



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108507555 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 05

(21) 申请号 201810337150.X

CN 201780110 U, 2011.03.30

(22) 申请日 2018.04.16

CN 204831318 U, 2015.12.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

KR 19980031895 A, 1998.07.25

申请公布号 CN 108507555 A

WO 2017113911 A1, 2017.07.06

(43) 申请公布日 2018.09.07

CN 101876547 A, 2010.11.03

(73) 专利权人 四川知微传感技术有限公司

CN 102062604 A, 2011.05.18

地址 610000 四川省成都市高新区(西区)

CN 102175236 A, 2011.09.07

天辰路88号4栋三单元4层

CN 102252668 A, 2011.11.23

(72) 发明人 雷龙海 周骏 王龙峰 王志

CN 104764903 A, 2015.07.08

山永启

CN 105352488 A, 2016.02.24

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理有限公司

CN 106153026 A, 2016.11.23

51220

CN 106813654 A, 2017.06.09

专利代理师 宋辉

CN 107063222 A, 2017.08.18

(51) Int. Cl.

CN 107063223 A, 2017.08.18

G01C 19/5621 (2012.01)

CN 107289920 A, 2017.10.24

(56) 对比文件

CN 107782295 A, 2018.03.09

CN 208140130 U, 2018.11.23

EP 3106834 A1, 2016.12.21

CN 105466406 A, 2016.04.06

US 2005166675 A1, 2005.08.04

CN 101319899 A, 2008.12.10

US 2008282833 A1, 2008.11.20

CN 104089612 A, 2014.10.08

US 2010313657 A1, 2010.12.16

CN 105157726 A, 2015.12.16

US 2017184400 A1, 2017.06.29

CN 102435185 A, 2012.05.02

(续)

审查员 邹琴

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

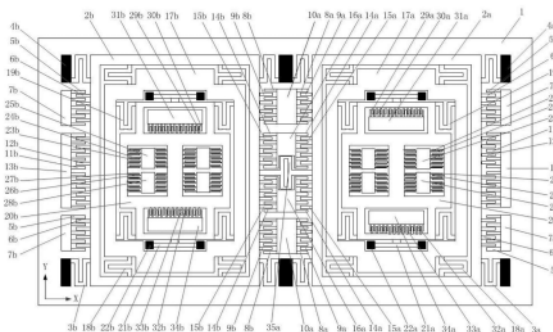
(54) 发明名称

一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪

面积小,可防止检测模态敏感质量块因较大位移而发生扭转,整体线性度好,测量精度高。

(57) 摘要

本发明公开了一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,包括:衬底、敏感器件层、衬底与敏感器件层之间有绝缘层;敏感器件层包括:第一子结构、第二子结构、耦合连接梁;第一子结构、第二子结构均包括:驱动框架、驱动折叠梁、驱动解耦梁、哥氏质量块、检测框架、检测梁、检测解耦梁、驱动固定梳齿、驱动可动梳齿、驱动检测固定梳齿、驱动检测可动梳齿、检测固定梳齿、检测可动梳齿、力反馈固定梳齿、力反馈可动梳齿、锚点;抑制正交误差信号的产生,提高微机械陀螺仪器件的零偏稳定性指标,同时设计结构紧凑,芯片



CN 108507555 B

[接上页]

**(56) 对比文件**

王琨琦 等.工程测试技术.兵器工业出版社,2009,第91-94页.

郑鹏程.蝶翼式硅微陀螺数字测控系统的力平衡控制方法研究.中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑.2018,(2018年第04期), I140-764.

Markus 等.Decoupled Quadrature and Force Feedback Control of Capacitive MEMS Gyroscopes.IFAC Proceedings Volumes.2011,第44卷(第1期),13534-13539.

李锦明;郭慧芳;刘俊.一种三框架电容式硅微机械陀螺结构与仿真.传感技术学报.2008,(02),258-260.

1. 一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述陀螺仪包括:衬底、敏感器件层、衬底与敏感器件层之间有绝缘层;敏感器件层包括:第一子结构、第二子结构、耦合连接梁;所述耦合连接梁一端与第一子结构相连,另一端与第二子结构相连;第一子结构、第二子结构均包括:驱动框架、驱动折叠梁、驱动解耦梁、哥氏质量块、检测框架、检测梁、检测解耦梁、相关梳齿、锚点;

所述相关梳齿包括:驱动固定梳齿、驱动可动梳齿、驱动检测固定梳齿、驱动检测可动梳齿、检测固定梳齿、检测可动梳齿、力反馈固定梳齿、力反馈可动梳齿;所述驱动固定梳齿、所述驱动检测固定梳齿、所述检测固定梳齿、所述力反馈固定梳齿均通过所述锚点固定在所述衬底,所述驱动可动梳齿一端、所述驱动检测可动梳齿一端与所述驱动框架连接,所述检测可动梳齿一端、所述力反馈可动梳齿一端与所述检测框架连接;

其中,第一子结构与第二子结构关于平面直角坐标系中的Y轴对称,锚点通过绝缘层将敏感器件层的固定结构固定在衬底上;所述驱动框架与所述哥氏质量块通过所述检测解耦梁连接,组成驱动质量模块,所述检测框架与所述哥氏质量块通过所述驱动解耦梁连接,组成检测质量模块;所述驱动折叠梁对称分布在所述驱动框架的四角外侧,驱动折叠梁一端与所述驱动框架连接,驱动折叠梁另一端与所述锚点连接,通过所述锚点将驱动质量模块固定在所述衬底上;所述检测梁分布在所述检测框架的上下两侧,检测梁两端通过所述锚点固定在衬底上;所述驱动解耦梁、检测解耦梁各八组,驱动解耦梁与检测解耦梁两两正交组合分别位于所述哥氏质量块内、外角处,驱动解耦梁与检测解耦梁的一端均与所述哥氏质量块连接,另一端分别与所述检测框架、所述驱动框架连接;相关梳齿中的固定梳齿通过所述锚点固定在所述衬底,相关梳齿中的可动梳齿与所述驱动框架、所述检测框架连接;

