

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102062604 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 18

(21) 申请号 200910237504. 4

(22) 申请日 2009. 11. 17

(71) 申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路 5 号

(72) 发明人 郭中洋 杨振川 闫桂珍

(74) 专利代理机构 北京润泽恒知识产权代理有限公司 11319

代理人 苏培华

(51) Int. Cl.

G01C 19/56 (2006. 01)

G01P 9/04 (2006. 01)

B81B 7/02 (2006. 01)

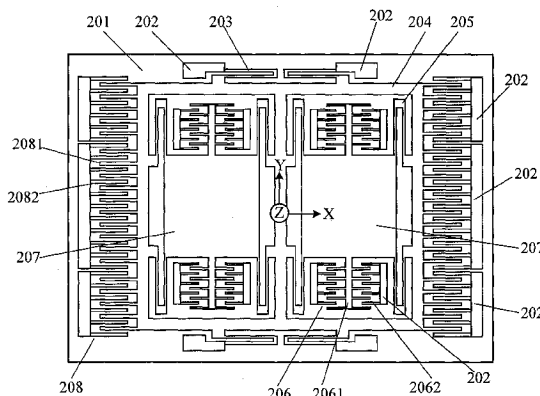
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 6 页

(54) 发明名称

一种电容式微机械音叉陀螺仪

(57) 摘要

本发明提供了一种电容式微机械音叉陀螺仪, 所述陀螺仪为对称的双质量结构陀螺仪, 包括: 衬底, 设置于衬底中央的框架, 框架的中部设置有垂直于框架的框架梁; 框架内部以框架梁为对称轴, 对称设置两个检测质量块, 每个检测质量块的四角分别通过至少四个驱动梁与框架及框架梁连接; 每个检测质量块在垂直轴方向的两端分别设置有解耦驱动梳齿电容; 框架的水平轴方向的两外侧对称设置有检测梳齿电容; 框架的垂直轴方向的两外侧设置有至少四个检测梁, 检测梁相对于框架的水平轴、垂直轴对称分布, 并通过相应锚点固定于衬底上。本发明的电容式水平轴微机械音叉陀螺仪, 能够简单而有效地解决微机械音叉陀螺仪检测模态和驱动模态之间的机械耦合。



1. 一种电容式微机械音叉陀螺仪,其特征在于,所述陀螺仪为对称的双质量结构陀螺仪,包括:

衬底,设置于所述衬底中央的框架,所述框架的中部设置有框架梁,所述框架梁垂直于所述框架;

所述框架内部以所述框架梁为对称轴,对称设置两个检测质量块,每个检测质量块的四角分别通过至少四个驱动梁与所述框架及框架梁连接;所述每个检测质量块在垂直轴方向的两端分别设置有驱动梳齿电容;所述驱动梳齿电容包括可动驱动梳齿电极和固定驱动梳齿电极,所述可动驱动梳齿电极与所述检测质量块连接,所述固定驱动梳齿电极通过相应锚点固定于所述衬底上;所述可动驱动梳齿电极和固定驱动梳齿电极交叠成解耦驱动梳齿电容;

所述框架的水平轴方向的两外侧对称设置有检测梳齿电容,所述检测梳齿电容包括可动检测梳齿电极和固定检测梳齿电极,所述可动检测梳齿电极与所述框架相连,所述固定检测梳齿电极通过相应锚点固定于所述衬底上;

所述框架的垂直轴方向的两外侧设置有至少四个检测梁,所述检测梁相对于所述框架的水平轴、垂直轴对称分布,并通过相应锚点固定于所述衬底上。

2. 根据权利要求1所述的陀螺仪,其特征在于,所述解耦驱动梳齿电容为:

所述可动驱动梳齿电极的上端高于所述固定驱动梳齿电极的上端,所述可动驱动梳齿电极的下端低于所述固定驱动梳齿电极的下端,所述可动驱动梳齿和固定驱动梳齿相对离面运动时交叠面积不变的驱动梳齿电容。

3. 根据权利要求1所述的陀螺仪,其特征在于,所述解耦驱动梳齿电容为:

所述可动驱动梳齿电极的上端低于所述固定驱动梳齿电极的上端,所述可动驱动梳齿电极的下端高于所述固定驱动梳齿电极的下端,所述可动驱动梳齿和固定驱动梳齿相对离面运动时交叠面积不变的驱动梳齿电容。

4. 根据权利要求1、2或3所述的陀螺仪,其特征在于,所述驱动梁为驱动折叠梁,所述驱动折叠梁为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁。

5. 根据权利要求1、2或3所述的陀螺仪,其特征在于,所述驱动梳齿电容为多组驱动梳齿电容。

6. 根据权利要求1、2或3所述的陀螺仪,其特征在于,所述检测梁为检测折叠梁,所述检测折叠梁为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁。

7. 根据权利要求1、2或3所述的陀螺仪,其特征在于,所述检测梳齿电容的可动检测梳齿电极和固定检测梳齿电极的高度相等,所述可动检测梳齿电极的上、下端高于或低于所述固定检测梳齿电极的上、下端。

8. 根据权利要求7所述的陀螺仪,其特征在于,所述检测梳齿电容为多组检测梳齿电容,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容的可动检测梳齿电极的上、下端高于或低于所述固定检测梳齿电极的上、下端,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容的可动检测梳齿电极的上、下端低于或高于所述固定检测梳齿电极的上、下端,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容的电容量为所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容的电容量之和。

9. 根据权利要求8所述的陀螺仪,其特征在于,所述驱动梳齿电容采用开环驱动或闭环驱动,所述检测梳齿电容采用开环或闭环检测。

10. 根据权利要求 9 所述的陀螺仪,其特征在于,所述检测梳齿电容采用闭环检测时,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容为检测电容,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容为施力反馈电容。

11. 根据权利要求 9 所述的陀螺仪,其特征在于,所述检测梳齿电容采用闭环检测时,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容为施力反馈电容,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容为检测电容。

一种电容式微机械音叉陀螺仪

技术领域

[0001] 本发明涉及微电子机械领域,特别地,涉及一种电容式微机械音叉陀螺仪。

背景技术

[0002] 微机械音叉陀螺仪是一种基于微机电系统 (MEMS, Micro Electro Mechanical System) 技术发展起来的用于测量角速度的微型惯性器件。它具有体积小、重量轻、成本低、功耗小以及易于集成等显著优点,可应用于短时工作的战术导弹(如空空格斗战术导弹)和智能炮弹的制导系统、轻小型飞机的自动控制系统、雷达天线的稳定系统以及在全球定位系统组合构成高精度导航定位系统。此外,还可拓展应用于其它许多领域,如汽车、机器人、摄像机、油井钻探、生物医学器械乃至儿童玩具等,应用前景十分广阔。

