

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610165077. X

G01M 11/00 (2006.01)  
G01M 11/02 (2006.01)  
G01M 19/00 (2006.01)  
G01J 9/00 (2006.01)  
G01B 11/00 (2006.01)  
G02B 27/10 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 12 月 23 日

[11] 授权公告号 CN 100573080C

[51] Int. Cl. (续)

G02B 27/00 (2006.01)

G02B 7/02 (2006.01)

[22] 申请日 2006.12.13

[21] 申请号 200610165077. X

[73] 专利权人 中国科学院光电技术研究所

地址 610209 四川省成都市双流 350 信箱

[72] 发明人 李华强 饶学军 姜文汉 鲜浩

杨泽平 饶长辉

[56] 参考文献

CN1601230A 2005.3.30

JP2002-214077A 2002.7.31

CN1465968A 2004.1.7

审查员 褚鹏蛟

[74] 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责任公司

代理人 贾玉忠 卢纪

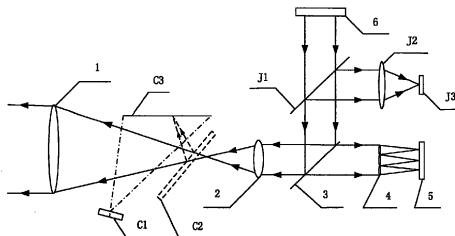
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 4 页

[54] 发明名称

利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器及其检测方法

[57] 摘要

利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器及其检测方法，在原有系统中添加了粗对准和精对准两项部分，其中粗对准部分包括：带孔的成像屏、分光器件、粗对准探测系统，精对准部分包括：聚焦透镜、精对准分光镜、精对准探测系统。入射光束经过粗对准和精对准两个步骤后，能快捷方便地进入到微透镜阵列的测量视场内，并且能与系统严格同光轴，从而提高了哈特曼系统的测量精度；同时利用该哈特曼波前传感器可以方便地进行正透镜，负透镜，凸镜，凹镜，平面镜等的检测。本发明能把调整的结果实时地显示出来，具有直观、易懂的特性，从而降低了对使用人员的要求，减少了调节时间；并且该发明中所用的器件规格要求低，价格低廉，容易购买。



1、利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器，包括：测量光源系统（6）、光束匹配系统的前镜组（1），光束匹配系统的后镜组（2）、分光镜（3）、微透镜阵列（4）、光电探测器（5），其特征在于还包括：粗对准部分和精对准部分，粗对准部分包括：带孔的成像屏（C3）、分光器件（C2）、粗对准探测系统（C1），分光器件（C2）位于光束匹配系统中前镜组（1）的一倍焦距以内，起分离入射光束的作用，带孔成像屏（C3）放置在光束匹配系统的前镜组（1）的焦平面上，孔位于焦点上，粗对准探测系统（C1）能观察到整个成像屏（C3），工作时由测量光源系统（6）发出的光由成像屏（C3）的孔出射，经过分光器件（C2）、光束匹配系统的前镜组（1）后经被测件后返回，再经过分光器件（C2）后重新聚焦到成像屏（C3）上，通过观察由粗对准探测系统（C1）得到的小孔和聚焦光斑的相对位置，调节被测件的位置使小孔和聚焦光斑重合，经过粗对准以后，保证了光束能够进入精对准的范围内；精对准部分包括精对准分光镜（J1）、聚焦透镜（J2）和精对准探测系统（J3），精对准分光镜（J1）位于聚焦透镜（J2）之前，聚焦透镜（J2）位于精对准探测系统（J3）之前，测量光源系统（6）发出的光先后经过精对准分光镜（J1）、分光镜（3）后，由光束匹配系统的前镜组（1）出射，经被测件反射后折回哈特曼波前传感器，先后经过光束匹配系统的前镜组（1）、光束匹配系统的后镜组（2）、分光镜（3）、精对准分光镜（J1）后，再经聚焦透镜（J2）成像于精对准探测系统（J3）上，通过质心计算公式得到聚焦光斑的位置，调节被测件使光斑质心与事先标定点即哈特曼波前传感器光轴的位置重合，至此精对准过程完成，经过精对准后，光束已经进入到微透镜阵列（4）的测量视场以内，并可进行直接测量。

2、根据权利要求1所述的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传

感器,其特征在于:所述的粗对准探测系统和精对准探测系统由光电探测器,及图像采集和显示系统组成。

3、采用权利要求 1 所述的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器对正透镜或负透镜进行面形检测的检测方法,其特征在于包括以下步骤:

(1)把标准平面镜(7)放置在权利要求 1 所述的哈特曼波前传感器的前面,调节标准平面镜(7)的位置,记录下各子孔径内的光斑在光电探测器(5)上的位置,作为标定点;

