

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02F 1/01 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510056502.7

[45] 授权公告日 2008 年 2 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100370316C

[22] 申请日 2005.3.18

[21] 申请号 200510056502.7

[30] 优先权

[32] 2004.3.19 [33] JP [31] 080128/04

[73] 专利权人 日本航空电子工业株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 吉田惠

[56] 参考文献

JP200477708A 2004.3.11

JP2003-255284A 2003.9.10

US6285504B1 2001.9.4

CN1423161A 2003.6.11

审查员 周庆成

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 王景刚 王冉

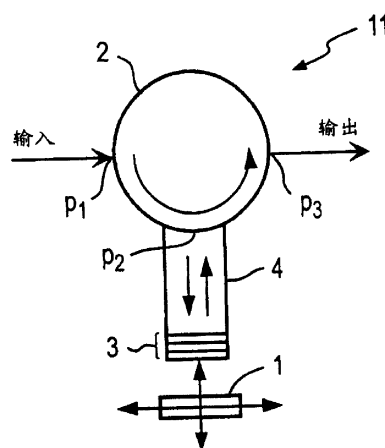
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称

光学衰减元件及可变光学均衡器和光学放大器

[57] 摘要

本发明涉及一种反射光学衰减元件。代替使用多路分配器以将光学信号分为不同波长，本发明使用其衰减因数和波长特性都可变的多个级联光学衰减元件。另外，使用反射光学衰减元件代替常规的透射元件，并且这些元件通过顺序连接到光学循环器而陈列连接。通过沿着垂直于光轴的方向位移法布里-珀罗谐振器的镜使得反射面远离光点移动来控制衰减因数，并且通过在光轴方向位移镜以改变谐振频率来控制衰减因数的波长特性。因此可实现具有简单配置和低插入损耗的可变增益光学均衡器。



1. 一种反射光学衰减元件, 包括:

法布里-珀罗谐振单元, 其由在光纤的 0° 抛光端面上形成的介电多层膜和面朝该介电多层膜的镜组成,

驱动单元, 其在所述光轴方向并在垂直于所述光轴的方向位移所述镜。

2. 如权利要求 1 所述的光学衰减元件, 其中, 所述光学衰减元件的驱动单元包括:

具有导电性的衬底;

可移动电极板, 其被自由保持以便在平行于所述衬底的表面的方向和垂直于该表面的方向上移动, 并且在其表面设置有所述法布里-珀罗谐振单元的镜, 该镜与所述衬底电绝缘,

固定电极板, 其形成在所述衬底上并与所述衬底电绝缘,

垂直驱动装置, 其形成在所述衬底和所述可移动电极板之间, 并且其使用静电驱动以在所述垂直方向移动该可移动电极板, 以及

水平驱动装置, 其形成在所述固定电极板和所述可移动电极板之间, 并且其使用静电驱动以在所述平行方向移动该可移动电极板。

3. 一种使用如权利要求 1 或 2 所述的光学衰减元件的可变增益光学均衡器, 包括:

多个所述光学衰减元件, 其通过光学循环器级联; 以及

控制装置, 其控制所述多个光学衰减器的驱动单元。

4. 如权利要求 3 所述的可变增益光学均衡器, 包括:

第二衬底, 其定位所述光学衰减元件的多个光纤。

5. 一种光学放大设备, 包括:

如权利要求 3 所述的可变增益光学均衡器;

光学放大器, 其连接到所述可变增益光学均衡器的光学信号输入侧和/或输出侧;

光学耦合器, 当连接到所述可变增益光学均衡器和光学放大器之后并分支光学信号的部分;

监视单元, 其接收从所述光学耦合器分支出的光并测量多个波长的光强; 以及

处理单元，其接收所述监视单元的输出并确定和输出控制信号到所述可变增益光学均衡器的控制单元。

6. 如权利要求 5 所述的光学放大设备，包括：

第二衬底，其定位所述光学衰减元件的多个光纤以及驱动单元。

7. 阵列衬底，包括：

如权利要求 1 或 2 所述的多个光学衰减元件的驱动单元；以及
第二衬底，其包括定位所述光学衰减元件的多个光纤的多个通道。

光学衰减元件及可变光学均衡器和光学放大器

技术领域

本发明涉及一种可变增益光学均衡器，其均衡不同波长的光学信号的光强，并涉及一种使用该均衡器的光学增益均衡器装置。

背景技术

波分复用（WDM）光学传输是增加光学通讯设备的容量的关键技术。在这种传输构架下，多个不同波长的光学信号被复用并在单条光学传输线路中传输。另外，已经研发并投入实际应用的光学放大器的技术包括使用光学半导体的光学半导体放大器，以及其中放大介质由掺杂有例如铒的稀土材料构成的光纤放大器。由于这些光学放大器可同时放大在可获得正增益（positive gain）的波长范围内的光学信号，它们可应用于 WDM 光学传输设备以实现高容量长距离传输设备。

然而，光学放大器的光学增益特性是取决于波长的。这种波长依赖性使得每个光学信号的光强不均匀（下文中称为“波长不均衡”）。这种减小波长不均衡的一致努力不仅导致光学信号可被传输的波长范围更广，而且还导致传输容量的增加。因此可以说在光通讯领域内减小波长不均衡的装置是必需的。

迄今为止，已经通过在光纤传输线路中插入光纤均衡过滤器减小了波长不均衡。然而，在光学放大器的波长依赖性由于光学信号的强度或者光学放大器的增益的变化而改变的情况下，光学均衡过滤器不能动态追踪这些变化。

为了解决这个问题，已经在研发使用可变增益的光学均衡器。图 11 显示了可变增益光学均衡器的常规实例。在这种可变增益光学均衡器中，入射光被多路分配器（demultiplexer）分为各个波长为 λ_1 到 λ_n 的光，并且每个波长的光由可变光学衰减器 50 逐个衰减并随后由复用器 51' 重组。在该图中，15 是至少在光学信号的波长区域内波长依赖的光学耦合器，16 和 16' 是光学放大器，14 是波谱监测器，52 是驱动可变光学衰减器 50 的电路。

日本专利申请 Kokai 公开 No.2000-199880 公开了一种技术，其中，多个过滤器模块串联，并且对每个过滤器模块的波长特性进行控制以便通过追踪波长特性来保持恒定的平坦波长特性（下文中该公开被称为“引文 1”）。

下文中将陈述上述可变增益光学均衡器的一般的描述以及对它们的问题的描述。

可变增益光学均衡器可广义地分为下述类型：

（1）可变增益光学均衡器，其中光学信号由多路分配器分为不同波长，每个波长由其光强衰减因数对此波长可变的光学衰减元件并行处理，随后这些波长由复用器重组，以及

（2）可变增益光学均衡器，其不使用多路分配器，但包括其光强衰减因数和波长特性都可变的多个级联衰减元件。

图 11 中所描绘的结构是类型（1）的可变增益光学均衡器的典型实例。这种类型也可通过使用光学循环器（optical circulator）和反射光学衰减元件由单个多路分配器/复用器来实现。任何一种方式下，由于这种类型需要可变光学衰减器的数量等于波长通道的数量，不可避免地由于元件数量增加而引起费用的增加。另一个问题是由于光学信号在被分开后需要进行复用处理而发生很大的插入损耗（insertion loss）。进而，为了保证波长增益均衡是被稳定地控制的，必须通过监视每个波长通道中的光强而控制每个光学衰减元件，导致产生随着复用度增加而控制系统复杂度增加的问题。

