

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشکده علوم پایه

## طراحی و ساخت فیلترهای تراگیسل القایی برای طول

موج ۱۰۶۴،۵۳۲،۹۴۰ نانومتر بوسیله مواد مختلف

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

امیر پیرامی امامزاده

اساتید راهنما:

دکتر محمد هادی ملکی

(عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای)

دکتر الهه نحوی فرد

(عضو هیئت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین)

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا بذرافکن

اسفند ۱۳۹۰

## چکیده فارسی

فیلتر تراگسیل القایی یک نوع از فیلترهای باندپس می باشد که تنها اجازه عبور طول موج خاصی را می دهد. این فیلتر می تواند برای مسدود کردن یکی از طول موج ها و عبور طول موج مطلوب دیگری به کار برده شود، مانند لیزر هلیوم نئون. طراحی و ساخت این فیلترها موضوعی است که در این پایان نامه در نظر گرفته شده است.

روند بیشتر طراحی ها استفاده از دو ماده با ضرایب شکست بالا و پایین همراه یک یا دو لایه فلزی می باشد. این لایه فلز منجر به متمرکز شدن منحنی عبوری می شود.

تمامی لایه نشانی ها توسط روش انباشت فیزیکی بخار (PVD) انجام شدند. در مرحله ساخت، مواد با نرخ نانومتر بر ثانیه انباشت شدند. فیلترهای تهیه شده از نظر طیف عبوری مورد مقایسه قرار گرفتند. برای تغییر نیم پهنای باند (FWHM)، به کاربردن مواد و زیرلایه های مختلف مفید بود. نتیجه مهم دیگر، کاهش دادن اختلاف ضرایب شکست برای ساخت فیلترهایی با طول موج عبوری بالا بود. این می تواند به جای افزایش ضخامت لایه ها استفاده شود.

**کلمات کلیدی:** فیلتر تراگسیل القایی، باندپس، لیزر هلیوم نئون، نیم پهنای باند، زیرلایه.

## فهرست عناوین

أ	چکیده فارسی
۲	فصل اول؛ انواع فیلترها
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ لایه های نازک
۳	۳-۱ توصیف مختصر از فیلتر
۴	۴-۱ معرفی برخی از فیلترهای مهم و کاربرد آنها
۵	۵-۱ تعریف فیلتر تراگسیل القایی
۷	فصل دوم؛ مفاهیم مقادیر اپتیکی در مورد فیلترها
۷	۱-۲ مقدمه
۷	۲-۲ انعکاس فیلتر
۱۰	۳-۲ انعکاس از یک مجموع لایه های نازک
۱۴	۴-۲ محاسبه انعکاس و عبوری
۱۷	۵-۲ میزان پتانسیل عبوری
۲۰	۶-۲ ضخامت اپتیکی یک چهارم و نصف موج
۲۱	۷-۲ مکان هندسی ادمیتانس (هدایت ظاهری)
۲۸	۸-۲ سهم مقدار جذبی A در چند لایه ای
۲۹	۹-۲ توصیف لایه نشانی اپتیکی و ارائه نتایج محاسبه.
۳۳	فصل سوم؛ لایه نشانی
۳۳	۱-۳ مقدمه
۳۳	۲-۳ دسته بندی مواد شیمیایی در لایه نشانی و کاربرد لایه های آنها در صنایع
۳۵	۳-۳ اهمیت و کاربرد لایه های نازک:
۳۶	۴-۳ تئوری لایه نشانی اپتیکی

