



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111465455 A

(43)申请公布日 2020.07.28

(21)申请号 201880080144.9

罗伯特·柯拉佳 侯赛因·阿米尼

(22)申请日 2018.12.13

(74)专利代理机构 北京商专永信知识产权代理
事务所(普通合伙) 11400

(30)优先权数据

62/612,169 2017.12.29 US

15/993,156 2018.05.30 US

代理人 郭玥 侯晓艳

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.06.11

(51)Int.Cl.

B06B 1/06(2006.01)

G01S 7/521(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/065367 2018.12.13

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/133271 EN 2019.07.04

(71)申请人 富士胶片索诺声公司

地址 美国华盛顿州

(72)发明人 尼古拉斯·克里斯托弗·沙格尔

奥列格·伊凡尼斯基 庞国锋

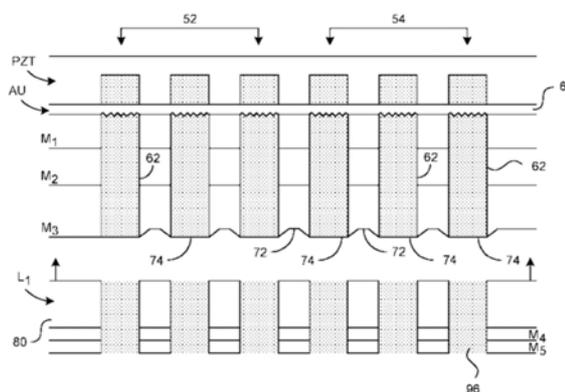
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54)发明名称

高频超声波换能器

(57)摘要

高频超声阵列具有形成在压电材料片中的多个换能器元件。具有与压电材料相似的热膨胀系数的框架围绕压电材料并且通过填充材料与压电材料分开。限定压电材料片中的各个元件的切缝沿片的整个宽度延伸。在一些实施例中,将单个换能器元件分成两个或更多个子元件的子切片切缝也沿压电片的宽度一直延伸。位于换能器元件前面的透镜可以在其中加工出半径以聚焦超声信号。



1. 一种相控阵超声波换能器,包括:
具有热膨胀系数的压电材料片;
围绕所述压电材料片的外周的框架,其中,所述框架具有与所述压电材料的热膨胀系数相似的热膨胀系数;
在所述框架和所述压电材料片的外周之间的填充材料,
其中,所述压电材料片包括多个切缝,所述切缝限定了多个单独的换能器元件;以及
通过一个或多个匹配层固定到所述压电材料片上的透镜,其中,所述透镜和所述一个或多个匹配层包括填充的切缝,所述填充的切缝与所述压电材料中的切缝对准,从而使所述透镜中在垂直于所述透镜的前表面的方向上的声速大于在平行于所述透镜的前表面的方向上的声速。
2. 根据权利要求1所述的超声波换能器,其中,所述透镜由聚苯并咪唑制成。
3. 根据权利要求2所述的超声波换能器,还包括在所述透镜的前表面上的一个或多个匹配层。
4. 根据权利要求3所述的超声波换能器,其中,在所述透镜和所述压电材料之间的一个或多个匹配层中的切缝延伸穿过所述透镜的前表面上的一个或多个匹配层。
5. 根据权利要求4所述的超声波换能器,其中,所述透镜和所述透镜的前表面上的一个或多个匹配层具有曲率半径,以限定所述超声波换能器的焦距。
6. 一种超声波换能器,包括:
具有热膨胀系数的压电材料;
围绕所述压电材料的外周的框架,其中,所述框架的热膨胀系数类似于所述压电材料的热膨胀系数;
位于所述框架和所述压电材料的外周之间的填充材料;
其中,所述压电材料包括多个切缝,所述多个切缝限定了多个单独的换能器元件;以及
通过一个或多个匹配层固定到所述压电材料上的透镜。
7. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述换能器元件延伸所述压电材料的宽度,使得所述换能器元件具有接合所述压电材料和所述框架之间的填充材料的第一端和第二端。
8. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述框架由氧化铝制成。
9. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述框架由石墨制成。
10. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述框架由钼制成。
11. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述框架是导电的并且包括一个或多个间隔元件,所述间隔元件在所述压电材料中的换能器元件与所述换能器元件的区域中的框架的内边缘之间保持间隙。
12. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述框架是不导电的,并且包括一个或多个通孔,所述通孔延伸穿过所述框架以形成从所述换能器元件的远端侧上的公用电极到所述换能器的近端侧的导电路径。
13. 根据权利要求6所述的超声波换能器,其中,所述透镜包括多个切缝,所述多个切缝与限定所述压电材料中的各个换能器元件的切缝对准,并且其中,所述透镜中的声速在垂直于所述透镜的前表面比平行于所述透镜的前表面的方向上更大。

14. 根据权利要求13所述的超声波换能器,其中,所述透镜中的切缝被硅树脂填充。

15. 根据权利要求19所述的超声波换能器,还包括在所述透镜上的一个或多个匹配层,所述匹配层包括切缝,所述切缝与限定所述压电材料中的各个换能器元件的切缝对准。

16. 一种超声波换能器,包括:

压电材料,所述压电材料包括多个切缝,所述多个切缝限定了多个单独的换能器元件;
以及

通过一个或多个匹配层固定到所述压电材料上的透镜,其中,所述一个或多个匹配层包括连接到所述透镜的最上层匹配层,并且其中,所述最上层匹配层在其外表面上包括多个脊,所述多个脊在所述匹配层的外表面上支撑所述透镜。

17. 根据权利要求16所述的超声波换能器,其中,所述最上层匹配层中的脊形成在所述最上层匹配层中的填充切缝之间。

18. 根据权利要求16所述的超声波换能器,其中,所述最上层匹配层由环氧树脂形成,并且其中,所述透镜利用相同的环氧树脂结合到所述最上层匹配层。

19. 根据权利要求16所述的超声波换能器,其中,所述透镜由聚苯并咪唑制成。

20. 根据权利要求16所述的超声波换能器,其中,所述透镜包括多个切缝,所述多个切缝与所述一个或多个匹配层中的切缝以及所述压电材料中的切缝对准。

高频超声波换能器

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求于2018年5月30日提交的第15/993,156号美国专利申请的优先权,该美国申请要求于2017年12月29日提交的第62/612,169号美国临时专利申请的优先权,其全部内容通过引用合并于此。

技术领域

[0003] 本公开的技术涉及超声波换能器,并且尤其涉及高频超声波换能器。

背景技术

[0004] 如本领域技术人员将理解的,大多数现代超声成像系统通过从形成在压电材料片中的多个单独的换能器元件产生声信号来工作。通过在元件上施加电压脉冲,该元件发生物理变形,从而导致产生相应的超声信号。信号进入感兴趣区域,在该区域中,信号的一部分作为回波信号反射回换能器。当回波信号撞击到换能器元件上时,该元件振动,从而产生相应的电压,该电压被检测为电子信号。来自多个换能器元件的电子信号被组合和分析,以确定组合信号的特征,例如其振幅、频率、相移、功率等。量化特征并将其转换为用于创建感兴趣区域的图像的像素数据。

[0005] 相控阵换能器通过一次选择性地激励阵列中的一个以上元件来工作,以使总波前(wave front)指向所需的方向。通过仔细改变相位(例如时间延迟),在某些情况下,可以改变每个换能器元件产生的信号的振幅,组合光束可以在一定角度范围内定向,以便查看除换能器正前方的区域以外的区域。为了使相控阵换能器正常工作,通常要求各个换能器元件的间距约为换能器中心频率的波长的1/2或更小。虽然低频相控阵换能器(例如2-10MHz)已经使用了一段时间,但由于换能器元件的尺寸小以及高频超声信号的衰减较大,所以很难制造高频相控阵换能器。

[0006] 高频超声(例如15MHz及更高)是一种越来越被使用的成像方式,其被用于对身体中的精细细节成像并捕获运动组织的图像。随着换能器的工作频率增加,换能器元件的尺寸减小。然而,用于制造低频相控阵换能器的许多制造技术不能简单地按比例缩放以制造高频相控阵换能器。鉴于这个问题,需要改进的高频超声波换能器设计。

发明内容

[0007] 本公开的技术是一种高频超声波换能器阵列,其具有围绕压电材料片的框架。框架具有与压电材料匹配的热膨胀系数。多个换能器元件形成在压电材料片中,并且一个或多个匹配层耦合到换能器元件的前表面,以使换能器元件的声阻抗与聚焦所产生的超声波信号的透镜的声阻抗匹配。