类型（2）的可变增益光学均衡器的基础技术是通过采用多个级联光学衰减元件而使得光学增益的波长特性平。然而，这些光学衰减元件已经包括诸如法布里-珀罗（Fabry-Perot）谐振器的元件，其中其光强衰减因数和波长特性固定。引文 1 提出一种技术，使得可使得其适应光学放大器增益特性和输入光的波谱的波动。

而且，可用于以多个光学衰减元件改变衰减因数波长特性的方法包括使用相应于衰减因数波长的傅里叶级数分量（component）的光学衰减元件，或者非线性拟合应用技术。另外，代替法布里-珀罗谐振器，光学衰减元件可为马赫-曾德耳（Mach-Zehnder）过滤器或者光栅等。

但是不管使用傅里叶展开还是非线性拟合，为了构成作为可适应于输入光的波动的可变装置的增益均衡器，必须可变的控制级联光学衰减元件操作所用的衰减因数和波长特性这两个因数，并且因此已经提出可实现上述目的

的特定装置采用活动（active）的配置，其中马赫-曾德耳过滤器、法布里-珀罗谐振器或者光栅与光学放大介质组合，并且所有这些例子配置有根据引文 1 的可变放大元件。然而，没有特别提到关于控制光学衰减元件的衰减因数的波长特性的方法，或者用于单独控制增益特性和相位（phase）特性的方法。另外，这些配置中的元件都是透射型的。

发明内容

代替使用多路分配器将光学信号分为不同波长，本发明使用其衰减因数和波长特性都可变的多个级联光学衰减元件。另外，反射光学衰减元件代替常规的透射元件使用，并且这些是通过将它们顺序连接到光学循环器而成列（column）连接的。在这些反射光学衰减元件中，通过沿着垂直于光轴的方向位移法布里-珀罗谐振器的镜使得反射面远离光点移动来控制衰减因数，并且通过在光轴方向位移镜以改变谐振频率来控制衰减因数的波长特性。因此可实现具有简单配置和低插入损耗的可变增益光学均衡器。

进而，由于反射元件配置为使得光传输部分（例如光纤）仅在相对于这些元件的一个方向连接，与光传输部分至少在元件的两个方向（例如在透射元件的情况下）连接的配置相比，当将在小移动范围内可移动的装置的板附接时，物理约束少。因而，光学衰减元件易于为使用微机械技术制造的 MEMS（微电微机械系统）装置，其不仅允许尺寸减小、集成度增加，并且还允许生产率提高。

附图说明

图 1A 显示了反射光学衰减元件的配置的示意说明。

图 1B 显示了包括可变增益光学放大器的光学放大设备的功能配置的实例。

图 2 显示了当通过反射光学衰减元件自由调节衰减因数和衰减波长时所获得的波长对光学衰减特性。

图 3 显示了当通过四个级联反射光学衰减元件自由调节其衰减因数和衰减波长时所获得的波长对光学衰减特性。

图 4 显示 MEMS 光学衰减装置的一实施例的平面图。

图 5 显示 MEMS 光学衰减装置的另一实施例的平面图。

图 6A 显示图 4 所示 MEMS 光学衰减装置的沿线 VIA 的截面图。

图 6B 显示图 4 所示 MEMS 光学衰减装置的沿线 VIB 的截面图。

图 6C 显示图 4 所示 MEMS 光学衰减装置的沿线 VIC 的截面图。

图 7 显示 MEMS 光学衰减装置配置其上的衬底的一实例的鸟瞰图。

图 8 显示四个 MEMS 光学衰减装置配置其上的衬底的一实例的鸟瞰图。

图 9A 显示 MEMS 光学衰减装置配置其上的衬底的另一实例的鸟瞰图。

图 9B 显示 MEMS 光学衰减装置配置其上的衬底的另一实例的平面图。

图 10A 显示制造 MEMS 装置中的一步骤的截面图，其中在由硅衬底层和硅有源层（active layer）之间夹着氧化硅绝缘层而构成的 SOI 晶片的硅有源层的上表面上形成氧化膜掩膜层。

图 10B 显示制造 MEMS 装置中的一步骤的截面图，其中通过在氧化膜掩膜层中光刻形成图案。

图 10C 显示制造 MEMS 装置中的一步骤的截面图，其中使用构图的氧化膜掩膜层作为掩膜通过干法蚀刻技术在垂直方向各向异性地腐蚀硅有源层。

图 10D 显示制造 MEMS 装置中的一步骤的截面图，其中通过腐蚀移去氧化硅绝缘层 602 以使得可移动电极体 630 自由悬置。

图 11 显示包括常规可变增益均衡器的光学放大设备的功能实施例。

具体实施方式

下面将说明实现本发明的优选模式。

图 1A 显示光学衰减元件 11 的配置，该光学衰减元件 11 是可变增益光学均衡器 10 的重要构成元件。光学衰减元件 11 包括：具有三个光学输入/输出口 p1, p2 和 p3 的光学循环器 2；连接到光学循环器 2 的第二光学输入/输出口 p2 的光纤 4；包括形成在光纤 4 的 0° 抛光端面（facet）上的介电多层膜的反射层 3；以及面朝并与反射层 3 平行取向、中间间隙填充包括空气的介质的镜装置 1。该镜装置 1 具有在光轴方向以及与光轴垂直的方向进行平移的可移动机构。

在图 1B 中点划线所围的部分指代对应于本发明的可变增益光学均衡器 10 的部分。可变增益光学均衡器 10 包括：多个图 1A 所示的光学衰减元件 11 级联而形成的光学衰减元件阵列，以及由控制阵列的 CPU 13 和光学衰减

元件驱动电路 12 组成的处理单元。

首先说明可变增益均衡器 10 的作用。在图 1A 所示的光学衰减元件 11 中，由波长复用光组成的光学信号从光学循环器 2 的第一口 p1 输入并且通过光学循环器 2 的第二口 p2 导向光纤 4。通过光纤 4 引导的光学信号被形成在光纤 4 的 0° 抛光端面上的反射层 3 所反射，通过光纤 4 和光学循环器 2 的第二口 p2 前移并且从光学循环器 2 的第三口 p3 出射。

镜装置 1 和形成在光纤 4 的 0° 抛光端面上的反射层 3 一起形成法布里-珀罗谐振器。如果光学信号的波长匹配该谐振器的谐振器波长和相位标准，即其波长必须是 $(0.5\lambda/n)$ 的整数倍，其中是 λ 波长， n 是介质的反射系数，则该光学信号只能通过反射层 3。由于通过反射层 3 的波长成为被衰减的波长（下文称为“衰减波长”），从口 p1 到口 p3 的衰减因数显示为图 2 的波形 30 所示形状。图 2 所示形状下文中称为“衰减波形”。

