

可见光范围镀铝反射率的研究

王禹皓¹, 李春², 付秀华¹, 常艳贺², 李珊¹

(1. 长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 介绍在可见光范围内, 在玻璃基底上制备铝膜, 保护膜采用高反介质膜堆。采用离子辅助手段, 使其反射率在 450nm ~ 750nm 波长范围内提高到 95% 左右。同时讨论了膜料的选择、膜系的设计、工艺参数的优化及基片清洗等问题。

关键词: 镀铝; 介质膜; 离子辅助

中图分类号: O484

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 01 - 0057 - 03

Research on Coating Aluminum Film's Reflectance in Visible Spectrum

WANG Yuhao¹, LI Chun², FU Xiuhua¹, CHANG Yanhe², LI Shan¹

(1. School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022;

2. Changchun Institute of optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

Abstract: In the range of visible spectrum, we prepare aluminum coating on glass substrate and then add high reflective dielectric film stack as protection film. With the aid of ion source, the average reflectance increases to approximately 95% in the wavelength range from 450nm to 750nm. In addition, choosing coating materials, designing coating system, optimizing manufacturing parameters and cleaning the surface of substrate are also discussed.

Key words: coating aluminum film; dielectric film; ion assisted deposition (IAD)

镀铝反射镜在军事、航天以及人们日常生活中都有着广泛的应用。铝是从紫外到红外都有很高反射率的唯一材料。在可见光区, 铝反射膜的反射率在 88% 左右。未经保护的铝膜表面在大气中会生成一层薄的氧化铝 (Al_2O_3) 膜层, 从而导致其反射率随时间推移迅速下降。通常考虑在铝膜外面加一层 SiO_2 保护膜, 但反射率没有提高, 达不到设计要求。所以, 常常在铝膜外面加多层介质膜, 这样既能提高强度、保护其不受大气侵蚀, 又能使其反射率在可见光区达到平均 95% 左右。在镀制过程中, 采用离子辅助手段, 使铝膜对基片的附着力增强, 同时提高其机械强度和化学稳定性。

1 材料的选择

在可选择低折射率材料中, SiO_2 在较低温度下成膜牢固、耐磨、抗腐蚀, 是分解很少的低折射率氧化物材料, 因此低折射率材料选择 SiO_2 。而 MgF_2 虽然折射率较低, 但应力较差, 且低温下成膜不牢。选择高折射率材料时, 应首先考虑硬膜材料, 其抗腐蚀能力强, 机械强度高。另外高低折射率差值越大, 反射带越宽。 TiO_2 折射率较高 (2.2 ~ 2.4), 透明区较宽 (350 ~ 1200nm), 薄膜表面平整、连续, 颗粒均匀致密, 因此高折射率材料选择 TiO_2 。

2 膜系的设计

提高金属膜层的反射率, 常用的方案是在金属膜层表面加镀 (LH)^{*} 膜堆。(H 为高折射率材料 TiO_2 , L 为低折射率材料 SiO_2) 如果金属膜层的折射率是

收稿日期: 2008-09-14

作者简介: 王禹皓 (1985-), 男, 主要从事光学薄膜技术的研究, E-mail: wangyuhao1985@gmail.com。

通讯作者: 李春 (1965-), 女, 高级工程师, 主要从事薄膜光学研究。E-mail: lichun_cicomp@hotmail.com。

$n-ik$, 单层金属膜层的反射率是

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

加镀(LH)^s膜堆后, 在(LH)^s膜堆的反射带中心的反射率是

$$R = \left| \frac{1 - \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2s}(n-ik)}{1 + \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2s}(n-ik)} \right|^2$$

后者的反射率正比于 $\frac{n_H}{n_L}$ 和(LH)^s膜堆的周期数 S 。同时应当注意到, 在(LH)^s膜堆的反射带内的反射率是提高了, 但在(LH)^s膜堆的反射带之外的波段, 反射率反倒下降了。经过TFC软件的模拟, 当 $s=2$ 时平均反射率最佳, 在95%左右。

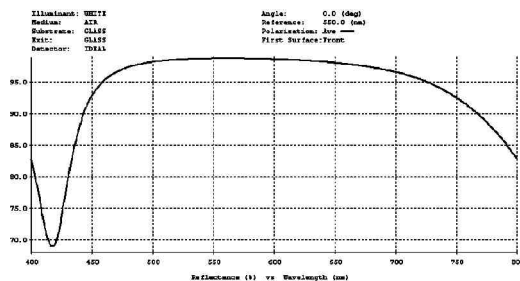


图1 理论设计光谱曲线

Fig.1 The designed result of the reflectance curve

3 镀制工艺

实验中, 我们采用河南中光学公司生产的1100型镀膜机进行实验, 该设备配备美国Veeco公司生产的MarkII离子源, 和美国Telemark公司的820型光学膜厚控制仪和270°e型磁偏转电子枪。

