



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107406250 B

(45)授权公告日 2019.10.01

(21)申请号 201680014405.8

(22)申请日 2016.03.07

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107406250 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(30)优先权数据  
20155153 2015.03.09 FI

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.09.07

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2016/051265 2016.03.07

(87)PCT国际申请的公布数据  
WO2016/142832 EN 2016.09.15

(73)专利权人 株式会社村田制作所  
地址 日本京都府

(72)发明人 马蒂·柳库 亚科·罗希奥  
汉努·韦斯泰里宁

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227  
代理人 陈炜 李德山

(51)Int.Cl.  
B81B 7/02(2006.01)

(56)对比文件  
CN 102047126 A, 2011.05.04, 全文.  
CN 101871952 A, 2010.10.27, 全文.  
US 2012/0048019 A1, 2012.03.01, 全文.  
US 2013/0229747 A1, 2013.09.05, 全文.  
WO 2014/207710 A1, 2014.12.31, 全文.  
CN 203631322 U, 2014.06.04, 全文.  
CN 104185792 A, 2014.12.03, 全文.

审查员 冷林霞

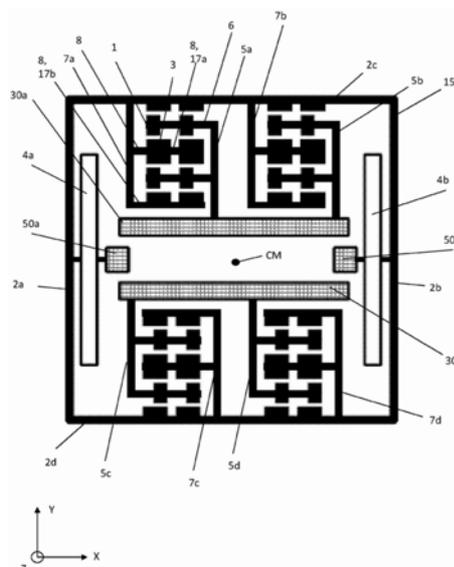
权利要求书2页 说明书13页 附图12页

## (54)发明名称

微机电电容式传感器结构和装置

## (57)摘要

一种MEMS结构,所述MEMS结构提供了利用施加的电压选择性地控制MEMS装置的机电性质的改进方法。MEMS结构包括电容器元件,所述电容器元件包括至少一个定子元件(6,1)和被悬置成相对于定子元件、平行于第一方向运动的至少一个转子元件(8,3)。定子元件和转子元件形成至少一个电容器元件,电容器元件的电容根据转子元件相对于初始位置的位移而变化。定子元件和转子元件相互定向成使得在转子元件相对于初始位置的位移的至少一个范围内,电容关于位移的二阶导数具有负值。



1. 一种微机电结构,其包括电容器元件,所述电容器元件包括:至少一个定子元件和被悬置成相对于所述定子元件、平行于第一方向运动的至少一个转子元件;

所述定子元件和所述转子元件形成至少一个电容器元件,其中,所述电容器元件的电极在垂直于所述第一方向的第二方向上分开一定距离,并且所述电容器元件的电容被设置成根据所述转子元件在所述第一方向上的相对于初始位置的位移而变化,其特征在于,

所述定子元件包括定子梁和从所述定子梁朝向转子梁延伸的多个定子突起,每个定子突起包括:

在所述定子突起的相对的侧的定子侧表面(72a,72b),每个定子侧表面沿所述第二方向延伸;

在所述定子突起的末端的定子端表面(70a),其中,所述定子端表面沿所述第一方向延伸;

所述转子元件包括所述转子梁和从所述转子梁朝向所述定子梁延伸的多个转子突起,每个转子突起包括:

在所述转子突起的相对的侧的转子侧表面(68a,68b),每个转子侧表面沿所述第二方向延伸;

在所述转子突起的末端的转子端表面(66a),其中,所述转子端表面沿所述第一方向延伸;

在初始位置,所述定子突起和所述转子突起被布置成突起对,使得突起对的突起的端表面(66a,70a)以彼此面对的方式至少部分地交叠,并且突起对的突起的至少一对侧表面(68a,72a)对准到所述第二方向上的直线;

每个突起对形成电容器,该电容器的电容与所述突起对的定子端表面(70a)和转子端表面(66a)之间的交叠成比例,并且因此被设置成根据所述转子的平行于所述第一方向的运动而变化。

2. 根据权利要求1所述的微机电结构,其特征在于,对于每个突起对,所述定子端表面(70a)在所述第一方向上的长度与所述转子端表面(66a)在所述第一方向上的长度相等。

3. 根据权利要求1所述的微机电结构,其特征在于,对于每个突起对,所述定子端表面(70a)在所述第一方向上的长度与所述转子端表面(66a)在所述第一方向上的长度不同。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的微机电结构,其特征在于,对于每个突起对,所述定子突起的高度等于所述突起对的转子突起的高度。

5. 根据权利要求4所述的微机电结构,其特征在于,所述定子突起和所述转子突起的高度(B1)是面对的定子端表面与转子端表面之间的距离的1至4倍。

6. 根据权利要求3所述的微机电结构,其特征在于,所述定子端表面或所述转子端表面在所述第一方向上的长度(C1,C1+D1;C2,C2+D2)是面对的定子端表面与转子端表面之间的距离的1至3倍。

7. 根据权利要求3所述的微机电结构,其特征在于,所述转子端表面和所述定子端表面在所述第一方向上的长度之间的差(D1;D2)是面对的定子突起和转子突起的侧表面之间的距离的0.5至3.5倍。

8. 根据权利要求7所述的微机电结构,其特征在于,两个相邻的转子侧表面之间或两个相邻的定子侧表面之间的距离(E1;E2)是面对的定子端表面与转子端表面之间的距离的1

至4倍。

9. 根据权利要求1所述的微机电结构,其特征在于,包括至少两个检测元件,每个检测元件包括一个或更多个电容器元件,所述电容器元件的定子元件耦接到相同的电位。

10. 根据权利要求9所述的微机电结构,其特征在于,

所述至少两个检测元件中的一个被定位成检测所述转子在平行于所述第一方向的正方向上的位移,并且所述至少两个检测元件中的另一个被定位成检测所述转子在平行于所述第一方向的负方向上的位移,所述负方向与所述正方向相反;

每个检测元件包括一个或更多个电容器元件,其中,所述检测元件中包括的每个电容器元件的定子元件电耦接,以提供用于差分检测的信号。

11. 根据权利要求10所述的微机电结构,其特征在于,包括交叉耦接配置的至少四个检测元件。

12. 根据权利要求1至3中任一项所述的微机电结构,其特征在于,

所述微机电结构具有用于与平面支承结构对准的平面形式;

所述转子元件被悬置成在平面内方向上运动,所述平面内方向平行于所述微机电结构的平面形式的平面。

13. 根据权利要求1至3中任一项所述的微机电结构,其特征在于,

所述微机电结构具有用于与平面支承结构对准的平面形式;

所述转子元件被悬置成在平面外方向上运动,所述平面外方向垂直于所述微机电结构的平面形式的平面。

14. 根据权利要求13所述的微机电结构,其特征在于,

所述第二方向平行于所述微机电结构的平面形式的平面,

所述定子梁在所述第一方向上具有高度尺寸,并且所述定子突起沿所述定子梁的高度尺寸分布。

15. 一种微机电装置,其包括根据权利要求1至14中任一项所述的微机电结构。

16. 根据权利要求15所述的微机电装置,其特征在于,所述微机电装置是加速度计或谐振器。

## 微机电电容式传感器结构和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及具有定子和被悬置成相对于定子、平行于第一方向运动的转子的微机电结构。

### 背景技术

[0002] 微机电系统 (MEMS) 是小型化机电系统,其可以应用于快速准确地感测物理性质的非常小的变化。在许多MEMS装置中,感测是基于检测电容的变化来进行的。

[0003] 在平行板电容器中,电容与交叠面积成正比并且与两个电容器板之间的间隔成反比。可以使用平行板电容器来产生闭合间隙结构(closing gap structure)或面积调制结构。

[0004] 图1A示出了图示平行板电容器的配置。在闭合间隙结构中,电容器板沿由x指示的方向朝向彼此移动和远离彼此移动。通常,这些板中的一个静止的,并且另一个板移动靠近另一个板和移动远离另一个板。那么,电容行为可以用式(1)近似地建模,

$$[0005] \quad C = \epsilon \frac{A}{d-x} + C_f \quad (1)$$

[0006] 其中,C是电容, $\epsilon$ 是介电常数,A是板之间的恒定交叠面积,d是板之间的初始间隙,x是相对于初始间隙位置的位移,并且 $C_f$ 是静态杂散电容。

[0007] 图1B示出了图示面积调制结构的配置,面积调制结构也称为线性梳结构。在面积调制结构中,板彼此平行运动,并且电容行为可以用式(2)进行建模,

$$[0008] \quad C = \epsilon \frac{h(l+x)}{d} + C_f \quad (2)$$

[0009] 其中,d是板之间的恒定间隙,h是板的恒定交叠尺寸(高度),l是初始交叠长度,x是相对于初始交叠长度的位移,并且 $C_f$ 是静态杂散电容。

[0010] 谐波振荡器的谐振频率f与电弹簧常数成比例。其关系可以写为

[0011]

$$f = 1/(2\pi) \sqrt{((k_m+k_e)/m)} \quad (6)$$

[0012] 其中, $k_m$ 是机械弹簧常数, $k_e$ 是电弹簧常数,并且m是质量。通过控制电弹簧常数,可以调节谐波振荡器的谐振频率。

[0013] MEMS电容器中的势能E可以写为

$$[0014] \quad E = 1/2 k_m X^2 + 1/2 C V^2, \quad (3)$$

[0015] 其中,

[0016]  $k_m$ 是机械弹簧常数,x是相对于初始电容器结构的位移,C是电容,并且V是施加在电容器之上的电压。

[0017] 如果电容器之上的电压保持恒定,则通过下式获得作用在电容器上的电力 $F_e$ 。

[0018]

$$F_e = -\partial E / \partial x = 1/2 V^2 \partial C / \partial x. \quad (4)$$

[0019] 然后,可以由下式获得电弹簧常数 $k_e$

[0020]

$$k_e = -\partial F_e / \partial x = -1/2 V^2 \partial^2 C^2 / \partial x^2 \quad (5)$$

[0021] 因此,电弹簧常数 $k_e$ 的符号取决于二阶导数项 $\partial^2 C^2 / \partial x^2$ 。图2中的曲线示出了作为相对于初始位置的位移的函数的图1A和图1B的闭合间隙结构和线性梳结构中的示例性电容的变化。图3中的曲线示出了这些电容的二阶导数的相应行为。可以看出,在通常使用的现有技术的谐振结构中,二阶导数总是为正数(当使用平行板电极时)或零(在线性梳驱动结构中)。然而,对于许多应用,对MEMS结构的机电性能的进一步控制将是非常有价值的。

### 发明内容

[0022] 本发明的实施方式包括提供通过施加的电压来选择性地控制MEMS装置的机电性质的改进方法的MEMS结构。

[0023] 实施方式中的MEMS结构包括电容器元件,该电容器元件包括至少一个定子元件和被悬置成相对于定子元件、平行于第一方向运动的至少一个转子元件。定子元件和转子元件形成至少一个电容器元件,其中电容器元件的电极在垂直于第一方向的第二方向上分开一距离,并且电容器元件的电容被布置成根据转子元件的平行于第一方向的相对于初始位置的位移而变化。定子元件和转子元件相互定向成使得在转子元件的平行于第一方向的相对于初始位置的位移的至少一个范围内,电容关于位移的二阶导数具有负值。

[0024] 下面通过附图呈现一些实施方式,但是本发明不限于此。

### 附图说明

[0025] 图1A示出了图示平行平板电容器的配置;

[0026] 图1B示出了图示线性梳结构的配置;

