(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108463720 B
(45)授权公告日 2021.03.23

(21)申请号 201680075266.X
(22)申请日 2016.10.19
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108463720 A
(43)申请公布日 2018.08.28
(30)优先权数据
62/244284 2015.10.21 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.06.21
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/057653 2016.10.19
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2017/070177 EN 2017.04.27

(73)专利权人 QORVO美国公司
地址 美国北卡罗来纳州
(72)发明人 R.莫尔顿 J.贝尔西克
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 徐晶 杨思捷

(51)Int.Cl.
G01N 29/02(2006.01)
B06B 1/06(2006.01)
G01N 29/24(2006.01)
H01L 41/083(2006.01)
H03H 9/17(2006.01)
H03H 9/02(2006.01)
G10K 11/04(2006.01)

审查员 丁晓燕

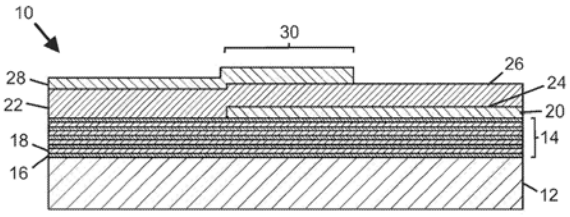
权利要求书3页 说明书13页 附图9页

(54)发明名称

具有声学振动的剪切模式和纵向模式的增强反射的谐振器结构

(57)摘要

一种牢固安装的谐振器结构包括多层声反射器结构和布置在第一电极结构和第二电极结构之间以形成有源区的压电材料层,其中所述声反射器结构提供声学振动的剪切模式和纵向模式的增强反射。所述牢固安装的谐振器结构构造成转换包含纵向分量和剪切分量的声波。所述声反射器结构包括多个顺次布置的差分声阻抗层单元,每个差分声阻抗层单元包括与高声阻抗材料层接触的低声阻抗材料层。对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配。



1.一种牢固安装的谐振器结构,其包括:

基材;

布置在所述基材之上且包括多个顺次布置的差分声阻抗层单元的声反射器结构,其中所述多个顺次布置的差分声阻抗层单元的每个差分声阻抗层单元包括与高声阻抗材料层接触的低声阻抗材料层;

布置在所述声反射器结构的至少一部分之上的至少一个第一电极结构;

布置在所述至少一个第一电极结构之上的压电材料层;和

布置在所述压电材料层的至少一部分之上的至少一个第二电极结构;

其中:

所述压电材料层的至少一部分布置在所述至少一个第一电极结构与所述至少一个第二电极结构之间以形成至少一个有源区;

所述牢固安装的谐振器结构构造成用于在所述至少一个有源区中转换具有纵向波长λ_L的声波;

每个差分声阻抗层单元的所述低声阻抗材料层的厚度在0.73 λ_L至0.82 λ_L范围内,并且

每个差分声阻抗层单元的所述高声阻抗材料层的厚度在0.13 λ_L至0.19 λ_L范围内。

2.根据权利要求1所述的牢固安装的谐振器结构,其中:

所述声反射器结构包括至少两个顺次布置的差分声阻抗层单元和至少一个另外的低声阻抗材料层。

3.根据权利要求1所述的牢固安装的谐振器结构,其中所述压电材料层包含六方晶体结构压电材料,所述六方晶体结构压电材料包含具有主要不平行于所述基材面的法线的取向分布的c-轴。

4.根据权利要求1所述的牢固安装的谐振器结构,其中在每个差分声阻抗层单元中,所述高声阻抗材料层的声阻抗是所述低声阻抗材料层的声阻抗的至少2.5倍。

5.根据权利要求1所述的牢固安装的谐振器结构,其中所述基材布置在背侧表面和所述声反射器结构之间,并且所述背侧表面包括构造成降低或消除背侧声反射的粗糙表面。

6.根据权利要求1所述的牢固安装的谐振器结构,其中:

所述至少一个第一电极结构包括多个第一电极结构;

所述至少一个第二电极结构包括多个第二电极结构;

所述牢固安装的谐振器结构的第一部分包括第一牢固安装的体声波谐振器装置,所述第一牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的一个第二电极结构之间的第一有源区;并且

所述牢固安装的谐振器结构的第二部分包括第二牢固安装的体声波谐振器装置,所述第二牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的另一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的另一个第二电极结构之间的第二有源区。

7.一种牢固安装的体声波谐振器芯片,其来源于根据权利要求6所述的牢固安装的谐振器结构。

8.一种传感器或微流体装置,其结合了根据权利要求7所述的牢固安装的体声波谐振器芯片。

9.一种牢固安装的谐振器结构,其包括:

基材;

布置在所述基材之上且包括多个顺次布置的差分声阻抗层单元的声反射器结构,其中所述多个顺次布置的差分声阻抗层单元的每个差分声阻抗层单元包括与高声阻抗材料层接触的低声阻抗材料层;

布置在所述声反射器结构的至少一部分之上的至少一个第一电极结构;

布置在所述至少一个第一电极结构之上的压电材料层;和

布置在所述压电材料层的至少一部分之上的至少一个第二电极结构;

其中:

所述压电材料层的至少一部分布置在所述至少一个第一电极结构与所述至少一个第二电极结构之间以形成至少一个有源区;

所述牢固安装的谐振器结构构造成在所述至少一个有源区中转换包括纵向分量和剪切分量的声波,由此所述压电材料层表现出纵向响应的第一谐波共振和第二谐波共振并且表现出剪切响应的第一谐波共振、第二谐波共振和第三谐波共振;并且

所述差分声阻抗层单元的各阻抗材料层的厚度被构造,使得对应于所述纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于所述剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配。

10.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中对应于所述纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率在对应于所述剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率的5%内。

11.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中所述声反射器结构包括第一、第二和第三低声阻抗材料层并且包括第一和第二高声阻抗材料层。

12.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中所述压电材料层包含六方晶体结构压电材料,所述六方晶体结构压电材料包含具有主要不平行于所述基材面的法线的取向分布的c-轴。

13.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中:

所述声波包含纵向波长λ_L;

每个差分声阻抗层单元的所述低声阻抗材料层的厚度在0.73 λ_L至0.82 λ_L范围内,并且

每个差分声阻抗层单元的所述高声阻抗材料层的厚度在0.13 λ_L至0.19 λ_L范围内。

14.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中在每个差分声阻抗层单元中,所述高声阻抗材料层的声阻抗是所述低声阻抗材料层的声阻抗的至少2.5倍。

15.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中所述基材布置在背侧表面和所述声反射器结构之间,并且所述背侧表面包括构造成降低或消除背侧声反射的粗糙表面。

16.根据权利要求9所述的牢固安装的谐振器结构,其中:

所述至少一个第一电极结构包括多个第一电极结构;

所述至少一个第二电极结构包括多个第二电极结构;

所述牢固安装的谐振器结构的第一部分包括第一牢固安装的体声波谐振器装置,所述第一牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的一个第一电极结

构与所述多个第二电极结构的一个第二电极结构之间的第一有源区;并且

所述牢固安装的谐振器结构的第二部分包括第二牢固安装的体声波谐振器装置,所述第二牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的另一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的另一个第二电极结构之间的第二有源区。

17.一种牢固安装的体声波谐振器芯片,其来源于根据权利要求16所述的牢固安装的谐振器结构。

18.一种传感器或微流体装置,其结合了根据权利要求17所述的牢固安装的体声波谐振器芯片。

具有声学振动的剪切模式和纵向模式的增强反射的谐振器结构

[0001] 有关申请的声明

[0002] 本申请要求2015年10月21日提交的临时专利申请序号62/244,284的权益,其全部公开内容通过引用结合到本文中。

技术领域

[0003] 本公开涉及谐振器结构,并且特别涉及反射声学振动的剪切模式和纵向模式的谐振器结构。

[0004] 背景

[0005] 生物传感器(或生物学传感器)是包括生物学元件和将生物学响应转化为电信号的转换器的分析装置。某些生物传感器涉及在特异性结合材料(例如,抗体、受体、配体等)与靶物质(例如,分子、蛋白、DNA、病毒、细菌等)之间的选择性生物化学反应,并且这种高度特异性反应的产物通过转换器转化为可测量的量。其他传感器可以利用能够结合可能存在于样品中的多种类型或种类的分子或其他部分的非特异性结合材料。术语“官能化材料”在本文中可以用于概括地涉及特异性结合材料和非特异性结合材料。与生物传感器一起使用的转换方法可以基于各种原理,诸如电化学、光学、电学、声学等。其中,声学转换提供了许多潜在的优点,诸如实时性、无标签、低成本以及表现出高灵敏度。

[0006] 声波装置采用传播经过特异性结合材料或在特异性结合材料的表面上传播的声波,由此传播路径的特性的任何改变都会影响波的速度和/或幅度。在声波装置的有源区上或之上存在官能化材料允许分析物结合到官能化材料上,从而改变被声波振动的物质并改变波传播特性(例如速度,从而改变共振频率)。速度的变化可以通过测量传感器的频率或相位特性来监测,并且可以与被测量的物理量相关联。

[0007] 由于具有高灵敏度、高分辨率和高可靠性的潜力,人们对用于高频传感应用的电声装置的兴趣日益浓厚。然而,将电声技术应用于某些传感器应用-特别是在液体/粘性介质中操作的传感器(例如,化学和生物化学传感器)-并不是平常的,因为纵向和表面波在这类介质中表现出相当大的声泄漏,从而抑制了传感能力。

[0008] 在压电晶体谐振器的情况下,声波可以表现为通过压电材料的内部(或“本体”)传播的体声波(BAW)。BAW装置通常涉及使用布置在压电材料的相对的顶表面和底表面上的电极来转换声波。在BAW装置中,三种波模式可以传播,即,一种纵向模式(表现为纵向波,也称为压缩波/拉伸波,和两种剪切模式(表现为剪切波,也称为横波),其中纵向模式和剪切模式分别确定其中质点运动与波传播方向平行或垂直的振动。纵向模式的特征在于在传播方向上的压缩和伸长,而剪切模式由垂直于传播方向的运动组成,而没有局部体积变化。纵向模式和剪切模式以不同的速度传播。实际上,这些模式不一定是纯粹的模式,因为质点振动或偏振既不是纯粹平行于传播方向,也不是纯粹垂直于传播方向。相应模式的传播特性取决于材料性质和相对于晶轴取向的传播方向。产生剪切位移的能力对于使用流体的声波装置的操作是有益的,因为剪切波不会赋予流体显著的能量。

