



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112484648 B

(45) 授权公告日 2022.06.10

(21) 申请号 202011297064.4

(22) 申请日 2020.11.18

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112484648 A

(43) 申请公布日 2021.03.12

(73) 专利权人 北京华卓精科科技股份有限公司  
地址 100176 北京市大兴区北京经济技术  
开发区科创十街19号院2号楼2层(北  
京自贸试验区高端产业片区亦庄组  
团)

(72) 发明人 孙国华 程朝奎 郭升莉

(74) 专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限  
公司 11327  
专利代理师 王迎 袁文婷

(51) Int.Cl.

G01B 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111679441 A, 2020.09.18

CN 106289068 A, 2017.01.04

CN 110456533 A, 2019.11.15

CN 209148138 U, 2019.07.23

CN 105698702 A, 2016.06.22

US 2003197869 A1, 2003.10.23

审查员 杨敏

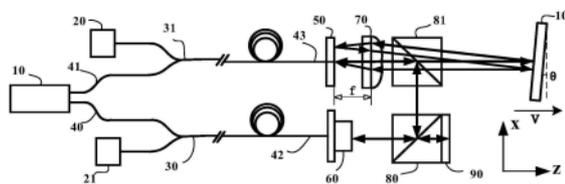
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

## (54) 发明名称

外差光纤干涉仪位移测量系统及方法

## (57) 摘要

本发明提供一种外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,其中的系统包括同时发射测量光和参考光的激光光源组件、基于第一单模光纤依次设置在测量光的光路上的第一光电探测器、第一光纤耦合器、光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜和反射装置,以及基于第二单模光纤依次设置在参考光的光路上的第二光电探测器、第二光纤耦合器、准直器、第二偏振分光棱镜和反射装置;其中,待测物体固定在反射装置上;对参考光和测量光进行处理,形成测量信号及参考信号,并根据测量信号及参考信号确定待测物体的位移信息。利用上述发明能够实现高精度的位移检测。



1. 一种外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,包括同时发射测量光和参考光的激光光源组件、基于第一单模光纤依次设置在所述测量光的光路上的第一光电探测器、第一光纤耦合器、光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜和第一反射装置,以及基于第二单模光纤依次设置在所述参考光的光路上的第二光电探测器、第二光纤耦合器、准直器、第二偏振分光棱镜和第二反射装置;其中,待测物体固定在所述第一反射装置上;

所述测量光依次通过所述光纤套圈、所述平凸透镜、所述第一偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经所述第一反射装置、所述第一偏振分光棱镜、所述平凸透镜、所述光纤套圈和所述第一单模光纤反馈至所述第一光纤耦合器处,同时另一束光经所述第二偏振分光棱镜、所述准直器和所述第二单模光纤反馈至所述第二光纤耦合器处;

所述参考光依次通过所述准直器、所述第二偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经所述第二反射装置、所述第二偏振分光棱镜、所述准直器和所述第二单模光纤反馈至所述第二光纤耦合器处,同时另一束光经所述第一偏振分光棱镜、所述平凸透镜和所述第一单模光纤反馈至所述第一光纤耦合器处;

所述第一光纤耦合器将处理后的测量光和参考光耦合至所述第一光电探测器处,以形成测量信号;所述第二光纤耦合器将处理后的参考光和测量光耦合至所述第二光电探测器处,以形成参考信号;

根据所述测量信号及所述参考信号确定所述待测物体的位移信息。

2. 如权利要求1所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述激光光源组件包括单频激光器、与所述单频激光器连接的光纤分束器,以及与所述光纤分束器连接的第一声光调制器和第二声光调制器;其中,

所述单频激光器发射的光束经所述光纤分束器后形成两束光,其中一束光经所述第一声光调制器移频处理后,形成所述测量光,另一束光经所述第二声光调制器移频处理后,形成所述参考光。

3. 如权利要求1所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述激光光源组件包括第一激光发射器和第二激光发射器;

所述第一激光发射器发射所述测量光,所述第二激光发射器发射与所述测量光频率相同的所述参考光。

4. 如权利要求1所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述参考光通过所述第二单模光纤后经所述准直器处理,形成偏振角度为 $45^\circ$ 的第一线偏振光;

所述第一线偏振光经所述第二偏振分光棱镜,形成第一P光和第一S光;所述第一P光投射至所述第二反射装置,并返回至所述准直器和所述第二单模光纤;

所述第一S光反射至所述第一偏振分光棱镜后,经所述平凸透镜汇聚至所述第一单模光纤。

5. 如权利要求4所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述测量光通过所述第一单模光纤后,通过所述平凸透镜形成偏振角度为 $45^\circ$ 的第二线偏振光;

所述第二线偏振光经所述第一偏振分光棱镜后,形成第二P光和第二S光;所述第二S光反射至所述第二偏振分光棱镜后,通过所述准直器进入所述第二单模光纤;

所述第二P光投射后的第一光束(1.1)到达所述第一反射装置,反射的第二光束(1.2)经所述平凸透镜后打在所述光纤套圈端面上并反射至所述平凸透镜,再次通过所述平凸透镜后的第三光束(1.3)与所述第二光束(1.2)平行,所述第三光束(1.3)经所述第一反射装置的反射后的第四光束(1.4)与所述第一光束(1.1)平行;

