



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104459181 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201410853371.4

G01P 5/00(2006.01)

(22)申请日 2014.12.31

G01P 15/14(2013.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 付友昱

申请公布号 CN 104459181 A

(43)申请公布日 2015.03.25

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72)发明人 杨波 胡迪 邓允朋 王行军 戴波

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51)Int.Cl.

G01P 3/14(2006.01)

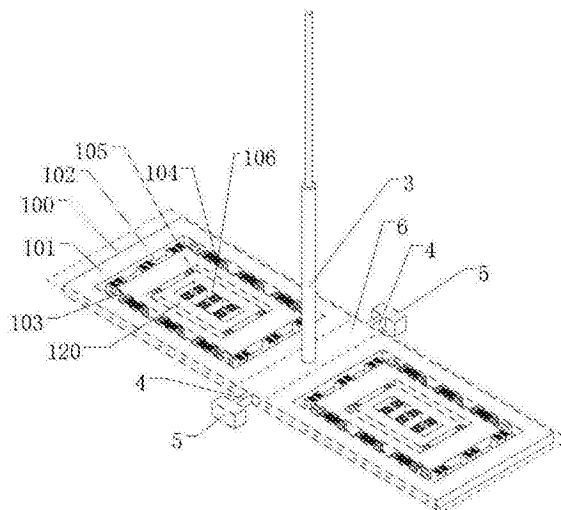
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器

(57)摘要

本发明涉及提供一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,包括顶部毛发、中部硅微传感器结构、底部为制作在玻璃衬底上的信号引线。本发明中顶部毛发可带动硅微传感器结构中的外部框架左右扭摆;利用静电力的负刚度效应原理,实现对加速度、流速速度的检测;通过采用传感器阵列的形式,实现对加速度与流体速度检测的区分。当外界输入为加速度输入时,则所有传感器均会受到作用而产生扭转。硅微传感器结构中的两个子结构为陀螺仪结构,用来检测外界的角速度大小,采用左右对称布置,为单陀螺仪输出信号的两倍;采用变面积式电容检测,减小了驱动运动对检测的干扰。



1. 一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,包括玻璃衬底,其特征在于,包括底部信号引线、硅微传感器结构和聚合物毛发(3);所述底部信号引线布置在玻璃衬底上,连接硅微传感器结构的相应电极;硅微传感器结构通过锚点(5)键合悬置于玻璃衬底上;所述聚合物毛发(3)粘合在硅微传感器结构上表面;

所述硅微传感器结构制作在单晶硅片上,包括外部框架(6)、两个中部框架(110)和两个内部框架(120);外部框架(6)两侧分别通过对称布置的扭力梁(4)与锚点(5)连接;两个中部框架对称嵌在外部框架(6)内,每个中部框架(110)内分别嵌入一个完全相同的内部框架(120);所述中部框架(110)和内部框架(120)均通过U型弹性梁与锚点相连接,悬置于玻璃衬底上;

所述外部框架(6)与中部框架(110)之间布置有加速度、流速检测梳齿(104)、驱动梳齿(101)和驱动检测梳齿(102);所述内部框架(120)内侧布置有角速度检测梳齿(106)。

2. 如权利要求1所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,所述加速度、流速检测梳齿(104)由固定在外部框架上的梳齿组与固定在中部框架上的梳齿组对插组成。

3. 如权利要求2所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,所述驱动梳齿(101)由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上。

4. 如权利要求2所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,所述驱动检测梳齿(102)由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在中部框架(110)上。

5. 如权利要求2所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,所述角速度检测梳齿(106)由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在内部框架(120)上。

6. 如权利要求1-5任一所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,所述聚合物毛发(3)由聚合物材料SU-8通过拉伸获得。

7. 如权利要求1-5任一所述的一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,其特征在于,在对对称的中部框架和内部框架进行驱动和检测时,为同频反相工作模式,检测机构实现差动检测。

## 一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器

### 技术领域

[0001] 本发明属于微电子机械惯性测量领域,尤其涉及一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器。

### 背景技术

[0002] 微机械惯性仪表包括机械陀螺仪(MMG)和微机械加速度计(MMA)。利用微电子加工工艺将微机械结构与所需的电子线路完全集成在一个硅片上,从而达到性能、价格、体积、重量、可靠性诸方面的高度统一。但要实现同时对加速度和角速率的测量,往往都需要采用陀螺仪和加速度计的组合,增加了系统的复杂度,不利于实现测量装置的小型化,同时也使总体成本上升,不利于检测设备的大规模应用。

