

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101893485 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 24

(21) 申请号 201010229010. 4

(22) 申请日 2010. 07. 16

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 马冬梅 陈土泉 金春水 张海涛

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 南小平

(51) Int. Cl.

G01J 9/00 (2006. 01)

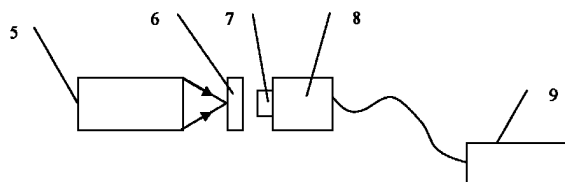
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54) 发明名称

星点衍射波面相差的检测方法

(57) 摘要

本发明星点衍射波面相差的检测方法属于光学测试仪器研究领域, 该方法是: 将会聚照明光源 (5) 对准被测试的针孔板 (6) 上的针孔, 使针孔发出球面衍射光波; 用高倍放大光学成像系统 (7) 对针孔成像, 由 CCD 光电探测器 (8) 接收星点衍射图像, 经图像采集与计算分析系统 (9) 采用位相复原算法与计算分析软件实现由星点衍射图像到波面相差图像的测算复原, 最终绘制出波面轮廓图, 从波面轮廓图上得到星点衍射波面相差的信息。本发明的检测方法无需辅助基准光学波面, 测试结构简单; 测试波段范围宽。



1. 星点衍射波面相差的检测方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤一、将会聚照明光源 (5) 对准被测试的针孔板 (6) 上的针孔,使针孔发出球面衍射光波;

步骤二、利用高倍放大光学成像系统 (7) 对步骤一所述针孔发出的球面衍射光波成像;

步骤三、将 CCD 光电探测器 (8) 的靶面调焦到步骤二所形成的衍射波面图像上,接收星点衍射图像;

步骤四、由与 CCD 光电探测器 (8) 相连的图像采集与计算分析系统 (9) 对步骤三所述的星点衍射图像进行采集与计算,该计算过程是:设由 CCD 光电探测器 (8) 获得的星点衍射图像的灰度值即点扩散函数值为 $PSF(x, y)$,由公式 $PSF(x, y) = ASF(x, y) \times ASF^*(x, y) = |ASF(x, y)|^2$ 计算得到点衍射振幅分布图对应的点扩散函数 $ASF(x, y)$;再由公式 $ASF(x, y) = \int \int P(x', y') \exp[-2\pi i(xx' + yy')] dx' dy'$ 计算得到光瞳波面函数 $P(x', y')$;最后,由公式 $P(x', y') = A(x', y') \exp[ikW(x', y')]$ 计算得到星点衍射波面相差信息 $W(x', y')$,式中, $A(x', y')$ 为 $P(x', y')$ 的振幅部分,在通光孔径内取 1,通光孔径外为 0; $k = 2\pi/\lambda$, λ 为会聚照明光源 (5) 的波长。

星点衍射波面相差的检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学测试仪器研究领域,涉及一种星点衍射波面相差的检测方法。

背景技术

[0002] 点衍射干涉仪主要用于对光学元件与光学系统的光学波相差的高精度测量。如见图 1 所示,主要工作原理是通过单色光源照明系统 1 照亮带有针孔的基板 2,入射光波经过基板 2 上的针孔发生衍射,产生球面光波。其中一部分作为基准参考光波发射出,由 CCD 光电接收器 4 接收;另一部分作为测试光波入射到被测试光学部件 3 上后返回,经基板 2 表面反射与基准参考波面发生干涉,产生干涉图,从而能够高精度地测试光学波面相差。

[0003] 所谓光学波面相差是指光学元件或光学系统实际波面与理想波面的位相误差。光学波面相差可以真实与直观地表述光学元件面形或光学成像系统的质量情况。通过对光学元件或光学成像系统波相差的检测,指导光学加工与系统安装、调试。

