



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105091874 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201410219808. 9

(22) 申请日 2014. 05. 23

(71) 申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路 5 号北
京大学微电子学研究院

(72) 发明人 徐宗刚 赵前程 闫桂珍 杨振川
聂铭昊

(51) Int. Cl.

G01C 19/5656(2012. 01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种双解耦微机械轮式水平轴陀螺

(57) 摘要

本发明涉及一种双解耦微机械轮式水平轴陀螺,其特征在于:可实现机械双解耦,驱动方式为角振动驱动的微机械水平轴陀螺;陀螺结构包括中心锚点,驱动扭转梁,角振动弧形驱动梳齿,检测扭转梁,分段排布的不等高检测梳齿,驱动质量块,复合质量块,检测质量块等;连接复合质量块和检测质量块的驱动扭转梁采用叉指形打折梁设计,有效地解决了陀螺在大驱动位移下的非线性问题;陀螺包括一种蟹爪形检测扭转梁,有效地降低了驱动到检测的机械耦合。本发明的陀螺设计方案可以提高微机械水平轴陀螺的性能,可以用于实现单片三轴陀螺,并进行批量生产。

1. 一种双解耦微机械轮式水平轴陀螺,其特征在于:它包括衬底,中心锚点,驱动扭转梁,角振动弧形驱动梳齿,检测扭转梁,分段排布的不等高检测梳齿,驱动质量块,复合质量块,检测质量块;所述驱动梳齿和检测梳齿分别包括可动电极和固定电极;

所述角振动驱动梳齿的可动电极同驱动质量块固定连接;所述不等高检测梳齿的可动电极同检测质量块固定连接;所述驱动质量块为弧形梳齿静电力驱动,驱动电压加载形式为固定梳齿双边加载;所述检测质量块分段排布的不等高滑膜检测梳齿为检测电容采用垂直于衬底的滑膜梳齿结构,其加工方法为北京大学开发的复合掩模不等高梳齿加工工艺,检测梳齿排布方式为分段排布。

2. 如权利要求 1 所述的一种双解耦微机械轮式水平轴陀螺,其特征在于:连接复合质量块和检测质量块的驱动扭转梁采用叉指形打折梁设计,采用类似形态的驱动扭转梁设计亦在权利要求范围之内。

3. 如权利要求 1-2 任一所述的一种电容式水平轴微机械轮式陀螺,其特征在于:它包括一种蟹爪形检测扭转梁,采用类似形态的检测扭转梁设计亦在权利要求范围之内。

一种双解耦微机械轮式水平轴陀螺

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微机械陀螺,特别是关于一种微机械轮式水平轴陀螺。

背景技术

[0002] 陀螺仪是指能在惯性空间中对角运动进行测量的装置,是惯性导航与制导系统的核心元件之一,是现代航空、航天,航海和国防工业中广泛使用的一种惯性导航仪器。微机械陀螺相比传统转子陀螺和光纤陀螺等具有体积小、重量轻、成本低、功耗小、易于集成等优点。微机械陀螺在航空、航天、兵器、汽车和消费类电子产品等领域都有着迫切的应用需求和广泛的应用前景。

[0003] 惯性空间中物体角运动的表征需要两个双轴或三个单轴陀螺来实现,这就需要陀螺系统既要包含用于检测垂直于器件表面方向角速度的 z 轴陀螺,又要包含用于检测平行于器件表面方向角速度的水平轴陀螺。据相关报道,目前微机械 z 轴陀螺的零偏稳定性可达 $0.1^{\circ}/h$ 。但是对于水平轴陀螺,由于其陀螺结构设计难度相对较高,影响陀螺性能的因素相对较复杂,所以微机械水平轴陀螺的性能指标要低于 z 轴陀螺,这严重的限制了微机械陀螺系统的发展和应用。实现与微机械 z 轴陀螺工艺兼容的高性能微机械水平轴陀螺是目前研发微惯性测量单元的一项关键技术。

