

文章编号: 0253-2239(2007)02-0377-2

# 相位光栅型波前曲率传感器

习锋杰 许晓军 王铁志 姜宗福

(国防科技大学光电科学与工程学院, 长沙 410073)

**摘要:** 研制了一套相位光栅型波前曲率传感器。实验结果表明, 相位型散焦光栅能消除零级衍射光的干扰, 正负一级衍射光的衍射效率达到 49%。用相差板引进波前畸变, 进行了波前测量实验。用格林函数算法进行了波前恢复, 并与 Veeco 检测结果进行了比较。制备的光栅型波前曲率传感器测量结果正确, 峰谷值存在 10% 的误差, 均方根值存在 2% 的误差。

**关键词:** 自适应光学; 波前曲率传感器; 相位型散焦光栅; 波前测量

中图分类号: TN911.74; O439 文献标识码: A

## Wavefront Curvature Sensor with Phase Defocus Grating

Xi Fengjie Xu Xiaojun Wang Tiezhi Jiang Zongfu

(College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract:** The wavefront curvature sensor comprising a phase defocus grating is designed and fabricated. The influence of zero-order diffraction is prohibited, and the high diffractive efficiency of 49% for the  $\pm 1$  diffraction orders is verified experimentally. Wavefront deformation is introduced by a phase plate. The initial wavefront measurement experiment is carried out. The Green function algorithm is used for wavefront reconstruction. The reconstructed wavefront is compared with the measurement result of the Veeco interferometer. It is verified that the measurement of the self-designed curvature sensor is correct, the error percent of peak-valley value (PV) is 10%, and the error percent of root mean square (RMS) is 2%.

**Key words:** adaptive optics; wavefront curvature sensor; phase defocus grating; wavefront measurement

在天文观测、高能激光、定向能技术、激光通讯等领域, 越来越多的自适应光学应用要求波前传感器能够实现高空间、高时间分辨率的动态实时测量。波前曲率传感技术<sup>[1]</sup>符合这一发展要求。人们曾经用分光镜或振动薄膜镜实现过波前曲率传感器, 但这两种方案存在着各种缺陷。2000 年 Paul M. Blanchard 等<sup>[2,3]</sup>使用散焦光栅全光学地实现了波前曲率传感器, 具有广泛应用的潜力。但他们使用振幅型散焦光栅, 焦平面上的零级衍射光容易引起饱和串扰, 有用的正负一级衍射光的光能利用率低。

本文设计相位型散焦光栅来实现波前曲率传感器, 抑制了零级光的衍射效率, 消除了零级光的饱和串扰, 提高了正负一级衍射光的光能利用率, 更加适

合于弱光环境下的使用。利用相差板进行了初步的波前测量实验, 用格林函数算法进行了波前恢复<sup>[4]</sup>。

我们设计的光栅型波前曲率传感器参量为: 与光栅配合使用的短焦距透镜焦距  $f_1 = 105$  mm、入瞳口径  $D = 30$  mm, 散焦光栅的等效焦距  $f_g = 3600$  mm、散焦光栅的离轴量  $x_0 = 37.5$  mm。可以确定波前曲率传感器的离焦量  $l \approx 3$  mm、探测面上  $\pm 1$  级衍射光斑大小  $d \approx 0.81$  mm、与零级光斑横向分开的距离  $\sigma \approx 1.1$  mm。探测器为 JAI 公司生产的 CV-A10 CL 型黑白 10 位数字相机, 像素大小为  $8.37 \mu\text{m} \times 8.37 \mu\text{m}$ , 像素亮度动态范围  $0 \sim 1023$ , 背景灰度值为 100, 噪声不超过 55 dB。散焦光栅为相位型散焦光栅。

一束扩束的准直 He-Ne 光经过相差板, 引入已

作者简介: 习锋杰(1979—), 男, 陕西合阳人, 博士研究生, 主要从事自适应光学研究。E-mail: xifengjie@163.com

导师简介: 姜宗福(1963—), 男, 湖南人, 教授, 博士生导师, 主要从事高能气动和化学激光器技术、气动光学方面的研究。

E-mail: jiangzongfu@yahoo.com.cn

收稿日期: 2006-10-25; 收到修改稿日期: 2007-01-04

知的波前畸变。该相差板由中科院成都光电所用 Veeco 干涉仪检测,引入的波前畸变类型主要为散焦和慧差。图 1 为实验中使用 CCD 相机测量得到的两个离焦面的光强分布。实验中我们采用图像灰度值分析法,对 0、 $\pm 1$  三个衍射级别的衍射效率进行了测量。以这三个衍射级别的光能量和为总能量 1,这三个衍射级别的相对衍射效率分别为 0.9%、49.94%、49.18%。

