



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510005942. X

[43] 公开日 2005 年 7 月 20 日

[11] 公开号 CN 1642062A

[22] 申请日 1999. 3. 31

[21] 申请号 200510005942. X

分案原申请号 99104533. 5

[30] 优先权

[32] 1998. 4. 2 [33] JP [31] 090383/1998

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川

[72] 发明人 尾中宽 宫田英之 大冢和惠

甲斐雄高 中泽忠雄 近间辉美

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

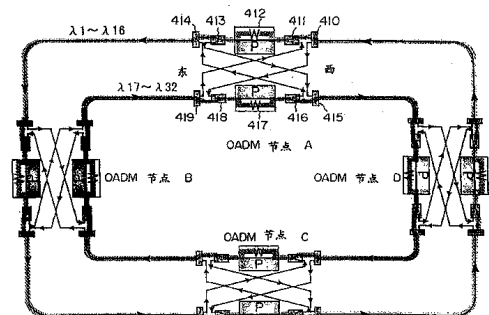
代理人 李春晖

权利要求书 7 页 说明书 51 页 附图 57 页

[54] 发明名称 光传输设备、光传输系统与光终端站

[57] 摘要

在 OADM 系统中, OADM 装置包括 AOTF。此 AOTF 能通过改变施加的 RF 信号的频率来选择任意的波长。具有特定波长的光信号能由从输入端输入的波长复用光信号分出, 或可使从插入口输入的波长复用光信号与直通光信号复用。但考虑到相干串音的加大, 此 AOTF 应专供实际装置结构中的分出之用。另外, 可由光耦合器用由支站选出的波长来分支分出的光信号。这样, 可以由此 AOTF 从直通光信号中提取由此支站选出的波长。



1.一种光终端站，用于接收被光传输设备分支的光信号并且把要被插入的光信号传送给所述光传输设备，包括：

5 光波长复用器，用于将各具有不同波长且各沿不同传输线路传播的多个光信号组合到共用的传输线路上，并将作为要被插入的光信号的波长复用信号发送到所述光传输设备。

2.权利要求1所述的光终端站，还包括：

10 色散补偿器，设在所述光波长复用器和光传输设备之间，用于最佳地补偿传输线路中的色散。

3.权利要求1所述的光终端站，还包括：

多个光源，用于产生各具不同波长的输出光；

光源复用器，用于将所述多个光源输出的光组合而产生出复用光；

15 光放大器，用于放大所述复用光并补偿所述光源复用器中的损耗；

分光器，用来将所述复用光分成预定数目的光流，直到其最大数目等于光源的数目；

20 可变滤波器，用来从所述分光器产生的各光流中选出预定的光波长；

光调制器，用来调制具有所选预定光波长的光流以产生由所述光波长复用器组合的光信号。

4.一种光传输系统，它包括：

25 光传输设备，用于从载有波长复用光信号的传输线路上分支具有预定波长的光信号，同时将具有与此分支的光信号相对应的波长的光信号插入此传输线路中；

光放大器，用于放大此分支的光信号；

分光器，具有输出端，此分光器用于将分支的光信号分离成多个要分别由此输出端输出的信号；

光滤波器，分别设在所述分光器的输出端；

光终端站，从所述光滤波器接收光信号，选择所接收的信号的波长并由所述光传输设备提供要被插入的光信号。

5. 权利要求 4 所述的光传输系统，其中：

5 设在所述分光器各输出端的光滤波器是用于选择可变波长的可变光滤波器；及

所述光终端站通过控制相应的光滤波器来选择要被接收的波长。

6. 权利要求 5 所述的光传输系统，其中将一个 AOTF 或多个级联的 AOTF 用作设在所述分光器各输出端的可变光滤波器。

10 7. 权利要求 4 所述的光传输系统，其中所述光传输设备分支和插入多个各具有不同波长的光信号，且还包括：

波长选择滤波器，用于根据所施加的控制信号来分支光信号；

光插入放大器，设在分支终端，用于放大要被插入的光信号；

15 控制装置分支口，用于监控相对于传输线路分支和插入的信号的存在性、波长和功率，调节施加到此波长选择滤波器的控制信号的功率，同时调节此光插入放大器的输出功率，所述控制装置通过将光信号的功率调节到等于具有最小信号功率的波长的光信号的功率，使要被分支或插入的信号保持一致的光功率。

20 8. 一种用于从复用的具有多个波长的光信号中选择波长，同时分支或插入此所选波长的 AOTF，包括：

基片；

导致表面声波在此基片上传播的 RF 信号源；

设在此基片上的谐振器；以及

25 控制器，与所述谐振器连接，通过探测谐振器谐振频率的变化来测量此基片的表面温度，同时控制 RF 信号源由此来稳定此 AOTF 的工作。

9. 一种具有光传输设备和终端站的光传输系统，包括：

设在终端站中的单波选择 AOTF，用于接收预定的 RF 信号；

设在此光传输设备中的分支/插入 AOTF，用于在此单波 AOTF

变稳定后接收预定的 RF 信号，由此分支光信号；

光谱监控器，用于确定此光信号何时已被所述分支/插入 AOTF 分支；

5 设在终端站的单波插入 AOTF，用于在光信号已被分支/插入 AOTF 分支后接收预定的 RF 信号；

设在此终端站的光发送机，用于在单波插入 AOTF 变稳定后将光信号供给此单波插入 AOTF 以由所述光传输设备插入，而由所述光发送机所供给的光信号则由此光谱监控器监控以控制此光信号的波长和光功率。

10 10.权利要求 9 所述的光传输系统，其中：

当在单波选择 AOTF 从分支/插入 AOTF 接收到光信号而单波选择 AOTF 未接收到预定的 RF 信号时，此光信号通过分支/插入 AOTF 而进入不通行状态；

15 在单波选择 AOTF 变得稳定后，不论此光信号实际上是否分支到终端站，都将预定的 RF 信号施加给分支/插入 AOTF；及

通过不对此单波选择 AOTF 施加 RF 信号，所述终端站消除传送给它的放大的自发发射。

11.权利要求 9 所述的光传输系统，其中：

20 此分支/插入 AOTF 使不对应于预定的 RF 信号的光信号通过用于传输，并分支出对应于此预定的 RF 信号的光信号；

当在单波接收 AOTF 从分支/插入 AOTF 接收光信号而此单波接收 AOTF 不接收预定的 RF 信号时，此光信号通过分支/插入 AOTF 而进入不通行状态；

25 当具有各不相同波长的要被通过分支/插入 AOTF 用于传输的光信号之间存在电平差时，所述光传输设备通过给此分支/插入 AOTF 施加与要被通过用于传输的光信号对应的低功率 RF 信号而补偿此电平差；

这些低功率 RF 信号的功率电平取决于要被通过用于传输的光信号的电平差而不同；且

此传输系统通过不给此单波选择 AOTF 施加对应于要被通过的光信号的 RF 信号，在单波选择 AOTF 处中止此要被通过的光信号的传输。

12. 权利要求 11 所述的系统，其中所述光传输设备连续对分支/插入 AOTF 施加对应于要被通过的光信号的低功率 RF 信号，不论是否有光信号要被分支或插入，也不论在要被通过用于传输的光信号之间是否有功率差，而使施加到分支/插入 AOTF 的 RF 信号的功率和保持不变。

13. 权利要求 9 所述的系统，还包括：

10 RF 振荡器，用于产生具有能逐级递增到预定功率电平的信号，此 RF 振荡器能防止在接入 RF 信号时，遭受设在传输线路中的光放大器中的突发光涌。

14. 权利要求 9 所述的系统，还包括：

15 RF 信号控制电路，能用于瞬时地施加预定 RF 频率和功率的 RF 信号，此 RF 信号控制电路具有 ROM，用于存储通过施加多个不同的 RF 信号而影响到此传输系统的因/果数据，此 RF 信号控制电路根据所述 ROM 中存储的因/果数据来确定是否可即时施加预定的 RF 频率和功率。

15. 一种光传输系统，包括：

20 具有第一端和第二端的光传输线路；

设在此传输线路的第一端和第二端之间的至少一个光放大器；

连接到此传输线路第一端上的发送机，用于调制传输光的相位或频率同时线性调频此传输光以延伸传输线路中能保持光波形的距离，此发送机具有色散补偿器来补偿传输线路中的波长色散特性；

25 设在此传输线路中的节点，以便相对于此传输线路分支出和插入光信号；

连接到此传输线路第二端的光接收机；以及

设在此传输线路第二端和此光接收机之间用于补偿传输线路色散特性的色散补偿器。

16.权利要求 15 所述的系统，其中在传输线路上设有多个节点，此系统还包括：

设在此各个节点处的用于补偿传输线路中波长色散特性的色散补偿器。

5 17.权利要求 16 所述的系统，其中：所述各色散补偿器的色散补偿量是根据在两色散补偿器之间的传输线路前一部分的色散量决定的。

18.权利要求 15 所述的系统，其中：所述传输线路具有正的波长色散值。

10 19.权利要求 15 所述的系统，其中：根据约为 +1 的线性调频参数由所述发送机施加线性调频。

20.权利要求 15 所述的系统，其中所述分别设在发送机中以及传输线路和接收机之间的色散补偿器具有根据传输路由所设定的可变色散补偿量。

15 21.权利要求 15 所述的系统，其中所述各色散补偿器包括：具有相同或不同色散补偿量的多个色散补偿装置；以及光开关装置，用于使发送机发送来的光信号通过所选择的一个或多个所述的色散补偿装置来实现最佳色散补偿。

20 22.权利要求 15 所述的系统，其中所述色散补偿器各包括开关和多个串联的色散补偿单元，节点设在各色散补偿单元之间，此开关根据所需的色散补偿量有选择地连接到这些节点之一。

23.一种用于操作光传输系统的方法，此系统具有用于从传输线路中分支光信号或将光信号插入此传输线路中的光传输设备，还具有用于接收从所述光传输设备分支出的这一光信号并把要被插入的所述光信号发送给所述光传输设备的终端站，所述方法包括下述步骤：

25 在所述终端站的接收单元给单波选择 AOTF 提供一预定的 RF 频率；

在此单波选择 AOTF 变得稳定后，通过将一预定的 RF 频率供给此光传输设备的分支/插入 AOTF，从所述光传输设备分支出一预定光信号给所述终端站；

在此光谱监控器确定预定的光信号已被分支后，将一预定的 RF 频率供给此终端站的单波插入 AOTF；

在此单波插入 AOTF 变得稳定后，驱动光发送机提供光信号给单波插入 AOTF，用于传输设备的插入；

- 5 用所述光谱监控器监控光发送机所供给的光信号；及
控制此光发送机所供给的光信号使其具有预定的光波长和光功率。

24.一种 WDM 光传输系统，用于传输多个具有各不相同波长的光信道，这些光信道包括第一组信道和第二组信道，所述 WDM 光传输系统包括：

- 10 第一光传输线路，载有所有这多个光信道；
第二光传输线路，载有所有这多个光信道；以及
开关装置，它设在一节点处，通常将此第一和第二光传输线路连接到此节点上，使此节点从第一光传输线路接收第一组信道和从第二光传输线路接收第二组信道，此开关装置当第一和第二光传输线路之一遇到问题时变换到只连接这两个光传输线路的另一个，使得所述节点能从一条光传输线路上接收所有这多个光信道。

25.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中的节点具有光分插复用器，使得此光分插复用器接收所述第一和第二组光信道。

20 26.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中所述的第一和第二光传输线路各包括端接于此节点的两个传输线路部段。

27.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中所述的第一和第二光传输线路各包括端接于此节点的四个传输线路部段。

25 28.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中所述开关装置包括至少一对将所述传输线路连接到此节点的相对侧的光环回开关，各个光环回开关具有两个传输线路输入端并将此节点与此两个传输线路输入端之一接通。

29.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中此光传输系统被配置为环形网络，使得围绕此环形网络存在着光信号的连续流。

30.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中所述节点具有第一和第二分插复用器，此第一分插复用器通常插入和分出所述第一组信道，而第二分插复用器通常插入和分出所述第二组信道，此开关装置当所述分插复用器之一遇到问题时便将所有前述的多个光信道接至所述分插复用器的另一个。

31.权利要求 24 所述的 WDM 光传输系统，其中所述光传输线路都是双向光传输线路，它们在其各自相反方向上载有所述第一和第二组信道。

32.一种应用第一和第二光传输线路在光传输系统中传输具有各不相同波长的多个光信道的方法，这多个光信道包括第一组信道和第二组信道，所述方法包括下述步骤：

将所述的多个光信道载于此第一和第二光传输线路两者之上；

在正常工作方式下，将此第一和第二光传输线路两者都连接到节点上，使此节点从第一光传输线路接收所述第一组信道同时从第二光传输线路接收所述第二组信道；并且

当此第一和第二光传输信道之一遇到问题时，切换为只与第一和第二光传输线路的另一个连接，使得此节点能从一条光传输线路上接收所有多个光信道。

光传输设备、光传输系统与光终端站

5 本申请是申请日为1999年3月31日，申请号为99104533.5，标题为“光传输设备、光传输系统与光终端站”的中国专利申请的分案申请。

技术领域

10 本发明涉及光波分复用网络。

背景技术

 对于未来的多媒体网络，现在正积极地进行它所要求的超长和大容量光通信系统和采用这种系统的光波网络的研究和开发。

15 用来实现大容量数据通信的常规系统可以是时分复用（TDM）系统、光时分复用（OTDM）系统与波分复用（WDM）系统等。

 在这些用来实现所述光波网络功能的系统中，WDM系统能够利用光纤的宽带和大容量，并能够独立于调制系统或所采用的光波长复用器/去复用器（滤波器）的速率来选择、分支和插入光的传输信号。

20 这就是说，这样的光波网络需要有分插复用器（ADM）用以根据需求来插入/分支信号，同时需要有用来选择传输线路的光的路由和交叉连接功能。

 业已研究和开发了用来插入/分支光信号的ADM。这种ADM可以是用于插入/分支具有固定波长的光信号的固定波长型和用于插入/分支具有任选波长的光信号的任选波长型。

25 固定波长型的装置例如包括环行器和纤维光栅，在纤维光栅上反射所传输的光信号中具有特定波长的一个，使其通过环行器分支。在插入光信号时，所插入的光信号通过环行器临时地传送到纤维光栅上。在纤维光栅上反射特定的波长，而由通过传输线路的光信号来多

路复用前述光信号。

在这种固定波长型的装置中，分插的光信号波长是在生产这种系统时就确定的。因此存在着对光波网络有许多要求不能完全满足的问题。

- 5 另一方面，由于在任选波长型装置中分插的光信号的波长即使是在系统业已生产出后也能通过远程操作改变，这样就容易满足改变插分的波长（信道）的要求。

图 1 例示了采用光开关的光 ADM 装置的构型。

- 10 具有波长 λ_1 至 λ_n 的波长复用光由输入终端输入去复用器（DMUX），并分支成具有各自波长的光信号。具有各波长的光信号输入为各波长设置的 2×2 光开关中。此 2×2 光开关使各个光信号通过或分出。

- 15 由此 2×2 光开关分出的光信号传送给支站（分路站）。通过此 2×2 光开关的光信号原样地输入一复用器，复用成波长复用光，然后输出。为此 2×2 光开关分出的光信号传送至一支站。此支站首先通过波长复用器/去复用器使分出的光信号复用，然后使已复用的光信号分支给为各信道提供的光接收机 OR。虽然在图 1 中没有示明，但此光接收机 OR 设有波长选择滤波器，从由波长复用器/去复用器所分支的光信号中选择具有预定波长的光信号，然后接收此选择的信号。

- 20 这样，利用 OADM 装置，通过使光信号波长复用成的各个波长的信号去复用并分出各个光信号，就能分出具有特定波长的光信号。在支站的终端，可以通过从分出的光信号中选择所需的波长并接收具有特定波长的光信号来接收特定波长（信道）的光信号。特别是当分出的波长相互不同时，要是设置在光接收机 OR 之前的波长选择滤波器能选择可变波长，则由例如第一光接收机所接收的光信号的波长可以
- 25 是可变的。

借助光接收机 OR 由光信号变换成的电信号通过电 ADM 装置（EADM）处理，从事利用电信号的分插复用。拟从支站传送的信号从 EADM 输出，并由光发送机变换为光信号用于输出。由图 1 所示支

站的各光发送机 OS 输出的光信号的波长乃是由 OADM 装置所分出的波长之一，并输出给光开关。光开关变换由光发送机 OS 发送出的光信号的光路，同时发送一具有相应波长的光信号给执行分支处理的 2×2 光开关。各个用来进行分出处理的 2×2 光开关接收的光信号具有与来自支站的分支光信号相同的波长，并把此信号传送给复用器 MUX。这样，由支站传输出的光信号便与通过 OADM 装置的光信号多路复用，并作为波长复用的光信号输出。

任选波长型的 OADM 装置通常可以是所述的应用光开关的装置，但它不能快速地工作。此外，当光网络是由采用波长数少于最大复用波长数的系统来工作时，它就有了复用器和去复用器的输出/输入，而这是不需要的，因而就有了不必需的设备。此外，当从一开始时就装备有 2×2 光开关，但这是一种耗用初始投资的不必要的光开关。

在上述系统中，由于光信号由复用器分支成具有各种波长的光信号，这种复用器即具有用于具有各种波长的光信号的带通滤波器的特性。要是把具有这种带通滤波器特性串联，各通带中的小误差就会积累，导致出现整个系统的通带对于各个波长变得很窄的问题。于是，为了解决这一问题，各个光学装置的通带应严格地相互匹配，这样在系统的设计和安装作业中就需有严格的条件。

再有，由于这种光信号是调幅的，在波长的分量中就会产生边带。要是这种光信号通过具有极窄通带的系统传播，则波长就会恶化，而接收装置有可能接收不到此光信号。在最坏的情形，此系统不能传播光信号。

上述问题发生在系统设计成使得所有的波长都暂时由复用器/去复用器去复用等所致。因此，当把纤维光栅用作固定波长型的装置时，只是具有分出的波长的光信号才被除去，而对于其它波长的分量，此纤维光栅的特性曲线是平的。结果就不会有上述的通带对整个系统都很窄的问题。

于是，可以用纤维光栅设计 OADM 装置。但由于纤维光栅本身

固定于选择好的波长，对每种波长就要求有一个纤维光栅，而在设计任选波长型的 OADM 装置时，对于各个纤维光栅还要有一个光开关，这样就形成了一种慢装置。

此外，由于 OADM 装置必须同电的 ADM 装置配合工作来处理信号，当起初对于各种波长设置电 ADM 装置，就会增加系统的成本。为此，应把此系统设计成，使得应设置的电 ADM 装置的成本和 OADM 装置的成本之和尽可能低。

根据要增加复用波长数的要求，可能要把许多小的开关相结合来构成大型开关，这是因为要求用来对于 32 种波长来处理波长的矩阵开关是不存在的。这样，开关的尺度就会很大，而这在考虑要减小 OADM 系统的设备尺寸时是不希望有的。

发明内容

为了解决上述问题，可以采用声光可调谐滤波器 (AOTF)。由于 AOTF 是以同于纤维光栅的方式只提取具有分出波长的光，光信号的波长特性曲线是平的，因而就解决了通常对整个系统很窄的上述问题。此外，与纤维光栅不同，待分出的波长是任选的。结果就易于设计这种任选波长型的 OADM 装置。再由于 AOTF 可以用作波长选择滤波器，就能把固定传输波长型的带通滤波器代之以作为支站的波长选择滤波器。这样，AOTF 便是适用于许多领域的、廉价的、适用于 OADM 装置中的装置。

本发明的目的在于提供能可靠地采用 AOTF 且可极有效地降低成本的光波长复用网络和装置。

本发明的在 WDM 通信系统的光传输设备分支并插入具有任选波长的光信号，且包括至少两个可变波长选择滤波器，其中第一可变波长选择滤波器用来分支和插入拟分支和插入的部分光信号；而第二可变波长选择滤波器用来分支和插入拟分支和插入的但未为第一可变波长选择滤波器所选择的光信号。在上述结构下，这种光传输设备应用多个可变波长选择滤波器来分支或插入所有拟插入和分支的光

信号。

本发明的光终端站接收用于分支和插入拟分支和插入的光信号的光传输设备所分支的光信号，并把拟插入的光信号传递给 WDM 光通信系统中的光传输设备。上述光终端站包括有波长复用器/去复用器，后者用来复用所需个数的具有预定波长的光信号，并把它们作为拟增加的光信号传送给光传输设备。

本发明的光传输系统包括：用来在通过传输线路所传送来的波长复用光信号中分支具有预定波长的光信号，且用来插入具有相应波长的光信号的光传输设备；以及用来接收由此光传输设备分支的光信号并把拟插入的光信号传送给此光传输设备的光终端站。这一光传输系统还包括：根据需要用来放大由光传输设备分支的光信号的光放大器，用来将光信号分成所需个数波长的分光器；以及为此分光器的每个输出设置的滤波器。在上述结构下，此光终端站选择和接收具有预定波长的信号。

根据本发明的另一个方面，上述光传输系统是在这样的光网络中工作，此光网络包含有：用来分支来自传输线路的光信号或把光信号插入到传输线路上的光传输设备；以及用来接收由此光传输设备分支的光信号并把拟插入的光信号传输给此光传输设备的终端站。这一光传输系统执行以下顺序处理：在终端站的接收端给单波选择 AOTF 施加一预定的 RF 频率；在肯定此单波选择 AOTF 进入稳定态后，通过在此光传输设备中将预定的 RF 频率施加给分插 AOTF 来分支预定的光信号；在断定此预定的光信号业已为光谱监控器分支后，将此预定的 RF 频率施加给此终端站的单波插入 AOTF；再在断定单波 AOTF 的工作业已成为稳定的且为光谱监控器所监控并要插入的光信号已被控制成具有预定的光波长和光功率后，即驱动此终端站的一个光传输装置。

根据本发明的另一个方面，这一光传输系统包括：光传输设备，用在传输之前调制一或多个波长传输信号的光强，并在光放大的多中继传输中传送此已调制的信号；节点，它设在光传输设备的传输线路

中，具有分支和插入传输信号光的功能。在这种构型下，所述光传输系统还包括：用来调制一传输装置中传输光的光相位或光频率的装置；对于上述调制装置的线性调频参数具有正号的发送机；色散补偿装置，它设置于此发送机和传输线路之间以及此传输线路与接收机之间，用来补偿传输线路的波长色散特性。

本发明的 AOTF 控制装置设在 AOTF 所形成后的基片的表面上。AOTF 根据波长复用的光信号来选择具有预定波长的光信号，并利用表面声波的功能插入或分支此选择的信号。此 AOTF 控制装置在 AOTF 附近有谐振器，能探测此谐振器的谐振频率的变化而得以测量 AOTF 的表面温度，根据此测量结果能控制 RF 信号，由此能稳定 AOTF 的作业。

根据本发明，能够快速地执行构成本系统一部分的电路的作业，同时可以由设在分插系统中的能通过改变施加用于选择任选波长的电信号的频率的 AOTF，来实现廉价而可靠的 OADM 系统。

15

附图说明

图 1 例示采用光开关的光 ADM (OADM) 的构型；

图 2 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的基本原理；

图 3 是框图，例示采用有效的 AOTF 设计的 OADM 装置的基本构型；

20

图 4A 与 4B 是框图，例示采用 AOTF 的广播用 OADM 装置的构型；

图 5A 与 5B 是框图，示明 AOTF 的冗余构型原理和 OADM 装置中的传输线路；

图 6 示明采用 AOTF 的 OADM 装置实际构型的第一例 (1)；

25

图 7 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第一例 (2)；

图 8 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第二例 (1)；

图 9 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第二例 (2)；

图 10 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第三例 (1)；

图 11 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第三例(2);
图 12 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第四例(1);
图 13 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际构型的第四例(2);
图 14 示明用来提供产生增加的光信号的光的激光组件的构型和
5 原理;

图 15 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(1);
图 16 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(2);
图 17 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(3)
图 18 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(4);
10 图 19 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(5);
图 20 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(6);
图 21 是示明在 OADM 中控制分出 AOTF 的方法的图表(7);
图 22 示明 AOTF 的构型;

图 23 示明图 22 中所示 AOTF 的传输特性;
15 图 24A 与图 24B 示明当图 22 中所示 AOTF 设计成基片上 3 级单
片 AOTF 时的波长选择特性, 以及用具有同样频率的 SAW 所选择的
波长;

图 25 示明 AOTF 的温度关系下所用的工艺;
图 26 示明谐振器的温度关系;
20 图 27A 与 27B 是示明此 3 级 AOTF 选择特性的波动以及消除这
种波动的措施的图表(1);

图 28A 与 28B 是示明此 3 级 AOTF 选择特性的波动以及消除这
种波动的措施的图表(2);

图 29 示明 AOTF 驱动电路一般构型的第一例;
25 图 30 示明 AOTF 驱动电路一般构型的第二例;
图 31A 与 31B 示明包含 OADM 装置的 OADM 的设计;
图 32A 与 32B 表明 OADM 装置中用于色散补偿的构型;
图 33A 与 33B 示明设在 OADM 装置的插入端与分出端的以及在
发送装置和接收装置处的色散补偿装置例(1);

- 图 34A 与 34B 示明设在 OADM 装置的插入端与分出端的以及在发送装置和接收装置处的色散补偿装置例 (2) ;
- 图 35 示明色散补偿结构的变形例 (1) ;
- 图 36 示明色散补偿结构的变形例 (2) ;
- 5 图 37 示明色散补偿结构的变形例 (3) ;
- 图 38 示明色散补偿结构的变形例 (4) ;
- 图 39 是示明色散补偿和波形恶化特征的曲线图 (1) ;
- 图 40 是示明色散补偿和波形恶化特征的曲线图 (2) ;
- 图 41A 与 41B 示明相位容限为 70% 或更大时的色散容差;
- 10 图 42 示明 2 - 光纤 BLSR 中 OADM 节点的构型;
- 图 43 示明 2 - 光纤 BLSR 中 OADM 节点的保护路径 (1) ;
- 图 44 示明 2 - 光纤 BLSR 中 OADM 节点的保护路径 (2) ;
- 图 45 示明设有 OADM 节点的通常的 2 - 光纤 BLSR 网络的构型;
- 图 46 示明设有 OADM 节点的 2 - 光纤 BLSR 网络中当光缆断开
- 15 时的构型;
- 图 47 示明 4 - 光纤 BLSR 中 OADM 节点的构型;
- 图 48 示明设有 OADM 节点的通常的 4 - 光纤 BLSR 网络的构型;
- 图 49 示明设有 OADM 节点的 4 - 光纤 BLSR 网络中当光缆断开时的构型;
- 20 图 50 示明设有 OADM 节点的 4 - 光纤 BLSR 网络中当节点有故障且光缆断开时的构型;
- 图 51 示明在用单个光纤进行双向传输的系统中的 2 - 光纤 BLSR 中节点的构型;
- 图 52 示明当把双向 OADM 节点用于 2 - 光纤 BLSR 网络中时的
- 25 保护路径 (1) ;
- 图 53 示明当把双向 OADM 节点用于 2 - 光纤 BLSR 网络中时的保护路径 (2) ;
- 图 54 示明设有双向 OADM 节点的通常的 2 - 光纤 BLSR 网络的构型;

图 55 示明设有双向 OADM 节点的 2-光纤 BLSR 网络中当光缆断开时的构型;

图 56 示明光 1+1 保护开关构型的例子; 而

图 57A 与 57B 示明可把一再生器增设到光传输线路中的基本原理。

具体实施方式

下面说明最佳实施例。

图 2 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的基本原理。

10 在图 2 中, 具有波长 λ_1 至 λ_n 的波长复用光信号输入到 AOTF10 中, 同时分插有 8 个波。显然, 插入或分出的波长数不限定于这一数值。

通过施加一相应的 RF 信号 (电信号) 给拟分出的波长, 由 AOTF10 来选择光波长。图 2 中, 具有 λ_1 至 λ_n 波长的波长复用光信号输入给 AOTF10。具有对应于波长 λ_1 至 λ_n 的频率 f_1 至 f_n 的 8 个 RF 信号则施加给 AOTF10。

20 所具波长与施加给 AOTF10 的 RF 信号的频率相对应的光信号输出至 AOTF10 的分出口。由光放大器 20 放大, 然后输入 8×1 耦合器 11 中。此耦合器之所以设计为 8×1 的, 是因为分出的波长数是 8。此 8×1 耦合器 11 对所述波长数的分出的光信号分支。这些分支的光信号是相同的光信号, 且包含具有分出的波长的所有光信号。此外, 设有 AOTF13 作为波长选择滤波器, 而具有各种波长的光信号则传送给电 ADM (光信号接收机) 17。

25 另一方面, AOTF10 不仅分出具有预定波长的光信号, 还插入具有相同波长的光信号作为分出的信号, 这是由于 AOTF10 具有分出一个具某个波长的光信号和可同时插入一个具相同波长的光信号作为分出的信号的功能。于是只需给 AOTF10 施加一个其频率对应于具有拟分出或插入的波长的光信号的 RF 信号。

拟插入的光信号是由图 2 中左方所示的机构产生。激光二极管

LD19 是光源,具有拟插入的信号的波长的 LD19 设置了与拟插入的光信号相同的个数。由 LD19 输出的具有波长 λ_1 至 λ_8 的光暂时由一 8×8 耦合器 18 复用,然后再去复用。此去复用的光由光放大器 15 放大,输入到起到波长选择滤波器作用的 AOTF10。AOTF10 从波长 λ_1 至 λ_8 被多路复用的光中提取具有拟用于传输光信号的波长的光。此具有由 AOTF14 提取出的波长的光由调制器 16 调制成光信号。这样形成的具有相应波长的光信号由 8×1 耦合器 12 多路复用,再由光放大器 21 放大后输入 AOTF10。AOTF10 便与直通光多路复用插入的光信号并输出给输出终端。

10 如上所述,在原理上说,只是一个 AOTF10 就能实现 OADM 装置的功能。但由于 AOTF 的真实特性并不能正好是上面所说明的,因而实际上需要有许多装置。例如,由于 AOTF10 串音的结果,从 AOTF10 插入口输入的插入光信号便会略微输出到分出口。由于插入光所具波长与分出光相同,就会引起称作相干串音的串音,这就会显著恶化光信号。于是当在 OADM 装置的设计中实际上采用 AOTF 时,15 应避免相干串音。

当 AOTF10 不分插波长时,光放大器 21 便停止工作,或是 AOTF10 的选择频率被抵销。要是此光放大器工作,即使未插入光信号,ASE(放大的自发发射)光也会作为噪声插入直通光信号。如果 AOTF10 的选择频带抵销,则 ASE 便会插入到直通光信号的频带之外。20 结果可以避免恶化此直通光信号的 SN 比。

图 3 以框图例示了采用真实的 AOTF 设计的 OADM 装置的基本结构。

图 3 示明了把 AOTF 用于分出光信号时的结构。由输入端输入的光信号经光放大器 30 放大来补偿传输线路的损耗,输入给第一级 AOTF31。第一级 AOTF31 只分出具有拟分出的波长的光信号。通过第一级 AOTF31 的光信号输入第二级 AOTF32,分出具有拟分出的其它波长的光信号。这样,分出的光信号便为耦合器 35 多路复用,分支成接收机 OR 的数目。同时在 AOTF31 分出口的终端设有光衰减器

38. 由 AOTF32 分出的光信号和由 AOTF31 分出的光信号调节成具有近似的电平并输入耦合器 35, 而由于 AOTF 中有很大的损耗, 通过一个 AOTF 和通过两个 AOTF 的光信号间的电平就会有很大差别。要是这些分出的信号以它们之间的电平差发送出时, 即使光放大器企图在接收端或在到达接收端之前来放大低电平的光信号, 也是不能成功地将其放大, 这样就不能正确地接收此信号。这样, 分出信号所要求的波长就由 AOTF 的波长选择滤波器 37 等选择并由接收机 OR 接收。

在耦合器 35 上插入有另一输出口, 用来暂时多路复用由 AOTF31 和 32 分出的光信号, 来自此输出口的光信号输入光谱监控器 39 来监控分支光信号的存在以及各个光信号的波长和功率等。

通过第一与第二 AOTF31 和 32 的光信号只包括具有波长未被分出的光信号并作为 OADM 装置的直通光输入给耦合器 33。来自光发射机 OS 的具有经 AM 调制波长(分出光信号的波长)为耦合器 36 多路复用, 作为插入的光信号输入耦合器 33。这样, 输入给耦合器 33 的直通光和插入光相互复用, 为光放大器 34 放大, 经传输线路输出。

在图 3 所示的结构例中, 所有拟分出的光信号根据 AOTF 的波长选择特性为第一级 AOTF31 和第二级 AOTF32 分出。这就是说, AOTF31 在施加 RF 信号时有很广的波长选择特性。于是, 当根据 ITU-T G.692 的建议计划规定为 0.8 nm 间隔相邻的光信号分出时, 就会在接收端发生串音而干扰接收。这样, 由单个直框实际标明的 AOTF31 或 32 是设计成串联安装在一块基片上的三级单片式 AOTF 的。借助上述结构, 波长选择特性可以变窄, 但是并不充分。为此, 设置了两级 AOTF。在第一级, 例如光信号的波长顺序地从一端到另一端编号, 只分出具有奇或偶基数的波长。在第二级则输出在第一级未输出的具有奇或偶基数波长的光信号。在此种结构下, 可以按 1.6nm 的波长间隔分出相邻的光信号, 由此即使在 AOTF 的波长选择特性下也能充分地减少串音。

此外, 借助图 3 所示的结构, 可以不使用 AOTF 而由耦合器 33 直接多路复用插入的光信号。如上所述, AOTF 具有插入其波长同于

分出的光信号的光信号的功能。但要是 AOTF 具有插入和分出两重功能，则在插入侧的光就会和分出侧的光混合，产生串音。此时，由于插入光和分出光两者的波长产生相同的相干串音，由串音生成的拍分量就会变大，使分出端不能正确地接收光信号。当从直通光提取相应的波长时，就可把插入光多路复用到可资利用的栅极（光信号的波长位置）上。如图 3 所示，此插入光多路复用到直通光上。

图 3 中采用了两个 AOTF 来分支所有拟分出的光信号。但此 AOTF 的数目不限于两个，可以设置多于两个的 AOTF。这样，在设置有许多 AOTF 时，在由一个 AOTF 分出的光信号中具有最接近波长值的光信号间隔便可以放大，由此能减少串音。

图 4A 与 4B 的框图例示了采用 AOTF 用于广播中的 OADM 装置的构型。

如图 4A 所示， λ_1 至 λ_n 的波长是波长复用的，从输入端发送出，由光放大器 40 放大并输入耦合器 41。耦合器 41 将输入的光信号分成两部分，一部分输入 AOTF42，另一部分分出并输入支站的耦合器 46。分支的数目可以是用作为分出光的光的波长数或可以是波长的总数。由于为耦合器 46 分支的光信号包含着波长 λ_1 至 λ_n 的光信号，波长选择滤波器 48 就从其中选择和取出具有用作分出光的波长的光。

