



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109155127 B

(45) 授权公告日 2023.06.16

(21) 申请号 201780029059.5

(22) 申请日 2017.05.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109155127 A

(43) 申请公布日 2019.01.04

(30) 优先权数据
62/334,399 2016.05.10 US
15/589,930 2017.05.08 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.11.12

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/031826 2017.05.09

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/196897 EN 2017.11.16

(73) 专利权人 应美盛公司
地址 美国加利福尼亚州圣何塞市科技路
1745号200室

(72) 发明人 布鲁诺·W·加乐普
詹姆斯·克里斯蒂安·萨尔维亚
迈克尔·H·佩罗特

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262
专利代理师 陆建萍 杨明钊

(51) Int.Cl.
G10K 11/34 (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2015087991 A1, 2015.03.26
US 2005057284 A1, 2005.03.17
US 2016107194 A1, 2016.04.21
US 2014117812 A1, 2014.05.01
CN 102813530 A, 2012.12.12
WO 2016061406 A1, 2016.04.21
US 2004002652 A1, 2004.01.01

陈冬.相控型高能聚焦超声的智能控制关键技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2013,(第01期),
M Maadi等.Custom integrated circuit design for ultrasonic therapeutic CMUT array.《Microsystem Technologies》.2015,

审查员 可杨

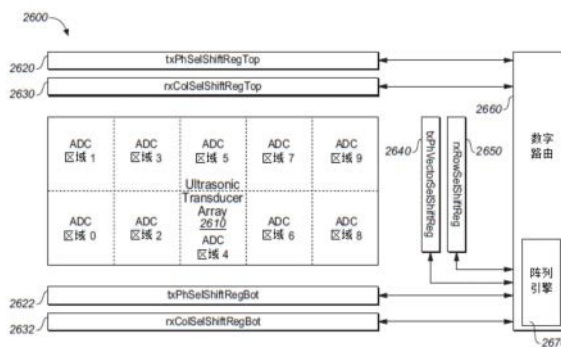
权利要求书3页 说明书31页 附图38页

(54) 发明名称
超声传感器的接收操作

(57) 摘要

本发明提供了一种超声传感器,该超声传感器包括二维超声换能器阵列,该二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,多个超声换能器子阵列中的一超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道。多个移位寄存器被配置成选择二维超声换能器阵列中的待接收操作期间致动的超声换能器的接收图案。阵列控制器被配置成根据接收图案对超声换能器在接收操作期间的选择进行控制,并且阵列控制器被配置成使接收图案在多个移位寄存器内的位置移位,使得在接收操作期间被致动的超声换能器相对于

二维超声换能器阵列移动且在二维超声换能器阵列内移动。



1. 一种超声传感器,所述超声传感器包括:

二维超声换能器阵列,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;

多个移位寄存器,所述多个移位寄存器被配置成选择所述二维超声换能器阵列中的超声换能器的接收图案以在接收操作期间进行致动;

阵列控制器,所述阵列控制器被配置成根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制,并且所述阵列控制器被配置成使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动;以及

位于相邻子阵列之间的边界区域处的开关,其中,所述开关被控制成在所述接收操作期间将超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

2. 根据权利要求1所述的超声传感器,其中,所述超声换能器是压电式微机械超声换能器PMUT装置。

3. 根据权利要求2所述的超声传感器,其中,所述PMUT装置包括内部支承结构。

4. 根据权利要求1所述的超声传感器,其中,所述多个移位寄存器包括列选择移位寄存器和行选择移位寄存器。

5. 根据权利要求4所述的超声传感器,其中,通过将选择信号施加至由所述列选择移位寄存器选择的列和由所述行选择移位寄存器选择的行来致动超声换能器,其中,所述超声换能器位于所述列与所述行的交叉点处。

6. 根据权利要求1所述的超声传感器,其中,所述阵列控制器被配置成响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述开关,其中,所述阵列控制器在所述接收操作期间将所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号引导至所选择的接收通道。

7. 根据权利要求6所述的超声传感器,针对包括中心超声换能器的接收图案,所述阵列控制器被配置成控制所述开关,使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至与包括所述中心超声换能器的所述子阵列相对应的接收通道。

8. 根据权利要求6所述的超声传感器,其中,所述阵列控制器被配置成选择所述接收图案的代表性超声换能器并控制所述开关,使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至与包括所述代表性超声换能器的所述子阵列相对应的接收通道。

9. 根据权利要求1所述的超声传感器,其中,所述接收图案包括 2×2 个超声换能器。

10. 根据权利要求1所述的超声传感器,其中,所述接收图案包括 3×3 个超声换能器。

11. 一种用于控制超声传感器的方法,所述方法包括:

使用多个移位寄存器对二维超声换能器阵列中的待接收操作期间致动的超声换能器的接收图案进行选择,其中,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;

根据所述接收图案对在所述接收操作期间被致动的超声换能器的选择进行控制;

使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动;以及

在所述接收操作期间将超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制包括:

将选择信号施加至由所述多个移位寄存器选择的二维阵列的列和行,其中,在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器位于所选择的列与所选择的行的交叉点处。

13. 根据权利要求11所述的方法,其中,在所述接收操作期间将超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道包括:

响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关,其中,所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至所选择的接收通道。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中,响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关包括:

在所述接收图案包括中心超声换能器的情况下,控制所述开关使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述中心超声换能器的所述子阵列的接收通道。

15. 根据权利要求13所述的方法,其中,响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关包括:

选择所述接收图案的代表性超声换能器;以及

控制所述开关使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述代表性超声换能器的所述子阵列的接收通道。

16. 一种超声传感器控制系统,包括:

多个移位寄存器,所述多个移位寄存器被配置成选择二维超声换能器阵列的超声换能器的接收图案以在接收操作期间致动,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;

阵列控制器,所述阵列控制器被配置成根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制,并且所述阵列控制器被配置成使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动;以及

位于相邻子阵列之间的边界区域处的开关,其中,所述开关被控制成在所述接收操作期间将超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

17. 根据权利要求16所述的超声传感器控制系统,其中,所述多个移位寄存器包括列选择移位寄存器和行选择移位寄存器。

18. 根据权利要求17所述的超声传感器控制系统,其中,通过将选择信号施加至由所述列选择移位寄存器选择的列和由所述行选择移位寄存器选择的行来致动超声换能器,其中,所述超声换能器位于所选择的列与所选择的行的交叉点处。

19. 根据权利要求16所述的超声传感器控制系统,其中,所述阵列控制器被配置成响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述开关,其中,所述阵列控制器在所述接收操作期间将所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号引导至所选择的接收通道。

20. 根据权利要求19所述的超声传感器控制系统,针对包括中心超声换能器的接收图案,所述阵列控制器被配置成控制所述开关,使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述中心超声换能器的所述子阵列的接收通道。

21. 根据权利要求19所述的超声传感器控制系统,其中,所述阵列控制器被配置成选择所述接收图案的代表性超声换能器并控制所述开关,使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述代表性超声换能器的所述子阵列的接收通道。

超声传感器的接收操作

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请还要求共同未决的美国临时专利申请62/334,399的优先权和权益,所述共同未决的美国临时专利申请62/334,399由Salvia等人于2016年5月10日提交、题为“ULTRASONIC SENSOR ELECTRONICS(超声传感器电子设备)”并且代理人案号为IVS-686.PR,并且被转让给本申请的受让人,其全部内容通过引用并入本文。

[0003] 本申请还是共同未决的美国专利申请No.15/589,930的继续申请并且要求其优先权,所述共同未决的美国专利申请No.15/589,930由Garlepp等人于2017年5月8日提交、题为“RECEIVE OPERATION OF AN ULTRASONIC SENSOR(超声传感器的接收操作)”,具有代理人案号IVS-742,并且被转让给本申请的受让人,其全部内容通过引用并入本文。

背景技术

[0004] 压电材料促进机械能与电能之间的转换。此外,压电材料可以在受到机械应力时产生电信号,并且可以在承受电压时振动。压电材料广泛用于压电式超声换能器中,以基于施加至压电式超声换能器的电极的致动电压而产生声波。

附图说明

[0005] 结合在具体实施方式中并形成具体实施方式的一部分的附图示出了主题的各种实施方式,并且与具体实施方式一起用于说明下面所论述的主题的原理。除非明确指出,否则该附图说明中所涉及的附图不应当被理解为是按比例绘制的。在本文中,相同的部件用相同的附图标记标注。

[0006] 图1A是示出了根据一些实施方式的具有中心用销固定的膜的压电式微机械超声换能器(PMUT)装置的图。

[0007] 图1B是示出了根据一些实施方式的具有未用销固定的膜的PMUT装置的图。

[0008] 图2是示出了根据一些实施方式的在具有中心用销固定的膜的PMUT装置的致动期间的膜移动示例的图。

[0009] 图3是根据一些实施方式的图1A的PMUT装置的俯视图。

[0010] 图4是示出了根据一些实施方式的图1A至图3中示出的PMUT装置的膜的最大竖向移位的模拟图。

[0011] 图5是根据一些实施方式的呈圆形形状的示例性PMUT装置的俯视图。

[0012] 图6示出了根据一些实施方式的方形PMUT装置的示例性阵列。

[0013] 图7示出了根据一些实施方式的PMUT阵列中的一对示例性PMUT装置,其中,每个PMUT均具有不同的电极图案。

[0014] 图8A、图8B、图8C和图8D示出了根据各种实施方式的内部支承结构的替代性示例。

[0015] 图9示出了根据一些实施方式的在超声指纹感测系统中使用的PMUT阵列。

[0016] 图10示出了根据一些实施方式的通过将用于限定PMUT装置的CMOS逻辑晶片与微机电(MEMS)晶片进行晶片键合而形成的集成指纹传感器。

- [0017] 图11示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的示例性超声换能器系统。
- [0018] 图12示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的另一示例性超声换能器系统。
- [0019] 图13示出了根据一些实施方式的用于 9×9 超声换能器块的示例性相位延迟图案。
- [0020] 图14示出了根据一些实施方式的 9×9 超声换能器块的另一示例性相位延迟图案。
- [0021] 图15A至图15C示出了示出了根据一些实施方式的用于二维超声换能器阵列中的阵列位置的示例性发射器块和接收器块。
- [0022] 图16示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的示例性超声换能器系统。
- [0023] 图17A和图17B示出了根据一些实施方式的用于 5×5 超声换能器块的示例性相位延迟图案。
- [0024] 图18A和图18B示出了根据一些实施方式的用于 5×5 超声换能器块的另一示例性相位延迟图案。
- [0025] 图19示出了根据实施方式的示例性超声传感器阵列。
- [0026] 图20示出了根据实施方式的示例性波束成形空间。
- [0027] 图21A示出了根据实施方式的波束成形空间内的示例性波束成形图案。
- [0028] 图21B示出了根据实施方式的波束成形空间内的用以提供波束成形图案的示例性相位矢量放置。
- [0029] 图22A示出了波束成形空间内的另一示例性波束成形图案。
- [0030] 图22B示出了根据实施方式的波束成形空间内的用以提供波束成形图案的另一示例性相位矢量放置。
- [0031] 图23示出了根据实施方式的二维超声换能器阵列中的多个阵列位置的发射器块的示例性同步操作。
- [0032] 图24示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的发射信号至接收信号的示例性操作模型。
- [0033] 图25示出了根据实施方式的示例性超声传感器。
- [0034] 图26A示出了根据实施方式的超声换能器阵列的示例性控制电路。
- [0035] 图26B示出了根据实施方式的示例性移位寄存器。
- [0036] 图27示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的示例性发射路径架构。
- [0037] 图28、图28A和图28B示出了根据实施方式的用于对用于发射操作的超声换能器阵列进行配置的示例性电路。
- [0038] 图29、图29A和图29B示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的示例性接收路径架构。
- [0039] 图30A至图30D示出了根据一些实施方式的用于在接收操作期间选择和路由接收信号的示例性电路。
- [0040] 图31A和图31B示出了根据各种实施方式的用于发射二维超声换能器阵列的波束成形的示例性方法的流程图。
- [0041] 图32示出了根据各种实施方式的用于在发射操作期间控制超声传感器的示例性方法的流程图。
- [0042] 图33示出了根据各种实施方式的用于在接收操作期间控制超声传感器的示例性

方法的流程图。

[0043] 图34示出了根据各种实施方式的用于在成像操作期间控制超声传感器的示例性方法的流程图。

具体实施方式

[0044] 以下具体实施方式仅通过示例而非限制的方式提供。此外,无意受前面的背景技术中或以下的具体实施方式中提出的任何明确的或暗指的理论的约束。

[0045] 现在将详细参照本主题的各种实施方式,其示例在附图中示出。虽然本文论述了各种实施方式,但是应当理解的是,并不旨在限于这些实施方式。相反,所呈现的实施方式旨在覆盖替代方案、改型和等同方案,这些替代方案、改型和等同方案可以包括在如由所附权利要求限定的各种实施方式的精神和范围内。此外,在该具体实施方式中,阐述了许多具体细节以提供对本主题的各实施方式的透彻理解。然而,也可以在没有这些具体细节的情况下实施各实施方式。在其他情况下,并未详细地描述公知的方法、公知的过程、公知的部件以及公知的电路,以免不必要地模糊所描述的实施方式的方面。

[0046] 符号和术语

[0047] 接下来的详细描述的一些部分是根据对电气设备内的数据的操作的过程、逻辑块、处理和其他符号表示来呈现的。这些描述和表示是数据处理领域的技术人员用来将他们工作的实质最有效地传达给本领域其他技术人员的手段。在本申请中,过程、逻辑块、处理等被设想为是促成期望结果的一个或更多个自治过程或指令。过程是那些需要物理操纵物理量的过程。通常,尽管不是必须的,但是这些量采取能够由电子设备发射和接收的声学(例如,超声波)信号的形式和/或采取能够在电气设备中被存储、传送、组合、比较和以其他方式操纵的电或磁信号的形式。

[0048] 然而,应该记住的是,所有这些和类似术语都与适当的物理量相关联,并且所有这些和类似术语仅仅是应用于这些量的方便标签。除非从以下论述中明确地另外说明,否则应当理解的是,在整个实施方式的描述中,利用诸如“定义”、“应用”、“执行”、“填充”、“生成”、“重复”、“感测”、“成像”、“存储”、“控制”、“移位”、“选择”、“控制”、“施加”等术语的论述指电子设备比如电气设备或超声传感器的动作和过程。

[0049] 可以在驻留在由一个或更多个计算机或其他设备执行的某种形式的非暂时性处理器可读介质比如程序模块上的处理器可执行指令的一般概念下对本文中所描述的实施方式进行论述。通常,程序模块包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、部件、数据结构等。在各种实施方式中,可以根据需要组合或分发程序模块的功能。

[0050] 在附图中,单个块可以被描述为执行一个或多个功能,然而,在实际实践中,由该块执行的一个功能或多个功能可以在单个部件中执行或跨多个部件执行,并且或者由该块执行的一个功能或多个功能可以使用硬件、使用软件、或者使用硬件和软件的组合来执行。为了清楚地说明硬件和软件的这种可互换性,已经在其功能方面一般性地描述了各种说明性的部件、块、模块、逻辑、电路和步骤。将此功能实施为硬件还是软件取决于特定应用和强加于整个系统的设计约束。技术人员可以针对每个特定应用以不同的方式实现所描述的功能,但是这种实现决策不应被解释为导致脱离本公开的范围。此外,本文中所描述的示例性系统可以包括除了示出的那些部件之外的部件,包括公知的部件。

[0051] 除非明确地描述为以特定方式实施,否则本文中所描述的各种技术可以用硬件、软件、固件或其任意组合来实现。描述为模块或部件的任何特征也可以在集成逻辑设备中一起实现,或者作为离散但可互操作的逻辑设备单独实现。如果以软件实施,则所述技术可以至少部分地由包含指令的非暂时性处理器可读存储介质来实现,所述指令在被执行时执行本文中所描述的方法中的一种或更多种方法。非暂时性处理器可读数据存储介质可以形成计算机程序产品的一部分,该计算机程序产品可以包括封装材料。

[0052] 非暂时性处理器可读存储介质可以包括:随机存取存储器(RAM)比如同步动态随机存取存储器(SDRAM)、只读存储器(ROM)、非易失性随机存取存储器(NVRAM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、闪存、其他已知的存储介质等。附加地或替代性地,所述技术可以至少部分地由处理器可读通信介质来实现,该处理器可读通信介质以指令或数据结构的形式承载或传送代码并且可以由计算机或其他处理器访问、读取和/或执行。

[0053] 本文中所描述的各种实施方式可以由一个或更多个处理器执行,所述一个或更多个处理器比如为一个或更多个运动处理单元(MPU)、传感器处理单元(SPU)、主处理器或其核、数字信号处理器(DSP)、通用微处理器、专用集成电路(ASIC)、专用指令集处理器(ASIP)、现场可编程门阵列(FPGA)、可编程逻辑控制器(PLC)、复杂可编程逻辑装置(CPLD)、分立栅极或晶体管逻辑、分立硬件部件、或其设计成用于执行本文中所描述的功能的任意组合、或其他等效的集成或离散逻辑电路。本文中所使用的术语“处理器”可以指任何前述结构或适合于实现本文所述技术的任何其他结构。如在本说明书中所采用的,术语“处理器”可以指基本上任何计算处理单元或设备,计算处理单元或设备包括但不限于包括单核处理器;具有软件多线程执行能力的单处理器;多核处理器;具有软件多线程执行能力的多核处理器;具有硬件多线程技术的多核处理器;并行平台;以及具有分布式共享内存的并行平台。此外,处理器可以利用纳米级架构——比如但不限于基于分子和量子点的晶体管、开关和门——以优化空间使用或增强用户装备的性能。处理器也可以实现为计算处理单元的组合。

[0054] 另外,在一些方面,可以在如本文所述配置的专用软件模块或硬件模块内提供本文中所描述的功能。此外,这些技术可以在一个或更多个电路或逻辑元件中完全实现。通用处理器可以是微处理器,但在替代方案中,处理器可以是任何常规的处理器、控制器、微控制器或状态机。处理器还可以实现为计算设备的组合,例如SPU/MPU和微处理器的组合、多个微处理器的组合、一个或更多个微处理器结合SPU核、MPU核或任何其他这样的配置。

[0055] 讨论概述

[0056] 论述始于根据各种实施方式的示例性压电式微机械超声换能器(PMUT)的描述。随后对包括PMUT装置的示例性阵列进行描述。然后对PMUT装置的示例性阵列的示例性操作进行进一步描述。然后对示例性传感器阵列配置进行描述。然后对波束成形空间内的示例性波束成形图案进行描述。然后对超声传感器的示例性发射操作和接收操作进行描述。

[0057] 能够产生和检测压力波的常规压电式超声换能器可以包括具有压电材料的膜、支撑层、以及与位于电极下方的腔结合的电极。微型化版本称为PMUT。典型的PMUT使用边缘锚定膜或隔膜,该边缘锚定膜或隔膜在膜的中心处或附近以与 h/a^2 成比例的共振频率(f)最大地振荡,其中, h 是膜的厚度,并且 a 是膜的半径。通过增加膜厚度、减小膜半径、或者增加膜厚度和减小膜半径两者可以产生较高频率的膜振荡。增加膜厚度有其局限性,这是因为

增加的厚度限制了膜的移位。减小PMUT膜半径也有局限性,这是因为较大百分比的PMUT膜面积用于边缘锚固。

[0058] 本文中所述的实施方式涉及用于超声波生成和感测的PMUT装置。根据各种实施方式,描述了这种PMUT装置的阵列。PMUT包括基板和连接至基板的边缘支承结构。膜连接至边缘支承结构,使得在膜与基板之间限定有腔,其中,膜被配置成能够以超声频率移动。该膜包括压电层和连接至压电层的相对侧的第一电极和第二电极。在腔内设置有内部支承结构,该内部支承结构连接至基板和膜。在一些实施方式中,可以省去内部支承结构。

[0059] 所描述的PMUT装置和PMUT装置阵列可以用于在各种应用中产生声学信号或者测量声学感测数据,所述各种应用比如但不限于医疗应用、安全系统、生物识别系统(例如,指纹传感器和/或运动/姿势识别传感器)、移动通信系统、工业自动化系统、消费电子设备、机器人等。在一个实施方式中,PMUT装置可以促进超声信号生成和感测(换能器)。此外,本文中所描述的实施方式提供了一种感测部件,该感测部件包括具有二维(或一维)超声换能器阵列的硅晶片。

[0060] 本文中所描述的实施方式提供了一种PMUT,该PMUT以高频率操作以用于通过高声速材料(例如,玻璃、金属)来减少声学衍射,以及用于更短的脉冲以使虚假反射通过时间选通受到抑制。本文中所描述的实施方式还提供了一种PMUT,该PMUT具有低品质因数,从而提供较短的启动和关闭时间,以能够通过时间选通更好地抑制虚假反射。本文中所描述的实施方式还提供了一种PMUT,该PMUT具有高填充因子从而提供大的发射及接收信号。

[0061] 本文中所描述的实施方式提供了二维超声换能器阵列的发射波束成形。定义了用以应用于二维超声换能器阵列的波束成形空间的波束成形图案。波束成形空间包括多个元件,其中,波束成形空间的每个元件均对应于二维超声换能器阵列的超声换能器,其中,波束成形图案识别波束成形空间内的哪些超声换能器在二维超声换能器阵列的发射操作期间被致动,并且其中,被致动的超声换能器中的一些超声换能器相对于被致动的其他超声换能器是相位延迟的。波束成形图案应用于二维超声换能器阵列。通过根据波束成形图案致动波束成形空间的超声换能器来执行发射操作。

[0062] 在一个实施方式中,定义了多个发射信号,其中,多个发射信号中的每个发射信号相对于多个发射信号中的其他发射信号具有不同的相位延迟,并且其中,与在发射操作期间被致动的超声换能器相对应的元件包括多个发射信号的相关联的发射信号。在一个实施方式中,定义了包括多个元件的一维元件子集的多个相位矢量,其中,多个相位矢量中的相位矢量的元件包括零信号和多个发射信号中的一者,并且其中,与在发射操作期间未被致动的超声换能器相对应的元件包括零信号。

[0063] 压电式微机械超声换能器(PMUT)

[0064] 在一个或更多个方面中,本文中所公开的系统和方法提供用于声换能器(例如,压电致动换能器或PMUT)的有效结构。现在参照附图对一个或更多个实施方式进行描述,其中,相同的附图标记始终用于表示相同的元件。在以下描述中,出于说明的目的,阐述了许多具体细节以便提供对各种实施方式的透彻理解。然而,明显的是,可以在没有这些具体细节的情况下实施各种实施方式。在其他实例中,以框图形式示出了公知的结构和装置,以便于更详细地描述各实施方式。

[0065] 如在本申请中所使用的,术语“或”旨在表示包含性的“或”而不是排他性的“或”。

也就是说,除非另有说明或从上下文中能够清楚,否则“X采用A或B”旨在表示任何自然的包含性排列。也就是说,如果X采用A、X采用B、或者X采用A和B两者,则在任何前述情况下均满足“X采用A或B”。另外,本申请和所附权利要求中使用的冠词“一”和“一个”通常应理解为表示“一个或多个”,除非另有说明或从上下文清楚地指向单数形式。另外,词语“耦接”在本文中用于表示直接或间接的电或机械耦接。另外,词语“示例”在本文中用于表示用作示例、实例或图示。

[0066] 图1A是示出了根据一些实施方式的具有中心用销固定的膜的PMUT装置100的图。PMUT装置100包括内部用销固定的膜120,该内部用销固定的膜120定位在基板140上方,以限定腔130。在一个实施方式中,膜120附接至周围边缘支承件102和内部支承件104。在一个实施方式中,边缘支承件102连接至电势。边缘支承件102和内部支承件104可以由导电材料制成,所述导电材料比如但不限于铝、钼或钛。边缘支承件102和内部支承件104也可以由介电材料——比如二氧化硅、氮化硅或氧化铝——制成,所述介电材料在通过边缘支承件102或内部支承件104的侧面或通孔中具有电连接,并且所述介电材料将下电极106电耦接至基板140中的电布线。

[0067] 在一个实施方式中,边缘支承件102和内部支承件104两者都附接至基板140。在各种实施方式中,基板140可以包括硅或氮化硅中的至少一者,但不限于此。应当理解的是,基板140可以包括电布线和连接,比如铝或铜。在一个实施方式中,基板140包括键合至边缘支承件102和内部支承件104的CMOS逻辑晶片。在一个实施方式中,膜120包括多层。在示例性实施方式中,膜120包括下电极106、压电层110和上电极108,其中,下电极106和上电极108耦接至压电层110的相对侧。如示出的,下电极106耦接至压电层110的下表面,并且上电极108耦接至压电层110的上表面。应当理解的是,在各种实施方式中,PMUT装置100是微机电(MEMS)装置。

[0068] 在一个实施方式中,膜120还包括用以对层进行机械地加强的机械支承层112(例如,加强层)。在各种实施方式中,机械支承层112可以包括硅、氧化硅、氮化硅、铝、钼、钛等中的至少一者,但不限于此。在一个实施方式中,PMUT装置100还包括声学耦接层114,该声学耦接层114位于膜120上方用于支持声学信号的传输。应当理解的是,声学耦接层可以包括空气、液体、凝胶状材料、或用于支持声学信号的传输的其他材料。在一个实施方式中,PMUT装置100还包括压板层116,该压板层116位于声学耦接层114上方,用于容纳声学耦接层114并且为PMUT装置100提供手指或其他感测对象的接触表面。应当理解的是,在各种实施方式中,声学耦接层114提供接触表面,使得压板层116是可选的。此外,应当理解的是,声学耦接层114和/或压板层116可以包括在多个PMUT装置中或与多个PMUT装置结合使用。例如,PMUT装置阵列可以与单个声学耦接层114和/或压板层116耦接。

[0069] 图1B在各方面都与图1A相同,除了图1B的PMUT装置100'省略了内部支承件104并且因此膜120不被用销固定(例如,“未用销固定”)之外。可能存在需要未用销固定的膜120的情况。然而,在其他情况下,可以采用用销固定的膜120。

[0070] 图2是示出了根据一些实施方式的在用销固定的PMUT装置100致动期间的膜移动示例的图。如图2所示,在操作中,响应于靠近压板层116的对象,电极106和电极108将高频电荷传递至压电层110,从而使膜120的未用销固定至周围边缘支承件102或内部支承件104的那些部分向上移位到声学耦接层114中。这将产生可以用于对象的信号探测的压力波。返

回波可以被检测为引起膜运动的压力波,其中,压电材料在膜中的压缩引起与压力波的振幅成比例的电信号。

[0071] 所描述的PMUT装置100可以与几乎任何将压力波转换成机械振动和/或电信号的电气设备一起使用。在一个方面,PMUT装置100可以包括产生和感测超声波的声学感测元件(例如,压电元件)。生成的声波的路径中的对象可以产生随后可以被感测的干扰(例如,频率或相位、反射信号、回声等的变化)。可以分析干扰以确定物理参数,比如(但不限于)对象的距离、密度和/或速度。作为示例,PMUT装置100可以用于各种应用中,所述各种应用比如但不限于适用于无线设备工业系统、汽车系统、机器人、通信设备、安全设施、医疗设备等的指纹传感器或者生理传感器。例如,PMUT装置100可以是传感器阵列的一部分,其包括各种逻辑电子设备、控制电子设备和通信电子设备以及沉积在晶片上的多个超声换能器。传感器阵列可以包括同质或相同的PMUT装置100、或许多不同或异构的装置结构。

