



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113091721 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 18

(21) 申请号 202110296220.3

审查员 刘洋

(22) 申请日 2021.03.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113091721 A

(43) 申请公布日 2021.07.09

(73) 专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72) 发明人 吴国强 吴忠焯 杨尚书

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

专利代理师 肖明洲

(51) Int. Cl.

G01C 19/5621 (2012.01)

G01C 19/5628 (2012.01)

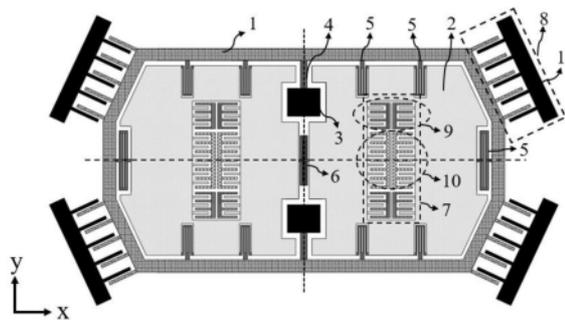
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

MEMS陀螺仪及其制备封装方法

(57) 摘要

本发明公开了一种MEMS陀螺仪及其制备封装方法。MEMS陀螺仪为音叉式陀螺结构,包含外框、质量块、锚点、驱动单元、检测单元、一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁。其驱动模式为两个质量块相对于外框面内反向振荡运动,感应模式为整体结构面内扭摆运动。通过位于外框四角的感应电极差分方式输出检测到的科氏力信号。MEMS陀螺仪驱动质量块实现了全耦合,同时具有较少的锚点结构,可有效抑制由加工误差和封装应力所引起误差,从而提高MEMS陀螺仪的精度和性能。本发明的制备封装方法,利用圆片级真空键合的方法实现了对器件的真空封装,降低了器件设计、制备以及电学布线的难度,方法简单且高效。



1. 一种MEMS陀螺仪,其特征在于:包含检测外框、两个质量块、两个固定锚点、两个驱动单元、四个检测单元、若干一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁;其中:

所述陀螺仪的平面结构沿X、Y方向中轴线中心轴对称;除检测单元外,其余结构均位于检测外框内部;

所述检测外框与两个固定锚点通过一级弹性连接梁连接,所述固定锚点位于Y方向中心轴线上;

所述两个质量块位于X方向中心轴线上,两个质量块之间通过耦合弹性连接梁连接,每个质量块外侧与检测外框之间通过二级弹性连接梁连接;

所述两个驱动单元位于质量块中心或边缘,四个检测单元位于检测外框外侧四角位置;

所述两个质量块、二级弹性连接梁、耦合弹性连接梁和驱动单元组成一个驱动谐振器;所述驱动谐振器的工作模式为两个质量块相对于检测外框面内沿X方向反向振荡运动;

所述检测外框、两个质量块、四个检测单元、若干一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁结构组成一个科里奥利谐振器;所述科里奥利谐振器的工作模式为谐振器整体结构面内扭摆运动。

2. 根据权利要求1所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:所述驱动单元包括驱动电极和功能电极;所述功能电极是驱动检测电极、频率调谐电极和正交补偿电极中一种或多种组合;所述检测单元包括感应电极和频率调谐电极中的一种或多种组合。

3. 根据权利要求2所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:所述电极包括可动电极板和固定电极板;所述可动电极板和固定电极板均为梳齿状;所述驱动电极和驱动检测电极为等间距梳齿状电极,所述感应电极、频率调谐电极和正交补偿电极均为变间距梳齿状电极。

4. 根据权利要求3所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:所述感应电极设有四个,四个感应电极分别位于检测外框四角上且通过采用差分的形式进行电学信号输出:由于所述MEMS陀螺仪的对称性,位于检测外框其中一条对角线上的两个感应电极采用同相输出,位于检测外框另一条对角线上的两个感应电极反相输出,即可实现差分输出。

5. 根据权利要求1-4中任一所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:所述检测外框为多边形;所述质量块为多边形。

6. 根据权利要求5所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:当检测外框为长方形时,检测单元中感应电极和频率调谐电极的梳齿状电极板与检测外框之间的角度在45至90度之间;当检测外框为八边形时,检测单元中感应电极和频率调谐电极的梳齿状电极板与检测外框垂直。

7. 根据权利要求1-4、6中任一所述的MEMS陀螺仪,其特征在于:所述一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁为U形梁、折叠梁或蟹脚梁中的任一种或多种组合。

8. 一种制备封装如权利要求7所述MEMS陀螺仪的方法,其特征在于:采用圆片级真空封装的方法,所述陀螺仪是自下而上由衬底硅片、器件硅片和盖板硅片三层硅片键合组成,所述器件硅片用于制作MEMS陀螺仪器件结构,所述盖板硅片用于实现真空封装;包括以下步骤:

(1) 采用深反应离子刻蚀的方法在衬底硅片正面刻蚀出带有支撑柱的凹腔结构;并采用热氧化或化学气相沉积的方法在衬底硅片正面和背面沉积一层氧化物;

- (2) 采用圆片级真空键合技术将器件硅片与衬底硅正面对准直接键合；
- (3) 在器件硅片上进行图案化光刻和刻蚀，刻蚀出陀螺仪的结构；
- (4) 在盖板硅片正面刻蚀出凹腔结构，通过热氧化或气相沉积的方法在正面和背面沉积一层氧化硅；将盖板硅片正面与器件硅片进行圆片级对准直接键合；
- (5) 在盖板硅片背面刻蚀出电极引出通孔，采用湿法腐蚀或深反应离子刻蚀技术在盖板硅片背面刻蚀出电极引出通孔，并在整个背面沉积一层氧化硅层；最后刻蚀掉电极引出通孔处的氧化硅；
- (6) 在盖板硅片背面沉积一层金属层，并将金属层进行图案化光刻和刻蚀，完成电学布线，并制作金属焊盘；制作完成MEMS陀螺仪器件结构的同时，实现了对器件的圆片级真空封装。

MEMS陀螺仪及其制备封装方法

技术领域

[0001] 本发明涉及MEMS陀螺仪传感器设计和加工领域,尤其涉及一种MEMS陀螺仪及其制备封装方法。

背景技术

[0002] 陀螺仪是测量物体转动角度或角位移的传感装置,用于实现运动载体姿态和轨迹的测量和控制,是惯性系统的基础核心器件。相对于传统的机械和光学陀螺仪,微机电(Micro-electro-mechanical System, MEMS)陀螺仪具有成本低、体积小、功耗低、可与电路集成等优点,广泛应用于消费电子、医疗电子、汽车电子、航空航天和军事等领域。MEMS陀螺仪中商业化应用较广的是音叉式陀螺仪,其原理是科里奥利效应,在平台转动时,悬浮可动微结构会受到科氏力作用,通过测量科氏力信号进而可探测出平台的转动角速度或者转动角度。

