



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107404697 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201611227014.2

(22)申请日 2016.12.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107404697 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(30)优先权数据
102016000051245 2016.05.18 IT

(73)专利权人 意法半导体股份有限公司
地址 意大利阿格拉布里安扎

(72)发明人 M·佩尔勒蒂 I·瓦里斯科
L·拉玛格纳 S·阿多尔诺
G·加特瑞 C·瓦尔扎希纳
S·康蒂

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

代理人 王茂华 杨立

(51)Int.Cl.
H04R 19/00(2006.01)
H04R 31/00(2006.01)

审查员 杨薇

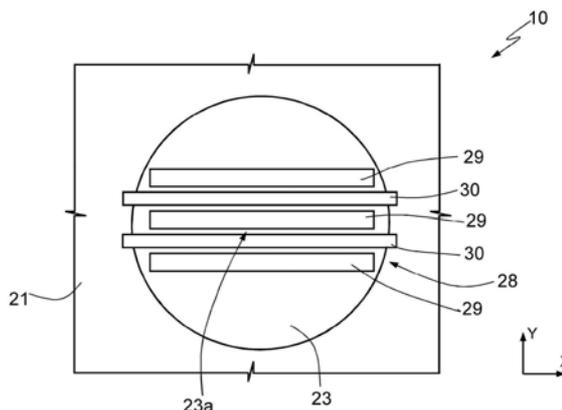
权利要求书2页 说明书10页 附图15页

(54)发明名称

具有梳齿式电极的MEMS声换能器及对应的
制造方法

(57)摘要

一种MEMS声换能器,其设置有:半导体材料的衬底,具有背表面和相对于垂直方向相反的前表面;形成在衬底内的第一腔,其从背表面延伸到前表面;膜,其布置在上表面处,悬置在第一腔的上方并沿着其周界锚定到衬底;以及梳齿状电极布置,其包括耦接到膜的多个可移动电极以及耦接到衬底并面向相应的可移动电极以形成感测电容器的多个固定电极,其中作为入射声波压力波的结果的膜的变形引起感测电容器的电容变化。特别地,梳齿状电极布置相对于膜垂直地放置并且平行于膜延伸。



1. 一种MEMS声换能器,包括:
半导体材料的衬底,具有背表面和相对于垂直方向相反的前表面;
在所述衬底中的第一腔,所述第一腔从所述背表面延伸到所述前表面;
膜,位于所述前表面处并且悬置在所述第一腔上方,所述膜的周界锚定到所述衬底;以及
梳齿状电极布置,包括耦接到所述膜的多个可移动电极以及耦接到所述衬底并面对所述多个可移动电极以形成感测电容器的多个固定电极,作为入射声压力波的结果的所述膜的变形被构造引起所述感测电容器的电容变化,
其中所述梳齿状电极布置垂直地悬置在距所述膜一定距离处,并且平行于所述膜延伸。
2. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述梳齿状电极布置被布置在所述膜的上方,所述多个可移动电极和所述多个固定电极悬置在所述膜的上方。
3. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述膜的周界通过膜锚定元件沿着其整个周界锚定到所述衬底,其中所述膜具有至少一个通孔,所述通孔将所述第一腔置于与布置在所述膜的相对侧上的第二腔流体连通。
4. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述多个可移动电极中的每一个可移动电极具有直接耦接到所述膜的耦接部分以及由所述耦接部分以悬臂方式在所述膜上方支撑的主要部分;并且其中所述多个固定电极在静止状态下以悬臂方式布置在所述膜上,并且面对所述多个可移动电极并平行于所述多个可移动电极。
5. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述多个可移动电极耦接到所述膜的中心部分,并且其中所述膜的变形被设计成引起所述多个移动电极相对于所述多个固定电极的垂直平移的第一位移。
6. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述多个可移动电极耦接到所述膜的外部,其中所述膜的变形引起垂直平移的第一位移和以所述多个可移动电极相对于所述多个固定电极的倾斜角旋转的第二位移,其中所述电容变化由所述第一位移和所述第二位移共同产生。
7. 根据权利要求6所述的换能器,其中所述多个可移动电极和所述多个固定电极相对于所述膜的中心径向地布置;所述换能器包括:
悬挂结构,包括耦接到所述衬底的所述前表面并相对于所述衬底垂直延伸的壁部分;
和
盖部分,其在顶部封闭所述壁部并且布置在所述膜的上方。
8. 根据权利要求7所述的换能器,其中所述悬挂结构还包括支撑柱,所述支撑柱耦接到所述盖部分的中心部分并垂直于所述膜的中心部分布置,所述支撑柱沿所述垂直方向朝向所述膜延伸;其中所述多个固定电极耦接到所述支撑柱。
9. 根据权利要求7所述的换能器,其中所述多个固定电极耦接到所述悬挂结构的所述壁部分,其中所述多个固定电极悬挂在所述膜上方、从所述壁部分沿相应的径向方向延伸。
10. 根据权利要求1所述的换能器,其中所述多个固定电极沿着所述垂直方向相对于所述多个可移动电极交错。
11. 一种电子设备,包括:

控制单元;和

耦接到所述控制单元的MEMS声换能器,所述MEMS声换能器包括:

半导体材料的衬底;

在所述衬底中的腔;

在所述腔处悬置的膜,所述膜构造成响应于声压而变形;

多个可移动电极,耦接到所述膜并且构造成响应于所述膜变形而移动,所述多个可移动电极垂直地悬置在距所述膜一定距离处;以及

多个固定电极,耦接到所述衬底并面对所述多个可移动电极,从而形成感测电容器,所述多个固定电极垂直地悬置在距所述膜一定距离处。

12.根据权利要求11所述的电子设备,其中所述电子设备是便携式设备和可穿戴设备之一。

13.根据权利要求11所述的电子设备,其中所述多个可移动电极和所述多个固定电极布置在所述膜的同一侧。

14.根据权利要求11所述的电子设备,其中所述膜耦接到所述腔上方的所述衬底的第一表面。

15.根据权利要求11所述的电子设备,其中多个可移动电极耦接到所述膜的中心部分。

16.一种用于制造MEMS声换能器的方法,所述方法包括:

在衬底的表面处形成膜,其中所述膜由腔悬置;以及

形成梳齿状电极布置,所述梳齿状电极布置包括耦接到所述膜的多个可移动电极和耦接到所述衬底并面对所述多个可移动电极以形成感测电容器的多个固定电极,其中作为入射声压波的结果的所述膜的变形引起所述感测电容器的电容变化,

其中形成梳齿状电极布置包括形成垂直地悬置在距所述膜一定距离处并且平行于所述膜的所述梳齿状电极布置。

17.根据权利要求16所述的方法,其中:

所述形成膜的步骤包括:

在所述衬底的所述表面上形成第一牺牲层;以及

在所述第一牺牲层上形成及限定膜层;并且

所述形成梳齿状电极布置的步骤包括:

在所述第一牺牲层和所述膜上形成第二牺牲层;以及

在所述第二牺牲层上形成及限定电极层。

18.根据权利要求17所述的方法,其中所述形成及限定所述电极层的步骤包括形成所述电极层和形成通过所述电极层的限定开口,直到到达所述第二牺牲层。

19.根据权利要求18所述的方法,还包括以下步骤:通过蚀刻穿过所述限定开口移除所述第一牺牲层和所述第二牺牲层以及释放悬置在所述腔上方的所述膜以及悬置在所述膜上方的所述多个可移动电极和所述多个固定电极。

20.根据权利要求16所述的方法,其中在所述形成所述膜的步骤之前,所述方法包括通过从背表面到前表面蚀刻所述衬底来形成所述腔。

21.根据权利要求16所述的方法,还包括形成将所述多个可移动电极和所述多个固定电极耦接到相应的电接触焊盘的路由结构的步骤。

具有梳齿式电极的MEMS声换能器及对应的制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种具有梳齿式电极的MEMS (微机电系统) 声换能器。本公开还涉及一种用于制造该MEMS声换能器的方法。

背景技术

[0002] MEMS声换能器是已知的,包括:微机械结构,其至少部分地由半导体材料制成,并且被设计成将待检测的声压波转换为电量(例如,电容变化);以及电子读取电路,所谓的ASIC(专用集成电路),被设计成执行用于提供电输出信号(模拟或数字)的所述电量的适当处理(例如,放大和滤波)操作。

[0003] MEMS声换能器例如广泛地用于诸如便携式计算机、平板电脑或智能电话之类的便携类型的电子设备,或者诸如手表或电子手镯之类的可穿戴类型的电子设备,其在空间占用和能量消耗方面提供重要的优点。此外,MEMS声换能器在其整个工作寿命期间并且相对于温度变化是稳定的,并且与表面安装器件(SMD)技术完全兼容。

[0004] 电容类型的MEMS声换能器的微机械感测结构通常包括移动膜,该移动膜根据入射压力波而发生变形,并且面向固定参考板即所谓的“背板”而被布置。膜和参考板提供感测电容器的板,并且膜的弯曲导致该感测电容器的电容的变化。在操作期间,总电荷保持恒定(经由适当的偏置),并且通过合适的处理电子器件将电容变化转换为电信号(例如,电压信号),其作为MEMS声传感器的输出信号而被提供。

[0005] 已知类型的MEMS声换能器例如在以本申请人的名义提交的美国专利公开号2010/0158279A1(其通过引用并入本文)中描述。

[0006] 图1通过示例示出了声换能器的微机械感测结构的一部分,整体由1表示。

[0007] 微机械感测结构1包括半导体材料的衬底2和可移动膜(或膜片)3。膜3例如由导电材料制成并面向固定电极或板4,其至少与膜3相比是刚性的,该膜3反而是柔性的并且根据入射声压波而发生变形。

[0008] 膜3通过由相同膜3的突出部形成的膜锚定部5锚定到衬底2,该膜锚定部5从其周边区域朝向衬底2延伸。

[0009] 例如,膜3在俯视图中(即在主要水平延伸平面中)具有大致正方形形状,并且数目为四个的膜锚定件5布置在正方形的顶点处。

[0010] 膜锚定件5执行将膜3悬置在衬底2上方与其隔开一定距离的功能。该距离的值由低频响应的线性度与声换能器的噪声之间的折衷所致。

[0011] 为了允许减轻膜3中例如从制造过程中获得的残余(拉伸和/或压缩)应力,穿过膜3形成通孔3',特别是在每个膜锚定件5附近,以便“均衡”存在于同一膜3的表面上的静压力(通常,穿过膜3形成至少一个通孔3')。

[0012] 背板4由导电材料制成并面对膜3的第一板层4a和绝缘材料的第二板层4b形成。

[0013] 第一板层4a与膜3一起形成微机械感测结构1的感测电容器。

[0014] 特别地,第二板层4b覆盖在第一板层4a上,除了其延伸穿过第一板层4a以形成背

板4的突起部6的部分之外,该突起部6朝向下面的膜3延伸并且具有防止膜3粘附到背板4上以及限制同一膜3的振动的功能。

[0015] 例如,膜3的厚度可以在0.1至1.5 μm 的范围内,第一板层4a的厚度可以在0.1至2 μm 的范围内,并且第二板层4b的厚度可以在0.7至4 μm 的范围内。

[0016] 背板4还具有多个孔7,其延伸穿过第一板层4a和第二板层4b,具有例如圆形的截面,并且具有在制造步骤期间允许去除下面的牺牲层的功能。孔7例如布置成在水平平面中形成与衬底2平行的阵列。此外,在操作期间,孔7使空气能够在背板4与膜3之间自由循环,效果上使背板4声透明并减少噪声。