每一所述力反馈固定梳齿与每一所述力反馈可动梳齿构成一对力反馈电容,N对力反馈电容构成一组力反馈电容,N为大于等于1的正整数;第一子结构、第二子结构各有两组力反馈电容,四组力反馈电容分别位于所述检测框架的上下两内腔位置;位于第一子结构、第二子结构上部内腔位置处的各一组力反馈电容,组合构成微机械陀螺仪力反馈正极;位于第一子结构、第二子结构下部内腔位置处的各一组力反馈电容,组合构成微机械陀螺仪力反馈负极;力反馈正极与力反馈负极采用差动变面积形式对微机械陀螺仪进行力平衡控制;

当微机械陀螺仪在外界角速度输入时,微机械陀螺仪检测正极电容、检测负极电容将发生差动变化,此时通过外围电路将电容变化量产生的差动电压值反馈给微机械陀螺仪力反馈正极、微机械陀螺仪力反馈负极,此时微机械陀螺仪检测质量模块将受到力反馈梳齿结构的静电力作用,所述静电力将平衡外界角速度所产生的哥氏力,即:

$$4N_{fb}\epsilon TV_{ref} V_{fb} / d_{fb} = -2m_c \omega_c \times V_d;$$

式中, $N_{fb}$  为微机械陀螺仪单边力反馈梳齿电容对数, $V_{ref}$  为微机械陀螺仪力反馈固定梳齿预载电压值, $V_{fb}$  为微机械陀螺仪检测电容变化所反馈的电压值, $d_{fb}$  为微机械陀螺仪力反馈固定梳齿与力反馈可动梳齿间的间隙, $\epsilon$ 为空气介电常数,T为驱动梳齿厚度, $V_d$  为驱动模态的振动速度, $m_c$  为哥氏质量块的质量, $\omega_c$  为垂直于衬底的输入角速度。

2. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述检测梁为双端固支梁。

3. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述驱动解耦

梁、检测解耦梁均为折叠梁结构。

4. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,每一所述驱动固定梳齿与每一所述驱动可动梳齿构成一对驱动电容,N对驱动电容构成一组驱动电容,N为大于等于1的正整数;第一子结构、第二子结构各有四组驱动电容,八组驱动电容分别位于所述驱动框架的两外侧边的上下位置;第一子结构、第二子结构每一外侧边的各两组驱动电容,四组驱动电容组合构成微机械陀螺仪驱动正极,位于两子结构中间的四组驱动电容组合构成微机械陀螺仪驱动负极,驱动正极与驱动负极对微机械陀螺仪进行推挽式驱动。

5. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,每一所述驱动检测固定梳齿与每一所述驱动检测可动梳齿构成一对驱动检测电容;N对驱动检测电容构成一组驱动检测电容,N为大于等于1的正整数;第一子结构、第二子结构各有三组驱动检测电容,六组驱动检测电容分别位于所述驱动框架的两外侧边的中间位置;第一子结构、第二子结构每一外侧边的各一组驱动检测电容,两组驱动检测电容组合构成微机械陀螺仪驱动检测正极,位于两子结构中间的四组驱动检测电容组合构成微机械陀螺仪驱动检测负极,驱动检测正极与驱动检测负极采用变面积形式对微机械陀螺仪进行驱动差动检测。

6. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,每一所述检测固定梳齿与每一所述检测可动梳齿构成一对检测电容,N对检测电容构成一组检测电容,N为大于等于1的正整数;第一子结构、第二子结构各有四组检测电容,八组检测电容分别位于所述检测框架的中间两内腔上下位置;位于第一子结构、第二子结构中间两内腔上侧位置处的各两组检测电容,组合构成微机械陀螺仪检测正极;位于第一子结构、第二子结构中间两内腔下侧位置处的各两组检测电容,组合构成微机械陀螺仪检测负极,检测正极与检测负极采用变间距形式对微机械陀螺仪进行差动检测。

7. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述耦合连接梁为一口字型结构,由两折叠梁组合构成,通过所述耦合连接梁能够使两子结构驱动质量模块同频反向工作,实现驱动模态差分检测。

8. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述哥氏质量块为驱动质量模块与检测质量模块的共有结构,第一子结构、第二子结构在哥氏质量块作用效果下进行检测模态的同频反向运动,实现差分检测。

9. 根据权利要求1所述的MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,其特征在于,所述衬底材料为硅或玻璃材料,所述绝缘层为二氧化硅材料,所述敏感器件层材料为重掺杂的硅材料,整个微机械陀螺仪结构通过MEMS加工工艺完成。

## 一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪

### 技术领域

[0001] 本发明涉及微机械陀螺仪研究领域,具体地,涉及一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪。

### 背景技术

[0002] MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) 微机械陀螺仪是一种利用哥氏效应测量基座旋转角速率的惯性器件,由于其体积小、重量轻、可靠性高、易批量生产等特点被广泛应用在消费类市场,以及工业控制、航空航天、国防军事等高端领域,其具有广阔的使用价值及市场应用前景。

