



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105674875 B

(45)授权公告日 2018.08.28

(21)申请号 201610006912.9

G01B 11/24(2006.01)

(22)申请日 2016.01.05

审查员 熊洁

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105674875 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 中国科学院光电研究院

地址 100080 北京市海淀区中关村东路95号

(72)发明人 张文喜 李杨 相里斌 伍洲

孔新新 吕笑宇 刘志刚 郭晓丽

(74)专利代理机构 北京凯特来知识产权代理有限公司 11260

代理人 郑立明 郑哲

(51)Int.Cl.

G01B 9/02(2006.01)

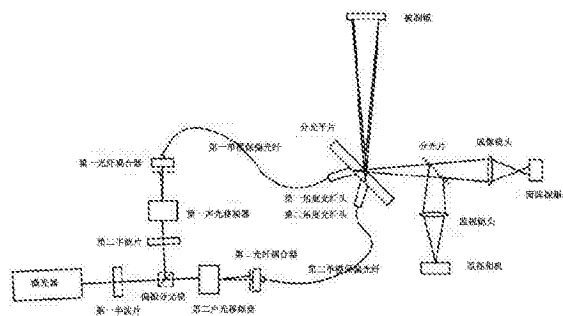
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种全视场低频外差点衍射干涉仪

(57)摘要

本发明公开了一种全视场低频外差点衍射干涉仪,采用声光移频器外差干涉移相,有效避免干涉仪存在运动件,测量精度进一步提高,抗干扰性好,且研制难度与成本可以降低,相比机械驱动同样的优势更明显。同时,采用两根光纤分别产生测量光与参考光,而不是用出射光的一部分,结合了光纤点衍射光容易获得,灵活调整的优点,相比典型的光纤点衍射干涉仪系统,又可以提高测量数值孔径范围。此外,采用研磨角度的光纤头与分光平片相胶合的方式实现点衍射测量光与参考光的合束,合束由半透半反平片的外侧面实现,避免了会聚光斑的波前受到衍射孔边缘的干扰,且容易实现,成本低廉。



1. 一种全视场低频外差点衍射干涉仪,其特征在于,包括:激光器、第一与第二半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

所述激光器出射的激光经过第一半波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;

其中一束光依次通过第二半波片、第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图;

所述第一与第二单模保偏光纤的出头均为角度为*i*的端面,且与所述分光平面胶合在一起;

设角度为*i*的端面射出的光束方向与分光平面成45°,则:

$$i = \arcsin(\sin 45^\circ / n) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{2n}\right);$$

其中,*n*表示分光平面的折射率。

2. 根据权利要求1所述的一种全视场低频外差点衍射干涉仪,其特征在于,还包括:分光片、监视镜头与监视相机;

所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间,用于分束出一部分重合后的光束,再经监视镜头射入监视相机。

3. 根据权利要求1所述的一种全视场低频外差点衍射干涉仪,其特征在于,面阵探测器上一点采集的随时间*t*变化的干涉信号*S(t)*表示为:

$$S(t) = 2E + 2E \cos\left[2\pi(v_1 - v_2)t + 2\pi \times \frac{2\pi v_1(L+R)}{c}\right];$$

其中,*E*表示两束光的光强,*v*₁与*v*₂分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率,*R*为被测镜粗糙的起伏量,*c*为光速,*L*为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

4. 一种全视场低频外差点衍射干涉仪,其特征在于,包括:激光器、半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

所述激光器出射的激光经过波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;

其中一束光依次通过第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图;

所述第一与第二单模保偏光纤的出头互相垂直且分开一定距离放置并与所述分光平

片贴近；

所述的分光平片为超薄分光平片，其厚度小于1mm。

5. 根据权利要求4所述的一种全视场低频外差点衍射干涉仪，其特征在于，还包括：分光片、监视镜头与监视相机；

所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间，用于分束出一部分重合后的光束，再经监视镜头射入监视相机。

6. 根据权利要求4所述的一种全视场低频外差点衍射干涉仪，其特征在于，面阵探测器上一点采集的随时间t变化的干涉信号S(t)表示为：

$$S(t) = 2E + 2E \cos\left[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t + 2 \times \frac{2\pi\nu_1(L+R)}{c}\right];$$

