



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105828962 B

(45)授权公告日 2019.07.23

(21)申请号 201480067581.9

(72)发明人 A·C·范伦斯 A·W·格伦兰德

(22)申请日 2014.12.04

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105828962 A

72002

(43)申请公布日 2016.08.03

代理人 王英 刘炳胜

(30)优先权数据

13196881.0 2013.12.12 EP

(51)Int.Cl.
B06B 1/02(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.06.12

(56)对比文件

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2014/076475 2014.12.04

CN 101573861 A, 2009.11.04,
CN 101573861 A, 2009.11.04,
EP 1944070 A1, 2008.07.16,
US 2005/0200241 A1, 2005.09.15,
WO 2009/016606 A3, 2009.08.06,
CN 102159334 A, 2011.08.17,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/086413 EN 2015.06.18

审查员 吴泳江

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司

权利要求书2页 说明书10页 附图8页

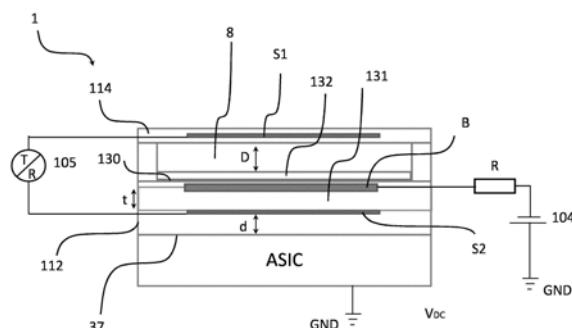
地址 荷兰艾恩德霍芬

(54)发明名称

单片集成的三电极CMUT设备

(57)摘要

本文公开了一种电容式微机械超声换能器(CMUT)单元，包括如下三个电极：第一电极，其耦合到单元膜；第二电极，其嵌入到与所述第一电极相对且与所述第一电极分离开一气体腔或真腔的单元层板中；以及第三电极，其在腔体边上与所述第二电极相对，其中，电介质层夹在所述第二电极和所述第三电极之间以创建所述第二电极和所述第三电极之间的电容关系。三电极CMUT单元提供具有两个受主动驱动的(控制的)电极的超声换能器。



1. 一种电容式微机械超声换能器单元(1),包括:

基底(112),

单元膜(114),其与所述基底(112)相对,在所述基底与所述单元膜之间具有空隙(8);

第一电极(S1),其被耦合到所述单元膜(114),

第二电极(S2),其被嵌入到单元层板(130)中,所述单元层板与所述第一电极相对且与所述第一电极分离开一气体腔或真空腔(8),其中,所述单元层板(130)包括所述基底(112)的上表面,以及

第三电极(B),并且

所述第三电极(B)被定位于所述单元层板中在腔体侧与所述第二电极相对,其中,所述第三电极被电容地耦合到所述第二电极,其中,电容耦合是通过夹在所述电容地耦合的电极之间并与所述电容地耦合的电极直接接触的电介质层(131)来实现的。

2. 根据权利要求1所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述第二电极(S2)与所述第三电极(B)之间的电容关系大于或等于所述第三电极(B)与所述第一电极(S1)之间的电容关系。

3. 根据权利要求1至2中的任一项所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述电介质层(131)包括具有高介电常数的材料的层。

4. 根据权利要求2所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述第三电极(B)与所述第一电极(S1)之间的电容关系大于CMUT单元(1)朝向所述基底(112)的寄生电容(C_p)。

5. 根据权利要求1所述的电容式微机械超声换能器单元,还包括:

DC偏置电压源(104),其用于向所述第三电极引起相对于接地电位的DC偏置电压,以及
信号发射机/接收机(105),其被耦合到所述第一电极和所述第二电极用于引起/感测
所述单元膜的振动。

6. 根据权利要求5所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述DC偏置电压源
(104)是通过电阻器(R)被耦合到所述第三电极的。

7. 根据权利要求6所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述电阻器(R)是片上
电阻器。

8. 根据权利要求7所述的电容式微机械超声换能器单元,其中,所述DC偏置电压源
(104)适于将CMUT膜(114)设置为要在CMUT设备的操作期间塌陷到所述单元层板。

9. 一种超声探头,其包括根据权利要求1所述的至少一个CMUT单元。

10. 根据权利要求9所述的超声探头,其中,所述探头包括所述CMUT单元的阵列(10'),
所述阵列包括所述CMUT单元的第一子组和第二子组,其中,CMUT单元的所述第一子组(34)
具有沿着两个方向中的一个方向互连的所述第一电极,并且所述CMUT单元的所述第二子组
(35)具有沿着另一个方向互连的所述第二电极。

11. 根据权利要求10所述的超声探头,其中,所述阵列中的所述CMUT单元的所述第三电
极是经由串联电阻器而被耦合到DC偏置电压源的。

12. 根据权利要求11所述的超声探头,其中,所述第三电极互连到所述DC偏置电压源的
方向是所述第二子组互连的方向。

13. 根据权利要求12所述的超声探头,其中,所述阵列中的所述CMUT单元的所述子组中
的任一子组的沿着所述两个方向中的一个方向互连的所述第三电极是经由针对每个互连

的一个串联电阻器而被耦合到所述DC偏置电压源的。

14. 一种超声成像系统,包括根据权利要求10至13中的任一项所述的超声探头。

单片集成的三电极CMUT设备

技术领域

[0001] 本发明涉及电容式微机械超声换能器(CMUT)单元，其包括基底、与基底相对的单元膜(所述基底与单元膜之间具有空隙)、耦合到单元膜的第一电极、嵌入到单元层板第二电极，所述单元层板与第一电极相对且与第一电极分离开一气体腔或真空腔，其中，所述单元层板包括基底的上表面。此外，本发明涉及包括根据本发明的CMUT单元的阵列探头，并且涉及包括根据本发明的这种探头超声成像系统。

背景技术

[0002] 这种电容式微机械超声换能器单元、探头、成像系统在EP1944070中公开。

[0003] 这些产品用于医学诊断扫描。

[0004] CMUT换能器是数十个微米大小的类似隔膜的单元，其通常包括彼此相对的两个电极。为了发射，应用到电极的电容电荷被调制以使得设备的隔膜(膜)振动/移动并由此发送声波。在声波传播路径上放置的对象反射波。被反射的声波使得膜振动，这调节CMUT换能器的两个电极之间的电容，由此产生电信号。此信号表示被反射的声波击中膜。

[0005] CMUT单元布置在针对高频波束形成的阵列中。

[0006] 为了较好的性能，CMUT需要在电极之间应用的高偏置电压(例如，100V)。

[0007] 在此情形中，当3D成像不可行时(例如，由于成本原因、有限的可用区域或者需要的帧速率)，可以应用双平面2D成像。

[0008] 在双平面成像中，CMUT的阵列划分在基本上沿着两个方向布置的两组换能器单元中，其中，每个CMUT单元可以在两个组中激活。在现有技术中，这是通过如下来实现的：将单元的所有顶部电极按照阵列连接到具有沿着x-方向的主朝向的金属化图案，并将所有底部电极连接到带有沿着y-方向的主朝向的金属化图案。DC源是通过RC滤波器(也称为偏置T型滤波器)供应给组中的每个单元的。此偏置T型滤波器将信号的AC分量与DC分量分开，使得用于对探头的检测信号进行处理的ASIC技术仅必须应对信号的AC分量并被防止暴露于高电压。

[0009] 阵列中的偏置T型滤波器包括针对每个互连的单元的分立高电压耦合电容器和分立高阻抗电阻器。在组中有“N”个单元的情况下，必须提供“N”个分立高电压电容器和相同数量的分立电阻器。由于这些高电压组件的相对大的尺寸，偏置T型滤波器在CMUT中的应用消除了小型化获得的益处并可能几乎无法在例如超声导管中实现。此外，这些分立组件的寄生效应可以限制阵列的性能。

发明内容

[0010] 本发明的一个目标是为提供在开篇段落中给出的那种电容式微机械超声换能器单元，其能够向CMUT阵列提供改进且高效的高电压供给，更加适于小型化。

[0011] 根据本发明，此目标是通过提供包括第三电极的电容式微机械超声换能器单元来实现的，其中，第一或第二电极与第三电极电容地耦合，其中，所述电容耦合是通过夹在电

