



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104135938 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 05

(21) 申请号 201380010442. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 02. 21

A61B 8/00 (2006. 01)

H04R 19/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

2012-036975 2012. 02. 23 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 08. 21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/054305 2013. 02. 21

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/125626 JA 2013. 08. 29

(71) 申请人 日立阿洛卡医疗株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 竹中智子 泉美喜雄 石田一成

(74) 专利代理机构 北京金信立方知识产权代理

有限公司 11225

代理人 黄威 董领逊

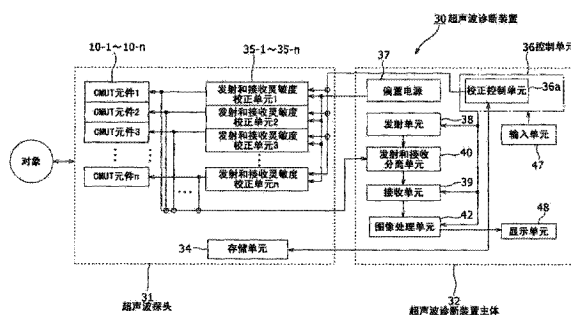
权利要求书2页 说明书15页 附图10页

(54) 发明名称

超声波诊断装置和超声波探头

(57) 摘要

为了减少在多个 CMUT 元件之间发射和接收灵敏度的变化,一种超声波诊断装置包括:多个 CMUT 元件 (10), 其每个具有振动膜,该振动膜在超声波传输至对象或者从对象接收超声波时振动;上电极 (11) 和下电极 (14),位于每个 CMUT 元件 (10) 的彼此相对侧设置为面对面以通过偏置电源 (37) 将偏置电压施加至每个 CMUT 元件;以及发射和接收灵敏度校正单元 (35-1 至 35-n),用于通过使用每个 CMUT 元件 (10) 的振动膜的厚度和共振频率的至少一参数的函数,对每次提供自偏置电源 (37) 的电压进行校正。



1. 一种超声波诊断装置,包括:

超声波探头,其将超声波发射至对象,并从所述对象接收反射波;

发射单元,其发射所述超声波;

接收单元,其从所述对象接收所述反射波;

控制单元,其控制所述发射单元和所述接收单元;和

偏置电源,其将偏置电压提供至所述超声波探头,

其中,所述超声波探头包括多个 CMUT 元件,每一所述 CMUT 元件均具有彼此相对布置的上电极和下电极以施加所述偏置电压;和振动膜,其设置在所述上电极和所述下电极之间,并在发射和接收期间振动,以及

发射和接收灵敏度校正单元,其基于用于校正施加至所述上电极和所述下电极的所述偏置电压的校正数据,对提供自所述偏置电源的所述偏置电压进行校正,并将已校正的偏置电压提供至所述上电极和所述下电极,以及

使用选自所述振动膜的厚度和所述振动膜的共振频率的至少一参数计算所述校正数据。

2. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,使用所述共振频率和每一所述 CMUT 元件的塌陷电压计算所述校正数据。

3. 根据权利要求 2 所述的超声波诊断装置,其中,使用与参考频率和共振频率之间的差值的绝对值成比例的值计算所述校正数据,所述参考频率抵消所述共振频率的量纲。

4. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,当所述共振频率为 f ,每一所述 CMUT 元件的所述塌陷电压为 V_c ,并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时,使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算所述校正数据,与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为施加至每一所述 CMUT 元件的所述偏置电压。

5. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,使用每一所述 CMUT 元件的所述振动膜的厚度和每一所述 CMUT 元件的塌陷电压计算所述校正数据。

6. 根据权利要求 5 所述的超声波诊断装置,其中,使用与参考厚度和所述厚度之间的差值的绝对值成比例的值计算所述校正数据,所述参考厚度抵消每一所述 CMUT 元件的所述振动膜的所述厚度的量纲。

7. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,当每一所述 CMUT 元件的所述振动膜的厚度为 t ,每一所述 CMUT 元件的所述塌陷电压为 V_c ,并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时,使用与 $V_c \cdot t^{-\beta}$ 成比例的值计算所述校正数据,与 $V_c \cdot t^{-\beta}$ 成比例的值作为应用至每一所述 CMUT 元件的所述偏置电压。

8. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,为每一所述 CMUT 元件提供所述发射和接收灵敏度校正单元。

9. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,为每两个或者更多个所述 CMUT 元件提供所述发射和接收灵敏度校正单元。

10. 根据权利要求 1 所述的超声波诊断装置,其中,为每一所述超声波探头提供所述发射和接收灵敏度校正单元。

11. 一种超声波探头,包括:

多个 CMUT 元件,每一所述 CMUT 元件均具有彼此相对设置的上电极和下电极以施加所

述偏置电压;和振动膜,其设置在所述上电极和所述下电极之间,并在发射和接收期间振动;以及

发射和接收灵敏度校正单元,其基于校正数据对所述偏置电压进行校正,使用选自所述振动膜的厚度和所述振动膜的共振频率之至少一参数计算所述校正数据。

12. 根据权利要求 11 所述的超声波探头,其中,使用所述共振频率和每一所述 CMUT 元件的塌陷电压计算所述校正数据。

13. 根据权利要求 11 所述的超声波探头,其中,当所述共振频率为 f ,每一所述 CMUT 元件的所述塌陷电压为 V_c ,并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时,使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算所述校正数据,与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为应用至每一所述 CMUT 元件的所述偏置电压。

14. 根据权利要求 11 所述的超声波探头,其中,使用每一所述 CMUT 元件的所述振动膜的厚度和每一所述 CMUT 元件的塌陷电压计算所述校正数据。

15. 根据权利要求 11 所述的超声波探头,其中,当每一所述 CMUT 元件的所述振动膜的厚度为 t ,每一所述 CMUT 元件的所述塌陷电压为 V_c ,并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时,使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算所述校正数据,与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为应用至每一所述 CMUT 元件的所述偏置电压。

超声波诊断装置和超声波探头

技术领域

[0001] 本发明涉及一种超声波诊断装置和超声波探头,其能够使用 CMUT 抑制超声波探头的发射和接收灵敏度的变化。

背景技术

[0002] 超声波诊断装置是一种通过从超声波探头获得的反射回波来构造诊断图像的装置。超声波探头具有布置为执行电声转化的变换器,其将从超声波诊断装置提供的电信号转化为超声波并将该超声波发射至对象,并且将由对象产生的反射回波信号转化为接收信号。

[0003] 近年来,使用名为 CMUT(电容式微加工超声波传感器)的变换器的超声波探头已经被实际应用。CMUT 是通过半导体显微机械加工过程而形成的电容式微加工超声波探头。装配在超声波探头上的 CMUT 芯片具有将各具有类鼓状乐器的多个部件(CMUT 元件)集合的结构,每一 CMUT 元件的部分对应于膜(振动膜)的一部分而振动,从而执行声压-电压转化。

[0004] CMUT 的特征在于,超声波的发射和接收灵敏度基于所施加的偏置电压而改变。然而,还明确的是,由于制造变化或者残余应力,即使应用了相同的偏置电压,依然会在多个 CMUT 元件之间发生发射和接收灵敏度的变化。

[0005] 在相关领域中的超声波诊断装置,为了校正发射和接收灵敏度的变化,会测量超声波输出信号或者每一 CMUT 元件的静电电容,并且经校正的偏置电压会施加至每一 CMUT 元件(例如,参见专利文献 1)。

[0006] 引用列表

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献 1:国际公开号:2005/032374

发明内容

[0009] 技术问题

[0010] 在专利文献 1 内所描述的超声波诊断装置中,测量当给出的偏置电压被施加至 CMUT 元件等时产生的超声波输出信号的,并使用超声波输出信号的倒数来调节偏置电压。然而,在 CMUT 元件中,由于输入电压-超声波输出信号的振幅的关系并非成线性,因而其问题在于,误差会伴随该校正产生。

[0011] 考虑到上文所描述的问题完成本发明,本发明的目的在于,即使存在提供一种超声波诊断装置和超声波探头,即使间隙厚度、振动膜的厚度等改变,其也能够减少在多个 CMUT 元件之间的发射和接收灵敏度的变化。

[0012] 问题的解决方案

[0013] 为了实现上文所描述的目标,本发明提供一种超声波探头,其包括多个 CMUT 元件,每一 CMUT 元件均具有彼此相对布置的上电极和下电极以施加偏置电压;和振动膜,其

设置在上电极和下电极之间,并在发射和接收期间振动;以及发射和接收灵敏度校正单元,其基于校正数据对偏置电压进行校正,使用选自振动膜的厚度和振动膜的共振频率的至少一参数计算校正数据。

[0014] 本发明的有益效果

[0015] 根据本发明,可以提供一种超声波诊断装置和超声波探头,即使间隙厚度、振动膜的厚度等改变,也能够减少在多个 CMUT 元件之间发射和接收灵敏度的变化。

附图说明

[0016] 图 1 为 CMUT 元件的示意性的截面图。

[0017] 图 2 为示出根据本发明的超声波诊断装置的实例的结构示意图。

[0018] 图 3 为示出根据本发明的超声波诊断装置的另一实例的结构示意图。

[0019] 图 4 为示出根据本发明的超声波诊断装置的另一实例的结构示意图。

[0020] 图 5 为示出一个发射和接收灵敏度校正单元的具体结构的实例的示意图。

[0021] 图 6 为示出根据本发明进行发射和接收灵敏度校正的程序的流程图。

[0022] 图 7 是在改变偏置电压的校正条件时,发射和接收灵敏度变化的对照表。

[0023] 图 8 为示出根据另一个实施例的超声波诊断装置的结构示意图。

[0024] 图 9 为示出根据另一个实施例的发射和接收灵敏度校正单元的具体结构的实例的示意图。

[0025] 图 10 为示出发射和接收灵敏度校正单元的具体结构的另一实例的示意图。

[0026] 图 11 为示出根据另一个实施例进行发射和接收灵敏度校正的程序的流程图。

[0027] 图 12 为示出根据本发明的超声波诊断装置的另一实例的结构示意图。

具体实施方式

[0028] 将描述本发明的实施例。

[0029] 本发明的一种超声波诊断装置包括超声波探头、发射单元、接收单元、控制单元和偏压电源,超声波探头将超声波发射至对象,并从对象接收反射波,发射单元发射超声波,接收单元从对象接收被反射的波,控制单元控制发射单元和接收单元,偏压电源将偏置电压提供给超声波探头,其中,超声波探头包括多个 CMUT 元件、振动膜以及发射和接收灵敏度校正单元,每一 CMUT 元件均具有彼此相对设置的上电极和下电极以提供偏置电压,振动膜设置在上电极和下电极之间,并在发射和接收期间振动,发射和接收灵敏度校正单元基于用于校正施加至上电极和下电极的偏置电压的校正数据,对提供自偏压电源的偏置电压进行校正,并将已校正的偏置电压提供至上电极和下电极,并使用选自振动膜的厚度和振动膜的共振频率的至少一参数计算校正数据。

