

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101442941 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200780016016. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2007. 03. 01

A61B 8/14 (2006. 01)

(30) 优先权数据

审查员 陈飞

11/366, 953 2006. 03. 02 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 11. 03

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/005300 2007. 03. 01

(87) PCT申请的公布数据

W02007/103143 EN 2007. 09. 13

(73) 专利权人 视声公司

地址 加拿大安大略

(72) 发明人 N·C·查格瑞斯 J·梅希 D·赫森

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司

11285

代理人 杨勇 郑建晖

权利要求书 4 页 说明书 18 页 附图 7 页

(54) 发明名称

超声匹配层和换能器

(57) 摘要

在一方面,用于具有匹配层的超声换能器叠层的匹配层,包括一种载有多个微米尺寸粒子和纳米尺寸粒子的基体材料。在另一方面,该基体材料载有多个重粒子和轻粒子。在另一方面,超声换能器叠层包括一个压电层和至少一个匹配层。在一方面,该匹配层包括一种复合材料,所述复合材料包括一种载有多个微米尺寸粒子和纳米尺寸粒子的基体材料。在另一方面,该复合材料还可以包括一种载有多个重粒子和轻粒子的基体材料。在又一方面,该匹配层还可以包括氰基丙烯酸酯。

100

TPX透镜
118
CA (氰基丙烯酸酯) 1/4 波匹配层
112
低粘性的环氧材料薄层 (Epo-tic301)
114
中等阻抗SIC纳米粒子和锡纳米粒子 掺杂的环氧材料的 1/4 波匹配层
110
高阻抗锡 (混合有锡纳米粒子的 5 μm 粒子) 掺杂的环氧材料的 1/4 波匹配层
108
Cz/Au 锡金电极 (3000 埃)
106
钽酸锂压电晶体
102
导电性的环氧材料背衬
104

1. 一种超声换能器的匹配层,所述超声换能器包括多个堆叠的层,其中该多个堆叠的层中的至少一个层包括该匹配层,且其中该匹配层包括氰基丙烯酸酯。

2. 根据权利要求 1 所述的匹配层,其中该匹配层是一个 $1/4$ 声学波长匹配层。

3. 根据权利要求 2 所述的匹配层,其中该匹配层的声学阻抗介于 2.0 兆瑞利到 3.5 兆瑞利之间。

4. 根据权利要求 2 所述的匹配层,其中该匹配层的声学阻抗介于 2.5 兆瑞利到 2.8 兆瑞利之间。

5. 根据权利要求 1 所述的匹配层,其中该多个堆叠的层中的至少一个层包括一个透镜层,且其中该透镜层覆盖于该匹配层之上并且结合到该匹配层。

6. 根据权利要求 5 所述的匹配层,其中该透镜层包括聚甲基戊烯。

7. 一种超声换能器叠层,包括:

多个层,所述多个层包括:

一个压电层;

一个第一匹配层,该第一匹配层包括氰基丙烯酸酯;以及

一个包括聚甲基戊烯或热固交联型聚苯乙烯的透镜层,

其中该多个层中的每个层均具有一个顶面和一个相对的底面,其中该第一匹配层被连接到该透镜层的底面并且位于该透镜层的底面之下,且其中该压电层位于该第一匹配层的底面之下。

8. 根据权利要求 7 所述的超声换能器叠层,其中该第一匹配层是一个 $1/4$ 声学波长的匹配层。

9. 根据权利要求 8 所述的超声换能器叠层,其中该第一匹配层的声学阻抗介于 2.0 兆瑞利到 3.5 兆瑞利之间。

10. 根据权利要求 8 所述的超声换能器叠层,其中该第一匹配层的声学阻抗介于 2.5 兆瑞利到 2.8 兆瑞利之间。

11. 根据权利要求 8 所述的超声换能器叠层,其中该透镜层的声学阻抗是 1.8 兆瑞利。

12. 根据权利要求 7 所述的超声换能器叠层,其中该透镜层的声学阻抗与水的声学阻抗基本相同。

13. 根据权利要求 7 所述的超声换能器叠层,其中该压电层在至少 20 兆赫的频率下生成超声。

14. 根据权利要求 13 所述的超声换能器叠层,其中该压电层在 25MHz、30MHz、35MHz、40MHz、45MHz、50MHz、55MHz、60MHz 或更高的频率下生成超声,以发射通过该第一匹配层,然后通过该透镜层。

15. 根据权利要求 7 所述的超声换能器叠层,还包括位于该压电层的顶面和该第一匹配层的底面之间的第二匹配层。

16. 根据权利要求 15 所述的超声换能器叠层,其中使用一种结合材料将该第二匹配层的顶面结合到该第一匹配层的底面上。

17. 根据权利要求 16 所述的超声换能器叠层,其中该结合材料在该第一匹配层和该第二匹配层之间形成一个结合线层。

18. 根据权利要求 17 所述的超声换能器叠层,其中该结合线层具有小于 5 微米的垂直

厚度。

19. 根据权利要求 17 所述的超声换能器叠层,其中该结合线层具有介于 1 微米到 5 微米之间的垂直厚度。

20. 根据权利要求 17 所述的超声换能器叠层,其中该结合线层具有介于 1 微米到 3 微米之间的垂直厚度。

21. 根据权利要求 17 所述的超声换能器叠层,其中该结合线层的声学阻抗与该第一匹配层的声学阻抗基本相同。

22. 根据权利要求 16 所述的超声换能器叠层,其中该结合材料选自环氧材料或胶粘剂。

23. 根据权利要求 22 所述的超声换能器叠层,其中该结合材料是一种低粘性 RT 固化的环氧材料。

24. 根据权利要求 16 所述的超声换能器叠层,其中该第二匹配层的声学阻抗介于 3.5 兆瑞利到 6.0 兆瑞利之间。

25. 根据权利要求 15 所述的超声换能器叠层,还包括一个第三匹配层,其中该第三匹配层位于该第二匹配层的底面和该压电层的顶面之间。

26. 根据权利要求 25 所述的超声换能器叠层,其中该第三匹配层的声学阻抗介于 7.5 兆瑞利和 12 兆瑞利之间。

27. 根据权利要求 25 所述的超声换能器叠层,其中该第三匹配层的声学阻抗介于 9.5 兆瑞利和 10.5 兆瑞利之间。

28. 根据权利要求 25 所述的超声换能器叠层,还包括一个背衬层,其中该背衬层的顶面连接到该压电层的底面,并且位于该压电层的底面之下。

29. 根据权利要求 7 所述的超声换能器叠层,其中该透镜层包括热固交联型聚苯乙烯。

30. 根据权利要求 15 所述的超声换能器叠层,其中该第二匹配层包括:一种基体材料,所述基体材料载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子,其中所述第二匹配层的声学阻抗由所述第一重粒子的体积分数所控制,以及所述第二轻粒子防止在固化过程中该第一重粒子沉淀。

31. 根据权利要求 30 所述的超声换能器叠层,其中该第二匹配层中的声速为 1500 米/秒到 4500 米/秒。

32. 根据权利要求 30 所述的超声换能器叠层,其中该第一重粒子包括选自钨粒子、PZT 粒子及其混合物的粒子,而该第二轻粒子包括选自碳化硅粒子、氧化铝粒子及其混合物的粒子。

33. 根据权利要求 30 所述的超声换能器叠层,其中该第一重粒子具有至少 10.0 克每立方厘米的质量密度,且其中该第二轻粒子具有小于 4.0 克每立方厘米的质量密度。

34. 根据权利要求 30 所述的超声换能器叠层,其中该基体材料是一种聚合物。

35. 根据权利要求 34 所述的超声换能器叠层,其中该聚合物是环氧材料。

36. 根据权利要求 30 所述的超声换能器叠层,其中该第一重粒子和该第二轻粒子在体积上组成该第二匹配层的至少 11%。

37. 根据权利要求 36 所述的超声换能器叠层,其中该第一重粒子和该第二轻粒子在体积上组成该第二匹配层的 11%到 20%。

38. 根据权利要求 25 所述的超声换能器叠层,其中该第三匹配层包括:一种基体材料,该基体材料载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子。

39. 根据权利要求 38 所述的超声换能器叠层,其中该微米尺寸和纳米尺寸粒子包括高密度金属或高密度陶瓷材料。

40. 根据权利要求 39 所述的超声换能器叠层,其中该高密度金属选自钨、金和铂。

41. 根据权利要求 38 所述的超声换能器叠层,其中该基体材料是一种聚合物。

42. 根据权利要求 41 所述的超声换能器叠层,其中该聚合物是环氧材料。

43. 根据权利要求 38 所述的超声换能器叠层,其中该纳米尺寸粒子和该微米尺寸粒子在体积上组成该第三匹配层的 10%到 35%。

44. 根据权利要求 38 所述的超声换能器叠层,其中在该第三匹配层中的声速为 1000 米/秒到 3000 米/秒。

45. 一种用于产生包括多个层的超声换能器叠层的方法,每个层均具有一个顶面和一个相对的底面,该方法包括:

设置一个压电层;

设置一个包括聚甲基戊烯或热固交联型聚苯乙烯的透镜层;

将一个包括氰基丙烯酸酯的第一匹配层结合到该透镜层的底面;并且

将已被结合的第一匹配层和透镜层置于基本覆于该压电层之上并与该压电层对齐的位置,以产生一个超声换能器叠层。

46. 根据权利要求 45 所述的方法,其中所述将第一匹配层结合到该透镜层的底面的步骤,包括:

设置一个剥离膜;

设置多个间隔物;

将该多个间隔物置于该剥离膜的一部分之上;

用氰基丙烯酸酯基本上润湿该透镜层的整个底面;并且

将该透镜层以与该剥离膜处于留有间隔的关系的方式安装到该多个间隔物上,其中该氰基丙烯酸酯填充在该透镜层的底面和该剥离膜之间所限定的内部体积内并且形成该第一匹配层。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该剥离膜由一种低表面能的金属薄膜组成。

48. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该剥离膜包括铝箔。

49. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该剥离膜由镁箔组成。

50. 根据权利要求 46 所述的方法,其中所述将该第一匹配层结合到该透镜层的底面的步骤,还包括:

向该透镜层施加力以压缩位于该透镜层的底面和该剥离膜之间的氰基丙烯酸酯;并且固化所述包括氰基丙烯酸酯的第一匹配层。

51. 根据权利要求 46 或 50 所述的方法,其中所述将该第一匹配层结合到该透镜层的底面的步骤,还包括将该剥离膜从该第一匹配层的已形成的顶面移除。

52. 根据权利要求 51 所述的方法,其中所述将该第一匹配层结合到该透镜层的底面的步骤,还包括:

移除该多个间隔物;以及

磨擦该第一匹配层的已形成的顶面,直到该第一匹配层处于预定厚度为止。

53. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该间隔物具有介于 20 微米到 30 微米之间的直径。

54. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该间隔物具有 25 微米的直径。

55. 根据权利要求 46 所述的方法,其中该间隔物具有大于该第一匹配层的期望预定厚度的直径。

56. 根据权利要求 53、54 或 55 所述的方法,其中该间隔物是导线。

超声匹配层和换能器

背景技术

[0001] 小动物成像在许多学科中是一个重要的研究领域,包括临床前的药物开发,发育生物学,心脏研究和分子生物学。几种小动物模型已经在这些领域中得到广泛应用,最流行的是小鼠和大鼠。高频超声已经被广泛地用于在从大约 20 兆赫 (MHz) 到 60 兆赫以上的频率对小鼠模型进行成像。然而,与小鼠模型相比,大鼠模型在高频下难于成像,因为大鼠具有高度衰减的和发生回波的表皮、真皮和皮下组织。

发明内容

[0002] 一方面,提供了一种用于具有多个层的超声换能器叠层 (stack) 的匹配层。一个匹配层可以包括一种包括一种基体材料的复合材料,该基体材料载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子。在另一方面,该复合材料还可以包括一种载有多个重粒子和轻粒子的基体材料。在又一方面,一个匹配层还可以包括氰基丙烯酸酯。

[0003] 本发明还提供了包括多个层的超声换能器叠层,每个层均具有一个顶面和一个相对的底面,其中该多个层包括一个压电层和至少一个匹配层。该匹配层可被置于该叠层中以覆盖于该压电层的顶面上。示例性的叠层可以包括:一个包含一种复合材料的匹配层(所述复合材料载有多个纳米尺寸和微米尺寸粒子)、一个载有多个重粒子和轻粒子的匹配层以及一个包括氰基丙烯酸酯的匹配层。

