



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101952193 B

(45) 授权公告日 2014. 01. 22

(21) 申请号 200980104802. 4

(22) 申请日 2009. 02. 11

(30) 优先权数据

61/065353 2008. 02. 11 US

61/131307 2008. 06. 06 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 08. 11

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/033805 2009. 02. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/102796 EN 2009. 08. 20

(73) 专利权人 集成感应系统公司

地址 美国密执安州

(72) 发明人 D·R·斯帕克斯 M·W·普蒂

N·纳贾菲 R·T·史密斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 原绍辉

(51) Int. Cl.

B81B 1/00(2006. 01)

B81B 7/00(2006. 01)

F15C 1/04(2006. 01)

G01N 27/00(2006. 01)

H01L 21/44(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0151335 A1, 2007. 07. 05,

CN 1185468 C, 2005. 01. 19,

WO 2007/147786 A1, 2007. 12. 27,

US 2006/0169038 A1, 2006. 08. 03,

US 4803867 , 1989. 02. 14,

审查员 李雪春

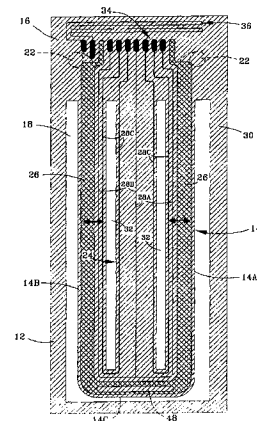
权利要求书4页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

微流体装置和操作及制造其的方法

(57) 摘要

一种微机电系统 MEMS 装置和用于操作该装置以确定流体的至少一个特性的方法。该装置包括位于基底上的基部和从该基部延伸并与基底的表面分隔开的管结构。管结构包括：至少一个管部分，更优选地，基本位于一个平面上的至少一对平行的管部分；被限定为至少部分地在所述平行的管部分内的至少一个连续的内部通路；和被流体连接到所述基部的内部通路的入口和出口。驱动元件可操作，以在管结构的平面中引起该管结构的振动运动，并且在管部分中引起共振的振动运动。感测元件在管结构被采用驱动元件振动时对管部分的偏斜进行感测。



1. 一种 MEMS 装置 (10), 用于确定流体的至少一个特性, 所述装置 (10) 包括:
基底 (12);
位于所述基底 (12) 上的第一基部 (16, 16A);

从所述第一基部 (16, 16A) 延伸并且与所述基底 (12) 的表面 (18) 分隔开的管结构 (14), 所述管结构 (14) 包括相对于所述第一基部 (16, 16A) 的远端部分 (14C), 所述远端部分 (14C) 被锚接到所述基底 (12) 上的第二基部 (16B), 使得所述管结构 (14) 被支撑在所述管结构 (14) 的相对设置的端部处并离开所述基底 (12), 所述管结构 (14) 包括: 基本位于一个平面上的至少一对几何上平行的管部分 (14A, 14B), 被限定为至少部分地位于所述平行的管部分 (14A, 14B) 内的至少一个连续的内部通路 (20, 20A-B), 以及所述内部通路 (20, 20A-B) 的入口和出口 (22), 所述入口和出口 (22) 中的至少一个流体连接到所述第一基部 (16, 16A), 所述管结构 (14) 被配置为在所述管结构 (14) 的所述平面中进行振动运动;

至少一个驱动元件 (26, 48), 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 与所述管结构 (14) 接近, 并且可操作以引起所述管结构 (14) 在所述管结构 (14) 的所述平面内的振动运动, 并且在所述管部分 (14A, 14B) 中引起共振的振动运动; 和

至少一个感测元件 (28A-C), 所述至少一个感测元件 (28A-C) 与所述管结构 (14) 接近, 并且适于当所述管结构 (14) 被采用所述至少一个驱动元件 (26, 48) 振动时, 感测各个所述管部分 (14A, 14B) 的偏斜。

2. 如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述管结构 (14) 被配置为使得所述管结构 (14) 的所述振动运动平行于所述基底 (12) 的所述表面 (18)。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述管部分 (14A, 14B) 的所述共振的振动运动在所述管结构 (14) 的所述平面内, 并且彼此为约 180 度异相。

4. 如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述管结构 (14) 被包围在封装 (42) 中。

5. 如权利要求 4 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述封装 (42) 被气密性地密封。

6. 如权利要求 5 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述封装 (42) 被排空。

7. 如权利要求 4 至 6 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 被磁性地或电磁性地联接到位于所述封装 (42) 外部的磁场源 (38)。

8. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述管结构 (14) 包括从由硅、掺杂硅、金刚石、金属材料 and 电介质材料所组成的组中选择材料。

9. 如权利要求 1 至 2 任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 被静电地联接到所述平行的管部分 (14A, 14B), 用于引起所述管结构 (14) 的所述振动运动。

10. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 包括由压电材料形成的压电元件, 用于引起所述管结构 (14) 的所述振动运动。

11. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个感测元件 (28) 包括由压电材料形成的压电元件, 用于感测所述管结构 (14) 的所述振动运动。

12. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 被物理地附接到所述平行的管部分 (14A, 14B), 并且被电磁性地联接到磁

场源 (38), 用于引起所述管结构 (14) 的所述振动运动。

13. 如权利要求 12 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 选自由导电布线 (26)、电路上的导电布线、和磁性膜 (48) 组成的组, 并且所述磁场源 (38) 选自由永磁体和电磁体组成的组中。

14. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 和所述至少一个感测元件 (28A-C) 中的至少一个监测流动通过所述管结构 (14) 的流体的温度。

15. 如权利要求 1 至 2 中任一项所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 进一步包括位于所述管结构 (14) 上用于监测流动通过所述管结构 (14) 的流体的温度的温度感测元件 (36)。

16. 如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述平行的管部分 (14A, 14B) 彼此在流体上是并联的, 所述入口 (22) 位于所述第一基部 (16A), 所述出口 (22) 位于所述第二基部 (16B), 所述平行的管部分 (14A, 14B) 中的每一个具有第一端被流体连接到位于所述第一基部 (16A) 的所述入口 (22), 并且所述平行的管部分 (14A, 14B) 中的每一个具有第二端, 与第一端相对设置且被流体连接到位于所述第二基部 (16B) 的所述出口 (22)。

17. 如权利要求 16 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 和所述至少一个感测元件 (28A-C) 中的至少一个设置在位于所述平行的管部分 (14A, 14B) 之间的平台 (24) 上。

18. 如权利要求 16 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 设置在位于所述平行的管部分 (14A, 14B) 之间的平台 (24) 上。

19. 如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述平行的管部分 (14A, 14B) 在流体上彼此串联, 以限定所述连续的内部通路 (20, 20A-B), 所述入口和出口 (22) 位于所述第一基部 (16A), 所述平行的管部分 (14A, 14B) 中的第一管部分 (14A) 具有被流体连接到位于所述第一基部 (16A) 的所述入口 (22) 的第一端以及与第一端相对设置且被流体连接到在第二基部 (16B) 处的所述平行的管部分 (14A, 14B) 的第二管部分 (14B) 的第二端, 在第二基部 (16B) 处的所述平行的管部分 (14A, 14B) 的所述第二管部分 (14B) 具有被流体连接到位于所述第一基部 (16A) 的所述出口 (22) 的第一端以及与第一端相对设置且流体地连接到在第二基部 (16B) 处的所述平行的管部分 (14A, 14B) 的所述第一管部分 (14A) 的第二端。

20. 如权利要求 19 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个感测元件 (28A-C) 中的至少一部分设置在所述平行的管部分 (14A, 14B) 上。

21. 如权利要求 19 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个感测元件 (28A-C) 中的至少一部分设置在围绕所述管结构 (14) 的框架 (30) 上。

22. 如权利要求 19 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 被物理地附接到所述平行的管部分 (14A, 14B) 并且被电磁性地联接到磁场源 (38)。

23. 如权利要求 19 所述的 MEMS 装置 (10), 其特征在于, 所述平行的管部分 (14A, 14B) 被位于它们之间的单个间隙 (32A) 彼此分隔开。

24. 一种 MEMS 装置 (10), 用于确定流体的至少一个特性, 所述装置 (10) 包括:
基底 (12);

位于所述基底 (12) 上的基部 (16), 所述基部 (16) 包括由所述基底 (12) 的表面 (18)

分开的第一和第二部分 (16A, 16B) ;

与所述基部 (16A) 的所述第一和第二部分 (16A, 16B) 互连并且与所述基底 (12) 的所述表面 (18) 分隔开的管结构 (14), 所述管结构 (14) 包括: 单个管部分 (14A), 被限定为至少部分地位于所述单个管部分 (14A) 内的单个连续的内部通路 (20), 和分别与所述基部 (16) 的所述第一和第二部分 (16A, 16B) 流体连接的所述内部通路 (20) 的入口和出口 (22), 所述管结构 (14) 被配置为用于在与所述基底 (12) 的所述表面 (18) 平行的平面中进行振动运动;

