

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04R 17/00 (2006.01)

A61B 8/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610002116.4

[43] 公开日 2006 年 12 月 27 日

[11] 公开号 CN 1886006A

[22] 申请日 2006.1.16

[21] 申请号 200610002116.4

[30] 优先权

[32] 2005. 6. 20 [33] JP [31] 2005 - 179959

[71] 申请人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

[72] 发明人 梅村晋一郎 东 隆 永田达也

福田宏 峰利之 町田俊太郎

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司
代理人 郝庆芬

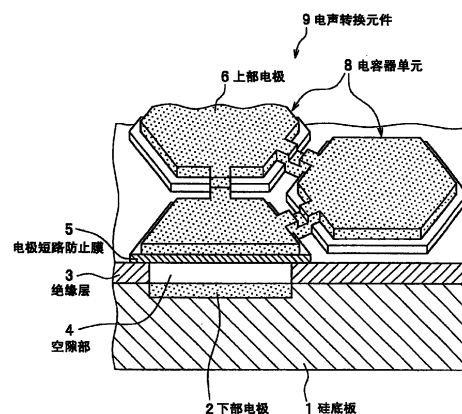
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 6 页

[54] 发明名称

电声转换元件、阵列型超声波转换器以及超声波诊断装置

[57] 摘要

本发明的目的在于在使膜片型电声转换元件的电声转换特性稳定的同时，降低使用该电声转换元件构成的超声波诊断装置的噪音级。由在硅底板(1)上所形成的下部电极(2)和在其上部夹持空隙部(4)的上部电极(6)形成的电容器单元(8)构成电声转换元件(9)，使用电气时间常数比 1 秒短且比 10 微秒长的材料，例如在化学计量方面过多包含硅的氮化硅形成在上部电极(6)的空隙部(4)一侧形成的电极短路防止膜(5)。其结果，电极短路防止膜(5)因为变得具有微弱的导电性，所以可以防止向电极短路防止膜(5)的带电或其漂移。其结果，电声转换元件(9)的电声转换特性稳定，而且超声波诊断装置的音响噪音级降低。



1. 一种电声转换元件，它包含在硅底板上形成的第一电极、和在所述第一电极的上部夹持空隙部，并与所述第一电极相向形成的第二电极，其特征在于，

在所述第一电极以及第二电极中至少某一方的电极的空隙部一侧形成有电极短路防止膜，

所述电极短路防止膜具有微弱的导电性，决定该导电性的电气时间常数比提供给该电声转换元件的电源电压的上升时间足够短，且比作为该电声转换元件转换对象的声波的振动周期足够长。

2. 根据权利要求1所述的电声转换元件，其特征在于，

所谓比所述声波的振动周期足够长的时间常数是所述声波的振动周期的10倍或10倍以上。

3. 根据权利要求1所述的电声转换元件，其特征在于，

所谓比所述电源电压上升时间足够短的时间常数是1秒或1秒以下，所谓比所述声波的振动周期足够长的时间常数是10微秒或10微秒以上。

4. 根据权利要求1所述的电声转换元件，其特征在于，

所述电极短路防止膜是氮化硅膜。

5. 根据权利要求4所述的电声转换元件，其特征在于，

所述氮化硅膜是使用在化学计量方面过多地包含硅的氮化硅来形成的。

6. 根据权利要求5所述的电声转换元件，其特征在于，

在用 $(\text{Si}_3\text{N}_4)_x \text{Si}_{1-x}$ 表示所述在化学计量方面过多地包含硅的氮化硅的组成时， x 的值是 $0.7 < x < 0.95$ 范围的值。

7. 一种阵列型超声波转换器，它使用多个膜片型电声转换元件，所述膜片型电声转换元件包含在硅底板上形成的第一电极、和在所述第一电极的上部夹持空隙部，并与所述第一电极相向形成的第二电极构成，其特征在于，

所述多个电声转换元件在一个硅底板上排列形成，

在构成所述电声转换元件的所述第一电极以及第二电极中至少某一方的电极的空隙部一侧形成有电极短路防止膜，

所述电极短路防止膜具有微弱的导电性，决定该导电性的电气时间常数比提供给该电声转换元件的电源电压的上升时间足够短，且比作为该电声转换元件转换对象的声波的振动周期足够长。

8. 根据权利要求7所述的阵列型超声波转换器，其特征在于，
在形成所述电声转换元件的硅底板上形成有至少一部分的驱动该电声转换元件的电路。

9. 一种超声波诊断装置，它使用膜片型电声转换元件，该膜片型电声转换元件包含在硅底板上形成的第一电极，和在所述第一电极的上部夹持空隙部并与所述第一电极相向形成的第二电极，其特征在于，

在构成所述电声转换元件的所述第一电极以及第二电极中至少某一方的电极的空隙部一侧形成有电极短路防止膜，

所述电极短路防止膜具有微弱的导电性，决定该导电性的电气时间常数比提供给该电声转换元件的电源电压的上升时间足够短、且比作为该电声转换元件转换对象的声波的振动周期足够长。

10. 根据权利要求9所述的超声波诊断装置，其特征在于，
使用多个所述电声转换元件，该多个电声转换元件在一个硅底板上排列形成。

电声转换元件、阵列型超声波转换器以及超声波诊断装置

技术领域

本发明涉及一种使用半导体微加工技术制作的膜片型电声转换元件、以及使用该电声转换元件的阵列型超声波转换器以及超声波诊断装置。

背景技术

在 20 世纪初，开始了利用水晶的压电现象收发超声波的试验，但是水晶有其电气・机械转换效率低的问题。因此，特别是作为接收转换器不能得到足够的灵敏度，不能达到应用于实用产品的程度。其后，发现了电气・机械转换效率极高的罗谢尔盐，在第二次世界大战中，使用它开发了声纳。但是，罗谢尔盐潮解性大、存在结晶稳定性的问题，所以为得到稳定的压电特性必须特别地注意。

接着，紧接第二次世界大战之后，发现了电气・机械转换效率高，而且具有稳定的压电特性的钛酸钡。钛酸钡因为是陶瓷所以具有制作形状自由度高的优点，从而诞生了“压电陶瓷”这样的概念。然后，进入 20 世纪后半段后，发现了比钛酸钡居里点更高、具有更稳定的压电特性的锆钛酸铅（PZT）陶瓷。由于 PZT 陶瓷的出现，可以得到灵敏度高且稳定性优良的压电元件，其后一直到现在，使用 PZT 陶瓷的压电元件广泛用于超声波转换器。

超声波转换器的材料从水晶替换成压电陶瓷，与其相伴的接收放大器、发送驱动电路等电子电路从真空管替换为半导体，在电气阻抗匹配方面十分方便。但是，在包含驱动电路的电子电路的半导体化中，因为需要满足高压、高频动作等条件，所以必需等待高速闸流管、以及耐高压场效应晶体管（FET: Field Effect Transistor）的实用化。在实现了这样的超声波转换器周边的电子电路的半导体化之后，在上世纪 90 年代，通过半导体微加工技术，开始了形成膜片型超声波转换器的研究。如果实现这样的半导体超声波转换器，则可以通过一系列的半导体加工过程形成超声波转换器及其周边电路，在超声波收发器的制造成本和性能两方面都可以期待划时代的效果。

在非专利文献 1 中，表示了使用半导体微加工技术制作出的膜片型超声波转换器中的电声转换元件的例子。该电声转换元件的基本结构为：在掺杂了杂质的硅底板的上部设置空隙部，夹持该空隙部与硅底板相向地形成氮化硅膜的膜片。在该膜片的空隙部一侧的表面或内侧进而形成了电极层。

