



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105203031 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 30

(21) 申请号 201510581446. 2

(22) 申请日 2015. 09. 14

(71) 申请人 中国科学院上海光学精密机械研究所

地址 201800 上海市嘉定区上海市 800 - 211 邮政信箱

(72) 发明人 卢炎聪 周常河 韦春龙 余俊杰 李树斌 李燕阳 李民康 项长铨

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司 31213

代理人 张泽纯 张宁展

(51) Int. Cl.

G01B 11/02(2006. 01)

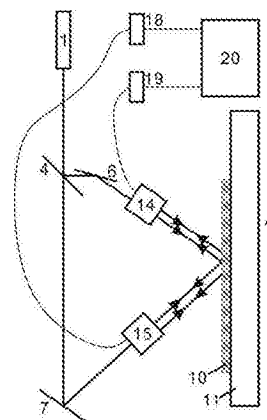
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪

(57) 摘要

一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪, 包括: 双频激光器, 第一 50% 非偏振分光片, 第一平面反射镜, 第二平面反射镜, 第一干涉模块, 第二干涉模块, 第一光电接受器, 第二光电接收器, 光栅标尺以及信号处理模块。本发明不仅能同时测量光栅水平方向和垂直方向上的位移, 使垂直方向上的位移测量量程得到大幅度增加, 而且光学细分倍数达到 4 倍, 在保持测量结果稳定的同时得到高分辨率。



1. 一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪,其特征包括:双频激光器(1)、50%非偏振分光片(4)、第一平面反射镜(6)、第二平面反射镜(7)、第一干涉模块(14)、第二干涉模块(15)、第一光电接收器(19)、第二光电接收器(18)、光栅标尺(10)、信号处理模块(20)和高精密移动平台(11);

所述的双频激光器(1)出射的光束首先经所述的50%非偏振分光片(4)分为反射光束和透射光束,所述的反射光束经第一平面反射镜(6)反射后垂直地入射到第一干涉模块(14),从第一干涉模块(14)输出的光束与光栅标尺(10)的入射角为光栅标尺的利特罗角,由第一干涉模块(14)出来的第一测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺(10)衍射后原路返回,之后由第一干涉模块(14)反射再次以利特罗角入射到光栅标尺(10)上,原路返回后第一测量光束与由第一干涉模块(14)反射的第一参考光束一起耦合经光纤导光至第一光电接收器(19)接收并转化为电信号,由数据处理模块(20)处理得到第一信号;同理,由所述的透射光束经第二平面反射镜(7)反射后垂直地入射到第二干涉模块(15),光线与所述的光栅标尺(10)的法线方向之间的夹角为光栅标尺的利特罗角,由第二干涉模块(15)出来的第二测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺(10)后原路返回,第二测量光束与第一测量光束分别在光栅法线的两侧,第二测量光束再经第二干涉模块(15)反射再次以利特罗角入射到光栅标尺(10)上,原路返回后,第二测量光束与由第二干涉模块(15)反射的第二参考光束一起耦合经光纤导光,经第二光电接收器转(18)接收并转化为电信号,由数据处理模块20处理得到第二信号,根据第一信号和第二信号解调,得到光栅水平和垂直方向上的位移。

2. 根据权利要求1所述的四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪,其特征包括所述的所述第一测量光束和第二测量光束与所述的光栅标尺(10)的法线之间的夹角,即入射角为利特罗角或m阶布拉格角,m阶布拉格角由下式表述:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{m\lambda}{2d}\right)$$

式中, λ 为激光波长,d为光栅周期,m越大,光栅干涉仪系统的光学细分倍数越大。

3. 根据权利要求1所述的四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪,其特征包括所述的所述第一干涉模块和第二干涉模块为安捷伦公司的N10715A干涉模块。

