



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106269451 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201610701812.8

(22)申请日 2012.02.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106269451 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(30)优先权数据

61/443,042 2011.02.15 US

(62)分案原申请数据

201280018636.8 2012.02.14

(73)专利权人 富士胶卷迪马蒂克斯股份有限公司

地址 美国新罕布什尔州

(72)发明人 A.比布尔 H-F.S.劳 K.冯艾森  
M.G.奥托森

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
11105

代理人 陈铎 张邦帅

(51)Int.Cl.

B06B 1/06(2006.01)

H04R 17/00(2006.01)

(56)对比文件

WO 0173861 A1,2001.10.04,

CN 101391379 A,2009.03.25,

US 6625854 B1,2003.09.30,

审查员 艾立明

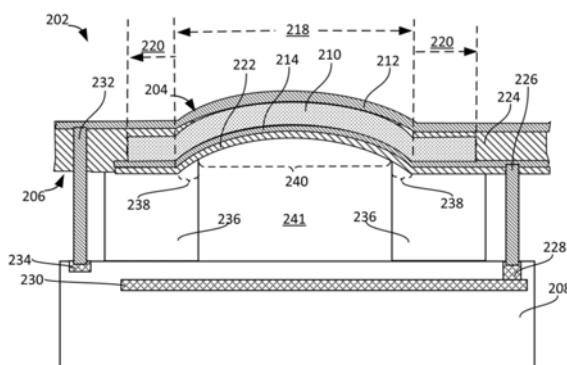
权利要求书2页 说明书16页 附图8页

### (54)发明名称

使用微圆顶阵列的压电式换能器

### (57)摘要

一种超声波压电式换能器装置,包括换能器阵列和基底,换能器阵列由振动元件阵列组成,换能器阵列中的振动元件阵列附接至基底。基底包括集成电互连,用于在振动元件和外部控制电路之间传送驱动信号和感测信号。基底可以是ASIC晶圆,其包括集成电路,用于控制对所感测信号的驱动和处理。基底中的互连和控制电路基本装配在位于多个振动元件阵列下方的区域内。



1. 一种压电式换能器,包括:

支撑结构,包括基底以及位于基底和振动元件之间的支撑件,其中,一孔穿过该支撑件而形成,并且所述基底跨越所述孔;以及

振动元件,具有固定到支撑结构的第一表面的内表面,该振动元件包括驱动电极、参比电极、布置在驱动电极和参比电极之间的介电层以及布置在驱动电极和参比电极之间的压电元件,振动元件具有定位成接收或产生外部介质中的压力波的外表面,并且其中,驱动电极、参比电极和压电元件均包括相应柔性部和连接到该相应柔性部的相应静止部,

其中,静止部包括压电元件的平面部以及位于压电元件的柔性部和平面部之间的弯曲周界部,

其中,驱动电极、参比电极和压电元件的柔性部悬于所述支撑结构的孔之上,并在所述驱动电极和所述参比电极之间没有施加电压以及没有施加会增加柔性部上的机械应力的力的情况下相对于支撑件的第一表面在第一方向上弯曲,并且其中,所述参比电极、驱动电极和压电元件的柔性部响应于在所述驱动电极和所述参比电极之间施加的驱动电压而偏转。

2. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述支撑结构包括基底,该基底具有第一表面和形成在基底第一表面中的空腔,以提供所述孔。

3. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述支撑件具有第一侧和第二侧,所述第一侧附接至所述基底的第一表面,所述第二侧附接至驱动电极和参比电极中定位成更靠近基底第一表面的那个电极的相应静止部。

4. 如权利要求3所述的压电式换能器,其中,所述支撑件是金属环。

5. 如权利要求4所述的压电式换能器,其中,所述金属环是通过将基底第一表面共晶键合至驱动电极和参比电极中定位成更靠近基底第一表面的那个电极的相应静止部而形成的。

6. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述支撑件将振动元件的驱动电极和公共参比电极电连接至形成在基底中的集成电路。

7. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述外表面包括覆盖驱动电极或参比电极的柔性膜。

8. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述振动元件是多个相同的振动元件之一,其中,支撑结构包括基底以及位于基底和振动元件之间的多个支撑件。

9. 如权利要求8所述的压电式换能器,其中,所述振动元件是相同的振动元件的线性阵列之一。

10. 如权利要求8所述的压电式换能器,其中,所述振动元件是相同的振动元件的二维阵列之一。

11. 如权利要求8所述的压电式换能器,其中,所述基底包括集成电路,构造成独立地感测施加到所述多个振动元件的相应振动元件的外表面上的压力变化。

12. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述驱动电极定位成比所述参比电极更靠近支撑结构。

13. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述驱动电极、参比电极和压电元件的柔性部均弯曲远离所述孔。

14. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述驱动电极、参比电极和压电元件的柔性部均朝向所述孔弯曲。

15. 如权利要求1所述的压电式换能器,其中,所述压电元件包括由平面部包围的弯曲部,其中,所述压电元件的平面部和弯曲部的周界部是所述压电元件的静止部的一部分。

## 使用微圆顶阵列的压电式换能器

[0001] 本申请是申请日为2012年2月14日、申请号为201280018636.8、发明名称为“使用微圆顶阵列的压电式换能器”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本说明书涉及压电式换能器。

### 背景技术

[0003] 压电式换能器包括压电元件,压电元件能够将电能转换为机械能(例如,声音或超声能量),反之亦然。因此,压电式换能器既可充当机械能的发送器,又可充当影响机械能的传感器。

[0004] 超声波压电式换能器装置可包括压电振动元件,其响应于随时间变化的驱动电压以高频振动,并在与振动元件暴露的外表面接触的传播介质(例如空气、水或组织)中产生高频压力波。该高频压力波能够传播进其它介质中。该相同的振动元件还可接收来自传播介质的反射压力波,并将接收到的压力波转换为电信号。该电信号可与驱动电压信号结合处理,以获得与传播介质中的密度或弹性模量变化有关的信息。

[0005] 超声波压电式换能器装置可包括压电振动元件阵列,每个振动元件可以以各自的驱动电压和时间延迟独立地控制,使得可通过振动元件阵列共同地在传播介质中生成具有期望方向、形状和焦点的压力波,并且可基于由压电振动元件阵列捕获的反射和/或折射压力波更精确和准确地探知与传播介质中的密度或弹性模量变化有关的信息。

[0006] 通常,许多超声波换能器装置使用这样的振动元件,其通过机械地切割大块压电材料而形成或者通过将注入有压电陶瓷晶体的支承材料注射成型而形成。

### 发明内容

[0007] 本说明书描述了与压电式换能器有关的技术。

[0008] 压电式换能器装置可包括一个或多个振动元件,每个振动元件具有悬于基底之上并附接至基底的内表面以及暴露于传播介质的外表面。所述一个或多个振动元件可响应于所施加的随时间变化的驱动电压而振动,并在与振动元件的暴露的外表面接触的传播介质中产生压力波。

[0009] 每个振动元件可包括布置在驱动电极和参比电极之间的压电元件。远离基底的电极是振动元件的向外朝向电极。驱动电极、参比电极和压电元件均具有相应柔性部和邻接(例如包围)柔性部的相应静止部,在振动元件上没有施加电压的情况下,驱动电极、参比电极和压电元件的相应柔性部(换言之,整个振动元件的柔性部)相对于基底凹地或凸地弯曲。或者,振动元件可以是平坦的。每个振动元件的暴露的外表面可包括振动元件的向外朝向电极的外表面,或者覆盖振动元件的向外朝向电极的柔性保护涂层的外表面。

[0010] 在换能器装置中,相同的一个或多个振动元件还可充当感测元件,其响应于由传播介质中反射的压力波施加的变化的机械压力,可在电极对之间的压电元件上产生感测的

电压。换能器装置可根据定时切换在驱动模式和感测模式之间交替。

[0011] 在各实施方式中,压电式换能器装置可包括由振动元件阵列构成的换能器阵列和附接有换能器阵列中的振动元件阵列的基底。在一些实施方式中,基底可包括用于在换能器阵列的振动元件以及外部控制电路之间传送驱动信号和感测信号的多个集成电互连。在一些实施方式中,基底可以是ASIC晶圆,其包括集成电路,用于将驱动电压信号发送至振动元件阵列以及记录来自振动元件阵列的感测电压。ASIC晶圆可基本装配在多个振动元件阵列下方的区域内。换能器阵列中的振动元件阵列在一侧可共享一公共参比电极,并在相对侧具有各自可独立控制的驱动电极。振动元件的公共参比电极和可独立控制的驱动电极可电连接到ASIC晶圆中的集成电路。竖直取向的互连可形成在每个振动元件的驱动电极和ASIC晶圆中的控制电路之间。竖直取向的互连使得大量连接件能够容纳在由振动元件阵列占据的小横向区域内。

[0012] 在各实施方式中,压电式换能器装置(包括振动元件(例如弯曲或平坦的压电振动元件)阵列的压电元件、驱动电极、公共参比电极以及关于ASIC晶圆中的集成电路制成的电连接件)可使用各种半导体制造技术(例如,材料沉积、光刻构图、通过刻蚀形成特征等)制造。

[0013] 本说明书所述主题的特定实施方式可以实施成实现下列优点中的一个或多个。

[0014] 在一些实施方式中,压电式换能器装置中的振动元件阵列可使用半导体制造工艺制成,与通过机械切割大块压电材料或通过注射成型而形成的振动元件中可获得的尺寸和间距相比,该阵列中振动元件的尺寸和间距可制得更小,并被更加精确地控制。较小的振动元件和相邻振动元件之间较精细的间距使得可基于由振动元件接收的反射和折射压力波实现较高成像分辨率。而且,可使用半导体制造工艺在相同晶圆上制造多个换能器装置,从而减少了单独换能器装置的成本。

[0015] 在各实施方式中,可以在附接至弯曲的振动元件阵列下侧的基底的AISC层中实施用于压电式换能器装置的控制电路和感测电路。由于ASIC层可使用少量外部输入连接件支持大量内部输出连接件,所以包括用于提供驱动信号的集成AISC层的换能器装置可具有少量的外部输入线,例如要连接到换能器装置的线束可以较薄。通过减少容纳换能器装置的外部输入连接件所需的横向区域,换能器装置的总尺寸得以减小,这可允许所述装置在较小空间内使用,由此可用于各种各样的应用。而且,可在AISC层中实施更多用于控制传输的压力波的方向、焦点、形状和/或频率的处理逻辑单元,以减少压电式换能器的周界支撑设备(例如,外部驱动电路和连接电缆)的总成本。在一些实施方式中,可通过具有集成电互连的基底实现装置尺寸的减小,集成电互连在不位于换能器阵列正下方的适当位置处连接到外部控制电路或控制电路板。

[0016] 此外,对于给定的施加电压,弯曲的压电元件(例如,压电薄膜具有由平面部包围的圆顶部)具有比相当大小的平坦的压电膜或压电体(例如杆)大的位移(例如5-10倍)。因此,通过在压电式换能器装置的每个振动元件中使用弯曲的压电元件,可使用给定的驱动电压产生较强的压力波。类似地,对于给定的可接受的感测电压等级,需要较低的机械压力。例如,与100-200伏特用于由切割的大块压电材料形成的超声波换能器装置相比,10-20伏特或更小的驱动电压可用于由微圆顶换能器阵列制成的超声波换能器装置。在较低的所需驱动电压的情况下,还可以避免因欧姆加热引起的功耗和损失以及换能器装置上的过高