即，该电声转换元件的基本结构为：把硅底板作为下部电极，把在膜片一侧形成了的电极层作为上部电极的电容器。因此，如果在这些电极之间施加电压，则因为在两电极上感生相反符号的电荷，而互相施加引力，所以膜片位移。此时，如果将膜片的外侧与水或生物体接触，则把这些水或生物体作为介质发射声波。另外，通过施加 DC 偏置电压在电极上感生一定的电荷，从膜片接触的介质强制地施加振动，即当使膜片位移时，与其位移量相对应在电极间产生给予电压。这些是在非专利文献 1 中表示的膜片型超声波转换器中的电声转换的原理。此外，从该超声波接收时的音响向电进行转换的原理和作为可听音域的传声器使用的 DC 偏置型电容传声器的原理相同。

如上所述的电声转换元件即使用像硅那样的机械性能方面较硬的材料构成，但因为是在背面具有空隙的膜片结构，所以对于生物体或水等机械性能方面柔软的材料也可以得到良好的声阻匹配。另外，通过在硅底板上形成了电声转换元件，可以在相同的或临近地配置的硅底板上一体形成驱动或者控制它的超声波收发电路。

其后，对膜片型超声波转换器进行进一步的开发和研究，其基本结构以及工作原理没有大的变化，但在收发灵敏度等方面达到足以与使用 PZT 的压电型转换器进行比较的水平。

[非专利文献] M. Haller and B. T. Khuri-Yakub, "A Surface Micromachined Electrostatic Ultrasonic Air Transducer", Proceedings of Ultrasonic Symposium, p.1241 – p.1244, 1 Nov. 1994。

但是，在膜片型的电声转换元件中，为使其转换效率最大化，在其电极上，直到膜片与硅底板即将接触之前施加如同进行位移那样大的 DC 偏置电压，来感生尽可能多的电荷。因此，膜片一侧的电极和硅底板容易接触。但是，在实际中，当膜片一侧的电极接触或者无限接近硅底板时，会产生短路在电极间流过过多的电量，或者发生放电现象。在该情况下，由所产生的过

大的电流，会破坏电声转换元件自身或者与该元件连接的周边电路系统。

因此，作为现有的电声转换元件一般的设计，在膜片一侧电极或底板一侧电极中的至少一个电极的空隙部一侧设置了由绝缘膜形成的电极短路防止膜。通过该电极短路防止膜，即使膜片一侧电极和硅底板接触，也可以防止电极间发生短路或产生放电现象。

这样的电极短路防止膜多使用氮化硅膜形成，此外，该氮化硅膜渐渐通过 CVD (Chemical Vapor Deposition) 所代表的气相生长来形成。但是，通过 CVD 形成的硅氮化膜与通过热氧化形成的硅氮化膜等相比，包含较多的结合缺陷，因此具有当施加高电压时容易带电的性质。而且，该带电的电荷量随施加电压和时间进行漂移，并不稳定。

即，在设置了 CVD 氮化膜等电极短路防止膜的电声转换元件中，这样不稳定的电荷在构成电声转换原理不可或缺的电容器的电极间产生。因此，即使在电极间施加相同的电压，或者即使膜片的电极进行相同量的位移，在电极上感生的电荷量也会变化，并进行漂移。因此，电声转换元件的电声转换特性进行漂移，变得不稳定。

电声转换特性的漂移对于排列多个这样的电声转换元件而构成的阵列型超声波转换器的特性产生重大的影响。其原因在于：当构成阵列型超声波转换器的各元件的电声转换特性各自零散地进行漂移时，在使用该阵列型超声波转换器的超声波诊断装置中，形成了发送波束以及接收波束时的整个装置的音响噪音级会显著上升。如上所述，在使用半导体膜片型的电声转换元件的超声波转换器中，不能充分解决灵敏度和稳定性的问题。

发明内容

本发明是鉴于以上现有技术的问题而发明的，其目的在于：在稳定设置了电极短路防止膜的电声转换元件的电声转换特性的同时，降低使用该电声转换元件构成的超声波转换器以及超声波诊断装置的音响噪音级。

为实现上述目的，在本发明中，对上述电极短路防止膜给予微弱的导电性。即，本发明的电声转换元件是包含在硅底板上所形成的第一电极、和在所述第一电极的上部夹持空隙部与所述第一电极相向形成的第二电极而构成的膜片型电声转换元件，其特征在于，在所述第一电极以及第二电极中的至

少某一方的电极的空隙部一侧形成电极短路防止膜，所述电极短路防止膜具有微弱的导电性，决定该导电性的电气时间常数（ $\tau = (\text{介电常数}/\text{导电率})^{1/2}$ ）比提供给该电声转换元件的电源电压的上升时间充分短、且比作为该电声转换元件的转换对象的声波的振动周期充分长。更具体地说，所述电极短路防止膜的电气时间常数比1秒短且比10微秒长。

根据本发明，通过使用电气时间常数比1秒短且比10微秒长的材料形成电极短路防止膜，可以给该电极短路防止膜赋予微弱的导电性。通过电极短路防止膜具有那样的微弱的导电性，电极短路防止膜在超声波的动作区域中的时间区间内作为电介质动作，在电源投入时的上升时间程度的时间区间内作为导体动作。即，在后者的时间区间内，在电极短路防止膜上快速带电，并快速放电。因此，不会产生电极短路防止膜上所携带的电荷漂移的现象。因此，设置了电极短路防止膜的电声转换元件的电声转换特性稳定，使用该电声转换元件所构成的超声波诊断装置的音响噪音级降低。

此外，所述电极短路防止膜的特征在于是使用在化学计量方面过多地包含硅的氮化硅来形成的。

氮化硅在化学计量方面是稳定的绝缘物，但在该氮化硅中在化学计量方面过多地包含硅时，在硅中产生剩余的结合键，该结合键成为电荷的移动介质而变得具有微弱的导电性。即，通过在化学计量方面过多地包含硅的氮化硅膜，可以实现具有微弱导电性的电极短路防止膜。

根据本发明，设置了电极短路防止膜的电声转换元件的电声转换特性稳定，使用该电声转换元件而构成的超声波诊断装置的声音噪声级降低。

附图说明

图1是表示本发明实施方式中的半导体膜片型的电声转换元件的结构的概念的图。

图2是表示作为图1的电声转换元件的单位构成要素的电容器单元的截面构造的图。

图3是关于夹持空隙部和电极短路防止膜而构成的电容器，表示其电气模型的例子。

图4是关于和图3相同结构的电容器，表示在电极短路防止膜上积蓄了

电荷时的电气模型的例子。

图 5 (a) 是关于和图 3 相同结构的电容器, 表示对电极短路防止膜给予了微弱的导电性时的电气模型的例子, (b) 是表示其等价电路。

图 6 是表示超声波诊断装置的结构的事例的图, 所述超声波诊断装置使用配置多个电声转换元件而构成的阵列型超声波转换器。

图 7 是表示使用图 6 的超声波诊断装置形成了超声波接收波束时的波束·分布图的例子。

具体实施方式

下面, 使用附图详细说明本发明的实施方式。

图 1 是表示本发明实施方式中的半导体膜片型的电声转换元件的结构的概念的图, 图 2 表示作为该电声转换元件的单位构成要素的电容器单元的截面构造。

如图 1 所示, 电声转换元件 9 是在硅底板 1 上以平面蜂窝状排列多个电容器单元 8 来构成的。这里, 电容器单元 8 是由在硅底板 1 上形成的下部电极 2、和夹持空隙部 4 与下部电极 2 相向地形成的上部电极 6 构成的电容器。

该电容器单元 8 的上部电极 6 在从上部电极 6 一侧施加了压力, 即声压时, 或者在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加了电压时, 向下部电极 2 一侧弯曲。电声转换元件 9 中的电声转换的原理基于上部电极 6 在此时弯曲的位移量和由于弯曲所产生的电荷量或电压变化量之间的关系。后面对该关系进行详细地说明。