[0003] 毛发式传感器是一种新型的潜力巨大的微传感器,它是通过仿生学原理,仿照自然界中的毛发结构进行传感器设计,通过配合现有MEMS工艺技术进行加工,可实现对流速、加速度、角速度等的测量,具有灵敏度和分辨率高、动态范围宽、抗干扰能力强等优点。

[0004] 近年来,国内外有多家研究机构开始了对毛发式传感器的研究。荷兰特温特大学的G.J.M.Krijnen教授初步研发了一种毛发式传感器,通过顶部的聚合物毛发对流速进行敏感,可以实现对mm/s级风速的敏感。但是,目前大部分机构研发的毛发式传感器为流速传感器,只能实现对流体速度的测量,功能单一,且结构较为复杂,实用性较差。

### 发明内容

[0005] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明提供一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,通过仿真毛发的结构,利用利用静电力的负刚度效应原理,实现测速。

[0006] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,包括玻璃衬底,其特征在于,包括底部信号引线、硅微传感器结构和聚合物毛发;所述底部信号引线布置在玻璃衬底上,连接硅微传感器结构的相应电极;硅微传感器结构通过锚点键合悬置于玻璃衬底上;所述聚合物毛发粘合在硅微传感器结构上表面;

[0007] 所述硅微传感器结构制作在单晶硅片上,包括外部框架、两个中部框架和两个内部框架;外部框架两侧分别通过对称布置的扭力梁与锚点连接;两个中部框架对称嵌在外部框架内,每个中部框架内分别嵌入一个内部框架;所述中部框架和内部框架均通过U型弹性梁与锚点相连接,悬置于玻璃衬底上;

[0008] 所述外部框架与中部框架之间布置有加速度、流速检测梳齿、驱动梳齿和驱动检测梳齿;所述内部框架内侧布置有角速度检测梳齿。

[0009] 进一步的,加速度、流速检测梳齿由固定在外部框架上的梳齿组与固定在中部框架上的梳齿组对插组成。当毛发受到外界加速度或流体作用时,会带动外部框架绕着扭力梁偏转一定的角度,对于加速度、流速检测梳齿来说,固定在外部框架上的梳齿会跟随进行

偏转,而固定在中部框架上的梳齿不会跟随偏转,这样他们构成的电容极板的重叠面积发生改变。外部框架上施加有静电电压,通过固定在外部框架上的梳齿对固定在中部框架上的梳齿产生负刚度效应,改变中部框架的固有频率,当梳齿之间的重叠面积发生改变时,中部框架的固有频率改变程度也发生变化。

[0010] 进一步的,驱动梳齿由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上。驱动梳齿对中部框架的驱动方式为双边驱动,在每组驱动梳齿中的两侧固定梳齿上分别施加带有直流偏置的等幅反向的交流驱动电压,使中部框架在Y方向上做简谐运动。

[0011] 进一步的,驱动检测梳齿由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在中部框架上。驱动检测梳齿采用变面积式梳齿电容检测结构,由于中部框架的简谐运动会导致驱动检测梳齿的极板间的电容产生变化,通过对该变化进行检测,并通过与梳齿相连电极将其反馈给驱动电路,经过电路处理后反馈到驱动信号上,可以使中间框架保持以谐振频率运动。

[0012] 进一步的,角速度检测梳齿由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在内部框架上。角速度检测梳齿采用变间距式电容检测结构,来自Y方向上的运动不会对角速度检测梳齿极板间的电容产生影响。当中部框架被正确驱动且有来自于Z轴的角速度输入时,内部框架会产生X轴方向上的运动,从而改变角速度检测梳齿极板间的电容,通过检测该电容变化,便可得到输入角速度的大小。

[0013] 进一步的,聚合物毛发由聚合物材料SU-8通过拉伸获得。SU-8是常见的聚合物材料,成本低廉,容易获取。

[0014] 进一步的,在对对称的中部框架和内部框架进行驱动和检测时,为同频反相工作模式,检测机构实现差动检测。

[0015] 有益效果:

