



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108698812 A

(43)申请公布日 2018. 10. 23

(21)申请号 201680067399.2

(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事
务所(普通合伙) 11277

(22)申请日 2016.09.19

代理人 刘新宇

(30)优先权数据

62/220,768 2015.09.18 US

(51)Int.Cl.

B81B 3/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

B81B 7/00(2006.01)

2018.05.17

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/052461 2016.09.19

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/049278 EN 2017.03.23

(71)申请人 韦斯伯技术公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 R·J·利特尔

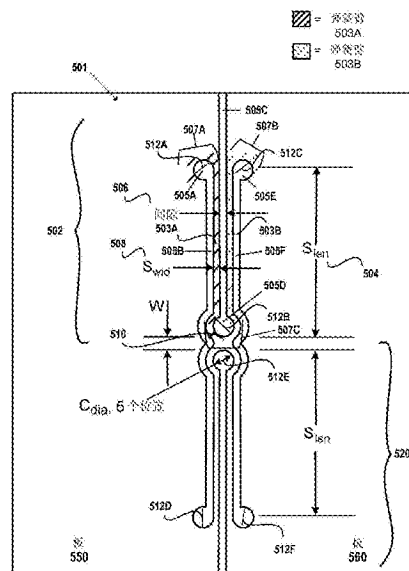
权利要求书2页 说明书9页 附图17页

(54)发明名称

板弹簧

(57)摘要

一种换能器以及用于处理MEMS换能器的方法。在一方面,所述MEMS换能器包括第一板和第二板。所述MEMS换能器还可以包括大致位于所述第一板和所述第二板之间的弹簧,所述第一弹簧臂和所述第二弹簧臂的尺寸被设计成使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。



1. 一种MEMS换能器,包括:
第一板和第二板;以及
弹簧,其大致位于所述第一板和所述第二板之间,所述弹簧包括第一弹簧臂和第二弹簧臂,所述第一弹簧臂和所述第二弹簧臂的尺寸被设计成使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。
2. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,板包括压电层以及夹着所述压电层的一对电极层。
3. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,还包括基板,
其中,所述第一板包括第一板底、第一板体和第一板端;
所述第二板包括第二板底、第二板体和第二板端;以及
通过使所述第一板底和所述第二板底连结至所述基板来使所述第一板和所述第二板以悬臂布置的方式连接在所述基板上,所述第一板端和所述第二板端大致朝向公共点汇聚,其中所述第一板体和所述第二板体各自相对于所述基板是不受约束的,所述第一板端和所述第二板端各自是不受约束的且不连结。
4. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小有所减小。
5. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供板的可接受量的面内刚度。
6. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,还包括:
所述第一板和所述第二板之间的间隙;
其中,所述弹簧沿着所述间隙定位在使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配减少的位置处。
7. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述第一板和所述第二板之间的间隙与所述第一弹簧臂和所述第一板之间的间隙以及所述第二弹簧臂和所述第二板之间的间隙成比例。
8. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述MEMS换能器包括声换能器。
9. 根据权利要求8所述的MEMS换能器,其中,所述声换能器是麦克风。
10. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,板包括锥形换能器梁。
11. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述弹簧包括多个应力消除端点。
12. 根据权利要求11所述的MEMS换能器,其中,所述多个应力消除端点防止所述弹簧断裂。
13. 根据权利要求11所述的MEMS换能器,其中,所述多个应力消除端点的尺寸是基于所述弹簧的扭转处计算出的应力值。
14. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供板的可接受量的面外刚度。
15. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度是基于所述弹簧的最大主应力。

16. 一种方法,包括:

使第一电极层沉积在基板上;

使第一压电层沉积在所述第一电极层上;

使第二电极层沉积在所述第一压电层上;

对所沉积的层进行蚀刻以定义第一板和第二板,所述第一板和所述第二板以悬臂布置的方式连接在所述基板上,所述第一板和所述第二板各自包括连结至所述基板的板底、相对于所述基板不受约束的板体、以及相对于所述基板不受约束的板端,所述第一板的板端和所述第二板的板端大致朝向公共点汇聚;以及

对所沉积的层进行蚀刻以定义与所述第一板和所述第二板相邻的弹簧,所述弹簧包括第一弹簧臂和第二弹簧臂,所述第一弹簧臂和所述第二弹簧臂的尺寸各自被设计成使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小有所减小。

18. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供板的可接受量的面内刚度。

19. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述弹簧包括多个应力消除端点。

20. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述弹簧沿着所述第一板和所述第二板之间的间隙被定位,所述弹簧被定位在使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配减少的位置处。

板弹簧

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 根据美国法典第35条第119(e)款,本申请要求2015年9月18日提交的美国临时申请No.60/220,768的优先权,其全部内容通过引用而并入于此。

背景技术

[0003] 微电机系统(MEMS)技术实现了使用硅晶片沉积技术的诸如麦克风等的声换能器的发展。这种方式制造的麦克风通常被称为MEMS麦克风,并且可被制成各种形式,诸如电容式麦克风或者压电式麦克风等。MEMS电容式麦克风和驻极体电容麦克风(ECM)用于消费性电子产品中并且与典型的压电式MEMS麦克风相比的优势在于其历来具有更大的灵敏度和更低的本底噪声(noise floor)。然而,这些更普遍的技术各自具有其自身的缺点。对于标准ECM,不能使用通常用于将微芯片连结至印刷电路板的无铅焊料处理来将其安装至该板。移动电话中通常所使用的MEMS电容式麦克风具有背面板,而该背面板是麦克风中的噪声源。MEMS电容式麦克风还具有与典型的压电式MEMS麦克风相比更小的动态范围。

发明内容

[0004] 在一些实现中,MEMS换能器可以包括用以减少相邻板之间的垂直挠曲失配的弹簧。该弹簧可被添加在相邻板之间以使相邻板之间的垂直挠曲更相似。如此,相邻板之间的间隙大小能够由于板之间的垂直挠曲失配的减少而减少。可以通过对基板进行处理来制造MEMS换能器。处理可以包括使沉积在基板上的电极层和压电层交替。可以通过对沉积的层进行蚀刻来定义弹簧和相邻板。

[0005] 本说明书中所描述的主题的一方面体现了一种MEMS换能器,包括第一板和第二板。所述MEMS换能器还包括弹簧,所述弹簧大致位于所述第一板和所述第二板之间,所述弹簧包括第一弹簧臂和第二弹簧臂,所述第一弹簧臂和所述第二弹簧臂的尺寸被设计成使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。

[0006] 该方面以及其它方面的其它实现包括相应的系统、设备以及编码在计算机存储装置上的用于进行上述方法的动作的计算机程序。

[0007] 实现可以各自可选地包括以下特征中的一个或多个。例如,所述换能器可以包括板,该板包括压电层以及夹着所述压电层的一对电极层。在某些方面,所述换能器还包括基板,其中,所述第一板包括第一板底、第一板体和第一板端,所述第二板包括第二板底、第二板体和第二板端,以及通过使所述第一板底和所述第二板底连结至所述基板来使所述第一板和所述第二板以悬臂布置的方式连接在所述基板上,所述第一板端和所述第二板端大致朝向公共点汇聚,其中所述第一板体和所述第二板体各自相对于所述基板是不受约束的,所述第一板端和所述第二板端各自是不受约束的且不连结。所述换能器还可以包括所述第一板和所述第二板之间的间隙,所述间隙的大小相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小有所减小。所述换能器还可以包括所述弹簧,所述

弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供所述板的可接受量的面内刚度。

[0008] 在某些方面,所述换能器还包括所述第一板和所述第二板之间的间隙,其中,所述弹簧沿着所述间隙定位在使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配减少的位置处。所述第一板和所述第二板之间的间隙可以与所述第一弹簧臂和所述第一板之间的间隙以及所述第二弹簧臂和所述第二板之间的间隙成比例。在一些方面,所述换能器包括声换能器。所述声换能器可以是麦克风。所述换能器的所述板可以包括锥形换能器梁。在某些方面,所述弹簧包括多个应力消除端点。所述多个应力消除端点可以防止所述弹簧断裂。所述多个应力消除端点的尺寸可以基于在所述弹簧的扭转处计算出的应力值。在一些方面,所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供所述板的可接受量的面外刚度。此外,所述弹簧的尺寸可以被设计成使得所述弹簧的长度和宽度基于所述弹簧的最大主应力。

[0009] 在其它实现中,一种方法,包括:使第一电极层沉积在基板上;使第一压电层沉积在所述第一电极层上;使第二电极层沉积在所述第一压电层上;对所沉积的层进行蚀刻以定义第一板和第二板,所述第一板和所述第二板以悬臂布置的方式连接在所述基板上,所述第一板和所述第二板各自包括连结至所述基板的板底、相对于所述基板不受约束的板体、以及相对于所述基板不受约束的板端,所述第一板的板端和所述第二板的板端大致朝向公共点汇聚;以及对所沉积的层进行蚀刻以定义与所述第一板和所述第二板相邻的弹簧,所述弹簧包括第一弹簧臂和第二弹簧臂,所述第一弹簧臂和所述第二弹簧臂的尺寸各自被设计成使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。

[0010] 在其它实现中,所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小相对于在不依赖于所述弹簧的情况下所述第一板和所述第二板之间的间隙的大小有所减小。所述弹簧的尺寸被设计成使得所述弹簧的长度和宽度提供板的可接受量的面内刚度。在另外的其它实施例中,所述弹簧包括多个应力消除端点。在另外的其它实施例中,所述弹簧沿着所述第一板和所述第二板之间的间隙被定位,所述弹簧被定位在使得所述第一板和所述第二板之间的垂直挠曲失配减少的位置处。

[0011] 在以下附图和说明书中详细阐述了一个或多个实施例。根据说明书、附图和权利要求书,其它特征和优点将变得明显。

附图说明

[0012] 图1是根据某些典型方面的具有间隙控制几何结构的板的图。

[0013] 图2是根据某些典型方面的具有间隙控制几何结构的四个三角形板的图。

[0014] 图3是示出根据某些典型方面的板的模型化挠曲的图。

[0015] 图4是示出根据某些典型方面的沿着具有间隙控制几何结构的两个相邻板的间隙的模型化挠曲的图表。

[0016] 图5A、图5D各自是根据某些方面的典型间隙减小弹簧的示图。

[0017] 图5B是根据某些典型方面的相邻板的示图。

[0018] 图5C是根据某些方面的典型间隙减小弹簧的示图。

[0019] 图6A、图6C各自是根据某些方面的典型间隙减小弹簧的示图。

- [0020] 图6B是根据某些典型方面的相邻板的示图。
- [0021] 图7A、图7C各自是根据某些方面的典型间隙减小弹簧的示图。
- [0022] 图7B是根据某些典型方面的相邻板的示图。
- [0023] 图8是示出根据某些方面的间隙减小弹簧设计和几何结构的性能的典型图表。
- [0024] 图9A示出根据某些典型方面的在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的俯视图。
- [0025] 图9B示出根据某些典型方面的在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图。
- [0026] 图10A示出根据某些典型方面的在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的俯视图。
- [0027] 图10B示出根据某些典型方面的在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图。
- [0028] 图11是示出根据某些方面的用于制造换能器的典型处理的流程图。
- [0029] 各个附图中的相同附图标记和标示表示相同元件。

具体实施方式

[0030] 在制造具有间隙控制几何结构(例如美国专利9,055,372中所描述的间隙控制几何结构,上述文献的全部内容通过引用而并入于此)的麦克风时,传感器产量由于制造的不理想而降低。例如,如果(例如,梁或板的)面内残余应力在两个正交的面内方向上不同、并且该差异在膜堆叠的厚度上变化,则板的尖端可以具有不同的垂直挠曲量。一般来说,板的垂直挠曲包括板由于板上的应力而移位的角度。板的垂直挠曲可能由面内应力、面外应力或这两者引起。

