

بنام خدا

مقدمه:

بمنظور آشنائی با خواص اپتیکی مواد (رسانا و غیر رسانا) میباشد میدان الکتریکی E و میدان مغناطیسی B را در مواد بررسی نمود یا در واقع به عنوان محیط موجبری که انرژی یا موجی را انتقال میدهد مورد کنکاش قرار داد. لذا می بایستی که بحث الکترومغناطیسی را عنوان زیربنا و ساختار لایه های اپتیکی مورد استفاده قرار داد از آنجاییکه عنوان پژوهش طراحی فیلترهای نوری میباشد لذا ما فرض میگیریم که خواننده آشنا به مطائل الکترومغناطیسی است ما صرفاً به اعمال شرایط مرزی در یک مرز یا مرز دو محیط بسنده می نمائیم. طراحی فیلترهای منوری بمنظور بازتاب و یا عبور طول موج های خاص و یا باند خاص از طول موجها طراحی میگردد که میزان بازتاب و عبور آن برای طراح عنوان کیک پارامتر قابل تغییر مطرح می باشد و در واقع میزان بازتاب و عبور را در محدوده خاصی که مورد مطر است افزایش و یا کاهش میدهد و یا پالایش طول موجها را با بالا بردن میزان عبور یک طول موج و یا یک محدوده طول موجها و کاهش عبور دیگر طول موجها بوسیله بازتاب یا جذب را انجام میدهد که همه اینها در طراحی فیلتر عملی میگردد. نیاز و کاربرد به لاسه نشانی و یا طراحی فیلترهای نوری برای آینه هایی گرمایی (بازتابنده های گرمایی) و آینه های سرد، (که آینه های گرمایی فروسرخ را بازتاب و آینه های سرد فروسرخ را عبور میدهند و در نورافکنها استفاده میشود).

آینه های دوررنگی (شامل پالایه های نوارگذاری که بر رخهای منشوری لایه نشانی شده تا

نور را در دوربینهای رنگی به کانالهای قرمز، سبز و آبی تقسیم کند) آینه های لیزر با

بازتاب بالا و یا در انترفرومترهای فابری پرو، مایکسون، لنزهای دوربین های عکاسی،

نظامی، تلسکوپها، دوربین های نظامی دید در شب، هدایتگر موشک و ... میباشد.

در این پژوهه تکیه بر فیلترهای ضد بازتاب و تا حدی محدود به آینه ها نیز اشاره می

نماییم و ضمناً تلاش بر این بوده که با دستیابی به متدهای طراحی و محاسبات آن به قدرت

طراحی فیلتر توسط کامپیوتر دست یابیم که به این منظور یک سری برنامه هائی در جهت

طراحی کارائی فیلترها نوشته شد که نیاز به گسترش خیلی بیشتری دارند بهر حال برای

این پژوهه بالغ بر ۲۰۰ صفحه ترجمه و مطالعه شده و نیز بالغ بر ۱۰۰ ساعت کار با

کامپیوتر برای دستیابی به بهترین طراحی ها و برنامه نویسی انجام گردیده است.

امیدوارم این مجموعه در هرچه آشنا شدن به فیلترهای مختلف با محاسبات و طراحی آنها

و کارهای عملی انجام شده نقطه شروعی در جهت طراحی فیلتر در صنعت و ... عملی شده

باشد.

مرز:

فیلترهای نازک معمولاً شامل یک تعدادی مرز بین لایه های همگن هستند و خوبست بدانیم که این مرزها چه اثری روی موج فرودی که ما می خواهیم محاسبه کنیم خواهند گذاشت یک تک مرز ساده ترین حالت میباشد. ابتدا فرض می گیریم جذب در لایه ناچیز و صفر باشد و یک موج هارمونیک پلاریزه تخت را برای موج فرودی درنظر گرفته ایم هنگامی که یک موج به یک مرز بین دو محیط برخورد می کند یک قسمت از آن بازتاب و یک قسمت آن عبور می کند شکل همه آنها بصورت $e^{i\omega t}$ میباشد منتهی یک اختلاف فاز از این قسمت ناشی میشود که به میزات ضخامت محیط عبوری دارد. ضمناً میزان دامنه عبوری نیز تغییر می نماید.

میدانیم که میدان الکتریکی مماسی و میدان مغناطیسی مماسی موج فرودی در عبور از مرز در محیط بیوسته است. (محیط دی الکتریک درنظر گرفته شده است) با توجه به شکل و با توجه به شرایط مرزی میدانهای E_a و E_b را در دو طرف مرز میتوان با معادلات زیر نوشت:

$$\begin{cases} E_a = E_0 + E_{r1} + E_{t1} \\ E_b = E_0 + E_{r2} = E_{t2} \end{cases}$$

که در اینجا E_0 میدان E فرودی اولیه

که در اینجا E_{r1} میدان E بازتابیده از مرز اول a

E_{t1} میدان E عبوری از مرز اول a

E_{r1} میدان E بازتابیده از مرز دوم b

E_{t2} میدان E عبوری از مرز دوم b

E_{il} حاصل جمع تمام میدانهای E که بطرق فصل مشترک a فروود می‌آیند

E_{i2} حاصل جمع تمام میدانهای E که بطرق فصل مشترک b فروود می‌آیند

برای میدان مغناطیسی هم داریم:

$$\begin{cases} B_a = B \cdot \cos\theta_\bullet - B_{r1} \cos\theta_\bullet = B_{i1} \cos\theta_{i1} - B_{i1} \cos\theta_{i1} \\ B_b = B_{i2} \cos\theta_{i1} - B_{r2} \cos\theta_{i1} = B_{i2} \cos\theta_{i2} \end{cases}$$

بكمك عبارت زير

$$B = \frac{E}{V} = \left(\frac{n}{c}\right) E = n(E_\circ \mu_\circ)^{1/2} E$$

مقادير B_a و B_b را بر حسب میدان E می نویسیم:

$$B_a = Y_\circ (E_\circ = E_{r1}) = Y_1 (E_{i1} - E_{i1})$$

$$B_b = Y_1 (E_{i2} = E_{r2}) = Y_s E_{i2}$$

كه Y_\circ و Y_1 و Y_s را اينگونه تعریف می کنیم:

$$Y_\circ = n_\circ \cos\theta_\circ / c$$

$$Y_1 = n_1 \cos\theta_{i1} / c$$

$$Y_s = n_s \cos\theta_{i2} / c$$

و نور با يکبار خيمودن لايه اختلاف فازی معادل

$$\delta = K\Delta = \frac{2\pi}{\lambda_\circ} nt \cos\theta_{i1}$$

را بيدا می کند که nt ضخامت ابتيکي و t ضخامت حقيقي می باشد و n ضريب شکست آن است.

و بعد از جايگذاري در معادله شرایط مرزی به معادلات زير دست می یابيم.

$$\begin{cases} E_a = E_b \cos\delta + B_b \left(\frac{i \sin\delta}{Y_1} \right) \\ B_a = E_b (i Y_1 \sin\delta) + B_b \cos\delta \end{cases}$$

و از آنجا داريم:

$$\begin{vmatrix} E_a \\ B_a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \delta & i \sin \delta_1 \\ i Y_1 \sin \delta_1 & \cos \delta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_b \\ B_b \end{vmatrix}$$

که ماتریس فوق را ناتریس انتقال گویند و این ماتریس میدان الکتریکی و مغناطیسی در سوی دیگر مرز را بما میدهد. این ماتریس را میتوان برای هر لایه نوشت که ضخامت فازی آن δ از ضخامت فیزیکی آن یعنی λ ناشی می شود.

$$\delta = K\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} nt \quad \cos \theta$$

اگر چند لایه داشته باشیم برای هر لایه یک ماتریس انتقال میتوان نوشت که اگر بخواهیم میدان را در لایه لازم بدانیم از شکل زیر استفاده میکنیم.

$$\begin{vmatrix} E_a \\ B_a \end{vmatrix} = m_1 m_2 m_3 \dots m_n \begin{vmatrix} E_N \\ B_N \end{vmatrix}$$

و میتوان ماتریس انتقال کل را حاصلضرب تمام ماتریس انتقال تک تک لایه ها دانست.

$$m = m_1 m_2 m_3 \dots m_N = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{vmatrix}$$

با این تعریف و مراجعه به شرایط مرزی میتوان

به جای E_a معادلش یعنی $(E^\circ + E_{r1})$

به جای E_b معادلش یعنی E_{t2}

به جای B_a معادلش یعنی $Y_s(E^\circ - E_{r1})$

به جای B_b معادلش یعنی $Y_s(E_{t2})$

اندیس S برای لایه که بصورت Substrate نوشته میشود بکار میرود.

$$\begin{vmatrix} E^\circ + E_{r1} \\ Y_s(E^\circ - E_{r1}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_{t2} \\ Y_s E_{t2} \end{vmatrix}$$

و می توان با تقسیم کردن طرفین بر E° بصورت

$$\begin{cases} I + r = m_{11}t + m_{12} - Y_s t \\ Y_0(I - r) = m_{21}t + m_{22} - Y_s t \end{cases}$$

نوشت با استفاده از معادلات اخیر می توان ضرائب بازتاب و عبور را بصورت زیر تعریف نمائیم:

$$r = \frac{E_{r1}}{E_0} \text{ ضریب بازتاب} \quad t = \frac{E_{t1}}{E_0} \text{ ضریب عبور}$$

و شکل کلی ضرائب بازتاب و عبور برای هر چند لایه بصورت زیر می باشد:

$$r = \frac{Y_s m_{11} + Y_0 Y_s m_{12} - m_{21} - Y_s m_{22}}{Y_0 m_{11} + Y_0 Y_s m_{12} - m_{21} - Y_s m_{22}} \quad \text{ضریب بازتاب}$$

$$t = \frac{2Y_0}{Y_0 m_{11} + Y_0 Y_s m_{12} + m_{21} + Y_s m_{21}} \quad \text{ضریب عبور}$$

و شکل ساده آن در فرود عمود بشكل زیر می باشد که در آنجا n_0 ضریب شکست محیط

فرود n_1 ضریب شکست لایه و n_s ضریب شکست پایه می باشد.

$$r = \frac{n.m_{11} + n.n_s m_{12} - m_{21} - n_s - n_s m_{22}}{n.m_{11} + n.n_s m_{12} - m_{21} - n_s - n_s m_{22}}$$

$$r = \frac{2n}{n.m_{11} + n.n_s m_{12} + m_{21} + n_s m_{21}}$$

$$T = tt^* = |t|^2 \quad \text{که میزان عبور از رابطه}$$

$$P = rr^* = |r|^2 \quad \text{که میزان بازتاب از رابطه}$$

بدست می آید برای اینکه برای نور پلاریزه E_1 و E_{11} یعنی برای نوری که میدان E آن

عمود بر صفحه تابش می باشد و میدان الکتریکی که موازی صفحه تابش می باشد مقدار

فرق می کند در واقع برای نور S پلاریزه و P پلاریزه بصورت زیر می باشد.

$$1 = n_1(\varepsilon_0 \mu_0) \cos \theta \quad t_1$$

برای E_1 عمود بر صفحه تابش

$$1 = n_1(\varepsilon_0 \mu_0)^{1/2} \cos \theta \quad t_1$$

برای E_{11} با صفحه تابش

لازم بذکر است برای فرود عمودی که E_1 و E_{11} متمایز نیستند عبارتها معادل اند زیرا

$\text{Cos}\theta_{t_1} = 1$ می شود ولی در مورد فرود مایل نتایج برای هر قطبیدگی باید محاسبه شود.