所述第四光束(1.4)通过所述平凸透镜后汇聚至所述第一单模光纤中。

6.如权利要求5所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

进入所述第一单模光纤的所述第四光束(1.4)和所述第一S光传输至所述第一光纤耦合器,并通过所述第一光纤耦合器耦合至所述第一光电探测器,所述第一光电探测器根据处理后的测量光和参考光形成所述测量信号;

进入所述第二单模光纤的所述第二S光和所述第一P光传输至所述第二光纤耦合器,并通过所述第二光纤耦合器耦合至所述第二光电探测器,所述第二光电探测器根据处理后的测量光和参考光形成所述参考信号。

7.如权利要求1所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述第一反射装置的位移信息的表示公式如下:

$$\Delta z = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_2)}{2\pi \times 2(1 + \frac{1}{\cos\theta})}$$

其中, $\Delta z$ 表示所述位移信息, $\lambda$ 表示光束在空气中的波长, $\varphi_1$ 表示所述测量信号鉴相后的相位, $\varphi_2$ 表示所述参考信号鉴相后的相位, $\theta$ 为所述第一反射装置相对y轴方向的安装角。

8.如权利要求7所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述参考信号鉴相后的相位基于所述第一单模光纤和第二单模光纤的扰动误差形成;通过作差法去除所述扰动误差。

9.如权利要求1所述的外差光纤干涉仪位移测量系统,其特征在于,

所述第一反射装置为反射镜或者光栅。

10.一种外差光纤干涉仪位移测量方法,其特征在于,利用如权利要求1至9任一项所述的外差光纤干涉仪位移测量系统对待测物体进行位移测量;其中,所述方法包括:

通过激光光源组件发射测量光和参考光;

所述测量光依次通过所述光纤套圈、所述平凸透镜、所述第一偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经所述第一反射装置、所述第一偏振分光棱镜、所述平凸透镜、所述光纤套圈和所述第一单模光纤反馈至所述第一光纤耦合器处,同时另一束光经所述第二偏振分光棱镜、所述准直器和所述第二单模光纤反馈至所述第二光纤耦合器处;

同时,所述参考光依次通过所述准直器、所述第二偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经所述第二反射装置、所述第二偏振分光棱镜、所述准直器和所述第二单模光纤反馈至所述第二光纤耦合器处,同时另一束光经所述第一偏振分光棱镜、所述平凸透镜和所述第一单模光纤反馈至所述第一光纤耦合器处;

根据所述测量信号及所述参考信号确定所述待测物体的位移信息。

## 外差光纤干涉仪位移测量系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及精密位移测量技术领域,更为具体地,涉及一种外差光纤干涉仪位移测量系统及方法。

### 背景技术

[0002] 精密测量是精密加工的基础,尤其对于IC装备,纳米级甚至亚纳米级的分辨率成为精密测量的标准和要求,目前是激光干涉仪和光栅干涉仪作为精密测量的研究对象,对其分辨率的要求也越来越高。现有的商用干涉仪,例如光纤耦合的干涉仪,虽然能够实现纳米级精度以及更广的应用范围。但在实际测量过程中,死程误差、热漂移误差以及光纤传输误差,均会使干涉仪的测量精度明显下降。

[0003] 此外,在实际位移测量过程,由于物体运动引起等因素还会引起光栅或者反射镜产生微小转角,这样会使得回光的信号质量变差,引入误差。解决转角的方法是利用光学元件将有夹角的光束变为平行光束,但仍然存在光斑分离的情况。由于光斑分离,在大行程测量的使用场景,光斑的尺寸需要增大。相较于小光斑,大光斑不仅使得测量转角范围小,而且光束的波前质量会更差。

[0004] 针对上述问题,专利US6020964A、专利US6980279B2均采用角锥棱镜进行回光,使得进入角锥棱镜的光与出射的光平行,即使振动等环境因素引起反射镜微小转角时,也能保证最后返回的光与入射的光平行,但是这样使得干涉仪的结构整体较大,并且在测量行程太大时会产生光斑分离的情况。专利US6897962B2发布了一种八倍细分的干涉仪,虽然会产生光斑分离,但通过加大光斑可以使得两光斑在测量行程中始终有重叠区域。但是,大光斑也同时存在一定的问题,例如当空气扰动时,会使得空气折射率不稳定,从而光斑的波前变得紊乱,信号的质量变差,且死程和温漂的误差也会变大。

### 发明内容

[0005] 鉴于上述问题,本发明的目的是提供一种外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,以解决目前的干涉测量仪存在的体积大、检测质量差、准确度低等问题。

[0006] 本发明提供的外差光纤干涉仪位移测量系统,包括同时发射测量光和参考光的激光光源组件、基于第一单模光纤依次设置在测量光的光路上的第一光电探测器、第一光纤耦合器、光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜和第一反射装置,以及基于第二单模光纤依次设置在参考光的光路上的第二光电探测器、第二光纤耦合器、准直器、第二偏振分光棱镜和第二反射装置;其中,待测物体固定在第一反射装置上;测量光依次通过光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经第一反射装置、第一偏振分光棱镜、平凸透镜、光纤套圈和第一单模光纤反馈至第一光纤耦合器处,同时另一束光经第二偏振分光棱镜、准直器和第二单模光纤反馈至第二光纤耦合器处;参考光依次通过准直器、第二偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经第二反射装置、第二偏振分光棱镜、准直器和第二单模光纤反馈至第二光纤耦合器处,同时另一束光经第一偏振分光棱镜、平凸透镜和第一单模

