

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/26 (2006.01)

G02B 6/36 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01808246.7

[45] 授权公告日 2007 年 2 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1302303C

[22] 申请日 2001.2.16 [21] 申请号 01808246.7

[30] 优先权

[32] 2000. 2. 18 [33] US [31] 09/507,520

[86] 国际申请 PCT/US2001/005031 2001. 2. 16

[87] 国际公布 WO2001/061393 英 2001. 8. 23

[85] 进入国家阶段日期 2002. 10. 17

[73] 专利权人 约翰·G·伯杰

地址 美国明尼苏达州

共同专利权人 戴维·J·埃蒙斯

[72] 发明人 约翰·G·伯杰 戴维·J·埃蒙斯

[56] 参考文献

CN88100115A 1988. 8. 31

US5239599A 1993. 8. 24

US5127084A 1992. 6. 30

US5201016A 1993. 4. 6

US5434936A 1995. 7. 18

审查员 关 刚

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 刘晓峰

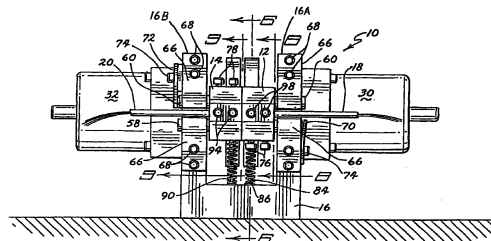
权利要求书 3 页 说明书 19 页 附图 11 页

[54] 发明名称

双梁光学开关和衰减器及其使用方法

[57] 摘要

一种光学开关和衰减器，包括：可移动的第一构件和第二构件；至少一第一光波导安装在所述第一构件上，所述第一光波导终止在第一光端面上；至少一第二光波导安装在所述第二构件上，所述第二光波导终止在第二光端面上；所述第一构件和第二构件被相对安装，从而使所述第一光端面与所述第二光端面相对，第一光端面的移动在第一平面上描划出第一路径，所述第二光端面的移动在第二平面上描划出第二路径，所述第一平面和第二平面基本平行，并且所述第一、第二路径不平行并且至少部分重叠；和一个可控制的驱动器，用于对所述的第一构件和第二构件进行移动，从而实现在至少所述第一光波导与至少所述第二光波导光学不对准和对准。该设备可实现对任意数量的输入和输出波导的高性能的开关控制和衰减。



1、一种光学开关，包括：

可移动的第一构件和可移动的第二构件；

至少一个第一光波导安装在所述第一构件上，所述第一光波导终止在第一光端面上；

至少一个第二光波导安装在所述第二构件上，所述第二光波导终止在第二光端面上；

所述第一构件和第二构件被相对安装，从而使所述第一光端面与所述第二光端面相对，第一光端面的移动在第一平面上描划出第一路径，所述第二光端面的移动在第二平面上描划出第二路径，所述第一平面和第二平面基本平行，并且所述第一、第二路径不平行并且至少部分重叠；和

单独的可独立地控制的驱动器，所述驱动器分别与可移动的第一构件和可移动的第二构件连接，用于选择性地和独立地移动所述的第一构件和第二构件，以便使所述至少一个第一光波导与所述至少一个第二光波导光学不对准或对准。

2、按照权利要求 1 所述的光学开关，其中所述第一光波导和第二光波导是光纤。

3、按照权利要求 1 所述的光学开关，其中所述的第一构件和第二构件是支撑在基座上的，从而这两部分是可移动的。

4、按照权利要求 3 所述的光学开关，其中在基座上安装可围绕枢轴转动的梁。

5、按照权利要求 4 所述的光学开关，其中所述驱动器对所述第一构件和第二构件在枢轴上进行移动，从而在所述第一光端面和第二光端面上驱动移动被减弱。

6、按照权利要求 1 所述的光学开关，其中所述可控制的驱动器中的每一个将其连接的第一、第二构件的部分移动一个已知距离且所述第一、第二光端面移动较短的距离。

7、按照权利要求 6 所述的光学开关，其中具有多个安装在第一套管上的第一光波导和多个安装在第二套管上的第二光波导，所述套管分别安

装在第一、第二构件上并且在一确定的路径上移动，从而使多个第一光学波导中的每一个波导被移动，与多个第二光波导中的任一个波导对准。

8、按照权利要求 7 所述的光学开关，其中所述可控制的驱动器中的每一个驱动器可独立地移动到已知的预选定位置，从而使从第一光波导中选出的一个第一光波导与从第二光波导中选出的一个第二光波导对准。

9、按照权利要求 1、7 或 8 所述的光学开关，其中第一、第二构件包括细长的梁，所述梁相对于支撑件枢转固定在相邻的第一端上，可控制驱动器的工作将所述梁移动到距每个梁的枢转安装间隔第一距离的位置，并且至少一个第一光波导和至少一个第二光波导分别安装在各自的梁上，使光波导的移动小于第一距离。

10、按照权利要求 1-8 中的任一项所述的光学开关，其中所述的其它可控制的驱动器包括单独的步进式电机或单独的丝杆件，用于与每个移动件啮合，而且单独的可控电机用于对所述单独的丝杆件进行驱动；和一个控制器，所述控制器对所述的步进式电机和所述的可控电机进行控制。

11、一种控制如权利要求 1—10 所述的光学开关的方法，包括：将至少一个第一光波导安装在一第一移动构件上，将至少一个第二光波导安装在位于对面位置上的一第二移动构件上，被安装的光波导在至少部分重叠的单独的不平行路径上移动，并且使用移动第一和第二光学波导的单独的驱动器，选择性地和独立地使至少一个第一光波导在第一位置对准至少一个第二光学波导，并使至少一个第一光波导在第二位置与至少一个第二光波导不对准。

12、按照权利要求 11 所述的方法，其中光波导的移动包括通过将一个力施加在移动路径上的臂实现对光波导进行支撑的臂的移动，并使臂围绕位置枢转，实现臂在所述位置上的移动，其中所加的力导致波导较小的移动。

13、一种利用如权利要求 1—10 所述的光学开关实现第一波导矩阵和第二波导矩阵位置的变化和最佳化的方法，包括：安装第一波导矩阵和第二波导矩阵，以在构成弧形路径中移动，所述弧形至少部分重叠，第一波导矩阵和第二波导矩阵相向并且每个矩阵包括一个波导，用驱动波导的移动构件将第一波导矩阵和第二波导矩阵移动到一个基准位置，在该基准

位置上对移动构件调零, 和对移动构件进行移动, 产生在选出的输入波导与一个输出波导之间的信号的最大传输, 建立第二基准位置。

14、按照权利要求 13 所述的方法, 其中一个输入波导和一个输出波导在相应的波导矩阵构成的基准矩形框的一个角上, 并且在检测第二输入波导与第二输出波导之间的信号传输的同时, 至少移动一个波导矩阵, 使它们之间传送的信号最大化, 从而建立一第二起始位置。

15、按照权利要求13所述的方法, 其中确定输入和输出波导矩阵的位置并建立符合一个位置的坐标, 在该位置将一个被光照的输入光波导与被检测的输出光波导对准并重复进行该过程, 直到输入波导矩阵的所有输入波导与输出光波导矩阵的各个输出波导成对和对应于基准位置的这些对被确定。

双梁光学开关和衰减器及其使用方法

技术领域

本发明涉及光学设备，尤其涉及一种光学开关，所述光学开关用于选择性地对多个输入光波导中的任意一个光信号与多个输出光波导中任意一个输出光波导进行对准或不对准。本发明属于间歇光学开关和光衰减器技术领域。

背景技术

研制出了许多光学开关，用于选择性地光信号从一个波导穿过界面换接到另一个波导上。不考虑设计，插入损失和反射率是判断开关的光学性能的重要因素。

为了使插入损失减到最小，必须控制输入、输出波导的纵向、角度和横向对准的偏移。过去，横向偏移是最难控制的。

在输入、输出波导之间的非连续处的菲涅耳反射是光学开关中反射的主源。反射率高将会对光学系统的性能产生不利的影响。波导上的成角度端面实现最佳反射性能。

现有技术用两个相关联的物理参数作为基准：用于定位的自由度和在每个自由度范围内可以实现运动控制的可调整性。

最常用的机械光学开关具有一个单一自由度。大多数机械光学开关为旋转设计，其中波导在开关的输入侧和输出侧被旋转支撑，从而实现围绕旋转轴的相对旋转。US 5, 317, 659 (1994)、US5, 420, 946 (1995) 和 US4, 378, 144 (1983) 都是相类似的设计，都具有可调整性和一个自由度。US4, 378, 144 披露了一种广泛应用的光学开关，是另一种旋转设计的代表，并且表现出旋转设计的许多固有缺点。

还有几种为非旋转设计的单一自由度的开关。这些开关建立在梁或臂对光信号在光纤之间的移动。授予 Valette 的 US 5, 078, 514 (1992)

和授予 Stanley 的 US 5,024,500 (1991) 都具有一个自由度和可调整性。

不可调整的单一自由度机械开关在授予 Muska et al 的 US 4,946,247 (1990)、授予 Harman 的 US 5,239,599 (1993) 和授予 Jaeschke 的 US 4,146,856 (1979) 中给以披露。

几种具有两个自由度的机械开关不具备可调整性，如授予 Antell 的 US 4,220,396 (1980) 中披露的装置。

具有两个自由度和可调整性的光学开关具有最佳光学性能。US4,886,335 (1989) 和 US5,438,638 (1995) 都公开了具有两个自由度和可调整性的光学开关。在 US 4,886,335 中将两个线性级结合在一起，形成一种很大并且复杂的光学开关。在 US 5,438,638 中披露的开关较小并且具有两个自由度和用于光纤定位的充分的可调整性。

但是，US 5,438,638 也有缺点。

在 US 5,438,638 中披露的开关的输入和输出光纤端面不具有为实现优选的斜切端面以改善反射性能的斜切角。在这种开关中，夹持光纤的套管必须旋转达 180 度，以便对一对光纤进行耦合并移动端面角使不同相 180 度，从而导致失配并随之引起插入损失。

US5,438,638 的设计的另一个缺点是：光纤容量有限。当光纤数量增加时，每一束中增加了更多的光纤，从而导致束半径的增大。由于束半径的增大，因而对最外面的光纤定位所需要的角分辨率将降低。由于容量的增大，插入损失的可重复性将持续恶化并增大每对的转接时间。

由于磨损，US 5,438,638 的设计将出现 飘移和信号中断。每个转接周期将产生套管及其 V 形凹槽之间高度的相对移动。该移动将生成会导致信号中断的微粒。另外还会造成套管的磨损，导致套管直径的不断的缩减并造成信号飘移。

US5,438,638 设计需要很长的光纤搜寻过程。由于对每个可能的波导对有两个位置，并且在另一对的位置给定的情况下，对一个对的位置进行预测并不容易，所使用的算法需耗费时间来找到两个对。还有，为了达到最优化，搜寻过程需要人的干涉。