[0031] 在示例中,板包括如美国专利9,055,372中所描述的悬臂梁(或者与其相同)。在该示例中,板包括MEMS制造的板,诸如具有电极层、压电层和其它电极层的板。在该示例中,电极层夹着压电层。如果板具有略微不同的长度,则这些板还可能具有不同的垂直挠曲量。相邻板的这种不同挠曲是不期望,这是因为如美国专利9,055,372中所述,这种不同挠曲增加了板之间的间隙并且减少了通过传感器的声阻。例如,MEMS麦克风换能器设计可以具有彼此堆叠的两个 $0.5\mu\text{m}$ 厚的氮化铝(A1N)层。针对底层的X方向上的残余膜应力(σ_{xx_res})可以是400MPa,并且Y方向上的残余膜应力(σ_{yy_res})可以是435MPa。针对顶层,X方向和Y方向上的残余膜应力可以都是400MPa。在该示例中,底层是指板(例如,包括多个电极层的板)的底层。顶层是指该板的顶层。X相对于Y的应力的这种差异可以针对 $380\mu\text{m}$ 长的板导致约 $15\mu\text{m}$ 的板挠曲。

[0032] 图1是根据某些典型方面的具有间隙控制几何结构的板100的图。在某些方面,板100可以是间隙控制几何结构中的四个板其中之一。一般来说,间隙控制几何结构包括用于控制相邻板之间的间隙的几何结构。可以控制相邻板之间的间隙以调节相邻板之间的应力。板100的底102可以固定至基板。如此,板的剩余结构可以自由移动,从而产生“固定-自由-自由”的板。在该实例中,板的底102可以连结至基板,板100的第一边104可以相对于基板不受约束,并且板100的第二边106也可以相对于基板不受约束。参考图1的示例,板100从底102到尖端的长度可以是 $380\mu\text{m}$,并且厚度可以是 $1\mu\text{m}$ 厚的氮化铝(A1N)。典型的板100也可

以包括两个500nm、总计为1 μ m厚的层。在某些方面,板100可以是固定的三角形板。

[0033] 图2是根据某些典型方面的具有间隙控制几何结构的四个三角形板200的图。四个三角形板200包括第一三角形板202、第二三角形板204、第三三角形板206和第四三角形板208。四个三角形板200可以是由于这四个三角形板200之间的残余应力的变化而向上或向下弯曲的悬臂板。然而,四个三角形板200的间隙控制几何结构可以将相邻板之间的间隙控制为保持相对较小。如此,与两个相对的矩形悬臂之间的间隙相比,间隙控制几何结构可以在相邻板之间产生较小的间隙。例如,间隙控制几何结构可以在第一三角形板202和相邻的第二三角形板204之间产生小的间隙210。在一些方面,X和Y方向的应力失配可能导致板200以不同方式挠曲并且具有比在X和Y方向的应力相同的情况下所产生的间隙大得多的间隙。如此,减少四个三角形板200之间的挠曲差异将是有益的。在该实例中,可以调节四个三角形板200之间的应力以减少四个三角形板200之间的挠曲差异。

[0034] 图3是示出根据某些典型方面的板300的模型化挠曲的图。在图3中,示出四个板的模型化挠曲。板300的模型化挠曲包括第一模型化板302、第二模型化板304、第三模型化板306和第四模型化板308。板300的模型化挠曲可以包括底层和顶层。底层和顶层各自可以包括相应的应力量。在该示例中,底层应力在X方向为400MPa并且在Y方向为435MPa,而顶层应力在X方向和Y方向均为400MPa。如此,相对的两对板具有匹配挠曲。因此,第一模型化板302与第三模型化板306将具有匹配挠曲,并且第二模型化板304与第四模型化板308将具有匹配挠曲。然而,X应力和Y应力的差异导致相邻板具有不同的垂直挠曲。相邻板之间的不同的垂直挠曲可最终扩大板之间的间隙。例如,板300的模型化挠曲中的X应力和Y应力差异可能导致第一模型化板302和第二模型化板304之间的间隙变得更大,并且导致第一模型化板302和第四模型化板308之间的间隙也变得更大。

[0035] 图4是示出根据某些典型方面的沿着具有间隙控制几何结构的两个相邻板的间隙的模型化挠曲的图表400。针对两个相邻板(即板1和板2),图4中的图表400与用于图3的条件相对应。在该示例中,曲线402示出板1沿着板1和板2之间的间隙长度的垂直挠曲,其中在该示例中,板2与板1相邻。在该示例中,曲线404示出板2在沿着板1和板2之间的间隙的长度上的垂直挠曲。在该示例中,板1和板2之间的底层应力在X方向为400MPa并且在Y方向为435MPa,而板1和板2之间的顶层应力在X方向和Y方向均为400MPa。如描述了沿着两个相邻板之间的间隙的长度vs两个相邻板各自的垂直挠曲的图表400所示,两个板之间的间隙在尖端处最大,可以是15 μ m。

[0036] 通过在间隙控制几何结构中加入板(即板1和板2)之间的间隙减小弹簧,可以使相邻板的垂直挠曲更相似,从而减小板之间的间隙大小。可以使用若干度量来确定间隙减小弹簧的适当设计,所述度量包括弹簧结构中由于面内残余应力而引起的最大主应力、对灵敏度的影响以及间隙大小的减小等。通过对具有上述X和Y应力值的板和弹簧进行建模来确定由于面内残余应力而引起的最大主应力。这代表特定场景。例如,较高的最大主应力与弹簧断裂的较大的可能性相关联,而较低的最大主应力与弹簧断裂的较低的可能性相关联。一般来说,最大主应力包括系统在断裂之前可以经受的最大应力的极限。如此,在该实例中,最大主应力可以与相应的相邻板之间的弹簧的简单拉伸的弹性极限处的最大应力量相对应。因此,弹簧结构中的较低的最大主应力可以是期望的。

[0037] 由于间隙控制几何结构对具有间隙减小弹簧的相同几何结构所施加的均匀声压,

因此对灵敏度的影响是通过将有效装置区域(诸如基板或一个或多个板的有效区域等)中的X方向的应力的总和(σ_{xx_p})与Y方向的应力的总和(σ_{yy_p})进行比较来评估的。有效装置区域可以是基板或一个或多个板的包括传感器电极的区域。该区域可以与不具有对装置的整体传感器电容和输出电压作出贡献的电极的非有效区域不同。如全部内容通过引用而并入于此的美国专利8,531,088所描述,通过使输出能量最大来确定有效装置区域。期望的是,使灵敏度的降低尽可能小。通过应用以上给出的同一具体场景中的残余应力值并且将具有间隙减小弹簧的设计的垂直挠曲失配与没有间隙减小弹簧的设计的垂直挠曲失配进行比较,来确定间隙大小的减小。一般来说,板之间的垂直挠曲失配包括两个或更多个板之间的垂直挠曲的差异。

[0038] 这里描述了用以实现间隙大小减小的示例性弹簧设计,其中这些设计使灵敏度的降低最小并且由面内残余应力引起的主应力低。在一些方面,面内残余应力可以包括板上保留的源自制造的应力。此外,面内残余应力可以与在板的相同平面内发生的应力相对应。

[0039] 参考图5A,声换能器501(或声换能器的一部分)包括板550、560和弹簧502、520。在该示例中,声换能器501包括具有间隙控制几何结构的声换能器,例如如美国专利9,055,372中所描述的声换能器。在该示例中,弹簧502、520各自是连接两个相邻板550和560的间隙减小弹簧502。在该示例中,弹簧502包括弹簧臂503A、503B。例如,弹簧臂503A包括围绕板550的蚀刻部分的阴影线(阴影)部分。在该示例中,蚀刻部分被示出为白色区域并且包括蚀刻部分505A、505B、505C、505D。弹簧臂503B包括围绕板560的蚀刻部分的虚线部分。

[0040] 在该示例中,蚀刻部分被示出为白色区域并且除蚀刻部分505C、505D以外还包括蚀刻部分505E、505F。围绕或者接近蚀刻区域的弹簧臂的大小可以改变。这里示出一个特定的示例。弹簧502与弹簧臂长度504(S_{len})、板550和560之间的间隙506、弹簧臂503A和503B各自的宽度(S_{wid})、以及应力消除端点507A、507B相关联。在该示例中,应力消除端点507A包括在弹簧臂503A中,并且应力消除端点507B包括在弹簧臂503B中。弹簧502还包括应力消除端点507C。各弹簧的应力消除端点可以例如通过消除弹簧的应力来防止弹簧的两端断裂或以其它方式折断。在该示例中,弹簧臂503A的宽度508被表示为 S_{wid} 。在某些方面,弹簧502可以直接蚀刻在板550和560中,此外,板550和560可以通过对基板或材料进行蚀刻来定义。(即,对材料的蚀刻形成各个板并且定义了与板相邻的弹簧)。各应力消除端点包括直径512A、512B、512C、512D、512E、512F中的一个特定直径(C_{dia})。在一些方面,各应力消除端点的直径512A~F是相同的。在图5A中,总共存在六个形状为圆形的应力消除端点507A、507B、507C、507D、507E、507F,然而,如本领域技术人员将意识到的,可以调整应力消除端点的数量和形状。在某些方面,图5A的弹簧502还可以通过具有一定宽度的部分510而连接至相同的两个相邻板550和560之间的第二弹簧520。在某些方面,弹簧520以及板550和560均由类似的材料制成。该材料可以包括用于建立两个相邻板550和560之间的弹簧520的结构的膜堆叠。第二弹簧520可以共享弹簧502的上述特征,例如包括臂和应力消除端点。

[0041] 参考图5B,根据某些典型方面,声换能器501包括相邻板550、560。这些相邻板可以包括从板的尖端530A到弹簧502、520的中心530B的距离(D)530。弹簧502、520各自可被放置成连接两个相邻板550和560。

[0042] 参考图5C,声换能器570包括(彼此相邻的)板572、574、以及间隙减小弹簧576、578。在该示例中,弹簧576包括应力消除端点540A、540B和540C。弹簧578包括应力消除端点

540E、540D和540F。在该示例中，两个相邻板572、574之间的弹簧576、578的应力消除端点540A~F可以是方形或矩形，而非圆形或椭圆形。

[0043] 参考图6A，声换能器601包括弹簧602、620以及彼此相邻的板650、660。在该示例中，弹簧602包括具有弹簧臂长度604 (S_{len}) 的弹簧臂603。例如，弹簧臂603包括围绕板560的蚀刻部分的阴影线(阴影)部分。在该示例中，蚀刻部分被示出为白色区域并且包括蚀刻部分605A、605B、605C和605D。在该示例中，存在板650和660之间的间隙606、弹簧臂的宽度608 (S_{wid})、以及一个或多个应力消除端点607A、607B、607C、607D。在该示例中，应力消除端点607B包括在弹簧臂603中。弹簧602也包括应力消除端点607B。弹簧的应力消除端点607A、607B、607C、607D可以例如通过消除弹簧的应力来防止弹簧的两端断裂或以其它方式折断。在该示例中，弹簧臂603的宽度608被表示为 S_{wid} 。在某些方面，弹簧602可以直接蚀刻在板650和660中。此外，板650和660可以通过对基板或材料进行蚀刻来定义。(即，对材料的蚀刻形成各个板并且定义了与板相邻的弹簧)。应力消除端点607A、607B各自包括特定的直径612A、612B、612C和612D (C_{dia})。在一些方面，各应力消除端点607A、607B的直径612A~D是相同的。

[0044] 参考图5D，示出图5A的变形，其中示出弹簧臂503A、503B各自的边界的示例。

[0045] 在图6A中，总共存在四个形状为圆形的应力消除端点607A、607B、607C和607D。在某些方面，图6A的弹簧602还可以通过部分610而连接至相同的两个相邻板650和660之间的第二弹簧620。在该示例中，第二弹簧620包括两个应力消除端点607C和607D。第二弹簧620可最终共享弹簧602的特征，例如包括臂和应力消除端点。

[0046] 参考图6B，根据某些典型方面，声换能器601包括相邻板650和660。这些相邻板可以包括从板的尖端630A到弹簧602、620的中心630B的距离(D) 630。弹簧602、620各自可被放置成连接两个相邻板650和660。