其中，E表示两束光的光强， ν_1 与 ν_2 分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率，R为被测镜粗糙的起伏量，c为光速，L为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

一种全视场低频外差点衍射干涉仪

技术领域

[0001] 本发明涉及光学成像技术领域,尤其涉及一种全视场低频外差点衍射干涉仪。

背景技术

[0002] 以深紫外光刻机投影曝光系统为代表的高端光学设备,对光学元件的加工、光学系统的集成提出了极大挑战。干涉仪作为高精度光学元件加工和光学系统集成不可或缺的核心检测设备,检测精度要求不断提高。

[0003] 传统光学加工中采用的光学面形检测方法包括哈特曼传感器法、刀口法和轮廓法等。这些方法分别存在着非数字化需主观判读或接触损伤待测件等不同的缺点,且很难达到较高的测量精度,是简单测量方法。

[0004] 干涉检测法早在百年前就已经被使用,属于非接触式测量,且具有大量程、高灵敏度、高精度等特点,在高精度检测时被广泛应用,其原理是一束光照射标准的参考平面作为参考光,另一束光照射被测面返回带有面形信息作为测量光,两束光干涉时由于光斑不同位置相位不同产生光程差从而产生弯曲的干涉条纹,即可判断待测面的面形起伏。直到1974年Bruning等人提出移相干涉技术,把通讯理论中同步相位探测技术引入到光学干涉术中,使得干涉检测球面面形的精度大大提高。其基本原理是经过四步或多步移动待测元件,以改变测试波和参考波之间的位相差,光强也随之改变,从而得到一系列的方程。最后,通过求解方程组得到待测元件(或系统)的位相值。移相干涉技术已经相当成熟,在光学检测领域具有不可替代的地位。

[0005] 高精度干涉检测方法的发展按干涉仪结构与特点可以分为:泰曼-格林型干涉仪、斐索型干涉仪和点衍射干涉仪等。

[0006] 传统球面干涉检测法都是利用一个具有较高面形精度的参考球面获得所需参考波面,进而与含有待测面形信息的检测波面进行比较,由此得到待测面形数据。因而标准镜上参考面的面形精度直接限制了传统干涉系统所能实现的检测精度,而点衍射干涉仪(Point Diffraction Interferometer,简称PDI)的出现和发展很好地解决了该问题。点衍射球面干涉检测技术的基本思想是利用点衍射原理来获取理想的球面波,并将衍射波前的一部分作为参考波前,另一部分作为检测波前,进而可实现球面面形的高精度检测。利用点衍射原理获得理想球面波前,避免了传统干涉检测系统中由于标准镜面形误差对于系统检测精度的限制,因而可以达到衍射极限性能的分辨率,并使得检测精度具有较好的再现性。按照点衍射波前的获取方式不同,可将点衍射球面干涉检测法分为光纤点衍射干涉检测法和针孔点衍射干涉检测法。

[0007] 典型的光纤点衍射干涉系统如图1所示,其利用光纤产生点衍射光,由短相干光源发出的光分为两束后分别经角锥镜反射后合束耦合进入光纤,一束光作为测量光另一束作为参考光,参考光的角锥镜由压电陶瓷驱动进行机械移相。从光纤另一端出射的光锥一部分照向被测镜,返回后聚焦在光纤端面反射,与出射光锥的另一部分重合干涉,形成干涉图,由于光源相干长度短,通过前端的光程匹配,测量光自身无法与从被测镜返回的光干

涉,就避免的串扰。干涉图通过机械移相后分别记录,从而可以解算出被测镜的面型。然而,由于采用高精度的机械移动作为移相方法,因此精度仍不够高,成本高,研制难度大,尤其对大口径面形的测量,精密机械驱动精度降低,测量精度也随之降低;另外,采用光纤出射光锥的一部分作为测量光,所以可测量的镜面数值孔径范围受到较大限制。

[0008] 典型的针孔点衍射干涉系统如图2所示,其利用微小针孔作为点衍射孔产生高精度参考光,也是取用出射光锥的一部分作为测量光照射被测镜面,在小孔处镀半透半反膜,聚焦的光回到小孔后经反射与光锥另一部分重合干涉,使用压电陶瓷推动被测镜面进行机械移相测量。然而,压电驱动的机械移相不适用大口径的被测目标镜,压电陶瓷难精确驱动质量很大的物体;另外,被测镜面会聚的光斑如果较大,则返回到小孔处容易受到小孔边缘衍射的干扰,改变波前相位分布,降低测量精度,且微小的衍射小孔制作工艺复杂,成本高。

