دانشکده مهندسي برق وکامپيوتر

گروه مهندسي برق و الکترونيک

پايان نامه

براي دريافت درجه کارشناسي ارشد در رشته مهندسي برق - الکترونيک

عنوان:

فيلتر باند باريک قابل تنظيم مادون قرمز با استفاده از تداخل سنج فابری-پرو

استاد راهنما

دکتر هادي ولادي

استاد مشاور

دکتر منوچهر بهرامي

پژوهشگر

محمد سبب کار

۱۳۸۸/۸/۱۰

مدارک

شهريور ۱۳۸۸

۱۲۲۰۴۲

بسمه تعالی

فهرست :

فهرست	۲
۱- فصل اول : مقدمات و بررسی های اولیه	٤
۱-۱ چکیده مطلب	٥
۱-۲ مقدمه	٦
۱-۳ نگرشی بر کلیات	۷
۱-٤ بررسی روش های ارائه شده	۱۰
۲- فصل دوم : یادآوری مفاهیم لازم و ضروری	۱٦
۲-۱ یادآوری از تداخل سنج فابری – پرو	۱۷
۲-۲ روابط استوکس و قانون انعکاس و عبور	۱۸
۲-۳ محاسبه پرتوهای انعکاس و عبور یک لایه	۱۹
۲-٤ اصول کار یک FPI	۲۳
۲-٥ چند شاخص مهم فیلتر	۳۰
۳- فصل سوم : طرح پیشنهادی	۳۳
۳-۱ ارائه کلیات طرح پیشنهادی	۳٤
۳-۱-۱ فابری پرو دو لایه	۳٤
۳-۱-۲ فابری پرو چهار لایه	۳٥
۳-۱-۳ فابری پرو سه لایه	۳۷
۳-۲ نحوه کارکرد	۳۹
۳-۳ بیان تئوری و محاسبات ریاضی	٤۰
۳-۳-۱ روش ماتریسی (حالت کلی)	٤۰
۳-۳-۲ روش استفاده ترکیبی از معادله FPI	٤٤
۳-٤ ساختار بدنه سیستم	٤۹
۳-٥ شبیه سازی های سیستم	٥۱
٤- فصل چهارم : نتایج و ارزیابی	۸۹
٤-۱ ارزیابی عمومی	۹۰
٤-۱-۱ پهنای باند	۹۰
٤-۱-۲ ضریب کیفیت	۹۰

٤-١-٣ FWHM ٩١

٤-١-٤ قابلیت تنظیم ٩١

٤-١-٥ سلکتیو بودن ٩١

٤-١-٦ تخت نبودن کامل خروجی و مشکل افت در آن ٩١

٤-١-٧ FSR ٩٢

٤-٢ ارزیابی اختصاصی و ذاتی سیستم ٩٣

٤-٢-١ تغییرات مقدار k ٩٣

٤-٢-٢ تغییرات مقدار d ٩٤

٤-٢-٣ تاثیر مقدار r ٩٤

٤-٣ نتیجه گیری نهایی ٩٥

٥- فصل پنجم : ضمائم ٩٧

٥-١ ضمیمه الف منابع و مآخذ ٩٨

٥-٢ ضمیمه ب سورس برنامه های MATLAB ٩٩

٥-٣ سخن آخر ١١٠

٥-٤ چکیده انگلیسی (summary) ١١١

۱- فصل اول : مقدمات و بررسی های اولیه

مباحث این فصل :

۱-۱ چکیده مطلب

۱-۲ مقدمه

۱-۳ نگرشی بر کلیات

۱-۴ بررسی روشهای ارائه شده

۱-۱ چکیده مطلب :

نام خانوادگی دانشجو : سبب کاز

نام : محمد

عنوان پایان نامه :

فیلتر باند باریک مادون قرمز با استفاده از تداخل سنج فابری-پرو

استاد راهنما : دکتر هادی ولادی

استاد مشاور : دکتر منوچهر بهرامی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : برق الکترونیک گرایش: مدارات مجتمع نوری

دانشگاه : تبریز دانشکده : مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ التحصیلی : شهریور ۱۳۸۸

تعداد صفحه : ۱۱۱

کلید واژه ها :

FPI تداخل سنج فابری-پرو ، IR مادون قرمز ، لایه متحرک (پیزو الکتریک) ، لایه متحرک (سیستم تعلیق)

چکیده :

در این پایان نامه فیلترهای بسیار باریک باند مادون قرمز قابل تنظیم مورد توجه بوده و تلاش شده است در عین سادگی و قابل تحقق بودن آن قابلیت تنظیم ساده و دقیق داشته باشد . برای این منظور از تداخل سنج فاپری پرو استفاده میشود . قبلا پژوهش هایی روی فیلترها با تداخل سنج فابری پرو دو لایه و یا فابری پرو چهار لایه انجام گرفته و نتایجی به دست آمده است. که همان طوری که بررسی خواهد شد در ضمن موفقیتهای به دست آمده دارای محدودیتهایی هم بوده است . در اینجا ضمن بررسی مشکلات آنها و ارائه طریقی نو ، سعی خواهیم کرد تا حد ممکن از مشکلات مذکور کاسته شود . برای بررسی قابلیتهای تنظیم و تطابق آنها با تئوری تداخل سنج فابری پرو شبیه سازیهای لازم انجام خواهد شد . ضمناً در فصل آخر شاخصهای فیلتر برای چند مورد آورده شده است .

در پایان کار نتایج حاصل از محاسبات و شبیه سازی ها و مقایسه آن با فیلترهای مشابه ضمن در نظر داشتن شاخصهای عمومی فیلترها آورده شده است .

۱-۲ مقدمه :

احساس نیاز به فیلترهای با عرض باند هر چه باریکتر در عرصه نور از آغاز مورد تقاضا و نیاز دست اندرکاران این رشته بوده است . دانشمندان و دانش پژوهان متعددی عمر خود را صرف دست یابی به این مهم نموده و روشهای مختلفی ارائه داده اند . هر چند تعداد زیادی از آنها موفق بوده اند ولی نیاز بشر هر روز فراتر از آنچه که هست را طلب میکند . این نیازها خود تکاپوهای جدیدی را موجب گردیده و در نهایت پیشرفتهای دیگری را سبب می شود . بی شک میتوان جهش ها و صعودهای بشر در عرصه های مختلف صنعتی و ارتباطی اخیر جهان را علت اصلی رویکرد به مسیری که دسترسی به سرعتهای بالا را مقدور میسازد بدانیم .از این دیدگاه طبیعی به نظر میرسد که با توجه به اینکه دانش بشری به خاطر محدودیت های ساختارهای فیزیکی و روش ها و الگوهای مورد استفاده ، امکان دسترسی به سرعتی بیشتر از حدی معین را نمی دهد ، هر روز به دنبال بیش ازآنچه که هست بوده باشیم و این نیاز را سیری ناپذیر بدانیم . در عرصه ارتباطات علاوه برروند طبیعی تقاضای سرعت بالاتر از سوی بشر ، به لحاظ تکثر جمعیت تقریبا هر از چند گاهی استفاده از سیستم های قبلی را غیرممکن میسازد و نیاز دسترسی به سیستم های با سرعت بالاتر را مضاعف میکند و از این رهگذر سرویسها و خدمات دیگر تولید میشود و همچنان نیاز به سرعت بالاتر فزونی می یابد . چون خدمات تولیدی جدید در پیمایش گام های اولیه بوده و هر روز شکل جدیدی به خود می گیرد و نیاز بیشتری طلب می کند .

