

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.⁷

G01F 1/84

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01137083.1

[43] 公开日 2002 年 3 月 20 日

[11] 公开号 CN 1340694A

[22] 申请日 2001.8.18 [21] 申请号 01137083.1

[30] 优先权

[32] 2000.8.18 [33] US [31] 09/641,698

[71] 申请人 麦克罗莫申公司

地址 美国科罗拉多州

[72] 发明人 迈克尔·J·巴杰 约瑟夫·C·迪尔
蒂莫西·W·斯科特
杰弗里·L·怀特利

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

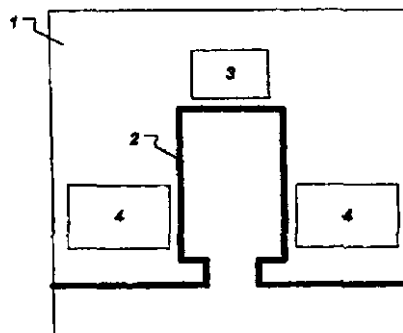
代理人 肖 鹍 陈小雯

权利要求书 2 页 说明书 27 页 附图页数 19 页

[54] 发明名称 科里奥利质量流量控制器

[57] 摘要

科里奥利质量流量传感器包括流量管、邻近流量管第一侧布置的光源和邻近流量管第二侧布置的光探测器。驱动装置相对流量管有效布置而振动流量管,使得流量管穿过光源和光探测器间的路径。根据本发明其它方面,科里奥利质量传感器包括流量管和框架。驱动装置相对于框架有效布置而振动框架,至少一个传感器相对流量管布置而测量科里奥利力引起的流量管扭转。本发明还涉及直管科里奥利质量流量传感器。柔性流量管确定大致线性的流动路径。驱动装置驱动流量管,第一、二采集传感器分别布置在流量管的第一和第二端上而输出响应流量管运动信号,物质流动穿过流量管产生的科里奥利力导致第一、二采集传感器输出信号之间的相移。



权 利 要 求 书

1. 一种科里奥利质量流量传感器, 包括:
流量管;
5 邻近流量管第一侧所布置的光源;
邻近流量管第二侧所布置的光探测器; 和
相对于流量管有效布置而用于使流量管振动的驱动装置, 流量管穿过
在光源和光探测器之间所确定的路径。
2. 根据权利要求 1 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光源发射红
10 外光。
3. 根据权利要求 2 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光源包括红
外线 LED。
4. 根据权利要求 3 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光探测器包
括红外线光电二极管。
- 15 5. 根据权利要求 4 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光电二极管
的有效表面大于流量管的直径。
6. 根据权利要求 1 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光源相对于
流量管而布置在其中振动流量管的位移是最大值的点上。
7. 根据权利要求 1 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中光源相对于
20 流量管而布置, 以使得当流量管静止时流量管部分地布置在光源和光探测
器之间所确定的路径内。
8. 一种科里奥利质量流量传感器, 包括:
流量管;
框架, 具有安装在其上的流量管;
25 相对于框架有效布置而振动框架的驱动装置; 和
至少一个相对于流量管而布置的采集传感器, 用于测量由于科里奥利
力所引起流量管中的扭转。
9. 根据权利要求 8 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中框架包括其
中布置有流量管的管。
- 30 10. 根据权利要求 8 所述的科里奥利质量流量传感器, 其中流量管和
框架由不同类型材料制成。

11. 根据权利要求 10 所述的科里奥利质量流量传感器，其中流量管由不锈钢制成。
12. 根据权利要求 10 所述的科里奥利质量流量传感器，其中流量管由塑料制成。
- 5 13. 根据权利要求 10 所述的科里奥利质量流量传感器，其中框架由硅制成。
14. 一种科里奥利质量流量传感器，包括：
具有第一和第二端的柔性流量管，确定大致线性流动路径的流量管；
为驱动流量管而布置的驱动装置；
- 10 分别在流量管的第一和第二端上布置的第一和第二采集传感器，第一和第二采集传感器的每一个都输出响应于流量管运动的信号，其中由物质流动穿过流量管所产生的科里奥利力导致第一和第二采集传感器输出信号之间的相移。
- 15 15. 根据权利要求 14 所述的科里奥利质量流量传感器，其中驱动装置以垂直偏振模式来驱动流量管。
16. 根据权利要求 14 所述的科里奥利质量流量传感器，其中驱动装置以圆偏振模式来驱动流量管。
17. 根据权利要求 14 所述的科里奥利质量流量传感器，其中驱动装置包括分别有效连接流量管第一和第二端的第一和第二单压电晶片。
- 20 18. 根据权利要求 14 所述的科里奥利质量流量传感器，其中驱动装置包括：
确定多个臂的扁平弹簧；和
多个压电装置，所述每个臂具有固定在其上的一个压电装置。
19. 根据权利要求 18 所述的科里奥利质量流量传感器，其中压电装置
25 每一个都连接到电源上。
20. 根据权利要求 18 所述的科里奥利质量流量传感器，其中压电装置包括单压电晶片。

说明书

科里奥利质量流量控制器

5

技术领域

本发明通常涉及质量流量的测量和控制，并且更具体的是涉及基于科里奥利力的效应并且具有与相关的检测、控制和通信电子学集成的流量控制阀的质量流量测量和控制装置。

10

背景技术

以如下的方式来完成基于科里奥利力效应的质量流量测量。科里奥利力的结果是使质量在所确定的方向中移动，然后迫使其改变方向，使得向
15 量分量垂直于所确定的流量方向。这可以由下面的公式来表达。

公式：

$$\vec{F}_C = 2\vec{M} \times \vec{\omega}$$

其中 $\vec{F}_C$ (科里奥利力向量)是 $\vec{M}$ (流动质量的力矩矢量)和 $\vec{\omega}$ (旋转坐标系的角速度向量)向量积的结果。
20

在旋转系统中，角速度向量沿旋转轴排列。使用“右手定则”，手指确定的是旋转方向，并且拇指延伸的方向确定的是角速度向量的方向。在典型的科里奥利力流量传感器的情况中，通过其而形成流体流量的管是振动的。通常管子的形状是一个或多个环路。这种环路形状使得在不同部分的
25 环路上将质量流量向量指引向相反方向。例如，管子环路可以是“U”形、矩形、三角形或“△”形或线圈形。在直管的特别情况中，同时有两个角速度向量，当质量流量向量是单向时，它们与管子的定位点是一致的。

由于在振动系统中旋转方向的改变，从而使角速度向量改变方向。结果是，在任意给出的时间中，科里奥利力作用在相反方向，而质量流量向
30 量或角速度向量指向相反的方向。由于角速度向量经常由于振动系统而变化，因此科里奥利力也经常变化。结果是，动态的扭转运动将施加到管子

摆动运动的顶部。对于给定的角速度，扭转的大小与质量流量成比例。

由于流体穿过传感器管而产生的科里奥利力，可以通过测量传感器管中的扭转来完成质量流量的测量。典型已知的装置使用包括布置于流量管上的磁铁和线圈对的采集传感器(pick off sensors)，其中期望科里奥利力所
5 引起的位移是最大的。线圈和磁铁安装在相反的结构上，例如，磁铁安装在管子上，而线圈安装在固定的部件壁(package wall)上。线圈将穿过磁场，从而在线圈中感应出电流。该电流与相对于线圈的磁铁速度成比例。由于这是速度测量，因此当流量管在其静止点交叉(零交叉)时，速度、以及信号是最大的。科里奥利力所产生的扭转导致速度信号中的相移，这是通过测
10 量两个速度传感器之间的零交叉倍数的差值来探测到的。在实际中，这使得测时电路负有较大的精度负担。这将利用限制该技术的质量流量测量的最终灵敏度。

此外，基于科里奥利技术的已知装置的过流能力通常限制为比许多应用中所期望的要高的流率。此外，现有的科里奥利质量流量测量装置仅提供没有整体流量控制能力的质量流量感测。使得用户需提供用于控制流量的装置。
15

本发明将克服伴随现有技术的缺点。

发明内容

20

在本发明的一个方面中，科里奥利流量传感器包括流量管、邻近流量管第一侧而布置的光源、邻近流量管第二侧而布置的光探测器、和相对于流量管有效布置用于振动流量管的驱动装置，因此流量管穿过在光源和光探测器之间所确定的路径。在某些实施例中，例如与红外线光电二极管一起使用的红外线发光二极管的光源放射出红外光。
25

根据本发明的另一方面，柔性管科里奥利质量流量传感器包括具有第一和第二端的柔性流量管。流量管通常确定的是线性流动路径，并且安置驱动装置使其驱动流量管。分别在流量管的第一和第二末端安置第一和第二采集传感器，每个第一和第二采集传感器输出响应流量管运动的信号，
30 其中通过穿过流量管的物料流所产生的科里奥利力在第一和第二采集传感器所输出的信号之间产生相移。

在本发明的另一方面中，科里奥利质量流量传感器包括流量管、具有在其上安装流量管的框架、相对于框架有效布置而振动框架的驱动装置、和至少一个相对于流量管布置而用于测量由于科里奥利力而引起的流量管中扭转的采集传感器。例如，框架可以包括用于固定不锈钢流量传感器管的硅架。

附图说明

在阅读下面的详细描述并且在参照附图的基础上，将更清楚地了解本发明的其它目的和优点，其中：

图 1A 和 1B 是示意表示根据本发明的科里奥利质量流量控制器和传感器的方框图；

图 2A 和 2B 表示的是根据本发明实施例使用电磁驱动的科里奥利质量流量传感器；

图 3A 和 3B 表示的是根据本发明实施例使用静电驱动的科里奥利质量流量传感器；

图 4A 和 4B 表示的是根据本发明实施例使用声学驱动的科里奥利质量流量传感器；

图 5A、5B 和 5C 表示的是根据本发明实施例使用压电驱动的科里奥利质量流量传感器；

图 6 是根据本发明用于测量科里奥利力产生的相移的锁定放大器的示意图；

图 7 是根据本发明用于测量科里奥利力产生的相移的双通道锁定放大器的示意图；

图 8 是表示使用根据本申请的信号处理方法的传感器管位置和传感器输入信号振幅之间关系的图表；

图 9 是根据本发明用于测量科里奥利力产生的相移的双重锁定放大器的示意图；

图 10 是根据本发明包括用于测量科里奥利力产生的相移、并且包括基准频率调节的双重锁定放大器的示意图；

图 11 表示的是根据本发明的电容位移探针的第一实施例；

图 12 表示的是根据本发明的电容位移探针的第二实施例；

图 13 表示的是根据本发明的电容位移探针的第三实施例；

图 14 是根据本发明实施例的科里奥利质量流量控制器的透视图；

图 15 是图 14 所示科里奥利质量流量控制器的剖视图；

5 图 16 是图 15 所示科里奥利质量流量控制器的部件分解图；

图 17A 和 17B 表示的分别是现有技术丝扣阀连接以及根据本发明的密封丝扣阀连接的部分；

图 18 是根据本发明另一部分的科里奥利质量流量控制器实施例的透视图；

10 图 19 表示的是根据本发明实施例使用光学采集传感器的科里奥利质量流量装置；

图 20 是表示图 19 所示光学采集传感器的科里奥利质量流量控制器的方框图；

图 21 是表示根据本发明部分的传感器采集和驱动电路部分的方框图；

15 图 22 是表示根据本发明部分的程序和控制电路部分的方框图；

图 23 是示意表示根据本发明科里奥利质量流量控制器 HART 接口部分的方框图；

图 24A 和 24B 分别是根据本发明实施例科里奥利质量流量控制器流量感测部分的前剖视图和侧剖视图；

20 图 25 表示的是根据本发明实施例混合科里奥利质量流量感测管；

图 26A 和 26B 表示的是图 25 所示混合管结构的压阻传感器的惠斯通电桥的功能；

图 27 是示意表示根据本发明直管流量传感器的方框图；

图 28 是示意表示根据本发明另一个直管流量传感器的方框图；和

25 图 29A 和 29B 示意表示的是根据本发明示例压电可倾式驱动器。

虽然本发明容易做出多种改进并且具有其它的形状，通过附图中的示例已经表示了特定的实施例并且在此对其进行详细的描述。但是，必须清楚的是，这里对特定实施例的描述于并不限制本发明为所公开的特殊形状，正好相反，本发明覆盖从属权利要求所确定的本发明精神和范围内的所有
30 改进、等价结构和变形。

具体实施方式

下面将描述本发明说明性的实施例。为了清楚，在该说明书中并不描述实际实现方式的所有特征。当然很清楚在一些这种实际实施例中的开发中，必须做出许多实现方式的特定决定来实现开发者的特定目标，例如满足与系统有关的和与工作有关的限制，其将从一个实现方式变化到另一个实现方式。此外，应当清楚这种开发工作计划也许是复杂的和耗时的，但是对于从本申请公开内容受益的普通技术人员来说，它仍然是常规的工作任务。

10 图 1A 表示的是根据本发明实施例的科里奥利质量流量传感器和控制器。它基本上由两个独立运行的系统所组成：科里奥利传感器采集和驱动系统 A，以及应用和控制系统 B。科里奥利传感器采集和驱动系统与科里奥利传感器 1 连接。应用和控制系统 B 为用户 5 提供接口，并且为例如阀 6 的流量控制装置提供控制信号。

15 传感器采集和驱动系统 A 的目的是为控制和感测科里奥利传感器 1 的运动，是为了确定作为科里奥利力的函数的相对质量流量、以及作为共振频率的函数的相对密度。示范的传感器采集和驱动系统 A 为应用和控制系统 B 提供三个数据值：

20 1. ΔT ——与传感器管一侧到另一侧的相位滞后相关的表示相对质量流量的时间差。

2. 频率——与测量材料相对密度相关的传感器管的共振频率。

3. 温度——测量 RTD 来确定传感器管的温度。

应用和控制系统 B 使用连同校准常数的 ΔT 来向用户 5 表示所期望的质量流量单位。它还使用连同校准常数的频率来向用户 5 表示所期望的密度和/或容量流量单位。温度用来补偿质量流量和密度计算。与用户设置点输入相比较，应用和控制系统 B 使用质量和容量流量单位输出值来控制阀 6 以便将流量调节为所期望的设置。

图 1B 是示意表示根据本发明的科里奥利质量流量传感器的方框图。科里奥利质量流量传感器 1 包括流量传感器管 2，驱动装置 3 相对流量传感器管 2 定位以便振动管 2。位移量规 4 相对管 2 而布置以便测量由于科里奥利力在管 2 中所引起的扭转。

传感器管 2 的典型材料是 316L 不锈钢。使用 316L 不锈钢的原因包括抵抗来自众多物质的化学侵蚀、抵抗由于正常处理压力的破裂、它通常不易沾污并且可以容易地形成所期望的科里奥利传感器管的形状。但是，316L 不锈钢并不是对所有的应用都适合。因此，需要可以在 316L 不锈钢不适用
5 不适用的场合中使用其它管材。已知装置使用硅来作为代替 316L 不锈钢的材料。硅优于 316L 不锈钢的优点在于：与由 316L 不锈钢所实现的传感器管相比，传感器管可以制成更小的形状。

传感器管 2 材料选择的另一个考虑是抵抗由腐蚀所产生和增强的压力。压力是在安装管子的弯臂的底部产生的。在多晶体材料中，压力将导致材料中产生杂质，从而在微晶粒区域之间的晶粒间界扩散和浓缩。在多数
10 情况中，这将削弱微晶粒之间的结合，从而使材料更容易被化学侵蚀。类似硅或蓝宝石的单晶材料就很少会受到这种方式的影响。

类似于 316L 不锈钢的金属通常是多晶体，因此更容易受到这种化学侵蚀而改变等级。由于它们不具有类似于多晶体材料的晶粒结构，因此类似石英玻璃和几种塑料的非晶材料可以更有效地抵抗化学侵蚀所产生的压力。
15 如果下面材料的使用有另外的吸引力，容易受到化学侵蚀的管材可以使表面改性和具有涂层，以这种方式来使得表面受到的腐蚀和侵蚀最小。

可以通过离子注入、热扩散、化学或电化学反应来实现表面改性。在此，目的是为清除、再分配、或引入元素或分子种类，从而在表面留下抵抗层。通过从蒸气、液体或粉末中高温的热激活沉积作用来撞击表面，从而实现表面涂层。如果还通过等离子体或来自激光的光子通量来激发或离子化化学反应粒子，就可以使用低温。其它抵抗化学侵蚀的材料可以通过热和电子束蒸发作用或通过离子喷镀实现非反应性的、物理汽相淀积。如果通过
20 通过使用高能离子束来完成喷镀，因此而使喷镀物质化学受激或离子化，然后完成与表面的化学反应，这对于某些沉积材料是期望的。此外，表面上的化学反应可以通过加速化学物质来完成，因此可以使用动能来刺激或加强化学反应。

