

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03133185.8

[51] Int. Cl.

H01H 59/00 (2006.01)

B81B 3/00 (2006.01)

H01H 49/00 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 9 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1276449C

[22] 申请日 2003.7.25 [21] 申请号 03133185.8

[30] 优先权

[32] 2002. 7. 26 [33] JP [31] 2002 - 217872

[32] 2002. 7. 26 [33] JP [31] 2002 - 217873

[32] 2003. 6. 27 [33] JP [31] 2003 - 184204

[71] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本国大阪府门真市

[72] 发明人 中西淑人 清水纪智 中村邦彦

内藤康幸

审查员 李素娟

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 包于俊

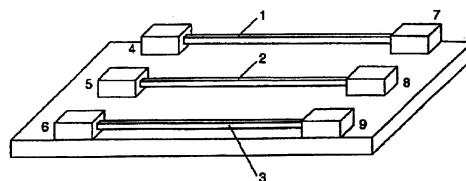
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 14 页

[54] 发明名称

开关

[57] 摘要

本发明提供一种开关，它能缩短响应时间及降低外加电压。该开关的构成包括为了对以互相稍微分开的间隔配置的第 1 根梁及第 2 根梁及第 3 根梁外加静电力而独立提供直流电位用的外加电压手段、及对各梁输入输出交流信号用的各梁上设置的电极 4~9，靠静电力使各梁 1~3 的位置变化、使梁 1~3 间的电容量变化。通过使第 1 根梁 1 及第 2 根梁 2 间产生静电力，使两根梁都可动，从而梁 1、2 能高速地电耦合。使配置在第 2 根梁 2 对面的第 3 根梁 3 产生静电力，预先靠近第 1 根梁 1 及第 2 根梁 2，一旦第 1 根梁 1 及第 2 根梁 2 间的静电力解除，第 2 根梁 2 向第 3 根梁 3 一侧移动，第 1 根梁 1 及第 2 根梁 2 的电耦合解除。



1. 一种开关，其特征在于，包括
配置成相互间保持一定间隔的第 1、第 2、第 3 根梁，以及
对所述第 1、第 2、第 3 根梁各施加直流电位以对第 1、第 2、第 3 根梁外加驱动力的外加电压装置，
其中，所述第 1、第 2、第 3 根梁均为可弹性形变的可动电极。
2. 如权利要求 1 所述的开关，其特征在于，
在开关 ON 时，利用所述外加电压装置在所述第 1 根梁及所述第 2 根梁间产生驱动力，使第 1 根梁和第 2 根梁接触并电耦合，
在开关 OFF 时，在所述第 2 根梁及所述第 3 根梁间产生驱动力，使第 1 根梁和第 2 根梁分开。
3. 如权利要求 1 所述的开关，其特征在于，
所述第 1、第 2、第 3 根梁的间隔配置成能满足规定隔离度要求的间隔。
4. 如权利要求 2 所述的开关，其特征在于，
所述外加电压装置对所述第 1、第 2、第 3 根梁外加一定时间的直流电压。
5. 如权利要求 2 所述的开关，其特征在于，
所述第 1 根梁和所述第 2 根梁电耦合后，使所述第 3 根梁可动。
6. 如权利要求 1 所述的开关，其特征在于，
通过改变所述梁的形状，使梁的弹簧常数变化。
7. 如权利要求 1 所述的开关，其特征在于，
与所述第 1 根、第 3 根梁相比，所述第 2 根梁的形状较小。
8. 如权利要求 2 所述的开关，其特征在于，
与所述第 1 根、第 3 根梁相比，所述第 2 根梁的形状较小，在第 1 根和第 2 根梁电耦合的状态下，对第 3 根梁外加来自第 1 根梁的驱动力，第 3 根梁可向第 1 根、第 2 根梁侧移动。
9. 如权利要求 2 所述的开关，其特征在于，
在所述第 1 根和第 2 根梁电耦合时，把第 1 根梁的电位和第 2 根梁的电位调换，不对所述第 3 根梁产生驱动力，使第 3 根梁可动。
10. 如权利要求 2 所述的开关，其特征在于，
在所述第 2 根梁和第 3 根梁间需要高隔离度时，不使第 3 根梁产生驱动力，

不让第3根梁可动。

11. 如权利要求2所述的开关, 其特征在于,
开关OFF时, 使所述第2根梁及第3根梁耦合。

12. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
第1根梁连接天线端, 第2根梁连接输入端子, 第3根梁连接规定阻值的终端。

13. 一种开关, 其特征在于,
通过将多个如权利要求1所述的开关并联配置, 从而得到所希望的阻抗。

14. 一种开关, 其特征在于,
通过将多个如权利要求1所述的开关并联配置, 从而得到所希望的电容量。

15. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
所述第1、第2、第3根梁的任何一根梁都是用金属制成。

16. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
所述第1、第2、第3根梁在水平方向上排列, 并且所述第1、第2、第3根梁的任何一根梁在水平方向上均可动。

17. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
所述第1、第2、第3根梁在垂直方向上排列, 并且所述第1、第2、第3根梁的任何一根梁在垂直方向上均可动。

18. 如权利要求12所述的开关, 其特征在于,
将电容配置在第1根梁和天线端之间、及配置在第2根梁和输入端子之间。

19. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
使开关在真空中或惰性气体中动作。

20. 一种开关, 其特征在于,
相对天线端将多个权利要求1所述的开关对称配置。

21. 如权利要求1所述的开关, 其特征在于,
所述第1、第2、第3根梁中, 使相邻的两根或三根梁弯曲成相同的形状。

22. 如权利要求21所述的开关, 其特征在于,
设所述第1、第2、第3根梁的任何一根梁的弯曲形状为S形。

23. 如权利要求21所述的开关, 其特征在于,
所述第1、第2、第3根梁的任何一根梁的厚度与相邻的梁的厚度不同。

24. 如权利要求1至23中任何一项所述的开关, 其特征在于,

所述驱动力为静电力。

25. 如权利要求 1 至 24 中任何一项所述的开关，其特征在于，
开关用半导体工艺制成。

开 关

技术领域

本发明涉及用于电路的利用由外部施加的力使电极机械移动从而让信号通过或将其断开的开关。

背景技术

作为电路用开关，都知道用已有的空气桥（air bridge）开关。在图 16 中，124 为可动空气桥、126、128 为分别在基板 129 上形成的电极，靠电极 126、128 和空气桥 124 间产生的静电力，使空气桥 124 向电极 126 或 128 水平移动。信号若输入空气桥 124，则空气桥 124 与电极 126 或电极 128 间电连接，使信号断开或通过，它作为开关而动作（例如参考专利文献 1）。

另外，有如图 17 所示人们熟悉的微电子机械的 RF 开关，微电子机械的 RF 开关 210 具有下述的结构，即在基板 221 上形成多次弯折的弹簧悬挂装置 222，在其上悬挂着微型平台 220。该微型平台 220 下形成信号线，信号线和微型平台 220 间一加上直流电位，就产生静电力，则平台 220 被信号线吸引。这时，通过多次弯折弹簧结构，使构成梁的材料内部残余应力几乎由弹簧的多次弯折部分释放，起到机械应力缓冲器的作用（例如参考专利文献 2）。

[专利文献 1]

特开 2001-84884 号公报

[专利文献 2]

特开 2001-143595 号公报

但是，在上述专利文献 1 的结构中用静电力驱动空气桥 124 的情况下，为了实现更大的信号的隔离度，要加大电极 126、128 和空气桥 124 的间隔，但因为静电力与距离的平方成正比，所以静电力减小，响应时间就达不到希望的值。另外，为了弥补静电力的减少，也有一种方法是使外加电压增加，但是，对于要求功耗小、驱动电压低的无线通信器件，增加外加电压并不是一种理想的方法。

另外，因为空气桥 124 是直线的梁结构，在梁的内部若有拉伸应力存在就

会象一根绷紧的弦一样对于静电力的刚性增强，接通（pull-in）电压（取决于静电力的吸引电压）提高。而温度一上升，梁的内应力又有可能转换成压缩，产生纵弯曲。即，如不能对生产过程中产生的残余应力、开关动作时的环境温度管理好，就无法保证稳定的开关动作特性。

另一方，在专利文献 2 的微型平台结构中，分成和信号线耦合的区域、和为了缓和应力的弯折弹簧悬挂结构部（弹簧）。即设置用于缓和内部应力的附加结构。从牛顿的运动方程式可知：在对具有质量 m 的构件施加同样的力时，质量 m 越小，构件产生的加速度越大。因此，在所述结构中，因为附加了弹簧，因此质量 m 增大，所以存在响应速度不能提高的问题。另外，弹簧越软，平台 220 越不受支持部的约束，故在膜的厚度方向若存在应力梯度，则由于应力释放，使平台 220 上翘，离开基板 221。在梁的制造工序中如不能高精度地再现这一应力梯度值，则该翘曲的程度就不一致，就不能抑制平台 220 和信号线间的电容减小的离散性及接通电压增大的离散性。另外，如利用半导体工艺制造，则因梁和弹簧结构为同一种材料的导电体，所以在高频电路中该弹簧部分的电路阻抗就不能忽略。

另外，若环境温度变化，则因基板材料与梁的材料的热膨胀系数不同，会产生热应力。该热应力的产生原因虽不同于前述制造工序中的残余应力，但同样会引起“随着梁的应力释放而变形”的现象，因此必须考虑到它对电容量及接通电压的影响。

本发明系鉴于以上诸点而提出的，其目的在于提供一种能实现缩短响应时间并降低外加电压的开关。

另外，目的在于提供一种能实现没有接通电压增大离散性的开关。

另外，目的在于提供一种能抑制因梁的内应力变化而引起开关特性变化的开关。

发明内容

本发明的开关包括以互相仅稍微分开的间隔配置的第 1、第 2、第 3 根梁，为了对前述梁外加静电力而独立提供直流电位用的外加电压装置，以及设在各梁上的对各梁输入输出交流信号用的电极，其中，所述第 1、第 2、第 3 根梁均为可弹性形变的可动电极。靠静电力使各根梁的位置变化，使梁间的电容量变化。

