



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107664482 B

(45)授权公告日 2019.08.23

(21)申请号 201610616981.1

(22)申请日 2016.07.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107664482 A

(43)申请公布日 2018.02.06

(73)专利权人 上海微电子装备(集团)股份有限公司

地址 201203 上海市浦东新区张东路1525号

(72)发明人 吴萍 张志平

(74)专利代理机构 上海思微知识产权代理事务所(普通合伙) 31237

代理人 屈衡 李时云

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

(56)对比文件

池峰.双频激光干涉测量中的环境补偿技术.《中国激光》.2014,全文.

张志平.加速度对激光双频干涉仪测量误差的影响.《中国激光》.2007,全文.

审查员 刘兵

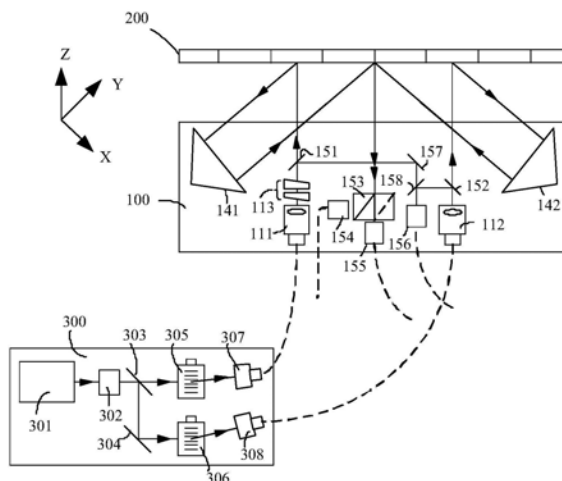
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

光栅测量装置

(57)摘要

本发明公开了一种光栅测量装置,包括:光源模块,用于产生频率不同的两束光束;光栅;信号处理模块以及光栅测量探头,包括双频入光模块、水平向探测模块、参考探测模块及两个对称设置的回射器,双频入光模块用于接收两束光束并将其投射到光栅表面和参考探测模块,两束光束投射到参考探测模块发生干涉形成参考干涉信号,两束光束在光栅表面发生衍射,衍射光分别投射至对应的回射器,经回射器回射到光栅表面发生二次衍射,二次衍射光汇聚投射到水平向探测模块发生干涉形成水平向位移干涉信号;信号处理模块探测水平向位移干涉信号和所述参考干涉信号,并计算光栅的水平向位移。本发明可以针对同一测量点,实现水平面X、Y方向的二维同时探测。



1. 一种光栅测量装置,其特征在于,包括:
光源模块,用于产生频率不同的两束光束;
光栅;
信号处理模块;

以及光栅测量探头,包括双频入光模块、水平向探测模块、参考探测模块及两个对称设置的回射器,其中,所述双频入光模块用于接收所述两束光束,并将所述两束光束投射到所述光栅表面和参考探测模块,所述两束光束投射到所述参考探测模块发生干涉形成参考干涉信号,所述两束光束在所述光栅表面发生衍射,衍射光分别投射至对应的回射器,经所述回射器回射到所述光栅表面发生二次衍射,两束二次衍射光汇聚投射到所述水平向探测模块发生干涉形成水平向位移干涉信号;

所述信号处理模块探测所述水平向位移干涉信号和所述参考干涉信号,并计算所述光栅的水平向位移;

所述光栅测量探头还包括:垂向测量模块和垂向探测模块,经所述双频入光模块出射的两束光束中的一束光束经所述垂向测量模块投射至所述光栅表面,经所述光栅表面衍射的衍射光与所述两束光束中的另一束光束投射至所述垂向探测模块发生干涉形成垂向位移干涉信号,所述信号处理模块接收所述垂向位移干涉信号,并结合所述参考干涉信号计算所述光栅的垂向位移;

所述垂向测量模块包括:第二偏振分光棱镜、第二角锥棱镜和偏振控制器,垂向测量用的光束先经所述第二偏振分光棱镜透射,由偏振控制器旋转偏振方向,投射到光栅上发生一次衍射,一次衍射的零级衍射光再次经所述偏振控制器旋转偏振方向后入射至所述第二偏振分光棱镜,经所述第二偏振分光棱镜反射至所述第二角锥棱镜后返回到所述第二偏振分光棱镜,之后再次入射到所述光栅上发生二次衍射,二次衍射光中的零级衍射光经所述第二偏振分光棱镜后投射到所述垂向探测模块。

2. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述回射器可选角锥棱镜。

3. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述光源模块包括:激光器、隔离器、分光器、频移器、第一耦合器和第二耦合器;所述激光器发出的光束经隔离器后,由所述分光器分光为两束,分别进入所述频移器产生频率不同的所述两束光束,所述两束光束分别经第一、第二耦合器耦合后传送至所述光栅测量探头。

4. 如权利要求3所述的光栅测量装置,其特征在于,所述激光器采用气体激光器。

5. 如权利要求3所述的光栅测量装置,其特征在于,所述频移器为塞曼分频器、双折射元件或两个声光频移器。

6. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述光栅为一维光栅或者二维光栅。

7. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述水平向探测模块包括分光器、X向测量耦合器及Y向测量耦合器,经所述光栅衍射后的两束光束被所述分光器分光后分别被所述X向测量耦合器和所述Y向测量耦合器耦合。

8. 如权利要求7所述的光栅测量装置,其特征在于,所述分光器可选偏振分光棱镜。

9. 如权利要求8所述的光栅测量装置,其特征在于,所述偏振分光棱镜的分光方向与所述光栅的栅距方向相同。

10. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述双频入光模块包括第一分束镜和第二分束镜,所述两束光束中的一束经所述第一分束镜分束后分别入射至所述光栅和所述参考探测模块,所述两束光束中的另一束经所述第二分束镜分束后分别入射至所述光栅和所述参考探测模块。

11. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述双频入光模块包括第一分束镜、第二分束镜及第三分束镜,所述垂向探测模块包括垂向测量耦合器,所述两束光束中的一束光束由所述第一分束镜分束后分别入射至所述垂向测量模块和所述参考探测模块,所述两束光束中的另一束光束由所述第二分束镜分束后分别入射至所述第三分束镜和所述参考探测模块,所述第三分束镜将接收的光束分束后分别入射至所述垂向测量模块和所述光栅表面,所述垂向测量耦合器将经所述垂向测量模块出射的光束合束。

12. 如权利要求11所述的光栅测量装置,其特征在于,所述垂向探测模块还包括第四分束镜,所述第三分束镜将接收的光束分束后分别入射至所述第四分束镜和所述光栅表面,入射至所述第四分束镜的光束与经所述垂向测量模块出射的光束合束后被所述垂向测量耦合器耦合。

13. 如权利要求1、10、11或12所述的光栅测量装置,其特征在于,所述双频入光模块包括:第一准直器、第二准直器和楔角片对,其中,所述第一准直器和第二准直器分别对所述两束光束进行准直,准直后的所述两束光束中的任意一束入射至所述楔角片对进行角度控制。

14. 如权利要求10、11或12所述的光栅测量装置,其特征在于,还包括用于实现光束转向的反射镜组件。

15. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述光源模块与所述光栅测量探头之间通过保偏光纤实现信号传递。

16. 如权利要求7所述的光栅测量装置,其特征在于,所述X向测量耦合器和所述Y向测量耦合器均通过多模光纤将信号传递给所述信号处理模块。

17. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述偏转控制器采用法拉第旋转器或者二分之一波片。

18. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述两束光束中入射至所述第二偏振分光棱镜的光束的偏振方向与所述两束光束中另一束光束的偏振方向存在第一夹角,相应地所述第二偏振分光棱镜的放置方向旋转第一夹角,经所述偏振控制器后出射的光束的偏振方向也旋转第一夹角。

19. 如权利要求18所述的光栅测量装置,其特征在于,所述第一夹角为45度。

20. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,入射在所述光栅表面的光束的偏振方向与所述光栅的栅格方向存在第二夹角。

21. 如权利要求20所述的光栅测量装置,其特征在于,所述第二夹角为 $45+k*90$ 度,其中k为自然数。

22. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述垂向探测模块通过多模光纤将信号传递给所述信号处理模块。

23. 如权利要求1所述的光栅测量装置,其特征在于,所述参考探测模块通过多模光纤将信号传递给所述信号处理模块。

光栅测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及集成电路制造领域,特别涉及一种光栅测量装置。

背景技术

[0002] 纳米测量技术是纳米加工、纳米操控、纳米材料等领域的基础。IC产业、精密机械、微机电系统等都需要高分辨率、高精度的位移传感器,以达到纳米精度定位。随着集成电路朝大规模、高集成度的方向飞跃发展,光刻机的套刻精度要求也越来越高,与之相应地,获取工件台、掩模台的六自由度位置信息的精度也随之提高。

[0003] 干涉仪有较高的测量精度,可达纳米量级,在光刻系统中,被运用于测量工件台、掩模台的位置。然而,目前干涉仪的测量精度几乎达到极限,同时干涉仪测量精度受周围环境影响较大,测量重复精度不高,即便环境很好,误差也会超过1nm,因此,传统干涉仪测量系统很难满足进一步提高套刻精度的要求,所以高精度、高稳定性的皮米测量方案迫切需要。

[0004] 光栅测量系统在工作中受环境影响较小,有较好的重复精度,在新一代光刻系统中已开始逐渐取代干涉仪,承担高精度、高稳定性皮米精度测量任务。公开号为US7389595的美国专利提出了一种基于光纤传输的二维光栅测量系统,光源和探测信号光均采用光纤传输。该专利方案中,光源为半导体激光器,采用零差探测方式测量光栅与读头之间的位移。然而零差探测的方式抗干扰能力较弱,位置数据容易受到外界杂散光、电磁场及振动干扰的影响。申请号为CN201210449244的中国专利提出了一种双频外差光栅测量系统,该系统可以有效提高测量精度。但其只有探测信号通过光纤传输,激光光源与光栅读头放在一起,体积大,不适用于空间紧凑的使用场景;另外,当光栅相对于读头之间有Rx、Ry角度偏转时,测量系统干涉性能会降低,导致测量系统失效,该发明中光栅与读头的装调难度太大,安装使用不方便。

[0005] 公开号为US8300233B2的美国专利提出了一种光栅尺测量系统,它采用光束垂直入射光栅,角锥棱镜返回衍射光束后获取水平方向和垂直方向的二维位置数据。由于水平方向测量时,X方向的测量点和Y方向测量点的位置不同,导致测量误差较大,且光栅尺所需的通光面尺寸大,成本高。

发明内容

[0006] 本发明提供一种光栅测量装置,以实现光栅的水平向位移测量。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明提供一种光栅测量装置,包括:光源模块,用于产生频率不同的两束光束;光栅;信号处理模块;以及光栅测量探头,包括双频入光模块、水平向探测模块、参考探测模块及两个对称设置的回射器,其中,所述双频入光模块用于接收所述两束光束,并将所述两束光束投射到所述光栅表面和参考探测模块,所述两束光束投射到所述参考探测模块发生干涉形成参考干涉信号,所述两束光束在所述光栅表面发生衍射,衍射光分别投射至对应的回射器,经所述回射器回射到所述光栅表面发生二次衍射,两束

二次衍射光汇聚投射到所述水平向探测模块发生干涉形成水平向位移干涉信号;所述信号处理模块探测所述水平向位移干涉信号和所述参考干涉信号,并计算所述光栅的水平向位移。

[0008] 作为优选,所述光栅测量探头还包括:垂向测量模块和垂向探测模块,经所述双频入光模块出射的两束光束中的一束光束经所述垂向测量模块投射至所述光栅表面,经所述光栅表面衍射的衍射光与所述两束光束中的另一束光束投射至所述垂向探测模块发生干涉形成垂向位移干涉信号,所述信号处理模块接收所述垂向位移干涉信号,并结合所述参考干涉信号计算所述光栅的垂向位移。