[0072] 在各种实施方式中,PMUT装置100采用压电层110,压电层110由比如但不限于氮化铝(AlN)、锆钛酸铅(PZT)、石英、聚偏二氟乙烯(PVDF)和/或氧化锌的材料构成,以促进声学信号的产生和感测。压电层110可以在机械应力下产生电荷,并且相反地在存在电场的情况下经历机械应变。例如,压电层110可以感测由超声信号引起的机械振动并且以振动的频率(例如,超声频率)产生电荷。附加地,压电层110可以通过以可以与由施加在压电层110上的交流(AC)电压产生的输入电流相同的频率(例如,超声频率)的振荡方式振动来产生超声波。应当理解的是,压电层110可以包括几乎任何具有压电特性的材料(或材料的组合),使得材料的结构不具有对称中心,并且施加至材料的拉伸或压缩应力会改变电池中正电荷位置与负电荷位置之间的分离,从而导致材料表面的极化。极化与施加的应力成正比,并且极化取决于方向,使得压缩应力和拉伸应力导致相反极化的电场。

[0073] 此外,PMUT装置100包括向压电层110供给电荷和/或从压电层110收集电荷的电极106和电极108。应当理解的是,电极106和电极108可以是连续电极和/或图案化电极(例如,在连续层和/或图案化层中)。例如,如示出的,电极106是图案化电极,并且电极108是连续电极。作为示例,电极106和电极108可以由几乎任何金属层——比如但不限于铝(Al)/钛(Ti)、钼(Mo)等——构成,电极106和电极108与压电层110的相对侧耦接。在一个实施方式中,PMUT装置还包括第三电极,如图7所示和如下所述。

[0074] 根据实施方式,声学耦接层114的声阻抗被选择为类似于压板层116的声阻抗,使得声波通过声学耦接层114和压板层116有效地传播至膜120或从膜120有效地传播。作为示例,压板层116可以包括具有0.8兆瑞利(MRayl)至4兆瑞利(MRayl)范围内的声阻抗的各种材料,所述各种材料比如但不限于塑料、树脂、橡胶、特氟隆、环氧树脂等。在另一示例中,压板层116可以包括具有高声阻抗(例如,大于10MRayl的声阻抗)的各种材料,所述各种材料比如但不限于玻璃、铝基合金、蓝宝石等。通常,可以基于传感器的应用来选择压板层116。例如,在指纹识别应用中,压板层116可以具有与人体皮肤的声阻抗(例如, 1.6×10^6 Rayl)相匹配(例如,精确地或近似地)的声阻抗。此外,在一个方面,压板层116还可以包括薄的抗刮擦材料层。在各种实施方式中,压板层116的抗刮擦层小于待产生和/或感测的声波的波长,以在声波传播期间提供最小干扰。作为示例,抗刮擦层可以包括各种硬且耐刮擦的材料(例如,莫氏硬度超过7的莫氏硬度),所述材料比如但不限于蓝宝石、玻璃、氮化钛(TiN)、碳化硅(SiC)、金刚石等。作为示例,PMUT装置100可以以20MHz操作,并且因此通过声学耦接层

114和压板层116传播的声波的波长可以是70微米至150微米。在该示例性场景中,通过利用厚度为1微米的抗刮擦层和整体厚度为1毫米至2毫米的压板层116,可以减少插入损耗并且可以提高声波传播效率。应当指出的是,本文中所使用的术语“抗刮擦材料”涉及耐刮擦和/或防刮擦的材料并且提供防刮擦标记的实质性保护。

[0075] 根据各种实施方式,PMUT装置100可以包括图案化的金属层(例如,铝(Al)/钛(Ti)、钼(Mo)等)以形成特定形状(例如,环形、圆形、方形、八边形、六边形等)的电极106,金属层与膜120限定在平面中。电极可以放置在膜120的最大应变区域处,或者放置在靠近周围边缘支承件102和内部支承件104中的任一者或两者处。此外,在一个示例中,电极108可以形成为连续层,从而提供与机械支承层112相接触的接地平面,机械支承层112可以由硅或其他合适的机械加强材料形成。在其他实施方式中,电极106可以沿着内部支承件104布线,从而与沿着边缘支承件102布线相比有利地减小了寄生电容。

[0076] 例如,当致动电压施加至电极时,膜120将变形并移出平面。然后,该运动推动与其相接触的声学耦接层114,并且产生了声学波(超声波)。通常,在腔130内存在真空,因此可以忽略由腔130内的介质产生的阻尼。然而,膜120的另一侧上的声学耦接层114可以基本上改变PMUT装置100的阻尼。例如,当PMUT装置100在具有大气压力的空气中操作时(例如,声学耦接层114是空气),可以观察到大于20的品质因数,并且如果PMUT装置100在水中操作时(例如,声学耦接层114是水),则可以观察到降低到低于2的品质因数。

[0077] 图3是图1A的PMUT装置100的俯视图,该PMUT装置100呈大致方形形状,其部分地对应于沿着图3中的虚线101的横截面。示出了周围边缘支承件102、内部支承件104和下电极106的布局,其中,未示出其他连续层。应当理解的是,术语“大致方形形状”中的“大致”旨在表达PMUT装置100呈大致方形,从而使得能够发生因制造工艺和公差引起的变化,并且与方形形状略有偏差(例如,圆角、略微摇摆的线、与完全正交的角或交叉点的偏差等)可以存在于制造的装置中。虽然示出了大致方形布置的PMUT装置,但是可以想到包括矩形、六边形、八边形、圆形或椭圆形的替代实施方式。在其他实施方式中,可以使用包括不规则和非对称布局的更复杂的电极或PMUT装置的形状,比如用于边缘支承件和电极的人字形或五边形。

[0078] 图4是示出了图1A至图3中示出的PMUT装置100的膜120的最大竖向移位的模拟地形图400。如所指出的,最大移位通常沿着下电极的中心轴线发生,其中,角部区域具有最大移位。与其他图一样,出于说明的目的,图4未按比例绘制,其中,竖向移位被夸大,并且最大竖向移位是水平表面区域的包括PMUT装置100的一部分。在示例性PMUT装置100中,最大竖向移位可以以纳米为单位测量,而单个PMUT装置100的表面区域可以以平方微米测量。

[0079] 图5是图1A的PMUT装置100的另一示例的俯视图,该PMUT装置100呈大致圆形形状,其部分地对应于沿着图5中的虚线101的横截面。示出了周围边缘支承件102、内部支承件104和下部电极106的布局,其中,未示出其他连续层。应当理解的是,术语“大致圆形形状”中的“大致”旨在表达PMUT装置100呈大致圆形,从而使得能够发生因制造工艺和公差引起的变化,并且与圆形形状略有偏差(例如,与中心的径向距离的轻微偏差等)可以存在于制造的装置中。

[0080] 图6示出了由PMUT装置形成的方形PMUT装置601的示例性二维阵列600,PMUT装置具有与结合图1A、图1B、图2和图3所论述的方形形状类似的大致方形形状。示出了方形周围边缘支承件602、内部支承件604、和围绕内部支承件604的方形下电极606的布局,而为清楚

起见,未示出其他连续层。如示出的,阵列600包括成行和成列的多列方形PMUT装置601。应当理解的是,多行或多列方形PMUT装置601可以偏移。此外,应当理解的是,方形PMUT装置601可以彼此接触或间隔开。在各种实施方式中,相邻的方形PMUT装置601电隔离。在其他实施方式中,多组相邻的方形PMUT装置601电连接,其中,多组相邻的方形PMUT装置801电隔离。

[0081] 在操作中,在传输期间,二维阵列中的选择的多组PMUT装置可以传输声学信号(例如,短超声脉冲),并且在感测期间,二维阵列中的一组有源PMUT装置可以检测到声学信号与对象的干扰(在声波的路径中)。然后,可以分析所接收到的干扰信号(例如,基于来自对象的声学信号的反射、回声等而产生)。作为示例,可以基于干扰信号的频率和/或相位与声学信号的频率和/或相位的比较来确定对象的图像、对象与感测部件的距离、对象的密度、对象的运动等。此外,可以通过显示设备(未示出)进一步分析或呈现所产生的结果。

[0082] 图7示出了PMUT阵列中的一对示例性PMUT装置700,其中,每个PMUT均共用至少一个公共边缘支承件702。如示出的,PMUT装置具有两组标记为706和726的独立下电极。这些不同的电极图案实现了PMUT装置700的反相操作,并且增加了装置操作的灵活性。在一个实施方式中,所述一对PMUT可以是相同的,但是这两个电极可以驱动相同PMUT反相的不同部分(一个收缩,而一个膨胀),使得PMUT移位变大。虽然为清楚起见,未示出其他连续层,但每个PMUT均还包括上电极(例如,图1A的上电极108)。因此,在各种实施方式中,PMUT装置可以包括至少三个电极。

[0083] 图8A、图8B、图8C和图8D示出了根据各种实施方式的内部支承结构的替代性示例。内部支承结构也可以称为“用销固定的结构”,这是因为内部支承结构操作成将膜用销固定至基板。应当理解的是,内部支承结构可以定位在PMUT装置的腔内的任何位置,并且可以具有任何类型的形状(或各种形状),并且在PMUT装置内可以存在多于一个的内部支承结构。而图8A、图8B、图8C和图8D示出了内部支承结构的替代性示例,应当理解的是,出于说明的目的,这些示例并不旨在限制PMUT装置的内部支承结构的数量、位置或类型。

[0084] 例如,内部支承结构不必在PMUT装置区域的中心定位,而是可以非中心地定位在腔内。如图8A所示,内部支承件804a相对于边缘支承件802定位在非中心的离轴位置。在其他实施方式中,比如图8B中所看到的,可以使用多个内部支承件804b。在该实施方式中,一个内部支承件相对于边缘支承件802居中定位,而多个不同形状和尺寸的内部支承件围绕中心定位的支承件。在其他实施方式中,比如参见图8C和图8D,内部支承件(分别为804c和804d)可以接触公共边缘支承件1102。在图8D中示出的实施方式中,内部支承件804d可以有效地将PMUT装置分成子像素。这将使得能够例如致动较小区域来产生高频超声波,并且利用PMUT装置的较大区域来感测返回的超声回波。应当理解的是,各个用销固定的结构可以组合成阵列。

[0085] 图9示出了在超声指纹感测系统950中使用的PMUT阵列的实施方式。指纹感测系统950可以包括压板916,人手指952可以在压板916上接触。超声信号由PMUT装置阵列900生成和接收,并且超声信号通过声学耦接层914和压板916来回传播。使用直接附接至PMUT装置900的处理逻辑模块940(例如,控制逻辑电路)进行信号分析(通过晶片键合或其他合适的技术)。可以理解的是,图9中示出的压板916和其他元件的尺寸可以根据特定应用而比如图中所示的尺寸大得多(例如,手印的尺寸)或小得多(例如,仅是指尖)。

[0086] 在用于指纹识别应用的该示例中,人手指952和处理逻辑模块940可以基于声学信号与手指上的皮肤的谷和/或脊的干涉的差异来确定描绘手指的表皮层和/或真皮层的图像。此外,处理逻辑模块940可以将图像与一组已知指纹图像进行比较,以便于识别和/或认证。此外,在一个示例中,如果找到匹配(或实质匹配),则可以验证用户的身份。在另一示例中,如果找到匹配(或实质匹配),则可以基于分配给所标识的用户的授权权限来执行命令/操作。在又一示例中,可以授权所识别的用户访问物理位置和/或网络/计算机资源(例如,文档、文件、应用程序等)。

[0087] 在另一示例中,对于基于手指的应用,手指的移动可以用于光标跟踪/移动应用。在这样的实施方式中,显示屏上的指针或光标可以响应于手指运动来移动。应当指出的是,处理逻辑模块940可以包括一个或更多个处理器或连接至一个或更多个处理器,所述一个或更多个处理器被配置成至少部分地赋予系统950的功能。为此,一个或更多个处理器可以执行存储在存储器例如易失性存储器和/或非易失性存储器中的代码指令。

[0088] 图10示出了根据一些实施方式的通过将限定PMUT装置的CMOS逻辑晶片与MEMS晶片进行晶片键合而形成的集成指纹传感器1000。图10以局部截面图示出了通过将限定PMUT装置的基板1040CMOS逻辑晶片与MEMS晶片进行晶片键合而形成的集成指纹传感器的一个实施方式,该PMUT装置具有公共边缘支承件1002和单独的内部支承件1004。例如,MEMS晶片可以使用铝和锗共晶合金键合至CMOS逻辑晶片,如美国专利No.7,442,570中所描述的那样。PMUT装置1000具有形成在腔1030上方的内部用销固定的膜1020。膜1020附接到周围边缘支承件1002和内部支承件1004两者。膜1020由多层形成。

[0089] 二维超声换能器阵列的示例性操作

[0090] 在一个或更多个方面,本文公开的系统和方法提供二维超声换能器阵列(例如,压电致动换能器阵列或PMUT阵列)的操作。现在参考附图描述一个或更多个实施方式,在附图中,相同的附图标记始终用于表示相同的元件。在以下描述中,出于说明的目的,阐述了许多具体细节以便提供对各种实施方式的透彻理解。然而,明显的是,可以在没有这些具体细节的情况下实践各种实施方式。在其他实例中,以框图形式示出了公知的结构和装置以便于更详细地描述实施方式。

[0091] 图11示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的示例性超声换能器系统1100。如所示出的,图11示出了使用具有相位延迟输入1110的一维五元件超声换能器系统1100的超声波束发射及接收。在各种实施方式中,超声换能器系统1100包括具有中心用销固定的膜的PMUT装置(例如,图1A的PMUT装置100)。

[0092] 如所示出的,超声换能器系统1100包括五个超声换能器1102,所述五个超声换能器1102包括压电材料以及用连续加强层1104(例如,机械支撑层)覆盖的致动电极。加强层1104接触声学耦接层1106,并且声学耦接层1106又被压板层1108覆盖。在各种实施方式中,加强层1104可以是硅,并且压板层1108由玻璃、蓝宝石或聚碳酸酯或类似的耐用塑料形成。中间定位的声学耦接层1106可以由塑料、环氧树脂或凝胶比如聚二甲基硅氧烷(PDMS)或其他材料形成。在一个实施方式中,声学耦接层1106的材料的声阻抗被选择成介于层1104和1108的声阻抗之间。在一个实施方式中,声学耦接层1106的材料的声阻抗被选择成接近压板层1108的声阻抗,以减少不需要的声反射并改善超声波束发射及感测。然而,可以使用代替图11所示的材料堆叠件的替代性材料堆叠件,并且可以省去某些层,只要供进行发射的

介质以可预测的方式传递信号即可。

[0093] 在操作中,并且如图11所示,标记有“x”的超声换能器1102被触发以在初始时间处发射超声波。在第二时间处(例如,1纳秒至100纳秒之后),触发标记有“y”的超声换能器1102。在第三时间处(例如,第二时间之后的1纳秒至100纳秒),触发标记有“z”的超声换能器1102。在不同时间处发射的超声波干扰导致彼此干扰,从而有效地导致单个高强度波束1120离开压板层1108、接触与压板层1108接触的物体比如手指(未示出)、并且部分地反射回到超声换能器。在一个实施方式中,超声换能器1102从发射模式切换到接收模式,从而使得能够由“z”超声换能器检测任何反射信号1122。换言之,超声换能器1102的相位延迟图案关于高强度波束1120离开压板层1108的焦点对称。

[0094] 应当理解的是,超声换能器系统1100的超声换能器1102可以用于发射和/或接收超声信号,并且所示实施方式是非限制性示例。然后可以对接收到的信号(例如,基于来自接触或接近压板层1108的物体的声信号的反射、回波等而产生)进行分析。作为示例,对象的图像、对象与感测部件的距离、对象的声阻抗、对象的运动等全部可以基于对接收到的干扰信号的频率、振幅、相位和/或到达时间与发射的声信号的频率、振幅、相位和/或发射时间进行比较来确定。此外,可以经由显示装置(未示出)为用户进一步分析或呈现所产生的结果。

[0095] 图12示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的另一示例性超声换能器系统1200。如所示出的,图12示出了使用虚拟的二维24元件超声换能器块的超声波束发射及接收,所述超声换能器形成具有相位延迟输入的40元件超声换能器系统1200的子集。在操作中,阵列位置1230(由虚线表示)——阵列位置1230在本文中也被称为虚拟块——包括超声换能器1202的列1220、1222和1224。在初始时间处,触发阵列位置1230的列1220和1224以在初始时间处发射超声波。在第二时间处(例如,几纳秒之后),触发阵列位置1230的列1222。超声波彼此干涉,大体上导致发出以列1222为中心的高强度超声波。在一个实施方式中,列1220和1224中的超声换能器1202被关断,同时列1222从发射模式切换到接收模式,从而能够检测任何反射信号。

[0096] 在一个实施方式中,在致动阵列位置1230的超声换能器1202之后,以类似于对阵列位置1230的前述描述中所描述的方式触发由超声换能器1202的列1224、1226和1228构成的另一阵列位置1232的超声换能器1202。在一个实施方式中,在阵列位置1230的列1222处检测到反射超声信号之后,致动另一阵列位置1232的超声换能器1202。应当理解的是,尽管示出的是阵列位置通过两列超声换能器进行移动,但是可以设想通过一列、三列或更多列向右或向左进行移动,如通过一行或更多行进行的移动,或者通过一些确定数量的行和一些确定数量的列进行移动。在各种实施方式中,连续阵列位置可以部分重叠,或者可以是不同的。在一些实施方式中,阵列位置的大小可以改变。在各种实施方式中,用于发出超声波的阵列位置的超声换能器1202的数目可以大于用于超声波接收的阵列位置的超声换能器1202的数目。在其他实施方式中,阵列位置可以呈正方形、矩形、椭圆形、圆形或更复杂的形状,例如十字形。

[0097] 示例性超声换能器系统1200能够操作成对以列1222为中心的高强度超声波的线进行波束成形。应当理解的是,图12所示的用于使用超声换能器的列对线进行波束成形的原理适用于使用超声换能器对点进行波束成形的实施方式,如下面将描述的。例如,示例性

超声换能器系统1200包括超声换能器的列,在所述超声换能器的列中,各列的超声换能器共同操作成同时致动,从而操作成沿着线进行波束成形。应当理解的是,二维阵列的超声换能器可以是能够独立操作的,并且也可以用于对点进行波束成形,如下面将描述的。

[0098] 图13示出了根据一些实施方式的用于二维超声换能器阵列的 9×9 超声换能器块1300的超声信号发射的示例性相位延迟图案。如图13中所示,超声换能器阵列中的每个数字等于操作期间使用的纳秒延迟,并且超声换能器块1300中的空元素(例如,无数字)表示超声换能器在操作期间不被致动用于信号发射。在各种实施方式中,超声波振幅对于每个致动的超声换能器可以是相同或相似的,或者可以相对于其他超声换能器选择性地增加或减少。在所示的图案中,初始超声换能器致动限于超声换能器块1300的角部,接着在10纳秒之后通过围绕超声换能器块1300的边缘的大致环限制。在23纳秒之后,致动超声换能器的内环。二十四个致动的超声换能器一起产生以超声换能器块1300为中心的超声波束。换言之,超声换能器块1300的相位延迟图案关于高强度波束接触物体的焦点对称。

[0099] 应当理解的是,可以致动超声换能器块1300的不同超声换能器以接收反射超声信号。例如,可以致动超声换能器块1300的中心的 3×3 超声换能器以接收反射超声信号。在另一示例中,用于发射超声信号的超声换能器也用于接收反射超声信号。在另一示例中,用于接收反射超声信号的超声换能器包括还用于发射超声信号的超声换能器中的至少一个超声换能器。

[0100] 图14示出了根据一些实施方式的 9×9 超声换能器块1400的另一示例性相位延迟图案。如图14所示,示例性相位延迟图案利用发射超声换能器的等距间隔。如图13所示,超声换能器阵列中的每个数字等于操作期间使用的纳秒延迟,并且超声换能器块1400中的空元素(例如,无数字)表示超声换能器在操作期间未被致动用于信号发射。在所示实施方式中,初始超声换能器致动限于超声换能器块1400的角部,随后在11纳秒之后通过围绕超声换能器块1400的边缘的大致环限制。在22纳秒之后,致动超声换能器的内环。所示实施方式利用发射超声换能器的等距间隔以减少串扰和发热的问题,其中,每个致动的超声换能器被未致动的超声换能器包围。二十四个致动的超声换能器一起产生以超声换能器块1400为中心的超声波束。

[0101] 图15A至图15C示出了根据一些实施方式的用于二维超声换能器阵列1500中的阵列位置的示例性发射器块和接收器块。在图15A中,使用 9×9 阵列位置1510中的超声换能器的四相位(使用不同的阴影图案表示)致动的相位延迟图案来产生超声波束。

[0102] 在图15B中, 9×9 阵列位置1512相对于图15A的阵列位置1510通过单个列1532向右移动,如由箭头所示的。换言之,在二维阵列1500的阵列位置1510处致动之后,致动二维阵列1500的阵列位置1512,从而有效地感测二维阵列1500右侧的像素。以此方式,可以感测与二维阵列1500的多个阵列位置相关联的多个像素。类似地,在图15C中,在致动二维阵列1500的阵列位置1510之后, 9×9 阵列位置1514相对于图15A的阵列位置1510通过单个行1534向下移动,如由箭头所示出的。应当理解的是, 9×9 阵列位置可以以任何序列移动到二维阵列1500的不同位置。例如,致动序列可以被定义为一行超声换能器的从左到右,然后在到达行的末端时向下移动一行,并且以此方式继续进行,直到感测到期望数量的像素为止。在另一示例中,致动序列可以被定义为列的从上到下,并且一旦对列已经感测到足够的像素,就移动到另一列。应当理解的是,可以无限制地定义任何致动序列,包括随机致动序列。

而且,应当理解的是,根据所需的分辨率,可以跳过任何数量的列和/或行。

[0103] 在各种实施方式中,当阵列位置接近二维阵列1500的边缘时,仅致动在二维阵列1500中可用的那些超声换能器。换言之,在阵列位置的中心处形成波束,但是中心靠近或邻近二维阵列1500的边缘,使得相位延迟图案的至少一个超声换能器不可用(当阵列位置延伸超过边缘时),然后仅致动在二维阵列1500中可用的那些超声换能器。在各种实施方式中,不可用的超声换能器(例如,在二维阵列1500的边缘外部)从致动图案中截去。例如,对于 9×9 超声换能器块,当中心超声换能器朝向边缘移动以使得 9×9 超声换能器块延伸跨越二维阵列的边缘时,超声换能器的行、列或者行和列(在角部的情况下)从该 9×9 超声换能器块截去。例如,当中心超声换能器沿着二维阵列的边缘时, 9×9 超声换能器块有效地变为 5×9 超声换能器块。类似地,当中心超声换能器是距二维阵列的边缘一行或一列时, 9×9 超声换能器块有效地变为 6×9 超声换能器块。在其他实施方式中,当阵列位置接近二维阵列1500的边缘时,通过使用关于焦点不对称的相位延迟图案来使波束转向,如下面参照图17A至图18B所描述的。

[0104] 图16示出了根据一些实施方式的具有相位延迟发射的示例性超声换能器系统1600。图16示出了使用具有相位延迟输入的示例性一维十五元件超声换能器系统1600的五种不同超声波束发射模式。如所示出的,超声换能器1602可以以各种模式操作成提供沿着线1650(例如,压板层的顶部)聚焦的超声波束光点。在第一模式中,单个超声换能器1652操作成提供具有以箭头1653为中心的峰值幅度的单个宽超声波束。在第二模式中,关于中心超声换能器对称的图案1654中的多个超声换能器被顺序地触发以在不同的初始时间处发出超声波。如所示出的,相对于周围的换能器(周围的换能器被同时触发)在延迟时间处触发位于中心的换能器。超声波相互干涉,从而产生单个高强度波束1655。在第三模式中,对于邻近或靠近超声换能器系统1600的边缘定位的超声换能器1656,可以使用不对称触发图案来产生波束1657。在第四模式中,可以使用换能器1658的不对称触发图案来使超声波束转向至偏离中心的位置1659。如所示出的,聚焦波束1659可以被引导到位于超声换能器系统1600的边界上方和外部的点。在第五模式中,波束可以转向以聚焦在一系列分散的位置处,其中,波束间隔的间距小于、等于或大于超声换能器的间距。在图16中,换能器1660在单独的时间处被触发而产生以小于超声换能器的间距分开的波束光点(分别由定向成形成波束光点1661的实线和定向成形成波束光点1663的虚线表示)。

[0105] 图17A、图17B、图17A和图17B示出了根据一些实施方式的 5×5 超声换能器块的示例性相位延迟图案。如图17A、图17B、图17A和17B所示,超声换能器阵列中的每个数字等于操作期间使用的纳秒延迟,并且超声换能器块1700、1710、1800和1810中的空元素(例如,无数字)表示超声换能器在操作期间不被致动用于信号发射。在各种实施方式中,超声波振幅对于每个致动的超声换能器可以是相同或相似的,或者可以相对于其他超声换能器选择性地增加或减少。应当理解的是,根据图17A、图17B、图18A和图18B描述的相位延迟图案关于波束与物体接触的焦点不对称。

[0106] 图17A示出了二维超声换能器阵列的边缘处的超声换能器的阵列位置的示例性相位延迟图案。由于超声换能器块1700位于边缘处,因而不能获得关于超声换能器块1700的中心对称的相位延迟图案。在所示图案中,初始超声换能器致动限于阵列的最右角部,然后是超声换能器的以1、4、5、6和8纳秒间隔进行的选定动作。致动的超声换能器一起产生以用

灰色表示的8纳秒延迟超声换能器为中心的超声波束。在一个实施方式中,为了减少串扰和发热的问题,各个致动的超声换能器彼此等距,并且被未致动的超声换能器包围。

[0107] 图17B示出了二维超声换能器阵列的角部中的 5×5 超声换能器块1710的示例性相位延迟图案,其中,发射超声换能器的间隔是等距的。类似于图17A的相位延迟定时图案,初始超声换能器致动是不对称的。致动的超声换能器一起产生以用灰色表示的8纳秒延迟超声换能器为中心的超声波束。在该实施方式中致动相邻的超声换能器以增大波束强度。

[0108] 图18A示出了二维超声换能器阵列的边缘处的超声换能器的阵列位置的示例性相位延迟图案。由于超声换能器块1800位于边缘处,因而不能获得关于超声换能器块1800的中心对称的相位延迟图案。在所示图案中,初始超声换能器致动限于阵列的最右角部,然后是超声换能器的以1、4、5、6和8纳秒间隔进行的选定动作。致动的超声换能器一起产生以用灰色表示的8纳秒延迟超声换能器为中心的超声波束。在波束发射结束之后,灰色(8纳秒)超声换能器以及由斑点灰色指示的周围超声换能器切换到接收模式。