位于所述单个管部分 (14A) 上和所述基底 (12) 上的至少一个驱动元件 (26, 48), 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 可操作以引起所述管结构 (14) 在所述管结构 (14) 的所述平面内的振动运动, 并且在所述单个管部分 (14A) 中引起共振的振动运动; 和

位于所述单个管部分 (14A) 上的至少一个感测元件 (28), 所述至少一个感测元件 (28) 适于当所述管结构 (14) 被采用所述至少一个驱动元件 (26, 48) 振动时感测所述单个管部分 (14A) 的偏斜。

25. 一种操作如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10) 以感测流体的至少一个特性的方法, 所述方法包括:

操作所述至少一个驱动元件 (26, 48), 以便当所述流体流动通过所述管结构 (14) 内的所述内部通路 (20, 20A-B) 时引起所述管结构 (14) 的振动运动, 使得所述管结构 (14) 的振动运动平行于所述管结构 (14) 的所述平面, 并且所述管部分 (14A, 14B) 以彼此大约 180 度异相来进行共振;

操作所述至少一个感测元件 (28A-C), 以感测所述管部分 (14A, 14B) 的偏斜;

产生对应于所述感测到的偏斜的输出; 和

从所述输出确定所述流体的所述至少一个特性。

26. 如权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 静电地、磁性地、电磁地、压阻地、压电地、热地或者光学地引起所述管结构 (14) 的振动运动和所述管部分 (14A, 14B) 的共振的振动运动。

27. 如权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个驱动元件 (26, 48) 包括位于所述管结构 (14) 上的磁性膜 (48), 并且被电磁地联接到磁场源 (38)。

28. 如权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个感测元件 (28A-C) 静电地、磁性地、电磁地、压阻地、热地或者光学地感测所述管结构 (14) 的共振的振动运动和所述管部分 (14A, 14B) 的共振的振动运动。

29. 如权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述流体的所述至少一个特性选自自由流体的质量流率、密度、比重、体积流率、化学浓度、粘度和润滑性组成的组。

30. 一种制造如权利要求 1 所述的 MEMS 装置 (10) 的方法, 所述方法包括:

在所述管结构 (14) 中形成内部通路 (20, 20A-B); 然后

通过在所述管结构 (14) 上的掩模 (56) 中的开口 (54), 蚀刻所述管结构 (14), 从而形成所述管结构 (14) 的所述入口和出口 (22)。

31. 如权利要求 30 所述的方法, 其特征在于, 所述掩模 (56) 为氧化层。

32. 如权利要求 30 所述的方法, 其特征在于, 所述掩模 (56) 为电介质材料, 所述方法进一步包括步骤: 在所述管结构 (14) 上形成掩模 (56), 然后在所述掩模 (56) 的一部分 (46)

上形成所述至少一个驱动元件 (26, 48) 和所述至少一个感测元件 (28A-C), 以便与所述管结构 (14) 电绝缘。

微流体装置和操作及制造其的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2008 年 2 月 11 日递交的美国临时申请 61/065,353 和 2008 年 6 月 6 日递交的美国临时申请 61/131,307 的权益。将这些申请的内容通过引用结合于本文中。

背景技术

[0003] 本发明大体上涉及用于测量流体特性的装置和方法。更具体地,本发明涉及一种微流体装置,其配备有共振结构、位于共振结构中供流体流动通过的微通道,以及用于在流体流动通过微通道时确定流体特性的机构。通过将共振结构配置成使由于共振结构的机械能被耗散到支撑基底上而导致的机械损失最小化,从而提高了该装置的性能。

[0004] 能够进行精确测量的流体输送装置使用在各种工业中,非限制性的示例包括诸如药物注入和麻醉这样的医疗系统、包括燃料输送系统和诸如直接甲醇燃料电池 (DMFC) 这样的燃料电池的能量和燃料系统、以及生活消费品。已经提出了各种类型的流率和浓度传感器,包括电解质型、折射计型、超声波、电化学、电磁、以及机电传感器。后者的示例是公开在 Tadigadapa 等的共同转让的美国专利 6,477,901 中的科里奥利微流体装置,将其中涉及到科里奥利传感器的制造和操作的内容通过引用结合于本文中。

[0005] 由 Tadigadapa 等公开的这种类型的科里奥利微流体装置包括被支撑在基底上方具有独立部分的微机械加工的管。驱动和感测电极都位于该管的独立部分之下的基底表面上。例如,驱动电极能够被电容性地联接到管的独立部分,用于以共振或接近共振来电容性地(静电地)驱动该独立部分,同时感测电极感测(例如,电容性地、光学地等)该共振的管相对于基底的偏斜并提供反馈,以便使由驱动电极导致的振动频率能够被合适的电路控制。在使用时,当流体流动通过管内的内部通路时,通过驱动电极以共振或接近共振来振动该独立部分,以便使用科里奥利力的原理来确定流体的某些特性,例如流率和密度。特别地,当通过驱动电极以共振或接近共振来驱动该独立部分时,感测电极感测该独立部分围绕其对称轴线的扭转运动,该扭转运动称为科里奥利效应。在振动周期期间作为科里奥利效应结果的独立部分的扭转(偏斜)程度能够与流体流动通过管的质量流率相关联,而流体的密度则与共振的振动频率成比例。

[0006] 科里奥利微流体装置的显著优点包括将这些装置小型化到了使用半导体技术也能够制造的大小。如 Tadigadapa 等所教导的那样,通过例如体蚀刻和表面薄膜蚀刻的这样的微机械加工技术,装置的结构化部件能够与电子部件组合在单个芯片上,以生产出能够精确地分析极少量流体的微机电系统(MEMS)。当被适当地小型化时,科里奥利微流体装置能够由压顶晶片包围以便允许真空封装,该真空封装通过减少空气阻尼效应进一步改进了装置的性能。

[0007] Tadigadapa 等公开的微流体装置能够广泛用于各种应用中,这从下面的文献便可以明显看出:共同转让的美国专利 6637257、6647778、6932114、7059176、7228735、7263882、7354429 和 7437912,以及美国公开专利申请 2004/0171983、2005/0126304、2005/0284815、2005/0235759、2006/0211981、2007/0151335、2007/0157739、2008/0154535,以及美国待

决专利申请 12/031839、12/031860、12/106642 和 12/143942。作为具体示例,美国专利 7263882 教导:通过在流体样本流动通过基于 MEMS 的科里奥利微流体装置的共振管中的微通道时感测流体密度的变化,能够测量化学浓度,包括燃料电池溶液的化学浓度,而美国公开专利申请 2007/0157739 教导了检测潜在测量误差的能力,该潜在测量误差归因于通过基于 MEMS 的科里奥利微流体装置的共振管进行评估的流体中的第二相(例如,气泡)。

[0008] 尽管呈现出对流体的质量流率、密度和各种其它特性具有非常高的灵敏性,但 Tadigadapa 等教导的这种类型的基于 MEMS 的科里奥利微流体装置具有由于将共振管附接到基底上所导致的机械损失。特别是,作为锚接(附接)到 MEMS 基底的管的基底由于管的移位而被施加应力的结果所导致的夹紧损失。振动能量的一部分通过波传播到 MEMS 基底中,从而从管上损失掉。在只考虑一部分振动能量时,夹紧损失足以使得为实现最佳性能需要相对较大的封装质量以便耗散掉机械能的损失,并且将共振管与外部机械应力和振动隔离开。同样,还期望对基于 MEMS 的科里奥利微流体装置的灵敏性进行进一步改进,以完全实现这些装置的能力。

发明内容

[0009] 本发明提供了一种微机电系统(MEMS)装置和用于操作该装置以确定流体的至少一个特性的方法。本发明还提供了这样的能力,即:通过使由于共振管与基底之间的附接所导致的夹紧损失最小化,从而能够改进装置的性能。

[0010] 根据本发明的第一方面, MEMS 装置包括位于基底上的第一基部和从第一基部延伸并且与基底表面分隔开的管结构。该管结构包括:至少一个管部分,更优选地是基本位于一个平面上的至少一对平行的管部分;被限定为至少部分地位于平行的管部分内的至少一个连续的内部通路;和与第一基部流体连接的内部通路的入口和出口。该管结构被配置为用于在该管结构的平面中进行振动运动。至少一个驱动元件与该管结构接近,并且可操作以引起该管结构在其平面内进行振动运动,并且在管部分中引起共振的振动运动。至少一个感测元件与管结构接近,并且适于当管结构被采用驱动元件加以振动时,感测各个管部分的偏斜。

[0011] 根据本发明的第二方面,一种操作所述装置的方法,该方法包括:操作驱动元件,以便当流体流动通过管结构内的内部通路时引起管结构的振动运动,从而使得管结构的振动运动平行于管结构的平面,并且管部分以彼此约 180 度的异相进行共振。感测元件被操作以感测管部分的偏斜,并且产生对应于感测到的偏斜的输出,从该输出能够确定流体的至少一个特性。