(2)撤掉标准平面镜(7),把激光器(18)放置在哈特曼波前传感器之前,激光发出的细光束经前镜组(1),分光器件(C2)后聚焦到成像屏(C3),根据由粗对准探测系统(C1)看到的聚焦光斑和中心小孔的相对位置,调节激光器(18)的位置,使二者重合,而后再利用精对准部分,进一步调整激光器(18)的位置,使精对准探测系统(J3)上的聚焦光斑和标定点重合,此时激光器(18)发出的细光束已经和哈特曼波前传感器严格同光轴;

(3)把正透镜(12)或负透镜(13)放置在激光器(18)和哈特曼波前传感器之间,根据聚焦光斑的位置调节正透镜(12)、负透镜(13)的位置,使其与哈特曼波前传感器同光轴;

(4)撤掉激光器(18)后,换上标准球面镜(14);由测量光源系统(6)出射的光束经正透镜(12)或负透镜(13)后,被标准球面镜(14)反射回哈特曼波前传感器内,仍然通过粗对准探测系统(C1)、精对准探测系统(J3)上的光斑位置来调节标准球面镜(14)的位置,最后标准球面镜(14)将和哈特曼波前传感器同光轴,并且和正透镜(12)或负透镜(13)同焦点,记录下光电探测器(5)上各个子孔径内光斑的位置,联合步骤(1)中标定点的位置来复原波面。

4、采用权利要求 1 所述的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传

感器对凸面镜或凹面镜进行面形检测的检测方法，其特征在于包括以下步骤：

(1) 在对凸面镜(10)或凹面镜(11)进行面形检测时，在权利要求1所述的哈特曼波前传感器的外面增加一个附加透镜(15)，由该哈特曼波前传感器出射的平行光束经附加透镜(15)后会变成汇聚光束或发散光束，这样就需要首先调节附加透镜(15)和哈特曼波前传感器同光轴；

(2) 首先在哈特曼波前传感器之前放置激光器(18)，根据粗对准部分和精对准部分，由激光器(18)发出的光聚焦在精对准探测系统(J3)上的事先标定点上，此时激光器(18)便和哈特曼波前传感器同光轴；

(3) 而后把附加透镜(15)放置在激光器(18)和哈特曼波前传感器之间，调整由激光器(18)发出的光聚焦在精对准探测系统(J3)上的事先标定点上，此时激光器(18)的光束、附加透镜(15)都已经和哈特曼波前传感器同光轴；

(4) 去掉激光器(18)后，把标准球面镜(14)放入检测光路中，调节标准球面镜(14)和附加透镜(15)、哈特曼波前传感器同光轴，使标准球面镜(14)和附加透镜(15)同焦点，并记录下光电探测器(5)上各个光斑的位置，作为标定点；再利用被测凸面镜(10)或凹面镜(11)替代标准球面镜(14)，让凸面镜(10)或凹面镜(11)和附加透镜(15)同焦点，和哈特曼波前传感器同光轴；完成以后，运用光电探测器(5)测得的光斑位置和标定点来复原波面。

5、采用权利要求1所述的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器对平面镜进行面形检测的方法，其特征在于包括以下步骤：

(1) 把标准平面镜(7)放置在权利要求1所述的哈特曼波前传感器的前面，由测量光源系统(6)发出的光被标准平面镜(7)反射，根据粗对准探测系统(C1)观察到的反射聚焦光斑和成像屏(C3)上小孔的相对位置，调节标准平面镜(7)的倾斜，使二者重合，此时标准平面镜(7)的粗调完

成；进一步调节标准平面镜（7）的倾斜，使精对准探测系统（J3）上的聚焦光斑和事先标定点重合，此时对标准平面镜（7）的调节完成；记录下各子孔径内的光斑在光电探测器（5）上的位置，作为标定点；

（2）把平面镜（8）放置在标准平面镜（7）和哈特曼波前传感器之间，通过精对准和粗对准两个步骤，根据聚焦光斑和小孔以及事先标定点之间的位置关系对平面镜（8）进行调节，最终使精对准探测系统（J3）上的聚焦光斑和事先标定点重合，记录下各子孔径内的光斑在光电探测器（5）上的位置，联合标定点便可以重构出波面。

6、采用权利要求 1 所述的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器对激光光束质量进行检测的方法，其特征在于：把标准平面镜（7）放置在权利要求 1 所述的哈特曼波前传感器的前面，调节标准平面镜（7）的位置，记录下各子孔径内的光斑在光电探测器（5）上的位置，作为标定点；然后用激光器（16）代替标准平面镜（7），利用粗对准部分和精对准部分，再进一步调节激光器（16）的位置，让激光光束和哈特曼波前传感器同光轴，记录下各子孔径内的光斑在光电探测器（5）上的位置，联合标定点来复原波面。

