

三 层 宽 带 增 透 膜

光学仪器透光率的增加, 传色度的改善, 以及其它特性的改进, 都与光学元件表面的宽带反射率的降低相联系。这些光学元件通常具有1.45~1.80的折射率。

一直使用三层膜系作为消色增透层。这种增透膜系在可见光谱区, 保证反射率为0.5%左右^[1]。利用对增透膜系诸参量进行最优化的方法, 可以完善膜系的特性。在文献[2~6]中, 对于折射率为1.45~1.80的基片玻璃, 作者固定外层和中间层($\lambda_0/2$ 层)的折射值 n_1 和 n_2 , 确定了紧贴基片的第三层膜的最佳折射率 n_3 。

在我们的研究中, 对构型为 $\lambda_0/4-\lambda_0/2-\lambda_0/4$ 的三层增透膜系, 进行了两个折射率 n_2 和 n_3 的最优化试验。其中下述关系成立: $n_3 < n_3 < n_2 > n_1 > n_0$; $n_3 < n_1^2$; $n_3 < n_1^2 n_2$; $n_0 = 1$; (n_0 为玻璃基片的折射率)。

改变上述三层膜系中的 n_2 和 n_3 , 算得反射系数, 对计算结果进行分析与综合, 我们找到一系列的规律。这些规律的特点, 很容易从诺谟图*上查得。诺谟图确定了三层增透膜的参量, 残余反射率以及相对增透带宽之间的关系**。相对增透带宽定义为

$$\delta\lambda_{R_0} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0}$$

式中反射率 $R \leq R_0$ (图1)

从诺谟图可知:

1. 三层增透膜可以有三种类型的光谱反射率曲线。即Π形, W形和V形。在选定的折射率 n_1 、 n_2 和 n_0 的组合下, 这些类型的曲线由满足下述关系的折射率值 n_3 来保证

$$n_3 = n_3^0$$

$$n_3 < n_3^0$$

$$n_3 > n_3^0$$

其中最优化折射率 n_3^0 为

$$n_3^0 = f(n_1, n_2, n_0)$$

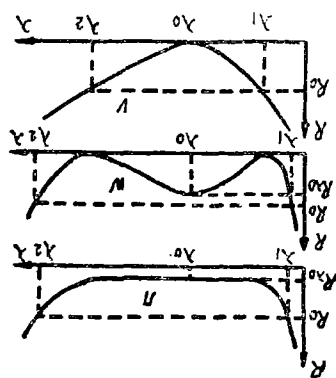


图1 三层增透膜系的光谱反射率曲线

* 我们作出的三层增透膜系的诺谟图, 膜系参量为: $n_2 = 1.52, 1.62, 1.72$; $n_1 = 1.38, 1.45$; 残余反射率为0~0.5%——原注。

** 为了不与红外材料术语“剩余反射”相混淆, 特译为“残余反射”。——译注。

2. 具有Π形曲线的增透膜, 在光谱带 $\delta\lambda_{R_0}$ 内均匀地降低了反射率。 $\delta\lambda_{R_0}$ 的宽度, 对于给定的基片而言, 依赖于半波层的折射率 n_2 , 并且在 n_2 取某一确定值时, $\delta\lambda_{R_0}$ 达到最大(见图2)。在获得最大增透带宽度的同时, 保证Π形反射率曲线的各层折射率值的组合, 便是最优化。

在给定的波长 λ_0 , 残余反射为

$$R_{\lambda_0} = \left(\frac{n_1^2 n_3 - n_3^2}{n_1^2 n_3 + n_3^2} \right)^2 \quad (2)$$