[0004] 本发明的其他系统、方法和方面以及优点将根据附图和详细说明进行讨论。

附图说明

[0005] 所述附图——纳入本说明书中并组成本说明书的一部分——示出了本发明的某些方面,并和本说明书一起用于解释而非限制本发明的原理。在所有这几幅附图中,在此使用的相同参考号所指均为相同部件。

[0006] 图 1 是示出了具有多个层的示例性换能器叠层并示出了多个匹配层的示意图。

[0007] 图 2 是示出了在垂直方向的示例性换能器叠层的一个横截面的示意图。

[0008] 图 3 是示出了带有电连接的示例性换能器叠层的方框示意图。

[0009] 图 4 是一个放大的示意图,以示例性比例尺示出了图 3 中的示例性换能器叠层的层。

[0010] 图 5 是一个方框图,示出了制造示例性换能器叠层的示例性方法。

具体实施方式

[0011] 本发明可以通过参考下面的详细说明、实施例、附图和权利要求书,以及它们的前序的和后继的说明来更容易地理解。然而,在公开并描述本发明的设备、系统和 / 或方法之前,应理解本发明不是仅限于所公开的具体设备、系统和 / 或方法,除非另有指定,因为这些本身当然可以变化。还应理解,本文所用的术语仅出于描述特定方面的目的,而并非意在限制。

[0012] 本发明的下列说明被提供作为对本发明的最佳的当前所知的实施方案的启发性教导。在这方面,相关领域的技术人员将会认识并且理解,在保留本发明的有益效果的同时,还可以对本文所描述的本发明的多个方面作出许多变化。同样显而易见的是,可以通过选择本发明的某些特征而不利用其他特征,来获得本发明的某些期望的效果。从而,本领域技术人员将能理解,对本发明所做的许多修改和调整均为可能的,且在某些情况下甚至是合乎需要的,且这些修改和调整是本发明的一部分。因此,提供下面的说明是作为对本发明的原理的例证,而并非对其进行限制。

[0013] 如本文所用,单数形式“一”、“一个”和“该”均包括了复数指示物,除非上下文另有清楚说明。因此,例如,提及一“层”包括具有两个或多个这样的层的方面,除非上下文另有清楚说明。

[0014] 本文中可以将范围表示为从“大约”某个具体的数值,和 / 或到“大约”另一个具体的数值。当表示为这样的范围时,另一个方面包括了从前述一具体的数值和 / 或到前述另一具体的数值。同样地,当通过使用先行词“大约”将值表示为近似值时,将可以理解该具体的数值形成了另一个实施方案。还将可以进一步理解的是,每个这样的范围的端点在相关于和独立于另一个端点时均是有意义的。

[0015] 如本文所用,术语“可选的”或“可选地”意为随后描述的事件或情形可发生或可不发生,且这样的描述包括了所述事件和情形发生和不发生的情况。

[0016] “受试者”意指个体。例如,术语“受试者”包括小动物或实验动物以及灵长类包括人。实验动物包括但不限于诸如小鼠或大鼠之类的啮齿动物。术语“实验动物”也与动物、小动物、小实验动物或受试者等术语通用,包括小鼠、大鼠、猫、狗、鱼、兔子、豚鼠、啮齿动物等。术语“实验动物”不表示具体年龄或性别。因此,包括雄性或雌性的、成年和新生的动物,以及胎儿(包括胚胎)。

[0017] 参考下面的对本发明的优选实施方案和其中包括的实施例的详细说明,并参考附图及其前序和后继说明,可以更容易地理解本发明。

[0018] 在一个实施方案中,本发明涉及用于具有多个层的超声换能器叠层的匹配层。用于成像的超声换能器或换能器叠层,利用了位于该换能器的压电层和透镜层或面层(face layer)之间的声学匹配层。该压电层通常具有高声学阻抗(Z)。该被成像的受试者通常具有低很多的声学阻抗。如果该压电层被直接压到该受试者之上,则会由于在压电层和受试者之间的阻抗不匹配而损耗大量声能。在超声成像领域中,位于压电层和透镜或面层之间的带有声学阻抗的匹配层被引入该换能器叠层中,从而产生从较高阻抗的压电层到较低阻抗的受试者之间的过渡。

[0019] 因此,本文所提供的匹配层可以被用在超声换能器叠层中,从而来完成从压电层到透镜或面层的阻抗过渡。示例性的匹配层可具有可变的声学阻抗。一个示例性的匹配层可以具有介于大约 7.0 兆瑞利到大约 14.0 兆瑞利之间的声学阻抗。另一个示例性的匹配层可以具有介于大约 3.0 兆瑞利到大约 7.0 兆瑞利之间的声学阻抗。又一个示例性的匹配层可以具有介于大约 2.5 兆瑞利到大约 2.8 兆瑞利之间的声学阻抗。本领域的技术人员将能理解,每个示例性的匹配层均可以是 1/4 波长的匹配层。

[0020] 超声换能器叠层可被用来生成、发射和接收高频(大于或等于 20 兆赫)超声。示例性的超声换能器叠层包括至少一种所公开的匹配层。

[0021] 图 1 中示出了这种示例性的换能器叠层的示意图。图 1 示出了一种换能器叠层 100, 所述换能器叠层具有铌酸锂压电层 102。该压电层的底面覆盖于背衬层 104 的顶面之上。在压电层的顶层上方是电极层 106、三个示例性的匹配层 (108、110 和 112)、一个环氧结合层 114 和一个透镜层 116。

[0022] 在此方面, 该匹配层 108 为具有更高阻抗的匹配层, 所述匹配层可以具有介于大约 7.0 兆瑞利和大约 14.0 兆瑞利之间的声学阻抗。在另一方面, 匹配层 108 可以包括纳米尺寸和微米尺寸粒子, 如下文所述。

[0023] 在该匹配层 108 的上表面的上方是匹配层 110, 其具有低于匹配层 108 的阻抗。该匹配层 110 可以具有介于大约 3.0 兆瑞利和大约 7.0 兆瑞利之间的声学阻抗。在另一方面, 匹配层 110 可以包括轻粒子和重粒子, 如下文所述。

[0024] 匹配层 112 具有低于匹配层 110 的阻抗。匹配层 112 具有介于大约 2.5 兆瑞利和大约 2.8 兆瑞利之间的声学阻抗。该匹配层 112 可以包括氰基丙烯酸酯, 如下文所述。可使用一个环氧层 114 将该匹配层 112 结合到下面的匹配层 110。

[0025] 示例性换能器叠层 100 的面层包括透镜层 116。该透镜层可以包括 TPX, 如下文所述。该透镜层 116 可以被直接结合到匹配层 112 之上。从而, 在该示例性换能器叠层 100 中, 匹配层 (108、110 和 112) 实现了从压电层 102 到透镜层 116 之间的阻抗过渡。

[0026] 换能器叠层——如本文所举例说明的——可被用于使用高频超声对受试者或者对受试者的解剖学部分进行成像。生成的图像可以具有高分辨率。在一方面, 超声换能器叠层包括多个层, 每个层均具有一个顶面和一个相对的底面。在另一方面, 该多个层包括一个压电层和至少一个匹配层。当位于换能器叠层之中时, 给定的匹配层的底面覆盖于该压电层的顶面之上。

[0027] 匹配层可以包括复合材料。在一方面, 该复合材料可以包括一种载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子的基体材料。在另一方面, 该复合材料还可以包括一种载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子的基体材料。在又一方面, 匹配层还可以包括氰基丙烯酸酯 (CA)

[0028] 使用示例性换能器叠层对超声数据的捕获, 包括: 生成超声, 将超声发射到该受试者体内, 以及接收由该受试者反射的超声。很大频率范围内的超声均可被用于捕获超声数据。例如, 可以使用临床频率的超声 (少于 20MHz) 或高频超声 (大于或等于 20MHz)。根据下述因素, 例如但不限于成像深度或期望分辨率, 本领域的技术人员可以容易地确定使用什么频率。

[0029] 当希望高分辨率的成像且该受试者体内的将被成像的结构所处的深度不太大时, 人们希望使用高频超声。从而, 捕获超声数据的过程可以包括向该受试者体内发射具有至少 20MHz 的频率的超声, 并且接收由该受试者反射的所发射的超声的一部分。例如, 可以使用具有大约 20MHz、30MHz、40MHz、50MHz、60MHz 或更高的中心频率的换能器。在一个示例性优选实施方案中, 该换能器可以具有大约 20MHz 的中心频率 (对于下文给出的每个一般频率的实例, 设计频率均为 25MHz)。

[0030] 对于小动物的成像, 人们通常期望使用高频超声发射, 此时可在可接受的穿透深度下达到高分辨率。从而, 该方法可以以临床频率或高频率用于小动物受试者。可选地, 如上所述, 该小动物可以是大鼠或小鼠。

[0031] 所公开的换能器可被操作地连接到一个用于生成、发射、接收和处理超声数据的

超声成像系统。例如,可使用超声扫描设备发射、接收和处理超声,所述超声扫描设备可提供从至少约 20MHz 到最高实际频率的超声信号。可以使用任何可在 20MHz 或更高频率下运行的超声系统或设备。

[0032] 本文所描述的匹配层可以和其他能够在期望频率下发射和接收超声的设备一起使用。例如,可以使用采用了阵列换能器的超声系统。

[0033] 如果对小动物受试者进行成像,则其可以作为示例地被置于可以使用麻醉设备的平台上。从而,该方法可和用于成像小动物的平台和装置(包括带有容易操作的探针固定器装置的“导轨”型平台)一起使用。例如,所述系统可以和多轨道成像系统一起使用,以及和小动物固定组件一起使用,如题为“Integrated Multi-Rail Imaging System”的美国专利申请 No. 10/683,168,题为“Integrated Multi-Rail Imaging System”的美国专利申请 No. 10/053,748,题为“Small Animal Mount Assembly”的美国专利申请 No. 10/683,870 并现在已于 2005 年 2 月 8 日颁布的美国专利 No. 6,851,392,以及题为“Small Animal Mount Assembly”的美国专利申请 No. 11/053,653 所述,上述文献均以援引方式纳入本文。

[0034] 小动物可以在成像过程中被麻醉,并且可监控重要生理参数例如心率和温度。从而,该系统可以包括用于捕获心电图(ECG)和温度信号以进行处理和显示的装置。该系统还可以显示生理波形,例如心电图、呼吸或血压的波形。

[0035] 本文还提供了当期望高帧率时,在用于使用基于线的图像重构以产生超声图像的系统中使用所描述的换能器或匹配层。这样的系统的一个实例可以具有如美国专利申请 10/736,232 和美国专利申请公布 20040236219 中所述的下述组件,这些专利申请以援引方式纳入本文。本文公开的用于使用基于线的图像重构以产生超声图像的系统,可以提供具有超过 200 帧每秒的有效帧率的超声图像。该系统包括一种基于心电图的技术,所述技术可产生高时间分辨率,并允许使用超声来准确地描绘小动物(例如小鼠、大鼠、兔或其他小动物)体内迅速移动的结构,例如心脏。

[0036] 可以对许多不同的感兴趣的器官成像,包括具有内腔的动态器官。例如,可以使用本文描述的方法和系统对心脏或其一部分进行成像。然而,该方法和系统并不仅限于对心脏成像,对其他器官或其部分成像,包括心脏血管系统的其他部分的成像也是可预期的。

[0037] 几个小动物模型在研究中得以广泛使用,最为流行的是小鼠和大鼠。高频超声被用于对小鼠模型成像,在从约 20MHz 到超过 60MHz 的频率下尤其有效。然而,与小鼠模型相比,大鼠模型被证明难于在高频下成像,这是由于存在高度衰减的和生成回波的表皮、真皮和皮下组织,它们导致了两个主要的成像障碍。第一个是高频超声能的高衰减。第二个是产生多次反射,这导致了混响成像的伪像。这两种障碍都可以通过改变所述用于对该大鼠成像的换能器的操作特性来减轻。

[0038] 用于克服这些成像障碍的示例性的操作特性,可以包括用于克服衰减的高灵敏度、用于克服混响的匹配透镜系统和/或在换能器和组织之间使用匹配衰减层以衰减多次反射。此外,所述用于对该大鼠成像的换能器可以具有较宽的带宽,以免损害轴向分辨率。

[0039] 这三种特性通常是以相互牺牲为代价才得以实现的,且通常被认为是工程学上的一种平衡。在一个实例中,更高的灵敏度通常是以牺牲带宽为代价才得以实现的。相似地,更好的匹配通常涉及损耗透镜材料,从而损害了灵敏度,并且如果在设计频率下设计为 1/4 波长匹配,则导致带宽的减少。匹配衰减层的添加也导致了原始信号等级的灵敏度降低。