如果镜装置 1 在光轴方向从反射层 3 离开移动，法布里-珀罗谐振器的谐振器波长增大而衰减波长移动到更长的波长。相反，如果镜装置 1 在光轴方向朝向反射层 3 靠近移动，衰减波长移动到更短的波长。当镜装置 1 位于它可以与从光纤 4 的一端出射的尽可能多的衰减光相互作用的位置时，法布里-珀罗谐振器的谐振效率被最大化，衰减光的衰减因数也被最大化。如果镜装置 1 随后在垂直于光轴的方向移动，使得它与少量衰减光相互作用，谐振效率减小并且衰减因数也减小。图 2 中的衰减波形 21 显示了与衰减波形 20 所代表的状态相比，法布里-珀罗谐振器的谐振波长更长而谐振效率更低的状态。由此，通过控制由镜装置 1 和形成在光纤 4 的 0° 抛光端面上的反射层 3 形成的法布里-珀罗谐振器的谐振波长和谐振效率，可自由控制光学衰减元件 11 的衰减波长和衰减因数。

在图 1B 所示的可变增益光学均衡器中，多个光学衰减元件级联配置。元件数量根据所需的光学传输设备的规格而不同，当光学衰减元件 11 的数量增加，可获得更高精度的增益均衡。通过波谱监测器 14 测量由光学耦合器 15 分支的光学信号的波长谱，以获得从光学放大设备输出的强度的波长特性（下文称为“增益轮廓（gain profile）”）。

为了使得增益轮廓平坦，CPU 13 首先生成特性与增益轮廓特性互补的增益均衡轮廓。然后，根据非线性拟合，它将增益均衡轮廓分为数量等于光学衰减元件 11 的数量的衰减波形。由于各个衰减波形通过法布里-珀罗谐振

器生成，它们可被假定为具有洛伦兹波形，其半宽度由镜装置 1 和反射层 3 的反射率所确定。CPU 13 也从衰减波形确定每个光学衰减元件的衰减波长和衰减因数，并且确定在光轴方向和垂直于光轴方向的镜装置 1 的位移。光学衰减元件驱动电路 12 根据这些位移控制每个光学衰减元件 11。注意，傅立叶展开是可用于分开增益均衡轮廓的另一种方法。

下面，将参考图 1B 所示的具有两级配置的光学放大设备的实例说明可变增益光学放大器 10 的操作。在这个实例中，可变增益光学均衡器 10 从四个光学衰减元件 11 的级联配置。在图 1B 中，通过光学放大设备的光学信号的总光强的百分之一通过光学耦合器 15 朝向波谱监测器 14 分支。通过波谱监测器 14 测量光学信号的波长谱，以确定增益轮廓。CPU 13 生成特性与增益轮廓特性互补的增益均衡轮廓，并根据非线性拟合将增益均衡轮廓分为四个洛伦兹波形。每个洛伦兹波形的中间波长（衰减波长）和衰减因数分别转换为镜装置 1 在光轴方向和垂直于光轴方向的位移。光学衰减元件驱动电路 12 根据这些位移控制每个光学衰减元件 11。

在图 3 中示出本发明的实验例。由各个光学衰减元件 11 产生的衰减波形由图 3 的波形 30-33 表示，并且这四个衰减波形的叠加得到增益均衡轮廓 34。在这个例子中，在 1525-1565 nm 的波带内的波长不均衡小于 ± 0.25 dB，并且可变增益均衡器的插入损耗只有 4.5 dB。虽然如上所述可通过增加光学衰减元件 11 的数量而改善增益均衡特性，每增加另一个衰减元件，插入损耗增加大约 1 dB。另一方面，虽然在图 11 所示的可变增益光学均衡器的常规实例具有小于 ± 0.25 dB 的波长不均衡并且它的性能与本发明的可变增益光学均衡器的性能类似，它的插入损耗至少是 10 dB。

参考图 4-6 描述 MEMS 光学衰减装置。这种 MEMS 装置使用通过由硅衬底层和有源层之间夹着绝缘层而形成的 SOI 衬底。图 4 显示了构成法布里-珀罗谐振器的全反射镜的 MEMS 装置的平面图，包括镜面。该图显示从形成在与设置于有源层中的可移动电极板的衬底板表面平行的表面中的镜的侧面看的形状，并描述了光纤芯的投影位置（projected position）。图 6 中的图是图 4 所示的 MEMS 光学装置的全截面图。

在图 4 中，60 是硅衬底。在硅衬底 60 上，形成与中间氧化层相对配置的固定件（anchor）61。另外，在硅衬底 60 上形成相对配置形成的固定件 61 内的与中间氧化层相对配置的固定电极 62。在相对的固定电极 62 上形成

彼此面对的固定电极梳部 621。63 是具有板形主体 630 的可移动电极。通过两个铰合件 64 分别连接这个可移动电极主体 630 到两个固定件 61 而自由悬置这个可移动电极主体 630。四个铰合件 64 作用同弹簧，由此可移动的电极主体 630 被保持在没有外力作用的初始位置，并根据所施加的外力从初始位置移开。另外，在可移动电极 63 的可移动电极主体 630 中形成面朝两个固定电极 62 的固定电极梳部 621 的可移动电极梳部 631。设置在彼此面对的固定电极梳部 621 和可移动电极梳部 631 中的梳齿的数目或者相同或者不同，一个的梳齿位于另一个的梳齿之间而不与它们接触。这里，每个梳齿位于使得靠近另一个梳部的梳齿之一。

7 代表单模光纤，71 代表光纤 7 的投影的芯位置。光纤 7 的轴垂直于页面，光纤 7 的端面相对可移动的电极主体 630 固定。可移动镜 17 设置在可移动电极主体 630 上面朝光纤 7 的芯 71 的部分中。可移动镜 17 可通过例如以高反射率材料例如 Au 涂覆可移动电极主体 630 而形成。

例如，在没有外力作用在可移动电极主体 630 上的位置（初始位置），可移动镜 17 设定以反射从光纤 7 的芯射出的最大量的光，而得到最大谐振效率和最大衰减因数。这里，如果在固定电极 62 和可移动电极 63 之间施加电压，在固定电极梳部 621 和可移动电极梳部 631 之间产生静电引力。由于在梳齿之间的更狭窄的间隙处静电引力的作用更强，可移动电极主体 630 在狭窄的间隙变得更狭窄的方向上位移。因而，根据电压，可移动镜 17 在页面向上或者向下位移。当可移动镜 17 在页面向上或者向下位移以产生可移动镜 17 相对光纤 7 的芯 71 的位置的偏移，根据位移量光学谐振效率改变并且光学衰减元件的衰减因数改变。

