

点衍射全息干涉仪

周万治 卢振武

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

提 要

本文提出了一种用点衍射全息图进行光学检测的新方法,并与传统方法进行了比较,指出了它的特点和用途。

一、引 言

自从激光问世以来,干涉术在光学检测中得到越来越广泛的应用。与此同时,新的干涉方法的研究也异常活跃,已成为干涉术的一项重要内容。从传统的泰曼-格林干涉仪^[1]和非索干涉仪^[2]到后来发展起来的各种横向剪切干涉仪^[3]和径向剪切干涉仪^[4,5],虽然有其各自的优点,并在不同类型的光学系统以及光学元件的检测中发挥着作用。但是,也存在着各自固有的缺点,因而其应用条件与范围都有一定的限制。另一种是迄今为止一种最简单的干涉仪——点衍射干涉仪^[6],它结构简单,但调整困难,本文提出一种类似的干涉仪——点衍射全息干涉仪。它可以代替点衍射干涉仪进行光学检测,而且调整比点衍射干涉仪方便得多。下面将分别介绍其原理误差分析和应用。

二、原 理

在进行光学检测之前,要先制作一个点衍射全息图,如图1所示。由He-Ne激光器发

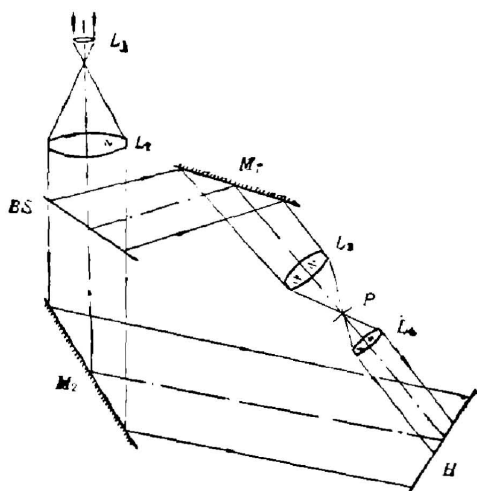


Fig. 1

出的光束经扩束后变为平行光束。然后经分束器BS分为物光束和参考光束。物光束经反射镜M₁反射后入射到被测透镜L₂上,然后聚焦在其焦面上的针孔P上。针孔大小的选择要保证小于被测透镜所对应的爱里(Airy)斑。所以,虽然从被测透镜透射的波面带有像差,但是经过针孔滤波后,将衍射出理想的球面波。在针孔后面放置一透镜把理想球面波准直,使其与经过反射镜M₂反射的平面参考波一起投射到全息干板上。曝光后,经过实时处理,就完成了全息图的制作过程。

为了进行透镜的像差检测,取下针孔P,再次用物光和参考光同时照明全息图。注意,现

在的物光没有经过针孔滤波,于是带有像差。由全息学原理^[7]可知,参考光束将在原物光束方向上衍射出原来的理想球面波,这个球面波和未经滤波的被测波面产生干涉得到代表其像差分布的干涉图样。显然,点衍射全息干涉仪的基本原理与点衍射干涉仪原理相同。所不同的是点衍射全息干涉仪利用全息记录和再现原理实现了不同时存在的波面之间的干涉。

从结构上看,虽然点衍射全息干涉仪的结构比点衍射干涉仪复杂一些,但点衍射全息图的制作要简单方便得多。而且,由于采用实时处理全息图技术,所以干涉仪几乎不需要调整就可以得到理想的干涉图。图 2(a) 是在点衍射全息干涉仪没有取下针孔时拍摄的干涉图,图 2(b) 是取下针孔后所得到的透镜像差的干涉图。