发明内容

[0009] 本发明的目的是提供一种全视场低频外差点衍射干涉仪,具有较高的测量精度,且抗干扰性能较好;同时,其研制难度与成本较低,尤其对于大口径面形的测量,相比机械驱动同样的优势更明显。

[0010] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0011] 一种全视场低频外差点衍射干涉仪,包括:激光器、第一与第二半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

[0012] 所述激光器出射的激光经过第一半波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;

[0013] 其中一束光依次通过第二半波片、第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

[0014] 另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

[0015] 重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图。

[0016] 进一步的,还包括:分光片、监视镜头与监视相机;

[0017] 所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间,用于分束出一部分重合后的光束,再经监视镜头射入监视相机。

[0018] 进一步的,所述第一与第二单模保偏光纤的出头均为角度为*i*的端面,且与所述分光平面胶合在一起;

[0019] 设角度为*i*的端面射出的光束方向与分光平面成45°,则:

$$[0020] \quad i = \arcsin(\sin 45^\circ / n) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{2n}\right);$$

[0021] 其中,*n*表示分光平面的折射率。

[0022] 进一步的,面阵探测器上一点采集的随时间*t*变化的干涉信号*S(t)*表示为:

$$[0023] \quad S(t) = 2E + 2E \cos[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t + 2 \times \frac{2\pi\nu_1(L+R)}{c}];$$

[0024] 其中,E表示两束光的光强, v_1 与 v_2 分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率,R为被测镜粗糙的起伏量,c为光速,L为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

[0025] 一种全视场低频外差点衍射干涉仪,包括:激光器、半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

[0026] 所述激光器出射的激光经过波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;

[0027] 其中一束光依次通过第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

[0028] 另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

[0029] 重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图。

[0030] 进一步的,还包括:分光片、监视镜头与监视相机;

[0031] 所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间,用于分束出一部分重合后的光束,再经监视镜头射入监视相机。

[0032] 进一步的,所述第一与第二单模保偏光纤的出头互相垂直且分开一定距离放置并与所述分光平片贴近;

[0033] 所述的分光平片为超薄分光平片,其厚度小于1mm。

[0034] 进一步的,面阵探测器上一点采集的随时间t变化的干涉信号S(t)表示为:

$$[0035] \quad S(t) = 2E + 2E \cos\left[2\pi(v_1 - v_2)t + 2\pi \times \frac{2\pi v_1(L+R)}{c}\right];$$

[0036] 其中,E表示两束光的光强, v_1 与 v_2 分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率,R为被测镜粗糙的起伏量,c为光速,L为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

[0037] 由上述本发明提供的技术方案可以看出,采用声光移频器外差干涉移相,有效避免干涉仪存在运动件,测量精度进一步提高,抗干扰性好,且研制难度与成本可以降低,相比机械驱动同样的优势更明显。另外,采用低频差外差干涉与面阵探测器进行全视场连续采集,获得的信息量更丰富,更有利于精确解算相位;对大口径、长焦距曲面反射镜的面型测量,由于测量光程长,特别容易受到震动、气流等因素干扰,本发明采用的全视场低频外差干涉仪方案具有抑制震动、气流等因素干扰的能力,结合本发明设计的光路,特别适合于大口径、长焦距曲面反射镜的面型的动态测量。同时,采用两根光纤分别产生测量光与参考光,而不是用出射光的一部分,结合了光纤点衍射光容易获得,灵活调整的优点,相比典型的光纤点衍射干涉仪系统,又可以提高测量数值孔径范围。此外,采用研磨角度的光纤头与分光平片相胶合的方式实现点衍射测量光与参考光的合束,合束由半透半反平片的外侧面实现,避免了会聚光斑的波前受到衍射孔边缘的干扰,且容易实现,成本低廉。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用

的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域的普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他附图。