参考图 5 说明 MEMS 光学衰减装置的另一实例。在图 5 中，在图 4 中也出现的构成部件标示以相同的参考标号。

例如，在没有外力作用在可移动电极主体 630 上的位置（初始位置），可移动镜 17 设定以反射从光纤 7 的芯射出的最小量的光（最小谐振效率和最小衰减因数）。如果在固定电极 62 和可移动电极 63 之间施加电压，在固定电极 62 的固定电极梳部 621 和可移动电极 63 的可移动电极梳部 631 在两个电极的梳部之间产生静电引力，使得可移动电极 63 在两个梳部之间增加接合的方向上位移。因而，根据电压，可移动镜 17 在页面向上或者向下位移。当可移动镜 17 在页面向上或者向下位移以产生可移动镜 17 相对光纤 7

的芯 71 的位置的偏移, 根据位移量光学谐振效率改变并且光学衰减元件的衰减因数改变。

在图 4 和图 5 中, 其上形成可移动镜 17 的可移动电极 63 是例如接地到 GND。然后, 通过向与固定电极 62 通过氧化层绝缘的下层硅衬底 61 上施加电压, 可移动镜 17 可在垂直于硅衬底 6 的页面的方向位移, 由此改变谐振长度 - 即衰减波长。

图 7 说明了通过将光纤 7 的端面指向图 4 和图 5 所示的 MEMS 装置构成法布里-珀罗谐振器的基衬底 8 的结构。这里, 形成在基衬底 8 中的光纤安装槽 81 具有 V 形截面。例如, 作为用于定位光纤轴向方向的简单方法, 可采用图像识别 (使用从上述获得的图像) 以使得在光纤的端面形成的多层膜镜与在 V 形槽的端面处的阶梯部分的边缘相似。另外, 作为用于在垂直方向定位光纤的轴的方法, MEMS 装置可根据设置在衬底上预定位置处的标记物而定位并固定。实践中, 由于这些 MEMS 装置和衬底通过 SOI 和硅晶片构成, 它们易于通过形成并截断对本发明的可变增益光学均衡器数量足够的单列法布里-珀罗谐振器而阵列生产, 这对于制造更紧凑的装置并增加它们的集成度是有利的。图 8 显示在阵列配置中使用的衬底的实例。

图 9 说明了衬底的配置的另一实例。基衬底 8 设置有具有矩形截面的槽 81', 而不是具有 V 形截面的槽。这是通过例如深 RIE (反应离子蚀刻) 的各向异性蚀刻的处理而形成在 SOI 衬底上的。这种方法的优点在于它使得可同时形成光纤端面邻接部分 83 和保持光纤轴固定在横向取向的夹持弹簧 82-邻接部分 83 特别有用, 这是因为它不需要由上所述的图像识别处理用于在轴向方向定位光纤。

图 10 说明制造根据本发明的 MEMS 装置的生产中的各种步骤。

(步骤 1) 通过在硅衬底层 601 和硅有源层 603 之间夹着氧化硅绝缘层 602 制备 SOI 晶片 60, 并且在单晶硅层的上硅有源层 603 上形成氧化膜掩膜层 604 (图 10A)。

(步骤 2) 使用光刻在氧化膜掩膜层 604 中形成图案 (图 10B)。

(步骤 3) 以带有构图的氧化膜掩膜层作为掩膜, 使用例如深 RIE 的干法蚀刻技术在垂直方向上对硅有源层 603 进行各向异性蚀刻 (图 10C)。

(步骤 4) 通过蚀刻移去氧化硅绝缘层 602, 以使得可移动电极主体 630 处于自由悬置状态 (图 10D)。设定适当的蚀刻时间使得氧化硅绝缘层 602

从硅有源层 603 的狭窄部分下面移去，由此将它们从硅衬底层 601 分离。同时在硅有源层 603 的宽部下面的氧化硅绝缘层 602 在边缘部分移去，但是其他大部分完整以形成固定件 61 和固定电极 62。注意，氧化膜掩膜层 604 也同时被蚀刻掉。

(步骤 5) 所得可移动电极主体 630 的表面覆盖由高反射率的金属 (Au 等) 膜以同时形成可移动镜 17 和电极焊垫，由此完成 MEMS 装置的生产。

在图 4 和图 5 中，所述的可移动电极主体 630 具有多个方形孔，其目的是使得可移动电极主体 630 更轻并且使得可移动电极主体 630 由狭窄的线性部分构成使得可在步骤 4 中自由悬置。例如，在图 4 中，通过设定宽度 $\alpha = 20\text{-}30\mu\text{m}$ 并且 $\beta > 50\mu\text{m}$ ，可使得一部分可移动而另一部分保持固定。

在图 4 和图 5 中，以非常细的线画出的铰合件生产为薄平弹簧形，其高度大于其宽度，使得在水平方向移动范围大而在垂直于表面的方向移动范围小。特别的，用于控制反射率的水平位移是根据光纤芯的直径确定的，并被设定位例如 $10\mu\text{m}$ 或者更小。用于控制谐振器长度的垂直方向的位移是根据衰减波长的范围确定的并且被设定为 10nm 或者更小。

尽管上述说明在本实施例中使用 SOI 衬底，衬底必须满足两个要求。第一个要求是关于制备衬底的材料，其必须包括在导电衬底上的绝缘层，在顶部是柔性导电材料层。第二个要求是关于 MEMS 装置的制造，其中该材料必须适用于通过例如干法蚀刻的技术在垂直方向各向异性蚀刻。任何满足这些要求的材料可用于制备根据本发明的 MEMS 装置，不限于 SOI 衬底。