四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪

技术领域

[0001] 本发明属于两轴位移测量系统,特别是一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪。

背景技术

[0002] 微纳米精密位移测量的仪器目前主要两种:激光干涉仪和光栅干涉仪。激光干涉仪以波长为基准,能得到很高的分辨率,但由于波长容易受到环境、光源等因素的影响,其应用受到了限制。而光栅干涉仪刚好弥补了激光干涉仪的缺点,其以光栅周期作为基准,测量结果基本不受环境和波长的影响,已广泛应用于加工机床、机器人、生物医疗等领域。但光栅干涉仪的精度和分辨率还稍逊于激光干涉仪,有些结构在光栅对准不佳时测量误差大。

[0003] 为了解决上述问题,国内外学者进行了大量的研究,如清华大学朱煜等人的专利 CN10293711A 公开了一种双频光栅干涉仪系统,可以同时测量水平和竖直两个方向的直线位移,但是该系统受到光斑直径和光电接收器面积的限制,哈尔滨工业大学的林杰等人为了了解决该问题公开了专利 CN10360077 提出了一种使用双频激光的两轴光栅干涉仪系统,但该系统的只能实现两倍光学细分,分辨率不高,并且该结构的测量光束和参考光束在干涉光路部件中为非对称光路,使得在温度等环境改变时,测量光束和参考光束光程变化不一致,从而对结果造成影响。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明的目的是提供一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪,该仪器能同时测量光栅矢量方向(水平方向)和光栅法线(竖直方向)的位移,不仅在竖直方向上的位移测量量程得到大幅度增加,而且光学细分倍数达到 4 倍,在保持测量结果稳定的同时得到高分辨率。

[0005] 本发明的技术解决方案如下:

[0006] 一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪,其特点在于,包括:双频激光器,50%非偏振分光片,第一平面反射镜,第二平面反射镜,第一干涉模块,第二干涉模块,第一光电接收器,第二光电接收器,光栅标尺以及信号处理模块。所述的干涉模块为安捷伦公司的 N10715A 干涉模块,包括偏振分光棱镜,第一直角棱镜,第二直角棱镜,第三直角棱镜,第一四分之一波片,第二四分之一波片,第三平面反射镜,第四平面反射镜,第五平面反射镜。由双频激光器出射的光束包含相互垂直的两个线偏振光,两偏振光存在固定的频差,激光器出射的光束首先经过 50%非偏振分光片。非偏振分光片出来的其中一束光经第一反射镜垂直入射到第一干涉模块,第一反射镜的反射面与标尺光栅法线的夹角为光栅标尺对应波长的利特罗角的一半,使得光线与光栅标尺的法线方向之间的夹角为光栅标尺的利特罗角,由第一干涉模块出来的第一测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺衍射后原路返回,之后由第一干涉模块反射再次以利特罗角入射到光栅标尺上,原路返回后第一测量光

束与由干涉模块反射的第一参考光束一起耦合至光纤,经光纤导光至光电接收器转化为电信号,由数据处理模块处理得到第一信号。同理,由50%分光片出来的另一束光经第二反射镜垂直入射到第二干涉模块,光线与光栅标尺的法线方向之间的夹角为光栅标尺的利特罗角,由第二干涉模块出来的第二测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺后原路返回,第二测量光束与第一测量光束分别处于光栅法线的两侧,第二测量光束再经第二干涉模块反射再次以利特罗角入射到光栅标尺上,原路返回后第二测量光束与由第二干涉模块反射的第二参考光束一起耦合至光纤,经光纤导光至光电接收器转化为电信号,由数据处理模块处理得到第二信号。根据第一信号和第二信号解调可得到光栅水平和垂直方向上的位移。

[0007] 特别的,第一测量光束和第二测量光束不仅适用于利特罗角入射的情形,同样适用于m阶布拉格角入射的情形,m阶布拉格角可由下式得出:

$$[0008] \quad \theta = \arcsin\left(\frac{m\lambda}{2d}\right)$$

[0009] 式中 λ 为激光波长,d为光栅周期。m为正整数,m越大,光栅干涉仪系统的光学细分倍数越大。

[0010] 本发明的技术效果:

[0011] 本发明可以同时测量光栅水平方向和垂直方向上的位移,通过使用干涉模块使得测量光束经标尺光栅衍射两次,第一测量光束和第二测量光束结合起来可实现四倍的光学细分,在光栅周期和电子细分倍数相同的情况下提高了光栅干涉仪的分辨率。同时此光路在干涉模块之前测量光束和参考光束共径,在干涉模块中测量光束和参考光束成对称分布,干涉模块中的温度变化时对测量光束和参考光束造成的影响是一样的,提高了系统的稳定性和测量结果的可靠性。经过实验测试,在速度为10mm/s量程为8mm的水平方向移动,误差为 $\pm 80\text{nm}$,23秒内光栅干涉仪漂移为7nm,激光干涉仪漂移为14nm。

附图说明

[0012] 图1是四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪

[0013] 图2是干涉模块的光路结构示意图

具体实施方式

[0014] 下面结合附图对本发明具体实施方式作进一步详细描述。

[0015] 一种四倍光学细分的两轴外差光栅干涉仪如图1所示,包括:双频激光器1,50%分光片4,第一平面反射镜6,第二平面反射镜7,第一干涉模块14,第二干涉模块15,第一光电接收器19,第二光电接收器18,光栅标尺10,信号处理模块20和高精密移动平台11。由双频激光器1出射的光束包含相互垂直的两个线偏振光,两偏振光存在固定的频差,由双频激光器1出射的光束首先经过50%非偏振分光片4分为反射光束和透射光束。所述的反射光束经第一反射镜6反射后垂直地入射到第一干涉模块14,光线与光栅标尺10的法线方向之间的夹角为光栅标尺的利特罗角,由第一干涉模块14出来的第一测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺10衍射后原路返回,之后由第一干涉模块14反射再次以利特罗角入射到光栅标尺10上,原路返回后第一测量光束与由干涉模块14反射的第一参考光束

一起耦合至光纤,经光纤导光至光第一电接收器 19 转化为电信号,由数据处理模块 20 处理得到第一信号。同理,由 50%分光片 4 出来的另一束光经第二反射镜 7 垂直入射到第二干涉模块 15,光线与光栅标尺 10 的法线方向之间的夹角为光栅标尺的利特罗角,由第二干涉模块 15 出来的第二测量光束第一次以利特罗角入射到光栅标尺 10 后原路返回,第二测量光束与第一测量光束分别在光栅法线的两侧,第二测量光束再经第二干涉模块 15 反射再次以利特罗角入射到光栅标尺 10 上,原路返回后第二测量光束与由第二干涉模块 15 反射的第二参考光束一起耦合至光纤,经光纤导光至第二光电接收器 18 化为电信号,由数据处理模块 20 处理得到第二信号。根据第一信号和第二信号解调可得到光栅水平和竖直方向上的位移。

[0016] 所述的干涉模块为安捷伦公司的 N10715A 干涉模块如图 2 所示,包括偏振分光棱镜 31、第一直角棱镜 32、第二直角棱镜 35、第三直角棱镜 33、第一四分之一波片 36、第二四分之一波片 34、第三平面反射镜 37、第四平面反射镜 38 和第五平面反射镜 39。垂直入射到干涉模块的光束经过偏振分光棱镜 31 分为 p 光和 s 光,被偏振分光棱镜 31 反射的 s 光为参考光,依次经第一直角棱镜 32、偏振分光棱镜 31、第三平面反射镜 37、第一四分之一波片 36、第二直角棱镜 35、第一四分之一波片 36、第三平面反射镜 37、偏振分光棱镜 31、第二四分之一波片 34、第四平面反射镜 38、第二四分之一波片 34、偏振分光棱镜 31、第三直角棱镜 33、偏振分光棱镜 31、第二四分之一波片 34、第五平面反射镜 39、第二四分之一波片 34、偏振分光棱镜 31,平行于入射光但偏离一定距离输出;经偏振分光棱镜 31 透射的 p 光为测量光,依次经第二四分之一波片 34、光栅标尺 10、第二四分之一波片 34、偏振分光棱镜 31、第三直角棱镜 33、偏振分光棱镜 31、第二四分之一波片 34、光栅标尺 10、第二四分之一波片 34、偏振分光棱镜 31、第三平面反射镜 37、第一四分之一波片 36、第二直角棱镜 35、第一四分之一波片 36、第三平面反射镜 37、偏振分光棱镜 31、第一直角棱镜 32、偏振分光棱镜 31,与参考光共轴输出,一起耦合至光纤,传导到光电接收器。

