



(10) 授权公告号 CN 112513629 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 29

(21) 申请号 201980049864.3

(22) 申请日 2019.07.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112513629 A

(43) 申请公布日 2021.03.16

(30) 优先权数据
62/712,595 2018.07.31 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.01.26

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/CA2019/051046 2019.07.31

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/024051 EN 2020.02.06

(73) 专利权人 共振声学国际公司
地址 加拿大安大略省

(72) 发明人 尼古拉斯·克里斯·查加雷斯
埃里克·M·里德
卡奇克·卡沙菲安

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201
专利代理师 杜德海

(51) Int.Cl.
G01N 29/34 (2006.01)
G01D 5/48 (2006.01)
G01S 15/88 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 107920797 A, 2018.04.17

审查员 王丽

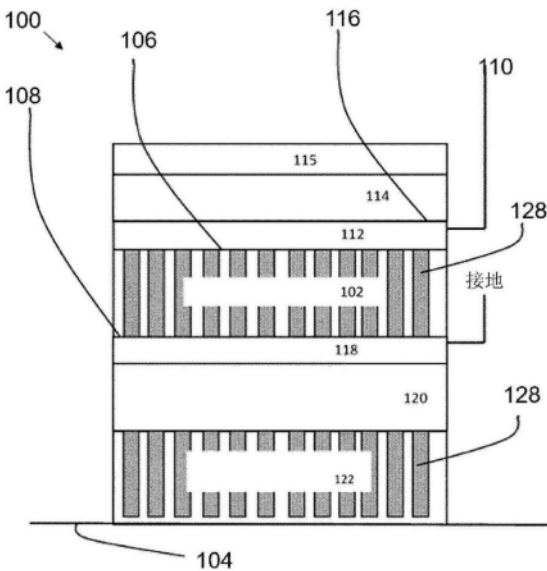
权利要求书2页 说明书16页 附图4页

(54) 发明名称

超声换能器

(57) 摘要

提供了一种超声换能器及其设计和制造方法。该超声换能器包括压电复合材料层,该压电复合材料层用于与样品声学通信,并且具有至少部分经解耦的声阻抗和电阻抗特性。压电复合材料层包括各自由压电材料制成的间隔的压电区域的阵列、位于相邻的间隔的压电区域之间的包括聚合物基体的填充材料和与聚合物基体接触的非压电材料。在一些实施方案中,超声换能器包括在压电复合材料层上延伸的电绝缘非压电复合材料层,用于使压电复合材料层与样品电绝缘,该电绝缘非压电复合材料层与压电复合材料层和样品声学匹配。



1. 一种超声换能器,包括:

压电复合材料层,用于与样品声学通信并且具有至少部分经解耦的声阻抗特性和电阻抗特性,所述压电复合材料层包括:

间隔的压电区域的阵列,每个间隔的压电区域由具有第一声阻抗和第一相对介电常数的压电材料制成;

填充材料,位于相邻的间隔的压电区域之间,所述填充材料包括具有第二声阻抗和第二相对介电常数的聚合物基体,所述第二声阻抗小于所述第一声阻抗,并且所述第二相对介电常数小于所述第一相对介电常数;和

非压电材料,与所述聚合物基体接触,所述非压电材料具有第三声阻抗和第三相对介电常数,所述第三声阻抗大于所述第二声阻抗,并且所述第三相对介电常数小于所述第一相对介电常数;和

一个或多个电极,与所述压电复合材料层电学通信,

其特征在于:

所述聚合物基体由环氧树脂制成,并且所述非压电材料是氧化铅粉末。

2. 根据权利要求1所述的超声换能器,进一步包括位于相邻的间隔的压电区域之间的一个或多个电绝缘区域,所述一个或多个电绝缘区域与所述填充材料接触。

3. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域具有第四声阻抗和第四相对介电常数,所述第四声阻抗与所述第一声阻抗接近,并且所述第四相对介电常数小于所述第一相对介电常数。

4. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域由陶瓷制成。

5. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域由玻璃制成。

6. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域具有细长的形状。

7. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域限定棒状电绝缘区域。

8. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域限定柱状电绝缘区域。

9. 根据权利要求2所述的超声换能器,其中所述一个或多个电绝缘区域为球形的。

10. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述非压电材料被嵌入在所述聚合物基体中。

11. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中:

所述压电材料沿一个方向连续;并且

所述填充材料沿三个方向连续。

12. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中:

所述压电材料沿两个方向连续;并且

所述填充材料沿两个方向连续。

13. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述压电材料选自铁电材料和压电聚合物材料构成的组。

14. 根据权利要求13所述的超声换能器,其中所述压电材料选自单晶铁电材料和无

铅铁电材料构成的组。

15. 根据权利要求13所述的超声换能器,其中所述压电材料为锆钛酸铅(PZT)。

16. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述声阻抗特性在15MR至30MR的范围内。

17. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述第一声阻抗在30MR至40MR的范围内。

18. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述第三声阻抗在7MR至8MR的范围内。

19. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中在所述压电复合材料层和所述样品之间限定有声学路径,所述超声换能器进一步包括沿所述声学路径位于所述压电复合材料层和所述样品之间的接近无损的声学匹配层。

20. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述压电复合材料层具有2400微米的厚度。

21. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中各个间隔的压电区域彼此隔开200微米,并且具有正方形截面,所述正方形截面为1000微米乘1000微米。

22. 根据权利要求1所述的超声换能器,其中所述压电复合材料层具有70%至80%的压电体积分数。

超声换能器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2018年7月31日提交的专利申请US 62/712,595的优先权,其说明书通过引用合并在本文中。

技术领域

[0003] 技术领域总体上涉及声能领域,并且更具体地涉及一种超声换能器、相关设备、装置方法和技术。

背景技术

[0004] 朝向以及发自超声换能器的声能传输至少部分受到声阻抗失配的影响,例如,在超声换能器中所含材料(例如,压电陶瓷)和与超声换能器声学耦合的材料之间的声阻抗的差异。通常,当超声换能器与材料之间的声阻抗匹配时,彼此之间的能量传递得到改善。

[0005] 通常本领域技术人员已知,存在阻抗匹配技术用于改善声波跨过不同材料的传输效率。这样的阻抗匹配技术通常涉及带宽和效率之间的权衡,并具有一定程度的复杂性。当需要大带宽时,超声换能器的设计,包括匹配系统会更加复杂。这样的复杂性显著增加了超声换能器的成本。设计和实现具有大带宽的超声换能器仍然是一个挑战,所以本领域已知的解决方案从根本上仍然是有限的带宽。

[0006] 多种材料有时需要与超声换能器声学耦合。这样的材料可以用于许多工业和医疗应用中。常见的实例包括但不限于生物组织(例如人体和动物体)、有机材料(例如木材和聚合物)、无机材料(例如金属)、复合材料(例如碳复合物)和陶瓷。上述材料的声阻抗范围从大约1兆瑞利(MegaRayle, MR)到超过60MR。

[0007] 与超声换能器声学耦合的材料可以分为四个类别:声阻抗高于压电材料的材料(在本文中称为“第一类别”),声阻抗接近于压电材料的材料(在本文中称为“第二类别”),声阻抗低于压电材料的材料(在本文中称为“第三类别”)以及声阻抗比大多数压电材料低得多的生物材料(在本文中称为“第四类别”)。

[0008] 第一类别材料的实例是例如但不限于钨、钼、镍和金。这些材料的声阻抗超过约45MR。第二类别材料的实例是例如但不限于黄铜、银、锆和铸铁。这些材料的声阻抗在约30MR和约40MR之间。第三类别材料的实例是例如但不限于镁、铝、铟、钛和锡。这些材料的声阻抗范围为约10MR至约30MR。第四类别材料的实例是例如但不限于脂肪、肌肉或器官。这些材料的声阻抗通常在约1.2MR和约1.8MR之间。骨骼是第四类别材料的另一实例,并且可以具有约5MR和约8MR之间的声阻抗。但是需要注意的是,该值可以有很大的变化。

