



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1932327 B

(45) 授权公告日 2010.06.09

(21) 申请号 200610106147.4

验及分析. 石家庄铁道学院学报第 15 卷 第 3 期. 2002, 第 15 卷 (第 3 期), 第 33-35 页.

(22) 申请日 2006.07.19

审查员 刘军

(30) 优先权数据

11/185,026 2005.07.20 US

(73) 专利权人 香港理工大学

地址 中国香港

(72) 发明人 柯少荣 倪一清 段元锋

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限  
责任公司 11219

代理人 张文 车文

(51) Int. Cl.

F16F 9/53 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1420969 A, 2003.05.28, 全文.

CN 1553998 A, 2004.12.08, 全文.

US 5251729 A, 1993.10.12, 全文.

JP 特开 2004-215375 A, 2004.07.29, 全文.

刑海军、任杰、郭文武. 磁流变减振器性能试

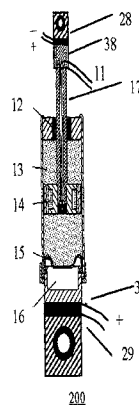
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 7 页

(54) 发明名称

磁流变阻尼器及其使用

(57) 摘要

一种用于结构振动控制中的磁流变阻尼器, 具有阻尼器本体和相对于阻尼器本体可移动的部分。阻尼器包括包含在阻尼器本体中用来抵抗可移动部分运动的磁流变材料。由于磁场的变化在受到该磁场作用的磁流变材料中产生流变改变。阻尼器还包括至少一个传感器, 其嵌入在阻尼器中用于检测施加于阻尼器上的外力, 并且用于产生信号以控制磁场并且因此控制阻尼器响应于外力的变化而产生的屈服力和流变阻尼。



1. 一种用于结构振动控制中的磁流变阻尼器,其具有阻尼器本体和相对于阻尼器本体可移动的部分,所述阻尼器包括:

包含在阻尼器本体中用来抵抗可移动部分运动的磁流变材料,其中由于磁场的变化在受到该磁场作用的磁流变材料中产生流变改变;和

至少一个传感器,其嵌入在阻尼器中用于检测施加于阻尼器上的外力,并且用于产生信号以控制磁场并且因此控制阻尼器响应于外力的变化而产生的屈服力和流变阻尼,

其中所述传感器是压电传感器,所述传感器包括至少一对由压电晶片分开且在压力之下相对彼此叠层地保持起来的平面状电极。

2. 根据权利要求1的阻尼器,其中传感器还包括用来绝缘电极之一的绝缘晶片。

3. 根据权利要求1的阻尼器,其中压电晶片是圆柱形的。

4. 根据权利要求1的阻尼器,其中压电晶片由压电陶瓷、聚合物和复合材料之一制成。

5. 根据权利要求1的阻尼器,其中传感器包括多对平面状电极,每对电极都由压电晶片分开,并且其中平面状电极对和晶片在压力之下相对彼此叠层地保持起来。

6. 根据权利要求5的阻尼器,其中如果压电晶片的数目是奇数,则传感器还包括用来绝缘电极之一的绝缘晶片。

7. 根据权利要求5的阻尼器,其中压电晶片是圆柱形的。

8. 根据权利要求5的阻尼器,其中压电晶片由压电陶瓷、聚合物和复合材料之一制成。

9. 根据权利要求5的阻尼器,其中压电晶片以不同的电极图案或者不同形式的“活动”和“不活动”区域所制成,至少包括全表面、内部、中间、以及外部电极图案。

10. 根据权利要求1的阻尼器,其中传感器安装在阻尼器的纵向端部处。

11. 一种结构振动控制系统,包括:

至少一个磁流变阻尼器,其具有阻尼器本体和相对于阻尼器本体可移动的部分,所述阻尼器包括:

包含在阻尼器本体中用来抵抗可移动部分运动的磁流变材料,其中由于磁场的变化在受到该磁场作用的磁流变材料中产生流变改变;和

至少一个传感器,其嵌入在阻尼器中用于检测施加于阻尼器上的外力,并且用于产生信号以控制磁场并且因此控制阻尼器响应于外力的变化而产生的屈服力和流变阻尼;和

用来从传感器接收信号以及用来根据信号改变磁场的装置,

其中所述传感器是压电传感器,所述传感器包括至少一对由压电晶片分开且在压力之下相对彼此叠层地保持起来的平面状电极。

## 磁流变阻尼器及其使用

### 技术领域

[0001] 本申请涉及结构振动控制机构,并且更具体地涉及用于这种控制的磁流变(MR)阻尼器。

### 背景技术

[0002] 磁流变(MR)阻尼器已经用于民用和机械结构的振动控制。应用例子包括斜拉桥中悬索的减振、汽车座位和悬挂系统的减振、以及自动化和/或精密装备和/或机器的隔振,这里仅举出了几个例子。用于MR阻尼器中的MR材料具有在施加磁场时可逆地改变其流变特性的能力。更详细地,在受到所施加的磁场作用时,它们能在数毫秒内将自己从自由流动、线性的粘性流体变化到屈服应力可调/可控的半固体。通过将不同的电流输入到这种MR阻尼器的电磁体中,能调节/控制施加于MR材料的磁场以使得能易于在数毫秒内调节/控制材料的屈服应力并且因而调节/控制阻尼器的屈服力和流变阻尼。虽然具有可调/可控的屈服力和流变阻尼能力,但是现有的MR阻尼器不能检测结构振动以便进行实时的封闭回路振动控制;相反它们仅限于开放回路模式的操作,并且不能完全地利用它们的可调/可控能力。

