



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113465514 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 16

(21) 申请号 202110722961.3

(22) 申请日 2021.06.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113465514 A

(43) 申请公布日 2021.10.01

(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 吉林省长春市经济技术开发区东南湖大路3888号

(72) 发明人 吉日嘎兰图 李文昊 刘兆武
尹云飞 王玮 姜珊 刘林 白宇

(74) 专利代理机构 长春中科长光知识产权代理事务所(普通合伙) 22218
专利代理师 高一明 郭婷

(51) Int. Cl.
G01B 11/02 (2006.01)
G01B 11/26 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 103644849 A, 2014.03.19
CN 102360169 A, 2012.02.22

WO 2014201950 A1, 2014.12.24

US 2005053101 A1, 2005.03.10

CN 102620868 A, 2012.08.01

CN 104515470 A, 2015.04.15

CN 102607429 A, 2012.07.25

CN 112097651 A, 2020.12.18

CN 112097652 A, 2020.12.18

CN 209894118 U, 2020.01.03

CN 102445152 A, 2012.05.09

CN 112484646 A, 2021.03.12

CN 206618387 U, 2017.11.07

吕强 等. 五维自由度衍射光栅精密测量系统.《中国光学》.2020,
李琳. 基于光栅衍射光干涉的位移测量技术研究.《中国博士学位论文全文数据库(工程技术II辑)》.2010,
Xinghui Li 等. A six-degree-of-freedom surface encoder for precision positioning of a planar motion stage.《Precision Engineering》.2013,

审查员 楚显玉

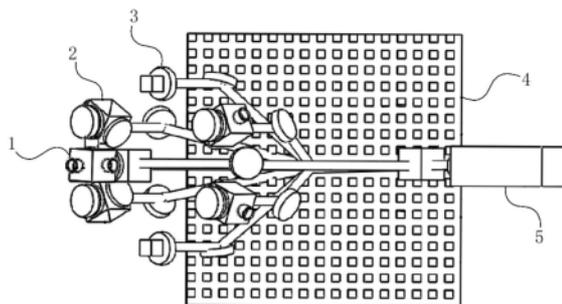
权利要求书4页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称
六维测量装置及方法

(57) 摘要

本发明提供六维测量装置及方法, 装置部分包括竖直位移测量单元、水平位移测量单元、角度测量单元、二维光栅、单频激光器、处理器单元; 二维光栅与待测物体固定连接, 单频激光器发出的单频激光射入二维光栅产生衍射, 当二维光栅的位置发生改变时, 衍射光的形态发生改变; 将衍射光的数据传递至处理器单元, 处理器单元根据接收的数据, 计算得到二维光栅的水平位移、竖直位移和角度变化。本发明运用处理器单元对信号进行解耦处理, 可实现单次衍射的四倍光学细分。本发明还采用对称的结构分布和四步相移相结合的方式, 消除测量系统在光程上引入的影响的同时实现六维测量; 在限制光程的情

况下, 保证三维位移测量方面的光程差保持一致。



CN 113465514 B

1. 一种六维测量装置,其特征在于,包括:用于测量竖直位移的竖直位移测量单元(1)、用于测量水平位移的水平位移测量单元(2)、用于测量角度变化的角度测量单元(3)、用于产生测量用衍射光的二维光栅(4)、用于提供入射光的单频激光器(5)、用于进行计算的处理器单元;

所述二维光栅(4)与待测物体固定连接,所述单频激光器(5)发出的单频激光的出射方向与所述二维光栅(4)所在平面的法线之间为锐角夹角,作为入射光射入所述二维光栅(4)产生衍射,衍射光射入所述竖直位移测量单元(1)、所述水平位移测量单元(2)和所述角度测量单元(3),所述衍射光包括(0,0)级、(0,1)级、(0,-1)级、(1,1)级、(1,-1)级、(-1,1)级、(-1,-1)级、(1,0)级、(-1,0)级衍射光,当所述二维光栅(4)的位置发生改变时,所述衍射光的形态发生改变;

所述竖直位移测量单元(1)、所述水平位移测量单元(2)和所述角度测量单元(3)分别用于接收所述衍射光,并将所述衍射光的数据传递至所述处理器单元,所述处理器单元根据接收的数据,计算得到所述二维光栅(4)的竖直位移、水平位移和角度变化;

所述竖直位移测量单元(1)包括用于接收所述入射光和所述衍射光的竖直光电探测器组,所述水平位移测量单元(2)包括用于接收所述衍射光的水平光电探测器组,所述角度测量单元(3)包括用于接收所述衍射光的位置探测器组。

2. 如权利要求1所述的六维测量装置,其特征在于,所述竖直位移测量单元(1)还包括用于组成所述入射光和所述衍射光的光路的竖直光学器件组;所述竖直光电探测器组与所述处理器单元电连接;所述入射光和所述衍射光经过所述竖直光学器件组,射入所述竖直光电探测器组,所述处理器单元根据射入所述竖直光电探测器组的所述入射光和所述衍射光的能量变化,计算得到所述二维光栅(4)的竖直位移。

3. 如权利要求2所述的六维测量装置,其特征在于,所述竖直光电探测器组包括第一光电探测器(1-6)、第二光电探测器(1-7)、第三光电探测器(1-10)、第四光电探测器(1-11);

所述竖直光学器件组包括第一分光棱镜(1-1)、第二分光棱镜(1-3)、第一偏振分光棱镜(1-5)、第二偏振分光棱镜(1-9)、第一反射镜(1-2)、第一四分之一波片(1-4)、第二四分之一波片(1-8);

所述入射光经过所述第一分光棱镜(1-1)透射至所述二维光栅(4)产生衍射;

所述入射光依次经过所述第一分光棱镜(1-1)反射、所述第一反射镜(1-2)、所述第二分光棱镜(1-3)透射、所述第一四分之一波片(1-4)、所述第一偏振分光棱镜(1-5)反射,射入所述第一光电探测器(1-6);

所述入射光依次经过所述第一分光棱镜(1-1)反射、所述第一反射镜(1-2)、所述第二分光棱镜(1-3)透射、所述第一四分之一波片(1-4)、所述第一偏振分光棱镜(1-5)透射,射入所述第二光电探测器(1-7);

所述入射光依次经过所述第一分光棱镜(1-1)反射、所述第一反射镜(1-2)、所述第二分光棱镜(1-3)反射、所述第二四分之一波片(1-8)、所述第二偏振分光棱镜(1-9)反射,射入所述第三光电探测器(1-10);

所述入射光依次经过所述第一分光棱镜(1-1)反射、所述第一反射镜(1-2)、所述第二分光棱镜(1-3)反射、所述第二四分之一波片(1-8)、所述第二偏振分光棱镜(1-9)透射,射入所述第四光电探测器(1-11);

所述(0,0)级衍射光依次经过所述第二分光棱镜(1-3)反射、所述第一四分之一波片(1-4)、所述第一偏振分光棱镜(1-5)反射、射入所述第一光电探测器(1-6)；

所述(0,0)级衍射光依次经过所述第二分光棱镜(1-3)反射、所述第一四分之一波片(1-4)、所述第一偏振分光棱镜(1-5)透射、射入所述第二光电探测器(1-7)；

所述(0,0)级衍射光依次经过所述第二分光棱镜(1-3)透射、所述第二四分之一波片(1-8)、所述第二偏振分光棱镜(1-9)反射、射入所述第三光电探测器(1-10)；

所述(0,0)级衍射光依次经过所述第二分光棱镜(1-3)透射、所述第二四分之一波片(1-8)、所述第二偏振分光棱镜(1-9)透射、射入所述第四光电探测器(1-11)。