[0003] 与目前高性能陀螺仪如光学陀螺仪和激光环形陀螺仪相比, MEMS音叉式陀螺仪的精度和稳定性相对较差。一方面,目前光刻和微加工工艺的公差能力还不够,加工缺陷和加工误差会改变MEMS陀螺仪的几何形状,并使得陀螺仪谐振频率发生改变。加工缺陷和误差会导致不同模态之间的机械干扰和正交耦合误差,从而影响读出信号,此误差信号往往比科里奥利运动输出信号大,严重影响了MEMS陀螺仪的精度和稳定性。另一方面, MEMS陀螺仪具有精密可动结构,对于封装应力十分敏感。封装应力主要是由不同层之间材料热膨胀系数(Coefficient of Thermal Expansion, CTE)失配所产生的界面残余应力。封装应力一般通过陀螺仪的固定锚点结构传递至可动器件结构,应力会引起陀螺仪结构几何形变和等效刚度变化,进而改变器件的谐振频率和品质因数,从而造成传感器的输出信号如刻度因子和零偏等的漂移。

[0004] 目前商用MEMS音叉陀螺仪结构一般采用对称结构,其一般由两个或两个以上质量块与支撑梁结构组成,每个质量块与支撑梁结构单独构成子陀螺仪,不同子陀螺仪为反相工作模式,最后通过差分的形式输出信号。目前商用陀螺仪存在以下缺点:一、子陀螺仪之间一般采用弹簧梁结构连接实现耦合,此方式为弱耦合结构。当存在加工缺陷和误差时,子陀螺仪之间的谐振频率不能实现完美匹配,不同子陀螺仪对于外界输入角速度信号响应存在差异,从而产生读出信号误差。二、目前商用陀螺仪结构锚点数量一般大于四个,较多的锚点结构使得陀螺仪器件易受到封装应力的影响,从而导致MEMS陀螺仪性能的下降。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提出了一种MEMS陀螺仪结构及其制备方法。该陀螺仪采用中心对称的音叉式结构,该结构质量块之间采用外框和耦合连接梁实现了全耦合,同时具有较少的固定锚点,可有效抑制由加工误差和封装应力所引起误差,从而提高MEMS陀螺仪的精度和性能。

[0006] 为实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0007] 第一方面,本发明提出了一种MEMS陀螺仪结构,其特征在于:包含检测外框、两个质量块、两个固定锚点、两个驱动单元、四个检测单元、若干一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁;其中:

[0008] 所述陀螺仪的平面结构沿X、Y方向中轴线中心轴对称;除检测单元外,其余结构均位于检测外框内部;所述检测外框与两个固定锚点通过一级弹性连接梁连接,所述固定锚点位于Y方向中心轴线上;所述两个质量块位于X方向中心轴线上,两个质量块之间通过耦合弹性连接梁连接,每个质量块外侧与检测外框之间通过二级弹性连接梁连接;所述两个驱动单元位于质量块中心或边缘,四个检测单元位于检测外框外侧四角位置。

[0009] 上述两个质量块、二级弹性连接梁、耦合弹性连接梁和驱动单元组成一个驱动谐振器。当在左右两对驱动电极两端施加反相驱动电压时,驱动谐振器的工作模式为两个质量块相对于检测外框面内沿X方向反向振荡运动。图2为驱动谐振器工作模态简图,其中电极框与弹性连接梁略去。驱动谐振器中两个质量块之间通过检测外框结构和耦合弹性连接梁进行耦合。

[0010] 上述检测外框、两个质量块、四个检测单元、一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁结构组成一个科里奥利谐振器。当驱动谐振器处于工作模式时,在面外Z轴施加角速度,此时左右质量块分别受到沿Y方向的科氏力作用,此时科里奥利谐振器工作模式为谐振器结构整体面内扭摆运动。图3为科里奥利谐振器工作模态简图,其中电极框和弹性连接梁略去。

[0011] 作为优选方案,所述驱动单元包括驱动电极和功能电极;所述功能电极是驱动检测电极、频率调谐电极和正交补偿电极中一种或多种组合;所述检测单元包括感应电极和频率调谐电极中的一种或多种组合。

[0012] 进一步地,所述驱动单元与检测单元中的电极包括可动电极板和固定电极板;所述可动电极板和固定电极板均为梳齿状;所述驱动电极和驱动检测电极为等间距梳齿状电极,所述感应电极、频率调谐电极和正交补偿电极均为变间距梳齿状电极。

[0013] 更进一步地,所述感应电极设有四个,四个感应电极分别位于检测外框四角上且通过采用差分的形式进行电学信号输出:由于所述MEMS陀螺仪的对称性,位于检测外框其中一条对角线上的两个感应电极采用同相输出,位于检测外框另一条对角线上的两个感应电极反相输出,即可实现差分输出。

[0014] 更进一步地,所述检测外框为多边形;所述质量块为多边形。优选地,当检测外框为长方形时,检测单元中的可动电极板与检测外框之间的角度在45至90度之间;当检测外框为八边形时,检测单元中的可动电极板与检测外框垂直。

[0015] 更进一步地,所述一级弹性连接梁、二级弹性连接梁和耦合弹性连接梁为U形梁、折叠梁或蟹脚梁中的任一种或多种组合。

[0016] 第二方面,本发明提出了一种MEMS陀螺仪制备以及圆片级真空封装的方法,其特征在于:陀螺仪是自下而上由衬底硅片、器件硅片和盖板硅片三层硅片键合组成,器件硅片用于制作MEMS陀螺仪器件结构,盖板硅片用于实现真空封装。该方法工艺步骤至少包括:

[0017] (1) 采用深反应离子刻蚀的方法在衬底硅片正面刻蚀出带有支撑柱的凹腔结构。并采用热氧化或是化学气相沉积的方法在衬底硅片正面和背面沉积一层氧化物。

[0018] (2) 采用圆片级真空键合技术将器件硅片与衬底硅正面对准直接键合。

[0019] (3) 在器件硅片上进行图案化光刻和刻蚀,刻蚀出陀螺仪的结构。

[0020] (4) 在盖板硅片正面刻蚀出凹腔结构,通过热氧化或是气相沉积的方法在正面和背面沉积一层氧化硅。将盖板硅片正面与器件硅片进行圆片级对准直接键合。

[0021] (5) 在盖板硅片背面刻蚀出电极引出通孔,采用湿法腐蚀或深反应离子刻蚀技术在盖板硅片背面刻蚀出电极引出通孔,并在整个背面沉积一层氧化硅层。最后刻蚀掉电极引出通孔处的氧化硅。

[0022] (6) 在盖板硅片背面沉积一层金属层,并将金属层进行图案化光刻和刻蚀,完成电学布线,并制作金属焊盘。制作完成MEMS陀螺仪器件结构的同时,实现了对器件的圆片级真空封装。

