



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01820419.8

[43] 公开日 2004年3月3日

[11] 公开号 CN 1479964A

[22] 申请日 2001.12.4 [21] 申请号 01820419.8

[30] 优先权

[32] 2000.12.11 [33] GB [31] 0030103.6

[32] 2001.1.30 [33] GB [31] 0102337.3

[32] 2001.8.14 [33] GB [31] 0119759.9

[32] 2001.11.1 [33] GB [31] 0126233.6

[86] 国际申请 PCT/GB01/05349 2001.12.4

[87] 国际公布 WO02/49199 英 2002.6.20

[85] 进入国家阶段日期 2003.6.11

[71] 申请人 拉德·哈桑·达巴

地址 英国伦敦

[72] 发明人 拉德·哈桑·达巴

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

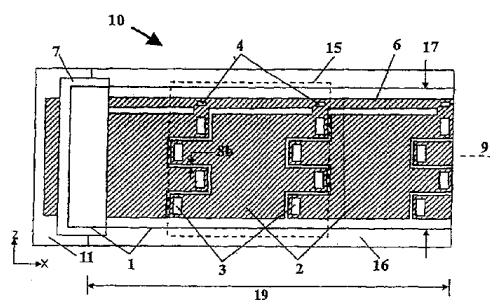
代理人 朱进桂

权利要求书3页 说明书25页 附图10页

[54] 发明名称 静电设备

[57] 摘要

静电设备(10)包括第一柔性电极(1),在其上安装多个第二电极(2)以便与第一电极(1)一起移动。根据应用电荷,该或每一个第二电极(2)使第一电极(1)偏转并通过第二电极的移动来增加其偏转。该设备的各种不同的设计使第一电极在多方向的移动和不同类型的平面内和外的移动包括旋转和扭转成为可能。该结构使设备能在与集成电路兼容的电压电平运转和采用集成电路制造技术制造设备。



1. 一种静电设备，包括：能偏转的第一柔性电极，和至少一个第二电极，该至少一个第二电极安装在第一电极上，以便随其移动并在电荷施加到电极上时使第一电极偏转。
5
2. 根据权利要求 1 所述的设备，其中，该设备安装在支撑上。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的设备，其中，在第一电极上提供多个彼此接近放置的第二电极。
- 10 4. 根据权利要求 3 所述的设备，其中，该第二电极或至少一些第二电极以线性阵列设置。
5. 根据权利要求 3 或 4 所述的设备，其中，该第二电极或至少一些第二电极以非线性阵列设置。
6. 根据权利要求 3、4 或 5 所述的设备，其中，设置第二电极，使
15 第一电极围绕多于一个轴产生偏转。
7. 根据上述任一权利要求所述的设备，包括多个第一电极，每个第一电极都具有至少一个安装在其上的第二电极。
8. 根据权利要求 7 所述的设备，其中，多个第一电极机械连接在一起，以便一个第一电极的偏转影响所述多个另一电极或至少一个另一
20 第一电极的位置。
9. 根据权利要求 8 所述的设备，其中，将第一电极设置为串联、并联、在不同平面内或彼此成一角度或这些的任意结合。
10. 根据上述任一权利要求所述的设备，其中，该设备能在其自身平面内和/或在其平面外移动。
- 25 11. 根据权利要求 10 所述的设备，其中，偏转使设备沿一个或两个方向收缩。
12. 根据上述任一权利要求所述的设备，其中，包括设置在第一电极上的多个第二电极，以便于为第一电极沿相反方向提供偏转。
13. 根据权利要求 12 所述的设备，其中，一个或多个第二电极位
30 于第一电极第一表面上，一个或多个第二电极位于第一电极的相反的第二表面上。

14. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 该第二电极或每一个第二电极比它所安装在的第一电极硬。

15. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 当提供多个第二电极时, 至少两个相邻的第二电极交叠。

5 16. 根据权利要求 15 所述的设备, 其中, 至少两个第二电极具有大致在其平面内伸出的指状物, 并且它们相互交错。

17. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 提供用于为第一和第二电极供电的公共的供电横杆。

10 18. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 以不同的方式提供用于为第一和/或第二电极供电的多个供电横杆。

19. 根据权利要求 17 或 18 所述的设备, 包括可操作的控制单元, 用来控制施加到第一和第二电极的电功率。

20. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 第二电极以桥方式和/或以悬臂方式安装在第一电极上。

15 21. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 包括至少一个导电层的元件使第一和/第二电极分层。

22. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 第一电极具有孔、削弱或加强的面积, 以便调整其偏转特性。

20 23. 根据权利要求 1-21 任一权利要求所述的设备, 其中, 该第一电极或每个第一电极是密封的。

24. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 保持第一和第二电极之间的间隙处于真空或充满一种或多种气体、液体、胶体或可变形的固体材料。

25 25. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 采用至少一个第二电极作为致动器的部件和采用至少一个第二电极作为传感器的部件。

26. 根据上述任一权利要求所述的设备, 其中, 该设备在时分方法的基础上既被用作致动器和又被用作传感器。

30 27. 一种静电设备, 包括: 分别设置在第一和第二平面内的第一和第二电极, 所述两个电极可根据应用的电荷操作, 以便沿与其平面成一角度的方向移动。

28. 一种采用集成电路制造、MEMS 制造或微制造工艺生产的静电

设备。

29. 一种包括根据上述任一权利要求的静电设备的镜子装置。

30. 一种包括根据权利要求 1-28 任一权利要求的静电设备的扩音器、耳机、麦克风、超声波检测器或变换器装置。

5 31. 一种包括根据权利要求 1-28 任一权利要求的静电设备的光扫描器、光束操纵或全光学开关装置。

32. 一种包括根据权利要求 1-28 任一权利要求的静电设备的压力传感器、泵或喷墨盒装置。

10 33. 一种包括根据权利要求 1-28 任一权利要求的静电设备的加速计或传感器装置。

34. 一种包括根据上述任一权利要求的一维、两维或三维阵列的两个或多个静电设备。

静电设备

5

技术领域

本发明涉及静电设备，尤其涉及一般被称作微型机电系统（MEMS）或微型机械设备类型的致动器（actuator）和传感器。

10 背景技术

一般情况下，不论是致动器还是传感器，现有技术的静电变换设备包括与驱动电压源连接的第一和第二元件。合成的吸引静电力使元件中的至少一个向另一个移动。为了达到这个目的，该元件一般由导电材料例如金属和掺杂的多晶硅构成，以便使带电和放电容易实现，并确保正
15 确的运转。

例如在 G.T.A. Kovacs、WCB/McGraw-Hill 撰写的“Micromachined Transducers Sourcebook”，1998，278-281 页中披露了现有技术设备，例如具有在固定的反电极上以一间隙悬挂的可移动电极的典型悬臂致动器。这会遇到在间隙长度和有用的偏转之间不可避免的联系，而偏转一
20 般不会超过间隙本身。较大的偏转需要较大的间隙，从而需要通常与标准 IC 驱动电子组件不兼容的大的电压。对于许多应用，使设备具有比实际间隙大的偏转是十分可取的。这本书披露了一种具有主要由于弥散场而产生引力的大量精密相互交错的指状物的梳状驱动致动器，从而在基片固有平面内能产生较大的移动。梳状驱动致动器遇到的几个问题包括：
25 相对大的支持/弹性被动面积、有限的平面外移动、保持需要的中心平衡的指状物位置的困难，尤其是在较小间隙宽度时。

其它现有技术包括 Tohoku University 的 Motoharu Yamagauchi 等人撰写的、1993 年由 IEEE 出版的论文“Distributed Electrostatic Micro Actuator”和美国专利 no.5206557。两份文献提供了串联连接的大量元件，
30 以便产生较大的平面内行程而本身不能在平面外运动。采用正常的拉力，堆叠元件有效地形成长链。和梳状驱动一起，将这些设备的制造根据需

要混合成具有窄间隙的微机械复杂结构，一项困难的任务是在获得的间隙宽度和驱动电压电平（和性能）之间的平衡。这减少了标准集成电路驱动电压电平和制造的兼容性。

5 发明内容

本发明设法提供改进的静电设备。

根据本发明的一个方面，提供一种静电设备，其包括：能偏转的第一柔性电极，和至少一个第二电极，它安装在第一电极上以便随其移动并在电荷施加到电极上时使第一电极偏转。

- 10 在和第一电极一起移动而产生静电力时，该电极或每个第二电极运转，以便使第一电极产生增强的偏转。保持第一和第二电极的紧密接近使形成较高的静电力、功率密度、效率和/或即使在大偏转时也能保持较低的运转电压成为可能。该设备能在与半导体集成电路相兼容的驱动电压电平运转。该设备也能有效地将现有技术设备所表现的高强度/低偏转
- 15 转换为较低强度和较大偏转（反之亦然），有效提供内置机械放大，改进负载适应性。另外，可以成功分离现有技术设备中的极间间隙和偏转间的不可避免的联系，允许方便地分别优化每一个电极。

通过采用单元数 N 作为用于提高偏转和/或用于偏转和强度之间的平衡的附加参数使设计灵活性易于实现，反之亦然。例如，如果采用较小的间隙（例如，由于一个或多个原因：较低驱动电压、较高功率密度和效率），可以通过增大 N 来增强偏转。由这里所教导的设备可以提供

20 相对大的平面外和平面内移动和偏转。

因此，与现有技术设备相比，增大了每单位应用电压的第一电极的移动量。这可以在低电压使设备运转，甚至是典型用于集成电路（IC）

25 的电压。因此，和 IC 制造兼容性一样，上述设备能集成于 IC 并驱动电子设备（例如单块集成电路的）从而使成本极大地减少。

对于许多应用来说，使设备在保持小间隙的同时具有大偏转是十分可取的。而且，较小的间隙带来较高功率密度、效率和/或较低驱动电压电平的优点。

- 30 在该优选实施例中，在第一电极上提供多个彼此接近放置的第二电极。多个第二电极增大了第一电极的偏转。

在提供多个电极的情况下，以线性阵列来设置这些电极或者以任何其它布局来设置。在以非线性矩阵来设置这些电极时，它们会使第一电极围绕一个以上的轴偏转，从而形成复杂的致动器或传感器的移动。

5 在一个实施例中，提供设置在第一电极或多个第一电极上的多个第二电极，从而使第一电极或多个第一电极沿相反方向移动。在一个例子中，一个或多个第二电极位于所谓第一电极上表面上和一个或多个第二电极位于所谓第一电极下表面上；以便上面的一个或多个第二电极使第一电极产生向下的偏转和移动，而下面的一个或多个第二电极使第一电极产生向上的偏转。

10 在提供多个第二电极的情况下，这些电极可以交迭，例如通过提供与另一电极的指状物互相交叉的指状物。作为选择，可以使相邻行交叉，以实现另一交叠的形成。

15 最好，提供用于为该电极或多个电极供电的公用的供电横杆。在以不同的方式提供多个要驱动的第二电极的情况下，可以提供多个供电横杆。

保持第一和第二电极之间的间隙处于真空或充满一种或多种气体、液体、胶体或可变形的固体材料。

20 第一和/或第二电极有用于制造目的的检查孔和其它孔，减弱或增强面积来调整其偏转。作为选择，该第一电极为了应用作泵和压力传感器而没有孔。

第一和/或第二电极是以包括至少一个导电层的分层的元件的形式。

根据本发明的另一方面，提供一种静电设备，其包括分别排列在第一和第二平面内的第一和第二电极，所述两个电极可根据施加的电荷进行操作，以便沿与其平面成一角度的方向移动。

25 根据本发明的另一方面，提供一种采用集成电路、微机械/MEMS制造生产的静电设备。

本发明也延伸到采用这里所教导的静电设备的致动器和传感器和结合致动器和传感器的设备。

30 采用本发明来提供能在使它们与集成电路更加兼容的较低电压运转的新型致动器和传感器也是可能的。该致动器改进了偏转对电压的特性和改进了偏转和力之间的平衡和更灵敏的传感器。