[0003] 随着应用领域的拓展和使用要求的提高,被测载体对与角速度有关的信息如方位信息、姿态信息等提出了越来越高的要求,这就需要被测载体的三个相互垂直轴方向的角速度信息,而单个单轴微机械陀螺仪显然不能满足这一要求,传统的做法是通过正交安装两个双轴或三个单轴陀螺仪来实现,但这一做法通常因为微机械陀螺仪尺寸较小而难于保证安装精度。通过研究,单片三轴集成陀螺仪为解决这一问题提供了途径。因为结构上的对称性,可实现差分检测及对线加速度不敏感等特点,微机械音叉陀螺仪成为最成功的微机械陀螺仪类型之一。目前,用于检测垂直于被测器件表面方向角速度的 Z 轴(竖直轴)微机械陀螺仪的研究较多,Z 轴微机械陀螺仪的偏值稳定性已达 $0.1^{\circ}/h$,由此,实现与 Z 轴微机械音叉陀螺仪工艺兼容的高性能的水平轴微机械音叉陀螺仪成为实现单片三轴集成微机械音叉陀螺仪的一项关键技术。

[0004] 微机械陀螺仪有两个工作模态:驱动模态和检测模态,两个模态之间的机械耦合是微机械陀螺仪的一个重要误差源。想要获得高性能的微机械音叉陀螺仪,就必须对两个工作模态进行解耦。美国 Draper 实验室的 Bernstein 等人在第 6 届 MEMS 年会上发表的名为“一种梳齿驱动的音叉式角速率微机械陀螺仪”(J. Bernstein, S. Cho, A. T. King, A. Kourepenis, P. Maciel, and M. Weinberg, “A Micromachined Comb-Drive Tuning Fork Rate Gyroscope”, in Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop (MEMS'93), Fort Lauderdale, FL, Feb. 1993, pp. 143-148) 的论文中提出并实现了一种音叉式微机械陀螺仪结构设计方案。该方案中,陀螺仪的两个谐振质量块在静电驱动梳齿作用下沿驱动轴做简谐振动,两个质量块振动幅度相同但相位相反。当沿敏感轴有角速度输入时,两个质量块上将分别产生方向相反的哥氏力,使两个质量块产生相位相反的离面运动,其幅值与输入角速度成正比。两个质量块的位移可以采用电容等方式实现差分检测,从而完成角速度的测量。在理想情况下,驱动模态到检测模态的(运动)能量耦合完全由哥氏力实现。而实际情况中,由于加工误差引起的不对称性、梁的非线性形变等原因,驱动模态和检测模态的运动之间会发生直接的耦合。这种机械耦合是影响陀螺仪性能的重要原因之一。Bernstein 等人的设计中对陀螺仪的梁进行了专门的设计,即陀螺仪的驱动梁与质量块直接相连,检测梁与锚点直接相连,两种梁之间通过连杆相连。在驱动模态,质

量块只带动驱动梁发生形变,检测梁保持不动,从而抑制驱动到检测的耦合。在检测模态,检测梁发生形变,驱动梁保持不动。这种设计虽然在一定程度上减小了驱动模态到检测模态的机械耦合,但是,由于陀螺仪结构整体发生扭转,驱动梳齿的动齿相对定齿发生离面运动,破坏静电分布的对称性,从而导致离面方向产生寄生静电力,影响陀螺仪性能。因此,这种检测模态到驱动模态的耦合在 Bernstein 等人的该设计方案中没有得到很好的解决。

[0005] 为了消除静电力的影响,德国 HSG-IMIT 的 Braxmaier 等人在第 12 届固态传感器、执行器和微系统会议上发表的“振动式陀螺仪振动模态的耦合”一文中 (M. Braxmaier, A. Gaiber, A. Schumacher, I. Simon, J. Frech, H. Sandmaier, and W. Lang, “Cross-coupling of the oscillation modes of vibratory gyroscopes” in Proc. Int. Conf. on Solid State Sensors, Actuators, and Microsystems, Boston, MA, Jun. 2003, pp. 167-170) 提出了一种双解耦的 Z 轴陀螺仪设计方案,可以同时抑制驱动和检测模态之间的机械耦合。该方案的双解耦陀螺仪采用附加的解耦梁和额外质量块来隔离两个模态的机械耦合运动,其通过专门的弹性梁设计,使得驱动质量块和检测质量块分别只能在驱动轴和检测轴方向上做单自由度运动,在其它方向上可认为完全刚性连接,没有运动。惯性质量块同时具有驱动和检测两个方向的自由度,用于哥氏力的耦合。工作时,驱动质量块带动惯性质量块沿驱动轴振动,此时检测质量块不会受驱动影响,保持不动,即避免了驱动到检测模态的机械耦合。当有 Z 方向角速度输入时,哥氏力将使惯性质量块沿检测方向振动,同时带动检测质量块振动,实现角速度信号的检测。由于单自由度梁的隔离作用,检测模态的运动也不会耦合到驱动质量块,从而实现检测到驱动模态的解耦。Braxmaier 等人的设计理论上可以实现驱动和检查模态之间的双解耦,但由于增加了附加的质量块和解耦梁,系统变得相对比较复杂,同时也减小了惯性质量在整个器件面积中的比例,降低了检测效率。另外,这种解耦方式一般多用于 Z 轴陀螺仪,其驱动和检测模态均为平面内运动。对于水平轴陀螺仪,由于涉及离面运动,直接通过结构设计如增加解耦梁等来实现双解耦难度较大。

[0006] 总之,需要本领域技术人员迫切解决的一个技术问题就是:如何简单而有效地解决微机械音叉陀螺仪检测模态和驱动模态之间的机械耦合,以实现一种高性能的电容式水平轴微机械音叉陀螺仪。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是提供一种高性能的电容式水平轴微机械音叉陀螺仪,能够简单而有效地解决微机械音叉陀螺仪检测模态和驱动模态之间的机械耦合。

[0008] 为了解决上述问题,本发明实施例提供了一种电容式微机械音叉陀螺仪,所述陀螺仪为对称的双质量结构陀螺仪,包括:衬底,设置于所述衬底中央的框架,所述框架的中部设置有框架梁,所述框架梁垂直于所述框架;所述框架内部以所述框架梁为对称轴,对称设置两个检测质量块,每个检测质量块的四角分别通过至少四个驱动梁与所述框架及框架梁连接;所述每个检测质量块在垂直轴方向的两端分别设置有驱动梳齿电容;所述驱动梳齿电容包括可动驱动梳齿电极和固定驱动梳齿电极,所述可动驱动梳齿电极与所述检测质量块连接,所述固定驱动梳齿电极通过相应锚点固定于所述衬底上;所述可动驱动梳齿电极和固定驱动梳齿电极交叠成解耦驱动梳齿电容;所述框架的水平轴方向的两外侧对称设置有检测梳齿电容,所述检测梳齿电容包括可动检测梳齿电极和固定检测梳齿电极,所述

可动检测梳齿电极与所述框架相连,所述固定检测梳齿电极通过相应锚点固定于所述衬底上;所述框架的垂直轴方向的两外侧设置有至少四个检测梁,所述检测梁相对于所述框架的水平轴、垂直轴对称分布,并通过相应锚点固定于所述衬底上。