容地耦合的电极之间并与电容地耦合的电极直接接触的电介质层来实现的。

[0012] CMUT单元的这种有利设计,包括集成到该单元中的三个电极,提供了改进的CMUT设备,其中,超声换能器和RC滤波器的电容组件在一个CMUT单元中实现。单独的第三电极被定位于两个电极之间,并与CMUT单元的这两个电极中的任一个具有电容关系,其中,这两个电极是由腔体隔开的。这种电容耦合是由夹在电容地耦合的电极之间的电介质层来实现的。因此,第三电极是经由CMUT腔体电容地耦合到两个电极中的一个电极,并通过电介质层电容地耦合到另一电极,其中,后一关系定义了针对集成到CMUT单元的RC滤波器的电容器。因此,与高偏置电压有关的所有存储的电荷可以由两个导电金属板从用户/患者隔离开。

[0013] 在本发明的实施例中,第三电极被位于单元层板中在腔体侧与第二电极相对。该实施例描述了三电极CMUT单元的特定实现方式,其中,所述第三电极被定位于所述单元层板中,使得其在所述腔体侧与所述第二电极相对。在该情况下,对于第二电极和第三电极两者,到第一电极的分隔距离包括CMUT腔体。针对该配置可以优势可以是CMUT制造过程的简化,其中,三个电极中的两个被定位于CMUT腔体的非振动层板上。

[0014] 在本发明的实施例中,所述第二电极与所述第三电极之间的电容关系大于或等于所述第三电极与所述第一电极之间的电容关系。

[0015] 为提供RC滤波器电容性部件的更加有效的实现方式并且避免信号衰减,由所述第二电极和第三电极形成的电容将等于或大于由CMUT腔体所限定的电容。

[0016] 在本发明的再另一实施例中,所述电介质层包括具有高介电常数的材料的层。

[0017] 该状况是对第二电极与第三电极之间的电容关系的要求的结果。为保持该电容在CMUT的电容之上,电介质层可以是具有高介电常数的材料(所谓的高k介电质)。这也将允许避免电极之间的漏电流并且达到CMUT的工作中的稳定性。由于漏电流是不期望的,击穿也是不需要的,可以施加降低介电质厚度的限制(期望承受施加的偏置电压)并且因此其将限制电容间的比率(C_c/C_f)。

[0018] 在本发明的另一实施例中,所述电容式微机械超声换能器单元还包括用于向所述第三电极引起相对于接地电位的DC偏置电压的DC源,以及耦合到所述第一电极和所述第二电极的用于引起/感测所述膜的振动的信号发射器/接收器(105)。

[0019] 所述DC偏置源是通过独立的第三电极提供的,而所述发射器/接收器(通过ASIC电子器件提供)可以经由耦合到分别的信号(第一和第二)电极来进行驱动和/或感测。该电极的配置允许从信号分量中分离DC偏置分量。结果是,在第一电极和第二电极被主动地控制的情况下,能够降低对ASIC技术的高电压要求。这还允许利用从两侧驱动CMUT单元的优势。

[0020] 在本发明的再另一实施例中,DC偏置源通过电阻器(R)被连接到第三电极,阻抗在CMUT单元的共振频率大于第一电极和第三电极之间的阻抗。

[0021] 该实施例实现了RC滤波器到CMUT单元的完全集成。电容性部件是通过第二电极和第三电极之间的电介质层来实现的,而高阻抗部件是通过与所述第三电极串联连接并且经由其可以施加DC电压的电阻器来实现的。因此,在该实施例中,每个换能器CMUT单元可以具有其自己的高阻抗,屏蔽偏置节点之内的电阻器。这使得“CMUT单元故障”不引起大的短路电流并且因此不引起连接的ASIC的整个队列的崩溃。

[0022] 在本发明的另外的实施例中,所述探头包括CMUT单元的阵列,所述阵列包括CMUT单元的第一子组和第二子组,其中,CMUT单元的所述第一子组具有沿着两个方向中的一个

方向互连的所述第一电极，所述CMUT单元的所述第二子组具有沿着另一个方向互连的所述第二电极。该实施例开发了经由阵列中的第一电极和第二电极两者来驱动CMUT单元的机会。第一子组中的第一电极和第二子组中的第二电极的互联提供了针对两个子组使用相同的CMUT单元以及独立地驱动每个子组的可能。

[0023] 在本发明的再另一实施例中，阵列中的CMUT单元的第三电极经由串联电阻器而被连接到相同的DC偏置电压。应用相同的DC偏置电压简化了探头中的电子器件互联并且允许超声探头的尺寸的进一步缩小。

[0024] 本发明的这些和其他方面将根据下文描述的实施例变得显而易见，并且将参考下文描述的实施例得到阐述。

附图说明

[0025] 在附图中：

[0026] 图1图示了根据本发明的原理的包括三个电极的CMUT单元，

[0027] 图2图示了塌陷到单元层板的CMUT单元，

[0028] 图3 (a) 描绘了具有集成RC滤波器的CMUT单元的功能图；(b) 描绘了本发明的CMUT单元的符号表示；(c) 图示了根据本发明的原理的CMUT单元的主要单元的示意性表示，

[0029] 图4 (a) 图示了高阻抗电阻器到CMUT单元的片上实现方式；(b) 图示了集成到CMUT单元的基底的电阻器；(c) 图示了第三电极和高阻抗电阻器的组合集成，

[0030] 图5 (a) 图示了在信号的发射期间使用不同的电路配置的信号发射器/接收器的实现方式；(b) 图示了在回波信号的接收期间使用不同的电路配置的信号发射器/接收器的实现方式；(c) 图示了使用具有分开的发射和接收节点的单端电路配置的信号发射器/接收器的实现方式，

[0031] 图6描绘了在双平面配置中布置的CMUT单元的2D阵列；

[0032] 图7描绘了根据本发明的实施例的包括三个电极和附加的偏置电极B2的CMUT单元；并且

[0033] 图8以方框图形式描绘了被布置成要根据本发明的原理操作的超声成像系统。

具体实施方式

[0034] 在本发明的一个实现方式中，超声换能器阵列10' (图8) 的单元包括CMUT单元。图1示出了根据本发明的CMUT单元1的实施例。柔性膜或隔膜114悬在基底112上方(或者与基底112相对) 并且在其之间具有空隙8。基底可以由硅或者玻璃的另一CMOS可兼容材料制成。第一电极S1耦合到单元膜114，并可以与膜114一起移动。在图1示出的实施例中，第三极B嵌入到包括单元的层板130中，层板130包括基底112的上表面。可以考虑电极S1设计的其它实现方式，诸如，电极S1可以嵌入在膜114中，或者其可以作为附加层沉积于膜114上。在此例子中，底部电极B被以圆形的方式配置并嵌入到单元层板130中。另外，膜层114相对于基底层112的顶面是固定的，并被配置和定尺寸为使得定义膜层114和基底层112之间的球状或圆柱状腔体8。

[0035] 单元及其腔体8可以具有可选的几何形态。例如，腔体8可以定义矩形或方形横截面、六角形横截面、椭圆形横截面或者不规则的横截面。因此，对CMUT单元的直径的提及应

当理解为单元的最大横向尺寸。

[0036] 第三电极B典型地在其面对腔体的表面(具有另外的绝缘层132)上是绝缘的。优选的绝缘层是二氧化硅(SiO₂)电介质层,其沉积在基于四乙基氧硅烷的PECVD过程中,形成在第三电极B的上面且第一电极S1的下面。用于绝缘层132的可选材料可以是氧化物-氮化物-氧化物(ONO)、高k电介质和氧化物(氧化铝、各种等级包括基于硅烷、SiH₄的PECVD二氧化硅)。高k电介质和氧化物还可以使用原子层沉积技术来沉积。绝缘层可以有利地减少电荷积聚,该电荷积聚导致设备不稳定以及声输出压的漂移和减小。绝缘层的使用对于具有塌陷膜的CMUT是期望的,塌陷膜将在下面参照图2来描述。相比以悬浮膜操作的CMUT而言,这种类型的CMUT较易受电荷保持能力的影响。本文公开的部件可以由CMOS兼容的材料(例如,铝、钛、氮化物(例如,氮化硅)、氧化物(各种等级:基于热或者TEOS/SiH₄LPCVD/PECVD的)、多晶硅等)制作而成。在CMOS制作中,例如,氧化物和氮化物可以是通过化学气相沉积形成的并且金属化(电极)层是通过溅射过程来放下的。适当的CMOS过程是LPCVD和PECVD,后者具有少于400°C的相对低的工作温度。用于生成所公开的腔体8的示例技术包含:在添加膜层114的顶面之前在膜层114的初始部分中定义腔体。在图1描绘的示例性实施例中,腔体8的直径可以大于第二电极B的直径。第一电极S1可以具有与第三电极B相比相同的外径,但是这种一致性是不需要的。因而,在本发明的示例性实现方式中,第一电极S1相对于膜层114的顶面是固定的,以便在下面与第三电极B对齐。

