



دانشگاه ارومیه

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش حالت جامد

موضوع:

بررسی خواص اپتیکی لایه های نازک $ZnO:Fe$ و $ZnO:Ni$ با استفاده از بیضی
نگاری و کاربرد آن در حسگر های گازی

نگارش:

مهدی صادقی

اساتید راهنما:

دکتر حسن صدقی - دکتر اصغر اسمعیلی

بهمن ماه ۱۳۹۲

حق چاپ و تکثیر مطالب این پایان نامه برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ:

پدرم بہ استواری کوه و مادرم بہ زلالی چشمہ

ای پدر از تو هر چه می گویم باز ہم کم می آورم

خورشیدی شدی و از روشنائی ات جان گرفتم و در ناامیدی ماندم را

کشیدی و لبریزم کردی از شوق

اکنون حاصل دستان خستات رمز موفقیتم شد

بہ خودم تبریک می گویم کہ تو را دارم و دنیا با ہمہ بزرگیش مثل تو را

ندارد...

و تو ای مادر، ای شوق زیبائی نفس کشیدن

ای روح مهربان حتی ام

تو رنگ شادی ہم شدی و لحظہ ہارا با تمام وجود از من دور کردی و

عمری سختی ہارا بہ جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را بہ من پیشانی.

((ویزکیم و یعلم الکتاب و الحکم))

باشکر و پاس از اساتید راهنمای دانشمند و پرمایه ام

جناب آقای دکتر حسن صدقی و جناب آقای دکتر اصغر اسمعیلی

که از محضر پر فیض تدریستان، بهره ما برده ام.

با ائتان یکران از مساعدت های بی شائبه ی جناب آقای دکتر کوردزی ریاست محترم دانشکده علوم و آقای دکتر صفری مدیر گروه فیزیک.

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته

جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چراغ وجودشان

روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

با پاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام خانم رویا نوری جاریجانی و خانم فیمه علیزاده

و آقای مجتبی جلیلی پل سنگی، که مرا صمیمانه و مشتاقانه یاری داده اند.

و باشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد بر انجام رساندن این مهم

یاری نموده اند.

همدی صادقی

بهمن ماه ۱۳۹۲

فهرست:

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	فصل اول: بیضی نگاری (Ellipsometry)
۲	مقدمه
۲	۱-۱ نظریه بیضی نگاری
۴	۲-۱ تئوری تجزیه و تحلیل
۶	۲-۱-۲ چه چیزی توسط بیضی نگاری تعیین می شود؟
۷	۳-۱ امواج نوری قطبیده - P و S
۱۰	۴-۱ دستگاه های آزمایش بیضی نگاری
۱۲	۵-۱ مدل سازی
۱۲	۵-۱-۲ نمایش فیزیکی
۱۳	۵-۱-۳ مدل های اپتیکی
۱۳	۵-۱-۳-۱ مدل نوسانگر لورنتز
۱۴	۵-۱-۳-۲ مدل نوسانگر لورنتز - درود
۱۴	۵-۱-۳-۳ مدل تاک- لورنتز
۱۵	۵-۱-۳-۴ مدل کوشی
۱۶	۵-۱-۳-۵ مدل لنگ (Leng)

۱۶	..... ۵-۱-۴ الگوریتم مناسب سازی
۱۷	..... فصل دوم: اکسید روی (ZnO)
۱۷	..... مقدمه
۱۹	..... ۲-۱ خواص ZnO
۱۹	..... ۲-۲-۱ خواص ساختاری ZnO
۲۲	..... ۲-۲-۲-۱ پارامتر های شبکه
۲۲	..... ۲-۲-۲-۳ ساختار باند الکترونیکی
۲۲	..... ۲-۲-۳ خواص مکانیکی
۲۳	..... ۲-۲-۴ خواص الکتریکی
۲۴	..... ۲-۲-۵ خصوصیت پرتو افکنی (Luminescent)
۲۴	..... ۲-۲-۶ اثر پیزوالکتریک و سطوح قطبی
۲۷	..... ۲-۲-۷ خواص اپتیکی
۳۰	..... ۲-۲-۷-۲ باند گاف اپتیکی (Optical band gap)
۳۵	..... ۲-۲ آرایش بر روی ZnO (Doping On ZnO)
۳۵	..... ۲-۲-۲ آرایش نوع n - (n-type doping)
۳۵	..... ۲-۲-۳ آرایش نوع p - (p-type doping)
۳۶	..... ۲-۲-۴ آرایش مغناطیسی
۳۶	..... ۲-۳ فرآوری ZnO

۳۷	..... ۲-۳-۲ روش سل - ژل
۳۹	..... ۲-۳-۲-۲ مراحل فرآیند سل ژل
۳۹	..... ۲-۳-۲-۲-۲ تهیه محلول همگن (Homogeneous)
۴۰	..... ۲-۳-۲-۲-۳ تشکیل سل (sol)
۴۲	..... ۲-۳-۲-۲-۴ تشکیل ژل
۴۴	..... ۲-۴ پوشش دهی چرخشی (spin coatings)
۴۶	..... ۲-۵ کاربرد های ZnO
۴۷	..... ۲-۵-۲ حسگر های بر پایه ی نانو ساختار های ZnO
۴۷	..... ۲-۵-۲-۲ حسگر های گازی
۴۸	..... ۲-۵-۲-۳ حسگر های زیستی
۵۰	..... فصل سوم: کار های آزمایشگاهی و نتایج
۵۰	..... مقدمه
۵۱	..... ۳-۱ روش های عملی و ساخت نمونه ها
۵۱	..... ۲-۱ بحث و نتیجه گیری
۱۰۷	..... ۳-۳ نتیجه گیری
۱۰۷	..... ۳-۴ پیشنهادات
۱۰۸	..... منابع
۱۱۱	..... Abstract

چکیده:

