



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107925825 B

(45)授权公告日 2020.06.19

(21)申请号 201680048446.9

(22)申请日 2016.06.14

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107925825 A

(43)申请公布日 2018.04.17

(30)优先权数据  
102015210919.4 2015.06.15 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2018.02.14

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2016/063611 2016.06.14

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/202790 DE 2016.12.22

(73)专利权人 弗劳恩霍夫应用研究促进协会  
地址 德国慕尼黑

(72)发明人 哈拉尔德·琛克 霍尔格·康拉德

马蒂厄·高德特 克劳斯·席曼茨  
塞尔久·兰达 贝尔特·凯泽

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 靖亮

(51)Int.Cl.  
H04R 19/00(2006.01)  
B81C 1/00(2006.01)

(56)对比文件  
DE 102012223605 A1,2014.06.18,  
DE 102010029936 A1,2011.12.15,  
EP 2410768 A1,2012.01.25,  
CN 103604556 A,2014.02.26,  
CN 103557143 A,2014.02.05,  
CN 104040315 A,2014.09.10,

审查员 丁丽萍

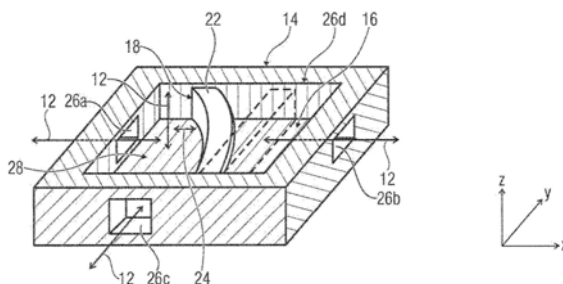
权利要求书11页 说明书33页 附图30页

## (54)发明名称

用于与流体的体积流相互作用的MEMS换能器及其制造方法

## (57)摘要

一种用于与流体的体积流相互作用的MEMS换能器包括基板和机电换能器,所述基板具有腔体,所述机电换能器在腔体与基板连接并且包括能够沿着侧向移动方向变形的可变形元件,其中,可变形元件沿着侧向移动方向的变形和流体的体积流之间存在因果关系。



1. 一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:  
基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲。

2. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)以力配合或形状配合的方式连接到所述基板(14)。

3. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件包括主动式弯曲杆并且构造造成接触所述流体的体积流(12)。

4. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)构造成响应于电驱动(129a)而相应地引起所述腔体(16)中的流体的移动以及/或者响应于所述腔体(16)中的流体的移动而相应地提供电信号(129b)。

5. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括连接到所述基板(14)的第一机电换能器和第二机电换能器(18b-e),并且每个换能器包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),所述可变形元件构造成适于沿着所述侧向移动方向(24)变形,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)构造成在第一时间间隔期间彼此相向移动并且在第二时间间隔期间彼此相离地移动,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)之间的子腔体(42a、42b)的容积在所述第一时间间隔和第二时间间隔之间是可变的。

6. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括连接到所述基板(14)的多个机电换能器(18;18a-f),并且每个机电换能器包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160);

其中,在第一机电换能器(18b、18d)和第二机电换能器(18c、18e)之间布置有第一子腔体(42a、42b),并且在所述第二机电换能器(18b、18d)和第三机电换能器(18a、18c)之间布置有第二子腔体(38a、38b)。

7. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述第一机电换能器、第二机电换能器和第三机电换能器(18a、18b、18c)构造成响应于电驱动(129a)而相应地引起所述腔体(16)中的流体的移动,并且其中,所述第一机电换能器和所述第二机电换能器(18b、18d)构造成以第一频率改变所述第一子腔体的容积,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第三机电换能器(18a、18c)构造成以第二频率改变所述第二子腔体的容积。

8. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述第一子腔体和所述第二子腔体包括彼此不同的谐振频率。

9. 根据权利要求8所述的MEMS换能器,其中,所述第一机电换能器和所述第二机电换能器(18b、18d)构造成以第一频率改变所述第一子腔体的容积,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第三机电换能器(18a、18c)构造成以第二频率改变所述第二子腔体的容积。

10. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述体积流(12)及所述可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)的变形与所述第一子腔体(42a、42b)及所述第二子腔体(38a、38b)的容积的变化之间存在因果关系。

11. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括壁结构(49),所述壁结构布置在所述第一子腔体(42a、42b)和所述第二子腔体(38a、38b)之间并且构造成至少部分地减少所述第一子腔体(42a、42b)和所述第二子腔体(38a、38b)之间的流体耦合。

12. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)、所述第二机电换能器(18c、18e)和所述第三机电换能器(18a、18c)的可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)包括杆致动器(30),所述杆致动器分别包括第一端和第二端,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)的杆致动器(30)在所述第一端和所述第二端处连接到所述基板(14),其中,所述第二机电换能器(18c、18e)或所述第三机电换能器(18a、18c)的杆致动器在所述杆致动器的中心区域中连接到所述基板(14)。

13. 根据权利要求5所述的MEMS换能器,其中,所述基板(14)包括连接到所述腔体(16)的多个子腔体(42a-b、38a-c)的多个开口(26),其中,每个子腔体(42a-b、38a-c)的容积受到至少一个沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)的偏转状态的影响,其中,子腔体(42a-b、38a-c)的两个相邻的子容积的大小能够在所述第一时间间隔或所述第二时间间隔期间互补地增大或减小。

14. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述基板(14)包括连接到所述腔体(16)的多个子腔体(42a-b、38a-c)的多个开口(26),其中,每个子腔体(42a-b、38a-c)的容积受到至少一个沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)的偏转状态的影响,其中,基于所述可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)的变形并且基于所述子腔体(42a-b、38a-c)获得的声压级的值包括与流出或流入相应的子腔体(42a-b、38a-c)的体积流(12)的频率之间的关系,所述关系能够被表示为函数。

15. 根据权利要求14所述的MEMS换能器,其中,所述体积流(12)的频率表示所述流体中的压力的频率依赖性过程。

16. 根据权利要求5所述的MEMS换能器,其中,邻近所述基板(14)的开口(26)的第一子腔体(42a、42b)被布置在所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)的杆结构(30)之间。

17. 根据权利要求6所述的MEMS换能器,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)、所述第二机电换能器(18c、18e)和所述第三机电换能器(18a、18c)的可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)包括杆致动器(30),所述杆致动器分别包括第一端和第二端,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)的杆致动器(30)在所述第一端和所述第二端处连接到所述基板(14),其中,所述第二机电换能器(18c、18e)或所述第三机电换能器(18a、18c)的杆致动器在所述杆致动器的中心区域中连接到所述基板(14),并且

其中,邻近所述基板(14)的开口(26)的第一子腔体(42a、42b)被布置在所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)的杆结构(30)之间。

18. 根据权利要求5所述的MEMS换能器,其中,所述第一机电换能器的第一可变形元件(22; 22a-f; 30; 40; 150; 160)和所述第二机电换能器的第二可变形元件包括构造成相对于所述基板(14)在平面内弯曲的杆结构(30)。

19. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)形成为主动式的并且构造成与所述体积流相互作用,或者其中,板元件(62;62a-c)构造成与所述体积流相互作用,所述板元件连接到所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)并且构造成刚性的。

20. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)包括在所述机电换能器(18;18a-f)的轴向方向(y)上至少间接地连接的多个可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),所述多个可变形元件构造成分别影响第一子腔体部分和第二子腔体部分(96a、96b)的容积。

21. 根据权利要求20所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)构造成响应电驱动(129a)而相应地引起所述第一子腔体部分(96a)和所述第二子腔体部分(96b)中的流体的移动,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)构造成以彼此不同的频率改变所述第一子腔体部分(96a)和所述第二子腔体部分(96b)的容积。

22. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述腔体(16)的容积受到第一层(32a)、第二层(32b)、第一侧区域(53a)和第二侧区域(53b)的影响,其中,所述第一侧区域(53a)和所述第二侧区域(53b)被布置在所述第一层(32a)和所述第二层(32b)之间,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)构造成至少在一个部分(55)中进行与所述第一层(32a)或所述第二层(32b)平行的移动。

23. 根据权利要求22所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)布置成不接触所述第一层(32a)和所述第二层(32b),或者其中,在所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)与所述第一层(32a)或所述第二层(32b)之间布置低摩擦层。

24. 根据权利要求22所述的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括层叠部,其中,所述层叠部包括所述第一层(32a)、中间层(36)、布置于所述第一层(32a)与所述中间层(36)之间的第一间隔层(34a)、所述第二层(32b)以及布置于所述中间层(36)与所述第二层(32b)之间的第二间隔层(34b),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)连接到所述中间层(36)。

25. 根据权利要求24所述的MEMS换能器,其中,所述第一间隔层或所述第二间隔层(34a、34b)包括沿着方向(z)的尺寸,所述第一间隔层和第二间隔层(34a、34b)沿着方向(z)布置在所述中间层(36)上,所述尺寸的值在最小为1nm且最大为1mm的范围内。

26. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,当所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)变形时,从所述机电换能器(18;18a-f)的第一侧向第二侧环流所述机电换能器(18;18a-f)的流体流(57)的程度小于所述腔体(16)中的体积流(12)的程度。

27. 根据权利要求26所述的MEMS换能器,其中,环流所述机电换能器(18;18a-f)的流体流(57)的程度小于或等于所述体积流(12)的程度的十分之一。

28. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)构造成沿着所述侧向移动方向(24)以及沿着相反的方向变形。

29. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)包括杆结构(30)并且构造成相对于所述基板在平面内弯曲。

30. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)构造成包括致动方向(59、59')的双压电晶片,通过施加电压所述可变形元件(22;22a-

f;30;40;150;160)能够沿着所述致动方向偏转。

31. 根据权利要求30所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)包括沿着所述机电换能器(18;18a-f)的轴向方向(y)依次布置的第一杆段(30a)、第二杆段(30b)和第三杆段(30c),并且每个杆段包括相反地取向的致动方向(59a-c)。

32. 根据权利要求31所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)包括第一可变形元件和第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的外侧杆段(30a、30c)和所述第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的外侧杆段(30a、30c)至少间接地彼此相连。

33. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件包括彼此串联连接的至少三个杆段(30a-c),其中,至少第一杆元件、第二杆元件和第三杆元件(30a、30b、30c)包括相反地取向的致动方向(59a-c)并且包括不同的杆长度。

34. 根据权利要求33所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件在两侧被夹持。

35. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述基板(14)包括锚固元件(84);

其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)在所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的轴向延伸方向(y)的中心区域(30b)中连接到所述锚固元件(84);或者

其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)通过所述锚固元件(84)连接到位于外侧杆段(30a、30c)处的其它可变形元件。

36. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;150)包括第一层(112)和第二层(114),其中,在所述第一层(112)和所述第二层(114)之间布置有间隔物(116a-c),其中,所述第一层(112)和所述第二层(114)通过所述间隔物(116a-c)连接,其中,所述间隔物(116a-c)布置在相对于所述第一层(112)和所述第二层(114)的走向(124)倾斜的倾斜方向上,其中,所述第一层(112)和所述第二层(114)之间的吸引力(F)引起所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的弯曲。

37. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)包括杆结构,其中,所述杆结构在第一端和第二端处被固定地夹持。

38. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)形成静电换能器、压电换能器、电磁换能器、电动换能器、热机械换能器或磁致伸缩换能器。

39. 根据权利要求38所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)形成静电换能器,其中,所述MEMS换能器还包括沿着所述可变形元件(22;160)的轴向方向(98)延伸的第一电极(126),其中,所述可变形元件(22;160)包括第二电极(127),其中,能够在所述第一电极(126)和所述第二电极(127)之间施加电势以在所述第一电极(126)和所述第二电极(127)之间产生静电力(F),其中,所述可变形元件(22;160)构造成基于所述静电力(F)执行沿着所述侧向移动方向(24)的变形。

40. 根据权利要求39所述的MEMS换能器,其中,在所述可变形元件(22;160)不受所述体积流(12)或所述电势影响的状态下,所述可变形元件(22;160)和所述第一电极(126)之间的距离沿着所述可变形元件(22;160)的轴向方向(98)变化,其中,所述距离在如下区域中具有最小距离:所述机电换能器(18;18a-f)在所述区域处具有到所述基板(14)的连接。

41. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)包括第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)、第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)和板元

件(62;62a-c),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)构造成适于沿着所述侧向移动方向(24)变形,其中,所述第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)和所述第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)彼此相对地布置,使得所述第一可变形元件和第二可变形元件的可偏转端(52)彼此面对地布置,其中,所述板元件(62;62a-c)连接到所述可偏转端(52),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形和所述板元件(62;62a-c)沿着所述移动方向(24)的移动之间存在因果关系。

42. 根据权利要求41所述的MEMS换能器,其中,沿着所述移动方向(24)布置有另一个板元件(62;62a-c),其中,布置于所述板元件(62;62a-c)和所述另一个板元件(62;62a-c)之间的容积(42a)基于所述体积流(12)或者基于所述机电换能器(18;18a-f)的致动而改变。

43. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)包括第一可变形元件和第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),所述第一可变形元件和第二可变形元件沿着所述第一可变形元件或所述第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的轴向延伸方向(y)相连,其中,在所述第一可变形元件和所述第二可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)之间设置有弹簧元件(102)。

44. 根据权利要求43所述的MEMS换能器,其中,所述弹簧元件(102)沿着所述侧向移动方向(24)的刚度比与所述侧向移动方向(24)垂直的方向上的刚度低。

45. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)布置成相对于所述基板(14)的侧向主延伸方向(x)倾斜。

46. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述基板(14)包括邻近如下区域的基板弹簧元件(72a-b):所述机电换能器(18;18a-f)在所述区域处连接到所述基板(14)。

47. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述机电换能器(18;18a-f)包括板元件(62;62a-c),所述板元件构造成适于沿着所述侧向移动方向(24)移动,使得所述板元件(62;62a-c)的板表面沿着所述移动方向(24)移动。

48. 根据权利要求47所述的MEMS换能器,其中,所述板元件(62;62a-c)包括能够连接到电势的电极,其中,所述板元件(62a-c)构造成:

产生与另一个电极相反的静电力(F),其中,所述静电力(F)引起所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着所述侧向移动方向(24)的变形;或者

基于所述体积流(12)引起所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着所述侧向移动方向(24)的变形,其中,所述电势能够基于所述变形而被影响。

49. 根据权利要求47所述的MEMS换能器,其中,在所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)与所述板元件(62;62a-c)之间布置有弹簧元件(64a-b;68)。

50. 根据权利要求47所述的MEMS换能器,其中,在所述可变形元件与所述板元件(62;62a-b)之间布置有至少一个其它可变形元件(40b-c),所述至少一个其它可变形元件构造成增大所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的致动器行程。

51. 根据权利要求41所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)包括开口(78a),使得所述腔体(16)的子容积(38a)在所述板元件(62)的方向上延伸通过所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),所述子容积(38a)布置在所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的背离所述板元件(62)的一侧。

52. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述腔体(16)包括所述基板(14)中的开

口 (26), 所述开口布置成垂直于所述侧向移动方向 (24), 使得所述体积流 (12) 基于所述可变形元件 (22; 22a-f; 30; 40; 150; 160) 的变形而垂直于所述侧向移动方向 (24) 流出所述腔体 (16) 或者流入腔体 (16) 中。

53. 根据权利要求52所述的MEMS换能器, 其中, 所述开口 (26) 包括沿着轴向方向 (y) 可变的横截面, 所述横截面从所述MEMS换能器的外侧朝所述腔体 (16) 减小。

54. 根据权利要求52所述的MEMS换能器, 其中, 所述开口 (26) 包括沿着垂直于轴向方向 (y) 的厚度方向 (z) 可变的横截面, 所述横截面从所述MEMS换能器的外侧朝所述腔体 (16) 减小。

55. 根据权利要求51所述的MEMS换能器, 其中, 所述第一可变形元件和第二可变形元件布置成邻近所述开口 (26)。

56. 根据权利要求1所述的MEMS换能器, 其中, 所述腔体 (16) 包括所述基板 (14) 中的开口 (26), 其中, 至少一个杆元件 (44) 形成在所述开口 (26) 的区域中, 使得所述体积流 (12) 围绕所述杆元件 (44) 环流。

57. 根据权利要求56所述的MEMS换能器, 所述MEMS换能器包括多个杆元件 (44), 其中, 相邻的杆元件 (44) 彼此之间的距离 (85) 小于 $5\mu\text{m}$ 。

58. 根据权利要求1所述的MEMS换能器, 其中, 所述腔体 (16) 包括所述基板 (14) 中的开口 (26), 其中, 盖 (43) 布置在所述开口 (26) 的区域中。

59. 根据权利要求1所述的MEMS换能器, 其中, 所述腔体 (16) 包括所述基板 (14) 中的开口 (26), 其中, 在所述开口 (26) 的区域中布置有阀结构 (85a-f), 所述阀结构构造成减小沿着流出所述腔体 (16) 和/或进入腔体 (16) 的至少一个方向穿过所述开口的体积流 (12) 的通道。

60. 根据权利要求59所述的MEMS换能器, 其中, 所述阀结构 (85a-f) 形成为主动式的。

61. 根据权利要求60所述的MEMS换能器, 其中, 所述可变形元件形成为主动式的, 并且其中, 所述阀结构 (85a-f) 基于与所述可变形元件相同的致动器原理。

62. 根据权利要求60所述的MEMS换能器, 所述MEMS换能器包括构造成驱动所述阀结构 (85a-f) 的控制装置, 以便在所述体积流 (12) 中产生压力脉冲。

63. 根据权利要求1所述的MEMS换能器, 所述MEMS换能器还包括膜元件 (104), 所述膜元件布置成至少部分地防止所述体积流 (12) 离开所述腔体 (16) 或者所述体积流 (12) 进入所述腔体 (16), 其中, 能够基于所述体积流 (12) 引起所述膜元件 (104) 的偏转。

64. 根据权利要求63所述的MEMS换能器, 其中, 所述腔体 (16) 包括所述基板 (14) 中的开口 (26), 其中, 所述膜元件 (104) 布置在所述开口 (26) 的区域中。

65. 根据权利要求1所述的MEMS换能器, 所述MEMS换能器被布置在MEMS层叠部 (90; 140) 中, 所述MEMS层叠部具有至少第二个根据权利要求1所述的MEMS换能器 (80b-c; 80' b)。

66. 根据权利要求65所述的MEMS换能器, 其中, 所述MEMS换能器 (80a、80' a) 和所述第二个MEMS换能器 (80b-c; 80' b) 的机电换能器 (18; 18a-f) 能够一起被驱动。

67. 根据权利要求65所述的MEMS换能器, 其中, 所述MEMS换能器的盖表面 (32b) 形成所述层叠部 (140) 的外侧, 其中, 所述MEMS换能器 (80' a) 包括位于所述盖表面 (32b) 中的开口 (26), 所述盖表面布置成背离面向所述第二个MEMS换能器 (80' b) 的一侧, 其中, 所述MEMS换能器 (80' a) 的体积流 (12) 以与所述第二个MEMS换能器 (80' b) 的体积流 (12) 垂直或相反的

方式离开或进入所述腔体(16)。

68. 根据权利要求65所述的MEMS换能器,其中,所述MEMS换能器(80' a)的腔体(16)和所述第二个MEMS换能器(80' b)的腔体(16)彼此相连。

69. 根据权利要求65所述的MEMS换能器,其中,所述MEMS换能器(80' a)的腔体(16)和所述第二个MEMS换能器(80' b)的腔体(16)包括彼此不同的谐振频率。

70. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的轴向延伸(y):最小为 $1\mu\text{m}$ 且最大为 $100\text{mm}$ 的范围。

71. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着所述侧向移动方向(24)的延伸:最小为 $0.1\mu\text{m}$ 且最大为 $1000\mu\text{m}$ 的范围。

72. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着垂直于所述侧向移动方向(24)的方向(z)的延伸:最小为 $0.1\mu\text{m}$ 且最大为 $1000\mu\text{m}$ 的范围。

73. 根据权利要求1所述的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括至少一个可变形传感器元件和至少一个可变形致动器元件。

74. 一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:  
基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器连接到所述腔体(16)中的所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中,所述侧向移动方向(24)相对于所述基板(14)在平面内延伸;

第一机电换能器和第二机电换能器(18b-e),所述第一机电换能器和第二机电换能器连接到所述基板(14)并且各自包括沿着所述侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),所述可变形元件构造成适于沿着所述侧向移动方向(24)变形,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)构造成在第一时间间隔期间彼此相向移动并且在第二时间间隔期间彼此相离地移动,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)和所述第二机电换能器(18c、18e)之间的子腔体(42a、42b)的容积在所述第一时间间隔和第二时间间隔期间是可变的;

其中,所述第一机电换能器的第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)和所述第二机电换能器的第二可变形元件包括杆结构(30),所述杆结构构造成适于沿着所述杆结构的轴向方向(y)弯曲;

其中,所述第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)形成为主动式的并且构造成与所述体积流相互作用,或者板元件(62;62a-c)构造成与所述体积流相互作用,所述板元件连接到所述第一可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)并且构造成刚性的。

75. 一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:  
基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述



可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 沿着侧向移动方向 (24) 的变形和所述流体的体积流 (12) 之间存在因果关系;

其中所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 的变形是所述可变形元件相对于所述基板 (14) 在平面内的弯曲,

其中,所述MEMS换能器包括层叠部,所述层叠部包括中间层 (36)、第一间隔层 (34a) 和第二间隔层 (34b),

所述第一间隔层或所述第二间隔层 (34a、34b) 包括沿着方向 (z) 的尺寸,所述第一间隔层和第二间隔层 (34a、34b) 沿着方向 (z) 布置在所述中间层 (36) 上,所述尺寸的值在最小为 20nm 且最大为 100 $\mu$ m 的范围内。

76. 一种用于与流体的体积流 (12) 相互作用的 MEMS 换能器,所述 MEMS 换能器包括:

基板 (14),所述基板包括腔体 (16);

机电换能器 (18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体 (16) 中连接到所述基板 (14) 并且包括沿着侧向移动方向 (24) 可变形的可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 沿着侧向移动方向 (24) 的变形和所述流体的体积流 (12) 之间存在因果关系;

其中所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 的变形是所述可变形元件相对于所述基板 (14) 在平面内的弯曲,

其中,所述 MEMS 换能器包括层叠部,所述层叠部包括中间层 (36)、第一间隔层 (34a) 和第二间隔层 (34b),

所述第一间隔层或所述第二间隔层 (34a、34b) 包括沿着方向 (z) 的尺寸,所述第一间隔层和第二间隔层 (34a、34b) 沿着方向 (z) 布置在所述中间层 (36) 上,所述尺寸的值在最小为 50nm 且最大为 1 $\mu$ m 的范围内。

77. 一种用于与流体的体积流 (12) 相互作用的 MEMS 换能器,所述 MEMS 换能器包括:

基板 (14),所述基板包括腔体 (16);

机电换能器 (18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体 (16) 中连接到所述基板 (14) 并且包括沿着侧向移动方向 (24) 可变形的可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 沿着侧向移动方向 (24) 的变形和所述流体的体积流 (12) 之间存在因果关系;

其中所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 的变形是所述可变形元件相对于所述基板 (14) 在平面内的弯曲,

所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 具有在如下数值范围内的轴向延伸 (y): 最小为 100 $\mu$ m 且最大为 10mm 的范围。

78. 一种用于与流体的体积流 (12) 相互作用的 MEMS 换能器,所述 MEMS 换能器包括:

基板 (14),所述基板包括腔体 (16);

机电换能器 (18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体 (16) 中连接到所述基板 (14) 并且包括沿着侧向移动方向 (24) 可变形的可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 沿着侧向移动方向 (24) 的变形和所述流体的体积流 (12) 之间存在因果关系;

其中所述可变形元件 (22;22a-f;30;40;150;160) 的变形是所述可变形元件相对于所

述基板(14)在平面内的弯曲,

所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的轴向延伸(y):最小为500 $\mu\text{m}$ 且最大为5mm的范围。

79.一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:

基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲,

所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着所述侧向移动方向(24)的延伸:最小为1 $\mu\text{m}$ 且最大为100 $\mu\text{m}$ 的范围。

80.一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:

基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲,

所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着所述侧向移动方向(24)的延伸:最小为5 $\mu\text{m}$ 且最大为30 $\mu\text{m}$ 的范围。

81.一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:

基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲,

所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着垂直于所述侧向移动方向(24)的方向(z)的延伸:最小为1 $\mu\text{m}$ 且最大为300 $\mu\text{m}$ 的范围。

82.一种用于与流体的体积流(12)相互作用的MEMS换能器,所述MEMS换能器包括:

基板(14),所述基板包括腔体(16);

机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器在所述腔体(16)中连接到所述基板(14)并且包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),其中,所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和所述流体的体积流(12)之间存在因果关系;

其中所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲,

所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)具有在如下数值范围内的沿着垂直于所述侧向移动方向(24)的方向(z)的延伸:最小为10 $\mu\text{m}$ 且最大为100 $\mu\text{m}$ 的范围。

83.一种MEMS扬声器,所述MEMS扬声器具有根据权利要求1或权利要求74所述的MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110),其中,所述体积流(12)是声波或超声波。

84.一种MEMS泵,所述MEMS泵具有根据权利要求1或权利要求74所述的MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110),其中,所述腔体(16)包括位于所述基板(14)中的第一开口(26)和第二开口(26),其中,所述机电换能器(18;18a-f)构造成基于所述流体提供所述体积流(12),并且基于所述机电换能器(18;18a-f)的致动在所述腔体(16)的方向上经由所述第一开口(26)输送所述流体,或者基于所述致动在远离所述腔体(16)的方向上经由所述第二开口(26)输送所述流体。

85.一种MEMS麦克风,所述MEMS麦克风具有根据权利要求1或权利要求74所述的MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110),其中,能够在所述机电换能器(18;18a-f)的端子处基于所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形获得电信号(129b),其中,能够基于所述体积流(12)引起所述变形。

86.一种MEMS系统(170),所述MEMS系统包括:

根据权利要求1或权利要求74所述的MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110);以及控制装置(128),所述控制装置构造成驱动所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形或者检测所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形。

87.根据权利要求86所述的MEMS系统,其中,所述MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110)包括多个机电换能器(18;18a-f),其中,所述控制装置(128)构造成驱动所述多个机电换能器(18;18a-f),使得第一机电换能器(18b、18d)和相邻的第二机电换能器(18c、18e)在第一时间间隔期间至少局部地彼此相向移动,并且其中,所述控制装置(128)构造成驱动所述多个机电换能器(18;18a-f),使得所述第一机电换能器(18b、18d)和邻近所述第一机电换能器(18b、18d)设置的第三机电换能器(18a、18c)在第二时间间隔内彼此相向移动,其中,所述第一机电换能器(18b、18d)被布置在所述第二机电换能器(18c、18e)和所述第三机电换能器(18a、18c)之间。

88.根据权利要求86所述的MEMS系统,所述MEMS系统包括至少另一个MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110),其中,所述另一个MEMS换能器(10;20;50;80;80';100';110)的腔体(16)包括与所述MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110)的腔体(16)的谐振频率不同的谐振频率,其中,所述控制装置构造成检测所述MEMS换能器和所述另一个MEMS换能器的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形并且基于电信号计算傅里叶合成。

89.根据权利要求86所述的MEMS系统,所述MEMS系统包括至少另一个MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110),其中,所述另一个MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110)的腔体(16)包括与所述MEMS换能器(10;20;50;80;80';100;110)的腔体(16)的谐振频率不同的谐振频率,其中,所述控制装置构造成以彼此不同的频率驱动所述MEMS换能器和所述另一个MEMS换能器的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形。

90.一种用于制造MEMS换能器的方法,所述方法包括:

提供基板(14),所述基板包括腔体(16);

在所述基板(14)上在腔体(16)中制造机电换能器(18;18a-f),所述机电换能器包括沿着侧向移动方向(24)可变形的可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160),使得所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)的变形是所述可变形元件相对于所述基板(14)在平面内的弯曲;

使得所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)沿着侧向移动方向(24)的变形和流体的体积流(12)之间存在因果关系。

91.根据权利要求90所述的方法,所述方法还包括布置低摩擦层,其中,所述低摩擦层被布置在所述可变形元件(22;22a-f;30;40;150;160)和邻近的层(32a-b)之间。

## 用于与流体的体积流相互作用的MEMS换能器及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于与流体的体积流相互作用的MEMS换能器,例如MEMS扬声器、MEMS麦克风或MEMS泵。此外,本发明涉及用于制造MEMS换能器的方法。此外,本发明涉及基于MEMS的电声换能器。

### 背景技术

[0002] 除了微型化之外,MEMS技术(MEMS:微机电系统)的一个焦点尤其是关于中量和大量部件的具备成本效益的可制造性的潜力。电声MEMS扬声器目前尚未显著地商业化。除了少数例外情况之外,MEMS扬声器由膜构成,该膜利用选定的物理操作原理进行准静态地或谐振地偏转。所述偏转线性地或非线性地取决于所施加的电信号(电流或电压)。该信号包括被传输到膜偏转的时间变化量中的时间变化量。膜的往复移动以声音的形式传输到周围的流体中;出于简化而非限制性的目的,假定流体为空气。

[0003] 在某些情况下,膜的致动只发生在一个方向上。然后,当膜偏转时,由机械弹簧作用来提供恢复力。在其它情况下,致动发生在两个方向上,使得膜可以包括非常低的刚度。

[0004] 关于膜的致动,描述了使用静电、压电、电磁、电动和磁致伸缩操作原理的情况。例如,基于这些原理的MEMS声换能器的概述可以在参考文献[1]中找到。

[0005] 静电操作式换能器基于以不同的电位接合的两个扁平电极之间产生的力。在最简单的情况下,该构造对应于板电容器,其中,这些板中一个板是可移动地悬置的。在实践中,为了避免声短路,可移动电极被实施为膜。当施加电压时,膜在对置电极的方向上弯曲。在特定实施例中,膜以所谓的接触模式操作。在这种情况下,例如参考文献[2]中描述的,膜接触其上施加有薄绝缘层的下电极以避免短路。在这种情况下,接触面积由所施加的电压的大小决定,并因此根据该电压的时间过程而随时间变化。可以以这种方式产生的振动用于产生声音。在经典静电结构中,在原理上,膜只能在电极的方向上被吸引。恢复力可以至少部分地由膜的刚度来确定并且必须足够高,以便也能够传输处于听觉声音范围内的更高的频率。

[0006] 另一方面,当施加电压时,膜的偏转量可能随着刚度的增大而减小。为了避免这个问题,如参考文献[3]中描述的,已经开发出了采用非常软的膜的方法,该膜可以由上电极和下电极驱动,并因此可以在两个方向上偏转。总之,该扬声器使用了悬浮在腔体内部的两个这样的膜,该腔体和微泵中一样包括入口和出口或者是封闭的。

