

双目望远镜相位膜的设计与制备

李建芳

(重庆职业技术学院, 重庆 400732)

摘要: 望远镜斯密特屋脊棱镜表面镀上相位膜, 可提高望远镜的观察效果。望远镜中相位膜的镀制需要根据相位膜的特点, 选择合适的材料和设计手段, 设计出基本的工艺参数, 并利用补偿板技术和行星夹具来解决相位膜镀层的不均匀性问题。

关键词: 相位膜; 棱镜; 均匀性

中图分类号: TB43

文献标识码: A

文章编号: 1672-0067(2007)04-0150-02

1 引言

双目直筒望远镜是在生活中用得最多的望远镜, 其传统结构主要由物镜、目镜和棱镜组成。为了实现光学系统的光学性能和提高清晰度及分辨率, 通常在其透镜和棱镜的透光表面镀增透膜。在半五棱镜的反射面上镀反射膜。一般认为屋脊棱镜的屋脊面是全反射面, 光可以全部反射, 无需镀膜。但人们忽略了一点, 即光的偏振性。当光入射到屋脊面时, 虽然总体上光能量几乎全部反射, 但因为光是倾斜入射的, 自然光被分成了P偏振光和S偏振光两部分。P偏振光和S偏振光在反射时相位并不同步, 这就造成了相位的延迟, 这种现象可以用两块偏振片检测到。相位膜就是基于修正相位延迟现象而进行设计的。

2 相位膜的特点及设计

2.1 特点

望远镜光学系统中的相位膜是一种较特殊的膜层, 镀在斯密特屋脊棱镜的全反射屋脊面上, 如图1所示, 其作用主要是改变光学系统光能量传输的相位, 从而提高望远镜的观察效果。特别是在灯光昏暗的场合, 可提高其色彩分辨率。斯密特屋脊棱镜相位膜的光谱性能如图2所示。



图1 斯密特屋脊棱镜

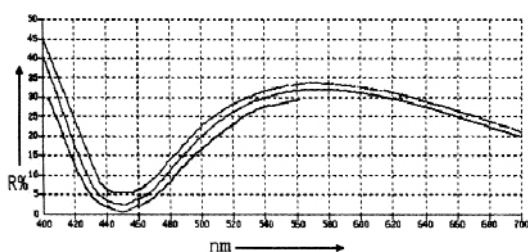


图2 相位膜光谱曲线

2.2 设计

2.2.1 膜层材料选择

设计膜系必须先确定薄膜材料。且要注意光学薄膜材料的即透明度、折射率、机械牢固度和化学稳定性以及高能辐射等, 才能选用合适的薄膜材料。

根据相位膜技术要求, 膜层不但要符合一定的曲线要求, 还要能经受盐水煮沸试验和耐磨试验, 因此设计膜系时应着重考虑膜料的机械牢固度和化学稳定性。

在可见光区的高折射率材料主要有 TiO_2 、 ZrO_2 、 Ta_2O_5 、混合料等几种常用膜料可供选择。常用的低折射率材料有 MgF_2 ($n=1.38$) 和 SiO_2 ($n=1.46$) 两种硬膜材料, 但相位膜的光谱反射率较高, 因此选择 SiO_2 较好。

根据材料特性和制备条件, 初步可确定相位膜系为 $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 或 $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$ 结构。

2.2.2 优化设计

随着科学技术的发展, 计算机技术在薄膜设计中也得到了应用。膜系设计一般可用专门的薄膜设计软件, 如 TFCalc、Macleod、Filmster 等来完成。

本设计用 Macleod 设计软件得出。设计时, 先输入目标指数, 再给出一定的初始膜系, 自动优化即可得出结果。一般 $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 膜系高低折射率比较大, 层数较少, $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$ 膜系高低折射率比相对稍小, 层数稍多。但不管用哪种膜系都能得到符合要求的结果。优化后曲线如图3所示。

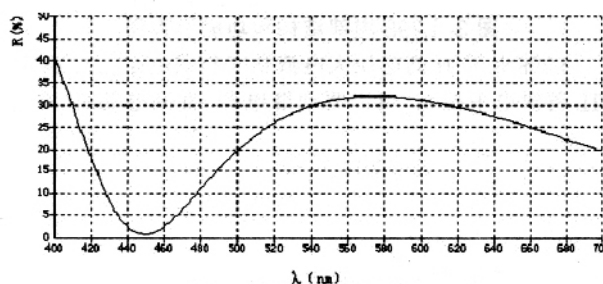


图3 相位膜设计结果

3 工艺设计要求

膜系设计只是制备薄膜的一个环节, 要将理论数据转换为实际数据, 并制作出合乎要求又能高效率生产的膜层, 还得经过工艺试制阶段。在这一阶段将根据镀膜机的特点、膜层材料的特性、工人操作的方便性、生产成本的可行性等因素分析并优化各工艺参数, 从而制备出高质量的薄膜。