دهه های متمادی است که تحقیق و بررسی در خواص و کاربرد های ساختار های اکسید روی ZnO انجام می شود و تحقیق بر روی عوامل موثر بر تغییر خواص آنها برای کاربرد های آن در حسگر ها هنوز هم ادامه دارد. با پیشرفت علم نانو تکنولوژی، رشد نانو ساختار های ZnO با روش های مختلف و بررسی خواص آنها نیز در دستور کار محققان قرار گرفته است. در این پایان نامه، نانو لایه های ZnO جانشانی شده با Fe و Ni با استفاده از روش سل - ژل در ضخامت های مختلف تولید شده و خواص اپتیکی آنها توسط دستگاه بیضی نگاری مورد مطالعه قرار گرفته است تا نحوه تغییرات ضرایب اپتیکی، در اثر جانشانی و تغییر ضخامت لایه ها بدست آید. دلیل انجام این کار این است که هنوز هم اطلاعات کافی در مورد تاثیر آرایش Fe و Ni بر روی ضرایب اپتیکی ZnO فراوری شده با روش سل - ژل و تاثیر ضخامت لایه ها بر روی این ضرایب، انتشار نیافته است. در فصل اول به بررسی اساس کار بیضی نگاری و نحوه تجزیه و تحلیل داده های حاصل از اندازه گیری بیضی نگاری مرور شده است.

در فصل دوم به بررسی ساختار، خواص ZnO و کاربرد های آن در حسگر ها پرداخته شده است.

نهایتاً در فصل سوم نتایج بدست آمده از بیضی نگاری را تجزیه و تحلیل کرده ایم. این نتایج نشانگر این است که ضرایب اپتیکی نمونه ها بشدت وابسته به نوع مواد جانشان شونده بر روی ZnO و ضخامت لایه ها می باشد. امروزه از تغییر این ضرایب در اثر جانشانی برای تغییر ویژگی ها و حساسیت حسگر های گازی استفاده می شود.

واژگان کلیدی: ZnO، سل - ژل، بیضی نگاری، لایه های نازک، خواص اپتیکی، جانشانی

فصل اول

بیضی نگاری (Ellipsometry)

مقدمه :

بیضی نگاری (Ellipsometry) یک تکنیک نوری غیر تخریبی توانمند است که مشخصه های نور انعکاسی (انتقالی) از یک نمونه مورد مطالعه را معین می کند. این روش اندازه گیری دارای کاربرد های مختلفی در بررسی لایه های نازک، خواص اپتیکی سطوح و فصل مشترک مواد می باشد. ضریب شکست، ضریب میرایی، ضریب جذب، توابع دی الکتریک، ضخامت، یکنواختی سطح، مورفولوژی، کیفیت کریستال، ترکیب شیمیایی و هدایت الکتریکی مواد با این روش قابل بررسی می باشند. ویژگی کلیدی بیضی-نگاری این است که تغییر در قطبش نور بر روی نور انعکاس یافته از یک نمونه (یا نور انتقال یافته از یک نمونه) را اندازه گیری می کند. نام "بیضی نگاری" از این حقیقت گرفته می شود که قطبش نور در نور انعکاس یافته اغلب به صورت قطبیده بیضوی می باشد. این تکنیک نوری نزدیک به یک قرن است که شناخته شده و توسعه یافته است و در حوزه های مختلفی از جمله بررسی خواص اپتیکی مواد نیمه رسانا، میکروالکترونیک، پزشکی، داروسازی، بیوتکنولوژی و تحقیقات صنعتی کاربرد یافته است.

۱-۱ نظریه بیضی نگاری:

در یک بیضی نگار، نور قطبیده از یک نمونه در برخورد مایل انعکاس می یابد و دستخوش یک تغییر در قطبش می شود. حالت قطبش نور بازتابیده شده بررسی می شود. از تغییر ایجاد شده در قطبش، اطلاعات مربوط به خواص اپتیکی نمونه و ساختار آن بدست می آید. جمع آوری داده ها و بررسی یک آزمایش بازتاب بیضی نگاری طیفی می تواند در ۵ فرآیند توصیف شود:

- ۱- یک پرتو برخوردی (فرودی) نور با یک حالت قطبش معین تولید می شود.
- ۲- پرتو از یک نمونه بازتابیده می شود، بنابراین منجر به یک تغییر در قطبش می شود.
- ۳- حالت قطبش نور بازتابیده شده بررسی می شود.

۴- نسبت انعکاس دامنه مختلط (ρ) یا زوایای بیضی نگاری (Δ و Ψ) از اطلاعات روی حالت قطبش پرتو انعکاسی و پارامترهای کالیبراسیون بیضی نگاری محاسبه می شوند.

۵- یک مدل فیزیکی واقع بینانه ساخته می شود و پارامترهای مدل به منظور مناسب سازی زوایای بیضی نگاری شبیه سازی شده، با آنهایی که به صورت تجربی بدست آمده اند، تنظیم می شوند.

