



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1675728 B

(45) 授权公告日 2010.12.08

(21) 申请号 03819285.3

(56) 对比文件

(22) 申请日 2003.08.13

CN 1277731 A, 2000.12.20, 说明书第 18 页
倒数第 1 段至 19 页第 24 行, 图 12.

(30) 优先权数据

10/218,290 2002.08.14 US

审查员 柳晶晶

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2005.02.16

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/US2003/025632 2003.08.13

(87) PCT 申请的公布数据

W02004/017351 EN 2004.02.26

(73) 专利权人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 Q·马

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 刘红 王忠忠

(51) Int. Cl.

H01H 61/00 (2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 7 页

(54) 发明名称

采用电热驱动的弯曲横梁双稳态微机电开关

(57) 摘要

一种微机电系统 (MEMS), 其包括第一电热驱动器, 第二电热驱动器以及具有第一侧和第二侧的横梁。当电流从所述第一电热驱动器流过时, 第一电热驱动器向横梁的第一侧施加作用力, 以及当电流从所述第二电热驱动器流过时, 第二电热驱动器向横梁的第二侧施加作用力。

1. 一种微机电系统 MEMS 开关,包括:
具有第一侧和第二侧的横梁;
第一电热驱动器,当电流从所述第一电热驱动器流过时其向横梁的第一侧施加作用力;以及
第二电热驱动器,当电流从所述第二电热驱动器流过时其向横梁的第二侧施加作用力。
2. 根据权利要求 1 中的 MEMS 开关,其中所述第一电热驱动器包括第一螺桩,其与横梁的第一侧接合,以及所述第二电热驱动器包括第二螺桩,其与横梁的第二侧接合。
3. 根据权利要求 1 中的 MEMS 开关,还包括传输线,该传输线包括至少一对电隔离的触头,当电流流过所述第一电热驱动器时,横梁和触头电连接。
4. 根据权利要求 3 中的 MEMS 开关,其中当电流流过所述第二电热驱动器时,所述第二电热驱动器使得横梁与触头分开。
5. 根据权利要求 3 中的 MEMS 开关,其中当横梁与传输线中的触头电连接时,所述第一电热驱动器不与横梁接合。
6. 根据权利要求 5 中的 MEMS 开关,其中除非电流流过第二电热驱动器,否则当横梁与传输线中的触头电连接时,所述第二电热驱动器不与横梁接合。
7. 根据权利要求 1 中的 MEMS 开关,其中横梁的相对的两端被固定到支柱上。
8. 根据权利要求 7 中的 MEMS 开关,其中横梁在压应力下被弯曲。
9. 根据权利要求 7 中的 MEMS 开关,其中横梁是弧形的。
10. 根据权利要求 9 中的 MEMS 开关,其中当所述第一电热驱动器向横梁施加作用力时,横梁弯曲。
11. 根据权利要求 1 中的 MEMS 开关,其中每一个所述第一和第二电热驱动器都包括高热膨胀导体和低热膨胀电介质。
12. 根据权利要求 11 中的 MEMS 开关,其中每一个所述第一电热驱动器和第二电热驱动器的相对的两端都固定到支柱上。
13. 根据权利要求 12 中的 MEMS 开关,其中当电流流过第一电热驱动器时,第一电热驱动器弯曲,当电流流过第二电热驱动器时,第二电热驱动器弯曲。
14. 根据权利要求 1 中的 MEMS 开关,其中横梁包括被导电体覆盖的电介质体。
15. 一种微机电系统 MEMS 开关,包括:
具有第一侧和第二侧的横梁;
第一电热驱动器,其每一端固定到支柱上,所述第一电热驱动器包括高热膨胀导体和低热膨胀电介质,当电流从第一电热驱动器流过时,第一电热驱动器弯曲并向横梁的第一侧施加作用力;
第二电热驱动器,其每一端固定到支柱上,所述第二电热驱动器包括高热膨胀导体和低热膨胀电介质,当电流从第二电热驱动器流过时,第二电热驱动器弯曲并向横梁的第二侧施加作用力;以及
传输线,其包括至少一对电隔离的触头,当电流流过所述第一电热驱动器时,第一电热驱动器将横梁电连接到触头上,以及当电流流过所述第二电热驱动器时,第二电热驱动器使横梁从触头上分开。

16. 根据权利要求 15 中的 MEMS 开关,其中横梁的相对的两端被固定到支柱上。

17. 根据权利要求 16 中的 MEMS 开关,其中横梁在压应力下弯曲。

18. 一种通信系统,包括:

第一 MEMS 开关,该第一 MEMS 开关包括:具有第一侧和第二侧的横梁;第一电热驱动器,当电流从第一电热驱动器流过时第一电热驱动器向横梁的第一侧施加作用力;以及第二电热驱动器,当电流从第二电热驱动器流过时第二电热驱动器向横梁的第二侧施加作用力;

第二 MEMS 开关,该第二 MEMS 开关包括:具有第一侧和第二侧的横梁;第一电热驱动器,当电流从第一电热驱动器流过时第一电热驱动器向横梁的第一侧施加作用力;以及第二电热驱动器,当电流从第二电热驱动器流过时第二电热驱动器向横梁的第二侧施加作用力;以及

电压电源控制器,其电连接到所述第一和第二驱动器上以选择地驱动所述第一和第二 MEMS 开关。

19. 根据权利要求 18 中的通信系统,其中所述第一和第二 MEMS 开关电连接到天线,其中所述第一 MEMS 开关电连接到电子接收器,该电子接收器用于接收和处理通过天线接收到的第一信号,所述第二 MEMS 开关电连接到电子发射器,该电子发射器用于生成要由天线发射的第二信号。

