



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02826914.4

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1292447C

[22] 申请日 2002.11.8 [21] 申请号 02826914.4

[30] 优先权

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/337,527

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/337,528

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/337,529

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/338,055

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/338,069

[32] 2001.11.9 [33] US [31] 60/338,072

[86] 国际申请 PCT/US2002/035925 2002.11.8

[87] 国际公布 WO2003/043044 英 2003.5.22

[85] 进入国家阶段日期 2004.7.8

[73] 专利权人 图恩斯通系统公司

地址 美国加利福尼亚

共同专利权人 维斯普瑞公司

[72] 发明人 肖恩·J·坎宁安

达纳·R·德吕斯 苏巴哈姆·塞特
斯韦特兰娜·塔蒂克-卢奇克

审查员 李素娟

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 王 英

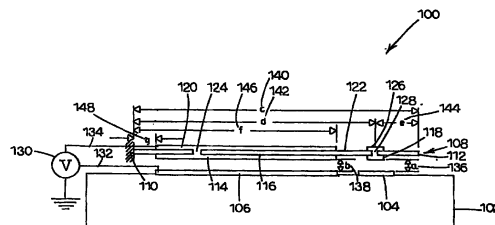
权利要求书 3 页 说明书 31 页 附图 18 页

[54] 发明名称

具有三层横梁的 MEMS 器件

[57] 摘要

提供一种悬挂在基板(102)上的活动的、三层微元件(108)，并且包括第一导电层(116)，将该第一导电层构图限定活动电极(114)。用间隙将基板(102)与第一金属层(116)分开。微元件(108)还包括在第一金属层(116)上形成并且一端相对于基板(102)固定的电介质层(112)。此外，微元件(108)包括在介质层(112)上形成的第二导电层(120)，并且构图限定与活动电极(114)电连接的电极互连(124)。



1、一种具有活动的、三层微元件的、微小规模的、静电致动的开关，该开关包括：

- (a) 包括固定电极和附着有固定触头的基板；
- (b) 弹性结构层，包括相对于基板固定的至少一端、悬在基板上方的下表面以及与下表面相对的上表面；
- (c) 附着在弹性结构层的下表面上的活动电极，从而活动电极与固定电极分开第一间隙；
- (d) 附着在弹性结构层的上表面并且连接到活动电极上用于电连接的电极互连；
- (e) 附着在弹性结构层的下表面上的活动触头，从而用第二间隙将活动触头与固定触头分开，并且其中活动触头位于靠近该至少一端，且活动电极覆盖围绕活动触头的下表面的区域；以及
- (f) 在弹性结构层的上表面上形成的并且连接到活动触头上用于电连接的接触互连。

2、根据权利要求1的开关，其中活动电极和电极互连各自具有相等的热膨胀系数。

3、根据权利要求1的开关，其中活动触头和接触互连各自具有相等的热膨胀系数。

4、根据权利要求1的开关，其中固定电极由金属材料形成。

5、根据权利要求1的开关，其中活动电极覆盖弹性结构层的下表面。

6、根据权利要求1的开关，其中电极互连覆盖弹性结构层的上表

面。

7、根据权利要求1的开关，其中活动电极与电极互连的尺寸相等，并且在弹性结构层的相对表面上彼此对准。

8、根据权利要求1的开关，其中活动触头与接触互连的尺寸相等，并且在弹性结构层的相对表面上彼此对准。

9、根据权利要求1的开关，其中弹性结构层具有相对于基板自由悬挂的第二端。

10、根据权利要求1的开关，其中活动电极由金属材料形成。

11、根据权利要求1的开关，其中电极互连扩展到弹性结构层的第二表面的整个区域中。

12、根据权利要求1的开关，其中弹性结构层由不导电材料构成。

13、根据权利要求1的开关，其中弹性结构层还包括将电极互连和活动电极连接到接触互连和活动触头的变窄的部分。

14、根据权利要求1的开关，其中接触互连还包括延伸到至少一端的接触通路，用来连接电子器件。

15、根据权利要求1的开关，其中接触互连还包括延伸到至少一端的第一和第二接触通路，用来连接到电子器件，从而接触通路在电极互连的相对侧延伸。

16、根据权利要求1的开关，其中活动触头还包括延伸到至少一端的接触通路，用来连接到电子器件。

17、根据权利要求16的开关，其中接触互连还包括延伸到至少一端的接触通路，用来连接到电子器件。

18、一种具有活动的、三层微元件的、微小规模的、静电致动的开关，该开关包括：

- (a) 附着有固定电极和固定触头的基板；
- (b) 弹性结构层，包括相对于基板固定的至少一端、悬在基板上方的下表面以及与下表面相对的上表面；
- (c) 附着在弹性结构层的下表面上的活动电极，从而活动电极与固定电极分开一个间隙；
- (d) 附着在弹性结构层的下表面上的活动触头，从而活动触头与固定触头分开一个间隙；以及
- (e) 在弹性结构层的上表面上形成的接触互连，连接到活动触头上用于电连接，尺寸与活动触头和活动电极相同，并且对准活动触头和活动电极。

19、根据权利要求18的开关，其中活动触头和接触互连各自具有相等的热膨胀系数。

20、根据权利要求18的开关，其中接触互连包括尺寸与活动电极相同并且对准活动电极的电极部分。

21、根据权利要求18的开关，其中接触互连包括尺寸与活动触头相同并且对准活动触头的接触部分。

22、根据权利要求21的开关，其中接触互连还包括尺寸与活动电极相同并且对准活动电极的电极部分，和用于电连接电极部分和接触部分的接触通路。

具有三层横梁的MEMS器件

相关申请的交叉参考

本申请要求2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/337,527、2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/337,528、2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/337,529、2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/338,055、2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/338,069、2001年11月9日申请的美国临时申请No. 60/338,072的优先权，其公开通过参考在这里全部引入。另外，共同受让并且同时申请的以下美国专利申请的公开在这里全部作为参考引入：标题为“Trilayered Beam MEMS Device and Related Methods”、“MEMS Device Having Contact and Standoff Bumps and Related Methods”、“MEMS Switch Having Electrothermal Actuation and Release and Method for Fabricating”以及“Electrothermal Self-Latching MEMS Switch and Method”。

技术领域

本发明涉及微电子机械（micro-electro-mechanical）系统（MEMS）器件。更具体的，本发明涉及具有三层横梁的MEMS器件的设计及其方法。

背景技术

静电MEMS开关是由静电电荷操作的开关，并采用微电子机械系统（MEMS）技术制造。MEMS开关可以控制电、机械或光信号的流动。MEMS开关已经应用于电信，例如DSL开关矩阵和移动电话、自动测试设备（ATE）和其它要求低成本开关或低成本高密度阵列的系统。

正如本领域的技术人员所理解的，许多类型的MEMS开关和相关

器件可以由体型 (bulk) 或表面微机械加工 (surface micromachining) 技术制造。体型微机械加工通常包括雕刻基板的一个或多个侧面, 在同一种基板材料中形成所需的三维结构和器件。基板由可容易地批量得到的材料构成, 因此通常为硅或玻璃。采用湿和/或干蚀刻技术结合蚀刻掩模和蚀刻停止层以形成微结构。蚀刻通常在基板的前面或背面进行。蚀刻技术实质上通常为各向同性或各向异性的。各向同性蚀刻对要蚀刻的材料平面的晶体取向不敏感 (例如, 使用硝酸作为蚀刻剂蚀刻硅)。各向异性蚀刻剂, 例如, 氢氧化钾 (KOH)、四甲基氢氧化铵 (TMAH) 和 ethylenediamine pyrocatechol (EDP), 以不同的速度选择性地腐蚀不同的结晶取向, 由此在产生蚀刻凹陷时可以用来限定较精确的侧壁。蚀刻掩模和蚀刻停止层用来防止基板的预定区域被蚀刻。

另一方面, 表面微机械加工通常包括通过在硅晶片的顶部淀积大量不同的薄膜来形成三维结构, 而不雕刻晶片本身。膜通常作为结构或牺牲层 (sacrificial layer)。结构层常常由多晶硅、氮化硅、二氧化硅、碳化硅或铝构成。牺牲层常常由多晶硅、光致抗蚀剂材料、聚酰亚胺、金属或各种氧化物, 例如, PGS (磷硅酸盐玻璃) 和 LTO (低温氧化物) 构成。进行连续的淀积、蚀刻和构图过程, 得到所需的微结构。在典型的表面微机械加工工艺中, 硅基板涂覆有隔离层, 并且在涂覆的基板上淀积牺牲层。在牺牲层中形成窗口, 然后淀积并蚀刻结构层。然后选择性地蚀刻牺牲层, 在结构层之外形成独立的、活动的微结构, 例如, 横梁或悬臂。微结构通常锚定 (anchor) 在硅基板上, 并且可以设计为根据来自适当的致动机构的输入而移动。

许多目前的 MEMS 开关设计采用悬臂 (cantilevered) 横梁 (或盘), 或者多支撑的横梁几何结构作为开关结构。在悬臂横梁的情况下, 这些 MEMS 开关包括活动的、由电介质材料结构层和金属层构成的双材料横梁。通常, 电介质材料固定在基板的一端, 并为横梁提供结构支撑。金属层附着在电介质层的下表面, 并形成活动的电极和活动的触头。金属层可形成锚点 (anchor) 部件。通过在附着在基板表面上的一个电极和另一个电极之间施加电压差, 将活动的横梁向着基板的方

向驱动。加在两个电极上的电压差产生将横梁拉向基板的电场。横梁和基板都具有触头，当没加电压时，彼此之间隔着空气隙，此时开关处于“断开”的位置。当加上电压差时，横梁被拉向基板，触头形成电连接，此时开关处于“闭合”的位置。

目前具有双材料横梁的MEMS开关所面临的一个问题是横梁的弯曲或其它形式的静态位移或变形。静态变形可以由膜中的应力不匹配或应力梯度引起。在某些平衡的温度下，可以平衡不匹配的影响，实现平坦的双材料结构，但是这不适用于依赖于温度的效应。通过特定的工艺（即，淀积速度、压力、方法等）、通过材料的选择以及通过几何参数，例如，厚度，可以平衡这种不匹配。随着温度的变化这种金属和电介质的双材料结构引起功能上的较大变化，因为金属通常比电介质具有更大的热膨胀率。由于在两个材料中的静态应力的不同状态，开关具有高可变性的变形。时常地，由于横梁的变形引起开关故障。当由于静态变形或者由于引入了作为温度的函数的变形而在活动的和固定的触头之间没有建立电接触时，导致开关故障。当活动的接触和固定的接触之间过早地闭合时，观察到故障的第二种方式，导致“短路”。由于横梁的变形，根据横梁背离基板或向着基板弯曲，致动电压分别增加或减小。由于这种可变性，可用的电压可能不足以达到所希望的接触力，由此导致接触电阻。

某些目前具有双材料横梁的MEMS开关设计将活动电极的金属层附着在介质材料的上表面。移动触头的金属层仍然必须在介质材料的下表面。该设计用来在活动电极和固定基板电极之间提供隔离；但是，该设计要求更高的致动电压，因为在金属层和附着在基板表面上的电极之间的间隙距离更大。现在有效间隙是在固定电极和电介质之间的间隙与电介质厚度的和。因此，这种设计要求更大的功耗，并且产生关于介质充电的问题。

因此，希望提供改善MEMS开关的产量、温度特性、致动和质量的横梁。还希望减小横梁的变形，以便改善开关的可靠性。此外，希望降低开关的功耗。

发明内容

根据一个实施例，提供一种悬挂于基板上的活动的、三层微元件。三层微元件包括构图以限定活动电极的第一导电层。第一金属层与基板分开一个间隙。微元件还包括在第一金属层上形成并且一端相对于基板固定的电介质层。此外，微元件包括在介质层上形成的第二导电层，并且构图来限定与活动电极电连接的电极互连。

根据第二实施例，提供具有活动的、三层微元件的致动器。致动器包括附着有固定电极的基板以及包括相对于基板固定的第一端和悬在基板上的第二端的弹性结构层。致动器还包括附着在结构层上的活动电极，由此活动电极与固定电极由间隙分开。此外，致动器包括在结构层上形成的电极互连，用来与活动电极电连接。

根据第三实施例，提供具有活动的、三层微元件的、微小规模的、静电致动开关。该开关包括具有固定电极和其上附着触头的基板以及包括相对于基板固定的第一端和悬在基板上的第二端的弹性结构层。该开关还包括附着在结构层上的活动电极，由此活动电极与固定电极由间隙分开。此外，开关包括在结构层上形成的电极互连，用来与活动电极电连接。

因此，一个目的是提供一种如在这里所介绍的新颖的MEMS开关器件和方法。

以上介绍了本发明的一个目的，并且通过具有三层横梁的新颖的MEMS器件以及这里介绍的相关方法来完全或部分地实现这一目的，随着下面结合作为最佳描述的附图的进一步介绍，其它目的也将变得明显。