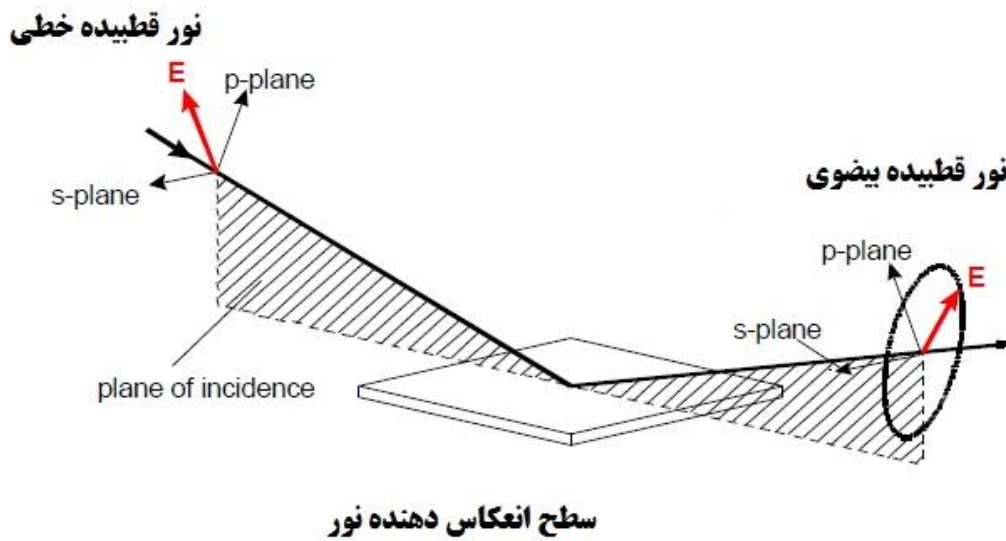
بیضی نگاری برای اندازه گیری دو پارامتر مناسب سازی Ψ و Δ ، با استفاده از فرستادن یک نور کاوشی با یک حالت قطبش معین به داخل یک نمونه و سپس اندازه گیری حالت قطبش پرتو انعکاس یافته استفاده می شود. یک پرتو قطبیده خطی به یک پرتو قطبیده بیضی تبدیل می شود. سیستم های مختصات p - (در صفحه برخوردی) و s - (عمود بر صفحه برخورد) برای توصیف بیضی بودن قطبش استفاده می شوند.

نظریه بیضی نگاری بر پایه معادلات فرسnel (Fresnel reflection equations) یا معادلات انتقال برای نور قطبیده می باشد که بر پایه معادلات ماکسول می باشد [۱].

اندازه گیری بیضی نگاری به طور معمول در اصطلاح سای (Ψ) و دلتا (Δ) بیان می شود:

$$\tan(\psi) e^{i\Delta} = \rho = \frac{r_p}{r_s} \quad (1-1)$$

که در آن I_s و I_p بترتیب ضرایب انعکاس مختلط فرسnel نمونه برای نور قطبیده p - و s - می باشند که در شکل (۱-۱) نشان داده شده اند. این ضرایب شامل اطلاعات بدست آمده مرتبط با خواص اپتیکی مواد و ابعاد فیزیکی می باشند. بیضی نگاری طیفی (SE) این نسبت مختلط را به صورت یک تابعی از طول موج اندازه می گیرد [۲]. بیضی نگاری زاویه متغیر (VASE) اندازه گیری ها را به صورت یک تابع از طول موج و زاویه برخورد انجام می دهد [۳-۵].



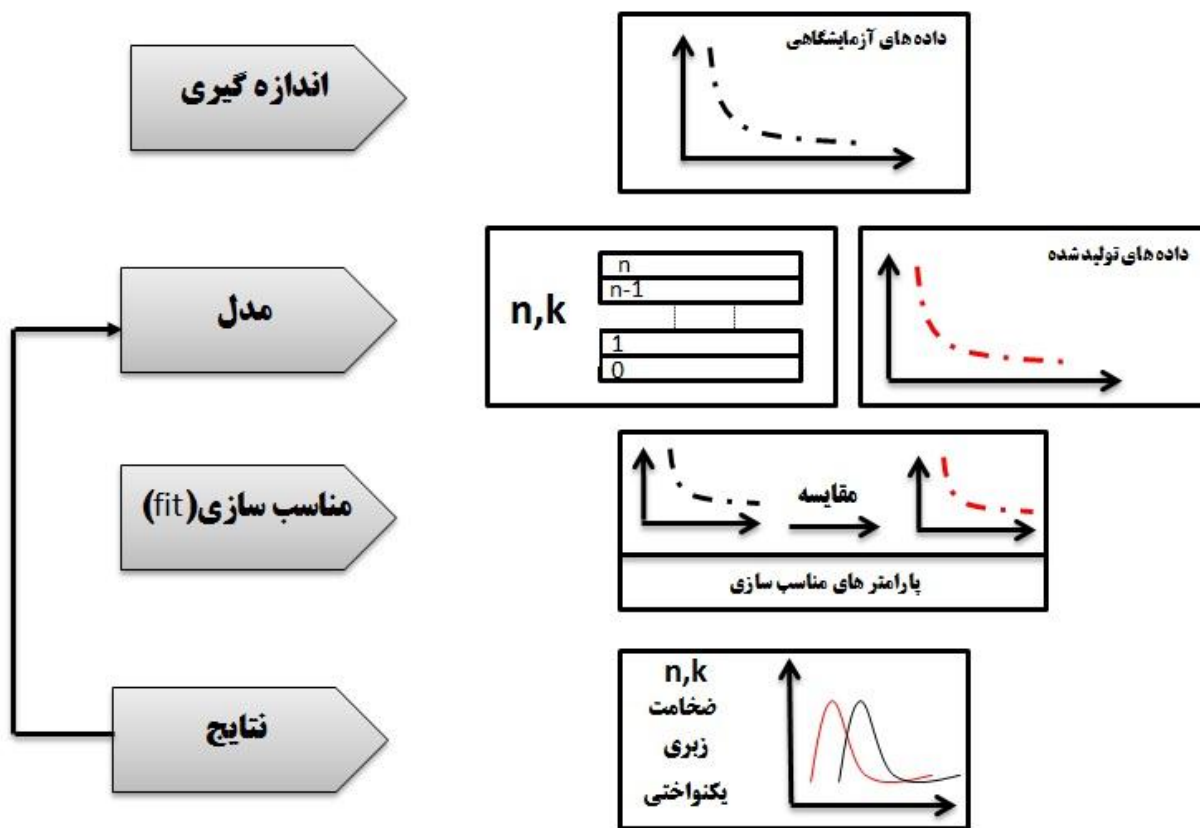
شکل (۱-۱). پیکر بندی اصلی بیضی نگاری انعکاسی