US5,438,638 的结构使输入束中心附近的光纤不能与输出束中心附近的光纤耦合。因而将导致两束中最里面的光纤不能被应用，因此将导

致它们的信号传输容量的浪费。

本发明的双梁光学开关克服了上述困难并且实现了迄今不能实现的其它特征和优点。

发明内容

本发明是一种光学开关，包括：可移动的第一构件和可移动的第二构件；至少一个第一光波导安装在所述第一构件上，所述第一光波导终止在第一光端面上；至少一个第二光波导安装在所述第二构件上，所述第二光波导终止在第二光端面上；所述第一构件和第二构件被相对安装，从而使所述第一光端面与所述第二光端面相对，第一光端面的移动在第一平面上描划出第一路径，所述第二光端面的移动在第二平面上描划出第二路径，所述第一平面和第二平面基本平行，并且所述第一、第二路径不平行并且至少部分重叠；和单独的可独立控制的驱动器，所述驱动器分别与可移动的第一构件和可移动的第二构件连接，用于选择性地和独立地移动所述的第一构件和第二构件，以便使所述至少一个第一光波导与所述至少一个第二光波导光学不对准或对准。开关可以转接输入波导中的任何一个输入波导，使它与任何一个输出波导对准。为了具有完成精确对准所需的精确度需减弱每根梁的驱动移动，或需要对信号衰减时，则不对准。本开关的可调整性可用于故意将任何一对选定的波导不对准，从而实现对转接的信号衰减。如果开关的设计不具有可调整性，优选使用电磁制动器对梁在两个可调整的止动点之间的移动进行驱动，或对梁进行弹簧加载，抵靠在一个止动点上。

由于减弱了驱动移动，因而将以相同的比率降低驱动电机和齿轮驱动界面上的磨损，从而延长了开关的寿命。由于启动开关所需的相对移动很小，所以在旋转枢轴或端止动点上出现的磨损很微小。

在可调整的配置中，本发明的开关可以对磨损进行有效的补偿。两个输入波导与光源连接，和两个输出波导连接到一台光探测器上。所用的输入、输出波导对角位于它们各自的波导矩阵的相对的角上。驱动算法利用这些波导给每根梁设置一个零点或起始位置。其它所有波导的位置以这些起始位置为基准。采用相同过程周期性地对矩阵重新对准并对开关器可

能出现的任何磨损进行补偿。在功率增加或必要时，此点是对每个相对位置进行重复最佳化实现的。

本发明的材料和制造成本低廉。将所述部件装配成一个完整的开关仅需要几个简单步骤，并且这些步骤不要求精密制造，但改善了光学性能。波导组件一起被封装在套管内并且在装配成开关以前可以进行检测。没有扩展束透镜，从而可以降低插入损失和降低材料费用。为实现所有所需波导互连，需要波导束仅进行微量的旋转，从而使波导端面以具有最佳的反射性能的角度被抛光。

根据本发明的另一方面，提出一种控制上述光学开关的方法，包括：将至少一个第一光波导安装在一第一移动构件上，将至少一个第二光波导安装在位于对面位置上的一第二移动构件上，被安装的光波导在至少部分重叠的单独的不平行路径上移动，并且使用移动第一和第二光学波导的单独的驱动器，选择性地和独立地使至少一个第一光波导在第一位置对准至少一个第二光学波导，并使至少一个第一光波导在第二位置与至少一个第二光波导不对准。

根据本发明的再一方面，提出一种利用上述光学开关实现第一波导矩阵和第二波导矩阵位置的变化和最佳化的方法，包括：安装第一波导矩阵和第二波导矩阵，以在构成弧形路径中移动，所述弧形至少部分重叠，第一波导矩阵和第二波导矩阵相向并且每个矩阵包括一个波导，用驱动波导的移动构件将第一波导矩阵和第二波导矩阵移动到一个基准位置，在该基准位置上对移动构件调零，和对移动构件进行移动，产生在选出的输入波导与一个输出波导之间的信号的最大传输，建立第二基准位置。

根据本发明，开关的搜寻算法简单。对每对波导具有一个单独的最佳梁位置。由于梁携带的每根波导大致为给定的执行距离移动相同的量，所以搜寻过程可以以相对较高的速度进行，以便可以快速搜寻到所有最佳的光纤对。最佳波导对的位置与波导的矩阵排列相符。假定两个波导对的精确的位置在矩阵角上（起始位置），过程应用光纤的实体尺寸数据，对剩余的波导对的大致位置进行预测。这种设计有意地进一步有助于缩短搜寻时间和使其实现较好的效费比。

本发明充分利用空间并且可满足广泛的设计要求。在转接波导容量

相同的情况下，可以实现很小的外壳尺寸。此点是由于双自由度可以将输入和输出波导设置在更有效的矩阵内而不是在直线上或圆内。另外，可以采用或实现每个输入波导到每个输出波导所有可能的互连。采用本发明很容易实现对诸如梁的长度、衰减率、齿轮传动比对尺寸限制等最佳设计参数或应用所需的性能。

本发明所述的光学开关插入损耗低并且反射少，同时在温度和湿度出现波动、振荡和摆动的情況下具有稳定的和长期保持一致的性能。本发明的光学开关用相对便宜的元件制成并且制造简单。光学开关能实现从任意数目的输入波导到任意数目的输出波导的转换，同时保持紧凑并且可适用于满足广泛的多种设计目标的需要。

本发明的其它优点通过下面的具体实施方式并结合附图加以详细说明。在所有视图中，相同的附图标记表示同一部件。

附图说明

图 1 为本发明的光学开关的优选实施例的主视图；

图 2 为图 1 所示开关的右视图；

图 3 为图 1 所示开关的左视图；

图 4 为图 1 所示开关的后视图；

图 5 为图 1 所示开关的俯视图；

图 6 为图 1 中沿 6-6 向的剖面图；

图 7 为图 2 和图 3 中沿 7-7 向的剖面图；

图 8 为图 1 中沿 8-8 向的剖面图；

图 9 为图 1 中沿 9-9 向的剖面图；

图 10 为图 9 中虚线圆所示出的光学开关的波导支撑的局部放大图；

图 11 为图 10 中虚线圆示出的光学开关的波导支撑的局部放大图；

图 12 为光学开关的另一实施例的主视图；

图 13 为图 12 所示的实施例的俯视图；

图 14 为图 1 所示的光学开关的不可调整的另一个实施例的俯视图；

图 15 为图 14 沿 15-15 向的剖面图；

图 16 示出光纤纤维束处于与相对于支撑梁成定位处于一个选定角度

的状态的示意分解视图；

图 17 为套管的部分放大剖面图，其中套管箍以一角度对光纤束进行固定；和

图 17A 为部分放大剖面图，其中示出套管以一角度安装在梁上的状态。

具体实施方式

参照附图，尤其参照图 1-图 11，用附图标记 10 表示双梁光学开关的一个优选实施例。如图所示，开关 10 包括 4 个主组件组或部分。如图 1 所示，基座部分包括基座 16 和弹簧 84、90，用于作为框架安装其它组件和部件。如图 5 所示，电机、齿轮与驱动电子部分形成一个部分。图 6 示出带有光纤束的安装梁或梁臂的组件。图 10 和图 11 示出具有封装光纤束的套管的组件。

底座和梁结构

光纤光学开关 10 具有一基座 16，所述基座作为框用于保持输入梁 12 和输出梁 14 或梁臂之间的适当关系并为驱动电机 30 和 32 提供安装位置。基座 16 还为每根梁 12 和 14 的移动提供一个实体的端部止动点。所述端部止动点构成起始位置，所有光纤的位置以该起始位置为基准。

底座 16 用刚性的、坚固的材料制成，优选例如由不锈钢 303 制成，从而具有机械和环境稳定性。如图 1 和图 4 所示，基座 16 是一个沟槽件，所述沟槽具有垂直的侧壁 16A 和 16B，所述侧壁沿基座的长度延伸并形成一个 U 形截面。壁 16A 和 16B 之间的空间形成凹穴或腔室，在开关工作时，梁 12 和 14 可以在里面自由移动。驱动电机 30 和 32 以公知方式安装在基座 16 的一端上，同时驱动小齿轮 38 和 40 安装在电机输出轴上。电机轴穿过基座上的开口，因此小齿轮在腔室内和电机枢轴进入加工好的凹穴内并被有头螺栓保持在适当位置上。

光纤光学开关 10 包括输入转子或梁 12，形成第一杆，和输出转子或梁 14，形成第二杆。用旋转的或枢轴 58 将梁 12 枢设在壁 16A 的内侧，和梁 14 用旋转枢轴 60 安装在壁 16B 的内侧。围绕其安装枢轴的每个梁的位置在梁所安装的枢轴轴线的位置构成光纤自由度中的一个自由度。

梁 12 和 14 相同，因而制造简单，并用刚性的、坚固的材料制成，例如由不锈钢制成，从而实现具有机械和环境稳定性。为了减少工作时的摩擦阻力，对输出梁 14 的光纤安装套的内面 15 和输入梁 12 的光纤安装套的内面 13 进行抛光。具有齿 82 和 88 的扇形齿轮切入每个梁臂的端部，与光纤安装套相对，并且齿 82、88 与电机 30、32 的小齿轮 38、40 啮合。在光纤安装套端，梁具有第一套管固定孔 96 和 100，和第二孔 102、104，其中旋转或枢轴 58 和 60 固定安装在该孔内。

每根梁的关键特征在于设置在一定的几何限制内，从而最佳地实现性能。从枢轴孔 102、104 到套管固定孔 96 的距离小于在孔 102、104 内的枢轴 58、60 到在小齿轮 38 和 40 处的运动起动点的距离。在工作时，该距离比将减弱固定在孔 96 和 100 内的光纤的端面的驱动移动。套管固定孔 96 和 100 的中心和相应梁的运动起动点之间的夹角大致是 135 度，同时旋转枢轴的轴线在夹角的顶点，这种组合确保开关装配以后，梁相互大致平行。从而将降低整个开关的整体高度，同时保持了光纤定位所需的两个自由度的笛卡尔坐标分布。

如图 1、图 8 和图 9 所示，输入光纤束 18 被固定在输入套管 80 内，所述套管可拆卸地，但牢固地接合在输入梁 12 的输入套管固定孔 100 内，和输出光纤束 20 被固定输出套管 42 内，所述套管可拆卸地，但牢固地接合在输出梁 14 的输出套管固定孔 96 内。每个套管固定孔包括有一个一体的 V 形槽，以便保证相应套管的精确定位。