[0004] 微机械陀螺按照驱动方向可划分为线驱动陀螺和角驱动陀螺,其中角驱动陀螺又称轮式陀螺。微机械轮式陀螺相比线驱动陀螺具有面内结构对称性高、机械耦合小、工艺容差大、对线加速度不敏感、在单一驱动模态下即可实现双轴甚至三轴角速度检测等优势。

[0005] 已有的微机械轮式水平轴陀螺主要是采用单一质量块的非解耦或是单解耦结构,驱动到检测的机械耦合成为限制其性能的关键因素之一。设计高性能的双解耦微机械轮式水平轴陀螺是微惯性器件研究的热点。双解耦陀螺是实现检测模态到驱动模态,以及驱动模态到检测模态的双向解耦的陀螺。目前双解耦微机械轮式水平轴陀螺的结构设计难点主要包括:多质量块振动陀螺系统中由于各敏感梁不规则形变导致的驱动和检测非线性问题;驱动模态到检测模态的机械解耦不够充分等。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种高性能双解耦微机械轮式水平轴陀螺,并通过陀螺中敏感梁的独特结构设计来解决陀螺驱动和检测的非线性问题,以及陀螺机械解耦不充分问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明采取以下陀螺结构设计方案:1) 设计陀螺中心锚点区域,该区域是陀螺可动结构层与其下方玻璃衬底的键合区域,用以在玻璃衬底上固定陀螺结构;

[0008] 2) 在所述结构 1) 的锚点上设计 4 个依次成 90 度的双端固支梁,该组固支梁构成陀螺的驱动扭转梁 Kd1;

[0009] 3) 在所述结构 2) 的双端固支梁的外侧设计连接环,连接环的外侧设计多组角驱

动弧形可动梳齿及固定梳齿,所述结构 3) 的可动梳齿和固定梳齿共同构成陀螺的静电力驱动结构,所述结构 3) 的连接环和可动梳齿部分共同构成陀螺的驱动质量块;

[0010] 4) 在所述结构 3) 的可动梳齿外侧设计连接环,并在连接环的最上端和最下端各设计一个相对较短的双端固支梁,该组固支梁构成陀螺的检测扭转梁 $Ks1$;

[0011] 5) 在所述结构 4) 的双端固支梁的外侧设计宽度较大的圆环形质量块,并在该圆环形质量块的外侧、在与 x 轴和 y 轴成 45 度夹角位置设计 4 个向外侧突出的矩形质量块,所述结构 5) 的圆环形质量块和与其连接的 4 个矩形质量块共同构成陀螺的复合质量块 (ProofMass);

[0012] 6) 在所述结构 5) 的每个矩形质量块的两侧设计对称的打折梁,该对称打折梁在形态上类似叉指形,所以称之为叉指打折梁,在所述结构 6) 的 4 组叉指打折梁构成陀螺的驱动扭转梁 $Kd2$;

[0013] 7) 在所述结构 1) —结构 6) 的外侧设计 4 个矩形质量块,并首尾相连构成闭合的矩形,矩形的 4 个内角与所述结构 6) 的驱动扭转梁 $Kd2$ 相连;

[0014] 8) 在所述结构 7) 的左右两侧矩形质量块的外侧设计上下端面不等高的垂直衬底的可动梳齿和固定梳齿结构,在所述结构 8) 的可动梳齿和固定梳齿共同构成陀螺的变面积式离面检测电容,并对该电容梳齿结构进行分段排布,用以形成差分电容检测;

[0015] 9) 所述结构 8) 的可动梳齿和所述结构 7) 的矩形质量块共同构成陀螺的检测质量块;

[0016] 10) 在所述结构 8) 的上下两侧矩形质量块的外侧中心点设计两个相对较短的双端固支梁,并设计 2 个锚点,用以固定双端固支梁的另一端,所述结构 10) 的两个双端固支梁构成陀螺的检测扭转梁 $Ks2$

[0017] 11) 在所述结构 8) 的左右两侧矩形质量块的内侧设计 4 个蟹爪形的打折梁,并设计 4 个锚点,用以固定打折梁的另一端,所述结构 11) 的 4 个蟹爪形的打折梁构成陀螺的检测扭转梁 $Ks3$ 。