چون بیضی نگارها نسبت های دو مقدار را اندازه می گیرند، دقیق و تجزیه پذیر هستند، حتی در سطوح نوری بسیار پایین. زیرا بیضی سنجها یک اختلاف فاز Δ (همچنین یک نسبت دامنه) اندازه گیری می کنند و به فیلم های فوق ظریف ($1\text{ nm} >$) حساس هستند. بیضی نگاری طیفی همچنین ثابت های اپتیکی را در طول موج دلخواه بدون استفاده از تحلیل کرامرز-کرونیگ اندازه می گیرد که برای توسعه لیتوگرافی در طول موج های کوتاه مهم است. محدوده طیفی یک بیضی-نگار، یکی از ویژگی های مهم است. برای مثال، اندازه گیری اپتیکی در محدوده طیفی شفاف (جایی که جذب نمی کند) دقیقاً می تواند ضخامت فیلم را تعیین نماید. دیگر خصوصیات ریز ساختاری مانند ترکیب، درجه تبلور، غلظت حامل ها نیز یک محدوده طیفی خاص را می طلبد.

زاویه متغیر برخورد اجازه اندازه گیری در چند زاویه را می دهد که می تواند در بهینه سازی حساسیت اندازه گیری برای پارامترهای ناشناخته استفاده شود. هر زاویه جدید، طول-مسیر سیر نور در سراسر ماده را تغییر می دهد. این امر می تواند برای چندلایه ها بسیار مفید باشد، بطوریکه طول مسیرهای مختلف اغلب منجر به اطلاعات جدید درباره ساختار می شوند.

۲-۱ تئوری تجزیه و تحلیل:

بیضی نگاری ضخامت فیلم یا ثابت های اپتیکی را اندازه نمی گیرد، بلکه تغییر در قطبش را اندازه می گیرد که به صورت Ψ و Δ بیان می شود. برای استخراج اطلاعات مفید درباره ساختار یک ماده، انجام یک تحلیل وابسته به مدل اطلاعات بیضی نگاری ضروری است. شکل (۲-۱) فرآیند را تشریح می کند.



شکل (۲-۱). فلوجارت فرآیند تجزیه و تحلیل

ابتدا داده های بدست آمده، محدوده طیفی مورد نظر و زاویه برخورد را پوشش می دهند. بعداً، یک مدل برای ساختار اپتیکی نمونه ساخته می شود. برای مثال، این مدل باید شامل یک زیرلایه و یک فیلم تنها روی زیرلایه یا زیرلایه بعلاوه فیلم با زبری بالای آن، یا ساختاری با پیچیدگی های بیشتر باشد.

معادلات فرسnel، همراه با مدل فرض شده، برای پیش بینی داده های Ψ و Δ انتظاری برای طول موج های اندازه گیری شده و زوایای برخورد بکار می روند. سومین فرآیندی که در شکل (۲-۱) ترسیم شده، Ψ و Δ اندازه گیری شده واقعی را با مقادیر Ψ و Δ پیش بینی شده توسط مدل فرض شده، مقایسه می کند. این مرحله تجزیه و تحلیل می تواند به حدث های اولیه خوب برای ضخامت، ثابت های اپتیکی ماده و دیگر پارامترهایی که نمونه مورد مطالعه را توصیف می کنند، وابسته باشد. در برخی موارد، ثابت های اپتیکی از جدول های منتشر شده قابل دسترس هستند. [۶-۹] در موارد دیگر، تحلیل بیضی نگاری می تواند برای تعیین ثابت های اپتیکی، ضخامت و دیگر پارامترها استفاده شود. [۱۰]

هدف تعیین سریع‌ترین اختلاف یا "بهترین مناسب سازی" مابین مقادیر Ψ و Δ اندازه‌گیری شده و محاسبه شده می‌باشد. (ریشه) میانگین مربع خطا (MSE) این اختلاف را کمی می‌کند. یک MSE کوچک، بهترین مدل مناسب سازی برای داده‌ها را نشان می‌دهد. تابع MSE که معمولاً استفاده می‌شود به صورت زیر بیان می‌شود:

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{2N - M} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\psi_i^{Mod} - \psi_i^{Exp}}{\sigma_{\psi,i}^{Exp}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_i^{Mod} - \Delta_i^{Exp}}{\sigma_{\Delta,i}^{Exp}} \right)^2 \right]} \quad (2-1)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2N - M} \chi^2}$$

همانگونه که از شکل برمی‌آید، تحلیل بیضی‌نگاری از مناسب سازی با استفاده از مدل اپتیکی بدست می‌آید. با این وجود، یک مدل اپتیکی استفاده شده در تحلیل بیضی‌نگاری صرفاً یک ساختار تقریبی از نمونه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. و نتایج بدست آمده ضرورتاً درست نمی‌باشند، حتی زمانی که مناسب سازی به اندازه کافی خوب باشد.

بر این اساس، زمانی که ثابت‌های اپتیکی یا ساختار فیلم یا نمونه به خوبی معلوم نباشد، نتایج بیضی‌نگاری باید بر اساس روش‌های اندازه‌گیری دیگر توجیه شوند. این بزرگترین ضعف تکنیک بیضی‌نگاری است. بار اولی که یک روش تحلیلی ساخته می‌شود، این امر ممکن می‌شود که در یک استفاده از بیضی‌نگاری طیفی، مشخصات با دقت بالا بدست آید [۱۱]. اگر مدل به اندازه کافی ساختار درست را نشان ندهد، پس مابین تئوری و آزمایش تطابق خوبی به طور معمول پیدا نمی‌شود، و مدل نیاز به بازبینی دارد.

