



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103543294 B

(45) 授权公告日 2015.06.10

(21) 申请号 201310416339.5

CN 102788887 A, 2012.11.21,

(22) 申请日 2013.09.13

US 2011077891 A1, 2011.03.31,

US 5203199 A, 1993.04.20,

(73) 专利权人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

审查员 杨建坤

(72) 发明人 王峥 冯丽爽 王潇 马迎建  
姚保寅 刘惟芳

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所  
11121

代理人 周长琪

(51) Int. Cl.  
G01P 21/00(2006.01)

(56) 对比文件  
CN 102636665 A, 2012.08.15,

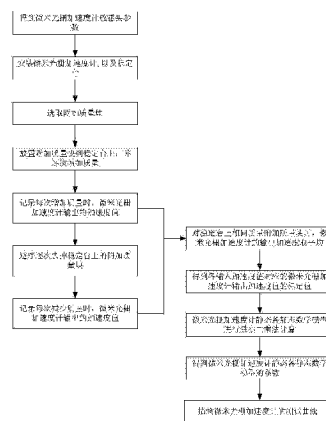
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,首先,通过理论计算与仿真分析得到敏感头参数;将加速度计敏感头安装在测试台面上,同时在加速度计中心质量块上表面设置稳定台;然后选取附加质量块质量、数量及总重量;将附加质量块逐次放置在稳定台上,使加速度计输入加速度值由 0g 逐次增加至加速度计测量范围上限;逆序逐次去掉附加质量块,至加速度计的输入加速度值降回 0g;随后取同一加速度输入的两次输出的平均值为对应加速度输出;最终,利用最小二乘法对加速度计各静态数学模型的系数进行计算,最终描绘测试曲线。本发明的优点为:有利于光学加速度计精度的提高;改善了测试环境;能够提高微米光栅加速度计标度因数的测试效率。



1. 一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,其特征在于:具体通过下述步骤实现:

步骤 1:获得微米光栅加速度计敏感头的检测输入加速度范围、悬臂梁弹性系数、阻尼以及中心质量块质量;

步骤 2:将微米光栅加速度计敏感头安装在测试台面上,同时在微米光栅加速度计的中心质量块上表面设置稳定台;

步骤 3:选取  $n$  个附加质量块,  $n$  为自然数,且  $n > 1$ ;

单块附加质量块的最小质量  $M_{\min}$  需满足:

$$M_{\min} = \frac{m_s}{2} \quad (1)$$

式 (1) 中,  $m_s$  为微米光栅加速度计的灵敏度经换算后得到的对应质量;

单块附加质量块的最大质量  $M_{\max}$  需满足:

$$M_{\max} = 2k \cdot M_{\min} \leq \frac{M_{\text{total}}}{10} \quad (2)$$

式 (2) 中,  $k$  为正整数,  $k = 1, 2, 3, \dots$ ;  $M_{\text{total}}$  为  $n$  个附加质量块的总质量,  $M_{\text{total}}$  的选取范围:

$$M_{\text{total}} = \frac{a_{\max} \cdot m_{\text{mid}}}{g} - m_{\text{mid}} \quad (3)$$

式 (3) 中,  $m_{\text{mid}}$  为微米光栅加速度计中心质量块质量,  $g$  为重力加速度;  $a_{\max}$  为微米光栅加速度计的最大量程;

步骤 4:将附加质量块放置在稳定台上,每次测试由输入加速度值  $G$  为  $0g$  开始,在稳定台上逐次增加附加质量块,使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递增变化,直至微米光栅加速度计到达测量范围上限;且记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递增变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值;

步骤 5:按步骤 4 中增加附加质量块的顺序逆序逐次去掉稳定台上的附加质量块,使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化,直至输入加速度值  $G$  降回  $0g$ ;同样记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值;

