



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02821263.0

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 100354632C

[22] 申请日 2002.8.23 [21] 申请号 02821263.0

[30] 优先权

[32] 2001.8.24 [33] US [31] 09/939,352

[86] 国际申请 PCT/US2002/027052 2002.8.23

[87] 国际公布 WO2003/019204 英 2003.3.6

[85] 进入国家阶段日期 2004.4.26

[73] 专利权人 特瑞克股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 J·基里斯 上原利男

B·T·维廉姆斯

[56] 参考文献

US5600251 1997.2.4

US4763078A 1988.8.9

审查员 王晓萍

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 李 玲

权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 7 页

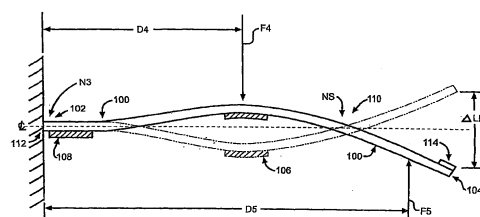
[54] 发明名称

用于非接触静电探测器的传感器

[57] 摘要

一种静电探测器的传感器包括一个以悬臂梁的形式支撑在一端的机械节点上的延长的振动元件，一个在靠近另一端的该振动元件上，适合于被设置成朝向被测量的电荷，电场或电势的灵敏电极，以及一个在振动元件上用于在改变该电极和被测量的电荷，电场或电势之间的电容耦合的方向上振动该元件的驱动变换器。驱动变换器在沿该悬臂梁的位置并在一个振动频率下工作，这样沿该悬臂梁显示一个虚机械节点。这反过来防止机械节点的振动，因此机械节点的刚度不会影响工作频率和/或悬臂梁的自由端的位移。悬臂梁的振动的幅度以及在梁的该端的探测器的运动幅度独立于传感器/探头的质量和/或用于将传感器/探头置于其相关于试验表面或区域的测量位置的诸如夹持/保持夹具的质量。因此使电气性能稳定，独立于所使用的具体夹持/保

持结构。一个放大器和灵敏电极被结合在振动元件上的一个组合件内，从而提供一个低阻抗的放大器输出，这样反过来又使振动元件周围的间隔更小，防止污染物的进入。振动元件可以配备一种允许以各种空间分辨率性能进行测量的结构。该振动元件的振动的强度被基本在机械安装节点处检测，并被一个电路用来控制振动的幅度。



1. 一种用于静电电压计形式的静电探测器的传感器包括：
 - (a) 一个具有两个端点的延长的振动元件；
 - (b) 用于在作为一个悬臂梁的所述端点的一个端点上支撑所述振动元件的装置；
 - (c) 一个在靠近另一个所述端点的所述振动元件上的灵敏电极，该灵敏电极朝向被探测的电荷、电场或电势设置，电荷、电场或电势和所述灵敏电极成电容性的耦合；
 - (d) 一个附接到所述振动元件上一个预先确定的位置上，用于以一个预先确定的频率在一个改变所述灵敏电极和被探测的电荷、电场或电势之间的电容性耦合的方向上振动所述振动元件的驱动变换器；
 - (e) 一个操作性地连接到所述驱动变换器，用于操作所述变换器振动所述振动元件的振荡器；和
 - (f) 一个在所述悬臂元件上的一个组件中和所述灵敏电极连接的装置，用于从所述灵敏电极获得包含有关被探测的电荷、电场或电势的信息的电信号；
 - (g) 其中所述用于支撑所述振动元件的装置在所述端点限定一个机械安装节点，并且其中所述驱动变换器的位置以及所述振动元件的振动频率经过选择以在悬臂梁的基础振动频率之上的频率上振动所述振动元件，因此在该悬臂梁的机械安装节点上产生一个基本补偿的扭矩，所以基本上没有合扭矩施加到所述安装节点上，这样，安装节点的刚强度不会影响该悬臂梁的工作频率或影响该悬臂梁的自由端的位移。
2. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述用于获得电信号的装置和灵敏电极的组件被安装在所述振动元件的表面上。
3. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述振动元件包括一个空间分辨率确定结构，该结构包括一个和所述灵敏电极配准的孔，该孔的尺寸和形状经选择以提供所需要的对于探测电荷、电场或电势的空间分辨率特性。
4. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，还包括：

一个基本在所述机械安装节点附接到所述振动元件以检测所述振动元件的振动的幅度的反馈变换器；

一个连接到所述反馈变换器并和所述驱动变换器成控制关系的用于控制所述振动元件的振动的幅度的驱动器/振荡器。

5. 如权利要求 2 所述的传感器，包括导线，其连接到所述用于获得电信号的装置且绕过所述振动元件的端部，为所述的包含被测电荷、电场或者电势的信息的信号提供低阻输出路径。

6. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，其中所述驱动变换器位于悬臂梁上对于经选择的该悬臂梁的振动模式曲率最大的一个位置。

7. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，其中所述悬臂梁具有第一和第二振动模式，且被选中的该悬臂梁的振动模式为第二模式。

8. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，其中所述用于获得电信号的装置安装在所述振动元件上，所述灵敏电极在所述用于获得电信号的装置上。

9. 如权利要求 1 所述的传感器，在所述振动元件上进一步包括一个反馈变换器用于检测所述振动元件的振动频率。

10. 如权利要求 9 所述的传感器，进一步包括一个连接到所述反馈变换器上和连接到所述振荡器上的控制器，用于控制所述振荡器在预先确定的频率上振动所述振动元件。

11. 如权利要求 9 所述的传感器，其特征在于，其中所述驱动变换器和所述反馈变换器位于所述振动元件的一个表面上，而用于获得电信号的装置与灵敏电极组件位于所述振动元件的相对的表面。

12. 如权利要求 8 所述的传感器，进一步包括一个覆盖所述灵敏电极以及采用允许所述灵敏电极和被探测的电荷、电场或电势之间的电容耦合的材料形成的保护元件。

13. 如权利要求 1 所述的传感器，进一步包括一个低阻抗连接，该低阻抗连接从所述用于获得电信号的装置的输出通向用于所获得的包含有关被探测的电荷、电场或电势的信息的信号的位置。

14. 如权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，其中所述用于获得电信号的装置包括一个放大器。

15. 如权利要求 3 所述的传感器，在所述振动元件上进一步包括一个反馈变换器用于探测所述振动元件的振动。

16. 如权利要求 15 所述的传感器，进一步包括一个连接到所述反馈变换器上和连接到所述振荡器上的控制器，用于控制所述振荡器操作所述驱动变换器。

17. 一种用于操作静电电压计形式的静电探测器的传感器的方法，其中该传感器包括一个支撑在一个机械节点上作为一个悬臂梁并且在其自由端有一个传感电极的延长的振动元件，并且其中该元件的振动改变被探测的传感电极和电荷、电场或电势间的电容性的耦合，所述方法包括：