[0027] 图2示出了图1A和图1B的闭合间隙结构和线性梳结构中的示例性电容的变化;

[0028] 图3示出了图2中电容的二阶导数的行为。

[0029] 图4示出了具有新型定子和转子结构的示例性MEMS结构;

[0030] 图5示出了图4的电容器元件的细节;

[0031] 图6A示出了作为转子的位移的函数的示例性电容器元件中的电容;

[0032] 图6B示出了作为转子的位移的函数的二阶导数项 $\partial^2 C^2 / \partial x^2$ 的行为;

[0033] 图7示出了被悬置用于转子的平面内运动的MEMS结构的备选配置;

[0034] 图8示出了被悬置用于转子的平面内运动的MEMS结构的另一备选配置;

[0035] 图9示出了可应用于谐振器实现方式的平面内运动的MEMS结构;

[0036] 图10示出了图9的电容器元件的细节;

[0037] 图11示出了具有平面外运动的转子配置的示例性MEMS结构;

[0038] 图12示出了图11的电容器元件的细节;

[0039] 图13示出了具有用于谐振器应用的平面外运动的转子的示例性MEMS结构;

[0040] 图14示出了用于MEMS的另一示例性配置,其中转子梁和定子梁被布置成两组;

[0041] 图15示出了图13的电容器元件的细节;

[0042] 图16示出了用于平面内配置的另一实施方式；

[0043] 图17示出了可应用于谐振器实现方式的图16的实施方式。

### 具体实施方式

[0044] 图4示出了包括新型定子和转子结构的示例性MEMS结构。当并入到MEMS装置中时，MEMS结构能够以特定方式通过施加的电压来调整MEMS装置的机电性质。由于所提出的设计，因此可以不同地形成MEMS装置中的电容，使得式(5)中的二阶导数项 $\partial C^2/\partial x^2$ 还可以具有负值。所提出的MEMS结构提供了用于通过施加的电压来控制MEMS装置的机电性质的显著改进的范围。

[0045] 为了清楚起见，图4仅包括描述在MEMS装置中实现所需效果的原理所必需的元件。对于本领域技术人员来说，清楚的是，MEMS结构和MEMS装置通常包括在本文的附图中未具体示出的多个其他结构元件。

[0046] 有利地，MEMS结构被布置成平面形式，以与平面支承结构对准。平行于MEMS结构的平面形式的方向被称为平面内方向。垂直于MEMS结构的平面形式的方向被称为平面外方向。MEMS结构包括至少一个定子和至少一个转子。定子在本文中是指MEMS结构的、锚定到支承结构使得其相对于支承结构保持静止的部分。转子相应地是指MEMS结构的、通过一个或更多个弹簧元件悬置到支承结构的部分，一个或更多个弹簧元件允许相对于支承结构的至少一个自由度。在图4的示例性配置中，弹簧结构将转子悬置成在一个平面内方向上运动，该平面内方向在本文中称为第一方向并且在图4中表示为X方向。

[0047] 对于期望的控制，MEMS结构可以被配置成包括至少一个电容器元件，耦接以分别形成一个或更多个电容器的一个或更多个特定转子元件和一个或更多个特定定子元件的组合，电容器的电容根据转子在第一方向上的位移而变化。定子元件和转子元件包括多个突起，多个突起被布置成以一非零距离彼此面对，使得形成突起对。这些突起对形成实现期望效果的特定类型的电容器。定子元件和转子元件可以许多形式实现。图4示出了示例性配置，其中转子包括转子框架15，并且转子元件通过转子支承梁7a至7d耦接至转子框架15。为了使得转子能够在平行于支承结构的平面的X方向上运动，转子框架的悬架在Y方向上是刚性的并且在X方向上是柔性的。应注意的是，在该范围内可以采用许多类型的提供特定方向上的自由度的已知弹簧结构。

[0048] 此处转子提供可以相对于静态支承件运动的惯性质量块(inertial mass)。图4的转子包括转子框架15，其通过弹簧结构可移动地锚定到支承结构(例如基板)。在图4中，悬置弹簧结构包括第一弹簧4a和第二弹簧4b。应当理解，实际上，惯性质量块可以采取许多形式，并且还包括另外的质量结构，例如也与转子框架15一起运动以用于MEMS装置的进一步驱动或感测或正交补偿功能的梳状结构，和/或调节MEMS装置的机电性质的其他类型的转子元件。转子的惯性质量块有利地布置成相对于其质心CM具有点对称性，或相对于延伸穿过质心CM的轴线具有反射对称性。

[0049] 转子框架15可以包括第一刚性梁2a、第二刚性梁2b、第三刚性梁2c和第四刚性梁2d，其在刚性梁的端部彼此刚性地连接，以形成平行于下面的支承结构的矩形框架或正方形框架。在图4中，第一弹簧4a在第一刚性梁2a的中间与转子框架15连接，并且第二弹簧4b在平行于第一刚性梁2a的第二刚性梁2b的中间与转子框架15连接。弹簧4a和4b刚性地锚定

至可移动转子框架15内的转子锚定元件50a、50b。

[0050] 如稍后将更详细地描述的那样,转子元件和定子元件包括布置成以一距离彼此面对的突起。图4中的支承梁的作用是提供转子框架15与一个或多个转子元件之间的机械耦接,使得一个或多个转子元件中的突起初始面对相应的定子元件中的突起,并且转子元件能够相对于相应的定子元件、平行于第一方向运动。在图4中,转子框架15被示出为通过转子支承梁7a至7d连接至转子元件,转子支承梁7a至7d被布置成随着转子框架15的运动而刚性地运动。图4的配置包括四个转子支承梁,其中两个转子支承梁7a、7b从第三刚性梁2c向内并且垂直于第三刚性梁的方向而延伸,其中两个转子支承梁7c、7d从第四刚性梁2d向内并且垂直于第四刚性梁的方向而延伸。第四刚性梁2d平行于第三刚性梁2c。

[0051] 图5更详细地示出了包括转子元件62和定子元件64的电容器元件60的示例。

[0052] 此处,转子元件62是指转子的一部分,其包括转子梁8和延伸远离转子梁、即向垂直于转子梁的纵向尺寸的方向延伸的多个(两个或多个)转子突起3a、3b。转子突起是立体元件(dimensional element),使得其末端被设计成提供平行于转子运动的方向、即第一方向的平面转子端表面66a、66b。转子端表面通过突起的侧壁与转子梁相距一距离。在转子突起的相对的侧(在沿着第一方向观察时相对)延伸的两个侧壁表面形成转子侧表面68a、68b。图5中的配置是直角的,使得转子侧表面68a、68b与第一方向(图5中的X方向)上的直线正交,并且转子端表面66a、66b与第二方向(图5中的Y方向)上的直线正交。

[0053] 此处,定子元件64是指定子的一部分,其包括定子梁6和延伸远离定子梁6、即向第二方向延伸的多个(两个或多个)定子突起1a、1b。定子突起相应地是立体元件,并且其末端被设计成提供平行于转子运动的方向、即第一方向的平面定子端表面70a、70b。定子端表面通过突起的侧壁与定子梁相距一距离。在定子突起的相对的侧(在沿着第一方向观察时相对)延伸的两个侧壁表面形成定子侧表面72a、72b。图5中的配置是直角的,使得定子侧表面72a、72b与第一方向上的直线正交,并且定子端表面70a、70b与第二方向上的直线正交。

[0054] 在图5的示例性配置中,转子突起3a、3b从转子梁8沿Y方向垂直地向外延伸,Y方向与转子元件的X方向的运动垂直并且与在XY平面中延伸的支承结构平行。转子突起3a、3b包括在每个转子突起的相对的侧的转子侧表面。因此,每个转子侧表面位于与转子元件的X取向的运动方向垂直并且与支承结构的XY平面垂直的YZ平面中。转子突起3a、3b中的每个转子突起包括在转子突起的末端的转子端表面66a、66b。转子端表面位于与转子的X取向的运动方向平行并且与支承结构的XY平面垂直的XZ平面中。在每个转子侧表面与转子端表面之间形成转子侧边缘74。在图5的直角配置中,沿着转子侧边缘的线对准到Z方向,即与X取向的第一方向和Y取向的第二方向两者均正交。

[0055] 类似地,定子突起1a、1b可以从定子梁6沿Y方向垂直地向外延伸,Y方向与转子元件的X方向的运动垂直并且与在XY平面中延伸的支承结构平行。定子突起1a、1b可以包括在每个定子突起的相对的侧的定子侧表面72a、72b。因此,每个定子侧表面位于与转子元件的X取向的运动方向垂直并且与支承结构的XY平面垂直的YZ平面中。定子突起1a、1b中的每个定子突起包括在定子突起的末端的定子端表面70a、70b。定子端表面位于与转子的X取向的运动方向平行并且与支承结构的XY平面垂直的XZ平面中。在每个定子侧表面与定子端表面之间形成定子侧边缘76。在图5的直角配置中,沿着定子侧边缘的线对准到Z方向,即与X取向的第一方向和Y取向的第二方向两者均正交。

[0056] 在初始位置,定子突起和转子突起被布置成突起对,使得突起对的突起的端表面通过以一距离彼此面对而至少部分地交叠,并且突起对的突起的侧表面对准到第二方向上的线。此处,初始位置是指在没有施加外力并且弹簧结构不向任一方向弯曲时的结构的状态。在图5中,定子突起1a和转子突起3a形成一个突起对,并且定子突起1b和转子突起3b形成另一突起对。这些突起对中的每一个突起对形成电容器,其电容与突起对(线性梳结构)的定子端表面和转子端表面之间的交叠成比例。

[0057] 可以使用图5的符号来描述端表面的交叠。在图5中,A1表示定子突起1a与转子突起3a之间的距离,B1表示转子突起3a的Y方向高度并且也表示定子突起1a的Y方向高度,C1表示定子突起1a的X方向长度,D1表示定子突起1a与转子突起3a之间的X方向的长度差,并且E1表示两个相邻的转子突起3a、3b之间的距离。因此C1+D1是转子突起3a的长度,并且D1+E1是两个定子突起1a、1b之间的距离。

[0058] 当突起对的突起1a、3a的端表面66a、70a至少部分地交叠时,转子突起3a的转子端表面66a到第一方向上的直线上的正交投影与定子突起1a的定子端表面70a到第一方向上的同一直线上的正交投影至少部分地交叠。在图5的直角结构中,转子突起3a的转子端表面66a在第一方向上的正交投影等于和C1+D1。定子突起1a的定子端表面70a在第一方向上的正交投影等于C1。因此在该示例中,初始位置的交叠等于C1。

[0059] 此外,突起对的定子突起的至少一个侧表面和转子突起的一个侧表面被限定为对准到第二方向上的直线。换句话说,这意味着定子侧边缘在第一方向上的直线上的正交投影和转子侧边缘在第一方向上的直线上的正交投影被布置成重合。在图5的直角结构中,定子突起1a的侧表面72a和转子突起3a的侧表面68a在直线80上。因此,点P表示转子突起3a的侧边缘在第一方向上的正交投影和定子突起1a的侧边缘在第一方向上的正交投影重合的点。

[0060] 注意,图5不是按比例绘制的,仅示出其以说明示例性配置中的距离A1、B1、C1、D1和E1的含义。

[0061] 为了实现期望的效果,高度B1有利地为距离A1的1至4倍,优选地2至3倍( $B1 = Y \times A1$ ,其中 $Y = 1$ 至4,优选地2至3)。

[0062] 相应地,长度C1有利地为距离A1的1至3倍,优选地1.5至2.5倍( $C1 = Y \times A1$ ,其中 $Y = 1$ 至3,优选地1.5至2.5)。

[0063] 有利地,长度D1为距离A1的0.5至3.5倍,优选地1.5至2.5倍( $D1 = Y \times A1$ ,其中 $Y = 0.5$ 至3.5,优选地1.5至2.5)。