20. 根据权利要求 18 中的通信系统,其中所述第一 MEMS 开关和第二 MEMS 开关中的每一个横梁均是在压应力下弯曲。

采用电热驱动的弯曲横梁双稳态微机电开关

技术领域

[0001] 一种微机电系统 (MEMS) 开关,尤其是一种采用低驱动电压操作的 MEMS 开关。

背景技术

[0002] 微机电系统 (MEMS) 是一种微型器件,其采用微型制造技术在一个公共衬底上将机械元件和电元件集成一体。所述的电元件通常采用公知的集成电路制造技术制造而成。所述的机械元件典型地采用光刻以及其他的相关工艺完成微机械加工而制造,其中衬底的部分(例如硅片)可以被选择性地蚀刻掉或是被添加新的材料和结构层。MEMS 器件包括驱动器,传感器,开关,加速计以及调制器。

[0003] MEMS 开关(也就是触头,继电器,分路器等等)相对于传统的固态开关(例如场效应晶体管 (FET) 开关)具有其内在的优越性,其具有较高的功效,较低的插入损耗以及极好的隔离性。然而, MEMS 开关通常较固态开关慢。这一局限性使得 MEMS 开关不可用在要求亚微秒转换的技术中,例如在高速无线通信装置中在发射和接收之间转换天线。

[0004] 有一种天线装置,其中的 MEMS 开关是很重要的,这是由于 MEMS 开关的相对低的插入损耗。这样装置的一个应用是在智能天线装置中,该智能天线装置涉及在无线通信装置中的多个天线间的转换。智能天线转换装置通常根据系统的要求需要转换速度在毫秒到秒之间。

[0005] 现有技术中的一种 MEMS 开关包括称作“横梁”的连接件,该“横梁”由电热偏转或是被弯曲。该弯曲的横梁与一个或多个电触头接合,由此在触头之间建立起电连接。

[0006] 图 1 和 1A 示出了一个现有技术的 MEMS 开关 10,其包括横梁 12,该横梁 12 由电热弯曲。横梁 12 由高热膨胀导体 14 和低热膨胀电介质 16 组成。导体 14 和电介质 16 的相对的两端由支柱 18A、18B 固定着。

[0007] 图 1A 中示出了 MEMS 开关 10 的驱动。电压施加在横梁 12 上,这样电流流过横梁 12,更多的电流流过低电阻导体 14。当电流流过横梁 12 时(如图 1A 中的箭头 A 所示),这样在横梁 12 中产生电阻热,电阻热引起横梁 12 热膨胀。导体 14 和电介质 16 热膨胀之间的较大差异使得横梁 12 朝着导体 14 的一侧向外弯曲。随着横梁 12 的弯曲,安装在横梁 12 上的接触螺桩 20 与触头 22A、22B 接合,这样可以在触头 22A 和 22B 之间传输信号(如图 1A 中的箭头 B 所示)

[0008] 采用电热偏转横梁的一个优点是,在操作过程中开关需要相对低的驱动电压。然而,当 MEMS 开关处于驱动位置时,为了维持横梁中的电阻热则需要持续的消耗能量。

[0009] 图 2 示出了另一个现有技术的 MEMS 开关 30,该开关包括横梁 32,横梁 32 的相对的两端被固定到支柱 34A、34B 上。横梁 32 以承受压应力的方式固定在支柱 34A、34B 上。该压应力使得横梁 32 弯曲。横梁 32 需要保持在弯曲状态,以使得 MEMS 开关 30 得以正确地操作。

[0010] 横向的驱动电极 36 临近横梁 32 在横梁没有被压应力弯曲时所处的平面放置,横梁 32 的这个平面被称作中间位置,在图 2 中用线 38 示出。施加到横向的驱动电极 36 上的

电压产生静电力,该静电力朝向横梁 32 的中间位置向上或是向下拉动横梁 32。横梁 32 的惯性使得横梁越过它的中间位置到达另一边,在另一边横梁 32 与触头(未示出)电连接使得信号在两个触头之间通过。

[0011] MEMS 开关 30 不需要任何的能量用以将横梁 32 保持在上或是下的位置上。MEMS 开关 30 的一个缺点是,通常静电驱动需要较大的驱动电压,尤其是当静电驱动用于操作弯曲的横梁时。

发明内容

[0012] 根据本发明的一个方面,一种微机电系统 MEMS 开关,包括:

[0013] 具有第一侧和第二侧的横梁;

[0014] 第一电热驱动器,当电流从所述第一电热驱动器流过时其向横梁的第一侧施加作用力;以及

[0015] 第二电热驱动器,当电流从所述第二电热驱动器流过时其向横梁的第二侧施加作用力。

[0016] 根据本发明的另一个方面,一种微机电系统 MEMS 开关,包括:

[0017] 具有第一侧和第二侧的横梁;

[0018] 第一电热驱动器,其每一端固定到支柱上,所述第一电热驱动器包括高热膨胀导体和低热膨胀电介质,当电流从第一电热驱动器流过时,第一电热驱动器弯曲并向横梁的第一侧施加作用力;

[0019] 第二电热驱动器,其每一端固定到支柱上,所述第二电热驱动器包括高热膨胀导体和低热膨胀电介质,当电流从第二电热驱动器流过时,第二电热驱动器弯曲并向横梁的第二侧施加作用力;以及

[0020] 传输线,其包括至少一对电隔离的触头,当电流流过所述第一电热驱动器时,第一电热驱动器将横梁电连接到触头上,以及当电流流过所述第二电热驱动器时,第二电热驱动器使横梁从触头上分开。

[0021] 根据本发明的又一个方面,一种通信系统,包括:

[0022] 第一 MEMS 开关,该第一 MEMS 开关包括:具有第一侧和第二侧的横梁;第一电热驱动器,当电流从第一电热驱动器流过时第一电热驱动器向横梁的第一侧施加作用力;以及第二电热驱动器,当电流从第二电热驱动器流过时第二电热驱动器向横梁的第二侧施加作用力;以及

[0023] 第二 MEMS 开关,该第二 MEMS 开关包括:具有第一侧和第二侧的横梁;第一电热驱动器,当电流从第一电热驱动器流过时第一电热驱动器向横梁的第一侧施加作用力;以及第二电热驱动器,当电流从第二电热驱动器流过时第二电热驱动器向横梁的第二侧施加作用力;以及