[0037] CMUT制作过程可以包括:“牺牲释放过程”,其中,膜的腔体底部是通过先在基底上应用牺牲层,然后应用膜层,随后用选择性蚀刻剂移除牺牲层;或者“晶圆接合过程”,其中,腔体在第一晶圆片上形成且膜在另一晶圆片上形成,然后这两个晶圆片结合一起,诸如形成由膜限制的腔体(B.T.Khuri-Yakub,J.Micromech.Microeng.21(2011)054004)。

[0038] 根据本发明的原理,CMUT的第二电极S2在与腔体8相对的边上相对于第三电极B而沉积到基底112上。从而,第三电极B位于第一电极S1和第二电极S2之间。厚度为“t”的电介质层131直接接触第二和第三电极并且夹在第二和第三电极之间;从而,提供这两个电极之间的电容关系。

[0039] CMUT的第一电极S1和第三电极B提供了CMUT设备的电容板,并且厚度为“D”的腔体8的空隙结合附加的绝缘层132形成电容器的板之间的电介质。

[0040] 第一电极(S1)可以利用适于在第二电极S2和第一电极S1上应用AC电压的信号发射器/接收器105带来振动,这导致声束的产生。当稍后膜由于接收的声信号而振动时,电极之间的电介质空隙的变化的尺寸致使CMUT的变化的电容,该变化的电容由耦合到膜和第二电极的信号发射器/接收器105检测,作为CMUT单元对接收的声回波的响应。

[0041] CMUT设备灵敏度可以通过增加通过腔体8的电场来提升,这可以通过下列方式来实现:1)CMUT的减小的有效电介质厚度,其由第一和第二电极之间的间隔以及电介质的介电常数定义,以及2)在电极上收集的“自由”电荷的增加的量。有效的电介质厚度是在倒塌模式下减小的,这是通过应用充足的DC电压来实现的;并且所收集的电荷的量可以随着DC偏置电压的增加而增加。

[0042] CMUT电极(S1和B)之间的间隔是通过从DC偏置源104将DC偏置电压应用到第三电极B来控制的。为了发射,第一电极S1和第二电极S2是由r.f.发生器(概括为信号发射器/接收器105)来驱动的(控制的),射频发生器的a.c.信号促使膜振动并发送声信号。CMUT单元1

的基底112可以耦合到专用集成电路(ASIC)层的顶面37,其中,第二电极S2和ASIC层的顶面37之间的距离被标示为“d”。通常,距离“d”可以由所谓的“埋氧”层(未在图中示出)定义,该“埋氧”层具有针对第二电极S2对于集成电路电子器件(此例子中的ASIC)的绝缘功能。“埋氧”层可以是厚度约为2微米的氧化硅层。虽然在图1中将信号发射器/接收器105描绘为单独的单元,但是应当理解,信号发射器/接收器105可以作为由ASIC提供的电路电子器件的部分来实现。CMUT单元可以在ASIC的上面在一系列CMOS过程中制造或者通过例如倒装芯片技术附加到ASIC。

[0043] 图3示出了CMUT单元操作的优选且非限制性例子,其中,CMUT单元1的膜114是塌陷膜。在CMUT操作期间的塌陷膜7可以相对于单元层板130而塌陷,并且膜的悬浮部分7可以适于在应用的电信号下在电极之间移动/振动。从技术的角度,具有塌陷膜的CMUT原则上可以以任何传统的方式制造,包括如下步骤:提供具有膜的CMUT并应用不同的手段,例如电子的(偏置电压)、机械的、膜应力或压力,以便将膜引入到塌陷状态。

[0044] 在塌陷模式下,CMUT电容式主要是由附加的绝缘层132和应用的电压来确定。例如,直径为60微米的圆形的CMUT设备可以具有500nm厚度的附加绝缘层。CMUT电容在应用零DC电压处约为0.04pF,在塌陷模式下在140V的DC偏置电压处约为0.1pF(2.5倍高)。对于其它CMUT几何结构,这种比率可以改变。

[0045] CMUT单元的基底中的第二电极S2的实现方式允许将a.c.信号分量从通常应用于CMUT设备的DC偏置电压分离。这减小了超声探头中CMUT相关的电子器件的尺寸,在两个信号(膜和基底)电极被主动地控制的情况下。

[0046] 将CMUT设备布置在阵列中的一种方式,特别是针对双平面成像,是将RC滤波器的网络提供给CMUT阵列,其中,DC偏置电压是通过RC滤波器应用到每个CMUT设备的。在这种布置中,CMUT阵列将针对每个互连的CMUT设备包括分立的高电压耦合电容器以及分立的高阻抗电阻器。分立的RC滤波器组件的尺寸可能是不利于用于缩减包括CMUT阵列的超声探头的。

[0047] 根据本发明的原理的三电极CMUT单元表示的CMUT设备具有RC滤波器的集成电容部分,如下面参照图3详细描述地。第三电极B被用于向CMUT单元提供DC偏置电压,而集成RC滤波器的电容部分是通过由电介质层131分离开的第三电极B和第二电极S2的导电板来实现的。

[0048] 参照图3A,在优选的实施例中,为了提供高效的RC-滤波,第三电极B与第二电极S2之间的电容关系Cf应当等于或大于膜S1和第三电极B之间的CMUT电容关系Cc(即,CMUT设备电容)。这种条件源于如下事实:对于高频率,Cc和Cf的串联造成根据 $(Cc+Cf)/Cf$ 的信号衰减,Cf越高,信号被衰减的越低。该信号衰减发生在发送和接收两者期间,并可以受限于Cf的增加。在Cc固定的情况下,Cf $\geq Cc$ 的条件可以通过调谐电介质层131的厚度“t”和/或该层的材料的介电常数来实现。集成RC-滤波器的电容Cf的值可以通过增加第三电极B和第二电极S2关于第一电极的重叠区域来进一步提升。这种例子图示在图3C中(为了简化,仅示出了CMUT单元的对于当前实施例有关的主要单元),其中,圆形形状的第一电极S1具有相比第三电极B和第二电极S2的尺寸而言较小的直径,第三电极B和第二电极S2两者都有相同的矩形形状。注意,典型的Cc值随着阵列中的CMUT单元的数量而缩放。

[0049] 电介质层131可以由通常已知的绝缘材料(诸如,二氧化硅、氮化物(例如,氮化硅)

或者高k电介质)制成。电介质层131还可以包括多层(例如,ONO)。在CMOS制作中,例如,氧化物和氮化物层可以通过化学气相沉积来形成。适当的CMOS过程还有LPCVD和PECVD,后者具有低于400°C的相对低的工作温度。

[0050] 例如,椭圆截面CMUT单元的典型电容在0V(非塌陷模式)或者140V(塌陷模式)的DC偏置电压处分别是 $C_c=0.04\text{pF}$ 或者 0.1pF 。因此,为了最优三电极CMUT的操作,RC滤波器的电容应当至少等于前述的 C_c 值。根据优选的电容值并知道电介质层131的介电常数,人们可以计算层131的优选的厚度“t”。在此例子中,使用二氧化硅($\epsilon=3.9$),在CMUT单元的非塌陷操作中 $t<2630\text{nm}$ 或者在CMUT单元操作的塌陷模式中 $t<1050\text{nm}$ 。实践中, C_c 和 C_f 之间的优选比率是5,其中 $C_f>5*C_c$ 。对于相同的几何形状和层堆叠,这表示优选的二氧化硅厚度在非塌陷模式下是 $t<525\text{nm}$ 或者在塌陷操作模式下是 $t<210\text{nm}$ 。注意,较低侧的层厚度是受击穿电压/偏置电压所限制。