[0016] (1) 本发明用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器可对加速度、流速及角速度进行测量;

[0017] (2) 采用仿生毛发式设计,通过敏感外部作用力(加速度或流速作用),可实现对加速度及流速的测量;

[0018] (3) 通过采用传感器阵列的形式,将一部分传感器密封封装,另一部分正常与外界接触,可以实现对加速度与流体速度检测的区分;

[0019] (4) 加速度、流速检测结构采用谐振式负刚度效应梳齿,具有测量精度高,抗干扰能力强的优点,且输出为数字信号,有利于电路的数字化;

[0020] (5) 硅微传感器结构可以实现对角速度的测量;

[0021] (6) 角速度检测部分采用对称结构设计,在有角速度输入时,左右两侧检测输出大小相反的信号,通过测量两信号的差动变化可以得到输入角速度的大小,该差动方式能有效抑制共模干扰,增加输出信号;

[0022] (7) 与基座连接的解耦梁采用U型梁的结构,不仅能够有效释放加工产生的热应力,抑制了正交耦合误差信号,而且减小了运动的非线性,从而增大了振动幅度提高了加速度检测的灵敏度;

[0023] (8) 谐振器的活动梳齿分别设置在外部框架和中间框架上,可以有效利用空间,方便布置驱动梳齿和驱动反馈梳齿。

## 附图说明

- [0024] 图1为本发明的结构示意图；  
[0025] 图2为本发明的单个子结构示意图；  
[0026] 图3为本发明的底部信号引线示意图。

## 具体实施方式

- [0027] 下面结合附图对本发明做更进一步的解释。
- [0028] 如附图1所示,一种用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,包括玻璃衬底,其特征在于,包括底部信号引线、硅微传感器结构和聚合物毛发3;所述底部信号引线布置在玻璃衬底上,连接硅微传感器结构的相应电极;硅微传感器结构通过锚点5键合悬置于玻璃衬底上;所述聚合物毛发3粘合在硅微传感器结构上表面;
- [0029] 如图2所示,所述硅微传感器结构制作在单晶硅片上,包括外部框架6、两个中部框架110和两个内部框架120;外部框架6两侧分别通过对称布置的扭力梁4与锚点5连接;两个中部框架对称嵌在外部框架6内,每个中部框架110内分别嵌入一个完全相同的内部框架120;所述中部框架110和内部框架120均通过U型弹性梁与锚点相连接,悬置于玻璃衬底上;两个中部框架110及其连接结构为完全相同的结构,两个结构对称布置。
- [0030] 所述外部框架6与中部框架110之间布置有加速度、流速检测梳齿104、驱动梳齿101和驱动检测梳齿102;所述内部框架120内侧布置有角速度检测梳齿106。
- [0031] 加速度、流速检测梳齿104由固定在外部框架上的梳齿组与固定在中部框架上的梳齿组对插组成。外部框架6上被施加电压U,对与当传感器有沿X轴方向的加速度或者有流速作用于聚合物毛发3时,产生的力矩会带动外部框架绕着扭力梁4扭转。即当毛发受到外界加速度或流体作用时,会带动外部框架绕着扭力梁偏转一定的角度,对于加速度、流速检测梳齿来说,固定在外部框架上的梳齿会跟随进行偏转,而固定在中部框架上的梳齿不会跟随偏转,这样他们构成的电容极板的重叠面积发生改变。外部框架上施加有静电电压,通过固定在外部框架上的梳齿对固定在中部框架上的梳齿产生负刚度效应,改变中部框架的固有频率,当梳齿之间的重叠面积发生改变时,中部框架的固有频率改变程度也发生变化。
- [0032] 驱动梳齿101由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上。驱动梳齿对中部框架的驱动方式为双边驱动,在上下两个固定梳齿上分别施加具有相同直流偏置的等幅反向的交流驱动电压,中部框架110在交流静电力的作用下作Y轴方向上的简谐运动。
- [0033] 驱动检测梳齿102由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在中部框架110上。驱动检测梳齿采用变面积式梳齿电容检测结构,由于中部框架的简谐运动会导致驱动检测梳齿的极板间的电容产生变化,通过对该变化进行检测,并通过与梳齿相连电极将其反馈给驱动电路,经过电路处理后反馈到驱动信号上,可以使中间框架保持以谐振频率运动。
- [0034] 角速度检测梳齿106由上下两部分梳齿对插组成,其中下梳齿固定在锚点上,上梳齿固定在中部框架110上。角速度检测梳齿采用变间距式电容检测结构,来自Y方向上的运动不会对角速度检测梳齿极板间的电容产生影响。当中部框架被正确驱动且有来自于Z轴的角速度输入时,内部框架会产生X轴方向上的运动,从而改变角速度检测梳齿极板间的电