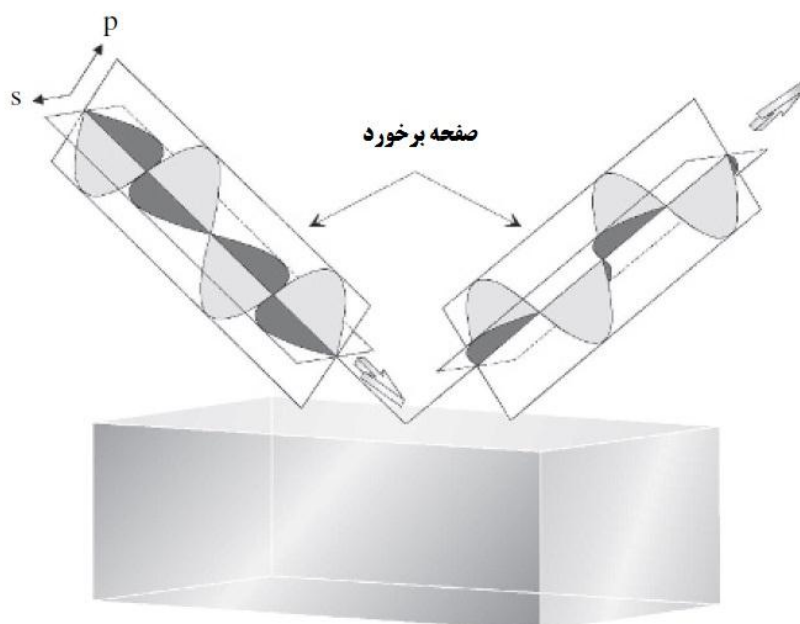
۲-۱-۲ چه چیزی توسط بیضی‌نگاری تعیین می‌شود؟

بیضی‌نگاری عموماً برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم نازک استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری‌های ضخامت مهم است که بیضی‌نگاری یک محدوده طیفی را پوشش دهد که فیلم نیمه شفاف باشد. اگر پرتو نور قبل از بازگشت به سطح، از سطح پایین فیلم در تمام طول موج‌های اندازه‌گیری شده جذب شود، ضخامت نمی‌تواند تعیین شود. این مزیت محدوده طیفی وسیع با هر بیضی‌نگار طیفی می‌باشد.

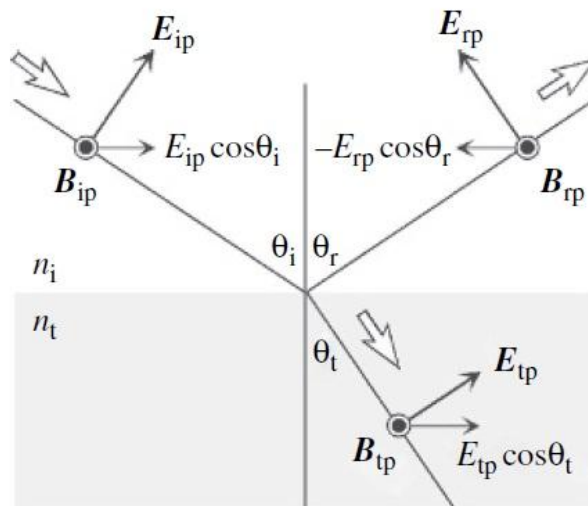
بیشتر خواص ماده یا فیلم بعلاوه ی ضخامت می‌تواند از اندازه‌گیری‌های بیضی‌نگاری بدست آید؛ همچنین ثابت‌های اپتیکی، زبری سطح، درجه تبلور، و ترکیب آلیاژ نیز می‌توانند بدست آیند. بعلاوه، یکنواختی هوایی بیش از یک نمونه، عمق مشخصات خواص، ناهمسانگردی اپتیکی، دما، و هر پارامتر فیزیکی که خواص اپتیکی ماده را تحت تاثیر قرار دهد، می‌تواند بررسی شود [۱۱].

۱-۳ امواج نوری قطبیده P و S:

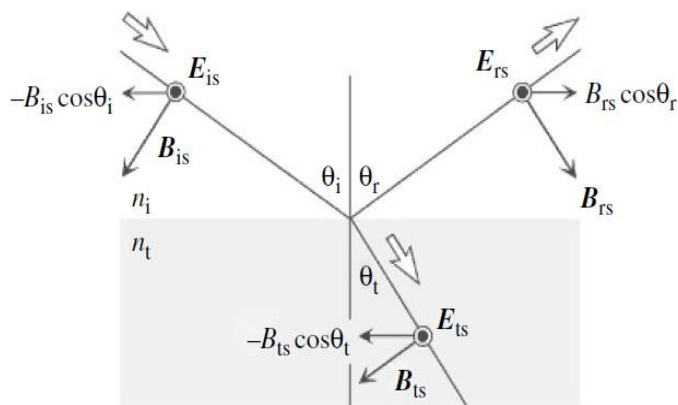
شکل (۳-۱) نور انعکاس یافته از سطح یک نمونه را نشان می دهد. زمانی که نور توسط یک نمونه در یک برخورد مایل انعکاس یا انتقال می یابد، نور به امواج نوری قطبیده P و S وابسته به جهت نوسان میدان الکتریکی خودش طبقه بندی می شود و هر موج نوری رفتاری کاملاً متفاوتی را نشان می دهد. در قطبش P، میدان های الکتریکی امواج نوری برخوردی و انعکاسی در داخل صفحه یکسان نوسان می کنند. این صفحه خاص، صفحه برخورد نامیده می شود. شکل (۱-۴)، انعکاس و انتقال امواج قطبیده S و P را نشان می دهد. در این شکل، انعکاس و انتقال نور توسط بردار های میدان الکتریکی E و القای مغناطیسی B نشان داده شده اند.



شکل (۳-۱). انعکاس امواج قطبیده S و P



الف: قطبش P -



ب: قطبش S -

شکل (۴-۱). میدان الکتریکی E و القای مغناطیسی B برای (الف) قطبش-P (ب) قطبش-S. در این شکل ها، B در (الف) و E در (ب) عمود بر صفحه کاغذ هستند.