[0007] 压电操作式换能器利用了逆压电效应。所施加的电压导致固体中的机械应力。在MEMS技术中,通常使用诸如PZT(锆钛酸铅)、AlN(氮化铝)或ZnO(氧化锌)等材料。通常,这些材料作为功能层被施加到膜上,并且构造成使得膜可以基于施加到功能层上的电压而偏转,或者受到激励而振动。压电功能层的缺点在于不能无滞后性地进行操作。此外,陶瓷功能层的集成是复杂的,并且由于缺乏CMOS兼容性(CMOS=互补金属氧化物半导体),所以当使用PZT和ZnO时只能在严格的污染控制下或者在单独的洁净室区域中进行。

[0008] 电磁操作式换能器基于软磁材料在移动磁场(梯度)中受到的力的作用。除了软磁

材料之外,实践该原理还需要永磁体和线圈,借此可以通过电流来随时控制磁场的局部梯度。例如,软磁材料被集成到膜中。例如参考文献[4]中描述的,在组装期间提供所有其它部件。该结构是庞大的、复杂的,而且对于大规模而言似乎不能有意义地扩展。

[0009] 电动操作式换能器使用洛仑兹力。这种方法在宏观扬声器中应用得非常普遍,并且也已经被用在一些MEMS扬声器中。磁场是由永磁体产生的。载流线圈被放置在磁场中。通常,通过沉积和构造金属层将线圈集成到膜中,并且在组装期间增加永磁体作为外部部件。与使用MEMS技术的所有部件的集成相关的复杂性和局限性是与电磁操作式换能器中类似的重大缺点。

[0010] 磁致伸缩操作式换能器基于施加磁场时功能层的收缩或扩张。例如,钒坡曼德合金(Vanadium Permendur)是正磁致伸缩,也就是当施加磁场时扩大。在适当的结构中,这种收缩可以用于产生膜振动。在参考文献[1]中,通过铬粘合层沉积到SiO<sub>2</sub>(二氧化硅)上的钒坡曼德合金(Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub>)被用作磁致伸缩功能层。由电沉积铜所实现的微平面线圈来提供外部磁场。关于集成的复杂性和局限性,上述两种操作原理都要注意类似的缺点。

[0011] 以上描述的经典且使用最广泛的变型例所具有的共同特征是使用可以被激励而振动的膜,然后,利用由于经典膜原理的特殊缺点而考察的某些修改例对上述变型例进行了补充。

[0012] 柔性膜在听觉声音范围内也可以包括更高的模式,并因此可能导致寄生振动,以致降低声音质量(失真因子),参见参考文献[1]。因此,为了避免或者减小这种效应,使用包括显著更高的刚度的板。这种板通过非常软的悬挂部而连接到芯片,这样也避免了声短路,参见参考文献[5]。

[0013] 另一种修改例提供了与以上描述的磁致伸缩换能器一起使用的分段式膜。这对应于功能层在两个方向上收缩或扩张的问题的特殊拓扑解决方案。具体地说,该结构由多个可弯曲的弯曲杆组成。根据参考文献[1],对于小于或等于3μm的杆间距而言,可以认为这种构造是声封闭的。通过相对于谐振频率和杆之间的距离而相应地确定单个杆的尺寸,可以获得比较高的声学带宽,并且声级的过程可以被调整或优化为振动频率的函数。

[0014] 在参考文献[6]中,Neumann等人研究了使用多个小型子膜而不是单个大型膜的方法。每个子膜包括足够高的谐振频率,从而可以在听觉声音范围内发生准静态偏转。特别地,这样使得扬声器的数字操作成为可能。

[0015] 总之,可以得出如下结论:对于上述集成而言,当假设施加中等驱动电压时,已知的静电操作式膜扬声器包括相对较小的偏转量。例如,可以将根据参考文献[3]的Kim等人的静电膜扬声器作为参考。两个膜中的每一个膜包括2×2mm<sup>2</sup>的面积。上电极和下电极以7.5μm的距离分别附接。基于膜的几何构造和膜刚度随着偏转量的增大而增大,由于所谓的拉入效应,偏转量通常被限制为电极距离的1/3至1/2。假设较高的值1/2,分别在一个方向上和另一个方向上的偏转量为7.5μm/2。可以通过假设位移容积对应于具有膜的最大变形量的一半的偏转量的偏转刚性板的容积来估计位移容积。例如这得到:

[0016]  $\Delta V \approx (2 \times 2\text{mm}^2) \times 50\% \times (2 \times 7.5\mu\text{m}) / 2 = 15 \times 10^{-3}\text{mm}^3$  (等式1) 或者

[0017]  $\Delta V / \text{主动面积} = \Delta V / A = \Delta V / 4\text{mm}^2 = 3.75 \times 10^{-3}\text{mm}$  (等式2) 当制造微型膜扬声器时,普遍的问题是实现声压的平坦过程作为频率的函数。可达到的声压与膜的径向阻抗及速度成比例。就宏观尺度而言,膜直径与声波波长相当。在这方面适用的是,径向阻抗与频

率成比例,参见参考文献[6]。通常,高品质扬声器被设计成使得谐振 $f_0$ 低于听觉声音范围(对于多路扬声器而言,相应的谐振频率低于对应的电滤波器的下缘频率)。因此,对于 $f \gg f_0$ 的情况而言,膜的速度比例于 $1/f$ 。总体而言,表达式 $p \propto 1$ 是声压 $p$ 的频率依赖性的结果。因此,声压曲线的完全平坦的过程导致了这种(简化的)考虑。

[0018] 如参考文献[7]中描述的,一旦声源/膜的直径远小于所要产生的声波波长,就可以假设径向阻抗对频率有二次方依赖关系。这是针对具有毫米量级膜的MEMS扬声器给出的。假设 $f \gg f_0$ ,如上所述,对声压曲线的过程产生依赖关系 $p \propto f$ 。相对于高频率而言,低频率被再现为具有过低的声压。在准静态操作中,膜速度与 $f$ 成比例。因此,对于声压过程而言,得到依赖关系 $p \propto f^3$ ,这对低频率而言更为不利。

[0019] 因此,包括高效率的改进的MEMS换能器的设计将是期望的。

## 发明内容

[0020] 因此,本发明的目的是提供一种MEMS换能器以及用于制造该MEMS换能器的方法,由此可以高效率地影响流体的体积流和/或可以高效率地受到体积流的影响。

[0021] 这个目标是由独立权利要求的主题实现的。

[0022] 本发明的核心思想是认识到上述目的可以利用以下两个事实来解决:一个事实是流体的体积流可以以特别有效的方式受到能够沿着侧向移动方向变形的元件的影响,另一个事实是体积流可以以特别有效的方式使这种元件偏转。侧向移动方向(可能垂直于流体流的方向)实现可以与体积流相互作用的大面积,同时具有小尺寸的芯片表面,从而总体而言,获得具有高效率的有效的MEMS换能器装置。

[0023] 根据一个实施例,一种用于与流体的体积流相互作用的MEMS换能器包括基板和机电换能器,所述基板包括腔体,所述机电换能器连接到基板并且包括能够沿着侧向移动方向变形的元件,其中,可变形元件沿着侧向移动方向的变形和流体的体积流之间存在因果关系。本实施例的优点在于,可以在垂直于侧向移动方向和/或垂直于芯片表面的方向上形成受到可变形元件的影响或者影响可变形元件的大的容积,同时可以获得较小的芯片表面。

[0024] 根据另一个实施例,一种MEMS扬声器包括这种MEMS换能器并且构造成发射声波或超声波。根据另一个实施例,一种MEMS泵包括MEMS换能器,以便可以基于体积流来输送流体。根据另一个实施例,一种MEMS麦克风包括具有可变形元件的MEMS换能器,该可变形元件能够沿着侧向移动方向变形。这些实施例的优点是可以利用小芯片表面获得高效率。

[0025] 根据另一个实施例,一种制造MEMS换能器的方法包括:提供包括腔体的基板;将所述基板连接到机电换能器,所述机电换能器包括能够沿着侧向移动方向变形的元件。可变形元件沿着侧向移动方向的变形和流体的体积流之间存在因果关系。

[0026] 其它有利的实施例是从属权利要求的主题。

## 附图说明

[0027] 下面参考附图描述本发明的优选实施例,其中:

[0028] 图1示出了根据一个实施例的MEMS换能器的示意性透视图;

[0029] 图2a示出了根据一个实施例的包括多个机电换能器的MEMS换能器的示意性透视图

图；

[0030] 图2b示出了根据一个实施例的图2a的MEMS换能器的示意性俯视图；

[0031] 图2c示出了根据一个实施例的图2a的MEMS换能器的示意性透视图，其中，机电换能器包括可变形元件的变形状态；

[0032] 图3示出了根据一个实施例的具体化为双压电晶片的可变形元件的示意性透视图；

[0033] 图4a示出了根据一个实施例的包括3个双压电晶片结构的可变形元件的示意性透视图；

[0034] 图4b示出了根据一个实施例的根据图4a的可变形元件在偏转状态下的示意性透视图；

[0035] 图4c示出了根据一个实施例的彼此相邻地布置的两个可变形元件的构造的示意性俯视图；

[0036] 图5示出了根据一个实施例的MEMS换能器的示意性俯视图，其中，机电换能器包括与图2的MEMS换能器不同的构造；

[0037] 图6a示出了机电换能器的示意性俯视图，其中，构造成直的弹簧元件被布置在板元件与可变形元件之间；

[0038] 图6b示出了根据一个实施例的机电换能器的示意性俯视图，其中，弹簧元件从可变形元件的可偏转端以小于 $90^\circ$ 的角度布置；

[0039] 图6c示出了根据一个实施例的机电换能器的示意性俯视图，其中，弹簧元件布置成具有大于 $90^\circ$ 的角度；

[0040] 图6d示出了根据一个实施例的机电换能器的示意性俯视图，其中，基板包括邻近可变形元件的弹簧元件；

[0041] 图6e示出了根据一个实施例的机电换能器的示意性俯视图，其中，板元件包括凹部；

[0042] 图7a示出了根据一个实施例的连接到板元件的可变形元件的示意性俯视图；

[0043] 图7b示出了根据一个实施例的构造的示意性俯视图，其中，可变形元件被固定地夹持在基板之间；

[0044] 图7c示出了根据一个实施例的机电换能器的构造的示意性俯视图，其中，可变形元件在中心区域包括凹部；

[0045] 图7d示出了机电换能器的构造的示意性俯视图，其中，第一可变形元件和第二可变形元件彼此平行地布置；

[0046] 图8a示出了根据一个实施例的MEMS换能器的示意性透视图，其中，可变形元件以交替的方式连接到基板或锚固元件；

[0047] 图8b示出了根据一个实施例的图8a的MEMS换能器的示意性俯视图；

[0048] 图8c示出了根据一个实施例的图8a的MEMS换能器在偏转状态下的示意性透视图；

[0049] 图8d示出了根据一个实施例的图8b的MEMS换能器在偏转状态下的示意性俯视图；

[0050] 图9示出了根据一个实施例的包括3个MEMS换能器的层叠部的示意性透视图；

[0051] 图10示出了根据一个实施例的MEMS换能器的剖面的示意性透视图，其中，可变形元件布置在基板的侧面之间；



[0052] 图11a示出了根据一个实施例的MEMS换能器的剖面的示意性俯视图,其中,机电换能器相对于基板的侧向方向倾斜地布置;

[0053] 图11b示出了根据一个实施例的可以用作泵的MEMS换能器的剖面的示意性俯视图;

[0054] 图12a示出了可以例如用作MEMS泵的处于第一状态的MEMS换能器的剖面的示意性俯视图;

[0055] 图12b示出了处于第二状态的图12a的MEMS换能器;

[0056] 图13是根据一个实施例的沿着侧向延伸方向连接的两个可变形元件的示意图;

[0057] 图14是根据一个实施例的层叠部的示意图,层叠部包括彼此相连的两个MEMS换能器并且包括交互层;

[0058] 图15是根据一个实施例的可变形元件的示意性侧视剖视图,可变形元件包括彼此隔开的并且通过连接元件而彼此相连的两个层;

[0059] 图16示出了根据一个实施例的邻近电极布置的可变形元件的示意性俯视图;

[0060] 图17示出了根据一个实施例的MEMS系统的示意性电路框图;

[0061] 图18示出了根据一个实施例的MEMS换能器的示意性俯视图,MEMS换能器包括具有单侧夹持的杆元件的多个机电换能器;以及

[0062] 图19示出了根据一个实施例的MEMS换能器的示意性俯视图,MEMS换能器包括具有两侧夹持的杆元件的多个机电换能器。

### 具体实施方式

[0063] 在下面参考附图来详细地解释本发明的实施例之前,应该指出的是,在不同的附图中,为相同的、功能上相同的、以及操作上相同的元件、物体和/或结构提供相同的附图标记,使得在不同的实施例中对这些元件的描述能够互换和/或相互适用。

[0064] 下面参考MEMS换能器(MEMS=微机电系统)。MEMS换能器可以包括一个或多个电活性部件,所述电活性部件基于所施加的电量(电流、电压、电荷等)引起机械部件的变化。例如,这种变化可能涉及机械部件的变形、加热或张紧。替代性地或者附加地,对部件的机械影响(例如变形、加热或张紧)可能产生电信号或电信息(电压、电流、电荷等),这些电信号或电信息可以在部件的电端子处被检测到。一些材料或部件具有可逆性,这意味着效果是能够可逆地互换的。例如,压电材料可以包括逆压电效应(基于所施加的电信号而变形)和压电效应(基于变形而提供电荷)。

[0065] 下面描述的一些实施例涉及如下事实:机电换能器的可变形元件构造成与流体的体积流相互作用。例如,相互作用可以包括由电驱动信号引起的可变形元件的变形,该变形引起流体的运动、位移、压缩或减压。替代性地或者附加地,流体的体积流可以使可变形元件发生变形,从而可以基于体积流和可变形元件之间的相互作用而获得事件、特性(压力、流速等)或者与流体相关的任何其它信息(例如温度)。这意味着能够沿着侧向移动方向变形的可变形元件的变形和流体的体积流之间存在因果关系。例如,可以使用硅技术制造MEMS。机电换能器可以包括可变形元件和其它元件,例如电极和/或电端子。可变形元件可以构造成适于沿着侧向移动方向(微观地)变形,即,元件或区域可以沿着侧向移动方向移动。例如,元件或区域可以是杆结构的杆端或中心区域。从微观上看,当可变形元件沿着侧

向移动方向变形时,可变形元件的变形可以垂直于侧向移动方向发生。下面描述的实施例涉及微观上的考虑。

[0066] 实施例可以提供由硅制成的微型扬声器、麦克风和/或泵,相对于这些装置各自的尺寸而言,这些装置可以产生尽可能高的声级、尽可能高的敏感性和/或尽可能高的流体的流率。

[0067] 本发明实施例可以用于产生由空气传播的声音,特别是处于听觉声音范围内的声音。因此,实施例涉及扬声器,尤其是小型扬声器,例如用于助听器、耳机、头戴式耳机、移动电话等的扬声器。体积流和可变形元件的变形之间相互的因果关系也允许在扬声器中的应用。因此,实施例涉及电声换能器。

[0068] 图1示出了MEMS换能器10的示意性透视图。MEMS换能器10构造成与流体的体积流12相互作用。流体可以是气体(如空气)和/或液体。例如,流体可以是医疗溶液、药物、用于技术工艺的化学品等。

[0069] MEMS换能器10包括基板14。基板14可以包括任何材料。例如,基板14可以包括木质材料、金属材料 and/或诸如硅材料等半导体材料。基板14包括腔体16。例如,可以将腔体16理解为基板14的凹部或者至少部分地封闭的容积。体积流12的流体可以被布置在腔体16中的至少某些区域中。

[0070] MEMS换能器10包括机电换能器18。机电换能器18连接到基板14。机电换能器18包括能够沿着侧向移动方向24变形的可变形元件22。例如,在机电换能器18上施加电信号可以使得可变形元件22沿着侧向移动方向24变形。替代性地或者附加地,当碰到可变形元件22时,体积流12可以使得可变形元件22发生变形,由此可以从机电换能器18获得基于体积流12的电信号。也就是说,可变形元件22的变形与体积流12之间存在因果关系。例如,机电换能器18可以包括至少一个(例如两个)压电层,或者可以由所述压电层构成。两层都可以借助电压而变形。机电换能器可以包括其它元件,例如电极。

[0071] 基板14可以包括一个或多个开口26a-d,体积流12可以通过所述开口从MEMS换能器10的周围区域到达腔体16中以及/或者从腔体16到达MEMS换能器10的周围区域中。可以将可变形元件22发生变形时的移动理解为相对于基板14处于平面内。体积流12可以在至少部分地垂直于移动方向24的方向上离开或进入腔体16,例如用于体积流12的开口26c和26d所示。简而言之,可变形元件22的平面内移动可以使得体外流12到达平面外,反之亦然。这意味着可变形元件的侧向移动方向和/或曲率可以相对于基板在平面内发生。

[0072] 开口26c和26d被布置成垂直于基板14中的侧向移动方向24。可变形元件22沿着侧向移动方向24的变形可以引起可变形元件22的至少一个区域朝开口26a的移动,使得子腔体28的尺寸基于上述变形而减小。基于此,可以增大位于子腔体28中的流体的压力。简而言之,流体可以被压缩。这样可以允许流体流出子腔体28和/或腔体16。可以通过开口26d和26c获得垂直于侧向移动方向24的体积流12。

[0073] 例如,MEMS换能器10的基部面积可以布置在x/y平面中。沿着在空间中与x方向和/或y方向垂直地布置的z方向的MEMS换能器10的大尺寸以及/或者沿着z方向的可变形元件22的高尺寸可以使得体积流12增加,同时MEMS换能器10的基部面积保持不变。子腔体28的大小的增加可能导致子腔体28中的流体的负压,使得体积流基于垂直于侧向移动方向24的可变形元件22的变形而流入腔体28和/或16中。

[0074] 可变形元件可以包括例如沿着y方向的轴向延伸,该轴向延伸具有如下值:该值在最少为 $1\mu\text{m}$ 且最多为 $100\text{mm}$ 的范围内,优选地在最少为 $100\mu\text{m}$ 且最多为 $10\text{mm}$ 的范围内,特别优选地在最少为 $500\mu\text{m}$ 且最多为 $5\text{mm}$ 的范围内。可变形元件22可以包括沿着侧向移动方向24的延伸,该延伸具有如下值:该值在最少为 $0.1\mu\text{m}$ 且最多为 $1000\mu\text{m}$ 的范围内,优选地最少为 $1\mu\text{m}$ 且最多为 $100\mu\text{m}$ 的范围内,特别优选地在最少为 $5\mu\text{m}$ 且最多为 $30\mu\text{m}$ 的范围内。可变形元件可以包括沿着与侧向移动方向垂直地布置的侧向方向(例如沿着z方向)的延伸,该延伸具有如下值:该值在最少为 $0.1\mu\text{m}$ 且最多为 $1000\mu\text{m}$ 的范围内,优选地在最少为 $1\mu\text{m}$ 且最多为 $300\mu\text{m}$ 的范围内,特别优选地在最少为 $10\mu\text{m}$ 且最多为 $100\mu\text{m}$ 的范围内。

[0075] 图2a示出了包括多个机电换能器18a-f的MEMS换能器20的示意性透视图。如结合图1所描述的,机电换能器18a-f连接到基板14并且可以各自包括能够沿着侧向移动方向24变形的元件。

[0076] 例如,基板14包括依次层叠布置的第一层32a、第一间隔层34a、中间层36、第二间隔层34b和第二层32b。根据其它实施例,一个或多个其它层可以布置在两个相继布置的层之间。根据其它实施例,层32a、32b、34a、34b和/或36中的至少一个层以多层的方式构造而成。

[0077] 机电换能器18a-f构造成和/或可以被驱动成使得这些机电换能器基于体积流12和/或基于驱动而部分地彼此相向移动以及部分地彼此相离地移动。

[0078] 例如,机电换能器18a和18b构造成彼此相离地移动,而机电换能器18b和18c彼此相向移动。在机电换能器18a和18b、18c和18d、18e和18f之间设置有子腔体38a-c,其中,子腔体38a-c可以基于机电换能器18a-f的偏转而增大尺寸。在机电换能器18b和18c、18d和18e之间分别设置有子腔体42a和42b,这些子腔体可以基于移动或变形而同时减小尺寸。在后续的时间间隔内,机电换能器和/或可偏转元件的变形或移动可以是可逆的,使得子腔体38a、38b和38c的容积减小,同时子腔体42a和42b的容积增大。

[0079] 换句话说,结构化层(间隔层34a)可以用作例如位于下盖和布置在结构化层34a上的中间层36之间的间隔物,该间隔层34a可以被布置在下盖(第一层32a)上,该下盖在一侧(例如但不限于在下侧)至少部分地或全部地封闭所述芯片。在结构化层36上可以布置结构化间隔层34b,结构化间隔层34b的功能完全或部分地对应于间隔层34a并且可以包括相同或相似的形状。MEMS换能器20或其腔体可以被上盖(第二层32b)沿着z方向部分地或全部地封闭。图2a以局部剖视图的形式示出了层32b,以便能够说明布置在腔体的区域中的元件。机电换能器18b和18c以及18d和18e可以分别成对地布置在中间层36的x/y平面中,其中,这样的构造可以沿着空间方向(例如沿着X方向)重复自身多次。

[0080] 基板可以包括分别连接到多个子腔体38a-c和42a-b的多个开口26,其中,例如,一个开口26可以分别连接到一个子腔体38a-c或42a-b。每个子腔体38a-c或42a-b的容积可能受到能够沿着侧向移动方向24变形的至少一个元件22的偏转状态的影响。在第一时间间隔或第二时间间隔期间,相邻的子容积的大小可以分别互补地增大和减小。简而言之,子腔体38a-c或42a-b的子容积可以减小,同时子腔体42a-b和38a-c的相邻的子容积的大小分别增大。

[0081] 杆结构44可以布置在一个或多个开口26的区域中。杆结构44可以布置成使得体积流12的通道能够处于一个或两个方向上,同时减少或避免颗粒进入或离开腔体。例如,在制

造工艺期间,通过选择性地去除和/或选择性地布置或生长层,可以影响层32a、32b、34a、34b和/或36的形状。例如,可以基于选择性蚀刻工艺而由层34a、36和/或34b形成杆结构44。此外,在制造工艺期间,腔体38a-c和42a-b的形状可能受到影响。例如,一个或多个层32a、32b、34a、34b和/或36的壁可以适合机电换能器18a-f的可变形元件的移动,例如,以便获得可变形元件与基板14之间的至少近似恒定的和/或较短的距离。

[0082] 盖43可以布置在杆结构或杆元件处或附近。盖43可以布置在腔体16附近和/或利用杆元件44而与腔体16隔开。例如,盖可以包括网状材料、泡沫材料和/或纸材料。盖能够使颗粒进入或者离开具有比杆结构之间的距离更小的直径的腔体16。替代性地,盖43也可以布置在不包括杆元件44的开口26处或附近。

[0083] 如果可移动元件的自由端例如以弯曲路径和/或圆形路径移动,则基板14可以在可移动端移动的区域中包括平行的或类似的形状。

[0084] 图2b示出了图2a的MEMS换能器20的示意性俯视图。机电换能器18a-f例如可以以力配合或形状配合的方式在元件46a-c处连接到基板14。例如,机电换能器18a-f的一个或多个可变形元件可以与元件46a-c一体地形成。元件46a-c可以布置在层36的平面中,或者可以是层36的一部分。机电换能器18a-f的可变形元件22的延伸可以例如小于或等于层34a、36和34b沿着z方向的延伸。这意味着机电换能器18a-f的可变形元件22可以布置成与层32a和/或32b无接触并且可以是可移动的。替代性地,至少一个可变形元件可以以基于接触的方式变形。例如,低摩擦层(即,具有低摩擦系数)可以被布置在至少一个可变形元件和相邻层(例如层32a和/或32b)之间。如参照壁结构49所描述的,低摩擦层能够实现子腔体之间的流体分离。例如,摩擦系数可以比层32a和/或32b或者层34a和/或34b的摩擦系数低10%、20%或50%。可变形元件22和相邻层之间的摩擦力可以小于可变形元件22的变形所需的力。例如,基于减小的摩擦力,由致动器提供的力可以更小,从而可以以更低功率的方式实施致动器。替代性地或者附加地,可以提高可变形元件22对体积流12的敏感度。

[0085] 机电换能器18b和18c形成例如子腔体42a(室)的侧壁。机电换能器18a-f的可移动元件22可以以形状配合的方式固定到元件46a-c。在可变形元件22的可偏转且可移动的端部52与基板14或基板14的元件48a-d可以布置有距离。因此,可变形元件22的端部52可以被布置成可自由移动的。由于尺寸比例(例如,沿着x方向的延伸与沿着y方向的延伸成比例)的原因,简单地说,由于杆宽度与杆高度的比例的原因,一个或多个可变形元件22能够沿着侧向方向24发生特别大的偏转。例如,如果机电换能器18a-f被构造成致动器,则当施加对应的信号时,这些致动器能够偏转(即弯曲),使得例如可变形元件22的端部52在弯曲路径上移动。根据该路径的过程,元件48a-d中的至少一个元件可以构造成这样:即使当可变形元件22偏转时,也可以使与端部52之间的距离保持大致恒定和/或较小。

[0086] MEMS换能器20可以包括至少一个壁结构49。例如,关于室42a-b,致动器(机电换能器18a-e或者可变形元件)的移动可导致如下事实:由于由上述移动引起的用于填充所述室38a-c的流体流,可以与相邻室发生流体-机械耦合。基于上述流体-机械耦合,在子腔体42a和38b之间可能出现流体流57。为了减少或者避免这种直接耦合或者流体流57,可以设置可实施为不可移动的一个或多个分隔壁(壁结构49)来分隔相邻的室对38a和42。可以以简单的方式实现壁结构,例如实施为由层34a、36和34b连续地形成的相应部位处的元件。例如,在选择性刻蚀过程中,可以保持这种结构的布置。此外,壁结构49可以增加MEMS换能器20的

机械稳定性,并且可以简化各个层之间的结合工艺。至少一个壁结构49可以包括开口或者可以以整体连续的方式来设计,这样能够选择性地修改由流体进入/离开室38a-c和42a-b引起的衰减,特别是用于设定谐振曲线的宽度,或者总体而言,用于设定致动器-室系统的动态特性。

[0087] 如果将图2b和图1结合起来观察,则可以由层32a和32b以及基板14的侧区域53a和53b来影响或确定腔体16和/或多个子腔体38a-c和42a-b的容积。侧区域53a和53b可以布置在层32a和32b之间。机电换能器18a-c的可变形元件可以构造成至少在侧向移动方向24的一部分55中与第一层32a和/或32b平行地进行移动。这意味着可变形元件可变形或者可在层32a和32b之间移动。

[0088] 腔体或子腔体的谐振频率可受到容积的几何构造、机电换能器的驱动频率和/或多个可变形元件中的一个可变形元件的机械谐振频率的影响。(子)腔体例如借助于壁结构49、低摩擦层的构造或者基于多个MEMS换能器中的构造而至少部分地流体分离,并且可以包括不同的谐振频率和/或可以例如借助于控制装置来被不同的频率驱动。可以基于不同的驱动频率和/或不同的谐振频率来获得多路扬声器。例如,腔体的谐振频率被应用在腔体谐振器或亥姆霍兹谐振器的领域中。

[0089] 图2c示出了MEMS换能器20的示意性透视图,其中,机电换能器18a-f包括可变形元件的变形状态。例如,可变形元件被偏转到最大变形量。与图2a所示的情况相比,子腔体42a的容积基于可变形元件(杆)的变形(弯曲)而减小。例如,如果层34a和34b(间隔物)的厚度(沿着z方向或厚度方向的尺寸)小,则机电换能器18a-f或者可变形元件周围的环流在机电换能器18a-f移动时可以忽略不计。这也可以适用于机电换能器18a-f与基板(例如元件48)之间的距离。基于可变形元件的变形,流体的体积(例如空气体积)可以对应于图2a和图2c中的子腔体42a的容积差异,并且可以例如以流体流(体积流)12的形式释放到MEMS换能器20的周围区域中。

[0090] 间隔层34a或34b沿着z方向(第一间隔层34a和第二间隔层34b沿着该方向布置在中间层36处)的尺寸可以包括如下值:该值在最少为1nm且最多为1mm范围内,优选地在最少为20nm且最多为100 $\mu$ m范围内,特别优选地在最少为50nm且最大为1 $\mu$ m范围内。例如,如果与机电换能器18a-f沿着z方向的尺寸相比,间隔层34a和34b的尺寸较小,则流体流57的程度可能小于腔体中的体积流12的程度,流体流57从第一侧到第二侧(例如从正x方向到负x方向,反之亦然)环流机电换能器18a-f,同时可变形元件变形。

[0091] 例如,环流或流体流57可以基于机电换能器18a-f移动所处的区域中的间隔层34a和/或34b的至少部分移除而产生。简而言之,可移动元件周围的流体流可以基于机电换能器和相邻层之间的距离(流体损失)而产生。与流体流12相比,这些流体流的程度可能较低。例如,它们可能小于上述体积流的程度的1/10、1/15或1/20。

[0092] 机电换能器可以成对地彼此相向移动或者彼此相离地移动。因此,与图2b中的状态相比,机电换能器18a和18b可以例如成对地彼此相离地移动,并且在随后的时间间隔内可以成对地彼此相向移动。同时,例如,机电换能器18b和18c可以成对地彼此相向移动或者彼此相离地移动。当换能器没有彼此相邻地布置时,成对的机电换能器的这种互补的移动也是可能的,并且可导致惯性力的至少部分的、但是也可以是完全的补偿,使得低程度的振动或者没有振动在MEMS换能器中获得以及/或者从MEMS换能器传输到周围区域。

[0093] 换句话说,这可以是目前描述的室手段的特定特征,即,致动器成对地以相反的方式彼此相向地和/或彼此相离地连续移动。这意味着(当谨慎地实现了两个有效的弯曲致动器限制每个室壁时)例如当被用作助听器或入耳式耳机时,没有振动会是破坏性的。

[0094] 流体流12可以通过例如开口26a和/或26b。开口26a和26b可以以相同的方式构造,或者可以分别适应相邻的子腔体38a和42a的几何构造。例如,开口26a可以包括沿着轴向方向(例如y方向)的可变横截面,例如沿着x方向的尺寸。开口26b沿着x方向的尺寸可沿着朝向MEMS换能器20的内部(即,朝向腔体或子腔体42a)的方向减小。替代性地或者附加地,开口26可以包括沿着另一方向的可变尺寸或可变横截面,所述另一方向例如是垂直于轴向方向y的z方向(厚度方向)。可变横截面可以从MEMS换能器20的外部沿着朝向腔体16的方向减小。在沿着一个或多个方向x和/或z从MEMS换能器20的外部朝向腔体16的方向上,开口26的渐缩的横截面或者逐渐减小的尺寸可以被称为漏斗状开口。

