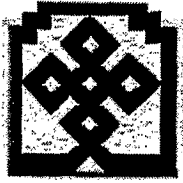


اللهم صل على محمد
وآله الطيبين الطاهرين
الذين هم الصالحين
الجميعين

ای جان جان جانم توپی

۱۱۲۸



دانشگاه تربیت معلم سبزوار
دانشکده علوم - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش حالت جامد

عنوان

بررسی خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی لایه های نازک
اکسید قلع آلاینده با ناخالصی ایندیوم

استاد راهنما

دکتر محمود رضایی رکن آبادی

استاد مشاور

دکتر شعبان رضا قربانی

نگارش

حنانه کیوان

۱۳۸۷ / ۱۱ / ۸

کتابخانه دانشگاه سبزوار
تیمسار

۱۱۲۸۳۸

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

که همواره مرا در امر تحصیل تشویق نموده اند

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

با سپاس به پیشگاه کبریایی یکتا، ذات لایزال بی همتا، حضرت حق تعالی که آفریننده عالم است، کردگاری که مطیع و عاصی و ادانی و اقاصی از خوان گسترده نعمتش می خورند و رحیمی که همه بندگان در ظل رحمت بیکرانیش می زیند.

و درود و ثنای بی حد بر سید رسل، پیشوای انبیاء، محمد مصطفی (ص) که برگزیده آدمیان است و در خاتمه بر خود واجب می دانم که از اساتید و الامقام و همه افرادی که از ابتدا تا کنون اینجانب را در امر آموختن یاری نموده اند سپاسگذاری کنم، به ویژه از آقای دکتر محمود رضایی رکن آبادی که همواره از راهنمایی ها و ارشادات ایشان بهره مند بوده ام. همچنین از سروران محترم و اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر قربانی و جناب آقای دکتر عربشاهی که نهایت عنایت را در مطالع، اظهار نظر و داوری در جلسه دفاعیه نموده اند، بی اندازه سپاسگذارم. در ضمن از جناب آقای محقق که از ابتدا از راهنمایی های ایشان در انجام مراحل عملی پایان نامه بهره بردم و از آقای شیعی کارشناس محترم گروه کمال تشکر را دارم.

همچنین از پدر و مادرم به خاطر زحماتشان در طی سالیان تحصیل تشکر می نمایم. والله خیر الشاکرین.

چکیده

در این پایان نامه، خواص ساختاری، الکتریکی و اپتیکی لایه های نازک اکسید قلع آلائیده با ناخالصی ایندیوم مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی اثر ناخالصی، دمای زیرلایه و ضخامت لایه، سه دسته نمونه تهیه شدند. در مطالعات ساختاری بر روی نمونه ها، جهت رشد در راستای (۱۱۰) تعیین شد. قابل توجه است که در لایه های با ضخامت های زیاد جهت رشد لایه از (۱۱۰) به (۲۰۰) تغییر پیدا کرد.

بررسی های حاصله از طیف های پراش پرتو X در لایه ها نشان داد که با افزایش ناخالصی در نمونه اندازه دانه ها کوچک تر می شوند. برعکس با افزایش دمای زیرلایه، دانه ها امکان رشد بیشتری پیدا می کنند و بزرگ تر می شوند. در بررسی های که توسط اسپکتروفوتومتر UV-Vis بر روی نمونه ها انجام شد به این نتیجه رسیدیم که میزان شفافیت اکسید قلع بسیار بالا و در برخی طول موج ها تا ۹۵٪ نیز مشخص شده است. با افزایش ناخالصی و افزایش ضخامت لایه، از میزان شفافیت کاسته می شود در حالی که با افزایش دمای زیرلایه به عکس بر میزان عبور نور مرئی از نمونه ها افزوده می شود. قابل توجه است که در دماهای بالا (۵۰۰ درجه سانتیگراد) به علت وجود دانه های بزرگ در لایه بیشتر نور فرودی پراکنده شده و قسمت اعظم آن از ماده عبور نمی کند.

