

偏振小孔干涉仪*

王桂英 刘海清 郑艳玲 许绍基 王之江
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

偏振小孔干涉仪是一种可实用的新型干涉仪。它综合小孔衍射技术、偏振技术和共光路设计为一体,具有条纹对比度可调、抗干扰能力强和非接触检验等优点,可广泛用于各种光学元件及其胶合层的检验。目测精度达 $1/10\lambda$,计算机条纹处理精度可调。

关键词: 小孔衍射,非接触检验,条纹分析。

一、引 言

由于激光技术、计算机和各种光电子探头的迅速发展,使干涉计量技术有了进一步的发展。相继出现了各种外差干涉、全息、散斑、莫尔、多普勒以及二次谐波等干涉新技术^[1]。而70年代纤维光学和光纤技术的发展,使传统的干涉技术又有了一次飞跃^[2]。目前的干涉计量技术已被广泛地应用于机器人视觉、宇航、气体动力学以及等离子体物理的研究等领域。但是干涉技术用于光学检验仍是传统课题。一百多年来,光学检验技术有了很大的进步,现在不仅种类繁多,而且由于条纹自动处理技术的发展,在检验精度上提高了一个数量级之多^[3]。各种被改进了的台曼和非索干涉仪正在实践中发挥着重大作用。但是由于各种条件限制,光学加工车间仍摆脱不掉经典的样板检验技术。

本文研制的偏振小孔干涉仪,它可以代替传统的样板检验。偏振小孔干涉仪综合点衍射技术和偏振技术为一体,利用非接触法产生牛顿光圈,条纹对比度可调,稳定可靠。可以替代样板检验,尤其是对软质光学元件的检验有着重要意义。

二、仪器设计特点

1972年R. N. Smartt等人提出了小孔衍射仪^[4]。但是存在二个不能解决的问题。其一衍射小孔是由吸收膜片制成,对光的吸收衰减很大,且无法调节,致使干涉花样得不到最佳反衬度。其二是不能定量地选择小孔尺度。

本文图1的设计解决了上述第一个问题。二块偏振片(图1中的8和9)置于被检验光学元件的反射光的焦点前面,其中一块具有小于爱里斑的针孔。透过小孔的偏振状态与透过

二块偏振片的被检验光的偏振状态不同。在检测平面上,光场振幅分布为^[5]:

$$\begin{pmatrix} t_1 \sin \alpha & \exp[j\Phi(x, y)] \\ a^2 F(0, 0) & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (1)$$

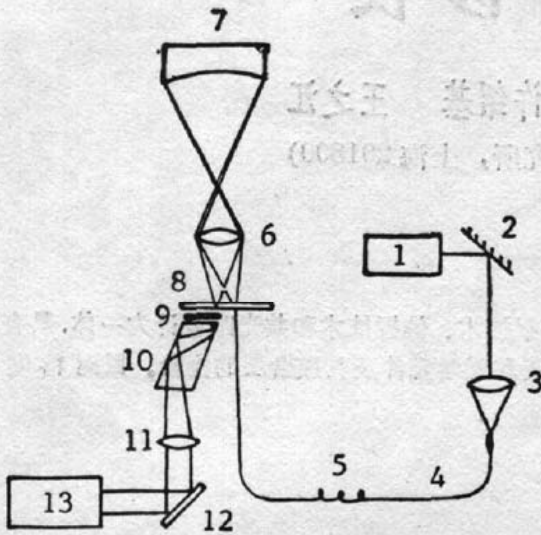


Fig. 1 The polarization pinhole interferometer.

1—He—Ne laser; 2—Mirror; 3—Object lens; 4—Single mode fiber; 5—polarization regulator; 6—Object lens; 7—Testing plane; 8—Polarizer; 9—Polarization pinhole; 10—Fresnel prism; 11—Imaging lens; 12—Mirror. 13—Detection system.

式中 t_1 为平行偏振分量透过率, $F(0, 0)$ 表示小孔位置上的场振幅分布。 $\Phi(x, y)$ 为二光波相位差。 α 为光波的起偏角, a 为振幅。在旋转二偏振片其中之一片时,可改变 α 角,致使参考球面波与检验光的振幅相等,达到最佳条纹对比度。

第二个问题是比较复杂的,也是该技术的关键。在夫朗和斐区用小于爱里斑的针孔取光,由小孔衍射形成一标准球面波。把该球面波作为参考光束与被检验光进行干涉。文献 [6] 给出了小于爱里斑的小孔位于傅里叶焦面中心时,小孔尺度与入射光束的截尾强度对通过小孔光场的影响。计算结果表明,非对称象差对通过小孔的光场影响最大。 1λ 的象差量经过小孔整形之后仍有 0.2λ 的象差量。但是该象差量随着检验光波象差的减小而迅速减小。当这种波象差减小到 0.5λ 时,通过小孔的光场约有 0.05λ 以下的波象差存在。而理想的球面波在通过大于 0.1 和小于 1 倍的爱里斑小孔后,其波象差的量均在