本发明具体实施例中科里奥利流量感测管 2 所使用的管材是奥氏体和马氏体不锈钢、高镍合金、钛和锆以及它们的合金、特别是钛-钒-铝合金和
30 锆合金(由于它们的高屈服强度和低杨氏模量)、硅、蓝宝石、碳化硅、石英玻璃和塑料。根据本发明所使用的管涂层材料包括碳化硅、镍、铬、金刚

石、难熔金属碳化物、难熔金属氮化物和难熔金属氧化物。

在其它实施例中，感测管包括机械连接的不同材料成分结构的混合物，以便利用每部分结构最好的材料性能。例如，传感器结构分为弄湿部分和非弄湿部分。弄湿部分可以是和所使用流体相容的任意材料的管，包括金属的、陶瓷的和硅石的管。该管固定在例如框架的振动结构上，其以适当振动模式输送管来产生科里奥利力。振动结构自身可以是其中装配有弄湿管的管，或者可以是固定管的框架。振动结构可以由能够形成束状来支撑弄湿管的材料所制成。示例是由晶片蚀刻硅的，其形状能够支撑弄湿管，该湿管可以是不锈钢、塑料或其它可以形成输送流量的管的材料。

10 图 2A 和 2B 表示的是根据本发明具体实施例的科里奥利质量流量传感器 1。科里奥利质量流量传感器 1 使用包括由信号源(没有示出)驱动的电磁铁 12 的电磁驱动器 10，在所示的实施例中，信号源为正弦信号源。电磁铁 12 靠近安装在传感器管 16 上的小的永久磁铁。传感器管 16 连接到包括第一和第二端口 19 的基板 18 上，以便限定从一个端口 19 穿过流量管 16 到
15 达另一个端口 19 的流动路径。此处所公开的实施例中所示的示范传感器管 16 通常是“U”形，但是也可以使用例如△形、矩形、线圈型或直型的等其他形状的管。在下文中还将描述另外管的形状。此外，可以预见另外的实施例，其使用多路平行感测管，提供冗余度、可调范围(其中所选择的管可以是有阀的或无阀的)、更高的精度等。

20 图 3A 和 3B 表示的是类似于图 2 所示的实施例，使用静电驱动器。静电驱动器 20 包括靠近安装在传感器管 16 上的小绝缘板 24 而布置的充电板 22。如果管 16 由绝缘材料所制成，那么可以靠近管 16 布置充电板 22 并且可以不需要绝缘板 24。此外，通过例如正弦信号源的信号源(没有示出)来驱动充电板。作用到充电板 22 的电压将在充电板 22 和绝缘板 24 之间产生
25 电场。这将导致在绝缘板 24 上产生表面电荷。当电压在充电板 22 上快速变化时，在充电板 22 和绝缘板 24 之间产生的电场交替吸引或排斥，从而导致流量管 16 振动。

图 4A 和 4B 表示的是使用新颖的声学驱动器的科里奥利质量流量传感器 1 的另一个实施例。声学驱动器 30 包括靠近管 16 布置的小扬声器 32。
30 由扬声器 32 所产生的压力波导致管 16 振动。

在图 5A、5B 或 5C 中，表示的是科里奥利质量流量传感器 1 的又一个

实施例。在图 5A、5B 或 5C 的科里奥利质量流量传感器 1 使用压电驱动器 40，其中两个压电叠片 42 布置在流量管 16 的每个支管的相对侧上，从而如图 5A 所示有效地在每个支管 16 上创建两个双压电晶片。压电和反压电的效应将用于驱动和/或感测管 16 的偏差。

5 通过测量由于流体穿过传感器管移动而产生的科里奥利力所引起传感器管中的扭转来完成质量流量测量。例如，在已知的科里奥利质量流量传感器中，包括磁铁和线圈对的采集传感器通常地位于流量管上科里奥利力产生的位移为最大处。线圈和磁铁安装在相对的结构上，例如，磁铁安装在管上并且线圈安装在固定的部件壁上。线圈将移入或移出磁场，从而在
10 线圈中感应电流。该电流与磁铁相对于线圈的速度成比例。由于进行的是速度测量，速度、也就是信号当流量管横穿其静止点(零交叉)时是最大的。科里奥利力产生的扭转导致速度信号的相移，这可以通过测量两个速度传感器之间零交叉的次数差值来探测。实际上，这对时间测量电路赋予较大的精度负担。通过这种技术可以限制质量流量测量的最终灵敏度。

15 转让给本申请受认人的美国专利 NO.5,555,190，公开了用于确定振动管频率和相位关系的数字信号处理方法和装置，其中振动管是例如与此处所公开的科里奥利质量流量感测装置一起公开的管。这里通过引用将美国专利 NO.5,555,190 的全部说明书合并进来。

 本发明的一部分提供一种流量测量技术，与典型的时基信号调节技术
20 相比，该技术提供更低的过流能力，其更直接并且要求较低精度的电路。参照图 2-4 中所示的实施例，使用电容性的采集传感器来测量振动传感器管的位移。两个电容性位移量规 50 在与管 16 形状对称的位置处靠近管 16 而布置，以便测量由于流体穿过传感器管 16 移动而产生的科里奥利力所引起传感器管 16 中的扭转。在本发明的具体实施例中，电容性位移量规 50
25 最小化，并且表面安装在传感器的部件壁上或者安装在插入流量传感器管环路中的传感器部件上。由于科里奥利力所引起传感器管 16 中的扭转将导致电容性位移量规 50 的两个信号之间的相移。由于这是位移测量，信号直接与位移成比例。管每侧的相对位移测量为相移。量规驱动器和信号调节电子设备将管 16 的相对位移转化为高电平信号，其是相移的函数，当通过
30 管 16 形成流动时，相移可以用来测量科里奥利效应。

 第一种信号处理技术使用锁定放大器，其基准信号由位移量规 50 中的

该信号具有 DC 电压分量和两倍频率的 AC 分量。低通滤波器(LPF)108 清除 AC 成分，留下

$$X = \frac{1}{2} AB \cos \phi.$$

5 在顶部 PSD106，进行如下操作发生：

$$Y' = A \cos \omega t * [B \sin(\omega t + \phi)]$$

由于 $\cos \omega t = \sin(\omega t + 90^\circ)$ ，得到余弦放大器。

$$Y' = -\frac{1}{2} AB \sin \phi + \frac{1}{2} AB \sin(2\omega t + \phi)$$

10

此外，我们具有含有 AC 和 DC 分量的信号，其在经过 LPF108 后，导致如下的表达式：

$$Y = -\frac{1}{2} AB \sin \phi.$$

15 计算幅值 R 和相角 θ ，从公式 1 和 2 得出：

$$R = \frac{1}{2} AB$$

和

$$\theta = \phi$$

20

可以通过一些适合的数字和模拟处理装置 120 来执行这些计算。向量相位与质量流量成比例。

根据本发明实施例的另一种方法是需要双通道锁定放大器，其基准信号和一个输入信号由位移量规 50 中的一个提供，而第二个输入信号由另一个位移量规 50 提供。可以通过硬件或软件、或者两者的结合来实现锁定放大器。然后参照基准信号测量两个输入信号之间的差。从锁定放大器所输出的相位与流量成比例。图 7 示意的是双通道锁定放大器 54 的功能。信号以图 6 所示的相同方式而移动，并且具有如图 6 所示的相同清晰度。还将左输入 100 用做基准信号。如前所述，正弦输出 103 是驱动信号，锁相到左输入 100 信号。在这种情况下，从右输入 102 信号中减去左输入 100 信号，并且左输入信号 100 在两个相位灵敏探测器(PSDs)106 中与左/基准输

25

30

入 100 信号和它的 90° 相移信号 104 相混合。内部功能和图 6 所示的锁定放大器 52 的相同。

下面的推论可以用于确定锁定放大器 54 的输出和位移量规 52 的输入之间的关系。可以使用一些合适的数字或模拟处理装置 120 来进行计算。

- 5 考虑到作为正弦波的两个信号具有随机的振幅和随机的相位差。每个信号可以表示如下：

$$V_{left} = V_{ref} = A \sin \omega t$$

10
$$V_{right} = B \sin(\omega t + \phi)$$

这种情况中低噪差分放大器(Low Noise Differential Amplifier)114 的输出是 $V_{基准} - V_{右}$ 。

在底部的 PSD106 将出现如下的操作：

15
$$X' = V_{ref}(V_{ref} - V_{right}) = A \sin \omega t [A \sin \omega t - B \sin(\omega t + \phi)]$$

$$X' = \frac{1}{2} A^2 [1 - \cos 2\omega t] - \frac{1}{2} AB [\cos \phi + \cos(2\omega t + \phi)]$$

- 20 该信号具有 DC 电压分量和两倍频率的 AC 分量。低通滤波器(LPF)108 清除 AC 分量，留下

$$X = \frac{1}{2} A^2 - \frac{1}{2} AB \cos \phi$$

在顶部 PSD106，有如下操作发生：

25
$$Y' = A \cos \omega t [A \sin \omega t - B \sin(\omega t + \phi)]$$

由于 $\cos \omega t = \sin(\omega t + 90^\circ)$ ，我们具有余弦放大器。

$$Y' = \frac{1}{2} A^2 \sin 2\omega t - \frac{1}{2} AB \sin \phi - \frac{1}{2} AB \sin(2\omega t + \phi)$$

- 30 此外，在经过 LPF 后，我们具有含有 AC 和 DC 分量的信号，导致如下的表达式：

$$Y = -\frac{1}{2}AB\sin\phi.$$

计算幅值 R 和相角 θ ，从公式 1 和 2 得出：

$$R = \frac{1}{2}A\sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\phi}$$

和

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B\sin\phi}{B\cos\phi - A}\right)$$

θ 不再是相角，而是左和右输入信号的相角和振幅函数的反正切 (arctangent)。对该公式的分析可知， θ 是 ϕ 的加强函数。实际上，输入信号的相对振幅可以控制该函数的强度。这可以用图 8 所示的图表来表示，其中 A 和 B 分别是左和右信号的振幅。当振幅更接近匹配时，对于锁定放大器输出 θ 来说灵敏度更高。即使振幅的在 2% 的范围内匹配时， θ 到 ϕ 的灵敏度几乎是标准锁定放大器结构的 100 倍。

图 9 是双重锁定放大器 56 的功能示意图，利用它来实现根据本发明用于测量科里奥利力产生的相移的另一种示例方法。可以通过硬件或软件、或者两者的结合来实现锁定放大器。信号以如上所述的相同方式而移动，并且具有如上所述的相同清晰度。左输入还用做基准信号。如前所述，正弦输出 103 是驱动信号，并且锁相到左输入 100 信号。在这种情况下，在顶部锁定放大器 58 的两个相位灵敏探测器(PSDs)106 中使左/基准输入 100 信号和其自身以及它的 90° 相移信号相混合。在底部锁定放大器 60 中，使右输入 102 信号与左输入 100 信号和它的 90° 相移信号在两个相位灵敏探测器(PSDs)106 中相混合。来自非相移 PSDs106 和相移 PSDs106 的一对输出在两个低噪差分放大器(Low Noise Differential Amplifier)114 中进行差分。信号的 DC 分量通过低通滤波器 108，从而给出通常的锁定放大器的输出。尽管进行操作的顺序是不同的，但和上面图 7 中略述过的方法一样，可以通过一些合适的数字或模拟处理装置 120 来执行数学计算。在图 7 的双通道锁定技术中，减去具有非常小的差值的两个高电平信号。然后用高电平信号乘以低电平信号，高电平信号将在模拟电路中引入噪音或者在数字电路舍入误差。在图 9 的双重锁定技术中，首先对高电平信号进行放大，然后减去在振幅上接近的所得信号，从而产生具有更低噪音的输出。

对于测量隐藏在较高振幅噪音中的低电平信号，锁定放大器的使用是最显著的。锁定放大器通过作为极窄的带滤波器来实现。通过基准的正弦和余弦波来放大信号和噪音，然后使其经过低通滤波器从而去除基准频率。放大和滤波操作的结果是代表复向量 $(x+iy)$ 的 DC 信号。可以通过 $\text{atan}(y/x)$ 来确定基准频率和所关心信号之间的相差。

为测量科里奥利力，相同频率的两个信号之间的相差是所关心的。这可以通过使用双重锁定放大器来实现，每一个双重锁定放大器都利用如图 10 所示的基准频率驱动。在图 10 的功能示意图中，由基准频率发生器 144 所提供的基准正弦和余弦波来放大左和右输入信号 100、102。输入信号 100、102 在 PSDs106 中与正弦和余弦信号相混合，然后如图 6、图 7 和图 9 所示的那样通过第十五级贝塞尔 IIR 低通滤波器 148。在左和右输入信号 100、102 上执行如上所述的放大/滤波处理，作为结果而产生相对于基准频率的每个信号的相差输出 X、Y。两个输出信号 X、Y 之间的差代表两个输入信号 100、102 的相差。在科里奥利质量流量中，该相差代表质量流量 152 的指示。

当使用锁定放大器来测量伴随科里奥利质量流量的极小相差时，有必要调节基准频率来与所关心的信号相匹配。如果基准信号不是非常靠近所关心的信号，频率非常低的 AC 信号将出现在低通滤波器 148 的输出上。科里奥利传感器的频率与质量流量、温度、密度和压力一起变化，进一步使测量过程复杂。

可以通过处理来自输入信号 100、102 中一个的输出向量来调节基准频率。首先，计算输出向量的导数。这可以通过计算两个连续输出向量之间的复合差来实现。然后，使最初的输出向量旋转 90 度并且计算该向量的点积和导数，从而产生提供给基准频率发生器 144 的误差信号 150。如果基准频率需要向下、向上调节或不变，那么误差信号分别是负数、正数、或零。

基准频率调节的量取决于相位测量的精度，但是通常来讲，调节越细微，通过计算多个输出样本的标准导数来确定的精度就越高。但是，由于基准频率发生器 144 将花太长时间来达到所期望的频率，所以如果信号频率中存在分级变化，基准频率更细微的调节(小分级变化)将是有害的。如果信号频率经历频繁的分级变化，PID 或合适的算法可以用于以更敏感的方式调节基准频率。

在另一个实施例，电容性位移探针 50 可以安装在压电调节器上，首先将以三维的方式排列电容性位移探针 50。此外，当使用在此所公开的双通道锁定放大器或双重锁定放大器的方法时，压电调节器可以动态调节流量传感器的灵敏度，因此提供扩展的操作范围。

- 5 这种动态定位为制造的变化性提供补偿，尤其是流量传感器管相对于电容性位移探针的定位。动态定位还为由于多种成分的相对热膨胀而引起的尺寸变化而提供补偿。和双通道锁定放大器或双重锁定放大器共同使用，动态定位允许两个位移信号几乎匹配，从而对流量提供可调节的灵敏度。低灵敏度用于高流量条件，同时高灵敏度用于扩展的低流量条件，因此增
10 加流量测量的动态范围。

- 本发明的实施例此外还提供改进的电容测量技术，特别是电容位移探针的新颖几何形状。通常地，物体的位移是测量垂直于电容位移探针的距离。位移还可以是测量与电容位移探针相切的距离。参照图 11，这可以通过并排放置两块平板 130 来实现，在两块平板 130 之间具有均匀的间隙 132，
15 并且如图 11 所示在与运动(箭头 136 所指示)相切的平面内靠近传感器管 134。在一个实施例中，平板 130 处于相同的电位，并且传感器管处于地电位。将传感器管 134 直接布置在平板 130 之间的间隙上，所期望的运动 136 垂直于间隙，因此传感器管 134 的周期运动将使管 134 的位置更靠近一块板 130，而不是另一块 130。测量每块板 130 和传感器管 134 之间的相对电
20 容。当传感器管 134 移动到一块板 130 或另一块的上面，提供电容的面积量将改变并由此改变测量的相对电容。

 如图 12 所示，另一种结构具有对角穿过传感器管 134 的间隙 132。这允许传感器管 134 在平板 130 的平面上可以精度较低的定位。当与平行间隙 132 相比较时，传感器管 134 的未对准将在信号中产生更小的不匹配。

- 25 如图 13 所示，另一个实施例具有“锯齿形”式样的间隙 132。这是在对角间隙 132 上的改进，因为传感器管 134 相对于间隙 132 的角度误差，无论是平行的还是对角的，都将导致两个平板 130 之间电容变化率的差值。这将在两个信号之间的相位中产生不希望的变化。“锯齿形”式样将平均传感器管 134 任意角度误差，从而提供更对称的信号。