[0030] 使用与参考频率和共振频率之间的差值的绝对值成比例的值计算校正数据,参考频率抵消共振频率的量纲。

[0031] 当共振频率为 f ,每一 CMUT 元件的塌陷电压为 V_c ,并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时,使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算校正数据,与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为施加至每一 CMUT 元件的偏置电压。

[0032] 使用每一 CMUT 元件的振动膜的厚度和每一 CMUT 元件的塌陷电压计算校正数据。

[0033] 使用与参考厚度和厚度之间的差值的绝对值成比例的值计算校正数据,参考厚度抵消每一 CMUT 元件的振动膜的厚度的量纲。

[0034] 当每一 CMUT 元件的振动膜的厚度为 t , 每一 CMUT 元件的塌陷电压为 V_c , 并且作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时, 使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算校正数据, 与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为施加至每一 CMUT 元件的偏置电压。

[0035] 为每一 CMUT 元件提供发射和接收灵敏度校正单元。

[0036] 为每两个或更多个 CMUT 元件提供发射和接收灵敏度校正单元。

[0037] 为每一超声波探头提供发射和接收灵敏度校正单元。

[0038] 本发明的一种超声波探头包括多个 CMUT 元件、振动膜以及发射和接收灵敏度校正单元, 每一 CMUT 元件均具有彼此相对设置的上电极和下电极以提供偏置电压, 振动膜设置在上电极和下电极之间, 并在发射和接收期间振动, 发射和接收灵敏度校正单元基于校正数据对偏置电压进行校正, 使用选自振动膜的厚度和振动膜的共振频率的至少一参数计算校正数据。

[0039] 使用共振频率和每一 CMUT 元件的塌陷电压计算校正数据。

[0040] 当共振频率为 f , 每一 CMUT 元件的塌陷电压为 V_c , 以及作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时, 使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算校正数据, 与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为施加至每一 CMUT 元件的偏置电压。

[0041] 使用每一 CMUT 元件的振动膜的厚度和每一 CMUT 元件的塌陷电压计算校正数据。

[0042] 当每一 CMUT 元件的振动膜的厚度为 t , 每一 CMUT 元件的塌陷电压为 V_c , 以及作为实数的 β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围之内时, 使用与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值计算校正数据, 与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值作为施加至每一 CMUT 元件的偏置电压。

[0043] 随后, 将参照附图详细描述本发明的实施例。首先, 参照图 1 描述 CMUT 元件 10 的结构。

[0044] 图 1 为 CMUT 元件 10 的示意性的截面图。CMUT 元件 10 具有将设置有上电极 11 的振动膜 12 和设置在下电极 14 的基底 16 彼此相对设置的结构, 并且通过支撑部 18 对振动膜 12 进行支撑以使得在振动膜 12 和基底 16 之间形成作为真空间隙的空间 17。一般而言, 上电极 11 形成为充分薄于振动膜 12 并且所具有的厚度能使其硬度被忽略。集合图 1 中所示的多个 CMUT 元件 10, 从而形成 CMUT 芯片。CMUT 元件 10 的构造并非限于图 1 中所示, 而是例如, 可以增加其他构成部件。

[0045] 当从 CMUT 元件 10 发射出超声波时, 通过偏置电源 19 将 DC 偏置电压施加至上电极 11 和下电极 14 之间以产生静电吸引力, 由此振动膜 12 发生变形。通过 AC 电源 20 将 AC 电压叠加至 DC 偏置电压上, 而振动膜 12 在超声波发射和接收的方向 (图 1 中的上下方向) 振动以发射超声波。在接收超声波时, 由于振动膜 12 随超声波的接收而变形, 并且上电极 11 和下电极 14 之间的间距改变, 此处产生的静电电容的改变通过电信号的 AC 成份来探测。

[0046] 图 2 为示出根据本发明的一个超声波诊断装置的实例的结构示图。图 2 中所示的超声波诊断装置 30 包括超声波探头 31 和超声波诊断装置主体 32。

[0047] 超声波探头 31 包括 CMUT 元件 10-1 至 10-n, 其发射和接收灵敏度基于所施加的偏置电压而改变。超声波探头 31 进一步包括存储单元 34, 其存储用于校正 CMUT 元件 10-1 至 10-n 的每一个的偏置电压的数据 (下文中, 是指校正数据); 以及发射和接收灵敏度校正单

元 35-1 至 35-n,其根据校正数据将施加至每一个 CMUT 元件 10-1 至 10-n 的偏置电压校正为一个值,从而校正 CMUT 元件 10-1 至 10-n 的发射和接收灵敏度中的变化。存储单元 34 将作为施加于 CMUT 元件 10-1 至 10-n 的每一个的偏置电压的值形式的校正数据存储为数字数据,并且例如,存储单元 34 具有 ROM、闪存等。校正数据可以以开关、跳针 (jumper pin) 等方式以二进制编码 0 和 1 形式存储。

[0048] 超声波诊断装置主体 32 具有偏置电源 (DC 电源) 37,其提供偏置电压;发射单元 38,其引起超声波探头 31 将发射信号输出至对象;接收单元 39,其使用超声波探头 31,将从对象反射的反射波转化为接收信号,并且放大和定相该接收信号;图像处理单元 42,其使用接收信号产生图像信号;显示单元 48,其显示所产生的图像信号;发射和接收分离单元 40,其分离发射信号和接收信号;控制单元 36,其控制发射单元 38、接收单元 39 和图像处理单元 42;以及输入单元 47,其输入由控制单元 36 所控制的各个部件的控制参数。控制单元 36 包括校正控制单元 36a,其从存储单元 34 读取校正数据并且将该校正数据发射至发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n。将通过控制单元 36 从存储单元 34 所读取的校正数据发射至发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n。

[0049] 在图 2 的实例中,为每个 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,并且不同的经校正的偏置电压被施加至各自的 CMUT 元件。由此,由于不同的经校正的偏置电压被应用至各自的 CMUT 元件,并且精确的偏置电压能够被独立地施加至 CMUT 元件,因而可以精确地校正每个 CMUT 元件的发射和接收灵敏度的变化。虽然为一个 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,并且不同的经校正的偏置电压被施加至各自的 CMUT 元件,但是也可以为有两个或更多 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,而相同的经校正的偏置电压可以被施加至两个或更多 CMUT 元件。

[0050] 由此,由于施加将被施加至每个 CMUT 元件的偏置电压的偏置电源在发射和接收灵敏度具有大致相同的变化,因此能够共享配线等,从而有助于减少电路规模。

[0051] 可以混合两种电路,其一为一个 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,并将不同的经校正的偏置电压施加至 CMUT 元件,而另一为两个或更多 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,并将相同的经校正的偏置电压施加至两个或更多 CMUT 元件。由此,可以同时使用精确地校正 CMUT 元件的发射和接收灵敏度的变化以及通过共享实现减少电路规模的优势。

[0052] 图 3 为示出根据本发明的超声波诊断装置的另一实例的结构示图。在图 3 内所示的超声波诊断装置 30 的超声波探头 31b 中,如上文所描述的,为 i (其中, $i \geq 2$) 个 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,将 CMUT 元件 10-1 至 10- i 连接至发射和接收灵敏度校正单元 35-1,将 CMUT 元件 10- $i+1$ 至 10- $2 \times i$ 连接至发射和接收灵敏度校正单元 35-2,并且随后,进行类似的连接。注意,也可能出现仅一个发射和接收灵敏度校正单元被设置在一个超声波探头内的情况。

[0053] 将发射和接收灵敏度校正单元设置在超声波探头内并非是必须的,而是例如,可以被设置在超声波诊断装置主体内。将存储单元 34 设置在超声波探头内并非是必须的,而是例如,可以被设置在诸如包括硬盘驱动器的个人计算机的外部装置内。

[0054] 图 12 为示出根据本发明的一个超声波诊断装置的另一实例的结构示图。在图 12 内所示的超声波诊断装置 30 中,发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 被设置在超声波

诊断装置主体 32 内,而非在超声波探头 31。以此超声波诊断装置 30 的结构,由于可以减少从超声波诊断装置主体 32 至超声波探头 31 的配线的数量,因而可以实现整个装置的成本减少或者超声波探头线缆的重量减少。发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 布置在超声波诊断装置主体 32 内,由此,不需要将发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 设置在超声波探头 31 内,从而可能实现超声波探头体积变小并减少成本。

[0055] 图 4 为示出根据本发明的超声波诊断装置的另一实例的结构示图。图 4 内示出的超声波诊断装置 30 包括具有个人计算机等的外部装置 41,并且将包括硬盘驱动器等的存储单元 34 设置在外装置 41 内。外部装置 41 内设置有校正控制单元 36a,而超声波诊断装置主体 32 设置有控制单元 36b。校正控制单元 36a 从存储单元 34 读取校正数据,并且通过具有 LAN(局域网)等的通讯单元将该校正数据发射至控制单元 36b,而控制单元 36b 将校正数据发射至发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n。

[0056] 例如,对于图 4 中所示的外部装置 41,可以使用远程服务器等。此时,可预期的是将与超声波探头 31 的识别码关联的校正数据预先存储至远程服务器内。存储在存储单元 34 内的校正数据可以被记录在 CD(光盘)、软(注册商标)盘等内,可随超声波探头 31 一起分配,并且可以存储至存储单元 34 内。注意,其它构成部件与图 2 中所示的超声波诊断装置 30 的构成部件相同,因而将不再赘述。

[0057] 随后将描述发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 的具体结构。图 5 为示出一个发射和接收灵敏度校正单元 35-i 的具体结构的实例的示图。在图 5 的实例中,将作为发射和接收灵敏度校正单元 35-i 的 D/A 转换器 43 布置在 CMUT 元件 10-i 和偏置电源 37 之间,并且通过控制单元 36 将从存储单元 34 读取的校正数据发射至 D/A 转换器 43,从而控制偏置电压并将其施加至 CMUT 元件 10-i。通常,由于 D/A 转换器 43 内嵌入电阻电路,因而存在一机制,即,通过发射自控制单元 36 的校正数据转换内电阻以控制偏置电压。

[0058] 发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 并不限于图 5 的实例,而在具有通过控制单元 36 校正偏置电压的功能的实例的范围内。例如,电子开关等可以通过控制单元 36 进行控制以转换电阻电路。在图 5 的实例中,虽然为一个 CMUT 元件 10-i 提供了一个发射和接收灵敏度校正单元 35-i,但是也可以为两个或更多 CMUT 元件提供一个发射和接收灵敏度校正单元,而且,相同的偏置电压可以被施加至多个 CMUT 元件。