شرایط مرزی برای امواج الکترو مغناطیس مستلزم می سازد که اجزاء B و E موازی با یک سطح، در سطح پیوسته باشند. به عبارت دیگر، اجزاء موازی در قسمت برخورد باید برابر با آن قسمت انتقال باشند. در مورد نور قطبیده P، شرایط مرزی برای E و B توسط معادلات زیر داده می شوند:

$$E_{ip} \cos \theta_i - E_{rp} \cos \theta_r = E_{tp} \cos \theta_t \quad (۳-۱)$$

$$B_{ip} + B_{rp} = B_{tp} \quad (۴-۱)$$

که زیرنوشت های tp و rp بیانگر برخورد، انعکاس، و انتقال نور قطبیده P می باشند. در یک محیط با یک ضریب شکست n :

$$\begin{cases} E = sB \left(s = \frac{c}{n} \right) \\ E = cB \end{cases} \quad (5-1)$$

اگر ما از رابطه $E = sB$ در فرمول (۱-۴) استفاده کنیم، فرمول به صورت زیر در می آید:

$$n_i (E_{ip} + E_{rp}) = n_t E_{tp} \quad (6-1)$$

با حذف E_{rp} از معادلات (۱-۳) و (۱-۴) و استفاده از $\theta_i = \theta_r$ ، می توانیم ضریب انعکاس مختلط برای نور قطبیده P را بدست آوریم که به صورت زیر تعریف می شود:

$$r_p \equiv \frac{E_{rp}}{E_{ip}} = \frac{n_t \cos \theta_i - n_i \cos \theta_t}{n_t \cos \theta_i + n_i \cos \theta_t} \quad (7-1)$$

اگر E_{rp} را از معادلات (۱-۳) و (۱-۶) حذف کنیم، می توانیم ضریب دامنه انتقال را برای نور قطبیده P بدست آوریم:

$$t_p \equiv \frac{E_{tp}}{E_{ip}} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_t \cos \theta_i + n_i \cos \theta_t} \quad (8-1)$$

از طرف دیگر، شرایط مرزی برای نور قطبیده S به صورت زیر داده می شود:

$$E_{is} + E_{rs} = E_{ts} \quad (9-1)$$

$$-B_{is} \cos \theta_i + B_{rs} \cos \theta_r = -B_{ts} \cos \theta_t \quad (10-1)$$

که زیر نوشت های ts و rs ، is و ts بترتیب نشانگر برخورد، انعکاس و انتقال نور قطبیده S می باشند. به طور مشابه، ضریب دامنه انعکاس (انتقال) برای نور قطبیده S به صورت زیر بیان می شود:

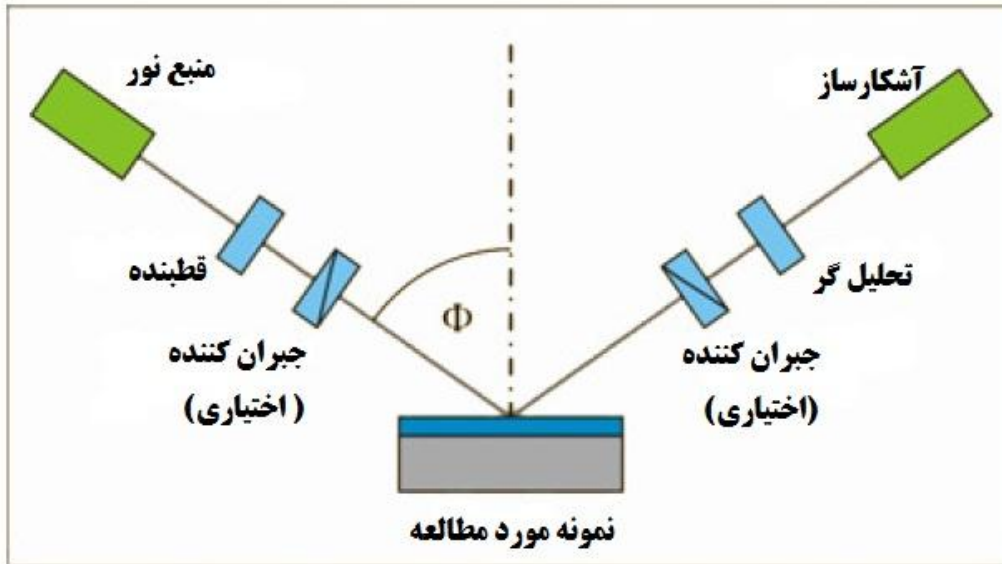
$$r_s \equiv \frac{E_{rs}}{E_{is}} = \frac{n_i \cos \theta_i - n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (11-1)$$

$$t_s \equiv \frac{E_{ts}}{E_{is}} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (12-1)$$

روابط بالا برای r_s ، r_p ، t_s و t_p به عنوان روابط فرسnel (Fresnel Equations) شناخته می شوند [۱۱].

۴-۱ دستگاه های آزمایش بیضی نگاری:

بیضی نگاری یک تکنولوژی همه کاره است که بیش از یک قرن است که مورد استفاده می باشد. چندین ساختار مختلف بیضی-نگاری توسعه یافته است. یک نمونه از یک ترکیب بندی عمومی بیضی نگاری در شکل (۱-۵) نشان داده شده است.



شکل (۱-۵). ترکیب بندی ساختار عمومی یک دستگاه بیضی نگار

یک پرتو به خوبی هم راستا شده از یک منبع نور مناسب برای ایجاد نوری با قطبش کنترل شده ی معین از یک قطبنده عبور می کند. قطبش نور بعد از برهمکنش با سیستم اپتیکی مورد مطالعه اصلاح می شود. حالت قطبش نور در خروجی نمونه توسط قطبنده دوم (تحلیل گر) تحلیل می شود، که برای انتخاب قطبش در تابش الکترومغناطیس عمل می کند و به آشکارساز برای تحلیل شدن به داخل آن هدایت می کند. یک القاگر فاز (به عنوان مثال، یک صفحه یک چهارم موج و یا یک جبران کننده) ممکن است قبل یا بعد از برهمکنش با نمونه در ساختار دستگاه مشاهده شود.