[0040] 本文描述了一种换能器,所述换能器具有与水的声学匹配、灵敏度和宽带宽响应,并且可用于对受试者动物模型进行成像。该换能器改进了对于大鼠和其他小动物模型的高频超声成像。

[0041] 在一方面,为了克服大鼠组织的高衰减性,本文描述了一种具有很高灵敏度的有效的换能器。在又一个方面,该换能器是具有例如大约 80% 或更多的 -6dB 带宽的相对宽带宽。

[0042] 在另一个实施方案中,提供了用于具有多个层的超声换能器叠层的匹配层。在一方面,所描述的匹配层可以是一个包括压电层的超声换能器叠层的层。在另一方面,该叠层可以包括其他层,诸如,例如但不意在限于,背衬层、其他匹配层、透镜层、信号电极层、接地电极层、结合层和 / 或其他为本领域技术人员所知的层。

[0043] 在本发明的一个实施方案中,匹配层包括复合材料。在此方面,该复合材料可以包括载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子的基体材料。在另一方面,该复合材料也可以包括载有多个重粒子和轻粒子的基体材料。在另一个实例中,匹配层还可以包括固化的氰基丙烯酸酯。

[0044] 本文举例说明的是包括了多个层的超声换能器叠层,每个层均具有一个顶面和一个相对的底面。在一方面,该多个层包括一个压电层和至少一个匹配层。在此方面,该匹配层可以被置于该叠层中,以使得它们基本覆盖于该压电层的顶面上。示例性的叠层可以包括:含有载有多个纳米尺寸和微米尺寸粒子的复合材料的匹配层,载有多个重粒子和轻粒子的匹配层和包括氰基丙烯酸酯的匹配层。

[0045] 可被使用的压电材料包括,例如但不意在限于,陶瓷材料、复合陶瓷材料以及单晶体。例如,铌酸锂 (LiNb) 可被用于示例性的单阵元机械扫描换能器。在另一个实例中,36 度的 Y 旋转铌酸锂是一种用于压电层的示例性材料。铌酸锂具有高效率机械耦合特性 (大约 50% 的 Kt), 以及非常低的介电常数 ($\epsilon_r = 34$) 且可以产生有效的单阵元换能器,所述单阵元换能器可以不使用另外的电匹配网络。此外,铌酸锂 (LiNb) 具有高的 Q 值 (在 10,000 区域内), 这可以产生窄带换能器。可以预期的是高 Q 值可以通过宽带匹配结构和阻尼背衬系统 (damping backing system) 来补偿,其起到减少换能器的 Q 值的作用。

[0046] 在又一个方面,背衬系统可和该换能器叠层一起使用,且可被连接到压电层的底面和 / 或位于压电层的底面之下。如果使用背衬层,则可达到几个目的。首先,其具有使得该换能器与期望带宽发生共鸣的声学阻抗。其次,它是高衰减的,从而使得在换能器自身中减少或消除了内反射。最后,该背衬层可以与压电元件可操作地接触。

[0047] 在一个示例性方面,相对于 LiNb 的 Z, 选择声学阻抗尽可能低的背衬层以达到高灵敏度,同时保证较好带宽。例如,在约 5MR 到 7MR 的范围之内的声学阻抗,在灵敏度和带宽之间实现了一种期望的平衡。例如,若期望较高带宽,则可采用介于大约 25MR 到 40MR 之间的背衬阻抗。

[0048] 关于背衬层的衰减,衰减越高,所需用于消除内反射的背衬厚度就越小。同样,较薄的背衬层导致换能器具有较少的质量和体积。

[0049] 在另一方面,该背衬层可以是导电性的,也可以是绝缘体。然而,无论使用导体还是绝缘体,背衬层均会被可操作地连接到压电层。导电性的背衬层可以使得制造过程较快,其具有非常窄的可能衰减范围和非常窄的可用声学阻抗范围。非导电性的背衬层允许了非

常宽的阻尼和衰减可能性范围。

[0050] 一个示例性的背衬层是由 Ablebond16-1 导电性的环氧材料构成的。此背衬层材料具有大约 6.7MR 的声学阻抗,以及在 30MHz 下超过大约 100dB/mm 的衰减。此外,这个示例性的导电环氧层在结合线处显示了优秀的导电性,并且与该压电层形成了整体连接。

[0051] 在另一方面,为了创建非常高的带宽设计而期望低灵敏度,也可以使用金属来形成背衬层,例如但不意在限于钢、锡和钢合金。

[0052] 在另一方面,也可以使用一个透镜层。例如,可以使用与水基本声学匹配的透镜。这样的透镜可以具有高于水或低于水的声速,但是与水的不同足以使得可以产生一个实际的曲面,以达到期望的聚焦量。一种可用的示例性透镜材料是聚甲基戊烯或 TPX。这种热塑性塑料具有 1.8MR 的声学阻抗和 2200m/s 的纵向速度。也可以使用凸透镜(具有低于水的声速)。

[0053] 与某些替代性材料相比,TPX 损耗较重(在 30MHz 下为 5.7dB/mm),但却提供了异常好的对于水和组织的声学匹配。使用 TPX 的主要挑战在于它非常难于结合到超声换能器叠层的其他层上。例如,Rexolite(一种热固交联型聚苯乙烯)具有低于 TPX 的损耗,其具有在 30MHz 下仅约 1.1dB/mm 的损耗,但却具有 2.6MR 的声学阻抗。Rexolite 可以用在非常需要灵敏度且多次反射可被容忍的场合。通过使用薄的透镜,并且将 F 数(F-Number)处于通常范围的较高端(一般为约 2.5 至 3),该损耗可被减轻。

[0054] 在许多方面,至少一个 1/4 波长匹配层被用在超声换能器叠层中。通常,这样的 1/4 波长匹配层也被简称为“匹配层”。应注意到,术语“匹配层”被用在本发明的整个说明书中,并且具有与 1/4 波或波长匹配层相同的意义。该 1/4 波匹配层不仅影响灵敏度,还影响带宽。

[0055] 在高频下,匹配层的厚度数量级为大约 5.0 μm 到 50.0 μm ,且通常中间粘结层具有较低的公差。例如,厚于 500nm 的层对于设计是有害的,而任何厚于 1500nm 的层都基本抵消了该叠层的效果。如本领域技术人员所能理解,对于 1/4 波长层,厚度取决于期望的发射频率和层中的声速。从而,本领域技术人员通过对组合物的声速的常规测试以及凭借所掌握的对期望的设计频率的知识,将可以容易地确定包括了轻粒子和重粒子的 1/4 波长匹配层的适当厚度。

[0056] 在本发明的一个实施方案中,示例性透镜层包含 TPX,所述 TPX 连接到氰基丙烯酸酯匹配层上,其具有大约 3MR 的声学阻抗。如本文所述,氰基丙烯酸酯匹配层被结合到该 TPX 透镜层上以附接到该叠层的其他层上。

[0057] 在一个示例性实施方案中,大约 10MR 的匹配层被覆盖于具有大约 4.5MR 至 5MR 的声学阻抗的匹配层之上,以增强带宽并保持优良的敏感度。这可以示例性地使用两层钨掺杂的环氧层来完成,使用真空砂磨器将所述环氧层砂磨到期望的厚度。在又一个方面,低阻抗层也可以掺杂有碳化硅(SiC)纳米粒子以防止在固化过程中钨粉末沉淀。

[0058] 如上文所述,另一个匹配层可以是沉积在 TPX 透镜层之上的氰基丙烯酸酯(CA)层。可以用一个环氧层将所述结合到透镜层上的 CA 匹配层结合到低阻抗匹配层上,所述低阻抗匹配层位于该 CA 层的底面下方的叠层中。在一方面,该环氧层的垂直厚度(elevational thickness)是大约 5 μm 或更少。由于该环氧材料与 CA 的声学相似度,在几微米的厚度(在 20MHz 下 <5 μm)的情况下该层对于该叠层的性能影响不显著。在一方面,

该环氧材料可以是,例如但不意在限于 Epotek301 环氧材料。在另一方面,可以使用一种橡胶增韧 CA(例如 Loctite Black Max),所述 CA 可以具有略低的声学阻抗。

[0059] 在本发明的替代性实施方案中,用于包括了多个层的超声换能器叠层的匹配层,可以包括一种含有基体材料的复合材料,所述基体材料载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子。在一个方面,该复合材料形成超声换能器叠层的匹配层。该匹配层可以是 $1/4$ 声学波长匹配层。

[0060] 这些粒子在各自的纳米尺寸范围和微米尺寸范围内可以具有不同的尺寸。在一个优选实施方案中,所载有的粒子具有小于该匹配层的厚度的最大纵向尺寸或伸长尺寸。例如,该微米尺寸粒子具有大约 $5\mu\text{m}$ 的最大纵向尺寸,且该纳米尺寸粒子具有大约 800nm 的最大纵向尺寸,其中该匹配层厚度是大于 $5\mu\text{m}$ 。本领域技术人员将能理解,所选择的粒子应该尽可能地小,以免使之不能达到期望的声学阻抗。名义上,在匹配层中衰减应被保持到最小,并且粒子尺寸远小于一个波长。例如,在 $16.5\mu\text{m}$ 的四分之一波长层中的一个 $5\mu\text{m}$ 粒子,大约是一个波长的 $1/13$ 。

[0061] 在一方面,微米尺寸和纳米尺寸粒子可以包括高密度金属。例如,该微米尺寸和纳米尺寸粒子,可以包括钨、金、铂或其混合物。替代性地,如果期望非导电性层,则可以使用高密度陶瓷材料,例如 PZT。

[0062] 在又一个方面,该基体材料可以是聚合物。在一个非限制性的实例中,形成该基体的聚合物可以是环氧材料。例如,该环氧材料可以是一种低粘性、室温固化的环氧材料,具有一个高于该换能器的最大工作温度的 T_g 。某些非限制性的环氧材料的实例包括 Epotek® 301 和 302 (Epotek, Billerica, MA)、Cotronics Duralco® 4461 (Cotronics, Brooklyn, NY)、West Systems Epoxies (West Systems, Bay City, MI) 和多种 Araldite® Epoxy 结合物。或者,该匹配层也可以是热塑性塑料,诸如聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 例如丙烯酸、树脂玻璃、透明合成树脂或聚碳酸酯 (PC) 例如 Lexan。

[0063] 在一个示例性方面,微米尺寸和纳米尺寸粒子可被载入该基体材料中,该微米尺寸粒子与纳米尺寸粒子的比例为介于大约 5:1 到 1:5 重量份之间。例如,微米尺寸和纳米尺寸粒子可被载入该基体材料中,该微米尺寸粒子与纳米尺寸粒子的比例大约为 1:1 重量份。在另一个方面,随着期望的声学阻抗增加,大粒子的期望百分比也会增加。例如,如果期望 10MR 的匹配层,可以使用 1:1 的比例。在另一个实例中,对于 12MR 的层,可以使用 2:1 或 3:1 的微米尺寸粒子:纳米尺寸粒子的比例。

[0064] 在某些示例性方面,该匹配层的纳米尺寸粒子和微米尺寸粒子占所述复合材料的大约 10% 到大约 35% (体积比)。在其他实例中,纳米尺寸粒子和微米尺寸粒子占所述复合材料的大约 25% 到大约 30% (体积比)。在一个优选实施方案中,纳米尺寸粒子和微米尺寸粒子占所述复合材料的大约 25% (体积比)。

[0065] 通过设计使所述具有纳米和微米粒子的匹配层具有期望的声学阻抗。例如,可以形成该匹配层使其声学阻抗在大约 7.0 兆瑞利 (MR) 和 14.0 兆瑞利 (MR) 之间。在一个优选实施方案中,该匹配层的声学阻抗是大约 10MR。

[0066] 在不同的方面,该匹配层的厚度可以变化。本领域技术人员将能理解,所述达到 $1/4$ 波长匹配层的厚度将随着匹配层中的声速和通过该匹配层的超声的频率而改变。从而,基于本文的教导以及任何期望的超声发射频率,包括在 20MHz 和更高的频率,本领域的

技术人员将可以确定该匹配层的合适厚度。在其他示例性的方面,在匹配层中的声速可以在大约 1000 米每秒 (m/s) 和 3000m/s 之间。此外,匹配层的垂直厚度可以在大约 $4\mu\text{m}$ 到 $30\mu\text{m}$ 之间。