[0008] 在一个实施例中,匹配层中的切缝(kerf cuts)与限定各个换能器元件的切缝对准。匹配层中的切缝填充有诸如粉末的环氧树脂之类的材料。透镜被固定到最外层的匹配层,并且在一些实施例中,还包括与一个或多个匹配层中的切缝对准的多个填充切缝。在一

个实施例中,一个或多个附加匹配层被添加到透镜的前表面,以使透镜材料的声阻抗与水的声阻抗匹配。

[0009] 在一些实施例中,超声波换能器被设计为作为相控阵操作,并且包括被制成各向异性的透镜,使得超声传播在垂直于透镜的前表面的方向上的速度大于在平行于透镜的前表面方向上的速度。透镜上的切缝会形成将超声波信号引导到透镜的前表面的多个微型波导。在一些实施例中,透镜由聚苯并咪唑 (Celazole™) 制成,其声速明显大于用于填充透镜中的切缝的材料。

附图说明

[0010] 图1是根据本公开的技术的实施例的包围压电片的框架的俯视图;

[0011] 图2A是根据本公开的技术的实施例的包围压电片并且填充有环氧树脂材料的框架的等距视图;

[0012] 图2B是图2A所示的框架和压电片的等距截面图;

[0013] 图3示出了根据本公开的技术的实施例如何利用激光在压电片中形成换能器元件切缝和子切片(sub-dice)切缝;

[0014] 图4是压电片的放大截面图,示出了位于换能器元件切缝和子切片切缝中的填充环氧树脂;

[0015] 图5是根据本公开的技术的实施例的换能器叠层的一部分的放大截面图,示出了施加到换能器层的前表面的多个匹配层有以及粘结到匹配层上的透镜,这些匹配层被切片并填充有环氧树脂材料;

[0016] 图6A是位于换能器叠层上的透镜和匹配层的局部等距视图;

[0017] 图6B是根据本公开的技术的一些实施例的在顶部匹配层中形成的支撑透镜的多个脊的特写视图;

[0018] 图7示出了根据本公开的技术的一些实施例的用于压电层的多个替代性的子切片切缝图案;

[0019] 图8示出了根据本公开的技术的一些实施例的用于多个匹配层的多个替代子切片切缝图案;

[0020] 图9示出了根据本公开的技术的实施例的固定至换能器叠层的导电支撑框架;

[0021] 图10示出了根据本公开的技术的实施例的包围压电片的框架的替代实施例;

[0022] 图11和图12是根据本公开的技术的实施例的高频换能器的截面图。

具体实施方式

[0023] 如以下将详细描述,高频超声波换能器包括由框架围绕的压电材料片。框架由具有与压电材料片的热膨胀系数(CTE)相似的CTE的导电或非导电材料制成。框架围绕压电材料并且通过诸如环氧树脂等绝缘材料与压电材料分开。限定压电材料片中的各个换能器元件的切缝沿压电片的整个宽度延伸。在一些实施例中,子切片切缝将单个换能器元件分成两个或更多个子元件。在一些实施例中,子切片切缝平行于限定各个换能器元件的切缝。在其他实施例中,将子切片切缝切成与换能器元件切缝成一定角度或垂直,以形成1-3复合材料。例如,可以切割90度的切缝,以在压电片中创建方形或矩形压电柱。

[0024] 在前几代的高频超声波换能器中,对压电材料片进行了激光加工,以形成多个切缝,这些切缝限定了各个换能器元件。在将压电材料片层叠接至所需厚度之前,限定相邻换能器元件的切缝中的空隙以及元件内的子切片切缝填充有环氧树脂。切缝的长度小于压电片的宽度,使得压电材料的边界或周界在换能器元件周围提供了一定的强度。

[0025] 尽管此方法效果很好,但可以改进。例如,切缝中的固化环氧树脂将压电片置于应力下。由于环氧树脂在固化时会收缩,因此将每个换能器元件侧向拉入切缝。尽管对于一个或两个元件而言并不重要,但所有元件上的合计应力可能会达到压电片可能破裂的水平。另外,相信由环氧树脂收缩引起的应力使换能器元件变形以在换能器上产生恒定的应力偏置。最终,由于每个换能器元件在压电片的周界处物理地彼此连接,因此当元件被驱动脉冲激发并且回波信号撞击在元件上时,元件之间存在一定程度的串扰(cross-talk)。如将在下面描述的,本公开的技术的一个方面是一种换能器阵列设计,其中切缝在压电片的整个宽度上延伸。初步模拟表明,本公开的设计不仅减小了切缝填充材料的固化所引起的应力,而且还减小了换能器元件之间的耦合。这一点可得到实验支持,该实验表明带宽和灵敏度比以前的切缝设计有显著提高,以前的切缝设计延伸不到压电片的整个宽度。

[0026] 如本领域技术人员将理解的,在附图中示出的实施例是出于解释如何制造和使用本公开的技术的目的而绘制的,并且不一定按比例绘制。

[0027] 如图1所示,换能器叠层包括框架10,在框架10中放置了压电材料片。框架10具有中央开口12,该中央开口12容纳压电材料片并且在压电片的外边缘与框架10的内边缘之间形成空间。框架10优选地由具有类似于压电材料的热膨胀系数(CTE)的CTE的材料制成。在一些实施例中,压电材料片由锆钛酸铅(通常称为PZT)制成。在本说明书的其余部分中,压电材料被描述为PZT。但是,应当理解,其他材料例如单晶铁电弛豫器(例如,PMN-PT)或合成压电材料也可以代替PZT。对于PZT,框架材料的一个合适选择是氧化铝,氧化铝是一种非导电陶瓷,其CTE接近PZT的CTE。氧化铝的CTE约为7.2微米/m²°C,而PZT的CTE约为4.7微米/m²°C。但是,应当理解,可以使用具有类似于压电材料的热膨胀系数的其他材料,例如钼或细晶粒各向同性石墨。为了本申请的目的,如果在其正常温度工作范围内进行操作和处理时框架中的压电材料不会由于热应力而破裂,则热膨胀系数相似。在一些实施例中,框架10可以包括多个向内延伸的突出部或基准14(以虚线示出),这些突出部或基准14使PZT在开口中居中并且使PZT换能器元件与框架的内边缘间隔开。在一些实施例中,如果框架10由诸如钼或石墨等导电材料制成,则使用突片14,但是如果框架10由非导电氧化铝制成,则不使用突片14。

[0028] 图2A和2B示出了位于框架10的开口12中的压电材料片20。在框架10的内边缘和压电材料20的外边缘之间的空间填充有绝缘填充材料24。在一个实施例中,填充材料24是环氧树脂,例如可从位于美国马萨诸塞州比莱里卡镇的环氧技术有限公司(Epoxy Technology, Inc, Billerica MA)获得的EPO-TEK 301系列,其掺杂有氧化铪(hafnium oxide)或陶瓷颗粒。如下所述,将颗粒添加到环氧树脂中以抵抗收缩并抵抗如下所述的激光加工。在图3所示的实施例中,填充材料24模制在压电材料片20的侧面周围,并与压电材料片20的顶表面齐平,以形成具有顶表面32和底表面34的叠层30。在下面的描述中,在完成的换能器中,叠层的底表面34面向感兴趣区域,而顶表面32最近地面向超声操作者。

[0029] 一旦填充材料24固化,就将叠层30的顶表面32和底表面34研磨、碾压或以其他方

式制成平坦的,以去除任何额外的环氧树脂,并为将要描述的多个附加的加工步骤提供平坦的参考。

[0030] 在顶表面和底表面被研磨的情况下,利用准分子或其他图案化激光器在PZT片20中形成切缝。如图3所示,在PZT片20的整个宽度上从一个边缘到另一边缘切出切缝40。如果框架10包括对准突出部或基准点14,则切缝在远离PZT片的每个端部的位置处开始,以限定位于对准突出部14附近的无效区域42和44。以此方式,换能器元件的端部通过环氧树脂填充的间隙与框架10的内边缘分开。如果不使用对准突出部14,则可以将整个PZT片切片以形成换能器元件。因为填充材料24的环氧树脂比PZT软,所以换能器元件有效地漂浮在固化的填充材料24中。如上所述,限定各个换能器元件的切缝可从框架一侧的填充材料开始并在PZT片20的整个宽度上继续延伸到PZT片另一侧的填充材料24。