برای مثال بازتاب بصورت زیر بدست می آید:

$$R = \frac{1}{2}(R_{11} + R_1)$$

ضخامت:

ضخامت عامل موثری در ایجاد اختلاف فاز می باشد لذا هنگامی که ضخامت تغییر می کند اختلاف فاز ایجاد شده باعث کاهش یا افزایش بازتاب می شود. میزان اختلاف فاز از رابطه زیر بدست می آید.

که در رابطه روبرو k عدد موج و Δ اختلاف راه نوری می باشد. $\delta = k\Delta$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0} = \text{اختلاف راه نوری} = \Delta \quad \text{و} \quad nt \text{Cos}\theta$$

برای اینکه ما یک اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ ایجاد کنیم تا در یک رفت و برگشت نور در یک لایه اختلاف فاز π با نور فرودی ایجاد شود بایستی در فرمول قرار داده تا مقدار ضخامت را بدست آوریم:

$$\delta = \frac{\pi}{2} = \frac{2\pi}{\lambda} nt \text{Cos}\theta \quad \text{می باشد} \quad \text{Cos}\theta = 1$$

و مقدار nt ضخامت اپتیکی بدهست آمده از فرمول روبرو مقدار $\frac{\pi}{2}$ بدهست می آید.

$$nt = \frac{\lambda}{4}$$

که این مقدار ضخامت برای ایجاد اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ لازم است و مقدار فیزیکی ضخامت لایه

از رابطه زیر بدهست می آید:

$$nt = \frac{\lambda}{4}$$

در شکل روبرو برای اینکه نور فرودی با بازتابی، 180° اختلاف فاز داشته باشد بایستی

مقدار ضخامت اپتیکی لایه باید در نظر گرفته شود.

علت اینکه ما اختلاف فاز π بین نور رودی و بازتابی ایجاد نمائیم بعلت این است که

بتوانیم با ناهمسازی بین موج فرودی و بازتابی باعث عدم بازتاب در سطحی شده و در

نتیجه عبور را افزایش دهیم و اگر مایل به ساخت آینه باشیم می بایست بین نور فرودی و

بازتابی همسازی ایجاد کرده و با هم فاز کردن آنها باعث شویم عبور کم شده و نور

فرودی با همان دامنه و فاز در سطح اول بازتاب شده در اینصورت بازتاب افزایش یابد که

در اینجا با در نظر گرفتن اختلاف فاز 0° یا 2π می توان مقدار ضخامت اپتیکی را بدهست

آورد البته برای ۲ بار رفت و برگشت نور بایستی مضاربی از 2 باشد که در نتیجه فقط

برای یکبار رفت $nt = \frac{2\pi}{\lambda}$ مقدار nt برابر $\frac{\lambda}{2}$ یا مضاربی از $\frac{\lambda}{2}$ بدهست

خواهد آمد.

تک لایه ای ضد بازتاب:

برای اینکه یک خرد بازتاب یا کاهنده بازتاب تک لایه داشته باشیم بایستی با در نظر گرفتن

ضخامت $\frac{\lambda}{4}$ که اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ ایجاد می کند و در یک رفت و برگشت 180° اختلاف فاز با

نور فرودی (اولیه) ایجاد می کند استفاده کنیم و با استفاده از این شرایط که بازتاب سطح

اول را با بازتاب سطح دوم برابر قرار دهیم می توان مقدار اندیس یا ضریب شکست لایه را

بدست آورد. با استفاده از فرمولهای فرنل یا همان ضرایب بازتاب و عبور می توان اینگونه

نوشت:

$$\frac{n_o - n_1}{n_o + n_1} = \frac{n_1 - n_m}{n_1 + n_m}$$

$$\frac{1}{n_o} = \frac{n_m}{n_1}$$

$$n_1^2 = n_o n_m$$

$$n_1 = (n_o n_m)^{1/2}$$

که n_m ضریب شکست پایه می باشد و این شرط برای مینیمم بازتاب یا بازتاب صفر لازم

است. بعنوان مثال اگر شما یک تک لایه ربع موجی را بخواهید بدروی یک پایه شیشه ای

با ضریب شکست $1/52$ دور محیط هوا با اندیس $1/0$ انتخاب نمائید بایستی لایه شما با

استفاده از فرمول فوق مقدار آن از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$n_1 = (1/0 \times 1/52)^{1/2}$$

$$n_1 = 1/23$$

البته ماده ای با ضریب شکست $1/23$ در عناصر موجود یافت نمی شود و تنها ضرائب

شکست $1/35$ و $1/38$ در دسترس می باشد که متعلق به کریولیت و MgF_2 می باشد.

می توان پایه را با ضریب بالا مثل ژرمانیم که حدود ۰/۴ است انتخاب نمود که در این صورت با استفاده از فرمول مقدار آن بدست می آید:

$$n_1 = \left(\frac{1}{0} \times \frac{4}{0} \right)^{\frac{1}{2}} \\ = 2/0$$

که می توان بعنوان تک لایه ای با ضریب شکست ۲/۰ بر روی پایه ژرمانیمی نشاند.

منحنی های رسم شده توسط کامپیوتر این دو نوع تک لایه ای بر روی پایه با ضریب کم و بر روی پایه با ضریب زیاد ضمیمه می باشد.

ماتریس انتقال یک تک لایه ای بشکل زیر برای آن نوشته می شود.

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos = \delta_1 & i \sin \delta_1 / n_1 \\ i n_1 \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos = \delta_1 + i n_m \sin \delta \\ n_m \cos \delta_1 + i n_1 \sin \delta_1 \end{bmatrix}$$

$$\delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 t \cos \theta$$

که در فرود عمود $\theta = 0 = \cos \theta = 1$

البته می توان ضخامت را طوری تغییر داد که میزان درصد بازتاب یا عبور برای ما محاسبه شده باشد بطوری که مینیمم در نقطه مورد نظر نباشد و درصدی بازتاب داشته باشد که صرفاً این امر با تغییر مقدار ضخامت قابل انجام است. پوشش با ضخامت اپتیکی

$\frac{\lambda}{4}$ در طول موج A° ۵۵۰ nm - بیشترین پهناهی باند را دارد در صورتی که اگر

مضارب فرودی از $\frac{\lambda}{4}$ را داشته باشیم مثل و در دو طرف ۵۵۰ nm بازتاب افزایش می یابد.

طراحی ضد بازتاب دو لایه ای:

میزان بازتاب از یک ضد بازتاب دو لایه ای شامل ۴ پارامتر است ۲ ضخامت و ۲ ضریب

شکست لایه ها و بدین ترتیب با نوشتن ۲ ماتریس انتقال و ضرب کردن در هم، یک

ماتریس انتقال کل برای این دو بدست خواهد آمد. برای دو لایه با ضخامت های $\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$

ماتریس بصورت زیر خواهد بود:

$$m_1 = \begin{vmatrix} \circ & i/Y_1 \\ i/Y_1 & \circ \end{vmatrix}$$

$$m = m_1 m_2 = \begin{vmatrix} \circ & i/Y_1 \\ i/Y_1 & \circ \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \circ & i/Y_2 \\ i/Y_2 & \circ \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -Y_2 & \circ \\ Y_1 & \circ \\ \circ & -Y_1 \\ \circ & Y_2 \end{vmatrix}$$

$$m_2 = \begin{vmatrix} \circ & i/Y_2 \\ i/Y_2 & \circ \end{vmatrix}$$

و می توان با روشی برای دستیابی به مینیمم بازتاب جنس ها را مشخص نمود تا ضرائب شکست مورد لزوم بدست آید.

می توان ضرائب بازتاب را برداری فرض کرد و برای بازتاب صفر مجموع آنها را برابر صفر قرار داد.

$$P_r + P_b + P_c = 0$$

یا با فرمول زیر نسبت ضرائب شکست دو لایه را بدست آورده:

$$\frac{n_o - n_1}{n_o + n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = \frac{n_2 - n_m}{n_2 + n_m}$$

$$\frac{n_1}{n_o} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_m}{n_2}$$

یا

$$n_1^3 = n_{\circ}^2 n_m$$

$$n_1^3 = n_{\circ} n_m^2$$

یا نسبت آنها را که برابر

$$\frac{n_2}{n_1} \text{ می باشد را بدست آورد. } \left(\frac{n_m}{n_{\circ}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

در مورد روش اول بر روی یک پایه ضریب بالا مثل ژرمانیم $n_m = 4/^\circ$ با توجه به فرمول

بازتاب مینیمم مقادیر n_1 و n_2 بصورت زیر بدست خواهد آمد.

$$n_1^3 = n_{\circ}^2 n_m \Rightarrow (1 \times 4/^\circ)^{\frac{1}{3}} = 1/59$$

$$n_2^3 = n_{\circ} n_m \Rightarrow (1 \times 4^2)^{\frac{1}{3}} = 2/5$$

- دو لایه با ضخامت های :

برای ضد بازتاب کردن شیشه کراون با ضریب شکست $n_m = 1/51$ یک لایه $\frac{1}{4}$ طول موج

در طول موج 550 nm از جنس مونو اکسید سیلیکون یا یاقوت $n_1 = 1/65$ بر روی یک لایه

با ضریب شکست $2/10$ نشانده می شود که تقریباً تناسب خوبی دارد و می توان با

استفاده از فرمول:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{2/1^\circ}{1/65} = 1/27 = (n_m / n_{\circ})^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1/52}{1/^\circ} \right)^{\frac{1}{2}} = 1/23$$

دریافت که نسبتاً خوب است و شکل آن با ضخامت های فوق در ضمیمه آمده است.