- 30 图 14、图 15 和图 16 表示的是采用根据本发明实施例的电容采集传感器的示范低流量科里奥利质量流量控制器 200。科里奥利质量流量控制器 200

包括流量传感器部分 202 和流量控制部分 204。位于质量流量控制器内或外的处理器接收设定点的指令、或者所需的质量流量。设定点的值与流量传感器部分 202 所指示的实际质量流量相比较，从而产生误差值。流量控制部分 204 包括操作用于调节流速并且使误差最小的阀。对于从本申请的公开内容受益的本领域普通技术人员来说，具体控制计划的实现只是常规的任务，此处将不忙于详细描述该实施例的细节。

流量传感器部分 202 由机壳 205 所围绕，包括弯成环状的传感器管 206、驱动装置 208、和两个位于传感器管 206 相对侧上用于测量传感器管 206 侧边位移的采集传感器 210。

10 在现有的科里奥利装置中，传感器是通常封闭在焊接的金属外壳中。外壳内的传感器管上还固定有位移或速度传感器，导线通过馈线连接到外壳外的电子设备上。这种装置中的传感器管相对较大并且具有大约 100 赫兹的共振频率。对于更小的传感器管，在本发明的实施例中，共振频率略高，大约 200 赫兹级或更大。当频率增加时，由于传感器外壳内的大气条件将增加粘性阻尼影响。通过撤走外壳并且利用外壳内的真空兼容材料，
15 将减小或甚至消除粘性阻尼。因此，在所示的示范实施例中，传感器管 206 位于真空传感器外壳 207 内。

将传感器管 206 设计成允许垂直于连接管的回路支线的线弹性弯曲。回路足够宽，以允许绕回路的中心线弹性扭曲。为测量低流量的科里奥利力，需要使传感器管 206 的质量最小。由于需要管小并保存扩张压力下的流体，因此管的尺寸很关键。由于任何与管 206 的接触或加载在管 206 上的质量都会抑制科里奥利力，因此采集传感器 210 优选是非接触的。

采集传感器技术可能包括电容的、磁的、压阻的和光学的。对于压阻技术，应变量规位移传感器与管接触，但是在回路的底部位移最小并且应变最高。这对管的振动将具有最小的影响。光学技术包括多种激光和白光干涉仪测量位移的技术、三角测量技术、多路内反射和光束掩蔽技术。磁学位移技术包括霍尔效应、涡流效应、多种磁阻和磁阻的技术。

在图 14-16 所示实施例中所使用电容采集传感器技术，因为其具有测量管位移所需要的灵敏度，它是非接触式的，并且不会受磁驱动装置的影响。
30 每个电容采集传感器 210 都包括至少一个传导板 300，将其连接到给定的电压电位上并且使其位于流量传感器管 206 的附近，以便在两者之间确

定间隙。流量传感器管 206 连接到不同于传导板的电压电位上。当流量传感器管 206 振动时，传导板 300 和流量传感器管 206 之间的电容由于传导板 300 和流量传感器管 206 的相对运动而改变。

在图 14-16 所示的实施例中，传导板包括如图 11-13 所共同公开的第一
5 和第二板。在所示的具体实施例中，如图 13 所示，所使用的是锯齿形的板。通过压力销 302 将电容采集传感器 210 装配到尺寸定为适合安装在传感器外壳 207 中的集成传感器块 301 中，集成传感器块 301 在尺寸上参照外壳 207 的后壁定位。在多层印刷电路板上制造电容采集传感器 210 的传导板 300，以便提供保护层来使寄生电容最小，并且提供用于焊接传感器块 301 的背
10 面接触层。由于需要在真空中操作电容采集传感器 210，因此在所示实施例中
使用低释气材料。标准玻璃纤维材料不是真空兼容的。所期望的材料特性包括是真空兼容的，利用低释气释气可软焊、可粘合成多层的，并且对于简单保护层设计它具有低介电常数。在具体的实施例中，使用市场上可买到的杜罗艾德铬合金钢(DUROID)。

15 可以调节包含电容采集传感器 208 的传感器块 301，使得到传感器管 206 的间距最优化。这可以使用电子放电加工的铰合板来实现。锥形固定螺钉扩展间隙来影响电容采集传感器的线性和成角度的运动。此外，电容采集传感器的传导板 300 包括接触衬垫，其允许将导线软焊或粘接到传感器块前侧的印刷电路板 303 上，利用密封的电连接器使该传感器块和电容采集
20 传感器 210 相互连接，该电连接器与传感器外壳 207 外的电容位移电子设备相连接。

驱动装置 208 驱动管 206 做弯曲模式的振动，导致其振动。在所示的实施例中，驱动装置 208 由软焊在传感器管 206 上的小磁铁 304 和交替在磁铁 304 上推拉的小电磁线圈 306 所组成。在图 16 所示的实施例中，使用
25 非稀有的地磁、更具体的是使用镀镍的钕钴磁铁。钕钴磁铁具有良好的磁强度重量比。在该实施例中，磁铁重量大约为 20 毫克。磁铁 304 布置在传感器管 206 的顶部、中心，以使得磁极平行于管的优选位移方向。

线圈 306 布置在传感器外壳 207 的外部，连接到电路板 209 上。传感器外壳 207 是非磁的并因此可被磁场穿透。与环形设计相反的是，线圈 306
30 是开路线圈类型。在该实施例中，线圈 306 为在市场上可买到的是功率额定为 1 毫安的电感器。线圈 306 的中心轴线排列成与磁铁 304 的表面相垂

直。当经过锁相回路(PLL)功能反馈到线圈驱动电路时，利用来自一个电容采集传感器的信号来驱动传感器管 206 共振。可以通过电路或软件来实现该功能。

5 传感器管 206 安装在基座部分 212 上，基座部分 212 确定流量入口 214 和流量出口 216，因此提供的流道为从入口开始、经过流量传感器管 206、经过流量控制部分 204、并且经过传感器流量出口 216。流量控制部分 202 包括仪表体 222，阀线圈 228 和线圈罩 230 位于其中。阀杆 232 和柱塞 234 位于阀线圈 228 中，并且利用这之间的密封件 238 将阀体 236 连接到仪表体 222 上。阀座 240、弹簧 242 和管口 244 布置在阀体 236 中。末端块 224、
10 225 位于仪表体 222 和末端块 224 之间、以及阀体 236 和末端块 225 之间的密封件 226 而定位在流量控制部分 204 的两端。在一个实施例中，密封件 226 为电铸(electroformed)镍密封件。

在示范的实施例中，以下面的方式来装配科里奥利质量流量控制器 200。通过在尺寸上使传感器管 206 参照传感器外壳 207 壁定位的固定设备
15 对仪表体 222 和传感器外壳 207、以及底板 310、中心柱 312 和传感器管 206 进行装配并且将它们固定到位。通过压力销 330 对剩余部件进行标识。然后将这些部件铜焊为单个的部件。磁铁 304 软焊到传感器管 206 上。利用压力销 302 装配传感器块 301 并且将其安装到传感器外壳 207 中。压力销延伸到传感器外壳 207 背面大约 0.5 毫米。将所密封的连接器 320 压入到传
20 感器外壳 207 的背面开口 322 中。传感器块压力销 302 和所密封的连接器 320 是通过激光或电子束焊接而提供防泄漏的密封。罩 324 在真空环境中定位到传感器外壳 207 的前侧上并通激光或电子束焊接到适当位置上，从而提供真空密封环境。

然后将剩余的阀元件和末端块 224、225 组装在一起。可以使用电铸镍
25 密封件 226，或者可以将弹性密封圈用于校准的目的，然后再用镍密封件来替换。装配电子设备并且将其安装在完成的组件上。密封圈 332 安装在底板 310 上并且将外壳 205 压在密封圈 332 上。使在底板 310 的凸轮锁定件旋转，从而锁在外壳 205 之下。密封圈 334 安装在电子罩盖 336 上。电子罩盖 336 布置在用户接口连接器 338 之上。将电子罩盖 336 压入到影响密
30 封圈的外壳 205 的位置中。然后对所装配的质量流量控制器 200 进行测试和校准。

示范的科里奥利质量流量控制器 200 具有提供多个好处的模块化设计。如上所述, 将电子插件设计成影响流体上(在外壳 205 低端和底板 301 之间)的密封圈, 并且在顶部影响用户接口罩(外壳 205 的上端和电子罩盖 336 之间)。电子罩盖 336 连接到科里奥利质量流量控制器 200 内的用户接口板 340 上, 科里奥利流量控制器 200 连接到传感和控制电子设备上。电子罩盖 336 和用户接口板 340 一起确定用户电子设备的接口。在不需要为每个用户的配置设计不同的检测和控制电子设备和外壳的情况下, 允许根据用户的需求来构造接口的灵活性。

例如, 不同用户接口罩具有密封件和导线, 从而提供 IP-65/NAME 4X 依从的装置。图 18 中所示的就是这种装置 400 的示例。比较起来, 图 14-16 所示的实施例包括连接到用户接口板 340 上的接头 342。如图 18 所示, 延伸电子罩盖 337, 以便为具体应用中所需的附加元件提供空间。

O 型圈密封的外壳 205 的另一个特征在于, 它提供第三级的流体密封, 传感器管 206 是初级流体密封, 传感器外壳 207 提供第二级密封。

如果在控制的流体中有气泡, 围绕传统阀中柱塞的环形开口限制气泡到阀出口的通道。气泡将聚集在环形开口的入口, 达到液体的流动受限制并且无法进行流量控制的位置。如果扩大环形开口, 所增加的柱塞到阀线圈的间距将减小磁路中的磁场强度, 并因此减小为克服流体所产生流水剪切力而开或关阀而获得的有效作用力。因此, 在所示的科里奥利质量流量控制器 200 中, 设置穿过柱塞的圆孔 246。圆孔 246 与气泡的形状和尺寸相容, 允许气泡更自由地经过阀。这使得由气泡而导致流量受限的可能性最小。穿过柱塞 234 中心的孔 246 使得磁路上的影响最小, 以便维持克服流水剪切力而开或关阀的力。

对于典型的现有技术阀, 阀柱塞具有由一些可变形材料所制成的受控阀座, 该材料在压靠于管口平台时, 将形成抑制流动的密封。在常闭的螺线管类型阀的情况中, 可以通过被平衡的弹簧来产生克服阀座的力, 因此螺线管运动将阀座从管口平台举起。在常开的螺线管类型阀的情况中, 可以通过螺线管作用而产生克服阀座的力, 并且使其平衡以便当消除磁场时弹簧可以从管口处举起阀座。阀座材料可以是弹性材料、塑料、或延展性金属。

通常优选的是使弹性变形超过塑性变形, 以使得密封是可重复的。此

外，硬质材料可以用于制造阀座和平台，但预制的是非常紧密的公差，包括阀座和平台之间高匹配的表面。这是一种高成本方法。阀座和平台之间的间距对于阀操作是关键的，这是因为柱塞上的磁力与位移不是线性的。在常开阀的情况中，当相对于平台而移动阀座时，为提供最大的力，同时
5 在断开位置允许最大的流量，就需要对柱塞和阀座相对于平台的正常位置进行最优化。在常闭阀的情况中，通过弹簧产生阀座克服平台的力。需要弹簧力足于抑制水压力而闭合，仍然需要最小化来允许磁力从平台举起阀座足够的距离来允许最大的流量。

现有装置可以使用多种手段来调节阀座和平台之间的距离，包括在平台
10 或阀座的下面放置薄垫片，或者在管口元件中具有带螺纹的调节螺钉。但是，如图 17A 所示，管口中典型的带螺纹的调节器在管口体 250 和阀体 252 之间不能形成密封，在螺纹 256 之间留下渗漏通道 254。这种带螺纹的调节器需要对螺纹 256 进行密封以抑制流体的渗漏。例如密封圈和垫圈的单个密封件提供这种密封。

15 根据本发明，管口 244 和/或平台由 VESPEL®等塑性材料所制成，可将其加工成带有精密管口的带螺纹的元件。如图 17B 所示的示范实施例中，超尺寸来加工螺纹 256，以使得在管口体 250 和阀体 252 之间形成紧配合 258，因此进行密封，从而消除单个密封件(密封圈或垫圈)的需要。现在管口平台是简化了阀座 240 和柱塞 234 的设计和制造的可变形元件(参照图 15
20 和 16)。

但是，本发明并不需要限制为某种特殊阀柱塞的构造。在另一个实施例中，用泵来代替阀。例如，可以将计量泵用于流体控制的目的。具体的是，可以使用包括多个压电管部分的压电泵。以导致不同管部分压缩或延展的方式来控制压电管部分，因此允许按照需要来控制流体流量。

25 图 19 表示的是根据本发明另一方面的另一示范科里奥利质量流量感测装置。所示的科里奥利质量流量感测装置 500 包括用于测量对管所产生的位移来检测质量流量穿过管而产生的科里奥利力的另一种结构。光源 510 布置在靠近顶部的侧面或在流量管 502 的顶部上，预计该处的位移最大。然后可以将光电二极管或其它光电探测器 512 布置在面向光源 512 的管 502
30 的相对侧。光电探测器 512 连接到对从光电探测器 512 中所接收的信号进行处理的传感器电子设备上。传感器电子设备可以使用数字信号处理装置，

例如美国专利 NO.5,555,190 所公开的信号处理方法, 或者是图 6-11 所示实施例公开的锁定放大器。可以设想其它实施例, 这些实施例都使用模态感测或正弦曲线拟合, 例如使用最小平方相位测定方法将所接收的信号与基准相比较。

5 在一个具体的实施例中, 光源 510 和光电探测器 512 是在光学感测印刷电路板(PCB)上所用的光学感测电路的部件。光源 510 和光电探测器 512 包括用于感测传感器管 502 运动的红外线发光二极管(LED)和光电二极管。如图 19 所示, 有两组 LED510 和光电二极管 512, 每一组用于感测传感器管 502 的一侧。

10 图 20 是示意表示使用图 19 所示光学科里奥利质量流量感测装置 500 的科里奥利质量流量控制器部分的方框图。光学科里奥利质量流量感测装置 500 构成光学感测 PCB520 的一部分。光学感测 PCB520 通过光学驱动器 PCB540 向驻留在母板 PCB526 上的传感器采集和驱动电路 524 提供左和右输出信号 521、522(相应于传感器管 502 的左和右部分)。还在母板 PCB526
15 上实现应用和控制电路 528。数字信号处理(DSP)PCB530 包括 DSP 处理器 532、快速 EEPROM534、高速 SRAM536、以及逻辑和监测电路 538。在本发明的一个实施例中, 以 50MHz 运行的 Texas Instruments 的 TMS320C32 处理器起 DSP 处理器 532 的作用。RTD542 通过光学驱动器 PCB540 向传感器采集和驱动电路 524 提供输出, 以便测量传感器管的温度。传感器采
20 集和驱动电路 524 还向用于控制传感器管 502 振动的驱动线圈 513 提供输出信号。

使用正弦波所驱动的线圈 513 来使管在管 502 的共振频率振动(在图 19 所示纸张的内外)。线圈 513 所产生的磁力(例如, 如上述图 14-16 共同所示实施例中的 1 毫安的电感器)在固定在传感器管 502 上的磁铁 514 的上面推
25 拉, 因此而传递运动。当管 502 振动时, 从 LED510 达到光电二极管 512 的红外光的量随传感器管 502 在光路中前后移动而增加或减少。光学感测电路将光的变化转换为代表管位置的电压。

当传感器管 502 振动时, 光学感测电路的输出表现为代表传感器管 502 左右侧运动的两条正弦曲线。在没有质量流量正穿过传感器管 502 时, 管 502
30 的左右侧是同相的, 并因此使两条正弦波位于指示零流量的相位中。当穿过传感器管 502 的质量流量增加时, 传感器管 502 左右侧运动之间的相差

增加(与质量流量成线性)。

5 传感器采集和驱动电路 524 从光学感测 PCB 输出 521、522 中产生传感器驱动信号。因此，传感器管 502、光采集 510、512 和驱动线圈/磁铁系统 513、514 构成以传感器管 502 自身的机械特性所确定的频率而振荡的闭合系统。这种观念与使用晶体代替机械目标(传感器管 502)的电子振荡器相似。

DSP PCB430 和伴随的传感器采集和驱动电路 524 的电子设备将左右传感器管的输出 521、522 转换为代表传感器管 502 左右侧之间实际相差的数值。该相差代表质量流量。

10 如图 21 所示，传感器采集和驱动电路 524 包括立体 A/D 转换器 550，用来从光学感测 PCB520 中对左右输出 521、522 进行采样，用于确定传感器管 502 左右侧之间的相差，用于确定传感器管 502 的振动频率，并且用于确定适当传感器管 502 的驱动电平。RTD A/D 转换器 552 接收 RTD542 的输出，以便通过 RTD 来测量传感器管 502 的温度。多路 D/A 转换器 554
15 用来调节传感器管的驱动电平。DSP PCB430 控制立体 A/D 转换器 550、RTD A/D 转换器 552 和多路 D/A 转换器 554。

