

· 光学设计与制造 ·

## 平面反射镜光学薄膜的制备

王保松, 刘军成, 陈 静

(江苏金陵机械制造有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘 要:**以薄膜原理为基础,通过 Essential Macleod 软件进行膜系设计.采用电子束加热蒸发的镀膜方式,利用设计工装制备了介质  $ZrO_2 - SiO_2$  高反射膜层和金属铝反射膜层.介质高反膜层在  $1.064 \mu m$  波长处的反射率达到 95%,金属铝反射膜层的在  $3 \mu m \sim 5 \mu m$  波段内的平均反射率超过 95%.膜层的技术指标和环境适应性具有优质的质量.

**关键词:**平面反射镜;光学薄膜;反射率

**中图分类号:** TB43

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673 - 1255(2010)06 - 0022 - 03

## Preparation of Plane Reflection Mirror Optical Thin Films

WANG Bao-song, LIU Jun-cheng, CHEN Jing

(Jinling Machine Factory of Jiangsu Province, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Coatings were designed by Essential Macleod software based on the theory of film. High reflective  $ZrO_2 - SiO_2$  dielectric coating and reflective aluminum coating were made using the design clothes by electron beam heating evaporation coating method. The reflectivity of dielectric coating is up to rate of 95% in wavelength of  $1.064 \mu m$ , and the average reflectivity of aluminum coating is over 95% between  $3 \mu m$  and  $5 \mu m$ . The technical parameters and environmental adaptability of the film are excellent.

**Key words:** plane reflection mirror; optical film; reflectivity

反射镜面有中心介质高反射膜和外围金属反射膜 2 个区域,中心介质高反射膜用于  $1.06 \mu m$  波段激光的反射,外围金属反射膜用于  $3 \sim 5 \mu m$  红外光的反射.赵印中等进行了通过磁控溅射法制备高反射铝膜,并分析了镀膜参数对铝膜反射率影响的工作<sup>[1]</sup>.以薄膜原理为基础,通过 Essential Macleod 软件进行膜系设计,利用电子束加热蒸发的镀膜方式,设计工装分 2 次镀制膜层,并通过工艺调试,制备膜层的性能最终满足部件性能技术要求,实现了平面反射镜膜层的制备.

### 1 膜系原理分析和设计

针对平面反射镜面的金属反射膜和介质反射膜,根据光学薄膜理论,通过 Essential Macleod 软件进行设计,以获得满足光谱性能需要的膜系结构.

#### 1.1 金属反射膜

金属的复折射率可写为  $n - ik$ .光在空气中垂直入射时,反射率为

$$R = \left| \frac{1 - (n - ik)}{1 + (n - ik)} \right|^2 = \frac{(1 - n)^2 + k^2}{(1 + n)^2 + k^2} \quad (1)$$

如果在金属反射膜上镀以折射率为  $n_1$  和  $n_2$  的两层  $\lambda_0/4$  厚度的介质膜,并且  $n_2$  紧贴金属,那么在垂直入射时,波长  $\lambda_0$  的导纳为

$$Y = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 (n - ik) \quad (2)$$

其反射率为

$$R = \left| \frac{1 - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 (n - ik)}{1 + \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 (n - ik)} \right|^2 =$$

收稿日期:2010 - 10 - 29

作者简介:王保松(1981 -),男,河北衡水人,硕士,研究方向为光学器件、薄膜技术.

$$\frac{\left[1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 n\right]^2 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^4 k^2}{\left[1 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 n\right]^2 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^4 k^2} \quad (3)$$

在 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 > 1$ 时,式(3)给出的反射率大于纯金属的反射率.比值 $\frac{n_1}{n_2}$ 愈高,则反射率的增加愈高<sup>[2]</sup>.

桑利军等在有机玻璃基材表面电子束蒸镀铬-铝-二氧化硅薄膜,并验证了在合适的工艺参数下制备附着力好、耐腐蚀的高反射铝膜的可行性<sup>[3]</sup>.反射镜的金属膜层在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 较宽波段需要具有较高反射率,且膜层性能稳定,并且与玻璃基板结合力较好.国内Al膜镀制工艺已较成熟,首先通过成熟工艺在基片表面镀制 $70 \sim 80 \text{ nm}$ 的Al膜后,再镀制一层厚度为 $\lambda_0/2$ 的 $\text{SiO}_2$ 保护膜层.镀制Al膜的玻璃基片在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段内平均反射率达到96%.