[0017] 背板4通过板锚定件8锚定到衬底2,该板锚定件8连接到其周边区域。特别地,板锚定件8由与第一板层4a或第二板层4b相同的导电材料的垂直柱(即,在与水平面和衬底2正交的方向上延伸)形成。

[0018] 膜3悬挂在并且直接面对在衬底2内制成并穿过衬底2的第一腔9a,经由从其与其上布置有膜锚定件5的前表面2a相对的背表面2b开始蚀刻(因此,第一腔9a限定了在衬底2的前表面2a与背表面2b之间延伸的通孔)。特别地,前表面2a位于水平平面中。

[0019] 在声压波首先撞击在背板4上和膜3上的情况下,第一腔9a也被称为“后室”。在这种情况下,前室由第二腔9b形成,在顶部和底部由第一板层4a和相应的膜3界定。

[0020] 可替代地,在任何情况下,压力波可以通过第一腔9a到达膜3,在这种情况下,其执行声进入端口的功能,因此执行前室的功能。

[0021] 更详细地,膜3具有第一主表面3a和第二主表面3b,它们彼此相对并相应地面对第一腔9a和第二腔9b,因此与后室流体连通,并且相应地是声换能器的前室。

[0022] 此外,第一腔9a由两个腔部分9a'、9a''形成:第一腔部分9a'布置在衬底2的前表面2a处,并且在水平面上具有第一延伸部;第二腔部分9a''布置在衬底2的背表面2b处,并且在水平面上具有大于第一延伸部的第二延伸部。

[0023] 以已知的方式,声换能器的灵敏度取决于膜3的机械特性以及膜3和刚性板4在对应封装内的组装,其构成声换能器相对于外部环境的接口。

[0024] 特别地,声换能器的性能取决于后室和前室的体积。前室的体积确定声换能器的上谐振频率,并因此确定其在高频下的性能;通常,事实上,前室的体积越小,声换能器的上截止频率越高。此外,后室的大体积使得能够提高声换能器的频率响应和灵敏度。

[0025] 通常,已知MEMS声换能器需要高信噪比(SNR)和平坦且受控的频率响应。这些特性表示所谓的关键性能指标(KPI),即,确定MEMS声换能器的质量的主要参数。

[0026] 本申请人已经认识到,之前参照图1描述的具有平行板类型的微机械感测结构1却不能实现获得高的信噪比值。

[0027] 实际上,由于布置在同一膜3与背板4之间的薄的空气层,信噪比的值由于膜3与背板4之间的阻尼效应而受到噪声的限制,即所谓的“挤压膜”效应。

[0028] 可以通过增加膜3与背板4之间的间隙的厚度,或者通过增加在背板4中制成的孔7的尺寸来减小可能高于ASIC的噪声的所产生的噪声,然而,在两种情况下,以作为入射压力波(即,所产生的信号)的函数的电容响应为代价。

[0029] 考虑到尽可能减小MEMS声换能器的尺寸的通常规格,增加膜3的尺寸的可能性通常不是可行的解决方案。

[0030] 因此,所描述的具有平行板的类型的感测结构对可以实现的信噪比的最大值具有上限。

[0031] 为了克服该限制,因此已经提出了用于MEMS声换能器的各种微机械感测结构。

[0032] 特别地,已经提出了没有背板的微机械感测结构,其中通过交叉(所谓的梳齿)电极布置来实现电容感测。

[0033] 例如,在US2014/0197502A1中描述了梳齿类型的MEMS声换能器的微机械感测结构。

[0034] 该感测结构的一部分在图2A和图2B中示出,其中它被整体标记为10。

[0035] 微机械感测结构10再次包括膜12,例如具有正方形或矩形形状,其被布置悬浮在腔13上方,并且在其顶点处经由四个膜锚定件16锚定到机械感测结构10的衬底15。

[0036] 微机械感测结构10还包括梳齿电极布置,其由以下形成:移动电极17,其沿着其周界耦接到膜12,并且以悬臂方式从膜12开始在腔13上方延伸;以及固定电极18,其与移动电极17(面对并平行于移动电极17)形成梳齿,由衬底15承载并且以悬臂方式在腔13上方延伸。

[0037] 移动电极17相对于固定电极18垂直移动,并且电极之间的面对表面(不是距离)的变化产生指示待检测的量(即,声压波)的电容变化。

[0038] 该微机械感测结构10使得能够提高信噪比,主要是由于没有背板以及与膜12的挤压膜耦接。事实上,在这种情况下,可移动电极17相对于固定电极18的运动主要是滑动运动,因此确定明显更低的阻尼效果。

[0039] 然而,本申请人已经认识到,微机械感测结构10具有频率性能的显著劣化,这特别是由于形成在图2B中由19表示的通风通道以用于声压波从MEMS声换能器(布置在膜12上方)的后室到前室。该通风通道19由设置在可移动电极17与固定电极18之间的间隙形成,这些电极是梳齿状的。通风通道19与MEMS声换能器的前室和后室直接流体连通。

[0040] 本申请人已经注意到频率性能的降低,特别是在低频处的滚降(或截止频率)的降低,这在MEMS声换能器的广泛的应用中是不可接受的。

[0041] 因此,确实感到需要进一步改进MEMS声换能器的微机械感测结构,特别是关于信噪比和频率特性的联合优化。

发明内容

[0042] 根据本公开的实施例,提供了MEMS声换能器和对应的制造方法。一个实施例涉及一种MEMS声换能器,其包括具有背表面和相对于垂直方向相反的前表面的半导体材料的衬底。换能器包括在衬底中的第一腔。第一腔从衬底的背表面延伸到前表面。膜设置在上表面处并悬置在第一腔处。膜的周界锚定到衬底。换能器包括梳齿电极布置,其包括耦接到膜的多个可移动电极和耦接到衬底并面对多个可移动电极以形成感测电容器的多个固定电极。作为入射声压波的结果的膜的变形引起感测电容器的电容变化。梳齿式电极布置相对于膜垂直放置并且平行于膜延伸。

附图说明

[0043] 为了更好地理解本公开,现在仅通过非限制性示例并参考附图描述其优选实施

例,其中:

- [0044] 图1是已知类型的MEMS声换能器的微机械感测结构的示意性横截面图;
- [0045] 图2A是已知类型的MEMS声换能器的另一微机械感测结构的俯视平面图;
- [0046] 图2B是图2A的微机械感测结构的一部分的透视图;
- [0047] 图3A是根据本方案的一个实施例的MEMS声换能器的微机械感测结构的示意性俯视图;
- [0048] 图3B是图3A的微机械感测结构的示意性横截面图;
- [0049] 图4是与图3A的微机械感测结构相关联的电容变化的绘图;
- [0050] 图5A和图5B分别是已知类型的微机械感测结构的和图3A的微机械感测结构的频率响应的绘图;
- [0051] 图6A-6I是在制造过程的连续步骤中的微机械感测结构的示意性横截面图;
- [0052] 图7A和图7B示出了在不同的操作配置中彼此面对的微机械感测结构的可移动电极和固定电极;
- [0053] 图8A和图8B示出了与图7A和图7B的电极的相互位移有关的绘图;
- [0054] 图9A是根据本方案的另一实施例的MEMS声换能器的微机械感测结构的示意性横截面图;
- [0055] 图9B是图9A的微机械感测结构的一部分的示意性俯视图;
- [0056] 图10A是根据本方案的又一实施例的MEMS声换能器的微机械感测结构的示意性横截面图;
- [0057] 图10B是图10A的微机械感测结构的一部分的示意性俯视图;
- [0058] 图11示出了包括根据本方案的MEMS声换能器的电子设备的总体框图;以及
- [0059] 图12A和图12B是图3A的微机械感测结构的变型实施例的示意性俯视图。

具体实施方式

[0060] 如下文将详细描述,本方案的一个方面设想提供MEMS声换能器的微机械感测结构,其不具有固定的参考板并且设置有感测电极的梳齿状布置。特别地,该梳齿状电极布置垂直地耦接到可移动膜,并以悬置方式覆盖在同一膜上。

[0061] 如图3A和图3B所示,MEMS声换能器的微机械感测结构20包括半导体材料(例如硅)的衬底21,其中设置有第一腔22,其例如从背表面21b开始到同一衬底21的前表面21a(第一腔22也可以由两个或更多腔部分以类似于图1所示的方式构成)。

[0062] 特定地,衬底21的前表面21a和背表面21b在与主延伸的水平面xy正交的垂直方向z上彼此隔开材料的一定厚度,前表面21a和背表面21b置于该主延伸中,并且该主延伸由彼此正交的第一水平轴线x和第二水平轴线y限定。

[0063] 微机械感测结构20还包括例如由多晶硅或氮化硅(SiN)制成的膜23,该膜23耦接到衬底21的前表面21a,在前表面21a上方以一定距离悬挂,并且在俯视图中具有例如圆形或正方形(或一般为多边形)的形状。通常,膜23由适当的材料制成,以便诸如提供机械应力的良好控制和高抗冲击性。

[0064] 膜23通过膜锚定元件25锚定到衬底21的前表面21a,该膜锚定元件25例如沿着相同膜23的整个周界布置,因而膜23在该示例中相对于衬底21完全夹紧。

[0065] 微机械感测结构20的第二腔26在相对于第一腔22的相对侧上布置在膜23上方。

[0066] 膜23是柔性的,并且根据入射声压波而变形,该入射声压波可以替代地来自第一腔22或第二腔26。

[0067] 此外,穿过膜23形成至少一个通孔23',其具有“均衡”存在于同一膜23的表面上静压力以及限定微机械感测结构20的低频响应的功能(如下文中更全面地描述)。

[0068] 根据本方案的一个特定方面,微机械感测结构20包括梳齿状电极布置28,其垂直地覆盖膜23并且在与同一膜23平行的平面中(以及平行于衬底21的前表面21a)具有主延伸或扩展。

[0069] 梳齿状电极布置28包括:多个可移动电极29,其直接耦接到膜23并且在与相同膜23一定距离处垂直地悬挂;以及多个固定电极30,其也在与膜23一定距离处垂直地悬挂。

[0070] 固定电极30面向可移动电极29并且与可移动电极29形成梳齿,并且在水平面xy的方向上与其平行。此外,固定电极30刚性地耦接到衬底21并且在膜23上方延伸(例如,每个固定电极30通过第一锚定部分和第二锚定部分锚定到衬底21,第一锚定部分和第二锚定部分相对于膜23横向地布置在相对侧上;可替代地,固定电极30可以以悬臂方式布置在膜23上,仅在其第一侧端处锚定)。

[0071] 移动电极29作为整体与固定电极30形成感测电容C,其值可以根据膜23在垂直方向z上的变形而变化(实际上确定可移动电极29相对于固定电极30的对应位移的变形)。这种电容变化可以通过合适的接触焊盘(例如由金或其他合适的导电材料)获得,其电连接到可移动电极29和固定电极30(如下文更充分地说明)。

[0072] 可移动电极29和固定电极30例如可以由多晶硅制成,例如外延生长的多晶硅。

[0073] 特定地,在图3A和图3B所示的实施例中,梳齿状电极布置28悬挂在膜23上方并且在衬底21的前表面21a上方。

[0074] 更详细地,每个可移动电极29包括:耦接部分29a,其耦接到膜23的中心部分23a并且具有垂直柱构造;以及主要部分29b,其基本上为平行六面体,例如具有沿着属于水平面xy的第一水平轴线x的主延伸,并且面向固定电极30并与固定电极30形成梳齿(在该示例中,其也具有延伸,沿着第一水平轴线x)。

[0075] 在图3A和图3B所示的实施例中,可移动电极29和固定电极30在垂直方向z上相对于彼此进一步竖直交错。这种布置有利地具有增加感测电容的变化的线性度的效果。