光纤反馈至第一光纤耦合器处；第一光纤耦合器将处理后的测量光和参考光耦合至第一光电探测器处，以形成测量信号；第二光纤耦合器将处理后的参考光和测量光耦合至第二光电探测器处，以形成参考信号；根据测量信号及参考信号确定待测物体的位移信息。

[0007] 此外，优选的技术方案是，激光光源组件包括单频激光器、与单频激光器连接的光纤分束器，以及与光纤分束器连接的第一声光调制器和第二声光调制器；其中，单频激光器发射的光束经光纤分束器后形成两束光，其中一束光经第一声光调制器移频处理后，形成测量光，另一束光经第二声光调制器移频处理后，形成参考光。

[0008] 此外，优选的技术方案是，激光光源组件包括第一激光发射器和第二激光发射器；第一激光发射器发射测量光，第二激光发射器发射与测量光频率相同的参考光。

[0009] 此外，优选的技术方案是，参考光通过第二单模光纤后经准直器处理，形成偏振角度为45°的第一线偏振光；第一线偏振光经第二偏振分光棱镜，形成第一P光和第一S光；第一P光投射至第二反射装置，并返回至准直器和第二单模光纤；第一S光反射至第一偏振分光棱镜后，经平凸透镜汇聚至第一单模光纤。

[0010] 此外，优选的技术方案是，测量光通过第一单模光纤后，通过平凸透镜形成偏振角度为45度的第二线偏振光；第二线偏振光经第一偏振分光棱镜后，形成第二P光和第二S光；第二S光反射至第二偏振分光棱镜后，通过准直镜进入第二单模光纤；第二P光投射后的光束(1.1)到达第一反射装置，反射的光束(1.2)经平凸透镜后打在光纤套圈端面上并反射至平凸透镜，再次通过平凸透镜后的光束(1.3)与光束(1.2)平行，光束(1.3)经第一反射装置反射后的光束(1.4)与光束(1.1)平行；光束(1.4)通过平凸透镜后汇聚至第一单模光纤中。

[0011] 此外，优选的技术方案是，进入第一单模光纤的光束(1.4)和第一S光传输至第一光纤耦合器，并通过第一光纤耦合器耦合至第一光电探测器，第一光电探测器根据处理后的测量光和参考光形成测量信号；进入第二单模光纤的第二S光和第一P光传输至第二光纤耦合器，并通过第二光纤耦合器耦合至第二光电探测器，第二光电探测器根据处理后的测量光和参考光形成参考信号。

[0012] 此外，优选的技术方案是，第一反射装置的位移信息的表示公式如下：

$$[0013] \quad \Delta z = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_2)}{2\pi \times 2(1 + \frac{1}{\cos \theta})}$$

[0014] 其中， $\Delta z$ 表示位移信息， $\lambda$ 表示光束在空气中的波长， $\varphi_1$ 表示测量信号鉴相后的相位， $\varphi_2$ 表示参考信号鉴相后的相位， $\theta$ 为第一反射装置相对y轴方向的安装角。

[0015] 此外，优选的技术方案是，参考信号鉴相后的相位基于第一单模光纤和第二单模光纤的扰动误差形成；通过作差法去除扰动误差。

[0016] 此外，优选的技术方案是，第一反射装置为反射镜或者光栅。

[0017] 根据本发明另一方面，提供一种外差光纤干涉仪位移测量方法，利用上述外差光纤干涉仪位移测量系统对待测物体进行位移测量；其中，方法包括：测量光依次通过光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜后形成两束光，一束光经第一反射装置、第一偏振分光棱镜、平凸透镜、光纤套圈和第一单模光纤反馈至第一光纤耦合器处，同时另一束光经第二偏振分光棱镜、准直器和第二单模光纤反馈至第二光纤耦合器处；参考光依次通过准直器、第二偏振分光棱镜后形成两束光，一束光经第二反射装置、第二偏振分光棱镜、准直器和第二

单模光纤反馈至第二光纤耦合器处,同时另一束光经第一偏振分光棱镜、平凸透镜和第一单模光纤反馈至第一光纤耦合器处;第一光纤耦合器将处理后的测量光和参考光耦合至第一光电探测器处,以形成测量信号;第二光纤耦合器将处理后的参考光和测量光耦合至第二光电探测器处,以形成参考信号;根据测量信号及参考信号确定待测物体的位移信息。

[0018] 利用上述外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,具有对环境不敏感、测量精度高、体积小、质量轻,转角测量范围大,测量行程大等优点,可提高光刻机超精密工件台位置测量系统的综合性能。

[0019] 为了实现上述以及相关目的,本发明的一个或多个方面包括后面将详细说明的特征。下面的说明以及附图详细说明了本发明的某些示例性方面。然而,这些方面指示的仅仅是可使用本发明的原理的各种方式中的一些方式。此外,本发明旨在包括所有这些方面以及它们的等同物。

## 附图说明

[0020] 通过参考以下结合附图的说明,并且随着对本发明的更全面理解,本发明的其它目的及结果将更加明白及易于理解。在附图中:

[0021] 图1为根据本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统的逻辑图;

[0022] 图2为根据本发明实施例的激光光源组件的结构示意图;

[0023] 图3为根据本发明实施例的测量光的光路示意图;

[0024] 图4为根据本发明实施例的参考光的光路示意图;

