文章编号:1002-1582(2005)05-0739-03

宽角度反射式相位延迟器的设计

王晋峰¹,杨富²

(1. 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所,中国科学院研究生院,南京 210042)

(2. 河北北方学院物理系,张家口 075000)

摘 要:金属增强型反射镜在入射光非正入射的时候,两个不同的偏振态之间会产生不同的相移。利用最优技术 设计了一种相位延迟器,其工作波长在 640 - 670nm 之间,入射角在 40 - 50 范围内时,反射率 > 99 %且相移为 90°±20°。 波长在 670nm 附近时相移对入射角不敏感。膜层厚度误差对相移影响最大。

关键词:薄膜光学;偏振光;相位延迟器;相移

中图分类号: O484 文献标识码: A

Design of wide-angle reflection-induced phase retarder

WANG Jin-feng¹, YANG Fu²

(1. National Astronomical Observatories/ Nanjng Institute of Astronomical Optics and Technologies,

Chinese Academy of Sciences, Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China)

(2. Department of Physics, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract : When enhanced metallic reflector is used at an abnormal incidence the different phase shift of the polarization states may be occurred. An optimum technique was used to determine the layer thickness for a coating design that produced a $90^{\circ} \pm 20$ phase shift between the p- and s-polarization components when the angle of incident was changed from 40 to 50 the designed 640-670 nm wavelength range while the average reflectivity was above 99 %. The waveband around 670 nm was insensitive to the incident angle. The variation of the layer thickness was the most sensitive to the phase shift.

Key words : film optics ; polarized light ; phase retarder ; phase shift

1 引 言

传统的相位延迟器是利用晶体的双折射特性而 制成,使入射偏振光的 p、s 分量的相位发生改变, 从而产生一定的相移,但其应用的波段有限^[1]。薄 膜相位延迟器可以应用于紫外、可见直至红外波段, 同时还可用做光束相移转向器件及光束相移平移器 件,因此,近年来得到了广泛应用。本文设计了一种 宽角度反射式相位延迟器,角度使用范围可达45° ±5°,反射率在99%以上。并对制膜过程中膜厚和 折射率的变化以及各膜层光学厚度单独变化的情况 进行了误差分析。

2 理论基础

单层膜的特征矩阵为^[2,3]

$$M_{j} = \begin{bmatrix} \cos_{j} & \frac{i}{j} \sin_{j} \\ i_{j} \sin_{j} & \cos_{j} \end{bmatrix}$$

式中 $j = (2 /) N_j d_j \cos j;$ 对于 s 波 $s_j = N_j \cos j,$ p 波 $p_j = N_j / \cos j_{\circ}$

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{cases} k \\ j=1 \end{cases} \begin{bmatrix} \cos j & \frac{j}{\sin j} \\ \sin j & \cos j \end{bmatrix} \begin{cases} 1 \\ k+1 \end{cases}$$

多层膜和基片的组合导纳为 Y = C/B,则

$$r_{p} = \frac{0B_{p} - C_{p}}{0B_{p} + C_{p}}$$

$$p = \operatorname{arctg} \left[\frac{i \ 0 (C_{p}B_{p}^{*} - B_{p}C_{p}^{*})}{2 \ 0 B_{p}B_{p}^{*} - C_{p}C_{p}^{*}} \right]$$

$$r_{s} = \frac{0B_{s} - C_{s}}{0B_{s} + C_{s}}$$

$$s = \operatorname{arctg} \left[\frac{i \ 0 (C_{s}B_{s}^{*} - B_{s}C_{s}^{*})}{2 \ 0 B_{s}B_{s}^{*} - C_{s}C_{s}^{*}} \right]$$
则膜的 p, s 分量的相移为 p - s.
3 膜系设计

* 收稿日期: 2004-10-25 E-mail: jinfengdragon @yahoo.com.cn

作者简介:王晋峰(1977-),男,河北人,中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所博士研究生,从事薄膜光学研究。

研究中选用折射率为 1.52 的材料做 基底,采用的镀膜材料是 Ta₂O₅、SiO₂ 以及 Reflectance/% Ag。初始膜系采用金属增强型反射膜 系^[4]:G/Ag g_1 (hl)² g_2 (hl)¹⁰ g_3 (hl)² g_4 $(hl)^2$ g₅(h)/Air;其中 g₁、g₂、g₃、g₄、g₅代 表的是周期膜层前的系数;h 代表高折射 率材料 Ta₂O₅,1 代表低折射率材料 SiO₂。 选取的优化目标是在 640~670nm 之间、 移为 90°±20°。由于 Ag 的厚度对于相移不敏 感,并且当其厚度大于一定值的时候,对反射率 没有影响,所以无需对 Ag 进行优化。经过一系 列的组优化之后,获得了各个组的系数: $g_1 = 0$. 94, $g_2 = 1.06$, $g_3 = 1.19$, $g_4 = 1.18$, $g_5 = 1.63$ 根据以上膜系,获得了符合要求的相位延迟器。 结果如图1所示。