4.如权利要求3所述的六维测量装置,其特征在于,所述水平位移测量单元(2)还包括用于组成所述衍射光的光路的水平光学器件组;所述水平光电探测器组与所述处理器单元电连接;所述衍射光经过所述水平光学器件组,射入所述水平光电探测器组,所述处理器单元根据射入所述水平光电探测器组的所述衍射光的频率信号,计算得到所述二维光栅(4)的水平位移。

5.如权利要求4所述的六维测量装置,其特征在于,所述水平光电探测器组包括第五光电探测器(2-5)、第六光电探测器(2-9)、第七光电探测器(2-17)、第八光电探测器(2-21)；

所述水平光学器件组包括第二反射镜(2-1)、第三反射镜(2-4)、第四反射镜(2-10)、第五反射镜(2-12)、第六反射镜(2-13)、第七反射镜(2-16)、第八反射镜(2-22)、第九反射镜(2-24)、第三偏振分光棱镜(2-2)、第四偏振分光棱镜(2-8)、第五偏振分光棱镜(2-14)、第六偏振分光棱镜(2-20)、第三四分之一波片(2-3)、第四四分之一波片(2-6)、第五四分之一波片(2-7)、第六四分之一波片(2-11)、第七四分之一波片(2-15)、第八四分之一波片(2-18)、第九四分之一波片(2-19)、第十四分之一波片(2-23)；

所述(1,1)级衍射光依次经过所述第二反射镜(2-1)、所述第三偏振分光棱镜(2-2)透射、所述第三四分之一波片(2-3)、所述第三反射镜(2-4)、所述第三偏振分光棱镜(2-2)反射,射入所述第五光电探测器(2-5)；

所述(1,1)级衍射光依次经过所述第二反射镜(2-1)、所述第三偏振分光棱镜(2-2)反射、所述第四四分之一波片(2-6)、所述第五四分之一波片(2-7)、所述第四偏振分光棱镜(2-8)透射,射入所述第六光电探测器(2-9)；

所述(-1,-1)级衍射光依次经过所述第四反射镜(2-10)、所述第四偏振分光棱镜(2-8)反射、所述第五四分之一波片(2-7)、所述第四四分之一波片(2-6)、所述第三偏振分光棱镜(2-2)透射,射入所述第五光电探测器(2-5)；

所述(-1,-1)级衍射光依次经过所述第四反射镜(2-10)、所述第四偏振分光棱镜(2-8)透射、所述第六四分之一波片(2-11)、所述第五反射镜(2-12)、所述第四偏振分光棱镜(2-8)反射,射入所述第六光电探测器(2-9)；

所述(-1,1)级衍射光依次经过所述第六反射镜(2-13)、所述第五偏振分光棱镜(2-14)透射、所述第七四分之一波片(2-15)、所述第七反射镜(2-16)、所述第五偏振分光棱镜(2-14)反射,射入所述第七光电探测器(2-17)；

所述(-1,1)级衍射光依次经过所述第六反射镜(2-13)、所述第五偏振分光棱镜(2-14)反射、所述第八四分之一波片(2-18)、所述第九四分之一波片(2-19)、所述第六偏振分光棱镜(2-20)透射,射入所述第八光电探测器(2-21)；

所述(1,-1)级衍射光依次经过所述第八反射镜(2-22)、所述第六偏振分光棱镜(2-20)反射、所述第九四分之一波片(2-19)、所述第八四分之一波片(2-18)、所述第五偏振分光棱镜(2-14)透射,射入所述第七光电探测器(2-17);

所述(1,-1)级衍射光依次经过所述第八反射镜(2-22)、所述第六偏振分光棱镜(2-20)透射、所述第十四分之一波片(2-23)、所述第九反射镜(2-24)、所述第六偏振分光棱镜(2-20)反射,射入所述第八光电探测器(2-21)。

6.如权利要求5所述的六维测量装置,其特征在于,所述角度测量单元(3)还包括用于组成所述衍射光的光路的角度光学器件组;所述位置探测器组与所述处理器单元电连接;所述衍射光经过所述角度光学器件组,射入所述位置探测器组,所述处理器单元根据射入所述位置探测器组的所述衍射光的位移值,计算得到所述二维光栅(4)的角度变化。

7.如权利要求6所述的六维测量装置,其特征在于,所述位置探测器组包括第一位置探测器(3-3)、第二位置探测器(3-6),所述角度光学器件组包括第十反射镜(3-1)、第十一反射镜(3-4)、第一聚光透镜(3-2)、第二聚光透镜(3-5);

所述(0,1)级衍射光依次经过所述第十反射镜(3-1)、所述第一聚光透镜(3-2),射入所述第一位置探测器(3-3);

所述(0,-1)级衍射光依次经过所述第十一反射镜(3-4)、所述第二聚光透镜(3-5),射入所述第二位置探测器(3-6)。

8.如权利要求7所述的六维测量装置,其特征在于,所述处理器单元包括水平位移计算模块、竖直位移计算模块、角度变化计算模块;所述水平位移计算模块用于根据射入所述水平光电探测器组的所述衍射光的频率信号,计算得到所述二维光栅(4)的水平位移;所述竖直位移计算模块用于根据射入所述竖直光电探测器组的所述衍射光的能量变化,计算得到所述二维光栅(4)的竖直位移;所述角度变化计算模块用于根据射入所述位置探测器组的所述衍射光的位移值,计算得到所述二维光栅(4)的角度变化。

9.一种六维测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

二维光栅(4)与待测物体固定连接,通过单频激光器(5)发出出射方向与所述二维光栅(4)所在平面的法线之间为锐角夹角的单频激光,作为入射光射入所述二维光栅(4)产生衍射,衍射光包括(0,0)级、(0,1)级、(0,-1)级、(1,1)级、(1,-1)级、(-1,1)级、(-1,-1)级、(1,0)级、(-1,0)级衍射光,所述衍射光射入竖直位移测量单元(1)、水平位移测量单元(2)和角度测量单元(3),当所述二维光栅(4)的位置发生改变时,所述衍射光的形态发生改变;

通过竖直位移测量单元(1)的竖直光电探测器组接收所述(0,0)级衍射光和所述入射光,并将所述(0,0)级衍射光和所述入射光的能量变化传递至处理器单元,通过所述处理器单元的竖直位移计算模块,根据能量变化,计算得到所述二维光栅(4)的竖直位移;

通过水平位移测量单元(2)的水平光电探测器组接收所述(1,1)级衍射光、所述(-1,-1)级衍射光、所述(-1,1)级衍射光和所述(1,-1)级衍射光,并将所述(1,1)级衍射光、所述(-1,-1)级衍射光、所述(-1,1)级衍射光和所述(1,-1)级衍射光的频率信号传递至处理器单元,通过所述处理器单元的水平位移计算模块,根据频率信号,计算得到所述二维光栅(4)的水平位移;

通过角度测量单元(3)的位置探测器组接收所述(0,1)级衍射光和所述(0,-1)级衍射光,并将所述(0,1)级衍射光和所述(0,-1)级衍射光的位移值传递至处理器单元,通过所述

处理器单元的角度变化计算模块,根据位移值,计算得到所述二维光栅(4)的角度变化。

10.如权利要求9所述的六维测量方法,其特征在于,所述竖直光电探测器组包括第一光电探测器(1-6)、第二光电探测器(1-7)、第三光电探测器(1-10)、第四光电探测器(1-11);得到所述(0,0)级衍射光和所述入射光的能量变化包括以下步骤:

所述入射光作为参考光,与作为测量光的所述(0,0)级衍射光,同时入射至由所述第一光电探测器(1-6)、所述第二光电探测器(1-7)、所述第三光电探测器(1-10)和所述第四光电探测器(1-11)组成的四步相移结构,得到所述(0,0)级衍射光和所述入射光的能量变化。

11.如权利要求9所述的六维测量方法,其特征在于,所述水平光电探测器组包括第五光电探测器(2-5)、第六光电探测器(2-9)、第七光电探测器(2-17)、第八光电探测器(2-21);得到所述(1,1)级衍射光、所述(-1,-1)级衍射光、所述(-1,1)级衍射光和所述(1,-1)级衍射光的频率信号包括以下步骤:

所述(1,1)级衍射光与所述(-1,-1)级衍射光相互干涉,入射至所述第五光电探测器(2-5)和所述第六光电探测器(2-9),所述(1,-1)级衍射光与所述(-1,1)级衍射光相互干涉,入射至所述第七光电探测器(2-17)和所述第八光电探测器(2-21),得到所述(1,1)级衍射光、所述(-1,-1)级衍射光、所述(-1,1)级衍射光和所述(1,-1)级衍射光的频率信号。

12.如权利要求9所述的六维测量方法,其特征在于,所述位置探测器组包括第一位置探测器(3-3)、第二位置探测器(3-6);得到所述(0,1)级衍射光和所述(0,-1)级衍射光的位移值包括以下步骤:

所述第一位置探测器(3-3)和所述第二位置探测器(3-6)分别接收所述(0,1)级衍射光和所述(0,-1)级衍射光,形成衍射光对应的衍射光斑,根据衍射光斑的偏移量得到所述(0,1)级衍射光和所述(0,-1)级衍射光的位移值。

六维测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及精密测量领域,特别涉及六维测量装置及方法。

背景技术

[0002] 测量系统中以光栅栅距为基准进行测量,不仅可以降低成本、减少环境影响、提高精度,而且还可以实现多维度测量和小型化设计,可满足测量的需求,所以基于一维光栅的测量装置在国内外有很多研究,包括基于一维光栅垂直入射、截面入射、自准直角入射等,不过同样因为一维光栅的限制,并不能同时实现多维度和高精度测量。

[0003] 基于以上问题,在国内外开始研究基于二维光栅的测量装置,中国台湾的Hsieh团队采用半反射半透射的二维光栅和两个快轴呈 45° 和 145° 放置的半波片实现准共光路的外差光栅测量系统设计,该测试系统的位移和角度分辨率分别为 2nm 和 $0.05\mu\text{rad}$,在 10min 内面外检测稳定性优于 30nm ,面内检测稳定性优于 40nm ,测试系统不仅对光栅要求高,而且同时加入三路一样的测量结构,极大增加了调节难度和安装难度。

[0004] 现如今,基于角锥棱镜和直角棱镜的二次衍射和基于衍射光的二级衍射均会增加光学细分,可高倍光学细分倍数普遍最高可达4倍,随着超精密测量发展,低倍光学细分无法实现超精密的检测需求,而高精度又无法同时满足多维度的测量需求。

发明内容

[0005] 本发明为解决上述问题,提供六维测量装置及方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用以下具体技术方案:

[0007] 一种六维测量装置,包括:用于测量竖直位移的竖直位移测量单元、用于测量水平位移的水平位移测量单元、用于测量角度变化的角度测量单元、用于产生测量用衍射光的二维光栅、用于提供入射光的单频激光器、用于进行计算的处理器单元;

[0008] 二维光栅与待测物体固定连接,单频激光器发出的单频激光的出射方向与二维光栅所在平面的法线之间为锐角夹角,作为入射光射入二维光栅产生衍射,衍射光射入竖直位移测量单元、水平位移测量单元和角度测量单元,衍射光包括 $(0,0)$ 级、 $(0,1)$ 级、 $(0,-1)$ 级、 $(1,1)$ 级、 $(1,-1)$ 级、 $(-1,1)$ 级、 $(-1,-1)$ 级、 $(1,0)$ 级、 $(-1,0)$ 级衍射光,当二维光栅的位置发生改变时,衍射光的形态发生改变;

[0009] 竖直位移测量单元、水平位移测量单元和角度测量单元分别用于接收衍射光,并将衍射光的数据传递至处理器单元,处理器单元根据接收的数据,计算得到二维光栅的竖直位移、水平位移和角度变化;

[0010] 竖直位移测量单元包括用于接收入射光和衍射光的竖直光电探测器组,水平位移测量单元包括用于接收衍射光的水平光电探测器组,角度测量单元包括用于接收衍射光的位置探测器组。

[0011] 优选地,竖直位移测量单元还包括用于组成入射光和衍射光的光路的竖直光学器件组;竖直光电探测器组与处理器单元电连接;衍射光经过竖直光学器件组,射入竖直光电

探测器组,处理器单元根据射入竖直光电探测器组的衍射光的能量变化,计算得到二维光栅的竖直位移。

[0012] 优选地,竖直光电探测器组包括第一光电探测器、第二光电探测器、第三光电探测器、第四光电探测器;

[0013] 竖直光学器件组包括第一分光棱镜、第二分光棱镜、第一偏振分光棱镜、第二偏振分光棱镜、第一反射镜、第一四分之一波片、第二四分之一波片;

[0014] 入射光经过第一分光棱镜透射至所述二维光栅产生衍射;

[0015] 入射光依次经过第一分光棱镜反射、第一反射镜、第二分光棱镜透射、第一四分之一波片、第一偏振分光棱镜反射,射入第一光电探测器;

[0016] 入射光依次经过第一分光棱镜反射、第一反射镜、第二分光棱镜透射、第一四分之一波片、第一偏振分光棱镜透射,射入第二光电探测器;

[0017] 入射光依次经过第一分光棱镜反射、第一反射镜、第二分光棱镜反射、第二四分之一波片、第二偏振分光棱镜反射,射入第三光电探测器;

[0018] 入射光依次经过第一分光棱镜反射、第一反射镜、第二分光棱镜反射、第二四分之一波片、第二偏振分光棱镜透射,射入第四光电探测器;

[0019] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜反射、第一四分之一波片、第一偏振分光棱镜反射、射入第一光电探测器;

[0020] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜反射、第一四分之一波片、第一偏振分光棱镜透射、射入第二光电探测器;

[0021] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜透射、第二四分之一波片、第二偏振分光棱镜反射、射入第三光电探测器;

[0022] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜透射、第二四分之一波片、第二偏振分光棱镜透射、射入第四光电探测器。

[0023] 优选地,水平位移测量单元还包括用于组成衍射光的光路的水平光学器件组;水平光电探测器组与处理器单元电连接;衍射光经过水平光学器件组,射入水平光电探测器组,处理器单元根据射入水平光电探测器组的衍射光的频率信号,计算得到二维光栅的水平位移。

[0024] 优选地,水平光电探测器组包括第五光电探测器、第六光电探测器、第七光电探测器、第八光电探测器;

[0025] 水平光学器件组包括第二反射镜、第三反射镜、第四反射镜、第五反射镜、第六反射镜、第七反射镜、第八反射镜、第九反射镜、第三偏振分光棱镜、第四偏振分光棱镜、第五偏振分光棱镜、第六偏振分光棱镜、第三四分之一波片、第四四分之一波片、第五四分之一波片、第六四分之一波片、第七四分之一波片、第八四分之一波片、第九四分之一波片、第十四分之一波片;

[0026] (1,1)级衍射光依次经过第二反射镜、第三偏振分光棱镜透射、第三四分之一波片、第三反射镜、第三偏振分光棱镜反射,射入第五光电探测器;

