



## 权 利 要 求 书

---

1. 在由具有纵向轴(16, 188)的振片(10, 52, 54, 92, 94, 122, 124, 152, 154, 162, 182)和与该振片电连接、用以引起振片以纵轴方向外力决定的共振频率振荡的驱动电路所构成的这类振片式力转换器中, 其改进在于驱动装置向振片提供电流, 还在于该转换器包括与振片物理地相连接、用于接收电流并沿电流通路(该通路包括一个与纵轴平行的轴向元件)传导电流的导电装置(18、60、92、94、122、124、156、170、196), 和产生与所述轴向元件相交的磁场的磁装置(20、22、80、82、232), 在此, 沿所述电流通路流动的电流与磁场相互作用, 在振片上产生一个能使振片以所述的共振频率振荡的力。

2. 根据权利要求1的改进, 其中转换器拥有第一和第二两个振片, 这两个振片分别具有彼此平行的第一和第二纵向轴; 驱动装置向振片提供电流; 以及电流通路包括与第一和第二纵轴平行的第一和第二轴向元件。

3. 根据权利要求2的改进, 其中第一轴向元件在方向上面对第二轴向元件。

4. 根据权利要求3的改进, 其中磁场与包含两个振片的平面正交, 振片沿相互靠拢、分离的方向振荡, 相位差为 $180^\circ$ 。

5. 根据权利要求3的改进, 其中磁场位于包含两个振片的平面内, 振片沿越出所述平面的方向振荡。

6. 根据权利要求1的改进, 其中振片由非导体硅构成, 而导电

装置由在硅材料中形成一个导电区域而制成。

7. 根据权利要求1的改进, 其中振片(92、94、122、124)由一个导电的、以硅为基体的材料构成, 振片以此形成导电装置。

8. 根据权利要求1的改进, 其中电流通路包括在平行于纵轴的第一纵向上延伸、并在与该纵轴垂直的第一横向上与该纵轴拉大间隔的第一轴向元件, 和在平行于纵轴的第二纵向上延伸、并在与第一横向平行的第二横向上与该纵轴拉大间隔的第二轴向元件, 第一和第二纵向是相互面对面的, 第一和第二横向也是相互面对面的, 从而沿这条电流通路流动的电流与磁场相互作用, 在振片上产生一个转矩使振片以所述共振频率扭转式振荡。

电磁驱动的振片式力转换器

本发明涉及力转换器，特别涉及一种依靠外力改变振片之频率的力转换器。

振片式力转换器通常在加速计、压力传感器及有关仪器中用作为力—频率转换器。在一种已知的设计（美国专利第4,372,173号）中，力传感器是石英晶体制成的双端音叉形式。此种转换器由一对并排的振片组成，振片末端连接在普通的固定架上。以预定的图案将电极淀积在振片上，并使这些电极与驱动电路相连。驱动电路提供周期性电压使两个振片沿相互靠拢和分离的方向振动，其相差为 $180^\circ$ 。实际上，驱动电路和振片组成了一个振荡器，因为振片起着频率控制晶体的作用，即振片的机械共振控制振荡频率。沿振片方向施加的拉力使共振频率增加，而沿振片方向施加的压力则使共振频率减小。从而驱动信号的频率是沿振片轴向施加的力的一种度量。

振片式力转换器要求材料具有低的内部阻尼以获得高Q值，这样才能降低驱动电压、降低自身发热以及不受电子元件变化的影响。用于高精度仪器的转换器材料还要求机械材料在高应力状态下超过数倍延长周期时具有极高的稳定性。在生产这类转换器中的主要问题之一就是驱动和状态拾取的测量。石英晶体是一种最广泛应用于机械式转换器的材料，因为它的压电特性具有能够通过一种简单的表面电极图案来提供驱动和探测机械运动的能力。

随着硅晶体制成的低成本的微型机械结构的出现，研制硅振动片

式转换器成为理想选择。但硅不具有驱动和感应振片之振动的压电特性。因而希望能提供一种可用来激励和感应硅片共振的方法，而不增加额外的成本、机械不稳定性或多余的复杂性。有一种解决此问题的先有技术方案已经将一种压电材料（如锌氧化物）应用于硅振片上。这种方法能提供所要求的驱动拾取能力，但增加了复杂性、不稳定性和热膨胀失配，并有可能降低此种传感器的可靠性。也可以采用掺杂质和热驱动技术，但这些技术又带来了严重的自身发热问题，而且不能提供探测振片位置状态的装置。

本发明旨在提供一种振动片力转换器，它能够在一个硅微型机械结构中实现。此种力转换器包括具有纵向轴的振片，驱动装置与振片电耦合引起振片以共振频率振荡，该振荡频率随着沿振片纵向轴上所施加的外力而变化。驱动装置向振片提供电流，与该振片物理相接的传导装置接收此电流并使之沿电流通路流动，该通路包括一个与纵轴平行的轴向元件。还提供有磁铁装置用于产生与所述轴向元件横切的磁场。沿电流通路流动的电流与磁场互相作用，从而在振片上产生一个力，这个力使振片以共振频率振荡。