[0109] 图18B示出了超声换能器块1810位于二维超声换能器阵列的边缘处。当超声换能器块1800相对于图18A中所示的相位延迟图案向上移动单行超声换能器(由箭头1802表示)时,形成该图案。如图18A所示,致动的超声换能器一起产生以用灰色表示的8纳秒延迟超声换能器为中心的超声波束。在波束发射结束后,灰色(8纳秒)超声换能器以及由斑点灰色指示的周围超声换能器被切换到接收模式。

[0110] 传感器阵列配置

[0111] 在一些实施方式中,各个二维超声换能器阵列(例如,图1A的PMUT装置100或者图1B的PMUT装置100')对应于二维控制电子器件阵列。该实施方式也适用于具有集成控制电子器件的其他类型的MEMS阵列。这包括但不限于应用于惯性传感器、光学装置、显示装置、压力传感器、麦克风、喷墨打印机以及具有用于控制的集成混合信号电子设备的MEMS技术的其他应用。应当理解的是,虽然所描述的实施方式可以指代用于控制MEMS装置和/或PMUT装置的CMOS控制元件,但是所描述的实施方式并不旨在限于这些实施方案。

[0112] 图19示出了根据实施方式的示例性超声传感器阵列1900。超声传感器阵列1900可以包括排列成矩形网格的 135×46 个超声换能器,如图19所示。然而,这只是PMUT换能器可以如何排列的一个示例。为了实现对阵列1900内的位置的一致参考,本文中定义X轴为长尺寸,将短尺寸定义为Y轴,将左下角定义为原点。这样(使用超声换能器的单元作为坐标系),左下角的超声换能器位于位置(0,0)处,而右上角的超声换能器位于位置(134,45)处。

[0113] 为了尽可能快地捕获指纹图像,期望的是同时对尽可能多的像素进行成像。这在实践中受到功耗、独立接收器(Rx)通道(切片)和模数转换器(ADC)的数量、以及有源超声换能器之间的间隔要求的限制,以避免干扰。因此,可以实现同时捕获若干图像像素例如十个图像像素的能力。将理解的是,可以同时捕获少于十个或多于十个的图像像素。在实施方式中,这涉及十个独立的、并行的接收器通道和ADC。这些接收器通道和ADC中的每个接收器通道和ADC均与整个传感器阵列子集相关联,如图19所示。在该示例中,十个“PMUT块”1902(也称为“ADC区域”或“阵列子块”)的大小为 27×23 PMUT。因此,超声传感器可以包括多个——此处为十个——超声换能器块。

[0114] 十个接收通道和ADC直接放置在每个相关联的阵列子块的上方或下方。在典型的成像操作期间,每个阵列子块1902被相同地配置和操作成使得同时捕获十个图像像素,每

一个图像像素来自每个阵列子块内的相同位置。表示发射(Tx)相位的波束成形图案(例如,图13、图14、图17A、图17B、图18A和图18B中示出的相位延迟模式)被应用于阵列子块1902中的每个阵列子块内的所选择的PMUT。发射相位布置成聚焦超声能量(例如,聚焦到图案中的每个图案的中心正上方的区域)——称为发射波束成形的过程。在每个波束成形图案的成像点处反射回超声换能器的超声信号被转换成电信号并被路由至相关联的接收通道和ADC,以用于感测和存储。发射超声信号、等待超声信号传播至目标并返回、以及捕获反射的超声信号的整个过程在本文中被称为“TxRx周期”。

[0115] 通过在整个超声换能器阵列上步进发射波束成形图案并且通过在与图像像素相对应的每个位置处发射和接收来实现在整个传感器区域上的成像。由于十个图像像素在每个TxRx周期期间被同时捕获(一个图像像素来自每个阵列子块1902内的相同位置),因此捕获整个阵列的图像像素所花的时间与捕获仅单个阵列子块的图像像素所花的时间一样多。

[0116] 有时可能仅需要在阵列子块的子集上进行扫描。在这种情况下,能够禁止在指定的阵列子块内发射或接收信号,以节省否则将用于在那些子块内发射或接收的功率。在一个实施方式中,阵列被配置(例如,经由寄存器)成启用在所有十个阵列子块中的发射。在其他实施方式中,阵列被配置成禁用所选择的竖向成对阵列子块内的发射。例如,将发射寄存器的位设定为1_0111使得阵列子块0-5、8和9保持有效以进行发射,但是关闭阵列子块6和7中的发射。类似地,阵列被配置(例如,经由寄存器)成启用在所有十个阵列子块中的接收。然而,该寄存器的选择的位可以被设定为“0”以禁用所选择的阵列子块内的接收。例如,将接收寄存器的位设定为01_1011_1111使所有阵列子块能够正常接收,除了阵列子块6和9之外(例如,与阵列子块6和9相关联的所有接收和ADC电路被断电)。

[0117] 如以上参照图11至图18B所描述的那样,本文中所描述的实施方式提供发射(TX)波束成形的使用,以将超声能量聚焦到二维超声换能器阵列上方的期望位置上。发射波束成形用于抵消超声信号的衍射和衰减,这是因为超声信号从发射超声换能器(例如,PMUT)通过材料堆向上传播至手指,并且然后通过材料堆向下回到接收超声换能器。发射波束成形实现了:超声波指纹传感器提供相比于不使用该技术的其他超声波指纹传感器的明显更好的图像分辨率和信噪比。

[0118] 根据各种实施方式,本文中所描述的发射波束成形的性能依赖于多个发射信号的产生、分布和选择性发射,所述多个发射信号具有来自所选择的接收超声换能器的反射的超声信号的可控的相对相位(延迟)和精确定时接收。本文中所描述的实施方式提供用于在二维超声换能器阵列上成像的发射波束成形图案的配置。

[0119] 图20示出了根据各种实施方式的示例性波束成形空间2000。波束成形空间用于定义寄存器,寄存器用于对超声换能器阵列中的用于发射和/或接收超声信号的任意超声换能器子集进行配置。如示出的,波束成形空间2000对应于超声换能器阵列中的 9×9 超声换能器子集。然而,应当理解的是,可以使用任何超声换能器子集,并且所描述的实施方式不限于所示出的示例。例如,波束成形空间可以对应于 5×5 超声换能器子集、 8×8 超声换能器子集、 5×9 超声换能器子集、 5×12 子集超声换能器、或者任何其他超声换能器子集。在各种实施方式中,包括超声换能器阵列的超声传感器的数字和模拟硬件(例如,阵列引擎)使用与波束成形空间相关联的寄存器设置,以将指定的波束成形空间配置应用于实际的超声换能器阵列。

[0120] 在各种实施方式中,在波束成形空间2000中定义了波束成形图案,该波束成形图案应用于二维超声换能器阵列。波束成形空间2000包括元件2010,其中,每个元件2010对应于二维超声换能器阵列的超声换能器。元件定义了发射操作期间施加至对应的超声换能器的发射信号。波束成形图案识别在二维超声换能器阵列的发射操作期间致动波束成形空间2000内的哪些超声换能器。被致动的超声换能器中的至少一些超声换能器相对于被致动的其他超声换能器是相位延迟的。应当理解的是,并非所有的超声换能器都需要在发射操作期间被致动。

[0121] 根据各种实施方式,多行或多列波束成形空间被配置成接收相位矢量,其中,相位矢量表示由一行或一列波束成形空间内的每个超声换能器发射的期望的发射信号。为了便于描述,本说明书涉及多行波束成形空间。然而,应当理解的是,在各种实施方式中,列可以与行互换,并且所描述的实施方式不限于多行波束成形空间。如示出的,相位矢量2020是 9×1 行波束成形空间2000。

[0122] 根据各种实施方式,超声传感器被配置成支持设定数量的发射信号和设定数量的相位矢量。在一个实施方式中,超声传感器被配置成容纳多达四个发射信号和多达五个独立的相位矢量,以任意地应用于波束成形空间2000内的九个行。构成相位矢量的元件从由‘A’、‘C’和‘D’指定的四个可能的发射信号的列表中选择。前三个发射信号(‘A’、‘B’和‘C’)表示除了它们相对于彼此的相位(延迟)之外相同的实际发射信号。第四信号‘D’是零相位(例如,没有信号/零信号/接地(GND))。

[0123] 在一个实施方式中,五个相位矢量的符号是:

[0124] 相位矢量 $0[8:0] = [Ph_{0_8}, Ph_{0_7}, Ph_{0_6}, Ph_{0_5}, Ph_{0_4}, Ph_{0_3}, Ph_{0_2}, Ph_{0_1}, Ph_{0_0}]$

[0125] 相位矢量 $1[8:0] = [Ph_{1_8}, Ph_{1_7}, Ph_{1_6}, Ph_{1_5}, Ph_{1_4}, Ph_{1_3}, Ph_{1_2}, Ph_{1_1}, Ph_{1_0}]$

[0126] 相位矢量 $2[8:0] = [Ph_{2_8}, Ph_{2_7}, Ph_{2_6}, Ph_{2_5}, Ph_{2_4}, Ph_{2_3}, Ph_{2_2}, Ph_{2_1}, Ph_{2_0}]$

[0127] 相位矢量 $3[8:0] = [Ph_{3_8}, Ph_{3_7}, Ph_{3_6}, Ph_{3_5}, Ph_{3_4}, Ph_{3_3}, Ph_{3_2}, Ph_{3_1}, Ph_{3_0}]$

[0128] 相位矢量 $4[8:0] = [Ph_{4_8}, Ph_{4_7}, Ph_{4_6}, Ph_{4_5}, Ph_{4_4}, Ph_{4_3}, Ph_{4_2}, Ph_{4_1}, Ph_{4_0}]$

[0129] 上面的矢量符号中的下标是指波束成形空间2000的x-轴位置(列索引)。图20示出了相位矢量3如何应用于波束成形空间2000的第二行(行1)。

[0130] 图21A示出了波束成形空间2100内的示例性波束成形图案2110,并且图21B示出了根据实施方式的波束成形空间2100内的用以提供波束成形图案2110的示例性相位矢量放置。

[0131] 图21A示出了 9×9 波束成形空间2100,其中,构成相位矢量的元件是从由‘A’、‘B’、‘C’和‘D’指定的四个可能发射信号的列表中选择。前三个发射信号(‘A’、‘B’和‘C’)表示除了它们相对于彼此的相位(延迟)之外的相同的实际发射信号。第四信号‘D’是零相位(例如,没有信号/零信号/接地(GND))。波束成形空间2100的空元件不包括信号(例如,信号‘D’)。如示出的,波束成形图案2110的发射信号关于中心元件(波束成形空间2100的元件4,4)对称。波束成形图案2110操作成在位于波束成形空间2100的中心元件上方的成像点2120处形成波束。

[0132] 图21B示出了波束成形空间2100内的用以生成波束成形图案2110的相位矢量放置。超声传感器被配置成容置于放置在波束成形空间2100内的多达五个的不同相位矢量。图21B示出了相位矢量如何选择性地应用于波束成形空间中的各个行,以实现期望的发

射波束成形图案2110。如示出的，五个相位矢量的符号是：

[0133] 相位矢量0 = [D, D, A, A, A, A, D, D]

[0134] 相位矢量1 = [D, A, D, B, B, B, D, A, D]

[0135] 相位矢量2 = [A, D, B, C, C, C, B, D, A]

[0136] 相位矢量3 = [A, B, C, D, D, D, C, B, A]

[0137] 相位矢量4 = [A, B, C, D, D, D, C, B, A]

[0138] 应当指出的是，图21B的空元件包括信号‘D’，信号‘D’是零相位信号（例如，无信号）。此外，应当指出的是，在示出的实施方式中，相位矢量3和相位矢量4是相同的。应当理解的是，相位矢量3和相位矢量4是可互换的，这是因为相位矢量3和相位矢量4包括相同的元件信号。这样，波束成形图案2110可以仅使用四个相位矢量来生成。

[0139] 相位矢量被布置在波束成形空间2100内，使得每行（如示出的行0至行8）用一个9×1相位矢量填充。如示出的，行0和行8用相位矢量0填充，行1和行7用相位矢量1填充，行2和行6用相位矢量2填充，行3和行5用相位矢量3填充，并且行4用相位矢量4填充。因此，本文中所描述的实施方式通过使用有限数量的发射信号和有限数量的相位矢量来提供波束成形空间内的波束成形图案的创建和实现。

[0140] 如示出的，发射波束成形图案2110关于与波束成形空间2100的在(4, 4)处的中心超声换能器相对应的中心元件的中心是XY对称的。这样，发射波束成形图案2110将超声能量直接聚焦在波束成形空间2100中的中心超声换能器（图示为成像点2120）上方。

[0141] 然后，由此产生的超声反射可以由(4, 4)处的中心超声换能器接收或者通过(3, 3)、(4, 3)、(5, 3)、(3, 4)、(4, 4)、(5, 4)、(3, 5)、(4, 5)和(5, 5)处的九个中心超声换能器的并联组合而接收。在一个实施方式中，超声换能器不能够用于同一像素捕获内的发射及接收操作。在这样的实施方式中，发射波束成形图案2110被配置成选择零相位‘D’以通过将用于接收操作的超声换能器发射。在其他实施方式（未示出）中，超声换能器能够用于相同像素捕获内的发射及接收操作。

[0142] 图22A示出了波束成形空间2200内的示例性波束成形图案2210，并且图22B示出了根据另一实施方式的在波束成形空间2200内的用以提供波束成形图案2210的示例性相位矢量放置。

[0143] 图22A示出了9×9波束成形空间2200，其中，构成相位矢量的元件是从由‘A’、‘B’、‘C’和‘D’指定的四个可能发射信号的列表中选择。前三个发射信号（‘A’、‘B’和‘C’）表示除了它们相对于彼此的相位（延迟）之外的相同的实际发射信号。第四信号‘D’是零相位（例如，没有信号/零信号/接地（GND））。波束成形空间2200的空元件不包括信号（例如，信号‘D’）。

[0144] 图22B示出了波束成形空间2200内的用以生成波束成形图案2210的相位矢量放置。超声传感器被配置成容置用以放置在波束成形空间2200内的多达五个的不同相位矢量。图22B示出了相位矢量如何选择性地应用于波束成形空间2200中的各个行，以实现期望的发射波束成形图案2210。如示出的，五个相位矢量的符号是：

[0145] 相位矢量0 = [D, D, A, A, A, A, D, D, D]

[0146] 相位矢量1 = [D, A, B, B, B, B, A, D, D]

[0147] 相位矢量2 = [A, B, D, C, C, D, B, A, D]

[0148] 相位矢量3=[A,B,C,D,D,C,B,A,D]

[0149] 相位矢量4=[D,D,D,D,D,D,D,D,D]

[0150] 应当指出的是,图22B的空元件包括信号‘D’,信号‘D’是零相位信号(例如,无信号)。

[0151] 相位矢量被布置在波束成形空间2200内,使得每行(如示出的行0至行8)用一个 9×1 相位矢量填充。如示出的,行0和行7用相位矢量0填充,行1和行6用相位矢量1填充,行2和行5用相位矢量2填充,行3和行4用相位矢量3填充,并且行8用相位矢量4填充。因此,本文中所描述的实施方式通过使用有限数量的发射信号和有限数量的相位矢量来提供波束成形空间内的波束成形图案的创建和实现。

[0152] 如示出的,波束成形图案2210将超声能量聚焦到(4,4)处的超声换能器的右下角,如成像点2220所示。然后,由此产生的超声反射可以通过(4,3),(5,3),(4,4)和(5,4)处的四个超声换能器的并联组合来接收,(4,3),(5,3),(4,4)和(5,4)处的四个超声换能器示出为在发射操作期间不发射信号。还应当指出的是,波束成形空间2200的整个第一列(列0)和整个顶行(行8)被指定为接收零相位‘D’。换句话说,仅 9×9 波束成形空间2200的右下 8×8 子区域用于波束成形图案2210。示出的实施方式示出了发射波束成形图案2210的配置,该发射波束成形图案2210关于在(4,4)处的超声换能器的右下角处的成像点2220是XY对称的。在一个实施方式中,在创建发射波束成形图案以在四个相邻超声换能器之间的角部处成像时,使用波束成形空间2200右下方的 8×8 子集。

[0153] 上述各种实施方式提供了定义波束成形空间的波束成形图案。在一些实施方式中,相位矢量用于多行填充波束成形空间。应当理解的是,这些概念可以适于任何类型和尺寸的波束成形空间,在该波束成形空间中,超声换能器被致动以发射超声信号进而对像素成像。

[0154] 在一些实施方式中,波束成形空间适用于指定哪个超声换能器将被致动,以在被选择用于发射波束成形的超声换能器已经发射其输出超声脉冲之后接收反射回到超声换能器阵列上的超声信号。在一个实施方式中,这是借助于对通过波束成形空间中的至少一行超声换能器的接收选择信号和通过至少一列超声换能器的接收选择信号进行驱动来完成的。每当其两个接收选择信号被致动(例如,设定为逻辑电平“1”)时,超声换能器被致动以进行接收。以这种方式,例如,参照图22A和图22B,在(4,3),(5,3),(4,4)和(5,4)处的四个超声换能器被致动以通过设定待接收的行3、行4、列4和列5来接收(例如,rxRowSel3、rxRowSel4、rxColSel4和rxColSel5被设定为逻辑电平“1”,并且剩余行rxRowSelY行和列rxColSelX行被设定为逻辑电平“0”)。

[0155] 图23示出了根据一些实施方式的用于二维超声换能器阵列2300中的多个阵列位置的发射器块的示例性同时操作。如上所述, 9×9 波束成形空间可以用于定义用于超声传感器阵列的波束成形图案。在示出的示例中,二维阵列2300是 48×144 个超声换能器,二维阵列2300被分成12个相同的 24×24 块2310(其中四个被示出为2310a至2310d)。在一个实施方式中,基于多路复用的发射/接收(Tx/Rx)定时控制方法可以用于基于波束成形图案来致动每个块中的适当的超声换能器。当完成用以产生超声波束并感测反射回波的一系列致动时,波束成形图案(例如,波束成形图案2320a、2320b和2320c)相对于二维超声换能器阵列2300向右或向左或者向上和向下移动,并且重复该序列直到已经对所有(或指定量)像素进

行成像为止。随着波束成形图案移动,在接收操作期间被致动的超声换能器的接收图案(例如,接收图案2330a、2330b和2330c)也移动。

[0156] 如前所述,应当理解的是,可以使用任何类型的致动序列(例如,从一侧到另一侧、从上到下、随机、另一预定顺序、跳过行和/或跳过列等)。而且,应当理解的是,图23示出了关于发射像素的焦点对称的相位延迟图案。如前所述,应当理解的是,当焦点接近或邻近二维阵列的边缘和/或角部时,可以使用不同的相位延迟图案。例如,当焦点接近或邻近二维阵列的边缘时,可以使用类似于图17A中所示的相位延迟图案,并且当焦点接近或邻近二维阵列的角部时,可以使用类似于图17B中所示的相位延迟图案。在各种实施方式中,不可用的超声换能器(例如,位于二维阵列2300的边缘外侧的超声换能器)从致动图案中截去。例如,对于 9×9 阵列位置,当中心超声换能器朝向边缘移动以使得 9×9 阵列位置延伸跨越二维阵列的边缘时,超声换能器的行、列或者行和列(在角部的情况下)从该 9×9 阵列位置截去。例如,当中心超声换能器沿着二维阵列的边缘时, 9×9 阵列位置有效地变为 5×9 阵列位置。类似地,当中心超声换能器是与二维阵列的边缘相距一行或一列时, 9×9 超声换能器块有效地变为 6×9 阵列位置。

[0157] 此外,应当理解的是,根据各种实施方式,用于感测阵列位置内的多个像素的多个相位延迟图案可以用于该阵列位置。换言之,可以在单个阵列位置内感测多个像素,从而提高感测图像的分辨率。

[0158] 一旦已经定义了波束成形空间以指定波束成形空间中的哪些超声换能器将用于发射超声信号(例如,波束成形图案)、用于接收反射的超声信号(例如,接收图案)、或者什么都不用于(保持未致动),超声传感器就将发射波束成形图案编程并将波束成形图案接收到超声换能器阵列内的至少一个位置。

[0159] 在一个实施方式中,超声传感器的阵列控制器(例如,阵列引擎、阵列控制逻辑)和阵列控制移位寄存器逻辑电路将该发射波束成形图案和接收图案编程到超声换能器阵列内的多个位置上。例如,参照图23,波束成形图案被编程在十个超声阵列子块中的每个超声阵列子块内的对应位置处,使得在每个发射/接收(TX/RX)操作中捕获多达十个图像像素,一个像素来自十个超声阵列子块中的每个超声阵列子块。然后,通过在整个超声换能器阵列上步进波束成形图案从而在每个步骤发射和接收以捕获对应的图像像素来完成整个传感器区域上的成像。

[0160] 由于TX/RX波束成形图案和接收图案跨过超声阵列步进,因此图案有时会与多个阵列子块(例如,两个或四个超声阵列子块)重叠。例如, 9×9 波束成形图案可以在超声阵列子块2310a中具有其左上 6×6 个超声换能器、在阵列子块2310b中具有其左下 6×3 个超声换能器、在阵列子块2310c中具有其右上 3×6 个超声换能器、以及在阵列子块2310d中具有其右下 3×3 个超声换能器。在这些情况下,重要的是理解哪个接收片(例如,RX信道)将处理来自波束成形图案中的每个波束成形图案的接收信号。

[0161] 根据各种实施方式,阵列电路根据以下示例确定哪个接收片来处理接收信号:

[0162] 当接收图案被编程用于 9×9 波束成形空间内的 3×3 个超声换能器时,超声换能器在 3×3 接收图案的中心处的位置确定将用于处理接收信号的接收片。

[0163] 当接收图案被编程用于 9×9 波束成形空间内的 2×2 个超声换能器时,超声换能器在 2×2 接收图案的左上方处的位置确定将用于处理接收信号的接收片。

[0164] 当接收图案被编程用于 9×9 波束成形空间内的单个超声换能器时,该超声换能器的位置确定将用于处理接收信号的接收片。

[0165] 应当理解的是,用于确定哪个接收片处理接收信号的其他指定是可能的,并且可能的指定不限于以上示例。

[0166] 各种实施方式提供了超声传感器的数字硬件,该数字硬件使用了指定波束成形空间配置的寄存器连同在超声传感器数字的数字化路径中用以构造和控制物理超声换能器阵列的阵列控制器(例如,状态机),该阵列控制器在本文中也称为“阵列引擎”。

[0167] 图24示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的发射信号至接收信号的示例性操作模型2400。图24示出了从通向PMUT阵列2410的电压发射信号开始且以来自PMUT阵列的电压接收信号结束的操作模型2400。电压波形的三个周期由PMUT 2420进行带通滤波,并且电压波形的三个周期作为超声压力信号2430发射出,超声压力信号2430通过与超声信号路径2440中的对象和材料的相互作用而衰减和延迟,并且然后由PMUT阵列2450进行带通滤波。在示出的示例中,假设PMUT带通滤波器响应2420和2450以50MHz和Q约为3为中心,尽管也可以使用其他值。

[0168] 图25示出了根据实施方式的示例性超声传感器2500。超声传感器2500包括数字逻辑电路2505、信号发生器2520、移位寄存器2530和二维超声换能器阵列2540。二维阵列2540包括三个可独立控制的子块2550a至2550c(本文中也称为“子阵列”)。在一个实施方式中,数字逻辑电路2505包括阵列控制器2510和相位矢量定义寄存器2535。应当理解的是,二维阵列2540可以包括任何数量的超声换能器子块,其中,所示实施方式仅是一个示例。在一个实施方式中,超声换能器是压电式微机械超声换能器(PMUT)装置。在一个实施方式中,PMUT装置包括内部支承结构。

[0169] 信号发生器2520产生多个发射信号,其中,多个发射信号中的每个发射信号具有相对于多个发射信号中的其他发射信号的不同相位延迟。在一个实施方式中,信号发生器2520包括数字相位延迟2522,数字相位延迟2522被配置成将至少一个相位延迟应用于来自信号发生器2520的源信号,以用于产生多个发射信号。在一个实施方式中,超声传感器2500包括提供零信号的接地2525(例如,交流(AC)接地),其中,波束成形空间识别出零信号被施加至波束成形空间的在发射操作期间未被致动的超声传感器。在另一个实施方式中,零信号缺少信号波形。

[0170] 移位寄存器2530存储控制位,以用于将包括波束成形图案的波束成形空间应用于二维超声换能器阵列,其中,波束成形图案识别多个发射信号中的被施加至波束成形空间的在发射操作期间被致动的每个超声换能器的发射信号。在一个实施方式中,移位寄存器2530存储用于应用波束成形空间的多个实例的控制位,其中,波束成形空间的每个实例对应于超声换能器的不同子块2550a至2550c,并且其中,波束成形空间的每个实例包括波束成形图案。在一个实施方式中,波束成形空间包括与一维超声换能器子集相对应的多个相位矢量,相位矢量识别在发射操作期间应用于对应的超声换能器的信号。在一个实施方式中,从零信号以及多个发射信号中的发射信号中选择信号。在一个实施方式中,多个相位矢量被存储在相位矢量定义寄存器2535内。

[0171] 阵列控制器2510根据波束成形图案对超声换能器在发射操作期间的致动进行控制,并且阵列控制器2510被配置成使波束成形空间在移位寄存器内的位置移位,使得波束

成形空间相对于二维超声换能器阵列移动。在一个实施方式中,阵列控制器2510根据波束成形空间的每个实例的波束成形图案来对在发射操作期间一个以上的超声换能器子块2550a至2550c的超声换能器的致动进行控制,其中,波束成形图案并行地应用于一个以上的超声换能器子块2550a至2550c。

[0172] 图26A示出了根据实施方式的超声换能器阵列2610的示例性控制电路2600。控制电路2600包括相位选择移位寄存器(txPhSelShiftRegTop)2620、相位选择移位寄存器(txPhSelShiftRegBot)2622、列选择移位寄存器(rxColSelShiftRegTop)2630、列选择移位寄存器(rxColSelShiftRegBot)2632、相位矢量选择移位寄存器(txPhVectSelShiftReg)2640、行选择移位寄存器(rxRowVectSelShiftReg)2650、数字路由2660和阵列引擎2670。阵列2610包括十个超声换能器子块(例如,ADC区域),每个超声换能器子块均包括多个超声换能器(例如,24×24或者23×27)。每个超声换能器子块能够由控制电路2600独立控制。

[0173] 图26B示出了根据各种实施方式的示例性移位寄存器2680。移位寄存器2680包括串联的多个移位元件2682a至2682g(例如,触发器),以用于根据移位时钟(CLK)信号2684而使移位寄存器数据的位置移位。应当理解的是,移位寄存器2680可以沿着超声换能器阵列的水平或竖向边缘而实施,其中,每个行或列具有相关联的触发器。如示出的,移位寄存器2680包括J触发器,其中,J是超声换能器在水平或竖向方向上的数目。