而且，本发明能提供更通用且灵活的致动器设计参数。它能提供可以在自身平面内和外移动和偏转的设备。

附图说明

5 下面参考相应的附图，仅以举例的方式描述本发明的具体实施例，附图如下：

图 1、2a 和 2b 表示静电致动器的实施例的平面和侧面视图；

图 3a 和 3b 是致动器的另一实施例的侧视图，其中图 3b 表示处于偏转位置的致动器；

10 图 4 和 5 分别是静电致动器的另一实施例的平面和侧面视图；

图 6-8 是能在相对静止位置的两个相反方向偏转的致动器的三个不同实施例的侧视图；

图 9 和 10 表示具有线性排列的多个第二电极的致动器的两个实施例的视图；

15 图 11 表示复杂静电设备的另一个实施例；

图 12a-13b 是能围绕两个不同轴偏转的致动器的两个不同的实施例的平面图；

图 14-16 表示复杂静电设备的不同实施例；

图 17-24 表示致动器或驱动器的不同的实施例；

20 图 25A-26C 表示在支撑杆与电极之间的连接的例子；

图 27A-27E 表示桥式支架的不同实施例；

图 28-29 表示第一导体和第二导体之间的连接的不同实施例；

图 30A-30C 在这里表示上述致动器的制造方法的一个实施例。

25 具体实施方式

在这里，能将上述致动器用作传感器对本领域技术人员来说是显而易见的，因此术语“设备”意思是包含致动器和传感器。此外，总的来说，为简单起见，描述集中在致动器上意思是也包含等效的传感器。

30 在该说明书中，电极 E1 是指下述元件 1、31、91 和 101，而电极 E2 是指下述元件 2、32、92 和 102。在这里将能围绕一个或多个轴偏转或弯曲的设备称作单轴设备、双轴设备等等。

参考图 1、2a 和 2b 所示的设备的实施例能围绕一个轴偏转（在该例子中围绕 Z 轴）。图 1 以平面图表示该设备，而图 2a 表示该设备的侧视图。为了便于理解，图 1 只概括地表示第一层，但在图 2a 和 2b 中以实体形式来表示。

5 设备 10 包括由在元件 1 和 2 之间提供一分隔间隙 3a 的电绝缘层 3 彼此分隔的硬度为 k1 的导电性第一元件或层 1 和硬度为 k2 的导电性第二元件或层 2。所述元件 1、2 分别形成该设备的第一和第二电极 E1、E2。层 3 提供也起到保持元件 1 和 2 之间的间隙 3a 的撑杆的作用支撑柱或支撑垫。

10 元件 1 和 2 和层 3 形成多个桥状的单元 15。一排这些单元 15 共用公共的第一元件 1（电极 E1），并一起构成形成该设备主体的柔性结构 18。

具有有效长度 19 和宽度 17 的元件 18 以间隙 14 安装并固定到基片 16 的支撑杆 11 上。这样，元件 18 悬挂在基片 16 上，并且其自由端（悬臂）能沿图 2b 所示的弧度方向 12 移动。

15 在将元件 2 分割形成多个单独单元 15 时，第一元件 1 可以实际上连续地贯穿单元 15。单元 15 可以具有任何适当的长度和尺寸，并可以沿方向 9 和/或水平沿 Z 轴重复。

在图 1、2a 和 2b 的实施例中，将在该元件的平面内延伸的多个指状物提供给第二元件 2（电极 E2），并以与相邻的元件 2 的指状物相互交叉的方式排列。如下所述，这样可以改进第一元件 1 的偏转。在该实施例中，相邻的元件 2 由间隙 8b 分隔并以距离 8a 相互交叠。距离 8a 可以是任何需要的值，并最好小于单元长度的一半。

图 2b 表示处于偏转状态的设备 10。

25 用于元件 1 和 2（电极 E1 和 E2）的电连接接线端位于位置 11，从而容易实现与电压或电源 5 的连接。将每一个第二电极 E2 连接到由相同层构成的公共的供电横杆 6。

由于电极 E1 在单元 15 之间共用，其终端在位置 11 可用于连接到电源 5。

30 也可以由与 3 类似的支撑垫 4 将元件 6 与电极 E1 分隔（如果它们交叠）。

为了特殊的应用以及获得想要的操作特性，可以考虑选择各种元件

的机械特性，例如硬度 (k) 和厚度 (t)、设备 10 的长度 19、单元 15 的长度 15、有效单元桥长（即元件 3 之间）和宽度 17 以及其它有关参数。通常，对于大多数静电设备，能量、力和功率一般与设备的有效面积和电极 E1 和 E2 之间的电场成比例。可以通过增大有效面积来增大力，例如通过增大单元的宽度 17 和/或采用平行的多行单元。此外，可以通过增大电场或者如果需要的电压电平是固定的，可以减小交互电极间隙来增大功率密度（和力）。然后，使用该设备的内置放大性能，可以适当地选择沿长度 19 的单元数，以便产生需要的偏转幅度。

举一个例子， $N=10-20$ 和近似尺寸： $t_{1(\text{层}1)}=1$ 微米 $t_{2(\text{层}2)}=2$ 微米 $t_{3(\text{层}3)}=1$ 微米，当然这些尺寸取决于需要的性能和其它要求。

当将设备 10 连接到电压源 5 时，由于电极 E1 和 E2 之间的电容，电荷/静电荷发生集聚，从而在电极 E1 和 E2 之间产生吸引静电力。如图 2b 所示，这使电极 E1 变形或卷曲，并且使其自由端沿弧度方向 12 延伸到平面外。偏转幅度与应用的电压电平成比例。偏转方向是从第二电极到第一电极。由于收缩了量 19b，也可以看出设备沿 X 轴的有效长度减少到 19a（下面将详细说明）。

依靠电极 E1 和 E2 之间的电绝缘层，断开电源 5 也将使设备处于偏转状态一段时间。为了使设备 10 返回到其非偏转状态，需要去除电荷，例如通过使电极 E1 和 E2 收缩短路，以便整个结构 18 弹回。

在 12 的总的端偏转是由每一个独立单元 15 引起的偏转之和。更具体的讲，每一单元 15 向电极 E1 的总的偏转 D 贡献一部分，并且单元 15 的数目越大，总的偏转 D 和长度收缩 19b 就越大。从图 3b 中，这一点将会变得明显。

弯曲幅度取决于单元尺寸、在该设备中的位置并进一步取决于负载类型和条件。依靠采用的安装方法和 / 或夹紧方法，该设备 10 能产生大量运动和力。例如，在中央夹紧将使终端以一定的角度向上偏转，而夹紧端点将使中间沿 Y 轴以平移或线性方式向下移动。通过将电极 E2 置于 E1 相反的那侧上，该设备将在相反的方向偏转。

下面是该设备 10 的主要特点。与现有技术不同，该设备具有高能量密度和保持电极 E1 和 E2 之间的密切接近的能力和因此而形成的高电场电平。该设备提供了独特的灵活性，单元数 N 能控制偏转 D、力 F、

其它变量之间的平衡。一般情况下，对于给定的设备 10，增大 N 能以 F 为代价来使 D 增大，反之亦然。许多现有技术设备一般被迫采用半导体集成电路中所用的、通常远远高于需要的电平的驱动电压。另一方面，设备 10 能有效地将元件 $E1$ 和 $E2$ 之间的高的力和低的相对位移转换为
5 较低的总的力 F 和较大的总的偏转 D 、有效地提供机械放大（反之亦然）、使用较低 V 电平。

图 3a 和 3b 表示第二电极 $E2$ 不相互交叉或交叠的设备 20 的另一实施例。相反，这些电极 $E2$ 形状呈矩形并且相互之间由间隙 $8c$ 分隔开。如果需要，可以采用多行电极 $E2$ 来制造交叠类型的设备 20，其中，相
10 邻行的位置彼此相对移动（沿 X 轴）。

在图 3b 中可以看出，通过第二电极 $E2$ ，由于正在偏转的主要部分引起的偏转的倾斜，对第一电极 $E1$ 引起的偏转在其整个长度上延伸。图 3b 也表示第一电极的向上偏转，实际上实在与第二电极相反的方向。

图 4 和 5 表示围绕单轴（在该例子中是 Z 轴）偏转的设备 30 的另一
15 实施例。在该实施例中，第二电极 32 属于悬臂类型，仅在一端与第一电极 31 连接。

该设备 30 包括具有硬度 $k31$ 的第一导电性元件 31（形成电极 $E1$ ）、具有硬度 $k32$ 的第二导电性元件 32（形成电极 $E2$ ），它们由提供一分隔
20 间隙 $33a$ 的电绝缘层 33 分隔开。该元件 31 和具有支撑层 33 的每一元件 32 形成形状类似悬臂的单元 45。支撑层 33 不必须位于第二元件 32 的一端，它也可以位于其它地方，例如位于中间，从而提供两个共用公共的支撑垫的悬臂端面。

根据图 1 到 3b 的实施例，一排一个或共用一个公共的第一元件 31 的多个单元 45 构成设备 30 的主体。将这种具有有效长度 39 和宽度 37
25 的柔性结构安装和固定到由间隙 44 抬起到基片 46 上的支撑杆 41，并沿弧度方向 42 在平面外自由移动。单元 45 具有任一合适的长度和尺寸，并且如果需要可以沿方向 39a 重复。

相邻单元的元件 32 由间隙 39 分隔开。

绝缘支撑垫 48 可以用来阻止在偏转期间元件 31 和 32 彼此接触。
30 垫 48 也可以具有其它功能目标：例如，一与垫或多个垫 48 接触，这些垫就可以使第二电极 $E2$ 从悬臂型变为桥型，从而改变给予第一电极 $E1$

的偏转类型。这对作为限位开关或传感器是有益的。

根据前述实施例，将元件 32 连接到与可以由元件 32 相同的层构成的支撑层 36。第一元件 31 能延伸到位置 41，在该位置，该第一元件 31 连接到电源 35。与元件 32 一样，元件 36 可以由支撑垫和绝缘间隔 33 与第一元件 31 分隔开。

所有元件 31、32 和 33 都可以由任意合适的材料制成。

可以根据应用来选择各种元件 31、32 的机械特性和尺寸，例如硬度 (k) 和厚度 (t)、设备的有效长度、单元的悬臂长度和有效长度，即元件 33 和宽度 37 之间的长度及其它重要参数。如果需要，设备 30 中相邻单元的元件也可以交叠。

当设备 30 与电压源 35 连接时，集聚在元件 31、32 上的电荷/静电荷将使元件 31 沿从元件 31 到元件 32 的弧度方向 42 变形。设备 30 也经历与图 2b 中的设备 10 的 19b 相同的长度收缩。

根据所采用的安装类型和/或夹紧类型，悬臂型设备 30 沿与桥型设备相反的方向偏转，并以多种相似但与桥型设备相反的方式偏转。其弯曲幅度取决于单元尺寸和位于设备内的位置，也可以取决于负载类型和条件。悬臂设备一般与桥设备具有相同的特点。

很显然，可以在相同的设备中并且确实在相同的第一电极 E1 上提供桥型和悬臂型。

图 6-8 表示双向设备的例子。双向设备可以采用第二元件 2 的双侧排列、共用一个公共元件 1、31（分别）以背对背的方式来构成。例如，每个设备在共用电极 E1 或 E2 之一作为公共元件和终端的同时具有其独立的电连接，以便使每个设备都可以单独开/关。

图 6 表示这样一个实施例，包括两组第二电极 E2 和在桥型的两组第二电极之间夹入的一个公共电极 E1。实际上，在该设备另一端固定于 85 时，该夹层配置形成共用一个能在沿弧度 89 的任一方向产生偏转的公有电极 E1 的两个设备。如果电极的上或下组分别单独起动，那么该设备 40（作为选择，单独通过电极 E1 来夹紧）上下偏转。作为选择，可以将两个单一方向设备相连接，以便每一个设备都可以使该组合设备沿各自的方向偏转。

在第二电极 E2 的上下组中的支撑垫 3 在 XZ 平面互相成一直线并

具有相同的位置。

另外一种双方向设备可以只采用如图 7 和 8 所示的两个电极 E1 和 E2（代替如图 6 的设备 40 中的三个电极 E2、E1、E2）来构成。这些可以采用只需两个导电层和一个绝缘层的常用的标准制造工艺，例如采用
5 两层结构多晶硅工艺。这种灵活性使制造不同类型的设备成为可能，例如一些是双方向、一些是向上偏转的单方向、一些是向下偏转的单方向或是这些的结合，所有的都采用相同的制造操作或批次和/或相同的基片。这样，人们可以方便地制造能以任意单或双方向的方式偏转的桥和悬臂设备和/或两种类型结合的设备。