容,通过检测该电容变化,便可得到输入角速度的大小。

[0035] 聚合物毛发3由聚合物材料SU-8通过拉伸获得。

[0036] 在对对称的中部框架和内部框架进行驱动和检测时,为同频反相工作模式,检测机构实现差动检测。

[0037] 如图3所示,驱动梳齿101、驱动检测梳齿102、角速度检测梳齿106分别与下层玻璃衬底的对应键合点固定驱动梳齿键合点601、固定驱动反馈梳齿键合点603和固定检测梳齿键合点605相连。

[0038] 具体实施例:

[0039] 如图1所示,本发明用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,由上中下三层构成,上层为聚合物毛发、中层为硅微传感器结构、下层为制作在玻璃衬底上的信号引线。用于测量同一平面内沿着X轴方向的流速速度及加速度,以及Z轴方向输入的角速度,所述硅微传感器结构由外部框架6、两组对称的中部框架110以及两组对称的内部框架120组成。外部框架通过扭力梁4与固定在玻璃衬底上锚点5相连接。两个完全相同的中部框架110对称布置在外部框架5的内部,通过U型弹性梁103与固定在玻璃衬底上的锚点相连接,使得中部框架悬空在玻璃衬底之上。

[0040] 外部框架与中部框架之间布置有加速度、流速检测梳齿104、驱动梳齿101和驱动检测梳齿102,在图2中,流速检测梳齿104具体的标注为104a、104b、104c、104d,仅为了方便表达,这四个流速检测梳齿完全相同。驱动梳齿101具体标注为101a、101b、101c、101d;驱动检测梳齿具体标注为102a、102b、102c、102d。内部框架120通过U型梁105与中部框架110连接,图2中,U型梁105具体标注为105a、105b、105c、105d,同样也悬置在玻璃衬底之上。内部框架内侧布置有角速度检测梳齿106,具体标注为106a、106b、106c。

[0041] 上述结构如图1、2所示,整个结构关于中轴线对称。硅微传感器由外部框架6、中部框架110和内部框架120构成,中部框架通过U型弹性梁103与各自锚点相连接,固定在玻璃衬底上,由于U型梁在X方向为刚性,因此中部框架的运动被限制在Y方向上。

[0042] 外部框架6与中部框架110之间布置有加速度、流速检测梳齿104a、104b、104c、104d、204a,加速度、流速检测梳齿由固定在外部框架上的梳齿与固定在中部框架上的梳齿对插组成。当有外部加速度或流体速度输入时,聚合物毛发3带动外部框架6扭转,加速度、流速检测梳齿中固定在中部框架上的梳齿不会跟随外框架扭转,故扭转时,加速度、流速检测梳齿的两部分梳齿(固定在外框架上的梳齿与固定在中部框架上的梳齿)之间的重叠面积会发生改变。

[0043] 外部框架与中部框架之间布置有驱动梳齿及驱动检测梳齿。驱动梳齿101a、101b、101c、101d由两个固定在玻璃衬底的锚点上的梳齿与其之间的固定在中部框架上的梳齿对插组成。两组驱动梳齿之间为驱动检测梳齿102a、102b,布置在中部框架的左右侧,结构与驱动梳齿完全相同,也是由与固定在玻璃衬底的锚点上的梳齿与固定在中部框架上的梳齿对插组成。中部框架110与内部框架120之间通过U型弹性梁105相连,内部框架在Y轴方向跟随中部框架一起运动,在X轴方向可独立左右运动。内部框架120内侧为角速度检测梳齿106a、106b、106c,角速度检测梳齿由固定在玻璃衬底上的锚点上的梳齿与固定在内部框架上的梳齿对插组成。