[0009] 优选的,所述解耦驱动梳齿电容为:所述可动驱动梳齿电极的上端高于所述固定驱动梳齿电极的上端,所述可动驱动梳齿电极的下端低于所述固定驱动梳齿电极的下端,所述可动驱动梳齿和固定驱动梳齿相对离面运动时交叠面积不变的驱动梳齿电容。

[0010] 优选的,所述解耦驱动梳齿电容为:所述可动驱动梳齿电极的上端低于所述固定驱动梳齿电极的上端,所述可动驱动梳齿电极的下端高于所述固定驱动梳齿电极的下端,所述可动驱动梳齿和固定驱动梳齿相对离面运动时交叠面积不变的驱动梳齿电容。

[0011] 优选的,所述驱动梁为驱动折叠梁,所述驱动折叠梁为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁。

[0012] 优选的,所述驱动梳齿电容为多组驱动梳齿电容。

[0013] 优选的,所述检测梁为检测折叠梁,所述检测折叠梁为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁。

[0014] 优选的,所述检测梳齿电容的可动检测梳齿电极和固定检测梳齿电极的高度相等,所述可动检测梳齿电极的上、下端高于或低于所述固定检测梳齿电极的上、下端。

[0015] 优选的,所述检测梳齿电容为多组检测梳齿电容,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容的可动检测梳齿电极的上、下端高于或低于所述固定检测梳齿电极的上、下端,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容的可动检测梳齿电极的上、下端低于或高于所述固定检测梳齿电极的上、下端,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容的电容量为所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容的电容量之和。

[0016] 优选的,所述驱动梳齿电容采用开环驱动或闭环驱动,所述检测梳齿电容采用开环或闭环检测。

[0017] 优选的,所述检测梳齿电容采用闭环检测时,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容为检测电容,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容为施力反馈电容。

[0018] 优选的,所述检测梳齿电容采用闭环检测时,所述框架两外侧中部的检测梳齿电容为施力反馈电容,所述框架两外侧上、下两端的检测梳齿电容为检测电容。

[0019] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0020] 首先,本发明的驱动梳齿电容的可动驱动梳齿电极的上端高于/低于固定驱动梳齿电极的上端,可动驱动梳齿电极的下端低于/高于固定驱动梳齿电极的下端,当有 X 轴(水平轴)方向的角速度输入时,两个检测质量块通过驱动折叠梁和框架带动可动驱动梳齿沿 Z 轴(竖直轴)作反正振动时,可动驱动梳齿电极和固定驱动梳齿电极交叠的面积不发生变化,因而驱动电容也不会因为可动驱动梳齿沿 Z 轴的运动而发生变化,不会产生沿 Z 轴的静电力,从而检测模态到驱动模态的耦合得抑制。

[0021] 其次,本发明的驱动梁和检测梁相互独立,在驱动模态,检测梳齿电容不产生振动,有效解决了从驱动模态到检测模态的机械解耦。

[0022] 再者,本发明不需真空封装即可获得较高的品质因数,降低了封装要求和器件成本。

[0023] 然后,本发明采用对称结构,对线加速度不敏感,增大了陀螺仪量程,降低了使用

要求,有利于和其它器件集成为系统如微惯性单元,而且减少了系统的器件数量,从而降低系统成本,同时提高其可靠性。

[0024] 最后,本发明采用常规微机电工艺及设备,工艺过程简单,且与 Z 轴音叉陀螺仪兼容,可用于实现单片三轴陀螺仪,并可以实现大批量生产。

附图说明

[0025] 图 1 是现有技术的一种对称双质量微机械陀螺仪结构示意图;

[0026] 图 2 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪实施例的结构示意图;

[0027] 图 3a 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容实施例一的立体结构示意图;

[0028] 图 3b 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容实施例一的简单结构示意图;

[0029] 图 4 是本发明图 3a、3b 所示驱动梳齿电容实施例一的工作状态示意图;

[0030] 图 5a 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容实施例二的立体结构示意图;

[0031] 图 5b 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容实施例二的简单结构示意图;

[0032] 图 6 是本发明图 5a、5b 所示驱动梳齿电容实施例二的工作状态示意图;

[0033] 图 7 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的检测梳齿电容实施例一的结构示意图;

[0034] 图 8 是图 7 所示检测梳齿电容实施例一的工作状态示意图;

[0035] 图 9 是本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的检测梳齿电容实施例二的结构示意图;

[0036] 图 10 是图 9 所示检测梳齿电容实施例二的工作状态示意图;

[0037] 图 11 是本发明的驱动梳齿电容的开环差动驱动示意图;

[0038] 图 12 是本发明的驱动梳齿电容的闭环单边驱动示意图;

[0039] 图 13 是本发明的驱动梳齿电容的闭环差动驱动示意图。

具体实施方式

[0040] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0041] 为便于理解本发明的技术方案,下面以图 1 所示现有技术的一种对称双质量微机械陀螺仪为例,简要介绍微机械陀螺仪的工作原理。

[0042] 参照图 1,示出了现有技术的一种对称双质量微机械陀螺仪结构示意图,包括:基座 101、驱动梳齿电容 102、检测质量块 103、驱动框架 104、检测梳齿电容 105 和检测梳齿架 106。左右两边的驱动框架 104 通过中间的折叠梁连接在一起,左、右驱动框架 104 通过驱动折叠梁与基座 101 相连,在左、右驱动框架 104 的上下两边设置有驱动梳齿电容 102,两边的检测质量块 103 分别通过四个折叠梁与驱动框架 104 相连接,并且通过另外的二组折叠梁分别与左右的检测梳齿架 106 相连,检测梳齿架 106 通过折叠梁连接在基座 101 上,在左

右检测梳齿架 106 的外侧设计有检测梳齿电容 105。

[0043] 微机械陀螺仪利用哥氏效应在驱动模态和检测模态之间产生能量转换,哥氏效应是由哥氏力引起的动力学效应,哥氏力来源于哥氏加速度,哥氏加速度由质点不仅作圆周运动,而且也做径向运动或周向运动而产生。当陀螺仪工作时,在驱动梳齿电容 102 上施加带有直流偏置的交流电压,产生沿驱动轴即 X 轴(水平轴)作交变的反相线振动。当有沿输入轴即 Z 轴(竖直轴)的角速度输入时,左右两边的检测质量块 103 将受到沿与 X 轴相垂直的 Y 轴相反的哥氏力作用,由此引起左右两个检测质量块 103 作沿 Y 轴方向相反的振动,同时使检测梳齿电容 105 沿 Y 轴振动,检测梳齿电容 105 的电容量发生变化,其变化量与输入的角速度成正比。对称的双质量结构使左右检测梳齿电容 105 的变化为差动,通过测量检测梳齿电容 105 的电容量变化,即可获得输入的角速度。

[0044] 本发明的电容式微机械音叉陀螺仪采用对称的双质量结构,主要用于测量水平面方向的 X 轴(水平轴)和 Y 轴(垂直轴)的角速度。参照图 2,示出了本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪实施例的结构示意图,具体可以包括:衬底 201、锚点 202、检测梁 203、框架 204、驱动梁 205、驱动梳齿电容 206、检测质量块 207 和检测梳齿电容 208。其中,所述驱动梳齿电容 206 包括可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062,所述检测梳齿电容 208 包括可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082。

