

具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器

申请号：[201210264084.0](#)

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 刘永刚 姚丽双 李大禹 杨程亮 夏明亮 鲁兴海](#)
主分类号 [G01J9/00\(2006.01\)I](#)
分类号 [G01J9/00\(2006.01\)I](#) [G02B7/02\(2006.01\)I](#)
公开(公告)号 [102778299A](#)
公开(公告)日 [2012-11-14](#)
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 102778299 B

(45) 授权公告日 2014.03.12

(21) 申请号 201210264084.0

CN 101803906 A, 2010.08.18, 全文.

(22) 申请日 2012.07.27

Chao Li, et al. optimization for high precision shack-hartmann wavefront sensor. 《OPTICS COMMUNICATIONS》. 2009, 第 282 卷 4334-4337.

(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

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), 1411-1415.

(72) 发明人 宣丽 穆全全 曹召良 胡立发 彭增辉 刘永刚 姚丽双 李大禹 杨程亮 夏明亮 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

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), 287-291.

审查员 刘娟

(51) Int. Cl.

G01J 9/00 (2006.01)

G02B 7/02 (2006.01)

(56) 对比文件

JP 2007-85788 A, 2007.04.05, 全文.

US 2007/0171366 A1, 2007.07.26, 全文.

KR 10-0763947 B1, 2007.10.05, 全文.

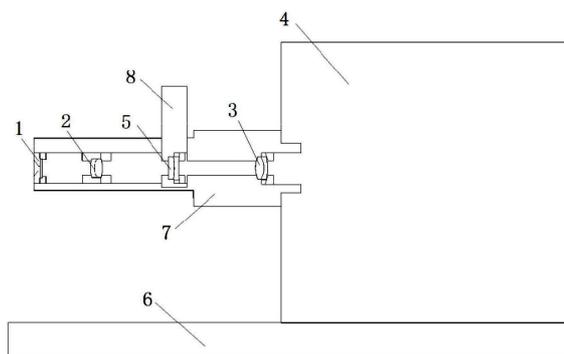
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器

(57) 摘要

本发明提出具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器。其特征是由传统的哈特曼波前探测器、切换凹透镜和一个微位移台组成。其中整体器件固定于微位移台上，微位移台能够在光轴截面上做二维平移、俯仰、扭摆转动，以调整哈特曼探测器的光轴；切换凹透镜固定在插板上，进行孔径对准时，将插板插入转接镜筒的插槽，使切换凹透镜切入转接镜头光路中，如图所示，从而使光电探测器上的光点阵列像切换为微透镜阵列的实物像；一边监测光电探测器中的微透镜阵列的形貌一边调整微位移台，直到视场上下和左右两个直径端点都出现完整的微透镜时即完成孔径对准。孔径对准完成后将插板向上拔，使切换凹透镜移出转接镜头光路，恢复为传统的哈特曼波前探测器。



CN 102778299 B

1. 具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器,其特征是:

由微透镜阵列(1)、第一透镜(2)、第二透镜(3)、光电探测器(4)和切换凹透镜(5)、平移台(6)、镜筒(7)和插板(8)组成;第一透镜(2)到微透镜阵列(1)的距离为二者的焦距之和,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,使微透镜阵列(1)焦面上的光点阵列尺寸调整为与光电探测器(4)的口径相同,光电探测器(4)置于第二透镜(3)的焦点处,使微透镜阵列(1)的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;切换凹透镜(5)固定在插板(8)上,镜筒(7)上有对应插板(8)的插口;同时镜筒(7)将微透镜阵列(1)、第一透镜(2)、第二透镜(3)按照上述位置关系固定在其中、扣紧在光电探测器(4)上,光电探测器(4)又被固定在平移台(6)上,平移台(6)具有光束截面上的二维平移、俯仰与扭摆调节功能;

第一透镜(2)的焦距 f_2 为 10mm ~ 20mm,转接镜头中第二透镜(3)的焦距 $f_3=f_2D_4/D_1$,其中 D_1 为微透镜阵列(1)的入射口径, D_4 为光电探测器(4)的口径;切换凹透镜(5)的焦距 $f_5=-f_2^2/f_1$,其中 f_1 为微透镜阵列(1)的焦距;当插板(8)插入到镜筒(7)的插口中时,切换凹透镜(5)位于第一透镜(2)的焦面上;