[0003] 结构振动控制从MR阻尼器的开放回路到封闭回路操作的技术进步要求为阻尼器开发一种准确的可逆动态模型以确定适合的电流输入从而有利于所希望的屈服力和流变阻尼。尽管如此,对于这些高度非线性的阻尼器而言,开发出这样一种可逆动态模型仍然是一个挑战。可选地,通常以降低控制有效性以及增加实施难度和工程成本为代价,通过在振动结构和阻尼器之间安装力传感器来配置力反馈控制回路以便克服实施可逆动态建模的缺陷。

### 发明内容

[0004] 因此,本发明的目标是提供一种改进的磁流变阻尼器,其中能实现其屈服力和流变阻尼的实时调节/控制,或者至少给公众提供一个有用的选择。

[0005] 本发明的另一目标是提供一种改进的结构振动控制系统,其对于结构振动的变化非常敏感,或者至少给公众提供一个有用的选择。

[0006] 根据本发明的一个方面,一种用于结构振动控制中的磁流变阻尼器具有阻尼器本体和相对于阻尼器本体可移动的部分。阻尼器包括包含在阻尼器本体中用来抵抗可移动部分运动的磁流变材料。由于磁场的变化在受到该磁场作用的磁流变材料中产生流变改变(rheology change)。阻尼器还包括至少一个传感器,其嵌入在阻尼器中用于检测施加于阻尼器上的外力,并且用于产生信号以控制磁场并且因此控制阻尼器响应于外力的变化而产生的屈服力和流变阻尼。

[0007] 根据本发明的第二个方面,一种结构振动控制系统包括:

[0008] 至少一个磁流变阻尼器,其具有阻尼器本体和相对于阻尼器本体可移动的部分,所述阻尼器包括:

[0009] 包含在阻尼器本体中用来抵抗可移动部分运动的磁流变材料,其中由于磁场的变化在受到该磁场作用的磁流变材料中产生流变改变;和

[0010] 至少一个传感器,其嵌入在阻尼器中用于检测施加于阻尼器上的外力,并且用于产生信号以控制磁场并且因此控制阻尼器响应于外力的变化而产生的屈服力和流变阻尼;和

[0011] 用来从传感器接收信号并且用来根据信号改变磁场的装置。

[0012] 优选地,传感器为压电传感器。

### 附图说明

[0013] 从以下结合附图的详细描述中,本发明的其它方面和优点将会很明显,所述详细描述以举例的方式示出了本发明的原理。

[0014] 图 1 是传统的线性磁流变阻尼器的平面图;

[0015] 图 2 是根据本发明一个实施例的示例性磁流变阻尼器的平面图;

[0016] 图 3 是用于图 2 所示阻尼器中的第一传感器的传感部件的分解立体图;

[0017] 图 4 是用于图 2 所示阻尼器中的第二传感器的传感部件的分解立体图;

[0018] 图 5 是用于图 2 所示阻尼器中的第三传感器的传感部件的分解立体图;

[0019] 图 6 是用于图 2 所示阻尼器中的第四传感器的传感部件的分解立体图;

[0020] 图 7 是图 3-6 所示传感器的压电晶片的立体图,由不同的压电材料制成;

[0021] 图 8 是图 3-6 所示传感器的压电晶片的立体图,具有不同的电极图案;以及

[0022] 图 9 示出了传感器的两个试验结果。

### 具体实施方式

[0023] 图 1 示出了现有技术中已知的一种常规磁流变 (MR) 阻尼器 100。常规 MR 阻尼器 100 通常包括一对电线 11、支承和密封单元 12、容纳 MR 材料或流体 13 的圆柱体、电磁体 14、膜片 15、蓄电池 16、活塞 17、上连接支架 18 以及下连接支架 19。支承和密封单元 12 引导活塞 17 的运动并防止 MR 材料 13 的泄漏。通过利用一对电线 11 将不同的电流输入于电磁体 14,MR 材料 13 可从自由流动、线性的粘性流体可逆地变化到屈服应力可调/可控的半固体,以使得阻尼器的屈服力和流变阻尼能相应地变化。

[0024] 这种或类似的常规阻尼器在本领域是公知的。例如参见由 David J. Carlson 在 1997 年 10 月 29 提交的名称为“Controllable medium device and apparatus utilizing same(可控介质设备以及使用该介质设备的装置)”的美国专利 6,394,239;由 Aumann 等在 2000 年 6 月 30 日提交的名称为“Apparatus for recovering core samples at in situ conditions(现场回收岩心试样的装置)”的美国专利 6,378,631;由 Ivers 等在 2000 年 2 月 11 日提交的名称为“Two-way magnetorheological fluid valve assembly and devices utilizing same(双向磁流变流体阀组件和使用该组件的设备)”的美国专利 6,158,470;由 Jolly 等在 1997 年 11 月 25 日提交的名称为“Adjustable valve and vibration damper utilizing same(可调阀和利用该可调阀的减振器)”的美国专利 6,131,709;由 Ivers 等在 1997 年 3 月 5 日提交的名称为“Two-way magnetorheological fluid valve assembly and devices utilizing same(双向磁流变流体阀组件和使用该组件的设备)”的美国专