图 8-图 11 示出套管 80 和套管 42 的典型安装方式。输出套管 42 安装在输出梁 14 内，使输出套管 42 的平侧面 44 与在孔 96 上一体成型的套管弹簧 56 接触。每根光纤束 18 和 20 都具有端面，所述端面面向另一光纤束。安装时，优选输出光纤束 20 的光纤端面 54 和输入光纤束 18 的光纤端面被容纳在孔 96 和 100 内，并距相应的输入梁 14 或输出梁 12 的内面（中心面）小于 $10\mu\text{m}$ ，从而可避免开关工作时与其它的光纤束的端面接触。用干涉测量法可以检测和控制凹进部分的大小。

图 9 和图 10 示出定位螺栓 94，所述定位螺栓抵在输出梁 14 的套管弹簧 56 上，以便将套管 42 固定在适当位置上和向输出套管固定孔 96 定向。同样，如图 8 所示，定位螺栓 98 抵在输入梁 12 的套管弹簧 56 上，

套管弹簧压抵压在输入套管 80 的平侧面上,以便使输入套管 80 保持在适当的位置和向输入套管固定孔 100 的定向。套管的正确的接合确保了在固定梁臂上的两个光纤束精确并稳定的定向。

如图 17 所示,用 C 表示沿梁 12 和 14 的界面 13 和 15 的中心面,用 A 表示和从面对的表面 13 和 15 凹进梁的光纤束端面 54 的凹进部分。量度 B 表示光纤束从套管端面 53 的延伸。

旋转或枢轴 58、60 由极硬的、光滑的钢制成,通常截面形状是圆柱形。并且为了改善其耐磨性能,对旋转轴 58、60 优选涂有氮化钛涂层。如图 7 所示,为了减少磨损,优选将旋转轴 58、60 的端部倒圆。每个旋转轴 58、60 分别与相应的梁接合,而不是固定到基座上,当枢轴枢转或旋转时可提高梁的稳定性。如图 6-图 9 所示,梁 12 和 14 的第二枢轴孔 102 和 104 对旋转轴 58、60 进行固定,用定位螺栓 76 和 78 对旋转轴进行固定。孔 102 和 104 包括内部的 V 形槽,该槽用于保证相应的旋转轴精确和稳定的设置。

用于安装光纤束的每根梁的端面滑动接触。输入梁 12 包括一个第三孔,所述第三孔包括成角度的凹槽 106,为输出旋转轴 60 的伸出端提供空隙,和输出梁 14 包括一个第三孔,所述第三孔包括成角度的凹槽 108,为输入旋转轴 58 的伸出端提供空隙。旋转轴在另一梁上的第三孔内的滑动接合,将使梁大致在平面 C 上相互紧抵在一起(图 17)。

因此,光纤束被精确固定并精密地枢转。齿轮和驱动电机使梁围绕单独的枢轴轴线转动,所述枢轴轴线由安装在旋转轴上的偏移枢轴的轴线构成。由于梁围绕单独的并相互间隔的轴旋转,所以每根梁受控移动可用于对各个光纤的对准。所采用的控制器将每个光纤对的最佳耦合位置存储在存储器内,并根据使用者的要求,启动移动过程。

具有封装光纤束的套管

首先将各个光纤组成光纤束 18 和 20,然后对套管 42 和 80 进行封装,套管用于保持光纤位置不变。使用套管还可以在封装过程中避免任何突出,防止在随后进行的开关装配步骤中产生碰撞。

特别参考图 10 和图 11,开关输入侧和输出侧的每束光纤 18 和 20 分别由一根或多根光纤 48 组成阵列。每根光纤 48 都是通用的并且包括由

保护层 50 环围的一个芯和一个包层。尽管光纤根据需要可以是任何类型、质量或规格的，但是对于单模通信应用时，芯和包层优选是石英玻璃。对材料的要求并不严格，和为了与所要求的光纤束相适应，其它设计要素的量度可以按比例放大或缩小。

图 11 为输出套管 42 内的光纤 48 的详图。在装配套管之前，通常的做法是除掉末端附近的光纤 48 的护层。通常通信光纤上的护层为丙烯酸酯，可以通过化学、机械或者加热过程中很容易去除掉该护层。然后，将露出的光纤用适当的粘合剂 52 封装在套管内，粘合剂硬化。因为在所预期的环境条件的变化下，丙烯酸酯并不充分稳定，所以必须将其去除掉。

如图 8-图 11 所示，输出套管 42 具有腔 46，优选所述腔截面为正方形，光纤 48 通过腔。正方形的腔可以有效利用空间和将每根光纤设置在矩阵内相对于其它光纤完全可预知的位置上。但光纤位置某种程度上是不规则的；但此点并不会影响其性能。正方形腔降低了可变性，便于简化控制计算，实现对输入和输出光纤对进行定位。输入套管和输出套管的腔的尺寸设计应满足开关所需的光纤容量。

如图 16、17 和 17A 所示，腔 46 优选成一定角度切入相应的套管 42 和 80 内，装配后其不垂直于梁内侧面 13 和 15。尤其是形成的套管腔 46 应使其轴线不垂直于输入、输出套管的末端面 54。优选相对于近似垂直于套管 42 和 80 的平面 53 的方向的斜度为 6 度。输入腔 46 取向对称，所以一旦套管 42 和 80 被装配在相应的梁上，则输入腔 46 的轴线与输出腔 46 的轴线对准。采用此方式的腔 46 的设置，可以利用成角度的光纤端面法，降低反射率。另外如图 17A 所示，通过具有垂直于在梁上的套管的表面 53 腔的安装套管 42 和 80，可以实现成角度的端面设置，所述梁具有开孔，所述开孔以梁之间的中心面 C 为基准按所需角度将套管定位。这时套管的轴线与梁表面 13 和 15 成某一角度。

套管 42 和 80 用刚性、坚固的材料制成，例如用不锈钢或陶瓷制成。套管的平面抵靠在箍弹簧上，从而保证套管腔相对于各自的梁正确的取向。这对于确保输入和输出套管的成角度端面的对准是特别重要的。将响应准备好的光纤 48 沿着粘合剂 52 插入腔 46 内，直到光纤 48 的末端面 54 经过输出套管 42 和输入套管 80 的末端面 53 伸出。根据制造厂家的建

议,对粘合剂 52 硬化。如图 17 中量度 B 所示,优选用金刚石锯对光纤 48 进行切割,使光纤伸出输出套管 42 和输入套管 80 的末端表面 53 的长度大约为 250um。然后对光纤的末端面 54 进行抛光,装配以后使其与各自的梁侧面平行。抛光以后,光纤末端面 54 优选涂上抗反射敷层,以便减少插入损失和由于菲涅尔反射而造成的插入损失的变化。

梁的枢转安装

梁 12 和 14 枢设在与电机 30 和 32 相对的基座 16 端上。如图 2 和图 3 所示,第一 V 形凹槽 62 和第二 V 形凹槽 64 经机械加工进入基座 16 的壁 16A 和 16B 内。这些 V 形凹槽分别枢转容纳第一旋转或枢轴 58 和第二旋转或枢轴 60。径向轴弹簧 66 优选由不锈钢制成并用螺栓 68 将其固定在基座 16 上,径向轴弹簧 66 的力将旋转轴 58、60 固定在 V 形凹槽 62、64 内,同时可以使旋转轴 58、60 在其内旋转。图 7 示出两个旋转轴和相应的 V 形槽之间的关系剖视图。

如图 7 所示,可以看出,用轴向轴弹簧 70 保持旋转轴 58、60 组件与梁 12、14 的轴向关系,所述弹簧为片簧,用螺栓 74 固定在基座 16A 上。弹簧 70 抵靠在第一旋转轴 58 的端部。由于输入轴 58 用定位螺栓 76 刚性固定在输入梁 12 上,所以迫使输入梁 12 的内侧表面或面 13 依次抵靠在输出梁 14 的内侧表面或面 15。由于输出梁 14 用定位螺栓 78 刚性固定在输出旋转轴 60 上,所以迫使输出旋转轴 60 依次抵靠在枢轴止动器 72 上。枢轴止动器 72 由坚硬的、刚性的材料制成,例如由不锈钢制成,并且用螺栓 74 刚性固定在基座 16B 上。实现的设置产生一个控制力迫使梁相互贴近,使光纤束端面之间保持固定的间隔。

齿轮、电机和驱动电子部分

图 5 示出附有小齿轮的步进电机 30 和 32,所述电机用于驱动梁到要求的位置,正确校准输入光纤和输出光纤。每个电机用导线连接到它的电机控制器 26、28 上,接收来自控制接口设备 24 的指令。

一般地,电机 30 和 32 优选通用的步进电机。用输入电机固定件 34 和输出电机固定件 36 将输入电机 30 和输出电机 32 分别固定在底座 16 上。电机 30 轴上的输入小齿轮 38 驱动梁 12 上的输入齿轮齿 82。输出电机 32 轴上的输出小齿轮 40 驱动输出梁 14 上的输出梁齿轮齿 88。

当小齿轮 38、40 转动时，输入梁 12 或输出梁 14 转动或者绕相应的旋转枢轴 58 或 60 的轴线转动。输入小齿轮和梁齿之间的齿轮传动比削弱旋转运动。输入偏弹簧 84 端部固定在嵌入输入梁 12 和底座 16 的锚定销 86 上，并施加一个力将输入梁齿 82 和小齿轮 38 推到一起，实现齿的消除啮合。输出偏弹簧 90 端部固定在嵌入输出梁 14 和底座 16 的锚定销 92 上，并将齿 88 和 40 推到一起。

如图 5 所示，优选实施例的驱动电子设备 22 包括控制器接口设备 24 和控制器 26、28。电机控制器 26、28 优选广泛使用的微型步进控制器，所述微步控制器配备为了分别驱动输入电机 30 和输出电机 32 所需的分度器和电机驱动电子设备。控制器接口设备 24 优选具有电子输入、输出能力和用户的接口软件的计算机或微处理器。接口设备 24 还包括将使用者的指令转换成运动控制逻辑所需的存储器和所有的程序。设计成在电机控制器 26、28 和人或其它电子设备之间装备指令界面，发送指令，实现任何特殊的光纤对在光学上耦合。

接口设备 24 还包括提高功率使光开关 10 恢复原位的元件和程序。如图 5 所示，来自输入光纤束的两根光纤固定在装置光源 110 上。优选选定的光纤放在输入箍 80 里的腔 46 的对角，作为输入光纤。当对装置光源 110 供电时，装置光源 110 点亮两根输入光纤。同样，来自输出光纤束的两根光纤固定在装置光源检测器 112 上。优选这些光纤放在输出箍 42 里的腔 46 的对角，作为输出光纤。当对装置光源检测器 112 供电时，装置光源检测器检测进入两个已连接的输出光纤中的一根输出光纤的光线。用装置光源和装置光源检测器一起建立一个可重复的起始位置并且主动补偿开关损耗。