[0067] 在一个实施方案中,用于产生该纳米 / 微米粒子匹配层的过程,包括提供一种基体材料、多个微米尺寸粒子和多个纳米尺寸粒子。该基体材料载有用于形成一种复合材料的多个微米尺寸粒子和多个纳米尺寸粒子,而所形成的复合材料用于产生超声换能器叠层的匹配层。在一方面,微米尺寸粒子和纳米尺寸粒子可以包括同样的基础材料。当然,应该考虑到,微米尺寸粒子和纳米尺寸粒子也可以由不同的基础材料组成。

[0068] 如图 1 所示,该纳米 / 微米粒子匹配层可在具有多个层的示例性超声换能器叠层 100 中用作匹配层。如图所示,示例性的超声叠层 100 包括多个层,每个层均具有一个顶面和一个相对的底面。该多个层包括一个压电层 102 和至少一个匹配层。当然,多个匹配层 (108、110 和 112) 可被用在换能器叠层 100 之中。该匹配层 108 包括上述的 $1/4$ 波长声学匹配层。

[0069] 在某些示例性实施方案中,该压电层可以在至少约 20 兆赫 (MHz) 的中心频率下生成超声,用于传输通过该第一匹配层。这样的高传输中心频率在对小动物包括大鼠的成像过程中可能特别合乎需要。从而,在一个示例性方面,该压电层可以在至少大约 20MHz、25MHz、30MHz、35MHz、40MHz、45MHz、50MHz、55MHz、60MHz、65MHz、70MHz 或更高的中心频率下生成超声,以传输通过该第一匹配层。

[0070] 在另一个方面,该压电层可以具有 20MR 或更高的声学阻抗。如上所述,一种可以使用的示例性的压电层包括铌酸锂,其具有大约 34MR 的阻抗。在另一个实例中,该压电层可以包括 PZT,其具有大约 33MR 至 35MR 的阻抗。

[0071] 当然,除本文所描述的纳米 / 微米匹配层之外,还可以使用其他匹配层。具有多个层的超声换能器叠层的一个示例性匹配层,包括一种包括一种基体材料的复合材料,该复合材料载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子。然而,应该注意到的是,轻重粒子并不限于本实施方案中的尺寸。从而,该包括了轻粒子和重粒子的匹配层可以包括纳米粒子和微米粒子的混合物。例如,该轻粒子可以是微米尺寸的或纳米尺寸的,同时该重粒子也可以是微米尺寸的或纳米尺寸的,其任意组合均可被添加到该基体材料中。

[0072] 具有轻粒子和重粒子的该匹配层可以包括 $1/4$ 声学波长匹配层。在某些非限制性的实例中,轻粒子具有大约 4 克每立方厘米 (g/cc) 或更低的质量密度,而重粒子具有大于约 4.0g/cc 的质量密度。例如,轻粒子可以具有介于大约 2.5g/cc 和大约 4.0g/cc 的质量密度。重粒子可以具有例如 10.0g/cc 或更大的质量密度。

[0073] 例如,第一重粒子可以包括选自钨粒子和锆酸铅滴定溶液粒子或其混合物的微米尺寸粒子或纳米尺寸粒子。在又一个实例中,该第二轻粒子包括选自碳化硅粒子和氧化铝粒子或其混合物的微米尺寸粒子或纳米尺寸粒子。此外,第二轻粒子的密度可以是在重粒子和该基体材料的最终组合物的密度的约 100% 至 200% 之间。

[0074] 如上文所述,轻粒子和重粒子可以在尺寸上有所变化。在不同的方面,重粒子或轻粒子可以小于 1 微米。在一个优选实施方案中,所载有的粒子的最大纵向或拉伸尺寸小于所述由它们所组成的匹配层中的一个波长的 $1/50$ 。轻粒子和重粒子可以载于该基体材料之中,该基体材料可以包括聚合物,例如环氧材料。在一个实例中,所载有的多个粒子可以

占该复合材料的至少大约 11.0% (体积比)。例如,该多个粒子可以占介于该复合材料的大约 11.0%和 20.0% (体积比) 之间。在一个优选实施方案中,该复合材料的体积的大约 5.5%包括多个纳米尺寸重粒子,以及该复合材料的体积的大约 5.5%包括多个纳米尺寸轻粒子。在本优选实施方案中,如同在其他示例性实施方案中一样,该重粒子可以是钨粒子、PZT 粒子、金粒子或铂粒子,该轻粒子可以是碳化硅粒子或氧化铝粒子。

[0075] 所述包括了重粒子和轻粒子的匹配层的声学阻抗可以变化。例如,该层的声学阻抗可以在约 3.0 兆瑞利和 7.0 兆瑞利之间。在一个示例性实施方案中,该声学阻抗是大约 4.5MR。

[0076] 该匹配层的厚度也可以变化。从而本领域技术人员可以通过对声速的常规测试以及凭借所掌握的对期望的传输频率的知识,将可以容易地确定包括轻粒子和重粒子的匹配层的 1/4 波长的适当厚度。在一个实例中,该匹配层可以具有介于约 1500m/s 和约 4500m/s 之间的声速。在其他实例中,在该匹配层中的声速可以在约 1800m/s 和约 2500m/s 之间。在一个优选的实施方案中,匹配层中的声速是大约 2100m/s。在不同的方面,应该考虑到所述包括轻粒子和重粒子的示例匹配层的厚度可以在约 4.0 微米和 30 微米之间。例如,对于示例性的 20MHz 中心频率的换能器,对于 25MHz 设计频率,其包括由占复合材料体积的大约 5.5%的纳米尺寸的第一重粒子和占复合材料体积的大约 5.5%的纳米尺寸的第二轻粒子构成的示例性混合物,该匹配层在该超声换能器叠层的垂直方向上的厚度为大约 22.0 微米。

[0077] 在本发明的一个实施方案中,用于产生该轻 / 重粒子匹配层的过程,包括提供一种基体材料、多个第一重粒子和多个第二轻粒子。在此方面,该基体材料载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子,以形成一种可用作超声换能器叠层的匹配层的复合材料。

[0078] 一个超声换能器叠层可以包括一个匹配层,该匹配层包括重粒子和轻粒子,如上文所述。这个匹配层可以包括换能器叠层的一种较低阻抗匹配层,所述换能器叠层还包括一个较高阻抗匹配层。在此方面,如同该较低阻抗匹配层一样,该较高阻抗匹配层包括具有相似重量的纳米粒子和微米粒子,和 / 或材料。

[0079] 从而,示例性叠层 100 可以包括多个层,每个层均具有一个顶面和一个相对的底面。该多个层可以包括一个压电层 102 和至少一个匹配层。匹配层 110 可以包括复合材料,该复合材料含有一种载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子的基体材料,其中该匹配层 110 的底面覆盖于该压电层 102 的顶面之上。该超声换能器叠层 100 还可以包括一个匹配层 108,其具有高于匹配层 110 的阻抗的阻抗,该匹配层 108 被置于压电层 102 的顶面和匹配层 110 的底面之间。

[0080] 该压电层可以在至少大约 20 兆赫 (MHz) 的中心频率下生成超声,用于发射通过一个或多个匹配层。例如,该压电层可以在至少大约 25MHz、30MHz、35MHz、40MHz、45MHz、50MHz、55MHz、60MHz、65MHz、70MHz 或者更高的中心频率下生成超声,用于发射通过一个或多个匹配层。该超声可以被发射通过该匹配层 108 然后通过该匹配层 110。

[0081] 本文还提供具有多个层的超声换能器叠层 100 的背衬层 104。该背衬层可以包括一种含有基体材料的复合材料,该基体材料载有多个微米尺寸和纳米尺寸粒子。本文还提供超声换能器叠层 100 的背衬层 104,该超声换能器叠层包括一种含有基体材料的复合材料,该基体材料载有多个第一重粒子和多个第二轻粒子。

[0082] 实验

[0083] 提出下列实施例,以便为本领域的普通技术人员提供有关本文所要求保护的化合物、组合物、物品、设备和/或方法是如何构成和评估的完整的公开和说明,并且纯粹意为举例说明本发明而并非意在发明人所认为属于其发明的范围作出限制。已经努力确保数字(例如数量、温度等)的准确性,但是仍应考虑到存在一些误差和偏差。除非另有说明,份数为重量份数,温度是以℃为单位或为环境温度,压力等于或接近于大气压力。

[0084] 实施例 1:带有 TPX 透镜的示例性 LiNb 20MHz 至 25MHz 换能器叠层的制造

[0085] 图 5 是示出了制造带有 TPX 透镜的示例性 LiNb 20MHz 至 25MHz 换能器的示例性方法的方框图。该制造过程在下面以三个示例性部分加以描述。首先,描述了制造匹配层和压电层以形成叠层。其次,描述了透镜层和氰基丙烯酸酯匹配层的制造。最后,描述了将透镜和氰基丙烯酸酯层结合到该换能器叠层上的过程。

[0086] 匹配层和压电层的制造

[0087] 制备用于压电层的铌酸锂晶体,如方框 504 所示。将一个 36 度 Y 切 LiNb 晶体打磨(lap)到厚度为期望的中心频率的 0.4λ ,以补偿质量负荷。使用适合的方式,例如电子束沉积或阴极溅镀,向该晶体镀 3000 埃的金。本领域技术人员将认识到,通常可使用铬或镍的薄层来改进所述金层的粘合性。LiNb 晶体的金侧面是用丙酮来清洁的。在清洁之后,该晶体被置于清洁的地方,直到进一步处理为止。

[0088] 制备用于 1/4 波匹配层的载有纳米粒子和微米粒子的环氧材料。方框 506,制备一个高阻抗匹配层,其具有高于大约 8MR 的阻抗。制成声学阻抗高于 8MR 的负载的环氧材料的组合物,这一过程通常受到可被该环氧材料润湿的粉末的最大体积比所限制。以小到足以与 25MHz 设计相匹配的粒子来达到高于 20% 的体积比是有挑战性的,因为细粉末具有大的表面体积比。由于受到 20% 体积限制以及使用钨粉末,很难制成声学阻抗高于大约 8MR 至 9MR 的组合物。参见例如 Martha G. Grewe, T. R. Gururaha, Thomas R ShROUT 和 Robert E Newnham 的“Acoustic Properties of Particle/Polymer Composites for Ultrasonic Transducer Backing Applications,” IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 第 37 卷,第 6 期,1990 年 11 月。

[0089] 低粘性的环氧材料(优选低于 1000cps)的应用,使得可以在该混合物变得太干以至于不能使用之前向该环氧材料中添加最大体积比的粉末。本领域已知的这种环氧材料的一个实例是 Epotek 301。参见例如 Haifeng Wang, Tim Ritter, Wenwu Cao 和 K. Kirk Shung 的“Passive Materials for High Frequency Ultrasound Transducers”, SPIE Conf. on Ultrasonic Transducer Engineering, San Diego, California, 1999 年 2 月, SPIE 第 3664 卷。在添加任何粉末之前将该环氧材料充分混合。

[0090] 为了制成示例性的 10 兆瑞利匹配层,在环氧基体中使用体积比为 25% 的粉末。为了达到这个体积比,使用了相对大的 $5\mu\text{m}$ 粒子。然而,这样的大粒子不会与换能器的频率相匹配,因为匹配层的整个厚度将仅可容纳 3 个颗粒。还使用了一种以 1:1 比例混合了 $5\mu\text{m}$ 粉末的亚微米钨(W)粉末。这在至少 1:6 到 2:1 的重量比范围内是有效的。在载有粉末的环氧材料中可以达到的密度上限是受润湿所有粉末粒子表面的能力限制的。随着粒子尺寸增加,粉状材料体积与表面区域的比率线性地增加。从而,随着该粉末粒子直径增加,该粉末与环氧材料的体积比也增加,其中所述环氧材料可被充分润湿以产生无空隙混合物。然

而,随着粒子尺寸增加,也产生许多问题:沉淀以及单个粒子与超声能的波长的逐渐显著的交互作用。

[0091] 为了减少在匹配层中的衰减并且为了预测该基体和粉末的混合材料的声学阻抗,所述粒子直径可以小于该基体(环氧材料)的波长。为制备 1/4 波长匹配层,该粒子尺寸可以小到足以使得该组合物的整个厚度可包括至少 15 个或更多个粒子。