10 图 7 表示包括绝缘支撑垫层 73、在点 76 连接的导电层 74、75 并固定到支撑杆 71 的两层桥型双方向设备的一个例子。例如，通过制造或配置层 74 作为第二电极 E2 和层 75 作为第一电极 E1，使向上偏转部件 77 在左侧构成，和通过制造层 74 作为第一电极 E1 和层 75 作为第二电极 E2，使向下偏转部件 78 在右侧构成。通过在点 76 将元件 74 和 75 连接就形
15 成了基本连续的第一电极 E1。部件 77、78 可以有一个或多个独立的和/或共用的电终端，并且可以沿 79（或如图 11 所示的其它行）重复，以便形成具有任意需要的尺寸和偏转特性的设备。

只将第一电极连接在一起不是必须的。一种选择是将一个设备的电极 E1 连接到另一设备的电极 E2 或者其中任何其它可移动部件。

20 图 8 表示具有桥型和悬臂型单元、并固定于支撑杆 81 的双方向设备的另一个实施例。该设备包括绝缘支撑垫 83 和导电层 84 和 85。例如，通过制造层 84 作为电极 E2 和层 85 作为电极 E1，使可向上偏转的桥部件 87 在左侧构成；而通过制造层 84 作为电极 E2 和层 85 作为电极 E1，使可向下偏转的悬臂部件 88 在右侧构成。连接在一起的部件 87、88 可
25 以有一个或多个独立的和/或共用的电终端，并且可以沿 89（和/或沿如图 11 所示的其它行）重复，以便形成具有任意需要的尺寸和偏转特性的设备。优点包括：对于电极 E1，桥和悬臂单元都采用相同的材料/层，并且对于电极 E2 也采用相同的材料/层；将 E1 和 E2 置于在设备的同侧，这在一些应用中是可取的。

30 尽管根据电极 E1 或 E2 或 E1 和 E2 两者来配置层 74、75（84、85），但是在标准 MEMS 制造工艺中，它们的厚度一般是固定的，并不容易控

制的。这样，如果需要和为了根据 E1 或 E2 或 E1 和 E2 两者来优化层 74、75（或 84、85）使其起作用，可以通过改变元件 E1、E2 的有效宽度来控制它们的有效硬度（k），例如通过沿宽度制造孔或缝来减小 k1、k2（分别是电极 E1 和 E2 的硬度）。对图 7、8 的电极连接可以是任意适当的类型，例如如图 25A-29 所示。该技术也可以用来在同一制造工艺中使设备变大或变小。

每一部件 77、78、87 和 88 可以包括一个或多个单元。

可以采用任意适当的单元形状、外形、尺寸、指状交叠部件的数量。图 9 和 10 表示进一步的例子，在该例子中，由元件 E1、E2 和 3 形成的多个单元等效于具有与电极 E2 以距离 8a 交叠的那些桥设备 10。为了说明的目的，电极 E1 仅以轮廓形状来表示。单元外形不固定，并可以是产生或引起特殊偏转的任意外形。例如，它们可以是矩形、正方形、三角形、多边形或人字形。同样地，可以采用任意适当的电连接（未示出），包括图 25A-29 所示的连接类型。

除了能提供具有单行单元的设备外，提供具有多个这种行的设备是可能的，一个设备是图 11 的设备 170。一个公共第一电极 E1 可以由多行共用。相邻行相对彼此交错形成交叠。各行可以沿相同或不同的方向偏转，以及如果需要可以独立控制。

20 可围绕两轴偏转的设备

图 12a 和 13b 表示在元件 E1 和 E2 之间的静电力的基础上能围绕两轴偏转的设备的例子，例如围绕 Z 轴和围绕 X 轴或者具有围绕这些轴的偏转部件。一般条件下，图 12a 和 13a 的元件 91 和 101 是柔性电极 E1（为了便于理解，仅以轮廓形状来表示）且可以认为其与柔性隔膜相类似。

图 12a 表示可以被认为与桥型设备（例如图 1 的设备 10）相似的设备 90 的一个例子。设备 90 包括分别与图 1 的设备 10 的元件 1 和 2 相似的元件 91 和 92（在该例子中有三个元件 92）。为了象图 1 的实施例一样在区域 98 也可以具有围绕与其相邻元件相互交错的边缘的指状物（未示出）的这个目的，元件 92 具有适当的外形，在这个例子中是六边形。元件 92 互相分隔开，并以与桥型设备相似的方式通过相似的支撑垫例如每

个指状物的一个或多个将其支撑在元件 91 上（在该例子中是在 91 后）。

作为选择，元件 92 以与图 3a 和 3b 的实施例相似的间隙彼此分隔开。在图 12a 和 13a 的实施例中只表示了三个元件，但是分别沿线 99 和 109 可以增加更多元件来形成任意需要的尺寸、偏转和单元数的排列（与图 24 的单元相似）。

代替相互交错的指状物，元件 92 可以具有任意适合的外形和由置于合适位置例如元件 92 的部分或全部顶点或拐角附近的支撑垫支撑，以便使围绕两轴的偏转易于实现。此外，相邻单元的元件可以具有任意需要的形状和交叠程度，以便改进设备性能。图 12b 示出了元件 92 的一种可以选择的形状，每一个包括与其相邻单元的元件 92 相接合或相互交错的 4 个指状物，从而提供围绕两轴交叠的单元。

如果元件 91 在其外围固定，那么一驱动就会围绕 X 和 Z 轴变形，从而和分别位于凹凸表面的电极 E1 和 E2 一起形成弯曲表面。作为选择，可以采用任意其它固定方法，例如在中间固定。在其一些应用中，设备 90 可以用于 MEMS 微型话筒、微型电话、微型泵、喷墨泵等等。

图 13a 表示可以认为其与悬臂型设备相似的设备 10 的一个例子，该设备 10 包括元件 101（与 E1 相同）、102（与 E2 相同）和 103。在合适的位置 103 通过支撑垫将元件 102 支撑在元件 101 上，例如在它们的中间。在该例子中，元件 101 和 103 都位于元件 102 之后（在图 13a 中将 103 表示在 102 前只是为了易于理解），以便设备 100 能沿与设备 30 的方向相似的方向偏转。例如，如果元件 101 在其外围固定，那么一驱动就会围绕 X 和 Z 轴变形，从而和分别位于凹凸表面的电极 E1 和 E2 一起形成弯曲表面。这种类型的偏转如图 13b 所示，采用矩形电极 E2 和 E1，电极 E1 固定在其拐角处（很显然，图 12a 和 12b 的实施例以相似的方式偏转）。

如果需要，单元可以交叠。

根据设备 90，设备 100 的相邻单元之间的区域可以包含一个或多个电互连件，例如这里所描述的连接件 108。同样地，第二元件 92 或 102（构成第二电极 E2）可以根据应用来电连接或分隔开。设备 100 与设备 90 具有相似的应用。

只有三个元件被表示出来，但是沿线 109 可以增加更多元件来形成

任意需要的尺寸和单元数的排列。同样，设备 90 和 100 和电极 91、101 也可以具有任何需要的和合适的外形，例如六边形（如图 24）、圆形、正方形、甚至非对称的。

也可以通过使设备 90 中的元件 91 另一侧上的元件 92、93 加倍和使设备 100 中的元件 101 另一侧的元件 102、103 加倍来形成可围绕两轴旋转的双方向设备。

本领域技术人员可以知道，与图 7 和 8 采用的技术相类似的技术也可以用来制造桥型、悬臂型或在同一设备中两者结合的双轴设备，采用双结构电极制造工艺，其能以单一方向或双方向的方式偏转。

可以通过采用每一个围绕单轴移动的、与以一角度彼此连接的两个设备来形成能围绕两轴移动的另一实施例。可以提供给它们共用或独立的用于控制的终端。例如，可以通过在同一设备中使一行或多行与另一行或多行成 90° 将图 14 的设备 140 改进为围绕两轴移动的设备。一驱动，每个设备就围绕两轴发生偏转。设备 180 表示也能围绕两轴偏转的另一个例子。电极 E1 可以有裂缝、孔或洞来进一步促进或增强运转。

复杂设备

制造由或在单一第一电极上或在多个第一电极上的多组第二电极形成的复杂设备也是可能的。在前者情况下，能使第一电极以复杂方式变形，从而为在话筒、微型电话、泵等中使用的一个或多个设备提供复杂类型的移动。在后者情况下，可以提供复杂类型的移动，例如通过将以上参考图 1-13b 和 23a 所描述的类型设备连接在一起来产生围绕一个或多个轴的运动和/或沿一个或多个轴平移。设备偏转所围绕的轴的数量理论上并没有限制，并将根据应用和需要的偏转特点来选择。

与可以反向、双向或任何其它连接一样，可以将上述不同类型的单元连接在一起，例如，可以使桥型和悬臂型单元连接；可以使围绕一轴或两轴偏转的单元连接，以便提供任意所需要运转角度和方向的移动。更进一步，一个或多个部件可以由分开的和独立的电终端来独立驱动，或者可以共用一个或多个电终端。采用标准制造工艺，这种组合设备提供独特的特点，从而提供实现了因太复杂或困难以至至今也不能实现的功能的复杂的铰接结构。光扫描器和光束操纵设备的一些例子如图 14-19

所示。这些在 2D 和 3D 光学开关中发现的应用被用于通信中，例如所有光学开关、光纤开关和光交叉连接（OXC）。

可以利用本领域技术人员所熟知的适合驱动和控制的电子元件和技术来获得复杂的运动和偏转，这一点在这些应用和其它例如微控制器和机器人技术中是可取的。低电压能力使这些设备与驱动电子元件集成成为可能，并可以大大降低成本，例如在具有大量光纤信道之间的光学开关能力的设备中。这些设备可以用来使相干的和/或不相干的电磁波例如光围绕一个或多个轴偏转。

图 14 表示能扭转的复杂设备 140 的一个例子，包括每一个都可以围绕单轴偏转的多个（在该例子中是 7 个）设备 172，通过元件 177 串联连接/安装，以便每一个设备 172 由在前的设备传送并与其一起移动。设备 172（由间隙 176 与其相邻元件分隔开）包括多个单元（例如三个）并能沿与其相邻的设备相反的方向偏转。复杂设备在 171 安装/固定，留下另一端 175 自由偏转（在该例子中围绕 Z 轴）。末端 175 可以与任意需要的负载例如反射镜 179 连接，或者与任何其它静电设备连接。当开时，反射镜 179 以相对较大的量扭转/偏转，总的角度是各个所用的设备数目的和每一设备中的单元数总和，并根据其它变量中的 V 幅度。根据设备方向可以获得顺时针和逆时针扭转。

可以将另一设备例如设备 10（或其它单轴或多轴设备）安装在设备 140 中的 175（代替 179）上，从而使第一设备能根据适当的驱动时 140 给予的扭转角度围绕不同轴偏转（可以共同或独立控制 10，140）。例如，如果扭转角度接近 90° ，那么设备 10 能在 XZ 平面横向偏转。通过采用位于基片法线平面内的设备，可以选择性地获得 XZ 平面的横向偏转类型。图 23a 和 23b 表示另一平面内设备。

图 15 表示包括具有任意所需单元数的两个独立设备 182、183 的“L 形”复杂设备 180 的另一例子。设备 183 安装在设备 182 上，并可由设备 182 移动，并且两者是可独立控制的。如图 14，末端 185 可以驱动合适的负载例如反射镜 189。当单独打开时，设备 182 能使反射镜围绕 Z 轴扭转并偏转，而设备 183 能使反射镜围绕 X 轴偏转。以各种量来切换两设备 182、183 能使反射镜和各种元件一起围绕所有三个 XYZ 轴偏转。例如，如果设备 182 以 90° 偏转，那么它能使设备 183 围绕 Y 轴偏转