另一方面，为波长选择滤波器 48 从发送给 AOTF42 的光信号所选择的波长再由 AOTF42 所选择，再输出至选择口。此选择口不与任何装置连接，而所选择的光信号被放弃。在 AOTF42 之后还设有 AOTF43，使得如上面对照图 2 所述，一个 AOTF 可以分出一部分具有待分出的波长的光信号，而另一 AOTF 则可分出此光信号的其余波长，由此在选择好波长时能减少串音。

已通过两个 AOTF42 和 43 的直通光输入耦合器 44 并与插入光多路复用。如参看图 2 时所述，由波长选择滤波器 49 从光源的各种光中选择出所要求的波长作为插入光，由调制器 50 调制，再输入耦合器 47。由耦合器 47 多路复用的此插入光输入耦合器 44，与直通光多路复用，经光放大器 45 放大，再通过传输线路输出。

上例中，由波长选择滤波器 49 从光源选择光然后由调制器 50 调制而取得插入光信号。此外，可以通过调制来自光源的光而后再从此光中选择波长来产生插入的光信号。

图 4 示明广播功能。

5 假定图 4A 中所示 OADM 装置已如图 4B 所示经传输线路连接时，具有波长 λ_1 的光信号由 OADM1-3 广播。OADM1 分出波长 λ_1 。但 AOTF 并不选择波长 λ_1 或把光信号插入波长 λ_1 的栅极上。然后，具有波长 λ_1 的光信号通过 OADM1 并输入 OADM2。OADM2 还分出具有波长 λ_1 的光信号，但 AOTF 并不选择波长 λ_1 。这时，波长为 λ_1 的光信号发送到 OADM3。OADM3 分出波长 λ_1 。AOTF 选择波长 λ_1 。
10 结果，由 OADM3 输出的光信号乃是这样的信号，其中只要没有插入波长 λ_1 的新的光信号时，波长 λ_2 至 λ_n 即被多路复用。

这样，根据图 4A 所示的结构，由于 OADM1 至 3 能够分出具有波长 λ_1 的相同光信号，就易于实现广播通信。

15 图 5A 与 5B 是框图，示明 OADM 装置中 AOTF 和传输线路的冗余结构。

图 5A 示明 OADM 装置中 AOTF 的冗余结构。

在 OADM 的输入端设有 1×2 开关 60，并为输入光信号设有两条路径，后者可以相互转换。工作 AOTF 与保护 AOTF 连接到此 1×2
20 开关 60 的两个输出口。在各个 AOTF 后设有用于多路复用插入光的波长复用器。具体地说，图 5A 中的上部结构是供现下使用的，而下部结构则是备用的。它们连接 1×2 开关 61 的两个输入口。此 1×2 开关 61 将来自工作 AOTF 的光信号变换为来自保护 AOTF 的光信号并且反之，使得这两个光信号的任一个可以通过传输线路输出。此
25 1×2 开关 61 设在 OADM 装置的输出端。

图 5B 示明不同于 OADM 装置的传输线路的冗余结构。

此传输线路具有双重结构，即工作和保护结构，同时在 OADM 的输入端设有 1×2 开关 62。此 1×2 开关 62 选择工作传输线路或保护传输线路，并把光信号传输给 AOTF。在 AOTF 之后设有用于

使插入光信号多路复用的波长复用器并将其连接到 1×2 开关 63 上。此 1×2 开关 63 的输出口与工作和保护传输线路，而得以选择其中任一条传输线路来传输光信号。

在图 5A 和 5B 中，只是 AOTF 或是传输线路是双重的。但这两者要以同时是双重的，这种情形下在 OADM 装置的输入与输出端的 1×2 开关则由 2×2 开关取代，此时的工作和保护传输线路以及工作和保护 AOTF 连接这样的 2×2 开关的输入/输出口。在此，由于当 2×2 开关失序时不能发挥作用，这种 2×2 开关还应是二重的来形成更可靠的系统。这就是，对于各个工作和保护传输线路设置一 1×2 开关，使得能选择工作 2×2 开关或保护 2×2 开关来接收光信号。在 2×2 开关后还设置着 1×2 开关，使得能选择工作或保护 2×2 开关之一来接收光信号。这种结构适用于 OADM 装置的输入或输出端，同时此种双重结构不仅可用于 AOTF 和传输线路，还可用于上述开关来从工作结构变换到保护结构或者反之。

图 6 和 7 示明了采用 AOTF 的 OADM 装置的实际结构的第一例 (1)。

通过传输线路输入的光信号首先输入光放大器（联机放大器：ILA）。这种光放大器有两种放大媒体（以三角形表示）。在光信号为第一放大媒体所放大时，此光信号的一部分便分支和输入光谱监控装置的开关。此光谱监控装置的开关顺序地变换输入的光信号，将光信号传输给光谱分析仪 SAU，在各个点分析和监控光谱的状态。此光谱分析仪 SAU 由光谱分析仪控制器 SAU CNT 控制。光谱分析仪 SAU 分析顺序变换和输入的光信号，同时输出分析结果的数据，并受到光谱分析仪控制器 SAU CNT 的控制。控制信号的传送能使通过图 6 或 7 中未示明的控制线上各点的光谱状态最优化。不然，操作者可以去直接监控光谱的状态。

由光放大装置 ILA 的第一放大媒体所放大的光信号输入色散补偿光纤 DCF 来抑制传输线路的色散。然后此光信号输入第二放大媒体，而以功率光信号输入 OADM 装置。连接到光放大装置的第二放

大媒体上的 BST 称之为增强器，提供了用于光放大的激光给放大媒体例如铟掺杂的光纤。

由光放大装置 ILA 所放大的光信号输入用于上述冗余度的开关装置 PSW。后面将详述开关装置 PSW1。通过了此开关装置 PSW1 的光信号输入可调谐滤波器模件 TFM。在可调谐滤波器模件 TFM 的输入端设有监控器，监控器各模件是否适当地连接、探测输入光信号的功率、将探测结果通知此监控器的控制装置（未于附图中示出）。此控制装置分析监控结果，同时判定这些模件是否正确地连接以及光信号是否正常地传送。例如，当模件未能正确地连接而有强光漏泄时，就会伤及近旁的人。于是必须关掉开关或采取任何其它的安全措施。这样的光监控器还设在可调谐滤波器组件的输出端，其功能与设在此种组件输入端的基本相同。

通过了光监控器的光信号输入 AOTF1。AOTF1 根据可调谐滤波器驱动器 TFD 的控制器 CNT 的控制信号控制。具体地说，将控制器 CNT 的控制信号施加给用来产生 RF 信号的电路（图 6 中它包括放大器和 PLL 电路），并将所产生的 RF 信号施加给 AOTF1 的 AOTF2。在 AOTF1，例如以前所述，选择具有偶基数波长的光信号，输出给图 6 所示的上部口。通过 AOTF1 的光信号则输入偏振模色散补偿器 PMD。

如后所述，AOTF 通过输入光信号的 TE 模光和 TM 模光同表面声波(SAW)的协同作用，只变换具有预定波长的光信号的波型。AOTF 通常由双折射材料例如铌酸锂制成，这样就会在没有任何接收过程而通过的光信号的 TE 模和 TM 模之间造成传输速度差。这时，当一个 AOTF 装置具有三级结构（见后述）时，相应的时间差约为 50ps。为此，要求本实施例的 OADM 装置用在具有 10 Gbps 传输速度的系统中。但是，在 10 Gbps 的速度下，指配给 1 比特的时隙约为 100ps。这样，由于通过 AOTF 所产生的偏振模色散在此会使得这两种模有约 50% 的时隙差，因而光信号就不能按原样接收。结果，在每次通过一个 AOTF 时，就要执行一次偏振色散补偿过程。补偿偏振模色散的典

型方法是使一般也具有偏振模色散的 PANDA 光纤等的轴线同此 AOTF 的轴线连接。借助这种连接，AOTF 中的快连模就会缓慢地传播过 PANDA 光纤，而 AOTF 中的慢速模则会快速地传播过 PANDA 光纤。取决于 AOTF 以及 PANDA 光纤等的特性，要求用来补偿偏振模色散的 PANDA 光纤的长度约为 20m。

另一方面，波长选择的光信号即在分出端的光信号，在 SAW 的协同作用下，于 AOTF 中，当此光信号以 TE 模输入时变换为 TM 模，而以 TM 模输入时变换为 TE 模，这样，色散在 TE 模中发生的时间就会同色散在 TM 模中发生的时间相等。于是，最初以 TE 模和 TM 模输入的光在于 AOTF 中传播的同时即分别转变成 TM 模和 TE 模的光，从而便不会生成偏振模色散。

通过了偏振模色散补偿器 PMD 的光信号输入光放大装置 TFA 中，这一光信号由放大媒体放大。通过 AOTF1 的光信号由于在 AOTF 中的损耗使强度降低。结果，在输入 AOTF2 并于其中分出的光信号以及在 AOTF1 分出的光信号之间就存在差别，而要求补偿这一差别。例如，一个 AOTF 中的损耗约 10dB。在由光放大装置 TFA 放大的这些光信号中，具有指配奇数的波长的光信号分支，而其余的光信号则通过 AOTF2。

拟在 AOTF1 和 AOTF2 中分出和分支的光信号由 2×2 耦合器多路复用，再由光放大装置 TFA 放大，传送给支站。另一方面，从 2×2 耦合器 1 另一口输出的光信号通过光衰减器输入光谱监控装置的光谱分析仪 SAU，并在此确定所分出的信号的波长或功率是否满足预定的标准。

通过 AOTF2 的光信号如上所述输入偏振模色散补偿器 PMD，在已补偿偏振模色散之后，通过光监控装置输入开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器 2 中。同时，奇数序号的光信号则输入开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器 2 中。这一奇数序号的光信号为光放大器 PWA1 放大，补偿从支站传输出过程中产生的损耗。此外，色散由色散补偿光纤 DCF 补偿，然后此光信号输入 2×2 耦合器 2。此直通光信号和插入的光信号通过

冗余开关输入光放大器 PWA2，由增强器 BST3 和 4 的激励光放大，并由一耦合器分支。绝大部分光信号由此耦合器输出到传输线路上，但一部分这样的光信号则传送到光谱监控装置，用来分析具有各种波长的光信号的波长位移和功率。由光放大器 PWA2 放大光信号来补偿通过 OADM 装置所产生的损耗。

图 7 例示采用图 6 所示 OADM 装置的系统中的支站的结构。

由可调谐滤波器模件 TEM 所分出的信号通过支站的波长去复用器的波长去复用。在图 7 所示情形中，此光信号经波长去复用成具有波长 λ_1 至 λ_{32} 的 32 个波。具有各个上述波长的光信号由既有光网络的光电变换装置 OE 所接受，变换成电信号，进一步变换成用于此网络中的信号，例如具有波长适合于这种网络（假设此网络是 1 波光网络）的光信号。另一方面，在现有的光网络等的信号输出装置中，电信号由电光变换装置 EO 变换成图 6 所示的分出的波长由 λ_1 至 λ_{32} 的光信号。这些光信号由衰减器调节成相对的电平，由波长复用器波长复用，并由图 6 所示 OADM 装置作为插入光信号发送。

图 6 示明具有 32 种波长的分出光信号，并假定所有这 32 个波长都被用到。但当此系统起动后，则不必用到所有波长，即可以只使用它们的一部分。这时，如图 6 所示，由可调谐滤波器模件分出的波长数少于 32。

要是波长去复用器已把光信号分支成具有图 6 所示各种波长的光信号，则就很难适当地改变拟接收的波长。例如，当要求在接收端来接收具有相同波长的光信号时，就必须从波长去复用器的一个口来分支一信号。但要是原有的结构不允许这一过程时，就需重新设置从一个口来分支光信号的耦合器等。

图 8 与 9 示明了采用 AOTF 的 OADM 装置实际结构的第二个例子。

图 8 所示的结构与图 6 所示的相同，这里略去其详细说明。

经传输线路输入的光信号由光放大器装置 ILA 放大。色散补偿光纤补偿色散，此光信号输入开关装置 PSW1。开关装置 PSW1 设计用

来提供冗余的工作和保护结构。从开关装置 PSW1 输出光信号通过可调谐的滤波器模件 TFM。此分出的光信号是由 AOTF1 和 AOTF2 分出并输入 2×2 耦合器 1。

由 2×2 耦合器 1 输出的光信号的一部分输入光谱分析仪 SAU，
5 分析其光谱。由 2×2 耦合器 1 多路复用的分出的光信号首先由光放大器放大，然后由 1×4 耦合器分支。图 8 中，波长数为 4 但不限于 4。由 1×4 耦合器分支的光信号包含了所有分出的波长，而在支站中的接收装置 TRB1 的 AOTF 则提取各种波长。这一 AOTF 具有从 1×4 耦合器所接收的光信号中提取预定波长的功能。在不需改变拟输出的光
10 信号的波长时，可以采用普通的带通滤波器。采用 AOTF 则可以灵活地回答这系统的用户要求。用户在操作本系统时通常需要改变拟分插的光信号的波长。支站的 AOTF 是波长选择滤波器，由现在示明于图 8 中的可调谐滤波器控制。图 8 中只示明有两个 AOTF，但当把四个波用于分出光信号时则可以四个 AOTF。

15 未由 AOTF1 分出的直通光在由偏振模色散补偿器 PMD 于偏振模色散补偿过程中处理后，输入光放大器，然后再输入 AOTF2。这样，如上所述，设有二级 AOTF，由一个 AOTF 来分出一部分波长，例如具有偶基数波长的光信号，而由另一 AOTF 来分出其余波长，例如奇基数的。在这种结构下，可使 AOTF 波长选择特性较大半宽度所产生的串音减至最少。
20

在光信号已通过 AOTF2 后，偏振模分散补偿器 PMD 补偿偏振模分数，然后光信号通过光监控器，输入开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器 CPL2 并由插入的光信号多路复用。在图 8 所示的情形中，由于有分出光的四个波长，也就应有插入光的四个波长。在耦合器 CPL4
25 中设有一个 1×8 耦合器，用于未来升级的结构。但现下只使用口 1 至 4。具有由耦合器 CPL4 多路复用的各个波长的插入光信号经光放大器 PWA1 放大。在由色散补偿光纤 DCF 补偿了色散之后，光信号输入开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器 CPL2。此直通光和插入光相互多路复用，在通过保护开关（用于开关电流和备用结构）。此光信号在

输入光放大器 PWA2 后，由拟进行功率放大的激射光源 BST3 和 4 提供功率，然后经耦合器 CPL 输出到传输线路上。由耦合器 CPL 分支的光信号的一部分传送给光谱分析装置 SAU 来分析从 OADM 装置输出的光谱的状态，同时用于监控 OADM 装置是否正常运转。

5 图 9 示明了支站的插入光发送端。

此插入光信号发送装置包括激光器组件、光调制装置以及未于图 9 中示明电 ADM 装置 (E ADM)。拟传送的数据作为电信号从此电 ADM 装置发送出，用作此激光器组件的光调制用的驱动信号。

10 此激光器组件包括许多用于输出具有不同波长的光的激光二极管。它们存储于激光二极管单元 LDU # 1 至 # 4 中。另有一种用于发生故障时的冗余结构。对于激光二极管单元 LDU 存在着现用结构 (工作) 和备用结构 (保护)。此外，设有 32 个激光二极管来输出不同的波长，以使拟插入的光信号的波长能变换成此 32 个波长中的任何一个。由这些激光二极管输出的光通过一波长复用器多路复用，产生
15 出其中 1 至 32 波长被多路复用的光。对于这一冗余的激光二极管单元，存在着现用的和备用的波长复用器结构。

光在从此波长复用器输出后，即为光放大装置放大。这种光放大装置也取冗余设计。这就是说，光放大装置有两种放大媒体而在其间插入有衰减器。此衰减器相对第二级放大媒质调节光强。光信号在为
20 放大媒体放大后，它的一部分即为耦合器 CPL 分支而输入耦合器装置 CPL3。分支的光信号输入光谱分析仪装置 SAUL。此光谱分析仪装置 SAUL 包括光谱分析仪控制器 SAU CNT 以及由后者控制的光谱分析仪 SAU。耦合器 CPL 在此系统的操作者由手动来检查激光器组件输出的光时，给光监控口输出这时所要求的光。由此光谱分析仪装置得
25 到的分析结果发送给图 9 中未示明的激光二极管控制器 LDC，并用来控制激光二极管。如图 9 中所示，光谱分析仪装置 SAUL 和激光二极管控制装置 LDC 都取冗余设计。

这样就提供了许多具有不同波长的激光二极管，同时应用其波长已多路复用的光，这是因为能改变振荡波长的激光是极不稳定的，不

能有效地用于振荡波长应完全稳定的光通信中。

在由许多激光二极管输出的光已多路复用后，它们就由光放大器放大，输入耦合装置 CPL3 的 1×8 耦合器中。此 1×8 耦合器只分支具有用于插入光信号的波长的输入光并将其传送到光调制装置。这时
5 由于只有待分插的光信号的四个波长，实际上连接的只是此 1×8 耦合器的四个口。其余的口则用来为设在反方向的传输线路上的光调制器（图 9 中未示明）提供光。

与上述 1×8 耦合器输出口连接的光纤把光传送给光调制装置，此光调装置具有对于拟插入的光信号的各个波长设置的调制器。图 9
10 中只示明了一个调制器的结构，但实际上有四个相同结构的调制器件。对于由此激光器组件传送来的光，由在波长选择装置 TFR1 第一级处的 AOTF 选择具有用于插入光的波长的光。把所选择具有这种波长的光输入调制装置的调制器 Mod。另一方面，由电 ADM 装置作为具有预定波长的光信号传送出的数据则为接收机 OR 所接收并转换成
15 电信号。此电信号由分配器分支，通过数字触发器 D-FF 和电放大器施加给调制器 Mod。调制器 Mod 接收此电信号，调制输出具有在波长选择装置第一级的 AOTF 所选择的波长的光信号。调制了的光信号由 1×2 耦合器分支，其中之一由控制器探测，检查此光信号是否已正确调制。探测的结果反馈到电放大器，进行调节，使调制器 Mod 可以
20 稳定地工作。

这样，由调制器 Mod 调制的光信号即由光放大器 POA 放大，输入波长选择装置的二极 AOTF，然后作为插入的光信号传送出。在此信号为光放大器 POA 放大后，再次通过此 AOTF 除去光放大器 POA 中产生的噪声。这一 AOTF 设计成来选择同于波长选择装置的前一级
25 中 AOTF 所选择的相同波长。

在于激光器组件提供的光中选择拟插入的光的波长时，用到的是 AOTF 而不是用用来选择固定型波长的滤波器，这是由于 AOTF 在拟分插的光信号的波长应加以改变时易于改变所选择的波长。

在调制器 Mod 后一级中的光放大器 POA 可以是单波放大器，首

先由波长选择装置前级的 AOTF 只选择一个用于插入的光信号的波，这样可以实现一种小型的放大器。如上所述，可以首先调制光信号，然后可以选择波长。但在这种情形下，调制器的后级中的放大器必须是用于波长复用光的光放大器。于是，放大器较大，成本也较高。

5 图 10 与 11 示明采用 AOTF 的 OADM 装置的实际结构的第三例。

图 10 示明冗余设计成工作和保护结构的传输线路。如后所述，可以按多种方式冗余地设计传输线路。例如，可以采用 UPSR（单向线路开关环）或是 4 光纤 BLSR（双向线路开关环）等。图 10 示明了 4 光纤 BLSR，其中的传输线路（PB）指的是通到此 4 光纤 BLSR 反方向的传输线中 OADM 装置内 LB 开关的传输光缆。传输线路（P）指通到 4 光纤 BLSR 的反方向中传输线路内 OADM 装置中所设光 1 + 1 保护开关（1 + 1SW）的传输光缆。它们是为冗余传输线路和 OADM 装置所提供的。此冗余系统将于以后描述。

15 通过上述现用传输线路输入的光信号由光放大装置 ILA 放大，并由色散补偿光纤 DCF 补偿其色散。然后，此信号输入开关装置 PSW1。开关装置 PSW1 包括 LB 开关和 1 + 1 开关。实际上，取决于用在此网络，2 光纤 BLSR 或是 4 光纤 BLSR，可以设置它们中之一。

20 在光信号通过开关装置 PSW1 后，由上述可调谐滤波器模块的功能分出一分出光，并将此信号输入具有 1×8 耦合器的耦合器单元 CPL1 中。此 1×8 耦合器将包含所有分出波长的波长复用光信号分成 8 个部分，并把它们传送给支站的接收装置。此光信号在通过上述可调谐滤波器组件后，输入开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器中。从支站输出的插入光信号由耦合器单元 CPL4 的 1×8 耦合器多路复用，并由光放大器 PWA1 放大。此放大光信号的色散由色散补偿光纤补偿，并
25 并通过开关装置 PSW2 的 2×2 耦合器与直通光波长复用。

在耦合器单元 CPL4 的 1×8 耦合器之前设有用于具有各个波长的各插入光信号的光监控器。此监控器是用来检查耦合器单元 CPL4 安装得是否正确。

此直通光和由 2×2 耦合器多路复用的光通过冗余设置的 1 + 1 开

关以及 LB 开关,然后为光放大器 PWA2 放大用于通过传输线路传输。

图 11 示明图 10 中所示实例在支站一侧的结构。

在接收侧,设置有接收机 TRB # 1 ~ # 8 (1), 其个数同于由 OADM 装置分出和分支的光信号数。为了在此作详细说明,图 11 中
5 只示明了接收机 TRB # 1 的结构。

起初,分出的光信号包含 8 个波。当光信号输入接收机 TRB # 1 (1) 时,即为光放大器 AMP1 放大。光放大器接收激光光源 BST 的激光。放大的光信号分支成个数同于耦合器单元 CPL2 的 1×4 耦合器分出的光信号的波长数。在此例中,它分支成 4 部分。然后它们输入
10 转发器 # 1,用于变换光信号的波长。转发器的详细结构在此略去,共有 4 个转发器 # 1 至 # 4,各接收一从 1×4 耦合器输出的光信号。

当此光信号输入转发器 # 1,由起到波长选择滤波器作用的 AOTF 选择具有一个波长的光信号,并由光接收机 OR 转变为电信号。此电信号由分配器分支成二,通过数字触发器 D-FF 和放大器施加给
15 调制器 Mod。调制器 Mod 接收来自发射端的激光器组件 LDBK 的光。由 AOTF1 从此激光器组件 LDBK 发送出的波长中选择合适的波长,然后输出。输出的光信号由光放大器 POA 放大,由 AOTF2 除去此放大器的噪声分量。然后将此光信号传送给另一网络,等等。这样,当把数据传输给另一网络时,所分出的光信号就不能原样地传送。结果
20 是设置转发器来把光信号的波长变换为任选的波长。由调制器 Mod 的输出由 1×2 耦合器分支,由控制器探测并反馈来稳定调制器 Mod 的工作。

于是,接收端的转发器的作业基本上与图 9 中所示光调制装置的作业相同。

25 在发送端,用于调制中的光从图 11 中未示明的激光器组件 LDBK 发送出。此光传输给发送机 # 1 ~ # 8 (2) 的耦合器单元 CPL5。当此光输入,它首先通过用于监控此耦合器单元 CPL5 是否已成功地连接的光监控器。然后它分支成 8 束光,并由光放大器 AMP # 1 ~ # 4 放大。在这 8 束光中,只有 4 束光被用来产生插入光信号,而其余的四

束光则传送给接收端的转发器作为光信号的波长变换光。

在由上述激光器组件发射出的光中，用来产生插入光信号的4束光输入转发器#5的AOTF3，选择产生插入光信号的波长并传送给调制器Mod。作为光信号由另一光网络传送的且其插入光应调制的数
5 据，由光放大器AMP2放大，然后由 1×4 耦合器分支。由AOTF5选择波长并由光接收机OR将光信号变换为电信号。由于在这一步骤后的作业与接收端的转发器的作业相同，略去其详细说明。由AOTF4输出的光信号由 1×4 耦合器以转发器#6~#8类似产生的光信号多路复用，然后作为插入光信号输送给OADM装置。

10 图12和13示明了采用AOTF的OADM装置的实际结构的第4例。

由于图12所示的结构与图10所示的大致相同，这里略去其详细说明。在图12中，于插入端未作线路连接，但这只是在图12中的省略，实际上，支站的插入光信号发送端是应该连接的。

15 经传输线路输入的光信号由光放大器放大。传输线路的色散由色散补偿光纤补偿。然后，光信号输入用于开关工作和保护装置的开关装置PSW1。此开关操作取决于网络的冗余结构。在本例中，采用了4光纤BLSR。在光信号已通过开关装置PSW1后，便由可调谐滤波器模件分出一分出光。此分出的光信号由 1×8 耦合器传送到支站的接
20 收端。此直通的光信号原样地输入开关装置PSW2的 2×2 耦合器。插入的光信号首先由 2×8 耦合器多路复用，同时由光放大器PWA1放大。色散则由色散补偿光纤DCF补偿。此光信号然后由 2×2 耦合器以直通光多路复用。上述 2×2 耦合器和 2×8 耦合器可以分别是 1×2 耦合器和 1×8 耦合器。在要监控多路复用的光信号的状态时，为
25 方便起见，本例中采用了具有一或多个输出出口的耦合器。于是，并不总是需要应用 2×2 耦合器和 2×8 耦合器的。

由与直通光信号多路复用插入光信号而取得的光信号通过用于开关工作结构和保护结构的开关（1+1开关和LB开关），然后由光放大器PWA2放大再通过传输线路发送。

图 13 例示支站接收端结构的一种变型。

接收装置 TRB # 1 涉及的是当连接到支站后的网络为单波长网络时的结构。在由 OADM 装置分出的分出光信号为光放大器 AMP 放大后，此信号便由耦合器单元 CPL2 的 1×4 耦合器分支成 4 个部分。分支的部分数是 4 是由于要为 OADM 装置分出的波长数确定为 4 的原故。为 1×4 耦合器分支的光信号传送给各 AOTF，而选择各波长的光信号。当选择了具有 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 各波长的光信号时，即把它们原样地传输给单波长网络。要是由此单波长网络支承的光信号的波长不是光信号的分出的波长，则在连接单波长网络之前设置一用于变换波长的转发器，使得具有此受支承波长的光信号能够传送。

在此接收装置 TRB # 2 中，连接在支站之后的网络是多波长网络。但这是一个多达 4 个波的波长复用系统。从 OADM 装置分出的分出光信号由光放大器 AMP 放大，为 1×4 耦合器分支成 4 部分，然后输入为 1×4 耦合器各个输出口设置的波长选择装置 TFR # 1 ~ # 4。在 AOTF，只从分出的光信号中提取一个波。提取出的光信号由用于单波长的光放大器 POA 放大，再次输入 AOTF。如前所述，在后级的 AOTF 是设置用来从光放大器 POA 除去噪声的。这样，由波长选择装置 TFR # 1 ~ # 4 提取出的分出光信号就为 2×4 耦合器多路复用，然后传输给波长复用网络。要是分出的波长未受到下一波长复用网络的支承，则通过与转发器连接变换此波长。

接收装置 TRB # 8 在连接到支承着具有 4 或多个波的波长复用光信号的网络上时，涉及到支站的结构。在选择分出光信号的 4 或多个波长时，是由与 OADM 装置中所用相同的两级 AOTF 来选择波长的。此 AOTF 是由可调谐滤波器驱动器 TFD 驱动。由 OADM 装置所分出的光信号会由两级 AOTF 所选择。于是，除噪声外，没有光信号输出到第二级 AOTF 的直通口的。其它的结构和操作与通过 OADM 装置的 AOTF 分出光信号时所用的相同，这里略去其详细说明。

于是，具有所选择波长的分出的光信号由 2×2 耦合器多路复用，然后发送给下一个波长复用网络。如上所述，要是下一个网络不支承

此光信号的分出的波长或要是采用另一个光信号，则将此光信号的波长变换和传送给下一级的网络。

图 14 示明了用来提供产生插入光信号的光的激光器组件的结构与原理。

5 为了形成任选波长型的 OADM 系统，应该能分出具有任选波长的光信号，同时应插入具有对应任选波长的光信号。为此目的，应在支站一侧产生具有任选波长的光信号。于是要有可任意改变波长的光源。但是难以把广泛用作光源的激光二极管来改变波长，这是因为这种激光器原来是设计成在有光在两个反射镜之间传递时能由插入其
10 间的发射介质发射出强光的。光的振荡波长依赖于此发射介质的特性以及两反射镜之间的距离。实际上，当需从同一激光器中来振荡不同的波长时，两反射镜之间的光程必须是可变的。然而并无适当的方法能做到这点。当前是通过用机械方法改变反射镜的位置来变动此光程，或是通过改变温度来调节发射介质的折射率。用机械方法移动反
15 射镜时需要有激光器的移动装置，这要取决于反射镜的位移，从而不能稳定地发射激光。通过改变温度来改波长时由于激光器没有可移动的装置虽可稳定地发射激光，但由于升高温度只能稍稍改变波长，而此波长复用系统的整个网是不能覆盖的。

于是，本实施例中包括了许多激光二极管，每一个可以发出所用的全部可能的波长，而由这些激光二极管发出的激光合并处理成绕各种应用的激光。
20

上述激光器组件的结构示明于图 14 中。此激光器组件包括许多激光二极管 139，用来发出具有从 λ_1 至 λ_n 各种波长的波长。由此各个激光二极管发出的波长受到光谱监控器 133 的监控并同预定的参考波长值比较。当参考值和实际值之间有差别时，就调节产生振荡波长误差的激光二极管 139 的驱动电流或温度，以输出预定的振荡波长。
25

由各个激光二极管 139 发出的光信号为波长复用器 138 波长复用成单一的光，然后由光放大器 136 放大，再由分配器分支成所需个数的光信号。

在应用上述光时,采用可调谐滤波器 132 如 AOTF 等从来自激光器组件的光中调取所需的波长,或要是拟采用固定的波长时则用带通滤波器等来产生固定的选择波长。然后用外调制器 135 调制提取出的波长,由光放大器 137 放大并发送此已调制的波长。

5 这样就可从输出许多波长的光源中,把多种波长的光复用。具有来自这种光源的任意波长输出的波可以在通过滤波器提取后利用。特别是在波分复用通信系统中,各信道的光信号的波长受 ITU-T 建议的限制,在此限制之外的波长不能使用。结果可以采用上述激光器组件。

10 图 15-21 示明控制 OADM 装置中分出 AOTF 的方法。

尽管图 15-21 中只示明了一个 AOTF,但显然可以采用两个上述这种 AOTF 的。

图 15 示明了包括 OADM 装置的 OADM 系统的初始状态。当具有例如 32 个波的波长复用光信号从输入端发送出时,最好使此光信号在起动此系统之前不输出到任何地方。此时,由 RF 信号振荡器施加一 RF 信号给 AOTF140,使此 AOTF140 可以选择任一波长。然后,从输入端输入的所有 32 个波的波长分出,没有光信号输出到直通端(输出端)。于是,所有这 32 个波的光信号便传送到支站。支站用光耦合器 142 分支此传送来的光信号,并将其发送到 AOTF143 来选择具有各种波长的光信号。在正常的作业中,AOTF143 选择拟分出的波长。但在初始态,输入 RF 信号。此 RF 信号具有的选择波长同具有从输入端传送到 AOTF143。这 32 个波的光信号分离得充分地远,使得不会发生光漏泄等。结果,AOTF143 没有从这 32 个波中选择任何波,没有光信号传送到光接收机 144。这样,在此系统的初始态,25 所有的光路都是封闭的,接收不到任何光信号。

将一 RF 信号施加到 AOTF143 上来恒定地选择一个波长。这样,即使没有光信号被选择时,也应施加 RF 信号而得以选择一个异于这 32 个波的位置的位置。结果,施加到 AOTF143 上的 RF 信号的功率可以恒定而变而同是否选择了光信号无关,这样就能稳定 AOTF143

的作业。

图 16 示明了当 OADM 装置没有分出信号时来控制 AOTF 的方法。

5 当没有光信号通过时, RF 信号振荡器 141 产生一供施加用的 RF 信号, 使得所选择的波长设定在不同于 AOTF140 中这 32 个波的波长位置的位置。虽然此 RF 信号不选择光信号, 但它包含有用于选择 32 个波长的 32 个频率。由于用于此 32 个波的 RF 信号是施加到图 14 中的 AOTF140, 于是此具有 32 个频率的 RF 信号在施加后不会显著改变 AOTF140 的特性。

10 这样, 此具有 32 个波的光信号便传送到直通端(输出端)。在支站一侧没有光信号分出。于是, 光信号不输入光耦合器 142。但是, 施加一 RF 信号可以选择一异于此 32 个波的位置的波长位置。此 RF 信号有一个用来只选择一个波的频率。这样, 如上所述, 就可将 AOTF143 的作业控制成不随 RF 信号功率的改变而改变。结果, 光接收机 144 便探测不到光信号。

图 17 示明了当 OADM 装置不分出光信号时控制 AOTF 的方法, 但是输入的光信号对于各个波长则可以有不同的功率。

20 图 17 中, 当发生倾斜时, 波长的功率依 λ_1 至 λ_{32} 的顺序增大。但当各个波长的功率相互之间颇不相同是可以实现相一致的功能的。

这就是说, 由于分出的光信号的功率依赖施加到 AOTF10 的 RF 信号的功率, 于是最好是使 RF 信号振荡器 141 分出较多的具有较大功率的波长的光信号, 而分出较少的或是不分出具有较小功率的波长的光信号。结果, 输出到直通端(输出端)的光信号在功率上几乎相同。另一方面, 在支站一侧, 分出的光的数目取决于输入到 AOTF140 探测到的功率。此分出的光由光放大器放大或由光耦合器 142 分支。但是, 通过把 AOTF143 选择的波长设定成远离这 32 个波的波段, 就不会有光信号从 AOTF143 输出, 于是, 光接收机接收不到光信号而不从事分出作业。

这样，AOTF140 不仅用来分出波长，还用来调节波长间的光率差，由此来改进系统中的传输质量。

AOTF140 也可以设计成接收用于恒定地选择 32 个波长的 32 个频率的 RF 信号。AOTF143 则设计成接收具有用来只选择一个波的一个频率的 RF 信号。利用这种结构，可以稳定 AOTF140 和 AOTF143 的作业而与所选择的波长数或已否选择有波长无关。

波长功率差的补偿作业可以由设置一控制 CPU 通过软件来进行。

图 18 示明了当 OADM 装置分出光信号时控制各 AOTF 的方法。

本例中，只从波长 $\lambda_1 - \lambda_{32}$ 分出 λ_2 和 λ_{32} 。当具有 32 个波的光信号从输入端输入时，将一用于选择波长 λ_2 和 λ_{32} 的 RF 信号施加到 AOTF140。同时，在远离具有 32 个波的光信号波长的位置，由 RF 信号振荡器 141 产生一具有用于选择 30 个波的 30 个频率的 RF 信号，使得可以稳定 AOTF140 的作业。结果，施加到 AOTF140 的 RF 信号可以选择 32 个波，但实际分出的光信号具有的波长则只是 λ_2 和 λ_{32} 。所有其它的光信号则传输到直通端（输出端）。