- ۴۱-----۵-۳ تمیزکاری برای لایه نشانی
- ۴۱-----۱-۵-۳ تمیز کردن سطح در تکنولوژی فیلم نازک
- ۴۳-----۲-۵-۳ تمیز کاری سطوح اکسیدی
- ۵۱-----۶-۳ انباشت مواد
- ۵۱-----۱-۶-۳ مقدمه
- ۵۲-----۲-۶-۳ تبخیر حرارتی
- ۵۳-----۳-۶-۳ فشار بخار عناصر
- ۵۵-----۴-۶-۳ تبخیر مواد مرکب
- ۵۷-----۷-۳ یکنواختی لایه ها
- ۶۲-----۸-۳ میزان خلوص لایه ها
- ۶۲-----۹-۳ ابزارهای لازم برای تبخیر و روش های تبخیر
- ۶۳-----۱۰-۳ خلاء در لایه نشانی
- ۶۴-----۱۱-۳ لزوم وجود خلاء در یک سیستم لایه نشانی
- ۶۵-----۱۲-۳ زیرلایه ایده آل
- ۶۵-----۱-۱۲-۳ ویژگی های یک زیرلایه ایده آل
- ۶۶-----۱۳-۳ پارامترهای مهم در رشد لایه نازک
- ۶۷-----۱۴-۳ پارامترهای مؤثر در کیفیت لایه های نازک
- ۶۷-----۱۵-۳ پارامترهای مؤثر در ساخت کیفیت لایه روش تبخیر حرارتی
- ۶۸-----۱۶-۳ محاسبه ضخامت لایه رشد یافته برحسب فاصله از چشمه
- ۷۱-----۱۷-۳ انواع منابع تبخیر حرارتی
- ۷۱-----۱-۱۷-۳ تبخیر حرارتی با منابع مقاومتی
- ۷۲-----۲-۱۷-۳ تبخیر حرارتی به روش القاء R.F.
- ۷۴-----۱-۲-۱۷-۳ معایب روش القاء R.F.
- ۷۴-----۳-۱۷-۳ تبخیر حرارتی بوسیله باریکه الکترونی (E.B.E)
- ۷۵-----۱-۳-۱۷-۳ مزایای استفاده از روش E.B.E
- ۷۶-----۲-۳-۱۷-۳ معایب استفاده از روش E.B.E

۷۸	فصل چهارم؛ طراحی و ساخت فیلترها
۷۸	۱-۴ طراحی فیلتر
۷۹	۲-۴ فیلتر تراگسیل القایی
۷۹	۱-۲-۴ طراحی دی الکتریک.
۸۱	۲-۲-۴ طراحی متال-دی الکتریک.
۸۳	۳-۴ استفاده از مواد مختلف برای فیلترها
۸۶	۴-۴ افزودن به نیم پهنای طراحی ها
۸۸	۵-۴ تغییر زیرلایه
۸۹	۶-۴ طراحی و ساخت فیلتر تراگسیل القایی ۵۳۲ نانومتر
۹۲	۷-۴ ساخت فیلتر تراگسیل القایی ۹۴۰ نانومتر
۹۲	۱-۷-۴ فیلتر تراگسیل القایی با مواد $MgF_2$ ، $TiO_2$ و $Ag$
۹۵	۲-۷-۴ ساخت فیلتر تراگسیل القایی ۹۴۰ نانومتر با مواد $ZrO_2$ ، $SiO_2$ و $Ag$
۹۷	۸-۴ طراحی فیلتر تراگسیل القایی برای طول موج ۱۰۶۴ نانومتر
۹۷	۱-۸-۴ فیلتر تراگسیل القایی با مواد $ZrO_2$ و $SiO_2$
۹۹	۲-۸-۴ فیلتر تراگسیل القایی با مواد $HfO_2$ و $MgF_2$
۱۰۱	۹-۴ روند کار دستگاه لایه نشانی برای ساخت فیلترهای مورد نظر
۱۰۱	۱-۹-۴ ایجاد خلاء و پمپ ها
۱۰۳	۲-۹-۴ جزئیات انباشت به صورت عملی
۱۰۶	۱۰-۴ نتیجه گیری
۱۰۷	۱۱-۴ پیشنهادات
۱۰۸	فهرست مراجع

## فهرست جداول

جدول (۱-۲): عبوری، انعکاس و جذب فیلتر ۱۷ تایی..... ۳۱

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): تابش موج تخت روی یک لایه نازک ..... ۸
- شکل (۲-۲): علامت گذاری برای دولایه روی یک سطح ..... ۱۱
- شکل (۳-۲): بردارهای الکتریکی و مغناطیسی ..... ۱۳
- شکل (۴-۲): اسمبلی از لایه های نازک ..... ۱۷
- شکل (۵-۲): مکان هندسی یک لایه دی الکتریک منفرد ..... ۲۵
- شکل (۶-۲): ادمیتانس لایه نشانی ..... ۲۶
- شکل (۷-۲): مکان هندسی ادمیتانس متناظر با کرومیوم ..... ۲۷
- شکل (۱-۳): ساختار پایه ای سیستم فیلم نازک ..... ۳۷
- شکل (۲-۳): مسیر موج تخت فرودی بر تک لایه ..... ۳۷
- شکل (۳-۳): مکانیسم تمیزکاری پلاسما ..... ۴۶
- شکل (۴-۳): دسته بندی روشهای انباشت ..... ۵۲
- شکل (۵-۳): توزیع بخار ماده ..... ۵۸
- شکل (۶-۳): الگوی توزیع ابر بخار ..... ۵۹
- شکل (۷-۳): تغییرات ضخامت لایه برای چشمه های نقطه ای و مسطح ..... ۶۰
- شکل (۸-۳): چشمه ها و زیرلایه ها بر روی کره ای به شعاع  $r_0$  ..... ۶۱
- شکل (۹-۳): نمونه هایی از چشمه تبخیر مقاومت حرارتی ..... ۶۳
- شکل (۱۰-۳): منحنی های تجربی انتقال اتم های ماده ..... ۶۸
- شکل (۱۱-۳): تبخیر از یک چشمه نقطه ای شکل ..... ۶۹
- شکل (۱۲-۳): تبخیر از یک چشمه نقطه ای ..... ۷۰
- شکل (۱۳-۳): بوتۀ تبخیر R.F. ..... ۷۳