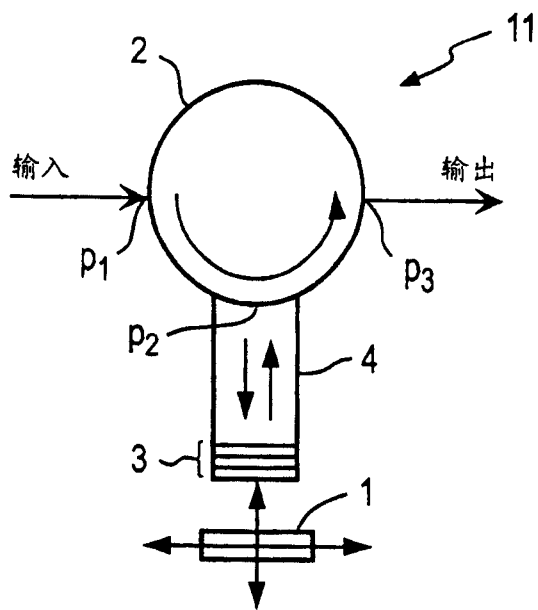


图 1A

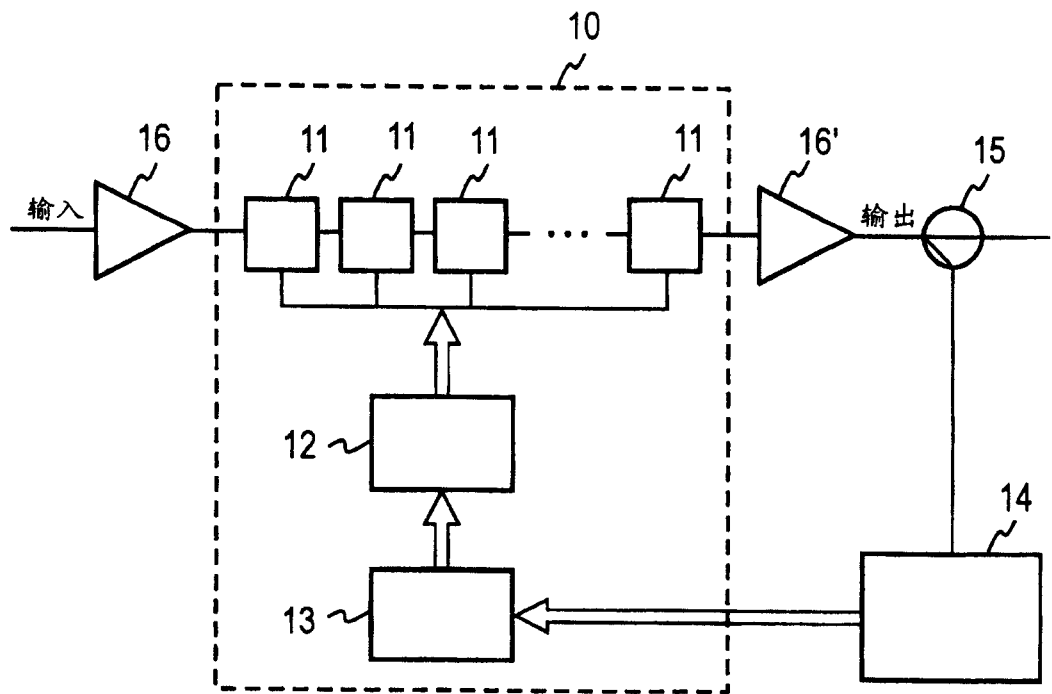


图 1B

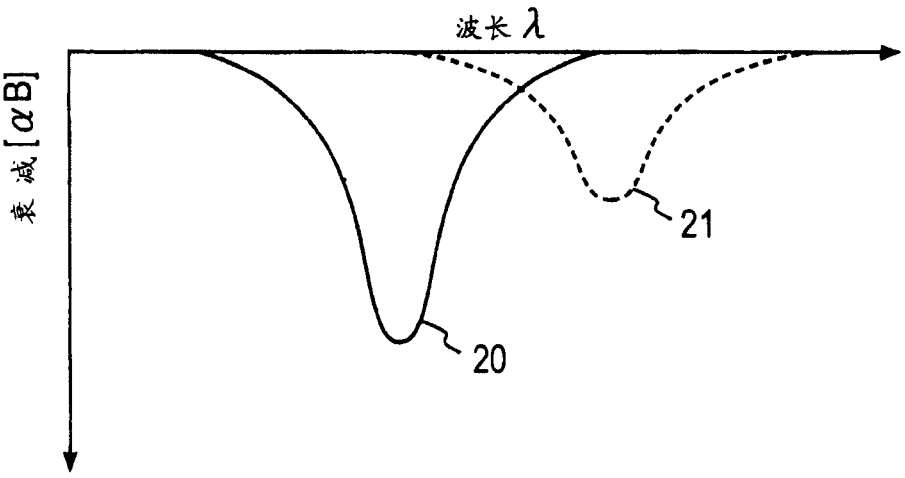


图 2

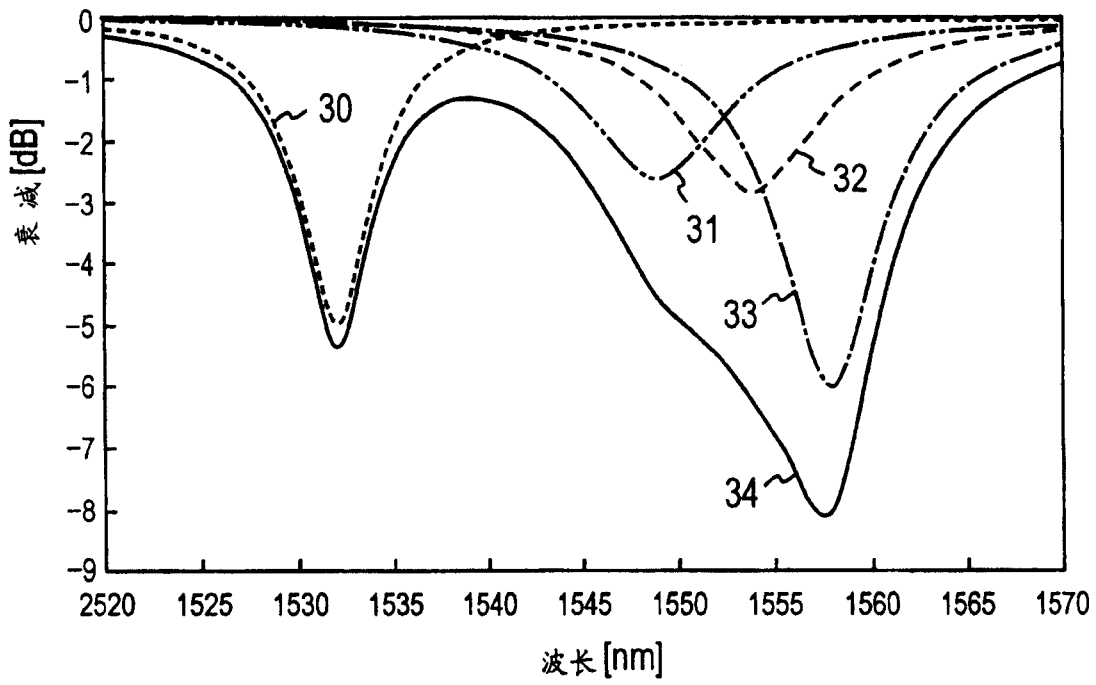


图 3

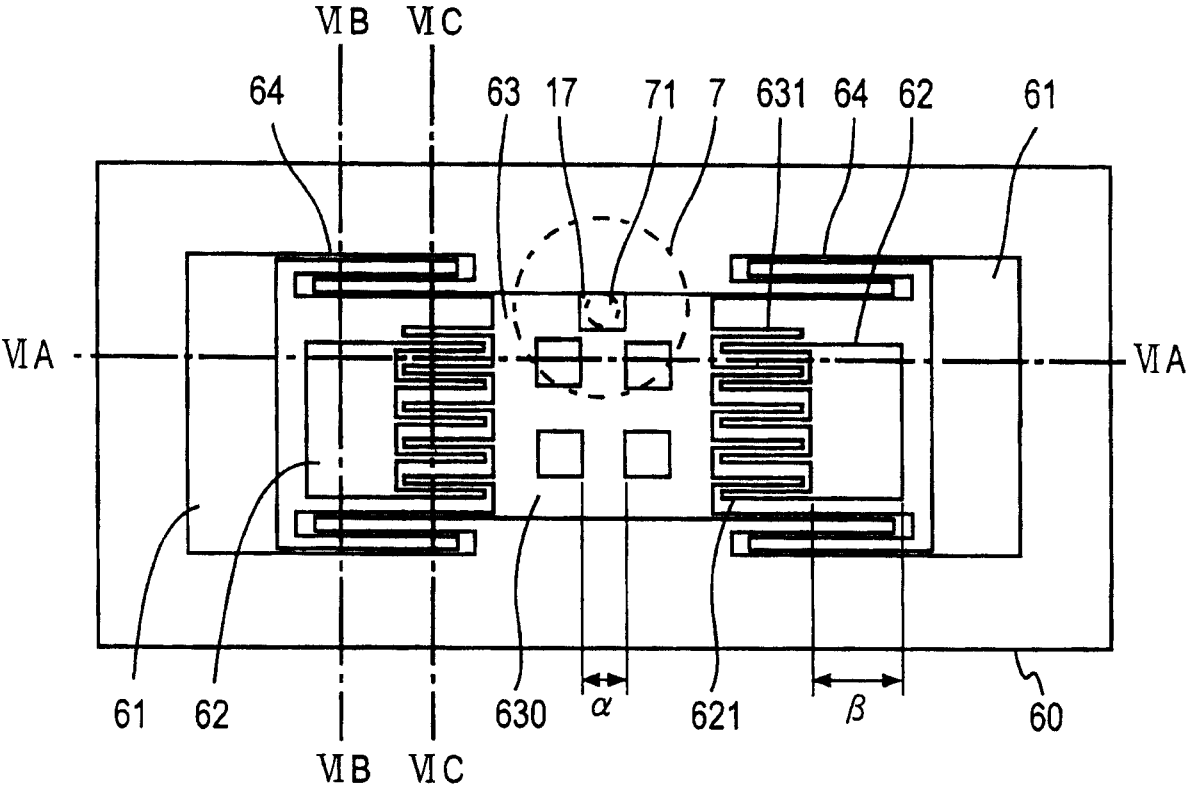