[0024] 电压电源控制器,其电连接到所述第一和第二驱动器上以选择地驱动所述第一和第二 MEMS 开关。

附图说明

[0025] 图 1 示出了现有技术中的 MEMS 开关,其包括该开关处于打开位置的电热横梁。

- [0026] 图 1A 示出了图 1 中的 MEMS 开关,激活了电热横梁使得该开关处于闭合位置。
- [0027] 图 2 示出了现有技术中的另一种类型的 MEMS 开关,其包括弯曲的横梁,该横梁由静电力操作。
- [0028] 图 3A 示出了 MEMS 开关的一个示例性的实施例,其中没有驱动电压作用到开关上, MEMS 开关处于关闭状态。
- [0029] 图 3B 示出的是图 3A 中的 MEMS 开关处于打开状态,驱动电压施加到开关的第一电热驱动器上。
- [0030] 图 3C 示出的是图 3A 中的 MEMS 开关处于打开状态,并且没有驱动电压施加到开关的第一电热驱动器上。
- [0031] 图 3D 示出的是图 3A 中的 MEMS 开关处于闭合状态,并且驱动电压施加到开关的第二电热驱动器上。
- [0032] 图 4A 示出的是图 3A-3D 中的 MEMS 开关中的横梁,该横梁处于收紧状态。
- [0033] 图 4B 示出的是图 4A 中的横梁处于放松状态。
- [0034] 图 5 示出的是用在图 3A-3D 的 MEMS 开关中的另一种横梁。
- [0035] 图 6A 示出的是用在图 3A-3D 的 MEMS 开关中的另一种横梁,其中横梁处于收紧状态。
- [0036] 图 6B 示出的是图 6A 中的横梁处于放松状态。
- [0037] 图 6C 示出的是由于驱动力的作用横梁被弯曲后的图 6A-6B 中的横梁。
- [0038] 图 7A 示出的是用在图 3A-3D 的 MEMS 开关中的另一种横梁。
- [0039] 图 7B 示出的是由于驱动力的作用横梁弯曲后的图 7A 中的横梁。
- [0040] 图 8 是一个示意性的电路图,示出了在无线通信装置中的图 3A-3D 中的 MEMS 开关。
- [0041] 在附图中,相同的参考数字表示相同的部件。

具体实施方式

[0042] 在下面的描述中,参考附图,示出了一些示例性的实施例。对这些实施例给予了充分的详述,这使得本领域技术人员可以实现本发明。在没有脱离本发明范围的情况下也可以采用其他实施例,以及进行结构、逻辑和电学上的变化。

[0043] 图 3A、3B、3C 和 3D 中示出了一种微机电系统 (MEMS) 开关 50,其包括横梁 52,第一电热驱动器 54 以及第二电热驱动器 56。横梁 52 具有第一侧 58 和第二侧 60。

[0044] 第一电热驱动器 54 包括第一螺桩 62,当电流流过第一电热驱动器 54 时,该第一螺桩向横梁 52 的第一侧 58 施加作用力。另外,第二电热驱动器 56 包括第二螺桩 64,当电流流过第二电热驱动器 56 时,该第二螺桩向横梁 52 的第二侧 60 施加作用力。驱动器 54, 56 可以通过焊接垫或是其他传统的方式连接到电路上,这样电路可以把电流提供给驱动器 54, 56。

[0045] 在一些实施例中, MEMS 开关 50 还包括传输线 66,其包括至少一对电隔离的触头 67A、67B。触头 67A、67B 可以通过焊接垫或是其他传统的方式连接到电路上。在第一电热驱动器 54 施加作用力给横梁 52,进而操作横梁 52 抵住触头 67A、67B 后,横梁 52 与触头 67A、67B 电连接。当电流流过第二电热驱动器 56 时,第二电热驱动器 56 施加作用力给横梁 52,

进而使得横梁 52 与触头 67A、67B 分开。

[0046] 在图 3A、3B、3C 和 3D 中的样品实施例中,横梁 52 的相对的两端被固定到支柱 68A、68B 上。横梁 52 是处在压应力下,这样横梁 52 被弯曲。

[0047] 图 3A 示出的是当没有驱动电压作用到驱动器 54、56 上时,处于闭合状态的 MEMS 开关 50。如图 3B 所示,通过在第一电热驱动器 54 上施加驱动电压而将 MEMS 开关 50 打开。驱动电压在驱动器 54 中产生电流,这在驱动器 54 中引起电阻热。

[0048] 第一电热驱动器 54 的相对的两端被固定到支柱 69A、69B,并且在一些实施例中,第一电热驱动器是由高热膨胀导体 70 和低热膨胀电介质 71 组成的。由于导体 70 和电介质 71 之间在热膨胀上的差异,所述的电阻热引起第一电热驱动器 54 在导体 70 的一侧向外弯曲。

[0049] 由于第一电热驱动器 54 的弯曲,第一电热驱动器向横梁 52 施加作用力,这一作用力足够使横梁 52 朝向它的中间位置移动。横梁 52 在没有受压应力因而没有弯曲时所占据的位置被称作中间位置,该位置在图 3B 中由线 72 示出。横梁 52 的惯性使得横梁 52 通过它的中间位置到达另一侧,在另一侧横梁 52 与触头 67A、67B 电连接,这样使得信号可以在触头 67A、67B 之间通过。在一些实施例中,第一电热驱动器 54 持续地与横梁 52 接合着,而在另一些实施例中,第一电热驱动器 54 在横梁 52 通过其中间位置后就不再与横梁 52 接合了。

[0050] 图 3C 示出了 MEMS 开关 50 处于打开状态并且没有驱动电压作用到驱动器 54、56 上的情况。如图 3D 所示,通过在第二电热驱动器 56 上施加驱动电压,将 MEMS 开关 50 关闭。驱动电压在驱动器 56 中产生电流,这在驱动器 56 中引起电阻热。

[0051] 第二电热驱动器 56 的相对的两端被固定到支柱 79A、79B,并且类似的由高热膨胀导体 80 和低热膨胀电介质 81 组成。由于导体 80 和电介质 81 之间在热膨胀上的差异,所述的电阻热引起第二电热驱动器 56 在导体 80 的一侧向外弯曲。