[0095] 可能的漏斗状开口26可以用作匹配阻抗的装置。例如,当使用MEMS换能器20作为扬声器时,阻抗匹配可能是有利的。开口26b的设计或几何构造可以类似于尺寸为数厘米的宏观扬声器。开口26b的形状能够允许通过漏斗的外表面来限定实际的声音辐射。例如,开口26b可以连续地形成在结构化层34a、36和34b中。包括至少一个杆元件44的杆格栅54可以包括杆元件44之间的和/或杆元件44与相邻的基板之间的开口或间隙。所述间隙可以形成使得流体可以流动穿过该间隙。

[0096] 杆格栅54可以提供防止颗粒进入MEMS换能器20的腔体的防护性。杆格栅54的开口的宽度(即,杆元件44之间的距离)可以被实施为使得流体流12相对于期望的流量而言受到影响或者未受影响。示例性地或者理想地,杆元件44之间的距离可以小于MEMS换能器20中的最小缝隙距离,使得杆格栅可以滤除大量甚至全部相关的颗粒。例如,缝隙距离可以描述可变形元件18a-c到层32a或32b的距离。例如,杆元件44之间的距离可以小于 $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 或 $0.05\mu\text{m}$ 。

[0097] 杆元件44沿着空间方向的尺寸可以被实施为使得杆元件44不包括处于听觉声音范围内(即,处于最少16Hz和最多22KHz的频率范围内)的任何谐振。虽然杆元件44示出为使得它们被布置在MEMS换能器20的外部(例如,在开口26a或26b包括沿着x方向的最大尺寸的区域中),但一个或多个杆元件也可以被布置在开口26a或26b的不同部位处,例如在开口26a和/或26b的渐缩区域中。

[0098] 子腔体42a的容积可以由于可变形元件的变形而减小。在相同的时间间隔内,室(子腔体)38a的容积可能增大。经由包括一个或多个杆元件44的漏斗状开口26b和/或杆格栅54,子腔体38a可以以与子腔体42相同或相似的方式连接到MEMS换能器20的周围区域。机电换能器18a-f可以构造成以彼此不同的频率驱动,或者可以包括彼此不同的谐振频率。每个子腔体的容积可以以彼此不同的频率或者至少部分相同的频率变化。

[0099] 开口26a和开口26b可以布置在在空间中相对地布置的MEMS换能器20的壁处或壁中。例如,流体流12可以分别通过子腔体42a和38a或者多个这样的子腔体而在包括开口26a或26b的相应侧喷出或吸入。这意味着流体流12可以在相反的方向上产生。例如,在第一时间间隔内,体积流12可以沿着负y方向从开口26a喷出并且可以被吸入子腔体38a中。在第二时间间隔内,这些方向可以颠倒。这样,可以防止或消除沿着MEMS换能器20的流动短路。

[0100] 机电换能器18a-f的可变形元件(杆)可以构造成根据从外部馈送的信号而弯曲。

[0101] 发生弯曲的频率可以是体积流12产生和/或振动的频率,并因此可以影响或确定声音频率。由所馈送的信号确定的振动的幅度可能(在一个或多个振动频率处)影响或确定体积流12的幅度,并因此可能对声级有影响。

[0102] 此外,至少一个室(腔体或子腔体)可以用作感测元件,而其它室可以用作致动元件。这意味着MEMS换能器可以包括至少一个能够以感测的方式变形的元件和一个能够致动方式变形的元件。检测和评估杆的移动。这样,例如机电换能器18a和18b可以作为致动器来驱动,同时机电换能器18c和/或18d可以被用作传感器,该传感器用于进行流体中的检测。静电(电容)式、压电式或压阻式传感器元件可以集成起来以进行检测。这种元件可以被用作麦克风和/或压力传感器。这种集成式麦克风和/或这种压力传感器也可以用于调节和控制扬声器室(致动器)或超声发射器室或泵室的特性。为此,必须采用相应的电子系统作为驱动电路/控制电路。

[0103] 下面,其它实施例将对机电换能器和/或致动器进行说明。尽管已经以未偏转的或者未致动状态包括未偏转的可变形元件的方式描述了MEMS换能器20,但各状态也是能够互换的。这意味着,在第一未致动状态中,可变形元件可以变形或弯曲,并且可以基于驱动信号而变形到不太剧烈地弯曲的状态、更剧烈地弯曲的状态或者平直的状态。

[0104] 尽管以上论述解释了例如利用控制装置在MEMS换能器20上施加电信号,但体积流12也可能引起可变形元件的变形,其中,该变形可以利用MEMS换能器20上的电信号的手段获得,即,MEMS换能器20也可以构造成传感器。

[0105] 下面,参考可变形元件的有利修改例。一个或多个机电换能器可包括根据下面描述的修改例的可变形元件。

[0106] 图3示出了实施为双压电晶片的可变形元件30的示意性透视图。可变形元件30包括第一层56和第二层58,这些层至少处于彼此固定地相连的位置,有利的是在整个表面上固定地彼此相连。第一层56和第二层58构造成基于机械、物理或化学影响力而变形,例如扩张或收缩至不同程度。例如,层56和58可以包括彼此不同的热膨胀系数。替代性地或者附加地,层56或层58可以构造成基于馈送到对应层的电信号来扩张或收缩。例如,该层可以包括压电材料。

[0107] 层56和58的彼此不同的收缩和扩张可引起可变形元件30沿着致动方向59或59'的变形。致动方向可以布置成平行于侧向移动方向24。致动方向可以是通过施加正电压而使可变形元件30偏转的方向。

[0108] 替代性地或者附加地,可以沿着另一侧向移动方向24'使用变形,例如,该变形基于可变形元件30的交叉收缩或交叉扩张和/或各层中的一个层的收缩或扩张。这意味着可变形元件30可以构造成利用其杆结构沿着杆结构的轴向方向(例如y方向或平面内)弯曲。这可以基于往复移动(即沿着侧向移动方向24并沿着相反的方向)而发生。

[0109] 换句话说,双压电晶片可以对应于由两个层构成的杆。例如,各层在一个方向(例如竖直方向)上彼此相向地布置。被动层(例如层56)可以固定地连接到主动层(例如层58)。通过施加适当的信号,可以在主动层58中产生机械张力,从而引起层58的收缩或扩张。可以对层58的长度变化的方向进行选择,使得双压电晶片沿侧向弯曲到一个(收缩)方向或另一个(扩张)方向。

[0110] 图4a示出了包括3个双压电晶片结构30a-c的可变形元件40的示意性透视图,如结

合图3所描述的那样。可变形元件40沿着x方向、y方向和z方向在空间中的示意性布置可以示出为如下示例性的方式(而非限制性的方式):可变形元件40可以例如被布置在MEMS换能器10或20中。可变形(子)元件30a-c可以包括例如沿着x方向、y方向或z方向的彼此不同的尺寸。例如,可变形元件30a和30c可以包括沿着y方向的相同的延伸。例如,可变形元件30a-c的致动方向59a-c可以以交替的方式布置,或者包括例如在正/负/正x方向上的交互对准。简而言之,可以理解为可变形元件30a和30c包括相同的长度。可变形元件30b可以包括与此不同的长度。例如,可变形元件30b的长度可以是元件30a或30c的可比较的长度的两倍。根据其它实施例,其它元件(例如弹簧元件)也可以设置在可变形元件30a-c之间。

[0111] 当施加相同的或者相当的量(例如电压的符号)时可变形元件30a-c偏转所沿着的方向可以沿着可变形元件40的长度交替地变化。这样使得交替的弯曲过程成为可能。尽管可变形元件40被图示为包括3个可变形元件30a-c,但也可以布置两个可变形元件或者多于3个可变形元件30。

[0112] 图4b示出了处于偏转状态下的可变形元件40的示意性透视图。例如,层58a-c收缩,使得沿着轴向延伸(y方向)产生多个曲率。

[0113] 换句话说,图3所示的3个杆可以沿着它们的延伸方向彼此相邻地布置。这可以以如下方式发生:在对应的信号的作用下,第一杆和第三杆(30a和30c)包括处于第一方向上的曲率,并且第二杆(30b)包括处于另一方向上的曲率。这样,可以获得致动器,该致动器基于如图4a所示的无信号时的拉伸形式并利用对应的信号以S形方式变形,如图4b所示。有信号或无信号的构造是能够互换的。因此,可变形元件30可以例如包括预偏转或偏压,所述预偏转或偏压基于所施加的信号来引起可变形元件30和/或40的曲率减小或直线扩张。例如,可以假设各个杆30a-c的曲率除了符号以外是相同的,并且第一杆30a和第三杆30c各自的长度大约对应于可变形元件的总长度的四分之一,并且其中,中心杆30b的长度大约对应于可变形元件40的长度的一半。

[0114] 图4c示出了两侧夹持的两个可变形元件40a和40b的构造的示意性俯视图,两个可变形元件40a和40b彼此相邻地布置,使得子腔体38布置在可变形元件之间。例如,实线表示可变形元件40a和40b的致动状态,而虚线表示未致动状态,其中,可变形元件的这种描述是能够互换的,这是因为未致动状态可以由于制造上的原因而形成任何形状。

[0115] 可变形元件40a和40b可以形成为使得它们包括未致动状态下的曲率。此外,可变形元件40a和40b可以分别由3个区段30a-1至30c-1以及30a-2至30c-2形成,这些区段在致动期间执行往复弯曲运动。每个区段(例如中心区段30b-a或30b-2)也可以由两个或更多个区段形成。与图4a和图4b所示的情况相比,区段30a-1、30b-1和30c-1可以包括相对于彼此以及相对于其它区段都不同的长度。长度能够适应在致动时所要获得的期望的形状。S形致动器所具有的大的优点是,不仅允许达到大的平面填充系数,而且可以被两侧夹持。由于层张力梯度的原因(这始终是不可避免),两侧的夹持显著地降低了杆的预偏转量。这样,基板的下盖和上盖的距离可以保持得很小,并且不成比例地减少了流量/压力损失,从而不仅显著地提高了扬声器、超声换能器、麦克风和泵的效率,而且能够首先实现它们的正确操作。根据其它实施例,可变形元件40中的仅一个可变形元件可以被布置在例如MEMS换能器10中。

[0116] 图5示出了MEMS换能器50的示意性俯视图,其中,与MEMS换能器20相比,机电换能



器18a-c包括改变后的构造。机电换能器18a-c分别包括第一可变形元件和第二可变形元件22a和22b、22c和22d以及22e和22f。可变形元件彼此相对地布置。杆元件的可偏转端彼此相对地设置。可变形元件22a-f连接到基板的区域彼此背对地设置。

[0117] 机电换能器18a-c分别包括板元件62a-c,这些板元件分别连接到可变形元件22a和22b、22c和22d以及22e和22f。相应的板元件62a-c可以连接到相应的可变形元件22a-f的可偏转端。

[0118] 可变形元件22a-f可以全部或部分地实施为可变形元件30或40,或者可以包括不同的构造。可变形元件22a和22b、22c和22d以及22e和22f的不同剖面线分别表示相应的可变形元件的变形彼此不同。机电换能器18a-c的可变形元件可以被布置成使得可变形元件可以独立于可变形元件22a-f的相应设计方案来执行可偏转端沿着相同的空间方向的偏转。

[0119] 例如,从图5所示的未偏转状态,驱动可以引起可变形元件22a和22b的可偏转端的偏转沿着正x方向进行。此外,可变形元件22c和22d的驱动可能导致相应的可偏转端的偏转沿着负x方向进行。这使得板元件62a和62b在驱动期间能够彼此相向移动,从而基于板元件的移动使子腔体42a的尺寸减小。替代性地或者附加地,在腔体42a中的负压可以使得板元件62a和62b彼此相向移动,由此获得可变形元件22a-d的变形。替代性地或者附加地,还可以想到的是,一个或多个可变形元件22a-d被实施为电被动的。例如,可以在一个或多个板元件62a-c上施加电位,从而基于板元件62a和62b的电位而在板元件62a和62b之间获得吸引力或排斥力,由此引起板元件62a和62b的移动,并因此引起可变形元件22a-d的变形。替代性地或者附加地,可变形元件22c-f和/或板元件62b和62c可以被同时地或者在时间上错开地驱动,以便获得可变形元件22c-f的变形和子腔体38a容积的变化。

[0120] 换句话说,图5示出了图2a至图2c所示的构造的变型例,其中,分别使用4个弯曲杆22a-d和22c-f来缩窄和/或扩张每个室(腔体42a和38a)。分别基于两个弯曲杆(可变形元件)并结合图2a至图2c描述了这种情况。图5显示了未致动状态。在这种情况下,致动状态和未致动状态能够互换。因此,当没有施加信号时,每个可驱动的可变形元件通常是可以变形的,并且可以根据信号来改变它的变形,其中,可变形元件一部分实现了作为特殊情况的伸展(未偏转)状态。

[0121] 竖直地(例如沿着y方向)相对的弯曲杆例如可变形元件22a和22b以及22c和22d分别可以通过包括元件64a和64b的可弯曲的脊部而彼此相连。在以这种方式获得的脊部的中心区域中,可以布置相对刚性的延伸部即元件66。进而,实施为刚性的或者尽可能刚性的板元件62b也可以被布置在此处。在施加对应的信号时,板元件62a-c可以平行地彼此相向移动或者彼此远离地移动,以便减小和/或增大子腔体的容积。在限制情况下,板元件的平行移动可以使得子腔体42a的容积为零,这意味着板元件62a和62b彼此接触。与结合图2a至图2c描述的构造相比,这样的构造可以提供如下流体的体积流:该体积流显著地大于MEMS换能器20的体积流。在减小子腔体42a的容积时,子腔体38b的容积可以相应地或者至少基于上述情况而增大。如结合MEMS换能器20所描述的,流体可以通过开口26a、26b和/或26c而被供应。元件64a和64b也可以被称为弹簧元件。

[0122] 可变形元件(弯曲杆)22a和22b可以被设计成使得当施加信号时它们向右(正x方向)弯曲。可变形元件22c和22d可以被设计成使得当施加信号时它们向左(负x方向)弯曲。

两种类型的杆(可变形元件的剖面线)可以构造成使得它们根据第一信号而弯曲,如图3和图4所示,并且它们根据第二信号而在相反的方向上弯曲。在这种情况下,可以独立于由杆的弯曲引起的机械回复力来使室(子腔体)缩窄和扩张到原始尺寸。例如,第一信号和第二信号可以是正电压和负电压。例如,当考虑图3时,层56和58也可以是主动层,或者可以在层56背对着层58的一侧布置另一个主动层,其中,两个主动层可以彼此隔开地定位,以便获得在一个方向或另一个方向上的偏转。

[0123] 两个相对的可变形元件(例如可变形元件22c和22d)以及与其相连的板元件62b之间的容积可以随着弯曲杆的移动或变形而改变。例如,板元件62可以实施为刚性的。为了实现改进的压力补偿,将板元件62b连接到可变形元件22c和22d的可变形元件22c和/或22d和/或连接元件64和66分别可以局部地变薄或者减小厚度,以便提供局部流动通道。例如,这可以通过附加的结构化或蚀刻处理而实现。连接元件64a、64b和66可以布置成T形构造。与元件64a和64b相比,连接元件66可以包括高刚度。在可变形元件22c和22d的变形期间,元件64a和64b可以有利地变形,以便能够实现相应的板元件的直线移动。

[0124] 下面基于图6a至图6e来描述有利的实施例,其中,板元件62a和62b分别连接到相对的可变形元件22a和22b以及22c和22d。

[0125] 尽管以下解释涉及板元件和可变形元件的连接,所述可变形元件在所有情况下都以相同方式设计,但不同的机电换能器和/或各个可变形元件与板元件的连接可以被实施为彼此不同的。下面描述的细节描述了非完全有利的进一步修改,并且可以单独地或者相互组合地或者在其它有利的实施例中实施。

[0126] 图6a示出了如下构造的示意性俯视图:其中,在板元件62a和62b与可变形元件22a和22b以及22c和22d之间分别布置有以直线方式构造的弹簧元件68。弹簧元件68可以由可变形元件22a-d的材料或者板元件62a或62b的材料形成和/或与这些元件中的一个或多个元件整体地形成。例如,弹簧元件68可以包括相对于板元件62a或62b所形成的直角。

[0127] 图6b示出了一种替代性构造,其中,弹簧元件68'从可变形元件的柔性端部以小于 $90^\circ$ (例如 $30^\circ$ 或 $40^\circ$ )的角度 $\alpha$ 布置。与图6a的构造相比,这样能够增大板元件62a处的接触点的距离,从而可以使移动期间板元件62a的弯曲减少。

[0128] 图6c示出了弹簧元件62a以小于 $90^\circ$ 的角度 $\alpha$ 布置的构造。例如,与图6a所示的构造相比,这可导致弹簧元件68的回复力降低。

[0129] 图6d示出了如下构造:其中,修改了图6a的构造,使得弹簧元件72a或72b布置在基板14的如下区域中:在该区域附近,布置有机电换能器18a,或者相应的可变形元件连接到基板14。

[0130] 例如,弹簧元件72a和/或72b可以至少部分地由基板14中的凹部(腔体)74a和74b确定。例如,这意味着基板14的刚度可由于凹部74a或74b而局部地减小,从而分别形成弹簧元件72a和72b。尽管凹部74a和74b被示出为分别延伸超过基板14中相邻的变形元件22a和22c以及22b和22d,但凹部74a或74b可以仅被布置为邻近一个可变形元件或者邻近多个可变形元件。替代性地,基板14也可以包括多个凹部或弹簧元件。

[0131] 换句话说,图6d示出了如下构造:其中,呈弯曲弹簧(弹簧元件72a和72b)形式的另一种结构(可变形元件(杆)固定在该结构上)可以使得拉应力进一步减小。例如,这种弯曲弹簧元件也可以集成到刚性板中,如图6e的构造所示并且如结合凹部76a-d所描述的那样。

在杆偏转的情况下,这些元件可以以S形方式变形并且降低了刚性板上的拉应力。

[0132] 图6e示出了机电换能器18a和18b的如下结构:其中,与结合图6d所描述的构造相比,板元件62a和62b包括邻近如下区域的凹部76a-d:在该区域处,板元件62a和62b分别通过弹簧元件68连接到可变形元件。凹部76a-d和板元件62a及62b的背对着可变形元件的一侧之间的距离分别可以影响该区域中的板元件62a和62b的刚度。凹部76a-d使得作用在可变形元件22a-d上的回复力减小。

[0133] 换句话说,图6a至图6e示出了可移动元件或机电换能器的设计方案的变型例。这些变型例与结合图5描述的实施例不同,不同之处例如或者具体在于,图5所示的元件64a或64b已经与加强件66朝着弹簧元件68合并。与板元件62a或62b围绕垂直于绘图平面(x/y平面)的轴的寄生倾斜度相比,根据图6a的构造可以包括更高的刚度。这可能类似地应用于根据图6b和图6c的构造。此外,与图5的构造相比,所有这三种构造都能够实现弯曲杆的更大的偏转量。在这种情况下,元件64a和/或64b(可弯曲脊部)可在杆偏转时处于拉力下,这可能导致在偏转增大时对可变形元件的杆偏转的机械阻力增大。在根据图6a至图6c的变型例中,两个可变形元件的机械连接可以以显著地更平滑(刚性更小)的方式实施,这是因为相应地连接的弹簧元件68可以以弯曲做出反应,并且利用这些元件的对应设计方案这可以表现为显著较低的机械阻力。

[0134] 结合图5描述的连接元件/弹簧68和/或元件/弹簧64a-b可以包括弯曲的或曲折的形状。这样能够增大优选方向上的柔性。如结合图6d和图6e所描述的,上述构造能够减小拉应力,这会导致可变形元件的有效硬化。图6a至图6e中描述的构造忽略了输入开口和输出开口26。如果设置了这些开口,则在基板中布置这些开口的区域中可以省略凹部和/或弹簧元件。替代性地或者附加地,弹簧元件72a、72b和/或由至少一个凹部获得的板元件62a或62b中的一个、多个或每个元件可以基于两个或更多个相互分离且独立的弹簧元件而实现。

[0135] 下面描述的图7a至图7c示例性地描述了可变形元件和板元件的可能的构造。

[0136] 图7a示出了连接到板元件62的可变形元件40。例如,板元件62可以直接布置在可变形元件40处。

[0137] 图7b示出了如下构造:其中,可变形元件40a被固定地夹持在基板14之间并且构造成沿着侧向方向24变形。另外两个可变形元件40b和40c(其端部可以相连)布置在可变形元件40和板元件62之间。基于上述连接,可变形元件40b和40c可以彼此对准,使得相应的可变形元件40b或40c的凸起部指向远离另一个可变形元件。例如,可变形元件40a-c可以一起被驱动或者一起对流体的体积流做出反应,其中,例如,可变形元件40a-c的相互驱动使得致动器行程的尺寸增大,即,板元件62偏转的路径的尺寸增大。这意味着在所述可变形元件和板元件之间可以布置至少一个其它可变形元件,该其它可变形元件构造成与所述可变形元件一起相互驱动时增加可变形元件的致动器行程。

[0138] 图7c示出了机电换能器18的如下结构:其中,可变形元件40a-c包括位于中心区域中的凹部70a或70b,这些凹部允许可变形元件40b和40c之间的容积82与另一个子腔体(例如子腔体38a)的流体耦合。可变形元件40a、40b和/或40c分别可以实施为两部分,以便提供凹部78a和78b。替代性地或者附加地,凹部78a和78b可以被实施为凹部,这些凹部分别由可变形元件40a、40b和40c的其它材料沿着厚度方向(z方向)封闭。

[0139] 换句话说,图7a示出了根据图4的具有致动的S形弯曲杆的构造,其中,在刚性板的

中心布置有与弯曲杆的连接部。为了增大偏转量,可以相继地多次(串联)布置弯曲致动器。图7b和图7c示意性地示出了串联的三个S形致动器的构造。根据其它实施例,可以串联两个S形致动器(可变形元件40)或三个以上的致动器。图7a至图7c中示出了可变形元件的剖面线,例如与图4中选择的剖面线相匹配。不同的剖面线可以表示相应部分的不同的曲率方向。图7c示出了在S形致动器的中心具有开口(凹部78a、78b)的构造,这样能够改善间隙(腔体82)的通气性。

[0140] 图7d示出了机电换能器的如下构造:其中,第一可变形元件40a和第二可变形元件40b沿着y方向平行地布置。这样能够增强使板元件62偏转的力效果。可变形元件的端部可以彼此相连,或者可以一起布置在基板上。替代性地,两个或多个可变形元件40a和40b可以沿着不同的方向(例如沿着z方向(厚度方向))平行地布置。替代性地或者附加地,可变形元件的串联和并联方式可以结合起来使用。

[0141] 如果偏移量较大或太大,则可移动元件可能会碰到另一个可移动元件或固定元件。这可能导致粘连。有利的是,可移动元件或固定元件可以设置有间隔元件(柱状部),从而能够显著地减小接触面积,由此减少粘连或避免粘连。可以布置构造成弹簧元件的小型结构,而不是所谓的柱状部。除了避免粘连之外,可以使两个元件撞击的推动力反向,从而可以减少或避免能量损失,或者可以改善致动器的动态性能。

[0142] 图8a示出了MEMS换能器80的示意性透视图,其中,可变形元件以交替的方式连接到基板和/或中间层36和/或连接到基板的锚固元件84。例如,可变形元件22a在中间层36的区域46和48中的端部处固定地连接到基板,并且构造成执行S形移动,如结合可变形元件40示例性地解释的那样。相邻地布置的可变形元件22b连接到锚固元件84。锚固元件84布置在可变形元件22b的中心区域中,并且也可以连接到间隔层34a或者利用该间隔层连接到层32a。这意味着基板可以包括锚固元件。

[0143] 邻近可变形元件22a或22b的可移动端布置的中间层36的侧壁可以分别基于可变形元件22a和22b的移动形状来成形。

[0144] 图8b示出了MEMS换能器80的示意性俯视图,其中,未示例性地示出间隔层34b和层32b。MEMS 80在开口26的区域中包括杆元件44。区域48可以包括弹簧元件72a-c。区域48被示例性地示出为中间层36的俯视图。

[0145] 锚固元件84可以与可变形元件22b和/或基板的层一体地成形。然而,如图8所示,锚固元件84可以沿着z方向延伸超过可变形元件22b,以使层32a和32b彼此相连。这样使得层32a和32b的振动敏感性降低。替代性地,锚固元件84也可以由另一块和/或另一种材料形成为机械地可变形元件22b。例如,与之相邻地布置的可变形元件22a在区域48或46中的两侧例如以形状配合或力配合的方式固定地连接到基板。

[0146] 例如,杆元件44之间的距离85可以小于 $1\mu\text{m}$ 、小于 $0.1\mu\text{m}$ 或者小于 $0.05\mu\text{m}$ 。

[0147] 锚固元件84可以布置在可变形元件22b的中心区域中。例如,中心区域可以包括可变形元件的几何中心。例如,中心区域可以是可变形元件40的杆段30b。

[0148] 图8c示出了MEMS换能器80在偏转状态下的示意性透视图。可变形元件22b的外部区域可以已经沿着朝向可变形元件22a的方向移动,同时可变形元件22a的外端的位置基本上保持不变。可变形元件22a的中心区域可以已经在可变形元件22b的方向上移动,同时可变形元件22b的中心区域的位置基于锚固元件84而基本上保持不变。

[0149] 图8d示出了MEMS换能器80在偏转状态下的示意性俯视图,如图8c所示。与图8b相比,腔体42的容积减小,同时子腔体38的容积增大。弹簧元件72a可使得输入可变形元件22a中的力减小,然而,也可以不布置该弹簧元件。邻近基板的开口26的第一子腔体42可以布置在第一机电换能器和第二机电换能器的杆结构之间或者致动器22a和22b之间。

[0150] 换句话说,图8a和图8b示出了变型例的示意性3D图示或者俯视图,其中,MEMS换能器的芯片表面能够被非常有效地使用。如结合图2a至图2c所描述的基部构造一样,弯曲致动器可以专门地或主要地被使用,即,附加的刚性板元件可以被省略。如图8a所示,室42受到两个未偏转的S形致动器22a和22b的限制。限制在左侧(负x方向)的S形致动器22a可以连接到其余的装置,该致动器的两端位于附图中的上侧或下侧(即,沿着正或负y方向)。限制在右侧的S形致动器22b可以被固定在柱(锚固元件)84上。该S形致动器的两端可以自由地移动。柱84可以分别固定地连接到上盖32a和下盖32b。当施加信号时,两个致动器均以S形方式弯曲。图8a所示的受到凹部影响的弹簧元件72a可以用于释放拉应力。弹簧元件沿着图8b的图平面中的元件48中的侧向移动方向24布置,使得弹簧元件72a沿着侧向移动方向24被固定地夹持。如图8中示例性地示出的,弹簧元件72a可以包括基于间隔层34a和34b的固定连接部并且也可以被夹持。替代性地,层34a和34b可以构造成使得弹簧元件72a不与间隔层34a和/或34b接触并且因此可以包括更高的柔性。

[0151] 如图8c和图8d所示,S形致动器22a的凸状曲率可以朝柱84移动,使得S形致动器22a的中心几乎接触S形致动器22b的中心。同时,S形致动器22b的自由端已经朝着S形致动器22a的固定夹持部移动,使得它们几乎接触。两个S形致动器的致动形状可以大致相同或一致,以使致动器充分偏转时室42可以实际上或者几乎完全闭合。因此,室42的初始容积可以完全用于体积流的产生或其检测。与室42损失的容积的程度相同地,室38可以获得容积,由此当对影响流动的元件进行足够的尺寸设计时,可以避免室38和42之间由于动态效应而产生的过高的压力差影响致动器的移动。元件46和48可以被实施为使得致动器22b的自由端的距离可以独立于端部的偏转保持较小和/或近似恒定。为了减小致动器22a的应变,可以如上所述地布置弯曲弹簧元件72a。

[0152] 以上描述的实施例可以包括在出现的流动通道中布置的其它致动器。例如,其它致动器可能不用于(例如利用机电换能器18)直接产生声音,但可以用于可变地设定流动特性。例如,由此可以根据装置(MEMS换能器)操作过程中的要求来对每个室分别灵活地调整谐振曲线的衰减以及相应的宽度。

[0153] 在最初所述的估计中,根据现有技术的膜扬声器的单位主动面积的容积变化( $\Delta V/A$ )被估计为 $3.75\mu\text{m}$ 。如下文中论述的,可以基于适合于微技术的尺寸重新对图8a至图8c所示的MEMS换能器进行估计,以便获得对主动面积 $\Delta V/A$ 的估计。为此,致动器(在图8a中的x方向上)的宽度可以被假定为 $5\mu\text{m}$ 的值。柱84的宽度也可以包括 $5\mu\text{m}$ 的值。用于形成室38的侧壁的致动器的距离(例如在图8a和图8b中的未偏转状态下)可以假定为 $10\mu\text{m}$ 。用于形成室42的侧壁的致动器的距离(在图8a和图8b中的未偏转状态下)可以假定为 $100\mu\text{m}$ 。然后,可以指示主动面积的多少百分比可以用于产生体积流的平面填充因子 $F_p$ 的结果为 $F_p = 100 / (5 + 100 + 5 + 10) = 83\%$ 。

[0154]  $\Delta V/A$ 可以表述为: $\Delta V/A = A \times F_p h / A = F_p h$

[0155] 在上面的表达式中,h可以指示室的高度(例如图8a中的z方向)。简而言之,只有致

动器高度可以被假定为上述高度。间隔层34a和34b的厚度可以被忽略。与上述用于膜扬声器的 $3.75\mu\text{m}$ 相比,显然仅 $3.75\mu\text{m}/F_p$ (即 $4.5\mu\text{m}$ )的致动器高度已经足以提供相同的单位主动面积上的体积流。在利用微机械技术容易制造的约为 $50\mu\text{m}$ 的致动器厚度h的情况下,该值可能已经高于MEMS膜扬声器的厚度的10倍以上。

[0156] 在根据实施为没有刚性板的MEMS换能器80的实施例中,与包括板元件以及可能设置于可变形元件与板元件之间的其它可变形元件的变型例相比,由于显著地减少了机械元件和机械连接部的数量,所以可以以明显更简单的方式处理或减少寄生振动。如图7b和图7c所示的串联的致动器的连接方式可以用于实现更大的冲程或更大的力。