利 6,095,486 ;由 Carlson 等在 1999 年 7 月 2 日提交的名称为“Controllable vibration apparatus(可控振动装置)”的美国专利 5,878,851 ;由 Carlson 等在 1994 年 2 月 7 日提交的名称为“Magnetorheological fluid devices(磁流变流体设备)”的美国专利 5,398,917 ;由 Carlson 等在 1992 年 6 月 18 日提交的名称为“Magnetorheological fluid devices(磁流变流体设备)”的美国专利 5,284,330 ;由 Carlson 等在 1992 年 6 月 18 日提交的名称为“Magnetorheological fluid damper(磁流变流体阻尼器)”的美国专利 5,277,281。所有这些参考文献以参考的方式结合于此。

[0025] 图 2 示出了本发明的 MR 阻尼器 200 的示例性实施例。类似于图 1 的常规 MR 阻尼器 100,MR 阻尼器 200 也包括一对电线 11、支承和密封单元 12、容纳 MR 材料或流体 13 的圆柱体、电磁体 14、膜片 15、蓄电池 16、以及活塞 17。MR 阻尼器 200 还包括第一压电传感器 28 和第二压电传感器 29,用于测量由于结构振动而施加于阻尼器上的外力。在本发明中,通过替换图 1 所示常规 MR 阻尼器 100 中的上连接支架 18 和下连接支架 19 的部件,压电传感器 28 和 29 分别附接到上连接支架 18 的下部 38 和下连接支架 19 的下部 39。这些定位基本上可以确保嵌入 MR 阻尼器 200 中的压电传感器 28 和 29 :1) 能产生与外力成比例的强烈输出信号(即良好的机械耦合和线性度);2) 对外力的变化敏感;和 3) 易于安装。压电传感器 28 和 29 感知由于结构振动而施加于阻尼器上的外力中的变化并且根据施加在其电极表面上的外力(即压力;图 8 中将有描述)中的变化而产生电信号,这种电信号能用来帮助调节/控制通向电磁铁 14 的电流输入以调节/控制应用于阻尼器的磁场并且因此调节/控制所得到的阻尼器的屈服力和流变阻尼。由于压电传感器 28 和 29 能检测外力(或压力)中的实时变化,所以能实现对阻尼器的屈服力和流变阻尼的实时调节/控制。

[0026] 如同现有技术中所能理解的,压电传感器 28 和 29 除了它们的尺寸可以不同之外能完全相同。如同现有技术中还能理解的,能通过只是利用图 2 中的压电传感器 28 或压电传感器 29 可以开发出具有单个传感器的 MR 阻尼器。然而,与单个传感器设计相比,图 2 所示的双传感器设计提供对结构振动更加准确和可靠的测量。

[0027] 在图 3 中,示出了第一示例性传感器的传感器部件,包括两个安装在压电晶片 30 任一侧上的晶片电极 31 和 32。为了描述的简单起见,晶片电极 31 设定为正极,而电极 32 设定为负极。绝缘晶片 33 安装在电极 31 和连接支架的下部的邻近表面 40 之间,参照图 2,上述下部相应于上连接支架 18 的下部 38 和下连接支架 19 的下部 39。通过利用从一个新的连接支架 42 突出到开口在连接支架(38 或 39)的下部(38 或 39)中的轴孔 43 的螺纹轴 41 在机械压力之下将这些传感器部件中心地夹持在叠层 35 中。预施加的压力足够地大以使得压电晶片 40 在操作期间仍然受压。螺纹轴 41 应当与晶片电极 31 和 32 以及压电晶片 30 绝缘。电线(未示出)在使用中通过信号调节单元 24 和数据获取单元 25 连接至晶片电极 31 和 32 以传送由压电晶片 30 所产生的电荷(并且因此电压)。利用个人计算机 26 能记录和处理其结果并显示在监视器 27 上。这使得在阻尼器的操作中能监测外力(或压力)。另外,如同现有技术中所能理解的,通过使用所述结果来调节/控制向电磁体 14 的电流输入还能实现对于屈服力和流变阻尼的实时调节/控制。

[0028] 在图 4 中,包括另两个压电晶片 30 和两个晶片电极 31 和 32 的叠层 36 添加到如图 3 所示的传感器。压电晶片和晶片电极以交替的顺序布置。通过将所有的正极晶片电极连接起来作为一个节点,并且将所有的负极晶片电极连接起来作为另一个节点,就能获得

由两个节点所产生的表示所有三个压电晶片效果的电荷以便监测施加于阻尼器上的外力。这样,就提高了传感器的灵敏度。类似地,通过增加更多的叠层 36,能布置五个、七个或更多的压电晶片以提高传感器的灵敏度。

[0029] 在图 5 中,两个压电晶片 30 与三个晶片电极(两个 32 和一个 31)以交替的方式布置以形成叠层 37。这样就能获得由正极晶片电极 31 和两个负极晶片电极 32 所产生的电荷以便监测施加于阻尼器上的外力。在布置两个压电晶片的情况下,可以无需如同叠层 35(图 3 和 4)中的绝缘晶片 33,因为一个压电晶片也起绝缘晶片的作用。

[0030] 在图 6 中,通过将叠层 36(与图 4 中的相同)增加到叠层 37 上,能布置四个压电晶片。类似地,通过增加更多的叠层 36,能布置六个、八个或更多的压电晶片来以改进的传感器灵敏度监测外力。