[0047] 参考图6C，示出图6A的变形，其中示出弹簧臂603的边界的示例。

[0048] 参考图7A，声换能器701包括板750、760和弹簧702。在该示例中，弹簧702是连接两个相邻板750和760的间隙减小弹簧702。在该示例中，弹簧702包括弹簧臂703A、703B。例如，弹簧臂703A包括围绕板750中的蚀刻部分的交叉阴影线部分。在该示例中，蚀刻部分被示出为白色区域并且包括蚀刻部分705A、705B、705C、705D、705E、705F。弹簧臂703B包括围绕板760中的蚀刻部分的虚线部分。在该示例中，蚀刻部分被示出为白色区域并且包括蚀刻部分705E、705F、705G、705H、705I、705J。弹簧702与第一弹簧臂长度708 ($S_{len}-S_{wid}-C_{dia}/2$) 以及第二弹簧臂长度710 ($S_{len}-C_{dia}/2$) 相关联。弹簧702还可以与板750和760之间的间隙706、弹簧臂703A、703B的相应宽度 (S_{wid})、以及应力消除端点707A、707B、707C、707D、707E相关联。应力消除端点各自包括特定的直径712A、712B、712C、712D、712E (C_{dia})。在该示例中，应力消除端点707A和707B包括在弹簧臂703A中，并且应力消除端点707D和707E包括在弹簧臂703B中。弹簧702也包括应力消除端点702C。各弹簧的应力消除端点可以例如通过消除弹簧的应力来防止弹簧的两端断裂或以其它方式折断。在某些方面，弹簧702可以直接蚀刻在板750和760中。此外，板750和760可以通过对基板或材料进行蚀刻来定义。(即，对材料的蚀刻形成各个板并且定义了与板相邻的弹簧。) 在一些方面，各应力消除端点707A~E的直径712A~E是相同的。在图7A中，总共存在五个形状为圆形的应力消除端点707A~E，然而，如本领域技术人员将意识到的，可以调整应力消除端点的数量和形状。

[0049] 参考图7B,根据典型方面,声换能器701包括相邻板750、760。相邻板可以包括从板的尖端730A到弹簧702的弹簧中心730B的距离(D)730。弹簧702可被放置成连接两个相邻板750和760。

[0050] 在某些方面,选择弹簧设计的特定弹簧几何结构以满足设计要求。一般来说,在间隙大小的减小和对灵敏度的影响之间存在折衷。相对于针对灵敏度和间隙大小将具有相对较小影响的软弹簧,非常硬的弹簧将显著地减小间隙,但也将显著地减小灵敏度。较硬的弹簧也将典型地具有较高的由残余膜应力引起的主应力。理想情况下,弹簧在板的面内方向是软的,而在板的面外方向是硬的。在示例中,弹簧的尺寸可被设计成使得弹簧的长度和宽度提供板的可接受量的面内刚度。一般来说,在面内方向较软的弹簧包括容忍在面内方向的一定量的挠曲的弹簧。另一方面,在面外方向较硬的弹簧通常是抵抗在面外方向的一定量的挠曲的弹簧。

[0051] 为了选择特定的弹簧几何结构,可以首先选择最大主应力。在某些方面,最大主应力小于具有某一安全系数的材料的极限强度。例如,可以选择500MPa的最大主应力,并且设计的大小可以被定为针对上述的特定残余应力条件大致具有该应力量。在该示例中,弹簧宽度(S_{wid})可被选择为 $1\mu m$,这是因为该大小可被准确且精确地构建。弹簧宽度(S_{wid})的增加可能是不期望的,这是因为这可能导致面内刚度相对于面外刚度的大幅增加。此外,弹簧沿着间隙的位置(D)可被选择为使板之间的垂直挠曲失配最小。在示例中,更接近板的尖端的位置产生降低的失配量,这是因为在更接近尖端处将板连系在一起得到较少的失配。此外,如果弹簧过于接近板的底,则可能导致失配的增加。

[0052] 参考图7C,示出图7A的变形,其中示出弹簧臂703A、703B各自的边界的示例。

[0053] 图8是示出根据某些方面的间隙减小弹簧设计和几何结构的性能的典型图表800。在图表800中,设计1.1和1.2均基于图5A的典型间隙减小弹簧。设计2.1和2.2均基于图6A的典型间隙减小弹簧。设计3.1和3.2均基于图7A的典型间隙减小弹簧。

[0054] 在某些方面,增加应力消除端点的直径(C_{dia})有助于减小弹簧改变方向的位置处的应力。在没有诸如圆形应力消除特征等的应力消除端点的情况下,应力在弹簧扭转角处变得非常高。一般来说,弹簧的扭转包括弹簧改变方向的一部分弹簧。如此,弹簧的应力在弹簧的改变方向的部分处可能变高。然而,该应力消除端点降低了通过隔膜的声阻,因此重要的是该降低不会过大。因此,在给定各弹簧的设计参数的情况下可以调整应力消除端点的形状。如图8的图表800所示,可以选择弹簧的长度以使失配量保持为低。在一些情况下,板越长或越窄,板则越柔顺,这转而增加了失配。然而,随着板(例如,通过变得更短而)变得较不柔顺,则面内刚度也可以增加。

[0055] 间隙可被选择为 $1\mu m$ 。可以如此选择间隙的大小,因为该大小能够以更高的准确度和精确度构建而成。设计1.1、1.2、2.1和2.2的中心连接区域的长度(W)可被选择为 $2\mu m$ 。如果中心连接区域的长度过短,则这可以代表设计中的弱点。如果中心连接区域的长度过长,则这将不必要地延长间隙的长度。

[0056] 在某些方面,可以通过对底层和顶层施加 $\sigma_{xx_res} = 400MPa$ 、对底层施加 $\sigma_{yy_res} = 435MPa$ 并且对顶层施加 $\sigma_{yy_res} = 400MPa$ 、然后计算弹簧中的最大主应力,来计算由面内残余应力而引起的最大应力(Max Stress)。灵敏度行(Sensitivity)相对于没有间隙减小弹簧的麦克风的灵敏度的示出具有间隙减小弹簧的麦克风的灵敏度。失配行(Mismatch)示出通

过间隙减小弹簧连接的、具有用于最大应力计算的相同残余应力的两个相邻板的失配。为了参考,没有弹簧的两个相邻板的失配可以约为 $15\mu\text{m}$ 。

[0057] 图表800示出可用于实现相似性能的弹簧设计的三个变形。然而,本领域技术人员应当理解,存在用以实现这种性能的其他变形,并且可以使用其它变形来实现不同的性能。如图表800所示,弹簧臂的宽度(S_{wid})从 $1\mu\text{m}$ 增加到 $2\mu\text{m}$ 可能是不期望的,因为这可以使灵敏度的降低增大、并且同时导致相邻板之间的更大的失配。在某些方面,如果增加弹簧臂宽度有助于防止弹簧断裂,则增加弹簧臂宽度可以是期望的。

[0058] 图9A、图9B、图10A和图10B示出间隙减小弹簧设计所提供的改进。这些图示出由间隙减小弹簧所引起的间隙大小的改进的2D和3D图像。图9A、图9B、图10A和图10B中的所施加的应力失配和标度是相同的。

[0059] 图9A示出根据某些典型方面的在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的俯视图。在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的俯视图可以包括第一三角形板902、第二三角形板904、第三三角形板906和第四三角形板908。X应力和Y应力的差异可能使相邻板具有不同的垂直挠曲,这可能最终扩大板之间的间隙。例如,在板的模型化挠曲中X应力和Y应力的差异可能使第一模型化板902、第二模型化板904和第四模型化板908之间的间隙910变得更大。参考图9A,相邻板之间的失配可以是 $15\mu\text{m}$ 。如此,第一三角形板902和第二三角形板904之间的失配可以是 $15\mu\text{m}$ 。另外,第一三角形板902和第四三角形板908之间的失配可以是 $15\mu\text{m}$ 。

[0060] 图9B示出根据某些典型方面的在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图。在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图可以包括第一三角形板902、第二三角形板904、第三三角形板906和第四三角形板908。在不具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图示出由于在板的模型化挠曲中X应力和Y应力的差异而扩大的间隙910。换句话说,第一三角形板902和第四三角形板908之间的X应力和Y应力的差异可能使板902和板908之间的间隙910的大小增加。

[0061] 图10A示出根据某些典型方面的在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的俯视图。具有间隙减小弹簧的模型化挠曲的俯视图可以包括第一三角形板1002、第二三角形板1004、第三三角形板1006和第四三角形板1008。在一些方面,在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲可以是具有间隙减小弹簧的麦克风的模型化挠曲。通过在间隙控制几何结构中的各相邻板1002、1004、1006和1008之间添加间隙减小弹簧,可以使相邻板的垂直挠曲更相似,从而减小板之间的间隙大小。例如,在图10B中,相邻板之间的失配可以是 $0.74\mu\text{m}$ 。在某些方面,图7A的弹簧设计可以用于在图10A和图10B所示的四个板1002、1004、1006和1008中的各板的尖端附近将各板相连接。

[0062] 图10B示出根据某些典型方面的在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图。在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图可以包括第一三角形板1002、第二三角形板1004、第三三角形板1006和第四三角形板1008。在具有间隙减小弹簧的情况下的模型化挠曲的斜视图示出由于弹簧力将板拉向彼此而减小的间隙1010。换句话说,第一三角形板902和第四三角形板908之间的X应力和Y应力保持与不存在间隙减小弹簧的情况相同,然而弹簧力可以使板902和908之间的间隙910的大小减小。

[0063] 图11是示出根据某些方面的用于制造换能器的典型处理1100的流程图。用于制造

换能器的处理1100描述了定义MEMS换能器的板和弹簧的方法。在某些方面,用于制造换能器的处理1100可以描述定义作为声换能器的MEMS换能器的板和弹簧的方法。在某些方面,声换能器可以是麦克风。

[0064] 在步骤1102处,使交替的电极层和压电层沉积到基板上。在某些方面,使第一电极层沉积在基板上。可以使第一压电层沉积在第一电极层上。可以使第二电极层沉积在第一压电层上。如此,使交替的电极层和压电层沉积到基板上。在一些方面,使交替的电极层和压电层多次沉积到基板上。例如,可以使第三电极层沉积在基板上。可以使第二压电层沉积在第三电极层上。此外,可以使第四电极层沉积在第二压电层上。因此,可以存在一个或多个电极-压电-电极组合物。

[0065] 在步骤1104处,对所沉积的层进行蚀刻以定义一个或多个板以及与板相邻的弹簧。在某些方面,对所沉积的层进行蚀刻以定义第一板和第二板。例如,各板可以包括压电层以及夹着该压电层的一对电极层。各板可以包括锥形换能器梁。第一板和第二板能够以悬臂布置的方式连接。此外,第一板和第二板各自可以包括连结至基板的板底、相对于基板不受约束的板体、以及相对于基板不受约束的板端。如此,如果定义了总共两个板,则可以存在连结至单个基板的两个相应板底、相对于基板不受约束的两个相应板体、以及相对于基板不受约束的两个板端。在一些方面,板端可以朝向公共点汇聚。例如,如果存在各自为三角形的两个板,则第一板的板端的尖端和第二板的板端的尖端可以都朝向公共点汇聚。

[0066] 弹簧可以包括用于减少第一板和第二板之间的垂直挠曲失配的一个或多个弹簧臂。如此,可以基于板的设计参数来设计弹簧的弹簧臂的尺寸,使得第一板和第二板之间的垂直挠曲失配相对于在不依赖于弹簧的情况下第一板和第二板之间的垂直挠曲失配有所减少。在某些方面,弹簧沿着第一板和第二板之间的间隙定位。弹簧可被定位在使第一板和第二板之间的垂直挠曲失配减少的位置处。在一些方面,第一板和第二板之间的间隙由于所定义的弹簧而减小。如此,第一板和第二板之间的间隙的大小相对于在不依赖于弹簧的情况下第一板和第二板之间的间隙的大小有所减小。

[0067] 在某些方面,可以对所沉积的层进行第一蚀刻以定义第一板和第二板。可以对第一板和第二板进行第二蚀刻以定义与这对板相邻的弹簧。在一些方面,可利用材料将弹簧构建在第一板和第二板上方。在其它方面,可利用材料将弹簧构建在第一板和第二板下方。

[0068] 描述了多种实现。然而,应当理解,可以在不偏离本发明的精神和范围的情况下进行各种修改。例如,可以在对步骤进行重新排序、添加或移除的情况下使用以上所示的流程的各种形式。另外,这里所述的弹簧可被包括在各种类型的构造装置中,包括但不限于换能器、MEMS换能器、声换能器、MEMS声换能器以及麦克风等。