在一个较佳实施例中，转换器拥有一个双端音叉，转换器主体由平行于纵向轴的第一和第二振片构成。对于这样一个实施例，电流通路可能以第一个方向沿着一个振片的纵向轴方向延伸，然后又以相反的方向沿另一个振片的纵向轴方向延伸。当磁场与包含两个振片的平面正交时，沿电流通路流动的电流将使两振片相互靠拢、离开地振荡起来，其相位差为  $180^\circ$ 。以扭力方式振荡的单振片转换器也将给予介绍。

图 1 是表示本发明的力转换器的原理图；

图 2 是一种转换器主体的第一个较佳实施例；  
图 3 是表示图 2 中转换器的较佳共振方式的俯视原理图；  
图 4 是表示一种应用于微型加速计中的力转换器的原理图；  
图 5 是转换器主体的第二个较佳实施例的透视图；  
图 6 是沿图 5 中 6—6 线剖开的剖视图；  
图 7 是表示转换器主体的第三个较佳实施例的透视图；  
图 8 是沿图 7 中线 8—8 剖开的剖视图；  
图 9 是表示转换器主体的第四个较佳实施例的透视图；  
图 10 是表示图 9 的转换器共振状态的侧视图；  
图 11 是转换器主体的第一个扭力式转换器的实施例的透视图；  
图 12 是转换器主体的第二个扭力式实施例的透视图；  
图 13 是表示磁铁安装技术的透视图；和  
图 14 是驱动电路的电路原理图。

图 1 是根据本发明的力转换器的原理示意图。该转换器由振片 10、磁铁 20 和 22 及驱动电路 24 构成。振片 10 沿着纵轴 16 在构件 12 和 14 之间连接，并包含一个导电区域 18，该区域通常与轴 16 平行。构件 12 和 14 向振片 10 施加拉力或压力  $F$ ，磁铁 20 和 22 产生磁场  $B$ ，该磁场通常以垂直于轴 16 的方向通过振片 10，特别是通过导电区域 18。

驱动电路 24 经线 30 和 32 与导电区域 18 相连，并产生周期性电流使之流过该导电区域内。沿导电区域 18 流过的电流与磁场  $B$  相互作用，在振片 10 上产生周期性的力。在图 1 所示的方案中，此力的方向为进、出纸面的方向，因而使振片沿此力方向振动。该驱动电路与振片 10 一起组成一个电振荡器，该振荡器的振荡频率由振片

的机械共振确定。而此种共振频率则取决于构件 1 2 和 1 4 施加在振片上的轴向力  $F$ 。从而驱动电路在线 4 0 上产生一个频率为  $f$  的输出信号，该频率  $f$  随轴向力  $F$  的变化而变化。频率测量电路 4 2 测量此信号频率，在线 4 4 上产生一个输出信号，即提供出力  $F$  的测量结果。

在图 1 所示的方案中，驱动电路 2 4 提供两种功能。首先，驱动电路提供能使电流沿路径 1 8 流动的电能。其次，驱动电路的频率锁定振片 1 0 的机械共振频率，所以驱动电路还提供一个拾取装置用于确定振荡频率。较理想的方案是使用分离的驱动和拾取电路，每一电路拥有一个独立的沿振动片纵轴方向的导电路径 1 8。然而，图 1 所示的单电路的实施例是较简单的，并且通常也是较佳的。如果采用一个独立的探测电路，振片在磁场中的运动将会产生其大小正比于振片运动速度的电流。这一速度信号能够被积分，向探测电路提供状态信息，该信息然后又可以提供给能够控制驱动电流的相位和大小的驱动电路，以维持共振。

本发明的转换器的一个较佳实施例如图 2 所示。图示的转换器由拥有一个双端音叉轮廓形式的转换器主体 5 0 构成，该主体包括其末端通过固定垫 5 6 和 5 8 互连的平行振片 5 2 和 5 4。一种导电（例如金属材料）通路 6 0 淀积在主体 5 0 的上表面，该通路从固定垫 5 6 上的第一接触端 6 2 起，沿着振片 5 2 延伸到固定垫 5 8，然后沿振片 5 4 返回到固定垫 5 6 上的第二接触端 6 4。接触端 6 2 和 6 4 依次与驱动电路连接。磁铁所产生的磁场  $B$  与振片 5 2 和 5 4 以及主体 5 0 的平面正交。因此，电流  $I$  从接触端 6 2 经通路 6 0 到接触端 6 4，其方向如图 2 中箭头所示，在两个振片上产生外向的力。

当电流流动方向相反时，则在两个振片上产生内向的力。因此，振片能以三平面对称的方式振荡，如图3所示。在此种方式中，振片以相互靠拢和离开的方向振动，相位差 $180^\circ$ 。此种振荡方式是较理想的，因为它能消除传至固定垫56和58的应力，使经固定垫进入安装固定垫的结构中的机械能量最小。

