



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106813655 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 22

(21) 申请号 201610878920.2

(22) 申请日 2016.10.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106813655 A

(43) 申请公布日 2017.06.09

(73) 专利权人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫  
200号

(72) 发明人 杨海波 苏岩 吴志强 张晶

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

专利代理师 朱沉雁

(51) Int. Cl.

G01C 19/5621 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 102252668 A, 2011.11.23

CN 101135560 A, 2008.03.05

CN 102435185 A, 2012.05.02

EP 2746724 A1, 2014.06.25

US 2013180332 A1, 2013.07.18

李宇鹏等. 音叉式全解耦微机电陀螺的设计与仿真.《机械设计》.2016,第第33卷卷(第第33卷期),第33-37页.

审查员 朱先花

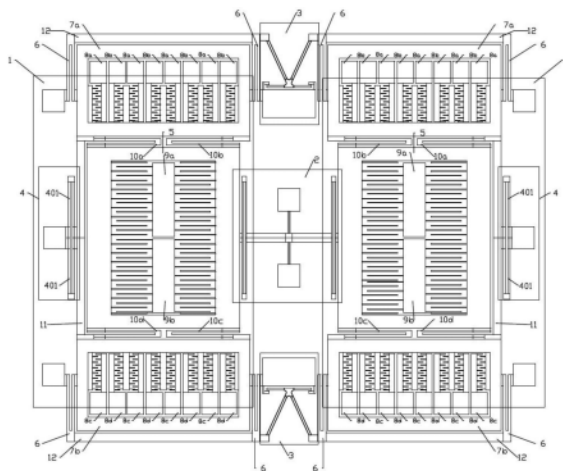
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种双质量块音叉式角速率陀螺仪

(57) 摘要

本发明公开了一种双质量块音叉角速率陀螺仪,包括上层真空封装盖板、下层硅衬底和 中层单晶硅片,中层单晶硅片上设有陀螺机械结构,所述陀螺机械结构的两个子结构对称分布 在质量块连接机构和两个桁架与水平直梁的组合机构的两侧,第一U型梁沿子结构的长边设置,且 位于长边的两端,桁架与水平直梁的组合机构通过第一U型梁与子结构连接,U型梁组合梁沿子结 构的长边设置;直梁沿子结构宽度方向设置,用于连接子结构两侧的第一U型梁。本发明既能实 现驱动模态与检测模态为第一阶模态和第二阶模态,又能有效抑制所有常见的驱动同向、检测 同向和Z向模态等干扰模态,其一致性强,抗振动干扰能力强。



1. 一种双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在於:包括上层真空封装盖板、下层硅衬底和中间单晶硅片,中间单晶硅片上设有陀螺机械结构,所述陀螺机械结构包括质量块连接机构(2)、两个子结构(1)、两个桁架与水平直梁的组合机构(3)、两个U型梁组合梁(4)、八个第一U型梁(6)和四个直梁(12),所述两个子结构(1)对称分布在质量块连接机构(2)和两个桁架与水平直梁的组合机构(3)的两侧,质量块连接机构(2)和两个桁架与水平直梁的组合机构(3)呈直线分布,且质量块连接机构(2)位于两个桁架与水平直梁的组合机构(3)之间,第一U型梁(6)沿子结构(1)的长边设置,且位于长边的两端,桁架与水平直梁的组合机构(3)通过第一U型梁(6)与子结构(1)连接,U型梁组合梁(4)沿子结构(1)的长边设置,且位于远离质量块连接机构(2)一侧的两个第一U型梁(6)的中间;直梁(12)沿子结构(1)宽度方向设置,用于连接子结构(1)两侧的第一U型梁(6);

所述质量块连接机构(2)包括十字梁(201)和4个第二U型梁(202),十字梁(201)宽度方向的两端分别通过两个开口相对设置的第二U型梁(202)与子结构(1)连接,十字梁(201)长度方向的两端均与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固;

所述桁架与水平直梁的组合机构(3)包括V型桁架(301)和水平直梁(302),V型桁架(301)的顶点与水平直梁(302)中心连接,水平直梁(302)与质量块连接机构(2)同侧,V型桁架(301)的两个自由端与第一U型梁(6)封闭端侧壁连接,水平直梁(302)两端均与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固;