开关和开关的电子设备封装在保护壳里，由用户使用。几个标准光纤光学连接装置可以附加到输入和输出光纤的自由端，便于用户安装开关。机械装置完成安装。然而，在开关可以使用之前，还需要两个步骤。每个所需光纤对的最佳位置必须以固定基准为标准来设立，并且这些位置必须存储在控制接口设备 24 的存储器里。一旦完成这一步，无论使用者何时需要，都可以重复每个光纤配对。

准备搜寻和确定最佳位置

搜寻和确定最佳位置的过程用于给每个光纤对确定最佳耦合位置。完成这个过程需要附加装置。测试源固定到设备上已选定的输入光纤上。测试源发出用于最优化调整每根输出光纤的光信号。接下来，全部输出光纤束插入大面积的光探测器。光探测器将收到的每个光纤对的调整程度反馈到控制接口设备 24。最后，检测控制器代替设备控制器发出指令，驱动电机控制器。检测控制器装有响应光检测器信号所必需的硬件和软件。

在搜寻开始之前，必须给每个梁建立一个起始位置。第一步是建立一个物理止动装置，有意识地将每根梁的齿轮部分推向底座 16，直到它们停在底座上和电机失速。关闭电机和将每个电机看作是步进电机，在控制器中每个电机复零，建立物理止动装置位置。

然后利用物理止动装置位置建立起始位置，提高精确度。两个光纤对中的一对光纤（精确调整的一根输入光纤和一根输出光纤）的最佳位置固定在装置光源和装置检测器上，形成起始位置。其它所有光纤的位置参照这个起始位置。然后，梁被定位在设备上，距离底座上面已知距离，和启动寻优算法。

为进一步提高本方法的精确度，来自相对的每一束对角的第二对光纤连接到装置光源和装置光探测器，这个第二光纤配对（一个输入光纤和一根输出光纤）也被最优化，建立第二参考点。因为一束光纤里的光纤之间的关系稳定，所以上述第二参考点能够使开关弥补任何由于损耗或其它环境作用而导致的错误，而不考虑它们如何对光纤束的定位起作用

本方法提供了一个具有良好可重复性的起始位置。除此之外，在临界测量之前，起始位置完全可以提高功率重复最优化，或者进行选择重复最优化。这提供了一种在开关里主动弥补机械损耗和其它的环境影响的途径。

搜寻和最优化程序

搜寻和使程序最优化很简单。分别移动每个梁，实现沿迪卡尔坐标（x-y）系近似直线移动，在移动过程中，监控大范围的光检测器的响应。当检测到超过预定临界值的信号时，调入最优化子程序。

最优化子程序进行定位搜寻，确定与本地信号最大值相对应的梁的位置。在整个最优化过程中，在靠近最大信号点的同时，梁总是按照一致

的方向和次序移动梁。按照这种方式操作电机，消除在梁之间可以产生摩擦的磁滞作用。此后，在装配后的和已经最优化的开关工作期间，梁按照相同方向和次序移动，实现梁位置重复最优化。这种方法减少偏差并确保复制在工厂里获得的该领域中的性能。

使用聚焦程序完成最优化。检测到的临界信号点成为假想盒子的最优化搜寻的中心点，所述假想盒子围绕该点绘制，每边的长度大约等于光纤芯的直径。然后移动梁，使输入光纤与盒子的对角相符合。接下来移动输入梁和输入光纤，使输入光纤穿过假想盒子的相邻两边。当移动输入光纤时，检测输出光纤束。给假想盒子的每一边确定一个最大信号点。这些坐标点成为具有较小边的新最优化盒子的中心点。因为要求多次循环，所以重复最优化程序。一般地，使用上述程序进行三次循环可以实现聚焦。

最优化以后，输入梁和输出梁彼此相对放置，因此发光的输入光纤与输出光纤中的一根输出光纤正确排列。利用步进电机相对于它的起始位置的读数，对枢轴的位置或每根梁的位置进行测量，在测得的两根梁的位置建立一套坐标系，所述坐标系与最优调整位置相对应。这些坐标点临时存储在测试控制器存储器里。坐标点存储后，搜寻程序从开始最优化的点处重新开始。

继续进行反复搜寻和最优化过程，直到找到所有光纤对和已经搜寻到存储在存储器里的或者所需区域的相应位置。完成以后，将开关的所有最佳耦合位置从测试计算机存储器转换到开关装置存储器。现在，为了实现任一光纤对的耦合，满足使用者的需要，开关具有全部所需的信息。设备控制器电路板上的逻辑线路存取设备存储器中的相适应的坐标，并发出指令，将梁推到校正位置。

操作优选实施例

当输入小齿轮 38 旋转时，输入梁 12 绕输入旋转枢轴 58 转动，同样，当输出小齿轮 40 旋转时，输出梁 14 绕输出旋转枢轴 60 转动。输入小齿轮 38 的相对大的旋转运动转换成输入梁 12 相对小的旋转运动。从梁枢轴到齿轮的较长距离和从枢轴到光纤束的短距离进一步增加了齿轮比所产生的阻尼。这种结合提出一种以弧形准确转换输入光纤束 18 的方法。输

入光纤束 18 的转换所描绘的弧实际垂直于输出光纤束 20 的转换所描绘的弧。这种关系提供了在两个光纤束 18 和 20 中彼此之间相对的任一光纤对的定位和不定位的两个自由度。

所有光纤对的最优化梁坐标储存在控制接口设备 24 的存储器里。当为了光连接一个特殊的光纤对，控制接口设备 24 收到一条输入指令时，再调用上述光纤对的坐标，指令转换成所需的电子驱动信号，传送到步进电机 30 和 32，实现梁的移动。控制接口设备 24 根据电机控制器的规则将此信息输出到电机控制器 26、28，电机按照需要，阶梯式的达到所要求的位置。按照这种方式，输入光纤束 18 里的任何光纤可以用输出光纤束 20 里的任何光纤实现选择性光排列。

一般应用操作

其中，开关的一般应用包括在数字数据通信线路中光纤光缆的远程光纤测试，实验室装置中的多光纤设备的测试，或者在灵敏结构中光纤传感器的多路传输。不考虑终端应用，开关的操作是相同的。提高功率，开关重调到零回到起始位置，建立物理止动装置和然后使用光源和探测器，实现选定的输入和输出光纤配对最优化。如果一个第二光纤对固定到光源和探测器上，则对这个光纤配对重新最优化，建立第二起始位置。

这些光纤配对的新位置与原来的位置相比较。根据放大的差异，开关可以用信号标明错误或利用差异在数学上弥补余下的光纤对的位置并且继续工作。因为所有其它光纤对的位置都是以起始位置为基准来确定，所以开关机械装置中的任何损耗随后得到主动弥补。

借助于面板键盘或者直接输入到计算机界面，及其它可能的方式，使用者进入一条指令，转换光纤耦合。如上所述，一旦进入一条有效指令，开关将对梁进行调整，从而与储存在存储器里的最佳梁位置相附。用于移动每根梁的趋近距离和移动次序与在初始搜寻和最优化程序中所用的趋近距离和运动次序十分近似，根据前面所述的原因，初始搜寻和最优化程序用来确定最佳位置。如果功率循环不经常发生，则在预定的间隔数处，开关可以设计成自动启动增加功率复零程序。完成给定的一系列转换次序，经过给定时间或者在环境条件发生了预定的最小变化时，也可以设计成重调到零。

对另一个实施例加以说明

图 12 和 13 示出光纤光学开关的另一实施例，一般用附图标记 150 表示。如本发明的第一种形式所述，开关 150 包括输入封装光纤束 18 和输出封装光纤束 20，装有光纤束和控制光纤束运动的梁使用电机和齿轮。

输入光纤 18 和输出光纤 20 固定在箍里。所述箍固定到每根梁上。梁为底座的主要部分。安放底座使箍的端面彼此相对。齿轮、电机和驱动电子使梁绕分离轴弯曲，所述轴由偏离的铰接点形成。因为梁围绕分离的轴线转动，所以被控制的每根梁的运动可以调整单根光纤。本发明第一种形式公开的控制器可以用于另一实施例，并且它将维持每个光纤对的最佳耦合位置。在使用者需要时界面开始启动。

和优选实施例所述方式相同，将单根光纤捆成束并装入箍。以类似方式构成放有光纤的箍。利用抗反射涂层、折射率匹配介质或成角度的磨光表面可以减少光纤光学开关 150 产生的反射。折射率匹配介质和抗反射涂层具有额外的好处：减少插入损失和插入损失中的变量。和优选实施例类似，光学开关 150 优选使用成角度的光滑表面和抗反射涂层的结合。

附有箍的梁组成的底座

每根梁和与它相结合的底座都由一种材料制成，使梁与底座成为一个整体并在枢轴处弯曲移动。如图 13 所示，底座 160 和 170 以受控宽度或厚度为基础，在梁成型的位置，在内部面向侧部制成厚度略薄（凹进去）的切割部分。装配后这个凹进部分在在底座中成形的梁之间产生间隔，防止梁的摩擦作用。如图 12 所示，除去材料，形成开口 161、171，所述开口通过材料块，形成梁 190 和 192。梁在端部 190A 和 192A 固定到它们各自的底座上，并且当梁在端部 190A 和 192A 绕整个固定件弯曲时，梁的相对端 190B 和 192B 自由移动。

输入梁 190 和输出梁 192 同样使制作简单和由刚性的、稳定的材料制成，如不锈钢或者陶瓷，从而具有机械性和环境的稳定性。每根梁优选由同一宽度（比它的底座的宽度略小）和高度构成，锥度（减少）沿长度从端部 190A 和 192A 到端部 190B 和 192B 逐渐减少。沿每根梁的长度中途形成箍毂 190C 和 192C，每个毂具有孔用来存放光纤束的箍。梁的最大深

度位于远离毂的靠近其在端部 190A 和 192A 与底座接合的位置点附近，启动时锥形梁 190 和 192 沿着每根梁的长度均匀分布弯曲应力。最初每根梁弯曲，端部 190B 和 192B 向上弯向传动装置，在卸载时移动梁。当梁被传动装置安装和移动到一个平面位置处时，这个弯曲将预装载施加于各自的传动装置上，并且确保梁在近似平面的位置、在两个方向上、在预期的移动范围里可以操作。

按照与光纤光学开关的第一实施例所使用方式相同，优选将光纤束 18、20 分别安装在可弯曲的输入梁 190 和可弯曲的输出梁 192 上。光纤束端面优选距离内侧表面或者相应的底座面 10 μ m 远。此位置延伸光纤在某种程度上超过梁的宽度。然而，光纤并没有延伸到足以使输入和输出端面在工作时相碰撞。箍安装以后，装配底座，其中一个底座转动 180°，从而梁的平面穿过箍毂 190C 和 192C 附近，然后，在适当位置用紧固件将底座固定在支撑板 174 上。

