

一种三轴 MEMS 陀螺仪

技术领域

本发明涉及 MEMS 领域，尤其涉及一种三轴 MEMS 陀螺仪。

背景技术

随着各类消费电子产品逐渐向便携、轻便化发展的趋势，市场对体积更小的陀螺仪芯片的需求日益迫切。面向此市场的 MEMS 陀螺仪主要为电容谐振式陀螺仪，即通过驱动电容机械结构使质量块在驱动模态上振动，在通过检测电容检测由于科里奥利力导致的质量块在检测方向的运动引起的电容变化。

早期的三轴陀螺仪机械部分由三个独立的 X、Y、Z 单轴陀螺仪构成，每个单轴陀螺仪结构中需要分别包含独立的质量块和驱动、检测结构，并且相应的 ASIC 电路中需要采用三套独立的驱动电路分别驱动，导致最终三轴陀螺芯片体积较大。

目前的三轴陀螺，以三轴共享驱动部分为主，以一套驱动部件带动三轴的检测部分，从而节省了 MEMS 陀螺仪的总面积，降低了芯片的成品，也降低了对电路功耗的要求。

现有产品所面临的一些问题包括驱动部分和各个检测部分不能完全解耦，导致驱动或检测部件在运动时，会对其他运动模态产生影响，以及检测质量块被分为 X 轴、Y 轴和 Z 轴三个部分，导致检测质量块面积利用率不高。

发明内容

鉴于现有技术中的问题，本发明提供一种三轴 MEMS 陀螺仪，其包括：

第一质量块，所述第一质量块被设置为可沿 X 轴方向活动；

第二质量块，所述第二质量块被设置为可绕 X 方向轴线、Y 方向轴线和 Z 方向轴线转动，并且当所述第一质量块沿 X 轴方向活动时驱动所述第二质量块绕所述 Z 方向轴线转动；

第三质量块，所述第三质量块被设置为可沿 X 轴方向和 Y 轴方向活动，并且当所述第一质量块沿 X 轴方向活动时驱动所述第三质量块沿 Y 轴方向活动；

第四质量块，所述第四质量块被设置为可沿 X 轴方向活动，并且当所述第三质量块沿 X 轴方向活动时驱动所述第四质量块也沿 X 轴方向活动；

各质量块间通过弹簧梁和/或刚性梁连接。

进一步地，还包括第一刚性梁，所述第一刚性梁通过弹簧梁分别与所述第一质量块和所述第三质量块相连接，并且被设置为当所述第一质量块沿 X 轴方向活动时带动所述第一刚性梁活动，由所述第一刚性梁带动所述第三质量块沿 Y 轴方向活动。

进一步地，所述第一刚性梁包括若干子梁；所述第一刚性梁与所述第一质量块和所述第三质量块的任一连接处被设置为通过同一弹簧梁连接两段所述子梁和所述第一质量块、通过同一弹簧梁连接两段所述子梁和所述第三质量块，并且所述若干子梁依次首尾相连。

进一步地，所述三轴 MEMS 陀螺仪还包括第二刚性梁，所述第二刚性梁通过弹簧梁分别与所述第二质量块和所述第一刚性梁相连接，并且被设置为当所述第一质量块沿 X 轴方向活动时带动所述第一刚性梁绕所述 Z 方向轴线转动，由所述第一刚性梁带动所述第二刚性梁绕所述 Z 方向轴线转动，由所述第二刚性梁带动所述第二质量块绕所述 Z 方向轴线转动。

进一步地，所述第二刚性梁还通过弹簧梁与固定锚点相连接，并被设置为限制所述第二刚性梁沿 X 轴方向和 Y 轴方向活动。

进一步地，所述三轴 MEMS 陀螺仪还包括第三刚性梁，所述第三刚性梁通过弹簧梁分别与所述第二质量块和固定锚点相连接，所述 X 方向轴线和所述 Y 方向轴线由连接所述第三刚性梁的弹簧梁所限定，从而使所述第二质量块适于绕所述 X 方向轴线和所述 Y 方向轴线转动。

进一步地，所述第三质量块和所述第四质量块通过弹簧梁相连接，并且被设置为当所述第三质量块沿 X 轴方向活动时带动所述第四质量块也沿 X 轴方向活动。

进一步地，所述第四质量块还通过弹簧梁与固定锚点相连接，并被设置为使所述第四质量块可沿 X 轴方向活动且被限制沿 Y 轴方向活动。

进一步地，还包括第一固定电极和第二固定电极，所述第一固定电极和所述第二固定电极均与所述第二质量块相配合形成相应的检测电容，分别用于所述第二质量块绕所述 X 方向轴线和所述 Y 方向轴线转动时的检测。