所述U型梁组合梁(4)包括两个第三U型梁(401),两个第三U型梁(401)开口端相连,连接处外壁与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固。

2. 根据权利要求1所述的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在於:位于子结构(1)同一侧的两个U型梁(6)开口方向相对。

3. 根据权利要求1所述的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在於:所述两个开口相对设置的第二U型梁(202)的开口端相连。

## 一种双质量块音叉式角速率陀螺仪

### 技术领域

[0001] 本发明属于微电子机械系统和微惯性测量技术,特别是一种双质量块音叉式角速率陀螺仪。

### 背景技术

[0002] 微机械惯性仪表包括微机械陀螺(MMG)和微机械加速度计(MMA)。利用微电子加工工艺允许将微机械结构与所需的电子线路完全集成在一个硅片上,从而达到性能、价格、体积、重量、可靠性诸方面的高度统一。因而,这类仪表具有一系列的优点(如体积小、重量轻、价格便宜、可靠性高、能大批量生产等),在军民两方面都具有广泛的应用前景。在民用方面,主要用于汽车工业、工业监控及消费类产品和机器人技术,如气囊、防抱死系统、偏航速率传感器、翻滚速率传感器、图象稳定及玩具等等;在军用领域,主要用于灵巧炸弹、智能炮弹、战术导弹、新概念武器和微型飞机的自主导航制导系统等。

[0003] 1993年,美国德雷珀实验室通过在玻璃表面复盖硅层技术制作了一种新颖的微机械陀螺—音叉式线振动陀螺。该陀螺由双质量块、支承梁和横梁组成,陀螺采用线振动驱动和角振动检测的方式,可以敏感陀螺平面内轴向的角速率。由于该陀螺的驱动运动与敏感运动完全耦合,限制了其灵敏度的提高。

[0004] 2007年,苏岩等人研制了双质量振动式硅微陀螺(申请号:200710133223.5),在驱动力的作用下双质量在做平行于衬底的线振动,有角速率输入时,双质量块做平行于衬底的垂直于驱动方向的线振动,通过检测敏感电容的变化,测试输入角速率。该陀螺采用了八根驱动支承梁和八根敏感支承梁实现驱动模态与敏感模态的分离。由于微电子工艺存在误差,会导致两个子结构没有很好的一致性,产生敏感模态不同步等现象。

[0005] 2009年,苏岩等人又研制了摆动式硅微陀螺(申请号:200920037290.1)。采用扭杆和横梁,使陀螺绕Z轴转动,实现陀螺的敏感运动,实现了驱动方向与检测方向的运动解耦。扭杆代替了敏感支承梁,减小了支承梁数目,降低了加工误差对陀螺性能的影响。但是在体硅工艺中,对竖直扭杆的加工具有相当大的难度。

[0006] 2011年,苏岩等人研制了硅微角振动输出陀螺(申请号:201110170673.8)和扭摆式角速率陀螺(申请号:201120340974.6)。二者都采用水平扭杆和横梁,实现陀螺的角振动输出。水平扭杆的使用,降低了对加工过程的要求。同时设置了质量块链接机构,增大了工作模态与干扰模态的频率差,增加了陀螺的稳定性。二者不同的地方在于横梁与固定基座的连接方式不同。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种双质量块音叉式角速率陀螺仪,它既能实现驱动模态与检测模态为第一阶模态和第二阶模态,又能有效抑制所有常见的驱动同向、检测同向和Z向模态等干扰模态,其一致性强,抗振动干扰能力强。