(Y 轴是页面的法向)。代替反射镜 189, 可以将一个或多个静电设备安装在设备 180 上 (例如在 185 上) 来实现甚至更复杂的运动。

图 14、15 和 17、19 所示的两个复杂设备可以用于光扫描/操纵应用或 OXC 开关。

5 图 16 表示由多个弯曲单元 162 形成的设备 160, 该设备呈环行, 一端紧固到支撑 168, 而可移动的另一端支撑元件 165。元件 165 可使另外附加的负载移动。根据这里描述的其它实施例, 以包括双向设备的任意类型的设备形成图 16 的设备。同样, 如果需要, 也可以形成其它外形和轨迹, 例如矩形、正方形、螺旋形。

10 图 17 的实施例包括两个复杂设备 121、122, 每个设备在元件 125 的任一侧。可以是反射镜的元件 125 安装在元件 121、122 的可偏转端, 另一端固定于 123。该设备可以包括能在一个或多个相同或相反方向偏转的两部件 121a、121b。可以采用多种驱动方案使反射镜以各种方式移动。例如, 如果元件 121a、121b、122a、122b 都以相等量向上偏转, 反射镜将向上线性移动, 而随着不相等的偏转, 反射镜会向偏转最小的一
15 侧倾斜。只使元件 121 或 122 之一偏转会使得反射镜向一侧倾斜。如果元件 121b、122b 分别沿与元件 121a、122a 相反的方向偏转, 那么反射镜 125 也可以向图 16 的左侧和右侧倾斜。本领域技术人员所熟知的其它驱动技术可以用来实现这些驱动方案。

20 图 18 表示采用四个设备 131、132 (复杂的、单轴和/或双方向) 的更加通用的实施例, 其中, 设备 133、134 一端支撑支架 137, 而另一端固定到支撑点 136, 设备 131、132 一端支撑负载, 例如反射镜 135, 而另一端固定到支架 137。此外, 可以采用图 17 的实施例中所描述的相似的驱动技术使反射镜沿/围绕一个或多个轴偏转和/或倾斜。

25 图 19 所示的另一实施例包括四个设备 141 (复杂的、单轴和或/双方向), 例如, 一端支撑反射镜 145, 而另一端固定到支架 144 (适当的支撑 144)。根据前述实施例, 通过采用本领域技术人员熟知的技术适当地驱动一个或多个 141, 反射镜 145 能以线性和/或角度的方式移动。图 17-19 所示的反射镜可以覆盖设备, 从而使设备隐藏在下面, 这对使反射
30 镜有效面积最大化是有益的。

该设备也可以用于流体控制应用中, 例如泵和喷墨打印机墨盒。图

20 所示的例子包括具有合适外形例如圆形的双（或单）轴设备 281，在其外周固定到支撑（架）元件 282，该元件 282 可以是背蚀刻的（back-etched）硅。设备 281 最好是属于能双向驱动的密封型的，也就是具有形成没有孔的密封膜的连续的第一元件 E1。E1 最好面对空腔 285。沿 286a
5 和 286b（漏斗形的）包括入口和出口、玻璃或硅的另一元件 283 在 284 适当地连接到元件 282，从而在中间形成空腔 285。

如果需要，可以分别在入口和出口采用两个单向阀 287a、287b 使液体根据箭头所指的方向流动。膜 281 能上和/或下运动。向上的移动使空腔 285 扩张并吸入液体，而向下的移动使空腔缩小并推出液体。这样，
10 泵能使液体从入口流到出口并通过导管连接到出口。该设备能以连续振荡或振动的方式运转，和/或能打开/关闭驱动。

附加的环境保护膜 291 可以通过元件 292 悬挂在元件 281 上，从而不会对膜 281 的正确运转产生不利的干扰。在这个和其它的应用中，可以采用通过适当的支撑杆安装到设备 281 上（或可移动）的类似的环境
15 保护元件。

该设备也可以用于声学应用中，例如话筒、耳机和超声波发生器。例如，没有下面的元件 283 的图 20 的实施例当以合适的信号驱动时可以用作话筒或超声波发生器。如果需要也可以采用上面的保护膜，在这种情况下，最好使第二电极 E2 面向元件 291。

20 作为选择，图 21 的实施例可以用作话筒或超声波发生器（可以提供较简单的制造），并包括固定到支撑元件 302 的设备 301。元件 302 按顺序固定到基片 303。根据适当的驱动，设备能沿方向 304 偏转，从而产生声波。

该设备可以用于传感器应用中，例如压力传感器和加速计。图 22
25 所示的例子包括具有合适外形例如圆形的双（或单）轴设备 311，在其外周固定到支撑（架）元件 312 上，所述的元件 312 是背蚀刻的硅。设备 311 最好是属于密封型的，也就是具有形成没有孔的密封膜的连续的第一电极 E1。电极 E2 最好面对空腔 315。属于玻璃或硅的另一元件 313 在 314 适当地连接到元件 312，从而在中间形成空腔 315。以适当的装置
30 保持空腔 315 处于所需的基准压力例如真空。设备 311 能响应外部压力相对空腔 315 和其中的压力的变化而向上/下偏转，从而引起设备 311 中

的容量的变化，这可以通过合适的压力检测器而用于绝对压力测量。空腔提供元件 311 的电极 E2 的环境保护，这样可以减少对附加的保护元件（图 20 的 291）的需要，尽管如果需要还可以使用这种元件。对于差动压力和和测量应用，采用端口 316 可以便于这种压力测量。

- 5 采用与图 22 的设备相类似的实施例（例如没有元件 313）可以制造声学扩音器和超声波检测器来传感和检测声波。作为选择，采用与图 20（没有元件 283）和 21 类似的实施例也可以制造它们。

与图 21 和 22 的设备相似的设备可以用作加速计，该加速计可以支撑适当的例如由适当的体型蚀刻的硅形成的额外质量来使传感容易实现。采用本领域技术人员熟知的驱动技术和方法，受益于本发明的设备的传感和驱动能力，压力和加速传感器设备也可以用作力平衡传感器。

采用上述长度收缩效应，复杂设备的其它实施例能沿与它们本身的平面基本平行的方向产生线性运动和力。一个例子是图 23a 的位于 XZ 平面的设备 250。设备 250 包括串联连接的多个部件 254，以便每一部件安装到前一个元件上，并沿与前一个元件相反的方向偏转（元件 255 与其连接）。采用沿相反方向偏转的两部件增加了设备在平面内的移动而减少了平面外的移动。设备 250 包括两半（可以是对称的），在下面的 A 和在上面的 B。采用下半部 A 和上半部 B 产生更均匀和稳定的位移 259，尽管可以只采用一半。因此，只详细描述了下半部 A。每一部件 254 包括串联连接的三个设备 251a-253a，并形成与图 14 的设备相似的扭转类型的设备（臂 251a、253a 可以向上偏转，臂 252a 向下偏转）。当被驱动时，增加 251a-253a 的角度偏转，从而在任一 253a 的末端和与其相关的元件 255 产生最大偏转。为了清楚起见，图 23b 仅示出了元件 253a 和 253b 的偏转。元件 255 可以是任何合适的材料。

25 当驱动时，设备 250 能变形，并以图 23b 的侧视图所示的方式收缩。实际上，元件 253a 驱动相邻的元件 255 等等，从而使设备 250 卷曲并因此收缩。设备 250 收缩的长度 L2 比其未变形的长度 L1 收缩。当在 257 夹紧其左端时，设备 250 能用来基本沿方向 259 拉动与其末端 258 相连的负载。

30 一旦停止驱动，设备 250 可以弹回到其原始长度 L1。

设备 250 可以具有附加的支撑/固定元件，例如系绳或导轨，并可以

适当地连接到负载，使其不可能产生不需要的偏转，例如要保持基片清洁。奇数和偶数元件 254 能同时驱动（共用一个或多个电终端）或每一个能单独驱动。在后者情况下，如果需要，差动驱动也可以产生额外的上/下净偏转。尽管示出了三个部件（251a-253a），但是可以采用任意数目并且每一个包括都一个或多个在此所教导的类型的单元。如果需要，可以通过使向上偏转元件 254 比向下偏转元件具有较大的偏转，将设备 250 保持在距离基片一安全距离的位置。

通过采用沿彼此相反的方向偏转的一个或多个单元形成设备来举出收缩类型的复杂设备的其它例子，例如图 7 和 8 的设备。如果需要，可以将收缩设备布置在相对基片法向的平面内。

也设计了能沿与其平面基本平行的两个轴在平面内线性运动或收缩的设备。图 24 表示了布置在 XZ 平面内的双轴设备一个例子，包括具有适当外形和支撑垫（未示出）的电极 E1 和电极 E2。该设备可以有两组单元，每一单元能沿与另一单元相反的方向偏转（采用与图 7 和 8 的设备相似的技术）。可以增加更多单元使设备具有任意需要的尺寸。该设备最初是平的，并根据驱动来变形，以便基本沿两轴收缩，在这个例子中是在 XZ 平面内。可以采用与图 25A-29 所示的设备相似的电连接。其它细节与图 12a-13a 的实施例相似。

此外，可以采用多个单轴设备来制造双轴长度收缩设备。例如，一个这样的设备可以包括在 XZ 平面内的共用的 E1 电极，有多个与一个或多个想象的半径越来越大的同心圆的圆周相交径向向外来布置的 E2 电极。每一组都与其自身的圆相交并沿与相邻的内和外组相反的方向偏转，以便提供径向收缩。

设备 260 的一些应用包括：用于 2D 驱动器的 2D 线性运动，人造肌肉、具有可变/可控制强度的膜和 2D 传感器。

在 250 和 260 两个设备中，弹性加载或安装起作用的负载，以便它在去掉驱动时能弹回，作为选择，两设备可以沿相反方向拉动。

采用两个或多个以互相呈一角度例如 90° 布置的 250 类型的设备也可以制造其它平面内线性运动设备，每一个能基本上沿单轴收缩。

可以制造包含平面内和/或平面外两种设备，以产生复杂运动例如三围（3D）运动的复杂设备。例如，可以制造一种基本上能线性 3D 移动

的类似于膜的设备，该设备包含电极 E1，在电极 E1 上安装多组电极 E2，以便围绕两轴产生平面内运动。每一组是可独立控制。这可运用在机器人技术、定位、校正和 3D 光学载物台等等。

在许多需要沿一个或多个轴移动的应用中，可以采用实施例 250，
5 例如人造肌肉、电磁铁、静电梳状驱动和热致动器置换。在其它应用中，可以将线性位移或运动转换成旋转运动，例如通过旋转轮的转动曲柄，可以将具有与致动器连接的偏置销的轮子连接，以便通过致动器的线性运动在轮子上旋转。将两个这种致动器布置为彼此成 90° ，以便当以合适的电压信号（例如 90° 异相正弦波）驱动时，它们能使轮子产生连续
10 的旋转。该轮子有能使其它与其相连的轮子/齿轮驱动负载的轮齿。

另一种形式的复杂设备包括包含所描述的或在平面内偏转（例如线性或收缩）或平面外（例如线性或角度）偏转的类型的两个或更多个静电设备的一维或二维阵列，其可以在各种应用中使用。例如，每一个设备以扫描方式进行运动使元件传送或移动，例如用于无线通信的发射和
15 接收天线和用于引导、发射和接收电磁辐射的光学阵列。它们也可以用于信号例如声波的检测，在这种情况下，设备的驱动型式能根据接收角度范围引导和扫描设备的传感器型式或任何其它传感器，以便获得最佳接收条件。

在其它实施例中，可以将称为致动器的一个或多个设备在同一平面
20 并连或串联或两者结合连接。作为选择，可以将两个或多个能围绕一个或多个轴移动的致动器设备堆叠在不同的平行平面内的彼此之上，以便适当地支撑它们（例如通过附加的支撑元件/杆和/或合适材料的柔型薄片/薄板），在相邻设备中，在彼此之上不阻止彼此的偏转，从而形成具有改进性能例如提供较大的力的设备。

25 另一个堆叠实施例的例子包括除了一个致动器（例如上致动器）可以是另外一种类型例如悬臂以外与图 6 的设备相似的设备。由于桥型和悬臂型设备沿相反的方向偏转，这种情况下它们都沿同一方向移动，从而产生较大的力。