[0009] 仍然需要可以缓解或减轻现有技术中的问题的技术、装置、设备和方法。

发明内容

[0010] 根据一个方面,提供了一种超声换能器,包括压电复合材料层,压电复合材料层用于与样品声学通信,并且具有至少部分经解耦的声阻抗和电阻抗特性;以及与压电复合材

料层电学通信的一个或多个电极,压电复合材料层包括间隔的压电区域的阵列,每个间隔的压电区域由具有第一声阻抗和第一相对介电常数的压电材料制成;填充材料,其位于相邻的间隔的压电区域之间,填充材料包括具有第二声阻抗和第二介电常数的聚合物基体,第二声阻抗小于第一声阻抗,并且第二相对介电常数小于第一相对介电常数;和非压电材料,其与聚合物基体接触,非压电材料具有第三声阻抗和第三相对介电常数,第三声阻抗大于第二声阻抗,并且第三相对介电常数小于第一相对介电常数。

[0011] 在一些实施方案中,压电复合材料层用于朝向样品产生探测声信号;并且一个或多个电极可操作以将探测电信号发送到压电复合材料层,从而产生探测声信号。

[0012] 在一些实施方案中,压电复合材料层用于接收从样品发出的样品声信号,从而朝向一个或多个电极产生样品电信号,样品电信号代表样品声信号。

[0013] 在一些实施方案中,聚合物基体由环氧树脂制成。

[0014] 在一些实施方案中,非压电材料是氧化铅粉末。

[0015] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括位于相邻的间隔的压电区域之间的一个或多个电绝缘区域,一个或多个电绝缘区域与填充材料接触。

[0016] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有第四声阻抗和第四相对介电常数,第四声阻抗与第一声阻抗接近,并且第四相对介电常数小于第一相对介电常数。

[0017] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由陶瓷制成。

[0018] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由玻璃制成。

[0019] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有细长的形状。

[0020] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定棒状电绝缘区域。

[0021] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定柱状电绝缘区域。

[0022] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括一个或多个电绝缘区域,其为球形的。

[0023] 在一些实施方案中,非压电材料被嵌入在聚合物基体中。

[0024] 在一些实施方案中,压电材料沿一个方向连续;并且填充材料沿三个方向连续。

[0025] 在一些实施方案中,压电材料沿两个方向连续;并且填充材料沿两个方向连续。

[0026] 在一些实施方案中,压电材料选自铁电材料、单晶铁电材料、无铅铁电材料和压电聚合物材料构成的组。

[0027] 在一些实施方案中,压电材料为锆钛酸铅(PZT)。

[0028] 在一些实施方案中,声阻抗特性在约15MR至约30MR的范围内。

[0029] 在一些实施方案中,第一声阻抗在约30MR至约40MR的范围内。

[0030] 在一些实施方案中,第三声阻抗在约7MR至约8MR的范围内。

[0031] 在一些实施方案中,压电复合材料层与样品声学匹配,并且与样品电绝缘。

[0032] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括与一个或多个电极电学通信的背衬层。

[0033] 在一些实施方案中,背衬层为去匹配层。

[0034] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括接地电极。

[0035] 在一些实施方案中,接地电极被配置为散热器。

[0036] 在一些实施方案中,在压电复合材料层和样品之间限定有声学路径,超声换能器进一步包括沿声学路径位于压电复合材料层和样品之间的接近无损的声学匹配层。

[0037] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括耐磨层,耐磨层与压电复合材料层声学匹配。

[0038] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有大约2400微米的厚度。

[0039] 在一些实施方案中,各个间隔的压电区域彼此隔开200微米,并且具有正方形截面,正方形截面为1000微米乘1000微米。

[0040] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有约70%至约80%的压电体积分数。

[0041] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括电绝缘的壳体,用于在其中容纳压电复合材料层。

[0042] 根据另一个方面,提供了一种用于朝向目标发射声信号的超声换能器,该超声换能器包括压电复合材料层,压电复合材料层具有至少部分经解耦的声阻抗和电阻抗特性;以及与压电复合材料层电学通信的一个或多个电极,该一个或多个电极可操作以将电信号发送到压电复合材料层,从而朝向目标产生声信号,压电复合材料层包括:间隔的压电区域的阵列,每个间隔的压电区域由具有第一声阻抗和第一相对介电常数的压电材料制成;填充材料,其位于相邻的间隔的压电区域之间,填充材料包括具有第二声阻抗和第二介电常数的聚合物基体,第二声阻抗小于第一声阻抗,并且第二相对介电常数小于第一相对介电常数;和非压电材料,其与聚合物基体接触,非压电材料具有第三声阻抗和第三相对介电常数,第三声阻抗大于第二声阻抗,并且第三相对介电常数小于第一相对介电常数。

[0043] 在一些实施方案中,聚合物基体由环氧树脂制成。

[0044] 在一些实施方案中,非压电材料是氧化钨粉末。

[0045] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括位于相邻的间隔的压电区域之间的一个或多个电绝缘区域,一个或多个电绝缘区域与填充材料接触。

[0046] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有第四声阻抗和第四相对介电常数,第四声阻抗与第一声阻抗接近,并且第四相对介电常数小于第一相对介电常数。

[0047] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由陶瓷制成。

[0048] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由玻璃制成。

[0049] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有细长的形状。

[0050] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定棒状电绝缘区域。

[0051] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定柱状电绝缘区域。

[0052] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域为球形的。

[0053] 在一些实施方案中,非压电材料被嵌入在聚合物基体中。

[0054] 在一些实施方案中,压电材料沿一个方向连续;并且填充材料沿三个方向连续。

[0055] 在一些实施方案中,压电材料沿两个方向连续;并且填充材料沿两个方向连续。

[0056] 在一些实施方案中,压电材料选自由铁电材料、单晶铁电材料、无铅铁电材料和压电聚合物材料构成的组。

[0057] 在一些实施方案中,压电材料为锆钛酸铅(PZT)。

[0058] 在一些实施方案中,声阻抗特性在约15MR至约30MR的范围内。

[0059] 在一些实施方案中,第一声阻抗在约30MR至约40MR的范围内。

[0060] 在一些实施方案中,第三声阻抗在约7MR至约8MR的范围内。

[0061] 在一些实施方案中,压电复合材料层与样品声学匹配,并且与样品电绝缘。

- [0062] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括与一个或多个电极电学通信的背衬层。
- [0063] 在一些实施方案中,背衬层为去匹配层。
- [0064] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括接地电极。
- [0065] 在一些实施方案中,接地电极被配置为散热器。
- [0066] 在一些实施方案中,在压电复合材料层和样品之间限定有声学路径,超声换能器进一步包括沿声学路径位于压电复合材料层和样品之间的接近无损的声学匹配层。
- [0067] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括耐磨层,耐磨层与压电复合材料层声学匹配。
- [0068] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有大约2400微米的厚度。
- [0069] 在一些实施方案中,各个间隔的压电区域彼此隔开200微米,并且具有正方形截面,正方形截面为1000微米乘1000微米。
- [0070] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有约70%至约80%的压电体积分数。
- [0071] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括电绝缘的壳体,用于在其中容纳压电复合材料层。
- [0072] 根据另一个方面,提供了一种超声换能器,包括压电复合材料层,压电复合材料层用于与样品声学通信,并且具有至少部分经解耦的声阻抗和电阻抗特性;在压电复合材料层上延伸的电绝缘非压电复合材料层,用于使压电复合材料层与样品电绝缘,电绝缘非压电复合材料层与压电复合材料层和样品声学匹配;以及与压电复合材料层电学通信的一个或多个电极,压电复合材料层包括:间隔的压电区域的阵列,每个间隔的压电区域别由压电材料制成;填充材料,其位于相邻的间隔的压电区域之间,该填充材料包括聚合物基体;和非压电材料,其与聚合物基体接触。
- [0073] 在一些实施方案中,电绝缘非压电复合材料层包括与第二聚合物基体接触的高声阻抗电绝缘材料区域,该第二聚合物基体填充有高密度电绝缘粉末。
- [0074] 在一些实施方案中,电绝缘非压电复合材料层包括与第二聚合物基体接触的电绝缘陶瓷区域,该第二聚合物基体填充有高密度电绝缘陶瓷粉末。
- [0075] 在一些实施方案中,电绝缘非压电复合材料层包括与第二聚合物基体接触的电绝缘玻璃区域,该第二聚合物基体填充有高密度电绝缘陶瓷粉末。
- [0076] 在一些实施方案中,电绝缘非压电复合材料层为1 3配置。
- [0077] 在一些实施方案中,电绝缘非压电复合材料层为2 2配置。
- [0078] 在一些实施方案中,压电复合材料层用于朝向样品产生探测声信号;并且一个或多个电极可操作以将探测电信号发送到压电复合材料层,从而产生探测声信号。
- [0079] 在一些实施方案中,压电复合材料层用于接收从样品发出的样品声信号,从而朝向一个或多个电极产生样品电信号,样品电信号代表样品声信号。
- [0080] 在一些实施方案中,聚合物基体由环氧树脂制成。
- [0081] 在一些实施方案中,非压电材料是氧化钨粉末。
- [0082] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括位于相邻的间隔的压电区域之间的一个或多个电绝缘区域,一个或多个电绝缘区域与填充材料接触。
- [0083] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有第四声阻抗和第四相对介电常