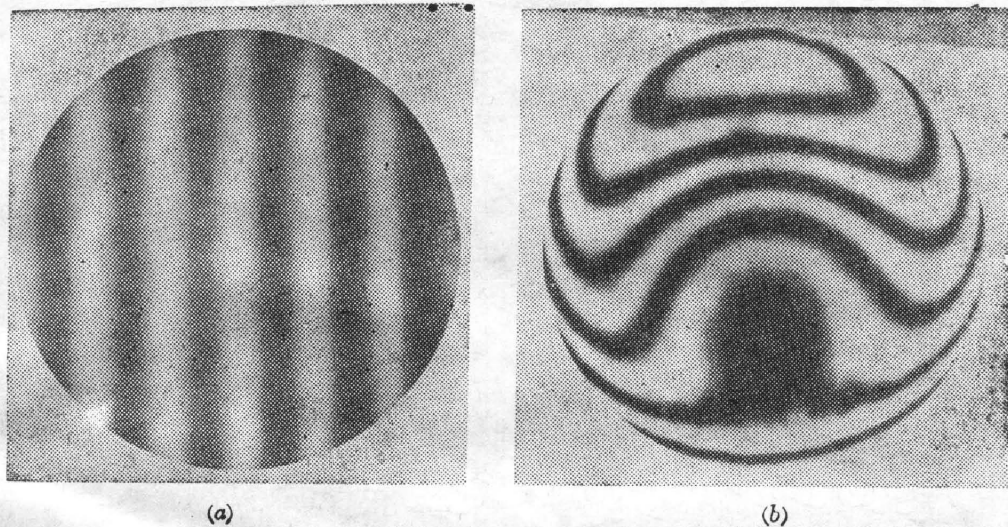


Fig. 2

三、误差分析

在实际工作中,希望能用同一张全息图检测不同的透镜。这样,在更换透镜时有可能使通过被检测透镜的光不能准确地聚焦在原来制做全息图时所用的针孔的位置上,即产生几何位置误差。这种误差将影响干涉图的条纹分布。几何位置误差可以分为: 1. 横向位置误差; 2. 纵向位置误差; 3. 被测透镜光轴和干涉系统光轴的倾斜误差。下面分别分析它们对干涉图形分布的影响。

1. 横向位置误差

横向位置误差是由于被测透镜的光轴相对于干涉系统的光轴有一个横向位移所引起的。假定位移为 δ_1 , 则在位移方向上的附加光程差为

$$OPD_1 = \delta_1 \frac{x}{d}, \quad (1)$$

式中 d 为针孔到准直透镜 L_4 的距离, x 是干涉图形在位移方向上的坐标, 如果被测的是理想透镜, 则形成杨氏干涉条纹。

2. 纵向位置误差

纵向位置误差是由于被测透镜的焦点和原针孔之间有一微小纵向位移引起的, 所以这种误差也称离焦误差。假定位移为 δ_2 , 由其所引起的附加光程差为

$$OPD_2 = \frac{1}{2} \delta_2 \sin^2 \alpha, \quad (2)$$

式中 α 为光线和光轴的夹角。对于理想透镜, 干涉图为不等距的同心圆, 类似于牛顿环。图 3(a) 是一标准透镜形成的干涉图, 整个干涉场的亮度几乎没有变化; 图 3(b) 是该透镜有一微小横向位移的干涉图; 图 3(c) 是带有纵向位移的干涉图。