[0059] 然后,将参照数值表达式描述在本发明的超声波诊断装置中执行的一种校正 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的方法。在本发明中,基于造成 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度变化的参数或者可选参数对偏置电压进行校正,由此,校正了 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度,并且减少了多个 CMUT 元件之间的发射和接收灵敏度的变化。通过以上所描述的发射和接收灵敏度校正单元 35-1 至 35-n 等对偏置电压执行校正。

[0060] 通过电压-力的转化系数提供 CMUT 元件 10 的发射或接收灵敏度。在下文中,将描述确定转化系数的 CMUT 元件 10 的参数。如图 1 中所示,CMUT 元件 10 具有所谓的电容结构,其中,两片电极彼此相对布置,当静电电容为 C,而电压为 V 时,则通过表达式 (1) 提供静电能 W。

[0061]
$$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2 \quad \cdots (1)$$

[0062] 表达式 (1) 的电 W 是施加于的振动膜 12 的力 F 和图 1 中所示的间隙厚度 g 的

乘积,而且当 ε_0 为真空介电常数,并且 S 为振动膜 12 的面积时,由于静电电容 C 为 $C = \varepsilon_0 \cdot S/g$,通过静电能产生的力 F 通过表达式 (2) 提供。

$$[0063] \quad W = F \cdot g = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot V^2$$

$$[0064] \quad F = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot \frac{V^2}{g} \quad \dots (2)$$

[0065] 由于表达式 (2) 的电压 V 为发射信号或者接收信号的偏置电压 V_{dc} 和 AC 电压 V_{ac} 的总和,将 $V = V_{dc} + V_{ac}$ 代入表达式 (2) 中,因而获得表达式 (3)。

$$[0066] \quad F = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot \frac{(V_{dc} + V_{ac})^2}{g}$$

$$[0067] \quad = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot \frac{1}{g} (V_{dc}^2 + 2V_{dc}V_{ac} + V_{ac}^2) \quad \dots (3)$$

[0068] 当从表达式 (3) 获得 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度时,由于发射和接收灵敏度是作为信号的 AC 电压 V_{ac} 和力的转化系数,仅由表达式 (3) 的第一项的偏置电压 V_{dc} 产生的力的成分是不需要考虑的并且可被忽略。如果假定 V_{ac} 充分小于 V_{dc} ,由于表达式 (3) 的第三项和其它项相比相当小,因而可以忽略,表达式 (3) 可以简化为 (4)。

$$[0069] \quad F = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot \frac{2V_{dc}V_{ac}}{g}$$

$$[0070] \quad = \left(\frac{\varepsilon_0 S}{g} \right) \cdot \frac{V_{dc}V_{ac}}{g} \quad \dots (4)$$

[0071] 由于表达式 (4),电压 - 力的转化系数 Nu 由表达式 (5) 提供。

$$[0072] \quad Nu = F/V_{ac}$$

$$[0073] \quad = \frac{\varepsilon_0 S}{g} \cdot \frac{V_{dc}}{g}$$

$$[0074] \quad \propto C \cdot E$$

$$[0075] \quad \propto \frac{V_{dc}}{g^2} \quad \dots (5)$$

[0076] 在表达式 (5) 中, E 是当施加了偏置电压时的电场,并且 $E = V_{dc}/g$ 。在表达式 (5) 中, $\propto$ 表示成比例关系,并且在下文中,其被类似地使用。如表达式 (5) 中所示,CMUT 元件 10 的电压 - 力的转化系数 Nu 与间隙厚度 g 的二次方成反比并且与偏置电压 V_{dc} 成比例。从而,可以理解 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的变化被间隙厚度 g 显著影响。

[0077] 在 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度,即,电压 - 力的转化系数 Nu 中,为了减少间隙厚度 g 的影响,通常使用将塌陷电压用作为偏置电压的方法。塌陷电压是一种当振动膜

12 与相反的表面接触时产生的偏置电压。当 k 为振动膜 12 的弹性常数时,能够通过表达式 (6) 表达塌陷电压 V_c 的理论关系表达式。

$$[0078] \quad V_c = \sqrt{\frac{8kg^3}{27\epsilon_0 S}} \quad \dots (6)$$

[0079] 由于 CMUT 元件 10 的振动膜 12 具有板簧结构,表达式 (6) 的弹性常数 k 与图 1 中示出的振动膜 12 的厚度 t 的三次方成比例 ($k \propto t^3$)。从而,通过表达式 (7) 表达塌陷电压 V_c 。

$$[0080] \quad V_c \propto t^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{3}{2}} \quad \dots (7)$$

[0081] 由于表达式 (5) 和表达式 (7),如表达式 (8) 中所示,当偏置电压 V_{dc} 被设定为与塌陷电压 V_c 成比例的值 ($V_{dc} \propto V_c$) 时,可以作为表达式获得 CMUT 元件 10 的发射和接收的灵敏度 Nu ,该表达式与振动膜 12 的间隙厚度 g 的乘方和厚度 t 的乘方成比例。

$$[0082] \quad Nu \propto \frac{V_c}{g^2}$$

$$[0083] \quad \propto \frac{t^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{3}{2}}}{g^2}$$

$$[0084] \quad \propto t^{\frac{3}{2}} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (8)$$

[0085] 因此,使用塌陷电压 V_c ,由此,间隙厚度 g 对 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的影响能够从二次方显著减少为 $1/2$ 次方 (表达式 (8) 和表达式 (5))。然而,其次,由于使用了塌陷电压 V_c ,振动膜 12 的厚度 t 的影响相当显著地增加了。

[0086] 为了解决这个问题,本发明描述了一种方法,其中,基于与 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数作为与振动膜 12 的厚度 t 成比例的参数来校正偏置电压,因而,减少 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的变化。

[0087] CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率为振动膜 12 处于最高能量效率状态时振动的频率。通常,当振动膜 12 的弹性常数为 k 并且振动膜 12 的质量为 m 时,能够通过表达式 (9) 表达 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的弹性材料的共振频率 f 。

$$[0088] \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots (9)$$

[0089] 在表达式 (9) 中,振动膜 12 的质量为密度和体积的乘积,并且由于体积与振动膜 12 的厚度 t 成比例,因而质量 m 与振动膜 12 的厚度 t 成比例 ($m \propto t$)。如果认为弹性常数 k 与振动膜 12 的厚度 t 的三次方成比例 ($k \propto t^3$),表达式 (9) 能够简化为表达式 (10)。

$$[0090] \quad f \propto \sqrt{\frac{t^3}{t}} \quad \dots (10)$$

$$[0091] \quad \propto t$$

[0092] 由于表达式 (10), 可以理解, 共振频率 f 与振动膜 12 的厚度 t 成比例。由于这个原因, 共振频率 f 可以看作为提供振动膜 12 的厚度 t 的参数。能够使用阻抗计等来测量 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率 f 。由于上文所描述的表达式, 可以理解, 使用 CMUT 元件 10 的塌陷电压 V_c 和振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率 f 或者振动膜 12 的厚度 t 对将被施加至每个 CMUT 元件 10 的偏置电压进行校正, 因而减少 CMUT 芯片的制造变化的影响。

[0093] 在本发明中, 使用 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率 f 、CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的测量值、或者 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的估计值, 作为一个与 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数。

[0094] 可以使用任何方法测量 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 。然而, 由于振动膜 12 不能通过显微镜等进行结构性观测, 或者 CMUT 元件 10 是微小的, 因而测量方法受限, 情况可能是不易于执行非破坏性的测量, 并且很难直接获得振动膜 12 的厚度 t 的测量值。

[0095] 因而, 已知的方法是使用振动膜 12 的厚度 t 的估计值替代振动膜 12 的厚度 t 的测量值。使用振动膜 12 的厚度 t 的估计值的方法是没有用作变换器的 CMUT 芯片 (在下文中, 称为虚拟芯片) 的 CMUT 元件 10 受到损坏并且测量振动膜 12 的厚度 t 从而估计被作用为变换器的 CMUT 芯片 (在下文中, 称为目标芯片) 的 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的方法。

[0096] 该方法假设振动膜 12 的厚度 t 的变化主要受到在热处理等的期间的制造变化的影响。由于 CMUT 芯片作为 IC 芯片等形成在半导体晶圆 (下文中称为晶圆) 上, 振动膜 12 的厚度 t 的变化在每片晶圆批上呈现, 并且分布在相同晶圆上。因而, 考虑检查在相同晶圆或者邻近 CMUT 芯片上的 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的分布, 从而估计目标晶圆的振动膜的厚度 t 的分布。

[0097] 然后, 在表达式 (11) 中, 将描述一种使用与 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数和 CMUT 元件 10 的塌陷电压对偏置电压进行校正的方法。下文, 通过本发明的方法进行校正的偏置电压被称为校正的偏置电压。

$$[0098] \quad V_{dc} = \alpha \cdot V_c \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\frac{3}{2}} \quad \dots (11)$$

[0099] 在表达式 (11) 中, α 是用于设置的实数常数, 例如, 被设为从 0 至 1 的值, 其使校正的偏置电压 V_{dc} 不会超出塌陷电压 V_c (用于 CMUT 元件 10 的可允许的电压值)。此处, 假设 f 为 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率。 f_0 为参考频率, 其由校正的偏置电压 V_{dc} 的函数抵消了共振频率 f 的量纲 (dimension)。例如, 可以给出设计振动膜 12 的共振频率之时的中心频率, 或者可以使用共振频率的测量值的平均值、中间值等作为 f_0 。

[0100] 如果将表达式 (7) 代入表达式 (11) 并且表达式 (10) 被进一步使用, 如在表达式 (12) 中, 可以抵消振动膜 12 的厚度 t 的影响。

$$[0101] \quad V_{dc} \propto \alpha \cdot t^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{3}{2}} \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\frac{3}{2}}$$

$$[0102] \quad \propto \alpha \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot f_0^{\frac{3}{2}} \quad \dots (12)$$

[0103] 根据表达式 (5) 和表达式 (12), 用于校正的偏置电压的发射和接收的灵敏度 Nu' 可以通过表达式 (13) 来表达。

$$[0104] \quad Nu' \propto \frac{V_{dc}}{g^2}$$

$$[0105] \quad Nu' \propto \frac{\alpha \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot f_0^{\frac{3}{2}}}{g^2}$$

$$[0106] \quad \propto \alpha \cdot g^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (13)$$

[0107] 因而, 随着表达式 (11) 的校正的偏置电压的使用, 可以去除振动膜 12 的厚度 t 的变化影响。

[0108] 在表达式 (11) 中, 虽然共振频率 f 被用作与共振频率成比例的参数, 并且使用了共振频率 f 和参考频率 f_0 , 但是能够由 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的测量值和振动膜 12 的参考厚度 t_0 来分别替换共振频率 f 和参考频率 f_0 。在不能直接测量振动膜 12 的厚度 t 时, 用 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的估计值和振动膜 12 的参考厚度 t_0 来分别替换共振频率 f 和参考频率 f_0 。这是由于, 如表达式 (10) 中所示, 共振频率 f 与振动膜 12 的厚度 t 成比例。