## 利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器及其检测方法

### 技术领域

本发明涉及一种用于测量波前形状的精密仪器—哈特曼波前传感器，特别是一种能简单、快捷、精准地调节自准直光束或被测光束进入测量视场的哈特曼波前传感器。

### 背景技术

哈特曼波前传感器是一种能够检测波面形状的仪器，它在光学镜面检测、医疗仪器和天体目标成像中得到了广泛的应用。在以往的哈特曼波前传感器中，通常只包括测量光源系统、光束匹配系统、微透镜阵列、光电探测器（通常为CCD）和数据处理系统。哈特曼波前传感器在使用之前，被测波面都须被调整到微透镜阵列的测量视场以内；以往都是通过观察子孔径内的光斑位置进行调节。相对于入射光路来说，微透镜阵列的测量视场通常显得很小，被测物体改变很小的角度，子孔径内的光斑就会发生大的偏移，所以很难把入射波面调进微透镜阵列的测量视场。从而，在使用哈特曼波前传感器的过程中，过多的精力花在了对准上；并易造成被测光束和系统光轴偏离，从而导致波面的测量误差变大。

### 发明内容

本发明的技术解决问题是：克服现有技术的不足，提供了一种利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器及其检测方法，该哈特曼波前传感器利用粗对准和精对准部分可以方便、精准地对准被测件和系统的光轴，从而减小测量误差，提高了哈特曼系统的测量精度；同时利用该哈特曼波前传感器的检测方法可以方便地进行正透镜，负透镜，凸镜，凹镜，平面镜等的检测，检测误差小。

本发明的技术方案：利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器，包括：测量光源系统、光束匹配系统的前镜组，光束匹配系统的后镜组、分光镜、微透镜阵列、光电探测器，其特点在于还包括：粗对准部分和精对准部分，粗对准部分包括：带孔的成像屏、分光器件、粗对准探测系统，分光器件位于光束匹配系统的前镜组的一倍焦距以内，起分离入射光束的作用，带孔成像屏放置在光束匹配系统的前镜组焦平面上，孔位于焦点上，粗对准探测系统能观察到整个成像屏，工作时由测量光源系统发出的光由成像屏的孔出射，经过分光器件、光束匹配系统的前透镜组后经被测物体后返回，重新聚焦到成像屏上，通过观察由粗对准探测系统得到的小孔和聚焦光斑的相对位置，调节被测件的位置使小孔和聚焦光斑重合，经过粗对准以后，保证了光束能够进入精对准的范围内；精对准分光镜、聚焦透镜和精对准探测系统，精对准分光镜位于聚焦透镜之前，聚焦透镜位于精对准探测系统之前，测量光源系统发出的光先后经过粗对准分光镜、分光镜后，由光束匹配系统的前镜组出射，经被测件后返回，先后经过光束匹配系统的前镜组、光束匹配系统的后镜组、分光镜、精对准分光镜后，再经聚焦透镜成像于精对准探测系统上，通过质心计算公式得到聚焦光斑的位置，调节被测件使光斑质心与事先标定点即系统光轴的位置重合，至此精对准过程完成，经过精对准后，光束已经进入到微透镜阵列的测量视场以内，并可进行直接测量。

本发明与现有技术相比的有益效果：本发明能快捷地调整被测件的位置，让被测光束或自准直光束进入微透镜阵列的测量视场内；并且被测件的调节方向，都是通过比较聚焦光斑和参照点之间的相对关系得来的，具有直观、简单、精准的特性，对使用人员的要求降低；本发明还能简便的对准被测件和哈特曼系统的光轴；经过粗对准和精对准后，避免了子孔径内的光斑发生整体偏移的情况，从而提高了测量精度；同时利用本发明的检测方法可以方便地进行正透镜，负透镜，凸镜，凹镜，平面镜等的检测，检测误差小；本发明中对所用的元件的规格要求低，价格便宜，容易购买。

## 附图说明

图 1 为原有哈特曼波前传感器的结构示意图；

图 2 为本发明利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器的结构示意图；

图 3 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器进行粗对准时的工作示意图；

图 4 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器进行精对准时的工作示意图；

图 5 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量正透镜面形的工作原理图；

图 6 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量负透镜面形的工作原理图；

图 7 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量凸面镜面形的工作原理图；

图 8 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量凹面镜面形的工作原理图；

图 9 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量平面镜面形的工作原理图；

图 10 为本发明的利用分光器件实现对准功能的哈特曼波前传感器测量激光光束质量的工作原理图。

图中：1. 光束匹配系统的前镜组（简称：前镜组），2. 光束匹配系统的后镜组（简称：后镜组），3. 分光镜，4. 微透镜阵列，5. 光电探测器，6. 测量光源系统，7. 标准平面镜，8. 平面镜，10. 凸面镜，11. 凹面镜，12. 正透镜，13. 负透镜，14. 标准球面镜，15. 附加透镜，16. 激光器，17. 光束匹配系统（前镜组 1 和后镜组 2 的合称），18. 外置激光器，C1. 粗对准探测系统，C2. 分光器件，C3. 带有中心孔的成像屏，J1. 精对准分光