[0027] (1,1)级衍射光依次经过第二反射镜、第三偏振分光棱镜反射、第四四分之一波片、第五四分之一波片、第四偏振分光棱镜透射,射入第六光电探测器;

[0028] (-1,-1)级衍射光依次经过第四反射镜、第四偏振分光棱镜反射、第五四分之一波片

片、第四四分之一波片、第三偏振分光棱镜透射,射入第五光电探测器;

[0029] (-1,-1)级衍射光依次经过第四反射镜、第四偏振分光棱镜透射、第六四分之一波片、第五反射镜、第四偏振分光棱镜反射,射入第六光电探测器;

[0030] (-1,1)级衍射光依次经过第六反射镜、第五偏振分光棱镜透射、第七四分之一波片、第七反射镜、第五偏振分光棱镜反射,射入第七光电探测器;

[0031] (-1,1)级衍射光依次经过第六反射镜、第五偏振分光棱镜反射、第八四分之一波片、第九四分之一波片、第六偏振分光棱镜透射,射入第八光电探测器;

[0032] (1,-1)级衍射光依次经过第八反射镜、第六偏振分光棱镜反射、第九四分之一波片、第八四分之一波片、第五偏振分光棱镜透射,射入第七光电探测器;

[0033] (1,-1)级衍射光依次经过第八反射镜、第六偏振分光棱镜透射、第十四四分之一波片、第九反射镜、第六偏振分光棱镜反射,射入第八光电探测器。

[0034] 优选地,角度测量单元还包括用于组成衍射光的光路的角度光学器件组;位置探测器组与处理器单元电连接;衍射光经过角度光学器件组,射入位置探测器组,处理器单元根据射入位置探测器组的衍射光的位移值,计算得到二维光栅的角度变化。

[0035] 优选地,位置探测器组包括第一位置探测器、第二位置探测器,角度光学器件组包括第十反射镜、第十一反射镜、第一聚光透镜、第二聚光透镜;

[0036] (0,1)级衍射光依次经过第十反射镜、第一聚光透镜,射入第一位置探测器;

[0037] (0,-1)级衍射光依次经过第十一反射镜、第二聚光透镜,射入第二位置探测器。

[0038] 优选地,处理器单元包括水平位移计算模块、竖直位移计算模块、角度变化计算模块;水平位移计算模块用于根据射入水平光电探测器组的衍射光的频率信号,计算得到二维光栅的水平位移;竖直位移计算模块用于根据射入竖直光电探测器组的衍射光的能量变化,计算得到二维光栅的竖直位移;角度变化计算模块用于根据射入位置探测器组的衍射光的位移值,计算得到二维光栅的角度变化。

[0039] 一种六维测量方法,包括以下步骤:

[0040] 二维光栅与待测物体固定连接,通过单频激光器发出出射方向与二维光栅所在平面的法线之间为锐角夹角的单频激光,作为入射光射入二维光栅产生衍射,衍射光包括(0,0)级、(0,1)级、(0,-1)级、(1,1)级、(1,-1)级、(-1,1)级、(-1,-1)级、(1,0)级、(-1,0)级衍射光,衍射光射入竖直位移测量单元、水平位移测量单元和角度测量单元,当二维光栅的位置发生改变时,衍射光的形态发生改变;

[0041] 通过竖直位移测量单元的竖直光电探测器组接收(0,0)级衍射光和入射光,并将(0,0)级衍射光和入射光的能量变化传递至处理器单元,通过处理器单元的竖直位移计算模块,根据能量变化,计算得到二维光栅的竖直位移;

[0042] 通过水平位移测量单元的水平光电探测器组接收(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光,并将(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号传递至处理器单元,通过处理器单元的水平位移计算模块,根据频率信号,计算得到二维光栅的水平位移;

[0043] 通过角度测量单元的位置探测器组接收(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光,并将(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值传递至处理器单元,通过处理器单元的角度变化计算模块,根据位移值,计算得到二维光栅的角度变化。

[0044] 优选地, 竖直光电探测器组包括第一光电探测器、第二光电探测器、第三光电探测器、第四光电探测器; 得到(0,0)级衍射光和入射光的能量变化包括以下步骤:

[0045] 入射光作为参考光, 与作为测量光的(0,0)级衍射光, 同时入射至由第一光电探测器、第二光电探测器、第三光电探测器和第四光电探测器组成的四步相移结构, 得到(0,0)级衍射光和入射光的能量变化。

[0046] 优选地, 水平光电探测器组包括第五光电探测器、第六光电探测器、第七光电探测器、第八光电探测器; 得到(1,1)级衍射光、(-1, -1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号包括以下步骤:

[0047] (1,1)级衍射光与(-1,-1)级衍射光相互干涉, 入射至第五光电探测器和第六光电探测器, (1,-1)级衍射光与(-1,1)级衍射光相互干涉, 入射至第七光电探测器和第八光电探测器, 得到(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号。

[0048] 优选地, 位置探测器组包括第一位置探测器、第二位置探测器; 得到(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值包括以下步骤:

[0049] 第一位置探测器和第二位置探测器分别接收(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光, 形成衍射光对应的衍射光斑, 根据衍射光斑的偏移量得到(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值。

[0050] 本发明能够取得以下技术效果:

[0051] (1) 本发明运用处理器单元对信号进行解耦处理, 可实现单次衍射的四倍光学细分, 同时利用转折光学元件和探测器, 在实现超高精度测量的同时, 实现六维测量。

[0052] (2) 本发明采用对称的结构分布和四步相移相结合的方式, 消除测量系统在光程上引入的影响的同时实现六维测量; 在限制光程的情况下, 保证三维位移测量方面的光程差保持一致。

附图说明

[0053] 图1是根据本发明实施例的六维测量装置的结构示意图;

[0054] 图2是根据本发明实施例的竖直位移测量单元的结构示意图;

[0055] 图3是根据本发明实施例的二维光栅的衍射光路图;

[0056] 图4是根据本发明实施例的水平位移测量单元的结构示意图;

[0057] 图5是根据本发明实施例的角度测量单元的结构示意图。

[0058] 其中的附图标记包括: 竖直位移测量单元1、水平位移测量单元 2、角度测量单元 3、二维光栅4、单频激光器5、第一分光棱镜1-1、第一反射镜1-2、第二分光棱镜1-3、第一四分之一波片1-4、第一偏振分光棱镜1-5、第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第二四分之一波片1-8、第二偏振分光棱镜1-9、第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11、第二反射镜2-1、第三偏振分光棱镜2-2、第三四分之一波片2-3、第三反射镜2-4、第五光电探测器2-5、第四四分之一波片2-6、第五四分之一波片2-7、第四偏振分光棱镜2-8、第六光电探测器2-9、第四反射镜2-10、第六四分之一波片2-11、第五反射镜 2-12、第六反射镜2-13、第五偏振分光棱镜2-14、第七四分之一波片 2-15、第七反射镜2-16、第七光电探测器2-17、第八四分之一波片2-18、第九四分之一波片2-19、第六偏振分光棱镜2-20、第八光电探测器

2-21、第八反射镜2-22、第十四分之一波片2-23、第九反射镜2-24、第十反射镜3-1、第一聚光透镜3-2、第一位置探测器3-3、第十一反射镜3-4、第二聚光透镜3-5、第二位置探测器3-6。

具体实施方式

[0059] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及具体实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，而不构成对本发明的限制。