[0009] 某些压电薄膜能够激发纵向模式共振和剪切模式共振两者，诸如包括氮化铝(AlN)和氧化锌(ZnO)的六方晶系压电材料。为了使用标准夹心电极构造装置激发包括剪切模式的波，压电薄膜中的偏振轴通常必须不垂直于膜平面(例如，相对于膜平面倾斜)。在涉及液体介质的生物传感应用中，使用谐振器的剪切分量，因为它不会被液体负载完全阻尼。在这种情况下，压电材料以相对于下面基材的面非垂直的c-轴取向分布生长，以使剪切分量能够相对于纵向分量增加。

[0010] 机电耦合系数(electromechanical coupling coefficient)是表示压电材料在给定声学模式下将电能转化成声能的效率的数值。改变六方晶系压电材料的c-轴倾角导致剪切和纵向耦合系数的变化。图1体现了各自作为AlN的c-轴倾角的函数的剪切耦合系数(K_s)和纵向耦合系数(K_1)的曲线图，尽管其他压电材料也显示出类似的行为。在某些角度(例如，46°和90°)处，纵向分量被最小化并且K_1具有零值，并且在某些角度(例如，0°和67°)处，剪切分量被最小化并且K_s具有零值。在C-轴倾斜的所有其他角度上，波传播的剪切分量和纵向分量都存在。用包括纵向模式和剪切模式的C-轴角度(例如，除了约0°、46°、67°和90°之外的角度)构建的装置被称为准剪切模式装置。

[0011] 牢固安装的谐振器BAW技术依赖于谐振器下方的反射结构(例如，反射器阵列、声反射镜等)以帮助将能量限制在谐振结构内。换句话说，反射结构将声能反射回谐振器并将谐振器与基材隔离。如果反射结构的反射率不完美，则能量将因泄漏到基材中而损失，这降低了谐振器的品质因子(Q)。用于牢固安装的谐振器BAW装置的典型反射器包括布置在基材和压电层之间的交替的高声阻抗层和低声阻抗层。

[0012] 四分之一波薄膜技术通常用于使用具有不同声阻抗的多层材料来产生反射堆叠(例如，有时称为布拉格反射器或光栅)。提供具有不同声阻抗的交替材料层促进反射离开层边界的波的相长干涉，并产生实现高反射率(低透射率)的频率带。使用二氧化硅[SiO_2]和钨[W]的五个交替层的组合的四分之一波反射器设计的典型透射率曲线图示于图2中。由于该曲线图没有剪切响应2A(例如，最小剪切透射率)和纵向响应2B(例如，最小纵向透射率)明显重叠的区域，所以该透射率图表现出剪切波泄漏。与四分之一波设计一起存在的剪切波泄漏(由于缺乏响应的重叠)可能降低谐振器的可获得的Q值。

[0013] 传统的声反射器不是非常适合在准剪切模式应用中为声谐振器的剪切模式提供高Q值，同时防止纵向分量和剪切分量从基材背面反射掉(这会干扰用结合了该谐振器的传感器获得的测定结果)。对于某些基于声谐振器的传感应用，常规声反射器倾向于在期望的工作频率下对于剪切模式和纵向模式中的至少一种表现出过量的透射率。

[0014] 因此，对于准剪切模式传感应用，需要能够增强剪切能量和纵向能量的反射的改善的声反射器。

[0015] 概述

[0016] 本公开提供了一种牢固安装的谐振器结构，所述谐振器结构包括提供声学振动的剪切模式和纵向模式的增强反射的多层反射器。更具体地讲，本公开提供一种牢固安装的谐振器结构，其包括布置在第一电极和第二电极之间并布置在声反射器结构之上的压电材料。牢固安装的谐振器结构构造成用于在至少一个有源区中转换具有纵向波长λ_L的声波。压电材料层表现出纵向响应的第一谐波共振和第二谐波共振并且表现出剪切响应的第一谐波共振、第二谐波共振和第三谐波共振。声反射器结构包括多个交替的高声阻抗层和低

声阻抗层，其中层厚度构造成使得对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配(例如，低声阻抗层具有介于0.73 λ_L至0.82 λ_L之间的厚度且高声学层具有介于0.13 λ_L至0.19 λ_L之间的厚度)。声反射器结构优选地使剪切模式和纵向模式的透射率最小化(例如，对于给定数量的层)。

[0017] 一方面，牢固安装的谐振器结构包括基材；布置在所述基材上方且包括多个顺次布置的差分声阻抗层单元的声反射器结构，其中所述多个顺次布置的差分声阻抗层单元的每个差分声阻抗层单元包括与高声阻抗材料层接触的低声阻抗层；布置在所述声反射器结构的至少一部分之上的至少一个第一电极结构；布置在所述至少一个第一电极结构之上的压电材料层；以及布置在所述压电材料层的至少一部分之上的至少一个第二电极结构；其中所述压电材料层的至少一部分布置在所述至少一个第一电极结构与所述至少一个第二电极结构之间以形成至少一个有源区；所述牢固安装的谐振器结构构造成在所述至少一个有源区中转换具有纵向波长λ_L的声波；每个差分声阻抗层单元的低声阻抗材料层包含在0.73 λ_L至0.82 λ_L范围内的厚度，并且每个差分声阻抗层单元的高声阻抗材料层的厚度在0.13 λ_L至0.19 λ_L的范围内。

[0018] 在某些实施方案中，声反射器结构包括至少两个顺次布置的差分声阻抗层单元和至少一个另外的低声阻抗材料层。

[0019] 在某些实施方案中，压电材料层包含六方晶体结构压电材料，所述六方晶体结构压电材料包含具有主要不平行于基材面的法线的取向分布的c-轴。

[0020] 在某些实施方案中，在每个差分声阻抗层单元中，高声阻抗材料层的声阻抗是低声阻抗材料层的声阻抗的至少约2.5倍。

[0021] 在某些实施方案中，所述基材布置在背侧表面和声反射器结构之间，并且所述背侧表面包括构造成降低或消除背侧声反射的粗糙表面。

[0022] 在某些实施方案中，所述至少一个第一电极结构包括多个第一电极结构；所述至少一个第二电极结构包括多个第二电极结构；所述牢固安装的谐振器结构的第一部分包括第一牢固安装的体声波谐振器装置，所述第一牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的一个第二电极结构之间的第一有源区；并且所述牢固安装的谐振器结构的第二部分包括第二牢固安装的体声波谐振器装置，所述第二牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的另一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的另一个第二电极结构之间的第二有源区。在某些实施方案中，牢固安装的体声波谐振器芯片来源于牢固安装的谐振器结构。在某些实施方案中，传感器或微流体装置结合了牢固安装的体声波谐振器芯片。

[0023] 一方面，牢固安装的谐振器结构包括基材；布置在所述基材之上且包括多个顺次布置的差分声阻抗层单元的声反射器结构，其中所述多个顺次布置的差分声阻抗层单元的每个差分声阻抗层单元包括与高声阻抗材料层接触的低声阻抗层；布置在所述声反射器结构的至少一部分之上的至少一个第一电极结构；布置在所述至少一个第一电极结构之上的压电材料层；以及布置在所述压电材料层的至少一部分之上的至少一个第二电极结构；其中所述压电材料层的至少一部分布置在所述至少一个第一电极结构与所述至少一个第二电极结构之间以形成至少一个有源区；所述牢固安装的谐振器结构构造成在所述至少一个有源区中转换包括纵向分量和剪切分量的声波，由此所述压电层表现出纵向响应的第一谐

波共振和第二谐波共振并且表现出剪切响应的第一谐波共振、第二谐波共振和第三谐波共振;并且对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配。

[0024] 在某些实施方案中,对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率在对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率的约5%内。

[0025] 在某些实施方案中,声反射器结构包括第一、第二和第三低声阻抗材料层并且包括第一和第二高声阻抗材料层。声反射器结构不特别限于上述五层结构;因此,在某些实施方案中,限于这些层,并且在其他实施方案中,可以提供一个或多个附加的低声阻抗材料层和/或一个或多个附加的高声阻抗材料层。

[0026] 在某些实施方案中,压电材料层包含六方晶体结构压电材料,所述六方晶体结构压电材料包含具有主要不平行于基材面的法线的取向分布的c-轴。

[0027] 在某些实施方案中,声波包含纵向波长λ_L;每个差分声阻抗层单元的低声阻抗材料层的厚度在0.73 λ_L至0.82 λ_L范围内,并且每个差分声阻抗层单元的高声阻抗材料层的厚度在0.13 λ_L至0.19 λ_L的范围内。

[0028] 在某些实施方案中,在每个差分声阻抗层单元中,高声阻抗材料层的声阻抗是低声阻抗材料层的声阻抗的至少约2.5倍。

[0029] 在某些实施方案中,所述基材布置在背侧表面和声反射器结构之间,并且所述背侧表面包括构造成降低或消除背侧声反射的粗糙表面。

[0030] 在某些实施方案中,所述至少一个第一电极结构包括多个第一电极结构;所述至少一个第二电极结构包括多个第二电极结构;所述牢固安装的谐振器结构的第一部分包括第一牢固安装的体声波谐振器装置,所述第一牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的一个第二电极结构之间的第一有源区;并且所述牢固安装的谐振器结构的第二部分包括第二牢固安装的体声波谐振器装置,所述第二牢固安装的体声波谐振器装置包括布置在所述多个第一电极结构的另一个第一电极结构与所述多个第二电极结构的另一个第二电极结构之间的第二有源区。在某些实施方案中,牢固安装的体声波谐振器芯片来源于牢固安装的谐振器结构。在某些实施方案中,传感器或微流体装置结合了牢固安装的体声波谐振器芯片。