镜, J2. 聚焦透镜, J3. 粗对准探测系统。

### 具体实施方式

哈特曼波前传感器在工作时, 需要首先标定系统本身的误差。

如图 1 所示, 在标定系统误差时, 由测量光源系统 6 发射的光束首先经过分光镜 3, 再经过光束匹配系统的前镜组 1、后镜组 2 后, 最终从系统中出射。经过标准平面镜 7 反射后返回系统内, 经过光束匹配系统、分光镜 3, 微透镜阵列 4 后, 成像于光电探测器 5 上。调节标准平面镜 7 的位置, 最终使光电探测器 5 上的光斑排布符合测量要求。但微透镜阵列 4 的面积约为  $1\text{ cm}^2$ , 相对于整体光路来说很小, 造成标准平面镜 7 可调节的范围较小, 调节难度很大。采用标准平面镜 7 标定之后, 再将被测件放置在系统中进行检测。

如图 2 所示, 本发明所述的哈特曼波前传感器和图 1 中相比, 增加了用于粗对准和精对准部分: 粗对准部分包括: 粗对准探测系统 C1、分光器件 C2、中心开孔的成像屏 C3; 精对准部分包括: 精对准分光镜 J1、聚焦透镜 J2、精对准探测系统 J3, 其中成像屏 C3 位于前镜组 1 的焦平面上; 分光器件 C2 可以是分光板或分光棱镜等, 位于前镜组 1 的一倍焦距之内, 起分割光束的作用; 粗对准探测系统 C1 能对整个成像屏 C3 成像。精对准时, 入射光穿过分光器件 C2、后镜组 2、分光镜 3、精对准分光镜 J1 后, 经聚焦透镜 J2 后汇聚到精对准探测系统 J3 上。

如图 3 所示, 粗对准时入射光束经前镜组 1、分光器件 C2 后聚焦到成像屏 C3 上, 粗对准探测系统 C1 能观察到整个成像屏 C3, 并将结果显示在监视器上; 通过观察聚焦光斑和成像屏 C3 中心孔的相对位置, 调整标准平面镜 7 的位置使二者重合。粗对准完成以后, 被测光束就能进入精对准的范围之内。

如图 4 所示, 在精对准时, 测量光源系统 6 发出的光先后经过精对准分光镜 J1、分光镜 3、分光器件 C2 后, 由前镜组 1 出射, 遇标准平面镜 7 后

返回，先后经过前镜组 1、分光器件 C2、后镜组 2、分光镜 3、精对准分光镜 J1 后，再经聚焦透镜 J2 成像于精对准探测系统 J3 上，通过计算入射光斑的质心位置，比较入射光斑的质心和事先标定点之间的相对位置关系，调整标准平面镜 7 的位置直至两点重合。此时已能保证光束进入微透镜阵列 4 的测量视场内，并且与系统严格同光轴。

利用本发明可以对被测件，包括正透镜、负透镜、凸镜、凹镜、平面镜进行面形检测，而且还可以对激光光束质量进行检测，其检测方法结合图 5 一图 10 进行叙述。

如图 5 所示，光束匹配系统 17 包括前镜组 1 和后镜组 2 两部分；在对正透镜进行面形检测时，进行以下四个步骤的调节：

(1) 把标准平面镜 7 放置在哈特曼波前传感器系统之前，即图中的虚线位置，根据图 3、图 4 所述调节标准平面镜 7 的位置，记录下各子孔径内的光斑在光电探测器 5 上的位置，作为标定点。

(2) 撤掉标准平面镜 7，把激光器 18 放置在哈特曼波前传感器系统之前，即图中的虚线位置，激光发出的细光束经前镜组 1，分光器件 C2 后聚焦到成像屏 C3，根据由粗探测系统 C1 看到的聚焦光斑和中心小孔的相对位置，调节激光器 18 的位置，使二者重合，而后再利用精对准部分，进一步调整激光器 18 的位置，使精对准探测系统 J3 上的聚焦光斑和标定点重合。此时激光器 18 发出的细光束已经和系统严格同光轴。

(3) 把正透镜 12 放置在激光器 18 和哈特曼系统之间，同样按步骤(2)所述，根据聚焦光斑的位置调节正透镜(12)的位置，使其与系统同光轴。

(4) 撤掉激光器 18 后，换上标准球面镜 14，由测量光源系统 6 出射的光束经正透镜 12 后，被标准球面镜 14 反射回哈特曼波前传感器系统内，仍然通过粗对准探测系统 C1、精对准探测系统 J3 上的光斑位置来调节标准球面镜 14 的位置，最后标准球面镜 14 将和系统同光轴，并且和正透镜 12 同焦点，记录下光电探测器 5 上各个子孔径内光斑的位置，联合标定点便可

