته، فیزیک لایه‌های نازک است. فیزیک لایه‌های نازک با سیستم‌هایی سروکار دارد که یکی از ابعادشان بسیار کوچک است و این تنها ویژگی مشترک تمام سیستم‌های لایه نازک می‌باشد در حالی که ممکن است سایر خواص چنین سیستم‌هایی و حتی روشهای بررسی آنها متفاوت باشد.

معمولا در مطالعه خواص فیزیکی اجسام سه بعدی، واحد حجم جسم در نظر گرفته می‌شود، یعنی فرض می‌شود که خواص فیزیکی یک جسم به حجم جسم بستگی ندارند. این فرض مادام که ابعاد جسم «معمولی» یعنی کم‌وبیش در حد ماکروسکوپی باشد پذیرفتنی است؛ اما به محض این که یکی از ابعاد سیستم کاهش یابد افزایش قابل ملاحظه‌ای در نسبت سطح به حجم پدید می‌آید که سبب بروز خواص فیزیکی جدیدی می‌شود و این فرض دیگر معتبر نیست. در صورتی که دو بعد دیگر سیستم نیز کاهش یابد باز هم تغییرات بیشتری را می‌توان در خواص فیزیکی سیستم مشاهده کرد. (مثلا، ساختار ترازهای انرژی مجاز الکترون‌ها و ویژگی‌های وابسته به آنها تغییر می‌کند).

اگر لایه بسیار نازکی از یک ماده را در نظر بگیریم، با وضعی مواجه هستیم که در آن دو سطح آن قدر به هم نزدیک‌اند که می‌توانند تاثیر بسزایی روی خواص فیزیکی داخلی و فرایندهای جسم بگذارند و بنابراین کاملا از یک ماده کپه‌ای متفاوت‌اند. این کاهش فاصله بین سطوح، و برهم کنش متقابل آنها، می‌تواند به پدیده‌های کاملا جدیدی منجر شود. علاوه بر این کاهش یک بعد ماده تا مرتبه چندلایه اتمی سیستم حد فاصلی بین ماکروسیستم‌ها و سیستم‌های مولکولی پدید می‌آورد و به این ترتیب روشی برای بررسی ماهیت میکروفیزیکی فرایندهای گوناگون در دسترس قرار می‌دهد. به همین دلیل سیستم‌های لایه نازک توجه فیزیکدان‌ها را به خود جلب کرده است علاوه بر این دلیل دیگر رشد

سریع فناوری لایه‌های نازک این است که تولید لایه‌های نازک با خواص پیچیده نسبتا آسان است. این وضعیت، لایه‌های نازک را به خصوص برای کاربرد در میکروالکترونیک و اپتوالکترونیک مناسب می‌سازد[۱].

در اینجا سوالی مطرح می‌شود که؛ لایه را تا چه حد باید «نازک» گرفت؟ پاسخ این است که ضخامت برای پدیده‌های فیزیکی مختلف، متفاوت است. بنابراین، عملا خواص مورد نظر و جزئیات فناوری است که این حد را تعیین می‌کند. در عمل، فیزیک و فناوری لایه‌های نازک، لایه‌هایی به ضخامت یک دهم نانومتر تا چندین میکرومتر را مورد مطالعه قرار می‌دهند.

آشناترین پدیده‌های مربوط به لایه‌های نازک، پدیده‌های اپتیکی‌اند. به ویژه پدیده تداخل رنگها که عموما آن را مشاهده می‌کنیم به عنوان مثال می‌توان به لایه نازک روغنی که روی سطح آب ریخته شده است، اشاره کرد. این پدیده‌ها توجه فیزیکدانها را از نیمه دوم قرن هفدهم به خود جلب کرده است و کشف و تفسیر آنها با نامهای بویل، هوک و نیوتن پیوند یافته است. دویست سال بعد اپتیک لایه‌های نازک با اندازه‌گیری‌های جامین، فیزو،کوینگ و دیگران و کارهای نظری درود پیشرفت کرد. تداخل در لایه‌های نازک روش‌های دقیق اندازه‌گیری ضخامت لایه را به دست داد و کاربردهایی در اپتیک و شاخه‌های دیگر یافت.