[0064] 有利地,距离E1为距离A1的1至4倍,优选地2至3倍( $E1 = Y \times A1$ ,其中 $Y = 1$ 至4,优选地2至3)。

[0065] 因此在所述配置中,定子元件和转子元件的突起部分中的端表面可以被布置成彼此相邻且相距一非零距离,这使它们耦接以用作电容器。当转子沿着第一方向X移动时,如果定子突起和转子突起的面对的端表面相对于彼此运动到不同的位置,则定子突起的端表面和转子突起的端表面的交叠面积改变。这意味着定子突起的端表面和转子突起的端表面彼此面对的程度改变。定子突起和转子突起的面对的端表面在初始位置、以及在运动期间和之后彼此均相距一距离A1。

[0066] 例如,定子突起1a和以一距离面对定子突起1a的转子突起3a可以形成突起对。当

转子沿第一方向、例如向负X方向运动时,定子端表面70a与转子端表面66a之间的交叠改变。因此,突起对的两个端表面66a、70a可以被认为形成面积调制的平行板电容器的板,使得当交叠减小时,板之间的电容减小,反之亦然。当突起1a、3a的侧表面68a、72a如上所述的那样被布置成对准到直线时,转子在相应方向(图5中为负X方向)的小位移使得交叠减小,并且因此端表面之间的电容减小。

[0067] 图6A示出了作为转子的位移的函数的在具有所要求保护的配置的示例性电容器元件中的电容。图6B示出了作为转子的位移的函数的二阶导数项 $\partial C^2/\partial x^2$ 的相应行为。从图6A可以看出,当转子元件处于初始位置时,电容最大,并且端表面之间的交叠最大。当位移增加时,电容减小。从图6B可以看出,在位移的范围内,二阶导数项 $\partial C^2/\partial x^2$ 的曲线具有负值。二阶导数项 $\partial C^2/\partial x^2$ 的曲线在紧接着初始位置之后具有最小负值,并且随着位移而上升。

[0068] 回到图4,突起可以从定子梁或转子梁向一个方向延伸,或者定子梁或转子梁可以包括从定子梁或转子梁向两个相反方向延伸的突起。例如,在图4中,通过转子支承梁7a耦接至转子的转子梁17a的一组转子突起向正Y方向延伸,并且它们被布置成面对一组定子突起。同一转子梁17a的另一组转子突起向负Y方向延伸,并且它们被布置成面对另一组定子突起。另一方面,也通过转子支承梁7a耦接至转子的转子梁17b的一组转子突起仅向正Y方向延伸。应当理解,在存在支承梁和不存在支承梁的情况下,存在若干其他方式来将定子元件的突起和转子元件的突起布置成对。例如,在图4的另一示例性备选方案中,没有单独的转子梁或转子支承梁,而转子框架的一部分用作转子梁。图4示出了这种备选方案,其中转子突起位于转子框架15的内侧,被布置成以与定子元件的定子突起相距一非零距离的方式面对该定子元件的定子突起。

[0069] 如图4所示,定子梁6可以沿着定子支承梁5a至5d横向地分布,并且布置成沿第一方向X延伸到转子梁8之间的空间中。转子梁8可以沿转子支承梁7a至7d横向地分布,并且沿第一方向X延伸到定子梁6之间的空间中。

[0070] 图4的电容MEMS结构被布置成相对于X方向上的穿过转子的质心CM的线反射对称。

[0071] 在一个实施方式中,MEMS结构可以包括在MEMS加速度计装置中。加速度传感器通常设计用于开环测量,这将其用途限制在利用机械结构和弹簧常数的常规电调节方法可实现的有限的加速度范围内。利用所呈现的结构,可以更灵活地调整元件的满量程偏转。因此,可以提供例如具有显著更大的测量范围的多范围加速度计。另一方面,设计高g加速度传感器可能是具有挑战性的,因为元件的完整测试还需要使用高加速度(离心机而不是重力测试)。所呈现的结构使得能够创建可以在低g范围下测试并在高g范围下操作的加速度计设计。

[0072] 在另一实施方式中,所呈现的MEMS结构可以包括在谐振器、具有谐振结构的MEMS装置中。利用施加的电压进行频率调节是对谐振结构的谐振频率进行微调的常用方法,例如在谐振器和陀螺仪中。常规调节方法的常见缺点是它们仅降低谐振频率,并且调节需要高电压。所呈现的MEMS设计使得能够创建谐振频率既可以随着施加的电压而降低又可以随着施加的电压而增加的谐振结构。此外,由于可以对频率进行上下调节,所以调节所需的电压较低。

[0073] 在图5的示例性MEMS结构中,转子端表面66a的X方向长度 $C1+D1$ 大于定子端表面70a的X方向长度 $C1$ 。因此,转子在正X方向上的位移引起电容紧接着初始位置之后改变。另一方面,当转子在负X方向上移位时,即使转子从初始位置移动,突起的端表面之间的交叠区域保持相同。因此,突起尺寸的差异使得可以将电容器元件设计成使得还可以检测转子移动的方向。这是一个重要的方面,尤其在加速度计设计中。

[0074] 例如,图4示出了其中定子端表面的X方向长度小于转子端表面的X方向长度的配置。MEMS结构的上部中的转子元件通过转子支承梁7a和7b耦接至转子框架15,并且定子元件通过定子支承梁5a和5b耦接至定子锚定元件30a。因此,定子元件处于相同的电位并且上部中的所有电容器元件可以共同地促成检测到的电容变化。这些上部电容器元件被定向成使得转子在正X方向上的位移引起电容紧接着初始位置之后改变。另一方面,当转子在负X方向上移位时,电容器元件中的端表面之间的交叠保持相同并且检测到的电容不变。

[0075] MEMS结构的下部中的转子元件通过转子支承梁7c、7d耦接至转子框架15,并且定子元件通过定子支承梁5c、5d耦接至锚定元件30b。这些下部电容器元件被定向成使得转子在负X方向上的位移引起电容紧接着初始位置之后改变。另一方面,当转子在正X方向上位移时,电容不会立即改变。

[0076] 因此,上部电容器元件可以被定位成组合地感测转子在正X方向上的位移,并且下部电容器元件可以被定位成组合地感测转子在负X方向上的位移。如上所述,MEMS结构的灵敏度范围可以通过施加的电压来调整。在图4的配置中,定子支承梁5a、5b通过定子锚定元件30a耦接至第一电位,并且定子支承梁5c、5d通过另一锚定元件30b耦接至第二电位。第一电位和第二电位有利地相同。

[0077] 图7示出了被悬置用于平面内运动的MEMS结构的备选配置。该MEMS结构也特别适用于加速度计使用,并且还提供了检测转子的运动方向的可能性。此外,所示配置能够通过差分检测来减少测量误差。

[0078] 图7的MEMS结构与图4的MEMS结构对应,但是包括四个定子锚定元件32a至32d而不是两个。每个定子锚定元件32a至32d支承锚定到其的一个定子支承梁5a、5b、5c或5d。

[0079] 图7的电容式微机械传感器结构在X方向和Y方向两者上均是反射对称的。对称线是X方向上的跨元件结构的中间的水平线,有利地是穿过转子的质心CM的水平线。另一对称线是垂直于水平线并且还沿着Y方向延伸穿过元件结构的中间的线,有利地也穿过转子的质心CM。

[0080] 让我们指出:通过第一定子支承梁5a耦接至第一锚定元件32a的定子元件和通过第一转子支承梁7a耦接至转子框架15的转子元件形成第一检测元件。相应地,通过第二定子支承梁5b耦接至第二锚定元件32b的定子元件和通过第二转子支承梁7b耦接至转子框架15的转子元件形成第二检测元件。通过第三定子支承梁5c耦接至第三锚定元件32c的定子元件和通过第三转子支承梁7c耦接至转子框架15的转子元件形成第三检测元件,以及通过第四定子支承梁5d耦接至第四锚定元件32d的定子元件和通过第四转子支承梁7d耦接至转子框架15的转子元件形成第四检测元件。

[0081] 在图7的MEMS结构中,第一检测元件、第二检测元件、第三检测元件和第四检测元件被定位成使得第一检测元件和第三检测元件检测转子在正X方向上的位移,并且第二检测元件和第四检测元件检测转子在负X方向上的位移。MEMS结构的输出信号可以被布置成

与第一检测元件和第三检测元件的贡献的和与第二元件和第四元件的贡献的和之间的差异对应。这种差分检测有助于消除MEMS装置配置中的制造误差和温度变化的影响。

[0082] 图8示出了用于MEMS结构的替选配置,其提供了检测转子的平面内移动方向的可能性,并且能够通过差分检测来消除误差。

[0083] 图8的MEMS元件在其他方面与图7的MEMS元件对应,但是检测元件被不同地定位用于差分检测。图8的MEMS结构在Y方向上反射对称。对称线对准到Y方向,跨元件结构的中间,并且有利地穿过转子的质心CM。

[0084] 在图8的MEMS结构中,第一检测元件、第二检测元件、第三检测元件和第四检测元件被定位成使得第一检测元件和第四检测元件检测转子在正X方向上的位移,并且第二检测元件和第三检测元件检测转子在负X方向上的位移。输出信号可以与第一检测元件和第四检测元件的贡献的和与第二元件和第三元件的贡献的和之间的差异对应。差分检测有助于消除MEMS装置配置中的制造误差和温度变化的影响。耦接与支承结构平行且交叉放置的第一检测元件和第四检测元件以及第二检测元件和第三检测元件的交叉耦接配置在消除MEMS装置配置中的一些制造误差和温度变化的影响方面可能甚至更有效。

[0085] 在图4、图5、图7和图8中,如上所述,转子突起3和定子突起1在X方向上具有相互不同的长度,以能够进行方向检测。在示例性实施方式中,转子突起和定子突起在Y方向上具有相同的高度。这对于转子的对称性和质量分布是有利的。然而,在范围内,还可以应用在Y方向上具有不同高度的配置。此外,在图4、图5、图7和图8中,转子突起的X方向长度大于定子突起的X方向长度。然而,在该范围内,还可以应用定子突起的X方向长度大于转子突起的X方向长度的配置。

[0086] 在谐振器应用中,所检测到的电容中的定向方面不那么适用,并且转子在两个方向上相对于初始位置的位移均可以允许改变交叠。图9示出了对于谐振器应用特别有用的平面内运动的MEMS结构。图9的MEMS元件在其他方面与图4的MEMS元件对应,但是定子突起和转子突起的X方向长度相等或几乎相等。

[0087] 图9的电容式微机械传感器结构在X方向上是反射对称的。对称线是X方向上的跨元件结构的中间的水平线,有利地穿过转子的质心CM。

[0088] 在图9的配置中,定子支承梁5a、5b通过定子锚定元件30a耦接至第一电位,并且定子支承梁5c、5d通过另一定子锚定元件30b耦接至第二电位。第一电位和第二电位有利地相同。第一检测元件、第二检测元件、第三检测元件和第四检测元件被定位成使得包括上部电容器元件的第一检测元件和第二检测元件组合地促成一个信号,并且包括下部电容器元件的第三检测元件和第四检测元件组合地促成另一信号。也可以应用与图7和图8的配置对应的替选差分配置。利用所公开的配置,如上所述,可以利用施加的电压有效地调整谐振器的谐振频率。

[0089] 图10示出了图9的示例性MEMS结构的局部细节视图。符号与图5中所使用的符号类似。A1表示定子突起1a与转子突起3a之间的距离,B1表示转子突起3a的Y向高度并且也表示定子突起1a的Y向高度,C1表示定子突起1a的X方向长度,D1表示定子突起1a与转子突起3a之间的X方向的长度差,并且E1表示两个相邻的转子突起3a、3b之间的距离。因此,C1+D1是转子突起3a的长度,并且D1+E1是两个定子突起1a、1b之间的距离。从图9可以看出,在初始位置,每个定子突起1a的定子端表面70a与以一距离面对其的相应转子突起3a的转子端表