[0051] 当优化 C_f 值时可以考虑的另一要素是朝向基底112的寄生电容 C_p (主要由厚度“d”定义)。该 C_p 可能造成驱向第二电极S2或者从第二电极S2接收时电路电子器件上的附加的负载。为了避免向基底112的a.c.信号泄漏, C_p 值优选低于或等于CMUT的电容 C_c : $C_p < C_c$ 。因而,包括RC-滤波器的集成电容部分的CMUT单元的提升性能可以通过将优化的RC-滤波器性能的条件($C_f \geq C_c$)与寄生电容影响的限制($C_p < C_c$)合并来实现。对于椭圆CMUT单元的提及的例子,氧化硅层的适当厚度大于5.25微米或者针对塌陷模式的2.1微米。在实践中, C_p 和 C_c 之间的优选的倍数为2或5,其中, $C_p < C_c/2$ 或者 $C_p < C_c/5$ 。在后面的情况下,这表示优选的氧化物厚度为2.5倍高(即,高于13.1微米或在塌陷模式下高于5.2微米)。

[0052] 然而,其它厚度“t”和“d”也是可行的。其确切值取决于针对每个给定的CMUT单元(阵列)对于RC滤波器实现方式所需的截止频率。

[0053] 本发明可以不限于特定的实施例。本领域技术人员应当明白第三电极也可以实现到膜层114中,其中,电介质层131可以定位于膜层114中并将第一电极S1和第三电极电容地隔绝。RC滤波器的电容部分(C_f)将由第三电极与第一电极之间的电容关系来定义。

[0054] 在本发明的另一实施例中,DC偏置源(104)是通过高阻抗电阻器(R)连接到第三电极的,如在图3A中示意示出地。为了方便,在图3B中示出了三电极CMUT单元的符号性表示。此实施例描述了所有RC滤波器组件完全集成到CMUT单元中。电阻器可以作为例如弯曲形状的导电层来实现。弯曲电阻等于所使用的导电材料的由导电路径长度除以导电层的截面积的电阻率。在弯曲情况下,电阻器的电阻可以通过改变弯曲的长度、其厚度和导电材料选择来调谐。

[0055] 为了防止第三电极B中的信号泄漏,高阻抗电阻器R的电阻的优选值在给定的操作频率处为比CMUT单元的阻抗高约一个数量级。

[0056] 例如,对于在频率 $f=5\text{MHz}$ 处工作的2D阵列,CMUT电容值约为 $C_c=0.5\text{pF}$ (对于直径120微米和塌陷操作模式而言)。CMUT单元阻抗 $Z=1/(2\pi f C_c)=63\text{k}\Omega$ 。因而,电阻R的优选值可以高于或等于 $500\text{k}\Omega$ 。

[0057] 对于包含具有相同直径并工作在如先前例子中的相同频率处的42个CMUT单元的1D阵列的另一例子, C_c 值将随单元数而缩放 $C_c=0.5*42=21\text{pF}$ 。因而,相比先前的例子而言,优选值高阻抗电阻器将减少由1D阵列中的单元的数量 $R \geq 500/42=11.9\text{k}\Omega$ 。注意,集成RC滤波器的截止频率也可以由电阻器值来确定。

[0058] 如在图4A中所示出地，电阻器可以是片上电阻器(集成到基底112)，例如，位于CMUT单元旁。在图4B中，示出了另一实施例，其中，电阻器R(在面对ASIC的顶面37的方向上)较深地集成到第二电极S2下的基底中。此实施例允许更进一步地最小化CMUT阵列，其中，第三电极S2和高阻抗电阻器R之间的互连可以通过层间金属接触(即，通路(via))来实现。

[0059] 用于电阻器的实现方式的优选导电材料是CMOS兼容的材料并具有相对高的电阻率，例如TiW、NiCr或者多晶硅具有的电阻率为 $70/100-150/>250\text{微}\Omega\text{hm} \cdot \text{cm}$ 。

[0060] 参照图5A，本发明的另一实施例描述了在利用全差分电子器件发射超声信号期间的信号发射器/接收器105的具体实现方式。解耦DC偏置电压的可能性简化了换能器中的差分电子器件的实现方式。应用到三电极CMUT的差分电子器件的重要益处在于减小了为激活信号发射所需的供应电压。第一电极S1和第二电极S2可以耦合到高电压发射脉冲源的差分输出Tx，其中，驱动信号的有效幅值为应用到第一电极($V_{\text{输出}+}$)和第二电极($V_{\text{输出}-}$)的a.c.信号之间的差，并且可以最高为供应电压的幅值的两倍($2xV_{\text{输出}}$)。在发射模式中的这种电子器件配置导致第二信号谐波的最小化失真和良好定义的电流回路，其中信号没有通过偏置节点传递。

[0061] 在实践中，这意味着a.c.供应电压可以较低(例如，30V而不是60V)，这减低了ASIC技术的电压需求以及换能器系统的电压调整有关的需求，诸如爬电。注意，虽然所需的偏置电压仍然较高，但是第三电极B但无需提供任何相关的电流。因此，出于安全的原因，高阻抗系列的电阻(例如， $1M\Omega\text{hm}$)可以集成在系统中。

[0062] 为在回波信号的接收期间使用信号发射器/接收器105的类似差分电子器件实现，第一电极S1和第二电极S2可以耦合到低噪声接收放大器的差分输入Rx，如在图5B中图示地。如在发射情形中，这最小化了第二信号谐波的失真并带来良好定义的电流回路、较好的电源抑制比(PSRR)和CMUT单元间的降低的串扰。根据本发明的原理实现信号的发射和接收的另一可能性图示在图5C中。在发射期间，信号电极中的一个(在该例子中，第一电极S1)可以耦合到输出Tx1(高电压发射脉冲源)。在接收期间，另一信号电极(在该例子中，第二电极S2)可以耦合到输入RX2(低噪声接收放大器)。由于将DC偏置电压去耦，TX和RX的“接地”(GND)可以是相同的，这简化了电子器件并提升了电源抑制比。此外，通过仅使用低电压组件来实现接收器电子器件是可行的，这提升了接收器性能。然后，由发射器造成的寄生电容将几乎不影响接收器的性能。最后，通常使用的发射-接收开关16(图8)在此实施例中是不需要的，这是由于两个信号电极(S1和S2)之间的接收和发射功能的分离。

[0063] 在本发明的另一实施例中，在图6中给出三电极CMUT的二维(2D)阵列10'。阵列中的CMUT单元是以双平面成像配置来布置的。阵列10'包括CMUT单元的基本上沿两个方向(在图6的非限制性例子中为水平的和垂直的)布置的两个子组33、34。CMUT单元的第一子组34具有沿着两个方向中的一个方向(在给定的例子中为水平的)互连的第一电极S1，CMUT单元的第二子组35具有沿着另一个方向(在给定的例子中为垂直的)互连的第二电极S2。在此实施例中，可以通过控制通过第一电极S1或者第二电极S2的信号在“子组”33、34中主动地使用阵列的所有CMUT单元。

[0064] 在第一子组34内，沿着水平方向(行)的所有单元互连在一起，而在第二子组33内，沿着垂直方向(列)的所有单元互连在一起。此互连配置允许在超声探针中实现双平面成像。每行(列)多个CMUT单元可以被并行地激活，并可以表示一个换能器元件。因此，CMUT的

每个子组的元件可以表示一维超声阵列。包括这种子组的二维阵列10' 将具有NxM个元件，其中，N是第一子组中的元件(行)的数量，M是第二子组中的元件(列)的数量。行和列连接到第一子组31和第二子组32的信号发射器/接收器电路。通过激活行电路31而将列电路32接地，波束控制在垂直方向上“在平面外”是可行的；而激活列电路32而将行电路31接地，波束控制在水平方向上“在平面外”是可行的。在阵列10' 中，单元的第三电极可以连接到分开的DC偏置源(未示出)或者具有到一个DC偏置源104的公共连接。在后一情形中，针对所述子组中的任一子组的每个元件，仅可以实现一个高阻抗电阻器35。偏压-电极连接的方向的朝向等于第二电极S2互连的方向。

[0065] 在3D成像不可行(例如，由于成本)的情况下且在普通2D成像不足以例如用于体内超声成像的情况下，双平面2D成像的此实施例具有特定的潜力。

[0066] 在本发明的另一实施例中，CMUT单元可以包括附加的偏置电极B2，其位置使得第三电极B和附加的偏置电极B2通过CMUT单元的腔体相互相对，如在图7中图示地那样。为了方便，一部分重复的附图标记没有示出。在此实施例中，DC偏置电压被应用在第三电极B和附加的偏置电极B2之间。附加的偏置电极可以嵌入到膜中，并可以用膜电介质层133与第一电极S1电分离。