[0025] 图5为根据本发明实施例的转角消除示意图;

[0026] 图6为根据本发明实施例的光栅示意图;

[0027] 图7为根据本发明实施例的零差干涉仪结构示意图;

[0028] 图8为根据本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量方法的流程示意图。

[0029] 其中的附图标记包括:激光光源组件10、单频激光器10.1、光纤分束器10.2、第一声光调制器10.3、第二声光调制器10.4、第一光电探测器20、第二光电探测器21、第一光纤耦合器31、第二光纤耦合器30、第一单模光纤41、第一单模光纤43、包层43.2、光纤纤芯43.1、第二单模光纤40、第二单模光纤42、光纤套圈50、准直器60、平凸透镜70、第一偏振分光棱镜81、第二偏振分光棱镜80、第二反射装置90、第一反射装置100、光栅110、波长调制器120。

[0030] 在所有附图中相同的标号指示相似或相应的特征或功能。

## 具体实施方式

[0031] 在下面的描述中,出于说明的目的,为了提供对一个或多个实施例的全面理解,阐述了许多具体细节。然而,很明显,也可以在没有这些具体细节的情况下实现这些实施例。在其它例子中,为了便于描述一个或多个实施例,公知的结构和设备以方框图的形式示出。

[0032] 为详细描述本发明的外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,以下将结合附图对本发明的具体实施例进行详细描述。

[0033] 图1示出了根据本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统的逻辑。

[0034] 如图1所示,本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统,包括能够同时发射测

量光和参考光的激光光源组件10、基于第一单模光纤(41,43)依次设置在测量光的光路上的第一光电探测器20、第一光纤耦合器31、光纤套圈50、平凸透镜70、第一偏振分光棱镜81和第一反射装置100,以及基于第二单模光纤(40,42)依次设置在参考光的光路上的第二光电探测器21、第二光纤耦合器30、准直器60、第二偏振分光棱镜80和第二反射装置90;其中,待测物体固定在第一反射装置100上。

[0035] 其中,测量光依次通过光纤套圈50、平凸透镜70、第一偏振分光棱镜81后形成两束光,一束光经第一反射装置100、第一偏振分光棱镜81、平凸透镜70、光纤套圈50和第一单模光纤(41,43)反馈至第一光纤耦合器31处,同时另一束光经第二偏振分光棱镜80、准直器60和第二单模光纤(40,42)反馈至第二光纤耦合器30处。其中,平凸透镜70与光纤套圈50端面之间的距离为平凸透镜70的焦距 $f$ 。

[0036] 其中,参考光依次通过准直器60、第二偏振分光棱镜80后形成两束光,一束光经第二反射装置90、第二偏振分光棱镜80、准直器60和第二单模光纤(40,42)反馈至第二光纤耦合器30处,同时另一束光经第一偏振分光棱镜81、平凸透镜70和第一单模光纤(41,43)反馈至第一光纤耦合器31处。

[0037] 第一光纤耦合器31将处理后的测量光和参考光耦合至第一光电探测器20处,以形成测量信号;第二光纤耦合器30将处理后的参考光和测量光耦合至第二光电探测器21处,以形成参考信号;最后,根据测量信号及参考信号确定待测物体的位移信息。

[0038] 图2示出了根据本发明实施例的激光光源组件的示意结构。

[0039] 如图1和图2共同所示,本发明实施例的激光光源组件10包括单频激光器10.1、光纤分束器10.2、第一声光调制器10.3、第二声光调制器10.4;其中,光纤分束器10.2与单频激光器10.1连接,第一声光调制器10.3和第二声光调制器10.4均与光纤分束器10.2连接;其中,单频激光器10.1发射的光束经光纤分束器10.2后形成两束光,其中一束光经第一声光调制器10.3移频处理后,形成测量光,经第一单模光纤41传输;另一束光经第二声光调制器10.4移频处理后,形成参考光,经第二单模光纤40传输。

[0040] 此外,激光光源组件10并不限于图2所示具体结构,例如也可以将激光光源组件设置为包括第一激光发射器和第二激光发射器;第一激光发射器用于发射测量光,第二激光发射器用于发射与测量光频率相同的参考光。即将激光光源组件改变为能够同时发出同频的两束光的装置,然后利用波长调制可实现两束光的正交检测鉴相,此时本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统就可以适用于零差干涉仪测量系统中。

[0041] 图3示出了根据本发明实施例的测量光的示意光路。

[0042] 如图3所示,在本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统中,参考光通过第二单模光纤后经准直器60处理,形成偏振角度为 $45^\circ$ 的第一线偏振光;该第一线偏振光经第二偏振分光棱镜80处理,形成第一P光和第一S光;第一P光透射至第二反射装置90,然后经第二反射装置90返回至准直器60,再耦合进第二单模光纤中;第一S光反射至第一偏振分光棱镜81后,再次经平凸透镜70汇聚至第一单模光纤(汇聚至图5中的光纤纤芯43.1,进入第一单模光纤)。

[0043] 图4示出了根据本发明实施例的参考光的示意光路。

[0044] 如图4所示,在本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统中,测量光通过第一单模光纤后,通过平凸透镜70形成偏振角度为 $45^\circ$ 的第二线偏振光;第二线偏振光经第一