[0031] 本领域技术人员在结合附图阅读优选实施方案的以下详细描述之后,将会理解本公开的范围并且认识到其附加方面。

[0032] 附图简述

[0033] 结合到本说明书中并形成本说明书的一部分的附图图示了本公开的几个方面,并且与说明书一起用于解释本公开的原理。

[0034] 图1是作为氮化铝(AlN)的剪切耦合系数(K_s)和纵向耦合系数(K_l)与c-轴倾角的函数关系的曲线图;

[0035] 图2是使用二氧化硅[SiO_2]和钨[W]的交替层的包括五层四分之一波反射器的比较结构的反射器透射率与频率的函数关系的透射率曲线图,所述曲线图图示在显著不同的频率下的最小剪切透射率和最小纵向透射率;

[0036] 图3A是根据本公开的一个实施方案的包括多层声反射器结构的体声波(BAW)微机电系统(MEMS)谐振器装置的一部分的示意性横截面图;

[0037] 图3B是根据一个实施方案的包括覆盖有气密层、界面层、自组装单层和官能化材料层的顶侧电极的体声波MEMS谐振器装置的上部的示意性横截面图；

[0038] 图4是根据一个实施方案的具有上覆层以及包括交替的高和低声阻抗的反射器层的声反射器结构的BAW MEMS谐振器装置的一部分的示意性横截面图；

[0039] 图5是根据一个实施方案的流体装置(例如,生物化学传感器装置)的一部分的示意性横截面图,所述流体装置包括由BAW谐振器结构从下面分界,由壁从侧面分界,并且由限定沿流体装置的上或顶表面布置的流体端口的覆盖物从上面分界的微流体通道；

[0040] 图6A示出包括七个交替的SiO_2/W层的声反射器结构的反射器透射率与频率的函数关系的示例性透射率曲线图,其中这些层的厚度构造成在期望的频率下优化剪切透射率和纵向透射率,使得在第三谐波处的最小剪切透射率和在第二谐波处的最小纵向透射率以基本相同的频率出现；

[0041] 图6B示出图6A的七层声反射器结构的每个层的示例性厚度的表格,其中层厚度定义为纵向波长λ_L的分数倍数；

[0042] 图7A示出包括由交替的SiO_2/AlN层组成的十三层的声反射器结构的反射器透射率与频率的函数关系的示例性透射率曲线图,其中这些层的厚度构造成优化在期望的频率下的剪切透射率和纵向透射率,使得在第三谐波处的最小剪切透射率和在第二谐波处的最小纵向透射率以基本相同的频率出现；

[0043] 图7B示出图7A的十三层声反射器结构的每个层的示例性厚度的表格,其中层厚度定义为纵向波长λ_L的分数倍数；

[0044] 图8A示出包括由四个交替的SiO_2/AlN层和五个SiO_2/W层组成的九层反射器的声反射器结构的反射器透射率与频率的函数关系的示例性透射率曲线图,其中这些层的厚度构造成优化在期望的频率下的剪切透射率和纵向透射率,使得在第三谐波处的最小剪切透射率和在第二谐波处的最小纵向透射率以基本相同的频率出现；

[0045] 图8B示出图8A的九层声反射器的每个层的示例性厚度的表格,其中层厚度定义为由声反射器反射的声波的纵向波长λ_L的分数倍数；

[0046] 图9是确定根据本公开的各种实施方案的用于与声反射器结构一起使用的示例性低阻抗材料和高阻抗材料和密度和声阻抗值的表格。

[0047] 详述

[0048] 下面阐述的实施方案表示使本领域技术人员能够实践实施方案并且示出实践该实施方案的最佳模式的必要信息。在参照附图阅读以下描述后,本领域技术人员将理解本公开的概念并且将认识到这里未特别提到的这些概念的应用。应该理解,这些概念和应用落入本公开和所附权利要求的范围内。

[0049] 应该理解,虽然术语第一、第二等在本文中可以用于描述各种元件,但是这些元件不应受这些术语的限制。这些术语仅用于区分一个元件与另一元件。例如,在不背离本公开的范围的情况下,第一元件可以被称为第二元件,并且类似地,第二元件可以被称为第一元件。如本文所用的术语“和/或”包括一个或多个相关所列项目的任一和所有组合。

[0050] 还应该理解,当元件被称为“连接”或“耦合”到另一元件时,其可以直接连接或耦合到另一元件,或者可以存在中间元件。相反,当元件被称为“直接连接”或“直接耦合”到另一元件时,则不存在中间元件。

[0051] 应该理解，尽管术语“上部”、“下部”、“底部”、“中间”、“中部”、“顶部”等在本文中可以用于描述各种元件，但是这些元件不应受这些术语限制。这些术语仅用于区分一个元件与另一元件。例如，在不背离本公开的范围的情况下，第一元件可以被称为“上部”元件，并且类似地，第二元件可以被称为“上部”元件，这取决于这些元件的相对取向。

[0052] 这里使用的术语仅用于描述具体实施方案的目的，并非旨在限制本公开。如本文所用，除非上下文另外清楚地指出，否则单数形式“一个”、“一种”和“该”也旨在包括复数形式。还应当理解的是，当在本文中使用时，术语“包含(comprises，comprising)”和/或“包括(includes，including)”指明存在所陈述的特征、整数、步骤、操作、元件和/或部件，但并不排除一个/种或多个/种其他特征、整数、步骤、操作、元件、部件和/或其组群的存在或增加。

[0053] 除非另外定义，否则本文使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)均具有与本公开所属领域的普通技术人员通常所理解相同的含义。将进一步理解的是，本文中使用的术语应该被解释为具有与其在本说明书的上下文和相关领域中的含义一致的含义，并且不应被理解为理想化或过度正式的意义，除非在此明确地如此定义。

[0054] 本公开提供了一种牢固安装的谐振器结构，所述谐振器结构包括提供声学振动的剪切模式和纵向模式的增强反射的多层反射器。更具体地讲，本公开提供一种牢固安装的谐振器结构，其包括布置在第一电极和第二电极之间并布置在声反射器结构之上的压电材料。所述牢固安装的谐振器结构构造成用于在至少一个有源区中转换具有纵向波长λ_L的声波。压电材料层表现出纵向响应的第一谐波共振和第二谐波共振并且表现出剪切响应的第一谐波共振、第二谐波共振和第三谐波共振。声反射器结构包括多个交替的高声阻抗层和低声阻抗层，其中层厚度构造成使得对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配(例如，低声阻抗层具有介于0.73 λ_L至0.82 λ_L之间的厚度且高声学层具有介于0.13 λ_L至0.19 λ_L之间的厚度)。

[0055] 声反射器结构可以与布置用于准剪切模式操作并构造成与液体一起使用如用于感知一种或多种分析物在液体或其他粘性介质中的存在和/或浓度的声谐振器一起使用。声反射器结构优选地使剪切模式和纵向模式的透射率最小化(例如，对于给定数量的层)。声反射器结构利用反射器结构的透射率特性的重叠谐波，这是由材料的不同剪切和纵向声速引起的。在某些实施方案中，可以使用各种类型的反射器结构设计，但是这些结构设计可以改变，使得最靠近谐振器的两层构造成提供期望水平的透射率和温度补偿。本文公开的声反射器结构适用于不同的材料系统，以实现液体传感应用所需的高Q准剪切谐振器性能。

[0056] 图3A是根据本公开的一个实施方案的包括多层声反射器结构的体声波微机电(MEMS)谐振器装置10的一部分的示意性横截面图。体声波MEMS谐振器装置10包括基材12(例如，通常为硅或另一种半导体材料)、布置在基材12之上的声反射器14、压电材料22以及底侧和顶侧电极20、28。底侧电极20沿压电材料22的下表面24的一部分(在声反射器14与压电材料22之间)布置，并且顶侧电极28沿压电材料22的上表面26的一部分布置。压电材料22布置在顶侧电极28和底侧电极20的重叠部分之间的区域被认为是谐振器装置10的有源区30。声反射器14用于反射声波并因此降低或避免其在基材12中的耗散。声反射器14包括沉积在基材12之上的不同材料(例如，碳氧化硅[SiOC]、氮化硅[Si_3N_4]、二氧化硅[SiO_2]、氮化铝[AlN]、钨[W]和钼[Mo])的交替薄层16、18。用于形成谐振器装置10的步骤可以包括将声反射器14的层16、18沉积在基材12之上，然后沉积底侧电极20，之后生长(例如，经由溅射或

其他适当方法)压电材料22,然后沉积顶侧电极28。

[0057] 声反射器14包括低声阻抗材料层16和高声阻抗材料层18的交替层,其中声反射器14的顶层和底层是低声阻抗材料层16。每对一个低声阻抗材料层16和相邻的高声阻抗材料层18可以被视为声阻抗层单元,其中声反射器14包括多个声阻抗层单元。在某些实施方案中,高声阻抗材料层18的声阻抗是差分声阻抗材料单元的低声阻抗材料层16的声阻抗的至少约2.5倍。

[0058] 在某些实施方案中,低声阻抗材料层16和高声阻抗材料层18的厚度构造成使声学振动的纵向模式和剪切模式的透射率最小化。如下文中更详细解释,高声阻抗材料层18和低声阻抗材料层16的厚度构造成使得对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率与对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率基本匹配(或基本类似)(例如,低声阻抗材料层16具有0.73 λ_L至0.82 λ_L之间的厚度,并且高声阻抗材料层18具有0.13 λ_L至0.19 λ_L之间的厚度,其中λ_L表示声波在至少一个有源区中的纵向波长。在某些实施方案中,对应于纵向响应的第二谐波共振的最小透射率的频率在对应于剪切响应的第三谐波共振的最小透射率的频率的约5%、约4%、约3%、约2%或约1%内(例如,基本匹配)。换句话说,声反射器构造成在剪切透射率响应的第二谐波与纵向透射率响应的第三谐波之间在期望的频率范围下提供谐波重叠,这由给定材料中剪切模式和纵向模式的声速差(例如,V_S/V_L在约0.56至约0.63范围内)产生。这种响应由具有如本文公开并要求保护的厚度范围的多个差分声阻抗层单元提供。在某些实施方案中,低声阻抗材料层16全部具有相同的厚度(例如,第一厚度),并且高声阻抗材料层18全部具有相同的厚度(例如,第二厚度)。在某些实施方案中,低声阻抗材料层16不全部具有相同的厚度和/或高声阻抗材料层18不全部具有相同的厚度。