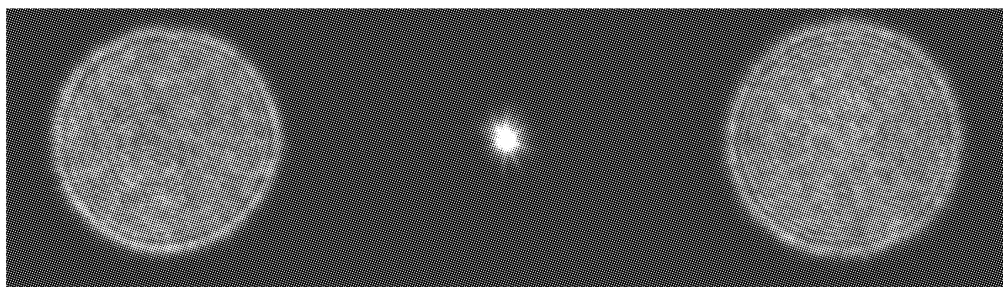


图 1 两离焦面的光强分布

Fig. 1 Two experimental defocused images

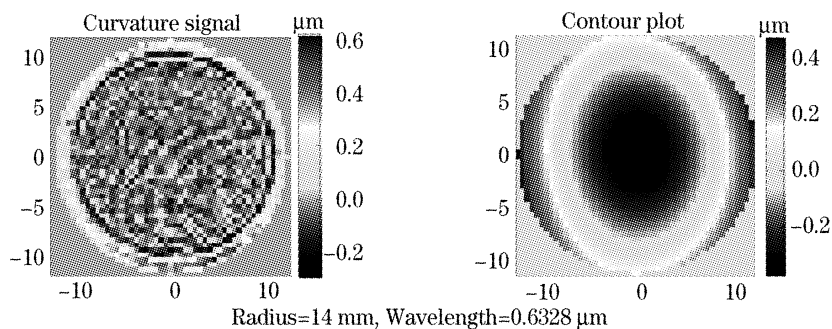


图 2 (a)光强梯度信号,(b)相差板相位分布图

Fig. 2 Signal of the intensity gradient (a), and phase map of the phase plate measured with the curvature sensor (b)

表 1 曲率传感器和 Veeco 干涉仪测量结果比较

Table 1 Comparison of the measurement of curvature sensor and Veeco

Unit	Peak-valley value	Root-mean square
Veeco interferometer / $\mu\text{m}$	0.762	0.1760
Curvature sensor / $\mu\text{m}$	0.8412	0.1798
Error percent	10%	2%

本文设计并制备了一套相位光栅型波前曲率传感器,零级衍射光的衍射效率接近于零,正负一级相对衍射效率分别为 49.92%和 49.18%。消除了零级干扰,提高了光能利用率。初步的波前测量结果表明,我们制作的光栅型波前曲率传感器测量结果

由两个离焦面的光强分布计算得到归一化的光强梯度信号,如图 2(a)所示。图 2(b)为用格林函数算法<sup>[4]</sup>恢复的相位分布图。可以看出波前曲率传感器的测量结果主要为散焦和慧差,和 Veeco 检测的畸变模式一致。表 1 列出了波前曲率传感器和 Veeco 干涉仪测量的相位板波前畸变的峰谷值和均方根值,并进行了比较。峰谷值存在 10%的误差,均方根值存在 2%的误差。

正确,峰谷值存在 10%的误差,均方根值存在 2%的误差。

## 参 考 文 献

- 1 François Roddier. Curvature sensing and compensation: a new concept in adaptive optics[J]. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(7):1223~1225
- 2 Paul M. Blanchard, Alan H. Greenaway. Simultaneous multiplane imaging with a distorted diffraction grating[J]. *Appl. Opt.*, 1999, **38**(32): 6692~6699
- 3 Paul M. Blanchard, David J. Fisher, Simon C. Woods *et al.*. Phase-diversity wave-front sensing with a distorted diffraction grating[J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(35): 6649~6655
- 4 Simon C. Woods, A. Greenaway. Wave-front sensing by use of a Green's function solution to the intensity transport equation[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2003, **20**(3): 508~512