[0008] 实现本发明目的的技术解决方案为:一种双质量块音叉角速率陀螺仪,包括上层

真空封装盖板、下层硅衬底和中间层单晶硅片,中间层单晶硅片上设有陀螺机械结构,所述陀螺机械结构包括质量块连接机构、两个子结构、两个桁架与水平直梁的组合机构、两个U型梁组合梁、八个第一U型梁和四个直梁,所述两个子结构对称分布在质量块连接机构和两个桁架与水平直梁的组合机构的两侧,质量块连接机构和两个桁架与水平直梁的组合机构呈直线分布,且质量块连接机构位于两个桁架与水平直梁的组合机构之间,第一U型梁沿子结构的长边设置,且位于长边的两端,桁架与水平直梁的组合机构通过第一U型梁与子结构连接,U型梁组合梁沿子结构的长边设置,且位于远离质量块连接机构一侧的两个第一U型梁的中间;直梁沿子结构宽度方向设置,用于连接子结构两侧的第一U型梁。

[0009] 本发明与现有技术相比,其显著优点为:(1)用桁架及水平直梁的组合机构代替与两个子结构相连的横梁,这种结构形式即保证敏感结构的驱动模态频率低于驱动同向模态频率,也抑制了Z向干扰模态。

[0010] (2)用质量块连接机构连接两个子结构,这种结构形式既能保证敏感结构的检测模态频率低于检测同向模态频率,又能实现两个子结构的运动同步,也抑制了Z向干扰模态。

[0011] (3)两个子结构外侧分别通过两个对称布置的U形梁组合梁与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固,这种结构形式能抑制两个子结构沿z轴方向的干扰模态。

[0012] (4)经过上述关键结构的合理设计,可以使得驱动模态和检测模态分别为该敏感结构的一阶、二阶模态,并且使其他干扰模态尽量远离工作模态。上述两个特点大幅度降低了外界振动环境对陀螺仪性能的影响。

## 附图说明

[0013] 图1是本发明双质量块音叉式角速率陀螺仪的整体结构示意图。

[0014] 图2是本发明双质量块音叉式角速率陀螺仪的桁架与水平直梁的组合机构的结构示意图。

[0015] 图3是本发明双质量块音叉式角速率陀螺仪的质量块连接机构结构示意图。

## 具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

[0017] 本发明双质量块音叉式角速率陀螺仪,用于测量Z轴方向的角速率。其包括上层真空封装盖板、下层硅衬底和中间层单晶硅片,中间层单晶硅片上设有陀螺机械结构。本发明采用了圆片级真空封装工艺,上层真空封装盖板、中间层单晶硅片与下层硅衬底为硅材料,上层真空封装盖板、下层硅衬底之间形成了密闭的真空腔体,中间层单晶硅片设置在所述真空腔体内,使陀螺仪机械结构悬空在下层硅衬底之上,上层真空封装盖板布置信号引线及键合区域。陀螺仪机械结构不会受到灰尘颗粒的污染和外界机械力的影响,提高了陀螺仪的性能。

[0018] 结合图1,所述陀螺机械结构包括质量块连接机构2、两个子结构1、两个桁架与水平直梁的组合机构3、两个U型梁组合梁4、八个第一U型梁6和四个直梁12,所述两个子结构1对称分布在质量块连接机构2和两个桁架与水平直梁的组合机构3的两侧,质量块连接机构2和两个桁架与水平直梁的组合机构3呈直线分布,且质量块连接机构2位于两个桁架与水

平直梁的组合机构3之间,第一U型梁6沿子结构1的长边设置,且位于长边的两端,桁架与水平直梁的组合机构3通过第一U型梁6与子结构1连接,U型梁组合梁4沿子结构1的长边设置,且位于远离质量块连接机构2一侧的两个第一U型梁6的中间;直梁12沿子结构1宽度方向设置,用于连接子结构1两侧的第一U型梁6。

[0019] 位于子结构1同一侧的两个U型梁6开口方向相对。

[0020] 结合图3,所述质量块连接机构2包括十字梁201和4个第二U型梁202,十字梁201宽度方向的两端分别通过两个开口相对设置的第二U型梁202与子结构1连接,十字梁201长度方向的两端均与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固。

[0021] 所述两个开口相对设置的第二U型梁202的开口端相连。

[0022] 结合图2,所述桁架与水平直梁的组合机构3包括V型桁架301和水平直梁302,V型桁架301的顶点与水平直梁302中心连接,水平直梁302与质量块连接机构2同侧,V型桁架301的两个自由端与第一U型梁6封闭端侧壁连接,水平直梁302两端均与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固。