[0157] 图9示出了层叠部90的示例性透视图。层叠部90包括MEMS换能器80a, MEMS换能器80a将另外的MEMS换能器80b和80c连接成层叠部90并且被布置在层叠部90中。可以一起驱动MEMS换能器80a和另外的MEMS换能器80b和/或80c的机电换能器。这意味着当芯片表面保持不变时,可能产生或检测到的体积流增加。尽管层叠部90被描述为包括MEMS换能器80a、80b和80c,但可以替代性地或者附加地布置的其它MEMS换能器10、20和/或50。尽管层叠部90被描述为包括3个MEMS换能器,但层叠部90还可以包括其它数量的MEMS换能器,例如两个、四个、五个、六个或更多个MEMS换能器。布置在层叠部90中的MEMS换能器或者相邻的MEMS换能器的腔体或子腔体可以彼此相连。例如,腔体或子腔体可以通过各个MEMS换能器之间的层中的开口相连。

[0158] 换句话说,基于硅技术,盘片或芯片(MEMS换能器)可以例如通过结合方法堆叠,使得在这种情况下与经典膜扬声器相反地可以得到体积流的进一步增加。当在堆叠之前使用用于使单个盘片或芯片变薄的技术时,可以保持较低的层叠部高度。例如,这种技术可以包括蚀刻工艺和/或研磨工艺。

[0159] 彼此相邻地布置的层32a和/或32b的层厚度的减小可以被执行至这些层中的一个甚至两个层被去除的程度。替代性地或者附加地,可以执行制造工艺以降低层叠部高度,从而省略某些下盖或上盖(分别是层32a和32b)。例如,层叠部90可以形成为使得MEMS换能器80b和/或80c被实施为不具有层32b。

[0160] 图10示出MEMS换能器100的剖面的示意性透视图,其中,可变形元件22a-d布置在基板14的侧面之间。可变形元件22a和22b通过锚固元件84a间接地相连。这意味着可变形元件22a和22b的末端可以(可能利用锚固元件84a)固定地连接到基板,并因此被(固定地)夹持。这意味着根据其它实施例的可变形元件22a-d或其它可变形元件可以包括杆结构。杆结构可以在第一端和第二端处被固定地夹持。夹持可变形元件22a-d的端部或杆结构能够减小或显著地减小可变形元件的预偏转(例如由于层张力梯度造成的)。因此,盖与致动器之间的缝隙可以小得多,这在某些应用中具有显著的效率优势。

[0161] 例如,可变形元件22a-d分别固定地夹在两侧上。可以通过在基板14处和/或在锚固元件84a和84b处分别布置或生成可变形元件22a和/或22b来获得固定夹持。虚线88表示未偏转状态,而实心杆92表示可变形元件22a-d的偏转形状。基板14的形式或元件94a和94b可以使得可变形元件22a-d沿着y方向定位。成对的机电换能器18a-c的位置可以基于元件94a和94b而移动。相邻和/或成对地布置的机电换能器18a和18b可以彼此相反地变形。

[0162] 可变形元件22a和可能的相反的可变形元件22c可以构造成基于变形来影响(即,增大或减小)子腔体部分96a的尺寸,或者基于体积流来执行子腔体部分96a中的变形。可变

形元件22b和可能的相对布置的可变形元件22d可以构造成影响子腔体部分96b。子腔体部分96a和96b可以例如在锚固元件84a和84b的区域中彼此相连。可以获得可变形元件22a-d的变形,使得可变形元件22a和22c以及22b和22d分别以彼此不同的频率变形,即,子腔体部分96a中的容积变化可以以与子腔体部分96b的容积变化的频率不同的频率来发生。例如,如果将MEMS换能器用作扬声器,则可以基于频率不同的容积变化而在子腔体部分中获得不同的频率。如果将MEMS换能器100用作麦克风,则子腔体部分96a和96b可以例如包括彼此不同的谐振频率。替代性地,其它子腔体部分和其它可变形元件可以沿着y方向布置,使得MEMS换能器100可以例如产生其它频率或其它谐振频率。

[0163] 替代性地,可变形元件22a和22b或可变形元件22c和22d也可以直接彼此相连。例如,锚固元件可以被布置在一个或多个可变形元件22a-d的中心区域中,以便影响可变形元件22a-d的变形。这意味着可变形元件22a和22b可以直接彼此相连。替代性地,在可变形元件22a和22b之间也可以设置弹簧元件或其它元件。

[0164] MEMS换能器100可以实施为这样:在第一时间间隔内,从开口26在正y方向上获得体积流12;然后,在第二时间间隔内,从开口26在负y方向上获得体积流12。

[0165] 换句话说,图10示出了如下构造:其中,可能排他地设置有S形致动器。为了突出原理,可在图中示出S形致动器被致动(实线92)和未致动的(虚线88)的情况。致动状态和未致动状态也能够通过相应的设计来交换。S形致动器(可变形元件22a-d)可以分别在一个(上)端部和另一个(下)端部处被夹持。为此,可以使用锚固元件84a-b。锚固元件84a-b可以由层34a、36和34b形成并且可以与层32a和/或32b相连。基于这种构造,S形致动器的自由端与元件94a或94b之间的距离可以被省略。这可以降低环流损失。可以对基础基板进行处理,使得致动器可以由该基础基板制成,其中,基础基板可以包括层张力梯度,或者可以在制造致动器的过程中引入层张力梯度。可以基于锚固元件84a和/或84b的布置来减小或防止由以上原因引起的可变形元件的偏转。特别地,可变形元件在两侧的悬置可导致减小或防止在层32a或32b中的一个层的方向上的偏转。因此,间隔层34a和/或34b可以更薄,这也可以减少流动损失。每个室(子腔体部分96a或96b)可以由两个S形致动器限制。在图10的实例中,两个室可以串联。可以基于芯片上提供的区域并且考虑其声特性(特别是S形致动器或致动器-室系统的谐振频率)来选择串联的室的数量,并且该数量可以在1个和更大数量之间变化,例如超过3个、超过5个或者超过10个。

[0166] 元件94a和94b可以可选地布置,即,MEMS换能器100也可以被实施为没有这些元件。如果例如由于机电换能器和/或可变形元件的特殊设计或驱动而使致动器的相应部分不偏转,则借助元件94a或94b与基板14形成的间隔可以被省略。可以实施多S形致动器(波浪形致动器)。特别地,由于杆(可变形元件)的谐振频率可能随着长度的增大而减小,所以基于这种布置能够获得低谐振频率。

[0167] 图11a示出了MEMS转换器110的截面的示意性俯视图,其中,与图10的构造相比,机电换能器18a-b相对于基板14的侧向方向(例如x方向)倾斜地布置。在沿着y方向的延伸与MEMS换能器100相比相同的情况下,机电换能器18a-b包括更长的轴向延伸。这样能够允许较大的子腔体部分96a和/或96b和/或更多数量的子腔体部分或可变形元件串联。

[0168] 可变形元件的外侧杆段30a可以通过锚固元件84间接地连接到其它可变形元件的外侧杆段30c。替代性地,杆段30a和30c也可以直接彼此相连。

[0169] 换句话说,图11a示出了另一个实施例,其中,与图10的论述相比,主动面积旋转了 $45^\circ$ ,其中,可用的芯片表面能够被利用到更高的程度。漏斗状开口26可以被设计为使得声音可以优选地垂直于芯片边缘表面发射,即,沿着y方向从其正方向或负方向发射。

[0170] 以上描述的每个可变形元件也可以形成为多个互连的可变形元件。

[0171] 图11b示出了例如可用作泵的MEMS换能器110'的截面的示意性俯视图。与图11a的MEMS换能器110相比,子腔体部分96a和96b可以通过两个开口26a和26b连接到MEMS换能器110'的周围区域。子腔体部分96a和96b可以通过开口26a连接到MEMS换能器110'的第一侧97a,并且经由开口26b连接到MEMS换能器110'的第二侧97b。例如,第一侧97a和第二侧97b可以彼此相对地布置。替代性地,侧面97a和97b也可以包括朝向彼此的角度。例如,侧面97a或97b中的一个侧面可以包括MEMS换能器110'的侧表面,并且另一个侧面97b或97a可以包括MEMS换能器110'的主侧面(例如,上侧或下侧)。

[0172] 基于可变形元件22a-d的变形,可以通过MEMS换能器110'产生从第一侧97a到第二侧97b的流体流,反之亦然。例如,可变形元件22a和22c可以在第一时间间隔内变形,并且子腔体部分96a的容积可以减小。在第二时间间隔内,子腔体部分96b的容积可以减小。基于容积的减小或增大的顺序,体积流12的方向可以受到影响。替代性地,多个子腔体部分可以相继地布置,也可以单独地布置一个子腔体部分。

[0173] 简而言之,根据通过MEMS换能器的流动原理,可以通过产生体积流12而不是以类似于扬声器的往复方式来获得泵的功能。MEMS换能器的输入侧和输出侧可以彼此相对地布置,但替代性地也可以包括相互之间的角度,或者在相同的部位处彼此局部地或流体地间隔开。包括子腔体部分96a和96b的腔体可以包括基板中的开口26a和26b。至少一个机电换能器18a或18b可以构造成基于流体提供体积流12。例如,至少一个机电换能器18a或18b可以构造成基于机电换能器的致动将流体通过第一开口26a朝腔体传送,或者基于上述致动将流体通过第二开口26b在远离腔体的方向上传送,反之亦然。

[0174] 尽管结合MEMS换能器110'描述了泵功能,但本文中描述的其它实施例可以例如通过适配腔体、子腔体或者至少子腔体部分的开口的构造而被用作泵或微泵。

[0175] 当同时偏转可变形元件22a和22e时,位于可变形元件22a和22e之间的容积中可产生抵消变形或偏转的负压(替代性地是正压)。该容积可以包括例如在层32a和/或32b中的开口,使得在该容积中能够实现压力补偿。这样实现了MEMS换能器110'的高效操作。

[0176] 图12a示出了处于第一状态的MEMS换能器120的示意图,例如可以用作MEMS泵。例如,MEMS换能器120包括两个可变形元件22a和22b,这些可变形元件包括杆结构并且被夹持在基板14上或者被固定地夹持。替代性地,MEMS换能器120也可以被实施为具有一个可变形元件或者具有两个以上的可变形元件。

[0177] 图12b示出了处于第二状态的MEMS换能器120。从第一状态开始,如图12a所示,可以基于至少一个可变形元件22a和/或22b的变形来获得第二状态。从第二状态开始,可以基于一个或多个可变形元件的恢复来获得第一状态。例如,与第一状态相比,子腔体38在第二状态中在可变形元件22a和22b之间被放大。在从第一状态到第二状态的过渡期间,子腔体38中可产生负压。在从第二状态转变为第一状态的过程中,子腔体38中可产生负压。

[0178] 分别在可变形元件22a和22b与基板14之间布置子腔体42a和42b,所述子腔体42a和42b的容积可以分别与子腔体38的容积互补地减小和增大,其中,正压和负压分别也可以



基于可变形元件的变形而与子腔体38互补地获得。

[0179] 阀结构85a-f可以布置在相应的开口26的区域中。例如,一个或多个阀结构85a-f可以由基板14的材料形成。阀结构可以与基板14的一个或多个层一体地形成,并且可以例如通过蚀刻工艺来生成。

[0180] 阀结构可以构造成抑制(即,减小或阻碍)体积流12至少沿着一个方向通过开口26的通道。例如,阀结构85b、85d和85f可以构造成减少或阻止流体从相应的子腔体排出。替代性地或者附加地,阀结构85a、85c和85e可以构造成减少或阻碍流体进入相应的子腔体中。一个或多个阀结构85a-f可以构造成被动式的,例如作为被夹持在一侧上的弯曲杆结构或者作为舌结构。替代性地或者附加地,一个或多个阀结构85a-f可以构造成主动式的,例如,作为机电换能器或可变形元件。简而言之,可以像MEMS换能器的另一个致动器(机电换能器)那样启动阀结构85a-f。

[0181] 例如,阀结构85d可以构造成允许体积流12基于子腔体38中的负压而流入子腔体38中,同时阀结构85c减小或阻碍体积流12进入子腔体38中。如果在子腔体38中出现正压,如图12b所示,则阀结构85c可以构造成允许体积流12基于正压而流出子腔体38,同时阀结构85d减小或阻碍体积流12从子腔体38流出。

[0182] 阀结构85a、85b和85e和85f的功能可以分别与子腔体42a和42b相同或相当。阀结构85a-f也可以被称为止回阀,并且允许例如体积流12的优选方向的适应。

[0183] 尽管描述了MEMS换能器,使得例如体积流沿着相同方向(正y方向)并且在出现第一状态和第二状态的转变的不同时间间隔期间流出子腔体38、42a和42b,但阀结构也可以设置成使体积流沿着另一个方向(例如负y方向)流出至少一个子腔体38、42a或42b。

[0184] 尽管描述了MEMS换能器使得阀结构85a-f布置在每个开口26处,但替代性地,阀结构可以不布置在开口26处或仅布置在某个开口26处。

[0185] 尽管阀结构可以构造成作为止回阀的功能而言是被动式的,但阀结构也可以形成主动式的,这意味着它们可以被驱动并且可以基于驱动来提供致动器的意义上的阀的打开或闭合状态。特别地,例如通过连接到MEMS换能器的控制装置,各自与子腔体相关联的两个阀结构85a和85b、85c和85d或85e和85f可以被驱动,使得流体流12中产生压力脉冲。例如,机电换能器18的致动可以发生,使得在子腔体42a、42b内部的流体中产生正压或负压,并且仅在此之后阀结构85a-f的开口才被驱动。

[0186] 换句话说,利用这种压力脉冲,也可以通过短压力脉冲来实现低频率声波的近似再现。这可以由相继串联布置的多个室以几乎连续的方式来执行。类似地,这也可以利用彼此平行地相邻布置的室来实现。图12a示出了处于未致动状态下的实例,其中,每个室在上侧和下侧上设置有相应的阀,这些阀可以形成为主动式的。每个阀可以单独地打开或关闭。另外,可以想到部分地打开/关闭。阀杆可以以与可动侧壁(即,可变形元件)相同的方式设计或操作。因此,它们可以基于相同或相似的致动器原理。在这种情况下,阀弯曲杆也可以构造成使得它们可以在两个方向上移动,或者在流体流动时(利用由弯曲-致动器阀施加的相应的反作用力)关闭开口(除了留有移动所需的非常小的缝隙)。利用这种结构,提供了针对每个室在方向或正压/负压方面独立地控制流体流的灵活性。如果流体流动的方向是清楚的,则也可以使用阀杆(“止回阀”)。

[0187] 换句话说,中心室(子腔体38)在第一状态下可以被暗色指示的两个致动器(可变

形元件22a和22b)扩张,同时两个外部室(子腔体42a和42b)被压缩。第一室通过止回阀85d被填充下部区域的流体。后者通过止回阀85a或85e将流体推入上部区域中。在第二状态下,中心室被压缩。流体被推入上部区域中。外部室被下部区域的流体填充。

[0188] 图13示出了沿着可变形元件22a和/或22b的侧向延伸方向98相连的第一可变形元件22a和第二可变形元件22b的示意图。在可变形元件22a和可变形元件22b之间布置有弹簧元件102。弹簧元件102可以使得可变形元件22a和22b中机械地产生的回复力减小。例如,弹簧元件102可以包括在垂直于方向98布置的方向98'上的低刚度,并且可以包括沿着方向98"的高刚度,方向98"可以布置成在空间上垂直于方向98和98'。例如,可变形元件22a和22b以及弹簧元件102可以被布置为MEMS换能器110中的可变形元件22a。

[0189] 换句话说,适当的弹簧元件102可以布置成用于在夹持部位处两侧夹持的S形致动器22a-d、或者例如以及在致动器的夹持部位之间的区域中(例如中心处)的张力释放。例如,弹簧元件102插在致动器的中心,并且在期望的方向(98')上是特别柔软的,而在上述两个方向(98和98")上是刚性的,即,它包括高的或更高的刚度。弹簧元件102可以布置在可变形元件22a和22b的可偏转端之间。弹簧元件102可以包括沿着侧向移动方向24的低于垂直于侧向移动方向24的方向上的刚度的刚度。

[0190] 图14示出了包括彼此相连的MEMS换能器80' a和MEMS换能器80' b的层叠部140的示意图;与MEMS换能器80相比,层叠部140包括交互层32,这意味着MEMS换能器80的层32a或32b被去除。

[0191] 此外,MEMS换能器80' a在层32b中包括开口26,这意味着与MEMS换能器80相比,体积流12的出射方向或体积流12的穿透方向是垂直地倾斜的。这意味着MEMS换能器的盖表面可以形成层叠部的外侧,其中,MEMS换能器可以包括在盖表面中的开口,该盖表面背离面向第二MEMS的一侧,其中,MEMS换能器80' a的体积流12进入或离开与MEMS换能器80' b的体积流垂直或相反的腔体。

[0192] 膜元件104可以布置在MEMS换能器80' a上。膜元件104可以布置成至少部分地阻止体积流12通过膜元件104从腔体排出或者体积流12进入腔体16中。腔体可以延伸到MEMS换能器80' a外部的区域,并且布置在MEMS换能器80' a和膜元件104之间。膜元件104的偏转可以基于体积流12而产生。例如,膜元件104可以借助MEMS换能器80' a处的框架结构106来布置。框架结构106可以布置在MEMS换能器80' a的一侧,例如在层32b的主侧面上。

[0193] 替代性地,可以实施不同于90°的角度的倾斜。MEMS换能器80' b可以包括位于层32b处或层32b中的开口,使得体积流12可以在层叠部140的两侧进入或离开腔体,其中,所述两侧彼此相对地布置。

[0194] 替代性地或者附加地,层叠部140可以包括另外的或者不同的MEMS换能器,例如MEMS换能器20或者80。例如,MEMS换能器20可以被布置在MEMS换能器80' a和80' b之间。这使得体积流12能够沿着垂直于MEMS换能器80' a的相应方向的方向进入或离开腔体。

[0195] 换句话说,声音排出开口26也可以附接在下盖32a和/或上盖32b中,而不是在芯片侧表面上。图14示出了相应的简化图。上盖32b中的开口26可以被识别。类似的开口可以位于下盖32a中,然而,基于透视图可能不能识别该开口。层32也可以包括开口,这意味着MEMS换能器80' a和80' b的腔体、子腔体和/或子腔体部分可以彼此相连。彼此竖直地叠置(沿着z方向)的室可以通过层32中的开口而彼此相连。

[0196] 包括一个或多个杆元件(格栅脊部)44的格栅也可以容易地实施为图14中描述的变型例,该格栅可以构造成用于适应衰减并且特别地作为对颗粒的防护件。例如,上盖32b和下盖32a中的开口26可以通过湿式化学蚀刻或干式化学蚀刻工艺构成。在蚀刻之前,期望的格栅可以构造成与开口的蚀刻相比包括适当的高选择性的额外施加的薄层。为了蚀刻开口26,现在可以选择具有适当高的各向同性或侧向欠蚀刻的蚀刻方法,以便可以出现格栅脊部44的欠蚀刻。例如,可以在氧化硅层或氮化硅层中制造格栅,并且盖可以由硅制成,然后通过深反应离子蚀刻(DRIE)来构造。这个过程可以被调整,使得在微米范围内的欠蚀刻是可以实现的。替代性地,可以执行利用四甲基氢氧化铵(TMAH)和/或氢氧化钾(KOH)或硝酸(HNA)的湿式化学蚀刻。

[0197] 当相应地以漏斗状方式设计下盖32a和上盖32b中的开口时,声音出口区域可以包括更大百分比的芯片面积,并且与包括诸如MEMS换能器80等侧表面处的出口的MEMS换能器相比,上述声音出口区域可被设计得更大。关于声特性以及关于衰减,这个选项提供了更广泛的设计范围。盖32a和32b中以及盖表面32a和32b之间的侧表面处的声音排出开口的组合是其他实施例的特征。用于高度集成系统的优选变型例可以包括位于盖32b中的附接开口,以便朝上发射声音,并且在侧面附接压力补偿开口,以便能够以简单的方式将该装置施加到例如印刷电路板上。

[0198] 通常,声音进入开口和/或声音排出开口26可以被设计为使得可以选择性地调整声特性和/或衰减特性。在原理上,下层32a和/或上层32b也可以振动。这些元件的振动可以分别通过适当的附加连接元件(例如通过锚固元件84)而在插入层34a和34b和36中被抑制或减小。上述抑制或减小可以包括将振动转移到听觉声音之外的频率区域中。替代性地或者附加地,层32a和/或32b的振动可以被选择性地实施,用以优化声音发射,其中,层中的选择性连接也可以被使用,并且另外地,层32a和32b的刚度或声特性可以由相应的结构(连续开口或盲孔)来调整。

[0199] 此外,可以将膜施加到上盖32b上,然后由室的体积流12激励振动。这由虚线104示意性地示出。在简单情况下,间隔物106可以以框架的形式布置在上盖32b上,膜104被布置或张紧在上盖32b上。可以利用已知的微机械工艺制造这种膜104。替代性地,膜104也可以设置在腔体或子腔体的内部和/或仅覆盖开口26中的一个或一部分。

[0200] 对于MEMS换能器(例如MEMS扬声器装置)的上述实施例中的某些实施例而言,可以适用的是,存在可以独立于一些、多个或其它室而例如在子腔体或子腔体部分中产生子体积流的室。所述室可以被实现为由在侧向(侧向,参见例如图10和图11)和/或竖直方向(竖直,参见例如图14)上连接的子室组成,同时实施例也示出了它们的组合。这种连接的子室(例如子腔体部分94a和94b)可以用于产生独立于或依赖于其它室的子体积流。室(子腔体)可以彼此独立地产生体积流的情况可以被称为单室。可以基于多个子室(子腔体部分)产生体积流的室可以被称为复合室。

[0201] 以上描述的实施例可以被修改,使得两种类型的室可以以任何方式组合。因此,实施例可能仅布置有单室或者仅布置有复合室。替代性地,实施例可以被实现为布置有上述两种室类型。

[0202] 换句话说,当仅使用单室时,所有致动器-室系统的谐振频率可以相同或可以设计成不同的。这样,例如,可以在声音发射中通过增加相应单声室的数目来突出某个频率区

域。特别地,通过谐振频率的相应分布和谐振曲线经由衰减的宽度,例如通过确定格栅开口的尺寸或一般而言确定声音排出开口和/或流动通道的尺寸,来实现频率过程(声压级作为频率的函数)的设计。首先,频率过程的平滑在此起着至关重要的作用。

[0203] 基于空间中容积的扩张、机电换能器的几何构造和/或操作机电换能器的频率,子腔体和/或子腔体部分可以发射不同的频率的体积流和/或被优化以检测体积流的某些频率。

[0204] 在另一个实施例中,只使用单室。声音排出开口只能放在侧面。3个芯片/盘片(MEMS换能器)可以堆叠在彼此之上。上芯片可以针对第一频率范围(例如高频范围)中的声音发射进行优化。第二个MEMS换能器(例如中心MEMS换能器)可以适用于第二频率区域(例如中等频率)。第三MEMS换能器可以适用于第三频率区域,例如低频。这样可以获得三路扬声器。三个通道(3个MEMS换能器)的构造也可以通过侧向地使用用于高频的第一数量 $N_1$ 的室、用于中等频率的第二数量 $N_2$ 的室和用于低频的第三数量 $N_3$ 的室而出现在芯片中。这个原理很容易在侧向方向上以及采用堆叠也在竖直方向上针对N路系统扩展。在另一个实施例中,N路系统被设计为使得声音由具有频率 $N*f_1$ 的相应谐波的傅里叶合成而产生,其中, $f_1$ 表示最低频率。

[0205] 这意味着MEMS换能器可以与至少另一个MEMS换能器一起布置成层叠部,其中,可以例如通过沿着侧向方向(例如x方向)和/或厚度方向(如z方向)布置至少两个MEMS换能器来获得层叠部。替代性地,MEMS换能器也可以彼此分开地布置。MEMS换能器的腔体和所述至少另一个(第二个)MEMS换能器的腔体可以包括彼此不同的谐振频率。

[0206] 在致动操作中(即,可变形元件主动变形时),可以得到N路扬声器,其中,N表示谐振频率彼此不同的MEMS换能器的个数。在传感器操作中,例如,可以利用不同的MEMS换能器来检测彼此不同的体积流的频率范围。例如,这使得体积流的傅里叶合成成为可能。例如,控制装置128可以构造成检测所述MEMS换能器以及另一个MEMS换能器的一个或多个机电换能器的可变形元件的形成。控制装置可以构造成基于电信号计算傅里叶合成(傅里叶分析)并且输出结果。

[0207] 上述使用单室的实例也可以使用复合室来实现,其中,复合室的各个子室包括相同的谐振频率。

[0208] 当使用复合室时,由于谐振最大值所对应的部位的原因,相连的子室也可以支持不同的频率。因此,例如,3个子室可以代表三路系统。例如,在后部子室(沿着轴向延伸的第一部分)中以低频方式调制的气流将还在中间子室(沿着轴向延伸的第二部分)中经受中频调制,并且在室的前部(沿着轴向延伸的第三部分)经受高频调制。

[0209] 机电换能器在高频率下所需的冲程(即,偏转)可能比低频率时低,以便产生相同的声压。因此,用于高频率的室或子室可以被设计为具有较低的室容积,或者限制该室的致动器侧壁具有较低距离。

[0210] 在操作过程中,驱动器可能会在相同频率的室之间插入相位偏移,使得波前倾斜,并且不会垂直于表面(相控阵)出射。

[0211] 在上述和下述所有变形例中,每个室被至少一个第二室包围,其中,当空气流入第一室中时,空气流入第二室以便进行压力补偿,反之亦然。特别地,当这些室之间没有分隔壁时这是显而易见的,因为致动器在其移动时增加了一个室的容积,同时减小了另一个室

的容积,反之亦然。

[0212] 例如,对于用作助听器或入耳式耳机中的扬声器而言,外部空气(即,耳外)通常不被扬声器移动。相反地,耳道中的容积仅通过例如膜的振动而周期性地变化。这种情况可以如下所示地通过保持相应的开口闭合而发生在所有变型例中,所述开口位于芯片的上侧、芯片的下侧或图中所示的变型例中的芯片的侧表面上。为此,在这些部位必须省略构造杆格栅。

[0213] 一般情况下对于所有的扬声器应用领域而言,杆格栅可以在某些位置或者全部由封闭膜代替。这样,最大限度地降低颗粒的灵敏度,并且能够进行操作,特别是在污染的或腐蚀性的气体和液体中。

[0214] 下面介绍关于弯曲致动器的设计和操作的措施,其目的是能够尽可能地说明所需的频率响应。

[0215] 通过采用将弯曲致动器分割成单个元件的多个附加弹簧元件,可以减小致动器的有效刚度,从而减小谐振频率。例如,参考图15,其中,用单个弹簧元件将弯曲致动器分成两个元件。由于弯曲致动器包括处于kHz范围内的固有频率,而在弯曲致动器的通常尺寸(例如宽度为5 $\mu$ m,长度为2mm,材料为硅)中没有这样的量度,所以分成两个或更多元件对于获得处于听觉声音的低频范围内的谐振频率而言是重要的。替代性地或者附加地,附加质量元件可以选择性地设置在弯曲致动器上,或者也可以设置在可能存在的刚性板上,以降低谐振频率。当构造层36时,可以简便地提供这样的元件。附加质量 $\Delta m$ 的操作模式可以用谐振子模型来解释。

[0216] 质量为 $m$ 的元件由刚度为 $k$ 的弹簧悬挂,在幅度为 $F_0$ 的力的正弦形激励下,该元件的振动幅度 $A(\omega)$ 为:

$$[0217] \quad A(\omega) = \frac{F_0}{m} \frac{1}{\sqrt{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{c}{m}\omega\right)^2}} \quad (\text{等式 3})$$

[0218] 在这种情况下, $\omega$ 是激励的角频率, $c$ 是衰减常数。如果谐振器工作在准静态范围内,则幅度与质量无关。对于 $\omega \ll \omega_0$ 的情况而言,适用以下表达式:

$$[0219] \quad A(\omega) \approx F_0/k \quad (\text{等式 4})$$

[0220] 因此,附加质量 $\Delta m$ 将固有频率 $\omega_0$ 改变为最低值 $\omega_{0-}$ ,但振动的幅度保持不变。当弯曲致动器在其固有频率的范围内操作时,情况看起来是不同的。对于 $\omega \approx \omega_0$ 的情况而言,等式3的方根的第一项相对于第二项可以被忽略,并且适用以下表达式:

$$[0221] \quad A(\omega) \approx F_0/(c\omega_{0-}) \quad (\text{等式 5})$$

[0222] 由于 $\omega_{0-}$ 与谐振子的质量的方根成反比,所以质量的增加导致 $\omega_{0-}$ 相应地减小,从而幅度增大。在条件 $c\omega_{0-} < k$ 下,得到幅度的附加增益。以上已经描述了弯曲杆被构造为使得它们可以根据位置或信号而在一个或另一个方向上弯曲的可能性。因此,当杆弯曲时,回复力不一定通过机械弹簧效应提高。所选的这种弯曲杆的刚度越低,在可能耦合的固定能量下偏转越高。

[0223] 虽然所有的考虑都参照了听觉声音范围,但也可以设想实施用于产生超声波的装置。在原理上,也可以设想提供具有位置感测元件(例如,压阻、压电、电容等)而不是致动器的杆来提供作为麦克风的装置。

[0224] 对于硅技术中的MEMS扬声器制造的核心而言,可以使用已知的晶片结合方法和深

反应离子蚀刻。制造致动器取决于所选择的作用模式，并且最初是隐藏的。这部分可以模块化地结合到以下示例性进展中。以下论述涉及仅具有用于侧面上的气流的气流的开口的装置。

[0225] 作为基础材料，使用绝缘体上结合硅 (BSOI) 盘片。处理后的晶片形成MEMS扬声器装置的下盖32a。BSOI盘片的埋置氧化物层稍后可以用作间隔层34a。BSOI盘片的主动层可以对应于层36。处理后的晶片可以包括500至700 $\mu\text{m}$ 的厚度，并且如果必要的话，可以在该过程结束时进一步减薄。埋置氧化物层可以包括50nm至1 $\mu\text{m}$ 的厚度。BSOI盘片的主动层可以包括1至300 $\mu\text{m}$ 的厚度。例如，层36是优选地使用深反应离子蚀刻 (DRIE) 来结构化的。在这样结构化之后，埋置氧化物层 (34a) 可以至少局部地在致动器的移动区域中被移除或者至少被减薄。这可以使用湿式化学法 (例如使用BOE (缓冲氧化物蚀刻)) 或干式化学法 (例如借助于气态氢氟酸 (HF)) 来实现。在至少部分地移除致动器的移动区域中的间隔层34a之后，可以例如通过化学气相沉积 (CVD) 或原子层沉积 (ALD) 沉积低摩擦层，这封闭或显著减小了层34a和致动器 (可变形元件) 之间的缝隙。或者，例如在US 7,803,281B2中描述的，可以在结合盘片以通过沉积和构建适当的层来制造BSOI盘片的过程中限定不发生结合的区域。这种方法可以用于上盖和下盖。例如，层34b优选地是通过反应离子蚀刻 (RIE) 来结构化的。如相应的附图所示，层36和34b中的所有元件都是用这两种结构制造的。这也包括杆状格栅结构。

