

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/34

H04J 14/02

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00126961.5

[43] 公开日 2001 年 1 月 31 日

[11] 公开号 CN 1281992A

[22] 申请日 2000.6.30 [21] 申请号 00126961.5

[30] 优先权

[32] 1999.6.30 [33] GB [31] 9915234.0

[32] 1999.8.10 [33] GB [31] 9918723.9

[71] 申请人 马科尼通讯有限公司

地址 英国考文垂

[72] 发明人 R·C·古德菲洛

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

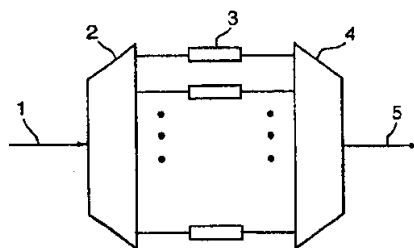
代理人 李亚非

权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图页数 5 页

[54] 发明名称 光学系统

[57] 摘要

一种用于独立控制单条光导中波分复用光信号组的能级的系统,它包括含有可被单独控制的光学衰减器组的光学衰减器装置。一种适宜的光学衰减器是一个可调的纤维状的布拉格光栅滤光器,它的反射特性随着它的整个激活区中的波长的变化而变化。通过调节该滤光器,可以控制激活区中某一特定波长的反射性能。此外,这个系统可包括一个为补偿由第一组引入的任何能级畸变而设置的第二光学衰减器组。光循环器可用来给信号选择进入光学衰减器组中和和它们之间的路径。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1、 一种控制光路中的一组光信号能级的系统，其中光信号的光谱是分离的；其中的光路包括含有一组可变的光衰减器的光衰减装置，每个光衰减器用于衰减光谱中的不同部分。

2、 如权利要求 1 所述的包括一个第二光路的系统，这个系统还用于控制在第二光路中的第二光信号组的能级；其中的第二光信号组与权利要求 1 中的第一光信号组成为一套，这套中的光信号的在光谱上被分离；

其中的第二光路包括一个第二光衰减器组，其中的第二光衰减器组与与权利要求 1 中的第一光衰减器组成为一套，这套中的每个衰减器用于衰减光谱中的不同部分；

其中，部分的第一和第二光路共用一个第一光导；

其中，系统中包括一个干涉仪，该干涉仪用于把在第一光导共用部分中的第二光信号组分离到第二光路中的一个第二光导中；

其中，第一和第二光导分别包括第一和第二光衰减器组。

3、 如权利要求 2 所述的系统，其中第一和第二组信号中与第一组信号中所含信号频谱相邻的信号包括在第二组信号中。

4、 如权利要求 2 和 3 中的任何一个系统，它包括一个用于把经过第一和第二光学衰减器组的信号组合到一个单独的光导中的第二干涉仪。

5、 如权利要求 1 所述的系统，其中的每个光学衰减器都包括一个可变的光学反射镜。

6、 如权利要求 1 所述的系统，其中的光学衰减装置包括另一组光学衰减器，这另一组中的每个衰减器用于衰减光谱中的不同成分；这另一组中的每一个衰减器用于衰减与权利要求 1 中第一组光学衰减器中的相应光学衰减器所衰减的相同光谱成分，并且这两组衰减器处于同一光路中。

7、 如权利要求 6 所述的系统，其中的光学衰减器装置包括一个第四光学衰减器组，而且所说的第四衰减器组与另一组光学衰减器构成第二套；这第二套中的每一个光学衰减器用于衰减光谱中的不同成分；这第二组中的每一个光学衰减器用于衰减与权利要求 2 中第一套中的相应光学衰减器所衰减的相同光谱成分，并且这两套衰减器处于同一光路中。

8、 如权利要求 6 或 7 所述的系统，其中每一个光学衰减器包括一个可变的
光学反射镜，用于控制经过光学衰减器的信号的能级；其中的第一组或第一套（根据
实施例的情况）光学衰减器的反射镜的反射特性包括激活范围内的一个第一斜率，
而且其中的第一组或第一套（根据实施例的情况）光学衰减器的反射镜的反射特性
5 包括激活范围内的一个第二斜率；其中的第一和第二斜率符号相反。

9、 如权利要求 6 或 7 所述的系统，其中的每一个光学衰减器包括一个可变的
光学反射镜，它用于控制经光学衰减器反射的信号的能级；其中的第一组或第一套
（根据实施例的情况）光学衰减器的反射镜的反射特性包括激活范围内的一个第一
10 斜率，而且其中的另一组或第二套（根据实施例的情况）光学衰减器的反射镜的
反射特性包括激活范围内的一个第二斜率；其中的第一和第二斜率符号相反。

10、 如权利要求 6 或 7 所述的系统，其中的每一个光学衰减器包括一个可变的
光学反射镜，第一组或第一套（根据实施例的情况）光学衰减器的反射镜用于控制
15 经光学衰减器的信号的能级；另一组或第二套（根据实施例的情况）光学衰减器
的反射镜用于控制经光学衰减器反射的信号的能级；其中的第一组或第一套（根据
实施例的情况）光学衰减器的反射镜的反射特性包括激活范围内的一个第一斜率，
而且其中的另一组或第二套（根据实施例的情况）光学衰减器的反射镜的反射特
性包括激活范围内的一个第二斜率；其中的第一和第二
20 斜率符号相反。

11、 如权利要求 8—10 中的任何一个系统，其中的反射特性是按照实际恒定的
方式随波长变化。

12、 如权利要求 8—10 中的任何一个系统，其中的反射特性是按一种非线性
方式随波长变化。

25 13、 如权利要求 8—10 中的任何一个系统，其中的反射特性是按指数规律
随波长变化。

14、 如权利要求 7—13 中的任何一个系统包括一个光循环器或光隔离器，
用于把光信号从第一套光学衰减器中的每一个光学衰减器传输给第二套中的
相应的光学衰减器。

30 15、 如权利要求 5 和 8—13 中的任何一个系统，其中的每一个光学反射

镜都包括一个可调的滤光器；其中的滤光器的反射特性随着波长的变化而变化。

16、 如权利要求 1 所述的系统中包括一个把光信号传输到权利要求 1 的光路中的光循环器或光隔离器。

5 17、 如权利要求 1 所述的系统，其中的光信号是波分复用的（WDM）。

18、 如权利要求 1 所述的系统中包括信号能级检测装置，该检测装置用于检测光路中信号组的能级，其中的这个检测装置包括一个单独的光电探测器。

10 19、 如权利要求 18 所述的系统中包括调制装置，该调制装置用于给每一个光信号引入一个不同特性的调制，其中的调制装置包括用于检测不同特性的调制信号幅度的装置。

20、 如权利要求 18 和 19 中所述的任何一个系统中包括控制装置，该控制装置根据检测装置所提供的信息控制光学衰减装置的运行。

15 21、 一种如权利要求 9 或 10 所述的系统，用于根据光信号中成分的波长有选择地延迟光信号成分。

22、 一种运用以上权利要求中所述的任一系统的光通讯系统。

23、 一种运用权利要求 1-21 中所述的任一系统的电信系统。

说明书

光学系统

5 本发明涉及多波复用光通讯系统，如波分复用（WDM）系统，尤其是涉及多波复用光信号的能级的控制和管理。

光通讯系统是通讯网络中重要的且发展迅速的部分。在此所用的“光通讯系统”用语与任何使用光信号在光媒质中传输信息的系统有关。这种光学系统包括，但不限于此，电信系统，有线电视系统和局域网（LANs）。在 Gower
10 Ed. Optical Communication Systems, (Prentice Hall, N. Y.) 中描述了一些光学系统。目前，大部分光通讯系统都配置为在一个或多个光导上携带一个窄波带的光通道。为了传输来自多源的信息，现在采用波分复用（WDM）的方法。在一个波分复用（WDM）系统中，复合光信号在一个光导中传送，其中的每个光信号都为窄波带，而且每个波带的中心波长不同。

15 一种典型的光学网络是由多个因许多不同光路连接形成的波节组成，其中 WDM 信号在不同的光路之间传输。特别是，每一条光路都将给在其中传输的信号成分带来不同程度的衰减。