[0012] 根据本发明的优选方面,平行的管的振动运动优选彼此约 180 度异相,以使必须被耗散到基底的机械(夹紧)损失最小化。发明的该方面可被用于提高 MEMS 装置的灵敏性,和/或允许使用比传统的 MEMS 装置便宜的封装工艺和材料。根据本发明的另一优选方面,平行的管优选通过磁力被驱动,但通过压电、压阻、静电、热、光学和其它驱动技术驱动也在本发明的范围内。在共振结构中的振动中使用磁感应,使得共振结构与其驱动和感测结构之间能够具有较大的间隙,因此减小了通常在 MEMS 科里奥利微流体传感器的真空封装中所必须的压膜阻尼。

[0013] 从下面的详细说明将能更好地认识到本发明的其它目的和优点。

附图说明

[0014] 图 1 为根据本发明第一实施例的具有微机械加工结构的微流体装置的平面视图, 其包括桥架在空腔上的一对平行的管部分和位于管部分之间用于静电地振动该管部分的驱动结构。

[0015] 图 2 为图 1 的微流体装置的剖视图。

[0016] 图 3 为根据本发明第四实施例的具有微机械加工的悬臂结构的微流体装置的平面视图, 其包括 U 形管结构和被管结构围绕和附接到该管结构的感测结构, 其中管结构适于被磁性地或电磁性地振动, 感测结构适于感测管结构的振动。

[0017] 图 4 为图 3 的微流体装置的剖视图。

[0018] 图 5 为图 3 和图 4 的微流体装置被包围在配置成磁性地或电磁性地振动平行的管部分的壳体中的剖视图。

[0019] 图 6 为根据本发明第五实施例的具有微机械加工的桥结构的微流体装置的平面视图, 其包括桥架在空腔上的一对平行的管部分, 其中管部分适于被电磁性地振动, 感测元件位于管部分上且围绕管部分, 以感测管部分的振动。

[0020] 图 7 为图 6 的微流体装置的剖视图。

[0021] 图 8 为根据本发明第七实施例的具有微机械加工结构的微流体装置的平面视图, 其包括桥架在空腔上且适于被电磁性地振动的单个管部分。

[0022] 图 9 为通过图 1 至图 8 中的管部分中的一个的流体入口 / 出口的细节剖视图。

具体实施方式

[0023] 图 1 至图 9 图示了结构和操作都与 Tadigadapa 等公开的 MEMS 微流体装置类似的 MEMS 微流体装置 10, 但 MEMS 微流体装置 10 被修改以具有改进的操作特性。在图 1 至图 9 中, 使用同样的附图标记指代功能等同的结构。每个装置 10 被示出为制造在基底 12 上, 基底 12 可以是晶片级别的部件或者是附接有装置 10 的微机械加工部件的封装的一部分。根据装置 10 的应用、构造和封装, 基底 12 可由硅、掺杂硅或其它半导体材料、石英、玻璃、陶瓷、金属、复合材料或能被微机械加工的其它材料形成。管结构 14 由结合在基底 12 上的至少一个基部 16 支撑, 使得管结构 14 被支撑在基底 12 的表面 18 的上方。管结构 14 及其基部 16 能够由各种材料形成, 包括但不限于硅、掺杂硅和其它半导体材料、金刚石、金属 (例如钨、铜、铝、铂、钛、钽和其它常见的沉积膜材料)、包括玻璃和陶瓷 (例如碳化硅) 的电介质材料, 以及能被微机械加工的其它材料。根据装置 10 的具体构造, 管结构 14 之下的基底表面 18 可由基底 12 中的一个或多个凹陷或者其它任何方式限定, 以在管结构 14 和基底 12 之间限定间隙。

[0024] 图 1、图 3、图 6 和图 8 为装置 10 的平面视图, 其描绘了能够具有各种形状的管结构 14。图 1、图 3、图 6 和图 8 示出的实施例的共同点是具有管部分, 更优选的是至少一对平行的管部分 14A 和 14B, 以作为其管结构 14 的一部分。这些图中所示的装置 10 的管部分 14A 和 14B 优选位于与基底表面 18 基本平行的平面上, 管部分 14A 和 14B 悬在基底表面 18 的上方。图 1、图 6 和图 8 的管结构 14 桥架在基部 16 的两个部分 16A 和 16B 之间的基底表面 18 上, 但是图 3 中的管结构 14 悬臂式位于基底表面 12 的上方。每个管结构 14 限

定有流体（气体、液体或气-液混合体）能够流动通过的至少一个连续的内部通路。在图 1 中，平行的管部分 14A 和 14B 限定了一对平行的通路 20A 和 20B，通路 20A 和 20B 在流体上是并联的，而在图 3 和图 6 中，平行的管部分 14A 和 14B 限定了一对几何上平行的通路 20A 和 20B，其在流体上是串联的，以在管结构 14 中限定连续的内部通路 20。也可预见到用于管结构 14 和它们的内部通路 20、20A 和 20B 的其它更简单和更复杂的配置。

[0025] 在这些图中示出的实施例中，流体通过位于基部 16 中的一对端口 22 进入和离开管结构 14，端口 22 中的任何一个均可作为入口或者出口，用于使流体流动通过通路 20A 和 20B。与 Tadigadapa 等的教导一致，图 1 至图 8 的管结构 14 也旨在以管部分 14A 和 14B 的共振频率或接近其共振频率被振动，从而使用科里奥利力原理来确定流动通过管结构 14 的流体的质量流率和密度。然而，与 Tadigadapa 等的教导相反的是，这些图中示出的每个管结构 14 被配置成并且适于使管结构 14 的振动运动是在与其所在的平面平行且与基底表面 18 平行的方向上，而不是在与它们的平面和基底表面 18 垂直的方向上。此外，管部分 14A 和 14B 具有至少一个振动模式，在该模式中，它们的共振振动运动是在管结构 14 的平面中，且彼此大约 180 度异相。

[0026] 每个管结构 14 及其管部分 14A 和 14B 以及通路 20A 和 20B 的形状和尺寸可以选择，以提供用于装置 10 进行评估的流体所需的足够的流动容积，以及合适的振动参数。管结构 14、基部 16 和内部通路 20、20A 和 20B 优选通过微机械加工形成，该微机械加工是已知的，在本文用来指通过体蚀刻基底（例如硅晶片）或通过表面薄膜蚀刻形成非常小的元件的技术，表面薄膜蚀刻通常涉及到在基底表面上的牺牲层（例如氧化层）上沉积薄膜（例如多晶硅或金属），然后选择性地移除牺牲层的一些部分以去除沉积的薄膜。管结构 14 和基部 16 能够整个由沉积或结合在基底上的被选材料层制造，或者通过蚀刻基底 12 被部分地制造。因为采用微机械加工技术制造管结构 14，所以管结构 14 及其内部通路 20、20A 和 20B 的尺寸可以非常小，例如，管长度为约 0.5mm 或更小，通路宽度为十微米至一千微米，使用更小或更大的管和通路也在本发明范围内。

[0027] 使用微机械加工技术制造本发明的装置 10 的特别合适的工艺被公开在共同转让给 Tadigadapa 等的美国专利 6,477,901、共同转让给 Sparks 的美国专利 6,647,778、以及共同转让给 Sparks 等的美国专利 7,381,628 中，将这些文献中与微机械加工工艺相关的公开内容通过引用结合于本文中。在本发明范围内的还包括：通过电镀、无电镀、溅射和蒸发金属而产生的管结构 14，以及使用电介质层和牺牲层形成管结构 14 的内部通路 20、20A 和 20C。电介质层能够保留在管结构 14 上，以便为构建在管结构 14 上的后续层提供电绝缘，如下面更详细描述的那样，其将作为致动管结构 14 和感测管结构 14 的振动的机构。最后，本发明的范围还包括构造金属、玻璃、聚合物或陶瓷材料的管结构 14，将金属线、布线（runner）、电路迹线附接到管结构 14 上以作为致动和 / 或感测机构。例如，由金属材料形成的管结构 14 的振动可以由结合在管结构 14 上的柔性电路来感应。

[0028] 由于其小型化的尺寸，图 1 至图 9 中所示的微机械加工的管部分 14A 和 14B 能被用于非常精确地确定流动通过管结构 14 的流体的质量流率和密度。这样，装置 10 适于广泛使用在精度和准确度非常重要的各种应用中，例如化学浓度的应用，包括但不限于药物注入系统、燃料输送系统、燃料电池系统、以及药物和化学品的混合系统。科里奥利力原理还能够用于确定流动通过管结构 14 的流体的粘度、润滑性和其它特性。