[0226] 以上描述的低摩擦层的沉积也可以用于上盖 (层32b)。例如，在粘合之前可以将相同的物质施加到盖上。间隔层34b可以被省略。例如，低摩擦层可以通过沉积材料来获得。例如，摩擦值可以比层32a、34a、34b或32b的材料低10%、20%或50%。

[0227] 通过相应的掺杂，层36也可以用作电导体。首先，在致动器被不同的频率激励的情况下，层36中的竖直电绝缘性是有利的。这可以通过例如参考文献[8]中所述的所谓的填充沟槽来获得。使用开放的沟槽来实现电绝缘也是一种可能性。

[0228] 层被施加和构造到第二盘片上，该第二盘片可以形成为具有500至700 $\mu\text{m}$ 的典型或可能的厚度并且例如可以形成上盖32b的硅盘片。该层对应于间隔层34b。优选地，该层的厚度对应于埋置氧化物层。作为用于间隔层的材料，所有使得能够随后将第二盘片结合到BSOI盘片上的材料都是可用。引用氧化硅作为例子，优选地用于将氧化硅直接结合到硅上的热氧化物。替代性地，多晶硅可以用于直接结合。另一种选择是将适当的凹陷蚀刻到第二盘片中，使得上盖32b的功能以及间隔层34b的功能由盘片形成。当盘片的这些部位被适当的低摩擦层盖住时，至少在致动器移动的区域可以避免这些凹陷，使得致动器 (可移动元件) 和盖 (层32a和/或32b) 可以被省略。除了用于结构化的辅助层 (掩膜) 之外，第二盘片上的另一层可以被省略。由此，硅在硅上的直接结合也是可能的。

[0229] 除了直接结合之外，还可以使用粘合剂粘合方法，使得间隔层34b由聚合材料 (例如BCB) 构成。此外，可以想到Au-Si共晶结合法或阳极结合法 (含有Na离子的层)，然而，由于不存在的CMOS兼容性的原因，这些方案并不是优选的。

[0230] 在两个盘片结合之后，制造的核心在盘片复合物中完成。制造电线和触点以及可能需要的电绝缘结构尚未解释。这些元件可以通过现有技术的公知标准方法来提供：制造导体路径，例如通过AlSiCu的溅射和结构化，通过沉积和结构化氧化物的竖直绝缘，通过开放或填充的绝缘沟槽的侧面绝缘 (该沟槽完全穿透层36)。

[0231] 将装置与侧面连接的开口分开需要特别地保护杆格栅。这能够通过以下方式来实现

现:例如通过将框架内的装置(例如利用四个薄脊部分)与其连接起来。为此,下盖32a和上盖32b以及层34a、36和36b将相应地结构化。诸如TMAH、KOH和DRIE等各向异性蚀刻方法特别适用于这种结构化。层36的DRIE结构化是特别用于沿着杆栅结构化的优选变型例。脊部被破坏,以释放来自盘片复合物的装置。例如,这可以通过机械或通过激光加工完成。

[0232] 也可以设想不结构化下盖32a以便进行分离,而仅将层34a、36、34b和32b结构化。特别地,层36可以通过DRIE来构造,以便实现杆格栅的垂直路线。从芯片表面起产生沟槽,然后在下盖32a上结束。现在可以用聚合物材料(例如光致抗蚀剂)来填充该沟槽。在随后的锯切和分离处理中,聚合物起到防污的作用。在锯切之后,装置被清洗以清除锯屑。然后用适当的溶剂或者在氧等离子体中除去聚合物。

[0233] 如果使用上盖和下盖中的开口,而不是侧部开口,则如图16中已经描述的那样,必须进行制造。为了进行分离,可以例如利用箔片来保护下开口和上开口,使得锯切过程或激光切割成为可能。替代性地,开口也可以用聚合物材料(例如光致抗蚀剂)封闭,以便进行分离过程,然后再用溶剂或在氧等离子体中除去。

[0234] 装置的堆叠优选地通过粘合方法在盘片复合物中进行。电接触可以通过相应的层36中的电触点(结合垫)来完成,或者当使用TSV(硅通孔)时,也可以通过芯片底侧上的所谓的突起部来实现。TSV也可以用于电连接堆叠的单个芯片。TSV和突起部也可以用于未堆叠的芯片。

[0235] 为了实现杆格栅54的更高的稳定性,间隔层34a和34b可以在杆脊部的区域内保持不结构化。

[0236] 在下文中,描述了用于制造侧向弯曲致动器的优选实施方案的变型例。

[0237] 在原理上,弯曲杆的致动可以使用公知的静电、压电、热机械或电动操作原理。

[0238] 对于一些没有主动弯曲杆的上述装置变型例而言,也可以实现简单的静电操作原理。MEMS换能器50可以以如下方式实施:刚性板元件62a和62b被实施为电容器板或者包括电容器板,由于电位差的作用,该电容器板彼此相向移动,直到用作弯曲弹簧的元件64包括相应的机械反作用力。

[0239] 替代性地,弯曲杆可以通过另外设置的固定对置电极而直接偏转。也可以设想使用梳电极来增加力或偏转。

[0240] 另一种静电原理是基于使用夹持在一侧的杆,该杆在其夹持点处与电极的距离非常小,并且该电极距离随着离开夹持点的距离增大而增大。在这种情况下,夹持点处的距离可以为零。如果在弯曲杆和电极之间施加电压,则由电压强度和杆刚度决定的弯曲杆的一部分抵靠着电极。关于本文描述的原理,杆和电极之间的空间形成室42,室42可以如上所述改变其容积。

[0241] 这种致动器的基本原理例如在文献中有所描述。在参考文献[9]中,呈现了例如竖直偏转的致动器。电极距离的变化是通过在制造弯曲杆时选择性地插入层张力来实现的。对于在本申请的上下文中描述的装置,根据这种原理的致动器可以通过相应地结构化层36而容易地实现。除了已经需要的层36的结构化之外,在电极和弯曲杆之间应用绝缘层,这很容易通过微系统技术的已知方法来实现。层张力的插入是不必要的,因为弯曲杆已经由于结构化而获得期望的形状。以这里描述的方式,致动器可以侧向偏转,因此可以用于上述的装置原理。

[0242] 对于大量的集成和可扩展性,静电操作原理提供了大量的优势。不需要诸如磁铁或线圈等外部部件,也需要针对污染关键材料的洁净室,特别是与CMOS兼容的洁净室。然而,此前所追求的膜手段包括一些缺点。这些缺点包括如下事实:整个听觉声音范围可能没有被单一的振动膜或板充分地覆盖。然而,准静态操作一个或多个膜的方法解决了这个问题,这是由于不必以偏转为代价从而以可实现的体积流或可实现的声级为代价来增强谐振。后者与固定容积有关,例如用于入耳式耳机,如下文的参考文献[11]所述:

$$[0243] \quad \text{SPL} = 20 \log_{10} \left( -1.4 \frac{P_0 \Delta V}{P_{\text{ref}} V_0} \right) \quad (\text{等式 6})$$

[0244] SPL代表“声压级”, $P_0$ 是正常压力, $\Delta V$ 是扬声器可达到的容积变化量, $P_{\text{ref}}$ 是用于度量听力阈值的参考压力(为 $20\mu\text{Pa}$ ), $V_0$ 是(在入耳式耳机或助听器的情况下)听觉通道的容积并且大约相当于 $2\text{cm}^3$ 。

[0245] 因此,就MEMS扬声器而言,期望的是实现整个扬声器的单位芯片表面或单位容积的最高可能的体积流。电动换能器例如可以实现非常高的膜偏转,并因此具有非常高的体积流。然而,由于必要的永磁体,整个构造的体积非常大。对于移动电话机中的扬声器来说,其中在一个维度上提供的空间越来越小,因此这种方法似乎总体上是受限制性的。

[0246] 压电弯曲致动器需要在基板上沉积压电层。例如,压电层可以对应于图3的层58,所述层然后侧向布置到例如包括硅或由硅构成的层56。可以利用表面微机械工艺制造这种致动器。

[0247] 考虑到上述层36的DRIE结构化中的相应几何形状,可以容易地集成例如参考文献[10]中描述的冷臂和热臂形式的侧向热机械致动器。

[0248] 热机械致动器的另一个变型例是使用通过电流加热的双压电晶片。为了制造这样的双压电晶片,例如,可以在构造层36之后相应沉积氧化物层,使得所有侧壁也可以被涂覆。在除了弯曲元件的一个侧壁处之外的任何地方,氧化物层可以通过掩膜和蚀刻而被除去。

[0249] 对于夹在两侧的弯曲杆而言,使用电动操作原理很容易实现。当电流通过杆或通过单独施加的导体结构时,杆在磁场中受到导致偏转的力。根据期望的偏转方向,可以为各个杆选择电流的方向。导体路径的可选的制造方案是用标准的表面微机械处理方法执行的。在这种情况下,在选择间隔层34b的厚度时必须考虑附加的拓扑结构。

[0250] 用于弯曲致动器的优选的实施方案是侧向静电致动器,该致动器基于使用非常小的电极距离并因此可以在低电压下运行和操作。例如在EP2264058A1中描述了这种侧向致动器。这种技术允许制造以上描述的所有弯曲致动器和装置变型例,并且可以容易地模块化地集成在以上描述的装置的制造方法的核心部分中。

[0251] 在下文中,参考了侧壁即可变形元件移动期间的环流损失。假设层流可以用如下简单的模型表示:例如,如果间隔层34a和34b相对于层36的厚度较小,则与有用的体积流(即,穿透至外侧或者从外侧穿透到内侧的体积流)相比,环流损失(例如图2a中从室42a到室38a的体积流)可以适当地保持得较低。这同样适用于弯曲杆的可能的自由端到侧向限位结构的距离。对于两侧夹持的弯曲致动器而言,后者可以被省略。如果环流损失是通过矩形管道在层流模型中对于这种配置计算出来的,并且如果假定尺寸如下,则相对于有用的体积流产生约3%的环流损失,



[0252] 弯曲致动器:长度:1mm,高度:30 $\mu\text{m}$ ,宽度:10 $\mu\text{m}$

[0253] 室:为了计算向外的流动阻力,假设平均宽度为50 $\mu\text{m}$ 。这低估了弯曲致动器的大偏转时的流动阻力。

[0254] 间隔物34a和34b的层厚分别为0.5 $\mu\text{m}$

[0255] 假定的尺寸应该仅被理解为实例,并且可以通过微机械技术容易地实现。由于致动器的宽度较小(以上:10 $\mu\text{m}$ ),所以层流的假设可能是不正确的,这与管道长度相对应。然而,这种假设是最坏情况的假设,这是因为流动阻力在湍流发生时增加。为了激励这样的湍流,层36中的弯曲致动器可以设置有适当的侧向构造的元件。在环流上形成涡流的构造被认为是适当的。替代性地或者附加地,盖32a和32b面向室的表面的有意粗糙化可以促进湍流的形成。

[0256] 图15示出了可变形元件150的示意性侧视剖视图,该可变形元件150包括彼此间隔开并且通过连接元件116彼此相连的第一层112和第二层114,其中,连接元件116a-c被布置成相对于层114和层112呈不等于90°的角。例如,层112和114可以包括电极。替代性地,电极可以分别布置在层112和/或114处。基于电位的施加,可以在层112和114之间产生排斥力或吸引力。吸引力或排斥力可以导致元件116a-c变形,使得可变形元件144的背离被夹持端118的可偏转端122能够沿着侧向移动方向24偏转。

[0257] 这意味着可变形元件150可以包括第一层114和第二层116,其中,间隔物116a-c可以布置在第一层114和第二层116之间。间隔物116a-c可以布置相对于层112和114的路线倾斜的方向124上。层112和114之间的吸引力可以引起可变形元件150弯曲。

[0258] 可变形元件150可以构造成沿着倾斜方向以简单的方式平坦的或弯曲的。替代性地,可变形元件或层112和/或114可以包括至少两个彼此不连续地布置的部分,例如,遵循锯齿状样式。

[0259] 图16示出了邻近电极126布置的可变形元件160的示意性俯视图。可变形元件160可以包括另一个电极127或者可以是另一个电极127。基于施加在可变形元件160的电极126和另一个电极127之间的电位,可以产生静电或电动力F。基于静电或电动力F,可以引起可变形元件160的变形。

[0260] 在可变形元件160不受流率或电位(即,力F)影响的状态下,可变形元件160与电极126之间的距离可以沿着可变形元件的轴向延伸方向98变化。在机械换能器或可变形元件160包括连接到基板14的连接部的区域中,所述距离可以是最小的。这使得可变形元件160的变形具有高可控性。替代性地,电极126和可变形元件160之间的距离可以沿着延伸方向98任意地变化或者恒定。

[0261] 根据实施例,机电换能器可以构造成静电换能器、压电换能器、电磁换能器、电动换能器、热机械换能器或磁致伸缩换能器。

[0262] 基于可能产生的力,可以引起可变形元件的变形,或者可以检测或调整可变形元件的变形。

[0263] 图17示出了MEMS系统170的示意性电路框图,MEMS系统170包括连接到控制装置128的MEMS换能器80,控制装置128构造成控制MEMS装置80的电动换能器以及/或者从MEMS装置80的电动换能器接收电信号。

[0264] 例如,如果MEMS换能器80包括多个机电换能器18,则控制装置128可以构造成驱动

多个机电换能器,使得第一机电换能器和相邻的第二机电换能器在第一时间间隔期间至少局部地彼此相向移动。控制装置128可以构造成驱动多个机电换能器,使得第一机电换能器和与第一机电换能器相邻地布置的第三机电换能器在第二时间间隔期间彼此相向移动,第一机电换能器可以被布置在第二机电换能器与第二机电换能器之间。例如,这可以是机电换能器18a-c,其中,机电换能器18b可以是第一机电换能器。

[0265] 替代性地或者附加地,控制装置128可以构造成基于可变形元件的变形来接收电信号并且对其进行评估。例如,控制装置128可以构造成确定变形的频率或幅度。这意味着系统170可以作为传感器和/或致动器来操作。

[0266] 例如,系统170可以作为MEMS扬声器来操作,其中,体积流12可以是声波或超声波。

[0267] 替代性地,系统170可以实施为MEMS泵。基板的腔体可以包括位于基板14中的第一开口26和第二开口26。机电换能器18可以构造成基于流体来提供体积流12。机电换能器可以构造成基于机电换能器18的致动通过第一开口26朝腔体输送流体,或者基于上述致动通过第二开口在远离腔体的方向上输送流体。

[0268] 替代性地,系统170可以作为MEMS麦克风来操作,其中,基于可变形元件的变形,电信号可以在机电换能器80的端子处获得,或者可以在连接的另一个机电换能器的端子处获得。可变形元件的变形可以是基于体积流12而引起的。

[0269] 尽管系统170被描述为使得控制装置128连接到MEMS换能器80,但可以布置另一个MEMS换能器,例如MEMS换能器10、20、50、100或110。替代性地或者附加地,多个MEMS换能器也可以按照前文描述的实施例来布置。替代性地或者附加地,可以布置MEMS换能器的层叠部,例如层叠部90或140。替代性地或者附加地,可以布置至少两个MEMS换能器。至少第一MEMS换能器和第二MEMS换能器可以包括谐振频率彼此不同的腔体或子腔体和/或机电换能器,例如具有500Hz致动器的室,具有2kHz致动器的另一个室或另一个(子)腔体等。

[0270] 图18示出了包括多个机电换能器18a至18i的MEMS换能器180的示意性俯视图,其中,机电换能器18a至18f以侧向地彼此相邻并以错开的方式布置在第一腔体16a中,并且机电换能器18g至18i以侧向地彼此相邻并以错开的方式布置在第一腔体16b中。腔体16a和16b可以包括位于基板14的未示出的底部和/或盖表面中的开口。MEMS换能器180可以用作扬声器和/或麦克风,它适用于各个机电换能器18a至18i,并且也适用于位于相应的腔体16a和16b中的机电换能器18a至18f或者18g至18i。扬声器和/或麦克风也可以被设计成使得它们被优化,用以通过振动来释放或捕捉声波。例如,可以将上述扬声器和/或麦克风放置在人体上,理想的是放置在骨骼附近,以便通过身体的声音来传输或捕获信息。在这种情况下,优选变型例是所有致动器沿着同一方向移动的方式,这意味着独立于其中一个室包括两个可移动壁的方法。机电换能器18a至18i包括一侧被夹持的杆元件。

[0271] 换句话说,左侧的室(腔体16a)包括能够侧向地或竖直地移动的弯曲致动器,该弯曲致动器优选地同相振动,使得芯片振动以便传输声音。右侧的室(腔体16b)包括三个侧向或竖直的弯曲致动器,它们也优选地同相振动,然而,由于它们的尺寸(厚度、长度或宽度)的原因,再现了与左侧的室不同的频率区域。

[0272] 图19示出了包括多个机电换能器18a至18i的MEMS换能器190的示意性俯视图,其中,机电换能器18a至18f以侧向地彼此相邻并以错开的方式布置,并且它们中的每一个机电换能器与相邻的腔体16a至16k或子腔体相互分开。机电换能器18a至18i包括两侧夹持的

杆件。

[0273] 尽管图18和图19的实施例示出了如下情况:MEMS换能器180排他地包括一侧夹持的杆元件,而MEMS换能器190排他地包括两侧夹持的杆元件,但实施例可以任意组合,使得每个每个腔体16a和16b可以相互独立地设置类似的机电换能器,或者可以在腔体内部设置不同的机电换能器。

[0274] 换句话说,图19示出了与图18相同的原理,但这次使用的是两侧夹持的弯曲致动器。

[0275] 其它实施例涉及制造MEMS换能器的方法。该方法包括提供包括腔体的基板。此外,该方法包括与基板一起制造包括能够沿着侧向移动方向变形的元件的机电换能器。执行上述制造步骤,使得可变形元件沿着侧向移动方向的变形和与MEMS换能器相互作用的体积流之间存在因果关系。例如,可以通过从基板形成机电换能器,例如通过蚀刻处理和/或通过用于沉积附加层的沉积工艺来实现制造机电换能器。

[0276] 尽管以上描述的实施涉及如下事实:体积流可以由两个机电换能器彼此移动而产生,但体积流也可以基于机电换能器相对于刚性结构例如基板的移动或者在与机电换能器相对于刚性结构例如基板的移动的因果相互作用中获得。这意味着子腔体或子腔体部分的容积可以受到个体机电换能器的影响。

[0277] 以上描述的包括构造成执行多次弯曲和/或连接到板元件的可变形元件的实施例与结合图1描述的构造相比可以用来产生显著地更高的体积流或者对体积流的反应明显地更敏感。

[0278] 实施例使得声压的频率依赖的过程能够灵活地调整,以便尤其还能够实现最经常寻求的、尽可能平坦的频率响应的情况。

[0279] 为了设计室数尽可能少的MEMS换能器的频率依赖性的声压曲线,如果可振动的弯曲杆的质量低,即弯曲杆包括宽的谐振曲线,则是有利的。为此,杆的夹持可以被实施为使得杆振动通过衰减材料而被额外地衰减。杆的夹持部优选地是由非晶体材料制成的。所述材料包括氧化硅、诸如SU8等聚合物或其它抗蚀剂。使杆振动衰减也可以以电的方式获得。例如,在施加电压的静电或压电致动器的自由杆振动期间,由于电容变化而产生周期性交变电流。导致振动衰减的功率损失是由适当地提供的电阻器产生的。完整的振荡电路(即,另外提供集成的或外部线圈)也是可行的。衰减也可以通过在弯曲杆处实现附加结构来获得,所述附加结构构成流体流入或流出室时显著的流动阻力。

[0280] 尤其对于低谐振频率的表现(用于产生或检测低频率),可能有利的是增加弯曲杆的质量。为了不显著地增大刚度,附加结构优选附接在最大振动幅度的区域中。在一侧被夹持的杆的情况下,最佳位置或者最大振动幅度的区域是弯曲杆的末端。在两侧被夹持的杆的情况下,是杆的中心。

[0281] 换句话说,本发现的发现是基于如下事实:通过可以形成在硅芯片中的室(即,子腔体或子腔体部分)的压缩或扩张,产生了或者可以检测到体积流。每个室可以设置有入口或出口,流体(例如空气)可以通过所述入口或出口而流入或流出。所述室(例如在顶部和底部)可以被固定盖沿着垂直于侧向移动方向的方向封闭。每个室的侧壁中的至少一个侧壁构造成可移动的或者可变形的,并且可以由致动器移动,使得该室中的容积减小或增大。

[0282] 以上描述的MEMS换能器的实施例可以包括电连接部、结合垫等,而为了清楚起见,

附图中未示出这些部件。

[0283] 以上描述的实施例涉及多路扬声器或N路扬声器,该扬声器可以基于至少两个腔体或子腔体的不同谐振频率而获得。机电换能器和腔体或子腔体可以相互匹配,使得声压级(SPL)至少部分是谐振频率的函数,即,多个致动器室可以包括不同的频率过程( $SPL=f(\text{频率})$ )。这意味着可以基于可变形元件的变形并基于子腔体而获得的声压级的值包括与流出或流入相应的子腔体的体积流的频率的关系。这种关系可以表述为函数,其中,该函数可以例如是线性的,例如 $SPL=x*\text{频率}+b$ ,其中,x和b是变量。替代性地,该函数也可以是非线性的,例如二次的、指数型的、或者基于根函数的。函数关系可以很容易地转移到不同的MEMS换能器中布置的子腔体或腔体。因此,体积流的频率可以描述流体中压力的频率依赖性过程。

[0284] MEMS换能器的硅芯片可以被设计,并且可以从晶片级制造期间获得的盘结合释放出来,使得它们具有适合于相应的应用的形状。例如,作为扬声器、助听器或入耳式耳机的应用,芯片可以被设计成圆形的,或者更适合于在盘上的硅区域中使用的六边形的。

[0285] 尽管已经在上下文中描述了本装置的一些方面,但这些方面也代表对相应的方法的描述,使得装置的模块或结构部件应该被理解为对应的方法步骤或者作为方法步骤的特征。以此类推,已经在上下文中描述的方面或者方法步骤也代表对相应的装置的对应模块或者细节或者特征的描述。

[0286] 以上描述的实施例仅代表本发明的原理的说明。应该理解的是,本领域的其他技术人员将会想到本文所描述的构造和细节的修改例和变型例。这就是为什么希望本发明仅由随附的权利要求的范围来限定,而不是在此借助实施例的描述和论述所表现的具体细节来限定本发明的原因。

[0287] 参考文献目录

[0288] [1]Albach,Thorsten Sven:Magnetostruktive Mikroaktoren und deren Anwendung als Mikrolautsprecher,Dissertation, **Universität** Erlangen-Nürnberg (2013) (Magnetostrictive micro-actuators and their application as micro-loudspeakers,dissertation,University of Erlangen-Nuremberg (2013)).

[0289] [2]Roberts,Robert C.et al.:Electrostatically Driven Touch-Mode Poly-SiC Microspeaker,Sensors,IEEE 2007 (2007),p.284-287.

[0290] [3]Kim,H.et al.:Bi-directional Electrostatic Microspeaker with Two Large-Deflection Flexible Membranes Actuated by Single/Dual Electrodes,Sensors,IEEE 2005 (2005),p.89-92.

[0291] [4]Rehder,J.;Rombach,P.;Hansen,O.:Magnetic flux generator for balanced membrane loudspeaker.In:Sensors and Actuators A:Physical 97 (2002), Nr.8,p.61-67.

[0292] [5]Neri,F.;Di Fazio,F.;Crescenzi,R.;Balucani,M.:Anovel micromachined loudspeaker topology.In:61st Conf.on Electronic Components and Technology, ECTC,IEEE 2011 (2011),p.1221-1227.

[0293] [6]Neumann,J.J.,Gabriel,K.J.:CMOS-MEMS Acoustic Devices,in:Advanced Micro and Nanosystems,Vol.2.CMOS-MEMS.Edited by H.Baltes et al.,Wiley-VCH

Verlag, Weinheim (2005) .

[0294] [7] Lerch R.; Sessler, G.; Wolf, D.: Technische Akustik, Springer Verlag (2009) .

[0295] [8] Schenk, H. et al.: A resonantly excited 2D-micro-scanning-mirror with large deflection, Sensors and Actuators A 89 (2001), p.104-111.

[0296] [9] Rosa, M.A. et al.: A novel external electrode configuration for the electrostatic actuation of MEMS based devices, J. Micromech. Microeng. (2004), p.446-451.

[0297] [10] Kumar, V.; Sharma, N.N.: Design and Validation of Silicon-on-Insulator Based U Shaped thermal Microactuator, Int. J. Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol.2, No.1 (2014), p.86-91.