- شکل (۳-۱۴): تفنگ الکترونی ..... ۷۵
- شکل (۴-۱): چهار لایه تشکیل دهنده فیلتر دی الکتریک..... ۷۹
- شکل (۴-۲): نمودار میزان درصد عبوری برای فیلتر ضد انعکاس..... ۸۰
- شکل (۴-۳): نمودار درصد انعکاس برای فیلتر ضد انعکاس..... ۸۰
- شکل (۴-۴): فرمول بندی متال-دی الکتریک..... ۸۱
- شکل (۴-۵): چیدمان لایه ها برای طراحی فیلتر تراگسیل القایی ..... ۸۲
- شکل (۴-۶): فیلتر ۱۳ لایه ای متشکل از  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MgF}_2$  و  $\text{Ag}$  ..... ۸۳
- شکل (۴-۷): نمودار عبوری برای فیلتر ۱۳ لایه ای..... ۸۴
- شکل (۴-۸): فیلتر ۲۱ لایه ای  $\text{SiO}_2$  و  $\text{ZrO}_2$  ..... ۸۵
- شکل (۴-۹): میزان عبوری از فیلتر ۲۱ لایه ای..... ۸۶
- شکل (۴-۱۰): فیلتر بهینه شده ..... ۸۷
- شکل (۴-۱۱): میزان عبوری برای فیلتر شکل (۴-۱۰) ..... ۸۷
- شکل (۴-۱۲): استفاده از  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  به جای زیرلایه شیشه ..... ۸۸
- شکل (۴-۱۳): فیلتر برای  $1064$  نانومتر با زیرلایه شیشه با میزان عبوری ..... ۸۹
- شکل (۴-۱۴): منحنی های میزان عبوری برای ۳ فیلتر  $532$  نانومتر ..... ۹۱
- شکل (۴-۱۵): طیف سنجی از فیلتر شماره ۳ ..... ۹۲
- شکل (۴-۱۶): دستگاه لایه نشانی بالزر  $760$  ..... ۹۳
- شکل (۴-۱۷): مواد به کار برده شده برای فیلتر  $940$  اول ..... ۹۴
- شکل (۴-۱۸): میزان عبوری برای فیلتر  $940$  اول (نتیجه تئوری) ..... ۹۵
- شکل (۴-۱۹): نمودار میزان درصد عبوری فیلتر  $940$  اولی به صورت عملی ..... ۹۵
- شکل (۴-۲۰): اصطلاح FWHM پهنای باند ..... ۹۶
- شکل (۴-۲۱): ترتیب به کار برده شده برای فیلتر  $940$  دوم ..... ۹۷



- شکل (۴-۲۲): نمودار میزان درصد عبوری برای فیلتر شکل (۴-۲۱)..... ۹۷
- شکل (۴-۲۳): فیلتر تراگسیل القایی برای فیلتر ۱۰۶۴ نانومتر همراه با میزان عبوری ..... ۹۸
- شکل (۴-۲۴): فرم پیک ۱۰۶۴ نانومتر بهینه شده ..... ۹۹
- شکل (۴-۲۵): استفاده از  $\text{HfO}_2$  و  $\text{MgF}_2$  برای ساختن فیلتر ۱۰۶۴ نانومتر دیگر ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۲۶): نمودار میزان عبوری برای فیلتر ۱۰۶۴ نانومتر از طراحی شکل (۴-۲۵) ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۲۷): تصویر شماتیک از پمپ چرخشی ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۲۸): دیاگرام پمپ پخشی ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۲۹): پمپ های دستگاه بالزر ۷۶۰ برای ایجاد خلاء ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۳۰): شماتیک تبخیرگر پرتو الکترونی با انحراف پرتوی  $270^\circ$  ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۳۱): بوتله های چرخان دستگاه لایه نشانی به روش PVD ..... ۱۰۵

## فصل اول

### انواع فیلترها

# فصل اول؛ انواع فیلترها

## ۱-۱ مقدمه

در سالهای اخیر با گسترش کاربردهای قطعات اپتیکی در پروژه های تحقیقاتی، ابزارهای صنعتی و لزوم داشتن دقت بالا در پژوهشهای علمی، موجب شده است تا این ابزار با تنوع زیاد و ویژگی های خاص طراحی و ساخته شوند.

