

一种MEMS加速度计

技术领域

本发明涉及微机电系统领域，更具体地说，涉及一种MEMS加速度计。

背景技术

微机电系统（Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS）是利用集成电路制造技术和微加工技术把微结构、微传感器、控制处理电路甚至接口、通信和电源等制造在一块或多块芯片上的微型集成系统。微机电系统因其体积小、成本低、集成性好、性能优良等诸多优点已在工业，医疗，民用，军事等非常广泛的领域得到了越来越多的应用。加速度传感器作为最典型的使用微机电技术的器件，也已几乎成为各类移动终端、相机、游戏手柄、导航仪等产品的标准配置。微机电加速度计以其检测方式的不同可分为电容式、电阻式、压电式等。其中电容式加速度计因其结构简单，成本低廉，并可在低频范围内拥有较高的灵敏度和线性度等优势，成为最为流行的一类加速度计。

对于目前的三轴加速度计来说，通常会采用共享三个轴的质量块来达到减小芯片面积的目的。然而现有的三轴加速度计，常会受到以下两个干扰因素的影响，导致加速度计的零偏参数较高：一是由于制造过程或外部环境温度变化等引起的应力翘曲，即基板平面并非完全平整；二是由于制造工艺等引起的锚点偏转，从而导致MEMS结构平面与固定电极平面不平行。由于以上两个因素导致电容式加速度计的精度一直无法进一步提高，限制了电容式加速度计的应用，因此本领域技术人员致力于研发一种能够克服以上两种干扰的电容式加速度计。

发明内容

有鉴于此，本发明提供了一种MEMS三轴加速度计，以解决目前加速度计存在的由于制造过程或外部环境温度变化等引起的应力翘曲以及由于制造工艺等引起的锚点偏转从而导致MEMS结构平面与固定电极平面不平行产生的零偏的问题。

为实现上述目的，本发明提供如下技术方案：

一种 MEMS 加速度计，包括：基板、可动部件以及固定电极组；所述基板表面具有锚定区域；所述可动部件通过支撑梁与所述锚定区域连接，并悬置于所述基板上方，所述可动部件包括第一质量块和第二质量块；所述第一质量块的中部具有第一镂空区域，所述第一镂空区域为“工”形，所述第二质量块位于所述第一镂空区域中；所述固定电极组包括第一电极组，所述第一电极组固定于所述基板表面，位于所述基板与所述可动部件之间，并与所述第一质量块和所述第二质量块形成 Z 轴检测电容组，以检测沿 Z 轴输入的加速度，所述 Z 轴为垂直于所述可动部件所在平面的方向。

优选的，所述第一电极组包括至少 5 对固定电极对 E1-E5，沿 Y 轴方向依次设置，其中固定电极对 E1、E3、E5 与所述第一质量块形成第一 Z 轴检测电容组，固定电极对 E2、E4 与所述第二质量块形成第二 Z 轴检测电容组，所述 Y 轴方向位于所述可动部件所在平面内，并与所述 Z 轴方向垂直。

进一步地，所述每对固定电极 E1-E5 分别包括沿 X 轴设置的两个固定电极，位于锚定区域的两侧，所述 X 轴与所述 Y 轴和所述 Z 轴均垂直。

可选的，所述固定电极对 E2 与 E4 分别都为一个整体电极。

优选的，所述固定电极组还包括第二电极组和第三电极组，通过锚点固定于所述基板上方，并与所述可动部件位于同一层，所述第二电极组和所述第三电极组分别与所述第一质量块形成 X 轴检测电容组和 Y 轴检测电容组。

进一步地，所述第一质量块具有第二镂空区域和第三镂空区域，所述第二电极组位于所述第二镂空区域中，所述第三电极组位于所述第三镂空区域中。

进一步地，所述第二镂空区域和所述第三镂空区域分别包括偶数个子区域，沿 X 轴位于所述锚定区域的两侧。

进一步地，所述第二电极组和所述第三电极组均为梳齿电极。

优选的，所述第一质量块和所述第二质量块通过转动梁组连接，使得所述第一质量块与所述第二质量块受到沿 Z 轴输入的加速度时在 Z 轴方向上平动，且运动方向相反。

进一步地，所述转动梁组包括 4 个转动梁，所述转动梁通过弹性梁与所述第一质量块和所述第二质量块连接，所述转动梁的中部连接至所述支撑梁，使得所述第一质量块和所述第二质量块通过所述转动梁组形成杠杆结构。

