



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113646832 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 18

(21) 申请号 202080021470.X

(22) 申请日 2020.01.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113646832 A

(43) 申请公布日 2021.11.12

(30) 优先权数据
62/792,821 2019.01.15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.09.15

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2020/013530 2020.01.14

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/150253 EN 2020.07.23

(73) 专利权人 艾科索成像公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 优素福·哈克 桑迪普·阿卡拉杰
雅努什·布雷泽克
安达利布·乔杜里 德雷克·冈瑟

(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 姜晓霞 杨明钊

(51) Int.Cl.
G10K 11/34 (2006.01)
A61B 8/00 (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01)
G01S 15/89 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2015265245 A1, 2015.09.24
US 7824335 B2, 2010.11.02
US 2018153512 A1, 2018.06.07
US 2018321381 A1, 2018.11.08
US 2011125022 A1, 2011.05.26
US 2018028154 A1, 2018.02.01
US 7901358 B2, 2011.03.08
US 7508737 B1, 2009.03.24
US 2015374341 A1, 2015.12.31
US 2013336551 A1, 2013.12.19

审查员 任爽

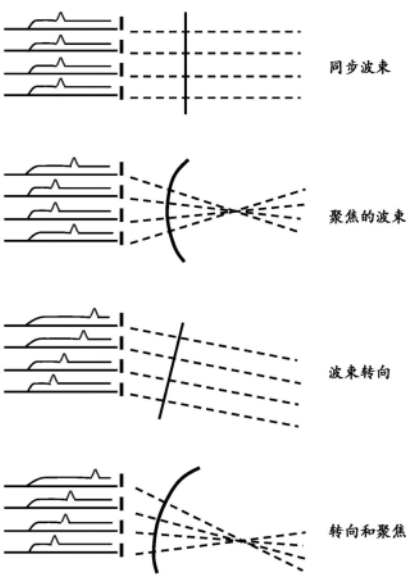
权利要求书4页 说明书42页 附图63页

(54) 发明名称

用于超声成像系统的合成透镜

(57) 摘要

本文公开了一种超声换能器系统,包括:超声成像器,其包括多个pMUT换能器元件;以及一个或多个电路,其电连接到所述多个换能器元件,所述一个或多个电路被配置为使能:用于所述超声换能器的脉冲传输和反射信号的接收;以及所述超声换能器的控制,所述超声换能器的所述控制包括在俯仰方向上聚焦超声波束。



1. 一种超声成像系统,包括:

a) 超声换能器,所述超声换能器包括多个pMUT换能器元件,其中,多个换能器元件被布置成一行或多行以及一列或多列,所述多个pMUT换能器元件中的每一个具有两个或更多个端子,其中所述多个pMUT换能器元件中的两个元件被一起寻址,所述两个元件在所述一行或多行中的同一行上相邻,并且其中所述多个换能器元件包括顶部部段、中心部段和底部部段,所述顶部部段、中心部段和底部部段中的每一者包括第一数量的行和第二数量的列,用于超声脉冲传输和反射的超声信号的接收,其中,来自所述部段的所述超声脉冲传输和所述反射的超声信号的接收用于使用第一波束形成器在一方位方向上聚焦所述反射的超声信号,并且其中,使用不同于所述第一波束形成器的第二波束形成器实现俯仰聚焦;以及

b) 一个或多个电路,所述一个或多个电路连接到所述多个pMUT换能器元件,所述一个或多个电路被电子地配置为使能:

i) 来自所述超声换能器的超声脉冲传输;

ii) 在所述超声换能器处接收反射的超声信号;以及

iii) 电子控制装置,所述电子控制装置被配置为将所述超声脉冲或所述反射的超声信号在俯仰方向上聚焦。

2. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述多个换能器元件包括换能器元件阵列。

3. 根据权利要求2所述的超声成像系统,其中所述阵列是二维的。

4. 根据权利要求3所述的超声成像系统,其中所述阵列包括选自以下的形状:矩形、正方形、环形、椭圆形、抛物线形、螺旋形或其他形状。

5. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中列上的每个换能器元件通过由所述一个或多个电路生成的多级脉冲驱动。

6. 根据权利要求5所述的超声成像系统,其中列上的每个换能器元件通过由所述一个或多个电路生成的多级脉冲序列驱动。

7. 根据权利要求5所述的超声成像系统,其中所述多级脉冲的脉冲幅度、宽度、形状、脉冲频率或它们的组合是电可编程的。

8. 根据权利要求5或6所述的超声成像系统,其中脉冲开始的延迟是电可编程的。

9. 根据权利要求6所述的超声成像系统,其中所述序列中的多个脉冲是电可编程的。

10. 根据权利要求5或6所述的超声成像系统,其中所述多级脉冲的形状是正弦的、数字方形的或其他形状。

11. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个的第一端子连接到所述一个或多个电路,并且第二端子连接到偏置电压。

12. 根据权利要求11所述的超声成像系统,其中,所述第二端子和另外的端子连接到偏置电压。

13. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个在其不同部分上在两个方向上极化,其中极化强度根据行上的所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个元件的位置而变化,并且其中所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个中的每一个包括至少三个端子。

14. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述多个pMUT换能器元件中的所述一个

或多个仅在一个方向上极化,并且其中所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个中的每一个仅包括两个端子。

15.根据权利要求13或14所述的超声成像系统,其中极化强度对于中心行较强,并且对于外部行较弱,从而在所述俯仰方向上形成变迹。

16.根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述一个或多个电路包括以下中的一个或多个:传输驱动器电路、接收放大器电路和控制电路。

17.根据权利要求16所述的超声成像系统,其中所述传输驱动器电路被配置为驱动列上的所述多个pMUT换能器元件中的一个或多个,并且由来自传输通道的信号驱动,其中所述传输通道的所述信号相对于被施加到驱动不同列上的所述多个pMUT换能器元件中的其他一个或多个的其他传输通道的延迟而被电子延迟。

18.根据权利要求17所述的超声成像系统,其中所述列上的所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个以相同的延迟或不同的延迟操作。

19.根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述控制是实时的。

20.根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述多个换能器元件中的每一个包括第一引线和第二引线,所述第一引线电连接到所述一个或多个电路,并且所述第二引线连接到所述多个换能器元件的其他换能器元件的对应引线。

21.根据权利要求1所述的超声成像系统,还包括定位在所述多个换能器元件顶部的外部透镜,所述外部透镜被配置为在所述俯仰方向上提供另外的聚焦。

22.根据权利要求16所述的超声成像系统,其中所述控制电路被配置为电控制位于同一列上的换能器元件的驱动脉冲之间的相对延迟。

23.根据权利要求17所述的超声成像系统,其中所述传输通道和另外的传输通道被配置为电控制邻近列之间的相对延迟,并且其中所述控制电路被配置为针对所述列上的第一数量的换能器元件设置相对延迟,使得同一行中的第一数量的换能器元件与起始行的第二数量的换能器元件共享类似的相对延迟。

24.根据权利要求17所述的超声成像系统,其中所述传输通道和另外的传输通道被配置为电子控制邻近列之间的相对延迟,并且其中所述控制电路被配置为设置所述列上的换能器元件的相对延迟,使得同一行中的第一数量的换能器元件与其他列的同一行中的第二数量的换能器元件相比具有独立的延迟。

25.根据权利要求23所述的超声成像系统,其中所述控制电路被配置为将列的相对延迟电控制为相对于所述列的中心行处的换能器元件对称。

26.根据权利要求16所述的超声成像系统,其中所述控制电路被配置为将相对延迟电控制为在列中线性增加,从而在所述俯仰方向上转向超声波束。

27.根据权利要求16所述的超声成像系统,其中所述控制电路被配置为电控制相对延迟,从而控制在所述俯仰方向上的分片厚度。

28.根据权利要求5所述的超声成像系统,其中所述多个换能器元件包括顶部部段、中心部段和底部部段,所述顶部部段、中心部段和底部部段中的每一者包括用于所述脉冲传输和反射的超声信号的接收的多个行和多个列,其中来自所述部段的所述脉冲传输和所述反射的超声信号的接收用于使用第一波束形成器在一方位方向上聚焦所述反射的超声信号,并且其中使用第二波束形成器实现俯仰聚焦。

29. 根据权利要求28所述的超声成像系统,其中来自所述部段的扫描线被同步,以通过在继续扫描后续列之前完成对整个列的扫描来最小化被成像的目标中的移动误差。

30. 根据权利要求28所述的超声成像系统,其中在所述俯仰方向上的焦距是电子地编程的。

31. 根据权利要求28所述的超声成像系统,其中所述顶部部段和所述底部部段的所述脉冲传输和所反射的信号接收同时执行。

32. 根据权利要求29所述的超声成像系统,其中通过执行平行波束形成以产生扫描线,被成像的所述目标中的移动误差被最小化。

33. 根据权利要求1或31所述的超声成像系统,其中俯仰聚焦和俯仰变迹是电子执行的,以最小化移动误差。

34. 根据权利要求6或7所述的超声成像系统,其中所述多级脉冲用于通过对外部行使用较低幅度的驱动并且对中心行使用较高幅度的驱动来实现电子变迹。

35. 根据权利要求28所述的超声成像系统,其中所述顶部部段、所述中心部段或所述底部部段包括一个以上的子部段,所述子部段中的每一个包括多个行和列,用于脉冲传输和反射信号的接收。

36. 根据权利要求35所述的超声成像系统,其中所述多个换能器元件包括5个部段,其中传输和接收方位聚焦波束的两个外部部段之后是传输和接收所述方位聚焦波束的两个内部部段以及传输和接收所述方位聚焦波束的所述中心部段,使用第一级波束形成器形成扫描线,并且使用第二级波束形成器实现俯仰聚焦。

37. 根据权利要求33所述的超声成像系统,其中在所述俯仰方向上电子地实现所述俯仰变迹。

38. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述超声换能器表现出不受机械透镜中的损失导致的信号损失实质性限制的带宽。

39. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中对于使用B模式的成像,接收通道被分配给一行上的两个换能器元件,所述两个元件中的一个来自所述顶部部段,并且所述两个元件中的另一个来自所述底部部段,并且另一个通道被分配给所述中心部段的两个换能器元件。

40. 根据权利要求39所述的超声成像系统,其中使用2N个接收通道来寻址N列。

41. 根据权利要求39所述的超声成像系统,其中所有所述多个换能器元件被操作为在传输操作中生成具有俯仰聚焦的压力,并且其中在接收操作中,所有所述多个换能器元件被用于重建在所述方位方向上和俯仰平面中具有聚焦的图像。

42. 根据权利要求41所述的超声成像系统,其中在所述俯仰平面中使用传输变迹。

43. 根据权利要求41所述的超声成像系统,其中所述俯仰聚焦是动态的并且在所述俯仰平面中被转向。

44. 根据权利要求39所述的超声成像系统,其中不使用机械透镜。

45. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述pMUT换能器元件中的一个或多个包括多个子元件,所述多个子元件可配置用于同时传输和接收操作。

46. 根据权利要求1所述的超声成像系统,其中所述pMUT换能器元件中的一个或多个包括多个子元件,并且其中所述多个子元件具有不同的谐振频率响应。

47. 根据权利要求13所述的超声成像系统, 其中所述多个pMUT换能器元件中的每一个具有至少两个端子。

48. 根据权利要求18所述的超声成像系统, 其中所述控制电路被配置为确定所述列上的所述多个pMUT换能器元件中的所述一个或多个的相对延迟, 并且其中所述控制电路包括粗略延迟电路和精细延迟电路, 所述粗略延迟电路被配置为针对所述相对延迟设置粗略延迟, 所述精细延迟电路被配置为针对所述相对延迟设置精细延迟。

49. 根据权利要求48所述的超声成像系统, 其中使用所述粗略延迟电路实现波束转向, 并且使用所述精细延迟电路实现俯仰聚焦。

50. 根据权利要求49所述的超声成像系统, 其中所述列的所述精细延迟独立于其他列的精细延迟。

51. 根据权利要求16所述的超声成像系统, 其中所述控制电路被配置为将相对延迟电控制为在列中分段线性增加或减少, 并且其中分段线性延迟段的数量是不小于2的整数。

52. 根据权利要求16所述的超声成像系统, 其中所述控制电路在ASIC上实现。

53. 根据权利要求16所述的超声成像系统, 其中所述控制电路被配置为将沿着列的相对延迟电控制为线性延迟和精细延迟的总和。

54. 根据权利要求53所述的超声成像系统, 其中所述列的所述线性延迟和精细延迟独立于所述超声换能器的其他列的其他线性延迟和精细延迟, 从而允许在三个维度上转向和聚焦。

55. 根据权利要求1所述的超声成像系统, 其中所述多个pMUT换能器元件中的至少一个表现出多个振动模式, 其中当输入激励被带限制为小于邻近一个或唯一振动模式的所述多个振动模式中的其他振动模式的频率时, 触发一个振动模式。

56. 根据权利要求1所述的超声成像系统, 其中所述多个pMUT换能器元件中的每一个表现出多个振动模式, 其中从所述多个振动模式中的第一个生成的频率与从第二多个振动模式生成的频率重叠。

57. 根据权利要求1所述的超声成像系统, 其中当由包括多个振动模式的中心频率的宽带频率输入驱动时, 所述多个pMUT换能器元件中的每一个同时表现出多个振动模式。

58. 根据权利要求1所述的超声成像系统, 其中所述一个或多个电路被电子地配置为使能电子控制装置在所述俯仰方向上的变迹。

59. 根据权利要求1所述的超声成像系统, 其中所述多个pMUT换能器元件中的一个或多个制造在同一半导体晶片基板上, 并且连接到紧邻其的感测、驱动和控制电路。

用于超声成像系统的合成透镜

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2019年1月15日提交的美国申请序列第62/792,821号的权益,其全部内容通过引用并入本文。

背景技术

[0003] 对于超声成像,换能器用于向要成像的目标传输超声波束,并且反射波形被换能器接收,并且接收到的波形被转换成电信号,并且通过进一步的信号处理,形成超声图像。常规上,对于二维(2D)成像,超声换能器包括用于发射超声波束的一维(1D)收发器阵列。位于阵列顶部的机械透镜在俯仰平面中聚焦超声波形。一旦构建,阵列和机械透镜的结构特性以及对应的功能特性就不能改变。

发明内容

[0004] 压电传感器已用于医学成像超过二十年。这些通常使用体压电薄膜构建。这些薄膜形成沿着方位方向(azimuth direction)的列布置的压电元件。每个列都可由传输驱动器驱动。通过在连续的列上使用不同的时间延迟,可能能够在方位方向上聚焦传输的波束。

[0005] 压电元件阵列的俯仰设置可以准许阵列的波束在俯仰平面中被电子聚焦成窄波束。收发器阵列的单行压电元件不能在2D超声图像的俯仰或厚度维度上使能电子聚焦。传统的2D超声图像在方位平面中,在俯仰方向(elevation direction)上具有一定的厚度(即,用于将波束限制在薄图像分片上的传统技术是在这个横向或俯仰维度上机械地聚焦波束,或者通过在这个维度上描绘压电元件的轮廓或者透镜化每个元件)。最近已经显示,可以通过在此维度上控制元件的压电特性来实现俯仰聚焦。在此称为阴影极化的技术中,强的、渐变的电场被均匀地施加到每个元件,以使压电元件的极化逐渐变弱,使得它们在中心被最强地极化,而在垂直方向上朝向元件的每个端部被较小程度地极化。所述技术可以将每个压电元件的声学透射率成形为沿着阵列的纵向中心线较大并且朝向每个俯仰侧较小。此技术的一个显著缺点是难以精确控制极化阴影的幅度和梯度。其他现有技术,其中可以使用用于阵列的一部分的较小电压驱动来实现俯仰聚焦,但是具有缺点。例如,美国专利2005/0075572A1使用机械透镜来辅助俯仰聚焦。

[0006] 其他方法可以将换能器组织成多行。例如,1.5维(1.5D)、1.75维(1.75D)换能器可以允许使用多次传输和接收以及使用例如双阶段波束形成器执行接收波束形成来对俯仰聚焦执行一些控制。然而,由于需要多次传输和接收,这些方法可能仅允许有限程度的俯仰聚焦和减小的图像帧速率。此外,可能需要另外的计算,因此增加了通常由电池供电的低成本便携式装置所不期望的功率和成本。

[0007] 在一方面,本文公开了一种超声成像系统,其包括:a)超声换能器,其包括多个pMUT换能器元件,所述多个pMUT换能器元件中的每一个具有两个或更多个端子;以及b)一个或多个电路,其连接到多个pMUT换能器元件,所述一个或多个电路被电子地配置为使能:i)从超声换能器传输超声脉冲;ii)在超声换能器处接收反射的超声信号;以及iii)电子控

制装置被配置为将超声脉冲或反射的超声信号在俯仰方向上聚焦。在一些实施方式中,多个换能器元件包括换能器元件阵列。在一些实施方式中,阵列是二维的。在一些实施方式中,阵列包括选自以下的形状:矩形、正方形、环形、椭圆形、抛物线形、螺旋形或任意形状。在一些实施方式中,多个换能器元件被布置成一行或多行和一系列或多列。在一些实施方式中,列上的每个换能器元件由一个或多个电路生成的多级脉冲驱动。在一些实施方式中,列上的每个换能器元件由一个或多个电路生成的多级脉冲序列驱动。在一些实施方式中,多级脉冲的脉冲幅度、宽度、形状、脉冲频率或它们的组合是电可编程的。在一些实施方式中,脉冲开始的延迟是电可编程的。在一些实施方式中,脉冲序列中的脉冲中的一个或多个是电可编程的。在一些实施方式中,多级脉冲的形状是正弦的、数字方形的或任意的。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的一个或多个的第一端子连接到一个或多个电路,并且第二端子和可选的另外的端子连接到偏置电压。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的一个或多个在其不同部分上在两个方向上极化,其中极化强度根据行上的多个pMUT换能器元件中的一个或多个元件的位置而变化,并且其中多个pMUT换能器元件中的一个或多个中的每一个包括至少三个端子。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的一个或多个仅在一个方向上极化,并且其中多个pMUT换能器元件中的一个或多个中的每一个仅包括两个端子。在一些实施方式中,极化强度对于中心行较强,并且对于外部行较弱,从而在俯仰方向上形成变迹(apodization)。在一些实施方式中,一个或多个电路包括以下中的一个或多个:传输驱动器电路、接收放大器电路和控制电路。在一些实施方式中,传输驱动器电路被配置为驱动列上的一个或多个pMUT换能器元件,并且由来自传输通道的信号驱动,其中传输通道的信号相对于被施加到驱动不同列上的其他pMUT换能器元件的其他传输通道的延迟被电子延迟。在一些实施方式中,列上的一个或多个pMUT换能器元件以基本上相同的延迟或不同的延迟操作。在一些实施方式中,控制是实时的。在一些实施方式中,多个换能器元件中的每一个包括第一引线和第二引线,第一引线电连接到一个或多个电路,并且第二引线连接到多个换能器元件的其他换能器元件的对应引线。在一些实施方式中,超声成像系统还包括定位在多个换能器元件顶部的外部透镜,所述外部透镜被配置为在俯仰方向上提供另外的聚焦。在一些实施方式中,控制电路被配置为电控制位于同一列上的换能器元件的驱动脉冲之间的相对延迟。在一些实施方式中,传输通道和另外的传输通道被配置为电控制邻近列之间的相对延迟,并且其中控制电路被配置为针对列上的第一数量的换能器元件设置相对延迟,使得同一行中的第一数量的换能器元件与起始行的第二数量的换能器元件共享基本上类似的相对延迟。在一些实施方式中,传输通道和另外的传输通道被配置为电子控制邻近列之间的相对延迟,并且其中所述控制电路被配置为设置所述列上的换能器元件的相对延迟,使得同一行中的第一数量的换能器元件与其他列的同一行中的第二数量的换能器元件相比具有独立的延迟。在一些实施方式中,控制电路被配置为电控制列的相对延迟以相对于所述列的中心行处的换能器元件对称。在一些实施方式中,控制电路被配置为电控制相对延迟在列中线性增加,从而在俯仰方向上转向超声波束。在一些实施方式中,控制电路被配置为电控制相对延迟,从而控制在俯仰方向上的分片厚度。在一些实施方式中,多个换能器元件包括顶部部段、中心部段和底部部段,所述顶部部段、中心部段和底部部段中的每一者包括用于脉冲传输和反射的超声信号的接收的多个行和多个列,其中来自所述部段的脉冲传输和反射的超声信号的接收用于使用第一波束形成器在方

位方向上聚焦所述反射的超声信号,并且其中使用第二波束形成器实现俯仰聚焦。在一些实施方式中,来自所述部段的扫描线被同步,以通过在继续扫描后续列之前完成对整个列的扫描来最小化被成像的目标中的移动误差。在一些实施方式中,俯仰方向上的焦距是电子地编程的。在一些实施方式中,顶部部段和底部部段的脉冲传输和反射信号的接收同时执行。在一些实施方式中,通过执行平行波束形成以产生扫描线,使被成像目标中的移动误差最小化。在一些实施方式中,俯仰聚焦和俯仰变迹是电子执行的,以最小化移动误差。在一些实施方式中,多级脉冲用于通过对外部行使用较低幅度的驱动并且对中心行使用较高幅度的驱动来实现电子变迹。在一些实施方式中,顶部部段、中部段或底部部段包括一个以上的子部段,子部段中的每一个包括多个行和列,用于脉冲传输和反射信号的接收。在一些实施方式中,多个换能器元件包括5个部段,其中传输和接收方位聚焦波束的两个外部部段之后是传输和接收方位聚焦波束的两个内部部段以及传输和接收方位聚焦波束的中心部段,使用第一级波束形成器形成扫描线,并且使用第二级波束形成器实现俯仰聚焦。在一些实施方式中,在俯仰方向上电子地实现变迹。在一些实施方式中,超声换能器表现出不受机械透镜中的损失导致的信号损失实质限制的带宽。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的两个被一起寻址,这两个元件在一行或多行的同一行上相邻,并且其中多个换能器元件包括顶部部段、中部段和底部部段,所述顶部部段、中部段和底部部段中的每一者包括第一数量的行和第二数量的列,用于脉冲传输和反射的超声信号的超声接收,其中来自此部段的反射的超声信号的超声脉冲传输和接收用于使用第一波束形成器在方位方向上聚焦反射的超声信号,并且其中使用第二波束形成器实现俯仰聚焦,并且其中对于使用B模式的成像,接收通道被分配给有效地组合在同一行上的两个换能器元件,其中2个元件现在充当1个有效元件,并且含有此组合元件的顶部部段和底部部段的一部分行被连接在一起,并且另一个通道被分配给由几行组成的中部段的两个换能器元件。在一些实施方式中,2N个接收通道用于寻址N列。在一些实施方式中,所有多个换能器元件被操作以在传输操作中生成具有俯仰聚焦的压力,并且其中在接收操作中,所有多个换能器元件被用于重建在方位方向上和俯仰平面中具有聚焦的图像。在一些实施方式中,在俯仰平面中使用传输变迹。在一些实施方式中,俯仰聚焦是动态的并且在俯仰平面中被转向。在一些实施方式中,不使用机械透镜。在一些实施方式中,一个或多个pMUT换能器元件包括多个子元件,所述多个子元件可配置用于同时传输和接收操作。在一些实施方式中,一个或多个pMUT换能器元件包括多个子元件并且其中多个子元件具有不同的谐振频率响应。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的每一个都具有至少两个端子。在一些实施方式中,控制电路被配置为确定列上的换能器元件的相对延迟,并且其中控制电路包括被配置为设置粗略延迟的粗略延迟电路和被配置为设置精细延迟的精细延迟电路。在一些实施方式中,使用粗略延迟电路实现波束转向并且使用精细延迟电路实现俯仰聚焦。在一些实施方式中,列的精细延迟独立于其他列的精细延迟。在一些实施方式中,控制电路被配置为电控制相对延迟在列中分段线性增加或减少,并且其中分段线性延迟段的数量是不小于2的整数。在一些实施方式中,控制电路在ASIC上实现。在一些实施方式中,控制电路被配置为将沿着列的相对延迟电控制为线性延迟和任意精细延迟的总和。在一些实施方式中,列的线性延迟和任意精细延迟独立于超声换能器的其他列的其他线性延迟和任意精细延迟,从而允许在三个维度上任意转向和聚焦。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的每一个表现出多个

振动模式,其中当输入激励被带限制为小于邻近一个或唯一振动模式的多个振动模式中的其他振动模式的频率时,触发所述一个或唯一振动模式。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的每一个表现出多个振动模式,其中从多个振动模式中的第一个生成的频率与从第二多个振动模式生成的频率重叠。在一些实施方式中,当由包括多个振动模式的中心频率的宽带频率输入驱动时,多个pMUT换能器元件中的每一个同时表现出多个振动模式。在一些实施方式中,一个或多个电路被电子地配置为使能电子控制装置在俯仰方向上的变迹。在一些实施方式中,多个pMUT换能器元件中的每一个被制造在同一半导体晶片基板上,并且被连接到紧邻其的感测、驱动和控制电路。

[0008] 在一些实施方式中,一个或多个电路被电子地配置为在一个操作中在方位平面中产生B模式成像,其中来自传输波束形成器的延迟在方位方向上被施加到选定的元件,并且还配置为在正交平面中产生B模式成像,并且还配置为在正交平面中产生B模式成像,通过使用传输波束形成器在随后的操作中调整在俯仰方向上的延迟,以使用合成孔径组合技术显示在2个正交轴线上形成的双平面图像。在一些实施方式中,当在方位平面中成像时,通过在列上的元件上增加另外的延迟来使能俯仰聚焦,并且当在俯仰平面上形成图像时,通过在行上的元件上在方位轴线上增加另外的延迟来使能在方位平面中的另外的聚焦。

[0009] 在另一方面,本文公开了使用本文的超声成像系统执行3D成像的方法,所述方法包括:a)由多个pMUT换能器元件传输超声脉冲,包括:在方位方向上为一组传输施加第一多个延迟,在俯仰方向上具有由被施加到同一列上的多个pMUT换能器元件中的一个以上的第二多个延迟控制的特定转向角度;以及对于a)的每次重复,在俯仰方向上以另外的转向角度重复a)预定次数;由所述多个pMUT换能器元件接收反射的超声信号;以及使用从多个pMUT换能器元件接收到的反射的超声信号重建图像。在一些实施方式中,第一多个延迟内的延迟在幅度上相等,并且第二多个延迟内的延迟在幅度上相等。在一些实施方式中,施加第一多个延迟还包括:a)通过沿着方位改变第一多个延迟内的一个或多个延迟的幅度来在方位平面上聚焦;以及通过改变沿着特定列的多个pMUT换能器元件内的一个以上的第二多个延迟内的一个或多个延迟的幅度,在俯仰方向上聚焦或转向波束。在一些实施方式中,所述一组传输具有特定的聚焦。在一些实施方式中,图像是三维的并且表示体积。在一些实施方式中,第一多个延迟内的延迟在幅度上不完全相等,并且第二多个延迟内的延迟在幅度上不完全相等。在一些实施方式中,预定数量少于100。在一些实施方式中,预定数量大于1000。

[0010] 援引并入

[0011] 本说明书中提到的所有出版物、专利和专利申请都以引用的方式并入本文,其程度就如同每个单独的出版物、专利或专利申请被具体地和单独地指示为以引用方式并入一样。

附图说明

[0012] 通过参考以下阐述了示例性实施方式及其附图的详细描述,可以更好地理解本主题的特征和优点。

[0013] 图1示出了本文的超声系统的示例性示意图,其包括具有用于传输和接收超声波

束的pMUT阵列的换能器、控制pMUT阵列的电子装置、其他计算、控制和通信电子装置、显示单元和记录单元,其中pMUT阵列指向要成像的目标。

[0014] 图2示出了这里的超声换能器的示例性示意图。

[0015] 图3A示出了具有2个导体的压电微加工换能器(pMUT)元件的示例性示意图。

[0016] 图3B示出了包括两个子元件(每个子元件具有2个或更多个电极)的pMUT元件的示例性示意图。

[0017] 图3C示出了具有2个子元件的pMUT元件的示例性示意图,每个子元件具有2个电极,其中第一子元件的第一电极连接到第二元件的电极中的一个并且第一元件的第二电极连接到第二子元件的剩余电极。

[0018] 图4示出了本文的超声换能器系统的pMUT阵列的示例性图。

[0019] 图5A示出了本文的pMUT阵列的压电元件的示例性横截面。

[0020] 图5B示出了图5A的压电元件的示例性符号表示。

[0021] 图6示出了压电元件在未极化状态、和极化期间以及极化之后的偶极取向。

[0022] 图7示出了在具有符号连接布置的接收模式期间,本文的压电元件到低噪声放大器(LNA)的示例性连接。

[0023] 图8A示出了用于可电子调整线换能器的具有一个公共接地或偏置电极的pMUT的2D阵列的示例性实施方式,其中线可在竖直或水平方向上,并且线的大小(例如,线中pMUT元件的数量)可以是电可编程的。

[0024] 图8B示出了pMUT的2D阵列的示例性实施方式,其中示出了到偏置电压和/或活动驱动端子的连接。

[0025] 图9示出了线换能器的示例性实施方式,其示出了多个接地和偏置电极,以使能每个pMUT元件的不同极化方向。

[0026] 图10A示出了在每个压电元件中具有多个膜的示例性pMUT阵列,其中所述阵列能够对压电材料控制膜使用不同的极化方向和每行不同的极化强度。

[0027] 图10B示出了图10A的示例性实现方式,其中示出了极化操作之后的偏置连接。

[0028] 图11A示出了将2个pMUT元件互连到含有传输和接收驱动器以及其他功能的ASIC的示例性示意图。

[0029] 图11B示出了图11A的ASIC的示例性示意图,其中一列电子装置直接对接到一列pMUT,以构成复合的更大的换能器元件。

[0030] 图12A和图12B示出了在本文公开的俯仰方向上聚焦的超声换能器的示例性示意图。

[0031] 图13A示出了具有排列在M行和N列上的换能器元件的超声换能器的示例性示意图,所述换能器包括由行和/或列组成的三个条带,条带中的每一个可以被选择为被单独驱动,并且其中每个条带中的列由(一个或多个)传输驱动器共享相同的驱动。

[0032] 图13B示出了具有以行和列组织的换能器元件的超声换能器的示例性示意图;为了传输和接收的目的,一行上的两个元件被有效地组合在一起,并且换能器包括成行和/或列的换能器元件的三个部分,换能器的顶部和底部可由用于传输和/或接收操作的一个通道驱动,而中心部分可由用于传输和/或接收操作的不同通道驱动。

[0033] 图14示出了组成超声图像帧的多个扫描线的示例性示意图。

- [0034] 图15示出了获得图14的扫描线的示例性示意图。
- [0035] 图16示出了使用被施加到不同条带的延迟获得俯仰聚焦的示例性示意图。
- [0036] 图17A示出了本文的向列上的元件提供(一个或多个)精细延迟的具有多个触发器的延迟电路的示例性示意图。
- [0037] 图17B示出了本文的向列上的元件提供(一个或多个)粗略延迟的延迟电路的示例性示意图。
- [0038] 图17C示出了向列上的元件提供(一个或多个)粗略和/或精细延迟的延迟电路的示例性示意图。
- [0039] 图17D示出了图17C的另外的电路的细节。
- [0040] 图18A示出了使用来自传输通道的方位方向上的延迟在方位方向上进行波束转向或波束聚焦的图。
- [0041] 图18B示出了换能器元件及其延迟的示例性示意图,延迟可以被电子地编程,并且对于一列以上的换能器元件可以基本上类似。
- [0042] 图19示出了围绕中心元件具有延迟对称性的一列换能器元件的具有延迟的传输驱动脉冲的示例性示意图。
- [0043] 图20示出了用于不同列的换能器元件的具有延迟的传输驱动脉冲的示例性示意图。
- [0044] 图21示出了使用内部计数器信号生成不同延迟的示例性示意图。
- [0045] 图22示出了具有两个数字输入的脉冲星的示例性示意图,所述脉冲星生成输出作为一个或多个)传输驱动脉冲。
- [0046] 图23A示出了以 0° 侧向转向(左图)和以 45° 侧向转向(右图)的模拟的 24×128 矩阵阵列换能器元件的示例性俯仰波束图,其指示在俯仰方向上提供聚焦的多种方法与在俯仰方向上不聚焦相比的差异。
- [0047] 图23B示出了示例性稀疏传输方案,所述稀疏传输方案允许利用 24×128 2D换能器元件阵列进行传输俯仰聚焦,其中阴影圆可以是每列的活动换能器元件,并且可以使用俯仰对称(假设沿着对称的俯仰平面聚焦)。与使用所有 24×128 活动元件时相比,此传输方案可以输出约1/3的压力。
- [0048] 图24A示出了根据本公开的实施方式的成像组件的示意图。
- [0049] 图24B示出了设置在基板上的换能器和另一个基板上的ASIC以及互连装置的示例性实施方式。
- [0050] 图25示出了根据本公开的实施方式的能够执行二维成像和三个维度成像的压电元件阵列的示意图。
- [0051] 图26示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0052] 图27示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0053] 图28示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0054] 图29示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0055] 图30示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0056] 图31示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。
- [0057] 图32示出了根据本公开的实施方式的压电元件阵列的示意图。

[0058] 图33A示出了根据本公开的实施方式的成像系统的示意图,所述成像系统具有针对列上的压电元件的硬连线连接。

[0059] 图33B示出了根据本公开的实施方式的成像系统的示意图,所述成像系统具有针对列上的压电元件的可编程传输和接收能力。

[0060] 图34A示出了根据本公开的实施方式的成像系统的示意图,其中在列上具有硬连线压电元件。

[0061] 图34B示出了根据本公开的实施方式的成像系统的示意图,所述成像系统具有列上的压电元件的可编程传输和接收能力。

[0062] 图35A示出了根据本公开的实施方式的耦合到电路元件的压电元件的实施方式。

[0063] 图35B示出了根据本公开的实施方式的耦合到电路元件的压电元件的示例性实施方式,其中压电元件具有可编程传输和接收能力。

[0064] 图36示出了根据本公开的实施方式的用于控制多个压电元件的电路。

[0065] 图37示出了根据本公开的实施方式的用于控制多个压电元件的电路。

[0066] 图38示出了根据本公开的实施方式的传输驱动信号波形。

[0067] 图39A示出了根据本公开的实施方式的传输驱动信号波形。

[0068] 图39B示出了根据本公开的实施方式的传输驱动信号波形,其中TxB CLK是高速时钟,其可以用于生成TxA和TxB波形,所述TxA和TxB波形是为传输通道的脉冲输出而生成的。

[0069] 图40示出了根据本公开的实施方式的传输驱动信号波形。

[0070] 图41示出了根据本公开的实施方式的成像组件中各种电路的输入/输出信号。

[0071] 图42A示出了根据本公开的实施方式的作为角度的函数的传输压力波的幅度的曲线图。

[0072] 图42B示出了根据本公开的实施方式的变迹过程的窗口。

[0073] 图43示出了根据本公开的实施方式的成像组件的示意图。

[0074] 图44示出了根据本公开的实施方式的换能器的特定转向角度。

具体实施方式

[0075] 传统上,可以通过采用多种算法(诸如,Fredrik Lingvall.Lingvall,F.,2004.描述的那些算法)来形成2D超声图像。超声阵列成像的时域重建方法:统计方法[参见http://www.signal.uu.se/Publications/pdf/fredrik_thesis.pdf]。这个的一个示例是使用相对延迟来沿着在方位方向上的所述一系列压电元件驱动信号。通过改变被施加到在方位方向上不同列的信号的可编程延迟,可在方位方向上聚焦波束电子。然而,在与方位方向正交的方向(例如,俯仰方向)上的聚焦通常通过使用机械透镜来实现。机械透镜可能一次仅允许一个聚焦,因此不同的俯仰聚焦可能需要不同的透镜设计。此外,固定的机械透镜不能提供3D超声成像所需的聚焦。

[0076] 3D超声成像对于在现有便携式超声成像系统中的实现来说过于复杂、昂贵和耗电。本文在一些实施方式中,公开了被配置为用于使能低成本、低功率、便携式高分辨率超声换能器的系统和方法,以及被配置为用于2D超声成像和3D超声成像两者的超声成像系统。启用这些低成本高性能系统可能依赖于使用可在半导体晶片上以类似于高体积半导体工艺的高体积和低成本制造的pMUT。在示例性实施方式中,此类压电元件布置成2D阵列,其

中阵列中的每个元件连接到电子电路,其中pMUT阵列和电路阵列在不同的晶片上对准在一起并且集成在一起以形成图块(tile),其中每个压电元件连接到控制电路元件,其中每个压电元件可以具有2个或更多个端子,如图3B和图3C中示出的。与现有技术的压电体换能器不同,这些pMUT还可以表现出高带宽,使得这些换能器适合于宽带成像。传统换能器可能具有有限的带宽,需要不同的换能器用于不同的频率范围。因此,当检查患者时,使一个换能器覆盖宽范围的频率(诸如,1MHZ到12MHZ或更大),可以为用户提供更大的便利,其中当检查需要宽范围不同频率的不同器官时,用户可能不必切换到不同的换能器。这可以导致节省成本。在本公开中,可以通过至少2种不同的方式在pMUT中实现宽带行为。在一些实施方式中,换能器元件可以包括2个或更多个子元件,其中每个子元件以不同的中心频率谐振。作为复合材料,复合元件可以覆盖更大的带(参见图28作为示例)。在其他实施方式中,膜可以被设计成使得膜可在一个膜中支持多个共振模式。共振可以具有主要模式,其中共振发生在特定频率。膜上还可以存在其他共振,例如第二共振和第三共振。这些共振可能是或可能不是谐波相关的。这些谐振周围的带宽可以与其他谐振周围的带宽重叠,从而使能整体宽带宽。例如,如果到pMUT的输入信号限于一个谐振,则其他谐振可能不发生。当由包括各种谐振的中心频率的宽带频率输入驱动时,换能器元件可以同时表现出多个振动模式。

[0077] 此外,利用机械透镜进行俯仰聚焦的现有换能器也会遭受透镜中的衰减损失,从而降低图像质量。对于本文的示例性合成透镜,不需要机械透镜。有时,可以使用稍微弯曲的深聚焦弱透镜,或者替代地,可在换能器的顶部使用平坦的薄阻抗匹配层。这可以大大改善衰减损失。

[0078] 代替使用固定机械透镜,本文公开的成像系统使用电子透镜,其有利地消除了构建具有固定焦距的机械透镜的需要。此外,本文公开的电子透镜允许能够改变俯仰平面中的焦距的极大灵活性,并且允许作为深度的函数的动态聚焦。此外,通过变迹,可以抑制在俯仰方向上的旁瓣,从而允许更好地控制俯仰分片厚度。俯仰控制中变迹的电子实时控制可以有利地允许在俯仰方向上电子地旁瓣抑制。

[0079] 在一些实施方式中,本文公开了可被配置为在俯仰方向上聚焦的超声成像系统。在一些实施方式中,本文公开了超声成像系统,其可被配置为允许沿着列和/或行具有可编程延迟的电子俯仰控制。在一些实施方式中,当可编程延迟被插入到驱动列上的各个元件的传输驱动器电路中时,电子控制装置发生。

[0080] 本文在一些实施方式中,公开了换能器元件(例如,pMUT元件),如此使得换能器元件的压电元件,被组织成多行(每行沿着方位方向)和多列(每列沿着俯仰方向)两个维度。在一些实施方式中,包括围绕行的中心部段的一行或多行的部段可以沿着方位方向聚焦。在一次传输和接收中,从此部段生成的数据可以在方位方向上聚焦,生成中间数据。在另外的传输和接收中,来自多个部段的数据可以在俯仰方向上聚焦。此过程可以改善在俯仰方向上的分片厚度。在一些实施方式中,可以通过施加(一个或多个)超声脉冲的变迹来辅助此类过程。

[0081] 某些定义

[0082] 除非另外定义,否则本文中使用的所有技术术语具有与本发明所属领域的普通技术人员通常所理解的含义。

[0083] 如本文中所使用的,单数形式的“一个”、“一种”和“该”包括复数形式,除非上下文

另外明确指出。除非另有说明,否则本文中对“或”的任何引用旨在涵盖“和/或”。

[0084] 如本文所用,术语“约”是指接近所述量约10%、5%或1%的量,包括其中的增量。

[0085] 在一些实施方式中,本文的成像器(本文可互换地称为“换能器”)可以用于执行但不限于执行:1D成像,也称为A-扫描,2D成像,也称为B扫描,1.5D成像,1.75D成像,3D和多普勒成像。此外,本文的成像器可以切换到预编程的各种成像模式。此外,双平面成像模式可以使用本文的换能器来实现。

[0086] 在一些实施方式中,本文的换能器元件(例如,pMUT元件)可以与收发器元件、压电元件和压电元件互换。在一些实施方式中,本文的换能器元件包括以下中的一者或更多者:基底、从基底悬挂的膜;设置在膜上的底部电极;设置在底部电极上的压电层;以及设置在压电层上的一个或多个顶部电极。

[0087] 图1示出了本文公开的超声成像系统100的示例性实施方式。在此实施方式中,图像系统包括便携式装置101,装置101具有显示单元112、数据记录单元114,所述数据记录单元114通过通信接口与网络120和外部数据库122(诸如,电子健康记录)使能连接。此类与外部数据源的连接可以便于医疗账单、数据交换、查询或其他与医疗相关的信息通信。在此实施方式中,系统100包括超声成像器(本文可互换为“探头”和/或“成像器”)探头126,所述探头126包括超声成像器组件(本文可互换为“图块组件”)108,其中超声图块具有制造在基板上的pMUT 102的阵列。pMUT 102的(一个或多个)阵列被配置为在电子控制装置单元(例如,位于成像器上的专用集成电路(ASIC) 106和另一控制单元110(例如,电子通信控制单元))下发射和接收超声波形。

[0088] 在此特定实施方式中,显示单元112和/或控制单元110的至少一部分可以位于超声成像器组件108上。在一些实施方式中,显示器或控制单元110的部分可在成像器外部,但是通过有线通信接口和/或无线通信接口124连接到超声波成像器组件108及其内部的元件。在一些实施方式中,显示单元112可以具有输入装置(例如,触摸屏)、用户友好接口(例如,图形用户接口(GUI)),以简化用户交互。

[0089] 在同一实施方式中,pMUT 102的阵列耦合到位于另一个基板上并且紧邻pMUT 102的阵列的专用集成电路(ASIC) 106。所述阵列还可以耦合到不同的阻抗材料和/或阻抗匹配材料104,所述不同的阻抗材料和/或阻抗匹配材料104可以放置在pMUT的阵列的顶部上。在一些实施方式中,成像器126包括可充电电源127和/或到外部电源的连接接口128,例如,使用与诸如USB2或USB3的其他USB标准中的信令协议兼容的USB电力递送接口。在一些实施方式中,再充电方法是无线的。在一些实施方式中,成像器126包括用于ECG信号的输入接口129,用于将扫描与ECG脉冲同步。在一些实施方式中,成像器126具有惯性传感器130来辅助用户引导。

[0090] 箭头115示出了来自超声成像器组件108的超声传输波束,其目标是身体部位116和成像体积元件118。传输波束被成像的目标反射并且进入超声成像器组件108,如箭头115所指示的。除了ASIC 106之外,成像系统100可以包括其他电子控制装置、通信和计算电路。应理解,超声成像器组件108可以是如图1中示出的一个自持单元,或者它可以包括物理上分开但电地连接或无线连接的元件,诸如控制单元110的一部分。图2中示出了这个的示例。

[0091] 图2示出了根据本公开的实施方式的成像器126的示意图。如图2所示,成像器126可以包括:(一个或多个)收发器图块210a,其用于传输和接收压力波;涂层212a,其用作控

制压力波传播方向和/或聚焦压力波的透镜,并且还用作收发器阵列和人体之间的阻抗接口;透镜212还可能导致离开换能器并且还进入换能器的信号衰减,因此也期望将其保持在最小;当俯仰控制是电子的时,可能不需要此透镜,并且可以仅由薄的保护阻抗匹配层代替,其中损失仅最小;控制单元202a,诸如ASIC芯片(或简称为ASIC),其用于控制(一个或多个)收发器图块210a,并且通过凸块耦合到(一个或多个)收发器图块210a。收发器阵列与连接到它的ASIC的组合称为图块。现场可编程门阵列(FPGA)214a,其用于控制成像器126的部件;(一个或多个)电路215a,诸如模拟前端(AFE),其用于处理/调节信号;吸声层203,其用于吸收由(一个或多个)收发器图块210a生成并且向电路215a传播的波;在某些实施方式中,吸声层位于换能器和ASIC之间;在某些实施方式中,不需要这些吸声层;通信单元208a,其用于通过一个或多个端口216a与诸如装置101的外部装置进行数据通信;存储器218a,其用于存储数据;电池206a,其用于向成像器的部件提供电能;以及可选地,显示器217a,其用于显示目标器官图像。

[0092] 在操作期间,用户可以使得被接口材料104覆盖的pMUT 102的阵列表面与身体部位区域接触,超声波在所述身体部位区域上方朝向被成像的目标118传输。成像器接收来自成像目标的反射的超声波束并且对其进行处理或将它们传输到外部处理器以进行图像处理 and/或重建,并且然后传输到便携式装置101以显示图像。还可以收集、计算、导出其他数据,并且在显示器上显示给用户。