附图简要介绍

下面参考附图说明本发明的示例性实施例，其中：

图1示出了处于“断开”位置的MEMS开关的剖侧视面图；

图2示出了处于“闭合”位置的MEMS开关的侧视剖面图；

图3示出了MEMS开关的固定电极、结构层、活动电极以及电极互连的前视剖面图；

图4示出了MEMS开关的顶视图；

图5示出了MEMS开关的透视顶视图；

图6示出了具有接触凸点的MEMS开关的透视底视图；

图7示出了MEMS开关的另一个实施例的顶视图，其中电极互连宽度大于接触互连宽度；

图8示出了MEMS开关的另一个实施例的顶视图，其中电极互连延伸靠近接触互连；

图9示出了MEMS开关的透视顶视图，其中电极互连更宽，并且延伸靠近接触互连；

图10示出了根据本发明的MEMS开关的透视侧视图；

图11示出了MEMS开关的实施例的顶视图，其隔离区在电极互连和接触互连之间的宽度减小；

图12示出了MEMS开关的另一个实施例的透视顶视图，其中电极互连比接触互连更宽，并且结构层在锚点附近变窄；

图13示出了MEMS开关的透视底视图，其中电极互连比接触互连更宽，并且结构层在锚点附近变窄；

图14示出了具有柔性切口（compliance cuts）的MEMS开关的另一个实施例的透视顶视图；

图15示出了具有柔性切口的MEMS开关的另一个实施例的透视侧视图；

图16示出了具有折叠的横梁几何形状的MEMS开关的另一个实施例的顶视图；

图17示出了具有两个悬臂横梁的MEMS开关的另一个实施例的透视顶视图；

图18示出了具有两个悬臂横梁的MEMS开关的另一个实施例的透视底视图；

图19示出了具有两个悬臂横梁的MEMS开关的另一个实施例的顶视图；

图20示出了具有两个悬臂横梁的MEMS开关的另一个实施例的顶视图；

图21示出了在结构层的底面具有接触通路的MEMS开关的另一个实施例的顶视图；

图22示出了在结构层的底面具有接触通路的MEMS开关的另一个实施例的底视图；

图23示出了在结构层的底面和顶面具有接触通路的MEMS开关的另一个实施例的顶视图；

图24示出了在结构层的底面和顶面具有接触通路的MEMS开关的另一个实施例的底视图；

图25示出了接触互连尺寸基本等于活动触头和活动电极尺寸，并且对准活动触头和活动电极的MEMS开关的侧视剖面图；

图26示出了接触互连尺寸基本等于活动触头和活动电极尺寸，并且对准活动触头和活动电极的MEMS开关的透视顶视图；以及

图27示出了接触互连尺寸基本等于触头和活动电极尺寸，并且对准活动触头和活动电极的MEMS开关的透视底视图。

发明的详细介绍

这里为了说明的目的，应当理解，当谈到元件，例如一个层或基板，淀积或形成在另一个元件“上”时，该元件可以直接在另一个元件之上，或者，可选择地，也可以存在插入元件（例如，一个或多个缓冲或过渡层、夹层、电极或触头）。此外，应当理解，术语“淀积在……上”和“形成在……上”是可替换的，表示给定的元件相对于另一个元件如何定位。因此，应当理解，术语“淀积在……上”和“形成在……上”没有对材料转移、淀积或制造引入任何限制。

通过溅射、CVD或蒸发可以形成各种材料的触头、互连、导电过孔和电极。如果采用金、镍或PERMALLOY™ (Ni_xFe_y) 作为金属成分，则可以进行电镀工艺将材料输送到所需的表面。在各种金属的电镀中所用的化学溶液是公知的。某些金属，例如，金，要求适当的中间附着层来防止剥离。经常使用的附着材料的例子包括铬、钛或例如钛-钨 (TiW) 等合金。某些金属组合要求扩散阻挡层，以防止铬附着层穿过金扩散。在金和铬之间的扩散阻挡层的例子包括铂或镍。

根据下面介绍的本发明的微机械加工可以采用常规光刻工艺。因此，在这里不再介绍基本的光刻工艺步骤，例如光致抗蚀剂应用、光学曝光以及显影剂的使用。

同样，可以采用公知的蚀刻工艺选择性的去除材料或几个区域的材料。通常使用成像的光致抗蚀剂层作为掩蔽模板。可以在基板体上蚀刻出图形，或在薄膜或层中蚀刻出图形，然后用这些图形作为后续蚀刻步骤的掩模。

在特定制造步骤中采用的蚀刻工艺的类型（例如，湿、干、各向同性、各向异性、依赖于各向异性取向（anisotropic-orientation dependent））、蚀刻速度以及所用蚀刻剂的类型将依赖于所要去掉的材料成分、要使用的任何掩蔽或蚀刻停止层的成分以及要形成的蚀刻区的形状。例如，通常多蚀刻（polyetch）（ $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}$ ）可用于各向同性湿蚀刻。碱金属的氢氧化物（例如， KOH ）、简单氢氧化铵（ NH_4OH ）、四（四甲基）氢氧化铵（ $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ ，在商业上也称为TMAH）以及在水中与pyrochatechol混合的乙二胺（EDP）可以用于各向异性湿蚀刻，用于制造V形或锥形凹槽、沟槽或空腔。氮化硅通常用作通过 KOH 蚀刻的掩蔽材料，并且从而可以与硅的选择性蚀刻相结合。二氧化硅被 KOH 缓慢蚀刻，所以如果蚀刻时间较短，可以用作掩蔽层。 KOH 可以蚀刻未掺杂的硅，而重掺杂的（ p^{++} ）硅可以用作 KOH 以及其它碱性蚀刻剂和EDP的蚀刻停止层。氧化硅和氮化硅可以用作TMAH和EDP的掩模。根据本发明用来形成触头和互连的优选金属为金及其合金。

众所周知湿蚀刻剂可以用来蚀刻例如铜、金、二氧化硅以及辅助材料等材料，辅助材料例如为附着和阻挡材料。例如，可以在20到50°C的温度范围内用 KI_3 的水溶液蚀刻金。作为另一个例子，可以在25°C下在铈的硝酸铵、硝酸和 H_2O 溶液中湿蚀刻铬（公共附着层）。此外，例如，可以在25°C下在硝酸的稀溶液中蚀刻铜。蚀刻二氧化硅的普通方法是用 HF 的各种水溶液或者用氟化铵缓冲的 HF 溶液。

应当理解，可以在氢氧化物溶液中进行电化学蚀刻来代替定时的湿蚀刻。例如，如果p型硅晶片用作基板，则可以通过外延生长n型硅

终止层以形成p-n结二极管来产生蚀刻停止层。在n型层和放在溶液中的电极之间施加电压，反向偏置p-n结。结果，通过掩模蚀刻体p型硅直到p-n结，在n型层停止。此外，光电的和电流的蚀刻停止技术也是合适的。

也可以使用，例如，等离子相蚀刻和反应离子蚀刻（RIE），等干蚀刻技术去除硅及其氧化物和氮化物，以及各种金属。深反应离子蚀刻（DRIE）可以用来在体层中各向异性地蚀刻深的、垂直的沟槽。二氧化硅通常用作DRIE的蚀刻停止层，从而根据本发明的方法，可以使用包含埋置的二氧化硅层的结构，例如绝缘体上硅（SOI）晶片，作为制造微结构的初始基板。例如，对于干蚀刻工艺，可以在包括 $\text{CF}_4 + \text{O}_2$ 、 CHF_3 、 C_2F_6 或 C_3F_8 的化学试剂中蚀刻二氧化硅。作为另一个例子，可以用 $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$ 或 $\text{C}_4\text{Cl}_2\text{F}_4 + \text{O}_2$ 干蚀刻金。

可选择的蚀刻构图工艺为本领域的技术人员已知的提升（lift-off）工艺。在这种情况下，常规光刻技术用于所希望图形的负像。该工艺通常用来在金属上构图，该金属淀积为连续膜或当需要附着层和扩散阻挡层时而淀积的膜。金属淀积在要构图的区域上并在光致抗蚀剂掩模（负像）的上面。去掉光致抗蚀剂和其上面的金属，留下所需的金属图形。

如在这里所用的，术语“器件”具有与术语“元件”可互换的意思。

如在这里所用的，术语“导电”通常包括导体和半导体材料。

现在参考附图介绍例子。

参考图1-4，示出了一般用100表示的具有三层横梁的MEMS开关的不同视图。具体参考图1，示出了处于“断开”位置的MEMS开关的侧视剖面图。MEMS开关100包括基板102。基板102可以包含的材料非限定性的例子包括硅（以单晶、多晶或非晶的形式）、氮氧化硅（silicon oxinitride）、玻璃、石英、蓝宝石、氧化锌、氧化铝、二氧化硅或者以二重、三重或四重的形式的各种族III-V的化合物的一种（例如，GaAs、InP、GaN、AlN、AlGaN、InGaAs等）。如果选择的基板102的成分为导电的或半导体材料，则可以在基板102的表面上

或者至少在需要电接触或导电区的部分的部分顶部表面上淀积不导电的电介质层。

基板102包括第一固定触头104、第二固定触头（未示出）和在其表面上形成的固定电极106。第一固定触头104、第二固定触头和固定电极106可以由例如金属的导电材料构成。或者，第一固定触头104、第二固定触头和固定电极106可以分别包含不同的导电材料，例如金-镍合金（AuNi₅）和铝，以及本领域的技术人员已知的其他合适的导电材料。固定电极106的导电性可以远低于第一固定触头104和第二固定触头的导电性。最好，第一固定触头104和第二固定触头包含例如铜等具有非常高导电性的材料。优选地，第一固定触头104和第二固定触头的宽度范围为7μm到100μm，长度范围为15μm到75μm。固定电极106的尺寸的宽度范围依赖于所要求的致动电压、接触电阻以及其它功能参数。优选地，固定电极106的宽度范围为25μm到250μm，长度范围为100μm到500μm。或者第一固定触头104、第二固定触头和固定电极106可以是适合制造能力和MEMS开关100的功能要求的任何尺寸。

MEMS开关100还包括悬在第一固定触头104、第二固定触头和固定电极106上方的活动的三层横梁，用108表示。横梁108的一端固定附着在固定件110上。当MEMS开关100处于“断开”位置时，横梁108基本平行于基板102的上表面延伸。横梁108通常包括夹在下面要详细介绍的两个导电层之间的电介质结构层112。结构层112包括可弯曲的材料，优选氧化硅（SiO₂，通过溅射、电镀、旋涂或者其它方法淀积），可以弯向基板102而转变为“闭合”位置。结构层112提供电隔离和所希望的机械特性，包括弹性特性。或者，结构层112可包含氮化硅（Si_xN_y）、氮氧化硅、氧化铝（Al_xO_y）、聚合物、CVD钻石、它们的合金或者本领域的技术人员已知的任何其它合适的弹性材料。

横梁108还包括附着在结构层112的下表面116的活动电极114。活动电极114形成横梁108的第二层。活动电极114设置在固定电极106的上方，并且由空气间隙与固定电极106隔开。通过加在固定电极106和活动电极114之间的电压差横梁108在向着基板102的方向移动。加

在固定电极106和活动电极114的电压差产生静电场，使横梁108向基板102偏移。下面详细介绍MEMS开关100的操作。

活动电极114的尺寸基本与固定电极106的相同。通过使活动电极114和固定电极106的尺寸匹配从而产生最大静电耦合，即致动力。该结论忽略了在各个电极的边缘的边缘场效应的任何影响。活动电极114和固定电极106匹配尺寸的缺点可以通过不匹配各自的尺寸来克服。通过使固定电极106的广度大于活动电极114，制造工艺容差和制造对准容差在致动响应上具有最小的影响。第二个要考虑的问题是活动电极114和固定电极106之间的电场的强化，这一电场被两个电极的边缘的最接近的部分加强。由于介质或气体击穿问题，希望使这两个电极的边缘远离。第三个要考虑的问题是屏蔽，由此固定电极106可以屏蔽活动电极114不受基板102上的电荷或其它电势的影响。

活动电极114和固定电极106可以包含相同的材料，如，金，从而通过将用于制造的不同材料的数量最小化来简化制造工艺。活动电极114和固定电极106可以包含导体（金、铂、铝、钽、铜、钨、镍以及本领域的技术人员已知的其它材料）、导电氧化物（氧化铟锡）和低电阻率的半导体（硅、多晶硅以及本领域的技术人员已知的其它材料）。活动电极114包括导电材料，其中包括在活动电极114和结构材料112之间的附着层（Cr、Ti、TiW等）。活动电极114包括导电材料和包含扩散阻挡层的附着层，该扩散阻挡层用于防止附着层扩散穿过电极材料、导电材料穿过附着层或进入结构材料。考虑到击穿或放电、考虑到湿化学处理期间的“粘贴（stiction）”或者由于制造工艺兼容性的问题，活动电极114和固定电极106还可以由不同的材料构成。

横梁108还包括附着在结构层112的下表面116并且悬在第一固定触头104和第二固定触头（未示出）上方的导电活动触头118。以这样的方式定位活动触头118，当横梁108处于“闭合”位置时，活动触头118在第一固定触头104和第二固定触头之间提供连接，从而在第一固定触头104和第二固定触头之间提供电连接。当操作MEMS开关100处于“断开”位置时，活动触头118与第一固定触头104和第二固定触头之间由空气间隙分开。当MEMS开关100移动到“闭合”位置时，

活动触头118、第一固定触头104和第二固定触头电连接。活动触头118的尺寸小于第一固定触头104和第二固定触头，从而当考虑工艺可变性和对准可变性时有利于接触。需要为第一固定触头104和第二固定触头确定适当的尺寸，从而致动时活动触头118总是能与第一固定触头104和第二固定触头接触。第二个要考虑的确定活动触头118、第一固定触头104和第二固定触头的尺寸的问题是对开关100的寄生响应（parasitic response）。寄生致动响应（或“自致动”）由活动触头118和固定电极106之间的电位差产生的电场，或者由第一固定电极106和第二固定触头与横梁108之间的电荷（或电位）差产生，该电荷差产生电场和作用在活动触头118上的力。活动触头118的尺寸连接到活动电极114的尺寸，从而实现寄生致动对致动电压的特定比值。