返回参照图 20，光学驱动器 PCB540 起的作用是，提供驱动信号输出的 90 度相移，以及提供光学感测 PCB520 左右输出 521、522 的衰减和 AC 耦合。此外，光学驱动器 PCB540 提供 RTD542 与母板 PCB526 上传感器和
20 采集电路 524 的电连接。

信号流的描述还澄清了光学驱动器 PCB540 的目的并且表示了传感器管 502 是如何在其共振频率上被驱动的。传感器管 502 的运动通过光学感测 PCB520 产生两条正弦波(左右输出信号 521、522)。这些信号通过光学驱动器 PCB540，其中对它们进行 AC 耦合以清除 DC 偏移量，并且衰减以
25 将振幅减小到适合于母板 PCB526 上传感器采集和驱动电路 524 的立体 A/D 转换器 550 的输入。

传感器采集和驱动电路 524 利用立体 A/D 转换器 550 对这些信号和样本进行缓冲，并且还通过多路 D/A 转换器 554 馈送左侧信号以调节驱动增益。在多路 D/A 转换器 554 之后，信号反馈到光学驱动器 PCB540 中，其中在信号馈送到传感器驱动线圈 513 之前感应 90 度的相位滞后。因为机械
30 振荡器共振时需要反馈到系统中(经过驱动线圈和磁铁 513、514)的能量在

管 502 运动相位相差 90 度, 因此需要 90 度的相移电路。

对于本领域的技术人员应该明白, 可以在光学感测 PCB520 和母板 PCB526 上对衰减、AC 耦合和 90 度相移进行合并。但是, 通过在单独的 PCB 上实现这些功能, 可以从系统中去掉光学感测 PCB520 和光学驱动 PCB540, 5 允许其它质量流量传感器直接与母板 PCB526 相连。母板 PCB526 上的采集输入和驱动输出必须与所实现的具体质量流量传感器的相应输出和驱动系统相兼容, 或者必须提供合适的接口。

已知科里奥利质量流量传感器不需要在驱动输出上的 90 度相移, 这是由于典型的现有技术科里奥利传感器采集使用速度灵敏的磁铁和线圈(在零交叉时采集输出的振幅最大), 但是此处公开的光学或电容性采集是位置灵敏的(在峰值时采集输出的振幅最大)。由于速度是位置的导数, 并且正弦函数的导数是余弦函数, 正弦函数是 90 度相移的余弦, 因此自然在速度灵敏采集中出现 90 度相移。 10

为开始传感器管 502 的振动, 驱动增益比平常增大很多。一直存在的周围振动使传感器管 502 总是在其共振频率振动。可以通过光学采集器 15 510、512 来探测这种小的运动, 并且将其用于以较大的振幅来驱动传感器管 502(通过高增益驱动电路)。当传感器管 502 的振动达到所期望的振幅时, 驱动电路转换到正常增益并且 DSP PCB530 通过多路 DAC554 接管传感器管的振幅控制。在没有对传感器管驱动振幅进行实际控制的情况下, 传感器管 502 要么停止振动, 要么振动失控。 20

由 DSP PCB530 所计算的相差、传感器管频率和传感器管温度通过在此所示实施例中的 4800-波特串行链路传送到应用和控制系统 528 中。

图 22 示意表示的是应用和控制电路的各方面。母板 PCB526 还包含应用和控制电路 528 的线路。用户接口(UI)PCB560 可以把插头插入到母板 25 PCB526 中。母板 PCB526 包括微控制器 562、快速 EEPROM564、高速 SRAM566、以及逻辑和监测电路 568。一个具体的实施例使用摩托罗拉公司(Motorola)68LC302 的微控制器, 运算速度为 25 兆赫兹。微控制器 562 控制

1. 用于感测模拟设定点输入和模拟阀越权输入 570 的 A/D 转换器;
- 30 2. 用于输出模拟流量信号 572 的 D/A 转换器; 和
3. 用于输出阀控制信号 574 的 D/A 转换器。

图 22 所示的用户接口 PCB560 是可选择添加到母板 PCB526 上, 用于提供多种通信协议。在这点上所描述的所有电子设备不是具体的通信单位。为获得多种通信协议的兼容性, 应用插入到母板 PCB526 的公共用户接口 PCB 形状因子, 给每个所需的协议提供一个唯一的用户接口 PCB560。

- 5 例如, 公用通信协议是 HART 协议。除母板 PCB526 上已经存在的 0(1)-5 伏特的输入和输出之外, Analog(模拟)/HART 用户接口 PCB 提供 0(4)-20 毫安的设定点输入和流量输出。该方案中还存在 HART 的物理层, 隔离的电源能够提供 13 伏 DC 到 30 伏 DC 的主要电源输入。

- 10 图 23 表示的是 HART 接口 580。利用适当的载体对流量输出信号 0(4)-20mA 582 进行调制, 以便允许 HART 通信协议在输出信号上发射和接收。为实现监测数据的目以及为实现装置的校准和构造, HART 协议对科里奥利质量流量控制器提供数字接口。除电流之外, 为了电压的流量监测, 还将流量输出信号 582(0(4)-20mA)转换为 0(1)-5V 的信号 584。

- 15 设定点输入提供跳线, 以便在电压 586 和电流 588 输入之间选择。设定点输入转换为电压(如果所选择的是电流输入)并且经过母板 PCB526, 并且将其直接连接到母板 PCB 设定点输入 570 上。用做母板 PCB526 纯结构上的流量输出信号 572 的信号转换为 HART 接口 580 上的电流输出并且将其当作强度输出信号 590。阀越权输入 570 还直接经过母板 PCB526 的阀最优先输入 570。

- 20 母板 PCB526 纯结构共享电源回路和所有信号回路之间的公共接地。使用+15 伏 DC 和地提供电源。当在用于输入和输出信号的母板 PCB 接头上存在分离接地连接时, 它们是相同的电位点。

- 25 到母板 PCB526 的+15 伏输入电压 DC576 直接用在需要+15 伏 DC 的所有元件上。还将+15 伏 DC 用于驱动两个 DC-DC 开关转换器。一个用于+15 伏 DC 到+5 伏 DC 的转换, 另一个用于+15 伏 DC 到-9 伏 DC 的转换。在根据本发明的示范科里奥利质量流量控制器中, 使用这 3 个电压电源(+15 伏 DC、-9 伏 DC、+5 伏 DC)来对所有的电子和电气回路(包括阀)提供动力。底板接地和电源/信号接地之间的唯一连接是并联的 1M 的电阻器和 0.01uF 电容器。

- 30 HART 接口 580 此外还在电源输入 576 上提供绝缘。HART 接口的输入电压范围是+13 到 30 伏 DC, 并且完全与内部电压电源和大地绝缘。将

13-30 伏 DC(附图标记 592)转换到 15 伏 DC 的 DC-DC 转换器提供绝缘。绝缘是电流的(主电源转换)和光学的(反馈)。DC-DC 转换器的输出是电隔离的 +15 伏 DC 并接地。

图 24A 和 24B 表示的是根据使用光学采集传感器的本发明实施例的科里奥利质量流量控制器的流量传感器部分 600。图 24A 和 24B 中所示的流量传感器部分 600 适合用在例如此处图 14-16 中所示控制器 200 的质量流量控制器中。实质上,图 14-16 中的流量传感器部分 202 可以用图 24A 和 24B 的流量传感器部分 600 代替。流量感测部分 600 包括流量传感器管 602,在其上固定磁铁 604。红外线 LED606 和发光二极管 608 耦合到光学感测 PCB610 上,光学感测 PCB610 布置在流量传感器管 602 的一侧。流量传感器管 602、磁铁 604、LED606、发光二极管 608 和 PCB610 都位于机壳 612 内,在壳体 612 上固定有盖子 614。1 毫安的电感器用做线圈 616 来驱动管。线圈 616 布置在机壳 612 的外侧。

此外,感测管、驱动装置和采集传感器都可以包含在外壳内,或者除了线圈之外的选定元件或代替线圈的选定元件可以位于外壳外。例如,某些实施例可以使用其中限定窗口的外壳。这允许光源和/或光电探测器布置在外壳外。在另一个实施例中,传感器电子设备远离外壳,例如使用纤维光缆。这可以是所期望的,例如,当在危险环境中使用科里奥利质量流量感测装置时。

如上所述,光源和探测器可以包括与红外线光电二极管匹配的红外线 LED 光源。光电二极管有效表面的尺寸靠近但稍微比管直径大一些。当管振动时,它通过 LED 和光电二极管之间的路径,掩蔽来自 LED 的光。可以这样布置管,以使得当管静止时 LED 和探测器之间的光路部分间断。当管以振动方式绕该静止位置移动时,到达探测器的光将交替为提供来自探测器的正弦曲线输出的最小值和最大值。可以为由于科里奥利力所产生的流动效应而产生的相差而测量管每侧的相对输出。

如上所述,流量感测管可以由多种材料中的任何材料所制成。此外,流量感测管可以包括混合材料。这种混合结构的示例如图 25 所示。所示的是科里奥利质量流量传感器 700,包括硅架 702 和不锈钢管 704。科里奥利质量流量传感器 700 还包括夹钳 706 和传感器 708,它们都是用硅来实现。还可以使用另外的材料;例如夹钳 706 可以由金属、玻璃、塑料、陶瓷等

制成。薄硅臂 710 从框架 702 上伸出并且固定在传感器管 704 的侧边上。

5 传感器 708 是在固定在传感器管 704 侧边上的每个硅臂 710 的底部的惠斯通电桥中所用的压敏电阻器。这些实际上是应变仪，测量由硅臂 710 弯曲所引起的应变。图 26A 所示的是第一个惠斯通电桥 720。惠斯通电桥 720 是在臂 710 的底部所实现的。惠斯通电桥 720 还是典型在硅中所实现的，通过在硅架 702 中淀积或注入。惠斯通电桥 720 包括四个桥电阻器 R1、R2、R3、R4，其中桥电阻器 R1 和 R4 是可变压敏电阻器。惠斯通电桥 720 还包括激励电源接点 V_s 、信号返回 GND，和传感器输出信号接点 -Vout 和 +Vout。

10 图 26B 表示的是第二个惠斯通电桥 722，它是在两臂 710 之间实现的以便测量两臂 710 之间的差分应变。在惠斯通电桥 722 中，电阻器 R1 和 R2 是可变压敏电阻器。流量直接与微分应变成比例。不能从两个分离的信号中提取相位。

15 本发明的另一部分包括使用直传感器管的科里奥利流量测量装置——流量管限定大致线性的流动路径。图 27 是示意表示根据本发明实施例的直管流量传感器 450。首先，通过在管 452 的每端上固定压电驱动装置 454，以通常的垂直偏振模式来驱动管 452。在某些实施例中，压电驱动装置包括压电单晶片，压电层附着在管 452 一侧。可以设想在另外的实施例中使用其它的压电驱动装置，例如压电双晶片。

20 相对另一侧可能具有附着的压阻层或所固定的压电层，以作为传感器 456。对单压电晶片对 454 同时驱动，使其共振模式来驱动管 452。当穿过管 452 形成流量时，科里奥利力将在压电传感器 456 上引起相应应变，从而在它们的输出信号中产生相移。

25 图 28 示意表示的是另一个直管科里奥利传感器 451。可以以圆偏振模式来驱动直管 452，类似于两人跳绳那样。引起科里奥利力的质量流量向量的分量与管 452 的线所垂直。管 452 的每端将经受在旋转的方向或反方向中定向的科里奥利力。这将在管 452 的相对端引起相移。例如，可以通过在管 452 的中心放置磁铁 460 并且利用 2 个互相垂直布置的电磁线圈 462 来驱动管圆周振动，从而来驱动管。各自的驱动信号具有 90 度的相差。传感器 456 布置在管 452 的两端上，或者，可以以类似于驱动线圈 462 和磁铁 460 的正交方式布置在管 45 上的 1/3 点上。传感器 456 可以是光学的、30 电容性的或电磁的，实际上这部分地取决于管材。

作为磁铁 460 和线圈 462 驱动装置的替换例子，固定在管每端的压电可倾式驱动器在本发明其它实施例中作为这种模式的驱动器。典型的将已知压电可倾式驱动器用做动态定位光反射镜。典型的光反射镜结构由三个压电叠片所组成，这三个压电叠片布置在固定于支撑镜子平台上的三脚架上。为以圆振动来驱动管，需要利用三个正弦曲线信号来驱动压电叠片，每个信号都具有比下一个提前 120 度的相位。这类似于三相电动机。由于压电可倾式驱动器通常是昂贵的并且与所给出的镜子相比较，在本发明的实施例中采用如下的备选方案。

扁平单压电晶片比上述三个层叠式驱动器便宜得多。它们通常需要低电压来完成相等的位移并且比层叠的驱动器小得多。图 29A 和 B 示意表示的是示范的可倾式驱动器 470、471。可倾式驱动器 470、471 分别使用三臂和四臂的平螺旋弹簧 474、475。在平螺旋弹簧 474、475 的每个臂 476 上构建压电装置。在所示的实施例中，弹簧 474 具有在靠近弹簧 474、475 的外侧环结构 478 的每个臂 476 上所构建的单压电晶片 472。压电或压阻传感器固定到弹簧 474 上压电驱动器 472 的相对侧。传感器感测管每端上传感器之间的相对相位。

将电压作用到单压电晶片 472 上，从而导致相应臂 476 的位移。利用三臂弹簧 474，就如利用与上述三叠片可倾式驱动器所用相同的三相正弦曲线信号力驱动单压电晶片 472，从而导致大致圆形驱动运动。四臂弹簧 475 在结构上更复杂，但是在驱动时更简单。代替三相驱动器的是，两相驱动器需要四臂结构。将每个驱动信号作用到 2 个相对的臂 476 上。该运动类似于将两个正弦曲线信号作用到模拟振荡器的 x 和 y 输入并且观测到利萨如图形。如果两个信号是 90 度异相并且具有相同的振幅，结果将是一个圆。

平螺旋弹簧 474、475 优于与图 27 一起公开的薄片型单压电晶片 454 之处在于，弹簧 474 将在不需要薄片型中的直径变化时提供垂直位移。仍然可以通过由增加管上的离心力所驱动的传感器信号振幅的增加来测量强度。这种驱动模式允许增加管材选择的灵活性。管不必是共振结构。系统也不必处于共振中，由于可以驱动它处于连续频率，就象双人跳绳的示例一样。

上述所表示的仅是具体的实施例，对于本领域的熟练技术人员来说，可以对本发明作出不同的改进和实践。此外，除后续权利要求所描述的那

样并没有限制此处所示出的结构或设计的细节。因此显而易见的是上述具体实施例可以改变或改进，并且这种变化都在本发明的范围和精神。因此，这里的保护范围被下面的权利要求所限定。