优选的，所述锚定区域被所述第一镂空区域分隔为两部分，每部分至少具有一个锚点。

与现有技术相比，本发明所提供的技术方案具有以下优点：

1. 本发明的加速度计结构左右对称，且第一质量块与第二质量块的 Z 轴检测区域相对锚点的分布相当，因此不仅可以减小应力引起的翘曲的影响，还可以减小质量块初始状态的偏转引起的零偏；

2. 本发明的加速度计采用对称杠杆设计使得第一质量块与第二质量块在 Z 轴上为平动，从而增大了质量块的转矩，提高了质量块运动的效率，即提高了加速度计的灵敏度；同时，沿 Z 轴平动的运动形式排除了质量块转动对 X 轴和 Y 轴检测的影响；

3. 由于第一质量块与第二质量块的转矩增大也可以提高质量块的回复力，使得质量块与固定电极或周边固定结构更不容易发生吸合，从而避免传感器损坏；

4. 锚定区域设置时向中心集中，且锚点数量尽可能减少，从而降低芯片对温度和应力变化的敏感度，以及不同锚点受温度和应力变化引起的不一致的偏移。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图1为本发明优选实施例提供的一种MEMS加速度计的MEMS结构层俯视图；

图2为图1所示的MEMS加速度计的第一质量块示意图；

图3为图1所示的MEMS加速度计的PP'面截面图；

图4为图1所示的MEMS加速度计的质量块的Z轴运动状态示意图；

图5为图1所示的MEMS加速度计检测沿Z轴输入的加速度的原理示意图；

图6为图1所示的MEMS加速度计的基板翘曲示意图；

图7为图1所示的MEMS加速度计的MEMS结构层倾斜示意图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做

出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明的 MEMS 加速度计主要在对 Z 轴输入的加速度检测上做了改进。其一是将检测质量分为第一质量块和第二质量块，这两个质量块分别与固定电极组成的 Z 轴检测电容组在 MEMS 结构层平面内相对于锚定区域在 X 轴或 Y 轴其中一个方向上的分布距离是相当的，也即它们分别与固定电极组成的 Z 轴检测电容组在受到在这个方向上的基板翘曲或 MEMS 结构层偏转的影响时可以通过差分相互补偿；其二是通过特殊的连接结构设置，使得检测质量在受到 Z 轴方向输入的加速度时，检测质量沿 Z 轴方向平动，从而使检测质量在与基底的有限距离内增加了检测质量的有效位移范围，提高了加速度计的灵敏度，此外，还同时可以增大检测质量受到的回复力，防止吸附导致的器件失效风险。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面具体以三轴加速度计的结构为例，结合附图对本发明作进一步详细地说明。

如图 1-3 所示为本发明优选实施例提供的 MEMS 加速度计，包括基板 100、可动部件 200 以及固定电极组 E。基板 100 表面具有锚定区域 A1；可动部件 200 通过支撑梁 B1 与锚定区域 A1 连接，并悬置于基板 100 上方。可动部件 200 包括第一质量块 M1 和第二质量块 M2；第一质量块 M1 的中部具有第一镂空区域 K1，第一镂空区域 K1 大致为“工”形，第二质量块 M2 位于第一镂空区域 K1 中。固定电极组 E 包括第一电极组，第一电极组固定于基板 100 表面，位于基板 100 与可动部件 200 之间，与第一质量块 M1 和第二质量块 M2 形成 Z 轴检测电容组 Cz，以检测沿 Z 轴输入的加速度，其中 Z 轴为垂直于可动部件所在平面的方向。

第一电极组包括至少 5 对固定电极对 E1-E5，沿 Y 轴方向依次设置，每对固定电极对 E1-E5 分别包括沿 X 轴设置的两个固定电极，位于锚定区域的两侧。其中固定电极对 E1、E3、E5 与第一质量块 M1 形成第一 Z 轴检测电容组