[0017] 实施例中光栅标尺 10 采用反射式高衍射效率光栅,周期为 561.8nm,经过四倍光学细分以及 1024 倍电子细分,光栅干涉仪的理论分辨率为 0.137nm,高于安捷伦公司对应产品的理论分辨率 0.154nm。

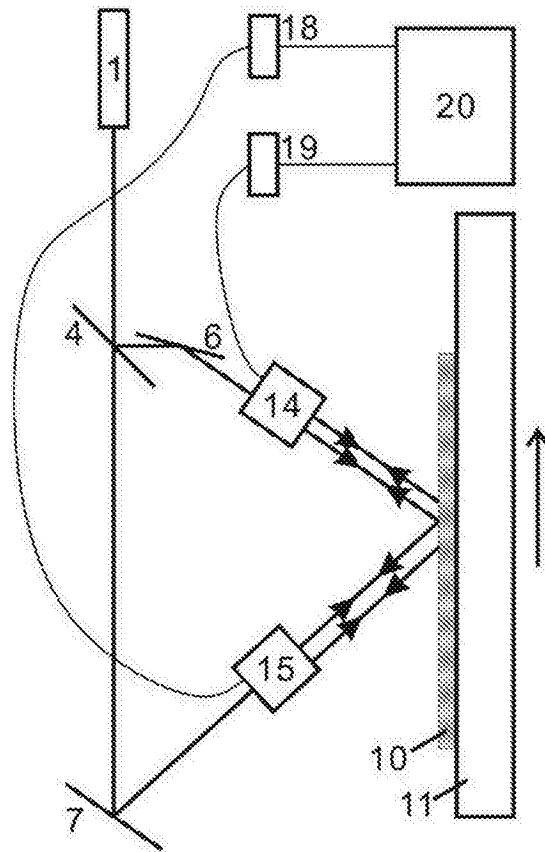


图 1

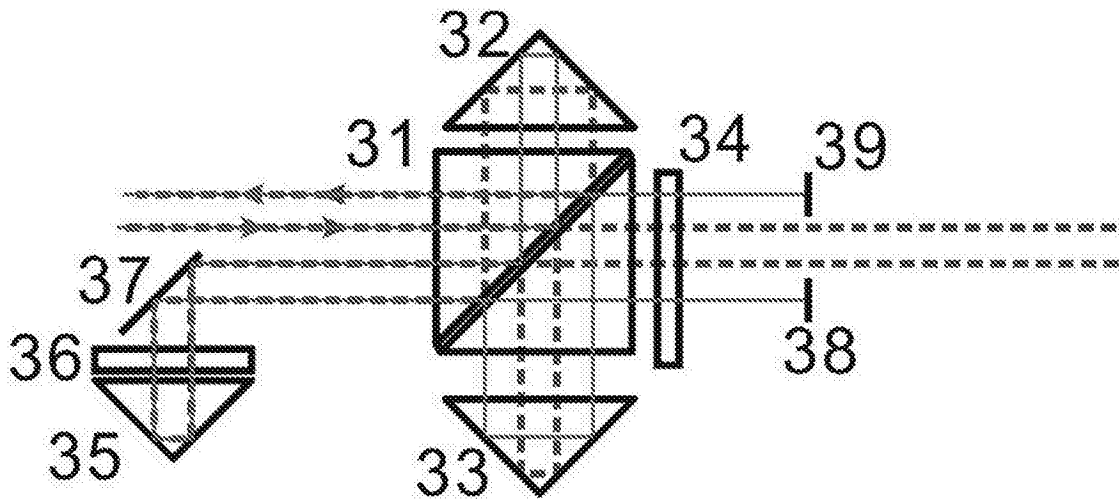


图 2