

哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法

申请号：[201210264033.8](#)

申请日：2012-07-27

申请(专利权)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](#)

发明(设计)人 [宣丽](#) [穆全全](#) [曹召良](#) [胡立发](#) [彭增辉](#) [李大禹](#) [刘永刚](#) [夏明亮](#) [姚丽双](#) [杨程亮](#) [鲁兴海](#)

主分类号 [G01J9/00\(2006.01\)I](#)

分类号 [G01J9/00\(2006.01\)I](#) [G02B27/30\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102829882A](#)

公开(公告)日 [2012-12-19](#)

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](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102829882 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 28

(21) 申请号 201210264033. 8

(22) 申请日 2012. 07. 27

(73) 专利权人 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 宣丽 穆全全 曹召良 胡立发
彭增辉 李大禹 刘永刚 夏明亮
姚丽双 杨程亮 鲁兴海

(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)

G02B 27/30 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101803906 A, 2010. 08. 18, 全文.

US 2007/0171366 A1, 2007. 07. 26, 全文.

JP 特开 2007-85788 A, 2007. 04. 05, 全文.

程少园等. 小型化人眼像差校正仪光学系统设计. 《红外与激光工程》. 2010, 第 39 卷 (第 2 期), 全文.

Jin-Seok Lee et al. Wavefront error measurement of high-numerical-aperture optics with a shack-hartmann sensor and a point source. 《Applied Optics》. 2007, 第 46 卷 (第 9 期), 全文.

审查员 何理

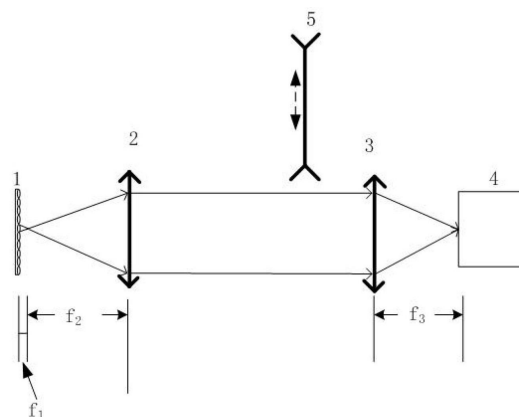
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法

(57) 摘要

本发明是哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法。其特征如图所示, 传统的哈特曼波前探测器由微透镜阵列(1)、第一透镜(2)、第二透镜(3)、光电探测器(4)组成, 其中第一透镜(2)、第二透镜(3)构成哈特曼波前探测器的转接镜头; 本发明在哈特曼波前探测器的转接镜头上设计能插入、拔出的凹透镜(5), 当进行哈特曼波前探测器与入射光束孔径对准时, 将凹透镜(5)插入到转接镜头中的光路上, 从而使光电探测器(4)上的光点阵列像切换为微透镜阵列(1)的实物像, 实现可视化地调节微透镜阵列(1)的位置, 使入射光束孔径与哈特曼波前探测器孔径对准。孔径对准完成后将凹透镜(5)移出光路, 恢复为传统配置的哈特曼波前探测器, 可以进行波前探测。



1. 哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法,其特征是在哈特曼波前探测器的转接镜头上设计能插入、拔出一个凹透镜的结构,以在进行哈特曼波前探测器与入射光束孔径对准时,将凹透镜插入到转接镜头中的光路上,从而使哈特曼的光电探测器上的光点阵列像切换为微透镜阵列的实物像,实现可视化地调节微透镜阵列的位置,使入射光束孔径与哈特曼波前探测器孔径对准,然后将凹透镜移出光路即可;

所使用的哈特曼波前探测器光路如下:

哈特曼波前探测器由微透镜阵列(1)、第一透镜(2)、第二透镜(3)、光电探测器(4)依次排列组成,其中微透镜阵列(1)的焦距、第一透镜(2)和第二透镜(3)的焦距分别为 f_1 、 f_2 与 f_3 ,第一透镜(2)到微透镜阵列(1)的距离为二者的焦距之和 f_1+f_2 ,第一透镜(2)和第二透镜(3)组成转接镜头,光电探测器(4)置于第二透镜(3)的焦点处;