在光通讯系统中出现的一个难题是当光信号由不同的路径在网络中传输时所产生的衰减变化很大。这将使得通过不同路径到达光学网络中特定波节的不同
20 信号的能级发生相应的变化。这种变化甚至会发生源于网络中同一点的具有名义上相同能级的信号上。为克服这个难题，需要一种能有选择地使到达网络中同一点的光信号衰减的方法。

为了向光学网络中到达不同特定波节的每个 WDM 信号提供一个不同的衰减，现有技术中的一种方法是通过波长分用器把所有的通道分到不同的路径
25 上，在每一条路径中插入波导衰减器，（这样可使每个通道相对于其它的通道被单独衰减），然后用原理与分用器相似的复用器把所有的通道重新组合起来，其中的分用器采用干涉仪、衍射光栅或波导相量装置。这种方法有个缺点，即由于所需成分的数量将在光路上引来有效的介入损耗。这种方法所需的组分的分离和复合将导致一个随通道数增加而增加的高费用和复杂度。

30 本发明提供了一种系统，用于控制光路中复合光信号的能级；其中的光信

号根据光谱分开；其中的光路包含光衰减装置，光衰减装置由多个不同的光衰减器组成，每个光衰减器将衰减光谱中的不同成分。

在一个优选的实施例中，本发明提供的系统含有一个第二光路，这个系统也可控制第二光路中第二复合光信号的能级；其中的第二复合光信号与权利要求 1 中的第一复合光信号成为一套，而且在其中这组光信号也是按光谱分离的；其中的第二光路包括一个第二光衰减器组，而且这个第二光衰减器组与权利要求 1 中的第一光衰减器组成为一套，该套中的每一个光衰减器用于衰减光谱中的不同成分；其中部分的第一和第二光路共用一个第一光导；其中系统中包含一个干涉仪，用于把在第一光导中的共用部分传输的第二复合光信号分离到第二路径中的第二光导中；其中的第一和第二光导分别包括第一和第二光衰减器组。

在另一个优选的实施例中，本发明提供一种系统，其中的光学衰减装置还包含了一个光衰减器组，这个光衰减器组中的每一个衰减器用于衰减光谱中的不同部分；这个光衰减器组中的每一个衰减器还作为第一组中的相应的光衰减器，用于衰减包括在同一条光路中的光谱的相同部分。

在另一个优选的实施例中，本发明提供了一种系统，用于根据信号组成中的不同波长有选择地延迟光信号成分。

以下将结合附图通过举例来描述本发明中的各实施例：

图 1 是现有技术中的一种光学衰减器系统的示意图；

图 2 是现有技术中的一种光纤和一个纤维状布拉格光栅的横截面图；

图 3 是本发明中的可变光学衰减器的反射特性图；

图 4 是本发明中应用一个可变光学衰减器的第一系统的示意图；

图 5 是本发明中的第二可变光学衰减器的反射特性图；

图 6 表示本发明中应用一个可变光学衰减器进行选择性衰减的另一个系统；

图 7 表示本发明中应用一个可变光学衰减器的另一个系统；

图 8 表示本发明中应用一个可变光学衰减器的另一个系统；

图 9 表示本发明中应用一个可变光学衰减器的另一个系统；

图 10 表示本发明中应用一个可变光学衰减器的另一个系统；

图 11 是本发明中第三个可变光学衰减器的反射特性图；

图 12 表示本发明中应用一个可变光学衰减器的另一个系统。

现有技术中的光学衰减器系统将结合图 1 在此首先作较详细的描述。

信号通过光导 1 输入衰减器中遇到分用器 2，这种分用器是一种已知的类型，它应用干涉仪、衍射光栅或波导向量装置，它把入射的光信号根据其波长分离而且通过一组输出通道中的不同通道输出不同的光信号。分用器 2 的每个输出通道通过一条光导与光学衰减器组 3 中的一条相连。这些光衰减器也可以制成聚合物波导、硅上硅石（silica on silicon）波导、元素周期表中第 III—V 族元素为材料制成的波导和硅波导中的非平衡 Mach Zehnder 波导，而且，在半导体波导管中的中这种衰减可以通过在半导体波导管中加热或加偏压改变干涉仪中各支路的折射率而改变。每一个光衰减器的衰减率都可以调节，这使得每个通过此选择性衰减器的信号可以产生不同的衰减，这样从衰减器组输出的信号将共享一个共用能级。当光信号从衰减器组 3 输出后，由光导引入光复用器 4 的多个输入通道，此光复用器 4 的工作原理与光分用器 2 的相似。光复用器 4 完成把所有输入光信号组合到单个输出光导 5 中的功能。

图 2 是包括一个光纤 10 的光纤布拉格光栅，在其中形成了光纤材料（例如玻璃）的反射率的变化序列（图中由线 12 表示）。这些线形成了衍射光栅，它根据光导变化线的间隔或周期使大部分入射的射线通过（如图 2a 的箭头所表示），而且使特定波长的入射射线反射（如图 2b 的箭头所表示）。此处所用的“间隔”一词指光栅的有效周期“ s ”，它依赖于实际的间隔与其它特性的结合，特别是光导介质的折射率。我们用“折射率的变化”指光栅中每一条线处光栅介质折射率的改变程度。此处的折射率变化越大（用 Δn 表示），在那个位置（也就是那条线）出将被反射的信号成分就越多。此处的“光栅”一词是指光导（此处为包括波导和光纤在内的广义）特性的周期性扰动，它将引起波长的选择性响应。这种扰动可以是能影响光在这种结构中传输的光导的任意一种参数，包括折射率和物理形状的变化。光在一个光导中仅能以一种特定的传输模式传输，而且光栅的效应将依赖于光的模式。所以，为了确定光栅的效应，必须知道由通过传输特殊模式而得知的“有效折射率”。这就为特定传导模式定义了“有效周期”。

滤光器的另一种构成是包括多层电介质的滤光器，它充当选择性反射镜。

实际上，滤光器组可能由每个在光谱中不同部分激活的相继放置的滤光器形成

为一个序列。通常，被一个第一多层电介质滤光器反射的光将成为此序列中下一个多层电介质滤光器的入射光，因此，通过一个第一 FBG 滤光器的光将成为此序列中下一个 FBG 滤光器的入射光。

本发明中的可变光学衰减器的反射特性如图 3 所示。很有利的是，本发明中的可变光学衰减器可方便地包括一个如上所述类型的可调滤光器。图 3 示出了指示滤光器的反射特性随入射光的波长变化的方式的反射特征线 20。此处所用的“发亮”一词用在此处不限于可见射线而且延伸到任何适宜波长的射线。在由线 21 和 22 表示的通频带中，滤光器可使几乎所有的入射射线通过；也表示了在相对的低能级 (R_{pass}) 处滤光器的反射特性。在低通频带 21 和高通频带 22 之间是由线段 23 和 24 表示的反射频带。线段 23 表示当波长从通频带值 R_{pass} 向最大值 R_{max} 增长时，反射性能也随之增加。线段 23 组成了滤光器特性的激活区，即，这部分用于选择性的衰减光信号。如图 3 所示，线段 23 的斜率实际上是一个常数。如果波长从最大值 R_{max} 处继续增加线段 24 就表示了反射值将迅速减小回通频带值 R_{pass} 。反射频带特征线段 23 的斜率小于反射频带特征线段 24 的斜率，以至于线段 23 从 R_{pass} 值向 R_{max} 值攀升时所经过的波长范围 $\Delta\lambda_{\text{up}}$ 比线段 24 从 R_{max} 值回到 R_{pass} 值时所覆盖的波长范围 $\Delta\lambda_{\text{down}}$ 大很多。因而，图 3 中的滤光器特性表现为一个一般的斜的（或三角形的）反射外形。有利的是，这种滤光器将用低成本的纤维制造而为低传输损耗 (α_{thru}) 所设计。在打量滤光器串接的情况下，这种低传输损耗在如此多的滤光器相连的序列中是很重要的。表 1 中给出了与具有倾斜反射外形的纤维布拉格光栅相配的特性。