- [0039] 图1为本发明背景技术提供的典型的光纤点衍射干涉系统示意图;
- [0040] 图2为本发明背景技术提供的典型的针孔点衍射干涉系统示意图;
- [0041] 图3为本发明实施例提供的一种全视场低频外差点衍射干涉仪的结构示意图;
- [0042] 图4为本发明实施例提供的面阵探测器采集的信号形式示意图;
- [0043] 图5为本发明实施例提供的另一种全视场低频外差点衍射干涉仪的结构示意图。

具体实施方式

[0044] 下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0045] 图3为本发明实施例提供的一种全视场低频外差点衍射干涉仪的结构示意图。如图3所示,其主要包括:

[0046] 一种全视场低频外差点衍射干涉仪,其特征在于,包括:激光器、第一与第二半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

[0047] 所述激光器出射的激光经过第一半波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;同时,通过旋转第一半波片可以任意调整两束光的分光比;

[0048] 其中一束光依次通过第二半波片、第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

[0049] 另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

[0050] 重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图。

[0051] 进一步的,还包括:分光片、监视镜头与监视相机;

[0052] 所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间,用于分束出一部分重合后的光束,再经监视镜头射入监视相机;用来辅助光路与干涉图的调整。

[0053] 进一步的,所述第一与第二单模保偏光纤的出头均为角度为*i*的端面(如图1中的第一与第二角度光纤头),且与所述分光平面胶合在一起;

[0054] 设角度为*i*的端面射出的光束方向与分光平面成45°,则:

$$[0055] \quad i = \arcsin(\sin 45^\circ / n) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{2n}\right);$$

[0056] 其中,*n*表示分光平面的折射率。

[0057] 本发明实施例中,第一与第二声光移频器可以改变激光频率,两个声光移频器的移频量不同,差频可以为几赫兹或几十赫兹量级的低差频,阵探测器相机采用数十或数百赫兹量级采样频率,因此可以准确探测外差的拍频信号。面阵探测器上一点采集的随时间*t*

变化的干涉信号 $S(t)$ 表示为:

$$[0058] \quad S(t) = 2E + 2E \cos[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t + 2 \times \frac{2\pi\nu_1(L+R)}{c}];$$

[0059] 其中, E 表示两束光的光强, ν_1 与 ν_2 分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率, R 为被测镜粗糙的起伏量, c 为光速, L 为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

[0060] 由于拍频的存在,干涉条纹会以 $\nu_1 - \nu_2$ 的频率扫描起来,面阵探测器的一点对应待测面上的一个点,探测器相机连续采集一组面阵照片,即为一组数据立方,对应相同每一点的值抽取出来为一余弦周期信号,即为 $S(t)$ 的形式,如图4所示。由信号形式可以看出,不同点由于粗糙起伏的 R 值不同,造成相机上对应点探测的信号相位不同。利用傅里叶分析或其它数据处理方法可解算每点出信号的相位,合成起来进行去噪、相位解缠解、面型复原等计算后即可得到待测表面的起伏量,即实现了全视场外差对面型的测量。

[0061] 针对现有技术几乎都采用机械驱动进行移相,达到高精度难度大,抗扰性差的确定,本发明上述方案采用声光移频器外差干涉移相,有效避免干涉仪存在运动件,测量精度进一步提高,抗干扰性好,且研制难度与成本可以降低。相比机械驱动同样的优势更明显。

[0062] 此外,采用低频差外差干涉与面阵探测器进行全视场连续采集,获得的信息量更丰富,更有利于精确解算相位。对大口径、长焦距曲面反射镜的面型测量,由于测量光程长,特别容易受到震动、气流等因素干扰,本发明采用的全视场低频外差干涉仪方案具有抑制震动、气流等因素干扰的能力,结合本发明设计的光路,特别适合于大口径、长焦距曲面反射镜的面型的动态测量。

[0063] 同时,采用两根光纤分别产生测量光与参考光,而不是用出射光的一部分,结合了光纤点衍射光容易获得,灵活调整的优点,相比典型的光纤点衍射干涉仪系统,又可以提高测量数值孔径范围。

[0064] 另外,采用研磨角度的光纤头与分光平片相胶合的方式实现点衍射测量光与参考光的合束,合束由半透半反平片的外侧面实现,避免了会聚光斑的波前受到衍射孔边缘的干扰。且容易实现,成本低廉。