[0092] 对纳米粒子和较大粒子的混合物的示例性使用,使得可以获得高密度负载的粉末,该粉末既具有高体积比,又具有对沉淀的很好控制。沉淀是通过调整纳米粒子的数量以控制最终的糊剂的粘性和触变指数来加以控制的。除从可达到的体积分数的上限和减少较大粒子的沉淀中获得的好处之外,纳米粒子还提供了在任何给定横截面的情况下,该 1/4 波层(例如在 25MHz 下 16.5 μm 厚)均具有高数量的粒子以及平均空间分布的粉末粒子(也即在大粒子之间没有较大的环氧材料区域,这是仅有大粒子时的应有情况)。

[0093] 优选大粒子和小粒子的混合物。仅仅使用纳米粒子导致了可能的小于体积的 20% 的上限,而仅仅使用 5.0 μm 粒子或者甚至 2.0 μm 或 3.0 μm 粒子产生了高衰减的匹配层,由于与波长相比粒子之间的空间较大,所以所述高衰减匹配层具有定义不清的声学阻抗。一种示例性的钨掺杂的环氧材料的制备,包括一批 3:1(体积比)的 Epotek301 环氧材料和钨粉末(50%:50%的 5 μm :<1 μm)的混合物。这是一种具有高触变指数的糊剂,并且是重量比为 85%的钨混合物,具有 5.7g/cc 的密度以及 25%钨的体积分数。由于纳米尺寸粒子的较小尺寸,它的厚度可以包括最多达 50 个粒子。例如,按下述比例称出该混合物:0.5g 的混合 301 环氧材料(0.1g 硬化剂和 0.4g 树脂);1.5g 的 <1 μm 钨粉末;1.5g 的 5 μm 钨粉末。

[0094] 一种中等声学阻抗的匹配层——具有介于大约 3.5MR 到 6MR 之间的阻抗——是按照方框 514 所示通过将轻重量的粒子与重粒子混合来制造的。中等声学阻抗匹配层的制备过程,可以使用高体积分数的单一轻粒子以在此范围内达到中等和更高的阻抗。然而,使用单一材料,以足够小的粒子尺寸来产生中等声学阻抗的过程,通常需要艰难地寻找具有适合的粉末颗粒尺寸的可获得的适合密度的材料。高体积分数使得混合、除气以及涂布/敷设(spreading/application)非常困难,由于所要制备的糊剂具有高粘性和高触变性,这导致了制造问题。然而,因为粉末的体积比通常被保持在 11%以上以将衰减保持在较低水平,所以通常必须在达到理想声学阻抗和理想物理属性之间达成一种折衷,或者必须寻找一种新材料并再次开始该过程。

[0095] 从而,通过一起使用轻重掺杂物,可以获得一种技术方案,所述技术方案减轻了由于粘性、润湿以及触变指数等问题导致的实现期望声学阻抗的问题。向会产生期望声学阻抗的体积分数中混合一种重材料,然后添加轻纳米粒子直到达到期望的粘性和触变指数(也即,一种轻易润湿的糊剂,但不会到处流动或沉淀)。在一个实例中,一种市售的轻重量 SiC 纳米粒子可被用作该轻重量粒子。几种这样的粒子(包括但不限于 $\rho = 3.2\text{g/cc}$ 的 SiC 和 $\rho = 3.9\text{g/cc}$ 的氧化铝)可用于缓解润湿、粘性和触变指数的问题,由此实现给定声学阻抗。

[0096] 在这种情况下,匹配层的声学阻抗几乎完全是由重粉末的体积分数所控制的,其中所述重粉末在那种分数下会具有显著的沉淀问题。然而,复合混合物和沉淀物的粘性和稠度几乎完全是由轻重量粉末所控制的。在此方面,选择该轻重量粉末以使得其密度介于

重粉末环氧材料混合物的期望组合物密度的约 100% 到 200% 之间。

[0097] 例如,在示例性的 25MHz 4.5MR 匹配层中,在适合的室温固化的低粘性环氧材料中使用体积分数为 5.5% 的钨粉末纳米粒子,以达到介于大约 4.5MR 至 5MR 的声学阻抗。然后添加 SiC 纳米粒子以达到示例性的 11% 的体积分数。

[0098] 这种示例性的混合物易于处理、可以非常良好地润湿,并且在设定用于固化所述环氧材料的 24 小时固化时间里丝毫不会沉淀。在添加 SiC 粒子之前,该混合物在很短的时间内完全沉淀,然而,在添加 SiC 之后,该混合物变得有触变性,且不会沉淀。添加 SiC 粒子对声学阻抗的改变极微小,但是显著地改变了粘性并且消除了该混合物的沉淀现象。在该适中的范围内,使用两种易于得到的粉末材料可以达到任何期望的声学阻抗,同时保持理想的工作特性而不沉淀,且不需要特别高的体积分数。此外,由于纳米粒子的尺寸,衰减和散射被保持到最小,使其成为特殊的匹配层。

[0099] 钨掺杂的环氧材料可以被添加到该叠层中,如方框 508 中所示。匹配层的敷设需要小心注意,因为在匹配层中的气穴通常会使得叠层出故障。在压电晶体和载有粉末的环氧材料的交界面附近的气穴可能是有害的。

[0100] 为了防止气穴,均匀地涂布该负载的环氧材料,且将气穴迫至该混合物的表面。一般地,用来制造匹配层的触变性的糊剂,难于“流”到部件上,通常需要搅动以使之如液体般流动。从而,一种振荡操纵器(例如,雕刻机(engraver),带有一根附在其上的 22gauge 线)可被用于在该晶体的表面涂布该糊剂,以使得它流过并润湿整个表面。此外,这种振荡促使气穴升起至该糊剂的表面,在这里它们可以被砂磨去除。这就允许了使用高触变性的糊剂,所述糊剂在涂布之后会与预期的一样不会沉淀。

[0101] 在一个实例中,在显微镜下,使用带有 22gauge 的硬回火铜线 L 型尖端的雕刻机刻针,将该触变糊剂平滑地移到该表面之上,以便良好的润湿以及促使气穴升到表面上。通常,该雕刻机刻针被用在该孔的整个表面之上,并被设定在低幅度高频率的设置处(大约 7,200spm)。在一方面,铌酸锂晶体的表面被覆盖,在边缘附近留有的一小部分边(大约 .25mm)未被覆盖,以使其随后可被用于接地。如果环氧材料被置于该边上,它无法在不将整个批料移离换能器表面的情况下被有效地清除。

[0102] 如方框 510 所示,使该环氧材料在室温下固化并且在提高的温度下进行后固化。使用室温来固化环氧材料,以使得各层不会发生显著收缩,这种收缩可导致该压电晶体翘曲。优选高的 T_g ,故选择可在烘箱中进行提高温度的后固化的环氧材料。使该环氧材料在室温固化约 18 小时或更长时间(优选 24 小时)。此外,固化的环氧材料在恒温箱中在 65 摄氏度下被后固化大约 3 小时或更长时间。

[0103] 该第一匹配层被砂磨和/或打磨,如方框 510 中所示。多余的材料被移去以获得该 $1/4$ 波长匹配层。可以使用几种方法(例如打磨或砂磨等等)来移去多余的材料,剩下一个 $1/4$ 波厚度的匹配层。一种砂磨系统被用于将第一匹配层砂磨到 $\lambda/4$ 的厚度,其中 $c = 1600\text{m/s}$ (对于 25MHz 版本,这是 $16\mu\text{m}$ 至 $17\mu\text{m}$ 厚)。仔细固定并且测量样本,因为设计频率为约 25MHz 的示例性 20MHz 设备的公差是处于 $2\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 范围内,也即 $16.5\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m} / -1\mu\text{m}$ 。

[0104] 制造并敷设第二低阻抗层,如方框 514 中所示。在完成第一匹配层之后,第二介质声学阻抗糊剂被敷设到该第一层之上,重复涂布、固化和材料移除的过程以制成第二 $1/4$

波层。批料是如下配方混合的：掺杂了钨粉末的环氧材料，所述环氧材料是使用 Epotek301 和 $<1\mu\text{m}$ 的钨粉末的 17:1（体积比）或（钨按重量比占 51%）的混合物。添加相当于混合物质量的 50% 的 $<1\mu\text{m}$ SiC 粉末，并混合直到获得均匀的糊剂。通过以研钵和杵轻轻混合除去糊剂中的任何团块。按下述比例称出该混合物：0.5g 的混合 301 环氧材料；0.52g 的 $<1\mu\text{m}$ 钨粉末；0.2g 的 $<1\mu\text{m}$ 碳化硅粉末。按照与第一层一样的方式敷设第二层，使用雕刻机中的 L 型尖端来均匀涂布该糊剂以及进行良好的润湿。然后该混合物被允许在室温下固化约 18 小时至 24 小时，然后在 65 摄氏度下后固化 3 小时或更长时间。

[0105] 如方框 516 所示，砂磨和 / 或打磨所述第二匹配层。将该材料砂磨到 $\lambda/4$ 的厚度，其中 $c = 2100\text{m/s}$ ，也即，对于 25MHz 设计频率的实例，这个厚度是大约 $18\mu\text{m}$ 至 $19\mu\text{m}$ 厚 $\pm 1\mu\text{m}$ 。

[0106] 制备用于该叠层的支撑结构，并且将该晶体结合到该支撑结构上，如方框 518 和 520 所示。在一方面，该叠层位于外壳中。可以使用 Ultem1000（聚醚酰亚胺）插入物，其具有和该期望的换能器孔相匹配的 ID 以及和期望的 Ti 换能器外壳的规格相匹配的 OD 和高度，以使得该插入物的顶部低于 Ti 外壳的边大约 1.5mm。插入物的前表面被清洁并检查，以使之清洁并免得出毛刺或者喷溅。例如，该插入物可以用超声清洁器和去污剂初步地清洁，且可以在临使用前用异丙醇清洁。

[0107] 制备少量适合的低温固化、中等粘性的环氧材料（例如 LoctiteE-20HP），并使用海绵端的棉签将其在所述插入物的干净的前表面上涂布成一层非常薄的膜。该环氧材料并未被大量涂布，以便形成一个直径为插入物壁厚度的弯月面。在操作中，晶体被放置到该插入物的环氧材料覆盖的表面上且位于该插入物的中心上，其中叠层一侧向上。在一个实例中，使用真空吸附装置将该铌酸锂晶体敷设到该插入物上。加一个少量的力，以将该晶体推至该插入物的表面上，这导致了该环氧材料流向下方的插入物的边缘。居中的晶体被置入恒温箱中，以在大约 40°C 下固化大约 3 个小时。

[0108] 在固化之后，检查该插入物 / 晶体组合件以保证该晶体居中并且完全粘附到该插入物。随后，该插入物 / 晶体组合件的外部被清洁。通过将该部分滑入一个示例性的外壳，从而检查该 Ultem 插入物的未增加的直径。

[0109] 在此阶段，本领域技术人员将能理解，所述声学叠层可被置于适合的支撑结构之上，并且敷设尾部电极和适当地衰减的背衬材料，如方框 522 和 524 所示。这些功能可以通过使用导电性的环氧材料作为背衬层来加以组合。

[0110] 在一个实例中，通常按照使清洁平滑的工作表面晶体层向下的方向放置示例性的插入物 / 晶体组合件。该背衬腔被充满了 Ablebond16-1 银导电性的环氧材料。首先使用环氧材料注射器和敷料器端，以在该腔的中心放置一团环氧材料以填充该腔。该环氧材料被敷设到该晶体的整个背面，以保证不让任何气穴留在背衬材料中。使用该环氧注射器以继续用该敷料器端来在该环氧层的表面之下填充，以免在填充时在所述环氧材料中产生气穴。填充该腔直到该导电性的环氧材料低于该插入物的边缘大约 0.5mm。

[0111] 该背衬叠层——被称为“片 (pill)”——现在可被置于适合的外壳之中并被密封，所述外壳取决于该设备的预期用途，考虑了重量预算、温度和射频屏蔽等等，如方框 526 和 528 所示。

[0112] 该片被置于该外壳装置上，未固化的环氧材料向上。几小点 LoctiteE-20HP 被敷

设到该片的后边缘,以使得这几个点不会流到一起。其次,在该片之上放置一个完成的外壳,直到该片接触该外壳的后面为止。随后,固定夹就被置于该外壳之上以将其保持在适当的位置,并允许其在室温下固化大约 18 小时或更长时间。然后该组合件被置于一个恒温箱之中,在 65 度下后固化约 3 个小时。通常,该片的表面的定向与地面平行,并且指向下方以帮助防止该背衬层在该外壳中流动。