齿轮、电机和驱动电子设备

本发明第二种形式的梁传动装置用螺栓固定在每个底座上，并且在朝着或者离开每根梁的方向上可螺纹移动。螺栓推动系列包括螺栓环 184 和 185，所述螺栓环用内螺纹固定在底座上。输入螺栓 156 和输出螺栓 166 优选具有相配合的高精度、抗磨损的外螺纹，分别拧入螺栓环。螺栓环分别刚性固定在底座 160、170 上，利用粘合剂，使螺栓轴线一般垂直于相应的梁，梁实际上为平面，螺栓的轴线平行于电机输出轴 176、178 的轴线，电机 152、162 驱动小齿轮 180、182。输入球 186 安装在输入螺栓 156 的末端，输出球 188 安装在输出螺栓 166 的末端。连接梁，通过旋转螺栓使传送到梁上的转动力最小时，所述球构成大致的单点接触。输入齿轮 158 安装在输入螺栓 156 的顶部，输出齿轮 168 安装在输出螺栓 166 的顶部。齿轮是拼和的并且具有完整的抗反冲弹簧，从而提高可重复性定位。

如图 13 所示，输入电机 152、输入电机安装件 154、输入螺栓 156、输入齿轮 158 和输入底座 160 沿同一平面共同排列。同样，输出电机 162、输出电机安装件 164、输出螺栓 166、输出齿轮 168 和输出底座 170 也沿同一平面排列。输入电机安装件 154、输入底座 160、输出电机安装件 164

和输出底座 170 用螺栓 172 全部固定装配到支撑板 174 上。优选地,电机安装件 154、164 由一种刚性材料如不锈钢制成。电机 152、162 分别驱动轴 176、178,所述轴分别安装到输入小齿轮 180 和输出小齿轮 182 上。输入小齿轮 180 和输入齿轮 158 相啮合,依次推动输入螺栓 156。同样,输出小齿轮 182 与输出齿轮 168 相啮合,依次推动输出螺栓 166。电机 152、162 优选步进式电机。

可以看出通过电机 152 和 162 工作,使梁 190 和 192 弯曲,毂 190C 和 192C 的位置和毂的孔以公知方式彼此相对变化。毂运动,因此孔里装的光纤束是可控制的并且与输入螺栓 156 和输出螺栓 166 的移动成比例。因此可以对相面对的光纤束里的光纤对进行控制。

搜寻和最优化程序

在使用开关之前,必须以一个固定基准为基准为相面对的光纤束的每个所要求的光纤对建立最佳位置,并且这些位置必须存储在电机控制器的存储器里。一旦完成这点,无论使用者何时要求,都可以重复每个光纤配对。电机控制器与本发明第一种形式中所述的相同。

在开始搜寻和最优化程序之前,与本发明的第一种形式中所述的相同,准备所需的装置和设备。同样,用于搜寻光纤对和最优化它们的位置的程序也是相同的。分别移动每根梁 190 和 192,沿迪卡尔坐标系近似直线运动。在运动期间,监测大面积光探测器的响应。如果所检测到的信号超过预先确定的临界值,则搜寻程序调入前述的最优化子程序。

另一实施例的操作

当输入小齿轮 180 推动输入螺栓 156 时,输入球 186 压靠在可弯曲的输入梁 190 上,输入光纤束 18 可分离地安装在梁上。同样,当输出小齿轮 182 推动输出螺栓 166 时,输出球 188 压靠在可弯曲的输出梁 192 上,输出光纤束可分离地安装在梁上。输入小齿轮 180 的相对大的转动转换成输入梁 190 的相对小的运动,并且提出一种方法,所述方法按照弧形准确转换毂 190C 和输入光纤束 18,输入光纤束 18 的转换所划出的弧形痕迹实际垂直于放在毂 192C 里的输出光纤束 20 的转换划出的弧形痕迹。彼此之间相对给光纤束定位时具有两个自由度。其它所有操作方面和可能的

应用与优选实施例相同。

对不可调整实施例的说明及操作

图 14 为光纤光学开关的另外一个实施例，通常用附图标记 200 表示。本实施例形成或者是单个 1X2 开关或者是两个 1X1（开-关）开关。不可调整装置的比例减小到与有限的光纤容量相对应。除了这些差异以外，本实施例的主要元件与前面所述的元件相类似。

按照与第一实施例的输入箍 80 和输出箍 42 相同的方式构建输入箍 201 和输出箍 202。输入梁 206 和输出梁 204 可以是刚性的也可以具有柔韧性。两根梁围绕分离的轴线旋转固定在上底座 207 上。输入梁 206 与枢轴 217 相连，并且被输入弹簧 209 向上推，直到与上面可调的输入止动装置 210 相接触。同样，如剖面图所示，输出弹簧围绕枢轴 219 向上推输出梁 204，所述枢轴 219 在输入梁 206 的安装端所形成的引导槽 221 里。枢轴 217 和 219 固定在梁 206 和 204 的安装端，以上底座 207 的侧壁为轴而转动。输出梁 204 绕轴旋转直到与上面可调的输出止动装置 211 相接触。

优选地，电磁致动器 208 固定在较低的底座 205 上。用致动器 208 磁性吸引两根梁，同时围绕梁分离的轴线推动梁，直到梁与较低的可调止动装置 212 相接触，图中只示出较低的可调输入止动装置 212。每根梁都具有一个止动装置，优选用防松螺母拧紧，放在每根梁端部附近，与梁的轴相对。

因为梁围绕销 217 和 219 转动，所以可能安放上、下可调止动装置 210、211 和 212，从而实现对两对单个光纤的调整。当梁在支撑位置抵着止动装置 210、211 时，实现了一对光纤的调整。通电时，电磁致动器 208 同样向下推两根梁 206 和 204，直到它们分别与较低的可调止动装置 212 相接触。在那一点，或者起始的输入光纤与一根新的输出光纤一致，形成 1X2 开关，或者如果按照上述形式制造，实现两个不同的光纤的调整，从而形成第二个两个 1X1 开关。

总结

可以看出本发明所述的光学开关提出一种易于构建的简洁装置，部件价格相对便宜，光学性能良好，并且随时间和环境的波动光学性能保持稳

定和不变。开关的几何形状可以进行变形,从而符合设计目标的广泛变化。

上述说明包括许多特征,但是不应该解释成对本发明范围的限制,而是目前优选实施例的一些举例。例如,梁的运动可以通过许多其它方式得以实现,包括但不限于线性的或者音圈传动装置、凸轮、拉紧的金属丝、人工操纵等等;光纤可以用任何其它光学波导包括硅、透镜等代替;和梁可以用其它材料建造:如硅,或者用更复杂的不同形状或支撑方式的结构代替,但是,与上述的梁相同,仍然用于同一运动目的。

