

表面反射镜镀膜技术理论的探讨

刘英杰 李庆泉 王文高

(秦皇岛耀华兴业镀膜玻璃有限公司 秦皇岛市 066001)

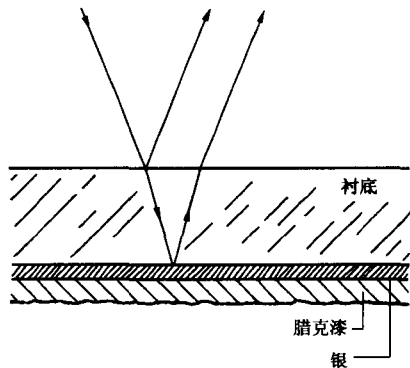
赵 占 庶

(秦皇岛工业技术玻璃厂 秦皇岛市 066001)

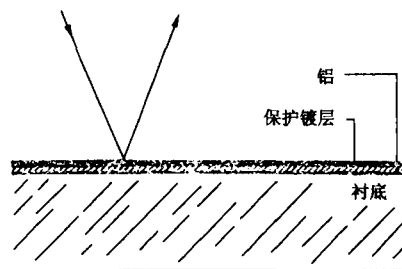
1 引言

随着科学技术的发展,光学薄膜技术已广泛应用于从国防到民生的各个领域,成为高科技领域中最受重视的一个方面,表面反射镜作为一种光学薄膜的应用也不例外。例如,在军事交通领域中应用的大屏幕投影墙监控系统,家电行业中高质量的背投影彩色电视机,科教领域中的投影仪、复印机等,都有高质量表面反射镜的使用。

表面反射镜是将一种具有高反射率的金属通过真空镀膜技术,在玻璃(也可以是金属、有机材料或其他材料)衬底的外表面沉积一种金属薄膜,使其具有很高的反射率,如图1所示。它克服了通常所用的背面镜的许多不足。



a 背面镜或第二表面镜



b 前面镜或第一表面镜

图 1

(1) 在衬底表面有额外的反射,产生第二个影像,即有重影产生。

(2) 光线通过玻璃时,因有吸收和散射而使光线减弱,即有光损。

(3) 玻璃基体中存在的气泡和波纹等,对光线的通过所产生的不利因素,即图像变形。

(4) 制作时,会产生污染环境的废气及有害物质。

2 反射功能材料及膜系的选择

(1) 反射功能材料的选择

图2表示的是经真空镀膜方法得到的不透光金属膜,在光线垂直入射及以 45° 角入射时的光谱反射比。由图中可见,金属铝和银在可见光区的反射率较

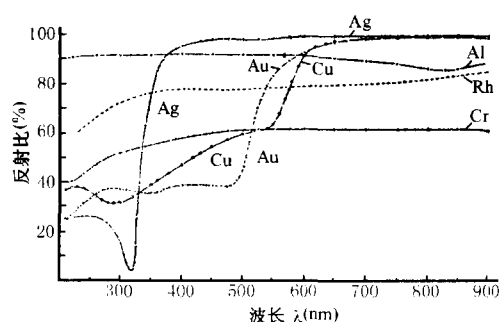


图 2a 当光束接近垂直入射时测得的各种不透光金属膜的光谱反射比,这些膜是在高真空中蒸发沉积而成(根据联邦德国 Carl Zeiss 公司)

高,在可见光区和红外区铝的反射率稍低于银(在波长为 550 nm 处铝的反射率大于 92 %,银的反射率大于 97 %),而纯铝膜在紫外区的反射率高于银,从可见光到波长为 220 nm 范围内,铝膜的反射率保持恒定,低于这个波长范围,其反射率就减小。因此,表面反射镜中通常所使用的功能材料为银和铝。

(2) 膜系的选择

由上述可知,表面反射镜的反射功能材料选用金属铝或银。但它们与玻璃基体之间的附着力较差(在相同的沉积条件下,铝膜与玻璃基体的附着力强于银膜),为增强薄膜与玻璃基体的附着力,在其间可增加一层或几层过渡层薄膜,如金属 Ti、Cr、NiCr 合金或金属化合物,该过渡层的总厚度可以为 50~1000 Å。

为使表面反射镜具有足够高反射率,金属反射膜的厚度范围为 500~1500 Å,或更厚。

若表面反射镜的金属膜长期暴露于空气中,其表面会有氧化物形成,引起膜的光学性能的衰退,使反射率降低。尤其是银膜表现的尤为突出。铝膜的反射率也随时间的增加而减小,在其表面氧化物形成的初期,反射率减小的最为显著,一段时间以后(约一个月),铝的氧化完成,在正常大气中长时间放