面66a完全交叠。当转子从初始位置移动时,端表面的交叠以及因此它们之间的电容改变。要指出的是,图10不是按比例绘制的,仅示出其以说明符号A1、B1、C1、D1和E1的含义。

[0090] 在前述实施方式中,转子运动已被布置成在平面内方向上、即平行于下面的支承结构的平面而发生。然而,所描述的结构还可以应用于具有平面外运动的元件的MEMS结构。图11示出了具有平面外运动的转子配置的示例性MEMS结构,特别适用于加速度计使用。与先前实施方式中的元件对应的元件用相同的附图标记表示,并且关于其的更多信息可以从前面的描述中引用。

[0091] MEMS结构也包括刚性地锚定到支承结构的至少一个定子和通过挠性弹簧结构(felxural spring structure)可移动地锚定到支承结构的至少一个转子。在图11中,基板平面平行于XY平面,并且转子的运动被布置成平行于Z方向而发生。因此,在图11的配置中,Z方向是第一方向,并且X方向是第二方向。在图11的配置中,定子包括定子锚定元件30a、30b以及耦接至锚定元件30a、30b的多个定子梁6。定子梁6从相应的锚定元件沿Y方向延伸,并且还在Z方向上具有一高度尺寸。每个定子梁6包括多个(两个或更多个)定子突起1。定子突起1从定子梁6沿着X方向向外并且垂直于转子元件的Z取向的移动方向(第一方向)而延伸。

[0092] 如图11所示,转子通过刚性转子支承结构41和悬置弹簧4a、4b从转子锚定元件40悬置。转子包括转子框架15,该转子框架15可以被引致成绕延伸穿过扭转弹簧4a、4b的轴线旋转运动。多个转子梁8从转子框架15的末端沿Y方向朝内延伸,并且还在Z方向上具有一高度尺寸。转子梁8包括沿着每个转子梁8的高度尺寸分布的多个转子突起3。转子突起3从转子梁8沿X方向、即沿垂直于转子元件的Z取向的移动方向从转子梁8向外延伸。

[0093] 图12通过MEMS结构的一部分的局部详细横截面图示出了图11所示的结构,其仅具有数量比图11更少的梁。如通过图12所述的,每个定子突起1包括在定子突起1的相对的侧的定子侧表面72a、72b。每个定子侧表面平行于XY平面。每个定子突起1还包括在定子突起1的末端的定子端表面70,其中定子端表面平行于YZ平面。

[0094] 亦如图12所示,每个转子突起3包括在转子突起3的相对的侧的转子侧表面68a、68b,每个转子侧表面68a、68b平行于XY平面。每个转子突起3还包括在转子突起的末端的转子端表面,其中转子端表面平行于YZ平面。转子突起3可以从转子梁8的一侧或两侧延伸。定子突起1和转子突起3被布置成突起对,使得突起对可以由相邻的定子梁和转子梁的定子突起和转子突起组成。在该示例性实施方式中,转子框架是具有两个侧梁和一个端梁的U形结构。如图11所示,转子框架15的一个侧梁在一端通过第一弹簧4a连接至转子支承结构41。元件框架15的相对的侧梁在一端通过第二弹簧4b连接至同一转子支承结构41。元件框架的相对的侧梁平行于元件结构的中心轴线。转子支承结构41可以在转子锚定元件40处刚性地锚定到基板。为了实现转子元件的垂直于基板的XY平面的Z取向的移动方向,弹簧4a、4b是扭转柔性的,并且从而使得转子能够进行平面外的旋转运动。

[0095] 在图11中,定子梁6(在其上存在定子突起1)被示出为延伸到转子梁8(在其上存在转子突起3)之间的空间中。因此,定子和转子包括两组,其中两组中的转子梁处于相同的电位,但是定子梁组可以耦接至相同的电位或不同的电位。

[0096] 在定子梁和转子梁的组中,定子梁6面对转子和定子元件组之间的空间,并且转子梁8最靠外。定子梁6的面对组之间的第一空间的侧可以包括突起,如图11所示的那样,或者

没有定子突起。相应地,转子梁8的面对转子框架15的侧可以包括突起,如图11所示的那样,或者没有转子突起。

[0097] 图11的MEMS结构在Y方向上是反射对称的。定子和转子元件组优选地包括相同数目的突起对,使得这些组相对于MEMS结构的穿过转子的质心CM的Y取向的轴线对称地设置。

[0098] 图12更详细地示出了具有定子突起1的定子梁6和具有转子突起3的转子梁8。在该示例性实施方式中,转子突起3和定子突起1在Z方向(运动方向)上具有相互不同的高度,从而还能够检测转子移动的方向。在图12的实施方式中,在转子元件和定子元件对中之—中,转子突起3的Z方向高度大于定子突起1的Z方向高度。在该范围内,也可以应用定子突起1的Z方向高度大于转子突起3的Z方向高度的配置。

[0099] 图12还更详细地示出了图11所述的定子元件和转子元件的尺寸。在图12中,A2表示定子突起1和转子突起3的面对的端表面之间的距离,B2表示转子突起3的从转子梁8起的X方向长度,即转子突起3的末端到转子梁8的距离。C2表示转子突起1的Z方向高度,D2表示转子突起3与定子突起1之间的高度差,并且E2表示两个转子突起3之间的距离。

[0100] 要指出的是,图12不是按比例绘制的,仅示出其以说明距离A2、B2、C2、D2和E2的含义。

[0101] 距离B2有利地为距离A2的1至4倍,优选地2至3倍( $B2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至4,优选地2至3)。

[0102] 距离C2有利地为距离A2的1至3倍,优选地1.5至2.5倍( $B2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至3,优选地1.5至2.5)。

[0103] 距离D2有利地为距离A2的0.5至3.5倍,优选地1.5至2.5倍( $D2=Y \times A2$ ,其中 $Y=0.5$ 至3.5,优选地1.5至2.5)。

[0104] 距离E2有利地为距离A2的1至4倍,优选地2至3倍( $D2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至4,优选地2至3)。

[0105] 图13示出了具有用于谐振器应用的平面外运动的转子的示例性MEMS结构。该结构如上所述的那样提供增强调节,但是不能检测移动方向。图13的结构类似于图11的结构,并且因此如果不另外说明,附图标记涉及相似的实体。

[0106] 定子元件包括沿着Y方向锚定到定子锚定元件30的多个定子梁6和沿Y方向刚性地连接至放置在支承结构(未示出)上的转子框架15的多个转子梁8。因此,在图13中,只有一组定子梁和转子梁。每个定子梁6具有沿着每个定子梁6的Z方向尺寸的、在X方向上延伸的若干个定子突起1,以及每个转子梁8具有在Z方向尺寸上沿着每个转子梁8的、在X方向上延伸的若干个转子突起3。突起对的定子突起和转子突起在其他方面类似于图11中的定子突起和转子突起,但是在图13中,定子突起和转子突起在Z方向上具有相同的高度。

[0107] 转子梁和定子梁如在图11的MEMS结构中那样地交织。图13的电容式微机械传感器结构相对于Y方向的轴线具有反射对称性。

[0108] 图14示出了用于MEMS结构的另一示例性配置。在该实施方式中,转子梁8和定子梁6如图11所示的那样被布置成两组。其中一组中的定子梁6锚定到定子锚定元件30a,并且另一组中的定子梁6锚定到定子锚定元件30b。如在图13的MEMS结构中那样地,转子突起的Z方向高度尺寸等于定子突起的Z方向高度尺寸。

[0109] 图15通过类似结构中的定子元件和转子元件的局部详细横截面图示出了图14中

所示的配置,其仅具有不同数目的定子梁和转子梁。图15的横截面是沿图14的平面V截取的。如图所示,定子梁6包括定子突起1,并且转子梁8包括转子突起3。可以看出,转子突起3和定子突起1在Z方向(第一方向,转子的运动方向)上具有相同的高度。

[0110] 图15还示出了适用于图13至图14的MEMS结构的、沿着定子梁和转子梁的Z方向尺寸的转子突起和定子突起的尺寸。类似于图13至图14,附图标记3表示转子突起,并且附图标记1表示定子突起。A2表示定子突起1与转子突起3的面对的端表面之间的距离,B2表示转子突起3从转子梁8起的X方向长度,即转子突起3的末端到转子梁8的距离。C2表示转子突起3的Z方向高度并且也表示定子突起1的Z方向高度,并且E2表示两个转子突起3之间的距离并且也表示两个定子突起1之间的距离。要指出的是,图15不是按比例绘制的,仅示出其以说明距离A2、B2、C2和E2的含义。

[0111] 距离B2有利地为距离A2的1至4倍,优选地2至3倍( $B2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至4,优选地2至3)。

[0112] 距离C2有利地为距离A2的1至3倍,优选地1.5至2.5倍( $B2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至3,优选地1.5至2.5)。

[0113] 距离D2有利地为距离A2的0.5至3.5倍,优选地1.5至2.5倍( $D2=Y \times A2$ ,其中 $Y=0.5$ 至3.5,优选地1.5至2.5)。

[0114] 距离E2有利地为距离A2的1至4倍,优选地2至3倍( $D2=Y \times A2$ ,其中 $Y=1$ 至4,优选地2至3)。

[0115] 图16示出了用于平面内配置的另一实施方式,即具有平面内运动的转子的MEMS结构。该实施方式使得能够使用差分检测,并且还能够检测移动方向。因此,所描述的MEMS结构也特别适用于加速度计使用。

[0116] 在图16的MEMS结构中,存在四个定子锚定元件30a至30d,一个或更多个(示出一个)定子支承梁5a、5b、5c或5d耦接至定子锚定元件。在图16的配置中,转子梁8f交织在定子梁6f与6g之间。定子梁6f的定子元件包括从定子梁6f沿正Y方向朝向转子梁8f延伸的多个定子突起1f。定子梁6g的定子元件包括从定子梁6g沿负Y方向朝向转子梁8f延伸的多个定子突起1g。转子梁8f的转子元件包括沿着负Y方向朝向定子梁6f延伸的多个转子突起3f以及沿正Y方向朝向定子梁6g延伸的多个转子突起3g。定子突起1f和转子突起3f形成突起对,其中该突起对的定子突起1f的侧表面和转子突起3f的侧表面沿着Y方向上的直线81延伸。定子突起1g和转子突起3g形成另一突起对,其中该突起对的定子突起1g的侧表面和转子突起3g的侧表面沿着Y方向上的直线80延伸。

[0117] 由于明确对准,转子在正X方向的移动引起交叠改变,因而由通过定子支承梁5b支承的定子元件的突起和通过转子支承梁7a支承的转子元件的突起形成的电容器之间的电容改变。另一方面,转子在负X方向上的移动引起交叠改变,因此由通过定子支承梁5a支承的定子元件的突起和通过转子支承梁7a支承的转子元件的突起形成的电容器之间的电容改变。

[0118] 我们将由转子支承梁7a支承的转子元件的突起和由定子支承梁5a支承的定子元件的突起之间形成的电容器的贡献表示为S1,并且将由转子支承梁7a支承的转子元件的突起与由定子支承梁5b支承的定子元件的突起之间形成的电容器的贡献表示为S2。相应地,我们将由转子支承梁7b支承的转子元件的突起与由定子支承梁5c支承的定子元件的突起

之间形成的电容器的电容表示为S3,并且将由转子支承梁7b支承的转子元件的突起与由定子支承梁5d支承的定子元件的突起之间形成的电容器的贡献表示为S4。然后差分输出信号S可以被导出为

$$[0119] \quad S = (S2+S3) - (S1+S4)$$

[0120] 图17示出了用于谐振器应用的相应配置。MEMS结构与MEMS结构非常相似,但是定子突起的X方向长度现在可以等于转子突起的X方向长度。

[0121] 附图中所描述的实施方式仅是实现本发明构思的结构示例。本领域技术人员可以根据权利要求书中呈现的发明特征进行适当的修改。

[0122] 在上述实施方式中,可以应用以下方面:

[0123] -弹簧结构可以包括扭转弹簧、曲折弹簧(meandering spring)、S形弹簧、U形弹簧和折叠弹簧中的至少一个。

[0124] -转子突起可以被设定尺寸并布置成沿着转子梁均匀分布,并且定子突起可以被设定尺寸并布置成沿着定子梁均匀分布。

[0125] -转子元件的转子突起可以具有相互均匀的设计和/或定子元件的定子突起可以具有相互均匀的设计。

[0126] MEMS装置可以包括转子在平行于支承结构的平面的方向上运动的平面内运动的配置和转子在垂直于支承结构的平面的方向上运动的平面外运动的配置或两者。

[0127] 在运动方向是X方向的直角平面内配置中:

[0128] -第一方向可以是X方向,

[0129] -第二方向可以是Y方向,

[0130] -突起的端表面可以在XZ平面中,

[0131] -突起的侧表面可以在YZ平面中,

[0132] -定子侧边缘和转子侧边缘可以在Z方向上。

[0133] 在运动方向为Z方向的直角平面外配置中:

[0134] -第一方向可以是Z方向,

[0135] -第二方向可以是X方向,

[0136] -突起的端表面可以在YZ平面中,

[0137] -突起的侧表面可以在XZ平面中,

[0138] -定子侧边缘和转子侧边缘可以在Y方向上。

[0139] 术语X方向、Y方向和Z方向在本文中用于根据正交坐标系中的三维笛卡尔坐标(x, y, z)的原理说明突起的不同部分在三个维度中的定向。其坐标表面是彼此以直角相交、即垂直的平面。

[0140] 与常规梳状结构的不同之处在于电容器板不交织。相反,电容器板被布置成使得其电容关于转子的移动的二阶导数被最小化。这种结构可以与传统的调节结构组合。因此,由于所提出的电容器可以用于向上调节谐振频率,所以可以使用例如(一个或更多个)传统的平行板盖晶片电极来向下调节谐振频率。

[0141] MEMS装置可以包括平面内运动的配置、平面外运动的配置或两种配置。

[0142] 跨相对的突起组施加的电压在相对的突起之间的间隙中产生静电力场。在交变电压(AC电压)的情况下,该现象可以用于驱动谐振结构。同一结构可以用于通过引起跨构成

导体板的突起的静电压 (DC电压) 来调节谐振频率。

[0143] 所提出的用于调节、设置、定义、修整和/或选择微机电 (MEMS) 谐振器的输出频率的技术克服了常规技术的缺点,并且使谐振频率朝向更高频率移动。在测量、分析计算和仿真中,当在电极的交叠的端表面之间使用2.5V电压时,所提出的配置使Z轴元件的谐振频率增加了3%,并且当使用10V电压时,所提出的配置使Z轴元件的谐振频率增加了12%。谐振频率增加12%意味着元件满量程和测量范围增加25%。