微透镜阵列(1)的焦距 f_1 、其口径 D_1 ,光电探测器(4)的口径 D_4 是已知的,第一透镜(2)的焦距 f_2 根据微透镜阵列(1)的焦距 f_1 来确定,范围在 10mm ~ 50mm 之间,则转接镜头中两透镜的焦距 f_2 与 f_3 和 D_1 与 D_4 的关系满足 $f_2/f_3 = D_1/D_4$,从而确定第二透镜(3)的焦距 f_3 ,第一透镜(2)和第二透镜(3)之间的距离为 $f_2+(10\text{mm} \sim 15\text{mm})$;插入转接镜头光路的凹透镜(5),其焦距 $f_5 = f_2^2 / f_1$,与第一透镜(2)的距离为其焦距 f_2 。

哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法

技术领域

[0001] 本发明属于光电信号探测领域,涉及一种用于波前形状测量的光学仪器—哈特曼波前探测器的使用方法,具体地说是哈特曼波前探测器与入射光束的孔径对准方法。

背景技术

[0002] 哈特曼波前探测器是一种在光学面形检测、光学系统装调、尤其是在自适应光学技术中广泛使用的波前测量装置。传统的哈特曼波前探测器主要包括微透镜阵列、转接镜头、光电探测器(通常为 CCD 或 CMOS)和数据处理软件。入射光先通过微透镜阵列,然后通过转接镜头使光束直径正好与光电探测器的口径相同而进入其中成像,最后从光电探测器上读出探测数据。转接镜头的作用是使微透镜阵列与光电探测器间口径匹配。

[0003] 哈特曼波前探测器的工作原理是:微透镜阵列将接收到的光学波前进行空间分割,使得每个子波面上只有简单的倾斜而没有高阶像差,其通过微透镜后能够很好地聚焦到光电探测器上,从而在光电探测器中形成一个光点阵列。具有倾斜的子波前对应的聚焦光点在光电探测器中发生位置偏移,其偏移量与子波前的倾斜量和倾斜方向严格相关。因此,在获得子波前倾斜信息的空间分布后就可以重构出整个波前的畸变分布。

[0004] 在哈特曼波前探测器与待探测系统进行对接时,通常只考虑光束需要正入射进入哈特曼波前探测器,以减少波前的倾斜像差。而对于入射光束是否能完整地覆盖所设计的微透镜阵列、即入射光束孔径与哈特曼波前探测器的通光孔径是否能对准是无法精确控制的。而为了提高哈特曼波前探测器的数据读出速度,微透镜后的聚焦光点要尽量占据较少的光电探测器像素,甚至可以少到只覆盖 2×2 个像素,因此将光点放大到像素尺寸之后已经看不出“圆点”的形状,无法直接由聚焦光点的光强分布得知微透镜阵列与待测系统孔径间的对准关系。

[0005] 孔径位置的偏差会导致边缘部分的光点只有半个或部分进入光电探测器,这必然会导致测量结果出现偏差,从而引入很大的测量误差。

发明内容

[0006] 本发明为了解决波前探测中的孔径对准问题,提出一种可视化的哈特曼波前探测器孔径对准方法。目的是便于精确调节入射光束孔径与哈特曼波前探测器孔径的相对位置,达到对准,使微透镜阵列的有效光点数目与设计的相同,从而保证哈特曼波前探测器的波前测量精度。

[0007] 下面详述本发明:在哈特曼波前探测器的转接镜头上设计能插入、拔出一个凹透镜的结构,以在进行哈特曼波前探测器与入射光束孔径对准时,将凹透镜插入到转接镜头中的光路上,从而使哈特曼的光电探测器上的光点阵列像切换为微透镜阵列的实物像,实现可视化地调节微透镜阵列的位置,使入射光束孔径与哈特曼波前探测器孔径对准。孔径对准完成后将凹透镜移出光路,恢复为传统配置的哈特曼波前探测器,可以进行波前探测。

[0008] 为了更好地理解本发明,下面详述本发明的光路设计。传统的哈特曼波前探测器

的光路设计如图 1 所示,由微透镜阵列 1、第一透镜 2、第二透镜 3、光电探测器 4 组成微透镜光点阵列成像光路。其中微透镜阵列 1 的焦距、第一透镜 2 和第二透镜 3 的焦距分别为 f_1 、 f_2 与 f_3 ,第一透镜 2 到微透镜阵列 1 的距离为二者的焦距之和 f_1+f_2 ,以保证第一透镜 2 和第二透镜 3 之间的光线为平行光。第一透镜 2 和第二透镜 3 组成转接镜头,光电探测器 4 置于第二透镜 3 的焦点处。此处转接镜头的作用是将通过微透镜阵列 1 的光束口径调整为与光电探测器 4 的口径相同,使光点阵列经过转接镜头后完整地重新成像于光电探测器 4 中。