尽管参照优选实施例对本发明加以说明,但是本领域的普通技术人员可以认识到:可以在形式和细节上进行不脱离本发明的精神和范围的变形。

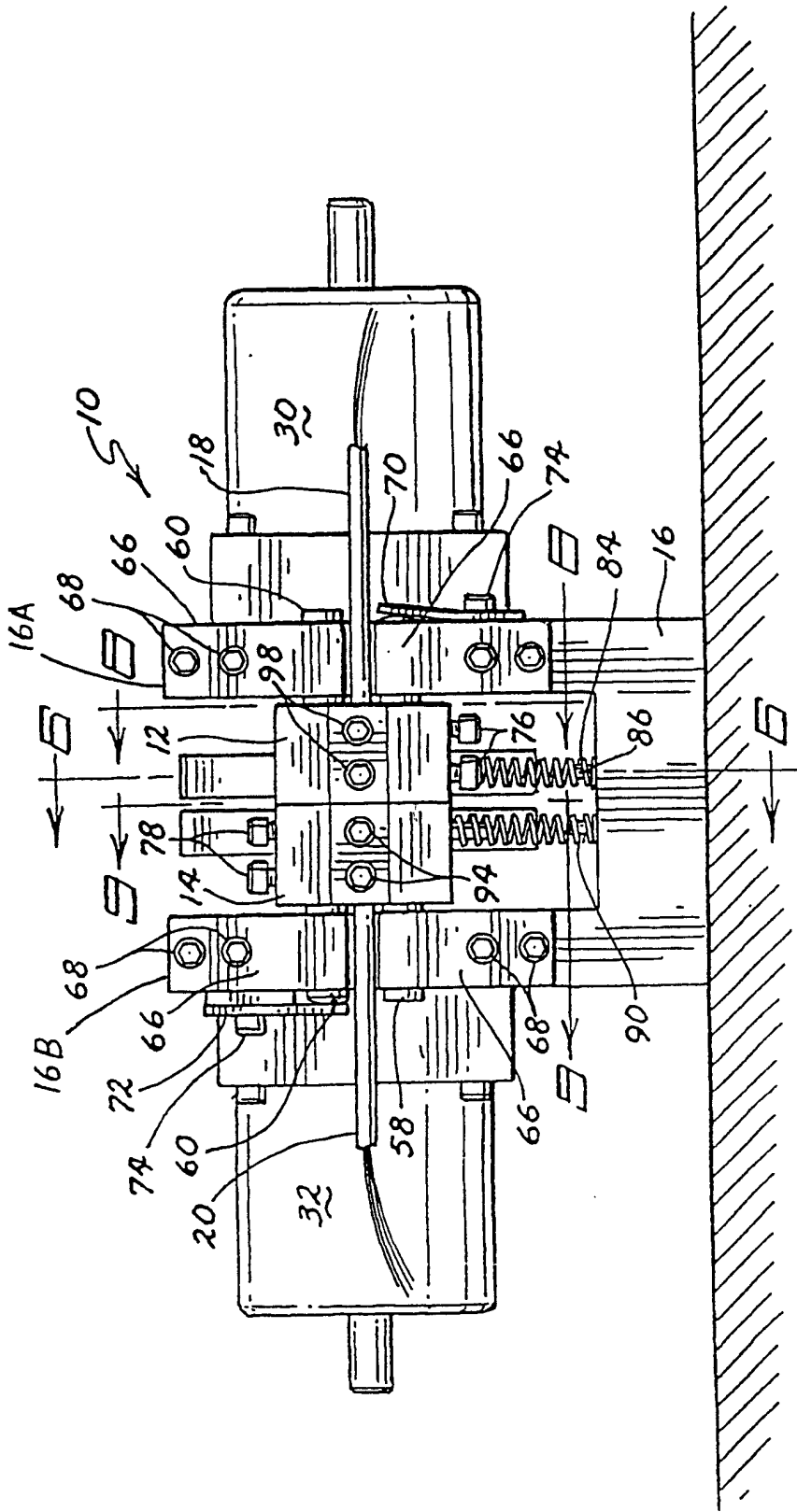


图1

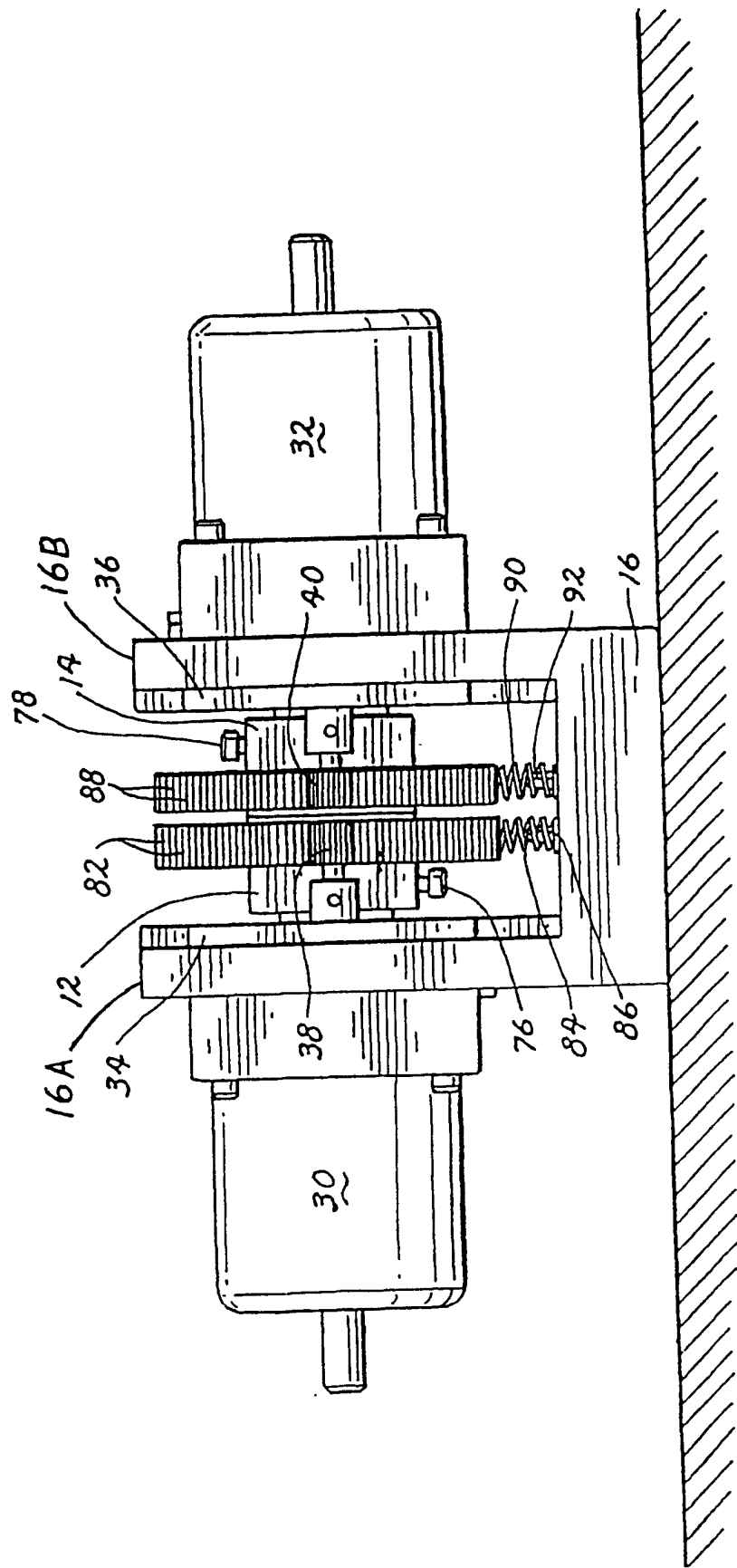
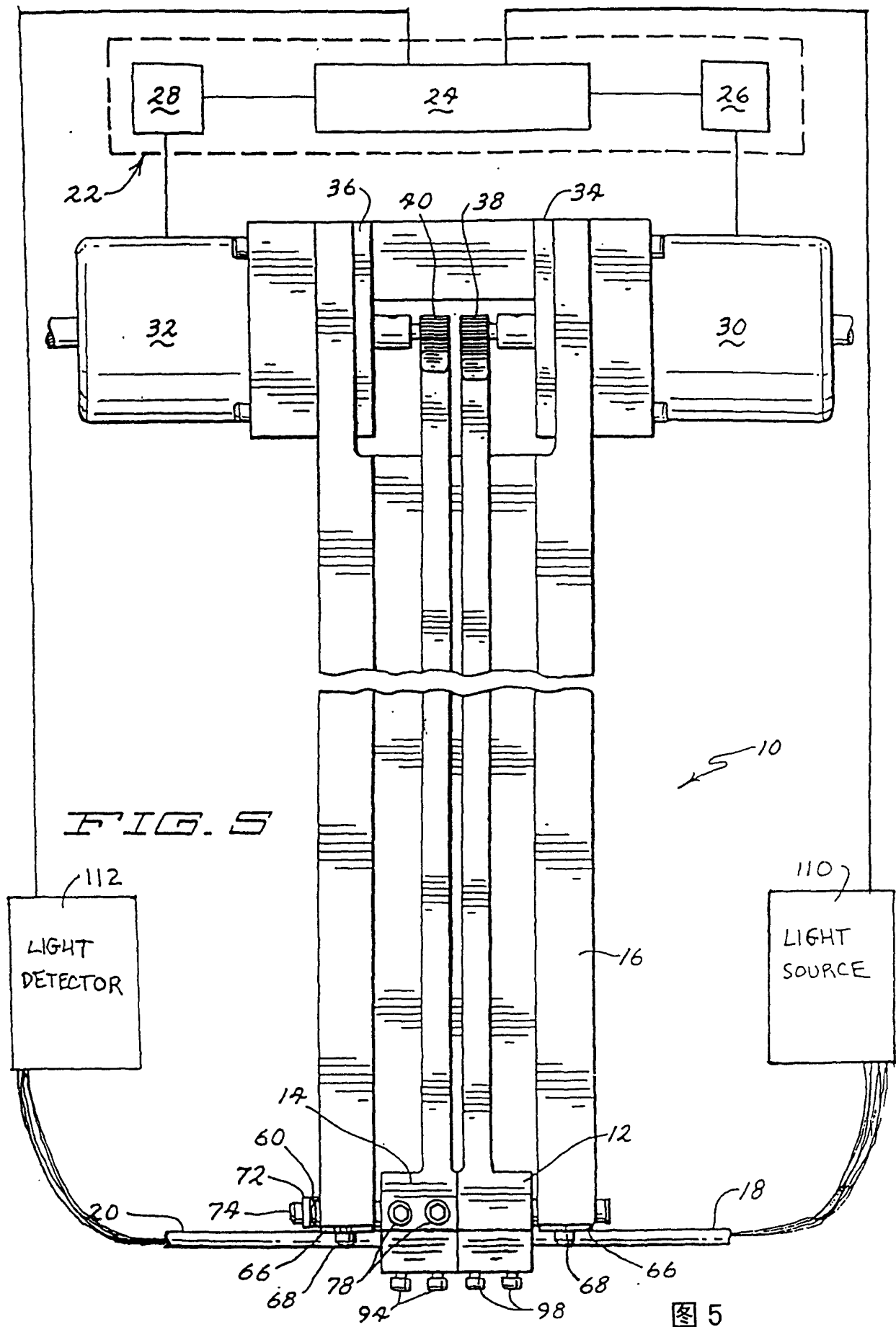