(a) 向所述振动元件在其上的一个位置上以及以一个这样的频率施加一个振动力，以在悬臂梁的基础振动频率之上的频率上振动所述振动元件，因此在该悬臂梁的机械安装节点上产生一个基本补偿的扭矩，所以基本上没有合扭矩施加到所述安装节点上，这样，安装节点的刚强度不会影响该悬臂梁的工作频率或影响该悬臂梁的自由端的位移；

(b) 检测该元件基本在该机械安装节点上的振动的强度；

(c) 利用所检测到的振动幅度控制施加到该元件上的振动力的幅度；

和

(d) 从灵敏电极获得一个包含有关被探测的电荷，电场或电势的信息的电信号。

用于非接触静电探测器的传感器

发明背景

本发明涉及电气测量技术，更具体地说，本发明涉及用作非接触静电电场，静电电压或静电电荷探测装置的新型改进的传感器或探头。

非接触静电探测器被用于通过和被测量/监视的表面，电路或装置的物理接触被转移到测量装置上的电荷将改变或破坏数据这样的应用场合。这样的测量包括例如监视复印机或其他电光照相过程中使用的光导体的电压水平，监视在例如在纺织物或塑料薄膜制造工艺中应用的电介质卷筒的工艺线上的静电荷的建立，或监视半导体制造/处理工艺中电荷堆积通过静电放电（产生电弧）的结果成为产品污染或失效的原因的区域。

在此以前，进行高精度高速度低噪声的测量所需要的类型的，以及还需小实体尺寸的静电传感器/探头在制造上一直非常昂贵，妨碍了它们在更高数量更低成本的工艺和/或设备，诸如低端激光打印机，复印机或多点静电荷建立监视系统中的应用。

发明概述

因此，本发明的第一个目的是提供一种用于静电测量的，能够满足上述要求同时又有低制造成本的新型改进的传感器/探头。

本发明的另一个目的是提供一种具有独立于传感器/探头的质量和/或用于将传感器/探头置于其相关于试验表面或区域的测量位置的夹持/保持结构的质量的电气性能的传感器/探头。

本发明的另一个目的是提供这样的传感器/探头，其能最大程度地减小或容易地消除噪声和偏移信号的产生，从而不再需要在传感器/探头放大器电路的电气元件和传感器/探头外壳元件之间提供相对大的间隔，从而减小污染物进入传感器/探头结构内部的可能性。

本发明的另一个目的是提供这样的传感器/探头，其能容易地构型成提供各种空间分辨率的性能。

本发明的另一个目的是提供这样的传感器/探头，其对响应的电气速度被

提高到能精确地测量更高频率的静电数据。

本发明的另一个目的是提供这样的传感器/探头，其尺寸更小，结构更简单，制造更经济以及工作更可靠。

本发明为静电探测器提供的传感器包括一个以悬臂梁的形式支撑在一端的机械节点上的延长的振动元件，一个在靠近另一端的该振动元件上，适合于被设置成朝向被测量的电荷，电场或电势的灵敏电极，以及一个在振动元件上用于在改变该电极和被测量的电荷、电场或电势之间的电容耦合的方向上振动该元件的驱动变换器。驱动装置在沿该悬臂梁的位置并在一个振动频率下工作，这样沿该悬臂梁显示一个虚机械节点。这反过来防止机械节点的振动，因此机械节点的刚硬度不会影响工作频率和/或悬臂梁的自由端的位移。悬臂梁的振动的幅度以及在梁的该端的探测器的运动幅度独立于传感器/探头的质量和/或用于将传感器/探头置于其相关于试验表面或区域的测量位置的诸如夹持/保持夹具的质量。因此使电气性能稳定，独立于所使用的具体夹持/保持结构。一个放大器和灵敏电极被结合在振动元件上的一个组合件内，从而提供一个低阻抗的放大器输出，这样反过来又使振动元件周围的间隔更小，防止污染物的进入。振动元件可以配备一种允许以各种空间分辨率性能进行测量的结构。

通过阅读详尽的叙述以及所包括的附图，本发明的上述的和其他的优点和性能特征将变得更清楚明了。

附图简述

图 1 是现有技术的一个透视图，其中部分零件被去除；

图 2A 和 2B 是说明图 1 的传感器中的悬臂梁的工作的示意图；

图 3 是在传感器中应用的调谐叉系统的示意图；

图 4A, 4B 和 4C 是说明图 2A 和 2B 中显示类型的悬臂梁的振动模式的曲线图；

图 5 是应用根据本发明的悬臂梁的传感器的示意图；

图 6 是进一步说明本发明的示意图；

图 7 是和本发明的传感器一起使用的电路的示意框图；

图 8 是根据本发明的另一个实施例的传感器示意图，其中放大器的灵敏电极被结合进一个单独的组合件中；和

图 9 是根据本发明的另一个实施例的传感器示意图，其允许用各种空间分辨率性能进行测量。

示范实施例的详细描述

首先参考图 1，图中显示了由标记 10 总体指出的现有技术的传感器，其中，具有单悬臂梁形式的振动元件 40 具有一个连接或集成到基板 14 上的端部，而自由端提供了用于放大器 90 和一个灵敏电极 50 的表面。对于现有技术传感器 10 的更详尽的叙述，可以参考申请于 1988 年 8 月 9 日，题为“Sensor for Electrostatic Voltmeter”，专利号为 4763078 的美国专利，该专利的发明内容通过引用而结合在本文中。

如常规所知，单悬臂梁在振动中在附接或连接到机械节点结构或在图 1 的传感器的情况下附接或连接到基板结构的点上会产生不平衡的机械扭矩。作为对比，在诸如调谐叉的双悬臂梁结构中，由每个调谐叉的叉头的运动产生的机械力可以使其相等和相反，这样，在叉的公共连接点（支点）没有合机械扭矩产生。因此，调谐叉以作为支点处存在的质量（或安装刚强度）的函数的稳定的幅度和频率工作，而图 1 显示的类型单悬臂梁因为在基板附接点处的机械质量或机械刚强度变化而在振动的频率和幅度上不稳定。在为减小传感器/探头的尺寸和/或重量的努力中尝试减小基板结构的物理尺寸时，这种不稳定尤其麻烦。

具体地说，当探头的尺寸从专利 4763078 中显示和叙述的说明性的尺寸明显减小时，悬臂梁的自由端的振动幅度可以变得不稳定并取决于用于相对于试验表面/区域定位该传感器/探头的夹具。另外，由于使探头/传感器结构以及安装夹具涉及到悬臂的机械振动体系的单悬臂梁的不稳定性能，产生并向传感器/探头结构外发射不希望的能听到的振动，引起令人讨厌的能听到的噪声。通过使用内在平衡的调谐叉代替单悬臂梁，这些机械上的不希望的效果可以被消除。但是，在使用双悬臂即调谐叉时的制造成本令人望而却步，因为作为基板 14 的一个被结合的部分的调谐叉通过价廉的化学蚀刻等工艺是难以制造出来的。