进一步地，所述三轴 MEMS 陀螺仪还包括第三固定电极，所述第三固定电极与所述第四质量块相配合形成检测电容。

本发明的三轴 MEMS 陀螺仪具有以下技术效果：

- 1、通过刚性梁和弹簧梁的组合，实现各个结构之间的解耦，包括驱动部分和 Z 轴检测部分之间的解耦，XY 轴检测部分与 Z 轴检测部分之间的解耦。
- 2、实现 Z 轴对称结构的耦合。在保证驱动部分，X 轴检测和 Y 轴检测方向运动的同时，Z 轴检测在整体结构两侧的两个部分可以实现耦合，从而保证 Z 轴差分检测运动的一致性，降低由于运动不一致产生的干扰和误差。

3、X 轴检测部分和 Y 轴检测部分的质量块合并，从而减少质量块面积的浪费，提高了整体的灵敏度。

以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明，以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

图 1 是本发明的一个较佳实施例的结构示意图；

图 2 是图 1 中三轴 MEMS 陀螺仪驱动状态时的示意图；

图 3 是图 1 中三轴 MEMS 陀螺仪 X 轴检测时的示意图；

图 4 是图 1 中三轴 MEMS 陀螺仪 Y 轴检测时的示意图；

图 5 是图 1 中三轴 MEMS 陀螺仪 Z 轴检测时的示意图。

具体实施方式

在本发明的实施方式的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“垂直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对发明的限制。附图为原理图或者概念图，各部分厚度与宽度之间的关系，以及各部分之间的比例关系等等，与其实际值并非完全一致。

图 1 是本发明的一个较佳实施例的三轴 MEMS 陀螺仪的结构示意图，陀螺仪整体沿 X 轴和 Y 轴对称布局（图 1 中示出了 XYZ 三轴的方向，坐标的原点位于本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪的中心点），其中包括固定锚点 A1.1~A1.4、固定锚点 A2.1~A2.5、固定锚点 A3.1~A3.4、弹簧梁 S1.1~S1.4、弹簧梁 S2.1~S2.4、弹簧梁 S3.1~S3.8、弹簧梁 S4.1~S4.2、弹簧梁 S5.1~S5.2、弹簧梁 S6.1~S6.8、弹簧梁 S7.1~S7.8、弹簧梁 S8.1~S8.4、弹簧梁 S9.1~S9.4、刚性梁 F1~F6、质量块 M1~M7、固定电极 E1.1~E1.16、固定电极 E2.1~E2.4、固定电极 E3.1~E3.4、固定电极 E4.1~E4.4，其中固定电极 E3.1~E3.4 和固定电极 E4.1~E4.4 间隔地设置在质量块 M7 的底部（图 1 所示平面向图纸内延伸的方向），故采用虚线表示。

固定锚点 A1.1~A1.4、固定锚点 A2.1~A2.5、固定锚点 A3.1~A3.4、弹簧梁 S1.1~S1.4、弹簧梁 S2.1~S2.4、弹簧梁 S3.1~S3.8、弹簧梁 S4.1~S4.2、弹簧梁 S5.1~S5.2、弹簧梁 S6.1~S6.8、弹簧梁 S7.1~S7.8、弹簧梁 S8.1~S8.4、弹簧梁 S9.1~S9.4、刚性梁 F1~F6 和质量块 M1~M7 相互连接，整体组成了陀螺仪的能动

部件 PM。

质量块 M1 和质量块 M2 结构相同，沿 X 轴对称布置，质量块 M1 分别通过弹簧梁 S1.1 和 S1.2 与固定锚点 A1.1 和 A1.2 相连接；固定电极 E1.1~E1.4、E1.9~E1.12 与质量块 M1 间具有相互配合的梳齿结构，分别构成电容 $C_{E1.1}\sim C_{E1.4}$ 、 $C_{E1.9}\sim C_{E1.12}$ 。