说明书附图

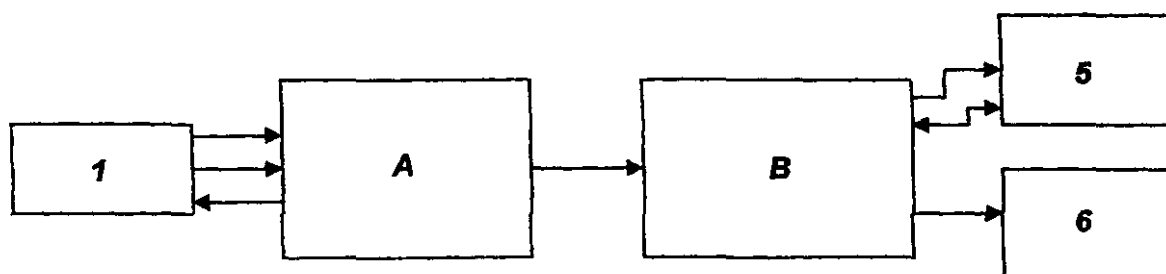


图 1A

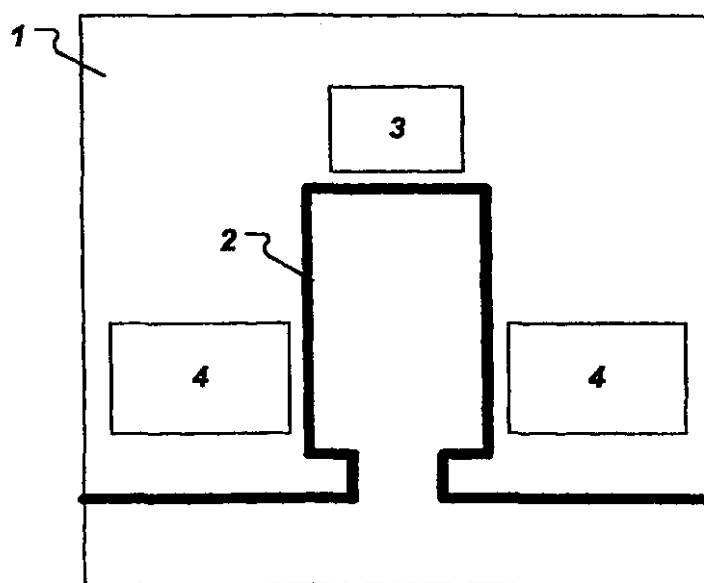


图 1B

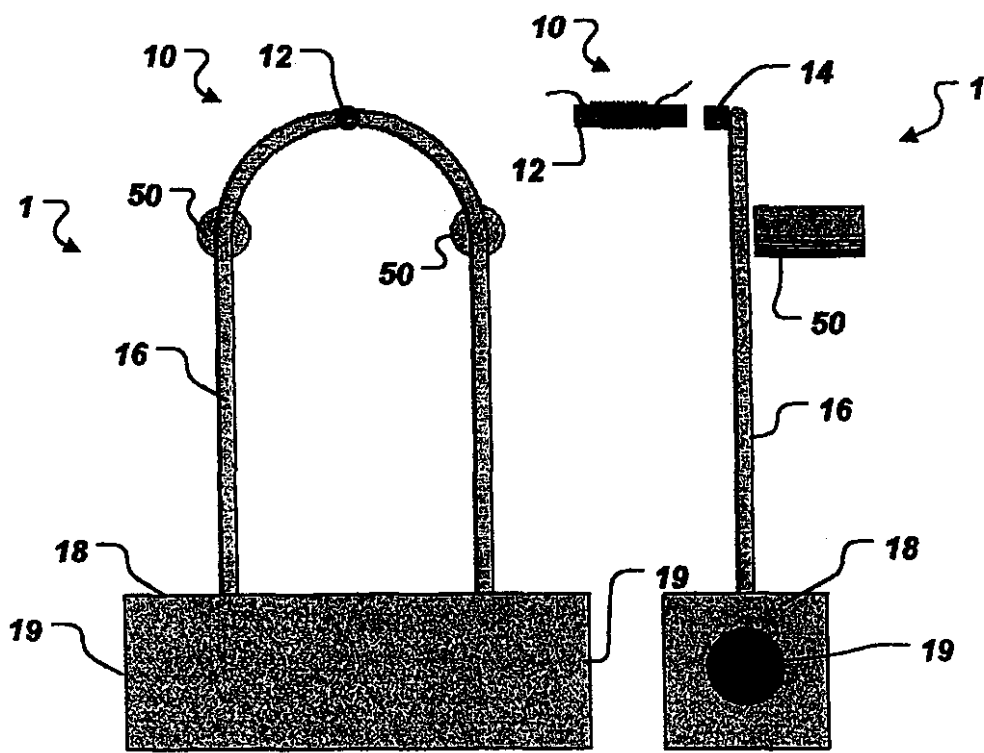


图 2A

图 2B

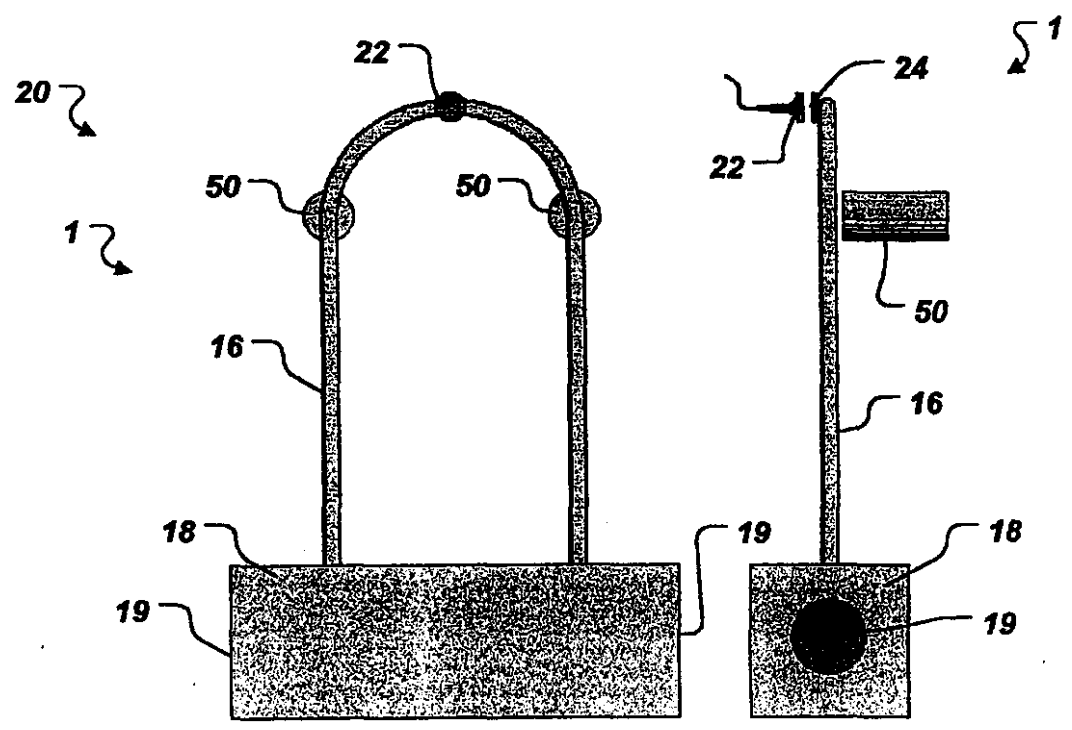


图 3A

图 3B

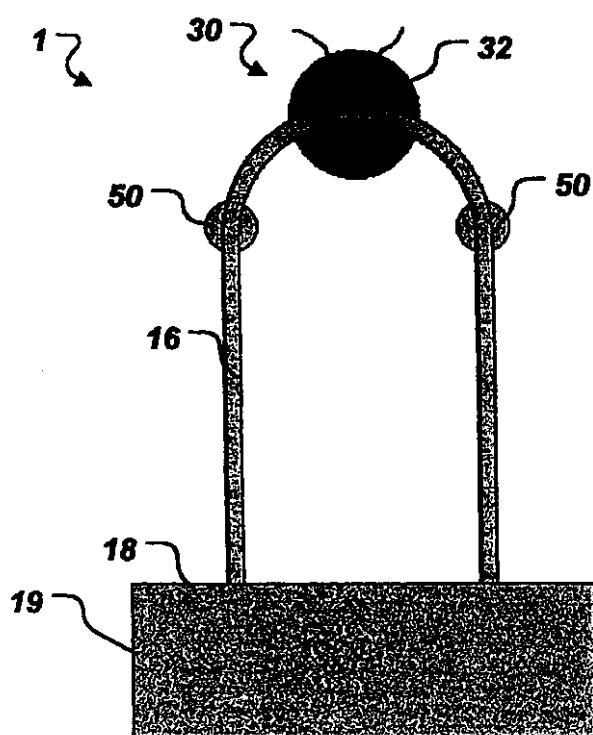


图 4A

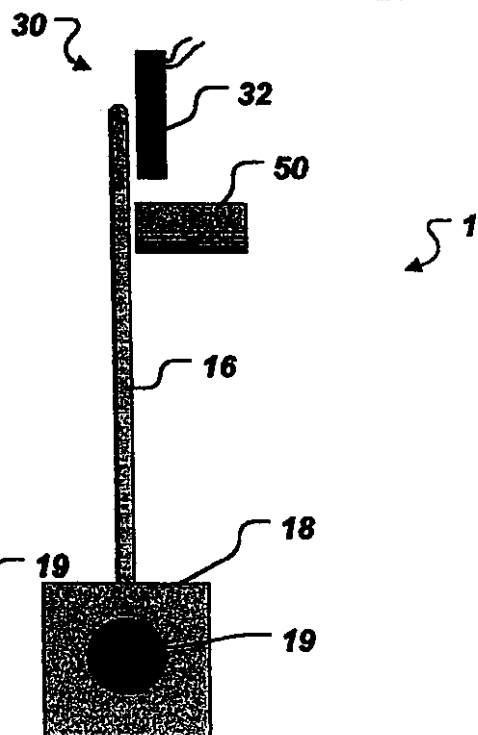


图 4B



图 5C

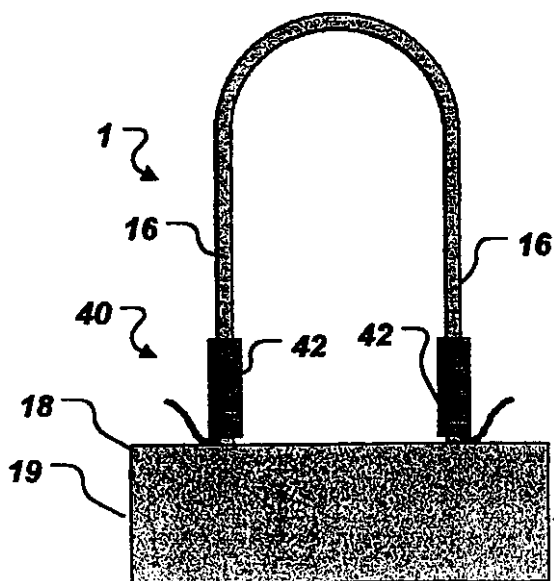


图 5A

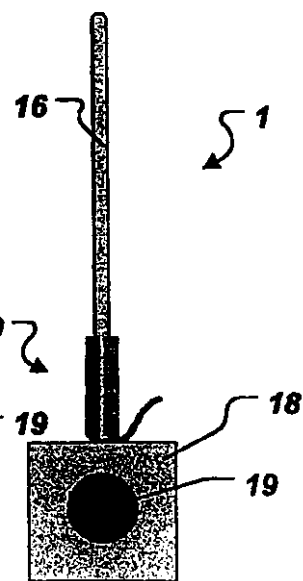


图 5B

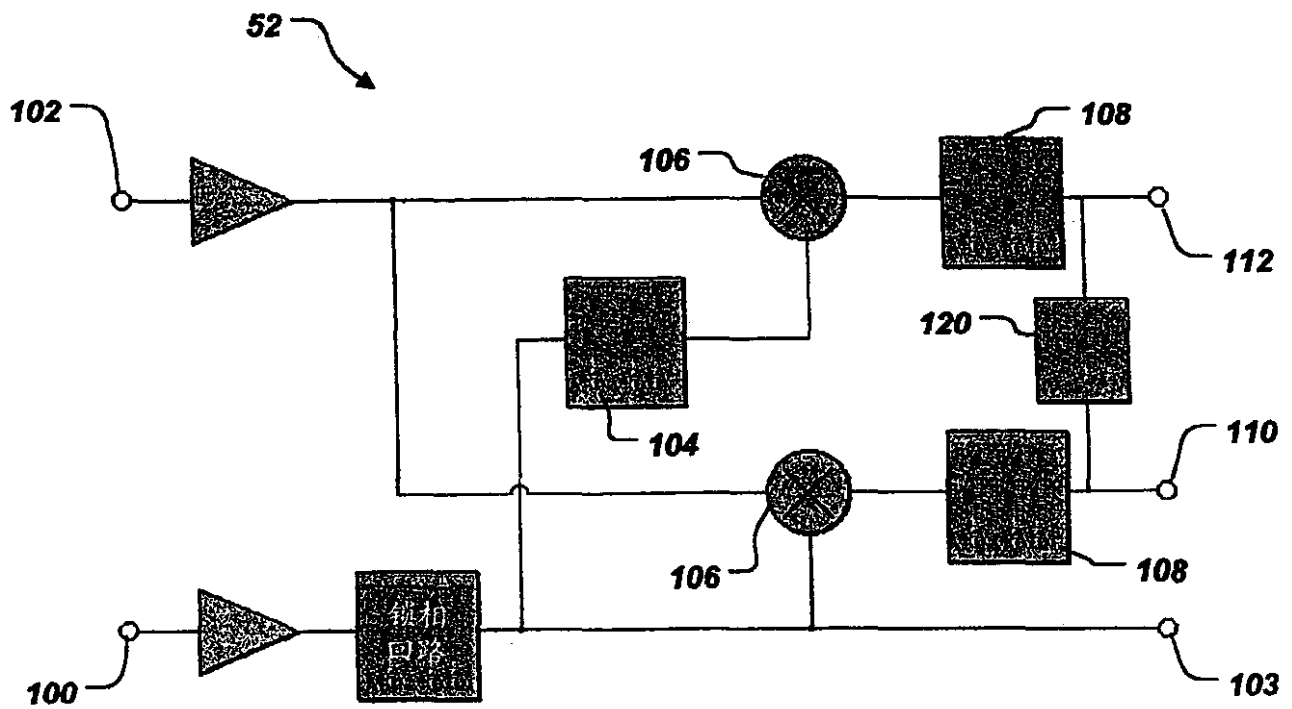


图 6

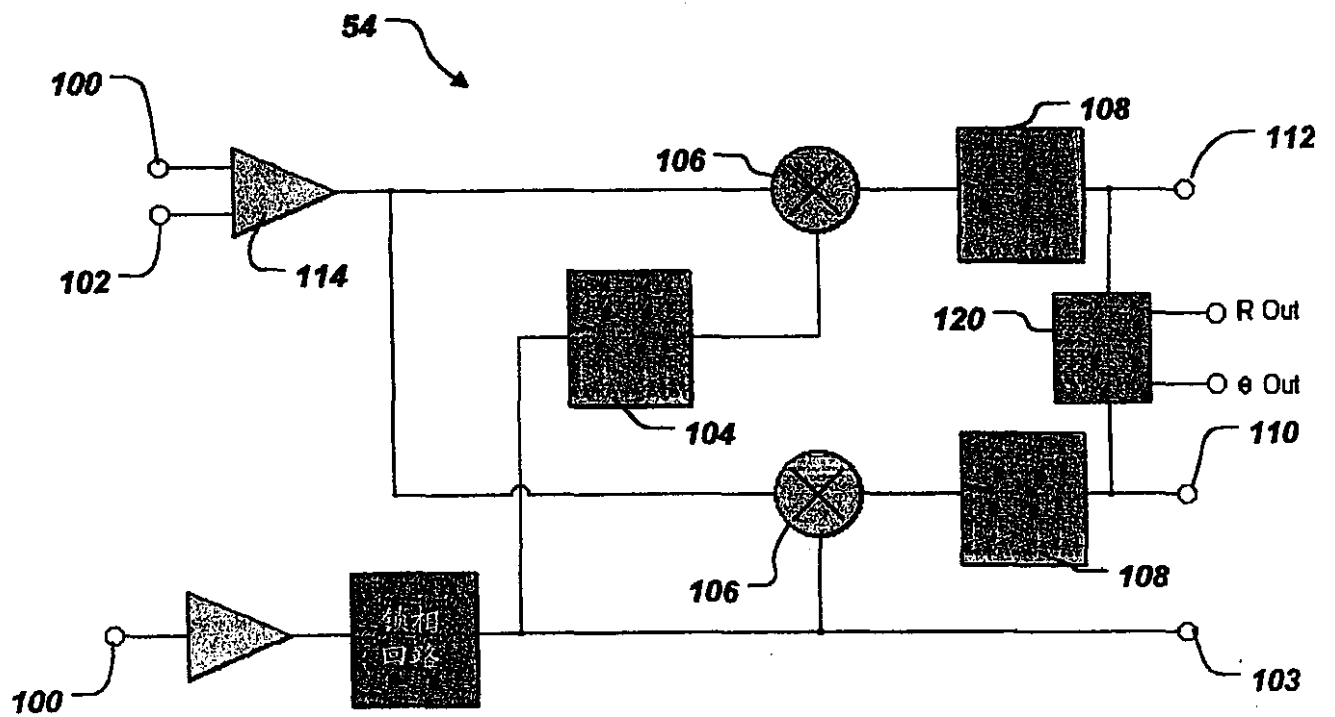


图 7

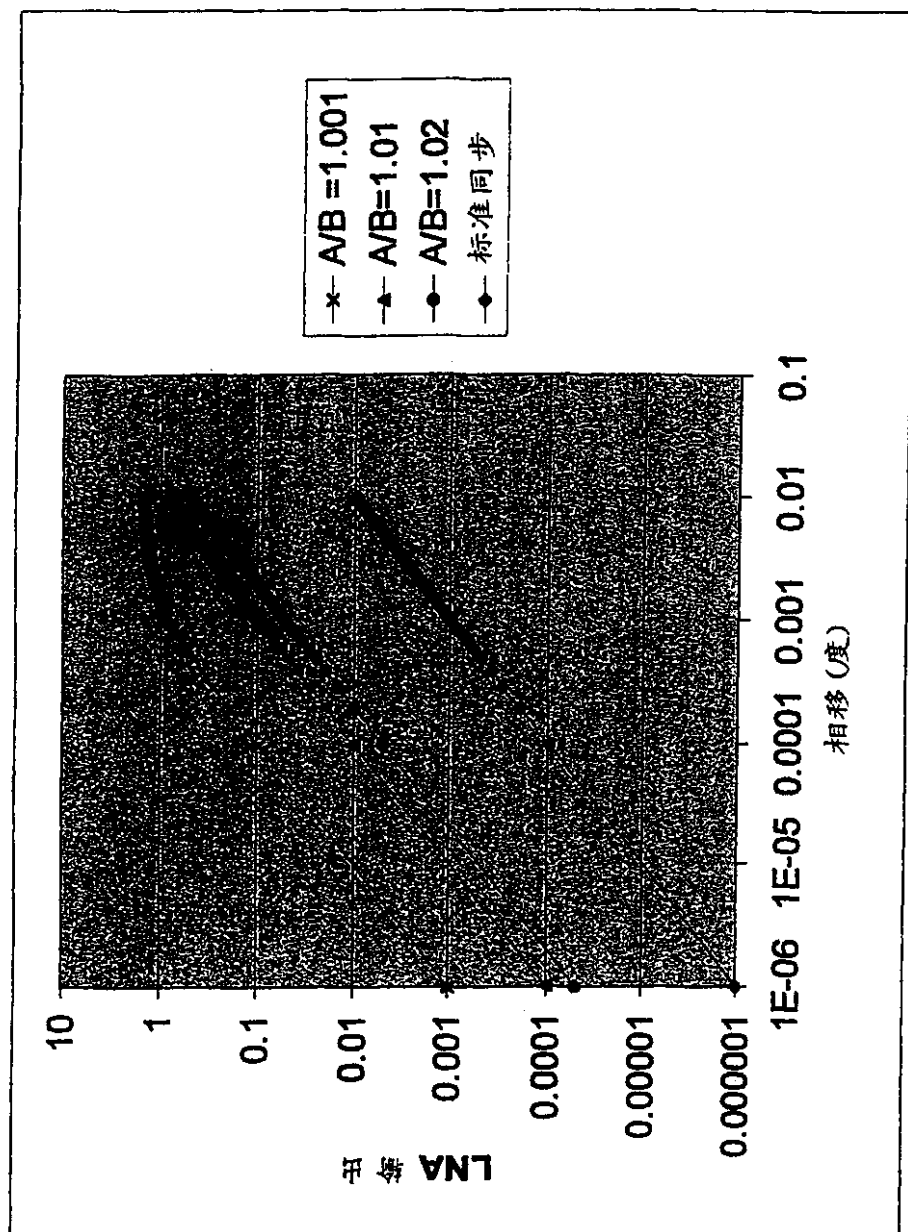


图 8

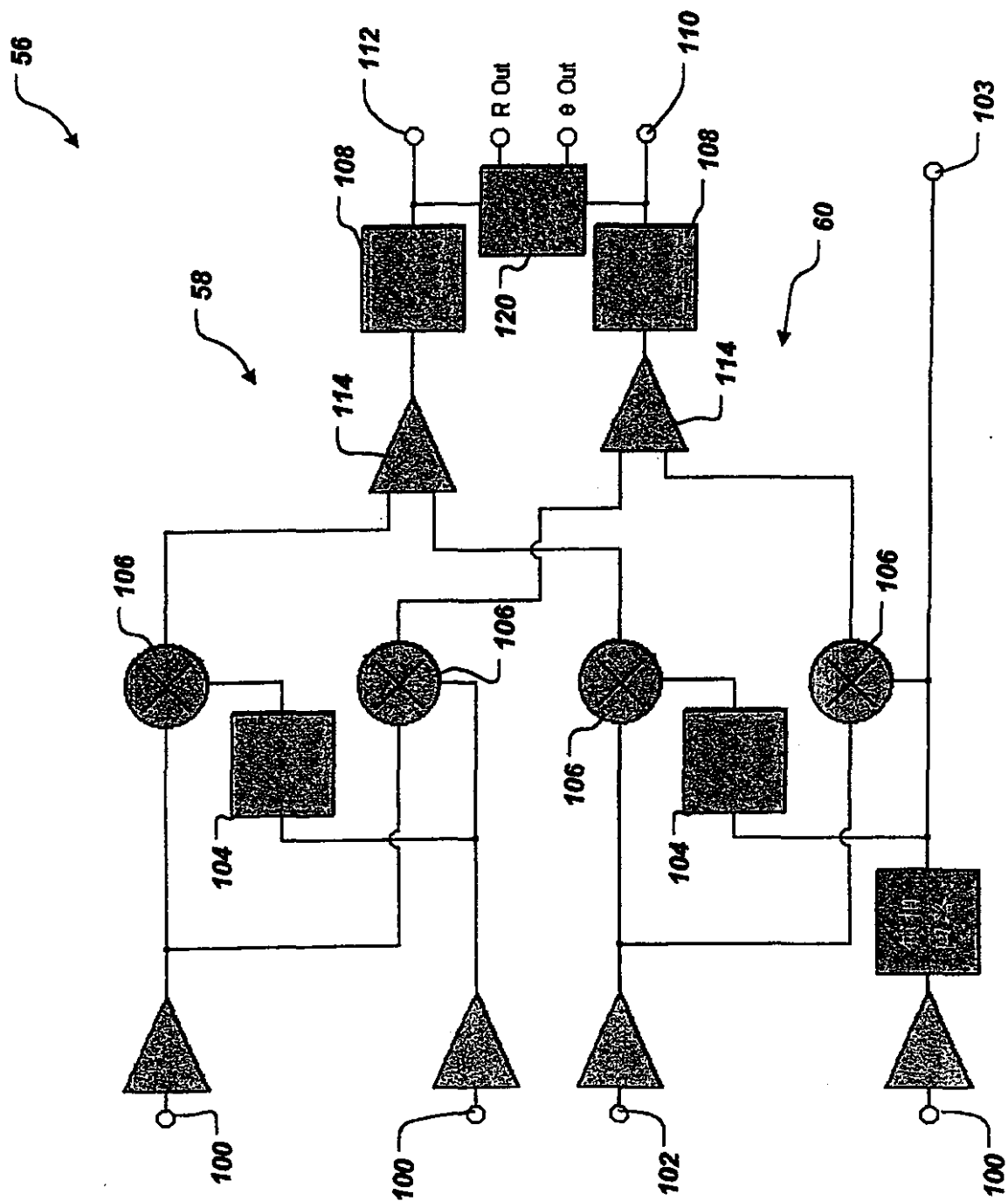


图 9

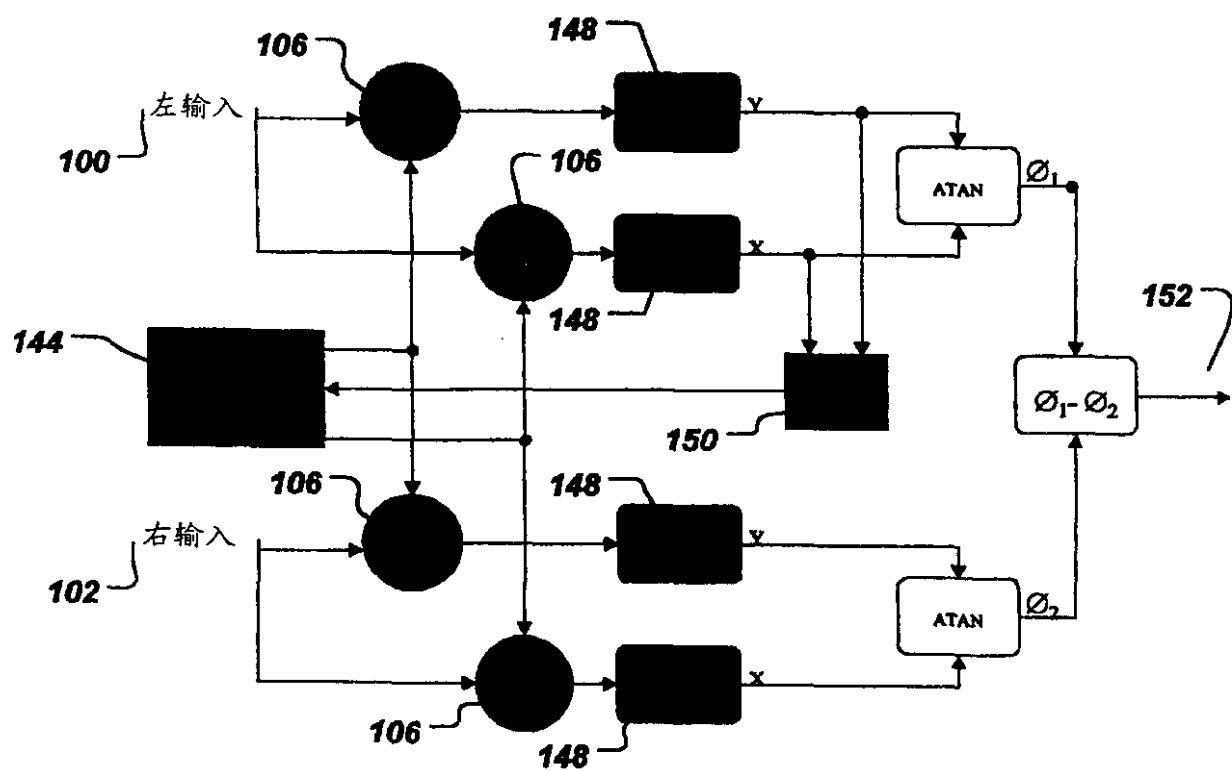


图 10

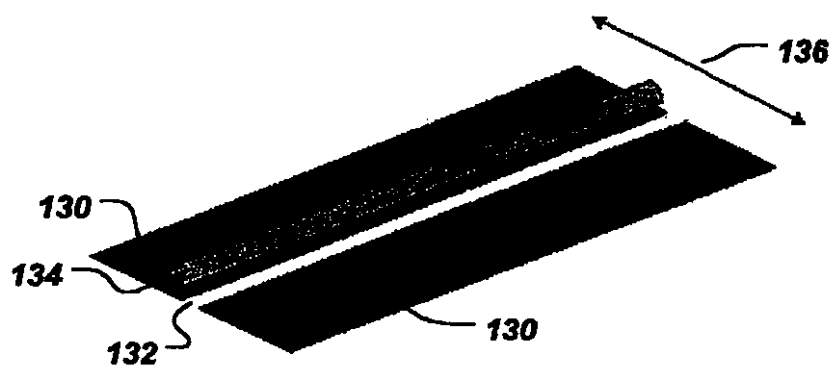


图 11

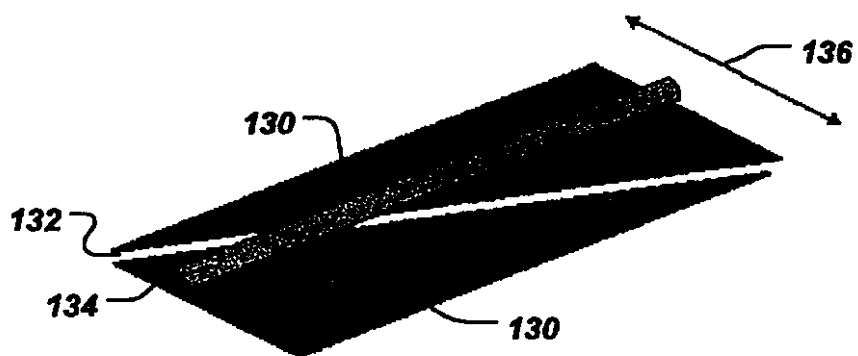


图 12

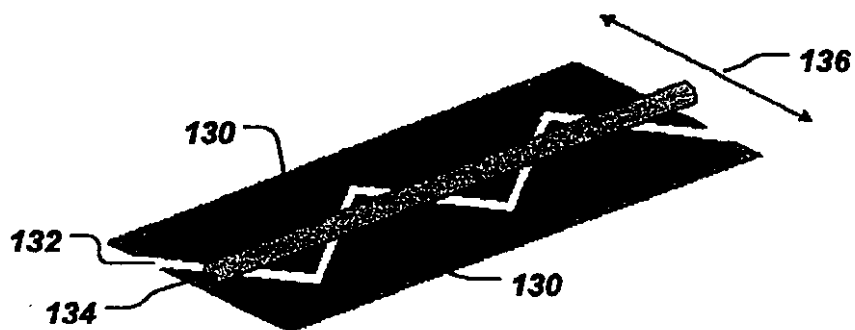