عامل دیگر مورد اقتصادی است . امکان تحقق سرعت بالا در حد کلان موجب کاهش هزینه ها شده و در اصل در پس هر روز امکان دست یابی به سطوح بالای سرعت سرویسها و خدمات جدید ارتباطی و کاهش هزینه های آن را شاهد هستیم . در عرصه صنعت رسیدن به سرعتهای بالاتر لزوم دسترسی به ابزارهای تست و اندازه گیری بسیار دقیق را (که فیلترهای باند باریک جزء ارکان اصلی در آنها محسوب می گردد) ضروری می نماید . در این راستا امکان حس گازها و کمک به آنالیز و تجزیه تحلیل رفتار آنها ، امکان اندازه گیری طولهای بسیار کوچک با کاربردهای بسیار متنوع و پیچیده ، امکان اندازه گیری فشار و دما با شرایط بسیار متنوع در عرصه های صنعتی، امکان استفاده ترکیبی از حس و اندازه گیری های دقیق پارامترهای مختلفی از گازها که خود منجر به مقوله های متنوع دیگر میگردد و نمی توان حد و مرزی برآن تصور نمود و بالاخره هر روز شاهد استفاده و به کار گرفته شدن آنها در مواردی ابداعی و نو هستیم .

ملاحظه می شود در این میان فیلترها یکی از ابزارهای خاص این مقوله به شمار رفته و از اهمیت به سزایی بر خوردار هستند . مخصوصا امکان دسترسی به فیلترهای با پهنای باند بسیار باریک آن را فوق العاده کاربردی تر می کند . تلاشهای بسیار زیادی در این زمینه با الگوهای

مختلف صورت گرفته و نتایج مهمی نیز اخذ گردیده است . در عرصه مخابرات این گونه فیلترها با اهمیت تر تلقی می گردد و نیاز روز افزون بدان را شاهد هستیم .

۱-۳ نگرشی بر کلیات

می دانیم که تداخل سنج فابری پرو از دو آینه موازی که روبروی هم قرارگرفته باشند تشکیل می گردد پرتو نوری وارد شده به وسط محفظه(cavity) دو آینه تداخل سنج FPI ، بین صفحات آینه های آن انعکاس می یابد . متناسب با زاویه پرتو ورودی به داخل محفظه آینه ها در هر بازتابش در طول آینه ها اندکی انتقال به سمت لبه های آینه ها صورت می گیرد تا از محدوده آینه ها خارج شود . لذا ملاحظه می گردد که زاویه ورودی پرتو در ایفای نقش آن مهم است . بدین دلیل تا حد ممکن زاویه پرتو را عمود بر آینه ها انتخاب و آنرا بنام فاکتور اول می نامیم . بعلاوه یک پرتو برای رسیدن از آینه ای به آینه دیگر طول فاصله آینه ها را با قطری که متناسب با زاویه ورودی آن است می پیماید و در نقطه برگشت فقط یک طول موج از پرتو نور ورودی کامل شده است و بقیه طول موجها در کسری از فاصله طول موج خود برگشت می یابند و بعلت یکسان بودن قطرهای بازتابها همین قضیه مجددا تکرار می شود . در ادامه کار طول موجهای دیگر در رفت و برگشتها تضعیف شده و بتدریج از بین می روند ولی طول موجی که با پرید کامل به نقطه برگشت رسیده باشد تقریبا بدون تضعیف بازتاب می کند این طول موج بعلت هم فاز بودن انعکاسها به حالت بازسازنده (Resonative) می رسد و از بین نمی رود . بدین ترتیب این نتیجه را همچنین می توان داشت که طول فاصله بین آینه ها از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و در اصل انتخاب اصلی طول موج مورد نظر را تعیین می کند و فاکتور اصلی یا دوم را رقم می زند . با تمام وجود انتخاب آینه ها با درصد انعکاس بالا بخش بسیار کوچکی از پرتو به بیرون راه می یابد و بعلت عدم تضعیف طول موج مربوطه در داخل FPI در طی انعکاسهای مکرر ، تزریق این بخش کوچک به بیرون افزایش یافته تا جائیکه دامنه و شدت آن به نزدیکیهای پرتو ورودی (البته فقط در آن طول موج) میرسد به عبارتی طول موج گذر فیلتر را تشکیل می دهد . دامنه و شدت پرتو عبور یافته از فیلتر به میزان درصد انعکاس آینه ها مربوط می گردد . همینطور عدم تضعیف طول موج بازسازنده در داخل FPI به عدم جذب لایه ها مربوط می شود و لذا باید کاملا بدون جذب و با درصد انعکاس بالا طراحی گردند ، پس این مورد نیز می تواند به عنوان یک فاکتور مورد توجه قرار گیرد . یکی دیگر از عوامل بسیار مهم جنس محیط داخل محفظه FPI (وسط بین دو آینه) است . این مورد هم می تواند در سرعت موج و مقدار فاز آن دخالت داشته باشد و هم زاویه شکست داخلی را که قبلا نسبت به آن صحبت کردیم (فاکتور اول) تغییر دهد و همینطور می تواند در عوامل دیگر شرایط محیطی مانند مقدار جذب و در نتیجه مقدار تلف انرژی موثر

واقع شود و بالاخره افزایش حرارت محیط را سبب شده و به سهم خود در افت مقدار انرژی پرتو نوری نقش داشته باشد ولی ما در اینجا محیط را هوا در نظر می گیریم که گازهای مورد تست محیط بتوانند براحتی در داخل آن جریان پیدا کنند . در ضمن با در نظر گرفتن اینکه برای هوا n=1 است (ضریب شکست محیط) از تاثیر عوامل مزاحم ذکر شده رهایی می یابیم . بدین ترتیب این مورد ضمن داشتن اهمیت بسیار زیاد در FPI در اینجا کم اهمیت تلقی گردیده و به عنوان فاکتور مهم قابل توجه نخواهد بود.