30 电互连

可以采用各种技术实现在任意单元内或在各种元件和设备之间的相

应的电极的电连接/互连，在图 1、4、25A-26C 中表示了一些（为了清楚起见，未在这些图中表示第一电极 E1）。示出的这些是用于单轴设备，但是本领域技术人员很容易改进或施加到双轴和复杂设备，例如，通过适当的布线和分配整个设备的电连接。最好使这些连接相对灵活而对设备所需的性能没有负面影响，或对有益的偏转和从设备的基础支撑的延伸没有不必要的限制。它们可以采用本领域技术人员所熟知的技术，例如与电极 E1 和 E2 相同的材料或其它材料例如具有合适的厚度和尺寸的金属层。互连可以位于单元之间、沿其侧面、其上或其下。它们可以在合适的点自由的悬挂或支撑（例如通过垫片 3），以便使他们不与相反极性的电极接触。一般情况下，已经将单元的电极 E1 连接到一起作为一连续的元件，但是，如果没有（例如在复杂设备中）连接到一起，那么可以采用与对电极 E2 所作的描述一样任一合适的方法。

在图 25A 中，桥型设备 200 包括由柔性元件 201 互连的电极 E2 的多个单元。元件 201 将经连接件 202 的在前一单元中的电极 E2 连接到经连接件 203 的下一单元的电极 E2。图 25B 和 25C 表示连接件的其它例子，包括和元件 213 一起的元件 211 和 212 或者图 25C 的元件 214。

图 25A 也示出了位于单元侧面的可选择的连接件例如 205 和 207 和/或 204 和 206。可以采用后面的连接件中的一个或多个，从而使与一个或多个设备的连接容易实现，尤其是在复杂设备中，采用本领域技术人员熟知的技术使交互设备的电连接容易实现。

图 26A 表示采用元件 221 将在点 222 的前一单元的电极 E2 连接到在点 223 的下一单元的电极 E2 的、用于悬臂类型设备 220 的柔性连接的例子。图 26B 和 26C 中的元件 231 或 232 分别表示对图 26A 的 221 可选择的连接件。

图 26A 也示出了与图 25A 所示的连接件具有相似功能的、在设备侧面的连接件 225 和 227 和/或一个或多个 224、226。

图 28 和 29 示出了横切表示位于设备侧面的实现电连接和它们被传送和支撑的方式的两个例子的设备的横截面。图 28 示出了独立的连接元件 235（与元件 204、206 和 224、226 相似），而图 29 示出了采用另一电极（例如 E1）的部分部件经元件 236 与电极 E2（反之亦然）互连的方式。

图 27A-27E 表示桥型的单元的不同例子。它们都包括第一和第二元件 61 和 62 以及与图 1 的设备 10 的元件 1、2 和 3 相似的绝缘元件 63。元件 62 和 64 构成一个或两个元件并具有相同或不同的硬度、厚度和材料。如 27D 所示，元件 62 可以弯曲。图 27E 示出了提供具有幅度 68 的电极交叠的桥型连接。

作为选择，可以按照这样一种方式使电互连接件位于设备之上或之下，即，为了达到对一个或多个设备和/或一个或多个由设备支撑/驱动/偏转的附加设备提供电连接的目的，将它们适当地支撑，最好在电极 E2 上，并沿设备传送（在单元之间以合适的柔性元件）。可以按照这种方式单独驱动每个设备。

代替与基片的永久连接，也可以在制造后将设备与基片分开和然后将它们适当地装配成任意需要的形状（例如复杂设备）和安装在可选择的支撑上或者可以单独使用它们。

随后可以将分开的设备适当地连接（例如粘贴或胶合）到负载（或支撑）。在一些实施例中，不能将静电设备连接到任一基片上，但是可以经柔性导线简单地与电源连接。

制造

可以将本领域技术人员熟知的任意合适的工艺和材料用于制造这里所述的设备，包括：MEMS 或 MOEMS（例如多用户 MEMS 工艺“MUMP”）、IC 和半导体工艺、微电子和硅工艺、LIGA/S-LIGA、薄膜、电镀、通过印刷工艺制造、在硅、玻璃、塑料或其它基片上。

图 30A-30C 表示采用标准微电子技术和工艺对与图 1 的设备 10 相似的向上可偏转的设备的部件的主要制造步骤的一个例子。一些标准 MUMP 工艺例如 Cronos 集成微系统不能与标准一样提供在两个可移动结构的多晶硅层之间起作用的绝缘层。这种附加层可以如下所述在制造工艺中合适的阶段来形成。

工艺以通常具有由例如 LPCVD 沉积氮化硅层 287a 的硅基片 270 开始，如果需要，在沉积之后，对多晶硅层 278b 布置图形。然后例如采用 LPCVD 对第一牺牲层 275（例如硅酸盐玻璃“PSG”）沉积并根据需要形成图形。然后对第一结构多晶硅层 272 沉积、掺杂、退火，并根据需要

形成第二元件 E2 的图形。由例如 LPCVD 沉积第二牺牲层 276 (例如 PSG)。然后放置具有孔 274 的光刻胶层 277, 并形成图形, 然后蚀刻层 276 的暴露部分。然后采用合适的技术沉积绝缘层 273, 以便形成支撑垫内孔 274, 紧接着去除不需要的部分 273, 例如采用剥离 277 后起离。层 5 273 最好对牺牲层的蚀刻剂有抵抗力。然后如图所示, 对第二结构多晶硅层 271 沉积、掺杂、退火、根据所需的第一元件的图形形成图形。

一般标准工艺采用额外的最上层, 例如金, 可以用于额外的电互连。对多晶硅层适当地掺杂, 并随后用氩退火来提高导电性和减少应力。牺牲层也用氩退火来减少应力。

10 通过合适的湿或干蚀刻技术可以去除所有的牺牲层, 以便释放第一和第二元件 271、272。元件 271、272 可以有形成图形的蚀刻/检查孔, 以便使牺牲层的去除容易实现。适当地使层 276 与层 273 平面化和/或水平化, 以便提供更平滑并更水平的层 271 (例如采用 SUMMMiT 工艺)。

有许多放置层 273 的其它方式, 包括在由层 271 沉积后去除 277 后和层 272 一起热氧化或形成氮化硅, 紧接着沉积层 271。如图 30A-C 所示, 设备直接连接到基片, 这是图 2a 的设备的一种可选择的方法。通过延伸 272、273 下的层 275, 可以获得上述的连接方式, 然后在基础支撑周围适当地底蚀刻 (under-etching) 275 (或整个设备)。作为选择或除了这种以外, 在沉积 272 之前, 可以与支撑垫 273 相似的制造分隔开的基础支撑。 20

作为替代, 通过在其除去期间采用牺牲层 (例如图 30A-C 中的 276) 的“底蚀刻” 以便把留下的部分作为支撑垫来减小对 E1 和 E2 之间的附加绝缘层的需要, 可以选择性地采用标准 Cronos 集成微系统的 MUMP 制造工艺。底蚀刻基本上取决于牺牲层 (例如图 30A 中 275、276) 的控制的或选择的蚀刻以便不需要去除支撑垫时能停止蚀刻处理。如果需要, 可以采用合适的技术 (例如离子束、掺杂剂) 另外处理支撑垫位置使它们更耐蚀刻。可以采用合适的蚀刻深度检测技术来监控/控制蚀刻。通过有关层的合适的尺寸和/或提供边缘、悬垂和检查孔 (例如以 E1/E2), 以便为支撑垫提供较长的蚀刻路径, 可以使这种“底蚀刻”方法容易实现。 25 30

可以采用另一种具有三个结构多晶硅元件例如 Sandia's SUMMiT、

SUMMiT V 来制造两个或三个可移动电极的设备。可以制造与图 6 的设备相似的双向三电极设备。也可以采用这种方法制造两个并联设备。如果需要，为了附加的目的，例如为了在致动器上（或附近）形成图 14-19 的反射镜，可以采用第三结构多晶硅。

5 在此披露的该设备能在以低驱动电压运转，并采用例如 CMOS、CMOS&MEMS、CMOS、BiCMOS 等标准或改进的 IC 工艺和技术与驱动电子组件和电路单片地集成。这能通过驱动和控制电子组件结合实现灵巧的致动器和传感器。采用许多本领域技术人员所熟知的合适的方法和 10 技术，包括采用一个或多个导体（镀金属和/或多晶硅）和分别用于可动元件和支撑垫的绝缘层。

 在应用中需要使空腔例如泵、压力传感器、真空和流控设备等空腔密封，不需要在 E1 上有检查孔。作为替代，单独在 E2 上布置合适的检查孔能提供足够到达 E1 的路径。可以采用任何其它可替代的熟知技术来 15 除去牺牲层，例如通过采用受热时由固态直接分解为蒸气的材料例如干释放的枝晶材料。

 可以通过包括附加的一个或多个附着力促进层和技术的任何合适的熟知的技术来附着层。

 根据大多数 MEMS 设备，可以采用任何熟知的反黏附技术，例如在制造期间通过提供凹坑来减弱层分离，和/或在设备使用期间起缓冲器 20 的作用。

 通过任何适宜的和合适的熟知的技术来管理和控制热应力和内应力。

 可以采用具有合适的柔性材料的附加层例如图 20 的例子来用于环境保护，例如灰尘和潮湿，并将其安装在设备上，以便和设备一起移动 25 和偏转。

 也可以采用微立体光刻法“MSL”制造，特别是用于垂直堆叠设备和用于位于基片法向的设备。

 第一元件 E1（或 E2）和/或负载元件（例如图 14 的反射镜）可以由单晶硅制成，例如通过合适的体型微加工工艺，或体型和表面混合的 30 微加工工艺。

 以上描述列出了在上述实施例中教导的本发明的许多优点和特

点。

和致动器一样，在此所描述的设备也可以用作可围绕一个或多个轴偏转的机械-电子变换器和传感器。机械偏转 D 引起用于传感目的的电极 $E1$ 和 $E2$ 间的电容值 d (C) 改变。和在驱动类型中一样，与相对大的有效面积和电容结合，保持电极 $E1$ 和 $E2$ 的紧密接近能带来高灵敏度，对许多应用例如麦克风、压力/力传感器、惯性传感器、加速计和陀螺仪都有好处。同一设备通过在设备上采用隔开的专用部件、一些用于驱动和一些用于传感可以执行两种功能即传感和驱动。作为选择，相同的设备通过时分方法，可以用作致动器或传感器，或通过本领域技术人员熟知的合适的技术甚至可以同时用作致动器和传感器。这样，致动器的移动和位置可以被传感和测量，和/或用于反馈环来控制或保持致动器位置，这会找到许多应用，例如在光纤 OXC 中用来在信道之间使光束准确偏转和导引，并动态保持最佳导引条件。其它应用包括力平衡传感技术和设备。

设备的致动器和传感器类型每一个都有它们自身单独的最佳性能参数。它们也可以由集成的电子组件和逻辑电路来实现灵巧传感器和致动器。另外，可以将一个或多个传感器安装到一个或多个致动器上。以各种熟知的方式优化和控制传感器灵敏度。这种传感设备有固有的双向性，如果向前或沿相反的方向移动，产生 d (C)，尽管两值不一定相等。对于相等的 d (C) 值，采用与这里所描述的双向致动器相似的双向传感设备（例如与图 6 的致动器相似）。在某些传感应用中，为了改进性能，至少电极 $E1$ 和 $E2$ 中的一个包含驻极体材料例如 Teflon^(TM) 或 PVDF。

这里所描述的设备可以在任何需要的和合适的电压以模拟和/数字的方式运转、可以采用灵巧或板上电驱动组件和电路、也可以采用对熟知类型的偏转线性化技术的电压。也可以采用这些或其它技术在任何需要的频率以振荡方式或交流方式无论是共振还是非共振来驱动设备。例如在/接近共振时交流驱动能产生更大的偏转，这在许多应用中是可取的。

为了防止由于例如过量的电压电平（下吸、上吸或里收）而引起的电极 $E1$ 和 $E2$ 间的接触，可以采用任何合适的偏转范围扩大/反断裂技术。这可以应用到单个单元和/或整个设备。也可以采用外部限制或制动元件，如果需要采用阻尼/弹性作用来减弱冲击。例如，可以采用与设备 30