[0031] 在一个实施例中,根据要制造的换能器的所需中心频率,将多个切缝放置在所需的间距和足以形成换能器元件的深度。在一些实施例中,换能器元件包括两个电连接的子元件,所述两个电连接的子元件由在PZT的整个宽度上延伸的子切片切缝分开。在一个实施例中,子切片切缝具有与限定各个换能器元件的切缝相同的深度。但是,可以将子切片切缝切成比主要切缝更浅的深度,以使它们不会一直延伸到PZT的最终厚度。在其他实施例中,换能器元件可以不包括任何子切片切缝。

[0032] 在使用激光形成限定了换能器元件和子切片元件(如果使用的话)的切缝之后,如图4所示,用环氧树脂材料48填充切缝。用于填充切缝的环氧树脂材料是掺杂的柔性EPO-TEK 301环氧树脂。

[0033] 在一个实施例中,在真空下将环氧树脂材料48施加到零件上,以使没有空气滞留在切缝的底部。施加液态环氧树脂,然后将零件置于相对较高的压力下(例如100+psi),以将液态环氧树脂带入切缝,并使其固化。

[0034] 在切缝中的环氧树脂48固化之后,将叠层的底表面34研磨、碾压或以其他方式弄平。接下来,通过溅射或类似技术将诸如金或金+粘附金属(诸如铬)等导电材料的接地层60施加到叠层的前表面。导电接地层60覆盖切片PZT的前表面、框架10的前表面以及位于框架10和PZT片的边缘之间的环氧填充材料24的前表面(当换能器处于使用中所看到的)。

[0035] 在施加导电接地层60之后,如图5所示,将一个或多个匹配层M1、M2和M3(在所示的实施例中)以及透镜L1施加到叠层的前表面。所使用的匹配层数量取决于PZT的声阻抗和透镜材料的声阻抗之间的不匹配。在所示的实施例中,在叠层的前表面上使用三个匹配层M1、M2和M3。在一个实施例中,每个匹配层包括环氧树脂材料,该环氧树脂材料掺杂有粉末以改变其声学性能,从而实现所需的换能器性能。

[0036] 在一个实施例中,施加在导电接地层60上的匹配层M1包括掺杂有钨粉的EPO-TEK 301环氧树脂层。

[0037] 在一个实施例中,匹配层M2被施加在匹配层M1的表面上并且包括掺杂有钨粉和碳化硅(SiC)纳米颗粒的EPO-TEK 301环氧树脂层。

[0038] 在一个实施例中,匹配层M3被施加在匹配层M2的表面上并且包括掺杂有碳化硅(SiC)纳米颗粒的EPO-TEK 301环氧树脂层。

[0039] 在一个实施例中,每个匹配层的厚度优选地是换能器的中心工作频率处的1/4波长的奇数倍。通常,厚度将是1、3、5或7个四分之一波长的厚度之一。但是,这可能会根据换

能器的所需声学特性而有所不同。应当理解,这些匹配层仅是示例性的,并且可以根据换能器的所需工作频率、要使用的透镜材料等来使用其他匹配层组成。如何用颗粒掺杂匹配层以实现所需声阻抗的细节,对于超声波换能器设计领域的普通技术人员是已知的。

[0040] 在施加和固化每个匹配层之后,将叠层的前表面研磨以达到所需厚度并保持前表面平坦。在一些实施例中,用激光在固化的匹配层中切出切缝62,以与限定各个换能器元件的切缝和子切片切缝(如果使用的话)对准。在其他实施例中,可以在匹配层中形成切缝62,以仅与限定各个换能器元件的切缝对准,而不在子切片切缝上对准。在一个实施例中,切缝62延伸穿过匹配层M3-M1,并且可以部分或全部延伸穿过接地层60,而不会损失接地层与换能器元件之间的连接性。一旦形成,匹配层中的切缝62就填充有与填充PZT材料中的切缝相同的填充环氧树脂材料。

[0041] 在对匹配层进行切缝、填充和研磨之后,将透镜材料粘结到匹配层上。在高频相控阵中,如图6A所示,在透镜80中形成切缝96,切缝96与匹配层(包括设置在透镜前面的匹配层M4和M5)中的切缝62对准。在一些实施例中,透镜80以及匹配层M4和M5包括切缝96,切缝96与换能器元件切缝和子切片切缝都对准。在其他实施例中,透镜和匹配层M4和M5仅包括与限定各个换能器元件的切缝对准的切缝。在一些实施例中,在将透镜安装到匹配层之前,在透镜和外部匹配层材料中形成切缝并填充切缝。在其他实施例中,可以将透镜和外部匹配层首先粘结到换能器叠层,然后进行切缝并填充。曲率98被加工到透镜的前侧,使得透镜将超声聚焦在所需深度的平面中。

[0042] 在一些实施例中,在填充的切缝62之间的位置处,将凹陷或凹口72激光加工到最上层匹配层(例如,M3)中,从而在填充的切缝的顶部处形成多个支撑梁或脊74,这些支撑梁或脊74在PZT片的整个宽度上延伸,如图6B最佳所示。梁74在PZT片的整个宽度上支撑透镜80。相信当将透镜固定到叠层上时,梁74有助于在透镜80的后表面和最上层匹配层之间保持一致的距离。如果没有梁/脊74,则如果仅在透镜的周界支撑透镜80,则将两者固定在一起时,中心区域和最上层匹配层之间的距离可能会变化。在公差非常严格的高频阵列中,具有梁/脊74可以帮助确保透镜到换能器的距离在有源元件的整个区域上一致。如果最上层匹配层不包括填充的切缝,则脊74可以形成在匹配层中的任何地方,而不是形成在下部匹配层中的填充的切缝之间。

[0043] 在一个实施例中,用于最上层匹配层M3的相同材料用于将透镜80胶合到叠层上。因为凹口72是浅的并且用于最上层匹配层M3的相同材料被用作将透镜80固定到匹配层的黏胶,所以在粘结线上的声不连续最小。

[0044] 在将透镜固定到叠层上之后,在施加透镜匹配层之前,对透镜材料进行加工,使其具有17mm的曲率半径或取决于换能器的所需焦距的其他曲率半径。两个匹配层(M4,M5)施加到透镜的前表面。在一个实施例中,透镜上的匹配层M4、M5由施加在芯轴(mandrel)上的掺杂或载有粉末的环氧树脂材料制成,芯轴具有与加工到透镜材料中的半径相同的曲率半径。芯轴与透镜层间隔开所需匹配层的适当厚度,以使芯轴在匹配层中形成所需曲率。

[0045] 为了使换能器能够很好地用作相控阵,每个元件在透镜的前表面处产生的能量的光束图案必须足够宽,以使横向分量可以与来自相邻元件的光束的横向分量组合,从而有效控制光束。在一个实施例中,光束图案具有与法线成 $\pm 45^\circ$ 的能量,其信号功率超过-6dB。

[0046] 对于低频换能器,允许制造这种换能器的透镜材料是可用的。但是,在高频下,此类材料的物理特性使它们对于换能器设计是不可接受的。例如,硅树脂材料由于其接近水的声阻抗而经常被用作低频换能器的透镜材料。但是,超声波在硅树脂中的吸收率随频率呈指数增长,在15MHz+时,材料中的吸收率太大,无法用作有效的透镜。为了克服这种吸收率,通常将较硬的材料用于高频超声透镜,例如聚甲基戊烯(以商品名TPX出售)和交联聚苯乙烯(以商品名Rexolite出售)。尽管对于非相控阵是可以接受的,但是由于斯涅尔(Snell)定律,这种材料很难在相控阵中使用。

[0047] 根据斯涅尔定律,能量从较快的材料传递到较慢的材料会趋向于垂直于界面的线弯曲。当希望一部分光束能量以偏离法线的角度延伸时,这正是相控阵的错误方向。为了补偿斯涅尔定律效应,必须以更大的入射角提供能量,该入射角迅速接近透镜材料的临界角,在临界角处所有能量都在内部反射。在超声波换能器中,来自一个换能器元件的内部反射能量会导致在相邻元件处产生杂散信号(spurious signals)。另外,与这种内部反射相关的相差使得几乎不可能对来自多个相邻换能器元件的信号进行光束成形。

[0048] 根据本公开的技术的一些实施例的相控阵换能器设计包括透镜,该透镜被配置为使得与在透镜中的侧向或横向方向相比在向前方向上具有各向异性的声速。在一个实施例中,透镜由声速快于填充该透镜的切缝的材料声速的材料制成。如图6A所示,透镜80包括聚苯并咪唑片(以商品名Celazole™出售)。透镜80(和外部匹配层,如果使用的话)用激光图案化以形成多个切缝96,这些切缝与限定各个换能器元件的切缝或限定各个换能器元件和子切片切缝的切缝对准。Celazole可用作高频透镜材料,因为它具有很高的声速,并且当以细间距(例如,对于20+MHz相控阵为40um或更小)形成切缝时,它可以承受所用激光的热量而不融化。此外,Celazole可以直接粘结到换能器叠层的最上层匹配层的环氧树脂,因此不需要氰基丙烯酸酯(CA)胶层。