[0031] 压电晶片 30 可以是任何适合的压电材料,包括压电陶瓷、聚合物以及复合材料,因为它们在大频率范围内的有效性、简单性、可靠性、紧凑性和轻质性的缘故。在图 7 中,本发明显示了一个压电陶瓷元件和四个具有不同构造的压电陶瓷/聚合物复合材料元件:也就是,0-3、1-3、径向 2-2 和平行 2-2 构造。通常压电陶瓷传感器在窄的带宽内具有锐共振和高灵敏度。频率在其共振范围内的信号将大大地放大并且可以形成人工因素。由于陶瓷很硬且很脆,就难以生产出很大尺寸和复杂形状的陶瓷传感器并且由于机械冲击或振动所产生的损伤就更严重。然而,压电聚合物传感器具有更宽的带宽,并且在很宽范围的频率上将以差不多相等的灵敏度接收所有信号。它们能被制造为复杂形状且对于机械应力而言更加弹性,因为它们更加柔软。它们的主要缺点是较低的灵敏度和较低的温度稳定性。另一方面,压电复合材料传感器能被制作为结合陶瓷和聚合物的期望性质并且最适于该传感器。

[0032] 在图 8 中,通过“活动”区域 51 和“不活动”区域 50 的形式表现出了晶片 30 的不同电极图案。根据“活动”和“不活动”区域的相对位置,清楚表明了全表面(图 8a)、内部(图 8b)、中间(图 8c)和外部(图 8d)电极图案。这些电极图案能用于前述陶瓷、聚合物和复合材料之中任何种类材料的晶片 30。

[0033] 在图 9 中,示出了两个试验结果,通过测量由压电传感器(28 和 / 或 29)所产生的并在图 3 的监视器 27 上显示为电压的电荷,能精细地监测施加于阻尼器上的包括振幅和相位的准正弦曲线力(图 9a)和矩形曲线力(图 9b)。