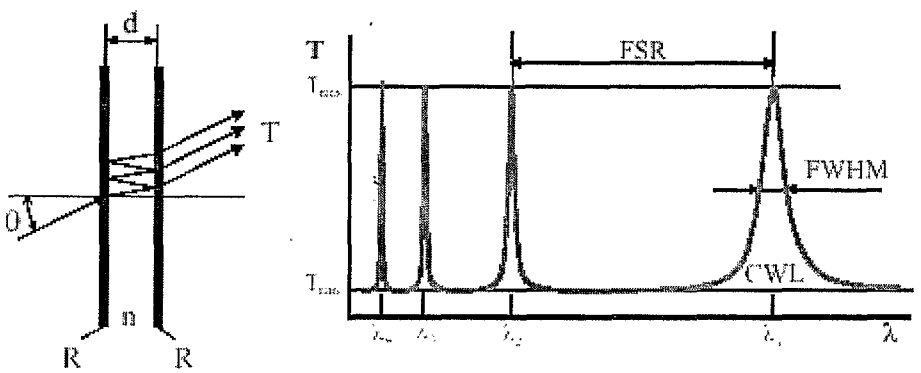
به هرحال طول موج بازسازنده مذکور تحت تاثیر شرایط حاکم بر FPI ناشی از عوامل و فاکتورهای یاد شده از فیلتر FPI عبور کرده و از آن خارج می گردد . حال اگر گاز یا گازهایی به طول موج فوق به عنوان طیف جذبی آنها در محیط محفظه FPI قرارگیرند طول موج عبوری فیلتر توسط آن گاز جذب شده و دیگر پرتوی از آن خارج نخواهد شد . لذا می توان با آشکارسازی پرتو خارج شده از وجود گاز یا گازهایی مربوط به آن طول موج در محیط اطلاع حاصل نمود . ولی از آنجائیکه طول موج عبوری FPI خود به عنوان پهنای باند کوچکی محسوب می گردد و طول موج طیف جذبی گازها گاهی پهن بوده و بر روی همدیگر هم پوشانی دارد ، لذا با این اوصاف نمی توانیم به حضور یا عدم حضور گازی معین در محیط نظر قطعی صادر کنیم . پس لازم بنظر می رسد که پهنای باند طیف عبوری فیلتر باریک تر گردد . برای دسترسی به این مورد با استفاده از انتخاب مضاربی معین از طول موج به عنوان فاصله بین صفحات آینه های FPI چنانچه در فصل های بعد وصف آن خواهد آمد عمل می کنیم . همینطور برای دسترسی به تنظیم دقیق و مطلوب فیلتر با استفاده از موادی که دارای خاصیت محرک می باشند در ساختمان یکی از آینه های FPI ضخامت آنرا با اعمال ولتاژ الکترو استاتیک اندکی تغییر داده و به سمت نقطه دلخواه طول موج عبوری (شیفت طول موج) هدایت می کنیم . بدین ترتیب مشکل مزبور نیز حل می گردد و می توانیم در مورد طول موج معینی برای حضور یا عدم حضور گاز موردتست نظر بدهیم . با این کارعرض پهنای گذرفیلتر FPI کم میشود و با اعمال ولتاژ الکترو استاتیک مورد نیاز فاصله آینه های FPI می توان تقریبا به دور از مشکل هم پوشانی طیف جذبی گازها در مورد طول موجی خاص برای گاز معین نظر قطعی صادر نمود . هرچند این عمل افق خوبی برای حل مشکل در چشم انداز عملکرد FPI بدست می دهد ، ولی حوزه عمل آن کم بوده و نمی تواند نیاز ما را بطور کامل برطرف نماید . بدین جهت در اینجا استفاده مکرر از فیلترهای پشت سر هم مطرح می گردد . یعنی طوری فیلترها پشت سرهم قرار گیرند که پهنای گذر فیلتر اول مثلا در فیلترهای بعدی کاهش یابد تا بتوانیم حوزه عملکرد نظر قطعی در مورد حضور یا عدم حضور گازها را توسعه بخشیم . همانطوریکه در بررسی فاکتورهای مهم دیدیم ، نمی توان در FPI به خروجی صددرصد برای کل طیف مورد تست دست یافت و این عامل افزایش لایه ها (افزایش

آینه های مورد استفاده) را محدود میکند ولی از آنجائیکه خروجی پهنای گذر فیلتر بسیار مطلوب و نزدیک به قائمه است می توان در کاربردهایی معین تضعیف را تا حدودی قابل قبول دانست و با تقویت مجدد پرتو خروجی آنرا اصلاح نمود و به ما این اجازه را می دهد که بتوانیم حداقل چند لایه معدود را مورد استفاده قرار دهیم . بدین ترتیب بحث جدید FPI چند لایه ای پیش می آید. بنظر می رسد بهترین حالت ، دو تا FPI پشت سرهم است چرا که در یک FPI در بهترین حالت تنظیم برای پوشش دادن کلیه طیف مورد نظر خروجی حدود هفتاد تا هشتاد درصد ورودی است لذا در سری کردن بیش از دو FPI پشت سرهم خروجی به کمتر از حد قابل قبول رسیده ودیگر بازسازی آن فاقد کارایی لازم خواهدبود . ولی از لحاظ کارایی پشت سرهم قرار دادن FPI ها باعث باریکتر شدن باندگذر فیلتر و همینطور حذف یا کاهش طول موج های مزاحم درطول طیف گذر می گردد . از طرفی با افزایش لایه ها می توانیم ازتعداد بیشتری لایه محرک کنترل شونده با ولتاژ الکترواستاتیک استفاده کنیم ، که این خود به تنظیم هرچه بهتر فیلترو باریکترشدن پهنای گذر می انجامد . درفصل بعد به هنگام بررسی کارهای انجام شده قبلی مختصری از طرح چهارلایه را بررسی خواهیم کرد . طرح استفاده از FPI چهار لایه ای خود یک طرح ایده آل در این زمینه به شمارمی رود و درآن از دو محرک استفاده شده است . ولی همانطوریکه ملاحظه خواهیم کرد لایه های محرک در دو FPI پشت سرهم متوالی طوری قرار گرفته اند که تغییر آنها هر دو FPI را با هم تحت تاثیر قرار می دهد و این از دامنه عملکرد آن می کاهد . چرا که در جایی که لازم است برای دسترسی به باریکه ای در طول موج معین ، به افزایش طول فاصله FPI اول و کاهش طول فاصله FPI دوم همزمان اقدام گردد محرک دوم فقط افزایش طول حاصل ازمحرک اول (در FPI اول) را جبران می کند و شاید دیگر امکان تغییر بیش از آن را نداشته باشد و این کارایی سیستم را می کاهد و آنرا برای طول موجهای واقع در نقطه همپوشانی طیف جذبی گازها ناکارآمد می کند . درطرح پیشنهادی ارائه شده حاضر این مشکل تا حدودی حل گردیده است . در این طرح از سه آینه که تشکیل دو FPI پشت سرهم را می دهند استفاده گردیده و آینه وسطی ثابت می باشد . آینه های کناری از مواد مشابهی ساخته شده اند که با اعمال ولتاژالکترو استاتیک بدانها تغییر طول می دهند و باعث می شود دو FPI پشت سرهم مستقل ازهم کارکنند . این نحوه چینش بهترین تنظیم طول موج فیلتر را در باندمربوطه درپی داشته و بخاطر امکان تغییرات مستقل FPI ها همانطوریکه خواهیم دید مشخصات وشاخص های فیلتری خوبی را نیز بدست می دهد . نتایج خوبی بدست می آید و دامنه عملکرد فیلترگسترش می یابد .