图 4

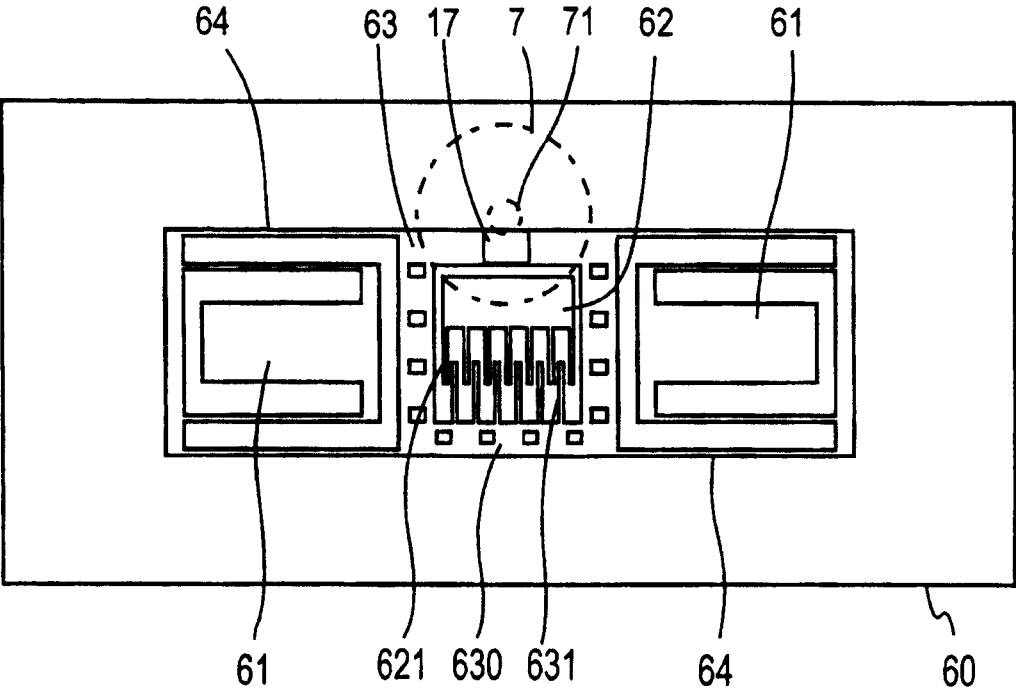


图 5

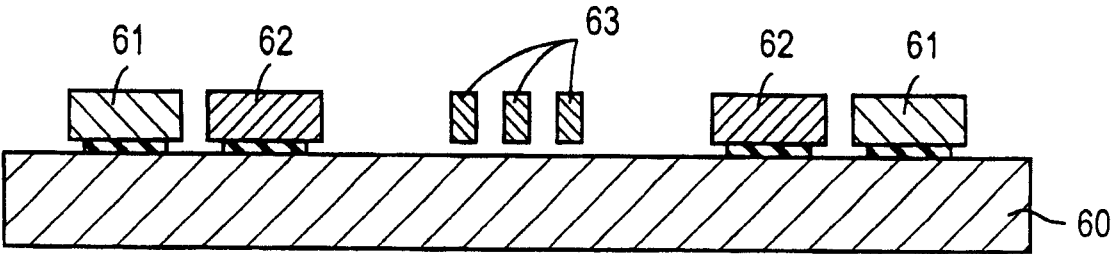


图 6A

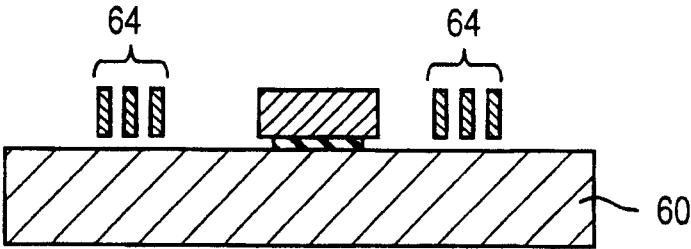


图 6B

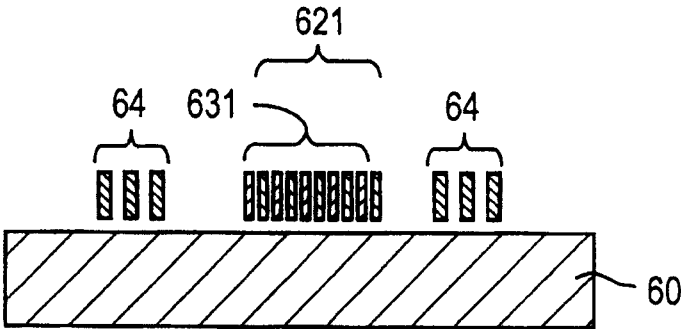


图 6C

