

一种对入射角不敏感的 $N/4$ 消色差相位延迟器*

王 霞 吴福全 邵卫东

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 通过合理选择光学材料和器件结构角, 设计了一种对入射角不敏感的非涅耳菱体型消色差相位延迟器。它是单元结构 $N/4$ 延迟器。计算表明: 入射角变化 $\pm 2.5^\circ$ 时, 引起的相位延迟量的偏差约为 0.3° , 是常规非涅耳菱体型相位延迟器在同等情况下延迟量变化的 $1/6$ 。

关键词: 消色差相位延迟器 入射角 全内反射角 折射率

A fresnel rhomb-type phase retarder insensitive to the incident angle

Wang Xia, Wu Fuquan, Shao Weidong

(Institute of Laser, Qufu Normal University, Qufu, 273165)

Abstract: This paper presents a fresnel rhomb-type phase retarders that is much highly insensitive to the incident angle. It is based on the properly choosed optical material and internal reflection angle. It shows that the device is stable within 0.3° of 90° for $\pm 2.5^\circ$, which is nearly one sixth of the ordinary fresnel rhomb phase retarders variation.

Key words: achromatic phase retarders incidente angle total internal reflection angle refractive-index

引 言

消色差相位延迟器是一种非常重要的光学调制器件, 它可以在一个大的光谱范围内将入射的线偏振光转变为圆偏光或使线偏光的偏振面发生旋转。非涅耳菱体、穆尼菱体、消色差器 AD-1, AD-2^[1,2] 等是利用全内反射原理设计的消色差相位延迟器。光束通常是正入射到入射端面。对于某一消色差相位延迟器, 其延迟量的偏差在很大程度上取决于材料的色散情况。只要选取色散较小的材料, 并加以合理的设计, 就可以使器件在一定的光谱范围内具有好的消色性。但是当光束非严格准直时, 光的入射角对相位延迟量有明显的影响, 这种现象被称为延迟量对于入射角的敏感性。例如菲涅耳菱体, 它是两次全反射的 $N/4$ 延迟器。两次全反射无补偿, 因而对于入射角很灵敏。消色差器 AD-1、穆尼菱体虽克服了对入射角敏感性, 但是 AD-1 器件尺寸太长, 孔径长度比值仅为 $1:17.5$ 。而穆尼菱体的缺陷是光束偏向, 使应用范围受到限制。作者给出的相位延迟器, 是对菲涅耳菱体进行了改进, 通过适当选取光学材料和内反射角 θ , 克服了延迟量对入射角的灵敏性, 且在一定光谱范围内, 也具有较好的消色差。

1 器件设计原理

当电矢量相对于入射端面的方位角为 45° 的线偏振光在菲涅耳菱体内反射时, p 分量和 s

* 山东省教科委资助。

分量的相变之差由下式给出^[1]:

$$\text{tg}(\delta/2) = \cos\theta \sqrt{n^2 \sin^2\theta - 1} / (n \sin^2\theta) = \cos\theta \sqrt{\sin^2\theta - 1/n^2} / \sin^2\theta \quad (1)$$

式中, δ 是一次全内反射 p 分量和 s 分量的相变之差, ($\delta = \delta_p - \delta_s$), θ 是内反射角, n 是材料的折射率。

对于某一给定的光学材料, 在所设计的波长折射率为定值, 延迟量 δ 是全内反射角 θ 的函数^[3], 如图 1 所示。图 1 给出了几个不同 n 值的 $\delta-\theta$ 曲线。由此可见, 光在菲涅耳菱体中经过一次全内反射所能产生的最大相位延迟量与材料折射率有关。材料的折射率越高, 所能产生的最大延迟量 δ_{\max} 就越大。在 δ_{\max} 的左边, 延迟量随内反射角的变化非常快(消色差相位延迟器在选取内反射角度时, 一般避开曲线 ($\delta-\theta$) 的上升段); 在右边, 这种变化就较慢一些; 而在曲线 δ_{\max} 的附近, 延迟量随内反射角的变化不很明显。我们就是基于一种光学材料在其能够产生最大延迟量的附近, δ 对于 θ 不敏感的特性, 通过合理选取材料, 设计制作一种对入射角不敏感

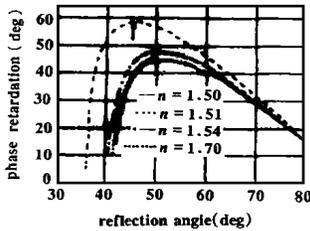


Fig. 1 Retardant δ versus total internal reflection angles θ for refractive index values n