۱-۴ بررسی روشهای ارائه شده :

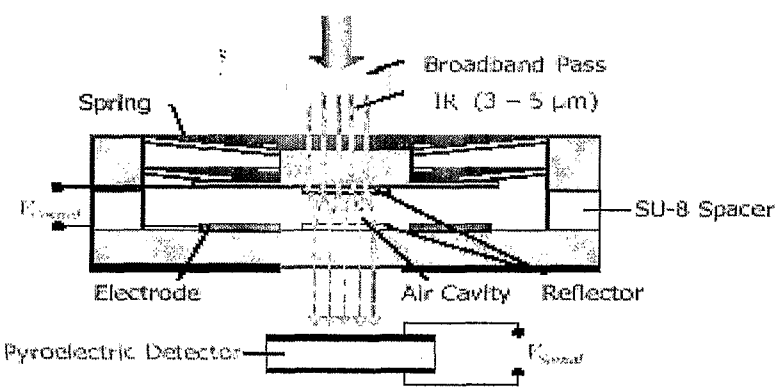
برای آگاهی بیشتر قبل از انجام هر عملی لازم است روشها و کارهای انجام شده در این زمینه در راستای دست یابی به فیلترهای نوری باریک و قابل تنظیم مورد بررسی قرار گیرد وضمن شناخت محدودیتها و مشکلات سر راه آنها به انتخاب بهترین ساختار اقدام گردد .

در اینجا به بررسی مختصر مرجع [۱] که در اصل یک آشکارساز مادون قرمز قابل تنظیم فابری پرو که فقط یکی از آینه های آن یک محرک است می پردازیم . ابتدا در شکل زیر شمای کلی یک تداخل سنج فابری پرو را ملاحظه می کنیم



شکل (۱) شمایی از یک فابری پرو دو لایه

همانطوریکه مشاهده می گردد پرتو نور ورودی بعد از رسیدن به داخل محفظه تداخل سنج فقط برای طول موج معینی در هر انعکاس اندکی به بیرون درز میکند وخروجی فیلتر را تشکیل می دهد . حال می خواهیم ساختار حالتی از فیلتر را که یکی از ساق های آن قابلیت تحرک و تنظیم داشته باشد را مورد بررسی قرار دهیم .

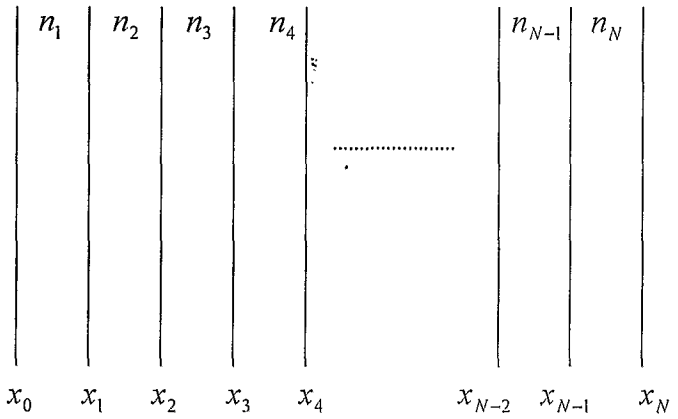


شکل (۲) ساختار یک فابری پرو دو لایه با یک لایه پیزو الکتریک (**اخذ از مرجع [۱]**)

در این فیلتر شاخه متحرک در وسط دو الکترود قرار گرفته و به وسیله فنرهای چیده شده قطری که در گوشه های بیرونی فریم تعبیه گردیده اند قابلیت تنظیم دارد . سه نوع مختلف رفلکتور پیشنهاد شده وسیستم در حالت کلی بسیار ساده ودارای کارکرد خوبی است . ولی از اشکالات مهم آن پهنای باند آن است و نمیتواند باریکتر شود در حوزه تغییرات محرک قابل تنظیم وخوب است . ولی مثلاً برای آشکار سازی گازهای مختلف به علت هم پوشانی منحنی جذب گازها بر روی هم دیگر امکان نتیجه گیری خوب را ندارد . لذا میتوان گفت برای پاره ای از مخلوط های گازی بدون کارآیی خواهدبود. با صرف نظر کردن از این مشکل یعنی با درنظرگرفتن اینکه این سیستم قادر به آشکار سازی همه گازها باشد در حوزه عملکرد خود کارآیی خوبی میتواند داشته باشد .