温度。这还可允许该装置用在各种各样的应用中。

[0017] 此外,由于使用半导体制造技术可获得的振动元件的小尺寸、ASIC层的紧凑尺寸以及用于驱动振动元件所需的低驱动电压,可使用本说明书中公开的设计来研发适用于高精度医疗诊断和治疗应用的压电式换能器装置。例如,在与病人皮肤接触或在病人身体内使用时,换能器装置的低电压、低热量和小尺寸使得其更安全和/或更舒适。此外,通过本说明书中公开的换能器设计可对病人体内小的、精细的和难以接近的区域(例如,眼睛、血管或大脑)进行动态成像。此外,提供具有与振动元件阵列对应的、竖直连接到振动元件的驱动电路阵列的ASIC层使得可紧密地封装振动元件,这可提高图像质量。这与允许以小尺寸沉积压电元件的沉积技术(例如溅射)的结合是特别有效的。

[0018] 此外,例如,可通过改变弯曲的压电元件的尺寸、形状和厚度而在压电式换能器的设计和制造过程中控制弯曲的振动元件的共振频率和阻抗。因此,可适应所有要求不同操作频率范围和不同类型传播介质(例如不同阻抗)的应用。

[0019] 在一些实施方式中,可通过将压电材料粒子沉积(例如溅射)在弯曲的轮廓传递基层(profile-transferring surface)上而形成弯曲的压电元件。或者,溅射的压电材料可形成平坦的压电元件。通过沉积而形成的弯曲或平坦的压电元件具有相对于压电元件的弯曲或平坦表面对准并垂直取向的柱形颗粒结构以及指向柱形颗粒的方向的自然沉积态极化方向。这种对准的柱形颗粒结构在操作期间造成较小的内部应力,导致由这种压电元件形成的压电式换能器的寿命较长。

[0020] 在一些实施方式中,每个压电元件的弯曲部分的周界部在操作期间保持静止,而弯曲部分的中央部响应于驱动电压而弯曲。通过将压电元件的弯曲部和静止部之间的过渡点放置在压电元件的颗粒结构更好地对准的区域中,压电元件可更好地承受在过渡点处产生的高应力,这可导致压电元件和压电式换能器装置的寿命较长。

[0021] 本说明书所述主题的一个或多个实施方式的细节在下面的附图和说明中进行阐述。通过说明、附图和权利要求,主题的其它特征、方面和优点会变得清楚。

## 附图说明

[0022] 图1A-1H示出包括弯曲的振动元件阵列的压电式换能器装置的示例构造。

[0023] 图2A-2B示出包括弯曲的振动元件的两个示例压电式换能器的竖直截面。

[0024] 图3A-3B均是弯曲的压电元件在施加的电压或机械压力作用下偏转的示意图。

[0025] 图4A-4B是示出通过将压电材料粒子沉积在弯曲轮廓传递表面(profile-transferring surface)上而形成的弯曲的压电元件内的颗粒结构的图像。

[0026] 图5A是压电式换能器装置中的示例微圆顶换能器阵列的示意性顶视图。

[0027] 图5B是图5A所示压电式换能器装置中的一部分微圆顶换能器阵列的透视图。

[0028] 图5C是图5A所示微圆顶换能器阵列的特写顶视图。

[0029] 图6是可以在压电式换能器装置中的振动元件阵列下方的集成ASIC层中实施的电路功能的示意图。

[0030] 放大了许多层和特征以更好地显示工艺步骤和结果。各附图中的相同标号和名称代表相同元件。

## 具体实施方式

[0031] 压电式超声波换能器装置能够使用响应于随时间变化的高频驱动电压而振动的压电式换能器阵列在传播介质(例如空气、水、组织、骨头、金属等)中产生高频压力波。振动换能器阵列的暴露的外表面可放置成靠近或接触传播介质,以将由暴露的外表面的振动所携带的能量耦合至在传播介质中沿一个或多个方向传播的压力波所携带的能量。超声波换能器装置通常产生具有高于人类听觉范围的频率的声波。然而,在一些实施方式中,根据本说明书中的描述制成的压电式换能器装置也可用于产生具有处于人类听觉范围内或低于人类听觉范围的频率的声波。

[0032] 当压力波遭遇传播介质内或介质之间边界处的密度或弹性模量(或两者)变化时,压力波反射。一些反射的压力波可由换能器阵列的暴露的外表面捕获,并被转换为通过超声波换能器装置的感测电路感测的电压信号。所感测的电压信号可以与驱动电压信号结合进行处理,以获得与传播介质内或介质之间边界处的密度或弹性模量(或两者)变化有关的信息。

[0033] 当振动换能器阵列中的每个振动元件的振动以相应的时间延迟和频率被独立地控制和定时时,能够产生具有期望形状、尺寸、方向和速度的波前。振动元件的尺寸和间距、换能器阵列的布局、驱动频率和振动元件的相应时间延迟和位置可与在振动元件上所感测的电压信号的相应强度和定时结合使用,以确定或者位于传播介质内的密度或弹性模量(或两者)变化,以推断出传播介质中的压力波所遭遇到的物体和/或结构变化的位置、尺寸、形状和/或速度。推断出的与传播介质中的物体和/或结构变化的位置、尺寸、形状和/或速度有关的信息可例如作为彩色或单色图像呈现在外部显示装置上。超声波换能器装置可广泛应用于例如医学诊断、产品缺陷检测、微创手术设备等,在这些应用中,关注介质或多个介质内的内部结构变化的成像。

[0034] 在本说明书中,公开了具有由弯曲的振动元件形成的换能器阵列的压电式换能器装置。弯曲的振动元件包括布置在一对弯曲电极之间的弯曲的压电元件,弯曲电极对具有与压电元件的弯曲表面匹配的相应弯曲表面。与平坦的振动元件相比,弯曲的振动元件响应于给定的驱动电压呈现出较大的位移,并具有较好的感测灵敏度。

[0035] 此外,换能器阵列可使用半导体制造工艺以特定用途集成电路(ASIC)晶圆制造,并与其集成。ASIC晶圆包括用于控制换能器装置的驱动和感测功能的集成电路,并仅需要少量外部连接件,以将驱动信号传送到换能器阵列中的大量振动元件,并收集来自该大量振动元件的感测信号。

[0036] 因此,本说明书所公开的包括弯曲的振动元件阵列和集成ASIC晶圆的换能器装置可以是紧凑、轻量的,并且与由平坦的压电薄膜或元件(切割大块压电材料制成)形成的常规换能器阵列相比,具有较好的驱动和感测效率,并需要较低的驱动电压。

[0037] 在一些实施方式中,除了包括ASIC晶圆,换能器装置可包括电互连层。单独换能器的迹线(trace)可移向互连层,从而仍能获得高密度的振动元件阵列。用于控制换能器装置的驱动和感测功能的电路可位于装置中的其它地方(例如,基底的外部或者互连层的上游)。

[0038] 在一些实施方式中,换能器装置可包括平坦的振动元件阵列以及集成ASIC晶圆。平坦的振动元件可通过溅射压电材料或刻蚀(例如等离子刻蚀)大块压电材料而形成。溅射

压电材料或者刻蚀而不是锯开大块压电材料允许振动元件具有多种多样的期望形状,例如具有圆角的形状、圆形、五边形、六边形或任何其它形状。这便于晶圆级集成为MEM装置。而且,换能器阵列的密度不像切割的大块压电振动元件情况那样受到锯条尺寸的限制。

[0039] 图1A-1G示出包括弯曲的振动元件阵列的压电式换能器装置的示例构造。

[0040] 在一些实施方式中,换能器装置包括线性或一维换能器阵列。一维换能器阵列中的弯曲的振动元件沿直线分布。线性换能器阵列的振动外表面可基本上位于与直线平行的平面内。如图1A所示,换能器装置102包括把手部分104。线性换能器阵列106可在把手104的一个远端108附接至把手104,其中,把手104的形状被修改(例如加宽、变平等)成容纳换能器阵列106的形状和尺寸。在该示例中,换能器阵列106的振动外表面沿把手104的长轴面向前方,即,制造有阵列106的基层的外表面105垂直于把手104的长轴。在其它实施方式中,线性换能器阵列106的暴露的外表面可面向沿与把手104长轴垂直(或成锐角)的方向的那侧。必要时,换能器装置102的操作者可操纵把手104来改变线性换能器阵列106的振动外表面的方向和位置(例如面向待成像区域)。

[0041] 压电式换能器装置102可选择地包括位于振动元件106线性阵列下方和把手部分104内部(例如,位于加宽和变平的第一远端108内)的集成ASIC晶圆(未示出)。连接到ASIC晶圆的外部输入连接件的线110可从把手104的后端离开,并连接到外部设备(例如,控制装置和/或显示装置)。

[0042] 在一些实施方式中,换能器装置可包括二维换能器阵列。每个二维换能器阵列可包括多个以二维阵列分布的弯曲的振动元件。由二维阵列覆盖的区域可具有各种形状,例如矩形、方形、圆形、八角形、六边形、圆形等。处于二维阵列中的振动元件可分布在由直线构成的格栅上(例如方形格栅或六边形格栅),或分布在具有更复杂图案的格栅上。二维换能器阵列的振动外表面也可基本上位于平面内。二维换能器阵列可附接至把手(例如在笔直柱形把手的一个远端)以形成换能器装置。换能器阵列的振动外表面的平面可面向前方,例如垂直于把手的长轴(例如如图1B所示),或者面向侧方,即与把手的长轴平行(或成锐角)(例如如图1C所示)。

[0043] 必要时,换能器装置的操作者可操纵换能器装置的把手,以改变二维换能器阵列的振动外表面的面向和位置(例如,面向待成像区域)。

[0044] 如图1B所示,压电式换能器装置112包括前向六边形换能器阵列116,其在第一远端118处附接至把手114。压电式换能器装置112可选择地包括位于振动元件六边形阵列下方和把手部分114内部的集成ASIC晶圆(未示出)。连接到ASIC晶圆的外部连接件的线120可从把手114的后方(例如第二远端)离开,并连接到外部设备(例如控制装置和/或显示装置)。前向换能器装置112可用于血管内超声(IVUS)成像,其用常规超声成像是不可行的。

[0045] 图1C示出压电式换能器装置122,其包括在第一远端128处附接至把手124的侧向方形换能器阵列126。压电式换能器装置122可选择地包括位于振动元件方形阵列后方和把手部分124内部的集成ASIC晶圆(未示出)。连接到ASIC晶圆的外部连接件的线130可从把手124的后方(例如,第二远端)离开,并连接到外部设备(例如,控制装置和/或显示装置)。

[0046] 在一些实施方式中,换能器装置可包括一维换能器阵列或沿曲线或绕曲面卷绕的二维换能器阵列,使得换能器阵列的振动外表面是曲线或曲面。

[0047] 例如,图1D示出示例换能器装置132,其包括沿曲线延伸并在把手134的第一远端



138(例如,放大、弯曲和变平部分)处附接至把手134的线性换能器阵列136。换能器装置132还包括连接到ASIC晶圆(未示出)并从把手134后端离开的线140。