质量块 M2 分别通过弹簧梁 S1.3 和 S1.4 与固定锚点 A1.3 和 A1.4 相连接；固定电极 E1.5~E1.8、E1.13~E1.16 与质量块 M2 间具有相互配合的梳齿结构，分别构成电容 $C_{E1.5}\sim C_{E1.8}$ 、 $C_{E1.13}\sim C_{E1.16}$ 。

本实施例中，弹簧梁 S1.1~S1.4 均采用相同的 U 型结构且开口方向与 Y 轴平行，其中弹簧梁 S1.1 和 S1.3、弹簧梁 S1.2 和 S1.4 均沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S1.1 和 S1.2、弹簧梁 S1.3 和 S1.4 均沿 Y 轴对称布置。固定锚点 A1.1 和 A1.3、固定锚点 A1.2 和 A1.4 均沿 X 轴对称布置，固定锚点 A1.1 和 A1.2、固定锚点 A1.3 和 A1.4 均沿 Y 轴对称布置。

刚性梁 F1~F4 结构相同，并且都具有 L 型结构。刚性梁 F1、F2 与刚性梁 F3、F4 沿 X 轴对称布置，刚性梁 F1、F3 与刚性梁 F2、F4 沿 Y 轴对称布置。刚性梁 F1 与 F2、F2 与 F3、F3 与 F4、F4 与 F1 分别通过弹簧梁 S4.1、S5.2、S4.2、S5.1 相连接。弹簧梁 S4.1、S4.2 结构相同，沿 X 轴对称布置，本实施例中弹簧梁 S4.1、S4.2 采用“T”型和“山”型的组合结构，同时弹簧梁 S4.1 还连接质量块 M1，弹簧梁 S4.2 还连接质量块 M2。

弹簧梁 S5.1、S5.2 结构相同，沿 Y 轴对称布置，本实施例中弹簧梁 S5.1、S5.2 采用“山”型结构，同时弹簧梁 S5.1 还连接质量块 M3，弹簧梁 S5.2 还连接质量块 M4。质量块 M3 和质量块 M4 结构相同且都是 X 轴对称结构，两者沿 Y 轴对称地布置于刚性梁 F1~F4 的两侧。

刚性梁 F5 设置在刚性梁 F1~F4 结构的内侧，其大致结构为一中空四边形，整体沿 X 轴和 Y 轴对称设置。刚性梁 F5 通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 与刚性梁 F1 相连接、通过弹簧梁 S6.2 和 S6.7 与刚性梁 F2 相连接、通过弹簧梁 S6.3 和 S6.6 与刚性梁 F3 相连接、通过弹簧梁 S6.4 和 S6.8 与刚性梁 F4 相连接。本实施例中，弹簧梁 S6.1~S6.8 均为直梁结构，其中弹簧梁 S6.1~S6.4 平行于 X 轴布置，弹簧梁 S6.5~S6.8 平行于 Y 轴布置，其中弹簧梁 S6.1 和 S6.3、弹簧梁 S6.2 和 S6.4、弹簧梁 S6.5 和 S6.6、弹簧梁 S6.7 和 S6.8 均沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S6.1 和 S6.2、弹簧梁 S6.3 和 S6.4、弹簧梁 S6.5 和 S6.7、弹簧梁 S6.6 和 S6.8 均沿 Y 轴对称布置。

刚性梁 F5 还通过弹簧梁 S8.1~S8.4 分别与固定锚点 2.1~A2.4 相连接，固定锚点 A2.1 和 A2.2 位于 X 轴上，固定锚点 A2.3 和 A2.4 位于 Y 轴上，并且固定锚点 A2.3 和 A2.4 沿 X 轴对称布置，固定锚点 A2.1 和 A2.2 沿 Y 轴对称布置。本实施例中弹簧梁 S8.1~S8.4 均为直梁结构，其中弹簧梁 S8.1 和 S8.2 沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S8.3 和 S8.4 沿 Y 轴对称布置，并且弹簧梁 S8.1 和 S8.2 位于 Y 轴上，弹簧