增大 n_3 可以降低 R_{λ_0} , 但同时最大增透带宽度 $(\delta\lambda_{R_0})_{\max}$ 却减小(见图3)。

(2)式是由A.Γ.符拉索夫〔7〕循环关系得到的三层增透膜公式。

我们试看几个实例。

例1 试确定最佳三层增透膜系的参量和增透带宽度, 此膜系镀在折射率 $n_s = 1.62$ 的玻璃上, 在增透带内反射率 $R_0 \leq 0.3\%$, 并且令 $n_1 = 1.45$ 。由图3根据曲线5.5'和5", 找到在 $n_1 = 1.45$ 的情况下, 当 $n_2 = 2.23$ 和 $n_3^0 = 1.775$ 时, 残余反射率正好达到 $R_0 \leq 0.3\%$ 。这样, 镀在 $n = 1.62$ 的玻璃上的三层增透膜($n_1 = 1.45$, $n_2 = 2.23$ 和 $n = 1.78$)应当保证Π形反射率曲线, 并具有宽度为 $0.445\lambda_0$ 的增透带, 带内反射率 $R_0 \leq 0.3\%$ 。这时在波长 λ_0 的残余反射率 $R_{\lambda_0} \approx 0.18\%$ 〔按(2)式计算〕。可以类似地求得 $n_1 = 1.38$ 。

例2 试确定三层增透膜系的参量和增透带 $\delta\lambda_{0.5}$ 的宽度。给定玻璃的折射率 $n_s = 1.60$, 并且 $n_1 = 1.45$, $n_2 = 2.10$ 。根据图3的曲线5", 由 $n = 1.62$ 和 $n_2 = 2.10$

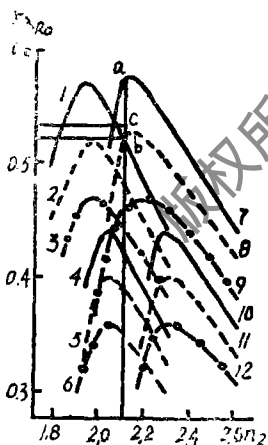


图2 Π型增透膜的增透带宽度与半波层折射率的关系。曲线1~3和4~6对应于 $n_1 = 1.38$ 时的 $R_0 = 0.5\%$ 和 0.2% ; 而曲线7~9和10~12对应于 $n_1 = 1.45$ 时的 $R_0 = 0.5\%$ 和 0.2% 。— $n_3 = 1.52$, ... $n_3 = 1.62$, -·- $n_3 = 1.72$

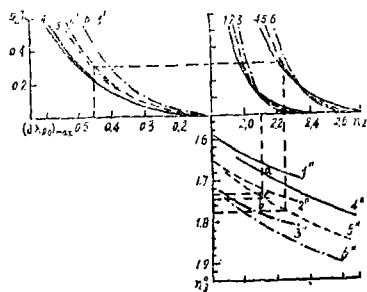


图3 用于Π型增透膜系, 根据给定的反射率 R_0 计算增透带最大宽度、折射率 n_2 和 n_3^0 的诺谟图。曲线1~3, 1'~3', 1''~3''对应于 $n_1 = 1.38$; 而曲线4~6, 4'~6', 4''~6''对应于 $n_1 = 1.45$ 。— $n_3 = 1.52$, ... $n_3 = 1.62$, -·- $n_3 = 1.72$

我们找到 $n_3^0 = 1.74$ ，而从图 2 的曲线 8 求得 $\delta\lambda_{0.5} = 0.525$ 。图 3 中曲线 4'' 和 5'' 切取的线段 ab，相当于玻璃折射率的差值 $\Delta n_s = 0.10$ 。从曲线 5'' 的交点 b 向上延引线段 bc

$$bc = \frac{\Delta n_s'}{\Delta n_s} ab = 0.2ab$$

式中 $\Delta n_s' = 1.62 - 1.60 = 0.02$ ，我们便得到点 C，它的座标便确定了 $n_s = 1.60$ 的玻璃的最佳折射率 $n_3^0 = 1.73$ 。由图 2 类似地找到相应于 $n_s = 1.60$ 的带宽 $\delta\lambda_{0.5} = 0.535$ 。