[0003] 然而微机械陀螺仪指标的稳定性问题是阻碍其实际应用的关键瓶颈之一,零偏稳定性差严重阻碍其在高端领域的应用,究其原因主要是由于陀螺仪结构设计、加工等误差使驱动模态与检测模态存在较大的机械耦合,导致陀螺仪输出具有一部分正交误差干扰信号,影响陀螺仪的零偏及稳定性指标。目前从结构上提高微机械陀螺仪零偏稳定性的方法主要是通过解耦设计方案,采用半解耦设计的较多,优点是设计相对简单,加工较容易,但这种方案不能完全消除正交误差信号,得到的微机械陀螺仪器件零偏稳定性依然较差,采用全解耦设计方案近年来也有相关报道,对零偏稳定性指标有了较大改善,但其设计结构复杂、芯片面积较大,不利于器件的小型化、集成化,同时敏感质量存在扭转的可能,最终会影响器件的测量精度。

### 发明内容

[0004] 本发明提供了一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,通过对陀螺仪解耦框架的巧妙设计能够完全消除驱动模态与检测模态间的机械耦合,抑制正交误差信号的产生,提高微机械陀螺仪器件的零偏稳定性指标,同时设计结构紧凑,芯片面积小,利用闭环控制方式限制陀螺仪检测结构的位移,可防止检测模态敏感质量块因较大位移而发生扭转,整体线性度好,测量精度高。

[0005] 为实现上述发明目的,本申请提供了一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,包括衬底、敏感器件层、衬底与敏感器件层之间有绝缘层;敏感器件层包括第一子结构、第二子结构、耦合连接梁,第一子结构、第二子结构均包括驱动框架、驱动折叠梁、驱动解耦梁、哥氏质量块、检测框架、检测梁、检测解耦梁、驱动固定梳齿、驱动可动梳齿、驱动检测固定梳齿、驱动检测可动梳齿、检测固定梳齿、检测可动梳齿、力反馈固定梳齿、力反馈可动梳齿、锚点,其中第一子结构与第二子结构关于Y轴对称,锚点通过绝缘层将敏感器件层的固定结构固定在衬底上。

[0006] 相关梳齿包括:驱动固定梳齿、驱动可动梳齿、驱动检测固定梳齿、驱动检测可动梳齿、检测固定梳齿、检测可动梳齿、力反馈固定梳齿、力反馈可动梳齿;所述驱动固定梳齿、所述驱动检测固定梳齿、所述检测固定梳齿、所述力反馈固定梳齿均通过所述锚点固定在所述衬底,所述驱动可动梳齿一端、所述驱动检测可动梳齿一端与所述驱动框架连接,所

述检测可动梳齿一端、所述力反馈可动梳齿一端与所述检测框架连接。

[0007] 进一步地,所述驱动框架与所述哥氏质量块通过所述检测解耦梁连接,组成驱动质量模块,所述检测框架与所述哥氏质量块通过所述驱动解耦梁连接,组成检测质量模块。

[0008] 进一步地,所述驱动折叠梁对称分布在所述驱动框架的四角外侧,一端与所述驱动框架连接,另一端与所述锚点连接,通过所述锚点将驱动质量模块固定在所述衬底上。

[0009] 进一步地,所述检测梁为双端固支梁,因为双端固支梁在非敏感轴向刚度很大,可以很好地抑制结构来自非敏感轴向的干扰,因此作为检测模态方向的弹性梁,所述检测梁分布在所述检测框架的上下两侧,其两端通过所述锚点固定在衬底上,同时实现了检测质量模块的固定。

[0010] 进一步地,所述驱动解耦梁、检测解耦梁均为折叠梁结构,因为折叠梁不但可以释放结构内部应力,同时还有良好的抗交叉误差干扰的能力,所述驱动解耦梁、检测解耦梁各八组,每两两正交组合分别位于所述哥氏质量块内、外角处,其一端与所述哥氏质量块连接,另一端分别与所述检测框架、所述驱动框架连接,八驱动解耦梁、八检测解耦梁实现驱动模态与检测模态的全解耦设计,有效地抑制了结构机械耦合、消除了正交误差干扰信号,大大提高了微机械陀螺仪器件零偏稳定性指标。

[0011] 进一步地,所述驱动固定梳齿,通过所述锚点固定在所述衬底,所述驱动可动梳齿,其一端与所述驱动框架连接,每一所述驱动固定梳齿与每一所述驱动可动梳齿构成一对驱动电容,N对驱动电容构成一组驱动电容,第一子结构、第二子结构各有四组驱动电容,共八组,分别位于所述驱动框架的两外侧边的上下位置,第一子结构、第二子结构每一外侧边(结构的最左侧边、最右侧边)的两组驱动电容,共四组,组合构成微机械陀螺仪驱动正极,位于两子结构中间的四组驱动电容(每两组驱动电容由同一所述锚点进行固定,节约设计面积)组合构成微机械陀螺仪驱动负极,驱动正极与驱动负极对微机械陀螺仪进行推挽式驱动。