表 1

参数		对象	最大值	最小值	
FBG 数	n	8,16..128..			
FBG 的长度	L_g	15mm	20mm	5mm	
FBG 间隔的中心	L_p	220mm			为使寿命长, 由曲率半径决定
100GHz 的间隔 ITU 格栅 λ_{1545nm}	λ_{centre}	ITU	+25GHz	-25GHz	
反射率上升	$\Delta\lambda_{up}$	50GHz	70GHz	20GHz	
反射率下降	$\Delta\lambda_{down}$	5GHz	10GHz	0GHz	
反射率峰值	R_{max1}	90%	99%	80%	
在通频带中的一连串损耗	$\alpha_{thru} =$	<-0.5dB	1dB		
纤维心的尺寸					最好大一点儿

表 1

例如, 适当的滤光器可以在用二氧化硅、硅、第III-V族元素的合金或聚合物制成的光导(指光纤或波导)中实现, 这种滤光器是通过形成一个位相光栅来完成的, 位相光栅可通过蚀刻、浮雕、应用全息术在紫外线中曝光或用位相掩模或孔径掩模得到。每类滤光器都有可调整的功能, 即, 可通过对滤光器施加激励的方式将反射带中的光谱位置转换到较高的或较低的波长处。例如, 这个激励物可为电的、机械的或热的。

更详细地说明, 可通过从光栅区放电或充入电荷以改变滤光器的复合折射率, 以及通过压电或磁激励来改变应变, 或者通过加热器或冷却器来改变滤光器的温度的方式来实现滤光器的调节。

以下将结合图 4 描述一种为单独控制在同一个光导中光信号组的能级的系统, 其中的每个信号被分配给光谱的不同部分比如波分复用(WDM)信号。图 4 中的“选择性衰减器”系统包括光循环器 30, 它提供三个通道, 输入通道 31、滤光通道 32 和转储通道 33。多个 WDM 光信号 37 被输入光循环器中的通道 31 中。滤光通道 32 与可调的倾斜外形的滤光器组 35 相连(例如像以上所述的那样), 滤光器组 35 在适宜的光导 36 中连成一个序列。在另一个实

施例（未示出）中，光循环器 30 可用一个光隔离器代替，它同与输入通道相连的 WDM 光信号组 37 和在光导 36 中以串联形式相连的可调的倾斜外形的滤光器组 35 一起放置，此光导 36 连到输出端。在此之前，每个可调的倾斜外形的滤光器 35 都有一个反射频带与输入信号组 37 中的不同信号相应。如上所述，
 5 每个可调的倾斜外形的滤光器 35 都是单独可调的，而且为了控制每个滤光器的调谐根据专用的原理提供适当的控制方法，例如对每一个施加适当的激励能级。

下面将描述图 4 系统的运行过程。输入光信号 37 从通道 31 通过循环器，在它的通道 32 显现。然后光信号在光导 36 中传输而遇到可调的倾斜外形的滤光器 35 序列。滤光器组 35 中的每一个都有一个反射频带与光信号组 37 中的
 10 特定信号的波长相应。这就意味着每一个输入信号将经过所有滤光器 35，但事实上仅有一个信号不会变。当信号到达它的激活区与那个信号的频带相应的滤光器 35 时，信号将被反射，反射的程度由滤光器的调谐决定。这种反射将影响入射信号的衰减。如果滤光器处于非调谐状态，入射信号的反射将是一种“通常的”程度（假定为输入信号的 50%），它相应于约在激活区线段 23 中间时滤光器的反射性能。然而，如果经决定，一个特殊的信号需要比“通常”程度的衰减还高 10%，例如，如果那个特殊的入射信号的能级比适宜的能级高出 10%
 15 时，相应的滤光器可被调节以使激活区在减少波长的方向上转换一定量，而使在这些与此特殊入射信号相应的波长上的反射增加适当的量，从而入射信号的能级相对于通常情况下被减少额外的 10%。结果，入射信号将经历比通常大的反射而且由那个滤光器转换的信号幅度相应降低。另外，如果决定一个特定的信号需要比“通常”小的衰减，例如，如果经测定，入射信号的幅度相对低，那么滤光器可被调节以使激活区在增加波长的方向上转换，而使在这些滤光器在与此入射信号相应的波长上的反射比通常降低一个适当的量。这将使得在滤光器中反射的信号较少，以至于由那个滤光器转换的信号具有一个比它在滤光器处于非调谐状态的情况下原本可能会得到的能级还高的能级。在极端的情况下，对于一个极小的信号，滤光器可被调节以使那个信号不被有效的衰减。因此，图 4 的排列方式可被用于把有能级变化的输入信号组转换为具有同一能级的输出信号。

30 输入信号中被滤光器组 35 反射的部分经由光导 36 返回到光循环器 30 中，

从其通道 32 重新进入光循环器 30，经过光循环器后从它的通道 33 出来，在此被有效地除去。输入光信号 37 中通过滤光器序列 35 的那部分将继续沿着从光循环器 30 出来的方向在光导 36 中传输，于是就从选择性衰减器中输出。

根据以上所述的另一个实施例（未示出），它含有一个放在光循环器处的光
5 隔离器，被滤光器组 35 反射的输入信号部分经由光导 36 返回到光隔离器（未示出）中，在其输出通道处重新进入光隔离器，在光隔离器中经散射而被有效地除去。

另外，根据另一个最佳实施例，输出信号可从在滤光器组 35 中反射的信号中得到。在这种情况下，通过调节相关的滤光器而减少对入射信号的衰减，这
10 是通过使激活区在波长减小的方向上移动而使得在与特定的输入信号相应的波长上的反射增加来实现的。相反，对入射信号衰减的增加也是通过调节相关的滤光器来得到的，例如通过使激活区在波长增加的方向上转换而使得在与特定的输入信号相应的波长上的反射减少来实现。在这个实施例中，输入信号中通过滤光器组 35 的那部分将继续沿着从光循环器 30 出来的方向在光导 36 中传
15 输，于是被有效地除去。入射信号中被滤光器组 35 反射的那部分在光循环器 30 的通道 33 处输出。

以上系统中滤光器的激活区的斜率可为正或负，如图 3 和图 5（以下将描述）中所示。如果是负的，相对于以上所述的正斜率的滤光器而言，为得到反
20 射性能的特定改变而做的特性上的转换，将在与此所述方向相反的方向上进行。

用于光通讯网络中的光信号都典型地包括在光谱上与中间峰值隔开的旁瓣（side-lobe）。如上所述，应用第一个实施例的倾斜外形的滤光器必然导致对在光谱上隔开的旁瓣的不同程度的衰。因为这两个旁瓣将受相关反射特性的不同区域的影响，所以会在整个信号频带中引入能级的畸变。在这个意义上，光信
25 号的旁瓣或光谱轮廓不畸变是很重要的，如以下所要描述的那样，可能会加入一个第二倾斜外形的滤光器序列。

图 5 示意了本发明中一种第二可变光学衰减器的反射特性。此外，本发明中的可变光学衰减器可方便地由以上所述类型的可调滤光器组成。这个第二可变光学衰减器与图 3 中的第一可变光学衰减器在反射特性上不同：第二可变光
30 学衰减器的特性好像是第一衰减器特性的“对称的像”。因此，图 5 中的第二

衰减器的反射特性的特色是较低的和较高的传送波带 21、22（相应于反射值 R_{pass} ）以及在反射波带线段 23a 表示随着波长从通频带值 R_{pass} 向最大值 R_{max} 增加时反射性能迅速提高，并且波长沿方向继续增加时在反射带中的第二条线段 24a 表示出随着波长从最大值 R_{max} 增加到 R_{pass} 值时反射性能有一个较慢的下降。

- 5 这第二个较慢下降的线段 24a 建立了衰减特性的激活区，即那部分用于有选择地衰减光信号。线段 24a 的斜率事实上是一个常数，与图 3 中的衰减器的激活区（即线段 23）的斜率的符号相反。理想的情况下，两条线段的坡度值所分别建立的激活区相等。

- 以下将描述本发明中的第二种选择性衰减系统（未示出）。这个第二系统包
10 括图 4 中的排列方式结合一个第二滤光器序列（未示出），第二滤光器序列由一个光隔离器或光循环器以串联的方式同第一序列相连，可结合上述对图 4 的描述。第二序列由滤光器组成，这些滤光器在激活区中反射特性的斜率与第一序列中的滤光器的相应斜率的符号相反，即第二序列的滤光器的反射特性好象是与第一序列中滤光器 35 的反射特性相对称的像。