[0009] 作为优选,所述回射器可选角锥棱镜。

[0010] 作为优选,所述光源模块包括:激光器、隔离器、分光器、频移器、第一耦合器和第二耦合器;所述激光器发出的光束经隔离器后,由所述分光器分光为两束,分别进入所述频移器产生频率不同的所述两束光束,所述两束光束分别经第一、第二耦合器耦合后传送至所述光栅测量探头。

[0011] 作为优选,所述激光器采用气体激光器。

[0012] 作为优选,所述频移器为塞曼分频器、双折射元件或两个声光频移器。

[0013] 作为优选,所述光栅为一维光栅或者二维光栅。

[0014] 作为优选,所述水平向探测模块包括分光器、X向测量耦合器及Y向测量耦合器,经所述光栅衍射后的两束光束被所述分光器分光后分别被所述X向测量耦合器和所述Y向测量耦合器耦合。

[0015] 作为优选,所述分光器可选偏振分光棱镜。

[0016] 作为优选,所述偏振分光棱镜的分光方向与所述光栅的栅距方向相同。

[0017] 作为优选,所述双频入光模块包括第一分束镜和第二分束镜,所述两束光束中的一束经所述第一分束镜分束后分别入射至所述光栅和所述参考探测模块,所述两束光束中的另一束经所述第二分束镜分束后分别入射至所述光栅和所述参考探测模块。

[0018] 作为优选,所述双频入光模块包括第一分束镜、第二分束镜及第三分束镜,所述垂向探测模块包括垂向测量耦合器,所述两束光束中的一束光束由所述第一分束镜分束后分别入射至所述垂向测量模块和所述参考探测模块,所述两束光束中的另一束光束由所述第二分束镜分束后分别入射至所述第三分束镜和所述参考探测模块,所述第三分束镜将接收的光束分束后分别入射至所述垂向测量模块和所述光栅表面,所述垂向测量耦合器将经所述垂向测量模块出射的光束合束。

[0019] 作为优选,所述垂向探测模块还包括第四分束镜,所述第三分束镜将接收的光束分束后分别入射至所述第四分束镜和所述光栅表面,入射至所述第四分束镜的光束与经所述垂向测量模块出射的光束合束后被所述垂向测量耦合器耦合。

[0020] 作为优选,所述双频入光模块包括:第一准直器、第二准直器和楔角片对,其中,所述第一准直器和第二准直器分别对所述两束光束进行准直,准直后的所述两束光束中的任意一束入射至所述楔角片对进行角度控制。

[0021] 作为优选,还包括用于实现光束转向的反射镜组件。

[0022] 作为优选,所述光源模块与所述光栅测量探头之间通过保偏光纤实现信号传递。

[0023] 作为优选,所述X向测量耦合器和所述Y向测量耦合器均通过多模光纤将信号传递

给所述信号处理模块。

[0024] 作为优选,所述垂向测量模块包括:第二偏振分光棱镜、第二角锥棱镜和偏振控制器,垂向测量用的光束先经所述第二偏振分光棱镜透射,由偏振控制器旋转偏振方向,投射到光栅上发生一次衍射,一次衍射的零级衍射光再次经所述偏振控制器旋转偏振方向后入射至所述第二偏振分光棱镜,经所述第二偏振分光棱镜反射至所述第二角锥棱镜后返回到所述第二偏振分光棱镜,之后再次入射到所述光栅上发生二次衍射,二次衍射光中的零级衍射光经所述第二偏振分光棱镜后投射到所述垂向探测模块。

[0025] 作为优选,所述偏转控制器采用法拉第旋转器或者二分之一波片。

[0026] 作为优选,所述两束光束中入射至所述第二偏振分光棱镜的光束的偏振方向与所述两束光束中另一束光束的偏振方向存在第一夹角,相应地所述第二偏振分光棱镜的放置方向旋转第一夹角,经所述偏振控制器后出射的光束的偏振方向也旋转第一夹角。

[0027] 作为优选,所述第一夹角为45度。

[0028] 作为优选,入射在所述光栅表面的光束的偏振方向与所述光栅的栅格方向存在第二夹角。

[0029] 作为优选,所述第二夹角为 $45+k*90$ 度,其中k为自然数。

[0030] 作为优选,所述垂向探测模块通过多模光纤将信号传递给所述信号处理模块。

[0031] 作为优选,所述参考探测模块通过多模光纤将信号传递给所述信号处理模块。

[0032] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0033] 1、本发明可实现全光纤传输,具有抗干扰能力强、测量精度高、重复测量精度高、无非线性误差影响、结构简单和安装使用便捷的特点,极其适用于高稳定性要求的皮米精度多维测量领域。

[0034] 2、本发明的光栅测量装置中的水平测量模块可以控制两束光束实现水平向位移测量,水平向探测模块可以探测水平向位移信号和参考光信号,实现水平方向(X/Y)二维探测,可以使X方向的测量和Y方向的测量点相同,有效减小了因被测点不同带来的测量误差;也大大减小了光栅所需的通光面尺寸,降低光栅成本。此外本发明也可以使光栅测量探头的尺寸更加紧凑,压缩安装空间。

[0035] 3、本发明直接利用光栅的零级反射光进行测量,垂向测量距离不会受到光斑尺寸的限制,可以实现任意距离的垂向测量。

[0036] 4、本发明还可以有效的将水平方向(X/Y)和垂向(Z)测量方案融合,实现多轴测量。而且垂向(Z)测量时使用的是水平方向(X/Y)测量时并不会使用的零级反射光来实现,提高了光栅尺测量系统的能量利用率。在不增加入射光束功率的情况下,增加了测量轴数。