[0048] 图1E示出示例换能器装置142,其包括绕圆周延伸并在把手144的远端148附接至把手144的前向线性换能器阵列146。换能器装置142还包括连接到ASIC晶圆(未示出)并从把手144的后端离开的线150。

[0049] 图1F示出示例换能器装置152,其包括绕圆周延伸并在把手154的远端158附接至把手154的侧向线性换能器阵列156。换能器装置152还包括连接到ASIC晶圆(未示出)并从把手154的后端离开的线160。

[0050] 在一些实施方式中,图1D、1E和1F所示线性换能器阵列136、146和156的每个振动元件可由小的二维子阵列代替。例如,每个子阵列可以是小的方形换能器阵列。如图1G所示,换能器装置162包括由振动元件的多个方形子阵列(例如方形子阵列168)形成的前向二维环形阵列166,其中,前向环形阵列166附接至换能器装置162的把手164的第一远端。换能器装置162还包括连接到ASIC晶圆(未示出)并从把手164的后端离开的线170。

[0051] 类似地,如图1H所示,换能器装置172包括由振动元件的多个方形子阵列(例如方形子阵列178)形成的侧向阵列176,其中,侧向阵列176附接至换能器装置172的把手174的第一远端。换能器装置172还包括连接到ASIC晶圆(未示出)并从把手174的后端离开的线180。

[0052] 图1A-1H所示换能器装置的构造仅仅是说明性的。整个换能器阵列的振动外表面的面向(例如前向、侧向或其它面向角度)和总体形状(例如平坦或弯曲、线性、多边形或环形)、换能器阵列在把手上的位置以及换能器阵列上的振动元件的布局的不同组合在换能器装置的各种实施方式中是可能的。

[0053] 此外,根据应用(例如,期望的操作频率、成像区域、成像分辨率等),换能器阵列中振动元件的总数量、换能器阵列的尺寸以及换能器阵列中的振动元件的尺寸和间距还可以变化。在一个示例中,线性阵列包括128个处于200微米间距的半径为50微米的振动元件。在另一示例中,方形阵列包括16个处于200微米间距的半径为75微米的振动元件。其它示例构造在说明书的其它部分中描述。

[0054] 如本说明书所公开的,换能器装置的换能器阵列包括多个弯曲的压电振动元件。图2A-2B示出弯曲的压电振动元件的两个示例构造。

[0055] 在图2A中,示出了凸形或圆顶形振动元件202。凸形振动元件202包括顶表面204,顶表面暴露在外并形成换能器阵列的振动外表面的一部分(例如,与换能器阵列中的其它振动元件的顶表面一起)。振动元件202还包括附接至基底208的顶表面的底表面206。

[0056] 如图2A所示,圆顶形振动元件202包括布置在参比电极212和驱动电极214之间的凸形或圆顶形压电元件210。在该示例中,参比电极212布置在凸形压电元件210的顶表面(远离基底208)上方,而驱动电极214布置在凸形压电元件210的底表面(靠近基底208)下方。在替代示例(未示出)中,驱动电极可布置在凸形压电元件的顶表面上方,而参比电极布置在凸形压电元件的底表面下方。

[0057] 如图2A所示,凸形压电元件210是整体具有大致相同厚度的压电材料薄层。压电材料薄层包括由平面部220包围的弯曲部218。中心弯曲部218弯曲远离附接有振动元件202的基底208。例如,凸形压电元件210可通过将处于均匀层的压电材料粒子沉积(例如溅射)在

轮廓传递基层上而形成,轮廓传递基层具有形成在平面顶表面上的圆顶。可用于形成压电元件210的示例压电材料包括锆钛酸铅(PZT)。

[0058] 进一步如图2A所示,凸形压电元件210布置在驱动电极214上方,位于驱动电极214的顶表面上。驱动电极214可以是传导材料薄层,其具有接触并贴合凸形压电元件210的底表面的顶表面。因此,驱动电极214还包括弯曲远离基底208的中央弯曲部和邻接(例如包围)中央弯曲部的平面部。驱动电极214的中央弯曲部和凸形压电元件210的中央弯曲部具有匹配的表面轮廓。

[0059] 在一些实施方式中,驱动电极214可通过将传导材料薄层沉积在轮廓传递基层上而形成,轮廓传递基层具有形成在平面顶表面上的圆顶。在传导材料层(即,在该示例中的驱动电极层)沉积在轮廓传递基层上之后,那么沉积的驱动电极层可充当压电元件210的压电材料薄层可沉积在其上的轮廓传递基层。例如,用于驱动电极层的传导材料可包括各种金属(例如Au、Pt、Ni、Ir等)、合金(例如Au/Sn、Ir/TiW、Au/TiW、AuNi等)、金属氧化物(例如IrO<sub>2</sub>、NiO<sub>2</sub>、PtO<sub>2</sub>等)或它们的组合的一种或多种。

[0060] 在一些实施方式中,用于将压电材料沉积在驱动电极层上的合适方法包括例如溅射、化学气相沉积、物理气相沉积、原子层沉积、等离子增强化学气相沉积等。溅射沉积的类型可包括磁控溅射沉积(例如RF溅射)、离子束溅射、反应性溅射、离子束辅助沉积、高利用率靶溅射和高功率脉冲磁控溅射。压电层的厚度可选择成压电元件210足够柔软以在驱动电压作用下弯曲,又足够强大以将其振动传递到与振动元件202的暴露的外表面204接触的传播介质。

[0061] 进一步如图2A所示,参比电极212布置在凸形压电元件210的顶表面上方。参比电极212可以是传导材料薄层,其底表面与凸形压电元件210的顶表面接触并贴合。因此,参比电极212还包括弯曲远离基底208的中央弯曲部和邻接(例如,包围)中央弯曲部的平面部。参比电极212的中央弯曲部和凸形压电元件210的中央弯曲部具有匹配的表面轮廓。

[0062] 在一些实施方式中,例如,在沉积的压电层已图案化以限定出压电元件210之后,可通过将传导材料薄层沉积在已沉积的压电层上来形成参比电极212。例如,用于参比电极层的传导材料可包括各种金属(例如Au、Pt、Ni、Ir等)、合金(例如Au/Sn、Ir/TiW、Au/TiW、AuNi等)、金属氧化物(例如IrO<sub>2</sub>、NiO<sub>2</sub>、PtO<sub>2</sub>等)或它们的组合的一种或多种。

[0063] 进一步如图2A所示,在一些实施方式中,振动元件202可选择地包括位于驱动电极214下方并与驱动电极214的底表面接触的薄膜层222。在一些实施方式中,为了形成振动元件202,薄膜层222可首先沉积在圆顶形轮廓传递基层上。然后,驱动电极层可沉积在薄膜层222的顶表面上。在驱动电极层沉积之后,压电层可沉积在驱动电极层上。在参比电极层沉积在压电元件上之前,压电层和驱动电极层可图案化,以形成单独的驱动电极214和压电元件210。在一些实施方式中,其上沉积有膜层222的轮廓传递基层可从下向上被刻蚀掉,以暴露薄膜222的底表面的中央弯曲部,使得中央弯曲部可在所施加的电压作用下弯曲。在一些实施方式中,膜层222可以是氧化物层,其用作刻蚀工艺的刻蚀停止部。

[0064] 在一些实施方式中,在压电元件210形成在驱动电极214的顶表面上之后,并且在参比电极层沉积之前,介电膜224层(例如SiO<sub>2</sub>、SiN<sub>2</sub>或它们的组合)可沉积在压电元件210的顶表面上。膜224的位于压电元件210的弯曲部218中央部上方的中央部可被刻蚀为敞开,以暴露压电元件210的中央顶表面。然后,参比电极层可沉积在压电元件210的暴露的顶表面

上,使得参比电极212的底表面与介电膜224的暴露的顶表面和压电元件210的暴露的顶表面接触并贴合。介电膜224可用于使驱动电极214与参比电极212绝缘。此外,介电膜224还可用于使参比电极212与位于压电元件210的在操作期间保持静止的区域中的压电元件210(例如,包括压电元件210的周界部238和平面部220)绝缘。通过使参比电极212与位于保持静止的区域中的压电元件210绝缘,压电元件因施加在那些区域中的驱动电压而受到的内部应力可减小。

[0065] 在一些实施方式中,在换能器阵列中仅存在少量振动元件的情况下,可经由在与基底208的顶表面平行的相同平面中延伸的导电迹线制成到每个振动元件的驱动电极和参比电极的电连接。在一些实施方式中,若干振动元件的参比电极可连接起来以形成跨越多个振动元件的共用参比电极。在一些实施方式中,在许多振动元件分布在小横向区域中的情况下,在单独的振动元件之间可能不会有足够的空间而使导电迹线在与基底208的顶表面平行的单个平面中延伸。替代地,相应的竖直取向的电互连可制成用于换能器阵列中的一些或所有振动元件中的每个,以将振动元件连接到基底208中的控制/感测电路。如图2A所示,竖直取向的电互连226用于将驱动电极214电连接到基底208中的控制/感测电路230的活性连接垫228。此外,竖直取向的电互连232用于将参比电极212电连接到基底208中的控制/感测电路230的接地垫234。在一些实施方式中,在使用跨越整个换能器阵列的公共参比电极的情况下,仅需要一个电连接件来将共用参比电极电连接到基底208中的接地垫。

[0066] 在一些实施方式中,如图2A所示,振动元件202的柔性部可悬于基底208的顶表面上方。基底208的顶表面和振动元件202的底表面206之间的空间可以有例如环形支撑件的支撑件236,支撑件具有与振动元件202的弯曲部218竖直对准的孔241。支撑件236具有附接至基底208的顶表面的底表面以及附接至振动元件202的底表面206的顶表面。在驱动电极214下方不存在膜222的实施方式中,驱动电极的底表面可充当振动元件202的底表面206。如果存在膜222,则膜222的底表面可充当振动元件202的底表面。支撑件236还可用于使位于基底208上的单独的振动元件绝缘,以减少相邻振动元件之间的串扰。在一些实施方式中,支撑件的高度可以十分小,使得仅小间隙(例如几微米)存在于振动元件202的中央振动部(换言之,柔性部)和基底208的顶表面之间。在一些实施方式中,支撑件236的高度可以较厚,例如10-50微米或更厚。

[0067] 在如图2A所示的示例构造中,参比电极212定位在压电元件210上方,而驱动电极214定位在压电元件210下方。在替代构造中,参比电极可定位在压电元件下方,而参比电极定位在压电元件上方。具有替代构造的振动元件可以以与上述方式类似的方式形成,除了较低金属层可用作参比电极层,而较高金属层可用作驱动电极层。此外,竖直取向的电互连均到达振动元件中的不同金属层中。

[0068] 继续参见图2A所示示例,在一些实施方式中,保护膜(未示出)(例如非湿润涂层、PECVD氧化物涂层等)可沉积在参比电极212的顶表面上。在一些实施方式中,保护膜可以是沉积在换能器阵列的整个顶表面上的连续层。保护膜的顶表面可以暴露,并且没有任何外层沉积在顶部。在操作时,可选的保护膜的暴露的顶表面可与传播介质(可以是所关注的材料,例如组织,或者耦合介质,例如超声传输凝胶)直接接触,使得换能器阵列中的振动元件的振动可耦合至传播介质中的压力波。