[0076] 此外,梳齿状电极布置28布置在对应于膜23的中心部分23a的位置中,其中由于入射声压波而导致的相同膜23的垂直位移(沿垂直方向z)可以被显示为最大。

[0077] 如图4所示,在对应于膜23的上述中心部分23a的位置,感测电容C的变化相对于待检测的声压P也是基本上线性的。

[0078] 如将清楚的,在设计阶段适当地、也根据膜23的几何形状和尺寸来选择可移动电极29和固定电极30的数量。

[0079] 以未示出的方式,可能在衬底21的前表面21a和梳齿电极布置28上设置适当的盖,有助于微机械感测结构20的第二腔26的几何形状的限定。

[0080] 有利地,在所描述的方案中,梳齿状电极布置28并不确定在MEMS声换能器的前室与后室之间用于声压力波的任何通风通道的形成,因此不干扰同一MEMS声换能器的频率响应。

[0081] 特定地,可以通过提供穿过膜23的通孔/开口23'以适当的方式设计MEMS声换能器的下限截止频率(所谓的滚降(roll-off)),其尺寸和布置是通过制造过程(如下文详细描述)以精确的方式控制的。

[0082] 在这方面,图5A和图5B示出了具有梳齿状电极的已知类型的感测结构(例如,如图2A和图2B所示所获得)和根据本方案的微机械感测结构20的频率响应(作为频率的函数的所谓“灵敏度”)。特定地,针对传统解决方案,箭头指示大约400Hz的滚降频率,相对于在示例中针对所提出的方案为20Hz(即,小一个数量级以上)的频率。

[0083] 现在描述用于制造微机械感测结构20的可能的过程。

[0084] 首先参考图6A,例如为氧化硅的第一牺牲层40沉积在半导体材料晶片(其随后将被切割以限定衬底21,并且为此原因,在以下称为晶片21)的前表面21a上;第一牺牲层40被限定(通过掩蔽和化学蚀刻)以用于形成锚定开口41,该锚定开口41被设计为被膜锚定元件25占据,如从下面将显而易见的。

[0085] 参考图6B,膜层42沉积在第一牺牲层40上方以及在锚定开口41内;膜层42随后被限定(通过相应的掩蔽和化学蚀刻)以用于限定在第一牺牲层40上的膜23(具有期望的形状,例如正方形或圆形),以及锚定开口41内的上述膜锚定元件25。

[0086] 参考图6C,在膜23和第一牺牲层40上沉积第二牺牲层44。该第二牺牲层44被限定(通过相应的掩蔽和化学蚀刻)以形成在对应于膜23的中心部分23a的位置中的耦接开口45a以及在膜23外部的侧向开口45b,该耦接开口45a被设计成由可移动电极29的耦接部分29a占据。

[0087] 通过外延生长或沉积在第二牺牲层44上形成例如由多晶硅制成的电极层46(图6D),并且在电极层46上设置掩模47,例如硬掩模类型的掩膜。

[0088] 如图6E所示,可以在掩模47上方设置光致抗蚀剂的另一掩模47',其限定了相对于掩模47自身交错的开口。

[0089] 使用该另一掩模47'(图6F),用于执行电极层46的蚀刻,以便限定可移动电极29(如图6F所示),并且以便限定固定电极30(以将在下文中变得明显的方式)。特定地,可移动电极29的耦接部分29a形成在耦接开口45a内。

[0090] 在该步骤中,形成第一限定开口48,其划界并限定可移动电极29和固定电极30。

[0091] 如图6G所示,一旦去除了另外的掩模47',掩模47可以用于进行电极层46的进一步的部分蚀刻,以用于加宽顶部处的限定开口48(加宽部分由48'指示),从而获得期望的未对准。

[0092] 以对本领域技术人员显而易见的方式,可移动电极29和固定电极30的限定可以通过进一步的掩蔽和蚀刻步骤以本文未详细示出的方式进行。

[0093] 在制造过程的该步骤中,可以进一步设置路由结构,以用于将可移动电极29和固定电极30连接到相应的接触焊盘(如下文所示)。

[0094] 通过从晶片21的背面,即从晶片21的背表面21b开始直到到达前表面21a的掩蔽和化学蚀刻,制造过程进行(图6H),使得限定第一腔22。

[0095] 该背蚀刻可能通过两个或更多蚀刻掩模进行,以便增加第一腔22的体积。

[0096] 参考图6I,由通过限定开口48的化学蚀刻,去除第一牺牲层40和第二牺牲层44,以便释放悬置在第一腔22上方的膜23,以及可移动电极29和固定电极30,其相对于同一膜23

垂直地悬置。

[0097] 该过程终止于已知的锯切半导体材料晶片的步骤以限定微机械感测结构20的衬底21。

[0098] 利用已知的技术,可以进一步形成用于微机械感测结构20的适当封装,其可以替代地是在背表面21b处的“底部端口”类型,即具有来自衬底21背面的声学接入端口,或者在同一衬底21的前表面21a上方的“顶部端口”类型,即具有来自衬底21前面的声学接入端口。

[0099] 具有保护功能(例如,机械过滤器或止动器)的另一半导体材料体可以进一步耦接到衬底21,或者在锯切之前耦接到晶片,利用所谓的晶片到晶片(wafer-to-wafer, W2W)接合技术。

[0100] 现在描述本方案的另一实施例,其特别设想了垂直地布置在膜23上方的梳齿状电极布置28的不同构造。

[0101] 特定地,如将详细说出的,该第二实施例设想在相对于中心部分23a(例如,围绕相同的中心部分23a)外部的膜23的外部部分23b处布置可移动电极29。

[0102] 本申请人事实上已经认识到,为了增加检测灵敏度,利用可移动电极29相对于固定电极30的相对运动(其确定感测电容C的变化)是有利的,该相对运动不仅是在上述中心部分23a处为最大的膜23的垂直运动,而且是在外部分23b(相对于中心部分23a在外部)处由于膜23的变形而发生的倾斜(或沿着垂直方向z的旋转,离开水平面xy)的运动。

[0103] 详细地,图7A示出了在没有膜23变形的情况下处于静止构造的梳齿状电极布置28的可移动电极29和面对的固定电极30(假设可移动电极29和固定电极30在垂直方向z上交错)。可移动电极29和固定电极30在主延伸的方向(在示例中沿着水平面的第一水平轴线x)上的长度由l表示,而由 g_0 表示的是在相同电极之间静止的在同一水平面的第二水平方向y上的距离。

[0104] 图7B相反示出了随着膜23的变形,可移动电极29相对于固定电极30的布置,该变形特别地引起可移动电极29在垂直方向z上的位移 Δz 和其沿着相同的垂直方向z相对于第一水平轴线x倾斜了倾斜角 θ 。

[0105] 图8A还示出了作为相对于膜23的中心0的距离(以径向坐标表示)的函数的在垂直方向z上的位移 Δz 的绘图。

[0106] 图8B替代地示出了作为相对于膜23的中心0的距离(再次在径向坐标中表示)的函数的倾斜角 θ 的绘图。

[0107] 从图8A和图8B的检查可以明显看出,可移动电极29的最大倾斜发生在布置在膜23的外部分23b中的距离膜23的中心一定距离的点P处。

[0108] 可以示出,由 ΔC 表示的作为位移 Δz 和倾斜角 θ 的函数的感测电容C的线性化变化由以下表达式给出:

$$[0109] \quad \Delta C \approx \epsilon_0 (\Delta z \cdot l + l^2 \theta) / g_0$$

[0110] 使用该表达式,可以识别使得能够最大化变化 ΔC 的位置。

[0111] 为了完整性,强调的是,在其中仅设想在垂直方向z上的平移运动的方案中,电容变化取而代之由以下给出

$$[0112] \quad \Delta C \approx \epsilon_0 \Delta z \cdot l / g_0$$

[0113] 一般来说,本申请人已经认识到,将可移动电极29定位在与其中发生最大旋转

(即,倾斜角度 θ 的最大值)的坐标对应的点处,使得可以显著改善微机械感测结构20的检测灵敏度(与可移动电极29位于膜23的中心部分23a的情况相比)。

[0114] 参考图9A和图9B,现在描述微机械感测结构20的可能实施例,其具有根据先前已经阐述的梳齿状电极布置28的优化配置。

[0115] 特定地,在该实施例中,可移动电极29相对于中心部分23a横向地布置在膜23的外部分23b处。在该示例中,穿过膜23制成的通孔23'设置在相同的中心部分23a处。

[0116] 在可能的实施例中,如图9A的俯视图所示,可移动电极29径向布置,成对地在膜23的中心的相对侧上以相同的径向方向对齐(在本示例中,其具有在水平面xy中的圆形构造,并且再次通过膜锚定元件25沿着其周界被夹紧到衬底21)。

[0117] 每个可移动电极29具有耦接到膜23的外部分23b的耦接部分29a和以悬臂方式在膜23上方朝向由耦接部分29a承载的同一膜23的中心延伸的主部分29b,在静止状态下平行于膜23的顶表面。

[0118] 在图9A和图9B所示的实施例中,固定电极30也径向延伸,每个固定电极设置在一对可移动电极29之间,面对它们并且在静止状态下与其平行。

[0119] 固定电极30由悬挂结构50承载,悬挂结构50包括:壁部分50a,其耦接到衬底21的前表面21a并相对于同一前表面21a垂直延伸;连接壁部分50a并在顶部封闭壁部分50a并布置在膜23上方的盖部分50b;以及支撑柱50c,其在其中心部分(其又垂直于膜23的中心部分23a布置)耦接到盖部分50b,并且在垂直方向z上朝向相同的膜23延伸。

[0120] 特定地,固定电极30连接到前述支撑柱50c,它们从相应的径向方向离开,如图9B所示,悬挂在膜23上方,在该示例中相对于面对的可移动电极29垂直地交错。

[0121] 图10A和图10B所示的微机械感测结构20的不同实施例设想了梳齿状电极布置28的不同构造。

[0122] 特定地,与先前参考图9A和图9B描述的方案不同,在这种情况下,悬挂结构50不包括支撑柱50c,并且固定电极30直接连接到同一悬挂结构50的壁部分50a。

[0123] 更详细地,固定电极30再次沿径向方向延伸,每个固定电极30从壁部分50a开始以悬臂方式悬挂在膜23上方,布置在一对可移动电极29之间。在图10A所示的方案中,与可移动电极29相比,固定电极30在垂直方向z上再次定位在与膜23不同的高度处。

[0124] 在上述两个实施例中,用于制造微机械感测结构20的过程相对于参照图6A-6I已经详细讨论的基本上没有变化,再次设想了电极层46的掩蔽和蚀刻的适当步骤,以用于限定可移动电极29和固定电极30,以及它们随后的释放,使得它们通过化学蚀刻下面的牺牲层40、44而悬浮在膜23上方。

[0125] 图11是使用MEMS声换能器的电子设备52的示意图,其在这里由54表示并且包括微机械感测结构20也包括耦接到同一微机械感测结构20的适当的ASIC 55,以用于处理转换的电信号(特别是电容变化 ΔC)。

[0126] 例如,ASIC 55和微机械感测结构20可以设置在半导体材料的相应裸片中,并且容纳在相同的封装56中,该封装56构成其朝向外界的界面并且承载用于例如耦接到印刷电路板(PCB)的适当的电连接元件。

[0127] 电子设备52还包括:控制单元58,例如包括微处理器或微控制器;连接到控制单元58的存储器59,以及例如包括键盘和显示器的输入/输出接口60,其也连接到控制单元58。