梁 S8.3 和 S8.4 位于 X 轴上。

质量块 M7 设置在刚性梁 F5 结构的内侧，整体沿 X 轴和 Y 轴对称设置，其四周分别通过弹簧梁 S7.1~S7.8 与刚性梁 F5 相连接，其中弹簧梁 S7.1 和 S7.2 布置在靠近质量块 M1 的一侧，弹簧梁 S7.3 和 S7.4 布置在靠近质量块 M2 的一侧，弹簧梁 S7.5 和 S7.6 布置在靠近质量块 M3 的一侧，弹簧梁 S7.7 和 S7.8 布置在靠近质量块 M4 的一侧。本实施例中，弹簧梁 S7.1~S7.8 均采用相同的 U 型结构，其中弹簧梁 S7.1 和 S7.2 的 U 型结构的开口沿 Y 轴的负方向延伸，弹簧梁 S7.3 和 S7.4 的 U 型结构的开口沿 Y 轴的正方向延伸，弹簧梁 S7.5 和 S7.6 的 U 型结构的开口沿 X 轴的正方向延伸，弹簧梁 S7.7 和 S7.8 的 U 型结构的开口沿 X 轴的负方向延伸，并且弹簧梁 S7.1 和 S7.3、弹簧梁 S7.2 和 S7.4、弹簧梁 S7.5 和 S7.6、弹簧梁 S7.7 和 S7.8 均沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S7.1 和 S7.2、弹簧梁 S7.3 和 S7.4、弹簧梁 S7.5 和 S7.7、弹簧梁 S7.6 和 S7.8 均沿 Y 轴对称布置。

质量块 M7 的底部间隔地设置有固定电极 E3.1~E3.4、E4.1~E4.4（虚线表示），固定电极 E3.1~E3.4、E4.1~E4.4 具有相同的结构，其中固定电极 E3.1 和 E3.3、固定电极 E3.2 和 E3.4、固定电极 E4.1 和 E4.2、固定电极 E4.3 和 E4.4 均沿 X 轴对称布置，固定电极 E3.1 和 E3.2、固定电极 E3.3 和 E3.4、固定电极 E4.1 和 E4.3、固定电极 E4.2 和 E4.4 均沿 Y 轴对称布置。固定电极 E3.1~E3.4、E4.1~E4.4 与质量块 M7 相互分别构成电容 $C_{E3.1} \sim C_{E3.4}$ 、 $C_{E4.1} \sim C_{E4.4}$ 。

刚性梁 F6 设置在质量块 M7 结构的内侧，整体沿 X 轴和 Y 轴对称设置，刚性梁 F6 通过弹簧梁 S9.1 和 S9.2 与固定锚点 A2.5 相连接，通弹簧梁 S9.3 和 S9.4 与质量块 M7 相连接。

固定锚点 A2.5 设置在刚性梁 F6 结构的内侧，整体沿 X 轴和 Y 轴对称设置。固定锚点 A2.5 位于本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪的中心位置，固定锚点 A2.5 的中心点即本实施例中 XYZ 坐标系的原点。

本实施例中弹簧梁 S9.1~S9.4 均为直梁结构，其中弹簧梁 S9.1 和 S9.2 沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S9.3 和 S9.4 沿 Y 轴对称布置，并且弹簧梁 S9.1 和 S9.2 位于 Y 轴上，弹簧梁 S9.3 和 S9.4 位于 X 轴上。

质量块 M5 和质量块 M6 结构相同且都是 X 轴对称结构，两者沿 Y 轴对称地分别布置于质量块 M3 和质量块 M4 的内侧。质量块 M5 分别通过弹簧梁 S2.1 和 S2.2 与质量块 M3 相连接，质量块 M6 分别通过弹簧梁 S2.3 和 S2.4 与质量块 M4 相连接。本实施例中，弹簧梁 S2.1~S2.4 均采用相同的 U 型结构且开口方向与 X 轴平行，其中弹簧梁 S2.1 和 S2.2、弹簧梁 S2.3 和 S2.4 均沿 X 轴对称布置，弹簧梁 S2.1 和 S2.3、弹簧梁 S2.2 和 S2.4 均沿 Y 轴对称布置。

质量块 M5 还通过弹簧梁 S3.1 和 S3.2 与固定锚点 A3.1 相连接，通过弹簧梁 S3.3 和 S3.4 与固定锚点 A3.2 相连接。质量块 M6 还通过弹簧梁 S3.5 和 S3.6 与固