偏振分光棱镜81后,形成第二P光和第二S光;第二S光反射至第二偏振分光棱镜80后,通过准直镜进入第二单模光纤;第二P光投射后的光束1.1到达第一反射装置100,反射的光束1.2经平凸透镜70后打在光纤套圈50端面上并反射至平凸透镜70,再次通过平凸透镜70后的光束1.3与光束1.2平行,光束1.3经第一反射装置100反射后的光束1.4与光束1.1平行;光束1.4通过平凸透镜70后汇聚至第一单模光纤中(汇聚至图5中的光纤纤芯43.1,进入第一单模光纤)。

[0045] 进一步地,进入第一单模光纤的光束1.4和第一S光传输至第一光纤耦合器31,并通过第一光纤耦合器31耦合至第一光电探测器20,第一光电探测器20根据处理后的测量光和参考光形成测量信号;进入第二单模光纤的第二S光和第一P光传输至第二光纤耦合器30,并通过第二光纤耦合器30耦合至第二光电探测器21,第二光电探测器21根据处理后的测量光和参考光形成参考信号。

[0046] 图5示出了根据本发明实施例的光纤套圈的安装以及转交消除示意结构。

[0047] 如图5所示,在本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量系统中,光纤套圈50为特殊加工的零件,沿A方向可知光纤套圈50设置为圆环状,其端面镀有反射膜,安装在第一单模光纤43端头,第一单模光纤43包括包层43.2和光纤纤芯43.1,光纤套圈50的内孔与第一单模光纤的包层43.2相贴合,且光纤套筒50的端面安装在平凸透镜70的焦平面上;由测量光的光路可知,第二P光透过第一偏振分光棱镜81后,光束1.1经第一反射装置100反射后的光束1.2,在经过平凸透镜70后打在光纤套圈50的端面,即焦平面上的某点,反射光在经过平凸透镜70的光束1.3与光束1.2平行,再经过第一反射装置100,光束1.4与光束1.1平行,光束1.4再经过平凸透镜70会汇聚到发出光束1.1的那个位置,即光纤纤芯43.1处,当安装角度 $\theta$ 有 $\pm \Delta \theta$ 的变化时,始终保证回光束能够回到光纤纤芯43.1中。

[0048] 可知,上述安装角度主要指第一反射装置100与y轴方向(竖直方向)的夹角,由于待检测物体固定在第一反射装置100上,对第一反射装置100的角度调整即可实现对待检测物体的位置调整。

[0049] 结合图1至图5共同所示,第一反射装置100随待检测物体做一维运动,且保持一个固定的安装角度 $\theta$ 。当物体运动带动第一反射装置100运动时,由多普勒效应光束1.4中引入与位移相关的相移 $\alpha_1$ ,由于第一单模光纤43扰动会引入误差相移 $\alpha_2$ ,第二单模光纤42引入误差相移 $\alpha_3$ 。由图1-图3可知,进入第一单模光纤43的测量光和参考光传输至第一光纤耦合器31,然后通过第一光纤传输至第一光电探测器20形成测量信号,进入第二单模光纤42的测量光和参考光传输至第二光纤耦合器30,然后通过第二光纤传输至第二光电探测器21形成参考信号。

[0050] 其中,测量信号鉴相的结果为 $\varphi_1 = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3$ ,参考信号鉴相的结果为 $\varphi_2 = \alpha_2 - \alpha_3$ ,由此,最后待检测物体的位移,即第一反射装置的位移信息的表示公式如下:

$$[0051] \quad \Delta z = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_2)}{2\pi \times 2(1 + \frac{1}{\cos \theta})}$$

[0052] 其中, $\Delta z$ 表示位移信息, $\lambda$ 表示光束在空气中的波长, $\varphi_1$ 表示测量信号鉴相后的相

位,  $\varphi_2$ 表示参考信号鉴相后的相位,  $\theta$ 为第一反射装置相对y轴方向的安装角。此外,由于参考信号鉴相后的相位是基于第二单模光纤的扰动误差形成的,该扰动误差可通过作差法进行去除。

[0053] 可知,本发明提供的外差光纤干涉仪位移测量系统能够解决由于待检测物体的转角引入的光斑分离和条纹对比度衰减的问题,由于光斑分离的情况会使得测量光斑需要一定的尺寸,本发明不存在光斑分离的情况,从而能够实现更小的光斑尺寸测量,从而由于空气扰动引入的误差也会变小。

[0054] 在本发明的一个具体实施方式中,由于第一反射装置100的安装需要保持一个固定的角度 $\theta$ ,以保证光束1.2能够打在光纤套圈上,当该角度 $\theta$ 趋于零时,光束1.2会直接汇聚至第一单模光纤43上,使得外差光纤干涉仪位移测量系统由四细分变为二细分,此时,系统不再具备消除转角引起的光斑分离的性质;因此,可通过四细分的测量结果来判断角度 $\theta$ 是否合适。

[0055] 此外,第一反射装置100可采用反射镜或者光栅,在以上实施例,第一反射装置均以反射镜为例进行阐述,可知,当第一反射装置为光栅时,也能够达到位移测量的效果。