[0093] 图1示出了本文的包括图像探头(本文可互换地称为换能器)126的便携式超声成像系统100的示例性实施方式。探头可以含有连接到电子单元(例如,图2中的控制单元202a)的pMUT超声成像器组件108。探头126使用无线通信接口与外部显示单元204通信。

[0094] 此通信方式可以是电缆或无线连接。对于有线连接,可以使用多种数据交换协议,诸如USB2、Lightning等。类似地,对于无线通信,可以使用例如802.11或其他协议的常用协议。类似地,数据记录单元114也可在探头的外部,并且还可以使用无线或有线通信装置与探头126通信。

[0095] 例如,当使用成像器对人体或动物的身体部位进行成像时,传输的超声波会指向目标。通常在身体上涂敷凝胶并且成像器放置在凝胶上之后,通过紧邻身体保持成像器来实现与身体的接触,以允许发射的超声波进入身体的高级接口,并且还允许从目标反射的超声波形重新进入成像器,其中反射的信号用于形成身体部位的图像和在屏幕上显示的结果,包括各种格式的具有或不具有身体部位图像的图表、曲线图、统计数据。

[0096] 应注意的是,探头126可以被产生成具有物理上分开的某些部分,并且通过电缆或无线连接。例如,在此特定实施方式中,pMUT组件和ASIC以及一些与控制 and 通信相关的电子装置可以驻留在通常称为探头的单元中。装置或探头与身体部位接触的部分含有pMUT组件。

[0097] 图3A示出了常规压电元件214的示意图的横截面。在此实施方式中,压电元件具有2个电极,第一电极216连接到信号导体215,并且第二电极218连接到第二导体217,并且可以公共连接到地或其他DC电位。

[0098] 压电元件已经用于超声医学成像几十年了。然而,压电元件可以是厚的,例如,接近100 μm ,并且通常可能需要跨所述压电元件的+100V到-100V的交流电(AC)驱动来形成足够强度的超声压力波,以使能医学成像。此交流驱动信号的频率可在压电结构的谐振频率

附近,并且对于医学成像应用可在1MHZ以上。

[0099] 在一些实施方式中,驱动压电元件所耗散的功率与 $C \cdot V^2$ 成比例,其中C是压电元件的电容并且V是跨压电层的最大电压。当传输时,多个压电元件可以以稍微不同的延迟被一起驱动,以聚焦波束或转向波束。许多元件的同时驱动可能导致元件表面的温度上升。非常期望或要求不超过阈值温度以免伤害被成像的对象。因此,此阈值温度限制了可以被驱动的元件的数量以及它们可以被驱动的时间段。

[0100] 本文在一些实施方式中,公开了与100 μm 厚度的常规体压电元件相比,压电元件薄得多,通常约5 μm 或更薄。厚度的此类大幅减小可以使压电元件能够使用较低电压的驱动信号以维持与常规元件类似的电场强度。例如,本文公开的压电元件可以驱动范围从约5V到40V的峰到峰的电压。

[0101] 对于某些压电材料,压电元件的电容还可以通过厚度的减小而增加。因此,作为示例,当驱动电压从100V减小到10V时,当驱动x10倍较薄的薄膜时,对于较薄的压电材料,电容可以增加x10,并且功耗可以减小10倍。此功耗的减小还可以减小成像探头中的热量生成和温度上升。因此,使用较低的驱动电压,可以降低pMUT表面的温度。

[0102] 在一些实施方式中,对于给定的温度,当使用低电压pMUT时,可以驱动更多的pMUT元件来照亮更大的区域。这可以允许更快地扫描目标,尤其是如果需要多次发射来扫描整个目标以形成图像。通常,可以使用不同的转向角度和组合的图像数据用多次发射来扫描目标区域,以获得更高质量的图像。

[0103] 还可以期望以高帧速率成像。帧速率衡量目标每分钟成像的次数。当涉及组织运动时,期望以高帧速率成像,以在没有图像模糊的情况下观察目标移动。在一些实施方式中,驱动更多压电元件的能力可以允许每次发射更多地覆盖换能器孔径,最小化覆盖整个孔径所需的发射数量,从而增加帧速率。

[0104] 在一些实施方式中,可以通过将几帧图像合成为一个合成的较低噪声帧来改善图像质量。但是,这可以减小帧速率。当使用与常规压电薄膜相比具有更高帧速率的低功率pMUT时,对于给定的pMUT温度上升,由于低电压pMUT具有较低功率,因此可以使用此平均技术,从而使能固有的更高起始帧速率。在一些实施方式中,超声成像的合成孔径方法可以用于允许图像的合成。

[0105] 在一些实施方式中,一次驱动更多压电元件的能力改善了信噪比(SNR)并且能够使能更好的重建图像质量。

[0106] 此外,如图1所示,ASIC 106耦合到pMUT 102的阵列。ASIC可以含有低噪声放大器(LNA)。在接收模式中,pMUT通过开关连接到LNA。LNA将由反射的超声波束在pMUT上施加压力而生成的pMUT中的电荷转换成具有低噪声的放大电压信号。接收到的信号的信噪比可能是确定重建图像质量的关键因素中的一个。因此,期望减小LNA本身的固有噪声。这可以通过增加LNA输入阶段的跨导来实现。例如,这可以通过在输入阶段中使用更多电流来实现。更大的电流可以导致功耗和热量增加。然而,在使用低电压pMUT的情况下,在ASIC紧邻的情况下,与使用高电压操作的换能器相比,对于给定的可接受的总温度上升,低电压pMUT节省的功率可以用于降低LNA的噪声。

[0107] 图3B示出了本文公开的pMUT元件220的示意图。在此实施方式中,pMUT元件220包括2个子元件220a、220b。在一些实施方式中,每个pMUT元件包括一个或多个子元件。在此实

施方式中,每个子元件具有压电层221,所述压电层221具有连接到第一导体222的第一电极223和连接到第二导体227的第二电极225,以及连接到第三导体226的第三电极224,其中所有子元件的第一导体连接在一起,并且所有子元件的第二导体是关联在一起的连接器,并且所有子元件的所有第三导体连接在一起。

[0108] 在一些实施方式中,pMUT元件220包括2个子元件220a、220b,其中每个pMUT元件具有2个端子。例如,220a具有连接到第一导体222的第一电极223和连接到第二导体227的第二电极225,并且220b具有连接到第一导体222的第一电极223和连接到第二导体227的第二电极225。

[0109] 在一些实施方式中,pMUT元件220包括1个子元件220a,其中每个pMUT元件具有2个端子。例如,220a具有连接到第一导体222的第一电极223和连接到第二导体227的第二电极225。

[0110] 在一些实施方式中,子元件220a可以具有多个子元件,其中每个子元件具有2个电极,其中所有第一电极连接到第一导体并且所有第二电极连接到第二导体。

[0111] 图3C是具有2个子元件228a、228b的pMUT元件228的示意图。在一些实施方式中,每个pMUT元件包括一个或多个子元件。在此实施方式中,每个子元件具有压电层231,所述压电层231具有连接到第一导体229的第一电极230和连接到第二导体233的第二电极232,其中所有子元件的第一导体连接在一起,并且所有子元件的第二导体是关联在一起的连接器。

[0112] 在一些实施方式中,子元件228a、228b可以具有多个子元件,其中每个子元件具有2个电极,对于一个元件中有2个子元件的情况,第一子元件的第一电极通过导体连接到第二子元件的另一个电极,并且第一子元件的第二电极连接到第二子元件的剩余电极。

[0113] 图4示出了基板238,在所述基板238上布置了多个压电微加工超声换能器(pMUT)阵列元件239。在此实施方式中,一个或多个阵列元件形成收发器阵列,并且在基板238上包括一个以上的收发器阵列。

[0114] 常规的换能器阵列使用压电材料(例如,锆钛酸铅(PZT)),所述压电材料通过切割一块体PZT以形成单独的压电元件而形成。这些往往是昂贵的。相比之下,本文公开的pMUT阵列设置在基板(例如,晶片)上。晶片可以是各种形状和/或大小。作为示例,本文的晶片可以是用于构建集成电路的半导体工艺中的晶片的大小和形状。可以大批量且低成本生产此类晶片。示例性晶片大小是:直径分别为6、8和12英寸。

[0115] 在一些实施方式中,许多pMUT阵列可以以低成本批量制造。此外,集成电路还可以被设计成具有此类尺寸,使得与pMUT通信所需的连接彼此对准,并且pMUT(图1的102)的阵列可以连接到紧邻的匹配的集成电路(106),通常竖直地低于或接近阵列一段距离,例如约25 μm 到100 μm 。在一些实施方式中,102、104和106的组合称为超声成像器组件108或图块,如图1中示出的。例如,超声成像器组件108的一个示例性实施方式可以具有1024个pMUT元件,连接到匹配的ASIC,所述ASIC对于1024个压电元件具有适当数量的传输和接收功能性。在一些实施方式中,阵列大小不限于1024。它可以更小或更大。还可以通过使用多个pMUT阵列以及多个匹配的ASICs106,并且将它们彼此邻近地组装并且用适当量的阻抗匹配材料104覆盖它们,来实现更大大小的pMUT元件。替代地,单个阵列可以具有以矩形阵列或其他形状布置的大量pMUT元件,其中pMUT元件的数量范围从少于1000到10,000。pMUT阵列和多个

pMUT元件可以连接到匹配的ASIC。

[0116] 图5A示出了压电元件247的示例性实施方式的横截面。在此实施方式中,元件247具有设置在基板252上的薄压电薄膜241。压电薄膜具有连接到信号导体246的第一电极244。此电极通常沉积在生长 SiO_2 的基板上。沉积一层 TiO_2 ,随后沉积铂,在所述铂上溅射PZT或施加PZT溶胶凝胶以产生PZT薄层作为压电薄膜241。通过蚀刻将此和第一金属电极图案化为期望的形状。信号导体246连接到第一电极。第二电极240生长在薄膜241上方并且连接到第二导体250。第三电极242也邻近第二电极生长,但与其电隔离。第三导体248连接到第三电极。示出的电极的实际布局可在邻近电极或环形电极从正方形到矩形、椭圆形等变化,其中一个电极包围另一个电极。压电薄膜可以具有不同的形状并且可以存在于基板和空腔上方的某些部分中。

[0117] 图5B是图5A的压电元件的符号表示。在一些实施方式中,第一导体246电连接到第一电极244。此类连接可以使用金属、通孔、层间电介质(ILD),为了简单起见,这些未示出。第一电极与压电层241接触。第二导体相对于第一电极沉积或生长在压电层的另一侧。第二电极240连接到第二导体250。第三电极242邻近第二电极240定位,并且第三导体248连接到它。第一电极244也称为“O”电极。第二电极称为“X”电极,并且第三电极称为“T”电极。应理解,为了简单起见,用于将导体连接到电极的连接装置,诸如使用通孔、层间电介质(ILD)和其他金属层,没有在所有附图中示出或详细讨论。这些细节对于精通现有技术的人来说是众所周知的。此外,未示出其他细节,诸如示出下面的膜。

[0118] 由于PZT的晶体结构的非对称性,产生电极性,从而形成电偶极子。在宏观晶体结构中,默认情况下可以发现偶极子是随机取向的,如图6中左侧上示出的。当材料受到机械应力时,每个偶极子可以从其原始取向朝向最小化存储在偶极子中的总电能和机械能的方向旋转。如果所有偶极子最初都是随机取向的(即,净极化为零),它们的旋转可能不会显著改变材料的宏观净极化,因此所表现出的压电效应可以忽略不计。因此,重要的是在材料中形成初始状态,使得大多数偶极子可以或多或少地在同一方向上取向。此类初始状态可以通过极化赋予材料。偶极子对准的方向称为极化方向。在图6中示出了极化期间和极化后偶极子的取向(中图和右图)。

[0119] 因此,压电薄膜在使用前可能需要首先被极化。这可以通过跨薄膜施加高电压来实现,通常在高温(例如,175°C)下持续一段时间(例如,1-2分钟或更长时间)。在图3A-3C的压电元件中,可以用2个端子构建pMUT,并且可以例如跨216和218施加高电压。对于1 μm 厚的压电薄膜,此高电压可以是约15V。此类电压足以极化。

[0120] 现有技术pMUT或来自体PZT的其他压电元件通常具有两个电极。如本文所公开的,压电元件可以具有2个(在图3A-3C中)或更多个电极,如图5A和图5B中示出的。在图5A和图5B中,极化期间的第一导体可以关联到地电位,而第二导体关联到负电位,例如对于1 μm 厚的PZT薄膜为-15V,并且第三电极在高温下关联到+15V一段时间。这可以跨PZT薄膜形成2个极化方向,对于第一导体和第二导体之间的薄膜与第一导体和第三导体之间的压电薄膜来说,这2个极化方向是相反的。在极化完成之后,在传输或接收操作期间,第二导体和第三导体可以连接到地或偏置电压,而第一导体连接到在传输操作期间由传输驱动器驱动的ASIC,或者在接收操作期间通过开关连接到LNA。第二导体和第三导体还可以关联到非零DC偏置,其中偏置值可以不同。

[0121] 示例性实施方式中的压电元件利用横向应变,利用压电系数PZT横向应变常数 d_{31} 来形成膜的移动或将膜的移动转换成电荷。与图3A和3C中示出的对于薄膜仅一个极化方向的结构相比,图5A和图5B的PZT元件在传输操作中具有与薄膜正交的极化方向,对于给定的驱动放大了薄膜的移动。因此,可以改善传输灵敏度,从而允许膜在施加的传输驱动的每伏下有更大的移动。

[0122] 在接收模式中,正交极化方向可以形成更多的电荷被LNA感测到。图7中象征性地示出了LNA连接。为了简单起见,未示出将压电元件连接到LNA的路径中的所有元件。在某些实施方式中,压电元件260具有第一电极,所述第一电极通过导体262连接而连接到与LNA 268串联的开关。260的第二电极是266并且可以连接到包括0V(地)的DC偏置。270表示反射的超声波束撞击pMUT元件260并且跨电极266、274形成电荷。应注意,LNA可以被设计成在电压或充电模式中操作。pMUT可能倾向于具有大电容,并且对于给定的电荷量,如果使用电压感测,则跨换能器形成的电压将比具有小得多的电容的PZT体元件低,在PZT体元件中,换能器上的电压被放大。由于LNA输入端的电压是小的,因此输出噪声较大。与电压模式操作相比,由于pMUT元件的高电容,电荷放大可在LNA的输出端提供更好的信噪比,尤其是在接收模式下,对于给定的输入压力,pMUT产生更多的电荷输出时。这在图7中进行了说明,其中由 C_t 接收到的任何电荷都跨小得多的电容器 C_f 转移,从而在LNA的输出端形成更大的电压。这些LNA还可以设计成快速通电或断电(例如,在不到1微秒内)。

[0123] 传统的2D成像是使用设计成高矩形的元件列来完成的。替代地,这可以通过将许多较小的元件布置成列来实现。单个阵列元件可以组合起来作为单个更大的1D阵列元件来组成列。这是通过硬连线这些单独的元件来实现的,以形成具有一个信号导体和公共接地导体的更大的元件。传输驱动、接收检测和控制是针对此一个组合的且更大的两个引线pMUT实现的。

[0124] 图8A示出了本文换能器的超声成像阵列300的示例性实施方式的示意图。出于说明的目的,所述阵列示出为具有9个pMUT元件,布置成3行3列或3乘3。应理解,在实践中,阵列大小可以是根据需要更大或更小的各种大小。大小的非限制性示例包括:32乘32、32乘64、32乘194、12乘128、24乘128、32乘128、64乘128、64乘32、64乘194(列乘行或行乘列)。

[0125] 图5B中使用的符号表示在这里用于此pMUT阵列。在图8B中,每个压电元件的导体连接到电极,并且被命名为 0_{xy} ,其中 x 的范围从1到3,并且 y 的范围从1到3。每个压电元件的第一导体连接到第一电极并且被命名为 0_{11} 。此外,电子可被配置为成像器的所有元件都使得其0引线连接到位于另一个晶片上的对应电子装置。每个元件的第二电极,称为 X ,都通过导体302连接到其他元件的其他 X 电极。导体0是信号导体,而 X 是接地线或偏置线。在图8B中示出的此实施方式中,0电极连接到紧邻其上设置pMUT的基板的ASIC。在存在32乘3pMUT阵列的示例性情况下,有1024个压电元件。可以具有1024个“0”引线连接到ASIC,通常位于pMUT芯片下方。这1024个0线中的每一个都在传输操作期间连接到传输驱动器,并且在接收操作期间连接到LNA的输入端,其中传输驱动器在接收模式中进入高阻抗状态。

[0126] 图9示出了具有3x3元件的换能器阵列的示例性实施方式,其中每个元件具有3个引线/节点,即0、 X 和 T 。0节点被示为 0_{xy} ,其中 X 的范围从1到3,并且 Y 的范围从1到3。这些0节点可以连接到ASIC中的驱动和感测电子装置,其中 X 节点可以一起连接到偏置电源或地,并且 T 节点可以一起连接到另一个偏置电源或地。

[0127] 图10A示出了示例性pMUT阵列,其中每个pMUT元件具有3个端子。在此实施方式中,阵列具有24行,其中每行由128个元件组成。类似地,在同一实施方式中,每列可由24个元件组成,其中所有元件可以具有名为O、X和T的3个端子。例如,左下角元件的O电极标记为00,127。此元件可以具有2个其他电极,即X和T。注意,一行中的所有元件都可以连接到导体X0,所有T端子都可以连接到T0。在极化操作期间,所有O端子都可以连接到0V;所有X端子都可以连接到负电位 $-V_0$;并且所有测试端子都可以连接到正电位 $+V_0$ 。对于下一行,行1的电位可以更高,X1为 $-V_1$,T1为 $+V_1$,直到在行R11上施加最大电压,其中电压为 V_{11} , $-V_{11}$ 。行的顶部半部的电压可以对称于底部半部。在这些偏置条件下,电路可在约 175°C 的高温下极化。图10B示出了在用于成像的极化之后,所有X端子可以连接在一起并且连接到偏置电压,所有T端子也是如此。注意,X和T的偏置电压可以不同。在此布置中,由于沿着列的差分极化,可在俯仰方向上实现变迹,其中旁瓣泄漏可在俯仰平面中最小化。在一些实施方式中,换能器阵列还可以每个元件仅包括2个端子(例如,X端子和O端子),可以不使用T端子。

[0128] 图11A是2个换能器元件与ASIC500互连的示意性表示。在某些实施方式中,2个换能器元件502在一个基板504上,到在另一个基板512上含有传输和接收以及其他功能的ASIC。LNA516的输入端通过开关514连接到引线510,所述引线510将其连接到换能器的信号导体(O引线)。在一些实施方式中,偏置导体506连接到ASIC中并且随后从ASIC出来,用于连接到地或其他偏置电压。这些是换能器的X引线,并且可以与换能器和ASIC中的其他X引线连接在一起。传输驱动器518可由基板512上的ASIC外部的通信来控制,如由520所指示。它还可以连接到开关514,其示出了处于传输模式时的开关连接。如图11A中示出的,LNA的输出端和传输驱动器的输入端可能需要2个不同的引线。通过使用类似于514的多路复用器开关,可以使用一个引线。在一些实施方式中,在接收模式中,可以向外部电子装置提供到LNA输出的连接,而在传输模式中,可以向传输驱动器提供输入。

[0129] 图11B示出了用于一系列电子装置的ASIC中的功能性中的一些的示意性表示。在函数上,一系列电子装置可以直接对接到一系列pMUT以构成复合的更大的线元件。应理解,ASIC可以含有用于其他列或行的电路,并且包括未示出的其他支持电路。还应理解,所期望的实际功能性可以用不同的电路拓扑来实现,这对于熟悉本领域的技术人员来说将被认为是容易理解的。示出的表示只是为了说明想法本身。

[0130] 图11B示出了ASIC 600的一列的示例性示意图。在某些实施方式中,导体608连接到用于图8A至图8B的pMUT阵列中的元件的对应信号导体031。类似地,图8A至图8B的021连接到图11B的628。传输驱动器606可以连接到图11B中的导体608。此驱动器606可以具有开关602,所述开关602连接到其输入端并且连接到用于输入端616的引线(线元件的信号引线),所述引线通过此列上的开关连接到此列中的其他传输驱动器的输入端。开关可由控制单元624控制,控制单元624经由与外部控制器的通信可以确定哪个(哪些)开关将被接通。用于输入端616的信号导体还可以连接到实现传输波束形成器的电子装置。O导体608还可以连接到开关604;开关604的另一侧可以连接到所述列中的类似开关(例如,622)。线614还可以连接到低噪声放大器(LNA)618的输入端。每个线元件(或列)可能只需要一个LNA。LNA可在接收模式中由控制单元624激活,控制单元624也接通开关(例如,604),同时断开其他开关(例如,602)。这可以将pMUT的信号电极(通过经由导体608的连接)连接到LNA,其可以放大接收到的信号并且将其转换成具有低的添加的噪声的接收输出端620(例如,电压输出

端)。注意,在接收模式中,控制器还可以使传输驱动器进入禁用模式,在禁用模式中它们的输出阻抗变得非常高,以免干扰接收信号。在传输模式中,当压电元件不应传输时,可以接通开关610,而开关602和604断开,以确保在传输模式中时不应传输信号的元件的跨pMUT信号和偏置电极的净零伏驱动。X线也连接到ASIC。注意,在图8A至图8B中,仅示出了1个偏置电极X。但是可以存在多个偏置电极。例如,图9示出了具有2个偏置电极X和T的实现方式。原则上,整个阵列只需要2个连接件来连接到T电极和X电极,但是期望具有更加多的连接件来实现高质量成像。当与地或偏置源并联时,增加用于ASIC和pMUT之间的T和X的连接数量会减小T和X导体中的阻抗,并且这减小串扰。串扰是从一个成像元件到另一个成像元件的信号耦合,形成干扰并且降低图像质量。当由于在X线和T线中流动的电流而导致的任何电压降跨理想情况下不应暴露于所述电压的压电元件出现时,可以形成寄生电耦合。当压电元件不在电子控制装置下传输或接收时,X电极、T电极和0电极局部短路。

[0131] 为了简单起见,图11B仅示出了与2个偏置导体中的仅一个(图8A和图8B中的X)的连接。但是应理解,还存在用于连接X端子和T端子的装置,以支持类似于图9中示出的pMUT阵列。

[0132] 在一些实施方式中,图11B中的导体612可以连接到图8B中的X,302。在一些实施方式中,图11B中的导体613还可以连接到X,302,但是在更靠近导体613的位置处等。注意,这些另外的导体613和615不是必需的,而至少需要一个导体(612或613或615)。图11B也未示出连接到图9的测试电极所需的电路。所需的电路可以类似于用于连接到X电极的电路。

[0133] 图11B示出接收输出端620和传输输入端616可能需要2个引线。但是使用多路复用器,还可以使用一个引线来实现此目的。

[0134] 本文的线成像器可以包括多个所述一系列压电元件,每列至少通过信号和偏置引线连接到控制器。适当频率的脉冲驱动一个线。其他线由此脉冲的延迟版本驱动。某个线的延迟量是此类,即它允许传输的合成波束以一定角度被转向或在某个深度聚焦,其中操作称为波束成形。

[0135] 图8A-8B和图9的线成像器是可电子配置的。使用压电元件的阵列的示例,所述压电元件的阵列在一个方向上布置有24个元件,在正交方向(此示例中为方位方向)上布置有64个元件,可以构建64线成像器,其中每行由多达24个元件组成。然而,对于任何线,大小可以从0到24个元件进行电子调整,并且可以激活方位高达64的任意数量的线。

[0136] 如图12A和图12B中示出的,期望在2D成像器或3D成像器中对俯仰平面的薄片成像。在此特定实施方式中,俯仰方向在左侧图上的 y_a 轴线上。俯仰平面1201在 y_a - z_a 平面内。在同一实施方式中,方位平面1202,也是本文的扫描平面,与俯仰平面正交。参考图12B,机械透镜将波束在俯仰平面中聚焦,防止波束偏离以在俯仰平面中形成更厚的分片,并且在不想要的反射成为接收到的信号的一部分的情况下撞击更厚的俯仰分片中的其他物体,增加信号杂波并且降低图像质量。

[0137] 如果波束的传播远远超过预期的分片厚度,它可能会击中期望范围之外的目标,并且来自这些目标的反射会在重建图像中形成杂波。形成在换能器表面上的机械透镜可以将俯仰平面中的波束聚焦到固定的俯仰分片厚度,如图12B所示,其中厚度在俯仰聚焦处最小,如图12B所示,并且也在图12A上被标记为俯仰平面聚点。用于2D成像的电子聚焦将允许凭借作为时间函数的动态接收聚焦来改善在俯仰平面中的聚焦。这里,俯仰焦距随着波束

朝向目标向下行进而变化,并且导致更好的图像。对于3D成像,固定的机械透镜不起作用,因为所述特定的俯仰分片不能被转向或扫过期望的体积。因此,电子控制的俯仰聚焦是期望的。

[0138] 在一些实施方式中,这是通过将换能器分成多个不同的条带来实现的。参考图13A,在特定实施方式中,具有多个换能器元件的换能器被组织成N列,其中每列具有多达M行的收发器元件。元件的行可以被分成:条带A,其包括第一数量的行,其中条带A具有多达N列;条带B,其包括第二数量的行,所述第二数量的行位于具有多达N列的每行的行的中心部段;以及条带C,其包括多达N列的行的下部部段。在一些实施方式中,可以选择单独驱动的条带中的每一个,并且其中每个条带中的列由(一个或多个)传输驱动器共享相同的驱动。条带A、B和C可以与(一个或多个)邻近条带不重叠。替代地,条带可以与其邻近条带重叠多个行和列。在一些实施方式中,条带一起覆盖换能器元件的所有N列和M行。在一些实施方式中,当被电编程时,所有条带可以一起仅覆盖换能器的M乘N阵列的一部分。

[0139] 在一些实施方式中,顶部部段A被组织成使得所述部段中的所有元件由意图用于(一个或多个)元件所在列的(一个或多个)传输驱动器驱动。在此实施方式中,在传输操作中,具有驱动N个复合列的唯一延迟的N个传输驱动器(每个复合列可以包括来自(一个或多个)条带A或B或C的行的元件)用于在方位平面1202中聚焦超声波束。如图14中示出的,在接收操作期间,入射到部段A的反射信号被波束成形以形成扫描线A1、A2、A3等。参考图14,PMUT的三个条带被标记为A、B和C。这些条带包括PMUT的行,其中列上的元件由公共传输驱动器驱动,对于N列具有N个驱动器(即,对于N列中的每列具有不同的驱动器)。可以通过使用条带A的传输和接收来形成扫描线A1、A2等。扫描线B1、B2等由部段B形成,而扫描线C1、C2等由部段C形成。现在使用来自3个部段的扫描数据,使用对来自部段A、部段B和部段C的数据的唯一延迟来执行这次在俯仰方向上的另一个聚焦,其方式类似于先前使用沿着列驱动器的延迟来在方位平面中聚焦波束的技术。此过程可以被认为是一个双阶段波束形成器,其中第一阶段包括从A、B、C产生扫描线,并且第二阶段使用此数据在俯仰平面中产生聚焦。在接收器中通过数字应用延迟来实现俯仰的聚焦。此技术不仅允许在俯仰平面中聚焦,而且允许聚焦是动态的。在此情况下,焦距可以作为时间的函数进行调整,以允许俯仰聚焦与超声波束一起行进。

[0140] 尽管图13A和图14中描述的过程可能需要三次传输和接收,但是来自部段A和部段C的第一次和第二次传输和接收可以组合成一个操作。在一些实施方式中,可以同时执行来自换能器的顶部和底部的传输,其中列的顶部和底部上的延迟是相同的。第二次传输来自中心部分,其延迟与第一次和/或第二次传输中使用的延迟不同。

[0141] 在一些实施方式中,顶部部段、中心部段和/或底部部段可以被分成一个或多个子部段,所述一个或多个子部段中的每一个包括用于脉冲传输和信号接收的多个行。在一些实施方式中,每个子部段可以用于形成类似于本文公开的多个扫描线。

[0142] 在一些实施方式中,换能器元件阵列可以被分成3个以上条带,例如4个、5个、6个、7个等。在一些实施方式中,每个条带中的扫描线可以顺序地或同时地执行。在一些实施方式中,在同时传输中,获得了来自与中心条带对称的条带的扫描线。在一些实施方式中,对于同时操作的部段,同一列中的元件的延迟是相同的。

[0143] 相对于换能器的剩余部段,还可以通过对换能器的两个外部部段的一部分采用较

低幅度的电压来辅助俯仰聚焦。

[0144] 在一些实施方式中,针对所有列的每个元件实现沿着俯仰方向的唯一可编程延迟。假设所有N列都接收相对于彼此延迟的驱动信号。可以生成另外的延迟来沿着列元件添加进一步的延迟,其中沿着列的每个元件可以相对于其在同一列上的(一个或多个)邻近邻居被不同地延迟。延迟分布示例如图18B中示出的。沿着俯仰方向的所有列元件的延迟可以类似。在一个实施方式中,延迟是对称的,对于俯仰平面中的聚焦,其中最大值在中心元件。外部元件和中心元件之间的延迟差异量确定了焦距。

[0145] 在一些实施方式中,在图18B中示出了延迟分布,其中列的边缘元件处的相对延迟可以是 $0 \times RD$ 或 $0ns$ 。对于行1上和R22上的元件,如果需要围绕中心元件对称延迟,则与行0上的延迟相对的延迟可以是 $\alpha \times RD$ 等,如图18B中示出的。延迟RD和 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 等都是可编程的。因此,可以沿着列构建延迟分布,其中延迟可以相对于列边缘的延迟。应注意,对于其他列元件,相对延迟分布可以是相同的。在其他实施方式中,延迟分布可以围绕中心元件不对称,并且可以被任意编程。在一些实施方式中,延迟在 $25ns$ 至 $1000ns$ 的范围内。在一些实施方式中,延迟可在 $10ns$ 至 $5000ns$ 的不同范围内编程。在一些实施方式中,延迟在 $50ns$ 至 $500ns$ 的范围内。

[0146] 在一些实施方式中,在图15中示出了使用本文的系统和方法获得扫描线的过程。在一些实施方式中,反射信号被换能器接收,信号被转换成电压并且被模数转换器(ADC)放大并且数字化。这些接收到的信号也称为RF信号。这些RF信号可以延迟 τ_n (例如, τ_1 、 τ_2 、 τ_3 、 $\tau_4 \dots$)并且求和以形成扫描线,例如,图14中的A1、A2等。在一些实施方式中,信号被延迟并且用系数加权,并且然后被求和以形成扫描线。

[0147] 在一些实施方式中,在接收方向上聚焦波束利用一个以上的RF信号(例如,沿着方位方向(Y)的S1、S2等),所述一个以上的RF信号是称为RF信号的数字化输出样本。在一些实施方式中,例如,利用沿着Y方向的延迟分布来延迟RF样本,并且可以对所得信号进行加权和求和以形成扫描线。

[0148] 如图14所示,在连续的传输和接收事件中,可以使用部段A获得扫描线A1、A2和另外的扫描线。在一些实施方式中,图像帧可以包括许多扫描线,诸如100个或更多个扫描线,以实现被成像的目标区域的精细扫描。类似的程序可以用于使用部段B和部段C获取扫描线。使用第一级波束形成器来产生来自部段A、B、C的扫描线,其中波束形成器使用算法来产生扫描线,其中在所述实施方式中,所描述的算法使用前面描述的信号延迟和求和方法。然后使用合成孔径、二级波束形成器在俯仰平面中实现聚焦,如图16中示出的。在一些实施方式中,这些传输在单个俯仰角度(0° 、 10° 、 20° 、 30° 等)上聚焦,从而减小不在俯仰平面内的平面外杂波并且获得改善的图像。

[0149] 参考图16,在特定实施方式中,第二阶段聚焦/波束形成器使用来自以下的波束数据(即,扫描线数据):A1、B1和C1;A2、B2和C2;A3、B3和C3;等等,它们被延迟、加权和求和以形成最终的波束输出,以允许俯仰平面聚焦。在此实施方式中,X是俯仰轴线。

[0150] 与本文公开的合成透镜的机械透镜不同,焦距可以被电子地编程到波束形成器中。在一些实施方式中,所述过程可能需要多次传输和接收(例如,从N个线进行1次传输和接收以形成扫描线A1),以从换能器的任何部段形成扫描线,例如(部段A、部段B和部段C)。为了形成帧,需要R个扫描线来扫描要成像的整个区域。此外,在此情况下,需要3个单独的

帧A、B、C。在一些实施方式中,期望在图像中具有高帧速率。一帧可以包括许多扫描线。然而,如果可以减小传输和接收的数量,同时可以产生相同数量的扫描线,那么帧速率将会增加。在一些实施方式中,可以通过组合来自两个部段(例如,A和C)的传输和接收来实现增加的帧速率。由于这些区域相对于中心区域是对称的,因此例如图15中示出的区域A和区域C所需的延迟可以相同。通过将这两个区域组合成一个组合区域来传输和接收信号,帧速率可以增加150%。中心部分B可能需要与区域A和C的第一次传输中使用的延迟不同的延迟。在一些实施方式中,沿着方位平面形成扫描线A1、B1、C1等。第二波束形成操作可以使用来自第一级波束形成器的数据,并且使用如图15和图16中示出的类似技术,可在俯仰平面中实现聚焦。在一些实施方式中,2D扫描可以从条带的一侧(例如,列N)起始,并且在另一端(例如,列1)完成。因此,可以通过依次扫描波束A1、A2、AN...来获得帧A。通过遵循帧B的此序列(作为帧A的时间顺序帧),目标可能已经移动。为了最小化运动伪影的影响,可以通过交错不同帧的扫描线(诸如A1、B1、C1、A2、B2、C2等)来完成波束形成。当A和C被组合使得传输和接收可以一起完成时,组合的A、C区域可以被命名为D,扫描线可以被命名为D1、D2等。非限制性示例性扫描序列可以是D1、B1、D2、B2等。这可能有助于最小化对被成像的目标中的移动的敏感性。

[0151] 在一些实施方式中,用于形成A、B、C的行数是可编程的。行数可以根据被成像的解剖结构进行调整,并且可以使用预设(例如,基于用户接口中的解剖结构或患者信息)进行设置。

[0152] 在一些实施方式中,电子合成透镜提供动态聚焦和动态孔径。例如,在近场中,A和C的权重可以最小并且随着深度逐渐增加,因此导致孔径的变化。

[0153] 在一些实施方式中,在传输和接收期间对部段(例如,A和C)进行变迹。可以通过传输(Tx)驱动波形的脉冲宽度调制(PWM)来实现变迹。未修改的脉冲驱动具有标称脉冲宽度。当脉冲宽度改变时,例如减小,从pMUT输出的压力可以减小。在一些实施方式中,变迹是随着元件从换能器的中心到边缘,它们的权重逐渐变小。这可以减小旁瓣并且形成更高质量的图像。通过将变迹施加于所描述的过程,可以减小泄漏到俯仰平面之外的信号。图10A至图10B示出了利用pMUT阵列在俯仰方向上实现变迹的示例性实施方式。阵列中的每一个pMUT都具有3个端子。在此实施方式中,可以用不同的极化强度对pMUT进行编程。例如,图10A中的pMUT阵列可以使用压电材料控制膜的不同极化方向和每行不同的极化强度来极化。图10B示出了极化操作之后阵列的示例性偏置连接。在一些实施方式中,本文相同的原理适用于仅使用2个端子(例如,0端子和X端子)的pMUT。

[0154] 在一些实施方式中,可以通过使用多级(例如,3级或5级或7级)传输驱动来实现变迹。通过选择此驱动信号的不同电平,可以通过施加幅度不同的传输驱动信号来形成变迹,所述传输驱动信号的幅度对于比换能器中心更靠近边缘的元件来说更低。在此示例中,与中心行相比,外部行上的所有元件可以具有较低的驱动电压,并且通过数字解码和选择,某些驱动电平可用于形成多级输出。图22示出了三级解码示例。

[0155] 在一些实施方式中,通过在边缘采用比在换能器孔径中心的压电元件大小更小的压电元件来实现变迹。

[0156] 在一些实施方式中,如图13A中示出的,换能器元件被布置在顶部部段A、底部部段C和中间部段B中。如图13B中示出的,在这些部段(即部段A、部段B和部段C)中的每一个中,

一行上的2个邻近元件在传输和/或接收操作中被电连接在一起,基本上将N线(本文等效于列)换能器转换成一个N/2线换能器。在传输操作期间,每个线的顶部和底部部段可以连接到一个通道,中间部段可以连接到另一个通道。因此,需要N个通道来服务N/2个线。在传输操作期间,所有元件都可以被操作,并且可以通过利用换能器中的所有元件来形成最大传输压力。可以通过传输通道改变行或列之间的相对延迟来实现在方位方向上的聚焦。在接收操作期间,元件可以如图13B中示出的连接并且可在方位方向上聚焦。如图13A所讨论的,可以使用第一级波束形成器的结果,使用波束形成操作来执行俯仰聚焦。使用如图13B中示出的连接的换能器元件的传输和接收操作可以具有使用整个换能器进行一次传输和接收操作的优点,以获得最大信噪比和快速帧速率。信噪比可以高于图13A中示出的情况,其中可以选择单独驱动的条带中的每一个,并且其中因为使用了所有换能器元件,所以每个条带中的列由(一个或多个)传输驱动器共享相同的驱动。此外,可以使用如图13B中示出的换能器而不是使用如图13A中示出的换能器来减小运动伪影。

[0157] 在一些实施方式中,可编程延迟可以沿着一列或多列的俯仰方向生成。在一些实施方式中,如果所有N列都接收到相对于彼此延迟的驱动信号,则可以生成另外的延迟来为沿着同一列的元件添加进一步的延迟。在一些实施方式中,沿着列的每个元件可以相对于其在同一列上的(一个或多个)邻近邻居被不同地延迟。延迟分布示例如图18B中示出的。阵列元件 $e_{i,j}$ 的有效延迟可以是组列延迟 τ_j 和单个行延迟 τ_i 的总和,如下所示:

[0158] $\tau_{i,j} = \tau_j + \tau_i$ (1) 其中在一些实施方式中,延迟 τ_j 、 τ_i 可由以下确定:

$$[0159] \quad \tau_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + z^2} / c \quad (2)$$

$$[0160] \quad \tau_i = \sqrt{(y - y_i)^2 + z^2} / c \quad (3)$$

[0161] 在等式(1)至(3)中,传输的焦点在位置(x,y,z)处,并且对于位置 x_j, y_i 处的元件,可以独立地计算延迟。变量c是传播介质中假设的声速。注意,在完美的不可分离聚焦的情况下,换能器元件的延迟 $e_{i,j}$ 可以计算为:

$$[0162] \quad \tau_{i,j} = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_i)^2 + z^2} / c \quad (4)$$

[0163] 注意,在一些实施方式中,方位和俯仰中的延迟的可分离性假设并且不完美,并且延迟分布中的最大误差出现在聚焦孔径的外部元件上。然而,对于具有小转向角度和/或大f/数量(其中f/数量是焦距与孔径直径的比值)的实施方式,此可分离性假设可以提供令人满意的结果并且易于电子实现。

[0164] 沿着俯仰的所有列元件(例如,同一行)的延迟可能类似。延迟可以是对称的,其中最大值在俯仰平面中的聚焦的中心。延迟量可以确定焦距。

[0165] 在一些实施方式中,可以实现沿着所有列的俯仰方向的可编程延迟。假设所有N列都接收相对于彼此延迟的驱动信号。可以生成另外的延迟来沿着列元件添加进一步的延迟,其中沿着列的每个元件可以相对于其在同一列上的邻近邻居被不同地延迟。还可以实现相对于列上的中心元件的非对称延迟。在某些实施方式中,期望在俯仰平面中转向波束,并且生成列上元件的延迟,使得列的每个元件相对于其邻居具有固定的延迟增量。

[0166] 在一些实施方式中,可以实现沿着俯仰方向的可编程延迟,其中俯仰延迟可以是

两个延迟(例如,粗略的线性延迟和精细的任意延迟)的总和。沿着列的元件的粗略线性延迟对于波束转向也可能是有用的。为了倾斜波束,列底部处的元件与列顶部处的元件相比可以具有横向延迟,其中之间的元件具有线性内插延迟。转向角度越大,延迟越大。此外,沿着列的元件的精细延迟对于在俯仰方向上聚焦波束可能是有用的。例如,如果线的中心元件处的延迟较大,并且中心元件两侧的延迟对称减小,则波束可以聚焦。小的延迟值导致波束具有较大的焦距(例如,几十纳秒),而大的延迟值导致波束具有较短的焦距(例如,几百纳秒到微秒)。在一些实施方式中,如果所有N列都接收到相对于彼此延迟的驱动信号,则可以生成提升延迟以增加沿着列元件的进一步的延迟,其中沿着列的每个元件可以被延迟两个延迟,例如,粗略延迟和精细延迟,其中粗略延迟在邻近元件之间可以是线性的,并且精细延迟在邻近元件之间可以是任意的。沿着列元件的线性延迟可以因列而异,并且沿着列元件的精细延迟可以因列而异。因此,阵列元件 $e_{i,j}$ 的有效延迟可以是组列延迟 τ_j 、线性粗略行延迟 $\tau_{i,粗略}$ 和精细行延迟 $\tau_{i,精细}$ 的总和,如下所示:

$$[0167] \quad \tau_{i,j} = \tau_j + \tau_{i,粗略} + \tau_{i,精细} \quad (5)$$

[0168] 其中 τ_j 、 $\tau_{i,粗略}$ 和 $\tau_{i,精细}$ 可以如下计算:

$$[0169] \quad \tau_j = (\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_{min})^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2})/c \quad (6)$$

$$[0170] \quad \tau_{i,j,粗略} = \Delta \tau y_i$$

$$[0171] \quad \tau_{i,j,精细} = (\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_i)^2 + z^2})/c - \tau_j - \tau_{i,j,粗略} \quad (7)$$

[0172] 在等式(5)至(7)中,传输的焦点在位置(x,y,z)处,并且对于位置 x_j, y_i 处的元件,可以独立地计算延迟。变量c是传播介质中假设的声速。在等式(6)中, y_{min} 参数可以通过将焦点(x,y,z)投影到2D换能器平面上并且计算距投影焦点最小距离的换能器行位置来计算。可以计算粗略延迟的斜率 $\Delta \tau$,使得可以使用精细延迟来给出完美2D延迟的良好近似。

[0173] 本领域技术人员应清楚,与前面提到的X-Y可分离延迟相比,上述用于计算延迟的方法可以对等式(4)的2D聚焦延迟给出更好的近似。改善的延迟计算可能需要粗略延迟时钟、精细延迟时钟和更多寄存器位来实现列乘列的不同延迟为代价。然而,此方法比具有精细时钟延迟和单个元件布线的两个维度完全任意延迟更容易在集成电路中实现。

[0174] 在一些实施方式中,级联的一系列触发器以适当的延迟门控从Tx波束形成器到达列的时钟。然后,此延迟可以通过不同的时钟在列中传播,此时钟的频率是可编程的,但与为各种列驱动器的驱动器生成延迟的Tx时钟同步。对于围绕列上中心元件的对称延迟,生成延迟的触发器链在列的中心元件处停止,其中延迟分布可以围绕中心对称,如图19所示。由触发器生成的延迟可以被路由到适当的位置,使得行0元件具有与最后一行上的元件相同的延迟,第2行上的元件具有与从顶侧上的最后的第2个元件类似的延迟等。

[0175] 在一些实施方式中,列中邻近元件之间的延迟可以是线性的。表1中的结果和图23A中的俯仰波束图示出了与抛物线分布相比,在俯仰中使用线性延迟分布的效果。表1中的结果量化了图23A中单向波束图的波束宽度(在-3dB和-10dB处)。如图23A中示出的,在特定实施方式中,针对2d换能器阵列研究了俯仰聚焦的五种不同实现方式:1)无俯仰聚焦2)完美的2D聚焦,3)线性延迟,4)分段线性延迟以及5)稀疏变迹。对于线性延迟情况,沿着列的邻近元件之间的延迟可以相对于彼此固定,并且俯仰延迟分布可以围绕阵列的中心对称,尽管这个条件不是必需的。对于分段线性延迟,延迟分布可以被分成至少3个段,其中给

定段中的邻近元件相对于彼此具有固定的延迟。此方法可以通过包括多个线性延迟段来更好地近似抛物线延迟分布。与其他方法相比,稀疏变迹方法可以通过接通和断开元件来减小活动元件的数量,以便使阵列在传输时表现得类似于1.5D阵列。在图23B中示出了此稀疏变迹方法的一个示例。注意,在此方法中,与全孔径相比,输出压力可以减小。在图44中示出了换能器不同转向角度的示例。

[0176] 表1中的结果示出了以 0° 方位转向的俯仰波束图的-3dB和-10dB波束宽度。结果显示,线性延迟法优于使用无俯仰聚焦,可以近似于完美的2D聚焦方法。正如预期的那样,分段线性延迟方法实现了比线性方法更好的波束宽度性能。就可实现的波束宽度而言,稀疏变迹方法优于无俯仰聚焦,但不如线性方法。稀疏变迹方法表现不佳的原因最可能是因为它与其他方法相比,沿着稀疏阵列的“行”的间距减小了。图23A中的俯仰波束图结果显示,线性和分段线性延迟波束图与低至-15dB的2D聚焦波束图类似。由于行的横向偏移,稀疏变迹方法具有不对称的波束图,并且此方法还表现出所有研究方法中最大的旁瓣。方法还示出了侧向离轴线转向时的稳定性(图23A的右图)。这些结果表明,上述电子俯仰延迟方法是低成本、电池供电超声系统中相控阵和线阵成像的合适替代方案。

[0177] 表1.