分出的波长传递到支站侧，为光耦合器 142 分支，输入 AOTF143。具有用来只选择一个波的频率的 RF 信号施加给 AOTF143。AOTF143 之一选择波长 λ_2 ，另一则选择波长 λ_{32} 。这样，光接收机 144 之一接收具有波长 λ_2 的光信号而另一接收具有波长 λ_{32} 的光信号。

如上所述，将相同功率的 RF 信号加到 AOTF140 和 143 能稳定 AOTF 的作业。此外，可以抑制波长复用光信号间的功率差。

图 19 示明了支站一侧的所选择的波长的跟踪。

由 OADM 装置的 AOTF180 分出的光信号分支成同于光耦合器 181 所分出的波长数（图 19 中为 4 个波），而 AOTF182 则选择各个波长。但是，由于温差或 RF 信号的频率差，在分出的光信号的波长和 AOTF182 选择的波长间会有差别。于是应监控 AOTF182 所选择的光信号，而此光信号的波长应同 AOTF182 所选的波长匹配。为了达到这一目的，所在 AOTF182 之后设置 10: 1 的光耦合器 183，由光接收机来接收绝多大数光信号，并由光电二极管 PD185 来探测它们一部

分的功率。将其结果传送给跟踪电路 186。此跟踪电路 186 稍稍改变着拟施加到 AOTF182 的 RF 信号的频率,或将一低频分量叠加到拟施加到 AOTF182 的 RF 信号的基频上,同时由光电二极管 PD185 探测此光信号的功率变化。这样,由光电二极管 PD185 所接收的光信号的功率便可控制到最大。当 RF 信号的频率稍有漂移在一较高的频率和一较低的频率间变化,且光电二极管 PD185 所接收的光信号的功率在较高频率和较低频率两侧变小了时,则可以断定由中心频率表示的光信号的接收功率为最大。跟踪电路 186 调节 RF 信号,使得能探测上述状态,由此可成功地完成此跟踪作业。

10 图 20 示明 OADM 系统整个 AOTF 的控制。

图 20 中,指派有与图 19 相同标号的装置彼此也是相同的。因此在此略去这些一致的装置的详细说明。

由 OADM 装置的 AOTF180 分出的光信号由光耦合器 194 分支,通过一 1×4 开关输入光谱监控器 192,得以在 OADM 装置的 AOTF180 选择光信号的波长时,对于拟分出的光信号的波长是否进行了合适的作业。具体地说,当拟分出的光信号的波长不与 AOTF180 的选择的波长特性匹配时,所分出的光信号的光谱就不能完全分出,从而使得此光信号的波长恶化。因此,应合适地控制拟施加到 AOTF180 的 RF 信号的频率和功率。光谱监控器 192 的分析结果输入 OADM 装置的控制 CPU193,同时输出 RF 信号的控制信号,使得 AOTF180 可以合适地工作。

上面参看图 19 描述的跟踪电路 186 也同 OADM 装置的控制 CPU193 交换信号,以控制 AOTF182 合适地工作。

25 在支站的插入光信号的发生端,从 LD(激光二极管)组件 202 输出的光由光耦合器 201 分支,它的波长由 AOTF200 选择。还要监控是否进行了适当的波长选择。为了控制 AOTF200,将光由光耦合器 199 分支,由 PD198 接收,将结果输入跟踪电路 203。跟踪电路 203 与 OADM 装置的控制 CPU193 交换信息,依上面参看图 19 所述的过程执行对 AOTF200 的跟踪作业。由光耦合器 197 调制从光耦合器 199

输出的光并在下一级放大，由 AOTF16 选择其波长。由于要求 AOTF196 具有与 AOTF200 相同的选择波长，OADM 装置的控制 CPU193 便求得由跟踪电路 203 所取得的信息，并控制施加给 AOTF196 的 RF 信号。结果 AOTF196 就具有与 AOTF200 相同的波长特性，由此就可成功地选择具有相同波长的光信号。在通过 AOTF196 后，此光信号由光耦合器 195 作为插入光信号复用。色散通过色散补偿光纤补偿，此光信号由光耦合器 190 与通过 AOTF180 的光信号复用。

由此插入光信号复用的光信号被放大，然后由光耦合器 191 来检查是否正确地插入了此插入光信号。然后，由光谱监控器 192 通过一 1×4 光开关 204 来分析此光信号。分析的结果由 OADM 装置的控制 CPU193 用来产生一控制信号，并且通过跟踪电路 203 来控制 AOTF180、AOTF196 或 AOTF200。

将来自 OADM 装置用于反向传输的或来自支站的光信号施加给 1×4 光开关，同时在经过依次转换后也施加给光谱监控器 192，这是由于光谱监控器 192 大而且昂贵，因而不希望把它的高价和大型的形式设置到所需的地点。相反，光谱监控器 192 经设计成能同时进行光谱分析和数据传输，并在完成一个光信号的分号后同时开始分析下一个光谱而不需等待数据传输。通常，由于光谱监控器 192 对于光信号的光谱分析和数据传输需要同样长的时间，就不能通过在完成数据传输后开始分析下一个光信号来有效地加长处理时间。于是，控制 1×4 光开关 204 在一旦完成此光信号的光谱分析后便立即变换到下一个光信号。

OADM 装置的控制 CPU193 包含有 ROM，存储着许多 RF 信号的施加状态，例如当 AOTF 分出光信号时将 RF 信号施加给 AOTF180 的数据，此 RF 信号在其通过时的数据，等等。通过改变施加到 AOTF180 的 RF 信号的振荡频率的设定值，可以应用 ROM 中的数据立即施加预定的 RF 频率和功率。

整个 AOTF 是依下述顺序控制。这就是，首先驱动 AOTF182。

当此操作变得稳定的，即驱动下一 AOTF180。当 AOTF180 的作业变得稳定，则由光接收机 184 接收分出光信号。然后驱动 AOTF196 和 200。当这两者的作业变得稳定，即驱动光调制器 197 并发送一插入的光信号。

5 图 21 表明了将 RF 信号施加给 AOTF 的方法。

当把 RF 信号突加到 AOTF，就会立即选出和输出对应的光信号。由于 AOTF 中有很大的损耗，在 AOTF 之后通常插设光放大器。在这种结构下，当 AOTF 突然选择光信号时，就会有强光突然输入光放大器而发生光涌现象。为了避免这种现象，输入光放大器的光应取 50
10 - 60ms 作为上升时间。然后，RF 信号的功率在 50 - 60ms 内渐增到全电平。这时，由于 AOTF 选择的光的功率——对应于 RF 信号的功率，光的功率也在 50 - 60ms 内升高。这一升高 RF 信号的方法可以均衡地升高模拟系统中相应的信号，但是考虑到数控，将此 50 - 60ms 分成 n (n 为自然数) 步来升高 RF 信号。值 n 设定成可以设计出最简
15 单的可能电路来获取最佳效果。

在如上所述采用 AOTF 的 OADM 中，可以期望进行下述的提高功能的方法。

具体地说，在最初安装 OADM 时，固定拟插入的信道（波长）和拟分出的信道（波长）使之作为信道固定型的 OADM。这种应用方式
20 可以通过把拟插入 AOTF10 的 RF 信号频率 f_1 、 f_2 、... f_n 加以固定来实现。由于这种分插信道固定，原则上说就不必改变 RF 信号频率。于是易于控制 OADM。

然后，在要求任选波长型的 OADM 能分插任选的信道（波长）时，就可以通过只提供能改变拟施加到 AOTF10 的 RF 信号频率 f_1 、
25 f_2 、... f_n 的功能来实现。例如，在图 2 中，当拟分出的信道改变时，拟插入到 AOTF10 的 RF 信号频率可以根据所改变的信道（波长）来改变。此外，在改变拟插入的信道时，设置一包括激光二极管 LD19 和 8×8 耦合器的激光器组件。然后，可以由 AOTF14 来调谐从 8×8 耦合器输出的 WDM 光（波长复用光）所选择的波长。在这种情形下，

可以根据所选的波长来改变施加到 AOTF14 的 RF 信号频率。

这样，几乎不用改变 OADM 的硬件，采用 AOTF 和激光组件就可以实现把固定波长型升高为任选波长型。

图 22 示明了 AOTF 的结构。

5 此 AOTF 具有在铌酸锂基本上的如图 2 中实线所示的光波导。在这些波导的相交处设有偏振光分束器 PBS。将 RF 信号施加到形成类似结合的梳状件的称作 IDT（叉指式变换器）的电极上。当把具有预定频率的 RF 信号施加到 IDT，就会产生一表面声波（SAW）在基片表面上传播。此 SAW 传播的影响到达此基片上的光波导，周期性的
10 改变折射率并在基片中形成类似薄波片的结构。SAW 波导是涂布到基片表面上的金属膜。SAW 即沿此波导传播。

由此光输入端输入的光信号包括 TE 模和 TM 模相组合的形式。它由 PBS1 分成 TM 模和 TE 模，它们通过各自的波导传播。要是在输入的光信号中存在着具有这种波长的光并同 SAW 相互作用，则由于上述薄波片的作用，此 TE 模便同 TM 模互换。于是，此波长在 PBS2
15 中的前进方向便改变，而此信号输出分出的光信号。另一方面，所具波长异于与此 SAW 相互作用的波长的光则随机地受到 SAW 的影响。结果，此 TE 模就不会与 TM 模互换，而具有这种波长的光则作为直通光输出到光输出端。

20 类似地，当输入图 22 所示的插入光信号时，它便分支成 TE 模和 TM 模并在 PBS1 中传输。由于插入光信号具有与分出光信号相同的波长，它就和 SAW 相互作用。TE 模与 TM 模相互交换而此信号作为光输出而输出。这样便进行了光信号的插入作业。

由于铌酸锂具有双折射特性，在波导中，TE 模和 TM 模的传输
25 速度不同。于是，具有不造成模互换的波长的光作为具有偏振模色散的光输出而传播。另一方面，具有造成模互换的波长的光则在 TE 模中的传输与在 TM 模中的传输有近似相同的时间。

在上述的 AOTF 中，通过适当地选择波导的参数（长度，等等），可以减少光的损耗或可以变窄选择特性曲线的波长宽度。变窄了选择

特性曲线的波长就可减少串音。通过斜向地安排 SAW 波导可以减小波长选择特性曲线的旁瓣和只需 RF 信号较小的功率。此外，通过设计好 PBS 可以消除损耗对偏振的依赖性。

图 23 示明了图 22 所示 AOTF 的传输特性

5 图 23 示明了分出口的波长选择特性或传输特性曲线。如图 23 所示，产生了许多旁瓣，半宽度 (FWHM) 为 0.65nm。这样，按图 22 所示的结构就难以选择这样的波长，使得在按 ITU - T G. 692 所规定的 0.8nm 间隔网格布置的波长下能有较小的串音。

10 图 24A 和 24B 示明了当图 22 所示的 AOTF 设计成基片上的三级单片式 AOTF 时的波长选择特性，而此波长是用具有相同频率的 SAW 选择的。

图 24A 示明了当具有半宽度 0.65 的 1 级 AOTF 作为三级级联连接时的增宽的波长选择特性。图 24B 是放大图 24A 求得的，示明了 0.39nm 的半宽度。根据图 24B，可以以高的精度选择按 0.8nm 间隔网格布置的光信号，并且能通过调节旁瓣的位置来适当地调节串音。

于是，用于图 6-13 所示 OADM 装置中的 AOTF 都是 3 级单片式 AOTF，并且是以采用具有相同频率的 SAW 来进行波长选择作业的结构为基础。

图 25 示明了 AOTF 的与温度有关的操作技术。

20 AOTF 对温度是敏感的，温度升高 1℃，所选择的波长便会位移 0.73nm。在 WDM 系统，调节信道的光信号按 0.8nm 间隔设置，而 AOTF 在温度升高 1℃ 时选择相邻网格的波长。于是，当 AOTF 用于 WDM 系统的 OADM 装置中时，应把温度变化反馈给 RF 信号或温度控制装置。即使是设有温度控制装置使 AOTF 保持恒温，也难使 AOTF
25 的表面严格地保持恒温，这是由于当把 Peltier 元件等设置在 AOTF 表面以外的地方时会产生温度梯度。此表面的温度是可以直接控制的。但是难以在 AOTF 的表面上设置 Peltier 元件一类的元件来升降温度。此外，由于温度传感器必须要能精确地测量 AOTF 的表面温度，就难以合适地安装传统的温度传感器。但是由于 SAW 是在 AOTF 的

表面上传播，因而会受到表面温度变化的显著影响，于是必需要有某种方法来精确地测定表面温度并对应于此表面温度作出合适的反馈。

为此，根据本实施例，在 AOTF 的表面上形成一谐振器来测量此表面的温度，因为这样谐振器的频率更敏感温度的改变。图 25 示明了用于这一目的的结构。

上述谐振器可以设置一 IDT，此 IDT 具有周期 Λ 以及在此三级 AOTF 附近的前述基片表面上的 N 对电极。振荡电路 240 发送一信号，使得用于此谐振器的 IDT 可以振荡而使谐振器谐振。频率计数器 241 计数此谐振器在振荡电路 240 振荡发出的信号频率下的谐振频率，并据此频率求得 AOTF 的表面温度。有关此表面温度的信息反馈到驱动电路 242，后者发送一 RF 信号给 AOTF 的 IDT。驱动电路 242 根据温度变化计算选择的波长的位移，控制施加给 AOTF 的 RF 信号的频率，并进行调节使得 AOTF 能正确地选择具有所需波长的光信号。

图 26 示明此谐振器的温度关系。

图 26 中，当 IDT 的周期为 $20\mu\text{m}$ 而电极对数为 200 时，频率的变化在 $20 - 70^\circ\text{C}$ 的广范围内可以线性地表示。图 26 中，谐振器的温度系数为 $-14.1 \text{ KHz}/^\circ\text{C}$ 。谐振器的频率可于电路中探测。假定一通常谐振器的谐振频率是 180 MHz 而此谐振器的谐振频率是用 1 秒门测量时，则此温度可以按 1/10000 的精度测出。

于是，根据上述技术，AOTF 的表面温度可高精度地测量。结果，要是 RF 信号的频率能根据所测量的谐振频率调节，则能高精度地控制传输特性。

如上所述，通过改变 RF 信号的频率可以补偿所选波长因 AOTF 温度的变化而变化。还能够通过控制 AOTF 的温度来控制所选择的波长。这时的 Peltier 元件则设于 AOTF 的表面附近，并且改变温度得以控制所选波长。在这种情形下，与采用 RF 信号不同，通过滑移所有的选择波长而能使波长偏移。这样，所述技术就能有效地用于因化致整个所选波长偏移的情形。

图 27A、27B、28A 与 28B 示明了 AOTF 选择特性的波动以及消

除这种波动的方法。

在这4个图中，AOTF所选择的波长数设定为4，在用于波长选择的3级AOTF各级中产生具有相同频率分量的SAW。由于AOTF中产生的SAW不是理想的正弦波，在此频率分量中就会出现旁瓣而产生选择波长的串音。当AOTF所选择的波长相互远离，旁瓣就会很小，产生的串音可以略去。但当这些波长相互接近，输出光信号的功率通过串音就会产生拍。此外，AOTF的SAW不是驻波，但是作为行波通过AOTF传输。于是，由于Doppler效应使光信号产生波的移位。根据本实施例，施加给AOTF的RF信号的相位受控能将此拍等消除。

图27A和27B示明在3级AOTF的各级中产生的SAW无相差的情形。图27A示明，所产生的用来选择4信道的SAW相互间具有 0° 相差。

图27B(1)说明AOTF选择的波长特性曲线随时间变化的情形，此波长特性曲线的垂直轴线取线性标度。图27B(2)以分贝表示图27B(1)中的垂直轴线。水平轴线表示波长。图27B(3)和27B(4)表在线性和分贝的标度下在直通口一侧的波长选择特性。

如图27B(1) - 27B(4)清楚地表明，此波长选择特性产生随时间的波动。当分出具有一与所选波长对应的波长的光信号时，上述波动就产生具有所选波长的光信号的功率波动。图27B(5)表明了所选波长随时间产生波动的状态。图27B(6)表明了分出的光波长在直通口到直通端的漏泄。

如图27(B)所示，当在3级AOTF中产生了用于波长选择的SAW时，所选择波长的功率产生波动。要是此波动增大，强度调制的光信号就不能正常地在接收端接收。

图28A和28B表明了防止AOTF选择特性波动的方法。

如图28A所示，当于3级AOTF中选择4个信道时，用于选择各信道的SAW的相位便周期性地改变。图28B表明了此SAW在受到相位控制时的波长选择特性。如图28B(1) - 28B(4)所示，波

长选择特性随时间的波动已被抑制。如图 27A 和 27B 所示, 图 27B(1) 和 27B(3) 表明了波长选择特性, 其中的垂直轴线取线性标度。图 27B(2) 和 27B(4) 表明修改的波长选择特性随时间的变化, 这里用垂直线轴以分贝表示波长选择特性。

5 图 28B(5) 表明所选波长输出到分出口的功率电平变化。图 28B(5) 表明, 在与图 27B(5) 相比较时, 清楚地显示出功率的波动已被抑制。这一功率电平表明离 0 分贝稍有衰减。这说明通过相位控制来抑制输出到分出口的光信号电平的变化产生了损耗。图 28B(6) 表明具有所选波长的光信号在直通口的漏泄。

10 这样, 当把 SAW 加到 AOTF, 通过控制在 3 级 AOTF 各级产生的 SAW 相位, 就可以抑制分出光信号的功率所引起的拍。此外, 可以在直通口防止大量的光漏泄, 由此可以改进波长选择特性。

15 如上所述, AOTF 的波长选择特性不仅可以通过设计三级 AOTF, 而且还可通过控制 RF 信号的相位来改变各级产生的 SAW 相位使其简化。于是, 在由 AOTF 选择波长时, 通过抑制所产生的拍, 就可正确地接收强度调制的光信号。

图 29 示明 AOFT 驱动电路一般结构的第一例。

20 在设计 AOTF 驱动电路时, 设置了所需个数的振荡器。这些振荡器的固定振荡频率对应于 RF 信号的振荡频率。为了驱动 AOTF1, 适当地选择振荡的 RF 信号来施加到 AOTF 上。

图 29 中, 对信道 1、2、3 分别设有振荡器 OSC1、OSC2、OSC3。这样, 对于此波分复用系统的所有信道设置有振荡器 OSC1 - OSCn。

25 振荡器 OSC1 - n 是固定频率振荡器。由这些振荡器发出的信号由分频器分成三个部分(此 AOTF 是 3 级装置, 在一个 AOTF 中存在有三个施加有 RF 信号的 IDT)。其中之一无相位延迟地输入一耦合器。另一个设有相位延迟装置来延迟 RF 信号。在图 29 中, 由一个相位延迟装置延迟的相位是 120° 。

来自振荡器 OSC1 的 RF 信号为分频器分支。从口 1 输出的 RF 信号发送到耦合器而无相位延迟, 并提供给第一级的 AOTF # 1。由口

2 输出的 RF 信号相位延迟 120° ，输入耦合器，然后施加给第二级的 AOTF # 2。从口 3 输出的 RF 信号依 120° 二倍地延迟，即相位延迟 240° ，然后输入耦合器，施加给第三级的 AOTF # 3。

类似地，从用于选择信道 2 的振荡器 OSC2 输出的 RF 信号为分
5 频器分支。从口 1 输出的信号输入耦合器无任何相位延迟，然后施加给 AOTF # 1。从口 2 输出的 RF 信号相位延迟 240° ，输入耦合器，施加给 AOTF # 2。

来自用于信道 3 的振荡器 OSC3 的 RF 信号为分频器分支，然后
10 施加给第一至三级的 AOTF # 1 至 # 3，而对于口 1 至 3 的任一信号无相位延迟。

类似地，在振荡器 OSC1 - 3 重复地执行相位延迟，振荡器 OSC1 - n 连接耦合器，然后将 RF 信号加给第一至三级的 AOTF # 1 - # 3 中的各个。

上述相位延迟装置可以有一根长的电缆，可以设有改变用来恢复
15 信号的位置的变换器，或可以配备有延迟线路。但当应用变换器时，阻抗就与用来恢复信号的位置有关。因而这不是可推荐的方法。此外，延迟线路则可能有损于 RF 信号的波长。结果，根据本实施例，用较长的电缆来实现相位延迟。在采用电缆时，在 RF 信号为 170MHz 时延迟此信号 120° 只需 35cm 长；而在延迟此信号 240° 时则需 70cm 长。
20 能够解决有关问题的其他任何方法都是可以采用的。

图 30 示明了 AOTF 驱动电路的一般结构的第二例。

在图 29 中，给各个信道设置了振荡器而得以分出光信号的任意
25 波长。这样，要是一振荡器所具有的波长不对应于分出的光信号的波长，它就不会被利用。因此，这种结构包括无效的振荡器。

由于电信号的振荡器通常用来改变振荡频率，故可以设置振荡器
用于拟分出的各个波长而在此拟分出的光信号的波长改变时，可以改变此振荡器的振荡频率。图 30 表明了这种应用的一般结构。

假定本例中拟分出的光信号的波长数是 8。这时只设置振荡器
OSC1 - 8。由振荡器 1 - 8 的各个输出的 RF 信号分成拟施加到三级

AOTF 之一的三个部分。此 3 分支的 RF 信号由后一分频器再分支成三部分。这样，由后一分频器分成三部分的 RF 信号便处理成无相位延迟信号、 120° 延迟信号和 240° 延迟信号，然后输入一开关。此开关根据拟由 AOTF 等选择的波长数，选择要由振荡器 OSC1 加到 AOTF # 1 - # 3 各级的相位。

图 30 只示明了振荡器 OSC1 所用的结构，但振荡器 OSC2 - 8 中任一结构都与此全同。借助这样设计的结构，由各振荡器 OSC1 - 8 所发出的 RF 信号可以加给 AOTF # 1 - # 3 中的各级。于是，即使振荡频率有改变，也可把经过适当相位控制的 RF 信号施加给 AOTF，由此能使具有所选波长的光信号的功率中的拍光滑化。

在以上的描述中，相位延迟设定为 120° 单位，但应该设定最值得推荐的相位延迟，且不限于 120° 。

图 31A 和 31B 示明了包括 OADM 装置的 OADM 系统的设计。

适用于 WDM 传输系统的光放大器可以是已投入实用并在 $1.5\mu\text{m}$ 波段具有很广增益带宽的铒掺杂光纤放大器 (EDFA)。但当 $1.5\mu\text{m}$ 波段的信号以高速传输过世界上最普遍的，现有的 $1.3\mu\text{m}$ 波段零色散的单模光纤 (SMF) 传输线路时，或是当非零色散移位光纤 (NZ-DSF) 传输线路用于可资利用的波段时，由于传输线路的波长色散特性或此色散特性与光纤上产生的非线性效应之间的相互作用，会使传输波形失真。由于与 WDM 传输系统中色散特性相互反应造成的波形恶化的非线性效应可以是：即使只有一个传输波长也会产生的自相位调节效应 (SPM)，以及在有多个波长时产生的交叉相位调节效应。SPM 和 XPM 两者都需要对传输光信号的波长线性调频脉冲。

光纤色散特性的影响是限制传输速度和传输距离的重要因素。因之应采取各种措施来抑制这种影响。

实现这种抑制的方法之一是在传输线路中插入一色散补偿器，后者的色散是传输线路中产生的色散的相反数，以减少整个传输线路中的色散。此色散补偿器可以设计成采用所具色散、特性与传输线路的色散特性相反的光纤光栅、光干涉计、光纤，等等。可以实现的其它

方法是，在传输装置上施加预线性调频脉冲（在基带信号的光强调制分量之外，有目的的施加光相位或光频调制来抑制波长色散的扩展），以及将此预线性调频脉冲与前述色散补偿器相结合。

在一实际系统中，会引起传输线路中色散值的波动，非线性因素，在传输线路中具有各种波长的输入光的功率，会显著影响非线性效应的效率。即使发生这种波动，也未必影响传输特性。在光波网络中，由于各波长分支且插入任意的节点中，传输路由就与各个波长有关。在这种情形下，必须保持传输质量。

于是，根据这一实施例，预线性调频脉冲与色散补偿器相结合，过通最优化色散补偿器的插入位置、色散补偿量以及发送装置中的预线性调频脉冲量（ α 参数），解决了前述问题。

下面描述的是一些实际例子。

如图 31A 所示，此 OADM 系统连接通过传输线路的发送装置和接收装置，同时有光放大器、色散补偿装置和 OADM 节点连接在此传输线路上。此发送装置设有 E/O 装置，将各个电信号变换为具有波长 $\lambda_1 - \lambda_n$ 的光信号。由上述装置发生的光信号在由复用器 MUX 波长复用后传送出。此波长复用的光信号由光放大器放大，由色散补偿装置补偿色散，再次由光放大器放得这样所得的信号，然后通过传输线路送出。在此假设通过用到 4 个杆档（在两个节点例如在两个光放大器或两个 OADM 装置间的传输线路称作为“杆档”）而色散量为 16 ps/nm/km 的 80km 的传输线路（在发送站和接收站之间有三个节点。在图 31A 所示情形中插入有两个组合结构，每一个包括两个光放大器和一个色散补偿装置作为节点，以及一个 OADM 节点），这一传输装置的色散量例如是 -700 ps/nm。作为节点插入此传输线路中的色散补偿装置的色散补偿量例如是 -1200 ps/nm。接收装置包括在两个光放大器之间的色散补偿装置、用来对波长复用光信号进行波长去复用的去复用器 DMUX、以及用来将具有去复用波长的光信号变换为电信号的 O/E 装置。本例中，此接收装置的色散补偿装置的色散补偿量例如是 -1200 ps/nm。此时，接收装置的容限是 ± 200 ps/nm。

这样，当各个色散补偿装置的色散补偿量设定后，就能在通过 4 个杆档传输 80km 的波分复用系统中进行色散补偿。

图 31B 示明了色散补偿装置与光放大器组合形式的变型例。

图 31B 所示的第一例的结构中，色散补偿装置通常表现为一种有大的损耗的非线性效应。首先，设有用来把光信号的电平放大到预定电平的⁵第一级光放大器，用以补偿此色散补偿装置的损耗和防止其中的非线性效应。放大到预定电平的光信号输入色散的补偿装置中补偿色散，然后再传输过例如 80km，再放大到所需电平而传送到下一个光中继器。

¹⁰ 图 31B 中所示的第二个例子的结构是用在色散补偿装置的损耗很小的情形。

传送来的未经放大的光信号输入到色散补偿装置中，经色散补偿后由光放大器放大。在这种情形，色散补偿装置的损耗很小。于是，由于此通过色散补偿装置的光信号电平并不是足够地小，此光信号在¹⁵其为光放大器放大后的最终的 SN 比并不太差。

图 31B 所示的第三例的结构中，色散补偿装置由于采用了光纤光栅而表现出小的非线性效应。

这时，光信号首先由光放大器放大，然后输入色散补偿装置。此光放大器使得光信号具有大的功率。但由于此色散补偿装置表现出小的²⁰非线性效应，就极少有可能由此非线性效应导致波形失真。于是，可在第一级设置光放大器。即然这一光放大器首先是与大损耗的色散补偿装置放大了光信号，在此光信号通过色散补偿器后就能保持可接受的 SN 比。

色散补偿装置通常包括色散补偿光纤。但色散补偿光纤产生很大的²⁵损耗，而且在输入的光信号的电平高于一预定值时会出现非线性效应。于是光信号在输入之前应放大到低于一预定值的电平，使此光信号能在色散补之后放大传输。于是，在把色散补偿光纤用作色散补偿装置时，建议采用图 31B 所示的第一种结构。

图 32A 与 32B 示明 OADM 装置中色散补偿器的结构。

在 OADM 装置中, 设有色散补偿器, 使得色散补偿能以同于光信号从发送装置到接收装置的方式进行, 此光信号然后传送到支站。另一方面, 拟插入的和拟从支站经过 OADM 装置传送到接收装置的光信号, 则同于光信号从图 31A 所示发送装置传送到它的接收装置时所受到的色散装置的影响。

在图 32A, 从发送端传送出的光信号是由这样的色散补偿装置进行色散补偿的, 此装置具有的色散量 -1200 ps/nm 同于图 30 所示传输线路中设置的色散补偿装置的, 然后此光信号输入 OADM 装置。直通光信号则如不存在 OADM 装置那样地原样传播。另一方面, 拟分出的光信号也接收 -1200 ps/nm 的色散补偿, 然后分出并传送到支站。这样, 当它为支站接收, 它就会与从图 31A 所示发送装置传送到接收装置后被接收的光信号相同, 接受相同的色散补偿。另一方面, 对于拟插入的光信号, 则在插入口侧设置一色散补偿装置, 它相当于图 31A 发送机中所设具有色散量 -700 ps/nm 的色散补偿装置, 插入之后, 同于其它的光信号进行色散补偿。这样, 由支站插入的光信号所接受的色散补偿同于图 31A 所示的从发送装置传送到接收装置的光信号在其传送到接收装置时所接受的色散补偿。

于是在网络中设置了补偿装置, 使得通过 OADM 装置的光信号以及拟插入和分出的光信号, 能够在其传送到各自的终端站时以相同的方式补偿色散。

图 32B 示明了 OADM 装置的另一种构型。

此 OADM 装置包括: 分支电路如 AOTF 等, 用来分出光信号; 以及插入电路如光耦合器、AOTF、波长复用器, 等等。如前面参看图 32B 所述, 拟插入和分出的光信号与从发送装置传送到接收装置的光信号相同, 进行了色散补偿。于是, 在 OADM 装置之前设置一具有补偿量为 -1200 ps/nm 的色散补偿装置, 同时在插入端设有一补偿量为 -700 ps/nm 的色散补偿装置。图 32B 中所示的结构包括一专用于分出信号的 AOTF, 同时由光耦合器进行插入作业, 这实际上相当于图 6-13 所示的 OADM 装置。

图 33A 至 34B 例示了设在发送装置、接收装置与 OADM 装置插入和分出端的色散补偿装置结构,在发送装置、接收装置与 OADM 装置的插入和分出端,这种补偿量最好能在进行恢复因时间和损伤造成恶化的过程中调节。因此,需把色散补偿装置设计成能改变色散量。

5 图 33A 所示的结构中,设有具备不同补偿量的色散补偿装置 1-n 以应用光耦合器来均衡地分支光信号,对于各个色散补偿装置设有光开关以便能够选择任一色散补偿装置。于是,可以通过具有不同补偿量的色散补偿装置 1-n 中的任何一个来输出光信号。这样,通过选择最佳的色散补偿装置,可以接受传输线路中传输特性的改变。

10 图 33B 所示的结构中设有具备不同补偿量的色散补偿装置 1-n,并在输出侧设有一个 $1 \times n$ 的开关。借助这种结构,就不需为各个色散补偿装置 1-n 来设置光开关。输入的光信号由光耦合器分支,均衡地输入用于色散补偿的所有色散补偿装置中。这时可以选取经最佳色散补偿信号并用 $1 \times n$ 光开关输出。

15 图 34A 示明的结构中在输入端设有 $1 \times n$ 光开关,光信号输入到色散补偿装置 1-n 的可以最佳补偿色散的任何一之中。光信号分派给由此 $1 \times n$ 光开关所选择的光路中,通过一相应的色散装置,经光耦合器输出。

图 34B 例示了取代光耦合器的 $1 \times n$ 光开关。

20 输入光信号的光路由 $1 \times n$ 开关确定,光信号输入色散补偿装置 1-n 中之一。输出端的 $1 \times n$ 开关开关着光路,使得来自已输入光信号的色散补偿装置的光信号能通过这些光路然后输出。

25 图 34A 和 34B 所示的结构与图 33A 和 33B 所示的结构相比,能减少光信号的功率减小。这就是说,在图 33A 与 33B 中,输入的光信号是均匀分支的而与其是否输入到色散补偿装置无关。于是,功率就因这种分支而减小。但在图 34A 和 34B 所示的结构中,此 $1 \times n$ 开关将输入信号的全部功率传送到色散补偿装置 1-n 中之一。于是没有可能分支光信号的功率把它传送到实际不用的光路中。

图 35 - 38 例示了色散补偿结构的变型。

图 35 示明了采用光开关或光耦合器 340 的例子。在此结构中，具有相同或不同色散量的例如色散补偿光纤之类的色散补偿装置串联到一起，光信号可以使其通过选定个数的色散补偿装置而让它的色散补偿最佳化。尽管输入的光信号通过色散补偿装置，但光路则可由设在各色散装置之后的光开关 341 改变。然后，光信号传送到光开关或光耦合器 340 后输出。光信号所通过的色散补偿装置的个数取决于用什么样的开关变换光路，由此而改变待补偿的色散量。

图 36 示明了用来改变光信号所通过的色散补偿装置的个数与类型。输入的光信号通过光开关 350 变换：或是通过色散补偿装置或是绕过下一个色散补偿装置。光开关 350 设在各个串联的色散补偿装置之前，确定此光信号是否要通过设在各光开关之后的色散补偿装置。利用图 36 所示结构，形成了旁路。因此，光信号在其通过第二级的色散补偿装置时不需通过第一级处的色散补偿装置。结果，可以任意地设定色散补偿装置的色散补偿量。

图 37 例示了图 35 表明的结构的一种变型。在各色散补偿装置之后设有光耦合器，使光信号可以分支。在这种结构中，由所有类型的可能的色散补偿量进行了色散补偿的所有信号传送到各个光开关 360。当光开关 360 之一打开时，经最佳色散补偿的光信号便可传输至光开关或光耦合器 361。这样，所选出的最佳色散补偿的光信号就能从光开关或光耦合器 361 传送出。但在这种结构下，光信号由光耦合器 362 分支而不论此光信号是否传送到该光开关或光耦合器 361。结果，光信号的功率随着此信号传送到较后级的色散补偿装置而变小。

图 38 例示了图 37 所示结构的一种变型。在各个色散补偿装置之后设有光耦合器 370，通过各色散补偿装置补偿的光信号输入光开关 371。此光开关从进行过各色散补偿作业的光信号中选出最佳色散补偿的光信号。在这种情形下，光信号在其依序通过色散补偿装置的同时，由于为后级的光耦合器 370 分支而使功率减小。

图 39 与 40 示明这种色散补偿和波形恶化的特性曲线。

图 39 示明当一光信号是 8 波长复用光信号通过 4 个杆档以

10Gbps 的传输速度传输 80km 时的波形恶化。输入此传输线路（单模光纤：SMF）的功率平均为每信道 + 10dBm。在发送侧以 α 参数 = -1 进行了预线性调频。此发送端并未采用色散补偿光纤，而中继器与接收端则采用具有相同色散补偿量的色散光纤进行色散补偿。