3.1 蒸发工艺

热蒸发是一种较常用的蒸发方式。当材料被加热时, 其原子就会从表面逸出。热蒸发法主要有电阻加热和电子束加热的方法。电阻加热设备简单, 操作方便。镀铝膜时采用热蒸发的方法。在镀制前一定要对基底做彻底的清理, 先是用抛光液擦拭, 然后用醇醚混合液擦拭, 再快速放到真空室中进行镀制。在钨丝上悬挂纯度为99.99%铝丝, 用很高的速率蒸镀在基片上, 同时真空室内压强维持在 1.33×10^{-3} Pa或更低, 尽量减少铝的氧化, 蒸发过程中基片不加热。

镀介质膜 TiO_2 和 SiO_2 时采用电子束蒸发。因为电阻加热蒸发有明显的缺点, 它不能蒸发高温薄膜材料。采用电子束加热可以克服电阻加热法的这一缺点, 电子束蒸发的优点是会导致坩埚与被镀材料之间的反应与污染, 有利于制备纯净的薄膜,

能得到比电阻加热法更牢固更致密的薄膜。

3.2 离子束辅助

利用离子辅助沉积技术, 使离子轰击沉积中的薄膜, 由于外来离子对凝聚中的成膜粒子的动量传递, 使得凝聚粒子的能量和稳定性增加, 从而使膜层具有高的凝聚密度和良好的致密性, 保证膜层的光学与机械性能的稳定性。

MarkII离子源工作时, 阴极中和器发出大量的高速电子, 在电场的加速作用下向阳极发射, 轰击阳极冲入的中性气体分子或原子, 使气体分子或原子电离产生离子。这些气态混合电子和离子组成了等离子体中, 电子在磁棒产生的磁场中相互作用激发出电场。等离子体中的正离子与电子中和后在电场的加速作用下飞向基板。

MarkII离子源的最大优点是阴极用中和器代替了传统霍尔、考夫曼等离子源的阴极灯丝。中和器产生的电子数量大、能量高、方向性强。使得等离子体中的电场更强, 因而离子源的轰击速率和动能更大, 进而提高了膜层的牢固度。同时, MarkII离子源产生的离子发散角较大, 使得轰击面积大, 膜层更加均匀。

离子辅助系统中气体采用 O_2 , 其流量控制在15sccm。离子源相对真空室水平面的角度为 30° 。在蒸发开始之前打开离子源进行轰击, 目的是清洁基片、增加凝聚系数和附着力。在镀铝开始时关闭离子源, 防止Al与 O_2 反应生成 Al_2O_3 。在镀铝结束后, 开始镀介质膜时再次打开离子源, 它可以提高膜层的聚集密度, 增进化学反应, 减少氧化物膜的吸收。为防止 TiO_2 在蒸发过程中失氧而游离出金属Ti导致膜层吸收而影响薄膜的光学性能, 选择充 O_2 使其和产生的Ti反应再次生成 TiO_2 。不仅折射率提高, 而硬度和不溶性也得到改进。

表1 离子源的最佳参数值:

Tab.1 The optimal parameters of the ion source

| 阳极 | | 阴极发射 | | 保护 | |
|-------|-------|------------|-------|----------------------|--------|
| 电压 | 电流 | 电压 | 电流 | 电压 | 电流 |
| 200V | 5.00A | 16.40V | 5.20A | 11V | 1500mA |
| 中和器 | | 气体流速(sccm) | | 腔体 | |
| 电流 | | 离子源 | | 气压 Pa | |
| 200mA | | 16.40 | | 1.8×10^{-2} | |

3.3 膜厚控制

在膜层的镀制过程中, 除了选择适当的材料、蒸发工艺、离子辅助沉积技术以外, 还要精确控制

每一层的厚度。合理地控制工艺对最终成膜的光学性能起着决定性作用。在实验中,我们采用光学极值法对所设计膜系的厚度进行监控。根据光束干涉理论,薄膜的透射率或反射率是随着薄膜厚度的变化而变化的。由下式可知膜层的振幅透射系数

$$E = \frac{t_1 \cdot t_2 e^{i\delta_1}}{1 + r_1 r_2 e^{-2i\delta_1}}, T = \frac{n_2}{n_0} |E|^2$$