对图 1 所显示的探头/传感器的工作的另一个限制也可以从在灵敏电极 50 和放大器 90 之间通过导线连接 52 进行的电气连接产生。灵敏电极 50 在相当高的阻抗水平（兆欧数量级）下工作而作为有效的静电数量探测器。直

连接到灵敏电极 50 的导线连接 52 也在和电极 50 相同的高阻抗水平。即使连接导线 52 可以保持得 2 mm 数量级那样短，它仍将包围将被连接到放大器 90 上去的悬臂 40 的端部。当导线 52 和悬臂 40 同步运动时，它将相对于基板 14 中的开口 36 的端部振动。为了防止在导线 52 上因为基板 14 和导线 52 中使用的金属材料中的接触电势差或在导线 52 或基板 14 上由电荷吸引的灰尘，色粉或其他污染物而产生外来的电噪声和电信号，必需在导线 52 和基板 14 间保持相对大的间隔。较大的间隔将降低污染噪声源和导线 52 间的并联量，这样往往会减小污染物的不希望有的噪声效果。但是，也合乎要求的是将所有在悬臂 40 和基板 14 之间的开口保持在最小的间隔以防止或减小可能进入传感器/探头结构内部的污染物的数量。

图 2A 说明了在专利 4763078 中叙述的图 1 的装置的的单悬臂的工作。如图 2A 所示，悬臂梁 40A 被支撑在机械节点 (N) 处的一端，而另一端能自由振动。图 2A 显示了处在非加电或静止位置中的悬臂梁 40A。通过该梁到安装节点 (N) 画的直线 70 限定了该静止位置。在向包括驱动和反馈压电陶瓷芯片（未显示）的振荡电路通电时，使悬臂梁 40A 在其基础谐振频率上或该频率附近振荡（对于在专利 4763078 的说明性的装置中显示的尺寸，该频率大致为 700 Hz）。

图 2B 说明了由梁 40B 产生的机械运动的限制，该机械运动在该梁的自由端产生振动的运动 ΔL 。应该注意，在机械安装节点 N 上由悬臂梁的运动产生的任何扭矩没有由任何相等而相反的扭矩补偿，而这样的扭矩会由例如如图 3 所示的调谐叉系统 74 产生。图 3 中，扭矩 T2 由扭矩 T3 精确地补偿。T3 有相同的数量但有相反的方向，因为和 T3 相关的叉头 76 总是以与和 T2 相关的叉头 78 有 180° 的相位进行相对运动，这正如常规所知。因此，节点 N1 经受了相等而相反的扭矩，因此不产生合扭矩。

在图 2 的系统的情况下，单悬臂的工作不受到补偿，节点 (N) 不是大块体积的因此不是机械“刚强”的，节点 (N) 将发生振动并将进入机械平衡，该机械平衡说明了悬臂在悬臂的自由端有关工作频率和运动 ΔL 上的运动。因为节点 (N) 的刚强度也取决于传感器/探头保持夹具的质量，自由端以及电极 50 的振荡幅度也将取决于夹具的刚强度以及因此而取决于传感器/探头所被赋予的具体应用。电极幅度的任何不稳定都将反过来影响由传感器/探头探测的静电数量的精确度和稳定性，尤其在试图减小传感器/探头结构的尺寸和/或

重量因此而导致节点 (N) 较小的块状体积或较小的刚强度时更是如此。

上述内容通过考虑薄悬臂梁的动力学结构而进一步说明。任何振动梁都将显示一组分离的谐振的模式，模式的形状和频率取决于所施加的边界条件的性质。在图 4A, 4B 和 4C 中，曲线 80, 82 和 84 描绘了带有一个夹持端和一个自由端的悬臂梁的第一三个振动模式 (n 分别等于 1, 2, 3) 的形状。虽然只有开始的几个模式可能在本文叙述的类型的装置中有任何的实际意义，这些模式在数目上是无限的。 $n=1$ 的模式非常类似于悬臂在端部具有普通负载的静态位移。 $n=2$ 的模式有单拐点和零交点， $n=3$ 的模式有两个拐点和零交点。相继的更高的模式的特征是有附加的拐点和零交点。

模式的谐振频率有规定的互相相关的比例。对于一个有理想的夹持的梁，其在固定端被赋予零运动和零斜度的条件，该比例是：

$$f_1: f_2: f_3: \dots = 1: 6.2: 17.5: \dots$$

因此，第一谐振在 $f_1 = 400\text{Hz}$ ，则 $f_2 = 2.48\text{ kHz}$ ， $f_3 = 7.0\text{ kHz}$ ，等等。在一个金属梁中，机械损耗低，因此模式的品质因子高，即 $Q_1, Q_2, Q_3 > 50$ 。这样，谐振可被考虑为很好地隔离。

在任何实际方法中理想的夹持是不可能的，即图 1 中显示类型的可制造的探头也是不可能的。图 1 显示结构的谐振模式被发现具有非常相似于图 4A, 4B, 4C 显示的“理想夹持”情况的形状；但是，谐振频率的比多少发生变化：

$$f_1: f_2: f_3: \dots = 1: 8: 22: \dots$$

另一个观察到的现象是，只要片体被可靠地焊接到其外壳上，这些被很好隔离的谐振的振动损耗保持低，即 $Q > 50$ 。

对于模式的不同的形状指出，通过适当地设置压电促动器，一种模式能选择性地并且优化地激发出一个给定的模式。同样，为了用可获得的最大灵敏度探测给定模式的存在，压电元件的位置可以被优化。压电变换器将 AC 电气激励转换成机械形变。当一个这种元件被刚性地附接到悬臂梁，该元件在侧向尺度上由电压诱发的变化 -沿悬臂梁的表面- 诱发了一个引起该梁偏斜的切变。这样，如根据本发明所确定的，用于激励（也是用于探测）任何模式的最佳位置在被偏斜的梁的曲率最大的点上。该关于最佳变换器位置的简单的前提已经在悬臂梁的 $n=1, 2$ 和 3 的模式中受到检验。

图 5 说明了本发明的传感器的悬臂梁 100 的工作。如图所示，悬臂梁 (100) 支撑在机械节点 (N)，该点也用 102 指示，而另一端 104 可自由振动。振荡

器电路以及驱动器 106 和反馈压电陶瓷芯片 108 沿悬臂梁 100 的设置和专利 4763078 的传感器中的振荡器和芯片设置不同，如将在本文中解释的那样。在本发明中，当电源被施加到振荡器电路和压电芯片 106, 108 时，悬臂梁 100 在使一个以 (NS) 做标记的也用 110 指示的虚机械节点沿该悬臂梁出现的频率上振动。当悬臂 100 在高于其基础频率的频率上工作时由于虚机械节点 (NS) 出现，就可以在机械安装节点 (N3) 产生基本补偿的扭矩，因此在节点 (N3) 上基本没有施加合扭矩。

