

用于常规光学检验的全息干涉仪*

徐德衍

P. Hariharan

(中国科学院上海光机所, 201800)

(CSIRO Division of Applied Physics, Sydney, Australia 2070)

摘要: 描述了一种适用于凹、凸球面, 凹、凸透镜, 非球面透镜, 平面, 柱面以及透镜系统等常规光学检验的新型全息干涉系统。该系统结构简单, 调整方便, 并可以用作检验大口径光学元件而无需同样尺寸的高质量参考光学件。

关键词: 全息图, 全息干涉仪, 点孔, 空间滤波, 位相共轭

Holographic interferometer for routine optical tests

Xu Deyan

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

P. Hariharan

(CSIRO Division of Applied Physics, Sydney 2070, Australia)

Abstract: A simple holographic system is described which can be used for routine interferometric tests of concave and convex spherical surfaces and cylindrical surfaces as well as lenses and lens systems. The system can be set up and adjusted quite easily and used to test large-aperture optical elements without high quality reference optics of the same size.

Key words: hologram, holographic interferometer, pinhole, spatial-frequency filtering, phase conjugation

除剪切干涉仪外, 用于特定目的的各种干涉仪均要备有等于或大于被检验光学元件口径的高质量参考光学件。不过, 用空间滤波及全息位相共轭补偿原理构成的一种简单的新型全息干涉系统, 基本上避免了上述要求, 并可以用于多方面的光学检验。该系统较以往检验单一形式光学件的类似系统^[1~3]更具有普遍意义, 且结构简单, 调整方便, 存在着进一步推广应用的可能性。

一、光学系统及原理简述

制作和使用这种全息干涉仪首先是记录一幅理想的点光源的全息图, 然后用该全息图产生参考波面进行干涉检验。图1示出了记录全息图的原理, 它类似于文献[4]的系统。经被检验透镜 L_1 及位于在该透镜焦点处的点孔 P , 以及起准直作用的辅助透镜 L_2 后入射到全息干板

收稿日期: 1989年11月8日

* 本文在澳大利亚CSIRO完成并曾在1989年5月8~12日波兰华沙“89干涉术: 纪念迈克尔逊干涉仪一百年”国际会议上宣读。

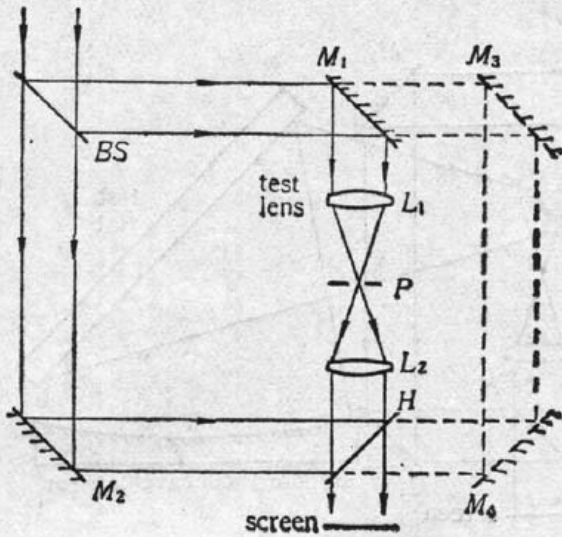


Fig. 1 Holographic interferometer to test a converging lens

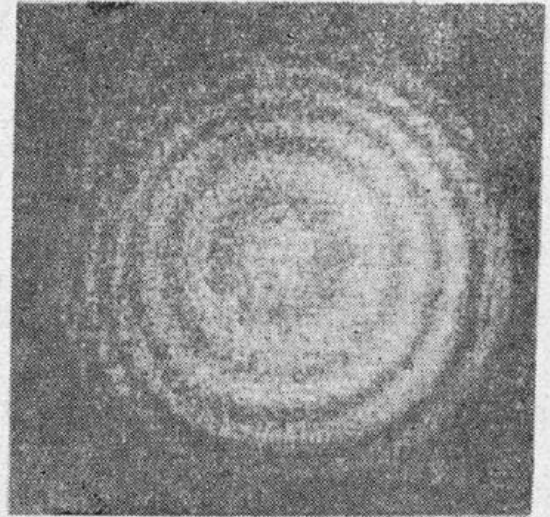


Fig. 2 Interferogram obtained with a defocused converging lens

H 上的光束作为物光束,另一束经反射镜 M_2 后直接射向全息干板 H 上,作为记录全息图的参考光束。

若点孔 P 的直径 d 小于聚焦在它上面光束的艾利(Aris)斑直径,则通过点孔衍射的波面就是标准的球面波^[5],即点孔起空间滤波作用。这样自点孔 P 发出的波面与参考波面相干将在全息干板上形成良好的光栅(圆形或线形)型全息图。用这一系统得到的一幅典型干涉图示于图 2。