数,第四声阻抗与第一声阻抗接近,并且第四相对介电常数小于第一相对介电常数。

[0084] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由陶瓷制成。

[0085] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域由玻璃制成。

[0086] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域具有细长的形状。

[0087] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定棒状电绝缘区域。

[0088] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域限定柱状电绝缘区域。

[0089] 在一些实施方案中,一个或多个电绝缘区域为球形的。

[0090] 在一些实施方案中,非压电材料被嵌入在聚合物基体中。

[0091] 在一些实施方案中,压电材料沿一个方向连续;并且填充材料沿三个方向连续。

[0092] 在一些实施方案中,压电材料沿两个方向连续;并且填充材料沿两个方向连续。

[0093] 在一些实施方案中,压电材料选自铁电材料、单晶铁电材料、无铅铁电材料和压电聚合物材料构成的组。

[0094] 在一些实施方案中,压电材料为锆钛酸铅(PZT)。

[0095] 在一些实施方案中,声阻抗特性在约15MR至约30MR的范围内。

[0096] 在一些实施方案中,第一声阻抗在约30MR至约40MR的范围内。

[0097] 在一些实施方案中,第三声阻抗在约7MR至约8MR的范围内。

[0098] 在一些实施方案中,压电复合材料层与样品声学匹配,并且与样品电绝缘。

[0099] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括与一个或多个电极电学通信的背衬层。

[0100] 在一些实施方案中,背衬层为去匹配层。

[0101] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括接地电极。

[0102] 在一些实施方案中,接地电极被配置为散热器。

[0103] 在一些实施方案中,在压电复合材料层和样品之间限定有声学路径,超声换能器进一步包括沿声学路径位于压电复合材料层和样品之间的接近无损的声学匹配层。

[0104] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括耐磨层,耐磨层与压电复合材料层声学匹配。

[0105] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有大约2400微米的厚度。

[0106] 在一些实施方案中,各个间隔的压电区域彼此隔开200微米,并且具有正方形截面,正方形截面为1000微米乘1000微米。

[0107] 在一些实施方案中,压电复合材料层具有约70%至约80%的压电体积分数。

[0108] 在一些实施方案中,超声换能器进一步包括电绝缘的壳体,用于在其中容纳压电复合材料层。

[0109] 下面提供其他实施方案。

[0110] 根据另一个方面,提供了独立地调节压电复合材料的电阻抗和声阻抗的技术、设备、装置和方法。允许对压电复合材料装置进行电阻抗和声阻抗解耦的装置和方法可以通过结合三(3)种材料,而不是传统的两(2)种材料的压电复合物来实施。除了使用通常相对较低的声阻抗切口(kerf)填料和压电材料外,还通过使用高声阻抗材料(诸如非压电陶瓷)来提供复合材料的声阻抗与电阻抗操纵的解耦。在一些实施方案中,非压电陶瓷是氧化铝。

[0111] 根据另一个方面,提供了一种超声换能器,其与声阻抗在约15MR至约30MR范围内

的目标材料一起使用。超声换能器包括完整的声学路径,从压电元件延伸到目标材料或被测设备(DUT)。超声换能器包括结合有压电元件的压电层、接地电极、热管理层、电绝缘层和可以适配待超声处理(insonate)的目标材料的声阻抗的外部耐磨表面。所提供的超声换能器无需使用声阻抗匹配层,使得该解决方案在低于上截止频率的所有频率下均具有相同的效率。上截止频率仅受实现复合材料元件的有效性能所需的复合设计参数限制,从而导致从接近DC到上截止频率的实际带宽,上截止频率至少是设备的设计中心频率的几倍。

[0112] 根据另一个方面,提供了一种超声换能器,与声阻抗在约15MR至约30MR的范围内的材料一起使用。该超声换能器包括声学匹配的复合材料。由于超声换能器不使用匹配层,因此超声换能器的带宽仅受包括压电元件在内的材料的设计和选择所施加的固有带宽的限制。

[0113] 在一些实施方案中,超声换能器包括耐热的背衬层,该背衬层也可以被配置为在压电层近侧的散热器。在一些实施方案中,背衬层也可以用作去匹配层。

[0114] 在一些实施方案中,超声换能器包括高声阻抗切口填充设计。高声阻抗切口填充设计允许将压电元件适配声阻抗在15至30MR范围内的各种材料。声阻抗范围为约15MR至约30MR的材料包括但不限于钛、铝、锡、铅、锆、一些陶瓷和复合材料。对于声阻抗为约15MR至30MR的一组材料,超声换能器提供了一种将超宽带超声有效耦合到这些材料中的方法。

[0115] 在一些实施方案中,超声换能器包括设计成与DUT的声阻抗匹配的压电复合材料层,以及设计成与DUT的声阻抗匹配的非压电电绝缘复合材料层。非压电层插入到压电复合材料层和DUT之间。该非压电复合材料层从DUT的压电复合材料换能器元件提供有效的宽带宽声学路径,同时在换能器和DUT之间提供电绝缘。

[0116] 在一些实施方案中,超声换能器的电阻抗和声阻抗可以独立配置,或至少部分解耦。电阻抗、声阻抗或两者均可以通过使用混合非压电/压电复合材料构造来配置。

[0117] 在一些实施方案中,超声换能器可以被配置为单个元件、无切口环形阵列、切口环形阵列、切口线性阵列、无切口线性阵列、无切口2D矩阵阵列或切口2D矩阵阵列。

[0118] 根据另一个方面,提供了一种制造具有适配的声阻抗的压电层的方法。

[0119] 通过阅读下面的非限制性的具体实施方案的描述,本说明书的其他特征和优点将变得更加明显,这些具体实施方案仅作为示例参照附图给出。

附图说明

[0120] 图1图示了根据一个实施方案的超声换能器的截面视图。

[0121] 图2图示了根据另一个实施方案的超声换能器的截面视图。

[0122] 图3示出了根据一个实施方案的用于超声换能器的压电复合材料层的俯视图。

[0123] 图4示出了根据另一个实施方案的用于超声换能器的压电复合材料层的俯视图。

[0124] 图5A描绘了根据一个实施例的超声换能器的透视图。

[0125] 图5B描绘了图5A中的超声换能器的分解的截面视图。

具体实施方式

[0126] 在以下描述中,附图中的相似特征已被赋予相似的附图标记,并且为了不使附图受到不适当的限制,如果一些元件已经在一个或多个先前的附图中标识,则在一些附图上

可能未指示这些元件。在本文中还应该理解,由于重点放在清楚地图示本实施方案的元件和结构上,所以附图的元件不必按比例绘制。术语“一(a)”、“一(an)”和“一个(one)”在本文中被定义为表示“至少一个”,也就是说,除非另有说明,否则这些术语不排除多个元件。还需要注意的是,修饰示例性实施方案的特征的值、条件或特点的诸如“基本上”、“通常”和“大约”的术语应理解为意味着该值、条件或特点被限定在该示例性实施方案针对其预期应用的适当操作可接受的公差内。

[0127] 在本说明书中,术语“连接”、“耦合”及其变体和派生词是指两个或更多个元件之间的直接或间接的任何连接或耦合。元件之间的连接或耦合可以是声学的、机械的、物理的、光学的、操作的、电学的、无线的或其组合。