连接所示的制动元件 48 和在桥型设备中相似的停止（适当的放置例如在中间）。最好电极 E1、E2 具有没有尖点或突起平滑的表面，以便防止电压在较高场强内击穿。

5 采用适当的技术，存储在起动的设备中的部分静电能可以在设备返回到其偏转状态后恢复。作为选择，设备可以由电路板上的电发生器例如光电设备来驱动。

10 每一设备可以采用同样的或不同的单元。任一设备内从单元到单元的外形和尺寸例如长度、厚度、间距、硬度和/或材料可以相同或不同。例如，从一个设备的一端到另一端各单元可以具有越来越窄的宽度，这样可以提供在设备本身内负载分配和或能量传送到输出负载的改进的方法。在另一例子中，这样设计每个单元，以便控制力/能量的适当部分来优化负载驱动。在其它例子中，靠近设备支撑或负载的单元可以是不同的，并可以适当加强或减弱，为这些目的而进行优化。

15 可以采用任何适宜的、合适和需要的第一和第二电极的硬度（ k_1 、 k_2 ）值和/或它们之间的比值（例如， $k_1 > k_2$ 、 $k_1 < k_2$ 、 $k_1 = k_2$ ）。 k_2/k_1 的比值大于 1 可以增大最大有用偏转 D_{max} （在向下吸之前）。在其它参数之间， k 可以由 t 、材料类型、机械特性、所需的有效宽度和沿适当方向的脊或凹槽来控制。单元的平面形状比值（宽比长）可以是任何需要的值。除了厚度 t 以外，也可以以各种方式例如通过控制元件的有效宽度、
20 例如通过提高 k_1 、 k_2 来控制有效硬度 k 值。如果需要，例如为了进一步控制/提高设备偏转和性能，在支撑点附近/周围，可以使单元内部的有效硬度 k 值可变。此外，电极 E1 可以由缝或孔来促进所需的偏转。可以适当选择支撑杆（例如沿宽度）之间的尺寸、特性和间隔，以便获得所需的性能。

25 相邻单元（如图 1 的实施例）间的交叠可以控制和影响 D 和/或 F 的幅度。它可以是任何适宜的/合适的值。

在所述设备中的第一和第二元件之间的中间空间可以包含空气、真空、一种或多种：气体、液体、胶体或可变形的固体材料。

30 大多数情况下，由第一元件 E1 传送有用的功/能量，因而第一元件 E1 应具有合适的强度和特性。它可以通过在某些位置例如设备支撑或负载处附加层来得到加强。

采用适当的制造工艺可以制造一种横向偏转设备，即偏转平行于基片平面，从而使设备位于基片的法向平面内。

尽管没有具体描述，但是在一些实施例中提供了一种用于控制电极 E1 和 E2 的电源的控制单元，尤其是电极以不同方式运转（例如两个或多个电极 E2 在不同的电压运转从而产生在电极 E1 中产生不同的偏转效果）和/或用于开/关切换顺序和时间的情况。这种控制单元的结构和特点对电控制领域的技术人员是很显然的，因此在这没有详细描述。