[0052] 由于第二电热驱动器 56 的弯曲,第二电热驱动器向横梁 52 施加作用力,这一作用力足够使横梁 52 离开触头 67A、67B 朝向它的中间位置移动。横梁 52 的惯性使得其通过中间位置到达另一侧,在另一侧当需要再一次打开 MEMS 开关 50 时横梁 52 可以与第一电热驱动器 54 接合。

[0053] 在一些实施例中,第二电热驱动器 56 持续地与横梁 52 接合着,而在另一些实施例中,第二电热驱动器 56 在横梁 52 通过其中间位置后就不再与横梁 52 接合了。一旦横梁 52 通过中间位置,压应力将使得横梁 52 向外弯曲离开触头 67A、67B。当横梁 52 与触头 67A、67B 接合时,驱动器 54、56 和横梁 52 之间的接触会干扰触头 67A、67B 之间通过横梁 52 传输的信号。

[0054] 图 4A 示出了在采用光刻以及其他的相关步骤完成微机械加工而制造成的横梁 52 处于一种收紧状态,其中有的部分可被选择性地蚀刻掉或是被添加新的材料和结构层。作为制作过程的一部分,横梁 52 被释放,这样横梁 52 仅仅通过支撑物 68A、68B 固定。横梁 52 朝着支柱 68A、68B 向外膨胀以将横梁 52 置于压应力下。该压应力足以使横梁 52 弯曲(参见图 4B)。弯曲的临界压力是:

[0055]

$$\sigma_{\text{临界}} = \frac{\pi^2}{3} E \left(\frac{t}{l} \right)^2$$

[0056] 其中 l 和 t 在图 4A 中示出, E 取决于横梁 52 的材料。横梁 52 可以是任何一种材料或是多种材料结合而成。图 5 示出了横梁 100 的一个例子, 其中横梁 100 处于收紧状态, 并且包括被导体 104 覆盖的电介质体 102。导体 104 便于在隔离的触头之间传输信号, 这些隔离的触头在含有横梁 100 的 MEMS 开关的操作期间通过横梁 100 变为电连接。

[0057] 另一个实施例的横梁 110 可以被用在 MEMS 开关 50 中, 如图 6A、6B 和 6C 中所示。横梁 110 在图 6A 中处于收紧状态在图 6B 中处于放松状态。横梁 110 在放松前后具有相同的弧度, 这样横梁 110 就不承受压应力。MEMS 开关 50 包括横梁 110, 在 MEMS 开关 50 的操作过程中第一和第二电热驱动器 54、56 中的其中之一使得横梁 110 弯曲, 这样横梁 110 偏斜成相对的弧形 (参见图 6C)。横梁 110 然后被第一和第二驱动器 54、56 中的另一个施加作用力, 返回到它的最初的弧形, 即不受力状态。

[0058] 图 7A 和图 7B 示出了一个类似的实施例的横梁 120。如图 7A 所示, 当横梁 120 放松时, 横梁 120 与横梁 110 的弧形是类似的。横梁 120 包括两个延长件 121A、121B, 这两个延长件中的每一个的相对的两端固定到支柱 122A、122B。延长件 121A 的中间部分由支撑件 123 固定到延长件 121B 的中间部分。

[0059] 图 8 示出了一个基于 MEMS 的无线通信系统 800 的示意性的电路图, 其包括 MEMS 开关 830、840。在所示出的示例性的实施例中, MEMS 开关 830 和 840 与上述的 MEMS 开关 50 是一样的。MEMS 开关 830、840 相对于传统固态开关 (例如, 场效应晶体管 (FET) 开关) 具有其内在的优越性, 包括较高的功效, 较低的插入损耗以及极好的隔离性。MEMS 开关 830、840 适合于一些不要求亚微秒转换的无线通信装置中在发射和接收之间转换天线 810。

[0060] 系统 800 包括用于接收信号 814 以及发射信号 820 的天线 810。MEMS 开关 830、840 通过分支电路 844 电连接到天线 810, 该分支电路包括第一支线 846 和第二支线 848。在操作过程中, 电压电源控制器 912 可选择性地激活 MEMS 开关 830 和 840, 使得接收到的信号 814 可以从天线 810 传输到电子接收器 930 以处理, 同时由电子发射器 940 产生的发射信号 820 可以传送到天线 810 以用于发射。

[0061] 如上所述, 当横梁 52 从各自的触头 67A、67B 上分开时, MEMS 开关 830、840 是断开的。MEMS 开关 830、840 可以通过选择性地向各自的第一电热驱动器 54, 也就是每个 MEMS 开关 830、840 中的第一电热驱动器施加驱动电压而单独打开。给第一电热驱动器 54 施加驱动电压使得每一个第一电热驱动器 54 弯曲。

[0062] 由于每一个 MEMS 开关 830、840 中的第一电热驱动器 54 的弯曲, 第一电热驱动器向横梁 52 施加作用力, 该作用力足以使横梁 52 弯曲。当横梁 52 弯曲时, 其与触头 67A、67B 电连接, 这样对应的信号 814、820 中所期望的那一个信号将沿着所对应的第一或是第二支线 846、848 在触头 67A、67B 之间通过。

[0063] 每个 MEMS 开关 830、840 通过选择性地向各自的第二电热驱动器 56 施加驱动电压而断开, 这样第二电热驱动器 56 弯曲, 并且向各个横梁 52 施加作用力, 该作用力足以使横梁 52 弯曲而离开触头 67A、67B。在一个示例性的实施例中, 电压电源控制器 912 包括逻辑电路, 其可选择性地向每个 MEMS 开关 830、840 中的驱动器 54、56 提供电压, 在该 MEMS 开关 830、840 中可以选择性地激励 (activation) 以及去激励 (deactivation) MEMS 开关 830、

840。

[0064] 此外,系统 800 包括电连接到 MEMS 开关 830 的电子接收器 930,以及电连接到 MEMS 开关 840 的电子发射器 940。

[0065] 在此示例性的实施例中描述的 MEMS 开关可以用在插入损耗为很重要参数的智能天线装置中。智能天线装置涉及无线通信装置中的多个天线间的转换。天线转换经常被用在信号变化的无线通信装置中。

