

用多层薄膜的光调制

多层薄膜的技术是早已确定的，用这种技术便可实现高的反射比(接近100%)。通常用作光学共振器的反射器的这些多层薄膜是由两种轮流叠在一起的薄膜组成的。对波长为 λ 的入射光束来说，两种薄膜中之一层具有大的折射率，而另一层具有小的折射率。希望使这两种折射率之间有尽最大可能的差值。每层膜应有四分之一波长($\lambda/4$)的光学厚度。

当用光学厚度可变的一层膜代替这些多层薄膜中的一层的时候，我们便可以控制多层薄膜的正入射的反射比。根据多层薄膜的理论^[2]、正入射的反射比可以作为可控层膜的光学厚度的函数得出。它也取决于薄膜的层数和可控膜层的位置。

例如，当薄膜层数为 $2(A+B)+3$ 的时候，其数序是由基片算起的，并且可控膜层是在 $2(B+1)$ 层上，反射比度为

$$R = \frac{(f_1^2 \cos^2 \left\{ \left[\frac{2\pi}{\lambda} \right] nd \right\} + f_2^2 \sin^2 \left\{ \left[\frac{2\pi}{\lambda} \right] nd \right\})}{(g_1^2 \cos^2 \left\{ \left[\frac{2\pi}{\lambda} \right] nd \right\} + g_2^2 \sin^2 \left\{ \left[\frac{2\pi}{\lambda} \right] nd \right\})} \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} f_1 &= n_0(n_2/n_1)^{A-B} - n_s(n_1/n_2)^{A-B} \\ f_2 &= (nn_0 \cdot n_1/n_2)(n_2/n_1)^{A+B} - (n_1^2/n)(n_1/n_2)^{A+B}, \\ g_1 &= n_0(n_2/n_1)^{A-B} + n_s(n_1/n_2)^{A-B}, \\ g_2 &= (nn_0 \cdot n_s/n_1^2)(n_2/n_1)^{A+B} + (n_1^2/n)(n_1/n_2)^{A+B}, \end{aligned}$$

其中 n 是可控膜层的折射率； n_1 和 n_2 分别为奇数膜层和偶数膜层的折射率； n_0 和 n_s 分别为空气和基片的折射率；而 d 为可控膜层的几何厚度。

当可控膜层的光学厚度为 $(2N+1)\lambda/4$ ($N = \text{整数}$)时、反射比变为最大：

$$R_{\text{最大}} = (f_2/g_2)^2, \quad (2)$$

而当可控膜层的光学厚度为 $2N\lambda/4$ 时、反射比变为最小：

$$R_{\text{最小}} = (f_1/g_1)^2 \quad (3)$$

当对固定值 $A-B$ 来说， $A+B$ 变大的时候，便容易地从方程式(1)、(2)和(3)看到，在 $R_{\text{最小}}$ 保持不变时 $R_{\text{最大}}$ 约等于1、而 R 对 nd 的曲线在 $R_{\text{最大}}$ 附近变宽而在 $R_{\text{最小}}$ 的附近变成尖锐角度。

假设方程式(3)中 $A=B$ ，我们便有

$$R_{\text{最小}} = \left[\frac{(n_0 - n_s)}{(n_0 + n_s)} \right]^2 \quad (4)$$

这正是其片表面的反射比。

在每种情况下可以通过下式得到透射比：

$$T = 1 - R$$

为了用实验表明上进效应、我们采用向列液态晶体作为可控膜层，因为通过用电场可使折射率有大变化。一般了解到，向列液态晶体有相当大的电光学效应。

在图1示出实验。薄的向列液态晶体层夹在两个保持平行的熔石英板之间。用真空蒸发的方法把多层薄膜沉积在熔石英板的表面上。薄膜是由五层膜组成的，从熔石英板的表面起，五层膜是 CeO_2 ， MgF_2 ， CeO_2 ， MgF_2 四层膜和 In_2O_3 -层膜(透明电极)。

每层的光学厚度为 $1/4 \times 6328 \text{ \AA}$ ，而向列液晶膜层的几何厚度为 8.7 微米。在引入液晶之前，是这样来作 In_2O_3 表面的特殊处理，即向列液晶的取向是与 In_2O_3 膜层表面排成直角。我们用的液晶是 MBBA 和 EBBA 的混合物。为了控制向列液晶膜层的光学厚度、在透明电极之间施以 1 千赫兹交流电压。用 6328 \AA 的线偏振激光器的光束测量正入射的反射比和透射比。

当透明电极之间的交流电压为 0 伏的时候，元件的反射比和透射比不取决于入射激光器光束的偏振面的方向。但是，当采用大于 5 伏的交流电压时，反射比和透射比是随着偏振面的方向变化而变化。对偏振面的特殊方向反射比和透射比变为最大。反射比和透射比的变化数量在图 2 示出。在这个图上可看到，反射比和透射比的变化在用约 5 伏交

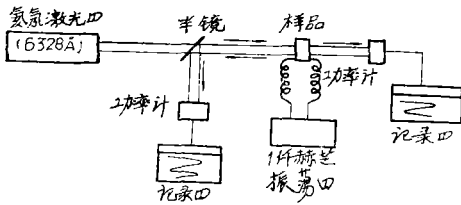


图 1 反射比和透射比测量用的装置

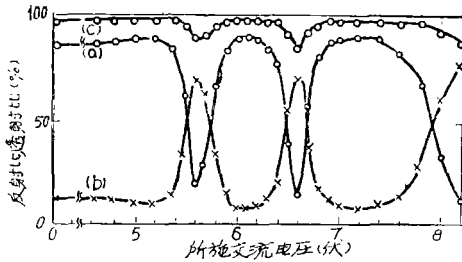


图 2 反射比和透射比作为所用交流电压的函数，对波长为 6328 \AA 正入射光束而言。对于 (a) 反射比为 R ；(b) 透射比为 T ；和 (c) $R + T$ 。

流电压时开始的。当应用的交流电压从 5 伏开始增大的时候反射比交替地增大并降低。透射比的变化与反射比的变化正相反。反射比的最大值为 90%，而其最小值为 20%。用 n ，代替方程式 (2) 和 (4) 中的 n_0 ，因为在我们的实验中多层薄膜的两个外面是熔石英板，我们分别有 99% 的最大值和 0% 的最小值。理论和实验之间的偏差主要是每层膜光学厚度与 $\lambda/4$ 有偏差所致。当然，如果我们增加多层薄膜的层数，最大值将增大，但是，最小值将没有多大的变化。

反射比和透射比的总和也在图 2 示出。曲线对于所用的交流电压的变化周期性变化。当反射比高而透射比低的时候，这个总和接近于 100%、但是、当反射比低而透射高的时候、它变成有点小于 100%。

图 2 给出的结果可用向列液晶的一些特性以下列方式来说明。当没有施加交流电压的时候，液晶体的分子与透明电极表面排列成直角。并且向列液晶层膜的光学厚度是与入射光束的偏振面的方向无关。当所施的交流电压超过 5 伏的时候，分子可向着特殊的方向多少有些倾斜。这种方向被认为是在非常光线的偏振面之内，对非常光来说，光学厚度对于施加的交流电压的变化而起变化。对于普通光线来说，其偏振面是与上述的方向垂直，光学厚度没有变化。

此外，在图 2 示出的反射比和透射比总和的变化可以通过考虑在液晶膜层中的散射损失来理解。当通过液晶膜层的光束强度是大的时候，散射损失应当是大的。

总之，应用现有的元件，我们可以同时容易地调制反射比和透射比。

译自 "Applied Optics" No. 11,

1974. p. 2464.