[0029] 具体参见图 1 和图 2,其示出了装置 10 的实施例,其中管结构 14 被配置为使得管部分 14A 和 14B 各自在基部 16 的两个部分 16A 和 16B 之间平行地桥架在基底表面 18 上,且具有基本线性和平直的形状。在管结构 14 向上行进的半个振动周期中,每个管部分 14A 和 14B 在流体行进通过它们时具有向上的动量,进入管结构 14 的流体通过向下推动位于作为流体入口的端口 22 附近的管部分 14A 和 14B 来抵抗管结构 14 的竖直向上的运动,而离开管结构 14 的流体通过向上推动位于作为流体出口的端口 22 附近的管部分 14A 和 14B 来抵抗使其向上的竖直运动(从管结构 14 获得的)减小。这些的合力导致入口端口 22 附近的管部分 14A 和 14B 的偏斜延迟在出口端口 22 附近的管部分 14A 和 14B 的偏斜之后。振动周期期间的该延迟是科里奥利效应的结果,并且能够与流过管结构 14 的流体的质量流率相关联,而流体的密度则与共振时的振动频率成比例。

[0030] 虽然对于 MEMS 装置 10 所使用的操作和感测技术而言是必须的,但是管结构 14 的扭转运动向管结构 14 和基部 16 之间的附接件施加机械应力,从而导致了夹紧损失,该夹紧损失必须被耗散到基底 12 以及将装置 10 包围在其中的任何额外的封装。本发明期望的一个方面是,通过使管部分 14A 和 14B 如图 1 和图 2 中由箭头所示那样在管结构 14 所在的相同平面上振动,从而减少这些损失。通过配置管结构 14,使得管部分 14A 和 14B 彼此以大约 180 度异相来进行振动,从而使耗散到基底 12 的机械损失被最小化。随着管部分 14A 和 14B 的质量变得更接近,能提高使机械损失最小化的能力,因此可以确信当管部分 14A 和 14B 的质量接近相等时,能得到最优的结果。管部分 14A 和 14B 的共振频率受它们的机械设计(形状、尺寸、质量、构造和材料)的影响,这能够针对具体的应用通过使用例如已知的有限元建模而被优化。对于很多应用而言,合适的共振频率将通常在约 1kHz 至约 150kHz 的范围内。

[0031] 管部分 14A 和 14B 的相关的振动幅度也将由它们的机械设计确定,而振幅总体上能够通过用于使管结构 14 振动的机构来调节。为此目的,图 1 和图 2 示出形成为位于基底 12 上并且处于管结构 14 的管部分 14A 和 14B 之间的平台 24 的一部分的驱动元件 26。驱动元件 26 可由任何适合的材料形成,例如掺杂硅或金属。如果管结构 14 也由诸如掺杂硅或金属这样的导电材料形成,则其能够被电容性地与驱动元件 26 联接,使元件 26 能够静电地驱动管结构 14。然而,可预见的是,管结构 14 可以由非导电材料形成,并且分离的电极形成在管结构 14 上且面对元件 26,用于静电地振动管结构 14。因为彼此接近能改善静电联接,因此管部分 14A 和 14B 之间的间隙 32 优选大约在约 1 微米至约 5 微米的量级,但更小或更大的间隙也是可以预见的。为了实现均匀的窄间隙 32,管结构 14 和平台 24 优选通过反应离子蚀刻(RIE)或等离子蚀刻限定,但也可预见湿式蚀刻和其它技术也可用于限定管结构 14 的壁和平台 24。如参照本发明其它实施例讨论的那样,采用对图 1 和图 2 的管结构 14 进行驱动的其他技术,包括磁的、压电的、压阻的、热的和光学技术,更大的间隙宽度将变得实用。

[0032] 附图进一步示出成对布置的感测元件 28A、28B 和 28C,以感测管结构 14 相对于基底 12 的偏斜,并且向驱动元件 26 提供反馈,从而使得通过任何适合的片上或远程微处理器或微控制器(未示出)来控制振动频率。感测元件 28A-C 能够电容性地、静电地、磁性、电磁性地、压电地、压阻地、热地、光学地感测相邻管部分 14A 和 14B 的接近或运动,或者以任何其它能够感测管结构 14 的接近和运动适合的方式来感测相邻的管部分 14A 或 14B 的

接近或运动。作为科里奥利效应的结果,沿每个管部分 14A 和 14B 长度的偏斜优选由感测元件 28A 检测,而振动频率优选由感测元件 28B 检测。尽管感测元件 28A 和 28B 被示出为通过平行于管结构 14 的振动方向的侧向间隙与管结构 14 分开,但感测元件 28A 和 28B 可以放置在管结构 14 之下,与管结构的边缘紧密对准,以便在管结构 14 运动到元件 28A 和 28B 上并随后远离元件 28A 和 28B 时感测侧向运动。剩下的感测元件 28C 被示出为位于平台 24 上,并且可被用作附加感测电极或用作平衡电极,以补偿由于在管结构 14 上的工艺处理差异、与封装相关的应力和老化效应导致的会引起输出误差和漂移的误差。驱动元件 26 和感测元件 28A-C 的输入和输出信号可以通过沿着基底 12 边缘的接合焊盘(未示出)实现,并且通过本领域中所熟知的适当的信号调节电路传输到微控制器。

[0033] 如之前所述,本发明的优选方面是通过使管部分 14A 和 14B 在大致相同的平面上(管结构 14 的平面)彼此以约 180 度异相来振动,从而减少机械损失。减少的机械损失使得本发明有可能使装置 10 能够放置在有声音损失的材料(例如较便宜的塑料基底)上,和/或被封装在塑料封装中和/或被超模压(over molded),以降低产品成本。减少的机械损失还可能使传感器封装能够经受更大的机械应力,而不会对装置 10 的性能产生不利影响。

[0034] 如上面所述,因为管结构 14 悬挂在基底表面 12 的上方,因此图 3 和图 4 的管结构 14 与图 1 和图 2 的实施例存在部分不同。另外,管部分 14A 和 14B 几何上平行,但流体上串联,并且彼此相邻被锚接到基部 16。管结构 14 限定的连续的内部通路 20 被示出为具有 U 形配置,但其它形状也是可以的。如图 3 明显看到那样,平台 24 被物理地连接到管结构 14 的远端 14C。以此方式,感测元件 28A-B 和平衡元件 28C 可路由成围绕在处于平台 24 与管部分 14A 和 14B 之间的间隙 32 的周围,而驱动元件 26 则保留在管结构 14 上。可任选的框架 30 围绕悬臂管结构 14 和平台 24。框架 30 在制造期间改善装置芯片的搬运性,并且提供了能在其上形成金属迹线或布线的表面。与基部 16 结合,框架 30 还在制造和搬运期间向管结构 14 和平台 24 提供附加的保护。尽管没有框架 30 也是可能的,但由框架 30 提供的保护能够使管结构 14 不必悬在基底 12 之上。替代的是,基部 16 能够通过粘接、焊接或其它附接方法被附接到基底 12 上,而只需管结构 14 和框架 30(可任选)从基底 12 向外悬挂。这种整个悬臂的管结构 14(和框架 30)提供了这样的能力:改善了在宽的温度范围下的性能,并且防止或者至少显著减小由于装置 10 的各种材料具有不同的热膨胀系数而导致装置 10 挠曲的封装应力。

[0035] 根据图 3 和图 4 实施例的优选方面,尽管可以使用包括静电、压电、热、压阻、光学和其它致动技术的各种驱动技术,但管结构 14 优选被磁性地驱动。例如,图 3 示出作为管结构 14 的上表面上的金属迹线或布线(例如铝或其它适合的导电材料)的驱动元件 26,用于在使用定位在管结构 14 上方和/或下方的一个或多个磁场源 38(图 4)的情形中电磁性地振动管结构 14。如本领域所知的那样,这种类型的磁致动方案使用洛伦兹力。当电流在磁场下通过驱动元件 26 时,电流的每个运动的电荷都经受洛伦兹力。在图 3 的驱动元件 26 的直线段的情况下,洛伦兹力可按照下面计算:

$$[0036] \quad F = IL \times B$$

[0037] 其中 F 为力(单位为牛顿),I 是驱动元件 26 中的电流(单位为安培),B 为磁场矢量(单位为特斯拉), \times 为矢量叉积,L 为矢量,其量值为驱动元件 26 的长度(单位为米),其方向沿驱动元件 26 与传统的电流流动方向对准。

[0038] 感测元件 28A 和 28B 也被示出为是以放置在平台 24 上表面上的金属迹线或布线（例如铝或其它适合的导电材料）的形式，用于电磁性地感测管结构 14 的运动。感测元件 28A 和 28B 被示出为沿平台 24 的侧向边缘布置，接近管结构 14，用于与驱动元件 26 电磁联接。驱动元件 26 和感测元件 28A-C 被示出为连接到接合焊盘 34，接合焊盘 34 可与用于形成元件 26 和 28 的接合焊盘形成在同一个金属层上。根据图 1 和图 2 的实施例，替代性感测技术包括电容的、静电的、压电的、压阻的、热的、光学的方法和它能够感测管结构 14 的接近或运动的合适方法。同样，图 3 和图 4 的电磁驱动和感测方案也可用于图 1 和图 2 的装置结构。