[0128] 应当理解的是,为了便于描述和清楚起见,在本文中使用指示一个元件相对于另一元件的位置或定向的位置叙述语,并且除非另有说明,否则这些叙述语应在附图的上下文中采用,并且不应视为限制性的。应当理解的是,除了附图中例示的位置和定向之外,空间相对术语(例如,“外部”和“内部”、“外侧”和“内侧”、“外围”和“中央”以及“顶部”和“底部”)还旨在涵盖本实施方案中使用或操作的不同的位置和定向。

[0129] 一般理论概述

[0130] 有许多方法和材料可用于生产机电声学换能器。一些实例包括压电晶体、铁电陶瓷、铁电单晶、铁电聚合物、电容式微加工超声换能器(CMUT)、压电微加工超声换能器(PMUT)和基于动态线圈的系统。

[0131] 一大类别相对高性能压电材料被称为铁电材料。铁电材料是声学换能器(诸如超声换能器)中最常用的压电材料。铁电材料通常具有约30MR至约40MR范围内的声阻抗特性。例如,作为最常见的铁电陶瓷之一,通常称为锆钛酸铅(PZT)的一系列配制品通常具有在约33MR至约35MR范围内的声阻抗。另一类别相对高性能的压电材料是单晶铁电材料,其包括但不限于铌酸锂(PMN-PT或PIN-PMN-PT)。这些单晶铁电材料的声阻抗在约30MR至约35MR的范围内。再另一类别包括新兴的无铅铁电材料,诸如例如但不限于 $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ (KNN)和 $(K_{0.48}Na_{0.52})_{0.96}Li_{0.04}Nb_{0.85}Ta_{0.15}O_3$ (KNLNT)。这些材料的声阻抗约为31MR,略低于PZT的大多数变体。压电材料的又另一实例类别包括诸如PVDF的压电聚合物和诸如P(VDF-TrFE)的共聚物。这些基于聚合物的铁电材料的机电效率要比基于弛豫体的单晶和陶瓷低得多,然而,它们具有非常低的声阻抗和通常非常适合在基于浸没的系统中作为接收器执行的独特的性能。

[0132] 尽管存在多种潜在的压电材料,但由于其性能足以胜过大多数其他材料,PZT和相关的基于弛豫体的铁电材料仍是占主导的类别,从而使其他压电材料进入小应用领域。因此,大多数换能器依靠具有落入约33MR至约38MR的小范围内的非常相似的声阻抗的压电材料。无论是通过减少匹配要求还是增加总体传输效率和带宽,基于具有与被超声处理的材料紧密匹配的声阻抗的压电材料的超声换能器,可以提高系统的效率。一些压电材料在声学上与一些材料充分匹配。然而,需要对许多没有合适的声学匹配的换能器材料进行超声处理、超声检查和/或测试。

[0133] 可以通过创建压电材料和另一种通常较低声阻抗材料(其用作填料并以多种方法之一形成包围压电材料的支撑基体)的复合材料,来降低压电材料的声阻抗,同时潜在地提高压电材料的机电效率。然而,应当理解的是,在制造压电复合材料时,在声学效率、电阻抗

和声阻抗之间需要权衡。

[0134] 在超声换能器中常用的复合材料通常为1 3或2 2配置,其中第一个数字指示压电材料在整个结构中连续的方向数,而第二个数字指示填充材料在整个结构中连续的方向数。一些创建复合压电材料的方法的实例包括压电材料的切割、刻蚀、模制或无规堆积,以及填充或粘合其他材料,诸如散置在压电柱或梁之间的弹性体、环氧树脂、聚合物或气体以形成复合材料。

[0135] 1 3配置中的复合材料的实例包括具有正方形截面柱的切割的和填充的复合材料,和填充有具有较低声阻抗的材料切口。这样的复合材料可以利用压电柱中的棒模式共振,从而有可能获得更有效的机电耦合系数,该机电耦合系数受压电材料的 k_{33} 特性(对于PZT通常为0.7)限制,而不是限制板模式振动(在简单的纵向盘或基于板的换能器中更典型)性能的效率较低的 k_t (对于PZT通常为0.5)。需要注意的是,基于复合材料几何形状的许多设计参数和压电材料及填充材料的材料特性,与落在压电材料和基体填料间某些位置的纯净的压电材料相比,复合材料的声阻抗可以降低。因此,降低了较低声阻抗材料的匹配难度,并实现了更高的信噪比。

[0136] 在生物医药领域,复合材料换能器开发的许多工作已经出现,并且集中在开发被设计为与生物组织相容的高效复合材料上。因此,许多商购可得的复合材料和换能器被优化,以具有最低可能的声阻抗的组合,同时实现了对生物组织和/或水浸没应用的最高可能的机电效率。这种复合材料的声阻抗通常在8MR至16MR的范围内。然而,许多实际应用要求声能发自并且朝向与声阻抗与这些压电材料不充分匹配的材料耦合的超声换能器有效地传输。也就是说,上述的压电材料可能不适用于被超声处理的其他类型的材料。例如,由于缺乏用于传统声学堆叠设计的理想材料,具有在约15MR和30MR之间的声阻抗的材料特别难以与压电复合材料匹配。

[0137] 在这些情况下,已知各种技术来克服压电材料和介质之间固有的声学不连续性。例如,将压电材料的声阻抗与所需介质匹配的常见方法是使用1/4波匹配层。另一个实例是使用时在高频下施加的弹簧质量匹配层系统。还另一个实例是喇叭结构的设计。这样的声阻抗匹配技术可以应用于压电换能器设计,以促进声辐射从换能器到被超声处理的介质的有效传输,并且通常以往复方式操作。然而,对于所有声阻抗匹配方法而言,仍然有一个共同点,那就是它们具有有限的有效带宽。在此带宽之外,它们的有效性会迅速下降,并且在距离预期中心频率足够远的位置操作时,可能会产生不需要的伪差。

[0138] 虽然换能器设计中的声阻抗匹配很重要,但在许多实际应用中,也有必要使压电换能器组件与被超声处理的材料电绝缘。在这些情况下,换能器堆叠中还必须包括电绝缘层。例如,在非破坏性测试(NDT)等领域,有时需要将超声换能器与电敏感的组件、设备或结构进行电绝缘,同时还要使换能器的声阻抗与被扫描的材料或物体相匹配。这在医疗应用中尤其重要。实际上,将换能器组件与人体(被超声处理的介质)电绝缘对于帮助防止对患者的伤害很重要。例如,在医疗诊断超声(以及包括但不限于诸如HIFU的治疗性应用的其他医疗超声应用)中,出于效率的原因,换能器的声阻抗应与活体组织匹配,同时还应与患者电隔离。在其他使用声能进行声学消融或外科手术工具机械增强的医疗设备中,例如出于效率的原因,也需要将换能器的声阻抗与介质(生物组织或一些情况下的声学医疗设备的部件)相匹配,同时将换能器与患者电隔离。

[0139] 在许多情况下,当目标材料的声阻抗低于约10MR时,设计人员容易获得成熟的技术,以解决将换能器与目标声学匹配并同时将其电隔离的需求。

[0140] 在医疗诊断超声中,用于与患者接触的超声换能器的一种典型解决方案是选择与活体组织充分匹配的透镜或覆盖材料,诸如聚硅氧烷或聚氨酯,例如,它们都可以设计成具有与组织的声阻抗(约1.5MR)紧密匹配的声阻抗,同时仍可以用作有效的透镜和电绝缘材料。另一种常见的做法是使用声学匹配的电绝缘匹配层。这些匹配材料包括各种玻璃、聚合物、弹性体、粉末负载的聚合物和环氧树脂。例如,陶瓷粉末负载的环氧树脂,诸如,例如氧化铝粉末填充的环氧树脂,可以形成各种匹配层,同时保持电隔离所需的优异电阻率。然而,粉末负载的复合材料(诸如粉末负载的环氧树脂、聚硅氧烷和聚合物)通常显示出比均质材料更高的衰减,并且可能无法在匹配层的设计参数(诸如厚度)及设备声学路径的可接受的损耗和所需的电学隔离之间做出适当的折衷。

