



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107687845 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 26

(21) 申请号 201710811177.3

(22) 申请日 2017.09.11

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107687845 A

(43) 申请公布日 2018.02.13

(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
街200号

(72) 发明人 杨海波 苏岩 朱欣华

(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)

G01C 19/5614 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 207472267 U, 2018.06.08

US 2010313657 A1, 2010.12.16

CN 201344802 Y, 2009.11.11

白竹川. 折叠梁平面角对电容式RF MEMS开关性能的影响. 传感器与微系统. 2009, 第28卷(第4期), 正文第11-14页.

Qin Shi. Tactical Grade MEMS Gyro With Low Acceleration Sensitivity. 2015 IEEE SENSOR. 2016, 正文第1-4页.

审查员 赵孟丹

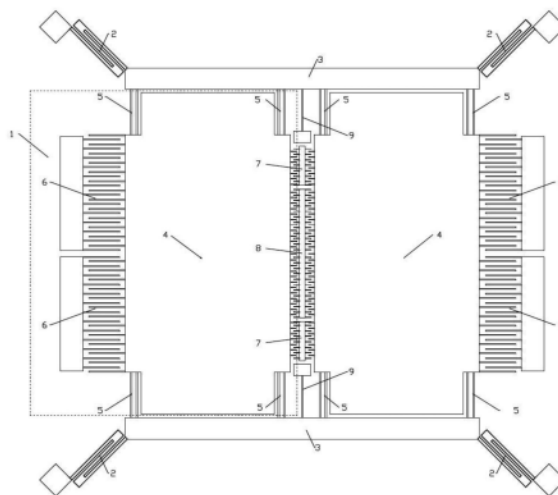
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪

(57) 摘要

本发明公开了一种转动输出的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, 所述陀螺机械结构的两个子结构左右对称分布在横梁中部支撑直梁和驱动电容的两侧, 并分别与横梁连接, 该横梁通过中部支撑直梁和端部折叠梁与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固, 使中层的机械结构部分悬空在上层封装盖板和下层硅衬底之间。本发明实现了转动模态输出, 降低了驱动模态和检测模态之间的运动耦合, 减少了驱动电容在工作中的变化, 提高了陀螺性能的稳定性, 并使高阶模态频率大于工作模态频率两倍以上, 起到了有效的模态隔离, 具有较强的抗振动干扰能力。



1. 一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在于:包括上层真空封装盖板、下层硅衬底和中部单晶硅片,中部单晶硅片上设有陀螺机械结构,所述陀螺机械结构包括驱动电容(8)、两个驱动检测电容(7)、两个子结构(1)、两个横梁(3)、两个中部支撑直梁(9)和四个折叠支撑梁(2);所述两个子结构(1)左右对称分布在中部支撑直梁(9)的两侧;所述两个横梁(3)均与两个子结构(1)相连,且上下对称分布在两个子结构(1)的上部和下部;所述两个中部支撑直梁(9)上下对称分布,一端与横梁(3)的中部的内侧相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固;所述四个折叠支撑梁(2)对称分布在整个结构的四角位置,一端与横梁(3)端部相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固,折叠支撑梁(2)与横梁(3)的夹角为 45° ;两个驱动检测电容(7)设置在驱动电容(8)的上部和下部,驱动电容(8)和两个驱动检测电容(7)位于两个子结构(1)之间;

所述子结构(1)包括质量块(4)、两个检测电容(6)和四个驱动连接梁(5);质量块(4)为矩形,并在四个角上分别切出长方形缺口,所述缺口通过驱动连接梁(5)与横梁(3)相连;驱动电容(8)和两个驱动检测电容(7)位于两个子结构(1)的质量块(4)之间,质量块(4)的两侧分别布置若干活动梳齿,一侧与驱动电容(8)的固定梳齿和驱动检测电容(7)的固定梳齿配合;两个检测电容(6)上下并列分布在质量块(4)的另一侧,检测电容(6)的固定梳齿与质量块(4)的活动梳齿配合;

所述驱动连接梁(5)包括两个平行的直梁,一端与横梁(3)连接,另一端和质量块(4)相连,且沿质量块(4)长度方向布置;

所述横梁(3)为水平布置的矩形板,两端分别与折叠支撑梁(2)相连,中部内侧与支撑直梁(9)相连。

2. 根据权利要求1所述的转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在于:所述位于不同子结构(1)上的检测电容(6)的固定梳齿采用反对称布置。

3. 根据权利要求1所述的转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在于:每一个折叠梁支撑梁(2)包括三个平行的直梁,直梁端部依次通过连接段相连形成折叠梁。

一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪

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,特别是一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪。

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转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,所述陀螺仪通过支撑梁的合理设计,实现了转动模态输出,降低了驱动模态和检测模态之间的运动耦合,减少了驱动电容在工作中的变化,提高了陀螺性能的稳定性。同时也去除了检测同向模态,实现驱动模态与检测模态为第二阶模态和第三阶模态低阶模态,且其他高阶干扰模态