在本实施例中，由于活动触头118与活动电极114在同一层中形成，所以它们由相同的导电材料制成。活动触头118和活动电极114可以包含导体（例如，金、铂、铝、钯、铜、钨、镍以及本领域的技术人员已知的其它材料）、导电氧化物（例如，氧化铟锡以及本领域的技术人员已知的其它材料）和低电阻率的半导体（硅、多晶硅以及本领域的技术人员已知的其它材料）。活动触头118包含导电材料，该导电材料包括在活动触头118和结构材料112之间的附着层（Cr、Ti、TiW以及本领域的技术人员已知的其它材料）。活动触头118包含导电材料和附着层，该附着层包括扩散阻挡层，用于防止附着层扩散穿过电极材料、防止导电材料穿过附着层或进入结构材料。在同一个光刻步骤中用相同的材料淀积并构图来制造活动触头118和活动电极114，这简化了制造工艺。因为活动触头118和活动电极114要求的材料不同，所以这对开关的操作不是必需的。最好，活动电极114包含的材料具有良好导电特性，和本领域技术人员公知的合适的触头所具有的其他所需特性。最好，活动触头118包含的材料具有低电阻率、低硬度、低氧化性、低磨损性，以及本领域技术人员公知的合适的触头所具有的其他所需特性。

横梁108还包括附着在结构层112的上表面122的电极互连120。电极互连120在横梁108上形成第三层。如图所示，电极互连120附着在

结构层112的活动电极114的对侧。电极互连120的尺寸基本与活动电极114的尺寸相同。在本实施例中，电极互连120与活动电极114的尺寸相同，并且对准活动电极114。或者，电极互连120具有与活动电极114不同的尺寸和广度。最好，电极互连120与活动电极114的尺寸相同，并且对准活动电极114，以便实现随着温度改变而保持的可制造的平坦性。在本实施例中，电极互连120包含的导电材料与活动电极114具有相同热膨胀系数、弹性模量、残留膜应力和其它电/机械特性。电极互连120和活动电极114可以包含导体（例如，金、铂、铝、钯、铜、钨、镍以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）、导电氧化物（例如，氧化铟锡以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）和低电阻率的半导体（例如，硅、多晶硅以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）。或者，电极互连120包含的导电材料与构成活动电极114的导电材料不同。

在电极互连120和结构层112之间设置附着层。附着层包括扩散阻挡层，用于防止附着层扩散穿过导电电极材料、并防止导电材料穿过附着层或进入结构材料。

电极互连120通过互连过孔124电连接到活动电极114。互连过孔124由穿过结构层112形成的导电材料构成，用来电连接活动电极114和电极互连120。互连过孔124包含与电极互连120和活动电极114相同的导电材料。或者，互连过孔124包含不同于电极互连120和活动电极114的导电材料。

横梁108还包括附着在结构层112的上表面122的接触互连126。如图所示，接触互连126附着在结构层112的活动触头118的对侧。接触互连126的尺寸基本与活动触头118的尺寸相同。接触互连126与活动触头118彼此对准，并且具有相同的尺寸。或者，接触互连126具有与活动触头118不同的尺寸和广度。试图通过机械形式的安排来保持几何形状的均等。试图使接触互连126和活动触头118共有几何和热机械均等。该均等使横梁在温度和其它环境条件变化下达到可制造的平坦性，该其它环境条件为，例如，管芯固定、封装盖密封工艺或焊接回流工艺。在本实施例中，接触互连126包括的导电材料与活动触头118

具有相同热膨胀系数、弹性模量、残留膜应力和本领域的技术人员公知的其它所期望的电/机械特性。接触互连126和活动触头118可包括导体（例如，金、铂、铝、钯、铜、钨、镍以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）、导电氧化物（例如，氧化铟锡以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）和低电阻率的半导体（硅、多晶硅以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）。接触互连126包含导电材料，该导电材料包括在接触互连126和结构材料112之间的附着层（例如，Cr、Ti、TiW以及本领域的技术人员已知的其它合适材料）。接触互连126包括导电材料和附着层，该附着层包括用于防止附着层扩散穿过电极材料、导电材料穿过附着层或进入结构材料的扩散阻挡层。或者，接触互连126包含与构成活动触头118的导电材料不同的导电材料。该替代实施例要求设计的互连接触具有这样的尺寸，使得其能够几何地和热机械的平衡材料特性的差别。接触互连126通过第二互连过孔128电连接到活动电极114。第二互连过孔128由穿过结构层112形成的导电材料构成，用来电连接活动触头118和接触互连126。第二互连过孔128包含与接触互连126和活动触头118相同的导电材料。第二互连过孔128可由不同于接触互连126和活动触头118的导电材料构成。例如，第二互连过孔128可以由钨或铝构成，而接触互连126和活动触头118由例如金构成。在本实施例中，第二互连过孔128由与互连过孔124、互连电极120和接触互连126相同的材料构成。或者，第二互连过孔128由不同于互连过孔124、互连电极120和接触互连126的材料构成。

MEMS开关100由加在活动电极114和固定电极106之间的电压差操作。所加的电压使横梁108向基板102偏移，直到活动触头118接触第一固定触头104和第二固定触头，由此在活动触头118与第一固定触头104和第二固定触头之间建立电连接。参考图2，示出了处于“闭合”位置的MEMS开关100的侧视剖面图。如在所示的“闭合”位置，活动触头118接触第一固定触头104和第二固定触头。如在下面所述，确定MEMS开关100的元件的尺寸，从而在“闭合”位置活动电极114不接触固定电极106，从而防止在元件106和114之间的短路。此外，

确定MEMS开关100的元件的尺寸，使得在“闭合”位置第一固定触头104和第二固定触头接触活动触头118。通过显著降低或去掉加在固定电极106和活动电极114之间的电压差，MEMS开关100返回“断开”位置。由此降低了活动电极114和固定电极106之间的吸引力，从而结构层112的弹性使结构层112回到基本平行于基板102的表面的位置。

现在参考图1，电压源130提供固定电极106和活动电极114之间的电压差。这里电压源设置为0伏。固定电极106通过导线132直接连接到电压源。活动电极114通过互连过孔124、电极互连120和第二导线134电连接到电压源130。导线134在电压源130和电极互连120之间提供连接。互连过孔124在电极互连120和活动电极114之间提供连接。因此，当电压源130施加电压时，在固定电极106和活动电极114之间产生电压差。这在活动电极114和固定电极106之间建立穿过空气间隙的静电耦合。或者，在活动电极114和固定电极106之间的间隙可以是本领域的技术人员所公知的任何合适的绝缘气体或液体。

在本实施例中，第一固定触头104、第二固定触头、固定电极106、活动触头110、活动电极112、电极互连120、接触互连128以及互连过孔124和128由金属构成。最好，活动电极114和电极互连120用相同的材料制造，并且尺寸相同，以便实现两个功能。第一，在结构层112的两侧提供机械平衡。由于弹性对称，由于以相同的方式淀积膜来产生对称的应力场，并且由于热膨胀特性对称，所以可以提供机械平衡。通过使用相同的材料并且采用相同的尺寸保持弹性对称。通过使用相同的工艺淀积相同厚度的同一种材料产生对称的应力场。由于在结构层112的两侧为相同的材料，所以对称的热膨胀特性将开关操作中相对于温度的任何变化最小化。这意味着MEMS开关100表现出的任何功能变化主要来自于工艺的变化，可以通过正确优化工艺中的设计使其最小。第二，由于活动触头118和接触互连126由相同的材料制成并且具有相同的尺寸，有助于触头的载流能力。最好横梁108具有相同类型的金属，用相同的工艺淀积，以相同的几何形状构图，并且淀积相同的厚度，但是通过适当地设计和特性，可以适合使用不同材料。为了解决接触粘结、冷焊接或热焊接的问题，第一固定触头104、第

二固定触头、固定电极106、活动电极114、活动触头118、电极互连120、接触互连126以及互连过孔124和128可以是不同的材料或相同材料的不同合金。材料的选择使接触电阻和故障，例如，粘贴，最小。

在“断开”位置，活动触头118与第一固定触头104和第二固定触头分开间隙距离a 136，如图1所示。活动电极114与固定电极106分开间隙距离b 138。在本实施例中，距离a 136小于距离b 138。如果距离a 136小于距离b 138，则由于活动触头118与固定触头104首先建立接触，而降低固定电极106与活动电极114之间短路的可能性，从而MEMS开关100的操作更可靠。横梁108的长度用距离c 140表示。活动触头118的中心到固定件110的距离为d 142，到横梁108的远离固定件110的一端的距离为e 144。电极互连120远离固定件110的边缘到固定件110的距离为f 146。电极互连120靠近固定件110的边缘到固定件110的距离为g 148。在本实施例中，距离a 136额定为1.5微米；距离b 138优选2微米；距离c 140优选155微米；距离为d 142优选135微米；距离e 144优选20微米；距离f 146优选105微米；距离g 148优选10微米。距离a 136、b 138、c 140、d 142、e 144、f 146和g 148提供了所需的功能特性，但是也可以选择其它尺寸以优化其它功能特性、可制造性和可靠性。

参考图3，示出了MEMS开关100的固定电极106、结构层112、活动电极114以及电极互连120的前视剖面图。活动电极114的宽度由距离a 300表示。电极互连120的宽度由距离b 302表示。最好，活动电极114和电极互连120的宽度相等。或者，活动电极114和电极互连120具有不同的宽度。固定电极106的宽度由距离c 304表示。结构层112的宽度由距离d 306表示。活动电极114、电极互连120和固定电极106的厚度分别由距离e 308、f 310和g 312表示。结构层112的厚度由距离h 314表示。第一固定触头104和固定电极106的尺寸可以分别大于活动电极114和活动触头118，以利于为MEMS开关100屏蔽任何寄生电压。在本实施例中，距离a 300优选75微米；距离b 302优选75微米；距离c 304优选95微米；距离d 306优选85微米；距离e 308优选0.5微米；距离f 310优选0.5微米；距离g 312优选在0.3和0.5微米之间；距离h 314

优选2微米。距离a 300、b 302、c 304、d 306、e 308、f 310、g 312和h 314提供了所需要的功能特性，但是也可以选择其它尺寸以优化其它功能特性、可制造性和可靠性。

参考图4，示出了MEMS开关100的顶视图。如图所示，电极互连120和接触互连126通常为矩形。此外，电极互连120和接触互连126为外角圆滑的矩形，以消除尖锐的棱角。在电极互连120和接触互连126成形包含向内凹的角的情况下，可以使这些内角圆滑，以消除尖锐的棱角。将这些尖锐的棱角圆滑处理以减小电场的强化，该电场是由导体之间的电位差产生的。在本实施例中，活动电极114的尺寸与电极互连120相同。或者，电极互连120可以具有与活动电极114的形状基本匹配的另一种形状。此外，接触互连126的形状基本匹配活动触头118的形状。第一和第二互连过孔124和128用虚线示出。第一和第二互连过孔124和128显示为矩形，但是，它们也可以具有任何适合于过孔的几何形状，包括圆形、椭圆形或具有圆角的矩形。电极互连120的宽度基本等于接触互连126的宽度。在本实施例中，电极互连120和接触互连126的宽度为75微米。

参考图5和6，示出了根据本发明的另一个实施例的用500表示的另一个MEMS开关的不同视图。具体参考图5，示出了MEMS开关500的透视顶视图。MEMS开关500包括用502表示的横梁，具有端部506附着在固定件（未示出）上的结构层504。横梁502还包括附着在结构层504的上表面的电极互连508和接触互连510。活动电极（在图6中示出）和接触电极（在图5中示出）位于结构层504的下表面，分别对准电极互连508和接触互连510，并且分别与电极互连508和接触互连510具有相同的尺寸。电极互连508和接触互连510分别通过上述穿过结构层504的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。

现在参考图6，MEMS开关500还包括附着在基板520（在图5中示出）的表面518上的固定电极512以及固定触头514和516。横梁502还包括附着在结构层504的下表面的活动触头522。当操作MEMS开关500处于“闭合”位置时，活动触头522接触514和516。因此，在“闭合”位置，固定触头514和516通过活动触头522或者通过接触互连510

电连接。活动触头522还包括分别用526和528表示的第一和第二组接触凸点。接触凸点526和528由导电材料构成，以利于在“闭合”位置固定触头514和516之间的电连接。接触凸点526和528减小了活动触头522与固定触头514和516之间的间隙距离，从而降低了固定电极512和活动电极524之间短路的可能性。接触凸点526和528提供与固定触头514和516的可靠接触。没有支座凸点526和528，在活动触头522和表面518之间以及在固定触头514和516之间可能有干扰。接触凸点526和528提供设计灵活性，以满足接触电阻和电流容量的要求。这可以通过优化下面的变量的设计来实现：接触凸点的几何形状（例如，圆形、正方形、椭圆形、矩形、半球形以及其它形状）、接触凸点的尺寸（优选5微米）、接触凸点的数量（在本实施例中为三个）以及接触凸点的几何构图（例如，矩形构图或三角形构图、椭圆形构图、星形构图以及其它构图）。在本实施例中，以三个接触凸点中一个接触凸点在另两个前面的三角形分组的方式示出了圆柱形接触凸点。此外，可以认为接触凸点526和528是接触粗糙度的宏观定义，该粗糙度通常由接触表面的表面粗糙度确定。接触电阻和电流容量由微管粗糙度的数量确定，所以粗糙度的宏观定义考虑提升了设计空间。

参考图7，示出了根据本发明的MEMS开关700的另一个实施例的顶视图。MEMS开关700包括电极互连702和接触互连704。电极互连702和接触互连704附着在结构层706的上表面。结构层706的一端连接到固定件708。在类似于在前面介绍的实施例的结构中，MEMS开关700还包括附着在结构层706下表面的活动电极和活动触头（未示出）。最好，电极互连702和接触互连704分别与在本实施例中提供的活动电极和活动触头具有基本相同的尺寸。电极互连702和接触互连704分别通过上述穿过结构层706的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。此外，MEMS开关700包括固定电极（未示出）以及连接到基板（未示出）上的第一和第二固定触头（未示出）。固定电极以及第一和第二固定触头分别与上面介绍的电极互连702和接触互连704具有基本相同的尺寸。