فیلترهایی تراگیل القایی فیلترهایی هستند که در ساخت آنها باید با مفاهیم اپتیکی زیادی از جمله انعکاس، عبوری، ضد انعکاس، آستانه تخریب، ضریب نابودی، ضریب انعکاس و غیره آشنا باشیم و همچنین روشهای ساخت و لایه نشانی مواد مانند انباشت فیزیکی بخار، انباشت شیمیایی بخار را نیز تجربه و تسلط کافی داشته باشیم. این بدلیل خاصیت و ویژگی های مواد مختلف می باشد که بسته به پاسخی که به روش به کار گرفته می دهد باید استفاده شود. به عنوان مثال برای لایه نشانی و ساخت فیلتری با مواد دی اکسید سیلیکن و پنتا اکسید تانتالوم از روش کندوپاش و برای فیلتری با ترکیبی از مواد دی اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ ) و دی اکسید تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ ) از روش تبخیر حرارتی استفاده می شود که تفنگ الکترونی در این روش نقشی اساسی بازی می کند.

مواد و عناصر مختلفی را می توان برای ساخت فیلترها به کار برد. اکسیدها و فلزات مختلف در ترکیبی از هم یا به تنهایی قادر به تبدیل شدن به فیلترهایی با قابلیت خاص می باشند.

## ۱-۲ لایه های نازک

ساخت لایه های نازک از اجسام غیر جامد و مطالعه روی آن اولین بار در سال ۱۸۳۸ و با استفاده از روش الکترولیز بدست آمده است. مقالات چاپ شده نشان داده اند که برای اولین بار در سال ۱۸۵۲ توسط گراف و بانسون<sup>۱</sup> با استفاده از روش های واکنش شیمیایی و پراکنش توسط تخلیه الکتریکی، لایه های نازک فلز تهیه شد.

مایکل فارادی در سال ۱۸۵۸ توسط تبخیر حرارتی و با استفاده از انفجاری که در اثر گذراندن جریان الکتریسیته زیاد از یک سیم فلزی ایجاد کرده بود توانست لایه هایی از فلزات مختلف را بوجود آورد.

---

<sup>1</sup> Graf and Bunson.

برخی خواص نوری و الکتریکی لایه های نازک از فلزات و کنجکاوای علمی در مورد رفتار جامدات ۲ بعدی، باعث شد که مطالعه درباره دانش و تکنولوژی لایه های نازک رونق فراوانی یابد. دانش و تکنولوژی ساخت لایه های نازک کمتر از یک میکرون در دهه ۱۹۶۰ پیشرفت عظیمی پیدا کرد و این پیشرفت به علت نیاز صنعت میکروالکترونیک به لایه های نازک قابل اطمینان برای ساخت قطعات حساس الکترونیکی بوده است. دستاورد این پیشرفت سبب رشد و اطمینان علمی در بکارگرفتن لایه های نازک در زمینه تحقیقات بنیادی و کاربردی گردید. استفاده از لایه های نازک باعث بوجود آمدن زمینه های گوناگون تحقیقات در زمینه های مختلف علمی گردید که اصول آنها بر پدیده هایی نظیر ضخامت، شکل هندسی و ساختار لایه های نازک استوار گردیده است.

### ۳-۱ توصیف مختصر از فیلتر

فیلترهای اپتیکی قطعاتی هستند که نور طول موجهای مختلف را عبور می دهند، معمولاً به صورت شیشه مسطح یا قطعات پلاستیکی به روش اپتیکی فراهم می شوند که هم در جرم ثابت می ماند و هم انباشت هایی تداخلی دارند.

فیلترها اغلب در دو یا سه دسته بندی جا می گیرند. ساده ترین آنها، نوع فیزیکی، فیلتر جذبی است. فیلترهای تداخلی یا دیکرویک<sup>۱</sup> (دورنگ نما) به صورت کاملی مرکب می باشند.

فیلترهای اپتیکی نور را به صورت انتخابی در محدوده های طول موج عبور می دهند، رنگهایی بوجود می آیند به طوریکه باقی مانده بلوکه می شود. آنها می توانند طول موج های بلند (بلند گذر)<sup>۲</sup>، طول موجهای کوتاه (کوتاه گذر)<sup>۳</sup> یا یک نواری از طول موج ها را عبور دهند. (به این نوار که با مسدود کردن طول موج های بلندتر و کوتاهتر بوجود می آید نوار عبوری<sup>۴</sup> گفته می شود). نوار عبوری ممکن است نازک یا پهن باشد. فیلترهایی وجود دارند که مشخصات عبوری پیچیده ای دارند، برای مثال با دو پیک و نه با یک نوار منفرد؛ کاربرد این گونه فیلترها بیشتر به صورت تجاری و به کار گرفته شده در فوتوگرافی می باشد.