当插板(8)插入到镜筒(7)的插口中时,切换凹透镜(5)便切入转接镜头光路中,实现在其它元件不动的条件下将光电探测器(4)中微透镜阵列(1)的光点阵列成像切换为微透镜阵列(1)的实物像,从而监视着微透镜阵列(1)的实物像调节平移台(6)的位置进行与入射光束的孔径对准;孔径对准完成后将插板(8)拔出,使切换凹透镜(5)移出光路,恢复为传统的哈特曼波前探测器的结构。

2. 根据权利要求1所述的具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器,其特征是:

1)微透镜阵列(1)为圆形平凸透镜、矩形排列的微透镜阵列面板,单个微透镜的直径为 150 μ m,焦距 $f_1=4.40$ mm,整个面板尺寸为 10mm \times 10mm \times 1.20mm,贴附在一个 1.5mm 孔径的光阑上,即通光口径 $D_1=1.5$ mm;

2)第一透镜(2)、第二透镜(3)、切换凹透镜(5)均为双胶合消色差透镜,且表面镀有增透膜,口径分别为 5mm、6mm 和 5mm,厚度分别为 3.00mm、3.00mm 和 2.00mm,焦距分别为 10.00mm、12.80mm、-22.73mm;

3)光电探测器(4)为高灵敏度 EMCCD,英国 ANDOR 公司生产的 DV897 型号,像素数 128 \times 128,通光窗口为正方形 1.9mm \times 1.9mm,即口径 $D_4=1.9$ mm,通光窗口内包含像素数 80 \times 80 个,使用 2 \times 2binning 模式,采样频率可达到 960Hz,探测波段可从 350nm ~ 1000nm,每个微透镜对应 binning 后的 4 \times 4 个像素;

4)微透镜阵列(1)的后表面中心点到第一透镜(2)前表面中心点的距离为 13.20mm,第一透镜(2)后表面中心点到切换凹透镜(5)前表面中心点的距离为 8.79mm,切换凹透镜(5)后表面中心点到第二透镜(3)前表面中心点的距离为 18mm,第二透镜(3)后表面中心点到光电探测器(4)的距离为 11.30mm;

5)插板(8)宽度为 20mm,长度为 25mm,切换凹透镜(5)固定于插板(8)上;

6)用镜筒(7)按照“4)”中所述位置固定微透镜阵列(1)、第一透镜(2)和第二透镜(3),镜筒(7)上对应切换凹透镜(5)的位置有一插口,能将插板(8)插入与拔出。

具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器

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。它由光电探测器、微透镜阵列和透镜等光学元件组成,具体地说是一种具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器。

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由微透镜阵列、转接镜头、光电探测器(通常为 CCD 或 CMOS)和数据处理软件构成。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,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能够显现的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,提出一种具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器。目的是便于精确调节哈特曼波前探测器孔径与入射光束孔径的相对位置,达到对准,使微透镜阵列的有效光点数目与设计相同,从而保证哈特曼波前探测器的波前测量精度。

[0007] 本发明的内容是:具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器由传统的哈特曼波前探测器、切换凹透镜和一个微位移台组成,其中传统的哈特曼波前探测器又由微透镜阵列、转接镜头和光电探测器组成。传统的哈特曼波前探测器和切换凹透镜都固定在微位移台上,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,以调整哈特曼波前探测器的光轴;切换凹透镜在进行哈特曼波前探测器孔径与入射光束孔径对准时切入到

转接镜头中,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,一边监测光电探测器中的微透镜阵列的形貌一边调整微位移台,直到视场上下和左右两个直径端点都出现完整的微透镜时即完成哈特曼波前探测器的孔径与入射光束孔径的对准。孔径对准完成后将切换凹透镜移出转接镜头光路,恢复为传统配置的哈特曼波前探测器,可以用于正常波前探测。

[0008] 为了更好地理解本发明,下面详述具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器的光学结构:

[0009] 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、切换凹透镜 5 和微位移台 6 组成,图中“平行光束”代表入射光束。其中微透镜阵列 1、第一透镜 2、第二透镜 3 和光电探测器 4 构成传统配置的哈特曼波前探测器;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 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;转接镜头的作用是将通过微透镜阵列 1 的光束口径 D_1 调整为与光电探测器 4 的口径 D_4 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,因此转接镜头中两透镜的焦距 f_2 与 f_3 和 D_1 与 D_4 的关系为 $f_2/f_3=D_1/D_4$ 。当进行入射光束与哈特曼波前探测器孔径对准时,将切换凹透镜 5 切入转接镜头光路,如图 2 所示,其目的是使光电探测器 4 中光点阵列的像切换为微透镜阵列 1 的实物像,因此微透镜阵列 1 发出的光束须经过切换凹透镜 5 后变为平行光,才能再经第二透镜 3 后会聚使微透镜阵列 1 成像于光电探测器 4 中,根据光学成像关系得出切换凹透镜 5 的焦距 $f_5 = -f_2^2 / f_1$;再者,微透镜阵列 1 通过第一透镜 2 一次成像于虚线会聚处,这个一次成像可看作切换凹透镜 5 的次生光源,由于次生光源通过切换凹透镜 5 后成为平行光,说明次生光源位于切换凹透镜 5 的焦点处,即虚线会聚点到切换凹透镜 5 的距离为其焦距 f_5 ,进一步根据第一透镜 2 的一次成像几何光学原理,推出切换凹透镜 5 到第一透镜 2 的距离 $d_3=f_2$,即等于第一透镜 2 的焦距,这样就确定出切换凹透镜 5 的焦距和其在转接透镜中的位置关系。最后由于是在第一透镜 2 和第二透镜 3 之间插入切换凹透镜 5,因此应当保证第一透镜 2 和第二透镜 3 的距离 $d_1>d_3$,从装调方便的角度考虑 $d_1=f_2+(10\text{mm}\sim 15\text{mm})$ 。在以上元件位置都确定后,第一透镜 2 到虚线会聚处的距离 d_2 、即一次成像像距 $d_2=f_2+f_5$ 。

[0010] 令第一透镜 2 的焦距 f_2 为 $10\text{mm}\sim 20\text{mm}$,微透镜阵列 1 的口径 D_1 、光电探测器 4 的口径 D_4 、以及微透镜阵列 1 的焦距 f_1 这三个参数视为已知,故第二透镜 3 的焦距 f_3 和切换凹透镜 5 的焦距 f_5 以及位置 d_3 也可以数值化地确定下来。

[0011] 按照上述条件制作具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器,如图 3 所示,其中 7 为镜筒,用于固定微透镜阵列 1、第一透镜 2 和第二透镜 3,镜筒 7 上还有插口,8 为固定切换凹透镜 5 的插板,插板 8 能插入镜筒 7 的插口中,使得切换凹透镜 5 切入转接镜头光路,其插入位置具有亚毫米级的准确度且稳定,即可在其它元件不动的条件下实现微透镜阵列 1 在光电探测器 4 中成像,从而监视着微透镜阵列 1 的实物像调节平移台 6 的位置进行对准,平移台 6 具有光束截面上的二维平移、俯仰与扭摆调节功能;孔径对准完成后将插板 8 拔出,使切换凹透镜 5 移出光路,恢复为传统的哈特曼波前探测器的结构。

[0012] 本发明可使入射光束孔径与哈特曼波前探测器孔径达到像素级的精确对准。

附图说明

[0013] 图 1 是具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器的光路示意图。其中 1 为微透镜阵列, 2 为第一透镜, 3 为第二透镜, 4 为光电探测器, 5 为切换凹透镜, 6 为平移台。微透镜阵列 1 与第一透镜 2 间的距离为二者的焦距之和, 使光束在第一透镜 2 和第二透镜 3 之间为平行光, 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 的光束口径调整为正好全口径入射, 光电探测器 4 置于第二透镜 3 的焦点处, 使微透镜阵列 1 的光点阵列成像。切换凹透镜 5 在进行孔径对准时切入光路, 平移台 6 具有光束截面上的二维平移、俯仰与扭摆调节功能。

[0014] 图 2 是具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器的可视化孔径对准方法示意图。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 , 切换凹透镜 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 。切换凹透镜 5 的作用, 是使光电探测器 4 中显示微透镜阵列 1 的光点阵列像切换为微透镜阵列 1 自身的实物像。