- دو لایه با ضخامت های $\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4}$

در فیلتر دو لایه اگر یک لایه را $\frac{\lambda}{2}$ انتخاب کنیم منحنی دارای باند پهنتری نسبت به $\frac{\lambda}{4}$

خواهد داشت و دارای دو مینیمم بازتاب می شود که قبل از این مورد پایه شیشه کراون

۱/۵۲ است و محیط تابش هوا و با داشتن ضرائب شکست $n_1 = 1/38$ و $n_2 = 1/80$ دو می

نیم بازتاب در طول موجهای 450 nm و 710 nm داریم این کوتینگ بنام کوتینگ W نامیده می شود.

منحنی طراحی های فوق که توسط کامپیوتر طراحی و ترسیم شده ضمیمه می باشد.

سه لایه ای های ضد بازتاب:

اگر از سه لایه بجای ۲ لایه استفاده کنیم باند پهنتری از طول موجها را خواهیم داشت در پوشش های سه لایه ای می توان با توجه به پارامتر ضریب شکست و ضخامت در شکل

برای ضخامت لایه ها می توان در نظر گرفت یکی $\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$ و دیگری $\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4}$ البته می توان ضخامت های دیگری که متفاوت از هم باشند ولی بازتاب می نیم و صفر داشته باشند نیز با روش برداری و محاسبات بدست آورد.

ابتدا به سه لایه ای نوع اول می پردازیم:

- سه لایه ای با ضخامت های $\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$:

در این سه لایه ای که ضخامت هر سه لایه هر کدام $\frac{\lambda}{4}$ می باشد اگر ضرائب شکست لایه ها از محیط تا پایه به تدریج افزایش یابد یعنی $n_{\circ} < n_1 < n_2 < n_3 < n_m < n$ در طول موجهای λ° و $2\lambda^{\circ}$ بازتاب صفر خواهیم داشت بشکل برداری آن توجه نمائید.

شرط اینکه ضرائب بازتاب یا طول بردارها برابر باشند اینست که:

$$\frac{n_1}{n_{\circ}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} = \frac{n_m}{n_3}$$

باشد که با طرفین وسطین کردن فرمولها معادلات زیر بدست خواهد آمد:

$$\begin{cases} n_1^4 = n_{\circ}^3 n_m \\ n_2^4 = n_{\circ}^2 n_m^2 \\ n_3^4 = n_{\circ} n_m^3 \end{cases}$$

که قبلاً برای یک پایه ضریب $\lambda/4$ مثل ژرمانیم ضرائب سه لایه بترتیب برابر مقادیر زیر خواهد شد.

$$>> n_m = 4/\circ \quad \begin{cases} n_1 = 1/41 \\ n_2 = 2/\circ \\ n_3 = 2/83 \end{cases}$$

مثال عملی این روش بر روی پایه ژرمانیم، سیلیکون با ضریب $3/3$ و سریم اکساید با ضریب $2/2$ و منیزیم فلوراید با ضریب شکست $1/28$ می باشد و کارائی اش در طول موج $3/5 \mu m$ است.

یک مثال عملی دیگر سه لایه ای با ضخامت ها با ضرائب $n_1 = 1/51$ و $n_2 = 1/86$ ، $n_3 = 2/3\circ$ می باشد. بر روی پایه سیلیکون با ضریب $3/48$ می باشد.

روش دیگر محاسبه ضرائب این است که برای این سه لایه ای با ضخامت های هر کدام $\frac{\lambda}{4}$ ضرائب شکست در فرمول زیر صدق نماید تا بازتاب صفر داشته باشیم.

$$\frac{n_1 n_3}{n_2} (n_{\circ} n_m)^{\frac{1}{2}}$$

نمونه مثال این فرمول لایه هایی با ضرائب $n_1 = 1/38$ ، $n_2 = 2/02$ ، $n_3 = 1/80$ می باشد که بر روی پایه $n_5 = 1/52$ نشانده شده باشد که منحنی ترسیم شده کامپیوترا آن ضمیمه می باشد.

$$-\text{سه لایه ای با ضخامت های } \frac{\lambda}{4}, \frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{4}$$

اگر بجای اینکه هر سه لایه ضخامت $\frac{\lambda}{4}$ داشته باشد اگر لایه وسطی را با ضخامت $\frac{\lambda}{2}$ قرار

دهیم باند پهنتری خواهیم داشت بعنوان مثال اگر سه لایه با ضرائب شکست $n_1 = 1/38$

$n_3 = 1/7$ ، $n_2 = 2/10$ را بر روی یک پایه شیشه ای با ضریب $1/52$ قرار دهیم بازتابی کمتر

از ۱٪ در محدوده نور مرئی ایجاد خواهد کرد. زیر کونیم دارای ضریب شکست $2/10$ می باشد ولی لایه نشانی و کت کردن آن مشکل است. اگر بجای زیرکونیم از مونوکسید

سیلیکون استفاده کنیم پاسخ در ناحیه IR نزدیک بدست خواهد آمد.

متدهای محاسبه کارائی یک چند لایه ای:

متدهای محاسبه کارائی یک چند لایه ای از طریق متدهای Musset و Thelen که بر پایه متدهای Smith

است می باشد که آنهم بنوبه خود بروی مرزهای موثر در کارائی بحث می کند.

ما یک مجموعه ای از لایه ها را بدو زیر سیستم با اسماء b و a تقسیم می کنیم کل عبور

از چند لایه ای بوسیله فرمول زیر داده می شود.

$$T = \frac{T_a \cdot T_b}{(1 - R_a^{1/2} \cdot R_b^{1/2})^2} \times \left[1 + \frac{4R_a^{1/2} \cdot R_b^{1/2}}{(1 - R_a^{1/2} \cdot R_b^{1/2})^2} \sin^2\left(\frac{\phi_a + \phi_b - 2s}{2}\right) \right]^{-1}$$

فرض کنید جذبی در لایه صورت نگیرد آنگاه:

$$T_a = 1 - R_a$$

$$T_b = 1 - R_b$$

برای اینکه T ماقزیم شود یعنی عبور بیشترین حد را داشته باشد یعنی ۱ بشود باید

طرف راست معادله فوق هر کدام ماقزیم شوند.

برای اینکه عبارت I یک شود بایستی $R_a = R_b$ شده و عبارت II وقتی یک می شود که

مقدار $R_a = R_b$ صفر شود پس شرایط ماکزیمم بودن عبور اینست که $\sin^2\left(\frac{\phi_a + \phi_b - 2s}{2}\right)$

بنام شرایط دامنه معروف است و اگر $\frac{\phi_a + \phi_b - 2s}{2} = m\pi$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) باشد، بنام شرایط

فاز معروف است.

شرط دامنه یک تابعی از دو زیر سیستم است و شرط فاز می تواند متناسب با تنظیم ضخامت لایه های اشغال کننده فضا باشد.

بازتاب و عبور یک چند لایه ای ثابت می نماید وقتی که در فاکتوری ثابت ضرب شوند و یا از دو طرف جابجا شوند و در هر دو صورت ضخامت اپتیکی ثابت می ماند این مسئله به آسانی از نقش ماتریسها مشخص است و تنها چیزی که باقی می ماند شرط فاز است که بایستی برای ضد بازتاب کامل مناسب باشد. ما یک لایه با ضریب n_i بین a و b در نظر می گیریم مثل شکل فوق. این لایه بعنوان لایه یا طبقه تأخیر استفاده می شود در این شکل جزء (زیر سیستم) a از یک طرفه به n_m و از یک طرفه به n_i متصل شده و همین طور b از یک طرف به n_m و از یک طرف به n_i متصل شده است.

دو دسته بندی برای سیستمهای منتجه توسط Musset و Thelen طرح شده که نوع اول و دوم نامیده شده که با شکل (TYPE I,II) نشان می دهند که برای نوع I سیستمهای بایستی داشته باشیم.

$$n_m f = n_i$$

$$n_i f = n_0$$

$$n_i = (n_0 n_m)^{1/2}$$

$$f = (n_0 n_m)^{1/2}$$

در این روش هر n_a یک برابری n_b از را می دهد.

در نوع دوم TYPE II داریم:

$$f/n_m = n_0$$

$$f/n_i = n_0$$

$$f/n_a = n_b$$

یعنی $f = n_0 n_m$ و $n_i = (n_0 n_m)^{1/2}$ همچنین هر n_a یک برابر n_b از $\frac{n_0 n_m}{n_a}$ را می دهد هیچ محدودیتی در ضخامت لایه یا تعداد لایه های هر زیر سیستم نیست بجز آنکه آنها بایستی

در تعداد برابر باشند و ساده تر خواهد بود اگر لایه ها ربع موج بکار روند (یعنی a و b

باید تعداد مساوی لایه داشته باشند)، برای رسیدن به شرایط فازی مطلوب راه مورد قبول

اینست که یک لایه ای با ضریب n_i با ضخامت صفر که عملأً یعنی لایه وجود ندارد و یا

لایه ربع موجی قرار می دهدن.