- 5 ISI 恶化量是指因符号间干扰而恶化的量，同时表明一信号在放大方向的恶化程度。建议此 ISI 恶化量应接近 0%。相位容限是指一信号在相位方向的恶化量，例如在一光信号的通/断的时间方向中的位移量。建议此相位容限接近 100%。

10 假定一光信号的恶化量容限在 ISI 恶化量中为 10%，在相位容限中为 70%。在图 39 中，于 ISI 恶化量为 10% 处下凸部分的宽度对各个信道是从约 1000 至约 1200 ps/nm/装置。另一方面，在相位容限为 70% 处上凸部分的宽度则是从约 1150 至 1300 ps/nm/装置。

上述两凸出部分的重叠部则指色散补偿量的容限。容限宽度最好较宽，但图 39 表示的是很窄的宽度。

- 15 图 40 表明发送台与接收台有相同的色散补偿量。中继器的色散补偿量是发送台或接收台的两倍。发射台按 α 参数 = +1 进行线性预调频。

图 40 中，容限的宽度不易掌握。但在发送侧，进行了色散补偿而此 α 参数从事了正的预线性调频，因此延伸了此色散容限。

- 20 图 40 表明了一种较好的曲线。

图 41A 和 41B 表明了当相位容限 $\geq 70\%$ 时的色散容限。

图 41A 表明以 α 参数 = +1 在发送侧的预线性调频。图 41B 表明了以 α 参数 = -1 在发送侧的预线性调频。

- 25 在图 41A 与 41B 所示的情形中，是在发送侧进行预线性调频。
在图 41A 和 41B 中，光信号是采用 16 波长复用信号以 10 Gbps 的传输速度通过 4 个杆档传送的。在图 41A 和 41B 中，70% 的相位容限的上限指出在曲线图的上部，而下限则指出在曲线图的下部。此上限与下限间的范围即是色散容限。如图 41B 所示，当在发送侧进行负预线性调频时，前述上限几乎等于下限，这样就只有极小的容限。另一方

面，当如图 41A 所示于发送侧进行正的线性调频时，则在此上下限之间就有很大的范围。大的色散容限说明光信号可以恒定的传输特性传送而与传输线路的杆档无关，虽然中继器（在线放大器）的色散补偿量保持不变。这表明很大的容限而不必要改变在线放大器的色散补偿量，即使当传输线路因分支和插入光信号与进行恢复处理而改变了它的杆档长度时，以及当光信号的光路由于传输线路的恶化变长而传输线路的长度仍然相同时。这是在实际设计系统时的优点。

下面说明在用 OADM 装置设计一网络时所需的冗余结构的例子。

10 图 42 表明 2 光纤 BLSR 的 OADM 节点的结构。

下面参看图 42 说明用于复用 32 波的波分复用系统例。在此 BLSR 中，一半的波长信道供现用（工作），另一半则供备用（保护），以形成具有上行传输线路和下行传输线路的 2 光纤冗余结构。例如在图 42 中，从西到东的通信中设定了现用的波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ ，而在从东到西的通信中设定了备用的波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 。

一般，来自西方的光信号从一 1×2 耦合器 410 通过，经由一光环回开关 411，输入采用现用波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的波长分插装置 412。从波长分插装置 412 输出的光信号则通过光环回开关 413 和一 1×2 耦合器 414 传送到传输线上。类似地，当一光信号从东传送到西时，它从 1×2 耦合器 419 输出，通过光环回开关 418 到达波长分插装置 417。此波长分插装置 417 把波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 供当现用。来自波长分插装置 417 的光信号通过光环回开关 416 和 1×2 耦合器 415 输出到西端。波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 恒定地载有与波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 所载的相同的信息。

25 如图 43 所示，要是在西端出现了光缆中断，而光信号不能传送到西端或是西端不能接收到光信号时，就由波长分插装置 412 的现用器件处理从东开始的具有波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的备用线路，同时由波长分插装置 417 的现用器件处理具有波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 的现用线路。这就是说，从东端发送出的光信号是从 1×2 耦合器 419 发送到光环回开关 418 以及光环回开关 411 的。光环回开关 411 中断了始于西端的光路而从

1×2 耦合器 419 将光信号传送给波长分插装置 412。波分插装置 412 于现用的器件中处理具有波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的光信号，并把它通过光环回开关 413 和 1×2 耦合器 414 传送到东端。另一来自 1×2 耦合器 419 的光信号通过光环回开关 418 输入波长分插装置 417，同时由现用器件处理和输出具有波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 的光学信号。从波长分插装置 417 输出的光信号的光路通过光环回开关 416 开关，而把光信号从 1×2 耦合器输送到东端。

如图 44 所示，当光缆在东端中断时，即执行上述过程。但是，光环回开关 418 执行光环回开关 416 的作业，光环回开关 413 执行光环回开关 411 的作业。

如图 44 所示，为波长分插装置 412 所用的当前和备用的波长即为波长分插装置 417 所用，而以现用的和备用的相互交换，使得在光缆中断而应环回光信号时不必变换光信号的波长。于是可以简化装置的结构，进而能降低整个系统的成本。

图 44 所示装置的结构以名词 BLSR（双向线路开关环）表述，并应用于环形网络（示明于图 45 和 46 中）。

图 45 示明通常作业中的环形网络。OADM 节点 A、B、C、D 处于与图 42 所示的 OADM 节点相同的状态下。图 46 示明了此环形网络的结构中光缆在 OADM 节点 A 的西端断开。这时如图 43 所示，光环回开关 411 与 416 进行 OADM 节点 A 的开关。在 OADM 节点 D 中，光环回开关 413 与 418 相互交换，如图 44 所示。

图 47 示明 4 光纤 BLSR 的 OADM 节点的结构。

在此 4 光纤 BLSR 中，将波长分插装置也设计成复式结构。在从西到东的线路中，设有现用的波长分插装置 423 和备用波长分插装置 424。在从东到西的线路中，则设有现用的波长分插装置 431 和备有波长分插装置 432。在此 4 光纤 BLSR 中，传输线路同样具有现用和备用结构。例如，32 信道并不分支成现用和备用的，但是用到了所有 32 波。

在 1+1 保护中，是把同样的信息通过现用传输线路和备用传输

线路传输的。在正常作业中，从西端输入的光信号通过光环回开关 426 和 427 输入光 1+1 保护开关 425 中。光 1+1 保护开关 425 开关电流和备用电路。通常，通过高 SN 比传送的光信号输入现用波长分插装置 423。从光 1+1 保护开关 425 输出的光信号输入现用波长分插装置 423 或备用波长分插装置 424，在此被处理然后输入光 1+1 保护开关 422。此光 1+1 保护开关 422 开关电流和备用结构，并将输出的光信号通过光环回开关 420 和 421 传送到东端。

从东传送到西的现用和备用的光信号通过光环回开关 434 和 435 以及 1+1 保护开关，分别输入现用波长分插装置 431 和备用波长分插装置 432，然后处理。从现用波长分插装置 431 和 432 输出的光信号通过光 1+1 保护开关 430 和光环回开关 428 与 429 传送到西端。

图 48 例示采用图 47 所示 OADM 节点的环形网络的结构。

当由于例如断裂使图 47 所示节点西方的全部光缆都不能使用时，则由此节点进行环回转送（参看图 49）。从东现用线路输入的光信号原样地输入现用波长分插装置 431。由现用波长分插装置 431 输出的光信号通过光 1+1 保护开关 420 输入光环回开关 428。但它不传送到西端而是通过备用线路传送到东端。另一方面，从东端的备用线路输入的光信号则通过光环回开关 345，转送到例如西端的光缆断裂处之后的光环回开关 426。光环回开关 426 将此转送的光信号通过光 1+1 保护开关输入现用波长分插装置 423。当此光信号从现用波长分插装置 423 输出，它便应用现用的路线通过光 1+1 保护开关 422 和光环回开关传送到东端。

以上所述的是图 49 所示 OADM 节点 A 的作业。

当东端所有的光缆都不能使用时便执行上述作业。但是，光环回开关 428 的作业是用光环回开关 420 进行，而光环回开关 435 和 426 的作业是由光 1+1 保护开关 427 和 434 进行。

以上所述的是图 49 所示的 OADM 节点 D 的作业。

在 4 光纤 BLSR 中，即使现用的波长分插装置故障且同时发明传输线路的断开，也能运转。例如假定如图 50 所示，现用波长分插装

置 423 出现故障，同时现用线路在朝向西端处断开。

此时，由光 1 + 1 保护开关 430，通过现用波长分插装置 431，将从东端起的现用线路输入光信号的线路变换为备用线路，然后通过光环回开关 429 传送到西端。另一方面，从西侧现用线路输入的光信号则由 1 + 1 保护开关 425 传送给备用波长分插装置 424。从波长分插装置 424 输出的信号则通过光 1 + 1 保护开关传送到光环回开关 420，然后用现行线路输出到东端。

这样，当传输线路的现用线路不能利用时，或是当现用波长分插装置不能利用时，前述光 1 + 1 保护开关 430 便变换线路和备用结构来克服故障。

图 51 表明了利用单根光纤进行双向传输的系统中的 2 光纤 BLSR 节点的结构。

在图 51 所示的结构下，从现用线路东端输入的光信号由 BD - WDM 耦合器 440 分支，输入用于处理波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ （假定波分复用数是 32）的波长分插装置 444。在本例中，BD - WDM 耦合器指双向 WDM 耦合器。由装置 444 输出的光信号通过光环回开关 446 输入 BD - WDM 耦合器 447，然后用现用线路输送到西端。另一方面，具有波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 且从西端用现用线路输入的光信号，则通过光环回开关 445 输入用来在现用波长分插装置中处理波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的装置 443 中。从装置 443 中输出的光信号与借助 BD - WDM 耦合器 440 通过光环回开关 441 向西端的光信号复用，然后通过现用线路传向东端。

这样，在用单根光纤进行双向传输时，用到了不同的波长而不增大与反向传播的光信号的干扰。例如在图 51 中，假定一从西传向东的信号具波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ ，而假定一从东到西的信号具有波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 。

在正常作业中的备用结构的工作与现用结构中的相同。但是，此备用的与现用的结构在所利用的波长方面则相互不同。这就是说，从西到东的光信号的波长是 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ ，而从东到西的光信号的波长是 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 。

假定如图 52 所示，在 OADM 节点西端的现用和备用两种传输线

路都不能使用。具有波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的光信号就利用备用线路从东端输入到 BD-WDM 耦合器 448, 然后通过光环回开关 450 转送到光环回开关 445。光环回开关 445 把此转送来的信号输入在现用波长分插装置中用来处理波长 $\lambda_1 - \lambda_{16}$ 的装置中。由装置 443 输出的光信号通过
5 光环回开关 441 输入 BD-WDM 耦合器 440, 然后用现用电路传送到东端。

另一方面, 使用现用线路从东端输入 BD-WDM 耦合器 440 的具有波长 $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ 的光信号, 则应用现用线路通过光环回开关 442 输入装置 444, 然后处理。从装置 444 输出的光信号则通过光环回开关
10 446 转送到光环回开关 449, 然后用备用电路通过 BD-WDM 耦合器 448 传送到东端。

此外, 如图 53 所示, 当 OADM 节点东端的现用和备用两种传输线路都不能使用时, 则可以进行与上述相同的作业。只是光环回开关 450 的作业是由光环回开关 453 执行, 而光环回开关 446 和 449 的作业由光环回开关 441 与 453 执行。
15

图 54 示明了应用图 15 所示 OADM 节点的环形网络的结构。图 55 例示了光缆在 OADM 节点 A 两端断开的情形, 这时在 OADM 节点 A 中, 光环回开关 445、446、449 与 450 与图 52 所示情形相同地工作。光环回开关 441、442、453 与 454 在 OADM 节点 D 中进行的工作与图 53 所示的情形相同。
20

按参看图 42-54 所描述的具有波长 $\lambda_1 - \lambda_{32}$ 的光信号所具的帧结构与北美 SONET OC-192 或 OC-48、OC-12 中的相当。

图 56 例示了光 1+1 保护开关。

OADM 节点设计成具有采用光 1+1 保护开关的冗余结构。当此
25 光 1+1 保护开关有故障时, 这种冗余结构并不能成功地起作用。因此, 这一光 1+1 保护开关本身也应取冗余设计。

从输入端输入的光信号由 2×1 耦合器 460 和 461 进行双分支, 然后输入门开关 462-465。通过门开关 462-465 的光信号从 2×1 耦合器 466 和 467 输出到输出端。当 2×1 耦合器 466 与 467 中之一出现

故障，则一组门开关 462 和 463 或一组门开关 464 和 465 保持敞开而其它一组保持闭合以传输光信号。若是 2×1 耦合器 460 和 461 中之一出现故障，则门开关 462 和 464 以及门开关 463 和 465 中的一组保持敞开而另一组保持闭合以传输光信号。

5 这样，通过开关门开关 462 - 465 就能进行合适的作业来在 2×1 耦合器 460、461、466 与 467 中的任何一个出现故障时，排除故障。

图 57A 与 57B 示明在光传输系统中应插入再生器时的原理。

如图 57A 所示，在光传输线路上设有光放大器 470 - 1 ~ 470 - 4。在连接上预定个数的光放大器 470 - 1 ~ 470 - 4 后，再生器 471 再生一
10 光信号。

图 57B 示明通过光放大器 470 - 1 ~ 470 - 4 传送的光信号的电平变化和 SN 比的恶化。如图 57B 所示，光信号的电平由光放大器 470 - 1 ~ 470 - 4 放大，并随此信号通过传输传播而衰减。这样，要是仅仅考虑光信号的电平，则于传输线路上按适当间隔设置光放大器。但
15 如图 57B 所示 SN 比的曲线图表明，称作为 ASE（放大的自发发射）的噪声积累于光放大器的光信号上。这样，SN 比便逐渐降低。随着这种恶化的继续，SN 比恶化的速度放慢。但在这种状态下，光信号的信息不能正确地读出。结果应在 SN 比出现了严重值之前用再生器 471 再生此光信号。再生器 471 将所接收的波长复用光信号去复用成
20 各个波长，用光接收机 OR 接收各个波长的光，在 3R 过程中产生一电信号，用光发送机 OS 将此电信号变换为光信号，然后传送这样形成的信号。将对各个波长再生的光信号相互复用而作为波长复用光信号通过传输线路再次传送。

上述提供再生器 471 的方法是把再生器 471 设于线性网络上，使
25 此再生器接收通过了预定个数光放大器的光信号。但在具有冗余结构的环形网络中，再生器的位置需作最佳确定，以便其在有备用线路可资利用时也能接收通过预定个数光放大器的光信号。通常，要是在少于 5 个例如 3 个放大器之后设有一个再生器，则备用线路可能不会成功地起作用。在这样的结构下虽可较早地再生光信号，但在网络中需

设置多个价昂和复杂的再生器。于是应在考虑网络的性能与成本上作最优化设计。

本发明实现了设计简单和价廉的 OADM 装置以及任选波长型的系统。

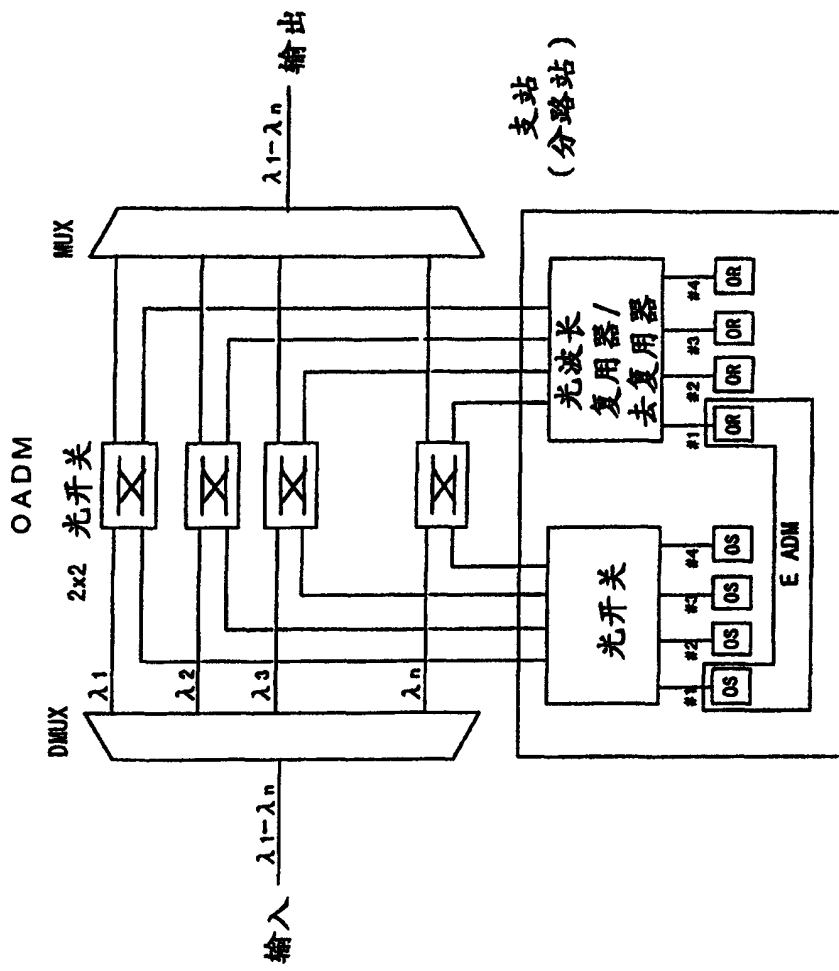


图 1 (现有技术)