步骤 6:在输入加速度值  $G$  递增变化与递减变化过程中,取输入加速度值  $G$  相同时,微米光栅加速度计的输入加速度值进行求平均运算,得到所选取的输入加速度值对应的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值;

步骤 7:根据步骤 6 中得到的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值,通过最小二乘法,计算得到微米光栅加速度计静态数学模型的系数;

步骤 8:根据微米光栅加速度计静态数学模型的系数描绘微米光栅加速度计的测试曲线。

2. 如权利要求 1 所述一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,其特征在于:微米光栅加速度计输入加速度值  $G$  递增按照:  $G_0$  对应质量为  $0$ ,  $G_1$  对应质量为  $M_{\min}$ ,  $G_2$  对应质量为  $2M_{\min}$ ,  $G_3$  对应质量为  $4M_{\min}$ ,  $\dots$ ,  $G_p$  对应质量为  $M_{\max}$ ;且  $2$  倍  $G_1$  对应质量与  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $\dots$ ,  $G_p$  所对应质量之和,约等于全部附加质量块的质量总和;其中,加速度值  $G$  的下角标  $1, 2,$

3、……、 $p$  为递增变化次数。

3. 如权利要求 1 所述一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,其特征在于:所述稳定台的周向上均匀开有导向孔,通过在导向孔中插入导向柱,作为稳定台上下运动的导轨,使稳定台仅具有上下方向的位移。

## 一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及微米光栅加速度计技术领域,主要是一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法。

### 背景技术

[0002] 微米光栅加速度计是一类用于测量加速度及加速度变化的光学惯性器件,采用半导体硅通过微机械加工形成的一种力学结构以感受加速度的变化,微米光栅加速度计的敏感头结构如图 1 所示,包括:中心质量块 1、悬臂梁 2、反射镜 3、微米光栅 4 等结构。光源(LD 出射光)入射到微米光栅加速度计敏感头,在途经微米光栅 4 时,一部分光被微米光栅 4 反射,另一部分通过微米光栅 4 经过中心质量块 1 下表面的反射镜 3 反射后再次通过微米光栅 4;这两部分光在空间干涉,形成多级次条纹;当有加速度输入时,中心质量块 1 受惯性力影响,引起悬臂梁 2 形变,如图 2 所示,从而使反射镜 3 和微米光栅 4 之间的间隙(空气腔)发生变化,进而从反射镜 3 反射回的光束相位将发生变化,这将导致最终空间干涉条纹强度大小的改变,由此通过测量干涉条纹强度的改变就可以得到输入加速度的大小。微米光栅加速度计有着性能稳定、灵敏度高、抗电磁干扰、易于集成等优点。在航空航天,汽车、地震监测和军事系统等方面,有着广阔的前景。但是对于微米光栅加速度的精度及量程测试存在无法加入可控稳定加速度输入,测量装置体积过大等问题,难以实现微米光栅加速度计的准确测试。

[0003] 高 g 精密离心机试验主要用于检测大于 1g 加速度输入情况下加速度计的标度因数、加速度计零偏等加速度计参数,利用高 g 精密离心机或稳定转台,从外界输入加速度 a 引起加速度计中心质量块的位移 x,质量块位移能够改变加速度计中某一物理量的特性,比如光栅加速度计的光强 I,电容式加速度计的电容 C。通过测量光强变化或者电容变化得到加速度 a 的大小,从而对加速度计进行检测。但这种测试方法,要求离心机转速稳定、结构变形小、震动小以及可以将加速度计安装在圆盘精确已知的各种半径上。其产生加速度的精度取决于离心机工作半径的测量精度以及离心机旋转角速度的精度。但离心机旋转轴线到加速度计质心的工作半径较难准确测量,且高 g 加速度下要求离心机尺寸大、有较高旋转稳定性,这将导致结构和测试方法的进一步复杂,不利于对加速度计进行实时批量在线检测,导致产品开发时间延长。同时进行测试试验的设备昂贵,并且对试验条件要求苛刻,一般情况下不易满足。