[0056] 图6示出了根据本发明实施例的将第一反射装置替换成光栅的示意结构。

[0057] 如图6所示,在本发明的外差光线干涉仪位移测量系统中,第一反射装置100采用光栅110来衍射回光;此外,当入射光垂直光栅110平面时,0级衍射光原路返回,当入射光以利特罗角 $\beta$ 入射光栅110,+1或者-1衍射光会原路返回。其中,利特罗角 $\beta = \arcsin(\lambda/2p)$ ,  $\lambda$ 是激光波长, $p$ 是光栅的栅距。第一种形式,将光栅110转一定角度 $\theta$ ,光束1.5入射到光栅110后,0级衍射光束1.6返回。第二种形式,将光栅110转一定角度 $\theta + \beta$ ,光束1.7入射到光栅110后,+1级或者-1级衍射光束1.8返回。

[0058] 可知,本发明的外差光纤干涉仪位移测量系统也可适用于光栅干涉仪。

[0059] 图7示出了根据本发明实施例的零差干涉仪的示意结构。

[0060] 如图7所示,将激光光源组件10中的声光调制器10.3和10.4去掉,测量光和参考光是相同频率的线偏振光。整个测量系统可以变为零差干涉仪测量系统,但在鉴相检测上,需要在第一反射装置100前增加一个波长调制器120,用调制测量光的相位,可实现正交鉴相。

[0061] 与上述外差光纤干涉仪位移测量系统相对应,本发明还提供一种外差光纤干涉仪位移测量方法,利用上述外差光纤干涉仪位移测量系统对待测物体进行位移测量。

[0062] 图8示出了根据本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量方法的流程。

[0063] 如图8所示,本发明实施例的外差光纤干涉仪位移测量方法,包括:

[0064] 通过激光光源组件发射测量光和参考光;

[0065] 测量光依次通过光纤套圈、平凸透镜、第一偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经第一反射装置、第一偏振分光棱镜、平凸透镜、光纤套圈和第一单模光纤反馈至第一光纤耦合器处,同时另一束光经第二偏振分光棱镜、准直器和第二单模光纤反馈至第二光纤耦合器处;同时,

[0066] 参考光依次通过准直器、第二偏振分光棱镜后形成两束光,一束光经第二反射装置、第二偏振分光棱镜、准直器和第二单模光纤反馈至第二光纤耦合器处,同时另一束光经第一偏振分光棱镜、平凸透镜和第一单模光纤反馈至第一光纤耦合器处;第一光纤耦合器将处理后的测量光和参考光耦合至第一光电探测器处,以形成测量信号;第二光纤耦合器

将处理后的参考光和测量光耦合至第二光电探测器处,以形成参考信号;

[0067] 根据测量信号及参考信号确定待测物体的位移信息。

[0068] 需要说明的是,本发明的外差光纤干涉仪位移测量方法的实施例,可参考外差光纤干涉仪位移测量系统实施例中的描述,此处不再一一赘述。

[0069] 根据本发明提供的外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,利用特殊加工的光纤头套圈,实现四细分测量,利用平凸透镜,将二次反射的光耦合到单模光纤中,实现消除待测物体转动以及光斑分离对测量的影响。相比常规加大光斑尺寸来消除待测物体的转角的影响,该测量系统的小光斑具有更小的死程误差,减小空气扰动对测量光波前的影响。此外,通过设置参考轴,可以补偿光纤扰动误差,利用光纤传输和少量光学元件,使得测量系统具有更小的体积和更广的应用场景。

[0070] 可知,本发明的外差光纤干涉仪位移测量系统及方法具有对环境不敏感、测量精度高、体积小、质量轻,转角测量范围大、位移测量行程大等优点,当其作为光刻机超精密工件台位置测量系统时,可提升工件台的综合性能。

[0071] 如上参照附图以示例的方式描述根据本发明的外差光纤干涉仪位移测量系统及方法。但是,本领域技术人员应当理解,对于上述本发明所提出的外差光纤干涉仪位移测量系统及方法,还可以在不脱离本发明内容的基础上做出各种改进。因此,本发明的保护范围应当由所附的权利要求书的内容确定。