فیلترهای اپتیکی در بسیاری از ابزارهایی که با نور سر و کار دارند و یا در بوجود آوردن ناحیه ای از رنگ ها، کاربرد دارند. در فیلترهای اپتیکی نجومی برای نور محدود شده به کار گرفته می شود تا اینکه نوار طیفی مورد نظر را عبور دهد، به طور مثال برای مطالعه پرتو مادون قرمز بدون نور مرئی که فیلم حساس یا حسگرها.

<sup>1</sup> dichroic

<sup>2</sup> Longpass.

<sup>3</sup> Shortpass.

<sup>4</sup> Bandpass.

فیلترهای فوتوگرافی، یک مورد خاص از فیلترهای اپتیکی هستند و بیشتر مواد در آن قابل استفاده هستند. فیلترهای فوتوگرافی نیاز به دقت کنترل شده در ویژگی های اپتیکی ندارد و به طور دقیق منحنی های عبوری فیلترها برای کار علمی طراحی می شوند. همانند برخی از فیلترهای حساس.

## ۴-۱ معرفی برخی از فیلترهای مهم و کاربرد آنها

فیلتر جذبی: که معمولاً از شیشه هایی درست می شوند که اجزا آلی یا غیر آلی به آنها اضافه می شود. این اجزاء می توانند برخی از طول موج های نور را جذب کنند در حالیکه هرچه غیر از آنها عبور دهد.

فیلتر مادون قرمز: اصطلاحی است که می تواند دارای معنی دوپهلوی باشد، چراکه این می تواند فیلتری باشد هم برای عبور مادون قرمز (همراه مسدود کردن دیگر طول موج ها) و هم به معنی مسدود کردن تنها یک طول موج مادون قرمز.

فیلتر بلند گذر: یک فلتر به این نام، فیلتر تداخلی است که طول موج های کوتاهتر را ضعیف و نزدیک به خاموشی می کند و طول موج های بلندتر را روی ناحیه طیف هدف (مافوق بنفش، مرئی، یا مادون قرمز) عبور می دهد. آینه های چند رنگی (رنگ های مرکب) و میکروسکوپی فلورسانس و فیلتر الکترونیکی از موارد استفاده این فیلترها می باشند.

فیلتر نوار عبوری: تنها یک نوار مشخص از طول موج را عبور می دهد و دیگر طول موج ها را مسدود می کند. پهنای این چنین فیلتری در همین محدوده از طول موج بیان می شود می تواند چیزی باشد خیلی کمتر از آنگستروم تا چند هزار نانومتر. به طوریکه این فیلتر می تواند توسط ترکیب فیلتر عبوری بلند و عبوری کوتاه ساخته شود.

مثال های فیلترهای نوار عبوری، تداخل سنج فابری پرو<sup>۱</sup> هستند. فیلترهای نوار عبوری اغلب در علم نجوم استفاده می شود زمانیکه شخصی بخواهد یک روند مشخص با خطوط طیفی خاص را مشاهده کند. تلسکوپ باز دوچ<sup>۲</sup> [۱] و تلسکوپ خورشیدی سوئدی [۲] مثال هایی از فیلترهای فابری پروی استفاده شده، هستند.

بنا به کاربرد وسیع فیلترها در تحقیقات و علوم مختلف مخصوصاً علوم نور و امواج، فیلترهایی با نام های دیگر نیز، تعریف و استفاده می شوند، مانند فیلتر مافوق بنفش، فیلتر خط اتمی، فیلتر گرم و فیلتر اپتیکی فلزی. هر کدام نیز ویژگی ها و مشخصات خاص خود را دارد.

<sup>1</sup> Fabry-Perot

<sup>2</sup> Dutch Open Telescope

در این میان فیلتر گسیل القایی که در بین اینها، نامی جدیدتر و کاربرد آن نیز در موارد خاص است. از جمله موارد کاربرد فیلترهای گسیل القایی در پزشکی برای عبور طول موج های خاص با آستانه تخریب بالا، در صنایع نظامی و یا کاربرد آنها در ساخت انواع آینه ها و تلسکوپ را می توان نام برد. همچنین از بین فیلترهای نام برده در بالا، فیلتر نوار عبوری از لحاظ مشخصات به فیلتر ما شباهت بیشتر دارد.