[0045] 所述锚点 202、检测梁 203、驱动梁 205、驱动梳齿电容 206、检测质量块 207 和检测梳齿电容 208 相对于陀螺仪的 X 轴(水平轴)、Y 轴(垂直轴)对称分布。具体地,所述框架 204 设置于所述衬底 201 的中央,框架 204 的内部垂直方向中央设置有框架梁,所述框架梁连接框架 204 的上下两边,形成倒“日”字形结构。框架 204 内部以框架梁为对称轴,对称设置两个检测质量块 207,每个检测质量块 207 的四角分别通过四个驱动梁 205 与所述框架 204 及框架梁连接。其中,每个检测质量块 207 靠近框架梁边侧的两个角通过驱动梁 205 与框架梁连接,远离框架梁边侧的两个角通过驱动梁 205 与框架相连。所述每个检测质量块 207 在垂直轴方向的上下两端分别设置有包括可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 的驱动梳齿电容 206,其中,可动驱动梳齿电极 2061 与检测质量块 207 固定连接,固定驱动梳齿电极 2062 通过相应的锚点 202 固定于衬底 201 上。在框架 204 的水平轴方向的两外侧对称设置有检测梳齿电容 208,所述检测梳齿电容 208 包括可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082,可动检测梳齿电极 2081 与框架 204 固定连接,固定检测梳齿电极 2082 通过相应的锚点 202 固定于衬底 201 上。框架 204 的垂直轴方向的两外侧设置有四个检测梁 203,所述检测梁 203 相对于框架 204 的水平 X 轴、垂直 Y 轴对称分布,并通过相应的锚点 202 固定于衬底 201 上。

[0046] 本实施例中,所述驱动梁 205 可以为直梁或者折叠梁,也可以为其它任何本领域技术人员认为适合的结构,本发明无须对此作出限制。优选的,本实施例的驱动梁 205 为驱动折叠梁,所述驱动折叠梁可以为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁中的任一种,以实现陀螺仪的离面扭摆运动。驱动梁 205 采用折叠梁设计,可以使陀螺仪在驱动梁 205 的线弹性变形范围内工作,振动平稳;且折叠梁可以有效降低陀螺仪加工过程和工作过程中产生的残余应力,从而提高陀螺仪的线性度和稳定性;另外,采用折叠梁降低了陀螺仪对加工过程如老化和温度试验的要求,有利于提高生产效率,进一步降低了成本。驱动折叠梁至少为四个,也可以为六个或者更多,本领域技术人员可以在保证陀螺仪谐振模式不变的情

况下自由选择设置。

[0047] 同样,检测梁 203 可以为直梁或者折叠梁,也可以为其它任何本领域技术人员认为适合的结构。优选的,本实施例的检测梁 203 为检测折叠梁,所述检测折叠梁可以为弯曲变形梁、扭转变形梁或者弯扭组合梁中的任一种。检测折叠梁至少为四个,也可以为六个或者更多,本领域技术人员可以在保证陀螺仪谐振模式不变的情况下自由选择设置。

[0048] 本发明的驱动梳齿电容 206 包括可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062,二者交叠面积在相对运动时保持不变,形成解耦驱动梳齿电容 206。

[0049] 参照图 3a 和图 3b,分别示出了本发明图 2 所示的电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容 206 实施例一的立体结构示意图和简单结构示意图。本实施例的驱动梳齿电容 206 采用成对使用、对称分布的微机械梳齿电容,每部分微机械梳齿电容包括可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062,两部分微机械梳齿电容通过可动驱动梳齿电极 2061 的梳齿背固定连接,对称分布。具体地,如图 3a 所示,所述可动驱动梳齿电极 2061 的上端 2061a 高于固定驱动梳齿电极 2062 的上端 2062a,可动驱动梳齿电极 2061 的下端 2061b 低于固定驱动梳齿电极 2062 的下端 2062b,可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 的高度差可由本领域技术人员根据梳齿间距、梳齿宽度以及梳齿的整体高度综合考虑确定,在此不再赘述。左侧端可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 构成驱动电容 C1,右侧端可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 构成驱动电容 C2。施加于左、右两侧固定驱动梳齿电极 2062 的电压可以相同,也可以不同。当可动驱动梳齿电极 2061 在外力(如惯性力)作用下做逆时针小角度扭转时,如图 4 所示,可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 因为存在高度差而交叠面积保持不变,从而驱动电容 C1、C2 保持不变。当可动驱动梳齿电极 2061 做顺时针小角度时,情况与逆时针相仿。同样,当可动驱动梳齿电极 2061 做向上(或向下)的微小垂直位移时,因驱动电容 C1 和 C2 的电极交叠面积保持不变,所以驱动电容 C1 和 C2 的数值也保持不变。

[0050] 参照图 5a 和图 5b,分别示出了本发明图 2 所示的电容式微机械音叉陀螺仪的驱动梳齿电容 206 实施例二的立体结构示意图和简单结构示意图。所述驱动梳齿电容 206 采用成对使用、对称分布的微机械梳齿电容,所述可动驱动梳齿电极 2061 的上端 2061a 低于固定驱动梳齿电极 2062 的上端 2062a,可动驱动梳齿电极 2061 的下端 2061b 高于固定驱动梳齿电极 2062 的下端 2062b。左侧端可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 构成驱动电容 C3,右侧端可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 构成驱动电容 C4,施加于左、右两侧固定驱动梳齿电极 2062 的电压可以相同,也可以不同。驱动电容 C3 和 C4 在可动驱动梳齿电极 2061 发生小角度扭转时,数值均保持不变,图 6 示出了本实施例可动驱动梳齿电极 2061 做逆时针小角度扭转时的工作状态。同样,当可动驱动梳齿电极 2061 做向上(或向下)的微小垂直位移时,因驱动电容 C1 和 C2 的电极交叠面积保持不变,所以驱动电容 C1 和 C2 的数值也保持不变。

[0051] 当有 Y 轴(垂直轴)方向的角速度输入时,两个检测质量块 207 通过驱动梁 205(本实施中为驱动折叠梁)和框架 204 带动可动驱动梳齿电极 2061 沿 Z 轴(垂直轴)作反相振动时,驱动梳齿电容 206 的各部分电容量不会因为可动驱动梳齿电极 2061 沿 Z 轴方向的运动而发生变化,因而不会产生沿 Z 轴方向的静电力,从而使得陀螺仪从检测模态到驱动模态的耦合得到抑制。

[0052] 每个检测质量块 207 在垂直轴方向的两端可以分别设置一组驱动梳齿电容 206,也可以设置多组驱动梳齿电容 206(如图 13 所示),每组驱动梳齿电容 206 包括与检测质量块 207 固定连接的可动驱动梳齿电极 2061,和通过各自相应的锚点 202 固定于衬底 201 上的固定驱动梳齿电极 2062。由于可动驱动梳齿电极 2061 和固定驱动梳齿电极 2062 之间的静电力大小与梳齿的个数成正比,因此,一方面,与单组驱动梳齿电容 206 相比,采用多组驱动梳齿电容 206 可以增加静电力,从而减小驱动电压,陀螺仪在低电压下工作,可以减小功耗,电路设计实现也较为简单;另一方面,在驱动电压不变的情况下,采用多组驱动梳齿电容 206,就增大了原有的静电力,进而导致检测质量块 207 的运动幅度增大,从而提高陀螺仪的检测灵敏度。