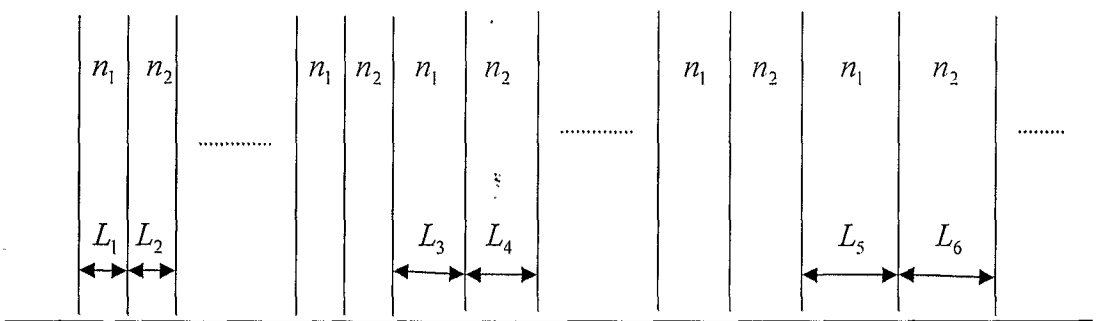
مدل دیگردر مرجع [۲] فیلتر چند شبکه ای قابل تنظیم که بر اساس کریستال فتونی فرو الکتریک غیرخطی کار می کند می باشد وتحت تآثیر بی نظمی در شبکه کریستالی که توسط اختلالات تصادفی در ضخامت لایه های دی الکتریک ارائه گردیده است . ۲۰٪ قابلیت تنظیم نسبی درفیلترتنظیم حرارتی بر اساس کریستال فتونی تک بعدی به دست می آید .بنابراین نمی تواند به خواص فیلترهای عالی دسترسی پیدا کند و منجر به ازدست دادن خطرات تابش میگردد . همینطور واکنش آرام مکانیکی و روش میزان کردن حرارتی کاربرد عملی فیلترهای قابل تنظیم را محدود کرده است . با تمام اوصاف این فیلتر در حوزه نور مرئی و نامرئی (مادون قرمز) میتواند عمل کند هر چه ضخامت لایه (که در آن ناخالص اضافه شده است) بیشتر شود تشدید فرکانس شبکه نوری افزایش می یابد . در این سیستم ضریب انعکاس نزدیک به ۱۰۰٪ است به علت نحوه تنظیم حرارتی این فیلتر کاربرد عمومی ساده نداشته و در موارد خاص میتواند مورد استفاده قرار گیرد.

مدل دیگر فیلتر دقیق و باریک در مرجع [۳] معرفی شده است این فیلتر بر اساس ترکیب جمع آثار (superimpose) بر روی ساختار Bragg Grating ارائه گردیده است ، در شکل (۳) شمای ساده ای از یک ساختار لایه های چندگانه دیده می شود .



شکل(۳) شمای ساختار لایه های چند گانه

یک ساختار چند لایه در حالت کلی می تواند لایه های مختلف با ضریب شکست های متفاوت و ضخامت های نابرابر داشته باشد که محاسبات پیچیده خود را طلب می کند . برای داشتن طول موج هایی مشخص با پهنای باند معین می توان ضمن ایجاد ترتیب خاص در ساخت لایه ها با استفاده دو یا چند ماده معدود با ضریب شکست های متفاوت ، راحتی تکنولوژی آنرا نیز دنبال نمود . در شکل (٤) نمونه ای از این ساختار آورده شده است .

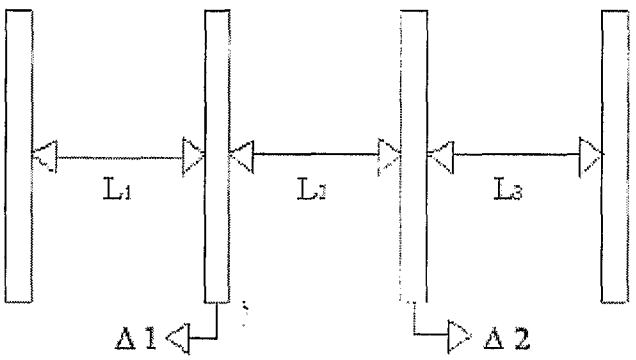


شکل (٤) شمایی از یک ساختار چند لایه Superimpose (جمع آثار)

این نوع فیلتر به راحتی میتواند با ترکیبی از لایه ها برای طول موج های مختلف طراحی گردد . طول موجهای مختلف با پهنای باند کوچک در حد نانومتر برای هر کانال و با فواصل مشخص و منظم از هم دیگر به عنوان گاردباند برای هر یک کانال از کانالهای کل باند عبور آنرا به عنوان فیلتری قابل قبول در حوزه عمل مخابرات قرار داده است . قابلیت چند کاناله بودن با پهنای

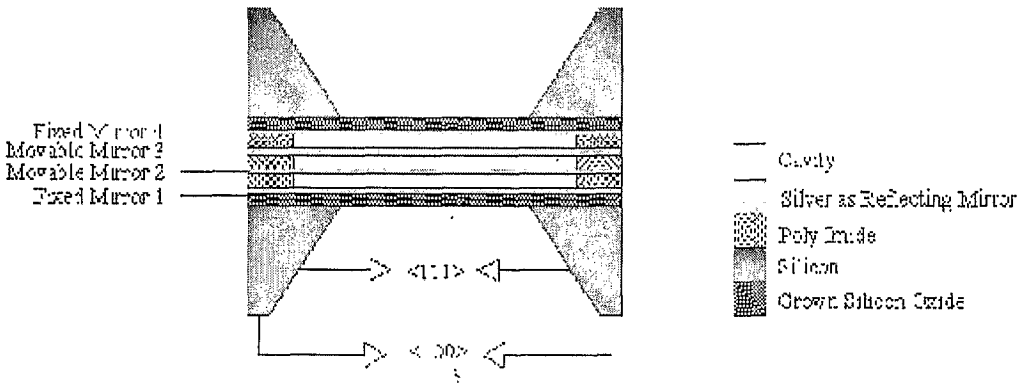
باریک نانومتر از چینش بخصوص لایه ها با فواصل نامنظم که از تاثیر توابع مربوطه ناشی می شود و نداشتن افت زیاد در نور عبوری به لحاظ امکان تحقق در صد بالای ضریب انعکاس که در این فیلتر امکان حصول تقریباً نزدیک به ۱۰۰٪ را دارد ناشی شده است . اگر ضریب انعکاس پائین باشد یا امکان حصول در صد انعکاس بالا تقریبا نزدیک به صد در صد میسر نگردد نتیجه گرفتن از چنین فیلتری مشکل به نظر می رسد .به هر حال با وجود تمام محسنات یک فیلتر خوب اعم از باریکی باند و پاسخ درحوزه مخابرات و امکان دسترسی به ضریب انعکاس بالا نزدیک ۱۰۰٪ و امکان طراحی چند کاناله فعلاً در عمل به لحاظ داشتن تک لایه های بسیار باریک متفاوت از هم امکان تحقق فیزیکی نداشته و آنرا غیر قابل ساخت مینماید .

در مرجع [٤] نوع دیگر فبلتر با استفاده از تداخل سنج فابری پرو سه محفظه ای قابل تنظیم با استفاده از سیستم MEMS (میکرو سیستم الکترو مکانیکی) معرفی شده است .



شکل(۵) شمای فابری پرو چهار لایه با دو لایه متحرک در وسط

همانطوریکه ملاحظه می گردد آینه های با قابلیت حرکت در لایه های وسطی تعبیه گردیده اند لذا به هنگام تغییر در دو لایه مجاور همزمان تاثیر میکنند و ساختار تقریبی آن در شکل (٦) آورده شده است .



