

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04B 10/12

H01S 3/13



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02103360.9

[45] 授权公告日 2005 年 10 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 1222122C

[22] 申请日 1997. 11. 25 [21] 申请号 02103360.9

分案原申请号 97126361.2

[30] 优先权

[32] 1996. 11. 25 [33] JP [31] 313759/96

[71] 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

[72] 发明人 小坂淳也 坂野伸治

审查员 陈姗姗

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

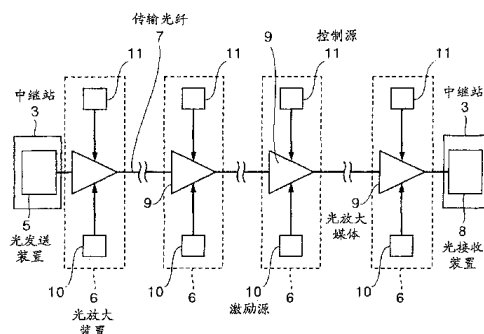
代理人 叶恺东

权利要求书 2 页 说明书 33 页 附图 26 页

[54] 发明名称 光放大装置及利用它的光传送系统

[57] 摘要

提供一种结构简单、信号光输出的 S/N 比不变差、且控制响应性好、能抑制光浪涌的发生和放大输入的信号光的光放大媒体的控制方法和光放大装置以及利用它的系统。一种具有由激励光供给能量、通过该能量的供给来使光放大的光放大媒体的光放大装置，具有根据已输入该光放大装置的信号光的输入强度去控制上述光放大装置的增益的增益控制装置，该增益控制装置在上述信号光输入强度的规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的信号光输入强度具有上述最大增益以下的正的增益区。



1、一种光放大装置，具有由激励光供给能量、通过上述能量的供给来使光放大的光放大媒体，其特征在于，具有根据已输入上述光放大装置的信号光输入5 入的强度去控制上述光放大装置的增益的增益控制部，上述增益控制部控制上述光放大装置，使其在上述信号光输入强度的规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的信号光输入强度具有上述最大增益以下的正的增益区。

2、权利要求1记载的光放大装置，其特征在于，上述增益控制部还根据从上述光放大装置输出的信号光的输出强度去控制上述光放大装置的增益。

10 3、权利要求1记载的光放大装置，其特征在于，上述增益控制部在上述信号光输入强度为-20dBm的规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的信号光强度具有正的增益区。

4、权利要求3记载的光放大装置，其特征在于，上述光放大装置具有28dB以上的最大增益。

15 5、一种光放大装置，具有由激励光供给能量、通过上述能量的供给来使信号光放大的光放大媒体，其特征在于，具有根据已输入上述光放大装置的上述信号光的输入强度去控制上述光放大装置的增益的增益控制部，在从显示上述信号光强度在规定的值以下的值达到规定时间以上的时刻起到显示上述信号光强度在规定的值以上的值为止的这段时间内，该增益控制部使上述光放大装置强20 制地减小其信号光输出强度。

6、一种光传送系统，包括发送多路复用信号的光发送装置、从上述光发送装置接收信号光并将上述信号光放大并输出的光放大装置、和从上述光放大装置接收信号光的光接收装置，并进行长距离传送，其特征在于，设置在上述光发送装置之后的光放大装置具有由激励光供给能量、利用上述能量对信号光进25 行放大的光放大媒体和根据输入上述光放大装置的光的输入强度来控制上述光放大装置的增益的增益控制部，上述增益控制部，在上述信号光强度规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的信号光强度具有小于上述最大增益的正的增益区。

7、一种光传送系统，包括发送信号光的光发送装置、从上述光发送装置接30 收信号光并将上述信号光放大并输出的光放大装置、和从上述光放大装置接收

- 已放大的信号光的光接收装置，其特征在于，上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用上述能量对信号光进行放大的光放大媒体和根据输入的上述信号光的输入强度来控制增益的增益控制部，上述增益控制部在上述信号光强度规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的预定的信号光输入强度范围具有小于上述最大增益的正的增益区。
- 5

8、权利要求7记载的光传送系统，其特征在于，上述增益控制部在上述信号光强度为-20dBm 以下的规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的预定的信号光输入强度范围具有小于上述最大增益的正的增益区。

- 9、权利要求7记载的光传送系统，其特征在于，在从显示上述信号光强度
- 10 在规定值以下的值达到规定时间以上的时刻起到显示上述信号光输入强度在规定值以上的值为止的这段时间内，上述增益控制部控制上述光放大装置，强制地减小其信号光输出强度。

光放大装置及利用它的光传送系统

5 技术领域

本发明涉及具有光传送网络、光通信系统或光传送系统、以及用于这些系统的光放大装置的各种光传送用装置及其控制方法，特别是涉及可抑制光浪涌的发生的光放大媒体的控制方法和光放大装置以及利用它的光传送系统。

背景技术

- 10 一般说来，对于光放大装置，必须尽量抑制浪涌。这里所说的“光浪涌”是指当输入光放大装置的信号光瞬时增大时信号光以极高的增益从该光放大装置输出的现象。光浪涌的发生基于以下的理由。即，当信号光输入减小时为了得到所要的信号光输出，必须使激励光的功率加大并使光放大媒体内的放大倍数增大，因此，这时在光放大媒体的内部潜在地积蓄着很大的信号光放大能
- 15 量，若在这样的状态下瞬时增大信号光输入，信号光便接收到目前所积蓄的能量并以极高的增益从该光放大装置输出。若出现光浪涌，不光会对光通信终端的受光元件造成破坏和引起连接器端面的熔化，而且有时还会对人引起障碍（视觉障碍），所以，必须要抑制光浪涌的发生。特别是当光放大装置是多级连接时，事情更严重。这是因为，一旦发生的光浪涌被后级的光放大装置一级
- 20 一级放大，结果很可能对构成各光放大装置的光学部件造成致命的破坏。

- 到目前为止，作为对付光浪涌的对策的例子，可以举出在文献“多级连接的光放大器中的光浪涌问题的探讨”（1993年，电子信息通信学会，春季大会B—941）中记载的例子。在该例子中，实验系统的结构由图41（A）示出，此外，多级连接时的各个光放大器的光输出电平由图41（B）示出。如图41
- 25 （A）所示，对作为信号光源的激光二极管（LD）（使用中心波长为 $1.55\mu\text{m}$ 的DFB（分布反馈型）—LD模块）进行电流驱动，由此，从LD可发生建立时间可变的信号光。从该LD来的信号光依次经过其前面分别配置有光衰减器（ATT）的光放大器（对添加铒的光纤放大器用波长为 $1.48\mu\text{m}$ 的激光泵激励）（AMP1～AMP5）得到信号光输出，另一方面，使用光电二极管（PD）经

ATT 可以监测从各光放大器输出的信号光的波形状态,从图 41(B)可知,从 LD 来的信号光的建立时间越慢越能抑制光浪涌,特别是当将该建立时间设定为几毫秒量级时,几乎不产生光浪涌。

此外,图 42 示出特开平 6—45682 公开的结构例子。如图 42 所示,由光合成器 52 合成的信号光和从激光二极管 53 来的激励光正向通过光隔离器 54 并入射到参杂光纤 55。当信号光和激励光入射到参杂光纤 55 时,因参杂的稀土类元素和激励光的作用在导波区内产生感应发射,信号光被放大。已放大的信号光和无损耗地留下来的激励光入射到光带通滤光器 56。在光带通滤光器 56 中,除去激励光和杂音成分的自然发射光,只让已放大的信号光通过光带通滤光器 56。通过的信号光由受光电路 58 接收经分光电路 57 分出来的光,由偏置控制电路 59 将受光电路 58 来的直流电压与参考电压 V_{ref} 进行比较,从而控制激光二极管 53 的偏置电流使误差成分为零。符号 60 表示具有端口 60A、60B、60C 和 60D 的 4 端口型的光循环器。供给端口 60A 的光只能从 60B 端口输出,供给端口 60B 的光只能从 60C 端口输出,供给端口 60C 的光只能从 60D 端口输出,供给端口 60D 的光只能从 60A 端口输出。从激光二极管 61 来的控制光供给端口 60A,端口 60B 与分光电路 57 的端口 57B 连接,端口 60C 与未图示的输出一侧的光传送线路连接,端口 60D 是空端。从激光二极管 61 来的控制光依次通过光循环器 60、分光电路 57 和光带通滤光器 56 导入掺杂光纤 55。同时,由偏置控制电路 62 将受光电路 58 来的直流电压与参考电压 V_{ref4} 进行比较,从而控制从激光二极管 61 来的控制光的功率以使误差成分为零。

若按照本特开平 6—45682 的公开例,控制光的波长设定在使掺杂光纤 55 产生感应发射的波长范围内,例如与信号光的波长大致相等,当输入信号的功率变动较缓慢时,通过光带通滤光器 56 的一部分信号光被受光电路 58 接收,由偏置控制电路 59 控制从激光二极管 54 来的激励光的功率,当输入信号光的功率剧烈变化时,由偏置控制电路 62 控制从激光二极管 61 供给的控制光的功率。由此,不管输入信号变化如何剧烈都能使输出信号的功率保持一定。

图 43 示出特开平 8—18138 的公开例的结构例子。如图 43 所示,是将 2 个光放大器 AMP1 和 AMP2 从属连接起来的二级结构。第 1 光放大器 AMP1 具有由第 1EDF100、LD 等构成的第 1 激励光源 102、第 1 合波器 104 和第 1 光隔离器 106。输入光经与输入侧的光纤的一端连接的能充隔离器 SO 输入

到第1光放大器AMP1。第1激励光源102经第1合波器激励第1EDF100。此外，通过第1EDF100的信号光经第1光隔离器106输入到第2光放大器AMP2。

第2光放大器具有第2EDF108、延迟用光纤110、第2激励光源112、第2
5 光合波器114、第2光隔离器116、第3EDF118、衰减器120、第3光隔离器122、第1分路连接器124、第2分路连接器126和光检测器128。第1分路连接器124将第1光隔离器的光按规定的比例分成2路。第1分路通过延迟用光纤110进入第2EDF108。第2分路充经衰减器120进入第3EDEF118。第2EDF108与分路连接器126连接。此外，第3EDF118经第3光隔离器122与
10 第2分路连接器126连接。第2激励光源112经第2合波器114激励第2EDF108。第2合波器114的输出光经第2光隔离器116输出到输出侧的光纤。

由第3EDF118、衰减器120及第3光隔离器122构成的光路具有下面的功能，当大于规定光强度的光、例如光浪涌脉冲输入第1分路连接器124时，将与经第2分路连接器126并通过第2EDF108的信号光的方向相反的光供给第
15 2EDF108，使第2EDF108的增益降低。具体地说，使第2EDF108产生感应发射，其方向与信号光通过的方向相反。这时，延迟用光纤110使从第1分路连接器124来的光延迟，从而，在光浪涌脉冲通过延迟用光纤110并输入到第2EDEF108之前产生上述感应发射。

这样，说明了通过在第1光放大器AMP1发生的光浪涌脉冲有可能防止在
20 第2光放大器AMP2发生光浪涌。

但是，在上述文献“光放大器多级连接时光浪涌的研究”中，只对基于信号光输入的上升时间控制的光浪涌抑制方法公开了一点点，当将该光浪涌的抑制方法实际应用于光通信系统中去时，不能对付由于信号光输入的上升之外的原因引起的光浪涌，其应用在相当程度上不得 not 受到限制。例如，即
25 使控制了信号光输入的上升时间，在对处于光信号传送状态的光纤施加物理的振动和冲击时，伴随由此引起的信号光功率的瞬间变动，恐怕会容易诱发光浪涌。

此外，加上上述缺点，在与先有的技术有关的光放大器中，为了抑制光浪涌，必需或者减小从激励光源来的激励光的功率，或者暂时停止该激励光，但这
30 时，不能跟踪激励光功率的减小速度来进行光浪涌的抑制控制，不能迅速地期

望提高该控制的响应特性。这是因为，光浪涌的抑制制度依赖于输入到光放大媒体的信号光上升前的能量积蓄和信号光的上升速度以及该光的功率，其抑制速度比激励光功率的减小速度慢。因而，使从激励源来的激励光的输出处于暂时停止状态直到光浪涌被抑制到预先设定值为止，但是，事实上，这就意味着只靠激励源存在着不能有效地抑制光浪涌的空白时间，在这段时间内还能够继续发生光浪涌。

进而，在与先有的技术有关的光放大器中，对于瞬间的信号光输入的变动，有必要使光放大器输出的信号光稳定，使流向激励源的驱动电流大幅度地变动，但是，当驱动电流大幅度地变动时，激励源振动波长也变动，结果，成为引起信号光输出的稳定性差、使光放大器整体的 S/N 比变差的主要原因。

此外，在本特开平 6—45682 的公开例中，提到了控制光对光输出的控制速度，但没有提到功率的问题。实际上，为了可靠地抑制光浪涌，与其重视控制速度倒不如重视控制在参杂光纤中产生的过度积蓄能量的消耗及其对策，在本公开例中没有提到这一点。

此外，在本公开例的控制光中，对在参杂光纤中产生的过度积蓄能量的消耗进行控制是困难的。其原因是，作为控制光使用的与信号光的波长大致相同的 LD 的波长区在光纤传送上是在大约 0.1nm 以下，其结构是使控制光通过除去了 LD 波长以外的成分的带通滤光器之后再导入掺杂光纤的，以及因必需准备独立的控制光故无论哪一种都不能供给只抑制光浪涌的高能量。

此外，为了不损害光放大器原来的功能当然要降低信号光的损失，同时，在本公开例中还有必要进一步降低控制光的功率损耗，所以，正如公开例所示，以低的损耗将输出信号光和控制光两者汇合或分开的光循环器等必须具备复杂且价格昂贵的光学部件。

此外，还必需另外具备作为控制光使用的激光二极管，而且还必需有超高输出的 LD，这就会带来新的开发课题。

此外，作为光放大器的特性要素的噪声指数和放大倍数因控制光的导入而显著变差，所以，控制光的导入给光放大器本来具有的特性造成坏的影响。对于如何回避这些问题的方法一概没有触及。

进而，公开例是从受光电路 58 的输出监测器进行反馈来控制激励光和控制光的结构，是检测出已经从掺杂光纤 55 和带通滤光器 56 发出的光输出来抑

制光浪涌的结构。从而，例如，当输入信号功率减小了时，在掺杂光纤 55 内已积蓄了过度的能量，这就是光浪涌的主要原因，但若只用受光电路 58 不能检测出该现象。再有在通过受光电路 58 已检测出来时也不能抑制已经产生的光浪涌。从光放大器的整体来看，只通过监测输出来快速且可靠地抑制光浪涌是困难的。

此外，虽然提到了光输出的变动，但对于作为光浪涌发生的根本原因的变动着的光输入的本身，并没有见到对付处理的方法。

进而，虽然提到了光放大器的光输出的控制方法，但并没有记载信号光的增益控制。

此外，在特开平 8—18138 的公开例中，若第 1 光放大器产生的光浪涌在规定的电平以上，则达不到发明的效果。即，第 1 光放大器所产生的光浪涌是在功能上跑不掉的结构，所以，第 1 光放大器所产生的光浪涌被直接输入到设

第 1EDF 级之后的光合波器、光隔离器中。因此，具有一定的危险性，所产生的光浪涌会给这些器件带来损害等坏影响。正如在公开例中也提到过的那样，

在实际的系统中，一般使用将第 1 光放大器 AMP1 次级的光输出分路后进行监测、控制第 1 激励光源使该光输出保持一定的方式。这时，不难想象第 1 光放大器产生的光浪涌具有对监测用的光检测器等产生破坏的危险性。

为了使主信号光的损失达到最小限度，不可避免地要使用分路比较高的分路连接器（在公开例中使用 2 个 1:10 的光路连接器）。因此，不仅到达第 3EDF 的光浪涌、而且导入第 2EDF 的光也变弱了。进而，在上述公开例中，通过第 3EDF 和光衰减器大幅度地衰减了光功率，所以，实际上可以导入第 2EDF 的光功率很微弱。在公开例中记述了分路后的光浪涌变成了一10～一20dBm 左右，但是，如下面要详细说明的那样，为了将光浪涌抑制到十分安全的电平，有必要提供一10dBm 以上的光功率，在公开例的方式中，不能得到充分的光浪涌抑制效果。

另一方面，在欲降低衰减量提高光浪涌的抑制效果时，在上述公开例中，在第 1EDF、第 3EDF 和延迟用的光纤构成的环路中，存在经常产生环路起振的可能性，对于确保实际系统的可靠性，这不是所希望的。所以，不得不说本公开例中的光浪涌抑制效果是很局限的。

进而，在我们的验证中，认识到作为光浪涌的主要成分的信号光波长之外的

波长区的光（构成自然发射的成分）对于光浪涌的抑制起到了很大的提高抑制效果的作用。但是，在上述公开例中，信号光波长之外的成分因光功率弱故被吸收而不能达到该效果。

此外，在实施例中，示出了环激光的结构。在该结构中，因起振阈值确定，故知道 EDF 的最大增益确实是一定的。但是，对于防止在最大增益下顾及信号输入电平的不同（例如信号输入从 $-\infty$ 开始上升与从 -20dBm 开始上升的不同）而发生的光浪涌的方法，一概没有记述。

发明内容

本发明的第 1 目的在于，提供一种结构简单、信号光输出的 S/N 比不差、而且控制响应特性好、可不断地抑制光浪涌的发生、能够对信号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

本发明的第 2 目的在于，提供一种不另外设置控制光等的器件、可不断地抑制成为光浪涌的主要原因的积蓄能量、能够对信号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

本发明的第 3 目的在于，提供一种不另外设置控制光等的器件、可不断地抑制光浪涌的发生、能够对信号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

本发明的第 4 目的在于，提供一种可不断供给只用来高效地抑制光浪涌的高能量、能够对信号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

本发明的第 5 目的在于，提供一种不使用贵重的光学部件就可以简单地构成的光放大媒体控制方法和光放大装置以使用它的系统。

本发明的第 6 目的在于，提供一种可持续高效地抑制光浪涌、不对光放大器的除光浪涌抑制之外的特性要素造成坏影响、能够对信号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以使用它的系统。

本发明的第 7 目的在于，提供一种当将光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统作为一个来整体看时、可以快速而且可靠地抑制光浪涌的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

本发明的第 8 目的在于，提供一种对作为光浪涌发生的根本原因的输入光的变动能够进行处理、能够不断地消除掺杂光纤内过度积蓄的能量、能够对信

号光输入进行放大的光放大媒体控制方法和光放大装置以及使用它的系统。

上述目的基本上是通过以下的结构来实现的，即，至少以光放大媒体和激励该放大媒体的激励源作为主要构成要素，除此之外还应包括：将光放大媒体的信号光输出分出一部分的第1分光部；使从该第1分光部分出来的一部分光经该第1分光部向相反方向反馈回去并沿与信号光输出方向相反的方向回到上述光放大媒体、的反馈部；对已经过上述第1分光部的信号光输出的一部分再进行分光的第2分光部；检测从该第2分光部分出来的一部分光的光检测器；根据该光检测器来的检测光功率控制上述激励源和反馈部的至少一个的控制部，或者还应包括：将光放大媒体的信号光输出分出一部分的第1分光部；使从该第1分光部分出来的一部分光经该第1分光部向相反方向反馈回去并、沿与信号光输出方向相反方向回到上述光放大媒体的反馈部；对从该反馈部向上述第1分光部反馈的反馈光的一部分进行分光的第2分光部；检测从该第2分光部分出来的一部分光的第1光检测器；在反馈到上述光放大媒体的同时对由该放大媒体放大的反馈光的一部分进行分光的第3分光部；检测从该第3分光部分出来的一部分光的第2光检测器；根据上述第1、第2光检测器来的检测光功率控制上述激励源和反馈部的至少一个的控制部。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，具有根据输入到光放大装置的信号光的输入强度去控制上述光放大装置的增益的增益控制部，该增益控制部控制上述光放大装置的增益，使其在上述信号光强度下规定值具有最大增益，对于上述规定值以下的上述信号光强度具有小于上述最大增益的正的增益区。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，具有检测输入到光放大装置的输入光的强度的检测部、从该检测部接收检测信号并识别上述输入光的强度是否在规定值以下的控制部、和从上述控制部接收控制信号并将控制上述光放大媒体发生的光浪涌的浪涌控制光导入上述光放大媒体的控制光导入部，对上述光放大装置的增益进行控制，使其噪声指数在10dB以下。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，具有检测输入到光放大装置的输入光的强度的检测部、从该检测部接收检测信号并识别上述输入光的强度是否至少10 μ s以上的时间在规定值以下的控制部、和从上述控制部接收控制信号并将控制上述光放大媒体发生的光浪涌的浪涌控制光导入上述光放大媒体的控制光导入部。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,包括控制光导入部,将具有至少 $2.7\mu\text{m}$ 左右的波长的控制光导入上述光放大媒体。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,包括控制光导入部,将 $80\mu\text{W}$ 以上强度的控制光导入上述光放大媒体。

- 5 此外,上述目的通过附加了放大功能的光接收装置来实现,该装置的特征在于,在包括将信号光放大并输出的光放大器和从该光放大器接收已放大的信号光的光接收器的附加了放大功能的光接收装置中,上述光放大器具有控制在其内部发生的光浪涌的浪涌控制部。

- 此外,上述目的通过下述结构来实现,即,具有根据已输入到光放大装置的
10 上述信号光的输入强度去控制上述光放大装置的增益的增益控制部,在从显示上述信号光输入强度在规定值以下的值达到规定时间以上的时刻起到显示上述信号光输入强度在规定值以上的值为止的这段时间内,该增益控制部控制上述光放大装置,强制地减小其信号光输出强度。