- 15 在运行过程中，对于第二选择性衰减器系统，每个通过该选择性衰减器系统的信号将通过两个滤光器序列，而且会受到第一序列中的一个滤光器 35 和第二序列中的一个滤光器的部分反射。由第一序列中的滤光器 35 所带来的能级畸变会被第二序列中相应的滤光器补偿。

- 在另一个实施例中，第一序列中的部分或全部滤光器 35 可能表现出图 5 所
20 示的反射特性，而第二序列中相应的滤光器表现出图 3 所示的反射特性。

- 图 6 是本发明中的第三种选择性衰减器系统的示意图。用相同的附图标记表示与图 4 共有的特征，而且在此也将不再描述。图 6 中的选择性衰减器包括一个第二光循环器 40 和一个通过光导 46 串联成的第二滤光器组 45。第二光循环器 40 由通道 41-43 组成。通过光导 36 从光衰减器 35 的第一序列输出（即经
25 过）的信号在第二光循环器 40 的通道 41 处输入第二光循环器 40。这些信号经过此光循环器从它的通道 42 出来，在此处经由光导 46 而与滤光器序列 45 会合。

- 在另一个实施例（未示出）中的光循环器 40 可由一个光隔离器代替，光隔离器与经由光导 36 从第一光衰减器序列 35 输出的信号排在一起，光导 36 与
30 输入端和滤光器组 45 相连，滤光器组 45 在光导 46 中串联最后连到输出端。

与以上所述的第二选择性衰减器系统中的第二滤光器序列不同，滤光器 45 具有与第一序列中的滤光器 35 相似的反射特性，十分有利的是可能属于同一种类型。特别是，激活区中反射特性的斜率符号相同。而且，与第二系统的排列方式不同，在图 6 的排列方式中输出信号来自经第二滤光器序列 45 反射的输入光信号部分。这些反射的信号在光导 46 中反向传输，从光循环器 40 的通道 42 重新进入光循环器 40，然后经过光循环器 40 从它的通道 43 出来，从而从选择性衰减器中输出。由滤光器序列 45 传送的输入信号中的不必要的部分继续在光导 46 中传输到它的末端，离开光循环器 40，即在此被除去。

图 7 示意了本发明中的第四种选择性衰减器系统。根据图 7 中的系统，输出信号可由经滤光器组 35 和 45 依次反射后的信号获得。图 7 中的第四选择性衰减器系统包括配备了四个通道的光循环器 30，这四个通道即输入通道 31、第一滤光通道 32、第二滤光通道 33 和输出通道 34。WDM 光信号 37 从光循环器 30 的输入通道 31 输入。第一滤光通道 32 与光导 36 中的滤光器组 35 相连，第二滤光通道 33 与光导 46 中的第二滤光器组 45 相连。输入信号中被滤光器组 35 反射的那部分信号回到光循环器 30 的通道 32 后又从它的通道 33 出来，然后在光导 46 中传输过程中遇到滤光器组 45。输入信号 37 中被滤光器组 45 反射的那部分信号经由光导 46 返回从光循环器 30 的通道 33 重新进入光循环器 30，经过该光循环器后从它的通道 34 出来，这部分信号由此输出。

图 8 示意了本发明的第五种选择性衰减器。图 8 中与前面的附图中相同的特征使用同样的附图标记而且在此将不再作进一步说明。把图 8 的排列方式同图 4 的相比，输入 37 从光循环器 30 的通道 32 输出，经过光导 51，传输到 Mach-Zehnder 干涉仪（或干涉滤光器）54、55。这个干涉仪包括光导 51，它与一个第二光导 52 组合，它们在点 54、55 处相接触使得在两条光导中可共用输入光信号 37。光导 51、52 从接触点 55 各自继续传输，每条前进的路上都有一套不同的滤光器 35，这套滤光器相应于第一序列中的滤光器，即，如参见图 3 所述。如现有技术所已知的那样，接触点 54、55 之间的光导 51 的长度被调整得与这相同得两个接触点之间得光导 52 的长度略有不同。这种差异将使得输入信号 37 的经由光导 51 传输的那部分信号与经由光导 52 传输的那部分信号在接触点 55 处产生两种相互作用模式。依赖于特定光信号的波长，每个特定信号的这两部分在将接触点 55 处将有一个特定的相位关系，这将决定那个

特定的信号是继续在光导 51 中传输还是在光导 52 中传输以至于决定它们进入一套或另一套滤光器 35。

第一 Mach-Zehnder 干涉仪 54、55 通过光导 51 和 52 的延伸段以及滤光器 35 连接到第二个相似的干涉仪 56、57 上。第二 Mach-Zehnder 干涉仪 56、57 包括光导 51 和 52 间的两个接触点 56、57。两个接触点 56、57 之间的光导 51 和 52 的长度的设置是使所有的输入信号 37 在所选的光导（例如光导 51）上都输出。

如上所述，在第一和第二干涉仪 54、55 和 56、57 之间建立两条分开的路径，即第一条路经由光导 51，第二条路经由光导 52，这两条路中的每一条都包括了一套不同的滤光器序列 35。第一套滤光器 35 即在光导 51 中的那些滤光器被设置为有选择性地反射从输入信号 37 来的第一套信号，而第二套滤光器 35 即在光导 52 中的那些滤光器被设置为有选择性地反射从输入信号 37 来的第二套信号，这第二套信号包括不被第一套包括所有的信号。

这种两套信号的设置十分有利，这样的设置是使邻近谱线的信号不属于同一套，以至于一套特定信号的谱宽是输入信号 37 整个谱宽的两倍。这种设置对于减少串线十分有利。

本发明的第六种选择性衰减器是在图 7 的排列方式中增加了第三和第四套滤光器（未示出），这也很有利。第三套通过光隔离器或光循环器（未示出）以串联的形式与第一套相连，第四套通过光隔离器或光循环器（未示出）以串联的形式与第二套相连，第三和第四套中的每一套都包括以上以图 5 作结合所述的那种类型的滤光器即与第二序列相应的滤光器。

在运行过程中，第六套系统中的每一个通过选择性衰减器系统的信号将从两个序列中经过滤光器，而且将被第一序列中的一个滤光器 35 部分反射（即第一个符号表示的一个激活区斜率）和被第二序列中的一个滤光器部分反射（即用与表示第一个激活区斜率相反的符号表示的激活区斜率），由第一序列中的滤光器 35 引起的能级畸变将被第二序列中的相应的衰减器补偿。

在第六种选择性衰减器系统的一个变形系统中，第一和第二套中的部分或全部滤光器 35 可表现出图 5 中的反射特性而第三和第四套中相应的滤光器表现出图 3 中的反射特性。

另外，本发明的第七种选择性衰减器系统（未示出）中，第三套和第四套

滤光器（未示出）都通过一个光循环器分别与第一套和第二套滤光器相连，即与图 6 的第三种选择性衰减器系统的方式相类似。在这个系统中，从第 1 到第 4 套的每套中的滤光器都是同一种类型即具有相似的反射特性，例如就像图 3 所示的那样。所以，在运行过程中，经过第一套滤光器的信号将经由一个第一光循环器到达第三套滤光器，那部分被第三套滤光器反射的输入信号将通过光循环器返回后继续传给第二 Mach-Zehnder 干涉仪 56、57。第二和第四套滤光器将以类似的方式工作。这种第七选择性衰减器系统提供了图 7 所示的第四系统和图 6 所示的第三系统的所有优点。

在以上所述的第五、第六和第七套选择性衰减器系统的排列方式中，Mach-Zehnder 干涉仪可用一个或一组 Fabry-Perot etalon 或类似的器件代替。