[0174] 在各种实施方式中,移位寄存器2680能够根据需要通过移位元件2682a至2682g使用单个或多位触发器来处理不同数量的比特,如由k所示。例如,针对相位选择移位寄存器2620和2622,k=10(五个2位设置),对于相位矢量选择移位寄存器2640,k=3(一个3位设置),针对列选择移位寄存器2630和2632,k=1(一个1位设置),并且针对行选择移位寄存器2650,k=1(一个1位设置)。根据实施方式的移位时钟信号2684是控制移位寄存器2680的移位的门控时钟,其中,移位寄存器数据针对每个时钟脉冲由一个移位元件移位。虽然移位寄存器2680被示出为单向移位寄存器,但应当理解的是,移位寄存器2680也可以实现为b方向移位记录。

[0175] 多路复用器2687允许再循环先前输入的移位寄存器数据或者加载新的移位寄存器数据。当负载信号(Load_shiftb)2688被设定为低(例如,零)时,当前加载的数据通过移位寄存器2680移位(例如,经由循环2690而循环),使得离开移位寄存器2680的末尾的数据(例如,来自移位元件2682g的输出)被再循环回到移位寄存器2680的开头(例如,换档至移位元件2682a的输入端)。当负载信号2688被设定为高(例如,1)时,新数据2686(例如,相位选择设置、相位矢量选择设置等)响应于施加在移位时钟信号2684上的脉冲而被输入到移位寄存器2680中。

[0176] 为了配置用于发射操作的超声换能器,两个移位寄存器块(相位选择移位寄存器2620和相位选择移位寄存器2622)分别沿阵列2610的顶部边缘和底部边缘延伸,并且控制哪些发射信号被选择用于通过超声换能器阵列2610进行发射。应当理解的是,移位寄存器可以处于相对于阵列的任何物理位置,并且示出的实施方式是放置的一个示例,移位寄存器块的位置和数量可以取决于阵列子块的数量。在一个实施方式中,相位选择移位寄存器2620和相位选择移位寄存器2622根据存储在数字路由2660中的相位矢量定义寄存器来控制哪些发射信号被发送通过阵列2610。然后,这些信号通过相位矢量选择移位寄存器2640的延伸通过成行阵列2610的输出而被选择性地应用于特定超声换能器子单元。

[0177] 在一个实施方式中,借助于对通过每行超声换能器的“rxRowSelY”逻辑信号(其中,“Y”指定Y轴行数)和通过每列超声换能器的(其中,“X”指定X轴列数)“rxColSelX”信号进行驱动来指定被选择成接收的超声换能器。只要其rxRowSelY信号和其rxColSelX信号都被设定为逻辑电平“1”,就会致动超声换能器以进行接收。以这种方式,例如,通过将rxRowSel3、rxRowSel4、rxColSel4和rxColSel5设定为逻辑电平“1”并且将剩余的7rxRowSelY线和剩余的7rxColSelX线设定为逻辑电平“0”而将致动图22A中的(4,3),(5,3),(4,4)和(5,4)处的四个超声换能器以进行接收。参照图26,接收(rx)选择信号由列选择移位寄存器2632和行选择移位寄存器来确定。

[0178] 图27示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的示例性发射路径架构2700。在玻璃下以高图像分辨率实现二维波束成形使用相对高的超声频率和精确定时。可以使用谐振频率为50MHz并且波束成形定时分辨率为1纳秒的支持超声换能器阵列的电子器件。50MHz频率可以由可以通过片外时钟源进行微调以获得足够的精度的片上RC振荡器2710(例如,时间块)产生。波束成形分辨率可以由片上锁相环(PLL)2720设置,该片上PLL输出对应于50MHz频率的约3周期的若干定时相位并且相对于彼此适当地延迟。可以根据图27中所示的sel_{ph_map}信号将这些相位路由到每个超声换能器。

[0179] 图28、图28A和图28B示出了根据实施方式的用于配置用于发射操作的超声换能器的传感器阵列的示例性电路2800。超声传感器包括发射信号发生器2810,发射信号发生器2810用于产生相对于彼此可独立配置相位(延迟)的发射信号。在一个实施方式中,这些信号在超声传感器的定时块处产生。在一个实施方式中,发射信号发生器产生三个信号:

[0180] txPhA(互补信号,如果需要,为txPhA b)——对应于波束成形空间中的信号“A”;

[0181] txPhB(互补信号,如果需要,为txPhA b)——对应于波束成形空间中的信号“B”;

[0182] txPhC(互补信号,如果需要,为txPhC b)——对应于波束成形空间中的信号“C”。

[0183] 这些发射信号沿着超声换能器阵列的顶部和底部分布在线2820上,以保持它们彼此之间的相对相位(延迟)关系。在一个实施方式中,信号以其所需频率的两倍分布并在被驱入阵列中的每列超声换能器之前被分成正确的频率。

[0184] 超声传感器还包括零信号,在此也称为“txPhD”。应当理解的是,零信号实际上没有分布,这是因为零相位(无信号/GND)可通过超声传感器容易地获得。

[0185] 从相位选择移位寄存器(例如,相位选择移位寄存器2620或相位选择移位寄存器2622)接收的相位选择移位寄存器元件信号2825包括从相位选择移位寄存器的一个元件输出的五个2位设置。相位选择移位寄存器元件信号2825驱动信号多路复用器,信号多路复用器选择沿着线2830向下发送的发射信号。从相位矢量选择移位寄存器(例如,相位矢量选择移位寄存器2640)接收的相位矢量选择移位寄存器元件信号2835a和2835b是从相位矢量选择移位寄存器内的两个元件输出的3位设置,所述两个元件选择线2830上的发射信号中的哪一个发射信号被驱动到相应的超声换能器(例如,如所示出的PMUT)。

[0186] 以下数字信号用于将实际超声换能器传感器阵列内的9×9区域配置成根据波束成形发射配置寄存器来工作:

[0187] 发射相位矢量元件选择信号(txPhSelXv[1:0])选择发射信号放置在通过一系列超声换能器向下延伸的五条线2830中的一条线上。该信号实现/选择相位矢量元素,其中:

[0188] “X”指定波束成形空间2840内的X轴列号

[0189] “V”指的是相位矢量(0-4)

[0190] 示例:用于Ph41的txPhSel1y4、用于Ph23的txPhSel3v2

[0191] 值:00=选择txPhA(“A”)

[0192] 01=选择txPhB(“B”)

[0193] 10=选择txPhC(“C”)

[0194] 11=选择txPhD(“D”/无信号/GND)

[0195] 发射相位矢量选择信号(txPhVectSelY[2:0])选择波束成形空间2840中的行的相位矢量。信号实现/选择要应用于每个Y轴行的相位矢量,其中:

[0196] “Y”指定Y轴行号

[0197] 值:000=无/零相位/GND

[0198] 001=相位矢量#0

[0199] 010=相位矢量#1

[0200] 011=相位矢量#2

[0201] 100=相位矢量#3

[0202] 101=相位矢量#4

[0203] 110=无/零相位/GND

[0204] 111=无/零相位/GND

[0205] 图28、图28A和图28B示出了如何在超声传感器中使用这些信号和相关硬件来将实际超声换能器传感器阵列配置成根据波束成形发射配置寄存器来工作。如所示出的,根据发射相位矢量元素选择信号,选择发射信号以放置在沿着一列超声换能器向下延伸的五条线中的一条线上。然后根据发射相位矢量选择信号选择波束成形空间2840中的行的相位矢量。然后将用于超声换能器(例如,PMUT)的所得信号提供给超声换能器的驱动器以进行致动。

[0206] 图29、图29A和图29B示出了根据一些实施方式的二维超声换能器阵列的示例性接收路径架构2900。选择线2910对应于用于接收的rxColSel[k],并且选择线2920对应于用于接收的rxRowSel[k]。可以一起选择多个PMUT来接收信号。来自PMUT的信号被馈送到前端接收器。然后对信号进行滤波,以降低信号带宽之外的噪声。然后将经滤波的信号与ADC进行积分和数字化。在一些实施方式中,PMUT和接收器布局允许PMUT阵列尺寸的直接扩展,这是因为不同的应用可能需要不同的传感器阵列区域。接收器片的数目将通过期望的PMUT阵列尺寸和发射波束之间的最小超声换能器间隔来确定。例如,在一个实施方式中,相邻组的有源超声换能器之间的二十超声换能器最小间隔减少了串扰。

[0207] 在一个实施方式中,接收片与定时块、二维超声换能器阵列以及传感器设备的数字逻辑连接。例如,接收片从定时块接收定时信号。接收片从数字逻辑接收由所有接收片共享的许多静态修整(例如,粗略放大器增益设置、ADC范围设置等)。另外,在一些实施方式中,接收片接收一些对每个接收片唯一的静态调整(例如,测试模式使得能够进行ADC偏移设置)。在一些实施方式中,接收片接收第三放大器级的精细增益控制,其在每个像素Tx/Rx操作之前动态调整。例如,每个接收片向数字逻辑提供8位ADC输出数据。

[0208] 在接收片与二维超声换能器阵列之间,一组列选择开关和解码器逻辑作用于列选择信号以确定哪些列连接至接收片的模拟输入。如果没有为给定的接收片选择列,则列解

码器逻辑不启用接收片。列和行选择逻辑的细节的实施方式在图30A至图30D中进行说明。

[0209] 图30A至图30D示出了根据一些实施方式的用于在接收操作期间选择和路由接收信号的示例性电路。参照图30A, 示例性电路3000示出了根据实施方式的1像素接收选择的示例。每个像素内接收器(例如, 超声换能器的接收器)通过开关连接至其共享列线。当关联的行选择线和列选择线被选定(assert)时, 该开关被致动。然后, 要将此接收器的输出路由到接收片, 并且阵列边缘处的附加开关将选定的列连接至接收链输入。例如, 响应于通过选定 $rxRowSel\langle 2 \rangle$ 和 $rxColSel\langle 3 \rangle$ 而致动开关3004, 致动像素内接收器3002。为了将像素内接收器3002的输出路由到接收片中, 通过 $rxColSel\langle 3 \rangle$ 致动开关3006以将列连接至接收链输入3008。

[0210] 参照图30B, 示例性电路3010示出了根据实施方式的示例性 3×3 像素接收图案。如所示出的, 同时选定多行和多列选择线。例如, 响应于通过选定 $rxRowSel\langle 1 \rangle$ 、 $rxRowSel\langle 2 \rangle$ 和 $rxRowSel\langle 3 \rangle$ 以及 $rxColSel\langle 1 \rangle$ 、 $rxColSel\langle 2 \rangle$ 和 $rxColSel\langle 3 \rangle$ 而致动开关3014a-i来致动像素内接收器3012a-i。为了将像素内接收器3012a-i的输出路由到接收片中, 通过 $rxColSel\langle 1 \rangle$ 、 $rxColSel\langle 2 \rangle$ 和 $rxColSel\langle 3 \rangle$ 致动开关3016a-c以将列连接至接收链输入3018。应当理解的是, 可以选定行选择线和列选择线的任何组合以提供不同尺寸的像素接收图案(例如, 选定相邻两行选择线和相邻两列选择线将提供 2×2 像素接收图案)。

[0211] 参照图30C, 示例性电路3020示出了根据实施方式的示例性 3×3 像素接收图案, 其中, 3×3 像素接收图案在竖向子阵列边界处与两个接收片3030和3032(例如, 两个子阵列)重叠。如所示出的, 多个行选择线和多个列选择线同时被选定, 如图30B中所描述的。然而, 列3022a和3022b的像素内接收器与接收片3030相关联, 并且列3022c的像素内接收器与接收片3032相关联。为了确保接收信号的适当路由, 界定相邻接收片的列3022b和3022c包括额外的开关以支持跨子阵列边界的多像素接收。列选择逻辑确定启用哪些开关来将列输出路由到正确的接收片。

[0212] 在一个实施方式中, 接收图案的中心像素内接收器的接收片用于确定选择哪个接收片用于对接收信号进行接收。如所示出的, 像素内接收器3034是接收图案的中心像素内接收器并且通过接收片3030定位。因此, 列3022a的开关3026a、列3022b的开关3026b和列3022c的开关3026c被致动, 以确保被致动的像素内接收器的输出被路由到接收片3030的输入3028。列3022b的开关3024b和列3022c的开关3024c由于其与接收片3032的输入3038相关联而未被致动。应当理解的是, 可以选择另一个像素内接收器作为代表性像素内接收器。例如, 针对 2×2 接收图案, 没有中心像素。因此, 可以选择任何像素内接收器(例如, 左上像素内接收器)作为用于将接收信号引导至适当的接收片的代表性像素内接收器。

[0213] 参照图30D, 示例性电路3040示出了根据实施方式的示例性 3×3 像素接收图案, 其中, 3×3 像素接收图案在水平子阵列边界处与两个接收片3050和3052(例如, 两个子阵列)重叠。如所示出的, 多个行选择线和多个列选择线同时被选定, 如图30B中所描述的。然而, 行3048a和3048b的像素内接收器(像素内接收器3042a、3042b、3042d、3042e、3042g和3042h)与接收片3050相关联, 并且行3048c的像素内接收器(像素内接收器3042c、3042f和3042i)与接收片3052相关联。为了确保接收信号的适当路由, 界定相邻接收片的行3048b和3048c的像素内接收器包括额外的开关以支持跨子阵列边界的多像素接收。在阵列的上半部分与阵列的下半部分之间的水平边界处, 在阵列的边缘处以及在超声换能器内部需要额

外的开关和控制逻辑(例如,以生成receiveRowSelTop和receiveRowSelBot信号),以便在连接至顶部列线或底部列线之间进行选择。

[0214] 在一个实施方式中,接收模式的中心像素内接收器的接收片用于确定选择哪个接收片来用于对接收信号进行接收。如所示出的,像素内接收器3042e是接收图案的中心像素内接收器并且通过接收片3050定位。因此,开关3044b、3044c、3044e、3044f、3044h和3044i被致动,以确保被致动的像素内接收器的输出被路由到接收片3050的接收链输入。开关3046b、3046c、3046e、3046f、3046h和3046i由于其与接收片3052相关联而未被致动。应当理解的是,可以选择另一像素内接收器作为代表性像素内接收器。例如,针对 2×2 接收图案,没有中心像素。因此,可以选择任何像素内接收器(例如,左上像素内接收器)作为用于将接收信号引导到适当的接收片的代表性像素内接收器。

[0215] 图31A至图34示出了根据各种实施方式的用于操作包括超声换能器的指纹传感器的示例性方法的流程图。将参考本文描述的各种图的元件和/或部件来描述该方法的过程。应当理解的是,在一些实施方式中,可以以与所描述的顺序不同的顺序执行步骤,可以不执行所描述的步骤中的一些步骤,以及/或者可以执行除所描述的步骤之外的一个或多个另外的步骤。流程图包括一些步骤,在各种实施方式中,这些步骤由一个或多个处理器在存储于非暂时性计算机可读存储介质上的计算机可读且计算机可执行的指令的控制下执行。还应理解的是,流程图中描述的一个或多个步骤可以用硬件或硬件与固件和/或软件的组合来实现。

[0216] 图31A和图31B示出了根据各种实施方式的用于发射二维超声换能器阵列的波束成形的示例性方法的流程图。参照图31A,在流程图3100的步骤3110中,定义应用于二维超声换能器阵列的波束成形空间的波束成形图案。波束成形空间包括多个元件,其中,波束成形空间中的每个元件对应于二维超声换能器阵列的超声换能器。波束成形图案识别波束成形空间内的哪些超声换能器在二维超声换能器阵列的发射操作期间被致动,其中,被致动的超声换能器中的至少一些超声换能器相对于被致动的其他超声换能器是相位延迟的。

[0217] 在一个实施方式中,波束成形图案关于波束成形空间的位置对称。在一个实施方式中,该位置是波束成形空间的中心元件。在一个实施方式中,该位置是波束成形空间内某处的元件的交叉点。在一个实施方式中,该位置是将波束成形空间二等分的线。在一个实施方式中,波束成形空间包括 $n \times m$ 个元件。

[0218] 在一个实施方式中,如步骤3112所示,定义多个发射信号,其中,多个发射信号中的每个发射信号相对于多个发射信号中的其他发射信号具有不同的相位延迟,并且其中,与在发射操作期间被致动的超声换能器相对应的元件包括多个发射信号中的相关发射信号。在一个实施方式中,如步骤3114所示,定义了包括多个元件中的一维元件子集的多个相位矢量,其中,多个相位矢量的相位矢量的元件包括零信号和多个发射信号中的一者,并且其中,与在发射操作期间未被致动的超声换能器相对应的元件包括零信号。在一个实施方式中,如步骤3116所示,用多个相位矢量的相位矢量填充波束成形空间。在一个实施方式中,波束成形空间包括 $n \times m$ 个元件,并且其中,多个相位矢量中的每个相位矢量包括 n 个元件。

[0219] 在步骤3120中,将波束成形图案应用于二维超声换能器阵列。

[0220] 在步骤3130中,通过根据波束成形图案致动波束成形空间的超声换能器来执行发

射操作。在一个实施方式中,如步骤3132所示,生成多个发射信号。在一个实施方式中,如步骤3134所示,将多个发射信号应用于在发射操作期间根据波束成形图案被致动的超声换能器。

[0221] 在一个实施方式中,如步骤3140所示,确定在二维阵列内是否存在更多位置来执行发射操作。如果确定存在更多位置,则流程图3100返回到步骤3130,以通过致动用于二维超声换能器阵列内的波束成形空间的多个位置的波束成形空间的超声换能器来重复发射操作。如果确定在二维阵列内没有更多位置来执行发射操作,则如步骤3150所示,发射操作结束。

[0222] 根据各种实施方式,多个波束成形图案可以用于超声传感器中的成像。参照图31B,根据一个实施方式,流程图3100进行到步骤3160,在步骤3160中,定义了应用于二维超声换能器阵列的波束成形空间的第二波束成形图案。第二波束成形图案识别波束成形空间内的哪些超声换能器在二维超声换能器阵列的第二发射操作期间被致动,并且其中,在第二发射操作期间被致动的超声换能器中的至少一些超声换能器相对于在第二发射操作期间被致动的其他超声换能器是相位延迟的。

[0223] 在步骤3170中,将第二波束成形图案应用于二维超声换能器阵列。

[0224] 在步骤3180中,通过根据第二波束成形图案致动波束成形空间的超声换能器来执行第二发射操作。

[0225] 在一个实施方式中,如步骤3190所示,确定在二维阵列内是否存在更多位置来执行第二发射操作。如果确定存在更多位置,则流程图3100返回到步骤3180,以通过致动用于二维超声换能器阵列内的波束成形空间的多个位置的波束成形空间的超声换能器来重复第二发射操作。如果确定在二维阵列内没有更多位置来执行第二发射操作,则如步骤3192所示,第二发射操作结束。

[0226] 图32示出了根据各种实施方式的用于在发射操作期间控制超声传感器的示例性方法的流程图。在流程图3200的步骤3210中,在超声传感器的信号发生器处生成多个发射信号,其中,多个发射信号中的每个发射信号相对于多个发射信号中的其他发射信号具有不同的相位延迟。

[0227] 在步骤3220中,将波束成形空间存储在超声传感器的移位寄存器中,波束成形空间包括波束成形图案以应用于二维超声换能器阵列,其中,波束成形图案识别多个发射信号中的被施加到波束成形空间的在发射操作期间被致动的每个超声换能器的发射信号。在一个实施方式中,二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,多个超声换能器子阵列中的超声换能器的超声换能器子阵列是可独立控制的。在一个实施方式中,如步骤3222所示,波束成形空间的多个实例存储在超声传感器的移位寄存器中,其中,波束成形空间的每个实例对应于不同的超声换能器子阵列,并且其中,波束成形空间的每个实例包括波束成形图案。

[0228] 在步骤3230中,根据波束成形图案对超声换能器在发射操作期间的致动进行控制。在一个实施方式中,如步骤3232所示,根据波束成形空间的每个实例的波束成形图案对多于一个的超声换能器子阵列中的超声换能器在发射操作期间的致动进行控制,其中,波束成形图案应用于并列的多于一个的超声换能器子阵列。

[0229] 在步骤3240中,波束成形空间在移位寄存器内的位置移位成使得波束成形空间相

对于二维超声换能器阵列移动。在一个实施方式中,如步骤3242所示,移位寄存器内的波束成形空间的每个实例的位置跨越多个超声换能器子阵列平行地移位。

[0230] 图33示出了根据各种实施方式的用于在接收操作期间控制超声传感器的示例性方法的流程图。在流程图3300的步骤3310处,使用多个移位寄存器选择二维超声换能器阵列的超声换能器的接收模式以在接收操作期间致动。二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,多个超声换能器子阵列的超声换能器子阵列是可独立控制的或可共同控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关的接收通道。在一个实施方式中,接收图案指定超声换能器的 2×2 部分。在一个实施方式中,接收图案指定超声换能器的 3×3 部分。

[0231] 在步骤3320中,根据接收图案对在接收操作期间致动的超声换能器的选择进行控制。在一个实施方式中,如步骤3322所示,根据来自多个移位寄存器的控制位将选择信号应用于二维阵列的列和行,其中,在接收操作期间致动的超声换能器位于由选择信号指定的列和行的交叉点处。

[0232] 在步骤3330中,接收图案在多个移位寄存器内的位置移位成使得在接收操作期间致动的超声换能器在二维超声换能器阵列内相对于二维超声换能器阵列移动。

[0233] 在一个实施方式中,如步骤3340所示,来自一个或多个选定超声换能器的接收信号在接收操作期间被引导到选定的接收通道。在一个实施方式中,如步骤3350所示,响应于与多个超声换能器子阵列中的至少两个子阵列重叠的接收图案来控制超声传感器的开关,其中,所接收的信号用于接收图案的所有超声换能器的接收信号在接收操作期间被引导至选定的接收通道。

[0234] 在一个实施方式中,如步骤3352所示,开关被控制成使得用于接收图案的所有超声换能器的接收信号在接收操作期间被引导到包括接收图案的中心超声换能器的子阵列的选定接收通道。在另一实施方式中,如步骤3354所示,开关被控制成使得用于接收图案的所有超声换能器的接收信号在接收操作期间被引导到包括接收图案的代表性超声换能器的子阵列的选定接收通道。应当理解的是,可以选择接收图案的任何超声换能器作为代表性超声换能器。在接收图案是 2×2 超声换能器的一个实施方式中,代表性超声换能器是接收图案的左上超声换能器。

[0235] 图34示出了根据各种实施方式的用于在成像操作期间控制超声传感器的示例性方法的流程图。在流程图3400的步骤3410中,根据二维超声换能器阵列的位置处的波束成形图案发射多个超声信号。波束成形图案识别二维超声换能器阵列的在超声信号的发射期间被致动的超声换能器,这些超声换能器在被致动时将多个超声信号集中到二维超声换能器阵列上方的位置。波束成形图案的至少一些超声换能器相对于波束成形图案的其他超声换能器是相位延迟的。在一个实施方式中,如步骤3412所示,多个超声信号的发射在二维阵列的多个位置(例如,二维阵列的多个位置的位置子集)处并行执行。例如参照图23,波束成形图案2320a、2320b和2320c并行地发射超声信号。在一个实施方式中,多个位置中的在发射期间致动的位置由多个未致动的超声换能器分开。

[0236] 在步骤3420中,根据接收图案接收至少一个反射的超声信号,其中,接收图案识别二维超声换能器阵列的在接收期间被致动的至少一个超声换能器。在一个实施方式中,如步骤3422所示,多个超声信号的接收在二维阵列的多个位置(例如,二维阵列的多个位置的位置子集)处并行执行。例如参照图23,接收图案2330a、2330b和2330c并行接收反射的超声

信号。在一个实施方式中,多个位置中的在接收期间致动的位置由多个未致动的超声换能器分开。在一个实施方式中,由波束成形图案识别的超声换能器不同于由接收模式识别的超声换能器(例如,超声换能器不用于在一位置处发射和接收)。应当理解的是,超声换能器可用于在不同位置处发射超声信号并接收反射的超声信号。在其他实施方式中,波束成形图案和接收图案可以识别用于发射超声信号并接收反射的超声信号的至少一个超声换能器。

[0237] 在一个实施方式中,如步骤3430所示,针对每个位置,接收的超声信号被引导到与该位置相关联的接收通道。在一个实施方式中,如步骤3440所示,基于至少一个反射的超声信号生成图像的像素。

[0238] 在步骤3450中,确定是否存在二维超声换能器阵列的更多位置来发射超声信号并接收反射的超声信号。在一个实施方式中,如果确定存在更多位置,则流程图3400进行到步骤3460,其中,波束成形图案和接收图案的位置被移位。在一个实施方式中,波束成形图案存储在多个第一移位寄存器(例如,选择移位寄存器2620、相位选择移位寄存器2622和相位矢量选择移位寄存器2640)中,并且接收图案存储在多个第二移位寄存器(例如,列选择移位寄存器2630、列选择移位寄存器2632和行选择移位寄存器2650)中。在一个实施方式中,多个第一移位寄存器包括波束成形图案的多个实例。在一个实施方式中,多个第二移位寄存器包括接收图案的多个实例。在一个实施方式中,使波束成形图案的位置移位包括使多个第一移位寄存器内的波束成形图案移位,并且使接收图案的位置移位包括使多个第二移位寄存器内的接收图案移位。在完成步骤3460后,流程图3400进行到步骤3410,其中,针对另一位置或另外的多个位置重复步骤3410和3420。

[0239] 参考步骤3450,在一个实施方式中,如果确定没有更多的位置保持发射超声信号并接收反射的超声信号,则流程图3400进行到步骤3470。在一个实施方式中,在步骤3470中,基于在每个位置处生成的像素生成图像。

[0240] 作为简短总结,本文公开了至少下列广泛的概念:

[0241] 概念1.一种超声传感器,所述超声传感器包括:

[0242] 二维超声换能器阵列,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;

[0243] 多个移位寄存器,所述多个移位寄存器被配置成选择所述二维超声换能器阵列中的超声换能器的接收图案以在接收操作期间进行致动;以及

[0244] 阵列控制器,所述阵列控制器被配置成根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制,并且所述阵列控制器被配置成使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动。

[0245] 概念2.根据概念1所述的超声传感器,其中,所述超声换能器是压电式微机械超声换能器PMUT装置。

[0246] 概念3.根据概念1所述的超声传感器,其中,所述PMUT装置包括内部支承结构。

[0247] 概念4.根据概念1所述的超声传感器,其中,所述多个移位寄存器包括列选择移位寄存器和行选择移位寄存器。

[0248] 概念5.根据概念4所述的超声传感器,其中,通过将选择信号施加至由所述列选择移位寄存器选择的列和由所述行选择移位寄存器选择的行来致动超声换能器,其中,所述超声换能器位于所述列与所述行的交叉点处。

[0249] 概念6.根据概念1所述的超声传感器,还包括:

[0250] 位于相邻子阵列之间的边界区域处的开关,其中,所述开关被控制成在所述接收操作期间将来自超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

[0251] 概念7.根据概念6所述的超声传感器,其中,阵列控制逻辑电路被配置成响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述开关,其中,所述阵列控制逻辑电路在所述接收操作期间将来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号引导至所选择的接收通道。

[0252] 概念8.根据概念7所述的超声传感器,针对包括中心超声换能器的接收图案,所述阵列控制逻辑电路被配置成控制所述开关,使得来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至与包括所述中心超声换能器的所述子阵列相对应的接收通道。

[0253] 概念9.根据概念7所述的超声传感器,其中,所述阵列控制逻辑电路被配置成选择所述接收图案的代表性超声换能器并控制所述开关,使得来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至与包括所述代表性超声换能器的所述子阵列相对应的接收通道。

[0254] 概念10.根据概念1所述的超声传感器,其中,所述接收图案包括 2×2 个超声换能器。

[0255] 概念11.根据概念1所述的超声传感器,其中,所述接收图案包括 3×3 个超声换能器。

[0256] 概念12.一种用于控制超声传感器的方法,所述方法包括:

[0257] 使用多个移位寄存器对所述二维超声换能器阵列中的待接收操作期间致动的超声换能器的接收图案进行选择,其中,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;

[0258] 根据所述接收图案对在所述接收操作期间被致动的超声换能器的选择进行控制;以及

[0259] 使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动。

[0260] 概念13.根据概念12所述的方法,其中,根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制包括:

[0261] 将选择信号施加至由所述多个移位寄存器选择的二维阵列的列和行,其中,在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器位于所选择的列与所选择的行的交叉点处。

[0262] 概念14.根据概念12所述的方法,还包括:

[0263] 在所述接收操作期间将来自超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

[0264] 概念15.根据概念14所述的方法,其中,在所述接收操作期间将来自超声换能器的

接收信号引导至选择的接收通道包括：

[0265] 响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关,其中,来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至所选择的接收通道。

[0266] 概念16.根据概念15所述的方法,其中,响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关包括：

[0267] 在所述接收图案包括中心超声换能器的情况下,控制所述开关使得所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述中心超声换能器的所述子阵列的接收通道。

[0268] 概念17.根据概念15所述的方法,其中,响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述超声传感器的开关包括：

[0269] 选择所述接收图案的代表性超声换能器;以及

[0270] 控制所述开关使得来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述代表性超声换能器的所述子阵列的接收通道。

[0271] 概念18.一种超声传感器控制系统,包括：

[0272] 多个移位寄存器,所述多个移位寄存器被配置成选择二维超声换能器阵列的超声换能器的接收图案以在接收操作期间致动,所述二维超声换能器阵列包括多个超声换能器子阵列,其中,所述多个超声换能器子阵列中的超声换能器子阵列是能够独立控制的,并且其中,超声换能器子阵列具有相关联的接收通道;以及

[0273] 阵列控制器,所述阵列控制器被配置成根据所述接收图案对所述超声换能器在所述接收操作期间的选择进行控制,并且所述阵列控制器被配置成使所述接收图案在所述多个移位寄存器内的位置移位,使得在所述接收操作期间被致动的所述超声换能器相对于所述二维超声换能器阵列移动且在所述二维超声换能器阵列内移动。

[0274] 概念19.根据概念18所述的超声传感器控制系统,其中,所述多个移位寄存器包括列选择移位寄存器和行选择移位寄存器。

[0275] 概念20.根据概念19所述的超声传感器控制系统,其中,通过将选择信号施加至由所述列选择移位寄存器选择的列和由所述行选择移位寄存器选择的行来致动超声换能器,其中,所述超声换能器位于所选择的列与所选择的行的交叉点处。

[0276] 概念21.根据概念18所述的超声传感器控制系统,还包括：

[0277] 位于相邻子阵列之间的边界区域处的开关,其中,所述开关被控制成在所述接收操作期间将来自超声换能器的接收信号引导至选择的接收通道。

[0278] 概念22.根据概念21所述的超声传感器控制系统,其中,阵列控制逻辑电路被配置成响应于与所述多个超声换能器子阵列中的至少两个超声换能器子阵列重叠的所述接收图案来控制所述开关,其中,所述阵列控制逻辑电路在所述接收操作期间将来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号引导至所选择的接收通道。

[0279] 概念23.根据概念22所述的超声传感器控制系统,针对包括中心超声换能器的接收图案,所述阵列控制逻辑电路被配置成控制所述开关,使得来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述中心超声换能器的所述子阵列的接收通道。

[0280] 概念24. 根据概念22所述的超声传感器控制系统, 其中, 所述阵列控制器被配置成选择所述接收图案的代表性超声换能器并控制所述开关, 使得来自所述接收图案的所有超声换能器的所述接收信号在所述接收操作期间被引导至包括所述代表性超声换能器的所述子阵列的接收通道。

[0281] 以上描述的内容包括本主题公开的示例。当然, 出于描述主题的目的, 不可能描述部件或方法的每个可想到的组合, 但是应当理解的是, 本主题公开的许多另外的组合和置换是可能的。因此, 所要求保护的主题旨在涵盖落入所附权利要求的精神和范围内的所有这些改变、修改和变化。

[0282] 特别地并且关于由上述部件、装置、电路、系统等执行的各种功能, 除非另有说明, 否则用于描述这些部件的术语(包括对“器件”的引用)旨在对应于执行所描述的部件的指定功能的任何部件(例如, 功能等同物), 这些部件即使在结构上不等同于所公开的结构, 但其在所要求保护的主题的本文中示出的示例性方面中执行功能。

[0283] 已经关于若干部件之间的交互的方面对前述系统和部件进行了描述。可以理解的是, 根据前述的各种排列和组合, 这样的系统和部件可以包括那些部件或指定的子部件、一些指定的部件或子部件、和/或附加部件。子部件也可以实现为通信地耦接至其他部件而非被包括在父部件(分层)内的部件。另外, 应该指出的是, 一个或更多个部件可以组合成提供聚合功能的单个部件或者分成若干个单独的子部件。本文中所描述的任何部件还可以与本文未具体描述的一个或更多个其他部件交互。

[0284] 另外, 尽管可能仅关于若干实施方案中的一个实施方案而公开了本主题创新的特定特征, 但是这样的特征可以与其他实施方案的一个或更多个其他特征组合, 如对于任何给定或特定的应用可能期望和有利的。此外, 就在详细描述或权利要求中使用的术语“包括”、“包含”、“具有”、“含有”、其变型以及其他类似词语而言, 这些术语旨在以类似于术语“包括”作为开放的过渡词的方式解释而不排除任何附加或其他元件。

[0285] 因此, 呈现本文中所阐述的实施方式和示例是为了最好地解释本发明的各种选定实施方式及其特定应用, 从而使本领域技术人员能够制造和使用本发明的实施方式。然而, 本领域技术人员将认识到的是, 仅出于说明和示例的目的呈现了前述描述和示例。所阐述的描述并非旨在穷举或将本发明的实施方式限于所公开的精确形式。