- 此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送信号光的光发送装置、
15 从该光发送装置接收信号光将该信号光放大并输出输出光的光放大装置、和从该光放大装置接收输出光的光接收装置的光传送系统中,上述光放大装置具有使上述信号光输入的光放大媒体、激励该光放大媒体的激励源、和将具有至少 $2.7\mu\text{m}$ 左右的波长的控制光导入上述光放大媒体的控制光导入部。

- 此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送信号光的光发送装置、
20 从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出输出光、且其最大增益在 28dB 以上的光放大装置、和从该光放大装置接收输出光的光接收装置的光传送系统中,上述光放大装置具有使上述信号光输入的光放大媒体、激励该光放大媒体的激励源、和将 $80\mu\text{W}$ 以上强度的控制光导入上述光放大媒体的控制光导入部。

- 25 此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、对由该光放大装置放大的信号光进行传送的传送光纤、和接收由该传送光纤传送来的信号光的光接收装置的光传送系统中,上述光放大装置设置在上述光发送装置之后、并具有控制其内部产生的光浪涌的浪涌控制部。

- 30 此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括一路输入多路输出的光开

关、从该光开关的至少一个该输出中接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、对由该光放大装置放大的信号光进行传送的传送光纤、和接收由该传送光纤传送来的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置设置在上述光开关之后、并具有控制光浪涌的浪涌控制部。

5 此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括多路输入一路输出的光开关、从该光开关中接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、对由该光放大装置放大的信号光进行传送的传送光纤、和接收由该传送光纤传送来的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置设置在上述光开关之后、并具有控制光浪涌的浪涌控制部。

10 此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置中接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、对由该光放大装置放大的信号光进行传送的传送光纤、和接收由该传送光纤传送来的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置设置在上述光接收装置之前、并具有控制其内部产生的光浪涌的浪涌控制部。

15 此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送已进行波长多路复用的信号光的光发送装置、从该光发送装置中接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和接收由该光放大装置放大的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用该供给的能量对上述已进行波长多路复用的信号光进行放大的光放大媒体和控制由该光放大媒体
20 产生的光浪涌的浪涌控制部。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收已放大的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用该供给的能量对信号光进行放大的光放大媒体
25 和根据输入到该光放大装置上述信号光的输入强度来控制增益的增益控制部。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、和从该光发送装置接收信号光并附加了放大功能的光接收装置的光传送系统中，上述附加了放大功能的光接收装置具有将上述光发送装置来的信号光放大
30 并输出的光放大器和从该光放大器接收已放大的信号光的光接收器，上述光

放大器具有控制在其内部发生的光浪涌的浪涌控制部。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送多路复用信号的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收信号光的光接收装置的进行长距离传送的光传送系统中,设置在上述光发送装置之后的光放大装置具有由激励光供给能量、利用该能量对信号光进行放大的光放大媒体和根据输入该光放大装置的信号光的输入到强度来控制上述光放大装置的增益的增益控制部,该增益控制部控制上述光放大装置,使其在上述信号光强度规定值下具有最大增益,对于上述规定值以下的信号光输入强度具有小于上述最大增益的正的增益区。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送多路复用信号的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收信号光的光接收装置的进行长距离传送的光传送系统中,设置在上述光发送装置之后的光放大装置具有由激励光供给能量、利用该能量对信号光进行放大的光放大媒体和根据上述光发送装置来的多路复用控制信号来控制上述光放大装置的增益的增益控制部,该增益控制部控制上述光放大装置,使其在上述信号光强度规定值下具有最大增益,对于上述规定值以下的上述信号光强度具有小于上述最大增益的正的增益区。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括发送多路复用信号的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的多级连接的光放大装置、和从该光放大装置接收信号光的光接收装置的进行长距离传送的光传送系统中,设置在上述光发送装置之后的光放大装置具有控制在其内部产生的光浪涌的浪涌控制部,利用该浪涌控制部将上述光接收装置的信号光输入强度抑制到 16dBm 以下。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括由一路输入多路输出构成的光开关、从该光开关的至少一个输出中接收信号光并将该信号光放大并输出的多级连接的光放大装置、和接收从该光放大装置输出的信号光的光接收装置的进行长距离传送的光传送系统中,设置在上述光开关之后的光放大装置具有控制在其内部产生的光浪涌的浪涌控制部,利用该浪涌控制部将上述光接收装置的信号光输入强度抑制到 16dBm 以下。

此外,上述目的通过下述结构来实现,即,在包括由多路输入一路输出构成

的光开关、从该光开关接收信号光并将该信号光放大并输出的多级连接的光放大装置、和接收从该光放大装置输出的信号光的光接收装置的进行长距离传送的光传送系统中，设置在上述光开关之后的光放大装置具有控制在其内部产生的光浪涌的浪涌控制部，利用该浪涌控制部将上述光接收装置的信号光输入强度抑制到 16dBm 以下。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收已放大的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置具有控制在其内部产生的光浪涌的浪涌控制部，利用该浪涌控制部将上述光接收装置的信号光输入强度抑制到 16dBm 以下。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收已放大的信号光的光接收装置的光传送系统中；上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用该供给能量对信号光进行放大的光放大媒体和根据输入的上述信号光的输入强度来控制增益的增益控制部，该增益控制部控制上述光放大装置，使其在上述信号光强度规定值下具有最大增益，对于上述规定值以下的预定的信号光输入强度范围具有小于上述最大增益的正的增益区。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收已放大的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用该能量对信号光进行放大的光放大媒体和根据输入的上述信号光的输入强度来控制增益的增益控制部，该增益控制部控制上述光放大装置，使上述信号光强度在-20dBm 以下的规定值具有最大增益，对于上述规定值以下的预定的信号光输入强度范围具有小于上述最大增益的正的增益区。

此外，上述目的通过下述结构来实现，即，在包括发送信号光的光发送装置、从该光发送装置接收信号光并将该信号光放大并输出的光放大装置、和从该光放大装置接收已放大的信号光的光接收装置的光传送系统中，上述光放大装置具有由激励光供给能量、利用该能量对信号光进行放大的光放大媒体和

根据输入的上述信号光的输入强度来控制增益的增益控制部，在从显示上述信号光强度在规定值以下的值达到规定时间以上的时刻起到显示上述信号光强度在规定值以上的值为止的这段时间内，该增益控制部控制上述光放大装置，强制地减小其信号光输出强度。

5 附图说明

图 1 是表示本发明的光放大装置的基本特性的图。

图 2 同样是表示本发明的光放大装置的基本特性的图。

图 3 同样是表示本发明的光放大装置的基本特性的图。

图 4 是表示本发明的光传送网络的基本方框结构的图。

10 图 5 同样是表示本发明的光传送系统的基本方框结构的图。

图 6 是表示将光放大装置和光开关组合起来的系统结构的图。

图 7 是表示图 6 所容许的特性的图。

图 8 同样是表示将光放大装置和光开关组合起来的系统结构的图。

图 9 是表示将光放大装置和光发送装置组合起来的系统结构的图。

15 图 10 是表示光放大装置的全信号光输入强度和全信号光输出强度的关系的图。

图 11 是表示光放大装置的控制源和激励源的作用量相对全输入强度的变化的图。

图 12 是表示将光放大装置和光接收装置组合起来的装置的图。

20 图 13 是表示图 12 所示装置的一个例子的具体结构的图。

图 14 同样是表示图 12 所示装置的一个例子的具体结构的图。

图 15 是表示光放大抑制部的一个例子的具体结构的图。

图 16 是表示光放大部的一个例子的具体结构的图。

图 17 是用图形表示光放大媒体的激励能级的图。

25 图 18 是表示图 17 所示的抑制源的一个例子的具体结构的图。

图 19 是表示作为图 18 的其它派生例的光放大装置的图。

图 20 是表示图 19 所示的光放大装置的一个例子的具体结构的图。

图 21 是表示图 20 所示的调整部的一个例子的具体结构的图。

图 22 是反馈光的光谱的概念图。

30 图 23A 和图 23B 是表示光放大装置的输出光的实测数据的图。

图 24 是表示反馈部的一个例子的具体结构的图。

图 25 同样是表示反馈部的一个例子的具体结构的图。

图 26 同样是表示反馈部的一个例子的具体结构的图。

图 27 是表示图 14 的一个例子的具体结构的图。

5 图 28 是表示图 27 所示的光放大装置一个例子的具体结构的图。

图 29 是表示图 24、图 25、图 26 所示的控制部的一个例子的具体结构的图。

图 30 是表示图 14 的其它派生例的具体结构的图。

图 31 是表示光浪涌峰值相对光输出的比率的图。

10 图 32 是表示模拟产生在图 30 的具体例中已使用过的光浪涌的光输入脉冲的图。

图 33 是表示图 30 的具体例的输出光的图。

图 34 是表示在图 30 的具体例中输入到光放大媒体的反馈光功率对光放大媒体的增益放大率的图。

15 图 35 是表示在图 30 的具体例中反馈光的波长带宽改变时的激励光源所必须的电流的图。

图 36 是表示在图 30 的具体例中光放大媒体的放大参数已变化时的反馈光功率的变化的图。

图 37 是表示在图 30 的具体例中设定反馈光的波长带为 3nm、相对设定了的波长带所必须要的反馈光功率的图。

20 图 38A 和图 38B 是表示在图 30 的具体例中已通过包含信号光的反馈光和不包含信号光的反馈光被抑制了的光浪涌的输出的图。

图 39 是表示在图 30 的具体例中将光浪涌抑制到 3dB 以下的光放大装置的增益特性的图。

25 图 40 是将光放大装置的整体输出特性与输入的瞬间断开时间对应起来表示的图。

图 41A 和图 41B 是表示先有的光放大器的结构的图。

图 42 同样是表示先有的光放大器的结构的图。

图 43 同样是表示先有的光放大器的结构的图。

具体实施方式

30 下面，利用图 1 到图 40 说明本发明。

在说明本发明的具体结构例之前,就本发明的光放大媒体的控制方法进行说明。

如上所述,实际上,为了可靠地抑制光浪涌,与其在控制速度上下工夫,倒是有必要在光放大媒体中过度产生的积蓄能量的消耗控制及其对策上下工夫。即,光浪涌发生的第1位原因就是,在向光放大媒体输入的信号光强度小的状态下,过度积蓄的能量保持在光放大媒体内。

第2位原因就是,即使想抑制已产生的光浪涌而瞬时中断激励源的能量供给,但由于光放大媒体的放大响应速度本质上是慢的,所以不可能瞬时降低光放大媒体的输出光强度。

10 本方法是有效地检测成为光浪涌的主要原因的光放大媒体的预兆现象、而且是用于抑制光浪涌的增大的方法。

图1、图2、图3示出控制本发明的光放大媒体的方法的第1基本状态。

首先在图1中,示出光放大媒体的输出信号光强度和输入到光放大媒体的信号光的强度的关系。

15 输出信号光强度的增益相对输入光放大媒体的输入信号光强度,在上述输入信号光强度的规定值下具有最大增益,控制光放大媒体,使其相对上述规定值以下的已确定了的输入强度范围具有上述最大增益以下的增益。

一般,在光传送系统中进行光放大时,以维持正常的信号传送和异常的早期发现为目的,多数情况是规定向光放大媒体输入信号光的范围。此外,为了使系统有余量有时即使在规定的输入信号光强度以下还在一定程度上维持信号光的增益。当信号光下降到规定范围之下、且和通常的动作一样去维持光放大媒体的增益放大率,则在光放大媒体内保持过度积蓄的能量,成为光浪涌发生的主要原因。

25 若按照本发明,对于发生过度积蓄的能量的输入强度的范围,通过抑制积蓄的能量可以防止光浪涌的发生。而且,在上述规定值以上通常应对输入光进行放大的范围内,可以不损害先有的光放大媒体的增益放大率等性能、而实现安全的可靠性高的光放大媒体的控制方法。

一般,如图1的虚线所示,信号光增益随着输入信号光的强度降低有缓慢的微小增加的倾向。从而,若信号光的增益比该虚线所示的增益低,则可以得到
30 本发明的效果。

图2示出当光脉冲输入到光放大媒体时光放大媒体的输出光脉冲。

当向光放大媒体输入的信号光的强度达到上述规定值以下、且在规定值以下的时间范围是在预先确定的时间以上时，控制光放大媒体，使放大媒体的输出光或信号光增益如图1、图2所示那样下降。

5 例如，在当输入信号光强度下降时输出信号光强度也下降的区域内，当已下降的输入信号光强度达到规定值以下、且其时间在规定时间之上时，强制性地使输出信号光强度下降，因而，通过降低对输入信号光显示一定值的输出信号光强度，可以减小积蓄的能量。当输入信号再次达到规定值以上时，输出光再次上升。

10 在将光放大媒体用于光传送系统时，信号光不必一定要传送，通过在传送通路设置的开关的切换和光连接器的机械接触等，有可能产生信号光的瞬时中断。若瞬时中断的时间段在某一定值以下，光放大媒体中积蓄的能量便不能保持，当经过一定值以上的时间时，积蓄的能量被保持下来，成为光浪涌发生的主要原因。

15 若按照该方法，有可能控制光放大媒体，对于例如因光开关或光纤构造上的连接等引起的时间间隔比较长的瞬时中断，使其不保持多余的积蓄能量。此外，对于因数据连续为0等的信号状态的不可避免、且必须要光放大的信号光的时间间隔比较短的瞬时中断，有可能维持通常的信号光增益。

在此，也可以控制输出光或信号光的增益，使其不必不连续地变化，而使其连续地减小。

若按照本发明的光放大媒体的控制方法，可以不给先有的光放大媒体的特性带来坏的影响、而实现安全的可靠性高的光放大媒体的控制方法。

图3示出光放大媒体的输出光的光谱。

25 当光放大媒体处于激励状态时，从光放大媒体除了输出已放大的信号光1以外，还输出称之为自然发射光的信号光以外的光的噪声成分。该自然发射光2的光量依赖于对光放大媒体的激励能量和信号光增益，直接反映了光放大媒体的积蓄能量。

在本发明中，控制光放大媒体，使光放大媒体的自然发射光量2在规定的最大自然发射光量以下。

30 一般，当在光传送系统中进行光放大时，多数情况因输入信号光强度降低而

自然发射光量增大。当输入信号光强度降低，且和通常的动作一样去维持光放大媒体的自然发射光量，则在光放大媒体内保持过度积蓄的能量，成为光浪涌发生的原因。

若按照本发明，通过将自然发射光量抑制到规定值以下从而抑制积蓄的能量
5 可以防止光浪涌的发生。而且，在上述规定值以下通常应对信号光进行放大的范围内，可以不损害先有的光放大媒体的增益放大率等性能、控制光放大媒体。

下面，就具有作为本发明的特征的、防止光浪涌发生的浪涌控制部的光放大装置，更具体地说，就具有用于进行光放大装置的增益控制的增益控制部的光
10 放大装置的具体结构的一个例子进行说明。再有，为了方便起见，图 5、图 6、图 8、图 9、图 12、图 15、图 16 的图示中都省略了控制部。

图 4 示出适用图 1、图 2、和图 3 所示的光放大媒体的控制方法的光传送网络的例子。图中，在光传送中继站 3 之间，利用光传送中继站 3 内的光发送接收装置进行信号传送。进而，从光传送中继站 3 向各终端站 4、或者从各终端
15 站 4 向中继站 3 互相进行合分配光传送。

图 5 示出例如应用于图 4 所示的光传送网络的光传送中继站间的光传送系统的具体例。该系统构成为，从光传送中继站 3 内的光发送装置 5 发送来的光信号配送给光放大装置 6。经光放大装置 6 放大了的光信号经传输光纤 7 传送后，由光放大装置 6 进行光放大来补偿传送中的光损失。再经过传输光纤 7 和光放
20 大装置 6 之后，配送给光传送中继站 3 内的光接收装置 8。

本发明的光传送系统是具有光放大装置 6 的系统，包括激励源 10，用于使光放大媒体 9 的增益主动地增大。此外，上述至少一个光放大装置 6 的特征在于，包含控制源 11，用于在规定的输入强度范围、规定的时间范围或规定的自然发射光量中主动地降低增益。

25 但是，在上述输入强度范围、时间范围或自然发射光量中，也可以不必对控制源起限制作用。也可以根据预先规定的范围同时不断调整主动起作用的激励源和控制源，使其发生作用。

例如，作为只有最后一级光放大装置包含控制源的结构，当在输入强度范围、时间范围或规定的自然发射光量中主动地降低了增益时，对于在本光放大
30 装置 6 的前一级产生的所有的瞬时中断和光脉冲，可以利用本光放大装置 6 来

有效地抑制光浪涌。

此外，例如，也可以是使传送系统上所有的光放大装置6包含控制源11的结构。这时，希望光放大装置6对所有的光放大装置6的光浪涌抑制制度、或作为正常光输出功率和光浪涌峰值的比率的光浪涌比率进行均等的控制。光浪涌抑制制度或光浪涌比率每通过光放大装置6都进行累积。因此，若使所有的光放大装置6都具备本发明的控制源11、使上述抑制制度或光浪涌比率对各个光放大装置6按照一定值分散开，则可以将光传送路径上的上述抑制制度或比率抑制到较低的一定值内。同时，可以将光传送系统的危险度适当地分散开。

图6示出应用于例如适用于图4所示的光传送网络的光传送中继站和各终端站间的合分配光传送、并具有将光放大装置和光开关组合起来的装置的光传送系统的例子。

若按照图6，将从单一传送路径来的光信号经光开关12向a、b任何方向传送。传送方向由开关控制部13控制，传送的信号光由光放大装置6进行放大后导向传送路径。当根据来自检测部14的信号得知对光放大装置6已达到规定的输入强度范围、规定的时间范围或规定的自然发射光量时，主动地减小光放大装置6的信号增益。

过去，虽然利用光开关有可能使光放大装置的输入光产生不连续状态，但可以有效地检测该不连续状态或瞬间中断来抑制光放大装置中发生的光浪涌。

在本系统中，对于位于没有连接开关的路径上的光放大装置，光输入成为0。此外，对于位于连接有开关的路径上的光放大装置，输入光多半是收缩某个在规定的窄的强度范围内。因此，如图1所示，因事实上输入范围不会连续存在，故也可以如图7所示在规定的输入强度范围内使用不连续降低增益的方法。这时，光放大装置的光输出特性如图2所示。若从光开关切换的时间开始计算规定的时间范围则更有效。

此外，上述输入光的不连续状态的检测方式作为光浪涌的预兆现象的检测是有效的，但对于明显产生因光开关的接通和断开而引起的输入光的不连续状态或瞬时中断的情况，实际上不是依靠传送来的输入信号光和产生的自然发射光量来控制的，更希望根据预先检测到的在此以前从光开关控制部来的信息使本发明的控制源提前起作用。

图8示出图5所示的具有将光放大装置和光开关组合起来的装置的光传送系

统的派生例子。

若按照图 8, 利用光开关 12 使从 a、b 两传输路径来的信号光向一个方向传送。传送方向由开关控制部 13 控制, 传送的信号光由光放大装置 6 进行放大后再导向传送路径。当根据检测部 14 来的信号得知对光放大装置 6, 输入信号光已达到规定的输入强度范围、规定的时间范围或规定的自然发射光量时, 就主动地减小光放大装置 6 的信号增益。

虽然利用光开关的切换等有可能使输入光产生不连续状态, 但可以有效地检测该不连续状态或瞬间中断来抑制光放大装置 6 中发生的光浪涌。

在本结构中, 对于没有连接开关的时间带上的光放大装置, 光输入成为 0。此外, 在连接了开关之后, 对于光放大装置, 输入光多半是收缩在某个规定的窄的强度范围内。或者, 即使从 a、b 两传输路径来的信号光的强度不同, 各自的强度也多半是收缩在某个窄的强度范围内。因此, 如图 1 所示, 因事实上输入范围不会连续存在, 故也可以如图 7 所示在规定的输入强度范围内使用不连续降低增益的方法。这时, 光放大装置的光输出特性如图 2 所示。若从光开关切换的时间开始计算规定的时间范围则更有效。

此外, 上述输入光的不连续状态的检测方式作为光浪涌的预兆现象的检测是有效的, 但对于明显产生因光开关的接通和断开而引起的输入光的不连续状态或瞬时中断的情况, 实际上不是依靠传送来的输入信号光和产生的自然发射光量来控制的, 更希望根据预先检测到的在此以前从光开关控制部来的信息使本发明的控制源提前起作用。

作为图 5 示出的具有光放大装置的光传送系统的应用例, 图 9 示出已应用于具有将光放大装置和光发送装置组合起来的装置的光传送系统时的例子。

光发送装置的结构是, 利用合波器 16 对从发送 32 个波长的多路复用信号的光发送器 15 来的信号进行合波, 并送至传送光纤 7。例如, 假定只有一个信号光处于运作状态, 且输入到光放大装置的输入强度是 -5dBm 。因其它信号处于停止状态, 输入到光放大装置的电平处于低电平状态。当在该状态下其余 31 个波长的信号光变为运作状态时, 就会产生光脉冲, 成为光浪涌发生的主要原因。若所有信号的输入强度是 -5dBm , 这时输入脉冲的峰值强度是 $+10\text{dBm}$ 。

一般设在光发送装置的下一级的光放大装置大多被控制成使已多路复用了

的各输出光为一定值。因此，对于只有 1 个波长运作的情况下和 32 个波长全部运作的情况，光放大装置的全光输出强度大约变化 15dB。

本结构是，在输入光放大装置的信号光成为已达到规定的输入强度范围、规定的时间范围或规定的自然发射光量的状态时，主动地减小光放大装置的信号增益。

图 10 示出光放大装置的全信号光输入强度和全信号光输出强度的关系。例如，当一个波长的信号光输入强度为 -5dBm 时，32 波长的全信号光输入强度约为 10dBm 。这里，假定各个波长完全具有相同的强度。例如，若设定各波长的输出强度为 $+7\text{dBm}$ ，当全信号光输入强度在 $-5\sim+10\text{dBm}$ 的范围内时，全信号光输出强度对全信号光输入强度的增益固定在 12dB。在本结构中，通过使控制源在例如全输入光强度为 0dBm 以下时起作用、同时使激励源起作用，将增益控制在 7dB。