متدهای فوق برای کاربرد در یک ضد بازتاب با پایه ژرمانیم در زیر نشان داده شده است در

این حالت $n_0 = 1$ و $n_m = 4/0$ بنابراین $n_i = (n_0 n_m)^{1/2} = 2/0$ مقدار n_i در هر دو نوع I و II خواهد

بود. اول ما برای زیر سیستم a یک لایه ربع موج متصل به پایه و کوپل شده به لایه وسط

در نظر می گیریم:

$$\begin{array}{c|c|c} n_i & n_a & n_m \\ \hline (n_i n_m)^{1/2} & & \\ \hline 2/0 & 2/828 & 4/0 \end{array}$$

زیر سیستم b نیز چنین است یعنی برای هر دو نوع I و II بشکل زیر است دو زیر سیستم

زیر را به هم می چسبانیم.

$$\begin{array}{c} n_o \quad | \quad n_b \\ | \quad \left(n_o n_i \right)^{1/2} \quad | \quad n_l \\ 1/0 \quad | \quad 1/414 \quad | \quad 2/0 \end{array}$$

اگر ما ضخامت لایه وسط (کوپل شده) را به سمت صفر میل دهیم ما یک دو لایه پوشش شده خواهیم داشت و اگر ما ضخامت لایه وسط (کوپل شده) را ربع موج قرار دهیم یک سه لایه ای پوشش شده خواهیم داشت که در حالت اول طرح بصورت:

$$\begin{array}{c} 1/414 \quad | \quad 2/828 \quad | \quad \text{ژرمانیم} \\ | \quad \%25\lambda_o \quad \%25\lambda_o \quad | \quad 4/0 \\ 1/0 \end{array}$$

و در حالت بعدی شکل بصورت زیر خواهد بود:

$$\begin{array}{c} 1/414 \quad | \quad 2/0 \quad | \quad 1/828 \quad | \quad \text{ژرمانیم} \quad | \quad \text{هوا} \\ | \quad \%25\lambda_o \quad \%25\lambda_o \quad \%25\lambda_o \quad | \quad 4/0 \\ 1/0 \end{array}$$

در حالت اول یک مینیمم می دهد و دومی که شبیه یک سه لایه ای می باشد یک باند پهن سه مینیممی بما می دهد که طرح آن در شکل رو برو می باشد.

ضروری نیست که زیر سیستم ها را از اتصال n_m تا n_i و به n_o بدست آورد بلکه می توان برای مثال از متند برداری مثلاً برای دو لایه ای نتیجه گرفت مثل:

$$n_o = 1/0$$

$$n_b = (1/0 \times 4/0)^{1/3} = 1/587$$

$$n_m = 2/0$$

که از این روش دو لایه ای و سه لایه ای بدست آمده برای نوع اول و دوم I و II چنین خواهد شد.

دو لایه ای

TYPE I	هوا	۱/۵۸۷	۳/۱۷۴	۴/۰
۱/۰	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ

سه لایه ای

TYPE II	هوا	۱/۵۸۷	۲/۰	۳/۱۷۴	۴/۰
۱/۰	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ

و برای نوع دوم:

TYPE II	هوا	۱/۵۸۷	۲/۵۲	۰	۴/۰
۱/۰	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ

سه لایه ای

ژرمانیم	۱/۵۸۷	۲/۰	۲/۵۲	۰	۴/۰
۱/۰	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ	%۲۵λ

کارائی این چند لایه ای ها در شکل ۳/۱۷ آمده است.

لایه های برابر:

مزایای بزرگی در کاربرد یک سردی از ربع موجها یا مضربی از ربع موجها در اولین

مراحل طراحی بازتابنده ها و ضد بازتابها وجود دارد. برای اینکه شکل منحنی ها و

نمودارهای هر پوشش در حدود $\frac{\lambda}{\lambda}$ متقارن می شوند. اگرچه مشکلات در ساختار مطرح

می باشند ولی برای اینکه ضرائب معین شده در این روش اغلب برابر با ضرائبی که قابل

دسترس هستند نمی باشند کاربرد مخلوطی از مواد ضریب بالا High و ضریب کم Low

برای ایجاد دو ساخت یک لایه با ضرائب متوسط و میانه یک تکنیکی است که بطور موفقیت آمیز بکار برده می شود.

یک تکنیک سر راست جابجا نمودن لایه ها با ترکیب برابری که فقط از دو ماده می باشد است که یکی از دو ماده ضریب بالا High و دیگری ضریب کم Low داشته باشد.

در این روش می توان بجای اینکه برای یک لایه، ۲ لایه High و Low قرار دهیم که آدمیتانس یا ضریب شکست و ضخامت فازی برابر با آن تک لایه داشته باشد می توان ۳

لایه بجای یک لایه قرار داد بدین صورت است که یک شکل ABA را در نظر می گیریم که یک لایه بطور ساندویچی در بین دو لایه قارچ گرفته که در واقع ما یک سه لایه ای متقارن پریودیک داریم که دارای ضخامتها برابر از تعداد ربع موج دارند و ضریب شکست کلی

آن نیز با آنچه لزوم لایه اصلی است برابر است می توان آدمیتانس یا ضریب شکست کلی آن نیز با آنچه لزوم لایه اصلی است برابر است می توان آدمیتانس یا ضریب شکست یک

پریود متقارن را این چنین بدست آورد.

$$n_E = n_A \left(\frac{\sin^2 \delta_A \cos \delta_B + \frac{1}{2} [(n_B/n_A) + (n_A/n_B)] \cos \delta_A \sin 2\delta_A \sin \delta_B + \frac{1}{2} [(n_B/n_A) + (n_A/n_B)] \sin \delta_B}{\sin^2 \delta_A \cos \delta_B + \frac{1}{2} [(n_B/n_A) + (n_A/n_B)] \cos \delta_A \sin 2\delta_A \sin \delta_B - \frac{1}{2} [(n_B/n_A) + (n_A/n_B)] \sin \delta_B} \right)^{\frac{1}{2}}$$

و γ ضخامت فازی معادل این سه لایه از رابطه زیر بدست می آید:

$$\cos \gamma = \cos 2\delta_A \cos \delta_B \frac{1}{2} [(n_B/n_A) + (n_A/n_B)] \sin 2\delta_A \sin \delta_B$$

ضریب شکست معادل لایه می باشد (در حالت فرود عمود نور اولیه)

شکل ترکیب مهم این پریودهای متقارن اینست که بصورت یک تک لایه با ضخامت فازی γ

و ضریب شکست n_E رفتار می کنند.

در حالت ویژه ضخامت معادل این ترکیب بایستی یک ربع موج باشد یعنی:

$$\begin{aligned} \cos\gamma &= \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0 \\ &= \cos 2\delta_A \cos \delta_B^{-1/2} [(n_B/n_A)] \sin 2\delta_A \sin \delta_B \end{aligned}$$

$$\tan 2\delta_A \tan \delta_B = \frac{2n_A n_B}{n_A^2 + n_B^2}$$

که بصورت رو برو در خواهد آمد:

و در نتیجه n_E بصورت:

$$n_E = n_A \left[\frac{1 + [(n_B^2 - n_A^2)/(n_B^2 + n_A^2)] \cos 2\delta_A}{1 - [(n_B^2 - n_A^2)/(n_B^2 + n_A^2)] \cos 2\delta_A} \right]$$

که $\cos 2\delta_A$ از رابطه زیر بدست می آید:

$$\cos 2\delta_A = \frac{(n_B^2 + n_A^2)(n_E^2 + n_A^2)}{(n_B^2 - n_A^2)(n_E^2 + n_A^2)}$$

بعنوان مثال با کاربرد این تکنیک ما شکل زیر را که دارای ۴ لایه می باشد در نظر می

هوا

گیریم:

1/38	2/13	1/9°	1/38	شیشه
1/°%25λ	%25λ	%25λ	%25λ	1/52

لایه هائی که بایستی جابجا شوند با این تکنیک لایه های ربع موج با ضرائب ۲/۱۳ و ۱/۹۰

هستند که بدو صورت می توان جای آنها ترکیبها یا پریودهای متقاضی HLH یا LHL را

قرار داد که در شکل زیر از طریق محاسبه بدست آمده است:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & 1/38 & 2/3° & 1/38 \\ \hline 2/13 & \lambda & \lambda & \lambda \\ \hline 0/25\lambda & \%4128 & \%15861 & \%4128 \\ \hline & 2/3° & 1/38 & 2/3° \\ \hline & \%11198 & \%23°2 & \%11198 \\ \hline \end{array}$$

$$2/13 \begin{cases} 1/38 \\ \%6793 \end{cases} \lambda^{\circ} \quad \begin{cases} 2/3^{\circ} \\ \%10438 \end{cases} \lambda^{\circ} \quad \begin{cases} 1/38 \\ \%6793 \end{cases} \lambda^{\circ} \\ \circ/25\lambda^{\circ} \quad \begin{cases} 2/3^{\circ} \\ \%9216 \end{cases} \lambda^{\circ} \quad \begin{cases} 1/38 \\ \%5868 \end{cases} \lambda^{\circ} \quad \begin{cases} 2/3^{\circ} \\ \%9216 \end{cases} \lambda^{\circ} \end{cases}$$

این شکل ایجاد ترکیبات پریودیک بجای یک تک لایه بود که می‌توان انجام داد و در طراحی واقعی این ترکیبات به تعداد زیاد مشاهده خواهد شد و مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

آینه های بازتاب زیاد :High Reflectance

یک نوع از پوشش‌های تداخلی که بطور گسترده در فیلترهای چند لایه مورد استفاده قرار می‌گیرد، دسته های ربع موجی نامیده می‌شود که می‌توانند بعنوان آینه های با بازتاب زیاد، بیم اسپلیترهای تفکیک کننده رنگ فیلترهای دارای باند عبوری و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دسته های ربع موجی شامل لایه هایی با ضخامت اپتیکی یکسان هستند که ضرائب شکست آنها بطوریکه در میان تغییر می‌کند. در طراحی این دسته ها از حرف H برای لایه ربع موجی با ضریب شکست بالا و از حرف L برای لایه ربع موجی با ضریب شکست پایین استفاده می‌گردد.

مثالاً برای یک دسته شش لایه ربع موجی بصورت زیر نوشته می‌شود:

Glass H L H L H L air

بازتابش این دسته بصورت خط چین در شکل زیر رسم شده است. کمیت بدون بعد $g = \frac{\lambda}{\lambda}$ بطور معکوس با طول موج و مستقیماً با فرکانس متناسب است.