10

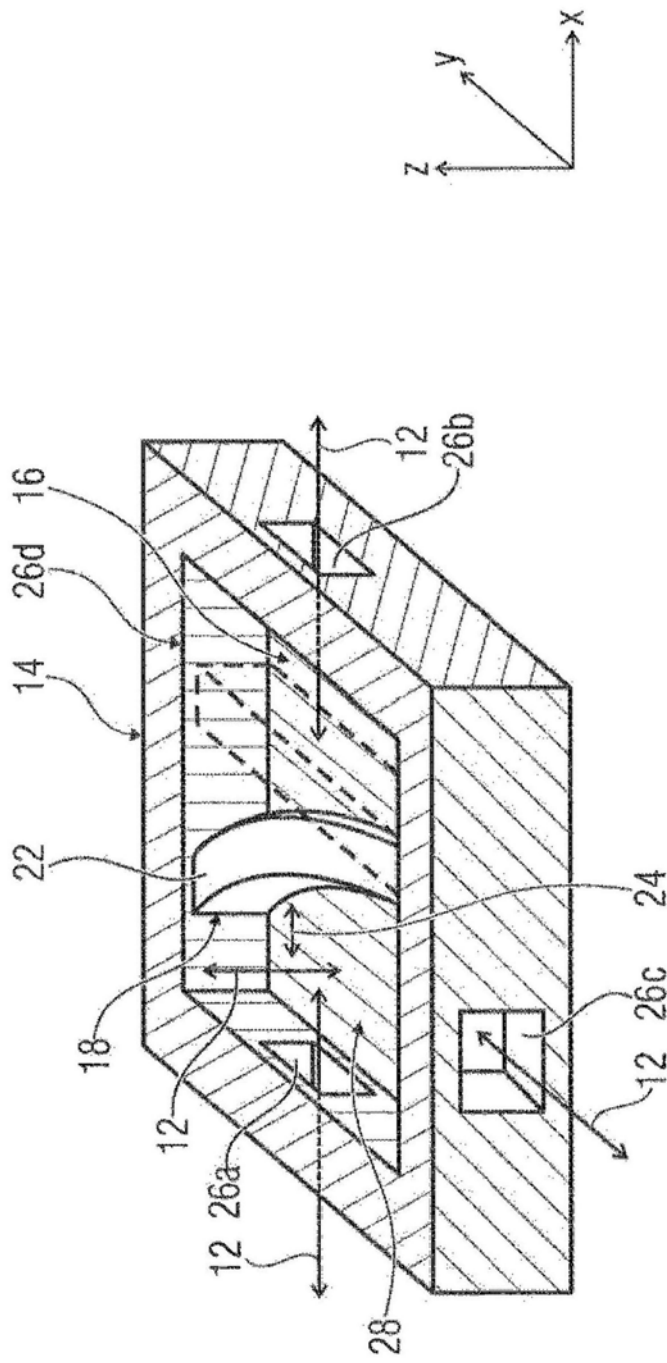


图1

20

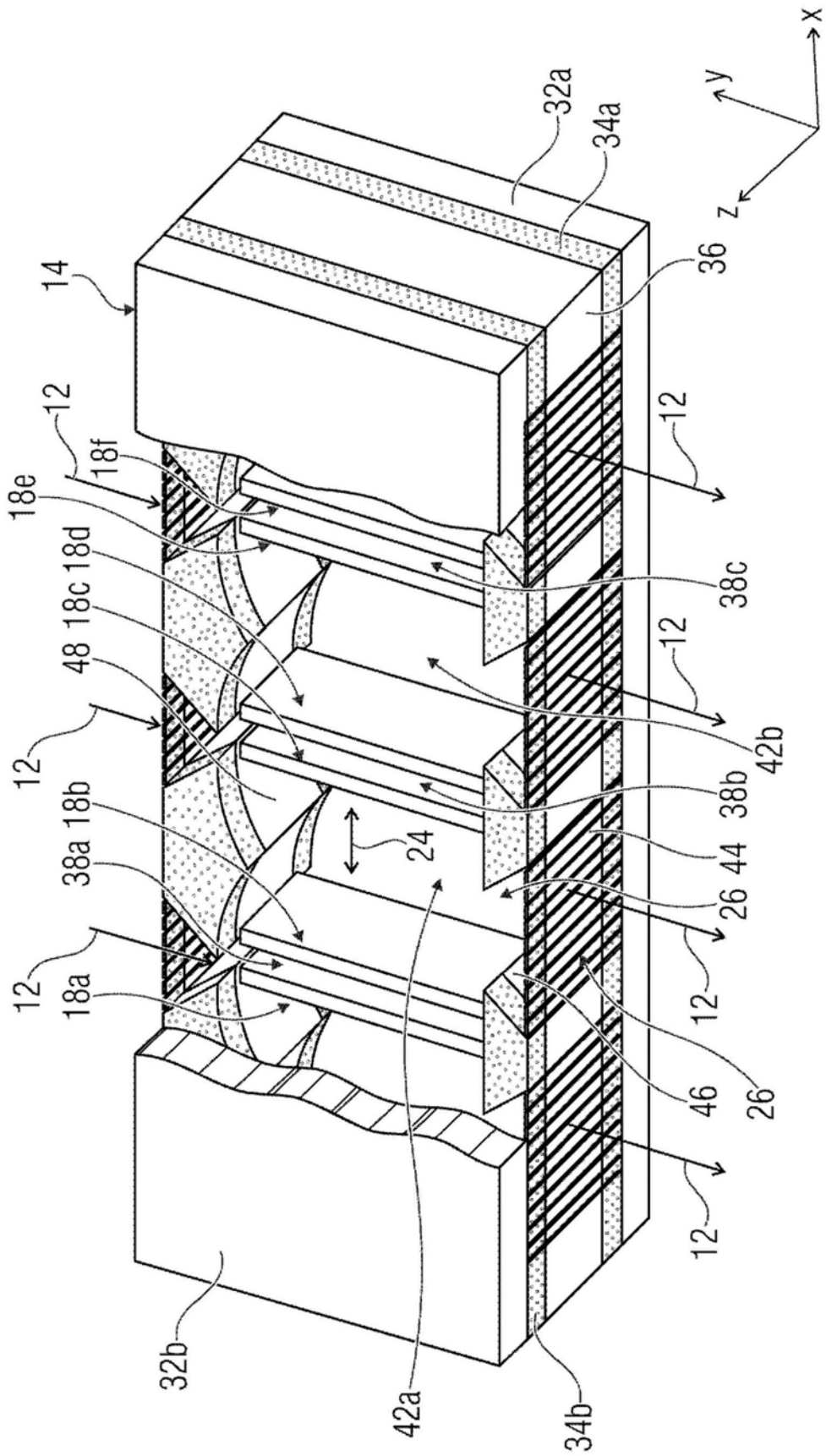


图2a

20

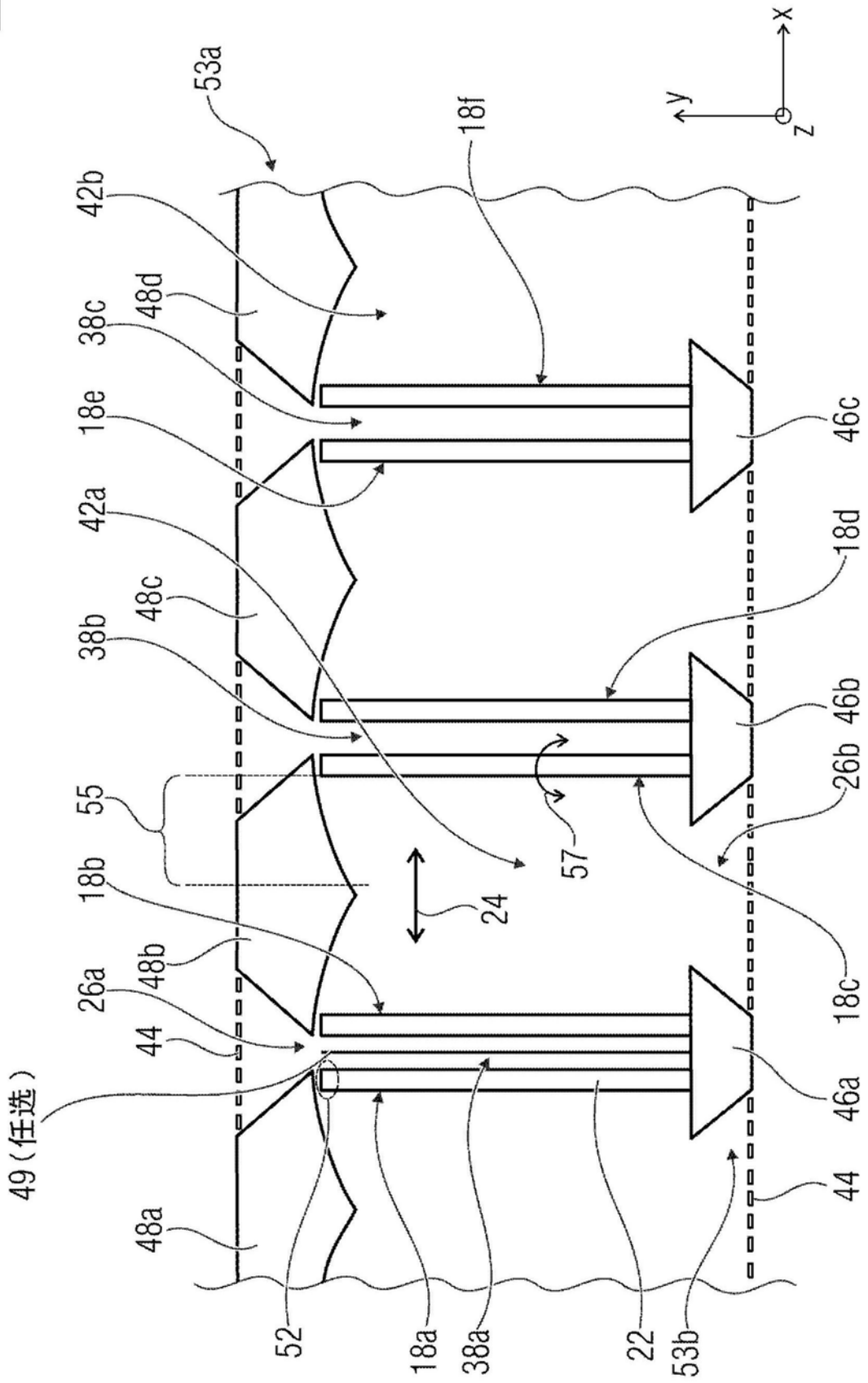


图2b



20

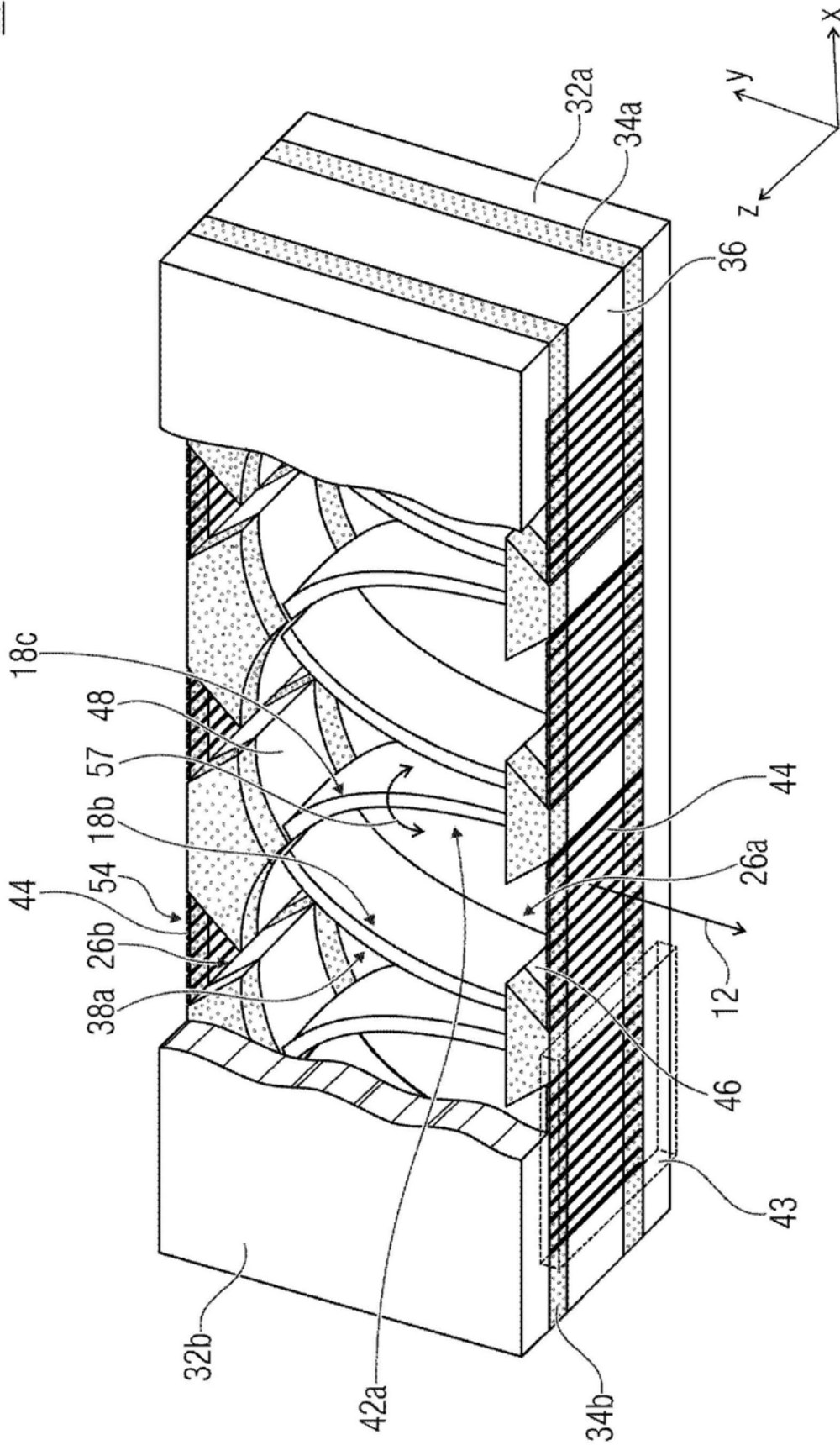


图2c

30

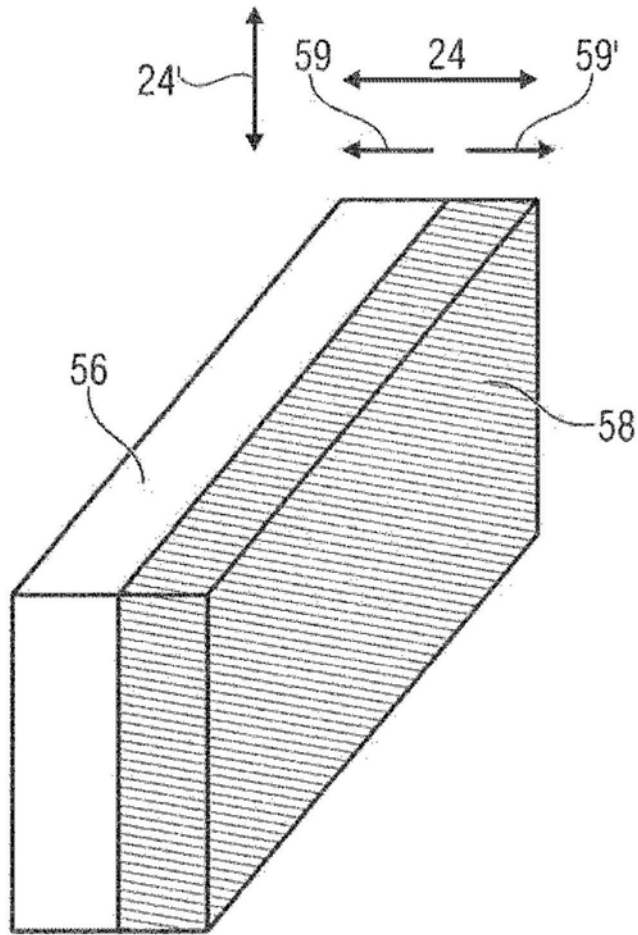


图3

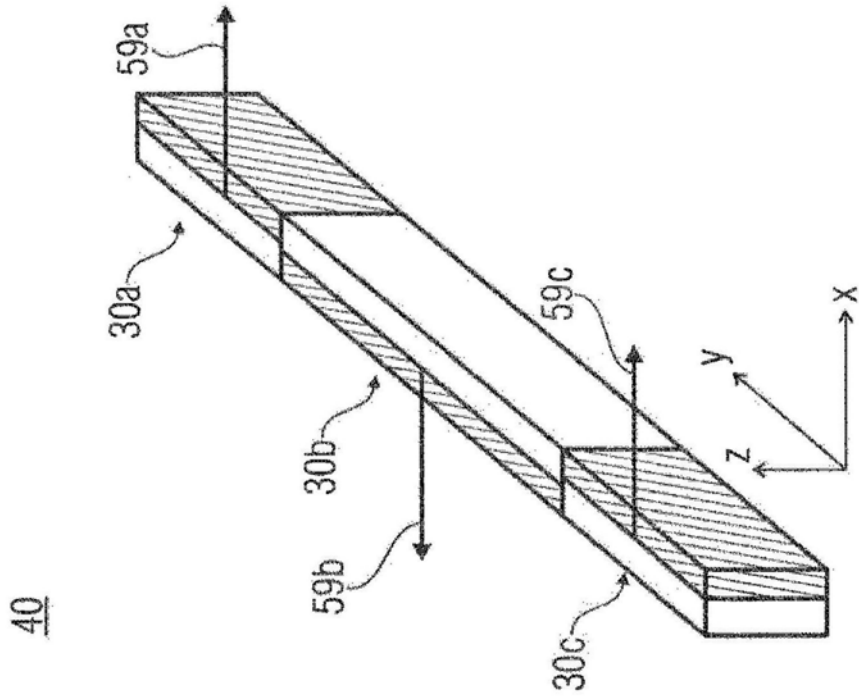


图4a

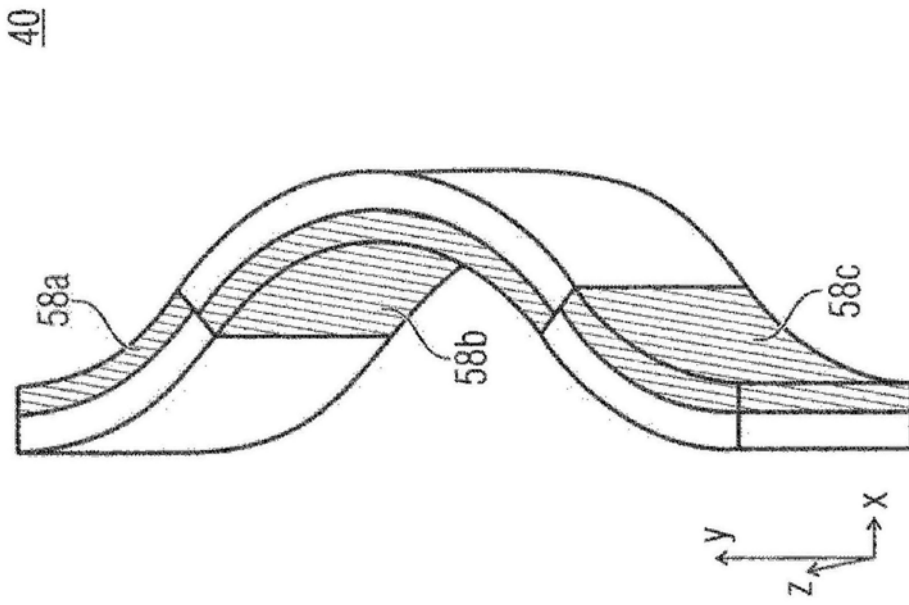


图4b

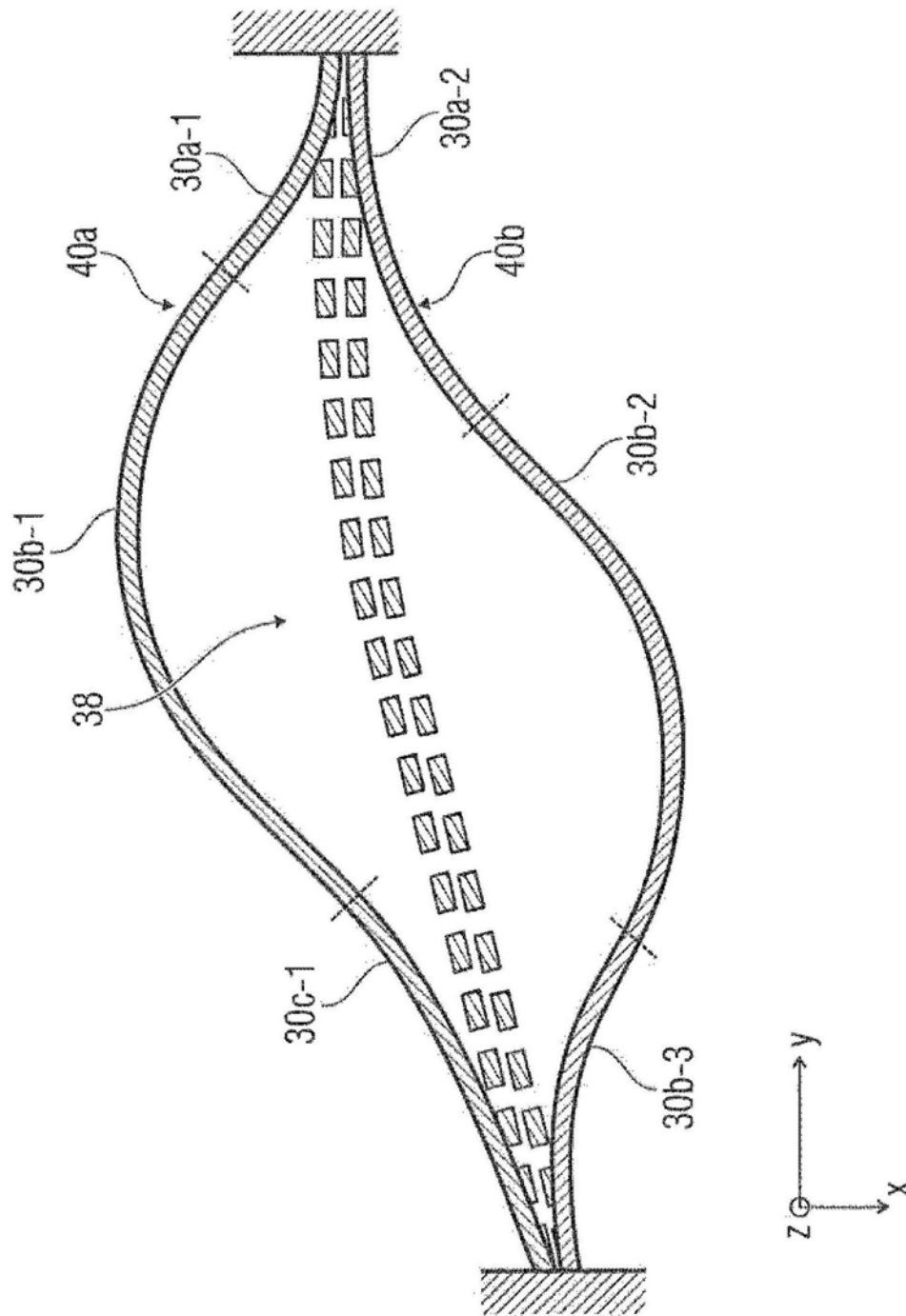


图4c

50

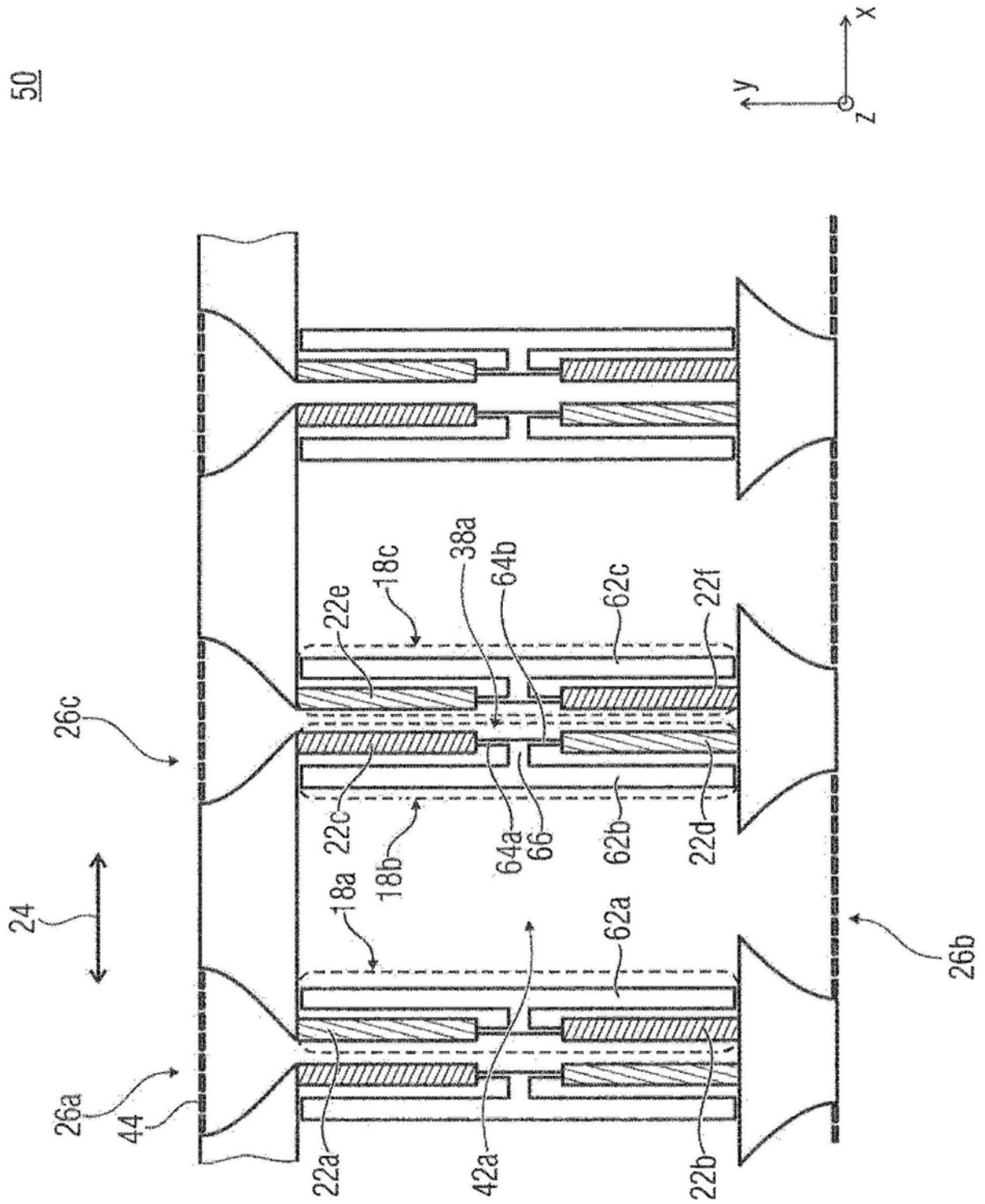


图5

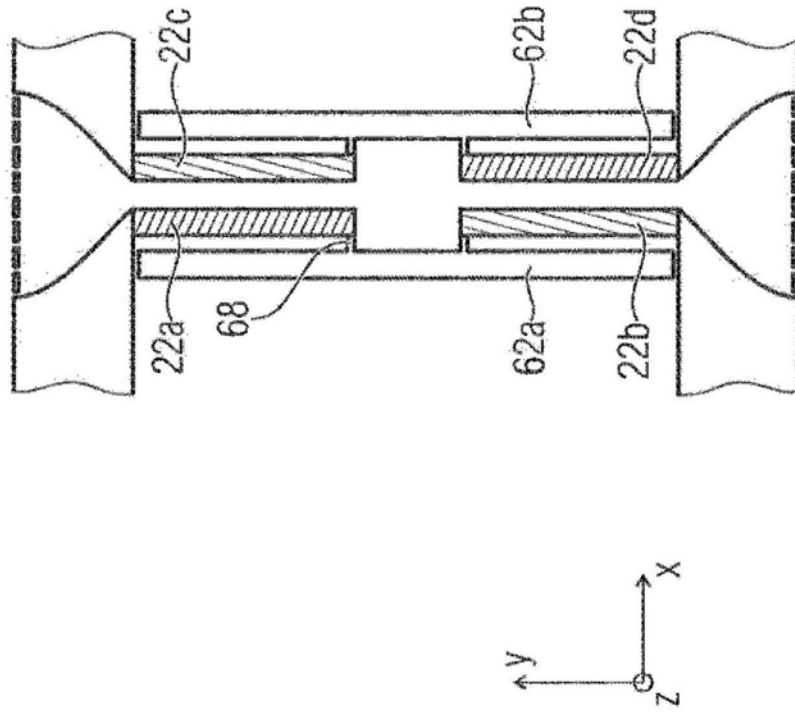


图6a

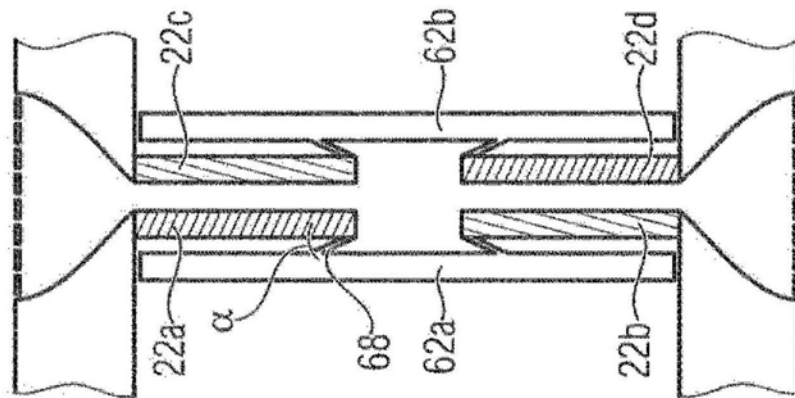


图6b

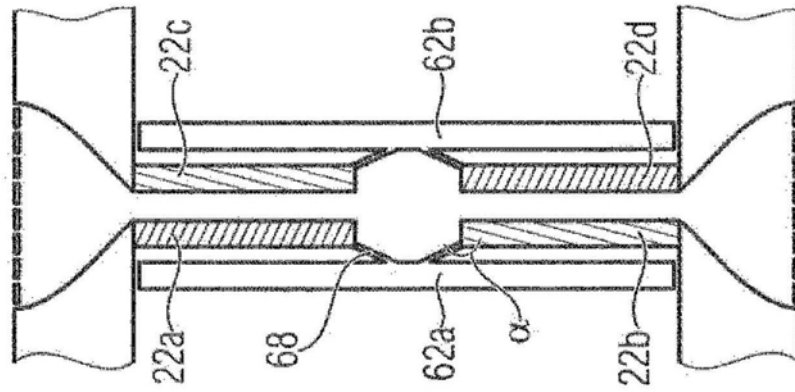