[0015] 图 3 是具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器的结构示意图。其中 7 为镜筒, 用于固定微透镜阵列 1、第一透镜 2 和第二透镜 3, 镜筒 7 上还有用于插入切换凹透镜 5 的插口, 8 为固定切换凹透镜 5 的插板, 能插入镜筒 7 的插口中, 使得切换凹透镜 5 切入转接镜头光路。

[0016] 图 4 是具体实施例中进行孔径对准时看到的微透镜阵列 1 的实物像, 其中 (a) 为对准前, (b) 为对准后。

具体实施方式

[0017] 1) 微透镜阵列 1 为购自 SUSS 公司的圆形平凸透镜、矩形排列的微透镜阵列面板, 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 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 1.20\text{mm}$, 贴附在一个 1.5mm 孔径的光阑上, 即通光口径 $D_1=1.5\text{mm}$ 。

[0018] 2) 第一透镜 2、第二透镜 3、切换凹透镜 5 均为双胶合消色差透镜, 且表面镀有增透膜, 口径分别为 5mm 、 6mm 和 5mm , 厚度分别为 3.00mm 、 3.00mm 和 2.00mm , 焦距分别为 10.00mm 、 12.80mm 、 -22.73mm 。

[0019] 3) 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, 采样频率可达到 960Hz , 探测波段可从 $350\text{nm}\sim 1000\text{nm}$, 每个微透镜对应 binning 后的 4×4 个像素。

[0020] 4) 微透镜阵列 1 的后表面中心点到第一透镜 2 前表面中心点的距离为 13.20mm , 第一透镜 2 后表面中心点到切换凹透镜 5 前表面中心点的距离为 8.79mm , 切换凹透镜 5 后表面中心点到第二透镜 3 前表面中心点的距离为 18mm , 第二透镜 3 后表面中心点到光电探测器 4 的距离为 11.30mm 。

[0021] 5) 插板 8 宽度为 20mm , 长度为 25mm , 切换凹透镜 5 固定于插板 8 上。

[0022] 6) 用镜筒 7 按照“4)”中所述位置固定微透镜阵列 1、第一透镜 2 和第二透镜 3, 镜筒 7 上对应切换凹透镜 5 的位置有一插口, 能将插板 8 插入与拔出。

[0023] 7) 按照图 3 所示的结构, 将镜筒 7 装配在光电探测器 4 上, 最后将整个器件固定在微位移台 6 上, 微位移台 6 能够沿光轴俯仰、扭摆转动, 形成具有孔径对准功能的哈特曼波前探测器。

[0024] 8) 进行入射光束与哈特曼波前探测器的孔径对准: 插板 8 插入镜筒 7 的插口中, 使得切换凹透镜 5 切入转接镜头光路, 微透镜阵列 1 在光电探测器 4 中成像, 如图 4 (a) 所示, 由于孔径光阑和微透镜阵列 1 间并没有严格对准, 导致边缘的一些微透镜只有部分被辐照, 使整个孔径内的有效微透镜个数减少, 只有约 45 个; 监视着微透镜阵列 1 的实物像调节微位移台 6, 直到可以看到有效微透镜个数达到 52 个, 且孔径边缘也可以被微透镜完全覆盖。此时即完成系统的孔径对准, 拔出插板 8, 使切换凹透镜 5 移出光路, 恢复为传统的哈特曼波前探测器的结构, 可以进行波前的测量。