[0109] 在执行表达式 (11) 中所示的偏置校正时, 使用共振频率 f 或者振动膜 12 的厚度 t , 通过近似表达式的函数可以容易地确定校正的偏置电压。例如, 当共振频率 f 和参考频率 f_0 之间的差足够小时, 可以通过与上文所描述的校正方法相同途径近似地确定校正的偏置电压。如果共振频率 f 和参考频率 f_0 之间的差为 $\Delta f (= f - f_0)$, 则表达式 (11) 能够通过表达式 (14) 进行表达。

$$[0110] \quad V_{dc}(\Delta f) = \alpha \cdot V_c \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\frac{3}{2}}$$

$$[0111] \quad = \alpha \cdot V_c \cdot \left(\frac{f_0 + \Delta f}{f_0} \right)^{-\frac{3}{2}}$$

$$[0112] \quad = \alpha \cdot V_c \cdot \left(1 + \frac{\Delta f}{f_0} \right)^{-\frac{3}{2}} \quad \dots (14)$$

[0113] 通过泰勒级数展开,表达式 (14) 能够通过表达式 (15) 进行表达。

$$[0114] \quad V_{dc} = \sum_{n=1}^m \frac{V_{dc}^{(n)}(0)}{n!} \cdot \Delta f^n \cdots (15)$$

[0115] 在表达式 (15) 中, $V_{dc}^{(n)}(\Delta f)$ 是通过 Δf 对 V_{dc} 进行的 n -th 阶微分。

[0116] 在表达式 (15) 中, m 能够是任意值。例如,如果第一级近似值设为 $m = 1$,则获得表达式 (16)。

$$[0117] \quad V_{dc} \cong \alpha \cdot V_c \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\Delta f}{f_0}\right) \cdots (16)$$

[0118] 本发明并不限于泰勒级数展开,并且可以应用于表达式 (14) 至表达式 (16) 的近似或者迭加。

[0119] 如表达式 (17) 至表达式 (18) 中所示,当实数指数为 β 时,表达式 (11) 和表达式 (16) 可以具有可变范围的校正的偏置电压。

$$[0120] \quad \alpha V_c \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-\beta} \leq V_{dc} < V_c \quad \left(\alpha < \left(\frac{f}{f_0}\right)^{\beta}\right) \cdots (17)$$

[0121] 在表达式 (17) 中,可期望建立下面的表达式。

$$[0122] \quad V_{dc} = \alpha \cdot V_c \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{\frac{3}{2}} \cdots (17a)$$

$$[0123] \quad \alpha V_c \left(1 - \beta \frac{\Delta f}{f_0}\right) \leq V_{dc} < V_c \quad \left(\alpha < \left(1 - \beta \frac{\Delta f}{f_0}\right)^{-1}\right) \cdots (18)$$

[0124] 在表达式 (18) 中,可期望建立下面的表达式。

$$[0125] \quad V_{dc} = \alpha \cdot V_c \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\Delta f}{f_0}\right) \cdots (18a)$$

[0126] 当使用了表达式 (17) 的校正的偏置电压时,用于校正的偏置电压的发射和接收的灵敏度 Nu'' 通过表达式 (19) 进行表达。

$$[0127] \quad Nu'' \propto t^{\left(\frac{3}{2}-\beta\right)} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \cdots (19)$$

[0128] 在表达式 (19) 中,当 $\beta = 3/2 = 1.5$ 时,振动膜 12 的厚度 t 对发射和接收的灵敏度之影响被最小化。

[0129] 此处,使得当使用了表达式 (17) 的校正的偏置电压时的发射和接收的灵敏度 Nu'' 的变化小于当仅使用了表达式 (8) 的塌陷电压执行偏置校正时的发射和接收的灵敏度 Nu 的变化的 β 的范围和表达式 (19) 能够被确定。

[0130] 作为发射和接收的灵敏度的变化的测量,例如,当使用了晶圆批的诸如变化的平均值或者统计值时,使用相对误差。由于振动膜 12 的间隙厚度 g 和厚度 t 的变化彼此独立,

可假设他们不存在相关性；更确切地说，协方差为 0。当振动膜的厚度 t 和间隙厚度 g 的变化分别为 σ_t^2 和 σ_g^2 时，当仅使用塌陷电压执行偏置校正时，并且当使用了表达式 (17) 的校正的偏置电压时的相对误差分别通过表达式 (20) 和 (21) 进行表达。

$$[0131] \quad \left(\frac{\sigma_{Nu}}{Nu} \right)^2 = \left(\frac{1}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial g} \right)^2 \cdot \sigma_g^2 + \left(\frac{1}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial t} \right)^2 \cdot \sigma_t^2 \dots (20)$$

$$[0132] \quad \left(\frac{\sigma_{Nu''}}{Nu''} \right)^2 = \left(\frac{1}{Nu''} \frac{\partial Nu''}{\partial g} \right)^2 \cdot \sigma_g^2 + \left(\frac{1}{Nu''} \frac{\partial Nu''}{\partial t} \right)^2 \cdot \sigma_t^2 \dots (21)$$

[0133] 在表达式 (20) 和 (21) 中， σ_{Nu}^2 和 $\sigma_{Nu''}^2$ 为发射和接收的灵敏度的方差。

[0134] 为了在使用表达式 (17) 的校正的偏置电压时使得发射和接收的灵敏度 Nu'' 小于仅使用塌陷电压执行偏置校正时发射和接收的灵敏度 Nu ，相对误差应满足表达式 (22)。

$$[0135] \quad \left(\frac{\sigma_{Nu}}{Nu} \right)^2 > \left(\frac{\sigma_{Nu''}}{Nu''} \right)^2 \dots (22)$$

[0136] 如果将表达式 (8) 和 (19) 代入表达式 (20) 和 (21)，并执行偏微分，则获得表达式 (23) 和 (24)。

$$[0137] \quad \left(\frac{\sigma_{Nu}}{Nu} \right)^2 = \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma_g}{g} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} \frac{\sigma_t}{t} \right)^2 \dots (23)$$

$$[0138] \quad \left(\frac{\sigma_{Nu''}}{Nu''} \right)^2 = \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma_g}{g} \right)^2 + \left[\left(\frac{3}{2} - \beta \right) \frac{\sigma_t}{t} \right]^2 \dots (24)$$

[0139] 然后，将表达式 (23) 和 (24) 代入表达式 (22)，从而获得表达式 (25)。

$$[0140] \quad \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma_g}{g} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} \frac{\sigma_t}{t} \right)^2 > \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma_g}{g} \right)^2 + \left[\left(\frac{3}{2} - \beta \right) \frac{\sigma_t}{t} \right]^2$$

$$[0141] \quad \left(\frac{3}{2} \right)^2 > \left(\frac{3}{2} - \beta \right)^2$$

$$[0142] \quad 0 > \beta (\beta - 3)$$

$$[0143] \quad 0 > \beta < 3 \dots (25)$$

[0144] 因而，使得在使用表达式 (17) 的校正的偏置电压时的发射和接收的灵敏度 Nu'' 小于仅使用塌陷电压执行偏置校正时的发射和接收的灵敏度 Nu 的 β 的范围变为如表达式 (25) 中所示。

[0145] 这样， β 的值设在 $0 < \beta < 3$ 的范围内，并且如表达式 (17) 内所示对偏置电压进行校正，从而确定校正的偏置电压。

[0146] 可以将表达式 (11) 一般化为表达式 (26)，因而确定校正的偏置电压 V_{dc} 的值。

$$[0147] \quad V_{dc} = \alpha \cdot V_c \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\beta} \quad \dots (26)$$

[0148] 此时,如表达式 (17), α 的值可以设置为 $\alpha < (f/f_0)^\beta$, 并且如表达式 (25), β 的值可以设置为 $0 < \beta < 3$ 。在表达式 (26) 中, α 为用于设定的常数, 以使得校正的偏置电压 V_{dc} 不会超出塌陷电压 V_c , 塌陷电压 V_c 为用于 CMUT 元件 10 的可允许的电压值。校正的偏置电压 V_{dc} 设置为与塌陷电压 V_c 成比例的值, 因而, 如表达式 (8) 所示, 可以减少间隙厚度 g 对 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的影响。此外, 校正的偏置电压 V_{dc} 设置为与 $(f/f_0)^{-\beta}$ 成比例的值, 因而, 如表达式 (12) 和 (19) 所示, 可以减少振动膜 12 的厚度 t 对 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度的影响。

[0149] 由于表达式 (26) 与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例, 因此将被施加至 CMUT 元件 10 的偏置电压可以被校正为与 $V_c \cdot f^{-\beta}$ 成比例的值。此时, 如表达式 (25) 中所示, β 的值可以设置在 $0 < \beta < 3$ 的范围内。

[0150] 可以将表达式 (16) 一般化为表达式 (27), 并且将被施加至 CMUT 元件 10 的偏置电压可以被校正为与 $V_c \cdot (1 - \beta \cdot |f - f_0|/f_0)$ 成比例的值。

$$[0151] \quad V_{dc} \propto V_c \cdot \left(1 - \beta \frac{|f - f_0|}{f_0} \right) \quad \dots (27)$$

[0152] 此时, 如表达式 (25) 中所示, β 的值可以设置在 $0 < \beta < 3$ 的范围内。

[0153] 在数学表达式中, 虽然使用共振频率 f 和参考频率 f_0 提供描述, 其可以分别被替换为 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的测量值和振动膜 12 的参考厚度 t_0 。共振频率 f 和参考频率 f_0 可以分别被替换为 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 的估计值和振动膜 12 的参考厚度 t_0 。

[0154] 振动膜 12 的参考厚度 t_0 为常数, 并且可以提供计划值, 或者可以提供振动膜 12 的厚度 t 的测量值或者估计值的平均值等。

[0155] 然后, 将描述根据本发明的 CMUT 元件 10 的发射和接收的灵敏度校正的程序。图 6 为示出根据本发明进行发射和接收灵敏度校正的程序的流程图。

[0156] 首先, 将 CMUT 芯片装配到超声波探头 31 上 (S101)。

[0157] 然后, 测量每个 CMUT 元件 10 的塌陷电压以及与振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数 (S102)。

[0158] 首先, 将描述一种在 S102 中测量 CMUT 元件 10 的塌陷电压的方法。塌陷电压是一种当振动膜 12 与相反的表面进行接触时产生的电压, 更确切地说, 间隙厚度 g 被最小化。由于间隙厚度 g 与静电电容成反比, 因而能够用静电电容作为指数测量塌陷电压。在测量期间, 偏置电压可以逐渐增长至 CMUT 元件 10 以测量静电电容, 并且可以确定当静电电容值为最大值时的使用电压 (application voltage)。