## ۵-۱ تعریف فیلتر تراگسیل القایی

در حالت کلی فیلتر تراگسیل القایی (همانطور که ذکر شد) یک نوع فیلتر باندپس (نوار عبوری) می باشد یعنی نواری از طول موج ها را عبور می دهد و دیگر طول موج ها منعکس می شود ولی این تعریف کلی می باشد در هر صورت ممکن است فیلتر مورد نظر جذبی نیز داشته باشد و یا طول موج هایی را در دیگر نقاط عبور دهد. به هر حال در کنار این مؤلفه ها برای تعریف، توصیفی دیگر برجسته تر دیده می شود: فیلتر تراگسیل القایی فیلتر باندپسی است که در طول موج خاصی برای اجازه عبور پرتو پیک می خورد و همچنین در حالت های دیگر از این نوع فیلتر ممکن است در چند نقطه برای عبوری پیک وجود داشته ولی عبور برای طیف پهنی از طول موج ها، ما را از تعریف فیلتر تراگسیل القایی دور می کند [۳] و [۴].

## **فصل دوم**

**مفاهیم مقادیر اپتیکی**

**در مورد فیلترها**

## فصل دوم؛ مفاهیم مقادیر اپتیکی در مورد فیلترها

### ۱-۲ مقدمه

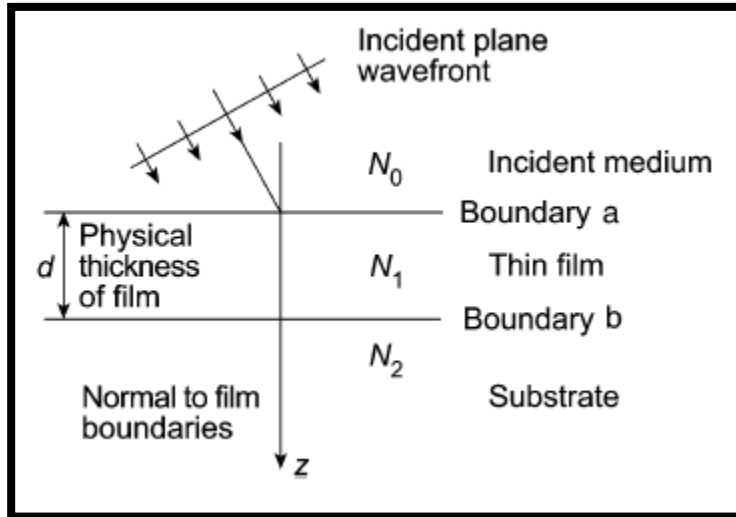
در بررسی فیلترهایی که از لایه های بسیار نازک تشکیل شده اند می توان از رابطه های حاکم بر لایه های نازک بهره برد، زیرا می توان خصوصیات اپتیکی را به صورت ماتریسی محاسبه و سپس به همدیگر ضرب کرد. برای بررسی خصوصیات اپتیکی فیلترها لازم است تا اطلاعات دقیقی در مورد خصوصیات ماده های مختلف از جمله ضریب شکست در دست داشته باشیم و همچنین لازم است رابطه هایی را که میزان انعکاس، عبوری و جذب را محاسبه می کند را بدست آوریم. در ابتدا میزان انعکاس را بررسی می کنیم که چه عواملی می تواند به آن اثر گذار باشد.

### ۲-۲ انعکاس فیلتر

وجود دو فصل مشترک یعنی اینکه یک تعداد پرتوها، توسط انعکاس های پی در پی تولید می شود و ویژگی های لایه توسط جمع این پرتوها تعیین می شود. گفته می شود زمانی که لایه نازک است تأثیرات تداخل می تواند در نور انعکاسی و عبوری آشکار شود، به طوریکه اختلاف راه میان پرتوها، کمتر از طول همدوس نور است و زمانی که اختلاف راه بیشتر از طول همدوس است، لایه ضخیم است. لایه می تواند همزمان به طور کامل، بسته به شرایط شدت نور، به صورت نازک یا ضخیم ظاهر شود. مورد ضخیم می تواند کاملاً برابر با مورد نازک جمع شده برای محدوده طول موج گسترده یا محدوده کاملاً بزرگ از زوایای تابشی، نشان داده شود. معمولاً، لایه هایی روی زیرلایه ها پیدا می کنیم که به صورت لایه نازک رفتار کنند، حال آنکه با حفظ زیرلایه ها، فیلم ها می توانند ضخیم در نظر گرفته شوند. لایه ها و زیرلایه ها در این پایان نامه به سمت انتها در نظر گرفته می شوند. اینجا روی این مورد تمرکز شده است.