[0060] 如图1、3所示，本发明实施例提供的六维测量装置，包括：用于测量竖直位移的竖直位移测量单元1、用于测量水平位移的水平位移测量单元2、用于测量角度变化的角度测量单元3、用于产生测量用衍射光的二维光栅4、用于提供入射光的单频激光器5、用于进行计算的处理器单元；以入射光的光路为X轴，建立如图3所示的三维直角坐标系，其中，向右为X轴正向，向上为Y轴正向，从纸内指向纸外为Z轴正向；二维光栅4采用交叉式网格结构，沿X轴栅线与沿Y轴栅线相互垂直，X轴栅距等于Y轴栅距，均为80-200nm，通过二维光栅4进行衍射，可同时得到多个方向的衍射光，同步测量竖直位移、水平位移和角度变化；单频激光器5的波长为600-700nm，通过单频激光器5提供波长稳定的单频激光；

[0061] 二维光栅4与待测物体固定连接，单频激光器5发出的单频激光的出射方向与二维光栅4所在平面的法线之间为锐角夹角，使单频激光作为入射光以截面入射角度射入二维光栅4产生衍射，衍射光射入竖直位移测量单元1、水平位移测量单元2和角度测量单元3，衍射光包括(0,0)级、(0,1)级、(0,-1)级、(1,1)级、(1,-1)级、(-1,1)级、(-1,-1)级、(1,0)级、(-1,0)级衍射光，其中，(0,0)级衍射光为0级衍射光，其余八束衍射光为1级衍射光；当二维光栅4的位置发生改变时，衍射光的形态发生改变；竖直位移测量单元1由中心垂直入射的衍射光和四步相移结构组成；水平位移测量单元2位于二维光栅4的对角线出射方向，形成对称分布；角度测量单元3位于与入射光相互垂直的方向，同样形成对称分布。

[0062] 竖直位移测量单元1、水平位移测量单元2和角度测量单元3分别用于接收衍射光，并将衍射光的数据传递至处理器单元，处理器单元根据接收的数据，计算得到二维光栅4的竖直位移、水平位移和角度变化；

[0063] 竖直位移测量单元1包括用于接收入射光和衍射光的竖直光电探测器组，水平位移测量单元2包括用于接收衍射光的水平光电探测器组，角度测量单元3包括用于接收衍射光的位置探测器组，通过探测器对入射光和衍射光进行接收，得到入射光和衍射光的数据，并将数据传递至处理器组件。

[0064] 在本发明的一个实施例中，竖直位移测量单元1还包括用于组成入射光和衍射光的光路的竖直光学器件组，通过竖直光学器件组将衍射光和入射光传递至竖直光电探测器组；竖直光电探测器组与处理器单元电连接；衍射光经过竖直光学器件组，射入竖直光电探测器组，处理器单元根据射入竖直光电探测器组的衍射光的能量变化，计算得到二维光栅4的竖直位移。

[0065] 如图2所示，在本发明的一个实施例中，竖直光电探测器组包括第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11；

[0066] 竖直光学器件组包括第一分光棱镜1-1、第二分光棱镜1-3、第一偏振分光棱镜1-

- 5、第二偏振分光棱镜1-9、第一反射镜1-2、第一四分之一波片1-4、第二四分之一波片1-8；
- [0067] 如图3所示，单频激光器5的出射方向对准第一分光棱镜1-1，入射光经过第一分光棱镜1-1透射，以截面入射角度入射至二维光栅 4产生衍射；
- [0068] 如图2所示，入射光依次经过第一分光棱镜1-1反射、第一反射镜1-2、第二分光棱镜1-3透射、第一四分之一波片1-4、第一偏振分光棱镜1-5反射，射入第一光电探测器1-6；
- [0069] 入射光依次经过第一分光棱镜1-1反射、第一反射镜1-2、第二分光棱镜1-3透射、第一四分之一波片1-4、第一偏振分光棱镜1-5透射，射入第二光电探测器1-7；
- [0070] 入射光依次经过第一分光棱镜1-1反射、第一反射镜1-2、第二分光棱镜1-3反射、第二四分之一波片1-8、第二偏振分光棱镜1-9反射，射入第三光电探测器1-10；
- [0071] 入射光依次经过第一分光棱镜1-1反射、第一反射镜1-2、第二分光棱镜1-3反射、第二四分之一波片1-8、第二偏振分光棱镜1-9透射，射入第四光电探测器1-11；
- [0072] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜1-3反射、第一四分之一波片1-4、第一偏振分光棱镜1-5反射、射入第一光电探测器1-6；
- [0073] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜1-3反射、第一四分之一波片1-4、第一偏振分光棱镜1-5透射、射入第二光电探测器1-7；
- [0074] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜1-3透射、第二四分之一波片1-8、第二偏振分光棱镜1-9反射、射入第三光电探测器1-10；
- [0075] (0,0)级衍射光依次经过第二分光棱镜1-3透射、第二四分之一波片1-8、第二偏振分光棱镜1-9透射、射入第四光电探测器1-11；
- [0076] 经过第一分光棱镜1-1反射的入射光作为参考光，与作为测量光的(0,0)级衍射光，同时入射至由第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11组成的四步相移结构，产生干涉；
- [0077] 经过第二分光棱镜1-3透射的入射光再经过第一偏振分光棱镜 1-5进行偏振分光，反射光与透射光分别射入第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7，反射光与透射光以不同偏振状态实现 0° 和 180° 的相移检测，经过第二分光棱镜1-3反射的入射光再经过第二偏振分光棱镜1-9进行偏振分光，反射光与透射光分别射入第三光电探测器 1-10、第四光电探测器1-11，反射光与透射光以不同偏振状态实现 90° 和 270° 的相移检测；
- [0078] 经过第二分光棱镜1-3反射的(0,0)级衍射光通过呈 -45° 分布的第一四分之一波片1-4，从线偏振光转化为椭圆偏振光，再经过第一偏振分光棱镜1-5进行偏振分光，反射光与透射光分别射入第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7，形成 90° 和 270° 的相移偏差，经过第二分光棱镜1-3透射的(0,0)级衍射光通过呈 $+45^\circ$ 分布的第二四分之一波片1-8，从线偏振光转化为椭圆偏振光，再经过第二偏振分光棱镜1-9进行偏振分光，反射光与透射光分别射入第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11，形成 0° 和 180° 的相移偏差；
- [0079] 射入同一个光电探测器的入射光与(0,0)级衍射光会产生 90° 相位差的干涉，通过对四个光电探测器的干涉信号进行检测，根据检测到的干涉信号的能量变化和光程差的变化来实现竖直位移的测量。
- [0080] 在本发明的一个实施例中，水平位移测量单元2还包括用于组成衍射光的光路的水平光学器件组，通过水平光学器件组将衍射光传递至水平光电探测器组；水平光电探测器组与处理器单元电连接；衍射光经过水平光学器件组，射入水平光电探测器组，处理器单

元根据射入水平光电探测器组的衍射光的频率信号,计算得到二维光栅4的水平位移。

[0081] 如图4所示,在本发明的一个实施例中,水平光电探测器组包括第五光电探测器2-5、第六光电探测器2-9、第七光电探测器2-17、第八光电探测器2-21;

[0082] 水平光学器件组包括第二反射镜2-1、第三反射镜2-4、第四反射镜2-10、第五反射镜2-12、第六反射镜2-13、第七反射镜2-16、第八反射镜2-22、第九反射镜2-24、第三偏振分光棱镜2-2、第四偏振分光棱镜2-8、第五偏振分光棱镜2-14、第六偏振分光棱镜2-20、第三四分之一波片2-3、第四四分之一波片2-6、第五四分之一波片2-7、第六四分之一波片2-11、第七四分之一波片2-15、第八四分之一波片2-18、第九四分之一波片2-19、第十四分之一波片2-23;

[0083] (1,1)级衍射光依次经过第二反射镜2-1、第三偏振分光棱镜2-2透射、第三四分之一波片2-3、第三反射镜2-4、第三偏振分光棱镜2-2反射,射入第五光电探测器2-5;