[0159] 然后, 将描述一种在 S102 中测量振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率的方法。由于 CMUT 元件 10 的振动膜 12 在超声波发射和接收方向的振动模式能够通过作为等效电路的电阻、电容、和线圈的串联模式进行表达, 在电阻、电容、和线圈的结点阻抗被最小化时, 频率变为共振频率。

[0160] 在本发明中,在测量共振频率时,上电极 11 和下电极 14 之间的电阻抗通过阻抗计进行测量。除阻抗计以外,测量共振频率的方法还可以使用可比较方法。例如,可以测量在给定电压被应用至测量目标(包括 CMUT 元件 10)时的电流值,然后阻抗作为电压和电流的商而确定,从而确定共振频率。可选地,即将被测量的 CMUT 元件 10 可以嵌入桥接电路中,并且平衡可以确定以执行测量。此时,频率在作为参考(诸如共振频率的计划值)的频率附近变化,从而可以在更短时间内执行测量。

[0161] 如图 3 中所示,当相同的偏置电压被施加至两个或更多 CMUT 元件 10 时,在施加了相同的偏置电压的多个 CMUT 元件 10 并联连接的状态下测量塌陷电压和共振频率。可选地,可以根据每个 CMUT 元件 10 的塌陷电压以及共振频率确定代表值、平均值等,并使用代表值、平均值等。

[0162] 如上文所描述,作为与共振频率成比例的参数,可以确定振动膜 12 的厚度 t 的测量值或者估计值代替共振频率。在确定振动膜 12 的厚度 t 的测量值或者估计值时,可以满足,靠近作为传感器的 CMUT 芯片或者位于相同晶圆上的不作为传感器的 CMUT 芯片被设置为虚拟芯片,位于虚拟芯片内的 CMUT 元件 10 受到损坏,而振动膜 12 的厚度 t 根据横断面来测量以确定估计值。

[0163] 例如,在减少多个 CMUT 元件的每一个的发射和接收灵敏度的变化时,芯片接近位于晶圆上的目标芯片;可期望地,位于目标芯片两侧的芯片设置为虚拟芯片,并且测量靠近执行偏置校正的多个 CMUT 元件 10 的虚拟芯片上的至少一个 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t 。可以使用从虚拟芯片获取的振动膜 12 的测量值的平均值或者测量值作为在偏置校正时使用的振动膜 12 的厚度 t 的估计值。

[0164] 例如,在校正每片晶圆批的振动膜 12 的厚度 t 的变化时,在相同晶圆上的至少一片芯片(作为执行偏置校正的 CMUT 芯片)被设置为虚拟芯片,测量虚拟芯片的至少一个位置的任意 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的厚度 t ,并且将测量值、测量值的平均值等设置为估计值。例如,在测量期间,当通过显微镜观测 CMUT 元件 10 的振动膜 12 的横断面时执行测量。此时,可期望的是,能够执行纳米级的测量的诸如扫描电子显微镜或者透射电子显微镜的装置被用作显微镜,从而能够测量振动膜 12 的厚度 t 的变化。

[0165] 返回图 6 的流程图,在执行 S102 的测量之后,基于每一 CMUT 元件 10 的塌陷电压以及与振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数计算校正的偏置电压(S103)。

[0166] 此后,将基于将被施加至每一 CMUT 元件 10 的校正的偏置电压的校正数据存储至存储单元 34 内(S104)。

[0167] 然后,基于存储在存储单元 34 内的校正数据,校正的偏置电压被施加至每一 CMUT 元件 10(S105)。在步骤 S105 中,实际使用了超声波诊断装置 30。

[0168] 然后,将描述当基于本发明对偏置电压进行校正时超声波发射和接收灵敏度的变化减少的效果。图 7 是在改变将被施加至每一 CMUT 元件 10 的偏置电压的校正条件时,发射和接收灵敏度变化的对照表。

[0169] 图 7 示出当振动膜 12 的间隙厚度 g 和厚度 t 相对于设计值变化 $\pm 10\%$ 时的核对结果。校正情况具有三种情况,即,以本发明的塌陷电压和共振频率的校正(在下文中,被称为根据本发明的校正)、不考虑塌陷电压和共振频率的校正(在下文中,被称为无校正)、

和仅通过塌陷电压进行的校正（在下文中，被称为塌陷电压校正）。在无校正和塌陷电压校正的情况下，发射和接收灵敏度的变化分别为约 $\pm 20\%$ 和约 $\pm 10\%$ ，在根据本发明的校正的情况下，发射和接收灵敏度的变化分别为约 $\pm 5\%$ 。更确切地说，借助根据本发明的校正，发射和接收灵敏度的变化能够减少至无校正的情况下的约 $1/4$ ，以及当仅使用塌陷电压校正的 $1/2$ 。

[0170] 通过此方法，在本发明的超声波诊断装置内，由于即使振动膜的间隙厚度和厚度改变，也可以减少多个 CMUT 元件之间的发射和接收灵敏度的变化，从而消除超声波图像的不规则，使其可以提供高质量超声波图像。在装配方面使用半导体处理，可以降低变化管理的频率。由于此原因，可以提高 CMUT 芯片的产量并减少制造时间。

[0171] 图 8 为示出根据另一个实施例的超声波诊断装置的结构示图。在此实施例中，各发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 校正将被施加至各 CMUT 元件 10-1 至 10-n 的偏置电压，以使得偏置电压在制造期间变成预定值。由于此原因，在使用超声波诊断装置 30d 时，不需要控制发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n，并且在前述实施例中，不需要提供作为组元的存储单元 34、控制单元 36 和外部装置 41。排除发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 的组元与前述实施例相同，因而其描述不再赘述。

[0172] 下一步，将描述根据这些实施例的超声波诊断装置 30d 的发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 的具体结构。图 9 为示出根据此实施例的一个发射和接收灵敏度校正单元 45-i 的具体结构的实例的示图。

[0173] 在此实施例中，固定电阻元件 R_p 和 R_s 作为发射和接收灵敏度校正单元 45-i 串联和并联布置在 CMUT 元件 10-i 和偏置电源 37 之间，并且偏置电压分配至两个电阻上，因而校正将被施加至 CMUT 元件 10-i 上的电压。在超声波诊断装置 30d 制造时选择 R_p 和 R_s 的电阻值，并且嵌入 R_p 和 R_s 。由于能够选择多个偏置电压值进行输出，发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 不限于图 9 中所示之实例，。

[0174] 图 10 为示出根据此实施例的一个发射和接收灵敏度校正单元 45-i 的具体结构的另一实例的示图。例如，如图 10 中所示，可以使用可变电阻 VR，并且可以在制造时设定电阻值，因而校正偏置电压。可以使用具有可变电阻和齐纳二极管、可变电阻和晶体管的限压电路，或者具有运算放大器的稳压电路。在图 9 和图 10 内，虽然已经描述了为一个 CMUT 元件 10-i 提供一个发射和接收灵敏度校正单元 45-i 的实例，但是如前文所述，相同的校正的偏置电压可以被施加至多个 CMUT 元件。

[0175] 下一步，将描述根据此实施例的 CMUT 元件 10 的发射和接收灵敏度校正的程序。图 11 为示出根据此实施例进行发射和接收灵敏度校正的程序的流程图。

[0176] 首先，CMUT 芯片被装配在超声波探头 31 上 (S201)。

[0177] 然后，测量每个 CMUT 元件 10 的塌陷电压以及与振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振频率成比例的参数 (S202)。

[0178] 在执行 S202 的测量之后，基于每一 CMUT 元件 10 的塌陷电压以及与振动膜 12 在超声波发射和接收方向的共振电压成比例的参数计算校正的偏置电压 (S203)。

[0179] 此后，调节发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 的电阻值 (S204)。然后，偏置电压被施加至每一 CMUT 元件 10 (S205)。

[0180] 在此实施例中，虽然在装配超声波诊断装置 30d 之时，作为预先调节电阻值的步

骤的 S204 是必须的,但在 S205 中施加偏置电压,固定的偏置电压仅仅被施加于每个发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n,由此分别被控制的校正的偏置电压能够被施加至每一 CMUT 元件 10。应用于每个发射和接收灵敏度校正单元 45-1 至 45-n 的固定的偏置电压可以临时地变化。

[0181] 在根据此实施例的超声波诊断装置内,如前述实施例,即使振动膜的间隙厚度和厚度 t 改变,由于可以减少多个 CMUT 元件之间的发射和接收灵敏度的变化,则可以消除超声波图像的不规则,使得可以提供高质量超声波图像。

[0182] 虽然已参考附图对根据本发明的超声波诊断装置和超声波探头的优选实施例进行了描述,但本发明并不限于该实例。对本领域技术人员来说,在不偏离此申请所公开的技术精神的范围内作出各种可选的实例或者修正的实例是显而易见的,而且可以理解,这些仍落于本发明的技术范围之内。

[0183] 附图标记列表

[0184] 10 :CMUT 元件,11 :上电极,12 :振动膜,14 :下电极,16 :基底,17 :空间,18 :支撑部,19 :偏置电源,20 :AC 电源,30 :超声波诊断装置,31 :超声波探头,32 :超声波诊断装置主体,34 :存储单元,35-1 至 35-n :发射和接收灵敏度校正单元,36 :控制单元,37 :偏置电源,38 :发射单元,39 :接收单元,40 :发射和接收分离单元,41 :外部装置,42 :图像处理单元,43 :D/A 转化器,45-1 至 45-n :发射和接收灵敏度校正单元,47 :输入单元,48 :显示单元