[0049] 在一个实施例中,在透镜80和最外层匹配层M4和M5中的切缝96填充有一种具有比透镜材料的声速慢得多的声速的材料,例如填充粉末的环氧树脂或RTV 60硅树脂。

[0050] 在一些实施例中,透镜80在其前表面上还包括一个或多个匹配层M4和M5,该一个或多个匹配层使透镜材料的阻抗与水匹配。M4和M5形成具有与透镜的曲率匹配并与其对准的曲率。在一些实施例中,外部匹配层M4、M5被激光切片以继续形成在透镜材料80中的切缝96,并且填充有填充透镜材料中的切缝的相同材料。在其他实施例中,透镜80前面的匹配层可以省略M4和M5之一或两者上的切缝。

[0051] 通过这种构造,透镜80中的切缝96之间的透镜材料形成多个微型波导,其沿笔直的方向引导来自超声波换能器元件的能量,而在透镜中横向散布的能量较少。在一个实施例中,在换能器叠层的轴向上通过透镜的声速大于在穿过透镜的侧面方向上或在与透镜的前表面平行的方向上的声速。

[0052] 如果不将换能器用作相控阵,则无需对透镜(和匹配层,如果使用的话)切缝。

[0053] 在一些实施例中,可以用限定各个换能器元件的切缝将附加的切缝激光加工到PZT层中。图7示出了多个可能的子切片图案。图案150是常规的子切片图案,其中换能器元件在其中心的长度方向上被单个子切片切缝分开。该子切片切缝具有与换能器元件相同的长度。如本领域技术人员将理解的,换能器元件的宽度/高度比应小于或等于约0.6的“黄金比例”,以最小化PZT中的横向振动模式。在本公开的技术的一些实施例中,准分子UV激光器

可以切割宽度大约为6 μm 的切缝线。在40微米的元件间距和70–80微米的PZT厚度下,无需使用中央子切片切缝即可满足该比例。

[0054] 其他子切片图案可能对某些换能器应用有用。图案154包括相对于限定换能器元件的切缝以锐角(例如约55度)切割的多个平行的子切片切缝。在所示的实施例中,对于40微米宽的换能器元件,平行的子切片切缝间隔开28微米,但是可以使用其他间隔。

[0055] 第三子切片图案158是由交替形成的不同角度的平行切缝组形成的,这些切缝相对于限定换能器元件的切缝的方向成一定角度(例如55度和125度)切割。结果是一组交替定向的三角形PZT柱,每组柱均具有与限定换能器元件的切缝对准的底边以及与换能器元件的宽度相等的高度。在所示的实施例中,每个这样的三角形具有56微米长的底边和40微米的高度(减去切缝宽度),用于具有40微米间距的元件的换能器。

[0056] 第四图案162具有垂直于限定换能器元件的切缝的子切片切缝。在这种图案中,形成多个矩形的PZT柱,其高度为例如28微米,并且宽度等于换能器元件的宽度(例如,在所示实施例中为40微米)。

[0057] 第五图案166由子切片切缝制成,这些子切片切缝由相对于限定各个换能器元件的切缝成锐角(例如45度)定向的多个平行切割的切缝形成,并且与垂直于限定各个换能器元件的切缝的切缝间隔开。该图案形成多个交替的直角三角形,其斜边在换能器元件中彼此面对。在所示的实施例中,直角三角形的边长为40微米。

[0058] 切缝的第六图案170通过相对于限定各个换能器元件的切缝在60度和120度处形成切缝来在换能器元件中形成多个交替定向的等边三角形。

[0059] 图8示出了可以在匹配层(M1–M5)和透镜中形成的多个可能的子切片切缝,这些子切片切缝对应于PZT层中的子切片切缝。

[0060] 图案180对应于图案150,图案150具有单个切缝,该单个切缝限定一对子切片元件。图案182对应于直角三角形图案166。图案184对应于交替三角形图案158,而图案186对应于交替等边三角形图案170。

[0061] 如上所述,在某些情况下,匹配层包括与PZT层中的子切片切缝匹配的切缝。在其他实施例中,匹配层包括少于PZT层中所有子切片切缝的切缝,并且可以仅包括与限定各个换能器元件的切缝匹配的切缝。如上所述,通过将透镜80粘结到换能器叠层,可以制造换能器叠层的后侧或近侧。首先,根据换能器的所需工作频率,将PZT层和框架研磨成所需厚度。然后,如图9最佳所示,导电支撑框架160用导电环氧树脂粘合剂固定在换能器叠层150的后侧或近侧。框架160优选地是导电的,并且由具有类似于PZT的CTE的金属(例如钼)制成。在所示的示例中,换能器叠层150具有4.5mm的仰角尺寸和7.6mm的方位角或宽度尺寸。支撑框架160具有开口区域162,通过该开口区域162可触及各个暴露的PZT换能器元件的后表面。支撑框架160支撑一个或多个具有迹线(traces,未示出)的柔性电路170,这些迹线将电信号传递到换能器元件或从换能器元件传递电信号。在一个实施例中,第一柔性电路具有连接到所有偶数换能器元件的迹线,并且在框架160的相对侧上的第二柔性电路(未示出)具有连接到所有奇数换能器元件的迹线。在一些实施例中,单个柔性电路包括用于偶数和奇数换能器元件的迹线。

[0062] 柔性电路170中的接地平面(未示出)通过导电环氧树脂等电连接到换能器背面的导电支撑框架160。因此,支撑框架160用作换能器叠层的前侧上的公共接地电极60与柔性

电路中的接地平面之间的导电路径的一部分。如果包围PZT片的框架是导电的(例如石墨或钼),则框架本身将成为导电路径的一部分。如果框架是不导电的(例如氧化铝),则在框架和换能器叠层前面的公共接地电极之间会包含导电路径。图10示出了框架10的实施例,该框架10具有沿其长度方向具有一对切缝200,该对切缝200可以填充有导电环氧树脂,以在框架的前部和框架的后部之间形成导体,该导体又与导电支撑框架160的后部连接。提供导电路径的其他机制可以包括穿过框架的通孔或导电箔、导线等,这些通孔或导电箔、导线等连接PZT元件前面的公共接地电极和导电支撑框架160或柔性电路中的接地电极。

[0063] 一旦将导电支撑框架160固定到换能器叠层,则在柔性电路中的迹线的暴露部分与对应的各个换能器元件之间形成电通路。

[0064] 在一个实施例中,导电路径形成在换能器元件的近侧上,以允许柔性电路170中的迹线电连接到换能器元件。在一些实施例中,通过用颗粒填充的环氧树脂填充框架160的开口侧、用激光在环氧树脂中形成从换能器元件到柔性电路中的对应迹线的环氧树脂中的通道并通过用金或金加铬镀覆通道来创建路径、然后在不需要的区域去除金并用激光清理镀金的金属路径。根据本公开的技术的一些实施例的用于在换能器元件与柔性电路中的迹线之间形成导电路径的合适的图案化工艺的描述可在共同拥有的第2017-0144192A1号美国专利和第8,316,518号美国专利中找到,其全部内容通过引用合并于此。

[0065] 一旦在换能器元件和柔性电路中的迹线之间建立了连接,就将衬层(未示出)固定到换能器元件后面的组件上。图11和图12是换能器组件的截面图,示出了具有PZT层、围绕PZT层的框架以及通过多个匹配层耦合至叠层的透镜的换能器叠层。

[0066] 尽管本公开的实施例示出了适合于高频相控阵换能器的元件间距,但是应当理解,包括压电片、周围框架、匹配层和透镜的换能器的结构可以用于非相控阵换能器或低频换能器。另外,如果以较低的频率使用,则可以使用其他透镜材料,例如TPX或Rexolite。如果未将换能器设计为相阵列,则此类透镜材料可能不会切缝。

[0067] 根据前述内容,将理解的是,出于说明的目的已经在本文中描述了本发明的特定实施例,但是在不脱离本发明的范围的情况下可以进行各种修改。例如,本公开的换能器设计可以按比例缩放以在较低频率(例如2-15MHz)下操作。另外,本公开的技术的方面可用于更常规的超声波换能器设计中。因此,本发明不受所附权利要求书的限制。