如图 5 所示，如由以实线和虚线的位置所说明的振动的限制所限定的悬臂梁 100 的振动在梁的一端 104 产生一个 ΔLB 的振动。当虚节点 (NS) 在振荡的振动循环上保持静止时，悬臂梁在节点 (N3) 和 (NS) 之间的部分在所有时间里都在和该梁在节点 (NS) 和自由端 104 之间的部分的运动方向相反的方向上运动。图 5 中图示显示了基本补偿的扭矩的产生。在图 5 中，由在距节点 N3 的距离为 $D4$ 处施加的力 $F4$ 产生的扭矩 $T4$ 被由在距节点 N3 的距离为 $D5$ 处施加的力 $F5$ 产生的扭矩 $T5$ 基本补偿。距离 $D4$ 从节点 N3 测量到梁 100 的质量中心，距离 $D5$ 从节点 N3 测量到位于节点 (NS) 和端点 104 之间的质量的反射中心。

当基本补偿的扭矩 $T5$ 产生时，基本没有合扭矩施加到节点 N3。因为基本没有合扭矩施加到节点 N3，节点 N3 不能振动，因此其刚度不会明显地影响悬臂梁 100 的工作频率和/或悬臂 100 的端点 104 处的位移 ΔLB 。因此，当悬臂梁在产生虚机械节点，或在沿悬臂梁的适当位置产生多虚机械节点的频率上工作时，可以使单悬臂梁 100 相似于调谐叉的情况一样好象其安装节点受到扭矩补偿地活动。因为其安装节点扭矩基本被补偿，因此使有振动幅度 ΔLB 以及因此而有的在梁端点的探测器的运动幅度的振动独立于传感器/探头的质量和/或用于将传感器/探头置于其相关于试验表面或区域的测量位置的夹持/保持夹具的质量。因此电气性能得到稳定，使其独立于所应用的具体夹持/保持装置，这是本发明的一个目的。

考虑到悬臂梁 100 的第二 ($n=2$) 振动模式的应用，驱动变换器 106 被定位成使其重叠靠近中间的峰，悬臂梁 100 的机械响应将达到最大，因为当偏移时其曲率在该点最大。被用来探测运动和提供信号以关闭反馈环的反馈压电变换器 108 被定位于相当靠近夹持点 112。被设置在另一个曲率大的位置，该元件被发现探测全部适当的信号。作为非接触 ESV 设备的中心的电容性的

电极 114 被附接到非常靠近悬臂梁 100 的端点 104 的地方，在该处运动的幅度最大。

使用悬臂梁中的高阶模式改善了和在梁及其安装之间的振动隔离相关的严重问题。为了理解该改进是怎样实现的，可以对图 4A 和 4B 中的第一和第二模式的振动模式的形状进行比较。对于 $n=1$ 的模式，悬臂梁每个周期的一半全部在平衡位置的上面，该周期的另一半全部在平衡位置的下面。结果，最大的扭矩通过该梁被通到外壳。因为实际上没有外壳或支架足以能够防止该情况出现，该扭矩通常导致支架的共振，且探头被附接到其上的部件。另一方面，对于 $n=2$ 的模式，偏转总是将平衡位置一分为二，从而在梁的外部 and 内部之间提供了某个平衡度。当模式号码 n 上升时该自我平衡度增加。由于实际上的其他限制因素，超过第二 ($n=2$) 的模式是否能被利用还不能被论证。还有，从振动隔离的观点看，更高的模式更好。

使用更高阶模式的另一个优点是，当探头在诸如静电印刷复印/打印机等重要的应用中被用于测量静电表面电势时，对探头的更高的工作频率改进了支持电子元件的刚强度，同时也提高了样品的可获得率。该后一个特征将明显提高对可能是最重要的目前范围内的新型的低成本彩色复印打印机（三原色+黑色）的静电印刷过程的控制能力。如果目前在彩色机器中的复印速度接近黑白的复印速度，更高的速度以及提高感光器电荷的空间分辨率将是最重要的。提高空间分辨率对于获得彩色技术的更限制性的配准要求是决定性的。

考虑下述的实例来说明这样的改进。一个非接触静电电压计（ESV）中的 1 cm 悬臂梁的第二模式将工作频率从约 400Hz 转换到约 2400Hz。这种六倍的增加极大地提高了 ESV 的有效带宽。另一个优点是第二模式的机械损耗小于第一模式，即 $Q_2 > Q_1$ 。第二模式的更高的 Q 值在两个方面有价值。首先，提高了压电驱动变换器的电气-机械的变换效率，对于给定的 AC 激励转换成更强烈的振动运动。其次，通过改进对来自传感压电元件的输出的噪声信号的滤波，更高的 Q 值提高了反馈控制电路的刚强度。

上述内容通过考虑说明根据本发明用于静电电压计的悬臂梁的第一和第二模式的图 6 来进一步说明。悬臂梁 100' 分别配备驱动和反馈压电变换器 106' 和 108' 以及悬臂传感器 114'。图 6 也显示了对于第一 ($n=1$) 和第二 ($n=2$) 模式的位移轮廓图。Euler-Bernoulli 连续梁模式给出了对于第一模式的自然频率的简单表达式：

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \frac{(1.875)^2 t}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中 L 和 t 是梁的长度和宽度， E 和 ρ 分别是材料的杨氏模量的质量密度。

对于典型的 ESV 探头尺度， $n=1$ 模式提供了可获得的谐振频率，大约是提供彩色复印机的充分的取样带宽所需要的值的一半。另外，所装配的 ESV 探头单元的谐振峰显示了对于在复印机中安装的方法的不可接受的过高的敏感性。上式表明：一旦选定了连续梁材料，仅通过改变长度 L 或厚度 t 就能够改变共振频率。用这种方法提高频率减小了振幅，反过来降低了探头的电压探测灵敏度。

采用第二模式 ($n=2$) 替代第一模式，通过对悬臂梁或外壳进行很小量的再设计，缓解了上述两个问题。图 6 中显示的第二模式的谐振频率为：

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \frac{(4.694)^2 t}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

从上述两个等式可得出， $f_2 / f_1 \approx 6.3$ ，从而解决了第一个问题。而且，根据经验可知，对 $n=2$ 谐振峰的安装的灵敏度应该大大低于 $n=1$ 的模式，因为第二模式的运动往往会自我平衡。通过比较，对于某些安装排列，第一谐振的振动几乎消失，而第二谐振的振幅仅下降 10% 到 30%。很重要的是要注意 $n=2$ 的模式的有效率的激励和探测要求靠近曲率的最大值处设置压电变换器元件。图 6 显示了经优化的对于驱动 106' 和运动探测 108' 元件的设置。同样地，电容式的 (ESV) 电极 114' 必须位于靠近梁的端部 (如图 6 所示) 或更靠近被夹持端的局部最大位移发生的位置。