以计算出入射波面。

如图 6 所示，光束匹配系统 17 包括前镜组 1 和后镜组 2 两部分；在对负透镜进行面形检测时，同样需要图 5 中的四个步骤，和对正透镜面形检测相比，差别只在于把正透镜 12 换成了负透镜 13。

如图 7 所示，光束匹配系统 17 包括前镜组 1 和后镜组 2 两部分；在对凸面镜进行面形检测时，须在哈特曼波前传感器的外面增加一个附加透镜 15，哈特曼系统出射的光经过附加透镜 15 后，成为发散或汇聚光束，这样就需要首先调节附加透镜 15 和系统同光轴。按照图 5 中步骤（2）所述的方法，首先调整外置激光器 18 发出的光束和系统同光轴；然后把附加透镜 15 放置在外置激光器 18 和哈特曼传感器系统之间，按照图 5 步骤（3）所述调节附加透镜 15 的位置，利用标准球面镜 14 替换掉外置激光器 18 后，按照图 5 步骤（4）调整好标准球面镜 14 的位置，并记录下光电探测器 5 上每个子孔径内光斑的位置作为标定点；最后用凸面镜 10 换掉标准球面镜 14，仍然利用粗对准和精度准部分，调节凸面镜 10 的位置，使其与系统同光轴，并且与附加透镜 15 同焦点，同时记录下光电探测器 5 上每个子孔径内光斑的位置，联合标定点便可以复原出波面。

如图 8 所示，光束匹配系统 17 包括前镜组 1 和后镜组 2 两部分；在对凹面镜进行面形检测时，测量前的步骤和图 7 所述的步骤是一样的，只是把凸面镜 10 换成了凹面镜 11。

如图 9 所示，光束匹配系统 17 包括前镜组 1 和后镜组 2 两部分；在对平面镜进行面形检测时，需要进行一下两个步骤地调节：

（1）把标准平面镜 7 放置在前述的哈特曼系统的前面，由测量光源系统 6 发出的光被标准平面镜 7 反射，根据对准探测系统 C1 观察到的反射聚焦光斑和成像屏上 C2 上小孔的相对位置，调节标准平面镜 7 的倾斜，使二者重合，此时标准平面镜 7 的粗调完成；进一步调节标准平面镜 7 的倾斜，使精对准探测系统 J3 上的聚焦光斑和事先标定点重合，此时对标准平面镜

7的调节完成；记录下各子孔径内的光斑在光电探测器5上的位置，作为标定点；

(2)把平面镜8放置在标准平面镜7和哈特曼系统之间，同样按照步骤(1)所述，通过精调和粗调两个步骤，根据聚焦光斑和小孔以及事先标定点之间的位置关系对平面镜8进行调节，最终使精对准探测系统J3上的聚焦光斑和事先标定点重合；记录下各子孔径内的光斑在光电探测器5上的位置，联合标定点便可以重构出波面。

如图10所示，光束匹配系统17包括前镜组1和后镜组2两部分；在对激光光束质量进行检测时，首先需要把标准平面镜7放置在哈特曼系统的前面，同样按照图5步骤(1)所述调节标准平面镜7的倾斜，最终使精对准探测系统J3上的聚焦光斑事先标定点重合；记录下各个子孔径内的光斑位置作为标定点；然后用激光器16代替标准平面镜7，同样按照图5步骤(2)所述调节激光器16的位置，让激光光束和系统同光轴，记录下各个子孔径内的光斑位置，联合标定点便可以复原出波面。

按图5~10所述完成对准测量后，通过以下步骤来复原波面。首先采用离散质心算法，由式(1)计算光斑位置 $(x_i, y_i)$ ，

$$x_i = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x_{nm} I_{nm}}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}} \quad y_i = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{nm} I_{nm}}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}} \quad (1)$$

式中， $m=1\sim M, n=1\sim N$ 为子孔径映射到探测器靶面上对应的像素区域， $I_{nm}$ 是探测器靶面上第 $(n, m)$ 个像素接收到的信号， $x_{nm}, y_{nm}$ 分别为第 $(n, m)$ 个像素的 $x$ 坐标和 $y$ 坐标。

利用在标定时刻和测量时刻得到的子孔径内的两组光斑位置，可以得到波前在每个子孔径上的平均斜率：

$$g_{x_i} = \frac{\Delta x}{2\pi\lambda f} = \frac{x_i - x_o}{2\pi\lambda f} \quad g_{y_i} = \frac{\Delta y}{2\pi\lambda f} = \frac{y_i - y_o}{2\pi\lambda f}$$

---

式中， $(x_0, y_0)$  为用标准平面波标定时，每个子孔径上获得的光斑中心基准位置，利用由上式计算得到的每个子孔径上被测波面的斜率值，然后再通过模式法或区域法来复原波前。