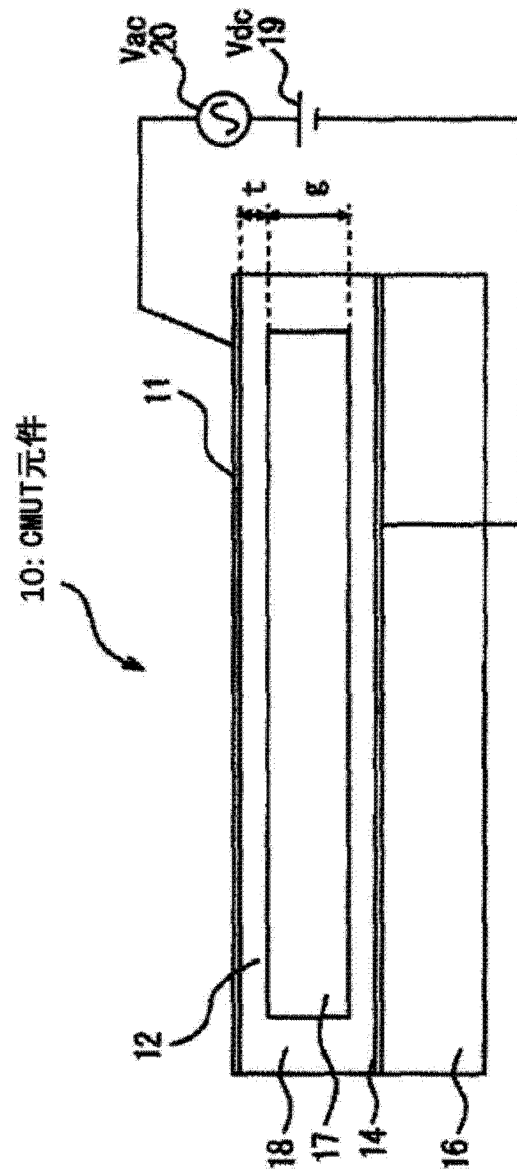


图 1

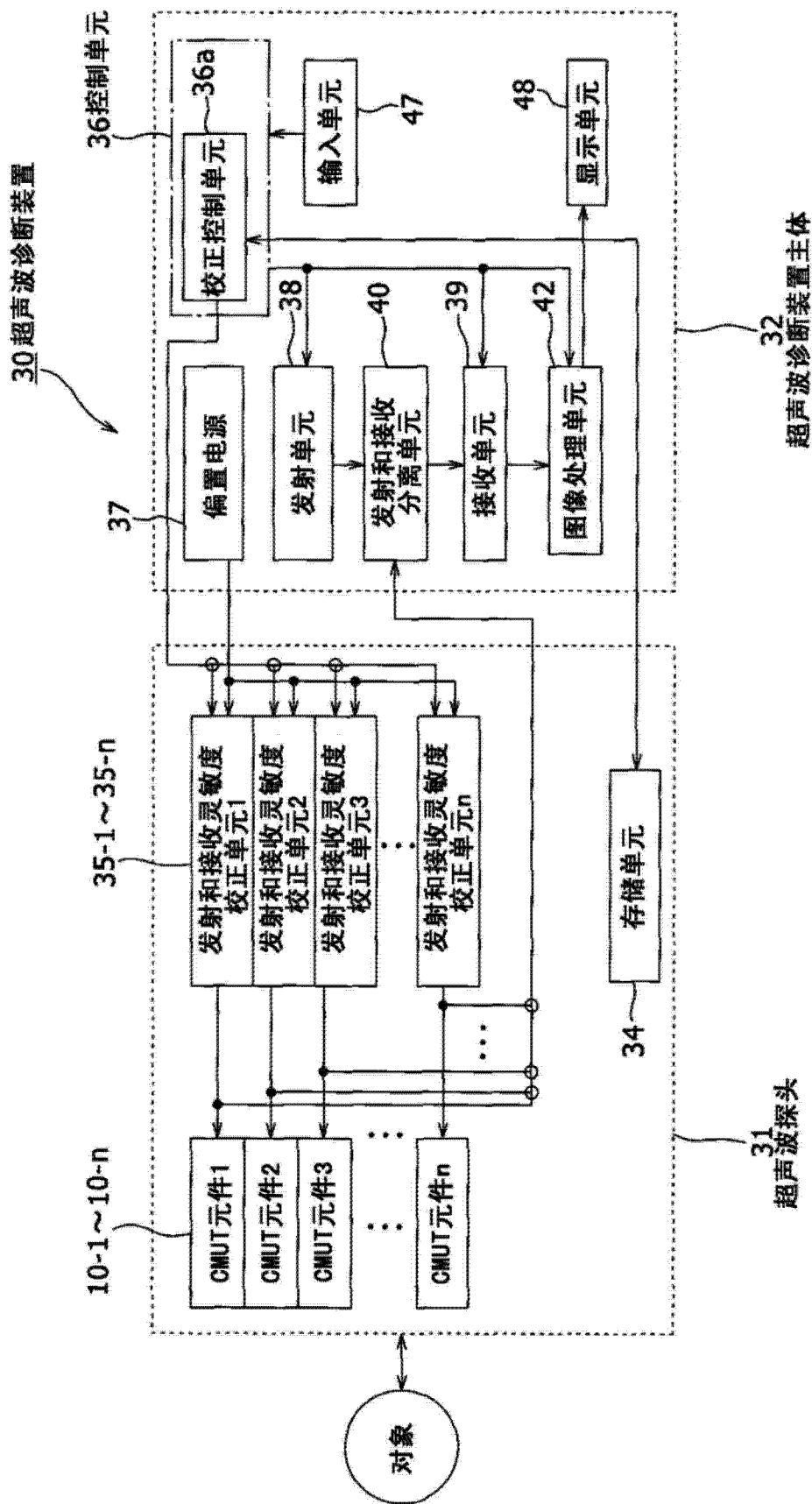


图 2

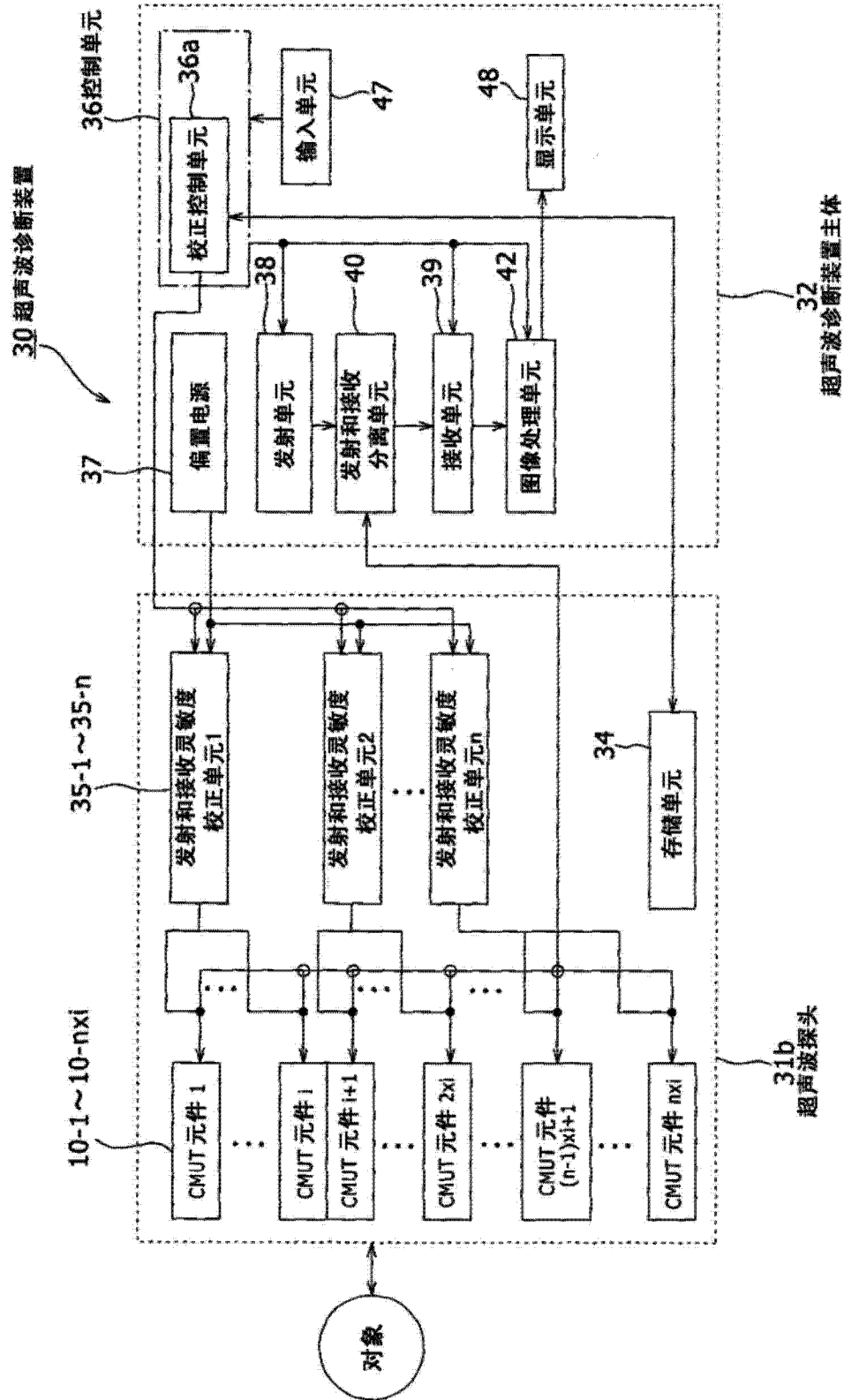


图 3

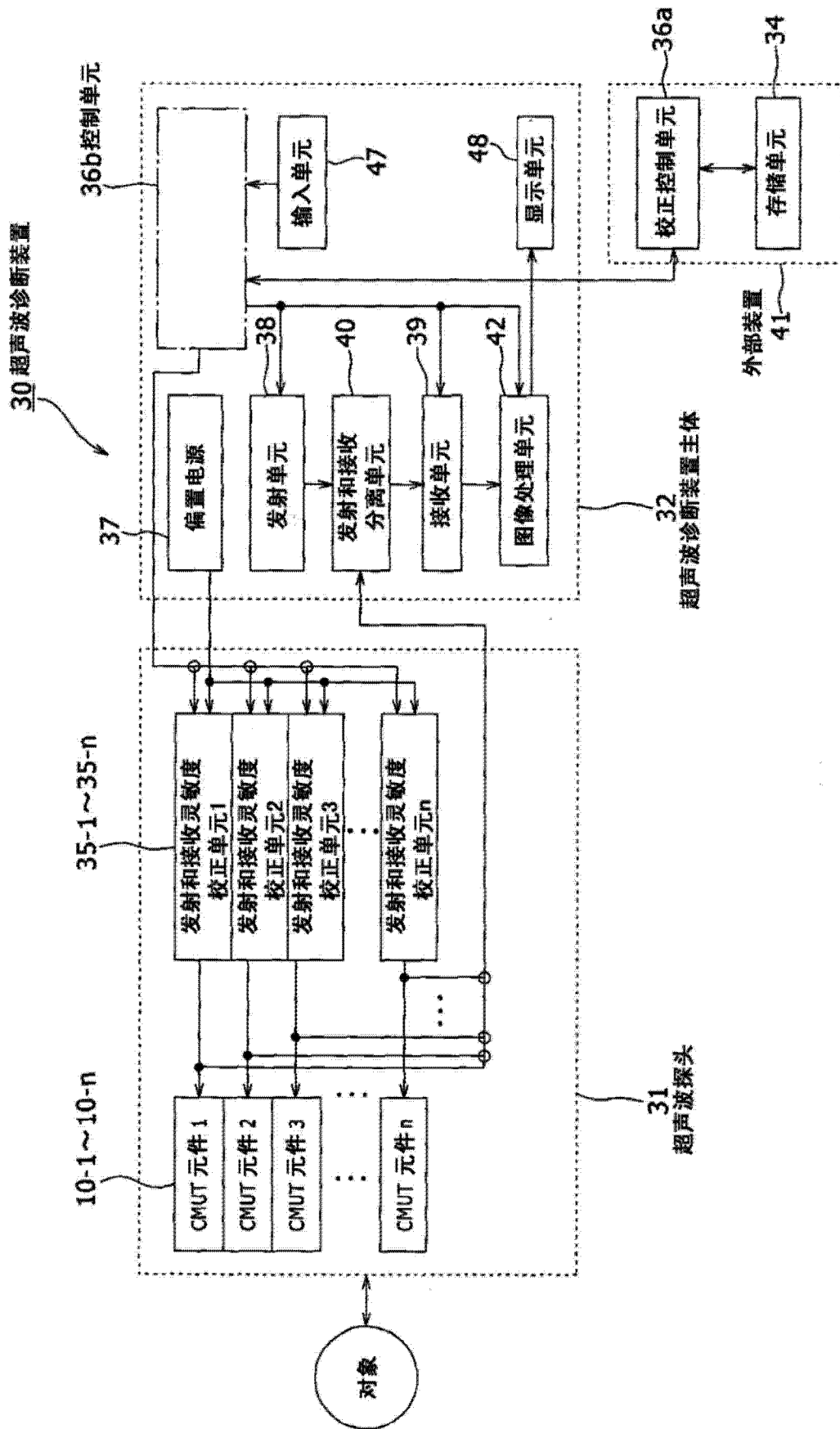


图 4