[0069] 描述了这里所述的技术和装置的特定实施例。其它实施例在权利要求书的范围内。例如,权利要求书中所记载的步骤能够以不同的顺序进行,并且仍实现期望的结果。

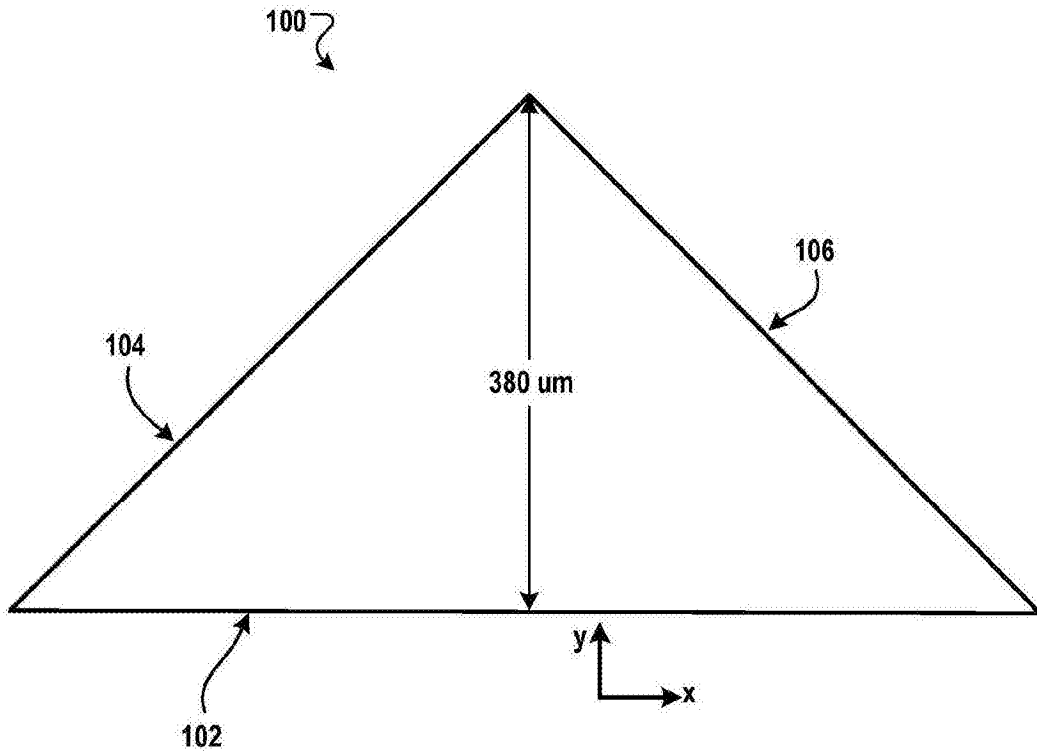


图1

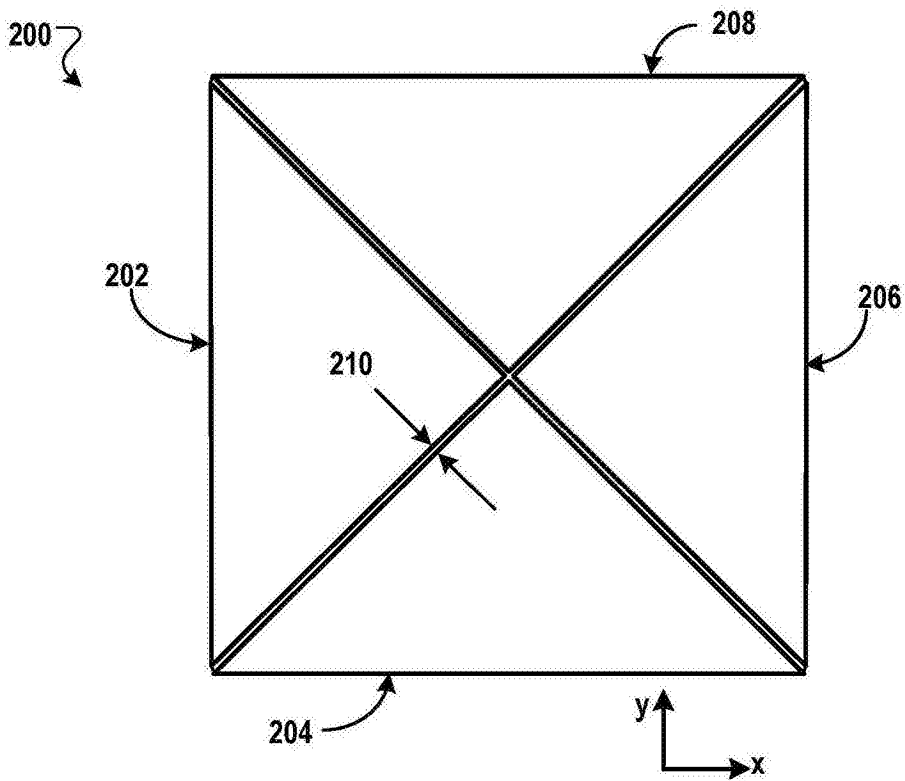


图2

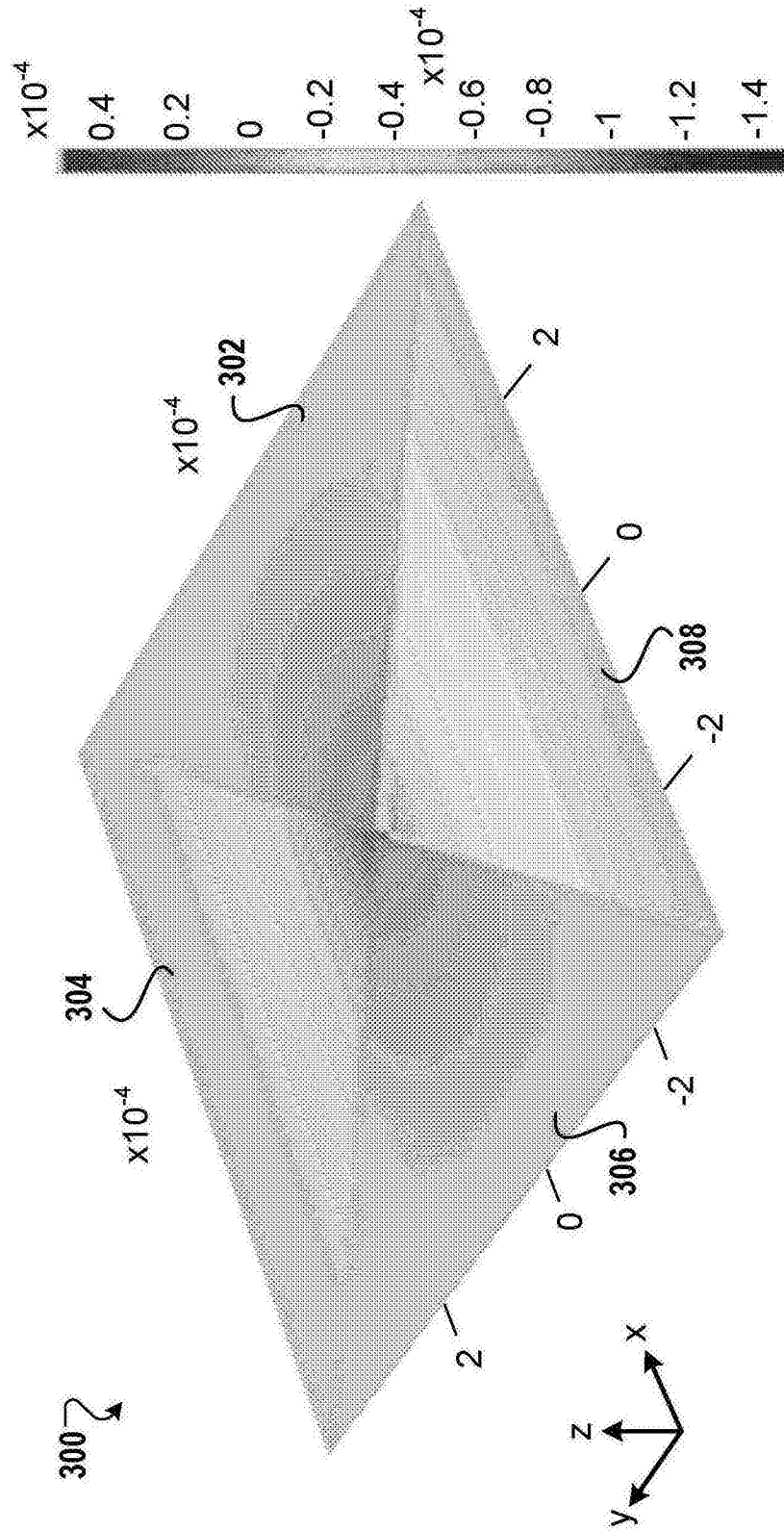


图3

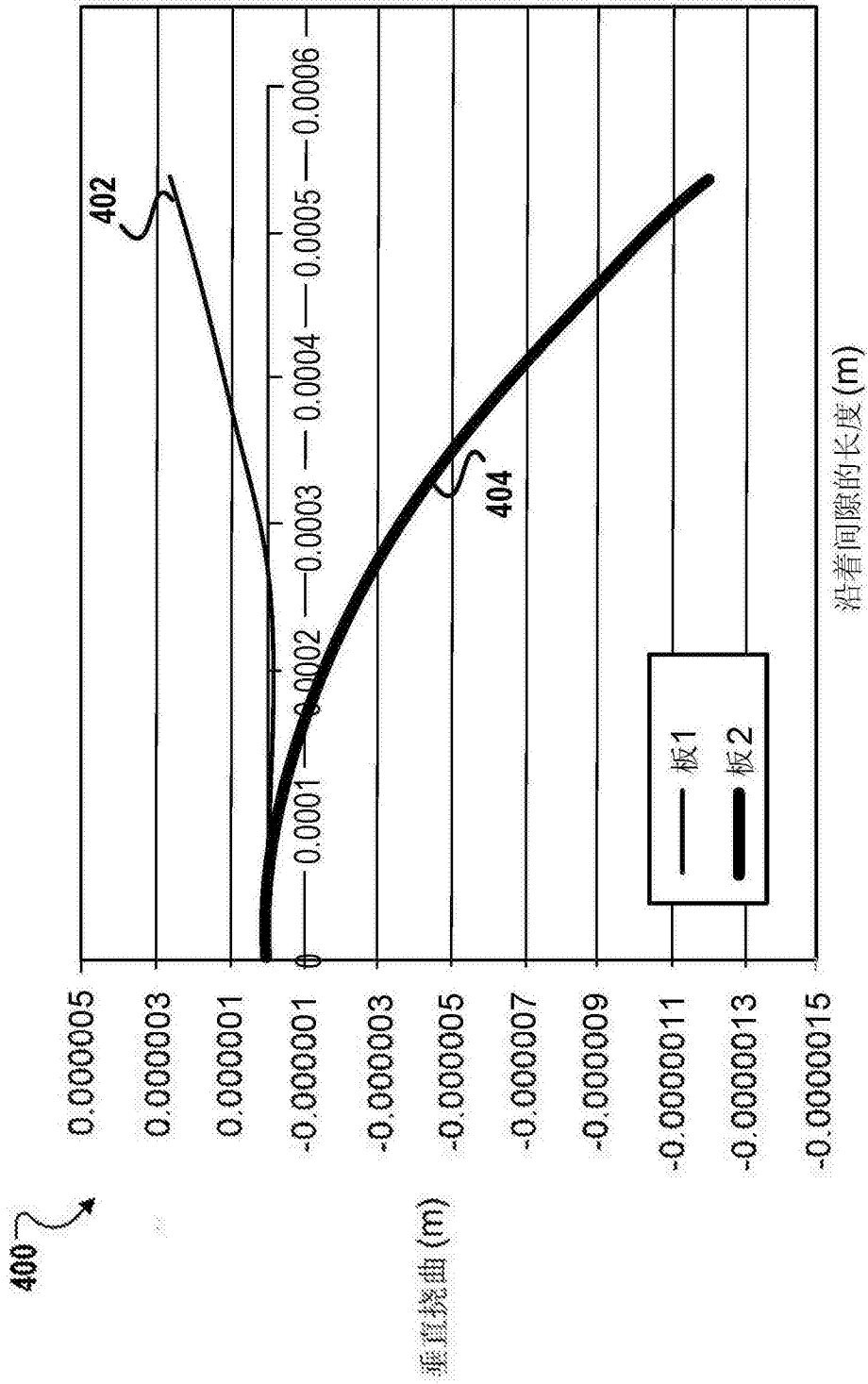


图4

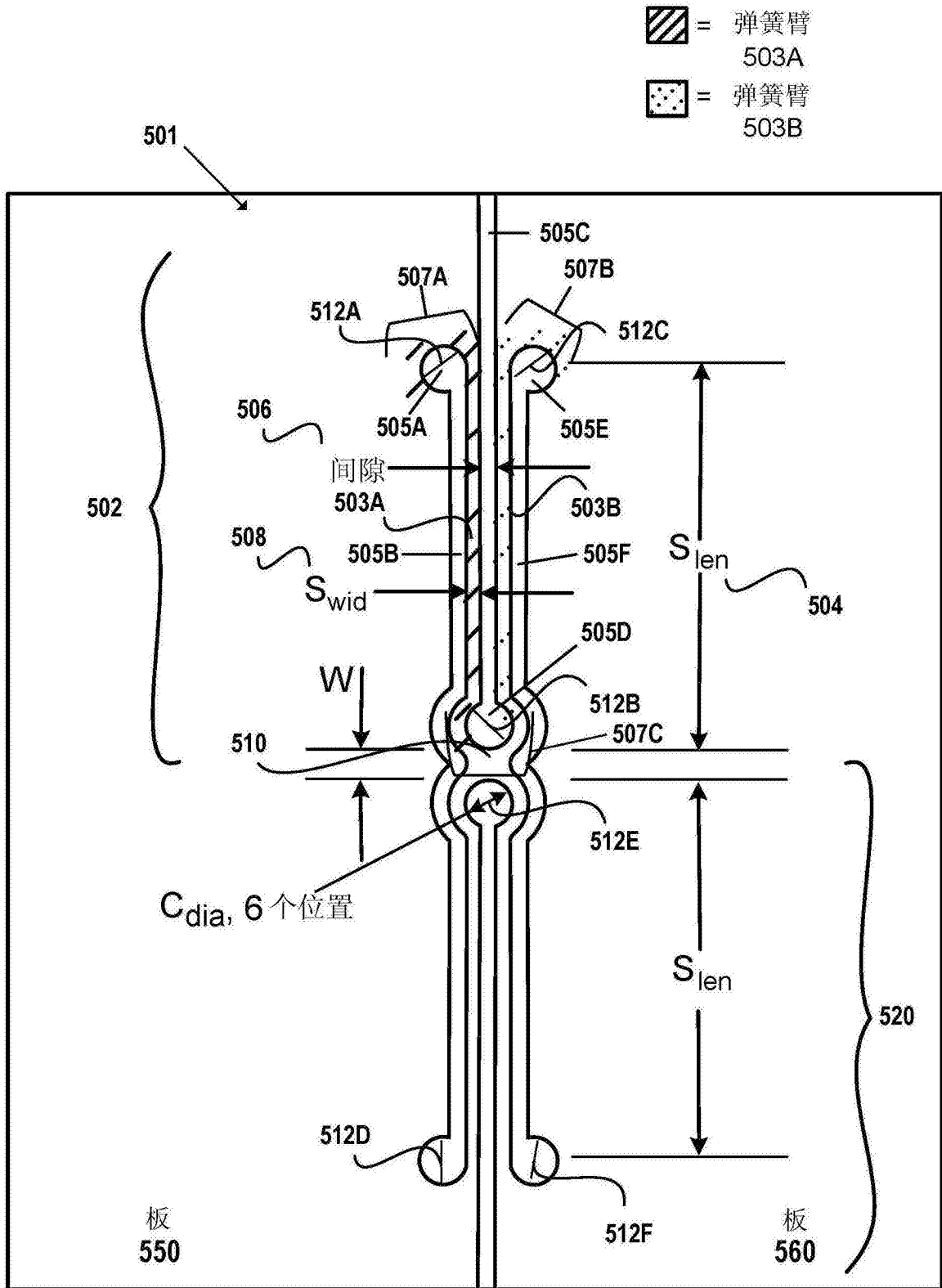