[0141] 另外,当达到粉末与聚合物的高体积分数时,负载粉末的复合材料的制造受到限制。例如,在约12MR以上,粉末负载环氧树脂以提高声阻抗的常见做法是不实际的。另外,环氧树脂填充的多孔烧结材料的设计成本高且难以精确控制。如果没有完全填充,它们也可能是有损的。在超过15MR和低于30MR时,对于电绝缘匹配层尤其如此。

[0142] 需要注意的是,当需要宽带换能器时,在超声换能器设计中使用匹配层是有问题的,因为宽带性能需要多个匹配层解决方案。设计用于耦合在10MR至30MR目标中的宽带超声换能器是困难的。当需要将换能器与目标材料进行电绝缘时,这些挑战将更加复杂。

[0143] 当目标材料具有约15MR至约30MR范围内的声阻抗时,应用具有高效力程度的现有解决方案越来越困难。这是因为可以作为传统匹配层的电绝缘材料(可以满足声阻抗在约15MR至约30MR范围内的目标材料的声学、热学和电学特性)相对较少。

[0144] 在诸如,例如但不限于NDT和医疗设备开发的领域中需要一种能够将高功率、宽带声脉冲传输到具有约15MR至约30MR范围内的声阻抗的材料超声换能器。还需要具有与目标材料和压电层基本相似(或几乎相同)的声阻抗的电绝缘层。当前,压电复合材料设计和现有解决方案不允许改变压电复合材料的声阻抗而不影响其电阻抗(反之亦然)。

[0145] 已经发现,除了用于制造压电复合材料的传统材料之外,还可以通过在压电复合材料设计中引入高声阻抗非压电材料,来独立地操纵(即至少部分解耦)电阻抗和声阻抗,这与通常结合传统压电复合材料设计中使用的低声阻抗切口填充材料的典型方法形成对比。

[0146] 超声换能器

[0147] 现在转向附图,现在将描述超声换能器的不同实施方案。图1和图2示出了包括压电复合材料层102的超声换能器100的两个实施方案。

[0148] 压电复合材料层102用于与样品或目标材料声学通信。压电复合材料层102具有至少部分解耦的声阻抗和电阻抗特性,即包括在压电层102中的材料的组合允许电阻抗与声阻抗的部分解耦。压电复合材料层102通常由至少三种材料制成。如图3和图4所示,压电层102包括间隔的压电区域10的阵列、填充材料12和非压电材料15。每个间隔的压电区域10由具有第一声阻抗和第一相对介电常数的压电材料制成。填充材料12位于相邻的间隔的压电区域10之间,并且包括具有第二声阻抗和第二介电常数的聚合物基体13。第二声阻抗小于第一声阻抗,并且第二相对介电常数小于第一相对介电常数。非压电材料15与聚合物基

体接触并且具有第三声阻抗和第三相对介电常数。第三声阻抗大于第二声阻抗,并且第三相对介电常数小于第一相对介电常数。在一些实施方案中,非压电材料15被嵌入在聚合物基体中。返回参照图1和图2,超声换能器100包括与压电复合材料层102电学通信的一个或多个电极112。

[0149] 现在参照图1和图2,提供了超声换能器100的一个实施方案的截面视图。如图所示,超声换能器100具有声学堆叠设计(即多个层),其包括与目标材料104声学匹配的切割和填充的压电复合材料元件/层102。在下面将更详细描述的一些实施方案中,超声换能器100可以与目标材料104电绝缘。压电复合材料元件102具有相对于超声信号源110的近端表面106和远端表面108。声学路径通过目标材料104在压电复合材料层102之间延伸。

[0150] 在一些实施方案中,如图3和图4所示,压电复合材料层102可以由铁电压电材料制成,铁电压电材料诸如,例如但不限于PZT。在所示的变型中,压电区域10形成柱或梁130,并且以1/3或2/2复合材料的典型方式彼此隔开,这意味着压电材料10沿一个方向连续且填充材料12沿三个方向连续,或者压电材料10沿两个方向连续且填充材料12沿两个方向连续。

[0151] 该实施方案能够使压电复合材料的电阻抗显著增加,同时维持所需的声阻抗。在图4中,在相邻的压电区域10之间提供的空间是切口128。切口128填充有环氧树脂12。在一些实施方案中,环氧树脂12包括HF0粉末填充的基体材料。

[0152] 需要注意的是,虽然压电区域10被示出为正方形,但是它们可以具有任何形状,诸如,例如但不限于三角形、圆柱形或六边形。

[0153] 在一些实施方案中,期望降低在压电复合材料层102中的压电材料的体积分数(例如,PZT分数),以达到更好的、改善的或更理想的换能器的电阻抗要求。然而,对超声换能器10的声阻抗要求越高,表明期望越高的PZT的体积分数。在这样的实施方案中,使用HF0粉末填充的基体材料不足以实现所需的特性。在这些情况下,如在图4中所示,HF0粉末填充的基体材料可以用非压电材料代替或部分代替,非压电材料诸如,例如但不限于氧化铝棒。这样的材料允许在压电复合材料层102中更高的声阻抗,同时降低有效的相对介电常数。在另一个实施方案中,可以使用其他相对较高的声阻抗材料。

[0154] 在一些实施方案中,切口128填充有氧化铝棒14。氧化铝通常具有约35MR的声阻抗和约10的介电常数。在图4所示的实施方案中,棒的尺寸确定为填充切口128的宽度的大约70%,剩下的30%待填充切口填充环氧树脂12。应当理解的是,可以使用不同的填充材料和不同的环氧树脂材料以及其他比例来实现期望的声阻抗和/或电阻抗特性,这尤其取决于被超声处理的目标材料。

[0155] 需要注意的是,非压电材料15不必限于氧化铝棒。例如但不限于,氧化铝棒可以被混合到HF0环氧树脂中的氧化铝球代替,或者被由含有氧化铝球的HF0环氧树脂制成的复合材料的切缝(cut)代替。还需要注意的是,通过调整切口、填料和环氧树脂的比例(即体积分数),可以获得相似的结果,从而能够独立地调节压电复合材料层102的电阻抗和声阻抗,以匹配所需的(例如,目标材料的)声和/或电性能。应当理解的是,根据所需的结果,形成压电复合材料层102的材料的比例可以有很大的变化。这种设计的结果可以对复合压电材料进行设计、调节和适配,以具有对于给定尺寸的更大范围的电阻抗,同时保持所需的声阻抗。所添加的第三材料,即非压电材料15,优选地具有高声阻抗,即,与压电材料类似或可比(如果可能的话)的声阻抗,并且第三材料的相对介电常数比压电材料低得多。这样,可以设计

或调节压电复合材料层102以具有所需的声阻抗和所需的介电常数,从而使得既不需要声阻抗匹配技术又不需要电阻匹配电路。

[0156] 如前所述,超声换能器100包括一个或多个电极,例如信号电极112,如图1和图2所示。在一些实施方案中,压电复合材料层102用于朝向样品104产生探测声信号,并且电极(例如,信号电极112)可操作以将探测电信号发送到压电复合材料层102,从而产生探测声信号。在一些实施方案中,压电复合材料层102还用于接收从样品104发出的样品声信号,从而朝向一个或多个电极(例如,信号电极112)产生样品电信号,样品电信号代表样品声信号。这样,超声换能器100可以用于发送和/或接收超声。

[0157] 在一些实施方案中,诸如在图1和图2中所示,电极112位于压电复合材料层102的近端表面106上。电极112可以具有位于信号电极112的近端表面116上的导电背衬层114。在其他实施方案中,背衬层可以是电绝缘的。背衬层114可以可操作地或电气地连接到信号电极112。在一个实施方案中,背衬层114由钛制成并且可以具有约200微米的厚度。背衬层114可以由足够高的声阻抗材料制成,以也用作去匹配层。通常,这样的去匹配功能都要求背衬层的声阻抗是压电材料声阻抗的至少两倍,从而提供更高的带宽和灵敏度。例如,去匹配层114可以由例如但不限于钼、钨或碳化钨制成。