میزان رسانندگی لایه ها با استفاده از رسم منحنی های ولتاژ برحسب جریان و اندازه گیری شیب منحنی ها تعیین شد. مشاهده می شود که با افزایش ناخالصی ایندیوم که یک ناخالصی گیرنده محسوب می شود و بر میزان مقاومت الکتریکی لایه افزوده می شود. هنگامی که نسبت اتم های ایندیوم به قلع در نمونه از ۴۰٪ بیشتر می شود، ماده از نیمرسانای نوع n به نوع p تبدیل شده و مقاومت الکتریکی لایه ها با افزایش درصد ناخالصی کاهش می یابد. با افزایش دمای زیرلایه تا $450^{\circ}C$ بررسانندگی لایه افزوده شده و در دماهای بالاتر، این مقاومت الکتریک است که افزایش می یابد. در لایه های با ضخامت های زیاد، همزمان با کاهش کیفیت در خواص ساختاری و اپتیکی لایه ها، از میزان رسانندگی آن ها نیز کاسته می شود.

پیشگفتار:

امروزه با توجه به پیشرفت های فراوان علمی در زمینه های مختلف ، لزوم توجه به ابزارهایی که در پیشبرد علوم و فراهم کردن زندگی با رفاه بیشتر به بشر کمک می کنند امری ضروری به نظر می رسد.

اکسید های رسانای شفاف (TCO's) با توجه به دارا بودن همزمان دو خاصیت رسانایی الکتریکی بالا و شفافیت زیاد در ناحیه مرئی ، کاندیداهای مناسبی برای کاربرد در بسیاری از ابزارهای تجاری صنعتی و حتی خانگی به شمار می آیند. امروزه در بسیاری از ابزارهای اپتوالکترونیکی از جمله سلول های خورشیدی ، دیودهای گسیل دهنده نور، نمایش گرهای صفحه تخت و هم چنین در ابزارهای الکترونیکی شفاف از جمله ترانزیستورهای اثر میدان ، وجود اکسید های رسانای شفاف امری ضروری به نظر می رسد. علاوه بر این وجود بازتابندگی زیاد در ناحیه قرصسرخ و جذب زیاد نور در ناحیه فرابنفش از دیگر ویژگی های TCOها به شمار می آیند که موجب شده است این مواد در بسیاری از مصارف خانگی از جمله در پنجره ساختمان ها برای جلوگیری از هدر رفتن حرارت ساختمان استفاده شوند.

یکی دیگر از زمینه هایی که این اکسیدها نقش عمده ای در آن ایفا می کنند ، حسگرهای گازی حالت جامد هستند. بسیاری از اکسید های رسانای شفاف این قابلیت را دارند که در معرض گازهای اکسند و کاهنده با تغییر خواص الکتریکی شان ، وجود گاز را آشکار می کنند. اکسید قلع SnO_2 یکی از اولین اکسیدهای رسانای شفاف بود که این ویژگی در آن کشف شد و امروزه نیز یکی از بهترین مواد برای کاربرد به عنوان یک حسگر گازی به شمار می آید.

لایه های نازک اکسید رسانای شفاف را می توان به روش های مختلف لایه نشانی جایگذاری کرد. از این روش ها می توان به تبخیر حرارتی در خلأ، کندوپاش ، تبخیر شیمیایی ، سل-جل و همین طور روش های اسپری از جمله اسپری هیدرولیزیز واسپری پایرولیزیز اشاره کرد. برای هر کدام از این روش های مزایا و معایبی وجود دارد که می توان با توجه به نوع ابزاری که ماده در آن استفاده می شود ، یکی از این روش ها را انتخاب کرد.

درسال های اخیر دانشمندان در تلاش بوده اند که با ترکیب اکسیدهای رسانای شفاف دو تایی ، مانند اکسید ایندیوم (Indium Oxide) ، اکسید قلع (Tin Oxide) ، اکسید روی (Zinc Oxide) و اکسید کادمیم (Cadmium Oxide) و ساخت اکسیدهای رسانای شفاف سه تایی و چندتایی ، (به عنوان مثال $ZnO-SnO_2$) بر قابلیت های این مواد در زمینه های مختلف ذکر شده در بالا بیفزایند و در این راه موفقیت هایی به دست آورده اند که در این تحقیق به آن ها اشاره خواهد شد.