另外,可以存在扬声器62以用于在电子设备52的音频输出(未示出)上产生声音。

[0128] 特定地,电子设备52包括PCB 64, MEMS声换能器54以及其他元件如控制单元58和存储器59机械地及电气地耦接到PCB 64。

[0129] 电子设备52优选地是诸如智能电话、PDA、笔记本或可穿戴电子设备、语音记录器、具有语音记录能力的音频文件的播放器之类的移动通信设备。可替代地,电子设备52可以是能够在水下工作的水听器。

[0130] 所提出的方案的优点从前面的描述中清楚地显现。

[0131] 在任何情况下,再次强调的是,与具有平面和平行板的电容性方案不同,使用梳齿状电极布置28能够减少与膜23的变形相关联的阻尼效应。实际上,在该方案中,对阻尼的最大贡献由在可移动电极29与固定电极30之间滑动的空气膜表示,与具有平面和平行板的传统解决方案的挤压膜效应相比,其具有非常弱的效果;以这种方式,在声压波的检测中的信噪比增加。

[0132] 特定地,梳齿状电极布置28相对于膜23的垂直耦接消除了已知解决方案(参见前述讨论)中由梳齿状电极形成的通风通道的问题以及相关的布朗噪声。

[0133] 在所述的方案中,事实上,通过膜23适当地形成一个或多个通孔23',其确保声压波的通过,而不会明显影响微机械感测结构20的频率响应(它们的尺寸可以被适当地选择以优化频率响应,而没有任何进一步的设计约束)。

[0134] 进一步有利的是,为了使检测灵敏度最大化,能够利用不仅是可移动电极29相对于固定电极30的垂直位移 Δz ,而且还有由于在膜23的外部分23b处的可移动电极29的合适的布置造成的它们的倾斜度 θ 。

[0135] 以这种方式,实际上获得了感测电容C的更大的变化 ΔC ,并且因此获得了微机械感测结构20的更大的灵敏度。这使得也能够增加ASIC的信噪比,获得针对声换能器的总SNR比传统解决方案的66-67dBA而言高几个分贝,例如70dBA。

[0136] 本方案特定地防止为了增加灵敏度而增加梳齿状电极的数目或其长度的需要,由于与膜23相关联的质量的增加,两种方案将以机械强度和频率响应为代价(谐振模式实际上可能进入频带)。

[0137] 有利地,垂直平移和倾斜运动都在可移动电极29与固定电极30之间引起滑动效应,而不引起任何不希望挤压膜效应。

[0138] 与在膜23的外部部分23b处的可移动电极28的布置相关的另一个优点与相同的可移动电极29施加在膜23上的较低的惯性效应关联并且与随后的整个微机械感测结构20的强度上的增加关联。

[0139] 最后,清楚的是,可以对在此描述和示出的内容进行修改和变化,而不脱离本公开的范围。

[0140] 例如,应当指出,梳齿状电极布置28可以替代地布置在膜23上方(如在所示的实施例中),或者以基本上等同的方式布置在同一膜23下方。

[0141] 此外,再次强调的是,膜23可以具有任何形状,并且同样可以提供任何数目的可移动电极29和固定电极30。

[0142] 膜23还可以通过弹性悬挂元件全部地或部分地悬挂,该弹性悬挂元件例如在其顶点处夹紧到衬底21(在这种情况下,膜23甚至可以不沿着其整个周界被完全夹紧)。

[0143] 图12A和图12B示出了用于在梳齿状电极布置28的可移动电极29和固定电极30与相应的接触焊盘29'、30'的电连接的两种可能的变型,其中膜23由非导电材料制成(为了简化说明,示出了单个可移动电极29和单个固定电极30);在两种解决方案(其指的是与图3A的感测结构类似的感测结构)中,微机械感测结构20包括路由结构65,其被设计为将可移动电极29和固定电极30连接到相应的接触焊盘29'、30'。

[0144] 在第一实施例中,如图12A所示,路由结构65由专用层提供,例如由多晶硅制成;电连接路径66设置在可移动电极29和固定电极30与相应的接触焊盘29'、30'之间的该专用层中。

[0145] 在第二实施例中,如图12B所示,通过与获得可移动电极29和固定电极30的电极层相同的电极层获得布线结构65;电连接延长部67设置在同一电极层中。有利地,将可移动电极29连接到相应接触焊盘29'的电连接延长部67可具有弹性特性(如前述图12B中示意性所示)。

[0146] 可以组合上述各种实施例以提供另外的实施例。根据上述详细描述,可以对这些实施例进行这些和其他改变。一般来说,在所附权利要求中,所使用的术语不应被解释为将权利要求限制于说明书和权利要求中公开的具体实施例,而是应被解释为包括所有可能的实施例以及权利要求所赋予等同物的全部范围。因此,权利要求不受本公开限制。