角不敏感的非涅耳菱体型消色差相位延迟器^[4]。

2 器件设计与性能分析

2.1 器件设计

由上面器件的设计思想可知, 为使设计的菲涅耳菱体 $N/4$ 相位延迟器的延迟量对入射角不敏感, 首先必须选择合适光学材料。由于是两次反射的 $N/4$ 相位延迟器(见图 2), 我们令每一次反射产生的相位延迟量 $\delta = 45^\circ + \varepsilon$, 2ε 是总的延迟量偏离 90° 的最大上限。将(1)式两边平方并整理得:

$$n^2(c^2 + 1)\sin^4\theta - (n^2 + 1)\sin^2\theta + 1 = 0 \quad (2)$$

式中, $c^2 = \text{tg}^2(45^\circ + \varepsilon)$ 。解此 $\sin^2\theta$ 关于 n 的方程得:

$$\sin^2\theta = [n^2 + 1 \pm \sqrt{n^4 - 2n^2(2c^2 + 1) + 1}] / [2n^2(c^2 + 1)] \quad (3)$$

当 n 小于某一数值时, 根号内为负, 从数学上讲, 表示方程(3)没有 θ 的实数解, 物理意义表明的是当折射率 n 小于某一数值时, 不存在一次内反射产生 $\delta = 45^\circ + \varepsilon$ 的反射角 θ 值。

设最大延迟量刚好为 $\delta = 45^\circ + \varepsilon$ 时的折射率值为 n_0 , 当 $n < n_0$ 时, 所产生的最大延迟量达不到 $45^\circ + \varepsilon$, 我们把 n_0 称为临界值。为了得到 n_0 , 令: $n^4 - 2n^2(2c^2 + 1) + 1 = 0$ (4)

$$\text{则得到: } n^2 = [2(2c^2 + 1) + \sqrt{4(2c^2 + 1)^2 - 4}] / 2 \quad (5)$$

若约定延迟偏差 2ε 为 0.3° , 则 $\delta = 45^\circ + 0.15^\circ = 45.15^\circ$, 将 $\delta = 45.15^\circ$ 代入(5)式中, 并取正号, 得 $n_0 = 1.4987$ 。由此可见, K1 玻璃是制作这种新型器件的理想材料。

将 $\delta = 45.15^\circ$ 及 n_0 值代入(3)式中, 又可得到 $\theta_0 = 51.72^\circ$ 。考虑到 ($\delta-\theta$) 曲线顶点两侧的不对称, 我们把菲涅耳菱体的结构角 α 取为 51.85° 。

2.2 性能分析

入射角 i 变化 $\pm 2.5^\circ$ 时, 内部反射角的变化 $\Delta\theta$ 应为:

$$\sin 2.5^\circ = 1.4987 \sin(\Delta\theta), \quad \Delta\theta = 1.67^\circ \quad (6)$$

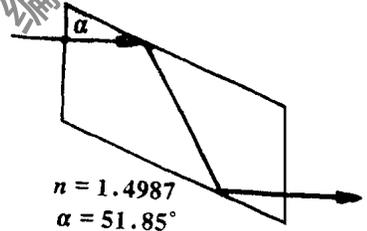


Fig. 2 New fresnel rhomb type phase retarder for $n = 1.4987$, $\alpha = 51.85^\circ$

在入射角 i 变化 $\pm 2.5^\circ$ 的范围内, 延迟量随入射角的变化曲线如图 3 中实线所示, 图中的

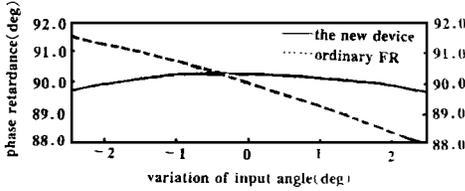


Fig. 3 The total retardant of the new device for incidence angles $i \pm 2.5^\circ$, the ordinary Fresnel rhomb retarder for the same variations of incidence angles is drawn for comparison

虚线是常规菲涅耳菱体的延迟量随入射角的变化。由图中曲线可见: 在 $\pm 2.5^\circ$ 的范围内, 入射角对新器件相位延迟量的影响约为 0.3° , 仅是常规菲涅耳菱体的 $1/6$ 。

K1 玻璃在 600nm 的折射率为 1.4987, 从可见光 486.1nm 到近红外 1150nm 之间, 折射率在 1.50526~ 1.4910 之间, 器件的延迟量随波长的变化曲线如图 4 所示。在 600nm 的光谱范围

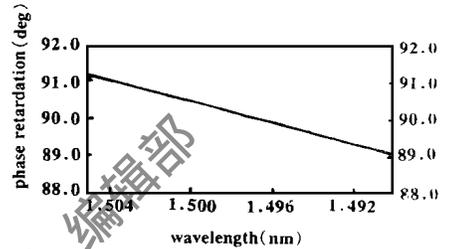


Fig. 4 Variation of the retardant with refractive index for the new device of Fig. 2