放大器 130 设置在悬臂梁 100 上并有相似于在上述专利 4763078 发明的放大器 100 的方式的功能。用于运行图 5 和 6 的传感器的电路 140 在图 7 图解式地显示。电路 140 有一个操作性地连接到放大器 130，用于以已知的方式为放大器提供工作电压和对从放大器 130 接收的信号进行预处理并将这样的信号传递到静电电压计的信号处理/监视部分的部分 142。电路 140 也有一个驱动或振荡部分 144 用于提供驱动信号，运行驱动变换器 106 以振动悬臂梁。反馈变换器 108 以和部分 144 成控制关系进行连接。梁 100 的振动频率由变换器 108 检测，变换器发出的信号由电路部分 144 利用以控制所产生的驱动信号的频率，从而就这样控制梁 100 的振动频率。各种电气连接可以以相似

于专利 4763078 发明的方式进行。

为了产生图 5 中由 110 指示的虚节点 NS 而便于产生适当的工作频率，振荡器电路 144 和压电陶瓷芯片 106，108 一起作为一个闭环频率选择正反馈系统工作，该正反馈系统在和显示虚节点的机械频率同步的特定频率上保持电振荡。该频率以一个大约六倍的因子相关于该单悬臂梁 100 的基础机械振荡频率。因此有在专利 4763078 中说明的尺度的悬臂当被根据该发明的原理操作时将以大约 4 千赫的频率工作，取代基础节点工作时的约 700Hz 的频率。这样，在 4 千赫的频率工作的传感器中的该结果提高了传感器能够检测并追踪被测量的静电数据的速度，这样达到本发明的另一个目的。

本发明的传感器以下述的方式工作。传感器外壳和面向一个表面即试验表面的电极 114 一起定位，承受被测量的静电场或静电势。通过暴露到试验表面的电极灵敏表面，在电极 114 和试验表面之间存在一个电容耦合。振荡器 144 向压电元件 106 施加一个 a.c.电压，使其在基本垂直于悬臂梁 100 从其延伸的板的平面的方向上以基本相等于振荡器输出频率的频率振动。悬臂梁 100 将压电元件 106 的振动传递到电极 114。电极 114 在基本垂直于其平面的方向上以由如上所述的振荡器输出频率和元件 100 的机械特性确定的频率振动。电极 114 振动时，其朝向和离开试验表面运动，从而改变电极灵敏表面和试验表面之间的电容耦合。

元件 100 振动时，其运动在附接到元件 100 的压电元件 108 上产生一个电压，该电压被电反馈到电路 140 以完成一个反馈环，维持该振荡。具体地说，描绘实际振动或震荡的被反馈的信号和一个描绘所需要的振荡或振动的基准信号进行比较以控制振荡器的输出。这样做的方式对于在本技术领域熟练的人员而言是显而易见的，因此不必在作任何更详尽的叙述。

如果作为系统反馈电势的探测器电极 114 的电势不同于试验表面上的电势，在电极 114 的表面上诱发一个 a.c.信号。该诱发的 a.c.信号被施加到预放大器 130 的输入。该相关于从振荡器获得的驱动信号的诱发信号的幅度和相位分别取决于该两个表面的电势差的大小和极性。放大器 130 的输出被施加到静电电压计，然后施加到解调器（未显示）的输入。同步解调器利用从振荡器获得的驱动信号作为基准相位发挥从诱发的 a.c.信号中去除幅度和相位信息的功能。从振荡器信号得到的线频率可以被用于确保在解调过程以后调制到探测器电极 114 上的任何环境诱发的信号不被显示为噪声。然后该已经是

一个 d.c.电压的被解调信号可以在一个高增益放大器中放大，该放大器的输出被施加到一个诸如仪表的适当装置的输入，用于持续地显示和监视试验表面电势。

图 8 说明了本发明的一个实施例，该实施例减小了污染物通过振动元件和相邻结构之间的间隔的可能性，从而减小了这样的污染物进入传感器/探头内部结构的可能性。根据本发明的传感器/探头能够典型地包括这样的结构，其中，在从板的一端支撑的振动元件具有和在振动元件被定位在其上的板上的一个开口的边缘成紧密间隔关系的侧面和端边缘。例如，如上述参考专利 4763078 的图 1 所示，一个相对狭窄的间隔存在于振动元件 40 的侧边缘 42，44 和板上的开口的边缘 32，34 之间，以及相似地存在于元件 40 的边缘 46 和开口的边缘 36 之间。使该间隔尽可能狭窄减小了污染物进入传感器/探头的内部结构的可能性。

如图 8 所示，电容性传感器 114' 或探测器表面，放大器 130' 和保护元件 150（如果使用的话）被制作进一个安装在梁 100" 上靠近其自由端的单个的低剖面组件 152 内。保护元件 150 可以是一层覆盖在探测器表面 114" 上的保护层的形式并且用既能保护表面 114" 又不干扰表面 114" 和被探测的电场或电势的电容耦合的材料制成。该结合组件 152 的应用方便了放大器 130' 在悬臂梁 100" 的和探测器表面 114' 相同的表面而不是和专利 4763078 中发明的相对的表面上的设置。该结合的包装组件 152 取消了在专利 4763078 中将探测器元件连接到放大器的由 52 表示的连接线，因为该连接已经被结合进组件里了。这样取消了在专利 4763078 中显示的高阻抗水平连接的导线 52 的布线走向，不用考虑产生在悬臂在其中振动的开口的终端的区域里发现的污染物的电噪声。作为替代，在图 8 的安排中，连接导线 156 被连接到放大器 130' 的输出 158，该输出有放大器 130' 提供的相对低的输出阻抗，其布线走向围绕悬臂 100" 的终端，并最终被连接到如图 7 中由 140 表示的电路，或连接到传感器/探头输出电缆的组件。导线 160 被焊接或用其他方法连接到悬臂梁 100" 以为放大器 130' 提供一个公共的回路。在振动的悬臂 100" 和板中的连接 156 中产生电噪声的开口的终端之间的污染物和/或接触电势的可能性因为在在此之前应用的连接电路上的连接电路 156 的被减小的阻抗水平而被大大减小。该被减小噪声的效果将使导线 156 和开口的终端之间的间隔减小，没有在现有技术中发现的增加噪声信号的缺点。应用经减小的间隔将减小污