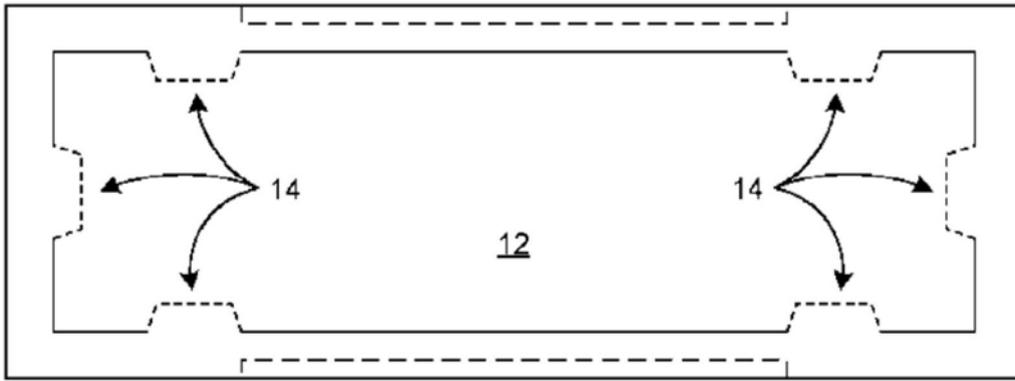


图1

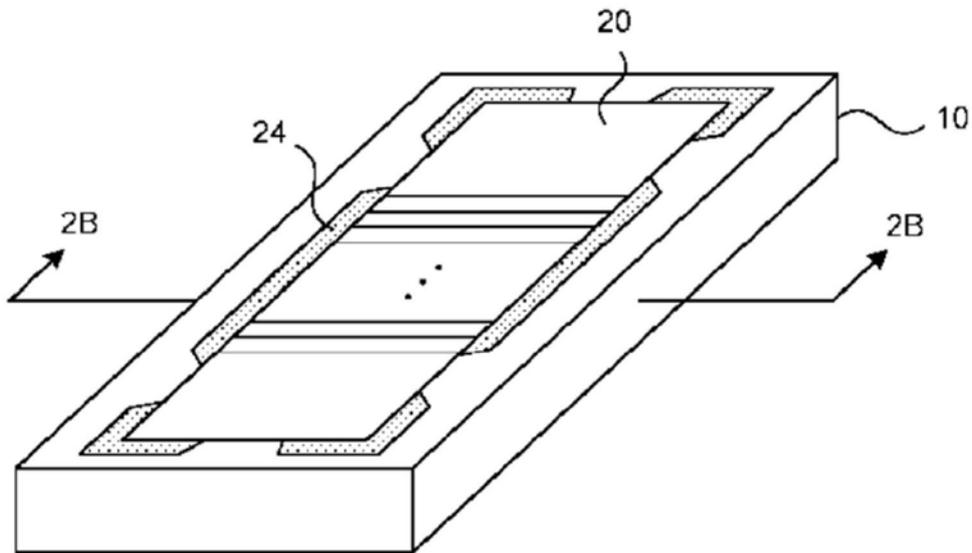


图2A

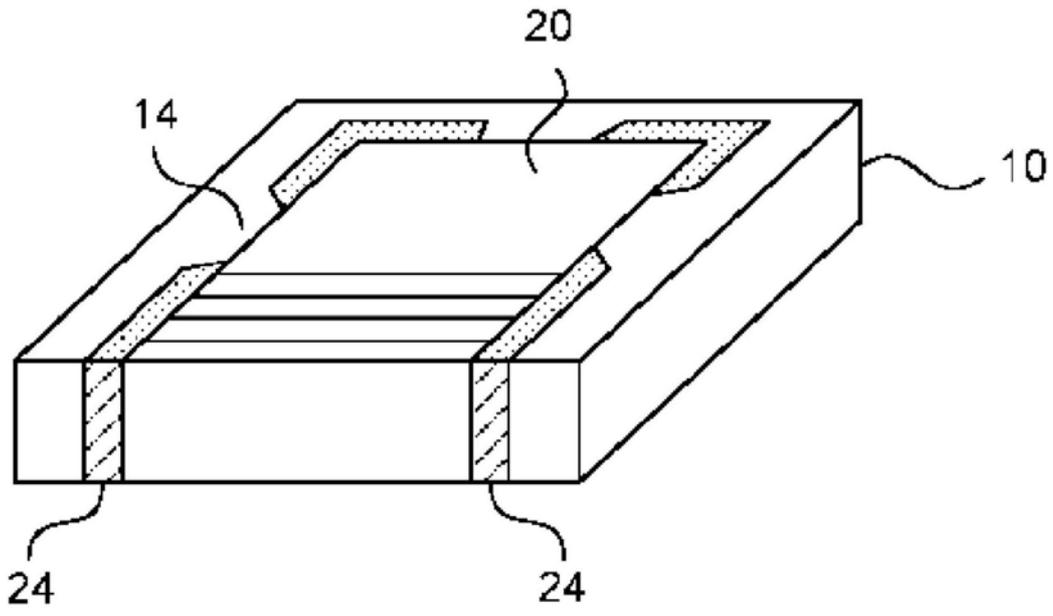


图2B

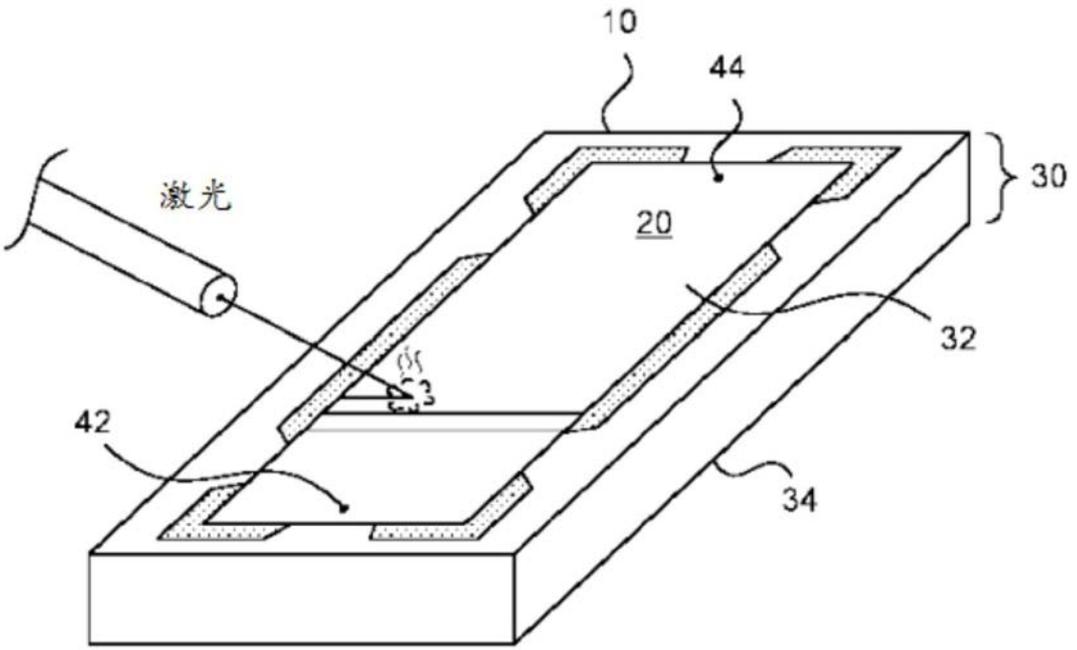