将处理后的全息片置于原位,即可作为标准球面波对被检验透镜 L_1 进行干涉检验。移去点孔 P ,用未经滤波的物光束和参考光束同时照明全息片 H ,于是,在屏 S 处便可观测到被测透镜像差的干涉图。

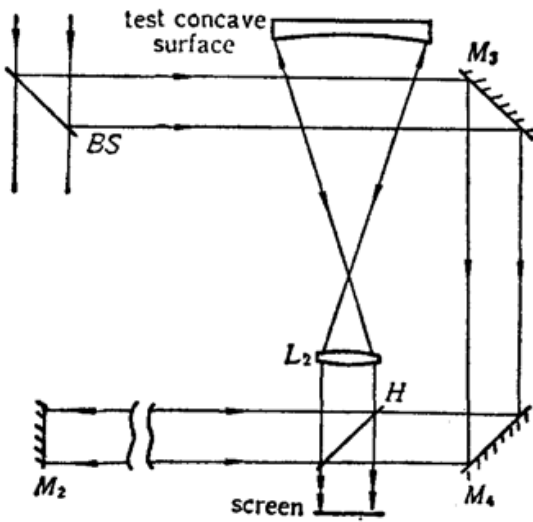
二、几种方案的检验系统

用同一块全息片,对上述系统稍加修改即可进行不同光学件的检验。为此,首先将两块辅助反射镜 M_3 和 M_4 置于图 1 中虚线处,将反射镜 M_1 移去,构成一新的全息干涉系统,这时全息片 H 既是该系统的分束元件又是波面补偿元件。

1. 凹球面反射镜、平面反射镜、透镜及非球面透镜系统的检验

移去透镜 L_1 及点孔 P ,将图 1 改成图 3。此时,全息片 H 是用记录时的参考光束的共轭光束照明,而再现光束即是在有点孔 P 时来自透镜 L_2 的原始波面的共轭光束,这一再现光束又经透镜 L_2 会聚到原点孔 P 的位置处后发散成参考光束,经被检验凹面反射镜后沿原路返回。与此同时,反射镜 M_2 被调整成图 3 所示的位置,旨在使由反射镜 M_4 反射的、经全息片 H 的透射光沿原路返回。这一反射光束——相当于记录全息图时的参考光束——经全息片 H 后产生较强的衍射光束,它也相当于有点孔 P 时经透镜 L_2 入射在全息干板 H 上的原始参考光束。由这一衍射光束和由被检凹面反射镜反射回、透过全息片的物光束之间产生的干涉图形就表示被检凹面反射镜的表面误差。由于透镜 L_2 的误差对于两个波面是共有的,故不影响检验结果。

当具有一块质量良好的凹面反射镜后,可用同一干涉系统检验大平面反射镜,为此目的的



Figs 3 Optical arrangement to test a concave mirror

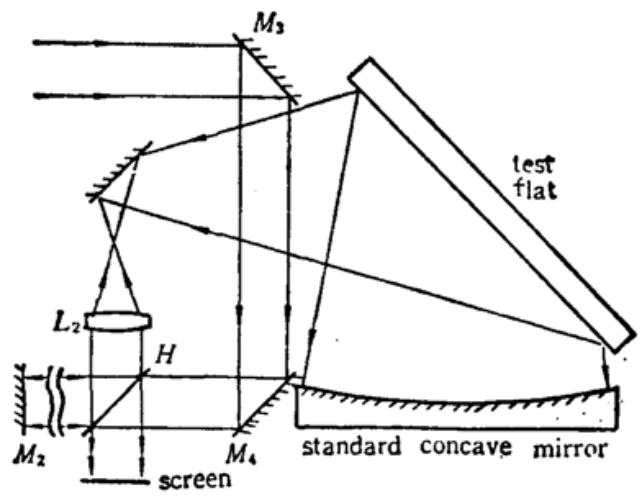


Fig. 4 Modified optical system for testing a large aperture flat mirror

光学系统示于图 4, 它类似于 Ritchey-Common 检验。

将大平面反射镜作为标准镜面, 用类似图 3 的系统, 借助于自准直法可进行透镜及非球面透镜系统的全息干涉检验, 如图 5 所示。

2. 凸面反射镜及凹透镜的检验

非接触凸面检验, 通常需要一口径等于或大于被检验光学表面的高质量参考光学系统, 以便产生一聚焦于被检验表面曲率中心的会聚光束, 这在光学检验中被认为是一个棘手的问题^[1, 2, 6]。然而, 用上述全息干涉系统检验, 不仅是可能的, 而且相对来说是简单、廉价的。