按照这种结构,通过使第 1、第 2 两根梁之间产生静电力,使第 1、第 2 两根梁都可动,从而梁能更高速地电耦合,并且,为了使梁高速地分开,通过在与第 2 根梁相对设置的第 3 根梁上产生静电力,并预先靠近第 1 及第 2 根梁,因为能在第 2 和第 3 根梁之间施加较强的静电力,所以能更高速地响应。

另外,本发明通过使梁设计成相同形状的弯曲,使得与梁的内应力变化相对应的接通电压的变化减小,同时,也能使梁的变形引起的梁间电容量的变化减小。

由此,能利用半导体薄膜工艺构成低电压、高速驱动、并且受残余应力及热膨胀而产生的特性变化小的超小型可变电容型开关。

附图说明

图1 为表示本发明实施形态 1 的开关简要构成的立体图。

图 2(a)为本发明实施形态 1 的开关连接电路图。

图 2(b)为本发明实施形态 1 的开关等效电路图。

图 3(a)至(f)为说明本发明实施形态 1 的开关动作的示意图。

图 4(a)至(f)为表示本发明实施形态 1 的开关制造工艺示例的剖面图。

图 5 为表示本发明实施形态 2 的开关重要部分的剖面图。

图 6 为本发明实施形态 3 的开关连接电路图。

图 7 为表示本发明实施形态 3 的开关简要构成的剖面图。

图 8(a)、(b)为表示本发明实施形态 4 的开关简要构成的立体图及俯视图。

图 9 为表示本发明实施形态 4 的开关中梁的内应力与接通电压间关系的特性图。

图 10 为表示本发明实施形态 4 的开关中梁的内应力与梁间电容量间关系的特性图。

图 11 为说明本发明实施形态 4 的开关一个制造方法示例用的剖面图。

图 12 为表示本发明实施形态 4 的开关中梁的内应力与梁的 1 阶谐振频率间关系的特性图。

图 13(a)为表示在本发明实施形态 5 的开关的电极上不外加电压状态下的简要构成示意图。

图 13(b)为表示在本发明实施形态 5 的开关的电极上外加电压状态下的简要构成示意图。

图 14 为表示本发明实施形态 5 的开关可动体材料的外加电压和内应力间关系的特性图。

图 15 为说明本发明实施形态 5 的开关控制方法的示意图。

图 16 为表示以往的开关一示例的立体图。

图 17 为表示以往的其它开关的一示例的立体图。

标号说明

1、2、3、31、32、38、81、82、83 梁

4~9 电极

41 高阻硅基板

42 硅氧化膜

43 硅氮化膜

44 硅氧化膜

45 牺牲层

46 Al 层

47 光刻胶图形

48、51 梁

49 间隙

50 硅氧化膜

84、85 拉桩 (anchor) 部

86 光刻胶

87、88 粒晶层 (seed layer)

89 开关

90 阳极电极

101 输入端子

102 输出端子

103 可动体

104 可动电极

105 电极

具体实施形态

本发明的要点为，开关是靠静电力使三根梁的相对位置发生变化，使梁间

电容量发生变化, 从而进行电耦合或断开, 在这样的开关中, 通过使各梁均可动, 从而实现能高速开关并以低直流电位控制的结构。

另外, 在本结构中, 通过将构成开关的梁做成弯曲结构, 从而减小与梁的内应力变化对应的接通电压的变化, 同时也缓和因梁的变形引起的梁间电容量的变化。

以下, 利用附图, 详细说明本发明的实施形态。

(实施形态 1)

参照图 1 至图 3, 说明本发明的实施形态 1。图 1 表示实施形态 1 的开关简要构成图。1 为第 1 根梁、2 为第 2 根梁、3 为第 3 根梁。各根梁 1、2、3 用适当的形状及材质形成, 能使电信号无损耗地传递, 表面设置几十 10nm 左右的绝缘膜。各梁 1、2、3 例如由铝、银、铜及合金等金属构成, 形状例如为厚 $2\mu\text{m}$ 、宽 $2\mu\text{m}$ 、长 $200\mu\text{m}$ 的两端固定的双支承梁结构, 以分别满足规定隔离度的间隔, 例如 $0.6\mu\text{m}$ 的间隔平行配置。梁 1、2、3 不一定要是双支承梁结构, 也可以是悬臂梁。另外, 梁 1、2、3 通过使其形状变化, 而能使梁的弹簧常数变化。还有, 各梁 1、2、3 采用能使内应力尽量小的结构及工艺。这在以后将详述。

梁 1 的两端接电极 4、7, 梁 2 的两端接电极 5、8, 梁 3 的两端接电极 6、9。

为了便于以后的说明, 例如将电极 5 作为输入端子外加输入信号, 电极 7 作为输出端子连接天线端, 电极 9 连接 50Ω 终端电阻, 以这样的情况为例进行说明。图 2(a) 表示连接电路, 图 2(b) 表示其等效电路。在以下的说明中, 所谓开关 ON 时, 系指在图 2(a) 中电极 5 和电极 7 连接的状态; 开关 OFF 时, 系指在图 2(a) 中将电极 5 和电极 7 断开、电极 5 和电极 9 连接的状态。

按照图 2(a) 及图 2(b) 的结构, 在开关 OFF 时, 从输入端子的角度看, 因为终端为 50Ω , 因此不产生反射波。另在开关 OFF 时, C_1 的阻抗变大, 并且, C_2 的阻抗变小, 故输入端子输入的信号因通过 C_2 及 50Ω 电阻接地, 故能使作为天线端子的电极 7 和作为输入端子的电极 5 之间的隔离度更大。这时, 也可以根据需要在作为输入信号源和输入端子的电极 5 之间、及作为输出端子的电极 7 和天线端之间配置电容。还有, 为了更加提高隔离度, 也可不设 50Ω 电阻而直接接地。

另外, 也能将电极 9 不接终端而连接其它输出端子, 实现单输入双输出的

分配开关。另外，如将电极 5 作为输出端子、电极 7 及 9 作为天线来的输入端子，则也能作为双天线输入单输出的选择开关。

利用图 3 说明开关动作。图 3(a)表示在图 1 的开关中各电极 4~9 上未外加电压的状态。接着，为了使输入端子的信号与天线端子耦合，在图 3(b)中，若在规定的响应时间使连接电极 4 的控制电压源 10 的直流电位成为 High，在规定的响应时间分别使连接端子 5 的控制电压源 11 的直流电位及连接电极 6 的控制电压源 12 的直流电位成为 Low，则在梁 1 和梁 2 之间因为产生静电力，所以梁 1 和梁 2 互相吸引接触。

这时，若梁 1 和梁 2 做成相同的形状，弹簧常数及质量也相同，则梁 1 和梁 2 在中间地点接触。这种情况与将梁 1、2 之任一方作为固定电极的情况相比，用相同静电力因梁 1、2 之间距离的位移量成两倍变化，所以就能以更高速度来响应，另外，若是相同的响应时间，也就能以更低的电压控制。例如，若取电极 4 的直流电位为 7.25V，则响应时间能做到在 $5\mu\text{s}$ 以下，但在仅使单侧可动的情况下，响应时间变成 $7.4\mu\text{s}$ ，响应时间延长，达到约 1.5 倍。反之，如为了做到响应时间为 $5\mu\text{s}$ ，则外加电压必须为 10.3V。

梁 1 与梁 2 一接触，从作为输入端子用的电极 5 输入的交流信号，通过设置在各梁 1、2 表面的绝缘膜进行电容耦合，从梁 2 传到梁 1，向输出端子即电极 7 输出。

在图 3(b)的状态下，若连接梁 3 的电极 6 的控制电压源 12 的直流电位成 High，则梁 3 和梁 2 间就产生静电力，如图 3(c)那样梁 3 向梁 2 的方向移动。这时，虽然梁 1、2 也同样向梁 3 方向移动，但梁 1、2 两根耦合，因此等效的弹簧常数大，所以比梁 3 的移动量小。这里，设加在电极 6 上的直流电位为低于梁 3 不接通的电压。若是前述条件，因为接通电压为 6.7V 左右，一外加其以下的电压，梁 3 的最大位移量约为 $0.15\mu\text{m}$ ，梁 2、3 间的最大间隙成为 $0.75\mu\text{m}$ 。由于静电力与距离的平方成反比，所以与梁 3 不移动时相比，梁 3 与梁 2 间产生的静电力也增大为 1.4 倍。

还有，也可以不是从图 3(b)的状态将直流电位加在电极 6 上，而是瞬时使电极 4 和电极 5 的直流电位反转。这样能够不用控制电压源 12 重新外加直流电位使梁 3 和梁 2 间产生静电力。这时因为梁 2、3 的间隙大所以不会接通。

另外，在要求高隔离度的状况下，若使控制电压源 12 的直流电位保持为 Low 的状态，则梁 3 不可动，梁 2、3 间的间隙能保持在增大的状态，能使梁 2

和梁 3 的电耦合减小。

接着，对切断通向电极 7 的电路、把输入信号从天线端即电极 7 切换到电极 9 的开关 OFF 动作进行说明。

在图 3(c)的状态下，加在电极 4 上的直流电位从 High 一成为 Low，因梁 1、2 间不产生静电力，所以如图 3(d)那样，梁 1 及梁 2 凭自身的弹力回到原始位置。这时，因为梁 3 预先弯向梁 2 的方向，所以梁 2 如图 3(e)那样，由于梁 2、3 间产生的静电力而高速强力地向梁 3 的方向移动，并与其接触。梁 2 与梁 3 一接触，从输入端子的电极 5 输入的交流信号通过设置在各梁 2、3 表面的绝缘膜进行电容耦合，从梁 2 传向梁 3，向电极 9 输出。

这样，在开关 OFF 时，使梁 2 及梁 3 耦合，在图 2(e)中，因 C_2 短路，信号难以传送到 C_1 ，故能确保更高的隔离度。

在未使梁 3 预先向梁 2 的方向弯曲时，因最大间隙成 $0.9\mu\text{m}$ ，若不加上更高的电压，就不能得到所希望的响应时间。

还有，在图 3(e)的状态下，还和图 3(c)的情况一样，直流电位加在电极 4 上，使梁 1 和梁 2 间加上静电力，则如图 3(f)那样，梁 1 弯向梁 2 方向，能使最大间隙缩小。