[0009] 通常微透镜阵列 1 的焦距 f_1 、其口径 D_1 、光电探测器 4 的口径 D_4 是已知的,则转接镜头中两透镜的焦距 f_2 与 f_3 和 D_1 与 D_4 的关系满足下式:

$$[0010] \quad f_2/f_3=D_1/D_4 \quad (1)$$

[0011] 其中第一透镜 2 的焦距 f_2 根据微透镜阵列 1 的焦距 f_1 来确定,范围在 10mm~50mm 之间,设计条件比较宽松,而 f_2 确定后则可以由(1)式确定第二透镜 3 的焦距 f_3 。

[0012] 当进行入射光束与哈特曼波前探测器孔径对准时,首先要使光电探测器 4 中光点阵列的像切换为微透镜阵列 1 的实物像。因此将凹透镜 5 插入转接镜头光路,其与第一透镜 2 的距离为 d_3 ,如图 2 所示,而第一透镜 2 和第二透镜 3 之间的距离为 d_1 ,且设计为 $d_1=d_3+(10\text{mm}\sim 15\text{mm})$ 。此处 d_3 的数值和凹透镜 5 的焦距 f_5 必须严格确定,以使微透镜阵列 1 出射的光束经过凹透镜 5 后变为平行光,再经第二透镜 3 后会聚于光电探测器 4 中,呈现出微透镜阵列 1 的实物像。为此计算微透镜阵列 1 一次成像于第一透镜 2 后 d_2 的位置,如图 2 所示虚线的会聚点,得出 $d_2=f_2(f_1+f_2)/f_1$,其中 f_1 为微透镜阵列 1 的焦距, f_2 为第一透镜 2 的焦距,二者皆为已知,故可算出 d_2 ;从一次成像位置到凹透镜 5 的距离应该等于凹透镜 5 的焦距 f_5 ,从而保证从微透镜阵列 1 出射的光束经过凹透镜 5 后变为平行光,利用光学系统对微透镜阵列 1 成像的放大倍率关系,可以得出:

$$[0013] \quad f_2 f_3 / f_1 f_5 = D_4 / D_1 \quad (2)$$

[0014] 结合(1)式可以求得凹透镜 5 的焦距 $f_5 = f_2^2 / f_1$;由此又确定凹透镜 5 到第一透镜 2 的距离 $d_3=d_2-f_5=f_2$,即等于第一透镜 2 的焦距。由于微透镜阵列 1 的焦距 f_1 和第一透镜 2 的焦距 f_2 都是已知数,故凹透镜 5 的焦距 f_5 和凹透镜 5 到第一透镜 2 的距离 d_3 都被严格确定下来。

[0015] 按照 d_3 决定的位置在转接镜头中安放凹透镜 5 的插槽,即可在其它元件不动的条件下通过插入凹透镜 5 实现微透镜阵列 1 在光电探测器 4 中成像,从而监视着微透镜阵列 1 的实物像在光束截面的二维方向上调节哈特曼波前探测器的位置,使边缘的微透镜尽可能完整地进入光电探测器 4 的视场,使有效微透镜数达到设计值,从而完成哈特曼波前探测器孔径与入射光束孔径的对准;然后将凹透镜 5 移出光路,即可进行波前探测。

附图说明

[0016] 图 1 是哈特曼波前探测器的光路与凹透镜待插入位置的说明图。其中 1 是焦距为 f_1 的微透镜阵列,2 是焦距为 f_2 的第一透镜,3 是焦距为 f_3 的第二透镜,4 为光电探测器,5 为凹透镜。微透镜阵列 1 与第一透镜 2 间的距离为二者的焦距之和,第一透镜 2 与第二透镜 3 组成转接镜头,使进入光电探测器 4 的光束口径正好调整为全口径入射,光电探测器 4 置于第二透镜 3 的焦点处,使微透镜光点阵列成像。凹透镜 5 在进行孔径对准时切入光路,

位于第一透镜 2 与第二透镜 3 之间的特定位置上。

[0017] 图 2 是使微透镜阵列 1 在光电探测器 4 中实物成像的方法说明图。其中微透镜阵列 1、第一透镜 2 和第二透镜 3 的焦距分别为 f_1 、 f_2 、 f_3 ，凹透镜 5 置于第一透镜 2 和第二透镜 3 之间，且与第一透镜 2 的距离为 d_3 ，第二透镜 3 与第一透镜 2 的距离为 d_1 ，微透镜阵列 1 一次成像于第一透镜 2 后虚线的会聚点，从一次成像位置到第一透镜 2 的距离为 d_2 。