Cz1, 固定电极对 E2、E4 与第二质量块 M2 形成第二 Z 轴检测电容组 Cz2, 其中 Y 轴方向位于可动部件所在平面内, 并与 Z 轴方向垂直, X 轴与 Y 轴和 Z 轴均垂直。在本实施例中, 由于固定电极对 E2、E4 之上的第二质量块 M2 为完整结构, 因此固定电极对 E2、E4 也可分别合并为整体电极 E2 和 E4。

第一质量块 M1 和第二质量块 M2 通过转动梁组连接, 使得第一质量块 M1 与第二质量块 M2 在受到沿 Z 轴输入的加速度时在 Z 轴方向上平动, 且运动方向相反。在本实施例中, 转动梁组包括 4 个转动梁 B2, 分布于第一质量块 M1 和第二质量块 M2 之间的四个角。转动梁 B2 通过弹性梁 S1 与第一质量块 M1 和第二质量块 M2 连接, 使得转动梁 B2 可以与第一质量块 M1 和第二质量块 M2 形成一定的夹角。转动梁 B2 的中部通过引梁 S2 连接至支撑梁 B1, 作为转动梁 B2 的转轴, 参见图 4, 每个转动梁 B2 都相当于一个杠杆, 使得第一质量块和第二质量块通过转动梁组形成杠杆结构, 从而在 Z 轴方向上产生相反方向的运动。由于 4 个转动梁 B2 分布于第一质量块 M1 和第二质量块 M2 之间的四个角, 且第一质量块 M1、第二质量块 M2 和转动梁组相对于锚定区域 A1 都是完全对称的, 因此在受到 Z 轴方向输入的加速度时, 第一质量块 M1 和第二质量块 M2 将沿 Z 轴方向平动。

第二质量块 M2 位于第一质量块 M1 中的第一镂空区域 K1 中, 其结构也大致为“工”形, 使得第二质量块 M2 相对于锚定区域的距离分布与第一质量块 M1 相当。然而, 第二质量块 M2 也将锚定区域 A1 分隔为两部分, 每部分都具有一个锚点。这两个锚点在设置上尽可能靠近整个加速度计结构的中心, 以使整体结构受环境影响产生的变化趋近一致。

固定电极组还包括第二电极组 E6 和第三电极组 E7, 通过锚点固定于基板 100 上方, 并与可动部件 200 位于同一层。第二电极组 E6 和第三电极组 E7 分别与第一质量块 M1 形成 X 轴检测电容组 Cx 和 Y 轴检测电容组 Cy。在本实施例中, 第二电极组 E6 位于第一质量块 M1 的第二镂空区域 K2 中, 第三电极组

E7 位于第一质量块 M1 的第三镂空区域 K3 中，以减少 MEMS 结构的整体面积。在其他的实施例中，第二电极组 E6 和第三电极组 E7 也可以设置在第二质量块 M2 内部的镂空区域中，或设置在第一质量块 M1 结构的外部。

第二电极组 E6 和第三电极组 E7 优选为梳齿电极，相对于锚点区域对称分布。其具体结构与分布的设置在此前的公开文献中多有描述，例如 CN107271722A，此处不再详细阐述。

以上介绍了本发明优选实施例提供的 MEMS 三轴加速度计的结构，下面将结合加速度计的结构，具体说明其检测输入加速度的过程。由于任意方向的加速度均可分解为 XYZ 方向的三个分量，因此以下将从 XYZ 三个方向具体说明。

当加速度计受到沿 Z 轴正向的加速度时（垂直纸面向外），如图 5 所示，由于引梁 S2 在 Z 轴方向上刚度较大，因此检测质量将通过转动梁 B2 的杠杆作用，在 Z 轴方向上平动。此时第一质量块 M1 整体质量高于第二质量块 M2，因此第一质量块 M1 向纸面外运动，第二质量块 M2 向纸面内运动，从而使得第一 Z 轴检测电容组 Cz1 的极板间距增大，第二 Z 轴检测电容组 Cz2 的极板间距减小。优选的，在本实施例中转动梁 B2 相对其转轴对称，因此第一 Z 轴检测电容组 Cz1 与第二 Z 轴检测电容组 Cz2 具有幅度相同且方向相反的变化，那么检测电路检测第一 Z 轴检测电容组 Cz1 的变化量（ ΔC_{z1} ）与第二 Z 轴检测电容组 Cz2 的变化量（ ΔC_{z2} ）的差值，计算沿 Z 轴输入的加速度，即检测电路测量差分信号 $\Delta C_{z1} - \Delta C_{z2}$ 的大小，反推得到输入 Z 轴的加速度的大小。