[0004] 点衍射干涉仪中的关键部件—针孔起到产生测量基准光学波面的作用,通过光源照亮针孔而产生标准衍射球面光波。由于要求针孔直径极小(一般直径 $\leq 0.5 \mu\text{m}$),因此,加工困难,对其质量的检测也是难点。针孔的圆度、边缘锐度和厚度等都将影响衍射球面光波的波面。

[0005] 点衍射干涉仪中的照明光源应严格对准针孔才可产生无相差球面波;否则,尽管针孔达到加工要求,也将由于照明对准的误差引入多种波相差。

[0006] 目前用于对点衍射干涉仪针孔状态评估的方法是通过扫描电子显微镜观测,此方法只能观测到针孔的几何尺寸状态,无法评估针孔的透光状态和光波衍射效果。而点衍射干涉仪中的照明光源是否对准针孔只能通过干涉图测试分析获得,没有直接判读方法。

发明内容

[0007] 为了解决现有干涉仪无法对针孔照明光源照射针孔所产生的衍射波面相差进行检测的缺陷,本发明提供一种星点衍射波面相差的检测方法,其能够检测针孔的质量是否合格,以及检测照明光源是否能严格对准针孔使针孔产生无相差球面波。

[0008] 为了达到上述目的,本发明的技术方案如下:

[0009] 星点衍射波面相差的检测方法,包括如下步骤:

[0010] 步骤一、将会聚照明光源对准被测试的针孔板上的针孔,使针孔发出球面衍射光波;

[0011] 步骤二、利用高倍放大光学成像系统对步骤一所述针孔发出的球面衍射光波成像;

[0012] 步骤三、将 CCD 光电探测器的靶面调焦到步骤二所形成的衍射波面图像上,接收星点衍射图像;

[0013] 步骤四、由与 CCD 光电探测器相连的图像采集与计算分析系统对步骤三所述的星点衍射图像进行采集与计算,该计算过程是:设由 CCD 光电探测器获得的星点衍射图像的

灰度值即点扩散函数值为 $PSF(x, y)$, 由公式 $PSF(x, y) = ASF(x, y) \times ASF^*(x, y) = |ASF(x, y)|^2$ 计算得到点衍射振幅分布图对应的点扩散函数 $ASF(x, y)$; 再由公式 $ASF(x, y) = \int \int P(x', y') \exp[-2\pi i(xx' + yy')] dx' dy'$ 计算得到光瞳波面函数 $P(x', y')$; 最后, 由公式 $P(x', y') = A(x', y') \exp[ikW(x', y')]$ 计算得到星点衍射波面相差信息 $W(x', y')$, 式中, $A(x', y')$ 为 $P(x', y')$ 的振幅部分, 在通光孔径内取 1, 通光孔径外为 0; $k = 2\pi/\lambda$, λ 为会聚照明光源的波长。

[0014] 本发明的有益效果是: 该方法能够检测针孔的质量是否合格, 以及检测照明光源是否能严格对准针孔并使针孔产生无相差球面波; 本发明利用图像采集与计算分析系统直接采集点衍射图像, 无需产生干涉图像, 使检测系统结构简化; 本发明由于采用位相复原方法, 对照明光源的相干性没有严格要求, 而且可以根据实际使用情况, 采用所需要波段的照明光源, 因此, 可检测的波段范围宽。

附图说明

[0015] 图 1 是现有的点衍射干涉仪工作原理示意图。

[0016] 图 2 是本发明星点衍射波面相差的检测方法原理图。

[0017] 图 3 是本发明采集到的针孔衍射图像。

[0018] 图 4 是图 3 经过平滑、去噪声处理后的针孔衍射图像。

[0019] 图 5 是利用本发明方法由针孔光波衍射图像获得的衍射波面面形图。

[0020] 图中: 1、单色照明系统, 2、带针孔的基板, 3、被测试光学部件, 4、CCD 光电接收器, 5、会聚照明光源, 6、被测试的针孔板, 7、高倍放大光学成像系统, 8、CCD 光电探测器, 9、图像采集与计算分析系统。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0022] 如图 2 至图 5 所示, 本发明星点衍射波面相差的检测方法, 包括如下步骤:

[0023] 步骤一、将会聚照明光源 5 对准被测试的针孔板 6 上的针孔, 使针孔发出球面衍射光波;

[0024] 步骤二、利用高倍放大光学成像系统 7 对步骤一所述针孔发出的球面衍射光波成像;

[0025] 步骤三、将 CCD 光电探测器 8 的靶面调焦到步骤二所形成的衍射波面图像上, 接收星点衍射图像;

[0026] 步骤四、由与 CCD 光电探测器 8 相连的图像采集与计算分析系统 9, 对步骤三所述的星点衍射图像采用位相复原算法与计算分析软件进行处理, 实现由星点衍射图像到波面相差图像的测算复原, 最终绘制出波面轮廓图, 从波面轮廓图上得到波相差信息。

[0027] 上述位相复原算法与计算分析软件用如下公式表示:

$$ASF(x, y) = \int \int P(x', y') \exp[-2\pi i(xx' + yy')] dx' dy' \quad (1)$$

[0029] 其中, $ASF(x, y)$ 为点衍射振幅分布图对应的点扩散函数, $P(x', y')$ 为光瞳波面函数。

$$P(x', y') = A(x', y') \exp[ikW(x', y')] \quad (2)$$

[0031] 其中, $A(x, y)$ 为光瞳波面函数的振幅部分, 是光瞳形状函数, 在通光孔径内取 1, 通光孔径外为零; $k = 2\pi/\lambda$, λ 为会聚照明光源 5 的波长, $W(x', y')$ 为星点衍射波面相差信息。

$$[0032] \quad \text{PSF}(x, y) = \text{ASF}(x, y) \times \text{ASF}^*(x, y) = |\text{ASF}(x, y)|^2 \quad (3)$$

[0033] 其中, $\text{PSF}(x, y)$ 为点扩散函数。

[0034] 由 CCD 光电探测器 8 获得的星点衍射图像的灰度值即为点扩散函数 $\text{PSF}(x, y)$ 的值, 根据已知的 $\text{PSF}(x, y)$ 和公式 (1)、(2)、(3), 再采用傅里叶变换方法和迭代方法, 可以实现由 $\text{PSF}(x, y) \rightarrow \text{ASF}(x, y) \rightarrow P(x', y') \rightarrow W(x', y')$ 的数学分析与计算, 即获得星点衍射波面相差信息 $W(x', y')$ 。

[0035] 如图 5 所示, 其为采用本发明方法由星点衍射图像获得的星点衍射波面面形图, 通过图 5 可以直接观测到星点衍射波面形状, 再经过计算分析软件对星点衍射波面面形图进行计算分析, 便可以获得星点衍射波面相差信息。

[0036] 本发明的方法能够检测针孔的质量是否合格, 以及检测照明光源是否能严格对准针孔并使针孔产生无相差球面波, 具体过程如下:

[0037] (1) 针孔质量的检测

[0038] 用会聚照明光源 5 全口径照亮被测试的针孔板 6, 用高倍放大光学成像系统 7 对针孔形成的衍射波面成像, 把 CCD 光电探测器 8 的靶面调焦到衍射波面图像上, 接收星点衍射图像; 由与 CCD 光电探测器 8 相联的图像采集与计算分析系统 9 对星点衍射图像进行采集与分析计算处理, 获得星点衍射波面相差的信息数据。根据波面相差测试结果, 可以获得各种像差的数据, 如彗差、像散、球差等, 根据测试结果和技术参数要求评判针孔的质量。

[0039] (2) 针孔照明光源的安装

[0040] 与上述针孔质量的检测方法相同, 只是把会聚照明光源 5 换成单色照明系统 1。若检测到的衍射波前没有球差、彗差, 则说明照明光源已精确对准针孔。本发明通过直接采集针孔衍射图像, 基于信息光学理论和位相复原方法, 经过计算分析而获得针孔衍射波前的位相差, 弥补了干涉仪无法对针孔照明光源照射针孔所产生的衍射波面相差进行直接检测的弊端和不足。