[0039] 通过使电流通过驱动元件 26，在管结构 14 中可引起振动。更具体地，在由一个或多个磁场源（电磁体）38 施加的正弦或交变磁场的影响下，在每个完整的振动周期内，促使管部分 14A 和 14B 远离彼此侧向向外运动，然后朝向彼此侧向向内运动。通过在驱动元件 26 沿垂直磁场的方向移动时检测驱动元件 26 上产生的电压，感测元件 28A-B 检测管结构 14 的振动。可使用环形磁极（未示出）来聚集管结构 14 上的磁场。根据管结构 14 的材料，驱动元件 26 可制造在管结构 14 的表面上的电介质层 46（例如二氧化硅）上，从而在它们之间提供电绝缘。

[0040] 应该注意到，如果采用非电磁的驱动和 / 或感测方案，例如静电的、压电的、热的、压阻的、光学的方案等，驱动和感测元件 26 和 28 可被配置为与图 3 和图 4 所示的不同，并且可由不同的材料形成。例如，在压电致动 / 感测方案中，诸如氮化铝、锆钛酸铅（PZT）、石英这样的压电材料或者其它压电材料可作为元件包括在如图 3 和图 4 中所示的用于驱动和感测元件 26 和 28 的导电布线中。之后，已知的逆压电效应可由一个或多个驱动元件 26 利用，以便响应于所施加的电场在管结构 14 中产生引起振动的交变的应力 / 应变，而一个或多个感测元件 28 可利用直接压电效应，以便在振动时响应管结构 14 的弯曲而产生电信号。

[0041] 使用图 1 至图 8 所示的装置 10 中任意一个装置实现的测量精度可通过监测流动通过管结构 14 的流体温度而得以改善。为此目的，图 3 中示出装置 10 配备有温度感测元件 36。感测元件 36 的适合的构造可使用与形成驱动元件 26 和感测元件 28 及其相关的接合焊盘 34 的金属层相同的金属层，或者使用与形成驱动元件 26 和感测元件 28 及接合焊盘 34 的金属层类型相同的一个或多个附加的金属层。例如，根据已知的实践，基于电阻的温度感测元件 36 可由金、铂、钯、铬、镍、铝、多晶硅或其它导电材料的薄膜金属层形成。并且，驱动元件 26 和感测元件 28 中的任何一个都可用作薄膜温度感测元件，代替图中所示的专用温度感测元件 36。通过温度感测元件 36，导致温度变化的管结构 14 的机械特性和管结构 14 中的流体的特性的变化能够通过信号调节电路补偿。尽管图 3 中示出温度感测元件 36 在靠近管结构 14 的基部 16 上，但可以预见的是，温度感测元件 36 可被制造在框架 30 上或者管结构 14 上（图 8 和图 9），以得到流体温度的更精确的读数。

[0042] 图 5 示出了图 3 和图 4 的装置 10 被盖 40 包围，从而形成感测封装 42。根据盖 40 的构造和材料，盖 40 的使用优选防尘和防止装置 10 及其部件的化学腐蚀，并且可允许真空封装，以减少管振动的空气阻尼。对于传感器封装而言，存在多种封装和晶片级的方法，包括真空封装装置。这些包括焊接或熔接的气密封装，和使用玻璃粉、焊料、共熔合金、粘接剂和阳极键合的晶片结合。盖 40 的一种适合材料的具体示例是硅，其具有允许使用硅 - 硅键合技术的优点，但可以预见的是可以使用各种其它材料，包括金属和玻璃材料，后者包括硼

硅酸盐玻璃（例如派热克斯 (Pyrex) 玻璃）。盖 40 可包围印刷电路板或 ASIC, 装置 10 的输出可通过丝焊 (wirebonded) 或其它方式电连接到印刷电路板或 ASIC 上。

[0043] 图 5 描绘了磁场源 38 的多种可能位置中的三个位置。为了与图 3 和图 4 的金属驱动元件 26 和感测元件 28A-B 结合使用, 磁场源 38 可为永磁体或磁芯组合。可替代地, 图 3 进一步描绘了放置在管结构 14 的上表面上的磁性材料薄膜 48, 用于与电磁体 38 结合使用, 产生交变的洛伦兹力, 以引起沿与结构 14 的平面平行的方向上的振动。用于膜 48 的合适的磁性材料包括铁磁材料和合金、铁、镍、钴、及它们的合金、铁硅合金、KOVAR[®] (可从卡朋特 (carpenter) 技术公司买到的镍钴铁合金)、低碳钢、导磁合金 (镍铁合金)、金属硅化物、铁硅铝合金、稀土磁性材料、铁素体和其它适合的磁体材料。可采用各种方法形成磁性膜 48, 包括阴影掩模、光刻术、掩模和蚀刻、喷射 (liftoff) 处理等。通过诸如蒸发、溅射、电镀及其组合的非限制性方法或者其它方法, 磁性膜 48 可被沉积。采用硅形成材料或其它适合的材料可提高磁性膜 48 的粘附。膜 48 可被退火和 / 或极化以改善其性能。可使用磁芯材料以进一步将磁场聚焦在磁性膜 48 上。例如, 由铁或其它类似材料制成的 C 形或 U 形磁芯可包括位于其路径上的永磁体和装置 10。

[0044] 适于用作磁场源 38 的电磁体可以是任何适合的类型, 包括杆类磁芯和 C 形铁素体或铁心电磁体。位于管结构 14 上方或下方的磁场源 38 通过产生与管结构 14 的振动平面基本垂直的磁场从而在结构 14 中引起侧向振动。可替代地或者另外地, 图 5 示出了位于管结构 14 的侧部的磁场源 38, 其大体上位于管结构 14 的平面中。磁场源 38 的该位置可改善装置 10 的相位分离, 用于流检测, 特别是当管结构 14 包括铁素体材料时。当为电磁体形式时, 磁场源 38 可形成锁相环电路的一部分, 以便在长时间和在温度变化的情况下将管结构 14 保持在其共振频率处。

[0045] 在期望传感器封装 42 中为真空的本发明某些实施例中, 盖 40 和基底 12 之间的结合是气密的, 导致外壳被排空, 从而使管结构 14 在没有阻尼的情况下以高的品质 (Q) 因数被有效驱动。在这种实施例中, 吸气材料 44 优选放置在外壳中, 以帮助减少和维持低的空腔压力。可预见到, 可通过为磁性膜 48 选择适合的材料来代替吸气材料 44 的角色, 从而不再需要形成吸气材料 44 的单独的金属沉积的步骤。作为气密地密封的封装的替代, 管结构 14 可被包围为通过使用泵在期望的时候进行抽吸以获得真空。

[0046] 应该注意到, 因为使用磁性致动方案来驱动管结构 14 允许在管结构 14 及其驱动元件 26 和感测元件 28A-B 之间具有较大的间隙 32, 所以压膜阻尼可被充分减小, 从而使装置 10 不需要真空封装。这样的优点在于, 通过使管部分 14A 和 14B 的侧壁变薄, 能够减小管结构 14 的质量, 从而增加装置 10 对密度或化学浓度测量的灵敏性。在限定管结构 14 的壁之后, 通过执行附加的各向同性蚀刻或各向异性蚀刻而使侧壁变薄。该步骤可以作为制造装置 10 的标准工艺中的一部分而被执行, 或者在装置 10 已经被测试以确定其共振频率之后交替进行。

[0047] 从上可见, 应该理解的是, 图 5 所示的气密性封装 42 对于图 1 和图 2 的装置 10 而言是适合的或需要的, 因为图 1 和图 2 的装置 10 的静电感测技术使得在管结构 14 与其驱动元件 26 和感测元件 28A-C 之间的较窄间隙 32 成为必要。此外, 尽管真空封装不是必需的, 但通常期望具有图 3 和图 4 的装置的外壳, 以防尘和防止装置 10 及其部件的化学腐蚀。

[0048] 参见图 6 和图 7, 装置 10 示出为具有管结构 14, 管结构 14 的管部分 14A 和 14B 桥

架在基底表面 18 上,其与图 1 和图 2 的桥类型实施例类似。管结构 14 的远端 14C 被物理连接到基部 16,结果是,图 6 和图 7 示出了本发明另一种桥类型实施例。装置 10 在一个方面不同,即驱动元件 26 和感测元件 28A-B 为用于电磁致动的布线的形式,这与图 3 和图 4 的实施例类似。此外,省略了平台 24,结果是,平行的管部分 14A 和 14B 被它们之间的单个间隙 32A 彼此分隔开,跨过其进行感测的间隙 32B 存在于管结构 14 外部(与图 1 类似),而不是在管结构 14 的内部(如图 3 的情况)。另外,可任选的加固桥 50 设置在管部分 14A 和 14B 之间,并连接管部分 14A 和 14B,可任选的弹簧 52 设置在管部分 14A 和 14B 之间,并将管部分 14A 和 14B 连接到围绕管结构 14 的框架 30 上。以这种方式,通过在管结构 14 的制造期间适当地选择加固桥 50 和更柔性的弹簧 52 的尺寸和定位,能够修改管结构 14 的共振频率和 / 或模式,并且在管结构 14 的制造期间,通过蚀刻能够同时限定管结构 14、桥 50 和弹簧 52。在适当的条件下,可预见的是,加固桥 50 和弹簧 52 的位置可以与图 6 所示的不同,或者它们的位置被互换,或者可以只使用一个或多个桥 50 或者一个或多个弹簧 52。

