

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01H 59/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610057057.0

[45] 授权公告日 2009年2月4日

[11] 授权公告号 CN 100459010C

[22] 申请日 2006.3.17

[21] 申请号 200610057057.0

[30] 优先权

[32] 2005.3.18 [33] JP [31] 2005-080536

[73] 专利权人 欧姆龙株式会社

地址 日本京都府

[72] 发明人 佐野浩二 木村勇 城岛正男

[56] 参考文献

CN1417826A 2003.5.14

EP1426992A2 2004.6.9

审查员 杜睿

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 黄纶伟

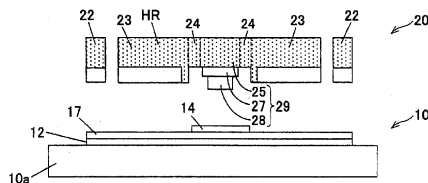
权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 26 页

[54] 发明名称

静电微开关及其制造方法、以及具有静电微开关的装置

[57] 摘要

静电微开关及其制造方法、以及具有静电微开关的装置。本发明的课题是提供可以维持高频特性、同时防止驱动电压上升或动作速度下降的静电微开关。作为解决手段，本发明的静电微开关通过设置在固定基板(10)上的固定电极(12)和弹性支撑在固定基板(10)上的可动基板(20)中的可动电极(23)之间的静电引力，使可动基板(20)变位，由此进行设置在固定基板(10)上的信号线(14)和设置在可动基板(20)上的可动触点(28)之间的通断。可动基板(20)由包含多种电阻率的半导体构成，在可动电极(23)中，与固定电极(12)相对的部分为低电阻率。此外，在可动基板(20)中与信号线(14)相对的部分为高电阻率。



1. 一种静电微开关，其特征在于，
所述静电微开关由以下部分构成：
固定电极，其设置在固定基板上；
可动基板，其包含与所述固定电极相对配置的可动电极、并且弹性支撑在所述固定基板上；
固定侧信号导通部，其设置在所述固定基板上；以及
可动侧信号导通部，其设置在所述可动基板上，通过所述可动电极和所述固定电极之间的静电引力使所述可动基板变位，由此进行所述可动侧信号导通部与所述固定侧信号导通部之间的通断，
其中，所述可动基板由具有电阻率不同的多个区域的半导体构成，
所述可动基板中至少所述可动侧信号导通部为高电阻率，并且，
所述可动电极的至少一部分为低电阻率。
2. 如权利要求 1 所述的静电微开关，其特征在于，
所述可动基板的至少所述可动侧信号导通部及其周围部分为高电阻率。
3. 如权利要求 2 所述的静电微开关，其特征在于，
所述周围部分是在所述可动基板中从所述可动侧信号导通部起到外侧至少 $100\ \mu\text{m}$ 的部分、以及在所述可动基板中从与所述固定侧信号导通部相对的部分起到外侧至少 $100\ \mu\text{m}$ 的部分。
4. 如权利要求 1 所述的静电微开关，其特征在于，
所述可动基板是将具有所述可动电极的低电阻率的半导体基板和具有所述可动侧信号导通部的高电阻率的半导体基板接合而成的。
5. 如权利要求 1 所述的静电微开关，其特征在于，
所述可动电极的低电阻率区域是通过掺杂而形成的。
6. 如权利要求 1 所述的静电微开关，其特征在于，
所述高电阻率为大于等于 $800\ \Omega\text{cm}$ 。
7. 如权利要求 1 所述的静电微开关，其特征在于，

所述低电阻率为小于等于 $300 \Omega \text{ cm}$ 。

8. 一种无线机，其特征在于，

所述无线机由天线、内部处理电路、以及连接在所述天线和所述内部处理电路之间的静电微开关构成，

所述静电微开关由以下部分构成：

固定电极，其设置在固定基板上；

可动基板，其包含与所述固定电极相对配置的可动电极、并且弹性支撑在所述固定基板上；

固定侧信号导通部，其设置在所述固定基板上；以及

可动侧信号导通部，其设置在所述可动基板上，通过所述可动电极和所述固定电极之间的静电引力使所述可动基板变位，由此进行所述可动侧信号导通部与所述固定侧信号导通部之间的通断，

其中，所述可动基板由具有电阻率不同的多个区域的半导体构成，

所述可动基板中至少所述可动侧信号导通部为高电阻率，并且，所述可动电极的至少一部分为低电阻率。

9. 一种静电微开关的制造方法，包括：

在固定基板上设置固定电极以及固定侧信号导通部的步骤；

在高电阻率的半导体基板的一部分上形成低电阻率区域的步骤；

加工所述半导体基板而形成可动基板的步骤；

在所述可动基板上设置可动侧信号导通部的步骤；以及

将所述可动基板与所述固定基板接合为一体的步骤。

10. 如权利要求 9 所述的静电微开关的制造方法，其特征在于，

在形成所述低电阻率区域的步骤中，对所述高电阻率的半导体基板的与所述固定电极相对的区域进行掺杂而形成低电阻率区域。

11. 如权利要求 9 所述的静电微开关的制造方法，其特征在于，

在形成所述低电阻率区域的步骤中，除去所述高电阻率的半导体基板的与所述固定电极相对的区域，在除去后的区域中形成低电阻率的半导体膜。

静电微开关及其制造方法、以及具有静电微开关的装置

技术领域

本发明涉及通过静电引力驱动而进行通断的静电微开关及其制造方法、以及具有静电微开关的装置。本发明特别涉及进行高频信号的通断的静电微开关等。

背景技术

作为现有的静电微开关，参照图 20~图 26 说明专利文献 1 中所记载的 RF-MEMS (Radio Frequency Micro Electro Mechanical Systems, 射频微机电系统) 元件。

图 20 (a)、(b) 表示上述 RF-MEMS 元件的概要。图示的 RF-MEMS 元件 81 组装在高频电路中，作为共面线路的开关元件而工作。RF-MEMS 元件 81 具有基板 82，在该基板 82 上形成有作为高频信号传输用的线路的共面线路 (CPW 线路) 83。该共面线路 83 按照由两个地线 83g1、83g2 隔着间隔夹住信号线 83s 的方式配置而成。

此外，在基板 82 上设有可动体 84。可动体 84 被配置为隔着间隔位于共面线路 83 的上方侧，并且与共面线路 83 的信号线 83s、地线 83g1、83g2 的一部分共同相对。该可动体 84 经由梁 85 和支撑部 89 支撑在基板 82 上，可以相对于基板 82 在远近方向上移位。此外，在可动体 84 的基板 82 侧的面上形成有可动电极 86。

图 21 (a) 简化表示了从上方侧看到的可动电极 86 和共面线路 83 之间的配置关系例，图 21 (b) 表示了从横向看该可动电极 86 和共面线路 83 的配置关系例。如图所示，可动电极 86 形成为从共面线路 83 的地线 83g1 经过信号线 83s 跨到地线 83g2，并且隔着间隔与这些线路 83s、83g1、83g2 相对。

再返回图 20 (a)、(b)，在可动电极 86 的表面上形成有保护用的绝

缘膜 87。而且，在基板 82 上，在与可动体 84 相对的部位形成有与可动体 84 相对的可动用固定电极 88 (88a、88b)。

在上述结构的 MEMS 元件 81 中，通过作为电极的可动体 84 和可动用固定电极 88a、88b 构成使可动体 84 变位的可动体变位单元。即，从外部对可动体 84 和可动用固定电极 88 之间施加直流电压时，在该可动体 84 和可动用固定电极 88 之间产生静电引力。如图 20 (b) 所示，可动体 84 由于该静电引力而被拉向可动用固定电极 88 侧。这样，可通过可动体 84 和可动用固定电极 88，利用静电引力使可动体 84 变位。可动电极 86 和共面线路 83 之间的静电电容由于该变位而变化，从而可以进行共面线路 83 的信号导通的通/断。

此外，由于上述结构的 MEMS 元件 81 是使用 MEMS 技术而制造的，所以可以实现小型且高频（传输）特性良好的低损耗的静电微开关。

而且，在专利文献 1 中，可动体 84 由电阻率在 $1\text{ k}\Omega\text{ cm}\sim 10\text{ k}\Omega\text{ cm}$ 的范围内的高电阻半导体构成。高电阻半导体是指具有下述性质的电阻率高的半导体，即：可针对高频信号（例如约 5 GHz 以上的信号）作为绝缘体而工作、针对低频信号（例如约 100 kHz 以下的信号）以及直流信号作为电极而工作。即，由高电阻半导体构成的可动体 84 可针对高频信号具有良好的介质损耗特性、针对直流信号（直流电压）作为电极而工作。

[专利文献 1] 日本特开 2003-258502 号公报（2003 年 9 月 12 日公开）

在上述的静电微开关中存在以下的问题。即，为了使可动体 84 变位，而向可动体 84 和可动用固定电极 88 之间施加直流电压时，如图 20 (b) 所示，在可动体 84 中，在与可动用固定电极 88 相对的区域中形成耗尽层 90 (90a、90b)。

使用图 22 以及图 23 所示的模型对上述现象进行详细的说明。图 22 (a) 以及图 23 (a) 是将可动体 84 和可动用固定电极 88 的相对部分模型化成电容器的图，图 22 (b) 以及图 23 (b) 是由等效电路表示该模型的图。对于该模型，由于可动体 84 和可动用固定电极 88 之间的间隙 91

成为绝缘体、可动体 84 是半导体,所以成为了作为晶体管一种形式的 MIS 结构(金属—绝缘体—半导体)。

图 22 (a)、(b) 表示了未在可动体 84 和可动固定电极 88 之间施加直流电压的状态。在该情况下,如图 22 (b) 所示,电容器的总电容 C 与可动体 84 和可动固定电极 88 隔着间隙 91 形成的电容器的电容 C_0 相等。

另一方面,图 23 (a)、(b) 表示了可在可动体 84 和可动固定电极 88 之间施加了直流电压的状态。在该情况下,如图 23 (a) 所示,在由半导体构成的可动体 84 中,在与可动固定电极 88 相对的区域中形成耗尽层 90。因此,成为在可动体 84 内形成了新的电容器的状态,如图 23 (b) 所示,该电容器成为与隔着间隙 91 形成的上述电容器串联连接的状态。从而,电容器的总电容降低为 $1/C = (1/C_0) + (1/C_s)$,所以间隙 91 间的电压降低。

而且,以 C_0 对图 22 以及图 23 所示的 MIS 结构的电容 C 进行归一化的公式如下。

$$[\text{式 1}]$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_i^2}{qN_aX_0^2\varepsilon_{si}} V} \right\} \dots\dots (1)$$

这里,各标号的意思如下。即, ε_0 : 真空的介电常数, ε_i : 绝缘体的介电常数, q: 电子的电荷量, N_a : 载流子浓度, X_0 : 绝缘体的厚度, ε_{si} : 半导体的介电常数, V: 施加电压。

图 24 是基于上述式 (1), 对硅半导体的电阻率进行各种变化而示出 C/C_0 比和施加电压 V 之间的关系的曲线图。参照该图可知,随着半导体的电阻率的上升, C/C_0 比减小。即,电阻率高时,耗尽层增大,电容 C_s 的值也增大。从而,电阻率越高则电容 C_s 所引起的间隙 91 间的压降越大。因此,为了使作为高电阻半导体的可动体 84 进行所希望的动作,与使可动体 84 为低电阻半导体的情况相比,需要在可动体 84 和可动固定电极 88 之间施加高的直流电压。

此外,图 25 是用等效电路表示如图 20 (b) 所示那样由直流电源 92

向可动体 84 和可动用固定电极 88 之间施加了直流电压的状态的图。图示中，上述的标号以外的各标号的意思如下。即，R：可动体 84 的电阻， V_c ：电容器的端子电压， V_R ：电阻的端子电压， i_c ：流过可动体 84 的电流。

图 25 所示的电路为 RC 电路，所以下式成立。

[式 2]

$$V_c = V \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right) \quad \dots\dots (2)$$

这里，上述的标号以外的各标号的意思如下。即， e ：自然对数的底， t ：时间。由上述式 (2) 可知，电阻 R 和电容 C 之积增大时，电压 V_c 接近 V 的时间 t 增长。

此外，图 26 是表示在图 25 所示的等效电路中，将电容器的电容 C 设为 $1 \mu F$ 时的电阻 R 与电容器的端子电压 V_c 成为 V 的时间 t 之间的关系的曲线图。如图所示，可知，随着电阻 R 增大，电容器的充电时间增长。即，如果作为可动体 84 的半导体的电阻率增大，则电容器的充电时间增长。

而且，如果向可动体 84 和可动用固定电极 88 之间施加直流电压，则可动体 84 接近可动用固定电极 88，所以电容器的电容 C 增大。因此，根据上述式 (2)，电容器的充电时间进一步增长。由此，静电微开关的动作速度降低。

另一方面，为了避免这些问题，考虑了降低可动体 84 的电阻率的方法。但是在该情况下，高频信号的传输特性降低。

发明内容

本发明就是鉴于上述问题而提出的，其目的在于提供在维持高频特性的同时不引起驱动电压上升或动作速度降低等的特性恶化的静电微开关等。

为了解决上述课题，本发明的静电微开关，通过设置在固定基板上的固定电极和弹性支撑在所述固定基板上的可动基板中的可动电极之间

的静电引力使所述可动基板变位，由此进行设置在所述固定基板上的固定侧信号导通部和设置在所述可动基板上的可动侧信号导通部之间的通断，其特征在于，所述可动基板由包含多种电阻率的半导体构成，所述可动电极的至少一部分为低电阻率，至少所述可动侧信号导通部为高电阻率。

根据上述结构，由于可动电极的至少一部分为低电阻率，所以可抑制可动电极中的耗尽层的产生，可以避免驱动电压的上升，并且可以防止动作速度的降低。此外，由于可动侧信号导通部为高电阻率，所以可以降低插入损耗，可以维持良好的高频特性。