[0037] 5、本发明可以制造出集成度非常高的三轴或多轴读数头,适用于对空间和尺寸要求非常高,同时对测量精度和重复性要求极高的运动台多轴测量控制系统中。

[0038] 6、本发明可实现基于全光纤传输的双频外差光栅测量。

[0039] 7、本发明采用气体激光器作为光源,相干长度长,确保了在光栅和光栅测量探头的倾斜或偏转较大时,也可有效干涉。

[0040] 8、本发明还可以实现激光光源与光栅读头的分离,读头体积小,可适用于空间紧凑的使用场景。

[0041] 9、本发明采用双频光探测,稳定性更高、抗干扰能力更强,测量精度和重复性更

优。

附图说明

- [0042] 图1为本发明实施例1中光栅测量装置的结构示意图；
- [0043] 图2为本发明实施例1中光栅上的光斑分布示意图；
- [0044] 图3为本发明实施例2中光栅测量装置的结构示意图；
- [0045] 图4为本发明实施例2中光束通过垂向测量模块的偏振态变化示意图；
- [0046] 图5为本发明实施例3中光栅测量装置的结构示意图。
- [0047] 图中所示：
- [0048] 100-光栅测量探头、
- [0049] 110-双频入光模块、111-第一准直器、112-第二准直器、113-楔角片对；
- [0050] 120-垂向测量模块、121-偏振分光棱镜、122-角锥棱镜、123-偏振控制器；
- [0051] 130-垂向探测模块、1301-第四分束镜、1302-第五分束镜、1303-第四远程耦合器；
- [0052] 140-水平向测量模块、141、142-第一角锥棱镜；
- [0053] 150-水平向探测模块、151-第一分束镜、152-第二分束镜、153-第一偏振分光棱镜、154-第一远程耦合器、155-第二远程耦合器；156-第三远程耦合器、157-反射镜、158-第三分束镜；
- [0054] 200-光栅；
- [0055] 300-光源模块、301-激光器、302-隔离器、303-分束镜、304-反射镜、305-第一频移器、306-第二频移器、307-第一耦合器、308-第二耦合器；
- [0056] 701~703-测量点；

具体实施方式

[0057] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。需说明的是，本发明附图均采用简化的形式且均使用非精准的比例，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

[0058] 实施例1

[0059] 如图1所示，本实施例的光栅测量装置包括：

[0060] 光源模块300，用于产生频率不同的两束光束；

[0061] 光栅200；

[0062] 多个探测器(图中未示)、

[0063] 信号处理器(图中未示)；

[0064] 以及

[0065] 光栅测量探头100，包括双频入光模块、水平向探测模块、参考探测模块及两个对称设置的回射器，本实施例中，所述回射器优选为角锥棱镜141、142，其中，双频入光模块用于接收所述两束光束，并将所述两束光束投射到所述光栅200表面和参考探测模块，两束光束在所述光栅200表面发生衍射，衍射光线投射到对应的回射器，经所述回射器回射到光栅200表面发生二次衍射，两束二次衍射光汇聚投射到所述水平向探测模块发生干涉，形成水平向位移干涉信号后被探测器探测，所述两束光束投射到所述参考探测模块发生干涉，形

成参考干涉信号后被探测器探测,所述信号处理器根据所述水平向位移干涉信号和所述参考干涉信号计算所述光栅200的水平向位移。本实施例中所述参考探测模块包括第三远程耦合器156,第三远程耦合器156与探测器之间通过多模光纤连接。

[0066] 具体地,继续参照图1,所述光源模块300包括激光器301、隔离器302、分光器、频移器以及耦合器,分光器包括分束镜303和反射镜304。

[0067] 所述激光器301采用400~1500nm之间的任意波长,例如633nm、780nm、980nm。进一步的,所述激光器301上还设置有波长监控系统,用于对监控激光器301波长的变化情况,并对波长进行实施补偿。更进一步的,所述激光器301可以直接采用气体激光器,如氩氦激光器,具有线宽极窄、频率稳定性能好的特点。所述激光器301用于产生激光光束,该激光光束为线偏振光,偏振方向可以是P偏振,也可以是S偏振。

[0068] 所述隔离器302设置在所述激光器301的出口处以阻挡回波反射;所述隔离器302也可以由具有倾斜表面的光纤端头替代,同样可以降低回波反射影响,在激光器301上安装隔离器302或带有倾斜表面的光纤端头可以提高激光器301的稳定性。

[0069] 所述频移器采用声光频移器、电光频移器、塞曼分频器或双折射元件,本实施例中的频移器和耦合器均为两组,频移器采用声光频移器,为示区别分别称之为第一、第二频移器305、306和第一、第二耦合器307、308。激光器301发出的光束经所述分束镜303分为两束,一束经所述第一频移器305产生一定频移量后经第一耦合器307射出,另一光束经反射镜304进入所述第二频移器306并产生与前一光束不同的频移量后经第二耦合器308射出。

[0070] 进一步的,所述两束频率不同,有一定频差的光束,采用保偏光纤远程传输至光栅测量探头100。

[0071] 继续参照图1,所述双频入光模块包括:第一准直器111、第二准直器112和楔角片对113,其中,所述第一准直器111和楔角片对113用于对其中一入射光束进行准直和角度控制,所述第二准直器112用于对另一入射光束进行准直,所述楔角片对113控制所述两束光束的相对平行度。所述双频入光模块还包括第一分束镜151、第二分束镜152、反射镜157以及第三分束镜158;

[0072] 为方便描述,将经楔角片对113出射的光束称为测量光束,经第二准直器112出射的光束称为参考光束;

[0073] 测量光束经所述第一分束镜151分为两测量分束,其中一测量分束投射到光栅200表面,另一测量分束被反射镜157反射后经第三分束镜158透射至第三远程耦合器156;

[0074] 参考光束经所述第二分束镜152分为两参考分束,其中一参考分束投射到光栅200表面,另一参考分束经所述第三分束镜158反射到第三远程耦合器156。

[0075] 继续参考图1,由双频入光模块调整后的两束光束,分别垂直投射到光栅200上,在光栅200上发生衍射后分别投射到对应的角锥棱镜141、142上,经角锥棱镜141、142反射后再次投射到光栅200上,再次经光栅200衍射后,两光束汇聚投射到所述水平向探测模块。

[0076] 所述水平向探测模块包括:第一偏振分光棱镜153、第一远程耦合器154及第二远程耦合器155,经过二次衍射后的两束光束经第一偏振分光棱镜153分束后分别进入第一远程耦合器154及第二远程耦合器155耦合,之后通过多模光纤将耦合信号传输给探测器。