یک ترتیب دهی در شکل (۱-۱) مشخص کننده است. در این قسمت برای رابطه ها، موج های در مسیر تابش فرودی را توسط علامت (+) و موج هایی که در جهت مخالف هستند توسط علامت (-) نمایش داده می شوند.





شکل (۱-۲): تابش موج تخت روی یک لایه نازک.

تداخل میان لایه و زیرلایه، که توسط علامت  $b$  نمایش داده شده، می تواند دقیقاً در همان روش به صورت مرز ساده بحث شود. مؤلفه های مماسی میدان را در نظر گرفته می شود. موج با علامت منفی در زیرلایه وجود ندارد و موجها در این لایه می توانند درون یک موج با علامت مثبت و یک موج با علامت منفی، جمع شوند. در این فصل مشترک، مؤلفه های مماسی  $E$  و  $H$ :

$$E_b = E_{1b}^+ + E_{1b}^-$$

$$H_b = \eta_1 E_{1b}^+ - \eta_1 E_{1b}^-$$

هستند، که از عامل های فازی معمول چشم پوشی شده و منتجه نهایی نشان داده شده اند. بدین ترتیب که:

$$E_{1b}^+ = \frac{1}{2}(H_b/\eta_1 + E_b) \quad (۱-۲)$$

$$E_{1b}^- = \frac{1}{2}(-H_b/\eta_1 + E_b) \quad (۲-۲)$$

$$H_{1b}^+ = \eta_1 E_{1b}^+ = \frac{1}{2}(H_b + \eta_1 E_b) \quad (۳-۲)$$

$$H_{1b}^- = -\eta_1 E_{1b}^- = \frac{1}{2}(H_b - \eta_1 E_b) . \quad (۴-۲)$$

میدانها در فصل مشترک دیگر  $a$  در همان لحظه و در نقطه  $a$ ، با مختصات  $X$  و  $Y$  مساوی می تواند توسط تغییر دادن عاملهای فازی امواج مشخص شود. این کار با یک شیفت در مختصه  $Z$  از  $0$  تا  $-d$  انجام می شود. عامل فازی موج در سمت مثبت، با ضریب  $\exp(i\delta)$  اضافه می شود که

$$\delta = 2\pi N_1 d \cos \vartheta_1 / \lambda$$

و  $\vartheta_1$  ممکن است مختلط باشد، زمانیکه عامل فاز سمت منفی، توسط ضرب  $\exp(i\delta)$  اضافه می شود، این دلالت ضمنی دارد که این، یک روبه معتبر است زمانیکه لایه، نازک است. مقادیر  $H$  و  $E$  اینبار در فصل مشترک هستند، با استفاده از معادلات (۱-۲) تا (۴-۲):

$$E_{1a}^+ = E_{1b}^+ e^{i\delta} = \frac{1}{2} (H_b / \eta_1 + E_b) e^{i\delta}$$

$$E_{1a}^- = E_{1b}^- e^{-i\delta} = \frac{1}{2} (-H_b / \eta_1 + E_b) e^{-i\delta}$$

$$H_{1a}^+ = H_{1b}^+ e^{i\delta} = \frac{1}{2} (H_b + \eta_1 E_b) e^{i\delta}$$

$$H_{1a}^- = H_{1b}^- e^{-i\delta} = \frac{1}{2} (H_b - \eta_1 E_b) e^{-i\delta}$$

به طوریکه:

$$\begin{aligned} E_a &= E_{1a}^+ + E_{1a}^- \\ &= E_b \left( \frac{e^{i\delta} + e^{-i\delta}}{2} \right) + H_b \left( \frac{e^{i\delta} - e^{-i\delta}}{2\eta_1} \right) \\ &= E_b \cos \delta + H_b \frac{i \sin \delta}{\eta_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_a &= H_{1a}^+ + H_{1a}^- \\ &= E_b \eta_1 \left( \frac{e^{i\delta} - e^{-i\delta}}{2} \right) + H_b \left( \frac{e^{i\delta} + e^{-i\delta}}{2} \right) \\ &= E_b i \eta_1 \sin \delta + H_b \cos \delta . \end{aligned}$$

بدین ترتیب این می تواند به روش ماتریسی نوشته شود:

$$\begin{bmatrix} E_a \\ H_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & (i \sin \delta) / \eta_1 \\ i \eta_1 \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_b \\ H_b \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

از آنجایی که مؤلفه های مماسی  $E$  و  $H$  یک مرز سراسر پیوسته هستند، و از آنجاکه تنها یک موج مثبت در زیرلایه هستند، این رابطه مؤلفه مماسی  $E$  و  $H$  در فصل مشترک تابشی را به مؤلفه های

مماسی E و H که از میان فصل مشترک نهایی عبور می کند، متصل می کند. ماتریس  $2 \times 2$  روی طرف سمت راست معادله (۵-۲) به عنوان ماتریس مشخصه لایه نازک مشهور است.