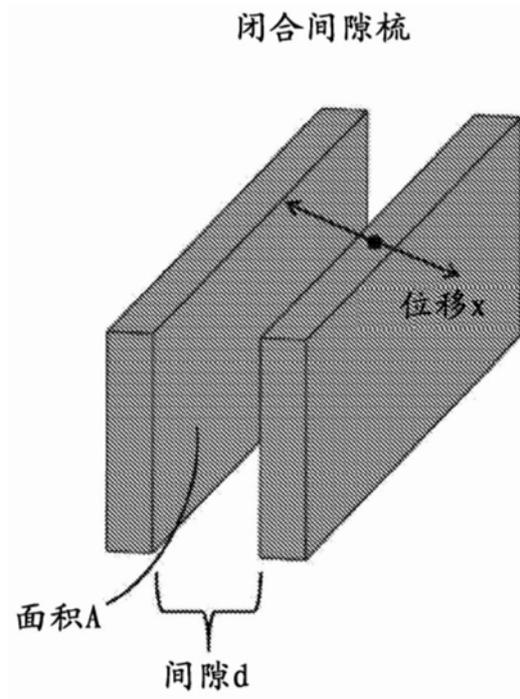


图1A

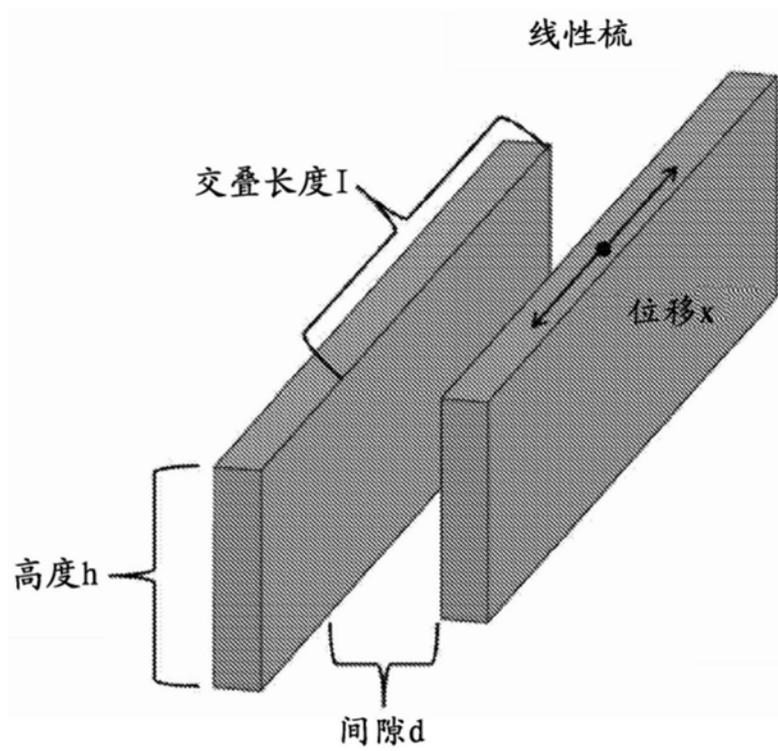


图1B

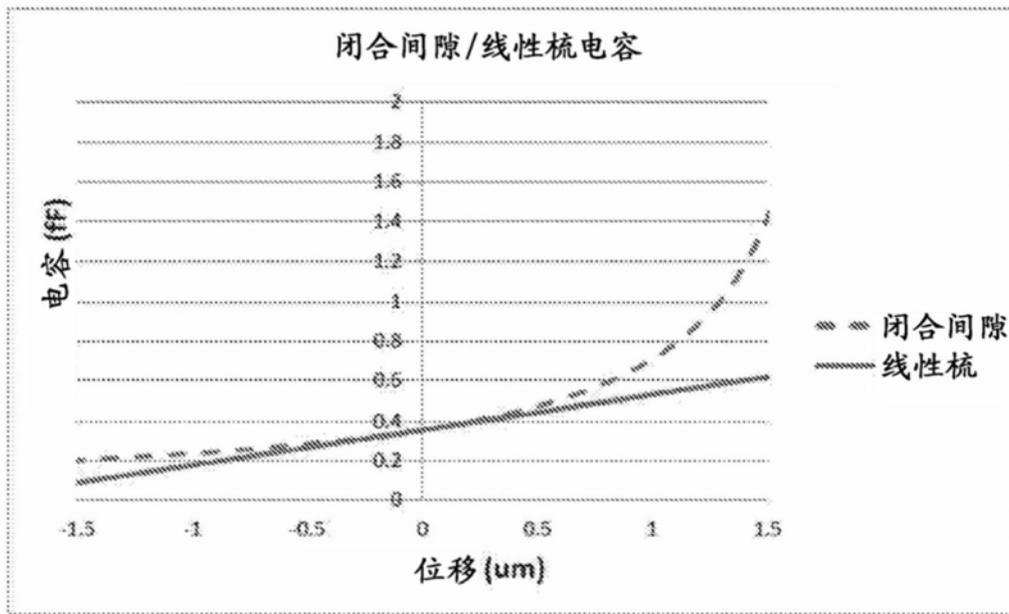


图2

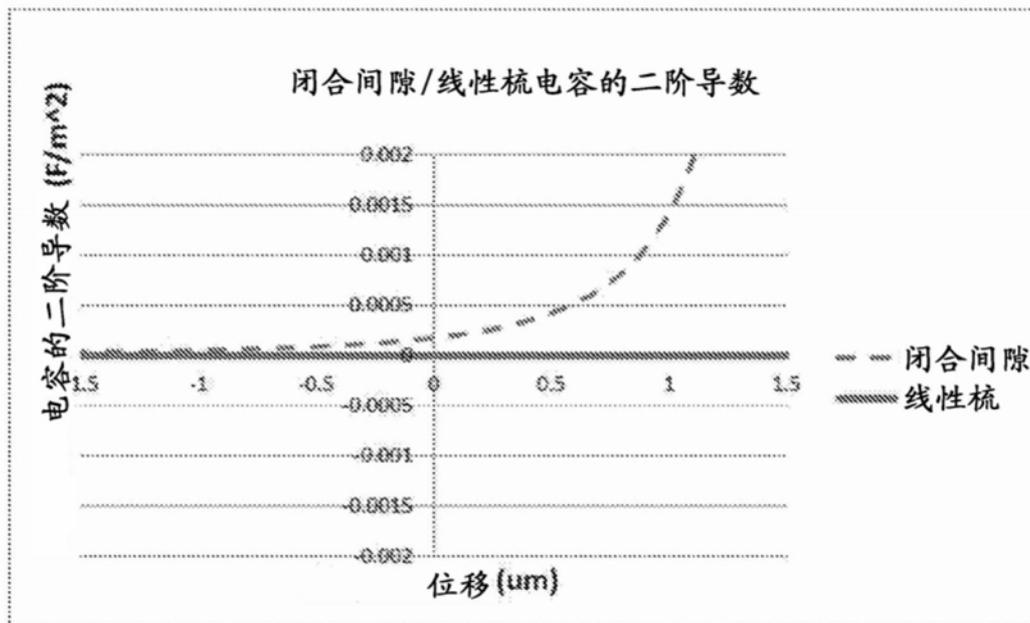


图3

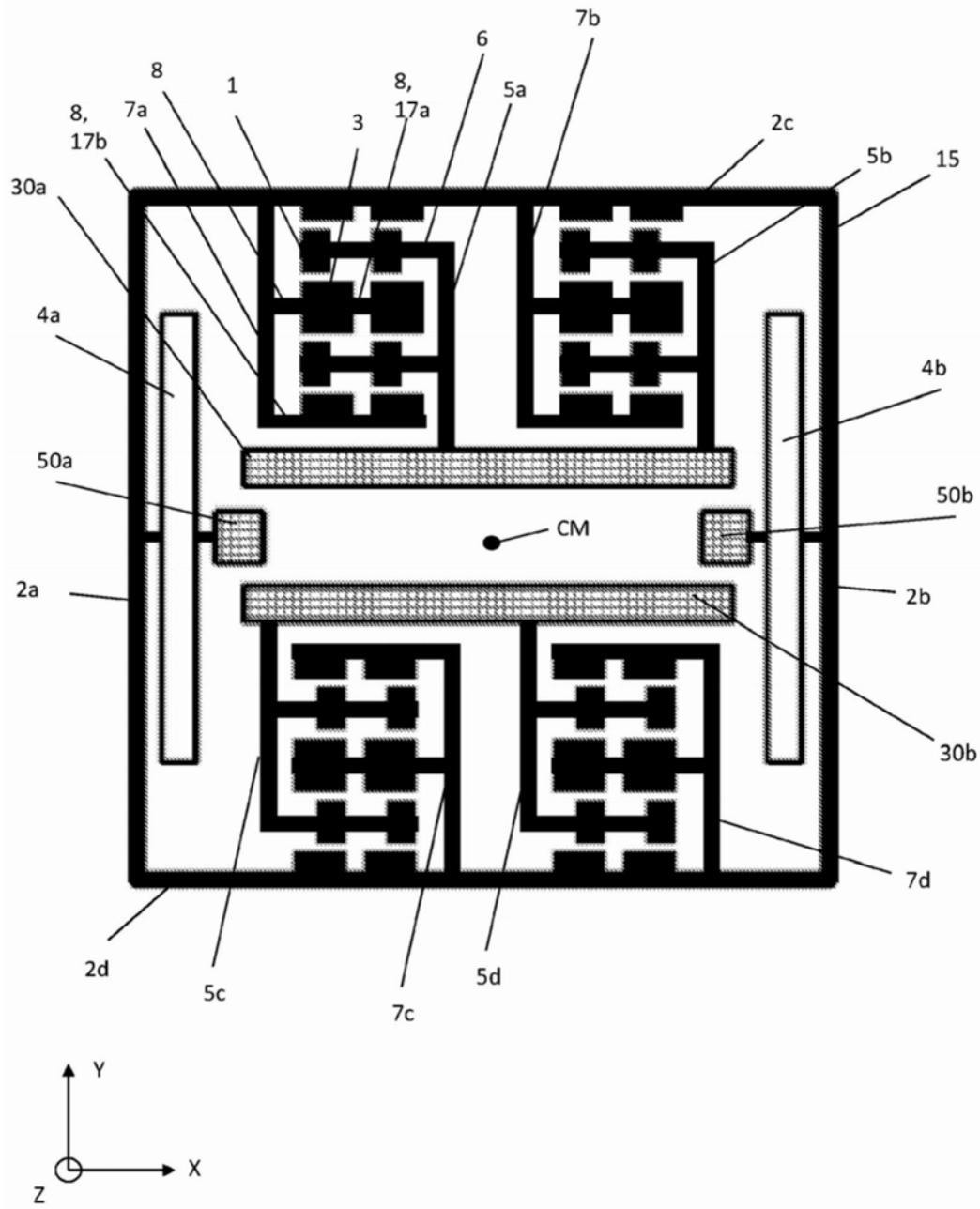


图4

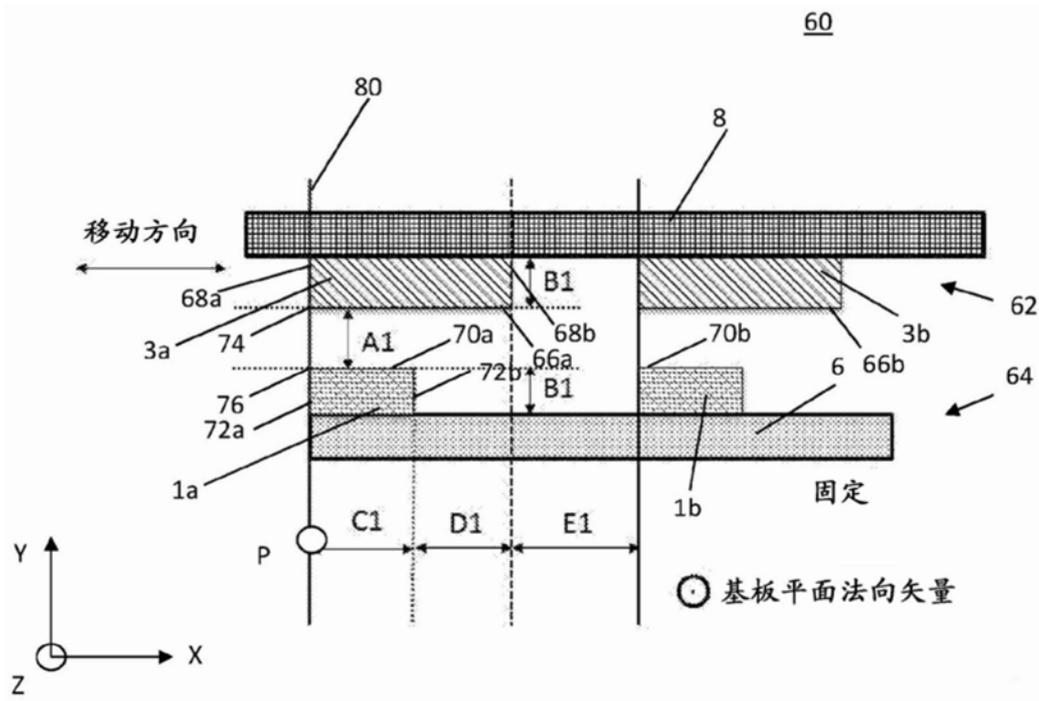


图5