图4表示图2所示类型的转换器在一个加速计中的应用。加速计包括通过挠曲件 (flexure) 74与支撑件72相连的校准件70，和位于校准件和支撑件之间在方向上大致与挠曲件平行的转换器主体50。磁铁80和82产生的磁场垂直于主体50的轴线，主体与提供周期性电流使之在转换器振片上流动的驱动电路84相接。在这个应用实例中，图2所示的转换器具有两个电接触端被淀积于同一固定垫上的优点，因此没有必要与校准件70电连接。

图4所示的加速计可以容易地通过已知的硅微型机加工技术来制造。例如，人们可以从在两个表面上均拥有N-掺杂外延层的P型硅晶片做起。可以腐蚀在上表面的外延层来形成转换器主体50，而下表面的外延层则被腐蚀形成挠性件74。在两种情况中，均使用电化学蚀刻嵌填法 (electrochemical etch stop)。或者用另外一种方法，转换器主体50可位于在校准件70和支撑件72的上表面的平面中。转换器主体再次由N掺杂外延层形成。

上面介绍的所有转换器，其振片中都有导电区域或导电通路。图5表示一种实例，在此例中整个振片都导通驱动电路提供的电流。这个实施例包括由振片92和94构成的主体90。振片92和94的一端与共同固定垫96相连，而在其另一端形成分离的固定垫100和102。主体90由导电材料制成，如导电硅、二氧化硅、氮化

硅、硅外延等。构件110和112由非导体材料制成，如非导体松散硅。固定垫100和102与构件110连接，如在加速计中构件110能作为支撑件，固定垫96与构件112连接，如在加速计中构件112就可当成校准件。固定垫100和102构成了与驱动电路相连接的电接触端。

在固定垫100和102的一部分上设置了一个非导体的填充物106，提供振片与振片之间的机械连接而不许电流从其中流过。填充物106能构成一种相反的掺杂材料，这材料与转换器主体90形成一个二极管结。如图6所示的填充物106的形状在硅的微加工处理过程中是几何上可实现的。在位于固定垫96上振片92和94之间，也可以设置第二个非导体填充物114，提供机械上的对称性。由填充物提供的在两个振片之间的附加机械耦合有助于确保两振片以同一频率共振。填充物114提供的对称性的重要性在于能保持动态平衡，使外围构件损耗的能量达到最小。在其各自的构件110和112中填充的填充物106和114的量应该控制到使两端均能表现出弹性或者相对于振片耦合的同一性的程度，尽管其功能是不相似的。

图7和图8表示本发明的又一个实施例。在此实施例中，转换器由一个导电的主体120构成，主体120包括振片122和124、U形段126和电接触端130和132。段126将主体120的一端，与第一固定构件136相连，而接触端130和132将主体的另一端与第二固定构件138相连。接触端130和132可以依次通过固定构件138上的通路140和142与适当的驱动电路相连。

对于图 7 和 8 所示的实施例，振片与振片之间的耦合由位于主体每一端下方的构件来完成。例如在构件 136 上，标有数码 144 的构件部分提供振片之间必需的机械耦合。这种方法是不尽完美的，因为弹性基底与振片之运动不一致，它包括振片之间的耦合。这便产生了一种非线性的振片运动，一种轻微的迭加旋转，这种旋转会引起某种非平面运动。然而，这种方案仍有许多用途。此外，这种旋转能够通过固定在固定构件处的振片之间的填充物消除掉。此种填充物可以与振片相反的方式掺杂，以保证绝缘。

图 9 和图 10 所示的转换器为非平面共振型。此种转换器由其主体 150 与图 2 所示主体 50 完全相同的结构构成。但对于图 9 和图 10 的实施例来说，磁场  $B$  位于转换器主体的平面内，与振片 152 和 154 正交。因此，一个给定的电流流经通路 156 便在一振片上产生一个向上的力  $F_1$ ，而在另一振片上产生一个向下的力  $F_2$ ，在此种共振方式下的振荡情形如图 10 所示。图 10 所示的共振方式不能象图 3 所示的那样在三平面对称状态下良好地消除固有的动态应力，但此种方案在要求薄、平和/或低频力转换器的场合是有用的。

图 11 表示本发明的一种扭力转换器的实施例。图 11 所示的这种力转换器包括一个由单一振片 162 组成的主体 160，这个单一的振片有上表面 164 和下表面 166。一个单一的导电通路 170 在上表面 164 上沿振片 162 的长度方向延伸，然后转至下表面 166，再沿着振片的长度方向返回。由于其方向如图所示的磁场  $B$  与机身 160 的平面正交，电流经通路 170 流过，产生力  $F_1$  和  $F_2$ ，这两个力的合力在振片上产生一个关于纵轴的扭矩。主体 160 可以包括臂 172 以增加主体运动的惯量。图 11 所示的转换器能够

以仅仅在振片的一个侧面上做出导电图案的方法制成。不过对于此种方案，磁场必须在转换器平面内具有足够大的矢量分量与振片纵轴方向正交。在图 1 1 所示的方案中，电流在振片的两对边上以相反的方向流动，这能够消除由于磁场不一致造成的线性力，这一特性有助于使与不希望有的非旋转共振状态的耦合变得最小。