[0049] 图 8 描绘了与图 1 和图 6 类似的桥类型实施例,但具有单个管部分 14A,驱动元件 26 和感测元件 28 都位于该单个管部分 14A 上。如之前参照图 3 所示,图 8 示出位于管部分 14A 上的以获得更精确的流体温度读数的温度感测元件 36。

[0050] 最后,图 9 示出了用于限定管结构 22 下表面中的端口 22 的方法。为了图示说明目的,图 9 只画出了管部分 14A-B 中的一个。在限定管结构 14 之前,热氧化层 56 可生长在管结构 14 被制造的晶片结构的暴露表面上,或者适合的膜通过化学气相沉积等被另外地沉积在管结构 14 被制造的晶片结构的暴露表面上。从图 9(以及图 4 和图 7)明显看到,晶片结构的上表面上的氧化层 56 可被保留,随后被用作电介质层 46,以使驱动元件 26 和感测元件 28A-C 与管结构 14 电绝缘。与图 8 类似,图 9 示出了位于管部分 14A-B 的电介质层 46 上以获得管部分 14A-B 内的流体的更精确温度读数的温度感测元件 36。

[0051] 通过等离子蚀刻、湿式蚀刻、研磨、喷砂工艺、超声加工、深反应粒子蚀刻(DRIE)、激光加工和本领域技术人员已知的其它方法,能够制造管部分 14A-B 的内部通路 20A-B 和外壁。在限定管结构 14 的外壁之前,包括在任何期望的使管部分 14A 和 14B 的侧壁变薄之前,覆盖晶片结构下表面的氧化层 56 能够被蚀刻以限定孔 54,在这之后,用于驱动元件 26 和感测元件 28 以及粘接焊盘 34 的金属可被沉积和图案化。随后施加抗蚀剂,蚀刻出管结构 14 的外壁。在剥除抗蚀剂之后,晶片结构可以翻转,通过使用下表面上的氧化层 56 作为掩模从而在管部分 14A 和 14B 下表面中的期望的位置中蚀刻端口 22,从而在管结构 14 的下壁中蚀刻出端口 22。管结构 14 的上表面和下表面上残留的氧化层 56 可保留,以平衡任何由氧化层 56 引起的应力。