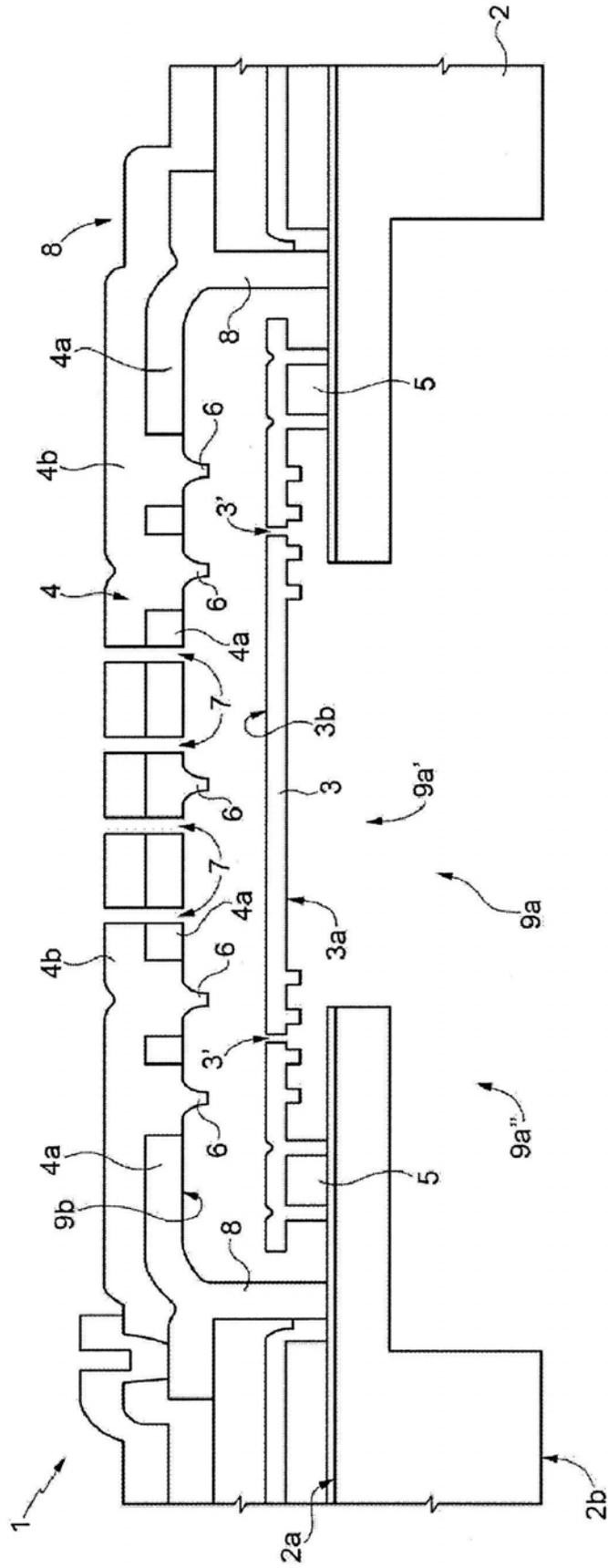


图1

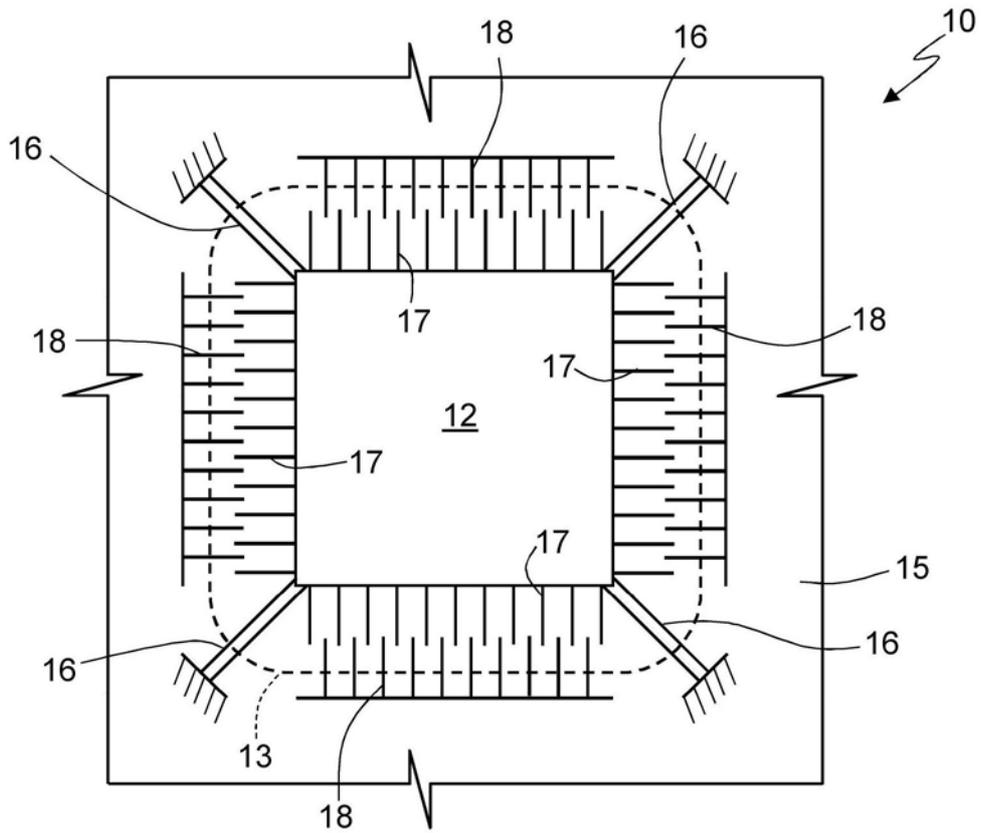


图2A

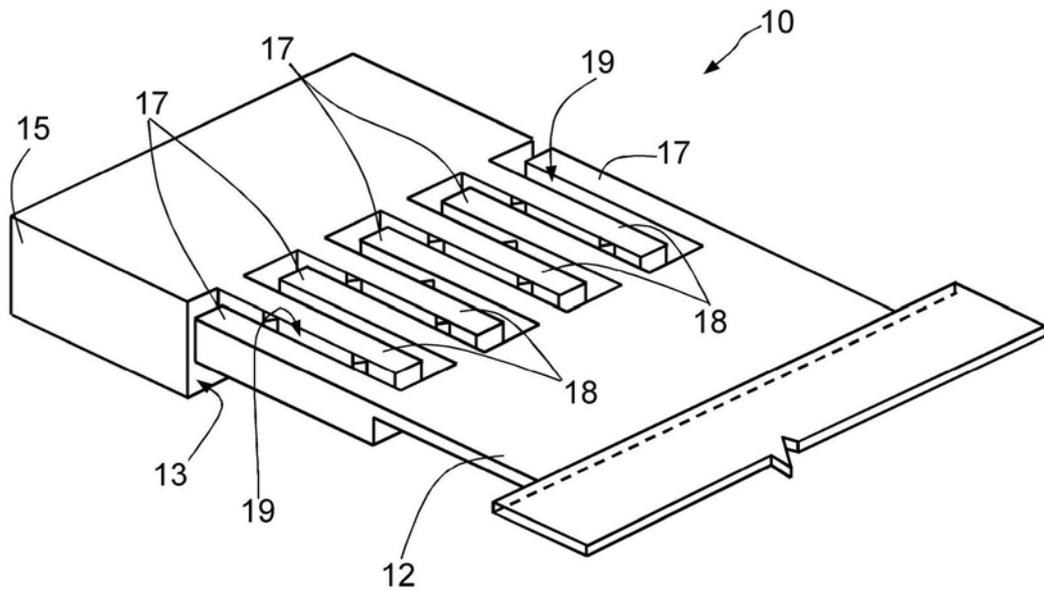


图2B

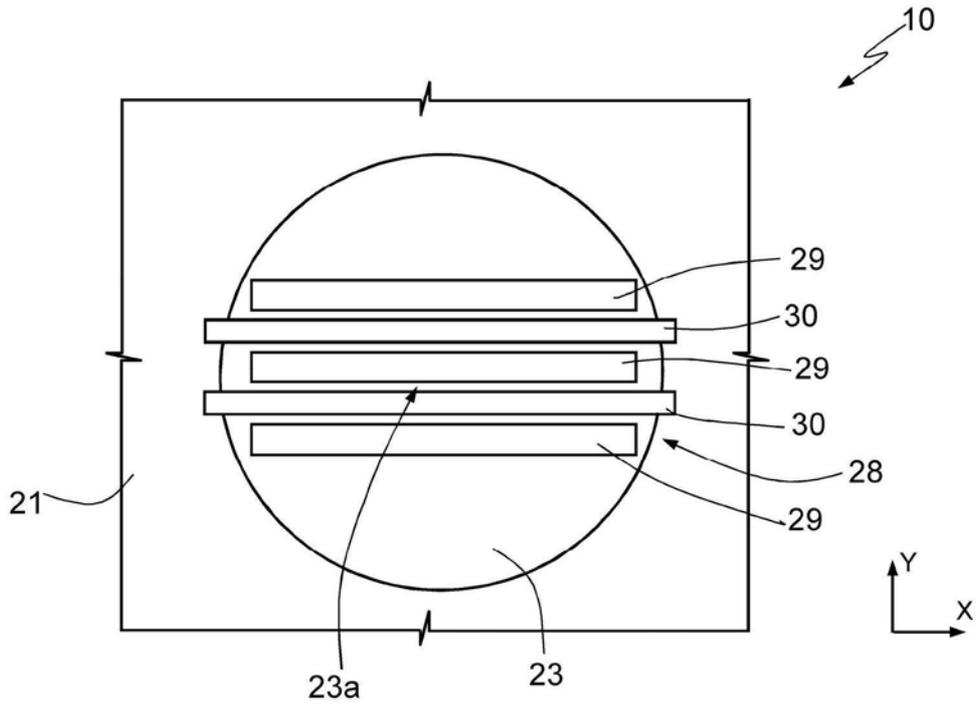


图3A

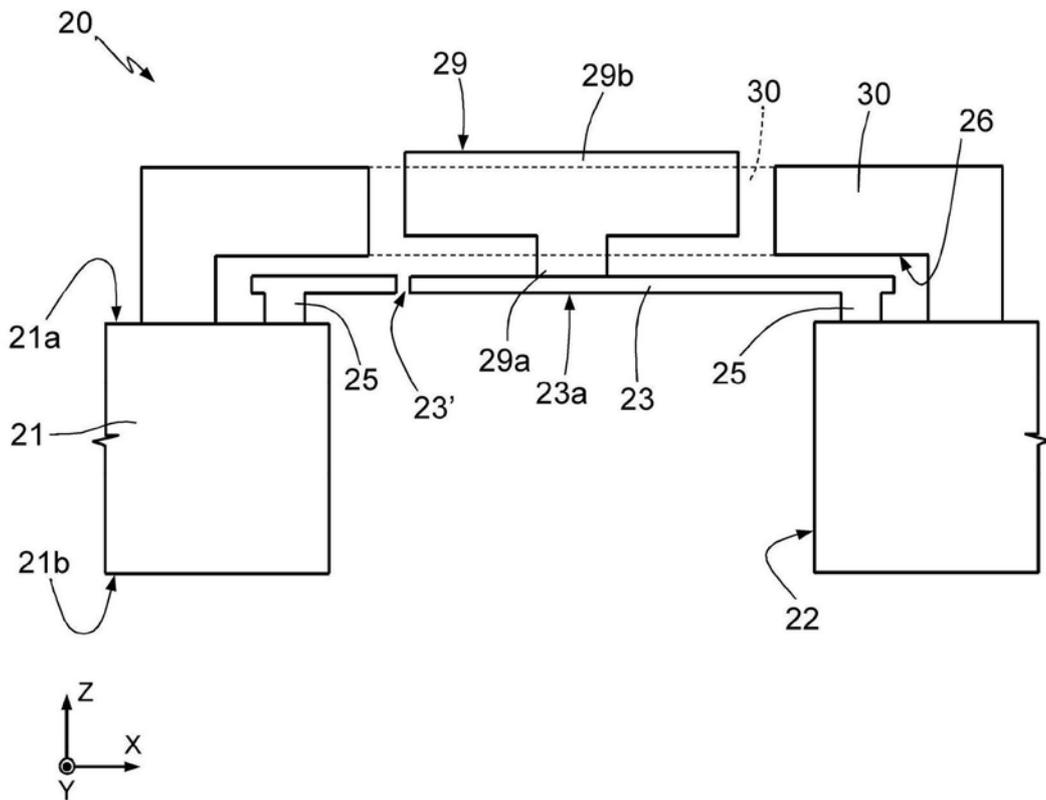


图3B

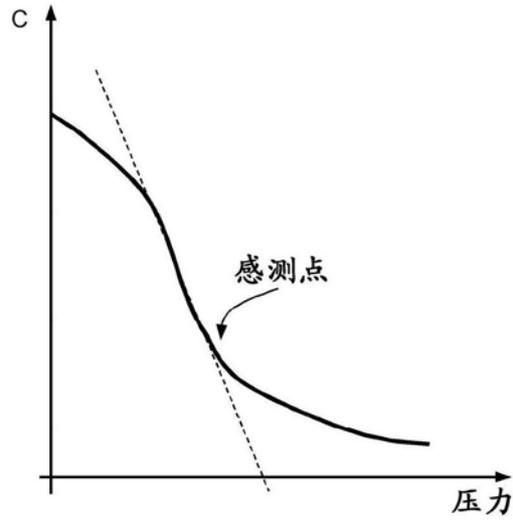


图4

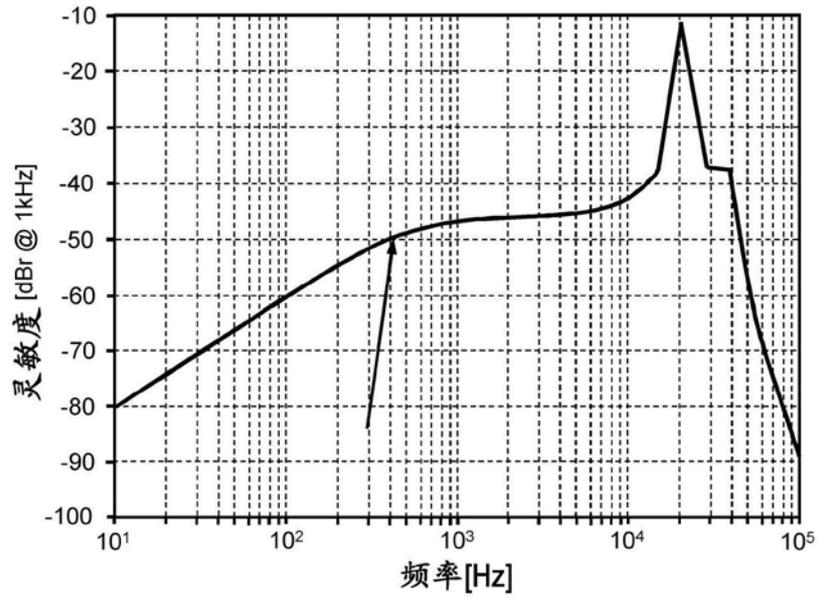