定锚点 A3.3 相连接, 通过弹簧梁 S3.7 和 S3.8 与固定锚点 A3.4 相连接。固定锚点 A3.1~A3.4 均位于 X 轴上, 并且固定锚点 A3.1 和 A3.4、固定锚点 A3.2 和 A3.3 均沿 Y 轴对称布置。本实施例中弹簧梁 S3.1~S3.8 均为直梁结构且平行于 Y 轴布置, 其中弹簧梁 S3.1 和 S3.2、弹簧梁 S3.3 和 S3.4、弹簧梁 S3.5 和 S3.6、弹簧梁 S3.7 和 S3.8 均沿 X 轴对称布置, 弹簧梁 S3.1 和 S3.7、弹簧梁 S3.3 和 S3.5、弹簧梁 S3.2 和 S3.8、弹簧梁 S3.4 和 S3.6 均沿 Y 轴对称布置。

固定电极 E2.1 和 E2.2 与质量块 M5 间具有相互配合的梳齿结构, 分别构成电容 $C_{E2.1}$ 和 $C_{E2.2}$ 。固定电极 E2.3 和 E2.4 与质量块 M6 间具有相互配合的梳齿结构, 分别构成电容 $C_{E2.3}$ 和 $C_{E2.4}$ 。

本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪的电位构成如下:

质量块 M1 和 M2 为驱动质量块, 与之相对应的电容 $C_{E1.1}$ 、 $C_{E1.4}$ 、 $C_{E1.5}$ 、 $C_{E1.8}$ 组成驱动电容 C_{DR1} , 与之相对应的电容 $C_{E1.9}$ 、 $C_{E1.12}$ 、 $C_{E1.13}$ 、 $C_{E1.16}$ 组成驱动电容 C_{DR2} , 与之相对应的电容 $C_{E1.2}$ 、 $C_{E1.3}$ 、 $C_{E1.6}$ 、 $C_{E1.7}$ 组成驱动检测电容 C_{DS1} , 与之相对应的电容 $C_{E1.10}$ 、 $C_{E1.11}$ 、 $C_{E1.14}$ 、 $C_{E1.15}$ 组成驱动检测电容 C_{DS2} 。

质量块 M7 为 X 轴的检测质量块, 与固定电极 E4.1 和 E4.2 对应的电容 $C_{E4.1}$ 和 $C_{E4.2}$ 组成 X 轴检测电容 C_{X1} , 与固定电极 E4.3 和 E4.4 对应的电容 $C_{E4.3}$ 和 $C_{E4.4}$ 组成 X 轴检测电容 C_{X2} 。

质量块 M7 同时也是 Y 轴的检测质量块, 与固定电极 E3.1 和 E3.2 对应的电容 $C_{E3.1}$ 和 $C_{E3.2}$ 组成 Y 轴检测电容 C_{Y1} , 与固定电极 E3.3 和 E3.4 对应的电容 $C_{E3.3}$ 和 $C_{E3.4}$ 组成 Y 轴检测电容 C_{Y2} 。

质量块 M5 和 M6 为 Z 轴检测质量块, 与固定电极 E2.1 和 E2.4 对应的电容 $C_{E2.1}$ 和 $C_{E2.4}$ 组成 Z 轴检测电容 C_{Z1} , 与固定电极 E2.2 和 E2.3 对应的电容 $C_{E2.2}$ 和 $C_{E2.3}$ 组成 Z 轴检测电容 C_{Z2} 。

本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪从功能来看, 设计上可分为驱动部分、X 轴检测部分、Y 轴检测部分和 Z 轴检测部分, 详述如下:

图 2 是本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪驱动状态时的示意图。当在驱动电容 C_{DR1} 和 C_{DR2} 的两端施加方向相反的交变电压时, 会产生交变静电力, 使得质量块 M1 和 M2 会沿 X 轴做往复运动。同时, 质量块 M1 和 M2 通过弹簧梁 S4.1、S4.2 分别与刚性梁 F1 和 F3、F2 和 F4 相连接, 因此会把其运动传递给刚性梁 F1~F4, 而由于刚性梁 F1~F4 通过弹簧梁 S6.1~S6.8 与刚性梁 F5 相连接, 在刚性梁 F1~F4 运动时, 会带动刚性梁 F5 一起运动。而刚性梁 F5 分别通过弹簧梁 S8.1~S8.4 与固定锚点 A2.3、A2.4、A2.1、A2.2 相连接, 导致其运动方向受到限制。从而使得刚性梁 F1~F4 和刚性梁 F5, 仅可以结构中点为圆心, 即绕固定锚点 A2.5 顺时针或逆时针方向转动。刚性梁 F5 通过弹簧梁 S7.1~S7.8 与用于 XY 轴检测的质量块 M7 相连接, 从而在驱动质量块 M1 和 M2 沿 X 轴往复运动时带动质量块 M7, 使其绕