[0012] 进一步地,所述驱动检测固定梳齿,通过所述锚点固定在所述衬底,所述驱动检测可动梳齿,其一端与所述驱动框架连接,每一所述驱动检测固定梳齿与每一所述驱动检测可动梳齿构成一对驱动检测电容,N对驱动检测电容构成一组驱动检测电容,第一子结构、第二子结构各有三组驱动检测电容,共六组,分别位于所述驱动框架的两外侧边的中间位置,第一子结构、第二子结构每一外侧边(结构的最左侧边、最右侧边)的一组驱动检测电容,共两组,组合构成微机械陀螺仪驱动检测正极,位于两子结构中间的四组驱动检测电容(每两组驱动检测电容由同一所述锚点进行固定,节约设计面积)组合构成微机械陀螺仪驱动检测负极,驱动检测正极与驱动检测负极采用变面积形式对微机械陀螺仪进行驱动差动检测。

[0013] 进一步地,所述检测固定梳齿,通过所述锚点固定在所述衬底,所述检测可动梳齿,其一端与所述检测框架连接,每一所述检测固定梳齿与每一所述检测可动梳齿构成一对检测电容,N对检测电容构成一组检测电容,第一子结构、第二子结构各有四组检测电容,共八组,分别位于所述检测框架的中间两内腔上下位置,位于第一子结构、第二子结构中间两内腔上侧位置处的两组检测电容,共四组,组合构成微机械陀螺仪检测正极,位于第一子结构、第二子结构中间两内腔下侧位置处的两组检测电容,共四组组合构成微机械陀螺仪检测负极,检测正极与检测负极采用变间距形式对微机械陀螺仪进行差动检测。

[0014] 进一步地,所述力反馈固定梳齿,通过所述锚点固定在所述衬底,所述力反馈可动梳齿,其一端与所述检测框架连接,每一所述力反馈固定梳齿与每一所述力反馈可动梳齿构成一对力反馈电容,N对力反馈电容构成一组力反馈电容,第一子结构、第二子结构各有两组力反馈电容,共四组,分别位于所述检测框架的上下两内腔位置,位于第一子结构、第二子结构上部内腔位置处的一组力反馈电容,共两组,组合构成微机械陀螺仪力反馈正极,位于第一子结构、第二子结构下部内腔位置处的一组力反馈电容,共两组,组合构成微机械陀螺仪力反馈负极,力反馈正极与力反馈负极采用差动变面积形式对微机械陀螺仪进行力平衡控制。

[0015] 进一步地,所述耦合连接梁,为一口字型结构,由两折叠梁组合设计而成,具有很好的内应力释放特性,同时能够较好的抑制交叉干扰信号,所述耦合连接梁一端与第一子结构相连,另一端与第二子结构相连,通过所述耦合连接梁可以使两子结构驱动质量模块同频反向工作,实现驱动模态差分检测。

[0016] 进一步地,所述哥氏质量块,为驱动质量模块与检测质量模块的共有结构,第一子结构、第二子结构在哥氏质量块作用效果下进行检测模态的同频反向运动,实现差分检测。

[0017] 进一步地,所述衬底材料可以为硅或玻璃材料,所述绝缘层为二氧化硅材料,所述敏感器件层材料为重掺杂的硅材料,整个微机械陀螺仪结构通过MEMS加工工艺完成。

[0018] 本申请提供的一个或多个技术方案,至少具有如下技术效果或优点:

[0019] 1、本发明采用八驱动解耦梁、八检测解耦梁实现框架全解耦设计,驱动、检测解耦梁两两正交组合分别位于哥氏质量块内、外角处,共八组,有效地抑制了结构机械耦合、消除了正交误差干扰信号,提高了微机械陀螺仪器件零偏稳定性指标。

[0020] 2、本发明采用了音叉式结构设计,驱动模态、检测模态均采用差分方式,抑制了驱动共模干扰信号、检测共模干扰信号,提高了微机械陀螺仪器件抗振动、抗冲击能力。

[0021] 3、本发明采用音叉式结构设计,差动检测方式,提高了微机械陀螺仪机械灵敏度,增强了系统信噪比,有利于系统零偏稳定性的优化。

[0022] 4、本发明设计了力反馈梳齿结构,可实现微机械陀螺仪的闭环控制,避免陀螺仪检测模块敏感质量的较大位移引起的扭转干扰,有利于优化器件非线性度,提高系统的测量精度。

[0023] 5、本发明结构设计紧凑,芯片尺寸小,重量轻,有利于微机械陀螺仪器件的小型化、集成化。

## 附图说明

[0024] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定;

[0025] 图1为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪结构示意图;

[0026] 图2为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪驱动结构示意图;

[0027] 图3为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪检测结构示意图;

[0028] 图4为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪力反馈结构示意图。

## 具体实施方式

[0029] 本发明提供了一种MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪,通过对陀螺仪解耦框架的巧妙设计能够完全消除驱动模态与检测模态间的机械耦合,抑制正交误差信号的产生,提高微机械陀螺仪器件的零偏稳定性指标,同时设计结构紧凑,芯片面积小,利用闭环控制方式限制陀螺仪检测结构的位移,可防止检测模态敏感质量块因较大位移而发生扭转,整体线性度好,测量精度高。

[0030] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点,下面结合附图和具体实施方式对本发明进行进一步的详细描述。需要说明的是,在相互不冲突的情况下,本申请的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0031] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是,本发明还可以采用其他不同于在此描述范围内的其他方式来实施,因此,本发明的保护范围并不受下面公开的具体实施例的限制。