[0077] 如图2所示,所述光栅测量探头100产生的光斑,在光栅200上方的分布方向相对于光栅200的栅距方向倾斜 θ 角,其中 θ 可以为0至360度以及0至360度倍数的任意角度。如图2

所示,测量水平方向的二维位置测量,即将X、Y向的位移集成到一起探测,使得光栅测量探头100的结构紧凑,而且X向和Y向的测量点701~703在同一个点,可以避免因X、Y方向测量点不相同带来的误差,也可使光栅200上光斑分布紧凑,减小光栅200探测面积,提高光栅200表面利用率,降低成本。

[0078] 光栅200上的入射光束可以为同偏振方向,第一、第二远程耦合器154、155可以直接探测,不需增加偏振片,可以降低整个系统的功率损耗,提高光能利用率。

[0079] 本发明采用双频光探测,稳定性更高、抗干扰能力更强,测量精度和重复性更优。

[0080] 较佳的,所述第一、第二、第三分束镜151、152、158可以使用光栅来替代,实现光束分离。

[0081] 参照图1,下面详细说明实施例中光栅测量装置的水平向测量实现过程:

[0082] 光源模块300中的氦氖激光器发出频率为 f_0 的氦氖激光束,通过隔离器302后,由分光器分成两路,分别入射第一频移器305和第二频移器306,其中,第一频移器305的频移量为 Δf_1 ,通过第一频移器305的氦氖激光束,频率变为 $f_0 + \Delta f_1$;第二频移器306的频移量为 Δf_2 ,通过第二频移器306的氦氖激光束,频率变为 $f_0 + \Delta f_2$;这两束光束分别用第一耦合器307和第二耦合器308耦合到保偏光纤,远程传输到光栅测量探头100。

[0083] 如图1和图2所示,频率为 $f_0 + \Delta f_1$ 和 $f_0 + \Delta f_2$ 的两束激光束,分别由第一准直器111和第二准直器112准直,并用楔角片对113控制两激光束相对平行度,使两激光束平行。为方便描述,将频率为 $f_0 + \Delta f_1$ 的激光束称为测量光束,将频率为 $f_0 + \Delta f_2$ 的激光束称为参考光束。

[0084] 所述测量光束由第一分束镜151分为两测量分束,一测量分束的偏振方向相对于光栅200的栅距方向倾斜 θ 角,并垂直入射光栅200,如图2所示的光斑701,取-1级衍射光并用角锥棱镜141回射至光栅200上,如图2所示的光斑703,再次发生衍射后出射至第一偏振分光棱镜153,所述第一偏振分光棱镜153的分光方向与光栅200的栅距方向相同。另一测量分束投射到第三远程耦合器156中,由第三远程耦合器156远程投射到探测器,作为参考信号。

[0085] 所述参考光束由第二分束镜152分为两参考分束,其中一参考分束偏振方向相对于光栅200的栅距方向倾斜 θ 角,并垂直入射光栅200,如图2所示的光斑702,取+1级衍射光并用角锥棱镜142回射至光栅200上,如图2所示的光斑703,再次发生衍射后出射至第一偏振分光棱镜153。另一参考分束投射到第三远程耦合器156中,由第三远程耦合器156远程投射到探测器,作为参考信号。

[0086] 上述 ± 1 级衍射光经第一偏振分光棱镜153之后,一部分透射偏振光通过第二远程耦合器155耦合,远程传输至探测器,探测双频干涉信号;另一部分反射偏振光通过第一远程耦合器154耦合,远程传输至探测器,探测双频干涉信号。

[0087] 当光栅200沿X向运动 ΔX 时,经第一远程耦合器154探测到含有被测位移的干涉信号,其条纹数为 N_1 :

$$N_1 = [(f_0 + \Delta f_2) T_1 + 2 \Delta X/d] - [(f_0 + \Delta f_1) T_1 - 2 \Delta X/d] = (\Delta f_2 - \Delta f_1) T_1 + 4 \Delta X/d \quad (1)$$

[0089] 其中, T_1 为运动 ΔX 位移量所用时间, d 为光栅200的栅距。频率为 $f_0 + \Delta f_1$ 的光束在光栅200的-1级衍射光方向两次发生衍射,相位变化 $-2 \Delta X/d$;频率为 $f_0 + \Delta f_2$ 的光束在光栅200的+1级衍射光方向两次发生衍射,相位变化 $+2 \Delta X/d$ 。

[0090] 从第三远程耦合器156探测到不含被测位移的参考信号,其条纹数为 N_2 :

$$[0091] \quad N_2 = (f_0 + \Delta f_2) T_1 - (f_0 + \Delta f_1) T_1 = (\Delta f_2 - \Delta f_1) T_1 \quad (2)$$

[0092] 将两个探测器探测到的条纹数相减,可得到光栅200相对于光栅测量探头100在X向运动的位移 ΔX :

$$[0093] \quad \Delta X = d(N_1 - N_2) / 4 \quad (3)$$

[0094] 当光栅200沿Y向运动 ΔY 时,从第二远程耦合器156探测到的含有被测位移的干涉信号,其条纹数为 N_3 :

$$[0095] \quad N_3 = [(f_0 + \Delta f_2) T_2 + 2 \Delta Y / d] - [(f_0 + \Delta f_1) T_2 - 2 \Delta Y / d] = (\Delta f_2 - \Delta f_1) T_2 + 4 \Delta Y / d \quad (4)$$

[0096] 其中, T_2 为运动 ΔY 位移量所用时间,d为光栅200的栅距。频率为 $f_0 + \Delta f_1$ 的光束在光栅200的-1级衍射光方向两次发生衍射,相位变化 $-2 \Delta Y / d$;频率为 $f_0 + \Delta f_2$ 的光束在光栅200的+1级衍射光方向两次发生衍射,相位变化 $+2 \Delta Y / d$ 。