### 发明内容

[0004] 根据现有微米光栅加速度计测试方法,可知加速度计中心质量块的位移为检测加速度的关键,因此本发明基于控制外界环境改变加速度计中敏感质量块的位移这一原理,提出一种在微米光栅加速度计的中心质量块上附加质量块,改变质量块位置,用以提供外界模拟加速度输入的微米光栅加速度计测试方法;同时也适用于所有具有悬臂梁式加速度计的测试方法,具体通过下属步骤实现:

[0005] 步骤 1:获得微米光栅加速度计敏感头的检测输入加速度范围、悬臂梁弹性系数、阻尼以及中心质量块质量。

[0006] 步骤 2:将微米光栅加速度计敏感头安装在测试台面上,同时在微米光栅加速度计的中心质量块上表面设置稳定台。

[0007] 步骤 3:选取  $n$  个附加质量块,  $n$  为自然数,且  $n > 1$ ;

[0008] 单块附加质量块的最小质量  $M_{\min}$  需满足:

$$[0009] \quad M_{\min} = \frac{m_s}{2} \quad (1)$$

[0010] 式(1)中,  $m_s$  为微米光栅加速度计的灵敏度经换算后得到的对应质量;

[0011] 单块附加质量块的最大质量  $M_{\max}$  需满足:

$$[0012] \quad M_{\max} = 2k \cdot M_{\min} \leq \frac{M_{\text{total}}}{10} \quad (2)$$

[0013] 式(2)中,  $k$  为正整数,  $k=1, 2, 3, \dots$ ;  $M_{\text{total}}$  为  $n$  个附加质量块的总质量,  $M_{\text{total}}$  的选取范围:

$$[0014] \quad M_{\text{total}} = \frac{a_{\max} \cdot m_{\text{mid}}}{g} - m_{\text{mid}} \quad (3)$$

[0015] 式(3)中,  $m_{\text{mid}}$  为微米光栅加速度计中心质量块质量,  $g$  为重力加速度;  $a_{\max}$  为微米光栅加速度计的最大量程。

[0016] 步骤 4:将附加质量块放置在微米光栅加速度计稳定台上,每次测试由输入加速度值  $G$  为  $0g$  开始,在稳定台上逐次增加附加质量块,使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递增变化,直至微米光栅加速度计到达测量范围上限;且记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递增变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值。

[0017] 步骤 5:按步骤 4 中增加附加质量块的顺序逆序逐次去掉稳定台上的附加质量块,使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化,直至输入加速度值  $G$  降回  $0g$ ;同样记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值。

[0018] 步骤 6:在输入加速度值  $G$  递增变化与递减变化过程中,取输入加速度值  $G$  相同时,微米光栅加速度计的输入加速度值进行求平均运算,得到所选取的输入加速度值对应的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值。

[0019] 步骤 7:根据步骤 6 中得到的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值,通过最小二乘法,计算得到微米光栅加速度计静态数学模型的系数。

[0020] 步骤 8:根据微米光栅加速度计静态数学模型的系数描绘微米光栅加速度计的测试曲线。

[0021] 本发明的优点在于:

[0022] 1、本发明基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,采用模块化部件替代传统的检测方法,缩短了开发时间,并且输入噪声小,抗干扰能力强,有利于光学加速度计精度的提高;

[0023] 2、本发明基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,不需要转台和离心机即可实现对微米光栅加速度计标度因数的测试,摆脱了微米光栅加速度计标度因数测试对转台

和离心机的依赖,改善了测试环境;

[0024] 3、本发明基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,与传统标度因数测试方法相比简单易行、操作方便,能够提高微米光栅加速度计标度因数的测试效率。

### 附图说明

[0025] 图 1 为微米光栅加速度计结构示意图;

[0026] 图 2 为微米光栅加速度计中悬臂梁变形状态示意图;

[0027] 图 3 为本发明基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法流程图;