[0034] 虽然所有的所述晶片是圆柱形的,但是本发明的实施例可以设有其它形状的晶片,包括不规则的和矩形横截面的一致或复合材料晶片。

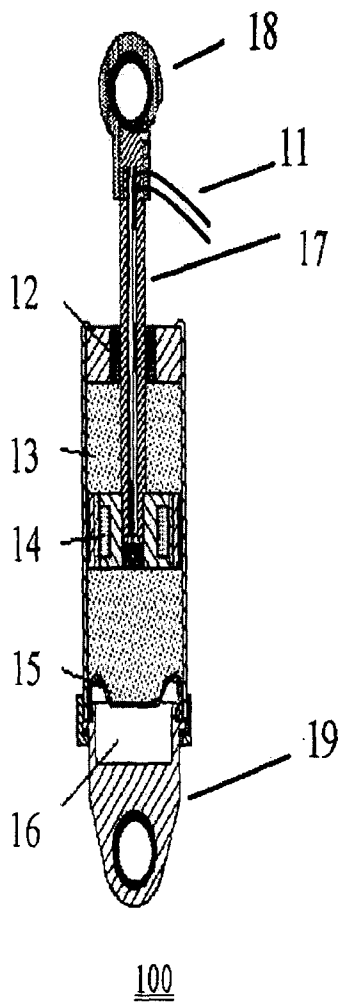


图 1