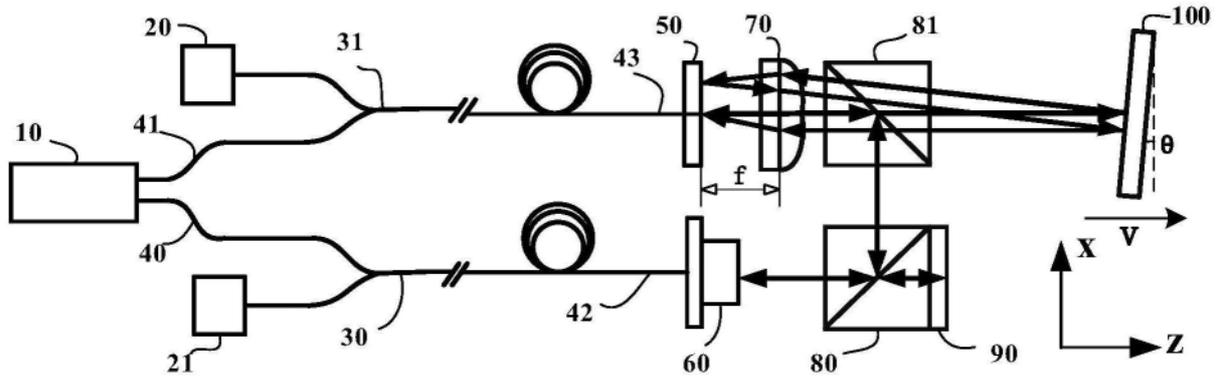


图1

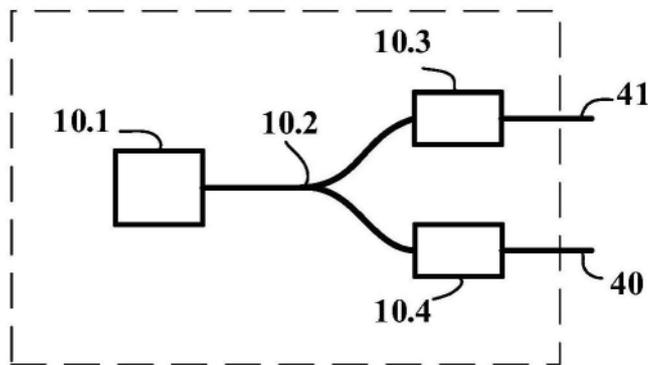


图2

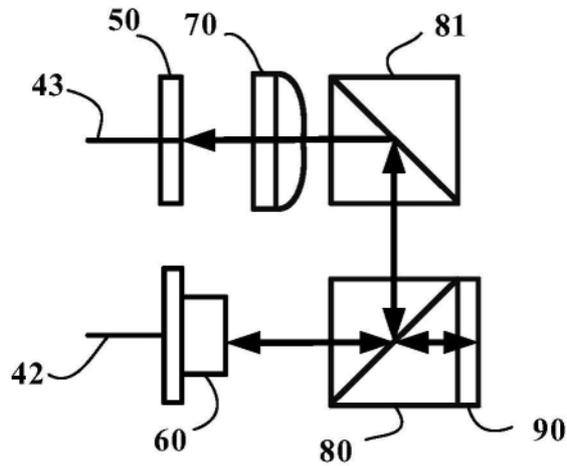


图3

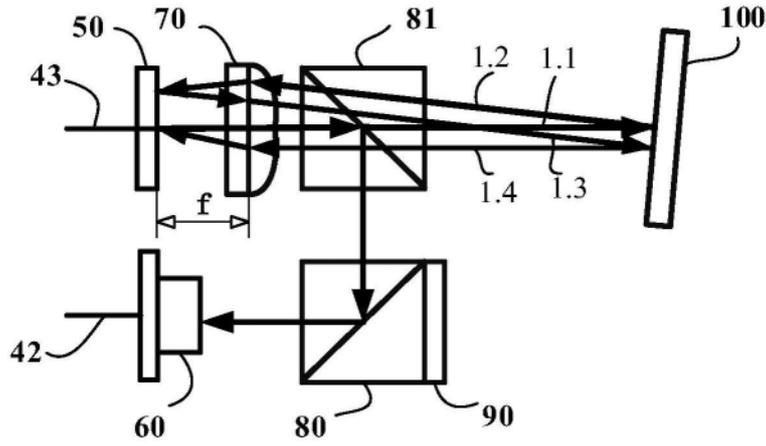


图4