另外，容易在可动电极中与固定电极相对的部分产生耗尽层。因此，所述可动基板优选为在所述可动电极中与所述固定电极相对的部分为低电阻率。

另外，考虑了下述情况：在可动侧信号导通部和固定侧信号导通部中流过高频信号的情况下，由于高频信号，在可动侧信号导通部和固定侧信号导通部的附近产生电场，并传播。在电场传播的部分为低电阻率的情况下，由于电场紊乱而产生插入损耗。

因此，所述可动基板优选为至少所述可动侧信号导通部及其周围部分为高电阻率。在该情况下，可以可靠地降低插入损耗，可以可靠地维持良好的高频特性。

而且，所述周围部分优选为在所述可动基板中、所述可动侧信号导通部和与所述固定侧信号导通部相对的部分起至少到 $100\ \mu\text{m}$ 外侧的部分。在该情况下，可以更可靠地降低插入损耗，可以更可靠地维持良好的高频特性。

此外，在本发明的静电微开关中，所述可动基板优选为将具有所述可动电极的低电阻率的半导体基板和具有所述可动侧信号导通部的高电阻率的半导体基板接合而成。在该情况下，不必为了使所希望的多个区域为不同的低电阻率而对半导体基板进行掺杂，或在半导体基板上形成不同电阻率的半导体膜，所以可以缩短静电微开关的制造所需的时间。

此外，在本发明的静电微开关中，为了降低插入损耗，所述高电阻

率优选为大于等于 800 $\Omega \text{ cm}$ 。

此外，在为了进行电路的通断而具有上述结构的静电微开关的装置中，也可以产生上述的作用效果。另外，作为上述装置的例子，可列举出：将上述结构的静电微开关设成对天线和内部电路之间的电信号进行通断的无线通信机、将上述结构的静电微开关设成对测量对象物和内部电路之间的电信号进行通断的计测器、以及将上述结构的静电微开关设成对内部的电信号进行通断的便携信息终端。

另外，在制造所述可动基板时，针对成为所述可动基板的高电阻率的半导体基板，对与所述固定电极相对的区域进行掺杂，从而实现低电阻率即可。或者，针对成为所述可动基板的高电阻率的半导体基板，除去与所述固定电极相对的区域，在除去后的区域形成低电阻率的半导体膜即可。

如上所述，在本发明的静电微开关中，由于可动电极的至少一部分为低电阻率，所以起到可以避免驱动电压的上升、可以防止动作速度的降低的效果，并且由于可动侧信号导通部为高电阻率，所以起到可以维持良好的高频特性的效果。

附图说明

图 1 是表示作为本发明一种实施方式的静电微开关的结构的分解装配图。

图 2 是上述静电微开关的平面图。

图 3 是沿图 2 的 A-A' 线的剖视图。

图 4 是上述静电微开关中的可动基板的仰视图。

图 5 是沿图 2 的 B-B' 线的剖视图。

图 6 (a) 是表示在固定电极和一个连接盘之间施加了电压时的等效电路的图，图 6 (b) 是表示在固定电极和两个连接盘之间施加了电压时的等效电路的图。

图 7 (a) ~ 图 7 (f) 是表示可动基板的制造工艺的一例的剖面图。

图 8 (a) ~ 图 8 (g) 是表示可动基板的制造工艺的另一例的剖面图。

图 9 是表示关于作为可动基板使用的半导体、调查了电阻率和插入损耗之间的关系的仿真结果的曲线图。

图 10 是表示调查了在上述静电微开关中、所通断的信号频率和插入损耗之间的关系的仿真结果的曲线图。

图 11 是表示调查在上述静电微开关中改变高电阻率区域的宽度时的、所通断的信号频率和插入损耗之间的关系的仿真中所利用的模型的图，图 11 (a) 是剖面图，图 11 (b) 是平面图。

图 12 是表示上述仿真的结果的曲线图。

图 13 是表示驱动上述静电微开关时的响应时间的分布的曲线图。

图 14 是表示作为本发明另一种实施方式的静电微开关的结构图，图 14 (a) 是剖面图，图 14 (b) 是上述静电微开关中的可动基板的仰视图。

图 15 是表示作为本发明又一种实施方式的静电微开关的结构图，图 15 (a) 是剖面图，图 15 (b) 是上述静电微开关中的可动基板的仰视图。

图 16 是表示作为本发明又一种实施方式的静电微开关的结构图，图 16 (a) 是剖面图，图 16 (b) 是上述静电微开关中的可动基板的仰视图，图 16 (c) 是沿图 16 (b) 的 C-C' 线的剖视图。

图 17 是表示作为本发明又一种实施方式的无线通信机的概略结构的方框图。

图 18 是表示作为本发明又一种实施方式的计测器的概略结构的方框图。

图 19 是表示作为本发明又一种实施方式的便携信息终端的要部结构的电路图。

图 20 是表示现有的 RF-MEMS 元件的概要的剖面图，图 20 (a) 表示在上述 RF-MEMS 元件中的可动体和可动固定电极之间未施加电压的状态，图 20 (b) 表示施加了上述电压的状态。

图 21 是简化表示上述 RF-MEMS 元件中的可动电极和共面线路之间的配置关系例的图，图 21 (a) 是平面图，图 21 (b) 是剖面图。

图 22 (a) 是模型化表示在上述可动体和上述可动用固定电极之间未施加电压的状态的图, 图 22 (b) 是其等效电路图。

图 23 (a) 是模型化表示在上述可动体和上述可动用固定电极之间施加了电压的状态的图, 图 23 (b) 是其等效电路图。

图 24 是在图 23 (b) 所示的等效电路中, 对硅半导体的电阻率进行各种变化而示出 C/C_0 比与施加电压 V 之间的关系的曲线图。

图 25 是表示由电源向上述可动体和上述可动用固定电极之间施加了电压的状态的等效电路图。

图 26 是表示在图 25 所示的等效电路中, 电阻 R 和时间 t 之间的关系的曲线图。

具体实施方式

(实施方式 1)

参照图 1~图 13 说明本发明的一种实施方式。图 1~图 3 表示本实施方式的静电微开关的结构, 图 1 是分解装配图, 图 2 是平面图, 图 3 是沿图 2 的 A-A' 线的剖面图。此外, 图 4 是静电微开关中的可动基板的仰视图。另外, 对图中相同部件标以相同的标号。

静电微开关 1 是在固定基板 10 的上面将可动基板 20 形成一体而成的。固定基板 10 是在玻璃基板 10a 的上面分别设置固定电极 12 和两个信号线 (固定侧信号导通部) 13、14 而成的。关于固定电极 12, 表面被绝缘膜 17 覆盖, 经由配线 12a1 与连接盘 12b1、12b2 连接, 经由配线 12a2 与连接盘 12b3 连接, 经由配线 12a3 与连接盘 12b4、12b5 连接, 并且经由配线 12a4 与连接盘 12b6 连接。信号线 13、14 配置在同一直线上, 互相相对的端部分别成为以预定间隔设置的固定触点 13a、14a, 其相反侧的端部分别与连接盘 13b、14b 连接。

固定电极 12 相隔预定距离而在信号线 13、14 的两侧形成, 并且兼用作高频 GND 电极, 由此构成了共面结构。此外, 位于信号线 13、14 的两侧的固定电极 12、12 在信号线 13、14 的固定触点 13a、14a 之间互相连接。由此, 通断信号所产生的电力线在固定触点 13a、14a 之间的高频

GND 电极处终结，所以绝缘特性提高。另外，固定电极 12 被形成为其上表面比信号线 13、14 的上表面更低。

可动基板 20 的结构是：对于大致矩形板状的半导体基板，通过固定部 21a、21b，经由第一弹性支撑部 22、22 来弹性地支撑可动电极 23、23，在中央部经由第二弹性支撑部 24、24 来弹性地支撑触点设置部 25。另外，作为上述半导体基板的例子，举出了硅基板。

固定部 21a、21b 竖立地设置在固定基板 10 的上面两处，分别经由设置在固定基板 10 的上面的配线 16a、15a 与连接盘 16b、15b 电连接。第一弹性支撑部 22、22 由沿着可动基板 20 的两侧缘部设置的缝隙 22a、22a 形成，在端部下面与固定部 21a、21b 形成一体。

可动电极 23 与固定电极 12 相对，由于对两个电极 12、23 之间施加电压所产生的静电引力而被吸向固定电极 12。第二弹性支撑部 24、24 以及触点设置部 25 由从可动基板 20 的两侧缘部中央向着中央部设置的切口部 26a、26b 形成。此外，由于该切口部 26a、26b，可动电极 23 被除去了至少与信号线 13、14 相对的部分。

第二弹性支撑部 24、24 是连接可动电极 23、23 和触点设置部 25 的宽度很窄的梁，构成为在触点闭合时，得到比第一弹性支撑部 22、22 更大的弹力。触点设置部 25 被第二弹性支撑部 24、24 支撑，在其下面隔着绝缘膜 27 设有可动触点（可动侧信号导通部）28。由触点设置部 25、绝缘膜 27 以及可动触点 28 构成了可动触点部 29。可动触点 28 与各固定触点 13a、14a 相对，通过与两个固定触点 13a、14a 闭合，使信号线 13、14 互相电连接。

在本实施方式中，如图 3 以及图 4 所示，在由半导体构成的可动基板 20 的下面、即固定基板 10 的配置侧的表面上与固定基板 10 的固定电极 12 相对的区域成为了低电阻率的区域。由此，可以抑制该区域的耗尽层的产生，可以避免驱动电压的上升。此外，由于可动基板 20 的上述区域为低电阻率，因此可以抑制动作速度的降低。

此外，可动基板 20 中的上述区域以外的区域、即高频信号通过的信号线 13、14 附近的区域成为了高电阻率的区域 HR。由此，可以降低插入

损耗，可以维持良好的高频特性。

另外，在控制半导体的电阻率时，可通过在一定电阻率的半导体基板中，通过离子注入或扩散等，仅对想要改变电阻率的部分选择性地掺入必要量的杂质来实现。

此外，在如图 1~图 4 所示的结构静电微开关 1 的情况下，优选为在可动电极 23 和固定电极 12 之间施加电压时，在可动电极 23 和固定电极 12 的相对的面内均匀地产生静电引力。因此，优选为对与可动电极 23 电连接的固定基板 10 的连接盘 15b、16b 两者施加电压。以下参照图 5 以及图 6 说明其理由。

图 5 是沿图 2 的 B-B' 线的剖面图。在本实施方式中，位于信号线 13、14 的两侧的固定电极 12、12 在固定触点 13a、14a 之间互相连接，但作为由可动电极 23、23 构成的电容器，如该图所示，存在固定部 21a 侧的电容器 C1 和固定部 21b 侧的电容器 C2。

图 6 (a) 表示仅在固定电极 12 和连接盘 16b 之间施加了电压时的等效电路。在图示的情况下，电容器 C1 为在与电源 PS 之间仅串联连接了低电阻成分 LR 的状态，而电容器 C2 为在与电源 PS 之间串联连接了高电阻成分 HR 的状态。因此，如上面参照图 25 以及图 26 所述的那样，电容器 C1 的充电特性没有问题，但电容器 C2 存在充电耗费时间的问题。

另一方面，图 6 (b) 表示了固定电极 12 和连接盘 16b 以及连接盘 15b 两者之间施加了电压时的等效电路。在图示的情况下，电容器 C2 与电容器 C1 同样，成为在与电源 PS 之间串联连接了低电阻成分 LR 的状态。因此，电容器 C2 的充电特性的问题也得到了解决。

接着，说明上述结构的静电微开关 1 的制造方法。特别是，参照图 7 以及图 8 详述可动基板 20 的形成方法。另外，个别的加工方法可以利用通用的 MEMS 工艺或半导体制造工艺，不必使用特有的工艺。

图 7 (a) ~ (f) 表示了可动基板 20 的制造工艺的一例。首先，如图 7 (a) 所示，准备成为可动基板 20 的高电阻率的半导体基板 30，在其下面的不希望低电阻率的区域中用绝缘膜等来形成掩模 31。接着，如图 7 (b) 所示，对于半导体 30 的下表面，实施离子注入或扩散等的掺杂

而使所希望的深度和区域成为低电阻率，然后，如图 7 (c) 所示，除去掩模 31。

接着，为了通过蚀刻来进行厚度的调节或在所希望的位置形成凹部，如图 7 (d) 所示，在不希望蚀刻的区域中用绝缘膜等形成掩模 32，如图 7 (e) 所示，进行蚀刻，然后，如图 7 (f) 所示，通过除去掩模 32 而完成可动基板 20。另外，在要形成的凹部有多个、并且深度不同的情况下，每次形成适当的掩模，重复图 7 (d) ~ 图 7 (f) 所示的步骤即可。

图 8 (a) ~ (g) 表示了可动基板 20 的制造工艺的另外的例子。首先，如图 8 (a) 所示，准备成为可动基板 20 的高电阻率的半导体基板 30，在其下表面的不希望低电阻率的区域中用绝缘膜等形成掩模 31。接着，如图 8 (b) 所示，在半导体基板 30 的下表面的希望低电阻率的区域中进行蚀刻。接着，除去掩模 31 之后，在不希望低电阻率的区域中形成牺牲层 33，然后，如图 8 (c) 所示，通过 CVD (Chemical Vapor Deposition, 化学气相沉积) 等形成所希望的厚度的低电阻率半导体膜 34。接着，通过进行牺牲层 33 的蚀刻，如图 8 (d) 所示，得到嵌入了低电阻区域的半导体基板 30。

然后，与上述同样，为了通过蚀刻来进行厚度的调节或在所希望的位置形成凹部，如图 8 (e) 所示，在不希望蚀刻的区域中用绝缘膜等形成掩模 32，如图 8 (f) 所示，进行蚀刻，然后，如图 8 (g) 所示，通过除去掩模 32 而完成可动基板 20。另外，在要形成的凹部有多个、并且深度不同的情况下，每次形成适当的掩模，重复图 8 (e) ~ 图 8 (g) 所示的步骤即可。

对于如上述那样制造出的可动基板 20，使用通用的 MEMS 工艺形成触点部等之后，与形成了配线等的固定基板 20 接合，使用光刻和蚀刻，形成可动电极 23 以及第一和第二弹性支撑部 22、24，由此完成静电微开关 1。

