

浅谈光学增透膜

司德平 刘中惠

(平顶山市一中 河南 467001)

现代光学装置,如摄影机和电影放映机的镜头,潜水艇的潜望镜等,都是由许多光学元件——透镜、棱镜等组成的。一般说来,组成光学系统的透镜片数多,消除像差的情况就好,成像质量也就高。但是,由于镜面对光有反射作用,镜片越多,光的损失就越严重,光通量就越少。同时,发生在镜头内部的反射光线经多次反射和折射,便会以杂光形式到达像面,从而降低了影像的清晰度和反差,使影像的质感和层次受到损失,甚至会产生晕光现象,使画面影像增加灰雾。那么,如何克服这一缺点,提高成像质量呢?

现代高级中学物理第二册(人民教育出版社1995年版)第233页指出:“可以在透镜的表面涂上一层薄膜(一般用氟化镁)。当薄膜的厚度是人射光在薄膜中波长的 $1/4$ 时,在薄膜的两个面上反射的光,光程差恰好等于半个波长,因而互相抵消。这就大大减少了光的反射损失,增强了透射光的强度,这种薄膜叫做增透膜。”也就是说,当在光学系统中所

有与空气接触的透镜表面上镀增透膜后,根据能量守恒定律,在人射光强度一定时,通过干涉相消使反射光的强度大大减弱,从而增加了透射光的强度,达到“增透”的目的。

一、单层 $1/4$ 增透膜

在一块平整的玻璃基底表面上,利用物理或化学的方法,镀一层均匀的透明介质薄膜,我们把膜层与基底组成的系统称做膜系。如图1所示, n_0 为入射介质的折射率, n_1 为膜的折射率, n_2 为基底的折射率, d_1 为膜的几何厚度。任意两相邻反射光由于光程上的差别所引起的位相差皆为:

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda_0} n_1 d_1 \cos \gamma \quad (1)$$

其中, λ_0 为入射光的波长, γ 为光在膜层中的折射角。由光的干涉理论可知,当垂直入射,且 $\delta = \pi$ 时,由(1)式可得膜的光学厚度为:

$$n_1 d_1 = \lambda_0 / 4$$

由光的电磁理论可导出单层膜的反射率为:

人体,作为临床上诊断或治疗的手段;工业上可用于金属探伤;农业上用于育种、保鲜等。但如果使用不当或保管不善,也会造成对人体的危害和对环境的污染。

三、放射性污染的防治

放射性污染的防治着重于控制污染源,加强安全防范意识,具体如下:

核工业企业、核电站既要远离人口稠密地区,又要加强安全防范,减少废水、废气、废渣等的直接排放,妥善处理核废料。此外,还要对周围环境进行经常性的安全监测,以减少事故隐患,消除污染。

尽可能减少生活中的放射性污染。首先是要防止居室的氡气污染。惰性气体氡的同位素氡-222,具有放射性,半衰期为3.8天,衰变过程中,既有 α 辐射,也有 β 和 γ 辐射,对人体非常有害。而氡是铀和镭的衰变产物,由于铀和镭在地壳中广泛存在,因此在通风不良的情况下,几乎任何空间都可能有一定程度的氡的积累。如矿井、隧道、地穴,甚至普通房

间等。据报道,美国每年有2万人患肺癌、法国每年有1500人患肺癌与室内的氡气有关。

我国建筑用砖在生产中广泛使用煤渣掺入泥土,焙烧过程使煤中原含有的放射性核素,既不改变放射性且又被浓缩,使其中铀和镭的放射性加强。此外,据国家有关部门检测,目前被广泛采用的花岗岩,部分品种中(北方产的绿色和红色花岗岩)的铀和镭含量严重超标,也会导致室内氡气的增加。因此,我们必须慎重选择建筑装饰材料,保持居室通风。

其次就是要防止意外伤害。医院里的X光片和放射性治疗,夜光手表、电视机、冶金工业用的稀土合金添加材料等,都含有放射性,要慎重接触。医院、工厂和科研单位因工作需要使用的放射棒和放射球,要妥善保管,避免遗失或作废物丢弃,因为它们可能制作精细,在夜晚还会发出各种荧光,很吸引人,所以常有人将其当作稀有之物玩赏,甚至长期佩带在身上,殊不知它会对身体,造成放射性损伤,轻者得病,重者甚至死亡,尤其应引起重视。

$$R = \left(\frac{n_0 n_2 - n_1^2}{n_0 n_2 + n_1^2} \right)^2 \quad (2)$$

若 $R = 0$ 时, 则有:

$$n = \sqrt{n_0 n_2} \quad (3)$$

即在玻璃基底上镀的介质膜, 若满足折射率为 $\sqrt{n_0 n_2}$ 且光学厚度 $n_1 d_1 = \lambda_0/4$ 的条件时, 就能使反射光干涉相消, 此膜称为单层 1/4 增透膜。