[0032] 图1为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪结构示意图。如图1所示,根据本发明实施例的微机械全解耦闭环陀螺仪,包括有衬底1、其材料为掺杂的硅或者玻璃,衬底1上有层较薄的氧化层,氧化层起绝缘隔离及固定连接作用,氧化层上面是敏感器件层,其材料为重掺杂硅,敏感器件层包括第一子结构、第二子结构、耦合连接梁35a,第一子结构、第二子结构均包括驱动框架2a、2b,驱动折叠梁3a、3b,驱动解耦梁19a、19b,哥氏质量块17a、17b,检测框架20a、20b,检测梁21a、21b,检测解耦梁18a、18b,驱动固定梳齿5a、8a、5b、8b,驱动可动梳齿6a、9a、6b、9b,驱动检测固定梳齿11a、14a、11b、14b,驱动检测可动梳齿12a、15a、12b、15b,检测固定梳齿24a、26a、24b、26b,检测可动梳齿23a、27a、23b、27b,力反馈固定梳齿30a、32a、30b、32b,力反馈可动梳齿29a、33a、29b、33b,锚点4a、7a、10a、13a、16a、25a、28a、31a、34a、4b、7b、13b、25b、28b、31b、34b,其中第一子结构与第二子结构关于Y轴对称,锚点4a、7a、10a、13a、16a、25a、28a、31a、34a、4b、7b、13b、25b、28b、31b、34b通过氧化绝缘层将敏感器件层相关结构固定在衬底1上。

[0033] 其中,耦合连接梁35a为一口字型结构,由两折叠梁组合设计而成,具有很好的内应力释放特性,同时能够较好的抑制交叉干扰信号,耦合连接梁35a一端与第一子结构相连,另一端与第二子结构相连,通过耦合连接梁35a可以使两子结构驱动质量模块同频反向工作,实现驱动模态差分检测。

[0034] 其中,驱动框架2a、2b与哥氏质量块17a、17b通过检测解耦梁18a、18b连接,组成驱动质量模块,检测框架20a、20b与哥氏质量块17a、17b通过驱动解耦梁19a、19b连接,组成检测质量模块,驱动解耦梁19a、19b与检测解耦梁18a、18b均为折叠梁结构,各八组,每两两正交组合分别位于哥氏质量块17a、17b的内、外角处,其一端与哥氏质量块17a、17b连接,另一端分别与检测框架20a、20b、驱动框架2a、2b连接。

[0035] 其中,哥氏质量块17a、17b,为驱动质量模块与检测质量模块的共有结构,第一子结构、第二子结构在哥氏质量块17a、17b作用效果下进行检测模态的同频反向工作,并实现差分检测。

[0036] 本发明通过以上八驱动解耦梁19a、19b、八检测解耦梁18a、18b、哥氏质量块17a、17b的巧妙设计及布局,实现了驱动模态与检测模态间的全解耦,有效地抑制了结构机械耦合,消除了正交误差干扰信号,大大提高了微机械陀螺仪器件零偏稳定性特性。



[0037] 图2为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪驱动结构示意图。如图2所示,驱动固定梳齿5a、8a、5b、8b,通过锚点7a、10a、7b固定在衬底1上,驱动可动梳齿6a、9a、6b、9b,其一端与驱动框架2a、2b连接,可随驱动框架2a、2b沿X轴向左右滑动,每一个驱动固定梳齿5a、8a、5b、8b与每一个驱动可动梳齿6a、9a、6b、9b构成一对驱动电容,N对驱动电容组成一组驱动电容,第一子结构、第二子结构各有四组驱动电容,共八组,分别位于驱动框架2a、2b的两外侧边的上下位置,第一子结构、第二子结构的外侧边(结构的最左侧边、最右侧边)的两组驱动电容,共四组,组合构成微机械陀螺仪驱动正极,位于两子结构中间的四组驱动电容(每两组驱动电容由同一锚点10a进行固定)组合构成微机械陀螺仪驱动负极。

[0038] 驱动检测固定梳齿11a、14a、11b、14b,通过锚点13a、16a、13b固定在衬底1上,驱动检测可动梳齿12a、15a、12b、15b,其一端与驱动框架2a、2b连接,可随驱动框架2a、2b沿X轴向左右滑动,每一个驱动检测固定梳齿11a、14a、11b、14b与每一个驱动检测可动梳齿12a、15a、12b、15b构成一对驱动检测电容,N对驱动检测电容组成一组驱动检测电容,第一子结构、第二子结构各有三组驱动检测电容,共六组,分别位于驱动框架2a、2b的两外侧边的中间位置,第一子结构、第二子结构的外侧边(结构的最左侧边、最右侧边)的一组驱动检测电容,共两组,组合构成微机械陀螺仪驱动检测正极,位于两子结构中间的四组驱动检测电容(每两组驱动检测电容由同一锚点16a进行固定)组合构成微机械陀螺仪驱动检测负极。

[0039] 本发明微机械全解耦闭环陀螺仪驱动结构采用梳齿静电驱动方式,当在陀螺仪驱动正极施加电压值: $V_d + V_c \sin \omega_d t$ ,在陀螺仪驱动负极施加电压值: $V_d - V_c \sin \omega_d t$ ,其中 $V_d$ 为直流偏值电压, $V_c \sin \omega_d t$ 为交流小信号电压,驱动框架2a、2b进行接地时,微机械陀螺仪第一子结构、第二子结构驱动质量模块将受到静电力:

$$[0040] \quad F_d = \frac{4N_d \epsilon T}{d_d} V_d V_c \sin \omega_d t \quad (1)$$

[0041] 式中, $\epsilon$ 为空气介电常数,T为驱动梳齿厚度, $N_d$ 为驱动固定/可动梳齿单边梳齿总数, $d_d$ 为驱动固定梳齿5a、8a、5b、8b与驱动可动梳齿6a、9a、6b、9b间的间隙, $\omega_d$ 为驱动小信号的角频率。在静电力的作用下,微机械陀螺仪第一子结构、第二子结构的驱动质量模块将作同频反向的推挽式运动。