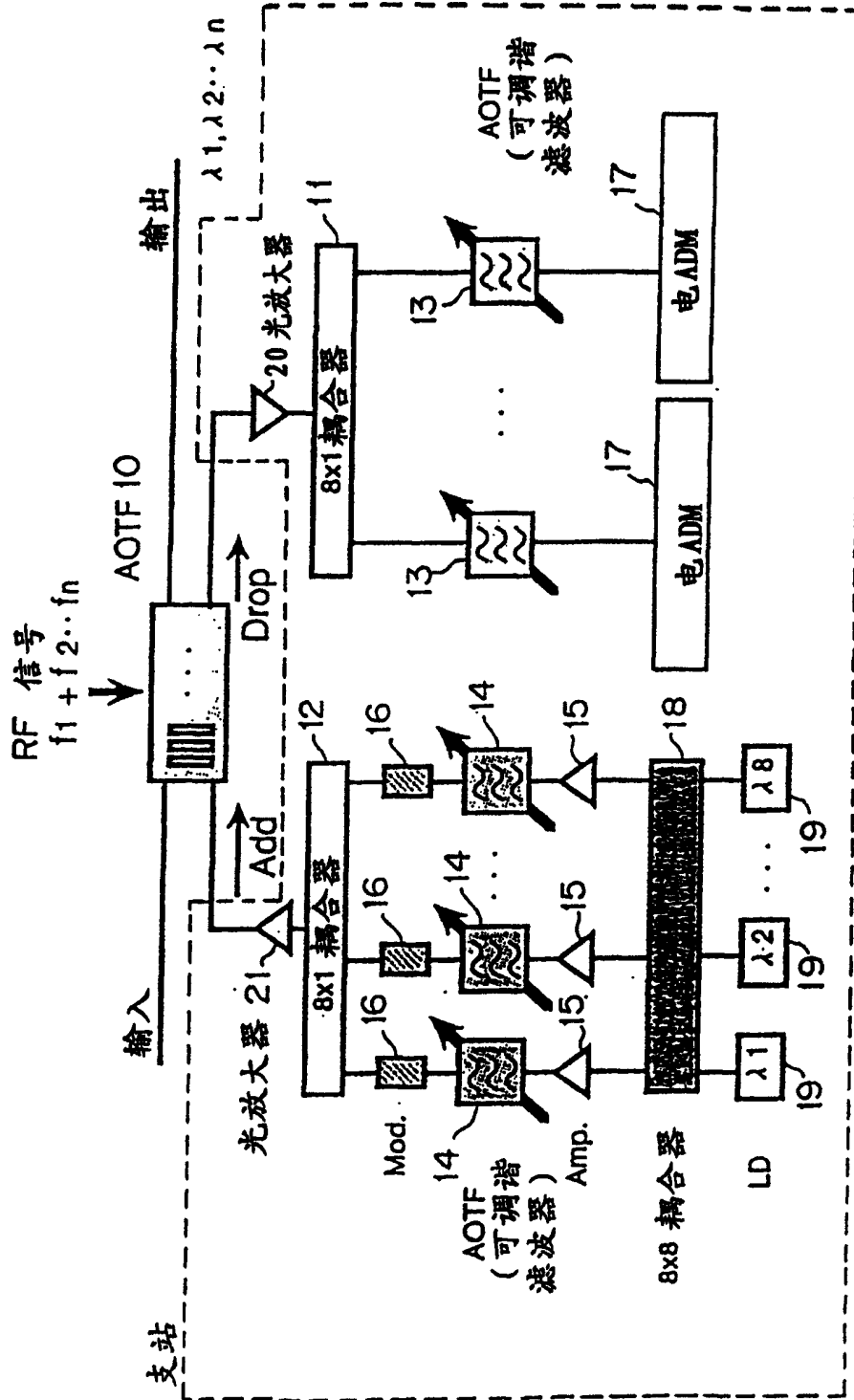


图2

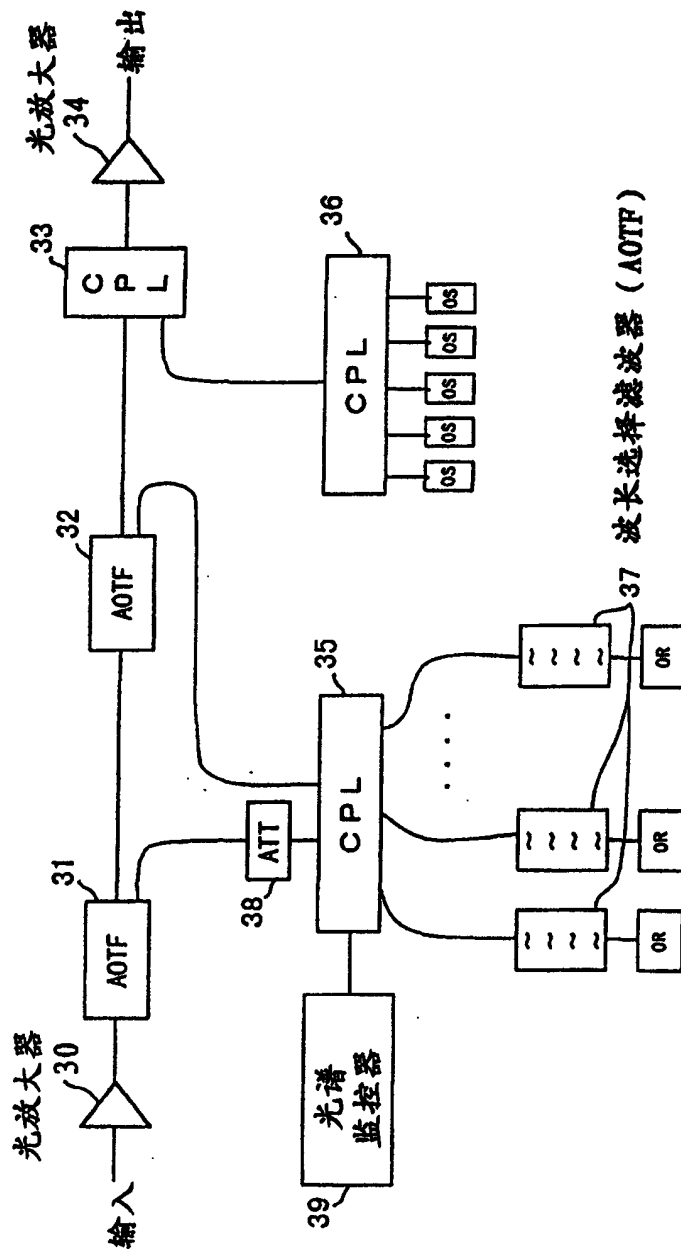


图3

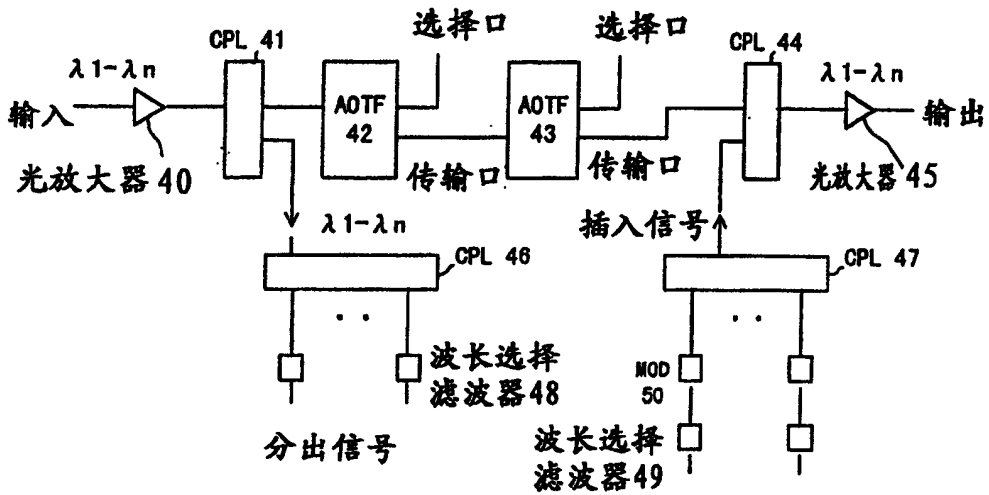


图 4A

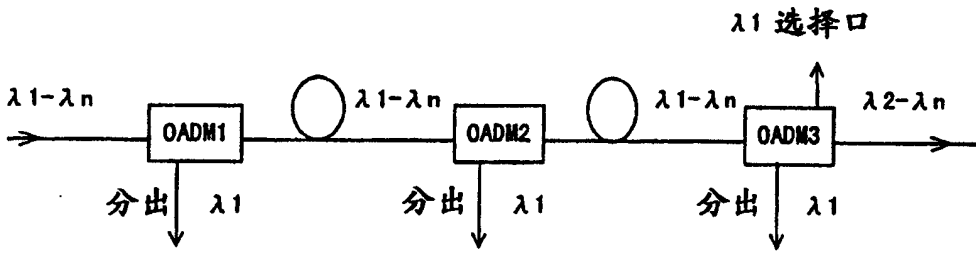


图 4B

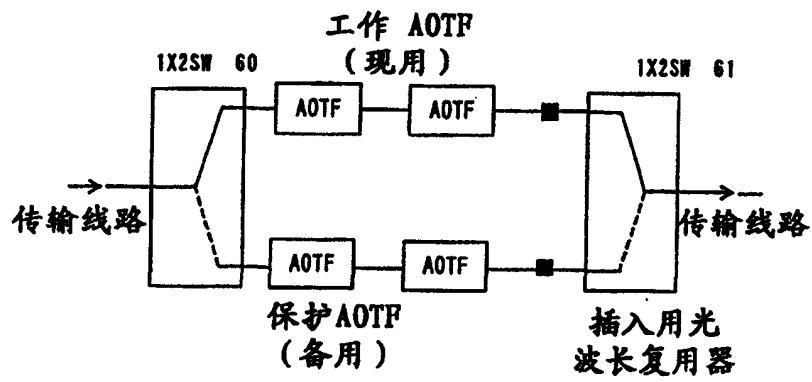


图 5A

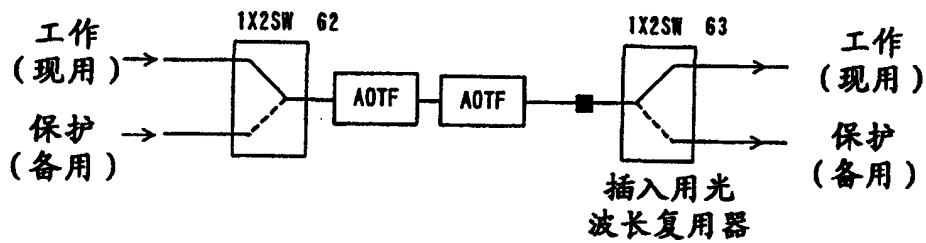


图 5B

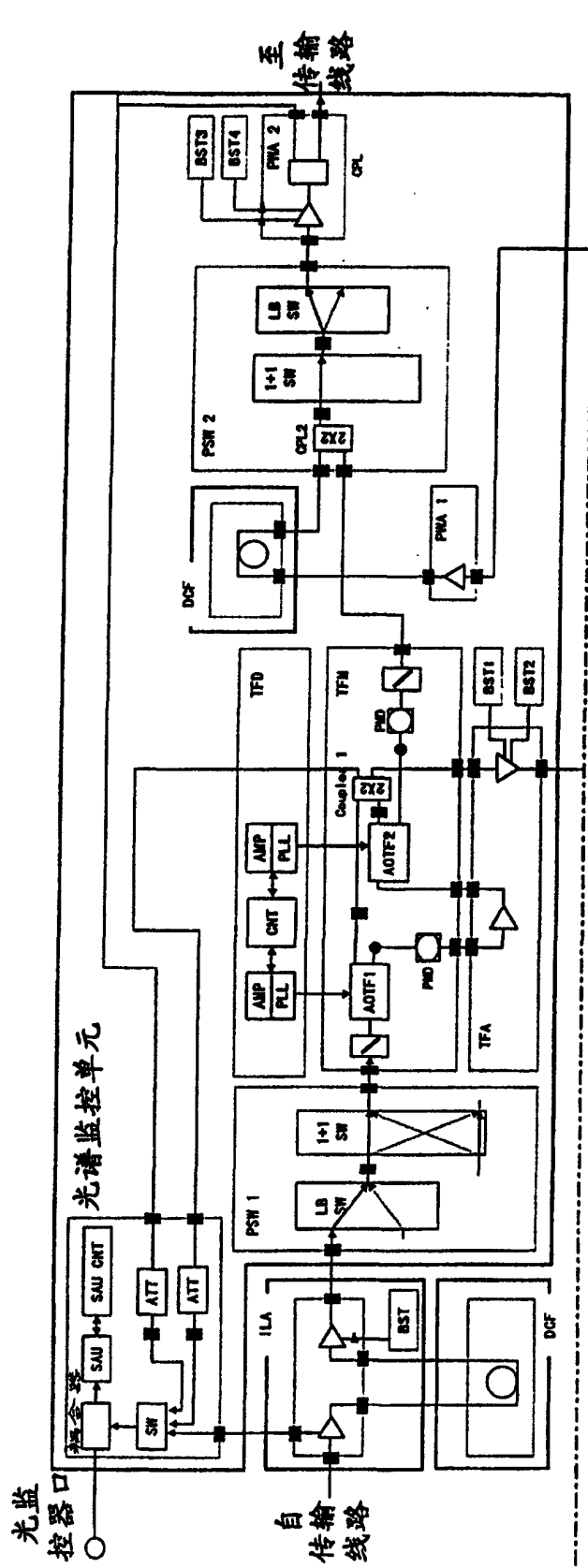


图6

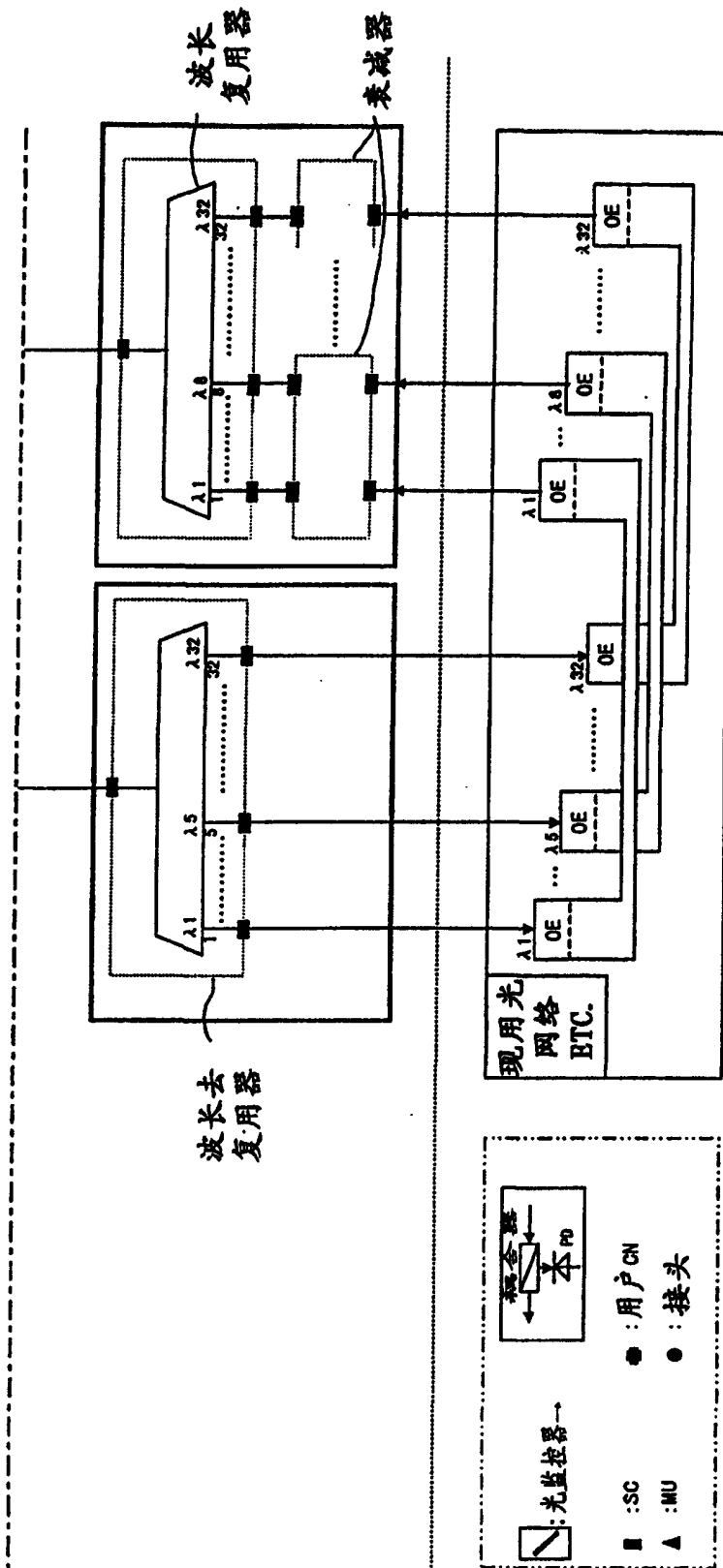


图 7

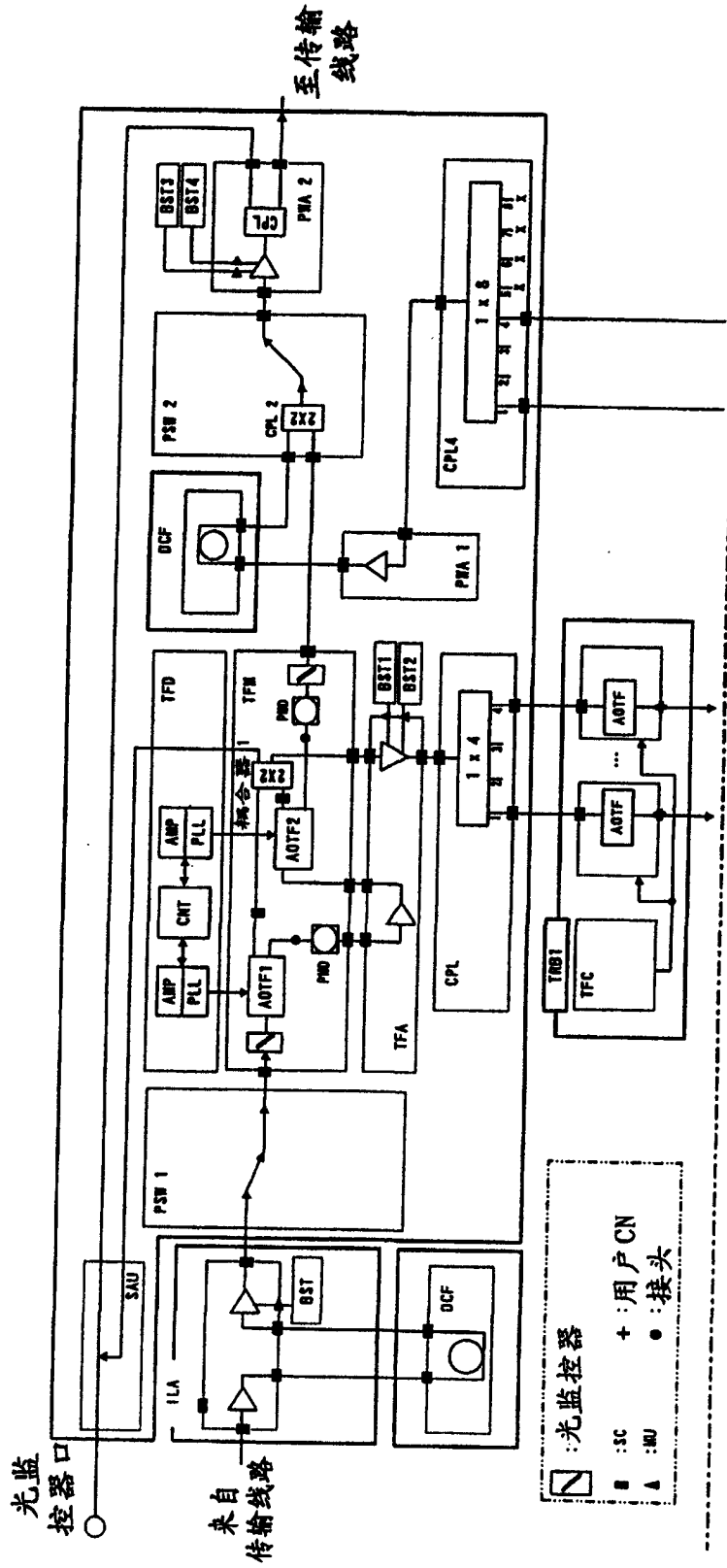


图 8

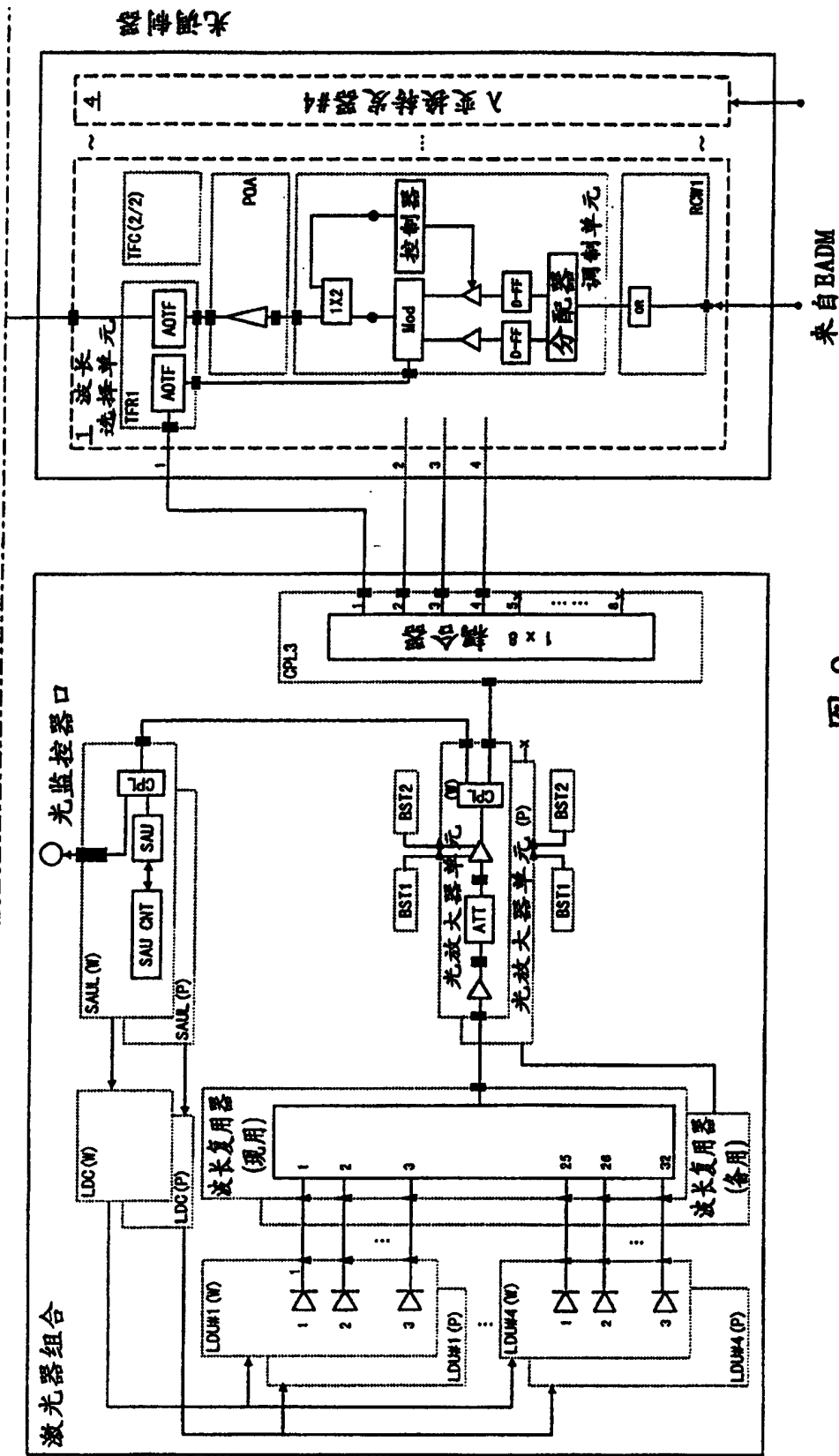


图 9

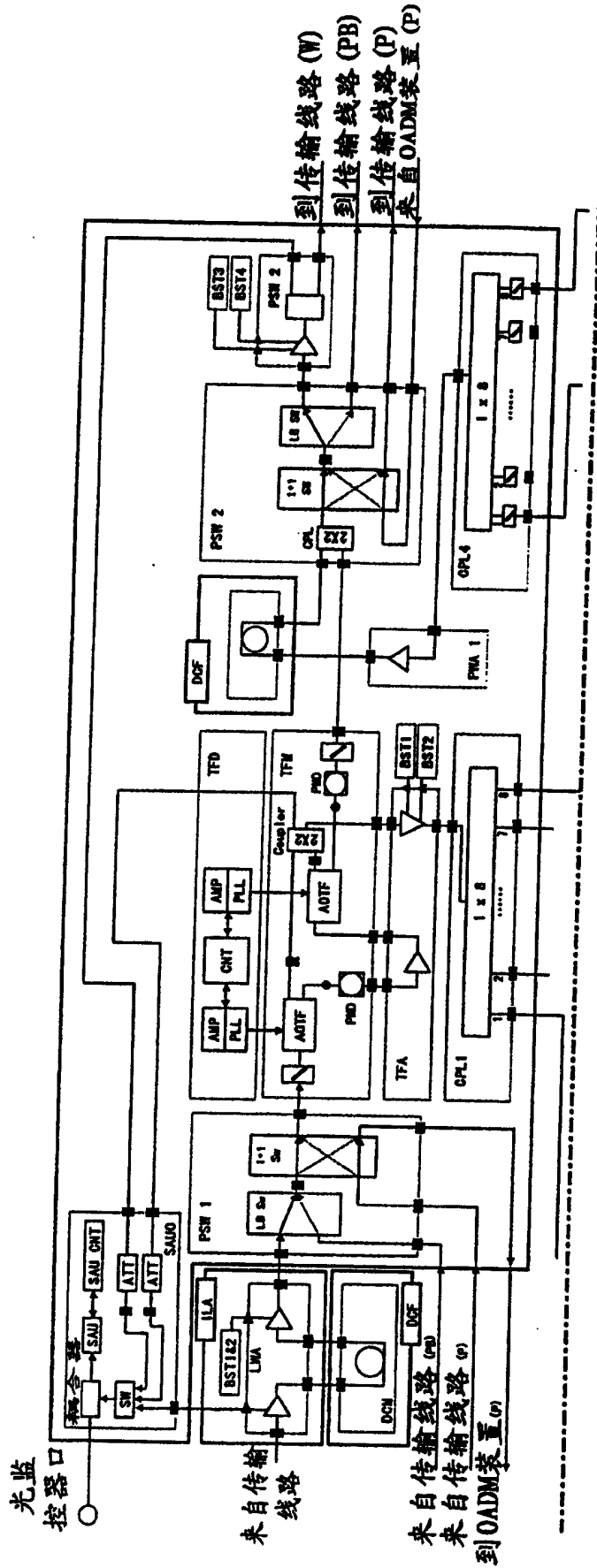
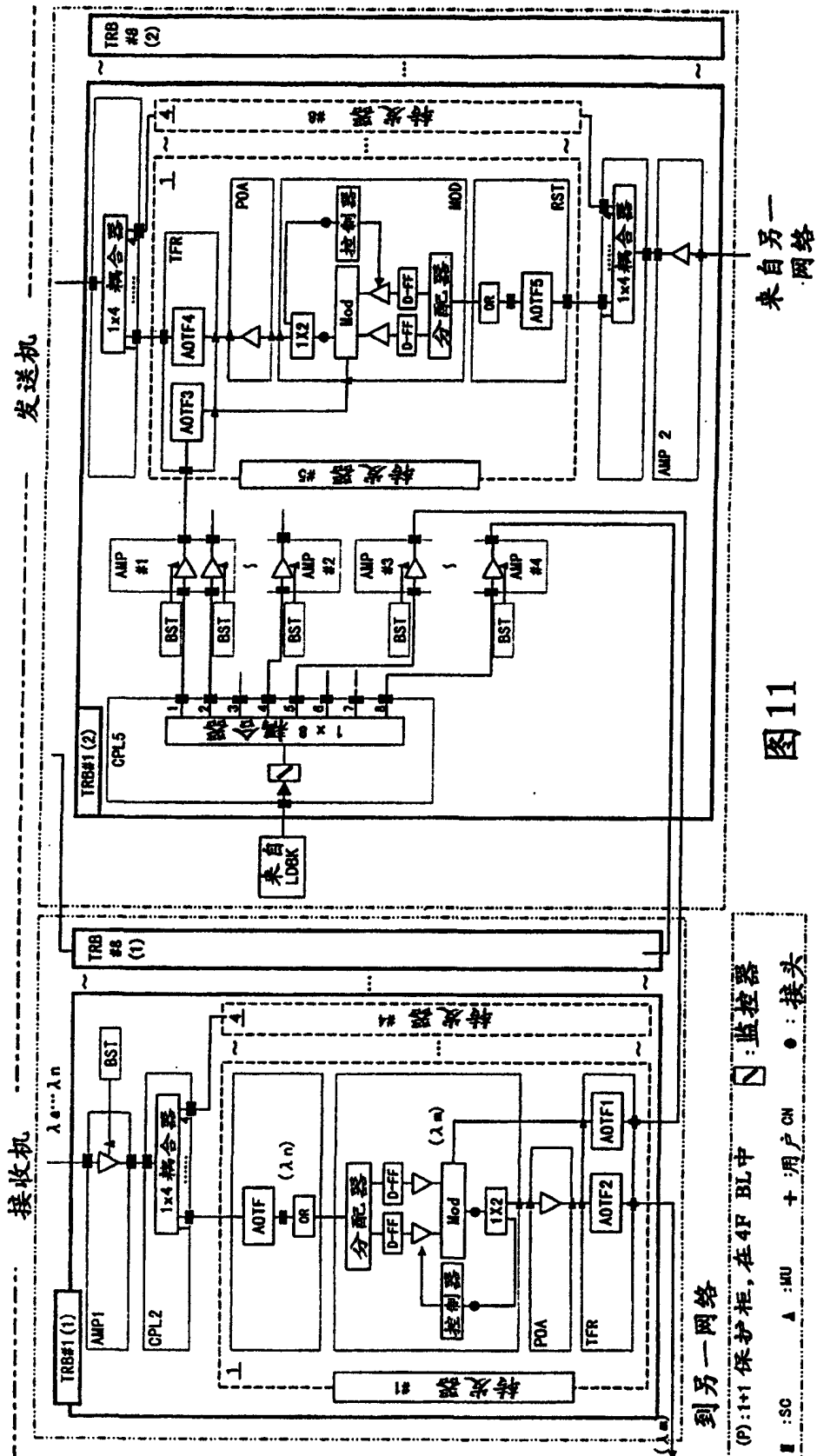