[0028] 图 4 为本发明基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法中微米光栅加速度计敏感头安装方式以及附加质量块放置位置示意图。

[0029] 图中:

[0030] 1- 中心质量块 2- 悬臂梁 3- 反射镜 4- 微米光栅

### 具体实施方式

[0031] 本发明一种基于附加质量的微米光栅加速度计测试方法,如图 3 所示,具体通过下述步骤实现:

[0032] 步骤 1:通过理论计算与仿真分析得到微米光栅加速度计敏感头的可检测输入加速度范围,悬臂梁弹性系数,阻尼以及中心质量块质量等敏感头参数。

[0033] 步骤 2:将微米光栅加速度计敏感头安装在测试台面上,同时在微米光栅加速度计的中心质量块上安装稳定台,如图 4 所示。本发明中在稳定台的周向上均匀开有导向孔,通过在导向孔中插入导向柱,作为稳定台上下运动的导轨,使稳定台仅具有上下方向的位移。

[0034] 步骤 3:选取  $n$  个附加质量块, $n$  为自然数,且  $n > 1$ 。

[0035] 其中,单块附加质量块的最小质量  $M_{\min}$  (单位为:克)需满足:

$$[0036] \quad M_{\min} = \frac{m_s}{2} \quad (1)$$

[0037] 式(1)中, $m_s$ 为微米光栅加速度计的灵敏度经换算后得到的对应质量;

[0038] 单块附加质量块的最大质量  $M_{\max}$  (单位为:克)需满足:

$$[0039] \quad M_{\max} = 2k \cdot M_{\min} \leq \frac{M_{\text{total}}}{10} \quad (2)$$

[0040] 式(2)中, $k$  为正整数, $k=1,2,3,\dots$ ;  $M_{\text{total}}$  为  $n$  个附加质量块的总质量, $M_{\text{total}}$  的选取范围可根据微米光栅加速度计量程得到:

$$[0041] \quad \begin{cases} (M_{\text{total}} + m_{\text{mid}}) \cdot g = q \cdot x \\ m_{\text{mid}} \cdot a = q \cdot x \end{cases} \quad (3)$$

[0042] 式(3)中, $m_{\text{mid}}$ 为微米光栅加速度计中心质量块质量, $g$  为重力加速度, $q$  为微米光栅加速度计悬臂梁弹性系数; $a$  为加速度, $a$  选取微米光栅加速度计的最大量程,即  $a_{\max}$ ;由此根据式(3)可得到:

$$[0043] \quad M_{total} = \frac{a_{max} \cdot m_{mid}}{g} - m_{mid} \quad (4)$$

[0044] 所述质量块数量  $n$  的选取应满足加速度计性能测试要求,即在能够准确测试微米光栅加速度计灵敏度及量程范围的条件下,尽量选取较少数量;

[0045] 步骤 4:将附加质量块在微米光栅加速度计稳定台上,每次测试由输入加速度值  $G$  为  $0g$  (即无附加质量)开始,在稳定台上逐次增加附加质量块;由此使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递增变化,直至微米光栅加速度计到达测量范围上限(对于微米光栅加速度计而言,其测量范围上限指的是设计指标中,质量块与光栅面之间间隙变化的极限);且记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值递增变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值。

[0046] 上述微米光栅加速度计测试中,微米光栅加速度计输入加速度值  $G$  递增变化按照: $G_0 = 0, G_1 = M_{min}, G_2 = 2M_{min}, G_3 = 4M_{min}, \dots, G_p = M_{max}$ ;且  $2G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_p \approx M_{total}$ ;其中,加速度值  $G$  的下角标  $1, 2, 3, \dots, p$  为递增变化次数;

[0047] 步骤 5:按照步骤 4 中增加附加质量块的顺序逆序逐次去掉稳定台上的附加质量块,使微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化,直至输入加速度值  $G$  降回  $0g$ ;同样记录每次微米光栅加速度计的输入加速度值  $G$  递减变化时,微米光栅加速度计输出的加速度值。