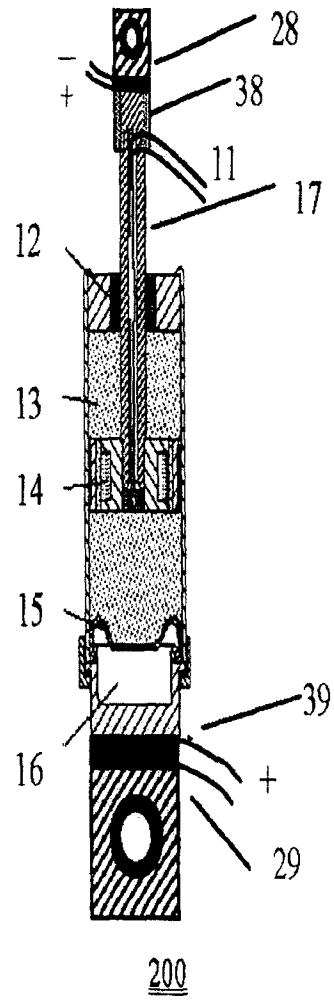


图 2

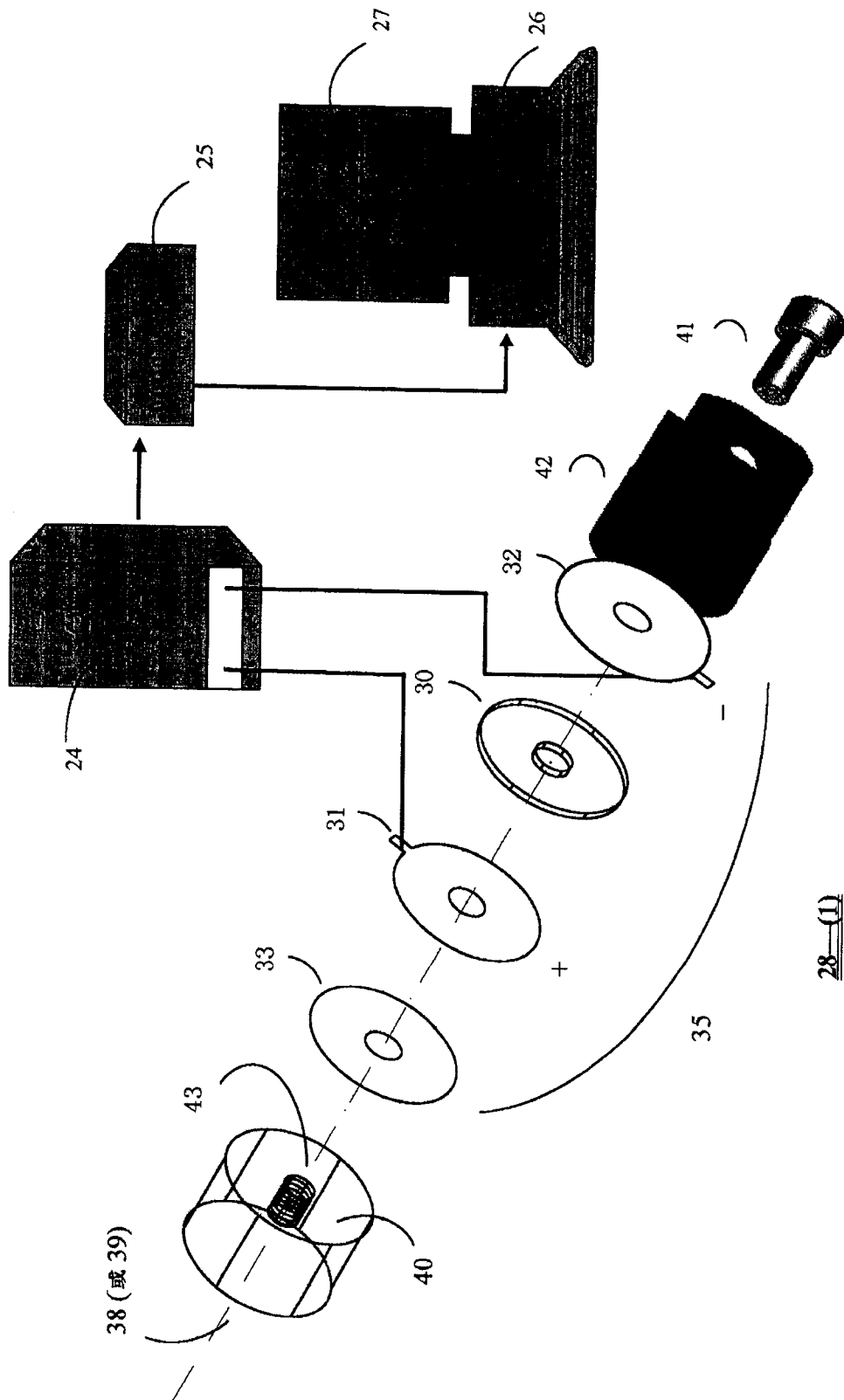


图 3



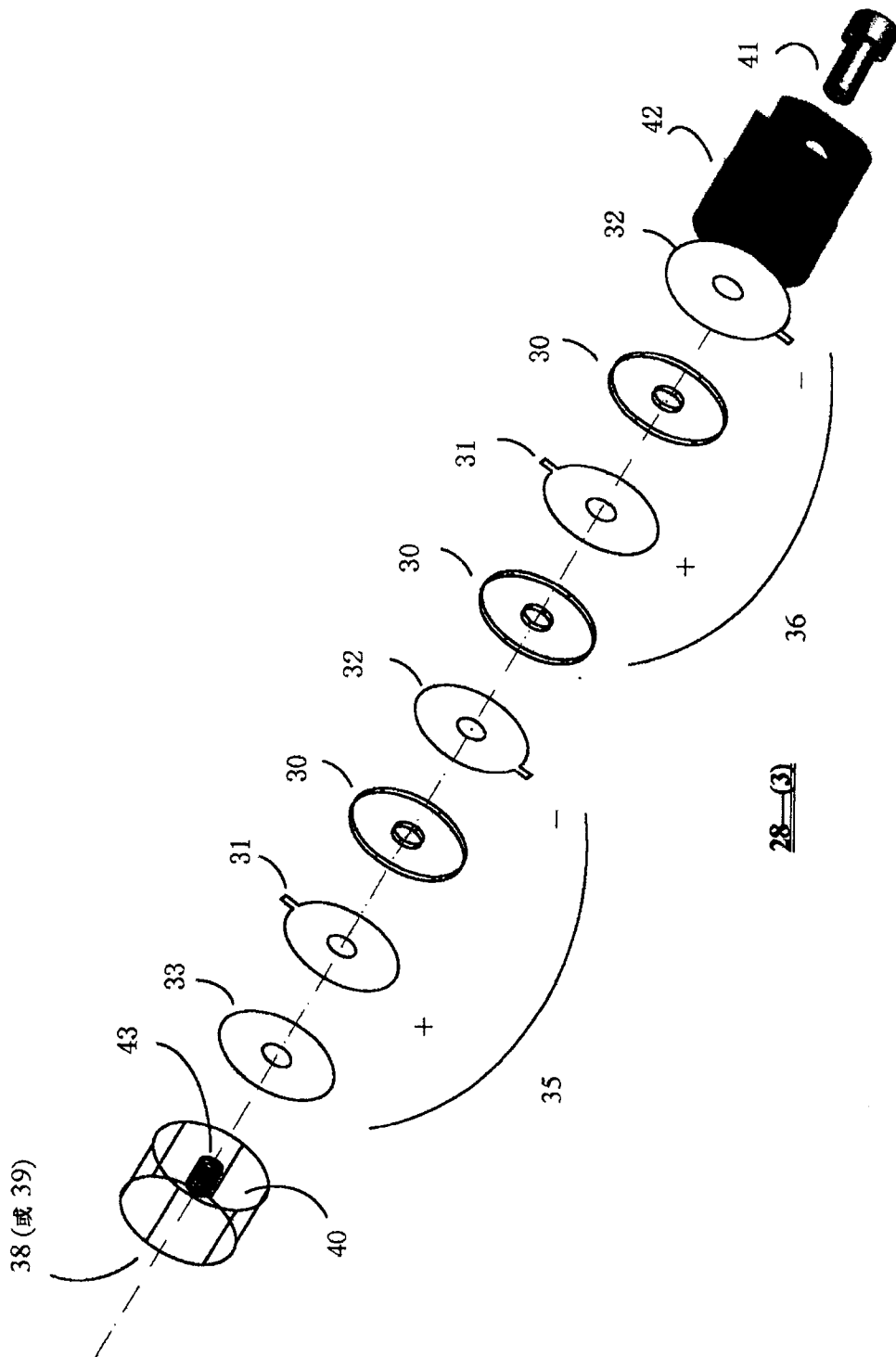


图 4