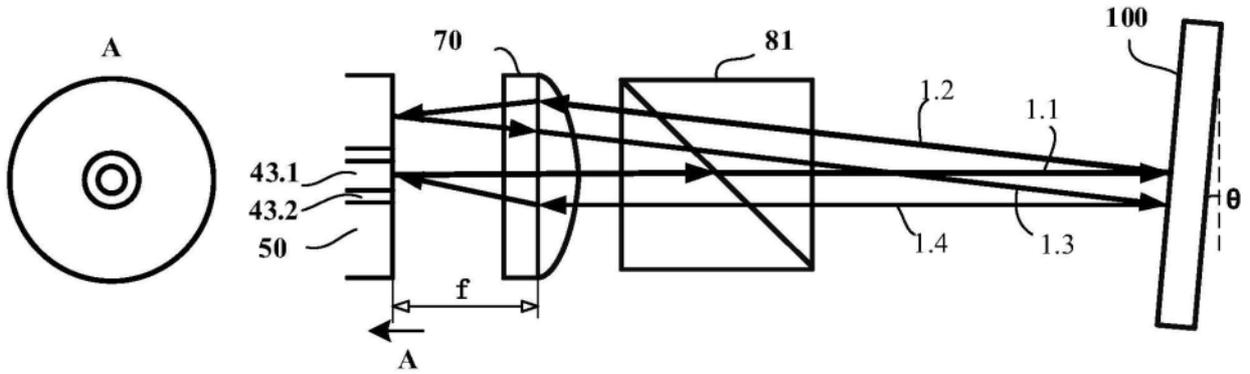


图5

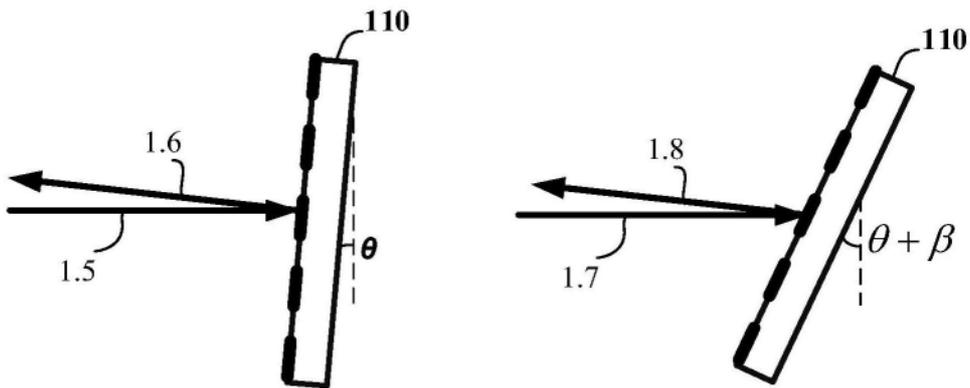


图6

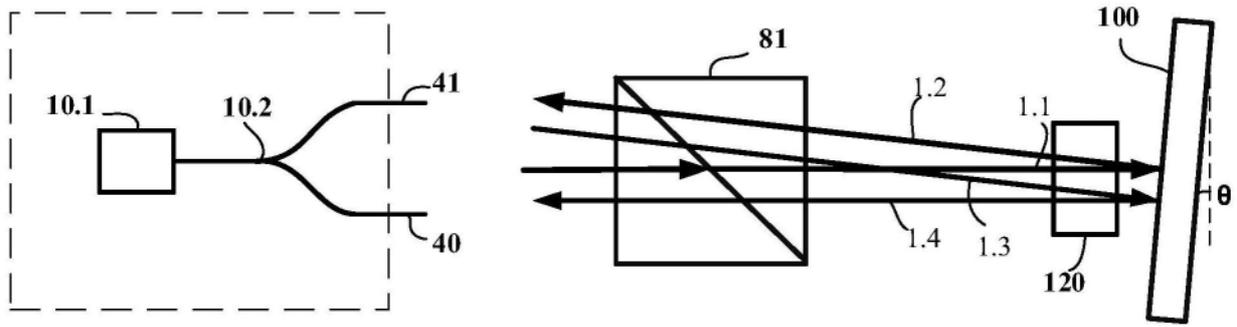


图7

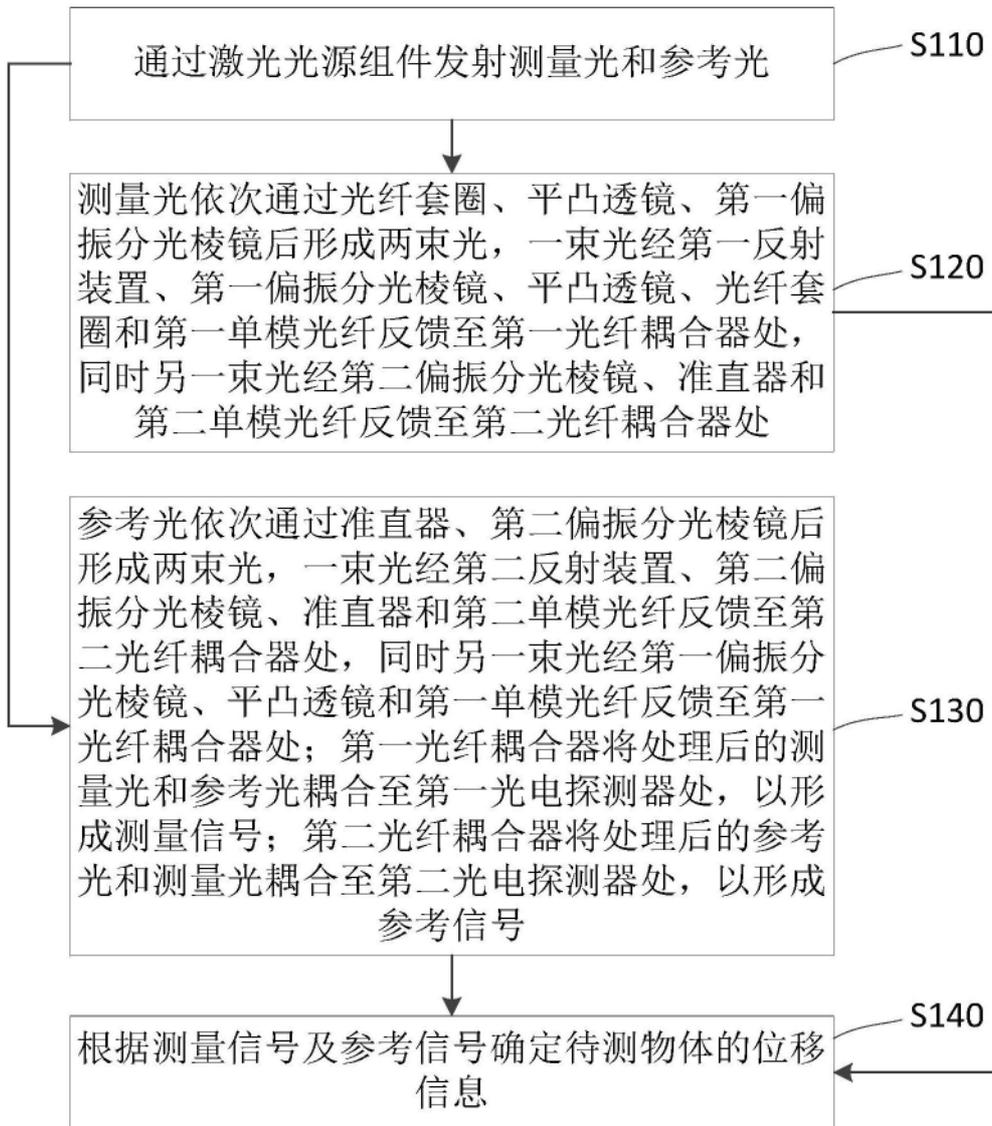


图8