图6c

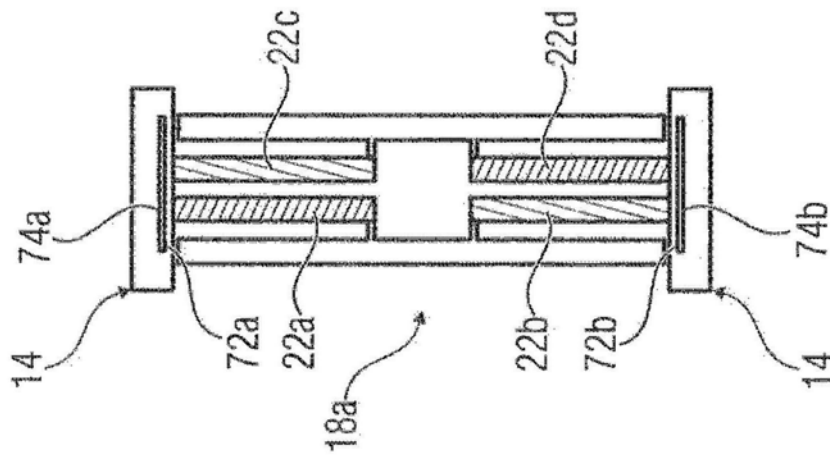


图6d

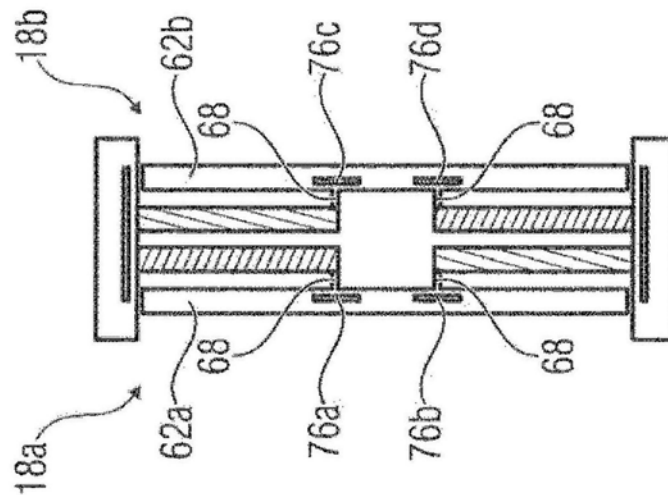


图6e

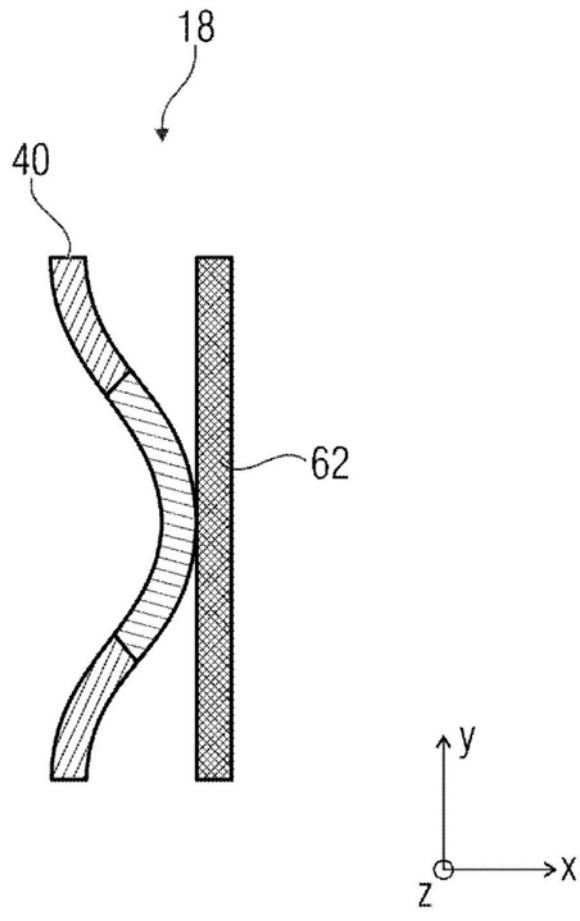


图7a



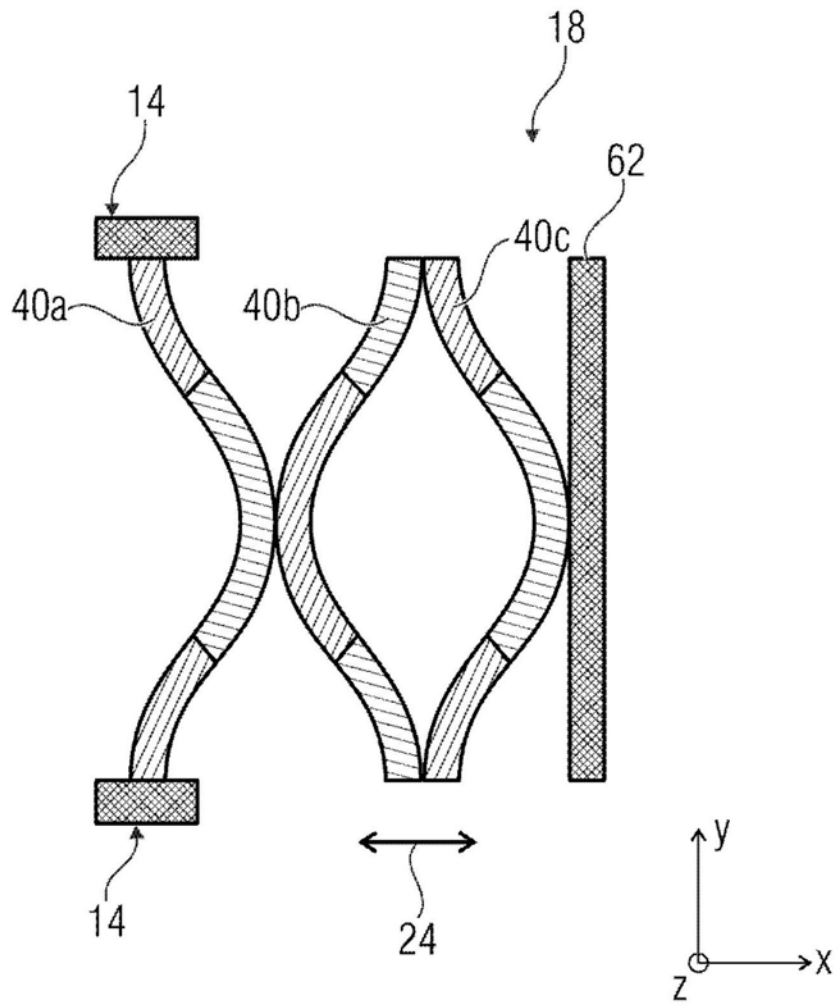


图7b

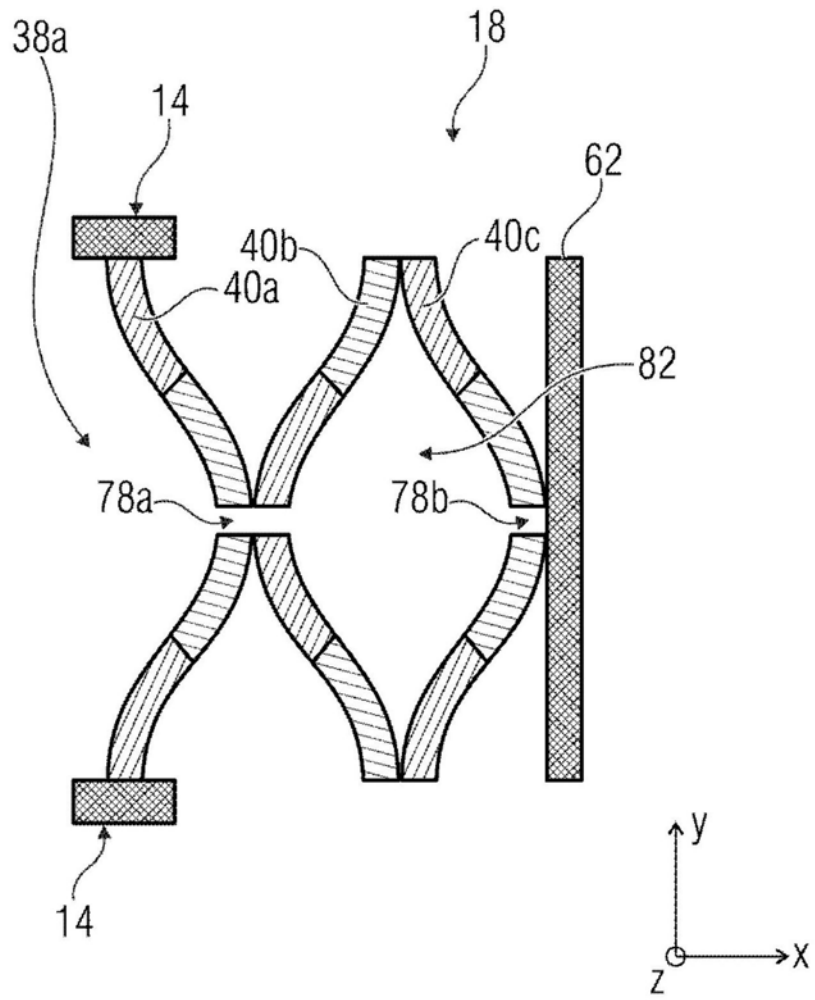


图7c

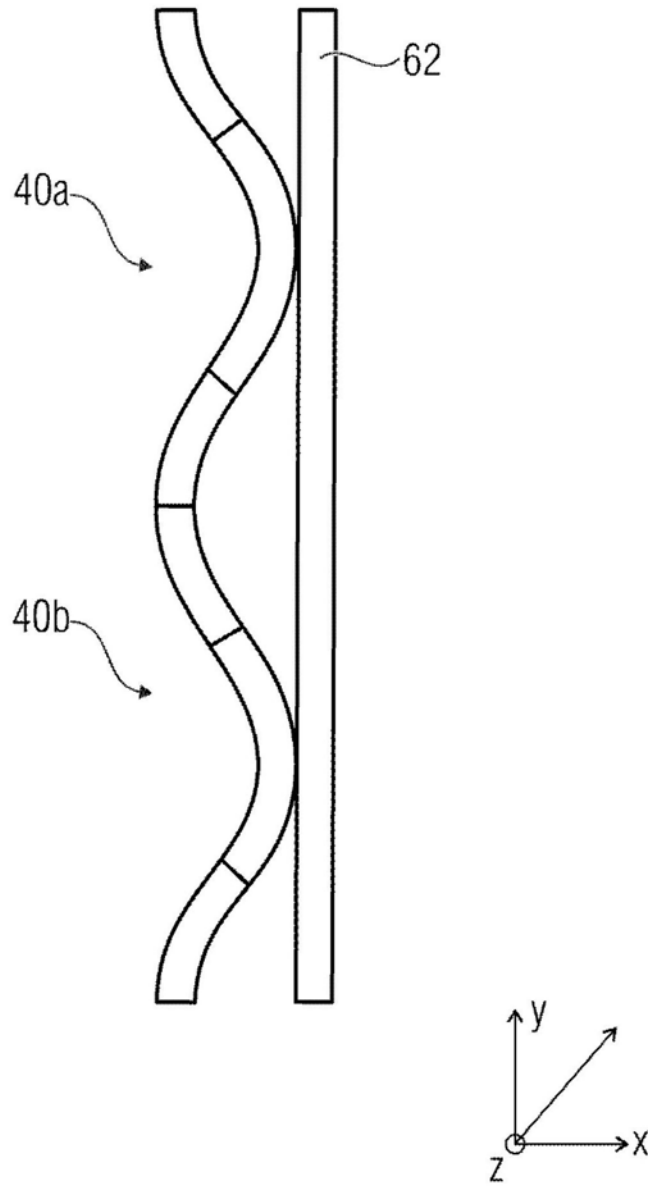


图7d

80

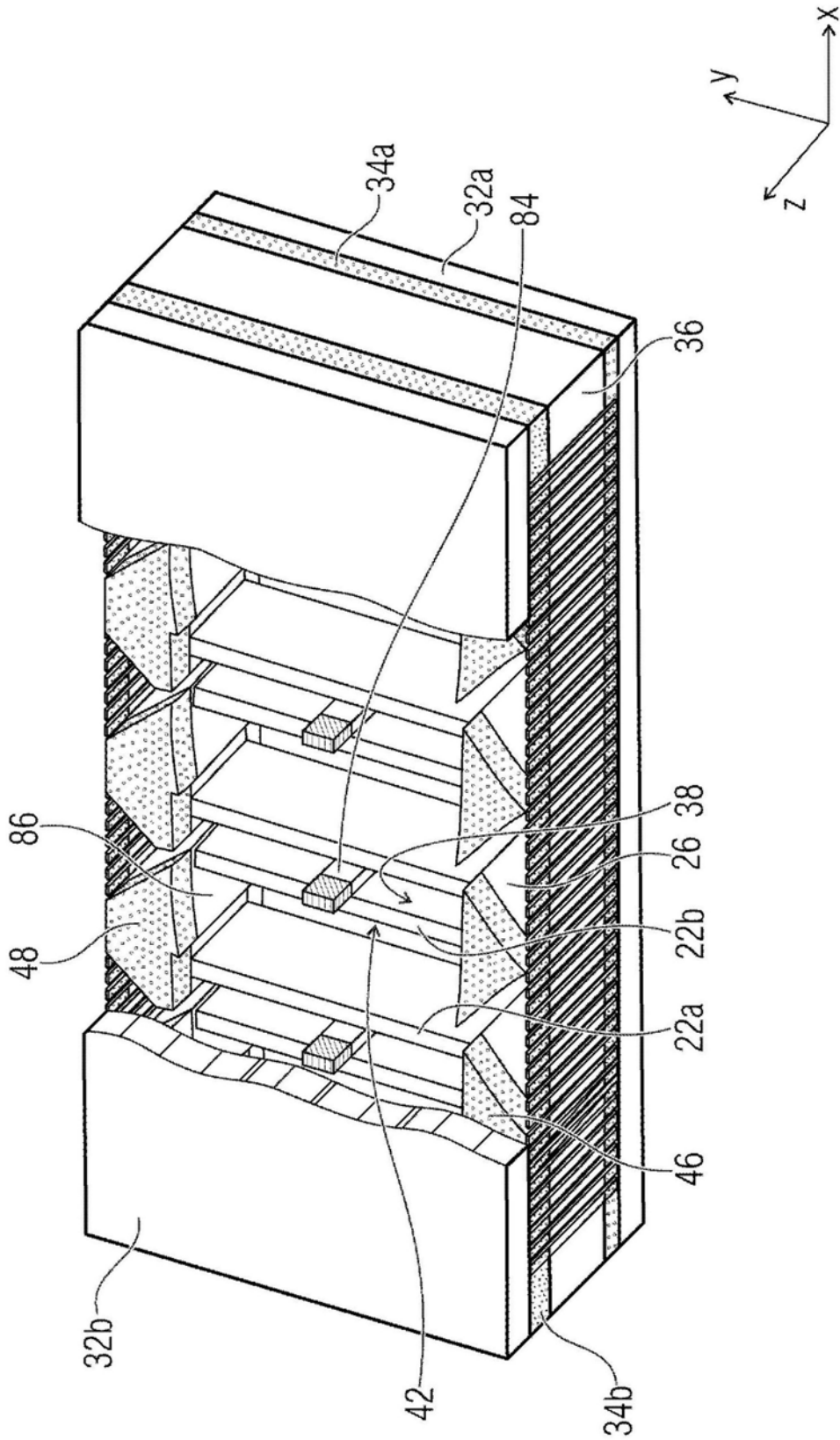


图8a

80

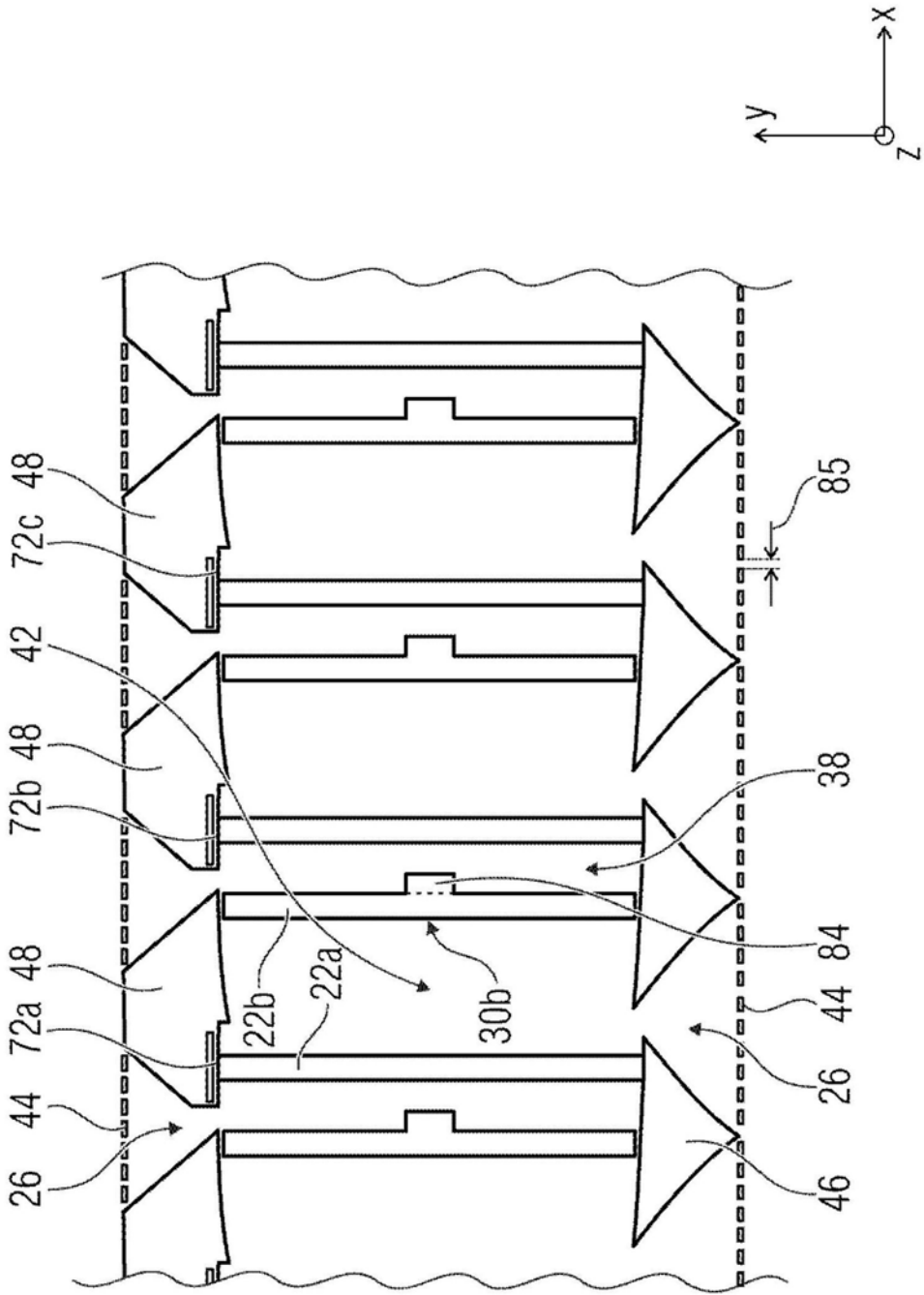


图8b

80

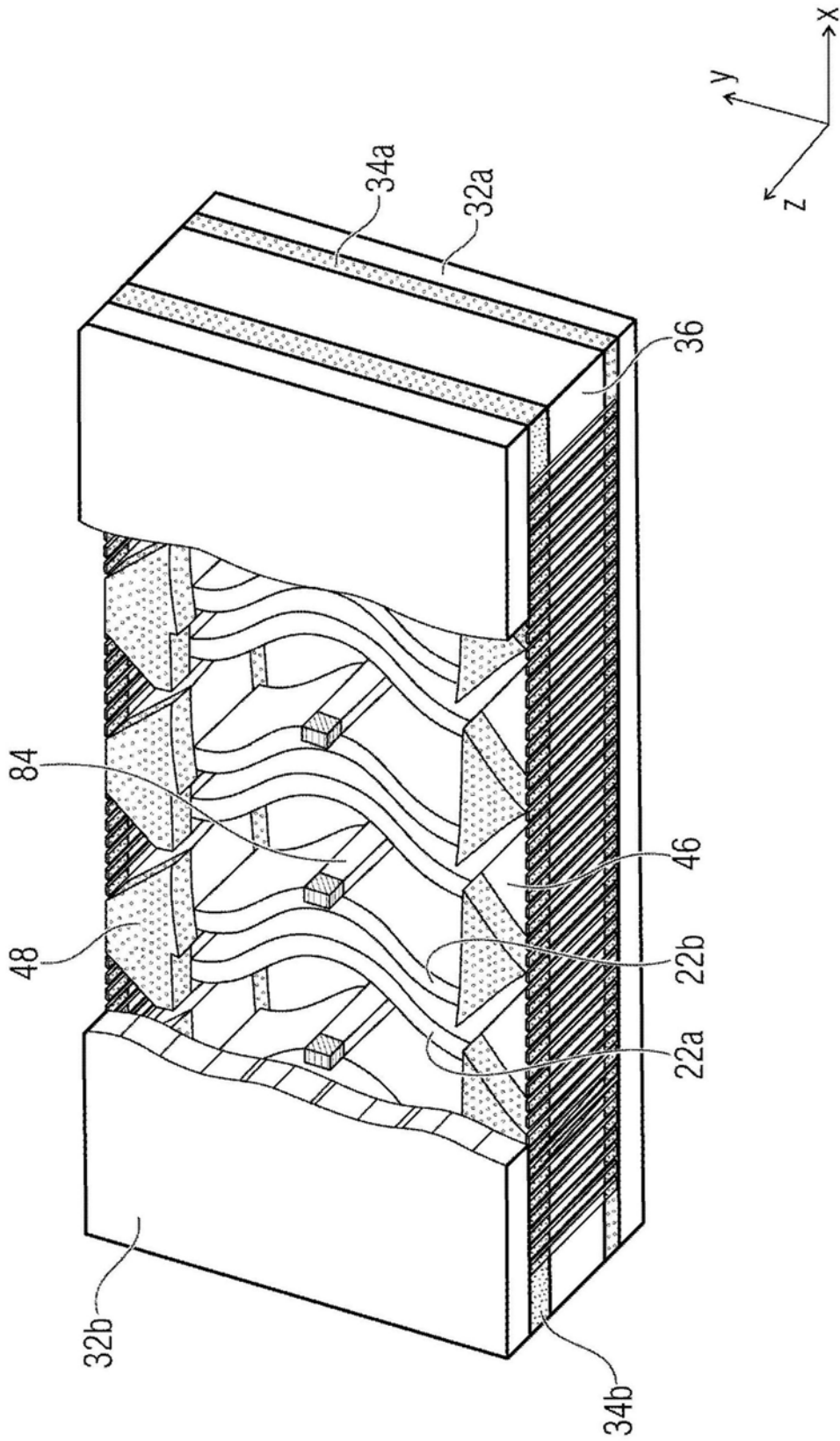


图8c

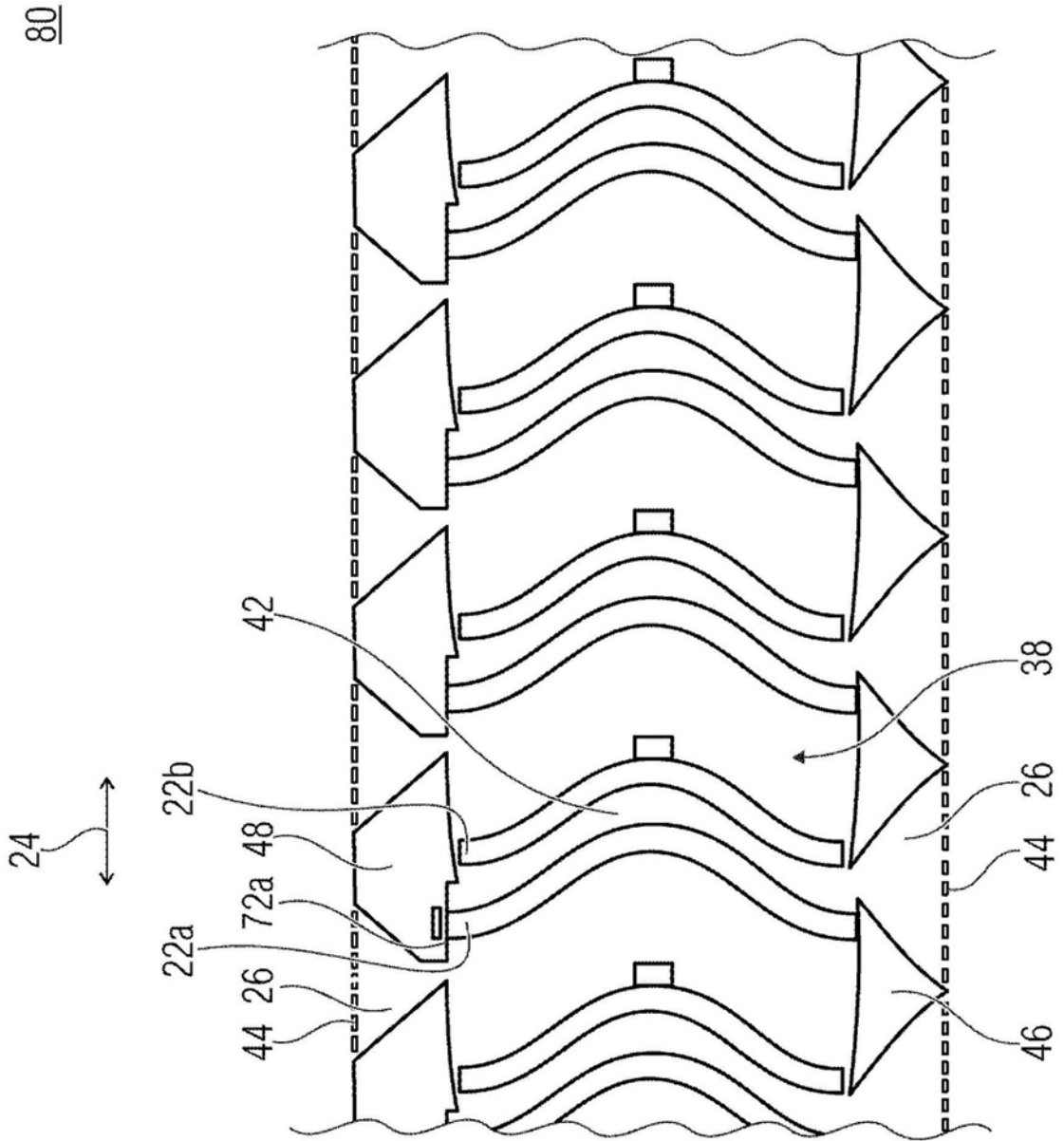


图8d

90

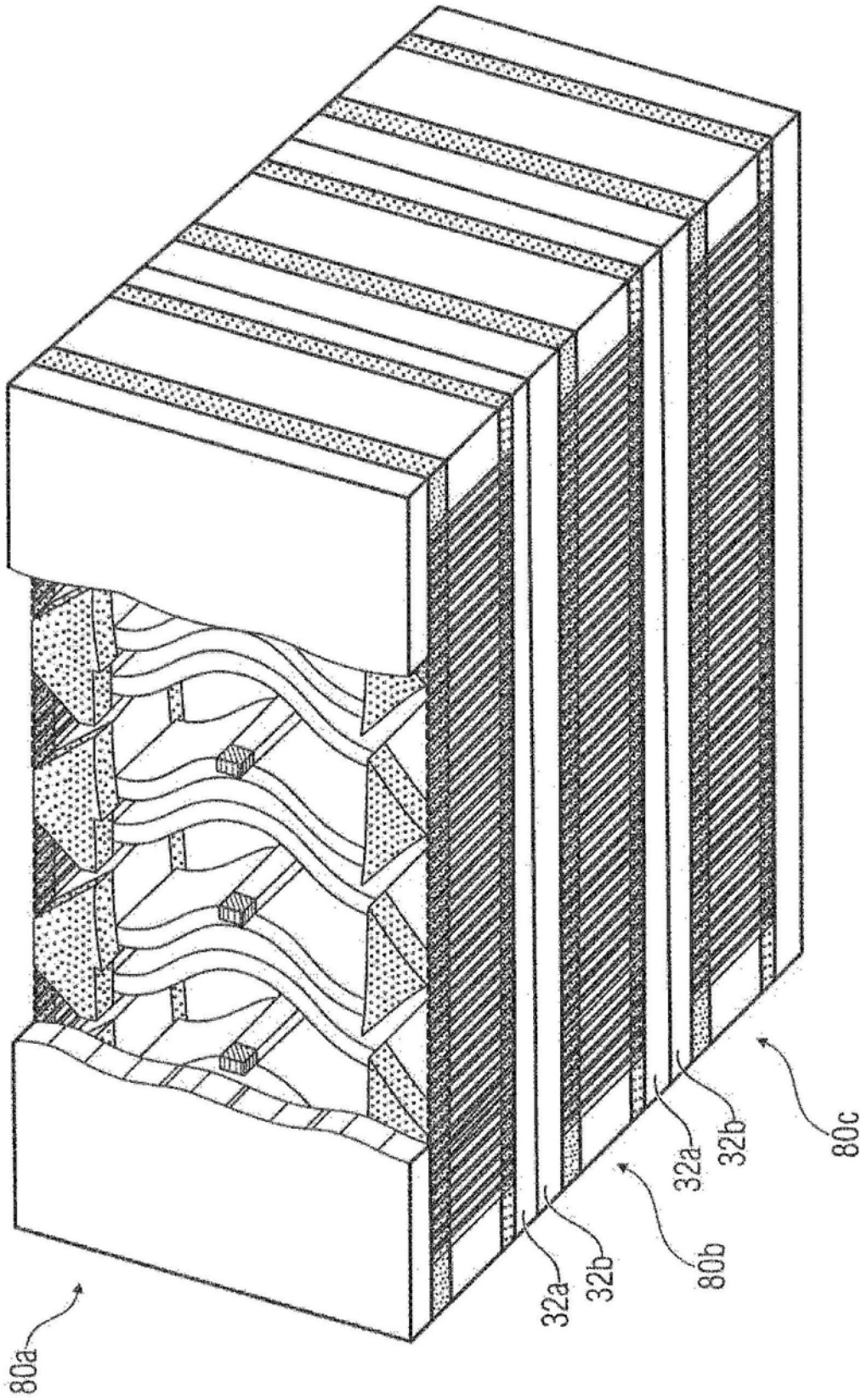


图9