در اینجا λ طول موج است و ضخامتها بر حسب آن سنجیده می‌شود.

$$nt = \frac{\lambda}{4}$$

در همان شکل یک دسته دیگر را با یک لایه اضافه H می بینیم. اثر این لایه اضافی افزایش بازتاب در منطقه سایه زده شده می باشد، این منطقه «منطقه بازتابش زیاد» نامیده می شود. خارج از این محدوده، بازتابش بسرعت نوسان می کند و اضافه کردن لایه اضافی می تواند سبب کاهش یا افزایش بازتاب گردد هر چه تعداد لایه ها افزایش یابد، بازتابش در «منطقه بازتابش زیاد» افزایش می یابد تا جائیکه منحنی بازتاب خیلی نزدیک به ۱ و کاملاً تخت می شود. در لبه های «منطقه بازتابش زیاد» بازتابش بسرعت افت می کند و به صفر می رسد و پس از آن شروع به نوسان می کند. پهناى «منطقه بازتابش زیاد» بستگی به نسبت ضخامت لایه ها و نیز خربی شکست مواد استفاده شده برای لایه ها بستگی دارد.

بازتابش یک مقدار ماکزیمم R_{\max} در $g=1$ دارد و اگر جذب وجود نداشته باشد عبور می نیم است، این محدوده بازتابش زیاد در ساخت آینه های بازتاب زیاد که در انترفرومترها و لیزرها استفاده می شود مفید است. دسته های ربع موجی یک حالت خاص از دسته های با ساختمان متناوب است که در آنها ضخامت اپتیکی لایه ها برابر است انواع دیگری از این گروه لایه ها وجود دارند که ضخامت اپتیکی در آنها یکسان نیست ولی دارای همان منطقه بازتابش زیاد هستند در منحنی ضمیمه که توسط کامپیوتر ترسیم شده است یک چنین دسته موجی با ۱۸ لایه در طول موج مرجع ۵۵۰ nm بعنوان آینه لیزری بازتاب بالا ترسیم شده است. شکل عملی برای آینه لیزر هلیوم - نئون با بازتاب حدود

۹۹/۹۹٪ حدود ۳۲-۳۰ لایه از این نوع از جنس ZnS و MgF₂ با ضرائب شکست بترتیب ۲/۴۰ و ۱/۳۸ می باشد.

فیلترهای لبه Edge Filters

این فیلترها کارشان طوری است که ناگهان بین یک ناحیه پس زن (بازتاب کننده) و یک ناحیه عبور تغییر می کنند و بدو گروه اصلی بنام موج بلند گذر و موج کوتاه گذر تقسیم می شوند short-wave pass و طرز عملشان بر جذب و تداخل و یا هر دو تکیه دارند.

- فیلترهای جذبی (لایه نازک):

یک فیلتر جذبی لایه نازک شامل یک لایه نازکی از ماده ای که لبه جذب د طول موج مورد لزوم دارد تشکیل شده و معمولاً موج بلند گذر این شکل را دارد. نیمه هادیها که یک عبور خیلی سریع از تاری و کدری به شفافی در یک لبه ذاتی از خودشان نشان می دهند در ساخت فیلترهای موج بلند گذر مفیدند.

تنها مشکلی که معمولاً هست اتلاف بازتاب در ناحیه عبور در اثر ضریب شکست زیاد لایه می باشد بطور مثال ژرمانیم با یک لبه در μm ۱/۱۵ یک ضریب شکست ۰/۴ دارد بطوریکه ضخامت ژرمانیم ضرورتاً برای دستیابی به یک ناحیه بازتاب کننده زیاد لازم و سودمند باشند. باقیستی چندین ربع موج باشد.

مقادیر ضریب شکست مورد لزوم بهینه برای جایگذاری و ساخت این فیلتر باقیستی بین شیشه و ژرمانیم لایه با ضریب شکست ۲/۴۶ و بین ژرمانیم و هوا لایه با ضریب شکست

۲/۰ قرار دارد که نزدیکترین ارقام Z_{ns} متعلق به سولفید روی است که بهر دو عدد تقریباً نزدیک است و بازتاب آن بین $1/3\%$ تغییر می کند.

$$\frac{1 - (2/35)^4 / (4^2 \times 1/52)}{1 + (2/35)^4 / (4^2 \times 1/52)} = \%1/3$$

این میزان بازتاب برای یک طول موجهانی که لایه ژرمانیم یک عدد فردی از ربع موج باشد است و 4% برای لایه ژرمانیم که برابر مضربی از نیم موج باشد بدست می آید (برای ضخامت $\frac{\lambda}{2}$ لایه ژرمانیم بعنوان لایه غالب عمل می کند یعنی انگار وجود ندارد) و ۲ تا لایه موج سولفید روی نیز جمعاً یک نیم موج را تشکیل می دهند که انگار لایه وجود ندارد.

دیگر مواد بکار برده شده در فیلترهای تک لایه جذبی با این روش شامل دی اکسید سریم که یک ناحیه پس زن (بازتاب کننده) ماوراء بنفس و یک عبور مرئی را می دهد و سیلیکون که فیلتر موج بلند گذر با لبه ۱ میکرون را می دهد و فلوراید سرب که فیلتر موج بلند گذر با لبه $3/4$ -میکرون را بما می دهد می باشند.

- فیلترهای لبه تداخلی:

نوع اساسی فیلترهای لبه تداخلی دسته های ربع موج هست که بطور گسترده ای در فیلترهای چند لایه مورد استفاده قرار می گیرد همانطور که در قسمت آینه های با بازتاب بالا توضیح داده شد دسته های ربع موج با ضخامت اپتیکی یکسان بکار می روند ولی از دو ماده مختلف که ضرائب شکست متفاوتی دارند استفاده می شود. شکل آنها نیز در همان قسمت توضیح داده شد که بصورت

Glass HL air

Glass HLHL air

با هر تعدادی در این دسته ها بکار می روند.

همانطور که در قبل توضیح داده شد این دسته های ربع موجی باعث یک یا دو لبه ناگهانی از عبور به بازتاب یا بر عکس در یک ناحیه خیلی کوچک تغییر می کنند بما می دهند که بسیار مهم است.

البته برای بعضی کاربردها برای اینکه ناحیه ای از طول موجها را بازتاب نمایند یا جذب نمایند یک فیلتر تداخلی را با یک نوع جذبی متصل و کوپل نموده تا در واقع طول موجهای مزاحمی نداشته باشیم و بهر حال تغییر ناحیه پس زن (بازتاب کننده) یا عبوری را با کوپل کردن یک فیلتر جذبی به نوع تداخلی امکان پذیر ساخته اند.

فیلترهای جذبی معمولاً یک پس زن (بازتاب کننده) خیلی بالائی در ناحیه توقف (پس زده شده) دارند که بستگی به مقادیر اپتیکی موادشان داردو در کارائی شان سخت انعطاف ناپذیر هستند و موقعیت های لبه شان ثابت است و تغییر نمی کند. کاربرد ترکیبی از فیلترهای تداخلی و جذبی تواما با بهترین مقادیر اپتیکی از هر دو عمق پس زنی فیلتر جذبی و انعطاف فیلترهای تداخلی را تواما بما می دهد.

لایه های تداخلی (ربع موجی) را می توان روی یک فیلتر جذبی لایه نشانی کرد که فیلتر جذبی بعنوان پایه آن در نظر گرفته شده باشد با بعضی موقع قسمت تداخلی را می توان از موادی که خودشان لبه جذب در داخل قسمت س زن تداخلی دارند بسازیم. در ناحیه جذب فیلتر بهمان شکلی که تک لایه ها قسمت گذشته عمل می کند رفتار می کنند.

- چند لایه ای های متقارن:

متدهای طراحی لایه ها در ترکیب متقارن لایه هاست. هر ترکیب لایه نازک، متقارن شناخته می شود اگر هر نیمه اش تصویر آینه ای نیمه دیگر باشد ساده ترین مثال سه لایه ای است که لایه وسطی بین دو لایه خارجی قرار گرفته باشد مثل ترکیب pqp هر چند لایه ای را می توان به پریودهای متقارن مشابه ترکیب اخیر تقسیم کرد و هر کدام این ترکیبها را می توان ضخامتش را برابر یک تک لایه و ضریب شکست آنرا نیز برابر یک تک لایه ای محاسبه و در نظر گرفت.

شکل فیلترهای لبه با استفاده از این ترکیب معمولاً بصورت:

$$\begin{array}{ccccccccc} \frac{H}{2} & L & H & L & H & L & H & \dots & H & L & \frac{H}{2} \\ & & & & & & & & & & \\ \frac{L}{2} & H & L & H & L & H & L & \dots & L & H & \frac{L}{2} \end{array}$$

و یا ترکیبها فوق را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\begin{array}{ccccccccc} \frac{H}{2} & L & \frac{H}{2} & \frac{H}{2} & L & \frac{H}{2} & \frac{H}{2} & L & \frac{H}{2} & \dots & \frac{H}{2} & L & \frac{H}{2} \\ & & & & & & & & & & & & & \\ \frac{L}{2} & H & \frac{L}{2} & \frac{L}{2} & H & \frac{L}{2} & \frac{L}{2} & H & \frac{L}{2} & \dots & \frac{L}{2} & H & \frac{L}{2} \end{array}$$

که مختصرأ بصورت:

$$\left[\frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right]^s \text{ یا } \left[\frac{L}{2} H \frac{L}{2} \right]^s$$

نوشته می شود لازم به ذکر است ضخامت اینکه لایه های H و L هر کدام $\frac{\lambda}{4}$ و لایه های

$\frac{H}{2}$ و $\frac{L}{2}$ برابر $\frac{\lambda}{8}$ می باشند.

- خلاصه روش طراحی فیلتر لبه:

یک شیوه طراحی برای فیلترهای لبه را در زیر عنوان می کنیم: ابتدا ۲ ماده با ضرائب

شکست متفاوت که شفافیت در ناحیه عبوری مورد لزوم ما دارند انتخاب می کنیم و سپس

یک شکل چند لایه ای بشكل $\left[\frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right]^s$ و یا $\left[\frac{L}{2} H \frac{L}{2} \right]^s$ را بترتیب برای موج کوتاه گذر و یا

بلند گذر بشكل پریود یک متقاضن در نظر می گیریم بهتر است بالاترین رنجها و میزان

ضریب شکست ها انتخاب شود تا ناحیه پس زن پهن تری داشته باشیم و همچنین ماکزیمم

پس زنی برای تعداد پریودهای داده شده داشته باشیم.

عرض ناحیه پس زن بوسیله معادلات

$$\Delta g = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{n_g - n_p}{n_q + n_p} \right], \text{ اگر } n_p < n_q$$

$$\Delta g = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{n_p - n_q}{n_{kp} + n_q} \right], \text{ اگر } n_p > n_q$$

داده می شود.