فهرست عناوین

فصل اول

اکسیدهای رسانای شفاف

۲-۴	۱-۱ مقدمه
	۱-۲ ویژگی های اپتیکی و الکتریکی اکسیدهای رسانای شفاف
۴-۱۲	۱-۲-۱ ویژگی های اپتیکی
۱۲-۱۵	۱-۲-۲ ویژگی های الکتریکی
۱۵-۱۶	۱-۲-۳ پیشرفت های اخیر در ساخت اکسیدهای رسانای شفاف جدید
۱۷	۱-۳ مراجع

فصل دوم

لایه های رسانای شفاف اکسید قلع (SnO_2)

۱۹	۲-۱ ویژگی های ساختاری ، الکتریکی و اپتیکی اکسید قلع (SnO_2)
۲۰-۲۳	۲-۱-۱ ویژگی های ساختاری SnO_2
۲۲-۲۳	۲-۱-۲ خواص الکتریکی SnO_2
۲۳-۲۴	۲-۱-۳ خواص اپتیکی SnO_2
	۲-۲ روش های جایگذاری لایه های نازک SnO_2
۲۴-۲۵	۲-۲-۱ تبخیر حرارتی
۲۵-۲۶	۲-۲-۲ کندوپاش
۲۶-۲۷	۲-۲-۳ کندوپاش مگنترون

۲۸	۲-۲-۴ تبخیر شیمیایی
۲۹-۳۰	۲-۲-۵ سل-ژل
۳۰-۳۲	۲-۲-۶ اسپری پایرولیزیز

۲-۳ تأثیر پارامترهای لایه نشانی بر روی خواص الکتریکی ساختاری واپتیکی لایه های نازک اکسید قلع

در روش اسپری پایرولیزیز

۳۲-۳۳	۲-۳-۱ زمان لایه نشانی
۳۳-۳۶	۲-۳-۲ دمای بستر
۳۶-۳۷	۲-۳-۳ جنس زیرلایه
۳۷-۳۸	۲-۳-۴ ترکیب محلول اولیه
۳۸-۳۹	۲-۳-۵ آهنک شارش محلول اولیه شامل قلع
۳۹-۴۱	۲-۳-۶ افزودن ناخالصی

۲-۴ کاربردهای لایه های اکسید قلع (SnO_2)

۴۱	۲-۴-۱ الکتروود های شفاف
۴۲	۲-۴-۲ المنت های حرارتی در پنجره های هواپیما
۴۲-۴۳	۲-۴-۳ حسگرهای گازی
۴۳-۴۴	۲-۴-۴ باتری های خورشیدی
۴۵	۲-۴-۵ پوشش های محافظ روی ظروف شیشه ای
۴۵-۴۶	۲-۴-۶ پوشش های با ترابرد کم

۲-۵ مراجع

فصل سوم

کارهای انجام شده

۳-۱ آماده سازی نمونه ها

- ۵۰-۵۲ ۳-۱-۱ آماده سازی محلول اسپری
- ۵۲-۵۳ ۳-۱-۲ لایه نشانی محلول $\text{SnO}_2:\text{In}$
- ۵۳ ۳-۲ بررسی های ساختاری
- ۵۳-۵۶ ۳-۲-۱ اندازه گیری دانه ها در لایه اکسید قلع
- ۳-۳ بررسی های الکتریکی
- ۵۷-۶۳ ۳-۳-۱ اساس روش اندازه گیری اثر هال به روش وندریو
- ۳-۴ اندازه گیری های اپتیکی
- ۶۳-۶۵ ۳-۴-۱ اصول پایه طیف سنج نوری
- ۶۵-۶۶ ۳-۴-۲ محاسبه شاخص های اپتیکی
- ۶۷-۶۸ ۳-۵ مراجع