[0066] 上述的 MEMS 开关提供了一种用于应用的可能解决方案,其中具有低驱动电压和低能量损耗的 MEMS 开关是所希望的。该 MEMS 开关给设计者在研发包括 MEMS 开关的电子装置中提供了多种选择,该电子装置例如计算机系统,高速开关,继电器,分路器,表面声波开关,光阑以及传感器。通过上面的描述,对本领域技术人员来说,许多其他的实施例将是显而易见的。

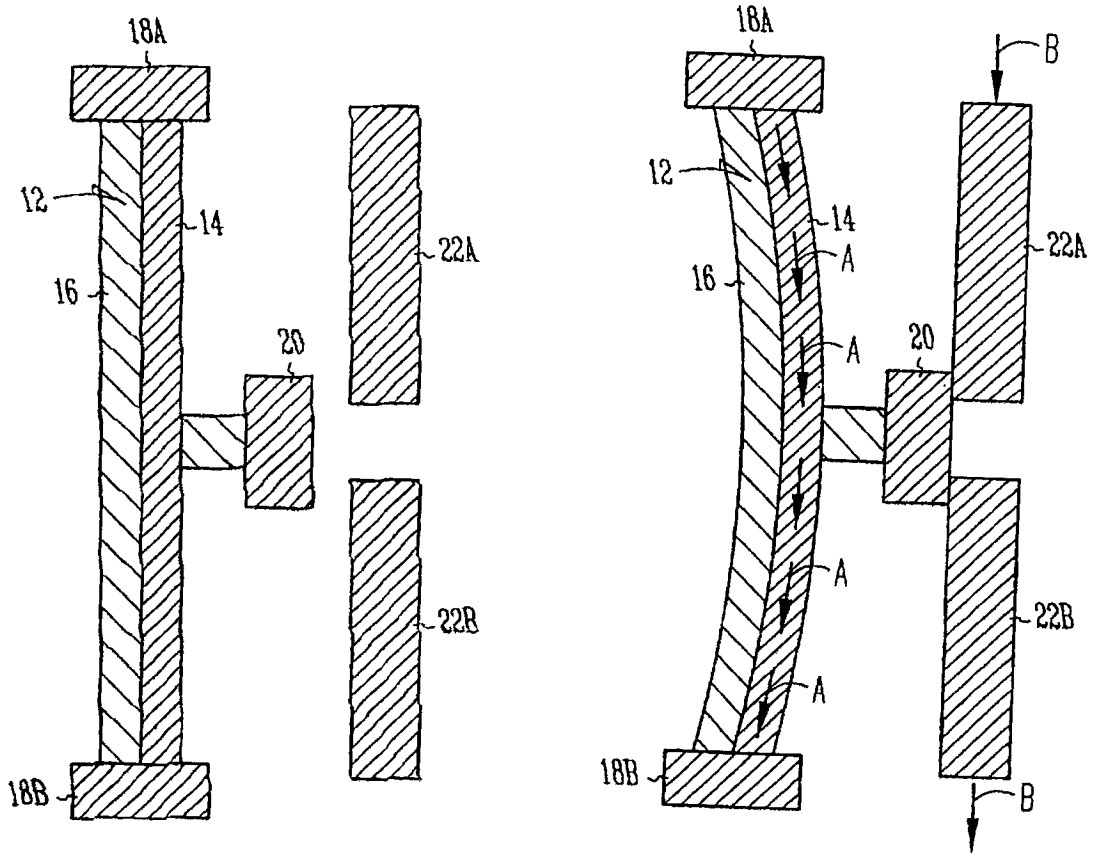


图 1 (现有技术)

图 1A (现有技术)

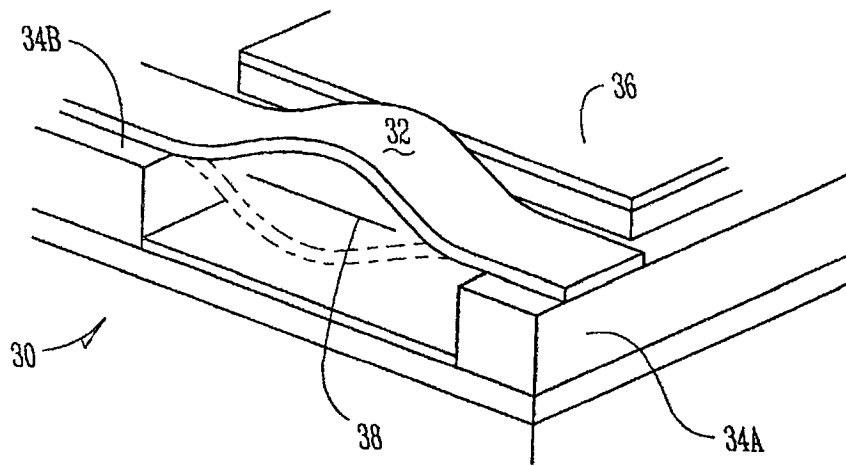


图 2 (现有技术)