频率大于工作模态频率的两倍以上,起到了有效的模态隔离,具有较强的抗振动干扰能力。

[0008] 实现本发明目的的技术解决方案为:一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,其特征在于: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驱动电容、两个驱动检测电容、两个子结构、两个横梁、两个中部支撑直梁和四个折叠支撑梁;所述两个子结构左右对称分布在两个中部支撑直梁的两侧;所述两个横梁均与两个子结构相连,且上下对称分布在两个子结构的的上部和下部;所述两个中部支撑直梁上下对称分布,一端与横梁的中部的内侧相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固;所述四个折叠支撑梁对称分布在整个结构的四角位置,一端横梁端部相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固,折叠支撑梁与横梁的夹角为 45° ;两个驱动检测电容设置在驱动电容的上部和下部,驱动电容和两个驱动检测电容位于两个子结构之间。

[0009] 所述横梁为水平布置的矩形板,两端分别与折叠支撑梁相连,中部内侧与支撑直梁相连。

[0010] 每一个折叠梁支撑梁包括三个平行的直梁,直梁端部依次通过连接段相连形成折叠梁。

[0011] 本发明与现有技术相比,其显著优点为:(1)通过布置 45° 支撑折叠梁,实现了转动模态输出,去除了检测同向模态,而且明显减小了中心布置的驱动电容在工作时的电容变化,增加了陀螺性能的稳定性。

[0012] (2)横梁中部的支撑直梁与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固,这种结构形式不仅能降低驱动同向模态的频率,而且能明显抑制两个子结构沿z轴方向的干扰模态。

[0013] (3)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二阶、三阶模态,并且使其他高阶干扰模态频率大于工作模态频率的两倍以上。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

[0014] 图1是本发明转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪的整体结构示意图。

[0015] 图2是本发明转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪的折叠支撑梁的结构示意图。

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] 结合图1至图2,一种具有转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,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,本发明所述的一种转动输出的双质量块音叉角速率陀螺仪,包括上层真

空封装盖板、下层硅衬底和上层单晶硅片,中层单晶硅片上设有陀螺机械结构,所述陀螺机械结构包括驱动电容8、两个驱动检测电容7、两个子结构1、两个横梁3、两个中部支撑直梁9和四个折叠支撑梁2;所述两个子结构1左右对称分布在中部支撑直梁9的两侧;所述两个横梁3均与两个子结构1相连,且上下对称分布在两个子结构1的上部和下部;所述两个中部支撑直梁9上下对称分布,一端与横梁3的中部的内侧相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固;所述四个折叠支撑梁2对称分布在整个结构的四角位置,一端横梁3端部相连,另一端与上层真空封装盖板和下层硅衬底锚固,折叠支撑梁2与横梁3的夹角为 45° ;两个驱动检测电容7设置在驱动电容8的上部和下部,驱动电容8和两个驱动检测电容7位于两个子结构1之间。

[0019] 所述子结构1包括质量块4、两个检测电容6和四个驱动连接梁5;质量块4为矩形,并在四个角上分别切出长方形缺口,所述缺口通过驱动连接梁5与横梁3相连;驱动电容8和两个驱动检测电容7位于两个子结构1的质量块4之间,质量块4的两侧分别布置若干活动梳齿,一侧与驱动电容8的固定梳齿和驱动检测电容7的固定梳齿配合;两个检测电容6上下并列分布在质量块4的另一侧,检测电容6的固定梳齿与质量块4的活动梳齿配合。

[0020] 所述驱动连接梁5包括两个平行的直梁,一端与横梁3连接,另一端和质量块4相连,且沿质量块4长度方向布置。

[0021] 所述位于不同子结构1上的检测电容6的固定梳齿采用反对称布置。

[0022] 所述横梁3为水平布置的矩形板,两端分别与折叠支撑梁2相连,中部内侧与支撑直梁9相连。

[0023] 结合图2,每一个折叠梁支撑梁2包括三个平行的直梁,直梁端部依次通过连接段相连形成折叠梁。

[0024] 所述驱动电容8、驱动检测电容7和检测电容6均采用梳齿型电容。

[0025] 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。在驱动电容(8)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:

$$[0026] \quad F_d = 2n\epsilon \frac{h}{d} U_a U_d \sin \omega_d t \quad (1)$$

[0027] 式中, n 为谐振器的活动梳齿数, ϵ 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, ω_d 为交流电压的角频率, t 为时间。固定驱动检测电容8b实现了陀螺仪的静电驱动检测。

[0028] 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:

$$[0029] \quad x = \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \cos \omega_d t \quad (2)$$

[0030] 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:

$$[0031] \quad V = \frac{dx}{dt} = \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \omega_d \sin \omega_d t \quad (3)$$