染物进入传感器/探头的内部结构的可能性，这样完成了本发明的另一个目的。

图9说明了本发明的一个实施例，该实施例使测量带有各种空间分辨率的特征。悬臂梁100”’有在其上的驱动106”和反馈108”变换器以及在其上一起的相似于图8的组件152的放大器/传感电极组件152’。图9显示了本发明的传感器/探头，带有也是由170表示的作为一种空间分辨率确定元件的附加元件SR。也是由172表示的位于元件SR上和探测器元件或组件152’配准的孔A可以做成各种形状和开口尺寸/面积来提供各种空间分辨特性以测量静电数据，尤其是和传感器/探头被耦合到其上的所测量的表面有关联的静电电压或电荷的数据。由悬臂梁100”’携带的元件SR的应用就这样通过提供使测量带有各种空间分辨率特征的构型而完成了本发明的另一个目的。但是如果需要宽广的空间分辨率特征，本发明的传感器/探头可以没有元件SR而工作。

如上所述，振荡器电路144和压电芯片106，108或悬臂梁100的设置可以在设计中有利于使悬臂可靠地工作以及在特定频率上具有稳定性，该特定频率使图5中的也是由110表示的虚节点NS沿悬臂出现，以在图5中也是由102表示的悬臂安装节点N3上产生平衡扭矩。在其最简化的形式中，振荡器电路具有频率选择的特性，该特性在产生稳定的虚节点的悬臂梁的特定的机械谐振或接近谐振频率上提供高的正反馈。悬臂梁的机械谐振是梁的尺度，梁的材料以及附加到梁上的诸如压电芯片和探测器/电极/放大器组件的各种元件的质量和可塑性的函数。因为这些机械谐振确定因素对于时间和温度稳定，同时也可以使振荡器电路的频率选择特性相当稳定，可以预期应用普通的廉价元件下该悬臂的工作的长期稳定性。尤其是，将用作振荡器环路的反馈元件的反馈压电陶瓷芯片108应用到其输出将电能馈送入驱动压电陶瓷芯片106的高增益频率选择振荡器电路144中完成了一个振荡器的环路。因为该环路包括在其上设置反馈和驱动压电陶瓷芯片的悬臂梁的机械谐振特性，就可以保持悬臂梁的稳定工作。

反馈压电陶瓷芯片可以设置在如由其他限制规定的沿悬臂的其他位置。虽然本文叙述的技术导致了在静电传感器/探头中有利地应用单悬臂梁，所叙述的技术也可以有利地应用在其他规范中。