图 11 示出控制源和激励源的作用量相对全输入光强度的变化。

示出控制源和激励源相互相反的作用。为了实现图 11 所示的特性，图 11 中，激励源的作用量（1）在全输入光强度为 0dBm 以下时不是单调减小、而是有稍微增加的倾向。此外，同时控制源的作用量（2）在全输入光强度为 0dBm 以下时有增加的倾向。

也可以通过使激励源的作用量一定、控制源的作用量变化来实现图 11 所示的特性。

也可以使控制源从预先设定的规定值开始起作用，例如在全输入光强度为 10dBm 以下时经常起作用。这时，若使其在输入强度大的时候控制源的作用量极小、随着输入强度变小作用量渐渐增大，则是明智的方法。这样一来，可以不给光放大装置的噪声指数带来坏的影响而又能抑制光浪涌。

此外，例如，也可以检测正在运作的波长数，当波长数在预先设定的个数以下时使控制源起作用。

若按照该系统，可以有效地检测由光发送装置产生的输入光的不连续状态或瞬间中断并抑制光放大装置发生的光浪涌。

图 12 示出在图 5 所示的具有光放大装置的系统中应用了将光放大装置和光接收装置组合起来的装置时的例子。

光接收装置 8 是直接从光放大装置 6 接收光的装置，是光接收器等最容易因

光浪涌而产生破坏的地方。例如，作为在位于光接收装置的前一级的光放大装置中有必要可靠地对光浪涌进行抑制的例子，考虑了光孤立子传送。所谓光孤立子传送，就是通过将信号光在脉冲上发送、将光纤特有的非线性效应与分散的影响均衡起来、维持光脉冲不变来进行长距离传输的方式。在该方式中，信号波形的变坏和变动多半是光浪涌发生的主要原因，必须具备可抑制光浪涌的光放大装置。

在本结构中，对于光接收装置 8 前一级的光放大装置 6，要在规定的输入强度范围或规定的时间范围内主动地减小增益。

若按照该系统，利用本光放大装置可以有效地对本光放大装置前一级产生的所有成为光浪涌的主要原因的瞬间中断和光脉冲进行光浪涌的抑制，可以避免因光接收装置的破坏和劣化而产生的整个系统功能的停止。

图 13 示出上述光放大装置的具体例。

输入到光放大装置 6 的信号光由检测部 14 内的分光部 17 分出一部分输入信号光。分出的光由光检测器 18 检测输入信号光强度或信号光的变动时间。另一方面，经过分光部 17 的输入信号光与激励源 10 来的激励光一起导入光放大媒体 9 内，光放大媒体 9 的输出作为输出信号光输出。同时，从控制光导入部内的控制源 11 来的控制光经光合波器 19 也作用于光放大媒体 9，光放大媒体 9 的输出信号光强度对输入信号光强度的增益在上述输入信号光强度的规定值下具有最大增益，由控制部 20 根据上述检测部 14 来的信号去控制光放大媒体 9，使其相对上述规定值以下的已确定的输入强度范围具有小于上述最大增益的增益。

或者，当输入到光放大媒体的信号光强度达到上述规定值以下、且规定值以下的时间范围在预先确定的时间以上时，由控制部 20 根据上述检测部 14 来的信号去控制光放大媒体，使光放大媒体的输出光或信号光的增益降低。

若按照该光放大装置，可以提供不损害光放大装置原来的特性、既安全可靠又高的光放大装置。

激励源或控制源也可以从光放大媒体的前一级或后一级或从两端导入。

图 14 示出上述光放大装置的另一具体例。

输入光放大装置的信号光与激励源 10 来的激励光一起导入光放大媒体 9，光放大媒体 9 的输出作为输出信号光输出。由检测部 14 内的分光部 17 分出一

部分输出信号光。分出的光经过除去信号光成分的带通滤光器 21、由光检测器 18 检测自然发射光量。同时，从控制源来的控制光经光合波器作用于光放大媒体，由控制部 20 根据上述检测部 14 来的信号去控制光放大媒体，使光放大媒体的自然发射光量具有小于规定的最大自然发射光量的自然发射光量。

- 5 若按照该光放大装置，可以提供不损害光放大装置原来的特性、既安全可靠
性又高的光放大装置。

激励源或控制源也可以从光放大媒体的前一级或后一级或从两端导入。此外，前后改变检测部和控制源导入用的光合波器的位置关系也没关系。再有，
10 在图 13、图 14 中，示出了将检测部设在光放大媒体的前一级或后一级的例子，
但不局限于此，也可以在传输路径以外的地方检测从光放大媒体泄漏出来的自然发射光。

图 15 示出光放大抑制部 22 的具体例。

- 本结构的光放大抑制部 22 由检测部 14、控制源 11 构成。其结构是，输入
到光放大抑制部 22 的信号光由检测部 14 内的分光部 17 分出一部分输入信号
15 光。分出的光由光检测器 18 检测输入信号光强度或信号光的变动时间。同时，
从控制源 11 来的控制光作用于光放大媒体 9，其强度依赖于输入到光放大媒体
9 的输入信号光强度，并导入光放大装置。

若按照本结构，可以提供能够简单地附加在先有的光放大装置上的光放大抑
制部 22。

- 20 也可以用积蓄能量检测部代替输入强度检测部。例如，利用积蓄能量检测部
内的分光器将光放大装置的输出光分出一部分。分出的光经带通滤光器，使信
号光以外的光成分（一部分）通过。由光检测器检测出已通过的光，并传送到
控制装置。根据传送来的检测出来的量，从控制源来的控制光经导入部导入光
放大装置。

- 25 图 16 示出光放大部 23 的具体例。

其结构是，输入光放大部 23 的信号光经光合波器 24 与来自激励源 10 的激
励光一起导入光放大媒体 9 内，来自光放大媒体 9 的输出作为输出信号光输
出。同时，从控制源 11 来的控制光经光合波器 19 作用于光放大媒体 9，使光
放大媒体 9 主动地起激励作用和抑制作用。

- 30 若按照本结构，可以提供将制动功能附加在先有的只用来放大光的光放大装

置中、安全性和可靠性都高的光放大部。

在示出上述控制源的具体例之前，详细说明控制源的功能。

图 17 用模型示出光放大媒体的激励能级。

由来自激励源的激励光激励起来的光放大媒体如图所示从基态能级激发到第 N 激励能级并作为积蓄能量被保持下来。激发到第 N 激励能级的原子或者因激励源的能量激发到更高的能级，或者经过途中的能级再回到基态能级。本发明的控制源是为了防止感应发射时产生的光浪涌而主动地使信号光 27 消耗与感应发射有关的积蓄能量的。因此，与此相当的控制光 25 希望是在从第 1 激励能级向基态能级迁移时产生感应发射的 1500nm~1600nm 的宽带波长光，
10 或者是从第 N 激励能级落到第 N-1 激励能级或第 N-2 激励能级……时的光被消耗的波长光。此外，也可以是第 N 激励能级的光暂时向高能级激励时的波长光。

例如，当从第 1 激励能级向基态能级迁移时产生感应发射的 1500nm~1600nm 的宽带波长光和从第 N 激励能级落到第 N-1 激励能级或第 N-2 激励能级……时的波长光同时作用时，因所有处于激励能级的原子与光浪涌的产生相比较瞬间便落到基态能级，所以，结果积蓄能量就可以很快地被有效消耗掉。

为了有效地消耗积蓄能量，导入尽量多的与能级迁移有关的波长光是很有效地。

20 图 18 示出上述控制源 11 的具体例。

本结构的控制源 11 利用添加了稀土类元素的光纤、即添加了铒的光纤 29 对从具有 1.5 μ m 带发光波长的 InGaAsp 系的 LED28 发出的光进行放大并对从光隔离器 30 返回的光进行抑制，从而产生控制光。从作为激励添加了稀土类元素的光纤 29 的激励源、即 0.98 μ m 半导体激光器 31 来的激励光经光合波器
25 32 导入添加了稀土类元素的光纤。

若按照本结构，可以提供波长带宽宽、具有充足功率的控制光。LED 与半导体激光器相比可靠性高，此外，0.98 μ m 半导体激光器价格便宜、低输出、可供给充分必要的功率，所以，可以提供可靠性高、廉价的控制源。

一般，添加了稀土类元素的光纤只通过激励源的激励便可以发出波长带宽宽的自然发射光。因此，若添加了稀土类元素的光纤即使没有上述 LED 也能发
30

出充分的自然发射光功率，则 LED 不是必要的。此外，LED 也可以是半导体激光器，这时，不必象信号光那样是单一模式的激光，其它模式起振的激光就足够了。此外，控制源的功率调整可以用 $0.98\mu\text{m}$ 半导体激光器，也可以用 LED。

- 5 也可以使用半导体放大器去代替添加了稀土类元素的光纤以及激励源和将其导入的光合成器。这时的激励源变成激励电流。

只要控制源 11 是可以得到波长带宽宽、具有充足功率的控制光的结构，则可以不拘泥上述结构。

- 图 19 作为图 18 的其它派生例、示出将光放大媒体的输出光的一部分反馈回去作为控制光用于光放大装置的例子。

- 如图 19 所示，一般，在光放大媒体 9 利用激励源 10 来的激励光可以被激发的状态下，从外部来的信号光输入 P_{in} 由光放大媒体 9 进行光放大，并作为以信号光为主的输出光 P_{out}' 输出，但本发明的结构是，以该信号光为主的输出光 P_{out}' 的路径上分别新插入了产生反馈光用的分光部 33 和以信号光为首的输出光 P_{out}' 的光功率检测用的分光部 17。经过了分光部 33 的以信号光为主的输出光 P_{out}' ，其一部分经分光部 17 分光后，由光检测器 18 检测出以信号光为主的输出光 P_{out} 的光功率，而且，经过分光部 17 可以得到作为从光放大装置 6 来的以信号光为主的输出光 P_{out} 的光。另一方面，从光放大媒体来的以信号光为主的输出光 P_{out}' ，其一部分经分光部 33 分光后由反馈部 34 调节该光的功率，作为反馈光再经分光部 33 返回光放大媒体 9。

- 图 20 示出图 19 所示的光放大装置 6 一例的具体结构。如图所示，光放大媒体 9 在前级配置了为添加了铒的光纤 35 的光合波器 24，此外，激励源 10 是 980nm 的激励光源 36。从 980nm 激励光源 36 来的激励光经光合波器 24 导入添加了铒的光纤 35 内。由此，外部来的信号光输入 P_{in} 经隔离器 37 后由添加了铒的光纤 35 进行光放大，然后，从添加了铒的光纤 35 输出作为以信号光为主的输出光 P_{out}' 。以信号光为主的输出光 P_{out}' 在其后由作为分光部 33 的光耦合器 (3: 97) 38 分出一部分 (3%)，成为由反馈部处理的光。在反馈部 34 中，从光耦合器 38 分出来的光经耦合器 (50: 50) 39 进一步分成 2 个方向，从互相相反的方向输入调节部 40，经调节部 40 调节后的光从互相相反的方向输出，再经光耦合器 39 合波后，作为反馈光经光耦合器 38 返回添加了铒的光纤 35。

该反馈光由添加了铒的光纤 35 进行光放大，对输入侧虽然是反向光，但可由光隔离器 37 将该反向光截住。

另一方面，经分光部 33 的以信号光为主的输出光 P_{out}' (P_{out}' 总体的 97%) 由作为分光部 17 的光耦合器 (5: 95) 41 再分出一部分 (5%) 光，由检测器 5 18 检测该光的功率。结果，在本例中，得到光放大装置的以信号光为主的输出光 P_{out} ，是以信号光为主的输出光 P_{out}' 总体的 92%。如下所述，由控制部 20 根据该光检测器 18 检出的检测光功率控制 980nm 的激励光源 36 和调节部 40。再有，也可以只控制其中的任何一方。此外，也可以不要分光部 17 和检测器 18，由控制部 20 直接控制 980nm 的激励光源 36 和调节部 40。在添加了铒的光纤 10 35 中，从 980nm 的激励光源 36 来的激励光的作用一方面使增益增大，另一方面 减小从反馈部 34 来的反馈光增益。

图 21 示出调节部 40 的 1 个具体结构。如图所示，调节部 40 是由添加了铒的光纤 29、具有 980nm 共振波长的激励光源 (可以是廉价的低输出光) 31、和将来自激励光源 31 的激励光导入添加了铒的光纤 29 内的光合波器 32 构成。15 在添加了铒的光纤 29 内，从其两端输入的光功率在来自激励光源 31 的激励光控制放大率的情况下进行增减调节，从互相相反的光纤端输出后，经光耦合器 39 向相反方向反馈回去。在本例中，只通过激励光源 31 的激励光的增减，就可以进行必要的反馈光功率的所希望的调节，而且，从光耦合器 38 分出来的光可以直接作为反馈光的一部分来使用。

20 一般，以添加了铒的光纤为首的光放大媒体可以放大或吸收的光波长范围大约有 50nm 左右。本发明的目的之一在于，对以添加了铒的光纤为首的光放大媒体有效地消耗其不必要积蓄的能量，因此，希望反馈光是包括添加了铒的光纤 29 的放大 (吸收) 波长的光。图 21 所用的调节部 40 内的添加了铒的光纤 29 可以将 1520nm~1570nm 左右的宽波长范围的光作为反馈光送出。

25 图 22 (A) 示出送出的反馈光的光谱的概略图。通常作为信号光使用的半导体激光器 (LD) 的波长区大约在 0.1nm 以下，但作为反馈光的理想光谱除了光放大媒体的信号光 (0.1nm 以下) 之外至少在 0.3nm 以上，在本具体例中，是光谱范围在 1520nm~1570nm 左右和 2570nm 附近的光，最理想的是如图 22

(B) 所示具有 1500nm~1600nm 左右光谱范围的光。此外，更严密一点，为 30 了包括添加了铒的光纤 35 的放大 (吸收) 波长，如果是具有和添加了铒的光

纤 29 的光谱一样的光谱的反馈光,则可以说具有足够的功能。此外,正如可容易推测的那样,光放大媒体 9 内的添加了铒的光纤 35 最好是例如光谱具有 1060nm 波长带和 1030nm 波长带的添加了铒的光纤或光谱具有 1300nm 波长带的添加了镨的光纤,即使是半导体光放大器也一样,反馈光最好是具有能包括
5 各个波长带的光谱的光。此外,近年来,研究一种多路波长光放大技术,将上述信号光(0.1nm 以下)在光放大媒体的放大区内进行合波,由一个光放大器进行放大。这时,利用本发明的反馈光是有效的,因为它好象是作为具有比单一的信号光(0.1nm 以下)更宽的波长带的反馈光来起作用的。

此外,如前所述,以添加了铒的光纤为首的光放大媒体原理上有发生光浪涌
10 的因素。为了更加有效地抑制光浪涌,根据本发明增加反馈光的光量是有效的,但反过来若过度增加光量就可能成为使本来目的在于放大的光放大器的放大效率下降的主要原因。但是,若使用图 21 的的调节部 40,例如,在添加了铒的光纤 35 发生光浪涌、光量增加的瞬间,以信号光为主的光输出 Pout' 也增加,在调节部 40 内的添加了铒的光纤 29 中也与添加了铒的光纤 35 一样发生
15 光浪涌。即,若按照图 21,在通常状态下因调节部 40 的作用反馈光量少,只有当发生了光浪涌时才能够产生足够有效的反馈光量。

在图 23 (A) 中,示出了不使用控制源时产生的光浪涌,在图 23 (B) 中,示出了图 20 的具体例和图 21 的具体例中抑制了光浪涌时的实测数据。由于本发明的效果,所以有效地抑制了光浪涌。

20 在图 21 中,设添加了铒的光纤 29 的长度约为 10m,980nm 的激励光源的光输出为 20mW,为了更好地抑制光浪涌,可以延长添加了铒的光纤 29 的长度、增加激励光源的光输出,或者使光耦合器 38 的分光比降低(20:80 等)来增加反馈光的光量。此外,在本实施例中,设激励光源的共振波长为 980nm,但只要添加了铒的光纤 29 可以放大,也可以使用在 530nm、660nm、830nm、1480nm
25 附近等具有共振波长的激励光源。特别是 530nm、660nm、830nm 也可以使用发光二极管。1480nm 因为是低输出的激励光源,故也可以省去共振元件的温度控制装置等复杂功能。此外,如前所述,在此使用的激励光源可以是廉价的低输出光源,例如也可以将作用于光放大媒体 9 的激励光源 36 的输出分出一部分,再导入添加了铒的光纤 29。因此,当调节部 40 作为半导体光放大器构
30 成时,通过增减激励电流去控制该半导体放大器的放大率,可以调解反馈光的

光功率。

图 24 示出上述反馈部 34 的其它结构。本例中的结构是, 如图所示, 从光耦合器 38 的分路光不经过光耦合器 39、直接经过上述调节部 40 由端面镜面加工光纤 42、即其端面经镜面加工了的光纤 42 向反方向反射后, 再经调节部 40 从反馈部 34 输出。由此, 可用较少的结构部件构成反馈部 34。因此, 为了减少从信号光 P_{out}' 分出的光量, 如图 25 所示, 分光部 33 可以配置在分光部 17 和光检测器 18 之间。此外, 作为另一个变形例, 如图 26 所示, 从反馈部 34 来的反馈光可以不经分光部 33、17, 而经过光合波器 43 反馈到光放大媒体 9。

本结构通过由光连接器分出来的光输出功率可以从光学上调整反馈光, 与电系统不同、包含光学的反馈回路。所以抑制方法极简单, 没有电方面的延迟现象和因控制方法等原因而偶然出现光浪涌。

此外, 本结构在波长多路复用传送时更有效。在波长多路复用传送中, 因多路复用信号和宽带反馈光具有同样的效果, 故光浪涌抑制制度更高。例如, 在波长的多路复用信号中, 当波长的多路复用个数从 2 波长瞬时上升到 32 波长时, 在光放大装置中成为光浪涌的主要原因。即使在这样的情况下, 若使用本结构的反馈光, 可以自动地抑制光浪涌, 构成稳定的波长多路复用系统。

若按照本结构, 可以对光浪涌的抑制提供具有足够光强度的控制源。

图 27 示出图 14 的具体的构成。如图 27 所示, 一般, 在光放大媒体 9 利用激励源 10 来的激励光可以被激发的状态下, 从外部来的信号光输入 P_{in} 由光放大媒体 9 进行光放大, 并作为以信号光为主的输出光 P_{out}' 输出, 但本发明的结构是, 在以该信号光为主的输出光 P_{out}' 的路径上分别新插入了产生反馈光用的分光部 33 和以信号光为主的输出光 P_{out}' 的光功率检测用的分光部 17。经过了分光部 33 的以信号光为主的输出光 P_{out}' , 其一部分经分光部 17 分光后, 再经过分光部 44 分光后, 分成 2 路光, 1 路光由光检测器 18 检测出以信号光为主的输出光 P_{out} 的光功率, 另一路光经过只让信号光以外的成分通过的滤光器 21 之后, 由光检测器 18' 检测出信号光以外的成分的光功率。而且, 经过分光部 17 可以得到作为从光放大器来的以信号光为主的输出光 P_{out} 的光。另一方面, 从光放大媒体 9 来的以信号光为主的输出光 P_{out}' , 其一部分经分光部 33 分光后由反馈部 34 调节该光的功率, 作为反馈光再经分光部 33 返回光放大媒体 9。以信号光为主的输出光 P_{out} 的光功率应维持在所要的值上, 由控制部 20 还根

据该光检测器 18 检出的检测光功率控制激励源 10 和反馈部 34 中的任何一方。这里，光检测器 18 只是用来监测以信号光为主的输出光 P_{out} 的一部分，即使省去也不会失去本发明的效果。

图 28 示出图 27 所示的光放大装置一例的具体结构。如图所示，由分光部 17 分出的光再通过作为分光部 44 的光耦合器 (50: 50) 45 进一步分成 2 路光，一路由光检测器 18 检出，另一路由经滤光器 21 的后光检测器 18' 检出，只检出信号光以外的光成分。例如，当信号光的波长是 1550nm 时，因信号光以外的光成分存在于 1520~1545nm 波长带，故只要使用将 1545nm 以上波长的光截止的低通滤光器即可。

图 29 示出图 24、图 25、图 26 中的控制部 20 的具体回路结构。由比较器 47 将光检测器 18' 的检出光功率与预先规定的基准值 46 进行比较，只当光检测器 18' 的监测值高出预先规定的基准值 46 时，开关 48 才变成 ON 状态，从电流源 49 供给应使调节部 40 内的 980nm 激励光源 31 动作的电流。另一方面，反馈回路 51 成为驱动 980nm 激励光源 36 的回路，使光检测器 18 的监测信号与预先规定的基准值 50 比较后为一定值。

如上所述，反馈光具有与激励光相反的功能，过度光量的反馈光限制了光放大器本来的性能。

此外，不使添加了铒的光纤内的积蓄能量增加到一定值以上对于防止光浪涌是重要的。当由光放大媒体 9 放大信号光时，放大了的信号光包含有信号光以外的波长的光成分。该信号光以外的波长光成分反映了积蓄能量的大小。