روشهای تهیه لایه‌های نازک نقش بسیار مهمی در ویژگی‌ها و خواص فیزیکی و شیمیایی لایه‌ها دارند. علاوه براین، سیستم‌های لایه نازک اکسیدهای رسانای شفاف (TCO)[1] نیز بیش ازنیم قرن است که شناخته شده و مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته‌اند. آنها در گستره‌ی نور مرئی دارای شفافیت بالا و به طور همزمان دارای هدایت الکتریکی خوبی نیز می‌باشند[۲]. در جدیدترین پژوهش‌های انجام شده سیستم‌های لایه نازک شفاف چندلایه‌ای به دلیل توانایی تولید لایه‌هایی با خواص گزینشی، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند[۳۰].

[1] Transparent Conductive Oxides

به کمک این روش‌های جدید، در سال‌های اخیر فیزیک لایه نازک پیشرفت قابل ملاحظه‌ای کرده است و سرعت پیشرفت آن با تمایل همه جانبه پیشرفت علم در جامعه شتاب می‌گیرد.

اولین گزارش در زمینه‌ی تهیه یک لایه نازک که هم از نظر الکتریکی رسانا و هم از نظر اپتیکی شفاف باشد به سال ۱۹۰۷ میلادی برمی‌گردد که توسط بادیکر[۱] گزارش شده است[۲]. بادیکر لایه‌های رسانای شفاف CdO را توسط اکسیداسیون حرارتی لایه‌های اسپاترشده کادمیوم تهیه کرد. پس از آن، کار برروی لایه‌های نازک تا سال ۱۹۴۰ ادامه یافت به ویژه زمانی که این لایه‌ها به عنوان گرم کننده‌های الکتریکی شفاف در پنجره‌ها و در صنعت هوانوردی مورد توجه واقع شدند [۳].

در حال حاضر نیز تحقیقات بنیادی برروی این مواد به منظور به دست آوردن اکسیدهای رسانای شفاف با کیفیت بهتر ادامه دارد[۴].

با توجه به جایگاه کاربردی وسیعی که اکسیدهای رسانای شفاف در صنعت و تکنولوژی به خود اختصاص داده‌اند، مطالعات گسترده‌ای در زمینه تهیه و کاربرد ابزارهای اپتوالکترونیکی برای بدست آوردن اکسیدهای رسانای شفاف با کمترین مقاومت ویژه و بیشترین شفافیت اپتیکی شده است، از این‌رو اکسیدهای رسانای شفافی مانند SnO_2 ، In_2O_3 ، $(ITO)^2$ ، ZnO ، IZO و شکلهای آلاییده آنها در سطح گسترده‌ای مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند[۲,۳,۴]. افزون براین، امروزه محققان بر آنند تا لایه‌هایی با بهترین کیفیت، بالاترین رسانایی، بیشترین شفافیت اپتیکی و پایدارترین حالت شیمیایی و مکانیکی را با روشهای نسبتا ساده و ارزان تهیه کنند[۳۰]. به این منظور روشهای مختلفی برای بهبود خواص اپتیکی، ساختاری و الکتریکی سیستم‌های لایه نازک پیشنهاد و بررسی شده است. یکی از جدیدترین روشها در دستیابی به چنین سیستم‌هایی تهیه سیستم‌های لایه نازک شفاف چندلایه‌ای است. معمولا پوشش‌های چندلایه‌ای با لایه‌گذاری جداگانه شامل سیستم‌های دو، سه و چندلایه‌ای که لایه ثانویه معمولا ازجنس فلز، نیمرسانا و نارسانا است، تهیه می‌شوند[۳۱،۳۲]. به

۱-Badekar
[2] Indum tin oxide

عنوان مثال تا به حال ابزارهای اپتوالکترونیکی شامل الکترودهای فلزی شفاف طلا، نقره و مس در سیستم‌های سه لایه‌ای دی‌الکتریک/فلز/ دی‌الکتریک[1](D/M/D) و با ضخامت خیلی کم (در حدود ۱۵nm) مورد استفاده قرار گرفته اند[۳۰].