图 1 2 为本发明的第二旋转实施例。图 1 2 的转换器包括沿纵轴 1 8 8 延伸、处于固定构件 1 8 4 和 1 8 6 之间的振片 1 8 2。振片 1 8 2 的中心部分由加大的部分 1 9 0 构成，1 9 0 部分包括沿横轴 1 9 8 方向从振片处以相反方向延伸出的两个臂 1 9 2 和 1 9 4。导电通路 1 9 6 从构件 1 8 4 上的第一个接触端 2 0 0 起，沿振片 1 8 2 到中心部分 1 9 0，如图所示绕中心部分一周再沿振片 1 8 2 返回也是位于构件 1 8 4 上的第二接触端 2 0 2。磁场 B 的取向如图所示，与横轴 1 9 8 平行，标明的电流在通路 1 9 6 中流动，特别在通路 1 9 6 的 2 0 4 和 2 0 6 部分，产生相反方向的力  $F_1$  和  $F_2$ ，这两个力的作用结果是产生一个绕纵轴 1 8 8 方向旋转的力，如同图 1 1 所示的实施例一样。

本发明应用所需的磁场可以通过多种方式产生，包括永久磁铁、电流线圈和地磁场。在所有这些情形中，在每个振动片上的驱动力将正比于磁场的大小。磁场矢量方向的改变也将影响所希望的方向上的驱动力的大小。由于驱动电路所需的增益直接受磁场强度的影响，因此希望保持一个恒定的磁场矢量。所以，希望高磁通量，从而使地磁场和电磁噪音的感应对于驱动级的影响很微弱。在导体中电流也可以很小，以减小功率的损耗、电压需求和自身发热。对于一些应用实例来说，为了控制驱动级，除永久磁铁外还采用一个电流线圈的方法是

可取的。

在微型机械仪器的产品中，例如微型加速计中，可以采取在硅晶片上直接淀积一个永久磁铁的方法。这种结构的一个例子如图 1 3 所示。图中只画出了加速计的一部分，包括经适配的挠性装置（未画出）与支撑件 2 2 2 连接的校准件 2 2 0。支撑件 2 2 2 包括一个开口部分 2 2 4，通过这个开口部分使转换器振片 2 2 6 和 2 2 8 置于校准件 2 2 0 和支撑件 2 2 2 之间。桥型构件 2 3 0 得到支撑件 2 2 2 的保护，并跨接在振片 2 2 6 和 2 2 8 之上。桥型构件装有一个磁铁 2 3 2，因此磁铁直接定位于振片之上，并产生一个与振片纵向轴正交的磁场。

图 1 4 为适用于本发明的转换器的一个驱动电路。对于已介绍的转换器类型，一个振片或多个振片在磁场中的振荡可以抽象为一个电感、电阻和电容的并联，如图中机械共振组件 2 5 0 所示。驱动这一装置的电路包括一个跨导放大器 2 5 2 和增益控制电路 2 5 4，以正反馈环路形式与组件 2 5 0 连接。跨导放大器 2 5 2 在线 2 5 6 上产生一个输出电流，该电流与线 2 5 8 上的放大器同相输入端上输入信号电压成正比。增益控制电路 2 5 4 包括固定电阻 2 6 0、可调电阻（场效应管 F E T）2 6 2 和滤波器 2 6 4。滤波器 2 6 4 将线 2 5 6 上的 A C 驱动信号滤掉，以便在线 2 6 8 上产生一个变化缓慢的与驱动信号大小成正比的信号。线 2 6 8 上的信号作为一个控制信号来对场效应管 2 6 2 的电阻变化进行控制，从而控制线 2 5 8 上的反馈信号的大小。

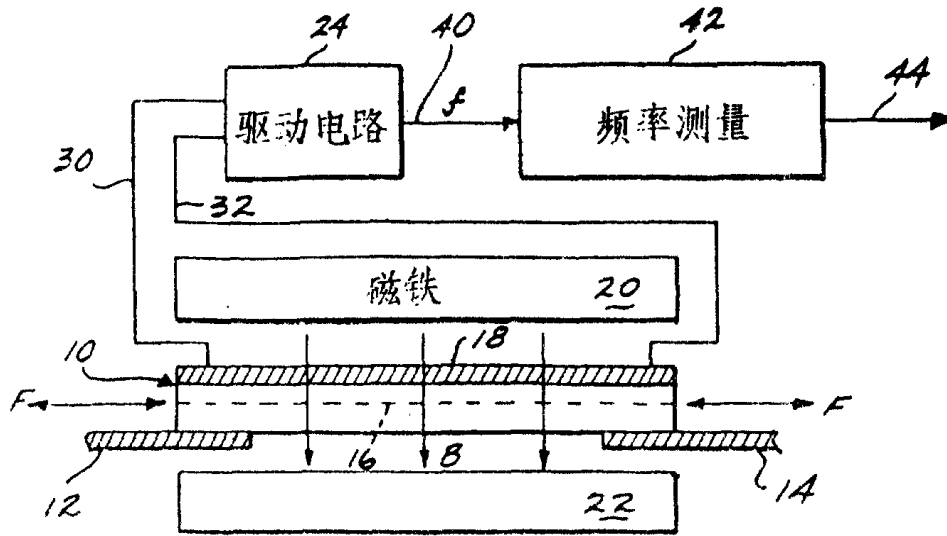


图 1.