فصل چهارم

مشخصه یابی لایه های نازک $\text{SnO}_2:\text{In}$

۴-۱ مشخصه های ساختاری لایه های رسانای شفاف $\text{SnO}_2:\text{In}$

- ۶۹-۷۴ ۴-۱-۱ بررسی اثر ناخالصی ایندیوم بر روی ویژگی های ساختاری لایه ها
- ۴-۱-۲ بررسی اثر دمای زیر لایه بر روی ویژگی های ساختاری اکسید قلع
- ۷۵-۸۱ آلاییده با ناخالصی ایندیوم

۴-۱-۳ بررسی اثر ضخامت لایه بر روی ویژگی های ساختاری لایه اکسید قلع آلاییده با ناخالصی

- ۸۱-۸۴ ایندیوم

۴-۲ مشخصه های اپتیکی لایه های رسانای شفاف $\text{SnO}_2:\text{In}$

- ۸۵-۸۸ ۴-۲-۱ بررسی اثر ناخالصی ایندیوم
- ۸۹-۹۱ ۴-۲-۲ بررسی اثر دمای زیرلایه
- ۹۱-۹۲ ۴-۲-۳ بررسی اثر ضخامت لایه ها

۴-۳ مشخصه های الکتریکی لایه های رسانای شفاف $\text{SnO}_2:\text{In}$

- ۹۳-۹۵ ۴-۳-۱ بررسی اثر افزایش ناخالصی
- ۹۵-۹۷ ۴-۳-۲ بررسی اثر دمای زیرلایه
- ۹۸ ۴-۳-۳ بررسی اثر ضخامت لایه ها
- ۴-۴ مراجع

پیوست

مقاله های ارائه شده

فصل اول

اکسیدهای رسانای شفاف

۱-۱ مقدمه

۱-۲ ویژگی های اپتیکی و الکتریکی اکسیدهای رسانای شفاف

۱-۲-۱ ویژگی های اپتیکی

۱-۲-۲ ویژگی های الکتریکی

۱-۲-۳ پیشرفت های اخیر در ساخت اکسیدهای رسانای شفاف جدید

۱-۳ مراجع

۱-۱ مقدمه:

اکسید قلع متعلق به خانواده مهمی از مواد بنام اکسیدهای رسانای شفاف^۱ (TCO's) می باشد. موادی که دو ویژگی شفافیت بالا در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی (۰.۸۰-۰.۹۰) و مقاومت الکتریکی نسبتاً کم را هم زمان با هم دارا هستند.

از دیدگاه نظری، اکسیدهای رسانای شفاف به علت دارا بودن گاف انرژی بزرگ باید در رده عایق های الکتریکی قرار گیرند اما نتایج به دست آمده نشان داده است که میزان مقاومت الکتریکی این مواد بسیار کم تر از عایق ها است. وجود رسانش الکتریکی نسبتاً بالا در اکسیدهای رسانای شفاف علی رزغم گاف انرژی بزرگ آن ها ($E_g \geq 3/1 \text{ eV}$)، ناشی از وجود دهنده های الکترون از قبیل تھی جاهای اکسیژن و اتم های فلزی اضافی واقع در فضاهای بین اتم های دیگر ویا اتم های ناخالصی است. این دهنده ها، اغلب در حین انجام فرایند ساخت لایه ها وهم چنین افزایش ناخالصی، در سطح آن ها به وجود می آیند. این عیب های بلوری میزان مقاومت الکتریکی این مواد را تا حدی پایین می آورد که آن ها را در زمره نیم رساناهای نوع n یا p قرار می دهد [۱].