因此很明显的是本发明实现了其期望的目的。虽然本发明的实施例已经进行了详尽的叙述，但是本发明为所叙述的目的所进行的实施是没有限制的。

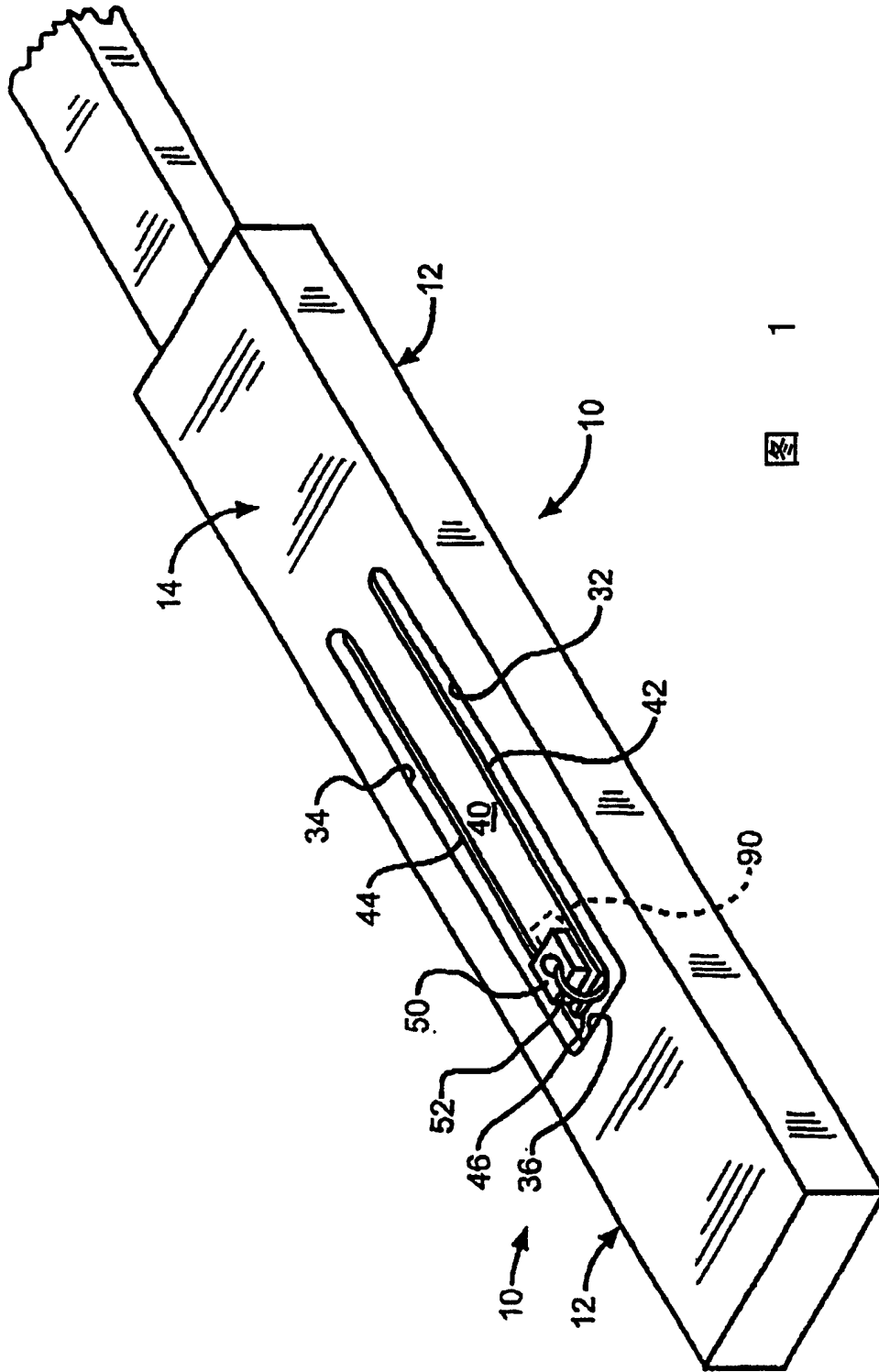


图 1

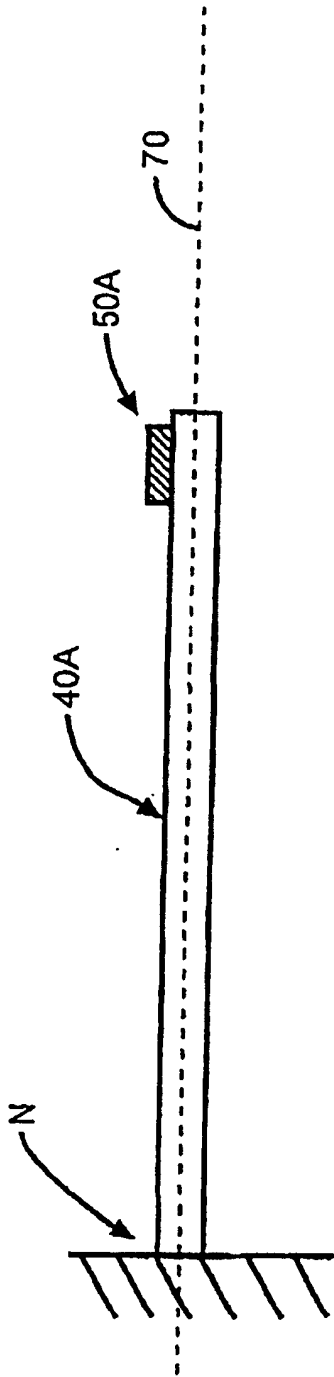


图 2A

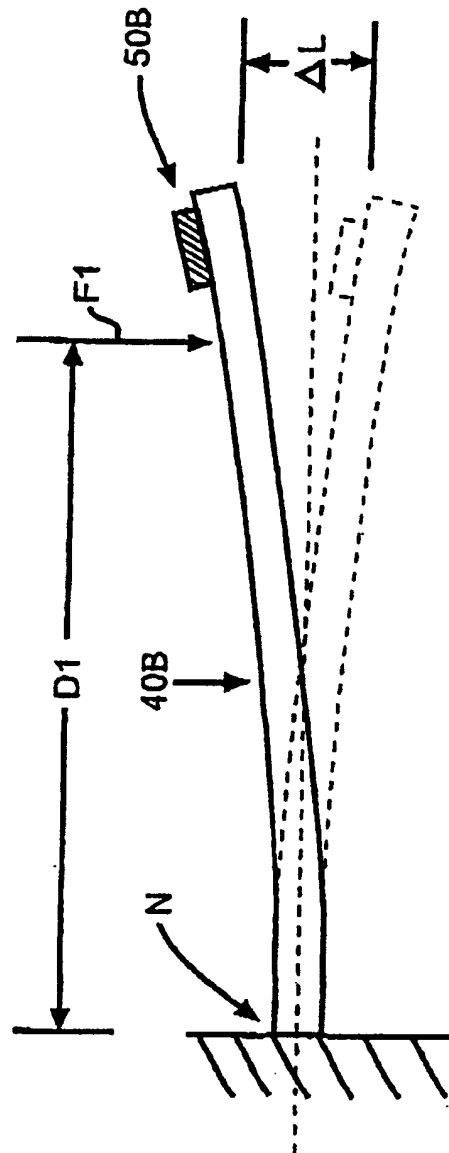


图 2B

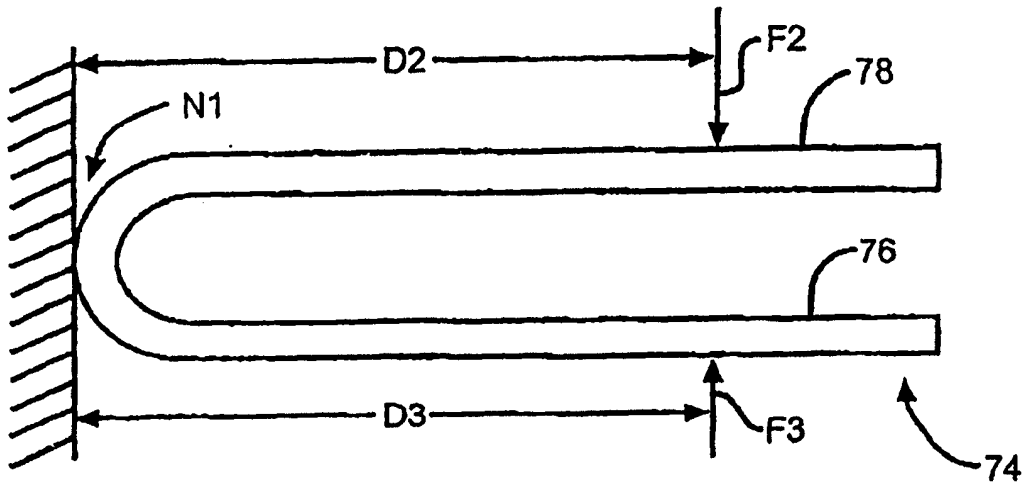


图 3

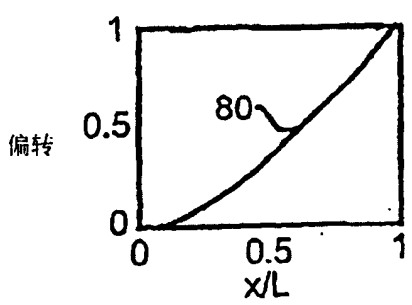