内, 延迟量的偏差在 1° 以内, 可见消色差性也是非常理想的。

3 测试与结论

3.1 测试

测试方法采用双光束偏光干涉光谱法, 整个测试系统主要部分是岛津 UV-3101PC 型分光光度计。测试光路如图 5 所示, 样品装在具有微调功能

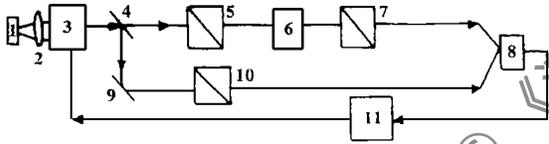


Fig. 5 Measuring equipment

- 1—light source 2—collimating lens 3—monochromator
- 4—semireflect-refract device 5, 10—polarizer 6—sample
- 7—analyzer 8—detect 9—reflective mirror 11—CPU

的旋转支架上(旋转角的可读精度为 $5'$), 要保证入射到样品的光束的电矢量方向与入射面成 45° 角。旋转样品台角度及通过计算机对分光光度计输出波长的调整, 对两只孔径稍有不同的样品器件, 分别进行了角度偏移及分波段的测量, 测试结果列于表 1。

Table 1 Test results dependent on incident angle variations and wavelengths

	incident angle variation(deg)					wavelength(nm)			
sample	- 2	- 1	0	1	2	480	656	770	860
1($\varphi= 10\text{mm}$)	88.7	89.5	90.0	90.3	89.1	91.5	90.5	89.4	89.2
2($\varphi= 8\text{mm}$)	89.3	89.8	90.2	90.1	89.8	91.4	90.3	90.3	88.9

3.2 结 论

由实验结果可见, 考虑到系统误差, 本器件的实验值与理论曲线符合得非常好。器件结构简单, 延迟量对于入射角的变化非常不灵敏, 在入射光非严格准直的情况下, 不必修正入射光线路径, 就能获得相当稳定的延迟量。如果在单一波长处应用相位延迟器, 消色差性就不是那么重要了。基于这些特点, 该器件在单一波长测量中可用作较为理想的标准元件。

参 考 文 献

- 1 李景镇, 苏世学, 赵俊民. 光学手册. 西安: 科学技术出版社, 1985: 576~ 580
- 2 Bennett J M. Appl Opt, 1970; 9(9): 2123~ 2129
- 3 Nagib N N. Appl Opt, 1997; 36(7): 1547~ 1552

整形二元光学元件衍射效率的研究

李 琦 高惠德 董蕴华 申作春 王 骥
(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001)

摘要: 设计了用于将 He-Ne 激光基模光束整形为环形光强分布的光束二元光学元件; 并进行了实验分析, 在实验中, 主要改变输出面距 BOE 的距离 L , 测得输出面的衍射效率, 并与数值计算相对比。

关键词: 二元光学元件 光束整形 衍射效率

Investigation on diffraction efficiency of BOE for beam shaping

Li Qi, Gao Huide, Dong Yunhua, Shen Zuochun, Wang Qi
(Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: A binary optical element which is designed to convert a single-mode He-Ne laser beam into a ring-shaped intensity distribution is investigated experimentally. The measured diffraction efficiency are compared with numerical calculation when the distance between BOE and the output plane is changed.

Key words: binary optical element (BOE) beam shaping diffraction efficiency

引 言

随着激光的广泛应用, 人们对激光光强分布有多种特殊需要, 如在激光加工及热处理^[1,2]、光学材料制作等领域中^[3,5], 需要使用矩形和环状等激光光斑。因此, 需要研制将激光光强分布加以转换的元件, 即光束整形元件。以往多用计算全息法实现环形分布; 虽然, 此法原则上可以设计产生一般透镜或反射镜所不能实现的任意形状的波前, 但由于大多都使用离轴的一级衍射光, 这不仅限制了视场, 而且衍射效率不甚高, 因此, 难于推广应用^[6]。近年来, 人们开始研究同轴的、能充分利用光能且能产生任意形状的光波波前的衍射光学元件——二元光学元件(binary optical element, 缩写为 BOE) 在光束整形方面的作用。二元光学元件是基于光波的衍射理论, 在计算机全息图和相息图研究发展的基础上, 利用计算机设计和微电子加工技术研制成的一种高效率的新型光学元件; 它具有两个或多个台阶深度的浮雕结构。由于它能灵活控制波前, 因此, 在光束整形方面有着广泛的应用前景^[7]。

在二元光学元件设计方面, 杨 顾相位恢复算法已成功地解决了多种实际问题, 是比较实

4 Nagib N N. Appl Opt, 1998; 37(7): 1231~ 1235

5 King R J. J Sci Instrum, 1966; 43: 617~ 622

作者简介: 王 露, 女, 1972 年 11 月出生。曲阜师范大学激光研究所硕士研究生。