聚焦方法。	-3dB 波束宽度 (mm)。	-10dB 波束宽度 (mm)。
无俯仰聚焦。	6.08。	15.98。
完美的 2D 聚焦。	5.35。	9.23。
线性延迟。	5.38。	9.25。
分段线性。	5.35。	9.25。
<u>稀疏变迹。</u>	5.50。	9.65。

[0179] 表1示出了使用各种延迟分布或不聚焦的俯仰聚焦影响。这些结果量化了图23A的 0° 方位转向波束图的结果。在一些实施方式中,列上的每个元件具有专用的传输驱动器。在一些实施方式中,每个元件驱动器包括由时钟驱动的数字延迟电路,例如,TxB Clk。一个实施方式中的延迟电路包括多个触发器,如图17A中示出的。触发器(例如,DFF1、DFF2、DFF3、DFF4等)具有从列底部起始的数字输入,例如,行0。在一些实施方式中,TxA是从传输波束形成器生成的数字位。传输波束形成器可以包括为每通道提供多个数字位的电路。如图17A中示出的,每通道使用2位。TxA可以是一个数字位。TxB可以是另一位。例如,与附接到TxA的电路相同的电路,如图17A所示,可以用于TxB或任何另外的位。可以对这2位进行编码以确定传输驱动器的电压驱动电平,如图39B中示出的。这里的TxA和TXb是数字信号,可以对其进行解码以确定Tx驱动器的输出电平。例如,如果TxA、TxB都为0,或者输出电平为公共,或者有时为信号地;如果TxA=1,TxB=0,则输出为HI。根据需要,这可以是5V或10V的正电压或其他值。当TxA=0,TxB=1时,输出变为LO或-5V 05-10V,例如当公共为0V时。可在Tx波束形成器中使用称为TxB CLK的高速时钟形成TxA和TxB。在优选的示例中,这可以是200MHZ的时钟。来自Tx脉冲星输出的延迟输出信号可以用于转向或聚焦超声波束,如图18A中示出的。

这里,假设线成像器,其中线上的所有元件共享相同的延迟。每个线元件可以使得2位(例如,TxA、TxB)由Tx波束形成器发送。下一行的位是不同的,可以根据转向或聚焦波束的需要而延迟。由Tx波束形成器施加的这些延迟可以沿着方位轴线,并且可在轴线向方向上转向或聚焦波束。然而,在俯仰方向上也可能需要延迟,以在俯仰平面中转向或聚焦波束。这可能需要对列上的元件进行单独的延迟。图17A示出了示例性实施方式。TxA、TxB位从Tx波束形成器到达列。触发器DFF1-DFFN,其中N是1到16或32或根据需要的大小,位于每一行上。DFF1的输入引脚1可以连接到TXA或TxB。触发器的引脚1可以连接到名为clk_hi的时钟,所述时钟由数字除法器以TxB时钟作为其输入生成。除以M,其中标记为Div Control的数字输入总线(作为非限制性示例,这里示出为8位总线)可以用于确定M的值。触发器DFF1-DFFN, TxA/TxB输入信号的形成延迟如图17A中示出的,其中A、B、C是TxA、TxB的延迟版本。这些的输出可以连接到MUX,所述MUX选择这些输入中的一个作为其输出,其中所述选择可以使用由SEL0、SEL1等控制的解码器来完成,其中这些可以包括F位。例如,对于行0,如果F位全部为0,则标记为1的端口上的输入被选择为MUX的输出。在这种情况下,选择TxA作为输出。如果F的值是二进制1,则标记为1的端口将被选择,并且A将连接到MUX的输出端。然后可以对这些数字输出(在此情况下每个元件2个)进行解码,如图22中示出的,并且用于驱动脉冲星输出。此电路可以相对于列上元件的TxA、TxB位上的传入延迟提供精细延迟。此外,这些延迟对于列上的元件可能是唯一的。图17B示出了示例性实施方式,其中粗略延迟还可以被添加到列上的元件。这里可以包括除以N的另一个除法器。可以包括输入clk_TxB,其中M小于或等于N,并且是整数。此除法器的输出端clk_lo可以连接到图17B中示出的DFF的clk输入端。这里,TxA或DFF的输出(它是TxA的延迟版本)可以连接到MUX,如果选择了非延迟版本,则将其被施加到行0元件。然后可以将其连接到行1上DFF的引脚2。如果行1上元件需要延迟,则可以通过行1上的MUX选择延迟版本(DFF的引脚3输出)。这可以对下一个元件重复。这里,除了行0上的元件之外,所述列上的所有元件都可以添加延迟。被施加到列上元件的此线性延迟可以有助于转向波束。图17A和图17B中的电路还可以被组合以将精细延迟和粗略延迟赋予列上的所有元件。例如,这可以通过向INT_TXA@Row0和其他行上的类似节点添加电路来实现,其中可以插入图17A中的精细延迟电路,以向已经被粗略延迟发生器延迟的这些输出添加精细延迟。图17C示出了用于针对列上的每个元件实现粗略延迟和精细延迟的优选实施方式。TxA或TxB位示出为TxA/B连接到mux_1的引脚1。如果此输入由UP指示的控制选择,则TxA/B出现在mux_1的输出上。然后,可以使用clk_lo通过DFF_a延迟此信号。然后可以使得触发器的输出可用于mux_2,并且如果由mux_2选择了此输入(使用no_lin_delay控制),则mux_2的输出连接到类似于图17A中的DFF1-N。此电路可以提供精细延迟。跟随DFFa的输出,进入mux,类似于mux_1,但用于下一行。然后,可以通过连接到它的DFF延迟此信号。相同的过程可以竖直重复到其他行。这可以延迟信号沿着列上的元件线性上升,例如,从行0到其他行。在每一行上,DFF1-N可以根据需要向列上的所有元件添加精细延迟。mux_1的第二个输入端和所有行的类似mux可以用于线性延迟信号,从顶部的最小延迟和底部的最大延迟(行0)起始。此情况下的TxA/B还可以连接到最后一行上的mux1克隆的引脚2。这样,使用MUX1上的UP控制(以及其他行上的等效控制),延迟可以从底部到顶部增加,或者反之亦然。

[0180] 图21示出了脉冲星波形,即俯仰聚焦延迟和解码完成后传输驱动器的输出,其中

P1表示具有1个延迟单元的元件1的传输驱动器输出,P2表示被施加到元件2的2个延迟单元,并且P4是具有4个延迟的元件4传输驱动器的输出。在此情况下,此图中仅示出了列上的粗略延迟,而未示出精细延迟。

[0181] 图18B示出了列上元件的相对延迟。在一些实施方式中,延迟量确定焦距。在一些实施方式中,所有列的起始延迟可以不同,由需要沿着方位轴线聚焦来设置。沿着俯仰轴线的延迟可以是任意的。例如,延迟可以从换能器的底行到顶行线性增加。在此情况下,可在俯仰方向上转向波束。如果延迟围绕中心元件对称,则在俯仰平面中聚焦。其他各种延迟分布也是可能的,并且可以允许俯仰分片的聚焦和转向。

[0182] 图19示出了沿着换能器的列被施加到压电元件的传输驱动脉冲的非限制性示例性波形。在此实施方式中,换能器在列上具有24个压电元件。P0是行0上某列(例如,列1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11等)上的压电元件,P1是与P0在同一列但在行1上的压电元件,P11在同一列但在行11上,P22在第22行上,并且P23在行23上。在此实施方式中,某一频率的一个脉冲被施加到元件P0。相同的脉冲被施加到元件P1,但是相对于P0延迟了 t_{01} 。类似地,相同的脉冲以比延迟 t_{01} 更长的延迟 t_{011} 到达P11。在此实施方式中,延迟围绕中心元件P11具有对称性。这意味着P23和P0的脉冲时序基本上相同,P1、P22的脉冲时序基本上相同,依此类推,如图19所指示。在一些实施方式中,本文的脉冲(宽度、幅度、形状和/或频率)对于同一列的所有元件都是相同的。在一些实施方式中,本文的脉冲相对延迟和频率对于列的2行上的所有元件是相同的,或者在列上的第一个元件上的初始延迟可以不同于不同列上的类似元件。在一些实施方式中,本文的脉冲具有各种形状并且波形可以具有多个脉冲。脉冲的非限制性示例性形状包括矩形脉冲、高斯脉冲和正弦脉冲中的一种或多种。在一些实施方式中,例如 t_{01} 、 t_{02} 、 t_{03} 、 \dots 、 t_{011} 的延迟对于所有选定列上的所有元件被电子地编程和控制。

[0183] 图20示出了列之间的延迟关系。在此特定实施方式中,延迟由传输波束形成器通道延迟确定。例如, t_{10} 是列0上的元件0和列10上的元件0之间的延迟。这些延迟在传输波束形成器中被编程,并且是可电子调整的,以有助于在方位平面中聚焦波束,如图12A中的平面xa-za中示出的。在一些实施方式中,如图12A中的平面ya-za中示出的,列上的元件之间的延迟被单独编程为在俯仰平面中聚焦波束或倾斜波束。 t_{01} 是同一列上的元件之间的示例性延迟(例如,列0上的元件0和1以及列10上的元件0和1)。在一些实施方式中,列上的元件的延迟相对于由用于所述通道的传输波束形成器确定的起始延迟。在一些实施方式中,起始延迟可由传输波束形成器预确定或者可由传输波束形成器调整。

[0184] 参考图22,在特定实施方式中,示出了脉冲星功能性的示例。在此实施方式中,两个数字输入,即IN1(例如图17A至图17D中的TxA)、IN2(例如图17A至图17D中的TxB)控制脉冲星的电压输出电平。基于这两个输入的逻辑电平,可以生成三电平输出结果,其中HVP0是正高电压,HVM0是负低电压,并且XDCR是有效地电平或0V。在此实施方式中,生成相同脉冲形状的五周期作为输出结果。在一些实施方式中,通过改变模式的IN1、IN2模式和/或频率,可以改变输出结果的模式、频率和/或脉冲数。在一些实施方式中,本文的逻辑电平或逻辑编码可以包括一个或多个输入的数字逻辑操作。在一些实施方式中,逻辑操作包括在选自以下的一个或多个输入上使用一个或多个逻辑操作:“与”、“非”、“或”、“与非”、“异或”、“或非”、“异或非”或任何其他逻辑操作。

[0185] 在一些实施方式中,级联的触发器系列/链以适当的预定或预编程延迟来选通从

用于所述列的传输驱动器到达一系列或多列的传输时钟。在一些实施方式中,此延迟随后由不同的时钟在列中传播,所述不同的时钟的频率是可编程的,但与为各种列驱动器的驱动器生成延迟的传输时钟同步。在一些实施方式中,生成(一个或多个)延迟的触发器链在列的中心元件处停止,其中延迟分布围绕中心对称,如图19中所示。由触发器生成的延迟可以被路由到一系列或多列中的适当位置,因此行0元件具有与最后一行上的元件相同的延迟,第2行上的元件具有与从顶侧最后的第2个元件类似的延迟等。

[0186] 在实施方式中,使用各种延迟分布来实现俯仰聚焦。在俯仰方向上使用线性延迟分布使得延迟从列的底部到顶部单调增加或减少可在俯仰方向上转向波束。最重要的是,波束的一些另外的曲率,其中在列的端部处曲率为零,除了波束转向之外,还可以允许聚焦。理论延迟的线性近似可以足够精确以提供转向和聚焦并且允许在本文的实施方式中描述的经济实现方式。

[0187] 图24A示出了本文的超声成像系统1800。如所描绘的,成像系统可以包括:收发器基板1802;以及电耦合到收发器基板的ASIC芯片1804。在实施方式中,收发器基板1802可以包括一个或多个压电元件1806,其中压电元件中的每一个可以设置在一个或多个膜上。在实施方式中,一个以上的压电元件可以设置在一个膜上。

[0188] 在实施方式中,压电元件1806a-1806n中的每一个可以具有两个或更多个电极,并且这些电极可以连接到容纳在ASIC芯片1804中的驱动/接收电子装置。在实施方式中,每个压电元件(例如,1806a)可以包括电连接到导体(O)(例如,1814a)的顶部导体和电连接到导体(X,T)(例如,1810a和1812a)的两个底部电极。在实施方式中,导体1810a可以电耦合到DC偏置(X)1832a或地,并且导体(T)1812a可以耦合到DC偏置(T)1834a或地。

[0189] 在实施方式中,ASIC芯片1804可以包括:一个或多个电路1842a-1842n,其中每个都电耦合到一个或多个压电元件1806a-1806n;以及一个控制单元1840,其用于控制电路1842a-1842n。在实施方式中,每个电路(例如,1842a)可以包括传输驱动器(1813a)、接收器放大器(例如,1811a)、开关(例如,1816a),所述开关具有电耦合到导体(O)(1814a)的一个端子和在耦合到传输驱动器1813a和放大器1811a的两个导体之间切换的另一个端子。在传输(Tx)模式/过程期间,开关1816a可以将传输驱动器1813a连接到压电元件1806a,使得信号被传输到压电元件1806a的顶部电极。在接收(Rx)模式/过程期间,开关1816a可以将放大器1811a连接到压电元件1806a,使得信号从压电元件1806a的顶部电极传输到放大器1811a。

[0190] 在一些实施方式中,传输驱动器1813a可以包括各种电子部件。然而,为简洁起见,传输驱动器1813a由一个驱动器表示。但是,对于本领域的普通技术人员来说容易理解的是,传输驱动器可以包括具有许多函数的更复杂的驱动器。用于处理接收到的信号的电子部件可以连接到放大器1811a,尽管在图24A中仅示出了一个放大器1811a。在实施方式中,放大器1811a可以是低噪声放大器(LNA)。在实施方式中,电路1842n可以具有与电路1842a相同或类似的结构。

[0191] 在实施方式中,所有DC偏置(X)1832a-1832n可以连接到相同的DC偏置或地,即,所有导体(X)1810a-1810n可以连接到单个DC偏置或地。类似地,所有DC偏置(X)1834a-1834n可以连接到相同的DC偏置或不同的DC偏置,即所有导体(T)1812a-1812n可以连接到单个DC偏置或地。

[0192] 在实施方式中,导体(X、T和O)1810、1812和1814可以使用互连技术连接到ASIC芯片1804,例如,铜柱互连件或凸块(诸如图24B中的1882),如箭头1880所指示。在实施方式中,ASIC芯片1804中的电路部件可以使用互连件1830在ASIC芯片1804外部进行通信。在实施方式中,可以使用从ASIC芯片1804上的焊盘到ASIC芯片外部的另一个焊盘的键合线来实现互连件1830。在实施方式中,除了引线键合焊盘之外,还可以使用其他类型的互连件,诸如ASIC芯片1804上的凸块焊盘或重新分布凸块。

[0193] 在实施方式中,电路1842中包括的LNA 1811可在ASIC芯片1804外部实现,诸如接收模拟前端(AFE)的一部分。在实施方式中,LNA可以驻留在ASIC芯片1804中并且另一个LNA和可编程增益放大器(PGA)可以驻留在AFE中。每个LNA 1811的增益可以被实时编程,从而允许LNA成为成像器所需的时间增益补偿函数(TGC)的一部分。

[0194] 在实施方式中,LNA 1811可以使用低电压晶体管技术来构建,因此,如果它们暴露于常规换能器所需的高传输电压,则可能被损坏。因此,在常规系统中,高电压传输/接收开关用于将高电压传输电压与低电压接收电路分开。此类开关可能是大的而且是昂贵的,使用高电压(HV)处理,并且会降低发送到LNA的信号。相比之下,在实施方式中,可以使用低电压,并且因此,可以不再需要常规系统的高电压部件。此外,在实施方式中,通过消除常规的HV开关,可以避免由常规的HV开关导致的性能下降。

[0195] 在实施方式中,压电元件1806可在接收模式期间通过开关1816连接到LNA 1811。LNA 1811可以将由在压电元件上施加压力的反射压力波生成的压电元件1806中的电荷转换成具有低噪声的放大电压信号。接收到的信号的信噪比可能是确定重建图像质量的关键因素中的一个。因此,期望减小LNA本身的固有噪声。在实施方式中,可以通过增加LNA 1811的输入阶段的跨导来减小噪声,诸如在输入阶段中使用更多的电流。电流的增加可能导致功耗和热量的增加。在实施方式中,可在低电压下操作pMUT(例如,压电元件1806),并且pMUT(例如,压电元件1806)紧邻ASIC芯片1804,并且因此,与在高电压下操作的常规换能器相比,低电压pMUT 1806节省的功率可用于在可接受的给定总温度上升下降低LNA 1811中的噪声。

[0196] 图24B示出了根据本公开的实施方式的成像组件1850的示意图。在实施方式中,收发器基板1852和ASIC芯片1854可以相应地类似于收发器基板1802和ASIC芯片1804。在常规系统中,用于驱动压电换能器的电子装置通常远离压电换能器并且使用同轴线电缆连接到压电换能器。通常,同轴线电缆会增加电子装置上的寄生负载,诸如另外的电容,而另外的电容可能导致关键性能参数的损失,诸如噪声增加和信号功率损失。相比之下,如图24B所指示,一个或多个传输驱动器(或等效电路)1862a-1862n可以使用低阻抗三维(3D)互连机构(诸如Cu柱或焊料凸块1882)(如箭头1880所指示)或晶片键合或类似方法或这些技术的组合直接连接到压电元件(或等效像素)1856a-1856n+i。在实施方式中,在将收发器基板1852集成到ASIC芯片1854时,电路1862可以位于距离压电元件1856竖直(或左右)小于100 μ m的位置。在实施方式中,可以不需要用于在驱动器电路1862和压电元件1856之间进行阻抗匹配的任何常规装置,进一步简化了设计并且增加了超声成像系统1800的功率效率。电路1862的阻抗可以被设计成匹配压电元件1856的要求。

[0197] 在实施方式中,在图24A中,压电元件1806a-1806n中的每一个可以电连接到位于ASIC芯片1804中的电路1842a-1842n中对应的一个。可以使用例如在图17A至图17D中示出

但在图24A和图24B中未明确示出的电路生成传输驱动器1813a-1813n的输入端的信号。在实施方式中,此布置可以允许成像器生成三维图像。类似地,在图24B中,压电元件1856a-1856m中的每一个可以具有由X、T和O表示的三个引线。来自压电元件中的每一个的引线可以通过互连装置1882电连接到位于ASIC芯片1854中的电路1862a-1862m中的对应一个。此外,在实施方式中,一行压电元件(诸如1856n-1856n+i),可以电耦合到一个公共电路1862n。在实施方式中,传输驱动器电路1862n可以用一个传输驱动器来实现。在替代实施方式中,传输驱动器电路1862n可以用多级驱动器来实现,以便于各种成像模式。

[0198] 对于本领域普通技术人员来说,容易理解的是,ASIC芯片1854可以具有类似于电路1862n的任何合适数量的电路。在实施方式中,控制单元1892可以具有在二维像素阵列中水平或竖直配置压电元件、配置它们的长度并且将它们置于传输或接收或极化模式或空闲模式的能力。在实施方式中,可以用如图22和图39A-39B中示出的多级驱动来实现传输驱动器电路1813,其中传输驱动器输出可以具有2个以上输出电平。图39A示出了输出电平可以是0V或6V或12V的实施方式。应理解,这些电压可以是不同的,例如它们可以是-5V、0V和+5V。传输驱动器还可以是具有驱动信号的2级驱动器,如图38中示出的。

[0199] 在实施方式中,引线1882a-1882n可以是用于向压电元件1856的电极(O)施加脉冲的信号导体。类似地,引线1884a-1884n、1886a-1886n和1888a-1888n可以用于与压电元件1856a-1856n+i通信信号。应注意,可以使用其他合适数量的引线来与超声成像系统1800通信信号/数据。

[0200] 在实施方式中,引线(X)1886和引线(T)1888中的每一个可以连接到地或DC偏置端子。在实施方式中,数字控制引线1894可以是数字控制总线并且包括控制和寻址成像组件1850中的各种函数所需的一个或多个引线。例如,这些引线可以允许使用通信协议(诸如串行外围接口(SPI)或其他协议),对ASIC芯片1854进行编程。

[0201] 在实施方式中,可在同一半导体晶片上产生压电元件1806(或1856)和控制电子装置/电路1842(或1862)。在替代实施方式中,收发器基板1802(或1852)和ASIC芯片1804(或1854)可以单独制造并且通过3D互连技术(诸如使用凸块1882的金属互连技术)彼此结合。在实施方式中,互连技术可以消除低产量倍增效应,从而降低制造成本并且独立地最大化部件的产量。

[0202] 在实施方式中,引线1862a-1862n可以是用于向压电元件1806的电极(O)施加脉冲的信号导体。类似地,引线1864a-1864n、1866a-1866n和1868a-1868n可以用于与压电元件1806a-1806n通信信号。应注意,可以使用其他合适数量的引线来与超声成像系统1800通信信号/数据。

[0203] 如上所讨论的,LNA 1811可在电荷感测模式中操作并且每个都具有可编程增益,所述可编程增益可以被实时配置以提供增益补偿。

[0204] 图25示出了根据本公开的实施方式的压电元件2002-11-2002-mn的 $m \times n$ 阵列2000的示意图。如所描绘的,每个压电元件可以是两个端子压电元件(诸如图3A中的压电元件214),并且具有电耦合到导体(O)(例如,2004-11)的电极(O)(诸如2003-11)和经由公共导体(X)2006电耦合到地或DC偏置电压的电极(X)。在实施方式中,每个信号导体(O)可由电路元件独立管理。在实施方式中,每个导体(O)(例如,2004-mn)可以电耦合到电路元件的传输驱动器,而压电元件阵列的所有X电极(2006-11-2006-mn)可以耦合到公共导体(X)2006。在

实施方式中,阵列2000可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n+1$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。更具体地, $m \times n$ 个导体(0) 2004-11-2004-mn可以通过 $m \times n$ 个凸块耦合到ASIC芯片的 $m \times n$ 个传输驱动器,并且公共导体(X) 2006可以通过一个凸块耦合到ASIC芯片。在实施方式中,这里描述的此类示例性布置用于执行3D成像,其中包括至少一个子压电元件的每个压电元件可在阵列中提供唯一的信息。在实施方式中,每个压电元件可以具有一个或多个膜并且以膜的多个模式和频率振动。在实施方式中,每个压电元件2002可由具有图38和图39A中的电压分布3300和3400的脉冲驱动。

[0205] 在实施方式中,每列(例如,2003-11-2003-m1)中的0电极可以电耦合到公共导体。例如,ASIC芯片中的电路元件可以被电子控制,使得每列中的0电极可以彼此电耦合。在此类配置中,在传输模式期间,每列中的0电极可以通过公共传输驱动器或具有相同电驱动信号的多个驱动器接收相同的电脉冲。类似地,在接收模式期间,每列中的0电极可以同时电荷传输到公共放大器。换句话说,每列中的压电元件可以作为线单元(或等效的线元件)操作。

[0206] 图26示出了根据本公开的实施方式的压电元件2102-11-2012-mn的 $n \times n$ 阵列2100的示意图。如所描绘的,每个压电元件可以是三个端子压电元件并且包括电极0、电极X和电极T。在实施方式中,X电极(例如,X11、X21、...、Xm1)可以以串联方式按列耦合并且所有X电极(X11-Xmn)可以电耦合到公共导体(X) 2106。T电极(例如,T11、T21、...、Tm1)可以以串联方式按列耦合并且所有T电极(T11-Tmn)可以电耦合到公共导体(T) 2108。当如实施方式中所描述的连接在一起时,诸如2102-11、2102-21至2102-m1的列元件组成线元件或列。在实施方式中,0电极2103-11-2103-mn中的每一个可以经由导体011-0mn中的一个电耦合到ASIC芯片中的对应电路元件的传输驱动器。在实施方式中,阵列2100可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n+2$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。在ASIC中,连接到0电极的传输驱动器可以接收解码脉冲以形成多级输出,如图22中示出的。对于沿着列的元件,这些脉冲可以被延迟(如图17A至图17D中示出的)。此外,可以沿着列形成延迟(例如,如图19中所示)。

[0207] 在实施方式中,每列(例如,2103-11-2103-m1)中的0电极可以电耦合到公共导体。在此类配置中,在传输模式期间,每列中的0电极可以通过公共传输驱动器接收相同的电脉冲。类似地,在接收模式期间,每列中的0电极可以同时电荷传输到公共放大器。换句话说,每列中的压电元件作为线单元操作。在实施方式中,列中的0电极中的每一个可以连接到专用的传输驱动器,其中列中所有元件的传输驱动器的输入信号是相同的,因此在传输操作期间,在所有压电元件上形成基本上相同的传输驱动输出。此类线元件在每个元件的基础上受到电子控制,因为每个元件都具有其自己的传输驱动器。这在驱动大电容线元件方面具有优势,其中每个元件具有较小的电容并且对于列上的元件,时序延迟可以最小化。在实施方式中,在接收模式中,可以通过将列中的所有元件连接到LNA来感测来自列中的所有元件的电荷,正如通过2D成像所做的那样。对于3D成像,在接收模式操作期间,通过将每个元件的0电极连接到LNA来感测每个元件的电荷。

[0208] 图27示出了根据本公开的实施方式的压电元件2202-11-2202-mn的 $m \times n$ 阵列2200的示意图。如所描绘的,阵列2200可以类似于阵列2100,不同之处在于列中的X电极(例如,X12-Xm2)可以连接到公共导体(例如,2206-1),而列中的T电极(例如,T12-Tm2)可以连接到

公共导体(例如,2208-1)。因此,同一列中的X电极(或T电极)在操作期间可以具有相同的电压电位。在实施方式中,0电极中的每一个可以经由导体011-0mn中的一个电耦合到ASIC芯片中的对应电路元件的传输驱动器。在实施方式中,阵列2200可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n + 2n$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。

[0209] 与阵列2100相比,阵列2200可以使用更多的凸块来将T电极和X电极连接到ASIC芯片。通常,当与地或DC偏置源并联时,增加ASIC芯片和压电阵列之间的X和T连接的数量可以减小X和T导体中的阻抗,并且减小串扰。串扰是指从一个成像元件到另一个成像元件的信号耦合,并且可能形成干扰并且降低图像质量。当由于在X线和T线中流动的电流而导致的任何电压降跨理想情况下不应暴露于所述电压的压电元件出现时,可以形成寄生电耦合。在实施方式中,当压电元件不在电子控制装置下传输或接收时,X电极、T电极和0电极可以局部短路。替代地,空闲电极使0电极接地,留下X电极连接到阵列中的其他X电极,并且T电极连接到阵列中的其他T电极。

[0210] 图28示出了根据本公开的实施方式的压电元件2302-11-2302-mn的 $m \times n$ 阵列2300的示意图。如所描绘的,阵列2300可以类似于阵列2100,不同之处在于每个压电元件可以是五端压电元件,即每个压电元件可以包括一个底部电极(0)和四个顶部电极(两个X电极和两个T电极)。在实施方式中,每个压电元件的两个X电极可以以串联方式按列耦合,并且所有 $2m \times n$ 个X电极可以电耦合到公共导体(X) 2306。类似地,每个压电元件的两个T电极可以以串联方式按列耦合,并且所有 $2m \times n$ 个T电极可以电耦合到公共导体(T) 2308。在实施方式中,0电极中的每一个可以经由导体011-0mn中的一个电耦合到ASIC芯片中的对应电路元件的传输驱动器。ASIC可以含有连接到0节点的传输驱动器,并且可以使用本文例如在图17A至图17D中讨论的技术和电路来延迟到传输驱动器的输入。在实施方式中,阵列2300可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n + 2n$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。

[0211] 参考图28,在此示例性实施方式中,两个子元件连接到X电极并且另外2个子元件连接到T电极。X电极和T电极可以是连接到DC电压源的偏置电极。连接到X电极的2个元件可以具有不同的谐振频率行为。这2个子元件一起可以表现出比每个子元件本身更宽的带宽。其中1个端子连接到T电极的2个子元件可能都表现出与连接到X电极的元件类似的谐振频率行为。例如,连接到X电极的1个子元件和连接到T电极的1个子元件可以具有2MHZ的谐振频率或中心频率,而剩余的子元件可以表现出4MHZ的中心频率。通过组合这2个子元件,复合元件的带宽变得更宽。X电极和T电极的使用还可以允许(一个或多个)子元件中不同的极化方向,增加(一个或多个)元件的灵敏度。然而,原则上,还可以仅使用X电极或T电极来设计宽带元件,如图30中示出的。

[0212] 在图32中示出的另一个示例性实施方式中,一个元件仍然使用2个子元件,但是在此情况下,子元件中的每一个可以具有2个“0”端子。每个子元件可以表现出不同的行为,并且因为每个子元件具有唯一的可控驱动端子(0电极),所以它们可以被独立地电子驱动。

[0213] 图29示出了根据本公开的实施方式的压电元件2402-11-2402-mn的 $m \times n$ 阵列2400的示意图。如所描绘的,阵列2400可以类似于阵列2200,不同之处在于每个压电元件可以是五端子压电元件:一个底部电极(0)和四个顶部电极(两个X电极和两个T电极)。在实施方式中,每个压电元件的两个X电极可在列方向上电连接到导体(例如,2406-1),并且每个压电元件的两个T电极可在列方向上电连接到公共导体(例如,2408-1)。在实施方式中,0电极中

的每一个可以经由导体011-0mn中的一个电耦合到ASIC芯片中的对应电路元件的传输驱动器。在实施方式中,阵列2400可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n + 2n$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。

[0214] 图30示出了根据本公开的实施方式的压电元件2502-11-2502-mn的 $m \times n$ 阵列2500的示意图。如所描绘的,阵列2500可以类似于阵列2100,因为每个压电元件可以具有一个底部电极(O)和两个顶部电极(T),但是不同之处在于沿着列(例如,2502-11-2502-m1)的压电元件的所有两个顶部电极(T)可以电连接到公共导体(例如,2508-1)。在实施方式中,0电极中的每一个可以经由导体011-0mn中的一个电耦合到ASIC芯片中的对应电路元件的传输驱动器。在实施方式中,阵列2500可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $m \times n + n$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。

[0215] 图31示出了根据本公开的实施方式的压电元件2602-11-2602-mn的 $m \times n$ 阵列2600的示意图。如所描绘的,阵列2600可以具有与阵列2100类似的电耦合,即压电元件中的所有X电极可以电耦合到公共导体2606,并且压电元件中的所有T电极可以电耦合到公共导体2608。阵列2600可以与阵列2100的不同之处在于,一个压电元件(例如,2602-11)的顶部电极(X,T)可以具有与另一个压电元件(例如,2602-21)的顶部电极(X,T)相同或不同的几何形状。

[0216] 对于压电阵列2000-2500,每个压电阵列中的压电元件可以彼此相同或不同。例如,一个压电元件2202-11的两个顶部电极的投影区域可以具有与另一个压电元件2202-n1的两个顶部电极的投影区域相同或不同的形状。

[0217] 图32示出了根据本公开的实施方式的压电元件2702-11-2702-mn的 $m \times n$ 阵列2700的示意图。如所描绘的,每个压电元件可以包括两个信号电极(O)和一个公共电极(X)。在实施方式中,每个信号电极(O)可以电耦合到ASIC芯片的对应电路元件的传输驱动器。例如,压电元件2702-11可以包括两个信号导体0111和0112,所述两个信号导体0111和0112可以相应地电耦合到ASIC芯片中的两个电路元件,其中每个信号电极可在接收模式期间产生电荷。在实施方式中,阵列2700可以设置在收发器基板上,并且通过互连机构(诸如 $2m \times n + 1$ 个凸块)电耦合到ASIC芯片。在实施方式中,阵列2700中的所有T电极可以经由公共导体(T)2708电耦合到地或DC偏置电压。

[0218] 在实施方式中,例如,如图25至图32中的,阵列中的信号导体(O)可以电耦合到电路元件,其中电路元件可以包括类似于图24A中的开关1816的晶体管开关,即,开关可以相应地在传输模式和接收模式期间在传输驱动器和放大器之间切换,使得0电极可在传输模式期间生成压力波,并且在接收模式期间产生电荷。

[0219] 图33A示出了根据本公开的实施方式的成像系统2800的示例性实施方式。如所描绘的,成像系统2800可以包括压电元件2802-11-2802-mn的阵列和用于控制阵列/与阵列通信的电路元件。在实施方式中,压电元件2802-11-2802-mn中的每一个可以包括三个电极;第一信号(O)电极和第二信号(O)电极以及T电极。(为了说明的目的,每个压电元件中的第一0电极和第二0电极是指图33A-33B中每个压电元件的左0电极和右0电极)。在实施方式中,成像系统2800中的所有T电极可以经由导体(T)2808电耦合到地或DC偏置电压。在实施方式中,列中的压电元件的第一0电极可以电耦合到公共导体(例如,011),并且同一列中的压电元件的第二0电极可以电耦合到另一个公共导体(例如,012)。在此实施方式中,电子俯

仰转向可能是不可能的,因为例如用于2802-11至2802-m1的所有右0电极可以使用012连接在一起,并且然后连接到一个Tx驱动器或Rx接收器2816-1和2814-1。代替使用012将列上每个元件的0节点硬连接在一起,此列上的每个0节点都可以连接到对应的Tx驱动器,并且然后可以控制发送到传输驱动器的信号的延迟,使得列上的元件可以具有不同的延迟,因此,可在此列的俯仰轴线上实现电子聚焦。这在图33B中示出,在此实施方式中,其中开关2812-11连接到pMUT元件2802-21,并且开关2812-1m连接到2802-m1的0端子。Tx驱动器2816的输入端连接到在元件之间形成期望延迟的电路,诸如图17A至图17D中示出的。对于需要电子聚焦的元件,每个0电极可能需要单独的Tx驱动器、接收放大器和/或开关。在此示例中,需要合成俯仰聚焦的其他pMUT元件也用单独的传输和接收电子装置示出。它们的表示在图33B中以简化形式示出,但意图表示信号的传输和接收的功能需求。在这个示例中,如果011-0n1上的元件不需要电子聚焦,它们可以如示出的硬连线。在实施方式中,在接收模式期间,第一信号0电极和第二信号0电极中的每一个可以产生电荷,所述电荷可由对应的电路处理。

[0220] 在实施方式中,如图33A中示出的,第一组导体011、021、 \cdots 、0n1可以相应地电耦合到放大器2810-1-2810-n,其中在第一0电极的列中产生的电荷可以经由0导体中的一个转移到对应的放大器。在实施方式中,假设不需要沿着俯仰轴线的电子聚焦,则第二组导体012、022、 \cdots 、0n2可以相应地电耦合到开关2812-1-2812-n。否则,011、0n2上的每个元件都可以具有一个Tx驱动器和Rx放大器通过开关连接到它,如图33B中示出的。在实施方式中,每个开关可在传输模式/过程期间连接到传输驱动器,使得信号脉冲可以被传输到压电元件中的一列第二0电极。在实施方式中,每个开关(例如,2812-1)可在接收模式/过程期间连接到信号放大器(例如,2814-1),使得在压电元件(例如,2801-11-2802-m1)中的一列第二0电极中产生的电荷可以被传输到放大器。在实施方式中,压电元件2802-11-2802-mn可以设置在收发器基板中,而开关2812-1-2812-n、传输驱动器2816-1-2816-n和放大器2810-1-2810-n和2814-1-2814-n可以设置在ASIC芯片中,其中收发器基板可以通过 $2n+1$ 个凸块电耦合到ASIC芯片。可以理解的是,尽管前面的解释参考了图33A,但是每个0电极通过开关连接到对应的Tx驱动器和Rx放大器的扩展可以用于电子地实现俯仰聚焦,如图33B中示出的。

[0221] 在实施方式中,传输驱动器(例如,2816-1)可以经由导体(012)向一系列压电元件(例如,2802-11-2802-m1)传输信号,同时,放大器(例如,2810-1)可以从同一列压电元件(例如,2802-11-2802-m1)接收电荷信号。在此类情况下,列中的每个压电元件(例如,2802-11)可以通过一个导体(例如,012)从传输驱动器(例如,2816-1)接收信号,并且同时经由另一个导体(例如,011)向放大器(例如,2810-1)传输电荷信号,即,成像系统2800可以执行同时传输模式和接收模式。与脉冲多普勒成像相比,传输模式和接收模式的此同时操作在连续模式多普勒成像中可能非常有利,在连续模式多普勒成像中可以对高血流速度进行成像。

[0222] 在实施方式中,指电耦合到公共导体的一列0电极的线单元可以作为传输单元或接收单元或两者操作。例如,电信号可以顺序地传输到导体012、022、 \cdots 、0n2,使得线元件在传输模式期间顺序地生成压力波,并且反射的压力波可以被处理并组合以在接收模式中生成目标器官的二维图像。在另一个示例中,电驱动信号可在传输模式期间被同时传输到导体012、022、 \cdots 、0n2,并且可以使用从导体011、012至0n1形成的电荷同时处理反射的压力

波,以同时传输和接收超声波来形成二维图像。导体012-0n2还可以用于在接收操作模式中从压电线元件接收电荷。

[0223] 图34A示出了根据本公开的实施方式的成像系统2900的示例性实施方式。如所描绘的,成像系统2900包括压电元件2902-11-2902-mn的阵列,并且每个压电元件可以包括第一信号(O)电极和第二信号(O)电极以及T电极。在实施方式中,阵列中的所有T电极可以电耦合到一个公共导体(T)2908;第一O电极的每一行可以电耦合到导体01-0m中的一个。如果需要没有合成透镜的线成像器,机械透镜可能就足够了。然而,可以通过不短路列上的所有O节点来实现相同的功能,如图34A中示出的。相反,每个O节点都可由一个驱动器驱动,并且如果列上元件的所有驱动器信号具有相同的延迟,则可以实现如图34A中示出的相同的行为。然而,利用如图34B中示出的实现此的电子方式,可以针对列上的元件生成不同的延迟,并且在俯仰平面中实现更好的聚焦能力,并且还随着信号进入目标而随深度变化的动态俯仰聚焦。在图34A中示出的实施方式中,开关2912-1-2912-n中的每一个可在传输驱动器(例如,2916-1)和放大器(例如,2914-1)之间切换,所述放大器可以是低噪声放大器。在实施方式中,导体01-03中的每一个可以连接到放大器2910-1-2910-m中的一个,所述放大器2910-1-2910-m可以是低噪声放大器。

[0224] 在实施方式中,在传输模式期间,信号可以经由导体(例如,012)从传输驱动器(例如,2916-1)传输到一系列第二O电极,使得所述一系列压电元件可以作为线单元生成压力波。在传输模式期间,每个开关(例如,2912-1)可以切换到对应的传输驱动器(例如,2916-1)。

[0225] 在实施方式中,成像系统2900可以以两种不同的方法处理反射的压力波。在第一种方法中,放大器2910-1-2910-n可以从第一O电极接收电荷信号,即,每个放大器可以从一行第一O电极接收信号。此方法允许双平面成像/模式,其中对于二维图像,双平面图像可以提供正交视角。此外,此方法可以提供二维以上的成像能力。双平面成像可以有助于许多应用,诸如活检。应注意,在此方法中,可以同时执行传输模式和接收模式。在第二种方法中,开关2912可以切换到放大器2914,使得每个放大器可以接收并处理来自第二O电极的对应列的电荷信号。

[0226] 可以通过首先通过对列上的选定元件施加延迟来在方位轴线上形成图像来执行双平面成像。还可以通过向列上的元件添加另外的延迟来实现俯仰聚焦。在随后的操作中,在正交轴线上形成第二图像。这一次,通过对行上的选定元件施加延迟,在俯仰平面上产生图像。可以向行上的元件添加另外的延迟以获得方位方向上的分片厚度控制。然后,所述两个图像被合成相加,以在2个正交平面中显示图像。

[0227] 在实施方式中,线单元是指电耦合到O导体的O电极的列(或行),可以作为传输单元或接收单元或两者操作。在实施方式中,即使导体01-0m布置在与导体012-0n2正交的方向上,这些方向还可以是电子地编程的和可电子调整的。例如,放大器2910和2914的增益可以是可电子调整的,其中在放大器中实现增益控制引线。在实施方式中,每个线元件的长度(即,每个线元件中的压电元件的数量)还可以被电子调整。在实施方式中,这可以通过将每个压电元件的所有信号电极连接到ASIC芯片中的对应节点来实现,并且在ASIC对要彼此连接的元件的信号电极之间的连接进行编程的情况下,传输驱动器或放大器视情况而定。

[0228] 图35A示出了根据本公开的实施方式的耦合到电路元件3001的压电元件3000的实施方式。如所描绘的,压电元件3000可以包括:第一子压电元件3021-1和第二子压电元件

3021-2。压电元件3000可以包括：由第一子压电元件和第二子压电元件共享并且耦合到导体(X) 3006的底部电极(X) 3002。在实施方式中，第一子压电元件3021-1可以包括经由导体3008电耦合到放大器3010的信号(O) 电极3003。在实施方式中，第二子压电元件3021-2可以包括经由导体3012电耦合到开关3014的信号(O) 电极3004。

[0229] 在实施方式中，电路元件3001可以电耦合到压电元件3000，并且包括两个放大器3010和3016，诸如低噪声放大器，以及传输驱动器3018。在实施方式中，开关3014可以使得一个端部通过导体3012连接到O电极3004，并且另一个端部可在用于接收模式的放大器3016和用于传输模式的传输驱动器3018之间切换。在实施方式中，放大器3016可以连接到其他电子装置，以进一步放大、滤波和数字化接收信号，即使放大器被用于象征性地表示电子装置。传输驱动器3018可以是多阶段驱动器并且可以生成具有两级或更多级信令的输出。信令可以是单极或双极的。在实施方式中，传输驱动器3018可以包括在驱动器的电子控制装置下将驱动器的输入端与输出端互连的开关，这在图35A中未明确示出。同样未示出的是驱动器3018的输入信号，其可以相对于如图17A至图17D中示出的同一列上的另一个元件的此类信号被延迟。类似地，还可以实现相对于位于不同列中的元件的延迟，以允许沿着方位轴线的电子聚焦，以允许沿着俯仰平面的电子聚焦。

[0230] 在实施方式中，传输驱动器3018的信号可以是脉冲宽度调制(PWM)的，其中通过每元件的基础上控制脉冲宽度，可以对传输的超声信号形成加权函数。这可以例如执行窗口函数，其中传输信号由窗口函数加权。在实施方式中，加权系数可以通过改变传输信令的占空比来实现，如在PWM信令期间所做的那样。此操作可以允许传输变迹，其中辐射信号的旁瓣被大大衰减，从而允许更高质量的图像。

[0231] 在实施方式中，收发器阵列可以设置在收发器基板中，并且包括 $n \times n$ 阵列的压电元件3000，并且 $n \times n$ 阵列的电路元件3001可以设置在ASIC芯片中，其中每个压电元件3000可以电耦合到 $n \times n$ 阵列的电路元件3001中的对应一个。在此类情况下，收发器基板可以通过3n2凸块与ASIC芯片互连。在实施方式中，压电元件阵列的每列(或行)可以作为线单元操作，如结合图33A和图33B以及图34A和图34B所讨论的。例如，可以同时向一系列压电元件施加相同的脉冲，使得所述一系列压电元件可以同时生成压力波。应注意， $n \times n$ 压电元件阵列中的每个压电元件3000可以与 $n \times n$ 电路元件阵列中的对应一个电路元件3001耦合。替代地，可以通过将元件的O节点连接到专用Tx驱动器和专用接收放大器来单独控制列上的每个元件。通过控制传输驱动器上的延迟和从LNA接收到的信号，可在传输和接收方向上实现俯仰聚焦。

[0232] 在实施方式中，子压电元件3021-1可在整个操作周期期间处于接收模式，而子压电元件3021-2可以处于传输模式或接收模式。在实施方式中，传输模式和接收模式的同时操作可以允许连续模式多普勒成像。

[0233] 在实施方式中，当传输驱动器3018向电极3004传输信号时，由子压电元件3021-2生成的压力波的功率电平可以通过使用脉冲宽度调制(脉冲宽度调制)信令来改变。这是重要的，例如，当从B模式切换到多普勒模式成像时，传输到人体的信号功率可能很长，并且如果功率电平不减小，可以发生组织损伤。通常，在常规系统中，不同的快速稳定电源用于B模式和各种多普勒模式成像，以允许传输驱动电压在2种情况下不同，例如在多普勒模式中不会形成过大的功率。与常规系统不同，在实施方式中，可以在不使用常规的快速稳定电源的

情况下通过使用传输上的PWM信号来改变功率电平。在实施方式中,期望在多普勒和B模式成像之间快速切换,以将这些模式共同成像在一起。在实施方式中,压电元件的接地电极还可以彼此分开并且单独连接到地。在实施方式中,此独立接地可以减小噪声并且导致更快的稳定时间。在实施方式中,还可以通过在电子控制装置下减小传输列的高度来减小传输的功率。这再次便于多普勒和B模式使用相同的电源,并且满足每个模式中的功率传输要求。这也允许共同成像。