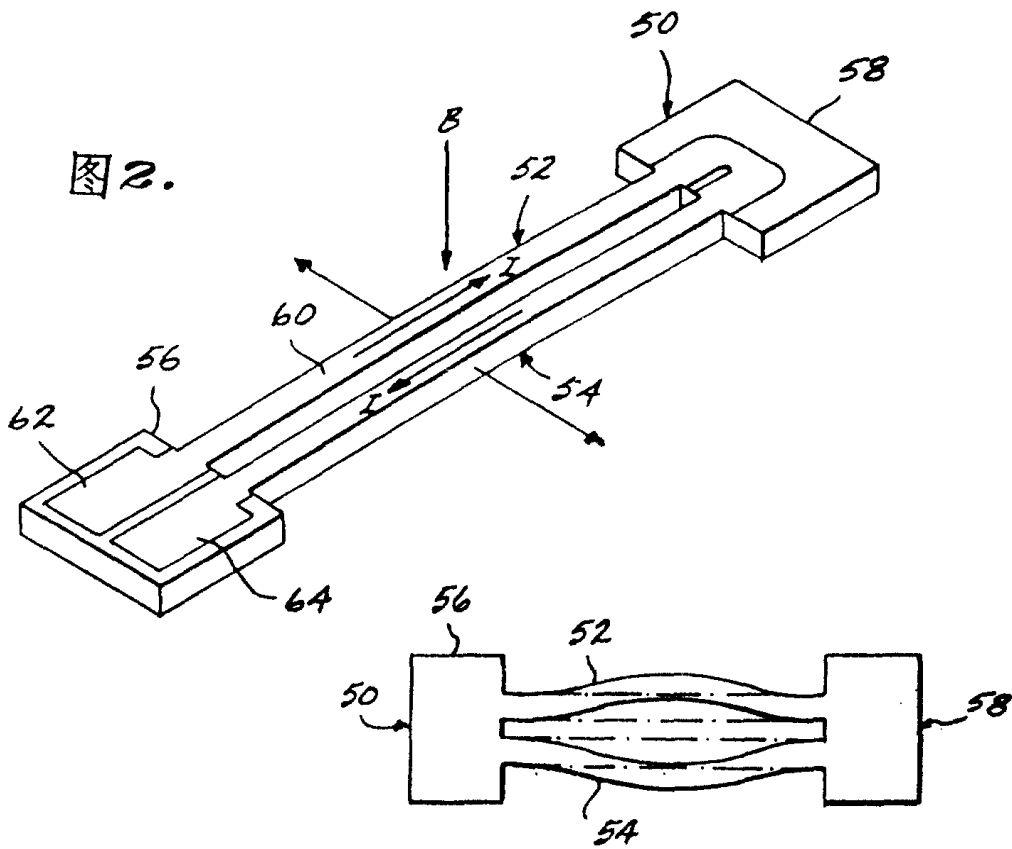


图 3.

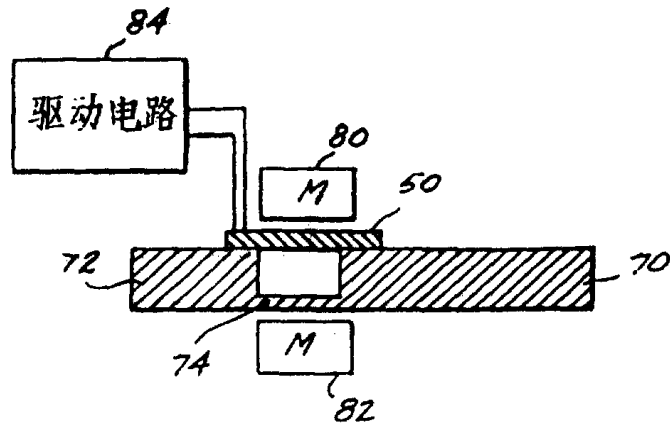


图 4.