[0023] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0024] 1、本发明提出的MEMS陀螺仪结构采用完全对称的双质量块音叉式解耦结构,在两个质量块之间通过检测外框和耦合弹性梁结构连接耦合,实现了两个质量块之间的全耦合。驱动谐振器在工作模式下两个质量块能最大限度实现匹配,能有效降低由于加工误差所引起质量块工作模态的偏移,有效地提升了MEMS陀螺仪的精度和工作稳定性。

[0025] 2、本发明提出的MEMS陀螺仪结构具有较少的固定锚点数量,能有效抑制由于不同层CTE差异所引起封装应力对于陀螺仪器件性能的影响。

[0026] 3、本发明提出的MEMS陀螺仪结构检测模式为科里利奥谐振器面内扭摆模态。与传统MEMS音叉式陀螺仪水平或垂直检测模式相比,该陀螺仪器件的灵敏度更高。同时,所提出的陀螺仪结构具有完全独立且对称分布的感应电极,可以实现差分检测,使得陀螺仪输出信号增强并减小误差。

[0027] 4、本发明提出的MEMS陀螺仪结构驱动单元和检测单元区域可灵活分配电极,包括驱动检测电极、频率调谐电极和正交补偿电极,用于后续闭环电路控制实现相应功能。通过闭环电路控制,能有效减少由于加工公差和材料缺陷引起的频率漂移和正交耦合误差,因此能提升陀螺仪性能和性能。

[0028] 5、本发明提出的MEMS陀螺仪的制备方法,利用圆片级真空键合的方法实现了对器件的真空封装,降低了器件设计、制备以及电学布线的难度,方法简单且高效,在保证器件性能的同时提升了器件成品率,而且降低了器件制备的成本,适用于批量生产。

附图说明

[0029] 图1:MEMS陀螺仪平面结构示意图;

[0030] 图2:MEMS陀螺仪驱动工作模式简图;

[0031] 图3:MEMS陀螺仪检测工作模式简图;

[0032] 图4-1:制作一带凹腔的衬底硅片,在正面和背面制备一层氧化硅;

[0033] 图4-2:采用圆片级键合的方式将衬底硅片与器件硅片对准键合;

[0034] 图4-3:采用深反应离子刻蚀的方式刻蚀出MEMS陀螺仪器件结构;

[0035] 图4-4:采用圆片级键合的方式将带有凹腔结构的盖板硅片与器件硅片对准键合;

[0036] 图4-5:采用湿法腐蚀或深反应离子刻蚀的方式刻蚀出电学引出通孔,并在通孔处沉积一层氧化硅;

[0037] 图4-6:在盖板硅片表面沉积一层金属,进行电学布线导通;

- [0038] 图5:实施例2的MEMS陀螺仪平面结构示意图;
- [0039] 图6:实施例3的MEMS陀螺仪平面结构示意图;
- [0040] 图7:实施例4的MEMS陀螺仪平面结构示意图;
- [0041] 图8:实施例5的MEMS陀螺仪平面结构示意图;
- [0042] 图9:实施例6的MEMS陀螺仪平面结构示意图;
- [0043] 图10:实施例7的MEMS陀螺仪平面结构示意图。
- [0044] 图中:1.检测外框,2.质量块,3.固定锚点,4.一级弹性连接梁,5.二级弹性连接梁,6.耦合弹性连接梁,7.驱动单元,8.检测单元,9.驱动检测电极,10.驱动电极,11.感应电极,12.频率调谐电极,13.正交补偿电极,14.衬底硅片,15.氧化硅,16.器件硅片,17.盖板硅片,18.电极引出通孔,19.金属层。

具体实施方式

[0045] 以下结合附图和具体实施例,对本发明的技术方案进行进一步地详细阐述。

[0046] 实施例1

[0047] 需要说明的是,本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,遂图中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0048] 本发明的MEMS陀螺仪结构平面结构如图1所示,本发明MEMS陀螺仪结构由检测外框1、质量块2、固定锚点3、一级弹性连接梁4、二级弹性连接梁5、耦合弹性连接梁6、驱动单元7和检测单元8等结构组成,该结构沿X,Y中轴线中心对称。

[0049] 除检测单元8外,其余结构均位于检测外框1内部。检测外框1与两个固定锚点3通过一级弹性连接梁4连接,固定锚点3位于Y方向中心轴线上。两个质量块2位于X方向中心轴线上,两个质量块2之间通过六个耦合弹性连接梁6连接,每个质量块2外侧与检测外框1之间通过二级弹性连接梁5连接;两个驱动单元7位于质量块中间,四个检测单元8位于检测外框外侧四角。一级弹性连接梁4为直梁结构、二级弹性连接梁5为双折叠梁结构和耦合弹性连接梁为双折叠梁结构。

[0050] 每个驱动单元7包括两个驱动电极10和功能电极,功能电极为两个驱动检测电极9。检测单元8包括感应电极11。驱动单元7与检测单元8包括可动电极板和固定电极板。驱动电极10和驱动检测电极9为等间距梳齿状电极,感应电极11为变间距梳齿状电极。两个质量块2、二级弹性连接梁5、耦合弹性连接梁6和驱动单元7组成一个驱动谐振器。驱动谐振器中两个质量块2之间通过检测外框1和耦合弹性连接梁6进行耦合。检测外框1、质量块2、检测单元8、固定锚点3、一级弹性连接梁4、二级弹性连接梁5和耦合弹性连接梁6组成一个科里奥利谐振器。

[0051] 当MEMS陀螺仪结构中驱动谐振器工作时,在左右驱动单元7中离耦合弹性连接梁6较近的两个驱动电极10上施加同相电压如正电压,在左右驱动单元7中靠耦合弹性连接梁6较远的两个驱动电极10上施加负电压。在静电力作用下,左边质量块2与驱动电极10中的可动电极板沿X方向运动,右边结构中的质量块2和驱动电极10中的可动电极板运动方向相反,两个质量块相对于检测外框面内反向振荡运动模态,其工作模式简图如图2所示。此时

可通过位于驱动单元7的功能电极驱动检测电极9监测MEMS陀螺仪的驱动信息,用于验证加工器件结构的误差,用于优化MEMS陀螺仪闭环电路。

[0052] 当驱动谐振器工作时,在外界施加Z方向的角速度,此时科里奥利谐振器开始工作。两个质量块2分别会受到沿Y轴方向且方向相反的科氏力。在科氏力作用下两边质量块2和检测驱动单元7中的可动电极板沿Y方向运动,左右结构的运动方向相反。科氏力通过二级弹性连接梁5传导至检测外框1,由于力矩的作用,检测外框1产生面内上下扭摆运动, MEMS陀螺仪中科里奥利谐振器的工作模式简图如图3所示。由于科里奥利谐振器的运动位于检测外框1四角上的检测单元8中感应电极11的可动电极板与固定电极板的位移间距发生改变。通过外加电路检测出感应电极11电容的变化,即可通过信号转换处理输出,即可得到外界施加的角速度的值。检测外框1为八边形结构,此时四个检测单元8中的可动电极板与检测外框1垂直,该感应电极11布置方式提高了陀螺仪的灵敏度。