[0234] 图36示出了根据本公开的实施方式的用于控制多个压电元件的电路3100。在实施方式中,电路3100可以设置在ASIC芯片中,其中设置在收发器基板和ASIC芯片中的压电元件阵列(以行和列布置)可以通过凸块互连到收发器基板,其中每个pMUT元件可以通过如图35B中示出的开关连接到相关联的Tx驱动器和接收电路,其中0电极连接到开关3014。如所描绘的,电路3100可以包括电路元件3140-1-3140-n的阵列,其中每个电路元件可以与对应压电元件的0电极和X电极通信信号。

[0235] 如图36所示,每个电路元件(例如,3140-1)可以包括第一开关(例如,3102-1)、第二开关(例如,3104-1)、第三开关(例如,3106-1)和传输驱动器(例如,3108-1)。来自传输驱动器(例如,3108-1)的输出可以经由导体(例如,3110-1)被传输到压电元件的0电极。在传输模式期间,每个电路元件可以通过导体3122接收传输驱动器(驱动)信号3124。可以是晶体管开关并且由控制单元3150控制的每个第二开关(例如,3104-1)可以接通以将信号3124传输到传输驱动器(例如,3108-1)。(图36中未示出控制单元3150和电路3100中其他部件之间的电连接)。传输驱动器(例如,3108-1)可以执行逻辑解码、电平转换、缓冲输入信号并且经由导体(例如,3110-1)将传输信号发送到0电极。在实施方式中,在传输模式期间,第一开关(例如,3102-1)可以被断开。

[0236] 在实施方式中,控制单元3150可以决定在传输模式期间需要接通哪些压电元件。如果控制单元3150决定不接通第二压电元件,则第一开关(例如,3102-2)和第二开关(例如,3104-2)可以断开,而第三开关(例如,3106-2)可以接通,使得0电极和X电极具有相同的电位(即,跨压电层存在净零伏驱动)。在实施方式中,第三开关3106可以是可选的。

[0237] 在实施方式中,在接收模式期间,第一开关(例如,3102-1)可以接通,使得在0电极中产生的电荷可以通过导体3110-1和3120传输到放大器3128。然后,放大器3128可以接收电荷信号(或等效地,传感器信号)3126并且放大传感器信号,其中放大的信号可以被进一步处理以生成图像。在接收模式期间,第二开关(例如,3104-1)和第三开关(例如,3106-1)可以被断开,使得接收到的信号不会受到干扰。应注意,电路元件3140-1-3140-n的整个阵列可以共享公共放大器3128,简化了电路3100的设计。在实施方式中,压电元件的X电极可以经由导体3112-1-3112-n电耦合到地或DC偏置电压,其中导体3112-1-3112-n可以电耦合到公共导体3152。

[0238] 在实施方式中,电路3100可以耦合到图25中的一列压电元件(例如,2002-11-2002-n1)。在实施方式中,类似于电路3100的多个电路可以与图30中的阵列中的多列压电元件耦合,并且导体3152可以耦合到公共导体(诸如图25中的2006)。在实施方式中,电路3100可以控制图25至图32中的一列压电元件。

[0239] 图37示出了根据本公开的实施方式的用于控制多个压电元件的电路3200。在实施方式中,电路3200可以设置在ASIC芯片中,其中设置在收发器基板和ASIC芯片中的压电元

件的线(列或行)可以通过凸块互连到收发器基板。如所描绘的,电路3200可以包括电路元件3240-1-3240-n的阵列,其中每个电路元件可以与对应压电元件的O电极、X电极和T电极通信信号。

[0240] 如图37所示,每个电路元件(例如,3240-1)可以包括第一开关(例如,3202-1)、第二开关(例如,3204-1)、第三开关(例如,3206-1)、第四开关(例如,3207-1)和传输驱动器(例如,3208-1)。来自传输驱动器(例如,3208-1)的输出可以经由导体(例如,3210-1)被传输到压电元件的O电极。在传输模式期间,每个电路元件可以通过导体3222接收传输驱动器(或者驱动)信号3224。可以是晶体管开关并且由控制单元3250控制的每个第二开关(例如,3204-1)可以接通以将信号3224传输到传输驱动器(例如,3208-1)。(在图37中未示出控制单元3250和电路3200中的其他部件之间的电连接)。传输驱动器(例如,3208-1)可以对信号进行逻辑解码、电平转换并且缓冲输出信号,并且经由导体(例如,3210-1)将传输输出信号发送到O电极。在实施方式中,在传输模式期间,第一开关(例如,3202-1)可以被断开。

[0241] 在实施方式中,控制单元3250可以决定在传输模式期间需要接通哪些压电元件。如果控制单元3250决定不接通第二压电元件,则第一开关(例如,3202-2)和第二开关(例如,3204-2)可以断开,而第三开关(例如,3206-2)和第四开关(例如,3207-2)可以接通,使得O电极和X(和T)电极具有相同的电位(即,跨压电层存在净零伏驱动)。在实施方式中,第三开关和第四开关(例如,3206-2和3207-2)可以是可选的。应理解,3级信令和执行所述信令的传输驱动器未明确示出。类似地,以简化的方式示出了到类似3206-2、3207-2的X T导体和开关的连接。

[0242] 在实施方式中,在接收模式期间,第一开关(例如,3202-1)可以接通,使得在O电极中产生的电荷可以通过导体3210-1和3220传输到放大器3228。然后,放大器3228可以放大电荷(或传感器)信号3226,其中放大的信号可以被进一步处理以生成图像。在接收模式期间,第二开关(例如,3204-1)、第三开关(例如,3206-1)和第四开关(例如,3207-1)可以被断开,使得接收到的信号不会受到干扰。

[0243] 应注意,电路元件3240-1-3240-n的整个阵列可以共享公共放大器3228,简化了电路3200的设计。在实施方式中,压电元件的X电极可以经由导体3212-1-3212-n电耦合到地或DC偏置电压,其中导体3212-1-3212-n可以电耦合到公共导体3252。在实施方式中,压电元件的T电极可以经由导体3213-1-3213-n电耦合到地或DC偏置电压,其中导体3213-1-3213-n可以电耦合到公共导体3254。

[0244] 在实施方式中,电路3200可以耦合到图26中的一列压电元件(例如,2102-11-2102-n1)。在实施方式中,类似于电路3200的多个电路可以与图26中的阵列中的多列压电元件耦合,并且导体3252可以耦合到公共导体(诸如图26中的2106)。类似地,在实施方式中,导体3254可以耦合到公共导体(诸如图26中的2108)。在实施方式中,电路3200可以控制图25至图32中的一列压电元件。

[0245] 在图27至图37中,导体用于将电极电耦合到另一个电极。例如,电极2006-11-2006-m1电耦合到导体2006。在实施方式中,图27至图37中的导体可以用多种方法来实现,诸如在其上设置压电元件的基板上或者在连接到所述基板的不同基板(诸如ASIC)上沉积和图案化金属互连层。

[0246] 图38和图39A示出了根据本公开的实施方式的用于在传输模式期间驱动压电元件

的示例性波形3300和3400。通常来说,压电材料可能容易受到电介质老化导致的损坏,并且可以通过使用单极驱动信号来延迟或避免老化。波形3300和3400表示0电极和X电极之间和/或0电极和T电极之间的电压电位。如所描绘的,波形本质上可以是单极的,并且可以是两级阶跃波形3300(即,传输驱动器,诸如2812、2912、3018、3108、3208等是单极传输驱动器)或多级(诸如三级)阶跃波形3400。实际电压幅度通常可以从1.8V变化到12.6V。在实施方式中,多阶跃波形3400或具有更多阶跃的波形可以减小压电元件中的发热,并且对于在某些成像模式(诸如,多普勒或谐波成像)期间使用具有优势。

[0247] 在实施方式中,波形3300和3400中的脉冲频率可以根据所需信号的性质而变化,并且需要含有pMUT下面的膜响应的频率。在实施方式中,波形还可以是复杂信号,诸如线性或非线性调频啁啾信号,或使用戈莱码的其他编码信号。

[0248] 在实施方式中,用于驱动压电元件的电路还可以被设计成使得来自下面的膜的传输输出在形状上可以是对称的。在实施方式中,对于波形3300(或3400)中的每个信号脉冲,脉冲的上升边缘可以相对于脉冲的中心与脉冲的下降边缘基本上对称。此对称性降低了传输信号的谐波含量,尤其是二次谐波和其他偶数阶谐波信号。在实施方式中,波形3300(或3400)中的信号脉冲可以是脉冲宽度调制(PWM)信号。

[0249] 图40示出了根据本公开的实施方式的传输驱动信号波形。如所描绘的,来自传输驱动器的信号3500可以是对称的和双极的,即峰最大电压的幅度(H1)和宽度(W1)与峰最小电压的幅度(H2)和宽度(W2)相同。此外,上升边缘3502的斜率与下降边缘3504的斜率相同。此外,上升时间W3与下降时间W4相同,其中下降时间W4是指下降起点和参考电压之间的时间间隔。此外,上升边缘3506具有与上升边缘3502相同的斜率。

[0250] 在传输操作期间,传输驱动器,例如图35A-35B中的3018,可由电波形驱动,诸如图38和图39A-39B中示出的。图41示出了根据本公开的实施方式的成像组件中各种电路的输出信号。在实施方式中,波形3602可以是来自传输驱动器(例如,3018)的输出信号,并且被传输到压电元件(例如,3000)。在实施方式中,由于压电元件可以具有固有带宽,所以它可在其谐振频率下输出正弦输出3604。如果连接到压电元件的0电极的传输驱动器的输出上升非常缓慢,则它可能不能将电极充电到期望的最终值,并且因此可能导致低输出信号,如波形3606中示出的,其中最终幅度小于3602中的幅度。另一方面,如果传输驱动器的输出信号非常快地稳定下来,则传输驱动器的输出信号具有比压电元件的带宽限制更大的带宽,并且因此另外的能量可能以热量的形式耗散。因此,在实施方式中,如波形3608中示出的,压电元件可以以使其完全充电但不是很快充电的速率充电。在实施方式中,波形3608表示作为时间的函数的跨顶部电极和底部电极的电压电位,在形状上更接近换能器的输出,并且因为形状上的差异更小,所以输入信号带宽和输出信号带宽匹配得更好,热量损失更少。在实施方式中,传输驱动器的驱动阻抗被优化以减小能量损失。换句话说,传输驱动器的阻抗被设计成相对于目标时间段内足够的电压稳定所需的散热和时间常数来最优地驱动压电元件。

[0251] 在实施方式中,成像器126可以使用谐波成像技术,其中谐波成像是是指在膜的基频上传输压力波,并且在膜的二次或更高谐波频率处接收反射的压力波。通常,基于二次或更高次谐波频率的反射波的图像比基于基频的反射波的图像具有更高的质量。传输波形的对称性可以抑制传输波的二次或更高次谐波分量,并且因此,可以减小这些分量与反射波中

的二次或更高次谐波的干扰,增强谐波成像技术的图像质量。在实施方式中,为了减小传输波中的二次或更高次谐波,波形3300可以具有50%的占空比。

[0252] 在图25至图34B中,阵列可以包括多个线单元,其中每个线单元包括彼此电耦合的多个压电元件。在实施方式中,可以用具有相位差(或等效延迟)的多个脉冲来驱动线单元。通过调整相位,可以以一定角度转向合成压力波,这称为波束成形。

[0253] 图42A示出了根据本公开的实施方式的传输压力波的幅度作为沿着换能器方位轴线的空间位置的函数的曲线图。如果阵列中的压电元件以2维布置,并且在Y方向上的列上的压电元件被连接并且沿着X方向具有许多列,则X方向称为方位方向,并且Y方向称为俯仰方向。如图42A所示,传输压力波包括主瓣和多个旁瓣。主瓣可以用于扫描组织目标并且具有高压力幅度。旁瓣具有较低的幅度,但是降低了图像的质量,并且因此期望减小它们的幅度。

[0254] 在一些实施方式中,本文的变迹包括使用可变电压驱动,例如,在超声脉冲的边缘附近具有较低的权重,在中心部分附近具有较满的权重。还可以通过改变沿着每一列或每一行的元件数量,单独或者与本文公开的其他方法相结合地实现变迹。

[0255] 图42B示出了根据本公开的实施方式的用于变迹过程的各种类型的窗口。在图42B中,x轴线表示压电元件相对于活动窗口中心处的压电元件的位置,y轴线表示幅度(或被施加到压电元件上的权重)。如所描绘的,对于矩形窗口3720,没有为任何传输线提供加权,即,它们都处于统一的幅度(即,象征性地为1)。另一方面,如果实现加权函数,如汉明窗口3722所描绘的,中心的线比边缘的线获得更大的权重。例如,为了将汉明窗口3722施加于换能器图块,最左侧列中的压电元件(在图42B中表示为-N)和最右侧列中的压电元件(在图42B中表示为N)可以具有最低的权重,而中间列中的压电元件可以具有最高的权重。此过程称为变迹。在实施方式中,可以施加各种类型的窗口加权,即使示出的汉明窗口3722仅意在作为一个示例。在实施方式中,变迹可以用多种手段来实现,诸如通过采用数模转换器(DAC)或者通过保持相同的驱动电平但是减小线上的像素数量来针对不同的线不同地缩放传输驱动器输出驱动电平。净效应是旁瓣电平可以通过采用变迹来减小,其中传输驱动的权重基于特定线位于被激励的传输孔径内的何处而变化。

[0256] 在实施方式中,脉冲或波形电压的减小可以减小换能器表面处的温度。替代地,对于给定的最大可接受换能器表面温度,在较低电压下操作的换能器可以提供更好的探头性能,导致更好质量的图像。例如,对于具有192个压电元件以减小功耗的探头,可以通过仅使用探头的一部分(即,压电元件的子集)并且使用多路复用器按时间顺序扫描剩余元件来生成传输压力波。因此,在任何时间点,在常规系统中,仅一部分换能器元件可以用于限制温度上升。相比之下,在实施方式中,较低电压探头可以允许较多压电元件被同时寻址,这可以使能图像的增加的帧速率和增强的图像质量。在使用LNA放大接收到的信号的接收路径中也会消耗大量功率。成像系统通常使用多个接收通道,其中每接收器通道具有放大器。在实施方式中,使用温度数据,可以断开多个接收器通道以节省电力并且减小温度。

[0257] 在实施方式中,可以通过根据窗口函数改变每个线单元中的压电元件的数量来实现变迹。在实施方式中,此类窗口近似可以通过在线上电子控制压电元件的数量或者通过用所需数量的元件硬连线换能器阵列来实现。还可以通过使用固定数量的元件来形成变迹,但是利用不同的传输驱动电压来驱动这些元件。例如,对于在俯仰方向上的变迹,最大

驱动被施加到列上的中心元件,而较低的驱动器电平被施加到列两侧上围绕列上的中心元件的外部元件。变迹还可以通过基于列上的位置改变元件的极化强度来实现。

[0258] 通常,探头生成的热量可以是传输脉冲/波形中脉冲持续时间的函数。通常,为了使压力波以更好的信噪比(SNR)穿透目标深处,压电元件可能需要长脉冲串。然而,这还降低了轴线向分辨率,并且还在压电元件中生成更多的热量。因此,在常规系统中,发射的脉冲数量很少,有时是一个或两个。因为更长的脉冲可能形成更多的热能,使得它们在常规系统中的使用不切实际。相比之下,在实施方式中,脉冲和波形3300和3400可以具有明显较低的峰值,这可以允许使用长脉冲串、啁啾(chirps)或其他编码信令。在实施方式中,较长的脉冲串不会降低轴线向分辨率,因为在接收器中执行匹配滤波以压缩波形以恢复分辨率。此技术允许更好的信噪比,并且允许信号更深地穿透身体,并且允许对身体更深处的目标进行高质量成像。

[0259] 在实施方式中,可以将一层聚二甲基硅氧烷(PDMS)或其他阻抗匹配材料可以旋涂在换能器元件上方。此层可以改善换能器元件和人体之间的阻抗匹配,使得可以减小换能器元件和人体之间的接口处的压力波的反射或损失。

[0260] 在图25至图34B中,可以通过在y方向(或x方向)上连接像素来形成一个以上的线单元,其中一个线单元(或等效的线元件)是指彼此电连接的多个压电元件。在实施方式中,还可以通过沿着x方向连接压电元件来形成一个或多个线单元。在实施方式中,线单元中的压电元件可以是硬连线的。

[0261] 如结合图24A所讨论的,每个压电元件1806可以电耦合到电路1842,即收发器基板1802中的压电元件的数量与ASIC芯片1804中的电路1842的数量相同。在此类情况下,每列(或行)中的压电元件的电连接可以电子地执行,即,用于连接列(或行)中的电极的硬连线导体(例如,2006)被电子开关代替。换句话说,线成像器/单元中的压电元件可以彼此电连接。对于电子控制的线成像器,可以通过将二维矩阵阵列的每个压电元件连接到控制电路的二维阵列的对应控制电路(诸如,1842)来构建线成像器/单元,其中控制电路在空间上靠近像素。为了形成线元件,可以电子地接通控制像素的列(或行)的多个驱动器。在实施方式中,每个线成像器/单元中的驱动器的数量可在程序控制下被电修改,并且是可电子调整的。

[0262] 在实施方式中,分布式驱动器电路可以高效地驱动每个像素的较小电容,而在驱动器和像素之间没有其他均衡元件,消除了驱动非常大的线电容的困难。在实施方式中,驱动器优化可以允许上升边缘和下降边缘对称,从而允许传输输出中更好的线性,使能谐波成像。(结合图38和图39A描述了对称性)。在实施方式中,电子控制装置可以允许可编程孔径大小、传输变迹以及水平或竖直转向控制,所有这些都可以改善图像质量。在实施方式中,在电子控制装置下的可配置线成像器/单元可在程序控制下被电修改。例如,如果在y方向上需要较少数量的连接元件,则可以通过软件控制来调整数量,而不必重新旋转控制电子电路或压电阵列。

[0263] 在实施方式中,每个线单元可以被设计成由若干子单元组成,每个子单元具有单独的控制。这些子单元的优势在于,它们可以减轻使用单个外部传输驱动器驱动线单元的大容性负载的难度。例如,如果形成两个线单元来代替包括列中的整个压电元件的一个线单元,则可以采用两个不同的传输驱动器(诸如,2816),并且每个传输驱动器可以控制整个

线单元的负载的一半。此外,即使使用一个驱动器,单独驱动线单元的前半部分和线单元的后半部分也可由于到线单元两端的较低电阻连接而改善驱动情况。

[0264] 在实施方式中,可以控制线单元的长度和取向。例如,在图25至图34B中,线单元可在x方向和y方向两者上布置。举例来说,在图25中,沿着列(例如,2003-11-2003-m1)的0电极可以电耦合以形成一个线单元,并且其他列中的0电极可以电耦合以形成沿着x方向延伸的n个线单元。更具体地,沿着x方向延伸的线单元包括n个0电极(2003-12-2003-1n)、…(2003-m2-2003-mn)。在实施方式中,可能能够通过控制ASIC芯片中的电路来实现沿着正交方向的线单元的布置。

[0265] 在图25至图35B中,每个压电元件可以包括两个或多个顶部(X和T)电极。在实施方式中,这些顶部电极下方的压电层可在相同方向或相反方向上极化。当与适当施加的信号电场结合时,多极化方向可以改善换能器的传输和接收灵敏度,并且还可以形成另外的谐振以能使更宽的带宽。

[0266] 在图25至图35B中,每个阵列可以具有一个或多个膜,所述一个或多个膜设置在压电元件下面。在实施方式中,膜可以具有多个振动模式。在实施方式中,一个膜可在某频率下以基本模式振动,而另一个膜可在由膜设计和具有不同极化方向的电极的相对布置所确定的不同频率下振动。在实施方式中,多个膜可由相同的电极组驱动并且每个膜可以具有不同的基频。在实施方式中,每个膜可以响应宽范围的频率,增加其带宽。此外,此类具有不同极化方向的换能器可以有助于增加传输和接收灵敏度,同时还使能高带宽换能器。

[0267] 在一些实施方式中,列中的X(或T)电极可以电耦合到导体。在实施方式中,这些导体可以电耦合到一个公共导体。例如,导体可以电耦合到一个公共导线,使得阵列中的所有T电极可以耦合到地或公共DC偏置电压。

[0268] 在一些实施方式中,每个阵列可以包括以二维阵列布置的压电元件(例如,图25至图34B),其中在x方向上的元件数量可以与在y方向上的元件数量相同。然而,对于本领域的普通技术人员来说,将容易理解的是,在x方向上的元件数量可以不同于在y方向上的元件数量。

[0269] 在实施方式中,耦合到换能器基板(诸如,1802)的ASIC芯片(诸如,1804)可以含有温度传感器,所述温度传感器在操作期间测量面向人体的成像装置(例如成像器)126的表面温度。在实施方式中,可以调节最大允许温度,并且此调节可以限制成像装置的功能性,因为温度不应上升超过允许的上限。在实施方式中,此温度信息可以用于改善图像质量。例如,如果温度低于最大允许限值,则放大器可以消耗另外的功率以降低其噪声并且改善系统信噪比(SNR),从而改善图像质量。

[0270] 在实施方式中,成像装置126消耗的功率随着同时驱动的线单元的数量增加而增加。可能需要驱动成像装置126中的所有线单元以完成从整个孔径传输压力波。如果只驱动几个线单元来传输压力波,一次等待并且接收反射的回波,则需要更多的时间来完成驱动整个孔径的整个线单元的一个周期,从而减小每秒可以拍摄图像的速率(帧速率)。为了改善此速率,一次需要驱动更多的线单元。在实施方式中,温度的信息可以允许成像装置126驱动更多的线以改善帧速率。

[0271] 在一些实施方式中,每个压电元件可以具有一个底部电极(O)和一个或多个顶部电极(X和T),并且具有一个以上的谐振频率。例如,图30中的每个压电元件2502可以具有一

个底部电极 (0) 和两个顶部电极, 其中第一顶部电极和底部电极 (0) 可以响应于第一频率 f_1 , 而第二顶部电极和底部电极 (0) 可以响应于可以不同于 f_1 的第二频率 f_2 。

[0272] 在实施方式中, 在接收模式期间产生的电荷被转移到放大器, 诸如 1811、2810、2814、2910、2914、3010、3016、3128 和 3228。然后, 放大的信号可由各种电子元件进一步处理。因此, 对于本领域的普通技术人员来说容易理解的是, 放大器 1811、2810、2814、2910、2914、3010、3016、3128 和 3228 中的每一个统称为处理电荷信号的一个或多个电子部件/电路, 即, 每个放大器象征性地表示用于处理电荷信号的一个或多个电子部件/电路。

[0273] 图 43 示出了根据本公开的实施方式的成像组件 3800 的示意图。如所描绘的, 成像组件 3800 可以包括: 收发器基板 3801 (图 38 中未示出), 其具有压电元件; ASIC 芯片 3802, 其电耦合到收发器基板 3801; 接收器多路复用器 3820, 其电耦合到 ASIC 芯片 3802; 接收器模拟前端 (AFE) 3830; 发射器多路复用器 3824, 其电耦合到 ASIC 芯片 3802; 以及传输波束形成器 3834, 其电耦合到发射器多路复用器 3824。在实施方式中, ASIC 芯片 3802 可以包括多个电路 3804, 所述多个电路 3804 连接到收发器基板 3801 并且被配置为驱动收发器基板 3801 中的多个压电元件。在实施方式中, 每个电路 3804 可以包括诸如 LNA 的接收器放大器 (或简称放大器) 3806、以及用于向压电元件传输信号的传输驱动器 3808、以及在放大器 3806 和传输驱动器 3808 之间切换的开关 3810。放大器可以具有可编程增益和将它们连接到需要感测的压电元件的装置。传输驱动器具有优化其阻抗的装置和连接到待驱动的压电元件的装置。

[0274] 在实施方式中, 接收器多路复用器 3820 可以包括多个开关 3822, 并且接收器 AFE 3830 可以包括多个放大器 3832。在实施方式中, 开关 3822 中的每一个可以将电路 3804 电连接到放大器 3832 或/从放大器 3832 断开电路 3804。在实施方式中, 发射器多路复用器 3824 可以包括多个开关 3826, 并且传输波束形成器 3834 可以包括多个传输驱动器 3836 和未示出的控制各种驱动器的传输驱动器波形之间的相对延迟的其他电路, 以及未示出的控制传输驱动器中的每一个的频率和脉冲数的其他电路。在实施方式中, 开关 3826 中的每一个在传输操作期间接通并且连接到电路 3804, 而开关 3822 断开, 而开关 3810 连接到传输驱动器 3808。类似地, 在接收操作期间, 开关 3826 断开, 而开关 3822 接通, 同时开关 3810 连接到放大器 3806。

[0275] 在实施方式中, 开关 3810 可在传输模式期间切换到传输驱动器 3808, 并且在接收模式期间切换到放大器 3806。在实施方式中, 开关 3822 的一部分可以闭合, 使得对应的电路 3804 可以被设置为接收模式。类似地, 开关 3826 的一部分可以闭合, 使得对应的电路 3804 可以被设置为传输模式。由于开关 3822 的一部分和开关 3826 的一部分可以同时闭合, 成像器组件可以同时在传输模式和接收模式两者中操作。此外, 接收器多路复用器 3820 和发射器多路复用器 3824 减小了 ASIC 引脚的数量。在实施方式中, 接收器多路复用器 3820、接收器 AFE 3830、发射器多路复用器 3824 和发射器波束形成器 3834 可以包括在控制单元 202a 中, 或者部分还可以驻留在图 2 中的 215a 中。

[0276] 在实施方式中, 每个压电元件可以具有两个以上的电极, 其中一个电极可以处于传输模式以生成压力波, 而另一个电极可以同时处于接收模式以产生电荷。传输模式和接收模式的此同时操作允许更好的多普勒成像。

[0277] 被成像的目标的移动可能导致所得图像中的误差, 并且可能期望减小这些误差。移动的一个示例是当执行心脏成像时, 心脏组织正在移动。可能需要高帧速率以减小移动

的影响。因此,在维持电子方位和俯仰聚焦以及变迹的同时改善帧速率可能是重要的。这不仅可以减小图像中的毛刺,而且还可以通过电子地改变方位和作为深度函数的电子聚焦,在接收器中使用动态聚焦来获得更好的图像。通过同时操作顶部部段和底部部段,减小操作次数,可在图16所示的双阶段波束形成器中实现帧速率改善。此外,通过在生成A2、B2、C2之前完成对一个完整列(例如,图14的A1、B1和C1)的扫描,有助于最小化移动对线的影响。此外,可以通过使用操作部段中的所有行和列的传输和接收来形成一个扫描线。然而,使用平行波束形成器技术[使用平行波束形成的高帧速率超声成像,Tore Grüner Bjåstad, 2009年1月挪威科技大学博士学位论文],可以形成多个(例如,四个)波束。这可以有助于进一步增加帧速率,减小移动的影响。这些技术也可能形成像差,但是有已知的电子方法来校正它们。

[0278] 在一些实施方式中,尽管本文图中示出的各个元件之间的电子或电连接是硬连线或物理连接,但是可以使用不同的数字连接来使能可编程和更灵活的数字通信。在一些实施方式中,此类数字连接件可以包括但不限于开关、插头、门、连接器等。

[0279] 在一些实施方式中,可以使用如本文公开的换能器元件的2D阵列来执行3D成像。可以通过控制列元件的延迟来寻址方位平面。此延迟控制可以类似于在B模式成像中使用的延迟控制。3D成像可以在3D空间中形成体积,并且因此可能需要处理俯仰平面。在示例性实施方式中,可在俯仰平面中转向超声波束,用于从整个换能器阵列的传输。在此情况下,通过控制方位方向上的延迟,在方位平面中聚焦波束。俯仰控制可以通过控制与在俯仰平面上转向波束一致的列上的元件的延迟来实现,例如,所有列的所有列元件。在此示例性实施方式中,通过从多列(例如,128列)传输获得方位平面中的一个扫描线,每列元件的底部元件根据需要相对于另一个类似的列不同,以在方位平面中聚焦波束。在同一实施方式中,列上的元件可以从行0上的元件起始具有恒定的延迟增加,与在俯仰平面中转向波束一致。然后,这些步骤可以重复多次,例如100次,拾取不同的区域以在方位平面中聚焦波束,但是维持相同的俯仰延迟以在俯仰方向上维持相同的波束转向。然后这可以以俯仰角度生成100个扫描线。随后可以是具有与先前类似的方位聚焦的另外100个传输事件,但是俯仰转向是使用列上元件的不同延迟来完成的,从而导致不同的转向角度。可以执行许多不同的转向角度来扫描体积。在图44中示出了不同的转向角度。可在换能器中接收得到的回波信号并且可以重建图像。为了加快每秒帧数,可以执行平行波束形成并且可以针对高质量图像校正相位像差。尽管在前面的描述中提供了某些实施方式和示例,但是本发明的主题超出了具体公开的实施方式,延伸至其他替代实施方式和/或用途、以及其修改和等同物。因此,所附权利要求的范围不受以下描述的任何特定实施方式的限制。例如,在本文公开的任何方法或过程中,该方法或过程的动作或操作可以以任何合适的顺序执行,并且不必限于任何特定公开的顺序。可以以有助于理解某些实施方式的方式将各种操作依次描述为多个离散操作。然而,描述的顺序不应解释为暗示这些操作是顺序相关的。另外,本文描述的结构、系统和/或设备可以体现为集成组件或独立组件。

[0280] 出于比较各种实施方式的目的,描述了这些实施方式的某些方面和优点。不一定通过任何特定实施方式来实现所有这些方面或优点。因此,例如,可以实现或优化本文所教导的一个优点或一组优点的方式执行各种实施方式,而不必实现本文所教导或建议的其他方面或优点。

[0281] 如本文所用,A和/或B涵盖A或B及其组合中的一个或多个,诸如A和B。应理解,尽管术语“第一”、“第二”、“第三”等在本文中可用于描述各种元件、组件、区域和/或部分、但是这些元件、组件、区域和/或部分不应受到这些术语的限制。这些术语仅用于区分一个元件、组件、区域或部分与另一元件、组件、区域或部分。因此,在不脱离本公开的教导的情况下,以下讨论的第一元件、组件、区域或部分可以被称为第二元件、组件、区域或部分。

[0282] 在此使用的术语仅是出于描述特定实施方式的目的,并不旨在限制本公开。如本文所使用的,单数形式“一”、“一个”和“该”也旨在包括复数形式,除非上下文另外明确指出。还将理解,术语“包含(comprises)”和/或“含有(comprising)”或“包括(includes)”和/或“具有(including)”在本说明书中使用,指定存在所述特征、区域、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但不排除存在或添加其一个或多个其他特征、区域、整数、步骤、操作、元件、组件和/或组。

[0283] 如本说明书和权利要求书中所使用,除非另有说明,否则术语“大约”和“约”或“基本上”是指取决于实施方式,小于或等于 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ 、 $\pm 4\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 6\%$ 、 $\pm 7\%$ 、 $\pm 8\%$ 、 $\pm 9\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 11\%$ 、 $\pm 12\%$ 、 $\pm 14\%$ 、 $\pm 15\%$ 或 $\pm 20\%$ 的变化,包括数值的其中增量。作为非限制性示例,取决于实施方式,大约100米代表95米至105米(其是100米的 $\pm 5\%$)、90米至110米(其是100米的 $\pm 10\%$)或85米到115米(其是100米的 $\pm 15\%$)的范围。

[0284] 尽管已经在本文中示出和描述了优选实施方式,但是对于本领域技术人员容易理解的是,这些实施方式仅通过示例的方式提供。在不脱离本公开的范围的情况下,本领域技术人员现在将想到许多变化、改变和替换。应理解的是,在实践中可以采用本文所述实施方式的各种替代方案。本文描述的实施方式的许多不同的组合是可能的,并且这样的组合被认为是本公开的一部分。另外,结合本文的任何一个实施方式讨论的所有特征可以容易地适于在本文的其他实施方式中使用。意图是,以下权利要求限定本公开的范围,并且由此涵盖这些权利要求的范围内的方法和结构及其等同物。