شکل (٦) ساختار فابری پرو چهار لایه با دو لایه متحرک در وسط (اخذ از مرجع [۴])

در این روش چهار آینه که دو آینه وسطی با ولتاژ الکترو استاتیک قابل تغییر بوده و میتواند فاصله موثر FPI را تغییر دهد .در نظر گرفته شده است این فیلتر سه مرحله ای می باشد . محدوده باند گذر مرحله اول بعدازعبور از مرحله دوم کوچکتر می شود . بعلت آنکه فاصله موثرمرحله اول با فاصله موثر مرحله دوم متفاوت است و در اصل قسمتی از طول موج های باند گذر مرحله اول امکان دسترسی به پرید کامل خود را در فاصله موثر مرحله دوم نخواهند داشت ، اجباراً باند گذر باریکتر خواهد شد. در مرحله سوم که فاصله موثر آن باز با فاصله موثر مرحله اول یکسان است ، هیچ تغییری در آن ایجاد نخواهد شد .پهنای باند گذر موج دریافتی درخروجی دو فیلتر پشت سر هم قسمت همپوشانی پهنای گذر دو فیلتر خواهد بود که در شرایط هردو صدق کرده است .واضح است که این پهنای گذر باید از پهنای گذر هر دو فیلتر کوچکتر یا برابر آن باشد . به این دلیل پهنای گذر دو فیلتر دارای پهنای کمتر از پهنای هر کدام از فیلترها خواهد بود .دو آینه وسطی محرک درنظرگرفته شده است و میتواند با اعمال ولتاژ تغییر کند و مجموعا خروجی فیلتر به پهنای مورد نظرتنظیم گردد . بعلاوه شکل خروجی با وضعیتی که FPI دارد به حالت ایده آل بسیار نزدیکتر است . یعنی لبه های کناری پهنای گذر خروجی خیلی به قائمه نزدیک هستند و بهترین محل باند توقف را نیز بدست میدهند .

سپس می رسیم به پیک FPI که می تواند مستقل کنترل شود و شکاف محفظه رنج طیفی آزاد (Free Speetral range) FSR را تنظیم میکند و انعکاسهای آینه ها میتواند نصف حداکثر مقدار پهنای کامل عبور (Full Width Half Maximum) FWHM را کنترل نماید . پیکهای عبوری با افزایش دادن انعکاسهای سطح آینه های مربوطه در هر FPI می تواند خیلی تیز ساخته شود . البته یکی از اشکالهای سیستم FPI عدم امکان رسیدن به خروجی ۱۰۰٪ است و لذا نمی توان تعداد زیادی از فیلترهای FPI راپشت سر هم قرار داد و برخلاف مرجع [۳] لایه های انبوه متعدد در نظر گرفت چرا که خروجی در بهترین حالت تنظیم به ۷۰٪ تا ۸۰٪ برای کل باند

گذر میرسد و افزودن لایه ها می تواند خروجی را میرا کند ولی بعلت کارایی خوب آن و با توجه به نزدیک به قائمه بودن لبه های باند گذر و محل مناسب باند توقف ، بزای پاره ای از کاربردها با تقویت خروجی مجددا آن را به ایده آل نزدیک کرد ولی اشکال اصلی سیستم چهار آینه ای قابل تنظیم بودن لایه دوم است که همزمان در FPI اول و دوم تاثیر میکند هر چند برای جبران آن و برای رسیدن به یک خروجی معین اجبارا بطور مرحله ای عمل شده و مثلا پس از تنظیم مرحله اول درمرحله دوم اگر لازم باشد تغییراتی خلاف جهت تغییرات مرحله اول ایجاد کنیم . یعنی زمانیکه محرک مرحله اول درجهت افزایش فاصله FPI اول تغییرمی کند ، یعنی ضخامت محرک اول کوچک می شود ، بطور همزمان لازم باشد که فاصله FPI دوم کاهش یابد یعنی محرک دوم باید در جهتی تغییر کند که ضخامت آن بیشتر شود با توجه به مشترک بودن لایه دوم بین FPI اول و دوم ابتدا باید تغییرات آن ، تغییر ناشی ازمحرک اول را جبران کند و سپس بتواند تغییرات مطلوب را ایجاد نماید . گاهی نیز ممکن است این تغییر از حوزه عملکرد تغییرات عرضی محرک دوم خارج باشد ، یعنی کل تغییرات آن حتی نتواند تغییرات محرک اول را جبران کند لذا به نوعی محدودیت درکارایی این سیستم برخورد می کنیم . این مشکل سیستم را ازپاسخ گویی به بعضی از گازهای نمونه ناتوان می سازد . پس می توان نتیجه گرفت سیستم در حالت کلی وضیعت مناسب و عالی در حوزه عملکرد خود دارد . ولی برای بازه هایی که حتی ممکن است نکات بسیار مورد توجهی (مانند واقع شدن طول موج طیف جذبی گاز مورد مطالعه در آن محدوده طیفی) در آنها اتفاق افتاده باشد ناکارآمد خواهد بود . برای جبران این مورد یا تحت پوشش قرار دادن این نقطه باید فیلتر دیگری با فاصله های متفاوت با فیلتر قبلی طوری طراحی گردد که این نقطه (طول موج) در آن واقع گردد .

در مرجع [5] و مرجع [7] مجددا" روی سیستم های مختلف مجتمع MEMs کار شده است که قبلا مشابه آنها را دیدیم و صرفا مورد مطالعه قرار گرفته اند .

در مرجع [6] کاربرد جالبی از این فیلتر های تحت عنوان انگشت نگاری کار شده است که به لحاظ اینکه اندکی از موضوع فاصله می گرفت بصورت ریز پرداخته نشده است . در عین حال قابل تعمق است .

در مرجع [8] و مرجع [9] روی تکنولوژی و آشکار سازی بحث شده است . از این دو مرجع نحوه عمل مورد مطالعه قرار گرفته است .

در مراجع [10] و [11] مجددا روی فیلتر هایی که با تکنولوژی تاثیر حرارت کار می کنند بحث گردیده است . از آنجائی که یک نوع از این نوع کار قبلا مغرفی گردیده بود لذا از بررسی جزئیات خودداری گردیده است .