[0069] 可选的保护膜可保护振动元件202免受灰尘和污染以及因传播介质中的湿气或其

它物质引起的可能性腐蚀的影响。此外,在驱动电极放置在压电元件210上方,而参比电极放置在压电元件210下方的实施方式中,在保护膜可充当驱动电极(现在定位在振动元件的顶部)和传播介质(例如病人的皮肤或组织)之间的绝缘层的实施方式中,保护膜可以是有利的。

[0070] 在一些实施方式中,在振动元件202中没有使用保护膜,参比电极212的顶表面可以在使用时直接暴露于传播介质。例如,在连续的参比电极用于覆盖整个换能器阵列以及连续的参比电极由抗腐蚀和污染的惰性金属(例如Au或Pt)制成的情况下,在参比电极保持处于接地电位的情况下,那么连续的参比电极可充当用于将振动元件的振动耦合至传播介质的换能器装置的暴露的外表面。

[0071] 在一些实施方式中,如图2A所示,在驱动电极和参比电极之间没有施加任何电压的情况下,振动元件202的弯曲部(包括参比电极、压电元件和驱动电极的中央弯曲部,以及位于参比电极、压电元件和/或驱动电极上方、下方或之间的任何附加膜层)保持弯曲。当在驱动电极214和参比电极212之间施加随时间变化的驱动电压时,振动元件202的弯曲部(或其中中央弯曲部)可响应于随时间变化的驱动电压而振动。

[0072] 在一些实施方式中,仅振动元件202的平面部固定到基底208(例如通过支撑件236),并在操作期间保持静止,而振动元件202的整个弯曲部响应于随时间变化的驱动电压而振动。然而,在一些实施方式中,弯曲部的周界部238也可通过支撑件236固定到基底203,使得弯曲部的周界部238可在操作期间保持静止,而仅弯曲部的中央部240响应于随时间变化的驱动电压而振动。在弯曲部的周界部238固定到基底的一些实施方式中,可以去除振动元件的所有或一些平面部。

[0073] 在一些实施方式中,固定并保持静止的周界部238相对于弯曲部218的横向尺寸可仅占较小宽度。如随后在说明书中所示,通过在操作期间保持弯曲部218的小周界部238静止,处于压电元件210的弯曲部218和平面部220之间的过渡点处的应力可减小,从而延长振动元件210的寿命。

[0074] 在一些实施方式中,在压电元件210的弯曲部218的周界部238在操作期间固定并保持静止的情况下,包围弯曲部218周界部238的平面部220的尺寸可以减小或从振动元件202中完全消除,只要由支撑件236提供的对周界部238的保持力足够强和持久,以防止压电元件210在压电式换能器装置的可接受寿命期间从电极212和214层离即可。

[0075] 图2B示出振动元件242的另一示例构造,其中,使用了凹形压电元件250。振动元件242可构造成与振动元件202类似,除了以下所述。在示例振动元件242中,参比电极252布置在凹形压电元件250的底表面下方,而驱动电极254布置在凹形压电元件250的顶表面上方。可选的膜层262可布置在参比电极252的底表面下方。振动元件242的底表面246可以是膜层262(如果存在)的底表面,或者是参比电极252的底表面(如果不使用膜层262)。此外,介电层264可沉积在压电元件和参比电极层上,以使驱动电极254与参比电极252绝缘,并且使驱动电极254与位于压电元件250顶表面上的中央区域之外的区域中的压电元件250绝缘。

[0076] 此外,可选的保护膜263可用于覆盖驱动电极254的顶表面。保护膜263的顶表面可充当振动元件242的暴露的顶表面,并在操作期间与传播介质接触。在一些实施方式中,保护膜263是薄介电层,其用于使驱动电极254与传播介质绝缘。

[0077] 此外,竖直取向的电互连266可将驱动电极254电连接到基底248中的控制/感测电

路270的活性连接垫268。竖直取向的电互连272可将参比电极252电连接到基底248中的控制/感测电路270的接地垫274。在一些实施方式中,参比电极252可以是连续的传导层,其跨越换能器装置中的整个换能器阵列。

[0078] 尽管图2B所示示例具有布置成较靠近基底248的参比电极252,而驱动电极254布置成远离基底248,但是在替代实施方式中,参比电极252和驱动电极248的位置可以颠倒过来。当参比电极252和驱动电极254的位置颠倒过来时,电互连266和272的长度可调节成连接到振动元件242中的恰当电极。

[0079] 如图2B所示,振动元件242与图2A所示的振动元件202类似,除了压电元件250、驱动电极254和参比电极252均包括朝向基底248弯曲的相应弯曲部。在一些实施方式中,凹形参比电极252、压电元件250和驱动电极254可通过将参比电极层、压电层和驱动电极层顺序地沉积在轮廓传递基层的顶表面上而形成,轮廓传递基层具有由平面部包围的凹部(或倒转的圆顶)。

[0080] 在一些实施方式中,与如图2A所示振动元件202类似,除了压电元件242的平面部260,振动元件242的弯曲部258的周界部278也在操作期间保持静止,而仅弯曲部258的中央部280响应于随时间变化的驱动电压而振动。

[0081] 尽管在一些实施方式中,图2A和2B示出接触电极214、212、254、252的底表面的电互连226、232、266、272,但是电互连可接触电极的顶表面。

[0082] 在一些实施方式中,振动元件242悬于基底248上方,并通过支撑件276(例如具有与压电元件250的弯曲部258对准的孔281的环形支撑件)附接到基底248。由于在图2B所示示例构造中使用凹形振动元件242,所以振动元件242的底表面246和基底248的顶表面之间的空间应当足够大,以当振动元件242在驱动电压或碰撞压力下产生最大位移时保持振动部280的底部不与基底242的顶表面接触。因此,支撑件276的厚度应当选择成容纳所预期的振动元件242的最大位移。

[0083] 尽管支撑件276用于支撑并悬置图2A和2B所示的振动元件,但是在一些实施方式中,一空腔可形成在基底(例如基底208或248)中,位于振动元件(例如振动元件202或242)的柔性部下方,以产生用于在操作(例如驱动和/或感测)期间容纳振动元件的位移的空间。或者,电互连226、272可以是支撑件(例如环形支撑件),其代替支撑件236、276限定出振动元件202、252与基底208、248之间的高度。

[0084] 尽管图2A和2B示出压电元件210、250作为单独振动元件的分立元件,但是压电元件可以是用于多个振动元件的连续层。

[0085] 尽管图2A和2B示出弯曲的振动元件202、242,但是替代地,振动元件可以是平坦的。图3A是示出中凸弯曲的压电元件302在所施加电压(例如在驱动期间)和所施加机械压力(例如在感测期间)下变形的示意图。

[0086] 在图3A中,假设压电元件302具有沉积态极化方向,其从压电元件302的左表面指向压电元件302的右表面,并局部垂直于压电元件302的两个表面。进一步假设驱动电极(未示出)布置成临近压电元件302的左表面,而参比电极(未示出)布置成临近压电元件302的右表面。例如,该构造对应于图2A所示构造。基于上述构造,施加在驱动电极和参比电极之间的压电元件302上的正电压可在压电元件302中导致从压电元件302的左表面指向右表面的电场。换言之,所施加的正电压在压电元件302中导致与压电元件302中的极化方向局部

对准和平行的电场。结果,压电元件302收缩,压电元件302的弯曲部向左缩回(显示为压电元件302”),弯曲的振动元件302的中心0沿其中心轴线从静止位置304向位于位置304左侧的新位置308移动。当去除所施加的正电压时,压电元件302的弯曲部扩张回其初始形状,弯曲的振动元件302的中心0返回其初始静止位置304。压电元件302的振动可将压力波310发送进位于压电元件302右侧的传播介质303中。

[0087] 在一些实施方式中,当在驱动电极和参比电极之间的压电元件302上施加负电压时,压电元件302可扩张,弯曲的压电元件302(现在显示为302’)的中心0可进一步向静止位置304的右侧移动至新位置306。当去除负电压时,弯曲的压电元件302的中心0可以返回其初始静止位置304。

[0088] 在一些实施方式中,包括交替的负电压和正电压信号的驱动信号可用于使振动元件在最大正位移位置和最大负位移位置(例如,与中心位置306、308相关联的位置)之间振动。在一些实施方式中,仅正电压用于驱动振动元件,正电压信号可施加为高于恒定参考电压的脉冲。在一些实施方式中,有利地,当驱动振动元件时避免使用负电压信号。例如,在图3A所示构造中,负驱动电压会引发反平行于压电元件302的极化方向的电场,这往往会使压电元件302去极化,并导致压电元件302的性能随时间推移而恶化。

[0089] 在一些实施方式中,当振动元件处于感测模式,且没有对弯曲的压电元件302施加电压时,弯曲的压电元件302可响应于所施加的机械压力变形。例如,当传播介质303中的压力波反射回振动元件并由振动元件的暴露表面截取时,压电元件302的弯曲表面可从静止位置被推向静止位置的左侧位置。弯曲的压电元件302的中心0可从静止位置304移至静止位置304左侧的新位置。由于变形,在振动元件302的左表面和右表面之间会产生电压差。电压差的定时和强度可用于确定传播介质303中密度和弹性模量的变化(由此,传播介质303中物体或结构变化的位置),密度和弹性模量的变化会导致压力波在传播介质303中反射。

[0090] 在一些实施方式中,换能器阵列中相同的振动元件既可用于驱动传播介质303中的压力波,又可用于感测从传播介质303反射的压力波。振动元件可基于由基底中的开关电路产生的控制信号而在驱动和感测模式之间切换。在一些实施方式中,用于驱动和感测的振动元件可以在换能器阵列中分离,例如,驱动用振动元件和感测用振动元件可交替地分布在换能器阵列中,并同步运行。

[0091] 尽管图3A示出具有指向右侧的沉积态极化方向的圆顶形或凸形压电元件302,但是用于驱动和感测圆顶形压电元件的振动的相同原理还适用于驱动和感测凹形或凸形压电元件的振动。

[0092] 例如,如图3B所示,假设凹形压电元件322具有从压电元件322的左表面指向右表面的沉积态极化方向,驱动电极(未示出)布置在凹形压电元件322的左侧,参比电极(未示出)布置在凹形压电元件322的右侧。

[0093] 根据上述构造,当在驱动电极和参比电极之间施加正电压时,能够在压电元件322中引发电场。引发的电场与压电元件322的极化方向对准和平行。结果,压电元件322可收缩(例如由压电元件322’表示),弯曲的压电元件322的中心0可移位至静止位置324右侧的新位置326。当去除正电压时,压电元件322返回其初始静止形状。振动元件322的振动会在与振动元件的暴露的凹表面接触的传播介质333中激发压力波330。

[0094] 类似地,当反射的压力波对振动元件322的凹形右表面施加机械压力时,压电元件

322可以延伸至左侧(例如由压电元件322”表示)。压电元件322的中心0可从其静止位置324移至新位置328,压电元件322的左表面和右表面之间会产生电压差。电压差的定时和强度可用于确定传播介质333中的密度和弹性模量的变化,并推断出传播介质333中会引起反射的压力波的物体或结构变化的位置。