[0048] 步骤 6:由于加速度计悬臂梁恢复问题,将导致的按照递增与递减顺序改变输入加速度值  $G$  大小时,在输入加速度值  $G$  大小相等的条件下,会得到不同的实际测试输出加速度值;由此在输入加速度值  $G$  递增变化与递减变化过程中,选取输入加速度值  $G$  相同时,微米光栅加速度计的输出加速度值进行求平均运算,得到所选取的输入加速度值  $G$  对应的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值。

[0049] 步骤 7:根据步骤 6 中得到的微米光栅加速度计输出加速度值的标定值,通过最小二乘法,计算得到微米光栅加速度计静态数学模型的系数,包括微米光栅加速度计的阈值、分辨率、标度因数与非线性度等参数。

[0050] 步骤 8:根据微米光栅加速度计静态数学模型的系数描绘微米光栅加速度计的测试曲线。

[0051] 本发明中微米光栅加速度计稳定台的质量,根据理论仿真结果及微米光栅加速度计的敏感头灵敏度要求选定,在保证加速度计工作点的条件下,稳定台质量精度选取为  $\pm M_{min}$ 。在本发明测试方法中稳定台的质量可忽略不计。

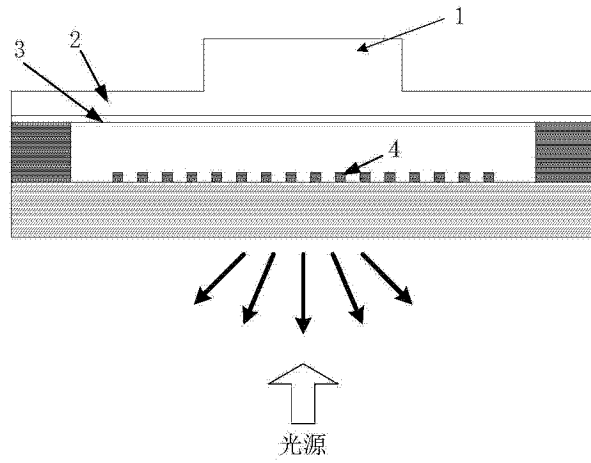


图 1

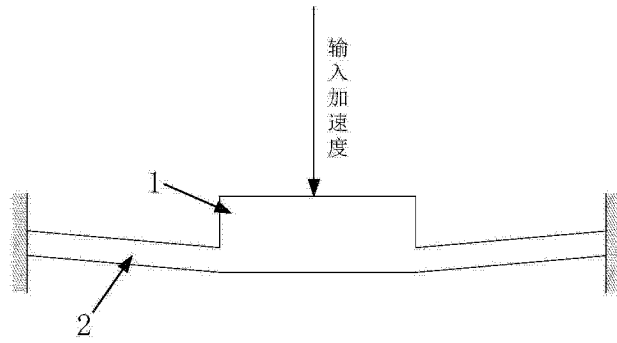


图 2



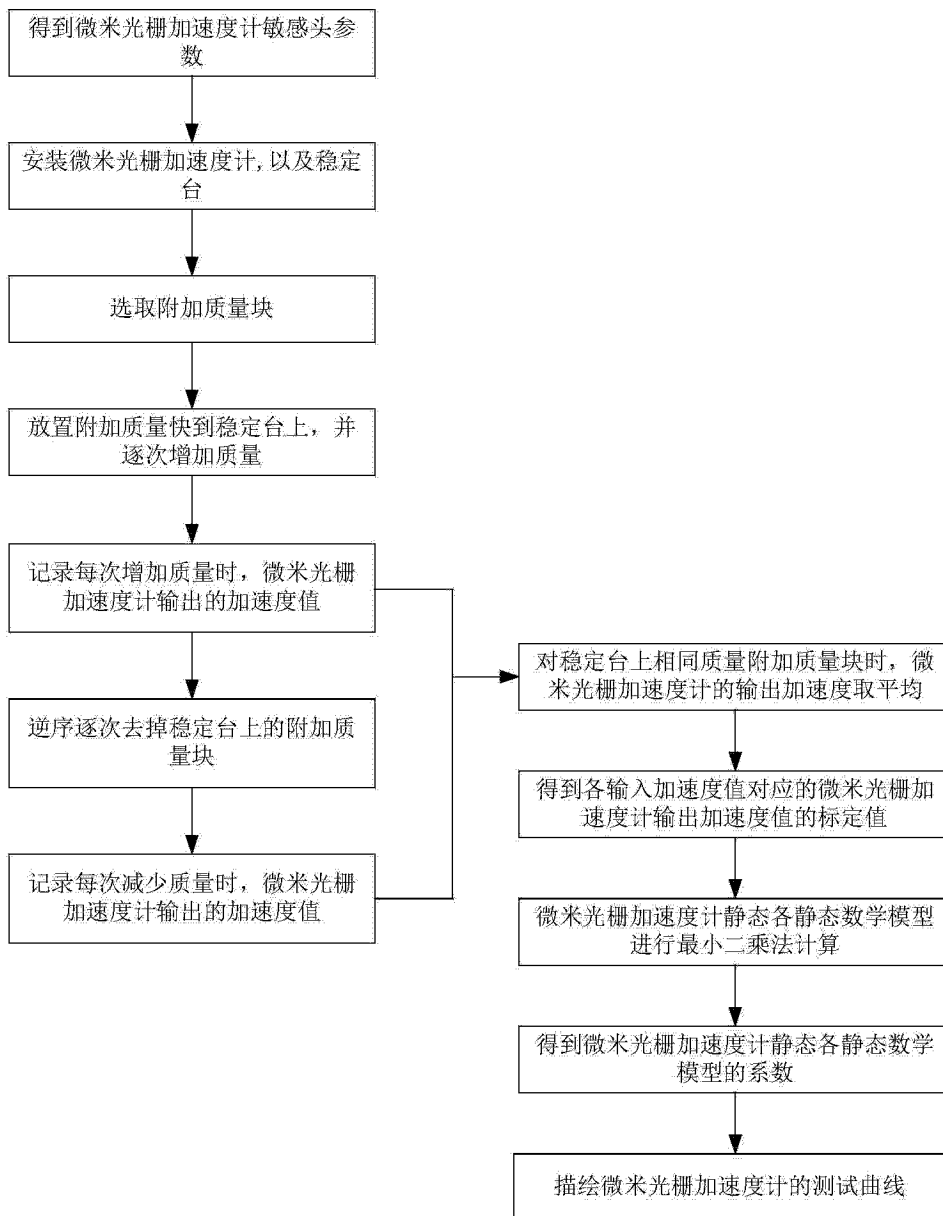


图 3

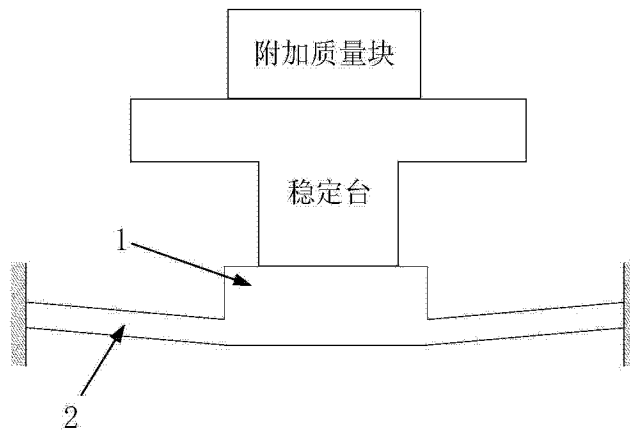


图 4