سطح پس زنی در لبه های ناحیه (پس زن) بوسیله معادلات

$$T = \frac{4n_0 \cdot n_m}{(n_0 + n_m)^2 + (Sn_m n |M_{12}|)^2} \quad M_{21}=0 \quad \text{وقتی که}$$

$$T = \frac{4n_0 \cdot n_m}{(n_0 + n_m)^2 + (Sn_m n |M_{21}|)^2} \quad M_{12}=0 \quad \text{وقتی که}$$

$$|M_{21}|^2 = \left| \frac{4(n_p (n_p - n_q))^2}{n_q} \right| \quad M_{12}=0 \quad \text{برای}$$

$$|M_{12}|^2 = \left| \frac{4(n_p (n_p - n_q))^2}{n_p^3 n_q} \right| \quad M_{21}=0 \quad \text{برای}$$

داده می شود و در مرکز ناحیه پس زنی بوسیله معادله زیر داده می شود:

$$T = \frac{n \cdot n_m}{(n_H / n_L)^{2s} \left[(n_0 + n_m)^2 + \left[(n_0 n_m / n_p) - n_p^2 \right] \right]}$$

نمونه هائی از فیلترهای لبه موج بلندگذر که توسط کامپیوتر ترسیم شده ضمیمه می باشد
لازم بذکر است یک فیلتر لبه ۱۱ لایه ای و یک فیلتر ۲ لایه ای که از کوپل کردن ۲ تا ۱۱
لایه ای بدست آمده دیده می شود.

- فیلترهای کنترل حرارت:

یکی از کاربردهای فیلترهای کنترل حرارت در سیستمهای پروژکتور می باشد. در
بسیاری از چنین سیستمهایی یک آینه پشت لامپ پروژکتور قرار می گیرد تا ماکزیمم شار
را به سمت روزنه فیلم هدایت کند. در حالت کلی این آینه ها با نقره لایه نشانی شده اند اما
می توانند TR را نیز همانند نور مرئی از خود عبور داده و به فیلم بتابانند، اگر بجای نقره،
از یک آینه سرد استفاده کنیم، این مسئله کاهش می یابد.

آینه سرد، یک کوتینگ چند لایه است که بازتاب زیادی در محدوده نور مرئی و عبور
زیادی در IR نزدیک دارد.

همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، اینکار اجازه می دهد که IR از محفظه
لامپ خارج شود. حال اگر یک بازتابنده گرما بین لامپ و فیلم قرار دهیم، کارایی بسیار
افزایش خواهد یافت. بازتابنده گرما یک بازتاب زیاد در IR نزدیک و عبور زیاد در محدوده
نور مرئی دارد.

- تیغه های جدا کننده نور (Beam Splitters)

الف) بیم اسپلیترهای تک رنگ:

یک بیم اسپلیتر تک رنگ کامل، آنست که یک بازتابش و عبور کاملاً یکنواخت و مستقل از طول موج داشته باشد. در عمل تحقق چنین امری واقع نمی شود اما در محدوده مرئی توسط یک فیلم نقره بطور تقریبی می توان این شرط را بدست آورد. یک نوع ساده که حدود ۰٪ بازتاب و ۶۰٪ عبور دارد. از یک تک لایه TiO_2 تشکیل شده است، طیف بازتابی بدست آمده در تابش 45° بر چنین سطحی، در شکل زیر آمده است. این فیلتر تقریباً پولاریزور است و بیشتر صفحه S پولاریزاسیون (بردار الکتریکی عمود بر صفحه تابش) را بازتاب می دهد تا صفحه P.

این اثر پولاریزاسیون، در تمام بیم اسپلیترها و زوایایی کمتر یا بیشتر وجود دارد و فقط با استفاده از طراحی خاصی می توان آنرا مینیمم کرد.

ب) بیم اسپلیترهای کوک پذیر:

یک بیم اسپلیتر کوک پذیر اساساً یک فیلتر لبه است که در تابش های غیر عمودی مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین یکی از فیلترهایی که منحنی عبورشان در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است می تواند به عنوان یک آینه دو رنگی در تابش های غیر عمودی مورد استفاده قرار گیرد. محدوده عبور کم در شکل ۱۲ به قسمتهای زرد و سبز طیف حرکت خواهد کرد و عبور در قرمز افزایش خواهد یافت. فیلتری که در شکل ۱۲ طراحی شده برای

تابش عمودی در نظر گرفته شده است. اگر با در نظر گرفتن یک زاویه تابش خاص، فیلتر را طراحی کنیم، مسلماً بیم اسپلیتر موثرتری خواهیم داشت:

- آینه های نیمه شفاف:

دسته های ربع موجی که قبلاً ذکر شد، بطور گسترده برای صفحه های انترفرومتر فابری - پرو و میزراپتیکی مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت آنها برکوتینگ نقره، بازتاب خیلی زیاد آنها (در حدود ۹۹/۵٪) و جذب ناچیزشان (حدود ۰/۵٪) می باشد. شکل ۱۵ طیف بازتاب بدست آمده برای دسته های ربع موجی پنج، هفت و نه تایی که متناوباً لایه های سولفید روی و کریولیت دارند را نشان می دهد. محدوده بازتاب زیاد، تقریباً نصف طیف مرئی را می پوشاند.

کوتینگهای باند پهن، بازتاب زیادی را در محدوده گسترده تر دارند. منحنی ۳ در شکل ۱۵ یک منحنی محاسبه شده از چنین رفلکتور با باند پهنی را نشان می دهد و در همان شکل، منحنی ۴ مقدار اندازه یگری شده ($T-1$) را نشان می دهد.

کوتینگهایی که برای میزهای اپتیکی استفاده می شوند نیاز دارند که بازتابش زیادی را در یک محدوده طیفی باریک داشته باشند. آینه های نیمه شفاف که برای میزهای اپتیکی گازی استفاده می شوند، از ۱۳ لایه از سولفید روی و فلورید منیزیم تشکیل شده است و پیک بازتاب حدود ۹۸/۹٪ را می توان از آن بدست آورد.

:Band-Pass Filters

فیلتری که دارای یک محدوده عبوری باشد که در طرفین آن محدوده عبور امکان پذیر نباشد (یا حداقل عبور باشد) بعنوان فیلترهای با باند عبوری شناخته می شوند.

بطور کلی فیلترها دارای باند عبوری بدو دسته تقسیم می شوند. فیلترهای با باند عبوری پهن و فیلترهای با باند عبوری باریک.

- فیلتر با باند عبوری پهن:

بطور کلی هیچگونه مرز مشخصی بین این دو نوع فیلتر وجود ندارد. اما بر حسب کار فعلی ما بدین صورت تعریف می کنیم که فیلترهای عبوری با پهنهای باند حدود ۲۰٪ و یا بیشتر را که از ترکیب فیلترهای عبوری موج کوتاه و موج بلند ساخته شده است را فیلتر با باند عبوری پهن می نامیم (فیلتر با پهن ترین باند عبوری) مناسب ترین ساختمان، ترکیبی از فیلترهای عبوری موج کوتاه گذر و بلند گذر است). برای فیلترهای باریکتر این روش خیلی مناسب نیست. بهترین روش احتمالاً نشاندن دو لایه (دو فیلتر لبه چند لایه ای) روی طرفین یک پایه منفرد می باشد. برای بیشترین امکان عبور هر کدام از این لایه ها (فیلترهای لبه چند لایه ای) بایستی طوری طراحی شوند تا پایه را به ماده محصور شده کاملاً متصل کنند. یک امکان نیز اینست که هر دو لایه بر روی یک طرف پایه نشانده شوند شکل اصلی ترکیب کردن این دو اینست که عبور از کل باند عبوری ماکزیمم باشد چون ممکنست پیک عبوری از یکی امکان عبور داشته باشد و از دیگری امکان عبور نداشته باشد.

میزان عبور در فیلتر بستگی به اتصال لایه اول به پایه و لایه دوم به لایه اول و ماده محصور شده به لایه دوم دارد. بسته به ضرایب پذیر رفتاری معادل لایه ها، ممکنست لازم

باشد که لایه های اتصال دهنده یا کوپل کننده ربع موجی یا نیم موجی و یا موارد تکنیکهای دیگر را قرار دهیم.

در محدوده مرئی با موادی مانند سولفید روی و کریولیت ترکیب $\frac{H}{2} L \frac{H}{2}$ ^s مانند یک

فیلتر عبوری طول موج بلند با پذیر رفتاری معادل در تابش عمودی و در طول موجهائی که در محدوده عبور قرار دارد عمل می کند بنابراین می تواند بدون اشکالی بعد از هوا قرار گیرد.

ترکیب $\left[\frac{L}{2} H \frac{L}{2} \right]^s$ مانند یک فیلتر عبوری طول موج کوتاه یا پذیرفتاری معادل که فقط کمی

کوچکتر از بخش اول است عمل می کند و می تواند بعد از قسمت اول بین آندو پایه بدون

هیچ اتصال دهنده دیگری قرار گیرد. شکل زیر نتیجه طراحی را نشان می دهد منحی a

مربوط به قسمتی از عبور موج کوتاه $\left[\frac{L}{2} H \frac{L}{2} \right]^4$ و منحنی B مربوط به قسمت عبور طول

موج $\left[\frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right]^4$ می باشد.

طراحی کامل برای ترکیب یک این چنین فیلتری در جدول زیر مشاهده می شود. لبه های

هر دو قسمت کاملاً اختیاری انتخاب شده اند و می توانند بنا به ضرورت تغییر کنند

ماکزیمم عبور از معادله زیر بدست می آید.

$$T_{\max} = \frac{T_a T_b}{(1 - (R_a R_b)^{\frac{1}{2}})^2}$$

- فیلترهای با باند عبور باریک:

این فیلترها دارای پهناهی باند کمتر از ۱۵٪ می باشند.

۱- فیلتر فلز دی الکتریک فابری پرو (M - D - M)

این فیلترها که ساده ترین نوع فیلترها با باند عبوری باریک هستند ازد دو تیغه که بین آنها فاصله d وجود دارد استفاده می کند در نوار موازی میزان عبور برای تمام طول موجها کم می باشد بجز برای یکسری باندهای باریک عبوری که بر حسب عدد موج ثابت هستند این وسیله را می توان توسط یک فیلم نازک فلزی که در دو طرف یک دی الکتریک نشانده شده اند ساخت.