图3

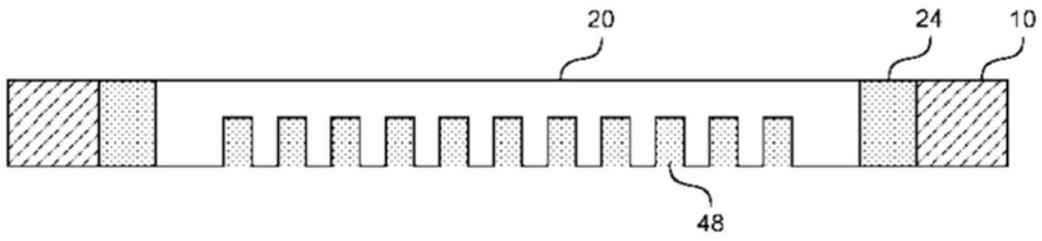


图4

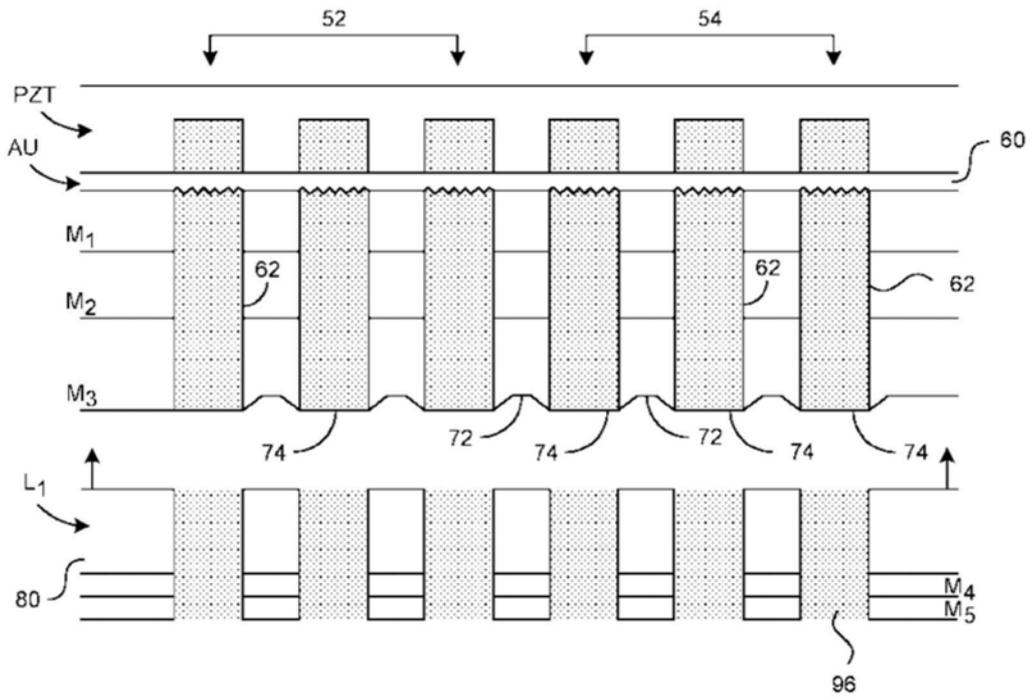


图5

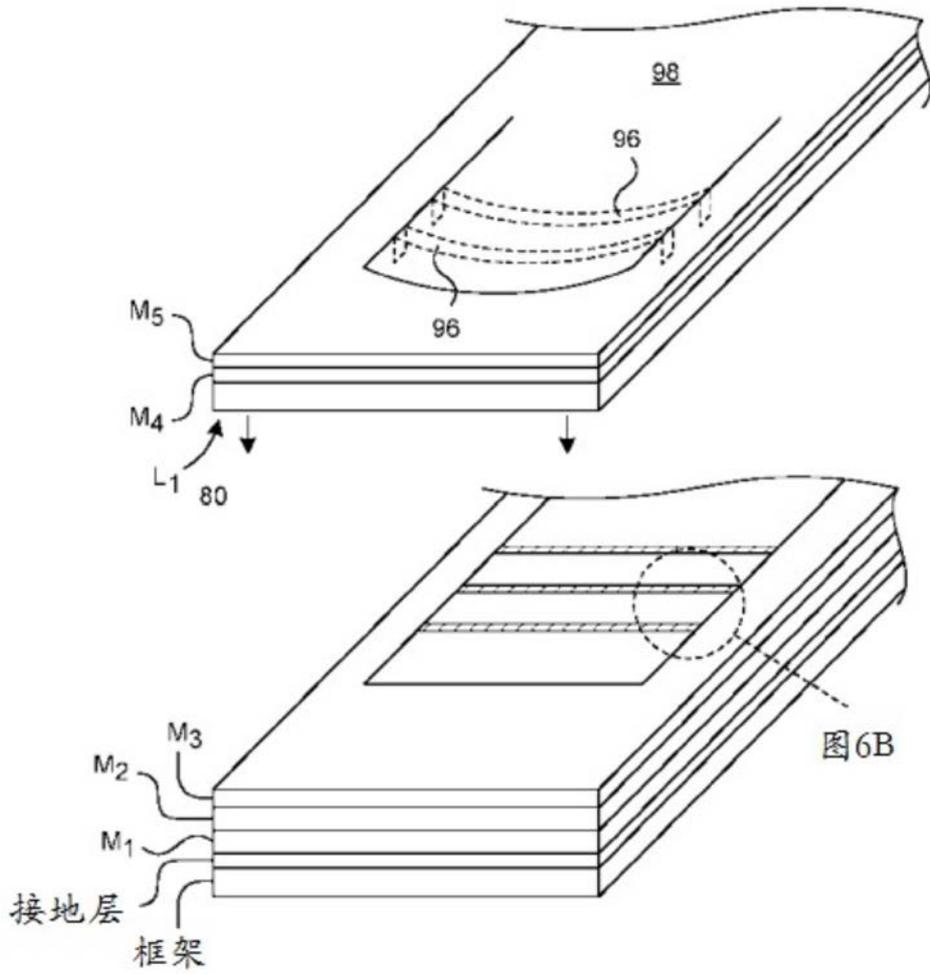


图6A