例如，在本结构中，光放大媒体的信号光增益为 32dB，因为要将光浪涌抑制到相对正常光输出强度的 1dB 以下，故控制信号光以外的波长成分、即自然发射光量，使其不超过 -14.0dBm/nm 以上。通过采用具体例中说明过的结构，只当积蓄能量增加到预先规定的值以上才使反馈光起作用，可以构成为在通常的规定范围的积蓄能量下无论如何不会使之成为限制激励光源的作用的因素。此外，当积蓄能量从规定的功率再增加时，也可以在使反馈光起作用的同时也控制激励光的下降。这样一来，单单使激励光下降不能消耗积蓄的能量，但通过反馈光同时作用，可以有效地抑制光浪涌。

此外，表示积蓄能量大小的信号光以外波长成分的光不光是从添加了铒的光纤的后级、也从前一级和光纤的侧发射，所以，光检测器也可以通过从添加了

钼的光纤的前一级或光纤的侧面去获取光来进行监测。若按照本结构，可以简单地提供对抑制光浪涌具有足够光强度的控制光装置，而且，可以提供控制响应好的控制光装置。

图 30 示出图 14 的其它的派生例。下面，说明使用图 20 的反馈部构成上述图 30 所示的光放大装置并与图 12 所示的光接收装置组合起来的系统在图 4 所示的光传送系统中使用时抑制光浪涌的例子。

在本结构中，在用于导入控制光的 97:3 的分光耦合器 38 中，输出光大约 3% 导入反馈部 34。在反馈部 34 内分光的下一个 50:50 的分光耦合器 39 中，大约 50% 经右回路由调节部 40 调节，当达到规定的光功率后，在 50:50 的分光耦合器 39 中大约 50% 分配给 97:3 分光耦合器 38。此外，经左回路的光也同样大约有 50% 从调节部返回，结果，从调节部的一端输出的光几乎全部可以作为反馈光返回。返回的光由 97:3 分光耦合器 38 将其中大约 3% 导入光放大媒体 9。反馈光其功率越大抑制效果就越大，但是，若 97:3 的分光耦合器 38 的分光比取得太大，那么，从光放大媒体 9 输出的光就会降低，使光放大装置本来的特性下降。例如，若将 97:3 的分光耦合器 38 的分光比变成 50%，反馈光可以返回 50%，但光放大装置的输出光的损失也将下降到 50%。

若象本结构那样，利用反馈光调整部 40 有可能准备足够功率的光，则在 97:3 的分光耦合器 38 中可以将光损失抑制到一 3%，而且，即使反馈光受到一 97% 的损失也可能保持足够的抑制效果。这里，作为用来抑制光放大媒体 9 的输出光的损失、使反馈光功率的损失也抑制到最低限度的方法，有使用光循环器的方法，但因比光耦合器的结构复杂而且贵，所以认为还是光耦合器比较合适。

使控制光从光放大媒体 9 的前方导入可以说是一样的。特别是，当在光放大媒体的前一级产生信号光损失时，光放大装置整体的噪声指数特性将会变差。所以，本发明的反馈部在不使光放大装置整体特性变差并具有充分的抑制效果这一点上是有效的。

调节部 40 的光放大媒体 29 使用材料与光放大媒体 35 相同。此外，光放大媒体 35 是在 $0.98\mu\text{m}$ 上起振的，所以调节部 40 也使用 $0.98\mu\text{m}$ 的激励光源。其理由是，因为上述本发明的目的是有效地消耗激励能级的原子、即有效地消耗光放大媒体 35 的积蓄能量，所以，调整部 40 使用的光放大媒体 29 的放大区最好与其类似。此外，上述本发明的目的是有效地消耗激励能级的积蓄能量，

例如, 当使用 $0.98\mu\text{m}$ 的激励光源 36 来激励光放大媒体 35 时, 在与信号光的感应发射有关的能级上存在发射 $2.75\mu\text{m}$ 带光的能级。因此, 通过在调整部 40 中使用具有相同发射过程的激励光源 31 和光放大媒体 29 可以进一步提高反馈光的效果。

5 此外, 如后面所述, 使用的激励光源 31 的光功率少量即可, 电流消耗也是少量就行了。所以, 激励光源 31 不需要设置温度调整机构, 结构变得更简单。

若按照图 5 所示的光传送系统, 在接收装置 8 内的受光器中, 可以将光浪涌的峰值强度抑制到 $+16\text{dB}$ 以下来防止其破坏。更理想的是希望抑制到 $+10\text{dB}$ 以下。进而, 在本系统中, 最后一级的光放大装置的输出光功率是从 -10dBm 到 $+5\text{dBm}$ 。图 31 示出本结构可抑制的光浪涌的峰值对输出光功率的比率。根据图 31 (1), 本传送系统的特征在于, 例如当输出光为 -10dBm 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 26dB 以下。此外, 例如, 当输出光为 $+5\text{dBm}$ 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 11dB 以下。更理想的是, 如图 31 (2) 所示, 同样例如当输出光为 -10dBm 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 20dB 以下。此外, 15 例如, 当输出光为 $+5\text{dBm}$ 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 5dB 以下。

出现光浪涌的最显著的条件是, 在最前面一级的光放大装置之前有陡峭的光脉冲。这是因为光浪涌在各光放大装置中产生并累积的结果。如图 5 说明的那样, 若使所有的光放大装置都具备本发明的控制源、将上述抑制制度或光浪涌比率按一定值分散到各光放大装置, 则可以将光传送路径上的上述抑制制度或光浪涌比率抑制到更低的一定值内。同时可以将光传送系统的危险度适当分散。所以, 同样如图 31 (3) 所示, 例如, 当在传送路径上使用 4 台光放大装置时, 各个光放大装置的特征是, 例如, 当最后一级的光放大装置的输出光是一 10dBm 时, 将光浪涌的峰值比率抑制到 6.5dB 以下。此外, 例如, 当输出光为 $+5\text{dBm}$ 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 2.75dB 以下。更理想的是, 如图 31 25 (4) 所示, 同样例如当输出光为 -10dBm 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 5dB 以下。此外, 例如, 当输出光为 $+5\text{dBm}$ 时, 可将光浪涌的峰值比率抑制到 1.25dB 以下。

在实际的系统设计中, 作为一个例子, 在光接收装置的受光器中, 将光浪涌的峰值比率抑制到 $+10\text{dB}$ 以下来防止其破坏。在本系统中, 因最后一级的光放大装置的输出光功率是一 2dBm , 故有必要设计最后一级光浪涌的比率, 使其 30

不超过 12dB。此外，因在传送路径上使用了 4 台光放大装置，故设计成将各个光放大装置中的光浪涌对来自正常光输出的光浪涌的比率抑制到 -3dB 。

受光器遭到光浪涌破坏的直接原因多数是因焦耳热引起的。因光浪涌的输出脉冲是时间比较长的脉冲，所以，有必要使浪涌脉冲尽快地结束。

- 5 图 32 示出适用于本具体例的模拟发生光浪涌的光脉冲。将光功率从 $-\infty$ 上升到 $+3\text{dBm}$ 、上升时间最大为 $2\mu\text{s}$ 的光输入到光放大装置。

- 图 33 示出根据本结构将光浪涌的比率抑制到 $<3\text{dB}$ 的结果。此外，图 34 示出这时输入到光放大媒体的反馈光功率相对光放大媒体的增益放大率的变化。为了将光浪涌抑制到设计值内，有必要输入 $100\mu\text{W}$ 以上的反馈光，这时，
10 在 3: 97 的分光连接器之前供给 3.3mW 以上的反馈光功率。

- 反馈光的波长带具有信号光以外的波长带，这对于提高作为控制光的效果这一点来说是重要的。图 35 示出改变了反馈光的波长带宽时的激励光源所必要的电流。根据本发明的结构以少量的电流可以有效地抑制光浪涌，但由于波长带宽变窄必要的电流增加了。特别是，当将光放大媒体的放大率抑制得比较低
15 时，该必要电流的差更加显著，在 3dB 波长带的 0.3nm 以下的波长带中，因减小光放大媒体的增益故增加了必要电流。

- 根据本实验的结果，希望反馈光是 3dB 波长带的 0.1nm 以上的波长带的光。此外，即使是 0.1nm 以下的波长带，若有多个波长也可以。例如，象波长多路复用系统那样，当多个信号光同时由光放大媒体放大时，将其用于反馈光是有效
20 的。或者，使用波长具有下述特征的光作为反馈光也是有效的，一般使用的信号光，其单边模式抑制比是从 30 到 40dB 左右，但是，与这样的信号光不同，该光的波长在信号光以外具有 S/N 在 40dB 以下的下部平坦区，或者，其波长具有不适于信号光的 40dB 以下的单边模式。

- 其次，光放大媒体的器件长度和组成浓度或形状等大多因其用途而变。例如，一般，对于添加了稀土类的光纤，放大效率和噪声指数有折衷关系，为了
25 降低噪声指数，采用减少稀土类的添加量、采用使添加了稀土类的光纤的长度变短等方法，但放大效率降低了。

- 图 36 示出当上述光放大媒体的放大参数改变时反馈光功率的变化。在实际系统的设计上，多半先确定光放大媒体的放大率。当光放大装置的必要增益是
30 28dB 、并根据用途改变添加了稀土类的光纤的长度或浓度时，本结构的实验也

反映出必要的反馈光功率。当长度或浓度改变时，必要的激励光源功率增加，但噪声指数降低。

若按照图 36，在光放大装置的增益固定在 28dB 时，只要设计调整部使反馈光功率可以在大约 $80\mu\text{W}\sim 100\mu\text{W}$ 的范围内调整即可。

- 5 当根据光放大装置的用途改变必要增益时，与本方式一样只要确定反馈光功率的调整范围即可。

反馈光的通带范围希望象本结构那样不受滤光器等的制约、从调整部导入所有波长带范围的光，但在从光放大媒体的前方导入反馈光、特别是有必要插入滤光器等情况下，有必要将反馈光的波长区设定在希望的波长区内。

- 10 图 37 示出将反馈光的波长区设定为 3nm 时必要的反馈光功率相对所设定的波长带的关系。信号光的波长设定为 1550nm。

反馈光是将输出光的一部分调节后再反馈回去的光，在输出光中光功率最强的是信号光波长。因此，既有信号光波长又有信号光以外的波长的光是最有效的。

- 15 此外，从下面的理由也说明既有信号光波长又有信号光以外的波长的光是最有效的。即，若是具有信号光波长的通带范围，例如当在光放大媒体中发生了光浪涌时，因为该光浪涌脉冲在调整部内部的光放大媒体中产生新的光浪涌。光放大媒体中产生的光浪涌越陡峭、电平越高，调整部中的光浪涌就越大。因此，在光放大媒体发生光浪涌的瞬间，有可能返回比通常反馈光功率更高的反
- 20 馈光，根据相乘效果，可以更有效地抑制光放大媒体的光浪涌。而且，发生的浪涌越大抑制效果越好。

- 图 38 示出在使用具有包含信号光通带区的 3nm 的通带区的反馈光和使用
- 不包含信号光的反馈光的情况下、被抑制到 3dB 以下的光浪涌脉冲。由图可知，若根据具有信号光波长带的的反馈光，在浪涌发生之后的抑制效果好、恢
- 25 复到正常光输出的时间快。因此，可以抑制成为受光器破坏的直接原因的焦耳热的发生量。此外，为了进一步加快结束时间，即使在信号光正常输入的状态下导入微弱的反馈光也是有效的。这是因为，可以保持调整部内的积蓄能量，使上述调整部内的光浪涌更容易发生。因导入微弱的反馈光而引起的光被大媒体的放大率的降低可以通过稍微增大激励源的功率来充分补偿。

- 30 图 39 示出将上述光浪涌抑制到 3dB 以下时光放大装置的整体增益特性。正

常输入信号光强度的范围为 -20dB 以上,在此以下约 15dB 左右(约 -35dBm)的输入光强度是作为系统的余裕量。即,即使万一输入信号在 -20dBm 以下也不会突然停止光放大而在无意中妨碍信号传送,进行使增益特性连续少量的下降、且尽力抑制噪声指数变差的反馈光控制。

- 5 例如,对于 -21dBm 的输入光强度激励光源的电流值约 35mA ,对于 -27dBm 的输入光强度激励光源的电流值约 40mA ,对于 -29.5dBm 的激励光源的电流值约 45mA ,对于 -33dBm 的激励光源的电流值约 60mA 。

同时,这时自然发射光量对于 -21dBm 的输入光强度是 -16.18dBm/nm ,对于 -27dBm 的输入光强度是 -17.97dBm/nm ,对于 -29.5dBm 的输入光强度是
10 -21.36dBm/nm ,对于 -33dBm 的输入光强度是 -23.70dBm/nm 。因为对于 -20dBm 的输入光强度是 -16.09dBm/nm ,所以,本结构的自然发射光量也被抑制到 -16dBm/nm 以下。

此外,例如控制成,即使当输入信号光强度为 -26dBm ,增益也只比 -20dBm 的最大增益下降 2dB 左右,在正常输入信号光强度范围附近几乎看不到特性变
15 差。而且,噪声指数的变差也在 0.2dB 左右,对本传送系统没有坏的影响。

在先有的光放大装置中,为了防止光浪涌,必须瞬时检测输入光的瞬时中断和下降、使输出或增益下降。但是由此用于判定正常输入强度范围的耐噪声等特性变差,成为诱发输出光稳定控制等误动作的主要原因。若按照本发明,为了可以解除这些光浪涌的问题,可以正确地检测信号输入的异常降低、使光放
20 大装置稳定地工作。

图40与输入的瞬时中断时间对应地示出光放大装置整体的输出特性。当瞬时中断时间是 $10\mu\text{s}$ 以下时,即使添加了稀土类元素的光纤的响应速度赶不上输入的变动,也不会发生光浪涌。因此,对于瞬时中断时间 $10\mu\text{s}$ 以下的输入,控制调节部使信号增益象图40a的曲线所描绘的那样。另一方面,对于瞬时中
25 断时间为 $10\mu\text{s}$ 以上的输入,控制调节部使信号增益象图40b的曲线所描绘的那样。即,对于对信号特性没有影响的瞬时中断可以维持光放大装置的增益。

在先有的光放大装置中,为了防止光浪涌,必须瞬时检测输入光的瞬时中断和下降、使输出或增益下降。但是由此用于判定正常输入强度范围的耐噪声等特性变差,成为诱发输出光稳定控制等误动作的主要原因。若按照本发明,为了
30 可以解除这些光浪涌的问题,可以正确地检测信号输入的异常降低、使光放