[0065] 本发明实施例还提供一种全视场低频外差点衍射干涉仪,如图5所示,其主要包括:激光器、半波片、偏振分光镜、第一与第二声光移频器、第一与第二光纤耦合镜、第一与第二单模保偏光纤、分光平片、成像镜头、面阵探测器;其中:

[0066] 所述激光器出射的激光经过波片与偏振分光镜分为偏振方向相互垂直的两束光;

[0067] 其中一束光依次通过第一声光移频器、第一光纤耦合镜及第一单模保偏光纤进入分光平片,并作为参考光射向成像镜头;

[0068] 另一束光次通过第二声光移频器、第二光纤耦合镜及第二单模保偏光纤进入分光平片,并作为测量光照向被测镜;射入被测镜的测量光被被测镜发射至分光平片,再经分光平片反射垂直发散向另一方向与参考光重合;

[0069] 重合后的两束光产生干涉,经成像镜头后在面阵探测器上获得干涉图。

[0070] 进一步的,其还包括:分光片、监视镜头与监视相机;

[0071] 所述分光片设置在分光平片与成像镜头之间,用于分束出一部分重合后的光束,再经监视镜头射入监视相机。

[0072] 本发明实施例中,所述第一与第二单模保偏光纤的出头互相垂直且分开一定距离放置并与所述分光平片贴近(如图5所示的第一光纤头与第二光纤头);所述的分光平片为超薄分光平片,其厚度小于1mm。基于这种结构可使测量光经超薄分光平片反射的光可以避免参考光光纤端面而不产生杂光串扰。

[0073] 另外,面阵探测器上一点采集的随时间 t 变化的干涉信号 $S(t)$ 表示为:

$$[0074] \quad S(t) = 2E + 2E \cos\left[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t + 2 \times \frac{2\pi\nu_1(L+R)}{c}\right];$$

[0075] 其中, E 表示两束光的光强, ν_1 与 ν_2 分别表示经过第一与第二声光移频器调频后的光束频率, R 为被测镜粗糙的起伏量, c 为光速, L 为测量光往被测镜表面时相对于参考光多走的光程。

[0076] 本发明实施例提供的全视场低频外差点衍射干涉仪与前述实施例的全视场低频外差点衍射干涉仪原理基本一致,具体的可参见前文的描述,此处不再赘述。

[0077] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明披露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