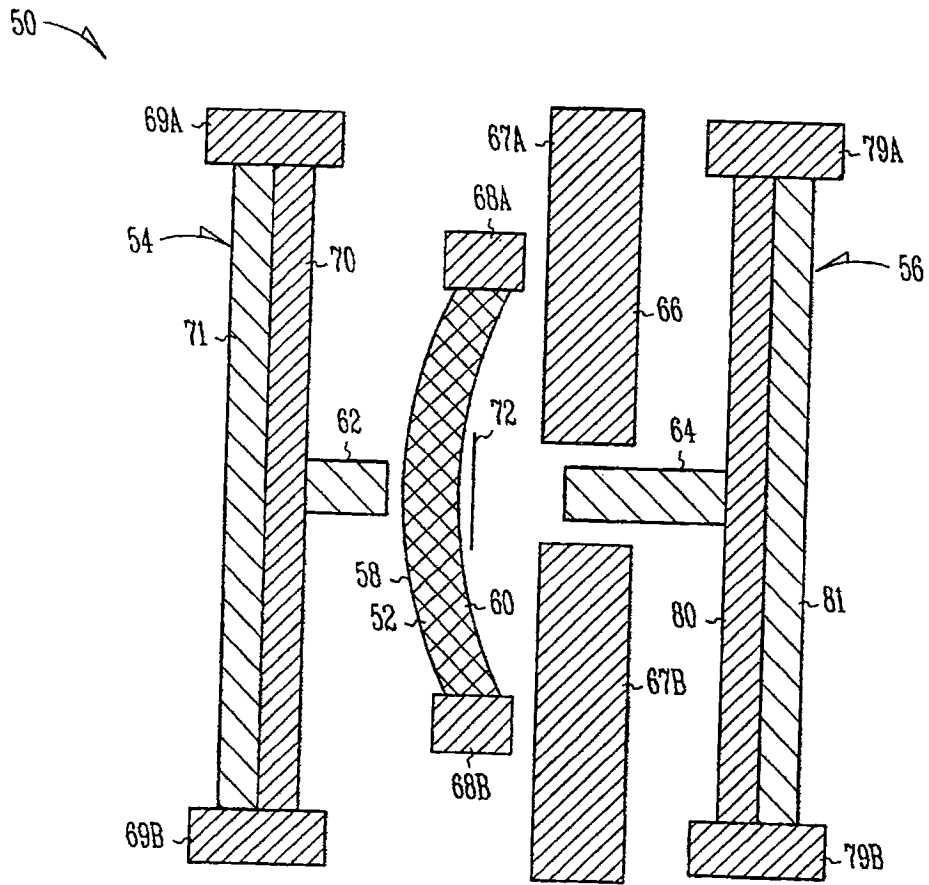


图 3A

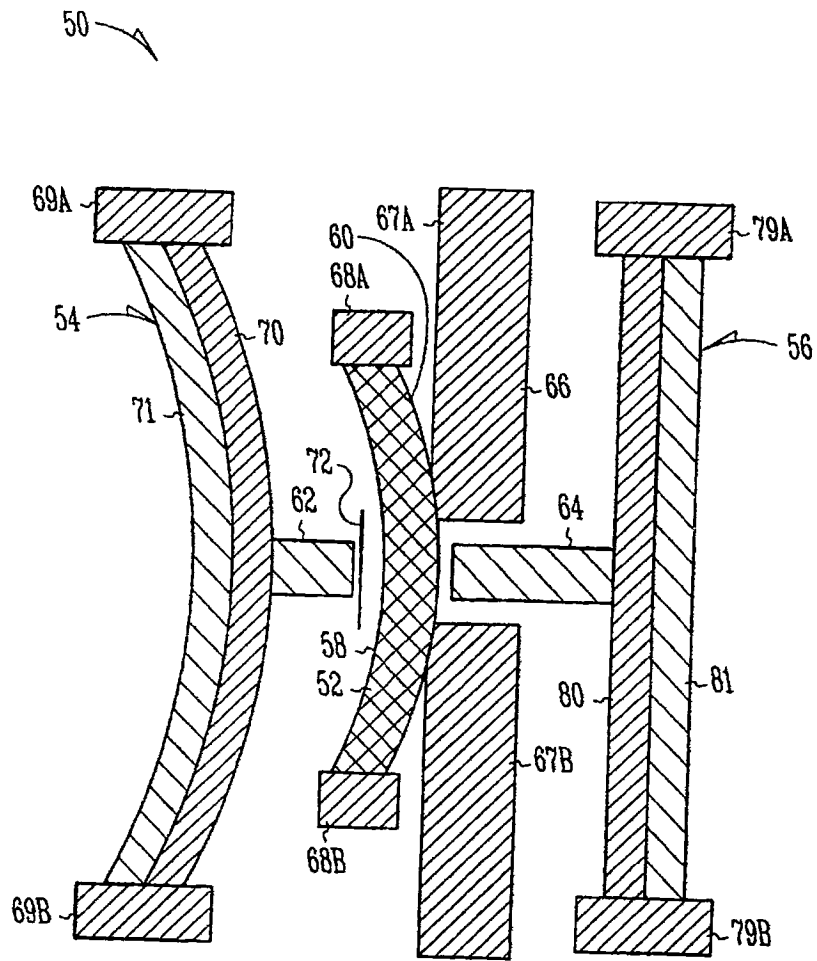


图 3B

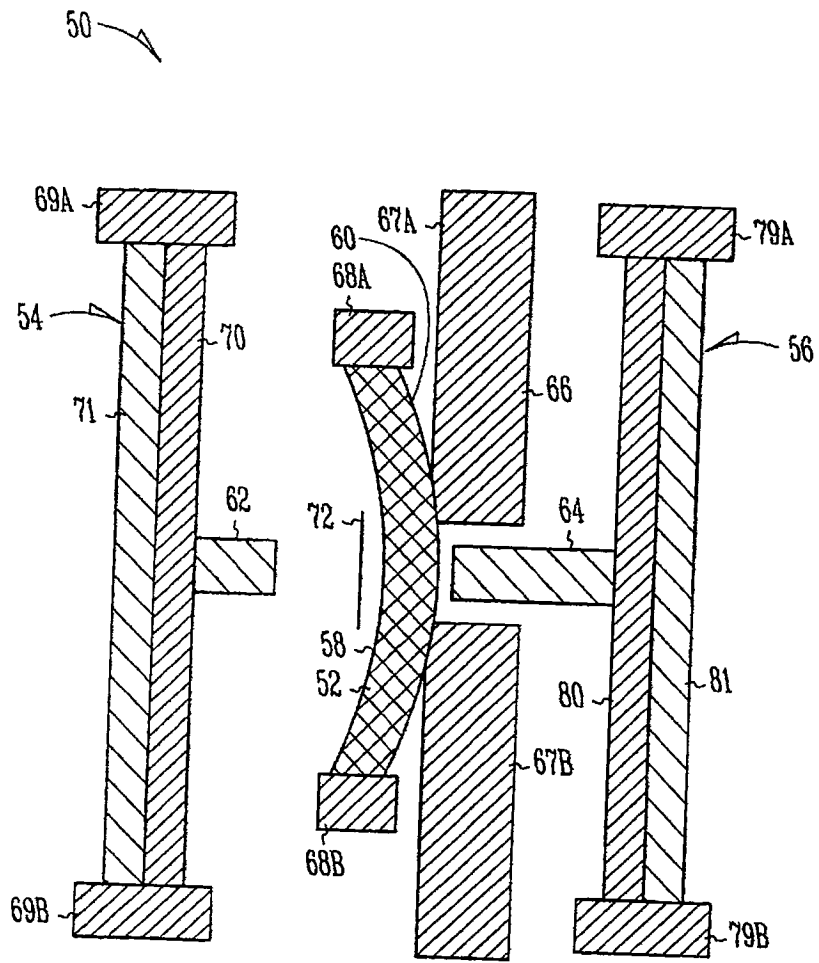


图 3C

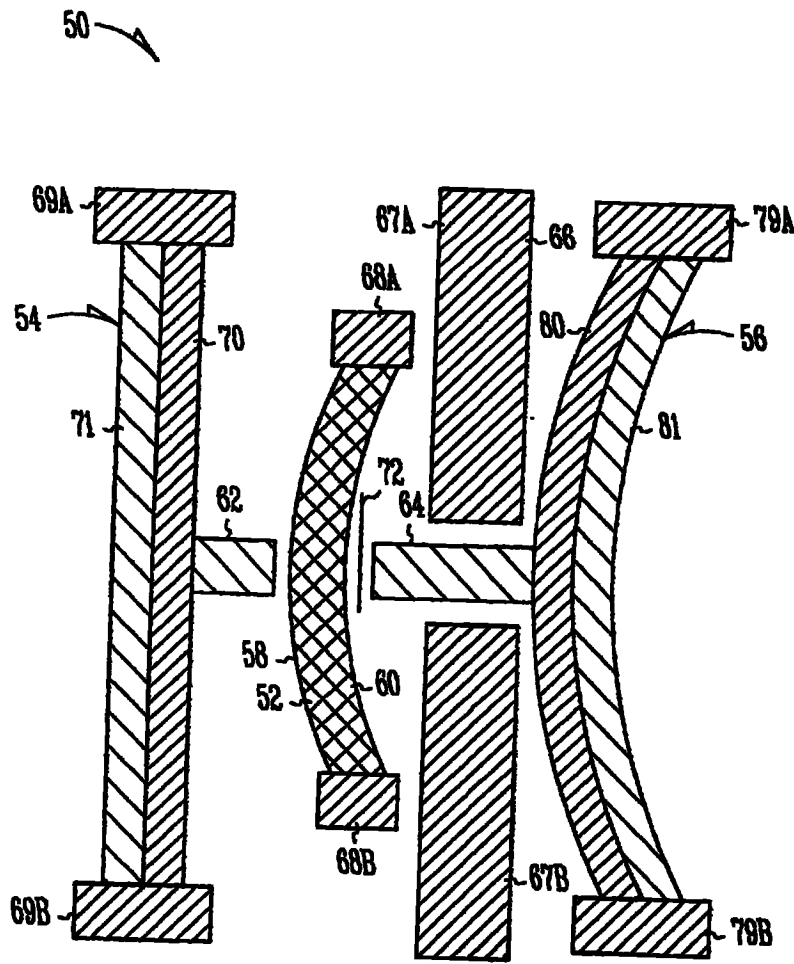


图 3D