۲- فصل دوم : یادآوری مفاهیم لازم و ضروری

مباحث این فصل :

۲ -۱ یادآوری از تداخل سنج فابری پرو FPI
(Fabry-Perot Interferometer)

۲-۲ روابط استوکس و قانون انعکاس وعبور

۲-۳ محاسبه پرتو های انعکاس و عبور یک لایه

۲-۴ اصول کار یک FPI

۲-۵ چند شاخص مهم فیلتر

۱-۲ یادآوری از تداخل سنج فابری پرو FPI :

اصول ساختاری فیبر نوری برای کاربردهای سنسور ، کنترل و ابزار دقیق همانند کاربردهای انتقال اطلاعات مخابراتی همچنان جذاب میباشد . در این کاربردها ، فیبرها به همان مکانیزم های خارجی که در کاربردهای مخابراتی سعی می شد مصون ساخته شود ممکن است بسیار حساس و تاثیر پذیر ساخته شوند . سنسورهای نوری نسبت به سنورهای غیر نوری (روشهای متداول) مزایای قابل توجهی از قبیل سایز کوچک ، حساسیت بالا و پتانسیل لازم برای مالتی پلکس را دارند.

سنسورهای نوری در صنعت کاربردهای بسیار متعددی پیدا کرده اند . ژیروسکوپهای فیبر نوری (gyroscope) بخصوص ژیروسکوپهای بکار رفته در ناوبری از جمله کاربردهایی هستند که شرکتهای بزرگ تجاری را برای سرمایه گذاری در زمینه این سنسورهای نوری مجاب کرده اند . سنسورهای نوری برای اندازه گیری strain فشار ، دما ، شتاب و حساسیت بالا از کاربردهای متداول مفید دیگر می باشند .کاربردهای سنسورهای نوری در علم بیولوژی،داروسازی نیز شدیدا فزونی پیدا کرده است . این وسیله می تواند به عنوان یک اسپکترومتر(طیف نما) ، برای تعیین امضا یا اثر اختصاصی بکارگرفته شود یا همینطور برای انگشت نگاری یا کاربردهای مشابه مورد استفاده قرارگیرد . به هر حال در اینجا هدف ما توسعه یک فیلتر قابل تنظیم بر پایه MEMS برای آنالیز گازها در رنجهای بخصوص مثلا گازهای مضر سمی که محیط ما را احاطه کرده اند وسوختنی مانند CH_4 و C_2H_6 و CO و N_2O می توانند تست شوند.

البته همانطور که می دانیم سنسورها به دو صورت ذاتی(مستقیم)وغیرذاتی(غیرمستقیم) میباشند . باید سنسورها خاصیت تکرار پذیری داشته باشند . بعبارتی نسبت به یک مقدار ورودی ، خروجی همیشه یکی باشد . معمولا سنسورهای نوری با حساسیت بالا بوده و سرعت مطلوب مورد نظر را دارا هستند . در سنسورهای مستقیم کمیت مورد سنجش خارجی تغییرات لازم را در خواص و مشخصات هدایت فیبر القا میکند . به اصطلاح مشخصات و پارامترهای هدایت موج فیبر توسط کمیت مورد سنجش مدوله میشود . یعنی خود مشخصات فیبر تغییر میکند که باعث تغییر در پارامترهای فیبر میشود این تغییر پارامتر باعث تغییر در مشخصات نور عبور یافته می گردد وآنرا مدوله شدن نور ورودی متناسب با کمیت مورد نظر می نامند . سنسورهای مستقیم هم ممکن است برمبنای Reflective (انعکاس) و یا برمبنای Transmision (عبور) شکل بگیرند و کار کنند. در سنسورهای غیر مستقیم که اساسا مبنای Reflective دارند مدولاسیون شدت نور ، طول موج، فرکانس و یا تغییر فاز روی یک سیگنال نوری توسط یک Transduser (مبدل خارجی) انجام می گیرد . اخیرا سنسورهای غیر مستقیم FPI مورد توجه بوده اند . انواع اشکال مختلفی از این سنسورها با حساسیت بالا در اندازه گیری دما ، نوسانات مکانیکی ، امواج صوتی ، میدانهای

مغناطیسی در کارهای تحقیقاتی و صنعتی گزارش شده است . حال اصول کار FPI را مورد بررسی قرار می دهیم.

۲-۲ روابط استوکس و قانون انعکاس و عبور:

ابتدا بررسی را با استدلالی از جورج استوکس شروع می کنیم که اطلاعاتی درباره دامنه های قسمتهای انعکاس و عبور یک موج تخت که به سطح شکست دو لایه با ضریب شکست های متفاوت می رسد بدست می دهد . فرض می کنیم E_i دامنه نور ورودی باشد ضرایب انعکاس و عبور را با روابط زیر تعریف می کنیم.

$$r=\frac{E_r}{E_i} \quad \text{و} \quad t=\frac{E_t}{E_i} \qquad (۱-۲)$$

بطوریکه در سطح جدایی ، E_i به یک قسمت انعکاس یافته $E_r = rE_i$ و یک قسمت عبور کرده $E_t = tE_i$ مانند شکل(۷)- الف تقسیم میشود . برای پرتوی که از محیط دوم فرود می آید کمیتهای مشابهی تعریف می کنیم و آنها را با r' و t' نشان می دهیم بنا به اصل برگشت پذیری پرتو ، وضیعتی که در شکل (۷)- ب نشان داده شده است نیز باید معتبر باشد اما بطور کلی دو پرتو فرودی به سطح جدایی ، مانند شکل (۷)- ب ، هر کدام منجر به یک پرتو انعکاس یافته و پرتو عبور کرده تقسیم میشوند که همه آنها با دامنه های مناسب در شکل (۷) - ج نشان داده شده اند . نتیجه می گیریم که وضیعتهایی که در شکل (۷) - ب و (۷)- ج نشان داده شده اند باید از لحاظ فیزیکی هم ارز باشند بطوریکه می توانیم بنویسیم :.