[0158] 在一些实施方案中,压电材料选自铁电材料、单晶铁电材料、无铅铁电材料和压电聚合物材料构成的组。例如,如前所述,压电材料可以为锆钛酸铅(PZT)。

[0159] 在一些实施方案中,聚合物基体由环氧树脂制成,并且非压电材料是氧化钨粉末。

[0160] 超声换能器100也可以设置有一个或多个电绝缘区域,其位于相邻的间隔的压电区域10之间,该一个或多个电绝缘区域与填充材料12接触。电绝缘区域具有第四声阻抗和第四相对介电常数。在一些实施方案中,第四声阻抗与第一声阻抗接近,并且第四相对介电常数小于第一相对介电常数。例如但不限于,电绝缘区域可以由陶瓷或玻璃制成。电绝缘区域的形状可以变化。它们可以具有例如但不限于细长的形状、限定棒状电绝缘区域、限定或可以为球形的。

[0161] 现在转向在超声换能器中使用的材料,应当理解的是,在基体材料中使用不同体积分数的填料粉末和/或不同的填料粉末将允许填料具有不同的声阻抗。例如,本领域技术人员应当理解,通过以变化的体积分数混合epotek 301环氧树脂和HF0粉末,可以实际上获得具有约3MR至约10MR的声阻抗的粉末负载的环氧树脂材料。在一个实施方案中,填充材料12被设计成具有约7MR至约8MR的声阻抗。还应当理解的是,压电复合材料层102将表现出与非复合压电材料不同的特性。例如,非复合压电材料可以具有相对较高的Q因子,使其固有地是相对低带宽的材料。然而,在该实施方案中,与简单的基于PZT板的元件相比,使用较低阻抗的基体材料形成1-3PZT压电复合材料可提供更高的带宽和效率。此外,与纯PZT相比,1-3复合PZT还表现出较低的介电常数,从而可通过大型单元件设计获得更实用的电阻抗。应当理解的是,在不脱离本说明书的范围的情况下,可以在其他实施方案中使用其他压电材料。这样的压电材料包括但不限于铌酸锂、各种PZT基材料(例如PZT-8或PZT5H)、铁电弛豫体基陶瓷和弛豫体基单晶(例如PMN-PT)、石英和其他具有用于所需应用的合适特性(诸如更高的带宽、更高的灵敏度或更低的成本)的压电材料。因此,当与通常使用1MR到3MR范围内的填料构造的现有压电复合材料相比时,例如但不限于当人们希望将压电复合材料换能器与具有相对较高声阻抗的材料(诸如,例如钛或锆)匹配时,在压电柱之间使用相对高的

声阻抗的粉末负载的切口填料允许在声阻抗、电阻抗和在提高的自由度下的柱高宽比之间进行更充分的权衡。在一些情况下,较高的声阻抗切口填料可能导致柱之间的声隔离降低,从而降低复合材料的机电耦合系数。然而,考虑到改善的声学匹配和从复合材料到目标材料或DUT的所得声学路径的带宽,建议的权衡可以被认为是能够接受的。使用填充有HFO粉末的基体材料,可以使用相对低体积分数的压电材料(例如73%PZT体积/体积)以实现27.4MR的平均声阻抗。作为比较,对于典型的3MR未填充环氧树脂,现有的压电复合材料大约需要78%。压电复合材料层102中的较低的体积分数的压电材料允许在不牺牲声学匹配的情况下实现较高的电阻抗。此外,该73%的体积分数使切割效率更高,允许使用更大的刀片,从而简化了制造过程,并增强了设计人员优化柱的高宽比的自由度,以实现最佳的棒模式共振。在复合材料中使用粉末负载的基体的另一个好处是能够改变粉末负载的环氧树脂基体以微调压电复合材料的声阻抗,而无需改变柱的尺寸和切割。已知在柱的设计和柱尺寸以及相关的切割中的这样的改变成本高。

[0162] 现在转到超声换能器100的声阻抗,在一些实施方案中,压电复合材料层102的声阻抗特性在约15MR至约30MR的范围内。正如先前已经确定的那样,此阻抗特性是形成压电复合材料层102的每种材料的阻抗的组合。在这方面,在一些实施方案中,第一声阻抗在约30MR至约40MR的范围内,并且第三声阻抗在约7MR至约8MR的范围内。需要注意的是,压电复合材料层与样品声学匹配,并且在一些实施方案中,可以通过包含电绝缘非压电复合材料层122与样品电绝缘。

[0163] 在一些实施方案中,超声换能器100进一步包括与一个或多个电极112电学通信的背衬层114。在一些情况下,背衬层可以用作去匹配层。

[0164] 超声换能器可以包括接地电极118,如图1和图2所示。接地电极118位于压电复合材料元件102的远端表面108上。在一些实施方案中,接地电极118还可以用作散热器,以扩散超声换能器100产生的热量。需要注意的是,接地电极118不必需用作散热器。

[0165] 在压电复合材料层102和样品或目标材料104之间限定有声学路径。在一些实施方案中,超声换能器100进一步包括沿声学路径位于压电复合材料层102和样品104之间的接近无损的声学匹配层120。接近无损的声学匹配层120定位为与接地电极118的远端表面相邻并与其接触。接近无损的声学匹配层120是导电的并且具有基本低的热阻抗。当超声换能器用于超声处理钛时,声学匹配层120可以由钛制成。需要注意的是,声学匹配层120是任选的,并且在一些实施方案中,可以用作散热器以及机械支撑层。机械支撑增强了接地层,在制造超声换能器100的过程中也是有益的。通常可以不具有声学匹配层120,但是事实上,超声换能器100中的所有层都是声学匹配的。声学匹配层120是有效的散热器,通常在恰好紧挨着压电元件102的声学设计中可以不包括该散热器。通常,期望声学匹配层的材料与DUT的材料相同。也就是说,换能器100被设计为与其匹配的相同材料。然而,当DUT是钛时,可以选择另一种具有所需特性的充分匹配的材料,例如但不限于,将声学匹配层120的材料选择为锌,其导热性相对比钛好,但声阻抗几乎与钛相当。在声学匹配的堆叠中,这对设计的挑战可能很小,这是因为层的厚度和除声阻抗之外的特性都可以容易地容置在设计中。

[0166] 在一些实施方案中,超声换能器100进一步包括耐磨层124。耐磨层124与压电复合材料层102声学匹配。耐磨层124可以与超声换能器100的其他层声学匹配。在一些实施方案中,耐磨层124与电绝缘陶瓷复合材料层122的远端表面声学接触。耐磨层124可以是与DUT

相同的材料,特别是如果该材料几乎与许多金属一样无损。例如,在设计为使钛被超声处理的一个实施方案中,耐磨层124由3mm厚的钛制成。在这个实施方案中,耐磨层124用于与换能器信号和地面电绝缘,从而允许换能器组件与DUT电隔离。

[0167] 在一些实施方案中,提供了耐热和机械接地结构,以支撑并有助于冷却压电复合材料层102。在一个非限制性的实施方案中,压电复合材料层102被粘附到3mm厚的钛盘上,从而建立了到电接地导体的热冷却路径并建立了接地电极。基底还可以用作机械支撑,以帮助制造压电复合材料和堆叠。在一些实施方案中,可以选择导电盘以匹配目标材料和/或用于超声换能器100的广范围应用(覆盖从约10MR到超过30MR的范围的声阻抗)的声阻抗或目标材料。在一些情况下,当目标材料104是导电的时,例如,当目标材料是金属时,盘实际上可以是与目标材料相同的材料。然后可以将低损耗的耐磨板粘合到电绝缘层的远端表面,以为绝缘层提供额外的机械支撑,以及优异的耐湿性。通常,耐磨板可由目标材料本身制成,并且在示例性实施方案的情况下,选择为3mm厚的钛。