电极互连702的宽度由距离 a 710表示。接触互连704的宽度由距离

b 712表示。最好，距离a 710为75微米，距离b 712为15微米。电极互连702的宽度大于接触互连704的宽度。因此，接触互连704及其相应的活动触头的尺寸分别小于上述实施例的电极互连702及其活动电极的相关尺寸。接触互连704相对于电极互连702按比例地减小可以降低产生MEMS开关700的不需要的致动的寄生电源的电位。活动触头与第一和第二固定触头之间的寄生电压可以产生将MEMS开关拉向基板的静电力。通过减小触头的尺寸，减小了寄生电压，从而降低了在触头之间不需要的吸引力。因此，活动电极的宽度大于活动触头的宽度。活动电极与活动触头的宽度差有利于增加活动触头与MEMS开关700的致动部分的隔离，从而防止由于例如电压尖峰导致的不需要的寄生致动的出现。因为活动电极的面积变小，所以在接触时使静电力（即，每单位面积的静电力）最小，而在致动时最大。如上所述，制造比活动电极和电极互连的宽度更窄的活动触头和接触互连改善了致动电压与寄生致动电压的比值。MEMS开关700消除了活动电极和电极互连的宽度与活动触头和接触互连的宽度之间的相互影响。通过消除宽度的影响，消除了致动的静电力与寄生致动电压引起的寄生致动的相互影响。因为消除了静电致动力与寄生致动力的相互影响，所以可以增加活动电极的宽度，以增强致动力，同时进一步降低寄生致动。可以实现这一结果是由于随着活动电极宽度的增加，致动电压保持为常数，但是寄生致动受到的硬度也增加，从而增加了寄生致动电压。

参考图8，示出了根据本发明的MEMS开关800的另一个实施例的顶视图。MEMS开关800包括电极互连802和接触互连804。电极互连802和接触互连804附着在结构层806的上表面。结构层806在一端连接到固定件808上。电极互连802和接触互连804分别与活动电极（未示出）和活动触头（未示出）具有基本相同的尺寸。活动电极和活动触头附着在结构层806的下表面。电极互连802和接触互连804分别通过上述穿过结构层806的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。此外，MEMS开关800包括固定电极（未示出）以及连接到基板（未示出）上的第一和第二固定触头（未示出）。固定电极以及第一和第二

固定触头分别与上面介绍的电极互连802和接触互连804具有基本相同的尺寸。

电极互连802的宽度用距离 a_{810} 表示。接触互连804的宽度用距离 b_{812} 表示。在本实施例中的电极互连802被延伸以部分地围绕接触互连804，同时保持与接触互连804电隔离。因此，固定电极、活动电极和电极互连804的静压力中心移动到离锚点808更远的位置。由此，在操作中，在固定电极和活动电极之间的吸引力的中心移动到离锚点808更远的位置。由于力的中心离横梁的支点，即，锚点808的距离更远，所以需要将横梁偏移到“闭合”位置上的力更小。由此，需要较小的功率。这样，该方案有助于防止寄生电压引起的不需要的致动。因为改善（即，更小）了致动电压与寄生致动电压的比值，所以使不需要的致动被最小化。在这种情况下，对于固定的寄生致动电压可以减小致动电压，或者对于增加的寄生致动电压该致动电压可以固定不变。电极互连802部分围绕接触互连804的延伸部分将最小化氧化物的可用区域，否则该区域会存储自由电荷，这将干扰功能性。

参考图9和10，示出了根据本发明的另一个实施例的表示为900的另一个MEMS开关的不同视图。具体参考图9，示出了MEMS开关900的透视顶视图。MEMS开关900包括用总的用902表示的横梁，其一端904附着在固定件（未示出）上。横梁902通过结构层906附着在固定件上。横梁902还包括附着在结构层906的上表面的电极互连908和接触互连910。活动电极912（在图10中示出）和接触电极914（在图10中示出）附着在结构层906的下表面，分别对准电极互连908和接触互连910，并且分别与电极互连908和接触互连910具有相同的尺寸。电极互连908和接触互连910分别通过上述穿过结构层906的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。

MEMS开关900还包括固定电极916以及分别在基板924的表面922上形成的第一和第二接触电极918和920。固定电极916和接触互连918分别对准电极互连908和接触互连910，并且分别与电极互连908和接触互连910具有相同的尺寸。横梁902的末端904相对于基板924固定。如图所示，电极互连908部分围绕接触互连910。如上所述，电极互连、

活动电极和固定电极进一步远离锚点的排列降低了将MEMS开关移动到“闭合”位置所需的功率。另外，该结构有助于防止寄生电压引起的不需要的致动。如在本实施例中所示，电极互连908、活动电极912和固定电极916与前面介绍的实施例相比触头更宽。

活动电极912分别包括由不导电材料构成的第一和第二支座凸点926和928。支座凸点926和928用来防止活动电极912与固定电极916之间的短路。在操作期间，随着横梁902向固定电极916偏移，由于支座凸点926和928从活动电极912向固定电极916的方向凸出，所以防止活动电极912接触固定电极916。活动触头914还包括由导电材料构成的第一和第二接触凸点930和932。在操作“闭合”MEMS开关900期间，第一和第二接触凸点930和932延伸超过支座凸点926和928，用于在支座凸点926和928之前分别接触第一和第二固定触头918和920。在本实施例中，由于简化了工艺流程，接触凸点930和932与支座凸点926和928具有相等的延伸。支座凸点926和928的优化布局是使得支撑最大过载电压（施加在固定电极916和活动电极912之间），而不会短路致动电极，但是最大化接触力（即，最小化接触电阻）。这意味着支座凸点926和928设置在接触凸点930和932之后（更靠近横梁902的固定端904）的一定距离处。在该结构中，接触凸点930和932在支座凸点926和928建立与固定电极916接触之前建立与固定触头918的接触。一旦接触凸点930和932建立接触，可以进一步增加致动电压，以增加接触力并降低接触电阻。接触电阻将进一步减小，直到支座凸点926和928建立与固定电极916的接触。此时，接触电阻和短路的可能性将开始增加。如此，支座凸点926和928没有降低发展基本接触力和最小化接触电阻的能力。最好，支座凸点沿横梁的宽度方向放置，从而随着横梁宽度的增加，支座凸点的数量也按比例增加，以保持开关的隔离。放置支座凸点的另一个关键要素是最小化支座凸点占用的总面积，因为它们会降低产生的静电力。

参考图11，示出了根据本发明的MEMS开关1100的另一个实施例的顶视图。MEMS开关1100包括附着在结构层1106的上表面的电极互连1102和接触互连1104。结构层1106在一端1108连接到固定件1110

上。电极互连1102和接触互连1104分别与附着在结构层1106的下表面的活动电极（未示出）和活动触头（未示出）具有基本相同的尺寸，并且分别对准活动电极和活动触头。电极互连1102和接触互连1104分别通过上述穿过结构层1106的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。电极互连1102的宽度用距离a 1112表示。接触互连1104的宽度用距离b 1114表示。结构层1106包括变窄的隔离区1116，用来改善致动MEMS开关1110形成的接触。通过将过载电压加到电极互连1102和固定电极（未示出）上来改善接触。过载电压加在活动电极（未示出）和固定电极（未示出）之间，由此，这仅仅是致动电压的扩展。致动电压是使活动触头（未示出）“闭合”到固定触头上并且建立电连接所需的最小电压。过载电压是超过致动电压的电压，并且是有助于增加接触力的电压。

由过载电压产生的力在横梁1108的固定端1110和活动触头与固定触头的接触之间分配，意味着由于横梁在其两端被支撑，所以力将更硬的横梁拉变形。通过增加变窄的隔离区1116降低横梁的总硬度。通过使隔离区1116相对于接触区变得更窄，可以降低过载电压而不影响致动电压。变窄的隔离区1116降低了偏转活动触头（未示出）与固定触头（未示出）接触所需的力。变窄的隔离区1116的设计必须保持寄生致动要求和接触断开力。一旦在活动电极和固定电极之间的过载电压和致动电压被充分减小，开关应当返回到“断开”位置。这意味着储存在变形的横梁中的弹性应变能量应当足够大，以克服活动触头与固定触头之间的附着力。

参考图12和13，示出了根据本发明的另一个实施例的表示为1200的另一个MEMS开关的不同视图。具体参考图12，示出了MEMS开关1200的透视顶视图。MEMS开关1200包括用1202表示的横梁，一端1204附着在固定件（未示出）上。横梁1202通过结构层1206附着在固定件上。横梁1202还包括附着在结构层1206的上表面的电极互连1208和接触互连1210。活动电极（在图13中示出）和活动触头（在图13中示出）定位在结构层1206的下表面，分别对准电极互连1208和接触互连1210，并且分别与电极互连1208和接触互连1210具有相同的尺

寸。电极互连1208和接触互连1210分别通过上述穿过结构层1206的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。

MEMS开关1200还包括分别附着在基板1220的表面1218上的固定电极1212以及第一和第二固定触头1214和1216。固定电极1212分别对准电极互连1208和接触互连1210，并且分别与电极互连1208和接触互连1210具有相同的尺寸。如图所示，电极互连1208部分围绕接触互连1210。结构层1206包括在末端1204包括变窄的锚点区，用来降低“闭合”MEMS开关1200所需的致动力。由于必须在向着固定电极1212的方向弯曲的结构层1206的局部剖面面积的减小，所以降低了致动力。通过对电极互连1202和固定电极施加过载电压来改善接触。

在本实施例中，消除了结构层1206的宽度与电极互连1208或活动电极（未示出）的宽度之间的相互影响。当结构层1206的宽度与活动电极的宽度基本相同时，致动电压将不依赖于结构层的宽度。这意味着对于任何宽度，致动电压为常数，但是接触力和断开力将增加。本实施例的可量测性（scalability）仅限于接触/断开力的增加，而不是降低致动电压或超速转动开关的能力。通过消除了结构层1206的宽度与电极互连1208和活动电极（未示出）的宽度之间的相互影响，由于可以最小化致动电压，使实现高接触力的过载能力最大并且使接触力的形成最大化，所以设计的可量测性增加了。随着结构层1206、电极互连1208以及活动电极宽度的增加，同时固定端1204的宽度保持不变，致动电压降增加，接触力将增加，接触电阻将减小，并且过载的量将增加。过载能力的量由致动电压与加在致动电极之间的最大电压之间的差确定。随着致动电压与该最大电压之间的差的增加，过载能力（电压差）将增加。

参考图13，MEMS开关1200还包括活动触头1300和活动电极1302。活动电极1302包括上述第一支座凸点1304和第二支座凸点（未示出）。活动触头1300包括上述第一和第二接触凸点1306和1308。由于上述原因，第一支座凸点1304和第二支座凸点设置在接触凸点1306和1308的后面。

参考图14和15，示出了根据本发明的另一个实施例的总的表示为

1400的另一个MEMS开关的不同视图。具体参考图14，示出了MEMS开关1400的透视顶视图。MEMS开关1400包括用总的用1402表示的横梁，其具有一端1406附着在固定件（未示出）上的结构层1404。横梁1402还包括附着在结构层1404的上表面的电极互连1408和接触互连1410。活动电极（在图15中示出）和接触电极（在图15中示出）位于在结构层1404的下表面，分别对准电极互连1408和接触互连1410，并且分别与电极互连1408和接触互连1410具有相同的尺寸。电极互连1408和接触互连1410分别通过上述穿过结构层1404的互连过孔电连接到活动电极和活动触头上。

MEMS开关1400还包括在基板1418的表面1416上形成的固定电极1412以及固定触头1414。固定电极1412与总的用1414表示的第一和第二固定触头分别对准电极互连1408和接触互连1410，并且具有分别与电极互连1408和接触互连1410相同的尺寸。如图所示，电极互连1408部分围绕接触互连1410。

横梁1402还包括活动电极1420和活动触头1422。活动电极1420包括通常放置在离末端1406最远的活动电极1420的表面的角部区域的支座凸点1424、1426、1428和1430。支座凸点1424、1426、1428和1430由不导电材料制成。活动触头1422包括由导电材料制成的接触凸点。在本实施例中，支座凸点1424、1426、1428和1430远离接触凸点1422。支座凸点1424、1426、1428和1430会在接触凸点1422建立接触之前建立接触。一旦支座凸点1424、1426、1428和1430建立接触，致动电压增加，以使横梁1402进一步变形，包括绕支座凸点1424、1426、1428和1430的旋转。电压继续增加，直到接触凸点与固定触头1414建立接触。

重新参考图14，横梁1402还包括柔性切口1432、1434和1436，以增加横梁1402的柔性。当致动电压增加到在活动触头1422的接触凸点与固定触头1414之间建立接触时，柔性切口1432、1434和1436增加横梁1402的变形能力。活动触头1422的位置靠近或者在柔性切口的中心，以增加要建立接触的位置处的柔韧性。本实施例通过延伸致动电极远远超过活动触头可以改善致动电压与寄生致动的比值。基本原理