[0113] 接下来,可以敷设一个密封层。在此实例中,当该环氧材料完全固化时,沿着该晶体的周界敷设环氧材料滴,以使得在该晶体和 Ti 外壳之间存在一个连续的平滑的表面。此时,沿着铌酸锂晶体的周界和该外壳的内径施加非常少量的 Epotek301。该晶体的表面低于该 Ti 外壳上的斜面大约 1.25mm,以便在晶体和 Ti 外壳之间理想地形成一个环氧材料的负弯月面。该晶体和该 Ti 均为清洁的,并且在它们的表面上没有环氧材料,从而可将金喷溅到这两个表面上。在操作过程中,使用高放大率(大约 20 倍,优选地为更多)以施加该环氧材料滴。在一个实例中,该环氧材料可被敷设到沿该周界的三个位置,并允许利用引力和毛细作用使其沿着周界流动。在又一实例中,一条厚度较小的线(大约 26gauge)可被附着到尖锐的 Q-尖端的末尾,以增进控制来帮助该结合剂沿着整个周界流动。允许所得结构在室温下固化约 12 小时至 18 小时。可以重复该密封过程,且允许该结构在室温下固化大约 18 小时,然后将其置于 65 摄氏度下进行后固化大约 3 小时。在该环氧材料固化之后,检查 Ti 外壳的边缘存在的环氧材料。移去任何存在于边缘上的环氧材料。

[0114] 将可理解的是,在声学叠层的暴露的金边缘对信号返回路径进行接地连接,如方框 530 所示。此外,本领域技术人员将能认识到,粘附这样的电极的几种方法包括了阴极溅镀、导电性的墨水和环氧材料、与良导体直接机械接触等等。

[0115] 在一个超声叠层的实例中,按照上文所述形成的叠层可以被结合到第三低阻抗匹配层和一个透镜上。选择一个完全匹配的透镜。如上文所述,在一个优选实施方案中,该透镜在声学阻抗上与水紧密匹配,以便减少混响伪像。此外,透镜材料可以是低衰减的并且具有与水中声速充分不同的声速,以便能够产生聚焦效果而不具有极端的曲率。有许多用于形成超声换能器用的透镜的示例性材料。此外,许多换能器设计使用了固化压电元件或者阵列结构作为透镜的替代物。

[0116] 为了对大鼠成像,在透镜的设计中混响伪像是一个重要的考虑因素。虽然有其他在高频下损耗更低或更强折射能力的材料存在,但是 TPX 仍被认为是优选的透镜材料,其具有与水匹配的声学性质。TPX 是聚烯烃家族的成员之一,并且与大多数塑料相比,TPX 具有与水和组织紧密匹配的阻抗。TPX 具有介于大约 1.78MR 到 1.85MR 之间的声学阻抗。参考例如 Alan R. Selfridge 的“Approximate Material Properties in Isotropic Materials”, IEEE Trans. Sonics 和 Ultrasonics, 第 SU-32 卷,第 3 期,1985 年 5 月。水的阻抗是 $z = 1.5\text{MR}$ 。

[0117] 众所周知,TPX 难于和环氧材料以及大多数其他粘合剂结合。在工业中 TPX 的最常见用途是作为剥离膜。也即,TPX 被认为是一种大多数东西都不会与之结合的材料。虽然某些表面制造技术可被用于增强结合强度,但是事实上即使使用了粘性促进剂和底漆或者电晕蚀刻,在精密的应用中 TPX 也通常是不可结合的,必须通过机械力或热密封或熔焊来进行接合。参见, Timothy Ritter, K. Kirk Shung, Xuecang Geng, Pat Lopath, Richard Tutwiler 和 Thomas Shrout, Proceeding of SPIE——第 3664 卷 Medical Imaging 1999 年:

Ultrasonic Transducer Engineering, K. Kirk Shung, 编辑, 1999 年 6 月, 第 67-75 页。

[0118] 成像换能器中透镜和声学叠层之间的结合线会在几分钟内经受超过 40 摄氏度的温度波动, 且在使用过程中通常会经受迅速冷却。此外, 它经常被超声能所轰击。结合上的弱点通常会导致换能器中出现剥离和死点。为此原因, 希望使用高质量的结合线来进行换能器的构建。

[0119] 对于示例的高频超声换能器来说, 透镜与叠层始终保持接触。即便是细小的未结合部分也可导致换能器中出现死点。

[0120] 在一个示例性的实例中, 氰基丙烯酸酯 (CA) 粘合系统被结合到该 TPX 透镜上。通过使用适合的底漆 (例如且不意在限制, Verik AC77、某些基于甲苯的底漆等), CA 可以形成对 TPX 的稳定结合。然而, 因为氰基丙烯酸酯的固化特性为非常快速且依赖于基质和环境条件, 所以 CA 尚未被用在换能器叠层中。该胶粘剂可以在用于制造高频超声叠层的非常细密的结合线处发生顷刻固化。添加结合线间隔物时通常不使用 CA 粘合剂, 因为它们具有大表面区域会导致该材料的瞬间固化。由于同样原因, CA 也不能作为负载的粉末, 这更使得它不适合成为用于换能器制造的备选材料。此外, 在文献中尚无法查到 CA 的声学属性, 因为该材料在用于常规测试的足够厚的部分中无法被固化。此外, 因为类似的原因尚无法获得可以用于声学模型 CA 的材料属性。

[0121] 尽管缺乏技术描述以及具有在本领域中被指出的缺点, 处于少数几个厚度范围内的 CA 可被固化。CA 可被固化的范围可被用于形成 $1/4$ 波匹配层, 所述 $1/4$ 波匹配层适用于自 5 兆赫起最高达超过 60 兆赫的频率。CA 的声学属性是通过将其用作匹配层来确定的, 且将其关联到一个使用了基于 KLM 模型的 PiezoCAD 软件的模型 (获自 Sonic Concepts, Woodinville, Washington USA)。结果显示了 CA 可被用作匹配层, 其具有介于约 2.5MR 至 2.8MR 之间的声学阻抗。

[0122] 一种将 TPX 结合到 $1/4$ 波匹配系统上的示例性方法利用了 CA。在 TPX 层和 CA 层之间的结合被测试, 结果显示在该 CA 层和该 TPX 层之间的界面至少与该 TPX 自身强度相仿。然而, 由于上述原因, 它并不适合于被直接结合到该叠层上, 因为结合厚度无法控制, 可能发生结合失效和未对准现象, 这些可能会在组装的最后阶段毁掉几乎完成的换能器叠层。

[0123] 在一个示例性过程中, 在该 TPX 透镜层的背面 (平坦侧) 制成 $1/4$ 波厚度的 CA 固化层, 且然后使用传统环氧材料将所形成的结构与先前形成的叠层的顶面相结合。该环氧材料很轻易与该 CA 层结合, 且该 CA 层又依次结合到该 TPX 透镜层上。从而该 CA 层在该叠层的顶部与该 TPX 透镜层之间形成了 $1/4$ 波匹配层。在该示例性叠层的情况下, 该叠层的顶部具有 4.5MR 的声学阻抗, 而该 CA 的 $Z = 2.5$ 至 2.8 , 而该 TPX 透镜层的 $Z = 1.8$ 。这产生了一种换能器, 其在 25MHz re1V/V 下具有 -6dB 带宽的 85% 至 90% 以及介于大约 -41dB 到 -42dB 的双向插入损失。

[0124] 在一个实例中, 利用铝箔剥离层和导线间隔物将一定数量的 CA 胶粘剂 (例如 Verik PR40) 涂布到 TPX 透镜的背面, 如方框 534 和 536 所示。在操作中, 该剥离膜被置于一个平坦表面 (优选真空板以使得该薄膜平坦) 上。在一方面, 该铝箔是清洁的, 并且没有油和潮气。将导线以一种图案的方式布到该剥离膜之上。在一方面, 按照放射形图案放置导线以使得所述导线在它们共同的顶点不相遇。这些导线被用作 CA 层的间隔物。对于示

例性的 25MHz 叠层,直径为大约 $25\mu\text{m}$ 的导线被用于形成一个 CA 层,其具有大约 $23\mu\text{m}$ 至 $25\mu\text{m}$ 的最终厚度。这比期望的 CA 的 $1/4$ 波厚度要略微厚一些,而对于 25MHz 设计频率的换能器,期望的 $1/4$ 波厚度是介于大约 $21\mu\text{m}$ 到 $23\mu\text{m}$ 之间。在此方面,估计 CA 的纵向速度是介于大约 2100m/s 到 2200m/s 之间。在随后的磨擦过程中移除所述 $1\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 的多余材料,该磨擦过程也被用于准备该 CA 层的表面,以改进该环氧材料的粘性,所述环氧材料被用于将所述具有粘性的 CA 层的透镜层与下方的叠层粘合起来。

[0125] 在操作中,使用适合的粗砂 SiC 砂纸来磨擦该 TPX 透镜层的背面以改善用于粘合的表面,并且用适合的 CA 聚烯烃底漆(例如 VerikAC77、基于甲苯的底漆等)处理,如方框 532 所示。然后该透镜层的背面被覆以大量的 CA,以使得基本整个表面均被润湿,如方框 536 所示。当允许 CA 在透镜背面形成相对厚的弯月面的时候,CA 将不会快速固化,从而该大量的 CA 提供了足够的时间以将该透镜放置到准备好的剥离膜/导线布置之上。

[0126] 随后,该透镜层——带有敷设的 CA——被放置在该剥离膜之上并且被轻轻地施压,以使得该透镜将导线夹于在下面的剥离膜和透镜层之间而形成“三明治”状,如方框 538 所示。在固化大约两个小时之后,该透镜和所附着的剥离膜被从该真空板移除,且该剥离膜被从该透镜层剥去,如方框 542 所示。接下来,该 CA 层被允许固化大约 24 小时,如方框 540 所示,在此时使用 SiC 砂纸除去 $1\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 的 CA 以磨擦该新形成的 CA 层的表面,准备结合到该叠层上,如方框 544 所示。

[0127] 该组合物形成的透镜层/CA 层被结合到该换能器叠层上,如方框 548、550 和 552 所示。在一个实例中,一种适合的低粘性 RT 固化环氧材料(例如 Epotek301)——具有接近于 CA 层的声学阻抗值的声学阻抗——被用于将该复合透镜层/CA 层粘合到下方的叠层上。在一方面,使用一个固定装置将该透镜保持在适当的位置上,以在该环氧材料的固化过程中保持至少大约 100kPa 的压力。在这样的薄结合线处对环氧材料使用外部热源进行的在提高的温度下的继续后固化来进行固化,这保证了产生少于 $5\mu\text{m}$ 的结合线,优选从 $1\mu\text{m}$ 到 $3\mu\text{m}$ 。将可理解的是,既然该环氧材料的声学阻抗类似于 CA 的声学阻抗,那么该结合层对该叠层的贡献即使有,也非常少。

[0128] 上述示例性方法可以用于制成换能器叠层,其中该压电层具有从约 5MHz 到大约 60MHz 或更高的中心频率。这样的换能器可被用于使用高发射频率(大于或等于 20MHz)对小动物包括大鼠进行成像。

[0129] 实施例 2:用于一种示例性的带有 TPX 透镜的宽带(85%至 95%的 -6dB 带宽)铌酸锂换能器的一般性高频设计

[0130] 表 1 示出了构成示例性换能器叠层的不同的层。该叠层设计可被用于具有从 20MHz 到超过 60MHz 的中心频率的换能器。

[0131] 选择设计中心频率 f_d ,使之高于该设备的期望运行中心频率 f_0 ,以补偿降低了设备的中心频率的质量负荷。 f_0 是该设备在空气中不借助透镜和空气背衬而运行时的频率。对于这个示例性设计而言, f_d 被选择为约为最终换能器的期望中心频率的 1.15 倍到 1.25 倍。例如,对于 20MHz 设备而言,鉴于表 1 中所示的关系起见,人们会选择 f_d = 约 23MHz 至 25MHz。

[0132] 表 1:

[0133]

TPX 透镜
CA (氰基丙烯酸酯) $\frac{1}{4}$ 波匹配层 厚度 $= \frac{c_L}{4f_D}$, 其中 c_L 是相关层的纵向速度
低粘性 RTC 环氧材料的薄层 (通常: Epotek 301、Duralco 4461)
中等阻抗 SiC 纳米粒子和钨纳米粒子掺杂的环氧材料的 $\frac{1}{4}$ 波匹配层, 厚度 $= \frac{c_L}{4f_D}$
高阻抗钨掺杂的环氧材料的 $\frac{1}{4}$ 波匹配层 (混合了钨纳米粒子的 $5\mu\text{m}$ 粒子) 厚度 $= \frac{c_L}{4f_D}$
厚度 $= k \frac{c_L}{f_D}$, 其中 $k = 0.4$
导电性的环氧材料背衬, 其中 $Z = 5 \text{ MR}$ 至 7 MR