当加速度计受到沿 X 轴的加速度时，由于第一质量块 M1 和第二质量块 M2 均通过转动梁 B2 间接连接至支撑梁 B1，而支撑梁 B1 与转动梁 B2 之间的引梁 S2 在 X 轴方向上可以发生微小位移，因此第一质量块 M1 和第二质量块 M2 均

作为有效检测质量,提高了 X 轴检测的灵敏度。具体检测过程与 CN107271722A 类同,此处不再详细阐述。

当加速度计受到沿 Y 轴的加速度时,由于弹性梁 S1 和引梁 S2 的形变,第一质量块 M1 和第二质量块 M2 将在 Y 轴方向上发生微小位移,但运动方向相反。通过第三电极组 E7 与第一质量块 M1 形成的 Y 轴检测电容组 C_y 检测该加速度的大小。

如前文所述,本发明的加速度计在应对基板受环境影响产生翘曲或 MEMS 结构层偏转的情况时具有较好的表现。结合图 1 可以看出,由于固定电极对 E1-E5 沿 Y 轴方向依次设置,使得第一 Z 轴检测电容组 C_{z1} 和第二 Z 轴检测电容组 C_{z2} 的电容相对于锚定区域 A1 间隔分布。而且,第一 Z 轴检测电容组 C_{z1} 和第二 Z 轴检测电容组 C_{z2} 在整体上相对于锚定区域都是完全对称的。当基板 100 有沿 Y 轴方向的翘曲时,如图 6 所示,第一质量块 M1 和第二质量块 M2 在初始状态下与基板 100 间的间距从锚定区域向器件结构边缘方向逐渐减小。此时,固定电极对 E3 与第一质量块 M1 间的电容变化量最小,固定电极对 E2、E4 与第二质量块 M2 间的电容变化量次之,固定电极对 E1、E5 与第一质量块 M1 间的电容变化量最大。由于固定电极对 E1、E3、E5 与第一质量块 M1 构成第一 Z 轴检测电容组 C_{z1} ,固定电极对 E2、E4 与第二质量块 M2 构成第二 Z 轴检测电容组 C_{z2} ,因此第一 Z 轴检测电容组 C_{z1} 和第二 Z 轴检测电容组 C_{z2} 受翘曲影响产生的变化总体相当,那么在检测 Z 轴的加速度时,差分信号 $\Delta C_{z1} - \Delta C_{z2}$ 受翘曲的影响将被极大降低,从而提高了器件的可靠性。

当可动部件 200 有沿 Y 轴方向的偏转时,如图 7 所示,第一质量块 M1 和第二质量块 M2 在初始状态下与基板间的间距从器件结构边缘一侧向另一侧的方向逐渐增大。此时,固定电极对 E1-E3 与质量块间的电容变化量依次减小,固定电极对 E3-E5 与质量块间的电容变化量依次增大。由于固定电极对 E1、E3、E5 与第一质量块 M1 构成第一 Z 轴检测电容组 C_{z1} ,固定电极对 E2、E4

与第二质量块 M2 构成第二 Z 轴检测电容组 Cz2, 因此第一 Z 轴检测电容组 Cz1 和第二 Z 轴检测电容组 Cz2 的电容大致不变, 那么在检测 Z 轴的加速度时, 差分信号 $\Delta C_{z1} - \Delta C_{z2}$ 将不受偏转的影响, 从而提高了器件的可靠性。

当基板 100 有沿 X 轴方向的翘曲时, 由于固定电极对 E1-E5 相对锚定区域沿 X 轴方向均为对称分布, 因此它们与质量块间的电容变化量一致, 那么可以通过差分将该翘曲产生的影响消除。

当可动部件 200 有沿 X 轴方向的偏转时, 由于固定电极对 E1-E5 相对锚定区域沿 X 轴方向均为对称分布, 因此它们与质量块组成的第一 Z 轴检测电容组 Cz1 和第二 Z 轴检测电容组 Cz2 的电容大致不变, 那么在差分计算时将不受该偏转的影响。