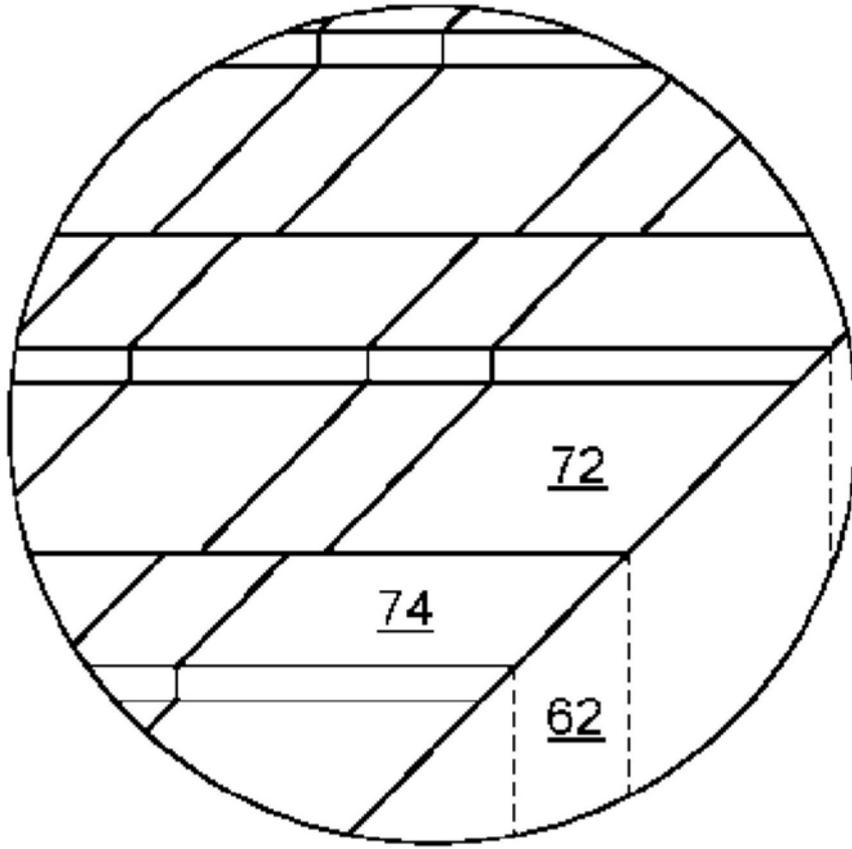


图6B

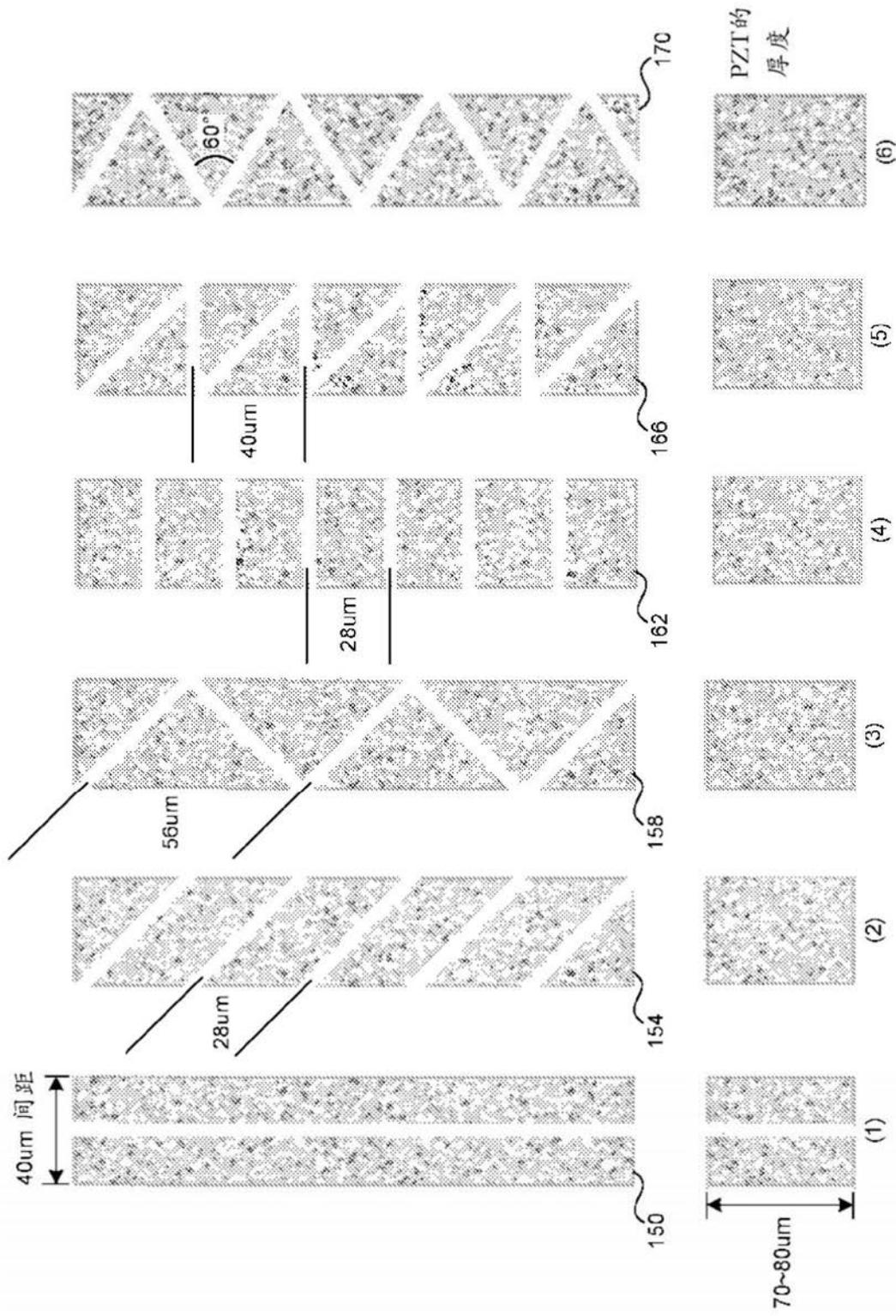


图7

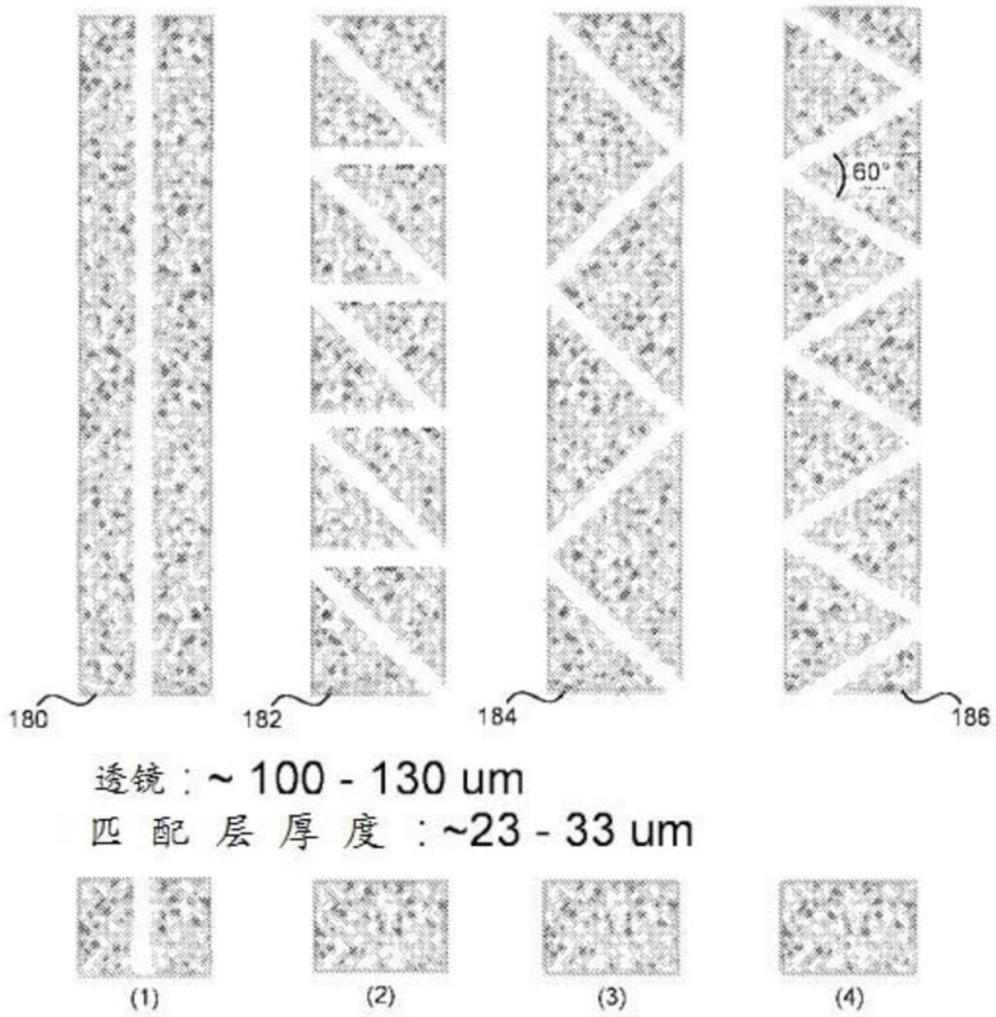


图8

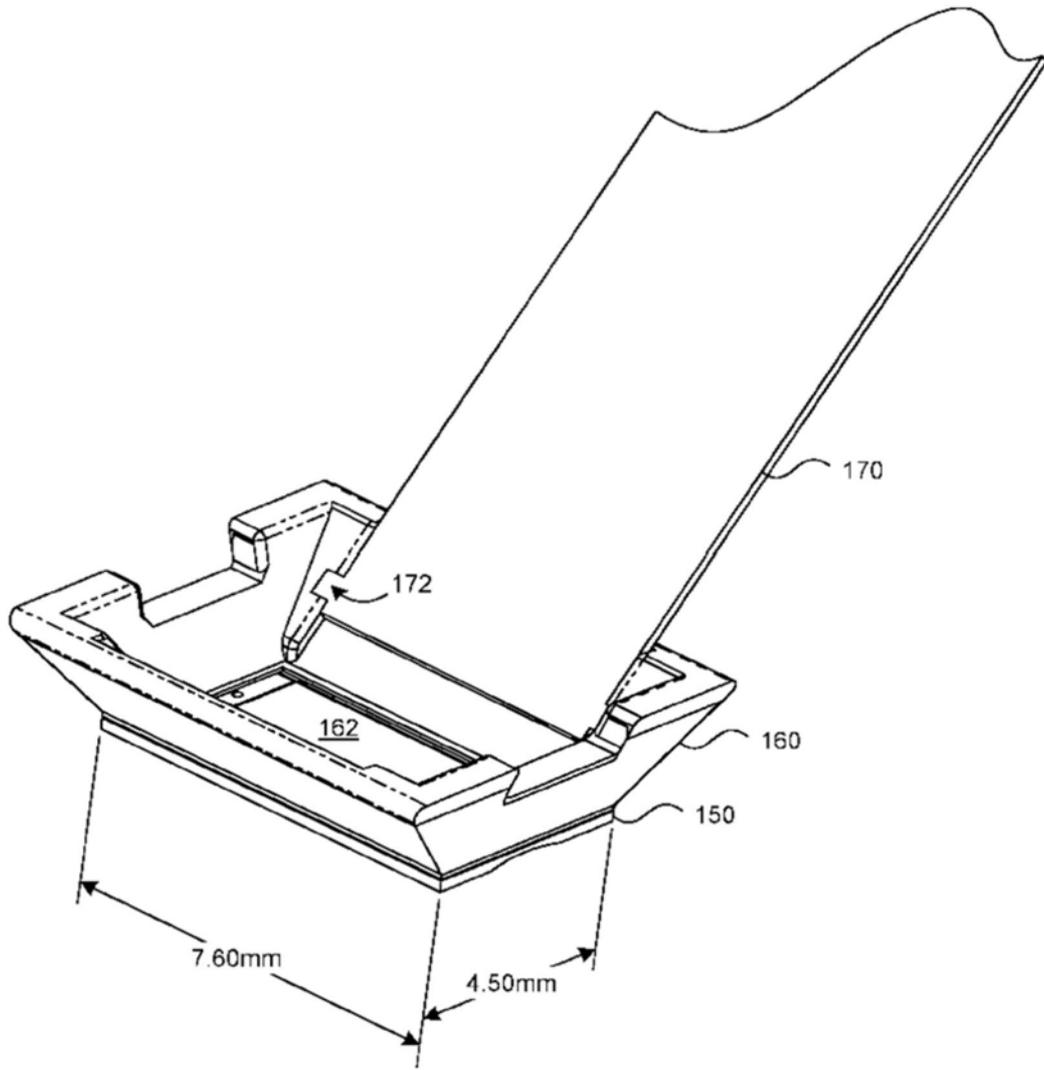