图 4



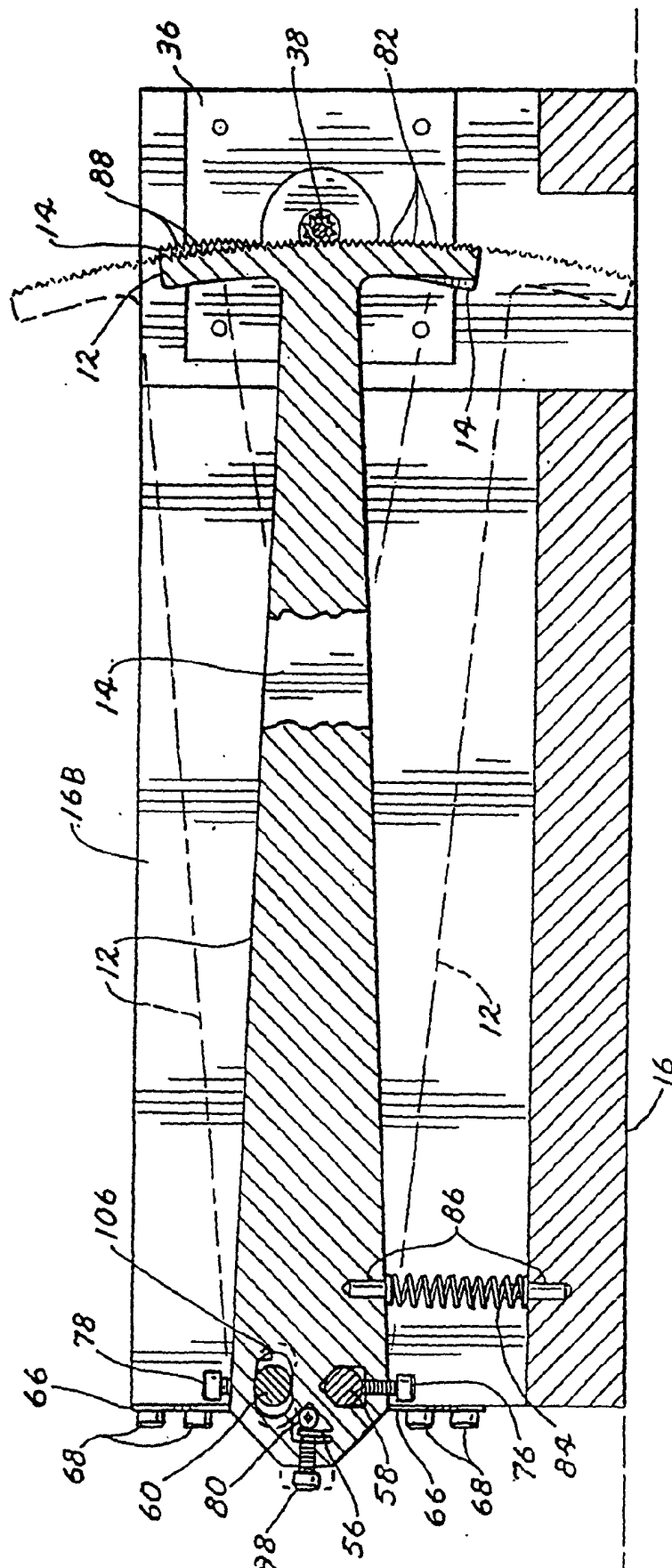


图 6

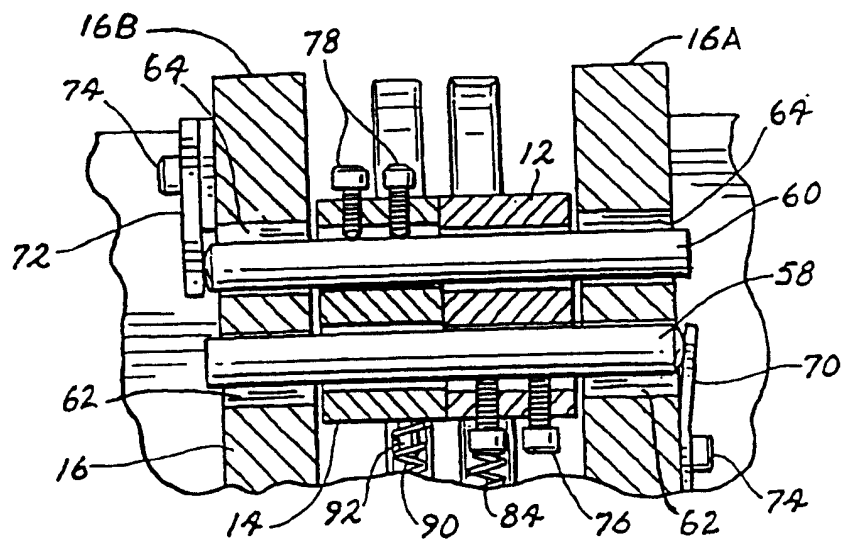


图 7

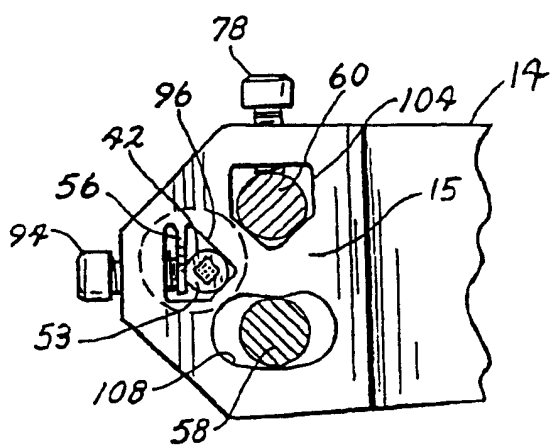


图 8

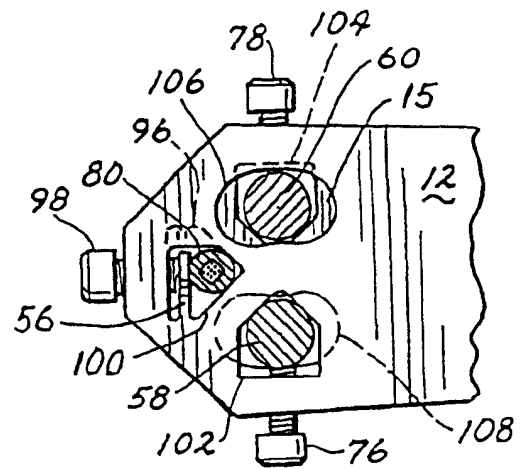


图 9

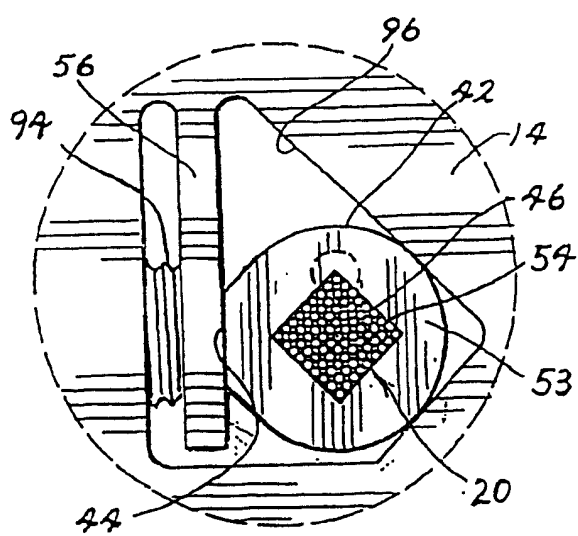


图 10

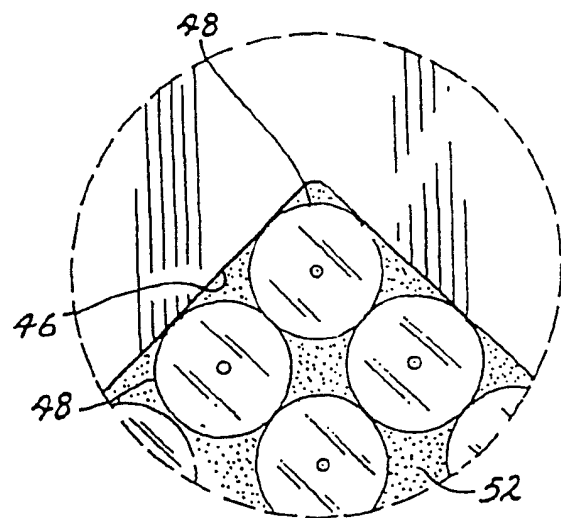


图 11

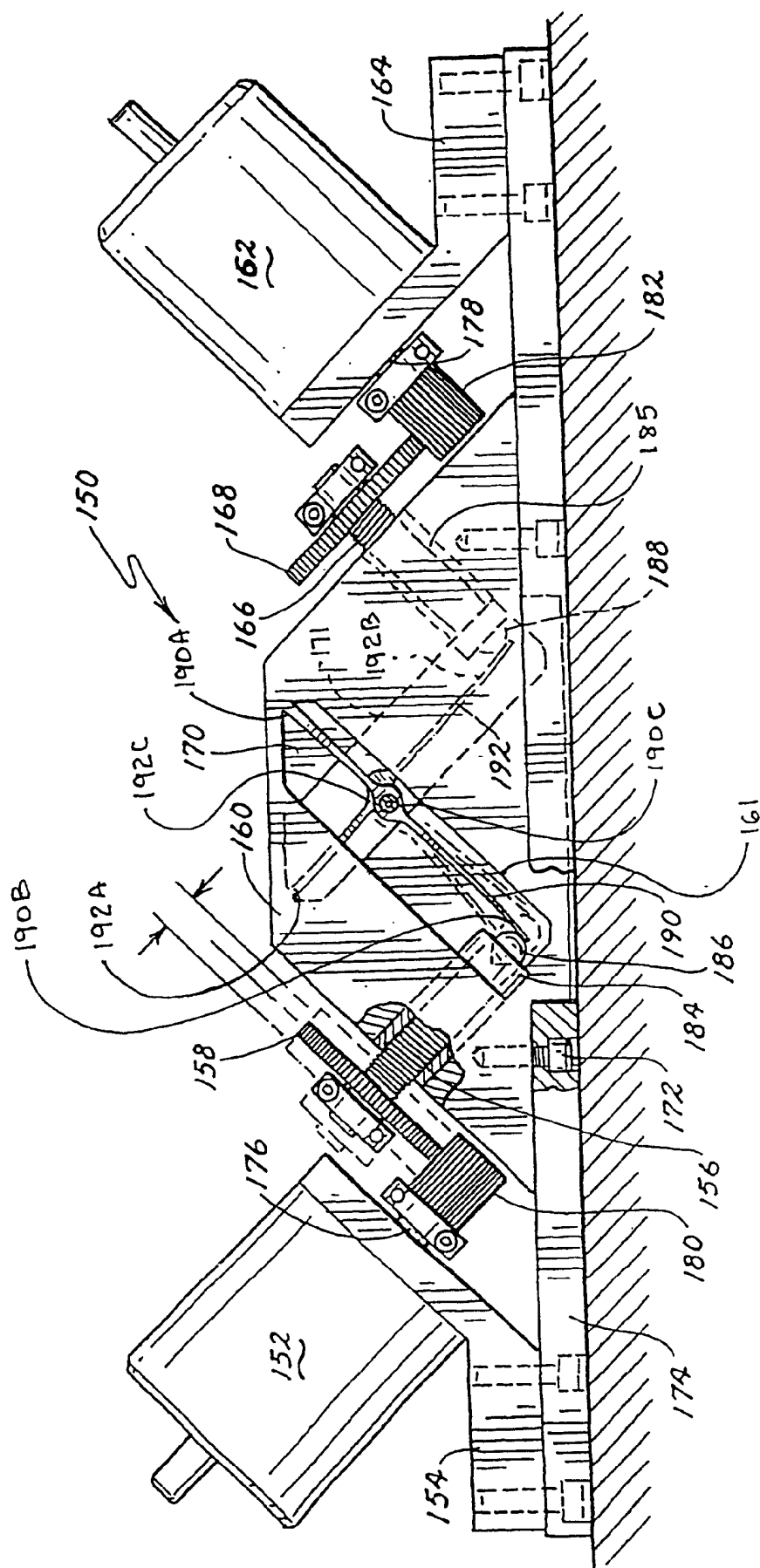