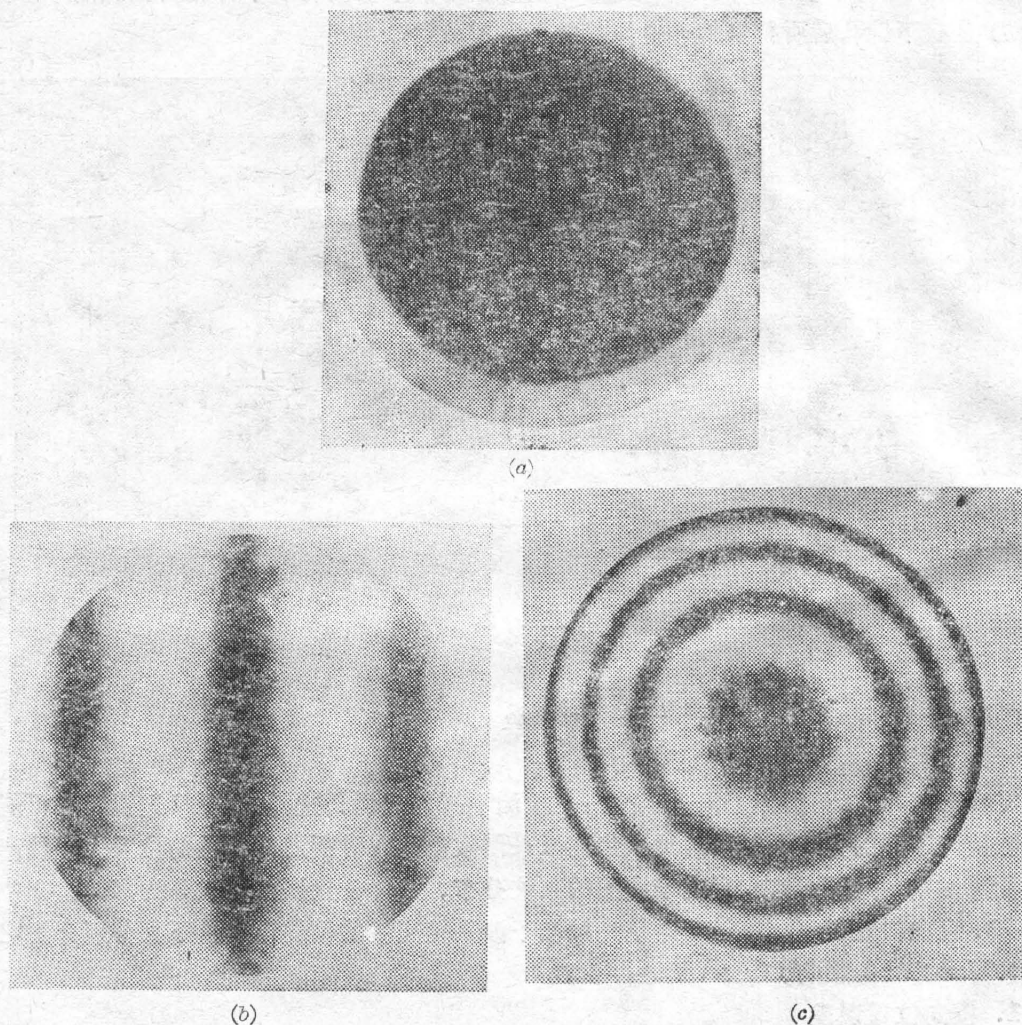


Fig. 3

3. 被测透镜光轴的倾斜误差

如果被测透镜的光轴与系统光轴有一倾角, 这时的干涉图将反映出轴上像差和轴外像差的总合。轴外像差的大小与透镜的参数以及倾角有关。和轴上像差一样, 轴外像差对于一定的倾角来讲, 其大小也是固定的。如果把干涉图反映的量分为干涉仪调整状态误差和被测系统的固有误差的话, 那么被测系统轴上像差和由于光轴的倾斜而引入的轴外像差属

于系统的固有像差,而横向和纵向位移则属于可变化的调整状态误差。此外,参考光束照明方向的微小改变也属于调整状态误差。通常把它称为引入的倾斜量。不同调整状态下的干涉图形虽然不同,但所反映的被测系统的固有像差却是相同的。事实上,为了判读方便以及用离焦束平衡像差,常常有意引入一定量的倾斜(或横向位置误差)和离焦。

通过以上分析可知,调整状态不同所带来的误差原则上不会影响被测系统的像差结果。尤其在数字干涉仪中用多项式拟合干涉图形,可以很方便地把所得结果中的调整状态项去掉而保留实际的像差。

图 4(a)是某透镜的干涉图,透镜光轴和系统光轴重合,干涉图反映了球差,离焦和倾斜量;图 4(b)的干涉图产生于同一透镜,只是透镜光轴与干涉系统光轴有一倾角,所以,干涉图除了包括球差、离焦和倾斜外,又增加了轴外像差,显然,从图 4(a)与图 4(b)比较,可以明显看出,该轴外像差为彗差。