有利的是，对 WDM 信号的整个范围的信号能级的控制基于对每个信号能量（或幅度）的测量。这可用适宜的能量/幅度测量方法比如商业上用的光谱分析仪来实施。另外，这种能量/幅度测量方法可包括一个高频振动调制器和以下将描述的光检测器及窄带滤光器。进入光通讯系统或经过一个特定路径的每一个信号可由一个浅的高频振动幅度调制器加以调制，“分类色调”与它的光能成比例。不同的色调频率被赋予每一个信号。那么不同信号的光能可由测得的不同的高频振动信号的幅度得来，其中高频振动信号的幅度由一个单独的光检测器的光电流表示。每个高频振动信号强度的电测量可通过一个窄带滤光检测装置获得。一套控制信号得自于计算所需的衰减以把每个 WDM 信号调节到所需的值，例如，补偿这套 WDM 信号的能量/幅度。控制信号被用于传动器以提供给每个滤光器适当的激励。

图 9 示意了本发明中的第八种选择性衰减器系统。用相同的附图标记表示图 9 中与以前的图中共有的特征，而且在此将不作进一步的说明。图 9 表示了一种幅度/能量监测器方案 62-66。

经过滤光器组 35 而被滤光器组 45 反射的信号从光循环器 40 的通道 43 输出，被导引入光导 61 后遇到分光器 62，在此每个信号被分出一个小的、固定的比例的信号，使之进入能量检测单元 63。其余的输出信号继续在光导 61 中传输并由此从该系统输出。能量检测单元 63 包括以上所述的能量/幅度测量装置，它向控制单元 64 提供有关每个被测信号的能量/幅度信息。

控制单元 64 把控制信号 66 输出给滤光器调谐激励器（未示出）以建立在

两套滤光器序列中所需的衰减平衡，给出每个 WDM 信号所适宜的能级，而又减小能级畸变。向控制器 64 输入的控制输入信号 65 可抑制该控制器的运行。

于是，图 9 中的方案提供了这样一种单独补偿的可能，即每个 WDM 信号的整个带宽中由第一滤光器序列 35 引起的能量畸变可由第二滤光器序列 45 中的互补能级的矫正来补偿。

图 10 示意了本发明中的第九种选择性衰减器系统。图 10 中与以前的图中共有的特征使用相同的符号，而且在此将不作进一步的说明。把图 10 的方案与图 9 的方案相比较，图 10 中的第二能量/幅度测量单元 67 通过第二分光器 68 连到光导 36 上，光导 36 在第一滤光器序列 35 的末端与光循环器 40 相邻。第二分光器 68 担当把光导 36 中的信号分路的功能，以使每个信号的一个小的、固定比例的信号进入能量检测单元 67，此能量检测单元 67 可以与能量检测单元 63 相似。每个信号的其余部分将继续在光导 36 中传输，从光循环器 40 的通道 41 进入光循环器 40。控制单元 64 接收来自第一和第二检测单元 63、67 的输入信号，这样可在第一滤光器序列末端和输出端接收到有关被测信号的能量/幅度信息。由此，图 10 所示的方案有利于根据每个序列中相关特性的信息来控制滤光器的激励器。这使得该系统能准确地控制第一和第二序列中滤光器的特性，即使面临不完好的滤光器的激励器，例如激励器表现出无效行程。控制单元 64 把从每个滤光器读出的值同预定的值和/或从别的滤光器中读出的值相比较。而后，如果有的话，就计算激活驱动能级的调整量并设定这些调整量。

本发明中的第三种可变光学衰减器的反射特性如图 11 所示。它的特征是有低和高的通频带 21、22（相应的参考值为 R_{pass} ）以及在反射频带有一条非线性的线段 23b，它表示反射特性在从通频带值 R_{pass} 向最大值 R_{max} 增长时，反射性能也随之增加。而且当波长沿着从最大值 R_{max} 向 R_{pass} 增加时，反射频带中的第二段 24b 就表示出反射特性的迅速下降值。反射频带的第一非线性线段包括衰减器特性的激活区，即用于选择性衰减光信号的那部分。就像可从图 10 得知的那样，非线性激活区既包括浅斜率（低 $dR/d\lambda$ 值）区又包括陡斜率（高 $dR/d\lambda$ 值）区。

以下将结合图 7 说明本发明的第十种选择性衰减器系统。把第十种选择性衰减器系统同前面已经结合图 7 描述过的第四种选择性衰减器系统相比，可注意到，图 7 还表示了如上所述的第一和第二分光器 62、68 以及第一和第二能

量/幅度检测单元 63、67。第一能量/幅度检测单元 63 通过第一分光器 62 同光导 46 在光循环器 30 与滤光器组 45 之间的一个位置处相连以使能检测从滤光器组 45 反射回光循环器 30 的信号。第二能量/幅度检测单元 67 通过第二分光器 68 同光导 36 在第一滤光器序列 35 末端与光循环器 30 相连处以使能检测从滤光器组 35 反射回光循环器 30 的信号。在运行过程中，从图 7 所示系统的光导 61 输出的信号是那些被第一滤光器组 35 反射后经过光循环器 30 传给第二滤光器组 45，经第二滤光器组 45 反射后通过光循环器 30 传给第三光导 61 的信号。这些信号中未被反射的部分从光循环器 30 出来后继续沿着光导 36 或 46 传输而可被有效地去除。就像上述对图 10 所作的相关说明那样，控制单元 64（未示出）接收和处理来自第一和第二检测单元 63、67 的输入信号，并且把控制信号输给单个的滤光器的激励器（未示出）。

以下将结合图 12 对本发明的第十一中选择性衰减器系统作说明。图 12 示意了一种同图 10 所示方案相似的检测和控制方案，与图 10 相同的特征采用相同的附图标记而且在此将不作进一步的叙述。图 10 与图 12 中的这两个系统之间的主要区别在于：图 12 中的光循环器 30、40 被用光隔离器 80、90 替代。这样，输入到本系统的光信号 37 经过光隔离器 80 进入光导 36，而且经过滤光器组 35 的光信号从光导 36 出来后通过光隔离器 90 进入光导 46。因为信号仅以一个方向通过光隔离器 80、90，所以从图 12 的系统中输出的信号是从那些经过两个滤光器组 35、45 的信号中提取的。

在光通讯系统中遇到的一个难题是根据它们的波长而沿着通过网络的路径传输的光信号的各组成部分所经历的传输时间或延迟有很大的变化。而且，正如以下所述的那样，在光通讯系统中在纤维状布拉格光栅滤光器的反射信号中可能会引入一个类似的色畸变（chromatic distortion）效应。当它在此网络中传输时，这将导致一个相应的被传送的数字脉冲的延伸或展宽。为了克服这个难题，需要一种方法，它能够在网络中的某一点根据光信号中各部分的波长有选择地给各部分光信号引入一个补偿延迟。

在此所用的色散（chromatic dispersion）一词是指那种不好的效果，即沿一条光路传输的光信号的各个部分因各自不同波长而产生的不同的延迟。这种色散（chromatic dispersion）通常由传统的光纤引入。一种光路比如光纤的色散（chromatic dispersion）D（即那条光路引入不同的延迟的趋势）可用数学方式

表达为 $D = \Delta t / L \cdot \Delta \lambda$, 其中 Δt 是两个波长差为 $\Delta \lambda$ 的光信号成分传输 L 长的路径所引入的不同延迟。在目前所用的光纤中典型的 D 值为 16ps/(nm.km)。

如以上结合图 12 所述, 纤维状布拉格光栅滤光器的另一个效应是它们可能在一个反射的光信号的不同部分之间引入不同的延迟。这种不希望的不同
5 的延迟将导致如上所提到的色畸变 (chromatic distortion) 外。一个在路径之间具有统一的有效周期 “s” 的光栅仅反射那些波长与那个有效周期相应的入射射线。为了扩展光栅的反射带宽而反射更多的波长, 连续谱线间的有效周期 “s” 是沿着该光栅变化的。这种有效周期 “s” 的变化被称为 “啁啾声 (chirp)”。通常, 这种有效周期将在经过光栅时在一个方向上渐渐缩短而在另一个方向上
10 渐渐变长。这种谱线间的有效周期性可由路径间的物理间隔结合光在媒质中由该媒质的折射率所决定的有效传播速度以及放置该光栅的光导的尺寸来计算。由此, 即使是相同的路径间隔, 有效周期也可以通过改变光栅介质的折射率和/或对该光栅区域中放置的光导的机械尺寸 (例如光纤芯的直径或波导的宽度或深度) 的任何变化来可以改变。