$10^{-3}\lambda$ 量级。这意味着该技术方案不适用于检验象差量大于 0.5λ 的光学元件。

文献 [6] 特别计算了光束在通过小孔前面截尾强度对通过小孔后的光场的影响。实验证实了这种定量的关系。特别是在截尾强度大于 0.3 峰值强度时,可以明显地看到菲涅尔衍射的干扰。它与干涉环叠加在一起,形成了别具特色的干涉花样(图 2)。在这种情况下,无论如何也得不到能够代表镜子面形的干涉花样。

计算与实验都证明小孔尺寸最好选在 0.8 倍爱里斑左右。通过该尺寸小孔的整形效果最佳其光通量和张角也较合适,即形成了清晰的条纹又可检验到镜面的各部分,其中包括镜边缘的加工质量,如图 3 所示。图 3(a)为干涉图,(b)为干涉图的强度三维分布,(c)为镜子面形。经过反复的与样板进行对比测量,判定该仪器的局部光圈为 $10^{-1}\lambda$ 以下。

第三、该仪器利用菲涅耳棱镜把透过二片偏振片的检验光与通过小孔的参考光转化为左旋和右旋圆偏振光。这些质地不易均匀的光学元件都被置于夫琅和斐区附近。在电视屏幕上显示该干涉图时已经被放大了 100 倍以上。因此可忽略这些偏振材料的非均质的影响。

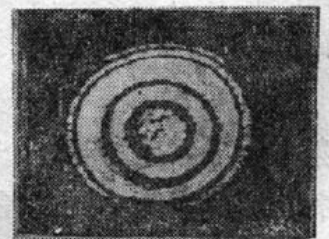


Fig. 2 The adding effect of Fresnel diffraction and interference

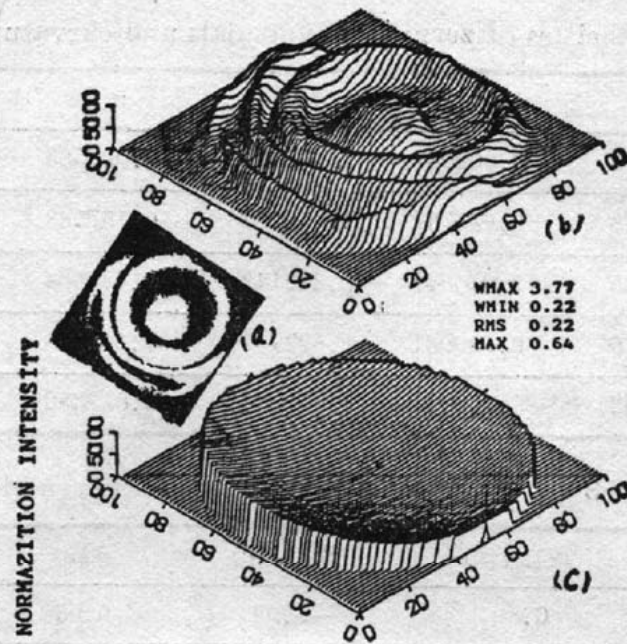


Fig. 3 Edge surface testing results of a object lens.

(a) The interference pattern intensity distribution; (b) Interferogram; (c) The wavefront aberration distribution

三、条纹分析

偏振小孔干涉仪给出的是牛顿光圈。这种闭合式条纹的处理涉及到二维的数据处理。利用条纹自动追踪的非均匀采样方式，以正交多项式拟合波面函数，并由数理统计学中的F-检验法控制精度^[8]，成功地解决了这类条纹的分析问题。将另文发表这方面的研究细节，本文仅给出对该仪器干涉条纹的分析结果。

为了考核该条纹分析软件，使用人造球面函数形成干涉花样。再使用该条纹分析软件去重构其波面。这重构波面数据与标准球面函数给出的数据相比较，即可知该软件的分析精度。其值与象差系数均列在表1、2中的第一项。表中以 W_{\max} 和 W_{\min} 分别表示该波面相对于平面波的最大和最小值。以 RMS 表示相对于标准球面波的均方误差。以 Max 表示其最大的百分误差。这些误差均与取样点的数目有关，取样点越多精度相对的越高。本文列出的数据均在 64×64 取样点的情况下给出的，该软件的均方误差为 0.02λ ，最大误差为 0.05λ 。

表中第3和4项对应于二块单片照相物镜的面形检验数据。这类镜子的均方差一般在

Table 1 Accuracy of the fringe analysis

No. \ KIND	$W_{\max}(\lambda)$	$W_{\min}(\lambda)$	RMS	MAX
1	1.69	0.45	0.02	0.05
2	3.35	0.28	0.19	0.54
3	3.85	0.82	0.08	0.23
4	3.77	0.22	0.22	0.64
5	1.91	0.27	0.12	0.38