图 13

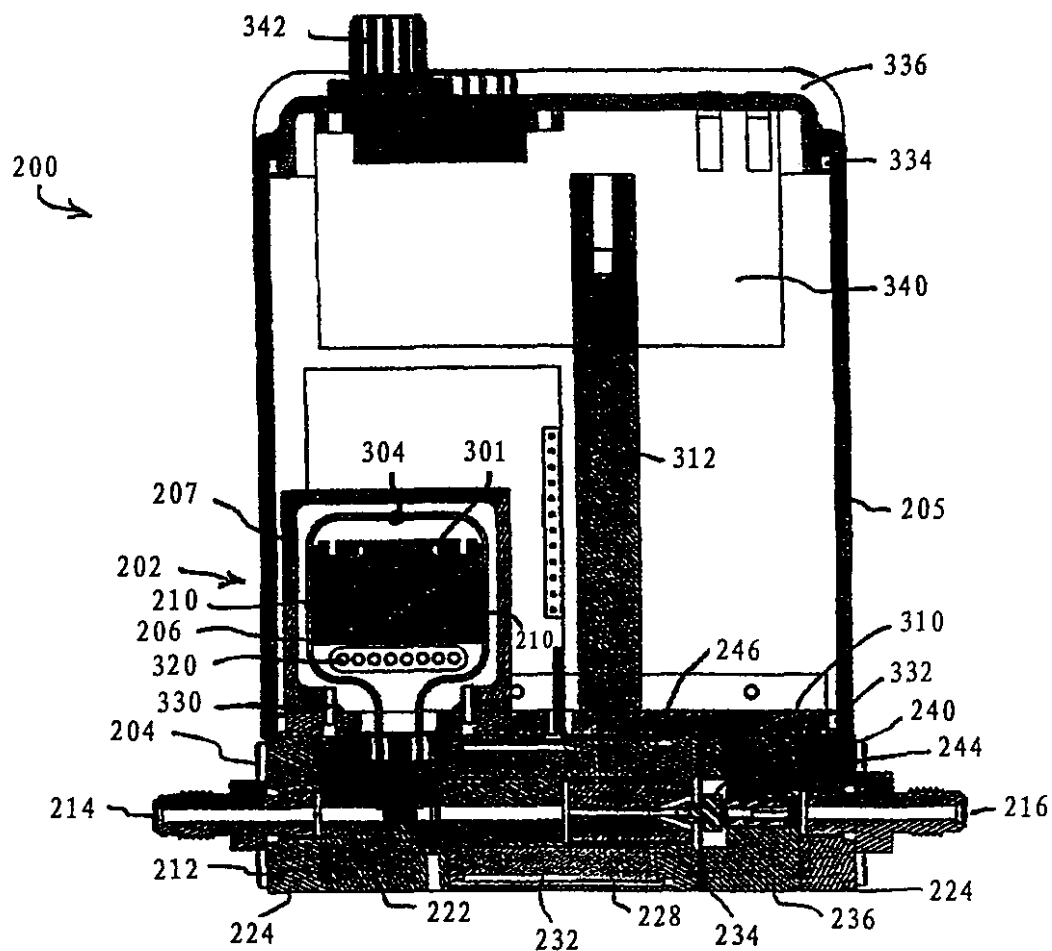


图 15

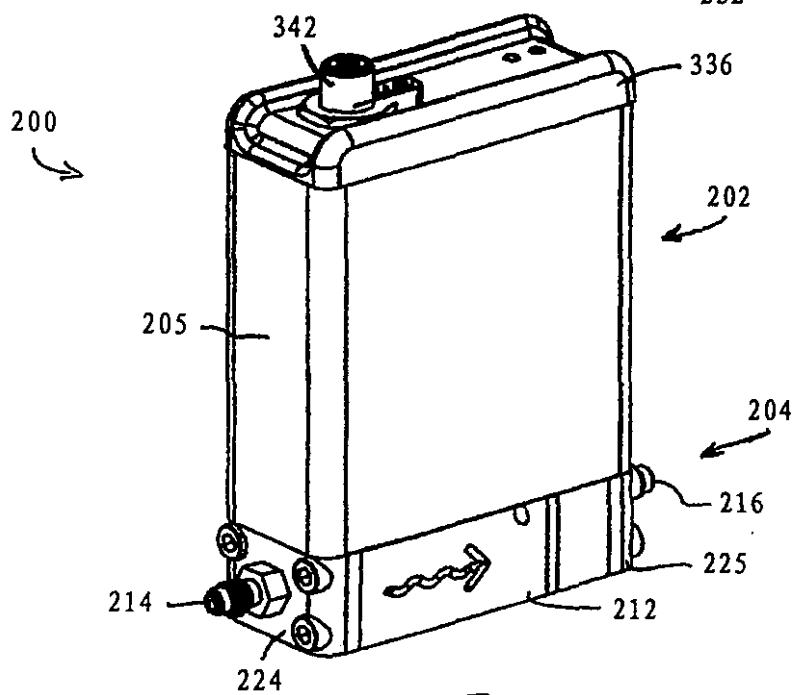


图 14

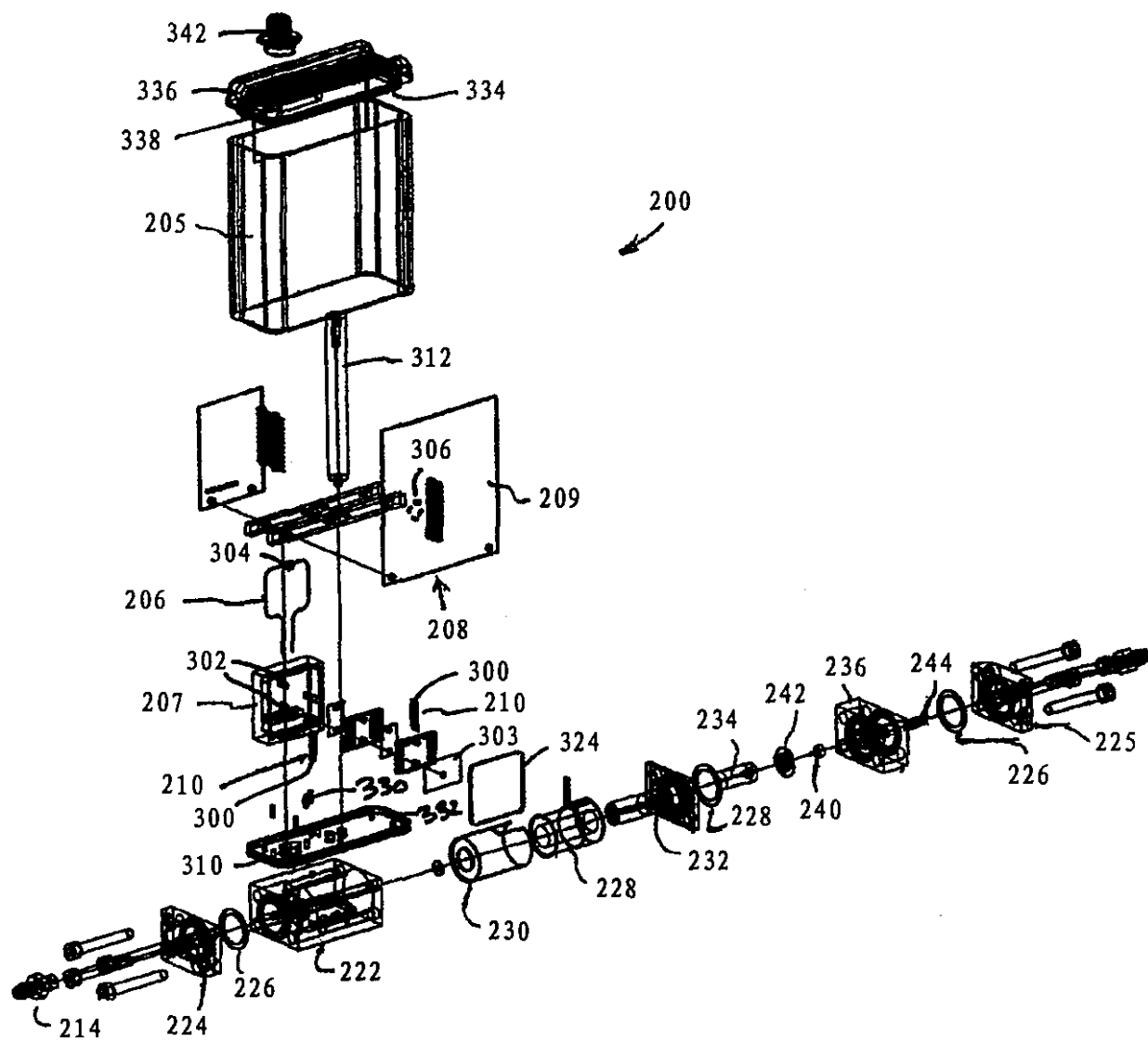


图 16

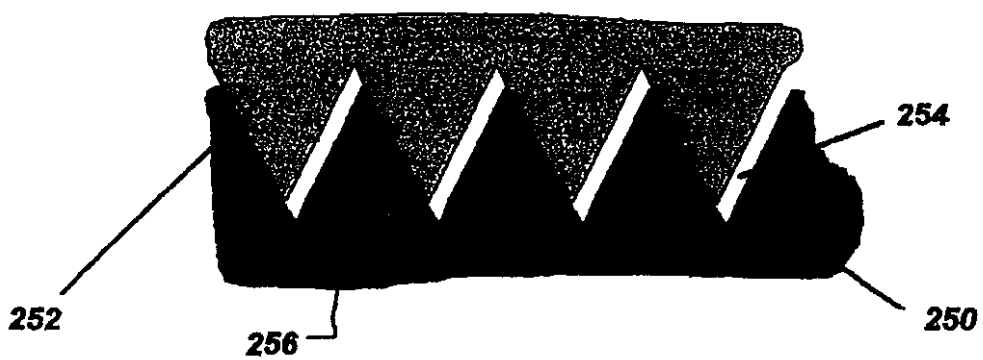


图 17A

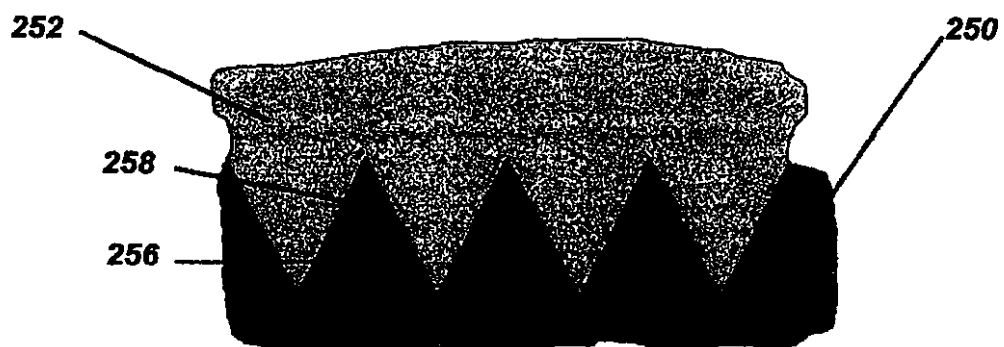


图 17B

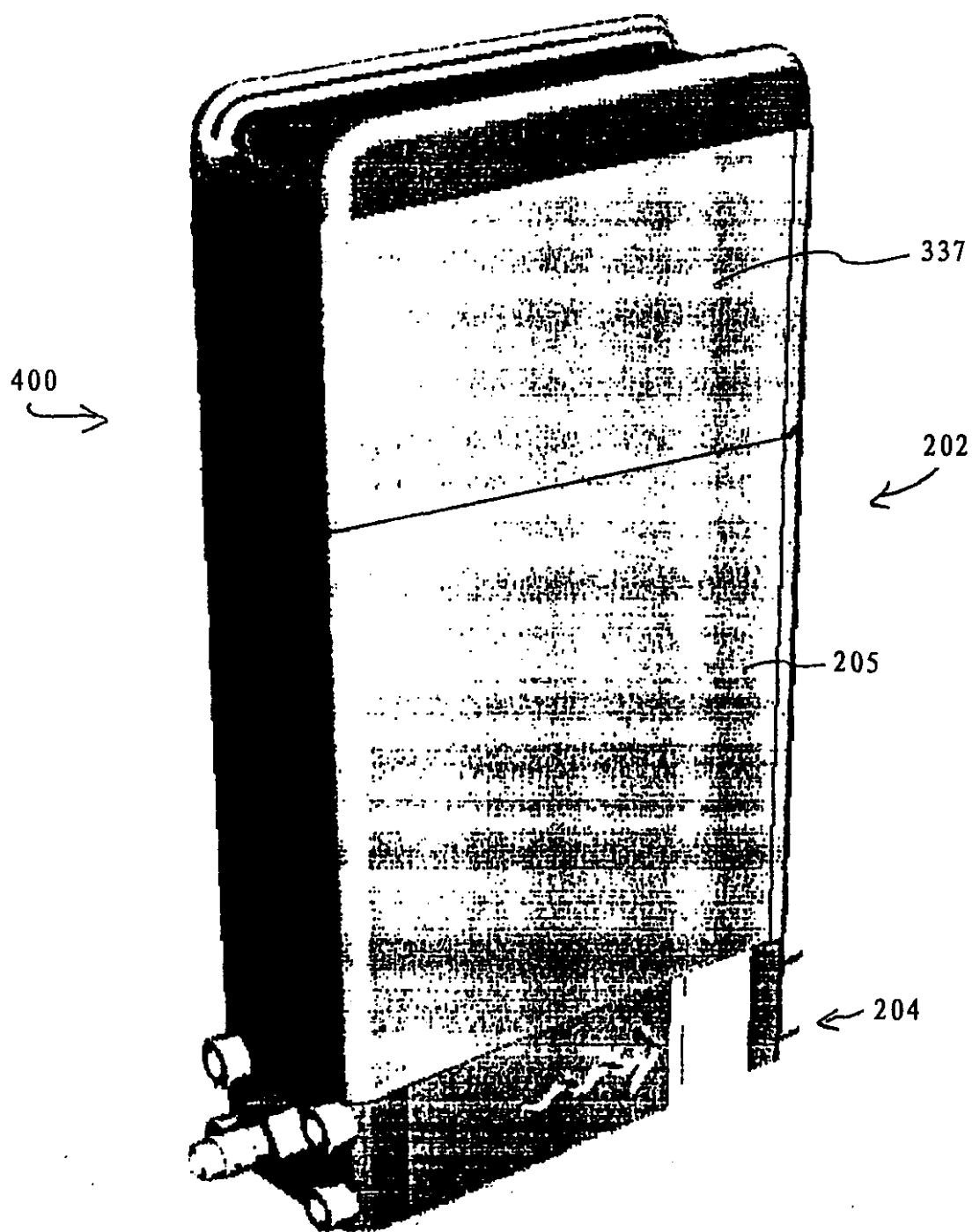


图 18

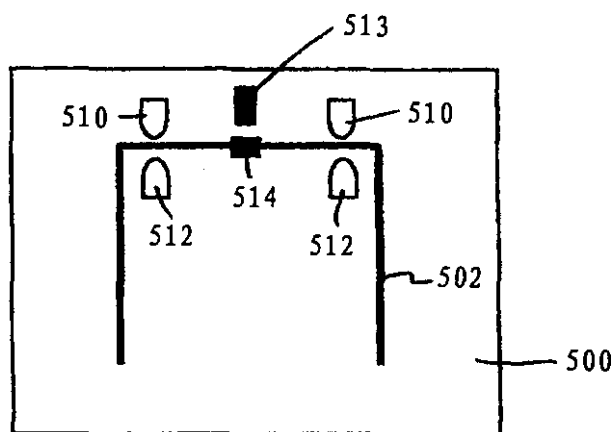


图 19

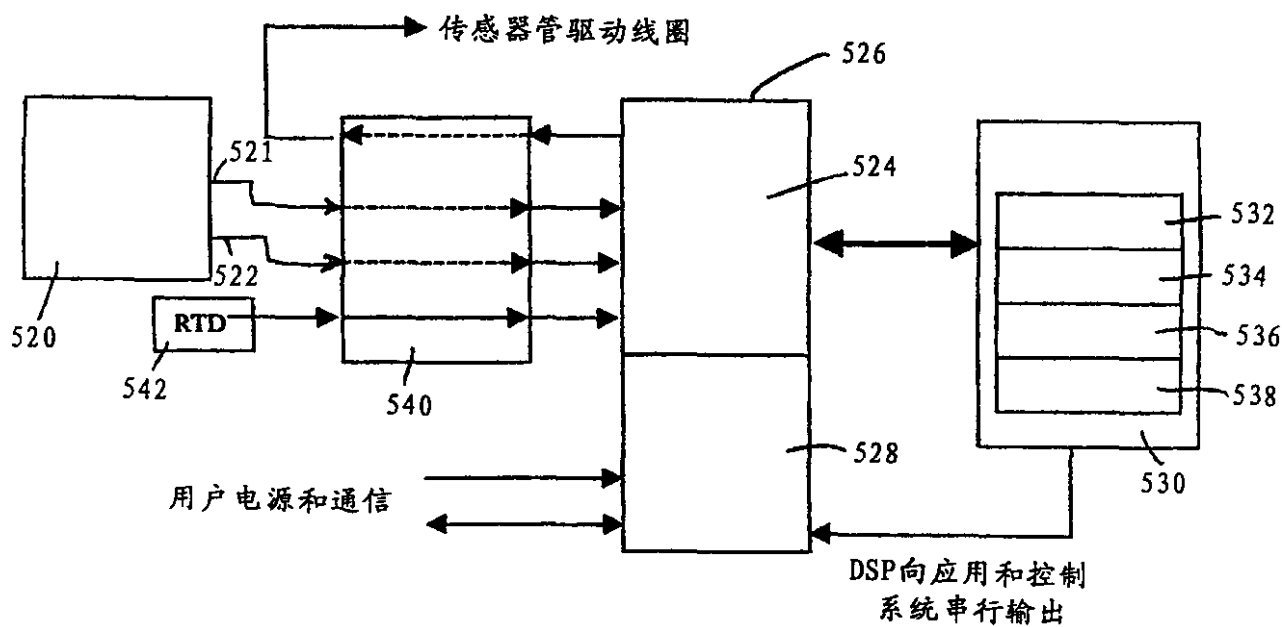


图 20

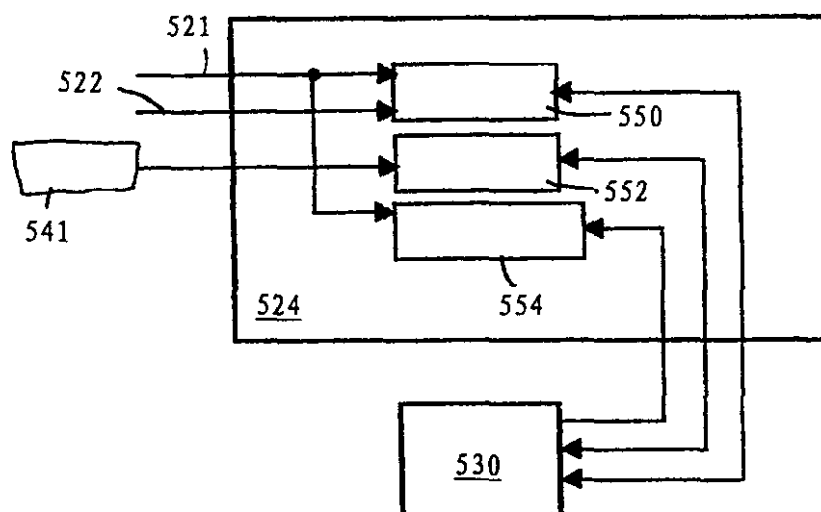


图 21

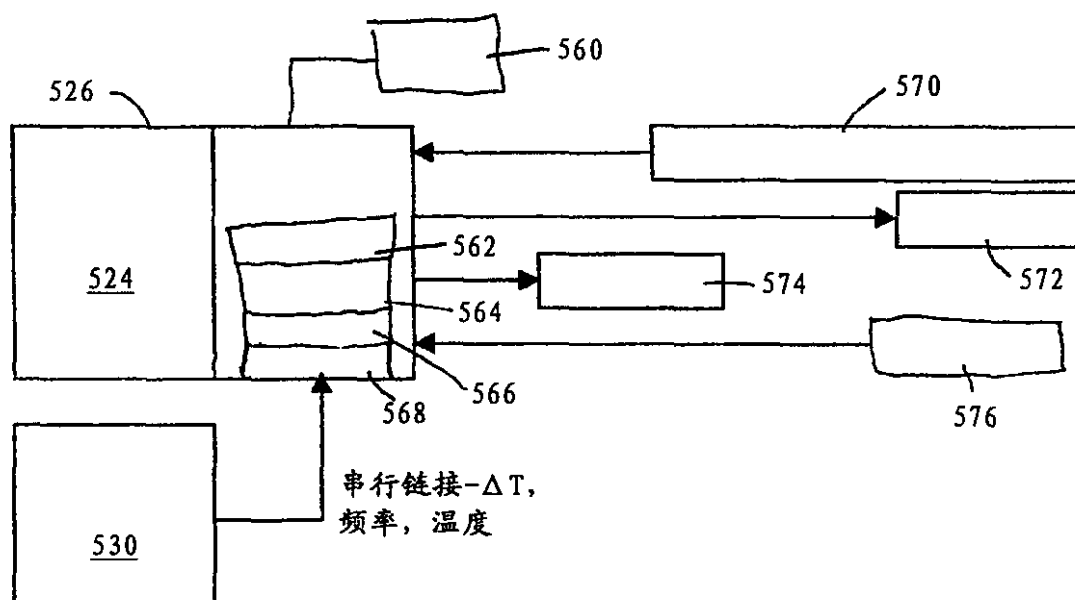


图 22

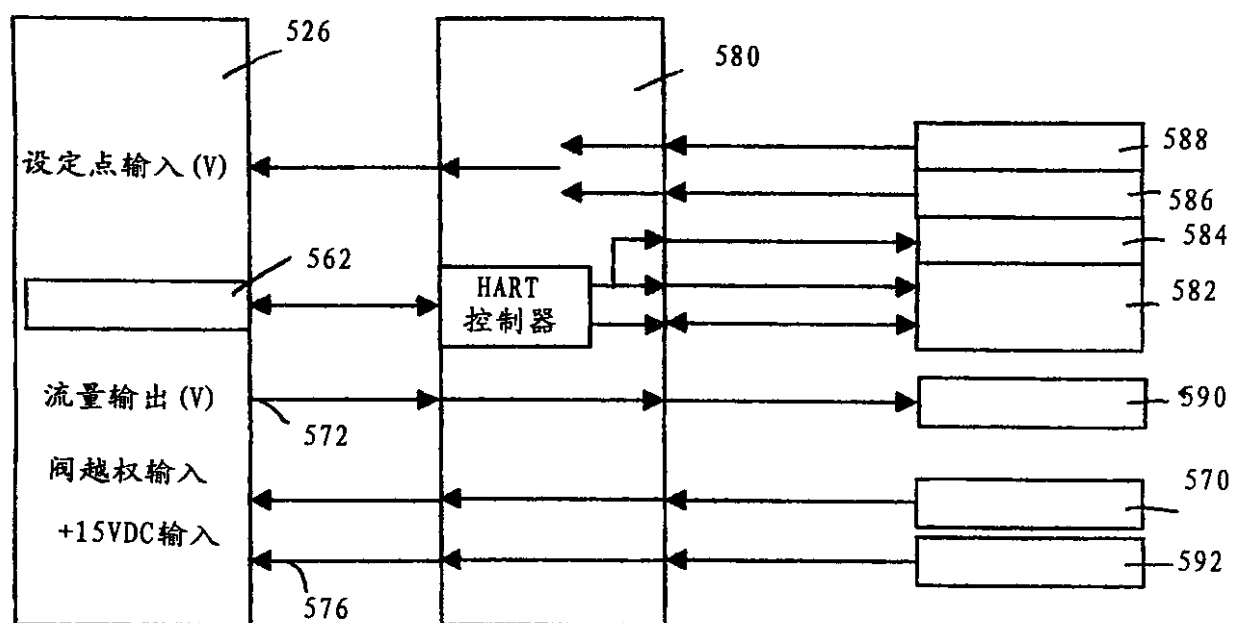


图 23

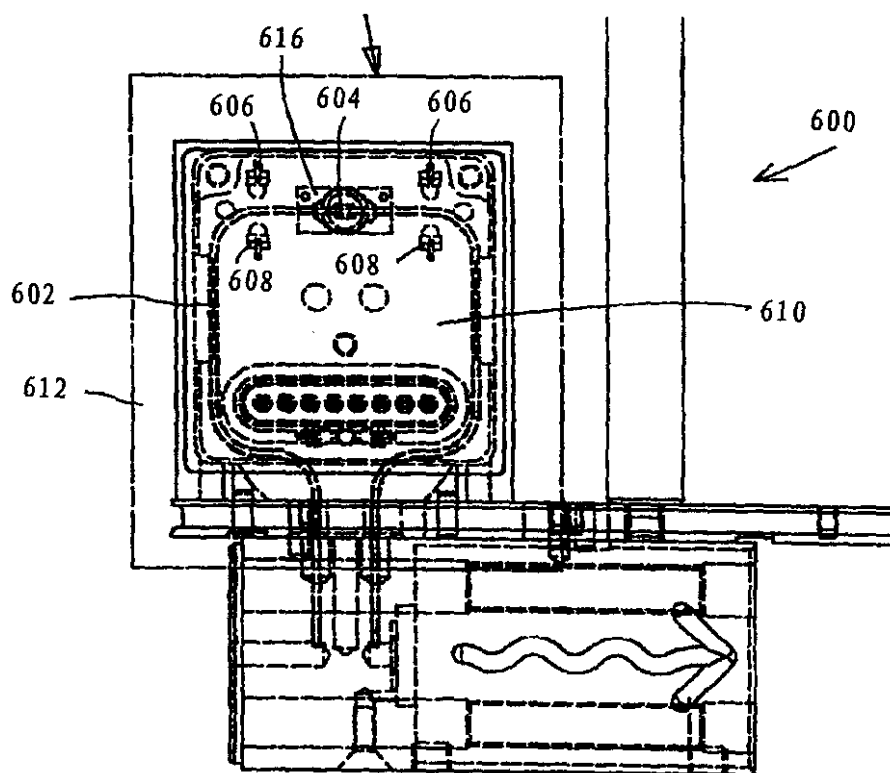


图 24A

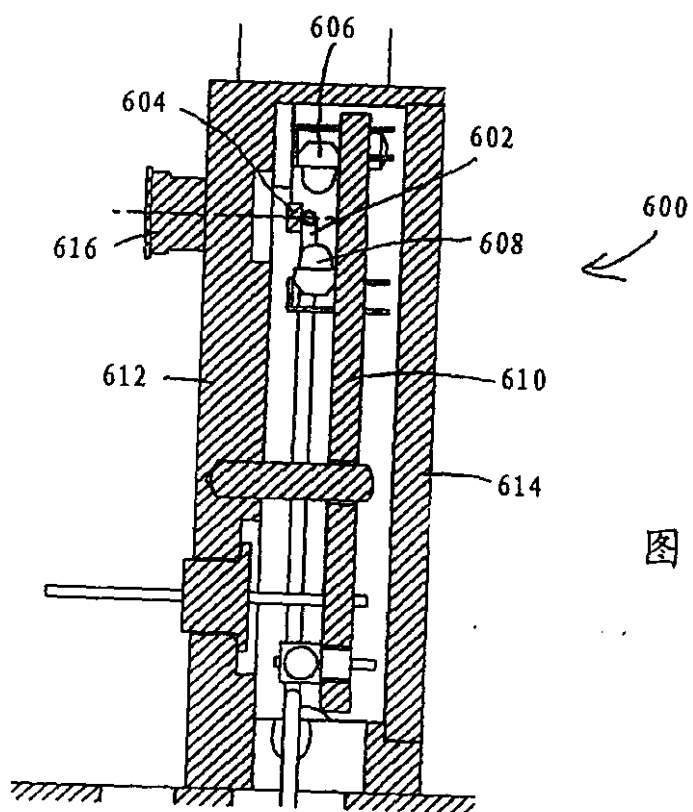


图 24B

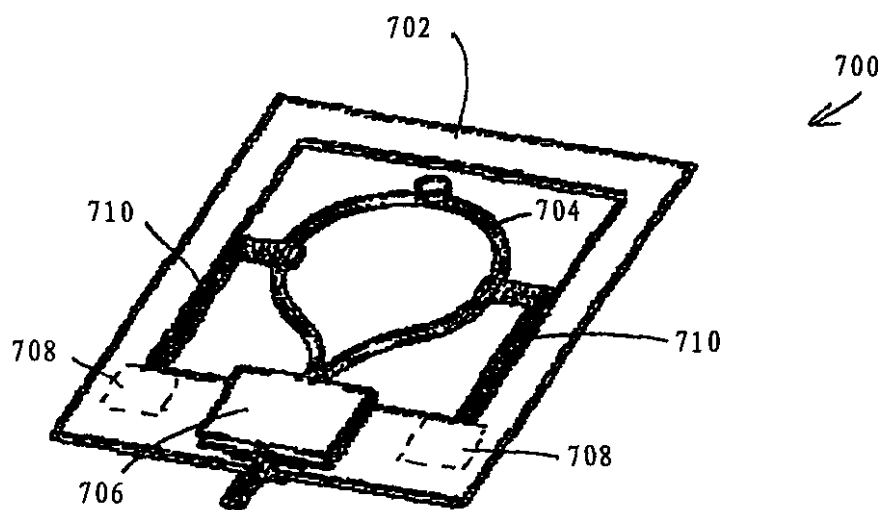


图 25

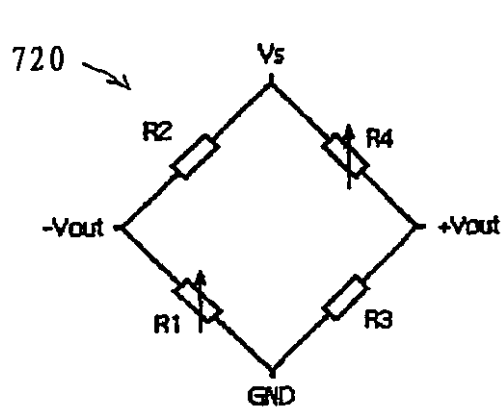


图 26A

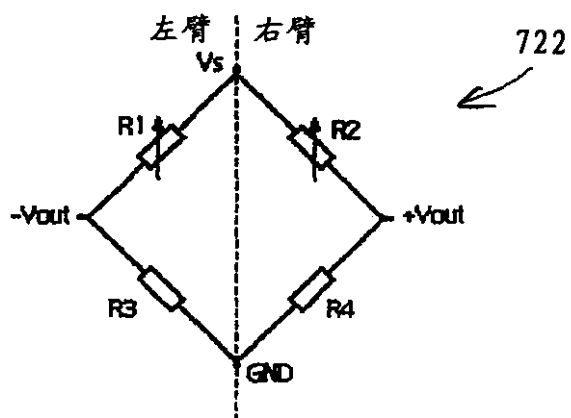