[0018] 图 3 是具体实施例中进行参考光点阵列标定的光路图。其中 6 为 ZYGO 干涉仪，用来作为标准平行光光源，7 为微位移台，用来对哈特曼波前探测器的光轴进行调节，光束通过微透镜阵列 1 后在 f_1 决定的焦面处。

[0019] 图 4 为具体实施例中在光电探测器 4 中看到的微透镜阵列 1 的实物成像。其中 (a) 为孔径对准前微透镜阵列 1 的形貌图像，(b) 为孔径对准前光点阵列的图像，(c) 为孔径对准后微透镜阵列 1 的形貌图像，(d) 为孔径对准后光点阵列的图像。

具体实施方式

[0020] 1) 微透镜阵列 1 为德国 SUSS 公司制作的矩形排列的圆形平凸透镜阵列面板，单个微透镜的直径为 $150\mu\text{m}$ ，曲率半径 $3400\mu\text{m}$ ，焦距 $f_1=4.40\text{mm}$ ，整个面板尺寸为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 1.20\text{mm}$ ，安装在一个开有 1.5mm 圆孔的机械架上，即通光口径 $D_1=1.5\text{mm}$ 。

[0021] 2) 光电探测器 4 为高灵敏度 EMCCD (英国 ANDOR 公司 DV897)，像素数 128×128 ，通光窗口为正方形 $1.9\text{mm}\times 1.9\text{mm}$ ，即口径 $D_4=1.9\text{mm}$ ，通光窗口内包含像素数 80×80 个，使用 2×2 binning 模式，采样频率达到 960Hz ，探测波段 $350\text{nm}\sim 1000\text{nm}$ ，每个微透镜对应 binning 后的 4×4 个像素。

[0022] 3) 第一透镜 2、第二透镜 3 均为双胶合消色差透镜，且表面镀有增透膜，口径分别为 5mm 和 6mm ，第一透镜 2 的焦距为 10.00mm ，第二透镜 3 的焦距 $f_3=f_2D_4/D_1=12.80\text{mm}$ 。

[0023] 4) 凹透镜 5 也是双胶合消色差透镜，表面镀有增透膜，口径为 5mm ，焦距 $f_5=f_2^2/f_1=22.73\text{mm}$ ，距离第一透镜 2 的距离 $d_3=10.00\text{mm}$ ，第一透镜 2 和第二透镜 3 间的距离 $d_1=20\text{mm}$ 。

[0024] 5) 按照图 2 所示的光路搭建系统，其中凹透镜 5 安放于一维平移机构上，可以垂直进出光路。

[0025] 6) 进行参考光点阵列的标定：如图 3 所示，其中 6 为标准平行光光源 ZYGO 干涉仪 (GPIXP/D)，7 为微位移台，能够在光轴截面上做二维方向的平移和沿光轴俯仰、扭摆转动。将微透镜阵列 1、第一透镜 2、第二透镜 3、光电探测器 4、凹透镜 5 的一维平移机构固定在微位移台 7 上。首先将凹透镜 5 移出光路；为使平行光垂直入射微透镜阵列 1，利用 ZYGO 干涉仪 6 监视微透镜阵列 1 表面的反射光位置，调节微位移台 7 的俯仰和扭摆，使微透镜阵列 1 表面的反射光垂直入射进入干涉仪，由此证明 ZYGO 干涉仪 6 发出的平行光正入射进入哈特曼波前探测器，记录此时光电探测器 4 中的光点阵列作为参考光点阵列。

[0026] 7) 进行入射光束与哈特曼波前探测器的孔径对准：在 ZYGO 干涉仪 6 与微透镜阵列 1 之间任意一个位置加入孔径为 1.2mm 的孔径光阑以模拟入射光束的出瞳。将凹透镜 5 按照图 2 所示平移进入光路，在光电探测器 4 中看到如图 4(a)所示的微透镜阵列 1 的形貌图像，看到图像边缘的多个微透镜只有部分成像，说明孔径光阑和微透镜阵列 1 之间没有对准，此时将凹透镜 5 移出光路在光电探测器 4 中看到如图 4(b)所示的光点阵列图，同样