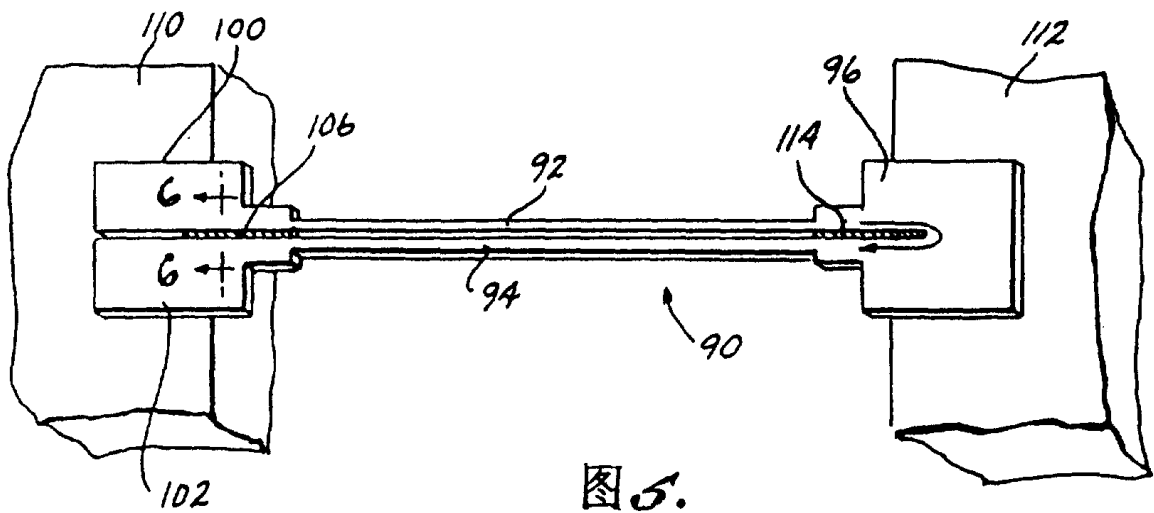


图 5.

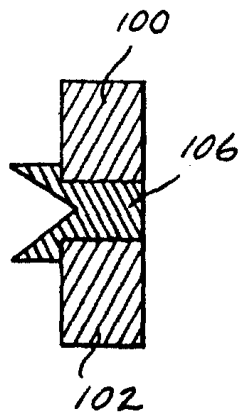


图 6.

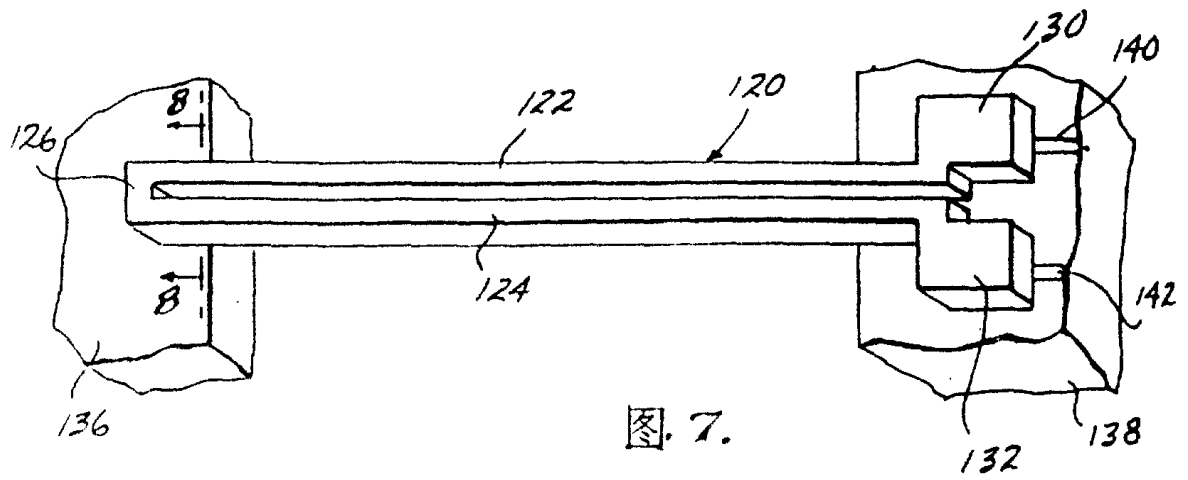


图 7.

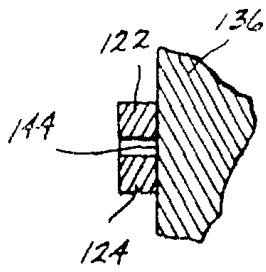


图 8.

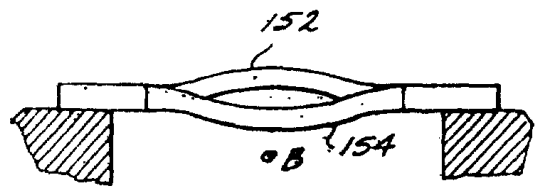


图 10.