## 1.2 多层介质高反射膜

由薄膜原理可知,当折射率为 $n_g$ 的基片上镀以光学厚度为 $\lambda_0/4$ 的高折射率( $n_1$ )膜层后,由于空气/膜层和膜层/基片界面的反射光同位相,是反射率大大增加.对于中心波长 $\lambda_0$ ,单层膜和基片组合的导纳为 $n_1^2/n_g$ ,垂直入射的反射率为

$$R = \left(\frac{n_0 - n_1^2/n_g}{n_0 + n_1^2/n_g}\right)^2 \quad (4)$$

用高、低折射率交替的,每层厚的介质多层膜能够得到更高的反射率.如果 $n_H$ 和 $n_L$ 是高、低折射率层的折射率,并使介质膜系两边的最外层为高折射率,其每层的厚度均为 $\lambda_0/4$ ,则对于中心波长有

$$Y = \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2S} \frac{n_H^2}{n_g} \quad (5)$$

式中, $n_g$ 是基片的折射率, $2S+1$ 是多层膜的层数.在空气中垂直入射时,中心波长 $\lambda_0$ 的反射率,也即最大值反射率为<sup>[2]</sup>

$$R = \left[\frac{1 - (n_H/n_L)^{2S} (n_H^2/n_g)}{1 + (n_H/n_L)^{2S} (n_H^2/n_g)}\right]^2 \quad (6)$$

反射镜中心区域介质高反射膜层用于 $1.06 \mu\text{m}$ 波段较高能量激光的反射,不但要求设计出来的膜系对 $1.06 \mu\text{m}$ 具有高反特性,而且需要能够在激光

多次辐射下不允许有脱落、损伤等问题出现.文献[4]和文献[5]提供了高损伤阈值激光反射镜膜系的设计方法.在膜系设计中,膜料采用耐受激光辐射的 $\text{ZrO}_2$ ( $n = 2.03$ )和 $\text{SiO}_2$ ( $n = 1.45$ ),在基片外依次增加 $\lambda_0/4$ 厚度的高、低折射率层,经过5个周期后,增加 $\lambda_0/4$ 厚度的高折射率层,考虑到最外膜层区域激光辐射能量强且吸收最大,因此最外层以厚度为 $\lambda_0/2$ 的 $\text{SiO}_2$ 层结束,以减少激光对其余膜层区域的损伤.膜系结构为 $G/(0.130\text{H}0.183\text{L})^5 0.130\text{H}0.367\text{L}/\text{Air}$ ,利用膜系软件对介质高反射膜系进行了分析,在 $1.06 \mu\text{m}$ 波长处的反射率为95.2%.

## 2 膜层的制备

### 2.1 前期准备

在前期准备阶段,设计加工镀膜工装,以解决镀膜过程中的非镀膜区域的遮挡问题,实现对反射镜面内、外两部分区域膜层分2次进行镀制的目的.镀膜工装分两部分,镜面外围区域的遮挡工件采用Al板机械加工而成,中心区域的遮挡片用制作,采用耐高温胶粘到该区域以实现防护.镀膜前对反射镜面使用乙醚溶液进行擦拭,以保证表面清洁.

### 2.2 介质高反射膜层的制备

吕立冬等设计了用于大尺寸镜面镀膜的热蒸发沉积系统<sup>[6]</sup>.文中所采用的镀膜设备为北京科学仪器有限公司生产的具有机械泵+分子泵系统、行星转动装置、辅助离子源、光学膜厚监控仪的电子枪加热蒸发镀膜设备.将镀件固定到机械工装上面后,置于镀膜腔内.镀膜前进行必要的离子束清洗,离子清洗可有效去除二次污染,增加样件表面结合能,控制表面粗糙度和表面形貌,能够有效改善样件的表面性质.按照工艺流程进行薄膜制备,工艺参数如表1所示.

### 2.3 金属反射膜层的制备

将聚四氟乙烯挡片用高温胶粘合在镜面中心已制备的介质高反射膜层区域上,进行表面清洗和离子轰击工序后,进行铝膜的制备,铝膜厚度控制在 $70 \sim 80 \text{ nm}$ ,蒸发速率为 $75 \text{ nm/s}$ ,加热温度低于 $50^\circ\text{C}$ .

表1 介质高反射膜层制备工艺参数

工艺参数	发射电流 (A)	辉光电压 (V)	功率 (kW)	偏置电压 (V)	环流 (A)	真空度 (Pa)	加热温度 ( $^\circ\text{C}$ )
数值大小	51.2	112.8	5.7	124.4	1.73	$2.4 \times 10^{-3}$	150

膜层镀制结束后,将样件取出,采用丙酮将高温胶溶解,去掉聚四氟乙烯挡片,并对表面残留物清洗干净.