图5A

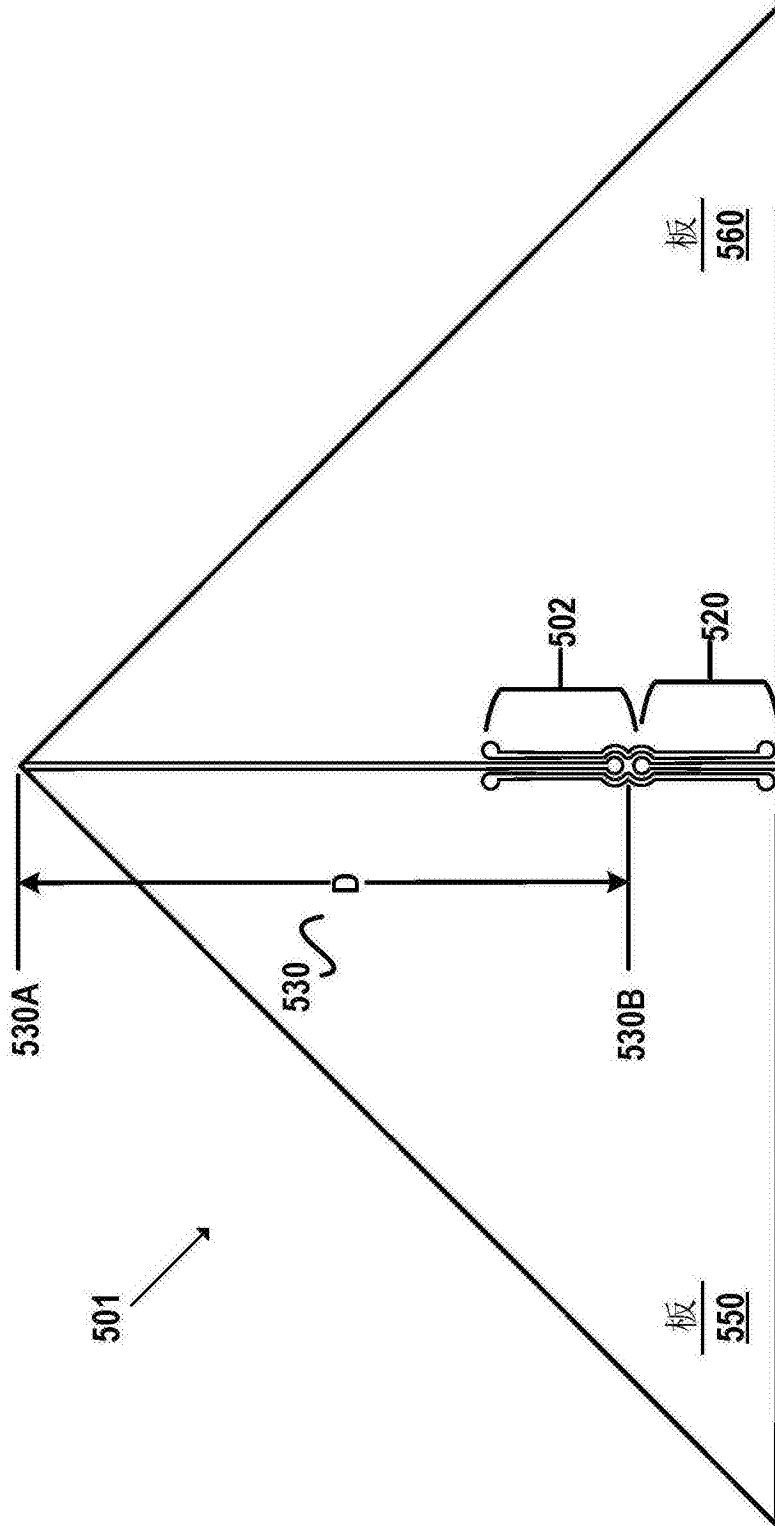


图5B

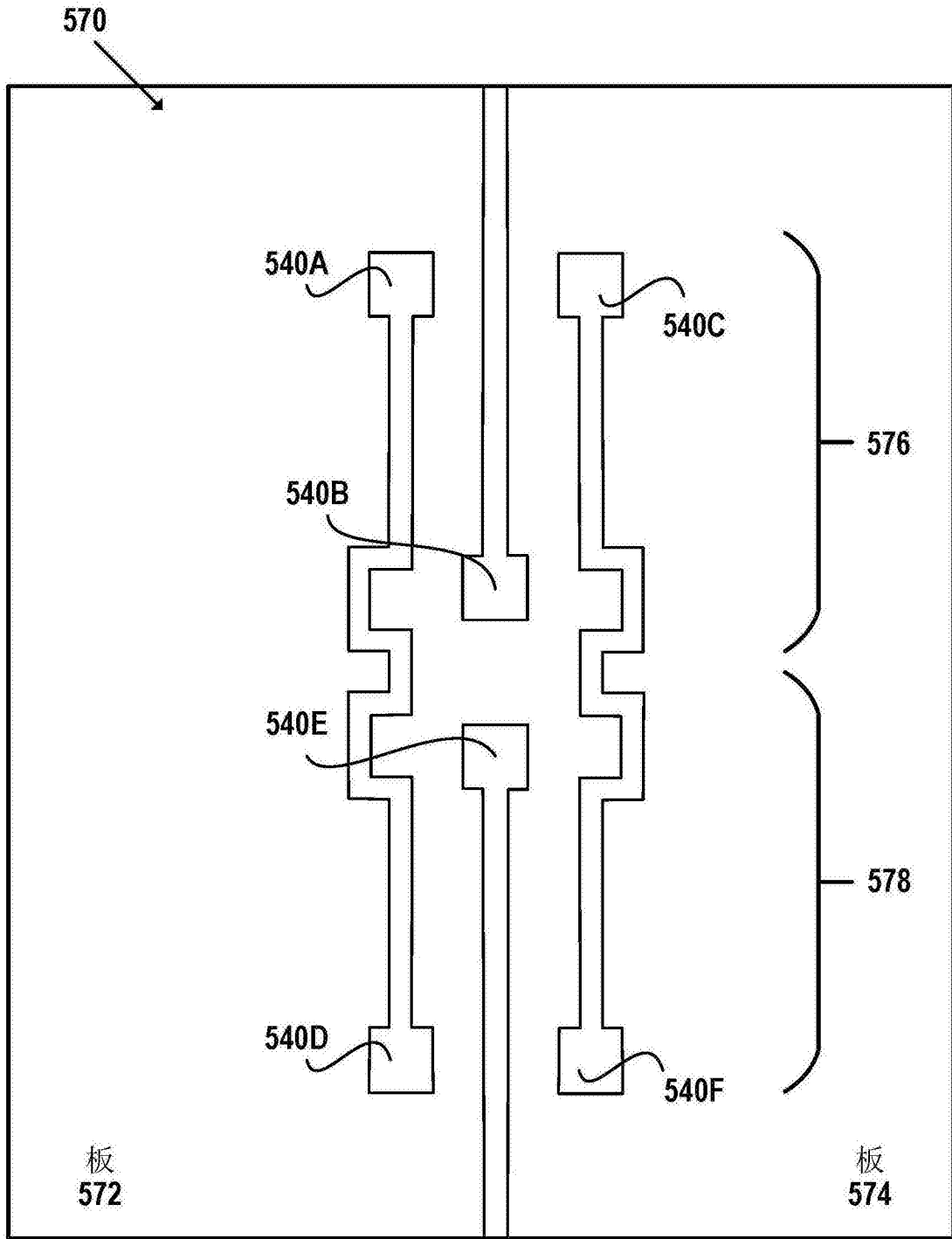


图5C

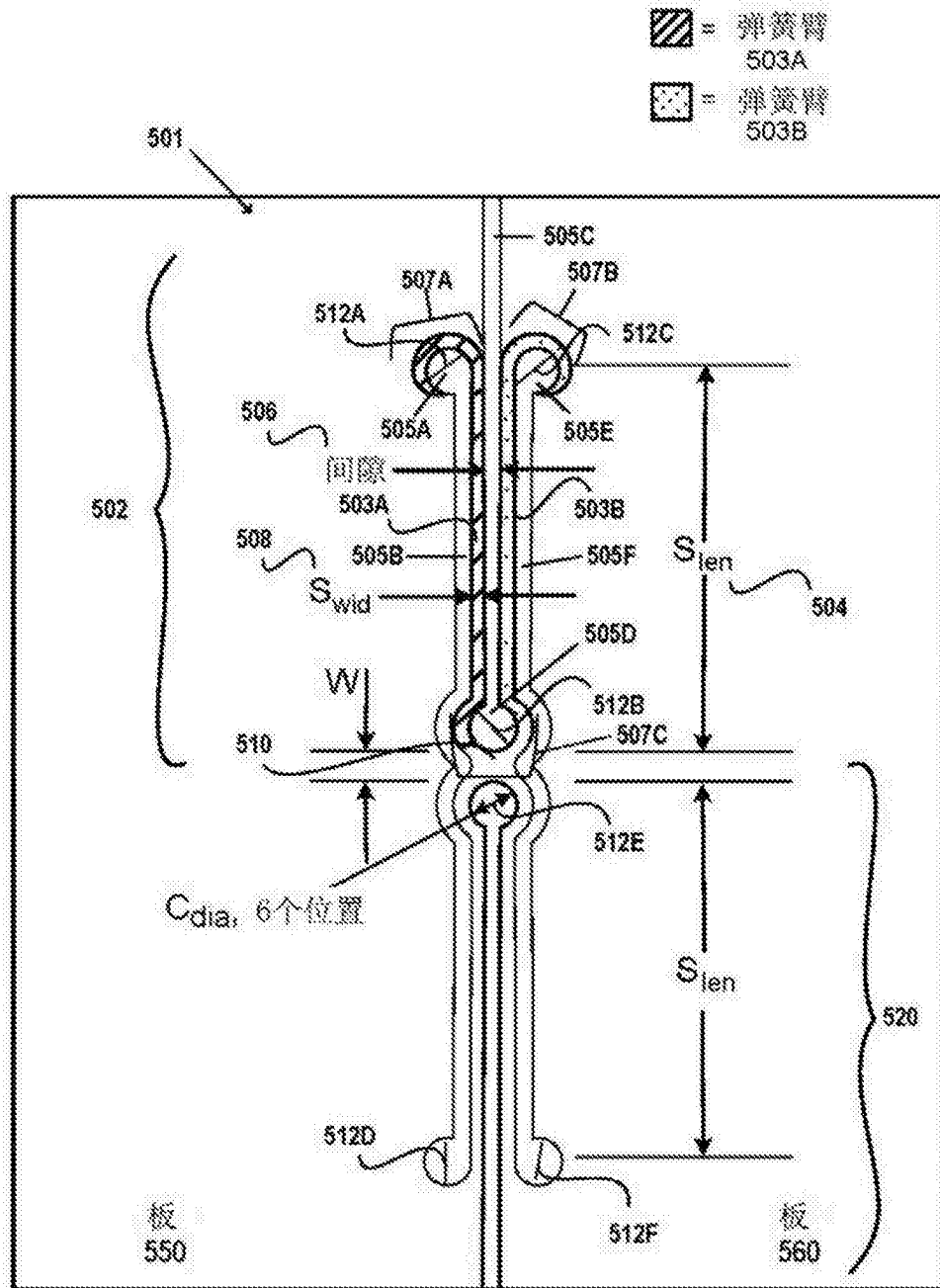


图5D

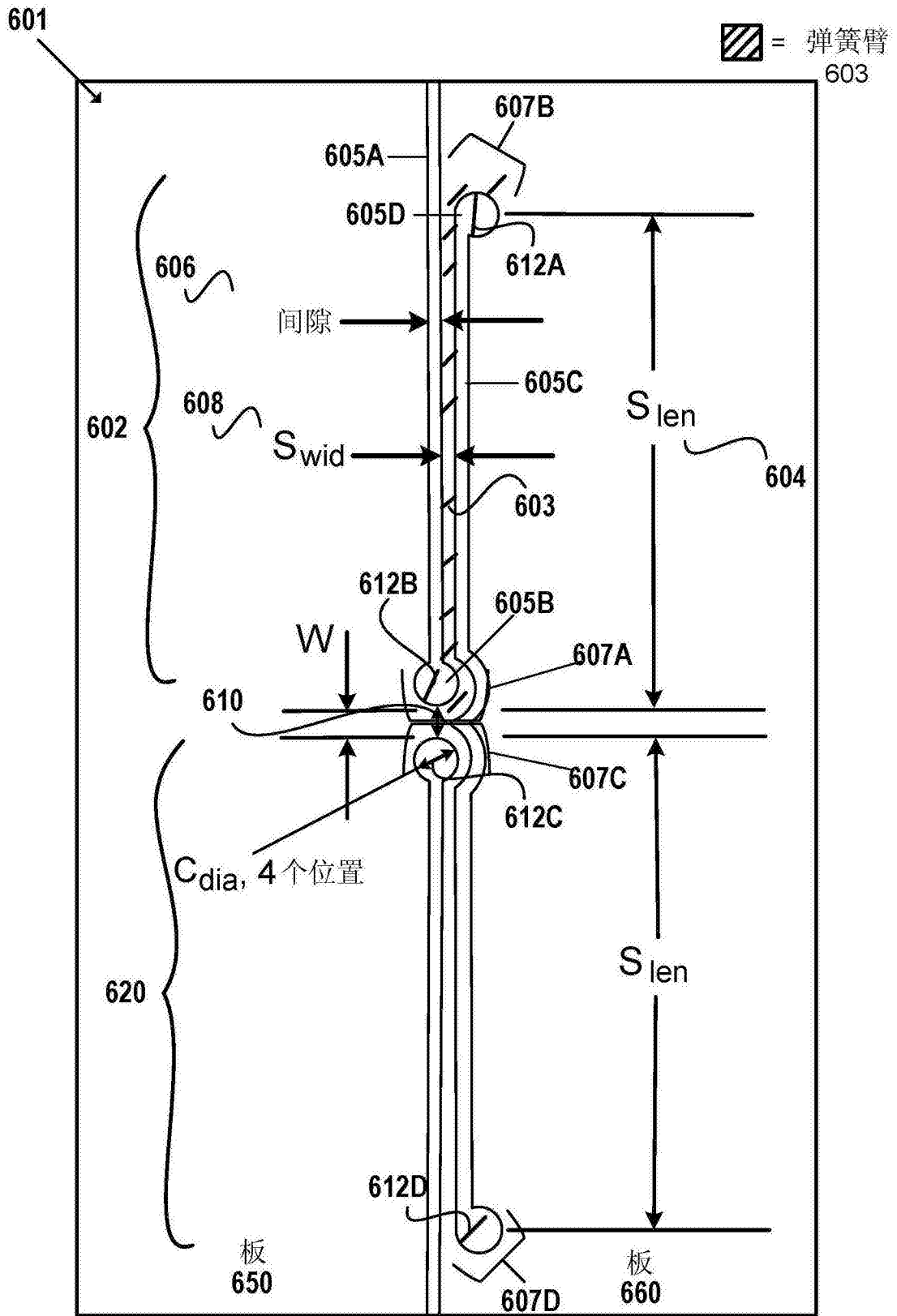


图6A

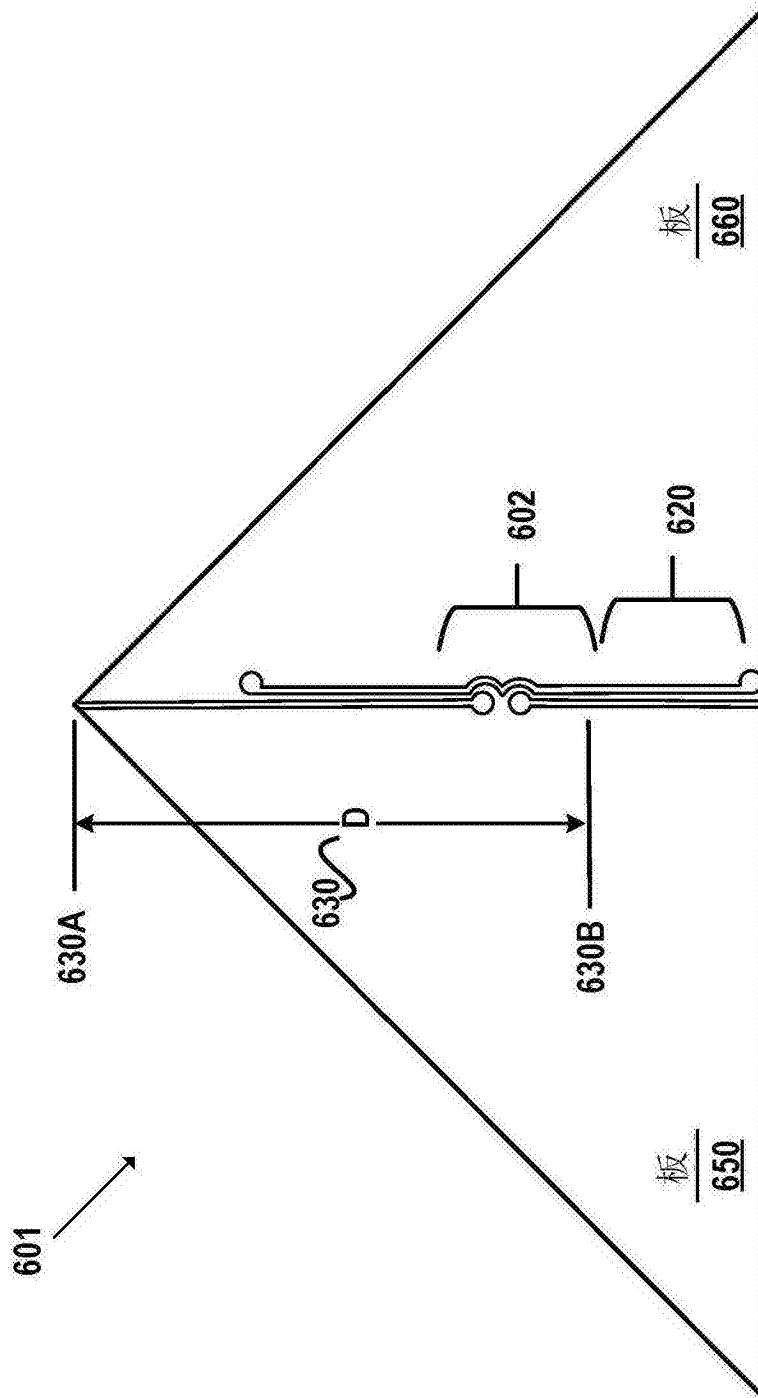


图6B

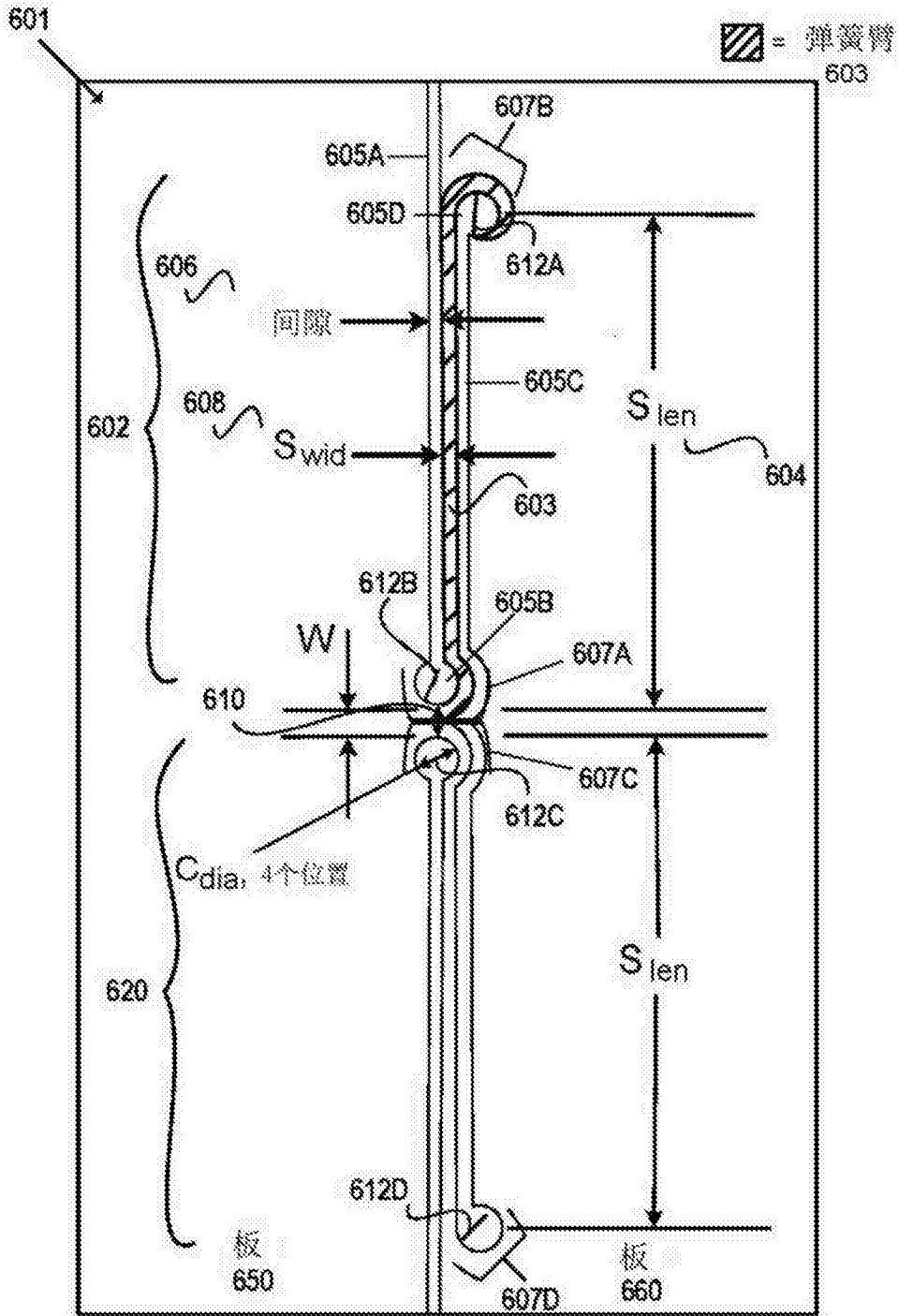