[0053] 两个检测质量块 207 可以由可动驱动梳齿电极 2061 实现的单独驱动或者共同驱动,其驱动方式可以采用开环如图 11 所示,也可以采用闭环驱动如图 12、图 13 所示,既可以单边梳齿驱动也可以双边梳齿差动驱动。

[0054] 本发明的检测梳齿电容 208 包括可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082,为双端不等高垂直检测梳齿电容。

[0055] 参照图 7,示出了本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的检测梳齿电容 208 实施例一的结构示意图。可动检测梳齿电极 2081 的高度值和固定检测梳齿电极 2082 的高度值相等,如均为 80 微米。所述可动检测梳齿电极 2081 的上端和下端均高于固定检测梳齿电极 2082 的上端和下端。左侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 构成敏感电容 D1,右侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 构成敏感电容 D2。在初始位置时,两个敏感电容 D1 和 D2 的电极交叠面积相同,数值相等,如图 7 所示。当可动检测梳齿电极 2081 做逆时针小角度扭转时,左侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 的交叠面积增大,即敏感电容 D1 增大;右侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 的交叠面积减小,即敏感电容 D2 减小,如图 8 所示。当可动检测梳齿电极 2081 做顺时针小角度扭转时,两敏感电容 D1 和 D2 的变化与逆时针扭转时的情况相反。两个敏感电容 D1 和 D2 的差分数值与可动检测梳齿电极 2081 的扭转角度成正比。

[0056] 参照图 9,示出了本发明的一种电容式微机械音叉陀螺仪的检测梳齿电容 208 实施例二的结构示意图。可动检测梳齿电极 2081 的高度值和固定检测梳齿电极 2082 的高度值相等。所述可动检测梳齿电极 2081 的上端和下端均低于固定检测梳齿电极 2082 的上端和下端。左侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 构成敏感电容 D3,右侧端可动检测梳齿电极 2081 和固定检测梳齿电极 2082 构成敏感电容 D4。其工作原理与图 7 所示检测梳齿电容 208 实施例一基本相同,但敏感电容 D3 和 D4 的差分数值与可动检测梳齿电极 2081 的扭转角度变化趋势相反,其工作状态如图 10 所示。

[0057] 检测梳齿电容 208 可以为单组,也可以为多组。当检测梳齿电容 208 为多组时,以所述框架 204 左侧为例,可以采用中部的检测梳齿电容 208 为图 7 所示检测梳齿电容 208 一型,即可动检测梳齿电极 2081 的上、下端高于固定检测梳齿电极 2082 的上、下端;框架 204 的上、下两端的检测梳齿电容 208 采用图 9 所示检测梳齿电容 208 二型,即可动检测梳齿电极 2081 的上、下端低于固定检测梳齿电极 2082 的上、下端,且上、下两端检测梳齿电容 208 二型的电容量之和等于中部检测梳齿电容 208 一型的电容量;框架 204 右侧检测梳齿电容 208 分布与左侧完全一致,本实施例中即采用此种多组检测梳齿电容 208。或者,框架

204 左侧中部检测梳齿电容 208 为检测梳齿电容 208 二型,左侧上、下两端的检测梳齿电容 208 为检测梳齿电容一型,上、下端检测梳齿电容 208 一型的电容量之和等于中部检测梳齿电容 208 二型的电容量,框架 204 右侧检测梳齿电容 208 分布与左侧完全一致。

[0058] 框架 204 每侧的检测梳齿电容 208 分为两部分,目的是根据需要可以采取开环检测或闭环检测。本实施例采用中部检测梳齿电容 208 一型,上下两端检测梳齿电容 208 二型的结构,当开环检测时,左侧检测梳齿电容 208 一型与右侧检测梳齿电容 208 二型组成了一组敏感电容,右侧检测梳齿电容 208 一型与左侧检测梳齿电容 208 二型组成另一组敏感电容,两组敏感电容形成差分电容以消除非检测运动信号的干扰。闭环检测时,可以左侧的检测梳齿电容 208 一型与右侧的检测梳齿电容 208 一型作为检测电容,左侧的检测梳齿电容 208 二型与右侧的检测梳齿电容 208 二型作为施力反馈电容;也可以左侧的检测梳齿电容 208 一型与右侧的检测梳齿电容 208 一型作为施力反馈电容,左侧的检测梳齿电容 208 二型与右侧的检测梳齿电容 208 二型作为检测电容。

[0059] 中部检测梳齿电容 208 二型,上下两端检测梳齿电容 208 一型结构的多组检测梳齿电容 208 开环检测与闭环检测原理与上述基本相同。

[0060] 本发明陀螺仪的衬底 201 可以采用硅、氧化硅、玻璃等材料;框架 204、检测梁 203、驱动梁 205、检测质量块 207、驱动梳齿电容 206 和检测梳齿电容 208 可以采用硅、多晶硅、钛等材料。当然,本领域技术人员也可以根据实际情况,选用其它适合的材料,本发明无须对此作出限制。

[0061] 本发明的陀螺仪利用哥氏力测量物体角速度,工作时,固定驱动梳齿电极 2062 在驱动电压作用下,对可动驱动梳齿电极 2061 施加静电力,驱动可动驱动梳齿电极 2061 带动左右两个检测质量块 207 沿 X 轴(水平轴)振动。其中,两个检测质量块 207 的相位相差为 180 度,且沿 X 轴的谐振频率可以相等以实现高的检测灵敏度,也可以谐振频度有差别,以提高陀螺仪的带宽。当系统有 Y 轴(垂直轴)方向角速度输入时,两个检测质量块 207 通过驱动梁 205 和框架 204 带动可动检测梳齿电极 2081 沿 Z 轴(竖直轴)做反相振动,从而引起检测梳齿电容 208 的电容量发生变化,通过左右检测梳齿电容 208 的差分信号即可获得沿 Y 轴方向输入的角速度信息。显然,将陀螺仪旋转 90 度,即可检测沿 X 轴方向输入的角速度信息。

[0062] 由此可见,本发明的陀螺仪采用解耦驱动梳齿电容 206,以一种简单的方式有效解决了陀螺仪从检测模态到驱动模态的机械耦合问题;且采用相互独立的驱动梁 205 和检测梁 203,使得陀螺仪从驱动模态到检测模态的机械耦合也得到了有效抑制。此外,本发明的陀螺仪可以在常压下工作,在大气环境下就能获得较高的品质因子,无须真空封装,有效降低了封装要求和器件成本;且本发明的陀螺仪采用常规的微机电工艺和设备即可实现,加工过程简单,便于大批量生产;还能与 Z 轴音叉陀螺仪兼容,实现单片三轴陀螺仪。