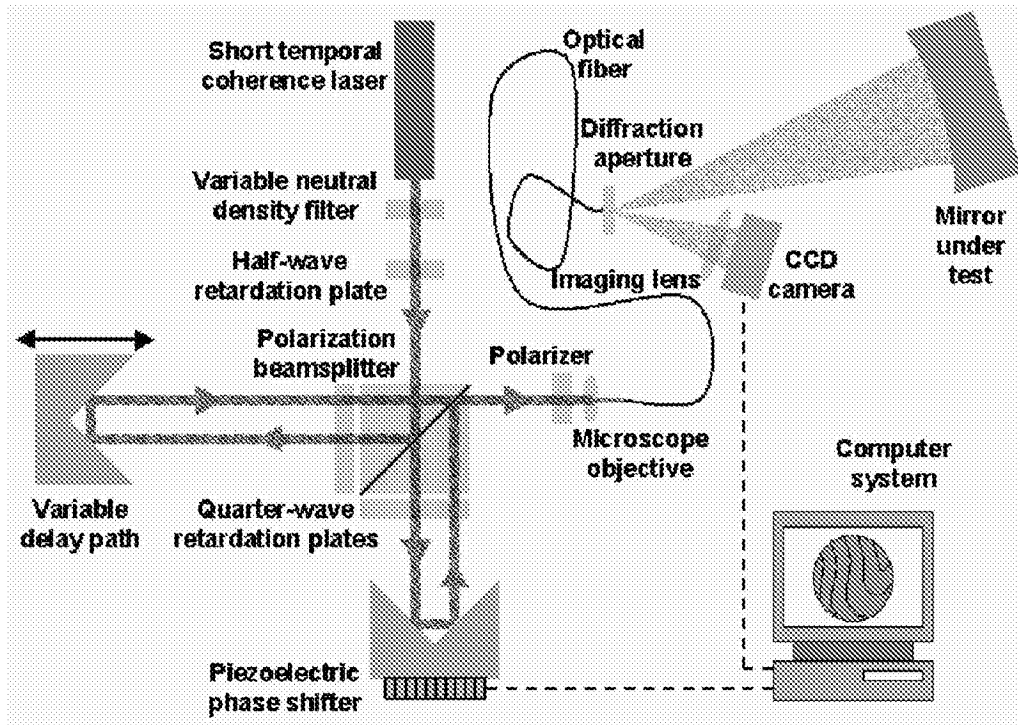


图1

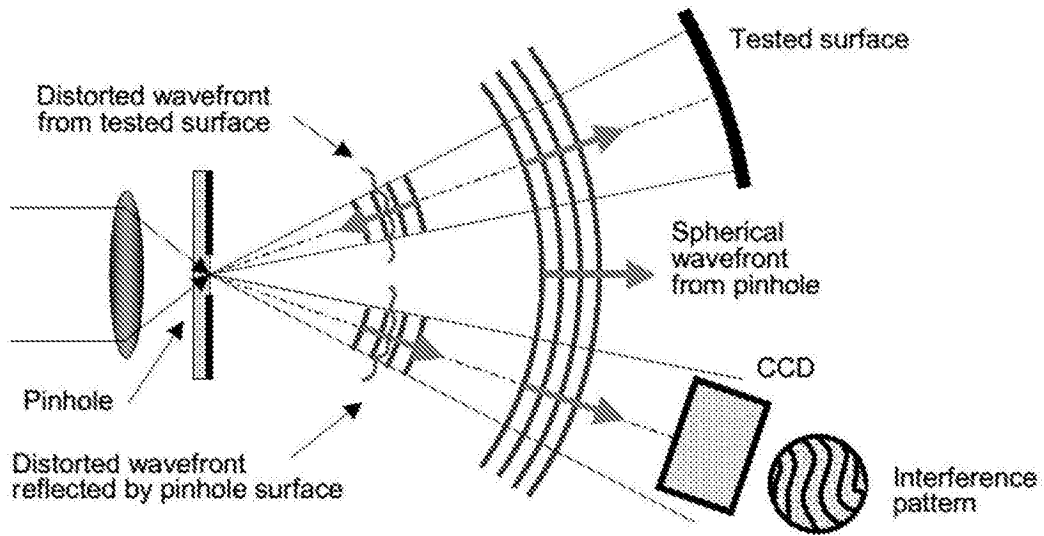


图2

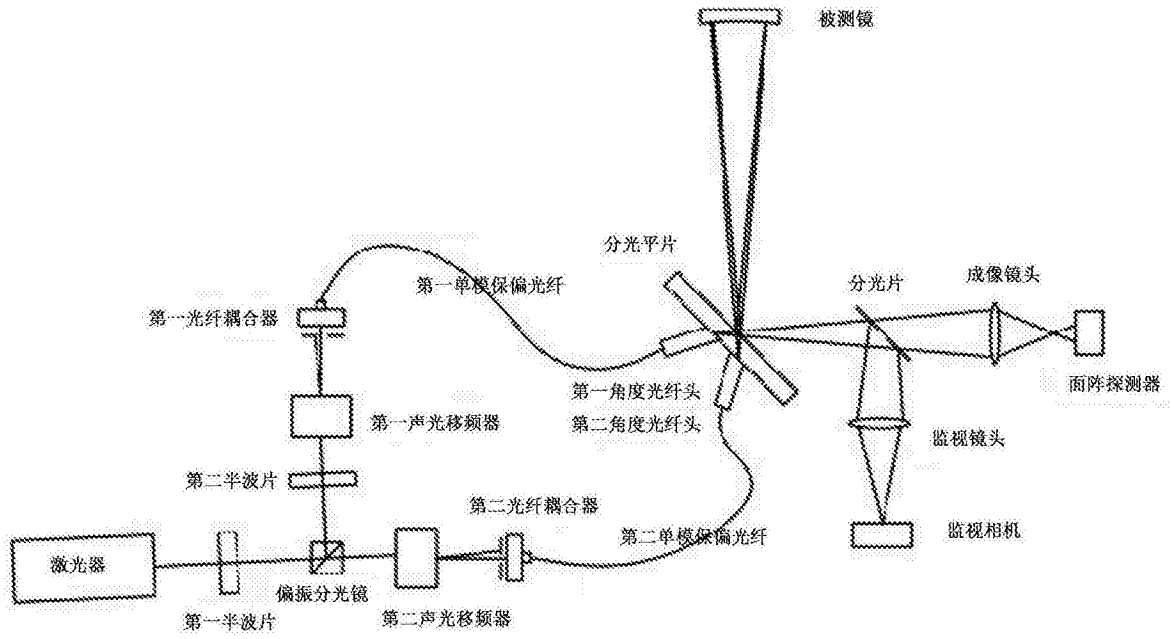