[0053] 由于结构的对称性,可以采用差分的形式进行电学信号输出,位于检测外框1四角的四个感应电极11中,位于检测外框1其中一条对角线上的两个感应电极11采用同相输出,位于另一条对角线上的两个感应电极11反相输出,即可实现差分输出,可起到抑制误差和增强输出信号的作用。

[0054] 此外, MEMS陀螺仪结构中两个质量块2之间通过检测外框1和耦合弹性梁6结构连接耦合,实现了两个质量块2之间的全耦合。驱动谐振器在工作模式下两个质量块2能最大限度实现匹配,能有效降低由于加工误差所引起质量块2工作模态的偏移,有效地提升了MEMS陀螺仪的精度和工作稳定性。

[0055] 本发明MEMS陀螺仪的制备以及圆片级真空封装的方法,其步骤至少包括:

[0056] (1) 如图4-1所示,采用深反应离子刻蚀的方法在衬底硅片14正面刻蚀出带有支撑柱的凹腔结构。并采用热氧化或是化学气相沉积的方法在衬底硅片14正面和背面沉积一层氧化硅15。

[0057] (2) 如图4-2所示,采用圆片级真空键合技术将一定厚度的器件硅片16与衬底硅正面对准直接键合。

[0058] (3) 如图4-3所示,在器件硅片16上进行图案化光刻和刻蚀,刻蚀出陀螺仪的结构。

[0059] (4) 如图4-4所示,在盖板硅片17正面刻蚀出凹腔结构,通过热氧化或是气相沉积的方法在正面和背面沉积一层氧化硅15。将盖板硅片17正面与器件硅片16进行圆片级对准直接键合。

[0060] (5) 如图4-5所示,在盖板硅片17背面刻蚀出电极引出通孔18,采用湿法腐蚀或深反应离子刻蚀技术在盖板硅片背面刻蚀出电极引出通孔18,并在整个背面沉积一层氧化硅层15。最后刻蚀掉电极引出通孔处的氧化硅15。

[0061] (6) 如图4-6所示,在盖板硅片17背面沉积一层金属,并将金属层19进行图案化光刻和刻蚀,完成电学布线,并制作金属焊盘。制作完成MEMS陀螺仪器件结构的同时,实现了对器件的圆片级真空封装。

[0062] 本发明提出的MEMS陀螺仪的制备方法,利用圆片级真空键合的方法实现了对器件的真空密封,有效降低了器件设计、制备以及电学布线的难度,方法简单且高效,在保证器件性能的同时提升了器件成品率,而且降低了器件制备的成本,适用于批量生产。

[0063] 实施例2

[0064] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对其二级弹性连接梁5位置进行改变,其平面结构如图5所示。与实施例1平面结构不同的是,位于X方向中轴线上的两个二级弹性连接梁5可去除。此时,驱动谐振器结构与检测外框1之间在驱动工作模式下可实现全解耦。当MEMS陀螺仪驱动谐振器处于工作模式时,二级弹性连接梁5采用双折叠梁结构,可最大限度地减少质量块2的驱动振荡运动对于检测外框1与检测单元8的干扰,可有效降低陀螺仪驱动和检测方向的正交耦合,能明显降低MEMS陀螺仪的零偏稳定性,有效提升陀螺仪性能。

[0065] 实施例3

[0066] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对于位于驱动单元7的驱动电极10和功能电极位置进行灵活排布,可在驱动单元7中添加功能电极如正交补偿电极13,其平面结构如图6所示。两个正交补偿电极13可位于两个驱动单元7内部中心位置,正交补偿电极13为变间距梳齿电极,其沿Y方向中心对称轴扭摆对称分布。由于加工公差或是材料缺陷可能导致结构质量块2在驱动方向与X方向中心轴发生偏转,此时左右质量块2产生不对称谐振工作模式,其机械运动误差会通过二级弹性连接梁5传递至检测外框1和检测单元8,从而造成输出误差。此时通过在左右两个正交补偿电极13施加反相电压,通过闭环电路控制,可采用静电力将质量块2运动方向校准至X轴方向,从而可抑制MEMS陀螺仪机械正交耦合误差。

[0067] 实施例4

[0068] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对于位于质量块2上的驱动单元7的功能电极位置进行灵活排布,可在质量块2沿Y方向上下边缘布置一对正交补偿电极13,其平面结构如图7所示。四个正交补偿电极13位于两个质量块2沿Y方向上下位置,正交补偿电极为变间距梳齿状电极,其沿X和Y方向中心对称轴对称分布。此电极布置方式同样可以实现与实施例3相同的功能,可抑制由于加工误差所导致的MEMS陀螺仪机械正交耦合误差。

[0069] 实施例5

[0070] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对其一级弹性连接梁4和耦合弹性梁6结构进行优化,其平面结构如图8所示。与实施例1平面结构不同的是,一级弹性连接梁4可优化为双梁结构,其对称分布固定锚点3两侧,耦合弹性梁6可进一步优化为直梁与折叠梁的组合结构。此结构可有效抑制MEMS陀螺仪的杂模态,可最大限度地减少杂模态对于MEMS工作模态的干扰,可减小MEMS陀螺仪的输出误差,提升陀螺仪的稳定性。

[0071] 实施例6

[0072] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对其检测单元8结构进行优化,其平面结构如图9所示。与实施例1平面结构不同的是,检测单元8中除感应电极11外还可以添加频率调谐电极12。频率调谐电极12为变间距梳齿状电极。由于加工公差或是材料缺陷可能导致结构两个质量块2驱动频率和检测频率产生偏差,此时MEMS陀螺仪驱动频率和科氏力谐振频率差发生改变,MEMS陀螺仪的带宽会产生变化,从而改变MEMS陀螺仪的系统响应时间,进而改变MEMS陀螺仪灵敏度和精度。此时通过在四个频率调谐电极12施加电压,可利用静电负刚度效应微调MEMS陀螺仪驱动谐振频率,起到提升MEMS陀螺仪稳定性的作用。

[0073] 实施例7

[0074] 基于实施例1中的MEMS陀螺仪平面结构,可对其检测外框1结构进行优化,其平面结构如图10所示。与实施例1平面结构不同的是,检测外框1的形状可为长方形结构,此时位于检测外框1四角的检测单元8中电极的可动电极板与检测外框1之间的角度可优化至45至