خصوصیات ذکر شده در بالا، باعث شده که TCO ها، در بسیاری از زمینه ها به طور وسیع به کار گرفته شوند. از این میان می توان به نقش این مواد به عنوان: الکتروود در سلول های خورشیدی، دیودهای گسیل دهنده نور، نمایش گرهای صفحه تخت و دیگر ابزارهای اپتوالکترونیکی، هم چنین در ابزارهای الکترونیکی شفاف از جمله ترانزیستورهای اثر میدان [۶-۲]، اشاره کرد. از میان این مواد تا به حال بیش ترین کاربرد ها برای اکسید قلع خالص (SnO_2)، اکسید قلع با ناخالصی آنتیموان ($\text{SnO}_2:\text{Sb}$) و یا فلوئور ($\text{SnO}_2:\text{F}$)، اکسید ایندیوم با ناخالصی قلع^۲ (ITO)، اکسید روی (ZnO) و اکسید کادمیوم (CdO) که از نوع اکسید های رسانای شفاف با ترکیبات دوتایی هستند، گزارش شده است [۷]. امروزه اگرچه میزان عنصر ایندیوم در پوسته زمین صد برابر کمتر از مقدار عنصری مانند روی است، اما اکسید ایندیوم آلاینده با ناخالصی قلع (ITO) به علت شفافیت بسیار بالای آن، کاربرد بیش تری نسبت به اکسیدهای ذکر شده در بالا، دارد. این امر هزینه بسیار

^۱ - Transparent Conducting Oxides

^۲ - Indium Tin Oxide

زیادی را بردوش سازندگان و مصرف کنندگان محصولاتی که این ماده در آنها به کار برده شده گذاشته است. بنابراین در سال های اخیر لزوم توجه به موادی که ، علاوه برداشتن ویژگی های نام برده شده ، در پوسته زمین فراوان ترند بیش تر نمایان شده است [۴،۵]. دیگر ویژگی اکسیدهای رسانای شفاف که بر اهمیت آن ها افزوده این است که ، علاوه بر شفافیت بالا در ناحیه مرئی ، بازتابنده های خوب امواج الکترومغناطیسی در ناحیه فرورسرخ ، نیز می باشند. وجود این خاصیت است که باعث شده اکسید قلع نقش برجسته ای به عنوان نگه دارنده انرژی داشته باشد. پوشش های اکسید قلع در پنجره های ساختمان ها موجب می شود که نور مرئی از شیشه ها عبور کند ، اما حرارت از ساختمان بیرون نرود و یا از خارج به داخل ساختمان وارد نشود (این بستگی به منطقه آب وهوایی دارد) [۸،۹].

اکسید قلع در ساخت نوع دیگری از پنجره ها نیز به کار می رود که دارای ساختار پیچیده تری هستند و به نام پنجره های هوشمند^۲ مشهور می باشند. این شیشه ها دارای حساسیت الکتریکی هستند و با عبور ولتاژ از آن ها رنگ و میزان شفافیت آن تغییر می کند [۸،۹].

در تعیین ویژگی های الکتریکی واپتیکی اکسیدهای رسانای شفاف ، علاوه بر ترکیبات تشکیل دهنده آن ها ، روش های لایه نشانی لایه های نازک نیز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. این روش ها به دو نوع فیزیکی و شیمیایی تقسیم می شوند که هر کدام خود چندین روش را در بر می گیرند. ساخت یک لایه با یک ترکیب شیمیایی ثابت اما روش های لایه نشانی متفاوت ، ممکن است ویژگی الکتریکی ، اپتیکی و ساختاری آن را به میزان زیادی تغییر دهد.

در فصل اول این پایان نامه به توضیح ویژگی های الکترونیکی ، اپتیکی اکسیدهای رسانای شفاف پرداخته می شود. در فصل دوم ویژگی های ساختاری ، الکترونیکی واپتیکی اکسید قلع که یکی از رایج ترین اکسیدهای هادی شفاف در زمینه های مختلف صنعتی ، تجاری و خانگی می باشد ارائه

^۲-Smart Windows

و هم چنین تعدادی از روش های لایه نشانی در ساخت این اکسید و برخی از کاربردهای آن به طور نظری بررسی می شود. در فصل های سوم و چهارم ، کارهای تجربی انجام شده در این تحقیق و بررسی نتایج آنها مورد بحث قرار می گیرند.