[0052] 尽管本发明通过一些实施例进行了描述,但明显的是,本领域技术人员可采用其它形式。因此,本发明的范围仅由所附权利要求限制。

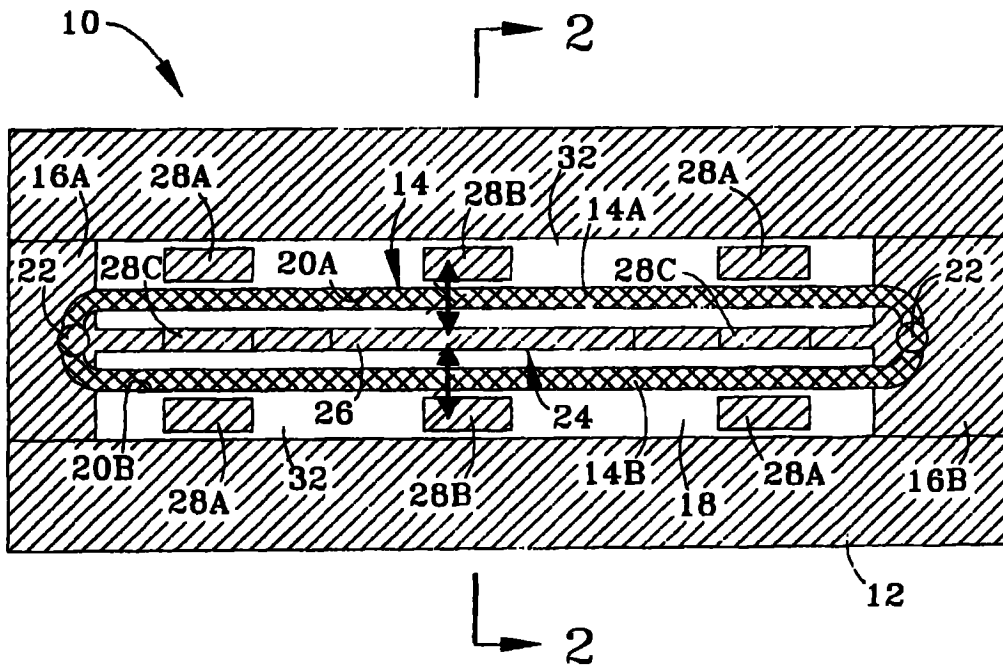


图 1

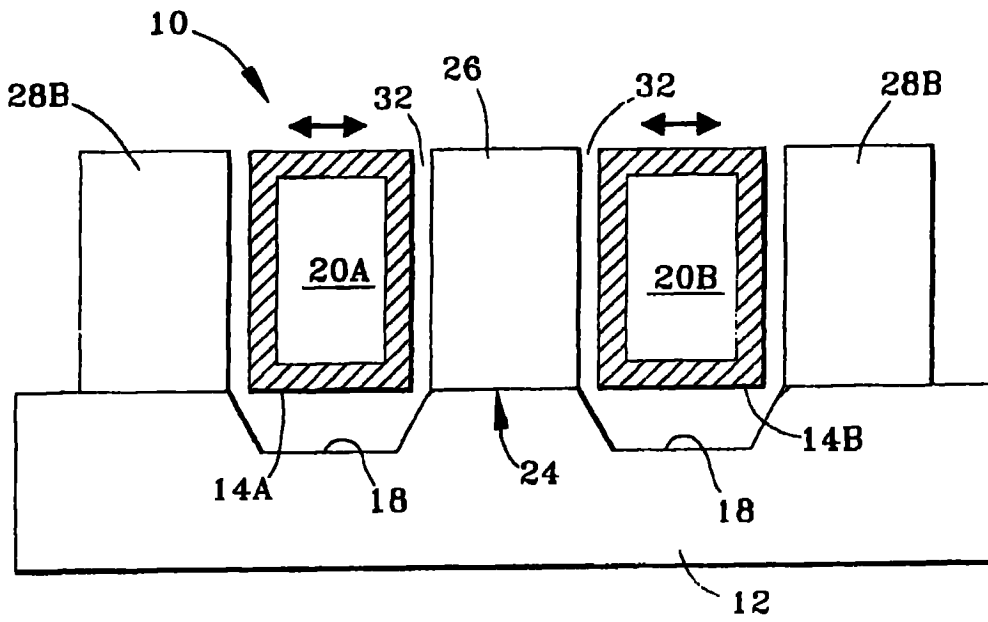


图 2

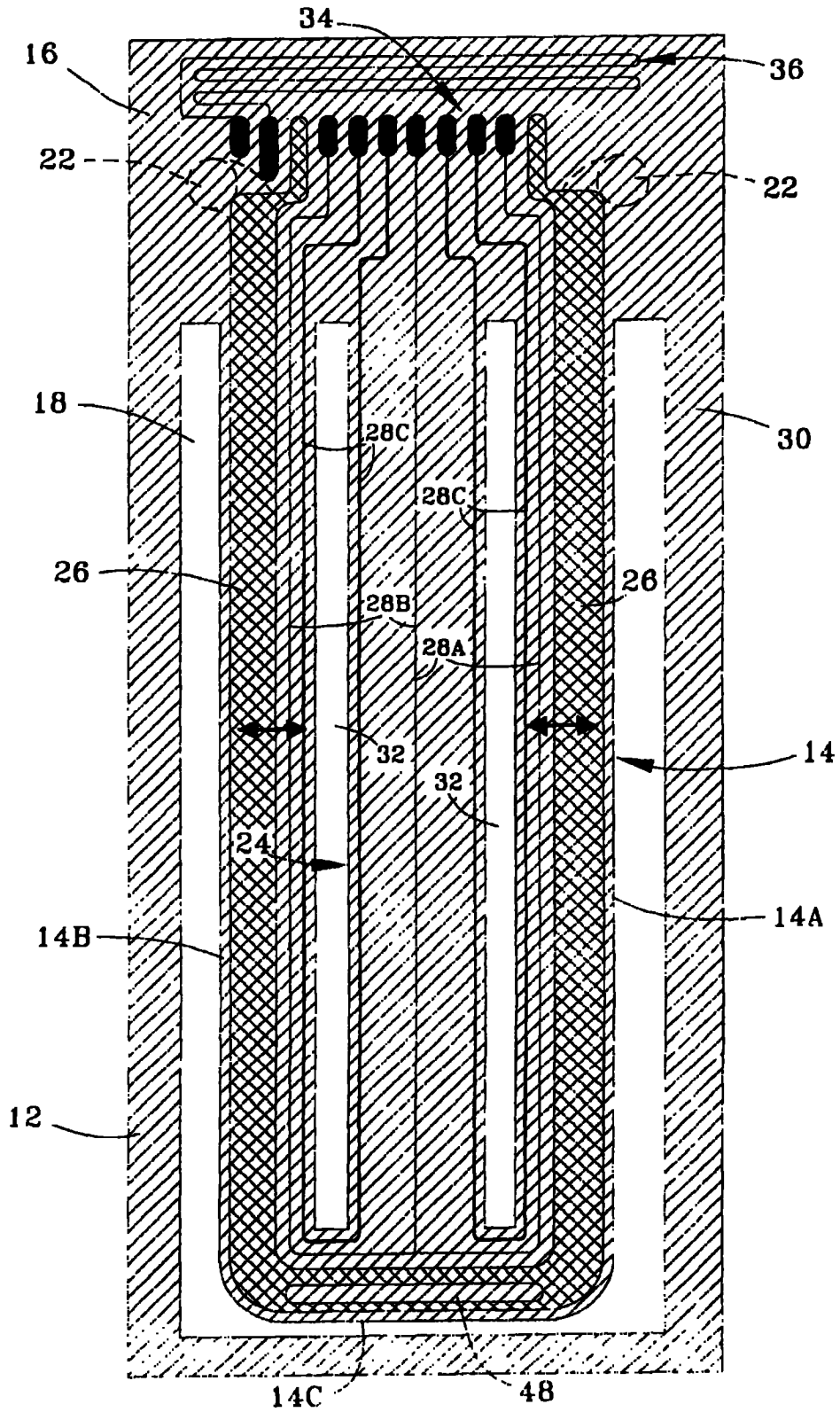


图 3

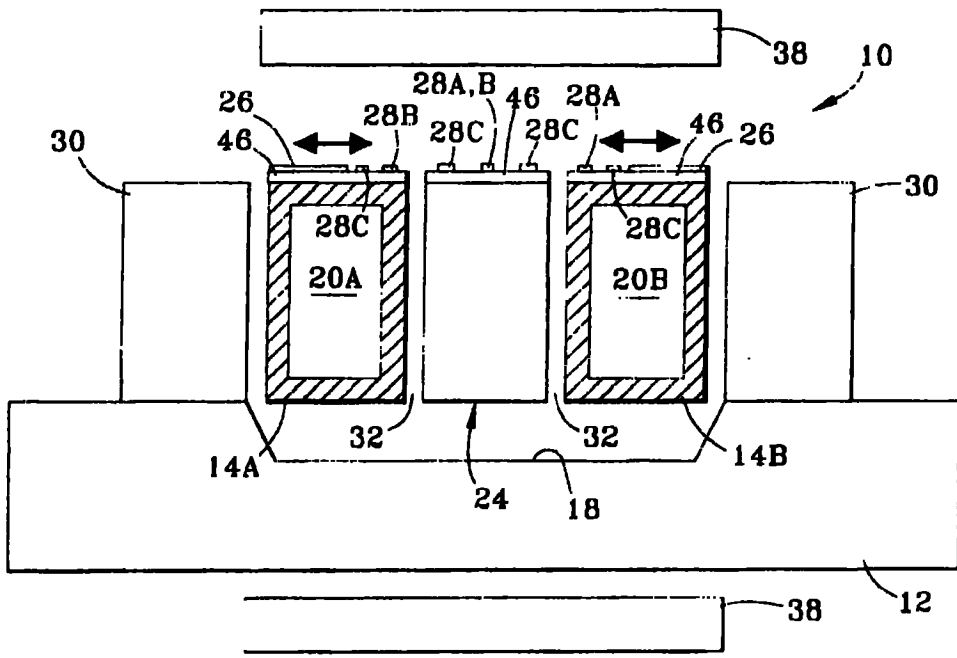