[0097] 将其与参考信号探测器探测到的条纹数相减,即可得到光栅200相对于光栅测量探头100在Y向运动的位移 ΔY :

$$[0098] \quad \Delta Y = d(N_3 - N_2) / 4 \quad (5)$$

[0099] 需要说明的是,所述光栅测量探头100中光斑分布方向相对于光栅200的栅距方向倾斜 θ 角, θ 可以为0至360度以及0至360度倍数的任意角度,用于实现X和/或Y方向位置测量。当该角度为0、90、180、360度以及90度的倍数时,可探测到X或Y的位置,实现光栅200水平方向一维位置测量。当该角度为除以上0、90、180、360度以及90度的倍数以外的角度时,可探测到X和/或Y的位置,实现光栅尺水平方向二维位置测量。特别的,当该角度为45度、135度以及 $45 + k * 90$ 度(k 为自然数)时,光栅测量探头100在X和Y方向相对于光栅200的刻线方向对称分布,X和Y方向的光信号能量分布均匀,可较好的实现水平方向的二维位置测量。

[0100] 实施例2

[0101] 本实施例与实施例1的区别在于:本实施例可以同时实现垂向和水平向位移测量。

[0102] 如图3所示,本实施例相对于实施例1增加了:设置在双频入光模块和光栅200之间的光路上的垂向测量模块,以及与所述垂向测量模块对应设置的垂向探测模块。

[0103] 继续参照图3,所述垂向测量模块包括:第二偏振分光棱镜121、第二角锥棱镜122和偏振控制器123,双频入光模块出射的测量光束先经第二偏振分光棱镜121透射,由偏振控制器123旋转偏振方向,投射到光栅200上发生衍射,衍射光中的-1级衍射光入射至角锥棱镜141,衍射光中的零级衍射光反射回偏振控制器123,再次经偏振控制器123旋转偏振方向,偏振光束在经过第二偏振分光棱镜121时发生反射,并经过第二角锥棱镜122返回第二偏振分光棱镜121,再次入射到光栅200上并返回零级衍射光,最终投射到垂向探测模块。

[0104] 所述垂向探测模块包括第四远程耦合器1303和第四分束镜1301,所述双频入光模块还包括:第五分束镜1302。

[0105] 本实施例实现垂向和水平向位移测量具体过程如下:测量光束由第一分束镜151分为两束,一测量分束经所述垂向测量模块投射到的光栅200表面,在光栅200表面发生衍射,衍射光中的-1级衍射光投射至角锥棱镜141用于水平向测量,零级衍射光经垂向测量模块反射至光栅200发生二次衍射后再反射至第四分束镜1301,经第四分束镜1301透射到所述第四远程耦合器1303用于垂向测量;另一测量分束依次经所述反射镜157、第三分束镜158后投射到所述第三远程耦合器156用于形成参考干涉信号;

[0106] 参考光束先由第二分束镜152分为两参考分束,其中一参考分束由所述第五分束镜1302再次分为两束,一部分直接投射到光栅200上用于水平向测量,另一部分经第四分束镜1301投射到所述第四远程耦合器1303用于垂向测量。另一参考分束经所述第三分束镜158投射到所述第三远程耦合器156用于形成参考干涉信号。

[0107] 具体地,所述光源模块300发出频率分别为 $f_0 + \Delta f_1$ 、 $f_0 + \Delta f_2$ 的两束光,为示区别,将频率为 $f_0 + \Delta f_1$ 的偏振光束称为测量光束,将频率为 $f_0 + \Delta f_2$ 的光束称为参考光束。其中,测量光束通过垂向测量模块时的偏振态变化情况如图4所示。测量光束的偏振方向相对于参考光束的偏振方向有夹角 α 。第二偏振分光棱镜121的放置方向也相应旋转 α 角。测量光束入射第二偏振分光棱镜121后,偏振方向不变,经偏振控制器123后,偏振方向旋转 α 角,此时测量光束的偏振方向与参考光束的偏振方向相同,都与光栅200的栅格方向呈 θ 夹角,当然所述测量光束和参考光束均垂直入射到光栅200表面。本实施例中,夹角 α 为45度。

[0108] 进一步的,所述第一偏振分光棱镜153的分光方向与光栅200栅距方向相同。

[0109] 当光栅200相对于光栅测量探头100在Z向即垂向移动时,从垂向测量模块中投射出的0级衍射光中包含 $f_0 + \Delta f_1 + \Delta Z$ 的位移信息,其与一参考分束合束后,第四远程耦合器1303对其耦合,形成 $(\Delta f_2 - \Delta f_1 - \Delta Z)$ 的干涉信号,并通过多模光纤传送至探测器。信号处理模块计算 $(\Delta f_2 - \Delta f_1 - \Delta Z)$ 的干涉信号与从第三远程耦合器156探测到不含被测位移的参考干涉信号的差值就可以知道光栅200相对于光栅测量探头100在Z方向位移量,从而实现垂向测量。

[0110] 实施例3

[0111] 本实施例与实施例2的区别在于:本实施例中的垂向探测模块不包括第四分束镜1301,由光栅返回的带有垂向位移信息的测量光束采用其它方式与经第五分束镜1302分束后的参考光束合成形成干涉信号 a_1 ,实现垂向测量。如图5所示(图中未示出用于水平向测量的部分),参考光束经过第五分束镜1302反射,进入第二偏振分光棱镜121,与带有垂向位置信号的测量光束合束后被第四远程耦合器1303耦合输出。

[0112] 本装置中所示的用于合成光束的方案,具体实施可采用多种方式,可以是实施例2中通过第四分束镜1301实现合光测量,也可以是通过第五分束镜1302与第二偏振分光棱镜121组合实现合光测量。合光方法不限于以上所述,也可以采用其它光学元件,如二分之一波片、四分之一波片及其它辅助装置来实现。光栅测量探头100的结构可以根据需求的不同,增加若干数量的偏振分光棱镜和/或反射镜,对光路进行折叠设计,以适应不同的空间尺寸需求。

[0113] 显然,本领域的技术人员可以对发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包括这些改动和变型在内。