大装置稳定地工作。

如上所述,若按照本发明,可以实现可抑制浪涌且可靠性和安全性都很高的光放大媒体的控制方法和光放大装置以及由此组成的光传送网络。

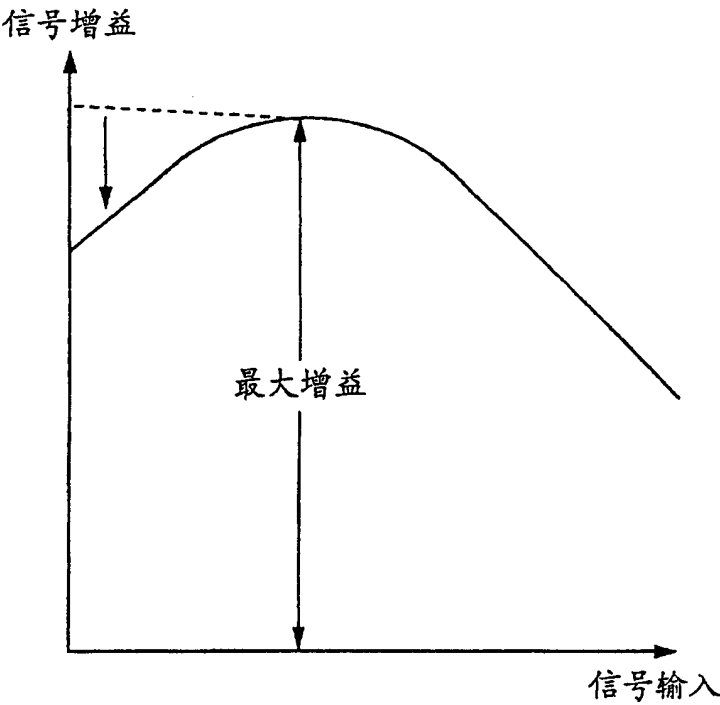


图 1

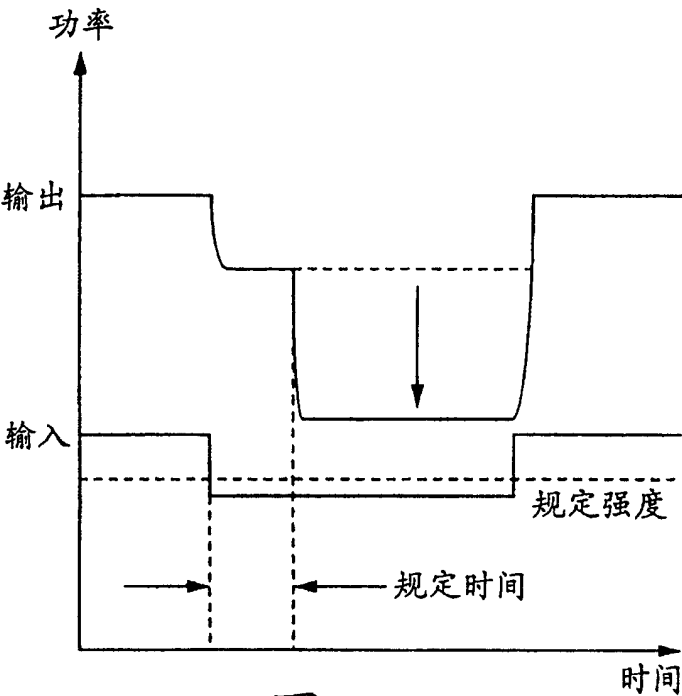


图 2

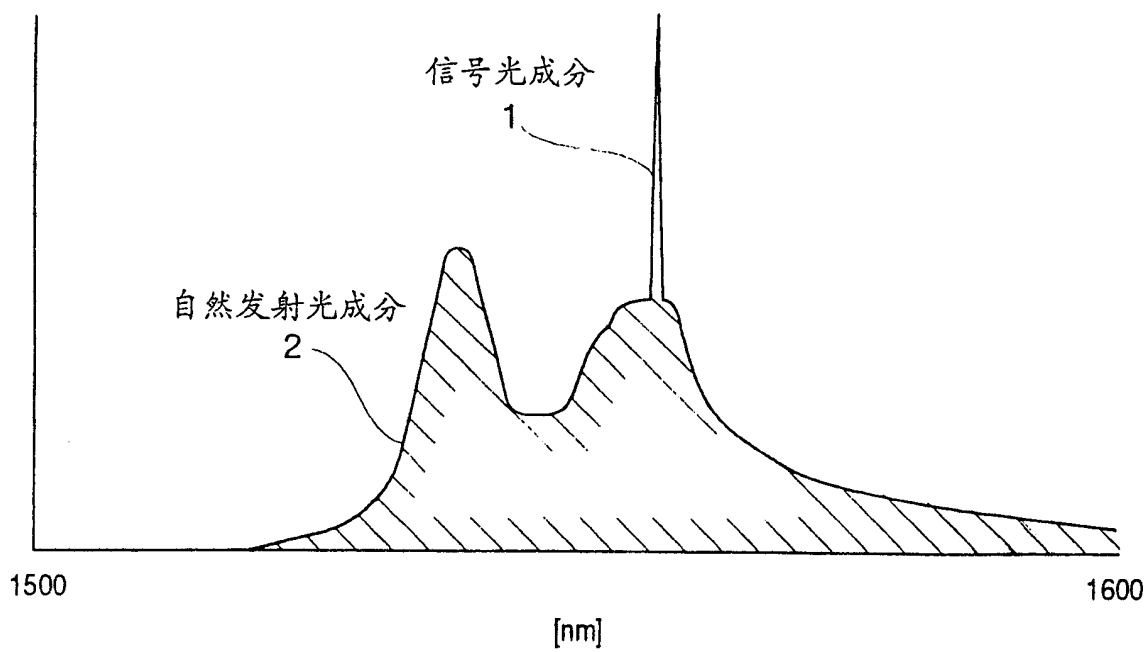


图 3

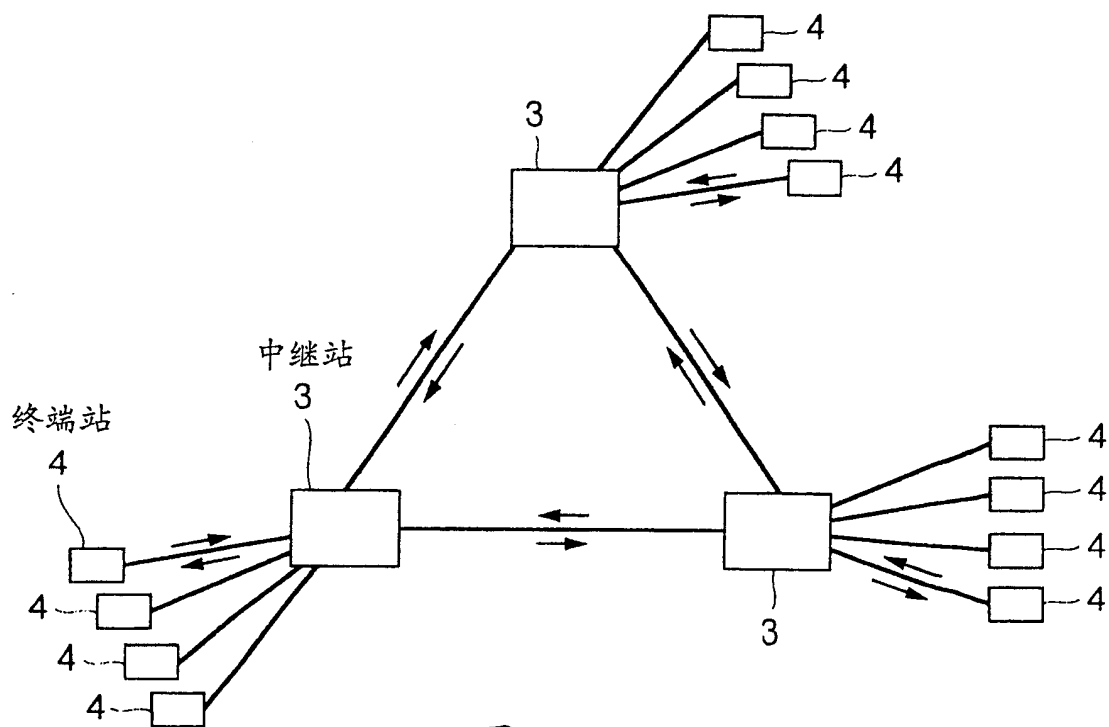


图 4

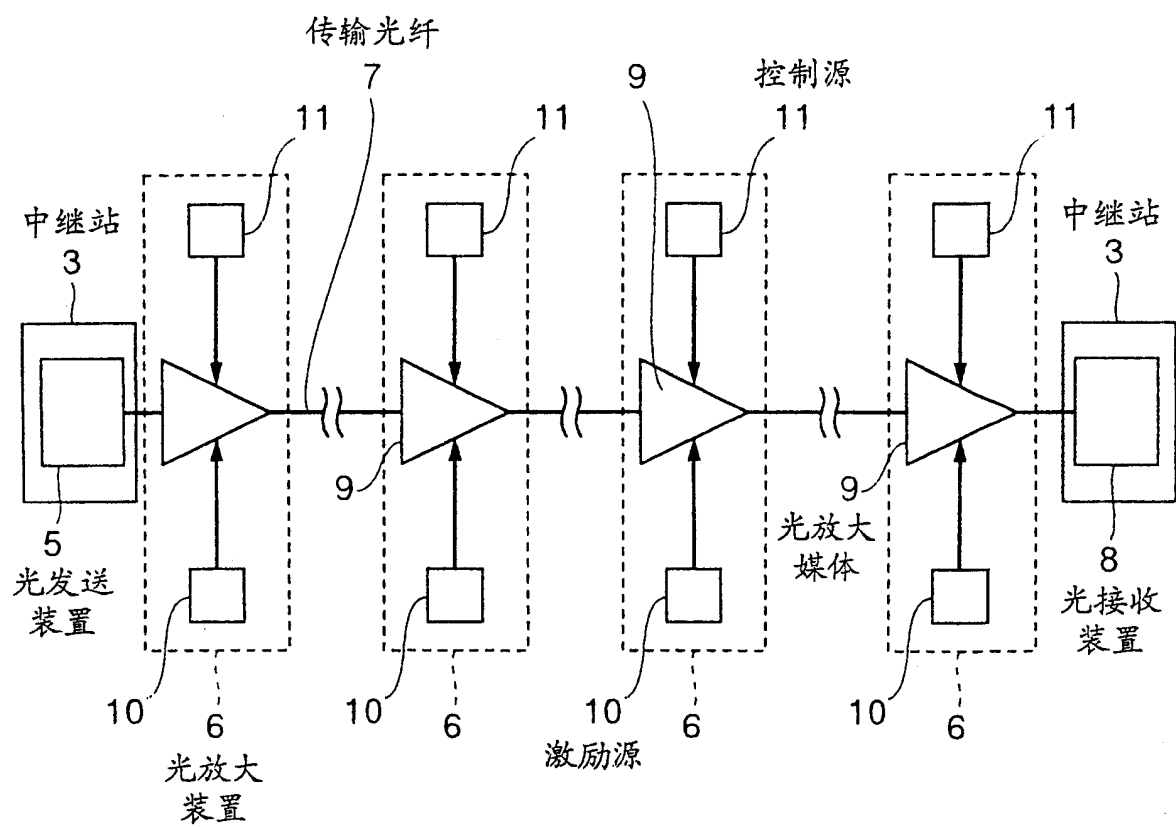


图 5

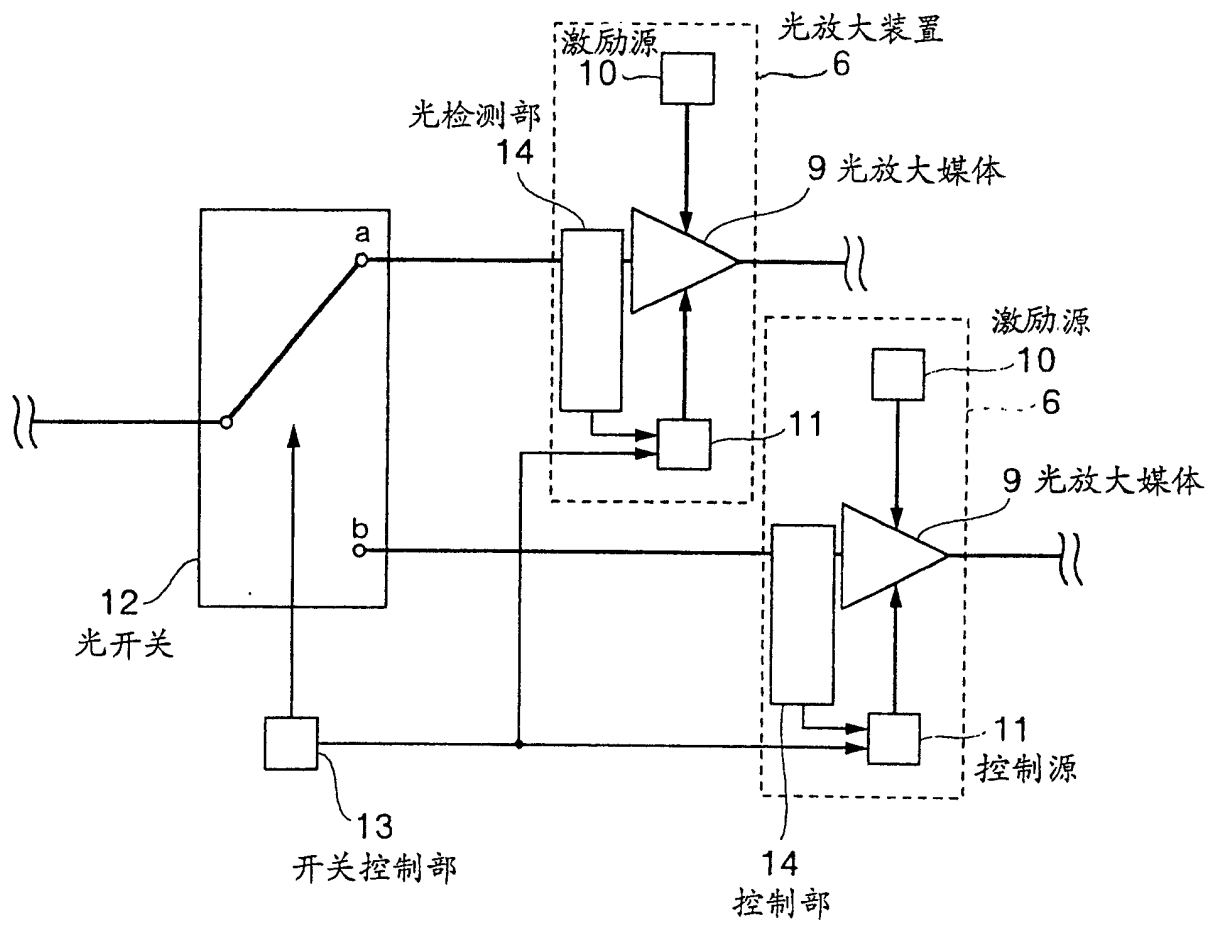


图 6

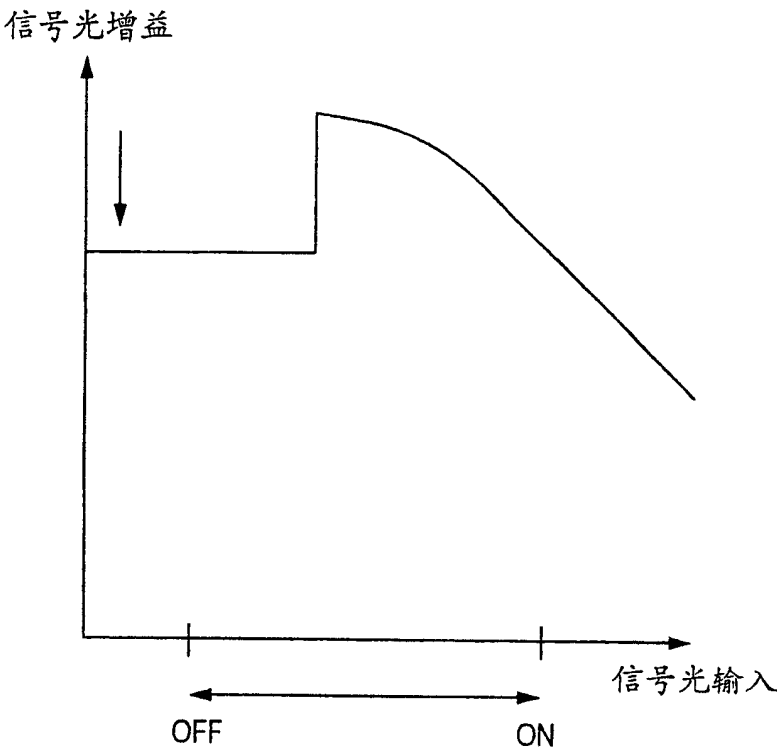


图 7

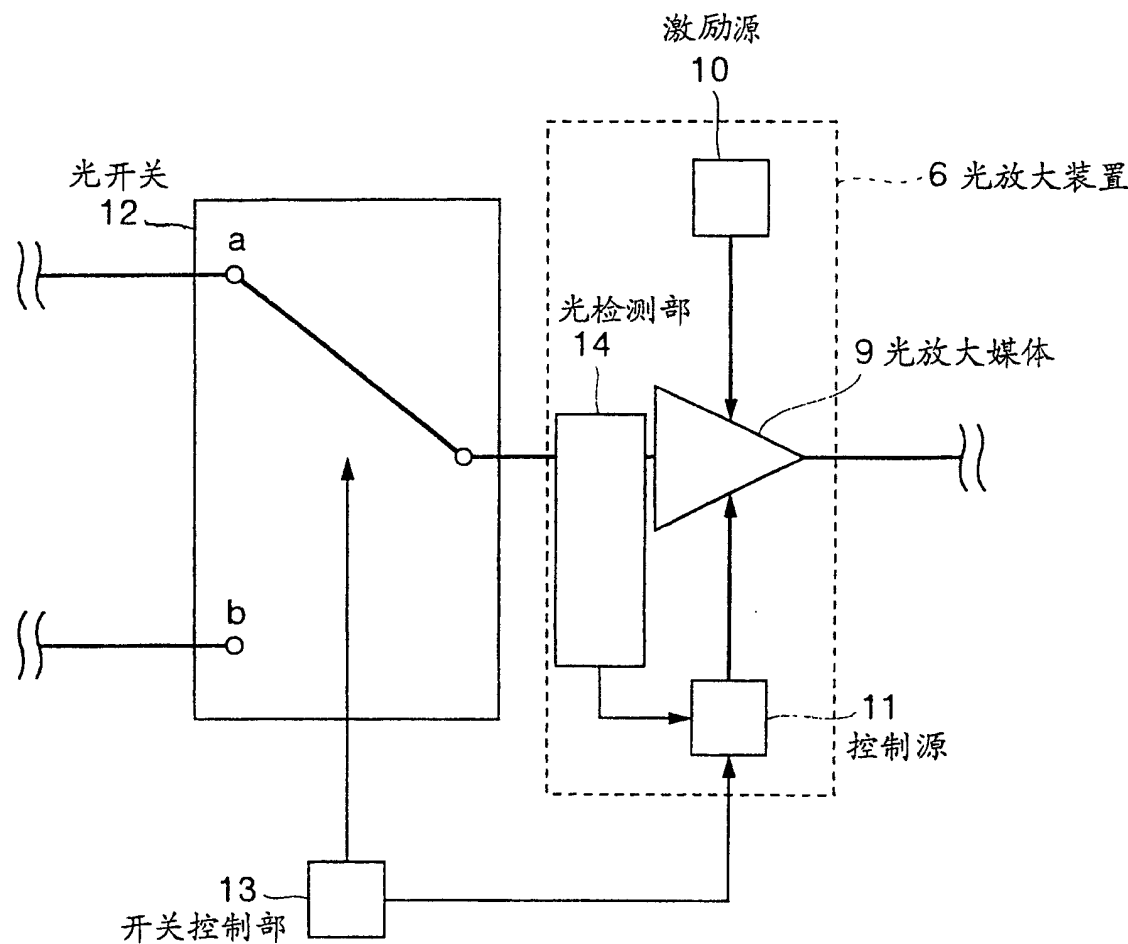


图 8

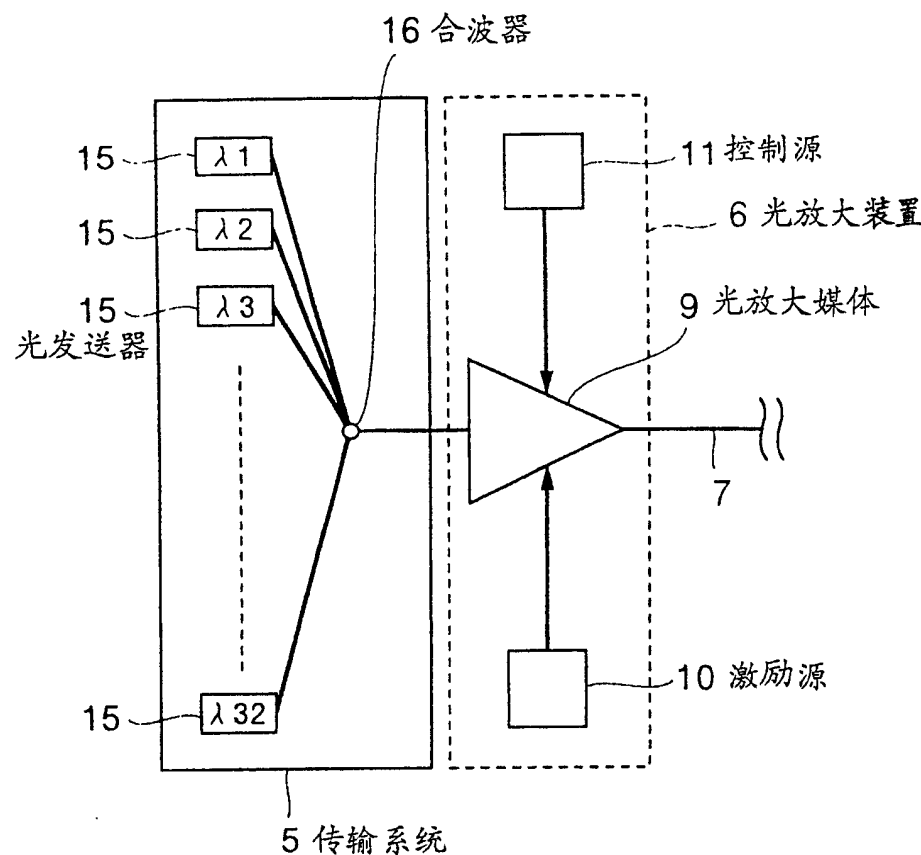


图 9

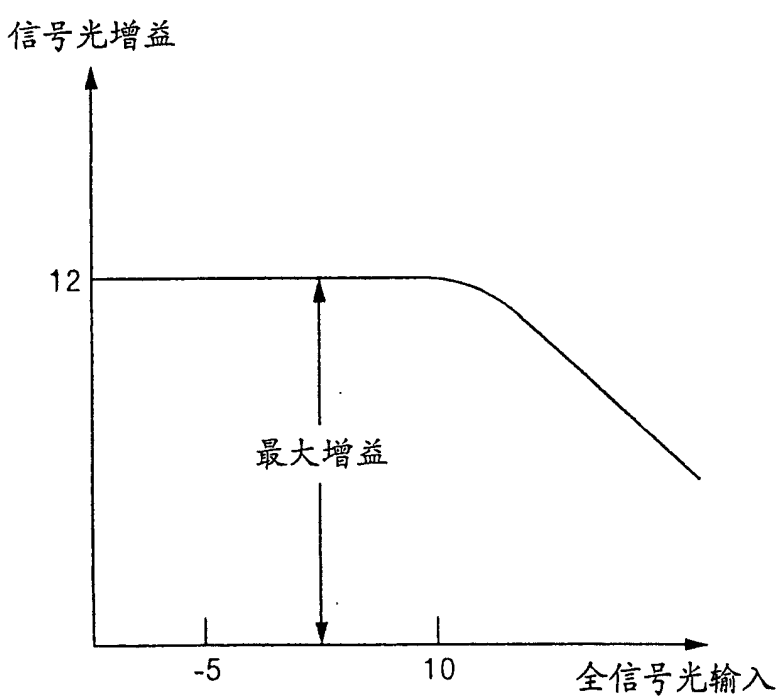