[0063] 以上对本发明所提供的一种电容式微机械音叉陀螺仪进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

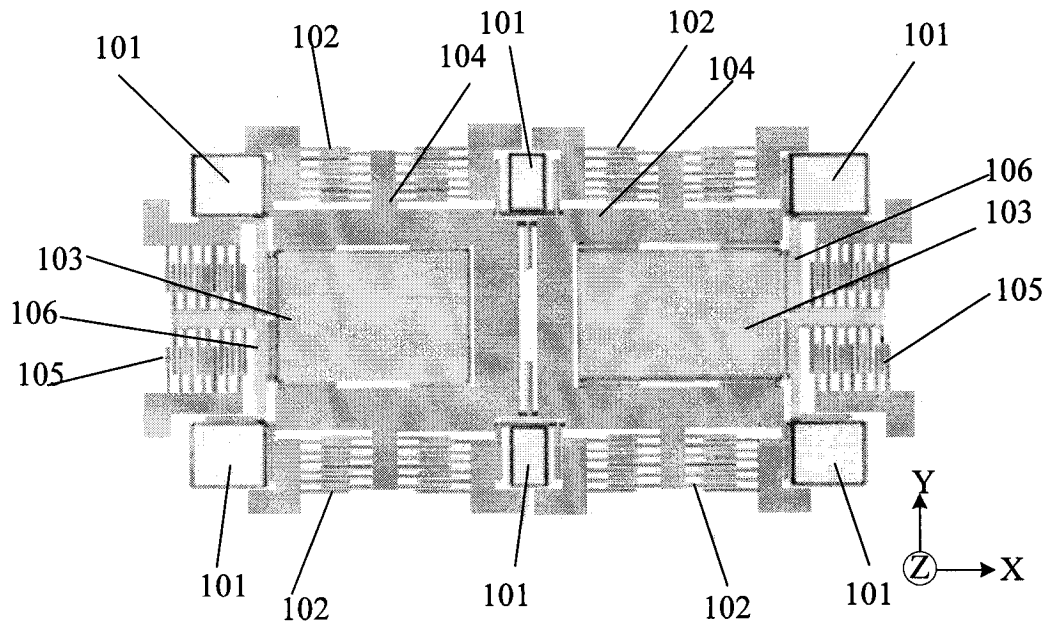


图 1

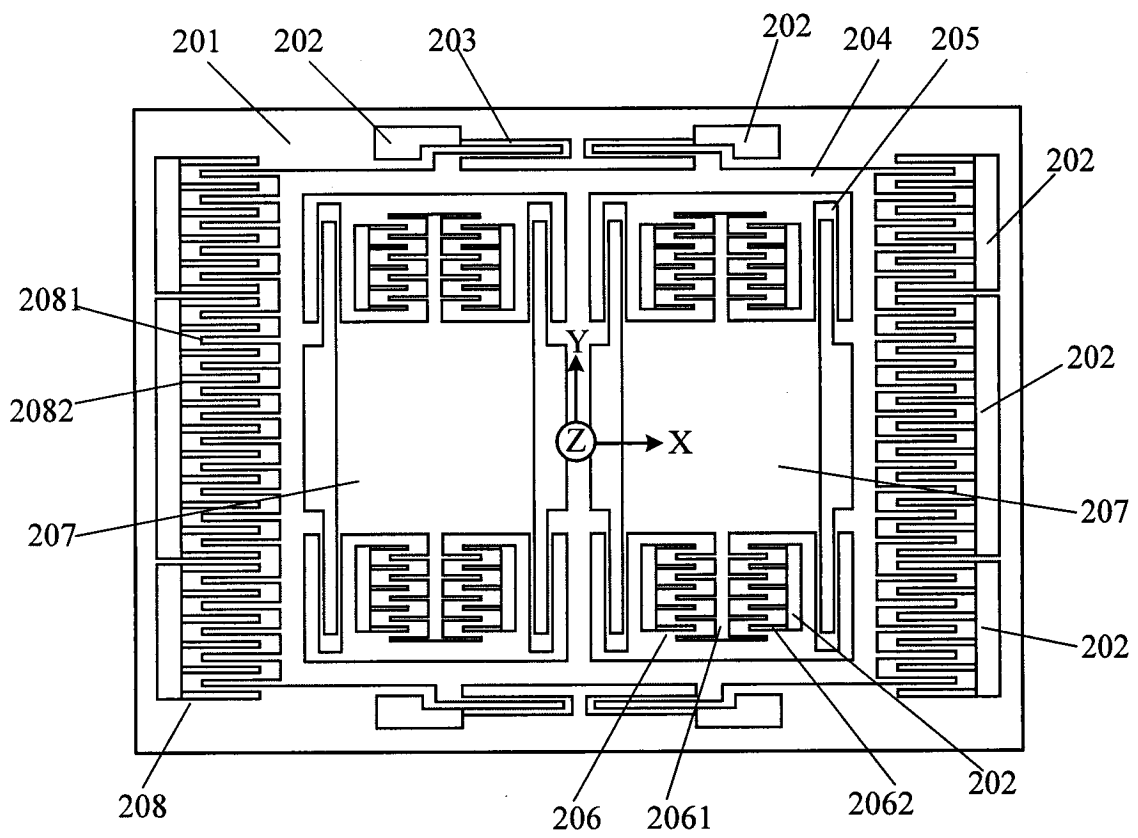


图 2

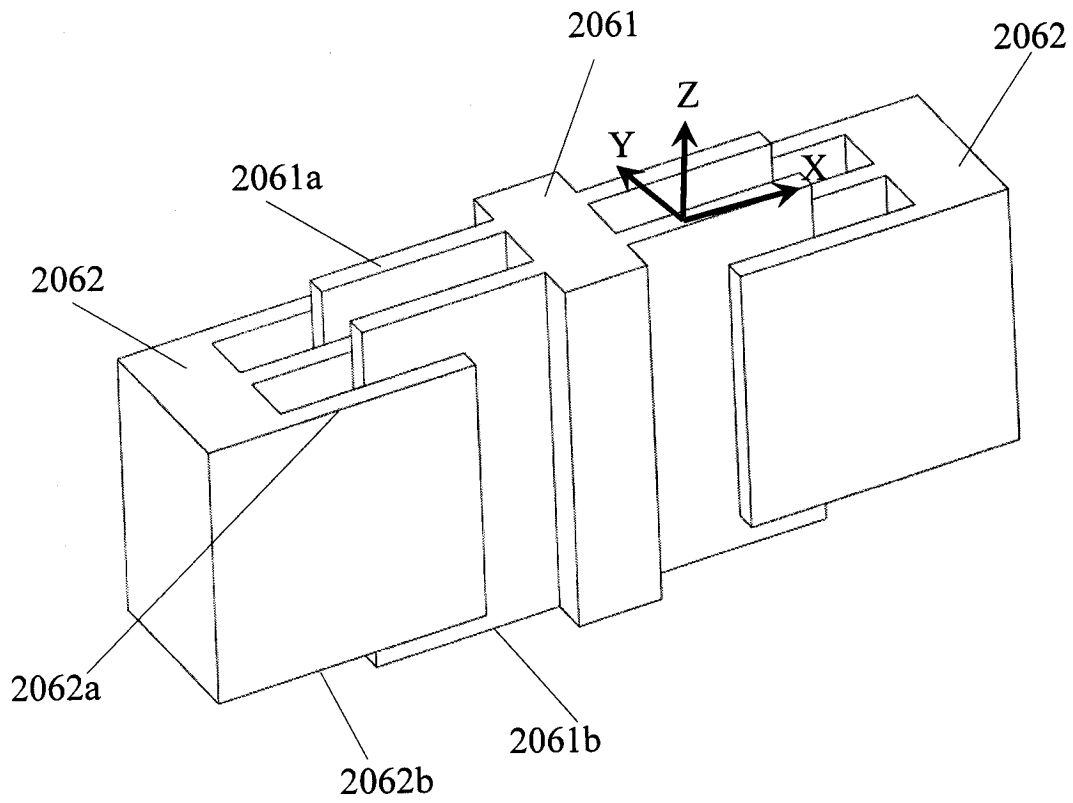


图 3a

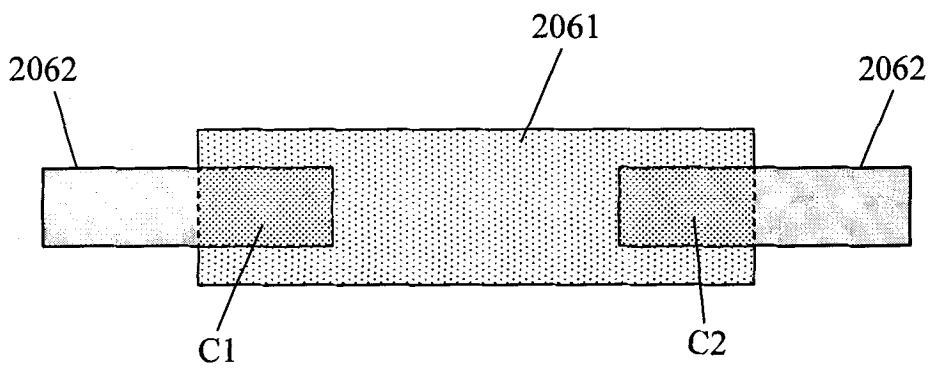