如图 1 和图 2 所示, 在上部电极 6 的空隙部 4 一侧形成为防止上部电极 6 向下部电极 2 一侧弯曲时和下部电极 2 接触·短路的电极短路防止膜 5。另外, 如图 2 所示 (图 1 中未图示), 在下部电极 2 的上部形成绝缘层 7, 通过绝缘层 7 在机械上和结构上支持上部电极 6。即, 电声转换元件 9 的膜片的主体由该绝缘层 7 构成。此外, 该绝缘层 7 还承担了从外部环境保护整个电声转换元件 9 的作用。

然后, 参照图 2, 进一步对构成电声转换元件 9 的电容器单元 8 的截面构造进行更为详细地说明。

如图 2 所示, 例如在掺杂了 n 型杂质, 并被给予了导电性的 n 型硅底板

1 上形成电容器单元 8。硅底板 1 通常兼作下部电极 2，为提高导电性，越来越提高杂质浓度地形成图示的下部电极 2 的部分。

在紧接硅底板 1 的上部形成了由氮化硅 (Si_3N_4) 等形成的绝缘层 3，其厚度约为 100 nm。另外，除去该绝缘层 3 的一部分，形成了空隙部 4。因此，空隙部 4 相当于约 100 nm 的厚度，另外，平面采用六角形（参照图 1），其内径约为 $50\ \mu\text{m}$ 。

在绝缘层 3 以及空隙部 4 的上部形成了电极短路防止膜 5，其由在化学计量方面过多地包含了硅的氮化硅 ($(\text{Si}_3\text{N}_4)_x \text{Si}_{1-x}$) 组成。电极短路防止膜 5 的厚度约为 100 nm。此时，最好选取 $0.7 < x < 0.95$ 。通常的氮化硅是绝缘体，但是在化学计量方面过多地包含了硅的氮化硅可以得到微弱的导电性。后面，对该微弱导电性所起到的效果进行说明。

在电极短路防止膜 5 的上部形成了由厚度约为 100 nm 的铝等材料形成的上部电极 6，并且在它的上面还形成了由氮化硅 (Si_3N_4) 等形成的绝缘层 7。绝缘层 7 的厚度约为 1500 nm，绝缘层 7 成为承担电声转换元件 9 的膜片的机械强度的层。即，在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加了电压或者从绝缘层 7 的外部接受到压力的情况下，电极短路防止膜 5、上部电极 6 以及绝缘层 7 成为一体地弯曲，构成所谓的膜片。

然后，参照图 3~图 5，关于在上部电极 6 和下部电极 2 之间形成了电极短路防止膜 5 时的电容器，尝试评价其电气特性。这里，图 3 关于夹持空隙部和电极短路防止膜而构成的电容器，表示其电气模型的例子，图 4 是关于和图 3 相同结构的电容器，表示在电极短路防止膜上积蓄了电荷时的电气模型的例子。图 5 (a) 是关于和图 3 相同结构的电容器，表示对电极短路防止膜给予了微弱的导电性时的电气模型的例子，(b) 是表示其等价电路。

在图 3 中，把由上部电极 6 和下部电极 2 构成的电容器视作理想的平行平板电容器，设与上部电极 6 连接的电极短路防止膜 5 的介电常数为 ϵ 、其厚度为 a ，另外，如果设真空的介电常数为 ϵ_0 、空隙部 4 的厚度为 z 、电极面积为 S ，则该电容器的电容量为 $S / (z / \epsilon_0 + a / \epsilon)$ 。此时，在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加了电压 V （上部电极 6 对下部电极 2 的电压）的情况下，在下部电极 2 上积蓄了 $-SV / (z / \epsilon_0 + a / \epsilon)$ 的电荷量。

此时,下部电极 2 位置上的电场强度因为是方向向下的 $V/(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)$, 所以对下部电极 2 作用的力计算为方向向上的 $\varepsilon_0SV^2/(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)^2$ 。因此, 方向向下的 $\varepsilon_0SV^2/(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)^2$ 的力作用于上部电极 6。即, 在上部电极 6 和下部电极 2 之间作用的力与施加电压 V 的平方成正比, 与使用介电常数修正后的电极间距离 $(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)$ 的平方成反比。因此, 为了以相同的施加电压输出大的力, 需要使电极短路防止膜 5 的厚度 a 和空隙部 4 的厚度 z 在对动作无障碍的范围内进行缩小。

下面, 对在电极短路防止膜 5 上积蓄了电荷时的影响进行评价。如图 4 所示, 把距离电极短路防止膜 5 的上部电极 6 为 x 的位置上所积蓄的电荷量设为 $q(x)$ 时, 由该电荷量 $q(x)$ 在下部电极 2 上感生出的电荷量为 $-xq(x)/(z\varepsilon/\varepsilon_0+a)$ 。因此, 在下部电极 2 上感生的总电荷量 Q_z 可以用下面的 (式 1) 表示。

[公式 1]

$$Q_z = -\int xq(x)dx/(z\varepsilon/\varepsilon_0+a) \quad \cdots \cdots \text{(式 1)}$$

这里, 在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加了电压 V 时, 对 Q_z 作用的力 F_0 方向向上, 可以用下面的 (式 2) 表示。

[公式 2]

$$F_q = \varepsilon_0V \int xq(x)dx/\varepsilon/(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)^2 \quad \cdots \cdots \text{(式 2)}$$

因此, 对下部电极作用的力的合力 F_a 方向向上, 在图 3 中求得的力上加上 (式 2) 的力, 可以用下面的 (式 3) 表示。

[公式 3]

$$F_a = \varepsilon_0V(SV + \int xq(x)dx/\varepsilon)/(z+a\varepsilon_0/\varepsilon)^2 \quad \cdots \cdots \text{(式 3)}$$

因此, 如果电荷 $q(x)$ 的符号和 V 的符号一致, 与不带电荷 $q(x)$ 的情况相比, 即使在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加的电压 V 相同, 也产生仅 F_q 那么大的力。此时, 如果电荷 $q(x)$ 稳定, 可以把由该电荷 $q(x)$ 产生的力作为优点有效地使用。

但是, 在一般的 CVD 氮化硅膜等氮化硅膜上产生的电荷 $q(x)$ 随时间漂移。因此, 在上部电极 6 和下部电极 2 之间所施加的电压 V 相同时, 因为随时间漂移的电荷 $q(x)$, 在上部电极 6 和下部电极 2 之间产生的力也漂移。即,

由于电声转换元件 9 的电声转换特性漂移，显著损伤了使用它构成的超声波转换器的实用性。

因此，在本实施方式中，如上所述，使用在化学计量方面过多包含硅的氮化硅形成电极短路防止膜 5，并给予电极短路防止膜 5 微弱的导电性。然后，考虑主要使用电声转换元件 9 的超声波诊断装置的动作状况，决定应该对电极短路防止膜 5 给予的微弱的导电性的范围。

一般，除超导体外的所有物质都是在某时间区间为导体，同时在其他时间区间为电介质。某物质在某时间区间内是作为电介质动作还是作为导体动作由该物质的介电常数和导电率的比决定。以石英玻璃为例，因为

$$\text{介电常数: } \varepsilon \approx 3.8 \times 8.85 \text{ pF/m} \approx 34 \text{ pF/m},$$

$$\text{导电率: } \sigma \approx 10^{-17} / \Omega \text{ m},$$

所以与

$$\text{时间常数: } \tau \approx (\varepsilon / \sigma)^{1/2} \approx 1800 \text{ 秒} = 30 \text{ 分}$$

相比，在十分短的时间区间内作为电介质动作，在十分长的时间区间内作为导体动作。

但是，本实施方式电声转换元件 9 主要用于通过收发脉冲状超声波进行以人体为代表的生物内的成像的超声波诊断装置（超声波断层摄影装置）。以时间短的顺序列举在该超声波诊断装置中包含的动作的时间区间，则如下所示：