[0059] 在某些实施方案中,如在下文中更详细地解释,结合了本文公开的声反射器14的牢固安装的谐振器结构是基于液体的传感器的一部分,其中声反射器14构造成朝向谐振器结构的有源区反射声学振动的纵向模式和/或剪切模式,从而防止或至少明显降低牢固安装的谐振器结构的基材中的剪切模式和纵向模式的耗散。这降低或消除了可能干扰传感器测量的来自基材12(例如,Si基材)的声学振动的剪切模式和纵向模式的背侧反射。另外,在某些实施方案中,基材12布置在谐振器装置的背侧表面和声反射器14之间,并且该背侧表面(例如,表现为基材的表面)被粗糙化以进一步降低或消除背侧声反射。

[0060] 图3A所示的体声波MEMS谐振器装置10缺乏覆盖有源区30的任何层(例如,包括官能化材料),其将允许装置10用作生物化学传感器。如果需要,根据图3A的体声波MEMS谐振器装置10的至少部分(例如,包括有源区30)可以用各种层覆盖。如图3B所示,压电层22和顶侧电极28可以用气密层42(例如,以保护顶侧电极28免受液体环境中的腐蚀影响)、界面层54(例如,以确保官能化材料的附着)以及官能化材料层32覆盖,官能化材料层32可以包含特异性结合材料或非特异性结合材料。在某些实施方案中,可以在官能化材料层32之前沉积自组装单层(SAM)56以促进官能化材料的附着。在某些实施方案中,可以在制造期间诸如在界面层的部分之上施用一种或多种封闭材料以防止一个或多个随后沉积的层局部附着或(如果施用在SAM或官能化材料的选定区域之上)以防止未覆盖有源区的区域中的分析物捕获。

[0061] 在某些实施方案中,可以使用光刻来促进MEMS谐振器装置的部分之上的界面材料

或封闭材料的图案化。光刻涉及使用光将光掩模上的几何图案转移到基材上的光敏化学光致抗蚀剂，并且是半导体制造领域的普通技术人员公知的方法。光刻中采用的典型步骤包括晶片清洁、光致抗蚀剂应用(包括正性或负性光致抗蚀剂)、掩模对准以及曝光和显影。在特征被限定在期望表面上的光致抗蚀剂中之后，界面层可以通过在光致抗蚀剂层中限定的一个或多个间隙中蚀刻来图案化，并且随后可以除去光致抗蚀剂层(例如，使用液体光致抗蚀剂剥离剂，通过经由施用含氧等离子体灰化，或其他除去工艺)。

[0062] 在某些实施方案中，界面层(例如，可布置在顶侧电极和SAM之间)包括适合形成有机硅烷SAM的羟基化氧化物表面。包含羟基化氧化物表面的优选界面层材料是SiO_2。结合了用于形成界面层的羟基化氧化物表面的替代材料包括二氧化钛[TiO_2]和五氧化二钽[Ta_2O_5]。结合了羟基化氧化物表面的其他替代材料对于本领域技术人员来说是已知的，并且这些替代方案被认为是在本公开的范围内。

[0063] 在其他实施方案中，界面层(例如，可以布置在顶侧电极和SAM之间)或至少一个没有上覆界面层的电极包含金或另一贵金属(例如，钌、铑、钯、锇、铱、铂或银)，其适合接收可以用官能化材料覆盖的基于巯基的SAM。

[0064] 在结合了受腐蚀的电极材料的某些实施方案中，可以在顶侧电极和界面层之间施用气密层。当贵金属(例如，金、铂等)用于顶侧电极时，可能不需要气密层。如果提供，气密层优选包含具有低水蒸气传输速率(例如，不大于0.1 g/m^2/天)的介电材料。在沉积气密层和界面层之后，可以在界面层之上形成SAM，其中在某些实施方案中SAM包含有机硅烷材料。气密层保护反应性电极材料(例如，铝或铝合金)免受腐蚀性液体环境的侵袭，并且界面层有利于SAM的适当化学结合。

[0065] 在某些实施方案中，可以经由诸如原子层沉积(ALD)、化学气相沉积或物理气相沉积的一种或多种沉积工艺来施用气密层和/或界面层。在上述工艺之中，由于ALD能够在装置特征之上提供具有良好的逐步覆盖率的优良的保形涂层，所以优选使用ALD来沉积至少气密层(并且也可以用于沉积界面层)，从而提供没有针孔的层结构。此外，ALD能够形成均匀的薄层，该薄层对声学振动提供相对较小的阻尼，否则该阻尼会导致装置性能下降。对于气密层(如果存在)来说，充分的覆盖率是重要的，从而避免下面的电极的腐蚀。如果使用ALD来沉积气密层，则在某些实施方案中，气密层的厚度可以在约5 nm至约100 nm、约5 nm至约50 nm、或约10 nm至约25 nm的范围内。在某些实施方案中，气密层厚度为约15 nm、或约12 nm至约18 nm。相反，如果使用诸如化学气相沉积的另一种工艺，则气密层的厚度可以在约80 nm至约150 nm或更大范围内、或在约80 nm至约120 nm范围内。考虑到上述两种工艺，气密层厚度可以在约5 nm至约150 nm的范围内。如果使用ALD来沉积界面层，则界面层的厚度可以在约5 nm至约50 nm、或约5 nm至约15 nm的范围内。在某些实施方案中，界面层的厚度可以为约10 nm，或在约8 nm至约12 nm范围内。在某些实施方案中，可以使用其他界面层厚度范围和/或除ALD之外的沉积技术。在某些实施方案中，气密层和界面层可以在真空环境中顺序地施用，由此促进这两层之间的高品质界面。

[0066] 如果提供，则根据某些实施方案，气密层可以包含用作介电材料并且具有低水蒸气传输速率(例如，不大于0.1 (g/m^2/天))的氧化物、氮化物或氮氧化物材料。在某些实施方案中，气密层包含Al_2O_3或SiN中的至少一种。在某些实施方案中，界面层包含SiO_2、TiO_2或Ta_2O_5中的至少一种。在某些实施方案中，多种材料可以组合在单个气密层中，和/或气密层

可以包括不同材料的多个子层。优选地，进一步选择气密层以促进与声谐振器结构的下面的活性金属(例如，铝或铝合金)电极结构的相容性。尽管铝或铝合金经常用作体声波谐振器结构中的电极材料，但是可以将各种过渡金属和后过渡金属用于这种电极。

[0067] 在沉积界面层(任选地布置在下面的气密层之上)之后，优选地在界面层之上形成SAM。SAM通常通过将固体表面暴露于具有对固体表面表现出强亲和力的化学基团的两亲性分子而形成。当使用包含羟基化氧化物表面的界面层时，则有机硅烷SAM特别优选用于附着到羟基化氧化物表面。有机硅烷SAM通过硅-氧(Si-O)键促进表面结合。更具体地讲，有机硅烷分子包括水解敏感性基团和有机基团，因此可用于将无机材料偶合到有机聚合物上。有机硅烷SAM可以通过在微量水存在下将羟基化表面暴露于有机硅烷材料以形成中间硅烷醇基团而形成。这些基团然后与羟基化表面上的游离羟基基团反应以共价固定有机硅烷。与结合了羟基化氧化物表面的界面层相容的可能的基于有机硅烷的SAM的实例包括3-缩水甘油氧基丙基三甲氧基硅烷(GPTMS)、3-巯基丙基三甲氧基硅烷(MPTMS)、3-氨基丙基三甲氧基硅烷(APTMS)和十八烷基三甲氧基硅烷(OTMS)，包括它们的乙氧基变体和氯代变体。可以用于SAM的其他硅烷包括聚(乙二醇)(PEG)缀合的变体。本领域技术人员将认识到存在其他替代方案，并且这些替代方案被认为是在本公开的范围内。示例性的SAM的厚度可以在至少0.5 nm或更大的范围内。优选地，SAM易于与局部图案化的界面层结合，但不易于与其他相邻材料层(例如，气密层、压电材料和/或封闭材料层)结合。

[0068] 当使用包含金或另一贵金属的电极和/或界面层时，可以使用基于硫醇(例如，基于链烷硫醇)的SAM。链烷硫醇是具有作为主链的烷基链、尾部基团和S-H头部基团的分子。由于硫对这些金属的强亲和力，硫醇可以用于贵金属界面层上。可以使用的基于硫醇的SAM的实例包括但不限于1-十二烷硫醇(DDT)、11-巯基十一烷酸(MUA)和羟基封端的(六甘醇)十一烷硫醇(1-UDT)。这些硫醇含有相同的主链，但不同的端基，即对于DDT、MUA和1-UDT，分别是甲基(CH_3)、羧基(COOH)和羟基封端的六甘醇($HO-(CH_2CH_2O)_6$)。在某些实施方案中，SAM可以通过使用合适的溶剂如无水乙醇在硫醇溶液中温育金表面来形成。

[0069] 在形成SAM之后，SAM可以诸如通过接收至少一种特异性结合材料而在生物学上官能化。在某些实施方案中，可以使用微阵列点样针或其他合适的方法将特异性结合材料施用在SAM上或SAM之上。在某些实施方案中，界面层可以仅在谐振器结构的一部分(其包括基材)上在高尺寸公差下图案化(例如，使用用于限定界面层的光刻法)，SAM可以施加在界面层之上并且随后施用的特异性结合材料仅附着于SAM。在某些实施方案中，与单独通过微阵列点样可以获得的尺寸公差相比，界面层的图案化可以为定位特异性结合材料提供更高的尺寸公差。特异性结合材料的实例包括但不限于抗体、受体、配体等。特异性结合材料优选构造成接收预定的目标物质(例如，分子、蛋白、DNA、病毒、细菌等)。包含特异性结合材料的官能化层可以包括在约5 nm至约1000 nm、或约5 nm至约500 nm范围内的厚度。在某些实施方案中，不同特异性结合材料的阵列可以提供在任选地与充当比较(或“参考”)区的一个或多个没有特异性结合材料的有源区域组合的多谐振器装置(即，包括多个有源区域的谐振器装置)的不同有源区域上。在某些实施方案中，官能化材料(例如，提供化学或生物官能化)可以提供非特异性结合应用。