[0134] 本申请通篇引用了多篇出版物。这些出版物的公开内容全部通过援引方式纳入本申请,以更完整地描述本发明所属领域的状态。

[0135] 给出上述详细说明仅为理解本发明的示例性实施方式,不应从中理解出不必要的限制,因为对于本领域技术人员而言,显而易见的是,可以在不脱离所附权利要求书及其等价物的前提下作出改动。

[0136] 提供前述对发明的说明作为本发明的当前为人所知的最优的实施方案的启示性教导。对于这一点,相关领域技术人员将会认识到并且理解可对本文描述的本发明的多个方面作出改动,同时仍然保留本发明的有益的效果。同样显而易见的是,本发明的某些期望益处可通过选择本发明的某些特征而不利用其他特征来获得。下述权利要求书中的所有装置或步骤加上功能元件的相应结构、材料、行为及等价物,意在包括用于执行所述功能的任何结构、材料或行为以及其他已被要求保护的要素,如所明确要求保护的。

[0137] 除非另有清楚说明,本文所述的任何方法不应理解为其步骤需要以特定顺序执行。从而,当方法权利要求并未明确叙述其步骤应遵循的顺序时,抑或在权利要求书或说明书中不曾明确地陈述这些步骤被限制到特定的顺序时,在任何方面均不应理解为暗示了顺

序。这一点对于任何可能用于进行解释的未经说明的事实均成立,包括:关于步骤安排或操作流程的逻辑关系;从语法组织与标点符号中获得的明白含义;以及在说明书中所描述的实施方案的数量或种类。

[0138] 从而,本领域技术人员将能理解,可对本发明作出许多修改和改编,这些修改和改编在某些情况下甚至是合乎需要的,且成为本发明的一部分。在考虑本文公开的发明的说明书和实施例之后,本发明的其他实施方案对于本领域技术人员而言将是显而易见的。因此,前序的描述仅为对本发明的原理的例证而非对之限制。说明书和实施例仅意为示例性的,本发明的真实范围和精神由下面的权利要求书所示出。

100



TPX透镜 116
CA(氰基丙烯酸酯) ¼ 波匹配层 112
低粘性的环氧材料薄层 (Epotek301) 114
中等阻抗SiC纳米粒子和钨纳米粒子 掺杂的环氧材料的 ¼ 波匹配层 110
高阻抗钨(混合有钨纳米粒子的5 μm粒子) 掺杂的环氧材料的 ¼ 波匹配层 108
Cr/Au 铬金电极(3000埃) 106
铌酸锂压电晶体 102
导电性的环氧材料背衬 104