结构中点顺时针或逆时针方向转动。

刚性梁 F1~F4 在绕固定锚点 A2.5 顺时针或逆时针方向转动时，通过弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 相连接，从而带动质量块 M3 和 M4 运动，同时质量块 M3 和 M4 通过弹簧梁 S2.1~S2.4 与 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 相连接，弹簧梁 S2.1~S2.4 为 U 型梁设计，从而其在 X 轴方向刚度很大，而在 Y 轴方向刚度较小，使得质量块 M3 和 M4 仅可沿 Y 轴方向运动。而 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 以及 Z 轴检测质量块 M5 和 M6，通过弹簧梁 S2.1~S2.4 的解耦，使得 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 在其运动时并不会带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 的运动。

在一种更优的方式中，为了能够准确地控制驱动幅度，结构上还可以根据驱动检测电容 C_DS1 和 C_DS2 来标定驱动的幅度。

图 3 是本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪 X 轴检测时的示意图。当有绕 X 轴角速度输入时，绕结构中点顺时针或逆时针方向转动的 XY 轴检测质量块 M7，会受到绕 X 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M7 会围绕整个结构的 Y 中轴线，即弹簧梁 S8.1、S8.2、S9.1 和 S9.2 限定的水平线做 XY 平面外的往复转动运动，从而使其与固定电极 E4.1~E4.4 的距离发生变化，其中相对固定电极 E4.1 和 E4.2 的距离值变化方向与相对固定电极 E4.3 和 E4.4 的距离值变化方向相反，从而使得电容 C_X1 和 C_X2 一个增大一个减小，通过后续差分电路可计算出 X 轴角速度输入。

图 4 是本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪 Y 轴检测时的示意图。当有绕 Y 轴角速度输入时，绕结构中点顺时针或逆时针方向转动的 XY 轴检测质量块 M7，会受到绕 Y 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M7 会围绕整个结构的 Y 中轴线，即弹簧梁 S8.3、S8.4、S9.3 和 S9.4 限定的水平线做 XY 平面外的往复转动运动，从而使其与固定电极 E3.1~E3.4 的距离发生变化，其中相对固定电极 E3.1 和 E3.2 的距离值变化方向与相对固定电极 E3.3 和 E3.4 的距离值变化方向相反，从而使得电容 C_Y1 和 C_Y2 一个增大一个减小，通过后续差分电路可计算出 Y 轴角速度输入。

图 5 是本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪 Z 轴检测时的示意图。当有 Z 轴角速度输入时，沿 Y 轴方向做往复运动的 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 会受到 X 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M3 和 M4 会沿 X 轴方向做往复运动，同时通过弹簧梁 S2.1~S2.4 带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 也沿着 X 轴方向做往复运动。以图 5 中质量块 M3 和 M4 的运动方向为例（箭头指示的方向），当 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 向两侧运动时，其被设计为与固定电极 E2.1 和 E2.4 的距离增大，使得电容 C_Z1 减小，并且与固定电极 E2.2 和 E2.3 的距离减小，使得 Z 轴检测电容 C_Z2 增大，反之亦然。通过后续差分电路可计算 Z 轴角速度的输入。

以下对于本实施例的实现方式和效果做进一步说明。

一、实现驱动部分对 Z 轴检测部分的解耦。

为了保证结构和输出的稳定性和一致性，在驱动或检测模态的任一运动状态下，其他结构部分不希望出现被影响的运动状态。所以在驱动和检测的各个部分之间，实现运动上的解耦是非常重要的。

在驱动模态下，刚性梁 F1~F4 在绕固定锚点 A2.5 顺时针或逆时针方向转动时，通过弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 相连接，从而带动质量块 M3 和 M4 的运动，而质量块 M3 和 M4 通过弹簧梁 S2.1~S2.4 与 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 相连接。Z 轴检测质量块 M5 和 M6 通过弹簧梁 S3.1~S3.8 与固定锚点 A2.1~A2.4 相连接。以质量块 M5 为例，固定锚点 A3.1 和 A3.2 位于质量块 M5 的两侧，而弹簧梁 S3.1~S3.4 在固定锚点 A3.1 和 A3.2 的两侧与质量块 M5 相连接，弹簧梁 S3.1~S3.4 为直弹簧梁，在 Y 轴方向没有弹性，所以限制了质量块 M5 在 Y 轴方向的平动及在 XY 平面内的转动。