误差分析 4

在反射式相位延迟器的制备和使用中,两个 重要的指标是制备精度和使用的容差范围,因此 我们对其从制备时的膜厚误差控制和敏感层控 制两方面进行了分析^[5]。

4.1 物理厚度误差对相位的影响

图 2 分别给出了以 40 °(a 图)、45 °(b 图)和 50 °(c 图)入射时,膜厚发生变化时的相移图。膜 厚变化的幅度为 ±1 %。左图为对应膜厚均匀变 化的情况,右图为对应膜厚发生正态变化的情 🚆 形。图中横坐标代表波长范围,纵坐标代表 p、s 的相位差。每幅图中上、中、下三条曲线分别代 表膜厚变化为+1%、0%和-1%的情形。

从图 2 可以看出,在 640 -- 670nm 的波长范 围内,入射角以40和50的极限角度入射时,即 使膜厚发生 ±1%的变化, p、s光的相位差基本 满足要求。

4.2 折射率误差对相位的影响

以 40 ° 45 和 50 ° 入射时,折射率发生 ±1 %均匀 变化和正态变化时的相移图分别如图 3(a)、(b)、 (c) 所示,图中横坐标代表波长,纵坐标代表 p、s 的 相位差。左图是折射率发生均匀变化的相移曲线, 右图是折射率发生正态变化的相移情况。图中上、 中、下三条曲线分别代表折射率变化为+1%、0%和 -1%的情形。

由图 3 可知,在 640 -- 670nm 的波长范围内,入 射角以 40 和 50 的极限角度入射时,即使折射率发 生 ±1 %的变化, p、s 光的相位差亦基本满足要求。





4.3 各个膜层光学厚度误差对相位的影响

图 4 是入射角为 45 时,每一层膜光学厚度单独 变化 ±1 %对相移的影响。横坐标代表膜层数,纵坐 标代表相移的变化。横坐标从左向右代表从基底向 入射介质过渡,图中曲线上每一点意味着只有该 点处的膜层光学厚度发生变化而其它膜层是不变 的,上面的曲线代表每点处的光学厚度增加+1%, 下面的曲线代表每点处的光学厚度增加-1%。从 图中可以看出,最外一层厚度变化对相移影响最大, 其变化幅度达到 6 °,这是由于最外一层的 Ta2O5 与 入射介质的折射率相差较大造成的。

结 论 5

740



(上接第 738 页)

值分布曲线,平均值为 38.8707m,标准偏差为 0.0020m。在距离约 49m 时,高度单点测量最大标 准偏差为 0.0851mm,最小为 0.0428mm;各点高度 30 次测量平均值拟合直线相关系数为 0.99994,标 准偏差 0.06mm;单点距离 30 次测量平均值为 49.8000m,标准偏差为 0.0036m。当测量距离大约 62m 时,高度单点测量最大标准偏差为 0.1220mm, 最小为 0.0717mm;各点 30 次测量平均值拟合直 线,相关系数为 0.99991,标准偏差为 0.07mm;单 点距离 30 次测量平均值为 62.0827m,标准偏差为 0.0272m。

4 结 论

利用正弦条码尺进行远距高程测量,需要分两 步实现:即条码相位求解及条码中心几何定位。采 用等差周期正弦条码组合成多正弦条码尺,既可以 满足相位求解精度对条码的宽度幅值,数字频率和 成像条码个数的要求,又具备相当大的高程测量范 围。实验结果表明,标尺距传感器距离分别为约 39m,50m,62m时,高度测量精度分别为:0.03mm, 0.06mm,0.07mm;距离测量精度分别为:2mm, 4mm,27mm。测量精度随距离增大而降低,是由于 远距离时条码宽度及间隔变小,成像系统点扩散函 数的卷积模糊程度加重,使得条码宽度和几何中心 位置识别精度降低造成的。因此有必要进一步改进 条码识别方法,以提高远距离测量精度及增大测量 距离范围。

参考文献:

- [1] 屈玉福,浦昭邦,李春颖,等.基于数字化标尺的视觉读数系统研究[J].光学技术,2004,30(2):138--141.
- [2] 郑洪,林昌东. 位移连续编码原理的研究及应用[J]. 计量学报, 2003,24(1):29-31.
- [3] 任道胜. 数字水准仪应用于区域精密水准测量的有关问题研究
 [J]. 地壳形变与地震,2000,20(2):72 -77.
- [4] 王永尚,李以赫,肖学年,等. 数字水准仪的试验结果及其分析
 [J]. 测绘通报,2002,4:58-61.
- [5] 史宣庭,唐务浩.水准仪综合误差室内检定的研究[J].武汉测 绘科技大学学报,1996,21(2):183—485.
- [6] Ingensand H. The evolution of digital levelling techniques-limitations and new solutions [C]. Jubilee seminar of Geodesy and Surveying in the Future, Sweden, 1999(3): 15-17.
- [7] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak locations[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(6): 630-640.
- [8] Wang Z X, Zhang X, Li X Y. Implementation of displacement measurement via sinusoidal bar code[J]. SPIE, 2005, 5642:372 – 377.