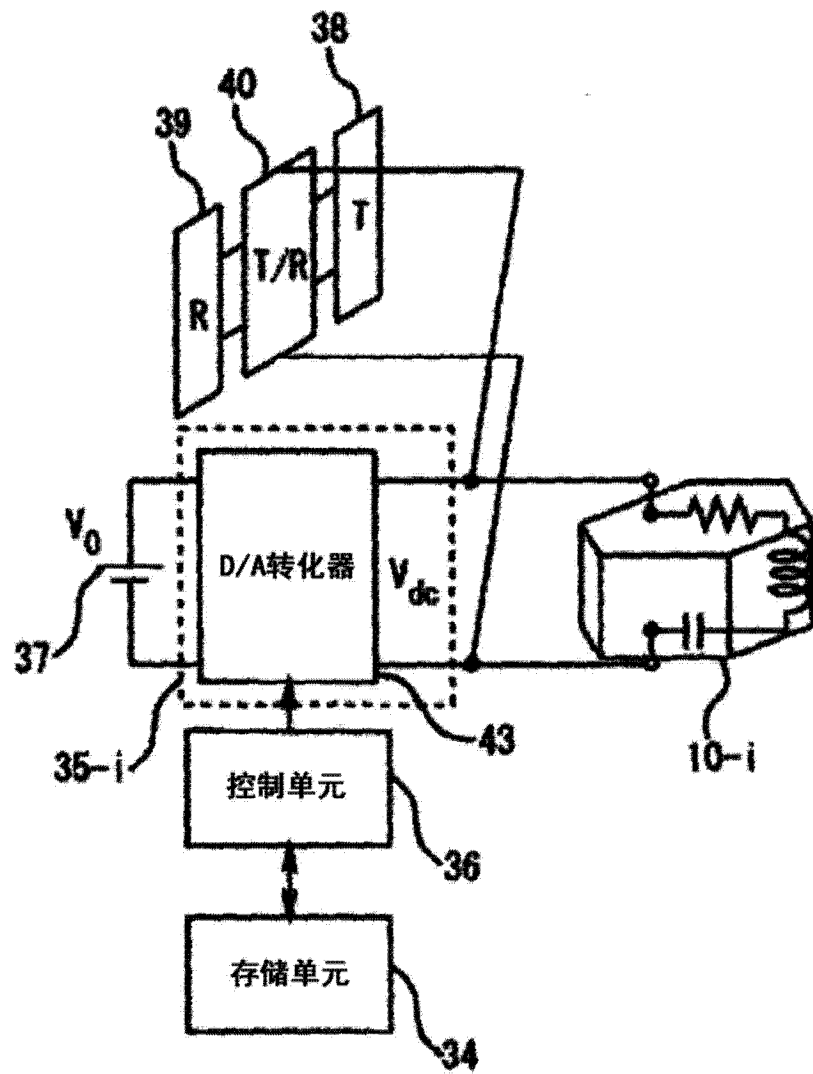


图 5

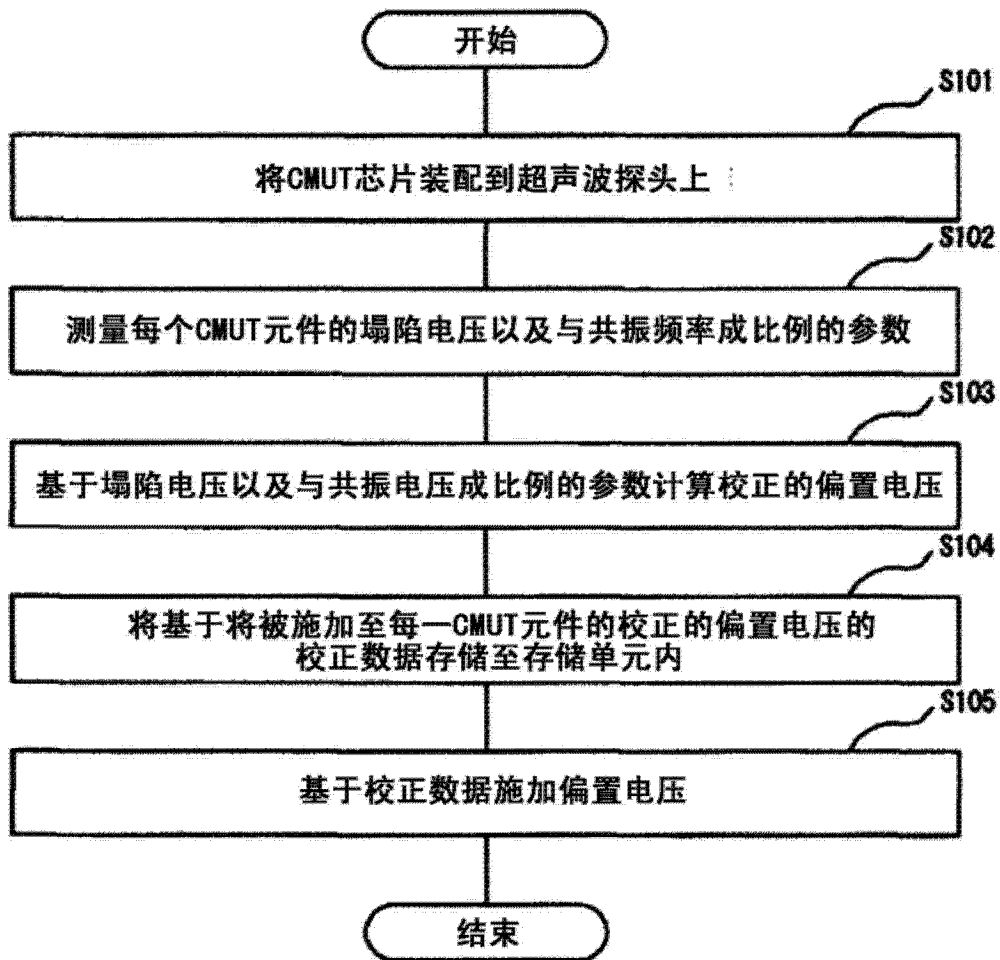


图 6

条件	间隙厚度g	振动膜厚度t	根据本发明的校正	无校正	塌陷电压校正
变化	-10至+10%	-10至+10%	-5.1至+4.9%	-19.0至+21.0%	-9.1至+11.1%