发现边缘的多个光点不完整,这将导致错误的波前探测,或者是用来进行波前测量的微透镜个数减少,只有 45 个,影响波前测量精度;再将凹透镜 5 移入光路,调整微位移台 7 的两个平移旋钮,使哈特曼波前探测器整体垂直于光轴发生平移,寻找与孔径光阑的对准位置,一边调整一边监测光电探测器 4 中的微透镜阵列 1 的形貌,直到上下和左右两个直径端点都出现完整的微透镜时,如图 4 (c)所示,即完成入射光束与哈特曼波前探测器的孔径对准过程;将凹透镜 5 移出光路,检测此时的光点阵列分布如图 4 (d)所示,看出完整的光点数达到 52 个。

[0027] 采用此方法进行入射光束与哈特曼波前探测器的孔径对准,可以保证哈特曼波前探测器的波前测量精度达到设计精度。

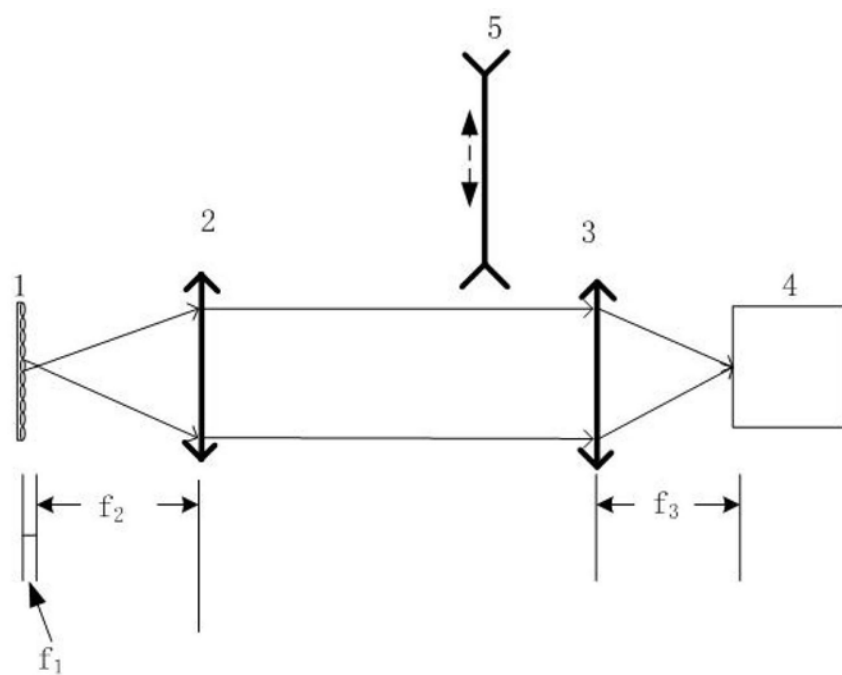


图 1

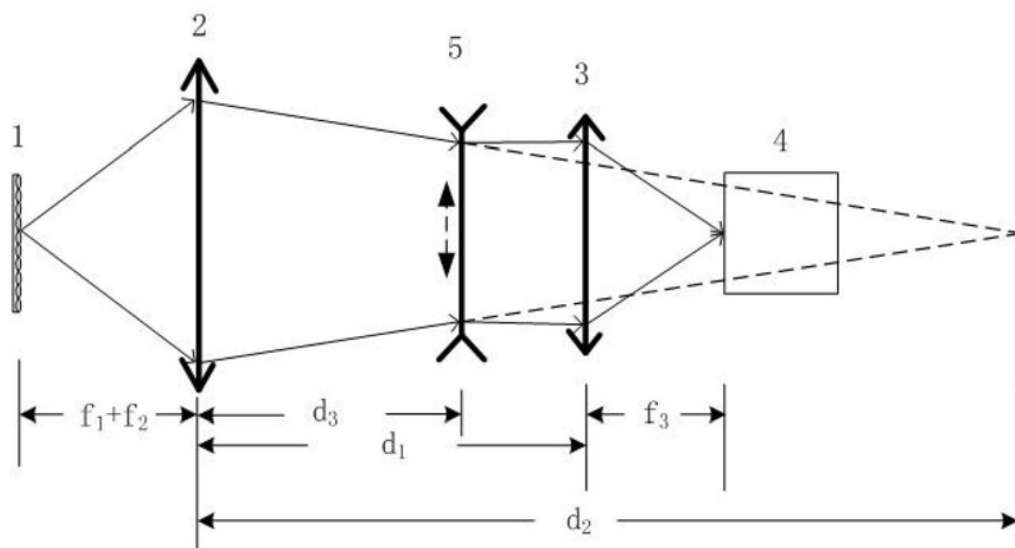


图 2

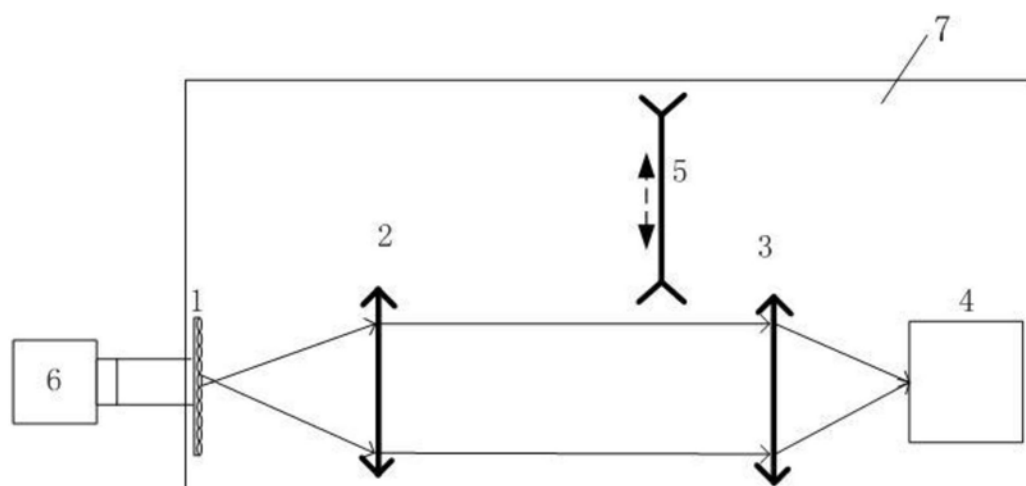


图 3

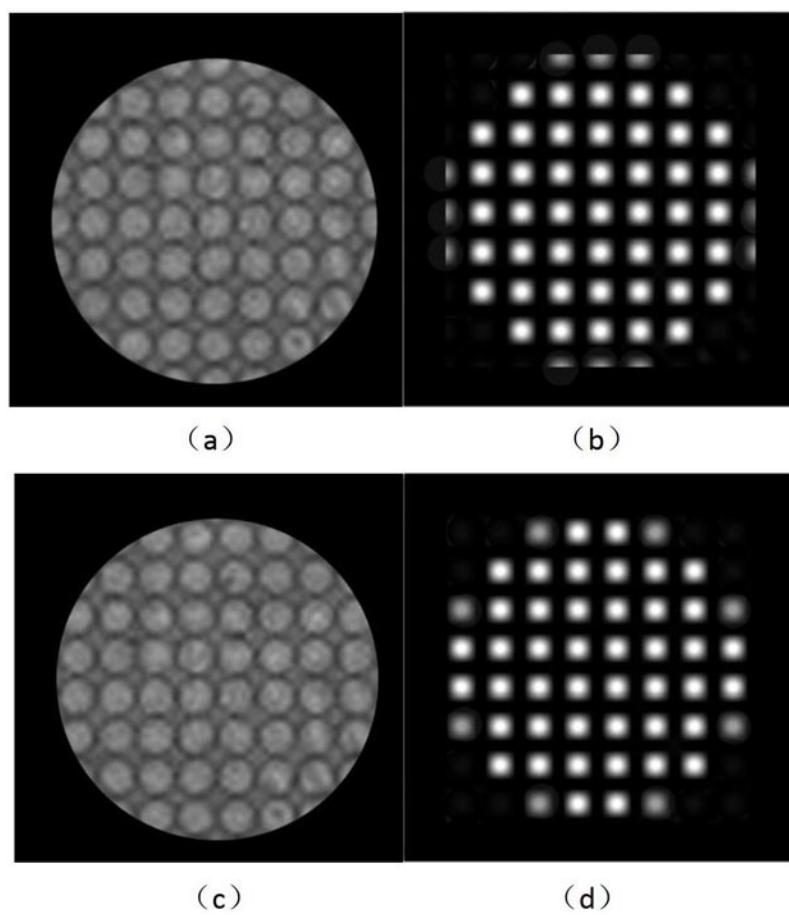


图 4