图6C

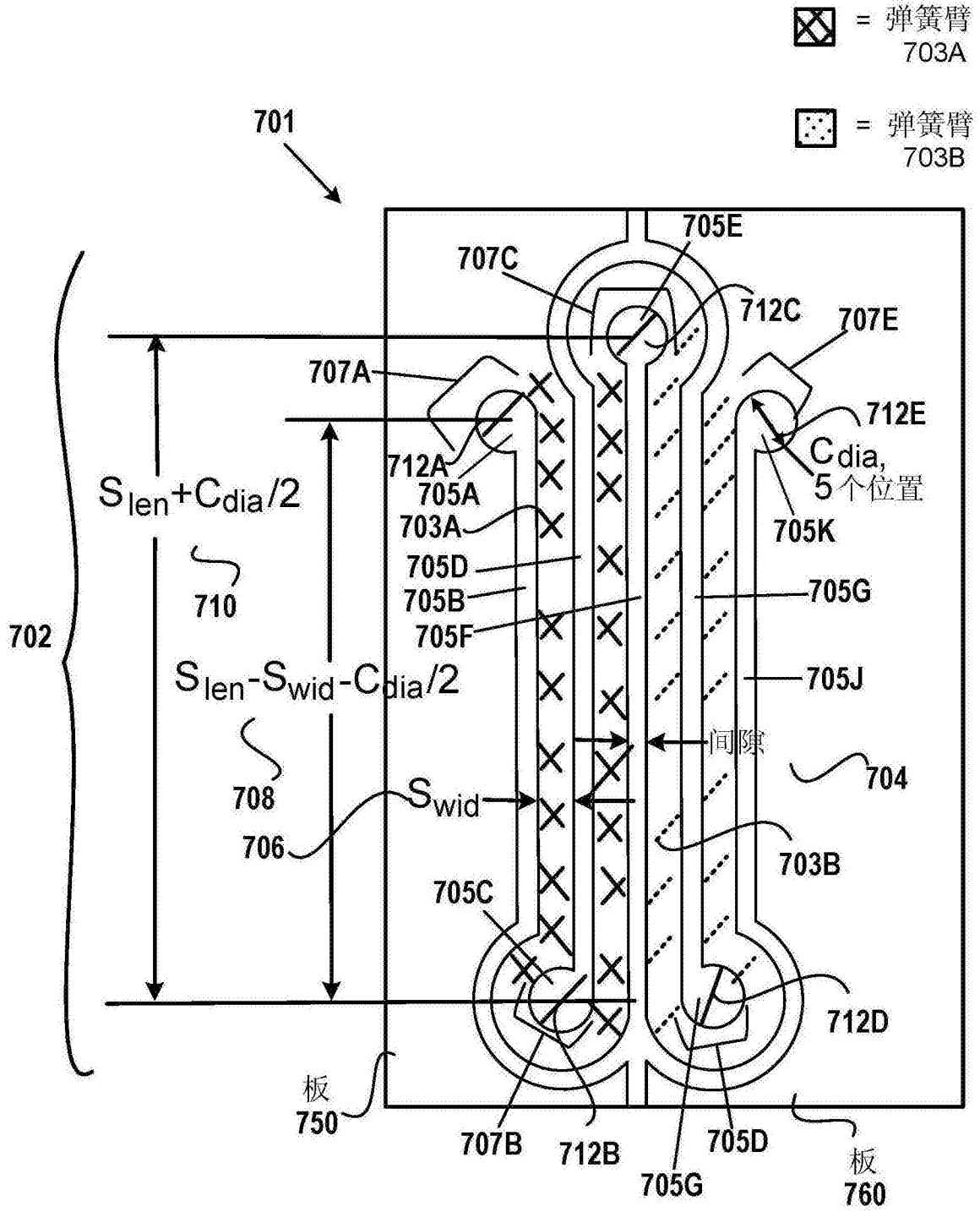


图7A

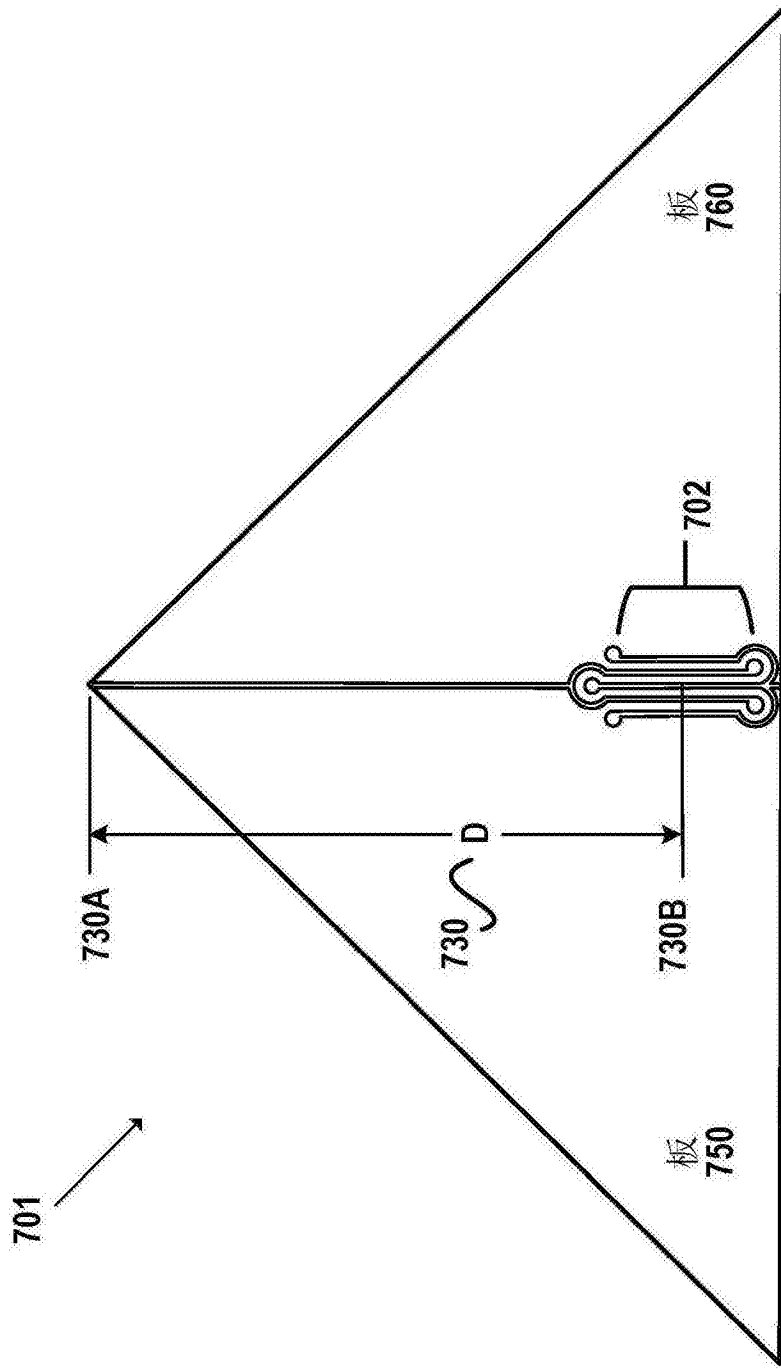


图7B

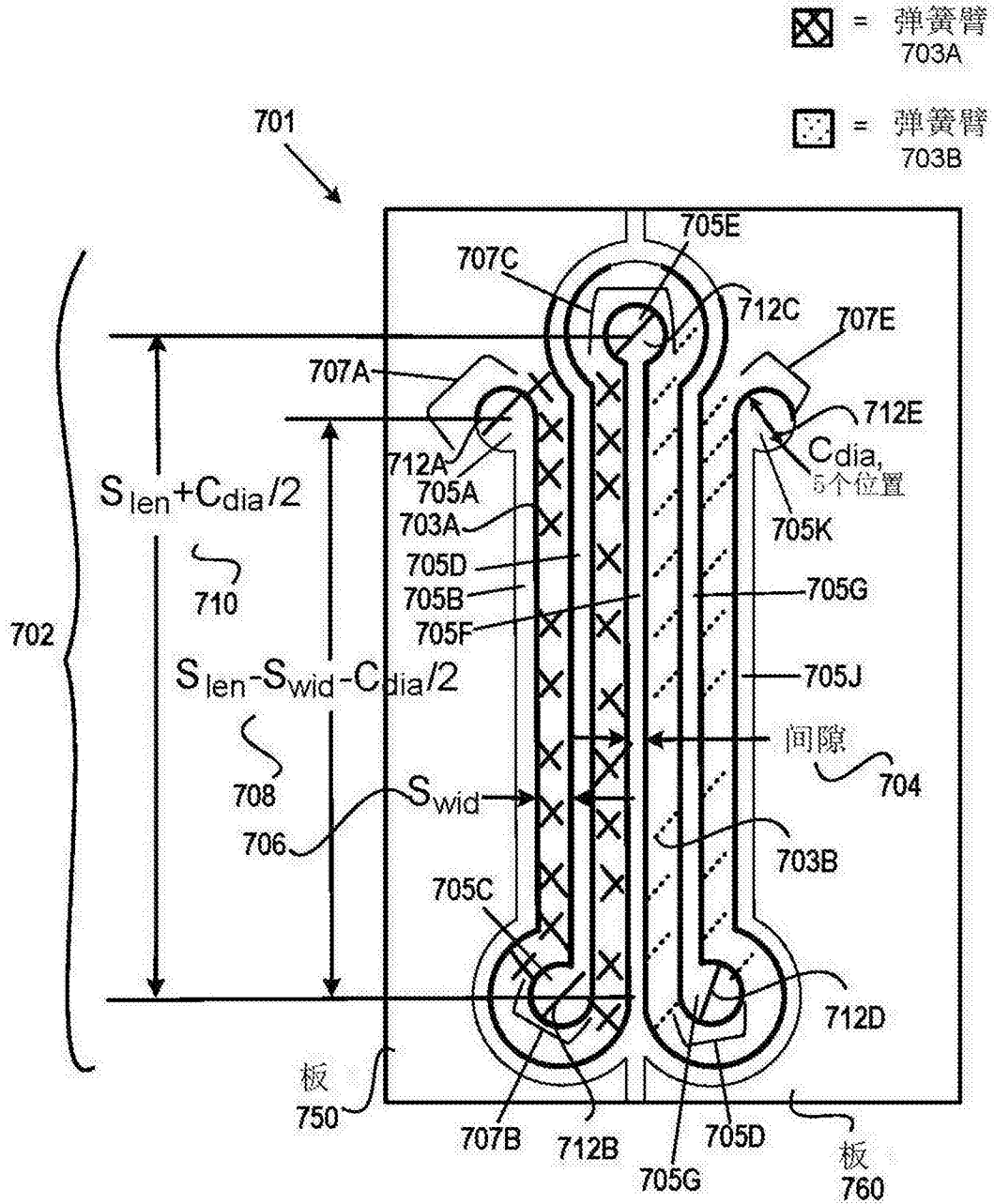


图7C

800 

图 8 若干间隙减小弹簧设计和几何结构的性能

设计	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
间隙	1 um	1 um	1 um	1 um	1 um	1 um