图 10

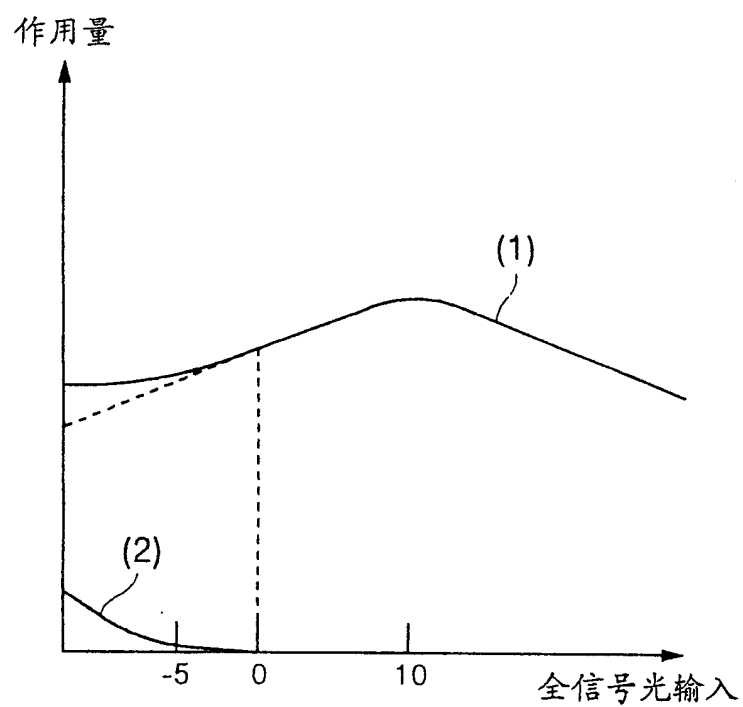


图 11

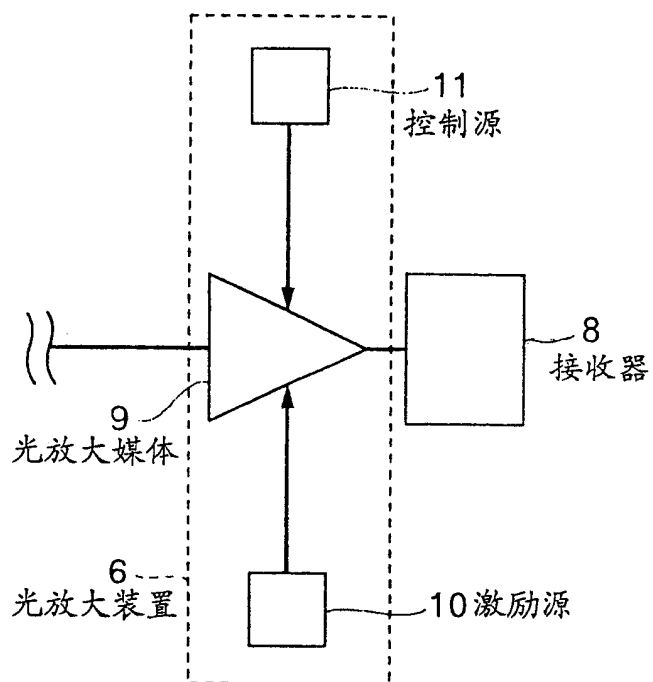


图 12

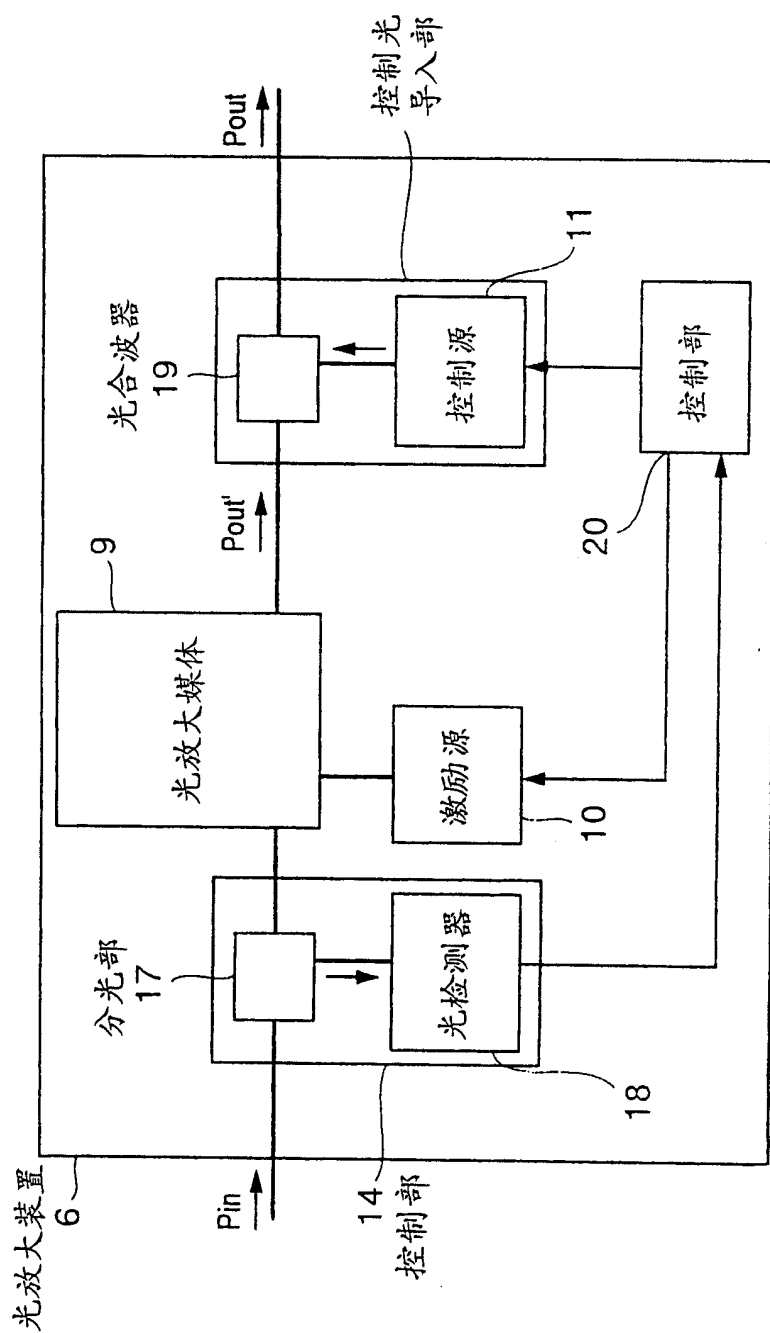


图 13

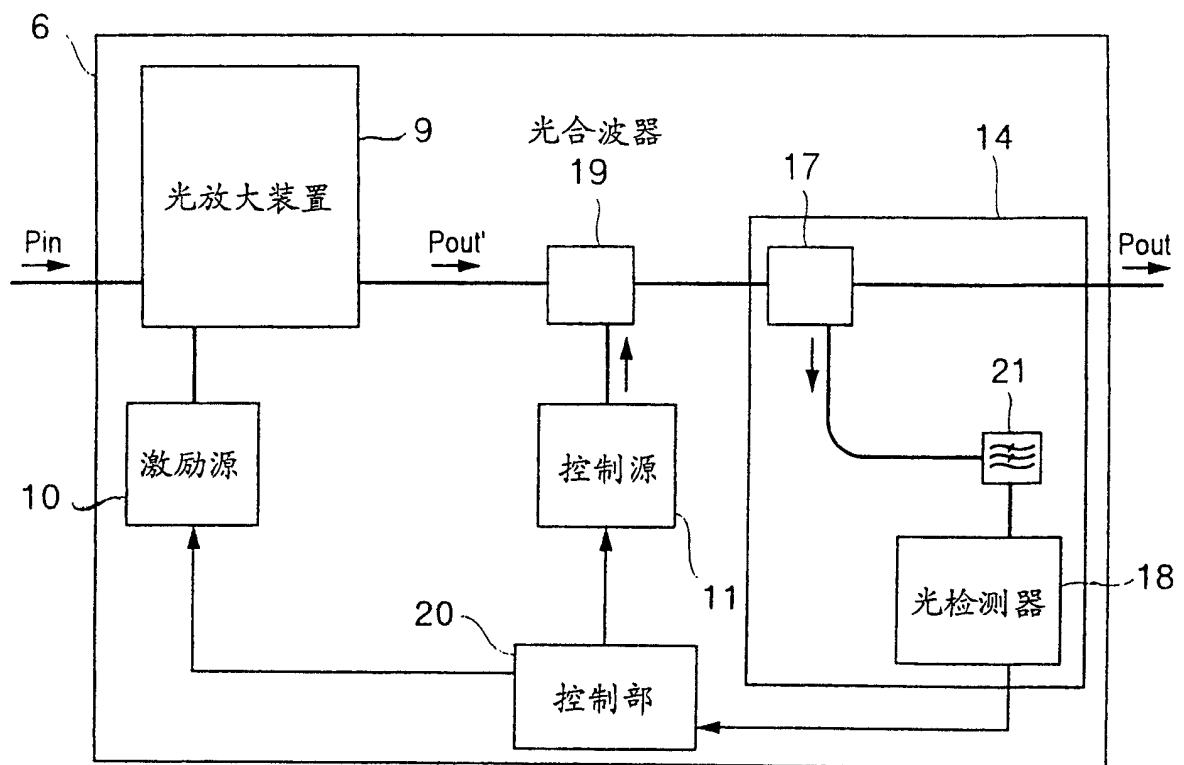


图 14

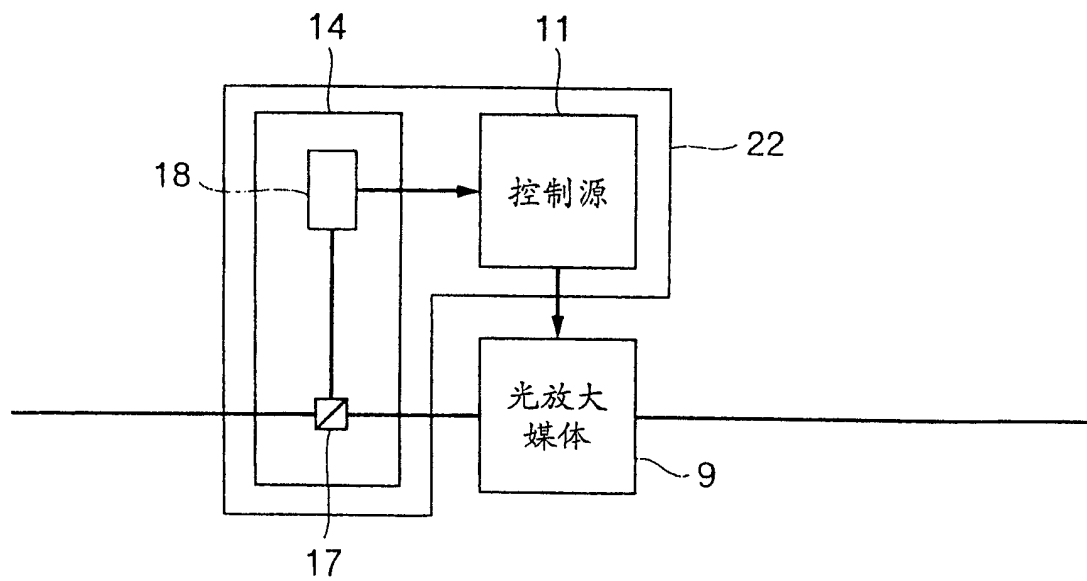


图 15

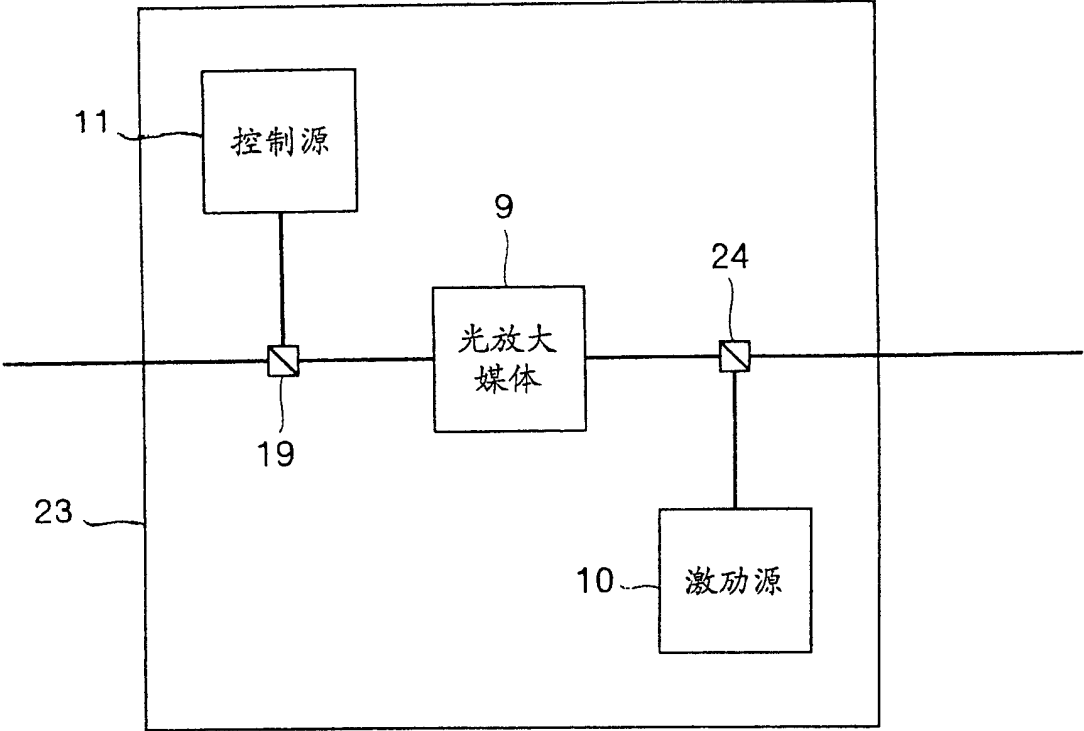


图 16

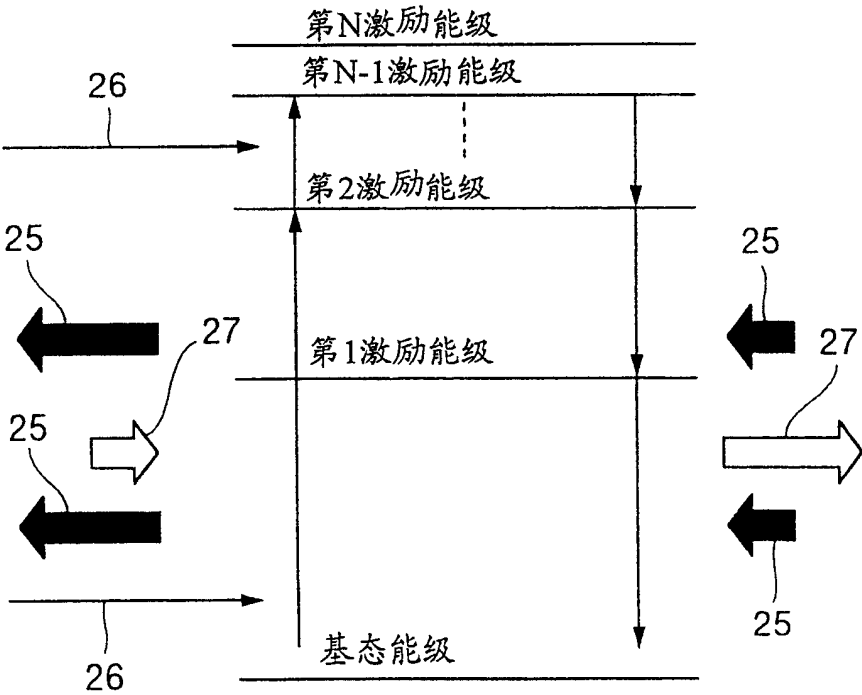


图 17

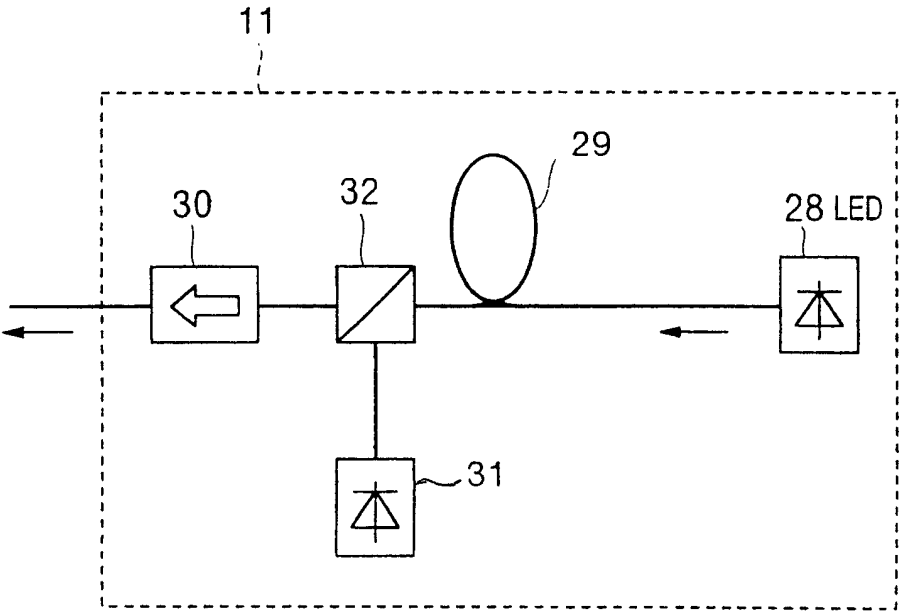


图 18

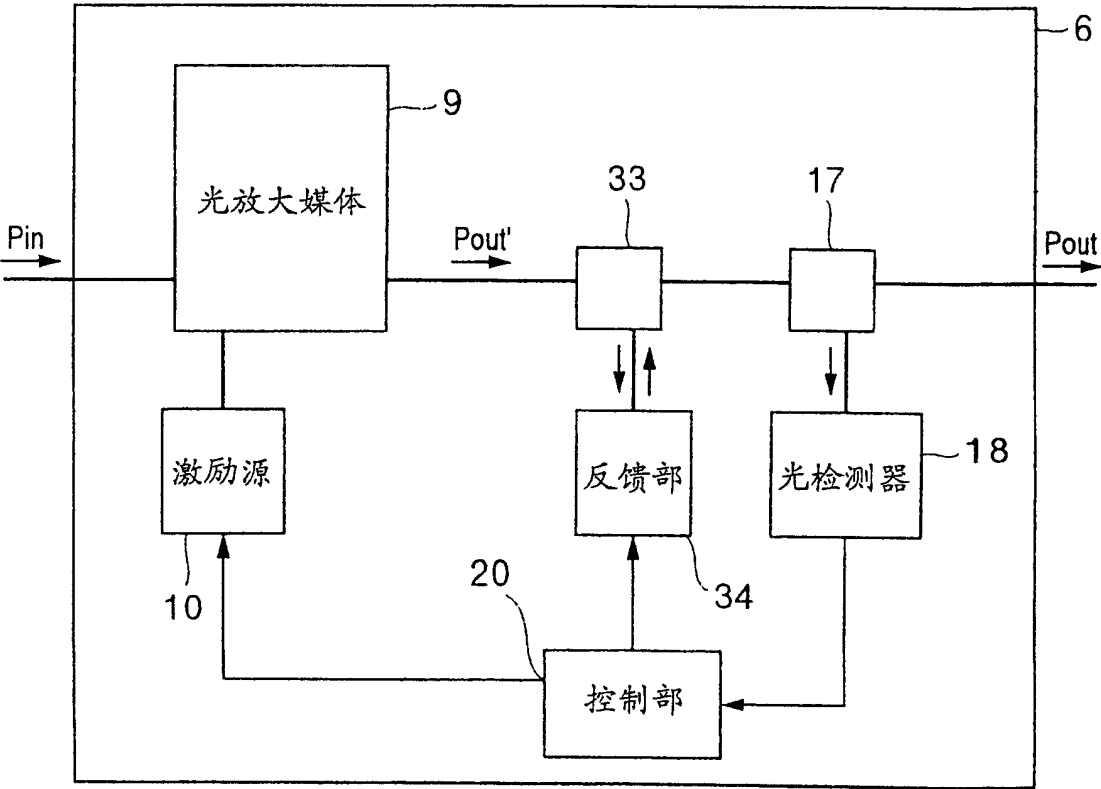


图 19

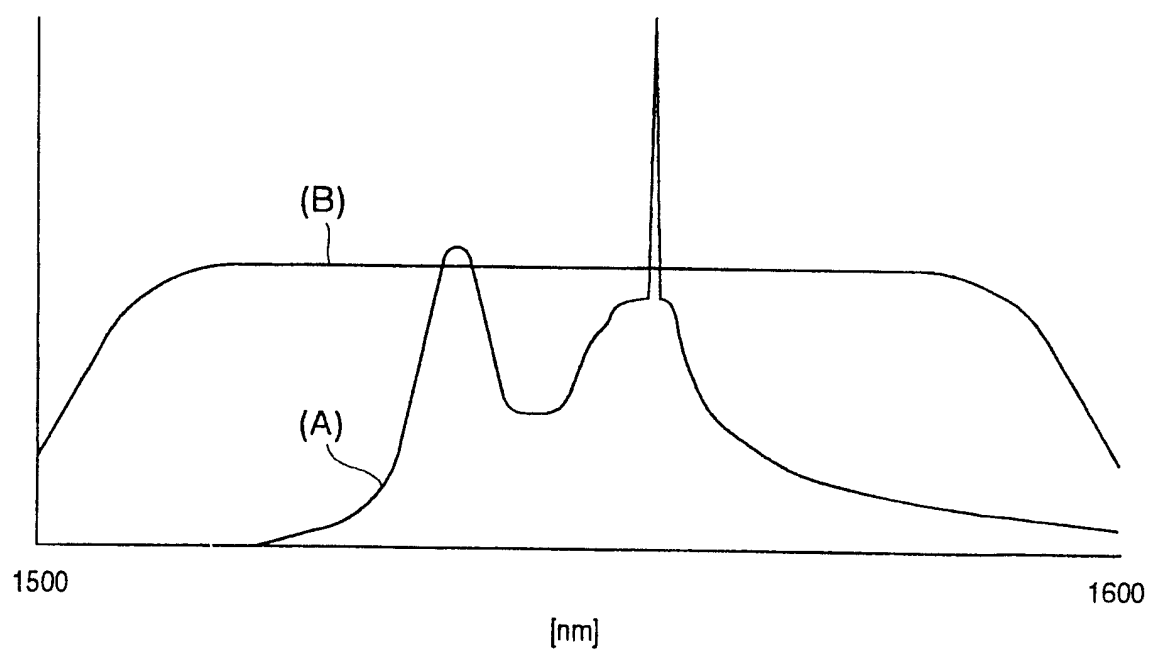


图 22

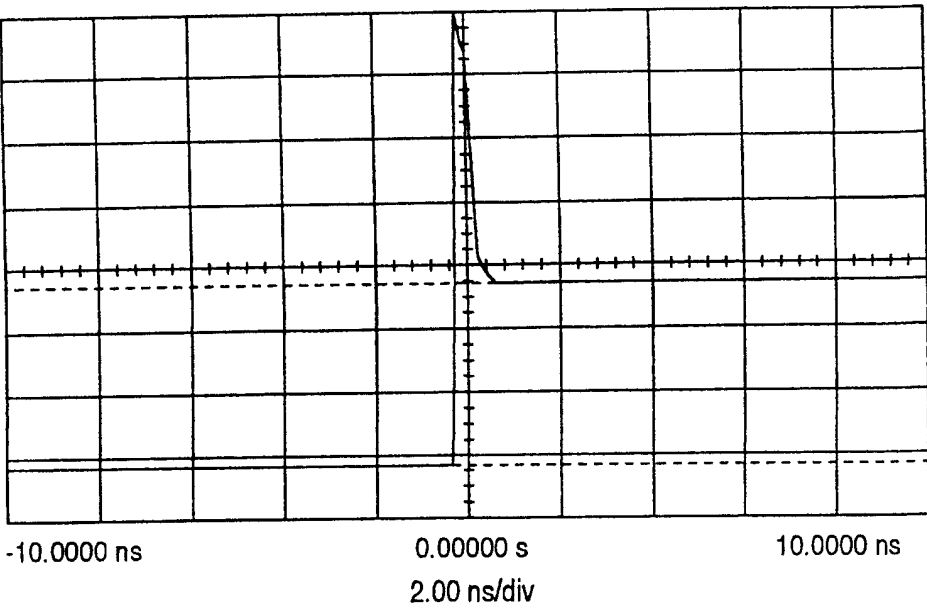


图 23A