通过上述开关动作，在 ON 状态及 OFF 状态时，加上信号的梁 2 总是与别的梁 1 或梁 3 接触，变成锁住 (latch) 状态。通过这样，假定在大功率的信号输入梁 2 时，若是未锁住的状态，则梁 2 由于自身的静电力有可能被拉向梁 1 或梁 3，但现在为梁 2 总是由梁 1 或梁 3 锁住，故能防止误动作。

以上，对各梁 1、2、3 靠静电力在水平方向可动的情况作了说明，但也可以将各梁 1、2、3 做成在垂直方向上排列，使其在垂直方向上可动。另外这里虽然用静电力作驱动力，但也可以例如用电磁力或压电、热等效应。另外，除了使各梁 1、2、3 在空气中动作外，还可使其在真空中、惰性气体中动作。

接着，利用图 4 的工序剖面图说明一个图 1 的开关的制造工序例子。在图 4(a)中，把高阻硅基板 41 加热氧化，在基板 41 上形成膜厚 300nm 左右的硅氧化膜 42。在其上用减压 CVD 法，淀积膜厚 200nm 的硅氮化膜 43。再用减压 VCD 法淀积膜厚 50nm 的硅氧化膜 44。

接着，在图 4(b)中，在硅氧化膜 44 上将光刻胶构成的牺牲层通过旋涂形成膜厚 $2\mu\text{m}$ ，再经曝光、显影后，用加热板在 140°C 下烘干 10 分钟，形成牺牲层 45。

然后,如图4(c)所示;在基板整个面上用溅射法淀积膜厚 $2\mu\text{m}$ 的A1层46,形成光刻胶47的图形,使得抗蚀剂残存在规定的区域。

接着,如图4(d)所示,将前述光刻胶组成的图形47作为掩膜,进行A1层46的干法刻蚀形成梁48,再用氧等离子除去光刻胶组成的图形47及牺牲层45。利用以上的工序,形成相对于基板41的表面具有间隙49的梁48。

再如图4(e)所示,在梁48的整个表面及基板表面的硅氧化膜44上,若用等离子CVD淀积膜厚 $50\mu\text{m}$ 的硅氮化膜50,则在基板表面的硅氧化膜44上及梁48的周围形成硅氮化膜50。

最后,如图4(f)所示,用有各向异性的干法刻蚀法把硅氮化膜43形成前述淀积膜厚以上的膜厚,例如 100nm ,用和硅氧化膜44有选择比的条件进行反复腐蚀(etchback),通过这样进行腐蚀,形成梁51使其上面的硅氮化膜50消失,仅在侧面残留硅氮化膜50。

还有,在本实施形态中,作为基板是使用了高阻硅基板41,但也可用通常的硅基板、化合物半导体基板及绝缘材料基板。

另外,在高阻硅基板41上作为绝缘膜是形成了硅氧化膜42、硅氮化膜43、硅氧化膜44,但在基板电阻十分高的场合,也可省去形成这些绝缘膜。另外,在硅基板上是形成了硅氧化膜42,硅氮化膜43、硅氧化膜44这样的3层结构的绝缘膜,但是在硅氮化膜43的膜厚与梁上淀积的硅氮化膜相比,有充分厚的膜厚,即使经历了所谓反复腐蚀的工序仍不消失的膜厚的情况下,硅氧化膜44的形成工序可省略。

还有,在本实施形态中是使用A1作为形成梁的材料,但也可以用其它的金属材料,例如Mo、Ti、Au、Cu、或者也可以用掺入高浓度杂质的非晶态硅的半导体材料、有导电性的高分子材料等。还有作为成膜方法是使用了溅射法,但还可用CVD法、镀膜法等形成。

(实施形态2)

接着,参照图5说明第2实施形态2。本实施形态基本上采取与第1实施形态同样的结构,但第2根梁32与第1根梁31、第3根梁33相比,厚度薄,例如与第2根梁比,第1根梁和第3根梁做成厚1.5倍以上。在这一实施形态中,第1根梁31和第2根梁32接触时,除了在第1根梁31和第2根梁32之间作用静电力34之外,在第1根梁31和第3根梁33之间还作用静电力35。采取这种结构,如第1实施形态那样,在第1根梁31和第2根梁32接触后,

即使直流电位不重新加在电极 6 上, 第 3 根梁 33 还是要向第 2 根梁 32 的方向移动。

另外, 此时, 因为第 1 根梁 31 稍微向第 3 根梁 33 的方向靠近, 所以第 2 根梁的弹簧常数增大, 其结构可做成第 1 根梁 31 和第 2 根梁 32 不是在中间地点、而是在更靠近第 2 根梁 32 的一侧接触。

(实施形态 3)

以下, 参照图 6 及图 7 说明第 3 实施形态。在本实施形态中, 如图 6 所示, 相对于天线端子 65 对称配置多个 (图 6 中为 4 个) 图 2(a) 的开关电路。由此, 能够实现将对一个天线的输入分配给多个、能实现可多点输出的单输入多输出的开关。这种结构的开关能如图 7 所示, 将实施形态 1 所用的开关作阵列排列, 并将各开关通过电容耦合而构成。还有, 图 7 为示为 2 个开关电路的情况。在图 7 中, 电极 71 上的多根梁 74 形成梳形, 各梁 74 之间设置梁 75。梁 75 分别与多个电极 72 耦合。与电极 72 相对设置电极 73。电极 71 连接控制电压源 76, 电极 72 连接控制电压源 77, 电极 73 连接控制电压源 78。

若电极 71 连接的控制电压源 76 的直流电位为 High、电极 72 连接的控制电压源 77 的直流电位及电极 73 连接的控制电压源 78 的直流电位分别为 Low, 则在梁 74 和梁 75 产发生电容耦合 79, 进行开关动作。

在实施形态 1 的开关中, 在要求响应时间快的场合, 可动梁的质量就必须小。但在电容耦合的实施形态 3 的开关中, 若将梁的质量减小, 则电容耦合的截面积也变小, 所以耦合度减少, 传输损耗变大。因此, 为了兼顾响应时间和传输损耗这两个互相相反的特性, 所以把各根梁都做得非常小, 以缩短响应时间, 再通过这些梁排成阵列, 增大整个开关的耦合度, 从而使响应时间和传输损耗两个特性均能满足。例如, 设每根梁的形状为宽 $2.5\mu\text{m}$ 、厚 $2.5\mu\text{m}$ 、长 $380\mu\text{m}$, 交流信号的频率为 5GHz 时, 如并联配置 5 组开关, 则能获得良好的通过特性。

在本实施形态中, 因为是电容耦合, 所以具有频率特性。设图 2 的等效电路所示的串联侧开关的电容为 C_1 、对地的电容为 C_2 , 则阻抗 Z 可用 (式 1) 表示。 C_1 和 C_2 使用基本上相同的开关, C_1 和 C_2 的关系用 (式 2) 表示。 α 表示电容的变化比, 为梁间的间隙和绝缘体膜厚的比。

[式 1]

$$Z = \left| \frac{\omega c_1}{1 - \omega^2 c_1 c_2} \right|$$

[式 2]

$$C_2 = \alpha C_1$$

若 α 取得大, 因驱动电压增大, 响应时间也变长, 所以不能太大。例如, 设绝缘体膜厚为 10nm、间隙为 0.6 μm , 则 α 为 60。

为了确保隔离度, 阻抗为最大的条件可用 (式 3) 表示, 如下所示。取 α 为 60、适用频率为 5GHz, 则 C_1 为 4.2PF。据此来决定梁的形状, 则可选用 5 组厚 2.5 μm 、宽 2.5 μm 、长 380 μm 的梁。

[式 3]

$$c_1 = \sqrt{\frac{1}{\alpha \omega^2}}$$

另外, 在使用频率为 1GHz 的信号时, 因频率降至 1/5, 因此采用的梁的组数也增加 5 倍成 25 组, 则能得到与 5GHz 等同的特性, 实现无频率特性的开关。

按照本实施形态, 通过把多个开关并联配置, 能实现具有所希望的阻抗或电容的开关。

(实施形态 4)

以下, 参照图 8 至图 12 说明本发明的实施形态 4。图 8(a)为本发明实施形态 4 涉及的开关的立体图, 图 8(b)为俯视图。第 1 根梁 81、第 2 根梁 82、第 3 根梁 83 为双支承梁, 其两端分别由拉桩部 84、85 固定在基板 (图中未示出) 上, 梁的厚 $t_1=t_2=t_3=2\mu\text{m}$ 、宽 $w_1=w_2=w_3=2\mu\text{m}$ 、长 $L=500\mu\text{m}$ 。用杨氏模量 77GPa 的 Al 作为梁的材料。各梁 81、82、83 间保持 $g=0.6\mu\text{m}$ 的间隔并联配置。在相邻的梁相对的侧面上形成约 0.01 μm 厚的绝缘层, 由于其比梁宽小得多, 所以对梁的机械特性影响小。再者, 绝缘膜可在相对的侧面的任一面或两面上形成。

如图 8(b)所示, 从开关的上方向下俯视, 梁 81、82、83 呈 S 形弯曲, 例如是以 (式 4) 的正弦函数的 1 个周期呈现的字母 S。

[式 4]

$$y = \Delta y \sin(2\pi \frac{x}{L})$$

但是, 在图 8(b)中, 为便于理解, 把弯曲夸张地描画出来。在梁中, X 方向的内应力 S_x 和 Y 方向的内应力 S_y 不取决于 X、Y、Z 的位置。所存在的应力

相同。另外， $S_x=S_y=S$ 为各向同性的内应力。正确来讲，用半导体工艺制成的梁为在牺牲层上形成的梁，其时虽有内应力 S ，但通过除去牺牲层该内应力 S 释放掉一些，这是释放后的值。