لایه دی الکتریک یک نقش جدا کننده بین دو لایه فلزی را ایفا خواهند کرد. با این تفاوت که اکنون لایه جدا کننده با ضریب شکست بزرگتر از واحد را دارد. ولی نحوه کار آن دقیقاً مانند تیغه های اتالون (تیغه های ترازو استاندارد اپتیکی) خواهد بود. البته از بعضی جهات اختلافات کمی وجود دارد. سطوح فیلمها دارای یکنواختی و صافی بیشتر است و در نتیجه باعث می شود که باند عبوری پهن گردد و پیک عبوری را کاهش می دهد. این فیلترها را فیلترهای فابری - پرو فلز - دی الکتریک می نامند.

در اینجا اثر جابجایی فاز روی سطوح فابری پرو را بررسی می کنیم قبل از داشتیم:

(۷-۱)

$$T_f = \frac{T_a T_b}{\left[1 - (R_a R_b)^{\frac{1}{2}}\right]^2} \frac{1}{1 + F \sin^2 \left[\frac{1}{2}(\phi_a + \phi_b) - \delta \right]}$$

$$F = \frac{4(R_a R_b)^{\frac{1}{2}}}{\left[1 - (R_a R_b)^{\frac{1}{2}}\right]^2} \quad \delta = \frac{2\pi n d \cos \theta}{\lambda}$$

بیشترین میزان عبور زمانی بدست می آید که داشته باشیم:

$$\frac{2\pi n d \cos \theta}{\lambda} - \frac{\phi_a + \phi_b}{2} = m\pi \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

در نتیجه پیک عبوری عبارت خواهد بود از:

$$\frac{1}{\lambda} = v = \frac{m\pi + (\phi_a + \phi_b)/2}{2\pi n d \cos \theta} = \frac{1}{2nd} \frac{1}{\cos \theta} \left(m + \frac{\phi_a + \phi_b}{2\pi} \right)$$

بسته به نوع فلز، ضخامت، ضریب شکست پایه و ضریب شکست ماده جداکننده جابجائی

فاز در بازتاب، ϕ در ربع اول و یا دوم خواهد بود. بنابراین $(\phi_a + \phi_b)/2\pi$ مثبت بوده بین ۰

و ۱ قرار دارد که معمولاً در محدوده ۰/۵ تا ۰/۵ می باشد. بنابراین طول موج پیک فیلتر به سمت

طول موجهای کوتاهتر از پیک جابجا می شود. یک نمونه از فیلترهای فلزی الکتریک در

شکل قبل دیده می شود. طول موجهای کوتاه کناره پیک را می توان براحتی با قرار دادن

یک شیشه جذب کننده از بین برد. این شیشه نقش یک پوشش محافظ روی لایه را بازی

می کند البته برای حذف طول موجهای بلند کناره پیک متأسفانه فیلترهای جذب کننده کمی

وجود دارد. یک نوع جالب از فیلتر فلزی الکتریک فیلتر گوه ای است که این فیلتر شبیه

شکل قبل (۱۶) است با این تفاوت که ضخامت لایه مرکزی گوه ای شکل است. در حالت

واقعی لایه های فلز خارجی بصورت گوه ای شکل در آمده اند تا با تغییر در ثابت های

اپتیکی با طول موج عکس العمل نشان دهند. در شکل لایه میانی فلوراید منیزیم و لایه های

خارجی نقره می باشند. یک قسمت کوچک از روی سطح چنین فیلتری را می توان با چند شکاف کوچک جدا کرده و در نتیجه یک مونوکروماتور ارزان با پهنهای باند کمتراز چند صد آنگستروم را بدست آورد.

۲-۲- فیلتر فابری پرو - تمام دی الکتریک:

همانند فیلترهایی که در قبل ذکر شد برای اینکه فیلتر فابری پرو تمام دی الکتریک بسازیم می بایست لایه های فلزی بازتابنده را با چند لایه دی الکتریک جایگزین نمائیم لازم به ذکر است لایه های دی الکتریک بایستی طوری باشند که مانند رفلکتور (بازتابنده ها) عمل نمایند یک نمونه از این فیلترها د شکل ۶-۷ نشان داده شده است. ماکزیمم بازتاب برای یک تعداد لایه های داده شده را می توان با یک لایه خارجی با ضریب شکست بالا H بدست آورد.

لذا فقط دو حالت وجود دارد که نیاز به توجه دارد که این دو حالت در شکل (۷-۷) نشان داده شده است.

اگر X تعداد لایه های با ضریب شکست زیاد H در هر مجموعه باشد (البته بدون در نظر گرفتن لایه جدا کننده میانی $\frac{\lambda}{2}$) آنگاه در حالتی که ضریب شکست لایه جدا کننده میانی H باشد میزان عبور از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = \frac{4n_L^{2x} \cdot n_s}{n_H^{2X+1}}$$

و در حالتی که ضریب شکست لایه جدا کننده میانی کم باشد خواهیم داشت:

$$T = \frac{4n_L^{2x-1} \cdot n_s}{n_H^{2X}}$$

اگر لایه جدا کننده میانی $\frac{\lambda}{2}$ ضریب شکست زیاد داشته باشد نیم پهنا بین صورت خواهد بود.

$$\frac{\Delta\lambda_n}{\lambda} = \frac{4n_m n_L^{2x}}{m\pi n_H^{2x+1}} \times \frac{(n_H - n_L)}{(n - n_L + n_L/m)}$$

و اگر لایه جدا کننده میانی ضریب شکست کم داشته باشد نیم پهنا بین صورت می شود:

$$\frac{\Delta\lambda_n}{\lambda} = \frac{4n_m n_L^{2x-1}}{m\pi n_H^{2x+1}} \times \frac{(n_H - n_L)}{(n_N - n_L + n_L/m)}$$

با استی توجه داشت که این نتایج برای لایه های بازتابنده مرتبه اول و جدا کننده مرتبه m است و واضح است که هر چه اثر فاز بیشتر باشد دو ضریب شکست بهم نزدیکتر و جدا کننده مرتبه m کمتر خواهد بود.

برای موادی مشترک در محدوده IR نزدیک و مرئی همانند کریولیت و سولفید روی فاکتور $\frac{n_H - n_L}{(n_H - n_L + n/m)}$ برای جدا کننده مرتبه اول برابر $43/43$ و در حالیکه برای مادون قرمز دور مانند سولفید روی و تلراید سرب بزرگتر در حدود $57/0$ می باشد شکل ۷-۸

مشخصات و کارائی یک فیلتر فابری پرودی الکتریک را نشان می دهد از آنجا که یک بازتابنده چند لایه ای تمام دی الکتریک روی یک منطقه محدود اثر می گذارد، یک باند عبوری حاشیه ای در دو طرف پیک بازتاب بوجود می آید که در بیشتر کاربردها باید حذف شود.

باند حاشیه ای طول موجهای کوتاه به آسانی قابل حذف کردن است با اضافه کردن یک فیلتر جاذب بالا گذر که بشکل دیسک های شیشه ای پولیش شده که به آسانی قابل دسترس است می توان انجام داد. بهترین راه حل مشکل اخیر (حذف طول

موجهای بلند) استفاده از یک نوع فیلتر جاذب نیست بلکه بکار بردن یک فیلتر فلز دی الکتریک بعنوان فیلتر متوقف کننده از نوعی که قبلاً بحث شده می باشد، یا اینکه از فیلترهای چند حفره ای که بعداً اشاره خواهد شد استفاده شود.

بخاطر اینکه فیلترهای فلز دی الکتریک که در مرتبه اول استفاده می شوند، باندهای حاشیه ای طول موج بلند ندارند بسیار برای این کار مفیدند این نوع فیلترها را می توان با لایه نشانی روی فیلترهای تمام دی الکتریک تولید نمود. در محدوده مرئی و IR نزدیک موادی مانند سولفید روی ZnS و کریولیت و ... قادرند پهناهی کمتر از 1 nm نانومتر با پیک عبوری مفید را ایجاد کنند. برای چنین فیلترهایی با پهناهی باند کم و یکنواختی فیلتر مشکل بزرگی است و در ۹۰٪ نقاط پیک فیلتر دارای پهناهی $\frac{1}{3}$ نصف پهنا می باشد.

در فیلترهای فابری پرو می توان لایه میانی را بجای هوا از جامدی که دارای خواص اپتیکی است قرار دهیم این فیلترها فیلترهای مرتبه زیاد فابری پرو هستند که خیلی پایدارتر و بهتر از فابری پروهای سنتی که هوا در میان دو لایه بود می باشند و مشکلات ساخت آنها را نیز ندارند. اولین بار Dobrowolski میکارا می توان لایه میانی بکار برد و به نیم پهناهی $\frac{3}{3}\text{ nm}$ دست یافت. با یک چنین لایه ای که ضخامت ۶۰ داشته باشد می توان نیم پهناهی حدود 1 nm و باریکی 85 nm را ایجاد کرد. پیک عبوری بین ۵۰٪ برای باریکتر و تا ۸۰٪ برای کمی پهنتر از آن یکی با پهناهی حدود 3 nm می باشد.

سیلیس Fused Silica اگر بعنوان لایه میانی بکار رود با ضخامت $50 \mu m$ نیم پهناي باريکتر از ۱/۰ را ايجاد خواهد کرد اگر ديسک ضخيم تر بکار رود نيم پهناي باريکتر از $0.005 nm$ را ايجاد می کند.

تغيير در ضخامت لایه میانی سبب تغيير طول موج پيك فيلتر می شود. نيم پهناي منتجه با افزایش ۱۰٪ باعث کاهش پيك تا حدود ۷٪ می شود که می توان نوشت:

$$\frac{\Delta\lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta d}{d} \leq 0.5 \Delta\lambda_0 / \lambda_0$$

که در معادله فوق D ضخامت اپتیکی (nd) لایه جدا کننده میانی می باشد و $\Delta\lambda_0$ خطأ در

Resolving Power = $\frac{\lambda_0}{\Delta\lambda_0} = m.F$ طول موج پيك و $\Delta\lambda_0$ نيم پهنا می باشد و قدرت تفكيك برابر

$$D = \frac{m\lambda_0}{2}$$

$\frac{\%25\lambda_0}{D} \leq$ ضريب ظرافت می باشد.