图 1

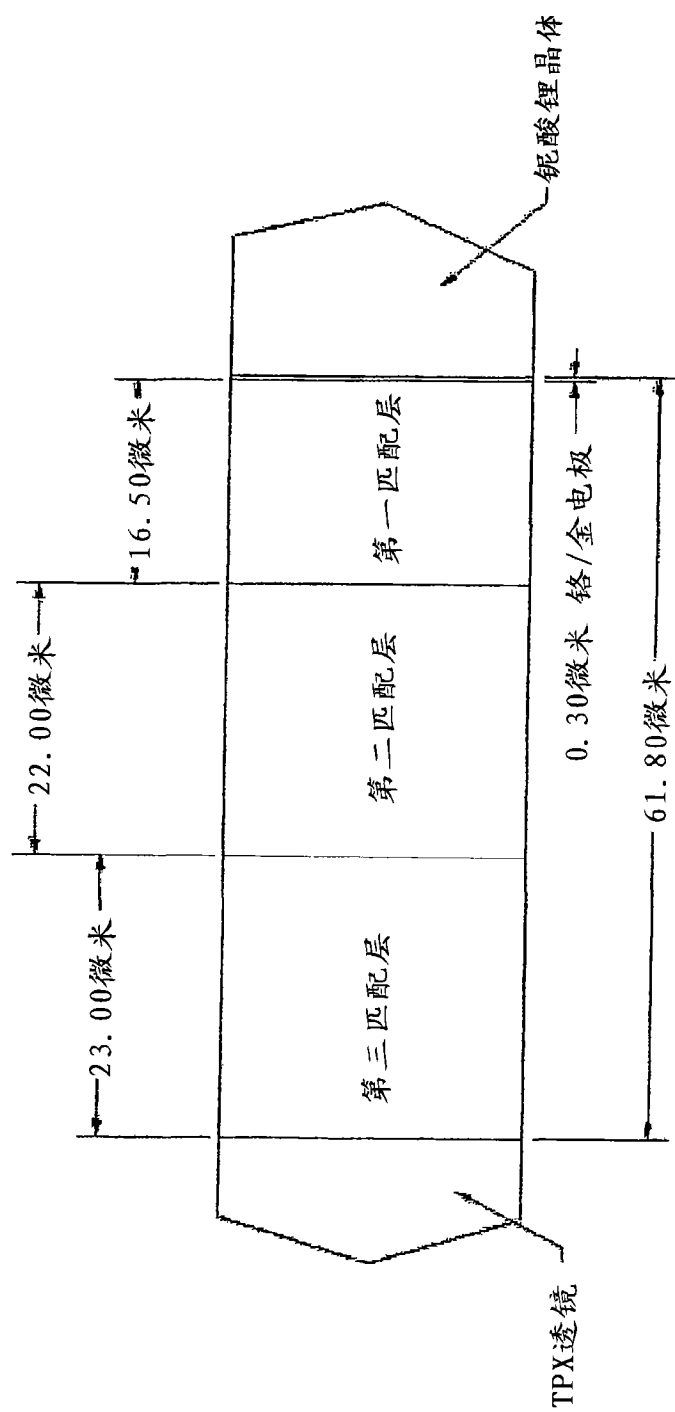


图 2

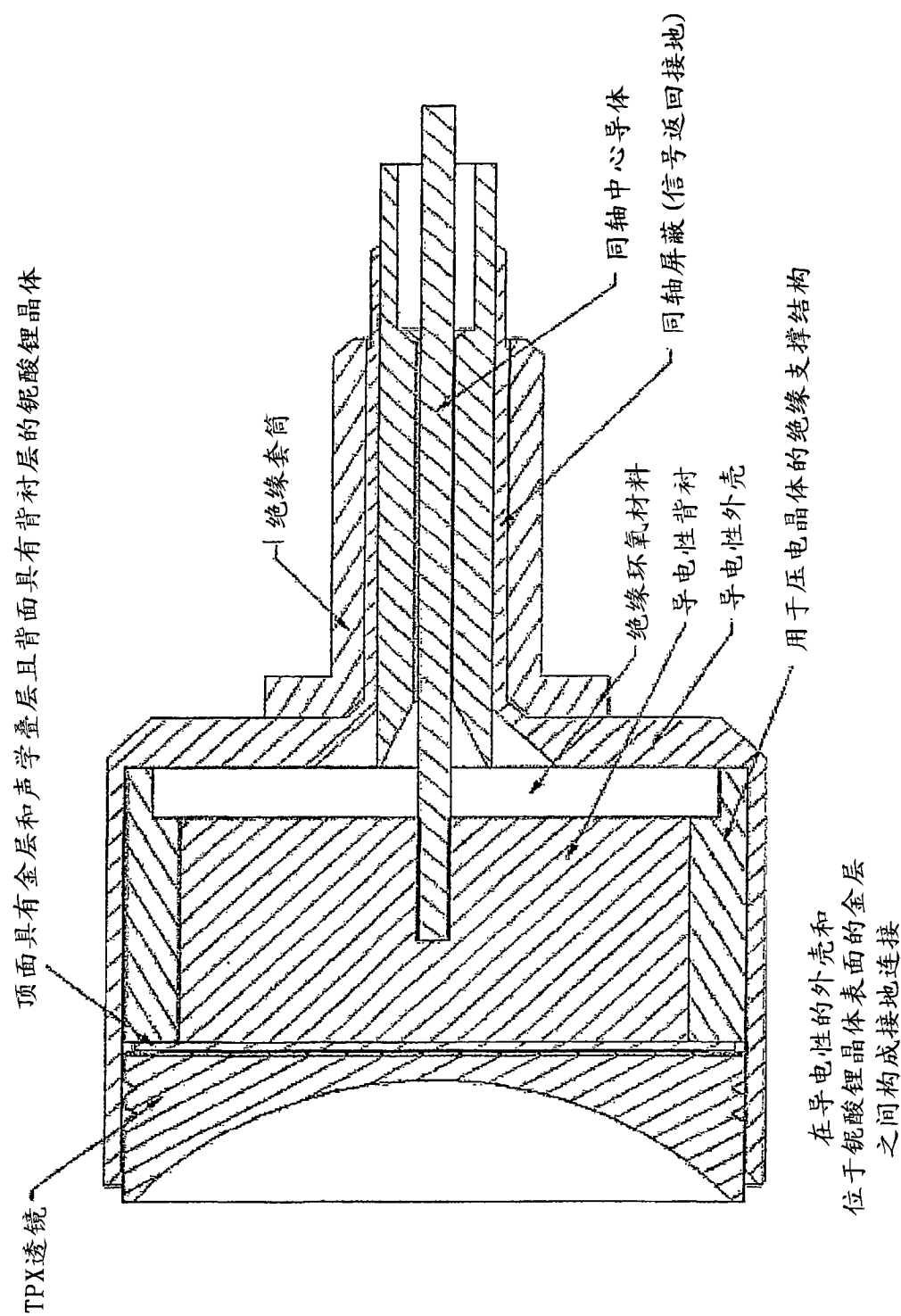


图 3

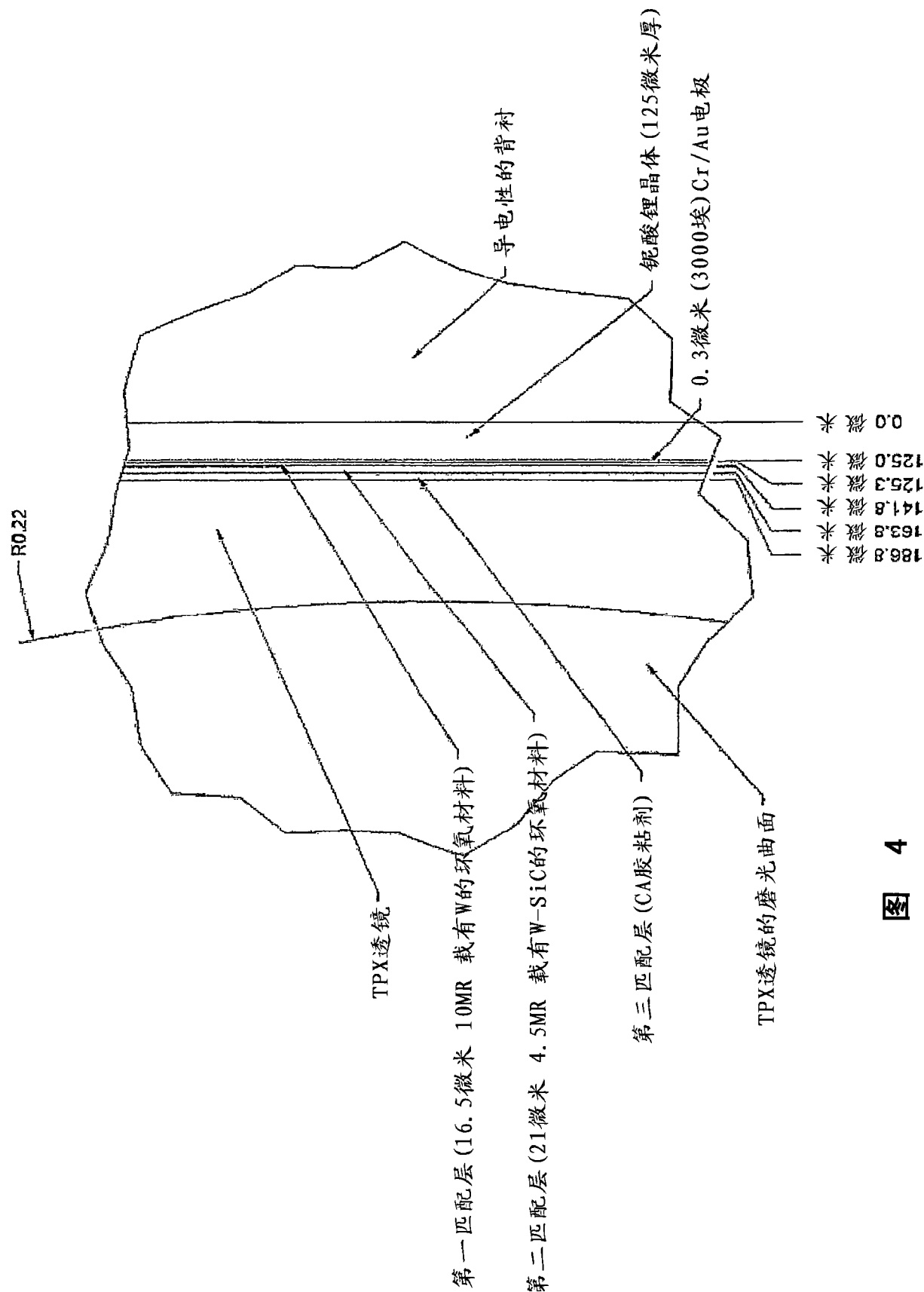


图 4

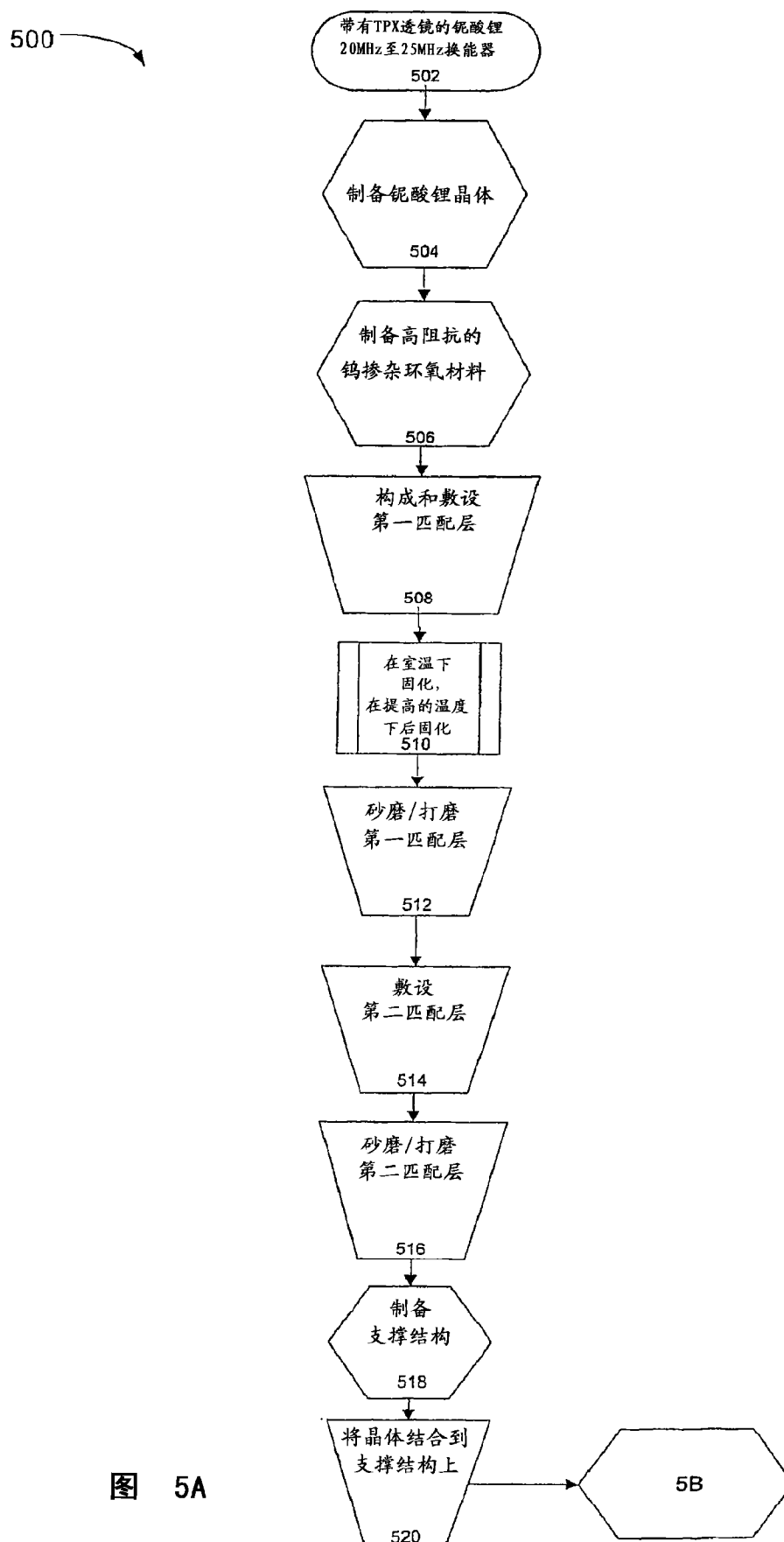


图 5A

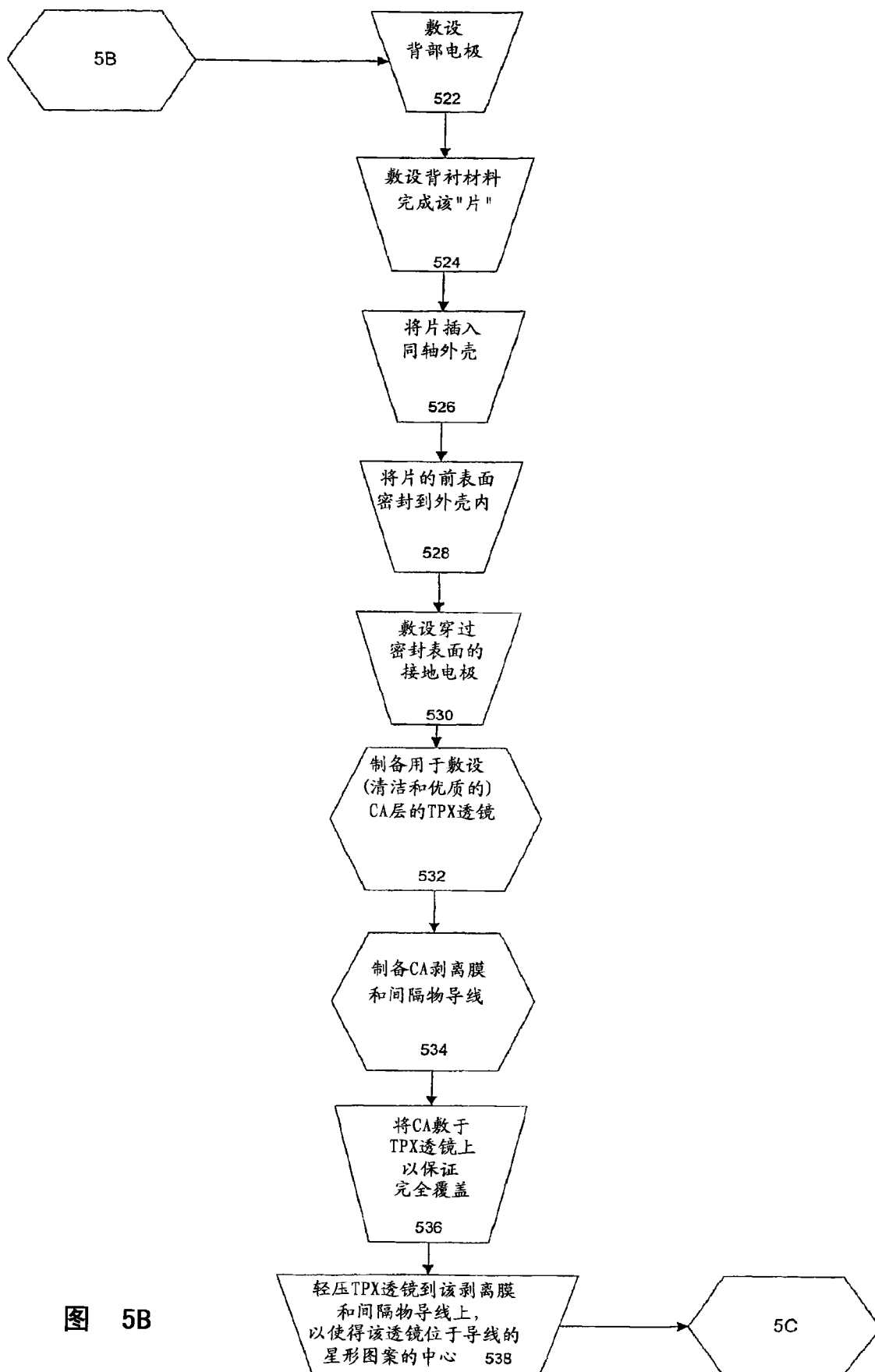


图 5B

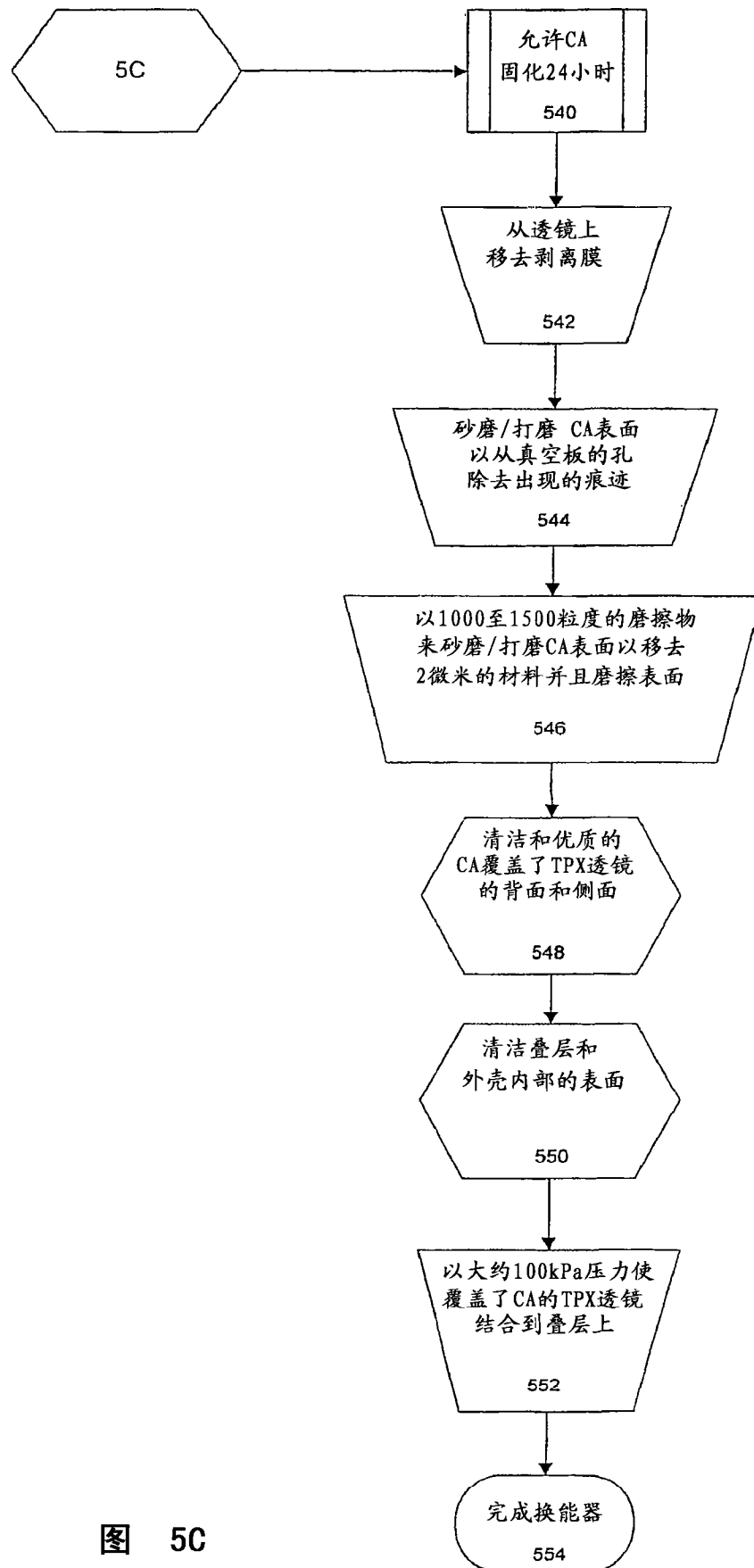


图 5C