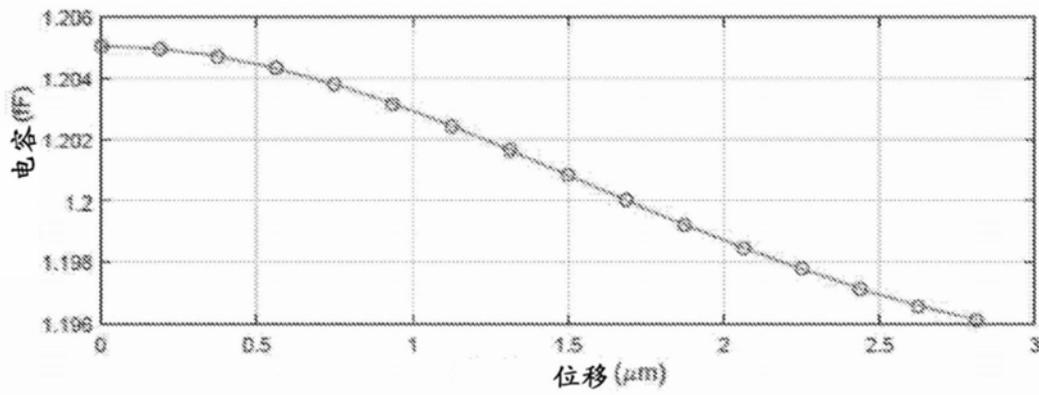


图6A

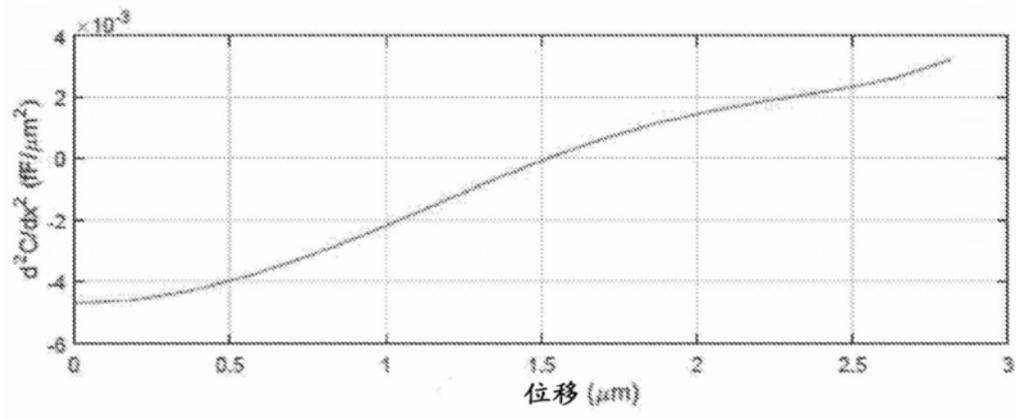


图6B

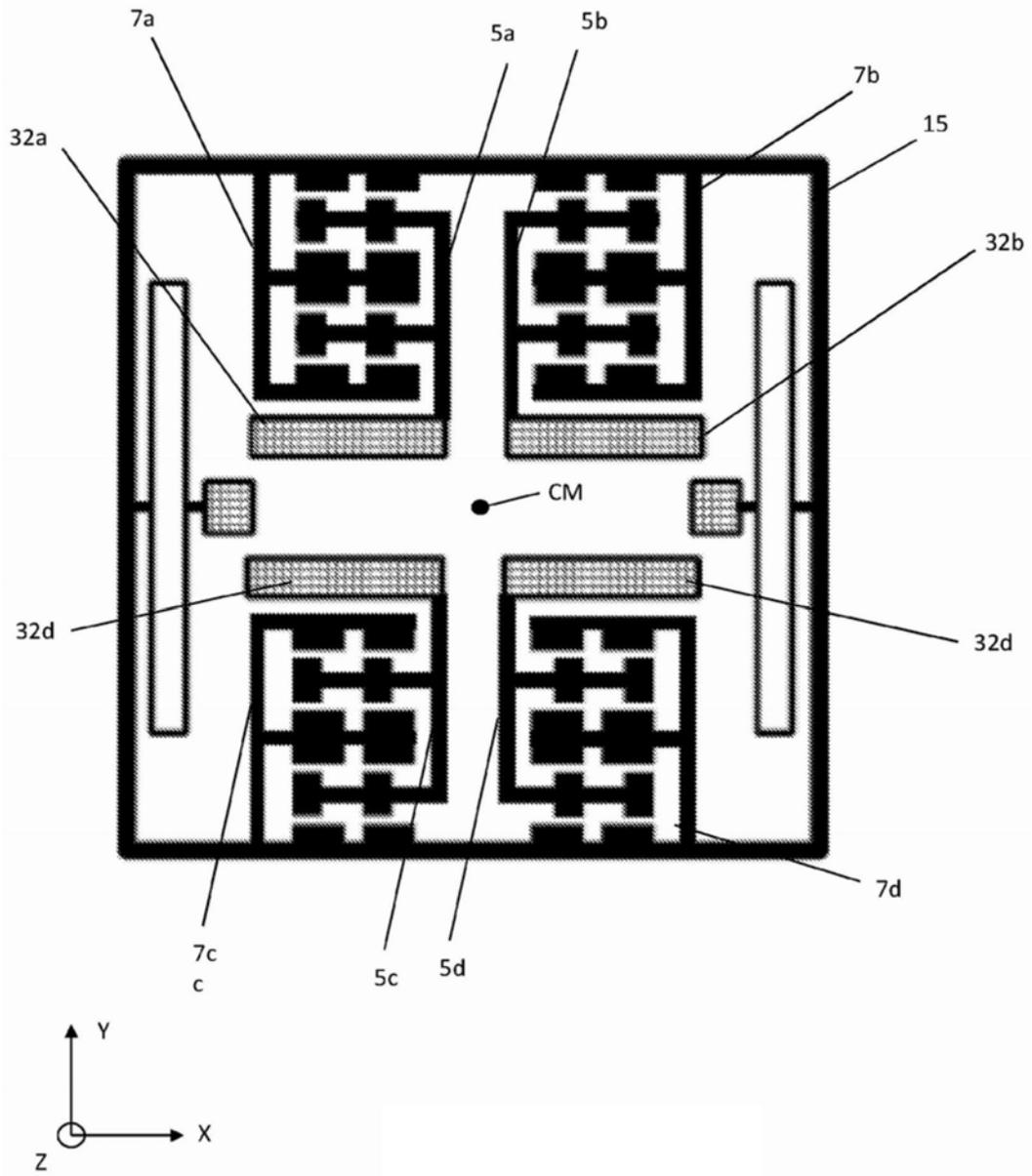


图7

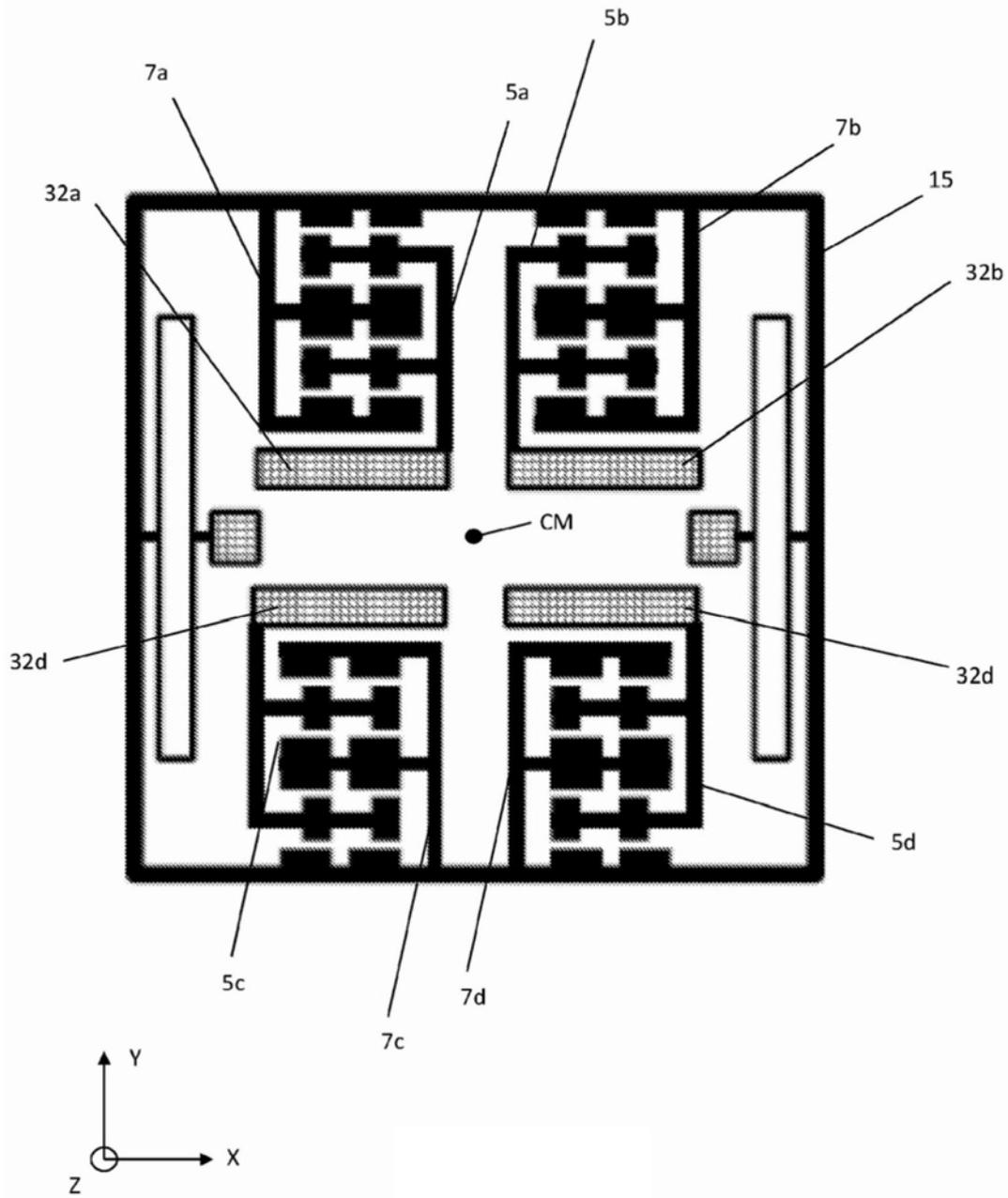


图8

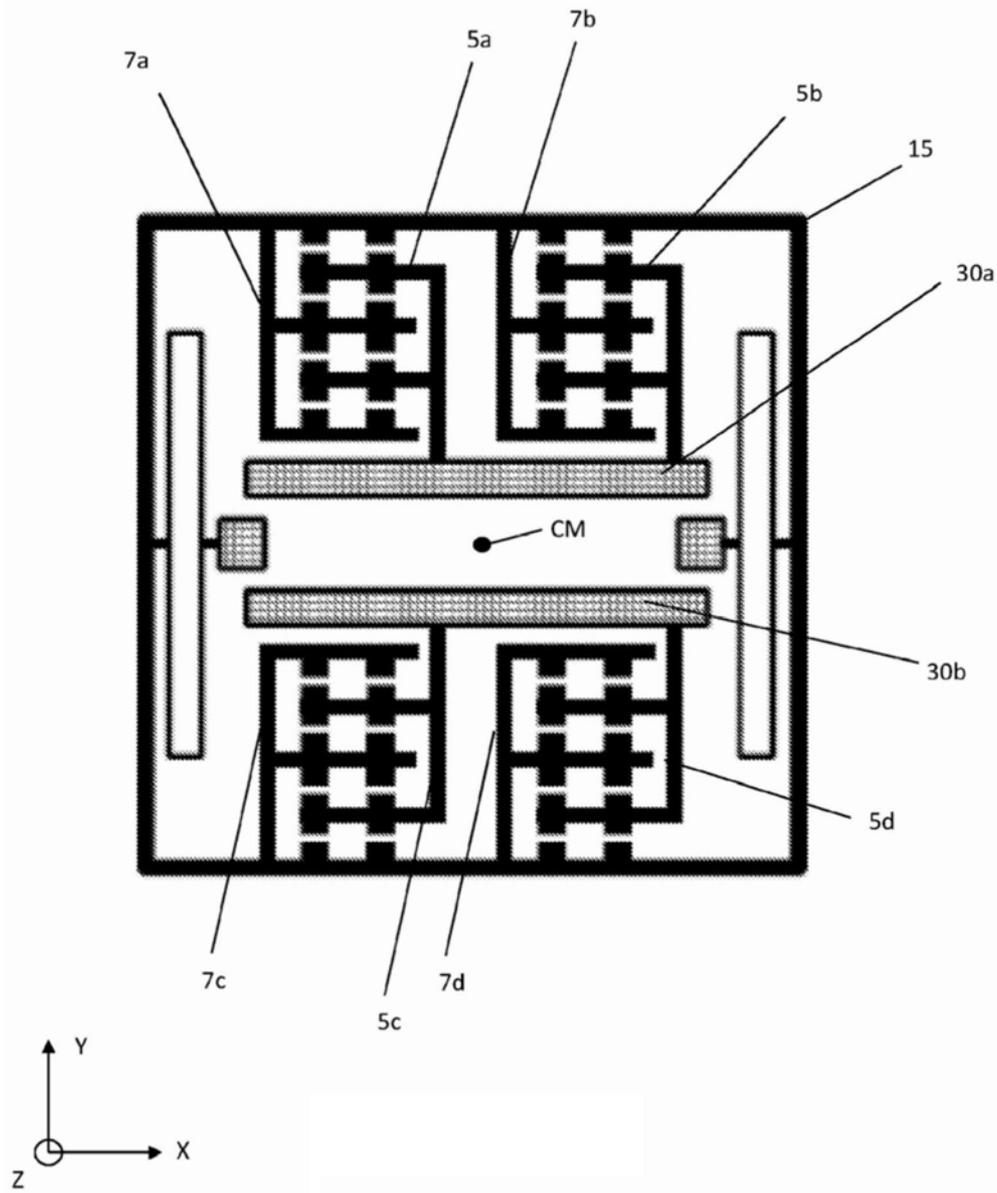


图9

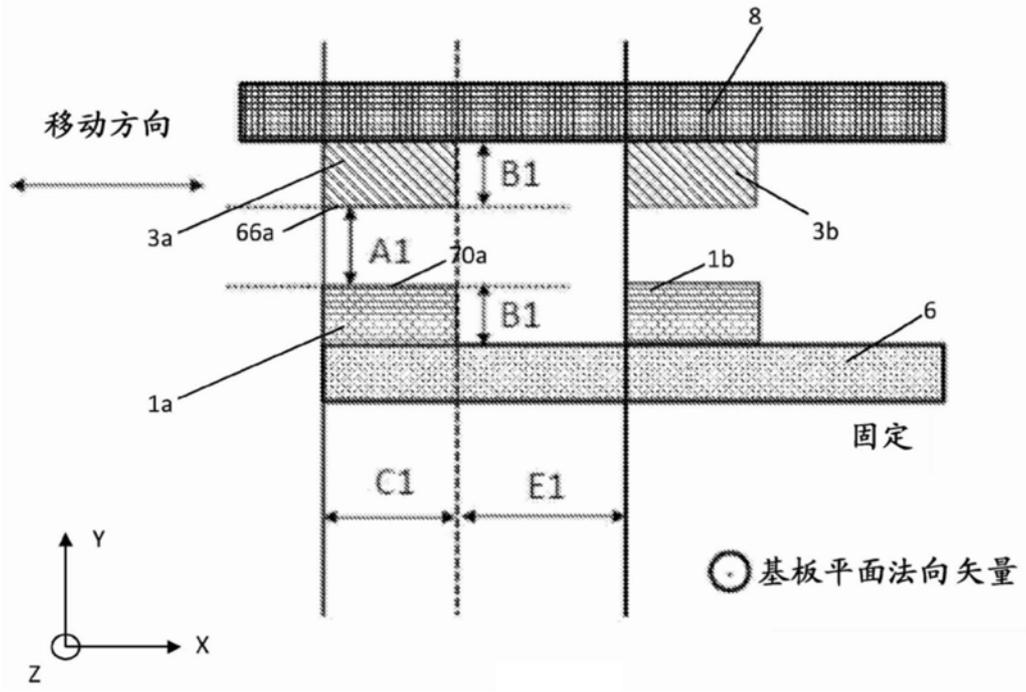


图10

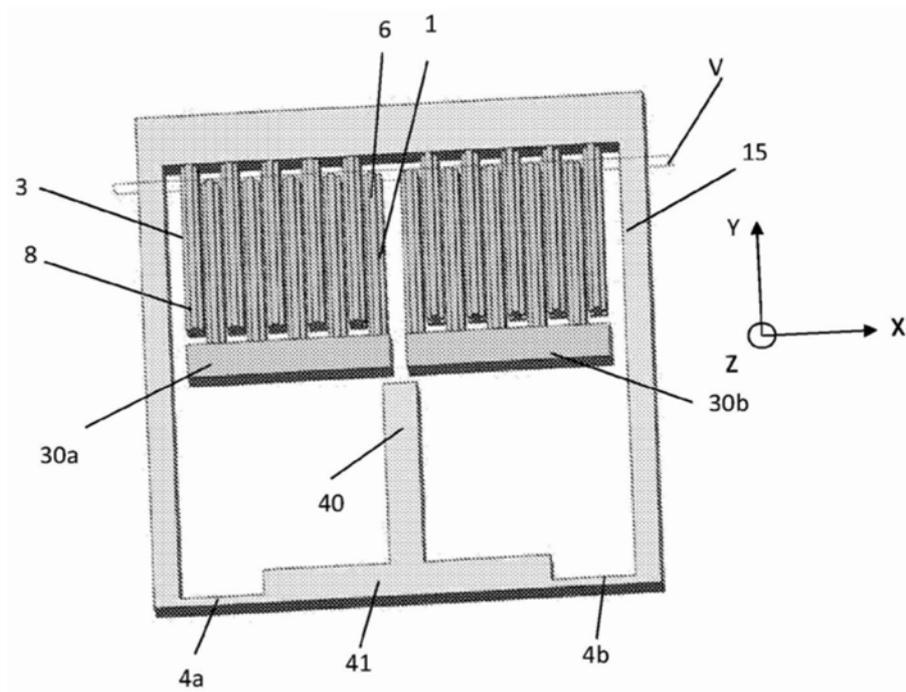