۱-۲: مروری بر خواص اساسی سیستم‌های لایه نازک اکسیدهای رسانای شفاف

از آنجا که اکسیدهای رسانای شفاف مانند نیمرساناها دارای گاف انرژی نسبتا پهن(بیش از ۳٫۲ eV) هستند، لذا می‌توان آنها را نوع جدیدی از نیمرساناها با خواص منحصر به فرد دانست. اکسیدهای رسانای شفاف را می‌توان به چهار نسل تقسیم کرد که عبارتند از[۵۰] ؛

۱-۲-۱ اکسیدهای رسانای شفاف نوع n (نسل اول)

نسل اول اکسیدهای رسانای شفاف در گروه نیمرساناهای نوع n قرار دارند. تحقیقات جدّی برروی آن‌ها از یک سابقه‌ی ۴۰ ساله برخوردار است. کارهای گسترده‌ای در زمینه‌های روش ساخت و مطالعه خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری و ترکیب شیمیایی این مواد انجام شده است که مهمترین آنها, لایه‌های نازک اکسید رسانای شفاف SnO_2 است که تهیه آن در سال ۱۹۳۱ و لایه‌های بر پایه SnO_2 در سال ۱۹۴۱ گزارش شده است[۲]. این لایه‌ها در هواپیماهای جنگ جهانی دوم به کار گرفته شده‌اند. در دهه‌های بعدی اکسیدهای رسانای شفاف بر پایه In_2O_3 شامل اکسید ایندیوم-قلع ITO و TCOها بر پایه ZnO با ناخالصی Al و واریستورهای بر پایه ZnO گزارش شده است. در دهه‌های اخیر TCOهای پیچیده شامل اکسیدهای دوتائی و سه تائی و محلولهای جامد سه‌تائی به اکسیدهای رسانای شفاف اضافه شده‌اند. آنها به دلیل خواص و ویژگی‌های استثنایی، توام با شفافیت اپتیکی بالا در ناحیه مرئی و رسانایی الکتریکی خوب (نزدیک به رساناها)، به عنوان

[1] Dielectric/Metal/Dielectric

الکترودهای شفاف[1] در قطعات اپتو الکترونیک[2] و ابزارهای حالت جامد[3] از قبیل قطعات نمایشی بلور مایع (LCD) ، سلولهای الکترو لومینسانس(ELC)، دیودهای گسیل نوری (LED)، صفحات نمایشی پلاسما(PDP)، سلولهای خورشیدی، قطعات نمایشی الکتروکرومیک(ECD)، قطعات نمایشی ترموکرومیک(TCD) و قطعات پیزو الکتریک و همچنین، به سبب بازتاب بالا در ناحیه حرارتی طیف الکترومغناطیسی، به عنوان آینه‌های حرارتی و به دلیل تغییررسانایی الکتریکی در اثر جذب سطحی گازهای شیمیایی (از جمله گازهای سمّی و الکل‌ها)به عنوان حسگر گازهای شیمیایی، مورد استفاده قرار گرفته اند[۲، ۳، ٤].

۱-۲-۲: رساناهای شفاف نوع p (نسل دوم)

p-TCOها نسل دوم رساناهای شفاف‌اند، و تا سال‌های اخیر کارهای زیادی در زمینه آنها انجام نگرفته بود. اولین آنها در سال ۱۹۹۳ توسط ساتو[4] در انجمن تکنولوژی کانازاوای ژاپن از اکسید نیکل با شفافیت۴۰٪ در گستره مرئی گزارش شد. در سال‌های بعد، با توسعه تحقیقات و کارهای آزمایشگاهی گسترده در این زمینه مطالعه برروی مواد دیگر نیز آغاز شد[۲]. در واقع باکشف p-TCO حوزه‌ی جدیدی در تکنولوژی قطعات اپتوالکترونیک بنام «الکترونیک نامرئی» که حاصل اتصال p-n می‌باشد، ایجادگردید.

به طور کلی نیمرساناهای شفاف نوع p به چهار گروه عمده تقسیم شده‌اند[۵۰] :

الف) **نیمرساناهای شفاف نوعp با ساختار دلافوسیت**[5]: به خاطر ساختار بلوری‌شان به نام دلافوسیت شناخته می‌شوند.فرمول کلی آنهات به صورت $M^{I}M^{III}O_{۲}$ است .کاتیون فلزی M^{I}(تک ظرفیتی)

[1] Transparent electrode
[2] Opto-electronic device
[3] Solid state device
[4] - Sato
[5] Delafossite