[0032] 当陀螺有绕z轴的外界输入角速率 ω_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:

$$[0033] \quad a_c = 2\omega_z V \sin \varphi = 2\omega_z \omega_d \frac{F_{d0} Q_x}{k_x} \sin \varphi \sin \omega_d t \quad (4)$$

[0034] 式中, φ 为输入角速率和线振动速度之间右旋夹角。

[0035] 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:

$$[0036] \quad F_c = -m_s a_c = -2m_s \omega_z V \sin \varphi \quad (5)$$

[0037] 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,使得活动检测梳齿与固定检测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。

[0038] 本发明的陀螺仪通过支撑梁的合理设计,实现了转动模态输出,降低了驱动模态和检测模态之间的运动耦合,减少了驱动电容在工作中的变化,提高了陀螺性能的稳定性。同时也去除了检测同向模态,实现驱动模态与检测模态为第二阶模态和第三阶模态低阶模态,且其他高阶干扰模态频率大于工作模态频率的两倍以上,起到了有效的模态隔离,具有较强的抗振动干扰能力。

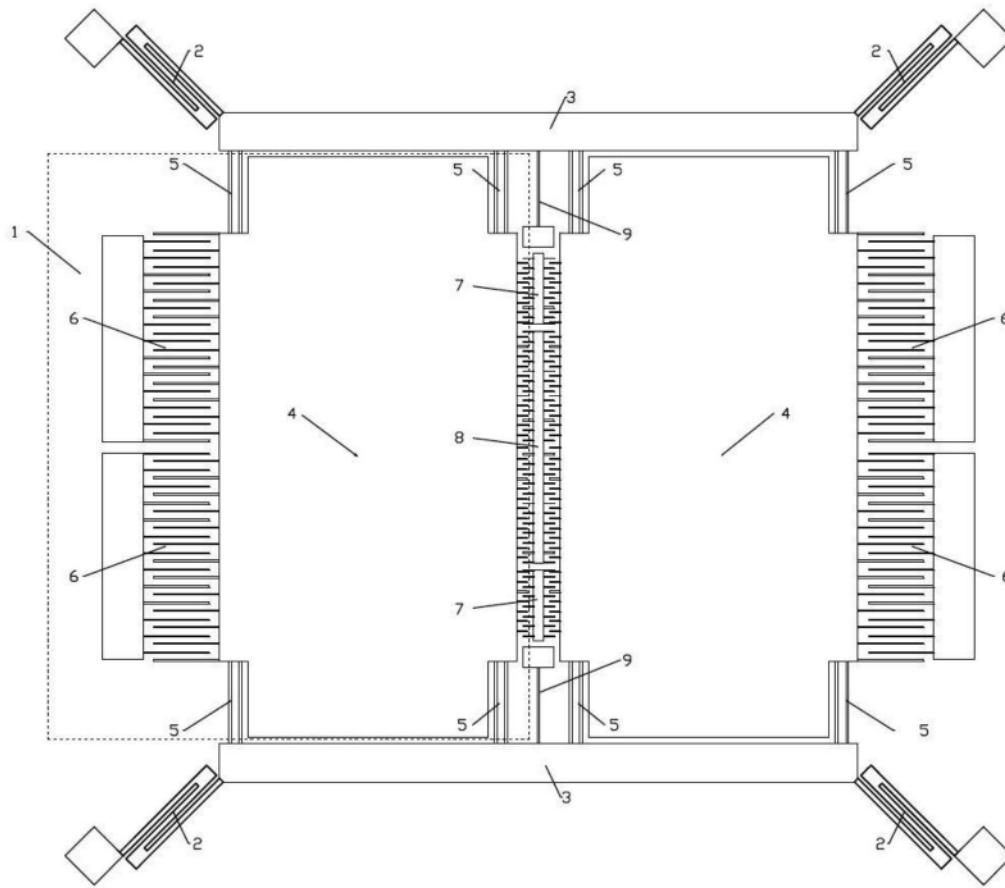


图1

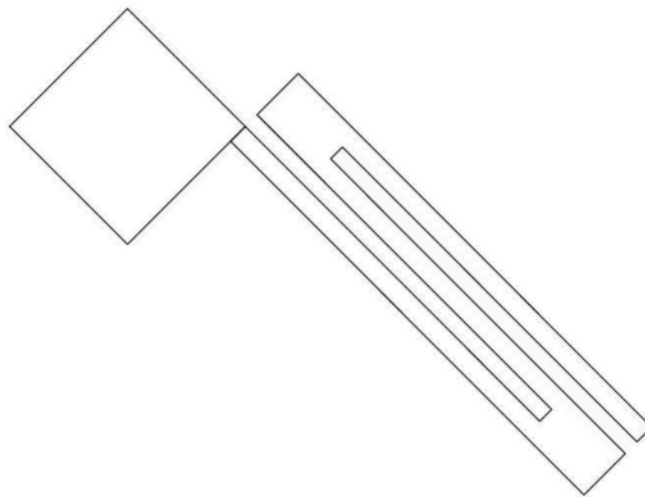


图2