۱-۲ ویژگی های اپتیکی و الکتریکی اکسیدهای رسانای شفاف (TCO's):

اکسیدهای رسانای شفاف ، همان طور که از نامشان پیدا است ، دارای شفافیت بسیار خوبی در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی می باشند. در طول موج های پایین تر از $4 \mu\text{m}$ ، جذب کننده نور هستند و در ناحیه طول موج های بلندتر از $1/5 \mu\text{m}$ درصد بیشتری از نور را باز تاب می کنند [۷]. در این بخش به بررسی رفتار اکسید های رسانای شفاف ، در طول موج های مختلف طیف الکترومغناطیسی پرداخته می شود:

۱-۲-۱ ویژگی های اپتیکی:

هدایت الکتریکی بالای فلزات و نیم رساناهای آلیپیده شده با ناخالصی و وابستگی آن به فرکانس موجب به وجود آمدن ویژگی های اپتیکی ، به طور خاص در عبور و بازتاب نور، می شود. محاسبه خواص اپتیکی TCO ها ، براساس نظریه کلاسیکی الکترون آزاد لورنتس - درود^۱ انجام شده است. نکته جالب توجه آن است که ، اگر چه نظریه الکترون آزاد درود فقط برای دسته ای از فلزات با تجربه در توافق است و با ظهور مکانیک کوانتومی اشکالات آن مشخص شده است ، در بررسی ویژگی های اپتیکی اکسید های رسانای شفاف ، پاسخ های قابل قبولی را ارائه می دهد. با به کارگیری مدل نوسانگر لورنتس - درود که در آن رفتار کل مجموعه الکترون های آزاد با معادلات مرتبه دوم حرکت نمایش داده می شود می توان معادله حرکت الکترون ها را مشخص کرد. مجموعه الکترون ها به وسیله مؤلفه الکتریکی میدان الکترومغناطیسی به حرکت واداشته می شوند. براین اساس معادله حرکت کلاسیک نوسانگر میرا به صورت زیر نمایش داده می شود:

^۱ -lorentz-drude

$$d^2x/dt^2 + \gamma dx/dt + \omega_0^2 x = eE_m/m \quad (1-1)$$

که در آن ω فرکانس طبیعی نوسانگر میرا ، $\gamma=1/\tau$ ثابت میرایی (τ زمان واهلش حامل ها است) و E_m میدان مولکولی می باشد که توسط رابطه (۱-۲) به میدان الکتریکی وادارنده که در موج الکترومغناطیسی فرودی وجود دارد ، مربوط می شود.

$$E_m = E + v/\epsilon.P \quad (1-2)$$

که در آن P قطبش محیط و v برای دی الکتریکی همسانگرد و غیر قطبی برابر با $1/3$ و برای فلزات برابر با صفر است.

از حل معادله مرتبه دوم حرکت ، دامنه حرکت الکترون ها به صورت زیر به دست می آید.

$$\hat{x} = \frac{eE_m/m}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega} \quad (1-3)$$

رابطه بین جابجایی مکانیکی ذرات باردار میکروسکوپی تشکیل دهنده ماده (x) و پاسخ الکتریکی ماکروسکوپی محیط ، با محاسبه چگالی قطبش (P) به دست می آید.

$$P = Nex \quad (1-4)$$

در اینجا N تعداد بارها در واحد حجم و ex گشتاور دو قطبی ناشی از جابجایی بار e است. اکنون فرض می شود که P متناسب است با میدان اعمال شده E (مربوط به موج). با توجه به روابط زیر و با فرض این که E_m و P به طور سینوسی با زمان تغییر می کنند:

$$\begin{aligned}
 P &= \chi E \\
 \varepsilon &= \varepsilon_0 + \chi \\
 K &= 1 + \frac{\chi}{\varepsilon_0} \quad (1-5)
 \end{aligned}$$

می توان ثابت دی الکتریکی را به صورت زیر به دست آورد

$$\frac{K-1}{1+\nu(K-1)} = \frac{Ne^2 / \varepsilon_0 m}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} \quad (1-6)$$

با توجه به رابطه (۱-۶) مشخص است که ثابت دی الکتریک اولاً مختلط است و ثانیاً به فرکانس بستگی دارد. بنابراین ساده ترین مدلی را که می توانیم بسازیم ایجاب می کند که محیط رسانا و پاشنده باشد. با توجه به این نکته ، می توان $\nu=0$ قرار داد. علاوه بر این با تکیه به نظریه الکترون آزاد درود و با صفر قراردادن ω_0 ، معادلات مربوط به کمیت ثابت دی الکتریک به صورت زیر ساده می شوند.