15 这会带来这样一个效果, 即不同波长的入射光将不得不在 FBG 中传输不同的距离后才得出那个波长适宜的有效周期。所以, 一个第一波长的反射光在 FBG 中传输的路径将比一个不同的波长的反射光所传输的路径要长, 这就导致不同的延迟, 即, 当与一个在 FBG 滤光器中传输较短路径的光信号或第一波长成分相比, 在 FBG 滤光器中传输较长路径的光信号或第一波长成分将被延迟。

20 根据本发明的另一个最佳实施例, 在本发明以上所述的选择性衰减器系统中, 输出光信号在滤光器中被反射, 该系统的作用是根据信号的波长在信号的不同波长组分间引入不同的延迟。有利的是, 设置滤光器序列使得所引入的不同延迟可矫正光信号在过长的光导例如在光通讯网络中传输所引起的色畸变 (chromatic distortion), 和/或由另一套滤光器所引入的色畸变 (chromatic
25 distortion)。

说明书附图

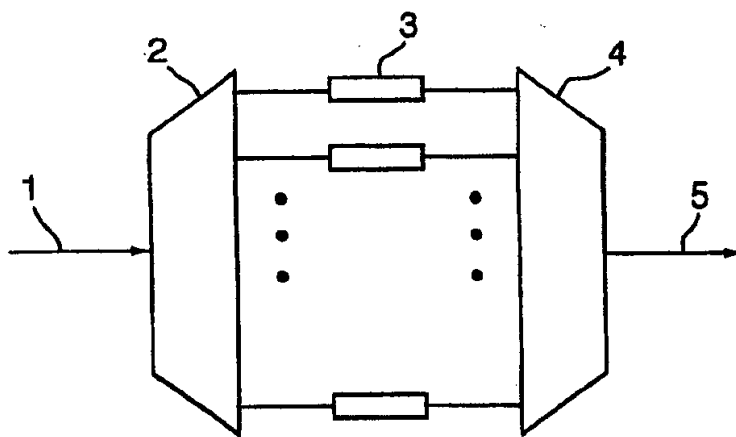


图 1

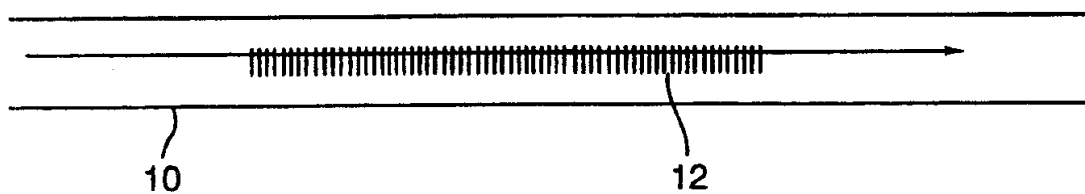


图 2A

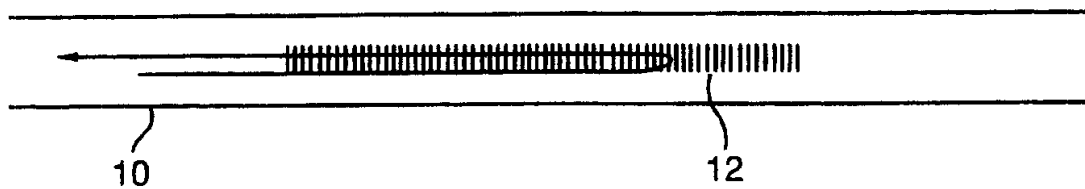


图 2B

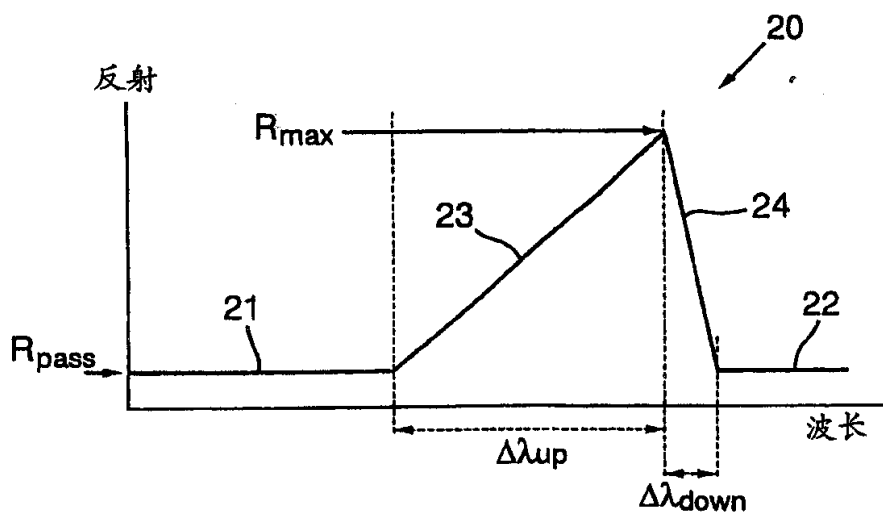


图 3

00.07.11

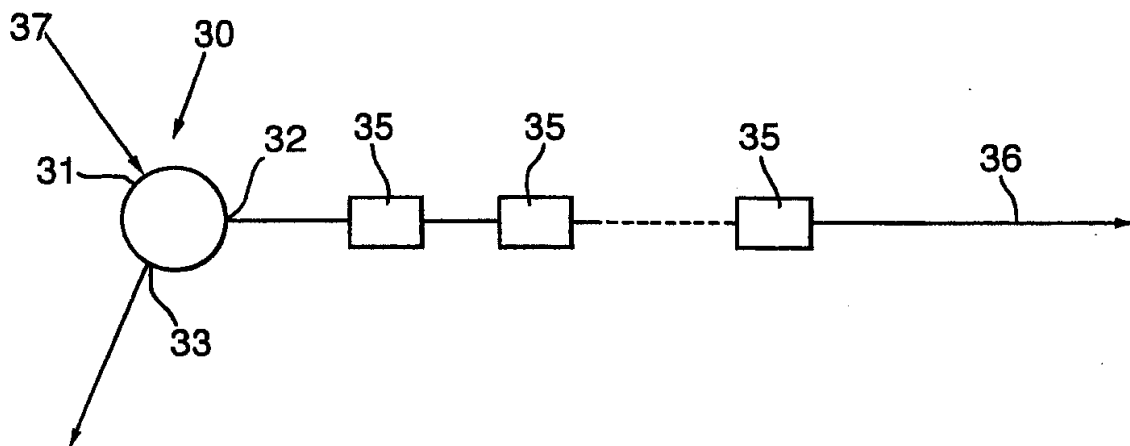


图 4

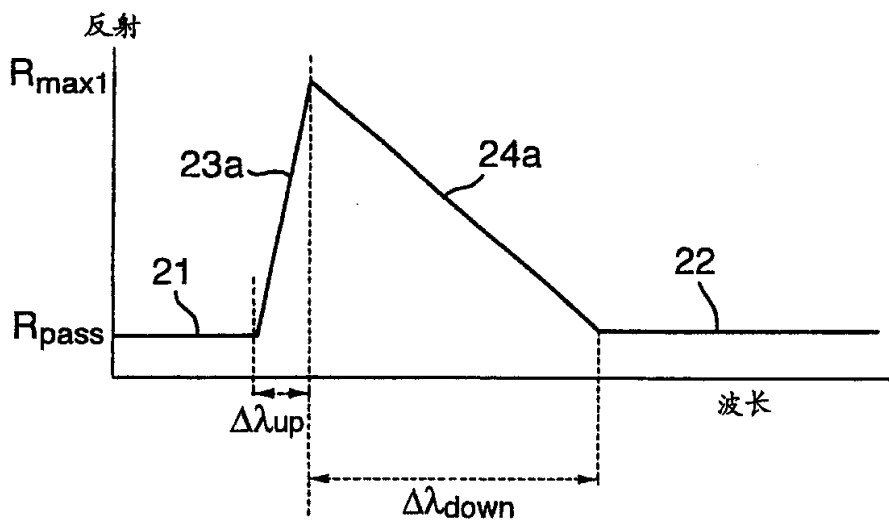