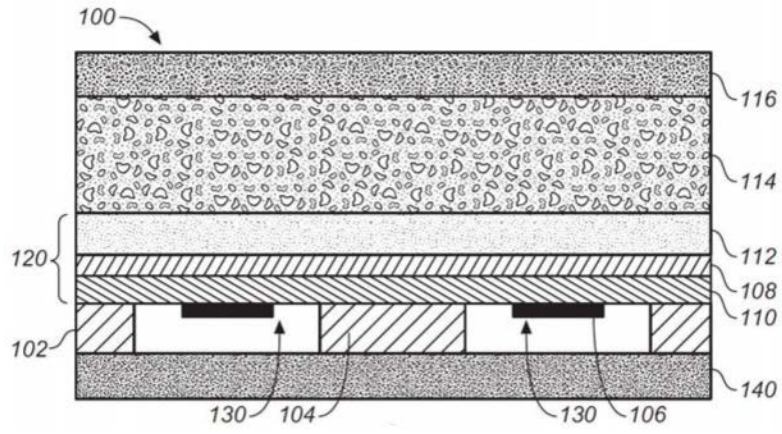


图1A

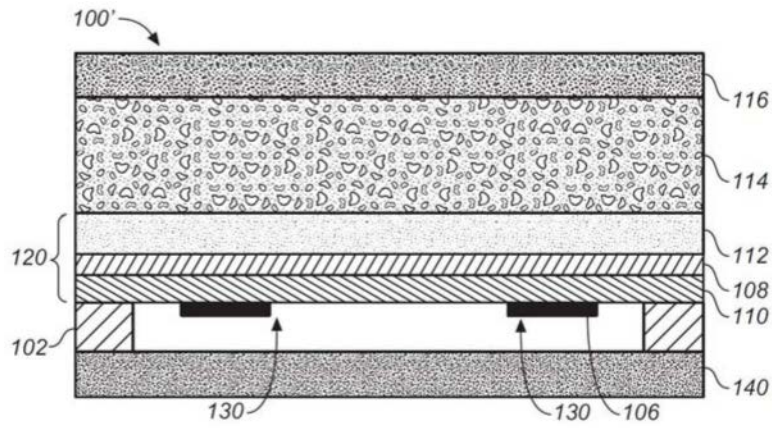


图1B

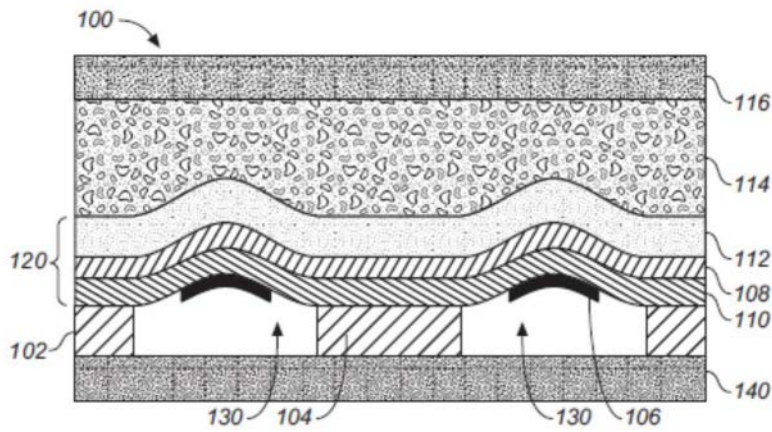


图2

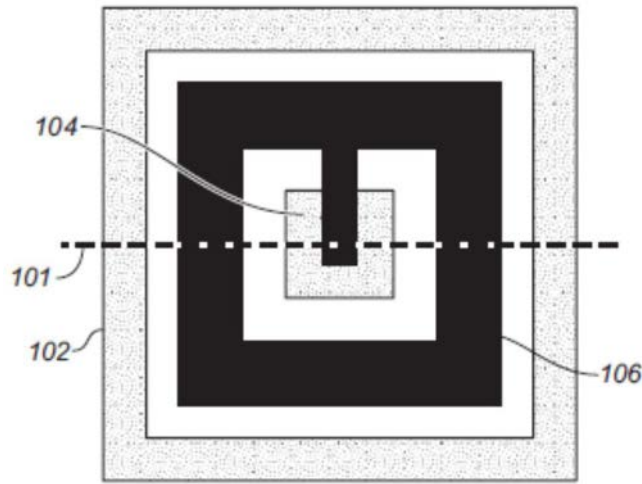


图3

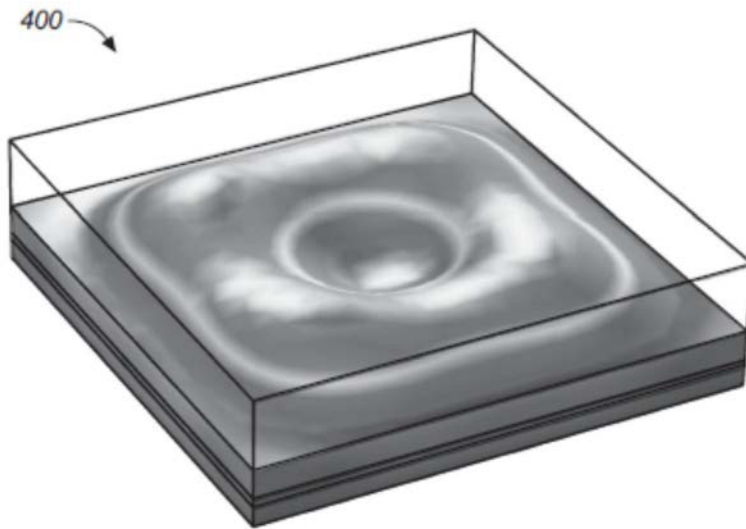


图4

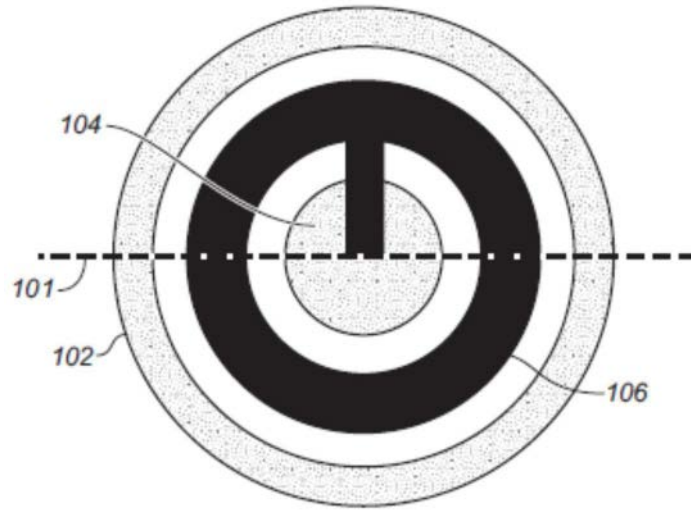


图5

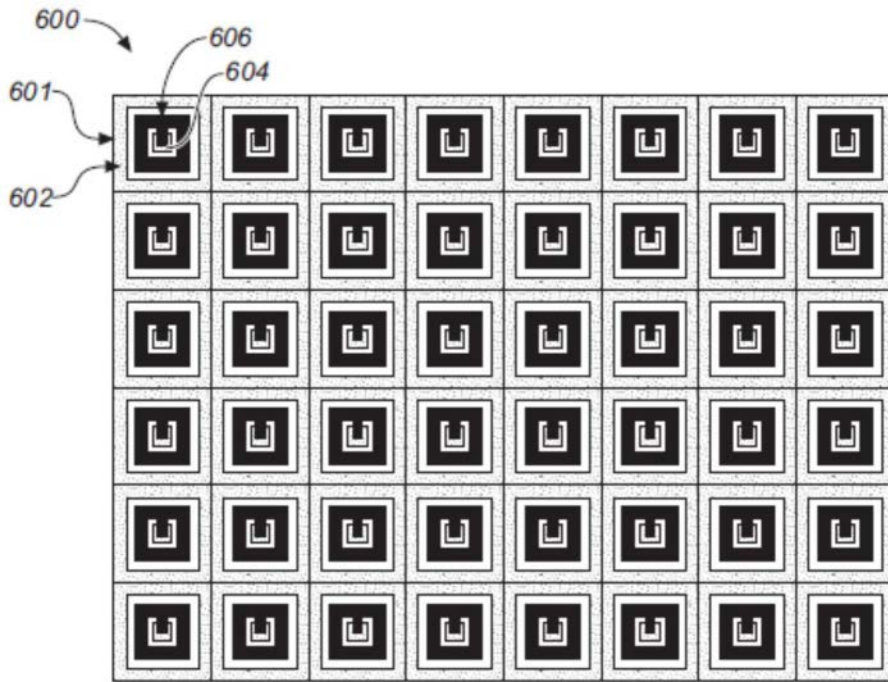


图6

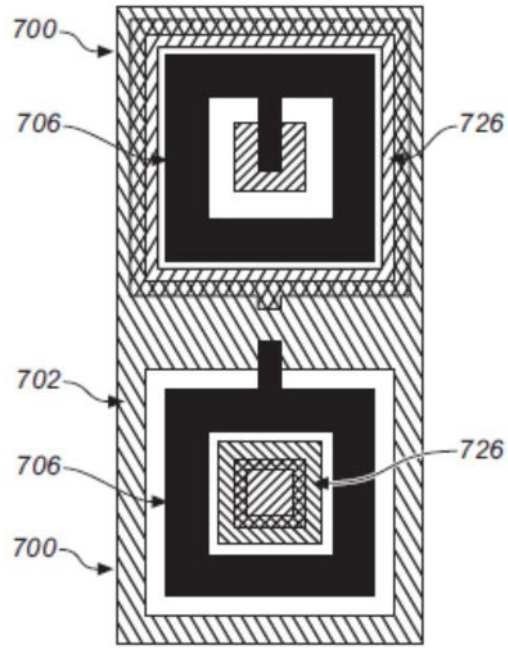


图7

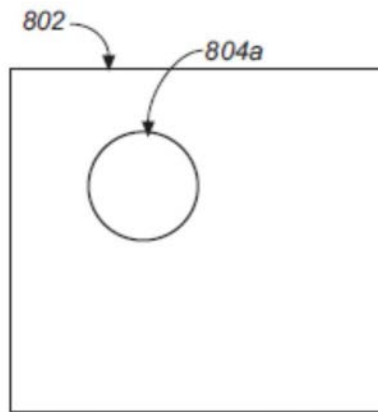


图8A

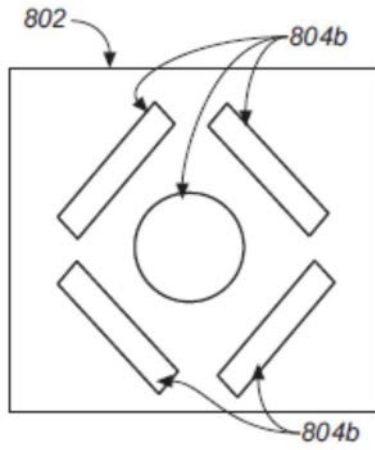


图8B

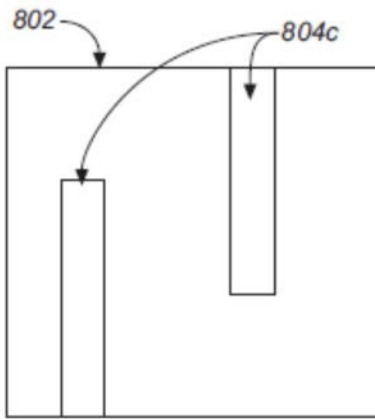


图8C

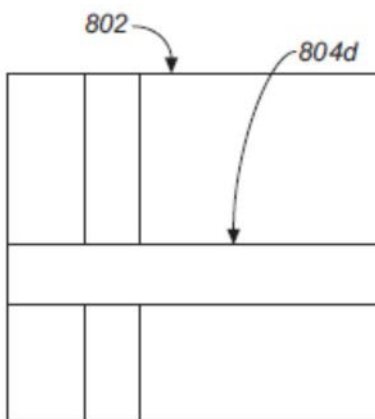


图8D

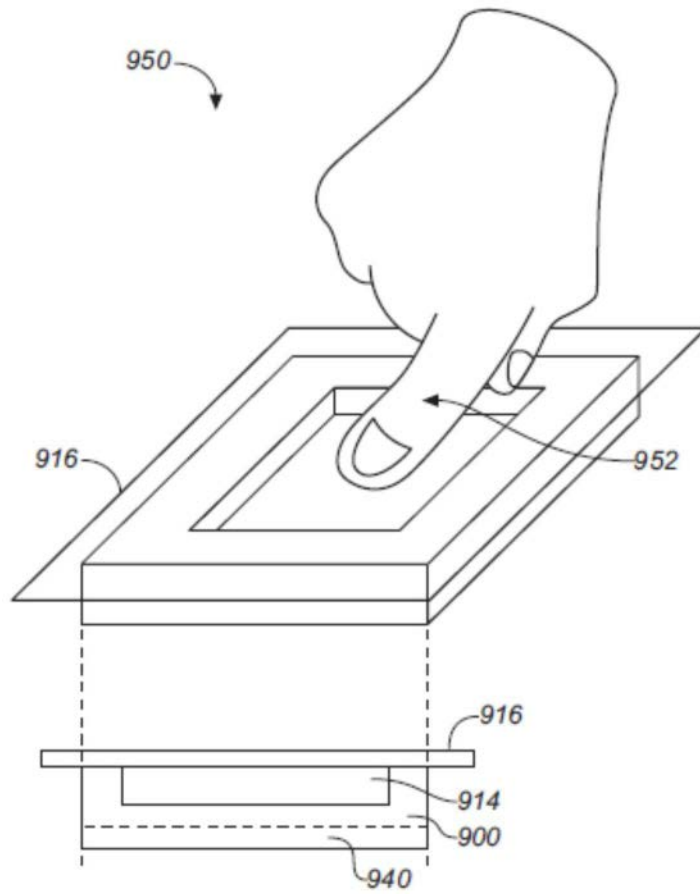


图9

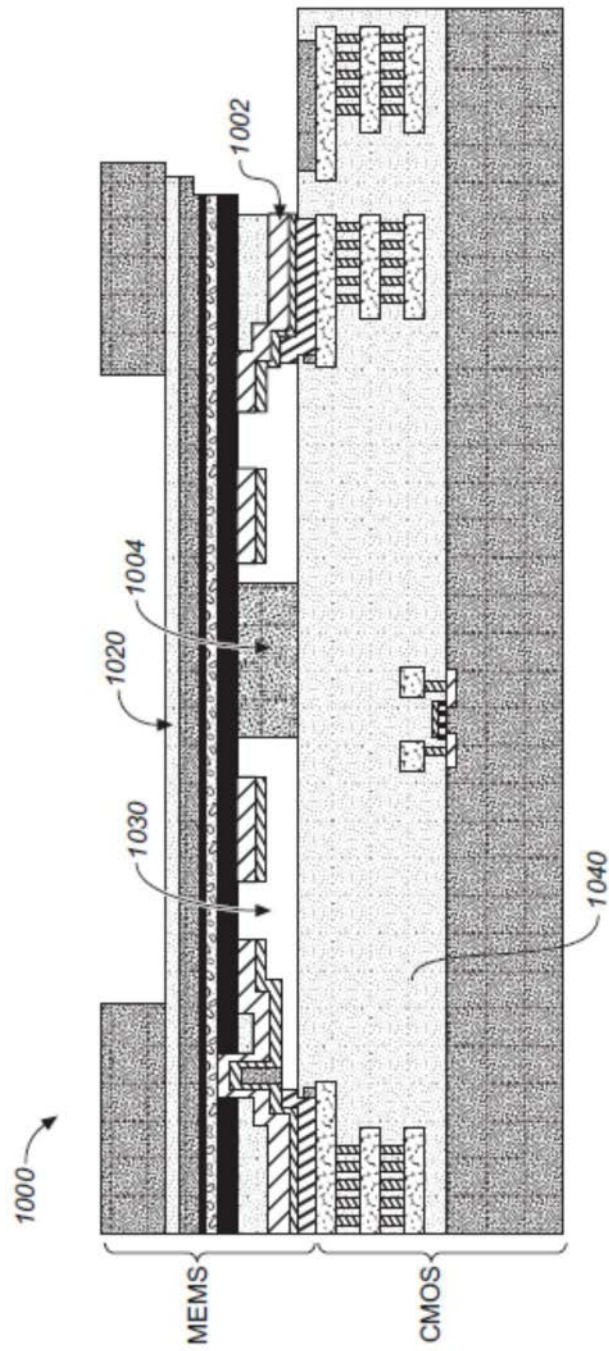


图10

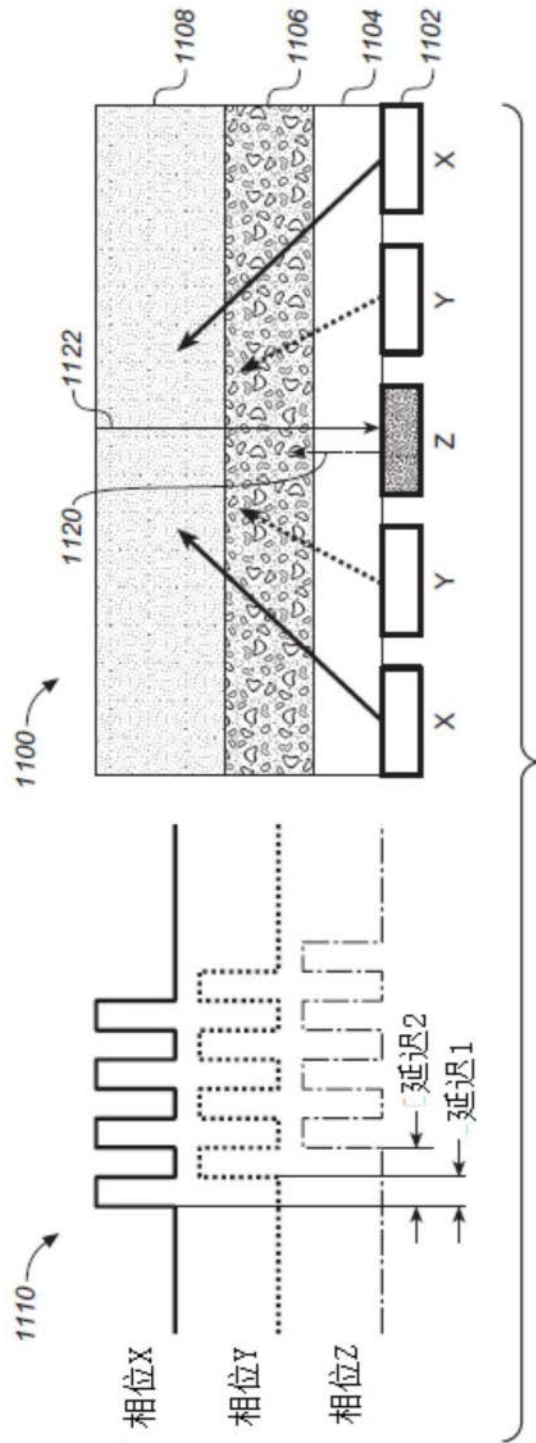


图 11

图11

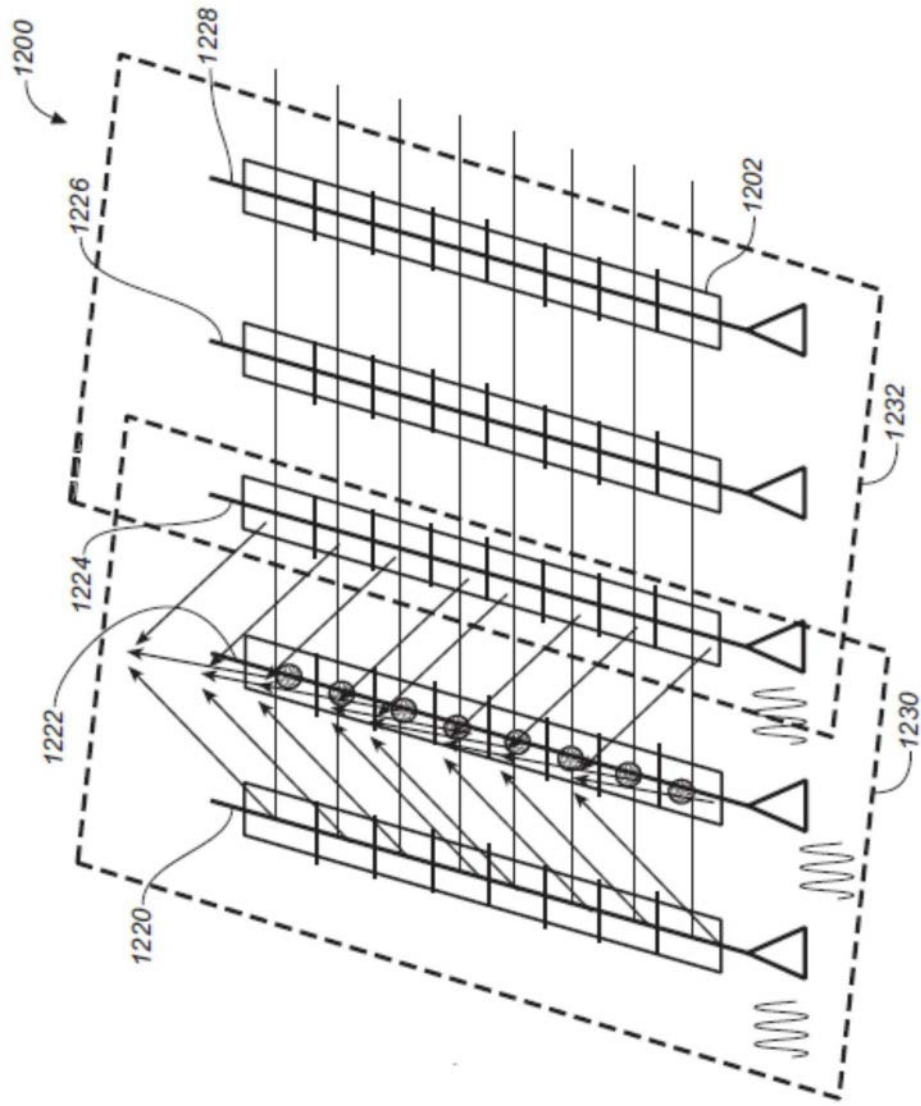


图12

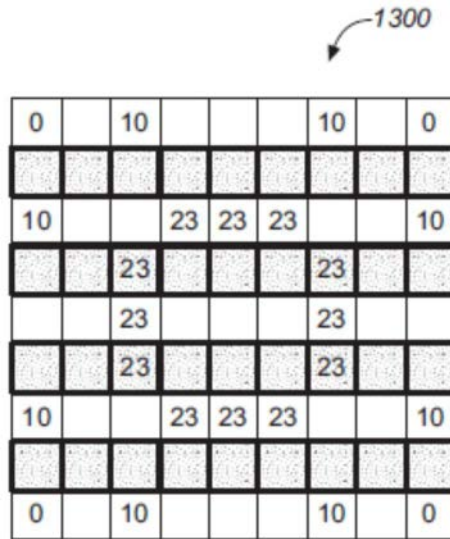


图13

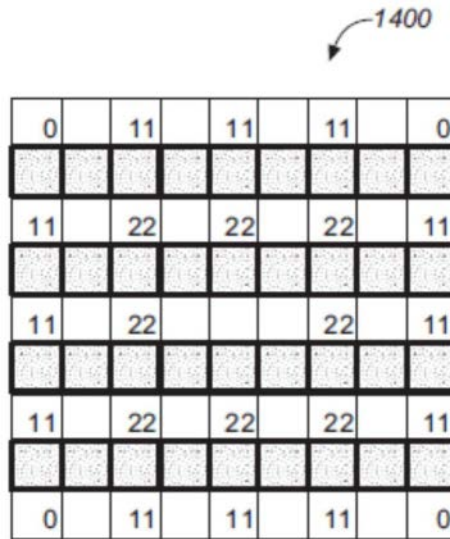


图14

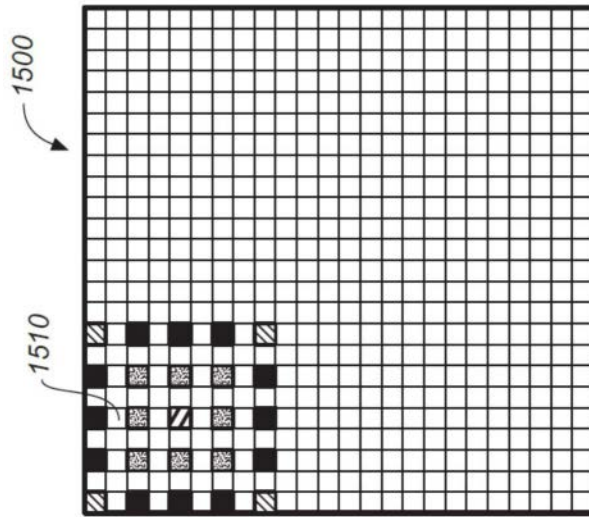


图15A

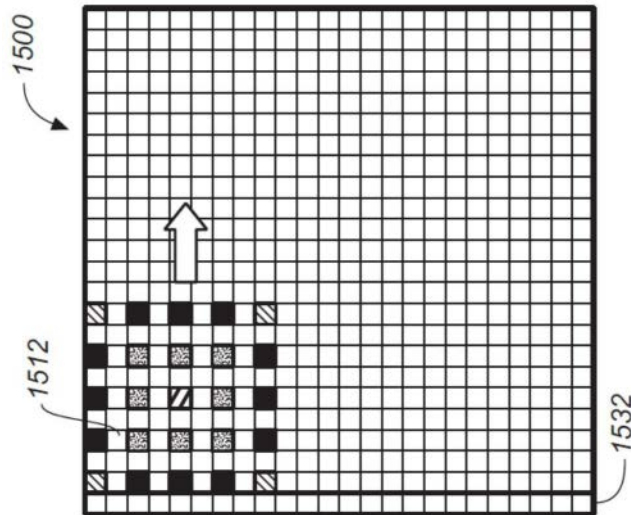


图15B

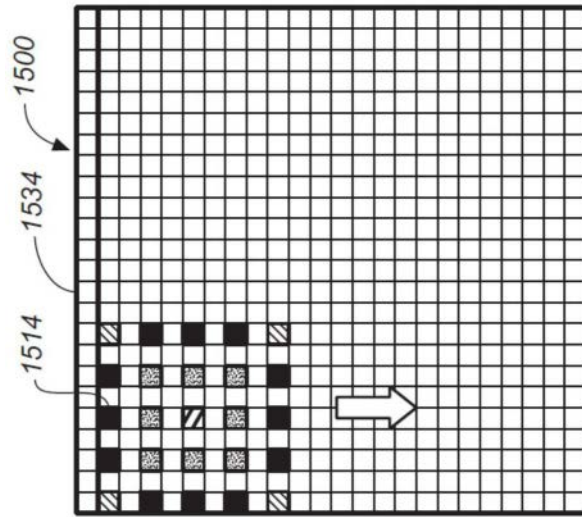