于是透射率为

$$T = \frac{n_2}{n_0} \cdot \frac{t^2}{1 + r_2 - 2r \cos\left(\frac{4\pi n_1 d_1}{\lambda}\right)}$$

式中 $t=t_1 t_2$ $r=r_1 r_2$ 。由此可见,透射光强度为薄膜厚度 $n_1 d_1$ 的函数,当 $n_1 d_1$ 等于四分之一波长的整数倍时,反射率出现极值。由于这种特性,可以通过判断极值来对膜系的厚度进行控制。

在进行膜厚控制时,监控波长为 550nm,基片采用 K9 试片,薄膜的反射光谱特性曲线由 $\lambda 950$ 型分光光度计测量。具体制备工艺参数为:当蒸镀 TiO_2 材料时,控制氧气流量使压强在 $1.8 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 左右,阳极电流为 5A,阳极电压为 200V,阴极电流为 1500mA。在此过程中离子源起到了关键的作用,它确保了镀膜材料折射率的稳定,并解决了吸收和膜层牢固度问题。

4 测试结果与分析

(上接第 81 页)

从图 16 可以看出,光谱本底平滑,数据分析波动在 ± 3 个 AD 计数值范围内波动,这个波动还包括外界杂散光。

NMOS 阵列探测器 S3901-1024 是一个在光谱测量应用中的理想探测器。在分析了器件模型的基础上设计的电荷放大和采样保持电路,实现了探测器的视频信号放大和预处理。提出的电子学设计方案在数据转换速率和数据传输速率与器件的视频输出速率像匹配,是较精简和集成的方案。从测试结果数据看出,电子电路的实施是成功的。

参考文献

- [1] 李永敏. 检测仪器电子线路[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.
- [2] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津大学出版社, 2000.
- [3] 褚振勇. FPGA 设计及应用[M]. 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [4] 日本滨松. HAMAMASTU 手册[M]. PCD Linear Image Sensors.

测试试片的实际反射率曲线如图 2 所示。

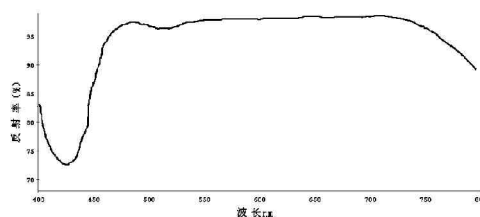


图2 实际测试光谱曲线

Fig.2 Measured result of the reflectance curve

从测试结果可以看出,在以 500nm 为中心的范围内,平均反射率达到 95% 左右,可以满足可见光镀铝反射率的要求。

将已经制备好的铝膜用强力胶带粘牢,然后快速用力扯下,膜层没有脱落的痕迹,说明非常牢固。另外,使用离子辅助提高基底与膜层的粘合性,增加其牢固度,并提高其使用寿命。

参考文献

- [1] 傅晶晶,付秀华,刑政. 离子束辅助沉积红外增透薄膜工艺[J]. 长春理工大学学报, 2008, 2(31): 44-45.
- [2] 卢进军,刘卫国. 光学薄膜技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 29-30.
- [3] 唐晋发,顾培夫,刘旭. 现代光学薄膜技术[M]. 浙江大学出版社, 2006: 103-104.
- [5] Analog Device, Inc. Complete 14-Bit 3.0 MSPS Monolithic A/D Converter [M].
- [6] 萧世文. USB2.0 硬件设计(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [7] 钱峰. EZ-USB FX2 单片机原理、编程及应用[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2006.
- [8] 修连存,郑志忠. 近红外光谱分析技术在蚀变矿物鉴定中的应用[J]. 地质学报, 2007, 80(11): 1584-1590.
- [9] Cypress Semiconductor Corporation. EZ-USB FX2 Technical Reference Manual (Version 2.1) [EB/OL]. [2001]. <http://www.cypress.com>.
- [10] Cypress Semiconductor Corporation. EZ-USB? FX2? GPIF Primer [EB/OL]. [2003]. <http://www.cypress.com>.
- [11] Compaq, Hewlett-Packard, Intel, et al. Universal Serial Bus Specification Revision 1.1 [EB/OL]. [1998]. <http://www.usb.org>.
- [12] Compaq, Hewlett-Packard, Intel, et al. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0, April 27, 2000.
- [13] Microsoft Corporation. The MSDN Library [EB/OL]. [2001]. www.microsoft.com.
- [14] Walter Oney. Programming the Microsoft Windows Driver Model [M]. America: Microsoft Press, 1999.