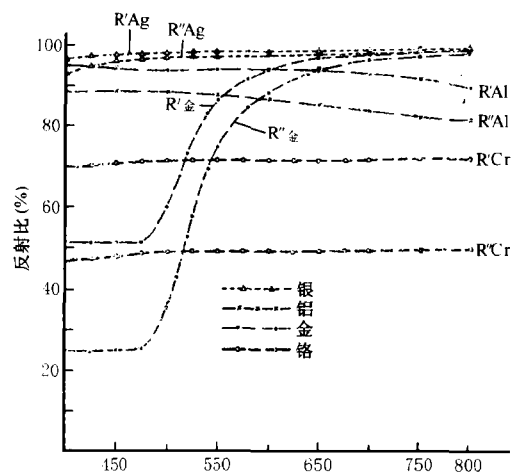


图 2b 当线偏振光以 45°角入射时不透光金属膜的光谱反射比

(联邦德国 Carl Zeiss 公司制备和测量的膜)

置,铝膜大约能保持原有反射率的 89 %。为此,为使金属表面反射镜能经受化学和气候的影响,并且能耐一定的机械磨损,应在沉积金属反射膜的同一循环作业中,再镀上一层透明的保护介质涂层,如: SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 等,该保护层厚度约为 500~1200 Å。

由于在金属膜上镀有一层保护膜,会使金属膜的反射率降低,为使整个膜系的反射率的降低为最小,可在保护膜上加镀一层增透膜,如 MgF_2 等。

因此,表面反射镜的膜系为:基体—过渡层—反射层—保护层—增透层。

3 薄膜沉积方法的选择

目前,在真空镀膜中,主要的沉积方法有蒸发法和溅射法。溅射镀膜与蒸发镀膜相比具有如下的优点:

(1) 采用磁控溅射镀膜技术,所得到的膜基,在膜基界面处形成有明显的“伪扩散”型的过渡层,因而膜层与基体的附着力优于蒸发镀膜。

(2) 采用磁控溅射镀膜技术,能有效地消除柱状晶的生长(采用蒸镀的方法极易产生),形成均匀的颗粒状晶体,有致密的微结构和光滑表面,从而消除了薄膜的光学性能产生漂移的不利因素(如减少

了光线的散射等)。

(3) 采用磁控溅射镀膜技术,在制备化合物薄膜时,通过更换不同的靶材、不同的反应气体和改变溅射时的工艺参数,能够比较容易地制备具有不同化学配比的化合物薄膜。特别是对于高熔点的金属或化合物。

(4) 采用磁控溅射镀膜技术,所得到的薄膜的膜厚具有较好的均匀性。尤其是在大面积镀膜技术方面,其膜层的均匀性和工艺的可重复性,是蒸发镀膜很难实现的。

(5) 对于纯金属膜,可采用直流磁控溅射技术镀膜。而对于化合物薄膜,为提高薄膜的沉积速率及工艺的稳定性,宜采用中频交流磁控溅射镀膜技术进行镀膜。

因此,表面反射镜的制备应选用磁控溅射镀膜技术。

4 溅射条件的选择

为保证所制备的表面反射镜具有优良、稳定的光学性能,且附着力良好,有一定的耐蚀性和耐一定的机械磨损。选择溅射条件如下:

(1) 选用纯度高于 99.99 % 的溅射靶材。
(2) 必须在较高和较清洁的真空环境中进行镀膜,溅射的本底真空度高于 1×10^{-3} Pa。

(3) 为避免少量杂质气体对薄膜的光学性能的影响,溅射气体和反应气体的纯度要高于 99.99 %,并须经纯化器纯化后,再进入溅射室。

(4) 溅射时基片温度的选择:对于铝膜,基片温度过高,会使晶粒变粗,产生严重的散射而发雾;而对于银膜,基片温度过高,会使膜层变黄,反射率降低;而温度过低,膜基间的附着力会很差。因此,溅射时的基片温度选择为室温。

(5) 薄膜的沉积速率的选择

由图 3 可知,对于同一种金属膜,在较高的真空中,采用较高的沉积速率,能使金属膜呈现出较好的光学性质。因此,在溅射镀膜时,依据具体的设备,适当选择较高的沉积速率。如:金属膜的沉积速率为 10

~30 nm/s,而化合物膜的沉积速率为 1~10 nm/s。

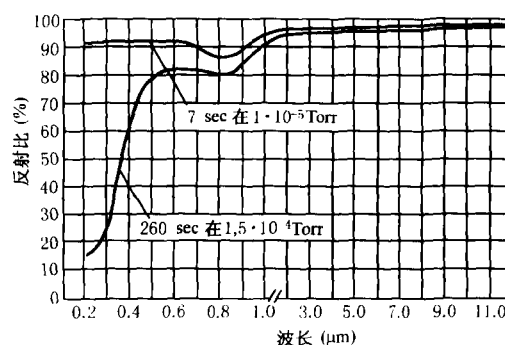


图 3 在极为不同的蒸发条件下制备的两种铝镀层的反射比,波长范围从 0.22~11 μm

5 薄膜厚度及膜系反射率计算

(1) 反射膜的厚度计算

设有一束光波(波长为 λ),由空气(折射率为 n_0)中垂直入射到玻璃基体(折射率为 n_2)上的薄膜(折射率为 n_1)时,由资料 1 得知,其能量反射率为:

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2\cos 2\delta_1}{1 + r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2\cos 2\delta_1}$$