[0168] 在一些实施方案中,压电复合材料层102具有大约2400微米的厚度。需要注意的是,现有技术的超声换能器通常对所提供的每一层的厚度都有限制。因为超声换能器100的所有层具有相同的声阻抗,所以对层的厚度没有限制或减小了限制。根据应用需要,这些层可以较厚或较薄。在一实施方案中,声学匹配层120更厚以提供足够的质量以用作热沉。因此,只要在压电层远端的各层的声阻抗匹配或接近匹配,就可以使在压电层102远端的换能器层具有任意厚度。这样的配置使得可以不依赖层的厚度而优化远端层的其他特性。在一个实施例中,匹配层120可以被增厚以获得机械坚固性而对声学性能的影响较小,或者可以被减薄以降低成本而不影响声学性能。同样,相邻并在压电层102的近侧的超声换能器100的层应具有适当的厚度和材料,以增强换能器100的输出效率。

[0169] 在一些实施方案中,各个间隔的压电区域10彼此隔开200微米,并且具有正方形截面,该正方形截面为1000微米乘1000微米。取决于目标材料104,压电复合材料层102可以具有不同的压电体积分数。在一些实施方案中,压电复合材料层102具有约70%至约80%的压电体积分数。

[0170] 超声换能器100或其部件可以被收容在电绝缘壳体中。

[0171] 还可以提供RF电连接器138。RF电连接器138经由电连接(例如,导线)可操作地连接至电极112。这提供了与超声信号源110的电连接。

[0172] 在一些实施方案中,还提供了铜(Cu)接地回路和热回路132。Cu接地回路和热回路132提供了至少部分地收容Cu盖132、背衬层和/或去匹配层114、电极112、压电复合材料层102以及接地118的壳体。应当理解的是,Cu接地和热回路132可以具有用于收容上述物品的任何适当的形状。在附图所示的实施方案中,Cu接地回路和热回路132的形状是环形的。铜盖134的铜可用于传导热和/或电。在一些实施方案中,可以将Cu盖134、Cu接地回路和热回路132、去匹配/背衬层114、电极112、PZT复合材料102和接地118压装在一起以形成单个单元。接地118可以任选地包括滚花边缘,以确保与Cu接地回路和热回路132的良好的热和电接触。

[0173] 如前所述,本说明书中描述的技术、设备、装置和方法可以被实现为产生和发送超声(“传输模式”)、检测和接收超声(“检测模式”)或两者。在一些实施方式中,根据本公开的超声换能器还可以用于输送声能用于其他目的,诸如例如但不限于,设计成驱动医疗冲击

波治疗系统的换能器。在一些实施方式中,超声换能器100用于朝向目标发射声信号。在这些实施方案中,超声换能器还包括具有至少部分经解耦的声阻抗和电阻抗特性的压电复合材料层102。压电复合材料层102包括间隔的压电区域10的阵列、填充材料和非压电材料15。每个间隔的压电区域10由具有第一声阻抗和第一相对介电常数的压电材料制成。填充材料12位于相邻的间隔的压电区域10之间,并且包括具有第二声阻抗和第二介电常数的聚合物基体13。非压电材料15与聚合物基体13接触,并且具有第三声阻抗和第三相对介电常数。第二声阻抗小于(压电材料的)第一声阻抗,并且第二相对介电常数小于第一相对介电常数,以及第三声阻抗大于第二声阻抗,并且第三相对介电常数小于第一相对介电常数。根据该实施方式的超声换能器进一步包括与压电复合材料层102电学通信的一个或多个电极112。电极112可操作以将电信号发送到压电复合材料层102,从而朝向目标产生声信号。

[0174] 如前所述,例如与但不限于,在医疗应用的情况下或当被超声处理的材料容易被电损坏时,将超声换能器100与被超声处理的材料电绝缘有时是有用的。超声换能器100的这种实施方式可以类似于先前已经描述的实施方案,并且包括用于与样品104声学通信并且具有至少部分地经解耦的声阻抗和电阻抗特性的压电复合材料层102。根据该实施方式的压电复合材料层102包括间隔的压电区域10的阵列(其中每个间隔的压电区域10由压电材料制成)、位于相邻的间隔的压电区域10之间的填充材料12(其中填充材料12包括聚合物基体13)和与聚合物基体13接触的非压电材料15。如图1和图2所示,根据该实施方式的超声换能器100进一步包括在压电复合材料层102上延伸或与其接触的电绝缘陶瓷复合材料层122,用于使压电复合材料层102与样品104电绝缘。电绝缘陶瓷复合材料层122与压电复合材料层102和样品104声学匹配。在一些实施方案中,电极112与压电复合材料层102电学通信。

[0175] 在一些实施方案中,电绝缘陶瓷复合材料层122声学匹配并且是切割和填充的电绝缘陶瓷复合材料层122。陶瓷复合材料层122可以位于如上所述的无损声学层120的远端表面上和/或与其机械接触。需要注意的是,绝缘层122通常不是无损的,并且厚度是电绝缘与可接受的声损耗之间的折衷。在一个非限制性的实施方案中,电绝缘层122的厚度为1.4mm,间距为950 μm ,具有750 μm 的柱和200 μm 的切口。用于电绝缘层122的切口填充材料可以是HF0环氧树脂。在另一个非限制性实施方案中,电绝缘层122包括由氧化铝制成的基础陶瓷。在又一个非限制性实施方案中,基础陶瓷可以是声阻抗超过约30MR的任何其他陶瓷。应当理解,在该实施方案的上下文中,要解决的一般问题是,缺少具有约15MR至30MR的声阻抗的电绝缘材料。使用电绝缘层122解决了这个一般问题,因为关于层的厚度,仅考虑隔离程度和可接受的声损耗。需要注意的是,随着电绝缘层122的厚度变化,对设备带宽或频率响应没有明显影响。在一些实施方案中,超声换能器100包括用于容纳超声换能器的电绝缘壳体136。

[0176] 在一些实施方案中,超声换能器100进一步包括定位为与接地电极层118的远端相邻并与其接触的声学匹配绝缘层122。层122可以由固体绝缘材料或复合材料制成,并且应当表现出所需的声阻抗和可接受的声损耗,以及具有足够的介电强度和介电常数以实现设备所需的电隔离。在一个实施方案中,绝缘层包括氧化铝和HF0填充的环氧树脂的1:3复合材料层,以实现约27MR的声阻抗,使其与钛声学匹配。需要理解的是,该匹配的绝缘层122不是匹配层,而是其自身以类似于压电复合材料层的方式适配,从而其实际上具有与目标材

料相同的声阻抗。匹配的绝缘层122是固有地宽带的,并且具有平坦的频率传输系数,该平坦的频率传输系数低于由柱的尺寸和间距决定的上截止频率,该上截止频率是声学复合材料的通常情况。电绝缘层的厚度与频率无关,并且仅是设计因素,因为它涉及管理可接受的衰减与可接受的漏电流。

[0177] 实施示例

[0178] 现在将描述超声换能器的不同的可能实施方式。

[0179] 在一个实施方式中,超声换能器100是单元件换能器。该单元件换能器可以具有以下特性:50mm的单元件声孔、在中心频率下的500hm大小的电阻抗、宽带频率响应(单向约100%的6dB分数带宽)、约0.6MHz的中心频率以及与钛匹配的声电阻(约27.4MR+/-约0.5MR)。除了这些特性之外,由于包含了相对较厚的导热层,该实施方式还表现出高功率处理能力和散热特性,从而既增强了接地电极的电效力,但是主要增强了接地电极的热效力。例如,如果DUT是金属的,例如钛,则该层可以由与DUT材料相同的材料制成。由于声学堆叠的整个部分与压电元件的远侧相邻,并且包括具有与DUT材料相同的声阻抗的压电复合材料元件,所以这种包含是可能的。在该实施方式中,压电复合材料层102可以是PZT的1 3复合材料,而填充材料12可以由HFO粉末负载的环氧树脂制成,环氧树脂被设计成具有非常接近于约27.4MR的声阻抗,从而导致与钛声学匹配。应当理解的是,这相对比非复合PZT的声阻抗(约为34.5MR)低,并且比典型的聚合物填充的PZT压电复合材料高得多(典型地在8MR和16MR之间)。在此实施方式中,选择PZT是因为它兼顾了效率和耐热性。选择HFO粉末负载的环氧树脂作为基体材料,用于填充PZT板中的切口以创建复合材料。HFO粉末负载的环氧树脂具有约7MR至约8MR的相对高的声阻抗,以使所得的1 3复合材料的声阻抗与钛的声阻抗紧密匹配。在该实施方式中,压电复合材料层102具有1000 μ m乘1000 μ m的PZT柱(具有正方形截面),柱以1200微米的间距出现,并有规律地被200微米的切口隔开。复合压电元件/层102的厚度为2400 μ m。