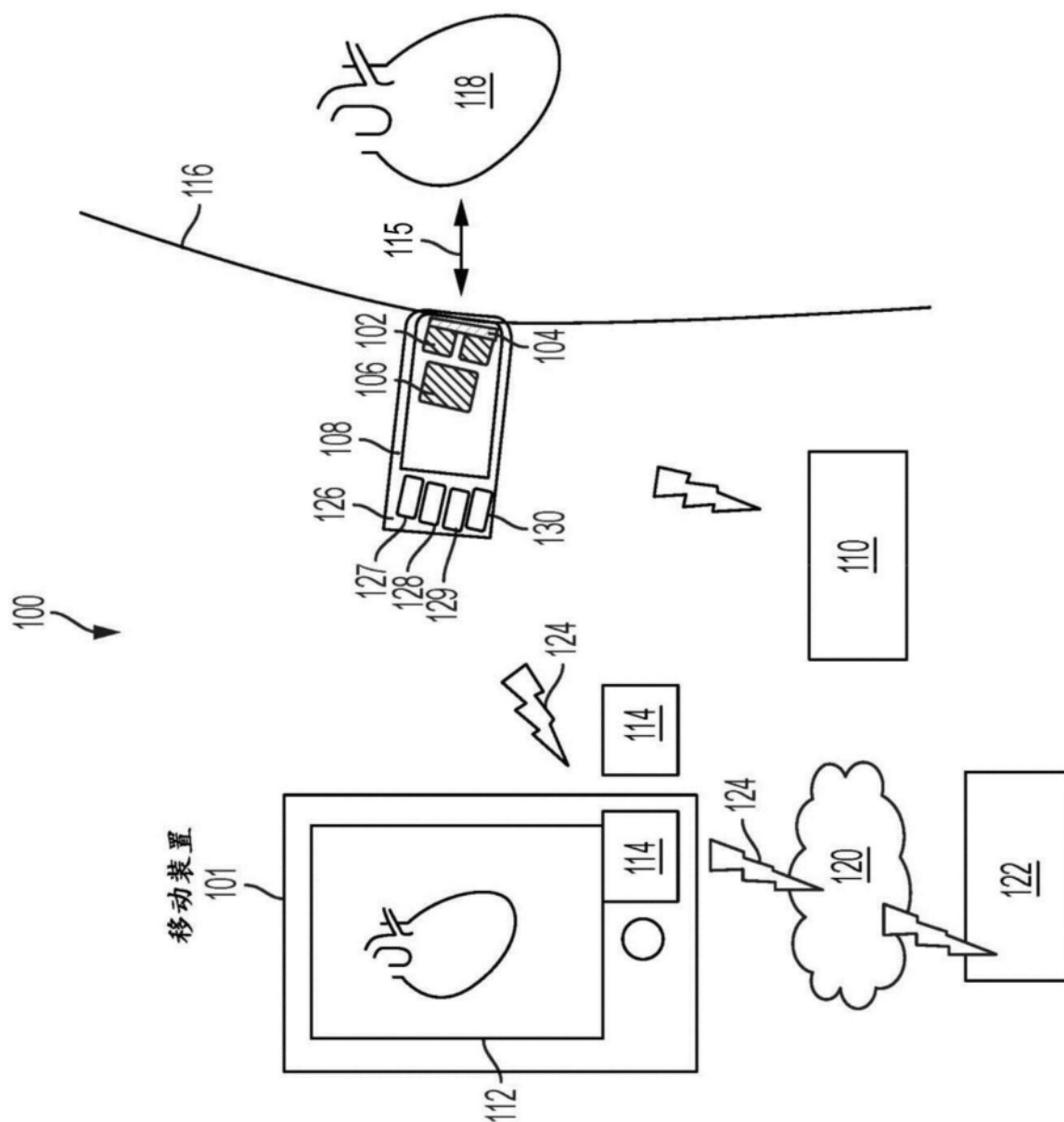


图1

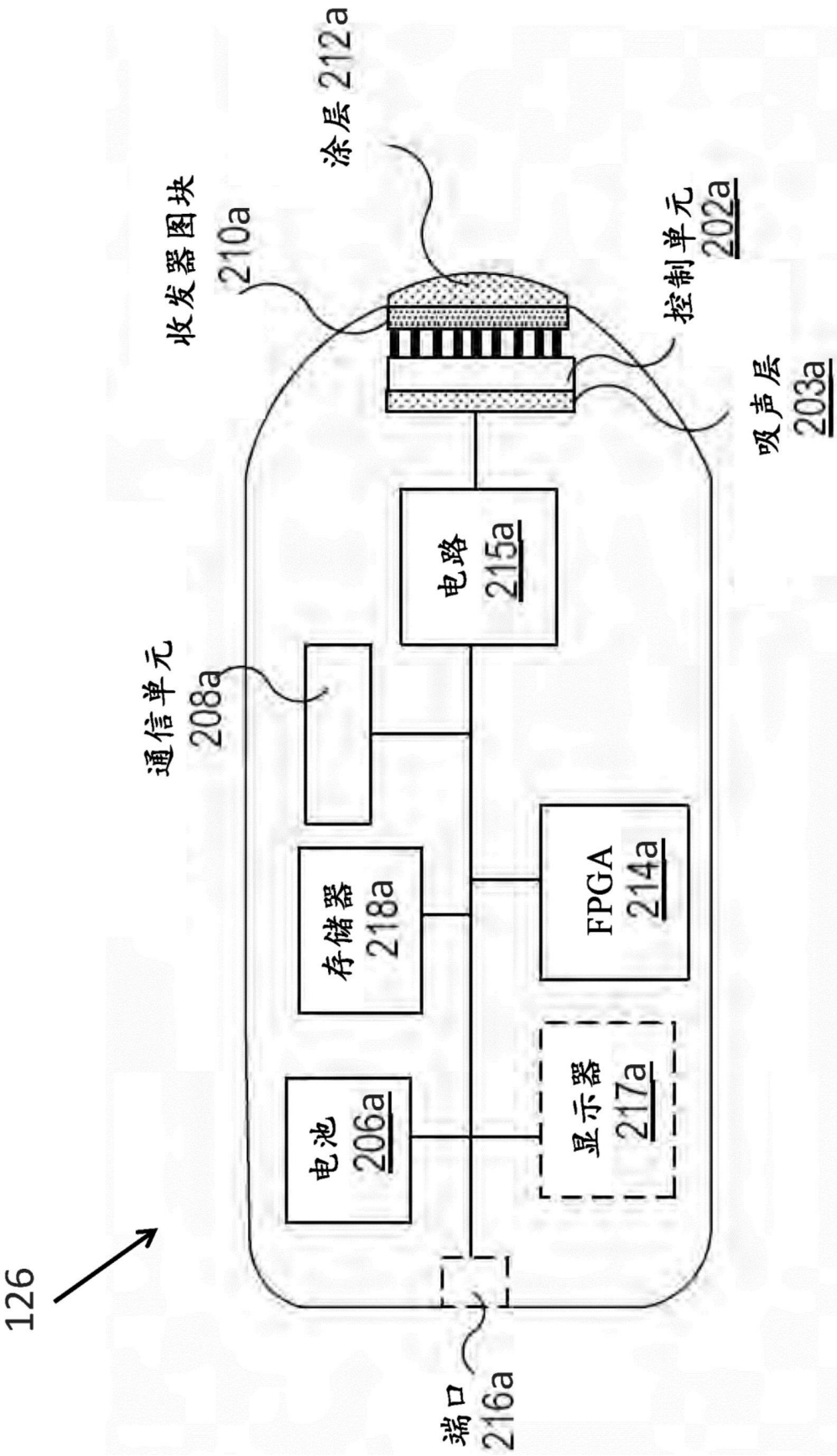


图2

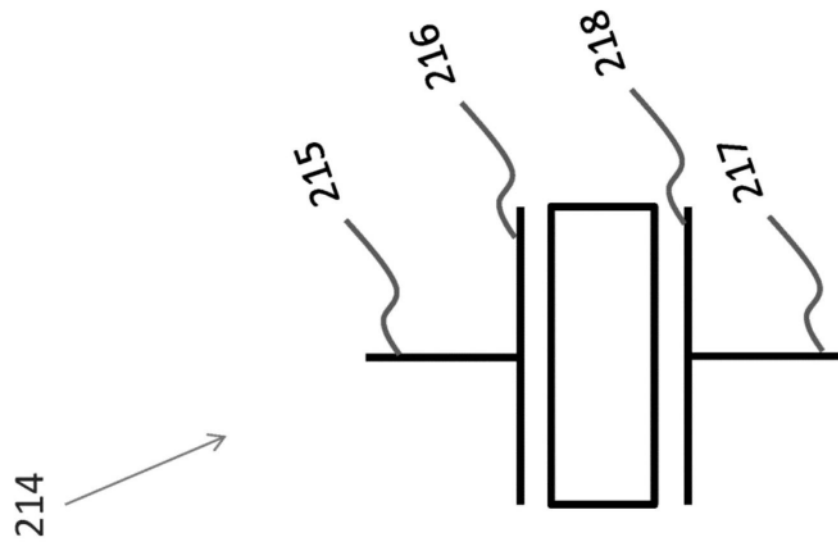


图3A

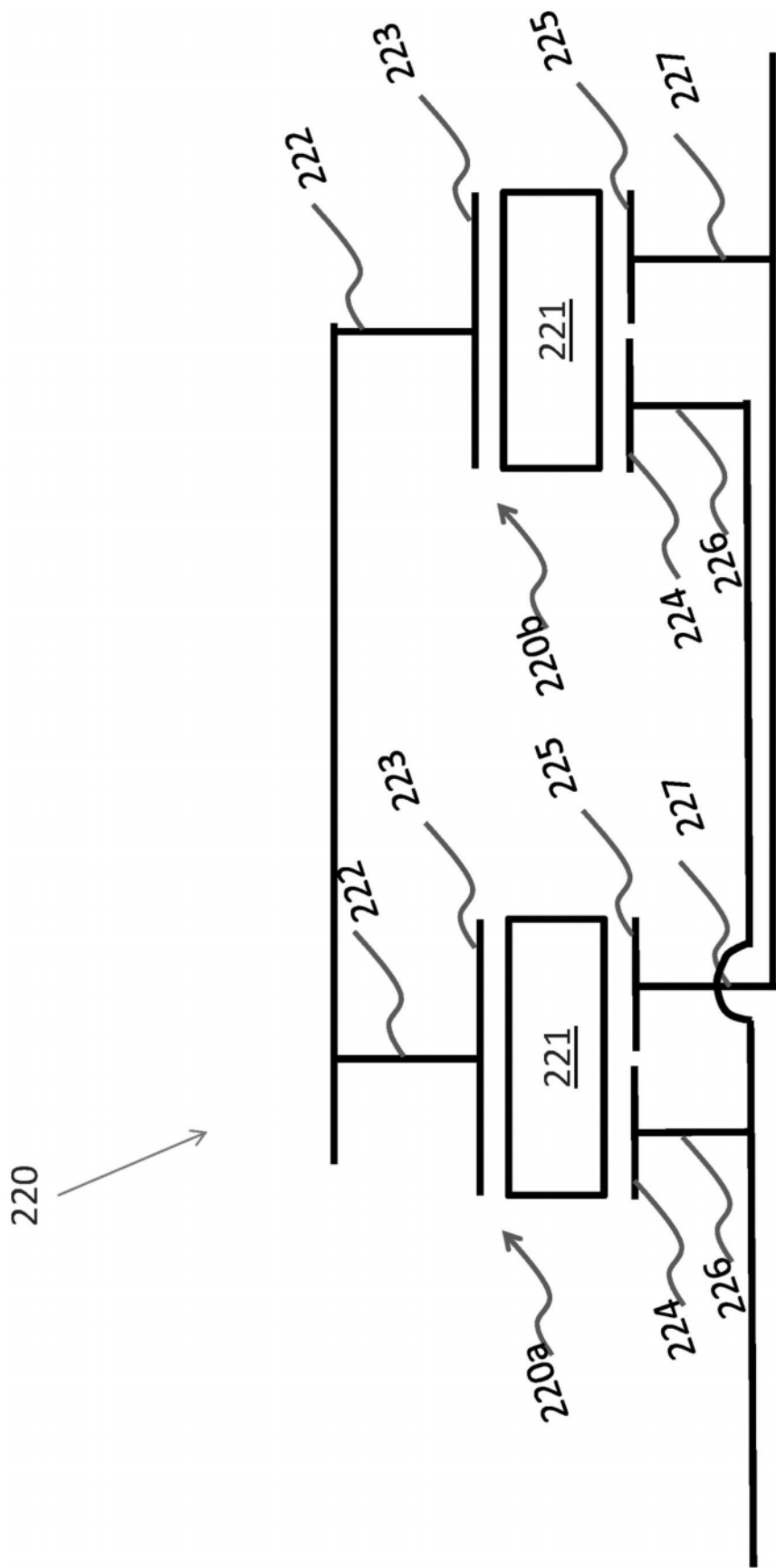


图3B

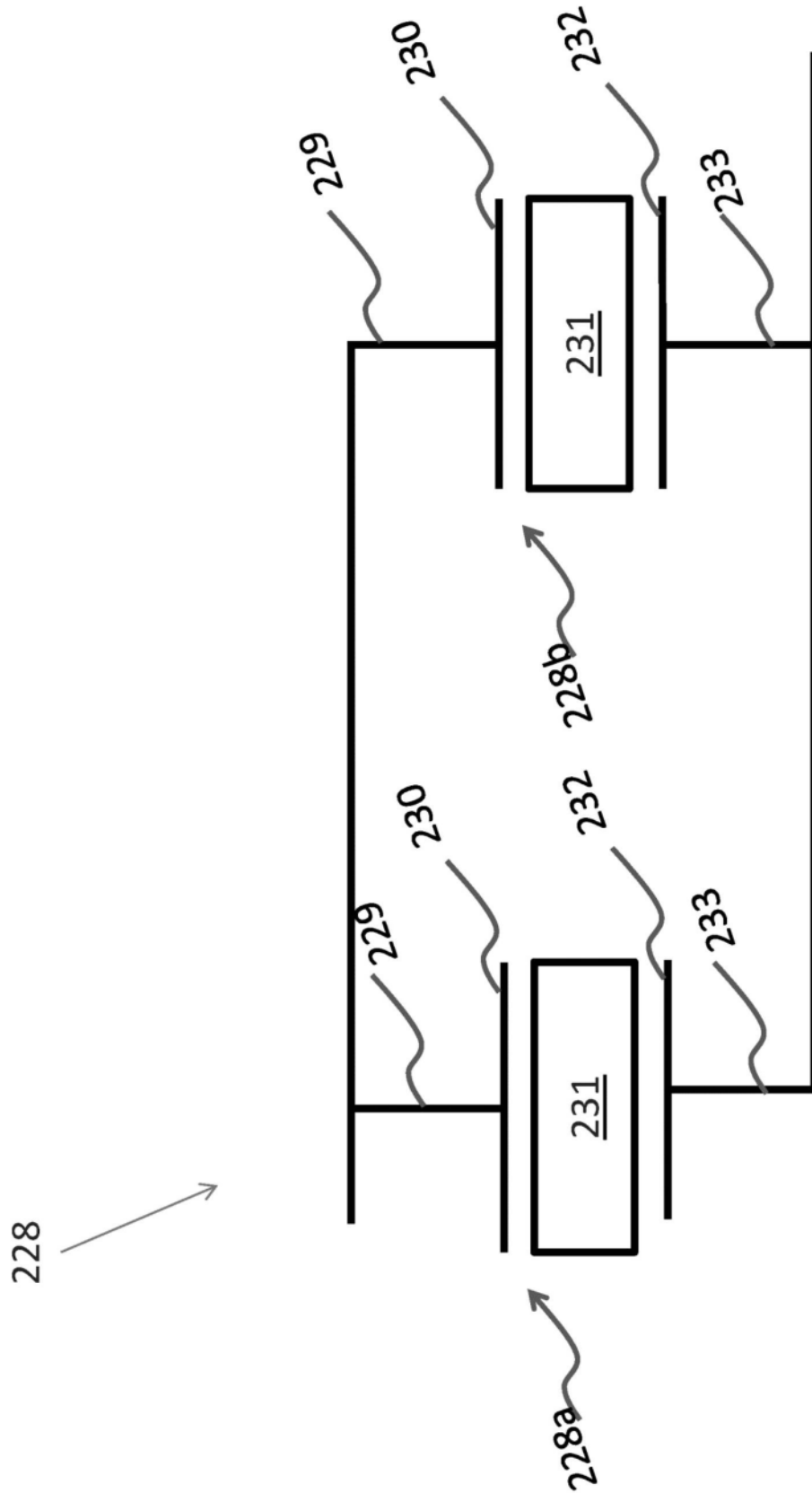


图3C

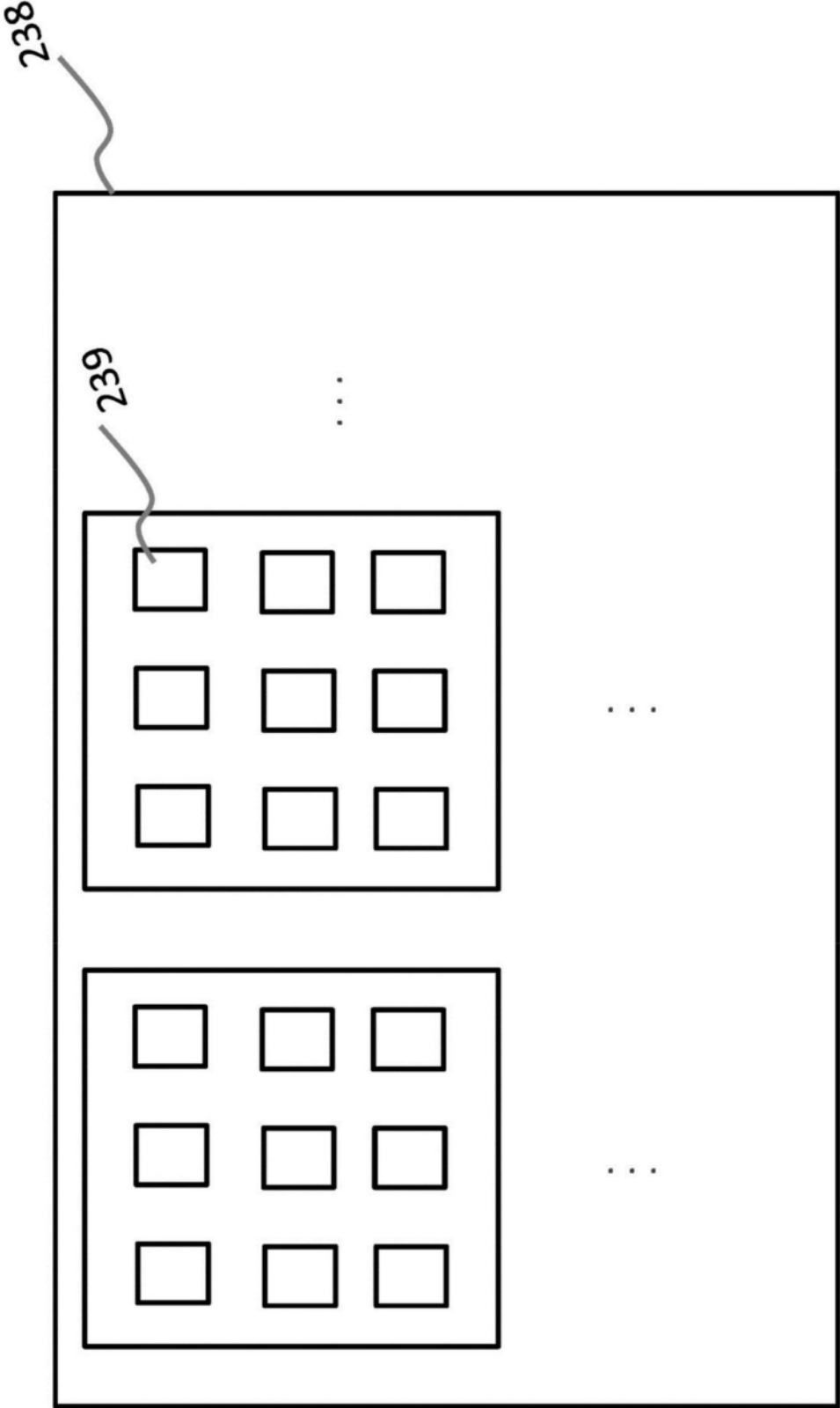


图4

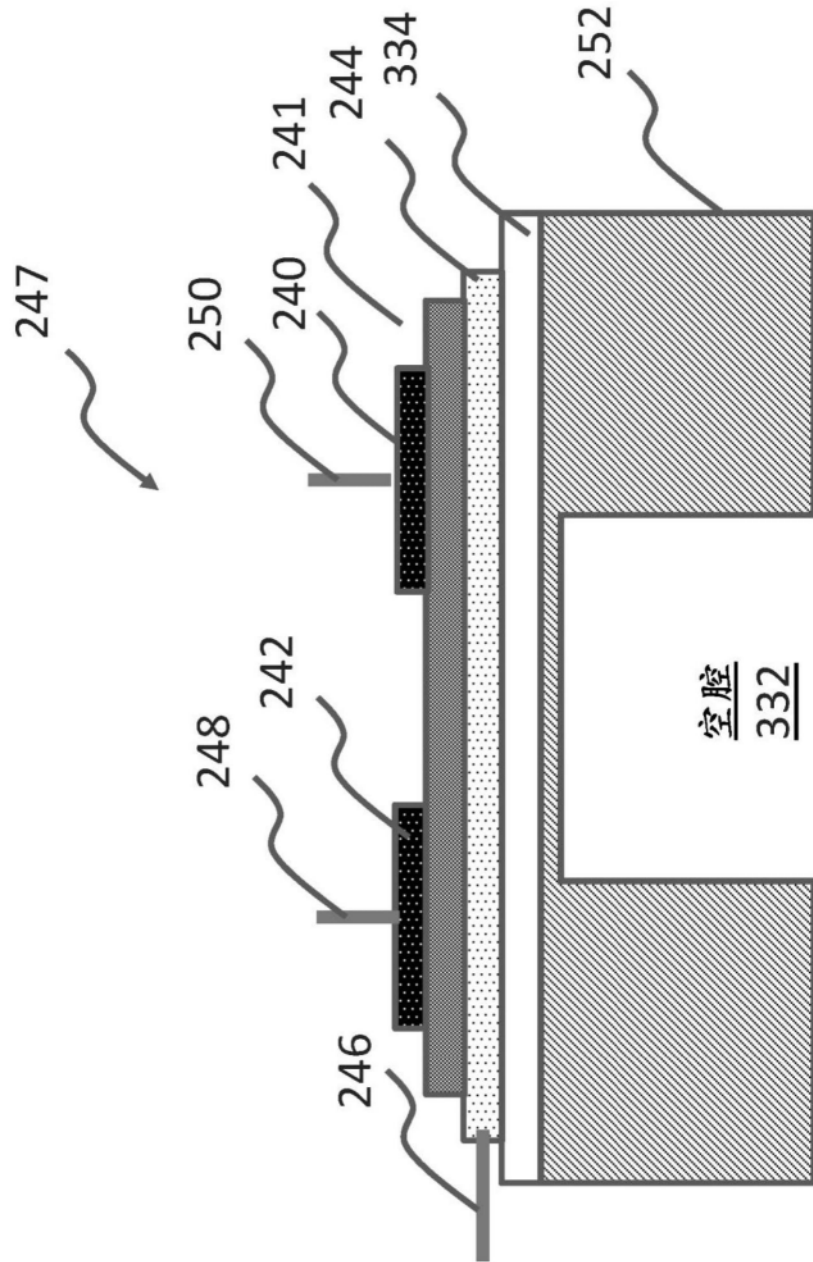


图5A

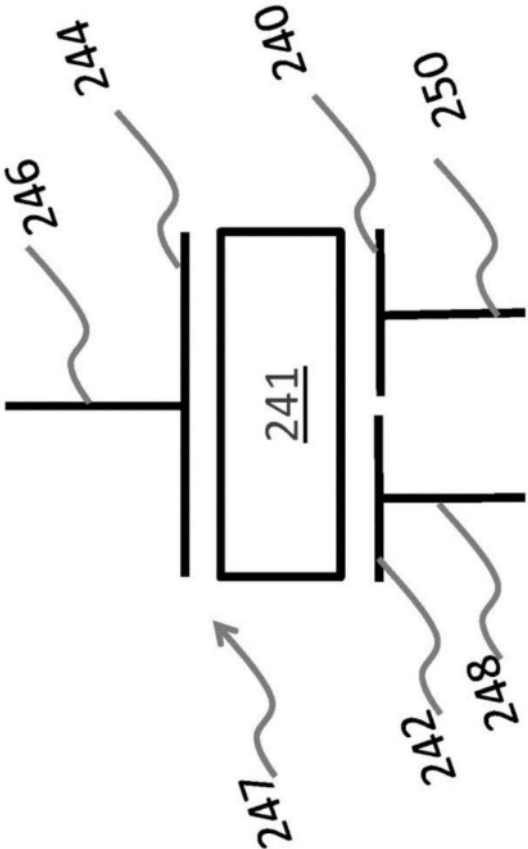


图5B

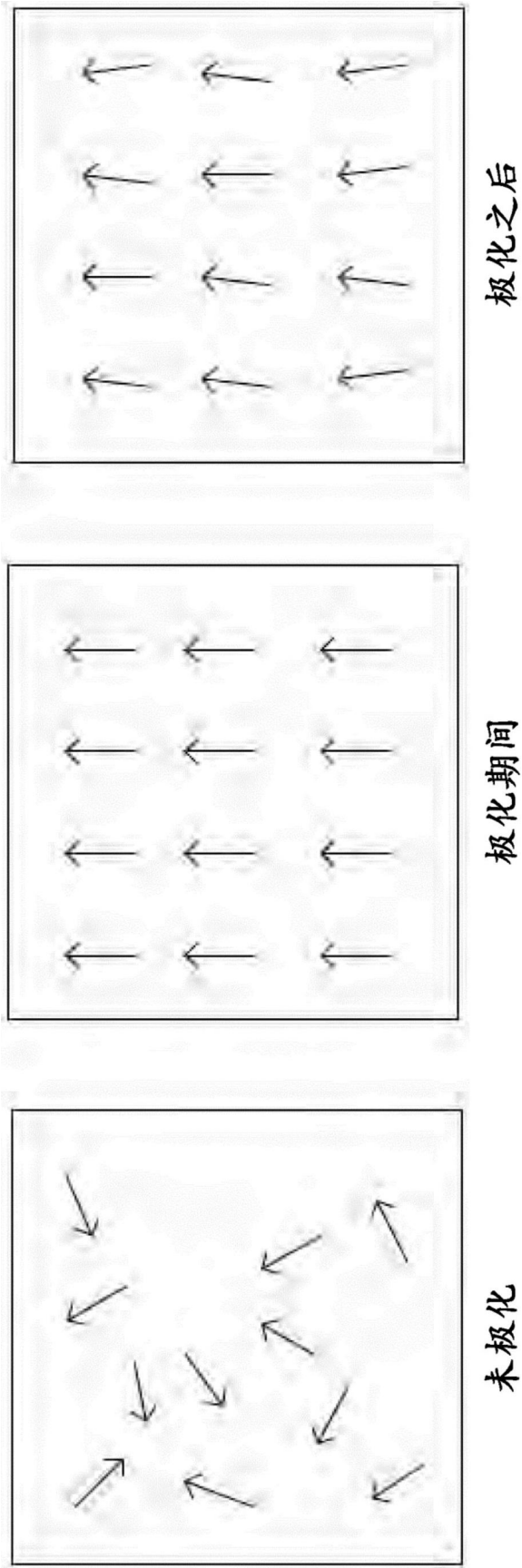


图6

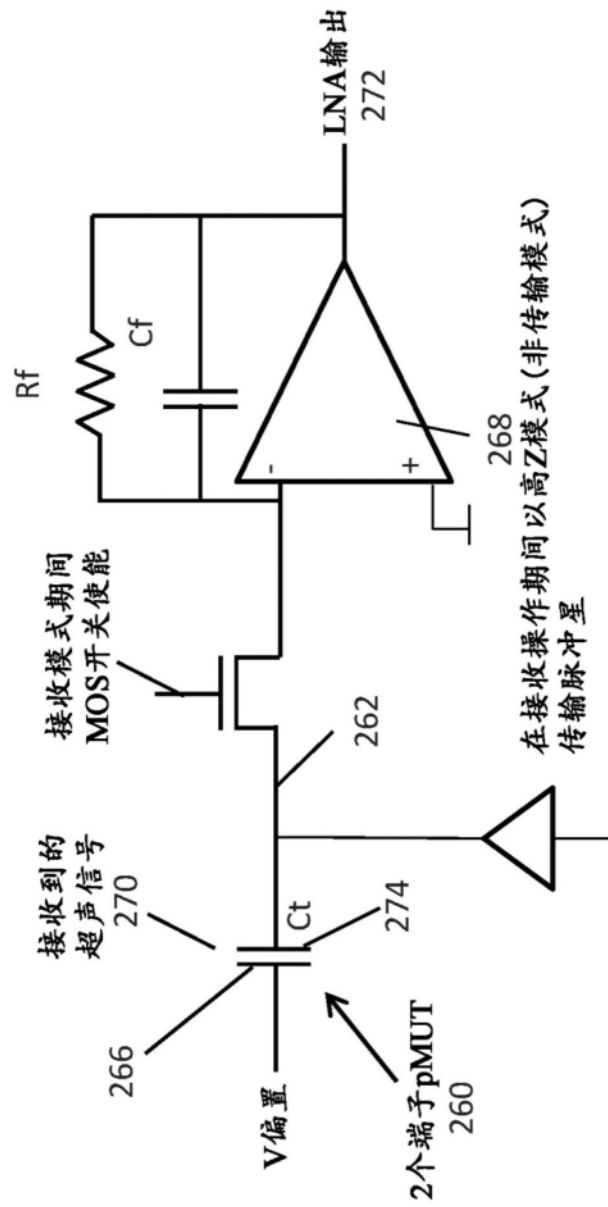


图7

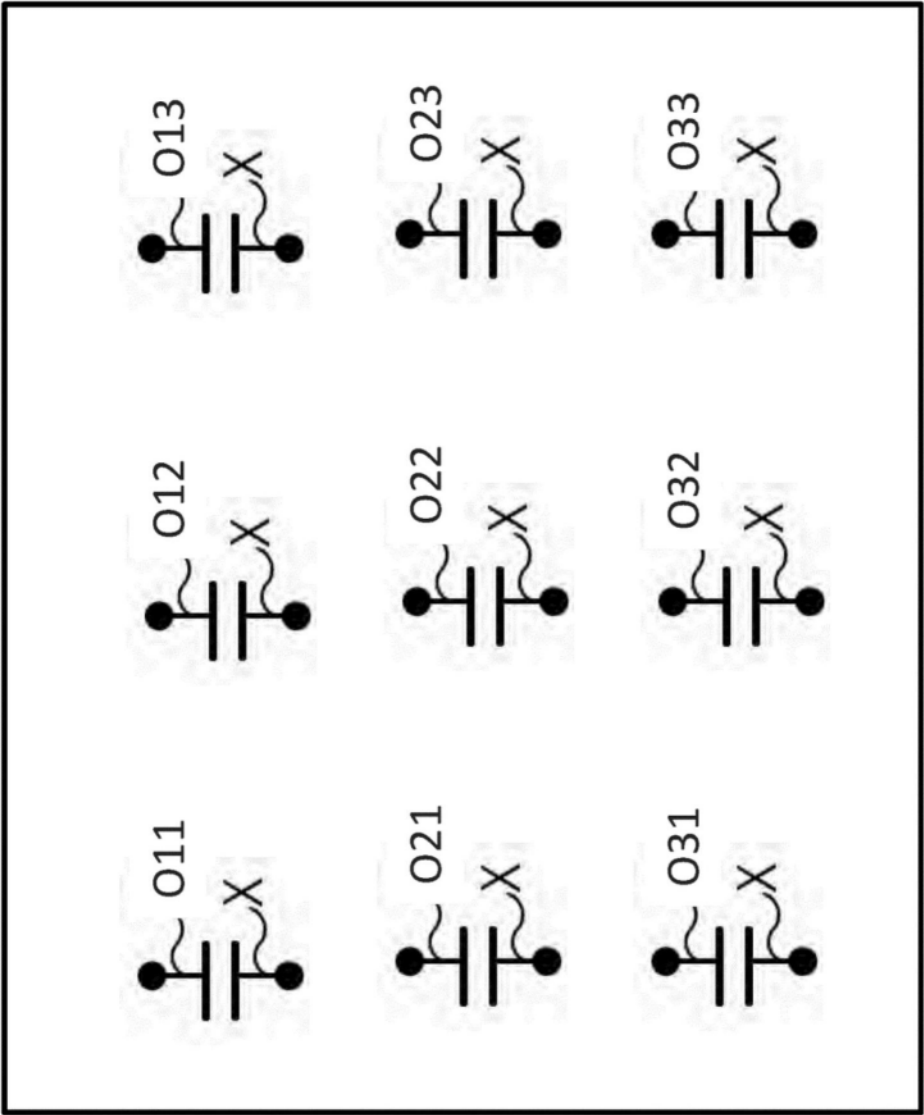


图8A

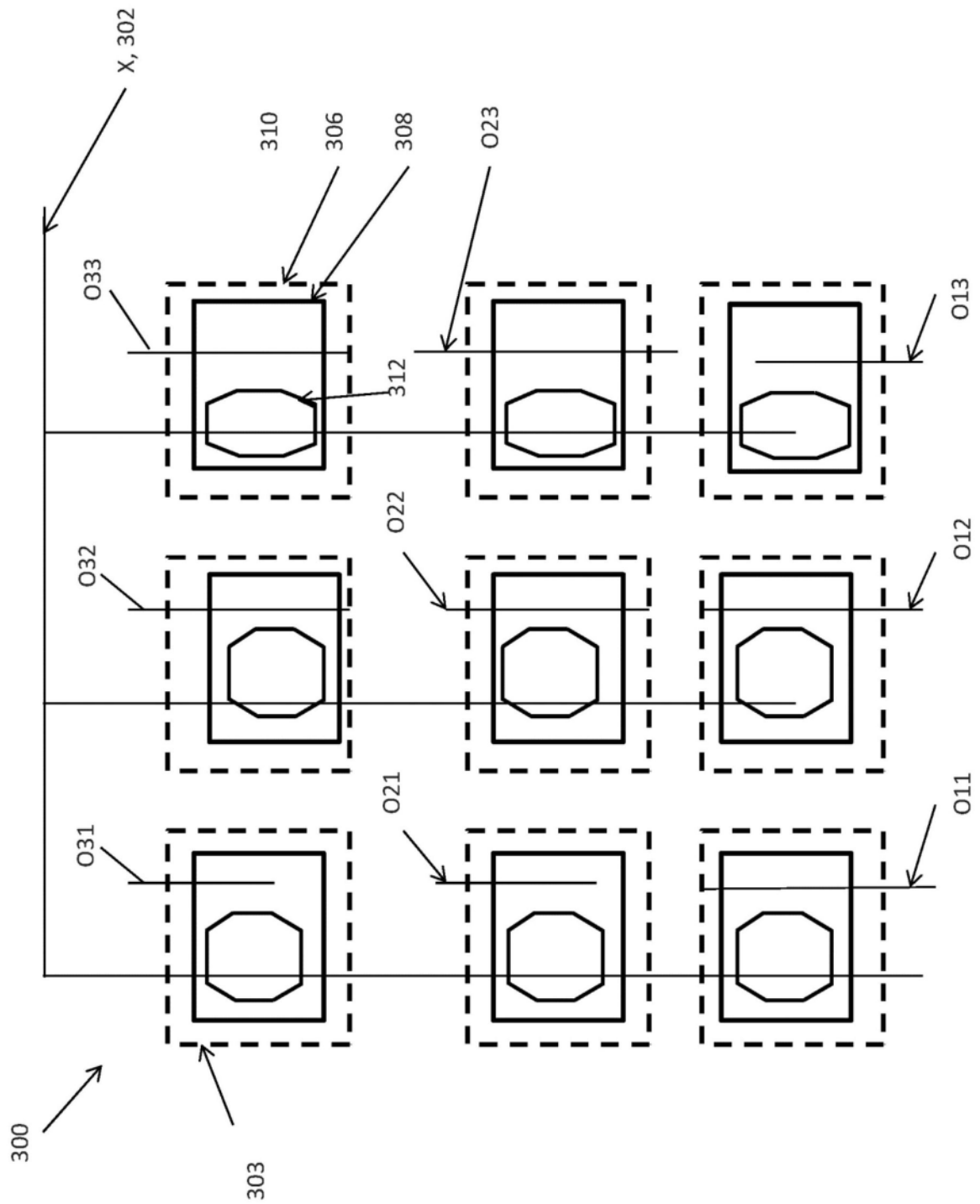


图8B

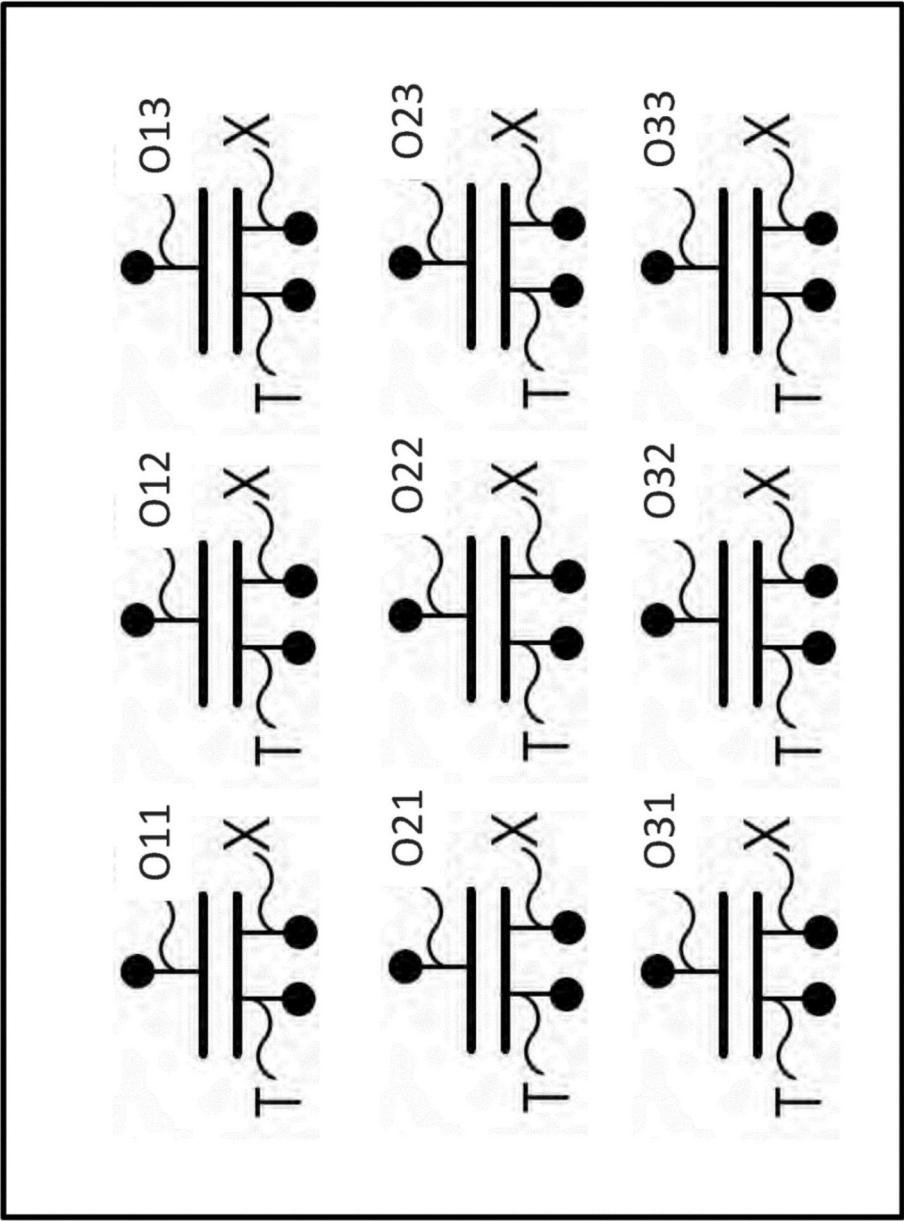


图9

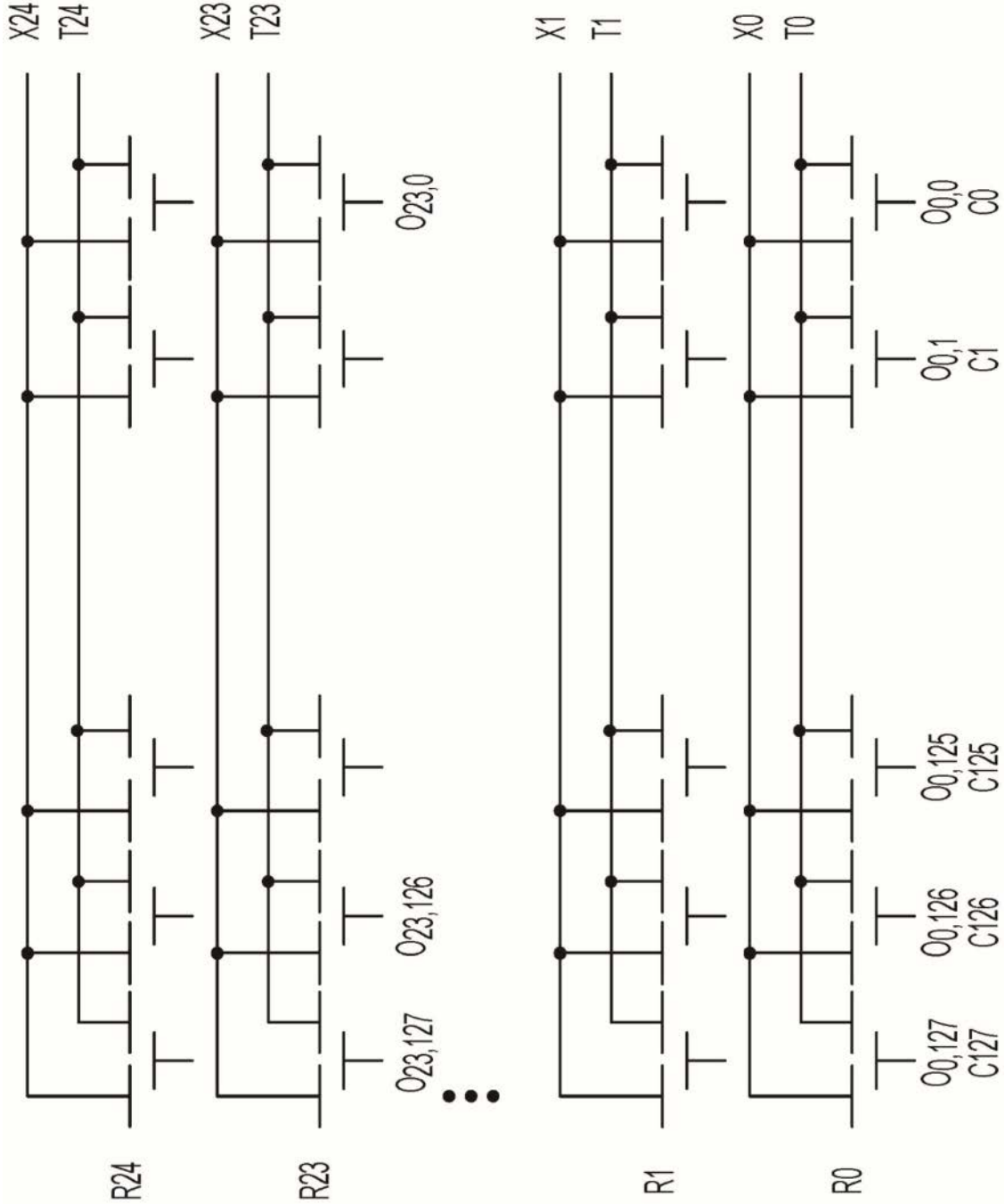


图10A

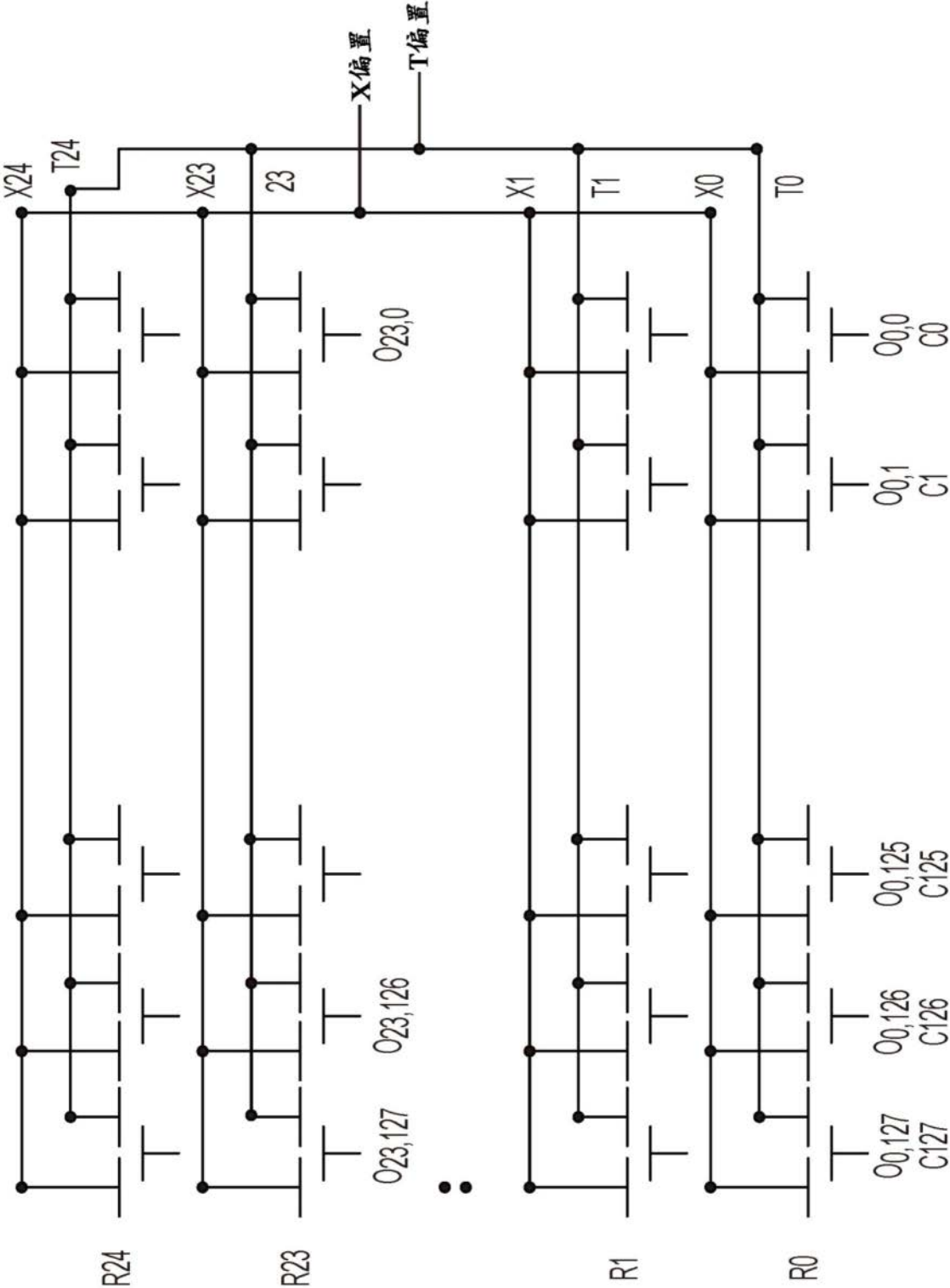


图10B