[0044] 其中一侧的结构如图2所示,陀螺仪被外部框架包围,外部框架上施加有电压U,于

是加速度、流速检测梳齿中固定在外部框架上的梳齿便带有相同的电压。加速度、流速检测梳齿中固定在中部框架110上的梳齿将受到来自于外部框架6架上的梳齿的静电力,由于静电力的吸引作用,极板发生了刚度软化,固有频率变小,且当外部框架跟随聚合物纤毛一起摆动时,加速度、流速检测梳齿之间的重叠面积发生改变,中部框架上的梳齿受到的静电力发生改变,受到的负刚度效应的程度也发生改变,于是固有频率的变化程度也发生改变。驱动梳齿101a、101b、101c、101d中每个固定在玻璃衬底的锚点上的梳齿都由上下两个固定梳齿组成,在上下两个固定梳齿上分别施加具有相同直流偏置的等幅反向的交流驱动电压,这样中部框架110在交流静电力的作用下作Y轴方向上的简谐运动。反馈梳齿102a和102b检测中部框架的运动状态,并将其反馈给驱动电路,驱动电路根据反馈信号调整驱动信号,使中部框架工作在谐振频率下。中部框架与内部框架通过U型梁105a、105b、105c、105d相连接。在内部框架110内侧,布置了三组检测梳齿106a、106b和106c,每组检测梳齿由两个反对称布置的差动电容检测梳齿构成,且电容检测梳齿由固定在玻璃衬底上的固定梳齿与固定在内部框架上的活动梳齿对插组成。

[0045] 通过采用传感器阵列的形式,实现对加速度与流体速度检测的区分,将一部分传感器密封封装,另一部分正常与外界接触,当外界为流体环境时,密封封装的传感器的毛发不会受到流体作用,而没有进行密封的传感器将会受到作用;当外界输入为加速度输入时,则所有传感器均会受到作用而产生扭转。

[0046] 玻璃衬底如图3所示,包括信号引线和金属硅/玻璃键合点。信号引线包括静电电压输入引线8c,驱动输入引线607、608,驱动反馈输入引线611、612,检测输出信号引线609、610;金属硅/玻璃键合点包括固定基座键合点8a、8b,固定驱动梳齿键合点601a、601b、601c、601d、602a、602b、602c、602d,固定驱动反馈梳齿键合点603a、603b、604a、604b固定检测梳齿键合点605a、605b、605c、606a、606b、606c。

[0047] 本发明用于流速、加速度和角速度敏感的仿生毛发传感器,采用双边静电驱动,电容检测的工作方式。在驱动输入引线607和608上施加具有相同直流偏置的等幅反向的交流驱动电压,在对称一侧的驱动输入引线上施加相反的电压,则两个中部框架110工作在同频反向状态,梳齿电容在x轴即驱动方向受到的静电驱动力为:

$$[0048] \quad F_x = \frac{1}{2} 2n\epsilon \frac{h}{d_0} (V_a + V_a \sin \omega_d t)^2 - \frac{1}{2} 2n\epsilon \frac{h}{d_0} (V_a - V_a \sin \omega_d t)^2 = 4n\epsilon \frac{h}{d_0} V_a^2 \sin^2 \omega_d t \quad (1)$$

[0049] 式中,n为谐振器的活动梳齿数, $\epsilon$ 为介电常数,h为结构的厚度, $d_0$ 为梳齿间距, $V_a$ 为驱动电压的直流偏置电压, $V_a$ 为交流电压, $\omega_d$ 为交流电压的角频率。

[0050] 两个子结构100是图1中虚线框内的结构,具体来说,图2中的结构为一个子结构100,两个子结构对称设置,由于两个子结构100的驱动梳齿电容为反对称布置,因此,作用在两个子结构100上的静电驱动力方向相反。

[0051] 因此子结构中的中部框架110在静电驱动力的作用下,在Y轴作反向简谐线振动。当驱动交流电压的频率与陀螺仪驱动模态的固有频率一致时,线振动位移为:

$$[0052] \quad x = \frac{F_{d0}}{k_x} \cos \omega_d t \quad (2)$$

[0053] 式中, $F_{d0}$ 为静电力驱动力幅值, $k_x$ 为X方向的弹性刚度, $Q_x$ 为驱动模态的品质因数线振动速度为:

$$[0054] \quad \ddot{x} = \frac{F_g}{m} = \frac{2m_s \omega_z V \sin \varphi}{m} \omega_z \sin \omega_z t \quad (3)$$