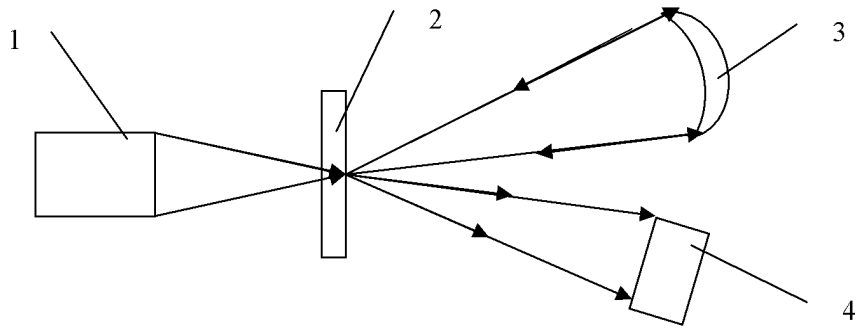


图 1

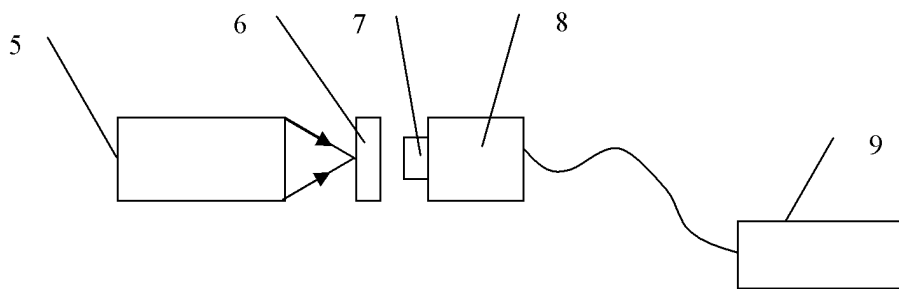


图 2

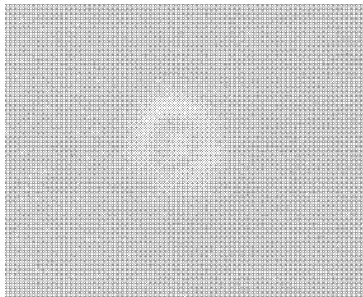


图 3

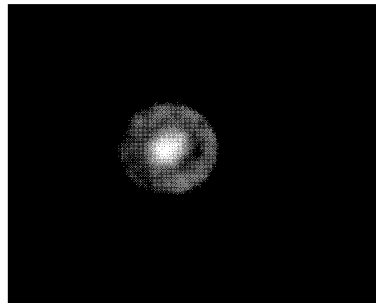


图 4

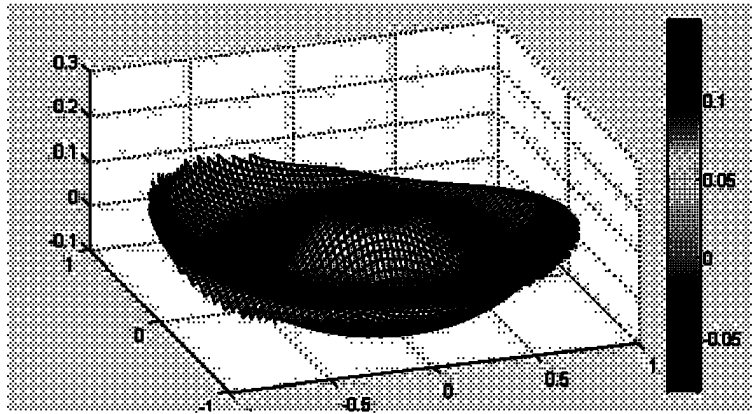


图 5