图10



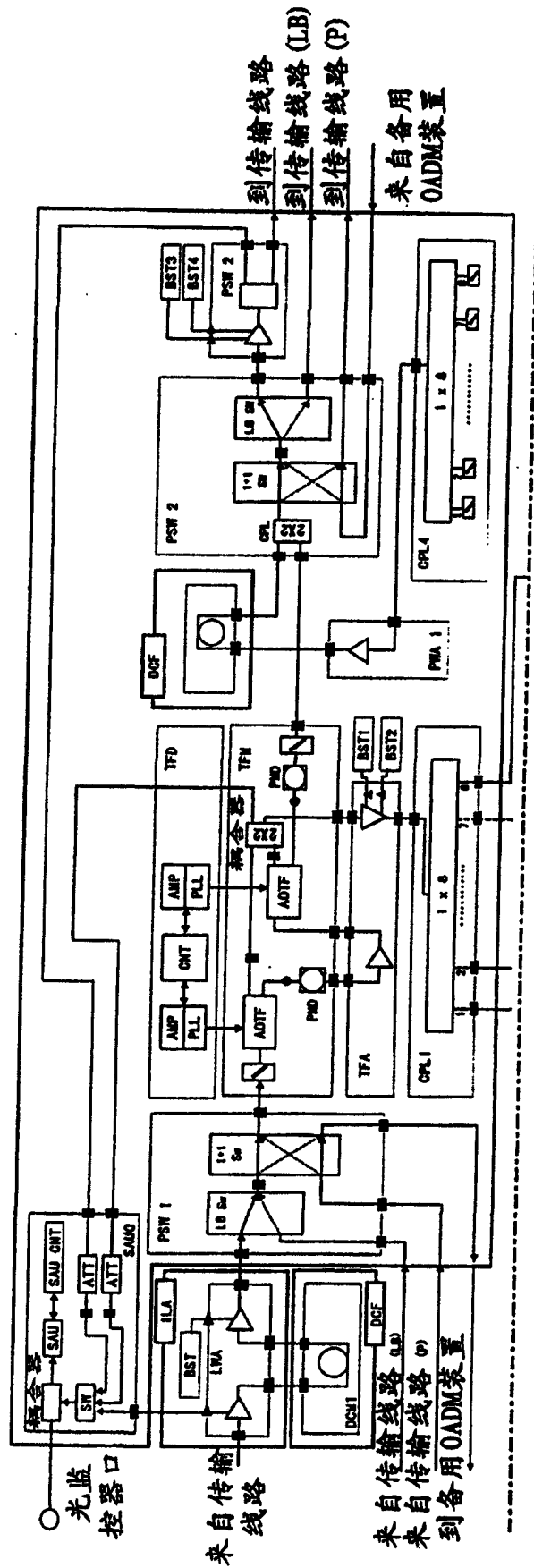


图12

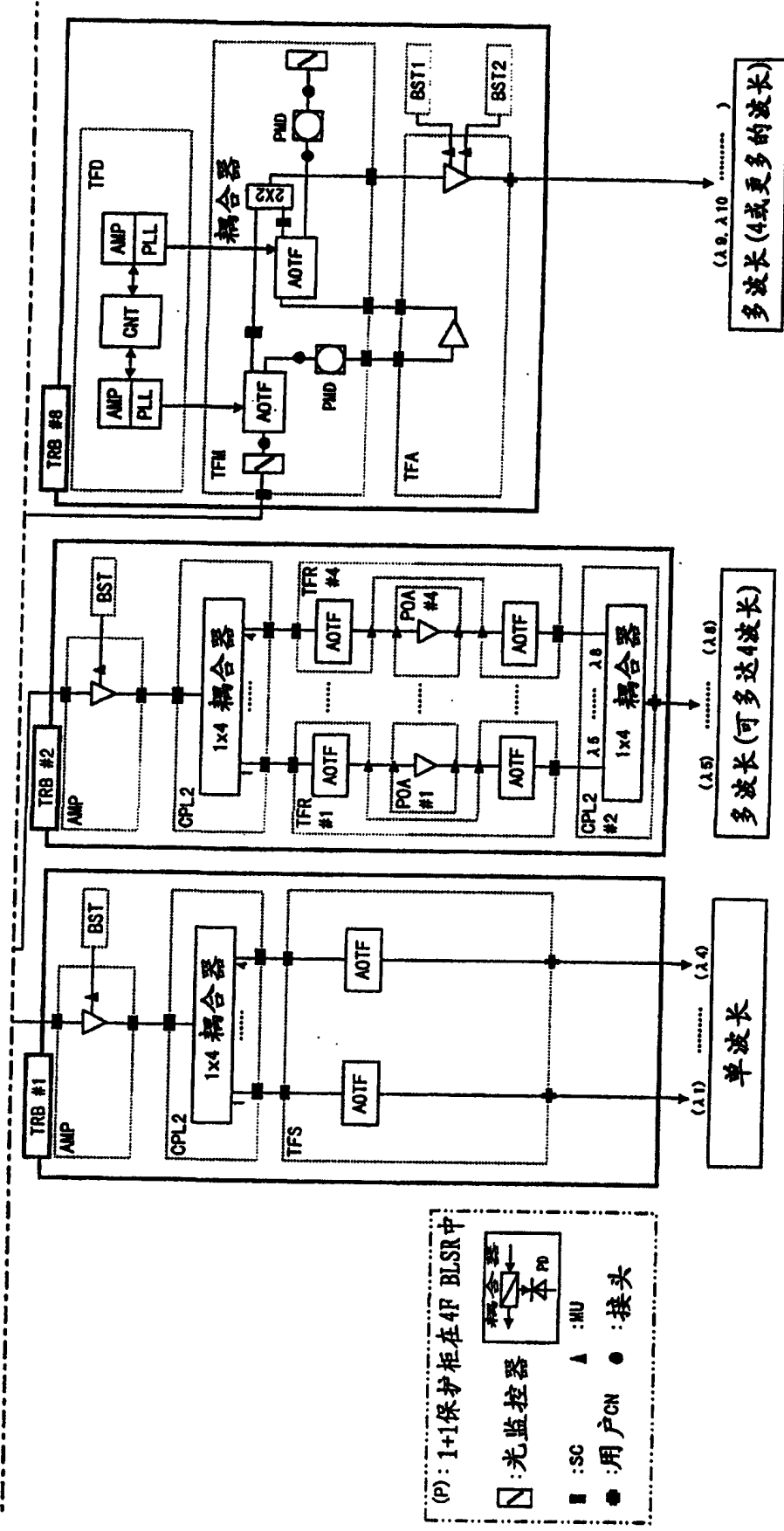


图13

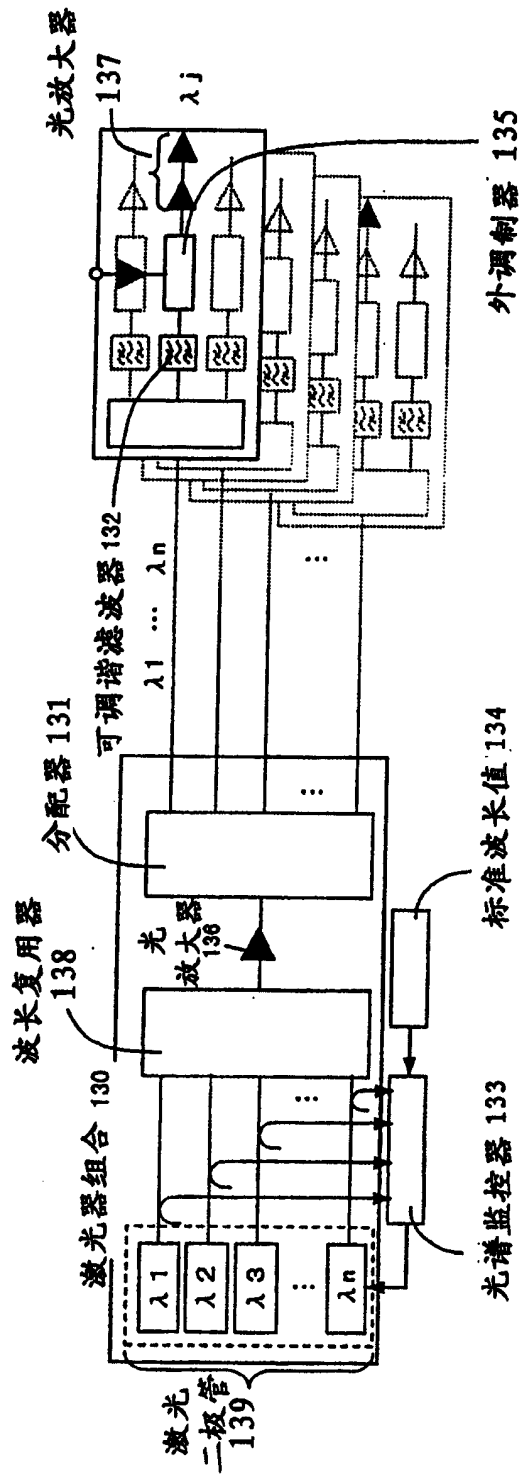


图14

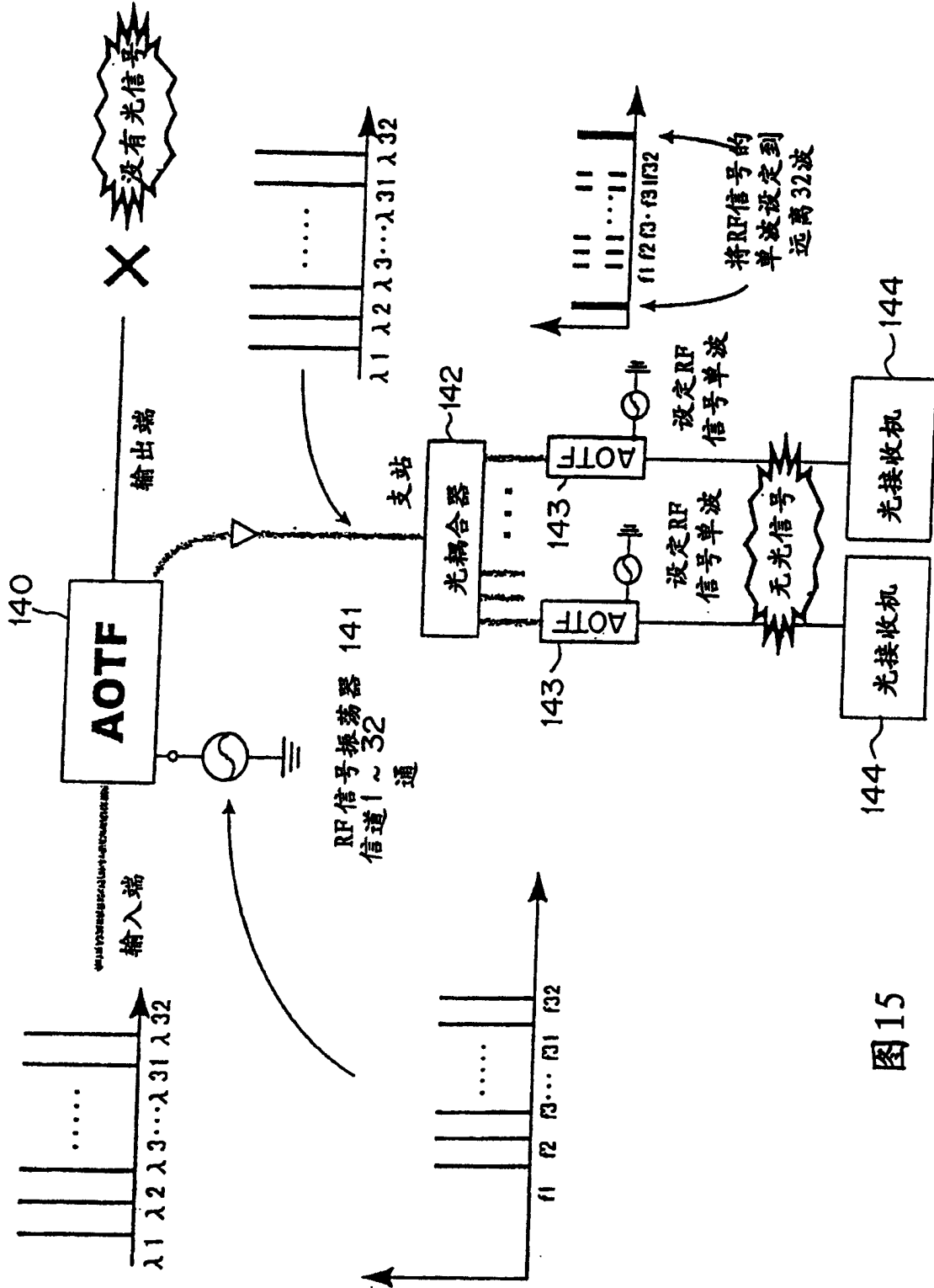


图15

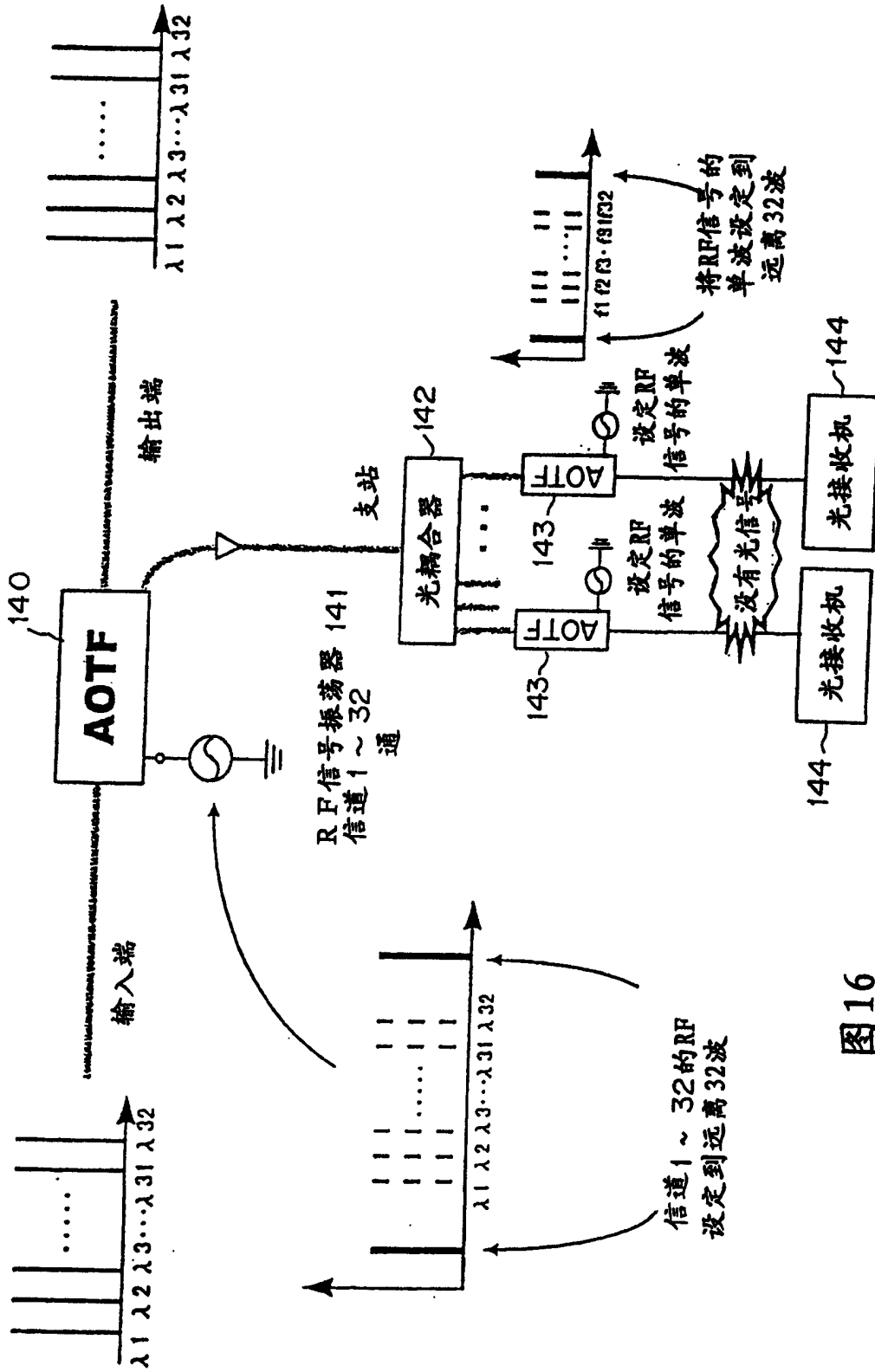


图16

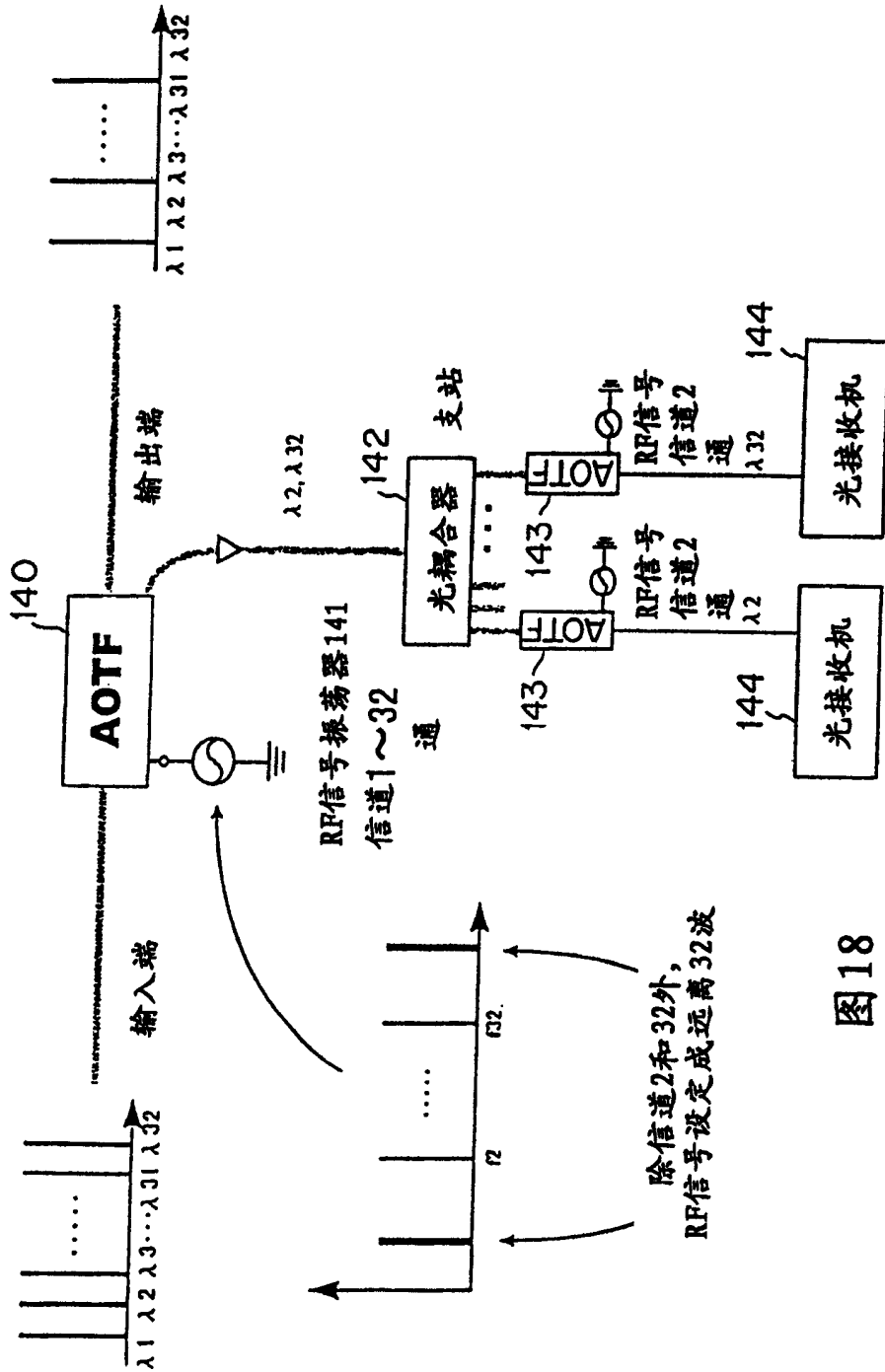


图 18

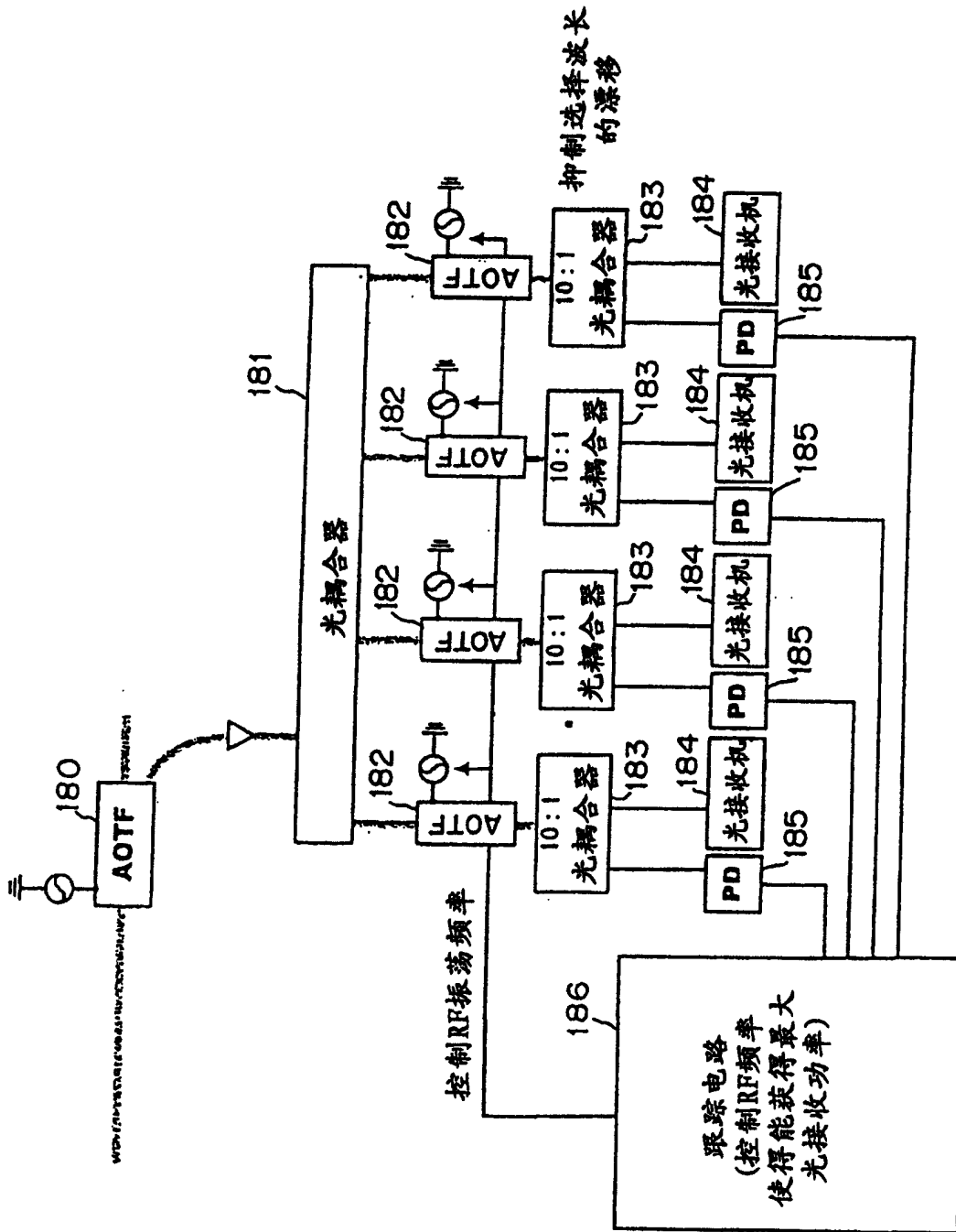


图19

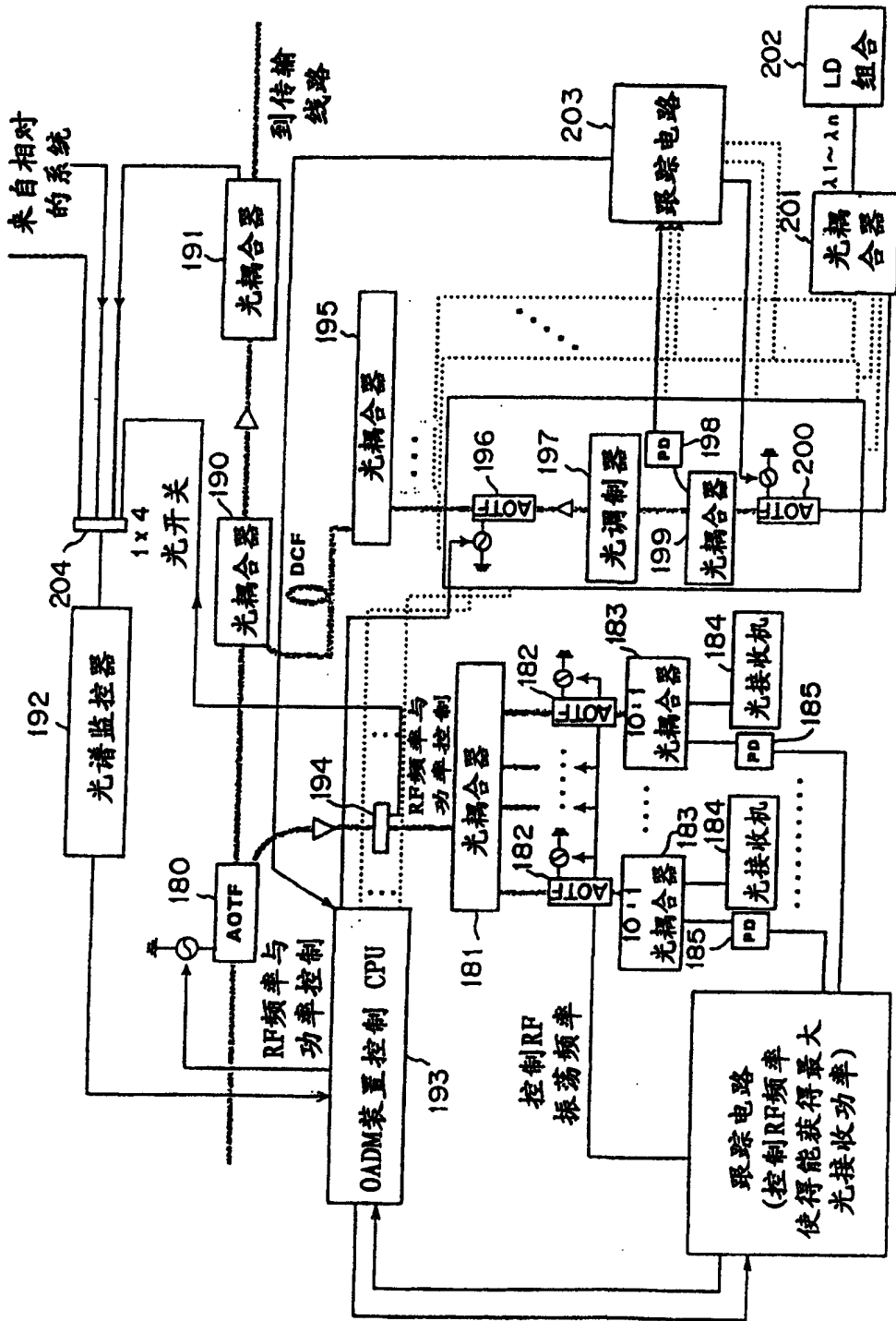


图 20

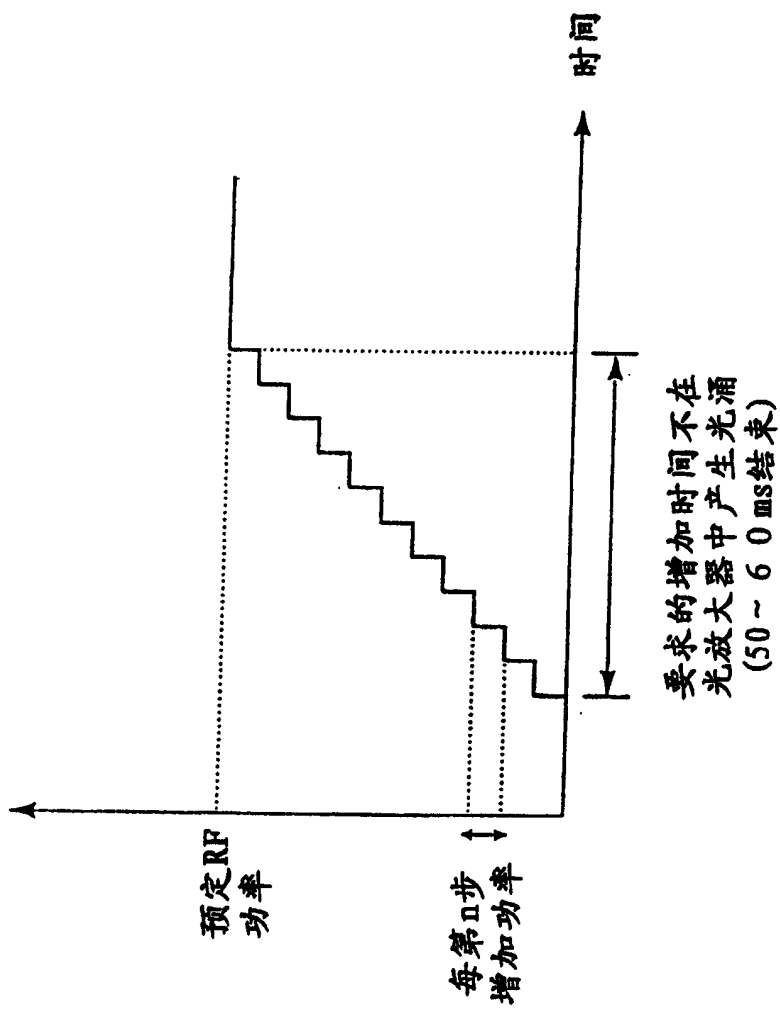


图 21

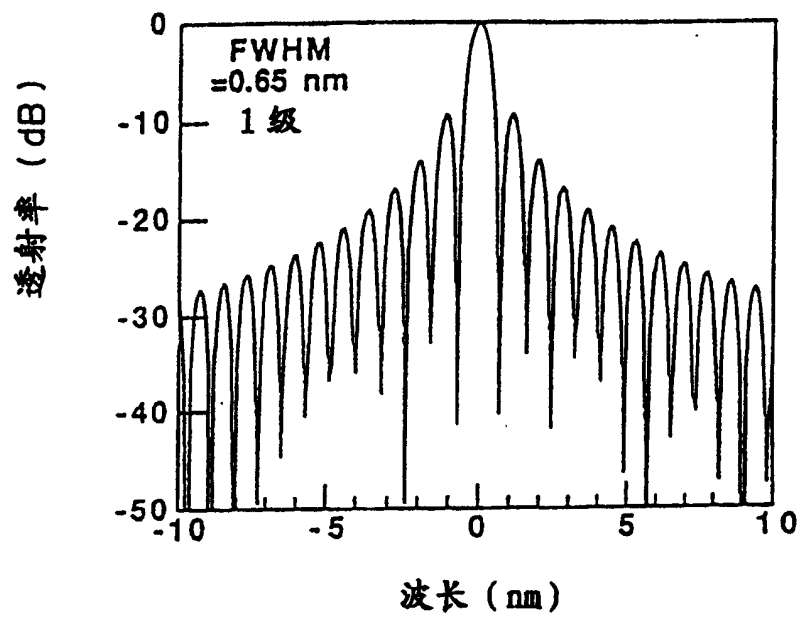


图23

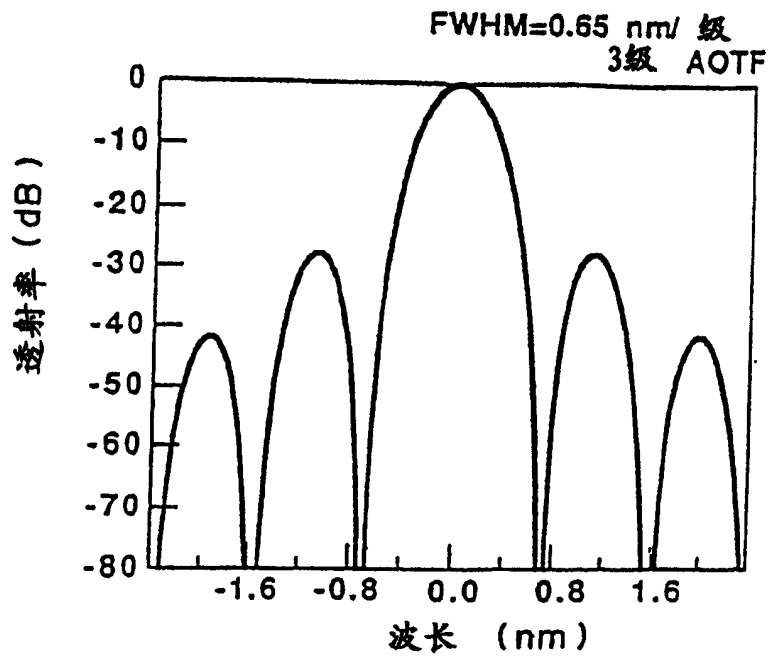


图 24A

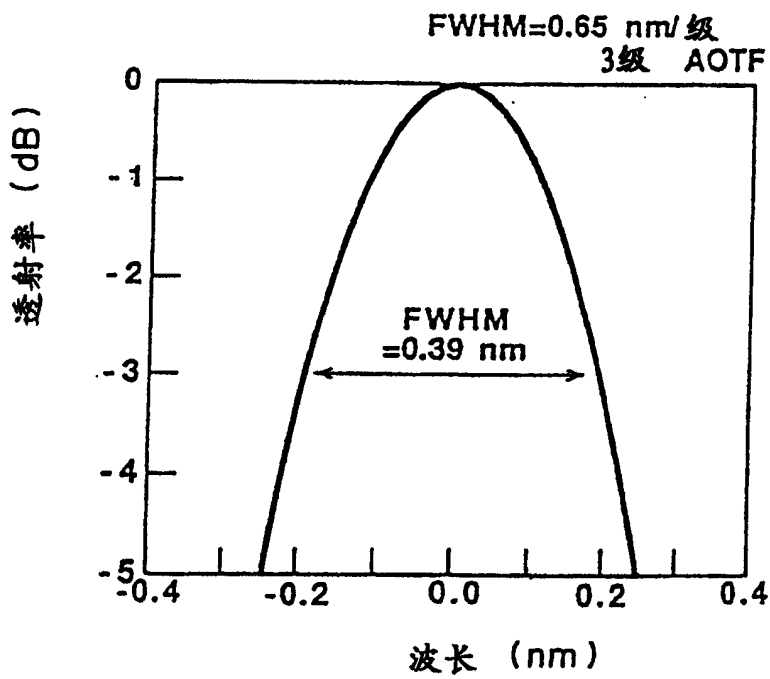


图 24B



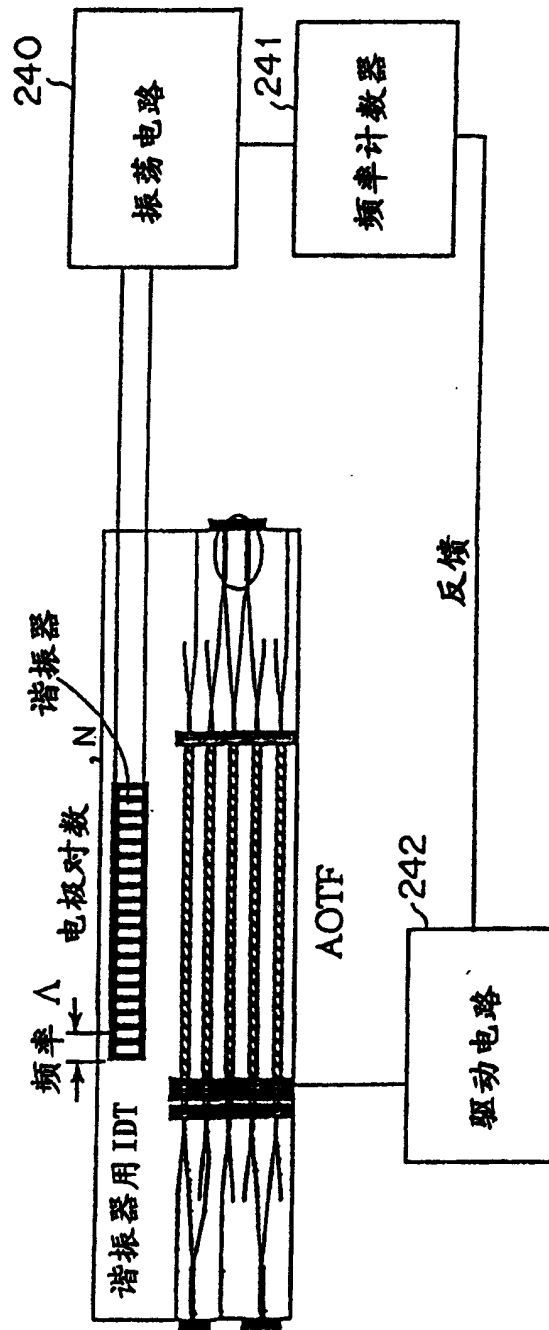


图 25

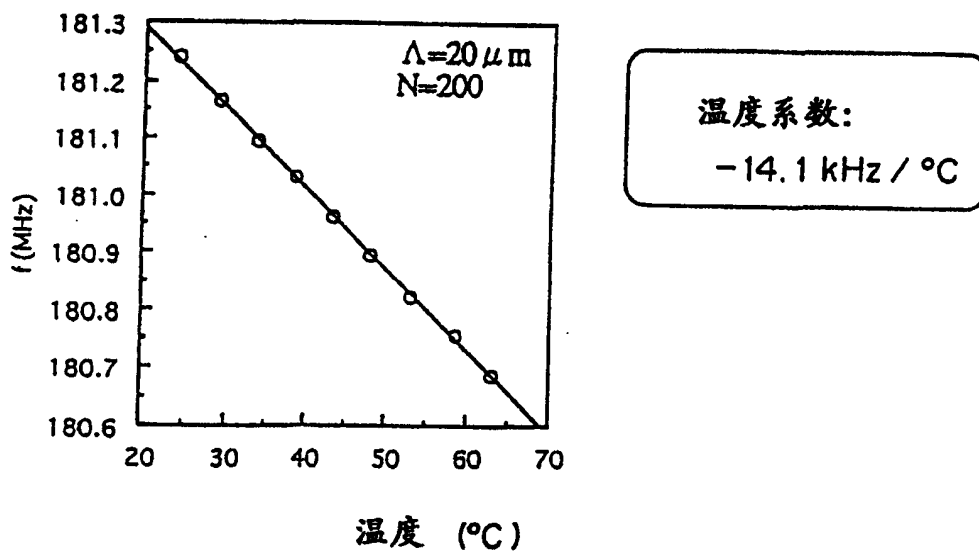


图26

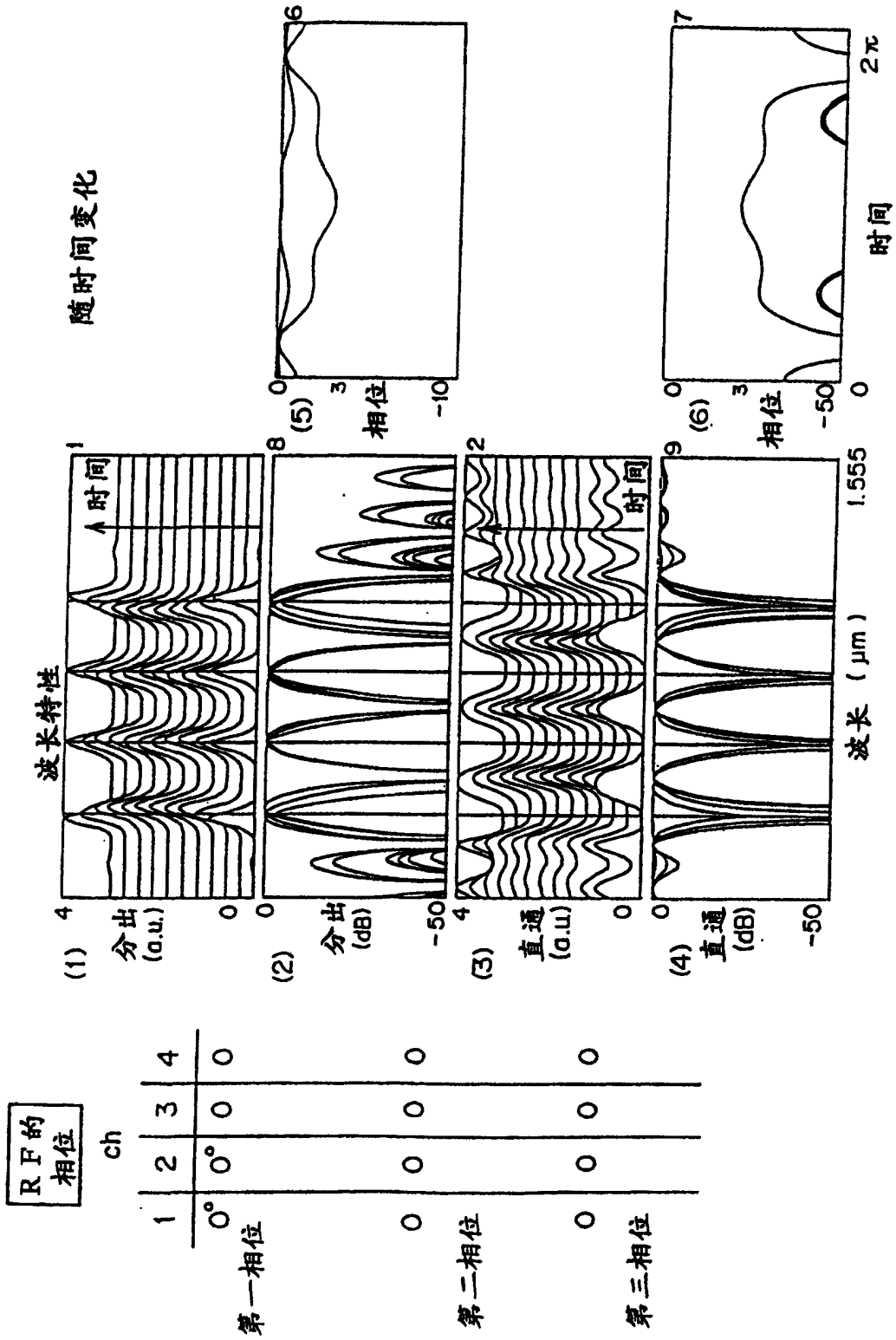


图 27A

图 27B

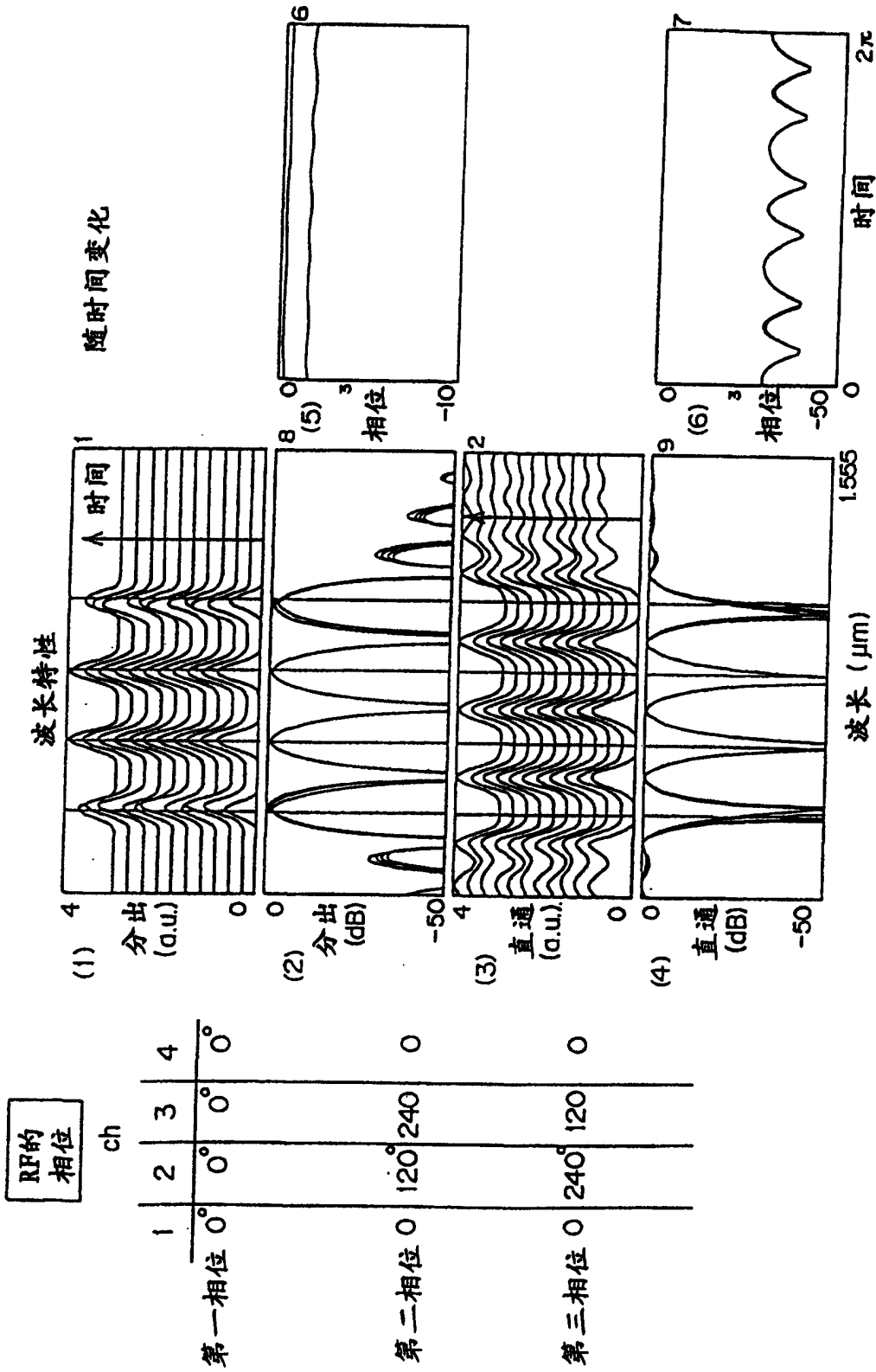
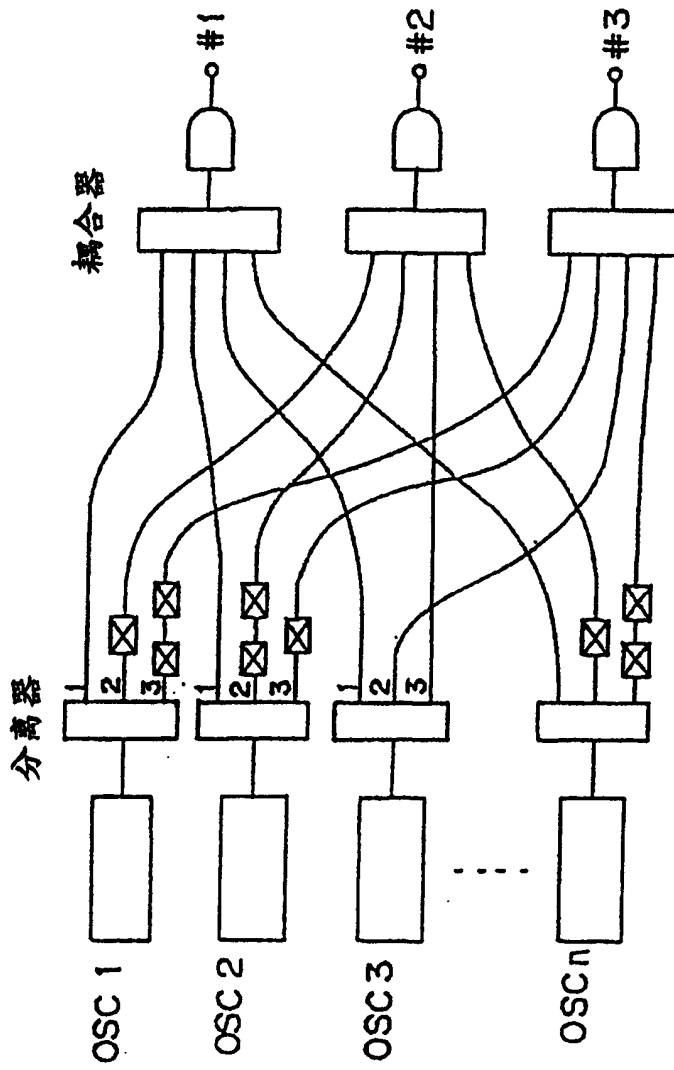