ادمیتانس اپتیکی ورودی مجموع، بدین صورت توصیف می شود:

$$Y = H_a/E_a \quad (۶-۲)$$

به طوریکه در این حالت، مسئله پیدا کردن انعکاس یک فصل مشترک ساده میان یک محیط تابشی، صرفاً از ادمیتانس  $\eta_0$  و یک محیط ادمیتانس Y بدست می آید و اینگونه است:

$$\rho = \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y}$$

$$R = \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right) \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right)^* \quad (۷-۲)$$

می توان معادله (۵-۲) را توسط تقسیم  $E_b$ ، نرمالیزه کرد؛

$$\begin{bmatrix} E_a/E_b \\ H_a/E_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & (i\sin\delta)/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} \quad (۸-۲)$$

و B و C، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی نرمالیزه شده در فصل مشترک، مقادیری هستند که از ویژگی های سیستم لایه نازک، استخراج می شوند. آشکارا، از (۶-۲) و (۸-۲)، این چنین می توان نوشت:

$$Y = \frac{H_a}{E_a} = \frac{C}{B} = \frac{\eta_2 \cos\delta + i\eta_1 \sin\delta}{\cos\delta + i(\eta_2/\eta_1) \sin\delta} \quad (۹-۲)$$

و از (۹-۲) و (۷-۲) انعکاس قابل محاسبه است.

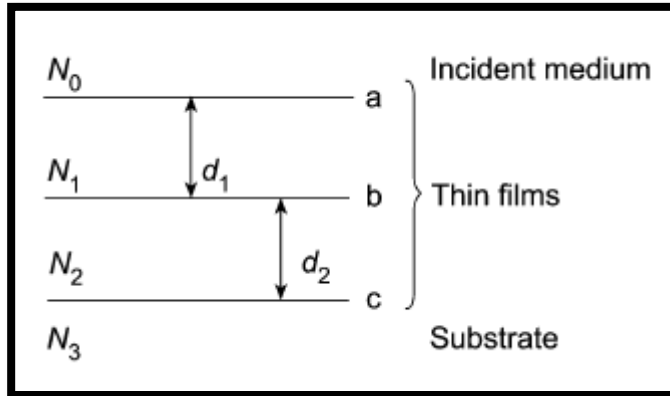
$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix}$$

به ماتریس مشخصه مجموع، معروف است [۵ و ۶].

### ۳-۲ انعکاس از یک مجموع لایه های نازک

اگر لایه دیگری به لایه منفرد اضافه شود به طوریکه فصل مشترک نهایی توسط C نشان داده شده بشود، همانطوریکه در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، ماتریس مشخصه نزدیکترین لایه به زیرلایه اینگونه است:

$$\begin{bmatrix} \cos\delta_2 & (i\sin\delta_2)/\eta_2 \\ i\eta_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \quad (10-2)$$



شکل (۲-۲): علامت گذاری برای دولایه روی یک سطح.

و توسط معادله (۵-۲) می توان نوشت:

$$\begin{bmatrix} E_b \\ H_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_2 & (i\sin\delta_2)/\eta_2 \\ i\eta_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_c \\ H_c \end{bmatrix}.$$

می توان معادله (۵-۲) را دوباره برای گرفتن پارامترها در فصل مشترک a اینگونه بدست آورد:

$$\begin{bmatrix} E_a \\ H_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_1 & (i\sin\delta_1)/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta_1 & \cos\delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_2 & (i\sin\delta_2)/\eta_2 \\ i\eta_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_c \\ H_c \end{bmatrix}$$

و ماتریس مشخصه مجموع بنابه تشابه معادله (۸-۲):

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_1 & (i\sin\delta_1)/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta_1 & \cos\delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_2 & (i\sin\delta_2)/\eta_2 \\ i\eta_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_3 \end{bmatrix}$$

است. Y به صورت قبلی C/B است و دامنه ضریب انعکاس و خود انعکاسی از (۷-۲) اینگونه می باشند:

$$\rho = \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y}$$

$$R = \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right) \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right)^* \quad (11-2)$$

این نتیجه نهایی به مورد عمومی مجموع تعداد Q لایه بسط داده می شود، به طوریکه ماتریس مشخصه، حاصلضرب تک تک ماتریسها است و در ترتیب صحیح قرار گرفته شده است،