[0023] 所述U型梁组合梁4包括两个第三U型梁401,两个第三U型梁401开口端相连,连接处外壁与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固。

[0024] 所述子结构1(在专利2016107686849中已公开)包括检测质量块5、上驱动支撑框架7a、下驱动支撑框架7b、固定驱动电极、固定驱动检测电极、固定检测电极、驱动梳齿、驱动检测梳齿和活动梳齿,所述上驱动支撑框架7a位于检测质量块5的上方,下驱动支撑框架7b位于检测质量块5的下方,上驱动支撑框架7a和下驱动支撑框架7b结构相同并关于检测质量块5的中心线对称,检测质量块5通过第四U形梁10a和第五U形梁10b与上驱动支撑框架7a相固连,检测质量块5同时通过第六U形梁10c和第七U形梁10d与下驱动支撑框架7b相固连,上驱动支撑框架7a和下驱动支撑框架7b之间通过连接梁11相连,所述连接梁11位于检测质量块5的外侧。

[0025] 上驱动支撑框架7a内部设置4个相同的第一固定驱动电极8a和4个相同的第二固定驱动检测电极8b,所述4个第一固定驱动电极8a和4个第二固定驱动检测电极8b间隔排列,每个第一固定驱动电极8a均连接对应的驱动梳齿,每个第二固定驱动检测电极8b均连接对应的驱动检测梳齿。

[0026] 下驱动支撑框架7b内部设置4个相同的第三固定驱动电极8c和4个相同的第四固定驱动检测电极8d,所述4个第三固定驱动电极8c和4个第四固定驱动检测电极8d间隔排列,每个第三固定驱动电极8c均连接对应的驱动梳齿,每个第四固定驱动检测电极8d均连接对应的驱动检测梳齿。

[0027] 检测质量块5的内部上下对称设置上固定检测电极9a和下固定检测电极9b,检测质量块5的内部同时设置活动梳齿,上固定检测电极9a和下固定检测电极9b分别与质量块5连接的活动梳齿行成差分的检测电容。

[0028] 本发明的双质量块音叉式角速率陀螺仪,采用单边静电驱动,电容检测的工作方式。子结构1的上下各4对第一固定驱动电极8a和第三固定驱动电极8c上施加带直流偏置的交流电压,产生交变的静电力,实现陀螺仪的单边静电驱动,静电驱动力 $F_d$ 为:

$$[0029] \quad F_d = 2n\epsilon \frac{h}{d} U_a U_d \sin \omega_d t \quad (1)$$

[0030] 式中,  $n$ 为谐振器的活动梳齿数,  $\epsilon$ 为介电常数,  $h$ 为结构的厚度,  $d$ 为梳齿间距,  $U_d$ 为驱动电压的直流偏置电压,  $U_a$ 为交流电压,  $\omega_d$ 为交流电压的角频率,  $t$ 为时间。第二固定驱动电极8b、第四固定驱动电极8d实现陀螺仪的静电驱动检测。

[0031] 在一个子结构1的静电驱动力与作用在另一个子结构1上的静电驱动力相差180度。因此两个子结构1的整个活动结构在静电驱动力的作用下, 沿驱动轴作相向简谐线振动。当驱动交流电压的频率与陀螺仪驱动模态的固有频率一致时, 线振动位移 $x$ 为:

$$[0032] \quad x = \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \cos \omega_d t \quad (2)$$

[0033] 式中,  $F_{d0}$ 为静电驱动力幅值,  $k_x$ 为 $X$ 方向的弹性刚度,  $Q_x$ 为驱动模态的品质因数。线振动速度 $V$ 为:

$$[0034] \quad V = \frac{dx}{dt} = \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \omega_d \sin \omega_d t \quad (3)$$

[0035] 当陀螺有绕 $z$ 轴的外界输入角速率 $\omega_z$ 时, 根据右手定则, 检测质量受到检测轴方向的哥氏加速度 $a_c$ 作用, 其大小为:

$$[0036] \quad a_c = 2\omega_z V \sin \varphi = 2\omega_z \omega_d \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \sin \varphi \sin \omega_d t \quad (4)$$