[0067] 参考图8，以方框图形式示出了具有CMUT阵列探针10的超声诊断成像系统。CMUT换能器阵列10' 是换能器元件的二维阵列，其能够在2D平面或在三维中扫描3D成像。在3D成像的情况下并且有时在2D成像中，换能器阵列耦合到探针中的微波束形成器12，微波束形成器12控制由CMUT阵列单元对信号的发射和接收。微波束形成器能够至少部分地对由换能器元件的组或“面片”接收的信号进行波束形成，如美国专利5997479 (Savord等)、6013032 (Savord) 和6,623,432 (Powers等) 中所描述。微波束形成器由探针线缆耦合到发射/接收(T/R) 开关16，其在发射和接收模式之间切换。在微波束形成器的控制下从换能器阵列10发射超声波束是由耦合到T/R开关和主系统波束形成器20的换能器控制器18指示的，主系统波束形成器20接收来自用户对用户接口或控制面板38的操作的输入。由换能器控制器控制的功能中的一个功能是用于控制和聚集波束的方向。波束可以被控制成从(正交于)换能器阵列直向前，或者被控制为处于不同的角度以获得较宽的视野。换能器控制器18可以耦合以控制针对CMUT阵列10' 的DC偏置控制45。DC偏置控制45控制DC偏置电压源104用于设置可以应用到CMUT单元的DC偏置电压。CMUT阵列的信号发射器/接收器105可以直接地或者通过微波束形成器12耦合到波束形成器20。

[0068] 在接收期间，由微波束形成器(当其被使用时)生成的部分波束形成的信号耦合到主波束形成器，其中，来自各个换能器单元块的部分波束形成的信号组合成完全波束形成的信号。例如，主波束形成器可以具有128个信道，每个信道从一块几十或几百的CMUT换能器单元接收部分波束形成的信号。以此方式，CMUT换能器阵列的成千的换能器单元接收的信号可以有效地贡献于单个波束形成的信号。

[0069] 经波束形成的信号被耦合到信号处理器22。信号处理器22可以以诸如带通滤波、抽取、I和Q分量分离和諧波信号分离之类的各种方式处理接收到的回波信号，諧波信号分离用以分离线性和非线性信号以使得能够识别从组织和微泡中返回的非线性(基础频率的较高諧波)回波信号。信号处理器还可以执行附加的信号增强，诸如斑纹抑制、信号合成和噪音消除。

[0070] 经处理的信号耦合到B模式处理器26和多普勒处理器28。B模式处理器26将对接收到的回波信号的检测用于诸如人体中的器官和血管的组织的人体中的结构的成像。人体的结构的B模式图像可以在谐波图像模式或基础图像模式或两者的组合中形成,如在美国专利6283919 (Roundhill等人) 和美国专利6458083 (Jago等人) 中所描述。多普勒处理器28时间地处理来自组织运动和血液流动的不同信号,用于检测诸如图像场中的血液细胞的流动之类的物质运动。多普勒处理器典型包括壁滤波器,壁滤波器的参数可以被设置为通过和/或拒绝从人体中的选定类型的材质返回的回波。例如,壁滤波器可以被设置为具有通带特性,该通带特性通过来自较高速率材质的具有相对低的幅值的信号而拒绝来自较低或者零速率材质的相对强的信号。此通带特性将通过来自流动血液的信号而拒绝来自附近的静止或者缓慢移动的对象(诸如心壁)的信号。相逆的特性将通过来自心脏的移动组织的信号而拒绝血液流动信号,用于对所谓的组织多普勒成像、检测以及组织的运动的描绘。多普勒处理器接收并处理来自图像场中的不同的点的时间地分立的回波信号的序列,所述回波的序列来自被称为集合的特定点。在相对短的时间间隔上快速连续地接收的回波的集合可以用以估计流动血液的多普勒频移,其中多普勒频率与速率的对应关系指示血液流动速率。在较长的时段上接收的回波的集合用以估计流动缓慢的血液或移动缓慢的组织的速率。

[0071] 由B模式和多普勒处理器生成的结构和运动信号耦合到扫描转换器32和多平面重定格式器44。扫描转换器以空间关系布置回波信号,其中回波信号是根据该空间关系以期望图像格式接收的。例如,扫描转换器可以将回波信号布置成二维(2D)扇形格式或者锥状三维(3D)图像。扫描转换器可以用与在图像场中的点(与其多普勒估计速率对应的)处的运动对应的色彩来覆盖B模式结构图像,以产生对图像场中的组织运动和血液流动进行描绘的彩色多普勒图像。多平面重定格式器将从人体的体积区域中的公共平面中的点接收的回波转换成该平面的超声图像,如在美国专利6443896 (Detmer) 中所描述地。体积绘制器42将3D数据集的回波信号转换成如从给定的参考点观看到的经投射的3D图像,如在美国专利6530885 (Entrekkin等) 中所描述地。2D或3D图像是从扫描转换器32、多平面重定格式器44和体积绘制器42耦合到图像处理器30用于进一步增强、缓冲以及暂时存储,以便显示在图像显示器40上。除了用于成像,由多普勒处理器28生成的血液流动速率值以及由B模式处理器26生成的组织结构信息耦合到量化处理器34。流动量化处理器生成诸如血液流动的容积率之类的对不同的流动状况的测量,以及诸如器官大小和孕龄之类的结构测量。量化处理器可以接收来自用户控制平面38的输入,诸如将被测量的图像的解剖中的点。来自量化处理器的输出数据耦合到图形处理器36用于以显示器40上的图像再生测量图形和值。图形处理器36还可以产生图形覆盖,用于以超声图像进行显示。这些图形覆盖可以包含标准标识信息,诸如患者名字、图像的日期和时间、成像参数等。出于这些目的,图形处理器接收来自用户接口38的输入,诸如键入的患者名字。用户接口还耦合到发射控制器18,以控制产生来自换能器阵列10'的超声信号以及因此的由换能器阵列和超声系统生成的图像。用户接口还耦合到多平面重定格式器44,用于选择和控制多个多平面重定格式(MPR)图像的平面,这可以用于执行MPR图像的图像场中的量化测量。

[0072] 本发明对于在超声导管阵列中应用CMUT单元是尤为令人关注的,这是由于:

[0073] CMUT偏置相关的电子器件的小型化;

[0074] 用户安全提升。与高偏置电压相关的存储的电荷由可能实现有超高阻抗串联电阻

器的第三和第一电极的两个导电金属板从用户/患者隔离。

[0075] 系统供应电压的降低。

[0076] 此发明还在产量上受益。由于每个换能器CMUT单元在偏置-节点连接中具有其自身的高阻抗屏蔽电阻器，“故障的CMUT单元”将不造成大的短路电流，并因此将不造成整个阵列或连接的ASIC的故障。

[0077] 虽然已在附图和前述说明书中详细图示并描述了本发明，但是这种图示和描述将被视为图示性的或者示例性的且并非限制性的；本发明不限于所公开的实施例。领域技术人员通过研究附图、公开内容和所附权利要求书，在实践要求保护的本发明时可以理解并实施对所公开的实施例的各种变型。

[0078] 在权利要求书中，词语“包括”不排除其它元件或步骤，词语“一”或“一个”不排除多个。单个元件或其它单元可以实行在权利要求书中记载的若干项的功能。尽管在在相互不同的从属权利要求中记载了特定措施，但是这并不表示不能组合这些措施以获利。