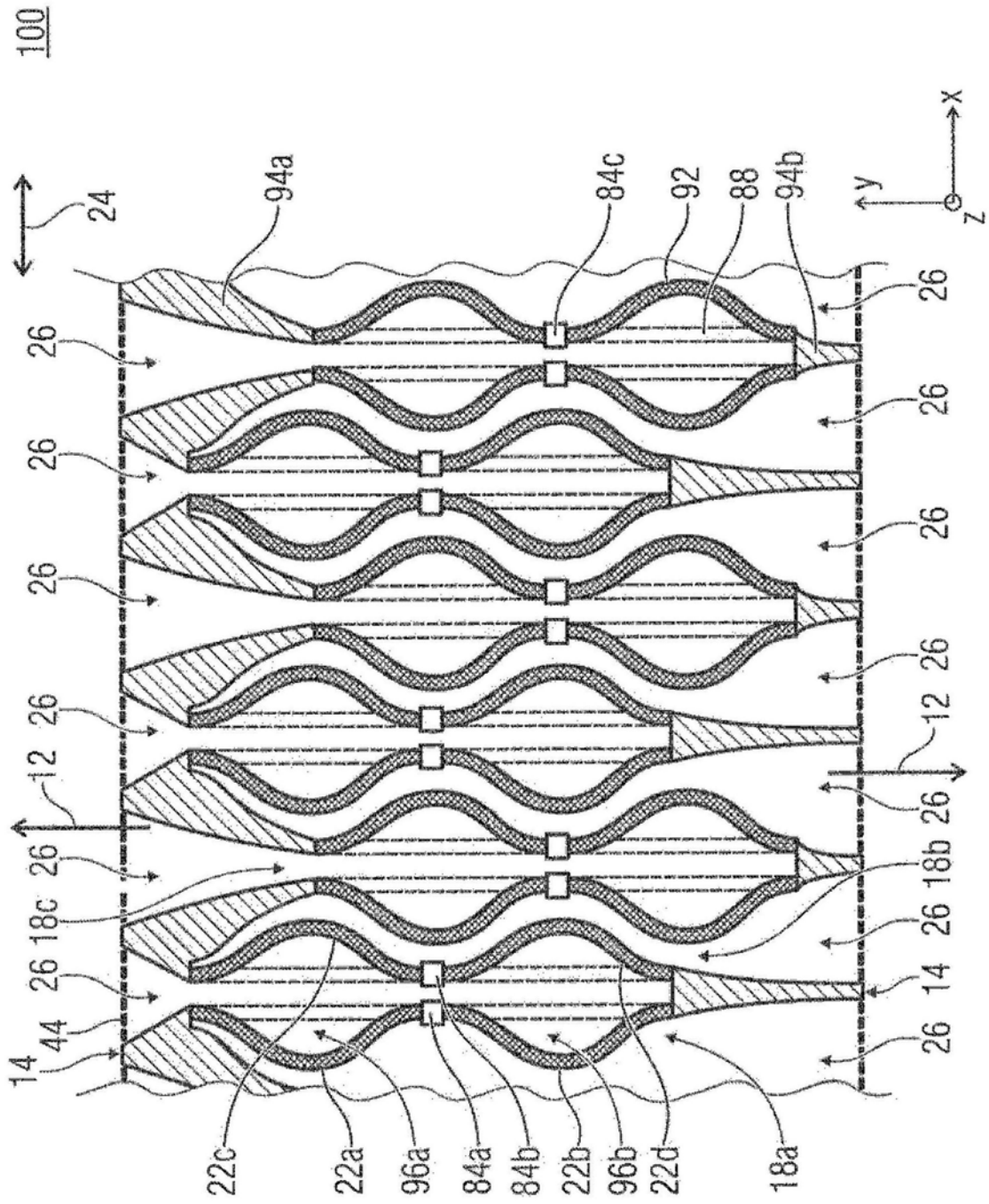


图10

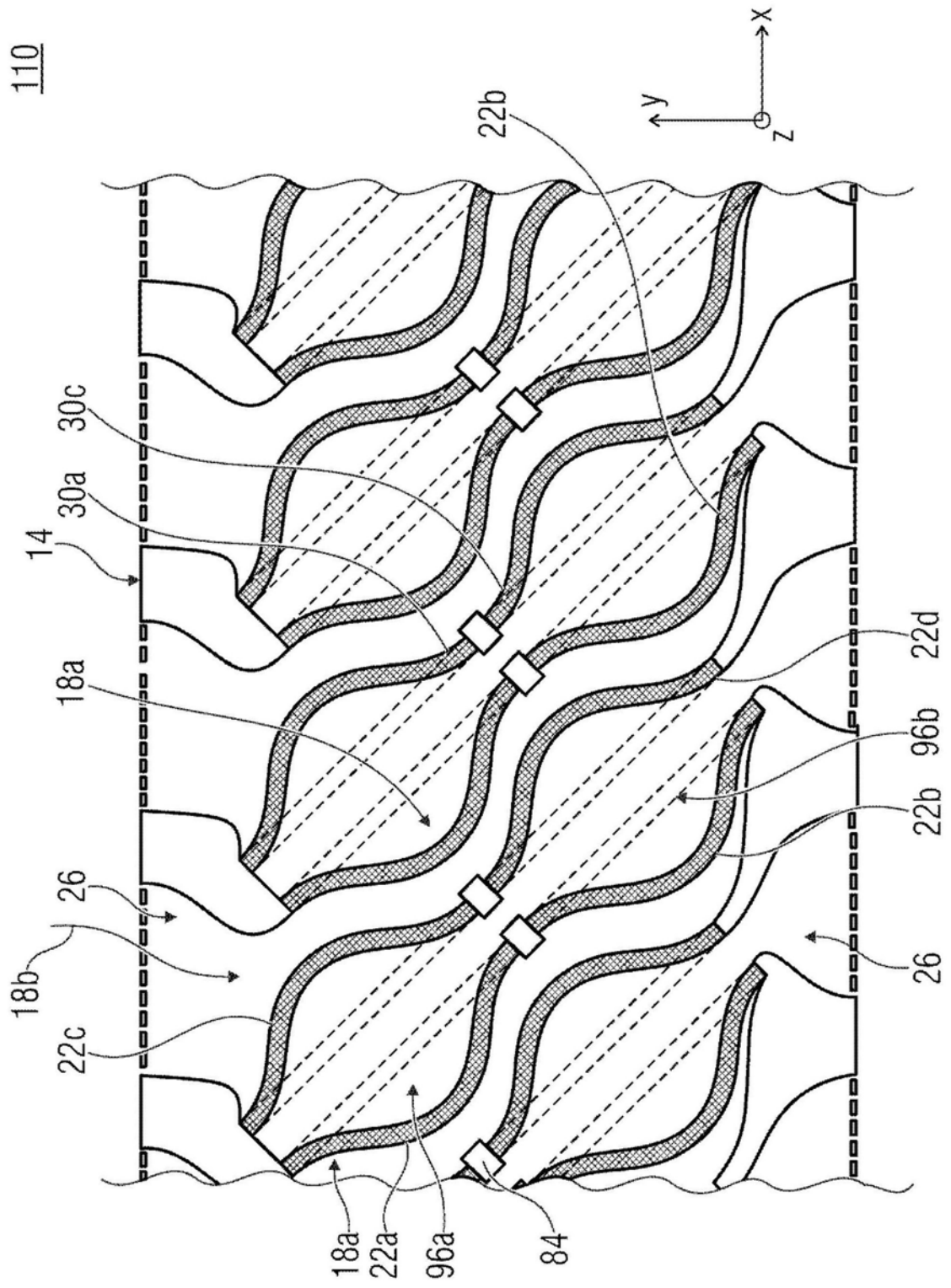


图11a

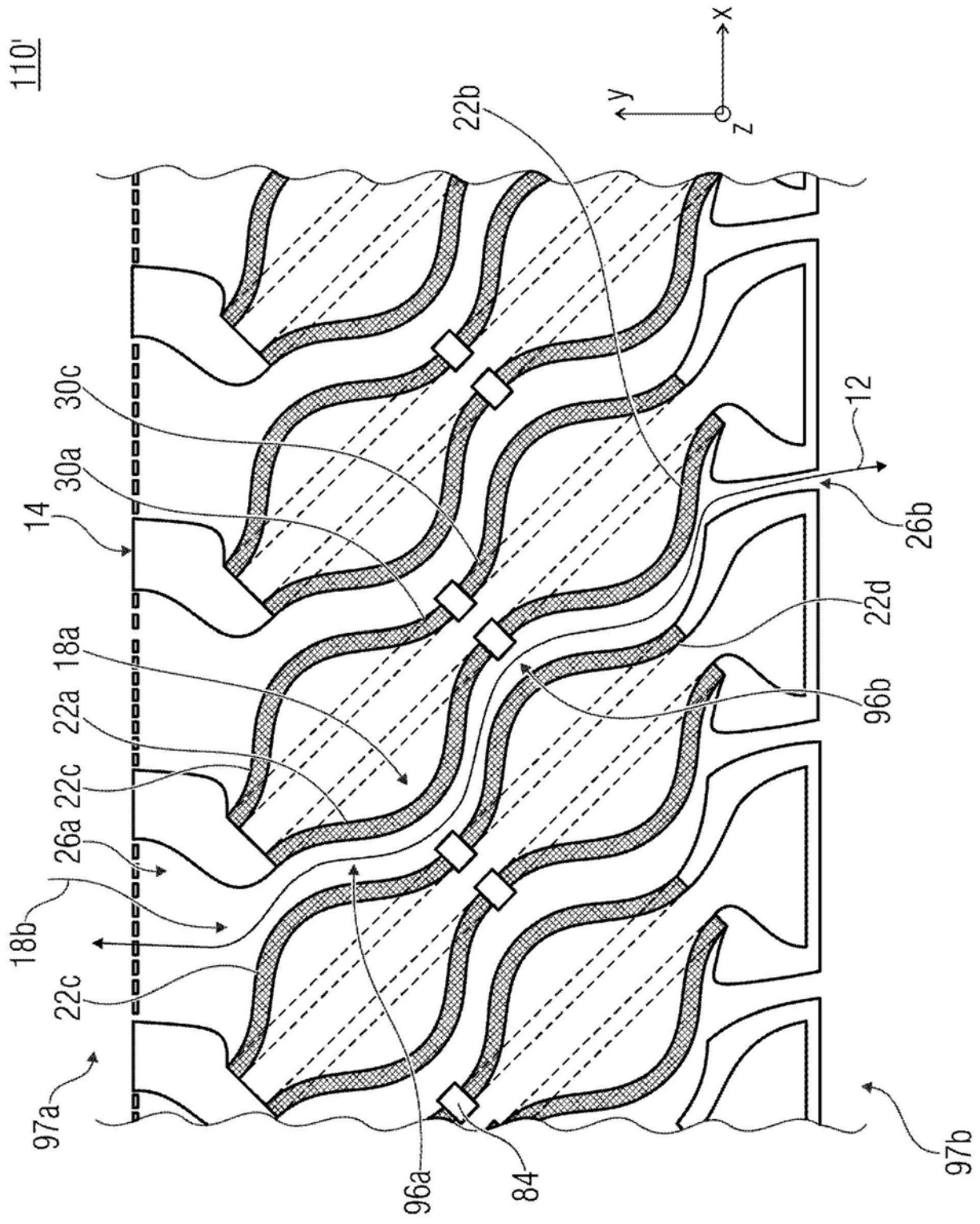


图11b

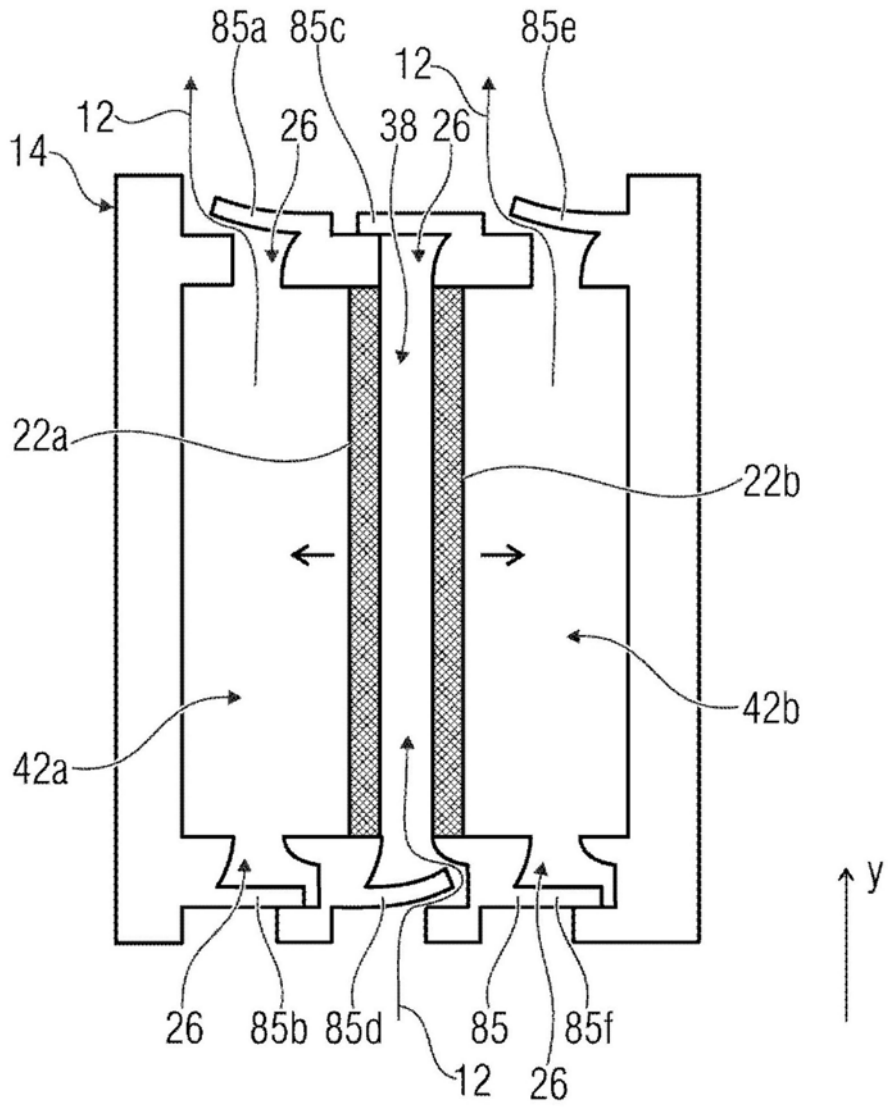


图12a

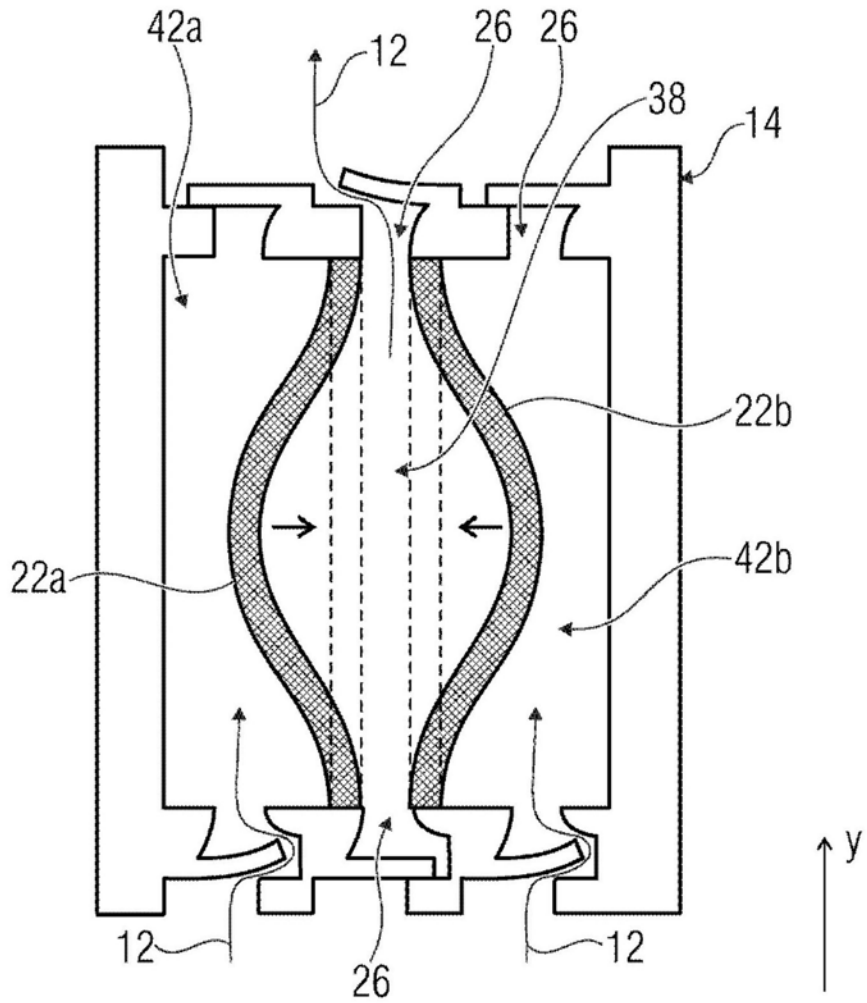


图12b

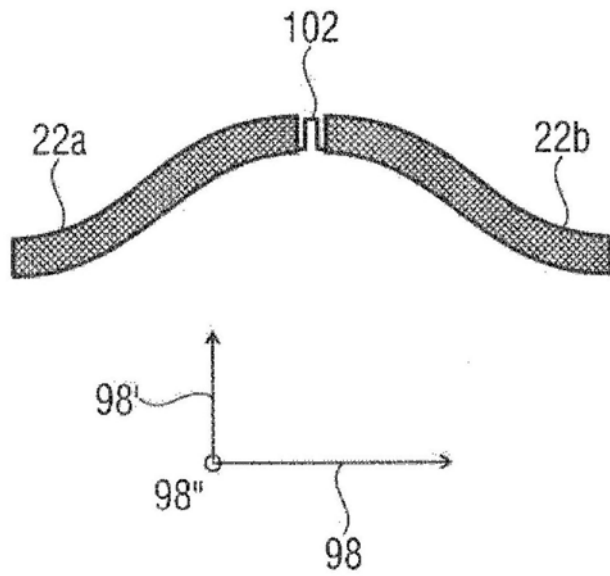


图13

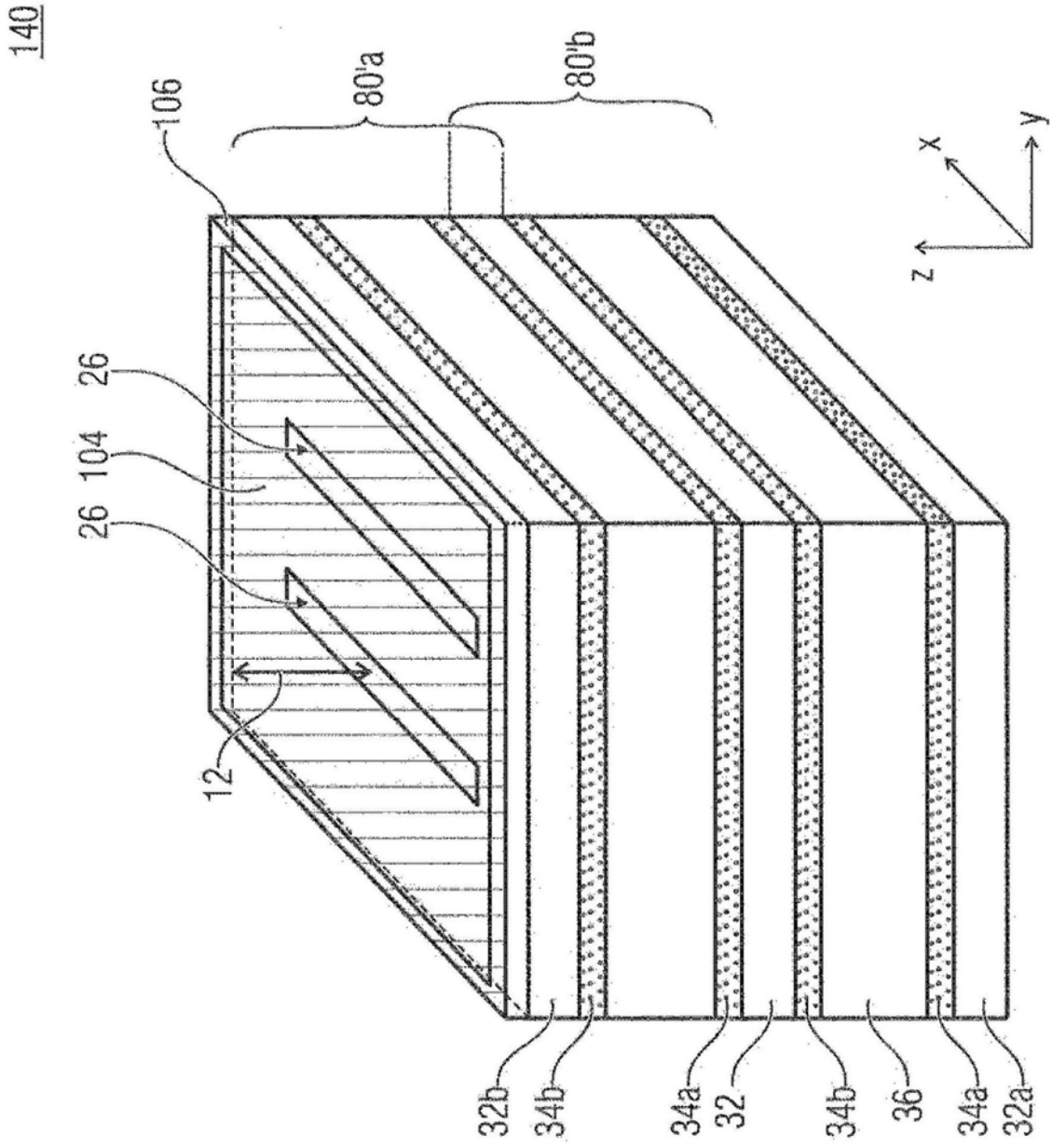


图14

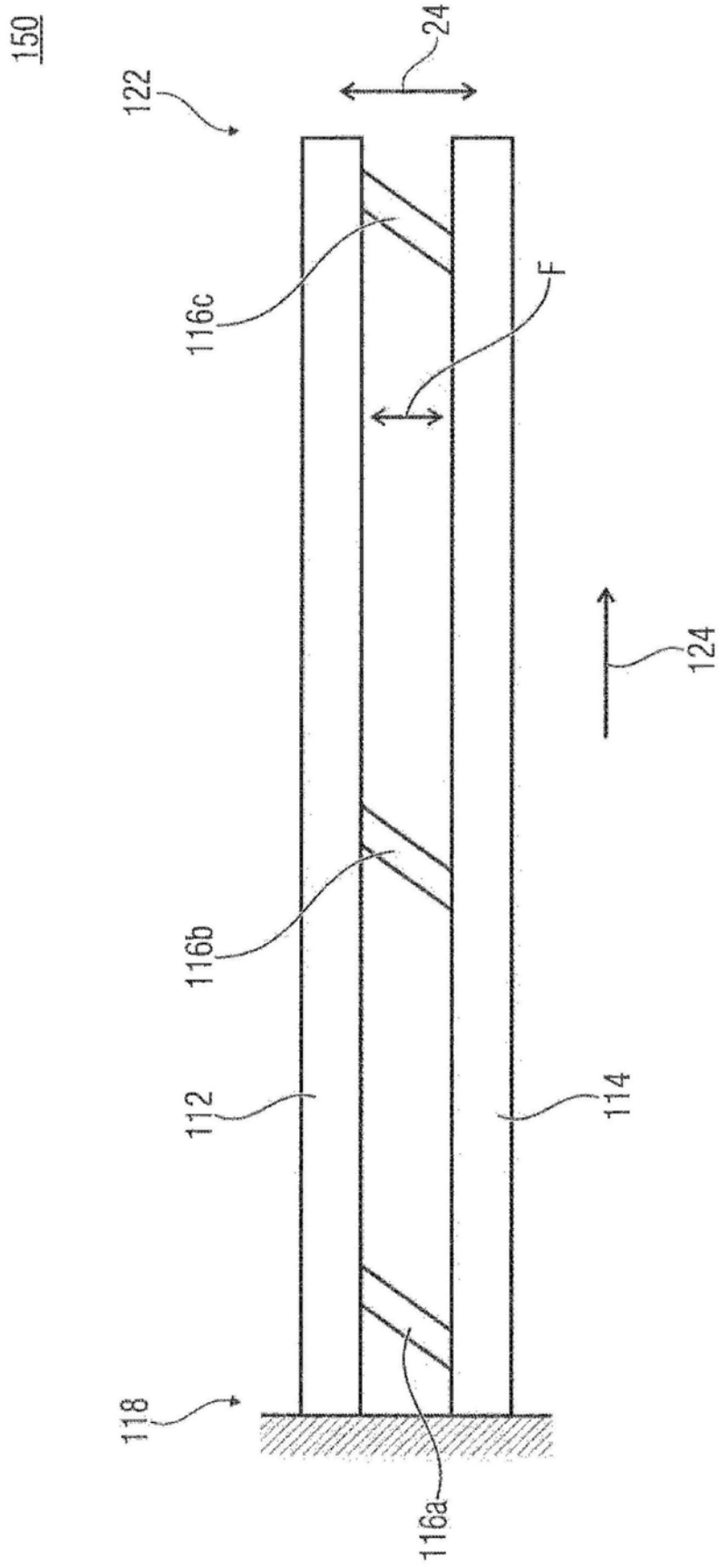


图15

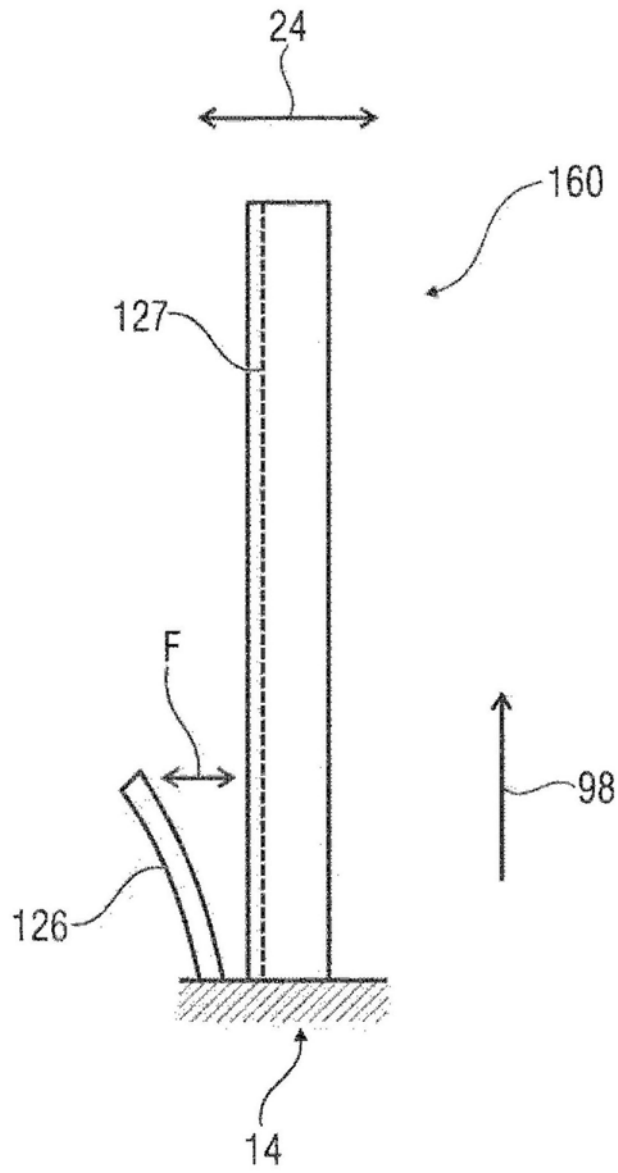


图16



170

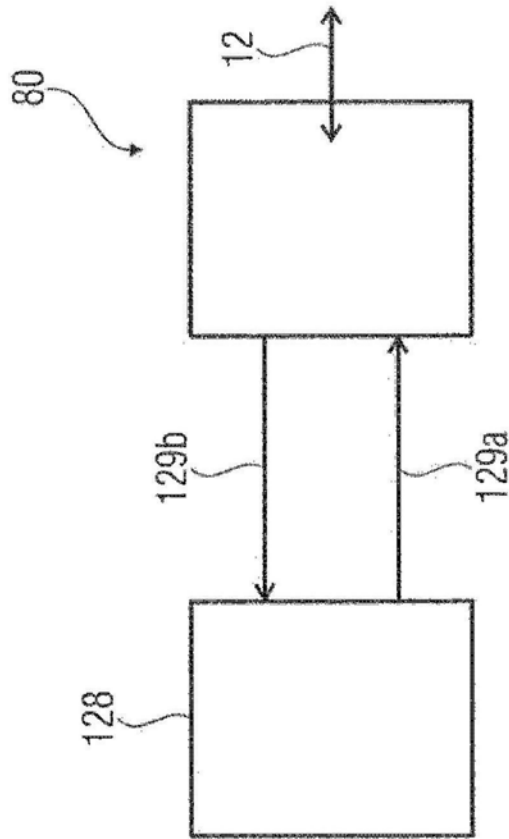


图17

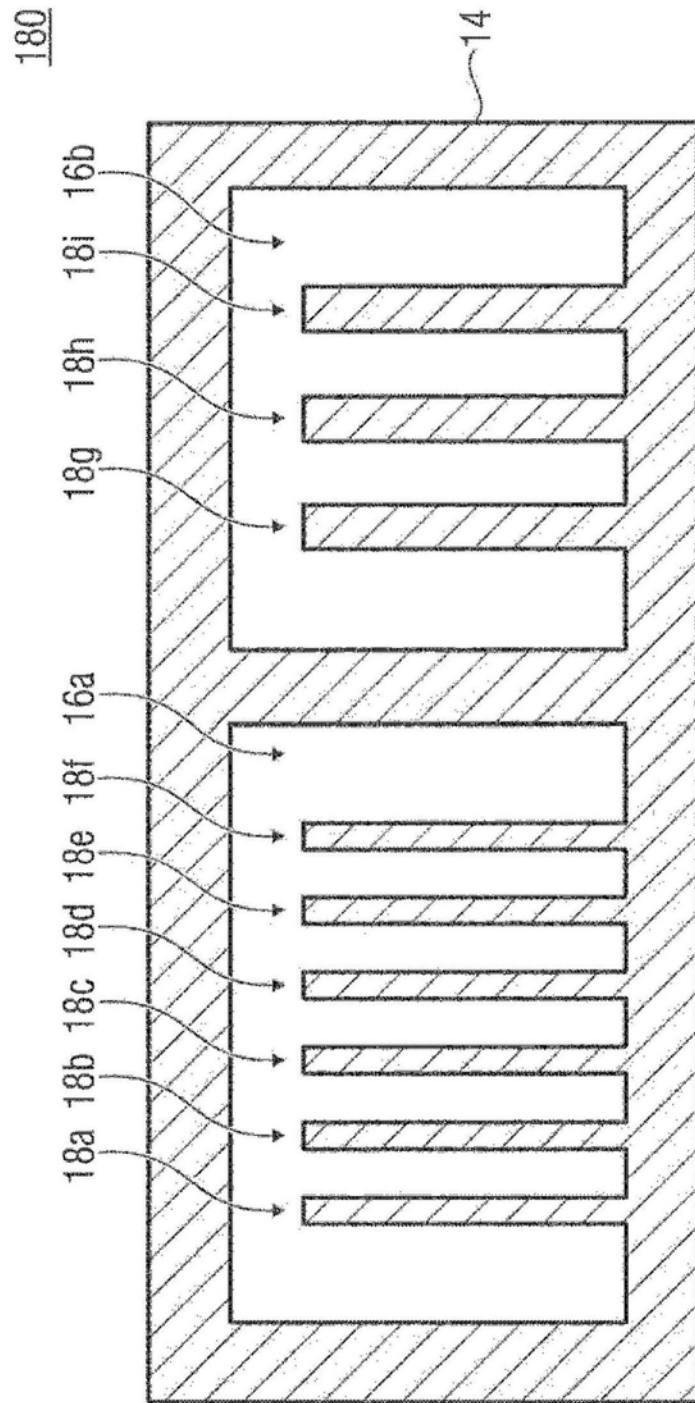


图18

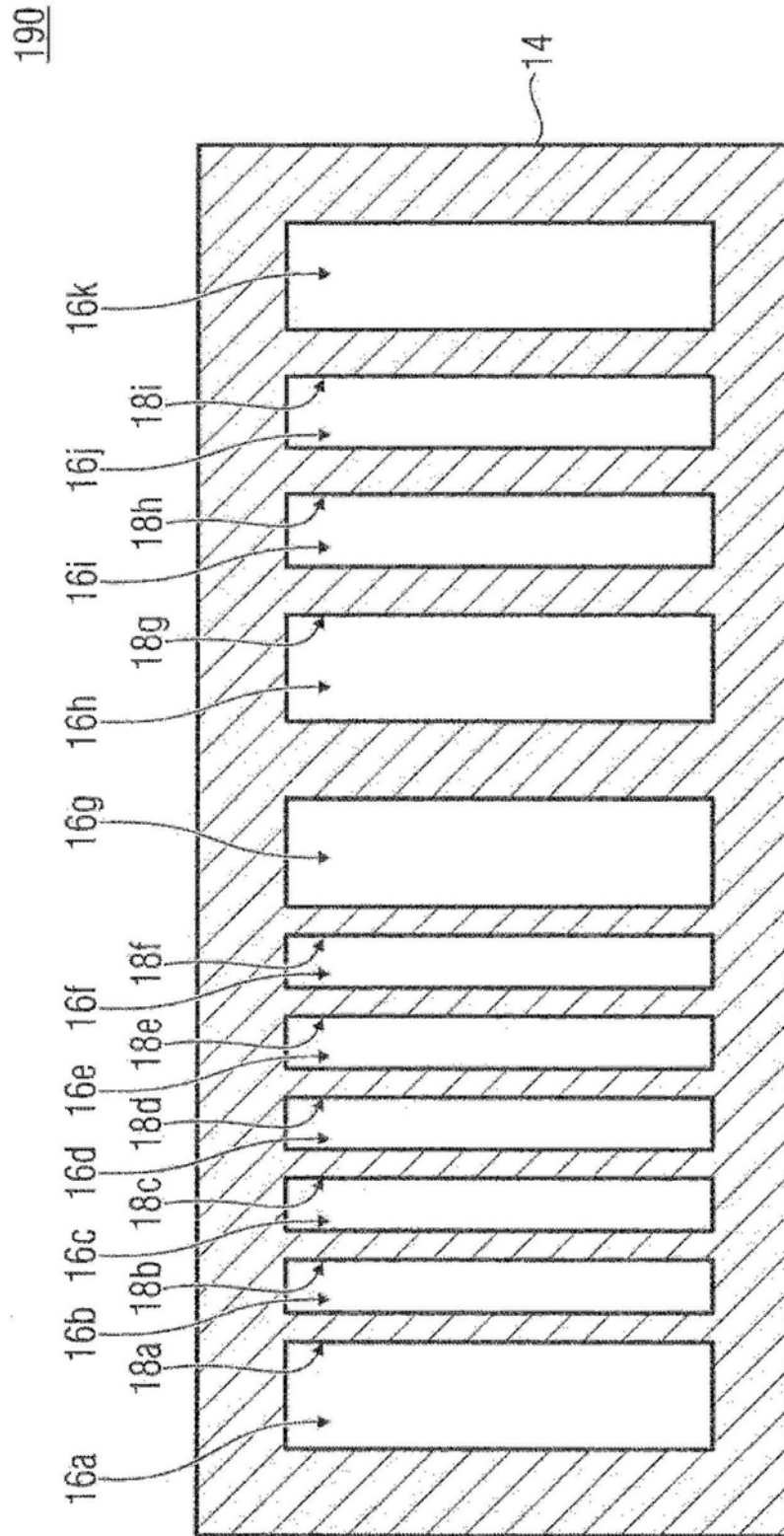


图19