[0180] 在另一种实施方式中,提供了一种电隔离的换能器,其具有到预期的声负载介质的宽带和低损耗耦合机制,几乎可以完全通过优化压电复合材料层并且设计背衬和/或去匹配层来优化中心频率和频率响应。不需要在压电复合材料的远侧进行匹配,并且在低于有效截止频率的所有频率上都能实现声学堆叠的几乎完全平坦的频率响应,该有效截止频率是由压电复合材料和陶瓷复合材料元件所选择的柱尺寸和间距决定的。该实施方式允许设计具有超过140%的单向分数带宽的超声换能器,只要它们与指定的目标介质一起使用就不需要任何远端面匹配层。存在可以从适配它们相应的声阻抗的超声换能器中受益的许多不同的金属和其他导电负载,诸如例如但不限于钛及其合金、锡、铝和许多铝合金、锌、镉、铅和其他具有约15MR至约30MR的声阻抗的合金。另外,具有在上述范围内的声阻抗的非金属材料也可以从该实施方式中受益,以与其各自的声阻抗紧密匹配。

[0181] 方法

[0182] 还提供了一种用于制造先前已经描述的超声换能器100的实施方案的方法。在一个实施方案中,所制造的超声换能器100设计为在约600kHz的中心频率下操作。该方法包括切口切开厚度约为2600 μ m的PZT板的步骤。切口由平行切缝制成。在一个实施方案中,此步骤导致大约1.7mm的中心到中心的700 μ m的切口,从而在切口之间留下约1mm的未切开材料。该方法还包括以下步骤:提供氧化铝棒(例如,具有大约400 μ m的宽度),以嵌入到切口中,并

在氧化铝的两侧用150 μm 的切口填充环氧树脂(例如,粉末负载的环氧树脂并允许其固化)条胶合到位。该方法还包括相对于第一组切缝以90度切开板的步骤,从而限定相似的切口(中心到中心的间距为约1.7mm,切口为约700 μm)。随后可以将切开的切口填充相似的400 μm 宽的氧化铝棒以及切口填充粉末负载的环氧树脂。所得的压电复合材料层具有相当于82% PZT复合材料的声阻抗,并且可以例如但不限于与钛声学匹配。然而,这种复合材料的电阻抗与59% PZT复合材料中发现的电阻抗接近。

[0183] 本文中已经描述和说明了几个可选实施方案和实施例。上述实施方案仅旨是示例性的。本领域技术人员将理解各个实施方案的特征以及部件的可能组合和变化。本领域技术人员将进一步理解,可以与本文公开的其他实施方案以任何组合来提供任何实施方案。因此,本实施例和实施方案在所有方面都应被认为是说明性的而非限制性的。因此,虽然已经示出和描述了特定的实施方案,但是在不明显脱离当前说明书中定义的范围的情况下,可以想到更多的修改。

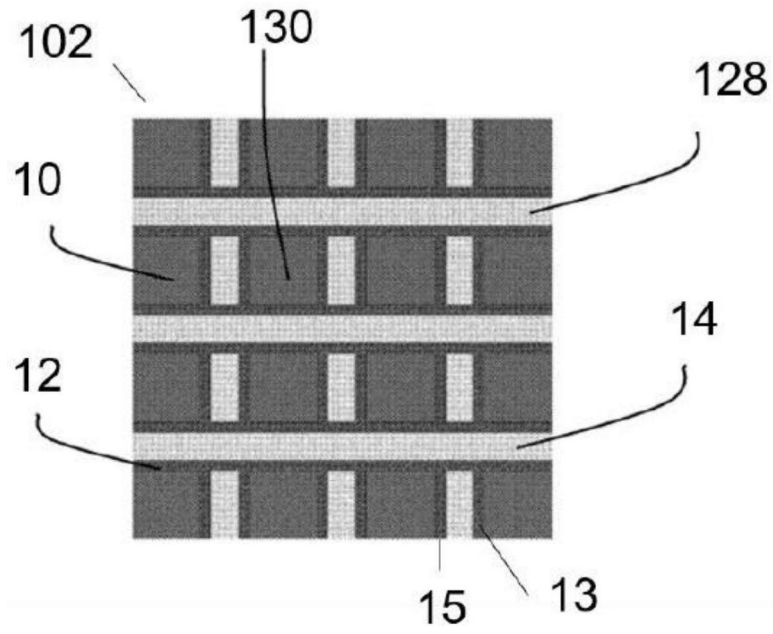


图4

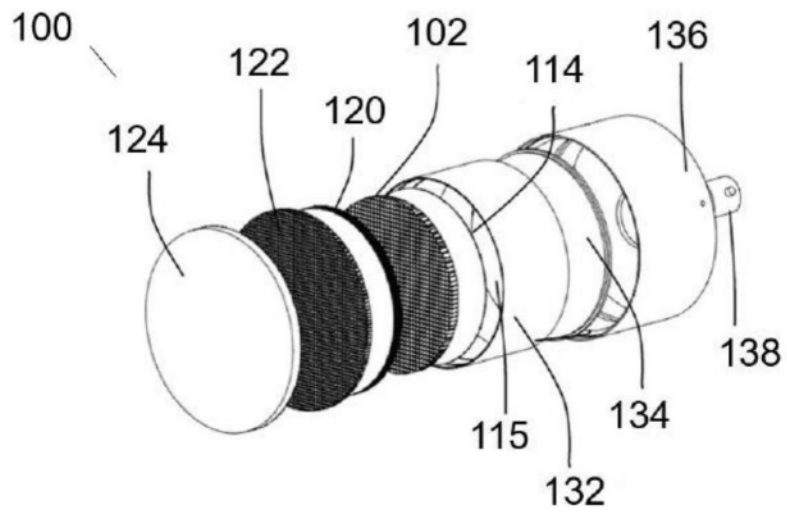


图5A

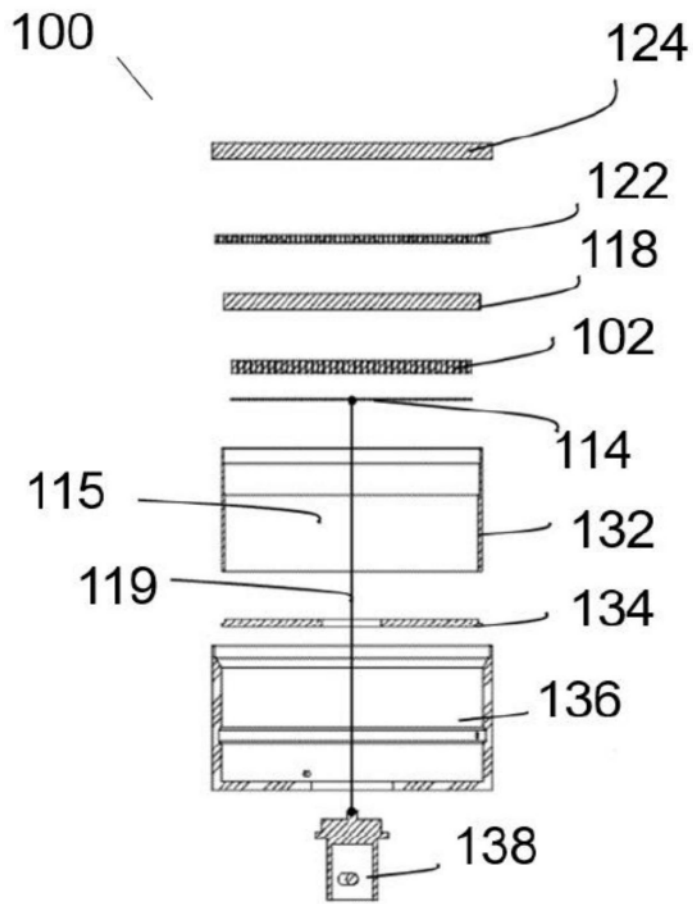


图5B