[0018] 本发明采取的陀螺设计结构具有以下优点:1、本发明是采用角振动方式驱动的轮式水平轴陀螺,具有轮式陀螺所具有的结构对称性好,工艺容差大、对线加速度不敏感等优点;

[0019] 2、本发明采用了双解耦设计,实现陀螺检测模态到驱动模态,以及驱动模态到检测模态的双向机械解耦,可提高陀螺解耦性能;

[0020] 3、本发明中连接陀螺复合质量块和检测质量块的驱动扭转梁 $Kd2$ 采用叉指打折梁设计,有利于保证大驱动位移下的驱动线性度,有利于释放加工过程和工作过程中产生的应力从而提高陀螺的线性度和稳定性;

[0021] 4、本发明中与检测质量块相连的蟹爪形检测扭转梁 $Ks3$ 可以将驱动到检测的耦合位移降低一个数量级,提高了陀螺的解耦性能;

[0022] 5、本发明采用北京大学开发的 5 块版复合掩模工艺加工陀螺与衬底垂直的不等高检测梳齿,从而使陀螺的检测方式为变面积式电容检测,提高了陀螺的线性度;

[0023] 6、本发明采用检测电容梳齿的分段式排布,并实行差分电容检测,有效抑制共模干扰,并且使陀螺对面内线加速度不敏感,检测电容梳齿分段式排布的另一个好处是有助于降低陀螺加工误差对性能造成的影响;

[0024] 7、本发明采用的 5 块版复合掩模工艺与传统用于微机械陀螺加工的 3 块版 SOG 工艺完全兼容,可用于实现单片三轴陀螺,并进行批量生产。

附图说明

- [0025] 图 1 为本发明中的陀螺整体结构示意图；
[0026] 图 2 为本发明中的陀螺一组角振动驱动可动梳齿和固定梳齿结构示意图；
[0027] 图 3 为本发明中的陀螺整体检测梳齿的分段排布结构示意图；
[0028] 图 4 为本发明中的陀螺两组检测不等高梳齿结构剖面图；
[0029] 图 5 为本发明中的陀螺一组叉指形驱动扭转梁 Kd2 结构示意图；
[0030] 图 6 为本发明中的陀螺两个蟹爪形检测扭转梁 Ks3 结构示意图。

具体实施方式

[0031] 本发明中的陀螺整体结构如图 1 所示,陀螺结构主要包括驱动扭转梁 1 和 6,角振动驱动梳齿 2,驱动质量块 3,检测扭转梁 4、8 和 9,复合质量块 5,检测质量块 7,分段排布的不等高检测梳齿 10 等。陀螺工作原理是这样的:驱动质量块 3 和复合质量块 5 在陀螺驱动力的作用下沿 z 方向作扭转振动,此时由于检测质量块 7 受到驱动扭转梁 6 的隔离以及检测扭转梁 9 的约束作用,并不会随驱动力在 z 方向上有扭转振动。当 x 方向有角速度输入时,由于科里奥利力的作用,复合质量块 5 以检测扭转梁 4 为轴做扭转振动,该振动通过驱动扭转梁 6 传递到检测质量块 7,振动角幅度与输入角速度成正比,该幅度由两侧分段排布的不等高检测梳齿 10 形成的滑膜检测电容值来表征。检测质量块 7 随输入 x 轴方向角速度的变化而作的振动通过检测差分电容的变化量的表征,从而实现陀螺对水平方向角速度的测量。理想情况下检测质量块 7 只有随复合质量块 5 沿 y 方向角振动这一种运动形式,实现了对驱动模态的隔离,所以说这种陀螺结构实现了驱动到检测以及检测到驱动模态的双向机械解耦。

[0032] 本发明中驱动梳齿的结构如图 2 所示,包括可动梳齿 21,固定梳齿 22,固定梳齿的锚点区 23。本发明中的驱动电压加载形式为双边驱动,可以有效增大驱动力,并提供稳定振幅的驱动。