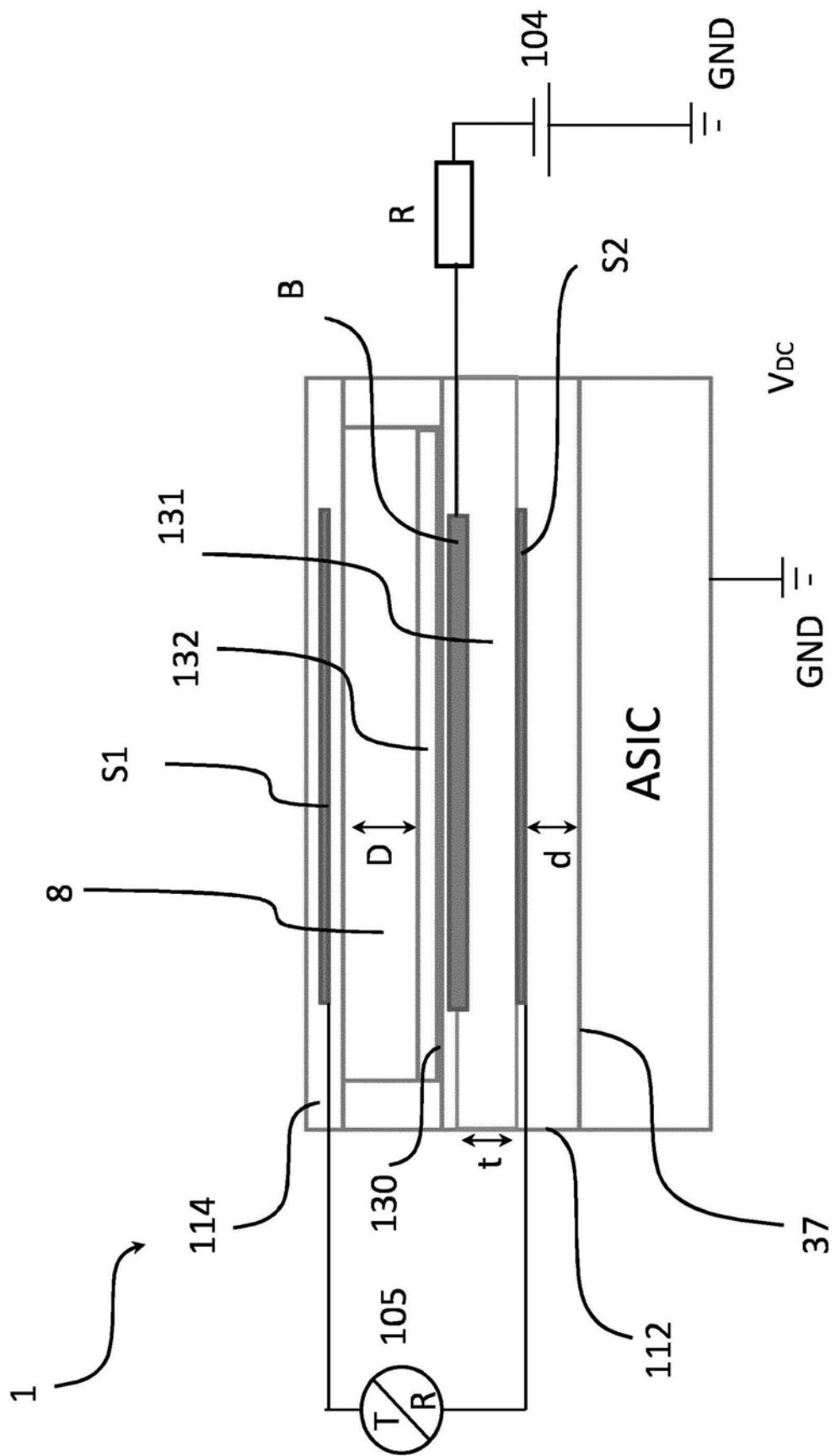


图1

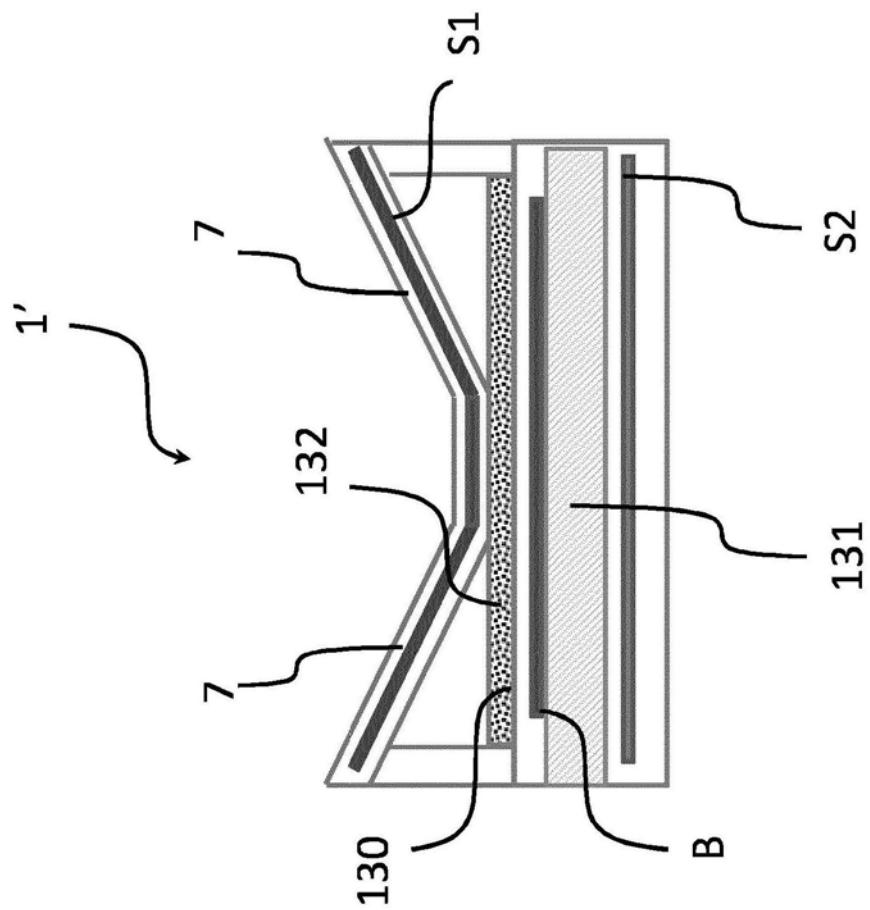


图2

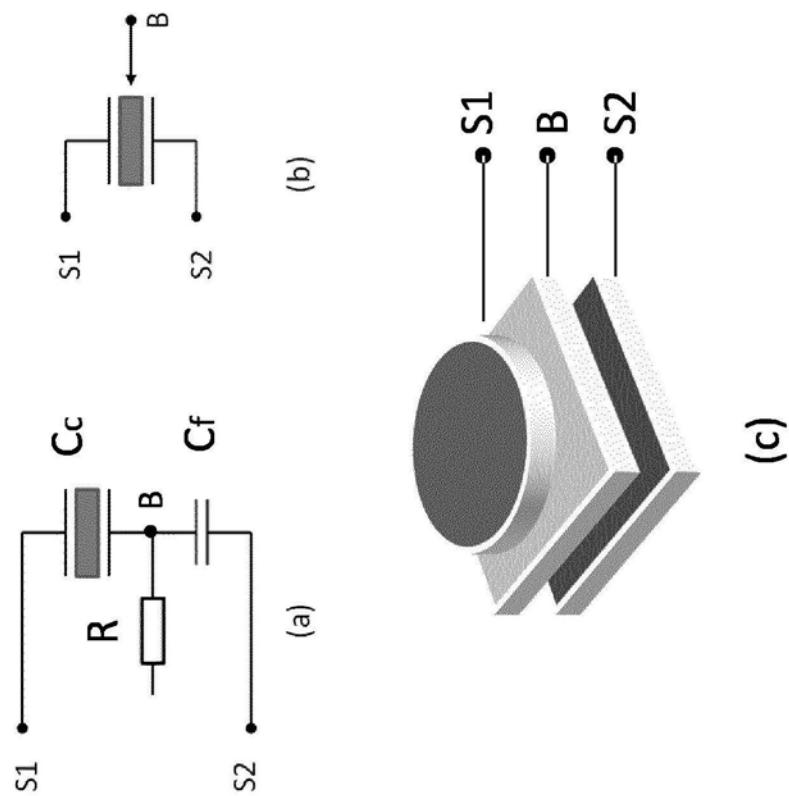