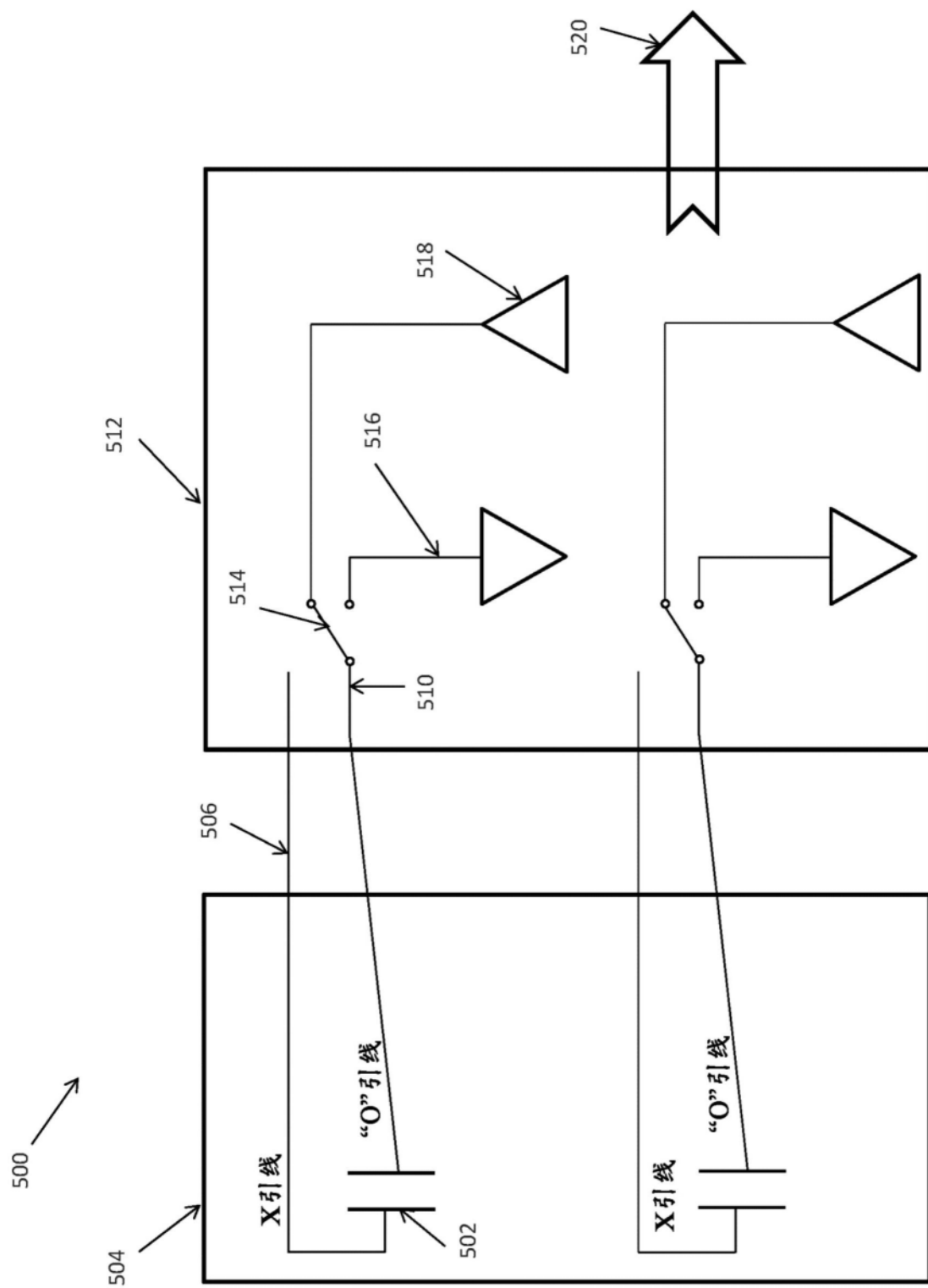


图11A

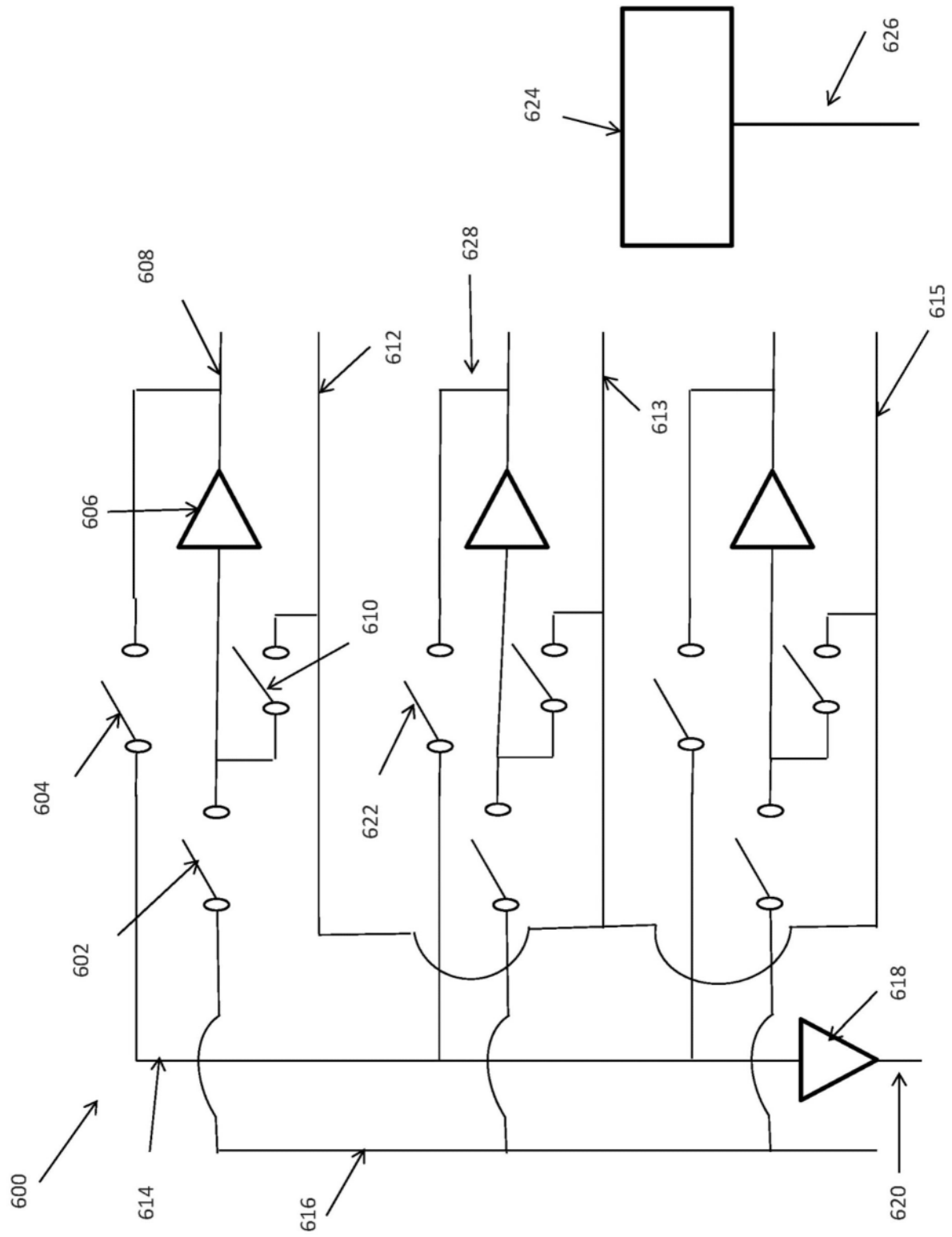


图11B

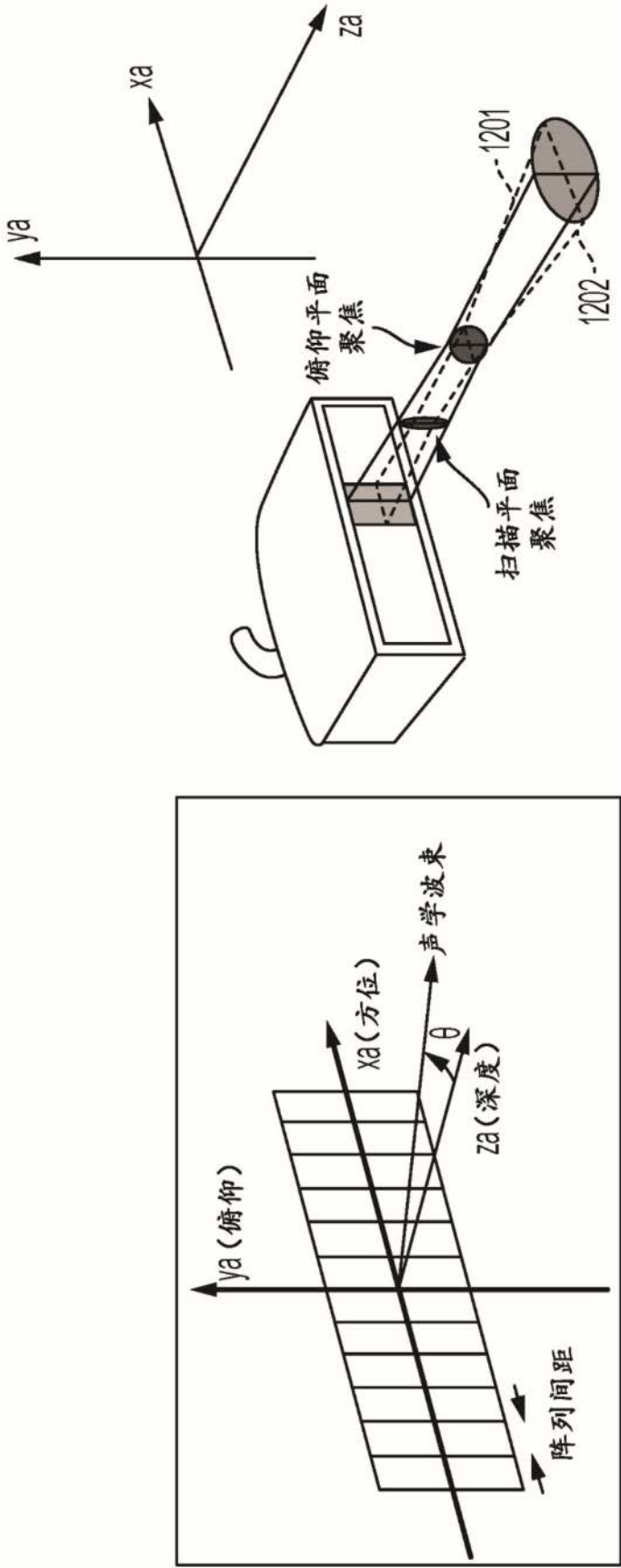


图12A

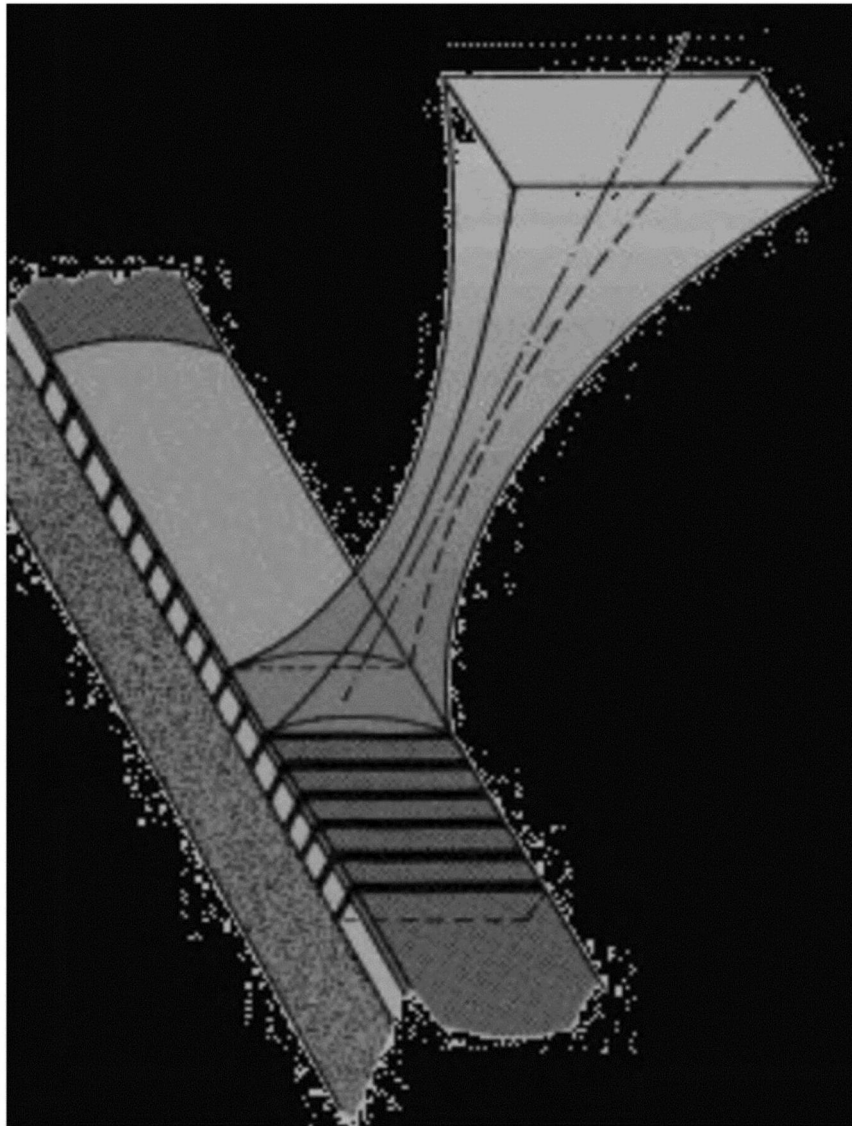


图12B

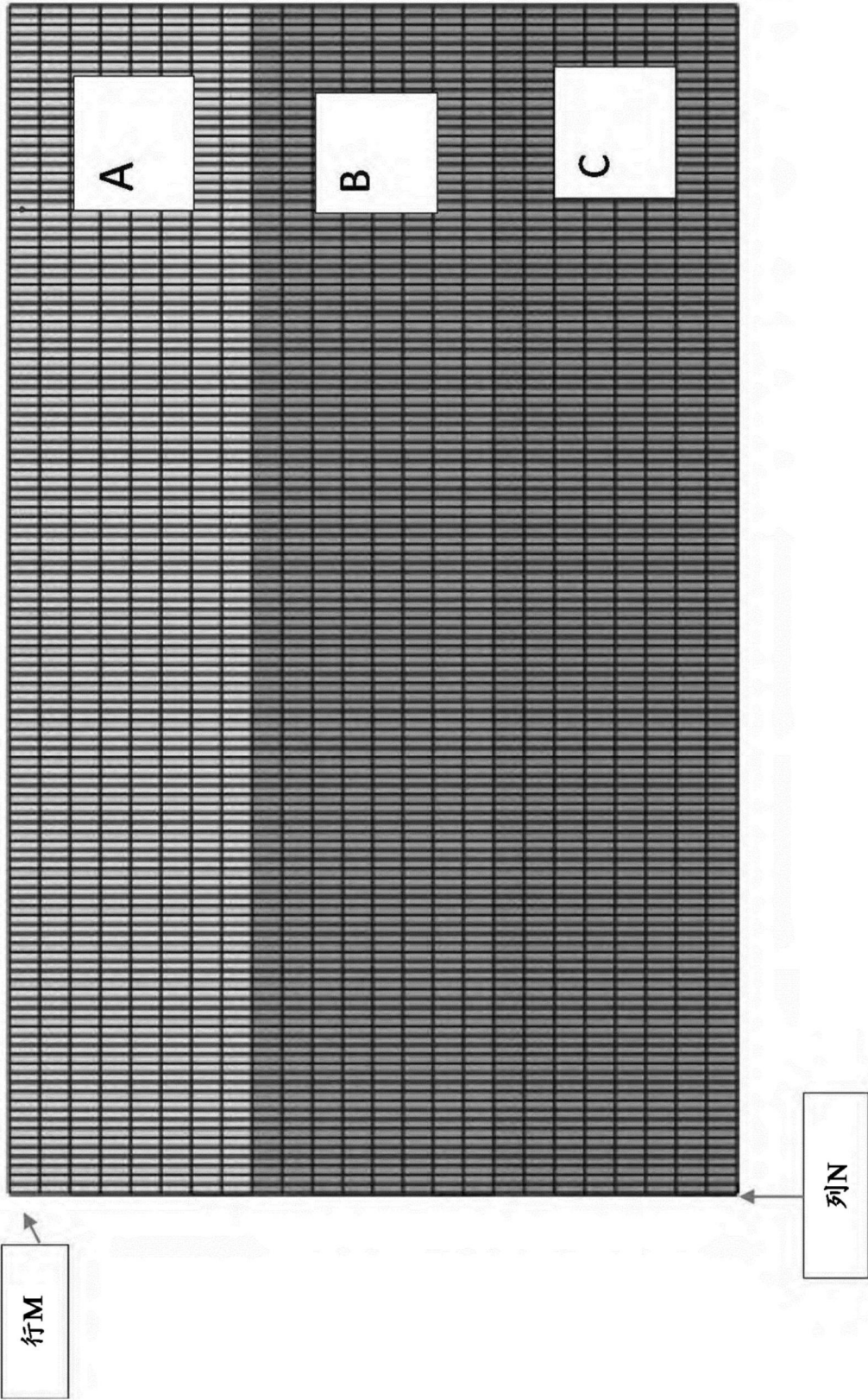


图13A

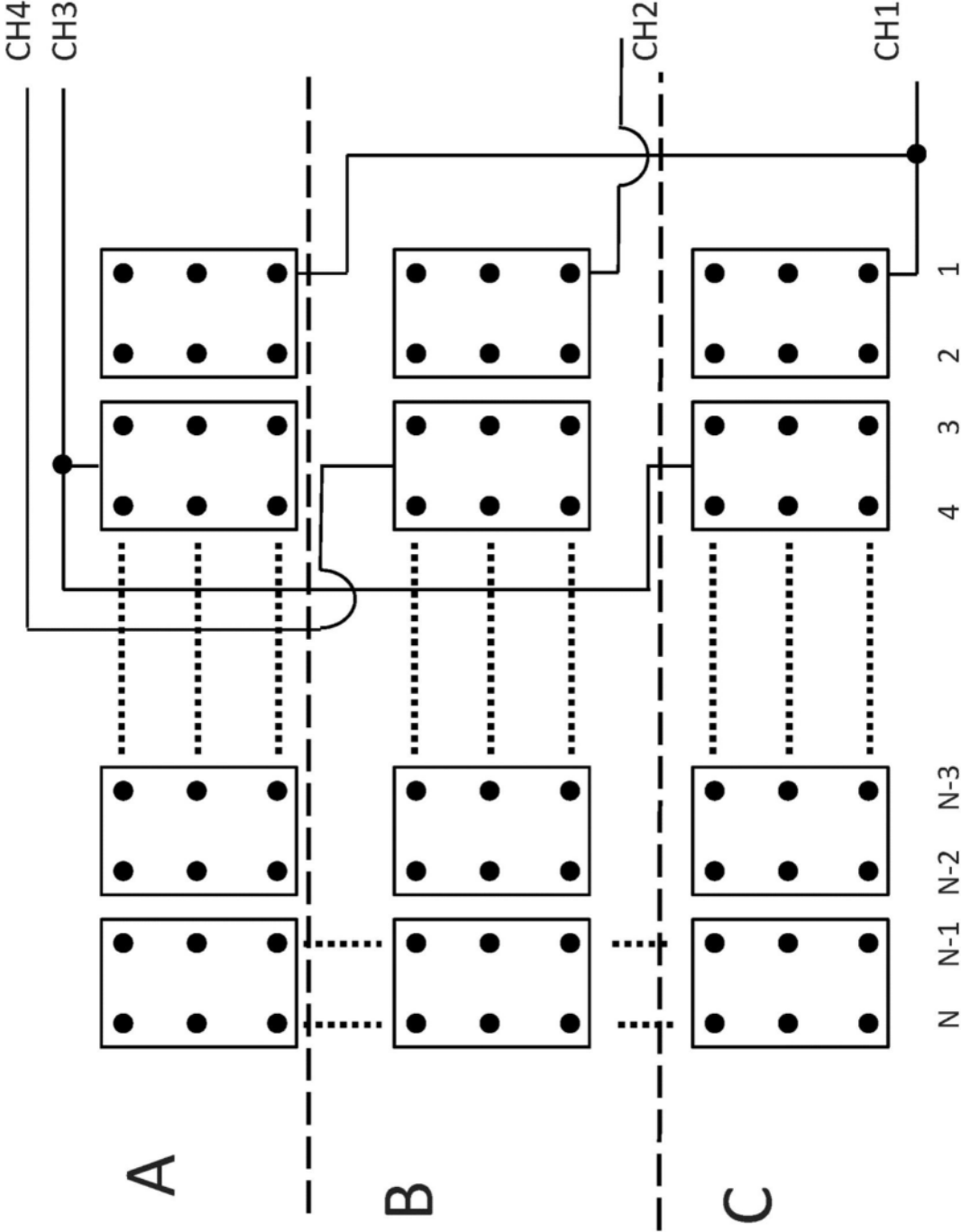


图13B

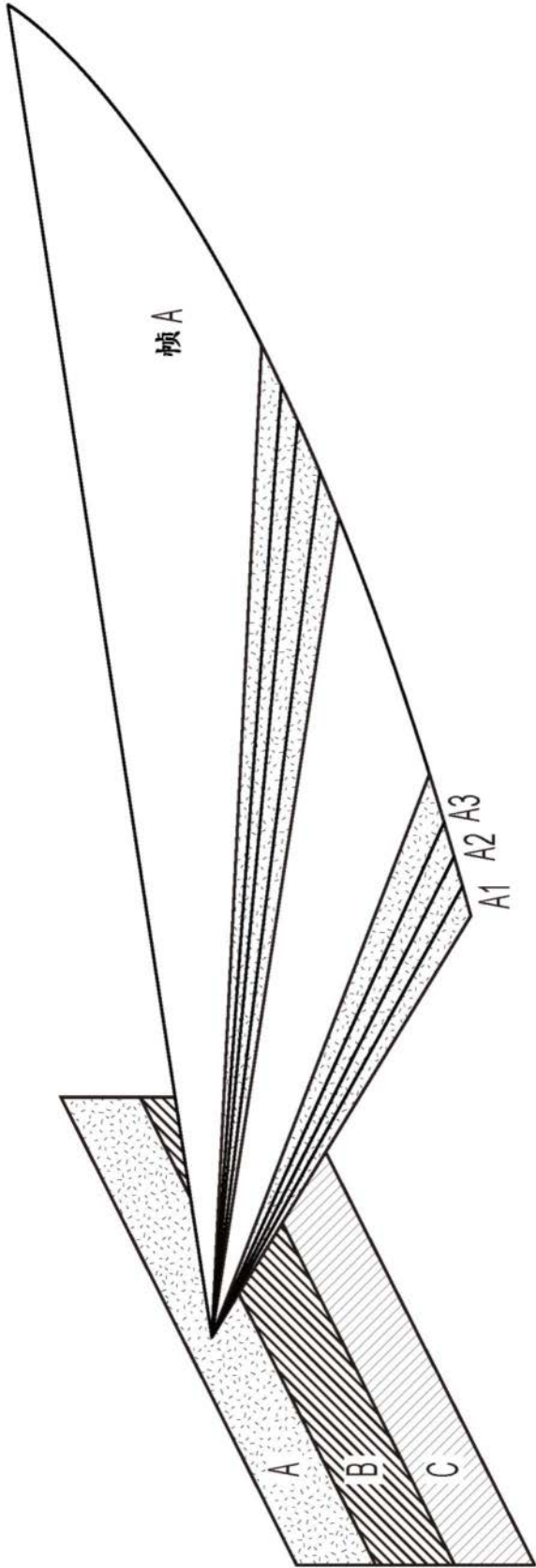


图14

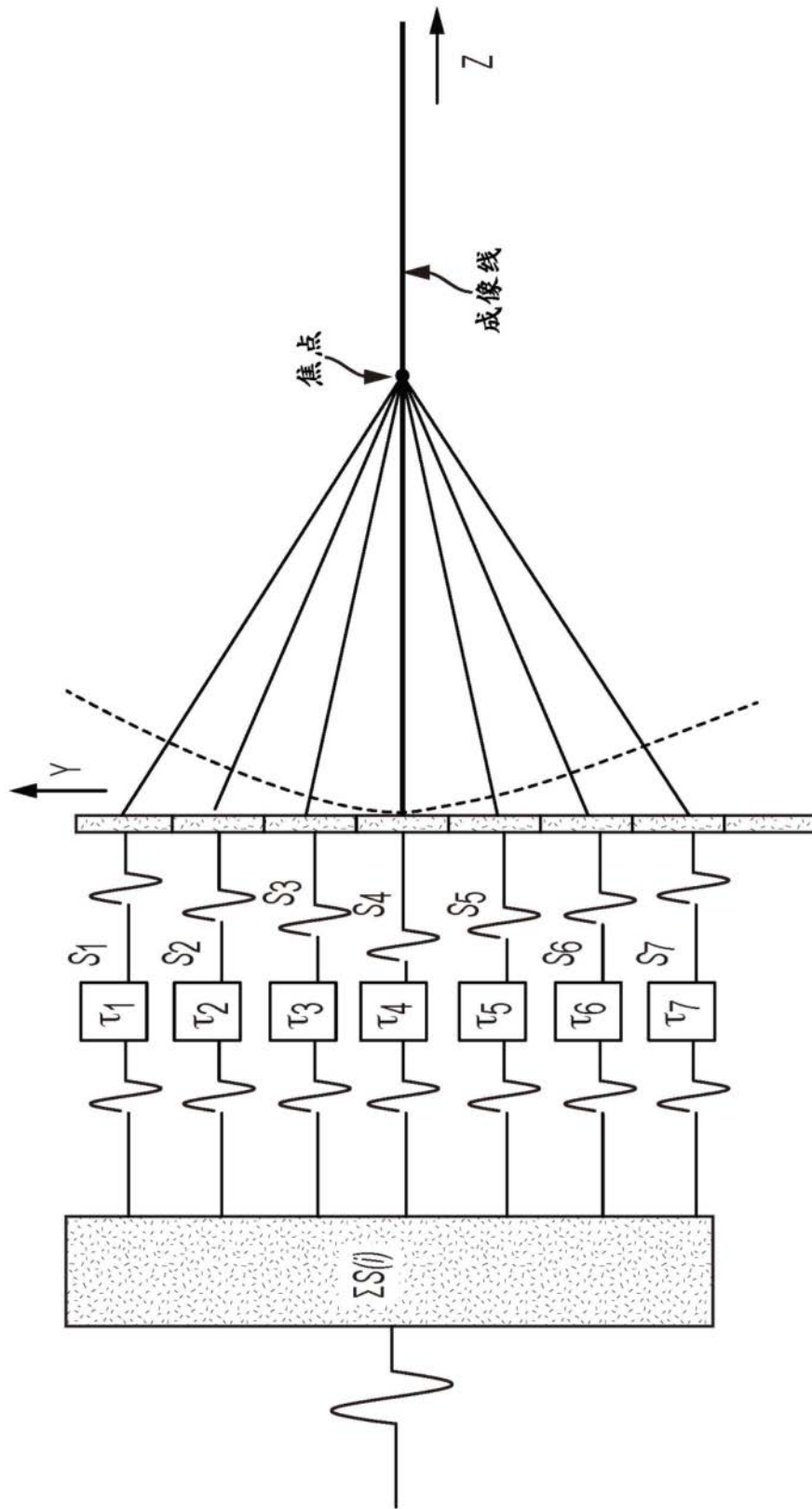


图15

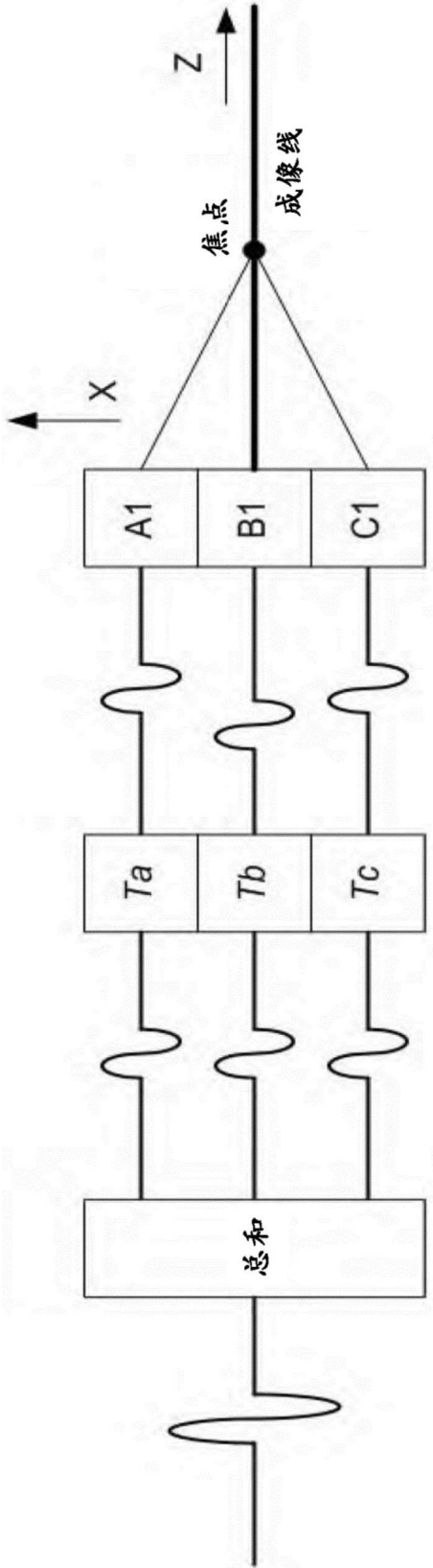


图16

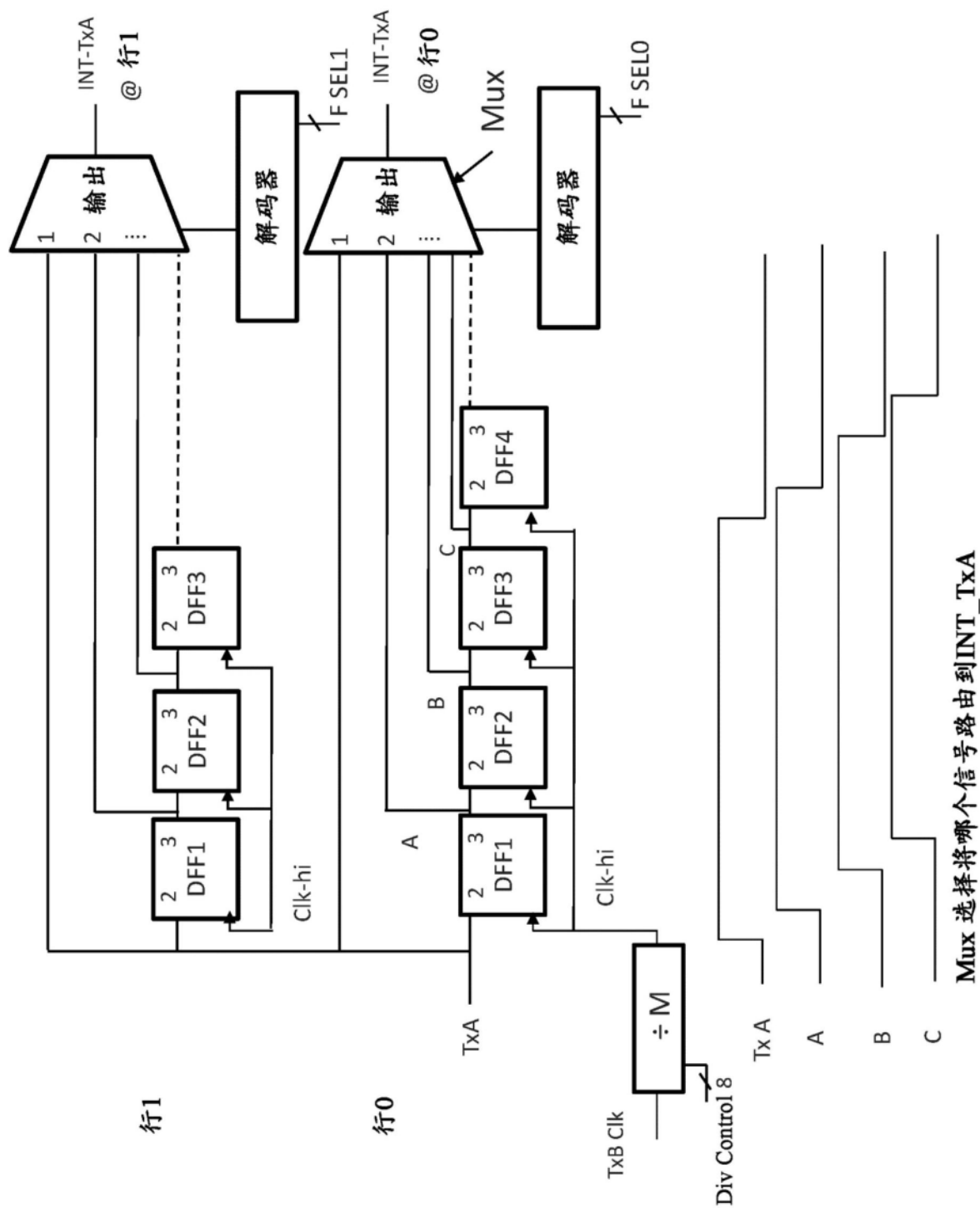


图17A

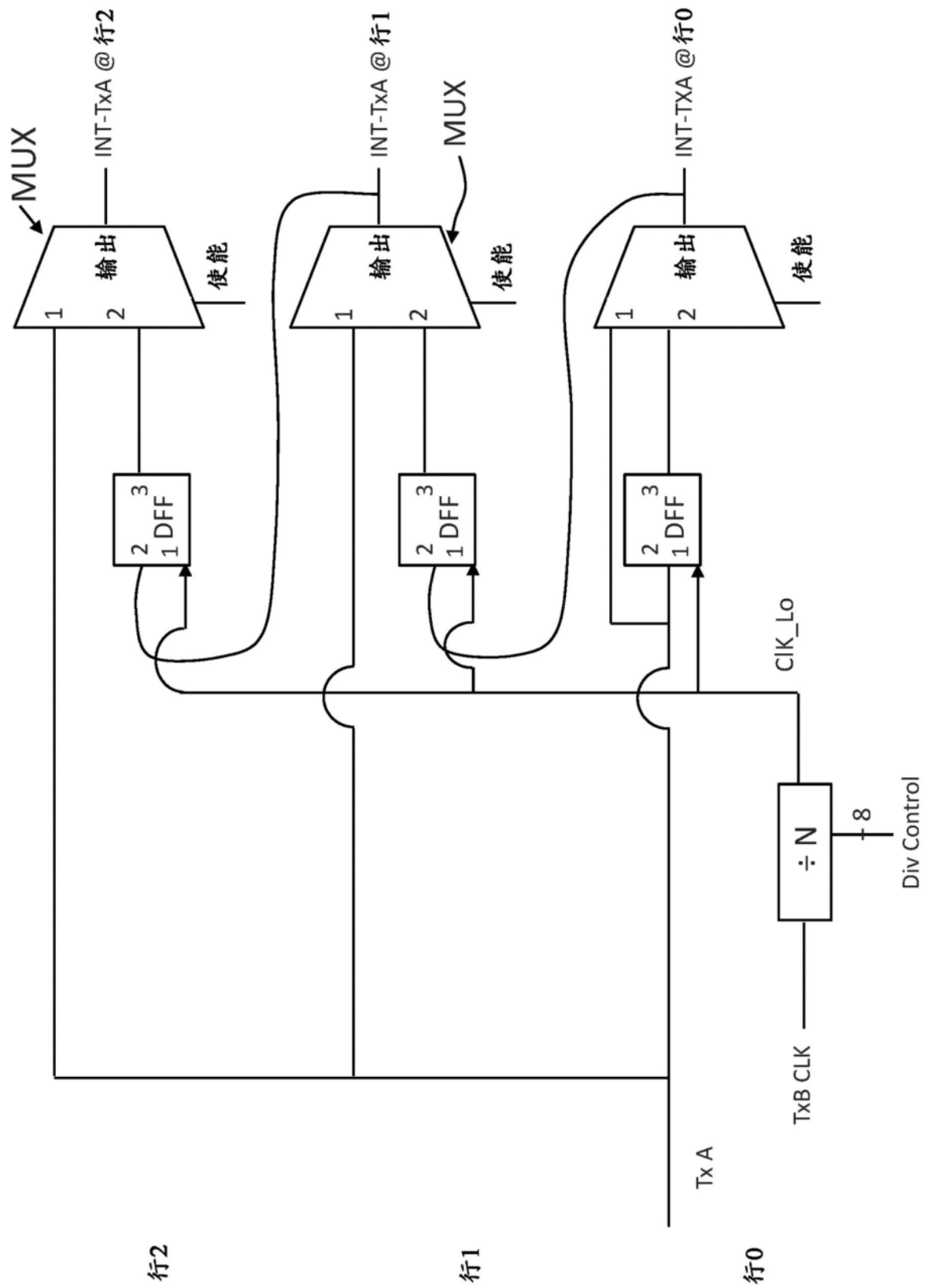


图17B

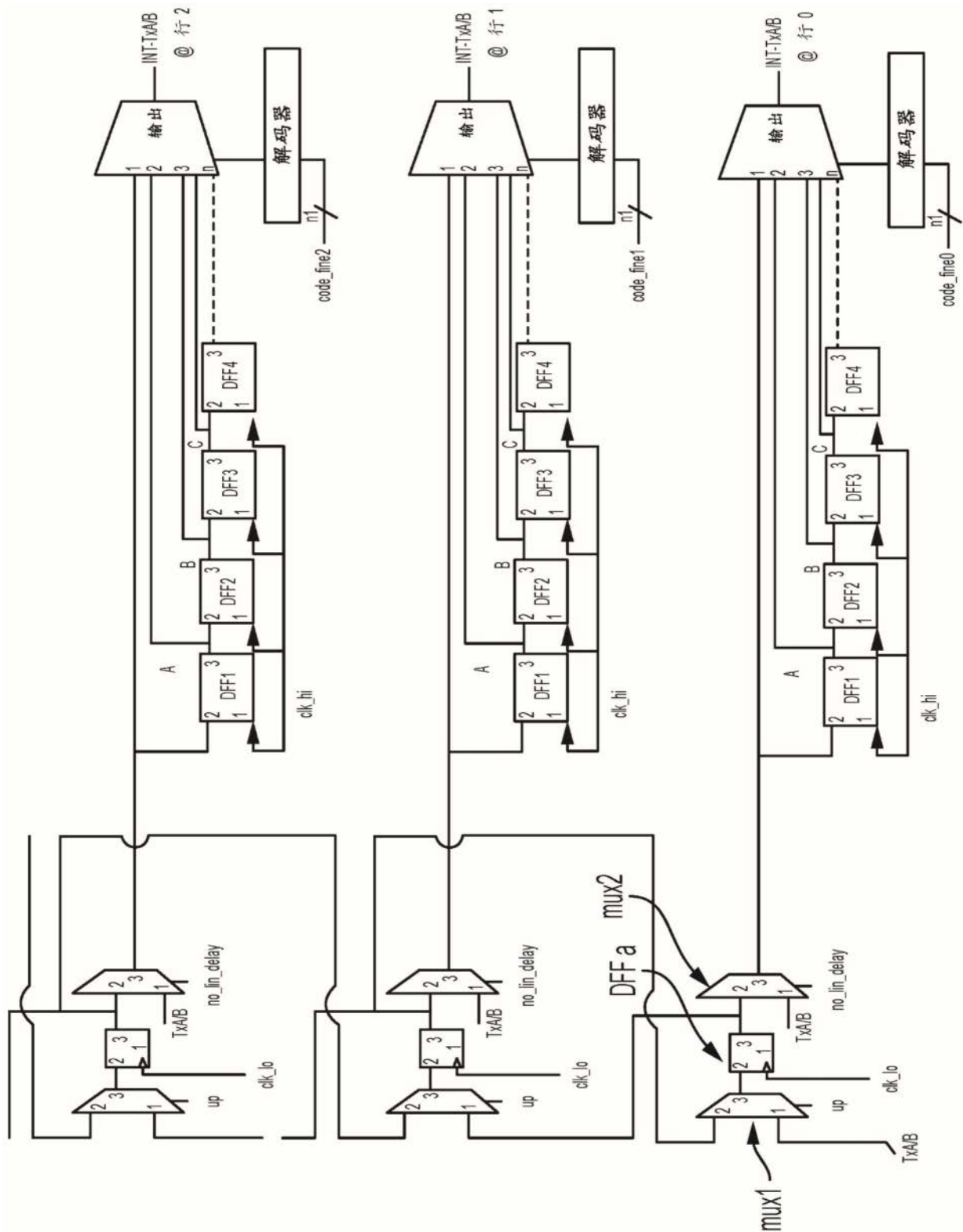


图17C

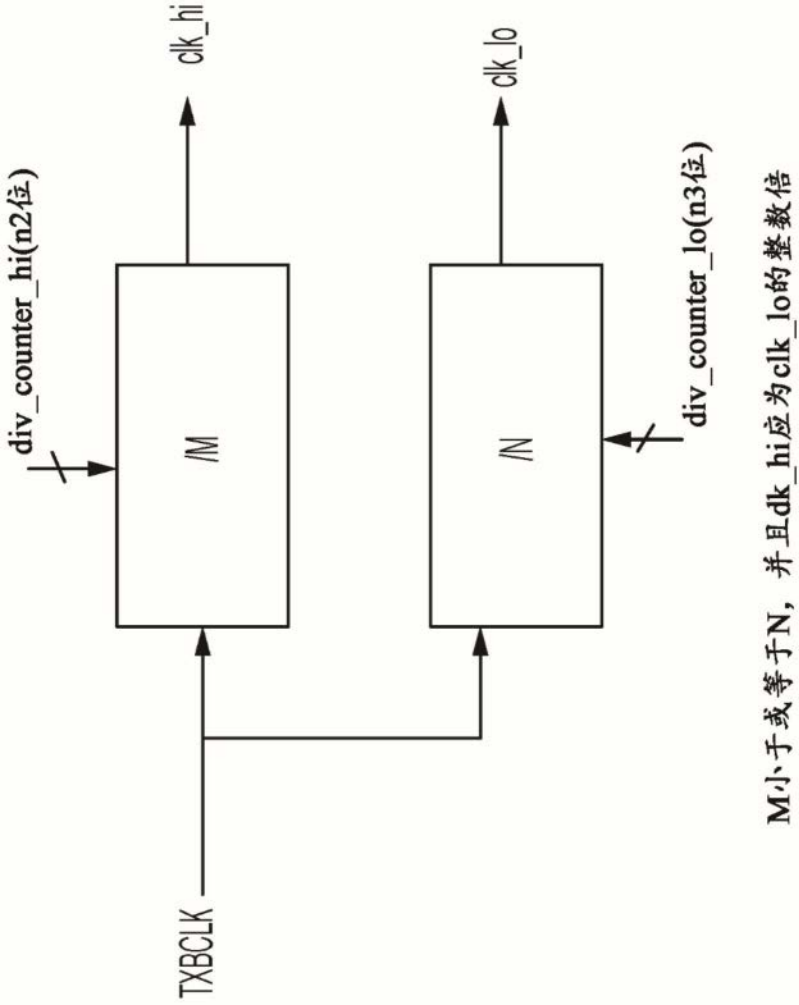


图17D

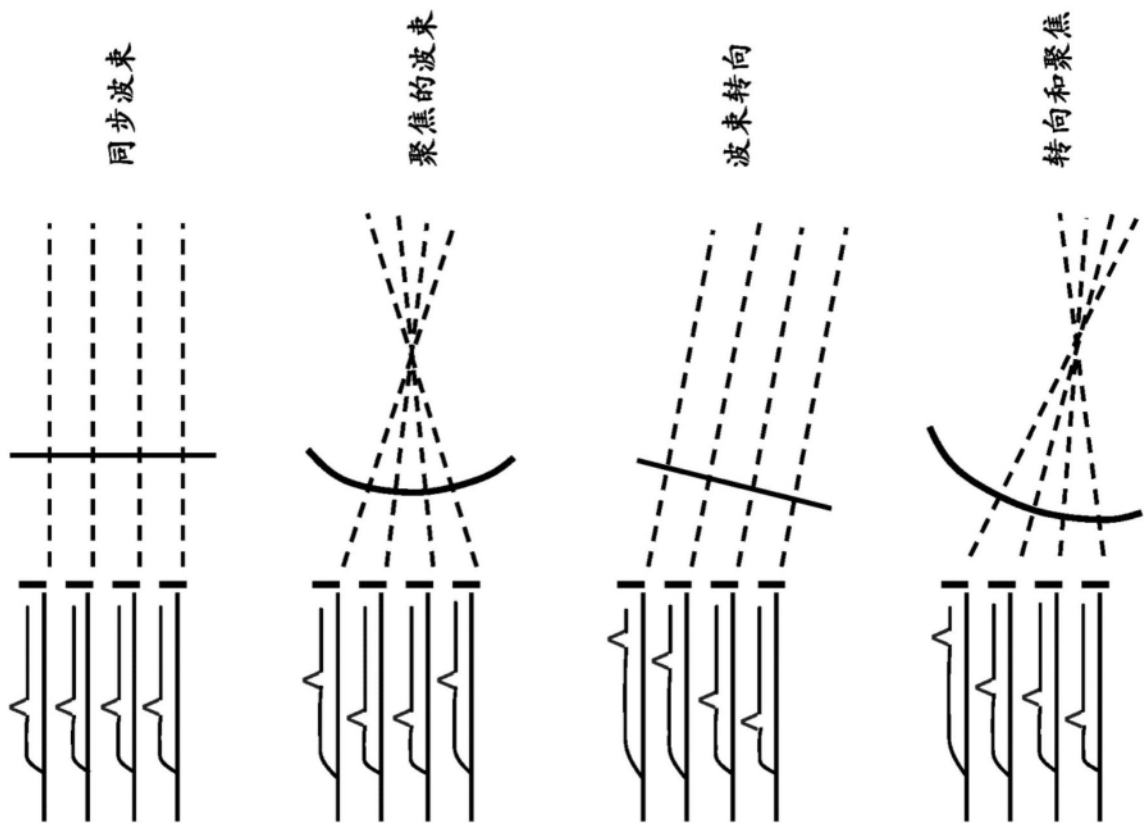


图18A

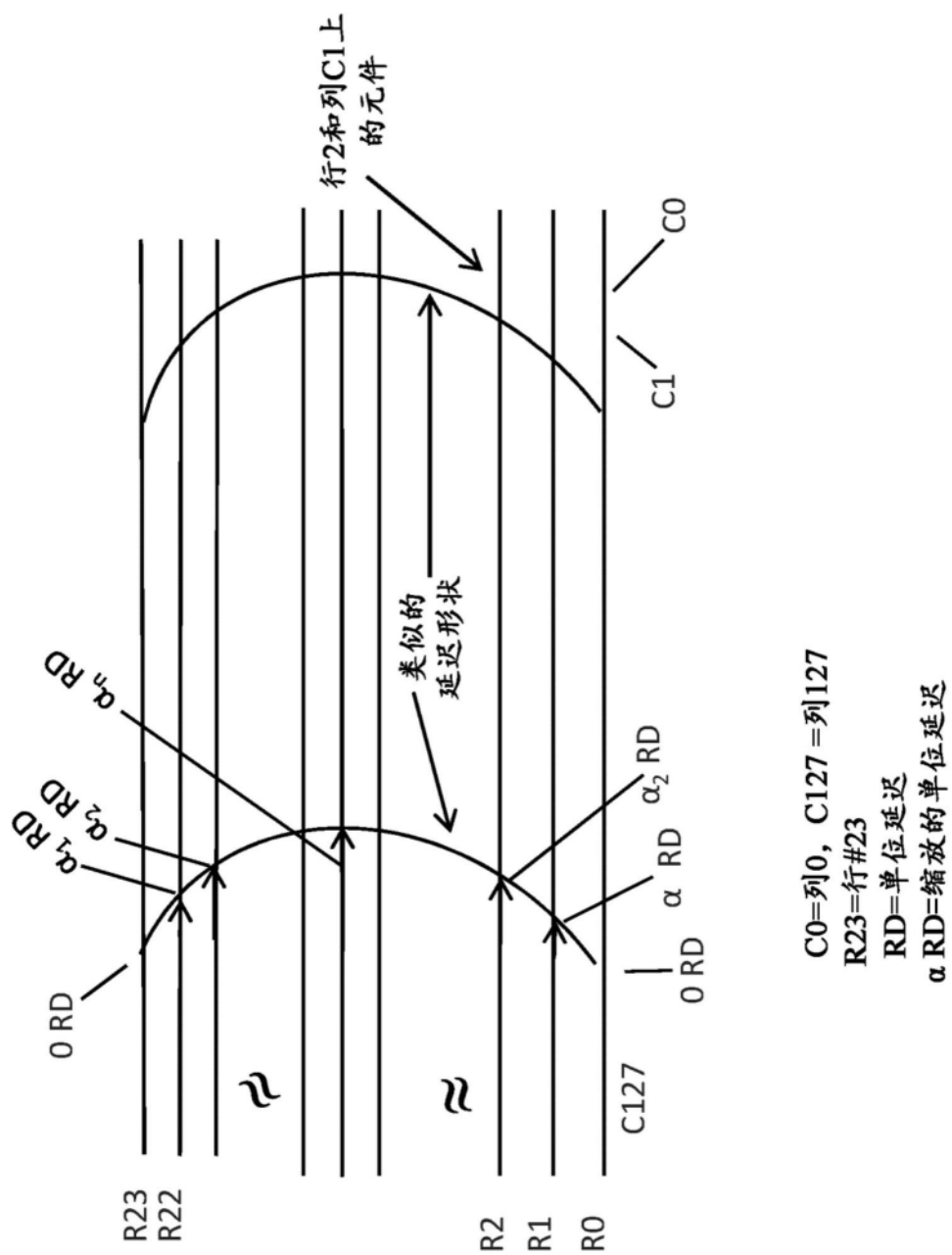


图18B

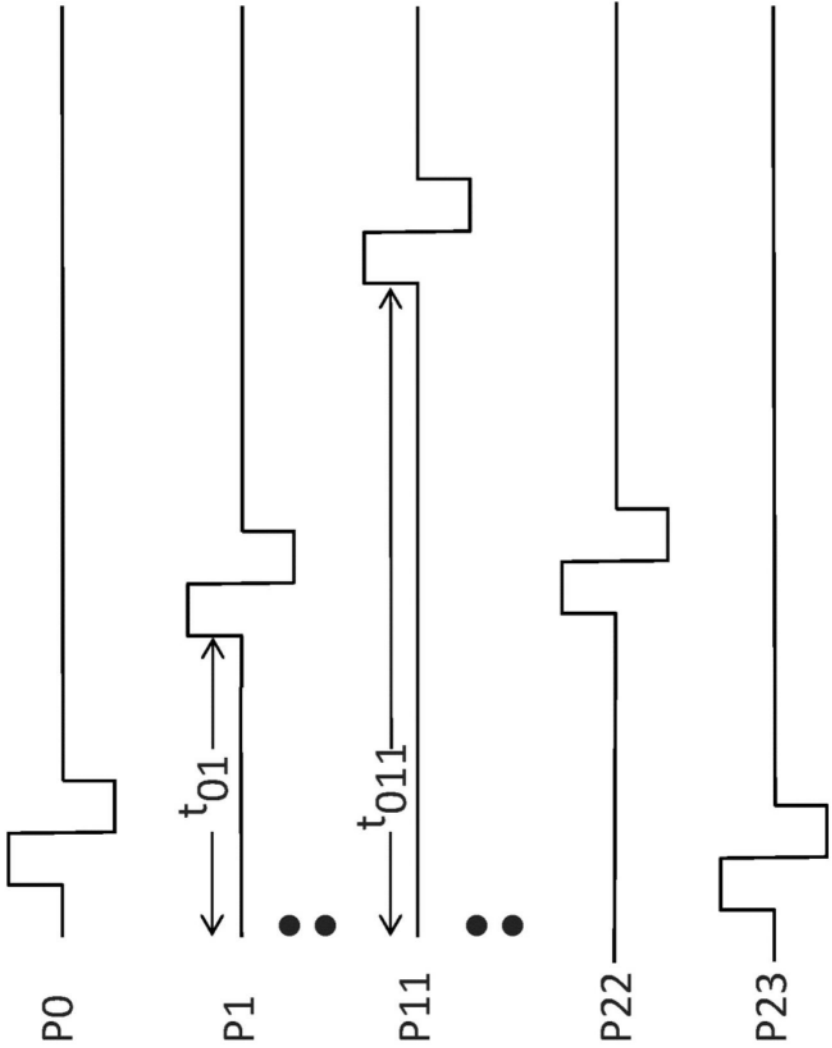