$$\hat{K} - 1 = -\frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)} \quad (1-7)$$

$$K_r - 1 = n^2 - k^2 = -\frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma^2}$$

$$K_i = \nu nk = \frac{\omega_p^2 \gamma}{\omega(\omega^2 + \gamma^2)}$$

که در آن $\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{\epsilon_0 m}}$ فرکانس پلاسما نامیده می شود. n و k به ترتیب قسمت های حقیقی و موهومی ضریب شکست اکسید رسانای شفاف می باشند. اگرچه در این تقریب ها ساده سازی صورت گرفته است ، اما در ناحیه فرسوخ ، نتایج به رفتار واقعی این مواد ، بسیار نزدیک اند. برای فلزات و نیم رساناها و همچنین برای پلاسماهای گازی در دمای اتاق داریم $\omega_p \ll \omega$. γ با توجه به این نکته ، قسمت های حقیقی و موهومی ثابت دی الکتریک به شکل زیر ساده می شوند:

$$K_r = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (1-8)$$

$$K_i = \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \frac{\pi}{\gamma} \delta(\omega)$$

هرگاه فرکانس موج الکترومغناطیسی ، ω ، کاهش یابد به طوری که به ω_p نزدیک شود ، میزان بازتاب و عبور نور از ماده به میزان قابل توجهی تغییر می کند. با استفاده از معادلات (1-8) روابط مربوط به قسمت های حقیقی و موهومی ضریب شکست عبارتند از:

$$n = \sqrt{\frac{1}{2} (K_r + K_i)^{1/2} + \frac{K_r}{2}} \quad (1-9)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{2} (K_r + K_i)^{1/2} - \frac{K_r}{2}}$$

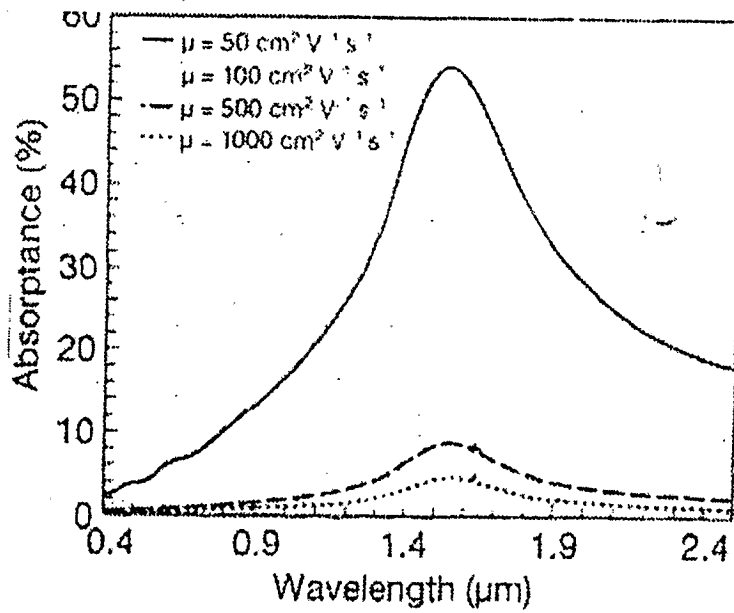
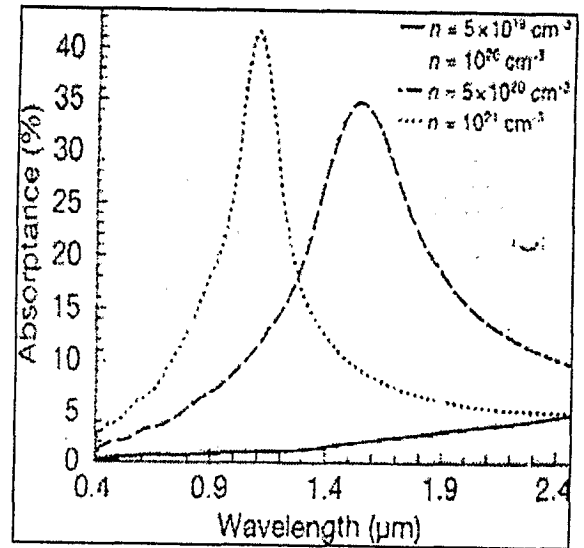
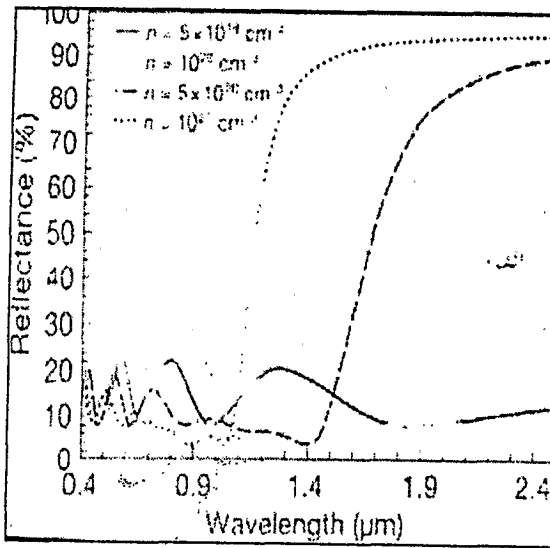
هرگاه ، K حقیقی و منفی باشد ($\omega_p > \omega$) موج الکترومغناطیسی در درون ماده میرا می شود ، به عبارتی هیچ پرتویی در ماده منتشر نمی شود و میزان بازتاب نور فرودی به مقدار قابل توجهی