90度。此结构能有效提升MEMS陀螺仪的灵敏度。

[0075] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

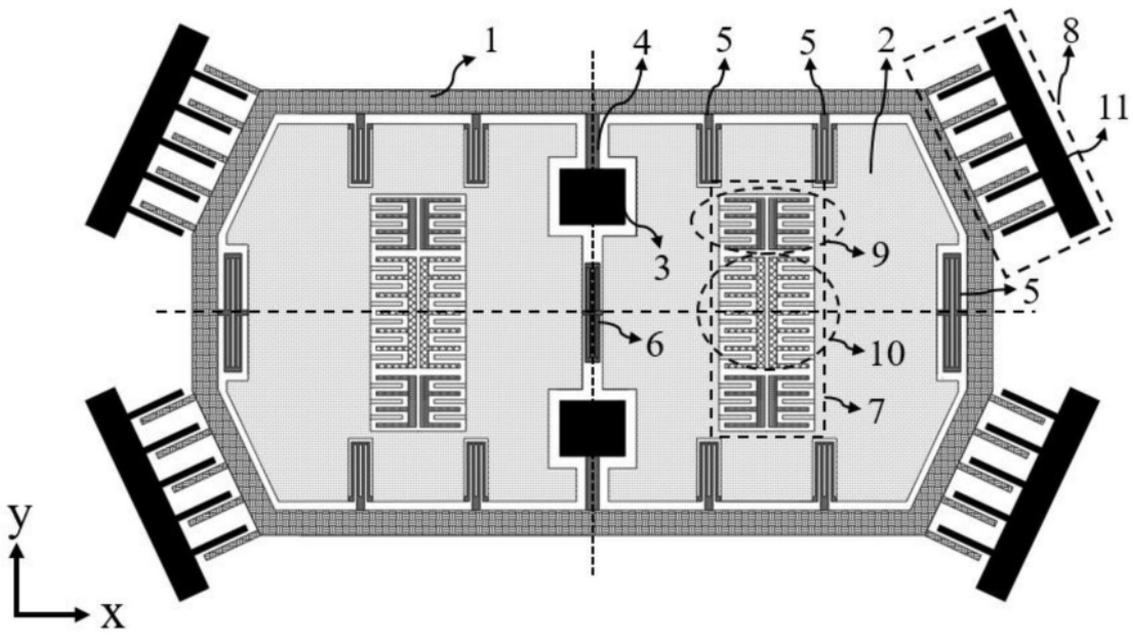


图1

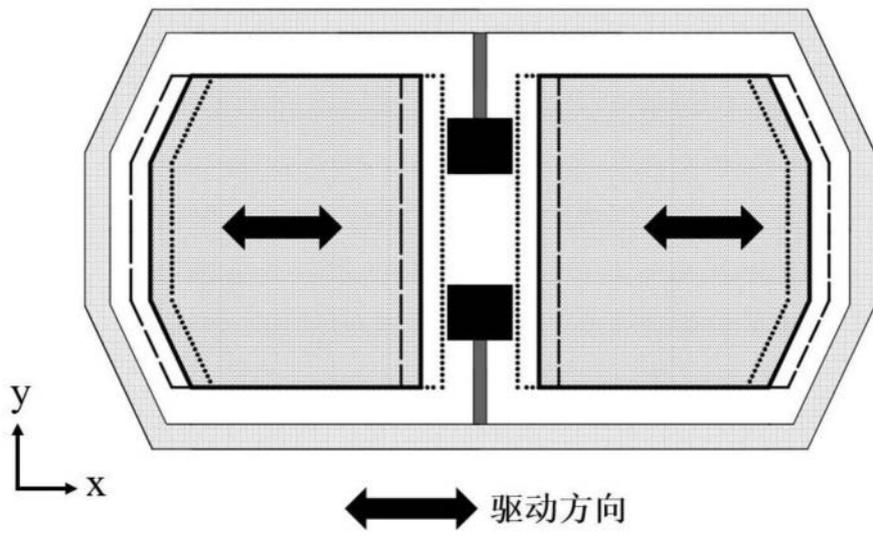


图2