图 7

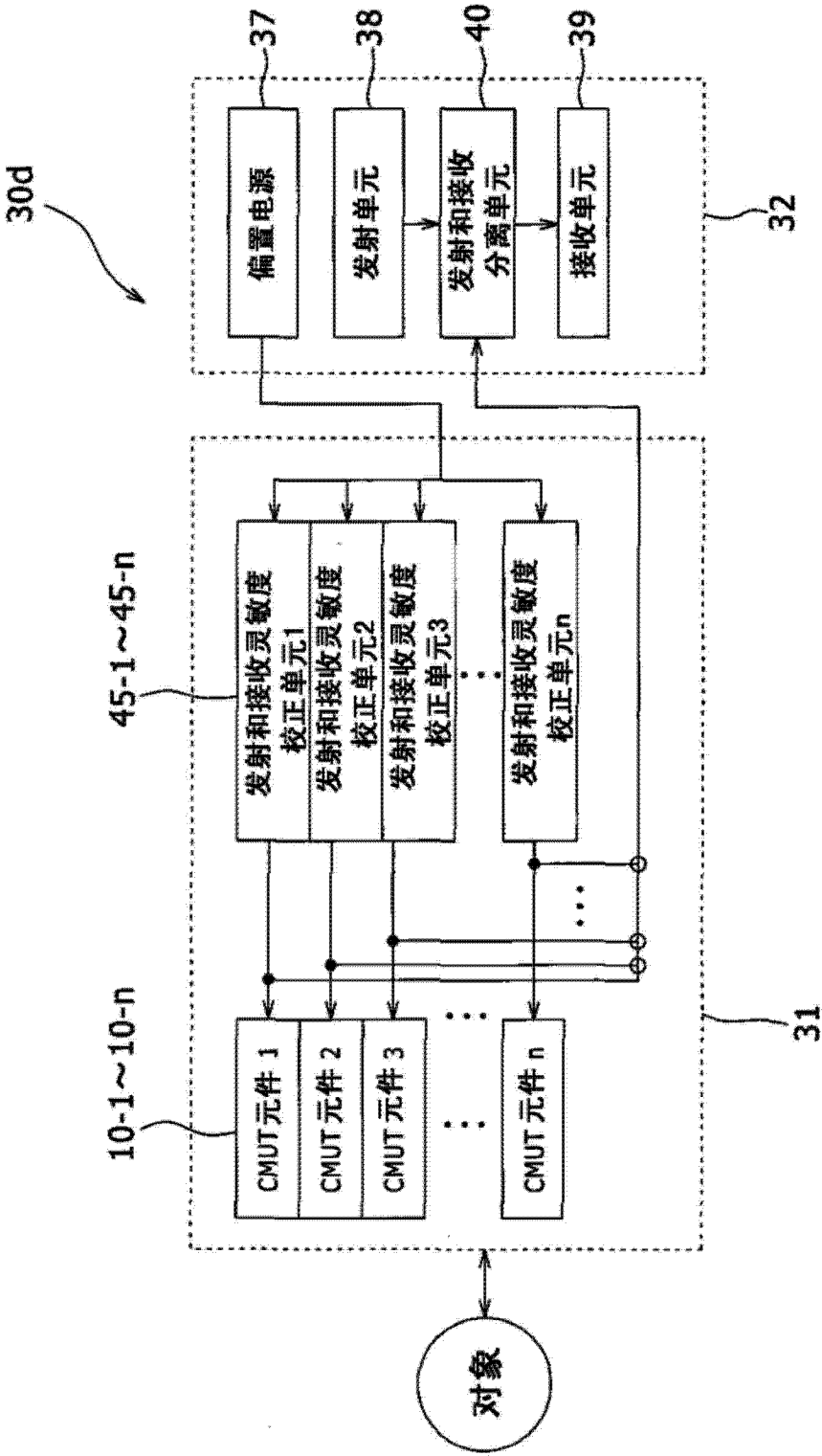


图 8

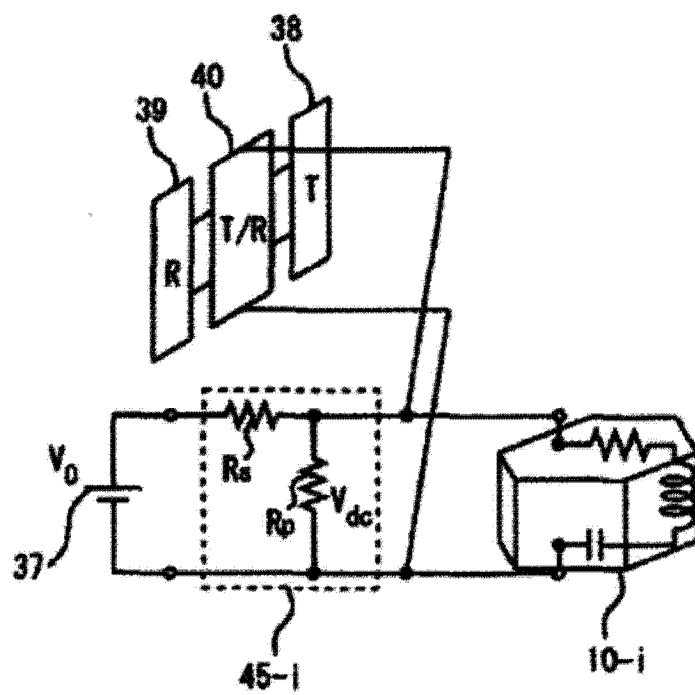


图 9

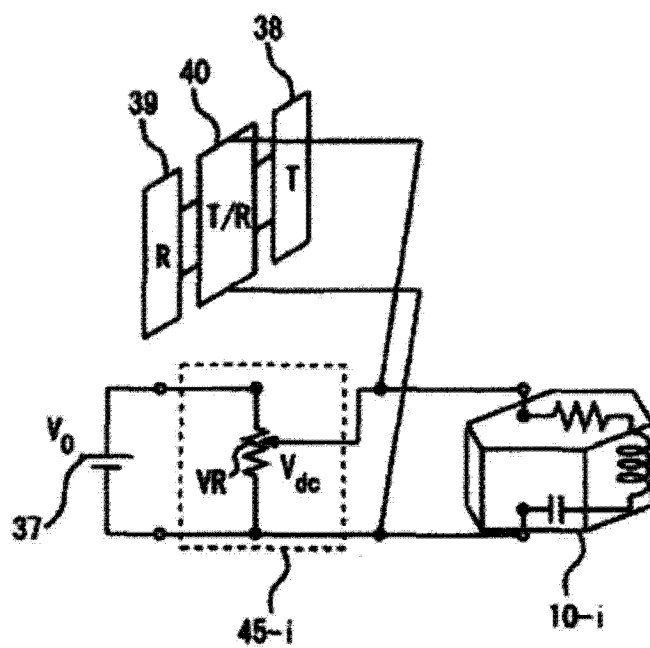


图 10

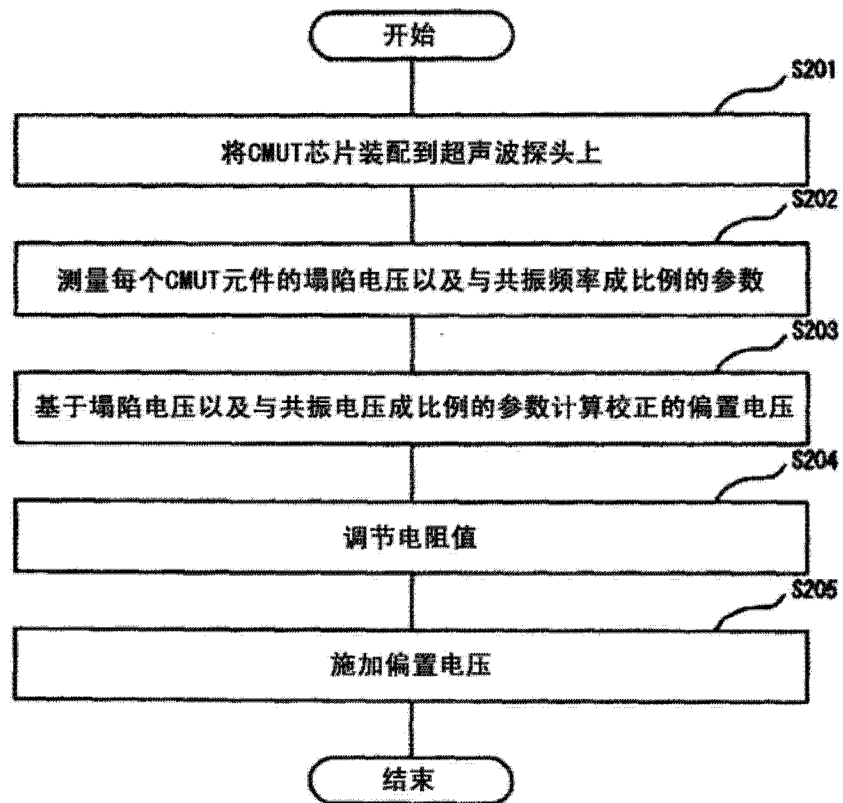


图 11

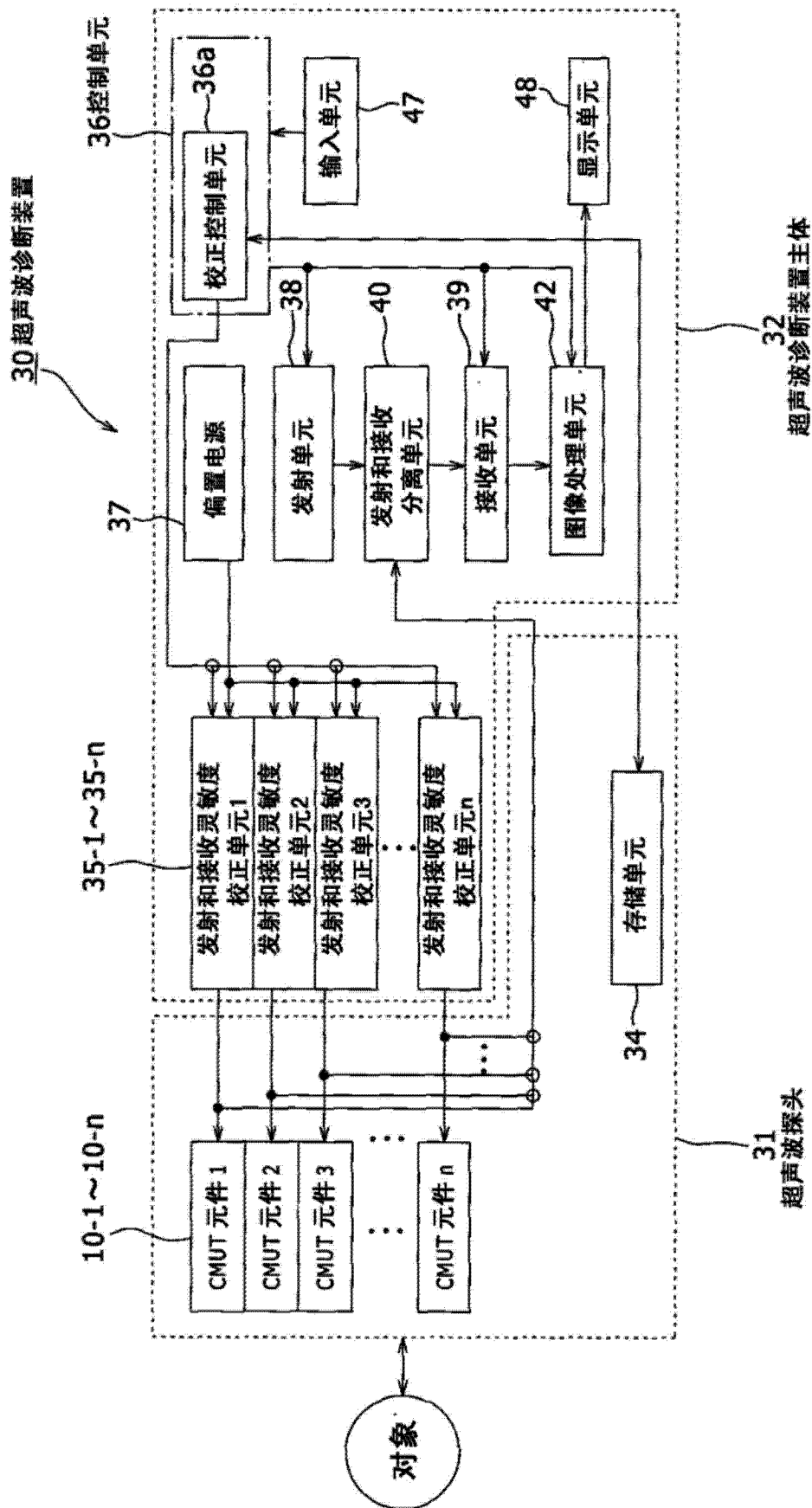


图 12

专利名称(译)	超声波诊断装置和超声波探头		
公开(公告)号	CN104135938A	公开(公告)日	2014-11-05
申请号	CN201380010442.8	申请日	2013-02-21
[标]申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
[标]发明人	竹中智子 泉美喜雄 石田一成		
发明人	竹中智子 泉美喜雄 石田一成		
IPC分类号	A61B8/00 H04R19/00		
CPC分类号	B06B1/0292 A61B8/00 G01N29/4463 G01N29/2406 G01N29/262 G01N29/42 G01N2291/045		
代理人(译)	黄威		
优先权	2012036975 2012-02-23 JP		
其他公开文献	CN104135938B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

为了减少在多个CMUT元件之间发射和接收灵敏度的变化，一种超声波诊断装置包括：多个CMUT元件(10)，其每个具有振动膜，该振动膜在超声波传输至对象或者从对象接收超声波时振动；上电极(11)和下电极(14)，位于每个CMUT元件(10)的彼此相对侧设置为面对面以通过偏置电源(37)将偏置电压施加至每个CMUT元件；以及发射和接收灵敏度校正单元(35-1至35-n)，用于通过使用使用每个CMUT元件(10)的振动膜的厚度和共振频率的至少一参数的函数，对每次提供自偏置电源(37)的电压进行校正。