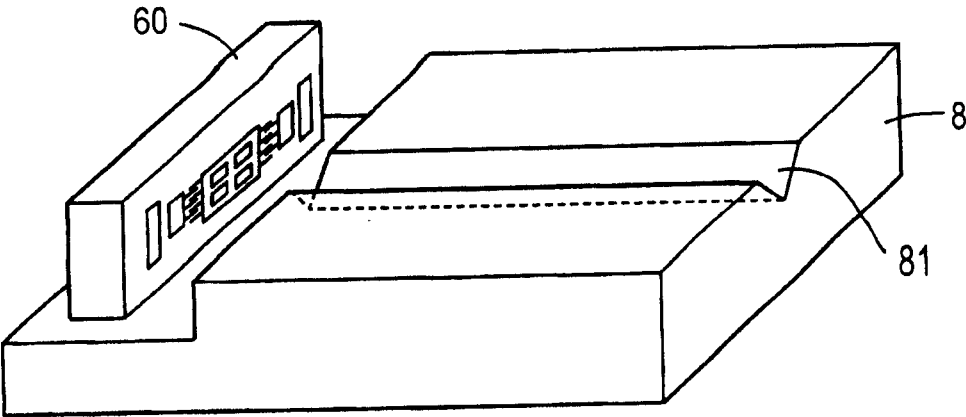


图 7

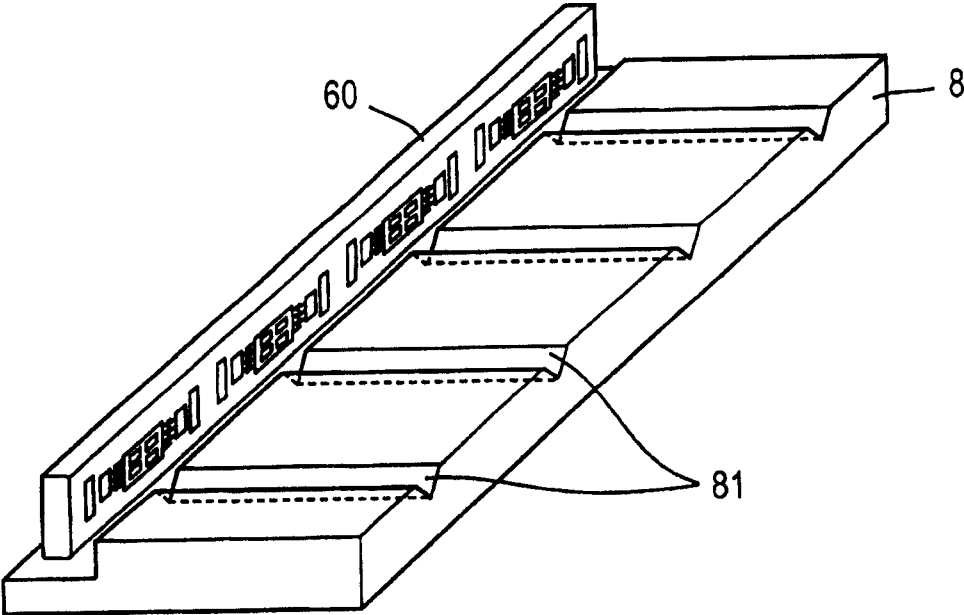


图 8

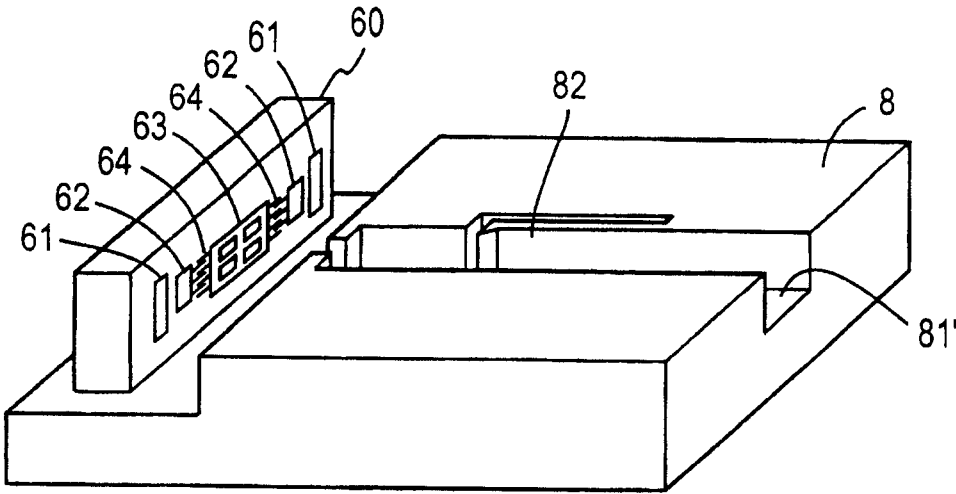


图 9A

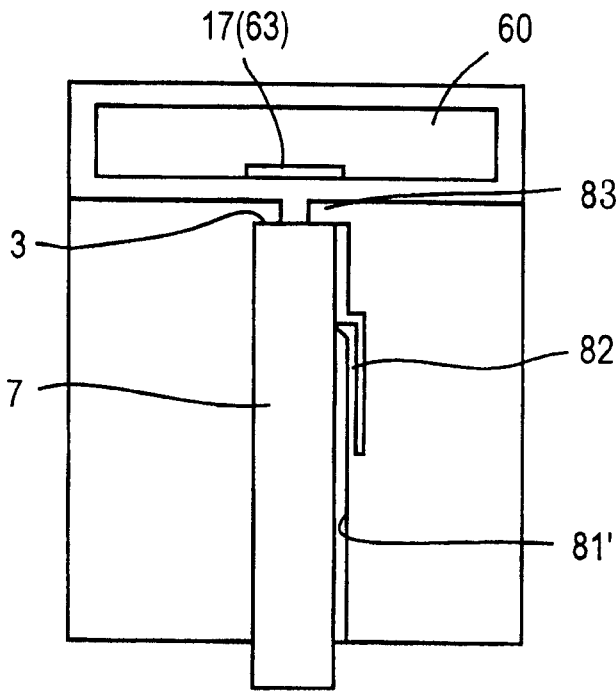


图 9B

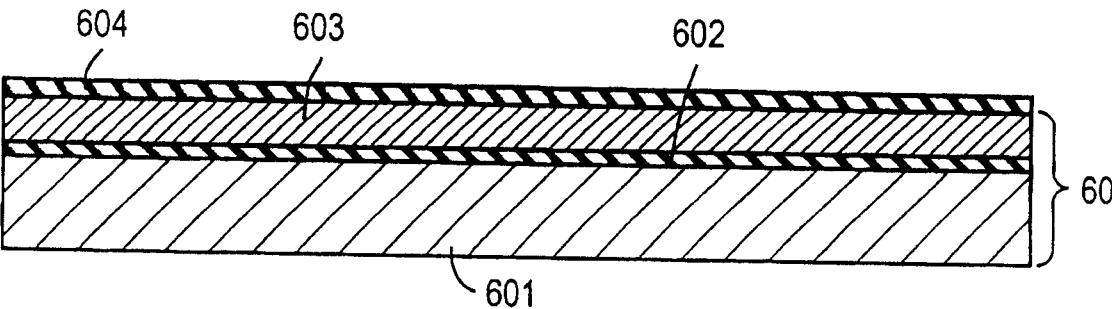