图19

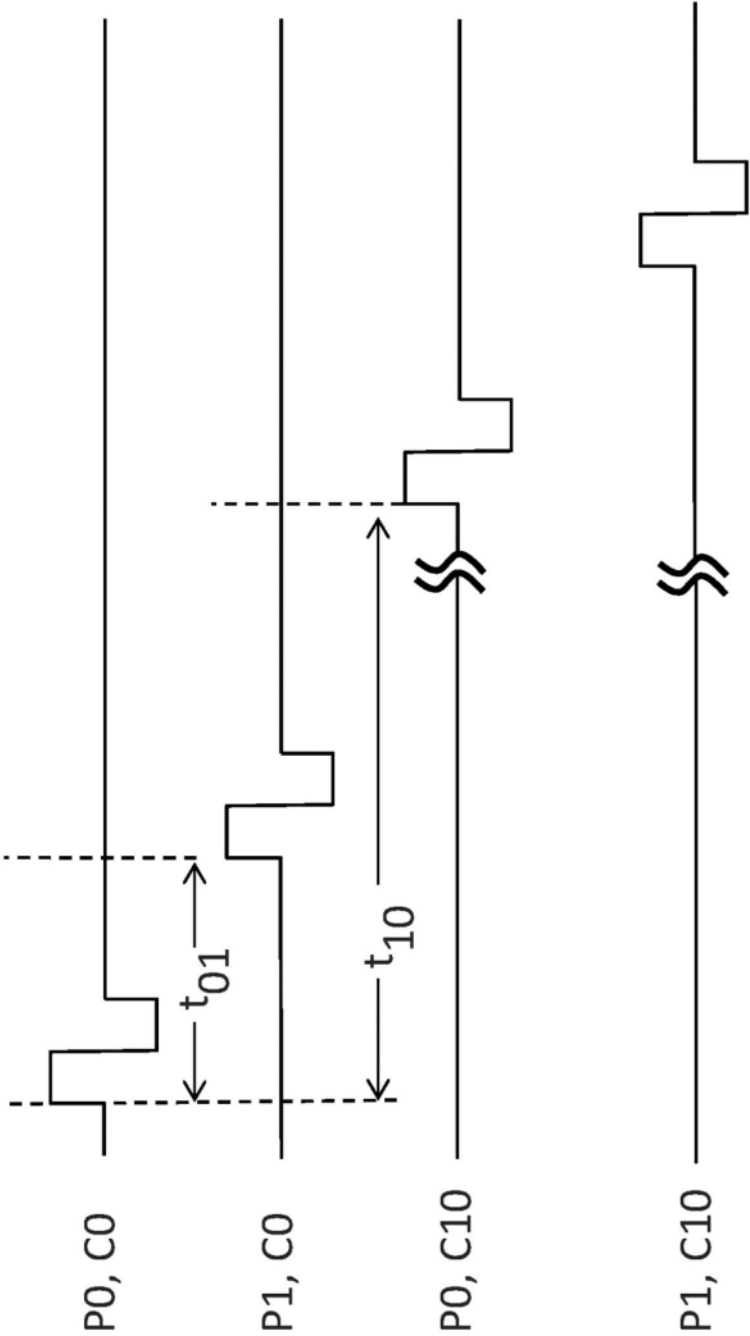


图20

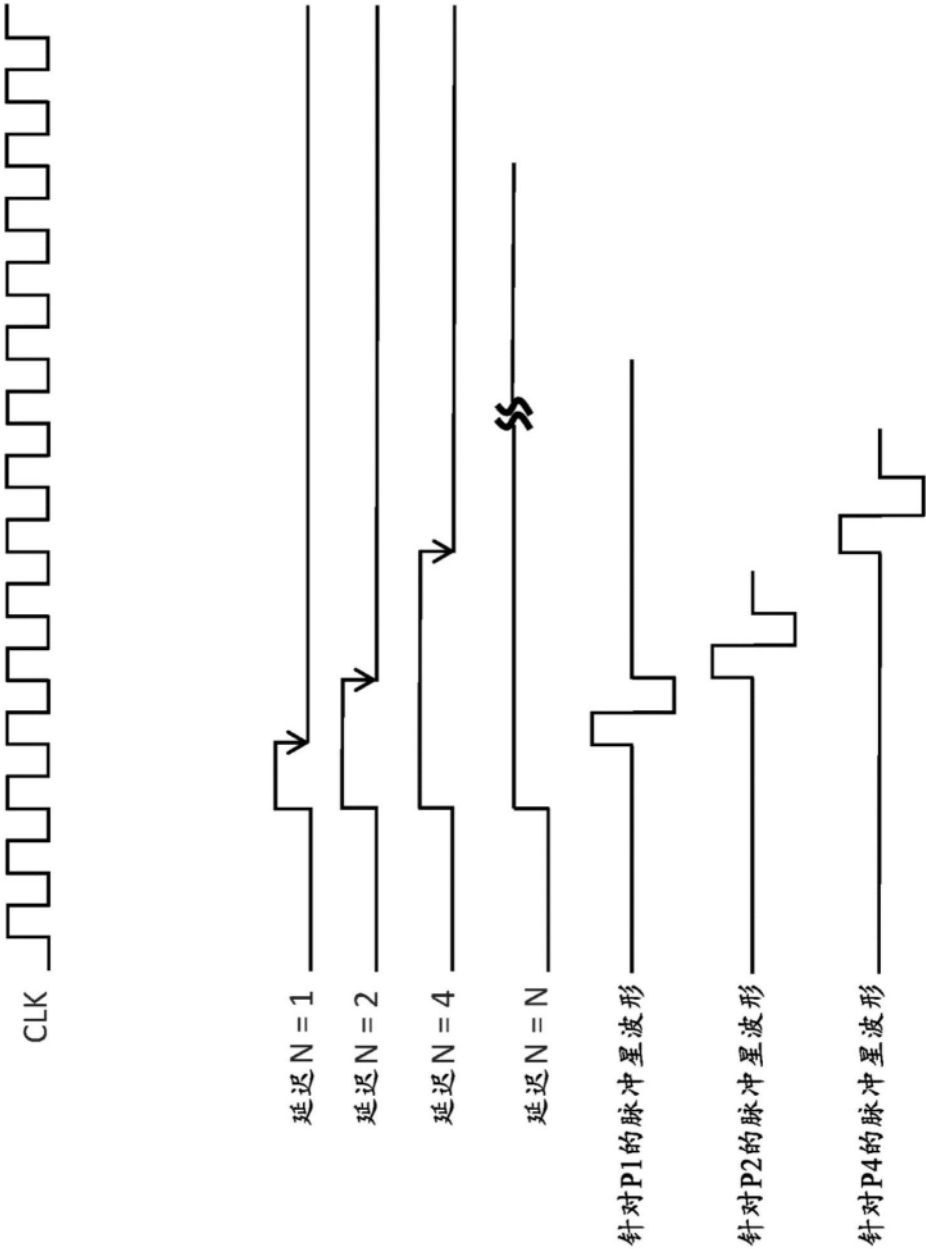


图21

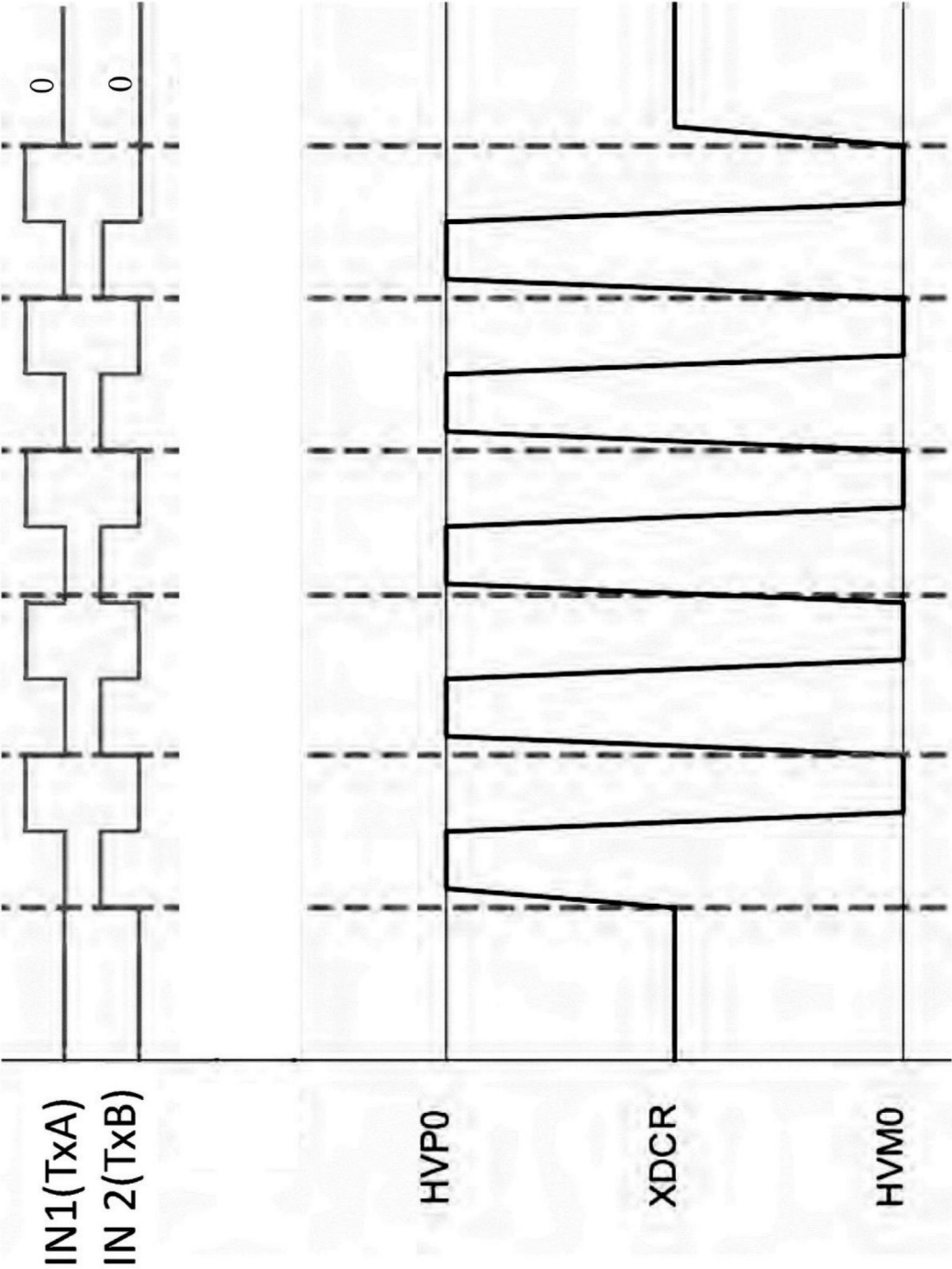


图22

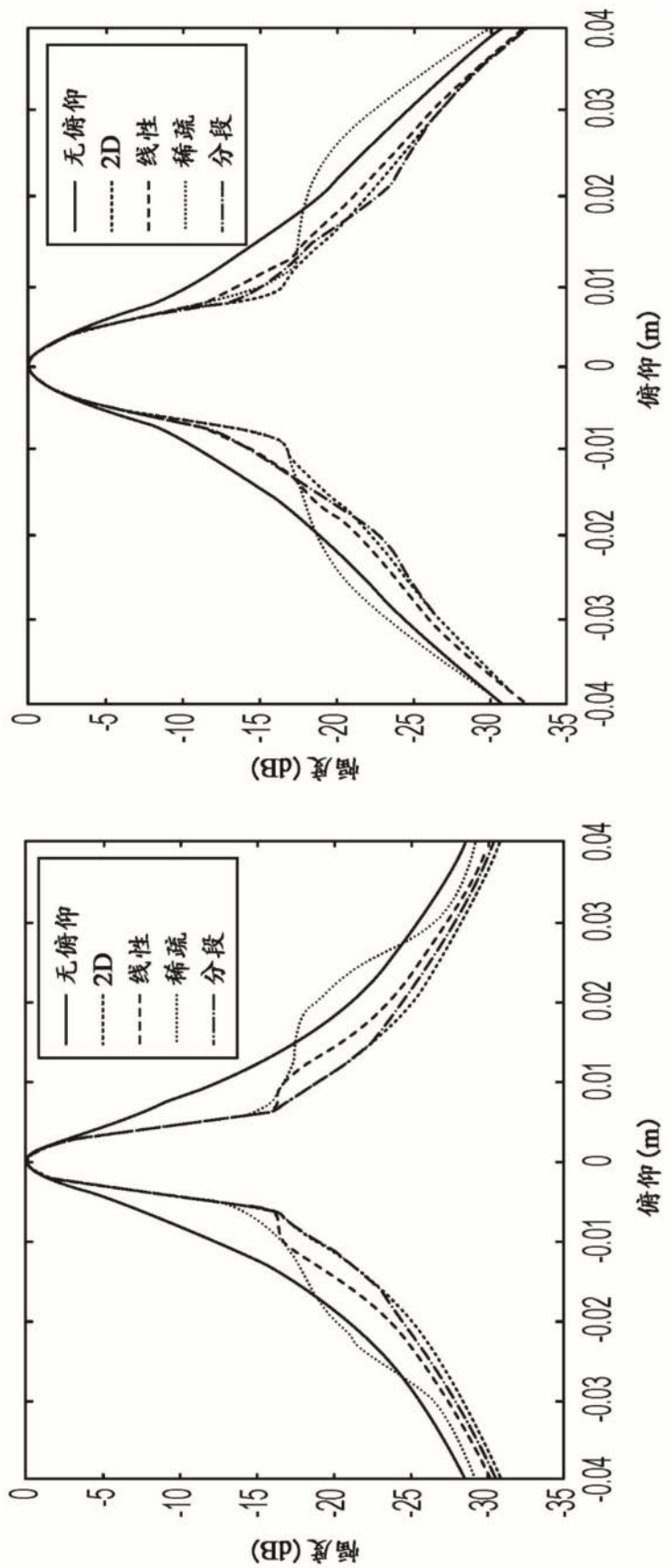


图23A

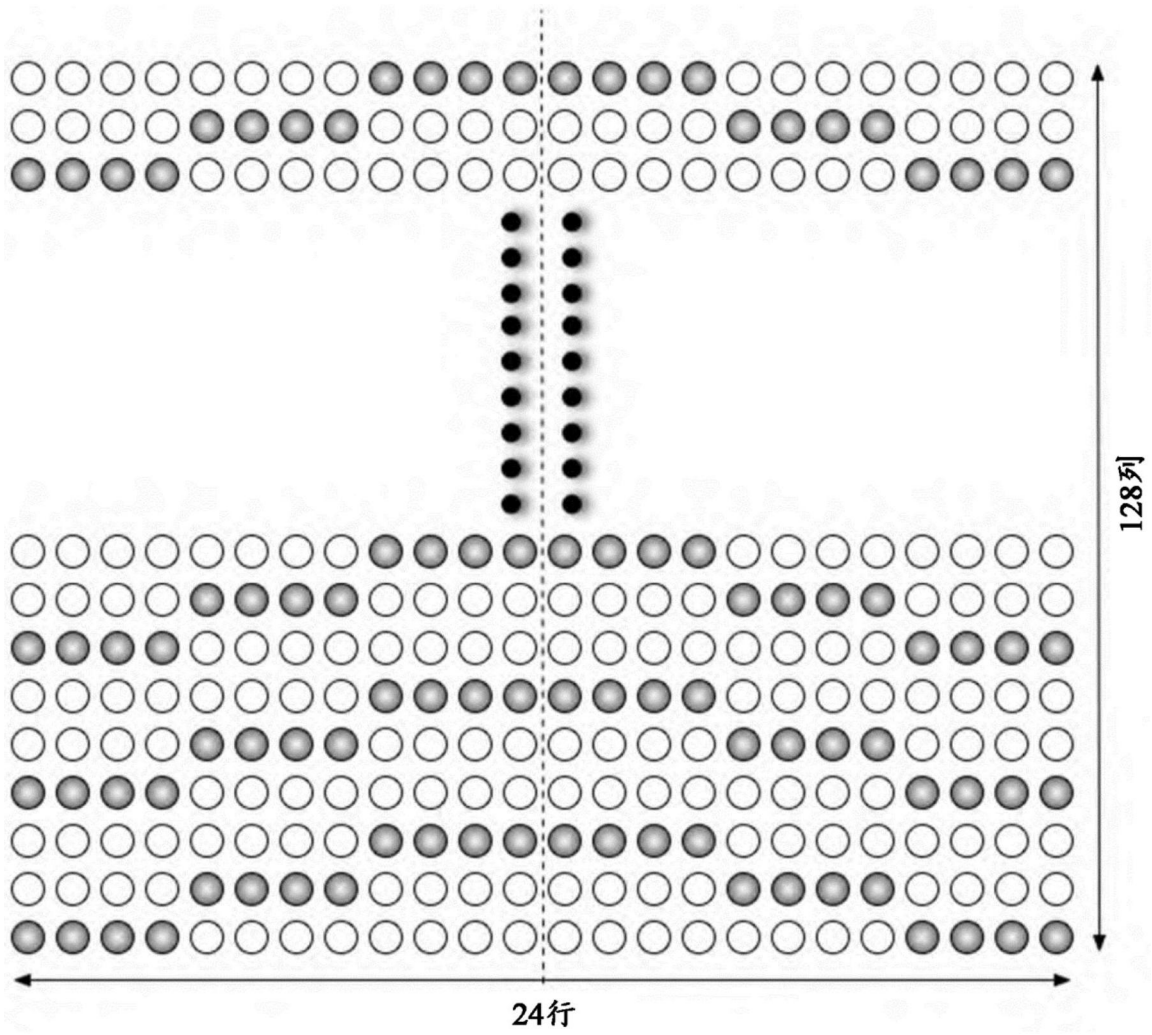


图23B

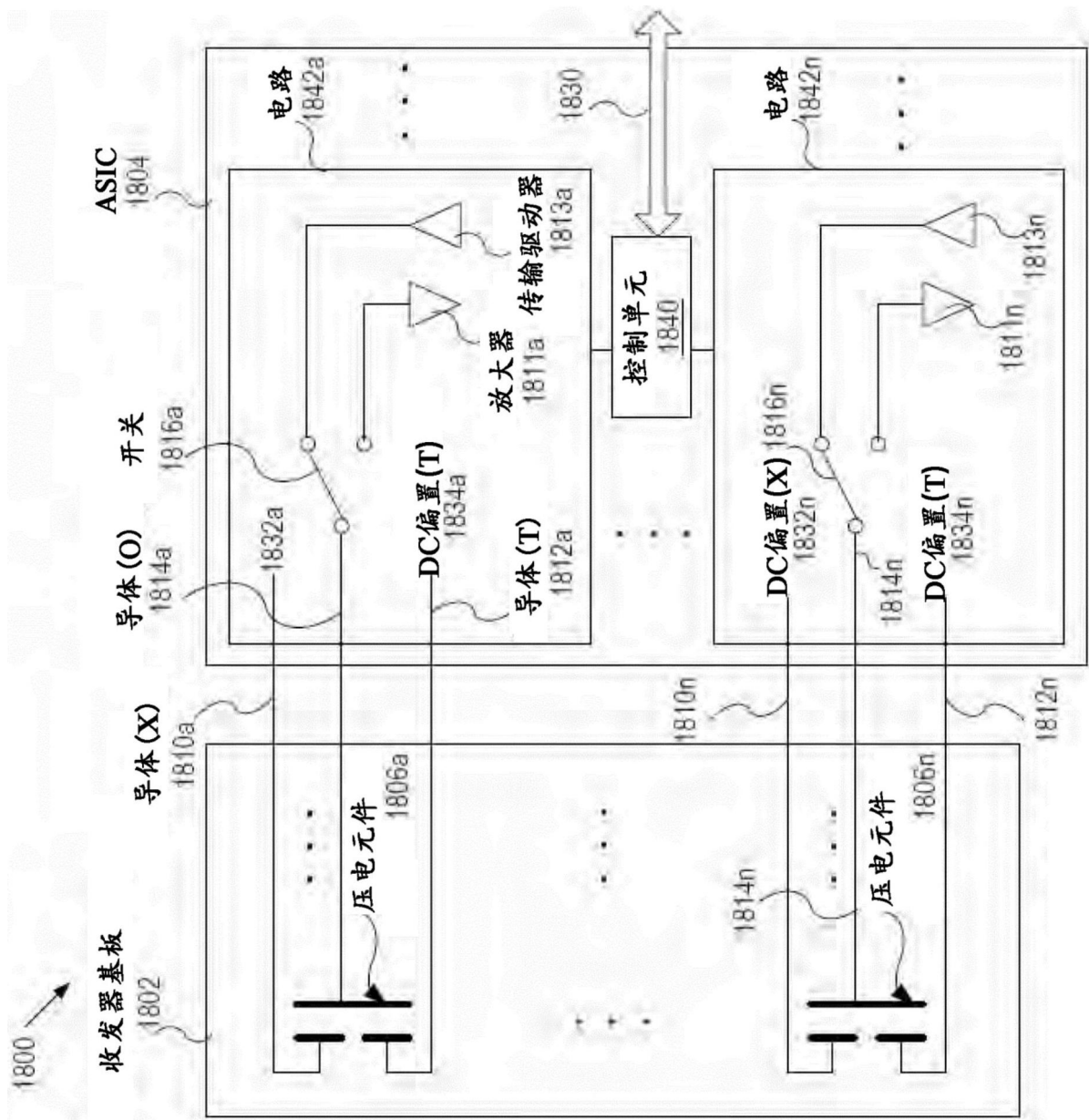


图24A

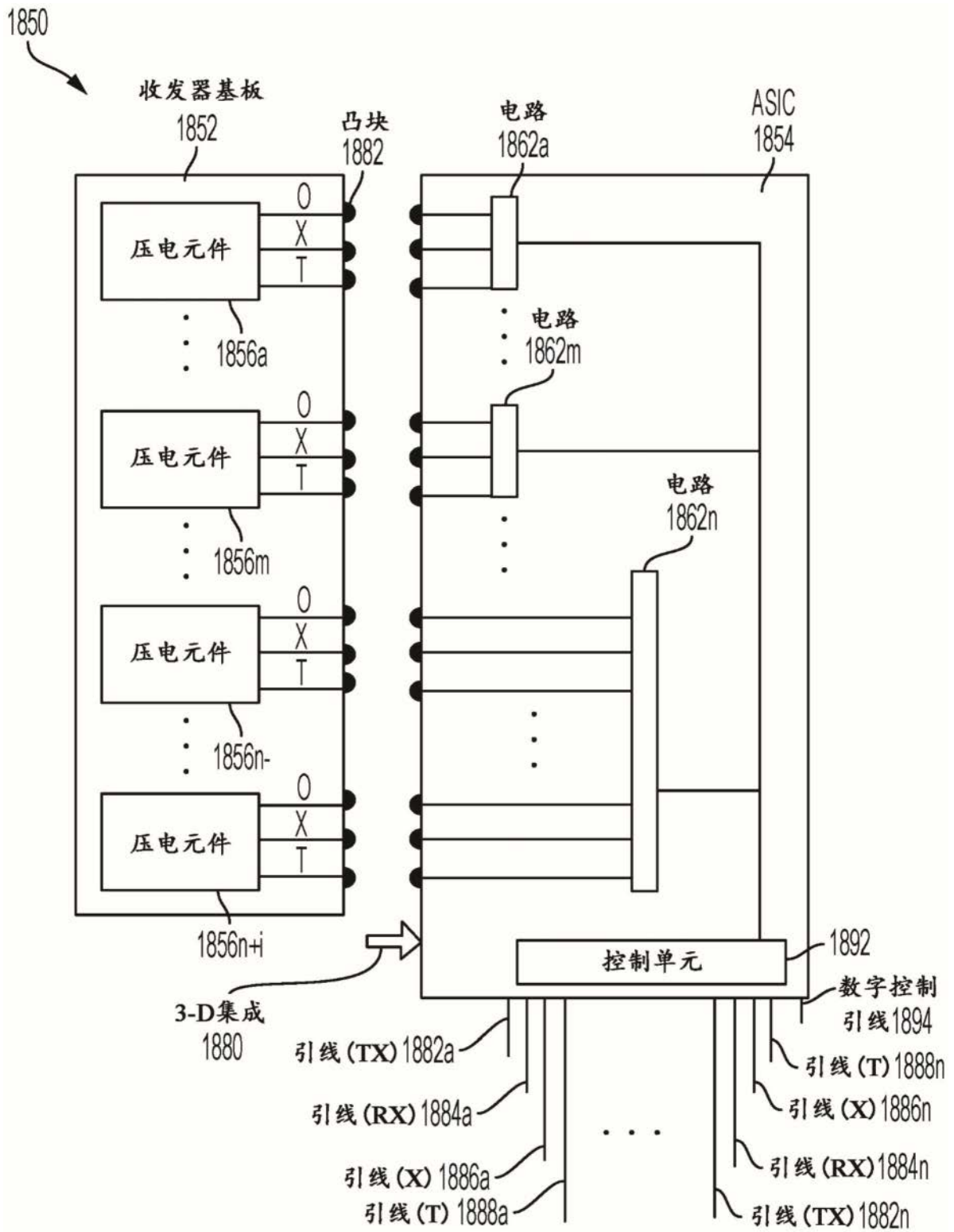


图24B

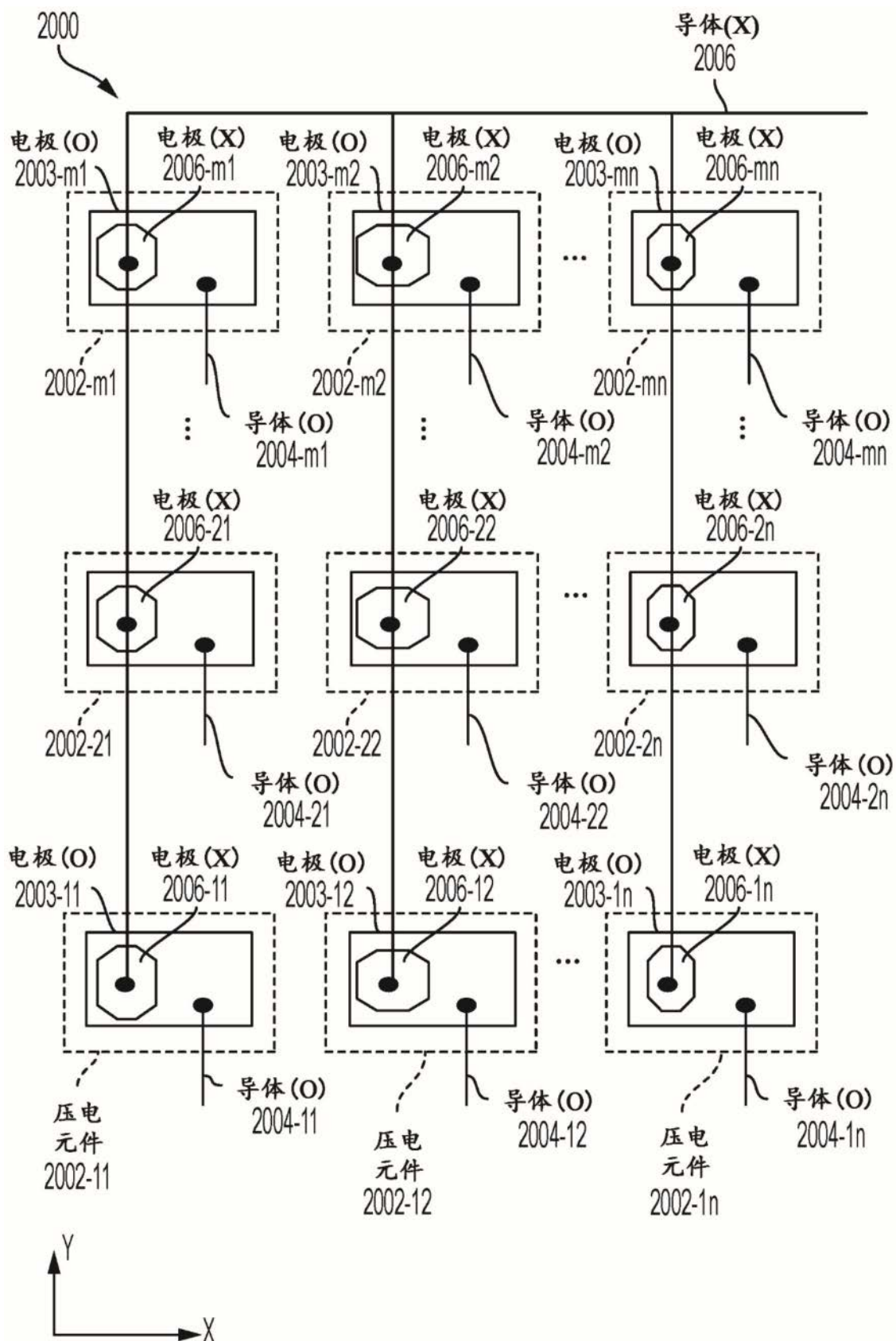


图25

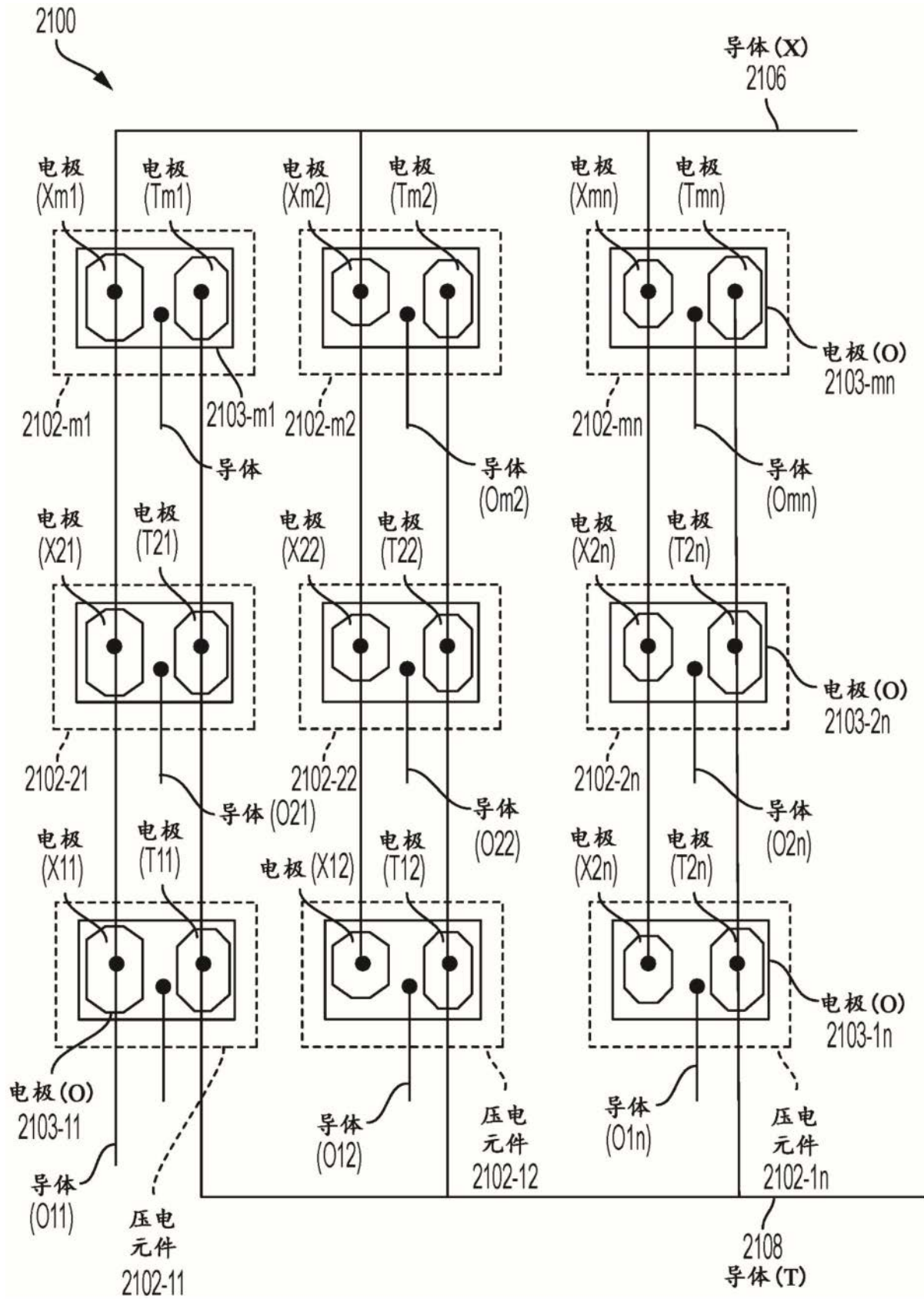


图26

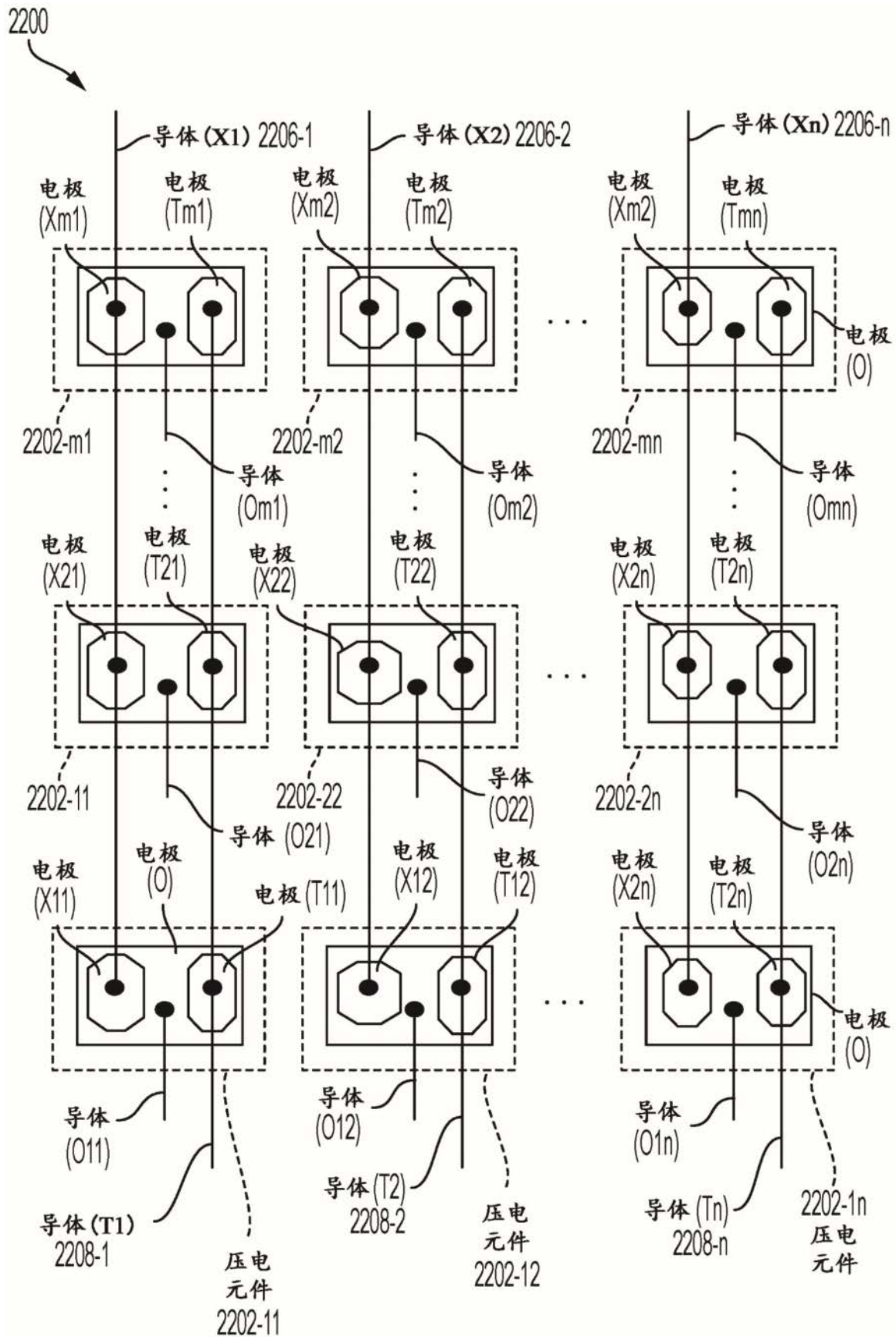


图27

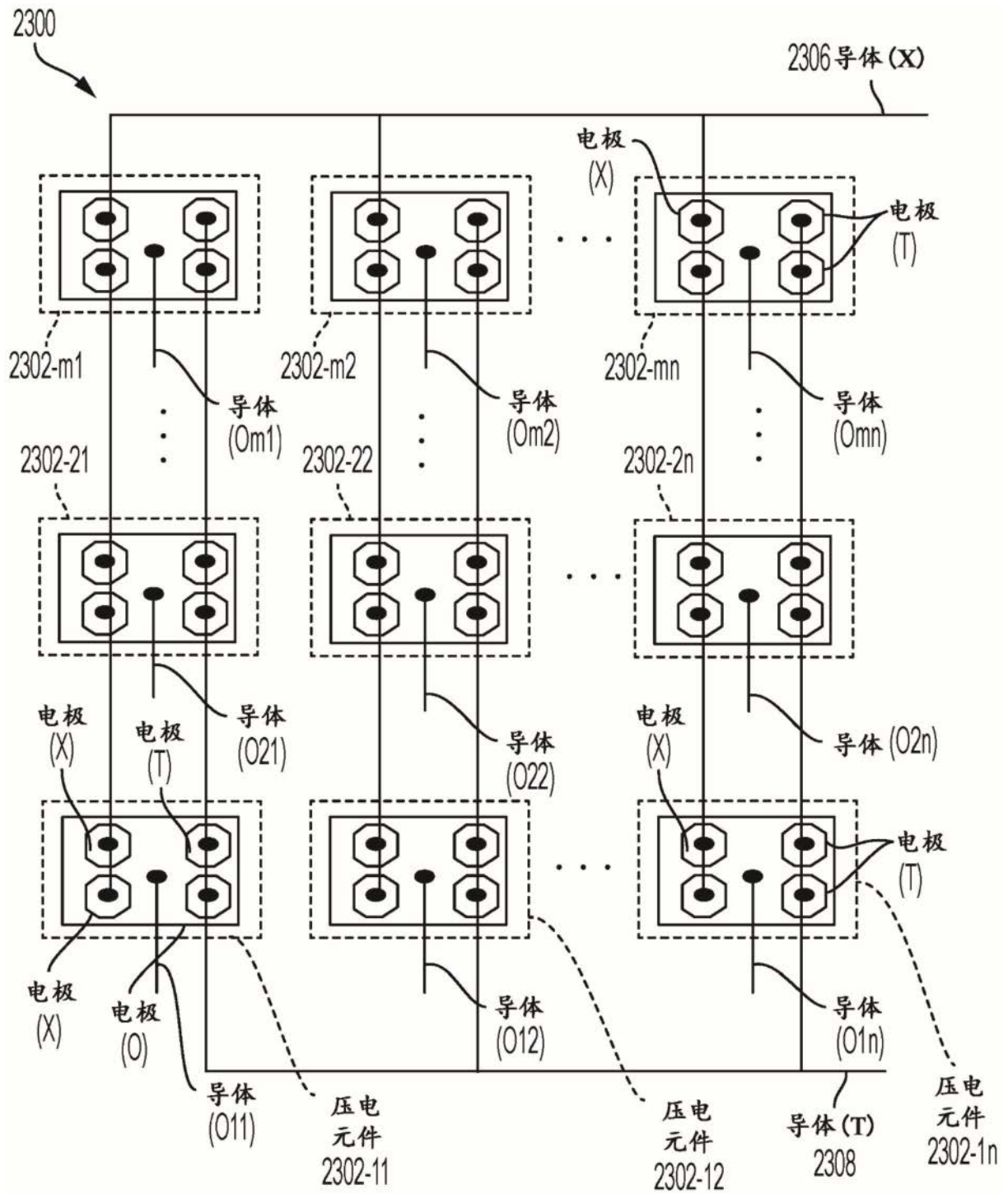


图28

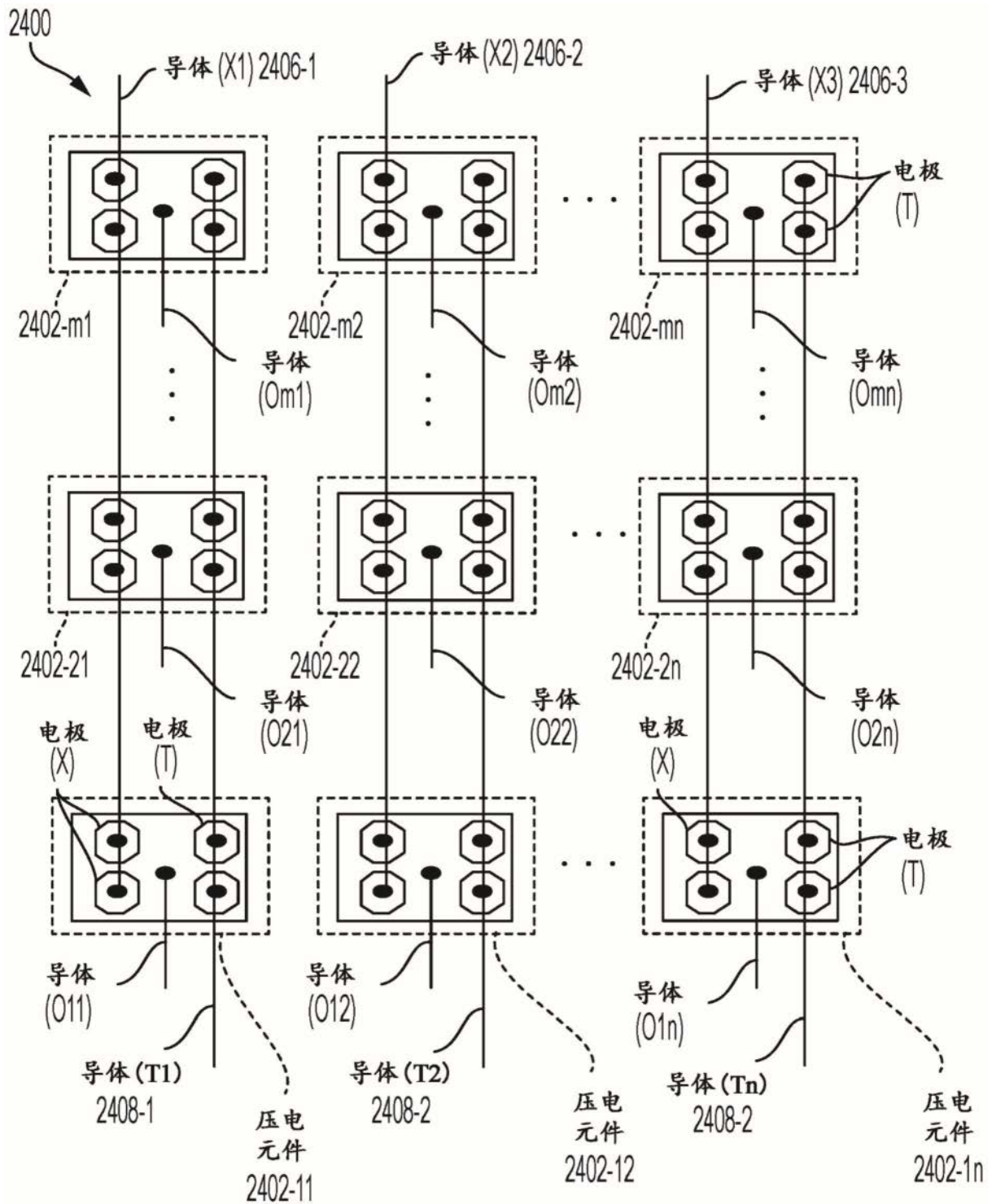


图29

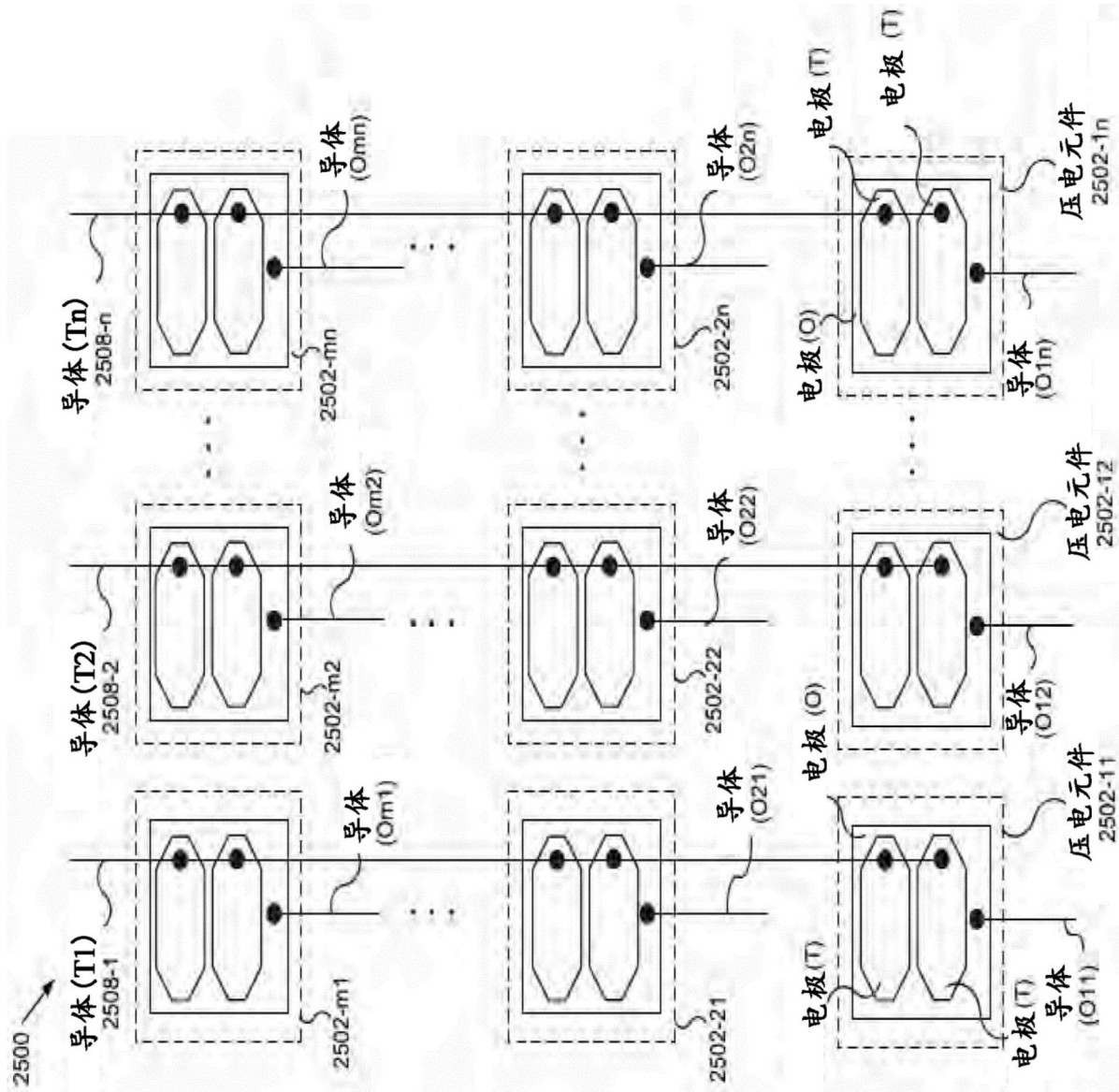


图30

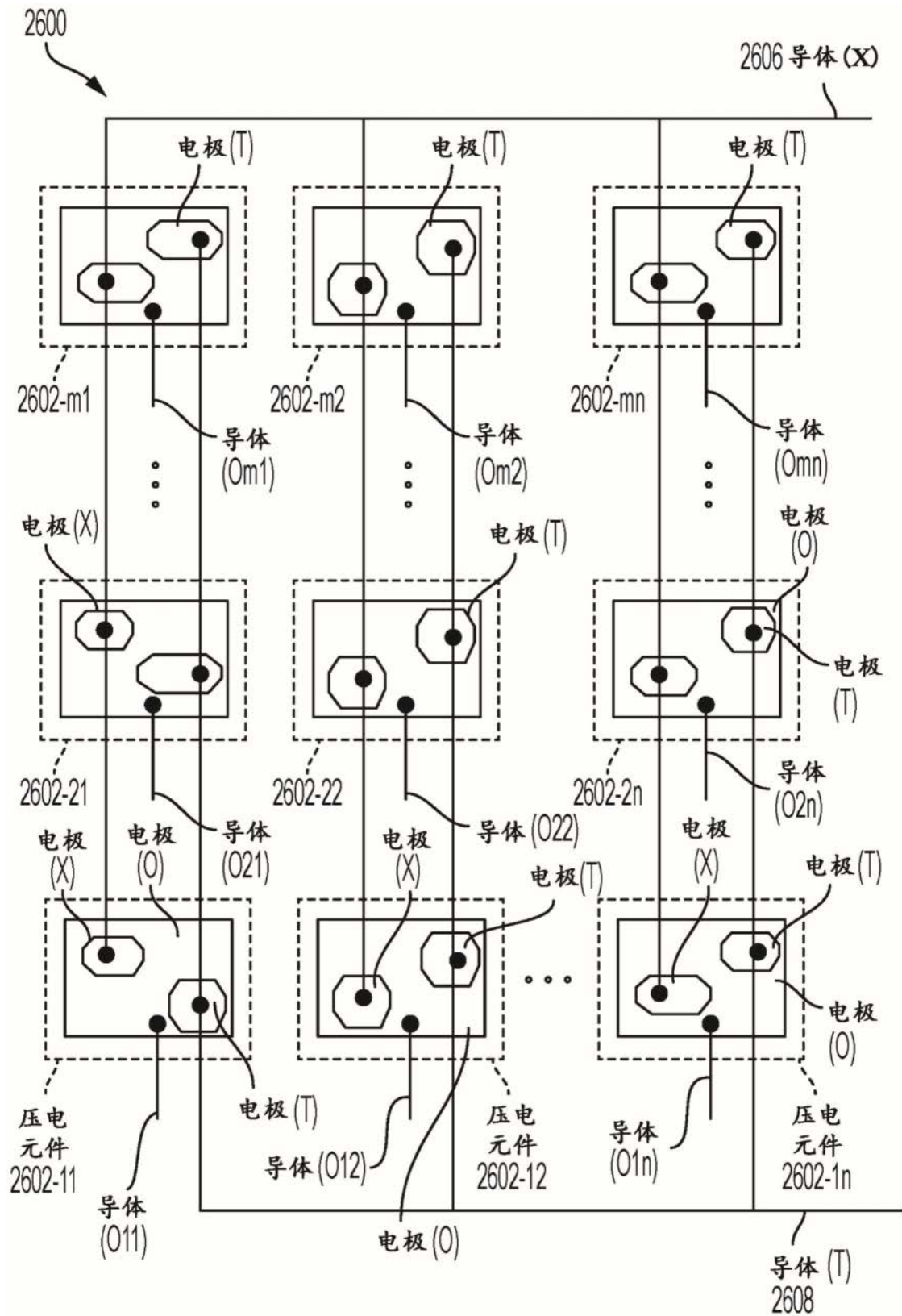


图31

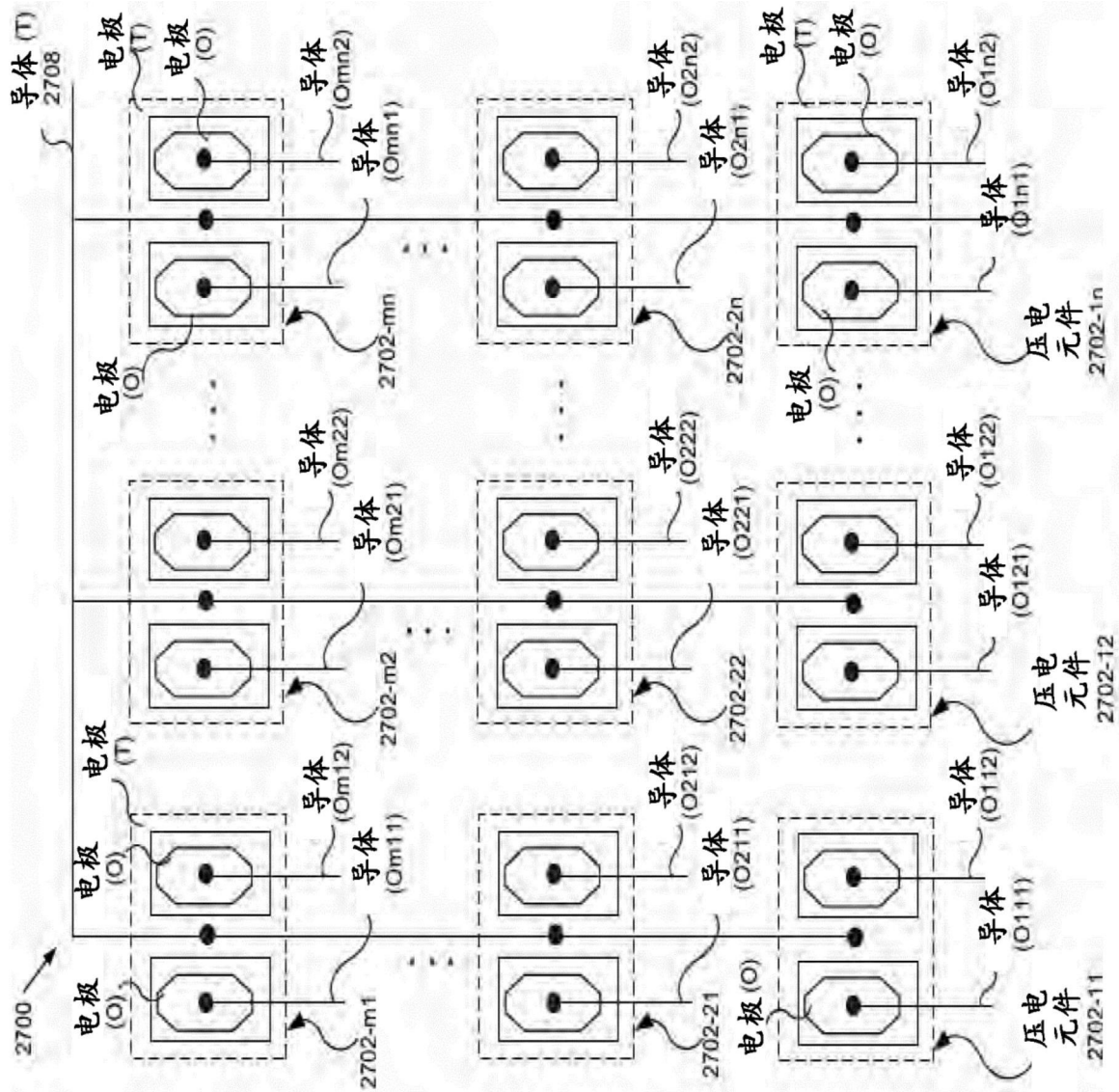