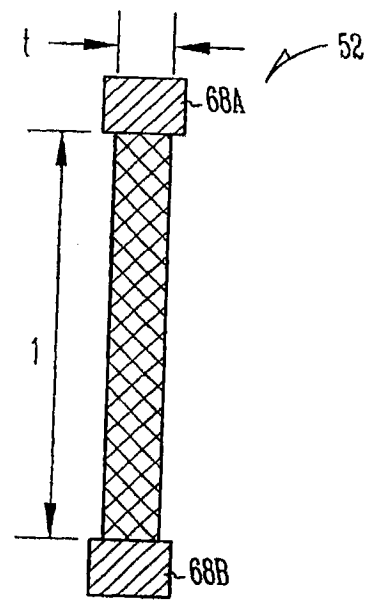


图 4A

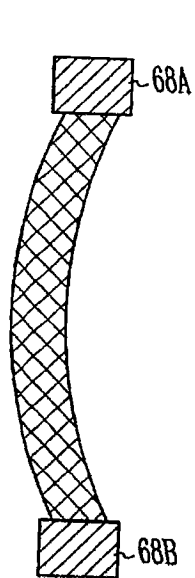


图 4B

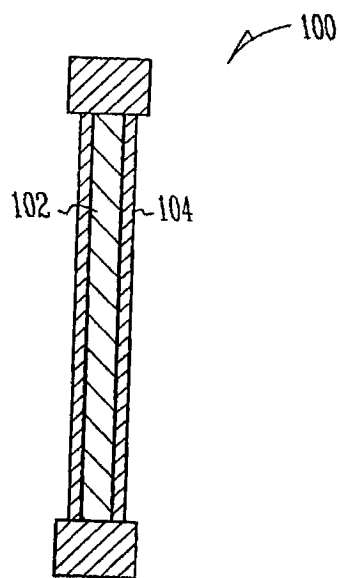


图 5

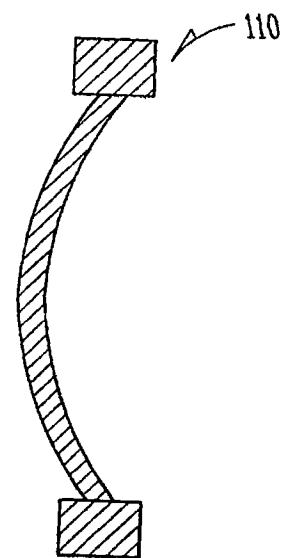


图 6A

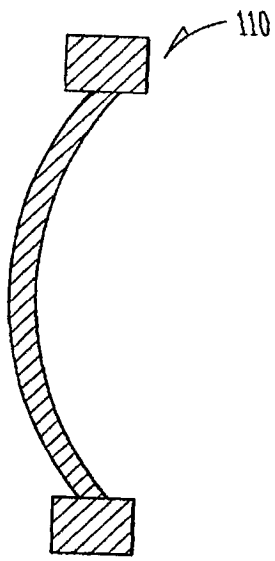