[0070] 在某些实施方案中，MEMS谐振器装置包括体声波谐振器装置，并且压电材料包括六方晶体结构压电材料(例如，氮化铝或氧化锌)，其包括具有主要不平行(并且也可以是不

垂直)于基材面的法线的取向分布的c-轴。这一c-轴取向分布能够产生剪切位移,这有益地使得能够利用液体诸如在传感器和/或微流体装置中操作MEMS谐振器装置。用于形成包括c-轴的六方晶体结构压电材料的方法在2016年10月13日提交的美国专利申请15/293,063号中公开,其中上述申请通过引用结合到本文中,所述c-轴具有主要不平行于基材面的法线的取向分布。用于形成具有倾斜c-轴取向的压电材料的其他方法在1987年2月3日授权的美国专利4,640,756号中公开,其中上述专利通过引用结合到本文中。在某些实施方案中,一个或多个压电材料区可以具有具有纵向取向的c-轴。

[0071] 某些实施方案涉及一种流体装置,其包括如本文公开的体声波MEMS谐振器装置并且包括流体通路(passage),所述流体通路布置成传导液体以接触至少一种官能化(例如,特异性结合)材料(诸如在图5中,下文讨论)。这样的装置在规模上可以是微流体的并且包括至少一个微流体通道(channnel)(例如,具有至少一个不大于约500微米、或约250微米、或约100微米的尺寸如高度和/或宽度)。例如,在制造体声波MEMS谐振器装置并在其部分之上沉积界面层和SAM(任选地在之前沉积气密层)之后,微流体装置可以通过形成限定优选含有至少一个声波谐振器的有源区的微流体通道的侧边界的一个或多个壁,接着施用覆盖层或盖层以封闭微流体通道来制造。在某些实施方案中,官能化(例如,特异性结合)材料可以在形成微流体通道的壁之后但在施用覆盖层或盖层之前施用。微流体通道的壁可以由任何合适的材料如薄聚合物材料和/或层压材料的激光切割“模版”层形成,其任选地包括一个或多个自粘表面(例如,胶带)。任选地,这些壁可以在沉积SAM层、官能化层和/或封闭层之前用SU-8负环氧树脂抗蚀剂或其他光致抗蚀剂材料形成。在某些实施方案中,覆盖层或盖层可以与一个或多个壁整体形成(例如,经由模制或另一合适的工艺)以限定至少一个流体通道的上边界和侧边界,并且整体形成的覆盖/壁结构可以在体声波谐振器结构的至少一部分之上施用(例如,粘附或以其他方式粘合)以封闭所述至少一个流体通道。

[0072] 在某些实施方案中,可以将化学或生物封闭材料施用在SAM的一部分之上以防止官能化(例如,特异性结合)材料附着在体声波谐振器结构的一个或多个选定区域(例如,除有源区外的一个或多个区域)之上。用于给定分析的化学或生物封闭材料(例如,封闭缓冲液)的适当选择取决于样品中存在的目标物质或分析物的类型。可以使用各种类型的封闭缓冲液,诸如高度纯化的蛋白(例如,牛血清白蛋白)、血清或牛奶来封闭SAM上的游离位点。附加封闭剂包括含有乙醇胺或聚环氧乙烷(PEO)的材料。理想的封闭缓冲液将结合远离有源区的非特异性相互作用的所有潜在位点。为了优化用于特定分析的封闭缓冲液,可以使用经验测试来确定信噪比。由于每个抗体-抗原对都具有独特的特性,所以单一的化学封闭材料无一对于每一情况是理想的。

[0073] 图4是根据一个实施方案的结合了如本文公开的声反射器14的体声波MEMS谐振器装置10’的一部分的示意性横截面图。除非另外指出,否则示于图4中的体声波MEMS谐振器装置10’与图3A中图示的体声波MEMS谐振器装置10类似。更具体地讲,图4的体声波MEMS谐振器装置10’包括基材12(例如,通常为硅或另一种半导体材料)、布置在基材12之上的声反射器14、压电材料22以及底侧电极20和顶侧电极28。底侧电极20沿压电材料22的下表面24的一部分(在声反射器14与压电材料22之间)布置,并且顶侧电极28沿着压电材料22的上表面26的一部分布置。压电材料22布置在顶侧电极28和底侧电极20的重叠部分之间的区域被认为是体声波MEMS谐振器装置10’的有源区30。官能化(例如,特异性结合)材料32施用在有

源区30之上以重叠有源区的至少一部分或基本上整个有源区30。声反射器14包括低声阻抗材料层16和高声阻抗材料层18的交替层，所述交替层形成具有如本文所述的厚度范围的多个差分声阻抗层单元。

[0074] 如所示，顶部电极28定位在底侧电极20的最右端之上，其间布置有压电材料22。为了提供与底侧电极20的电通信，导电通孔(via)34延伸穿过底侧电极20的最左端与接触垫40a之间的压电材料22，其沿压电材料22的上表面26定位。图4进一步图示布置在底侧电极20的中央部分之上的底部电极累积层36、布置在顶侧电极28的一部分之上的顶部电极累积层38、布置在接触垫40a之上的接触垫累积层40b以及定位在接触垫累积层40b之上(以及在接触垫40a之上)的凸块下金属化层40c。在某些实施方案中，底部电极累积层36、顶部电极累积层38和/或接触垫累积层40b可以是任选的。如果提供，则底部电极累积层36优选具有与底部电极20相比减小的宽度，以防止与底部电极20的左端处的导电通孔34的导电通信，并且避免延伸到底部电极20的右端处的有源区30中。类似地，如果提供，则顶部电极累积层部分38可以构造成具有与顶部电极28相比减小的宽度，以防止顶部电极累积层部分38与有源区30之间的重叠。接触垫累积层40b定位在接触垫40a之上。

[0075] 气密层42定位(例如，通过原子层沉积)在压电材料22、顶部电极28、顶部电极累积层38、接触垫40a、接触垫累积层40b和凸块下金属化层40c的暴露顶和/或侧表面的至少部分之上。气密层42可以在其中具有一个或多个孔，以便提供到凸块下金属化层40c的通路。官能化材料32定位在有源区30之上且在气密层42之上，优选通过布置在界面层(未示出)之上的自组装单层(未示出)辅助粘附。

[0076] 图5是流体装置44(例如，生物化学传感器装置)的一部分的示意性横截面图，流体装置44包括微流体通道46，微流体通道46由体声波MEMS谐振器结构10从下面分界，由壁48从侧面分界并且由限定与微流体通道46流体连通的流体端口52A、52B的覆盖或盖层50从上面分界。在某些实施方案中，流体装置44结合了如结合图3A、图3B和4描述的牢固安装的体声波MEMS谐振器结构。如前所述，体声波MEMS谐振器结构10包括覆盖有声反射器14的基材12和大致布置在压电材料22之下的底侧电极20，二者都均覆盖在声反射器14上方。声反射器包括形成具有如本文所公开的厚度范围的多个差分声阻抗层单元的多个交替的低声阻抗材料层16和高声阻抗材料层18。顶侧电极28在压电材料22的一部分之上延伸，其中布置在顶侧电极28和底侧电极20之间的压电材料22的一部分体现体声波谐振器结构的有源区30。顶侧电极28和压电材料22覆盖有气密层42。与有源区30对齐的气密层42的一部分进一步覆盖有界面层54、SAM 56和布置成结合指定分析物58的官能化(例如，特异性结合)材料32。从有源区30横向移位的壁48从界面层54向上延伸以限定包含有源区30的微流体通道46的侧向边界。这样的壁48可以由任何合适的材料如薄聚合物材料和/或层压材料的激光切割“模版”层形成，其任选地包括一个或多个自粘表面(例如，胶带)。或者，任选地在沉积SAM 56、官能化材料32以及化学或生物封闭材料之前，壁48可以由SU-8负性环氧树脂抗蚀剂或其他光致抗蚀剂材料形成。限定上表面流体端口52A、52B的覆盖或盖层50被进一步提供以为微流体通道46提供上边界。覆盖或盖层50可以通过在适当材料(例如，基本惰性的聚合物、玻璃、硅、陶瓷等)的层中限定端口(例如，通过激光切割或水射流切割)并将覆盖或盖层50粘附到壁48的顶表面上来形成。

[0077] 在使用流体装置44时，流体样品可以通过第一流体端口52A供应到有源区30之上

的微流体通道46中并且通过第二流体端口52B以离开微流体通道46。如所示，由流体样品供应的分析物58结合到官能化(例如，特异性结合)材料32。当通过向底侧电极20和顶侧电极28供应电(例如，交流)信号而在有源区30中传感体声波时，检测在体声波谐振器结构的频率性质或相位性质中的至少一种的变化指示结合到官能化材料32的目标物质(即，分析物)的存在和/或量。

[0078] 图6A是用于体声波谐振器结构的七层声反射器的反射器透射率与频率的函数关系的示例曲线图，其中声反射器由形成多个差分声阻抗层单元的SiO_2和W的交替层组成。如所示，剪切响应包括第一谐波60A、第二谐波60B和第三谐波60C，并且纵向响应包括第一谐波62A和第二谐波62B。反射器层的厚度构造成优化在期望的频率下的剪切透射率和纵向透射率，使得剪切响应的第三谐波60C的最小透射率和纵向响应的第二谐波62B的最小透射率在基本相同的频率下出现，产生纵向响应的第二谐波62B和剪切响应的第三谐波60C的显著重叠。所得的声反射器结构使剪切模式和纵向模式两者的透射率最小化(例如，对于给定数量的层)。