图15C

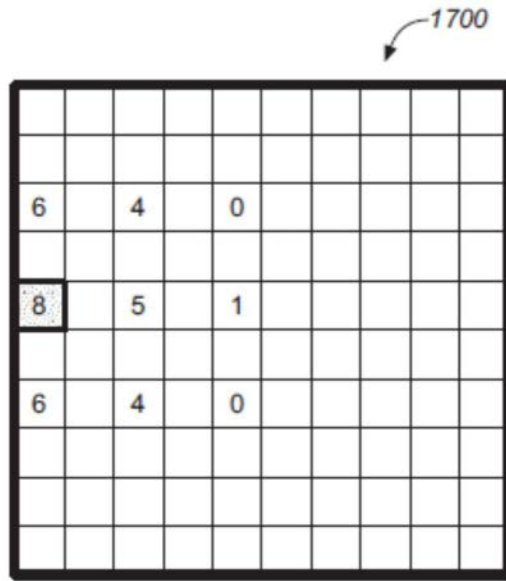


图17A

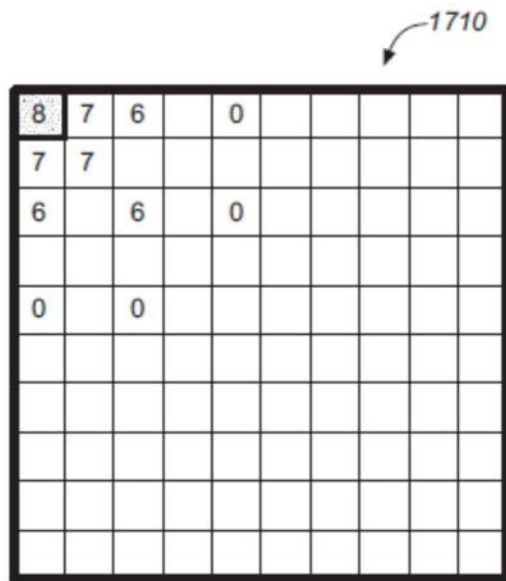


图17B

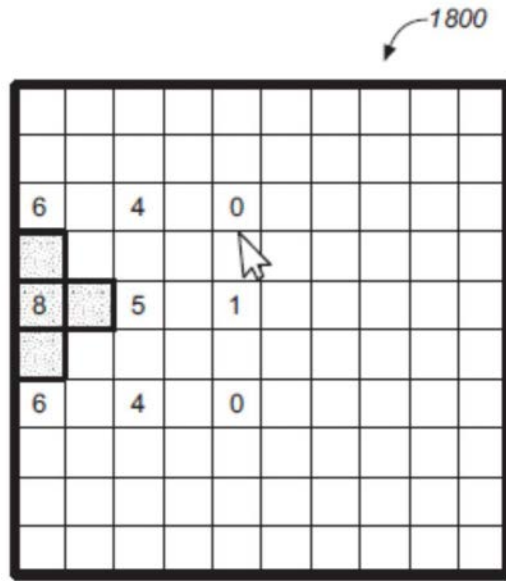


图18A

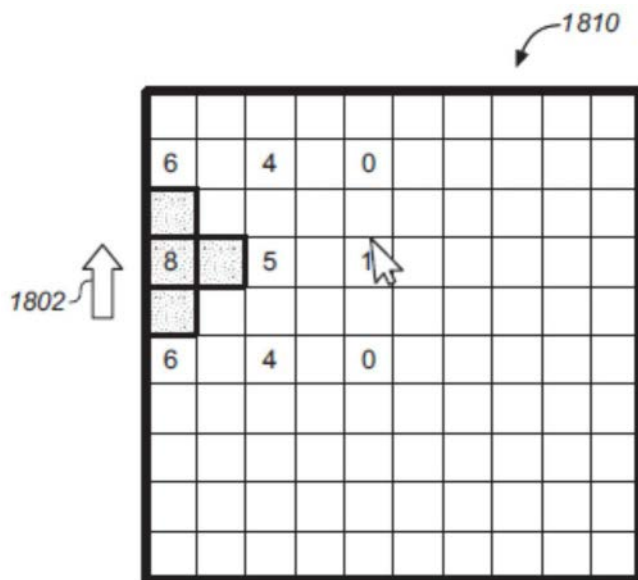


图18B

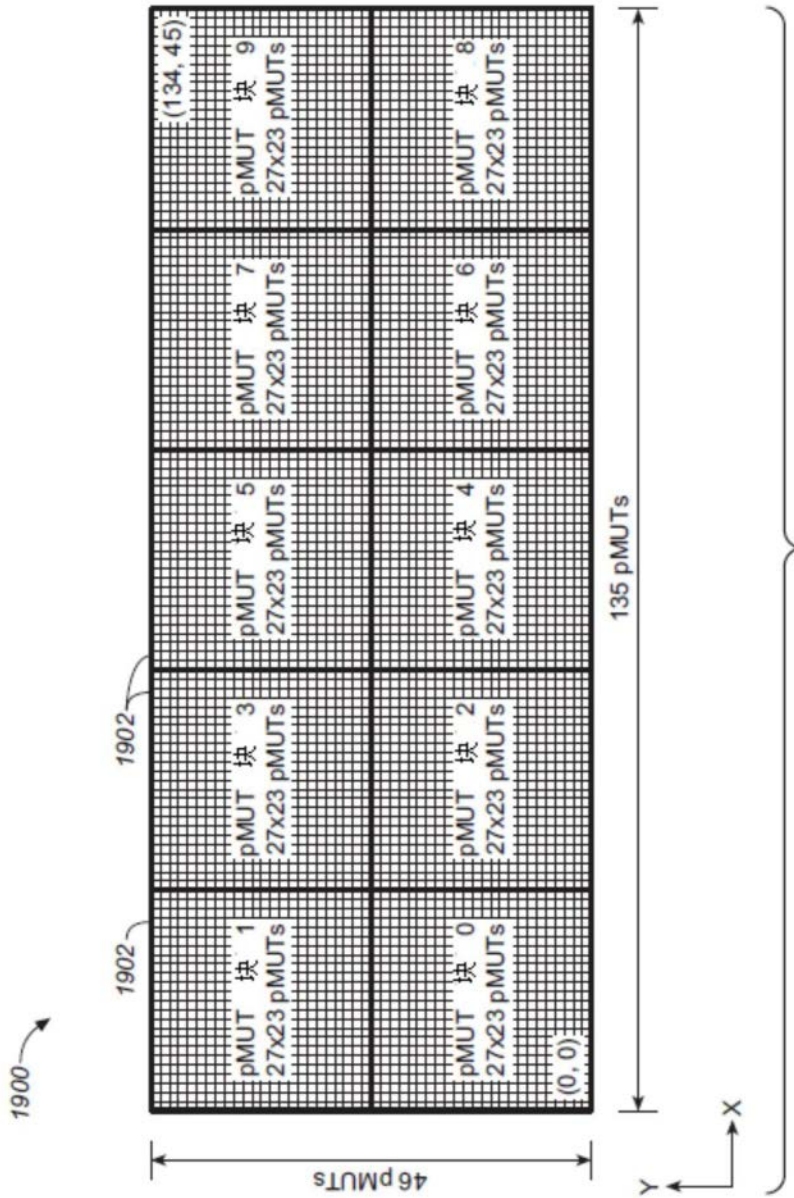


图 19

图19

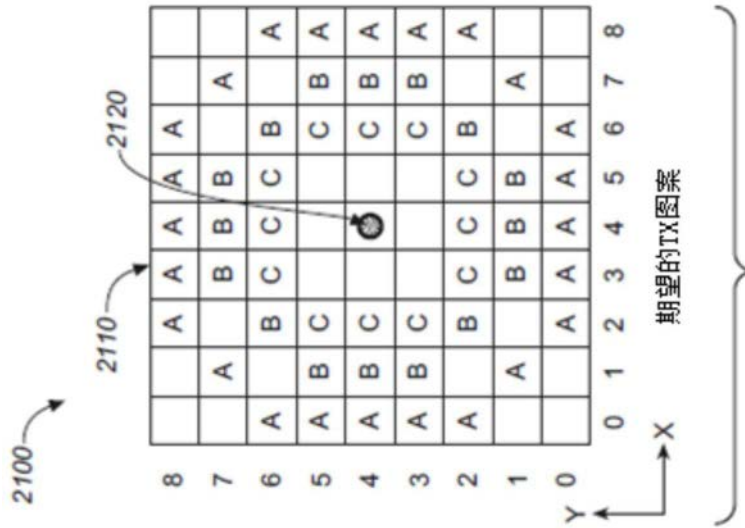


图21A

图 21A

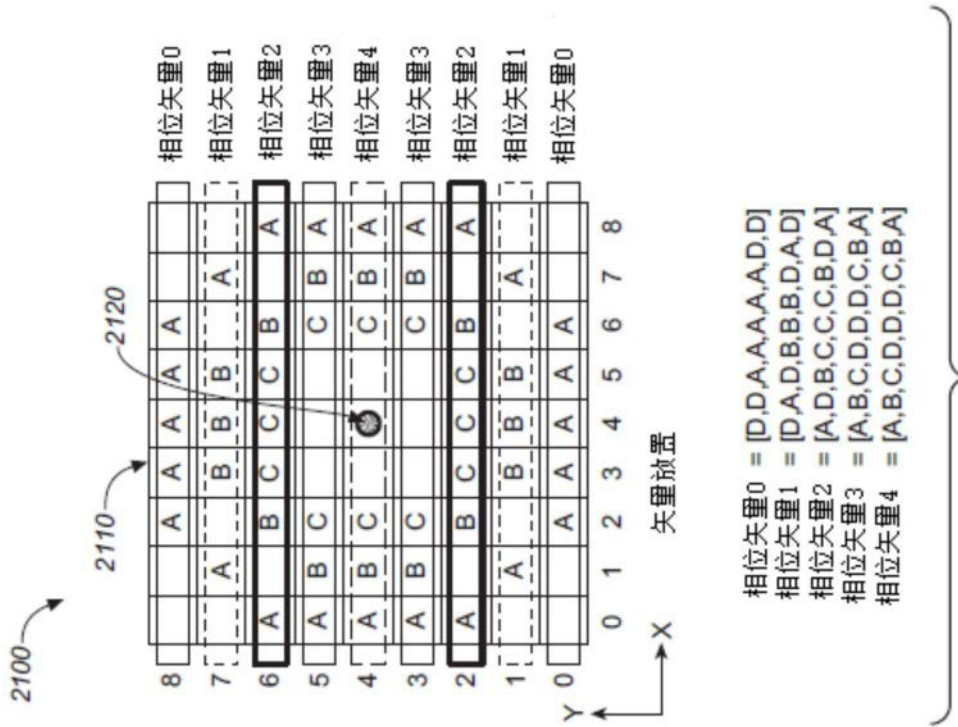


图21B

图 21B

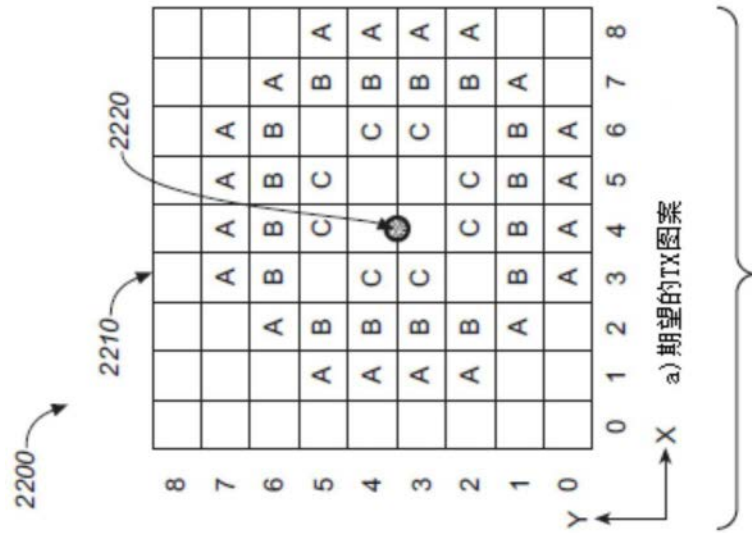


图 22A

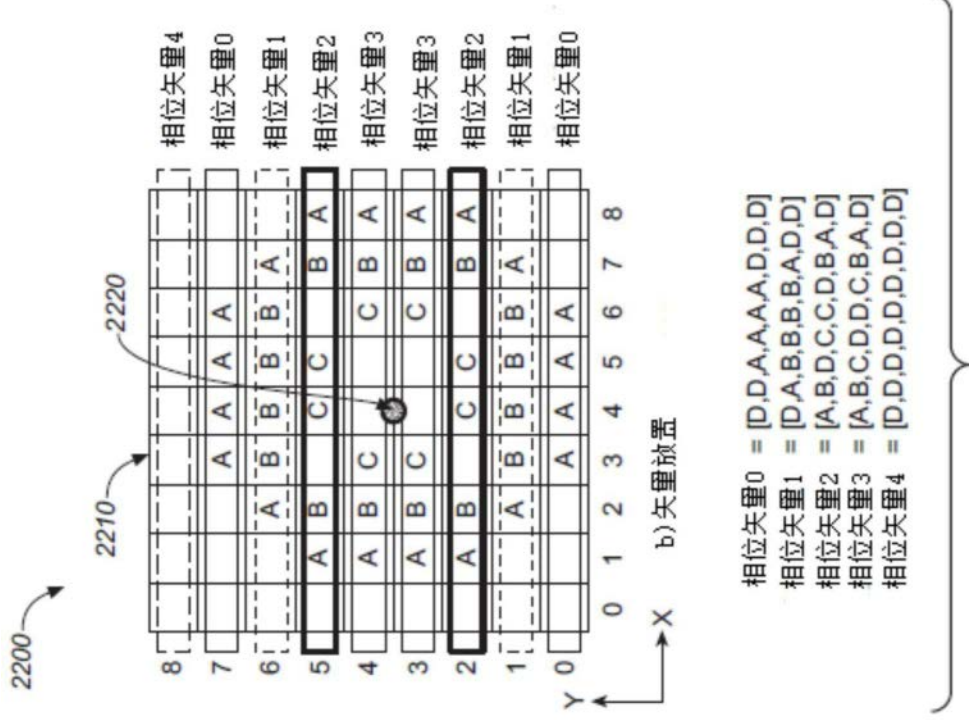


图 22B

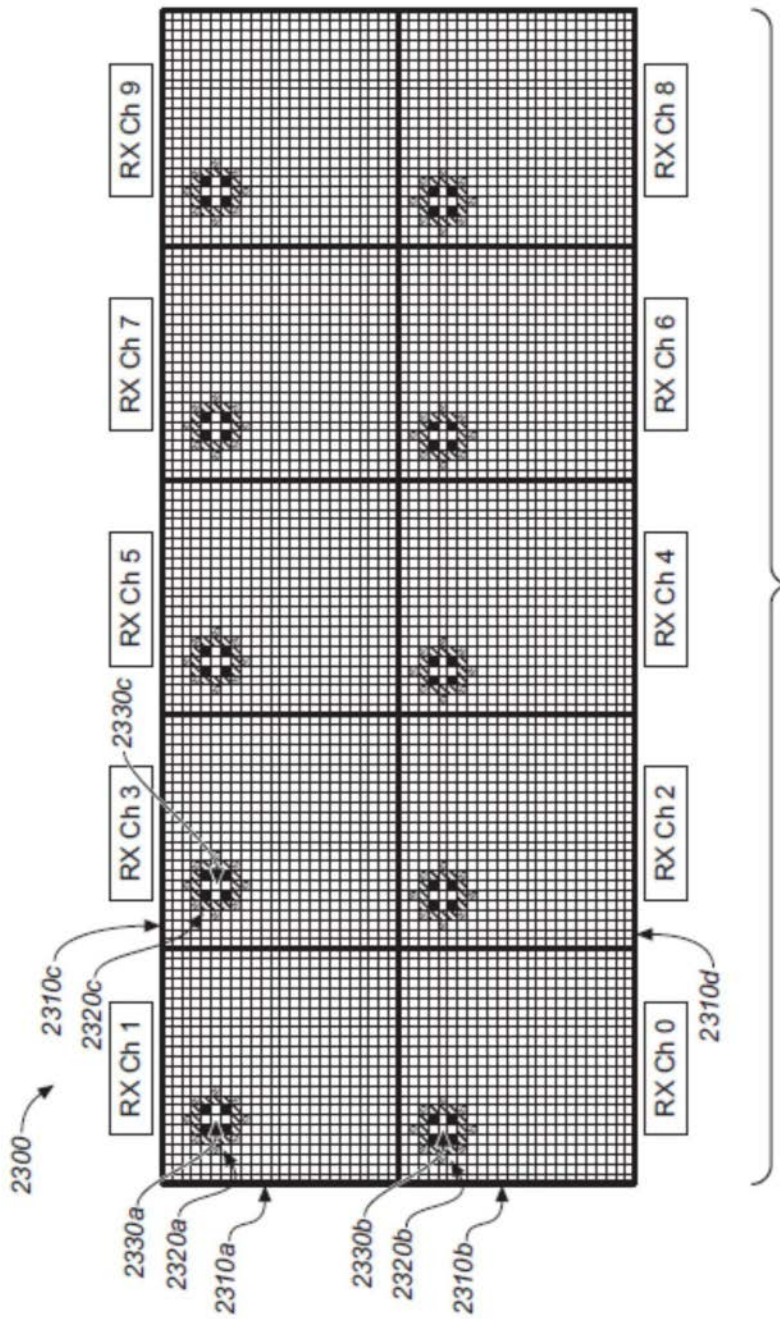


图23

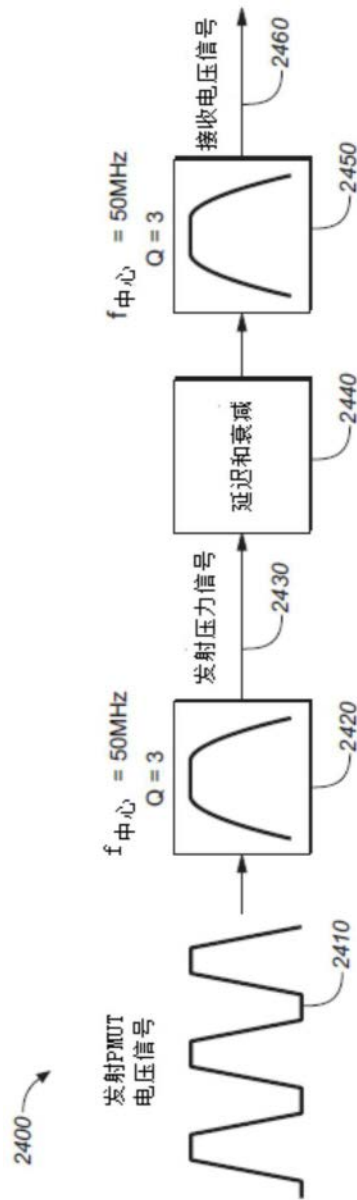


图24

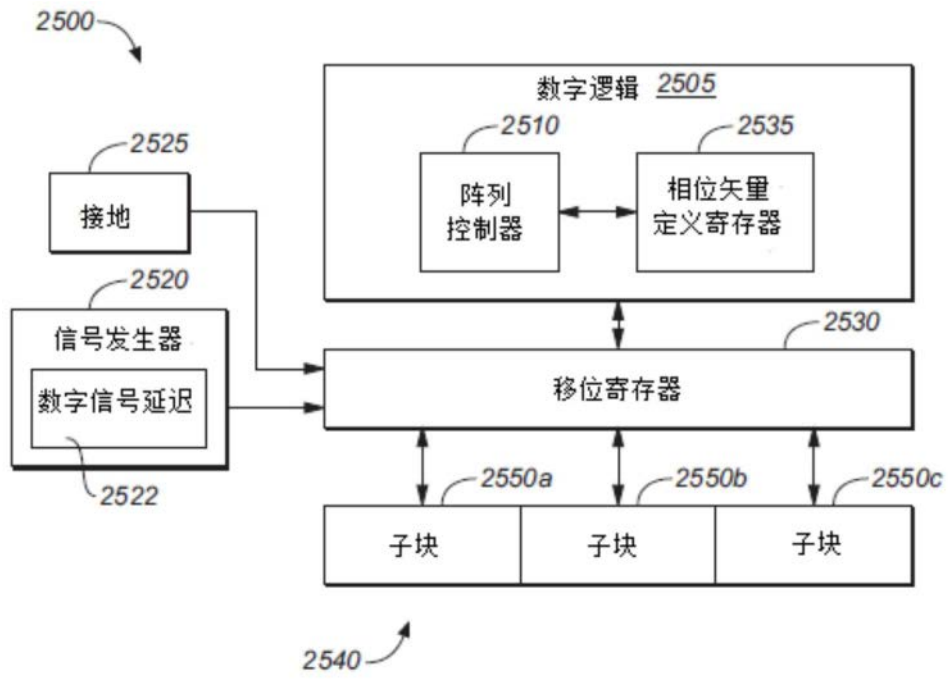


图25

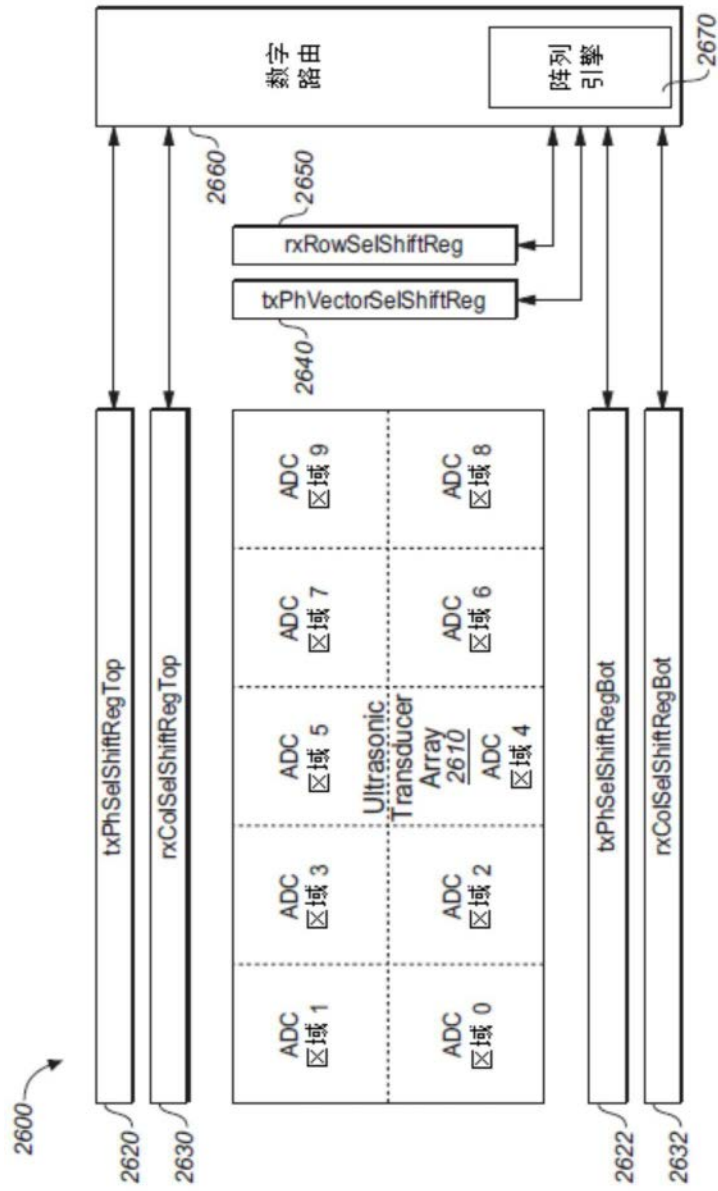


图26A

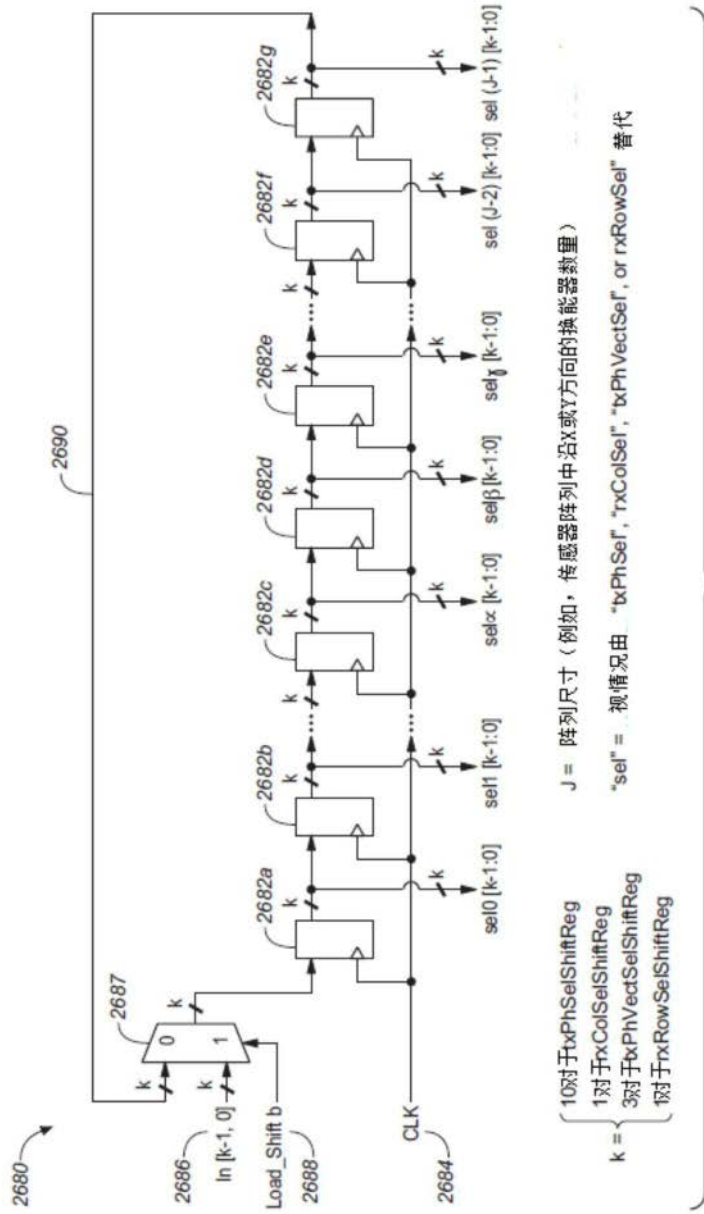


图 26B

图26B

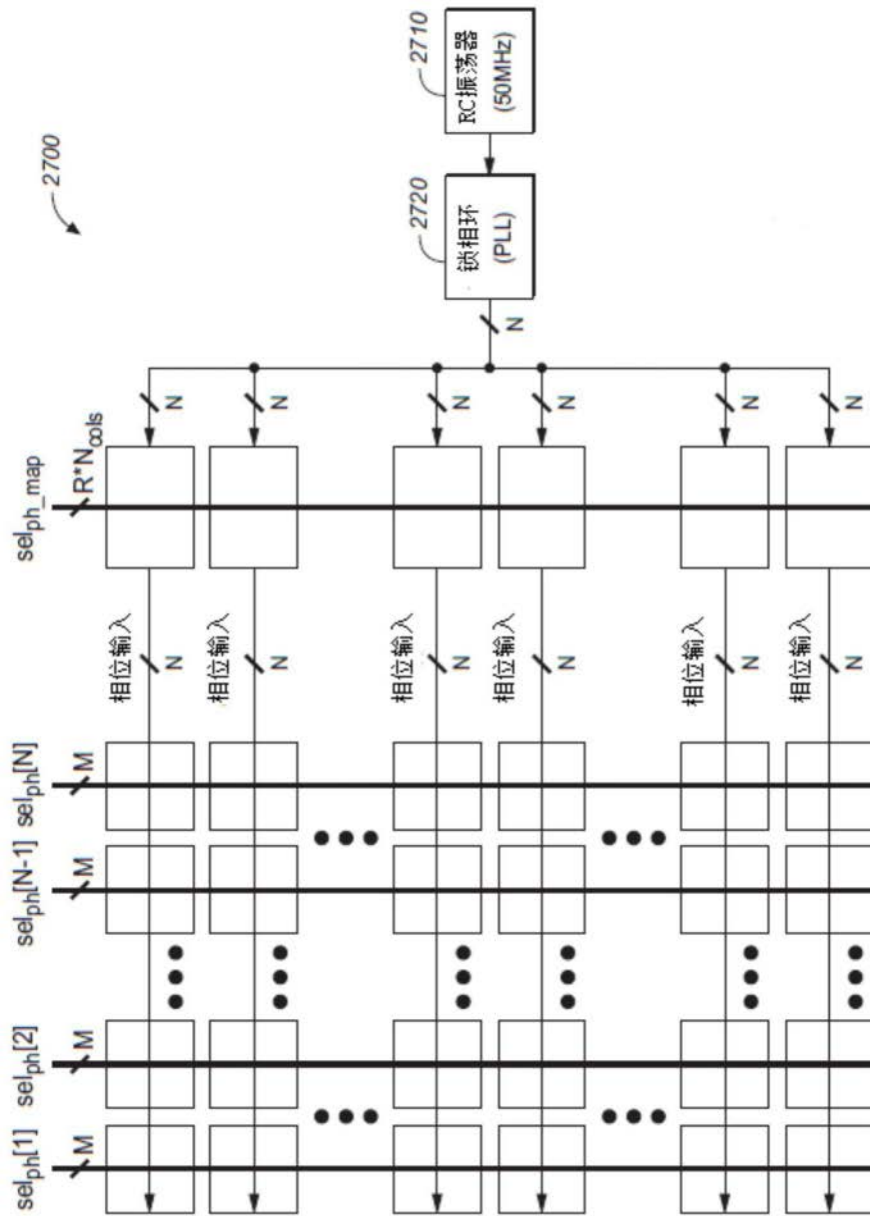


图27

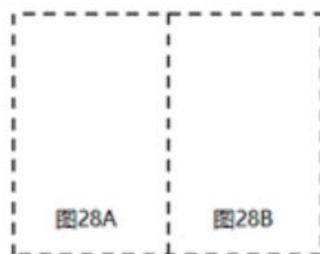


图28

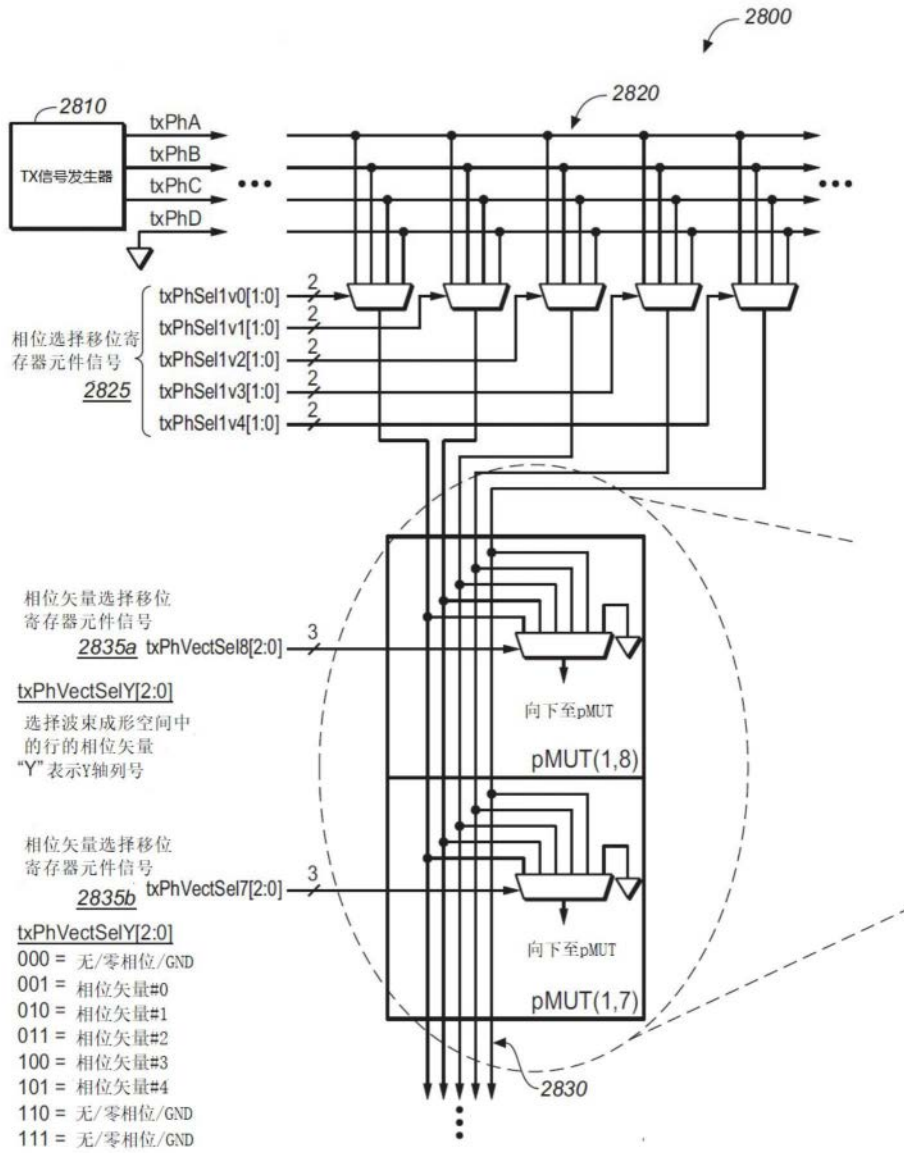


图28A

txPhSelXvV[1:0]

选择 Tx 信号放置在通过一系列超声换能器
向下延伸的五条线中的一条线上。

“X” 指定 X 轴列号

下标 V 指的是相位矢量 (0-4)

00=选择 txPhA 01=选择 txPhB

10=选择 txPhC 11=选择 txPhD(GND)