图5A

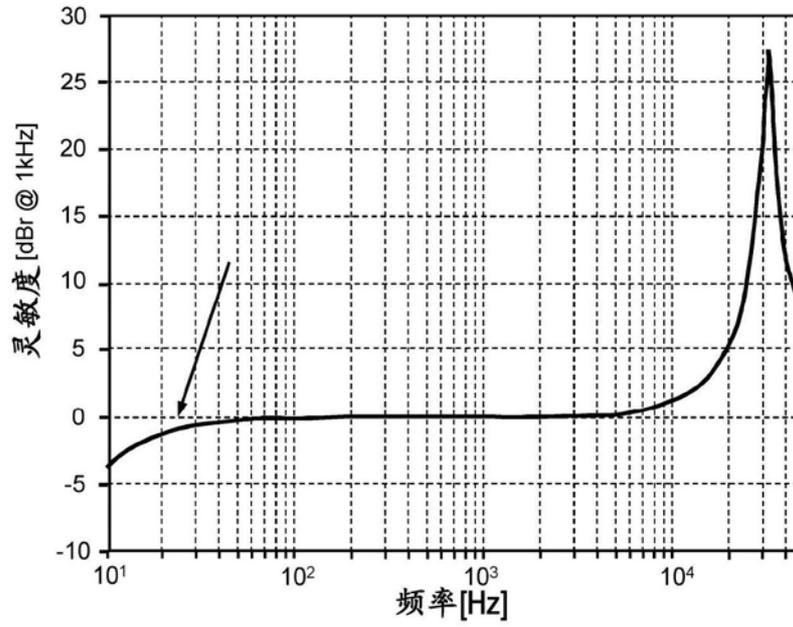


图5B

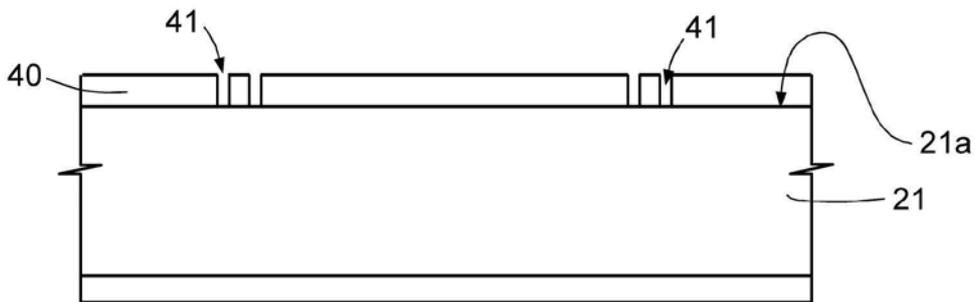


图6A

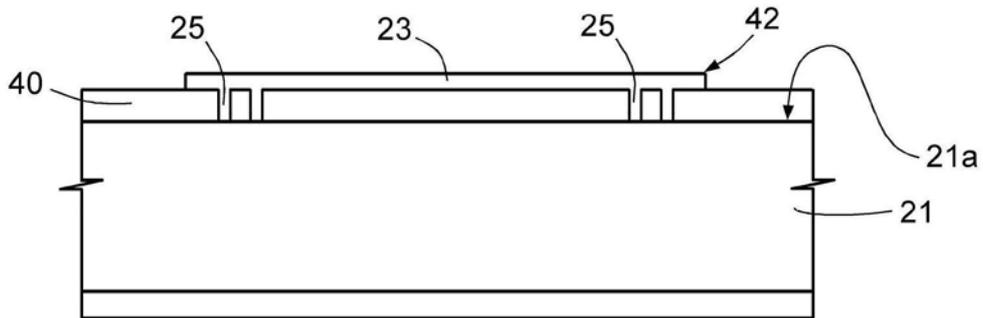


图6B

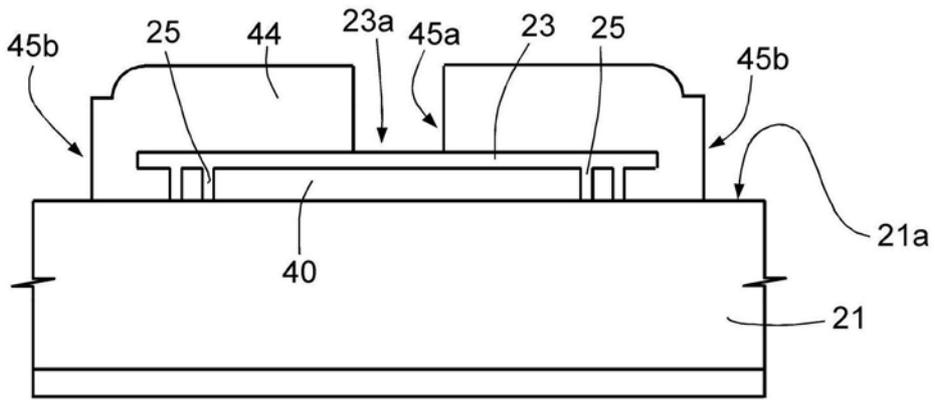


图6C

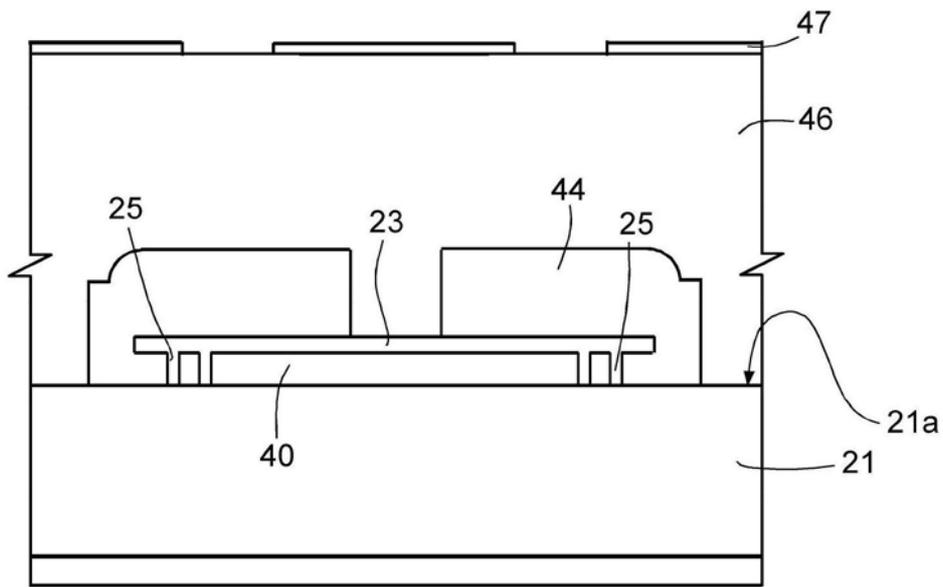


图6D

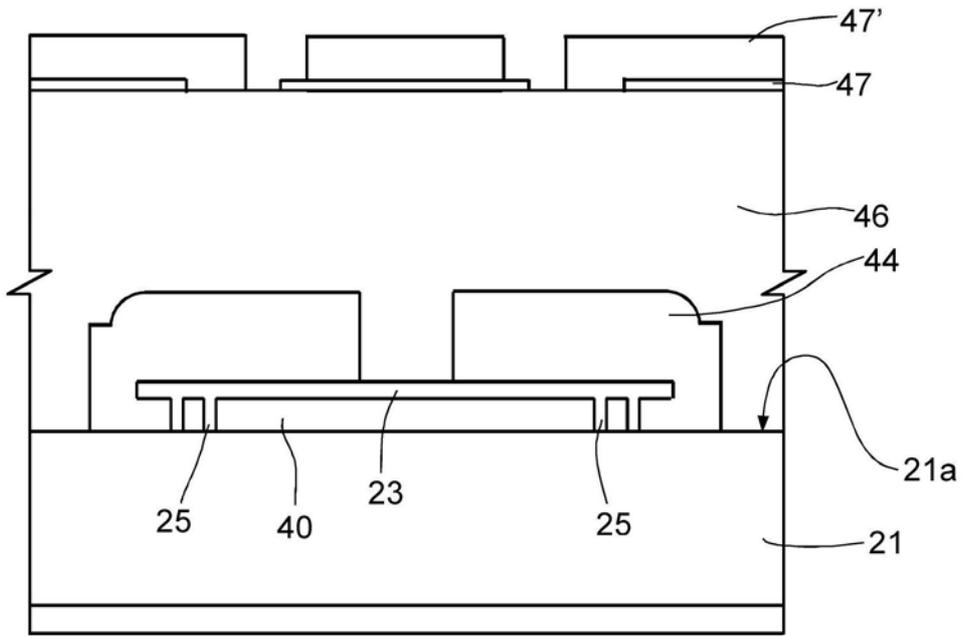


图6E

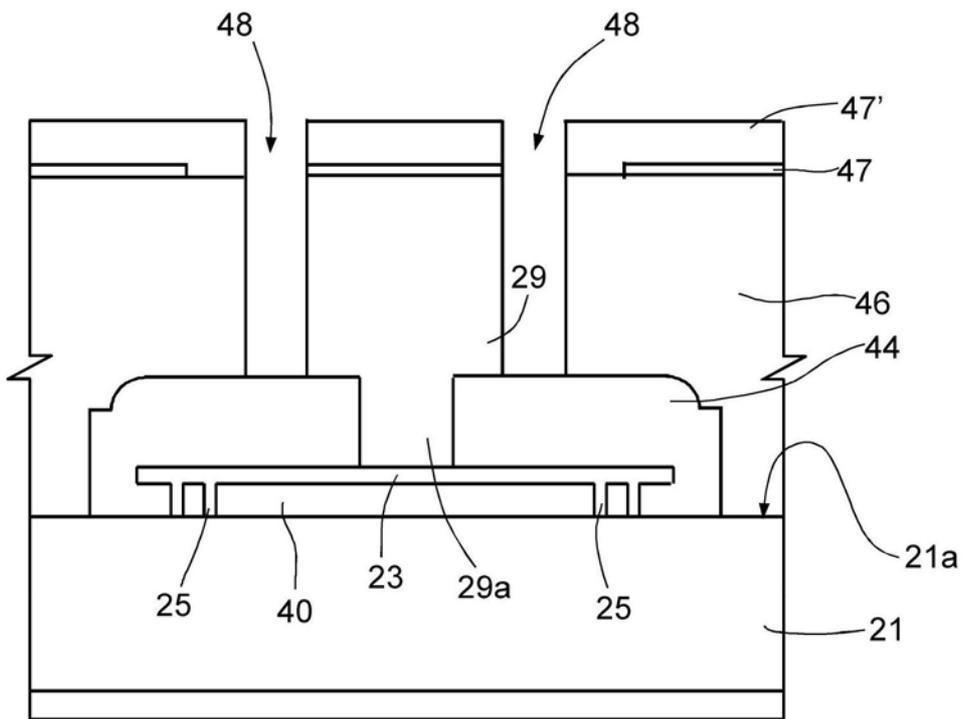