图3

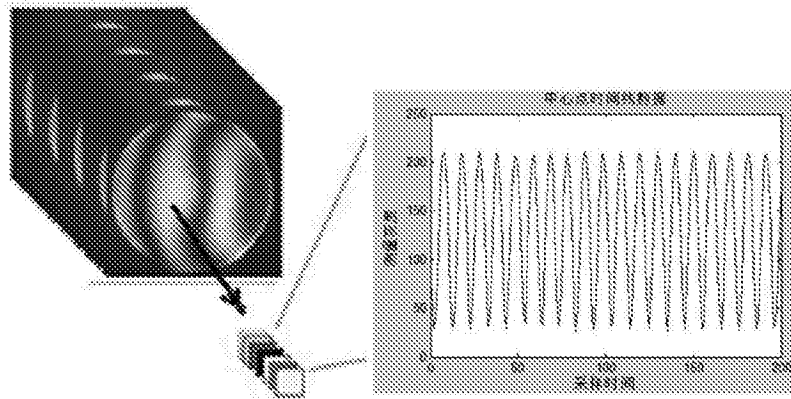


图4

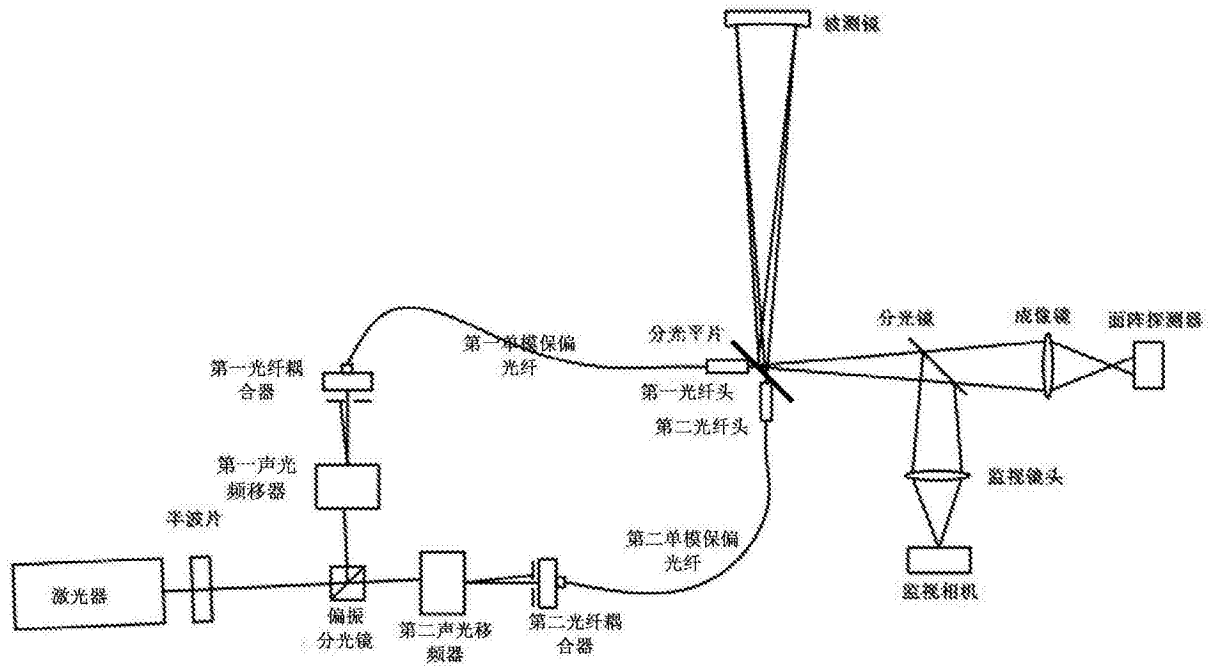


图5