同理，对质量块 M6 也仅能产生在 X 轴方向的运动，其 Y 轴方向的平动及 XY 平面内的转动被限制。

通过以上描述，在驱动模态下，在 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 及弹簧梁 S2.1~S2.4、弹簧梁 S3.1~S3.8 的作用下，实现了驱动模块对 Z 轴检测质量块的解耦，即在驱动模态下，Z 轴检测质量块不会发生运动。

二、实现 Z 轴检测部分对驱动部分的解耦。

在 Z 轴检测模态下，Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 会受到 X 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M3 和 M4 会沿 X 轴方向做往复运动，同时通过弹簧梁 S2.1~S2.4 带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 也沿着 X 轴做往复运动。Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 通过弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性耦合梁 F1~F4 相连接。如图 5 所示，当 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 沿 X 轴向左右两侧运动时，会带动弹簧梁 S5.1 和 S5.2 向左右两侧运动，弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性梁 F1~F4 连接，并带动其连接的一段向左右两侧运动。以刚性梁 F1 为例，刚性梁 F1 为 L 型刚性梁，且其 L 型拐点部分通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 与刚性梁 F5 相连接。而刚性梁 F5 通过弹簧梁 S8.1~S8.4 与固定锚点 A2.1~A2.4 相连接，抑制了其在 X 轴方向和 Y 轴方向的平动模式，从而与刚性梁 F5 通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 相连接的刚性梁 F1 在 X 轴方向和 Y 轴方向的平动也被抑制，使其在受到弹簧梁 S5.1 的向左的拉力时，无法整体沿 X 轴水平运动，而是绕其 L 型拐点转动。同理，对于刚性梁 F2~F4，在 Z 轴检测模态下，均产生绕其拐点转动的运动方式。在刚性梁 F1~F4 转动的作用下，会带动其与弹簧梁 S4.1 和 S4.2 相连接的点向下或向上运动，从而使弹簧梁 S4.1 和 S4.2 与驱动质量块 M1 和 M2 相连接的弹簧产生弯曲。由于驱动质量块 M1 和 M2 通过 U 型的弹簧梁 S1.1~S1.4 与固定锚点 A1.1~A1.4 相连接，使得驱动质量块 M1 和 M2 仅在 X 轴方向可自由运动，而在 Y 方向运动受到限制。由此可得到在 Z 轴检测模态运动时，驱动模态不会随之运动，从而实现了 Z 轴检测对驱动的解耦。

三、实现 Z 轴检测部分对 XY 轴检测部分的解耦。

在 Z 轴检测模态下, Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 会受到 X 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M3 和 M4 会沿 X 轴方向做往复运动, 同时通过弹簧梁 S2.1~S2.4 带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 也沿着 X 轴做往复运动。Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 通过弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性耦合梁 F1~F4 相连接。如图 5 所示, 当 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 沿 X 轴向左右两侧运动时, 会带动弹簧梁 S5.1 和 S5.2 向左右两侧运动, 弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性梁 F1~F4 连接, 并带动其连接的一段向左右两侧运动。以刚性梁 F1 为例, 刚性梁 F1 为 L 型刚性梁, 且其 L 型拐点部分通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 与刚性梁 F5 相连接。而刚性梁 F5 通过弹簧梁 S8.1~S8.4 与固定锚点 A2.1~A2.4 相连接, 抑制了其在 X 轴方向和 Y 轴方向的平动模式, 因此在 Z 轴检测模态下, 刚性梁 F5 并不会产生运动, 从而保证了与其连接的 XY 轴检测质量块 M7 不跟随 Z 轴检测模态运动, 实现了 Z 轴检测部分对 XY 轴检测部分的解耦。

四、实现 XY 轴检测部分对驱动部分和 Z 轴检测部分的解耦。

当有绕 X 轴或 Y 轴角速度输入时, XY 轴检测质量块 M7 会受到绕 X 轴或 Y 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M7 会围绕弹簧梁 S9.1 和 S9.2 或 S9.3 和 S9.4 固定的水平线做 XY 平面外的往复转动运动。由于弹簧梁 S7.1~S7.8 的宽 U 型梁设计, 在其与 XY 轴检测质量块 M7 相连接的一端受到向 Z 方向力时, 会产生扭转变形, 使其与刚性梁 F5 连接的另一端并不会产生明显的运动, 且刚性梁 F5 通过弹簧梁 S8.1~S8.4 与固定锚点 A2.1~A2.4 连接, 从而限制了其在 Z 方向的运动。使得在 X 轴或 Y 轴的检测状态下, 刚性梁 F5 并未产生运动, 并未将其运动状态传导出, 从而实现了 XY 轴检测部分对 Z 轴检测部分及驱动部分的解耦。