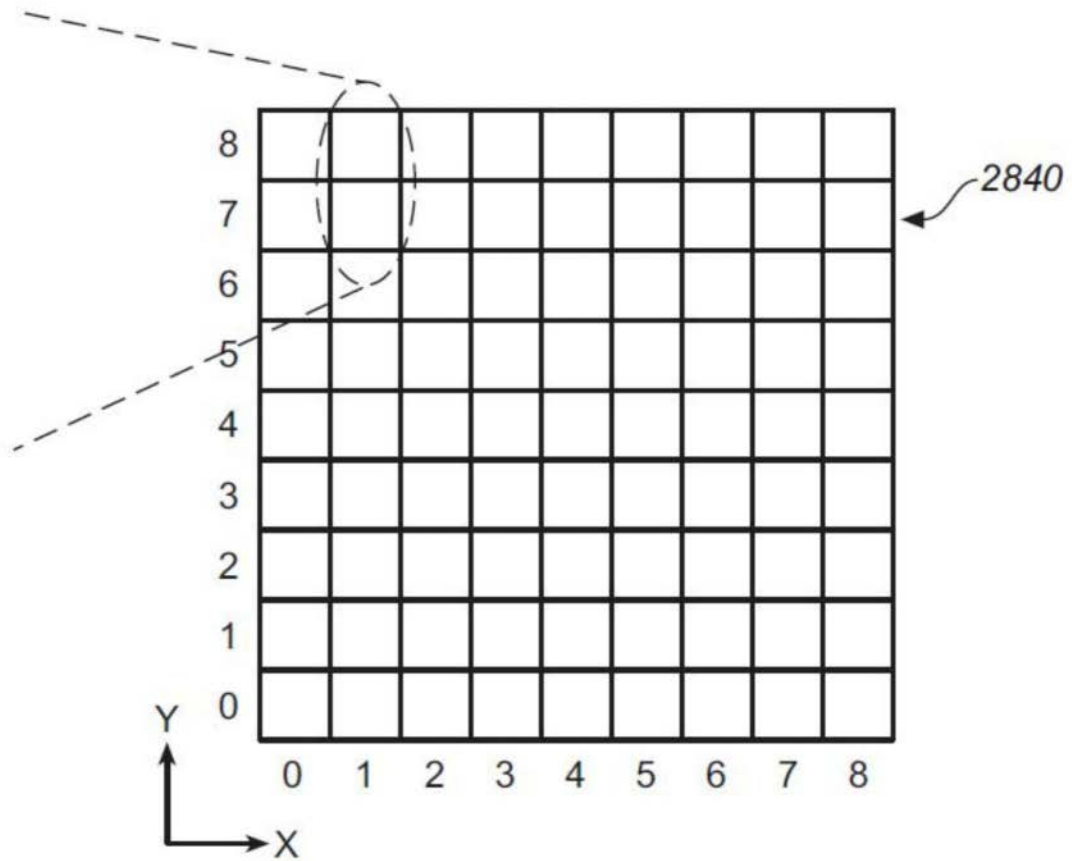


图28B

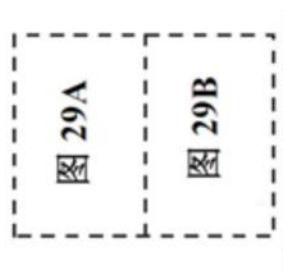


图29

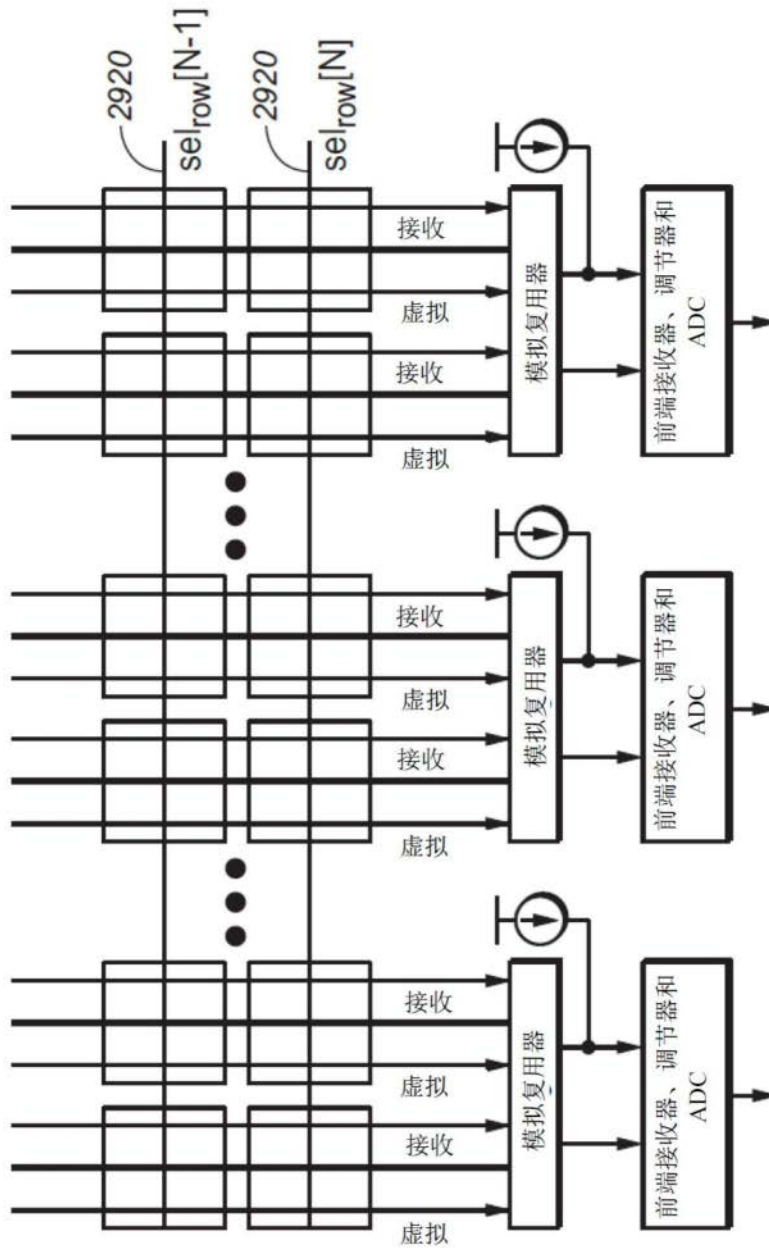


图29B

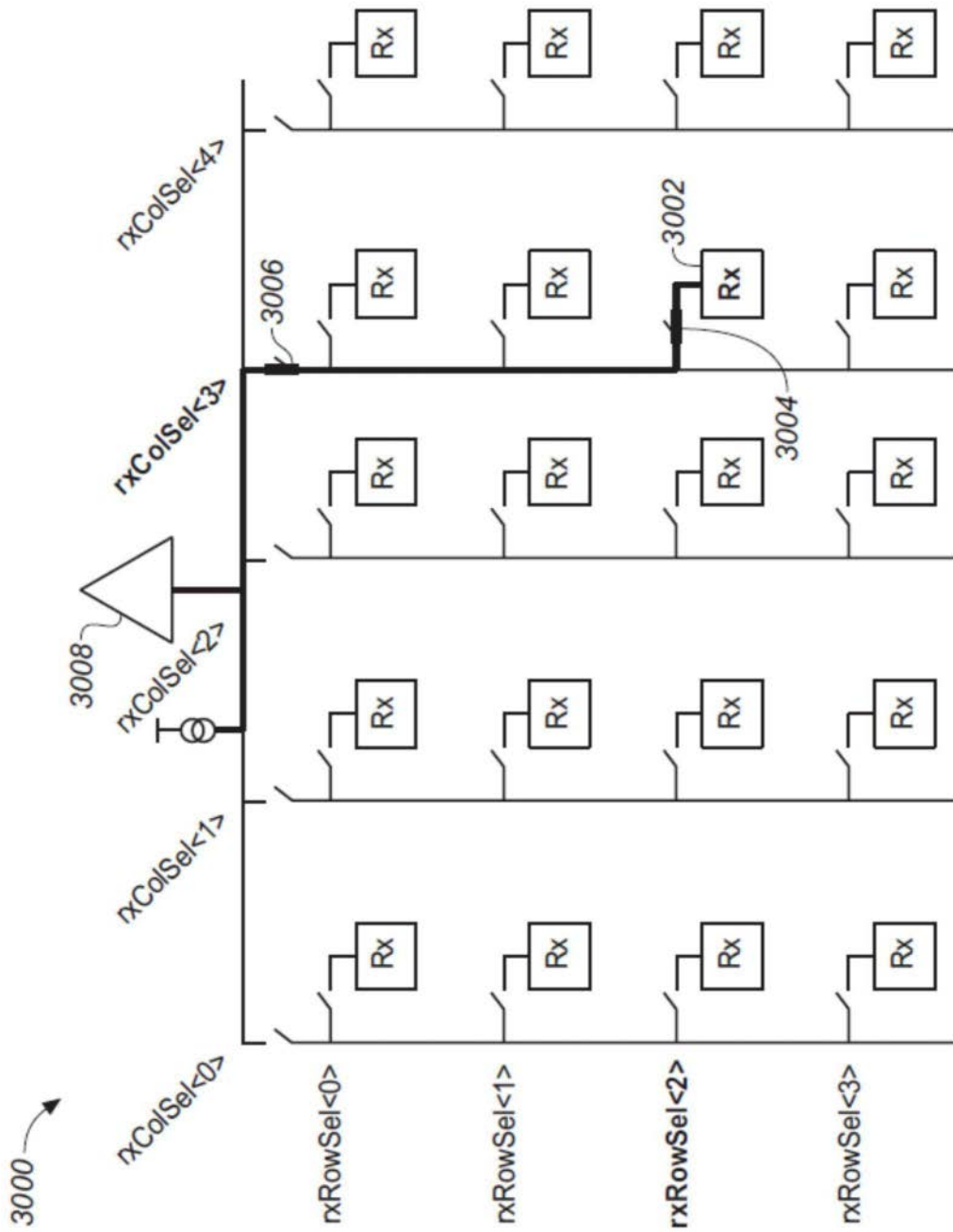


图30A

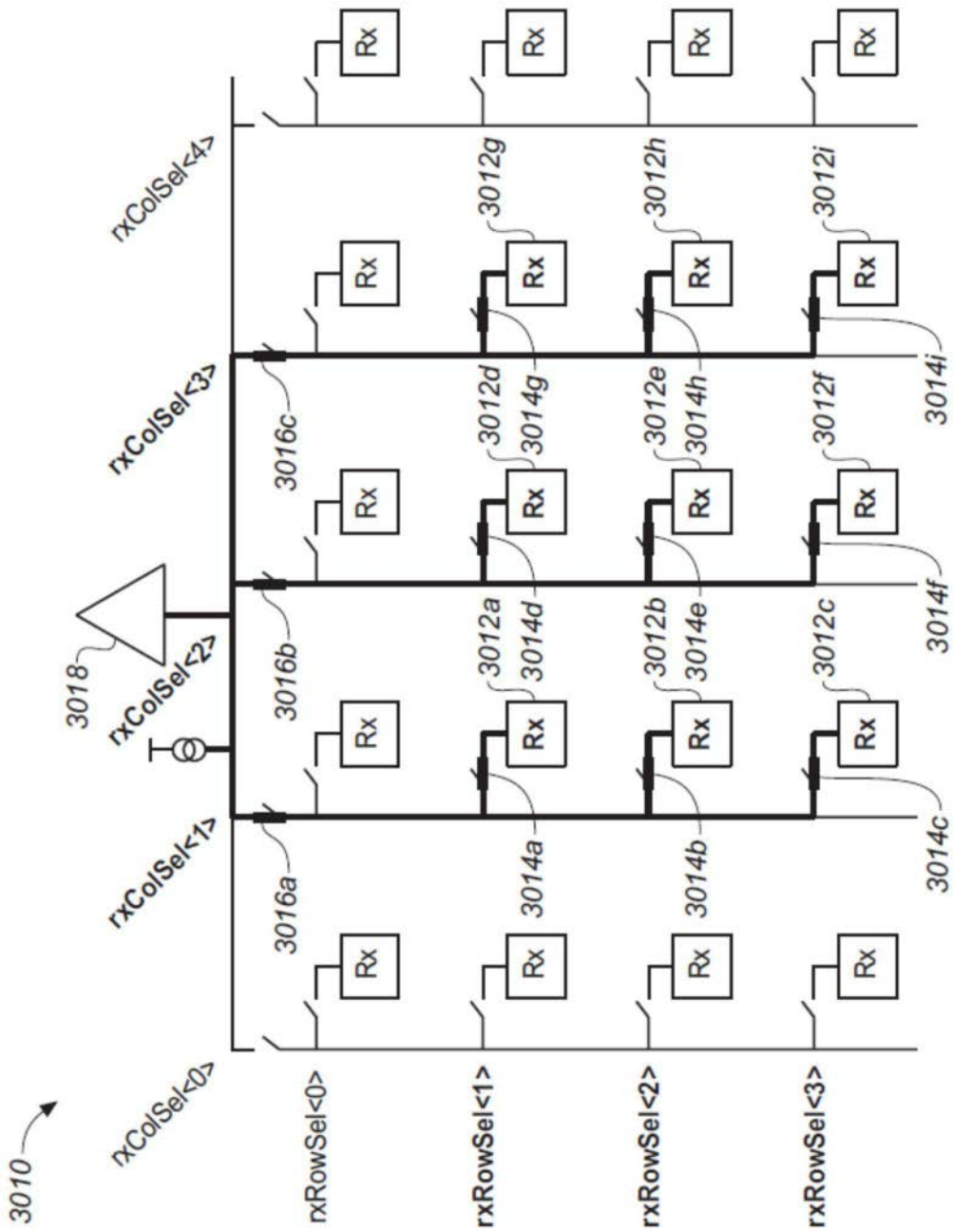


图30B

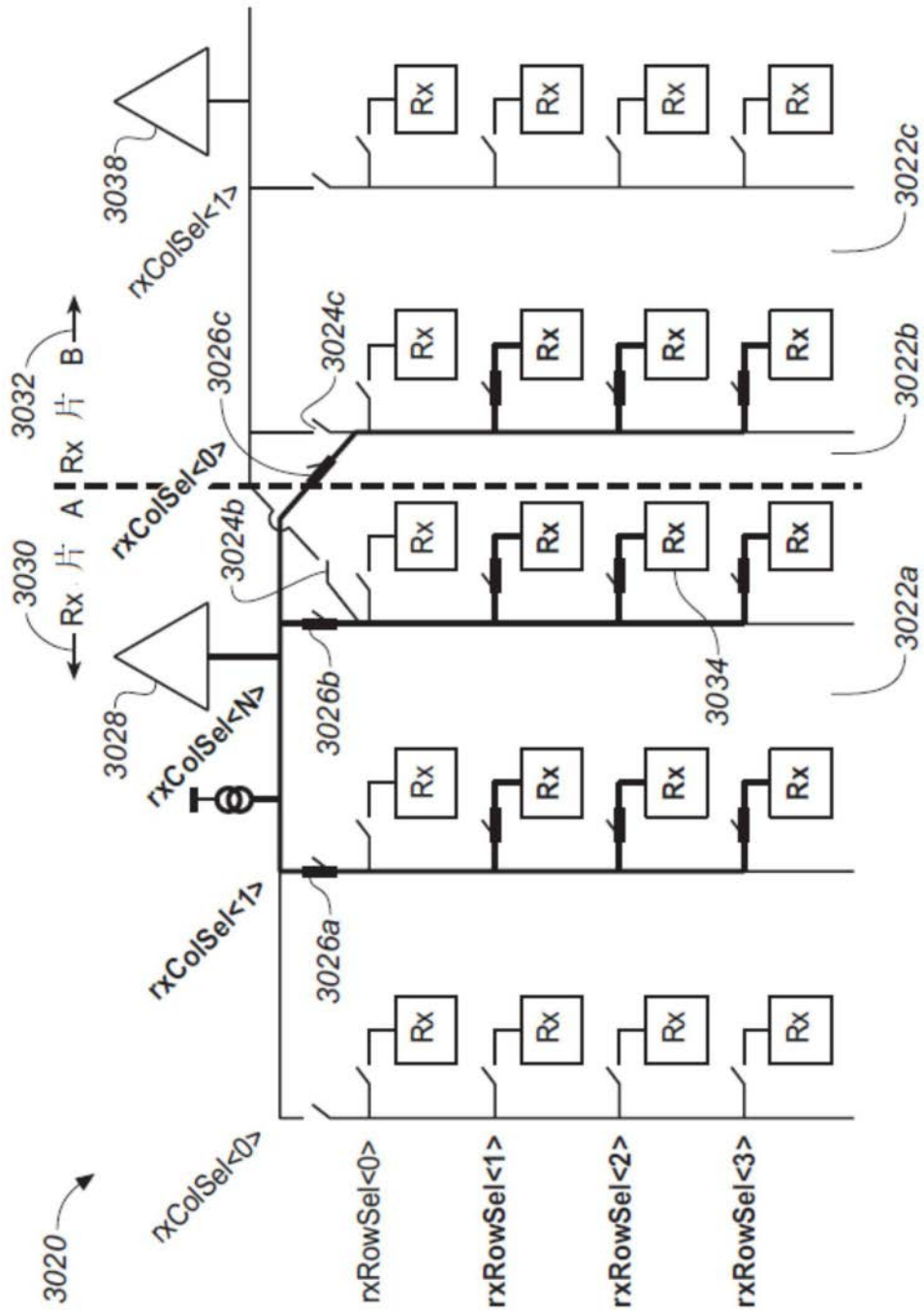


图30C

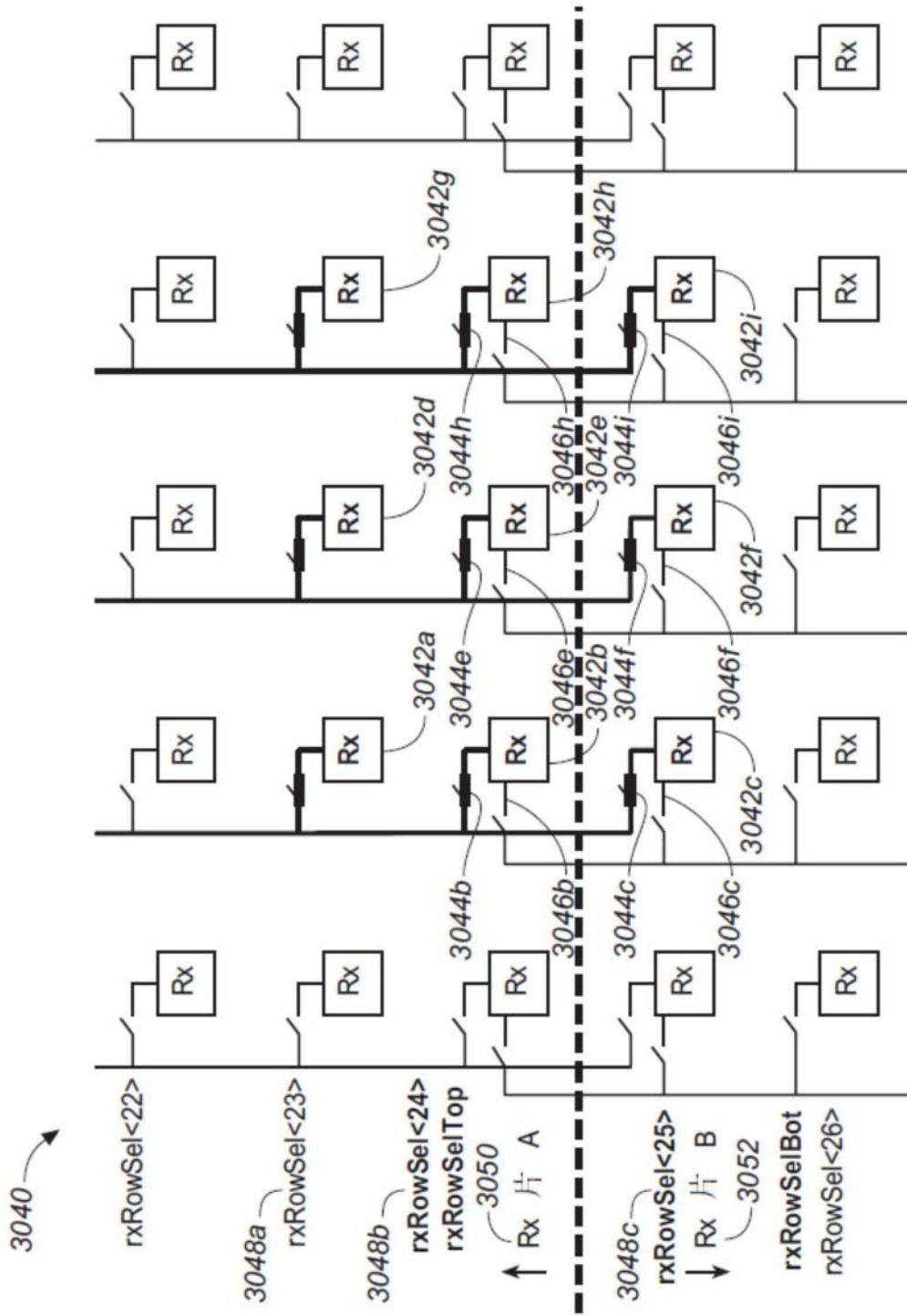


图30D

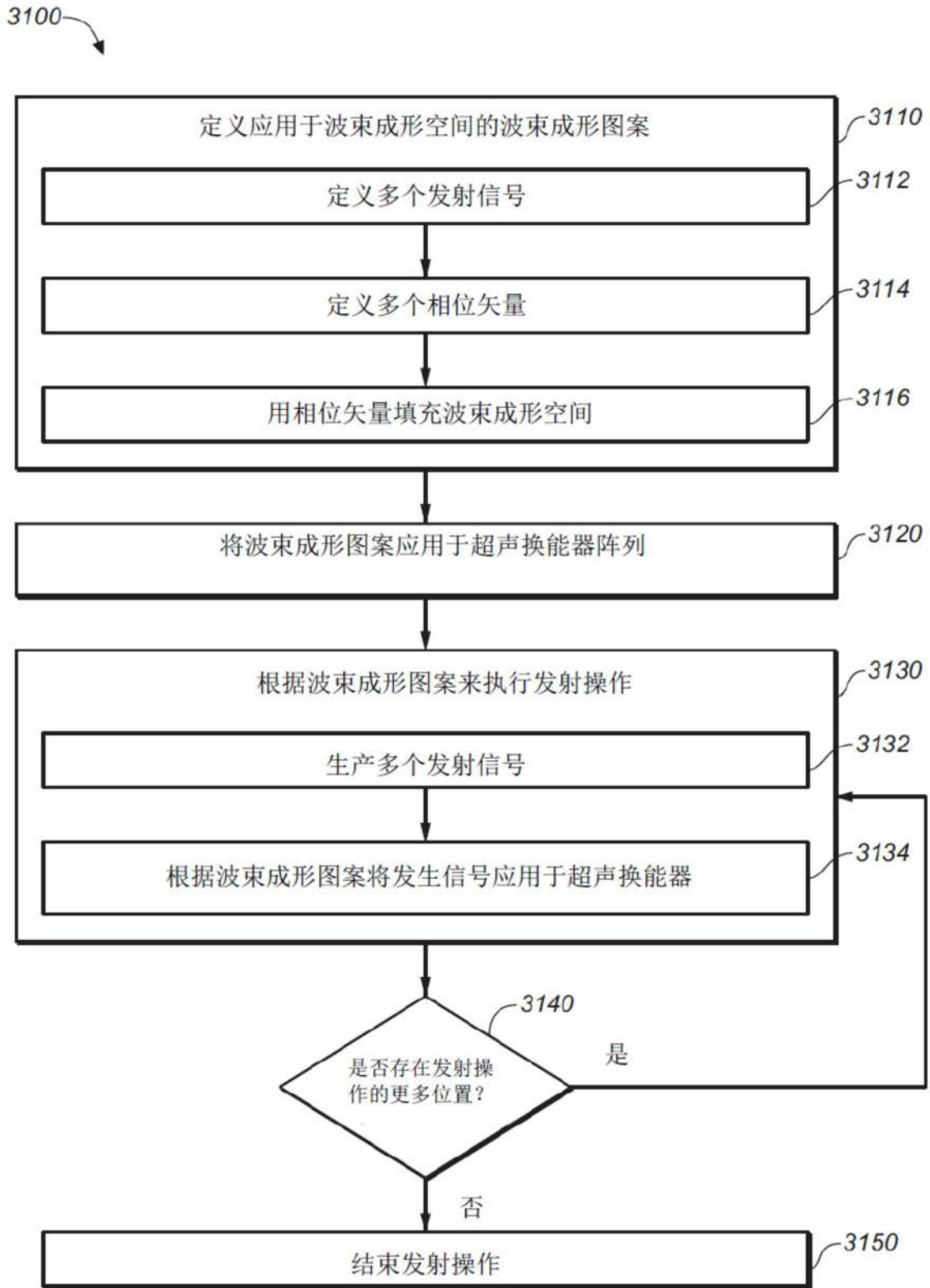


图31A

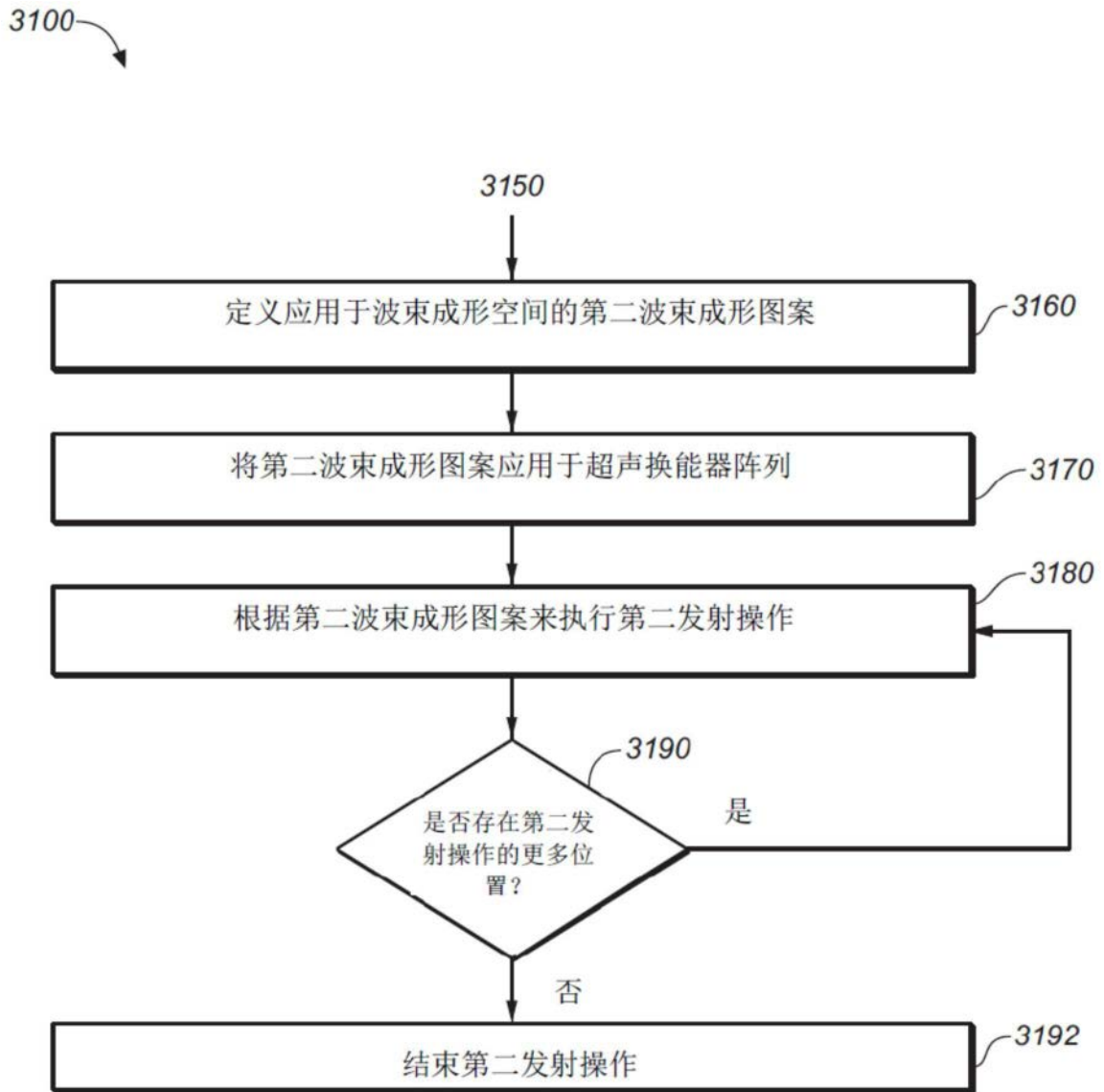


图31B

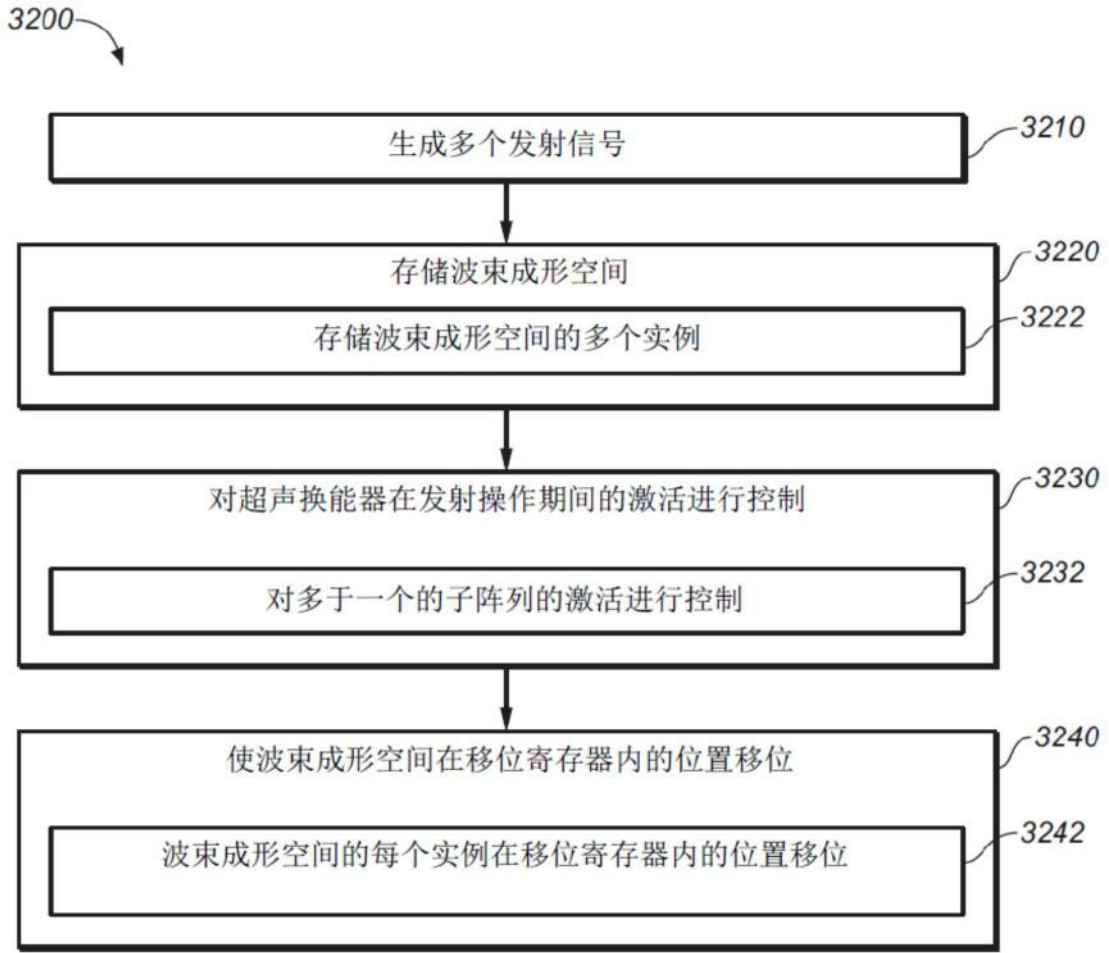


图32

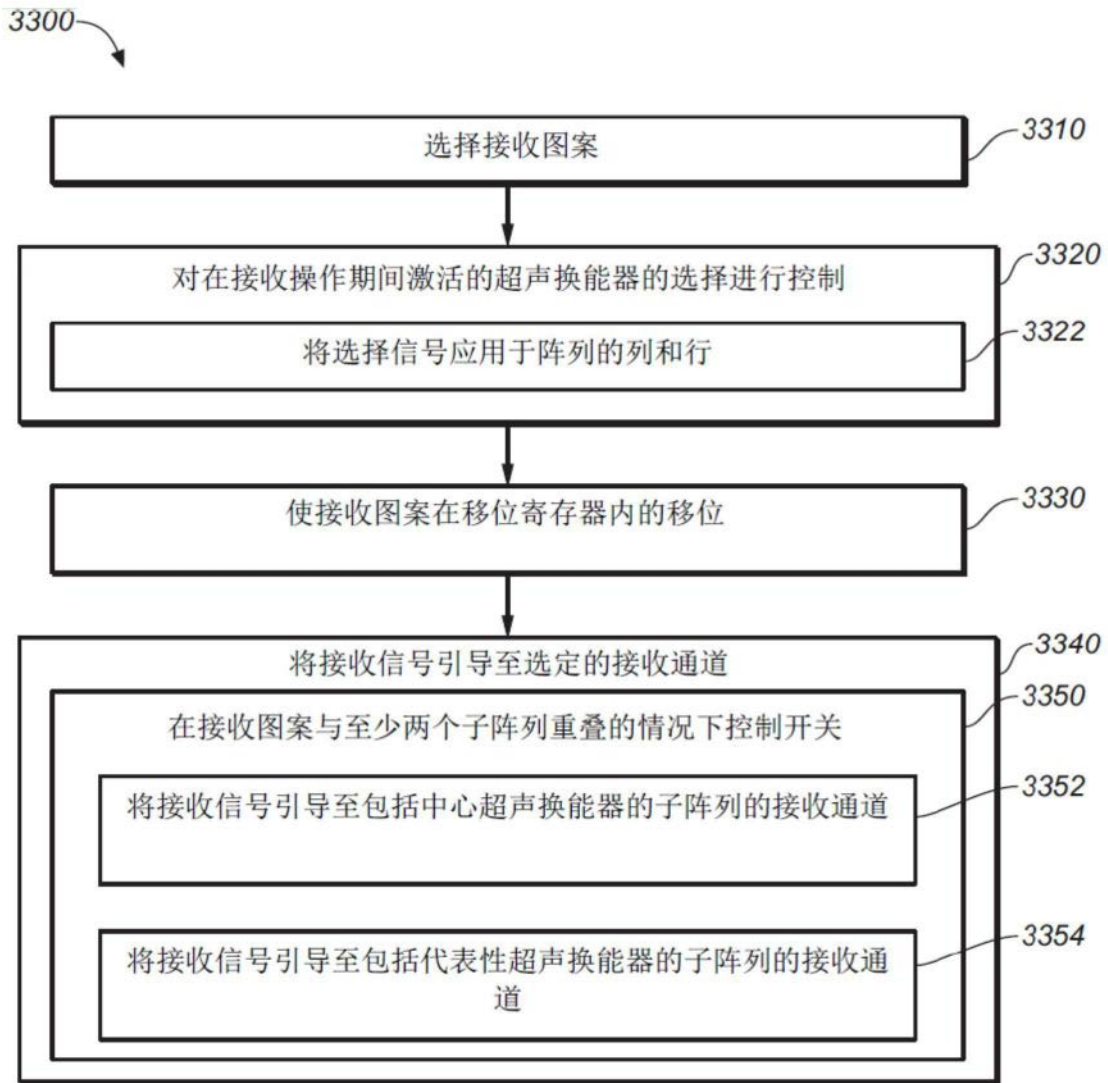


图33

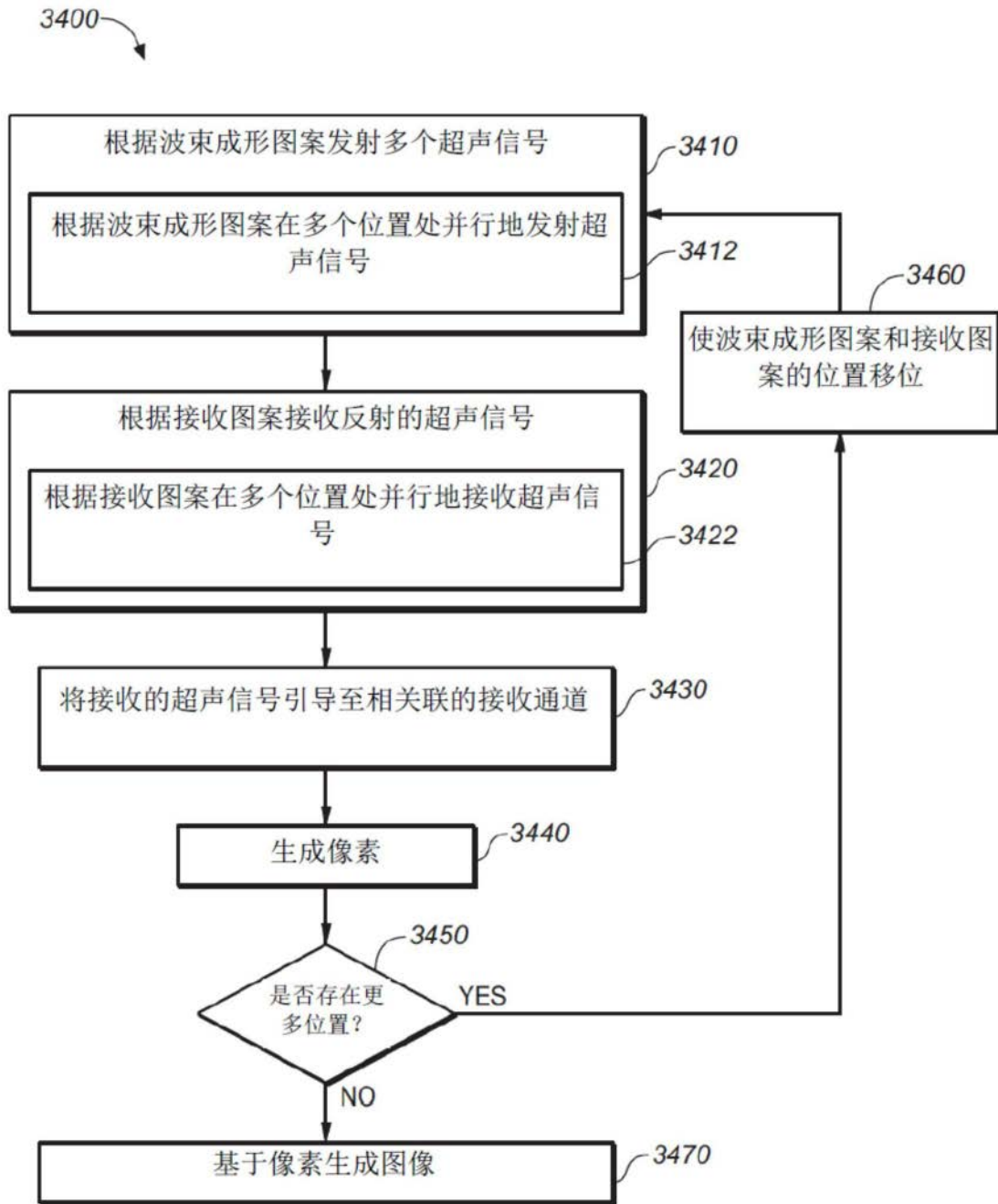


图34