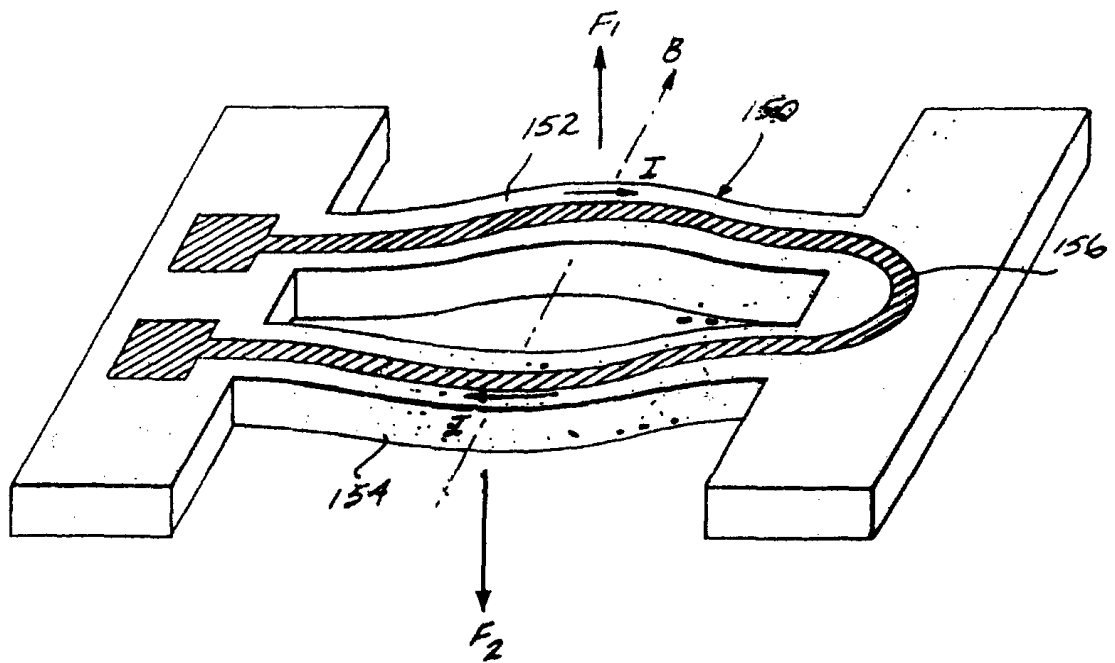


图 9.

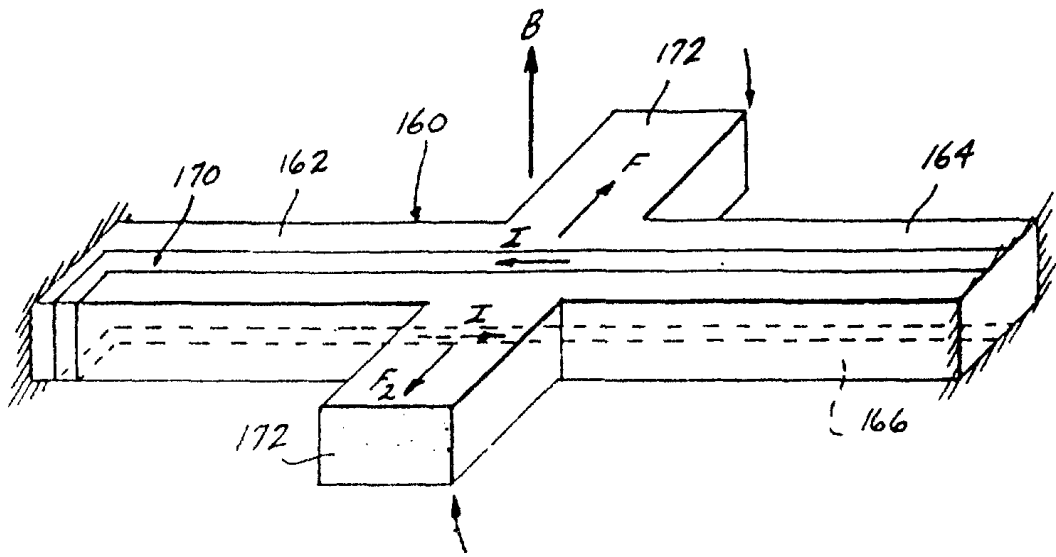


图. 11.