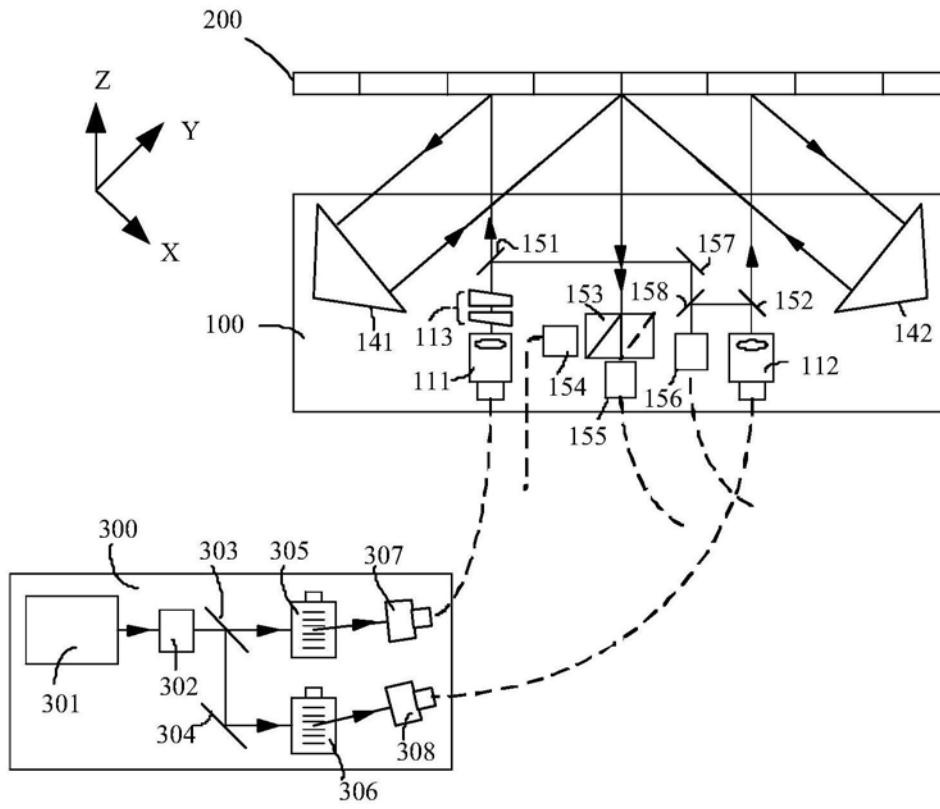


图1

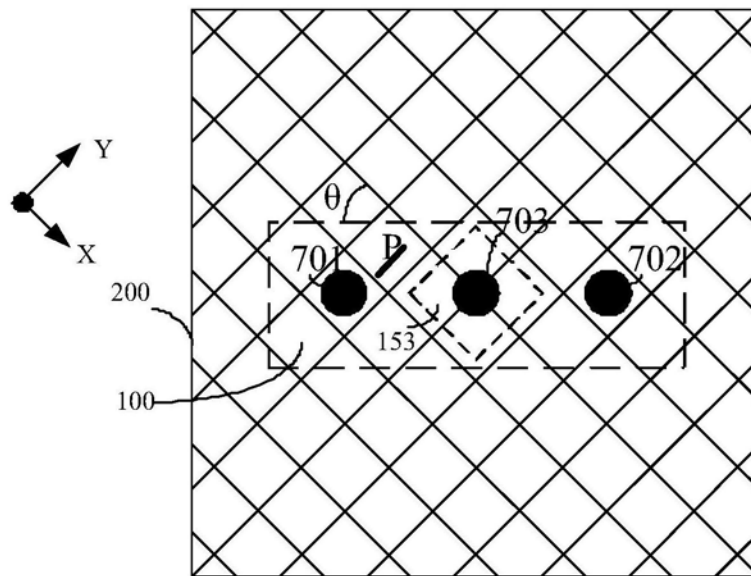


图2

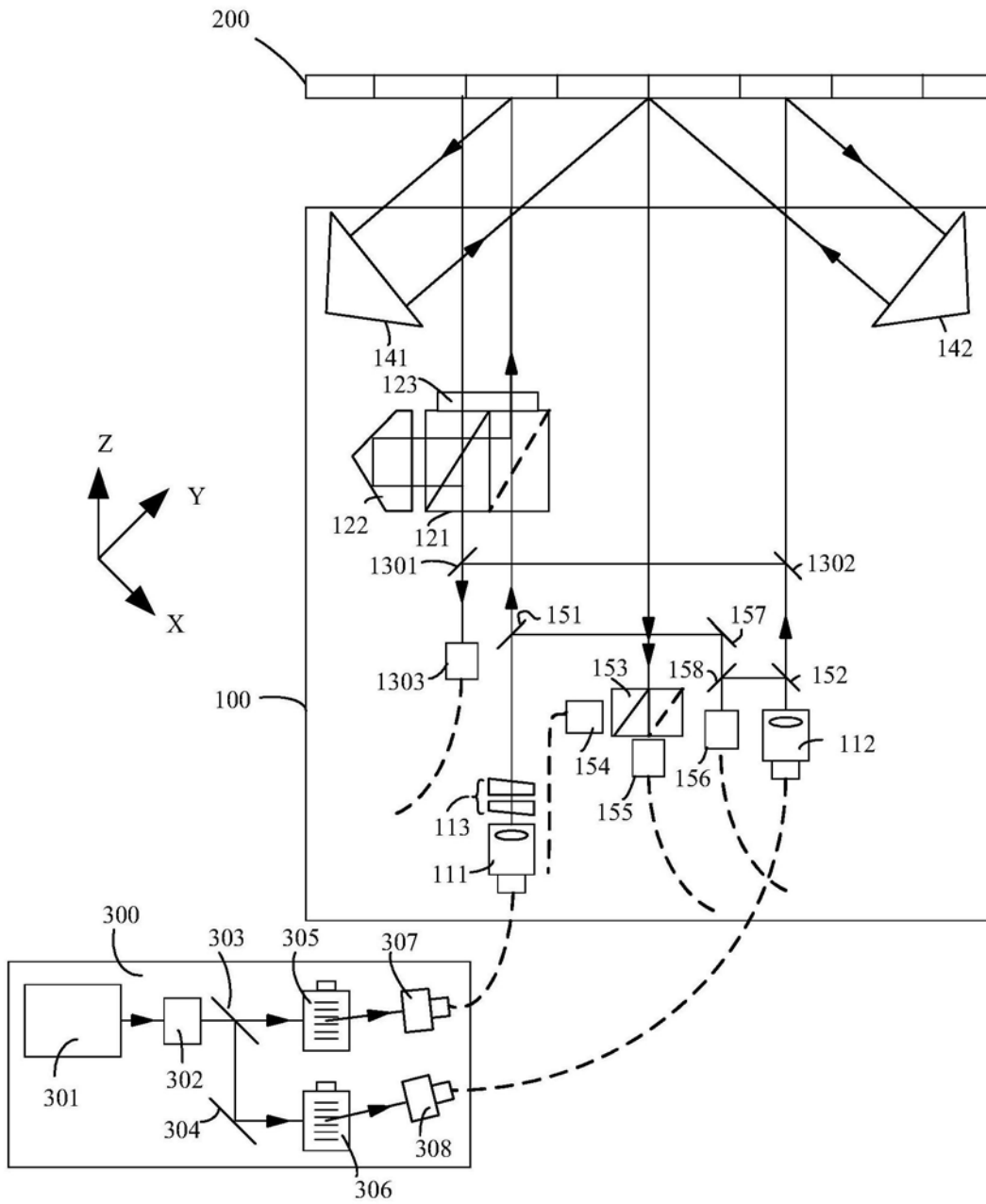