[0084] (1,1)级衍射光依次经过第二反射镜2-1、第三偏振分光棱镜2-2反射、第四四分之一波片2-6、第五四分之一波片2-7、第四偏振分光棱镜2-8透射,射入第六光电探测器2-9;

[0085] (-1,-1)级衍射光依次经过第四反射镜2-10、第四偏振分光棱镜2-8反射、第五四分之一波片2-7、第四四分之一波片2-6、第三偏振分光棱镜2-2透射,射入第五光电探测器2-5;

[0086] (-1,-1)级衍射光依次经过第四反射镜2-10、第四偏振分光棱镜2-8透射、第六四分之一波片2-11、第五反射镜2-12、第四偏振分光棱镜2-8反射,射入第六光电探测器2-9;

[0087] (-1,1)级衍射光依次经过第六反射镜2-13、第五偏振分光棱镜2-14透射、第七四分之一波片2-15、第七反射镜2-16、第五偏振分光棱镜2-14反射,射入第七光电探测器2-17;

[0088] (-1,1)级衍射光依次经过第六反射镜2-13、第五偏振分光棱镜2-14反射、第八四分之一波片2-18、第九四分之一波片2-19、第六偏振分光棱镜2-20透射,射入第八光电探测器2-21;

[0089] (1,-1)级衍射光依次经过第八反射镜2-22、第六偏振分光棱镜2-20反射、第九四分之一波片2-19、第八四分之一波片2-18、第五偏振分光棱镜2-14透射,射入第七光电探测器2-17;

[0090] (1,-1)级衍射光依次经过第八反射镜2-22、第六偏振分光棱镜2-20透射、第十四分之一波片2-23、第九反射镜2-24、第六偏振分光棱镜2-20反射,射入第八光电探测器2-21;

[0091] (1,1)级衍射光与(-1,-1)级衍射光相互干涉,入射至第五光电探测器2-5,产生的多普勒频移为 $2\Delta f$, (1,1)级衍射光与(-1,-1)级衍射光相互干涉,入射至第六光电探测器2-9,产生的多普勒频移为 $-2\Delta f$,第五光电探测器2-5和第六光电探测器2-9进行解耦,产生的多普勒频移为 $4\Delta f$,实现四倍的光学细分; (1,-1)级衍射光与(-1,1)级衍射光相互干涉,入射至第七光电探测器2-17,产生的多普勒频移为 $2\Delta f$, (1,-1)级衍射光与(-1,1)级衍射光相互干涉,入射至第八光电探测器2-21,产生的多普勒频移为 $-2\Delta f$,所述第七光电探测器2-17和第八光电探测器2-21进行解耦,解耦产生的多普勒频移为 $4\Delta f$,实现四倍的光学细分, Δf 为二维光栅4进行运动引起的多普勒频移量,该值为固定值,与二维光栅4的性

质及入射光的性质相关；

[0092] 处理器单元对第五光电探测器2-5、第六光电探测器2-9、第七光电探测器2-17和第八光电探测器2-21接收到的频率信号,计算得到衍射光的相位改变量,进而计算得到沿X轴线的位移量和沿Y轴线的位移量,实现二维光栅4的单次衍射4倍光学细分的水平位移测量。

[0093] 在本发明的一个实施例中,角度测量单元3还包括用于组成衍射光的光路的角度光学器件组,通过角度光学器件组将衍射光传递至位置探测器组;位置探测器组与处理器单元电连接;衍射光经过角度光学器件组,射入位置探测器组,处理器单元根据射入位置探测器组的衍射光的位移值,计算得到二维光栅4的角度变化。

[0094] 如图5所示,在本发明的一个实施例中,位置探测器组包括第一位置探测器3-3、第二位置探测器3-6,角度光学器件组包括第十反射镜3-1、第十一反射镜3-4、第一聚光透镜3-2、第二聚光透镜3-5;

[0095] (0,1)级衍射光依次经过第十反射镜3-1、第一聚光透镜3-2,射入第一位置探测器3-3;

[0096] (0,-1)级衍射光依次经过第十一反射镜3-4、第二聚光透镜3-5,射入第二位置探测器3-6;

[0097] 第一位置探测器3-3和第二位置探测器3-6根据衍射光斑的位置变化分别探测二维光栅4的沿X轴线发生的偏移和沿Y轴线发生的偏移,实现沿X轴的偏航角和沿Y轴的俯仰角的测量;

[0098] 第一位置探测器3-3和第二位置探测器3-6探测沿XOY平面发生的偏移,实现沿Z轴的横滚角的测量。

[0099] 在本发明的一个实施例中,处理器单元包括水平位移计算模块、竖直位移计算模块、角度变化计算模块;水平位移计算模块用于根据射入水平光电探测器组的衍射光的频率信号,计算得到二维光栅4的水平位移;竖直位移计算模块用于根据射入竖直光电探测器组的衍射光的能量变化,计算得到二维光栅4的竖直位移;角度变化计算模块用于根据射入位置探测器组的衍射光的位移值,计算得到二维光栅4的角度变化,每个模块独立进行对应计算,提高处理器单元的计算效率。

[0100] 上述内容详细说明了本发明提供的六维测量装置的结构,与该测量装置相对应,本发明还提供一种利用测量装置进行六维测量的方法。

[0101] 本发明实施例提供的六维测量方法,包括以下步骤:

[0102] 二维光栅4与待测物体固定连接,通过单频激光器5发出出射方向与二维光栅4所在平面的法线之间为锐角夹角的单频激光,单频激光作为入射光以截面入射角度射入二维光栅4产生衍射,衍射光包括(0,0)级、(0,1)级、(0,-1)级、(1,1)级、(1,-1)级、(-1,1)级、(-1,-1)级、(1,0)级、(-1,0)级衍射光,其中,(0,0)级衍射光为0级衍射光,其余八束衍射光为1级衍射光;衍射光射入竖直位移测量单元1、水平位移测量单元2和角度测量单元3,当二维光栅4的位置发生改变时,衍射光的形态发生改变,可以根据衍射光的形态变化对二维光栅4的位置变换进行计算;

[0103] 通过竖直位移测量单元1的竖直光电探测器组接收(0,0)级衍射光和入射光,并将(0,0)级衍射光和入射光的能量变化传递至处理器单元,通过处理器单元的竖直位移计算

模块,根据能量变化,计算得到二维光栅4的竖直位移;

[0104] 通过水平位移测量单元2的水平光电探测器组接收(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光,并将(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号传递至处理器单元,通过处理器单元的水平位移计算模块,根据频率信号,计算得到二维光栅4的水平位移;

[0105] 通过角度测量单元3接收(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光,并将(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值传递至处理器单元,通过处理器单元的角度变化计算模块,根据位移值,计算得到二维光栅4的角度变化。

[0106] 在本发明的一个实施例中,竖直光电探测器组包括第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11;得到(0,0)级衍射光和入射光的能量变化包括以下步骤:

[0107] 入射光作为参考光,与作为测量光的(0,0)级衍射光,同时入射至由第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第三光电探测器1-10和第四光电探测器1-11组成的四步相移结构,得到(0,0)级衍射光和入射光的能量变化;

[0108] 通过第一光电探测器1-6、第二光电探测器1-7、第三光电探测器1-10、第四光电探测器1-11的干涉信号的能量变化来进行竖直位移测量;