类似于图 1 的光学系统如图 6 所示。这时, 原辅助透镜 L_2 由一个大于被检验的凸面会聚透镜 L_2 和发散透镜 L_3 组成的系统所代替, 且它们仅仅须要中等的质量。

在记录和处理全息干板 H 后再将其严格复位。为检验凸表面将图 6 变换成图 7 的形式。

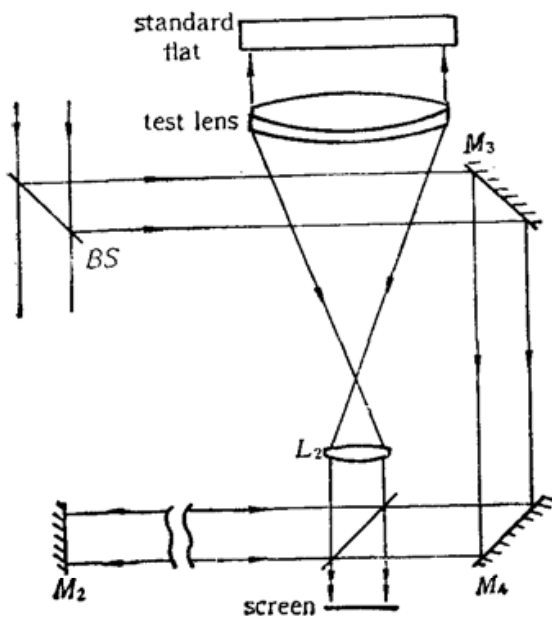


Fig. 5 Optical setup for testing an objective lens by autocollimation

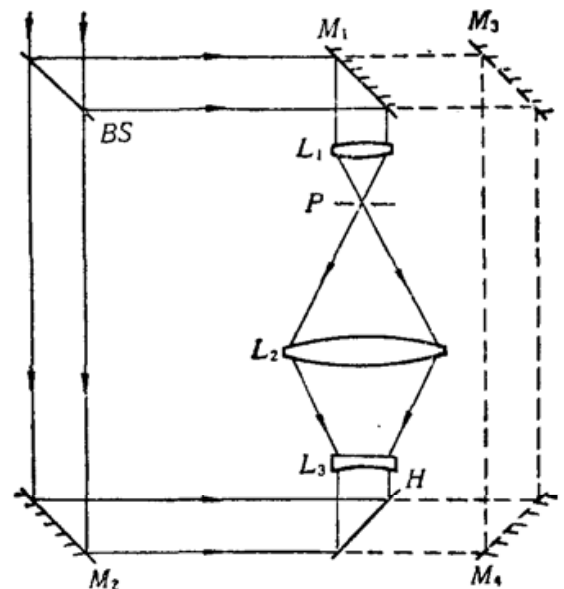


Fig. 6 Holographic interferometer to test a convex surface

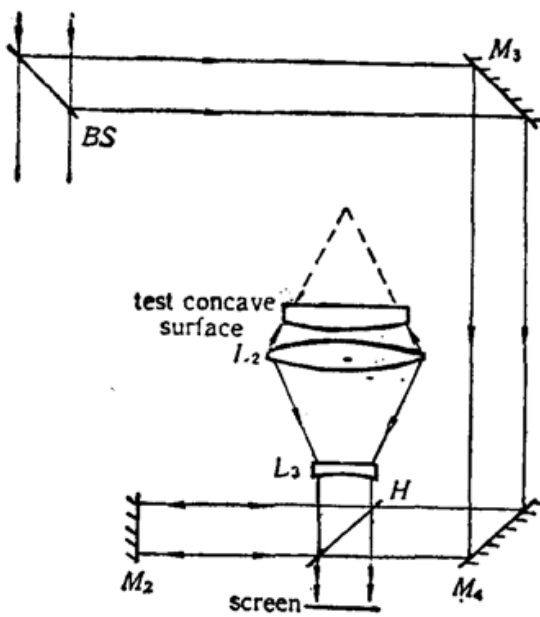


Fig. 7 Optical arrangement for testing a convex surface

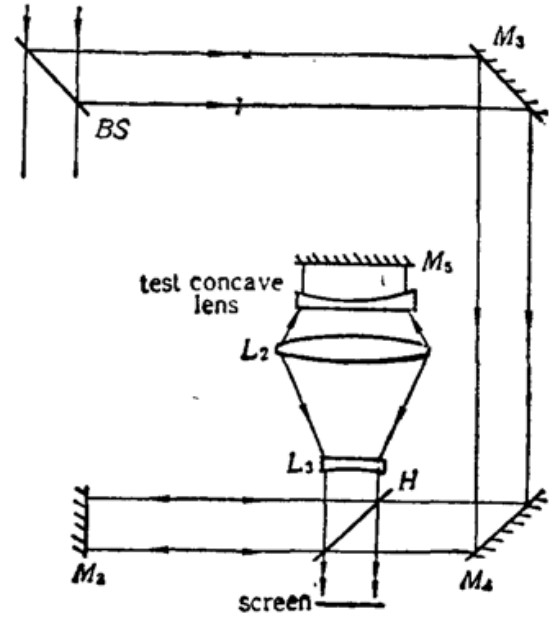


Fig. 8 Modified optical setup for testing a diverging lens

类似前面所述的原理,由会聚透镜 L_2 和发散透镜 L_3 引入的像差对衍射波面和透射波面的影响是相同的,所以,干涉图形的误差直接表示被检验凸球面的表面误差。如图 8 所示,同样的全息干涉系统,还可以用于检验较大口径凹透镜系统,这时须用一块标准平面反射镜 M_5 。

3. 柱透镜的检验

上述系统另一种应用是检验柱透镜。只要将图 1 中的点孔 P 用一个狭缝(或银膜上一精细透光线条)代替,并且用一只柱透镜作为辅助透镜 L_2 ,其母线与狭缝方向平行,该透镜质量并不要求很高,因为其像差并不影响干涉图形。