是移动致动电极的静电压力中心更远离活动触头的静电压力的中心。这降低了致动电压，同时增加了寄生致动电压。此外，由于绕支座凸点旋转，所以本实施例有助于接触的分離。

参考图16，示出了根据本发明的另一个实施例的总的用1600表示的具有折叠的横梁几何形状的MEMS开关的顶视图。MEMS开关1600包括附着在两个折叠横梁1604和1606上的臂1602。折叠横梁1604和1606附着在悬臂1602的一端1608。折叠横梁1604和1606的功能是将悬臂1602附着在固定件1610上，并且将臂1602悬在基板（未示出）上方。悬臂1602通过折叠横梁1604和1606而悬挂起来，从而接触互连靠近固定件1610。臂1602的折叠产生了具有较长有效长度的横梁，以降低致动电压。接触互连靠近固定件，从而靠近寄生致动的静电压力中心，具有增加静电压力的作用。臂1602和折叠横梁1604和1606通过结构层1612互连，为臂1602和折叠横梁1604和1606提供弹性结构。臂1602和折叠横梁1604和1606包括基本上在结构层1612的顶面以上延伸的电极互连1614。臂1602还包括附着在远离末端1608的末端1618的接触互连1616。活动电极（未示出）和接触电极（未示出）设置在结构层1612的下表面，分别对准电极互连1614和接触互连1616，并且分别与电极互连1614和接触互连1616具有相同的尺寸。电极互连1614和接触互连1616分别通过上述穿过结构层1612的互连过孔电连接到活动电极和活动触头。本实施例的原理上的优点是提供高寄生致动和低致动电压。这通过在折叠横梁1604和1606悬挂悬臂1602，并且通过靠近固定件1610放置触头来实现。通过在固定电极和活动电极（未示出）之间施加致动电压，将折叠横梁1604和1606拉向基板（未示出）。当折叠横梁1604和1606拉向基板，根据设计，悬臂1602将向着或背离基板变形。该运动产生虚轴（virtual pivot）点，确定悬臂1602将向着或背离基板变形。虚轴点的位置将由悬臂1602的相对长度、基板上的固定电极的几何形状和布局以及悬臂1602相对于折叠横梁1604和1606的硬度确定。例如，固定电极可以限制在直接在悬臂1602下表面的区域和远端1608与折叠横梁1604和1606连接的区域范围内。定位虚轴点以实现低致动电压和高寄生电压。

参考图17和18，示出了根据本发明的另一个实施例的总的表示为1700的具有两个致动电极的MEMS开关的不同视图。具体参考图17，示出了MEMS开关1700的透视顶视图。MEMS开关1700包括在结构层1706的中心部分1704的顶面的接触互连1702。结构层1706的中心部分1704附着在第一弯曲部分1708和第二弯曲部分1710上。结构层1706的第一部分1712和第二部分1714分别连接到第一弯曲部分1708和第二弯曲部分1710上。第一部分1712和第二部分1714连接到固定件（未示出）上。

MEMS开关1700还包括附着在第一部分1712和第二部分1714上侧的第一电极互连1716和第二电极互连1718。第一活动电极（在图18中示出）、第二活动电极（在图18中示出）以及活动触头（在图18中示出）在结构层1706的下表面，分别对准第一电极互连1716、第二电极互连1718和接触互连1702，并且分别与第一电极互连1716、第二电极互连1718和接触互连1702具有基本相同的尺寸。第一电极互连1716、第二电极互连1718和接触互连1702通过上述穿过结构层1706的互连过孔分别电连接到第一活动电极、第二活动电极和活动触头上。

MEMS开关1700还包括具有附着在其表面1726上的第一固定电极1722、第二固定电极1724和固定触头（在图18中示出）的基板1720。第一固定电极1722、第二固定电极1724和固定触头分别对准第一活动电极、第二活动电极和活动触头，并且分别与第一活动电极、第二活动电极和活动触头具有基本相同的尺寸。

参考图18，示出了MEMS开关1700的结构层1706的下表面的透视图。如上所述，第一活动电极1800、第二活动电极1802和活动触头1804附着在结构层1706的下表面，在图18中没有示出基板1720，以便说明第一固定电极1722、第二固定电极1724、第一固定触头1806和第二固定触头1808相对于第一活动电极1800、第二活动电极1802、第一活动触头1804和第二活动触头1806的位置。活动触头1804包括由上述导电材料构成的接触凸点1808。本实施例具有改善致动电压与寄生致动电压比值的优点。如上所述包括两个简单的悬臂开关。活动触头和接触

互连由弯曲部分1708和1710悬在两个结构1712和1714之间。弯曲部分1708和1710将该触头与构成开关1700的材料中的残留膜应力隔离。

在操作期间，致动电压分别加在固定电极1722和1724与活动电极1800和1802之间。致动电压在结构1706的悬臂部分1712和1714中产生偏斜。致动电压具有使活动触头1804与固定触头建立接触的幅度。原则上，驱动两个结构1712和1714建立接触，但是致动电压保持与单结构的情况相同。因为寄生电压必须克服两个元件，所以可以实现显著改善致动电压与寄生电压比值的优点。弯曲部分1708和1710在从结构1712的末端到结构1714的末端的方向中是柔性的。弯曲部分1708和1710在垂直于基板的方向中具有有限的柔顺性，因为这将产生不利影响。

参考图19，示出了根据本发明的另一个实施例总的用1900表示的另一个MEMS开关的视图。MEMS开关1900包括通过第一固定件1906和第二固定件1908附着在基板1904上的悬架1902。悬架1902将活动触头（未示出）悬在基板1904的表面1910上方。折叠横梁悬架1902包括从第一端1914延伸到第二端1016的结构层1912。第一端1914和第二端1016分别连接到第一固定件1906和第二固定件1908。结构层1912形成附着在结构层1912的第一部分1922上的第一折叠悬架1918和第二折叠悬架1920。

悬架1902还包括附着在第一部分1922上表面的接触互连1924。悬架1902包括附着在第一端1914和第一折叠悬架1918之间的第二部分1926。悬架1902还包括附着在第二端1916和第二折叠悬架1920之间的第三部分1928。第一电极互连1930和第二电极互连1932分别附着在第二部分1926和第三部分1928的上侧。第一活动电极（未示出）、第二活动电极（未示出）和活动触头（未示出）分别位于结构层1912的第二部分1926、第三部分1928和第一部分1922的下侧，分别对准第一电极互连1930、第二电极互连1932和接触互连1924，并且与第一电极互连1930、第二电极互连1932和接触互连1924具有基本相同的尺寸。第一电极互连1930、第二电极互连1932和接触互连1924分别通过上述穿过结构层1912的互连过孔电连接到第一活动电极、第二活动电极和活

动触头上。本实施例包括两个如上所述的悬臂横梁开关。活动触头和接触互连由弯曲部分1918和1920悬在用1926和1928表示的两个悬臂横梁结构之间。弯曲部分1918和1920将该触头与构成开关1900的材料中的残留膜应力隔离。在操作期间，致动电压加在固定电极（未示出）与活动电极（未示出）之间。致动电压在结构1902的部分1926和1928上产生偏移。致动电压的大小能够使得活动电极与固定触头建立接触。大体上，两个致动部分1926和1928被驱动以建立接触，但是致动电压保持与致动单个部分1926或1928的电压相同。寄生致动电压必须克服这两个因素，这显著改善了致动电压与寄生电压的比值。将弯曲部分1918和1920设计成在从第一端1914到第二端1916的方向中是柔性的。弯曲部分1918和1920在垂直于基板的方向中具有有限的柔顺性，因为这将对寄生致动产生不利影响。

参考图20，示出了根据本发明另一个实施例的总的表示为2000的另一个MEMS开关的图。MEMS开关2000包括通过第一固定件2006和第二固定件2008附着在基板2004上的悬架2002。悬架2002将一对活动触头（未示出）悬在基板2004的表面2010上方。折叠横梁悬架2002包括从第一端2014延伸到第二端2016的结构层2012。第一端2014和第二端2016分别连接到第一固定件2006和第二固定件2008。

悬架2002包括附着在第一端2014和折叠悬架2018之间的第一部分2024。悬架2002还包括附着在第二端2016和折叠悬架2018之间的第二部分2024。悬架2002包括附着在第一部分2022的上侧的第一接触互连2026。悬架2002包括附着在第二部分2024的上侧的第二接触互连2028。悬架2002包括附着在弯曲部分2018的上侧，并且连接第一和第二接触互连2026和2028的第三接触互连。第一电极互连2032和第二电极互连2034分别附着在第一部分2022和第二部分2024的上表面。第一活动电极（未示出）、第二活动电极（未示出）和活动触头（未示出）分别设置在结构层2012的第一部分2022、第二部分2024和弯曲部分2018的下侧，分别对准第一电极互连2032、第二电极互连2034以及接触互连2026、2028和2030，并且与第一电极互连2032、第二电极互连2034以及接触互连2026、2028和2030具有基本相同的尺寸。第一电极

互连2032、第二电极互连2034以及接触互连2026、2028和2030分别通过上述穿过结构层2012的互连过孔(未示出)电连接到第一活动电极、第二活动电极和活动触头上。

与上述其它实施例一样,本实施例包括两个悬臂横梁开关。活动触头和接触互连2026和2028由弯曲部分2018悬在用2022和2024表示的两个悬臂横梁结构之间。弯曲部分2018将部分2022和2024与构成开关2000的材料中的残留膜应力隔离。在操作期间,致动电压加在固定电极与活动电极之间。致动电压在结构2002的两个悬臂部分2022和2024上产生偏斜。致动电压的幅度使得在活动触头上的接触凸点(未示出)与固定触头建立接触。当建立接触后,通过其接触凸点到基板2004的第二固定触头,第一活动触头的接触凸点与第二活动触头电连接。通过接触互连2026、2028和2030进行电连接。大体上,驱动两个致动部分2022和2024建立接触,但是致动电压保持与致动单个部分的电压相同。寄生电压必须克服两个部分2022和2024,这显著改善了致动电压与寄生致动电压的比值。弯曲部分2018被设计成在从末端2014到末端2016的方向是柔性的。弯曲部分2018在垂直于基板2004的方向有有限的柔顺性,因为这将寄生致动产生不利影响。

参考图21和22,示出了根据本发明的另一个实施例的总的表示为2100的MEMS开关的另一个实施例的不同视图。具体参考图21,提供MEMS开关2100的顶视图,MEMS开关2100包括电极互连2102和接触互连2104。电极互连2102和接触互连2104附着在结构层2106的上表面。结构层2106的一端连接到固定件2108。

现在参考图22,提供了MEMS开关2100的横梁的下表面的图。MEMS开关2100包括附着在MEMS开关2100的横梁的下表面上的活动触头2110、活动电极2112以及第一和第二接触通路2114和2116。MEMS开关2100包括单个固定触头(未示出),当MEMS开关2100处于“闭合”位置时,用来接触活动触头2110。第一和第二接触通路2114和2116由导电材料构成,并且连接到活动触头2110。第一和第二接触通路2114和2116延伸通过锚点2108,并且可以连接到合适的电子器件(未示出)上,当MEMS开关2100处于“闭合”位置时,用来在电子

器件和固定触头之间提供电连接。

参考图23和24，示出了根据本发明的另一个实施例的总的表示为2300的MEMS开关的不同视图。具体参考图23，提供了MEMS开关2300的横梁的顶视图，MEMS开关2300包括电极互连2302、接触互连2304以及第一和第二接触通路2306和2308。部件2302、2304、2306和2308附着在结构层2310的上表面。结构层2310的一端连接到固定件2312。MEMS开关2300包括单个固定触头（未示出），当MEMS开关2300处于“闭合”位置时，用来接触活动触头2314（在图24中示出）。第一和第二接触通路2306和2308由导电材料构成，并且连接到接触互连2304。第一和第二接触通路2306和2308延伸通过锚点2312，并且可以连接到合适的电子器件（未示出）上，当MEMS开关2300处于“闭合”位置时，用来在电子器件和固定触头之间提供电连接。

现在参考图24，提供了MEMS开关2300的横梁的底视图。MEMS开关2300还包括附着在MEMS开关2400的横梁下表面的活动电极2316以及第三和第四接触通路2318和2320。第三和第四接触通路2318和2320由导电材料构成，并且连接到活动触头2314。第一和第二接触通路2114和2116延伸通过锚点1208，并且可以电连接到电子器件（未示出），当MEMS开关2300处于“闭合”位置时，用来在电子器件和固定触头之间提供电连接。接触互连2304通过上述穿过结构层2310的过孔（未示出）连接到活动触头2314。通过接触通路2306、2308、2318和2320实现固定触头与电子器件（未示出）之间的电连接。运载电流的多个通路将增加通过开关的载流能力，同时保持致动性能和隔离性能。电极互连2302、接触互连2304以及第一和第二接触通路2306和2308分别与活动电极2316、活动触头2314以及接触通路2318和2320在几何形状、温度特性和机械特性方面相匹配。

参考图25-27，示出了根据本发明的另一个实施例的具有三层横梁的总的表示为2500的MEMS开关的不同视图。具体参考图25，示出了处于“断开”位置的MEMS开关2500的侧视剖面图。MEMS开关2500包括基板2502。基板2502包括形成在其表面上的单个固定触头2504和固定电极2506。MEMS开关2500还包括附着在结构层2512下表面的

活动电极2508和活动触头2510。结构层2512的一端固定在锚点2514上。

MEMS开关2500还包括基本延伸到结构层2512的整个长度的接触互连2516。接触互连2516延伸通过锚点2514，用来电连介适于与MEMS开关2500相互作用的电子器件。接触互连2516通过穿过结构层2512的第一互连过孔2518连接到活动触头2510。当MEMS开关2500处于“闭合”位置时，通过活动电极2510、第一互连过孔2518和接触互连2516在电子器件和固定触头2504之间提供电连接。

MEMS开关2500还包括附着在结构层2512的上侧并且与接触互连2516相邻的第一电极互连2520和第二电极互连（未示出）。第一电极互连2520和第二电极互连通过第二互连过孔2522和第三互连过孔（未示出）连接到活动电极2508。第一电极互连2520和第二电极互连延伸超过锚点2514，用来连接电压源2524。

接触互连2516包括与活动电极2508（在图27中示出）和活动触头2510的形状和尺寸基本匹配的电极部分2526和接触部分2528，并且在结构层2512的下表面上对准活动电极2508和活动触头2510。接触互连2516包括第一和第二连接通路2530和2532，用来连接电极部分2526和接触部分2528，并且连接到电子器件。