图 10A

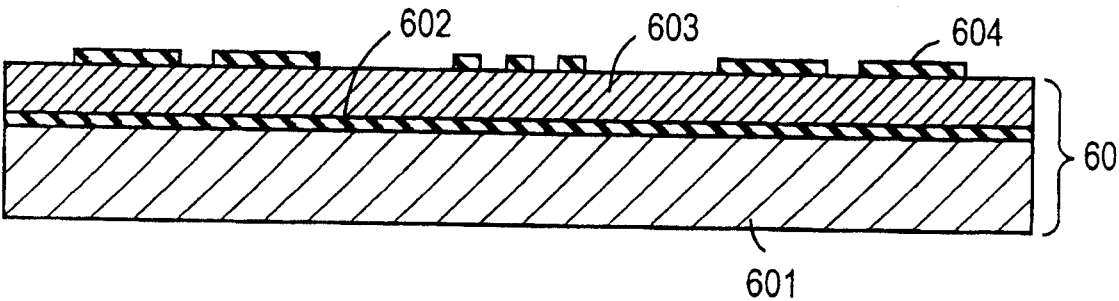


图 10B

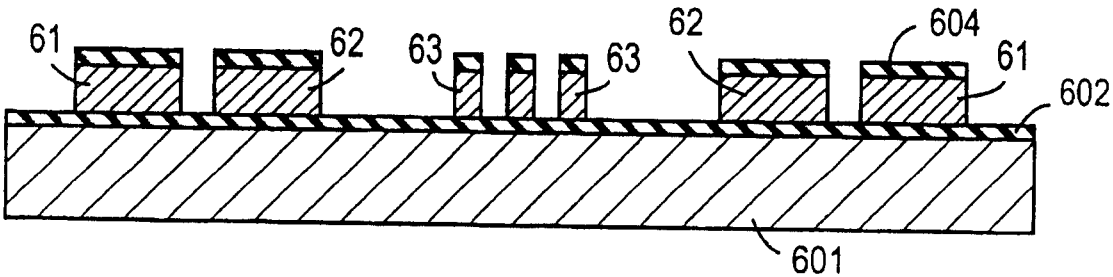


图 10C

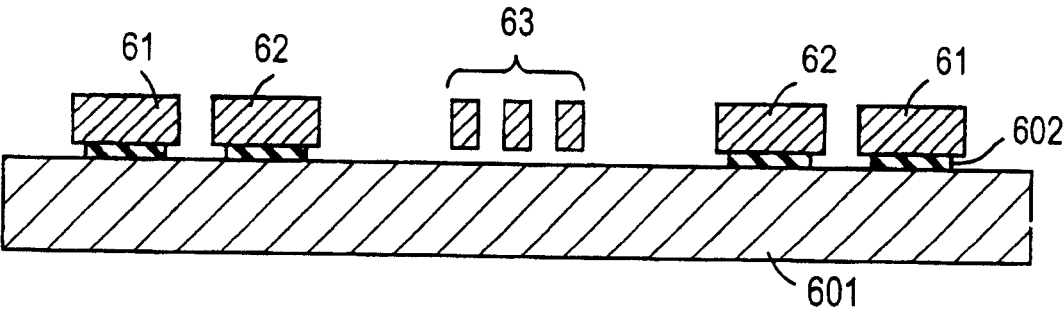


图 10D

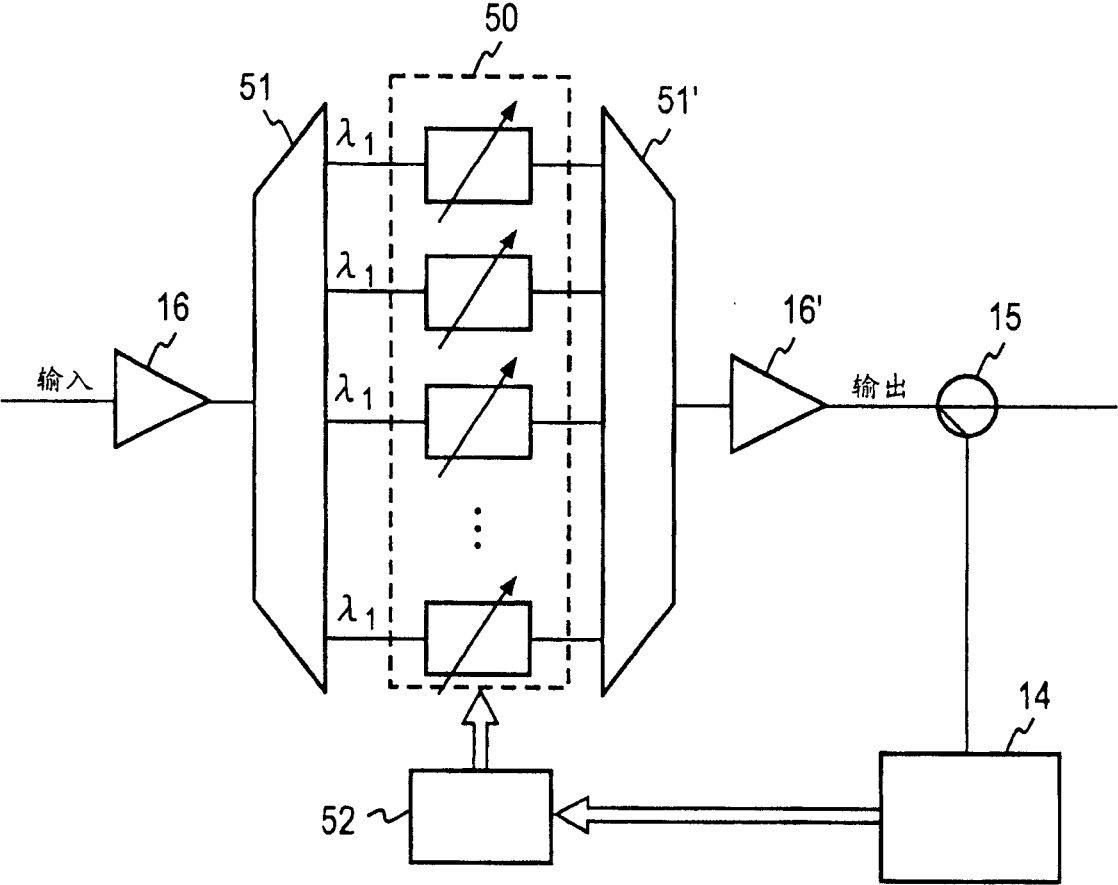


图 11