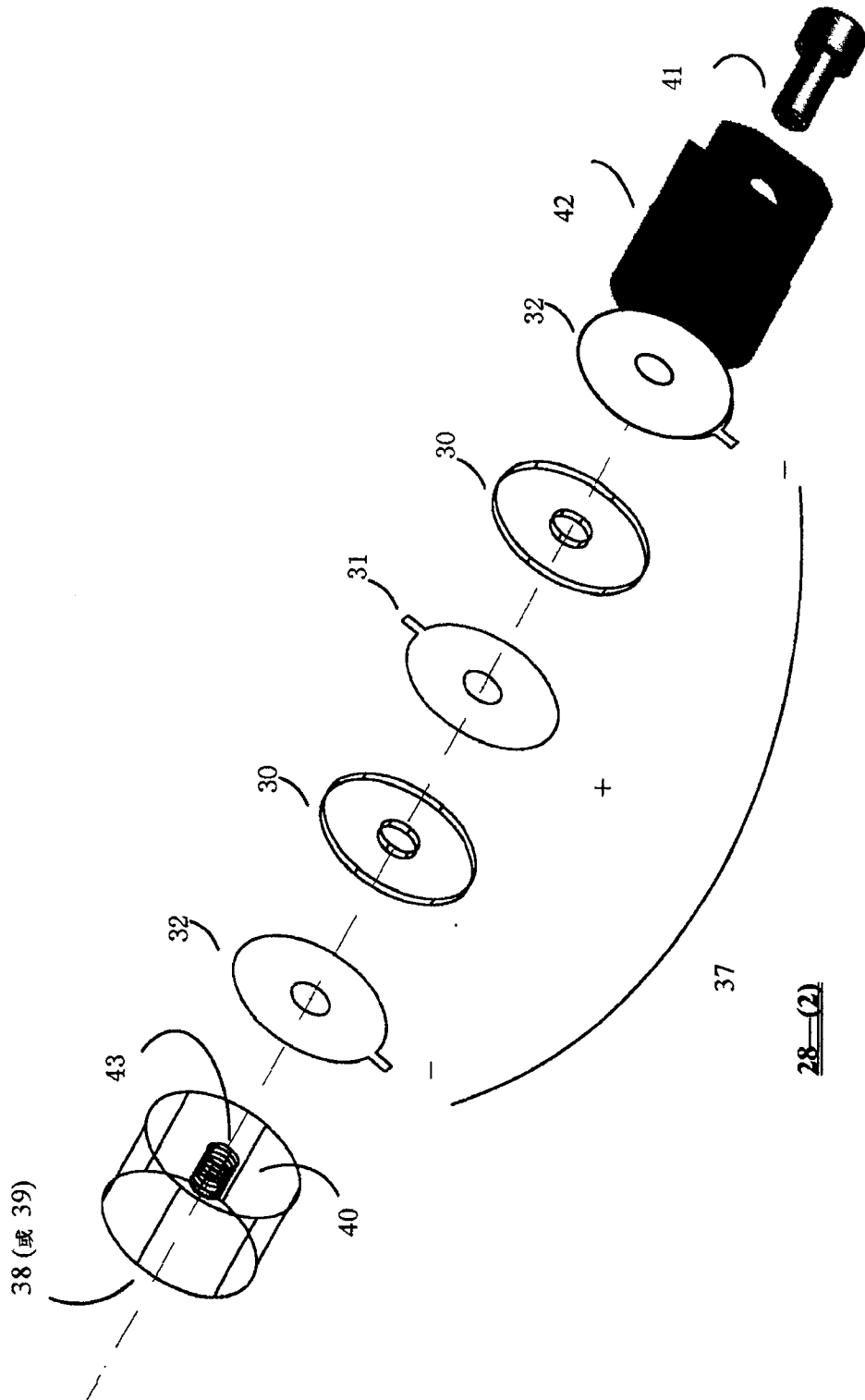


图 5

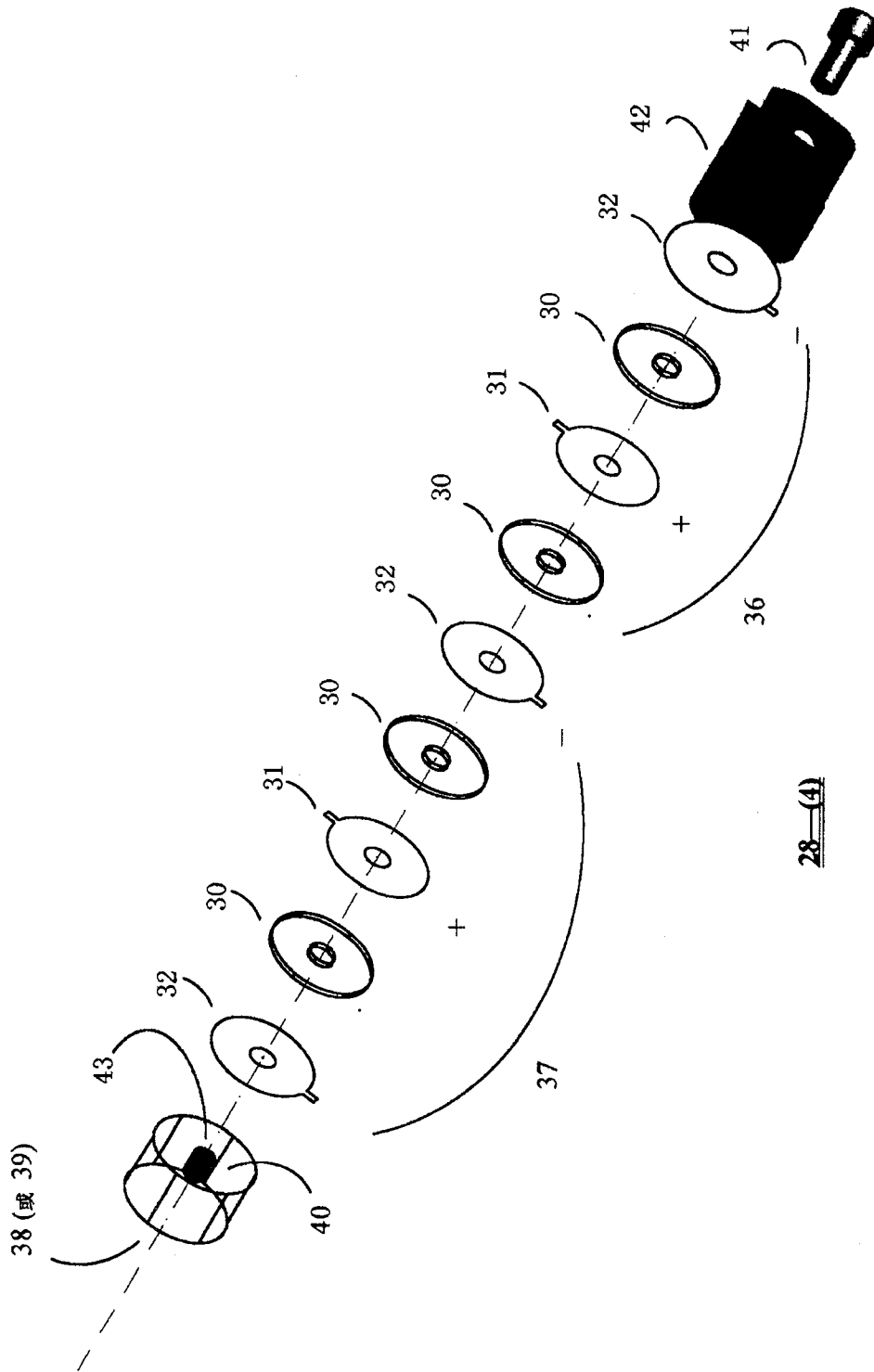


图 6

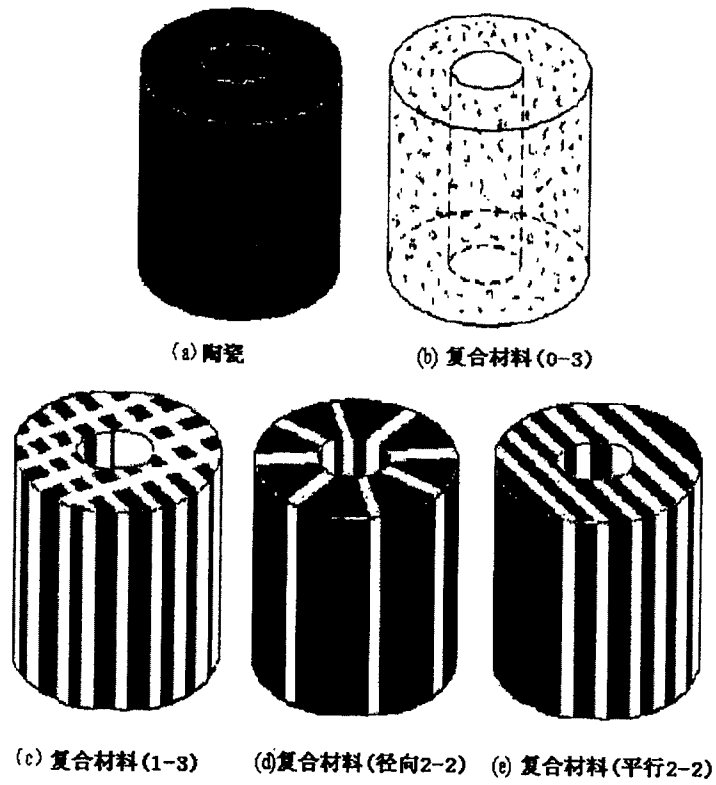