3.1 镀膜设备

镀制相位膜所选用的设备是 ZZS1100 型镀膜机, 该设备配备有两只电子枪、两对阻蒸电极、360° 烘烤以及 MDC360 石英晶体膜层控制仪等。该镀膜机抽气系统稳定, 电子枪和阻蒸可由膜厚控制仪自动控制。镀膜时, 先将膜系程序输入到仪器中, 设置膜料密度、声阻抗、比例因子等参数, 当真空度和基片温度达到工艺要求时, 只需按“开始”键, 整个镀膜过程将自动完成, 操作非常方便。

3.2 镀膜工艺参数

3.2.1 基片温度

对不同的膜料, 对基片的温度要求不同。

TiO_2 折射率约为 2.2~2.35, 对温度要求较高, 须大于 300℃ 才能得到高折射率、低吸收、高强度的膜层。且在蒸发时将产生失氧现象, 故应采用反应蒸发方式, 即在电子束轰击膜料时, 对真空室充氧气, 使膜料分子与氧分子充分化合, 以得到高纯度的 TiO_2 膜层。

ZrO_2 折射率大概在 1.98~2.06 之间, 工艺制备时, 对温度要求不高, 200~250℃ 之间即可, 且 ZrO_2 在蒸发过程中不失氧, 故无需充氧, 是一种制作较方便的材料。

温度对 SiO_2 折射率影响不大, 但应在保证膜层强度的前提下, 尽量降低蒸发速率, 以免产生膜料点子。

3.2.2 真空度

真空度的影响主要有两个方面, 一是气相碰撞使蒸发分子动能损失; 二是蒸发分子与残余气体之间的化学反应。由此可知, 残余气体的压强和成分都必须加以控制。

对 TiO_2 - SiO_2 膜系, TiO_2 应采用反应蒸发方式, 所以当真空度达到 $3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 时, 对真空室充氧, 通过压强控制仪或气体流量计将真空度控制在 $2.0 \times 10^{-2} \sim 2.5 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

对 ZrO_2 - SiO_2 膜系则不需充氧, 当真空度达 $3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 时, 即可镀膜。

3.2.3 蒸发速率

膜料的蒸发速率对膜层的结构、材料的折射率都有影响, 因此合理地选择蒸发速率是非常重要的。 TiO_2 失氧严重, 为使膜料分子与氧气分子充分化合, 蒸发速率不可太大, 一般控制在 0.2~0.3nm/s 即可。 ZrO_2 蒸发速率可以稍大, 在 0.4~0.6nm/s 之间。 SiO_2 是一种折射率和结构都很稳定的膜料, 蒸发速率一般为 0.8~1.0nm/s。膜料的蒸发速率由 MDC360 膜厚控制仪与电子枪或阻蒸联动进行控制。

4 试制结果及改进

4.1 试制结果

经过反复试验, 反复调整工艺参数, 镀制出了与理论曲线相吻合的光谱曲线, 且表面疵病、膜层牢固度等都能符合要求。但同时也发现了一个很棘手的问题, 即膜厚均

匀性问题。

4.2 膜厚均匀性分析及改进

在调整均匀性时, 可将蒸发源看作小面源, 然后根据公式计算出镀件上膜厚的分布。由图 4 所示, 真空室内各几何参数间关系为:

$$\cos \varphi = h/r$$

$$\cos \theta = [h \cos \alpha + (\rho + L \cos \psi) \sin \alpha] / r$$

$$r^2 = h^2 + (L + \rho - 4L \sin^2(\psi/2))$$

将以上公式代入面源膜厚公式 $t_s = \frac{m \cos \varphi \cos \theta}{\pi \mu^2}$ 得到

$$t_s = \frac{mh[(h^2 + L^2 + \rho)(h \cos \alpha + \sin \alpha) - 2L^2 \sin \alpha]}{[h^2 + (L + \rho)^2]^{3/2} [h^2 + (L - \rho)^2]^{3/2}}$$

通过计算发现镀件上膜厚并不是均匀分布的, 基于这种情况, 可采用补偿挡板技术来进一步调整膜层的均匀性。在普通的蒸发条件下, 蒸发分子或原子是直线进行的, 只要在镀件附近放置一块适当形状的遮蔽板, 让不需要的分子或原子淀积在遮蔽板上, 而不淀积在镀件上, 从而改变镀件上膜厚分布, 这就是所谓的补偿挡板技术。