برای سه ربع اول قرن گذشته، بیضی نگاری در یک تک طول موج (نور نوعاً توسط لیزر HeNe در $\lambda=6328\text{\AA}$) تولید می شد، و با یک روش تهی (Null) انجام می شد. در یک بیضی نگار تهی، پرتو نور از یک قطبنده خطی و احتمالاً از یک جبران کننده قبل از برخورد با نمونه تحت مطالعه، عبور می کند. مفهوم ساده است، انعکاس از نمونه باعث بیضوی شدن در قطبش نور می شود. جبران کننده می تواند تا زمانی که بیضوی شدن حذف شود، دوران کند، همانگونه که توسط قطبنده نهایی معین می شود. زوایای سمتی قطبنده، صفحه ربع-موج، و تحلیل گر سپس برای محاسبه اثر نمونه بر روی پرتو نور کاوشگر استفاده می شود.

در عمل یک پیکر بندی متفاوت استفاده می شود؛ صفحه ربع-موج Q، که قبل از نمونه قرار گرفته، ثابت نگه داشته می شود. قطبنده P و تحلیل گر A مکرراً دوران می کنند تا یک سیگنال صفر (تهی) در آشکارساز بدست آید. بیضی نگاری تهی، می تواند

داده های آزمایشی بسیار دقیقی را بدهد. بعلت طبیعت عملگر تهی، برای آزمایش ها عموماً زمان زیادی لازم است. در حقیقت امکان دسترسی با آزمایش های زمان واقعی (Real time measurements) کاهش می یابد.

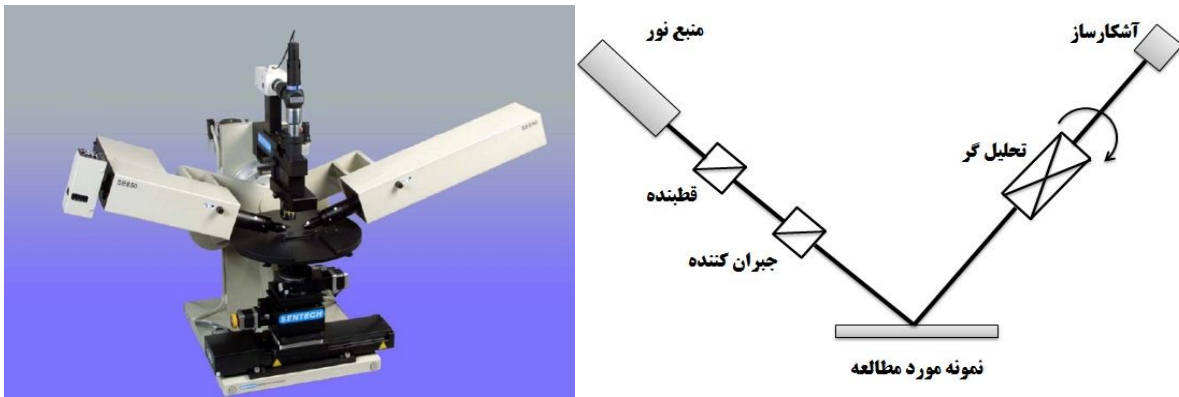
بیضی نگاری سپس به سوی الحاق به عناصر چرخنده مداوم تکامل یافت. در حالی که برای دستگاه های تهی، قطبده ها پی در پی می چرخند تا اینکه تهی بدست آید. این نوع دستگاه ها عموماً سریع تر از عناصر چرخان دستگاه تهی است.

از لحاظ تاریخی، چینش های دو عنصر چرخان به کار می رود؛ قطبده چرخان (RPE) و تحلیل گر چرخان (RAE). در هر دو مورد، نتایج پیام های آشکار ساز، در یک شدت متغیر سینوسی است که می تواند برای تعیین پارامتر های بیضی نگاری Δ و Ψ تحلیل فوریه شوند [۱۲].

در ترکیب RPE (تحلیل گر ثابت) حالت قطبش پرتو برخوردی در آشکارساز تغییری در طی آزمایش نمی یابد. بنابراین این ترکیب بندی مزیت بی تاثیر ماندن توسط حساسیت قطبش آشکارساز و ضرر حساس بودن به هر قطبش باقی مانده پرتو نور برخوردی در قطبده چرخان را داراست. ترکیب بندی RAE (قطبده ثابت) مزیت بی تاثیر ماندن از حالت قطبش پرتو برخوردی بر روی قطبده ثابت اول را دارد، اما ممکن است از خطاهایی به علت حساسیت قطبش آشکارساز رنج ببرد. یکی دیگر از اشکالات این دو نوع دستگاه این است که کمیتی که اندازه گرفته می شود در حقیقت بیشتر $\cos\Delta$ است تا Δ [۱۳]، و بنابراین واضح نیست که Δ مابین 0° و 180° باشد یا مابین 180° و 360° .

با استفاده از یک عنصر جبران کننده چرخان، و ثابت نگه داشتن قطبده و تحلیل گر، می توان بر بیشتر ضررهای ترکیب بندی RPE و RAE فائق آمد. این ترکیب بندی جبران کننده چرخان (RCE) دیگر مشکلی از لحاظ قطبش باقی مانده در پرتو نور ورودی و از حساسیت قطبش آشکارساز، با ممکن شدن استفاده از فیبرهای نوری، آینه ها و لنز ها و غیره برای مراحل ورودی/خروجی، نخواهد داشت. RCE همچنین اجازه اندازه گیری دقیق پارامتر های Δ و Ψ بیضی نگاری را در محدوده آزمایش را دارد ($\Delta=0^\circ-360^\circ$ و $\Psi=0^\circ-90^\circ$) [۱۳].