[0042] 当微机械陀螺仪驱动结构在静电力作用下做推挽式运动时,驱动检测可动梳齿12a、15a、12b、15b将发生位置变动,这将引起陀螺仪驱动检测正极、驱动检测负极电容的变化,其变化量为:

$$[0043] \quad \Delta C_{ds} = \frac{2N_{ds} \epsilon T}{d_{ds}} \Delta x \quad (2)$$

[0044] 式中, $N_{ds}$ 为驱动检测固定/可动梳齿单边梳齿总数, $d_{ds}$ 为驱动检测固定梳齿11a、14a、11b、14b与驱动检测可动梳齿12a、15a、12b、15b间的间隙, $\Delta x$ 为微机械陀螺仪第一子结构、第二子结构驱动质量模块的驱动位移。

[0045] 通过微机械陀螺仪第一子结构、第二子结构构成的驱动检测正极与驱动检测负极的电容变化,可实现对陀螺仪驱动模态的差动检测,并通过外围电路将电容变化量反馈给驱动电极使其对驱动位移作出相应调整,以致实现对驱动模态的恒频恒幅闭环控制,该差动检测方式可消除驱动共模干扰,信噪比高,抗振动抗冲击能力好。

[0046] 图3为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪检测结构示意图。如图3所示,检测固定梳齿24a、26a、24b、26b,通过锚点25a、28a、25b、28b固定在衬底1上,检测可动梳齿23a、

27a、23b、27b,其一端与检测框架20a、20b连接,可随检测框架20a、20b沿Y轴向上下滑动,每一个检测固定梳齿24a、26a、24b、26b与每一个检测可动梳齿23a、27a、23b、27b,构成一对检测电容,N对检测电容构成一组检测电容,第一子结构、第二子结构各有四组检测电容,共八组,分别位于检测框架20a、20b的中间两内腔上下位置,位于第一子结构、第二子结构中间两内腔上侧位置处的两组检测电容,共四组,组合构成微机械陀螺仪检测正极,位于第一子结构、第二子结构中间两内腔下侧位置处的两组检测电容,共四组,组合构成微机械陀螺仪检测负极。

[0047] 本发明微机械全解耦闭环陀螺仪检测结构采用变间距形式对微机械陀螺仪进行差动检测。当驱动质量模块在推挽式静电驱动力作用下作简谐振动,垂直于衬底1方向有角速度输入时,哥氏质量块17a、17b将受到哥氏力作用发生位移,由于第一子结构、第二子结构的驱动模态为同频反向工作,则哥氏质量块17a、17b所受哥氏力也将为同频反向,第一子结构、第二子结构所受哥氏力大小均为:

$$[0048] \quad F_c = -2m_c \omega_c \times V_d \quad (3)$$

[0049] 式中, $m_c$ 为哥氏质量块17a、17b的质量, $\omega_c$ 为垂直于衬底1的输入角速度, $V_d$ 为驱动模态的振动速度。由于哥氏力的作用,第一子结构、第二子结构检测质量模块将发生反向位移,同时与之连接的检测可动梳齿23a、27a、23b、27b与检测固定梳齿24a、26a、24b、26b之间的间隙将会发生改变,使微机械陀螺仪检测正极、微机械陀螺仪检测负极的电容发生变化,基于这种变化可实现完成对陀螺仪检测模态的差动检测。

[0050] 微机械陀螺仪检测模态采用此种变间隙差动检测方式,可实现信号的高机械灵敏度测试,同时,该检测模态差动检测方式可消除同向加速度等共模信号干扰,性噪比高,抗振动抗冲击能力强。

[0051] 图4为本发明MEMS微机械全解耦闭环陀螺仪力反馈结构示意图。如图4所示,力反馈固定梳齿30a、32a、30b、32b,通过锚点31a、34a、31b、34b固定在衬底1上,力反馈可动梳齿29a、33a、29b、33b,其一端与检测框架20a、20b连接,每一个力反馈固定梳齿30a、32a、30b、32b与每一个力反馈可动梳齿29a、33a、29b、33b构成一对力反馈电容,N对力反馈电容构成一组力反馈电容,第一子结构、第二子结构各有两组力反馈电容,共四组,分别位于检测框架20a、20b的上下两内腔位置,位于第一子结构、第二子结构上部内腔位置处的一组力反馈电容,共两组,组成微机械陀螺仪力反馈正极,位于第一子结构、第二子结构下部内腔位置处的一组力反馈电容,共两组,组成微机械陀螺仪力反馈负极。

[0052] 本发明微机械全解耦闭环陀螺仪力反馈结构采用差动变面积形式对微机械陀螺仪进行力平衡控制。当微机械陀螺仪在外界角速度输入时,微机械陀螺仪检测正极电容、检测负极电容将发生差动变化,此时通过外围电路将电容变化量产生的差动电压值反馈给微机械陀螺仪力反馈正极、微机械陀螺仪力反馈负极,此时微机械陀螺仪检测质量模块将受到力反馈梳齿结构的静电力作用,此静电力将平衡外界角速度所产生的哥氏力,即:

$$[0053] \quad 4N_{fb} \epsilon TV_{ref} V_{fb} / d_{fb} = -2m_c \omega_c \times V_d \quad (4)$$