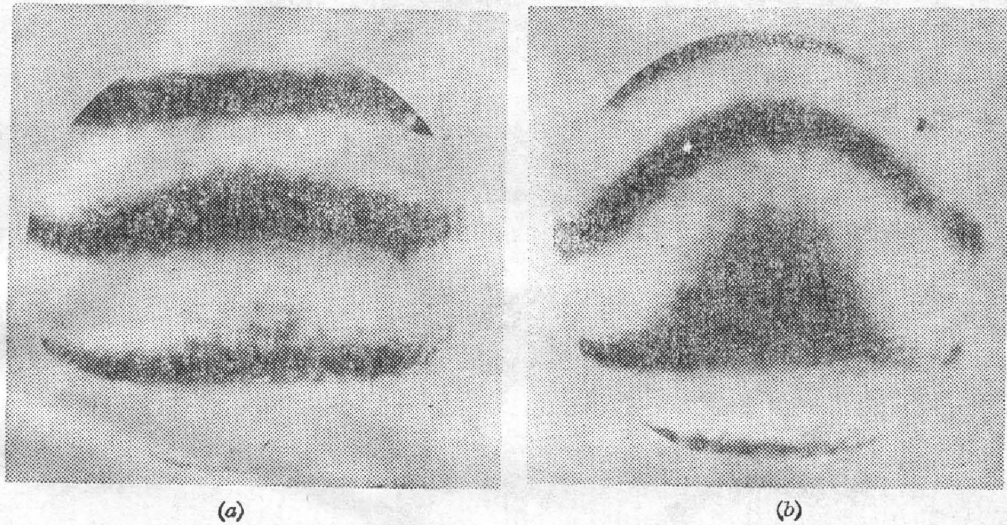


Fig. 4

四、应 用

和泰曼-格林干涉图一样,点衍射全息干涉仪产生的干涉图直接代表被测波面的像差。但用泰曼干涉仪检测透镜,必须附加一个球面反射镜,使被测透镜透射的光束经过它后能按原电路返回。为了提高测量精度,这个反射球面镜必须精度很高,否则,球面反射镜本身的像差将直接影响测量结果。用点衍射全息干涉仪检测透镜不存在这种误差。所以,就透镜的检测而言,它优于泰曼干涉仪。如果用一个较大的相对孔径的透镜和一个小于这个透镜爱里斑的针孔制作点衍射全息干涉图,那么,对于任意被测透镜,只要它的相对孔径不大于制作全息图时所用透镜的相对孔径,就没有必要重新制作全息图。这样可大大地简化仪器的操作,使它不仅可用于实验室的检测工作,也可以用于光学加工中的检测。特别是对于显微镜的检测来讲,传统的方法需要附加一个Dyson系统^[8],这不仅使调整复杂化,而且Dyson系统中的各球面反射镜的缺陷将严重影响测量结果。如果用点衍射干涉仪检测,由

于采用透射直接测量,不需要 Dyson 系统,因而不存在这类误差。总之,这种干涉仪本身或经过某些局部改进可适应于各种类型的光学系统和光学元件的像差的检测。

参 考 文 献

- [1] F. Twyman; *Trans. Opt. Soc.*, 1922~1923, **24**, No. 4, 189.
- [2] D. Malacara; *«Optical shop testing»*, (John Wiley and Sons, N. Y., 1978), Chap. 1.
- [3] W. J. Bates; *Proc. Phys. Soc.*, 1947, **59**, No. 11 (Nov), 946.
- [4] P. Hariharan, D. Sen; *J. Scient. Instrum.*, 1961, **38**, No. 11 (Nov), 428.
- [5] W. Zhou; *Opt. Commun.*, 1985, **53**, No. 2 (15 Feb), 74.
- [6] R. N. Smartt, W. H. Steel; *Japan J. Appl. Phys.*, 1975, Suppl. 14-1, No. 3, 351.
- [7] 于美文等; *«光学全息及信息处理»*, (国防工业出版社, 1984), 第一章。
- [8] J. Dyson; *J. O. S. A.*, 1959, **49**, No. 7 (Jul), 713.

A point-diffraction holographic interferometer

ZHOU WANZHI AND LU ZHENWU

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

(Received 13 February 1986; revised 1 April 1986)

Abstract

This paper describes a new interferometer-point-diffraction holographic interferometer. In this interferometer, a collimated beam from a He-Ne laser is divided into beams (reference and object beams) by a beam splitter; the lens to be tested is placed in the object beam with a pinhole at its focal point; another lens is placed behind the pinhole to collimate the outgoing beam and a holographic plate is placed at the position where the reference and object beams are overlapped. The pinhole is small compared with the Airy disc of the lens. After the hologram is processed, it is replaced at the original position while pinhole is taken away. The hologram is then illuminated by both the reference and unfiltered object beams so that two interferograms with the same distribution are formed in the object and reference beams behind the hologram. It is known by theoretical analysis that this is an indication of the aberration of the lens under test.

The principle of this method is basically the same as that of a point-diffraction interferometer. But in the case of a point diffraction interferometer, adjustment is very difficult because it uses a glass plate with a highly absorbing layer and a very small hole on it and one can not find its position easily. While if our method is used there is no more adjustment difficulty provided that the replacement is correct. In the traditional interferometric testing of a lens, such as Twyman-Green interferometer, a standard spherical mirror must be used to reflect the beam back. In addition Twyman interferograms are sensitive to vibration and temperature. Our method, however, does not require a standard spherical mirror and can provide more stable interferograms. In addition, the same hologram can also be used in testing other lenses provided that their focal points are exactly at the pinhole position.

This method can be used in testing of lenses, telescope and microscope objectives during their processing or assembling. It has the merit of simple structure and easy operation.