دستگاه بیضی نگاری طیفی استفاده شده در آزمایشهای این پایان نامه دستگاه بیضی نگاری (Sentech SE 800 DUV) نام دارد که شکل کلی و ساختار شماتیکی آن در شکل (۱-۶) نشان داده شده است. نمونه های مورد مطالعه توسط این دستگاه اندازه گیری و با استفاده از نرم افزار (SPECTRARAY II) برآزش شده و مورد مطالعه قرار گرفتند و خواص اپتیکی آنها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.



شکل (۶-۱). دستگاه بیضی نگاری Sentech SE 800 DUV

۵-۱-۱ مدل سازی:

مراحل عمومی برای مدل سازی داده های Ψ و Δ بدست آمده، ابتدا اندازه گیری داده های آزمایشگاهی، سپس توسعه مدل فیزیکی و مناسب سازی داده های آزمایشگاهی با مدل می باشند. نتیجه مناسب سازی بهبود در مدل خواهد بود، و تکرار های بعدی می تواند برای ادامه افزایش دقت مناسب سازی انجام شود. ساخت یک مدل فیزیکی کاملاً دقیق که سیستم فیزیکی مدل سازی شده را توصیف کند، معادل دستیابی به نتایج دقیق و مربوط است.

۵-۱-۲ نمایش فیزیکی:

چند راه برای نمایش یک لایه فیزیکی نمونه وجود دارد. ما به یک لایه به عنوان یک منطقه از ماده مراجعه خواهیم کرد که متمایز از ماده مجاور است و به عنوان یک منطقه مجزای خاص از نمونه فیزیکی مدل سازی می شود. ابتدا یک بستر (زیر لایه) تعریف خواهد شد (مگر اینکه اندازه گیری در حالت انتقال انجام شود)، و به صورت یک محیط نیمه-نامحدود در نظر گرفته می شود. این نشان می دهد که هیچ سطحی زیر بستر وجود ندارد که انعکاسی ایجاد کند.

لایه ها می توانند وجود داشته باشند به گونه ای که به صورت مناطقی در فضایی از ضخامت خاص t و با ثابت های اپتیکی که به صورت تابعی از انرژی تغییر می کنند، تعریف خواهند شد. علاوه بر این، مناطق بین لایه ها می توانند وجود داشته باشند که به سادگی از یک نوع یا دیگر نوع مواد نیستند، بلکه بیشتر به صورت یک درصدی از یک نوع و یک درصدی از نوع دیگر می-باشند. این نوع لایه متفاوت از یک عنصر است، در آن ماده A و B به طور یکنواخت در سراسر ضخامت پخش نشده اند. این

نوع لایه توسط یک تقریب محیط مؤثر یا EMA نشان داده می شود. به طور کلی، لایه های EMA توسط یک ضخامت خاص، یک عامل شکل، و نسبت ماده A به B تعریف خواهند شد.

۳-۱-۵ مدل های اپتیکی:

برای اندازه گیری ضخامت و ثابت های اپتیکی نمونه، نیاز به ساخت یک مدل اپتیکی مناسب است که بتوان با استفاده از مناسب سازی نتایج اندازه گیری شده با آن، به نتایج مطلوب و مورد نیاز رسید. تئوری چند مدل اپتیکی در ذیل بحث می شود:

۱-۳-۱-۵ مدل نوسانگر لورنتز:

شاید بهترین مکان برای شروع بررسی پارامترهای پتانسیل، شروع با مدل نوسانگر لورنتز (LO) است. برای هدف بدست آوردن اطلاعات پراکندگی از مواد نیمه رسانا یا جامد های بلورین، مدل LO مورد بسیار ساده جرم و برهمکنش نوع فزنی می باشد. با توجه به این که اتم ها در جامد های بلورین یا چند بلوری با هم پیوند می خورند، و نیروهای آنها در مقابل منحنی جابجایی در دامنه های ارتعاش کوچک، خطی هستند، این یک بحث مناسب است. این کاراکتر خطی یا هوکی (Hookean)، حال وابسته به باند است و یک فرکانس تشدید با یک دامنه خاص و یک گستره خاص از انرژی با نزدیک شدن به این فرکانس و بعضی ثابت-های فزنی خواهد داشت [۱۴].

بسیاری از مواد نیمه رسانا با این مدل به خاطر ساختار شبکه منظم و شاخصه های یونی خود، مناسب سازی می شوند [۱۵]. مدل LO مناسب است زیرا در این مورد، محدوده فرکانس های زاویه ای مطالعه شده بزرگتر از فوتون های اپتیکی عرضی و کوچکتر از فوتون های اپتیکی طولی می باشند. رابطه (۱-۱۳) بستگی تابع دی الکتریک به هر نوسانگر هماهنگ را توصیف می کند (هرچند ممکن است آنها بیشتر از یکی باشند).

$$\varepsilon_2(E) = 2nk = \frac{A_L E_0 C E}{(E^2 - E_0^2)^2 + C^2 E^2} \quad (1-13)$$

در رابطه فوق E_0 قله انرژی انتقالی و C عبارت انبساط و A_L پارامتر مناسب سازی است. رابطه نشان داده شده برای یک نوسانگر است، و اگر نوسانگر های بیشتری برای توصیف انتقال های اپتیکی در ماده نیاز شد، زیرنویس هایی برای مجزا کردن پارامترها از هم اضافه می شود. این نوسانگر ها از نظر فیزیکی می توانند به صورت شدت های مختلفی که به علت ترکیب هایی مختلف جرم- فزنی یا طول باند در جامد می باشند، در نظر گرفته شوند.