[0054] 式中, $N_{fb}$ 为微机械陀螺仪单边力反馈梳齿电容对数, $V_{ref}$ 为微机械陀螺仪力反馈固定梳齿30a、32a、30b、32b预载电压值, $V_{fb}$ 为微机械陀螺仪检测电容变化所反馈的电压值, $d_{fb}$ 为微机械陀螺仪力反馈固定梳齿30a、32a、30b、32b与力反馈可动梳齿29a、33a、29b、33b间的间隙。

[0055] 由式(4)可以得出该微机械全解耦陀螺仪角速度的计算方式,即:

$$[0056] \quad w_c = \frac{2N_{fb}\varepsilon TV_{ref}}{d_{fb}m_c\omega_d\Delta x} * V_{fb} = \frac{V_{fb}}{K_1} \quad (5)$$

[0057] 式中, $K_1$ 为微机械陀螺仪刻度因子。

[0058] 由式(5)知,利用此种微机械陀螺仪力反馈结构,并结合外围电路对微机械陀螺仪进行力控制,使微机械陀螺仪检测质量模块基本保持在了平衡位置,成功地实现了对检测模态的稳定控制,并最终可完成微机械陀螺仪的闭环检测,该结构方法可以避免陀螺仪检测模块敏感质量的较大位移带来结构扭转干扰,同时有利于优化器件非线性度,提高系统测量精度。

[0059] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0060] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