[0095] 如先前所述,溅射的压电材料可具有大沉积态极化。用于溅射压电材料的一些环境包括在溅射期间的直流(DC)偏压。DC场使得压电材料在DC场的方向上极化。在一些实施方式中,沉积的压电层(例如溅射的PZT)中的沉积态极化方向可局部垂直于下面的轮廓传递基层的表面,并指向远离基层表面的方向。

[0096] 如果压电元件中期望的极化方向与沉积态极化方向不同,则将压电膜沉积在轮廓传递基层上,然后翻转过来,并粘合到另一基层以获得期望的极化方向。

[0097] 尽管图3A和3B示出弯曲的压电元件302、322,但是替代地,压电元件可以是平坦的。

[0098] 图4A示出凸形压电膜的局部横截面的扫描电子显微镜(SEM)图像400。图像400示出沉积在圆顶形铱电极层404上的溅射的PZT层402的颗粒结构。圆顶形铱电极层404悬于硅基层上方。

[0099] PZT层402内的颗粒结构大致是柱形的,所有或几乎所有柱形颗粒都局部垂直于弯曲的PZT层402的表面。当PZT逐渐沉积或生长在弯曲的底层(例如,刻蚀停止层或轮廓传递基层的弯曲表面上)上时,会出现图4A所示对准的柱形PZT颗粒结构。局部垂直于压电膜的弯曲表面的对准的柱形颗粒结构不会固有地出现在研磨为弯曲膜的大块压电材料中。这种颗粒对准和取向也不会固有地出现在注塑成型的弯曲压电膜中。

[0100] 当溅射的PZT膜中的颗粒结构与PZT膜的弯曲表面对准并局部垂直时,与具有随机取向的颗粒结构的膜(例如,由大块PZT或注射成型形成的膜)相比,在膜振动期间,膜内出现的局部内部应力量会减小。在局部内部应力量减小的情况下,具有如图4A所示对准的柱形颗粒的PZT膜可比使用其它常规方法(例如,通过研磨或通过注射成型)生产的膜具有较长使用寿命。

[0101] 图4B是溅射PZT膜402的弯曲部和平面部之间的过渡区域412附近的弯曲的溅射PZT膜402的放大SEM图像410。过渡区域412中的溅射PZT的颗粒结构朝向过渡区域412的中心挤压。过渡区域412在振动期间不如溅射的PZT膜402中的其它更均匀区域(其中颗粒结构更好地平行和对准)坚固。

[0102] 通常,在操作期间,在靠近压电膜的振动部和静止部之间的边界处的压电膜中会产生较大量的应力。结果,如果压电膜402的平面部和弯曲部之间的过渡点精确地放置在压电膜402的振动部和静止部之间的过渡点处(例如,当压电膜402仅在平面部而不在压电膜402的弯曲部固定到基底时),则压电膜402往往会在过度使用后断裂。

[0103] 在一些实施方式中,PZT膜402的弯曲部的周界部可固定到基底,并在操作期间保持静止(例如,如图2A-2B中的构造所示)。换言之,压电膜402中的弯曲部和平面部之间的较弱过渡点移动远离压电膜402的振动部和静止部之间的过渡点。或者,振动部和静止部之间的过渡点移至压电膜402的更强大、更好地对准的均匀部(例如,压电膜402的弯曲部)。通过将高应力区域移至压电膜402中的较强大区域,压电膜402不太倾向于因在压电膜402振动期间产生的内部应力而断裂。

[0104] 尽管图4A和4B示出包括溅射的压电层402和电极层404的弯曲压电膜,但是替代地,压电膜可以是平坦的。平坦的溅射压电层具有与弯曲的溅射压电层相同的柱形颗粒结构的益处。柱形颗粒结构局部垂直于平坦的压电层的表面。因为平坦的压电层是平面的,所以其不具有弯曲部和平面部之间的过渡区域。因此,平坦的压电膜在其附接至基底的情况下具有更好的柔性。

[0105] 如上所示,图2A-4B示出可用在换能器装置的换能器阵列中的单独振动元件的示例设计和结构。压电式换能器装置可包括一个或多个换能器阵列,每个换能器阵列包括多个振动元件。图5A示出示例六边形换能器阵列502,其可包括在超声波换能器装置504中。在示例实施方式中,约1000个具有25微米大小的振动元件506可分布在具有约3mm横向尺寸的六边形阵列502内。在另一示例实施方式中,约400个具有60微米大小的振动元件可分布在具有约3mm横向尺寸的六边形阵列内。在又一实施方式中,约378个具有60微米大小的振动元件可分布在具有2.13mm横向尺寸的方形阵列内。上述尺寸是说明性的,振动元件的其它尺寸和阵列大小、间距和布局也是可能的。例如,上述示例尺寸适用于用在血管内诊断或治疗用途中的超声波装置。

[0106] 图5B示出图5A所示换能器装置504中的换能器阵列502的横截面的透视图。如图5B所示,换能器阵列504的顶表面508暴露,并可与传播介质接触。当换能器阵列502中的振动元件506的顶表面响应于驱动电压振动时,振动元件506的顶表面的振动可导致在传播介质中产生压力波。

[0107] 如图5B所示,换能器阵列502中的振动元件506包括振动部510,振动部510悬于由环形支撑件(例如环形金属密封件514)生成的空腔或孔512上方,环形支撑件附接至振动部510以及基底516的顶表面。环形金属密封件514附接至振动元件506的平面部以及振动元件506的弯曲部的周界部。此外,支撑每个振动元件506的环形金属密封件514例如通过空气或真空间隙518与支撑其它振动元件506的环形金属密封件绝缘。在一些实施方式中,环形密封件514的厚度和宽度选择成密封件514基本防止换能器阵列502中的相邻振动元件506之间的振动串扰。在一些实施方式中,支持层可放入空腔512内,位于基底516的顶表面上方,以吸收从反射的压力波传递给振动元件506的能量,以便减少感测信号中的噪声和由振动元件506的振动引起的空腔512内的回波。

[0108] 尽管图5B示出弯曲的振动元件506,但是替代地,振动元件可以是平坦的。

[0109] 在一些实施方式中,可通过共晶键合工艺制成环形金属密封件514。例如,可在分立的过程中制备换能器阵列502的振动元件506和基底516。然后,可将能够使用共晶键合技术结合的金属分别镀在振动元件506阵列的底表面和基底516的顶表面上相应的位置。然后,可在镀有金属的位置处将振动元件506阵列结合到基底516。结合的金属可形成将振动元件506附接至基底516的环形密封件514。在一些实施方式中,其它适合材料(例如陶瓷)可用于形成密封件。

[0110] 在一些实施方式中,基底516包括ASIC层,用于给振动元件提供控制信号以及用于处理(例如,压缩、封装和发送)从振动元件接收的感测信号。因此,除了环形密封件514,电连接垫和连接凸起可镀在基底516的顶表面(通向基底516的ASIC层中的驱动/感测电路的电接地和活性元件)上。相应的电连接垫和连接凸起可镀在换能器阵列502的底表面上,其中,连接垫电连接到换能器阵列502中的振动元件506的单独驱动电极。



[0111] 基底516中的ASIC层包括对应于换能器阵列502的驱动或感测集成电路阵列,例如,一个电路用于每个振动元件506。ASIC层的阵列中的每个电路可具有相同的电路结构和功能。还存在对应于换能器阵列502和对应于ASIC层中的电路阵列的竖直延伸的电互连阵列,例如至少一个竖直延伸的电互连用于每个振动元件506,以连接到振动元件506的驱动电极。如果有用于换能器阵列502的共用参比电极,则至少一个竖直延伸的电连接件将基底516中的ASIC层连接到参比电极。可以有用于参比电极的竖直延伸的电连接件阵列,尽管可以有较少的竖直延伸的电连接件用于驱动电极。如果有用于每个振动元件的参比电极,则会有用于每个参比电极的竖直延伸的电连接件,即,两个竖直延伸的电连接件用于每个振动元件,一个用于驱动电极,一个用于参比电极。

[0112] 竖直延伸的电互连可由环形密封件514或其它传导元件提供,例如连接到焊盘520的竖直取向的电互连232(见图2A)。因此,每个振动元件506可通过相关联的竖直延伸互连而连接到ASIC中的相关联电路。在该构造中,来自振动元件的引线不需要换能器阵列表面上的相当大的空间。因此,与具有横向延伸的引线的系统相比,振动元件506可以更加紧密地封装,更紧密地封装可提高图像质量。

[0113] 当换能器阵列502的底表面和基底516的顶表面在金属环形密封件514处结合起来时(例如通过共晶键合工艺),镀在换能器阵列502底表面上的电连接凸起可以结合(例如通过共晶键合工艺)到镀在基底516顶表面上的电连接凸起,以形成竖直取向的电互连,其将换能器阵列502中的单独驱动电极电连接到它们位于基底516的ASIC层中的相应驱动和/或感测电路。此外,在一些实施方式中,接地电极可以是共享的公共接地电极,单个竖直取向的互连可以在接地电极和基底516的ASIC层中的电接地之间实现。例如,用于参比电极的单个竖直取向的互连还可使用共晶键合工艺形成。

[0114] 图5C示出换能器阵列502的放大顶视图,其示出振动元件506的柔性部、支撑柔性部的环形密封件514和关于驱动电极的电连接垫520。在一些实施方式中,驱动电极位于振动元件506的底部,到驱动电极的电连接可从驱动电极层中的电连接垫直接竖直地向下行进到基底516顶表面中的相应连接垫。在一些实施方式中,驱动电极位于振动元件506的顶部,到驱动电极的电连接可从驱动电极层中的电连接垫竖直向下行进通过压电层和参比电极层中的相应开口,到达位于基底516顶表面上的电连接垫。

[0115] 如先前本说明书所述,振动元件506的振动部的大小(例如半径)和换能器阵列502中的振动元件506的空间(或间距)可基于超声波换能器装置504的期望成像分辨率选择。振动元件的大小和振动元件之间的空间/间距越小,超声波换能器的分辨率越好。在一些实施方式中,振动元件506的柔性部的大小(例如半径)可以在20微米至70微米的范围内。换能器装置阵列的大小可基于换能器装置504的期望成像区域和期望大小进行选择。例如,对于血管内应用,阵列大小可制成在至少两个正交方向上小于2mm。

[0116] 在一些实施方式中,换能器阵列中的弯曲的振动元件的高度(例如,圆顶形或凹形压电元件的高度)可基于期望操作范围或共振频率以及用于匹配预期传播介质的阻抗的适合阻抗进行选择。例如,对于超声波换能器,共振频率可在20KHz至30MHz的范围内。对于医疗用途,共振频率通常在1MHz至15MHz的范围内。例如,振动元件506中的压电元件的厚度可以在3微米至6微米的范围内。例如,弯曲的压电元件的高度可以从1.5微米至10微米。换能器阵列的共振频率和阻抗被高度调节,以适应各种应用中的需要。在示例实施方式中,对于