图6F

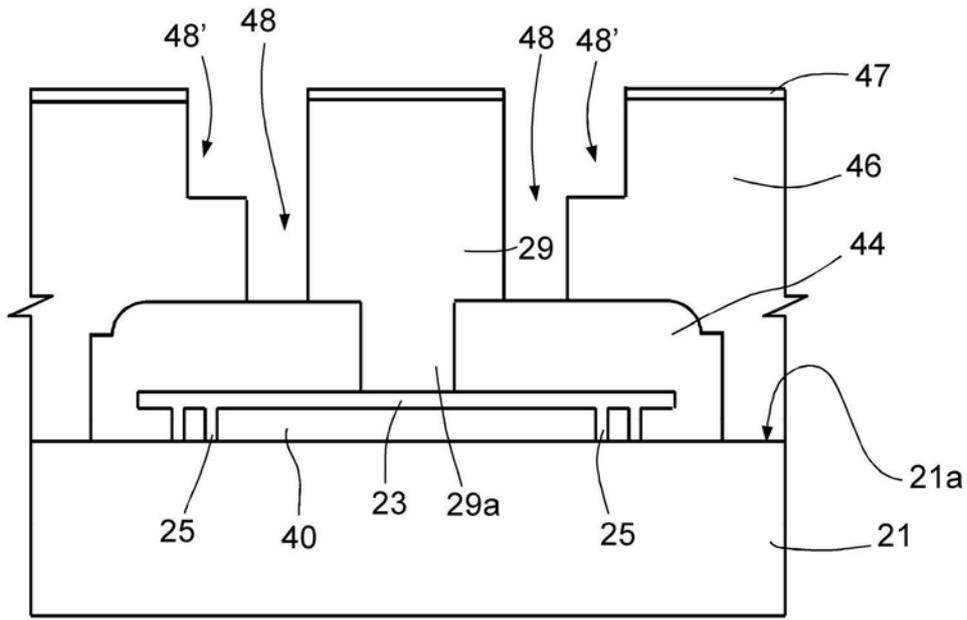


图6G

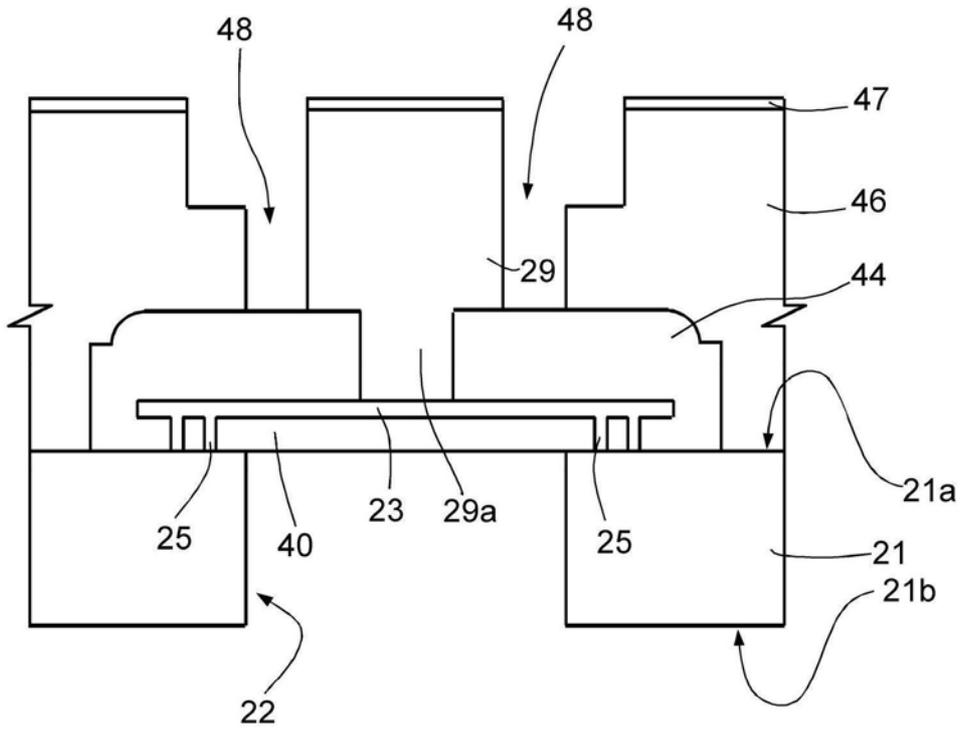


图6H

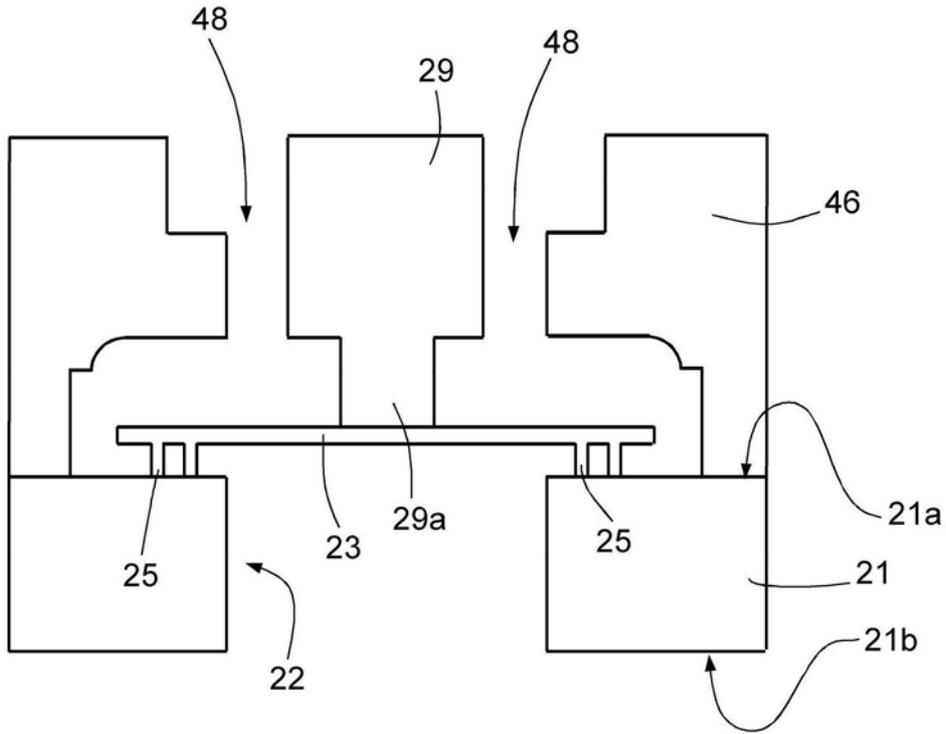


图6I



图7A

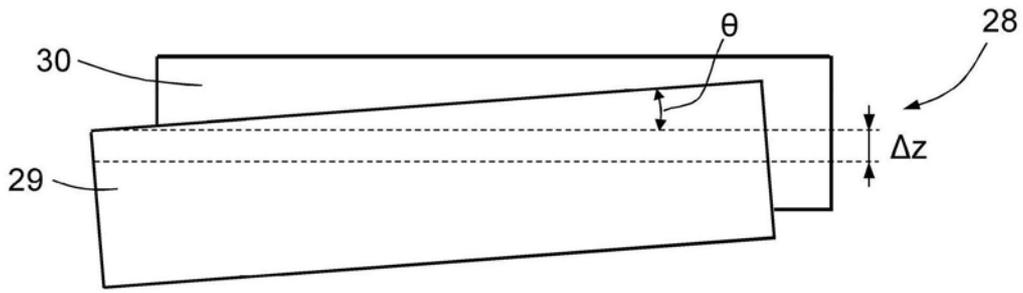


图7B

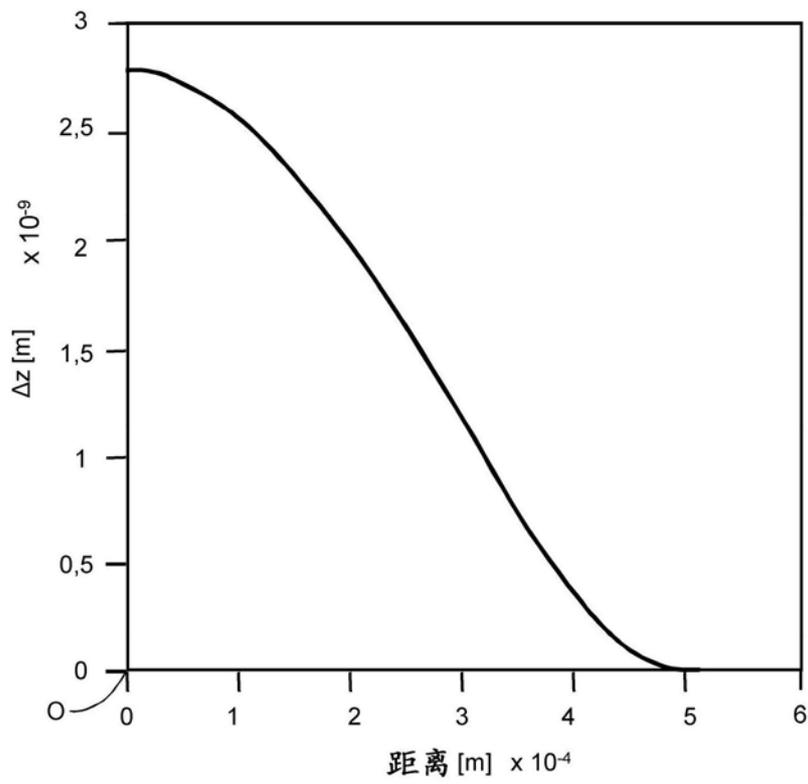


图8A

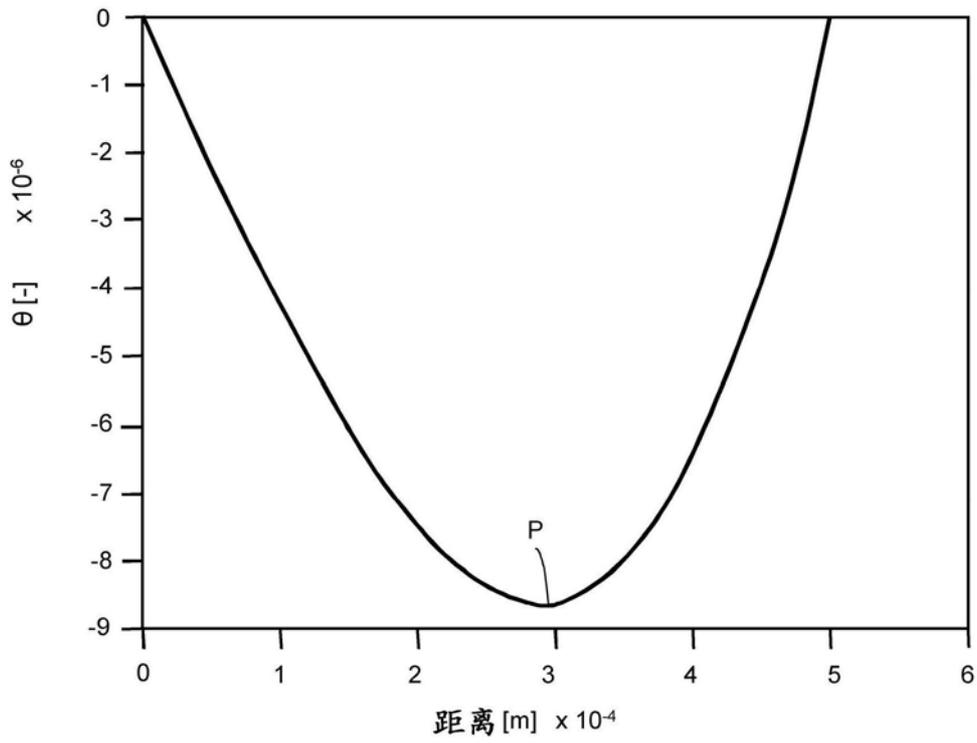


图8B