图 4A

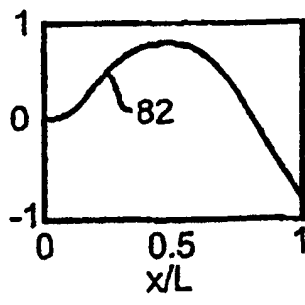


图 4B

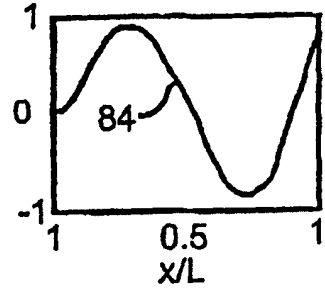


图 4C

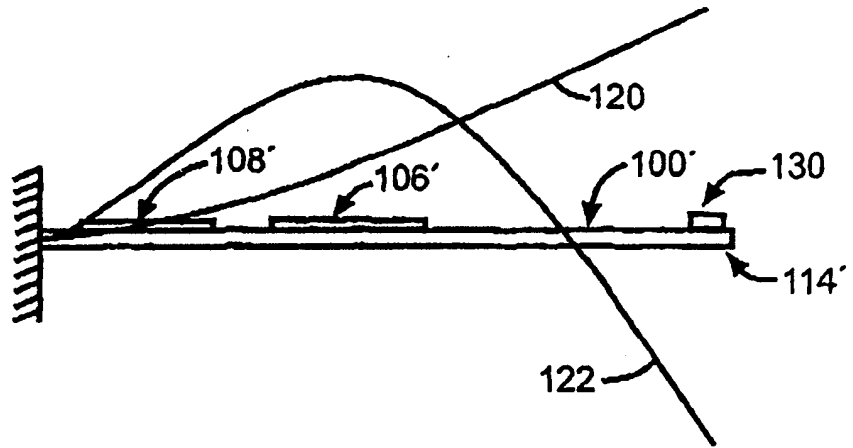


图 6

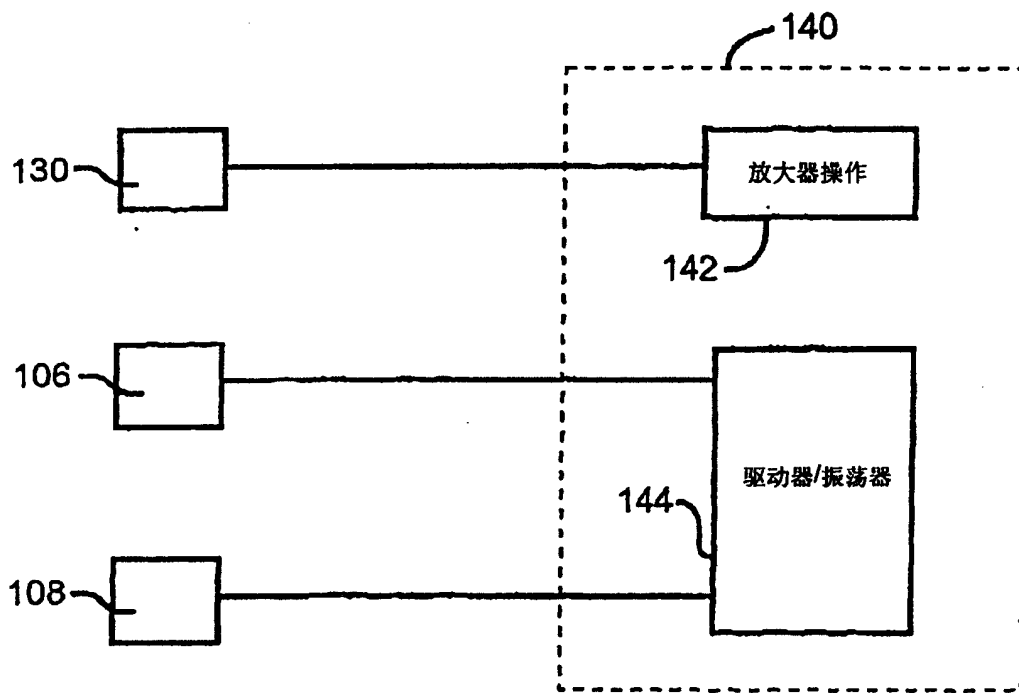
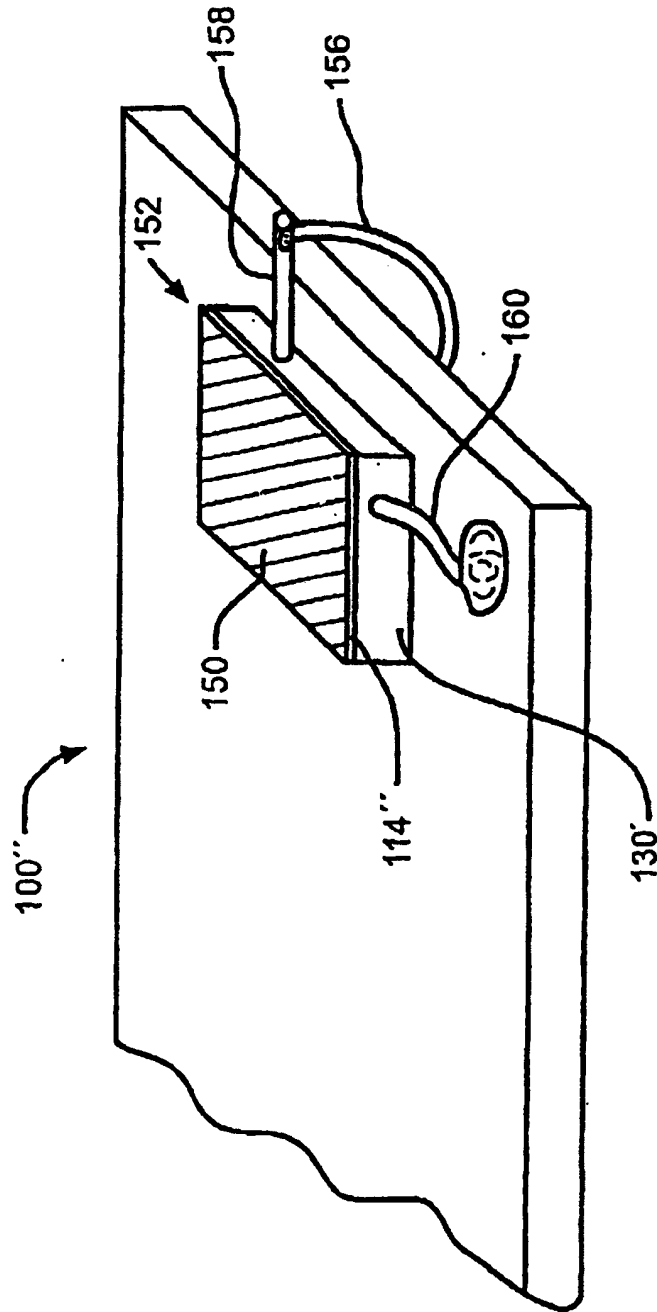


图 7



8

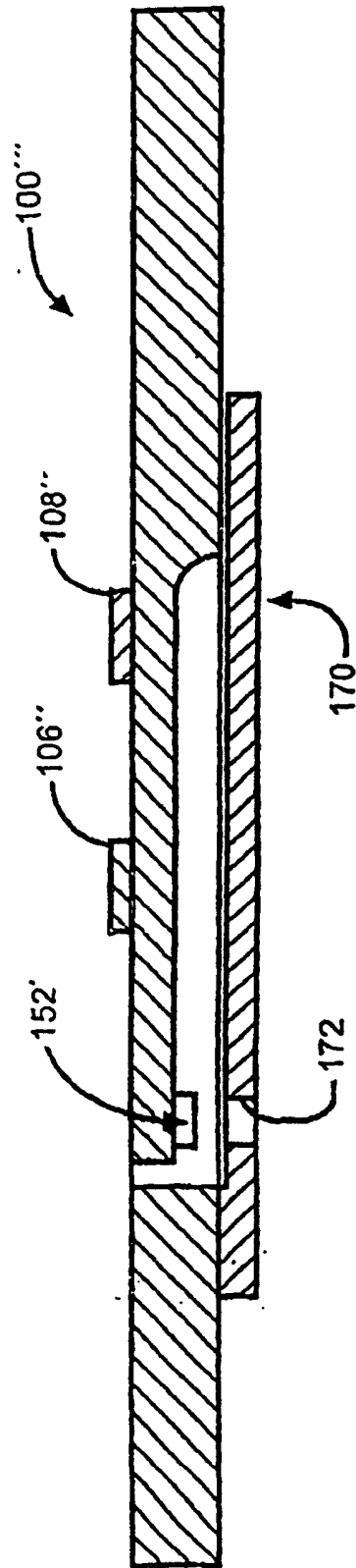


图 9