- (1) 超声波周期：0.1~1 μ 秒
- (2) 超声波脉冲长度：0.3~3 μ 秒
- (3) 脉冲发送重复周期：0.1~1 m 秒
- (4) 摄影（帧）周期：10~100 m 秒
- (5) 摄影方式切换时间：0.1~10 秒
- (6) 电源接通上升时间：10~100 秒。

在本实施方式电声转换元件 9 中，在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加的 AC 电压 V_{AC} 的时间区间由 (1) 超声波周期决定，此外，DC 偏置电压 V_{DC} 的时间变化的时间区间由 (6) 电源接通上升时间决定。因此，如果将电极短路防止膜 5 的时间常数 τ 设定得比 (1) 超声波周期足够长，且比 (6)

电源接通上升时间足够短, 则电极短路防止膜 5 对于施加 AC 电压 V_{AC} 作为电介质动作, 对于施加 DC 偏置电压 V_{DC} 作为导电体稳定地进行动作。

因此, 在本实施方式中, 电声转换元件 9 作为在超声波断层摄影装置等超声波转换器中使用的部件, 把电极短路防止膜 5 的电气时间常数 τ 设定为比 (1) 超声波周期足够长, 且比 (6) 电源接通上升时间足够短。即, 对电极短路防止膜 5 给予其时间常数 τ 为大于等于 10μ 秒且小于等于 1 秒那样的微弱的导电性。

参照图 5 (a), 对向电极短路防止膜 5 给予了以上那样的微弱导电性时的电容器的电气模型的例子进行说明。如图 5 所示, 在上部电极 6 和下部电极 2 之间施加超声波脉冲等 AC 电压 V_{AC} 。此时, 该电容器对于 AC 电压 V_{AC} , 因为电极短路防止膜 5 作为电介质动作, 所以作为电容器的电极间距离为空隙部 4 的厚度 z 和电极短路防止膜 5 的厚度 a 的和 ($z + a$)。另外, 对于 DC 偏置电压 V_{DC} , 因为其时间变化的区间非常长 (无限大), 所以电极短路防止膜 5 作为导体动作。因此, 对于 DC 偏置电压 V_{DC} 的电容器的有效的电极间距离为空隙部 4 的厚度 z 。

即, 图 5 (a) 的电容器为并联地连接了根据 AC 电压 V_{AC} 进行动作的电容器和根据 DC 偏置电压 V_{DC} 进行动作的电容器的形式。因此, 在下部电极 2 上感生的电荷量是由 AC 电压 V_{AC} 感生的电荷量和由 DC 偏置电压 V_{DC} 感生的电荷量的和。

在图 5 (a) 中, 由 AC 电压 V_{AC} 在下部电极 2 上感生的电荷量可以和图 3 的电容器的电气模型同样地进行计算, 为

$$-SV_{AC}/(z/\varepsilon_0 + a/\varepsilon)。$$

另外, 由 DC 偏置电压 V_{DC} 感生的电荷量为

$$-\varepsilon_0SV_{DC}/z。$$

因此, 在电容器的下部电极 2 上感生的电荷量的和为

$$-SV_{AC}/(z/\varepsilon_0 + a/\varepsilon) - \varepsilon_0SV_{DC}/z。$$

因此, 位于下部电极 2 的电场强度的方向向下, 大小为

$$V_{DC}/z + V_{AC}/(z + a\varepsilon_0/\varepsilon)$$

因此, 对下部电极 2 作用的力方向向上, 大小为

$$\varepsilon_0 S [V_{DC}/z + V_{AC}/(z + a \varepsilon_0/\varepsilon)]^2。$$

另外，在对电极短路防止膜 5 给予了导电性的情况下，电极短路防止膜 5 如图 5 (b) 的等价电路所示，具有作为其电阻值为 $a/\sigma S$ 的电阻的作用。因此，图 5 (a) 的电容器的阻抗可以用下面所示的 (式 4) 或者 (式 5) 表示。这里，(式 5) 是 (式 4) 简单变形的公式。

$$-jz[1/(\omega\varepsilon + \sigma^2/\omega\varepsilon) + 1/\omega\varepsilon_0]/s + a\sigma/(\sigma^2\varepsilon^2 + \sigma^2)/S \quad (\text{式 4})$$

$$= z/\omega S \{-j[1/(\varepsilon + \sigma^2/\omega^2\varepsilon) + 1/\varepsilon_0] + (a/z)\omega\sigma/(\omega^2\varepsilon^2 + \sigma^2)\} \quad (\text{式 5})$$

式中， j 为虚数单位， ω 是驱动电压或电流的角频率。为简单起见，忽略表示电声转换效果的项。

(式 4) 的第二项，是元件的阻抗的实部，与之对应的 (式 5) 的大括号 { } 内的第二项大体表示通过对电极短路防止膜 5 给予了导电性产生的功耗的相对大小。该第二项 $\omega = \sigma/\varepsilon$ 时，得到最大值 $(a/2z)/\varepsilon$ 。因此，当电信号的角频率 ω 接近该 σ/ε 时，通过对电极短路防止膜 5 给予了导电性产生的功耗变大。这意味着需要把电极短路防止膜 5 的 σ/ε 对于该电容器的使用角频率设定得足够小或足够大。即，在本实施方式中，因为把该电容器作为处理较高频率的超声波 (1~10MHz) 的电声转换元件 9 使用，所以电极短路防止膜 5 的 σ/ε 对于超声波频率设定得足够小更加现实。

如上所述，如果把电极短路防止膜 5 的电气时间常数 τ 设定为大于等于 10μ 秒，小于等于 1 秒，则电极短路防止膜 5 在超声波脉冲的时间区间内作为电介质动作，在电源接通上升时间的时间区间内作为导体动作。另外，其电功耗也减小。因此，可以得到特性稳定的电声转换元件 9，进而得到特性稳定的超声波转换器。

此外，在本实施方式中，取电极短路防止膜 5 的电气时间常数 τ 的最小值为 10μ 秒，这是由把电气时间常数 τ 的最小值设为比在超声波诊断装置中通常使用的超声波的“超声波周期：0.1~1 μ 秒”足够大的值，设为 10 倍的 10μ 秒所决定的。因此，在超声波诊断装置中通常使用的超声波的超声波周期将来发生了变化的情况下，电极短路防止膜 5 的电气时间常数 τ 的最小值也可以由超声波诊断装置中通常使用的超声波 10 倍的值来决定。

接着，对电极短路防止膜 5 的制法进行说明。如上所述，电极短路防止

膜 5 由在化学计量方面过多地包含硅的氮化硅 Si_3N_4 形成。这样的氮化硅膜可以通过使用硅烷 SiH_4 和氨 NH_3 的混合气的 CVD 法形成，通常具有 $(\text{Si}_3\text{N}_4)_{0.8}\text{Si}_{0.2}$ 的组成比。可以通过改变硅烷 SiH_4 和氨 NH_3 的混合比控制该组成比。在该组成比的情况下，介电常数、导电率以及由它们决定的时间常数分别为如下的值。

介电常数: $\epsilon \doteq 8 \times 8.85 \text{ pF/m} \doteq 100 \text{ pF/m}$,

1/导电率: $1/\sigma \doteq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$,

时间常数: $\tau = (\epsilon / \sigma)^{1/2} \doteq 10 \text{ m 秒}$ 。

如上所述，该时间常数十分合适以该电声转换元件为基本单位来构成在超声波诊断装置中使用的阵列型超声波转换器的目的。

此外，根据氮化硅和硅的组成比，介电常数不会进行这样大的变化，但是导电率会进行大的变化。为把时间常数 τ 设定为大于等于 10μ 秒且小于等于 1 秒，最好在 $(\text{Si}_3\text{N}_4)_x\text{Si}_{1-x}$ 中大体取 x 为 $0.7 < x < 0.95$ 。另外，在本实施方式中，作为电极短路防止膜 5 的材料，虽然使用了在化学计量方面过多包含硅的氮化硅，但如果是具有相同时间常数的材料，也可以使用其他材料。