[0055] 当陀螺仪有绕Z轴的外界输入角速率 $\omega_z$ 时,根据右手定则,检测质量在输出轴(X轴)受到哥氏加速度的作用,其大小为:

$$[0056] \quad a_g = 2\omega_z V \sin \varphi = 2\omega_z \omega_z \frac{2m_s}{m} \sin \varphi \sin \omega_z t \quad (4)$$

[0057] 式中, $\varphi$ 为输入角速率和线振动速度之间右旋夹角。

[0058] 设内部框架质量为 $m_s$ ,则作用在检测质量上的哥氏惯性力为:

$$[0059] \quad F_g = -m_s a_g = -2m_s \omega_z V \sin \varphi \quad (5)$$

[0060] 哥氏惯性力的方向与哥氏加速度方向相反,因此,作用在内部框架120上的哥氏惯性力的方向相反。在哥氏惯性力的作用下,内部框架120沿着敏感轴(X轴)做相向简谐振动。这样,使得活动敏感梳齿与固定敏感梳齿之间的间隙按一定的简谐振动规律变动,电容差值信号经电子线路处理后,可获得输出电压信号。梳齿电压信号为两个子结构100的电压信号之和,且输出电压信号的大小正比于输入角速率的大小。通过鉴相器比较输出电压信号与激励信号的相位关系,则可判明输入角速率的方向。

[0061] 当陀螺仪被驱动起来时,反馈梳齿会检测到陀螺的固有频率变化,从而反馈到驱动电路上,对驱动电压进行调整从而使陀螺工作在谐振频率上。

[0062] 外部框架6上被施加电压U,当传感器有沿X轴方向的加速度或者有流速作用于聚合物毛发3时,产生的力矩会带动外部框架绕着扭力梁4扭转,此时,由于中部框架在Z轴方向是没有自由度的,所以加速度、流速检测梳齿104a、104b、104c、104d、104e、104f中,与中部框架相连的极板保持不动,与外部框架所连接的极板会跟随转动,此时加速度、流速检测梳齿间的重叠面积发生改变,故与中部框架110相连的梳齿所受的来自于外部框架上的梳齿的静电力发生改变,根据静电负刚度效应,由于静电力改变,所以产生的等效负刚度改变,中部框架的固有频率改变。当存在静电负刚度时,谐振频率变为:

$$[0063] \quad f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k - k_e}{m}} \quad (6)$$

[0064] 其中,k为梳齿原机械刚度, $k_e$ 为静电力负刚度效应作用下的梳齿机械刚度, $f_e$ 为静电力负刚度效应作用下的谐振频率。通过反馈梳齿对驱动谐振频率的检测,从而可以得出毛发偏转的角度,通过计算可得知加速度或流速速度的大小。