[0033] 本发明中采用变面积滑膜电容检测,检测梳齿中可动梳齿和固定梳齿为双端不等高。检测梳齿采用分段排布,其分段方式如图 3 所示。检测不等高梳齿的剖面图如图 4 所示,其中图 4(a) 为可动梳齿上端面低于固定梳齿结构,图 4(b) 为可动梳齿上端面高于固定梳齿结构。

[0034] 本发明中陀螺的叉指形驱动扭转梁 Kd2 结构如图 5 所示,在图中驱动扭转梁 Kd2 即为两个打折梁 51,图中还指明了与其相连的一部分圆环质量块 54,矩形质量块 53,以及一部分检测质量块 52。由于打折梁在压应力和拉应力下可以保证非常高的线性度,且通过圆环质量块向外侧突出的矩形质量块将打折梁的首尾端点靠的更近,更加有利于固支梁内应力的释放和线性度的提高,从而有效的解决了在驱动扭转梁 Kd2 为直梁时在驱动状态下的牵拉形变造成的非线性问题。另外,驱动扭转梁 Kd2 以矩形质量块为对称轴,采用相互对称的打折梁设计,形态上类似叉指形,既能保证驱动扭转梁 Kd2 在陀螺驱动模态下刚度的对称性,同时有能提高驱动扭转梁 Kd2 在 z 向的刚度,有效带动检测质量块的运动。

[0035] 本发明中陀螺的蟹爪形检测扭转梁 Ks3 如图 6 所示, 在图中扭转梁 Ks3 即为两个蟹爪形打折梁 61, 图中还指明了与其相连的一部分检测质量块 63, 锚点 62, 以及左侧靠近检测扭转梁 Ks3 的一部分圆环形质量块 64。本发明中的检测扭转梁 Ks3 的蟹爪形的设计以及扭转梁对复合质量块的约束点位置的设计, 可以减小驱动到检测的耦合位移了, 从而提高陀螺输出性能。该设计的另一个优点是可以更方便对检测模态的谐振频率进行调节, 实现陀螺频率的整体优化。