图3

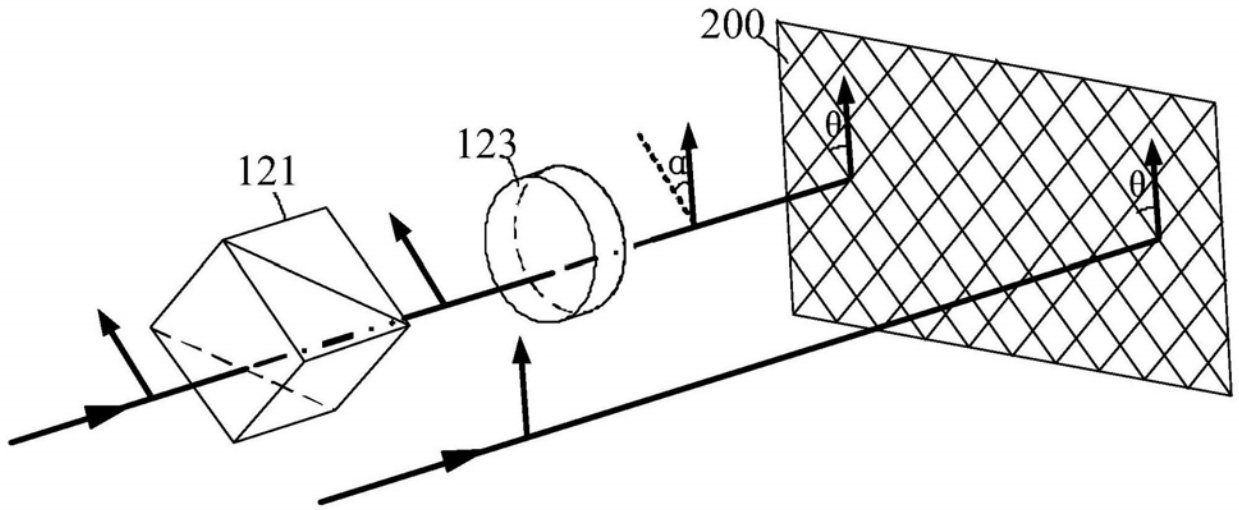


图4

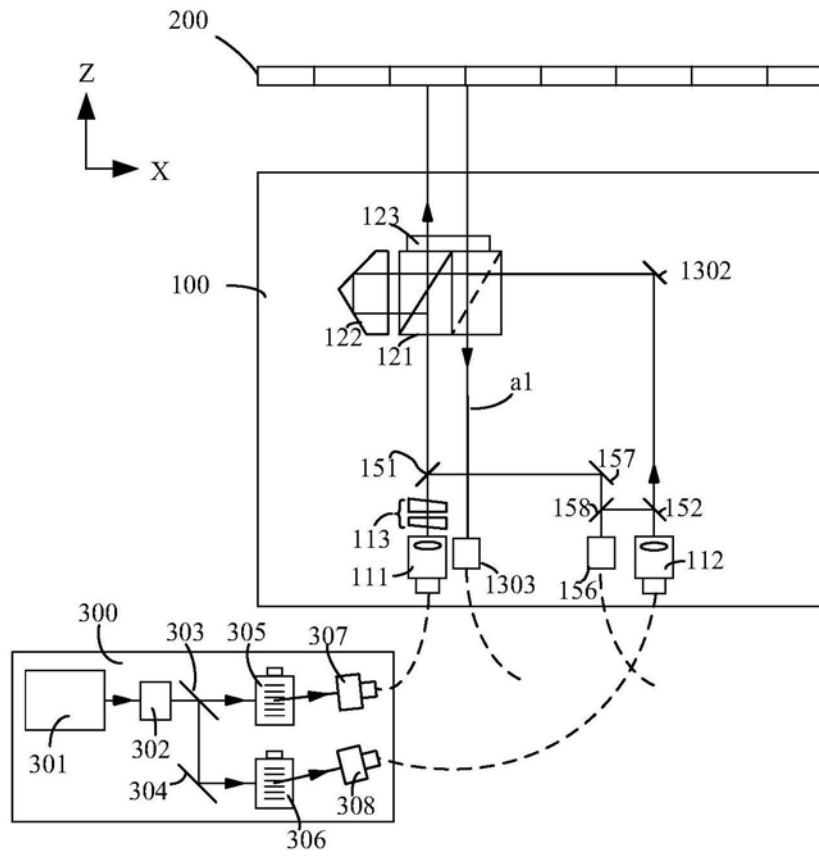


图5