接着，参照图 9 ~ 图 10 说明上述高电阻率以及低电阻率的范围。图 9 是表示关于作为可动基板 20 使用的半导体、调查了电阻率和作为高频特性之一的插入损耗之间的关系的仿真结果的曲线图。仿真中使用的模

型是本实施方式的静电微开关 1，表示各种特性的数值如下。

即，半导体基板 30 的材料：硅，半导体基板 30 的厚度：20 μm ，半导体基板 30 的相对介电常数：11.36，作为半导体基板 30 的介电损耗特性的 $\tan \delta$ ：0.013，可动基板 20 的可动触点 28 的厚度：1 μm ，可动基板 20 的可动触点 28 的宽度：100 μm ，固定基板 10 的材料：派拉克斯玻璃 (Pyrex, 注册商标)，固定基板 10 的厚度：500 μm ，固定基板 10 的固定触点 13a、14a 的厚度：2 μm ，固定基板 10 的固定触点 13a、14a 的宽度：300 μm ，两个固定触点 13a、14a 的间隔：40 μm 。另外，半导体基板 30 的电阻率设为一种。

参照图 9，可知：半导体的电阻率到 300 Ωcm 为止，插入损耗急剧减少，在 800 Ωcm 处开始饱和，在其以上，缓慢减少。即，作为高电阻率，优选为电阻率大于等于 800 Ωcm 。

图 10 是表示调查了在本实施方式的静电微开关 1 中，所通断的信号频率和插入损耗之间的关系关系的仿真结果的曲线图。在图示中，连接叉标记的曲线表示如图 3 以及图 4 所示、将作为可动基板 20 的半导体的预定部分设为 800 Ωcm 高电阻率、将其余的部分设为 300 Ωcm 的低电阻率的本实施例。另一方面，连接菱形标记的曲线表示将作为可动基板的半导体全部设为 300 Ωcm 的低电阻率的比较例。此外，连接正方形标记的曲线表示将作为可动基板的半导体全部设为 800 Ωcm 的高电阻率的比较例。参照图 10，可知本实施例的静电微开关 1 具有与将作为可动基板的半导体全部设为高电阻率的情况同样优异的高频特性。

另外，如上所述，在本实施方式的动基板 20 中，如图 3 以及图 4 所示，在固定基板 10 的配置侧的面上，高频信号所通过的信号线 13、14 附近的区域成为高电阻率的区域 HR。因此，接着参照图 11 以及图 12 说明在本实施方式的动基板 20 中，应该从与信号线 13、14 相对的区域起把多大范围的区域设为高电阻率区域 HR。

图 11 以及图 12 是表示调查在本实施方式的静电微开关 1 中，改变了高电阻率区域 HR 的大小（宽度）时的、进行通断的信号频率 f 和插入损耗 (Insertion Loss) 之间的关系关系的仿真结果的图。图 11 (a) 关于

该仿真中所利用的模型，简化表示了可动基板 20、可动触点 28、玻璃基板 10a 以及固定触点 13a、14a。此外，图 11 (b) 以可知信号线 13、14 的宽度、间隔、以及配置的方式进行表示。

此外，关于上述模型，高电阻率设为 $800 \Omega \text{ cm}$ 、低电阻率设为 $300 \Omega \text{ cm}$ 。此外，如图 11 (a) 所示，在可动基板 20 中，使从与信号线 13、14 相对的区域起扩大了预定的宽度 W 的区域为高电阻率区域 HR，在该宽度 W 为 0、70、100、130、160 $\mu \text{ m}$ 的情况下，分别进行了上述仿真。

图 12 是表示上述仿真的结果的曲线图。参照该图，可知高电阻率区域 HR 为从与信号线 13、14 相对的区域将宽度 W 扩大 100 $\mu \text{ m}$ 以上的区域即可。认为这是因为由流过信号线的高频信号所产生的电场传播到信号线附近的空间的缘故。从而可知，不论可动基板 20 为何种结构，只要将从与高频信号流过的信号线相对的区域扩大 100 $\mu \text{ m}$ 以上的区域设为高电阻率即可。

另外，在本实施例中，由于固定基板 10 上的信号线 13、14 的宽度 ($290 \mu \text{ m}$) 比可动基板 20 上的可动触点 28 的宽度 ($100 \mu \text{ m}$) 更宽，因此以与信号线 13、14 相对的区域作为基准区域来确定高电阻率区域 HR。但是，在可动触点 28 的宽度比信号线 13、14 的宽度更宽的情况下，以可动触点 28 的区域作为基准区域来确定高电阻率区域 HR 即可。

接着，参照图 13 说明本实施方式的静电微开关 1 的响应时间。图 13 表示了驱动静电微开关时的响应时间的分布。在图示中，灰色的柱状图表示如图 3 以及图 4 所示、将作为可动基板 20 的半导体的预定部分设为 $800 \Omega \text{ cm}$ 的高电阻率、将其余的部分设为 $300 \Omega \text{ cm}$ 的低电阻率的本实施例。另一方面，斜线的柱状图表示将作为可动基板的半导体全部设为 $800 \Omega \text{ cm}$ 的高电阻率的比较例。

参照图 13，可知在将作为可动基板的半导体全部设为高电阻率的情况下，响应时间由于上述的耗尽层形成或 CR 电路的充电特性的影响而变长。相对于此，可知：本实施例的静电微开关 1 将施加驱动电压的部分设为低电阻率，所以上述影响小，其结果是，响应时间缩短到 100 $\mu \text{ sec}$ 以下。

根据上述，可以理解的是：本实施方式的静电微开关 1 具有不引起驱动电压上升或响应速度降低、插入损耗少的优异的高频特性。

另外优选的是，根据对可动基板 20 和固定电极 12 施加电压时在可动基板 20 内生成的耗尽层 90 的厚度，和将可动基板 20 整体的电阻值设为 R 、将可动基板 20 和固定电极 12 之间的电容设为 C 时的 CR 电路的充电特性，来确定必要的低电阻率区域的厚度

这里，通过由可动基板 20 和固定电极 12 模型化得到的 MIS 结构的阈值电压、可动基板 20 的电阻率、真空的介电常数等来求出耗尽层 90 的厚度，而 MIS 结构的阈值电压根据结构体的面积和间隙等的尺寸来确定。此外，可动基板 20 整体的电阻值 R 根据可动基板 20 的电阻率及其分布、可动基板 20 的体积来确定。从而，必要的低电阻率区域的厚度需要考虑可动基板 20 的材料以及结构、可动基板 20 和固定电极 12 之间的位置关系等各种特征来进行设计。

而且，在本实施方式中，低电阻率区域和高电阻率区域之间的边界明确，但当然，只要适当地设定区域的厚度和电阻率，则使电阻率在上述边界缓慢变化，也可以得到同样的效果。

[实施方式 2]

接着，参照图 14 说明本发明的另一种实施方式。本实施方式的静电微开关 1 与图 1~图 5 所示的静电微开关 1 相比，不同之处仅是可动基板 20 中的高电阻率区域和低电阻率区域，其它的结构同样。另外，对于与在上述实施方式中说明的结构具有同样的功能的结构标以相同的标号，并省略其说明。

图 14 是表示本实施方式的静电微开关 1 的结构的图，图 14(a)、(b) 分别与图 3 以及图 4 对应。如图所示，在本实施方式的可动基板 20 中，仅是高频信号流过的信号线 13、14 附近的区域为高电阻率区域 HR，其它的区域为低电阻率。上述结构的可动基板 20 可以通过准备低电阻率的半导体基板、在该半导体基板上的预定区域形成高电阻率的半导体膜来进行制造。

在本实施方式的静电微开关 1 中，也可以起到与上述实施方式同样

的效果。另外，高电阻率区域 HR 的宽度和厚度通过进行图 11 以及图 12 所示的仿真来确定即可。

[实施方式 3]

接着，参照图 15 说明本发明的又一种实施方式。本实施方式的静电微开关 1 与图 1~图 5 所示的静电微开关 1 相比，不同之处仅是可动基板 20 中的高电阻率区域和低电阻率区域，其它的结构同样。另外，对于与在上述实施方式中说明的结构具有同样的功能的结构标以相同的标号，并省略其说明。

图 15 是表示本实施方式的静电微开关 1 的结构的图，图 15(a)、(b) 分别与图 3 以及图 4 对应。如图所示，在本实施方式的可动基板 20 中，从下面流过高频信号的信号线 13、14 附近的区域开始到上面的对应区域为止为高电阻率的区域 HR，其它的区域为低电阻率。在制造上述结构的可动基板 20 时，利用由两个低电阻率的半导体基板夹住高电阻率的半导体基板并接合而成的半导体基板即可。

在本实施方式中，起到与上述实施方式同样的效果，并且不需要如图 7 所示的通过掺杂等进行的电阻率的控制或如图 8 所示那样的半导体膜的形成，因此可以实现制造期间的缩短或制造成本的削减。另外，与上述实施方式同样，为了在可动电极 23 以及固定电极 12 的相对的面内均匀地产生静电引力，优选为对与可动电极 23 电连接的固定基板 10 的连接盘 15b、16b 两者施加电压。

[实施方式 4]

接着，参照图 16 说明本发明的又一种实施方式。本实施方式的静电微开关 1 与图 15 所示的静电微开关 1 相比，不同之处仅在于未形成从可动基板 20 的两侧缘部中央朝向中央部的切口部 26a、26b，其它结构同样。另外，对于与上述实施方式中说明的结构具有同样的功能的结构标以相同标号，并省略其说明。

图 16 是表示本实施方式的静电微开关 1 的结构的图，图 16(a)、(b) 分别与图 15(a)、(b) 对应。此外，图 16(c) 表示了沿图 16(b) 的 C-C' 线的剖面图。如图所示，本实施方式的可动基板 20 与图 15 所示的

可动基板 20 相比, 不形成从可动基板 20 的两侧缘部朝向中央部的切口部 26a、26b, 而成为凹部 26c。

凹部 26c 与信号线 13、14 相对, 由于凹部 26c 为高电阻率, 因此可以维持插入损耗少的优异的高频特性。而且, 由于不设置切口部 26a、26b, 因此不仅提高了刚性、提高了可动基板 20 的强度, 而且由于难以受到可动基板 20 上所形成的绝缘膜 27、可动触点 28 等的膜的残留应力的影响, 所以减小了翘曲的影响, 提高了尺寸精度。

另外, 在上述实施方式中, 说明了通过触点接触而进行开关的静电微开关 1, 但很明显, 将本发明应用于如专利文献 1 中所记载的那样的、通过静电电容的变化进行开关的静电微开关也可以得到同样的效果。

[实施方式 5]

接着, 参照图 17 说明本发明的又一种实施方式。图 17 表示了本实施方式的无线通信机 41 的概略结构。在无线通信机 41 中, 静电微开关 42 连接在内部处理电路 43 和天线 44 之间。通过将静电微开关 42 接通、断开, 内部处理电路 43 在可以通过天线 44 进行发送或接收的状态和不可进行发送或接收的状态之间切换。在本实施方式中, 对于静电微开关 42 利用了图 1~图 16 所示的静电微开关 1。由此, 在静电微开关 42 中, 可以抑制内部处理电路 43 所发送或接收的高频信号的插入损耗, 而不会引起驱动电压的上升或响应速度的降低。

[实施方式 6]

接着, 参照图 18 说明本发明的又一种实施方式。图 18 表示了本实施方式的计测器 51 的概略结构。在计测器 51 中, 多个静电微开关 52 分别连接在从一个内部处理电路 56 到多个测量对象物 58 的多个信号线 57 的中途。通过将各静电微开关 52 接通、断开, 来切换内部处理电路 56 要发送或接收的测量对象物 58。

在本实施方式中, 对于静电微开关 52 利用了如图 1~图 16 所示的静电微开关 1。由此, 在静电微开关 52 中, 可以抑制内部处理电路 56 发送或接收的高频信号的插入损耗, 而不会引起驱动电压的上升或响应速度的下降。

[实施方式 7]

接着，参照图 19 说明本发明的又一种实施方式。图 19 表示了本实施方式的便携信息终端 61 的要部结构。在便携信息终端 61 中，利用了两个静电微开关 62a、62b。一个静电微开关 62a 的作用是在内部天线 63 和外部天线 64 之间进行切换，另一个静电微开关 62b 的作用是在发送电路侧的功率放大器 65 和接收电路侧的低噪声放大器 66 之间切换信号流。

在本实施方式中，对于静电微开关 62a、62b 利用了图 1~图 16 所示的静电微开关 1。由此在静电微开关 62a、62b 中，可以抑制经由功率放大器 65 发送或经由低噪声放大器 66 接收的高频信号的插入损耗，而不会引起驱动电压的上升或响应速度的下降。

如上所述，本发明的静电微开关可以低损耗地通过从直流电流到高频信号，并且可以维持长时间稳定的特性。从而，通过对如上述的无线通信机 41、计测器 51 以及便携信息终端 61 采用本发明的静电微开关，可以抑制内部处理电路中使用的放大器等的负担，同时长时间高精度地传递信号。此外，由于小型且耗电少，因此在电池驱动的无线通信机或便携信息终端、多个使用的计测器等中特别奏效。

另外，在上述实施方式中，将作为可动基板 20 的半导体中的低电阻率部分的电阻率设为 $300 \Omega \text{ cm}$ ，但从响应速度的观点来看，上述低电阻率部分的电阻率越低越好。例如，在 MEMS 元件中通常使用的半导体的电阻率为 $3\sim 4 \Omega \text{ cm}$ 左右，因此可以将这样的半导体用作为上述低电阻率部分。

