

横向剪切可变的焦距波带板干涉仪

邹振书

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

提 要

本文提出了一种应用双焦距波带板做为横向剪切元件的干涉仪,适用于检测会聚波面像差。它结构简单,不仅具有 Ronchi 光栅检测的优点,而且条纹对比度好,可根据需要改变剪切量,不需要更换波带板。这种干涉仪可由在波带板平面内移动波带板,获得待测波面任意方向的剪切干涉图。双焦距波带板可用全息方法很容易制作。文中给出了实验结果。

关键词: 横向剪切干涉仪, 双焦距波带板。

一、引 言

Ronchi 光栅检验^[1]是检查波面像差最简单、最有效的方法之一,尤其是在光学车间中,对透镜质量进行定性检查。Ronchi 光栅检验实际上是一种横向剪切干涉,对周期一定的光栅,其剪切量是一定的,不能变化。Wyant 提出双频光栅横向剪切干涉仪^[2],除了具有 Ronchi 光栅检验优点之外,能够避免干涉图的叠加,而且干涉条纹对比度好,但其剪切量仍是固定的。采用两个光栅做为剪切元件的横向剪切干涉仪^[3,4],可根据需要旋转其中一个光栅改变剪切量。本文提出另外一种利用一个双焦距波带板做为横向剪切元件的干涉仪,适用于检测会聚波面像差。它具有 Ronchi 光栅检验和 Wyant 的双频光栅横向剪切干涉仪的优点,并且可根据需要改变剪切量。在波带板平面内,移动波带板,改变剪切方向,可对待测面的任意方向进行检测。双焦距波带板可采用全息方法很容易地制作。

二、光 学 系 统

横向剪切可变的焦距波带板干涉仪的光学系统如图 1 所示。双焦距波带板是由焦距

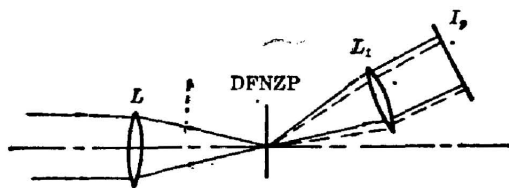


Fig. 1 DFNZP interferometer with variable lateral shear

L: lens to be tested; L₁: imaging lens;
IP: interferometric plane

不同、圆心重合的两组同心圆环组成的、相当于两个波带板的叠加。把它放在光路中会聚波面焦点附近,且使光轴方向与波带板平面垂直。设双焦距波带板的焦距分别为 f_1 和 f_2 , 则两组同心圆环的空间频率分别是:

$$\nu_1 = \rho / \lambda f_1, \quad (1)$$

$$\nu_2 = \rho / \lambda f_2, \quad (2)$$

λ 是所使用的波长, ρ 是波带板上离开中心的径向距离。由(1)、(2)式可知其空间频率随

离波带板中心的径向距离 ρ 的增加成比例地增加。对其剪切方向而言,双焦距波带板相当于

光栅刻线垂直于该方向,空间频率按不同比率变化的两组光栅叠加在一起。会聚波面入射到这种双焦距波带板上,将产生两束衍射角不同的 1 级发散光束,而这两束衍射光束强度相同。对每一个光栅,适当地选择衍射角可使其 0 级和 1 级衍射光分开。根据文献[2],如果选择:

$$\nu > 1/\lambda f_{n0}, \quad (3)$$

其中 f_{n0} 是待检波面的 F 数。当 $f_1 > f_2$ 时, $\nu = \nu_1$; $f_1 < f_2$ 时, $\nu = \nu_2$, 就可使经双焦距波带板的 0 级光和衍射的 1 级光束分开。当双焦距波带板的焦距 f_1 、 f_2 选定后,还可通过使会聚波面焦点落在波带板的不同地方(即不同的 ρ)来满足(3)式的要求。在波带板后面放置一成像透镜,形成待测系统出瞳的像。因为波带板将入射的会聚波产生衍射角不同的两束 1 级发散光束,因此透镜就形成了待测系统出瞳的两个有横向位移的像,在其重叠区域将产生剪切干涉图。对无像差的波面,若其焦点正好在波带板上,则干涉图是一片亮场;若焦点不落在波带板上,则干涉图是均匀的直线条纹,对有像差的待检波面将产生不同形状的条纹,由此判断待检波面的形状。根据光栅方程式可知,其剪切量与波带板工作区域的空间频率差有关,角剪切量:

$$\Delta Q = \lambda |\nu_2 - \nu_1|. \quad (4)$$

将(1)、(2)式代入(4)式中有:

$$\Delta Q = \rho \left| \frac{1}{f_2} - \frac{1}{f_1} \right|. \quad (5)$$

与离波带板中心距离 ρ 成正比。因此要改变剪切量,可沿剪切方向移动波带板,改变其 ρ , 便可得到所需要的剪切量,不需更换其剪切元件。这在双频光栅横向剪切干涉仪中,采用单一的剪切元件是做不到的。

因为横向剪切干涉图给出的仅是剪切方向的波面斜率的信息,对于旋转非对称波面仅给出一个方向的横向剪切干涉图是不够的,须给出相互正交的、两个方向的横方剪切干涉图,这可由在波带板所在平面内移动波带板来实现。

双焦距波带板可很容易地采用全息方法制作,其制作光路图如图 2 所示。这是同轴费涅尔波带板的记录光路,利用一平面波和一球面波相干记录而成。发散球面波点源到干板的距离为波带板的焦距。根据要求选择适当的 f_1 、 f_2 , 对应 f_1 进行一次曝光。然后沿光轴方向平动干板,使点源至干板的距离为 f_2 , 再进行曝光。将两次曝光后的干板进行处理并漂白,即可得到所需要的双焦距波带板。

双焦距波带板作为剪切元件,其两组圆环必须同心,不能相互交叉。如果不同心,那么这种波带板的制作偏差必将影响待测波面经双焦距波带板后的剪切干涉图形,由其剪切干涉图分析的波面像差不再是真正的待测波面的像差,而是包括了待测波面和由波带板的制作偏差对待测波面产生影响的结果。这是造成测量误差的一个原因。另外在测量中,双焦

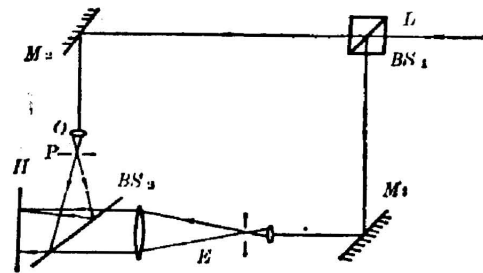


Fig. 2 Recording arrangement of DFWZP

L: laser; BS: beam splitter; M: mirror;
E: expander; O: objective lens; P: pinhole
(point source); H: plate

距波带板的平面必须要与待测波面的光轴垂直,否则也将给测量带来误差。

为了减少测量误差,在制作波带板的过程中,要求光路中各元件的质量要好。模拟点源的针孔要和所用的显微物镜相匹配,孔要圆且光滑。两次曝光中,移动干板的方向要和光轴一致,保证同心。制作好的双焦距波带板的质量可用星点法进行检验。

三、实验结果

实验中所用的双焦距波带板是按图 2 所示的实验光路记录而成的。选取的焦距分别为 $f_1=200\text{ mm}$, $f_2=250\text{ mm}$, 波带板的孔径为 70 mm 。按图 1 所示的光路分别检查了具有球差和无像差的、 F 数均为 10 的透镜。实验检测结果如图 3(有球差的透镜)、图 4(无像差透镜)所示。图 3 中的 (a) 图是双焦距波带板放在待测的会聚波面的近轴光线焦点处、距波带板中心 30 mm ; (b)、(c)、(d)、(e) 图是双焦距波带板放在待测的会聚波面的边缘光线焦点