用图 8 的结构，在第 1 根梁 81 和第 2 根梁 82 之间加上电位差，利用静电力使两者弯曲时，内应力 S 与接通电压间的关系如图 9 所示。比较弯曲的大小即（式 4）的 Δy 的值为 2、4、6 μm 的情形。此外， $\Delta y=0$ 即不弯的笔直的梁的情况也一并示出。这里因为一加压缩应力，就产生纵弯曲，所以仅表示应力 S 在正的范围即拉伸应力时的值。这样，只在明显产生弯曲时，能抑制因内应力 S 的增加导致接通电压的增加，这是因为弯曲越大、即 Δy 的值越大，则抑制效果亦就越大。

以下，为了验证 S 形弯曲的效果，说明把弯曲弯成拱形的情形。拱形的弯曲以（式 5）的正弦函数半个周期近似。设 $\Delta y=4 \mu\text{m}$ 时的内应力 S 和接通电压间的关系一并示于图 9。

[式 5]

$$y = \Delta y \sin\left(\pi \frac{x}{L}\right)$$

很明显，拱形的场合， $S=0\sim 30\text{MPa}$ ，与 $\Delta y=2 \mu\text{m}$ 的 S 形相比，接通电压增大，在 30MPa 以上的区域就逐渐靠近。在 $S=0\sim 10\text{MPa}$ 的范围内，接通电压反而比直梁大。但在 $S=20\pm 10\text{MPa}$ 附近，因为接通电压几乎一定，所以若能在该范围内抑制残余应力的离散性，则具有能使接通电压变化变小的优点。

下面所示的情况是，通过对相邻的梁设置相同的弯曲，对于内应力引起的梁的变形，能抑制相邻的梁间电容量的变化。图 10 为表示相邻的梁间电位差为 0V 时内应力 S 和电容量间的关系图，从该图可知，画出三个弯曲程度不同的 S 形和拱形，像曲线 W 那样 4 条曲线重叠在一起。因此，可以观察到拱形也好、S 形也好都不受内应力的影响，具有电容量几乎保持一定的特点。即，尽管梁的内应力因制造工序产生离散、以及由于周围温度变化而使热膨胀变化，但仍能抑制电容耦合型开关的电气特性的离散。

还有，因为使梁 81、82、83 为相同的弯曲形状，所以有相同的机械弹簧特性，例如在梁 81、82 间一加上电位差，两者就产生相同的位移量，在两者间间隙的 1/2 位置处接触。例如，要将该接触位置靠近梁 81 一侧，只要提高梁 81 的刚性即可，作为其第 1 种方法可以考虑加宽梁 81 的宽度 W_1 。对于 $\Delta y=2$

μm 的 S 形梁 81、82，设 $W1=4\mu\text{m}$ 、 $W2=2\mu\text{m}$ 时，在图 10 中用曲线 x（画*符号）表示梁 81、82 之间的电位差 $V=0$ 时梁的内应力和两梁间电容量的变化。这样通过将梁 81 加粗，残余应力引起的变形方式与梁 82 不同，两者间的电容量变化加大。提高梁 81 的刚性的最极端的形态为将梁 81 作为固定电极，但这时由于内应力的变化，电容量越发变化。

作为控制两根梁接触位置的其它方法，例如有将梁 81 的厚度 $t1$ 做得比梁 82 的厚度 $t2$ 要厚的方法。设 $t1=4\mu\text{m}$ 、 $t2=2\mu\text{m}$ 时，在图 10 中用曲线 y（画 $\triangle$ 符号）表示梁 81、82 间的电位差 $V=0$ 时内应力和两根梁间电容量的变化。与加宽的方法不同，很明显，通过加厚能得到的效果为，不受内应力的影响，电容量几乎保持一定。

图 11 所示为一个具有这种结构的开关制造方法的例子。图 11 是图 8(b) 的 A-A' 剖面，表示的状态是在基板 90 上形成绝缘膜 91、牺牲层 92、利用光刻技术制成布线图形的光刻胶 86，再在制成布线图形的光刻胶 86 之间利用电镀形成金属梁 81、82、83。梁 81、83 的籽晶层 87 接地，但梁 82 的籽晶层 88 是通过控制开关 89 动作，使得它在时刻 T 之前接地，从时刻 T 开始与用于电镀的阳极电位 V 相同。93 为提供阳极电位 V 的阳极电极。用这种电镀工序，在时刻 T 之前梁 81、82、83 生成相同高度的金属层，但在时刻 T 以后梁 82 的电镀生成停止，因而能生成相邻但厚度不同的梁。

这样，通过只对构成可变电容结构的梁本身设置极小的弯曲，能抑制细条梁结构上成问题的、因残余应力或热膨胀引起的接通电压及电容量等特性变化。另外，例如对于电极长度 $L=500\mu\text{m}$ ，由于弯曲程度大小为几个 μm 左右，故该梁本身的电阻分量也几乎和直梁相同。此外，在梁结构以外不必再设弹性结构等，不会妨碍元件的微型化。还有在用半导体薄膜工艺制作之时，因为弯曲可通过掩膜绘图来实现，所以制作方便。

使用弯曲结构的开关，也可作为可变电容大的元件改用于其它器件。例如，把梁作为利用其横向振动进行谐振的机械谐振器，另外对梁的表面进行处理，提高梁的表面只对大气中某种气体成分的吸附性，则由于气体的附着使梁的质量改变，而谐振频率变化，所以能作为气体浓度传感器。这时，假定用直双支承梁的谐振器和相邻的固定电极来构成，则存在的问题是，在由于制造工序引起的梁残余应力的离散、或周围温度的变化致使梁内应力变化时，谐振频率变化加大，但如实施形态 4 那样，通过使用有弯曲形状的可动梁，就能够减小该

谐振频率的变化。

利用图 9 所示的表示各种梁弯曲形状的参数，在图 12 表示内应力和 1 阶谐振频率的关系。显现与图 9 的内应力与接通电压的关系同样特征的倾向，通过加大 S 形的弯曲程度 (Δy) 就能抑制谐振频率的变化。

还有，在以上的各实施例中，是对使用第 1、第 2、第 3 的三根梁的情形作了说明，但是构成开关的梁也能用 4 根以上组成，使其中的三根梁进行各实施例的动作。

(实施形态 5)

图 13 为表示本发明实施形态 5 涉及的开关的结构侧面图。图 13(a) 表示在电极上未加电压的状态，图 13(b) 表示加上电压的状态。基板 106 上竖立着与输入信号的输入端子相连的导电支柱 108 及与输出信号的输出端子相连的导电支柱 109。在支柱 108、109 之间悬挂着梁结构的可动电极 104。在基板 106 上的支柱 108 及 109 的中间位置设置固定电极 105，通过在可动电极 104 及固定电极 105 间施加静电力，使可动电极 104 向固定电极 105 方向移动。在可动体 103 上形成可动电极 104，可动体 103 用 ICPF (离子传导聚合物凝胶膜 Ionic Conducting Polymer gel Film) 构成。ICPF 如图 14 所示，因通过外加电压使内部应力变化，故利用这一性质能使可动体 103 的弹簧常数变化。以下利用图 15 说明开关动作。在图 15 中，上面的部分表示可动电极 104 的位置，下面的部分表示可动电极 104 的弹簧常数随着时间的变化。将可动电极 104 不加静电力的中立位置作为零。在可动电极 104 和电极 105 间产生静电力，将可动电极 104 向电极 105 侧吸引时，在可动体 103 上外加控制电压 107，使可动体 103 的弹簧常数为最小。这时，因为弹簧力为最小，所以可动体 103 及可动电极 104 可不受弹簧力的阻碍，利用静电力能高速地被吸引。

然后，在将可动电极 104 从电极 105 上拉开时，预先利用控制电压 107，对可动体 103 施加电压，使 ICPF 的弹簧常数为最大，使弹簧力成为最大。然后，去掉可动电极 104 及固定电极 105 间的静电力，这样利用弹簧力高速地将可动体 103、可动电极 104 复原在规定的位置。

通常因为高分子凝胶对控制信号的响应时间大致为几 ms，因此作为要求高速响应时间的开关的驱动力，不能将高分子凝胶的伸缩用作驱动力，但在开关所保持的状态下对于使可动体 103 的弹簧力变化，则有充分的响应时间。这样在吸引和拉开时，通过将可动体 103 的弹簧力分别为最佳的值，从而能实现高

速响应。

可动体 103 所用的材料除了 ICPF 外，还可采用通过外部的控制能改变物理参数的材料，例如人工肌肉等所用的高分子凝胶、压电材料。另外，如用导电材料形成可动体，则能将可动电极 104 和电极 105 做成一体。

如上所述，本发明的开关，通过 3 根梁全部可动，从而具有能缩短响应时间、降低外加电压的效果。根据适用频率，若适当选择使用的梁的数量，使得阻抗为最佳，则还具有能实现无频率特性的开关的有利效果。另外，通过把梁做成弯曲的结构，具有能抑制因内应力的变化引起开关特性的变化的有利效果。