图 12

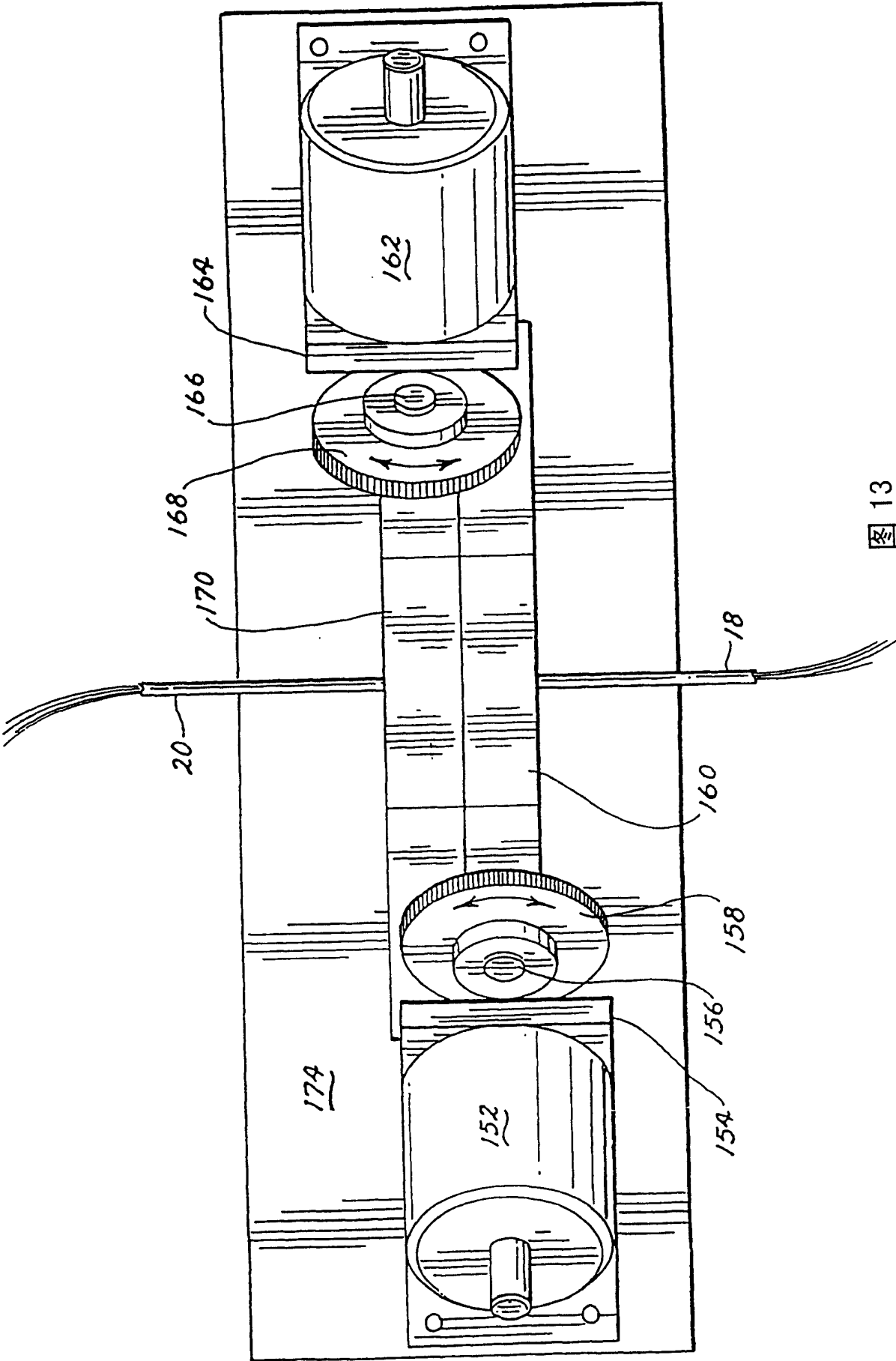


图 13

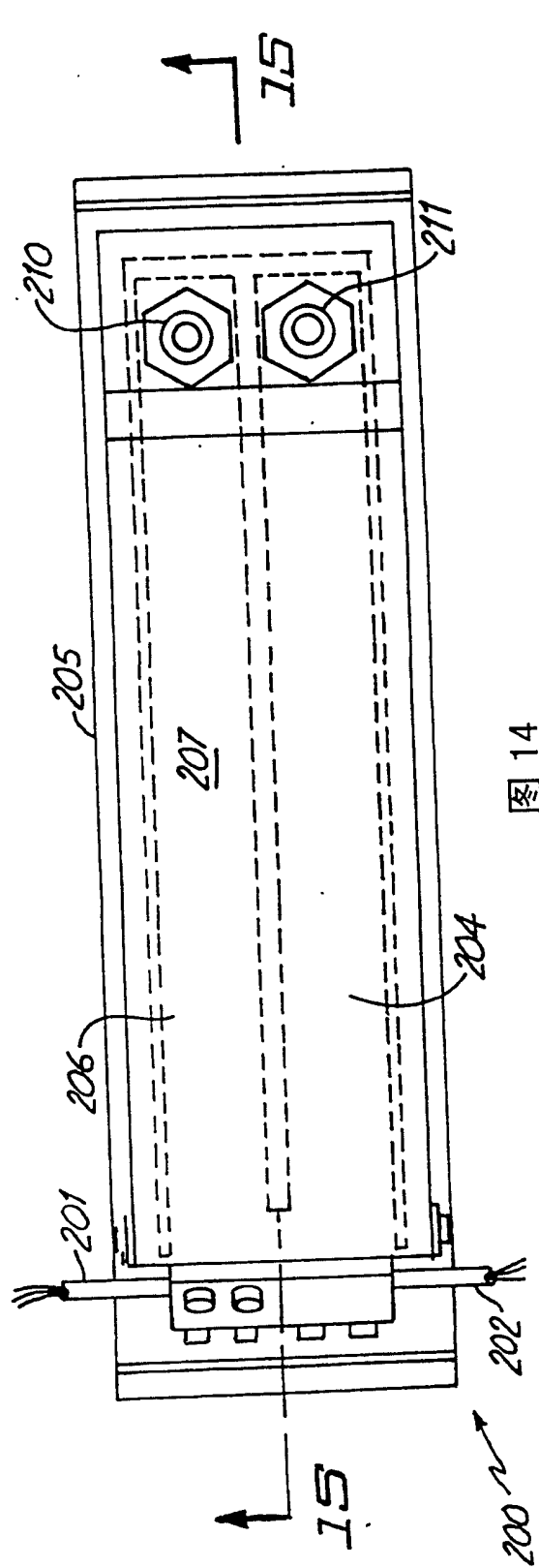


图 14

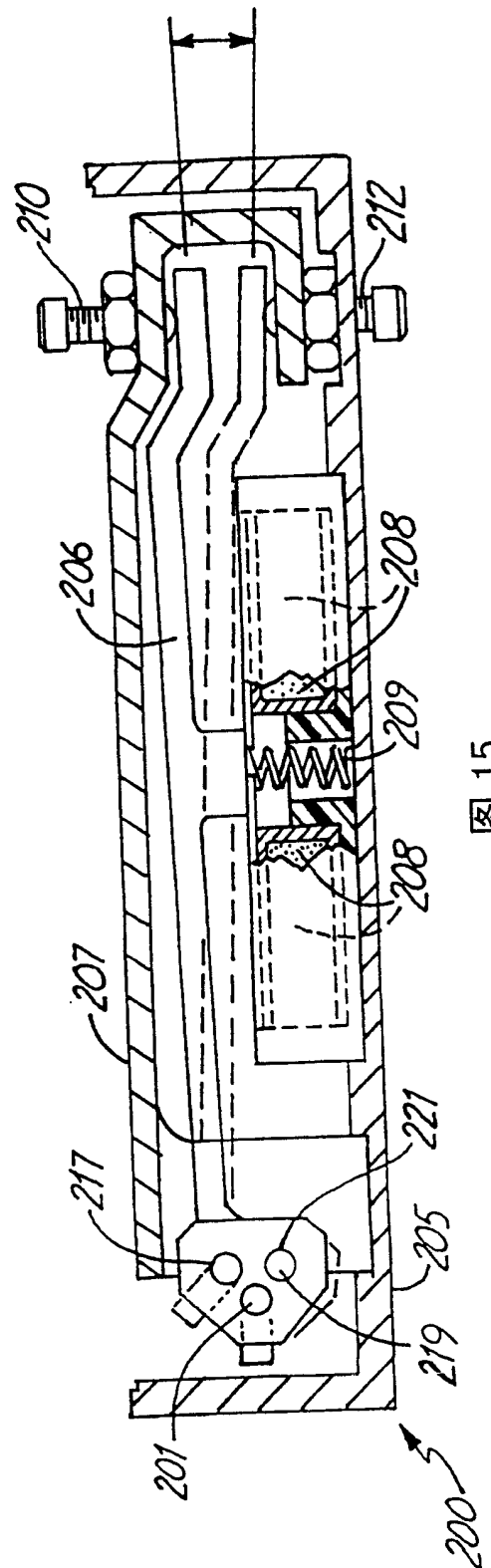


图 15

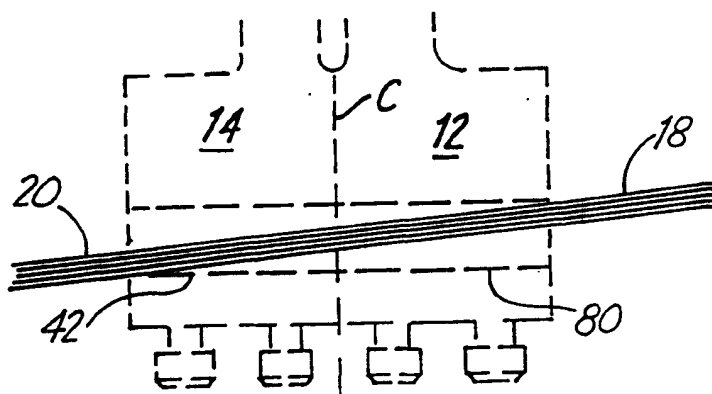


图 16

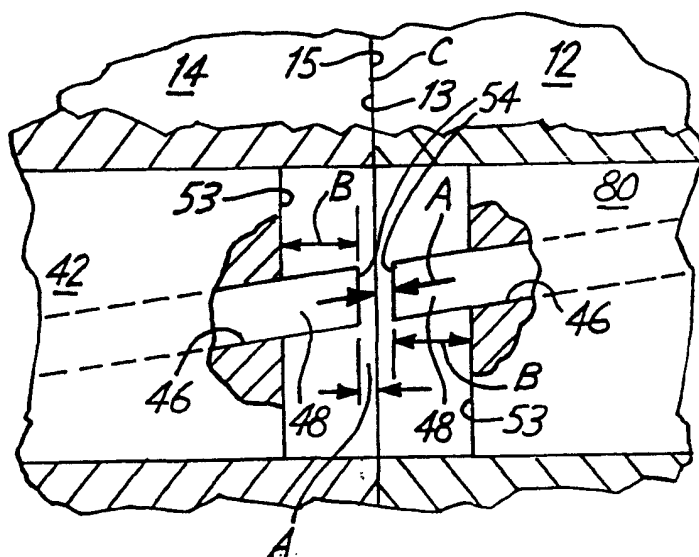


图 17A

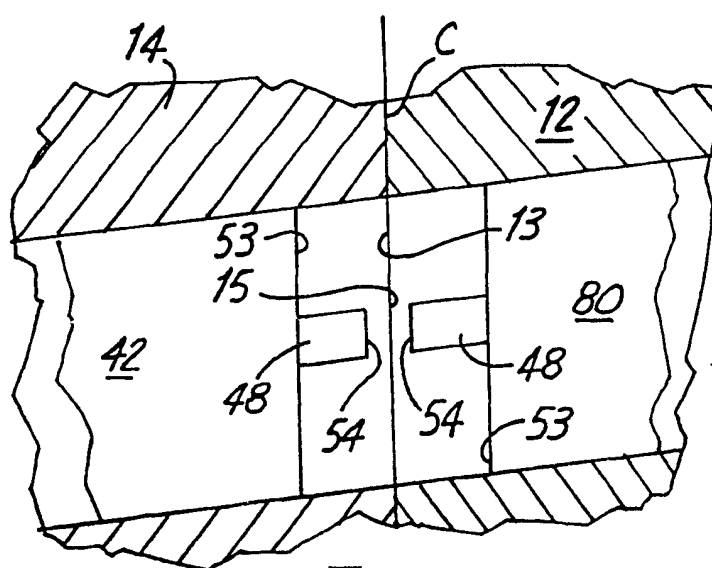


图 17B