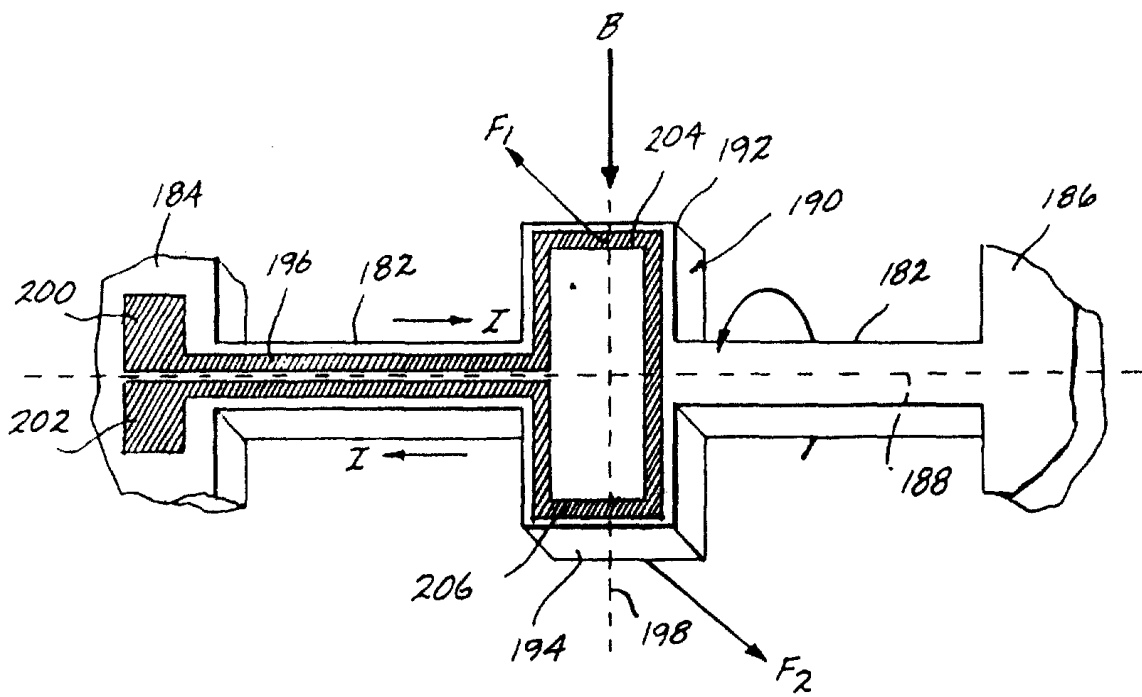


图. 12.

图 13.

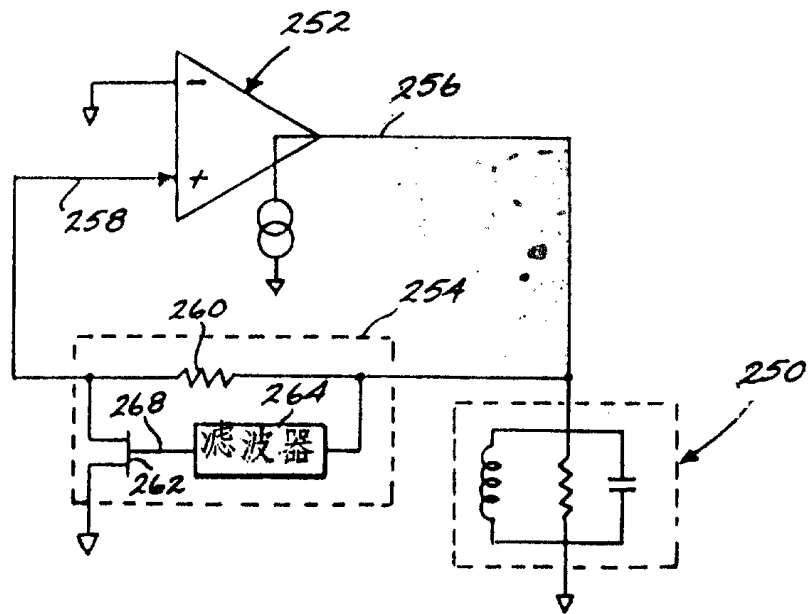
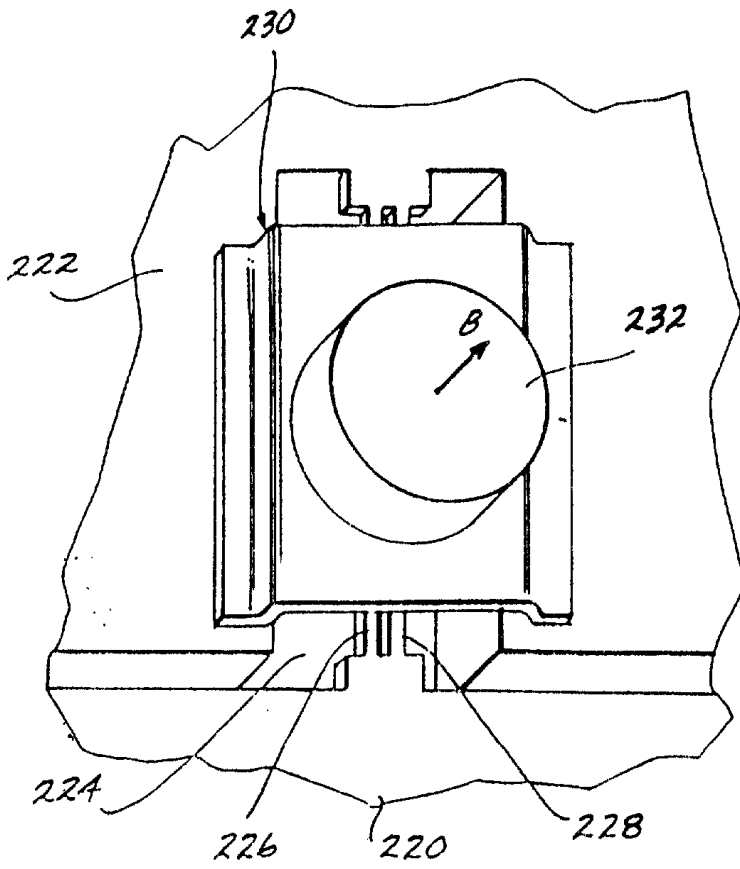


图 14.