图 7

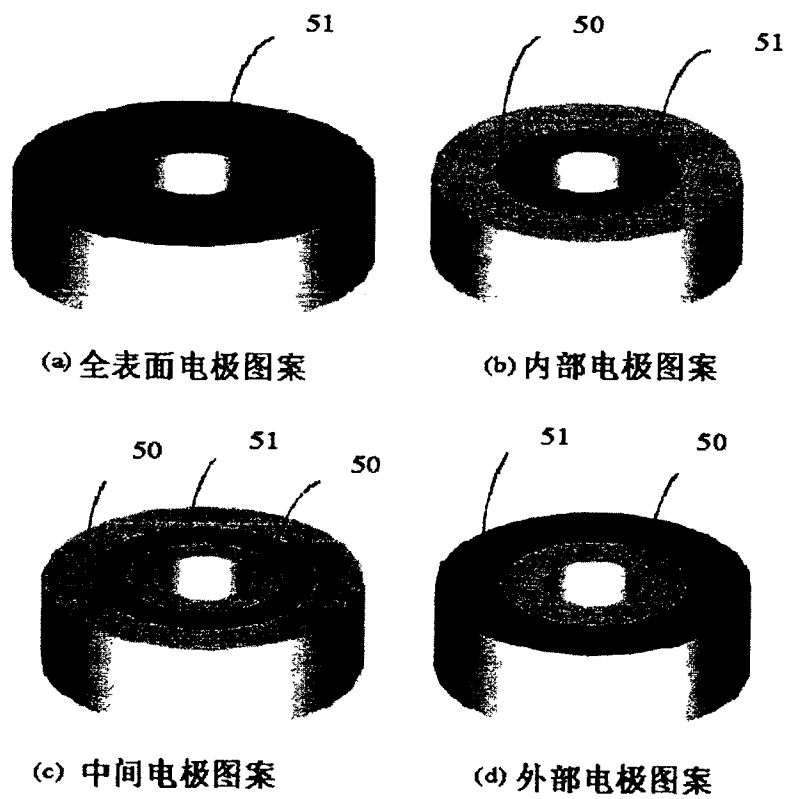
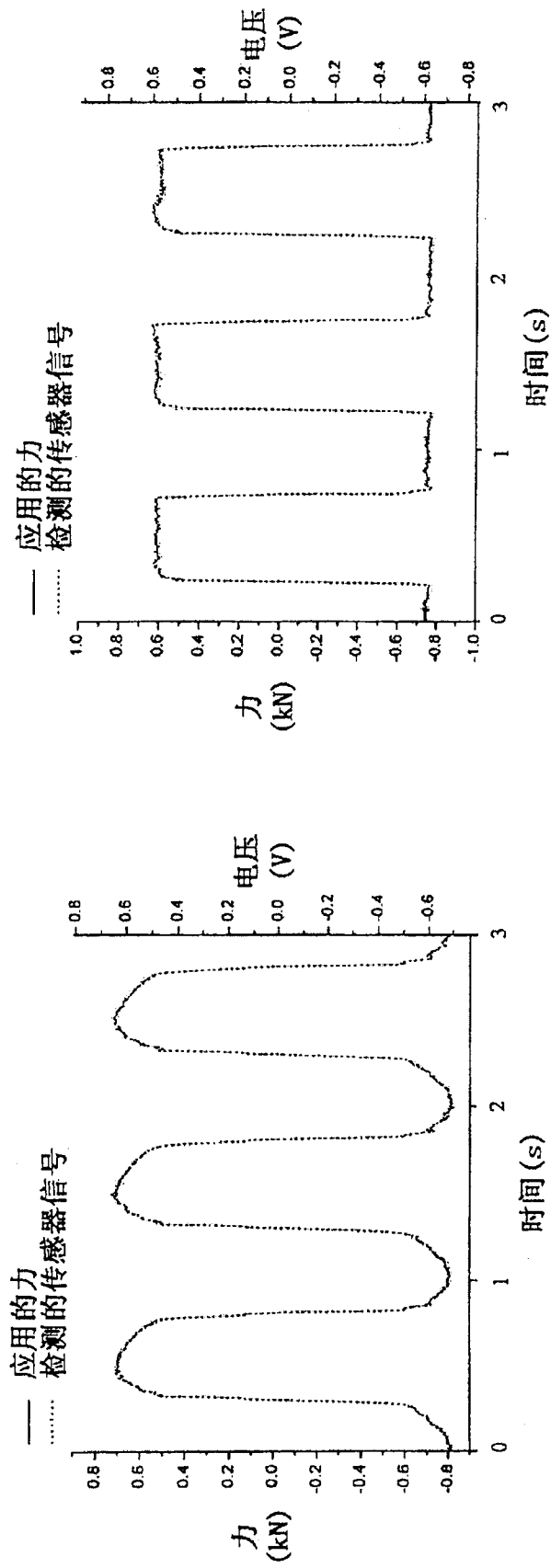


图 8



(b) 矩形的力

(a) 准正弦的力

图 9