综上所述, 由于本发明的加速度计结构沿 X 轴与 Y 轴均为对称结构, 且第一质量块 M1 与第二质量块 M2 对应的 Z 轴检测区域相对锚定区域的分布距离相当, 因此不仅可以减小可动结构层初始状态偏转引起的零偏, 还可以减小基板受环境引起的翘曲的影响。此外, 本发明的加速度计采用对称杠杆设计使得第一质量块 M1 与第二质量块 M2 在 Z 轴上的运动为平动, 从而增大了质量块的转矩及位移距离, 提高了质量块运动的效率, 即提高了加速度计的灵敏度; 同时, 沿 Z 轴平动的运动形式排除了质量块转动对 X 轴和 Y 轴检测的影响。进一步地, 由于第一质量块 M1 与第二质量块 M2 的转矩增大也可以提高质量块的回复力, 使得质量块与固定电极或周边固定结构更不容易发生吸合, 从而避免传感器损坏。最后, 由于锚定区域设置时向中心集中, 且锚点数量尽可能减少, 从而可以降低芯片对温度和应力变化的敏感度, 以及不同锚点受温度和应力变化引起的不一致的偏移。

对所公开的实施例的上述说明, 使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易

见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求 书

1、一种 MEMS 加速度计，其特征在于，包括：基板、可动部件以及固定电极组；

所述基板表面具有锚定区域；

所述可动部件通过支撑梁与所述锚定区域连接，并悬置于所述基板上方，所述可动部件包括第一质量块和第二质量块；

所述第一质量块的中部具有第一镂空区域，所述第一镂空区域为“工”形，所述第二质量块位于所述第一镂空区域中；

所述固定电极组包括第一电极组，所述第一电极组固定于所述基板表面，位于所述基板与所述可动部件之间，并与所述第一质量块和所述第二质量块形成 Z 轴检测电容组，以检测沿 Z 轴输入的加速度，所述 Z 轴为垂直于所述可动部件所在平面的方向。

2、如权利要求 1 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述第一电极组包括至少 5 对固定电极对 E1-E5，沿 Y 轴方向依次设置，其中固定电极对 E1、E3、E5 与所述第一质量块形成第一 Z 轴检测电容组，固定电极对 E2、E4 与所述第二质量块形成第二 Z 轴检测电容组，所述 Y 轴方向位于所述可动部件所在平面内，并与所述 Z 轴方向垂直。

3、如权利要求 2 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述每对固定电极对 E1-E5 分别包括沿 X 轴设置的两个固定电极，位于锚定区域的两侧，所述 X 轴与所述 Y 轴和所述 Z 轴均垂直。

4、如权利要求 2 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述固定电极对 E2 与 E4 分别都为一个整体电极。

5、如权利要求 2 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述固定电极组还包括第二电极组和第三电极组，通过锚点固定于所述基板上方，并与所述

可动部件位于同一层，所述第二电极组和所述第三电极组分别与所述第一质量块形成 X 轴检测电容组和 Y 轴检测电容组。

6、如权利要求 5 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述第一质量块具有第二镂空区域和第三镂空区域，所述第二电极组位于所述第二镂空区域中，所述第三电极组位于所述第三镂空区域中。

7、如权利要求 6 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述第二镂空区域和所述第三镂空区域分别包括偶数个子区域，沿 X 轴位于所述锚定区域的两侧。

8、如权利要求 5 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述第二电极组和所述第三电极组均为梳齿电极。

9、如权利要求 1 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述第一质量块和所述第二质量块通过转动梁组连接，使得所述第一质量块与所述第二质量块受到沿 Z 轴输入的加速度时在 Z 轴方向上平动，且运动方向相反。

10、如权利要求 9 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述转动梁组包括 4 个转动梁，所述转动梁通过弹性梁与所述第一质量块和所述第二质量块连接，所述转动梁的中部连接至所述支撑梁，使得所述第一质量块和所述第二质量块通过所述转动梁组形成杠杆结构。

11、如权利要求 1 所述的 MEMS 加速度计，其特征在于，所述锚定区域被所述第一镂空区域分隔为两部分，每部分至少具有一个锚点。