$$E_i=\left(r^2+t't\right)E_i \qquad (۲-۲)$$

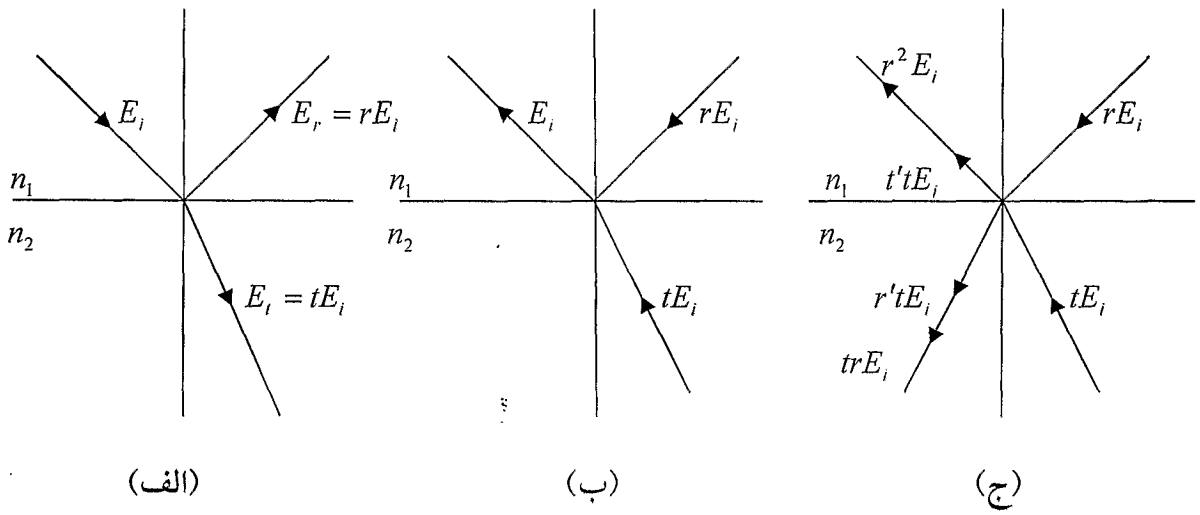
و

$$0=(r't+tr)Ei \qquad (۳-۲)$$

یا

$$tt'=۱-r^2 \qquad (٤-۲)$$

$$r=-r' \qquad (٥-۲)$$



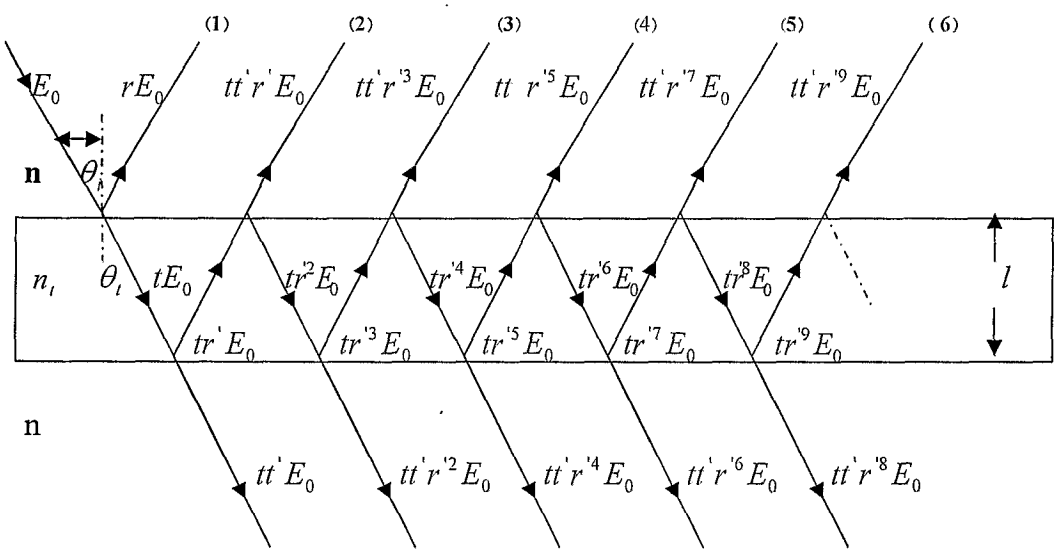
شکل (۷) بررسیهای مربوط به روابط استوکس

معادله های (۲-٤) و (۲-٥) عبارتند از روابط استوکس بین ضرایب دامنه برای زاویه های فرودی که از طریق قانون اسنل به هم مربوط می شوند . معادله (۲-٥) در صفحه قبل نشان میدهد که دامنه های باریکه های انعکاس یافته برای پرتوهای فرودی از دو جهت از لحاظ بزرگی با هم یکسان هستند . اما از لحاظ فاز به اندازه π یا 180^0 با هم اختلاف دارند . اگر معادله (۲-٥) را به صورت هم ارز $r = e^{i\pi}r'$ بنویسیم. این مطلب بیشتر روشن میشود . این نتیجه با معادلات فرنل که کامل ترند تطابق دارد . هم نظریه فرنل و هم آزمایش مثلا با آینه لوید این واقعیت را ثابت می کنند که برای پرتوی که به سطح جدایی دو ماده با ضریب شکستهای متفاوت از طرفی فرود می آید که به سرعت بیشتر یا ضریب شکست کمتر مربوط است انتقال فاز روی میدهد .از این پدیده موجی در بازتاب امواج که بنام دو رابطه استوکس نامیده می شوند . (روابط (۲-٤) و (۲-٥)) در محاسبه مجموع دامنه ها ی همه انعکاسها یا دامنه انعکاس کل استفاده خواهیم کرد .

۲-۳ محاسبه پرتوهای انعکاس و عبور یک لایه :

برای محاسبه این انعکاس بازتاب چند گانه باریکه نور کم عرضی با دامنه E_0و زاویه فرود θ_i را که در شکل (۸) نشان داده شده است در نظر می گیریم ضرایب دامنه انعکاس و عبور را در بازتاب خارجی با r و t و در بازتاب داخلی با r' و t' نشان می دهیم . دامنه هر قسمت را می توان با شروع از دامنه موج فرودی E_0 و پیشروی در دنباله بازتاب ها با ضرب دامنه قبلی در

ضریب بازتاب یا عبور آن قسمت تعیین کرد . باریکه های چند گانه موازی از سطوح بالایی و پایینی خارج میشوند وقتی هریک از مجموعه ها را با عدسی همگرا در یک نقطه متمرکز کنیم تداخل چند باریکه ای روی می دهد زیرا از یک تک باریکه ناشی می شوند .به علاوه اگر باریکه فرودی نزدیک به عمود باشد باریکه های چند گانه در حالی که نوسانهای E آنها تقریبا موازیند بهم می رسند .



شکل (۸) بازتاب و عبور باریکه در برخورد یک پرتو نوری به یک لایه با ضریب شکست متفاوت

باریکه های باز تابیده از سطح بالایی را در نظر می گیریم . اختلاف فاز بین دو باریکه بازتابیده متوالی طبق محاسباتی که بعدا بعمل خواهیم آورد [رابطه (۲-۱۹)] ، برابر است با

$$\delta = K.\Delta \qquad \text{و} \qquad \Delta = 2n_f.l.\cos\theta_t \qquad (۲-۶)$$

که در آن n_f ضریب شکست لایه و l ضخامت آن است اگر پرتو را با $E_0e^{i\omega t}$ توصیف کنیم می توانیم پرتوهای بازتابیده متوالی را با تغییرات مناسبی در دامنه و فاز اولیه با توجه به شکل (۸) به صورت روابط (۲-۷) بیان کنیم