这样，具有 $n_1 = 1.45$ 、 $n_2 = 2.1$ 、 $n_3 = 1.73$ 和 $n_s = 1.60$ 的三层增透膜系，应当保证 Π 形光谱反射率曲线，具有增透带宽度 $\delta\lambda_{0.5} = 0.535$ ，带内残余反射率 $R_{\lambda_0} \leq 0.5\%$ ，而在给定波长 λ_0 反射率 $R_{\lambda_0} \approx 0.34\%$ [按 (2) 式计算]。

3. 具有 w 形反射率曲线的增透膜，同样有消色作用。在给定的波长 λ_0 ，光谱反射率曲线表现出极大值 (见图 1)。当按图 4 选取折射率 n_1 、 n_2 和 n_s 的组合，并取满足 (1) 式的 n_3 ，则仅在一个 n_3 值增透带达到最大宽度

$$n_3 = n_3^w = n_1 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{R_0} n_s}{1 + \sqrt{R_0}}} \quad (3)$$

例 3 试确定三层膜系的参数，该膜系镀在 $n_s = 1.62$ 玻璃上， $n_1 = 1.45$ 时，能保证有最大增透带的 W 型反射曲线残余反射率 $R_0 = 0.3\%$ 。

对相应于图 4 曲线 5 和 5' 的 $n_s = 1.62$ 玻璃，最大增透带宽 $(\delta\lambda_{0.3})_{max} = 0.49$ ， $n_2 = 2.2$ 。从 (3) 式可求得当 $R_0 = 0.3\%$ 时， $n_3^w = 1.75$ 。

4. 如果 $n_3^w \approx n_s$ ，那么 W 型三层增透膜便“退化”为具有半波内层的两层膜，相应 (3) 式的玻璃折射率满足关系

$$n_s = n_1^{rp} \approx n_1^2 \frac{1 - \sqrt{R_0}}{1 + \sqrt{R_0}}$$

此时两层透膜系保证残余反射率

$$R_{\lambda_0} = \left| \frac{n_1^2 - n_s}{n_1^2 + n_s} \right|^2$$

对于折射率 $n_s \geq \frac{1}{n_1}$ 的玻璃， Π 型和 w 型三层增透膜比之具有半波层的两层增透膜，增透带更窄 (见图 3 和图 4 的曲线 3')。按照 $n_3 < n_s < n_2 < n_1 > n_0$ ，利用新的膜系结构 $\frac{\lambda_0}{2} - \frac{\lambda_0}{2} -$

$\frac{\lambda_0}{4}$ ，这些玻璃的增透带得以扩展 (8)。

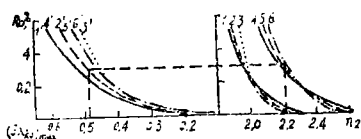


图 4 用于 w 型增透膜系，根据给定反射率 R_0 计算增透带最大宽度和折射率 n_2 的诺谟图。曲线 1~3, 1'~3' 对应于 $n_1 = 1.38$; 4~6, 4'~6' 对应于 $n_1 = 1.45$ 。— $n_s = 1.52$, ... $n_s = 1.62$, ... $n_s = 1.72$, ... 镀在玻璃 ($n_s = 1.72$) 上的两层增透膜

n_1	n_2	反射率 曲线形 状	$R_0=0.5\%$				$R_0=0.2\%$			
			n_2	n_3	$\delta\lambda$	$R_{\lambda_0}\%$	n_2	n_3	$\delta\lambda$	$R_{\lambda_0}\%$
1.38	1.52	Π	1.92	1.62	0.575	0.24	2.03	1.645	0.445	0.12
		W	1.88	1.58	0.6	0.5	2.02	1.63	0.47	0.2
	1.62	Π	1.95	1.69	0.52	0.15	2.04	1.71	0.405	0.07
		W	1.90	1.63	0.56	0.5	2.02	1.68	0.44	0.2
	1.72	Π	1.97	1.76	0.47	0.08	2.05	1.775	0.36	0.04
		W	1.95	1.72	0.505	0.25	2.01	1.73	0.42	0.2
1.45	1.52	Π	2.12	1.69	0.58	0.33	2.28	1.72	0.445	0.16
		W	2.08	1.66	0.6	0.5	2.27	1.71	0.47	0.2
	1.62	Π	2.15	1.755	0.525	0.31	2.30	1.79	0.41	0.1
		W	2.11	1.715	0.56	0.5	2.28	1.765	0.44	0.2
	1.72	Π	2.19	1.83	0.47	0.15	2.30	1.85	0.36	0.08
		W	2.13	1.77	0.525	0.5	2.29	1.82	0.42	0.2