[0037] 式中,  $\varphi$ 为输入角速率和线振动速度之间右旋夹角。

[0038] 设检测质量为 $m_s$ , 则作用在检测质量上的哥氏惯性力 $F_c$ 为:

$$[0039] \quad F_c = -m_s a_c = -2m_s \omega_z V \sin \varphi \quad (5)$$

[0040] 哥氏惯性力的方向与哥氏加速度方向相反, 因此, 作用在两个子结构1上的哥氏惯性力的方向相反, 形成力矩作用在陀螺结构上, 使得两个子结构1以陀螺的几何中心为中心绕敏感轴作角振动。这样, 使得活动敏感梳齿与固定敏感梳齿之间的间隙按一定的简谐振动规律变动, 电容差值信号经电子线路处理后, 可获得输出电压信号。输出电压信号为两个子结构1输出电压信号之和, 且输出电压信号的大小正比于输入角速率的大小。通过鉴相器比较输出电压信号与激励信号的相位关系, 则可判明输入角速率的方向。

[0041] 本发明的陀螺仪既实现驱动模态与检测模态为第一阶模态和第二阶模态, 又有效抑制所有常见的驱动同向、检测同向和 $Z$ 向模态等干扰模态, 抗振动干扰能力强, 提高了结构内部的一致性, 降低了对工艺误差的要求。