三、实验说明与结果说明

用图 1 制作的全息片 H 故然可用于多种光学元件或系统的检验,但至少应注意两方面的问题。其一,关于点孔 P 的直径 d 。满足要求的点孔直径公式是 $d \leq \lambda f/D$ (其中 λ ——所用的波长; f/D ——是被测系统相对孔径的倒数)。也就是说,只有被检验系统的相对孔径小于制作全息片时所用系统的相对孔径才是可用的全息片。为此,建议用一个较大相对孔径的系统来制作一张全息片,以便供较多的被检验系统使用。

其二,关于全息片的衍射效率。实验表明,当处理后的全息片一级衍射效率高于 30% 时,即使未镀膜表面作为被检验反射面也能得到有一定对比度的干涉条纹;而对于镀过膜的被检验反射面,全息片一级衍射效率为 20% 左右时,便可得到较好对比度的干涉条纹。

用图 1 光学系统制作全息片,一个例子是被检验透镜的相对孔径是 $1/5$,点孔直径 $d = 4 \mu\text{m}$,用功率 5 mW He-Ne 激光器作为光源,光束在分束器上的反射、透射比为 3:1。处理后的全息片复位在原处。用图 3 光路检验一只口径 $\phi 32 \text{ mm}$ 、相对孔径 $1/10$ 、未镀膜的凹球面反射镜,所得到的检验结果示于图 9。用图 5 光路检验一只口径 $\phi 80 \text{ mm}$ 、相对孔径 $1/8$ 的双胶合物镜,标准平面反射镜的平面面形误差优于 $\lambda/20$,通光口径 $\phi 100 \text{ mm}$,检验结果见图 10。

从图 9 和图 10 可以看出,由于分束器两次和多次反射造成的寄生条纹,以及为了将银盐干板记录的吸收型全息图转变为具有较高衍射效率的位相型全息图所采用的漂白方法,使得