5. 三层增透膜系的增透带宽度 $\delta\lambda_{R_0}$ ，随 n_2 增大而减小；并且W型膜系的残余反射率以及 $\delta\lambda_{R_0}$ ，比之最优化的Π型膜系要大（见表）。

6. 当选取相应的折射率 n_2 和 n_3 时，具有不同外层折射率的（ $n_1=1.38$ ， $n_2=1.45$ ）三层增透膜系，可以保证大体接近的增透带宽度，并且在最优化膜系中， $n_1=1.45$ 的残余反射率 R_{λ_0} 要比 $n_1=1.38$ 的更高。

7. V型增透膜系比之Π型和W型，具有更小的增透带宽度（ $R_0 \leq 0.5\%$ ），所以我们不作详细分析。

结 论

1. 本文绘制了在两种 n_1 值（1.38和1.45）情形计算三层增透膜 $\lambda_0/4-\lambda_0/2-\lambda_0/4$ 的诺谟图。

2. 对于 $n_2=1.52\sim 1.72$ 的玻璃的三层增透膜，进行了保证最大增透带宽度的折射率最佳化计算。

3. 计算指出，对于折射率 $n_2 \geq n_S^{rp}$ 的玻璃，具有半波内层的两层增透膜，可保证宽的增透带，带内给定波长的残余反射率 $R_{\lambda_0} \leq 0.5\%$ 。

参 考 文 献

- [1] Т.Н.Крылова, Р.С.Соколова, Опт и спектр., 1957, Vol. 2, №. 2, P.254.
- [2] Т.Н.Крылова, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, Vol. 6, №. 6, P.462.
- [3] Т.Н.Крылова, Интерференционные покрытия, Л, Машиностроение, 1973.
- [4] J.T.Gox, G.Hass, A.Thelen, JOSA, 1962, Vol. 52, № 9, P. 965.
- [5] Дж.Т.Кокс, Г.Хасс, В сб.: Физика тонких пленок, Т. 2, М, Мир, 1967, P.186.
- [6] А.Г.Кудрявцев, В.В.Еремей, Опт. и спектр., 1976, Vol. 40, № 5, P.921.
- [7] И.В.Гребеншиков и др., Просветление оптики, М, М., Гостехиздат, 1946.
- [8] A.W.Lauderback, M.A.Zook, USP, №.3604784, 1971.

译自ОМП, 1979, № 4, P. 34.

200所 周九林 译 卢中尧 校

(上接第18页)

另外,考虑轴套经常与竖轴接触和相互摩擦转动,磁性容易带给轴套,因而竖轴也就不允许有能影响磁针精度的磁性存在。当发现装配前有磁性时同样必须进行退磁。

2. 磁针定向时的使用条件:产品在装调磁针归北时和检验、部队使用时条件必须一致,除水泡必须居中外,高低俯仰机构必须归零,这样才能保证磁针定向精度。假如工厂在装调时高低俯仰机构归零,但在检验或部队使用时不遵守同一条件,即带马达和瞄准镜的主机处于俯角或仰角时,就相当于整个马达旋转了一定角度,这样马达对磁针的影响就要改变,当俯仰土 300 密位时,定向误差可达五、六个密位,这是必须避免的。

结 束 语

依据上述原理和方法对我厂生产的产品选出样机到北京白家瞳地磁台进行装调标定,其精度在一个密位之内,并以此样机为标准定向仪器进行产品的装调,其磁针定向精度都在所要求的 0—03 密位之内,几个月后到地磁台重新鉴定,精度无明显变化,稳定性良好。