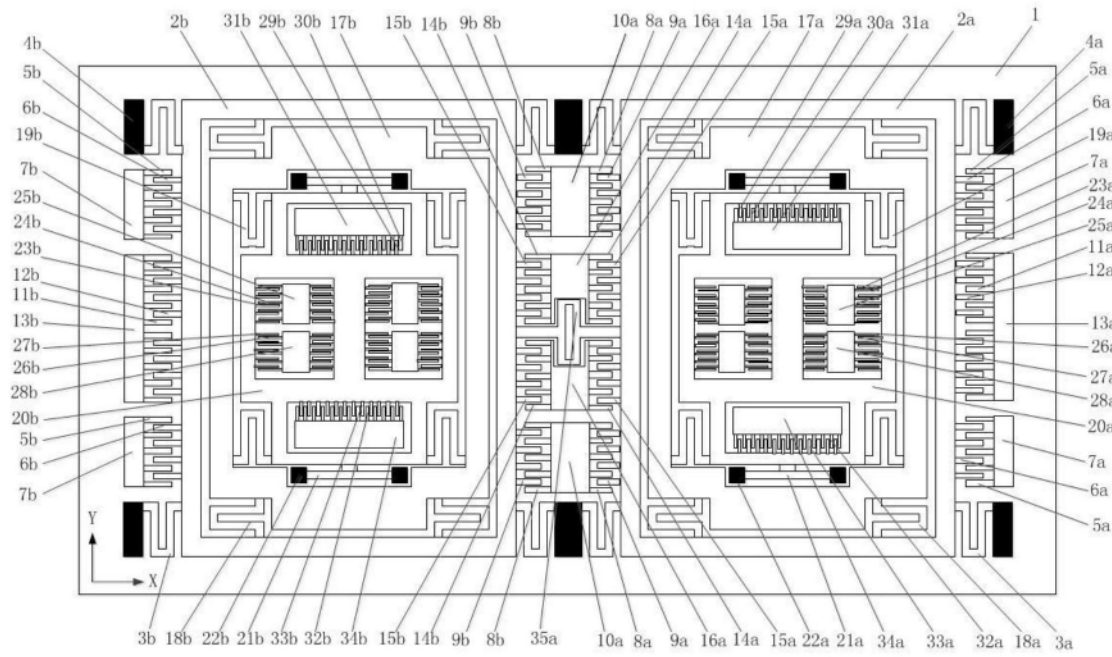


图1

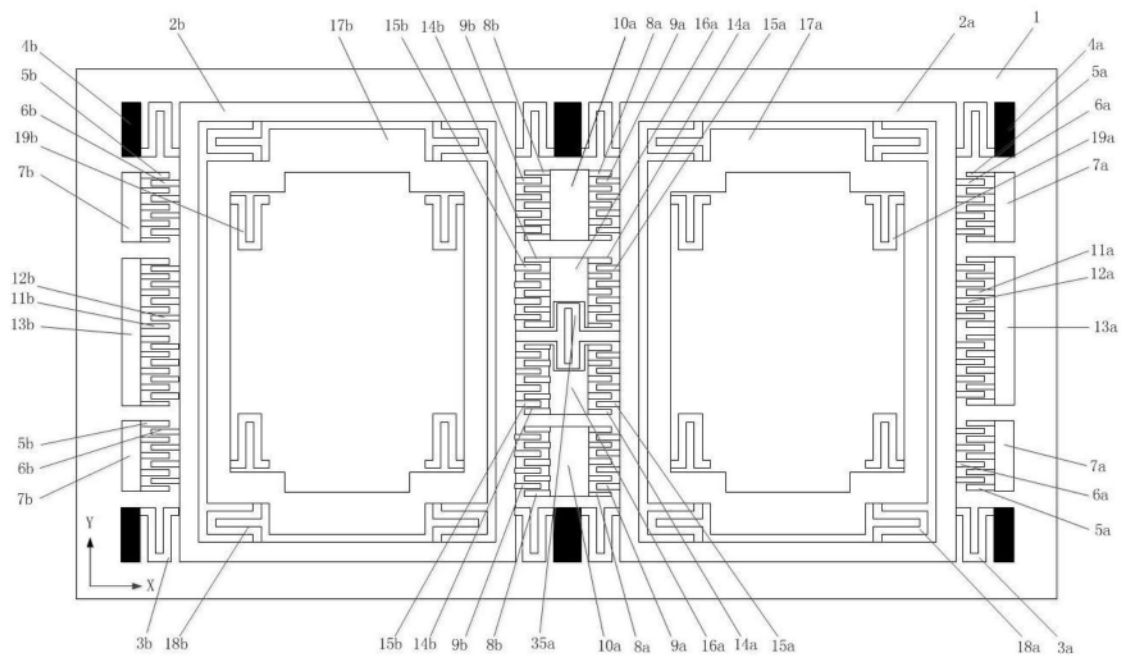


图2

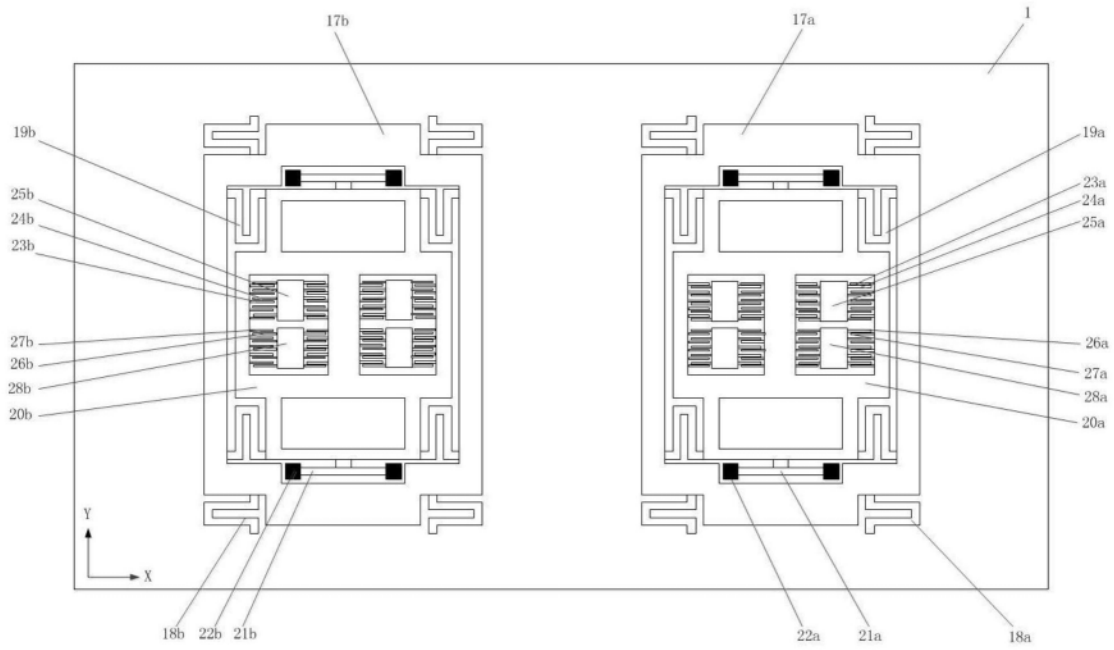


图3

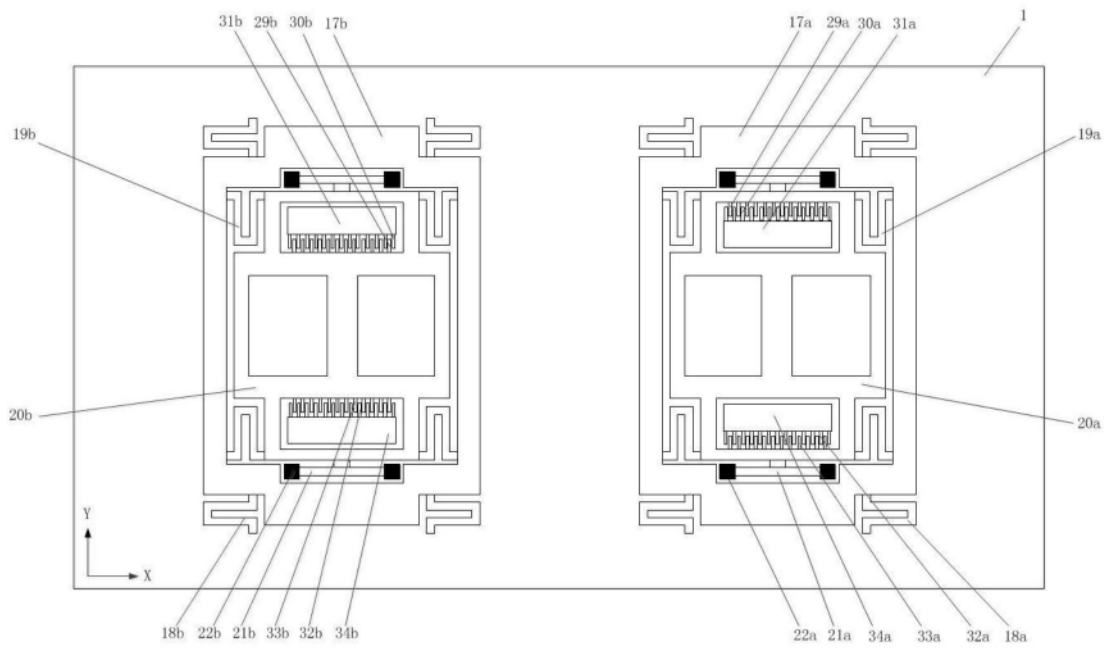


图4