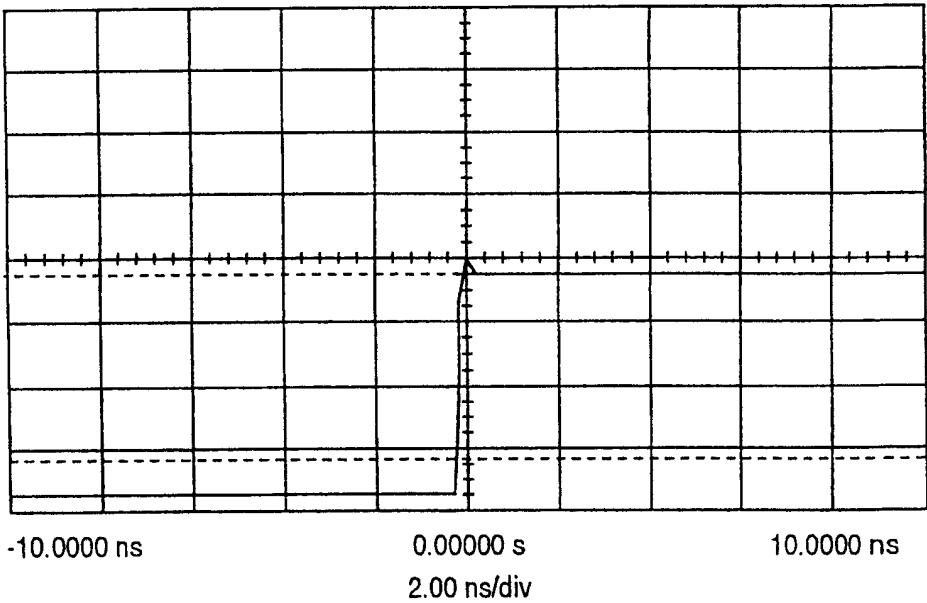


图 23B

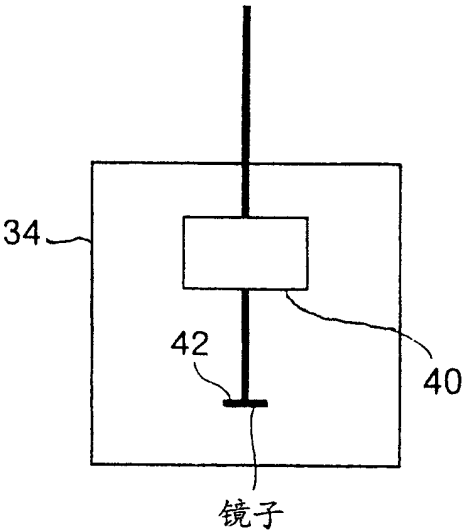


图 24

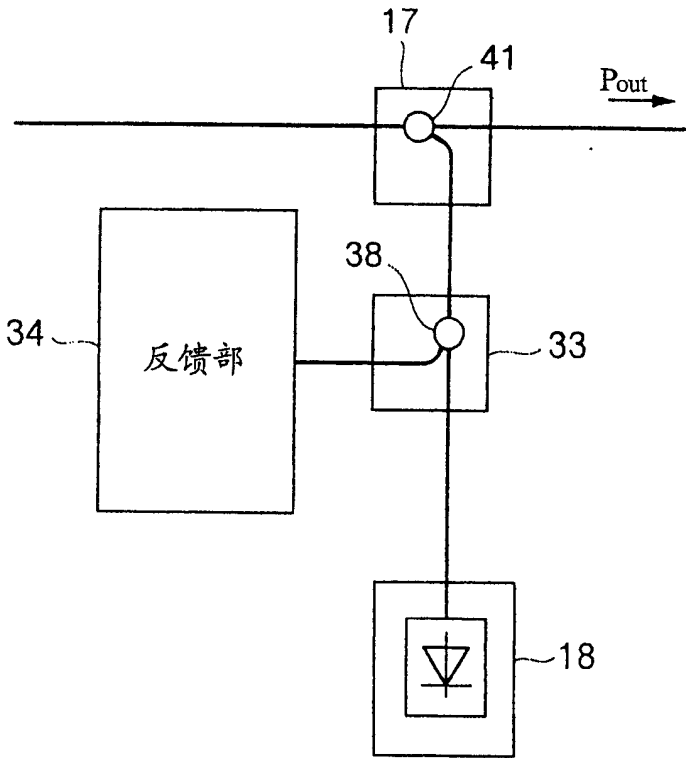


图 25

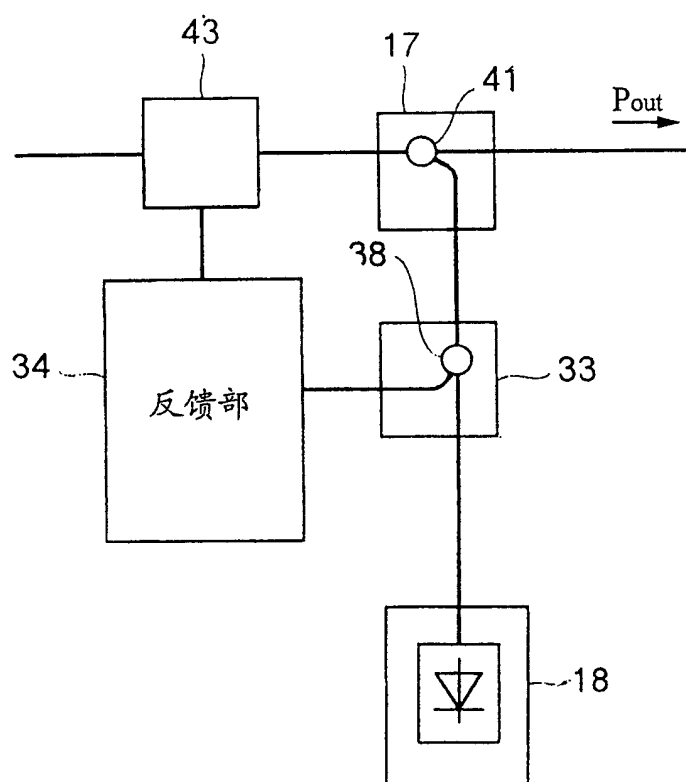


图 26

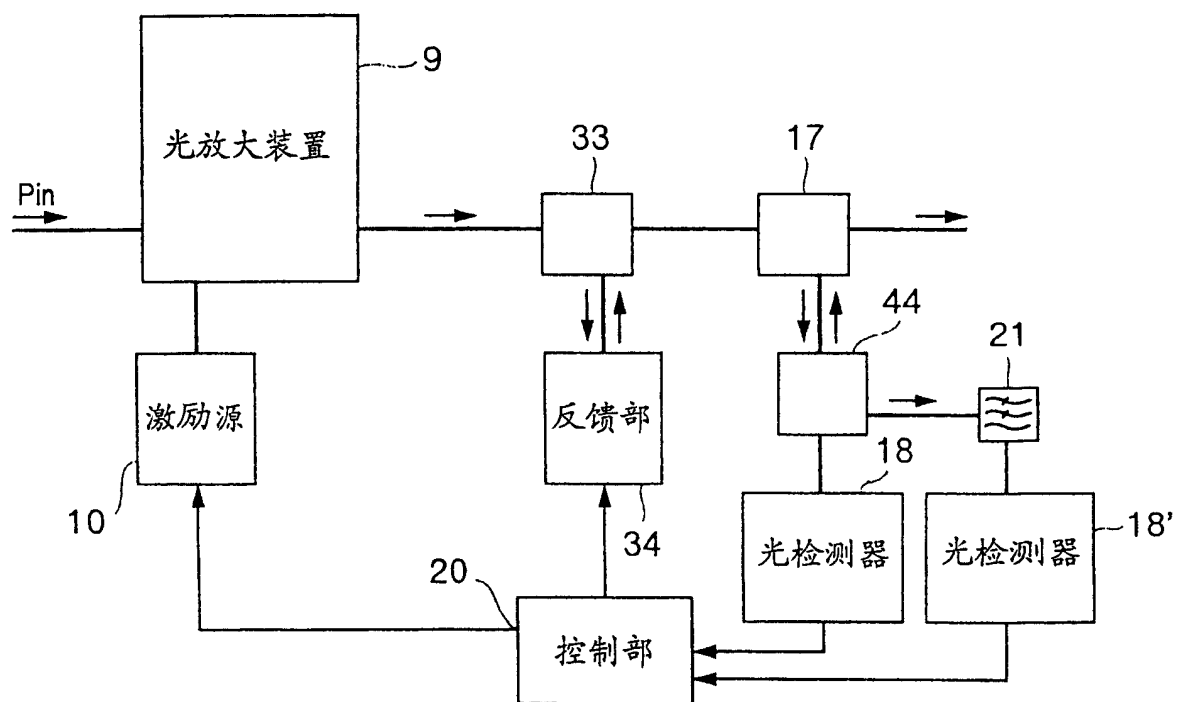


图 27

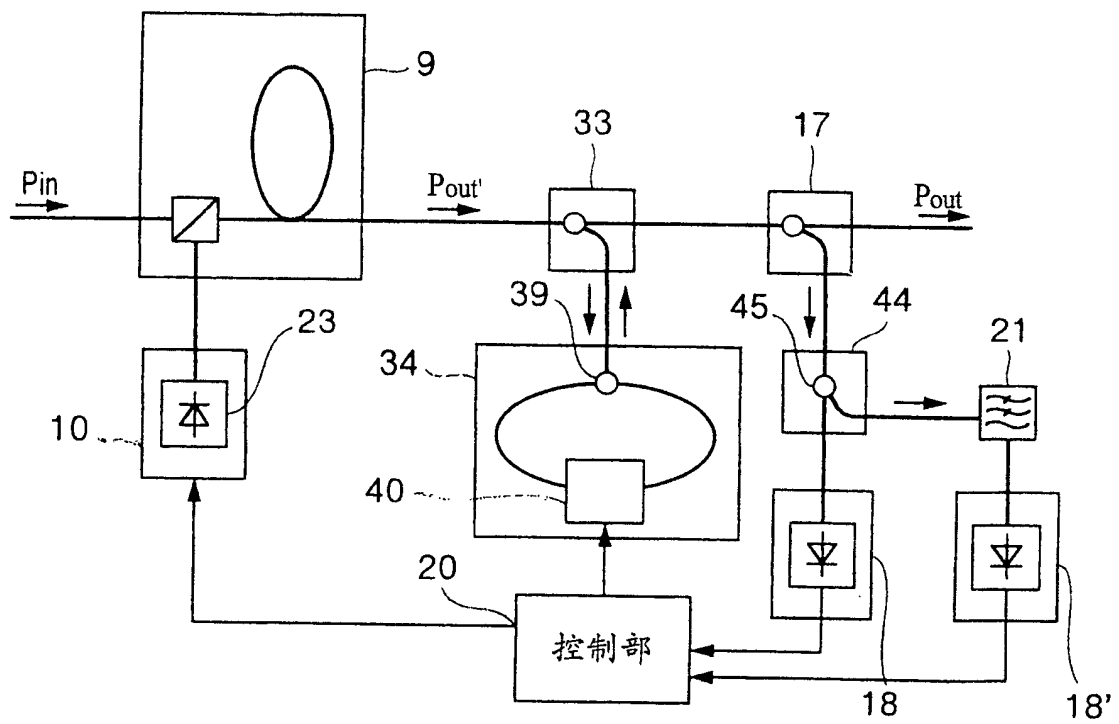


图 28

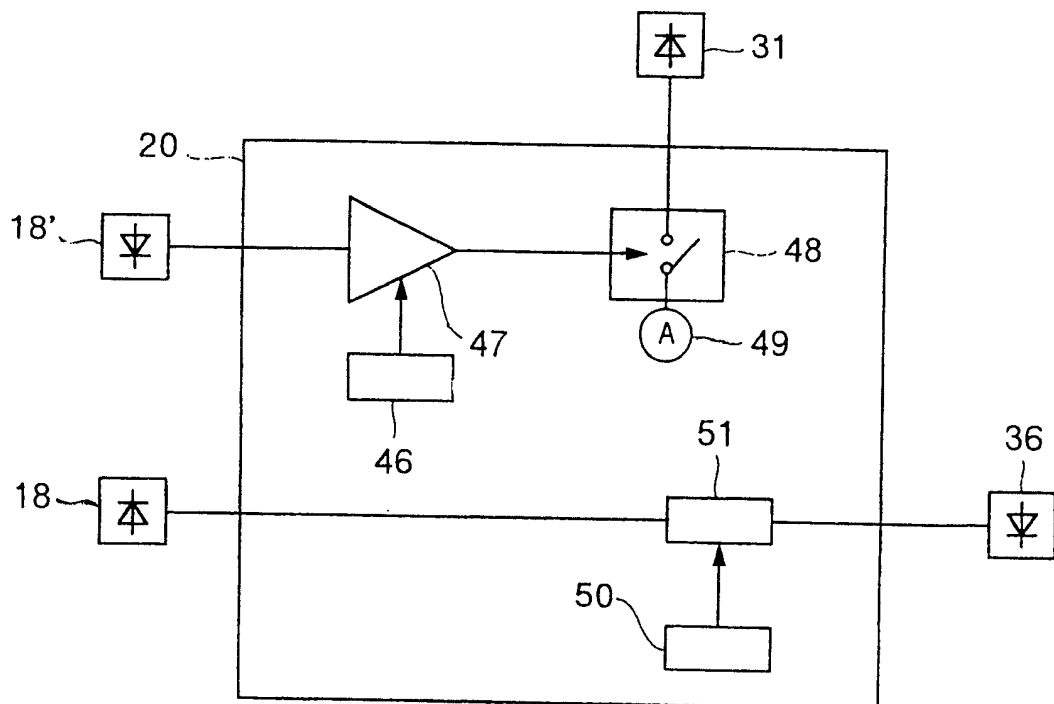


图 29

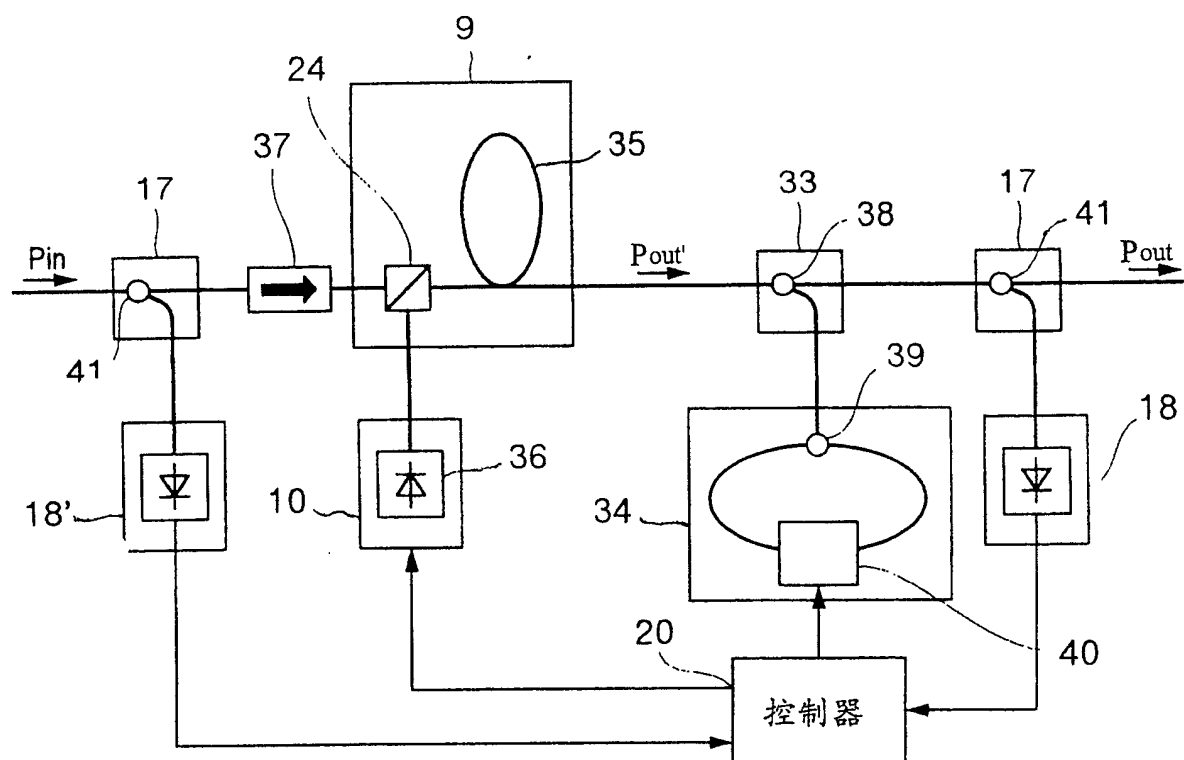


图 30

光浪涌峰值比率

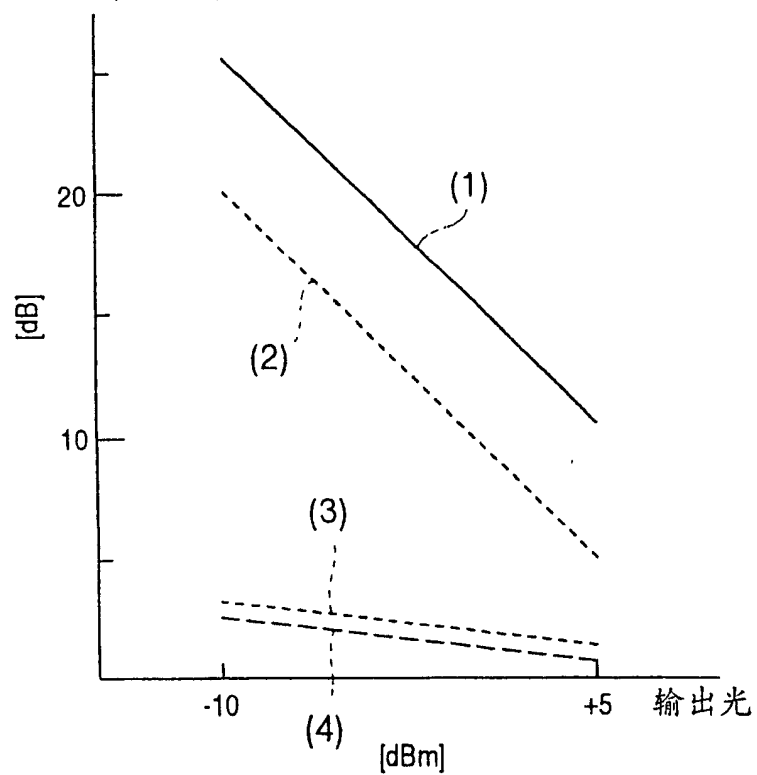


图 31

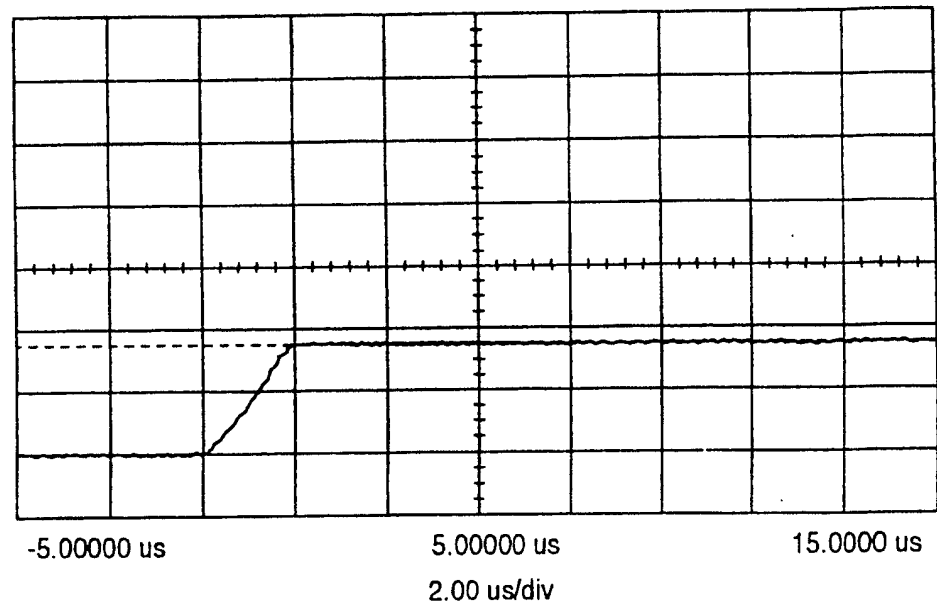


图 32

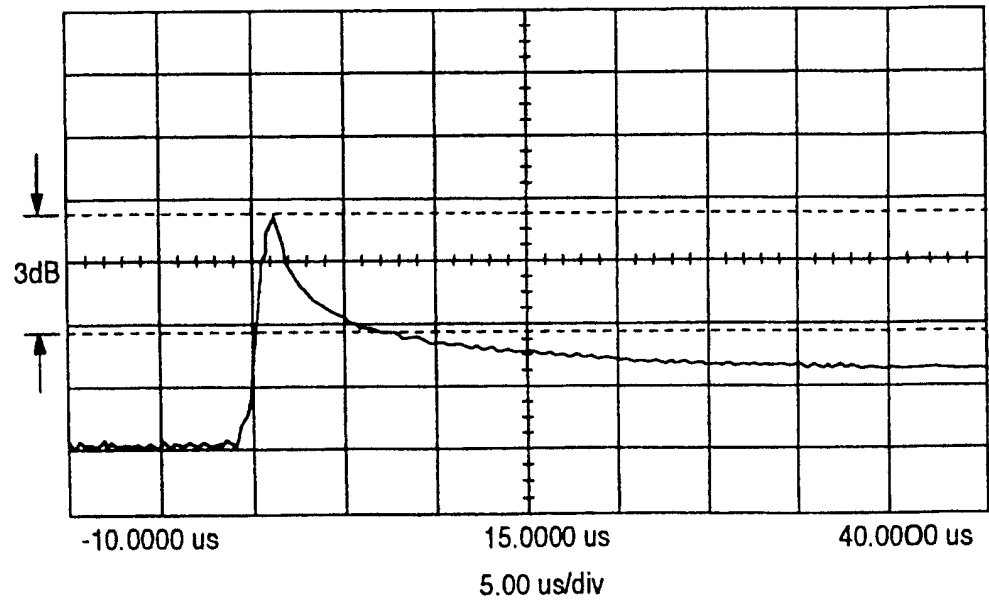


图 33