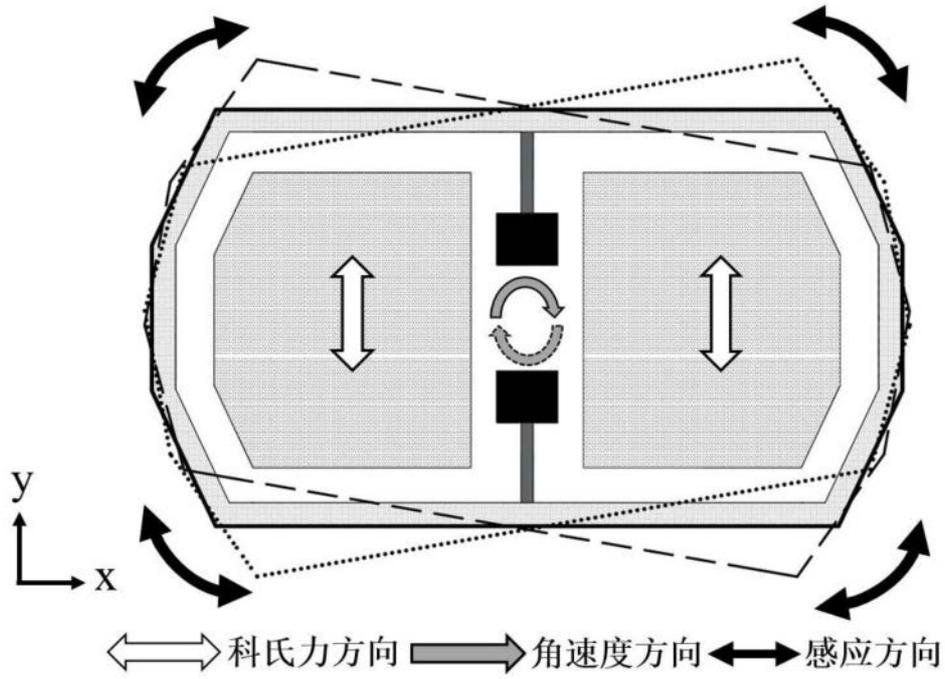


图3

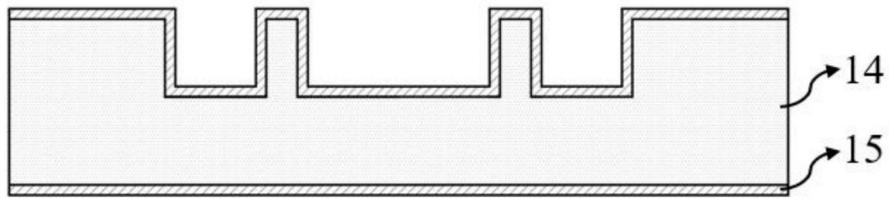


图4-1

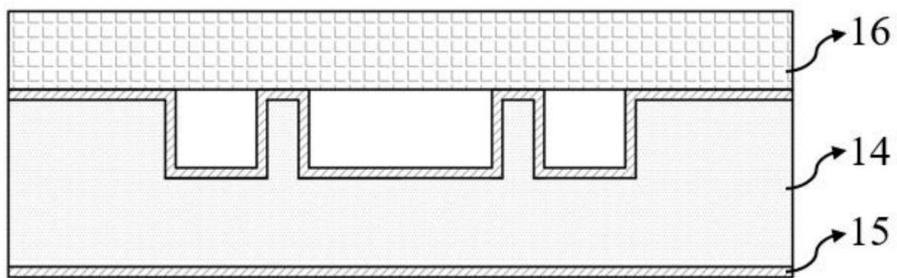


图4-2

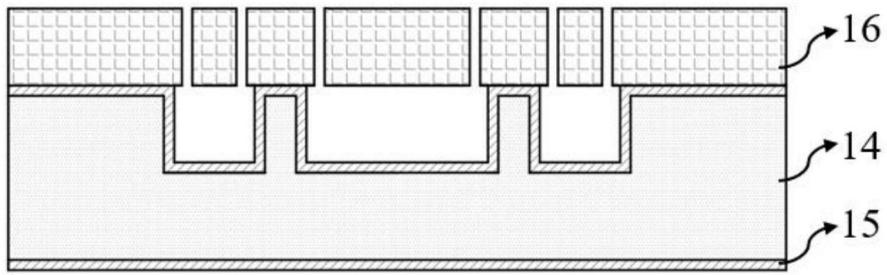


图4-3

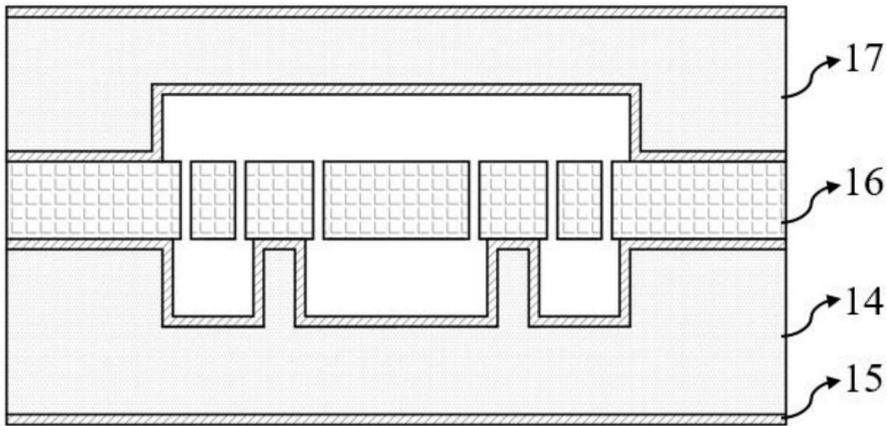