但是，电极短路防止膜 5 原本是为了防止在空隙部 4 损坏后上部电极 6 和下部电极 2 接触时流过的过电流，以使周边的驱动电路等不被破坏而设置的。在本实施方式中，虽然对电极短路防止膜 5 给予了上述范围的时间常数程度的微弱的导电性，但下面表示：该程度的微弱的导电性，即使上部电极 6 和下部电极 2 接触也不流过过电流，不会破坏周边的驱动电路。

一般，超声波诊断装置中使用的阵列型超声波转换器是通过阵列状地排列电声转换元件 9 而构成的。电声转换元件 9 并联连接了多个电容器单元 8，构成电气独立的一个元件。因为本实施方式中的电极短路防止膜 5 的厚度为 100 nm ，所以其单位面积的电阻约为 $1 \text{ M}\Omega \text{ m} \times 100 \text{ nm} = 0.1 \Omega \text{ m}^2$ 。另外，因为在超声波诊断装置中最广泛使用的超声波频率为数 MHz ，所以电声转换元件 9 的电容器部分的面积作为数量级约为 1 mm^2 左右。因此，空隙部损坏上部电极 6 接触下部电极 2 时的分流电阻的大小，在全面接触电阻最小的情况下为 $0.1 \Omega \text{ mm}^2 \times 1 \text{ mm}^2 = 100 \text{ k}\Omega$ 左右。该大小足够防止由分路电流破坏驱动电路等周边电路或线路。因此，即使上部电极 6 和下部电极 2 接触，也不

流过过电流，不会破坏周边的驱动电路等。

图 6 表示本实施方式的超声波诊断装置的结构例子，所述超声波诊断装置使用了排列多个电声转换元件而构成的阵列型超声波转换器。如图 6 所示，并联连接多个包含下部电极 2 和上部电极 6 构成的电容器单元 8 来构成电声转换元件 9。另外，排列多个电声转换元件 9 来构成阵列型超声波转换器 10。这里，电声转换元件 9 具有作为独立执行电子电路的电声转换的单位元件的作用。这里，电声转换元件 9 的下部电极 2 共同接地，而上部电极 6 具有作为电声转换元件 9 的输入以及输出端子的作用。

由多个这样的电声转换元件构成的阵列型超声波转换器 10 通常在一个硅底板上形成，即集成在一个硅芯片（单芯片化）中。通过单芯片化，可以抑制电声转换元件 9 之间的特性的分散，同时可以谋求提高超声波转换器逐个的位置精度。

另外，如图 6 所示，超声波诊断装置 100 除了阵列型超声波转换器 10 之外，还包含偏置电压控制部 11、发送延迟・重叠选择部 12、发送波波束成形器 13、切换 SW（开关）组 14、收发序列控制部 15、接收波波束成形器 20、滤波器 21、包络线信号检测器 22、扫描转换器 23 等周边电路、显示部 24 等周边装置。

这里，电声转换元件 9 的各个上部电极 6 通过切换 SW 组 14 与偏置电压控制部 11、发送波波束成形器 13 以及接收波波束成形器 20 连接。切换 SW 组 14 在构成对于电声转换元件 9 的驱动电路的同时，控制输入/输出等信号的切换。此外，其中的切换 SW 组 14 或发送波波束成形器 13 等，特别以高电压的电路部分为中心，集成在与上述已单芯片化的阵列型超声波转换器 10 相同的硅芯片内。

偏置电压控制部 11 控制通过切换 SW 组 14 施加在上部电极 6 上的 DC 电压。另外，发送波波束成形器 13 在收发序列控制部 15 的控制下，遵照发送延迟・重合选择部 12 的指示形成规定的输出超声波信号。另外，接收波波束成形器 20 在收发序列控制部 15 的控制下，根据上部电极 6 的电压信号再生接收超声波的信号。然后，由接收波波束成形器 20 再生了的接收超声波的信号经过滤波器 21、包络线信号检测器 22，输入到扫描转换器 23，由扫描

转换器 23 再生为 2 维图像，并在显示部 24 上进行显示。

图 7 表示在使用图 6 的超声波诊断装置形成超声波接收波束时的波束·分布图的例子。此时使用的超声波诊断装置 100 的阵列型超声波转换器 10 是把 64 个宽度为 0.25 mm 的电声转换元件 9 排成一列的设备。然后在距离该阵列型超声波转换器 10 80 mm 的地方形成接收波束。

在图 7 中，用实线表示的分布图是由本实施方式的电声转换元件 9（对电极短路防止膜 5 给予了微弱的导电性的元件）组成的阵列型超声波转换器 10 所形成的接收波束·分布图。另外，为了参考用虚线表示的分布图如现有技术那样由把电极短路防止膜 5 作为绝缘体的电声转换元件 9 组成的阵列型超声波转换器 10 所形成的接收波束·分布图。无论是哪种情况都生成了 -6 dB、宽 5 mm 左右的主波束，对于空间分辨能力可以实现相同程度的性能。

但是，在后者的情况下，即电极短路防止膜 5 在为通常的绝缘（几乎没有导电性）氮化硅（ Si_3N_4 ）的情况下，对于每一电声转换元件 9 在电极短路防止膜 5 上带不同的电荷量，因此信息收发灵敏度对于每一电声转换元件 9 极为分散。该灵敏度的分散在对于声压的电信号的 AC 电压成分与 DC 电压偏置成分相比格外小的情况下，特别显著地变大。另外，为提高接收灵敏度，夹持空隙部 4 的上下层即将接触之前施加的 DC 偏置电压越高，电极短路防止膜 5 上带的电荷量变化越频繁，所以灵敏度也频繁漂移。因此，修正每个电声转换元件 9 的灵敏度的分散十分困难。

再有，在夹持空隙部 4 的上下层即将接触之前的 DC 偏置电压条件下，因为其上下层接近，所以空隙部 4 的厚度显著变小。因此，即使不施加 DC 偏置电压时的空隙部 4 的厚度的每个电声转换元件 9 的相对分散小，但在动作时，即在夹持空隙部 4 的上下层即将接触之前的 DC 偏置电压条件下，也显现出空隙部 4 的厚度的大的相对分散。由此，因为越来越产生电极短路防止膜 5 上的 DC 偏置电场的大的分散，所以电极短路防止膜 5 上带的电荷量的分散及其漂移的问题变得更加深刻。

在图 7 中用虚线表示的分布图是上述电极短路防止膜 5 带电的分散引起的每一电声转换元件 9 的接收灵敏度的分散达到 $\pm 30\%$ 时的接收波束·分布图。根据该分布图，在主波束的周围，以中央的主波束为基准的音响噪音级

达到 -30 dB 左右，作为近年来要求显示高精细图像的超声波诊断装置中使用的接收波束，达到了不能容许的水平。

另一方面，在本实施方式中，因为使用在化学计量方面过多包含硅的氮化硅形成了电声转换元件 9 的电极短路防止膜 5，所以可以消除向电极短路防止膜 5 的带电的分散的问题。因此，可以抑制每个电声转换元件 9 的接收灵敏度分散，图 7 中用实线表示的分布图是把每个电声转换元件 9 的接收灵敏度抑制到 $\pm 2\%$ 时的接收波束·分布图。根据该分布图，在主波束的周围，把以中央的主波束为基准的音响噪音级抑制到小于等于 -50 dB 。该接收波束的音响噪音级即使对于近年来要求显示信息收发动态范围为 $80\sim 100\text{ dB}$ 的高精细的图像的超声波诊断装置 100 来说，也可足够胜任。