图32

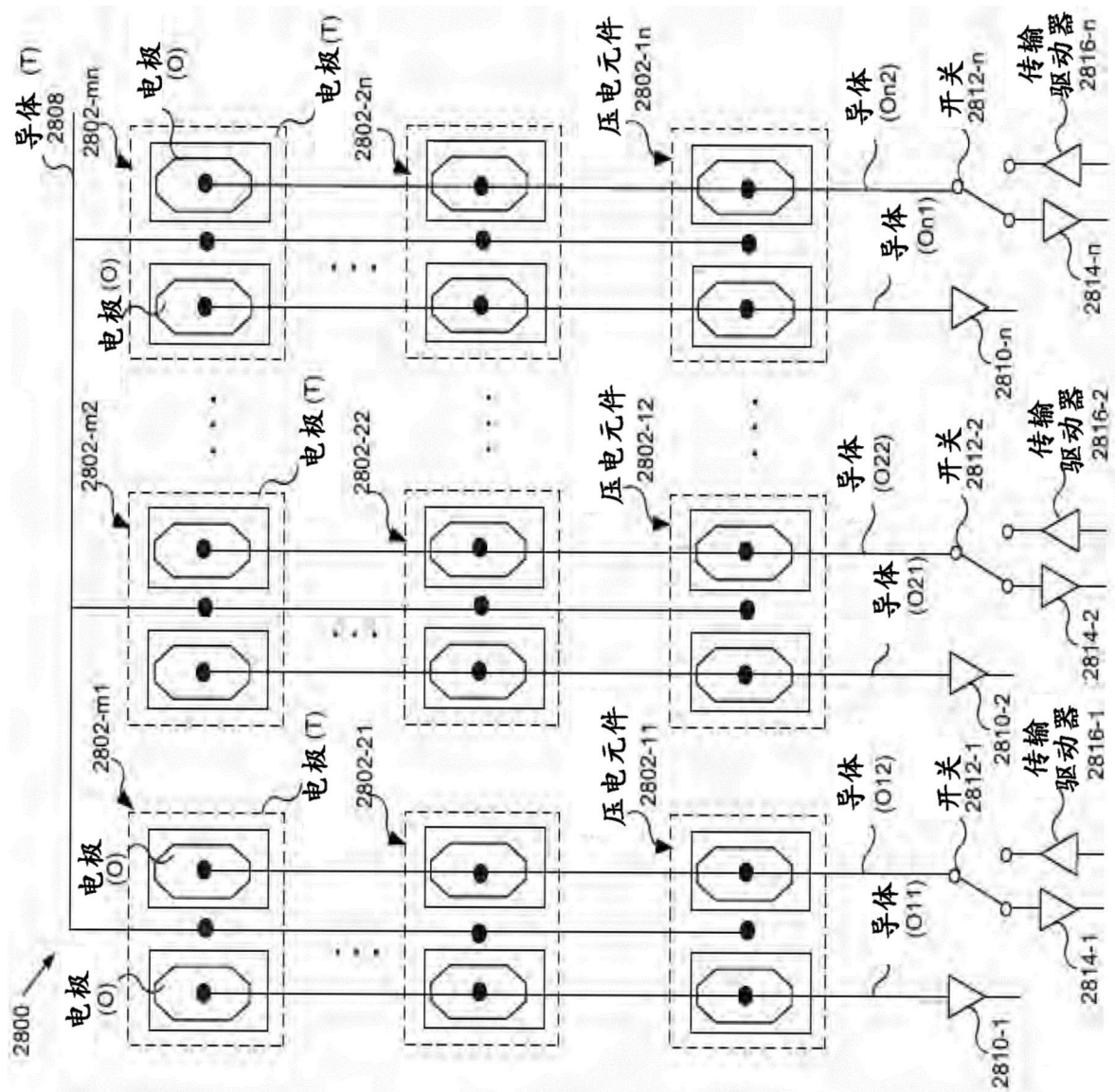


图33A

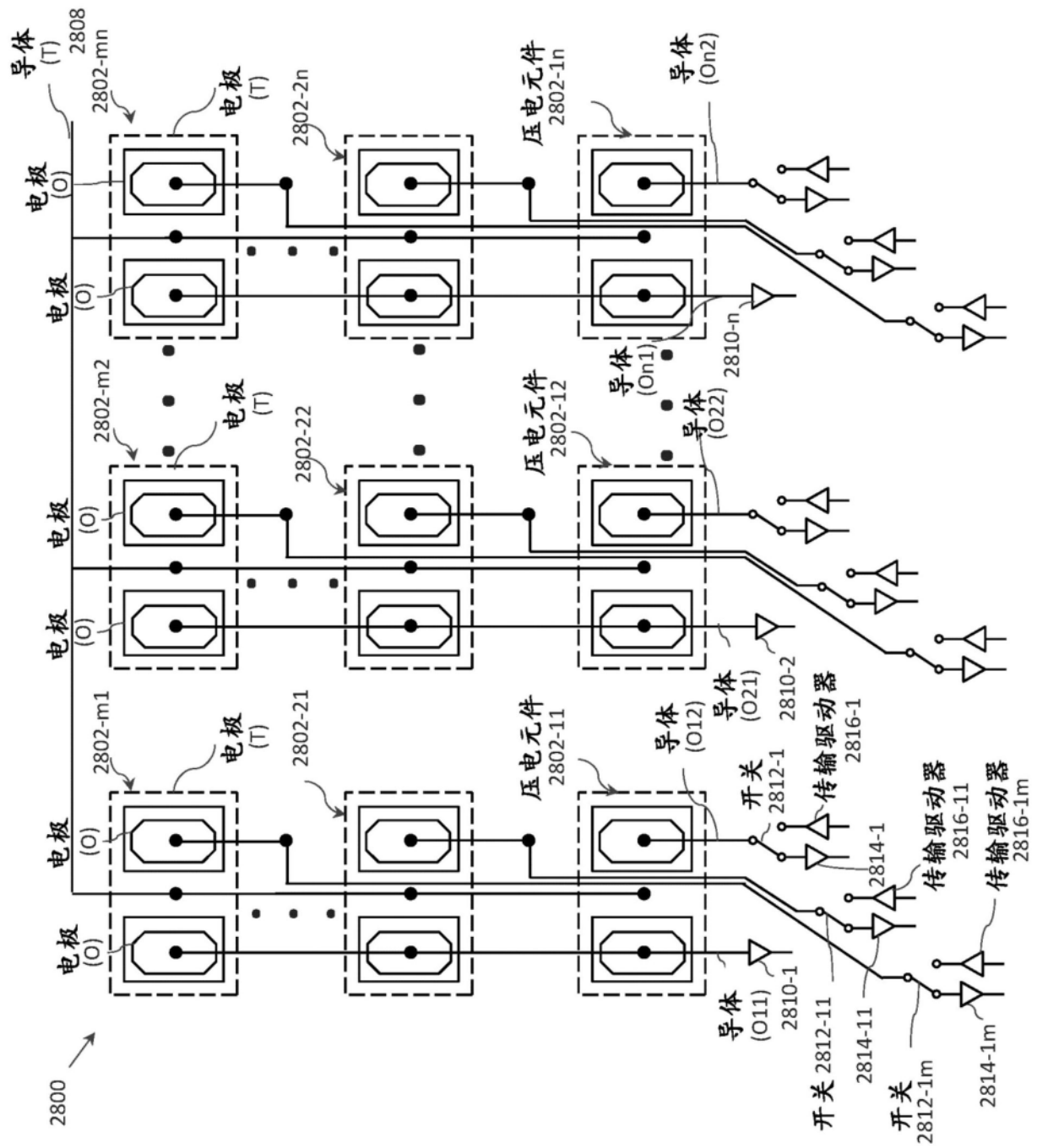


图33B

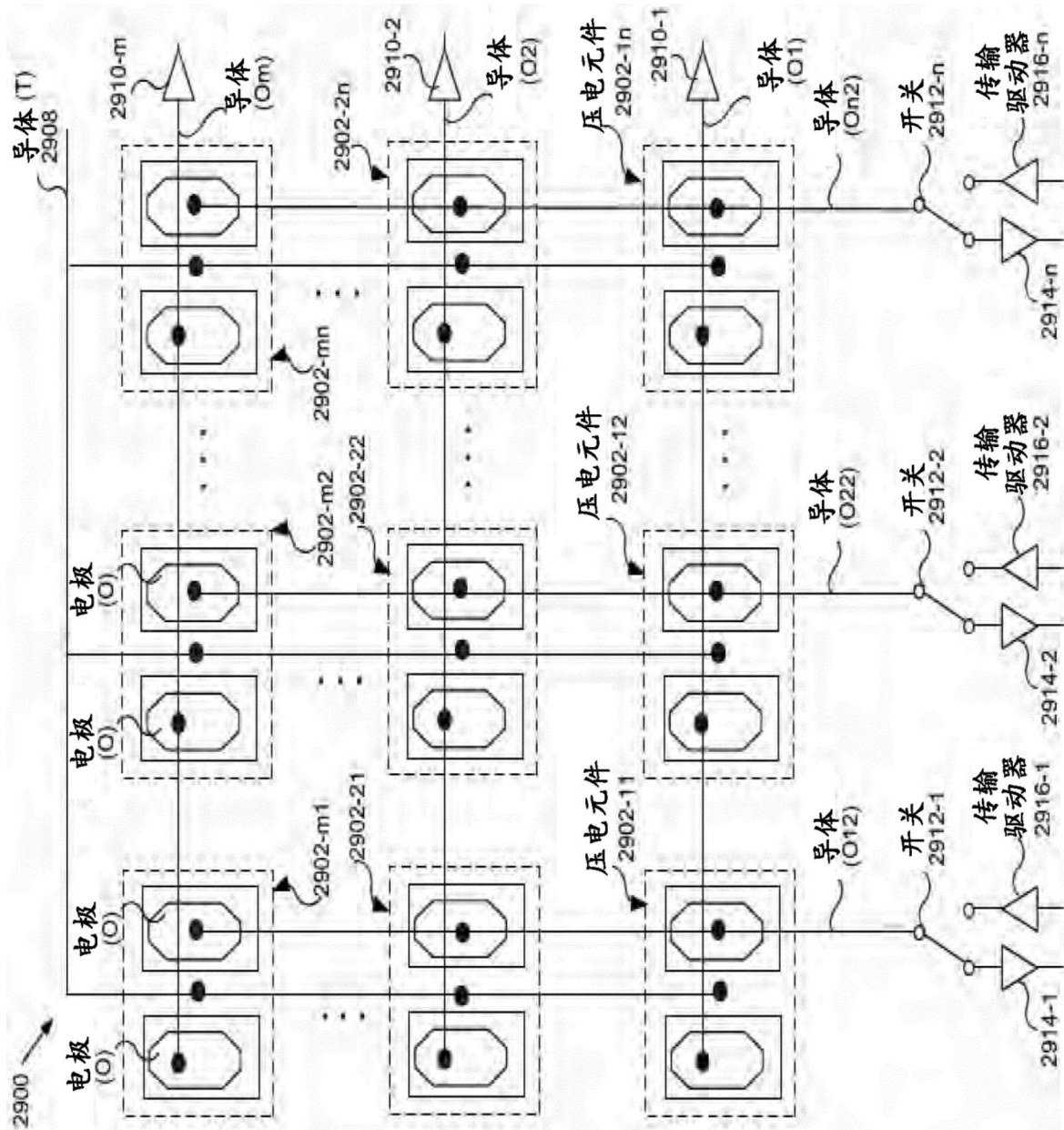


图34A

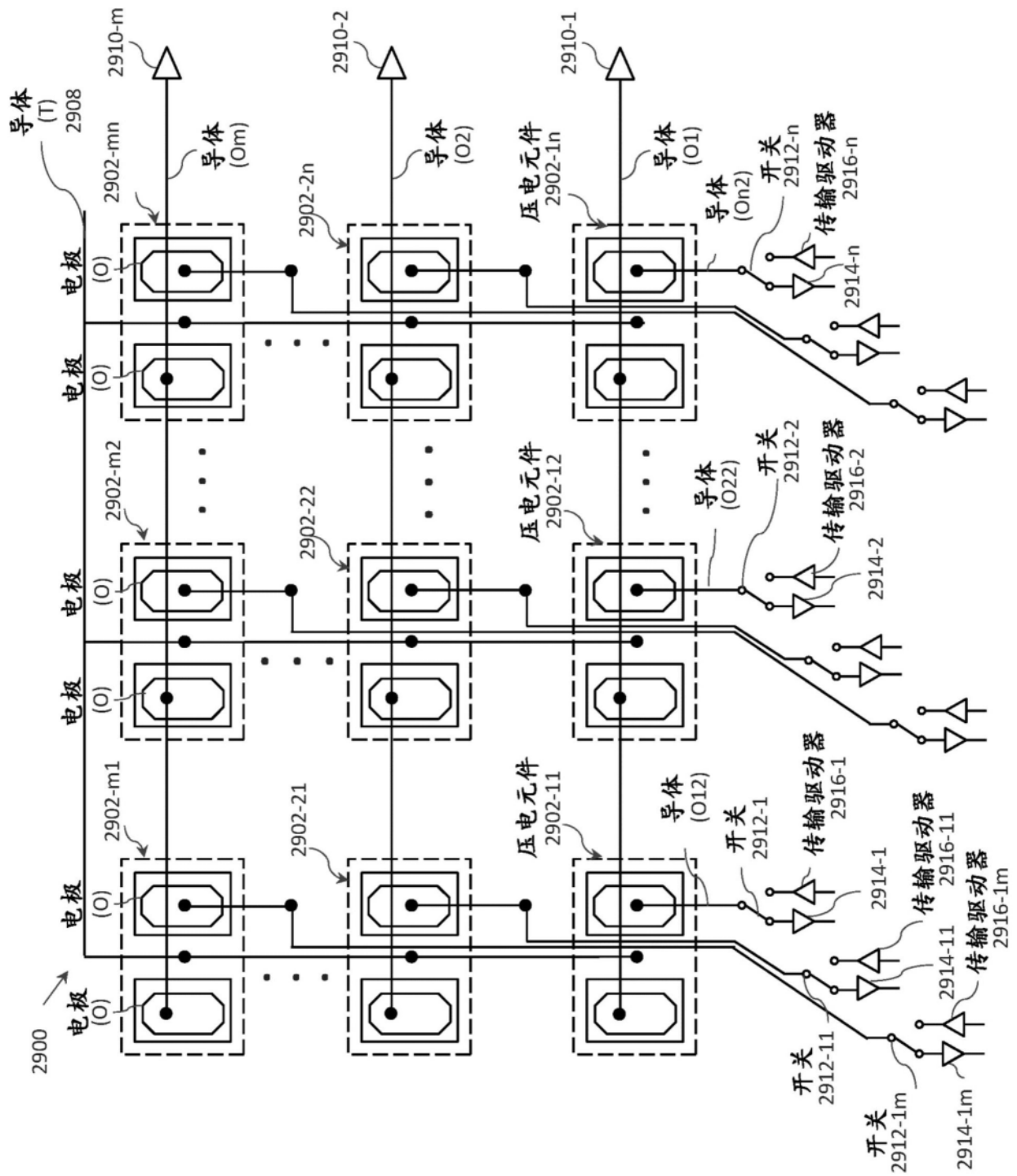


图34B

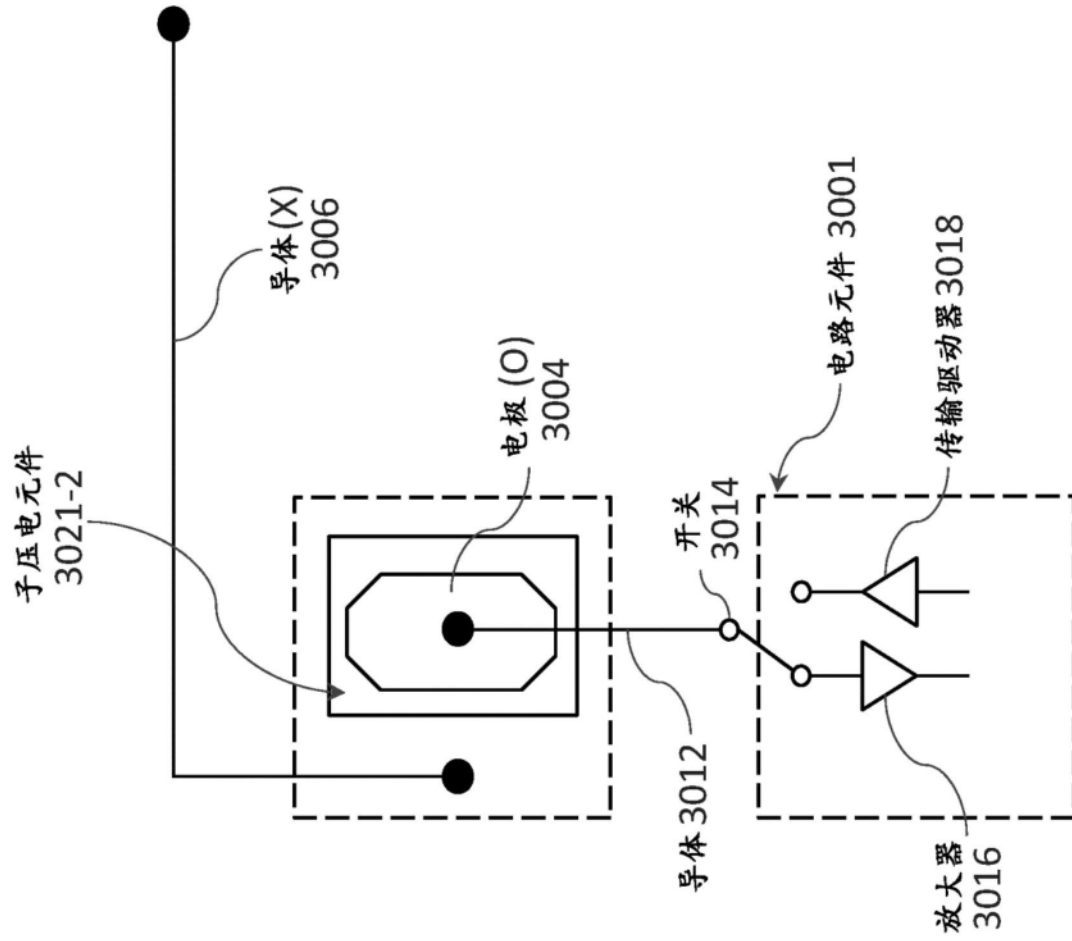


图35B

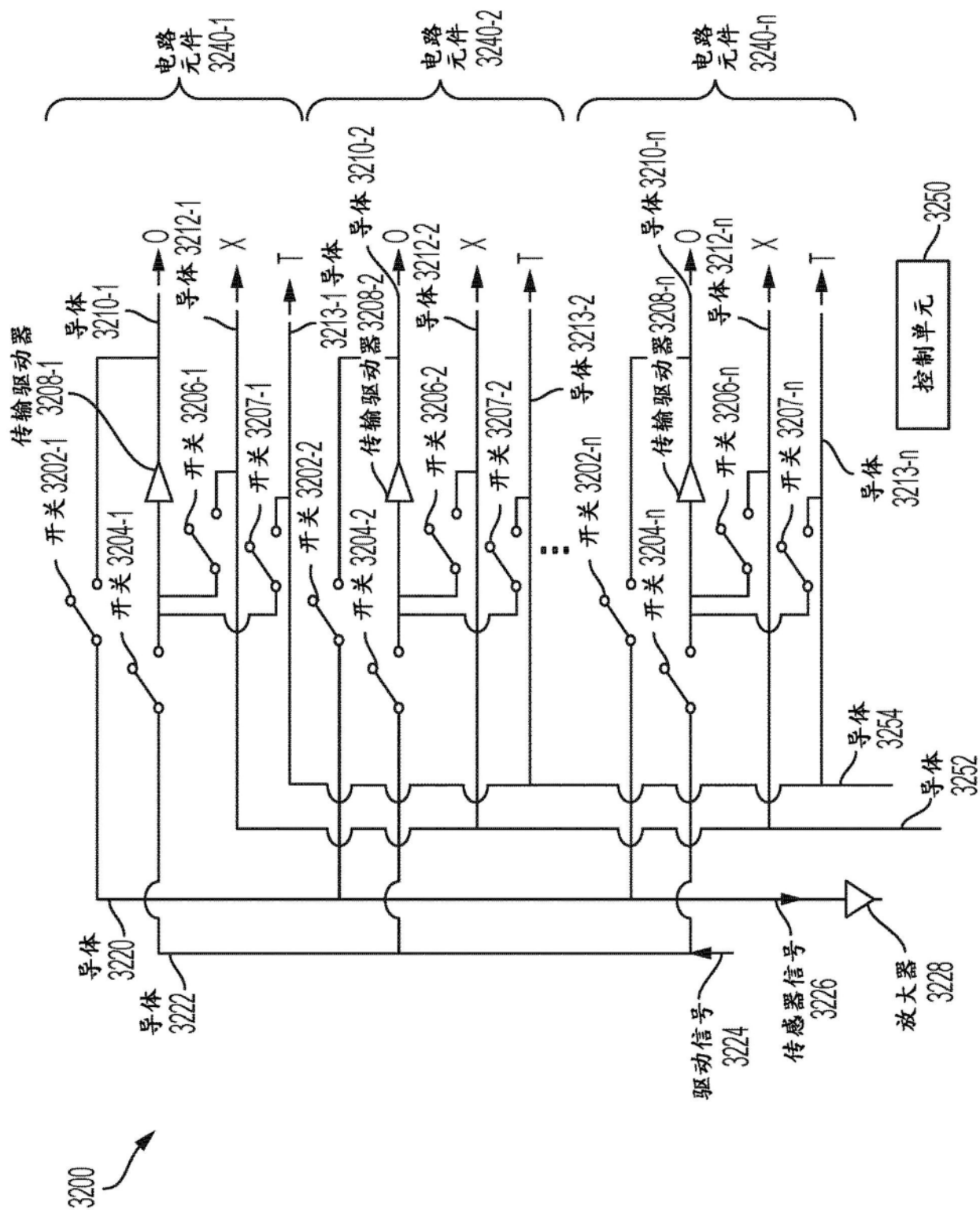


图37

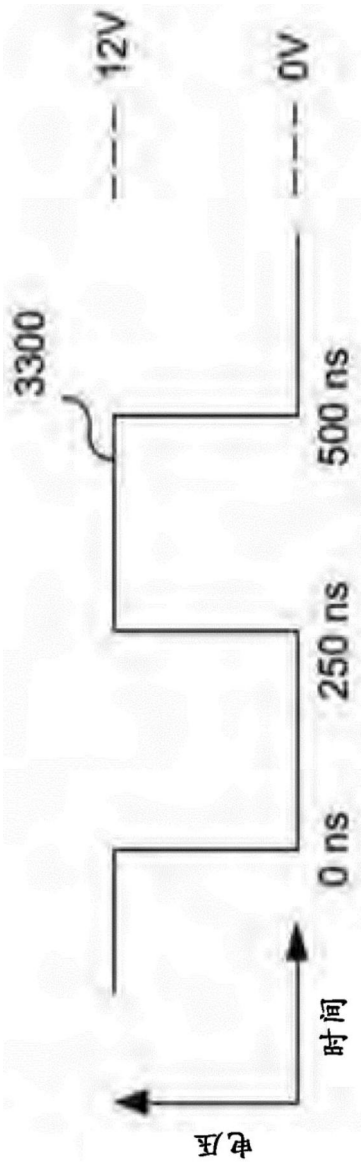


图38

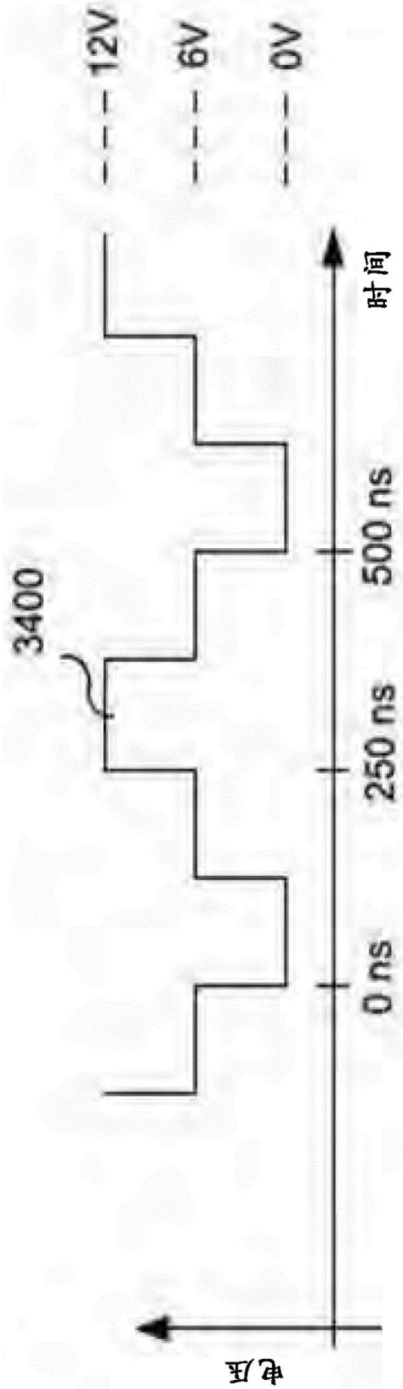


图39A

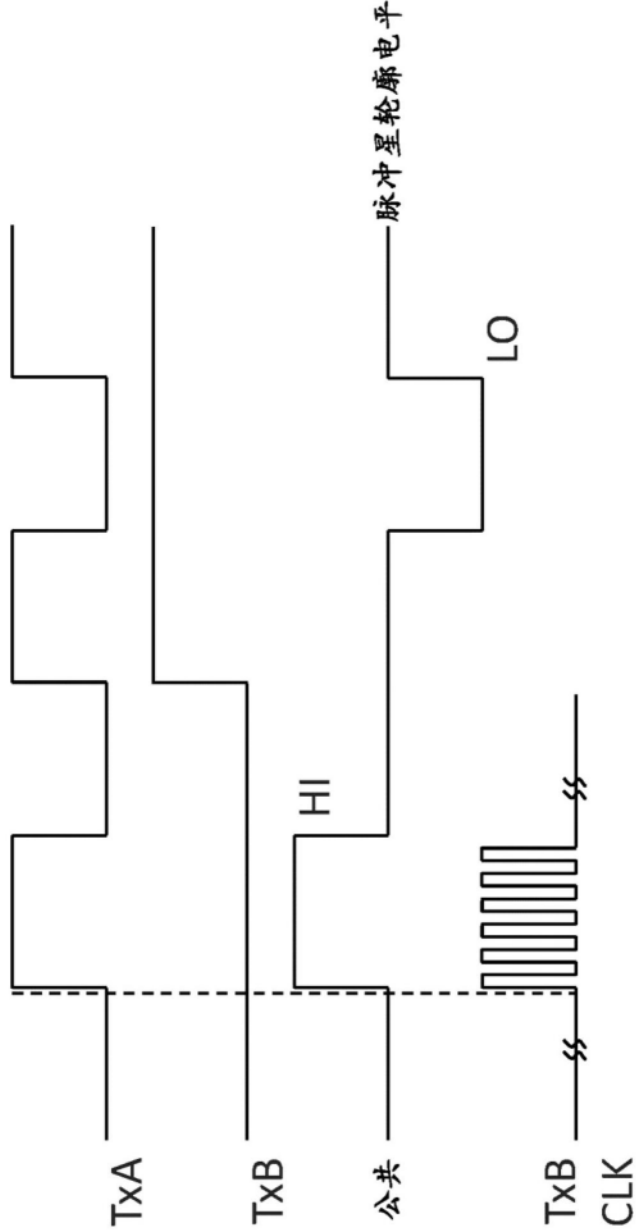


图39B

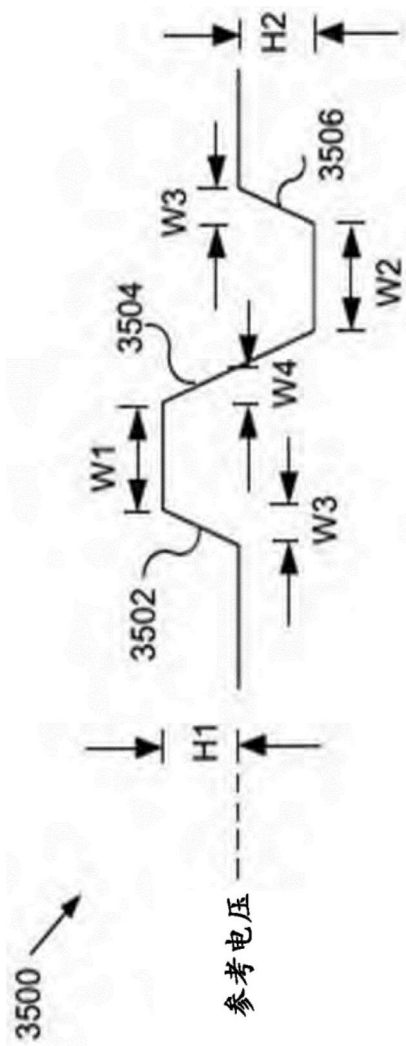


图40

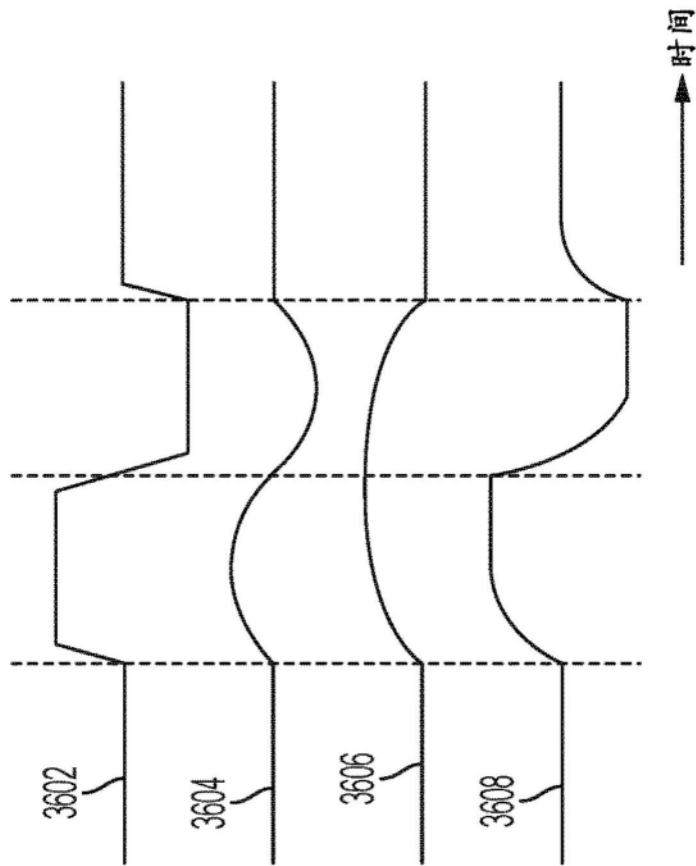


图41

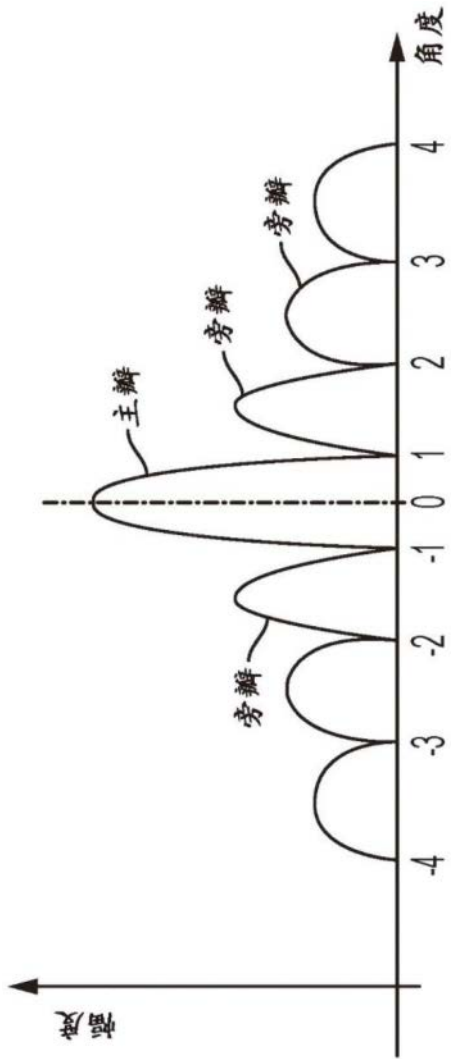


图42A

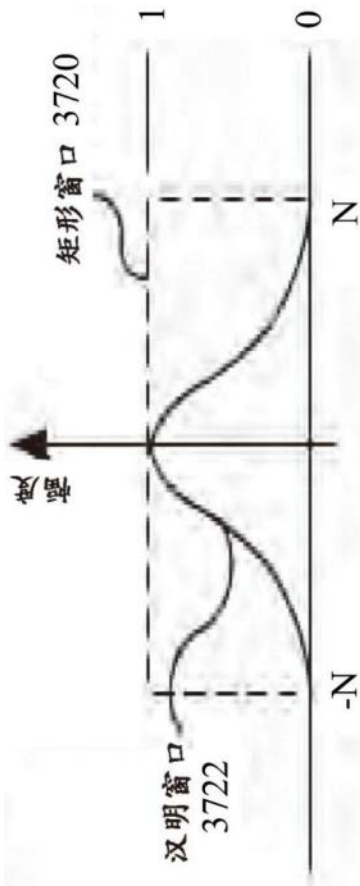


图42B

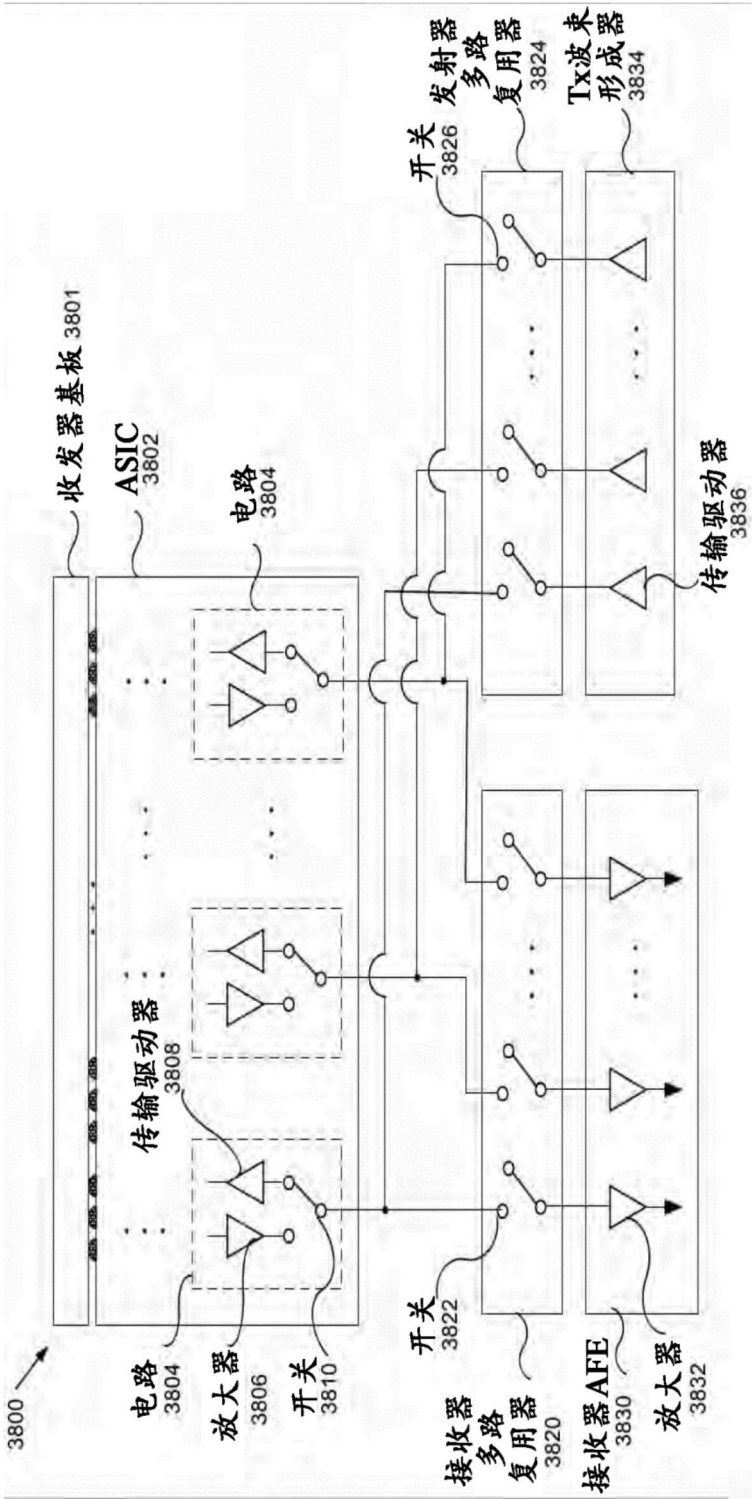


图43

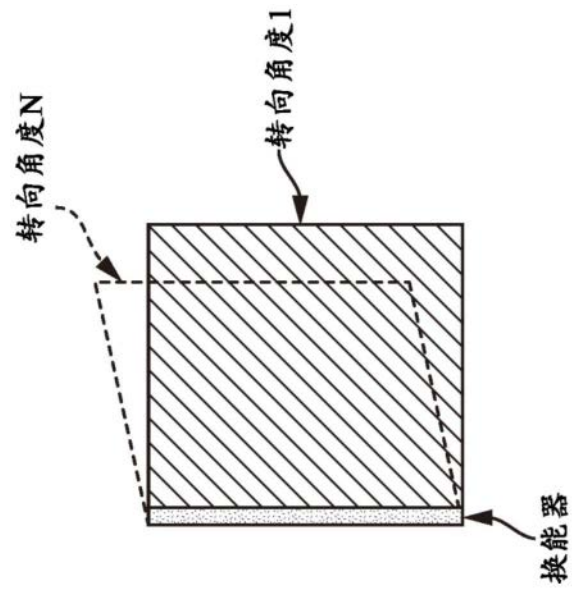


图44