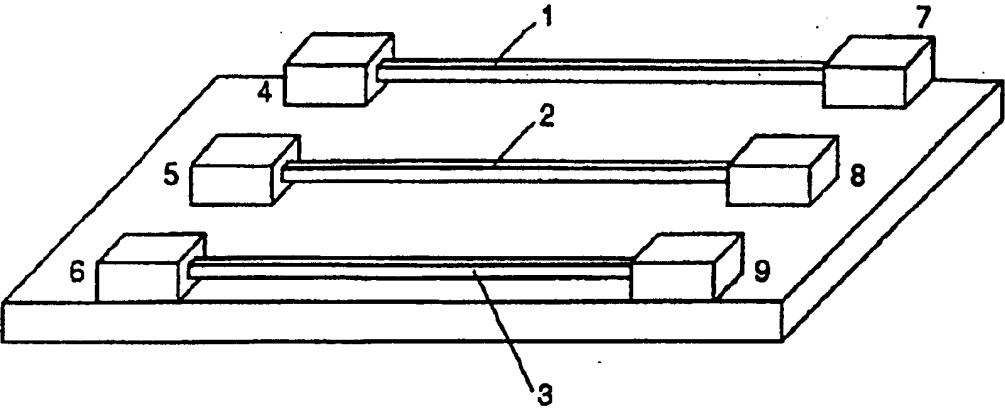


图 1

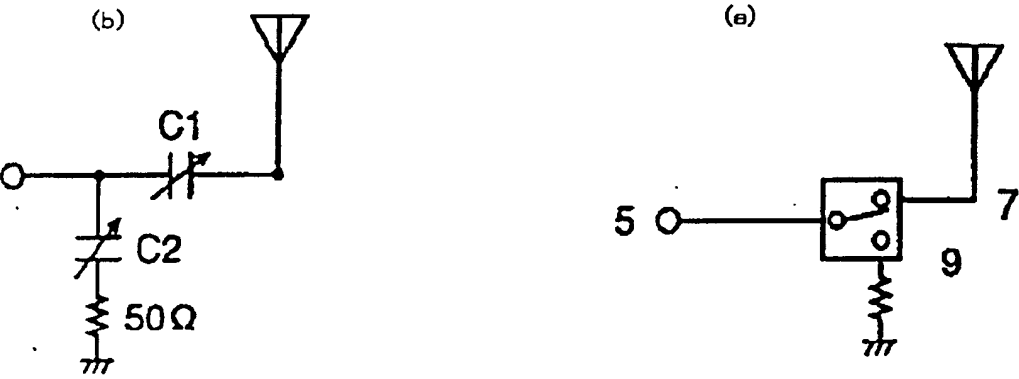


图 2

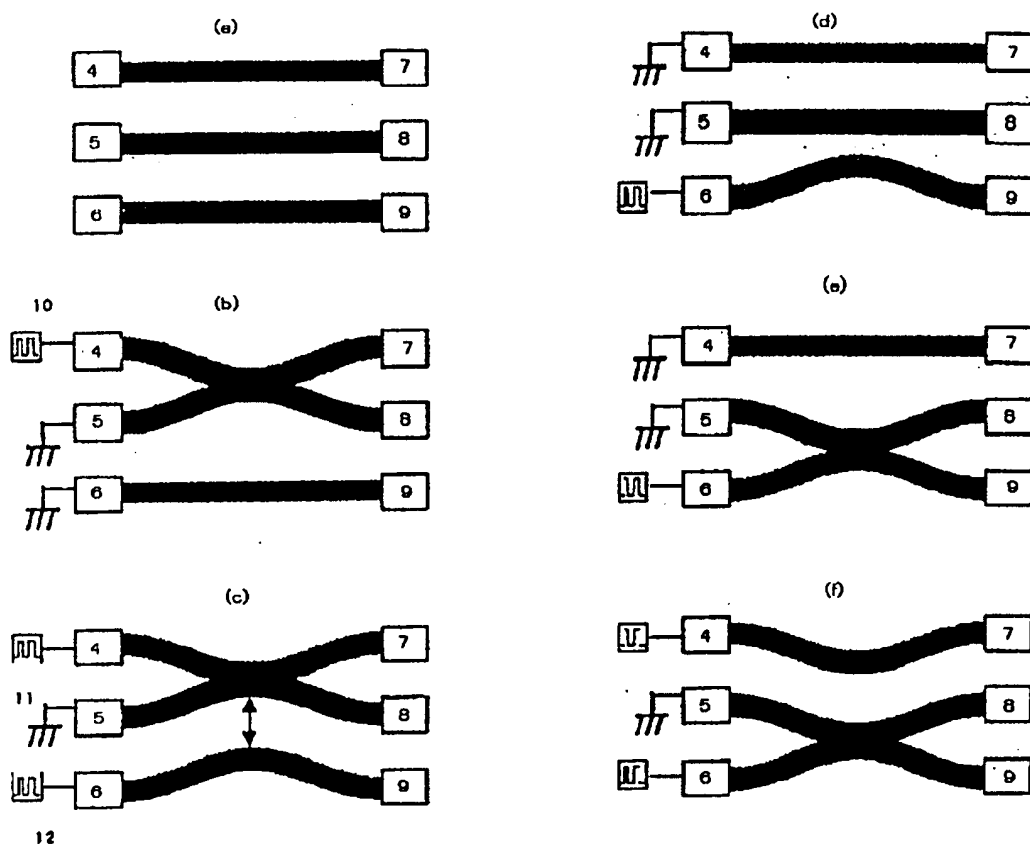


图 3

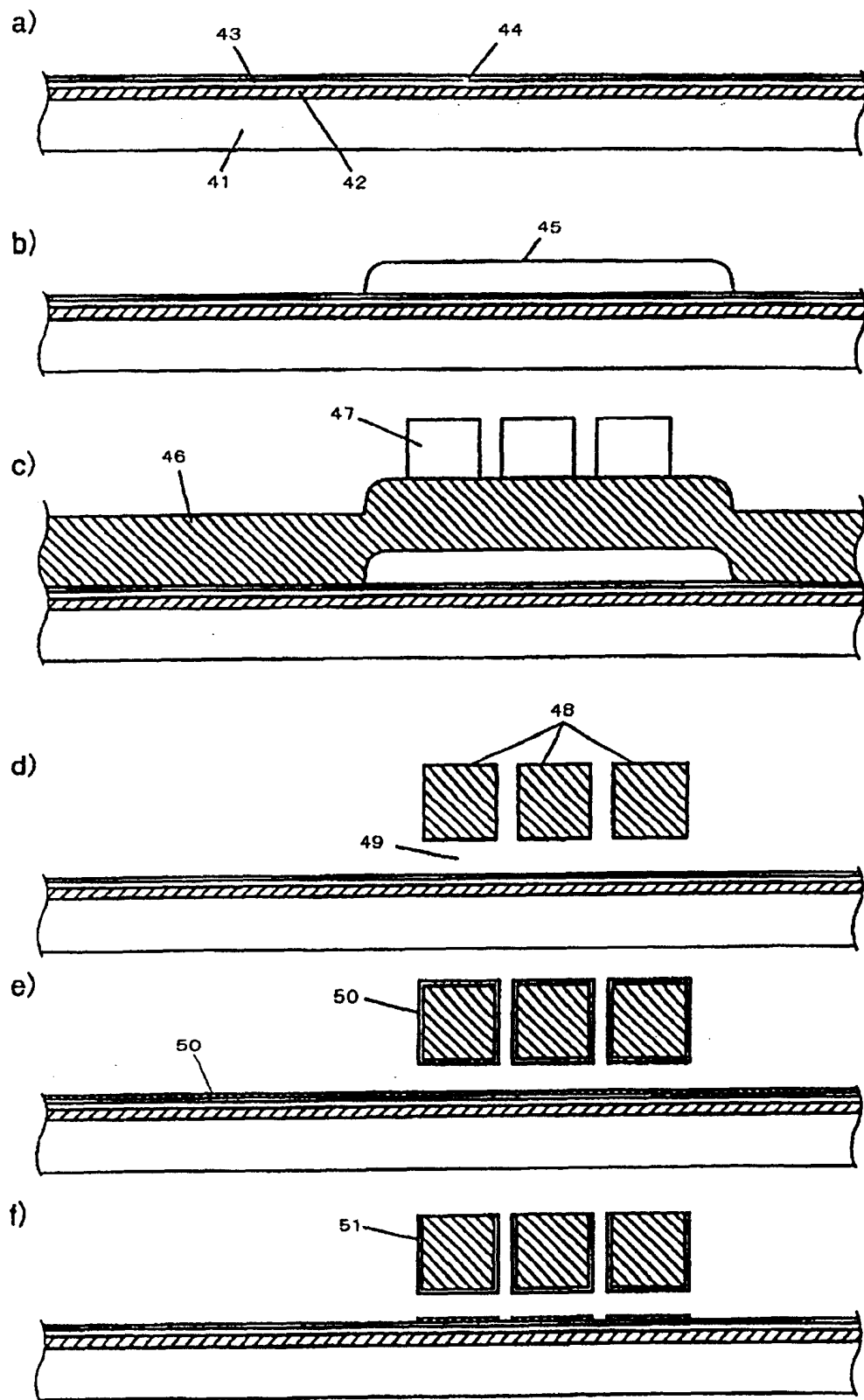