现在参考图26，示出了MEMS开关2500的透视顶视图。如图所示，第二电极互连2600设置在与第一电极互连2520相对的第二连接通路2530的另一侧。此外，所示的电极部分2526和接触部分2528分别与活动电极2508和活动触头2510具有相同的形状和尺寸（在图25和27中示出）。MEMS开关2500通过使用在结构层2512上表面的大部分面积为载流能力而最大化电连接通路中的物质。上表面的少量可用面积用作活动电极2508的电极互连。建立从固定触头2504到活动触头2510，通过穿过结构层2512的过孔到接触部分2528，通过第一连接通路2530，通过电极部分2526，并且通过第二连接通路到电子器件（未示出）电连接。在本实施例中，通路截面积的增加降低了电阻并且增加载流能力。第一和第二连接通路2530和2532的尺寸小于电极部分2526和接触部分2528，以限制在结构层2512的上表面和下表面上材料的不匹配。

以不限制电阻或载流能力的方式确定尺寸。相对于接触部分2528的截面积减小了的第一连接通路2530的截面积引起局部自加热，这有利于接触力。由结构层2512的厚度保持在连接通路（2504、2510、2528、2530、2526和2532）与活动电极2508之间的电绝缘。

该开关设计可以在适当的工艺中制造，能够生产如图1-24所示的单个开关产品或者具有各种排列的开关阵列产品。

应当理解，可以对本发明的各个细节进行修改而不脱离本发明的范围。上面介绍的开关实施例可以应用于悬臂横梁、双支撑横梁、盘形或者本领域的技术人员所公知的其它已知类型的开关几何形状。此外，上述介绍只是为了说明的目的，而不是为了限制由权利要求书定义的本发明。