图 5

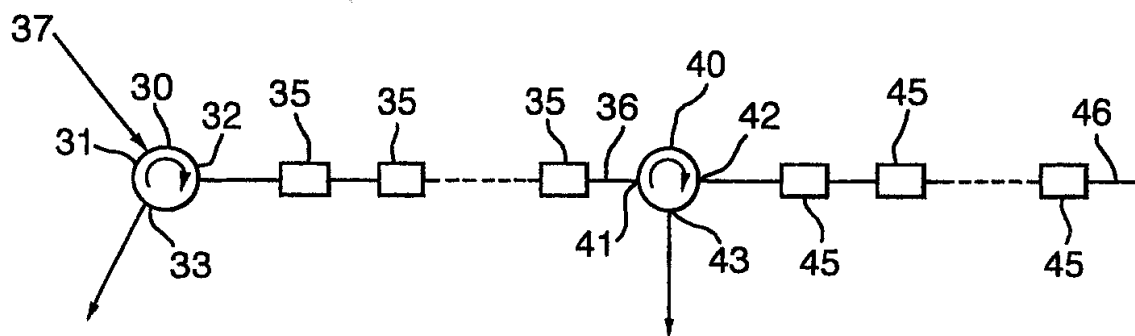


图 6

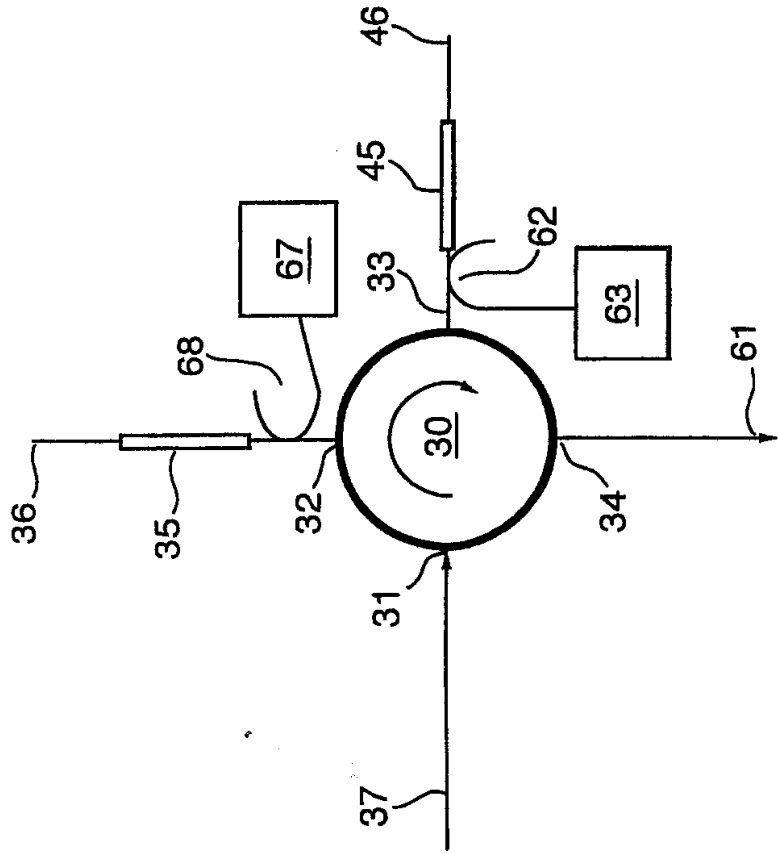


图 7

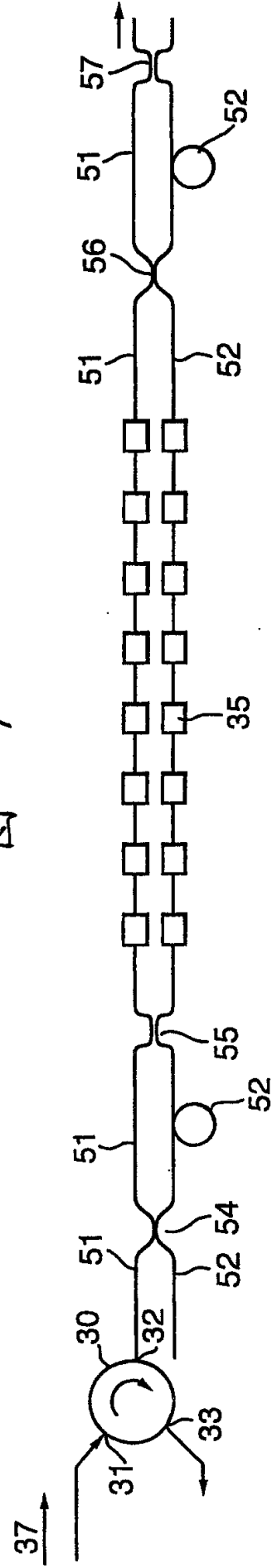


图 8

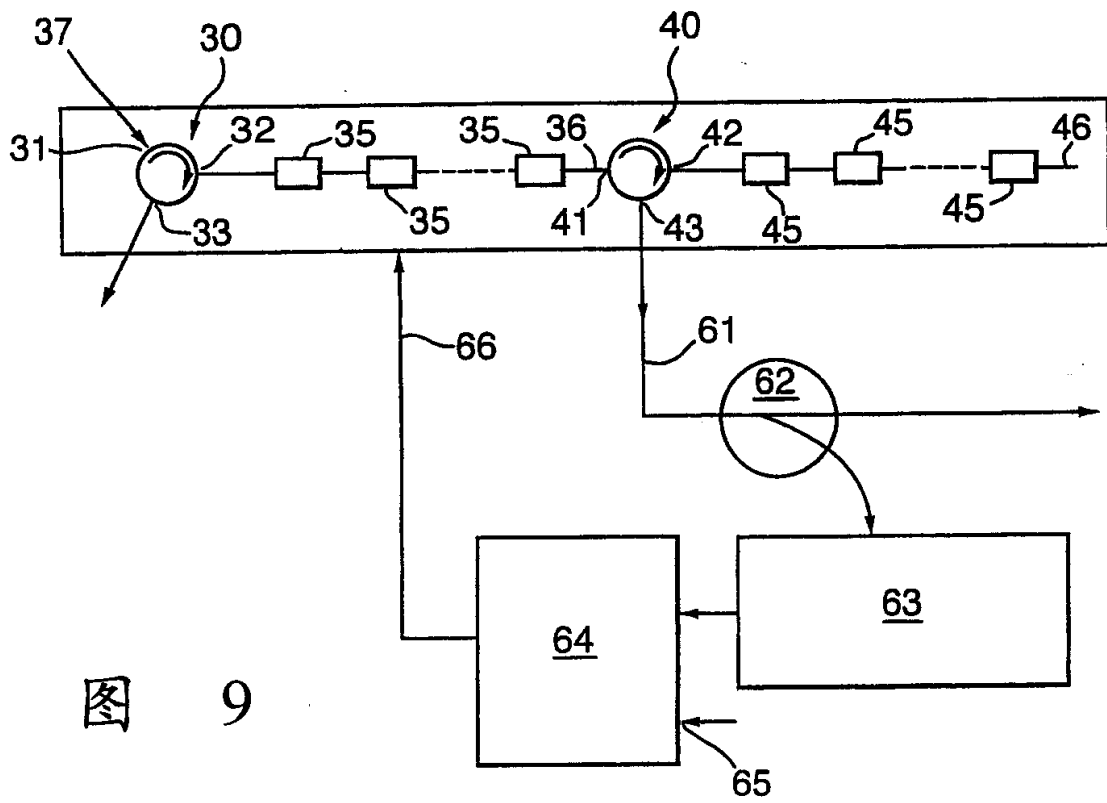


图 9

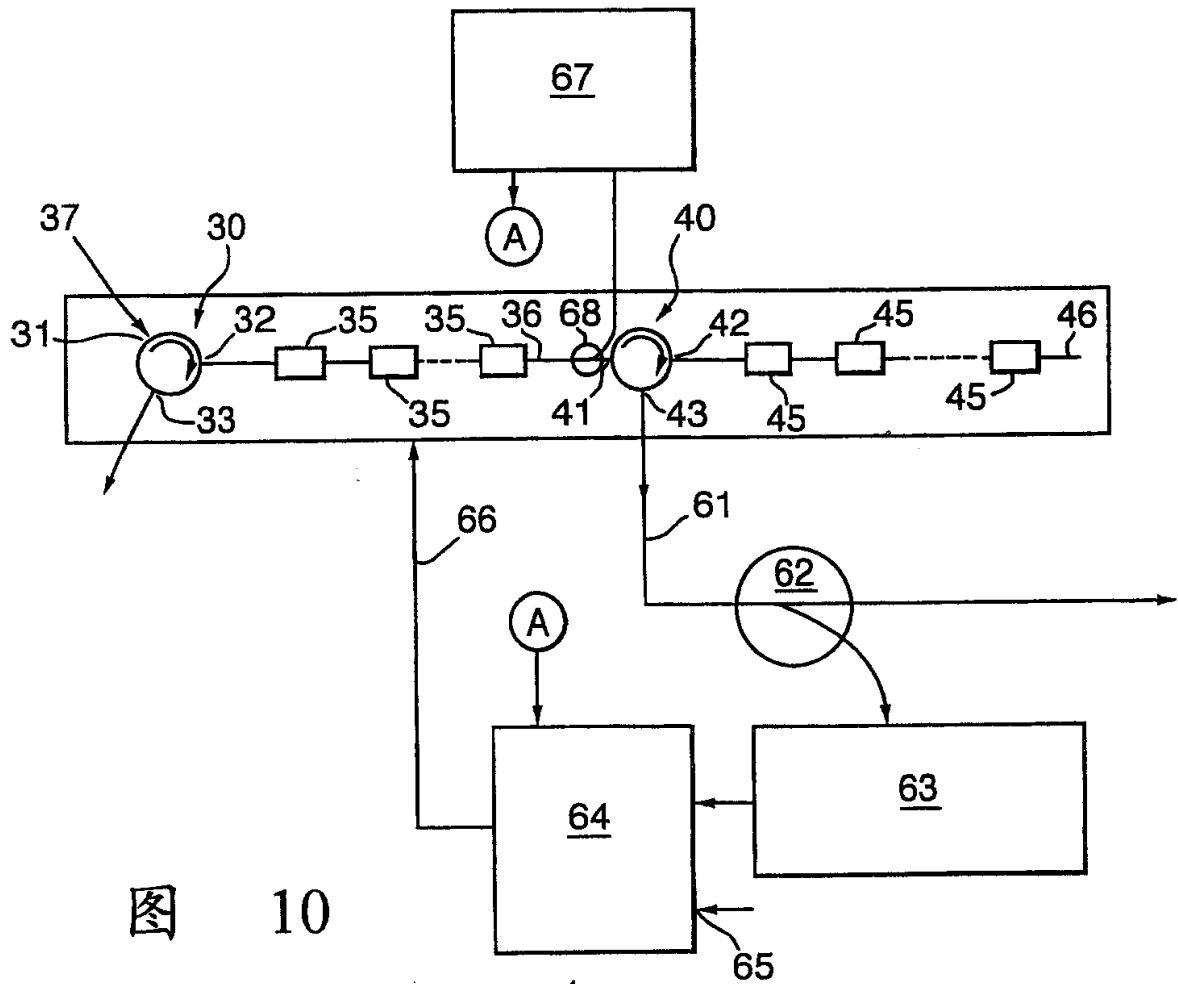


图 10

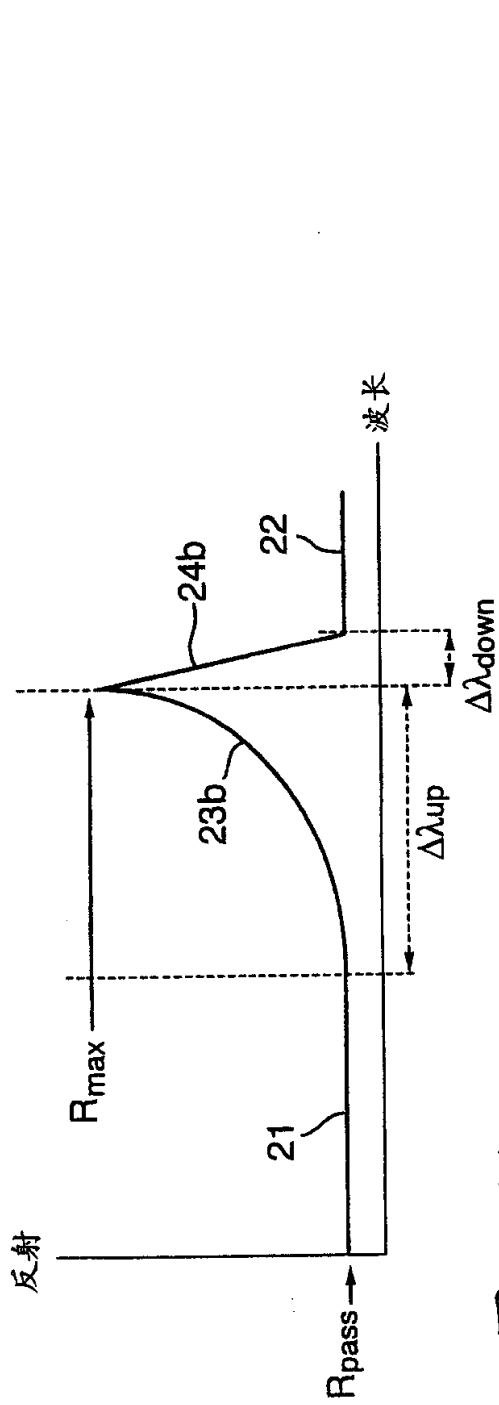


图 11

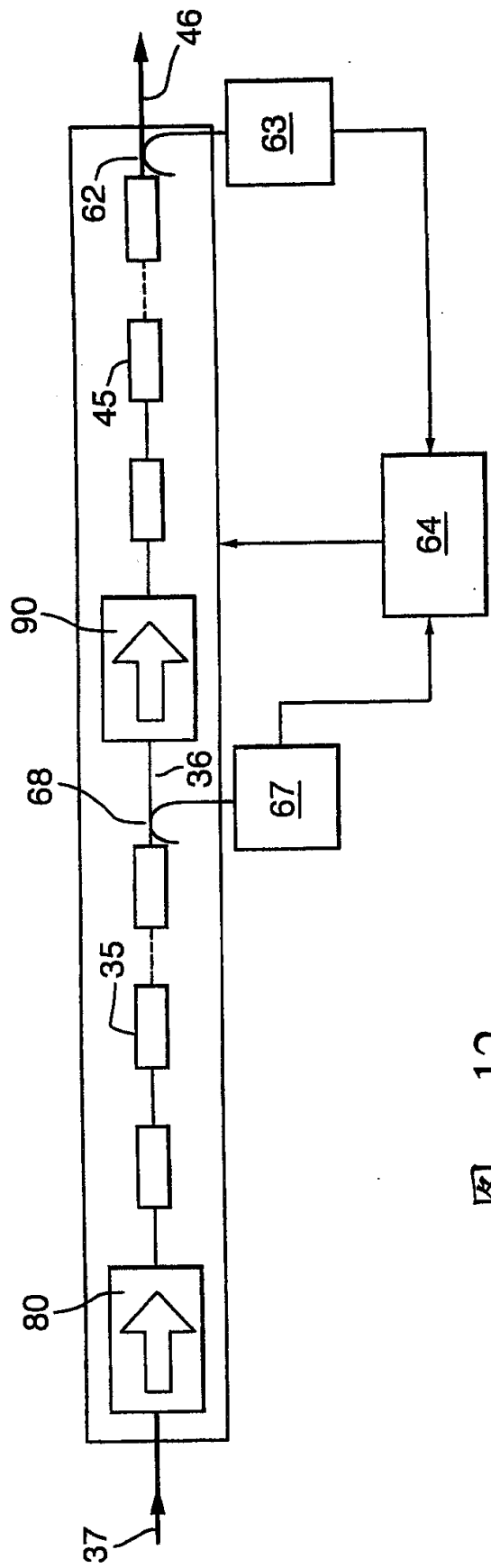


图 12