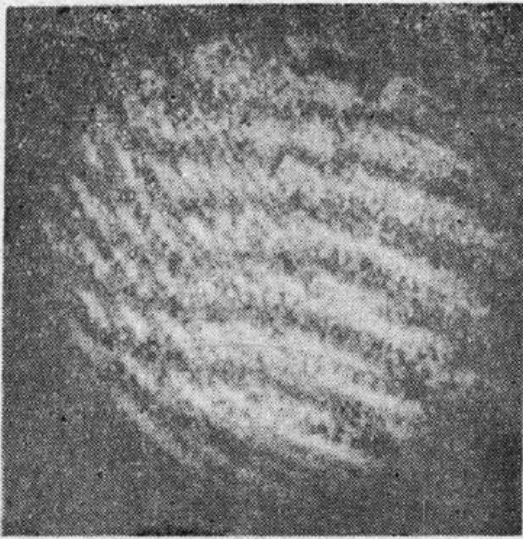


Fig. 9 Interferogram of the tested concave mirror

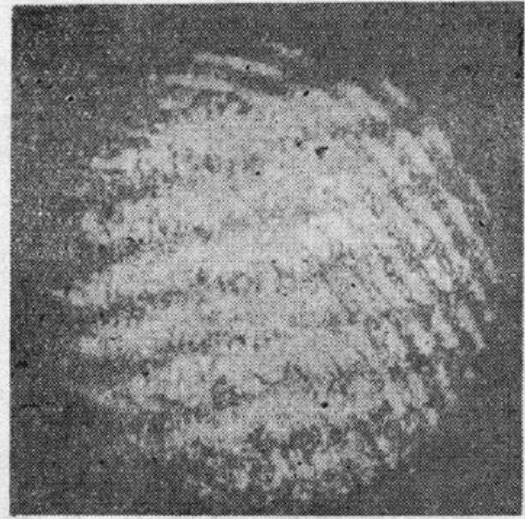


Fig. 10 Interferogram of the tested objective lens by autocollimation

干涉条纹的噪音较大。针对上述原因,降低噪音提高条纹对比度是可能的。

本全息干涉系统的误差分析,类似于文献[4],不再赘述。

作者感谢 Mr O. M. Chidley 在实验中的友好帮助。第一作者对澳大利亚 CSIRO 在他访问期间给予的资助表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 A. B. Зензинов, А. А. Щетняков, *Опт. и спектр.* **56**(4), 712~714(1984)
- 2 А. А. Городецкий *et al.*, *ОМП*, (12), 53~54(1983)
- 3 Zou Zhenshu *et al.*, *Proc. SPIE*, **673**, 268~271(1987)
- 4 Zhou Wanzhi *et al.*, *Proc. SPIE*, **673**, 289~291(1987)
- 5 W. H. Steel, *Interferometer*, 2th ed. Camb Univer. Press, 1983, 201
- 6 Г. В. 柯略帕洛娃, Л. Т. 浦连耶夫, *光学系统的研究与检验*, 机械工业出版社, 北京, 1983, 221

(上接第 585 页)

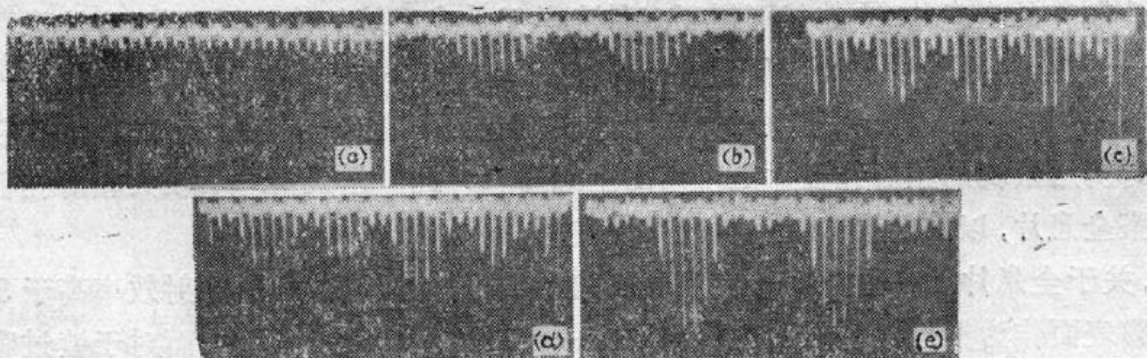


Fig. 3

- (a) Diffraction spectrum of one lateral slit; (b) Reconstructed diffraction spectrum of the other two slit; (c) Three-slit diffraction spectrum for π phase modulation of the lateral slit; (d) Three-slit diffraction spectrum for $\pi + \epsilon$ ($0 < \epsilon < \pi$) phase modulation of the lateral slit; (e) Three-slit diffraction spectrum for 2π phase modulation of the lateral slit

参 考 文 献

- 1 F. Zernike, *J. Opt. Soc. Am.*, **40**, 326(1950)
- 2 A. Marechel *et al.*, A Precision Interferometer with High Light-Gathering Power, in "Advanced Optical Technique, ed. by A. B. S. Van Heel, pp. 437~438 (North-Holland Amsterdam, 1967)
- 3 Ding Wang, Tang-go Chen, *Appl. Opt.*, **27**, 1298(1988)