具有50微米半径和25度圆顶角的圆顶形振动元件,共振频率为约14.3MHz,电阻抗在15MHz下为约1.2千欧姆。位移量为约每伏特82埃。

[0117] 在一些实施方式中,微圆顶/凹形换能器阵列的驱动电压可以是5-10伏特,以获得与使用以100-200伏特或更高驱动的常规超声波换能器装置可获得的信号强度相当的信号强度。例如,基于微圆顶/凹形阵列的超声波换能器装置在15MHz驱动频率下可具有高达3MPa/V的驱动效率。作为接收器,基于微圆顶阵列的超声波换能器装置在15MHz驱动频率下可具有高达0.5 $\mu$ V/Pa的灵敏度。此外,与在其它常规换能器技术中的20dB损失相比,基于微圆顶/凹形的换能器阵列可具有高达50% (6dB) 插入损失。

[0118] 在一些实施方式中,基于本说明书所述的半导体制造工艺,与换能器阵列可产生的超声波波长相比,微圆顶/凹形换能器阵列中的每个振动元件可制得十分小。此外,相邻振动元件之间的间距不局限于从大块压电材料中制成振动元件所使用的切割刀片的大小。因为换能器阵列可由小振动元件制成,并具有小于驱动波长一半的间距,所以每个振动元件可充当用于发射具有均匀圆形波前的波的点源。因此,整个振动换能器阵列可用于形成具有期望波前方向、焦点和形状而没有任何不期望的旁瓣的波束。此外,由于位于换能器阵列边缘的振动元件的辐射模式,振动元件的全向辐射模式还产生换能器装置的较大接受角。

[0119] 尽管如先前所述,在与振动元件的驱动电极相同的平面内可具有通向换能器阵列中的单独振动元件的导电迹线,但是当少量振动元件存在于换能器阵列(例如4 $\times$ 4阵列)中且振动元件之间的空间足够大(例如20-30微米)时,这样的迹线才是可能的。当高分辨率的紧凑换能器装置是期望的时,可以实施定位在换能器阵列正下方的集成ASIC层,其中,竖直取向的电互连可以形成在换能器阵列中的驱动电极和集成ASIC层之间。高分辨率的紧凑换能器装置可具有例如多于200个振动元件,例如1000个或更多个振动元件;小于约200微米的间距,例如介于100-200微米之间,65微米或更小或30微米或更小;和/或约小于0.25mm的分辨率,例如0.1mm或更小或0.06mm或更小。

[0120] 例如,当大量(例如1000)振动元件紧固地封装在小区域内时(例如3mm半径的圆内),在与驱动电极相同的平面内没有足够的空间用于使单独迹线从驱动电极延伸。替代地,竖直取向的电连接件可从用于每个驱动电极的小电连接垫制成至位于换能器阵列下方的基底中的集成ASIC层。集成ASIC层可具有多个由NMOS晶体管制成的电路层。ASIC层的设计可仅使用100-200个外部输入连接件容纳发送至换能器阵列中的相应驱动电极的大量单独控制的输出(例如1000-2000)。相同的外部输入连接件还可用作输出连接件,以将感测的电压信号发送至外部成像装置。

[0121] 图6示出可以在包括微圆顶/凹形换能器阵列的换能器装置602的基底中的集成ASIC层中实施的示例功能。集成ASIC层可显著地减少使用换能器装置所需的外部连接件数量。较少的外部连接件导致换能器装置的总体尺寸减小。此外,可以在换能器装置的ASIC层内的板上执行更多的数据处理,因此,还可以减少或简化用于处理驱动换能器阵列所需的信号和分析从换能器阵列接收的信号的外部设备。

[0122] 如图6所示,在一些实施方式中,可以经由ASIC层的少量外部输入连接件给ASIC层提供复合控制信号。复合控制信号可通过解序列化器604解序列化。解序列化的控制信号可被多路信号分离器606多路分离,用于多路分离信号的相应定时控制可添加到多路分离信

号。数模转换器608可在ASIC层中实施成将模拟控制信号转换为用于换能器阵列中单独振动元件的驱动电压信号。相应的时间延迟可通过可编程的时间延迟控制器610添加到单独的驱动电压信号,以产生期望的光束形状、焦点和方向。开关612可实施成在驱动模式和接收模式之间切换换能器阵列的操作。当换能器装置602处于接收模式时,可使用模数转换器614将接收的电压信号转换为模拟信号。模拟信号由数据压缩单元616压缩,并被多路复用器618多路传输。多路传输的信号可由串行化器620串行化,并经由ASIC层的外部输出连接件(例如,用于在驱动模式期间接收输入的相同的外部连接件)被发送回外部处理设备。上述功能仅仅是为了说明使用集成ASIC层可实施的功能。更多或更少功能可包括在各种实施方式的ASIC层中。此外,精确的实施方式,ASIC层是依赖于应用的,并依赖于换能器阵列的大小、形状和布局。

[0123] 在本说明书和权利要求书中比如“前”、“后”、“顶部”、“底部”、“左”、“右”、“上方”、“之上”和“下方”等术语的使用是为了描述系统的各部件的相对位置以及本文所述各部件的各部分的相对位置。类似地,在本说明书和权利要求书中任何水平或竖直术语的使用是为了描述系统的各部件的相对取向以及本文所述各部件的各部分的相对取向。除了下面阐述的相对取向或位置明确地表示为用于说明特定部件、系统或装置,否则这种术语的使用不意味着系统、装置、其部件或部分相对于(1)地球引力的方向;(2)地球地面或地平面;(3)系统、装置或其特定部件在实际制造、使用或运输时具有的方向;或(4)系统、装置或其特定部件在实际制造、使用或运输时可布置的表面的任何特定位置或取向。

[0124] 描述了本发明的许多实施例。然而,应理解,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以进行许多修改。例如,可以以不同顺序实施一些工序,修改工序,或者省略工序。振动元件、电极和电连接件的布局和构造可以改变。