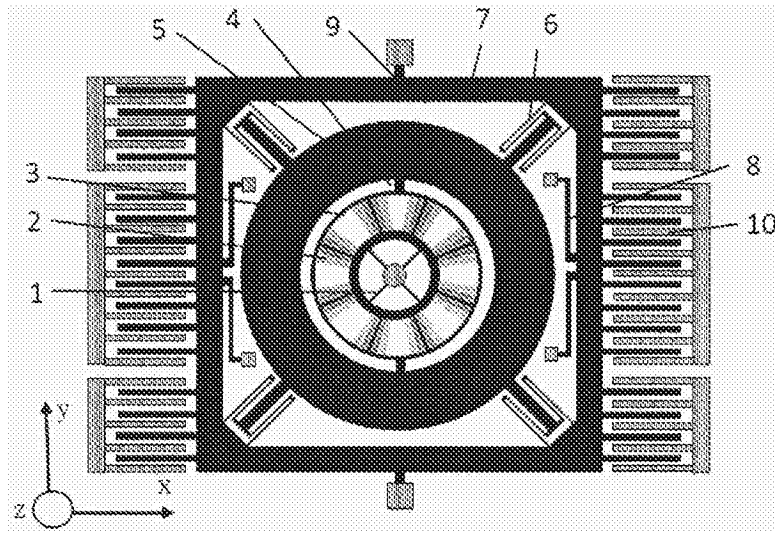


图 1

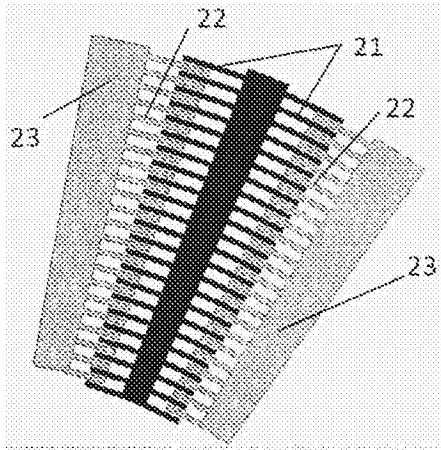


图 2

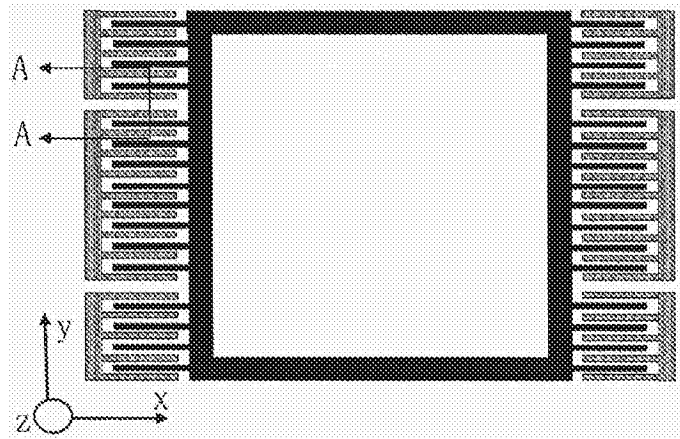


图 3

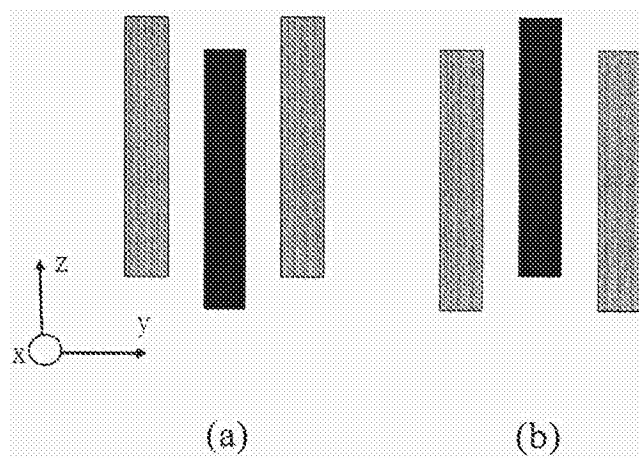


图 4

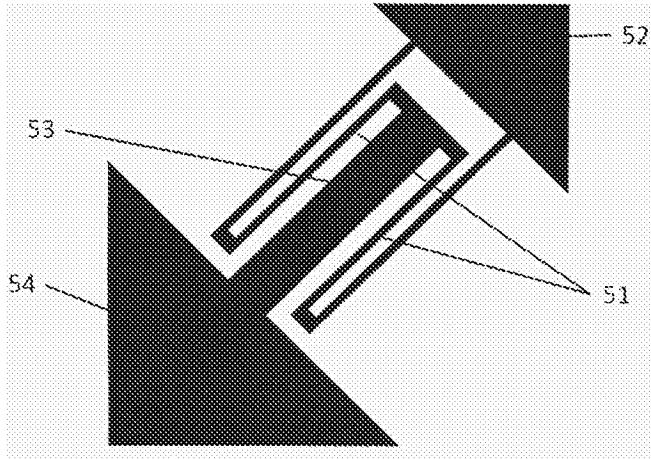


图 5

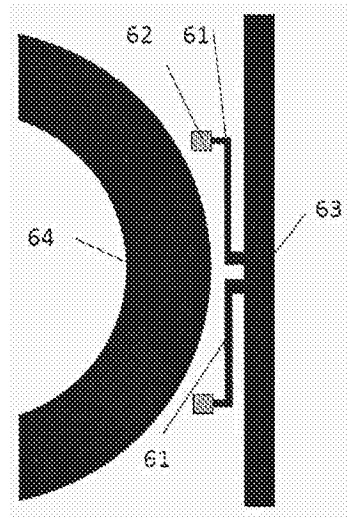


图 6