### 3 膜层质量分析讨论

平面反射镜面光学薄膜制备后,依据规范,从技术指标和环境适应性两方面对膜层的质量进行分析评价工作.

#### 3.1 薄膜技术指标检测

利用激光辐射器和激光能量计等器件对介质膜层抗激光损伤特性进行检测,介质膜层经受光斑直径不大于 10 mm、能量不小于 300 mJ、10 Hz 频率的激光辐射 3 min 后,膜层无损伤、脱膜等现象,光谱特性无明显变化.膜层的光谱测试曲线分别见图 1 和图 2,介质高反膜层在 1.064  $\mu\text{m}$  波长处的反射率达到 95%,金属铝反射膜层在 3~5  $\mu\text{m}$  波段内的平均反射率超过 95%.

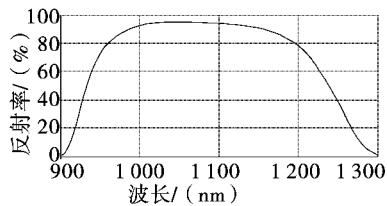


图 1 介质高反膜层反射光谱测试曲线

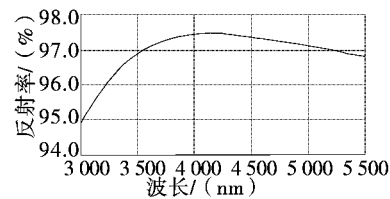


图 2 金属铝反膜层反射光谱测试曲线

#### 3.2 薄膜环境适应性检测

对膜层进行了温度、湿热、清擦性、耐溶性和水溶性环境适应性的检测,膜层经过环境适应性检测后,膜层质量能够满足试验通过的判定条件,说明反射镜膜层通过了环境适应性检测,具有较优异的耐受环境的性能.

### 4 结论

介绍了反射镜膜层的设计、制备和检测的相关工作.利用电子束加热蒸发的方法制备了镜面中心区域的介质  $\text{ZrO}_2 - \text{SiO}_2$  高反射膜层和外围区域的金属铝反射膜层,最后对膜层质量进行了检测.检测结果表明:介质高反射膜层与金属铝反射膜层的技术指标和环境适应性能均满足要求,具有优质的质量.

#### 参考文献

- [1] 赵印中,许旻,李林,等.磁控溅射法制备高反射铝膜[J].真空与低温,2008,14(3):164-166.
- [2] 唐晋发,顾培夫,刘旭,等.现代光学薄膜技术[M].杭州:浙江大学出版社,2006.
- [3] 桑利军,付亚波,张跃飞,等.有机玻璃基材表面电子束蒸镀铬-铝-二氧化硅薄膜及其性能研究[J].真空,2008,45(5):46-48.
- [4] 李刚,高劲松,孙连春.氧碘激光腔内 45°入射高反射镜的膜系设计[J].强激光与粒子束,2003,15(9):859-862.
- [5] 卜轶坤,赵丽,郑权,等.高损伤阈值激光反射镜的设计方法[J].红外与激光工程,2006,35(2):183-215.
- [6] 吕立冬,李欣南.用于大尺寸镜面镀膜的热蒸发沉积系统的研究[J].真空,2008,45(2):57-59.

(上接第 4 页)

- [2] 李旭东,冯爱国,周新妮,等.外场用红外目标模拟器辐射特性测量研究[J].应用光学,2010,31(2):256-260.
- [3] 谭碧涛,景春元,王宝国,等.光谱滤波技术对星等测量精度影响[J].强激光与粒子束,2009,21(2):187-191.
- [4] 魏合理,陈秀红,余凯,等.白天 CCD 观星可探测极限星等值分析[J].强激光与粒子束,2007,19(2):187-

191.

- [5] Pierre Y Bely. The Design and Construction of Large Optical Telescopes[M]. Springer-Verlag. New York. 2003. 25-28.
- [6] 谭碧涛,景春元,张新,等.光电系统对空间目标成像仿真技术研究[J].计算机仿真,2009(6):240-243.
- [7] 王伟国.空间目标白天光电探测技术研究[D].长春光学精密机械与物理研究所,2005.22-23
- [8] 祁蒙.红外搜索跟踪系统的探测概率研究[J].激光与红外,2004.34(4):269-271.