[0109] 竖直位移产生的相位差可表示为: $\varphi_z = 4\pi\Delta z/d$,其中, Δz 为竖直位移, d 为二维光栅4的栅距;四个光电探测器接受到的信号分别可表示为:

$$E_1 = \cos[2\pi\Delta ft + \varphi_z]、E_2 = \cos[2\pi\Delta ft + \varphi_z + \pi/2]、$$

$E_3 = \cos[2\pi\Delta ft + \varphi_z + \pi]、E_4 = \cos[2\pi\Delta ft + \varphi_z + 3\pi/2]$,根据相位信息的周期性变化计算沿Z轴的竖直位移。

[0110] 在本发明的一个实施例中,水平光电探测器组包括第五光电探测器2-5、第六光电探测器2-9、第七光电探测器2-17、第八光电探测器2-21;得到(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号包括以下步骤:

[0111] (1,1)级衍射光与(-1,-1)级衍射光相互干涉,入射至第五光电探测器2-5和第六光电探测器2-9,(1,-1)级衍射光与(-1,1)级衍射光相互干涉,入射至第七光电探测器2-17和第八光电探测器2-21,得到(1,1)级衍射光、(-1,-1)级衍射光、(-1,1)级衍射光和(1,-1)级衍射光的频率信号;

[0112] 二维光栅4进行水平位移后,沿XOY平面发生移动,移动角度为 θ ,即在斜面方向,产生的相位改变量为 $\Phi_1 = 4\pi\Delta y \cos \theta/\lambda +$

$4\pi\Delta x \sin \theta/\lambda、\Phi_2 = -4\pi\Delta y \cos \theta/\lambda + 4\pi\Delta x \sin \theta/\lambda$,其中, Φ_1 为沿斜面方向,正 θ 方向,两个干涉信号相位解耦产生的相位改变量, Φ_2 为沿斜面方向,负 θ 方向,两个干涉信号相位解耦产生的相位改变量;

[0113] 根据计算可得,沿X轴线的位移量 Δx 和沿Y轴线的位移量 Δy 分别为: $\Delta x = \lambda(\Phi_1 + \Phi_2)/8\pi \sin \theta、\Delta y = \lambda(\Phi_1 - \Phi_2)/8\pi \cos \theta。$

[0114] 在本发明的一个实施例中,位置探测器组包括第一位置探测器3-3、第二位置探测

器3-6;得到(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值包括以下步骤:

[0115] 第一位置探测器3-3和第二位置探测器3-6分别接收(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光,形成衍射光对应的衍射光斑,根据衍射光斑的偏移量得到(0,1)级衍射光和(0,-1)级衍射光的位移值;

[0116] 二维光栅4绕X轴旋转,衍射光斑会在沿Y轴线方向发生偏移,根据沿Y轴线发生的偏移的变化,计算沿X轴的偏航角变化;

[0117] 二维光栅4绕Y轴旋转,衍射光斑会在沿X轴线方向发生偏移,根据沿X轴线发生的偏移的变化,计算沿Y轴的俯仰角变化;

[0118] 二维光栅4绕Z轴旋转,衍射光斑会在沿XOY平面发生偏移,根据沿XOY平面发生的偏移的变化,计算沿Z轴的横滚角变化。

[0119] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0120] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制。本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

[0121] 以上本发明的具体实施方式,并不构成对本发明保护范围的限定。任何根据本发明的技术构思所做出的各种其他相应的改变与变形,均应包含在本发明权利要求的保护范围内。