技术人员很容易懂得对上述实施例所做的改进落在权利要求的范围内，并且这些实施例由权利要求所覆盖。

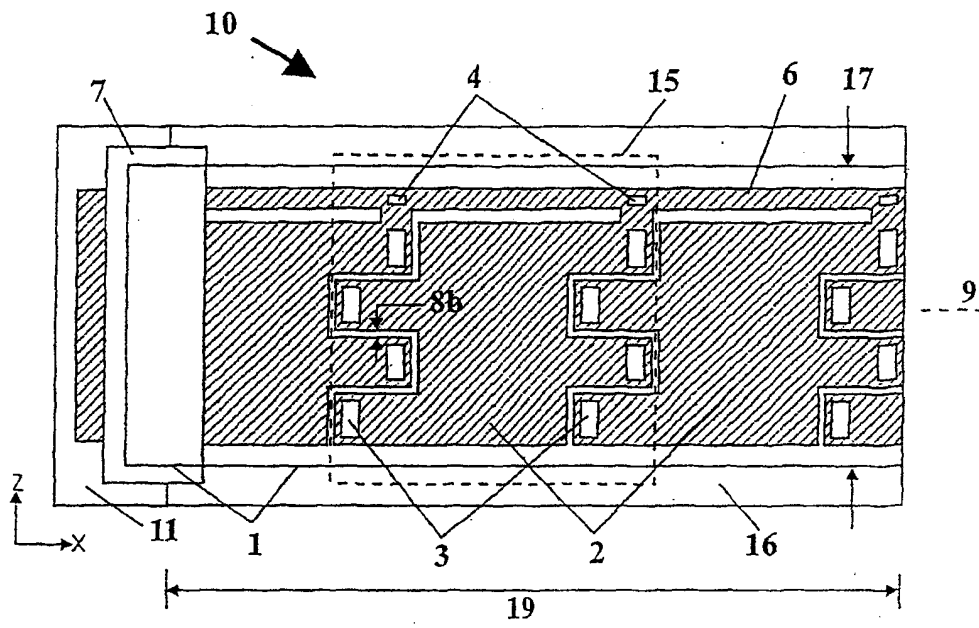


图 1

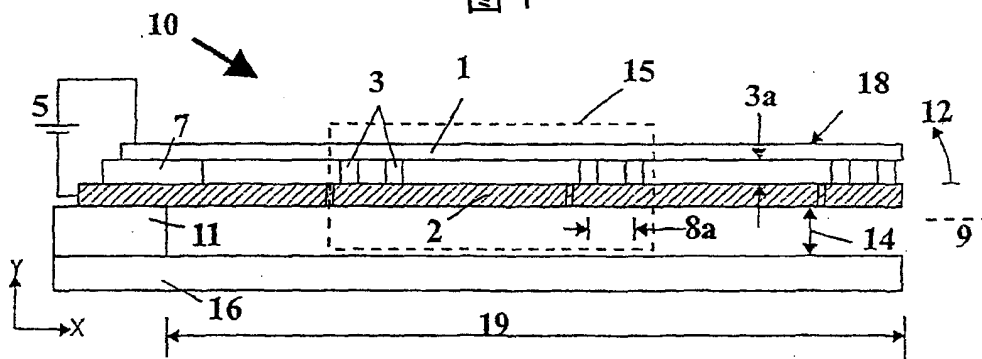


图 2a

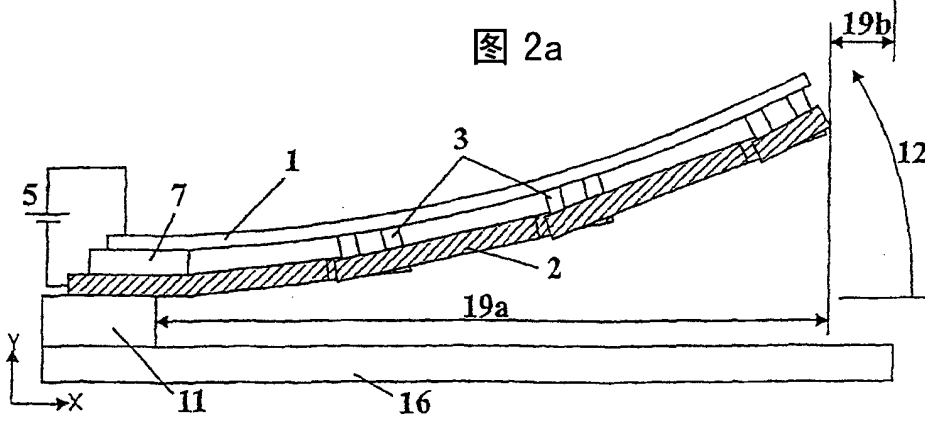


图 2b

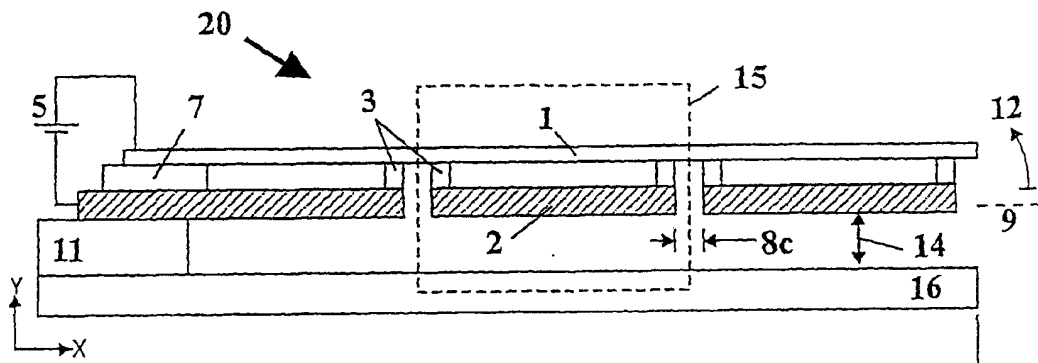


图 3a

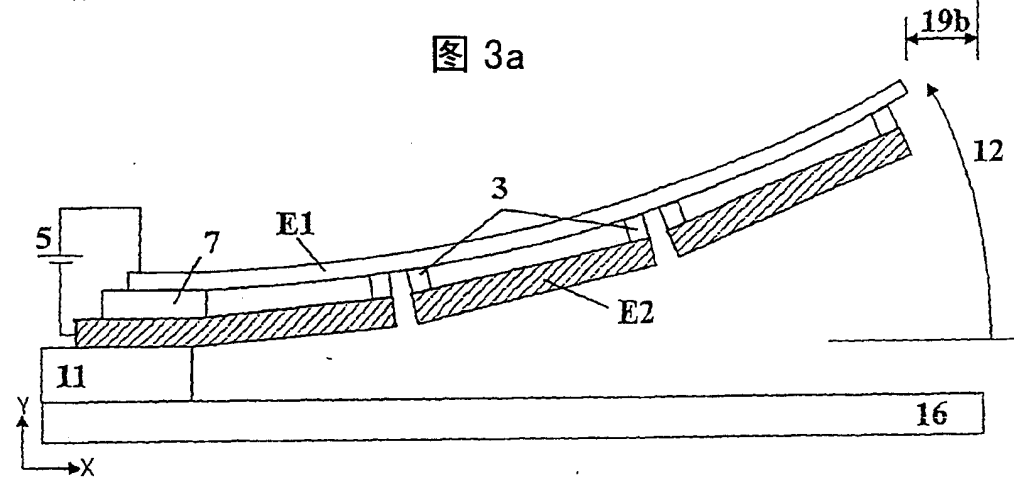


图 3b

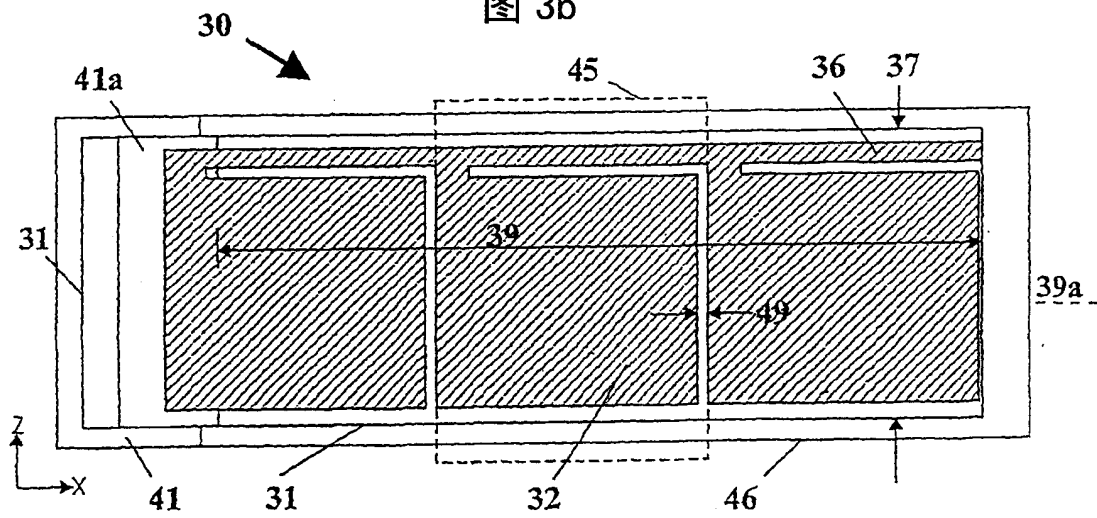


图 4

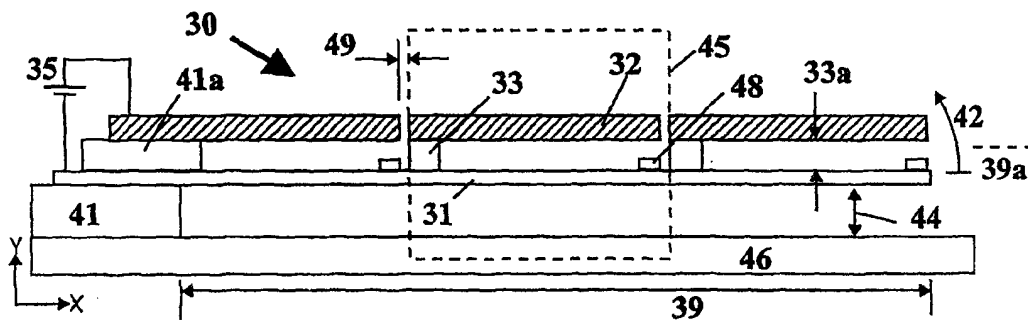


图 5

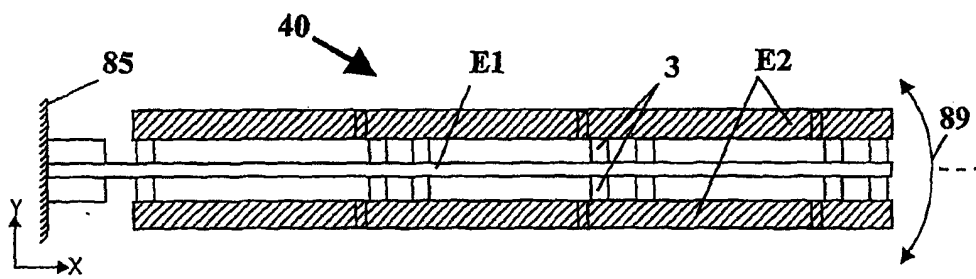


图 6

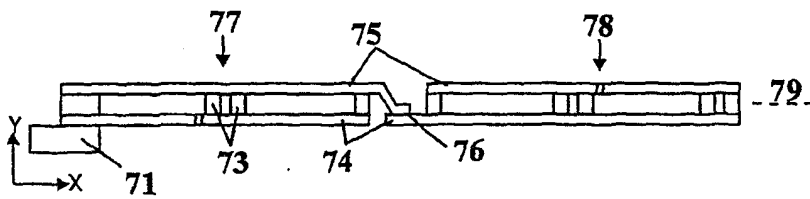


图 7

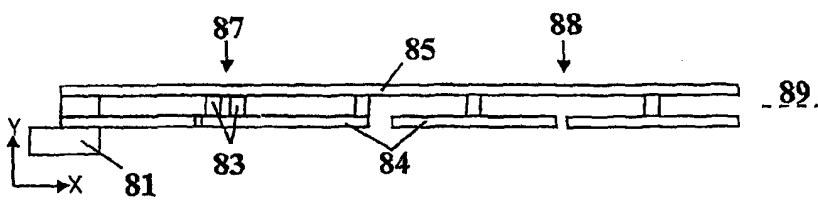


图 8

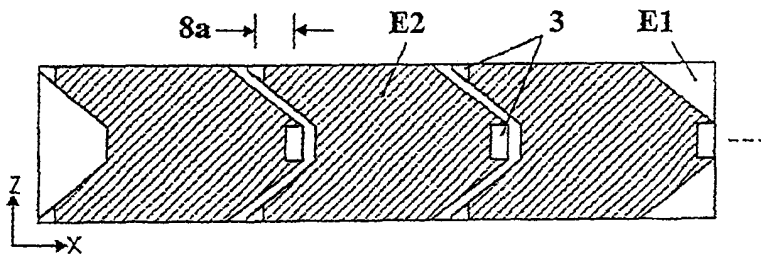


图 9

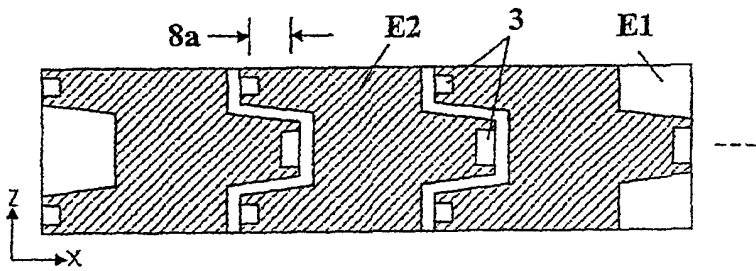


图 10

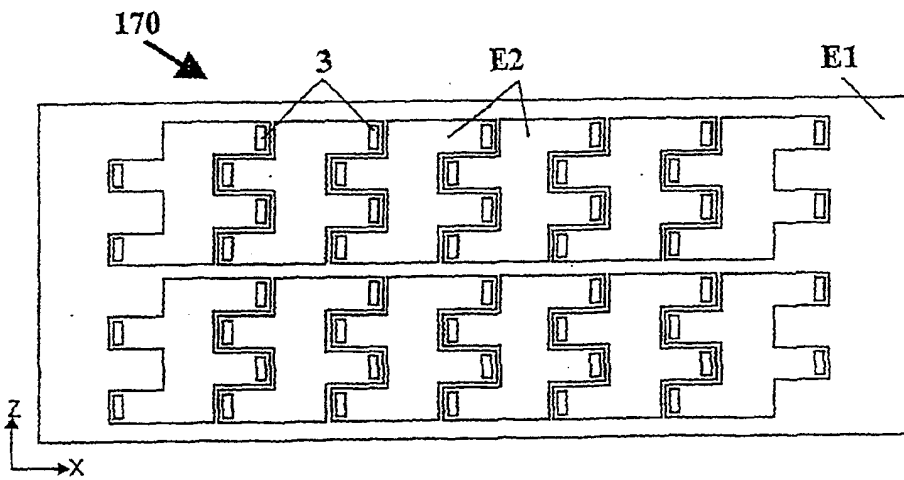


图 11

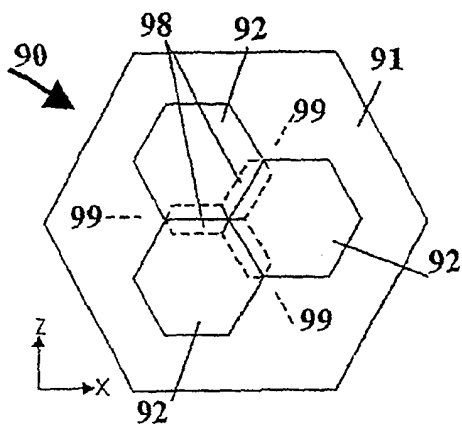


图 12a

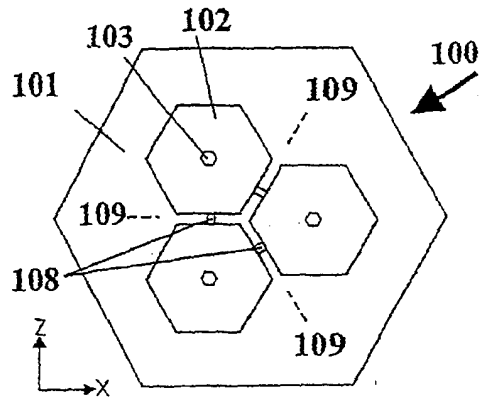


图 13a

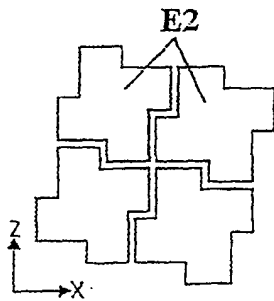


图 12b

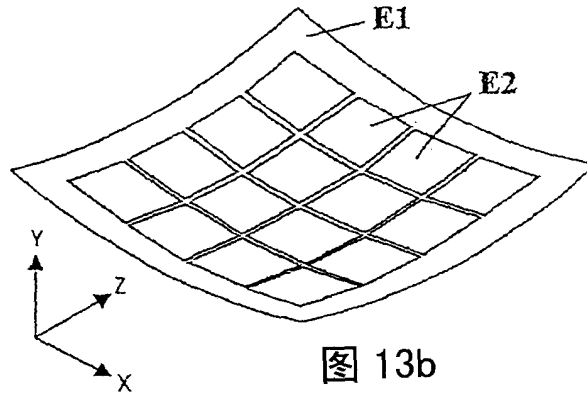


图 13b

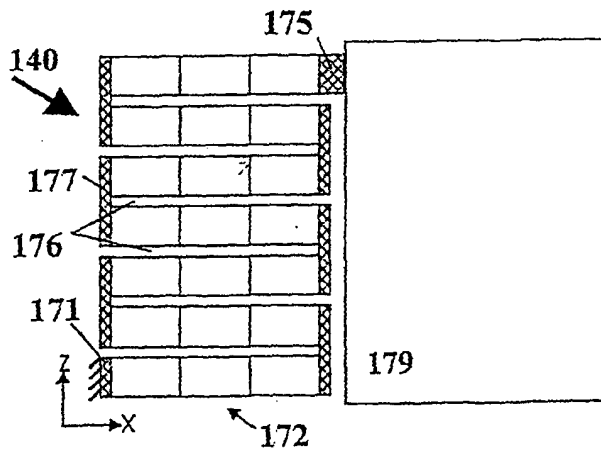


图 14