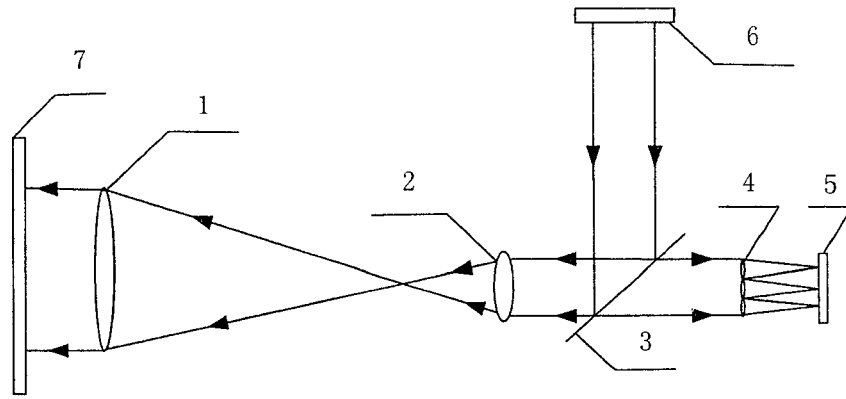


图1

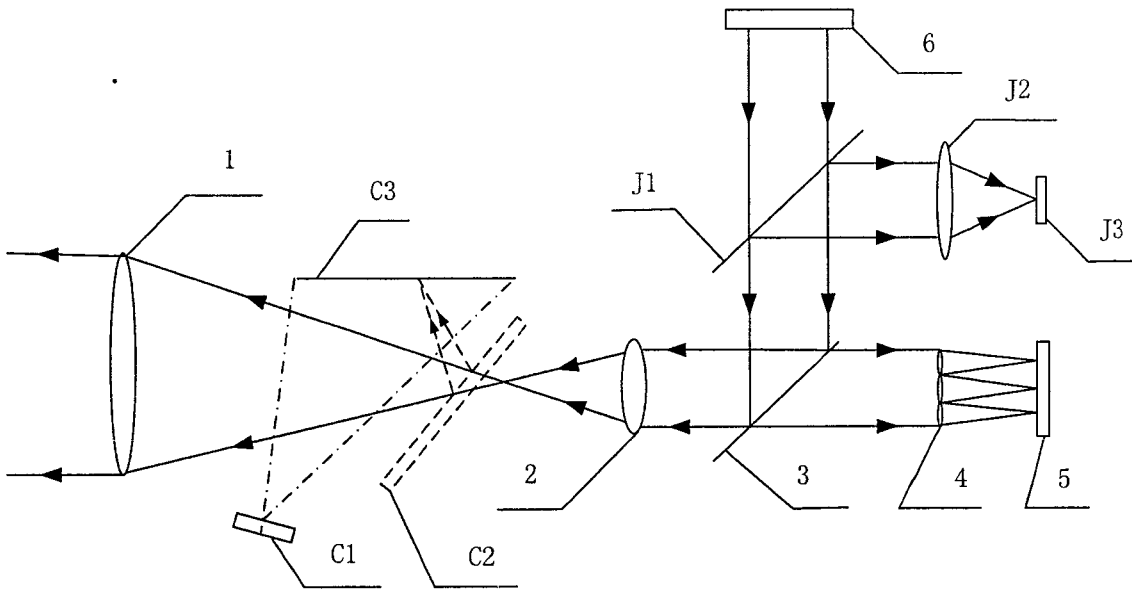


图2

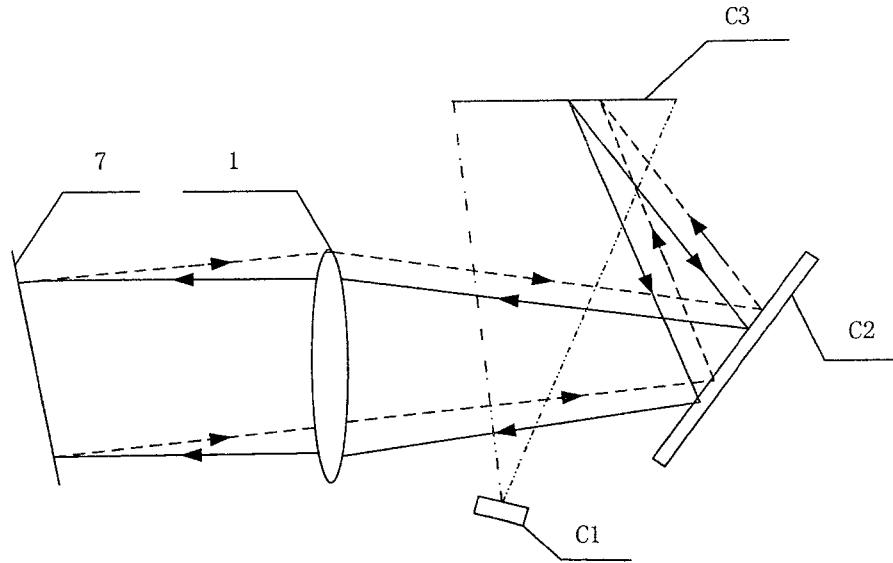


图3