图 28A

图 28B



图：120° 相位延迟单元

图29

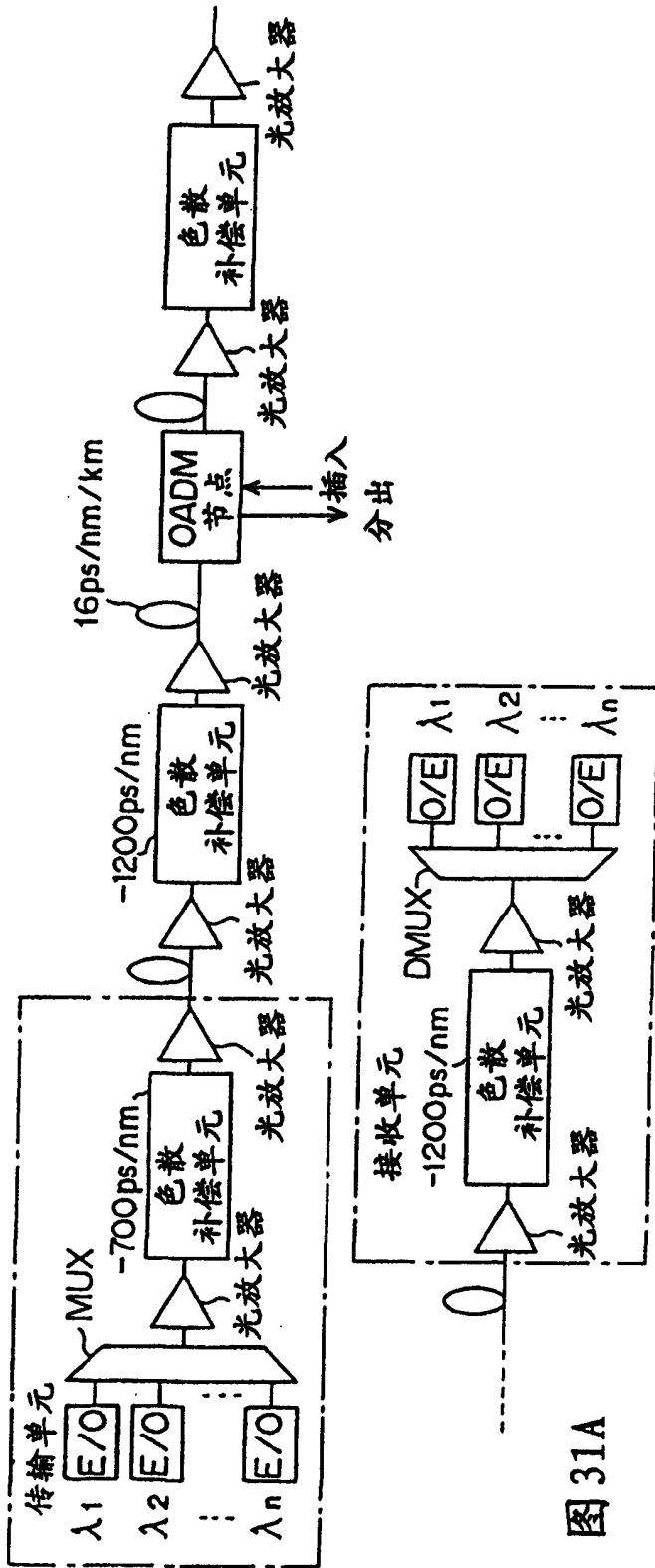


图 31A

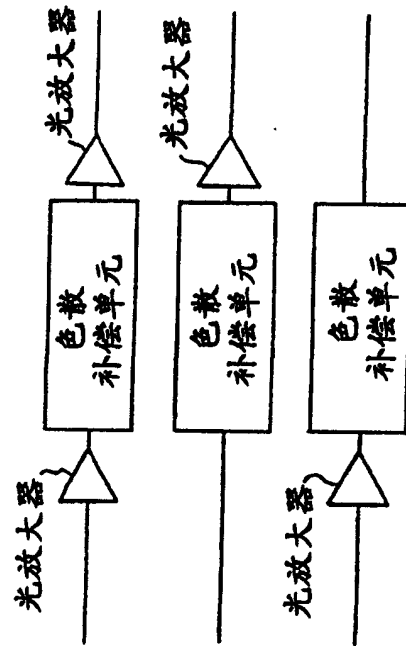


图 31B

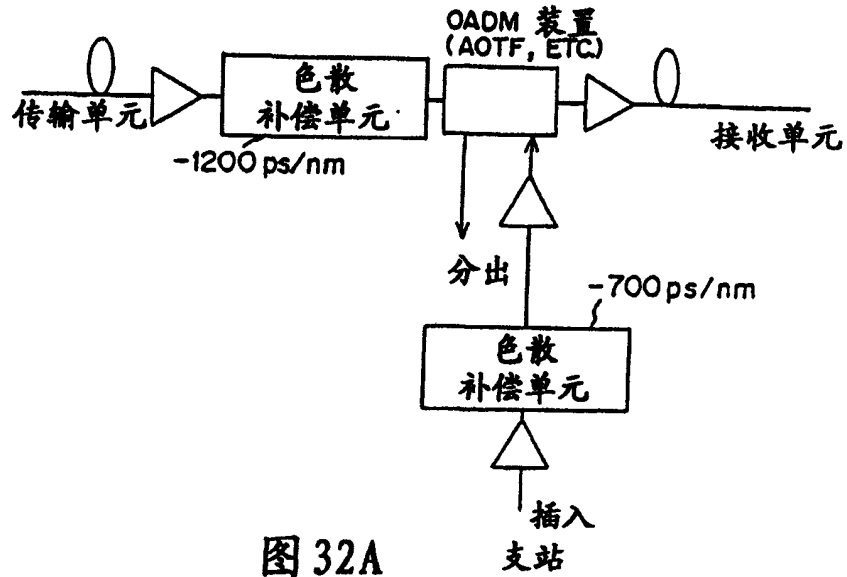


图 32A

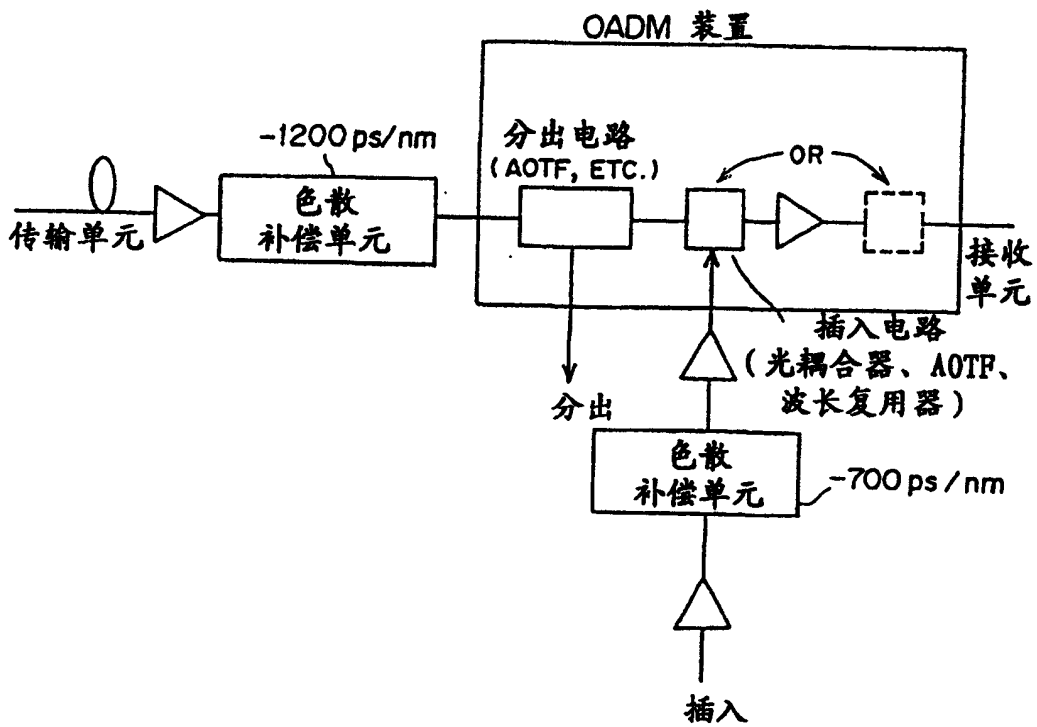


图 32B

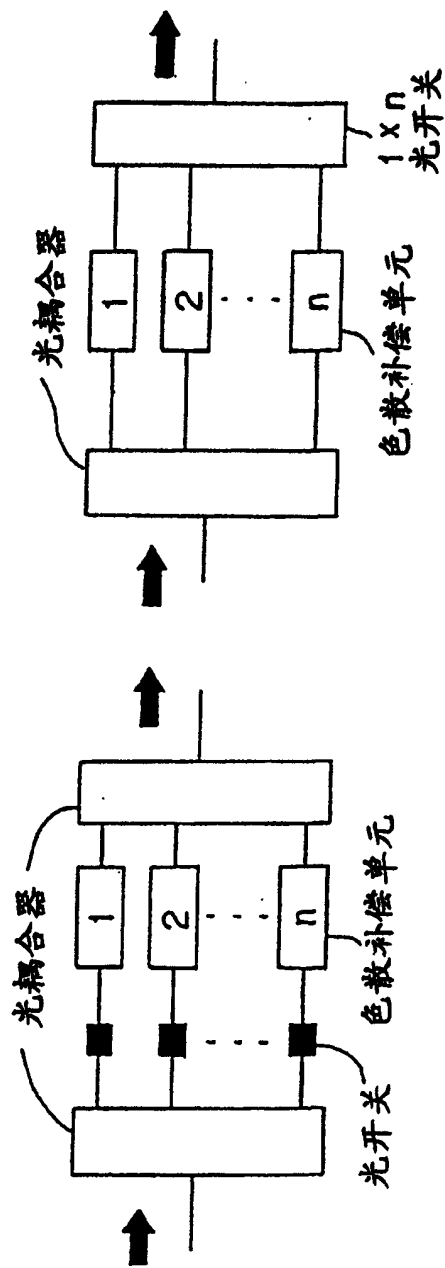


图 33B

图 33A

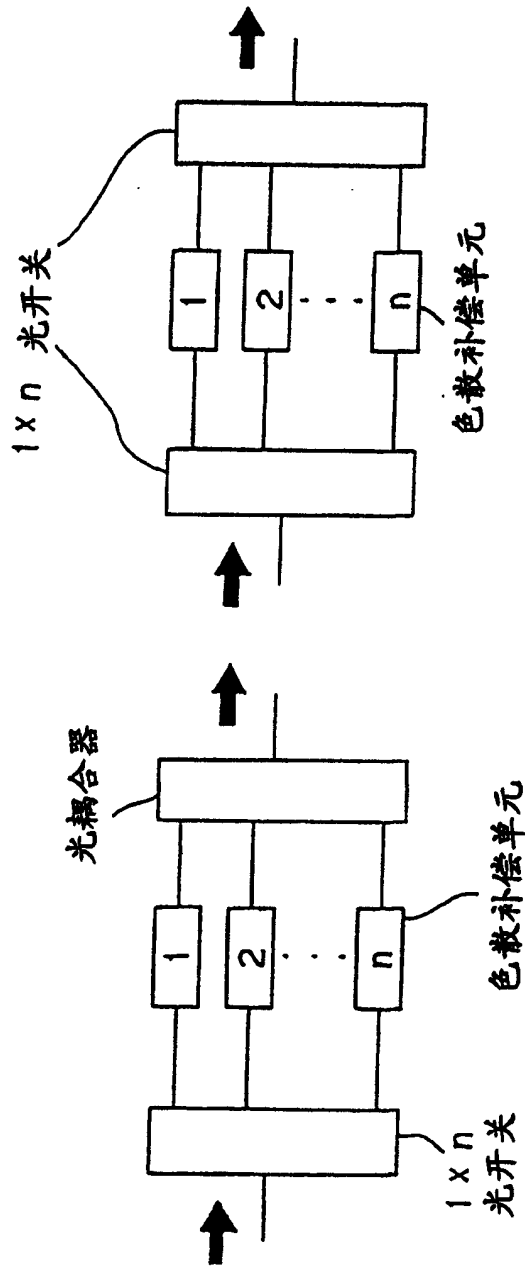


图 34B

图 34A

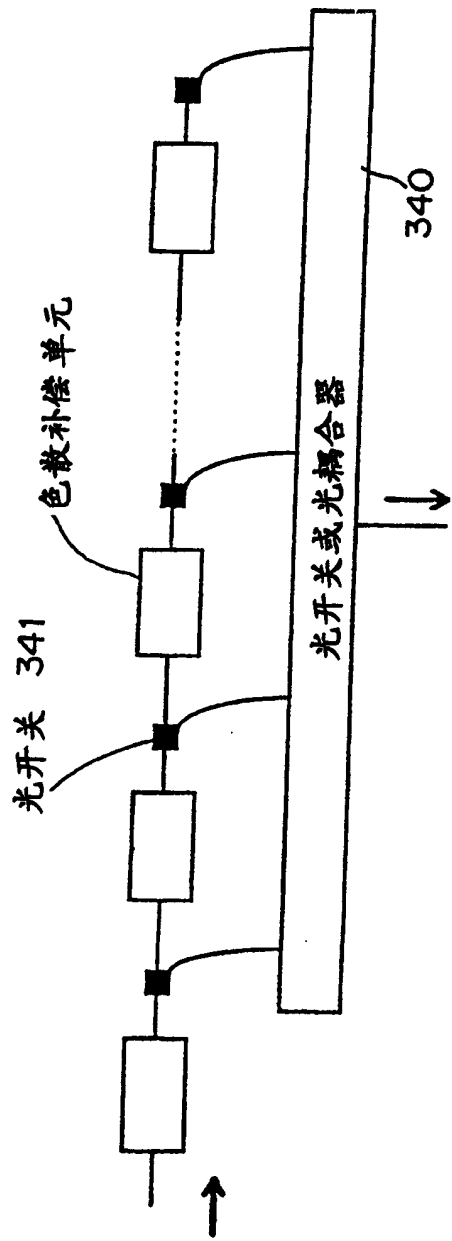


图 35

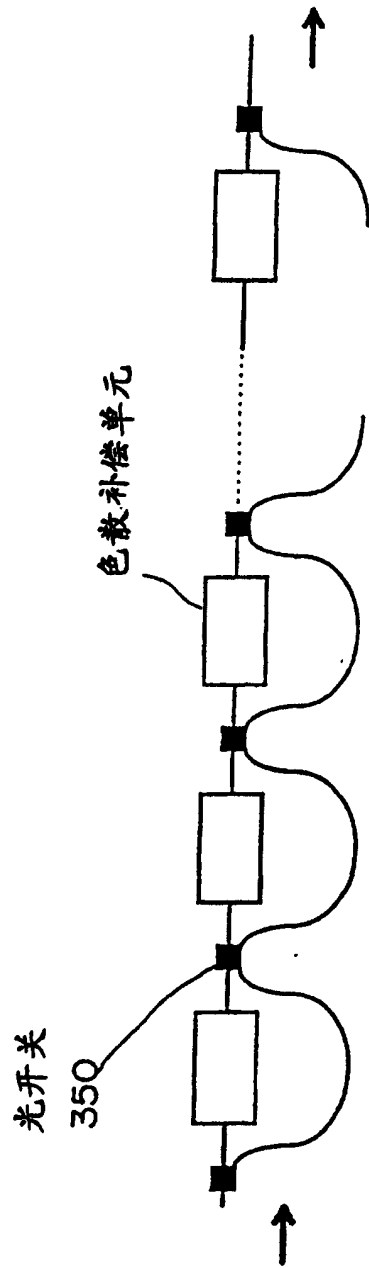


图 36

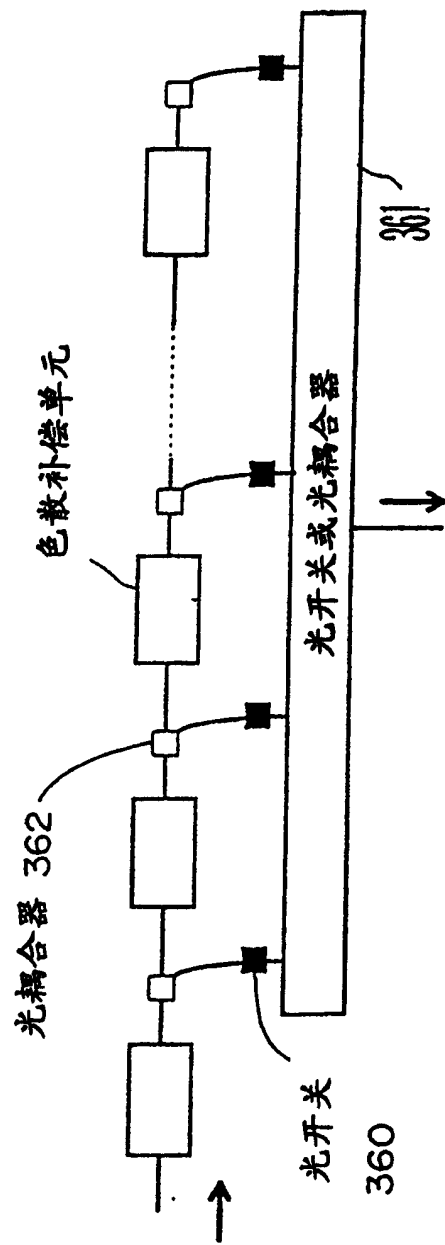


图 37

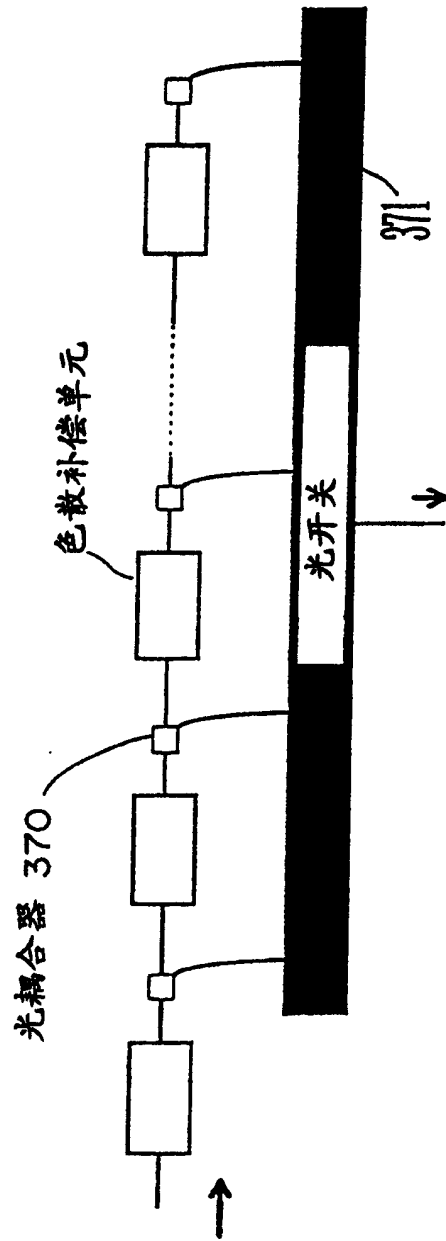


图 38

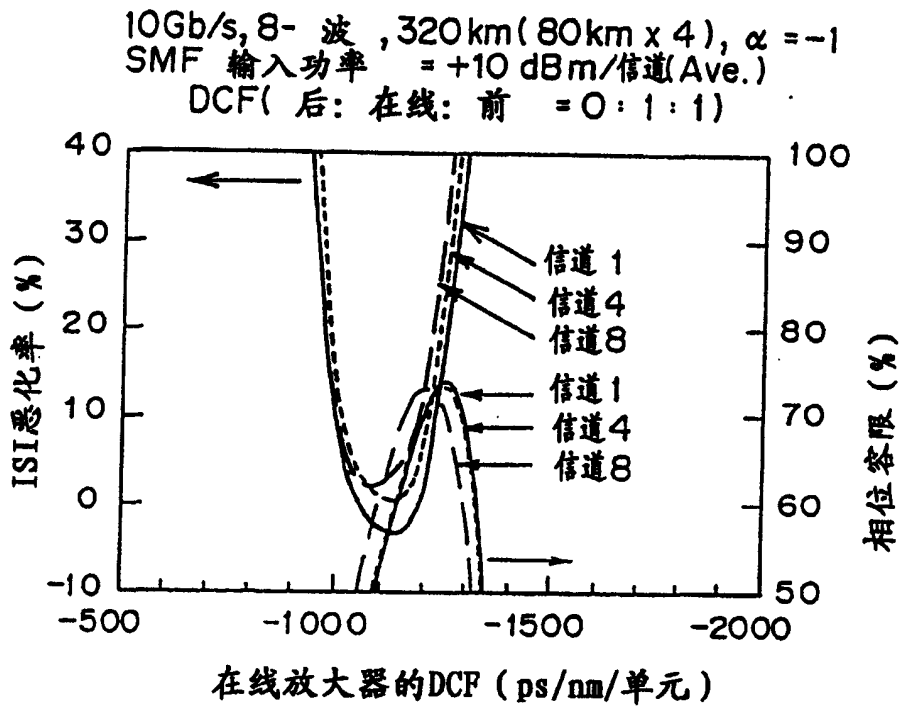


图 39

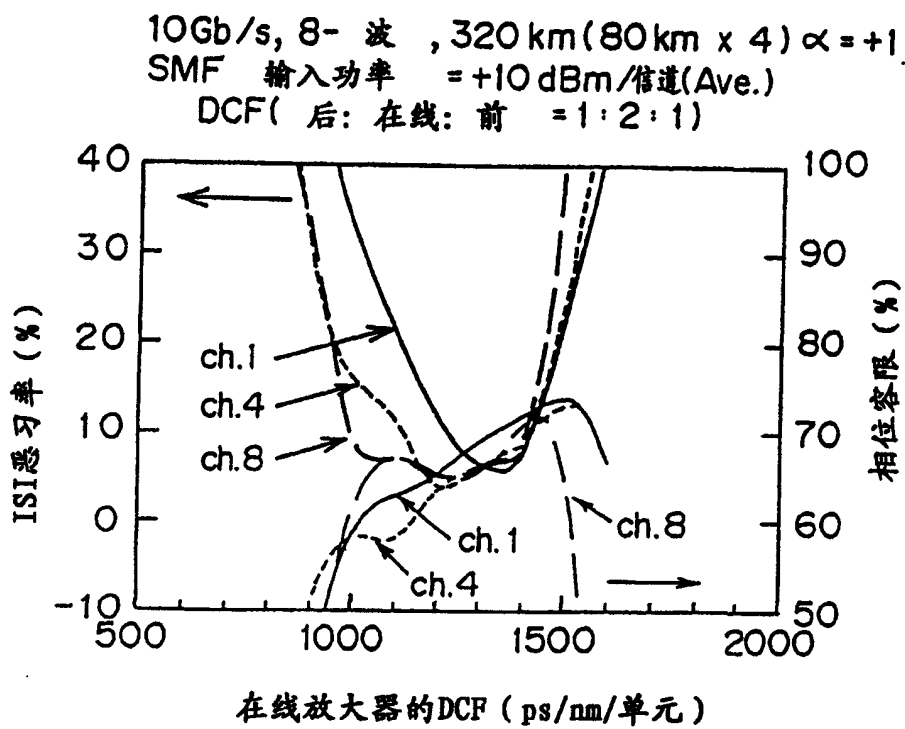


图 4 0

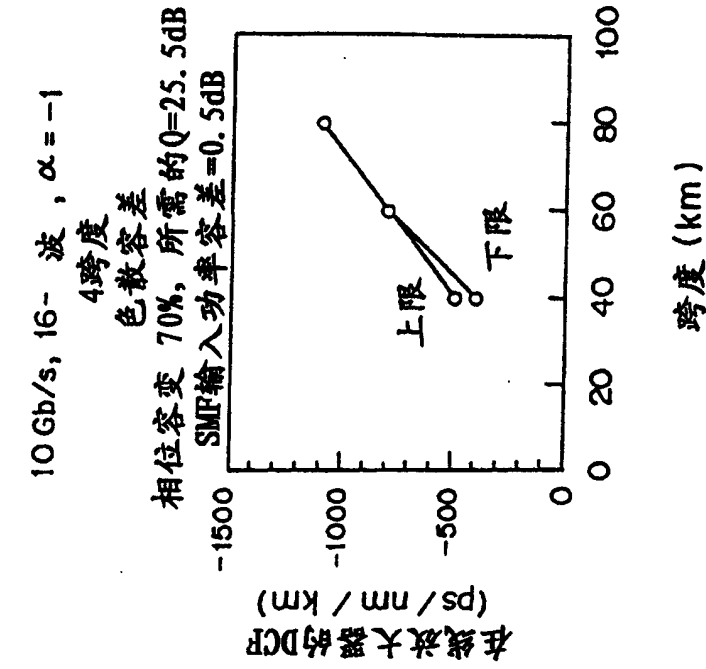


图 41B

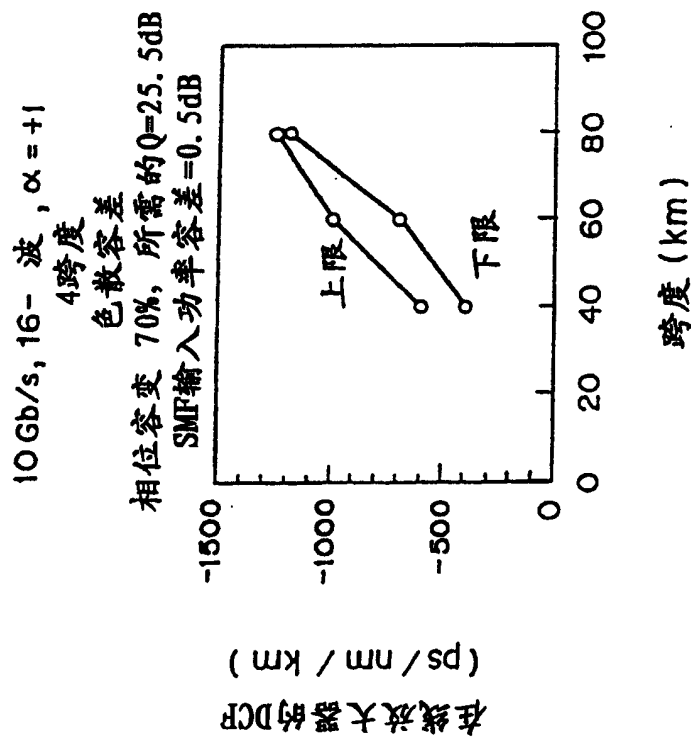


图 41A

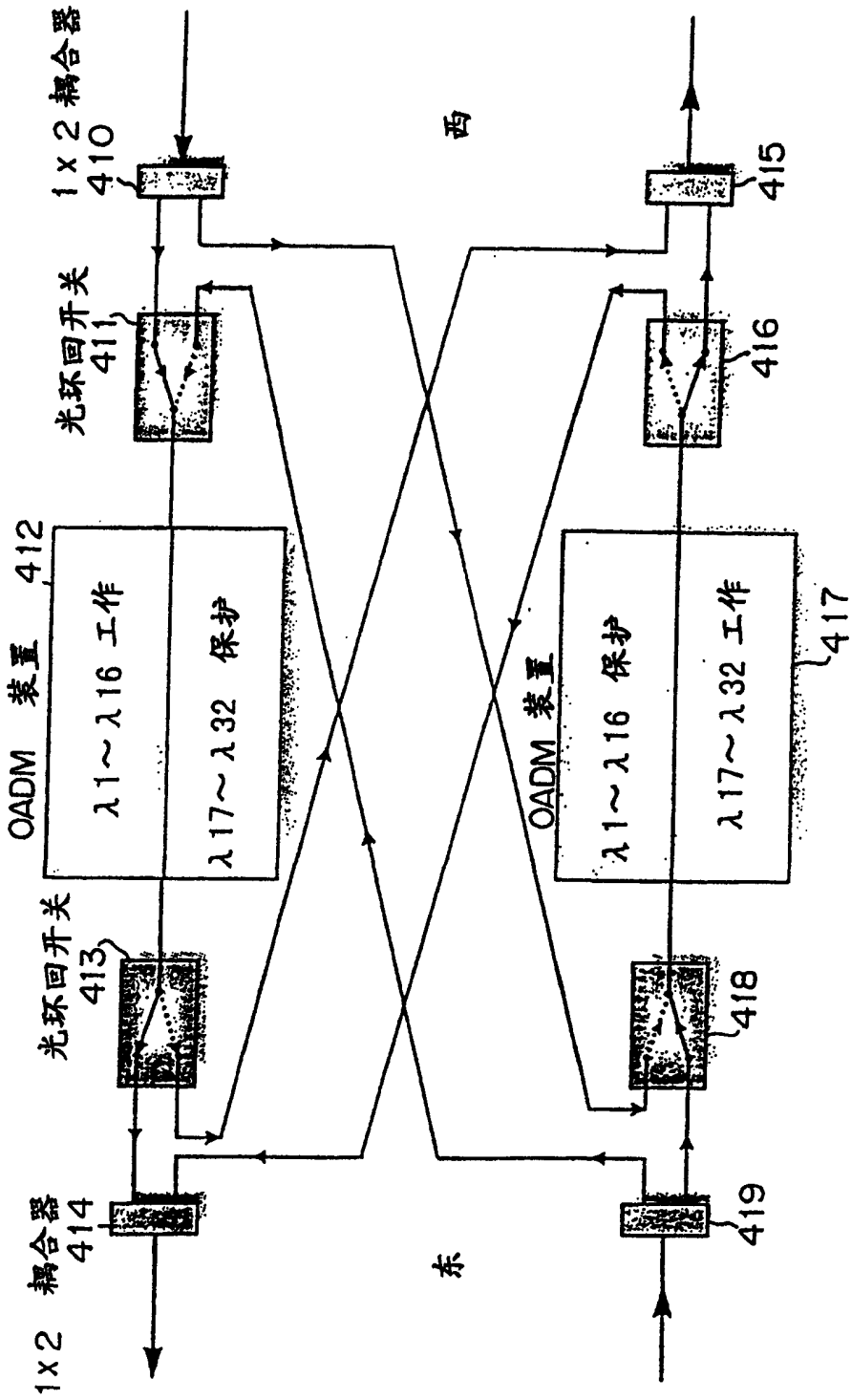


图42

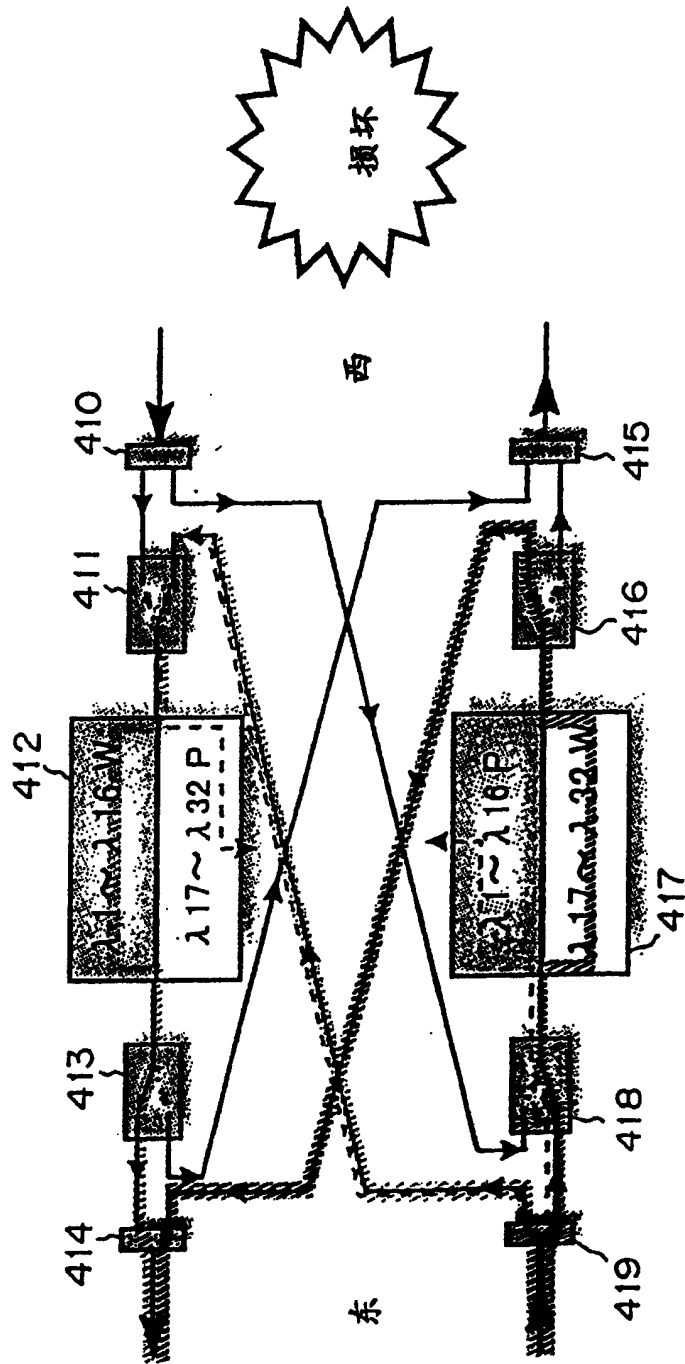
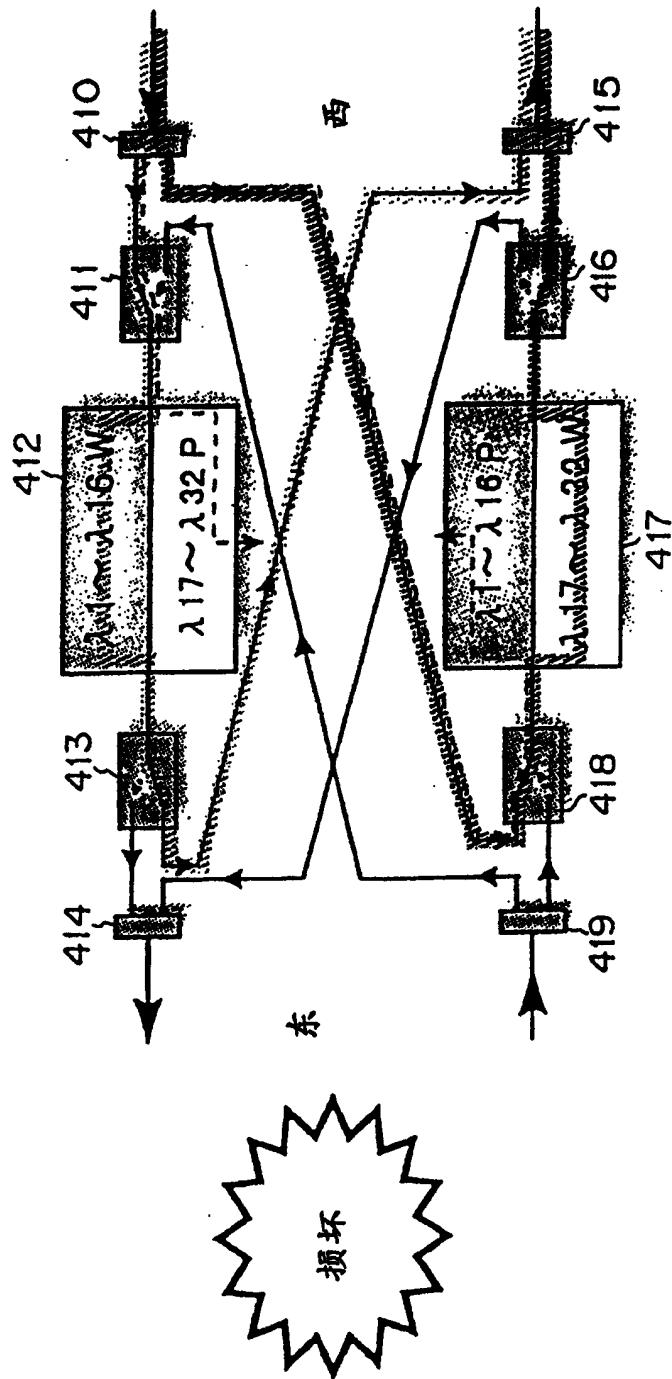