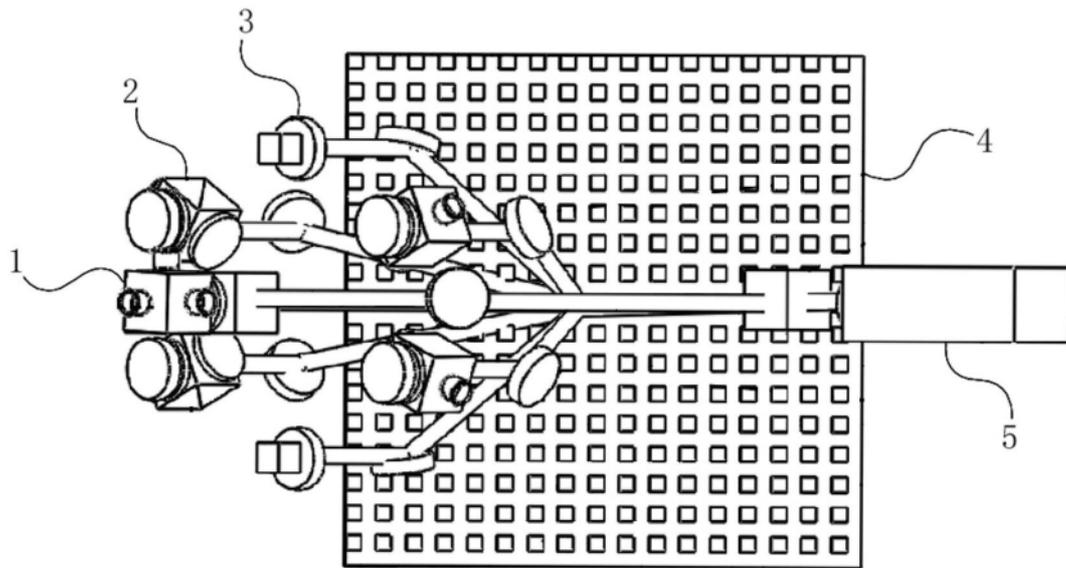


图1

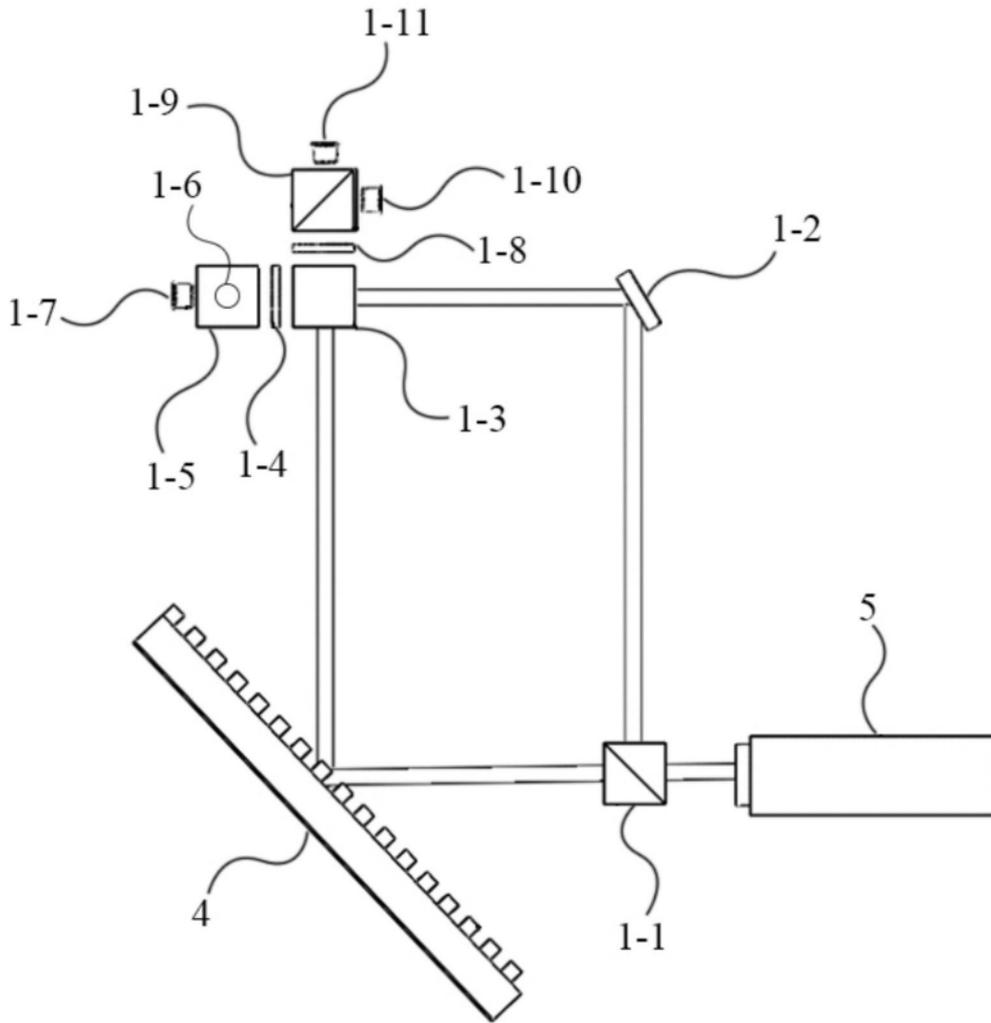


图2

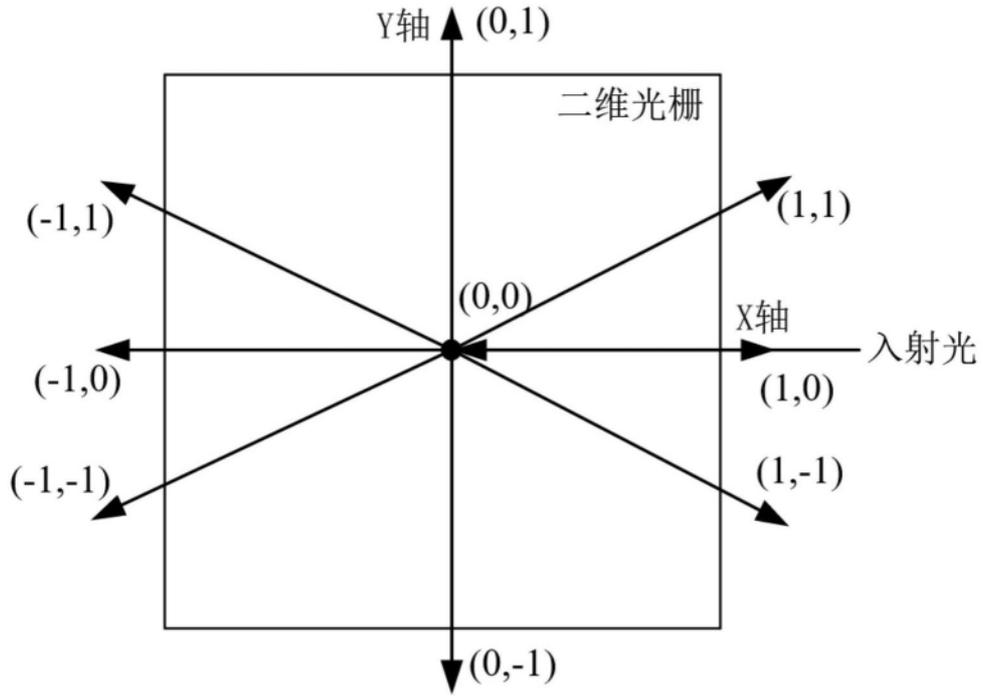


图3

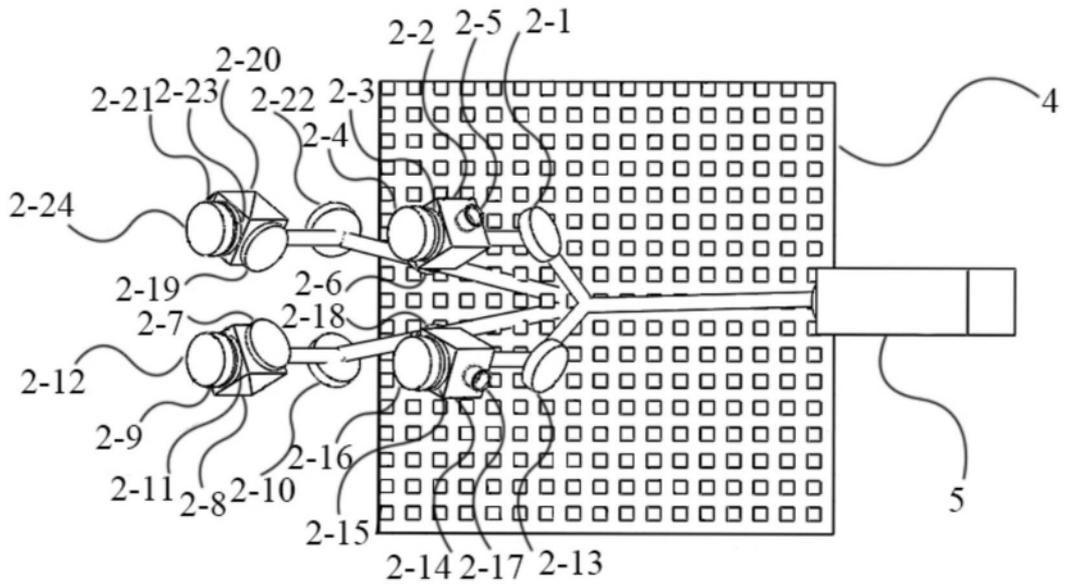


图4

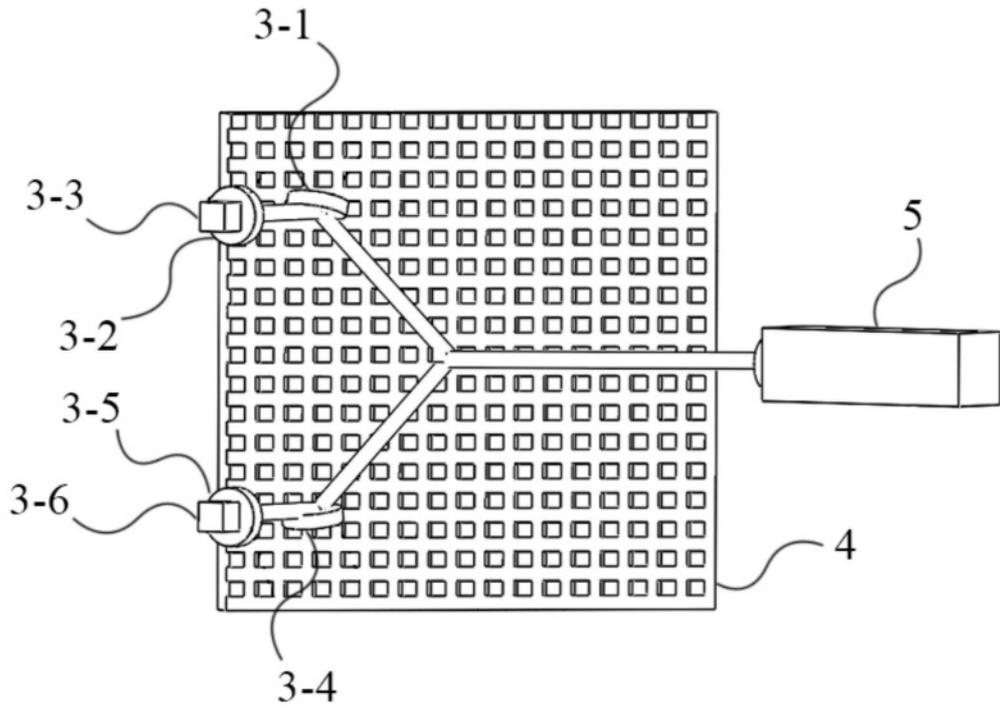


图5