图 4

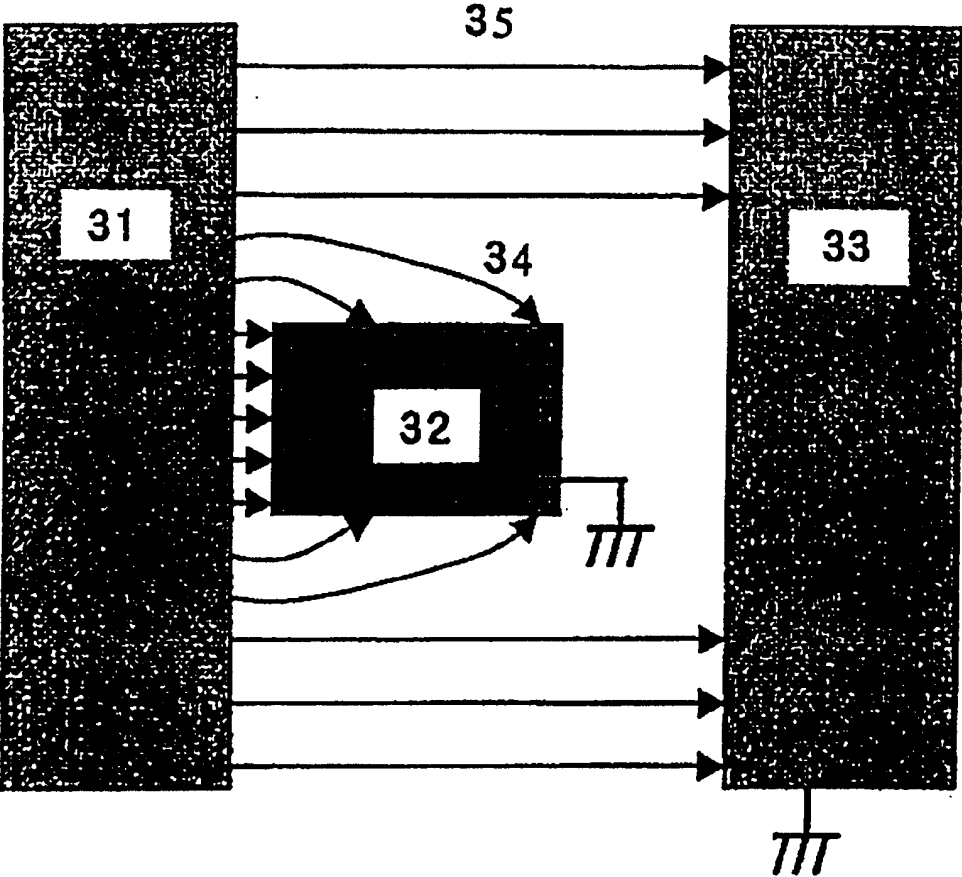


图 5

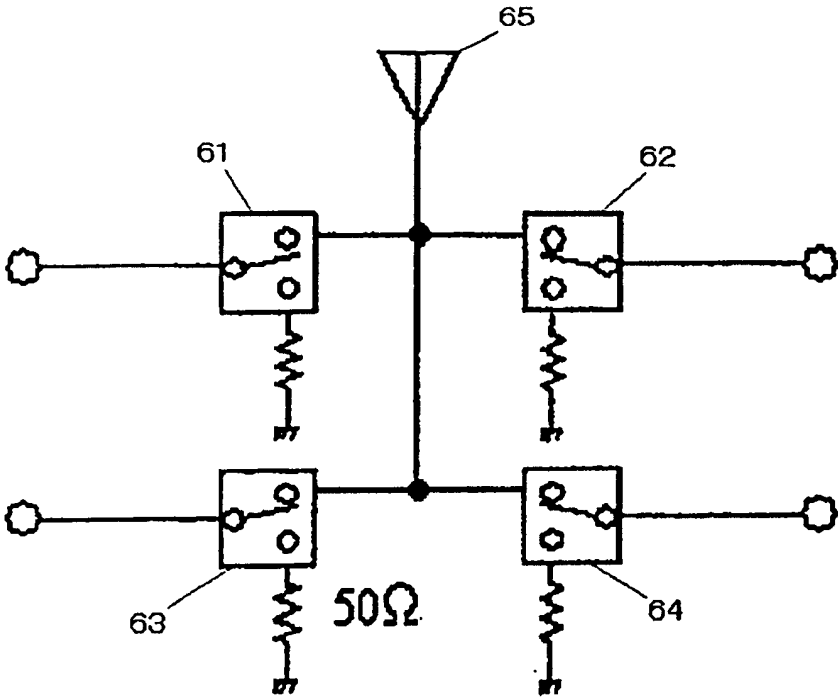


图 6

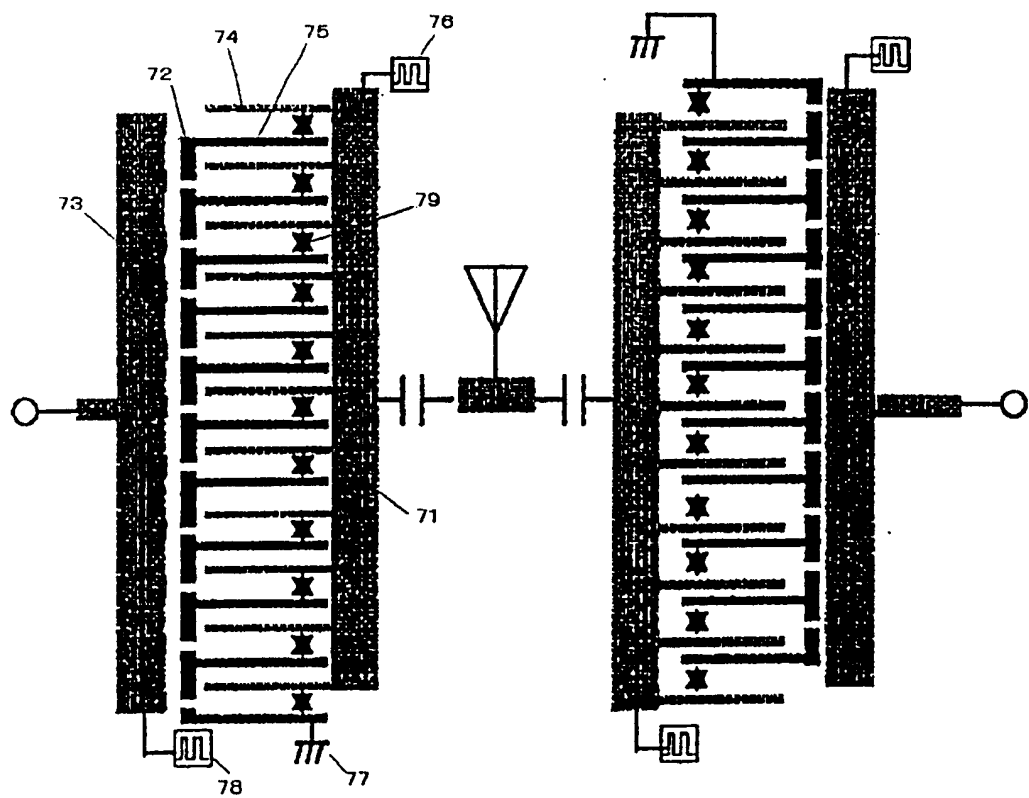


图 7