图4-4

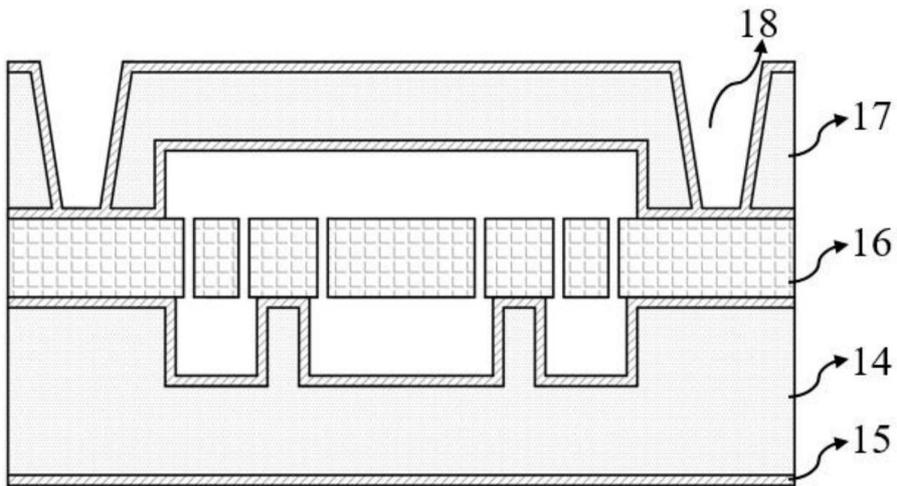


图4-5

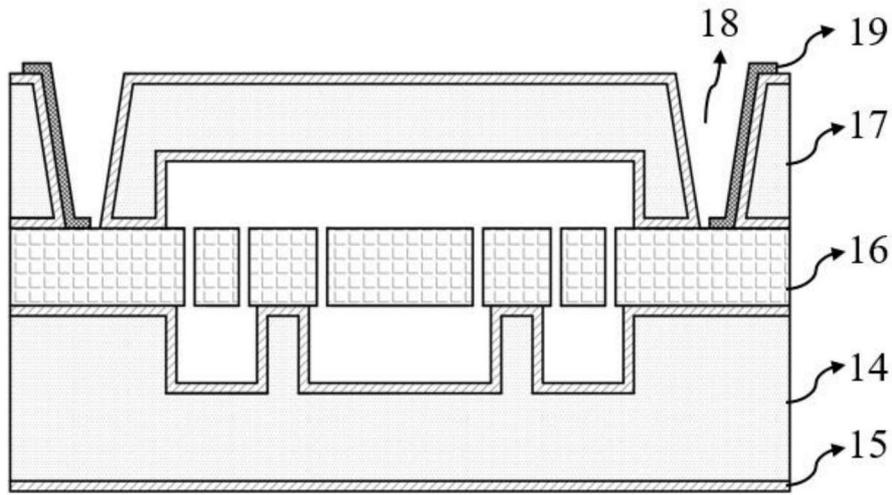


图4-6

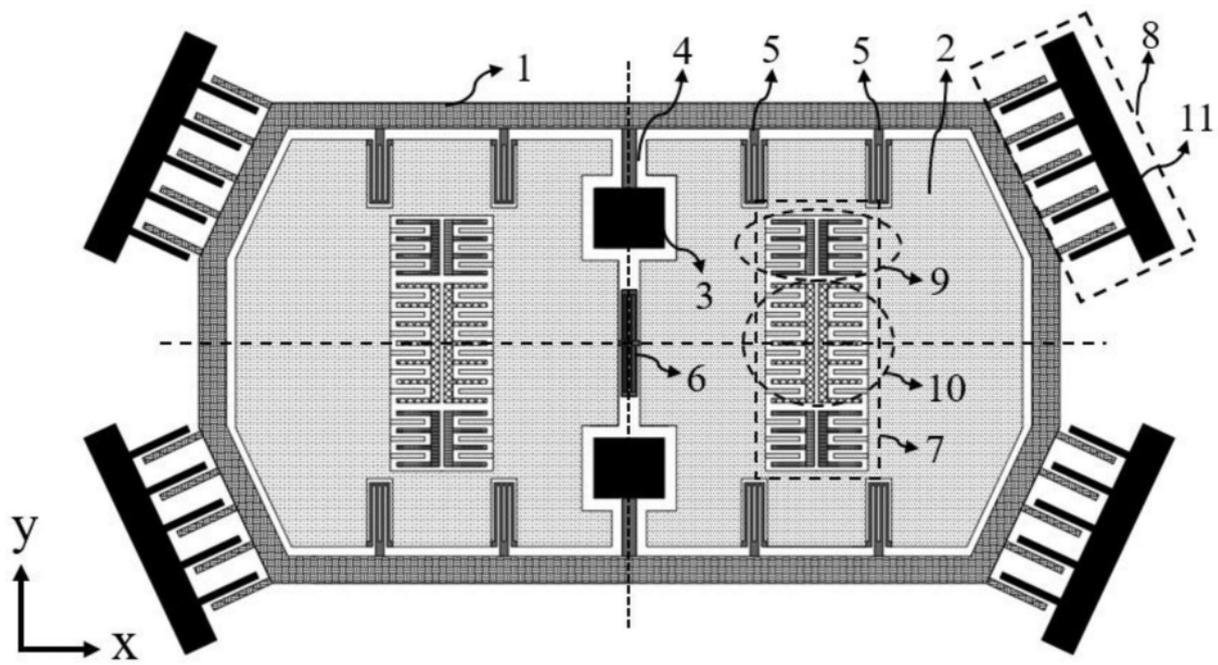


图5

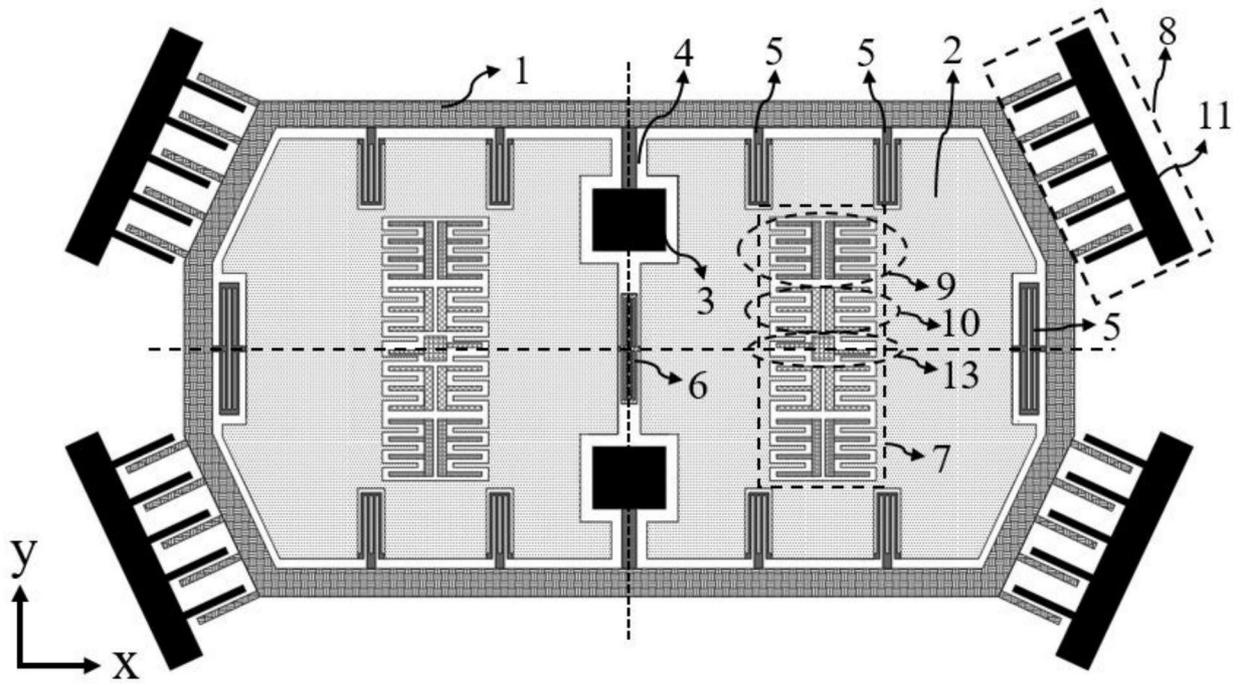