图 3b

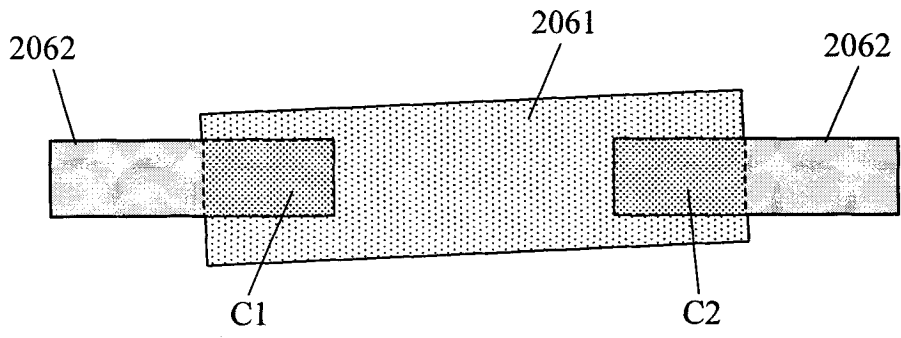


图 4

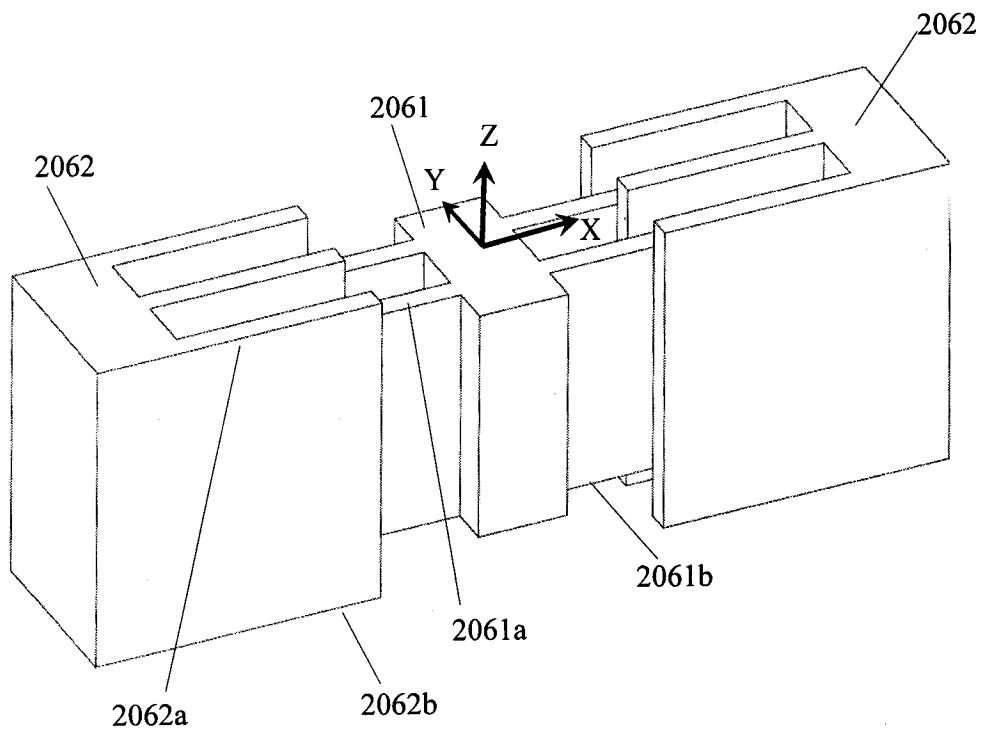


图 5a

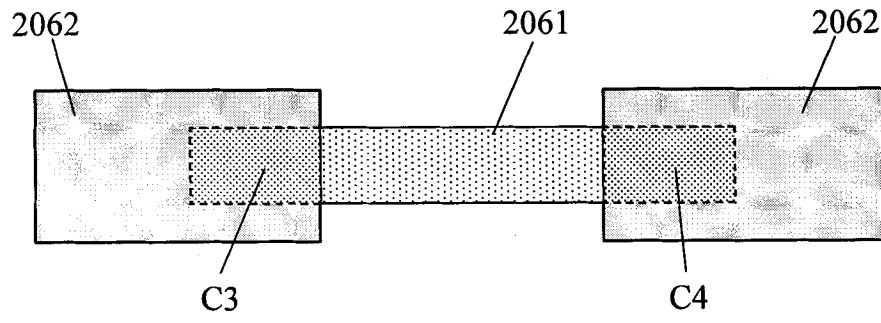


图 5b

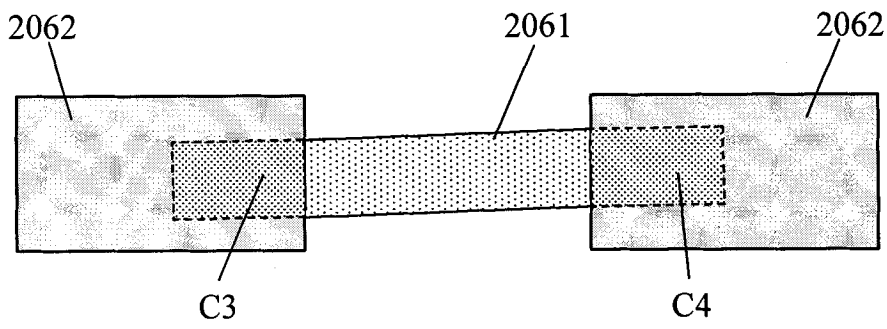


图 6

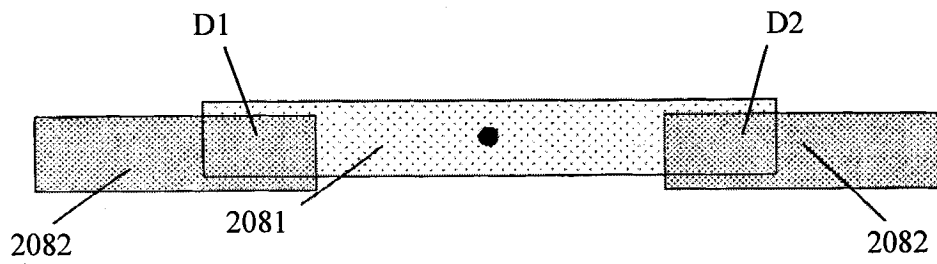