فیلتر لایه میانی جامد برای IR نیز ساخته شد. در این ناحیه یک ژرمانیم با ضخامت

$780 \mu m$ در محدود $700 cm^{-1}$ عمل می کند. (در مرتبه ۴۰۰۴ام) و وقتی دو طرف این

ژرمانیم با یک لایه سولفید روی و همچنین یک ربع موج تلراید سرب لایه نشانی شود یک

بازتاب ۶۲٪ با نيم پهناي فريز $1 cm^{-1}$ ميدهد و برای طول موجهاي برابر يا کمتر از

$3/5 \mu m$ سیلیس fused silica بعنوان لایه میانی بسيار خوب عمل می کند و رضایت‌بخش

است برای طول موجهای بالاتر Yttalox یک ترکیبی از Therium oxide و Yttrium بسیار رضایت‌بخش است تا اینجا در واقع ما یک لایه میانی با ضخامت چند نیم موج داشتیم ولی حال از دو لایه جدا کننده میانی به بالا را بررسی می کنیم.

- فیلترهای چند حفره ای (چند لایه میانی):

منحنی عبور یک فیلتر تمام دی الکتریک فابری پرو شکل ایده آل ندارد.

اگر ۲ یا چند تا از فیلترهای فابری پرو بطور سری بهم متصل شوند. شکل منحنی بصورت مستطیل شکل در می آید شکل اساسی این فیلترها بصورت:

Reflector halfwave Reflector Halfwave Reflector

خواهد بود که بصورت دو حفره ای یا دو نیم موج یا فیلتر D H W یا فیلتر دو حفره ای شناخته می شوند. نمونه هایی از این دو حفره ای های تمام دی الکتریک یا D H W در شکل ۷-۱۴ نشان داده شده اند. فیلترهای سه حفره ای یا سه نیم موج نیز که دارای باند

پهنتری هستند بنام WADIS

(wide Bandall dielectric Interfeence filters)

شناخته می شوند.

در فیلترهای فابری پرو بازتاب کم بمعنی پهن بودن باند است.

در منحنی های ضمیمه شکل های مختلف دو حفره ای و سه حفره ای را مشاهده می کنید.

منحنی های که بصورت قائم الزاویه باند عبورشان می باشد توسط ترز و اسمیت طراحی شده اند.

ساخت پوشش‌های چند لایه:

عمده کار تولید فیلترهای چند لایه، نشاندن چند لایه (اغلب ۴۰ تا ۵۰ لایه) بر روی یک پایه مناسب می باشد. ضریب شکست و ضخامت هر لایه بایستی در طول لایه نشانی بدقت کنترل شود و ضخامت لایه در تمام سطح بایستی که یکنواخت باشد. اغلب از سه روش زیر برای لایه نشانی استفاده می کنند و لایه نشانی شیمیایی، لایه نشانی توسط پراکنش و لایه نشانی تبخیر در خلا.

۱- لایه نشانی شیمیایی:

فاایده لایه نشانی به روش شیمیایی اینست که می توان سطح بزرگی را با هزینه نسبتاً کمی پوشش داد. اشکال این روش در اینست که موادی که قابلیت لایه نشانی را دارند (در این روش) فقط به تعداد اندکی از فلزات و اکسیدهای فلزی محدود می شوند. این روش مربوط به یک قرن پیش است و در حال حاضر بیشتر از روش تبخیر در خلا استفاده می گردد ولی لایه نشانی نیز آینده بهتری را نوید می دهد و شاید در محدوده وسیعتری در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

۲- پراکنش:

وقتی بر سطح یک جامد، پرتو یونی، الکترونی و یا نوری یا انرژی کافی بتابد. اتمهای تشکیل دهنده جسم از سطح آن جدا شده و در فضا پراکنده می گردند. این پدیده را پراکنش می نامند و اولین بار در محیطی که در آن تخیله الکترونی صورت گرفته بود، مشاهده گردید.

کلاً پراکنش سبب سائیدگی و خوردگی سطح جامدات می شود. ولی با این وجود مدت زیادی از این روش برای نشاندن لایه های نازک استفاده می شده است.

اخیراً با استفاده از تکنولوژی پیشرفته، می توان لایه هائی از مدار مختلف را به آسانی و در محیط تمیزتری و با نتیجه مطلوب تری بدست آورد.

۳- تبخیر در خلاء:

این روش بهترین روش توصیه شده می باشد که در آن پایه در قسمت بالای درون یک محفظه شیشه ای بنام Chamber قرار می گیرد. این محفظه شیشه ای توسط یک لاستیک به صفحه زیرین آن محکم شده است بطوریکه منفذی برای جریان هوا وجود نداشته باشد (Sealed)، فشار درون محفظه باید کمتر از ۱۰ mmHg باشد که این فشار توسط یک پمپ دیفریوژن که در پشت یک پمپ روتاری مناسب قرار گرفته است تأمین می گردد، زیرا این فشار، پویش آزاد گاز باقی مانده، بزرگتر از ابعاد محفظه است. ظرفی که در آن ماده جامد قرار گیرد گرم می شود و سبب تبخیر ماده موجود در آن می شود. در نتیجه این بخار بر روی پایه مورد نظر، نشسته و یک لایه فلزی نازک و یا دی الکتریک را بوجود می آورد.

مواد پوشش دهنده:

۱- خواص اپتیکی:

مواد انتخاب شده بایستی ضریب شکست مورد نیاز را داشته باشند و بتوانند تبخیر شوند تا ضخامت خواسته شده را ایجاد کنند. همچنین باید دارای پایداری و دوام بوده و در مقابل آب و رطوبت هوا مقاوم باشند که این مسائل در درجه دوم قرار می گیرد. ضریب

شکست حقیقی یک لایه نازک تابع پارامترهای زیادی است از جمله: فشار جزئی و ترکیب گاز باقی مانده در طول تبخیر، دمای پایه و دمای منبع تبخیر.

۲- خواص فیزیکی:

یکی از خواص مهم لایه های نازک، سختی و دوام آنست بخصوص اگر یک لایه شیشه ای روی آن پوشیده نشده باشد.

پوششی که از روی پایه حرکت نکند پوشش سخت و پوششی که به آسانی با فشار کم حرکت کند، پوشش نرم نامیده می شود. موادی که شامل کلاس پوشش سخت قرار می گیرند عبارتند از: منیزیم، منواکسید سیلیکون فلوراید، دی اکسید سریم، دی اکسید تیتانیوم و ژرمانیم و موادی که پوشش نرم تولید می کنند: کریولیت و تری اکسید آنتیموان اگرچه درجه مقاومت یک پوشش بستگی به شرایط خلاء و دمای پایه در طول عمل لایه نشانی دارد. همچنین لازم است که یک کوتینگ نسبت به رطوبت مقاوم باشد. حتی اگرچه بسیاری از مواد کوتینگ نسبتاً غیر قابل حل اند، ولی آب چسبندگی لایه ها به پایه را خراب کرده و در نتیجه کوتینگ از بین می رود.

یکی از آزمایش‌های اساسی بر روی یک چند لایه، قرار دادن آن بمدت چند روز در آب نمک داغ است. برای چند لایه هایی که از منو اکسید سیلیکون ژرمانیم، دی اکسید تیتانیوم و مواد مشابه دیگر تشکیل شده باشد، این تست را انجام می دهند.

یک فاکتور مهم که استفاده از مواد مشخص را در محدوده IR محدود می کند فشارهای مکانیکی است که در لایه نازک به هنگام لایه نشانی پدید می آید. این Stress در بیشتر

مواد کششی است و متناسب با ضخامت لایه است. موادی مانند منیزیم فلوراید و کریولیت، استرس مکانیکی قابل توجهی دارند. در حالیکه این استرس در منواکسید سیلیکون و کلریدسریم قابل اغماض است. بخار این استرس امکان تبخیر لایه منیزیم فلوراید که دارای ضخامت بیشتر از (برای لایه ای به ضخامت طول موج) باشد وجود ندارد. یک لایه محافظ از جنس خاصی برای عدم رطوبت گیری لایه ها و حفاظت در مقابل شرایط محیطی نیز روی فیلتر می دهند که باستی ضریب شکست لازم را داشته باشد لذا برای IR از لایه Al_2O_3 و برای ناحیه مرئی و U.V از MgF_2 و SiO_2 , ZnS موادی موارد از شیشه با ضریب $1/51$ استفاده می شود.

۳- شفافیت عبور:

مواد قابل استفاده در لایه نشانی برای طراحی فیلترهای در ناحیه های مختلف طول موجها باستی شفافیت لازم در طول موج مرجع یا مورد لزوم را باستی داشته باشند. یعنی برای فیلتر عبوری طول موج مرئی باستی موادی باشند که این طول موجها را عبور دهند و همچنین پایه باستی همین خاصیت را داشته باشد هر چند می توان پایه هائی را انتخاب کرد که بتوانند طول موجهای غیر لزوم ما را جذب کنند مثلاً شیشه BK7 می توانند مأوراء بنفس را جذب نماید و از خود عبور ندهد لذا برای حذف طول موجهای کوتاهتر از $3 \mu\text{m}$ می توان از این شیشه استفاده نمود. برگ های ضمیمه منحنی های میزان عبور ماده های شیشه ای و شفافه ها را با توجه به طول موج نشان می دهد که در طراحی حتماً مورد

استفاده قرار می گیرد همچنین جداول موجود در برگ ضمیمه ضرائب شکست هر ماده را با طول موج نشان می دهد که در محاسبات ضروری است.

فهرست منابع و مأخذ:

۱- کتاب Thin film optical filters

MCGRAW-HILL- 1981 by: Macleod

۲- کتاب Applied Optics & Optical engineering

۳- جزوه فیزیک لایه های نازک دکتر محمد صادق علائی

۴- کتاب Introduction to Optics

PRENTICE - HALL International Editor-1987 by: Pedrotti

فصل ۲۲

۵- مقاله تحقیقی روند پژوهشی در زمینه پوششهای اپتیکی از کتاب مجموعه مقالات ارائه

شده در کنفرانس لیزر و کاربردهای آن از سازمان انرژی اتمی ایران، کنفرانس شماره ۱.