如上所述，在本实施方式中，使用在化学计量方面过多包含硅的氮化硅形成电声转换元件 9 的电极短路防止膜 5，并给予其电气时间常数比 1 秒短比 10 微秒长的导电性，由此可以防止向电极短路防止膜 5 的带电的分散。其结果，因为能够抑制电声转换元件 9 的元件特性的漂移，进而可以抑制接收灵敏度的分散，所以可以实现具有超声波断层摄影用的充分的接收灵敏度的，而且其分散十分小的电声转换特性的电声转换元件 9。然后，通过使用多个这样的电声转换元件 9，可以实现兼具能够充分胜任近年来超声波诊断装置所要求的性能的音响噪音级和收发灵敏度的阵列型超声波转换器 10。

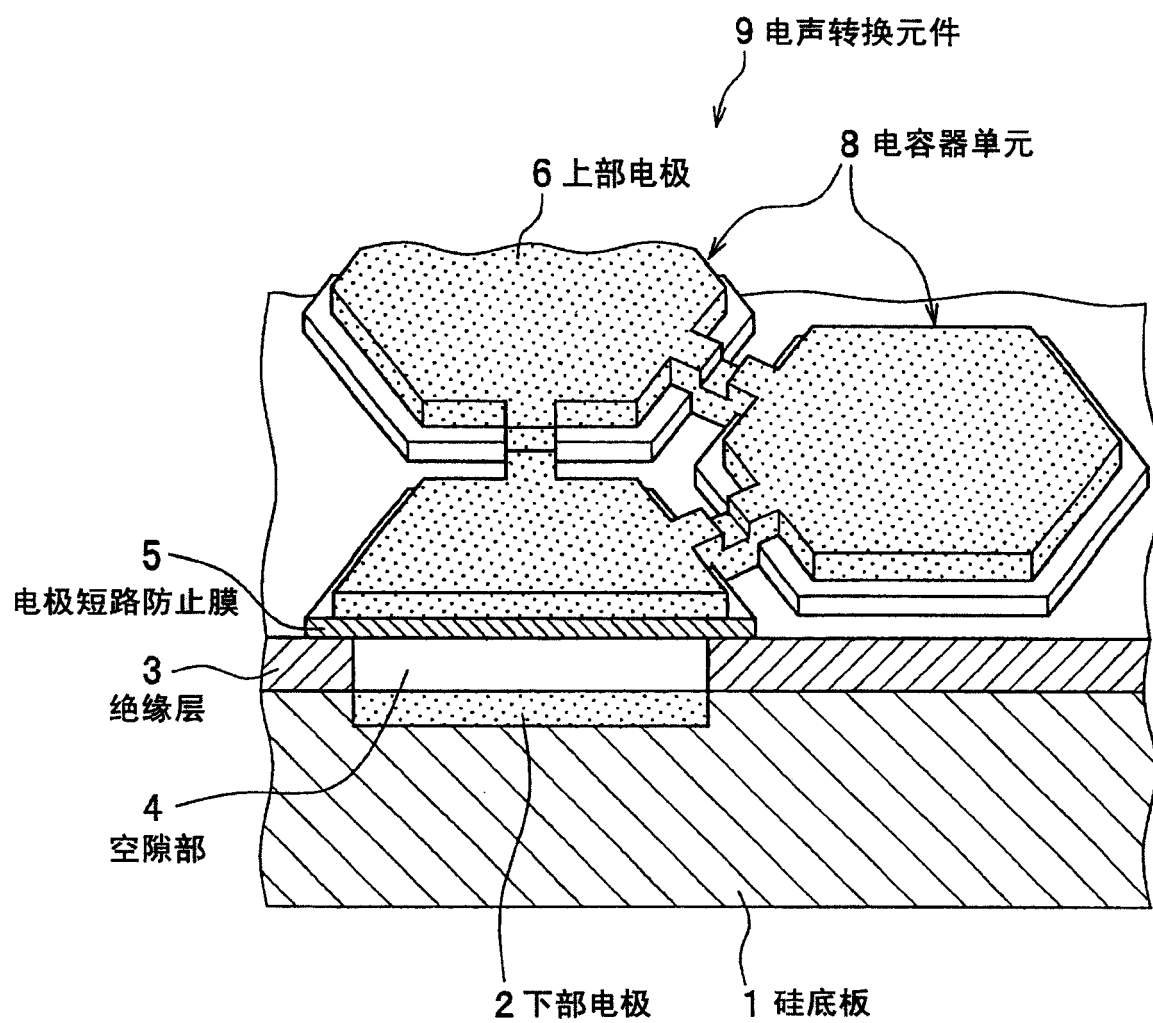


图 1

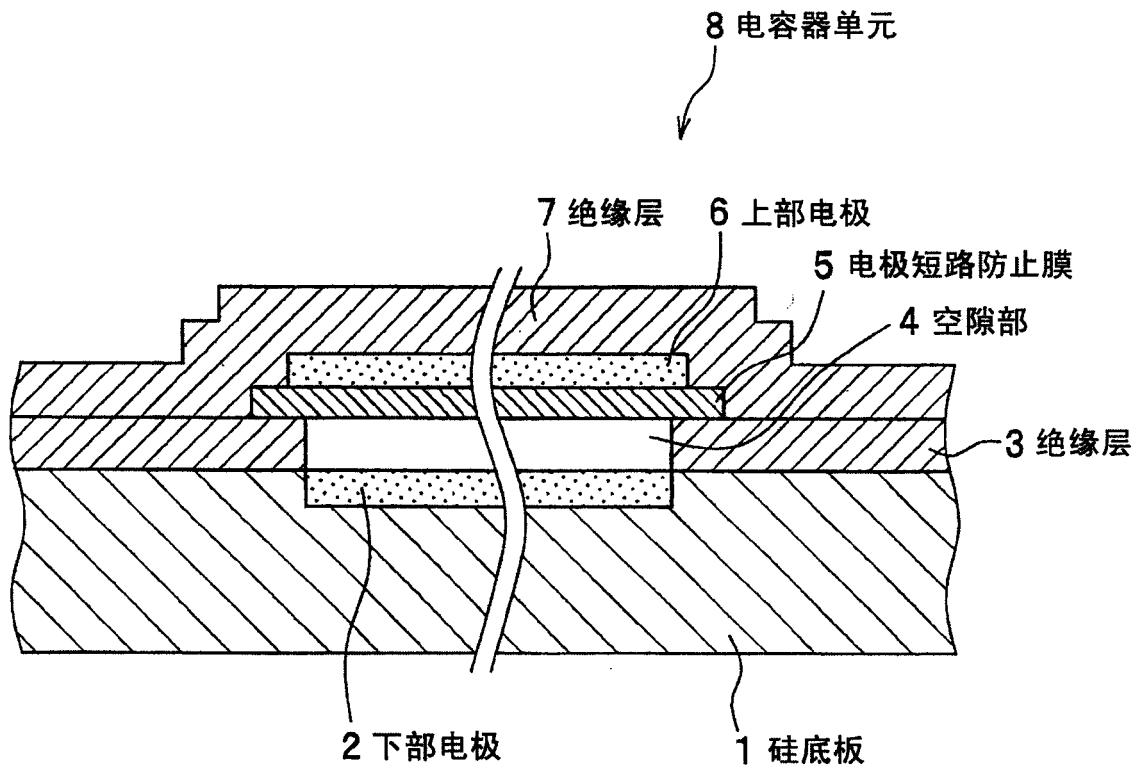


图 2

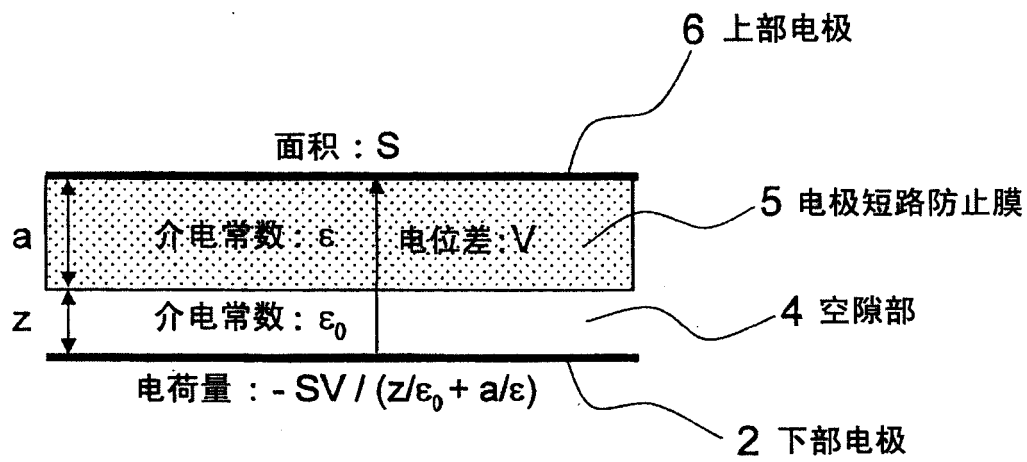


图 3

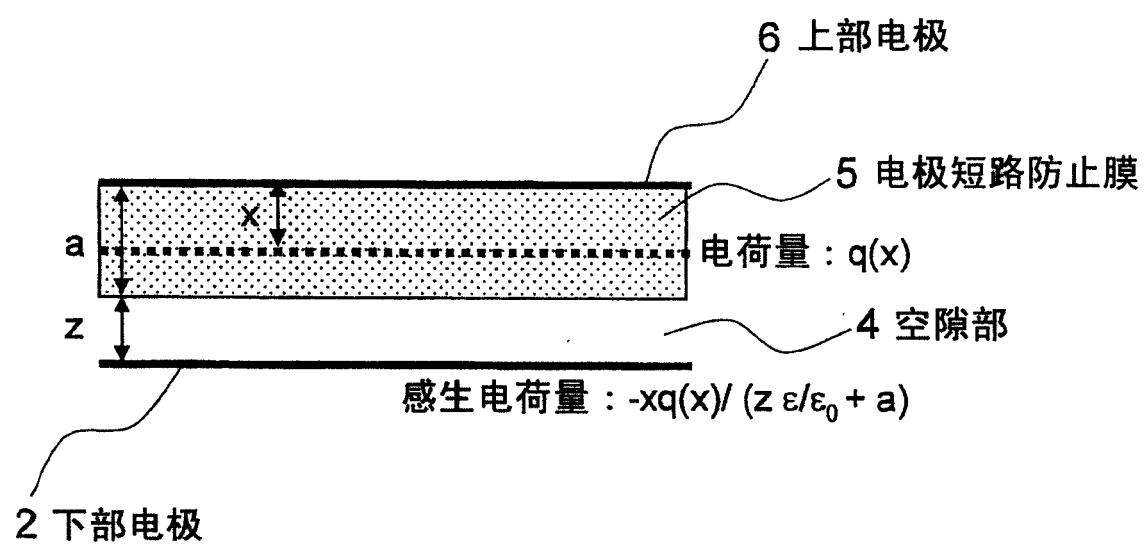