Swid	1 um	2 um	1 um	2 um	1 um	2 um
Sten	36 um	59 um	64 um	90 um	18 um	27 um
W	2 um	2 um	2 um	2 um	N/A	N/A
Cdia	3.0 um	3.0 um	3.0 um	3.0 um	3.0 um	3.0 um
D	45 um	69 um	74 um	100 um	26 um	35 um
最大应力	493 MPa	494 MPa	533 MPa	512 MPa	488 MPa	492 MPa
灵敏度	-0.13 dB	-0.21 dB	-0.13 dB	-0.23 dB	-0.07 dB	-0.12 dB
失配	0.91 um	0.91 um	0.63 um	1.35 um	0.74 um	0.98 um

图 8

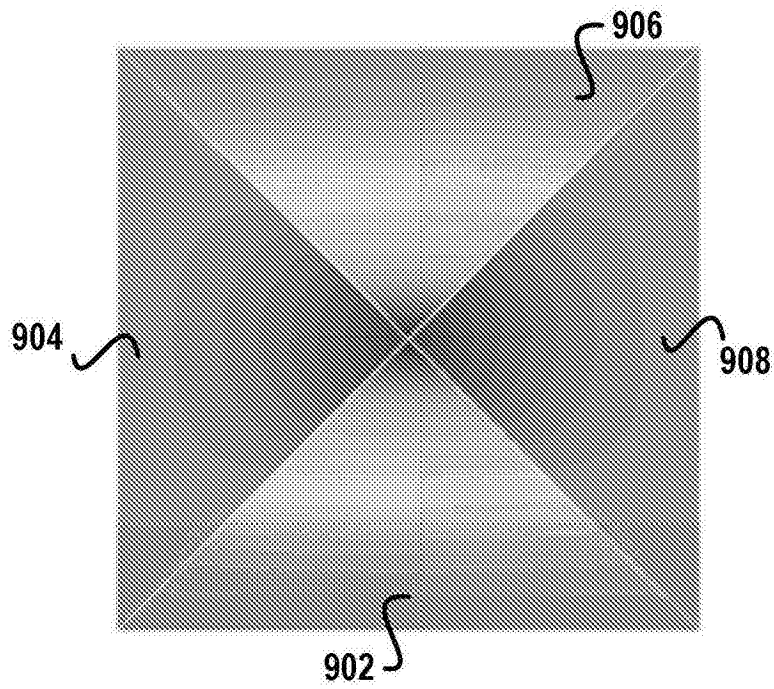


图9A

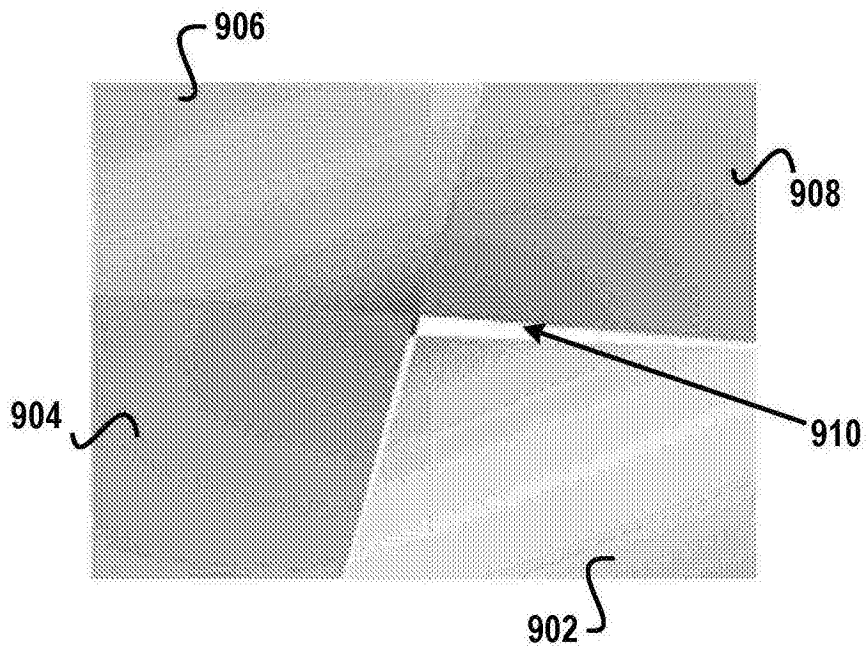


图9B

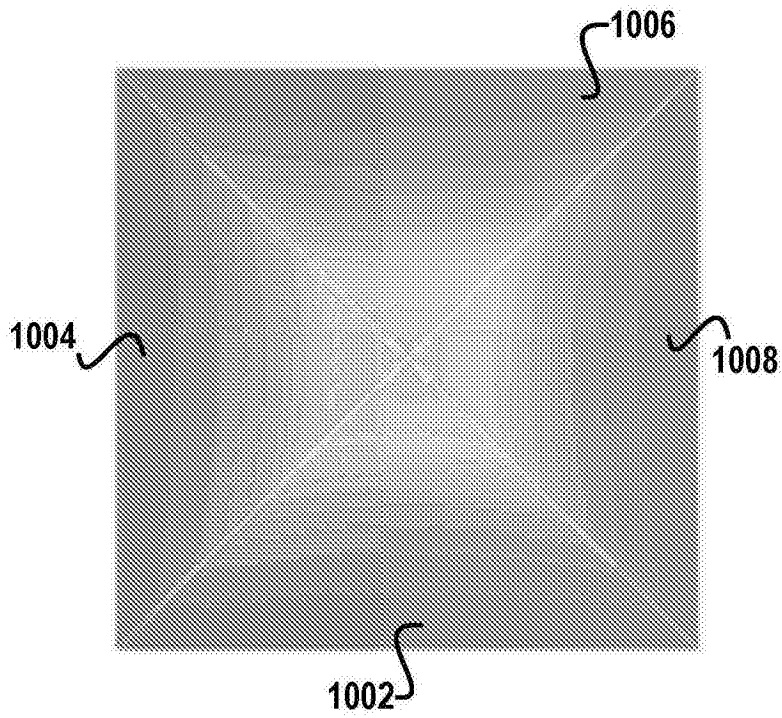


图10A

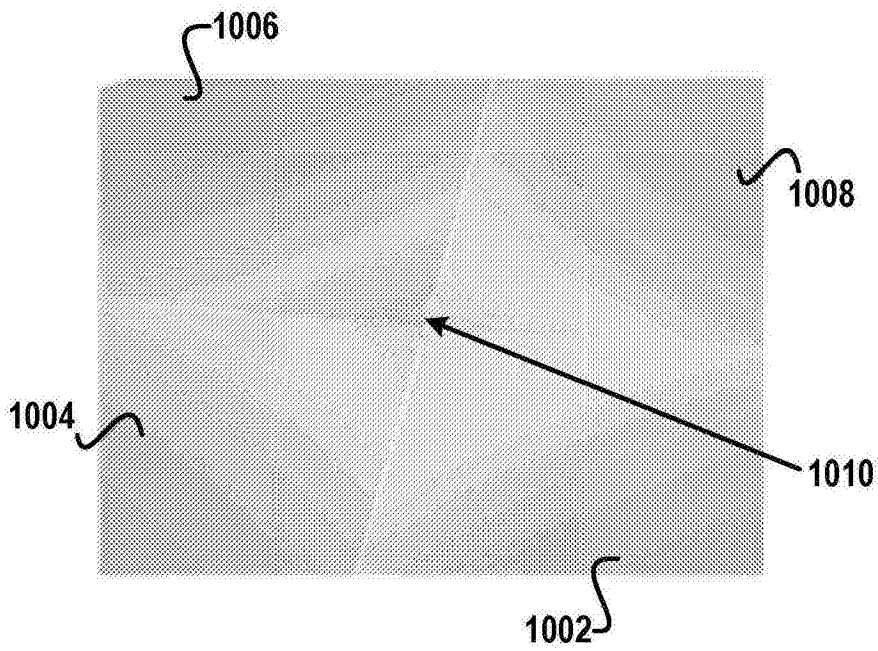


图10B

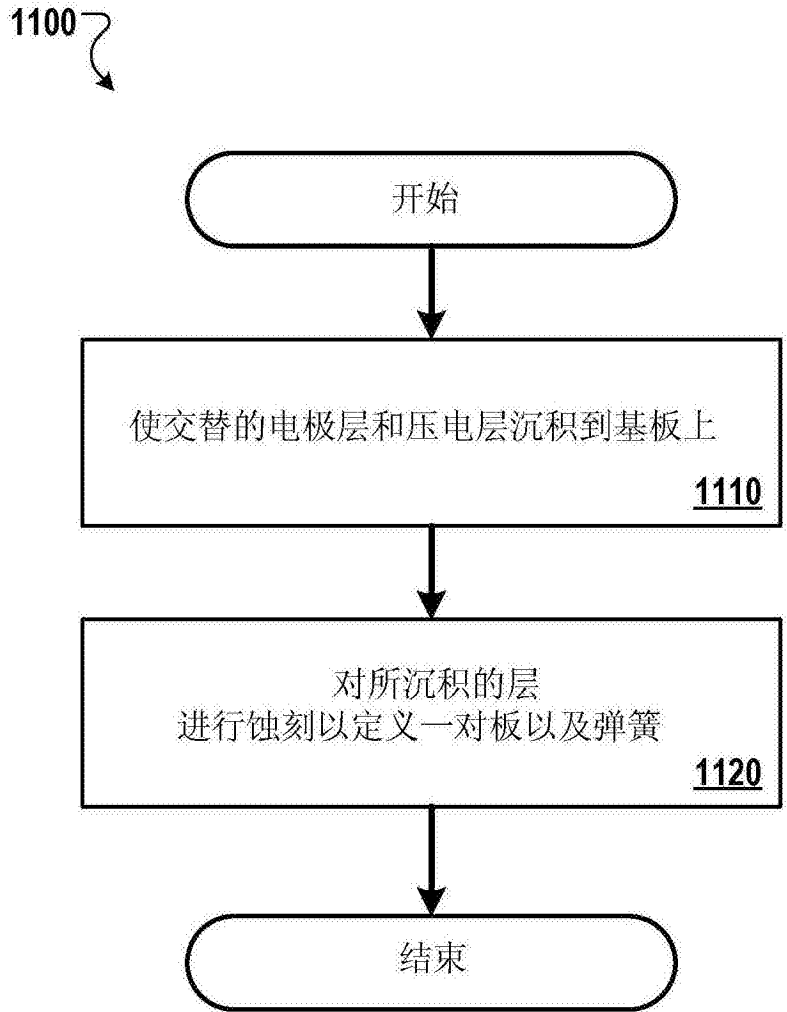


图11