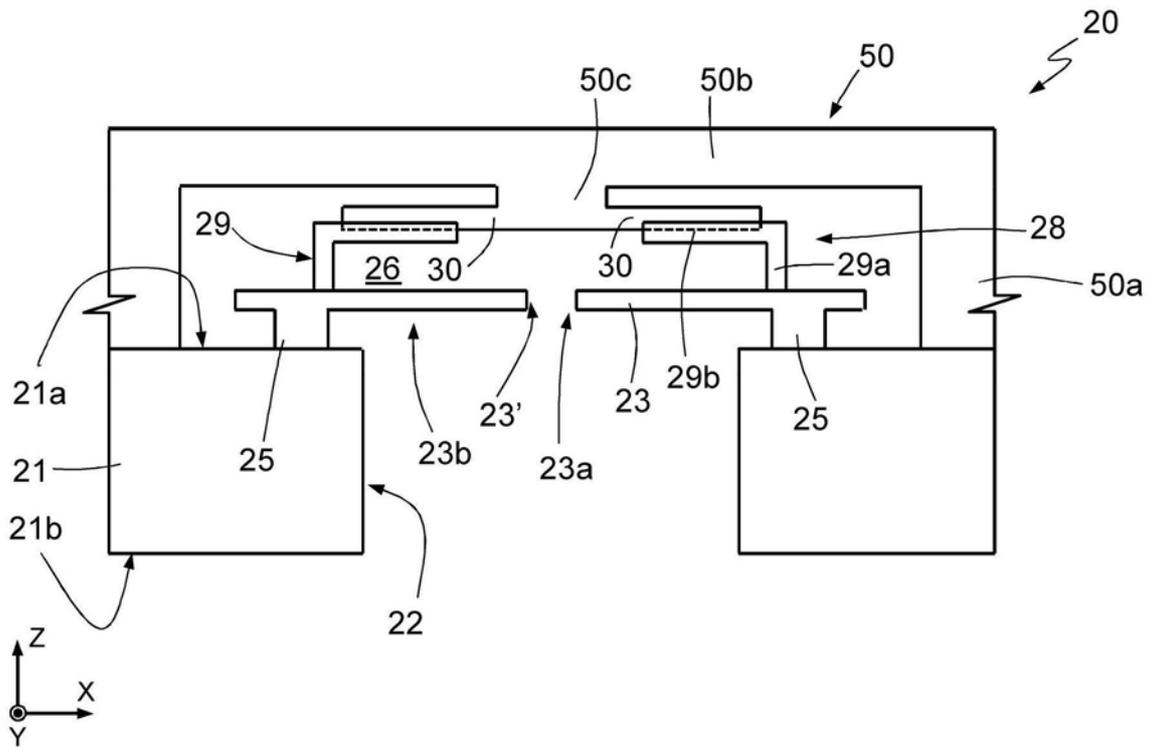


图9A

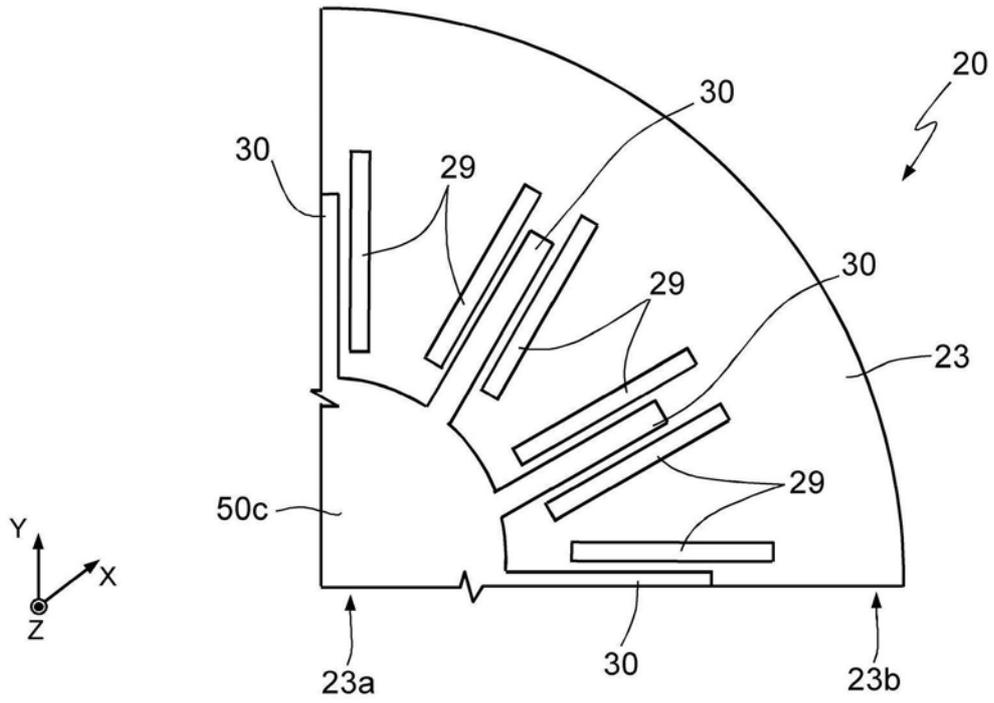


图9B

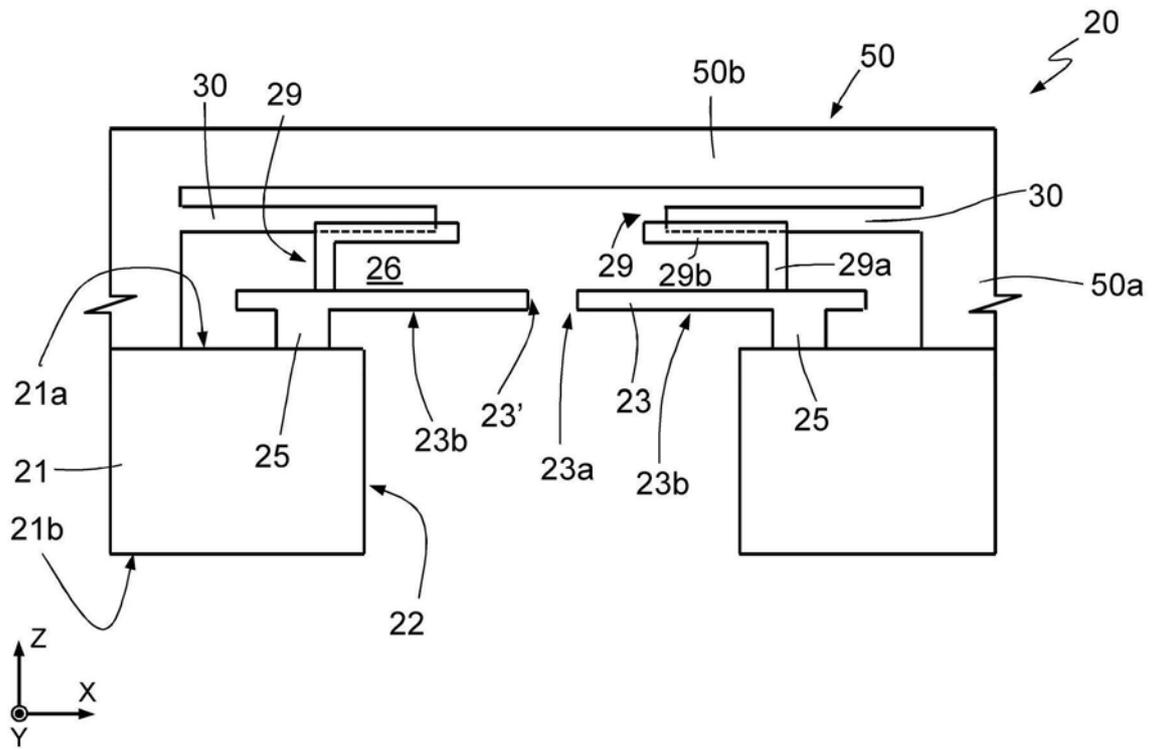


图10A

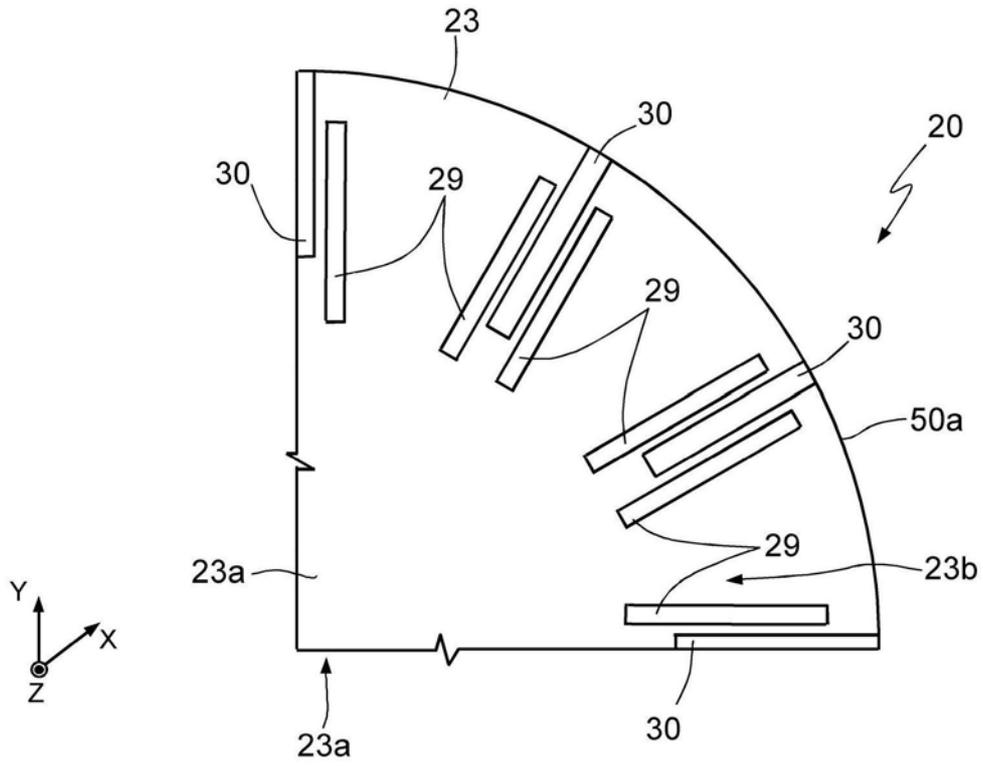


图10B

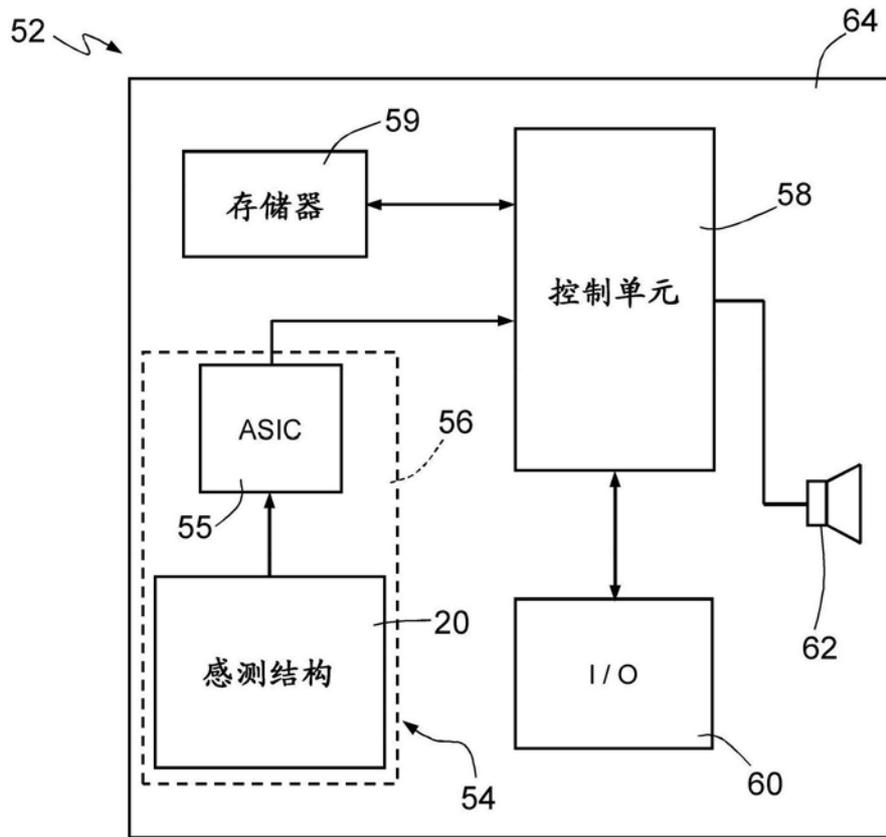


图11

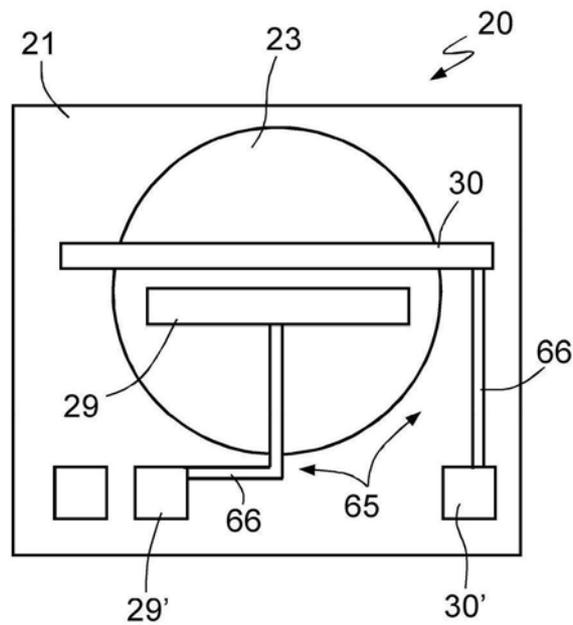


图12A

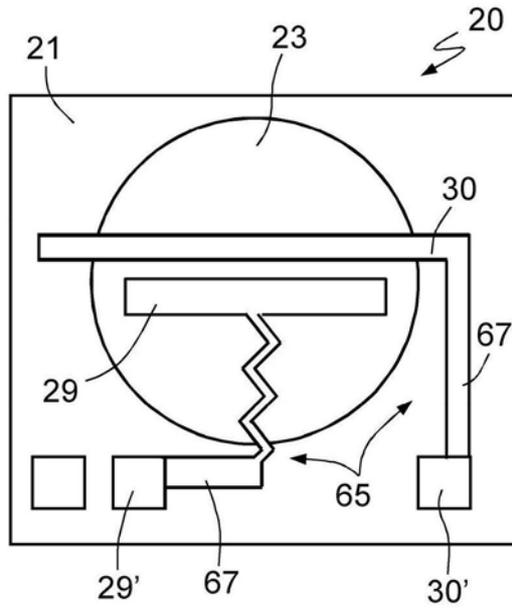


图12B