图11

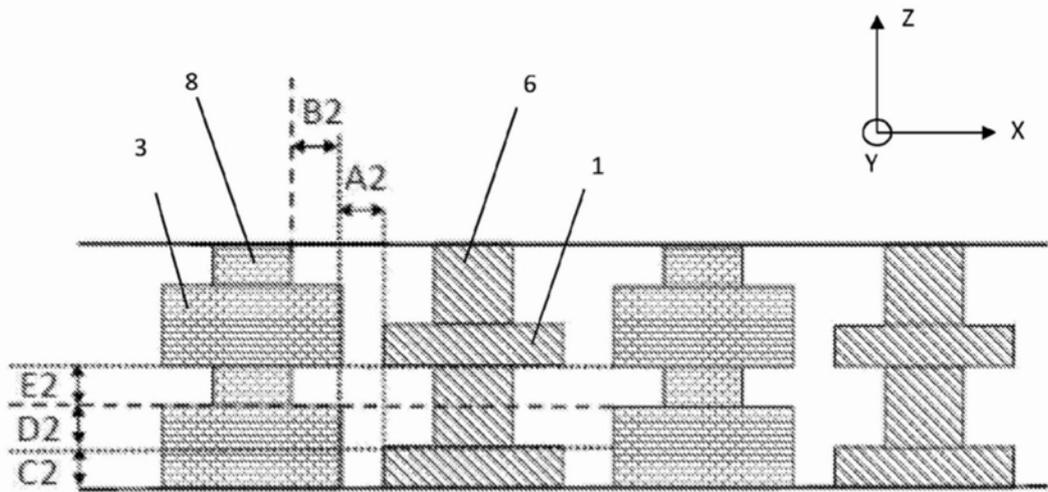


图12

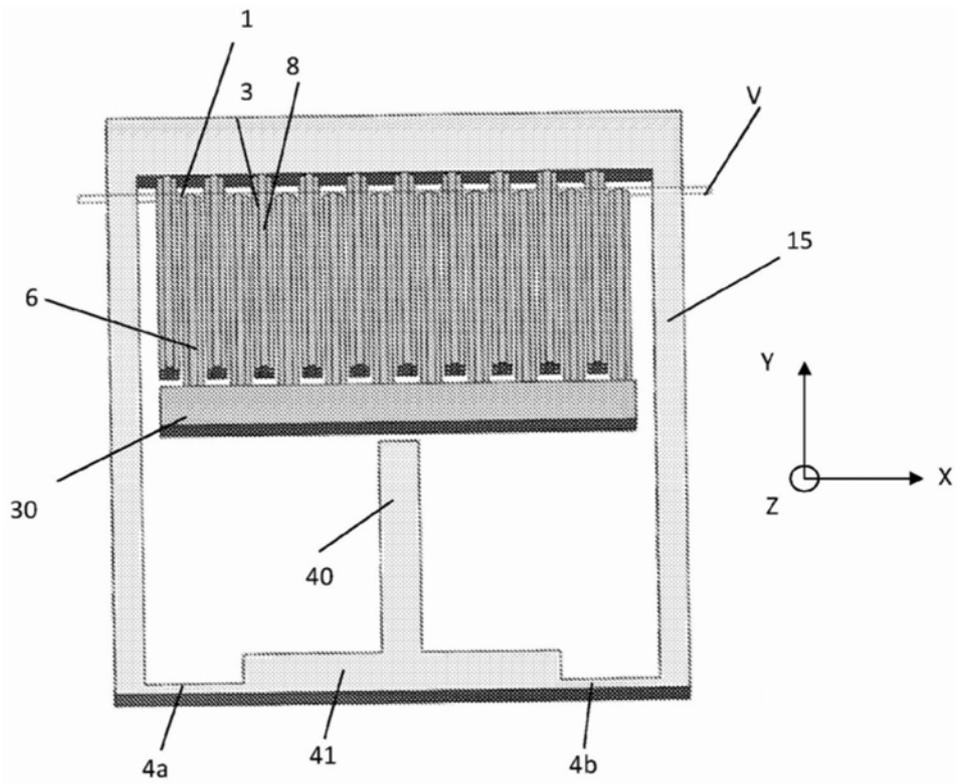


图13

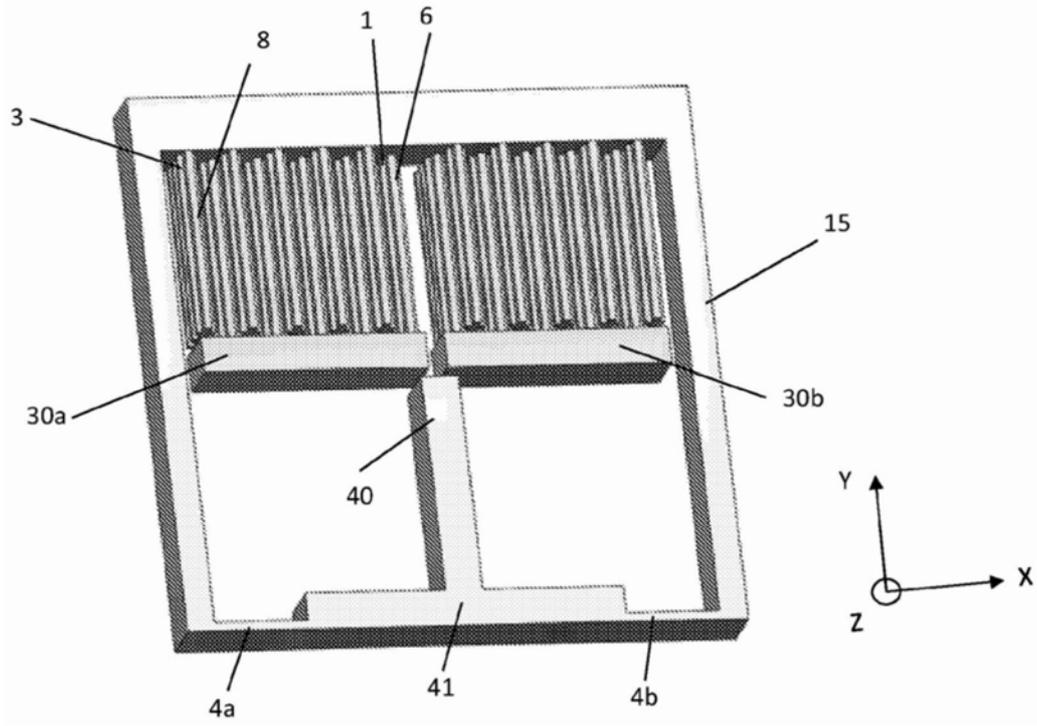


图14

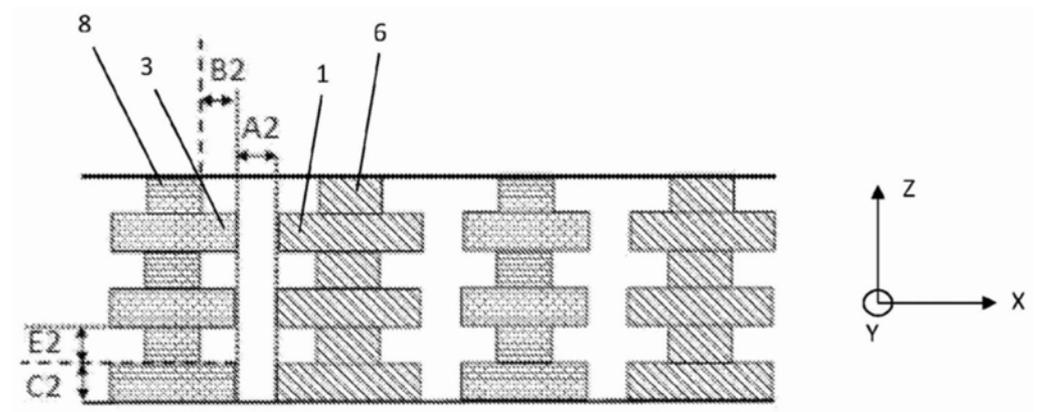


图15

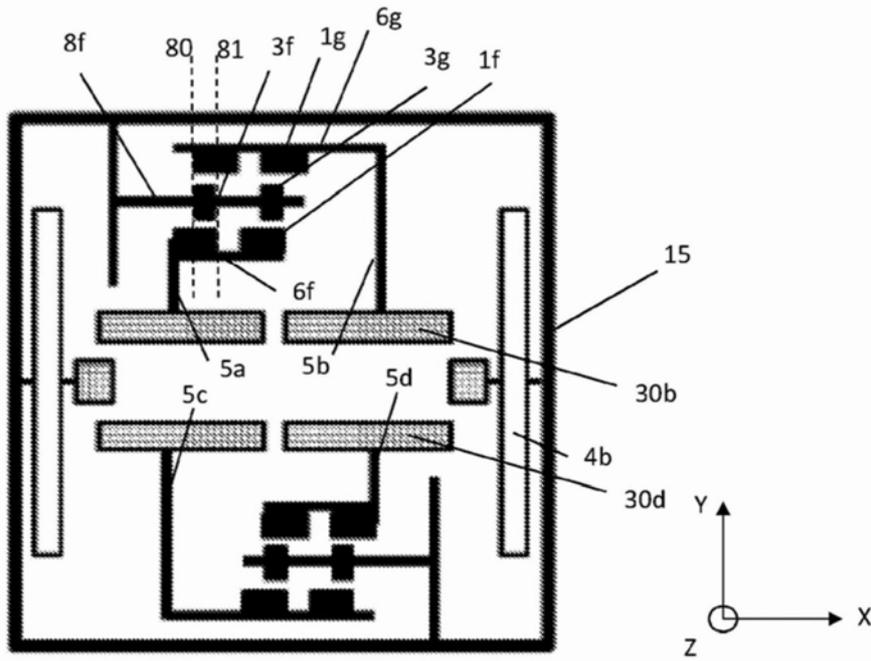


图16

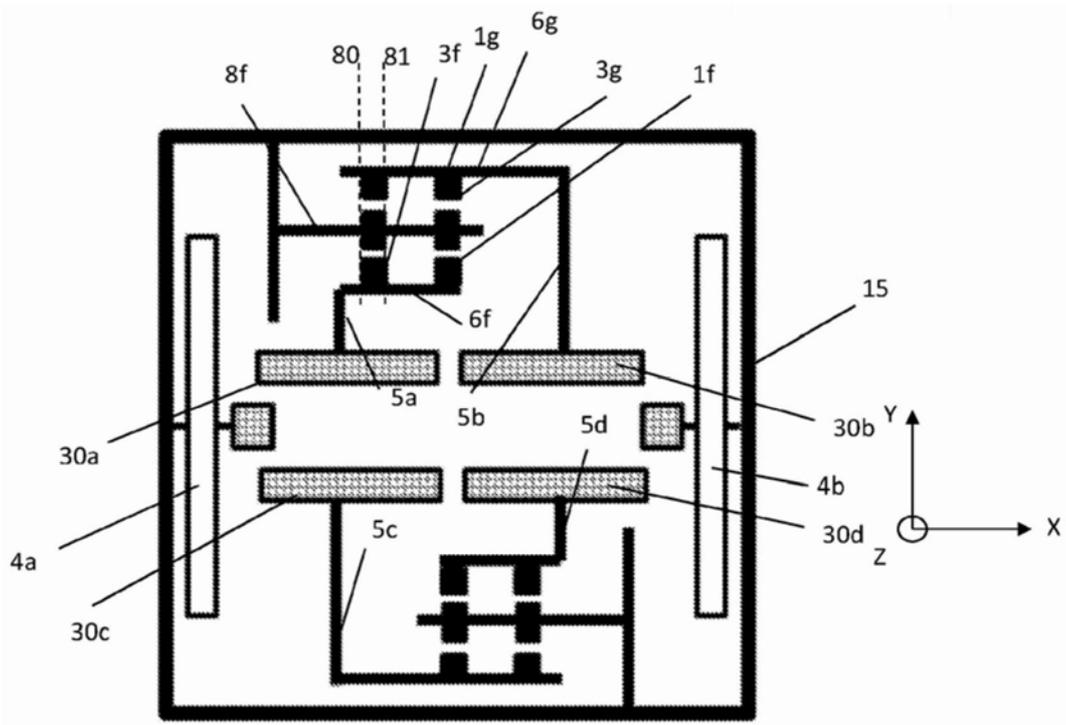


图17