[0065] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。



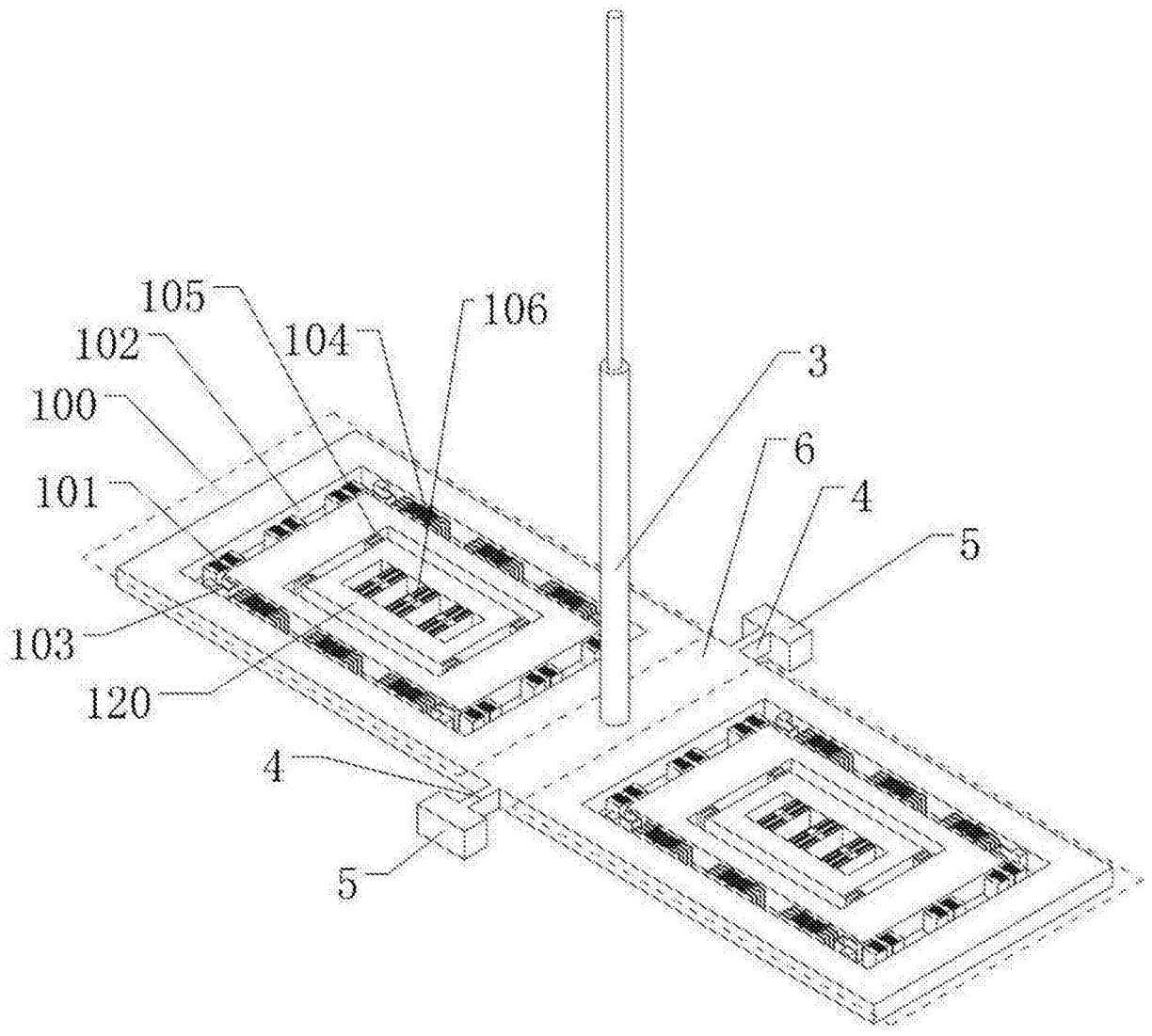