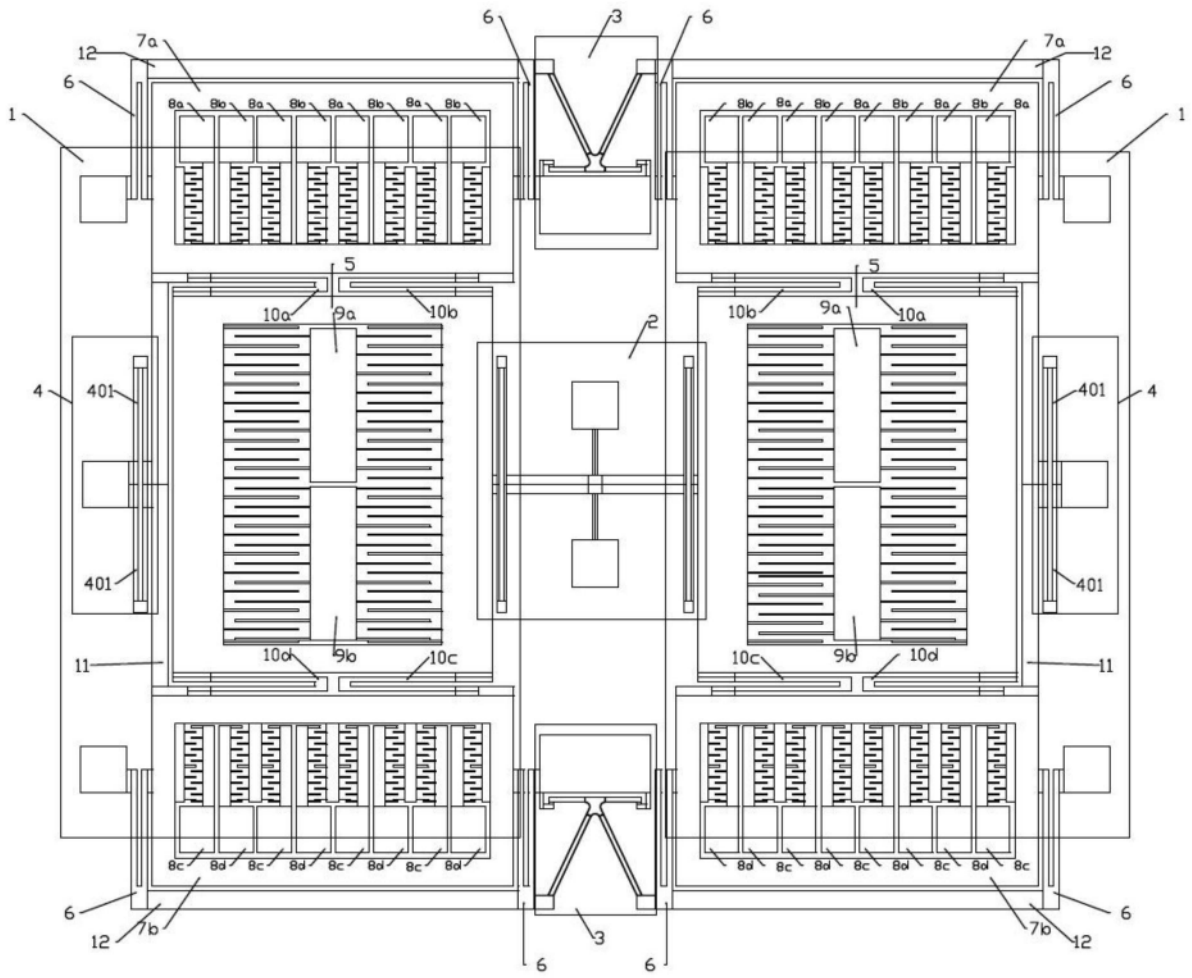


图1

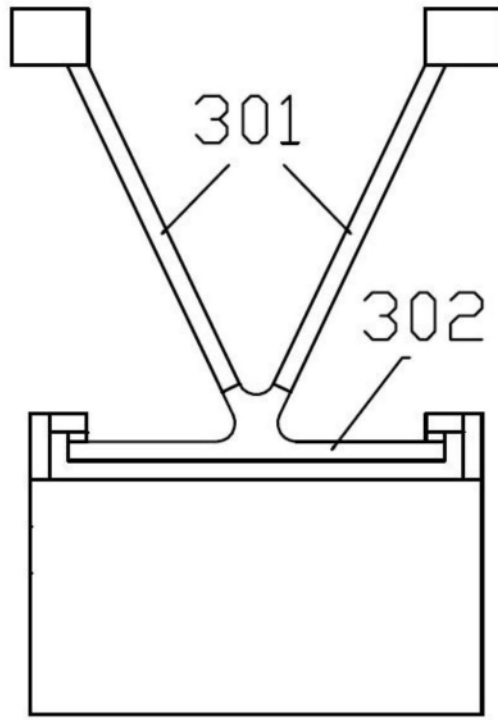


图2

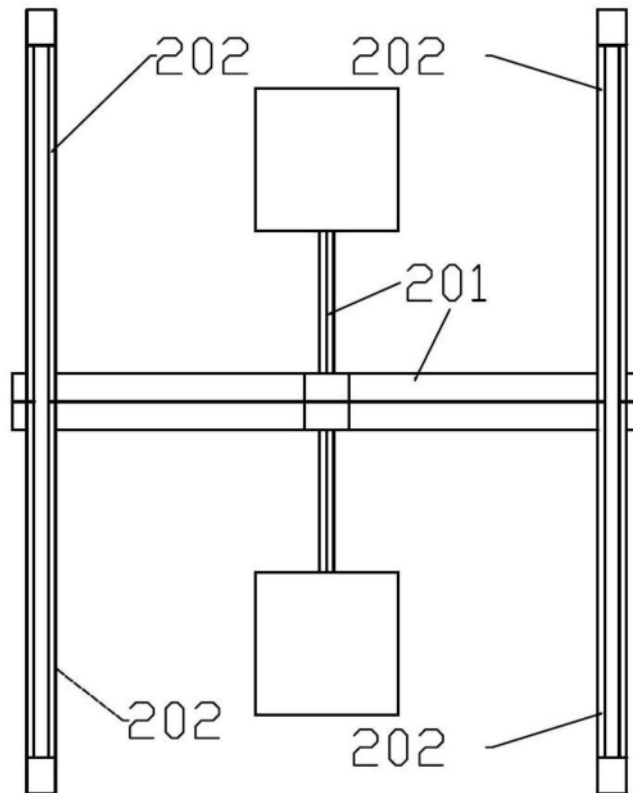


图3