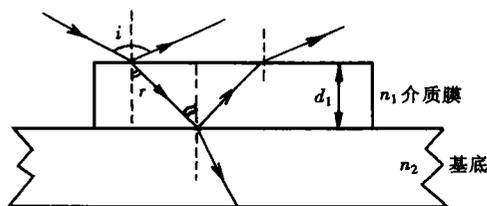


图 1

由上述分析可知, 膜系在指定波长 λ_0 处的反射率为零, 也就是对 λ_0 的光有 100% 的透射率。但是对其他波长, 由于给定膜层的光学厚度不是它们的 1/4, 增透效果较差些。因此对目视仪器的单层增透膜, 常把控制波长 λ_0 选在人眼最敏感的绿光波长 (5500Å) 处, 而在远离该波长的红光和紫光处有较大的反射率, 这就是光学镜头通常呈紫红色的原因。

对于一般折射率在 1.5 左右的光学玻璃, 为使单层膜达到 100% 的增透效果, 由 (3) 式则要求 $n_1 = 1.22$, 折射率如此低的镀膜材料至少目前还没有找到。现在一般都用折射率为 1.38 的氟化镁 (MgF_2) 镀制单层增透膜, 对最常用的冕牌玻璃 ($n = 1.51$), 仍有约 1.3% 的剩余反射, 在许多情况下, 这种反射仍嫌太大, 必须进一步减小, 为此需采用双层增透膜, 以使增透效果得到改善。

二、双层增透膜

1. V 型增透膜 ($\lambda_0/4 \sim \lambda_0/4$ 膜)

如图 2 中, n_0, n_1, n_2 和 n_3 分别是入射介质、第一层膜、第二层膜和基底的折射率, d_1 和 d_2 分别是第一层膜和第二层膜的几何厚度。在垂直入射且两层膜的光学厚度 $n_1 d_1 = n_2 d_2 = \lambda_0/4$ 时, 双层 1/4 膜的反射率为:

$$R = \left(\frac{n_0 n_2 - n_3 n_1^2}{n_0 n_2 + n_3 n_1^2} \right)^2$$

显然反射率为零的条件是: $n_2 = \sqrt{\frac{n_3}{n_0}} \cdot n_1$, 选择适当的 n_1 和 n_2 能近似地达到理想的增透效果。

对双层 1/4 增透膜, 也不可能使可见光谱的所

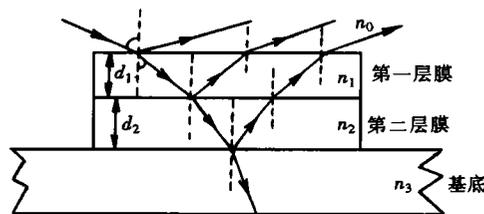


图 2

有波长同时实现理想的增透效果, 在指定波长 λ_0 处可达约 100% 的增透, 而对其他波长则不然, 双层 1/4 膜的反射率随波长的变化曲线呈 V 形, 故称之为 V 形增透膜, 如图 3 所示。

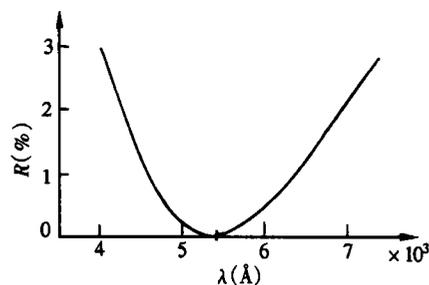


图 3

2. W 形增透膜 ($\lambda_0/4 \sim \lambda_0/2$ 膜)

某些光学仪器如彩色电视、彩色电影的摄像镜头, 彩色电影的放映镜头等, 并不要求在某一波长处有 100% 的透射率, 而希望在较宽的波段范围内反射率都较低且一致, 这就需要所谓的宽带增透膜。最简单的一种宽带增透膜是让第一层膜的光学厚度 $n_1 d_1 = \lambda_0/4$, 第二层膜的光学厚度 $n_2 d_2 = \lambda_0/2$, 即第一层为 1/4 膜, 第二层为 1/2 膜。 $\lambda_0/2$ 膜层对 λ_0 来说, 如同不存在一样, 即在 λ_0 处的反射率由光学厚度为 $\lambda_0/4$ 的第一层膜决定, 但是两层膜的有机组合, 改善了其他波长处的透射率特性, 使膜系在较宽的波段上有良好的增透效果。由于这种膜系的反射率随波长的变化曲线形如 W, 故称之为 W 形增透膜, 如图 4 所示。

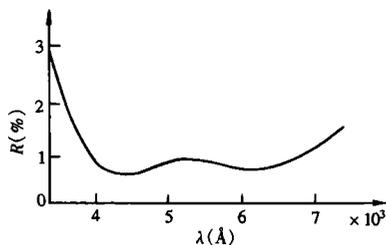


图 4