本发明不限于上述的各实施方式，在权利要求书所限定的范围内可以有各种变更，通过适当组合不同的实施方式中分别公开的技术手段而得到的实施方式也包含在本发明的范围内。

如上所述，本发明的静电微开关可以避免驱动电压的上升，可以防止动作速度的降低，并且可以维持良好的高频特性，所以也可以应用于利用高频信号的其它 MEMS 元件中。

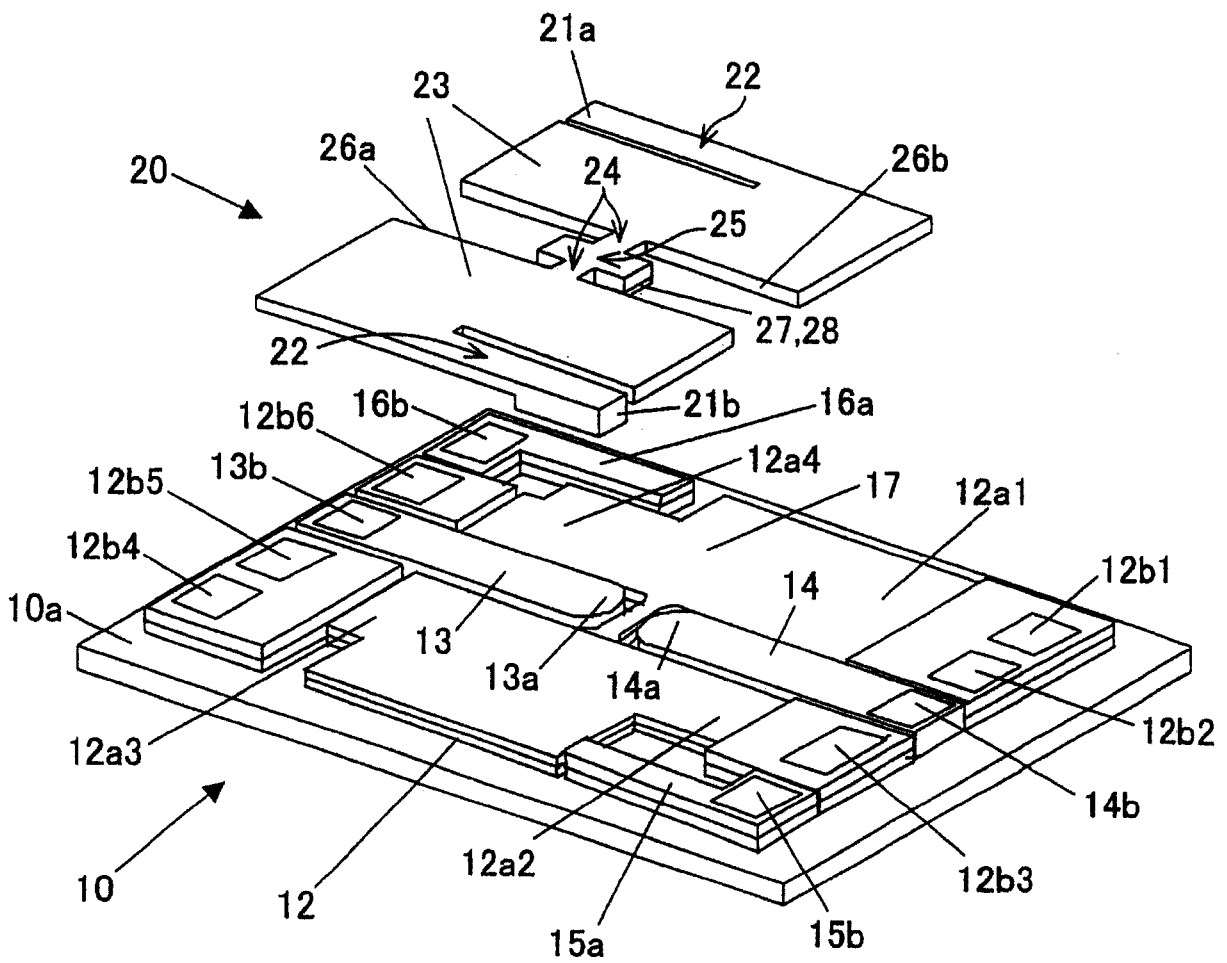


图 1

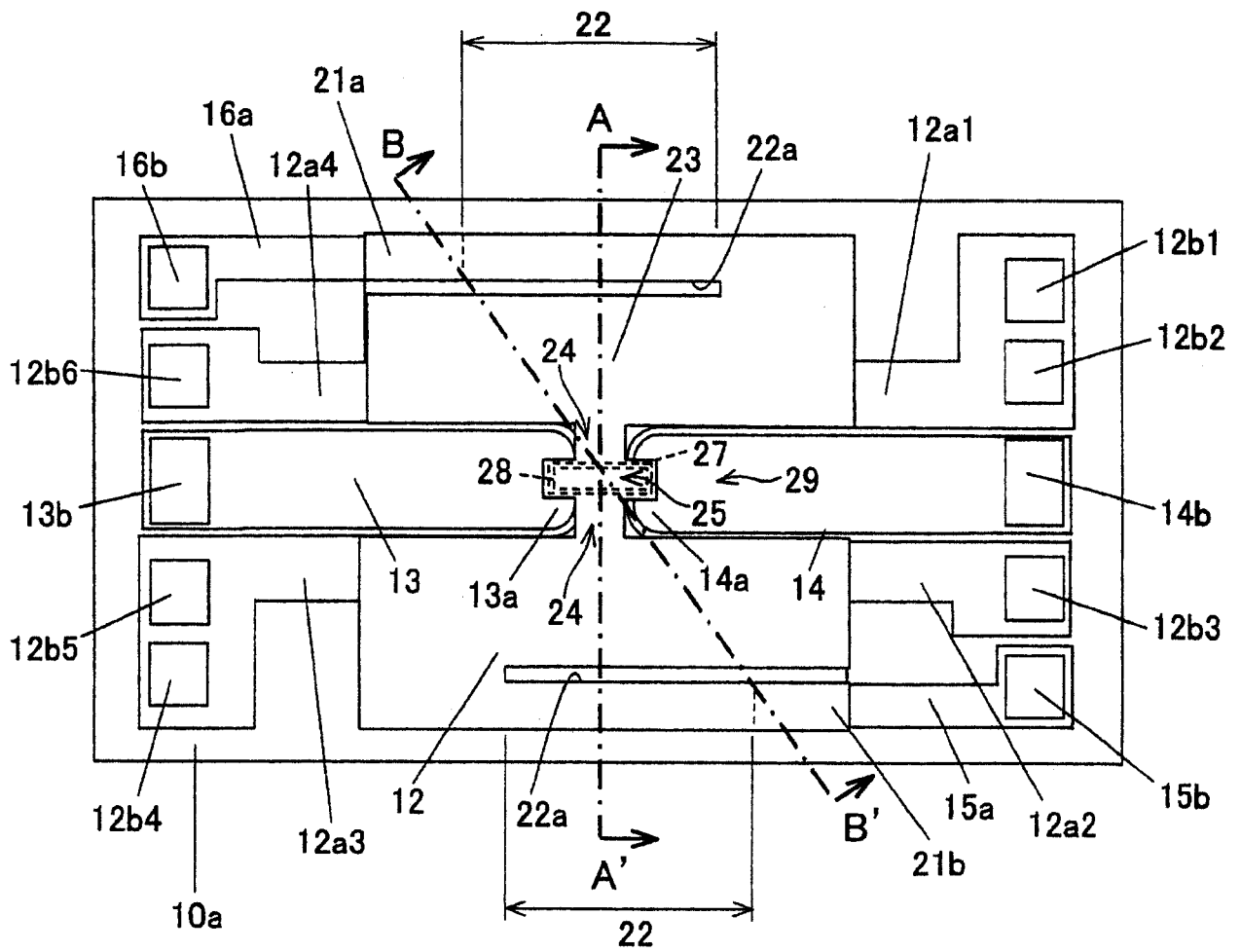


图 2

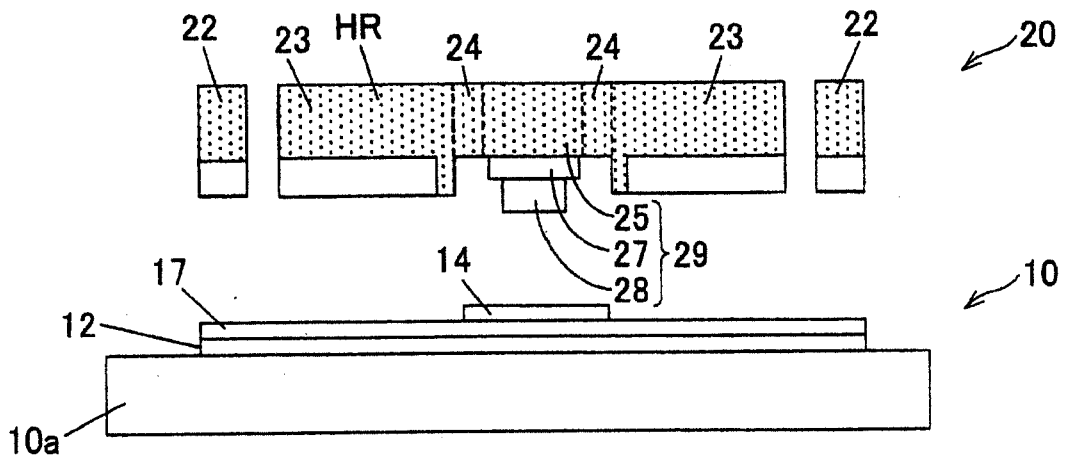


图 3