[0079] 图6B是结合图6A描述的七层声反射器的每层的示例性厚度的表格。层厚定义为纵波长λ_L的分数倍数。如所示，低声阻抗材料层(R1、R3、R5和R7)全部具有相同的材料(SiO_2)和相同的厚度(0.77 *λ_L)，并且高声阻抗材料层(R2、R4、R6)都具有相同的材料(W)和相同的厚度(0.16 *λ_L)。

[0080] 图7A是由形成多个差分声阻抗层单元的SiO_2和AlN的交替层组成的十三层声反射器的反射器透射率与频率的函数关系的示例性曲线图。如所示，剪切响应包含第一谐波64A、第二谐波64B和第三谐波64C，并且纵向响应包含第一谐波66A和第二谐波66B。反射器层的厚度构造成优化在期望的频率下的剪切透射率和纵向透射率两者，使得剪切响应的第三谐波64C的最小透射率和纵向响应的第二谐波66B的最小透射率在基本类似(或几乎匹配)的频率下出现，由此产生纵向响应的第二谐波66B和剪切响应的第三谐波64C的显著重叠。包括交替的低阻抗层和高阻抗层的声反射器的效率与相应层之间的声阻抗的差异有关。比较图6A和图7A的声反射器，AlN和SiO_2的声阻抗的差异比W与SiO_2的比率低约2.6倍，使得结合图7A讨论的声反射器在所关注的频率周围表现出降低的带宽，并且还需要更多的交替层以实现期望的透射率阈值(<40 dB)。

[0081] 图7B为结合图7A描述的十三层声反射器的每个层的示例性厚度的表格。厚度定义为纵向波长λ_L的分数倍数。如所示，低声阻抗材料层(R1、R3、R5、R7、R9、R11、R13)全部具有相同的材料(SiO_2)和相同的厚度(0.78 *λ_L)，并且高声阻抗材料层(R2、R4、R6、R8、R10、R12)全部具有相同的材料(AlN)和相同的厚度(0.16 *λ_L)。

[0082] 图8A是由形成多个差分声阻抗层单元的四个交替SiO_2/AlN层和五个SiO_2/W层组成的九层声反射器的反射器透射率与频率的函数关系的示例性曲线图。如所示，剪切响应包含第一谐波68A、第二谐波68B和第三谐波68C，并且纵向响应包含第一谐波70A和第二谐波70B。反射器层的厚度构造成优化在期望的频率下的剪切透射率和纵向透射率两者，使得剪切响应的第三谐波68C的最小透射率和纵向响应的第二谐波70B的最小透射率在基本匹配的频率下出现，产生纵向响应的第二谐波70B和剪切响应的第三谐波68C的显著重叠。所得声反射器结构使剪切模式和纵向模式两者的透射率最小化(例如，对于给定数量的层)。

[0083] 图8B为结合图8A描述的九层声反射器的每个层的示例性厚度的表格。厚度定义为

纵向波长λ_L的分数倍数。如所示，低声阻抗材料层(R1、R3、R5、R7、R9)全部具有相同的材料(SiO_2)，但厚度不同。具体来讲，低声阻抗材料层R1和R3比其他低声阻抗材料层R5、R7、R9(0.76 *λ_L)稍厚(0.79 *λ_L)。高声阻抗材料层(R2、R4、R6、R8)包含多种不同的材料和相同的厚度。具体来讲，第一对高声阻抗材料层R2、R4具有第一材料(W)和第一厚度(0.16 *λ_L)，且第二对高声阻抗材料层R6、R8具有第二材料(AlN)和第一厚度(0.16 *λ_L)。取决于声反射器的所需规格，在不同实施方案中低声阻抗材料层和/或高声阻抗材料层的厚度可以变化。SiO_2/AlN层都是电介质，因此不需要如对于SiO_2/W层的情况那样图案化和平面化。

[0084] 图9是根据本公开的各种实施方案的与声反射器结构一起使用的示例性低声阻抗材料和高声阻抗材料的表格。示例性低声阻抗层16包含但不限于碳氧化硅[SiOC](密度为1.5 gm/cm^3，声阻抗Z(acoustic Z)为3.6×10^5 gm/cm^2 sec)、二氧化硅[SiO_2](密度为2.2 gm/cm^3，声阻抗Z为12.9×10^5 gm/cm^2 sec)、聚合物(密度为1.0-1.5 gm/cm^3)。示例性高声阻抗层18包含但不限于氧化钽(IV)[TaO_2](密度为7.6 gm/cm^3，声阻抗Z为34.5×10^5 gm/cm^2 sec)、氮化铝[AlN](密度为3.3 gm/cm^3，声阻抗Z为35.8×10^5 gm/cm^2 sec)、氧化铝[Al_2O_3](密度为3.9 gm/cm^3，声阻抗Z为39.8×10^5 gm/cm^2 sec)、钼[Mo](密度为10.2 gm/cm^3，声阻抗Z为64.3×10^5 gm/cm^2 sec)和钨[W](密度为19.4 gm/cm^3，声阻抗Z为100.6×10^5 gm/cm^2 sec)。可以使用其他材料，如本领域技术人员将认识到的那样。

[0085] 本领域技术人员将认识到对本公开的优选实施方案的改进和修改。所有这些改进和修改都被认为是在本文和随后的权利要求中公开的概念的范围内。

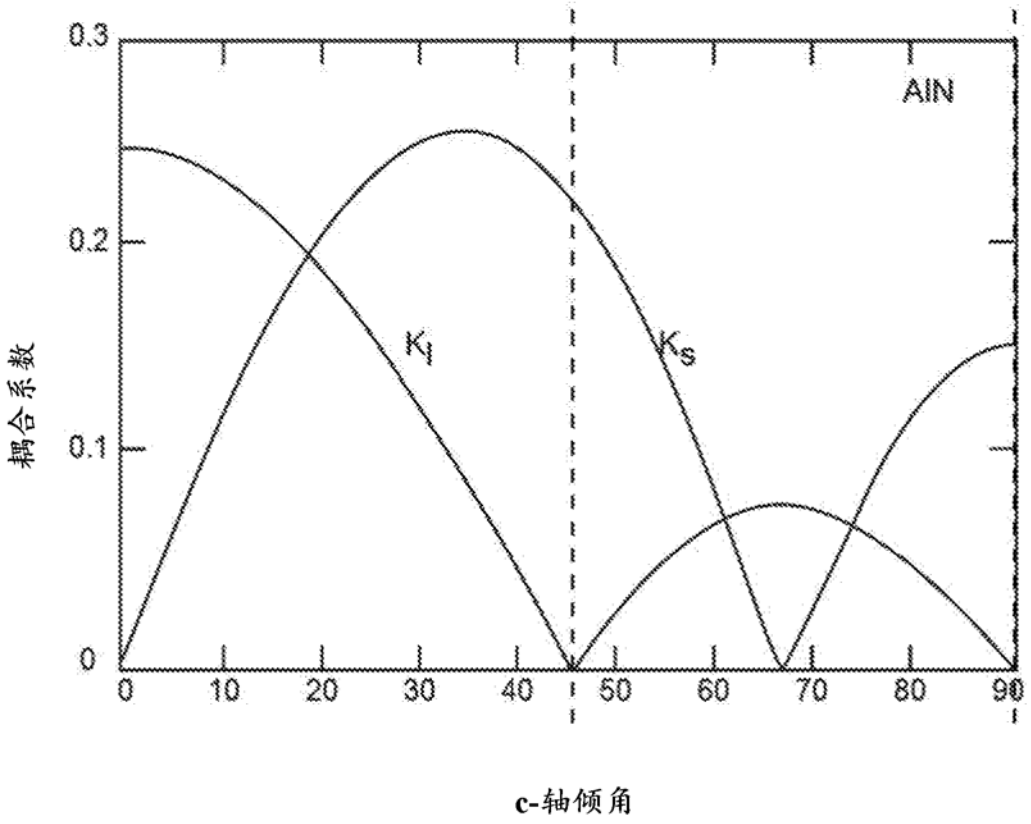

AlN
K_t
K_s
耦合系数
0.3
0.2
0.1
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
c-轴倾角

图 1

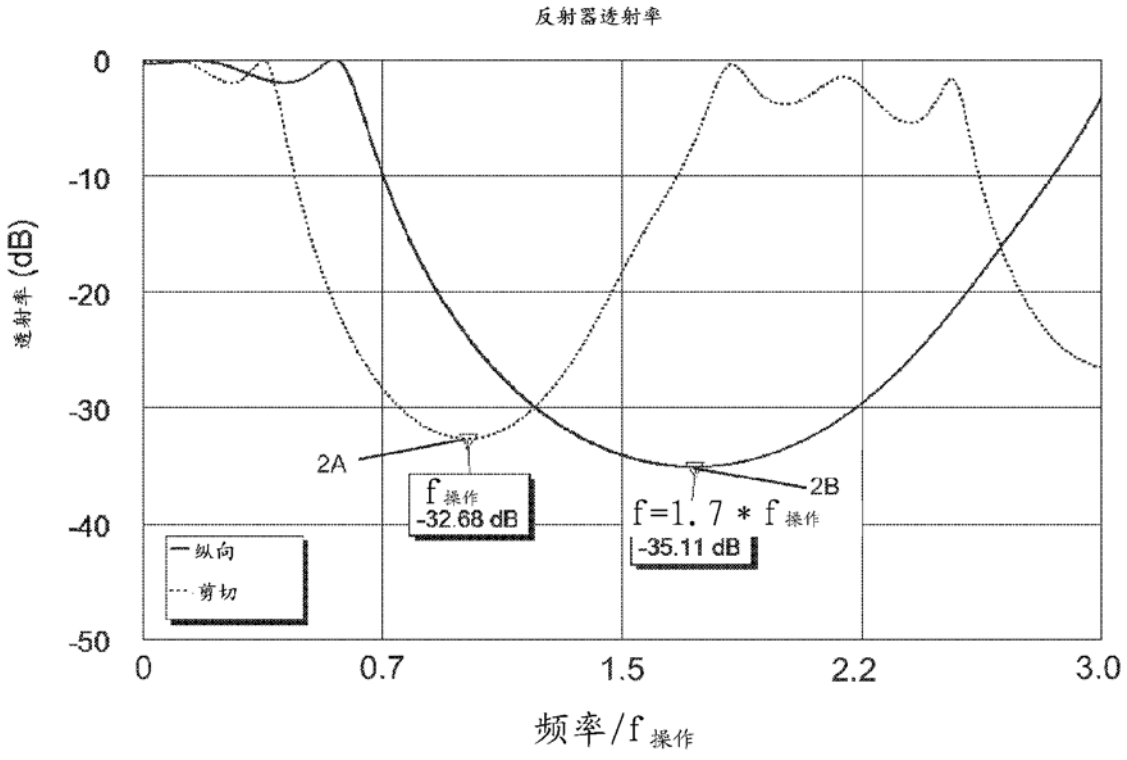

反射器透射率
透射率 (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
0 0.7 1.5 2.2 3.0
频率/f操作
2A
2B
f操作
-32.68 dB
f=1.7 * f操作
-35.11 dB
纵向
剪切