图 6B

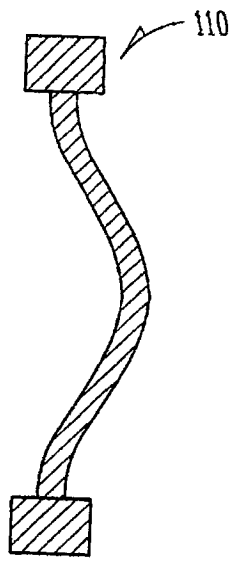


图 6C

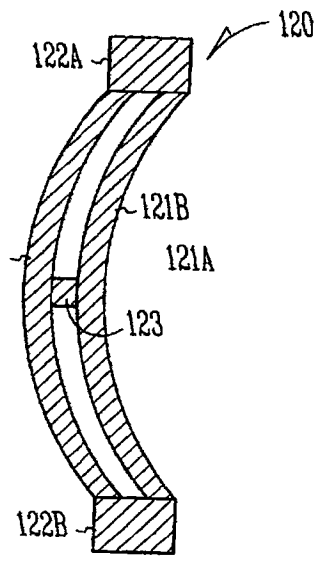


图 7A

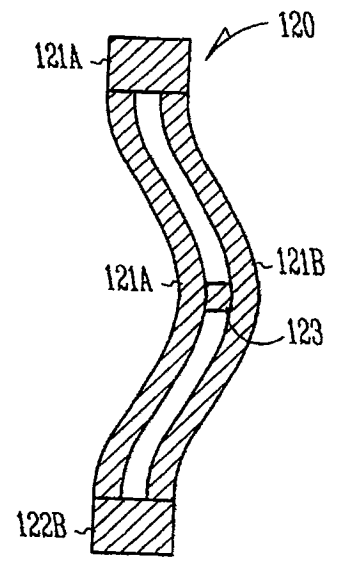


图 7B

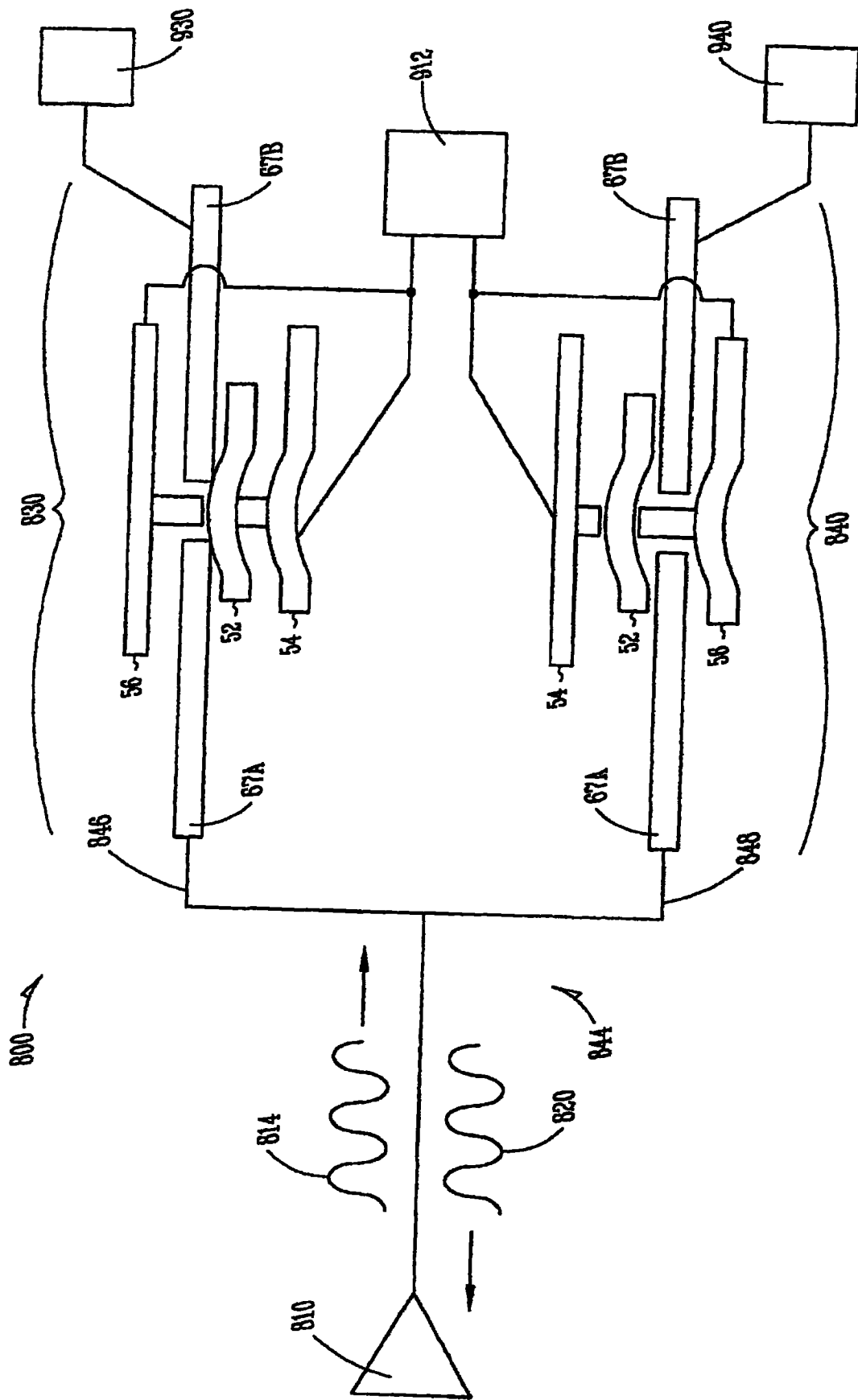


图 8