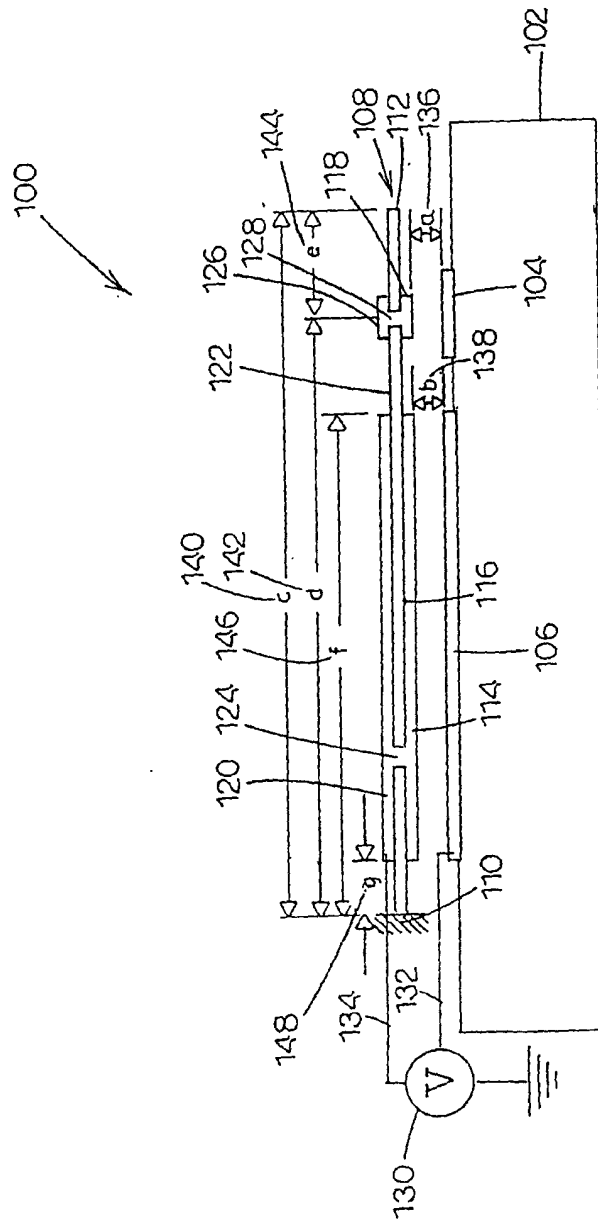


图1

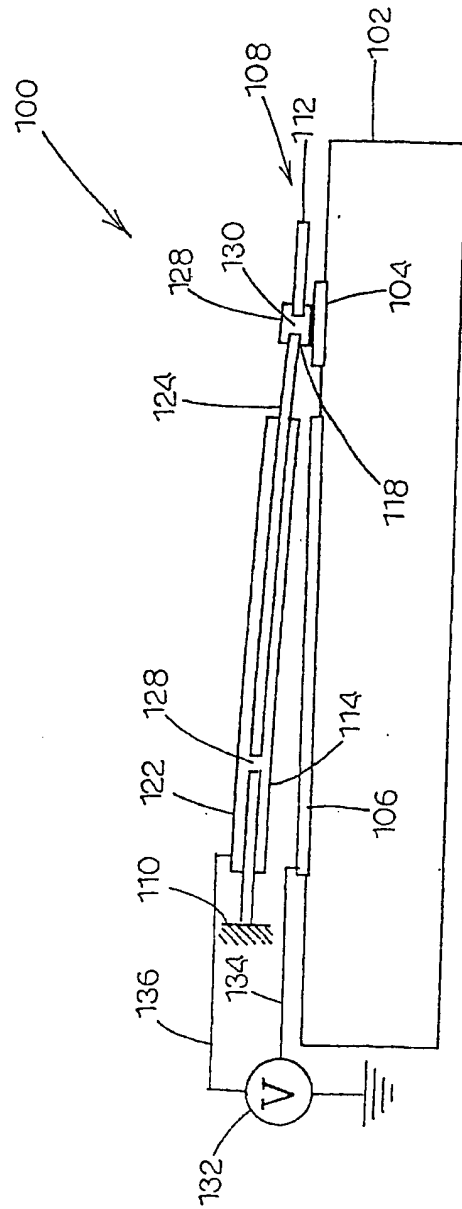


图2

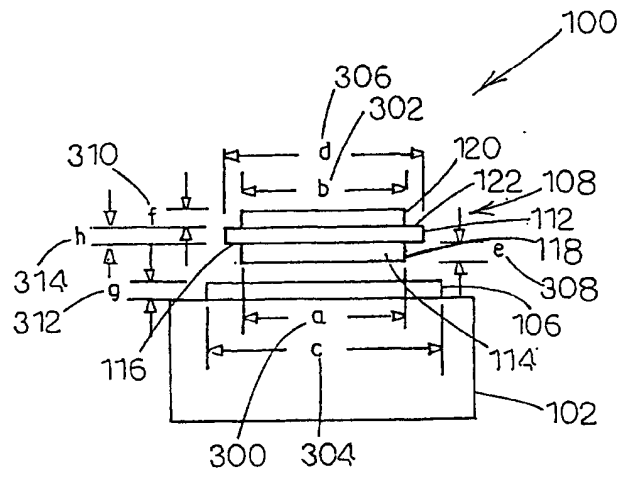


图3

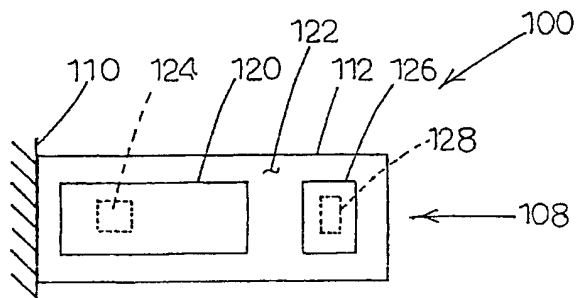


图4

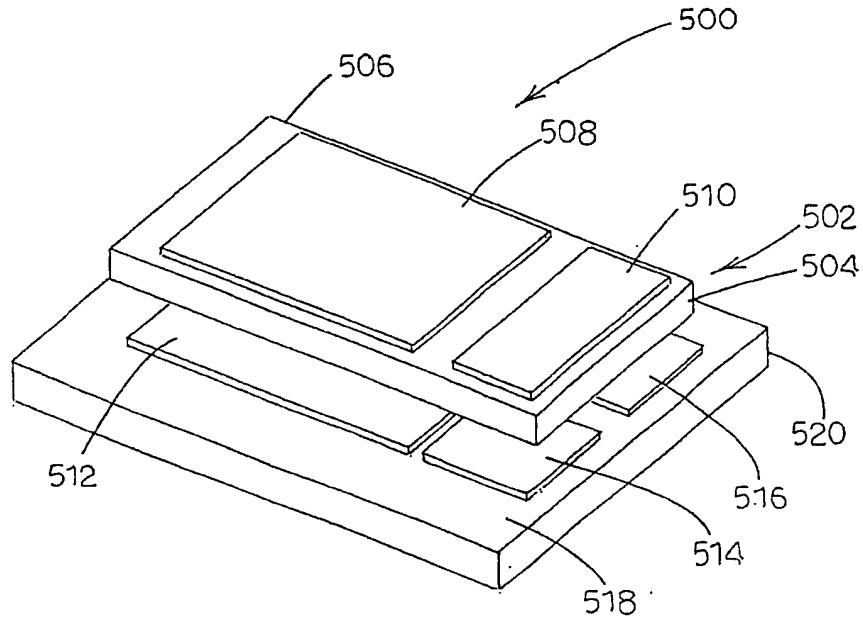


图5

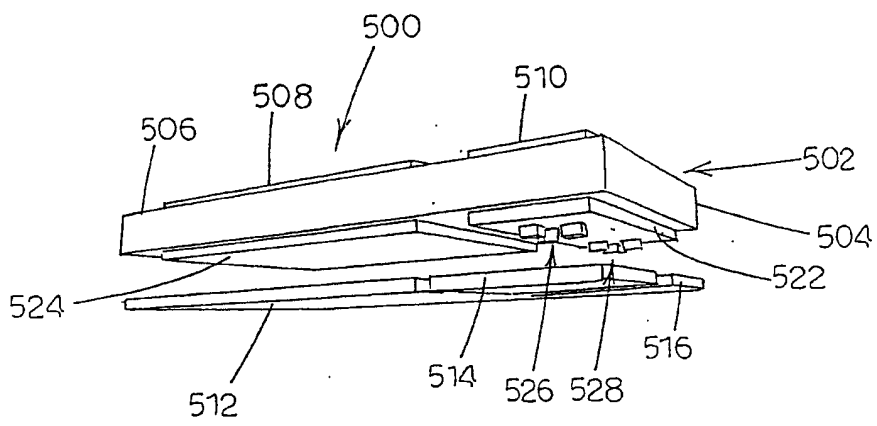


图6

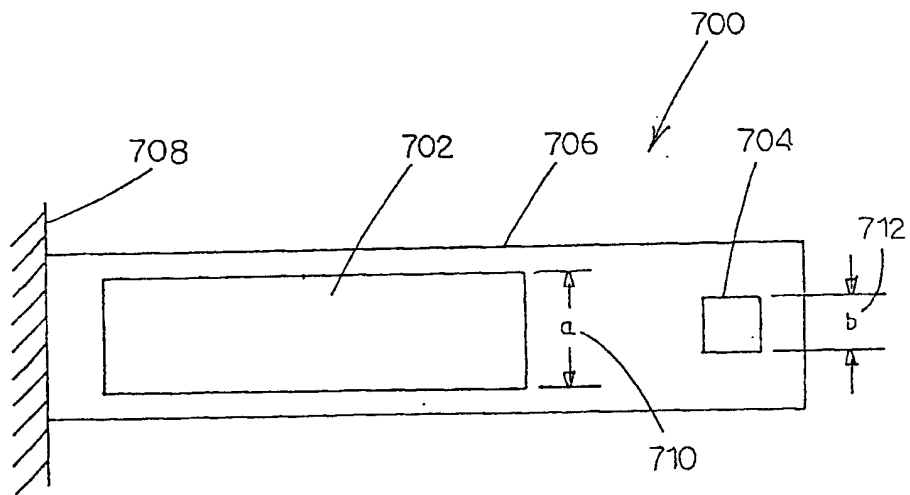


图7

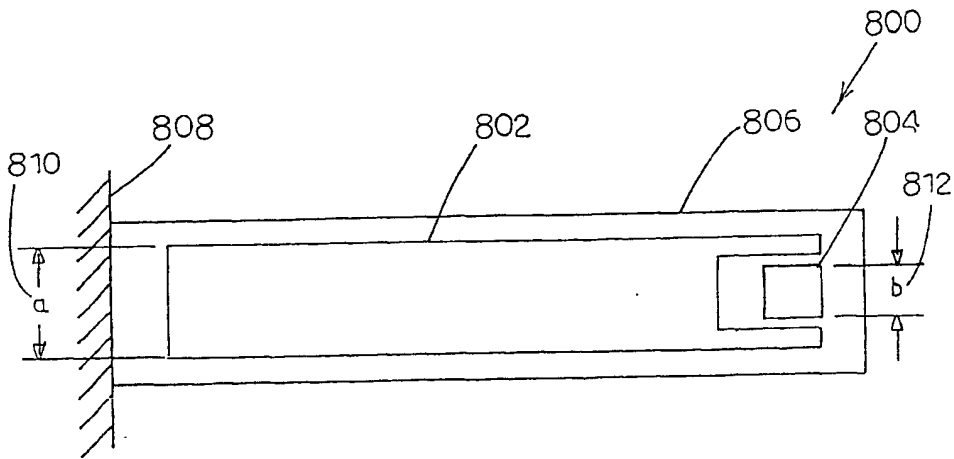


图8

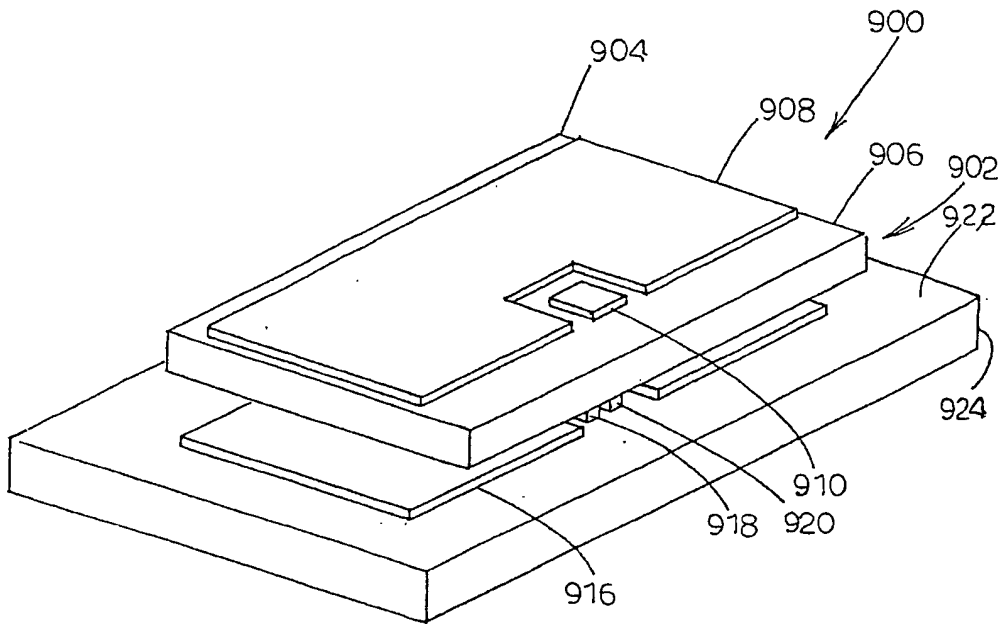


图9

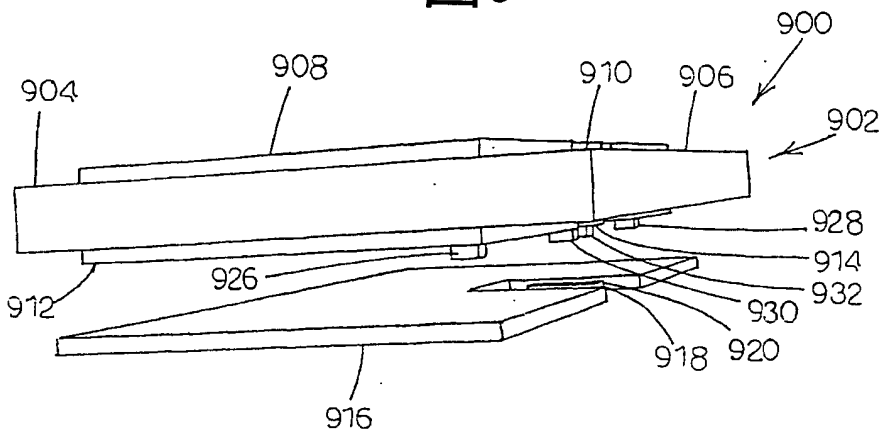


图10

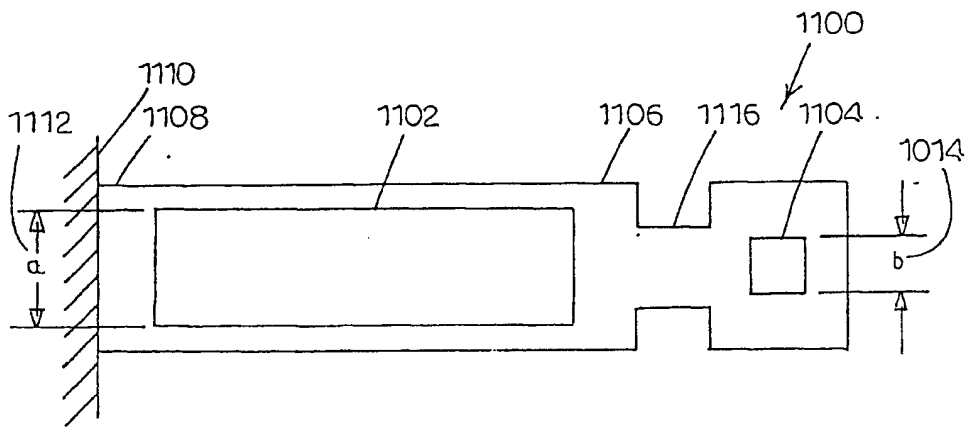


图11

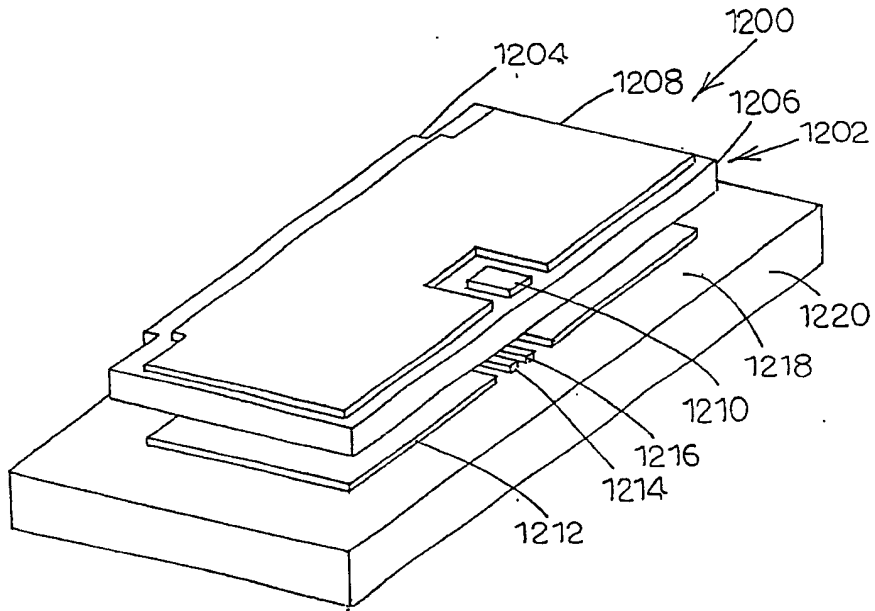


图12

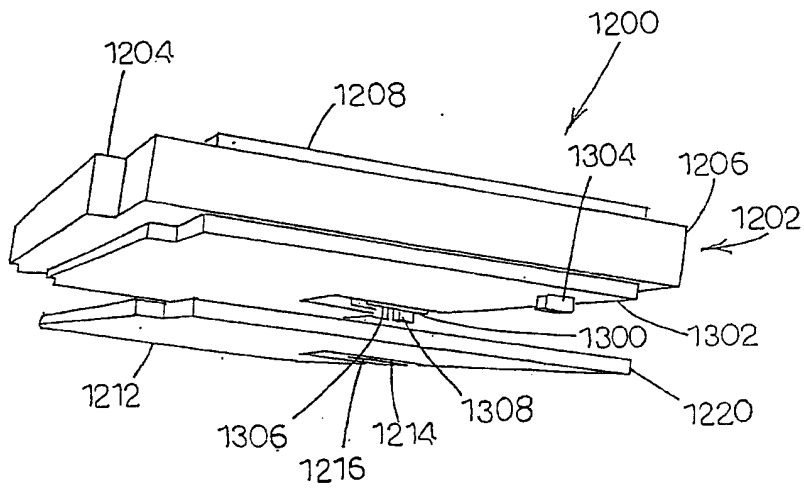