图 2

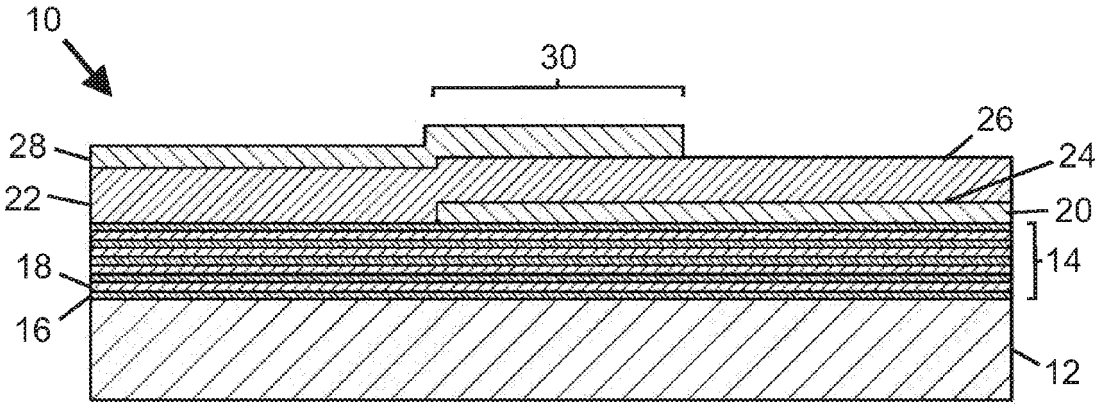


图 3A

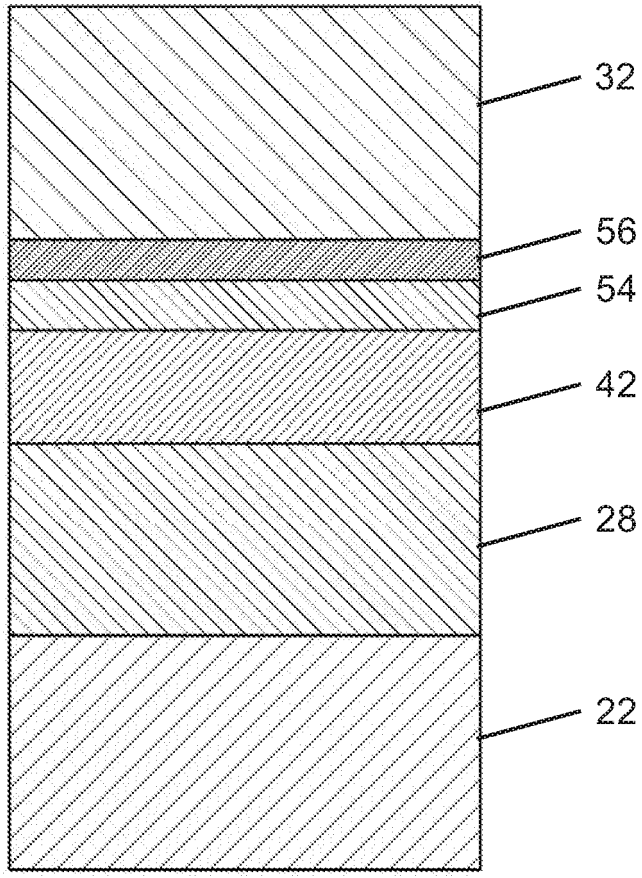


图 3B

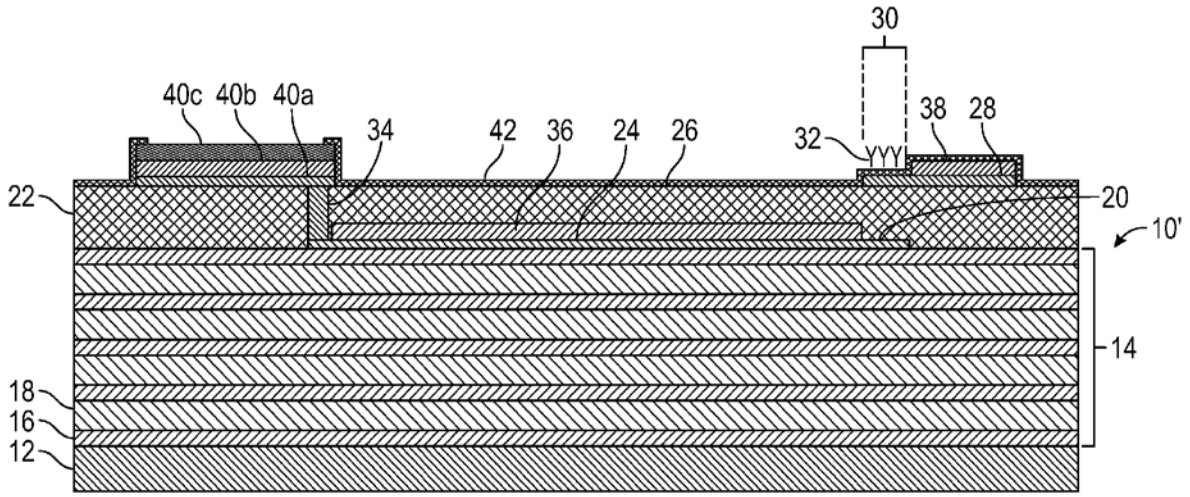

30
40c
40b
40a
34
42
36
24
26
32
38
28
22
20
10'
14
18
16
12

图 4

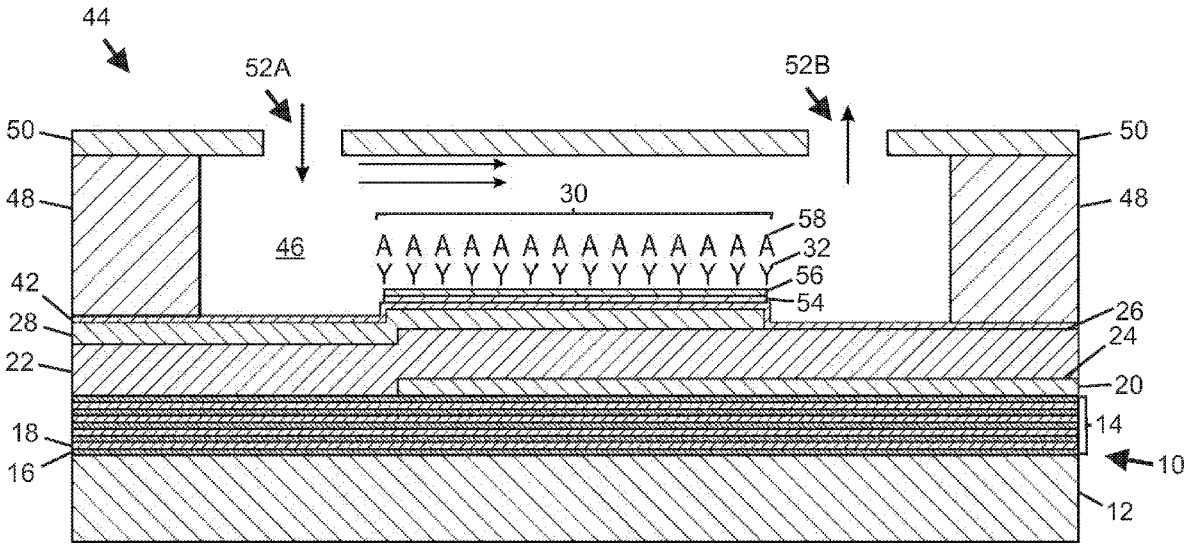

44
52A
52B
50
50
48
48
30
58
46
32
56
54
42
28
26
22
24
20
18
14
16
10
12

图 5

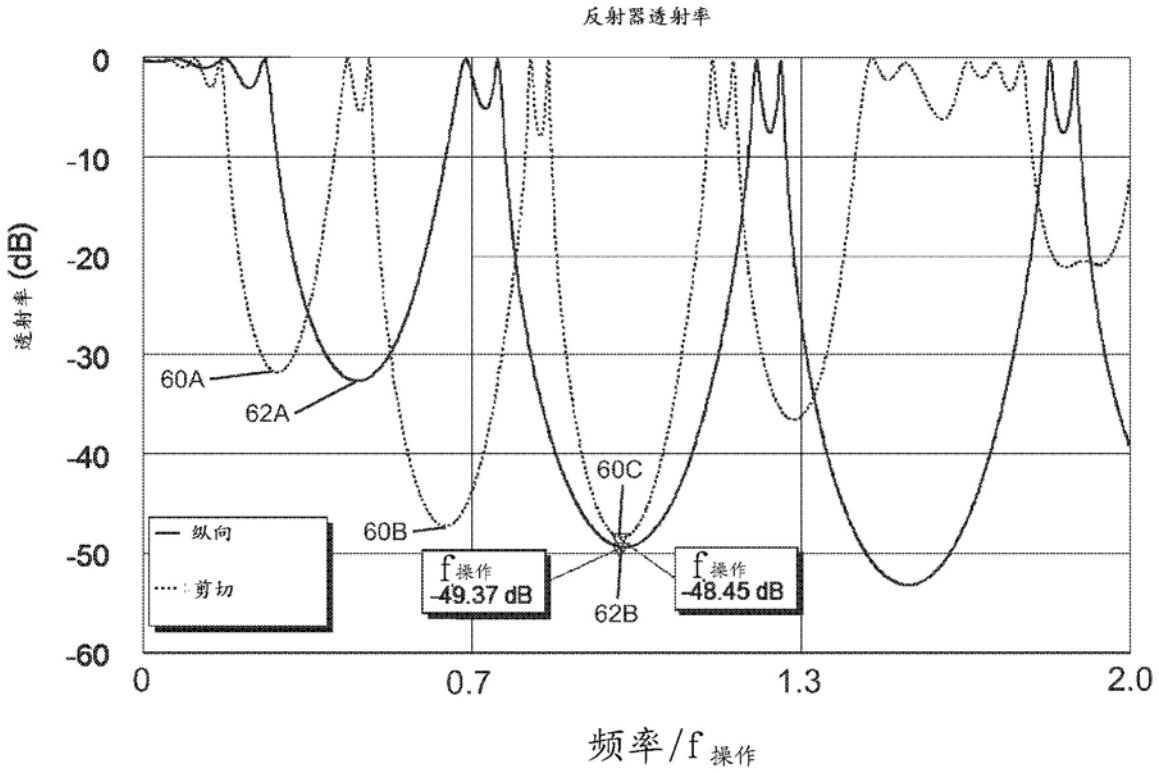

反射器透射率
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
透射率 (dB)
60A
62A
60B
60C
62B
纵向
剪切
f操作
-49.37 dB
f操作
-48.45 dB
0
0.7
1.3
2.0
频率/f操作

图 6A

声反射器设计细节		
层	材料	厚度(λ_L)
R7	SiO_2	$0.77*\lambda_L$
R6	W	$0.16*\lambda_L$
R5	SiO_2	$0.77*\lambda_L$
R4	W	$0.16*\lambda_L$
R3	SiO_2	$0.77*\lambda_L$
R2	W	$0.16*\lambda_L$
R1	SiO_2	$0.77*\lambda_L$

图 6B

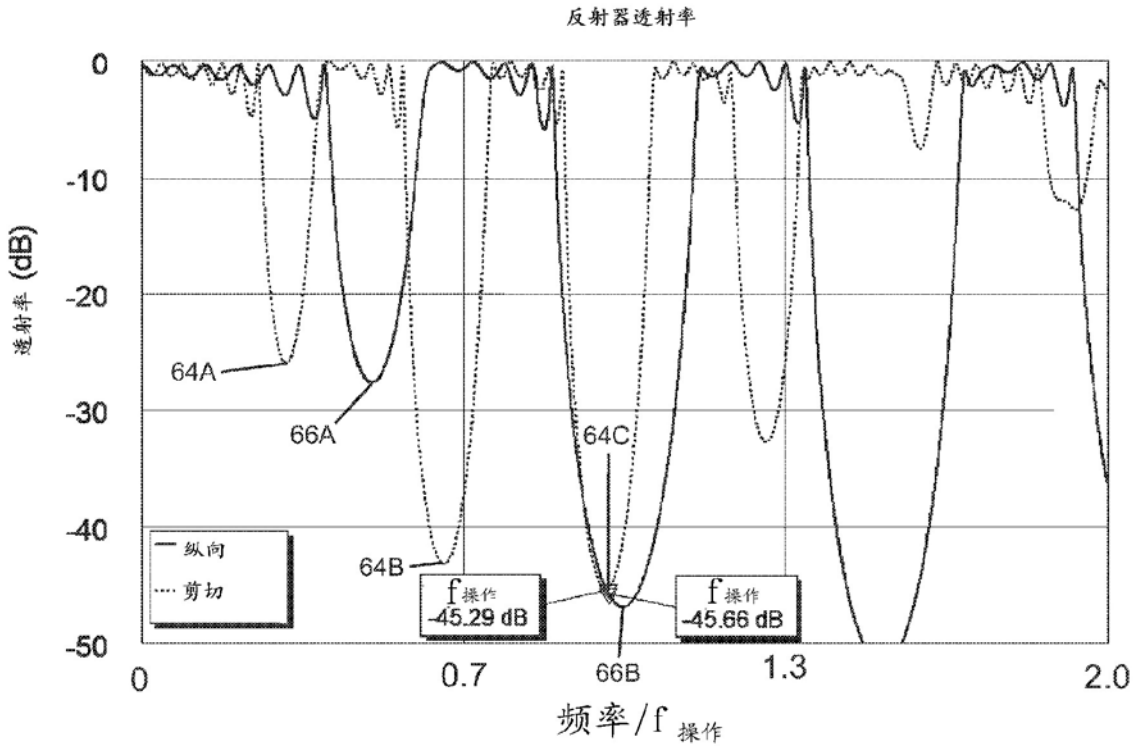

反射器透射率
0
-10
-20
-30
-40
-50
透射率 (dB)
64A
66A
64C
64B
纵向
剪切
f操作
-45.29 dB
f操作
-45.66 dB
0
0.7
66B
1.3
2.0
频率/f操作

图 7A

声反射器设计细节		
层	材料	厚度(λ_L)
R13	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R12	AlN	$0.16*\lambda_L$