图3

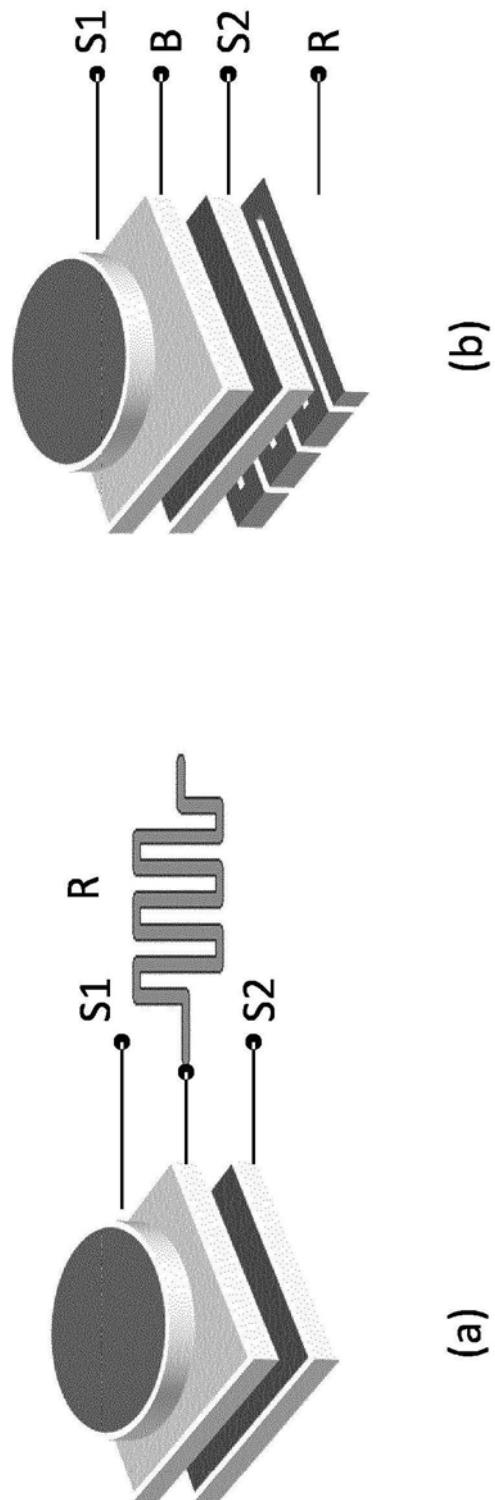


图4

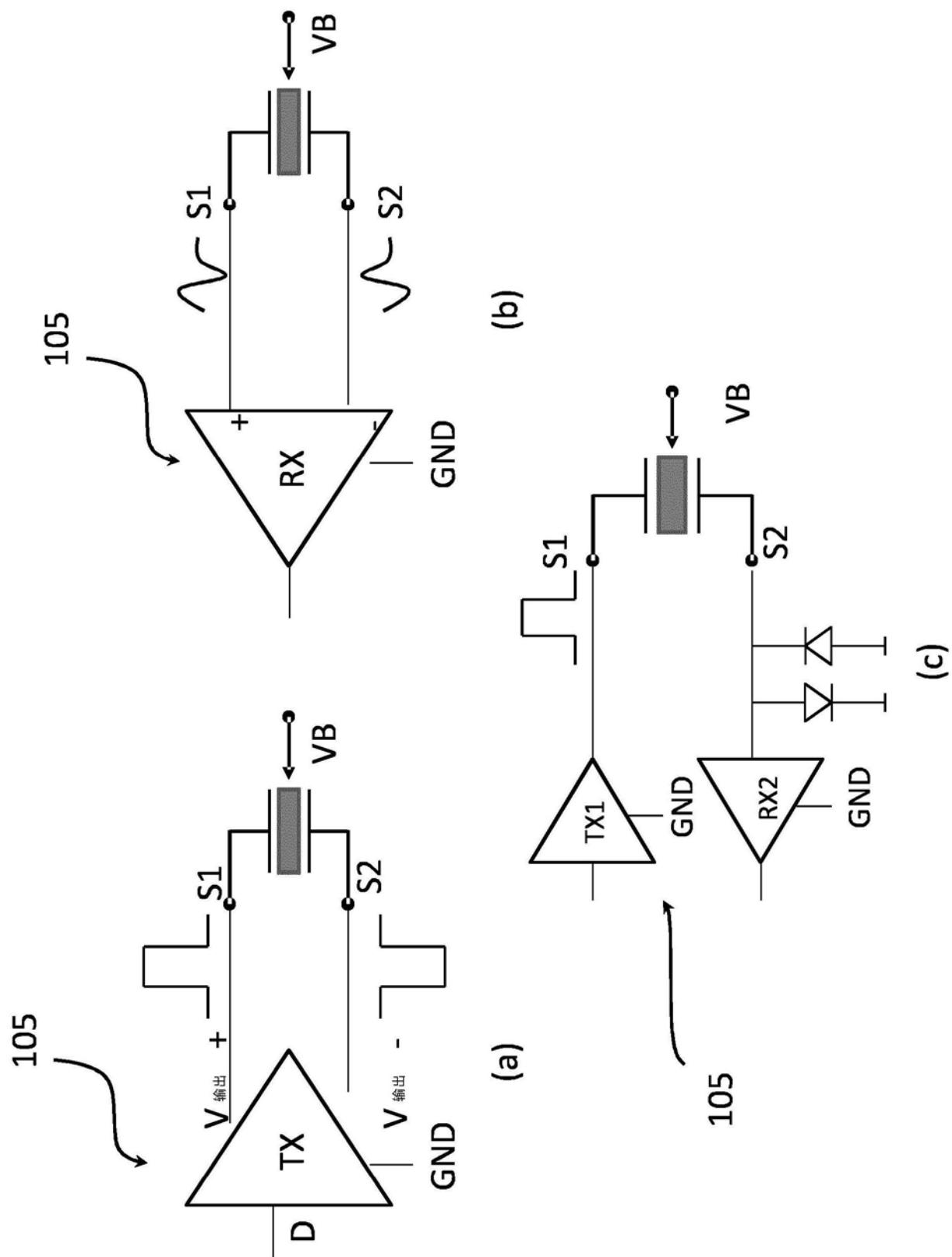
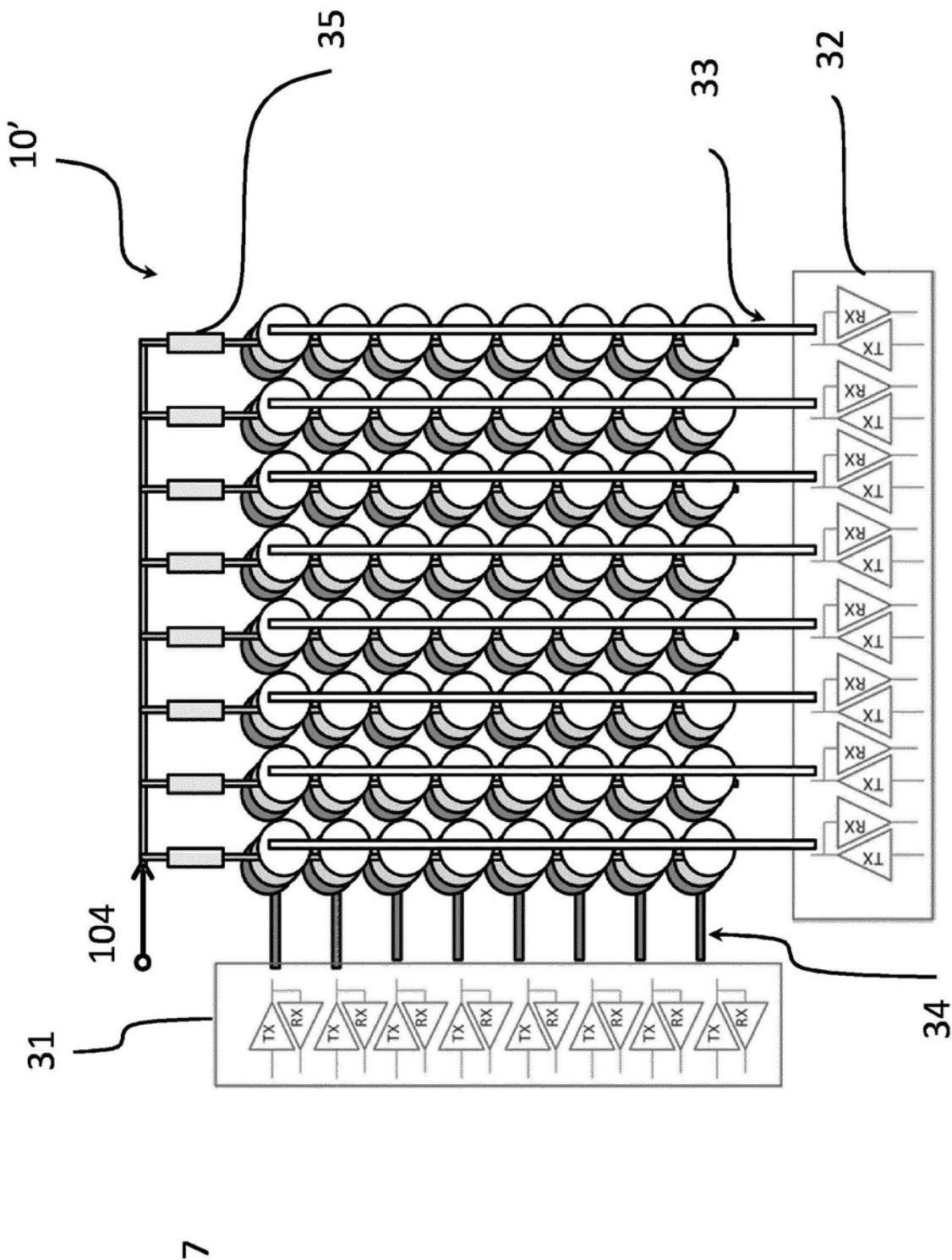