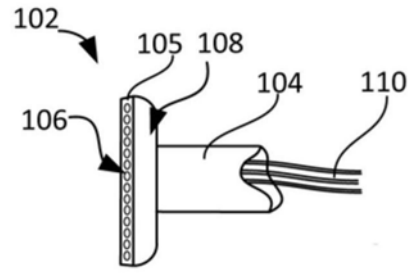


图1A

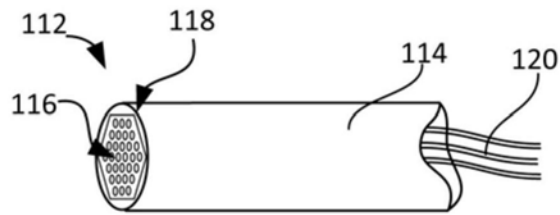


图1B

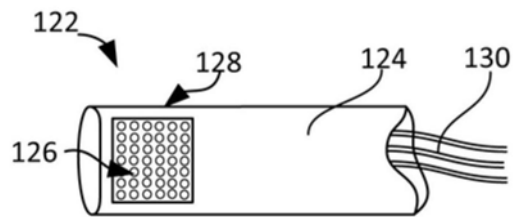


图1C

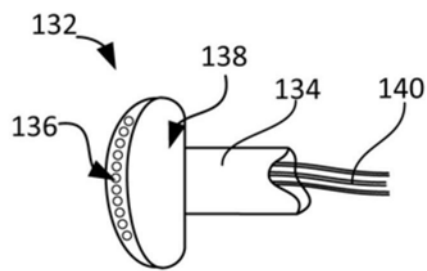


图1D

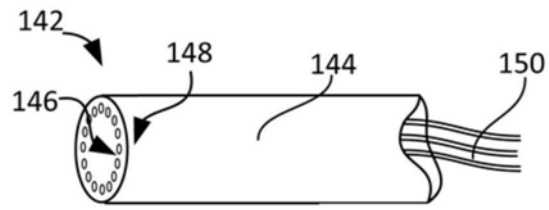


图1E

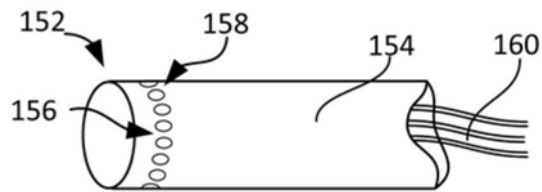


图1F

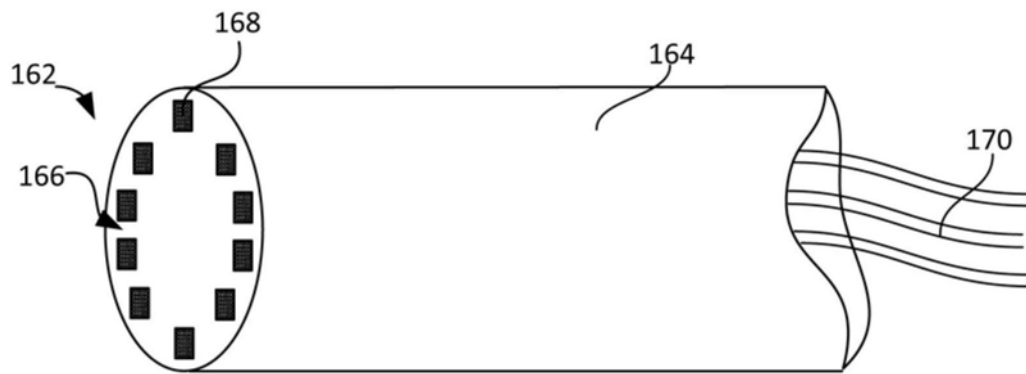


图1G

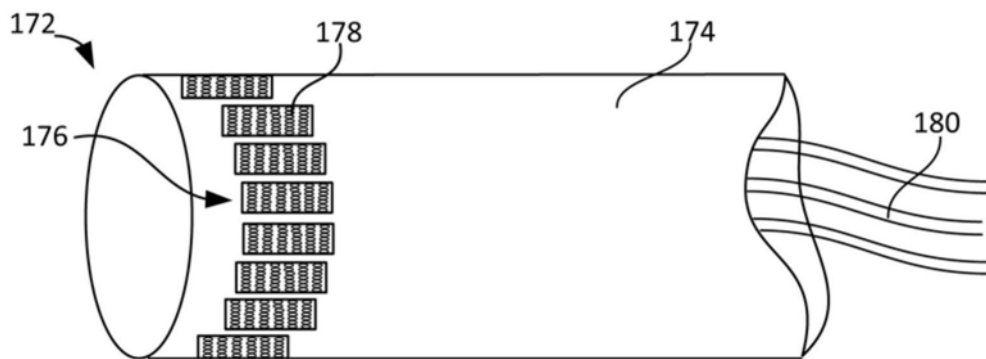


图1H

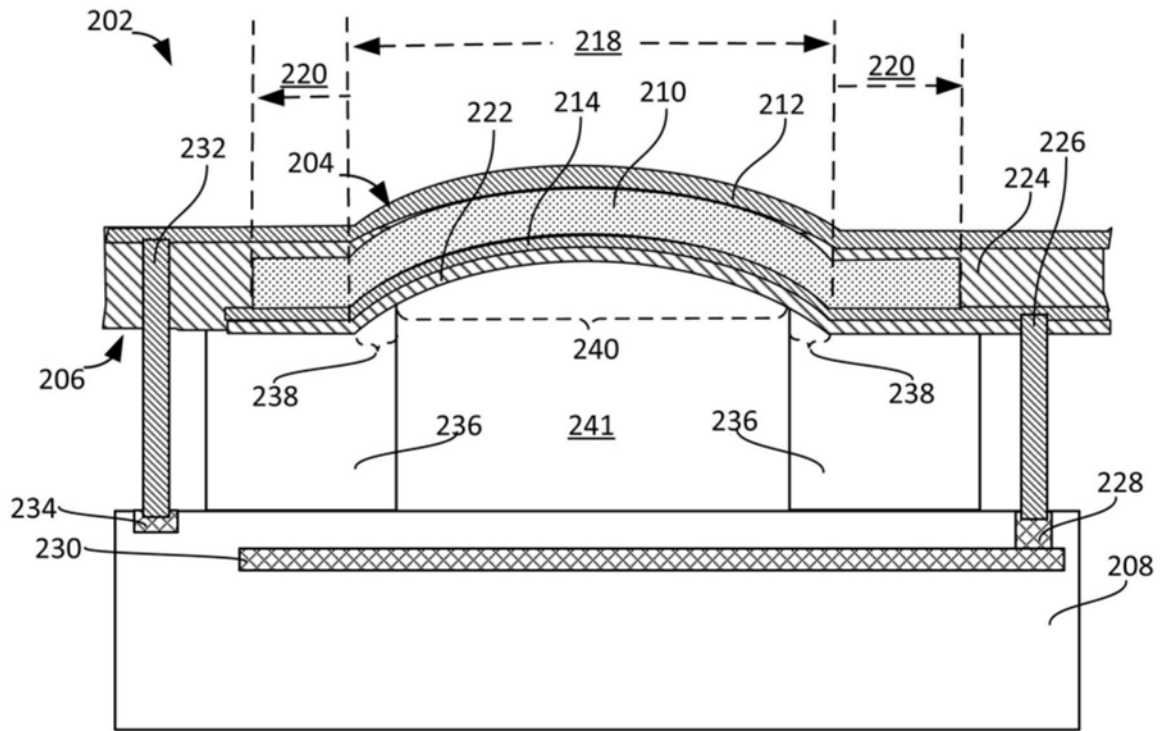