图6

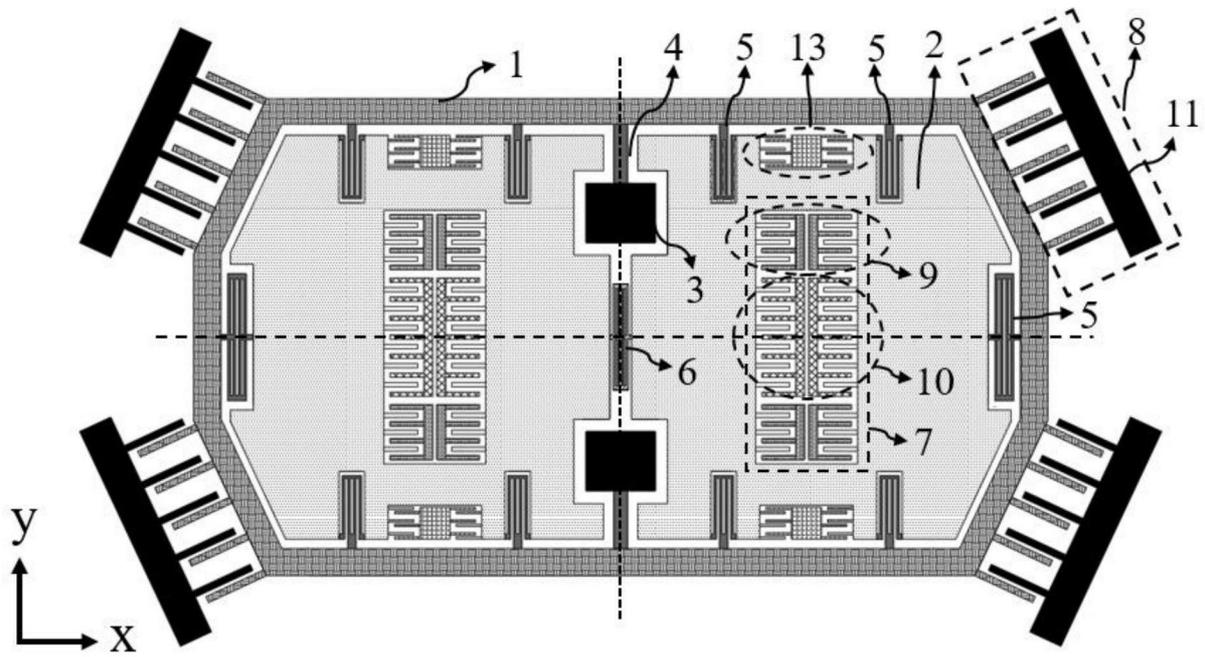


图7

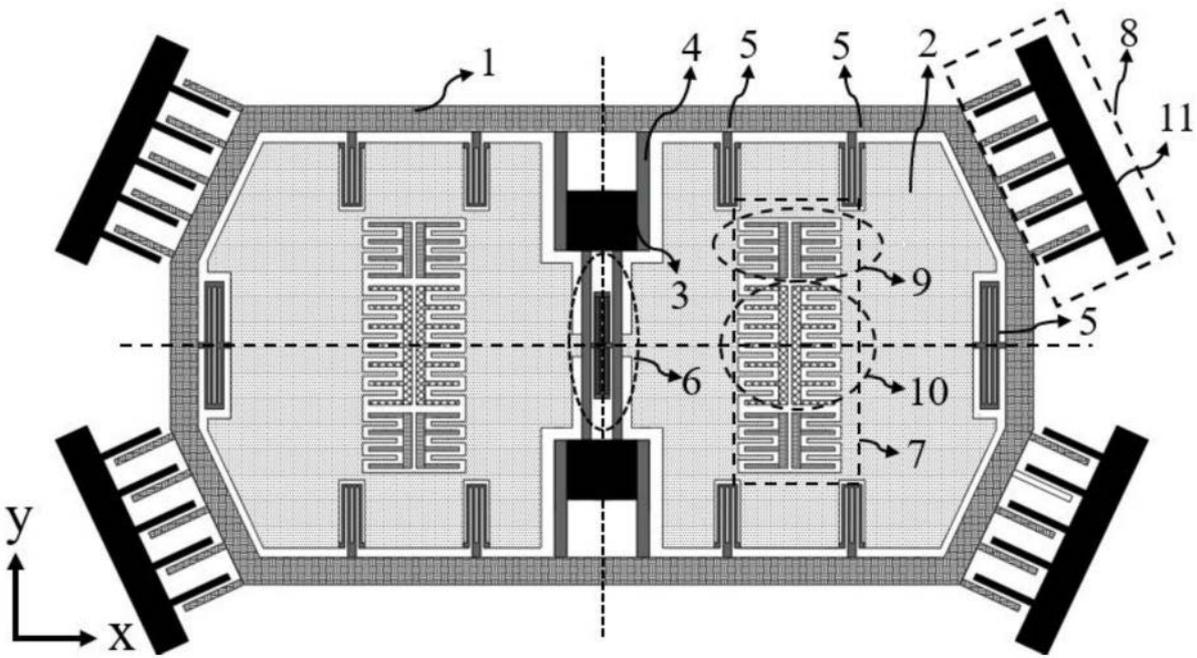


图8

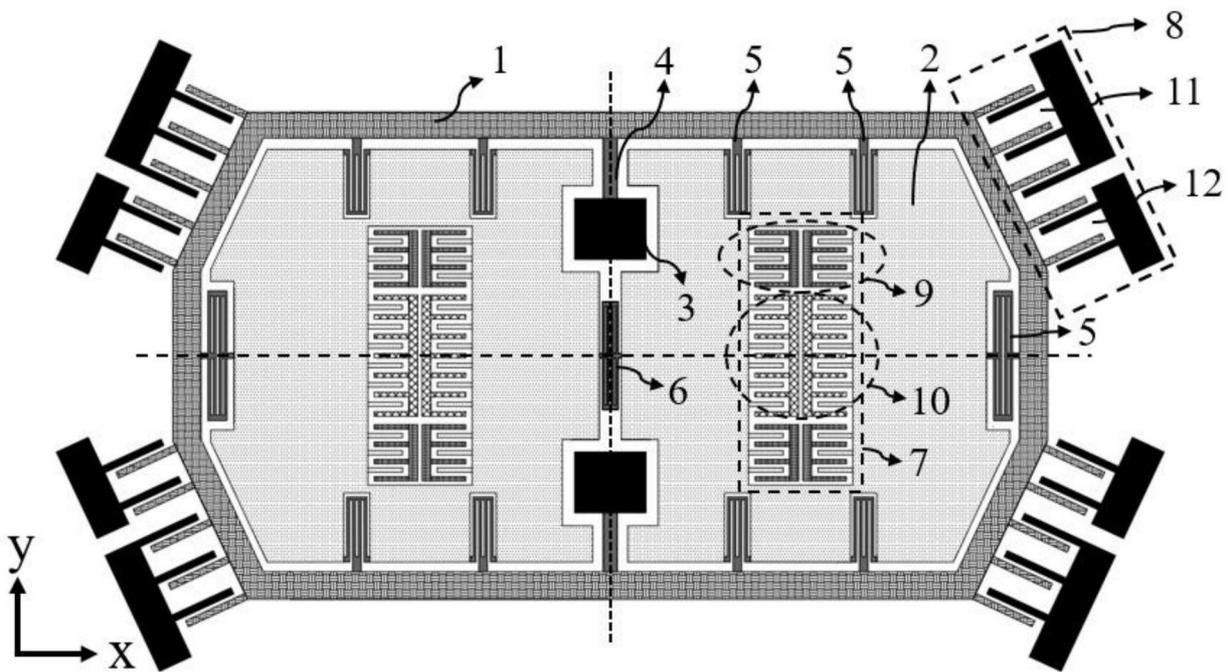


图9

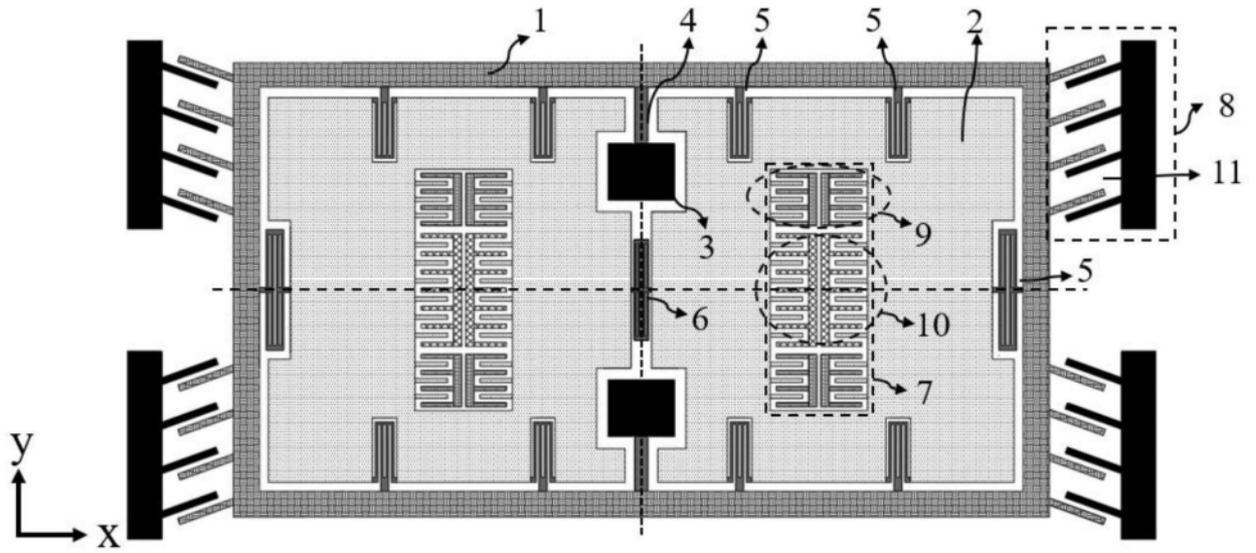


图10