五、实现 Z 轴检测部分对称结构的耦合。

为保证检测部分输出的稳定, 陀螺仪的检测部分常采用差分结构, 即存在两组电容, 在有角速度输入时, 一组电容增大, 一组电容减小, 通过后续差分电路得出两组电容的差值, 从而得出输入角速度的大小。为保证两组差分结构运动方向相反, 变化大小相同, 即需要使差分结构对称且保证其运动一致性的耦合结构。

在 Z 轴检测模态下, Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 会受到 X 轴方向的科里奥利力。这使得质量块 M3 和 M4 会沿 X 轴方向做往复运动, 同时通过弹簧梁 S2.1~S2.4 带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6 也沿着 X 轴做往复运动。Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 通过弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性耦合梁 F1~F4 相连接。如图 5 所示, 当 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 沿 X 轴向左右两侧运动时, 会带动弹簧梁 S5.1 和 S5.2 向左右两侧运动, 弹簧梁 S5.1 和 S5.2 与刚性梁 F1~F4 连接, 并带动其连接的一段向左右两侧运动。以刚性梁 F1 为例, 刚性梁 F1 为 L 型刚性梁, 且其 L 型拐点部分通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 与刚性梁 F5 相连接。而刚性梁 F5 通过弹簧梁 S8.1~S8.4 与

固定锚点 A2.1~A2.4 相连接，抑制了其在 X 轴方向和 Y 轴方向的平动模式，从而与刚性梁 F5 通过弹簧梁 S6.1 和 S6.5 相连接的刚性梁 F1 在 X 轴方向和 Y 轴方向的平动也被抑制，使其在受到弹簧梁 S5.1 的向左的拉力时，无法整体沿 X 轴水平运动，而是绕其 L 型拐点转动。同理，对于刚性梁 F2~F4，在 Z 轴检测模态下，均产生绕其拐点转动的运动方式。在 Z 轴检测模态下，Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 会沿 X 轴方向产生左右运动。如图 5 所示，在质量块 M3 向左运动时，刚性梁 F1 与弹簧梁 S4.1 连接点产生向下运动，通过弹簧梁 S4.1 可保证刚性梁 F2 产生同样方式和大小的运动，保证了 F1 与 F2 的运动大小相等且方向相同，而刚性梁 F2 通过弹簧梁 S5.2 与质量块 M4 相连接，限制了其运动状态，从而保证了 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 的运动状态的在左右的稳定性。在质量块 M3 向左运动时，刚性梁 F1 和 F3 与弹簧梁 S5.1 相连接，而弹簧梁 S5.1 的设计可以保证刚性梁 F1 和 F3 的运动大小相等且方向相同。同理，刚性梁 F2 和 F4 与弹簧梁 S5.2 的连接，也可以保证其运动大小相等且方向相同。使得刚性梁 F1 和 F2、F3 和 F4 在 Y 轴方向上的运动大小一致，从而保证 Z 轴科氏力质量块 M3 和 M4 在 Y 轴方向上不产生额外的运动。由此可以得出，通过刚性梁 F1~F4 的作用，使得 Z 轴科氏力质量块在有 Z 轴角速度输入的情况下，仅产生沿 X 轴方向的运动，且大小相等方向相反。从而带动 Z 轴检测质量块 M5 和 M6，使其运动方式完全对称，达到耦合的效果。

此外，本实施例的三轴 MEMS 陀螺仪的检测部分中，为了能够更好的缩小芯片尺寸，有效的降低面积，通过刚性梁 F6 配合弹簧梁 S9.1~S9.4 的设计，实现了其既可沿 X 轴，即弹簧梁 S9.3 和 S9.4 构成的直线转动，又可沿 Y 轴，即弹簧梁 S9.1 和 S9.2 构成的直线转动的运动方式。从而将 X 轴检测质量块和 Y 轴检测质量块合并为一块 XY 轴检测质量块 M7，有效地提高了检测质量块的面积利用率。

以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解，本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思做出诸多修改和变化。因此，凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案，皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。