图 4

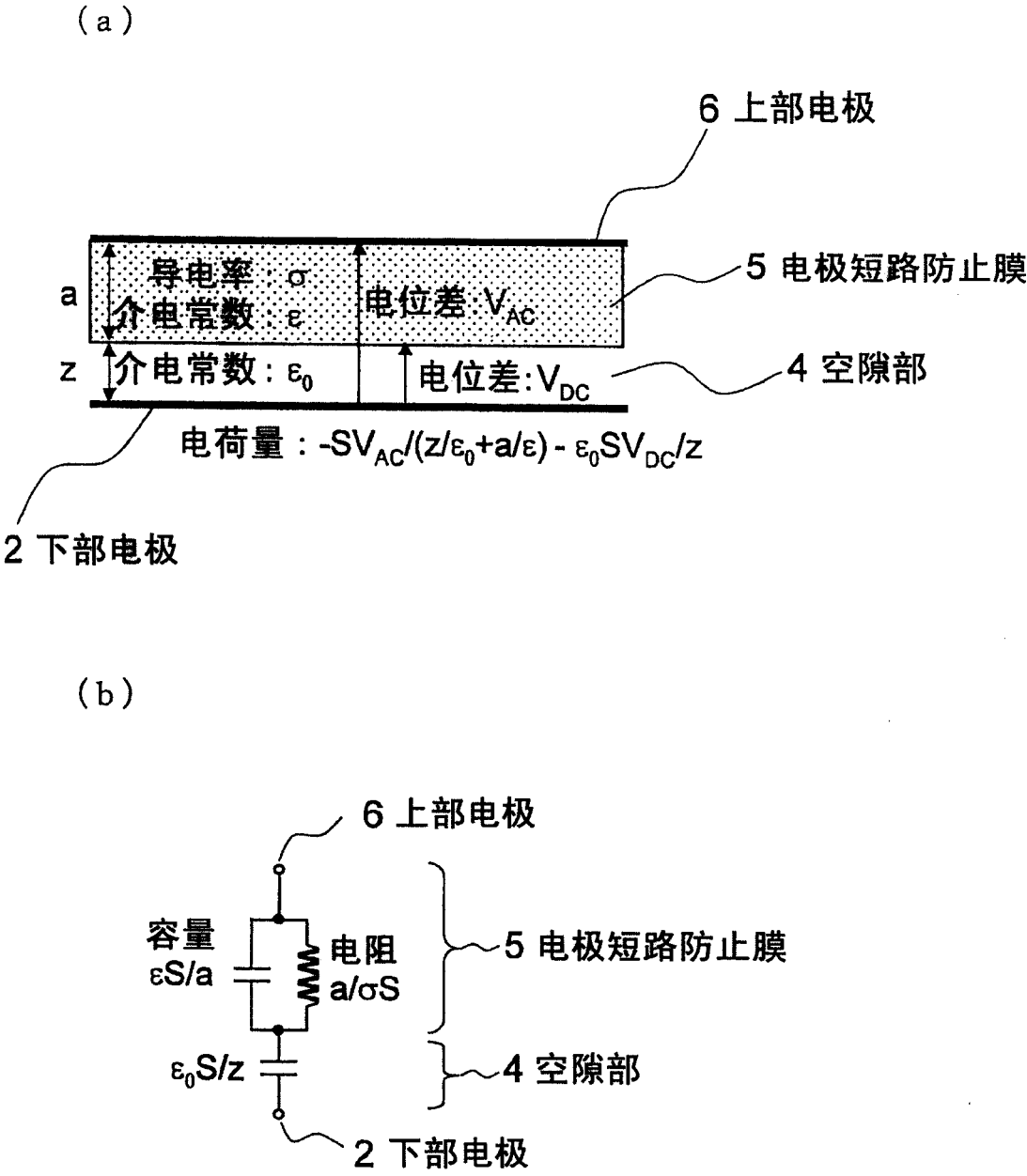


图 5

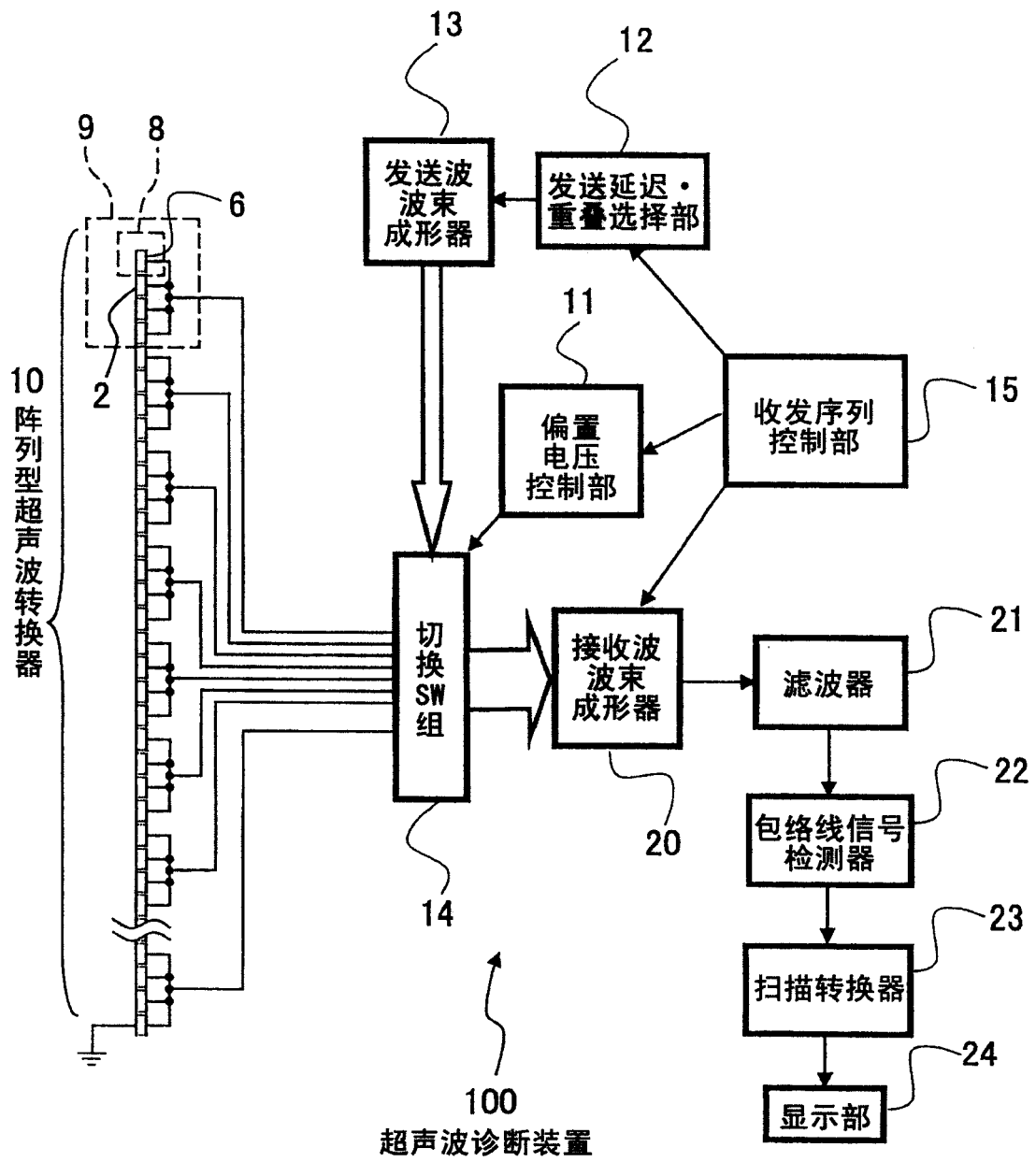


图 6

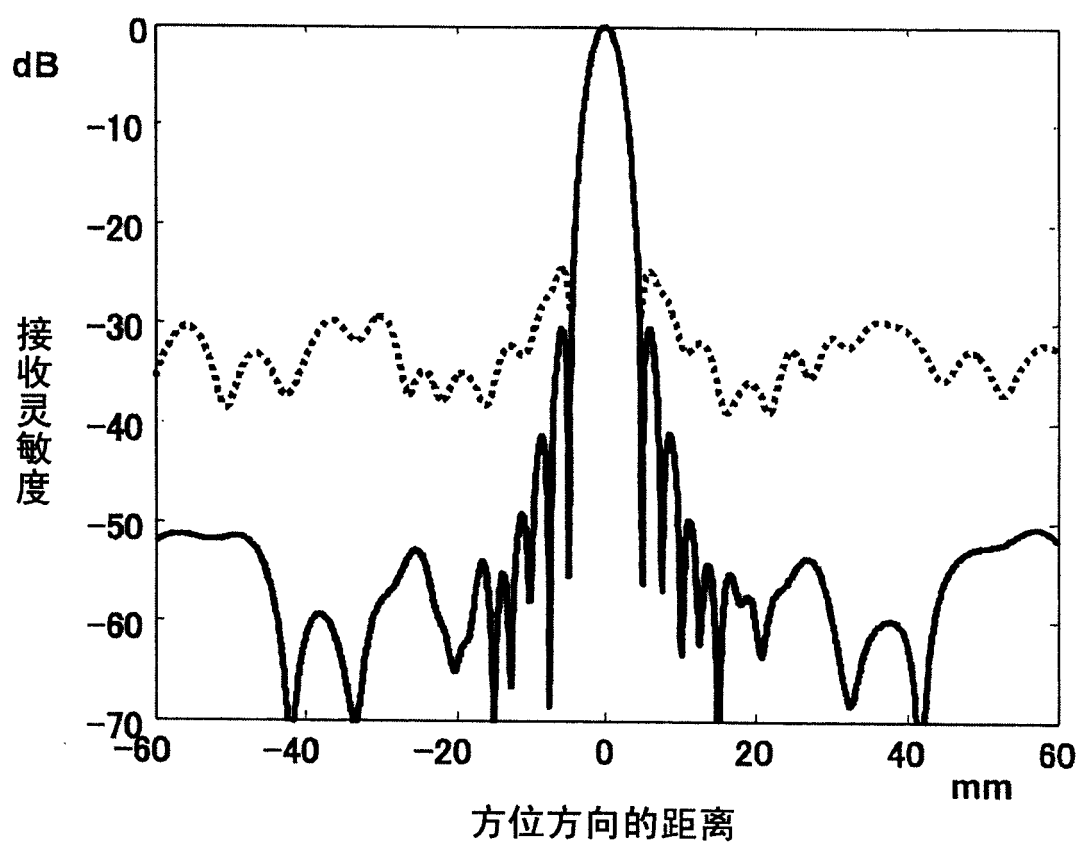


图 7

专利名称(译)	电声转换元件、阵列型超声波转换器以及超声波诊断装置		
公开(公告)号	CN1886006A	公开(公告)日	2006-12-27
申请号	CN200610002116.4	申请日	2006-01-16
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
当前申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	梅村晋一郎 东隆 永田达也 福田宏 峰利之 町田俊太郎		
发明人	梅村晋一郎 东隆 永田达也 福田宏 峰利之 町田俊太郎		
IPC分类号	H04R17/00 A61B8/00 H04R19/00		
CPC分类号	B06B1/0292		
优先权	2005179959 2005-06-20 JP		
其他公开文献	CN1886006B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明的目的在于在使膜片型电声转换元件的电声转换特性稳定的同时，降低使用该电声转换元件构成的超声波诊断装置的噪音级。由在硅底板(1)上所形成的下部电极(2)和在其上部夹持空隙部(4)的上部电极(6)形成的电容器单元(8)构成电声转换元件(9)，使用电气时间常数比1秒短且比10微秒长的材料，例如在化学计量方面过多包含硅的氮化硅形成在上部电极(6)的空隙部(4)一侧形成的电极短路防止膜(5)。其结果，电极短路防止膜(5)因为变得具有微弱的导电性，所以可以防止向电极短路防止膜(5)的带电或其漂移。其结果，电声转换元件(9)的电声转换特性稳定，而且超声波诊断装置的音响噪音级降低。