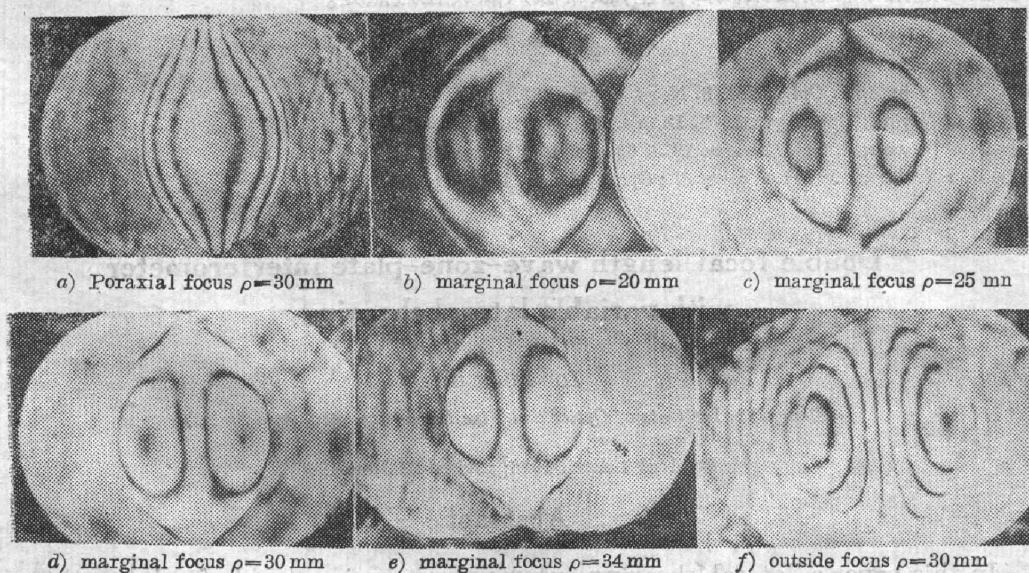


Fig. 3 Interferograms obtained using DFWZP lateral shearing interferometer (wavefront with spherical aberration)



Fig. 4 Interferograms without wavefront aberration

处,距波带板中心分别是 20 mm, 25 mm, 30 mm, 34 mm; (f) 图是双焦距波带板放在待测会聚波面的焦点附近,距波带板中心为 30 mm。图 4 中的 (a) 图是双焦距波带板放在待测会聚波面焦点处, (b) 图是放在焦点附近。其焦点距波带板中心距离为 25 mm。由所获得的干涉图可以看出条纹对比度好。不同的剪切量(对应不同的 ρ) 其干涉图形有所差别。横向剪切干涉中,灵敏度与剪切量有关,因此可根据灵敏度的要求,选择不同的剪切量进行检测。

四、小 结

本文提出的横向剪切量可变的双焦距波带板干涉仪结构简单,剪切元件容易制作,灵敏度高,操作方便,对外界干扰不灵敏。仅用一个剪切元件便可根据需要改变剪切量。这种干涉仪用于系统或透镜质量的定性测量中尤为突出。通过对条纹进行判读处理可得到定量的结果。由于双焦距波带板的空间频率是随距其中心距离的变化而连续变化,因此所提出的干涉仪只适用于检测会聚波面像差,波带板只能放在焦点处。

参 考 文 献

- [1] V. Ronchi; *Appl. Opt.*, 1964, **3**, No. 4 (Apr), 437.
- [2] J. C. Wyant; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 9 (Sep), 2057.
- [3] J. C. Wyant; *J. Opt. Soc Am*, 1973, **63**, No. 10 (Oct), 1312.
- [4] P. Hariharan, W. H. Steel *et al.*; *Opt. Commun*, 1974, **11**, No. 3 (Jul), 317.

Double focal-length wave-zone-plate interferometer with variable lateral shearing

ZOU ZHENSHU

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 1 April 1986; revised 23 June 1986)

Abstract

In this paper a lateral shearing interferometer using double focal-length wave-zone-plate (DFWZP) is proposed. The plate can easily be produced holographically as shearing element. This interferometer is very suitable for the measurement of converging wavefront. It not only retains the advantages of the Ronchi grating testing method but can also obtain the interferograms of good contrast. It provides variable shearing and does not require the replacement of DFWZP. This interferometer can obtain shearing interferograms in any desired direction by translating the DFWZP in the DFWZP plane. Hence it can be used to test rotationally nonsymmetric wavefronts. The fabricating and adjusting derivations of the DFWZP is one of the sources of measuring errors. The quality of the DFWZP can be tested with the star point method.

Experimental results are also given.

Key Words: lateral shearing interferometer, double focallength wave-zone-plate