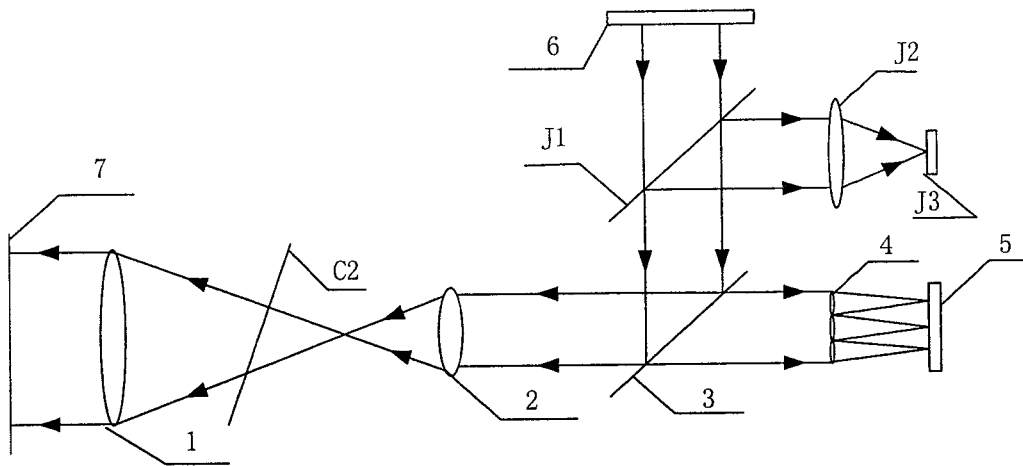


图4

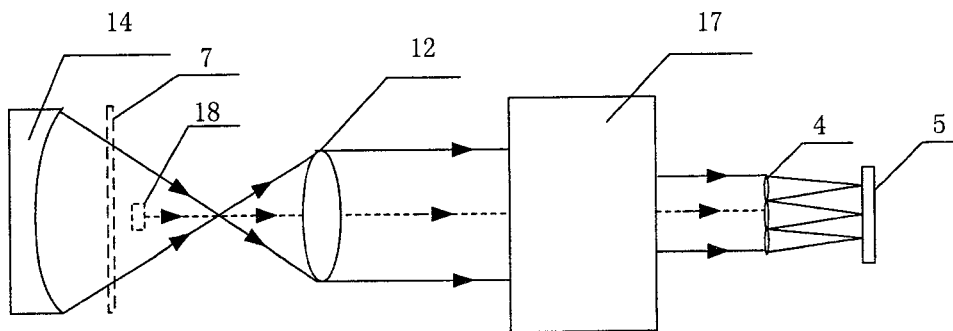
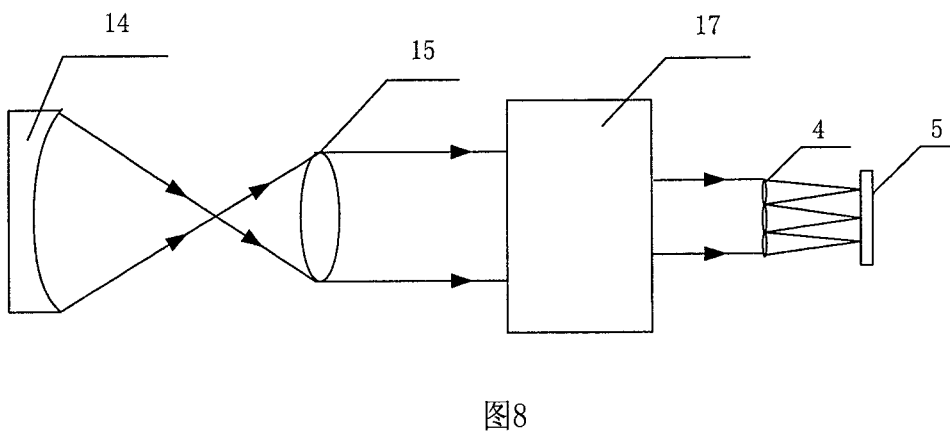
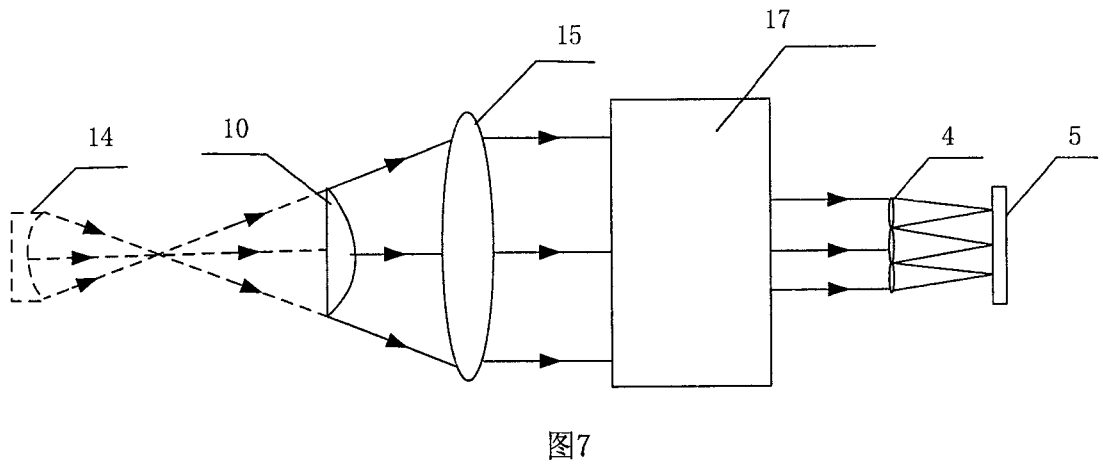