图1

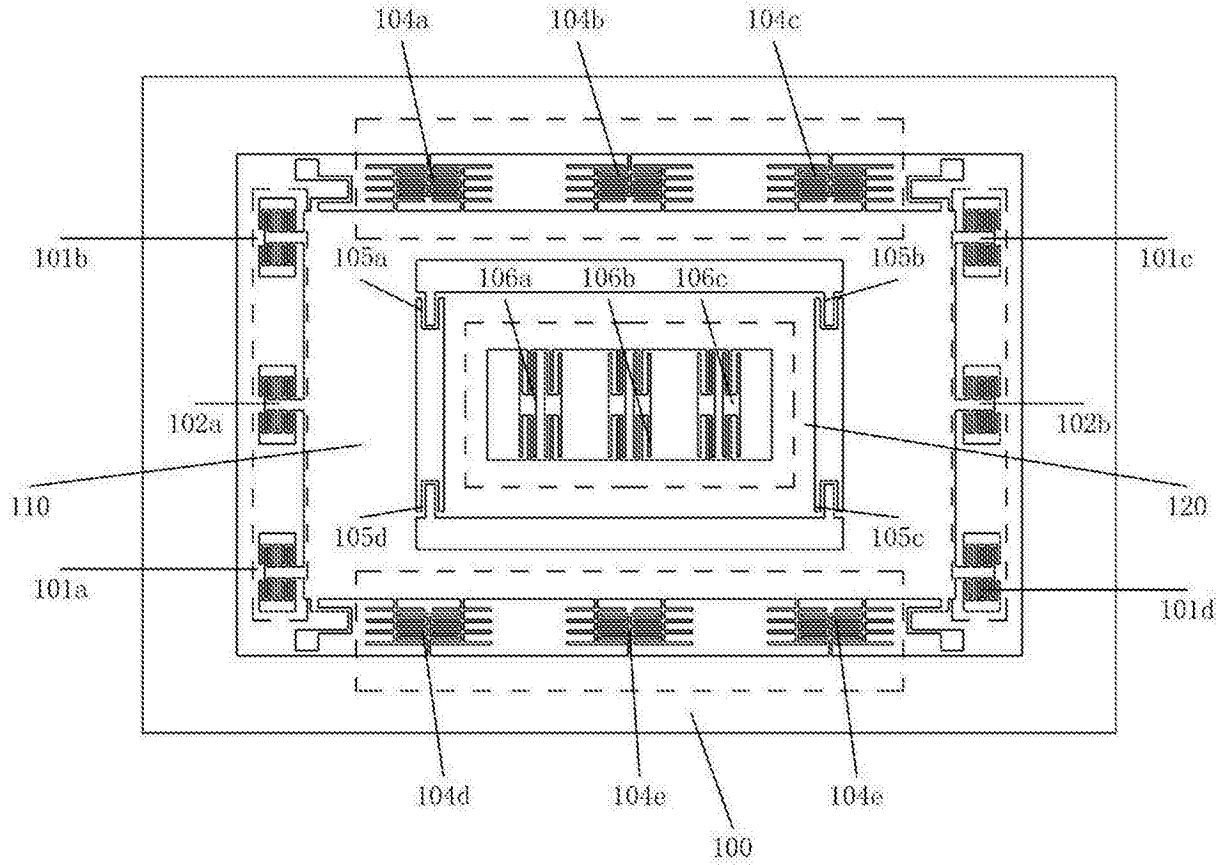


图2

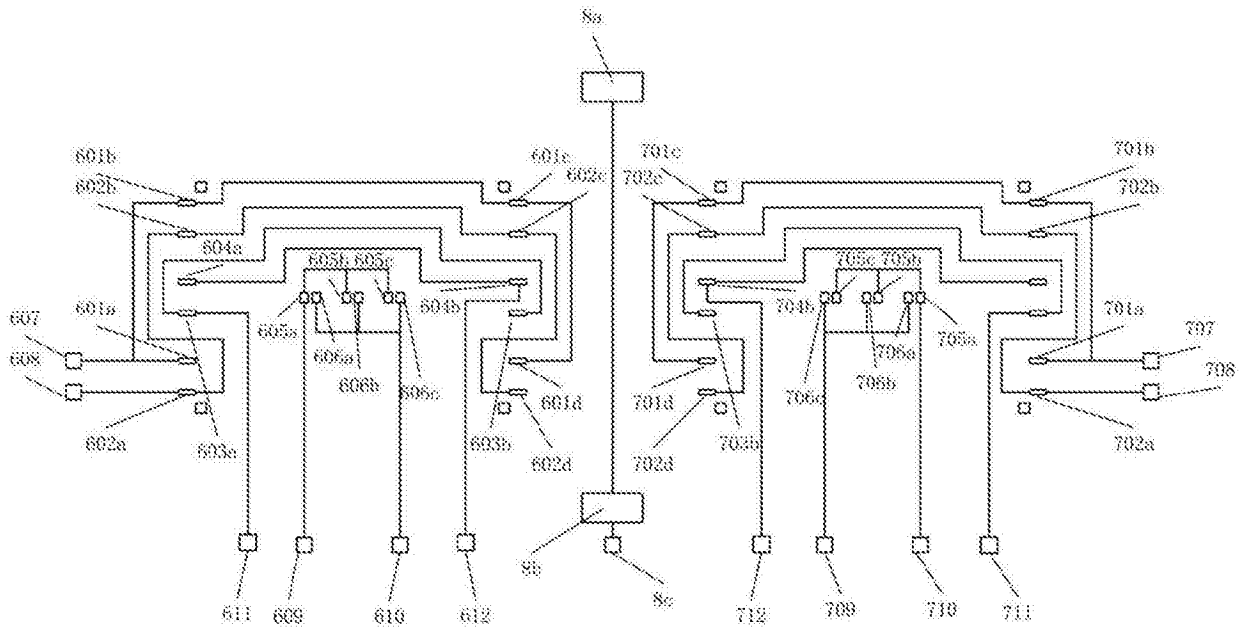


图3