图 43



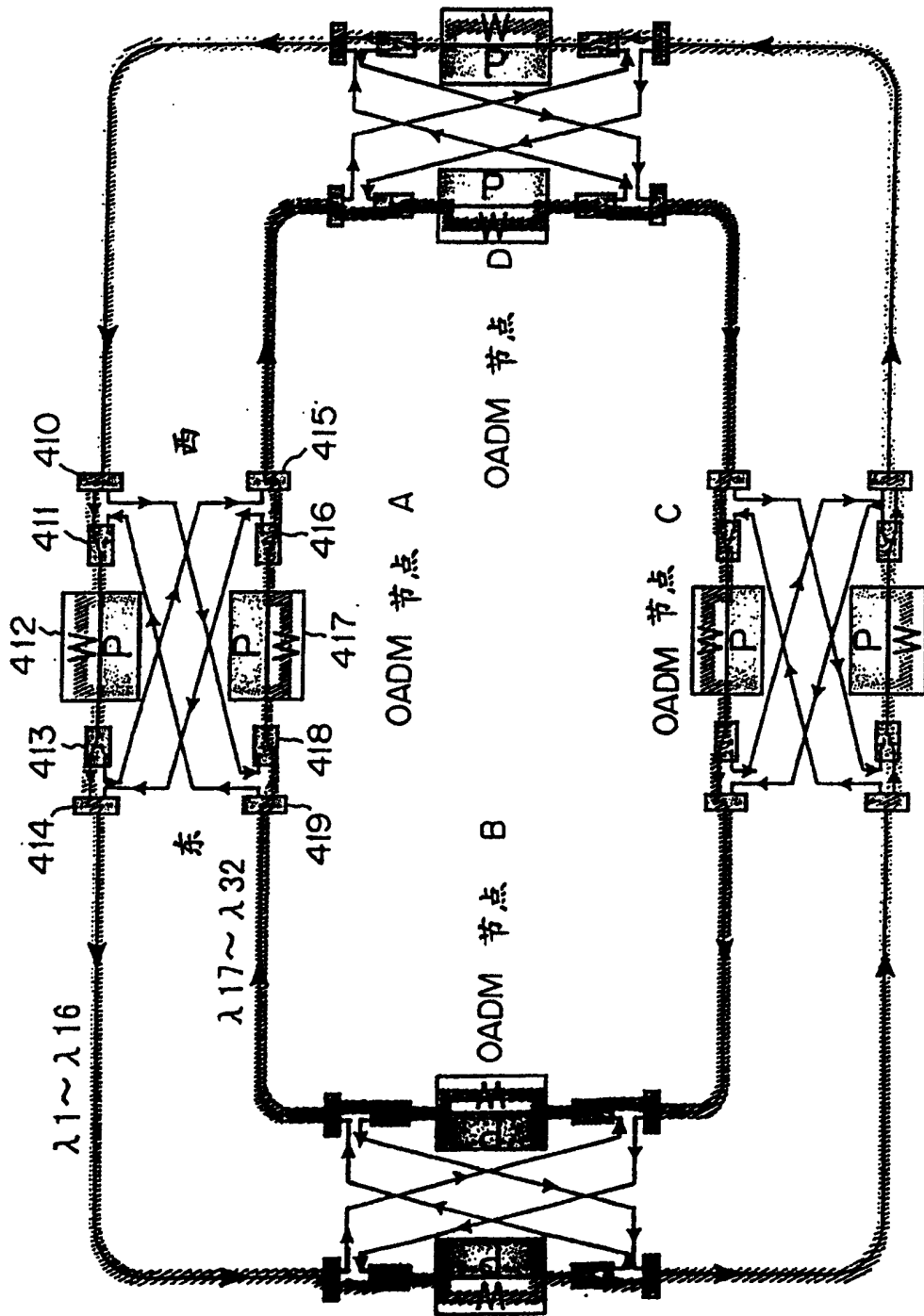


图 45

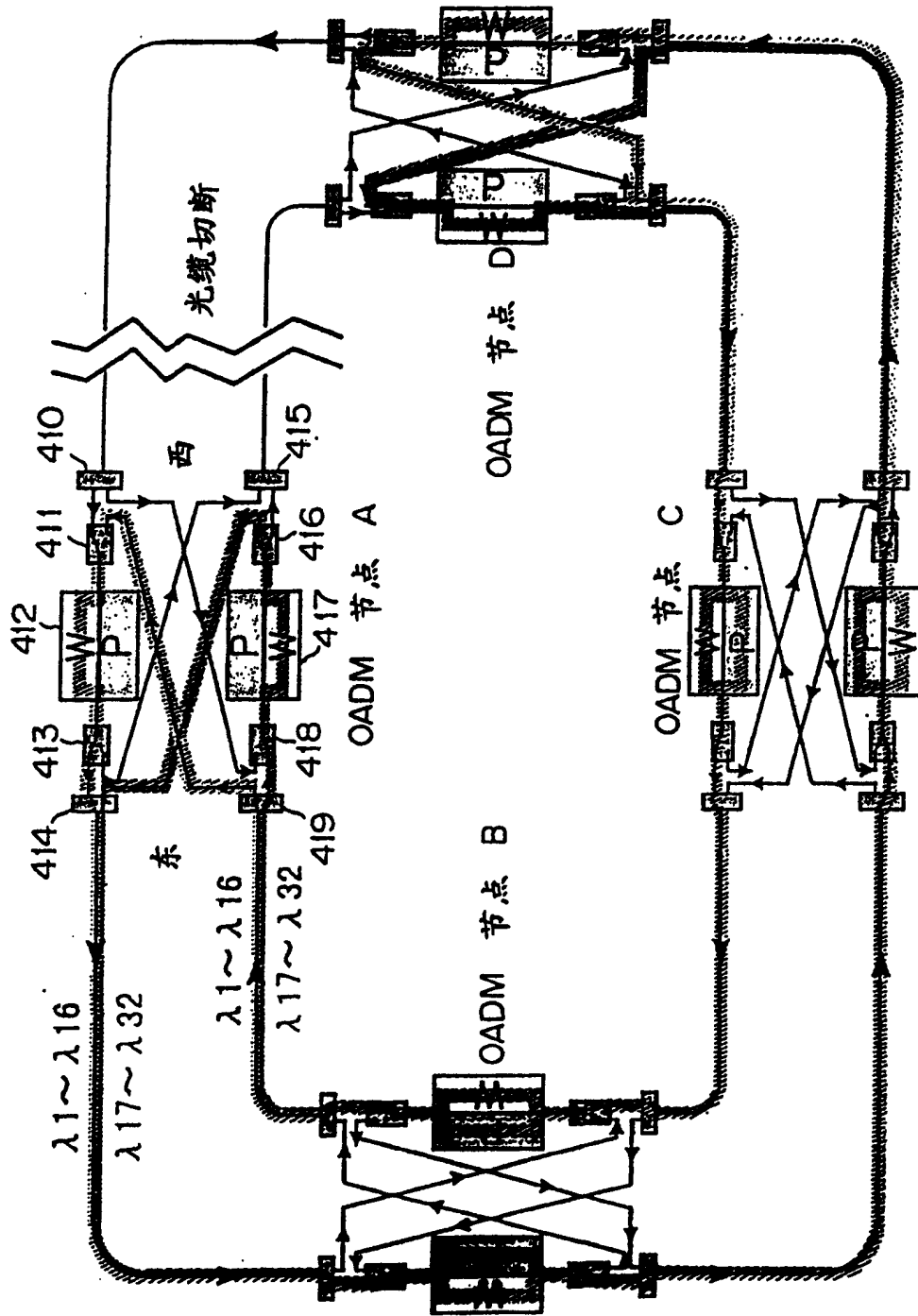


图 46

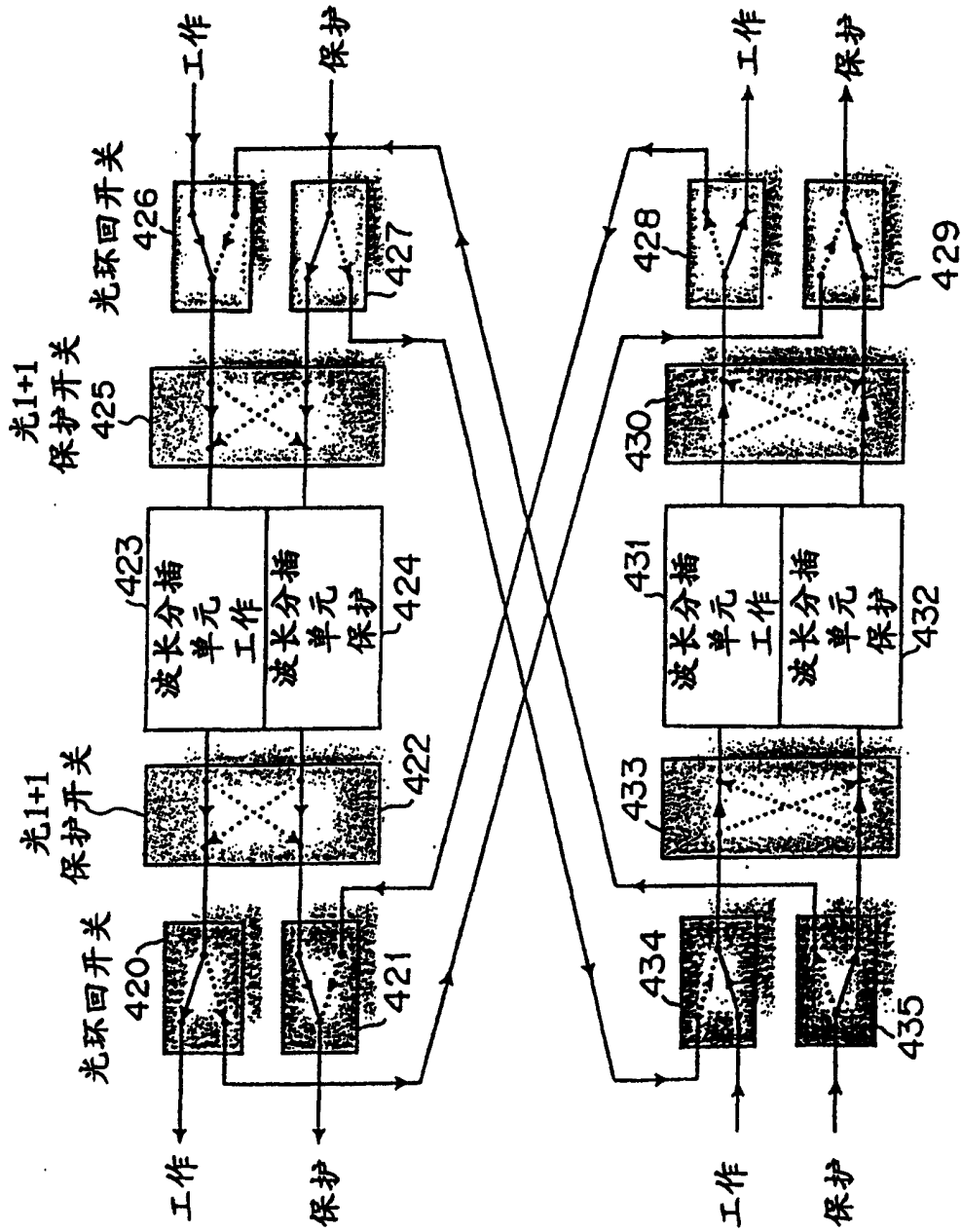


图 47

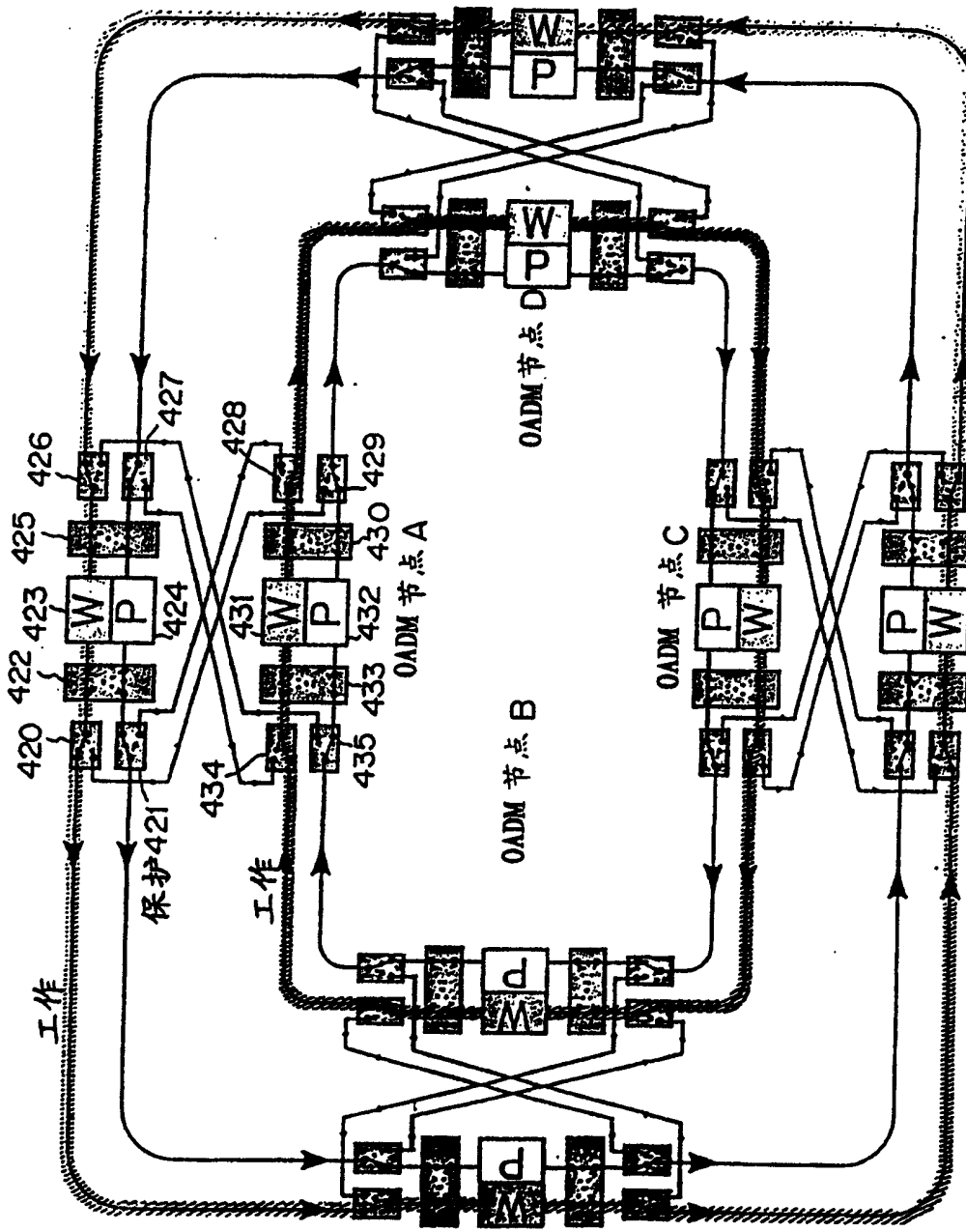


图 48

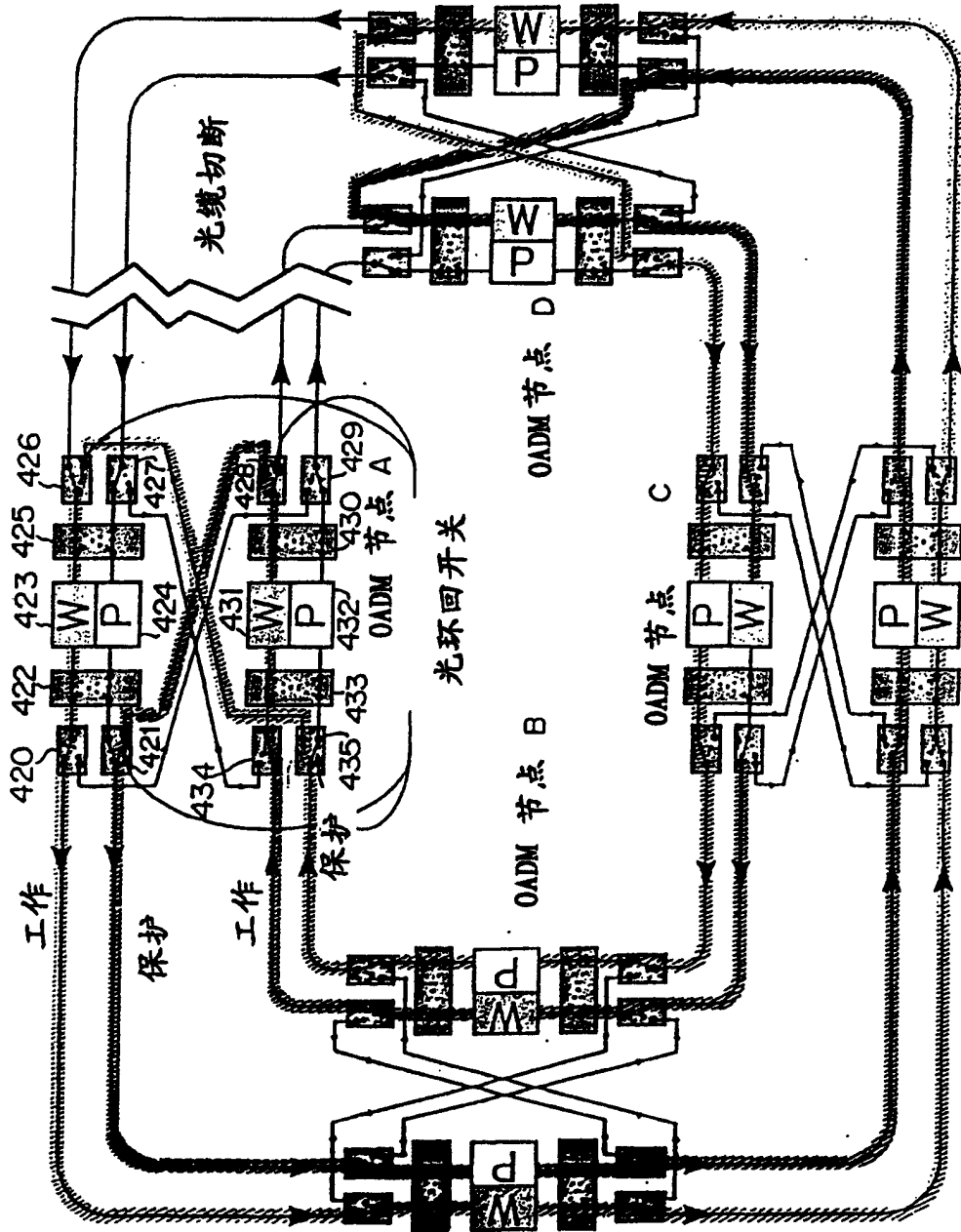


图 49

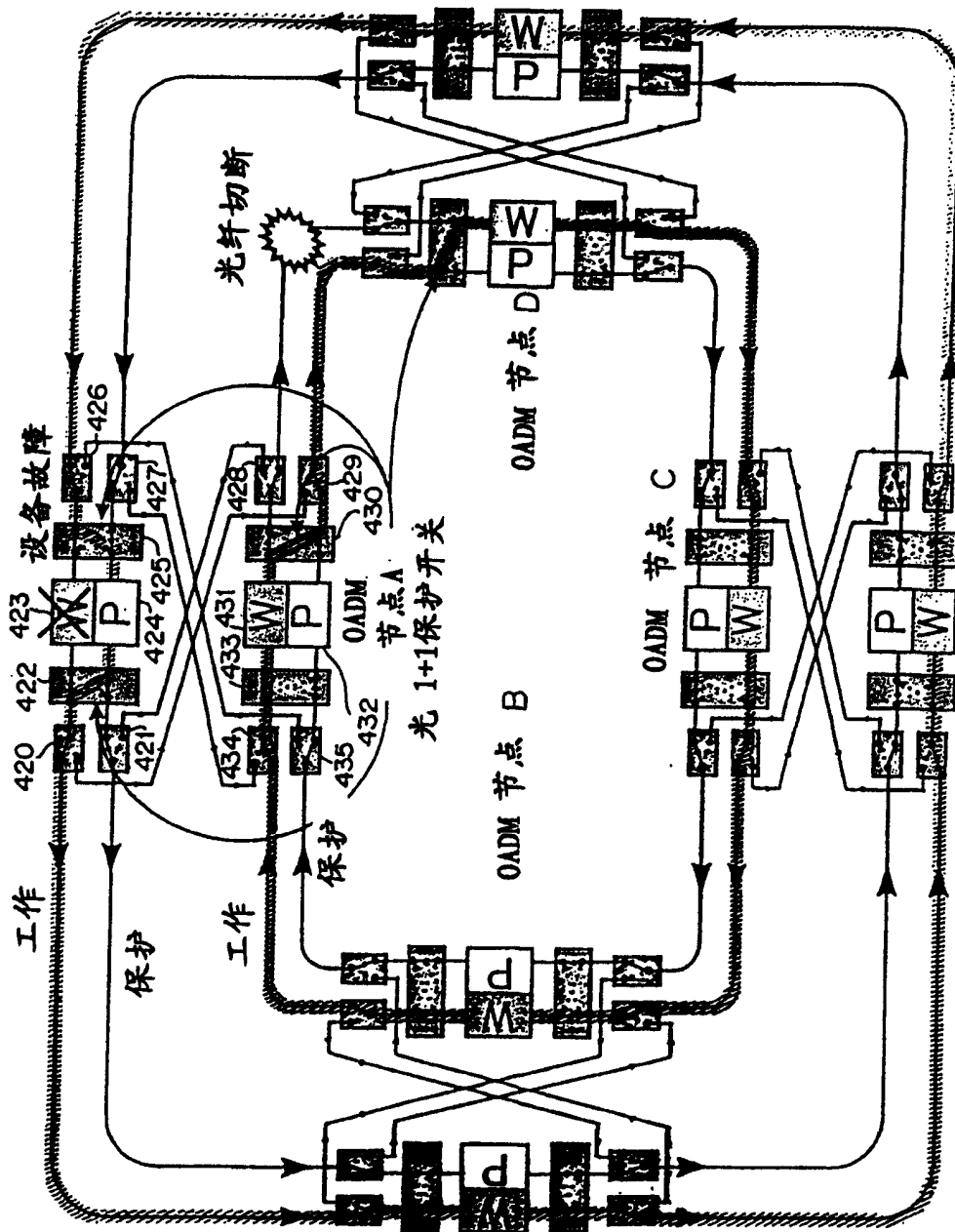


图 50

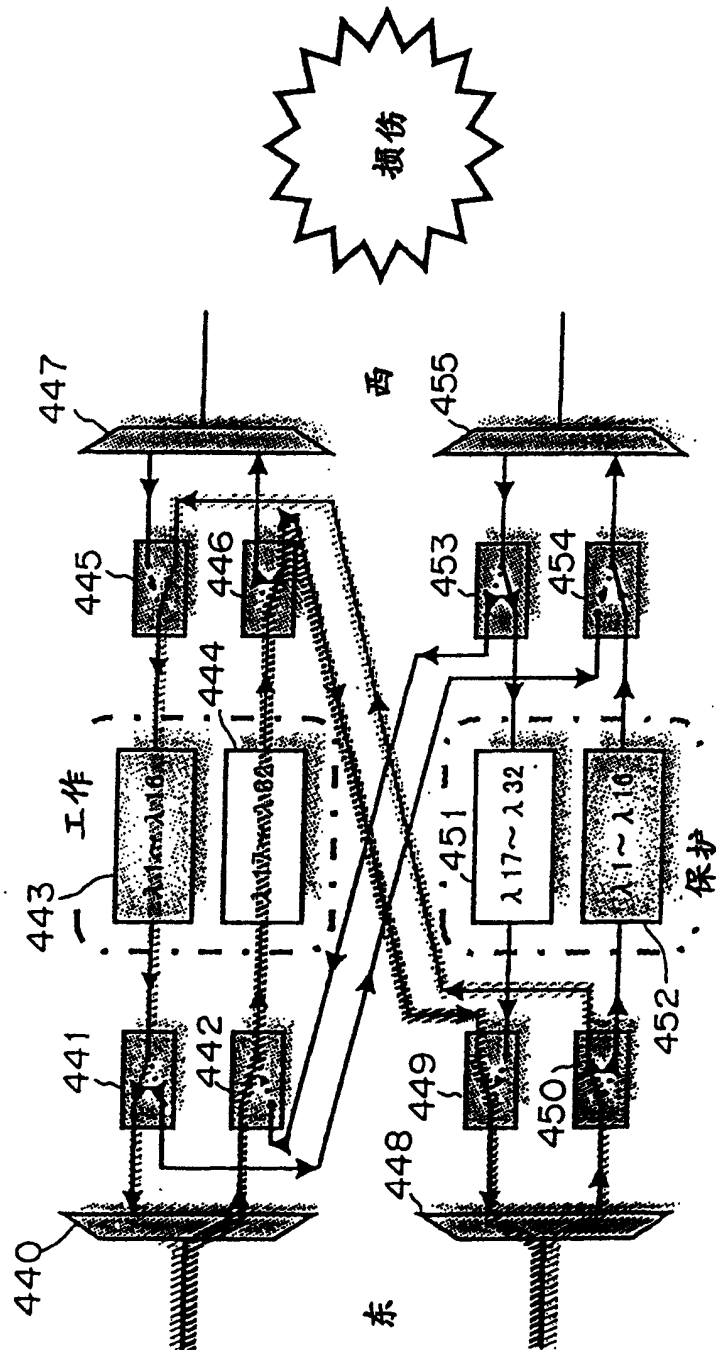


图 52

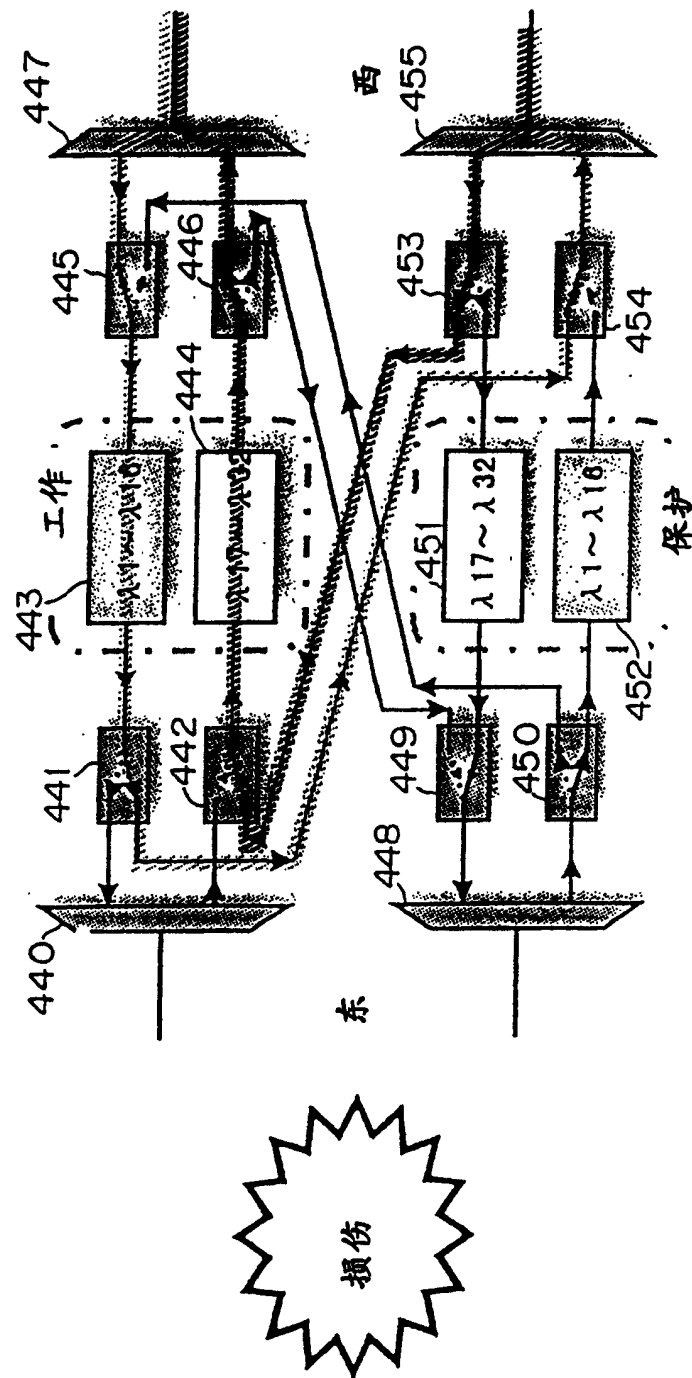


图 53

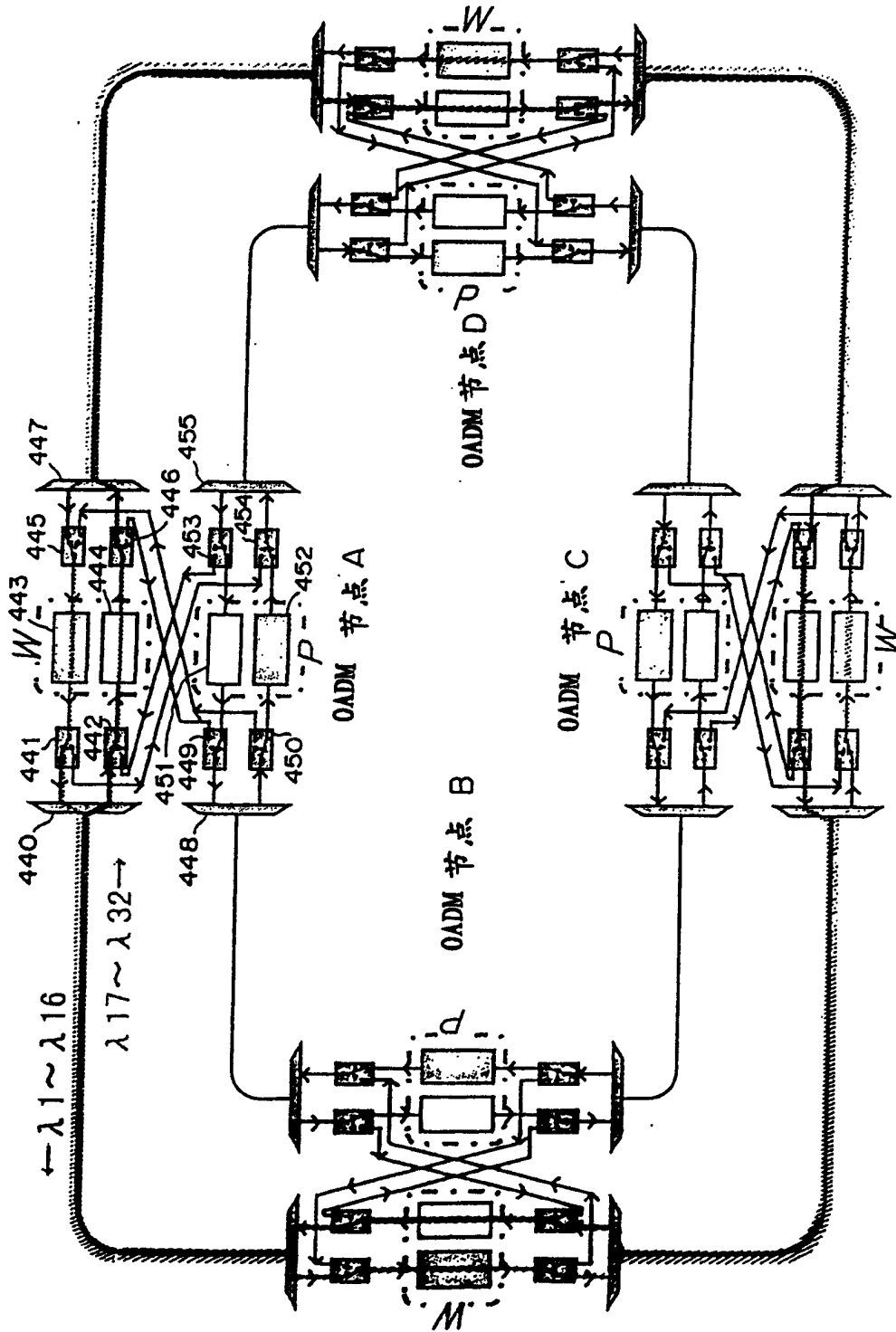


图 54

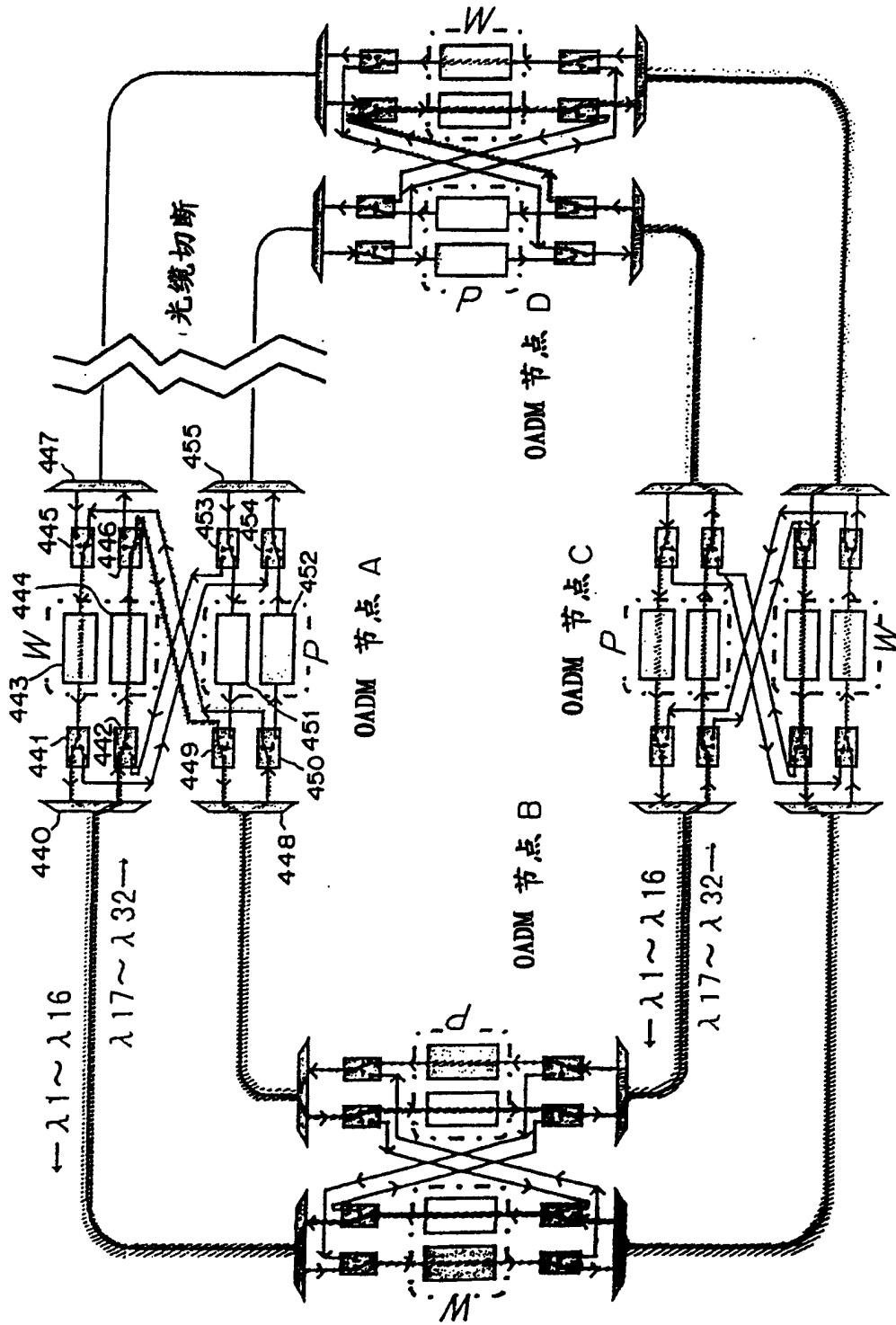


图 55

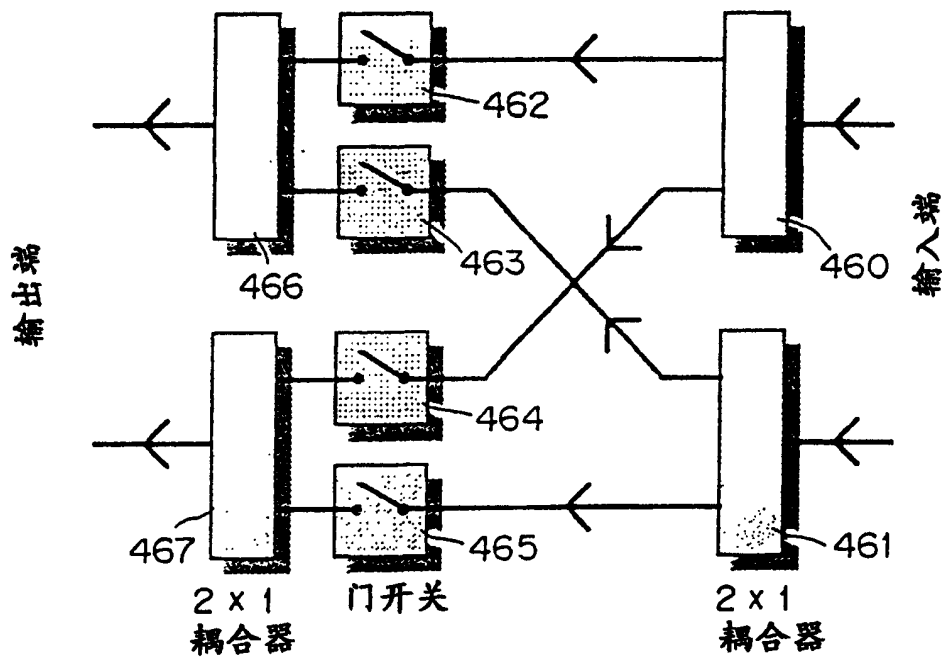


图 56

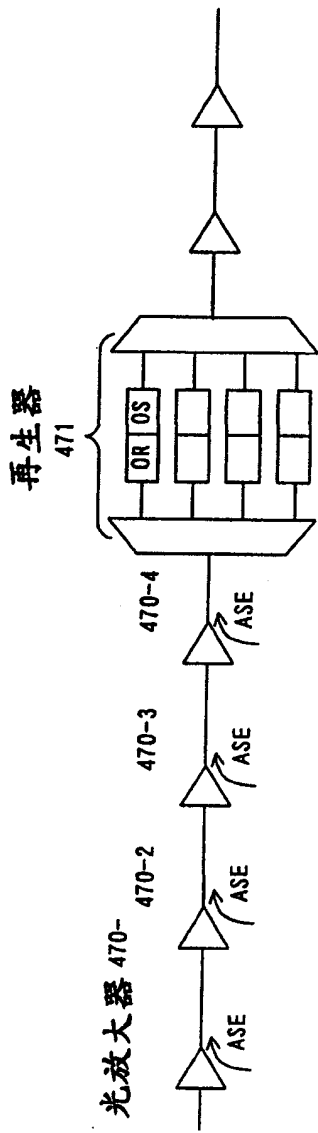


图 57A

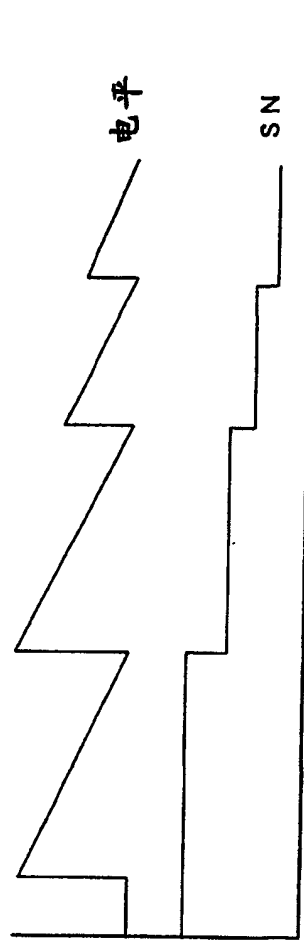


图 57B