图 7

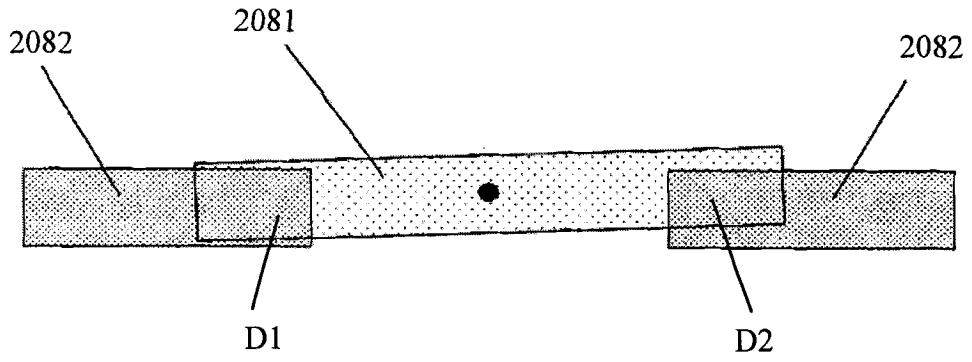


图 8

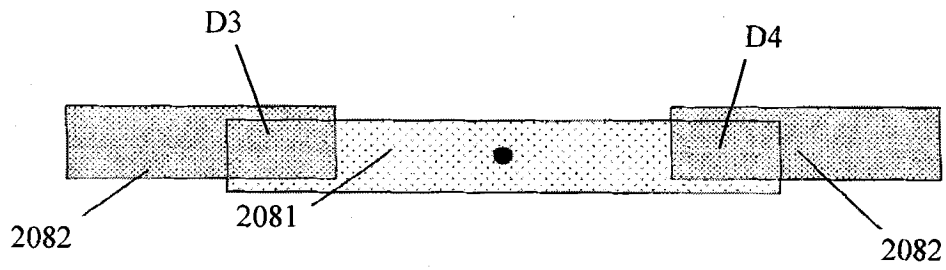


图 9

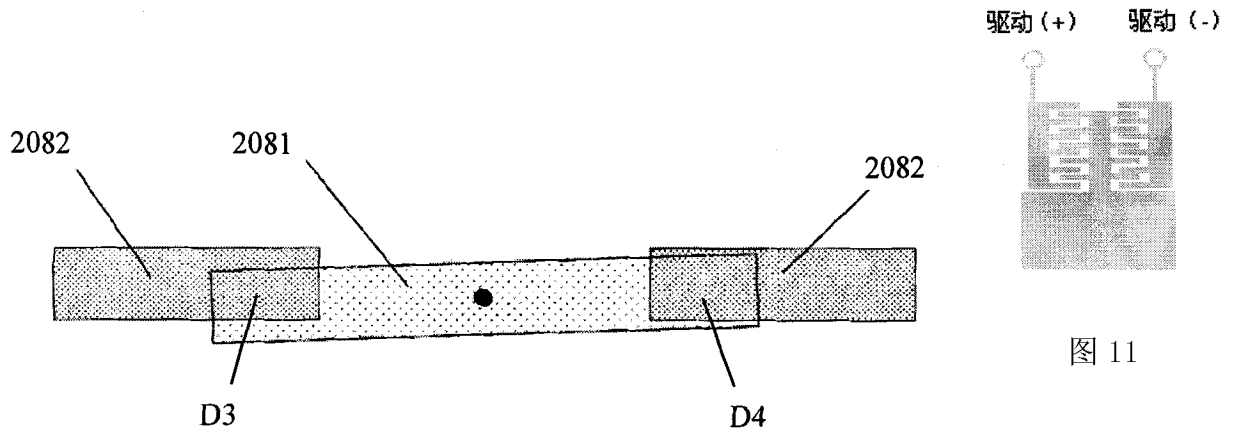


图 10

图 11

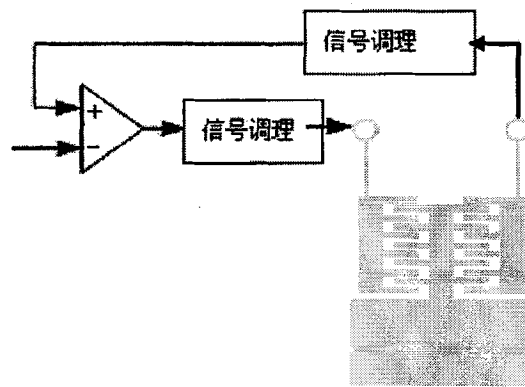


图 12

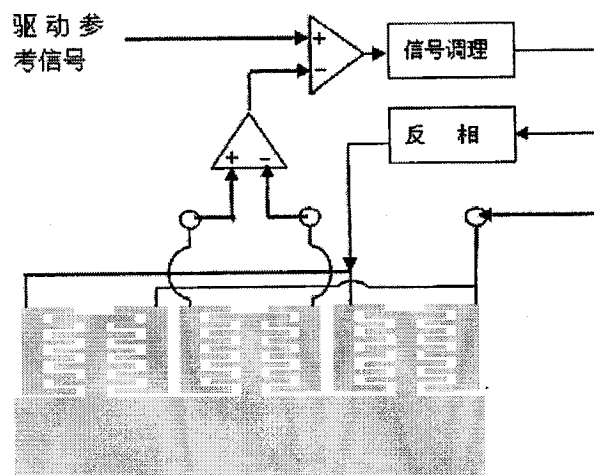


图 13