图13

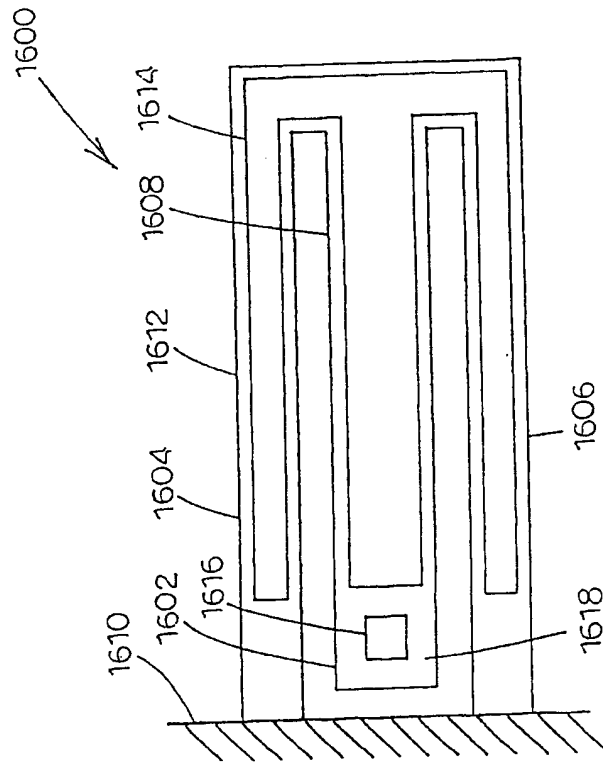


图16

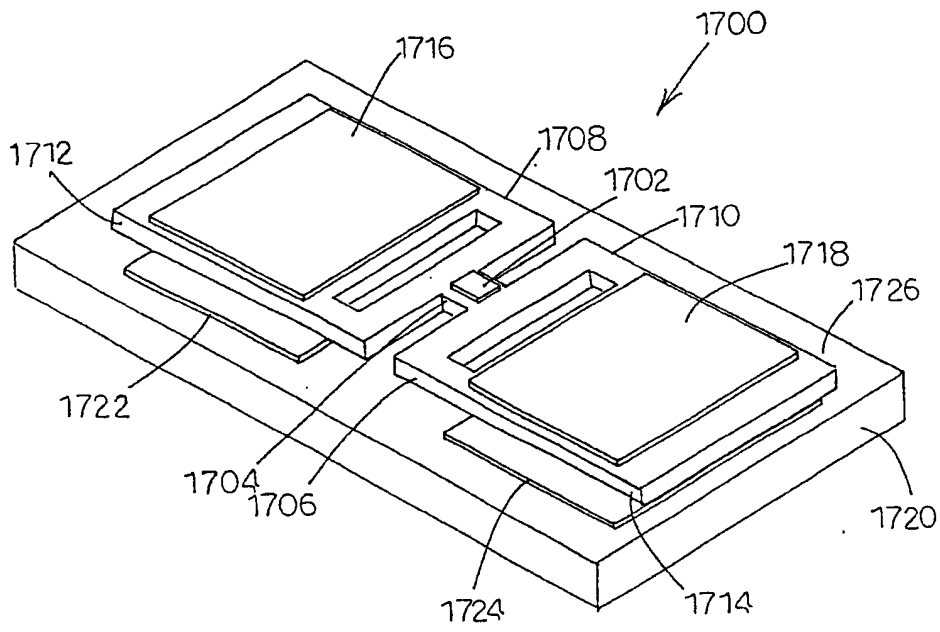


图17

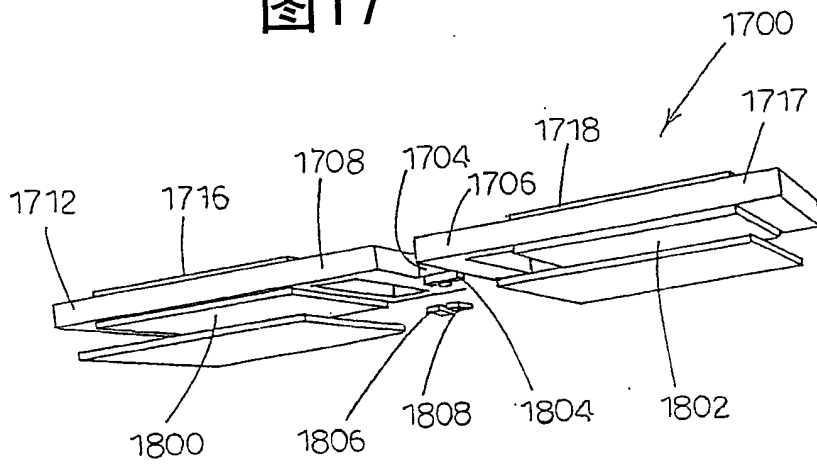


图18

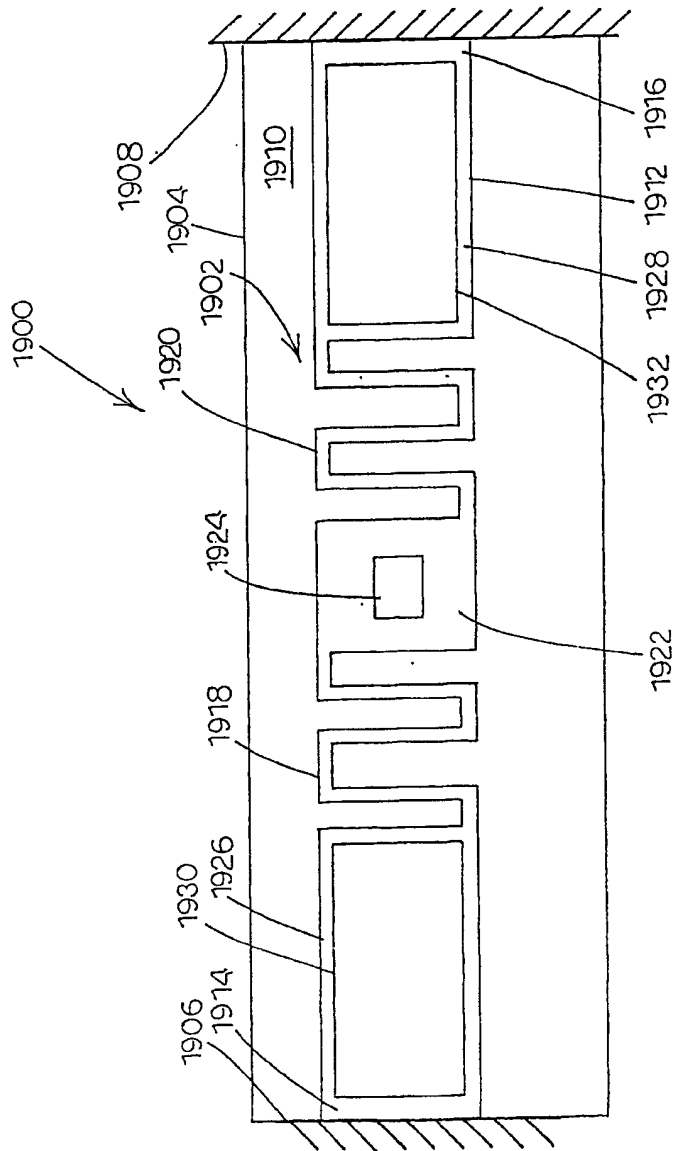


图19

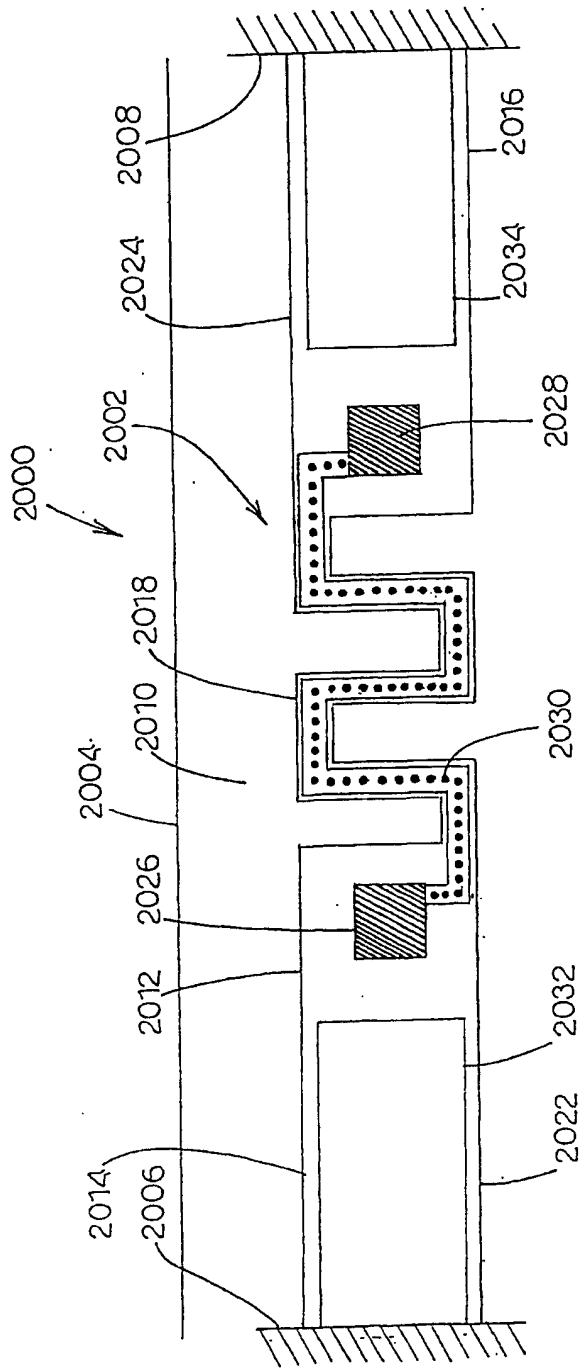


图20

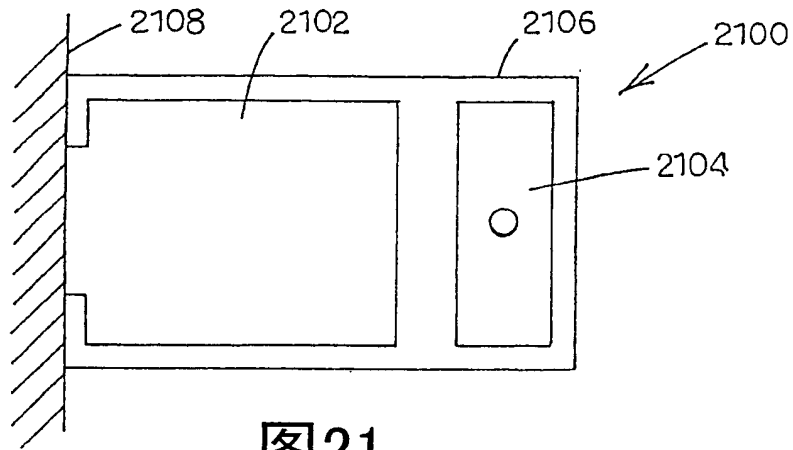


图21

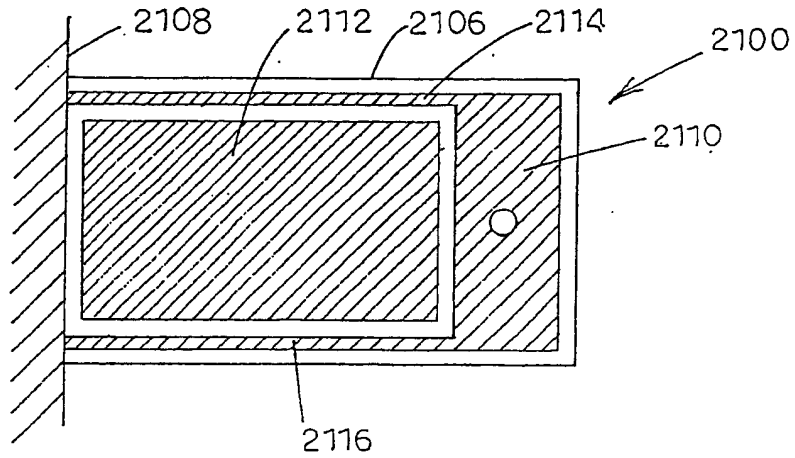


图22

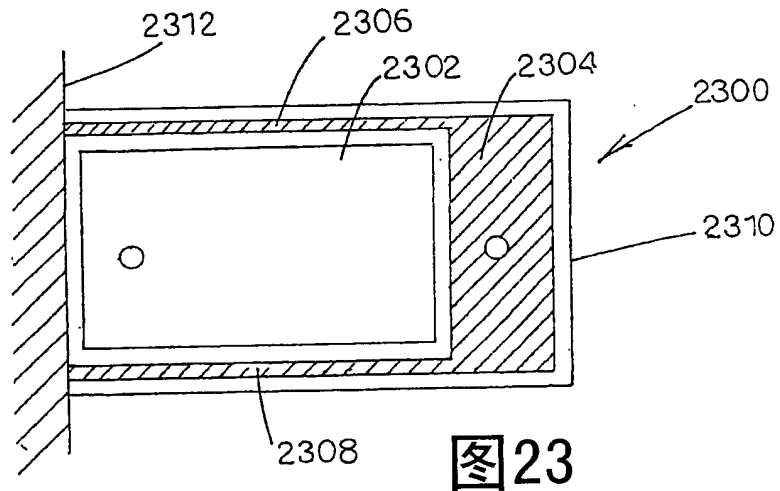


图23

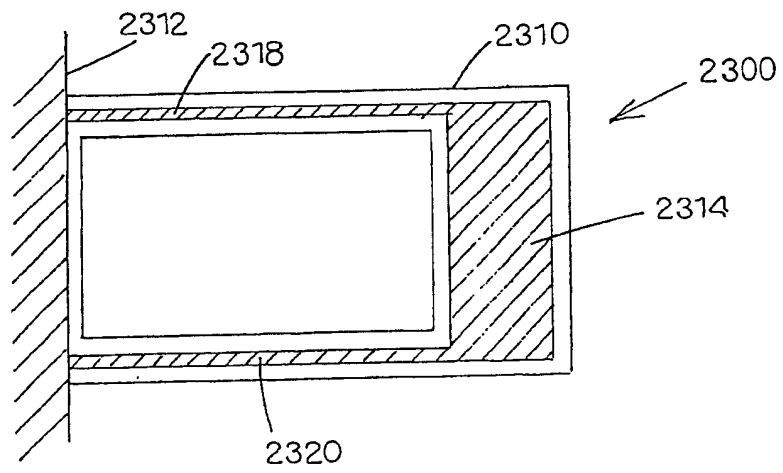


图24

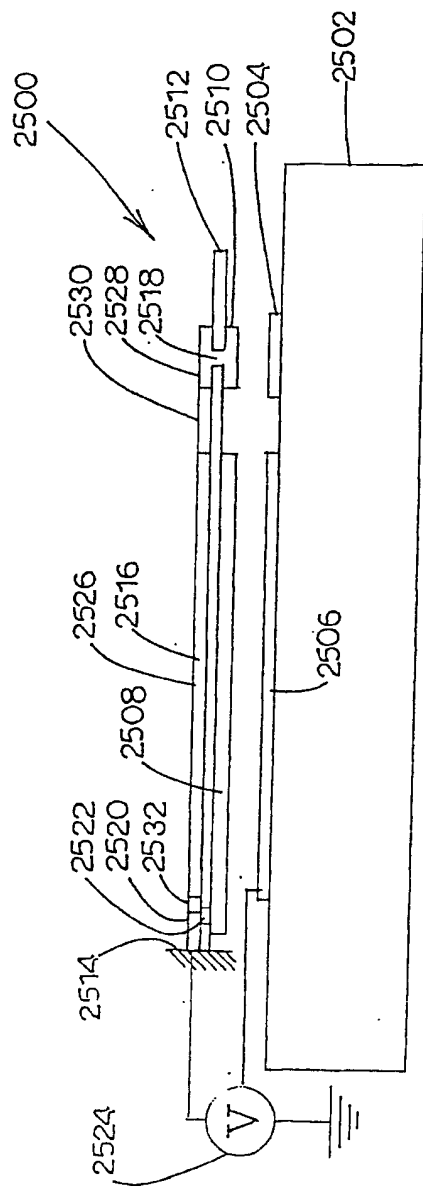


图25

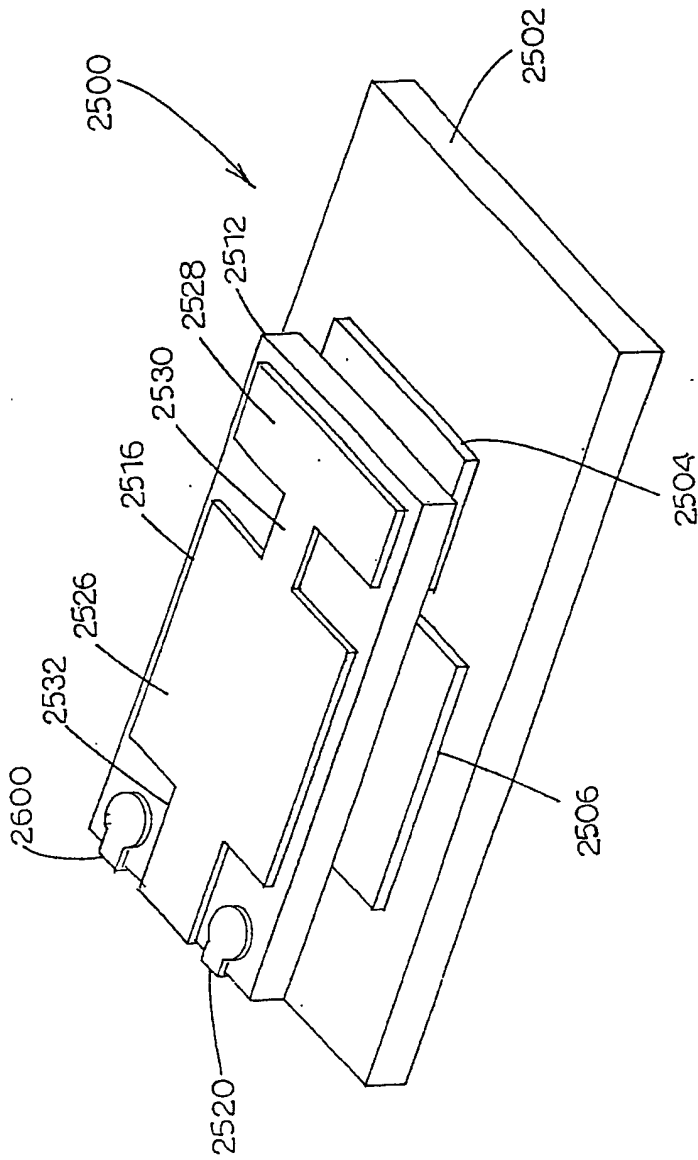


图26

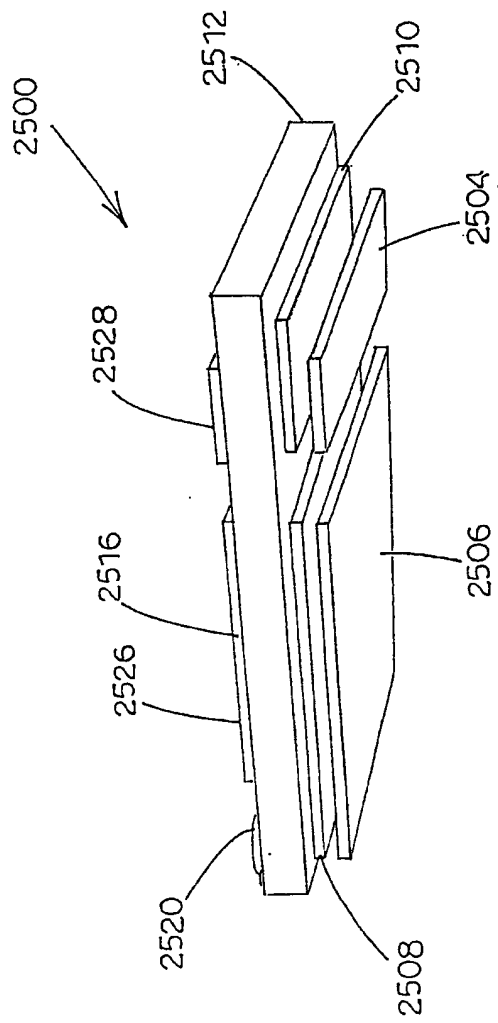


图27