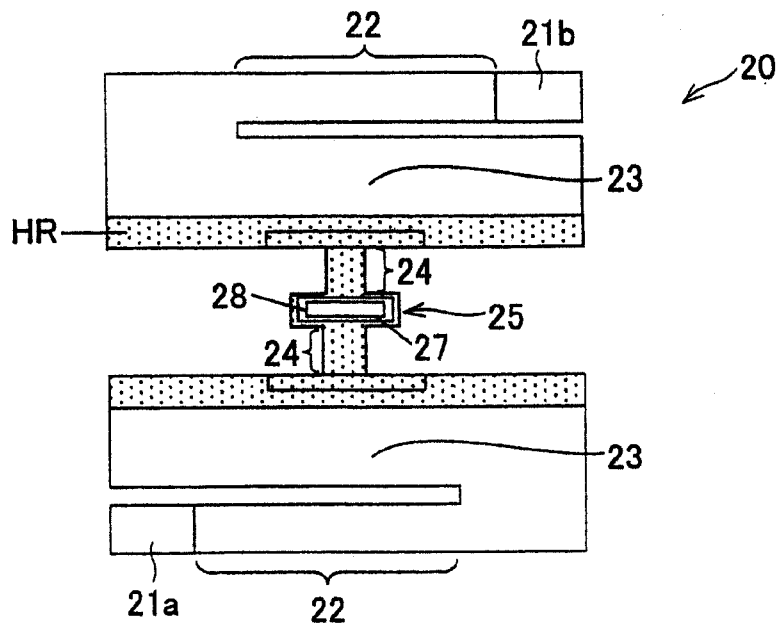


图 4

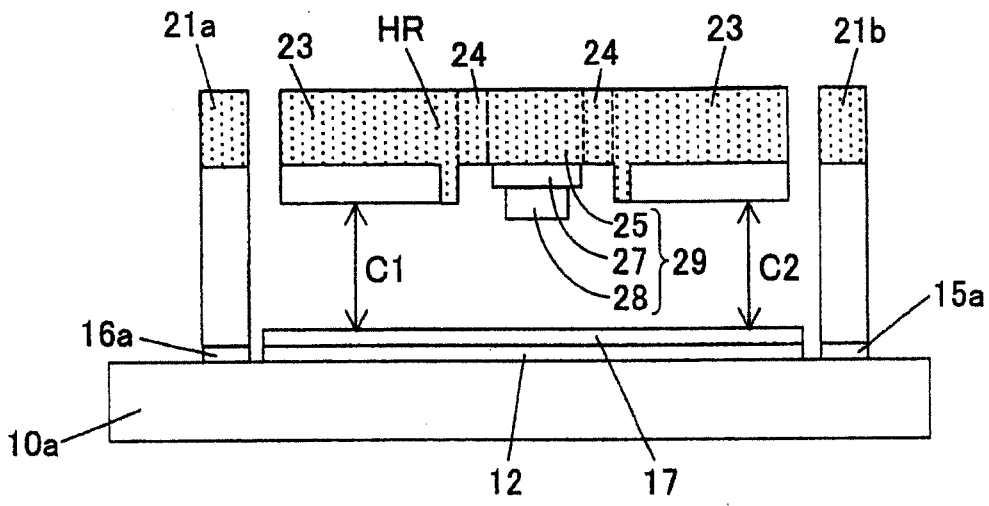


图 5

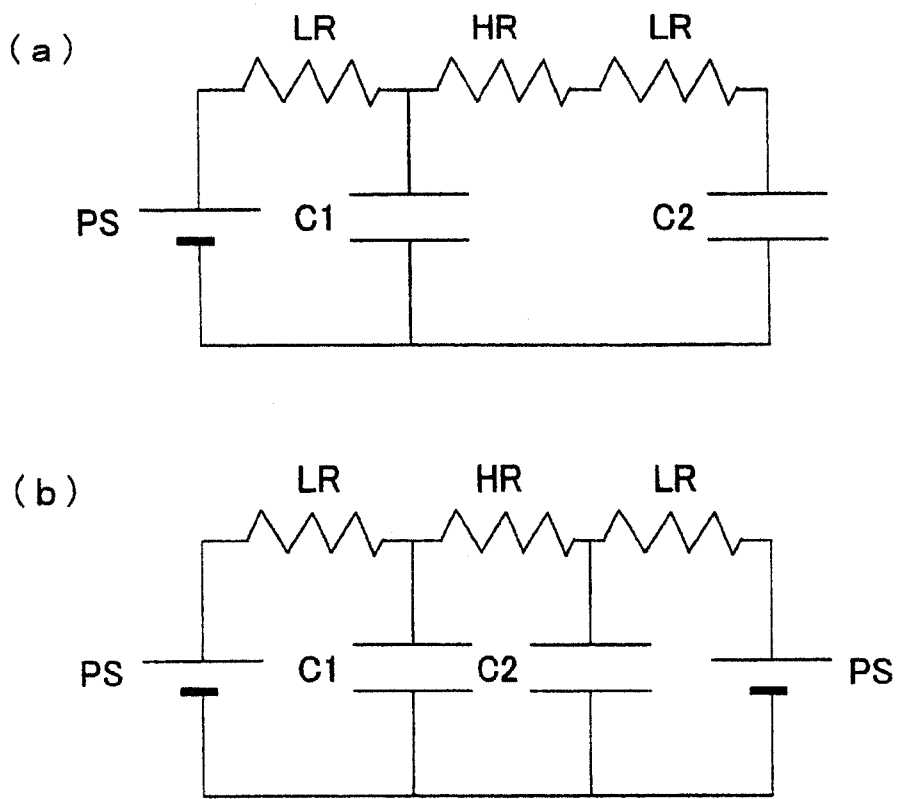


图 6

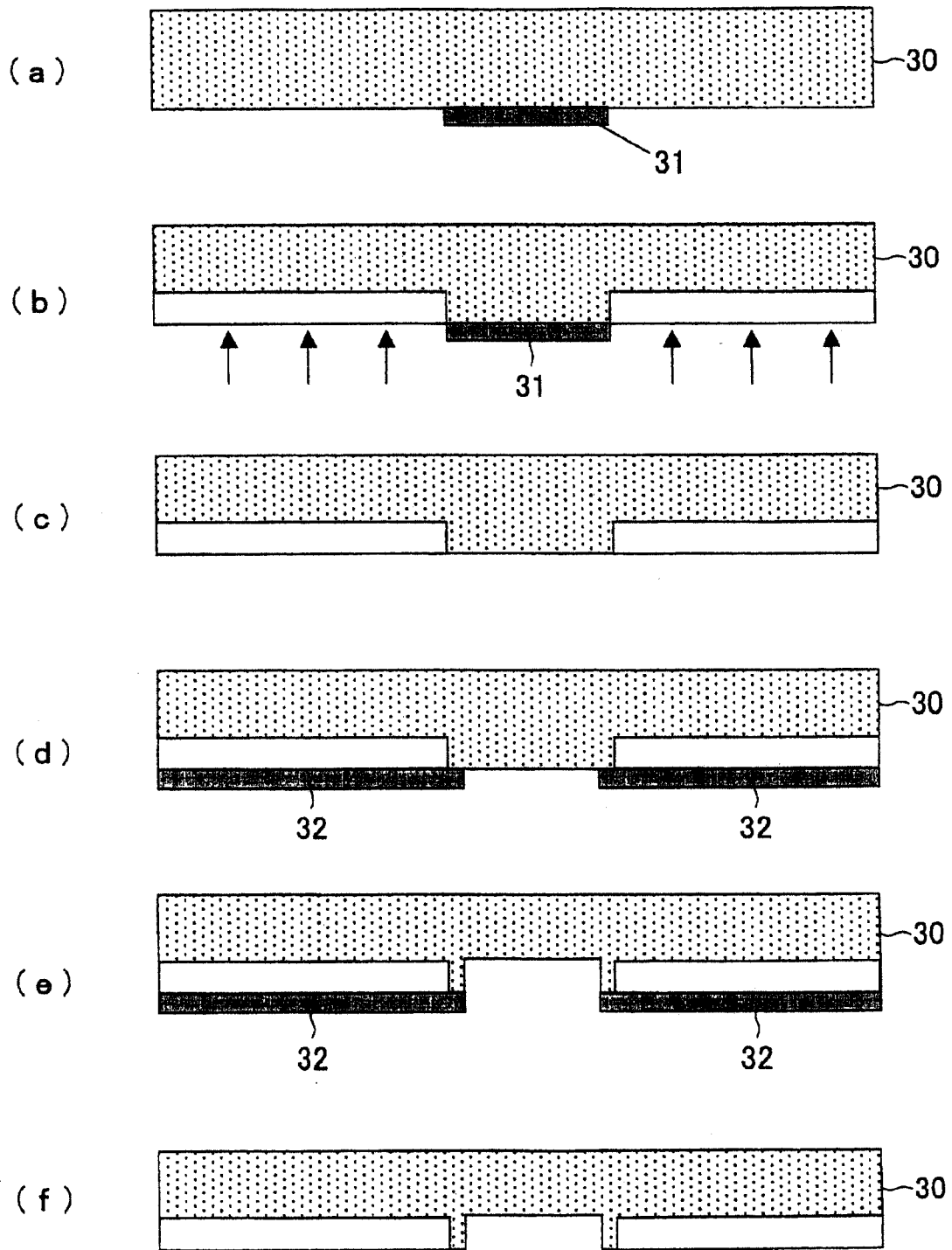


图 7

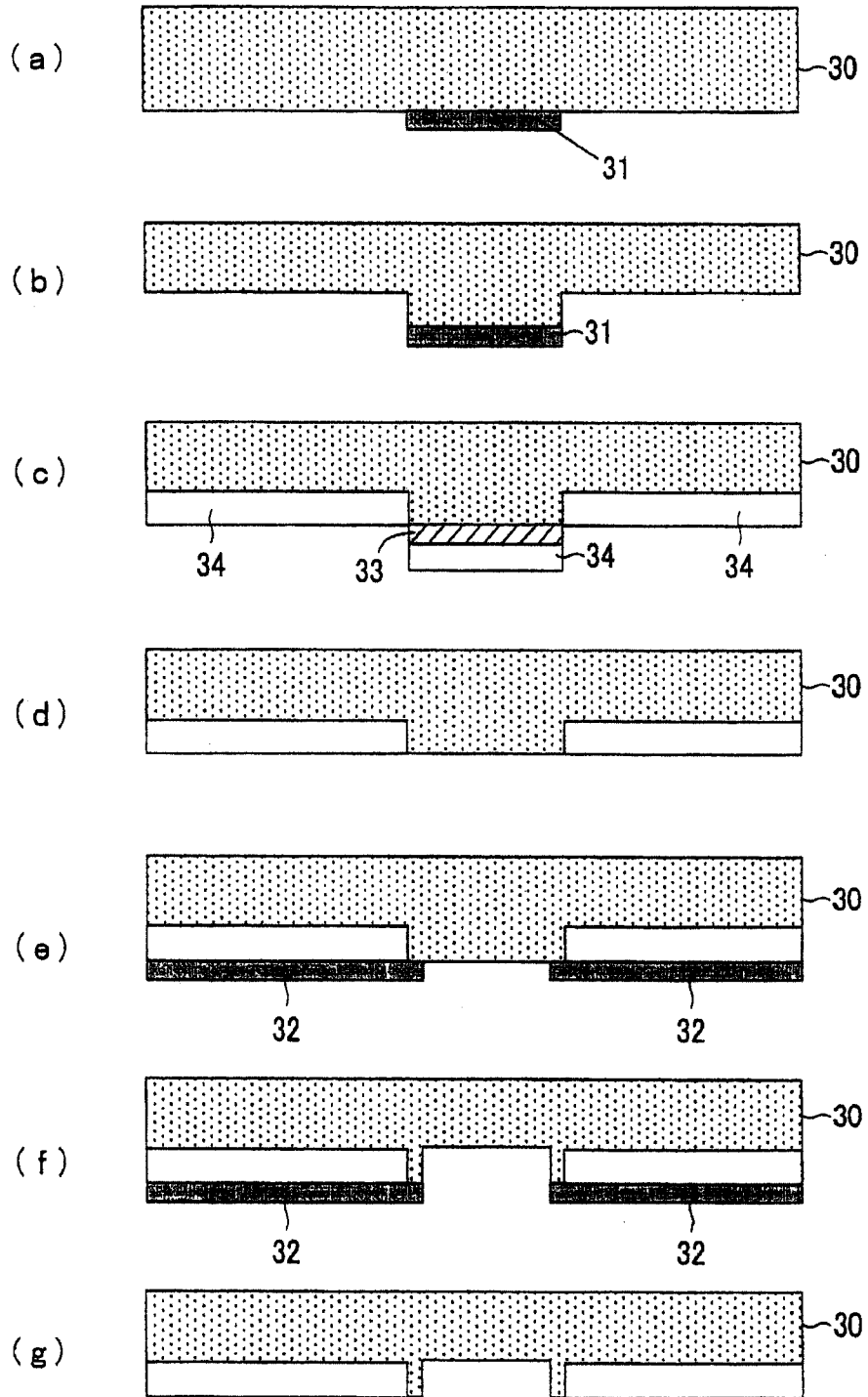


图 8

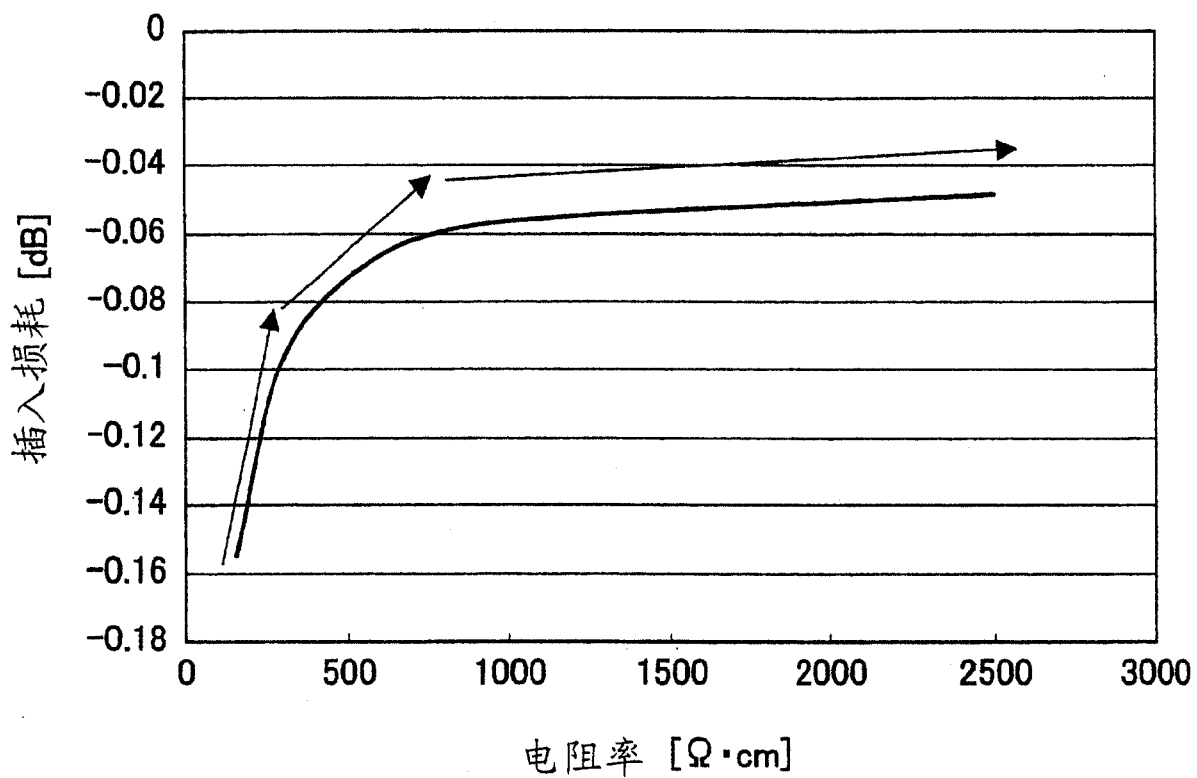


图 9