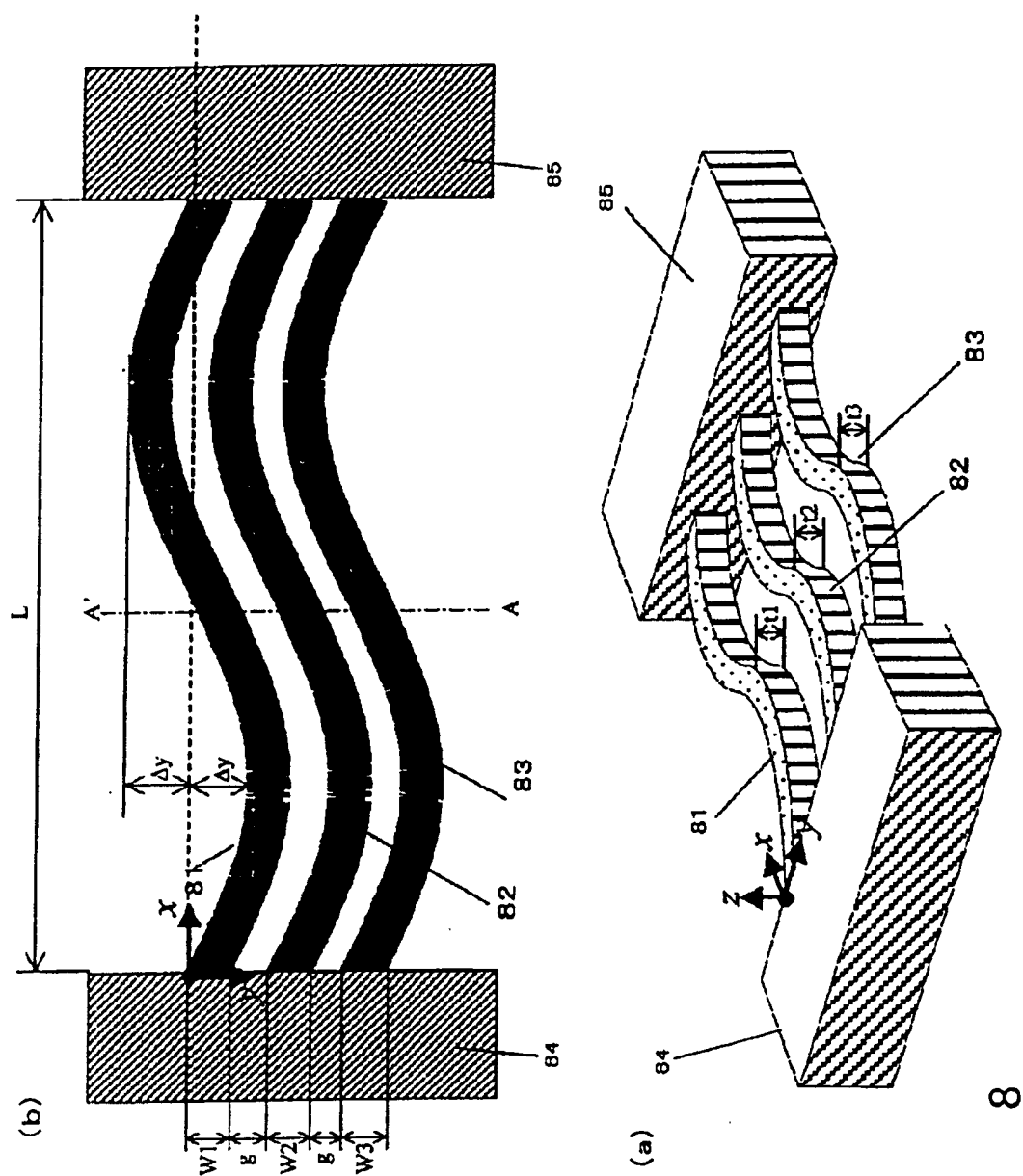


图8

8

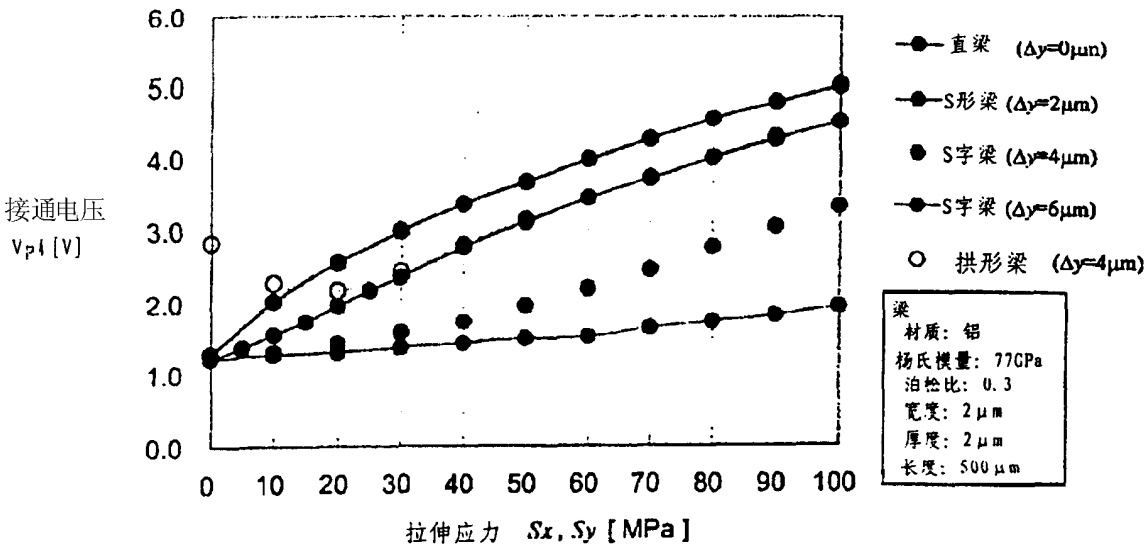


图 9

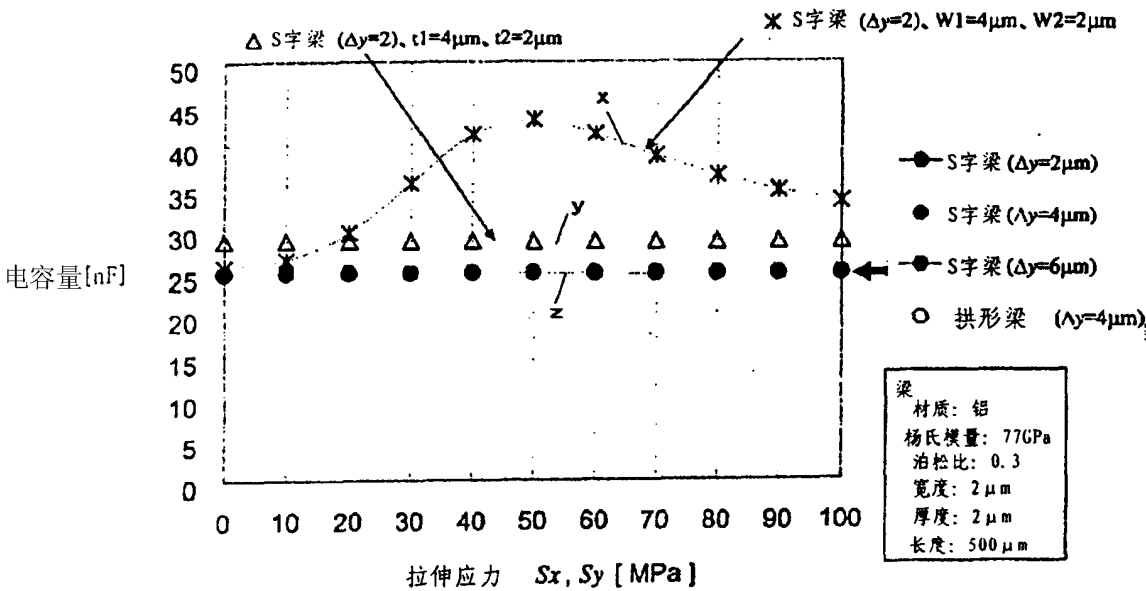
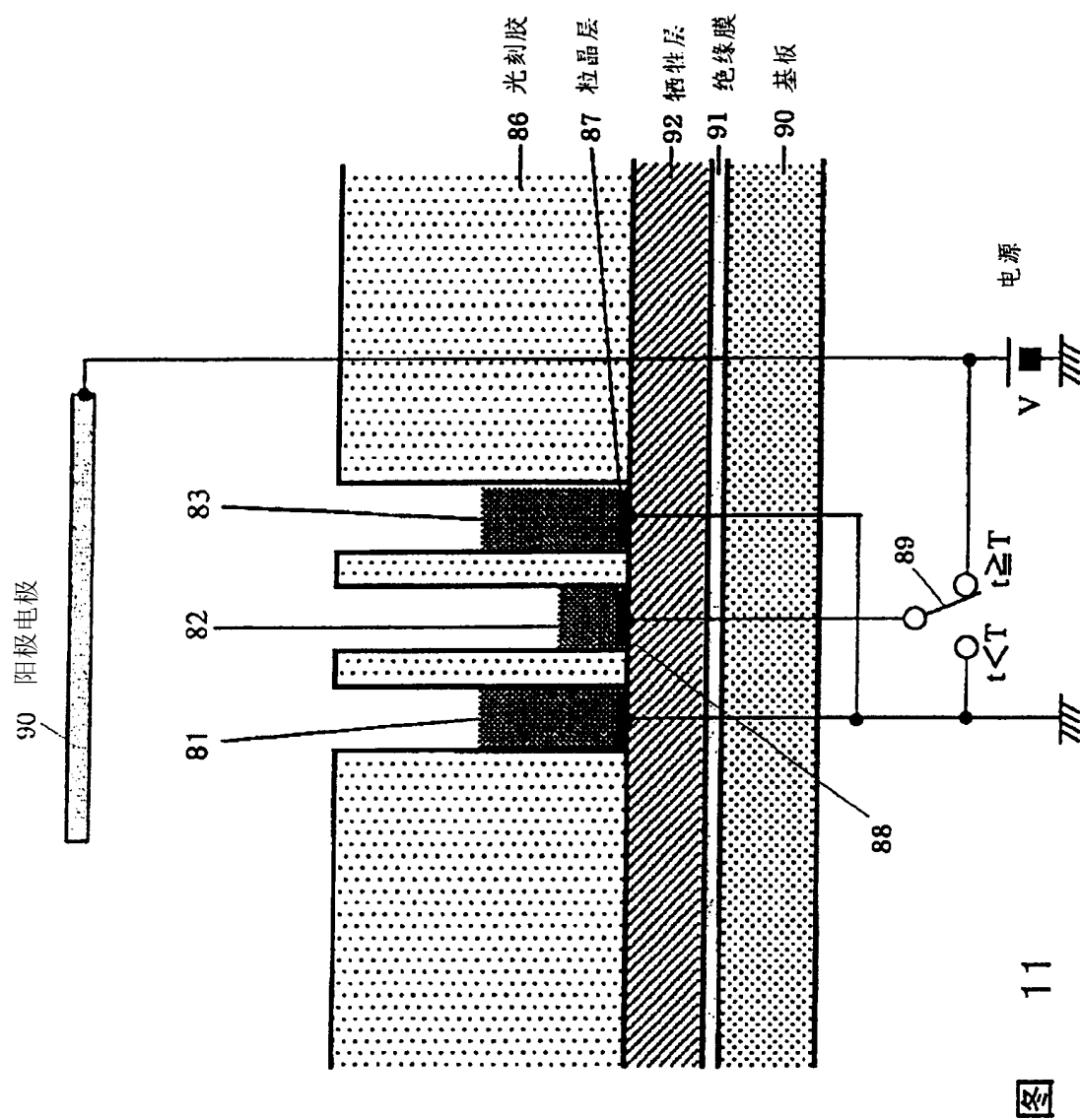