图 26B

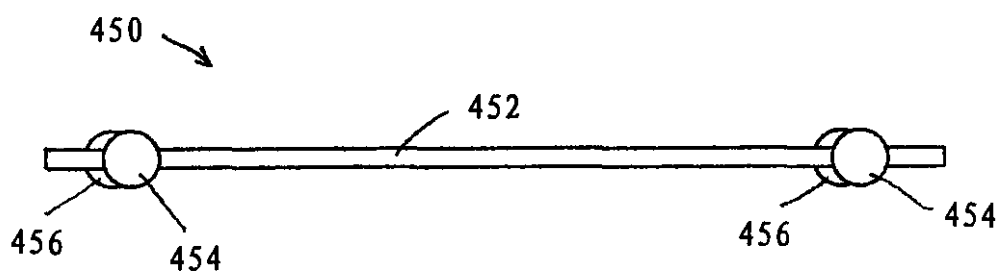


图 27

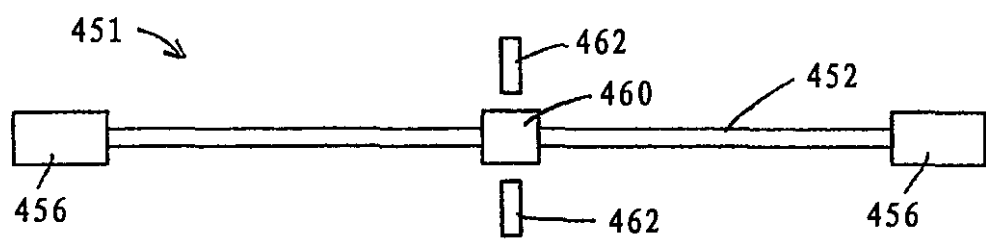


图 28

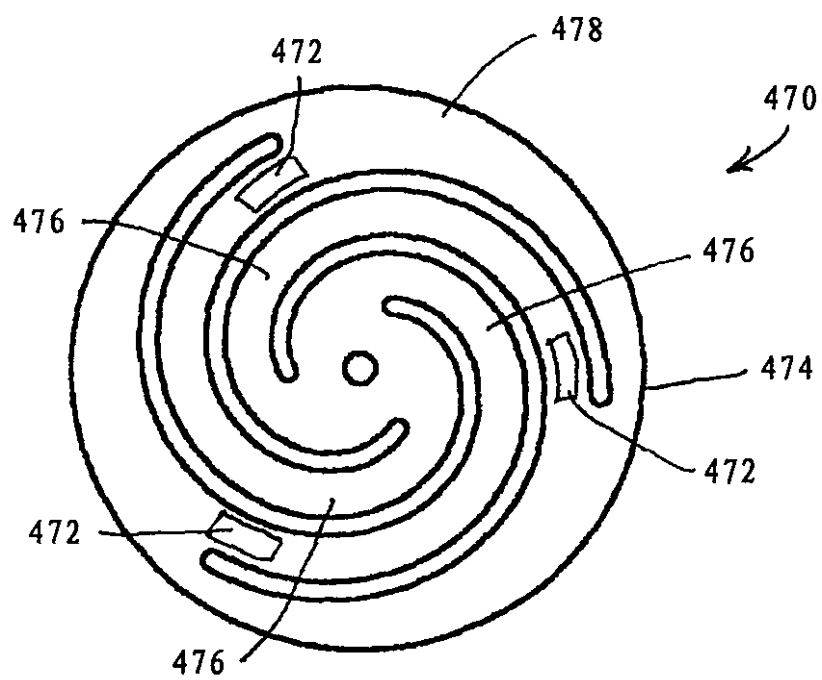


图 29A

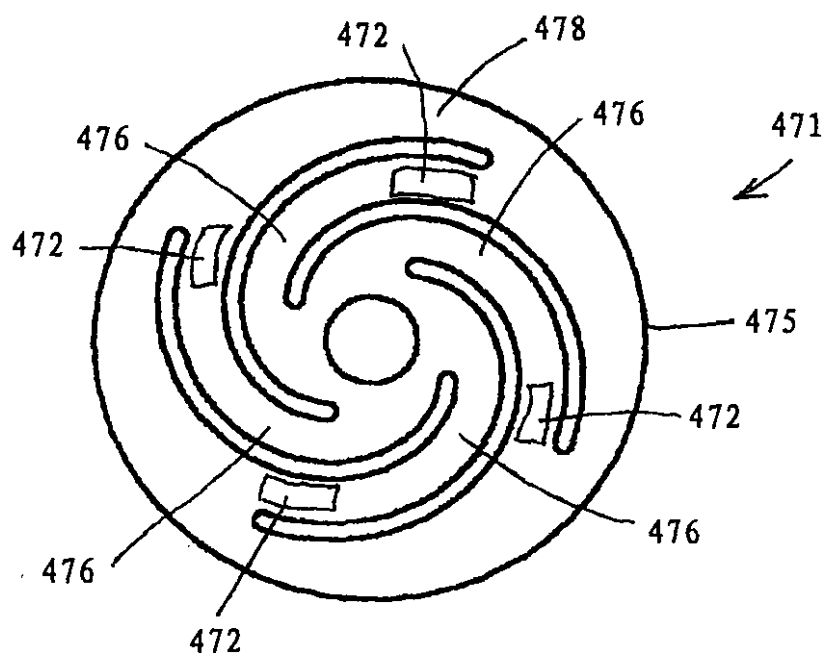


图 29B

ABSTRACT

A Coriolis mass flow sensor includes a flow tube, a light source positioned adjacent a first side of the flow tube and a light detector positioned adjacent a second side of the flow tube. A drive device is operatively situated relative to the flow tube for vibrating the flow tube, such that the flow tube moves through a path defined between the light source and the light detector. In other aspects of the invention, a Coriolis mass flow sensor includes a flow tube and a frame having the flow tube mounted thereon. A drive device is operatively situated relative to the frame for vibrating the frame and at least one pick off sensor is situated relative to the flow tube so as to measure the twist in the flow tube due to Coriolis force. Other aspects of the invention concern a straight-tube Coriolis mass flow sensor. A flexible flow tube defines a generally linear flow path. A drive device is positioned to actuate the flow tube, and first and second pick off sensors are positioned at the first and second ends of the flow tube, respectively. The first and second pick off sensors output a signal in response to movement of the flow tube, wherein a Coriolis force established by a flow of material through the flow tube causes a phase shift between the signals output by the first and second pick off sensors.

Title: Coriolis mass flow controller