افزایش می یابد ($n=0$). در فرکانس های بالا ($\omega_p < \omega$) اکسید رسانای شفاف همانند یک دی الکتریک کامل عمل می کند ($k=0$) و کاملاً شفاف است. در $\omega = \omega_p$ ($n=k=0$) این نقطه ، ناحیه گذار بین نواحی شفافیت و بازتابش است و به عنوان "لبه بازتاب پلاسما" شناخته می شود. طیف های بازتاب و جذب یک اکسید رسانای شفاف ، در طول موج های مختلف در شکل های (الف-۱) و (ب-۱) نشان داده شده اند [۷]. البته در مورد نیم رساناهای واقعی ، نسبت γ / ω_p آن قدر کوچک نیست که بتوان از تقریب (۸-۱) در مورد آن ها استفاده کرد. در فرکانس های کوتاه تر از فرکانس پلاسما ، در صد بازتاب نور از سطح ماده بسیار بالا و حتی تا ۹۰٪ هم می رسد. در ناحیه مرئی این مقدار تا حدود ۱۵٪ کاهش یافته است.

میان ضرایب جذب ، بازتاب و عبور رابطه ای وجود دارد که در رابطه (۱۰-۱) آورده شده است.

$$R+A+T=1 \quad (1-10)$$

در این معادله ، A جذب ، R بازتاب و T عبور از سطح لایه نازک را مشخص می کنند. با توجه به شکل (ب-۱) مشاهده می شود که در ناحیه مرئی ، جذب نور بسیار کاهش یافته است و بنابراین با توجه به درصد های کم بازتاب و جذب در این ناحیه و رابطه (۱۰-۱) می توان نتیجه گرفت که اکسیدهای رسانای شفاف دارای عبور بسیار بالای نور در ناحیه مرئی هستند. نتایج به دست آمده از تحقیقات تجربی نیز ، نتایج حاصله از نظریه الکترون آزاد درود را تأیید می کنند [۷].



شکل (۱-۱) الف: منحنی بازتاب اکسید هادی شفاف و وابستگی آن به میزان تمرکز حامل ها

ب: منحنی جذب اپتیکی اکسید هادی شفاف و وابستگی آن به میزان تمرکز حامل ها

ج: منحنی جذب اپتیکی اکسید هادی شفاف و وابستگی آن به قدرت تحرک پذیری حامل ها [Y]