图 10



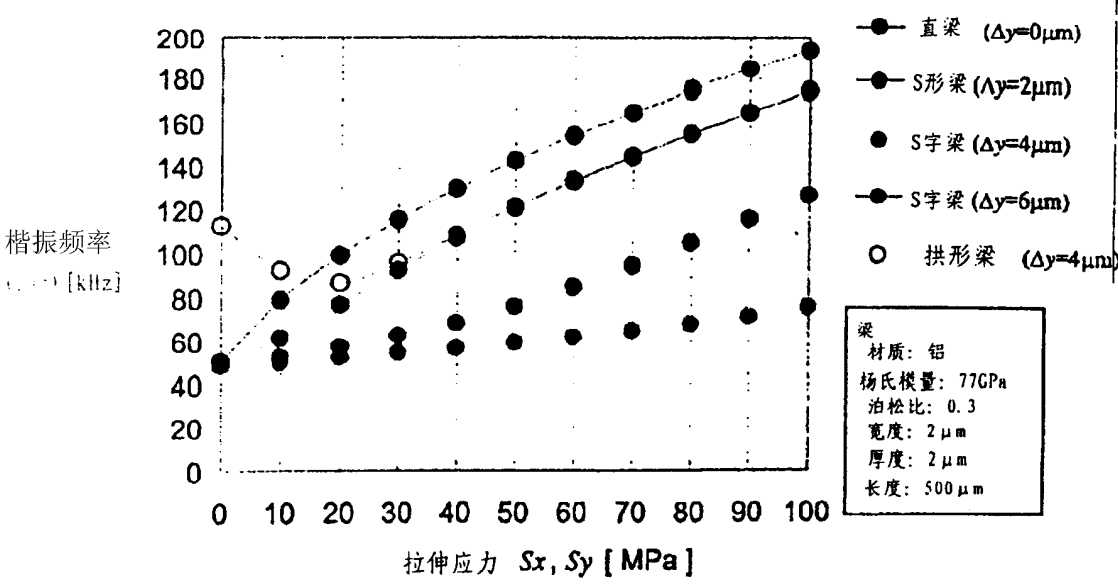


图 12

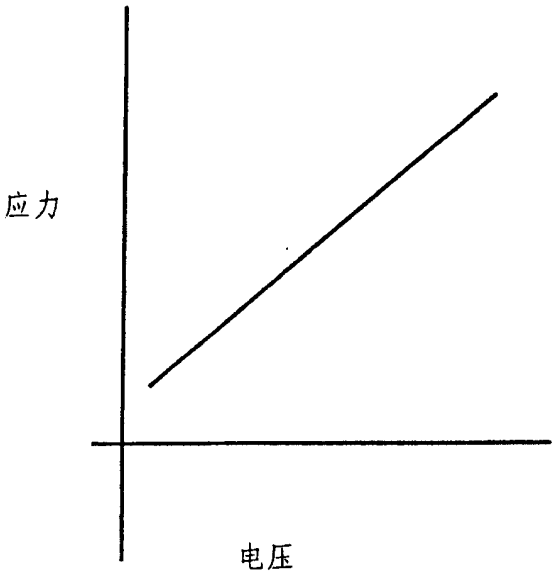


图 14

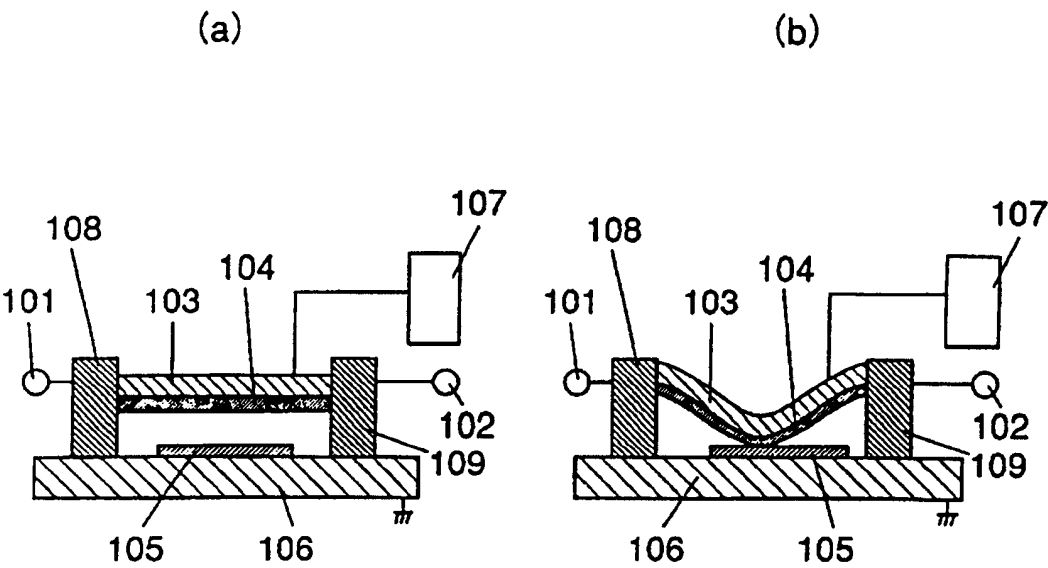


图 13

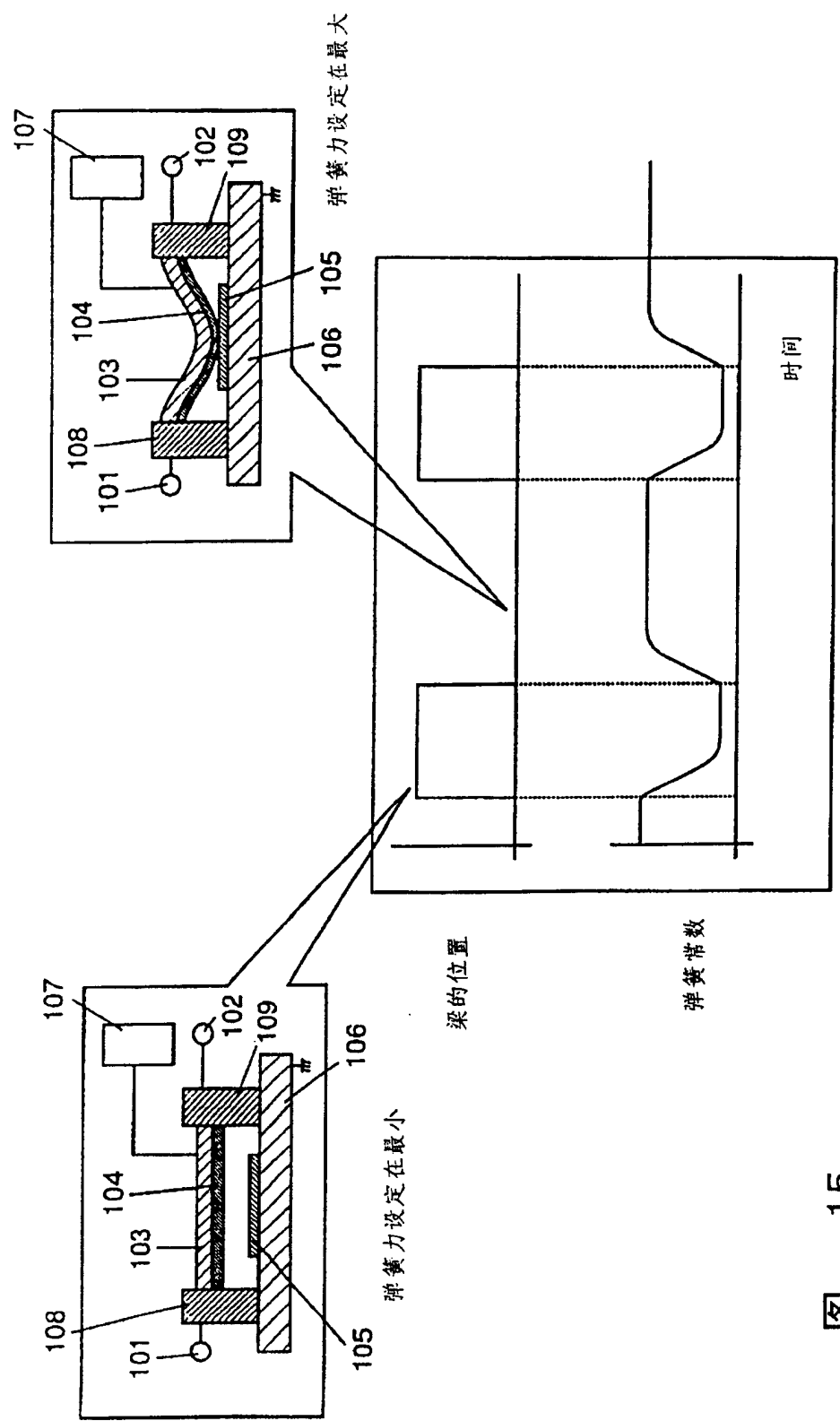


图 15

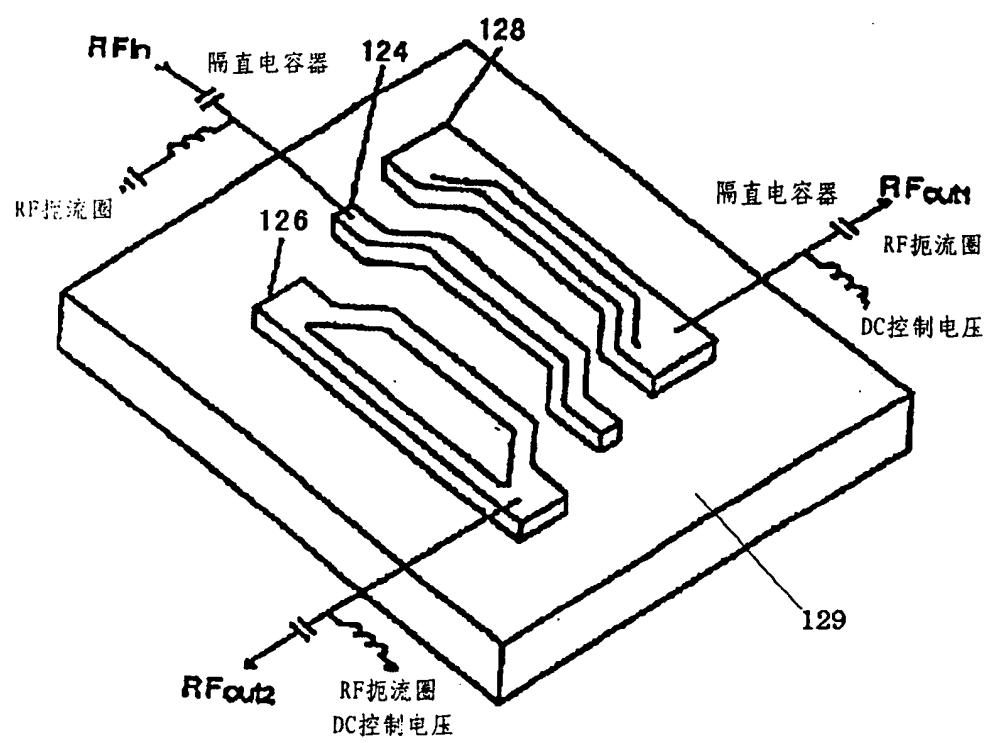


图 16

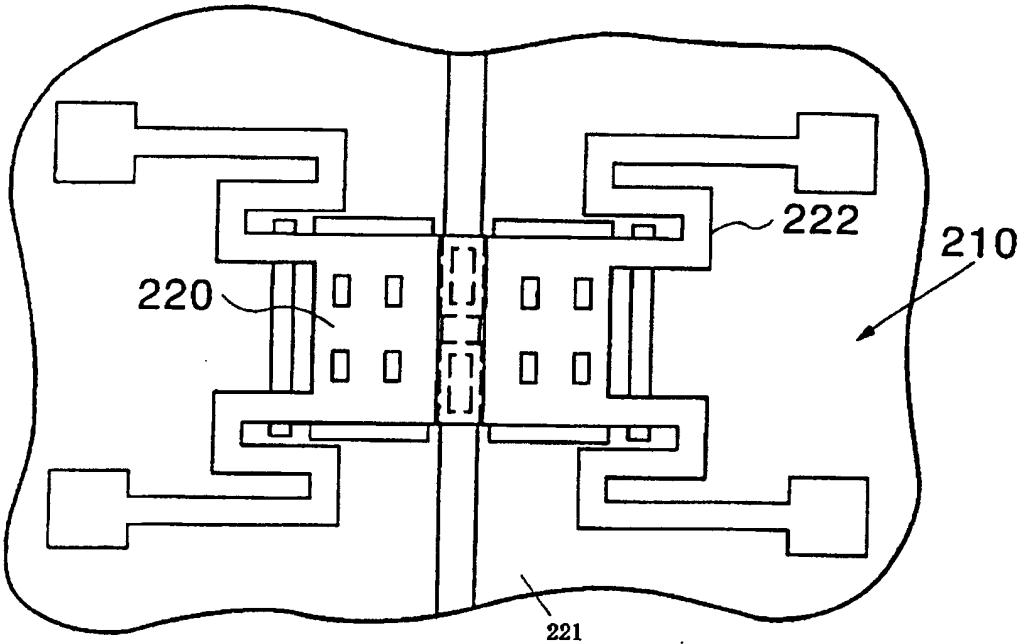


图 17