R11	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R10	AlN	$0.16*\lambda_L$
R9	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R8	AlN	$0.16*\lambda_L$
R7	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R6	AlN	$0.16*\lambda_L$
R5	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R4	AlN	$0.16*\lambda_L$
R3	SiO_2	$0.78*\lambda_L$
R2	AlN	$0.16*\lambda_L$
R1	SiO_2	$0.78*\lambda_L$

图 7B

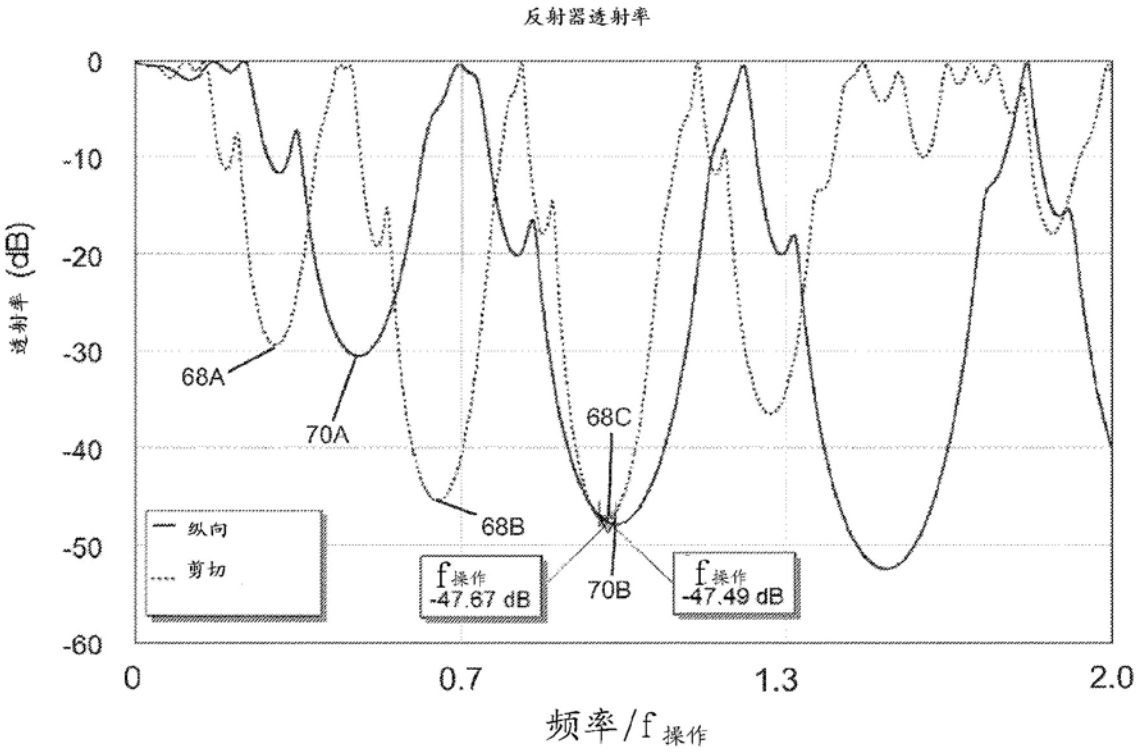

反射器透射率
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
透射率 (dB)
0
0.7
1.3
2.0
频率/f 操作
68A
70A
68B
68C
70B
纵向
剪切
f 操作
-47.67 dB
f 操作
-47.49 dB

图 8A

声反射器设计细节		
层	材料	厚度(λ_L)
R9	SiO_2	$0.76*\lambda_L$
R8	AlN	$0.16*\lambda_L$
R7	SiO_2	$0.76*\lambda_L$
R6	AlN	$0.16*\lambda_L$
R5	SiO_2	$0.76*\lambda_L$
R4	W	$0.16*\lambda_L$
R3	SiO_2	$0.79*\lambda_L$
R2	W	$0.16*\lambda_L$
R1	SiO_2	$0.79*\lambda_L$

图 8B

低阻抗			高阻抗		
材料	密度 (g/cm^3)	声阻抗 Z ($x\ 10^5\ g/cm^2\ sec$)	材料	密度 (g/cm^3)	声阻抗 Z ($x\ 10^5\ g/cm^2\ sec$)
碳氧化硅	1.5	3.6	氧化钽(IV)	7.6	34.5
二氧化硅	2.2	12.9	氮化铝	3.3	35.8
聚合物	1.0－1.5		氧化铝	3.9	39.8
			铂	10.2	64.3
			钨	19.4	100.6

图 9