图9

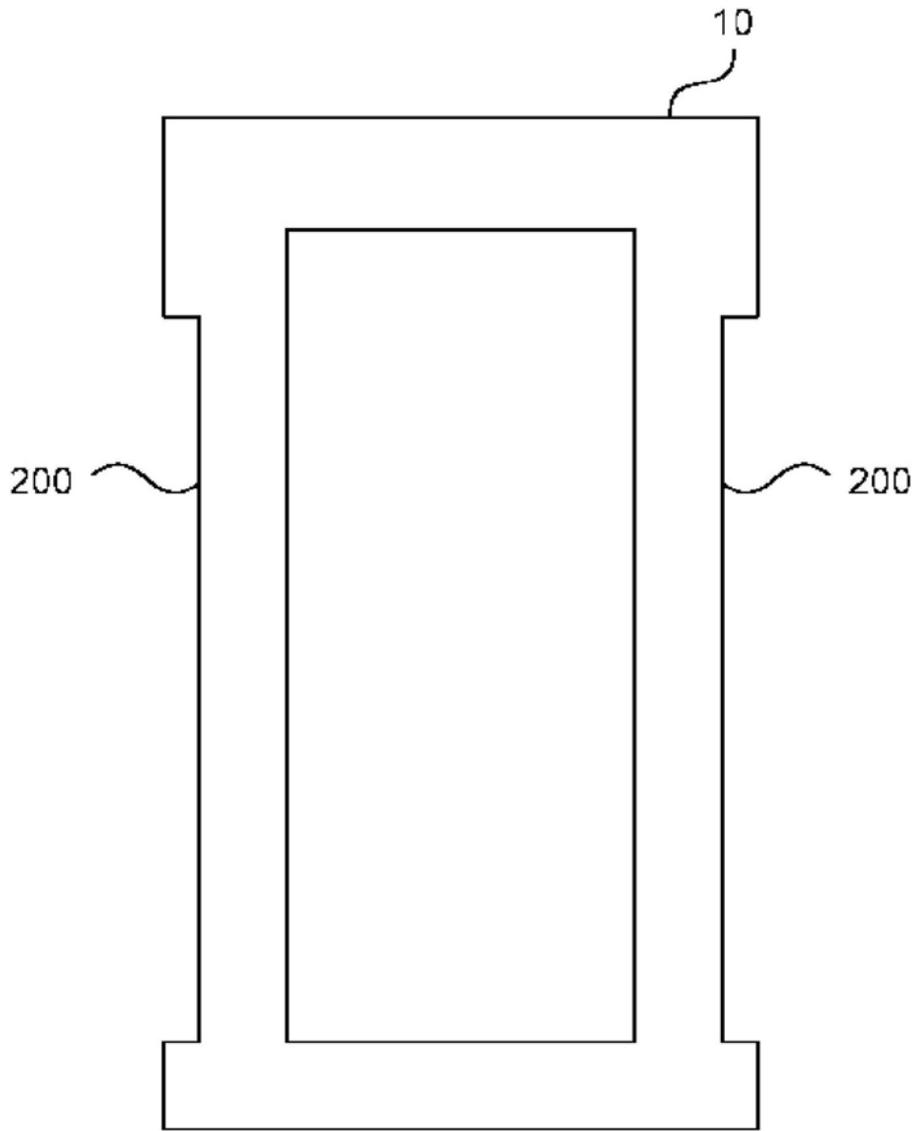


图10

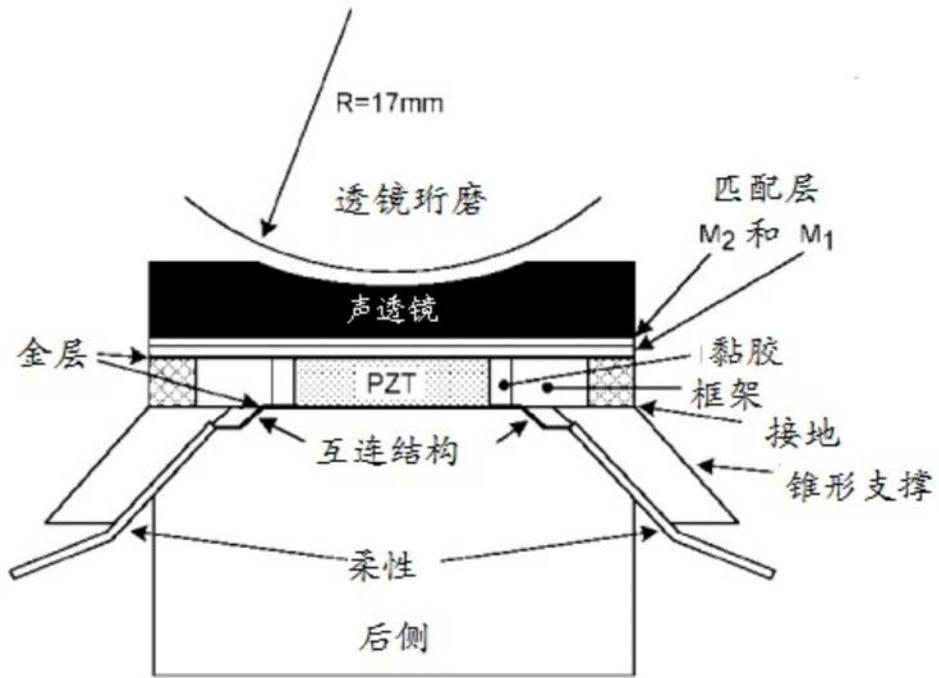


图11

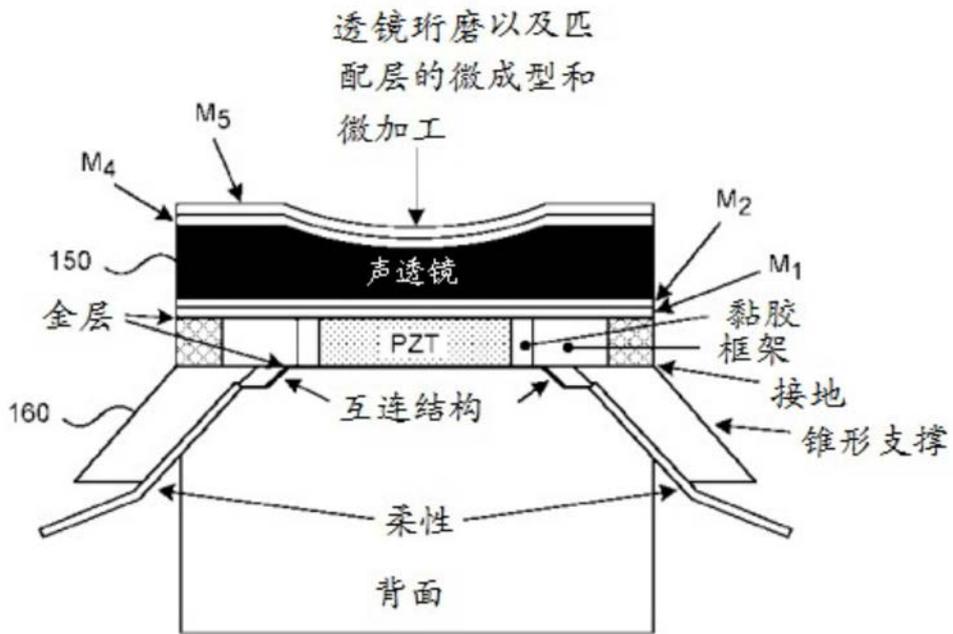


图12