图 4

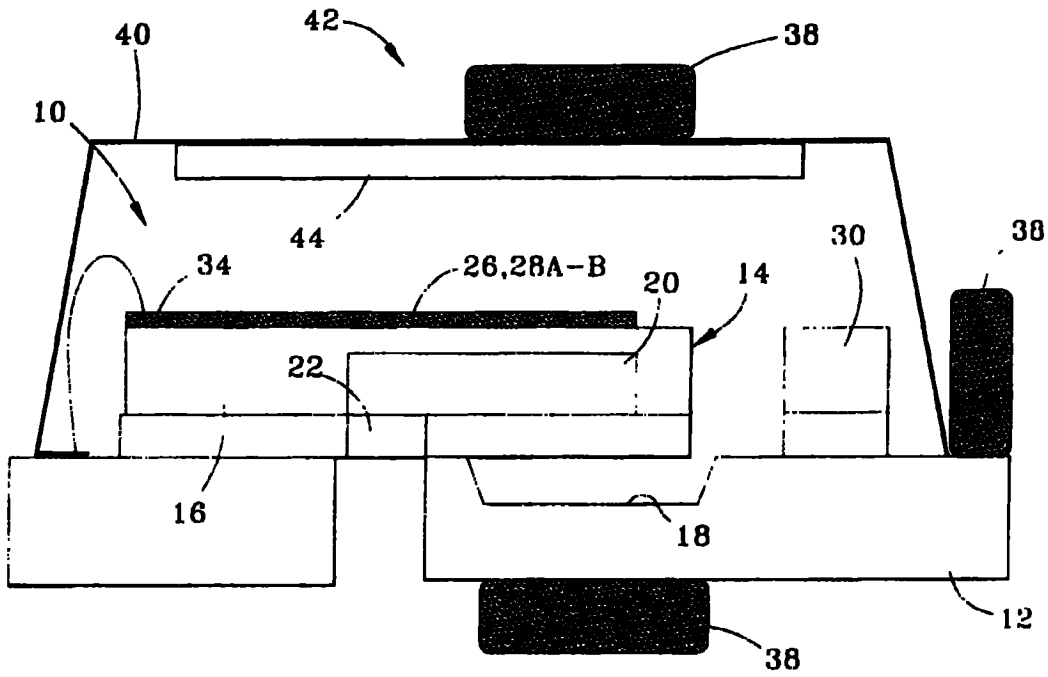


图 5

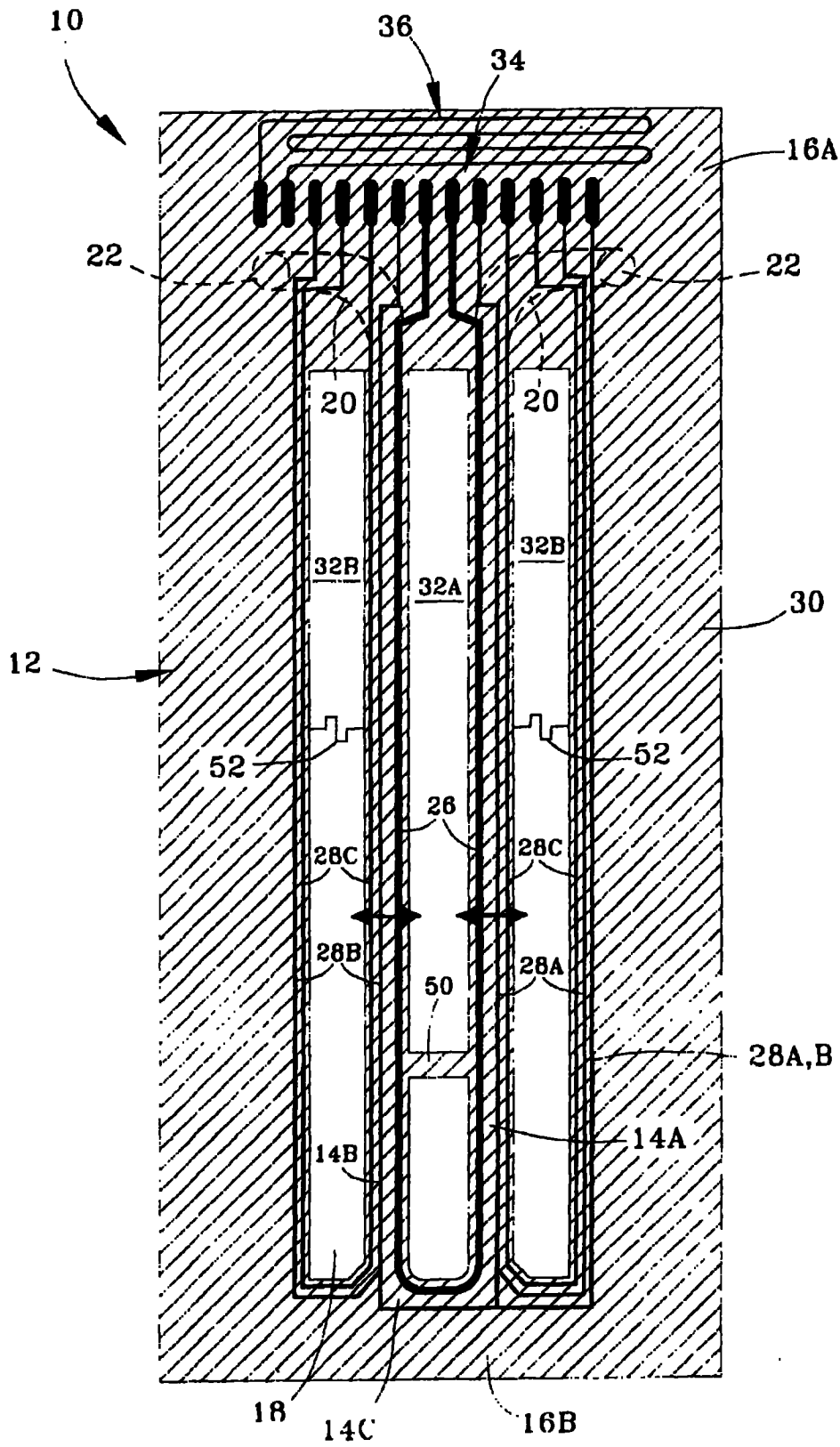


图 6

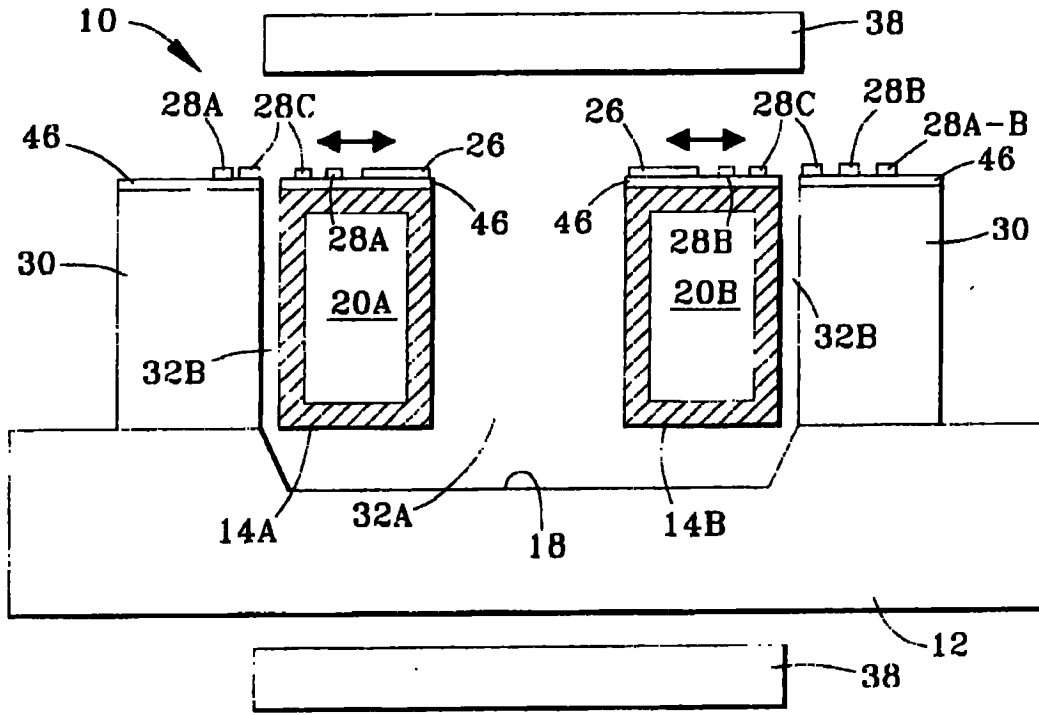


图 7

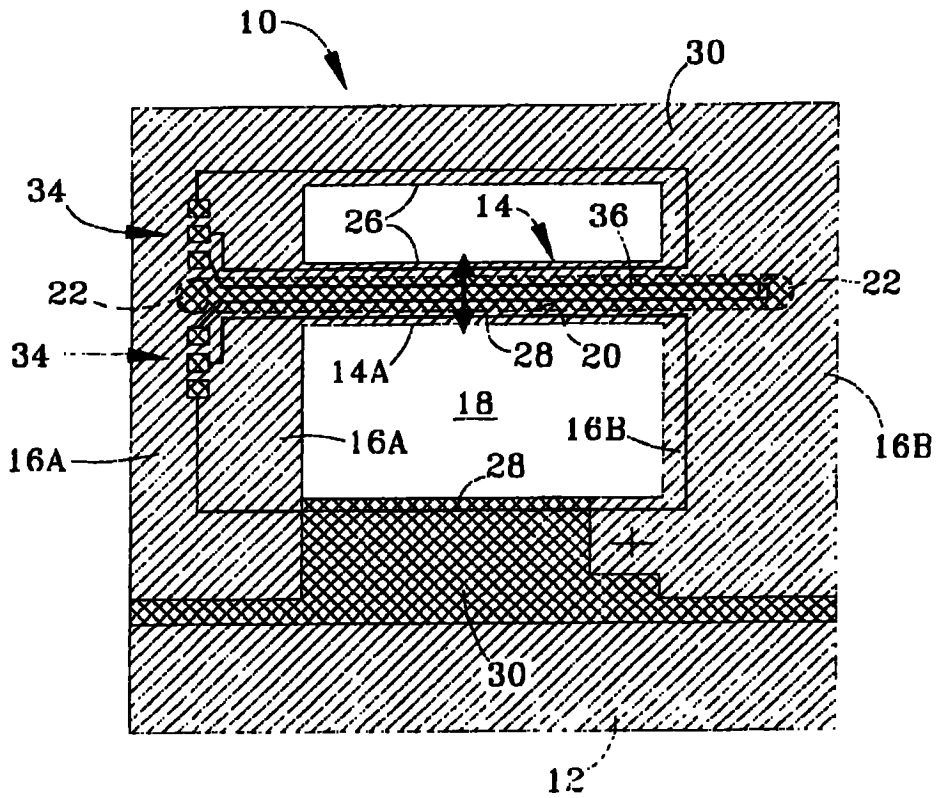


图 8

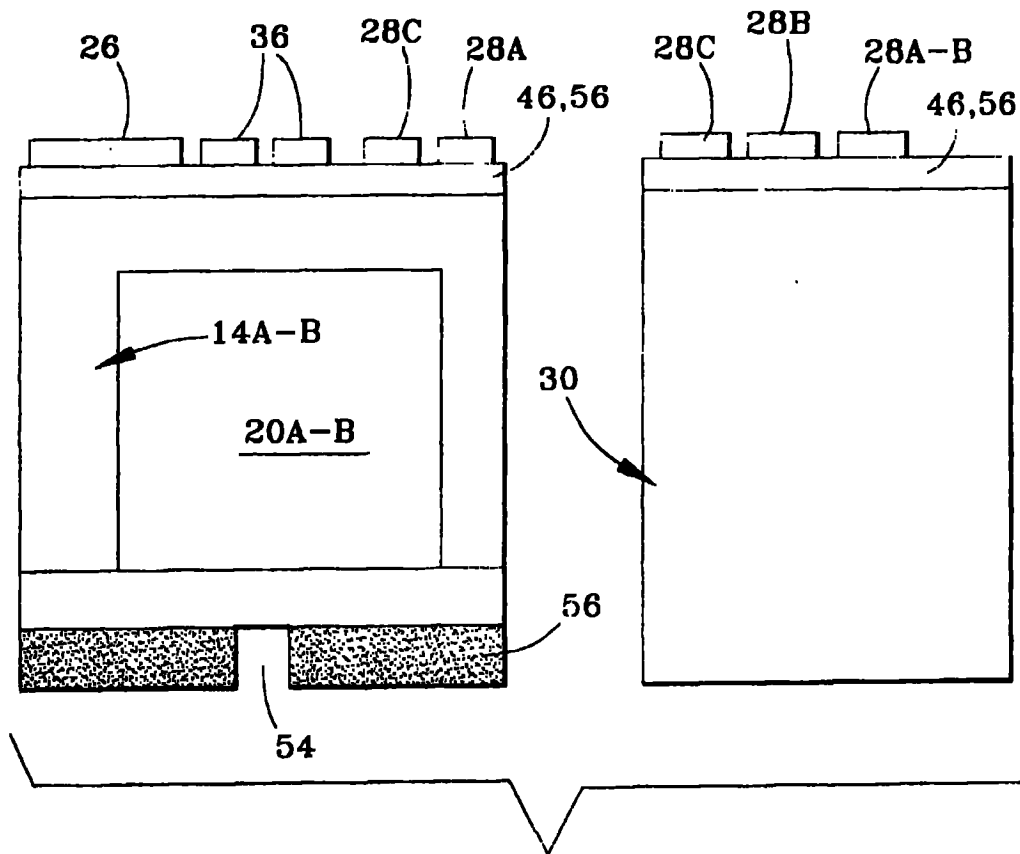


图 9