Table 2 The coefficients of zernike polynomials and curvature radius of the leses

No./TIMES	2	3	4	5	6	R(CM)
1	0.015371	0.002547	1.319878	-0.020565	1.325339	119.05
2	0.336988	0.940751	1.940079	0.167533	2.087799	14.88
3	-0.702935	0.270246	2.872143	-0.175664	2.707840	14.20
4	-0.910769	-0.740081	2.622989	0.331043	2.262582	7.55
5	-0.307202	-0.066062	1.470083	-0.017352	1.515265	14.02

Table 3 Data of the fringe analysis between glye layers

No./KIND	$W_{\max}(\lambda)$	$W_{\min}(\lambda)$	RMS	AUGLE(mrad)
1	0.83	-0.99	0.06	0.11
2	0.86	0.48	0.13	0.05
3	1.26	0.08	0.17	0.20

$\lambda/10$ 左右。其中第 4 项数据对应一块边缘未加工好的镜子。此处最大波差为 0.64λ 。并可根据条纹的弯曲方向确定该镜子是塌边还是翘边。以便进一步的加工。假如把边缘不规则的条纹人为地遮盖掉, 则得到第 5 项的数据。这反映了镜子内部的情况。其相对应的各类误差均减小了很多。

该软件还可以给出检验透镜与标准镜面的差值数据及三维的分布图。很直观地给出镜面的加工面形误差。同时用该方法可以检验非球面的加工情况。

利用成象原理, 该仪器可使物镜组胶合层两侧镜面反射的光相干并通过偏振小孔, 成象于摄像管的靶面上。这种干涉条纹可以反映胶合层的细致情况, 而且还可以通过条纹分析软件给出胶合层的空间分布和计算出胶合层两镜面的夹角。表 3 列出三种胶合透镜的胶合层的数据及其胶合层的夹角。同时在被测光学元件倾斜到一定程度可以在荧光屏上显示出光学元件的局部光圈 $4N$ 的情况。目前只能目视其值, 因为我们还没有完成这类条纹的自动追踪采样。

四、讨 论

偏振小孔干涉仪是一种具有广阔应用前景的新型干涉仪, 计算机条纹处理系统使这种仪器能够精确地全面地反映被测光学元件的面形加工质量。它不仅抗干扰能力强, 而且具有非接触检验之特点。由于它的功能可以替代样板检验, 因此人们很容易接受。而且图象比样板的图象放大了很多, 即使用目测也可以达到或超过样板检验效果。

该仪器的条纹分析不仅给出了二维精度可控的数据, 而且可以给出被测光学元件的曲率半径和胶合层的情况。

该仪器的不足之处是对环境的清洁度要求较高。因为它采用放大象的数据采集和图象显示, 所以一粒灰尘和星点损伤都会明显地影响条纹的强度分布。即影响了条纹分布精

度。

伍树东同志在方案论证和施实中作出了特殊贡献。孙爱民和任军同志作了条纹追迹计算机编码，徐德衍同志用该仪器首次观测到透镜组的胶合层的干涉条纹，上海照相机厂叶可略总工程师进行了有力的协助。对上述同志一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] P. Harihara; *Proc. SPIE*, 1987, Vol. 816.
- [2] T. G. Giallorenzi, J. A. Bucaro *et al.*; *IEEE, J. Q. E.*, 1982, **QE-18**, No. 4 (Apr), 626.
- [3] Luca Crescentini, Giorgio Fiocco; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 1 (Jan), 118.
- [4] R. N. Smartt, J. Strong; *J. O. S. A.*, 1972, **62**, No. 5 (May), 737.
- [5] R. M. A. Azzam *et al.*; *«Ellipsometry and Polarization Lights»*, (Nerth-Holland Publishing Company, 1977).
- [6] 王桂英;《光学学报》, 1988, **8**, No. 6 (Jun), 514.
- [7] B. Kargewski, E. Wolf; *J. O. S. A.*, 1966, **56**, No. 9 (Sep), 1207.
- [8] G. Wang; *Proc. SPIE*, 1989, Vol. 1163, 251.

Polarization pinhole interferometer

WANG GUIYING, LIU HAIQING, ZHENG YANLING, XU SHAOJI AND WANG ZHIJIANG
(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 16 August 1990)

Abstract

The polarization pinhole interferometer is a new practical instrument. It synthesizes the techniques of pinhole diffraction, common light path and polarization technique in its design. It has many advantages, such as the fringe contrast adjustable, nondestructive testing, and strong anti-interference ability. The instrument can be used extensively in various optical element testing and their glue layer testing. The accuracy of the fringe pattern analysis is controlled by the fringe sample point numbers.

Key words: pinhole diffraction; nondestructive testing; fringe pattern analysis.