采用补偿板技术虽然可使处于同一半径 R 下的平面或球面光学零件能得到较一致的膜厚。但由图 4 可知, 斯密特屋脊棱镜的两个屋脊面在球形工件盘中所处的半径 R 不一致, 接收膜料的方向也不一致, 这就使得两屋脊面在球形夹具中所镀的膜厚不均匀。特别是两个面的总体曲线按一般方式镀制总是相差 10~20nm, 这就使得两个面在补偿相位的时候仍然有所差异, 因此除了应用补偿挡板技术外, 还必须解决两屋脊面膜厚一致性问题。

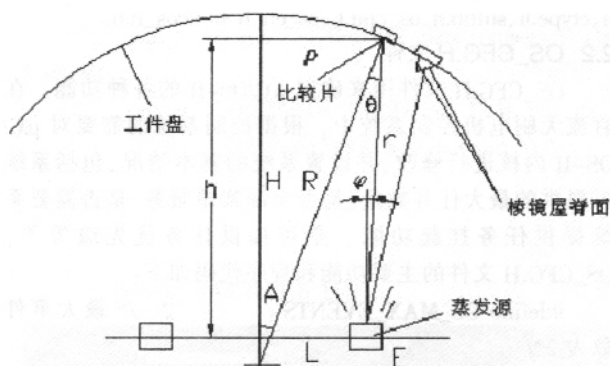


图 4 蒸发源与比较片和零件的位置关系

根据屋脊面互相垂直的特点, 可从以下两方面改善一致性:

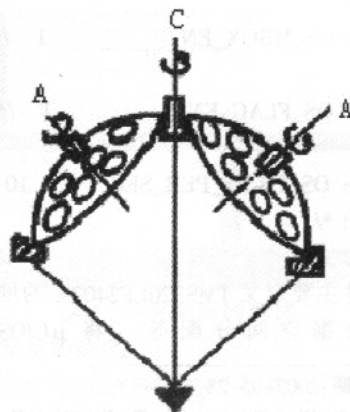


图 5 行星夹具 (下转第 155 页)

4 结束语

以上所有程序代码都在直流无刷电机控制系统的实际调试和运行期间通过。其内核测试方法和程序代码可作为其它基于嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的应用参考。本课题通过对嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核进行修改并成功移植到 TMS320LF2407A 上, 实现了对多个电机运行过程的远程监控。

参考文献:

- [1] JEAN JLABROSSE. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ (第 2 版). 邵贝贝等译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
 - [2] 刘和平, 严利平, 张学锋. TMS320LF240X DSP 结构原理及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
 - [3] 清源科技. TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- 责任编辑 李 燕

Testing the Function of $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ Kernel Based on TMS320LF2407A

HU Jin-de, FU Xiao-jun

(Xiantao Vocational College, Xiantao Hubei 433000, China)

Abstract: Based on amending $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ system's kernel and porting it to the DSP processor TMS320LF2407A, this paper introduces the way of testing $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ system's kernel, and presents the correlative program code.

Key words: Embedded Real-time Operate System $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; DSP; TMS320LF2407A; kernel

(上接第 151 页)

(1) 使用行星夹具

在这种夹具中, 镀件不仅绕夹具的中心轴公转, 而且以更大的转速各自绕本身的中心轴自转。因此可得到很好的膜厚均匀性。

(2) 散射淀积

一种有趣的“散射淀积”也可以用来得到均匀膜。在蒸发距离大于气体平均自由程的条件下, 蒸发的分子产生散射效应, 分布规律偏离余弦定律, 于是有可实现特定的膜厚分布。这种淀积一般是在 $10^{-1}\sim 10^{-2}\text{Pa}$ 的真空度下

进行蒸发, 充入惰性气体(如 Ar、Kr 和 Xe)作为散射工作气体。

5 结论

通过膜系的理论设计, 采用先进的镀膜工艺, 设计并能够制备出均匀的应用于望远镜的相位膜, 提高望远镜的观察效果。

参考文献:

- [1] 周九林, 尹树百, 译. 光学薄膜技术[M]. 国防工业出版社, 1974.
- [2] 唐晋发, 郑权. 应用薄膜光学[M]. 上海科学技术出版社, 1984.
- [3] 顾培夫. 薄膜技术[M]. 浙江大学出版社, 1990.

责任编辑 仇大勇

Telescope Design and Production of phase Film

LI Jian-fang

(Chongqing Vocational & Technical Institute, Chongqing 400712, China)

Abstract: The phase film is a kind of special film coated the Shimite roof prism of binoculars. It can improve the telescope observation results. This paper describes the characteristics, design and coating process of the phase film.

Key words: phase film; Shimite roof prism; coating uniformity