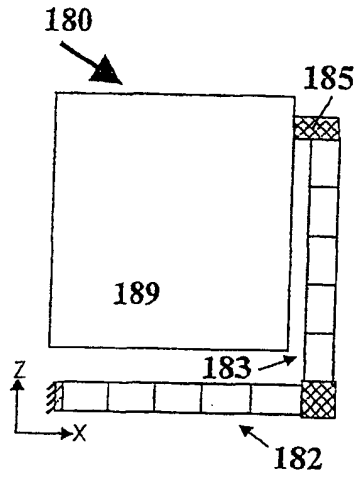


图 15

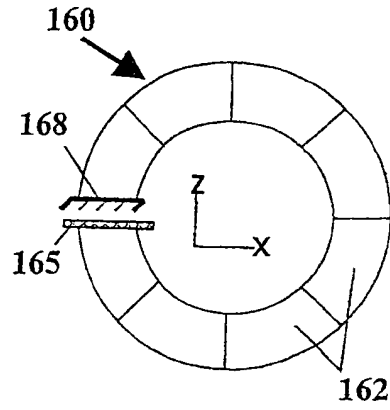


图 16

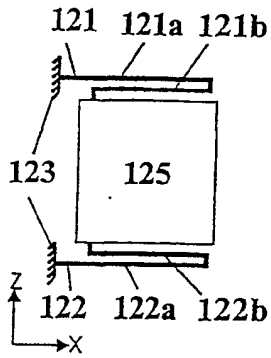


图 17

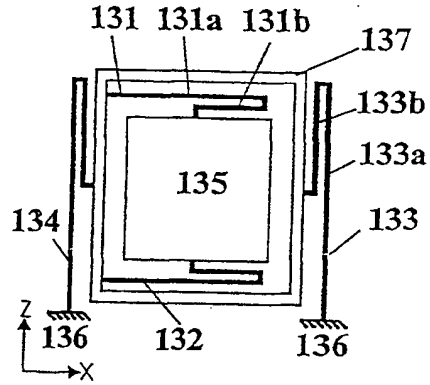


图 18

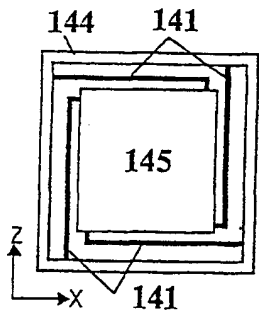


图 19

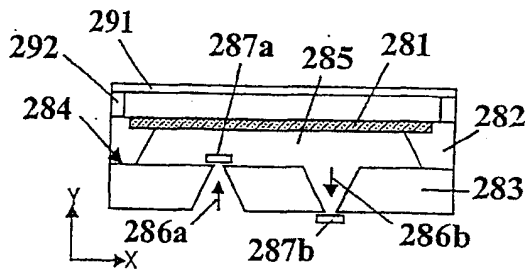


图 20

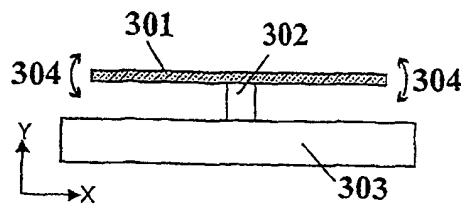


图 21

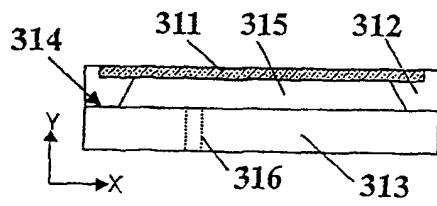


图 22

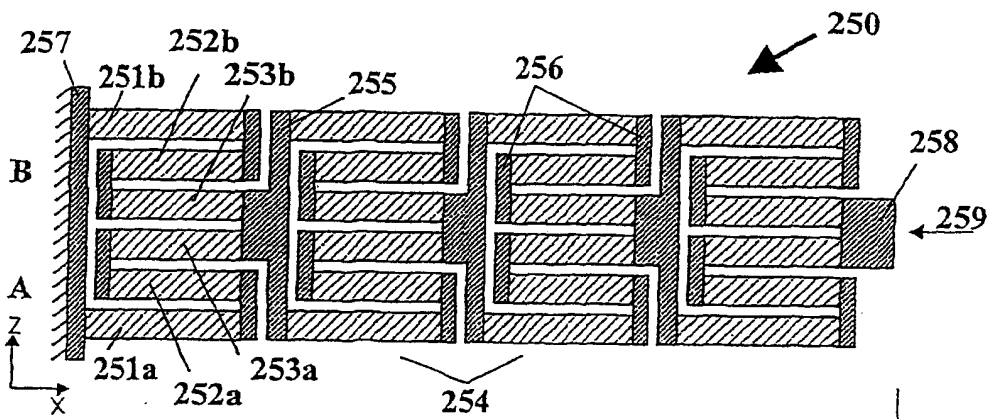


图 23a

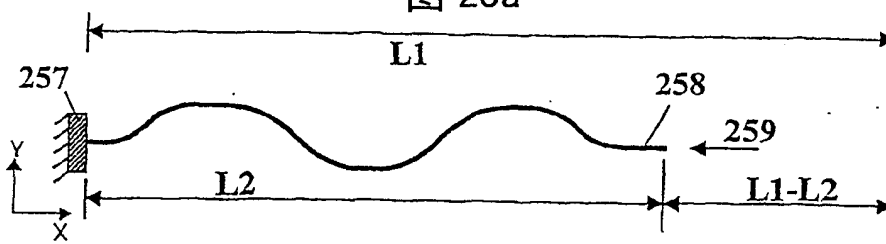


图 23b

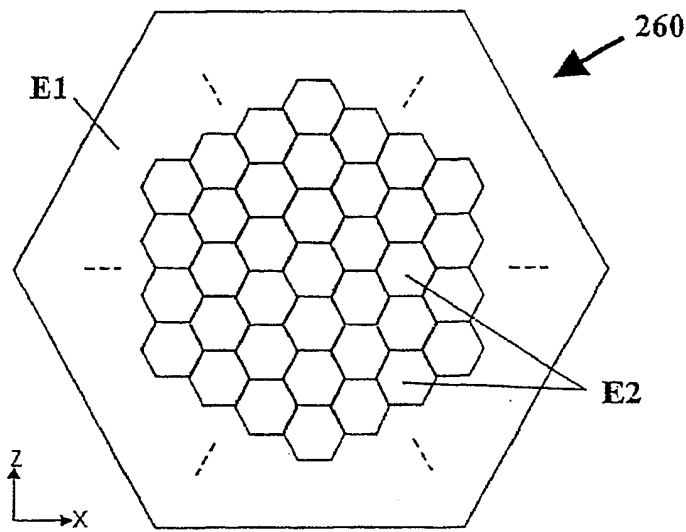


图 24

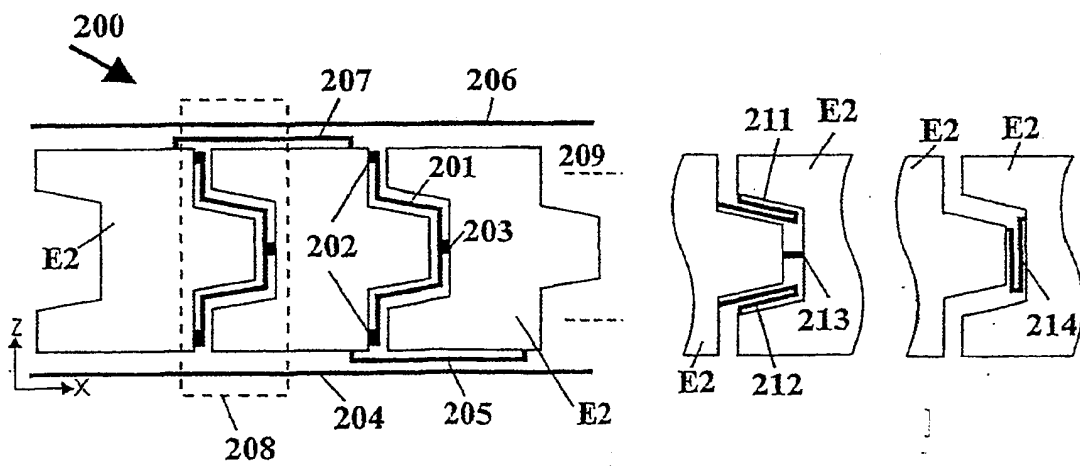


图 25A

图 25B

图 25C

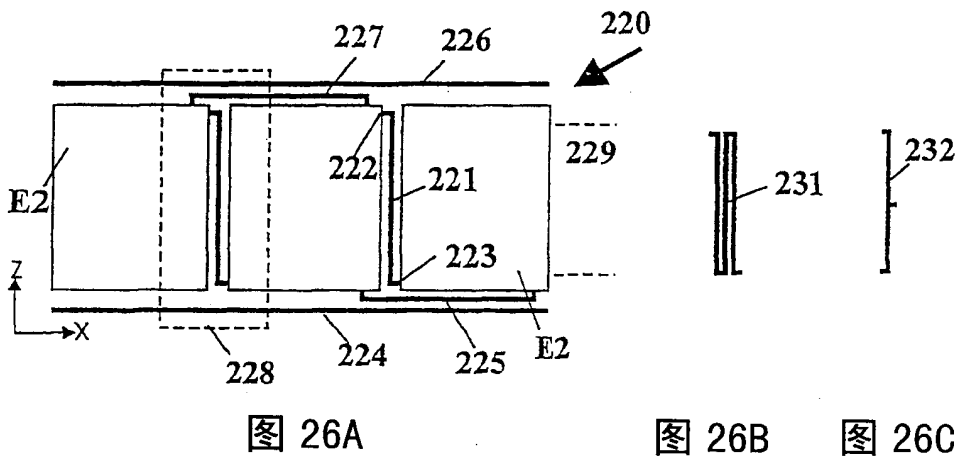


图 26A

图 26B

图 26C

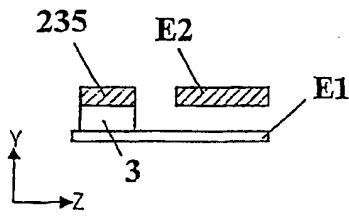


图 28

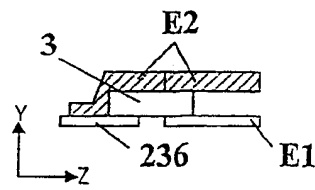


图 29

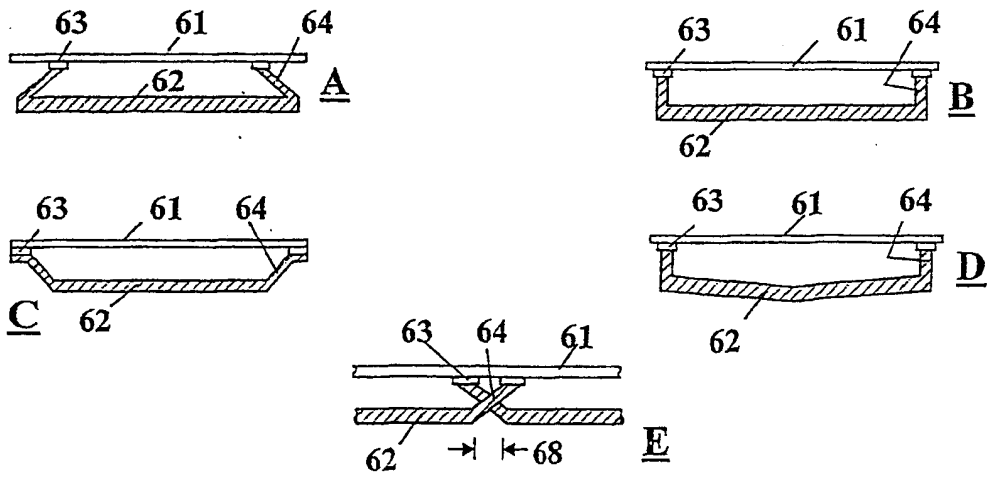


图 27

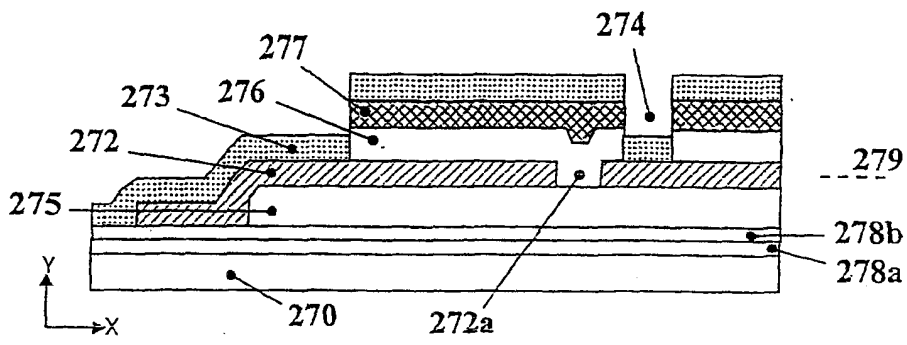


图 30A

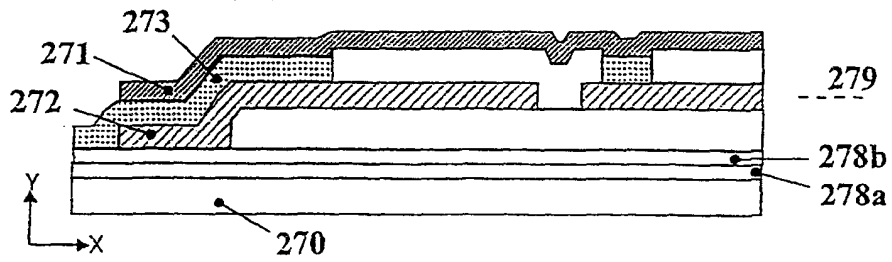


图 30B

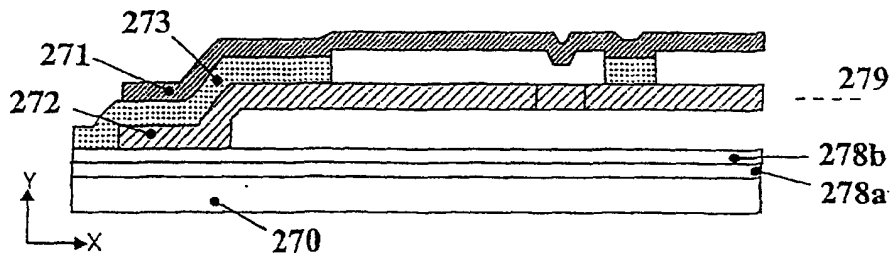


图 30C