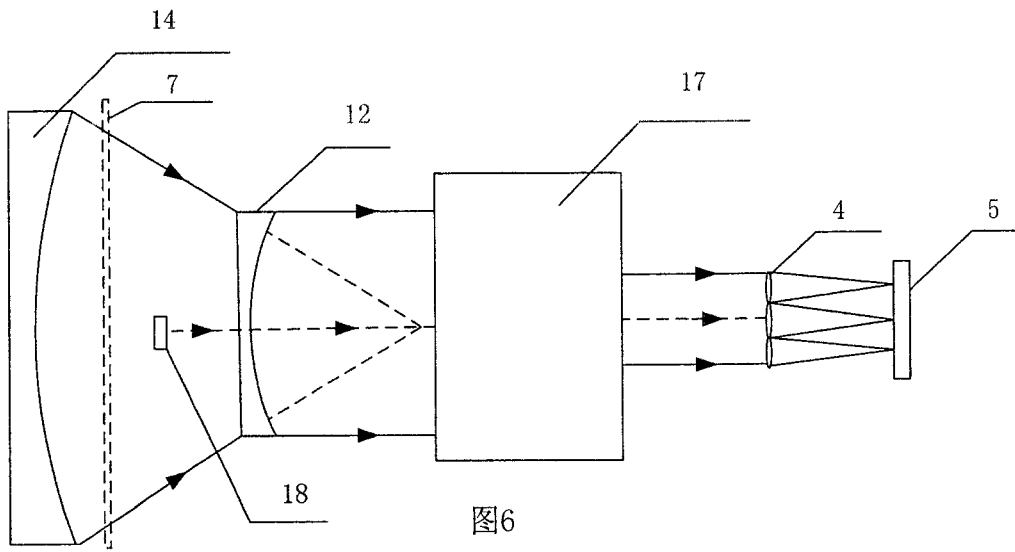


图5





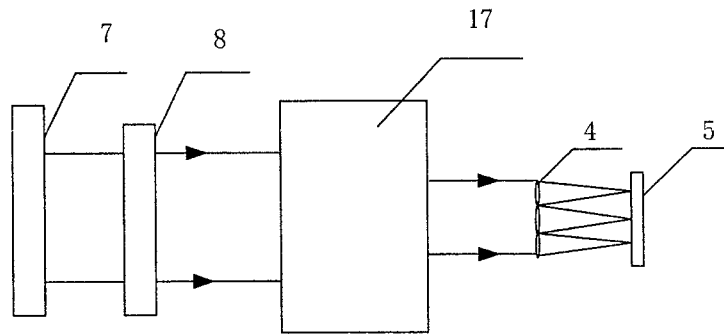


图9

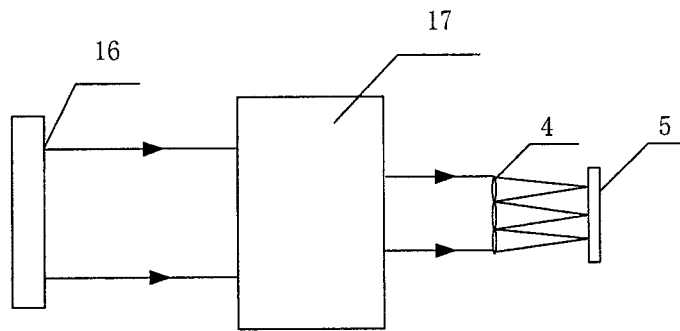


图10