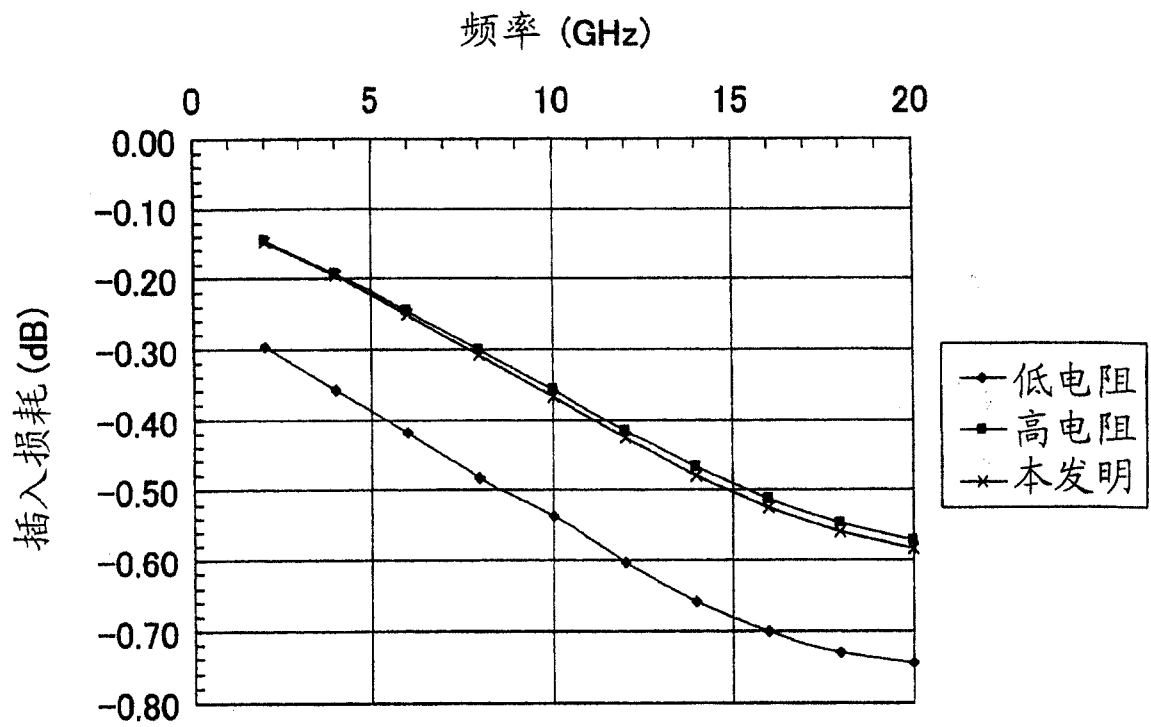


图 10

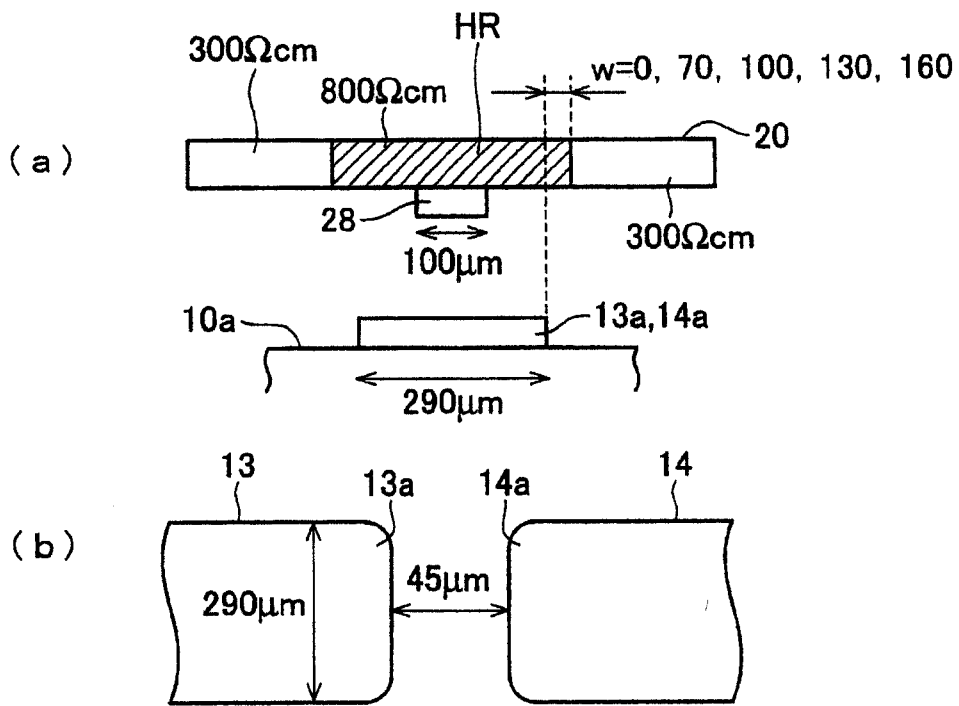


图 11

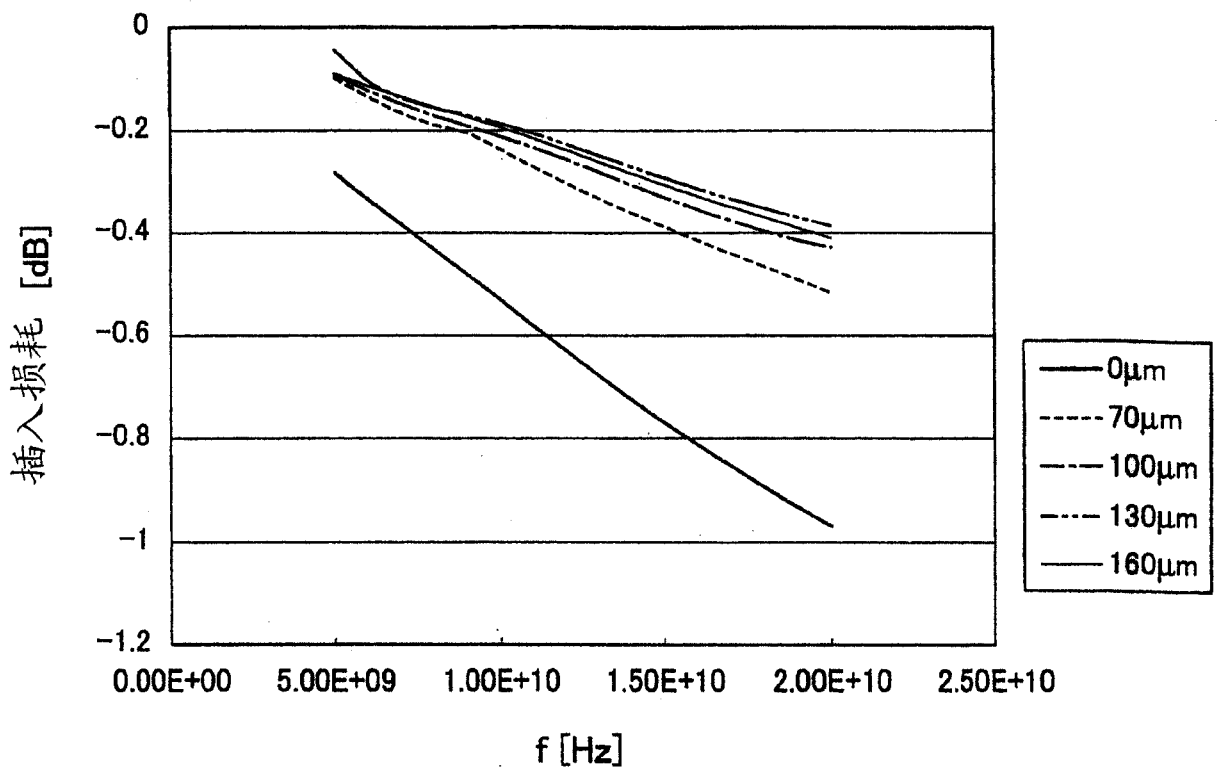


图 12

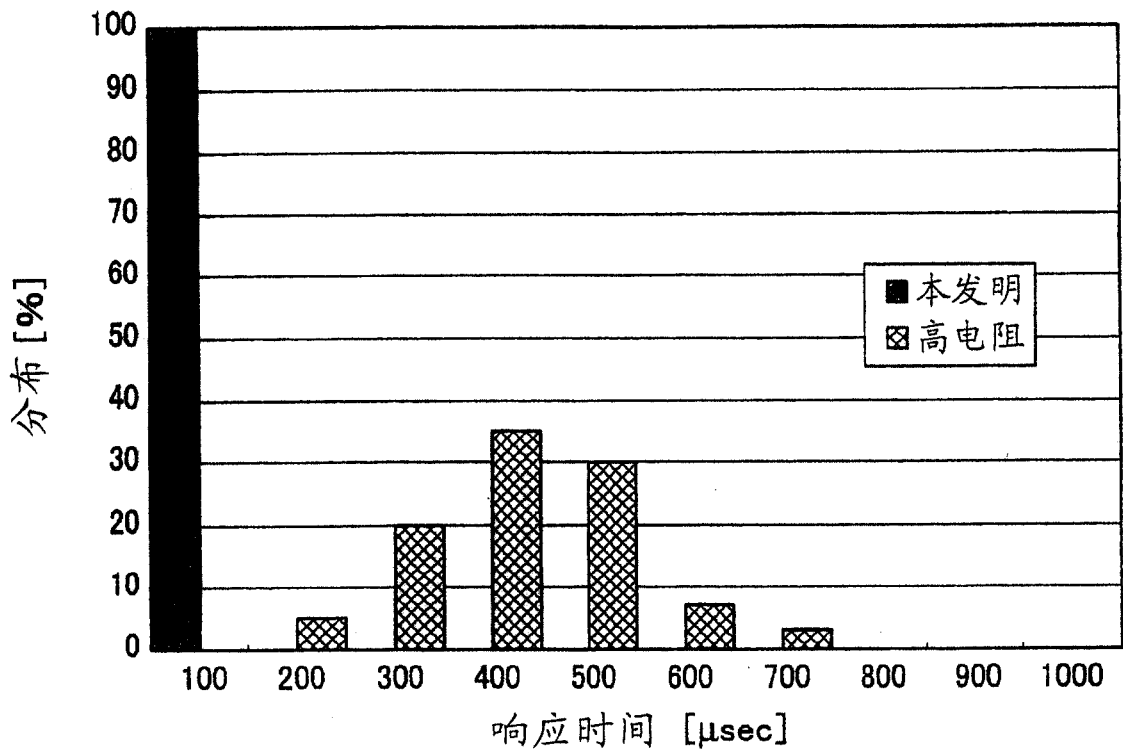


图 13

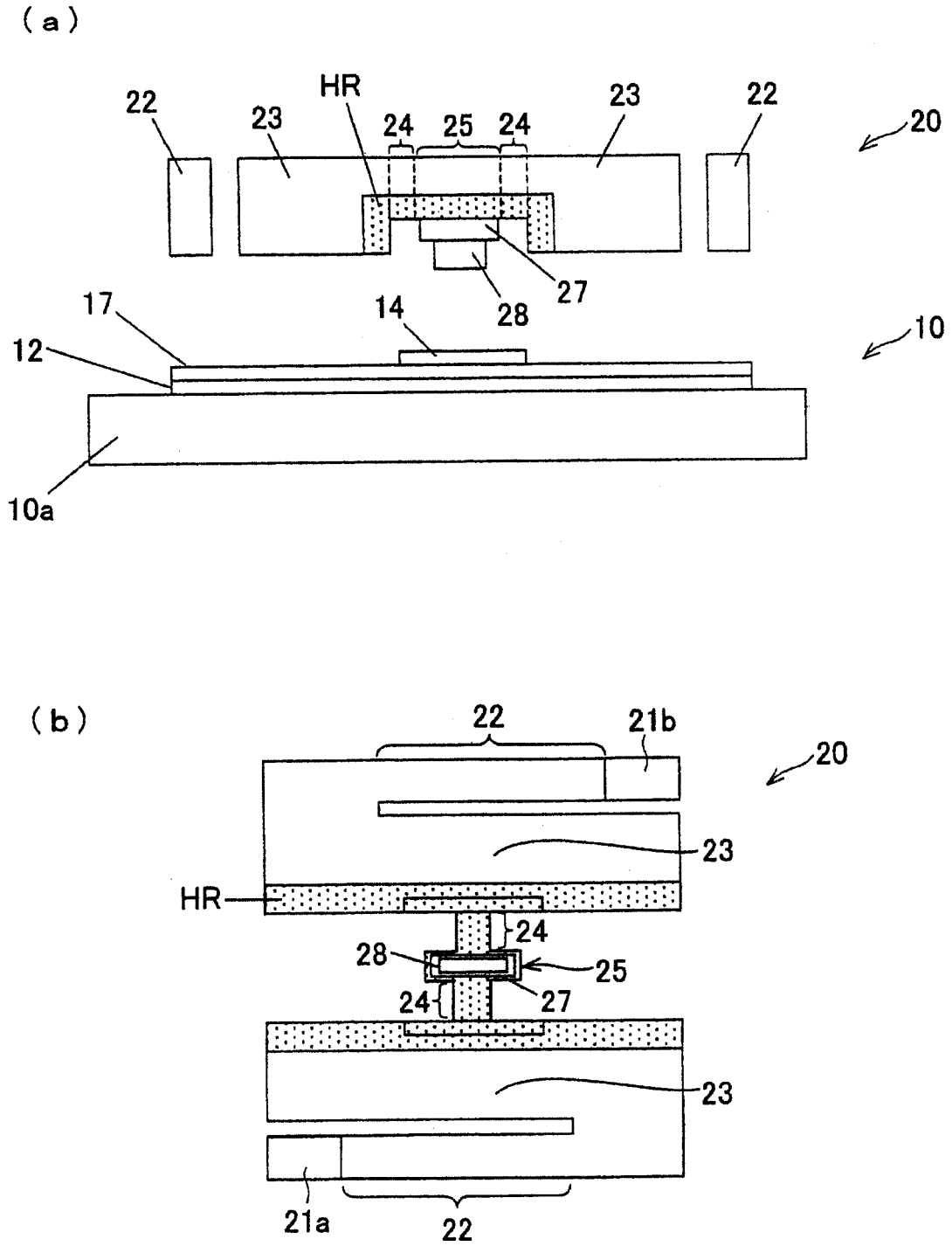


图 14

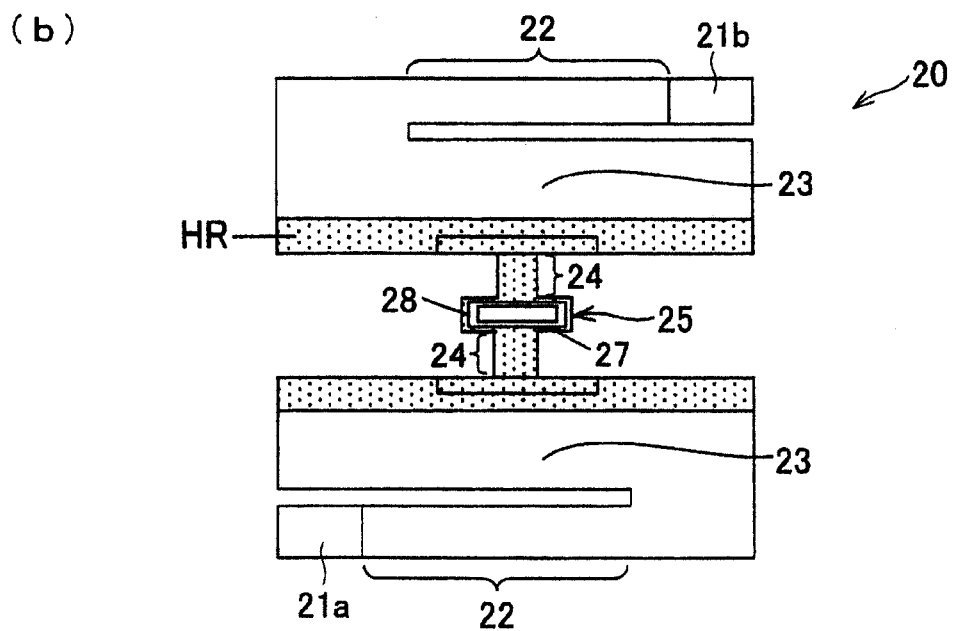
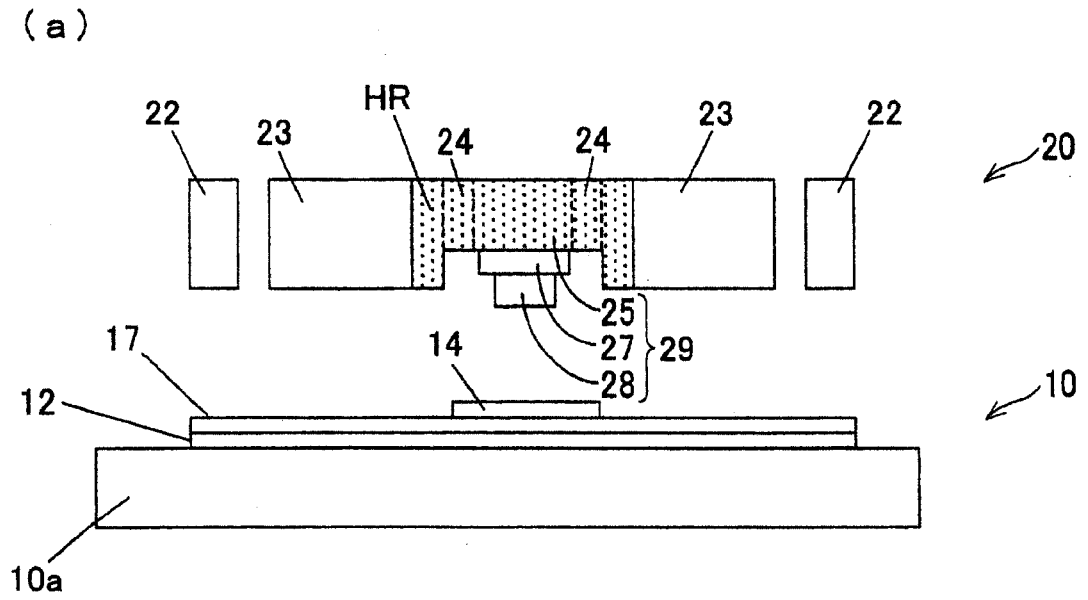