图2A

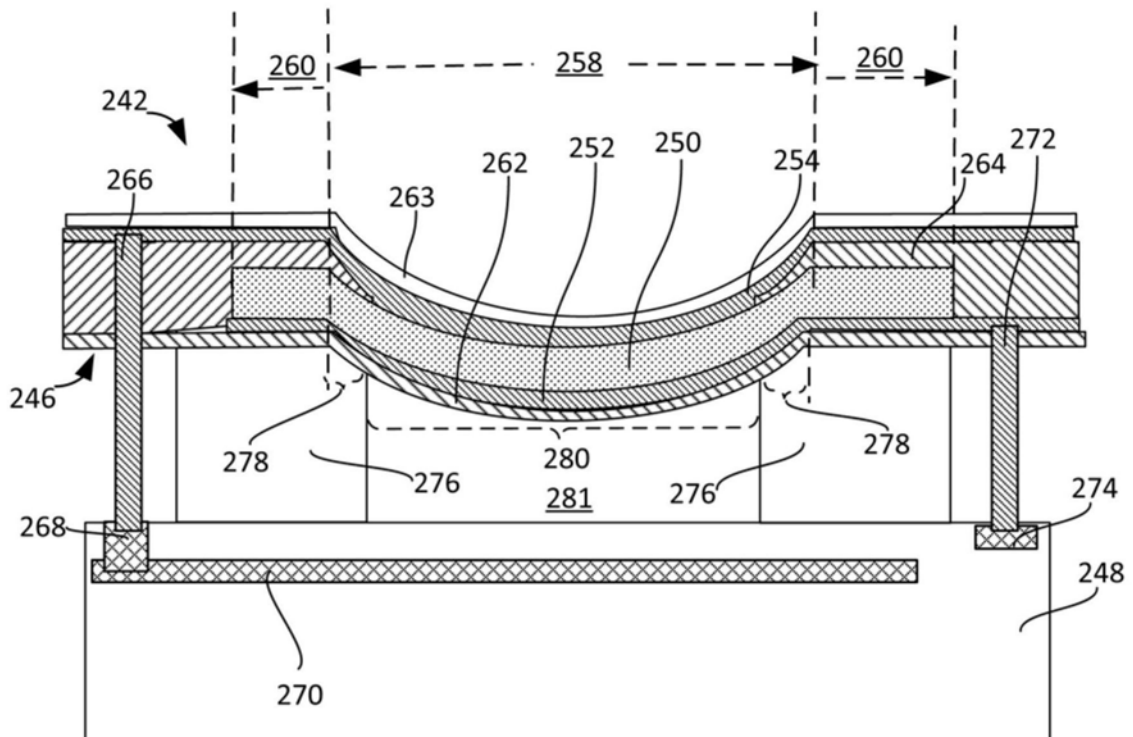


图2B

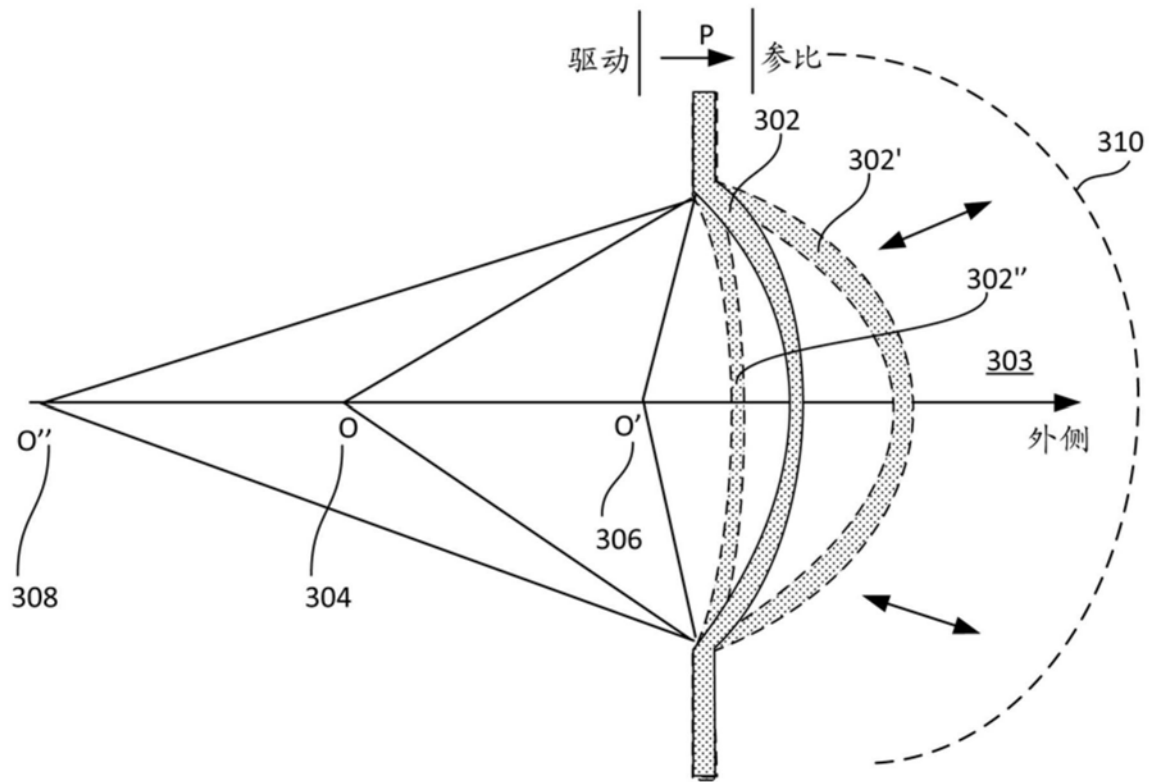


图3A

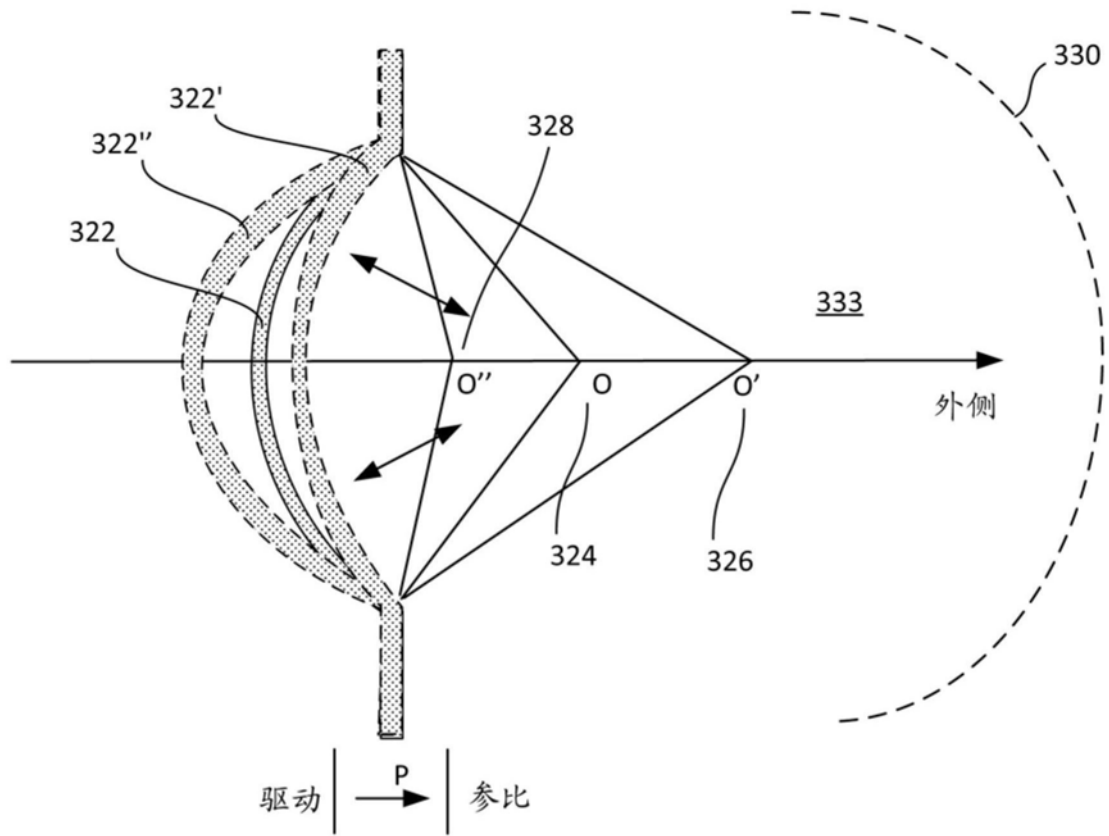


图3B

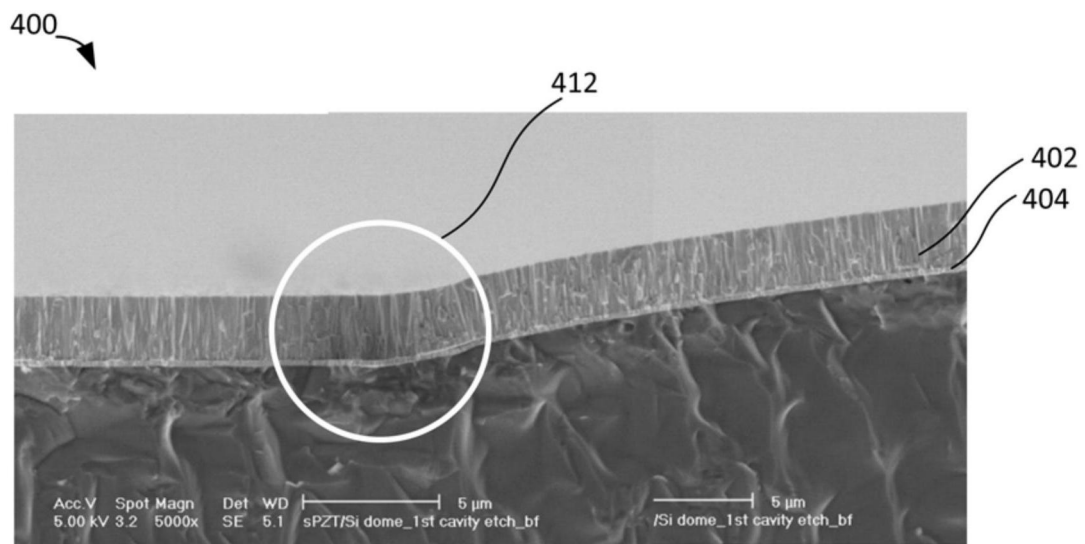


图4A



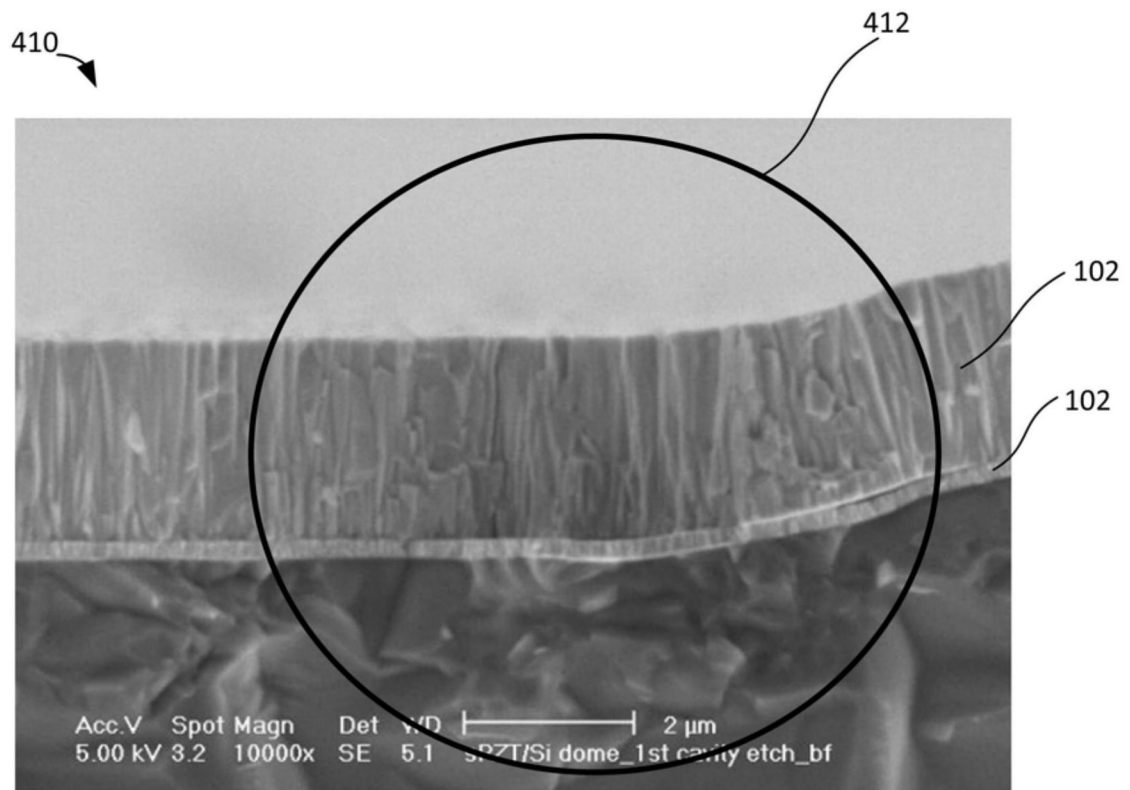


图4B

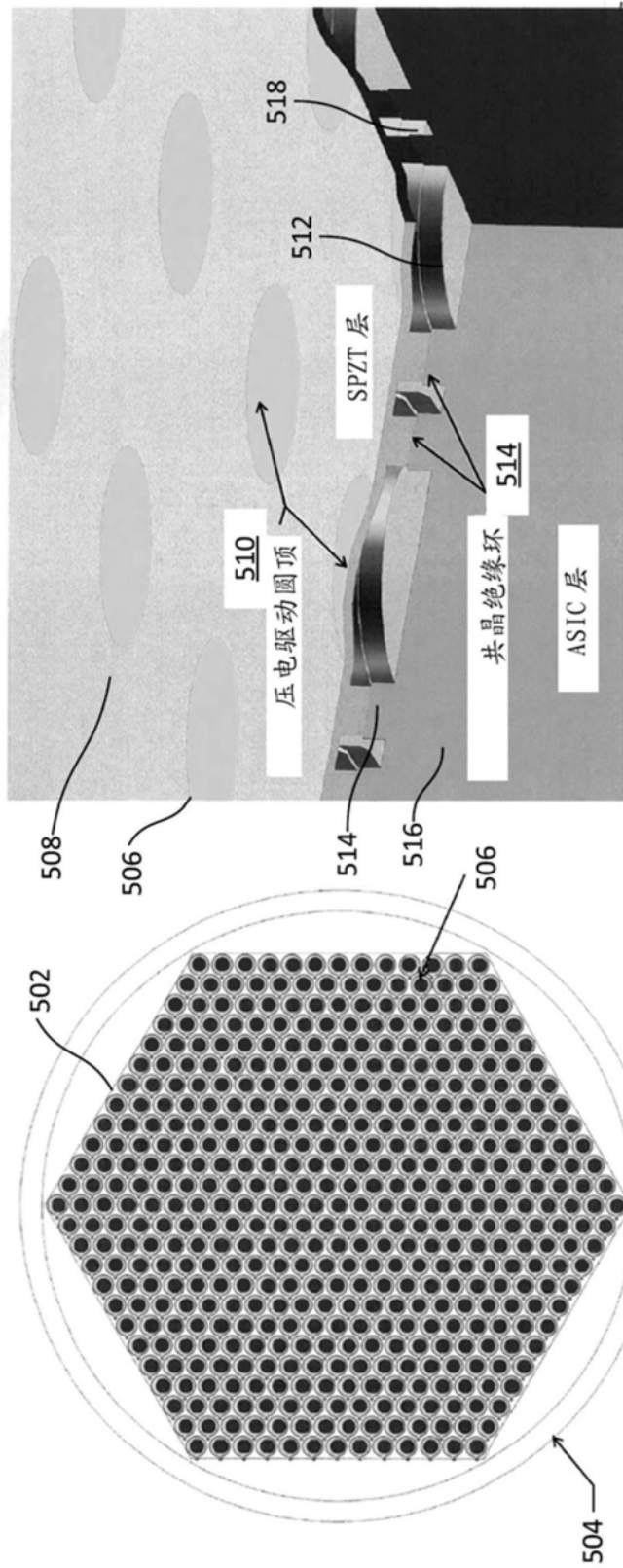


图 5B

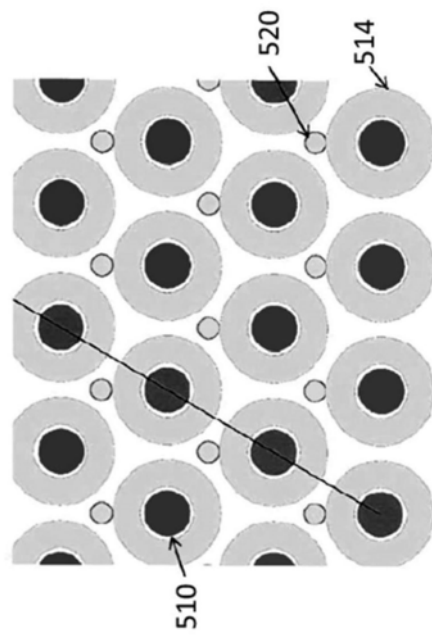


图 5C

图 5A

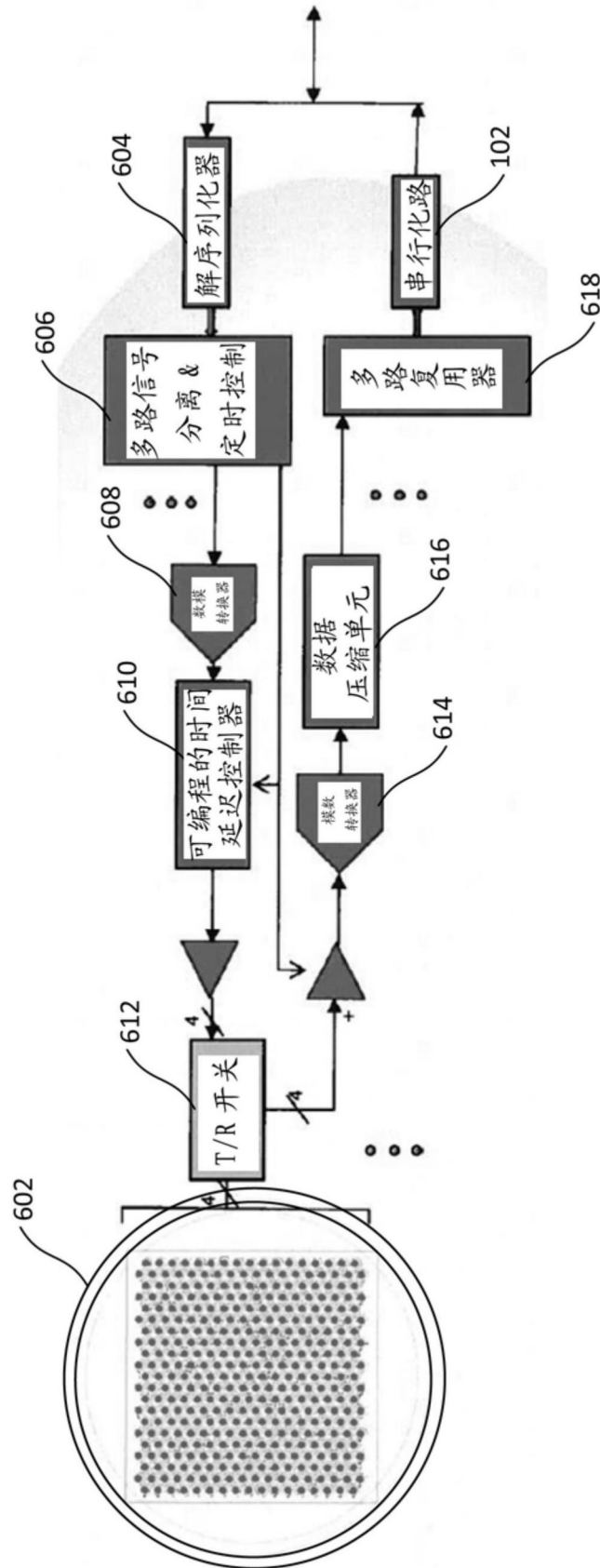


图6