式中: r_1, r_2 ——光波的振幅反射率;

$$r_1 = (n_0 - n_1) / (n_0 + n_1),$$

$$r_2 = (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2);$$

$$\delta_1 \text{——位相厚度; } \delta_1 = 2\pi n_1 t_1 \cos \theta_1 / \lambda,$$

$n_1 t_1$ ——薄膜的光学厚度;

t_1 ——薄膜的物理厚度;

θ_1 ——光波在薄膜中的折射角。

显然,当 $2\delta_1 = 4\pi n_1 t_1 / \lambda = \pi, 3\pi, \dots$ 时,反射率出现极值。此时,薄膜的光学厚度为: $n_1 t_1 = \lambda/4, 3\lambda/4, \dots$

薄膜的厚度不能太厚,膜层太厚,晶粒就会越粗,表面越粗糙,其光的散射就会增加,致使膜的反射率反而下降。一般取 $n_1 t_1 = \lambda/4$, 或 $n_1 t_1 = 3\lambda/4$ 。

(2) 保护膜厚度的选择

由资料 2 知,选择合适的透明保护膜,其最佳光学厚度为设计波长的一半(即 $nt = \lambda/2$)。此时,对于这一特定的设计波长,保护膜的透射率最强,而在其

(下转 48 页)

5 m/s,温度为8℃时,窗玻璃就开始结露。而采用16 mm(5+6+5)双层中空玻璃在同样的条件下,则当室外温度降到-2℃时才开始结露,若采用27 mm(5+6+5+6+5)三层中空玻璃,室外温度降到-11℃时才开始结露。

2.4 耐风压强度高的特性

中空玻璃作为建筑材料其耐风压强度较高,特别是现在环境越来越恶化,因此玻璃受风压的环境更加恶劣,这就要求窗玻璃有较高的耐风强度,以减少玻璃破损带来的危害。在玻璃尺寸和厚度都相同的条件下,中空玻璃能承受的风压相当于单层玻璃的1.5倍。中空玻璃与单层玻璃的耐风压强度(kg/cm²)比较如表3。

表 3

中空玻璃		单层玻璃	
12 mm(3+6+3)	252	3 mm	168
16 mm(5+6+5)	540	5 mm	480
18 mm(6+6+6)	720	6 mm	630
22 mm(8+6+8)	1 152	8 mm	768
26 mm(10+6+10)	1 470	12 mm	1 152

(上接43页)

他的波段,膜系的反射率比金属膜的反射率稍有降低。如果保护膜过薄,则有可能还没有形成一连续的薄膜,达不到保护膜的目的;如果保护膜过厚,则会使整个膜系的反射率下降。因此,选择 $nt=\lambda/2$ 。式中: n 为保护膜的折射率, t 为保护膜的物理厚度, λ 为设计波长。

(3) 膜系反射率的计算

由资料2可知,膜系为基体—反射层—保护层—增透层的表面反射镜,对于垂直入射的某一波长 λ 的光波,其总反射率可由下式进行计算:

$$R = \frac{[1 - (n_1/n_2)^2]^2 + (n_1/n_2)^4 K^2}{[1 + (n_1/n_2)^2]^2 + (n_1/n_2)^4 K^2}$$

式中: n, k ——分别为金属膜在波长为 λ 处的折射率

3 结束语

正是由于中空玻璃具有隔热、隔音、防结霜露、耐风压等特性。在欧洲平均80%的窗户是中空玻璃,德国高达90%以上,在中国中空玻璃的市场前景是非常巨大的。1平方米优质的中空玻璃的制造成本通常在120元人民币左右,中空玻璃门窗并不是高档的奢侈品,而是一种普通的、大众的节能产品,只要不是采用充气、遮阳或具有装饰效果的中空玻璃,标准的中空玻璃门窗一般的消费者都可以承受。在完全可以达到节能效果的同时,还简化了空调等通风保暖设施的结构设计,这不仅降低了建筑装饰费用而且实际增加了建筑物内的有效实用空间,改善居住舒适度,有利于身体健康。随着生活质量的提高,中国消费者对于中空玻璃这一产品肯定会有一个从不认识到了解再到喜欢的过程。中空玻璃不仅节能,还可以由此大大减少室内气体灰尘的循环,阻断噪音。同时中空玻璃门窗符合绿色、环保和可持续发展要求。所以房地产开发商应把握市场机遇,在商品住宅楼建筑中大力推广中空玻璃门窗。中空玻璃门窗具有广阔的市场前景。

和消光系数:

n_1 ——保护膜在波长为 λ 处的折射率;

n_2 ——为增透膜在波长为 λ 处的折射率。

6 结束语

合理选择反射膜系,采用真空磁控溅射镀膜技术,在基体上沉积所得到的反射镜薄膜,其光学性能、耐环境性、耐摩擦性等完全能够满足用户要求。

参考资料

- [1]《玻璃镀膜》,H.K.普尔克尔 著
- [2]《现代表面工程设计手册》,李金桂 主编
- [3]《计量工程光学》,徐家骅 主编
- [4]《真空镀膜技术与设备》,李云奇 主编
- [5]《光学零件制造》(特种加工部分),机械工业出版社