图 15

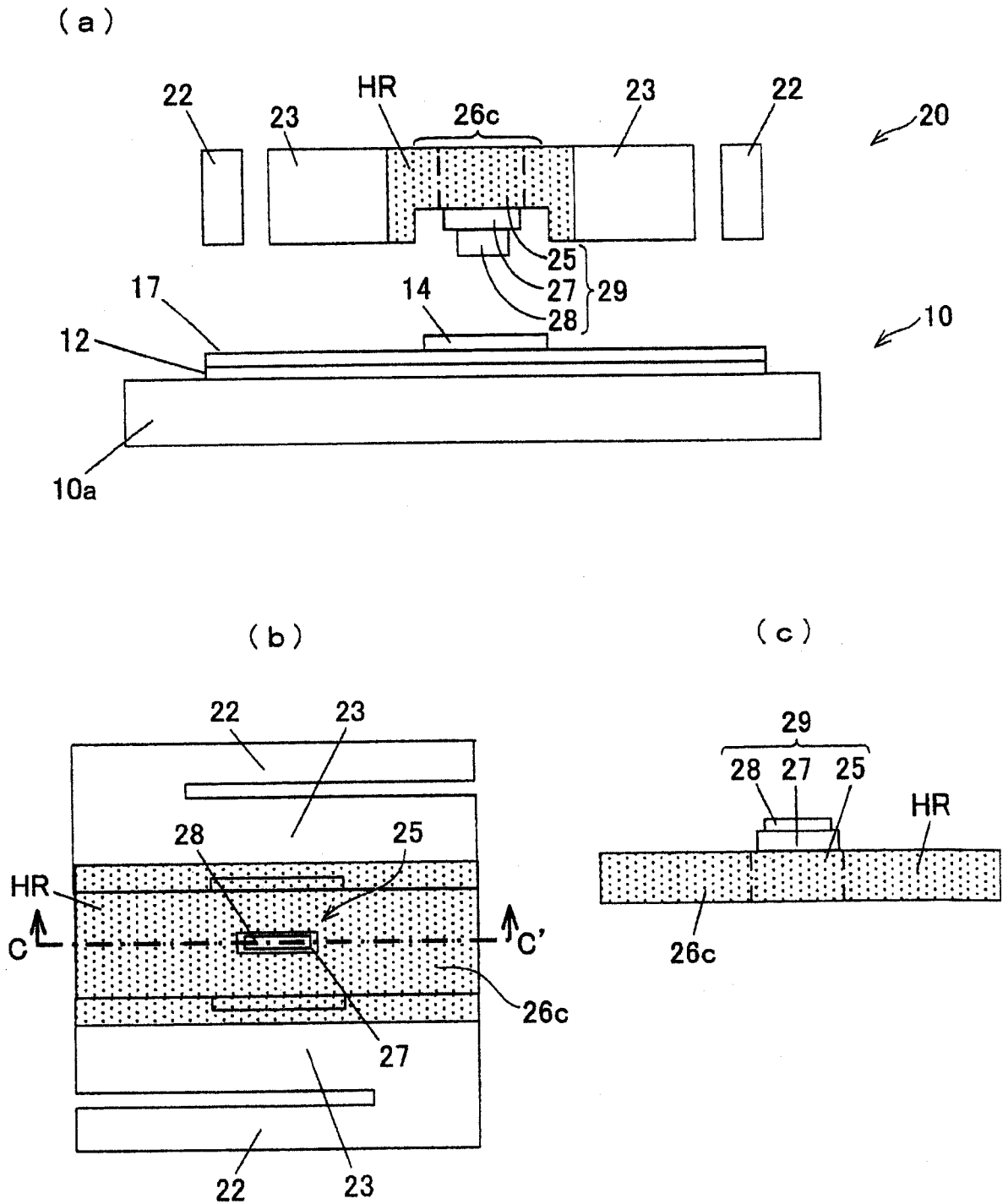


图 16

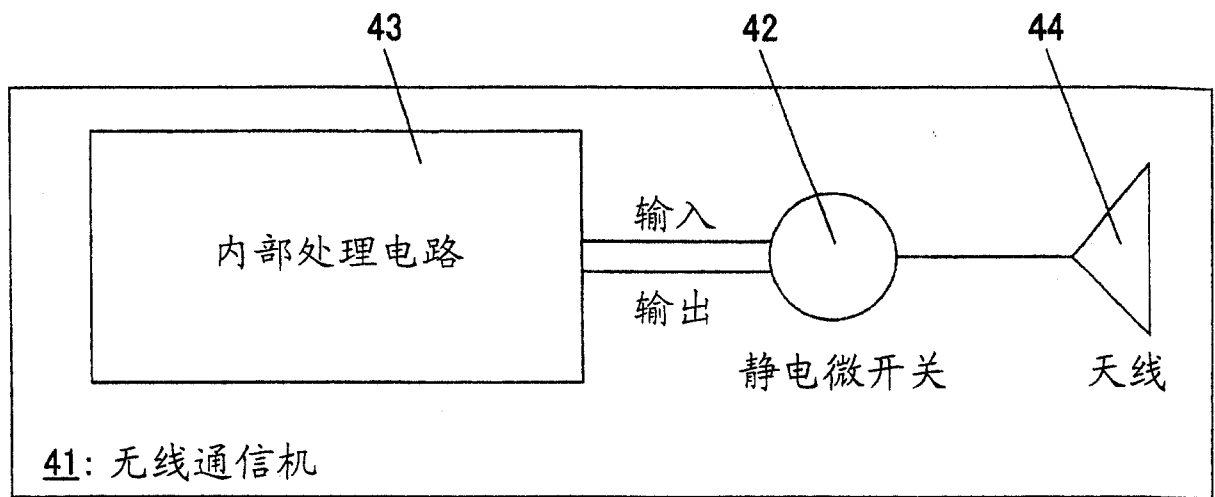


图 17

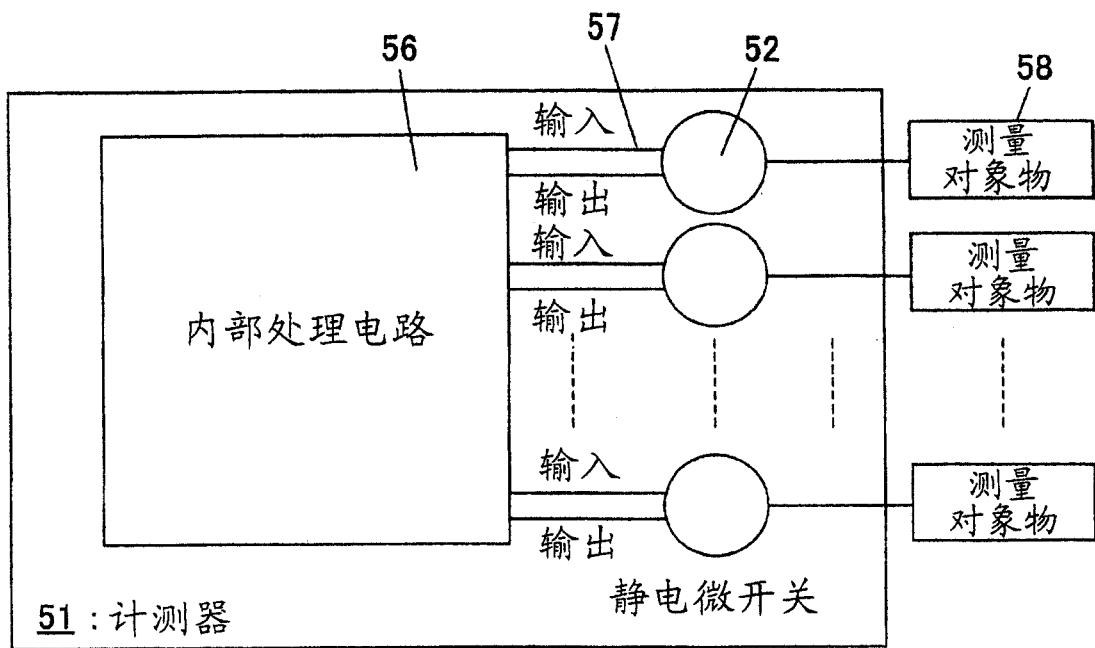


图 18

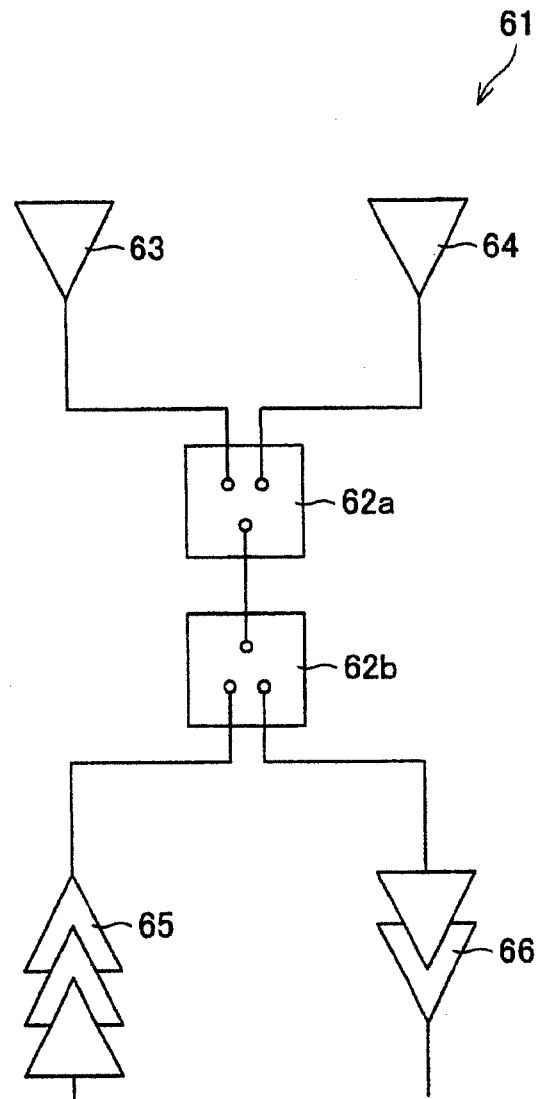
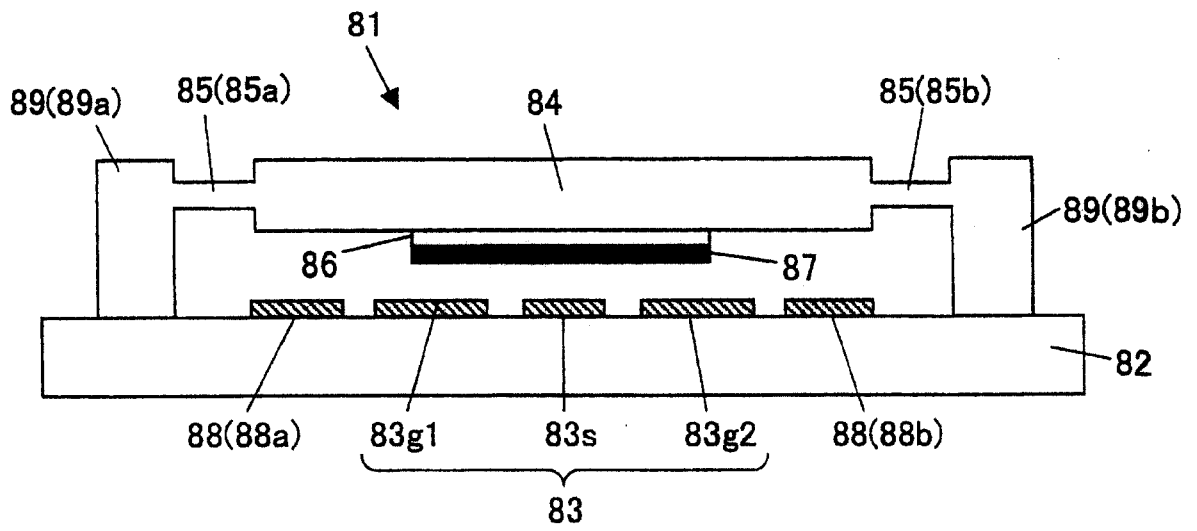


图 19



(b)