图5



7

图6

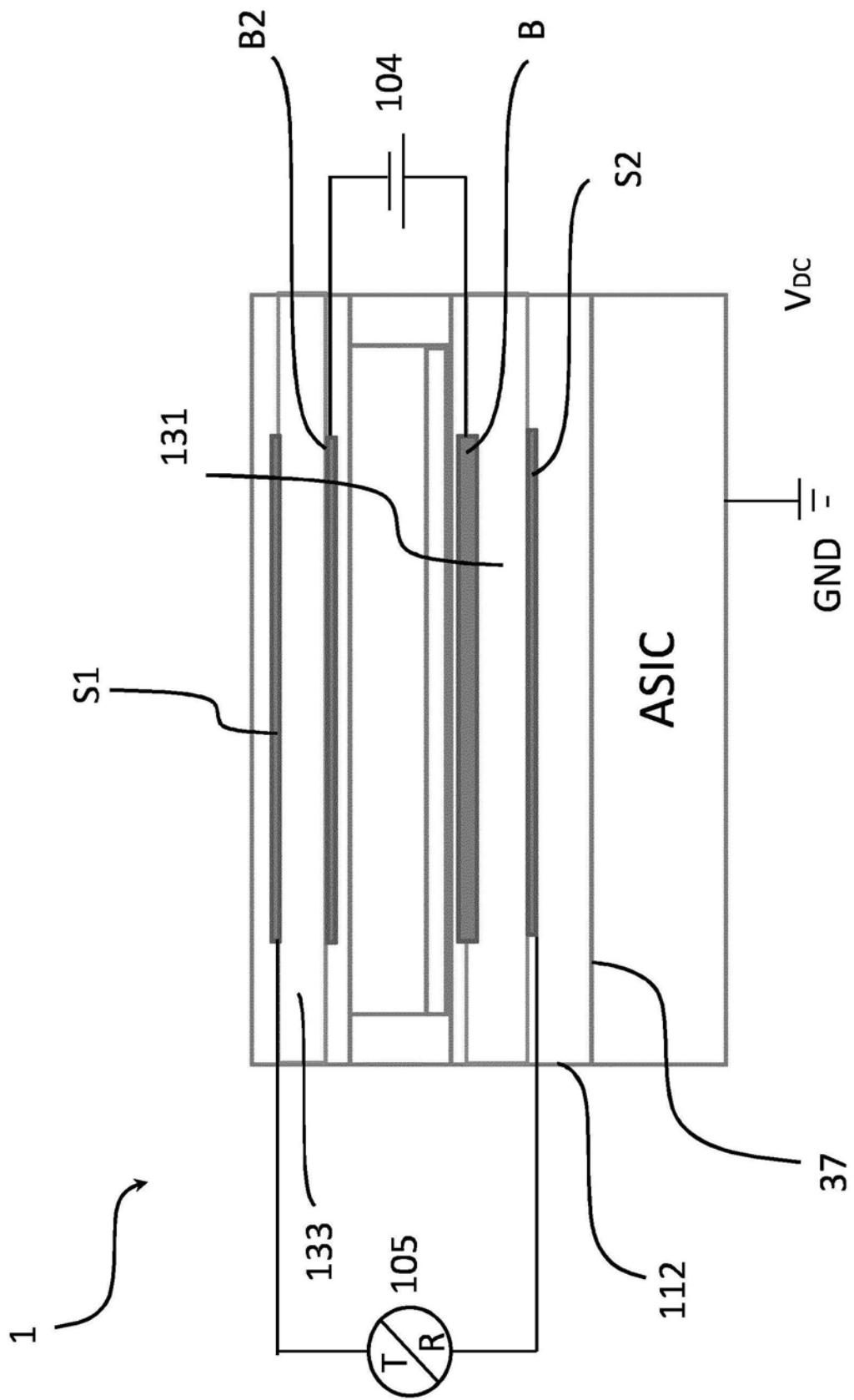


图7

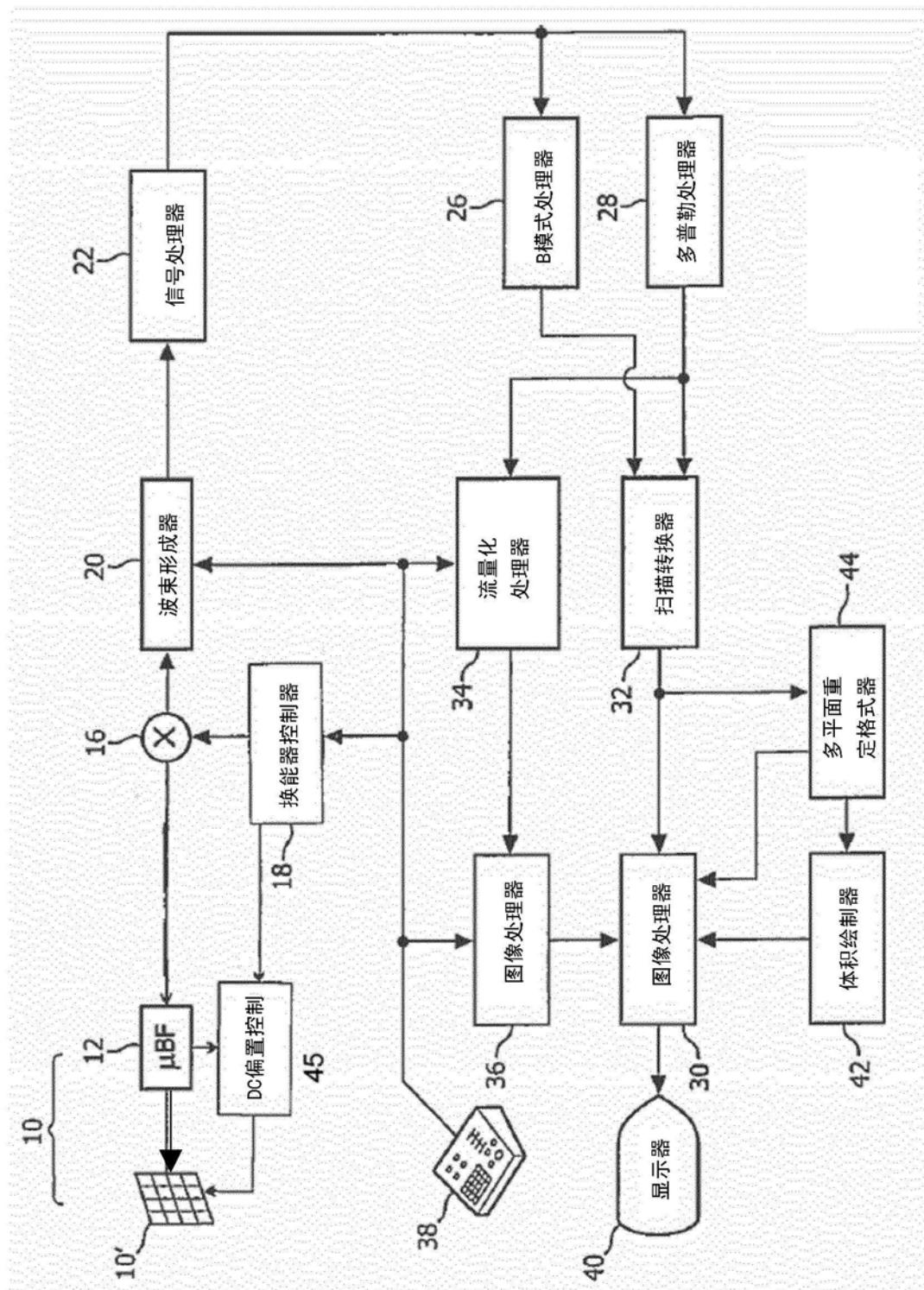


图8