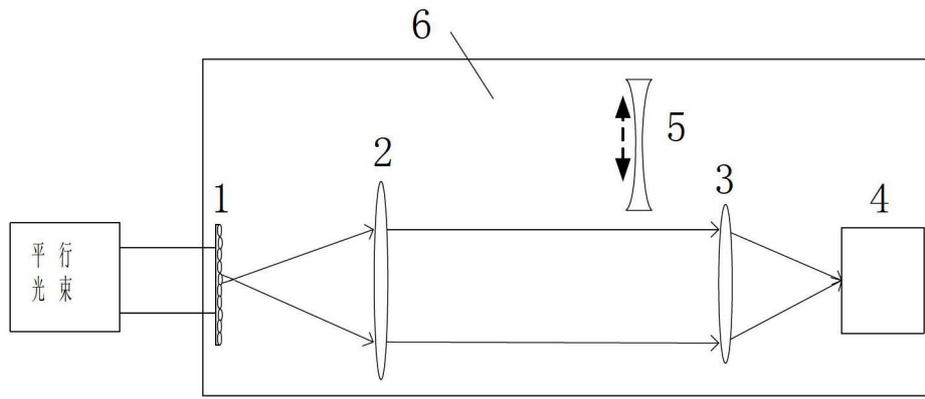


图 1

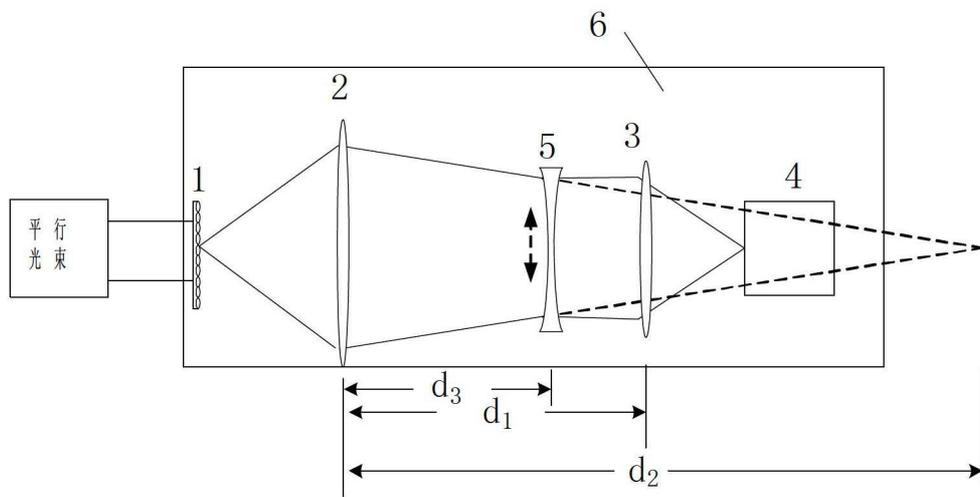


图 2

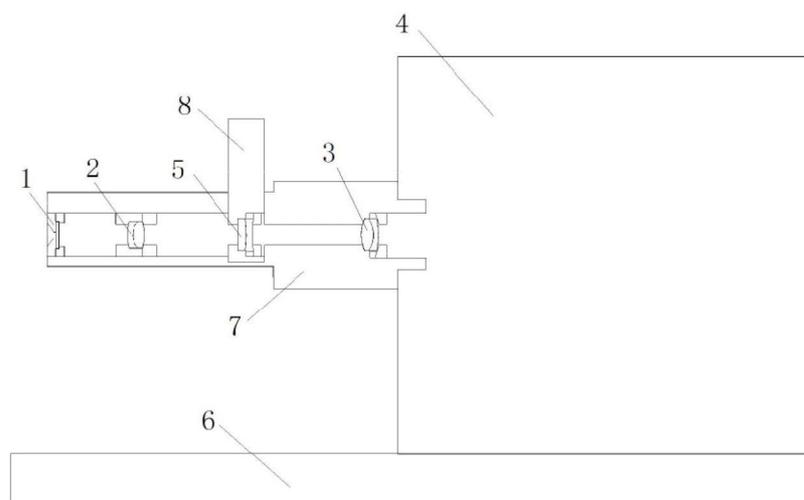


图 3

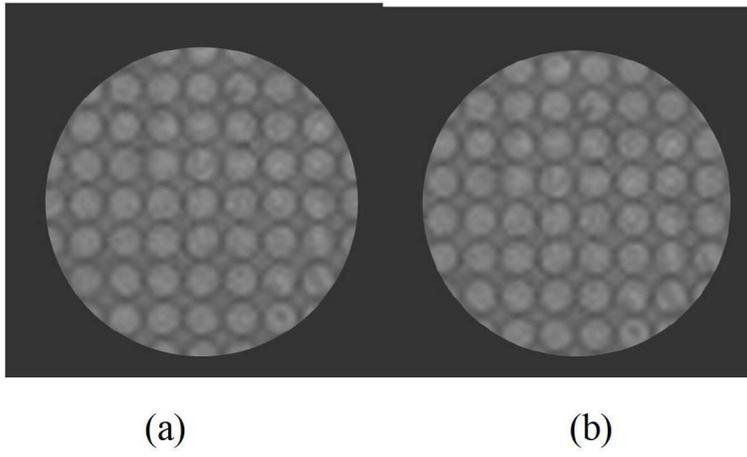


图 4