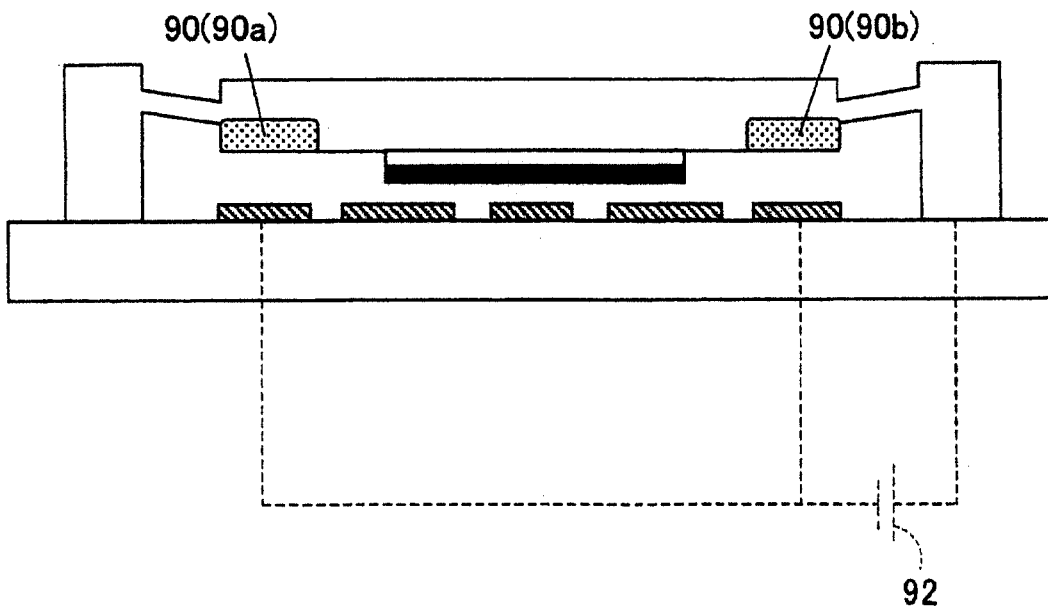
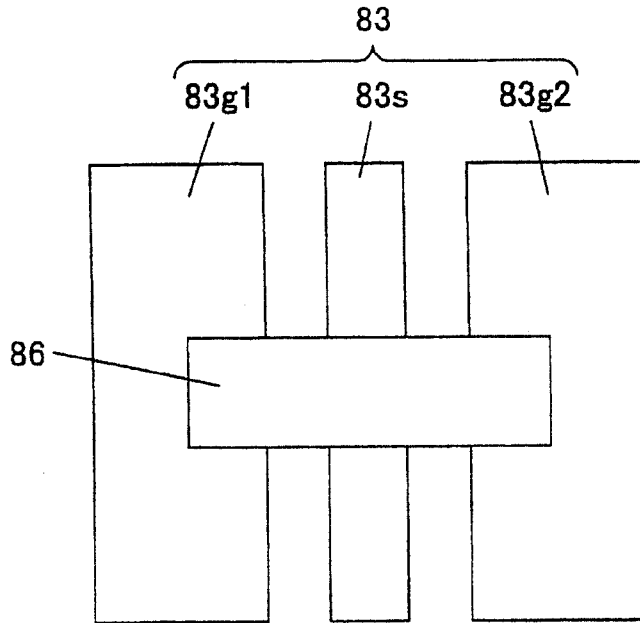


图 20

(a)



(b)

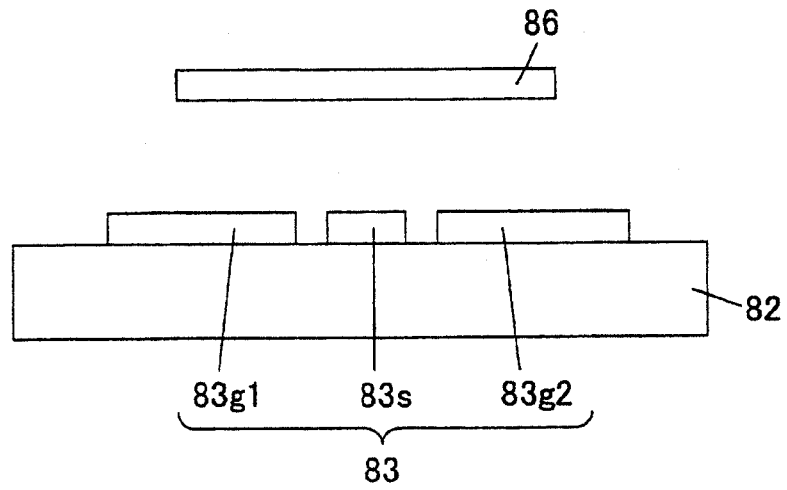


图 21

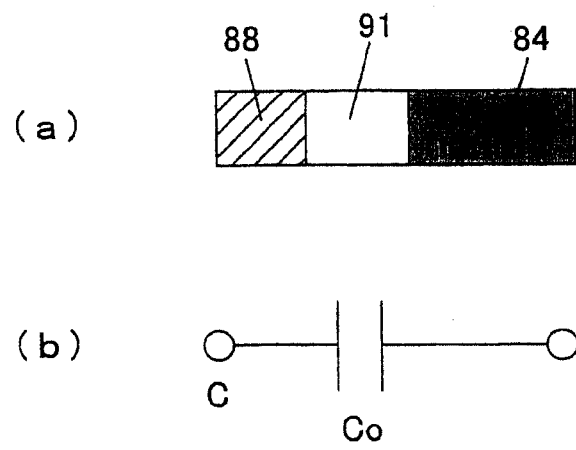


图 22

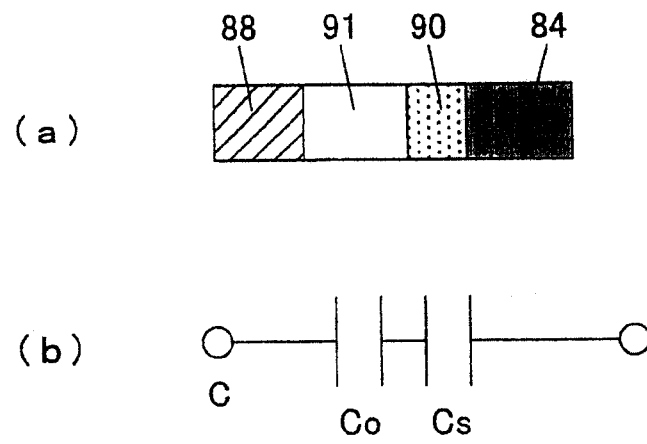


图 23

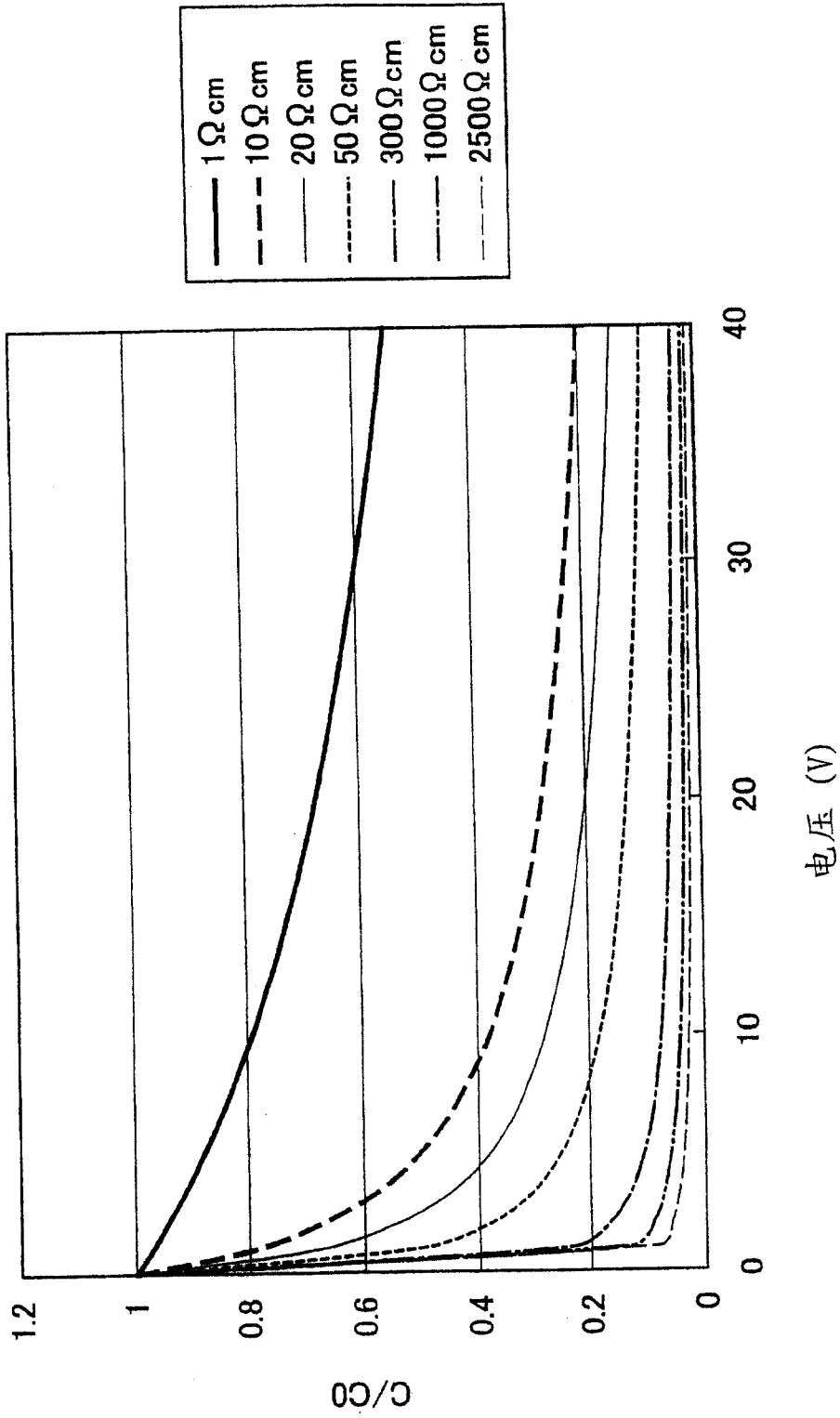


图 24

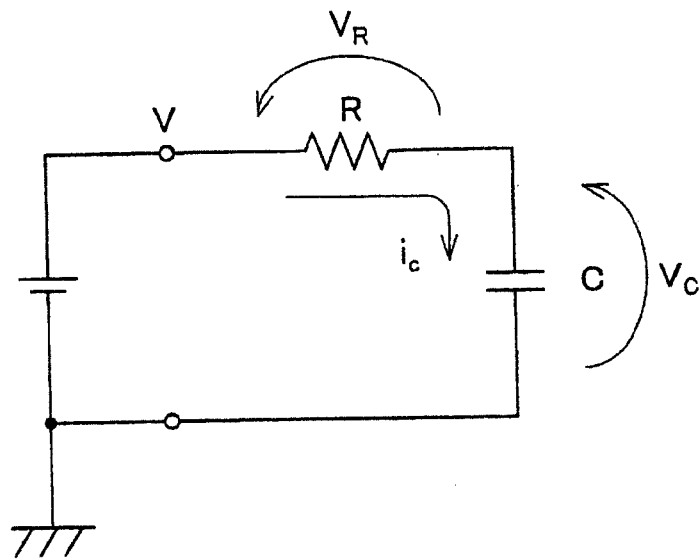


图 25

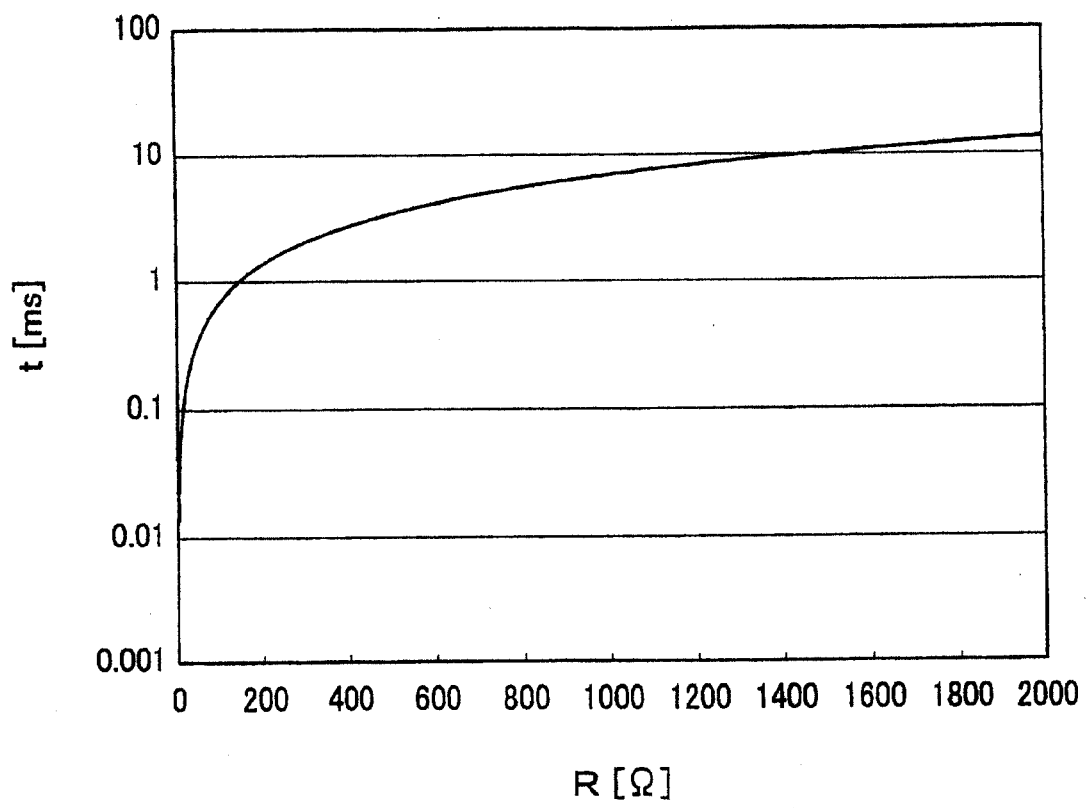


图 26