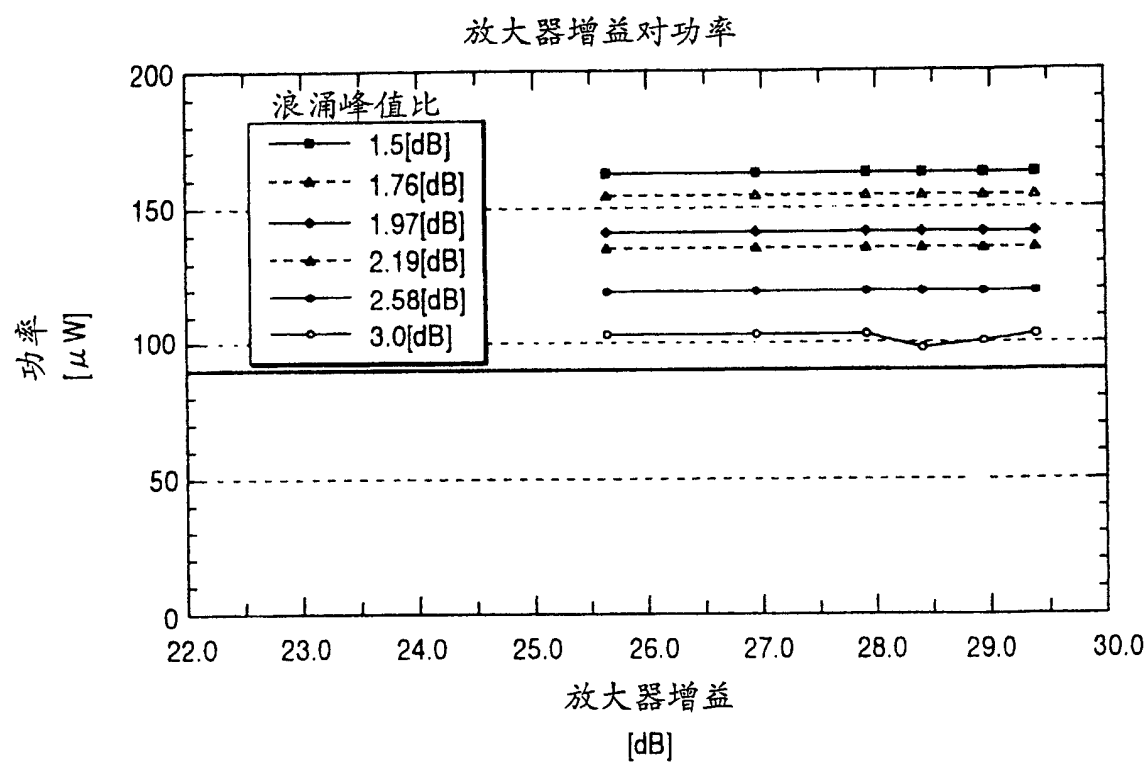


图 34

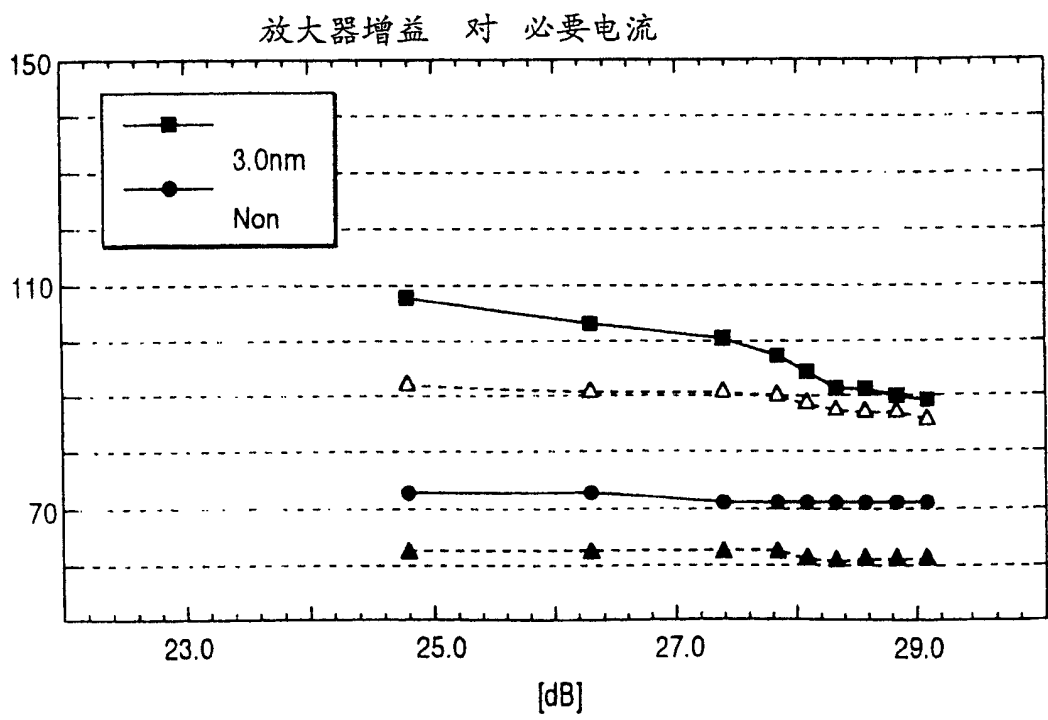


图 35

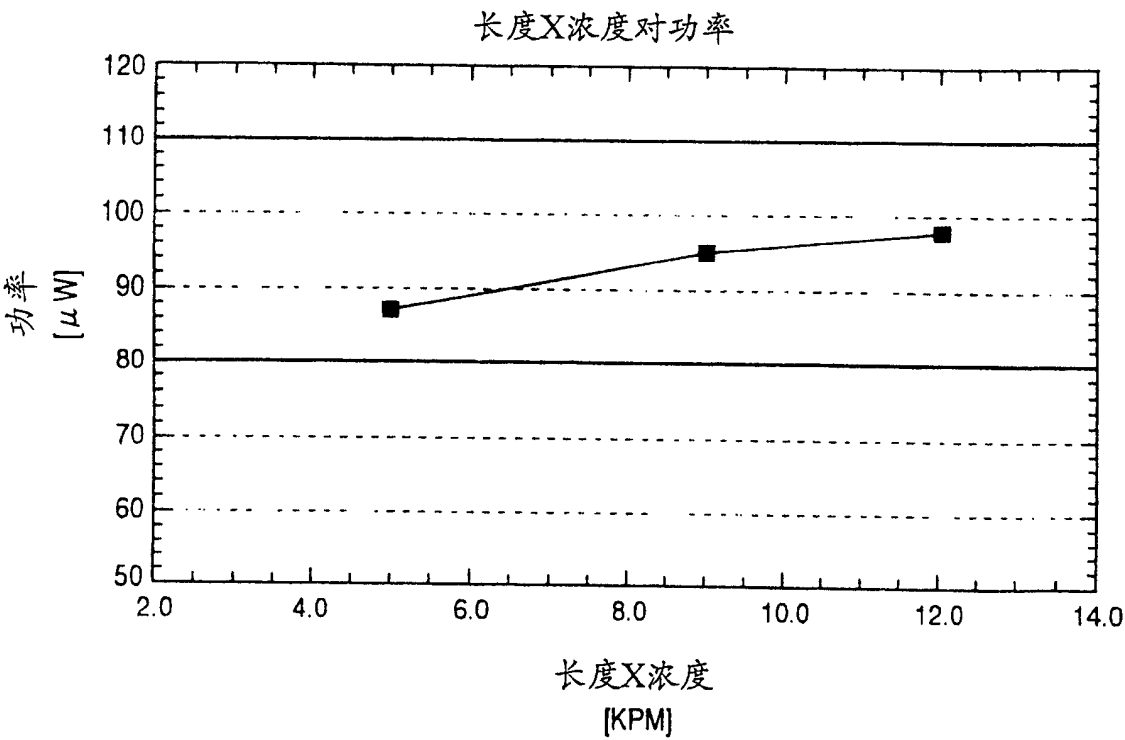


图 36

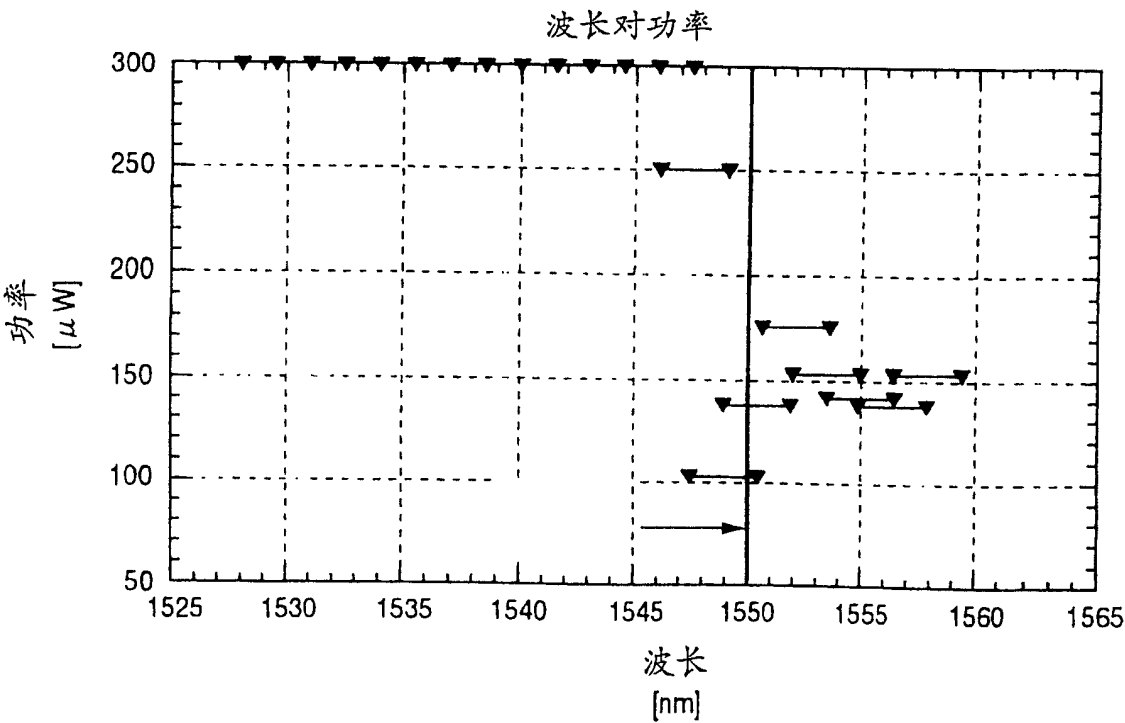


图 37

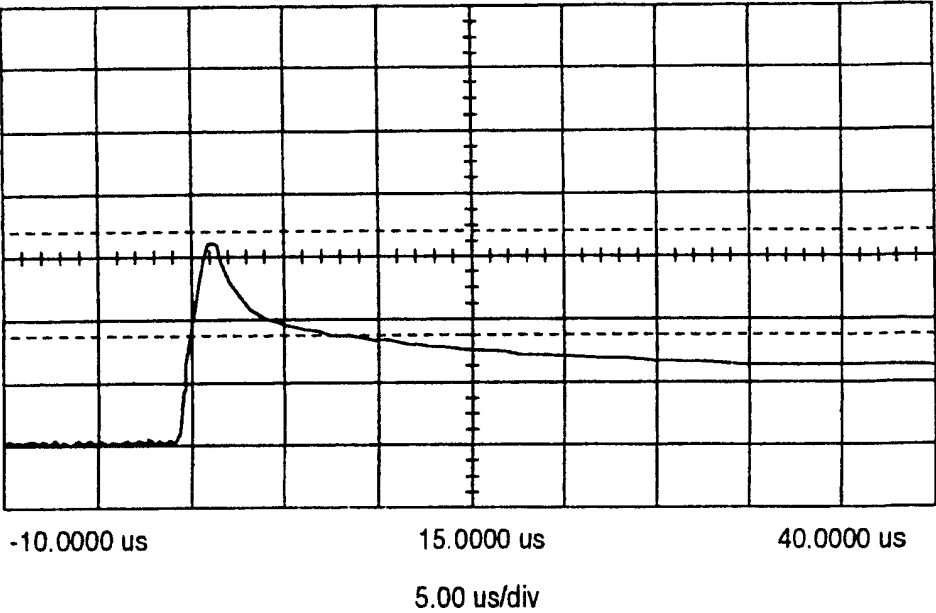


图 38A

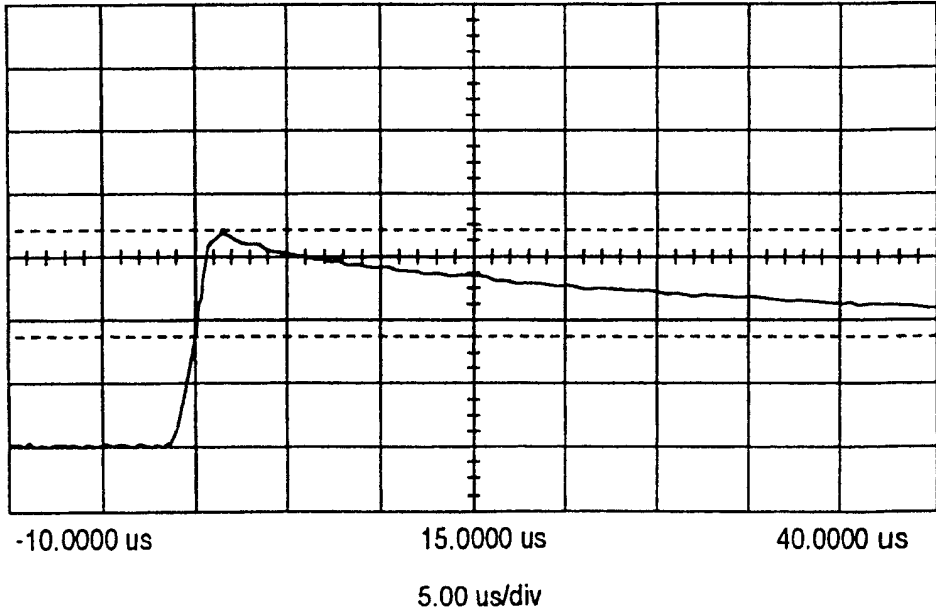


图 38B

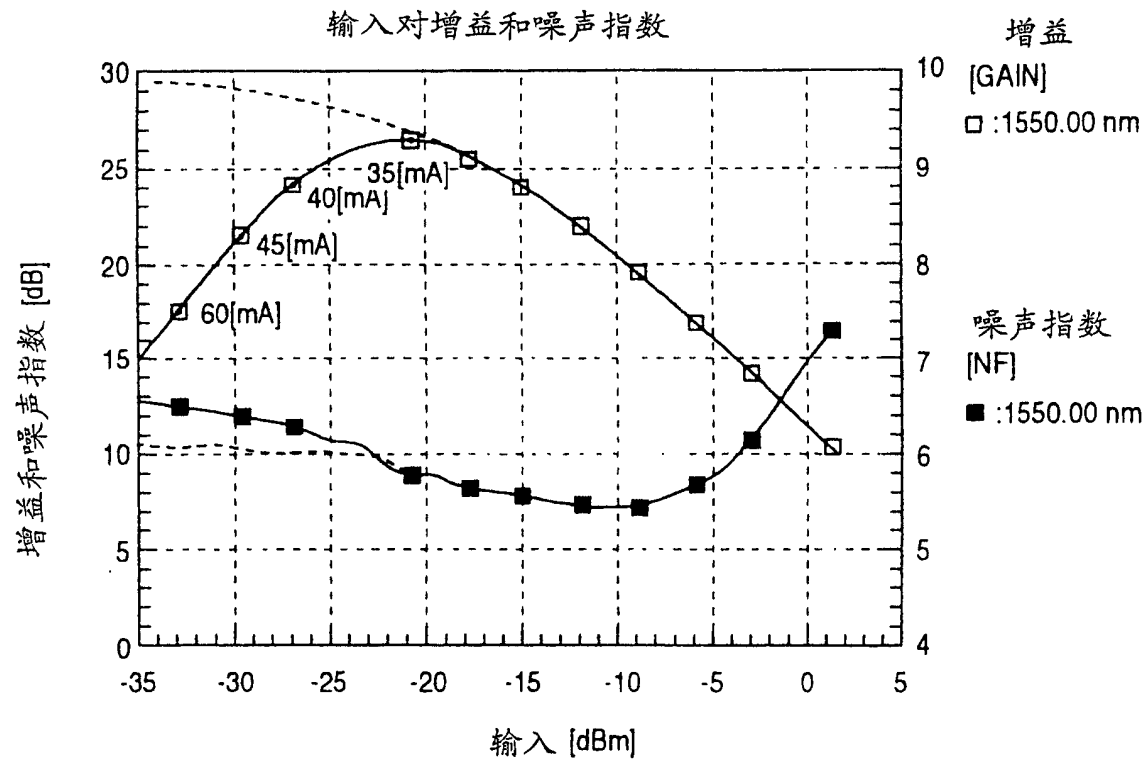


图 39

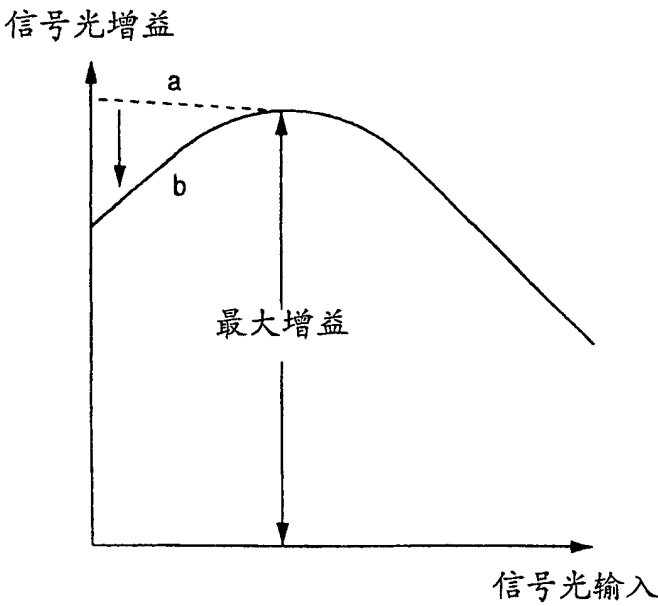


图 40

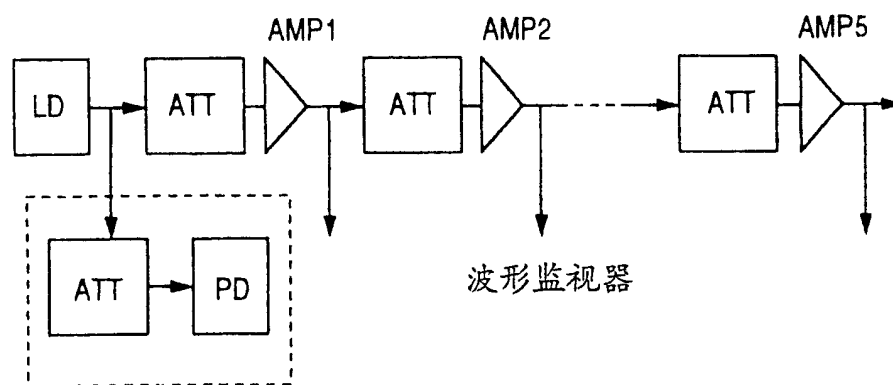


图 41A
现有技术

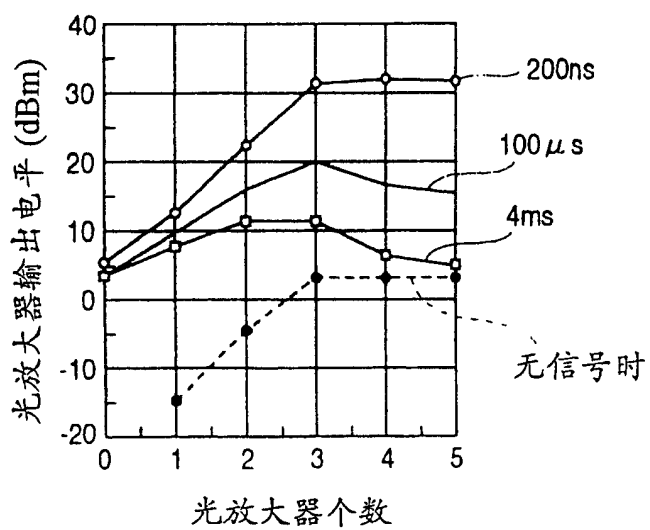


图 41B

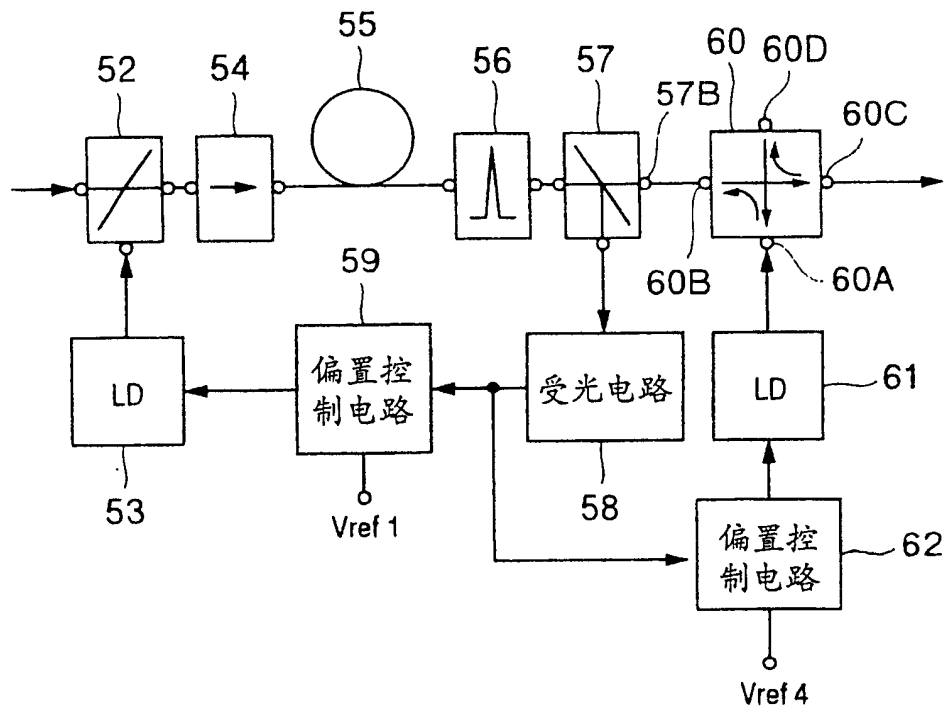


图 42

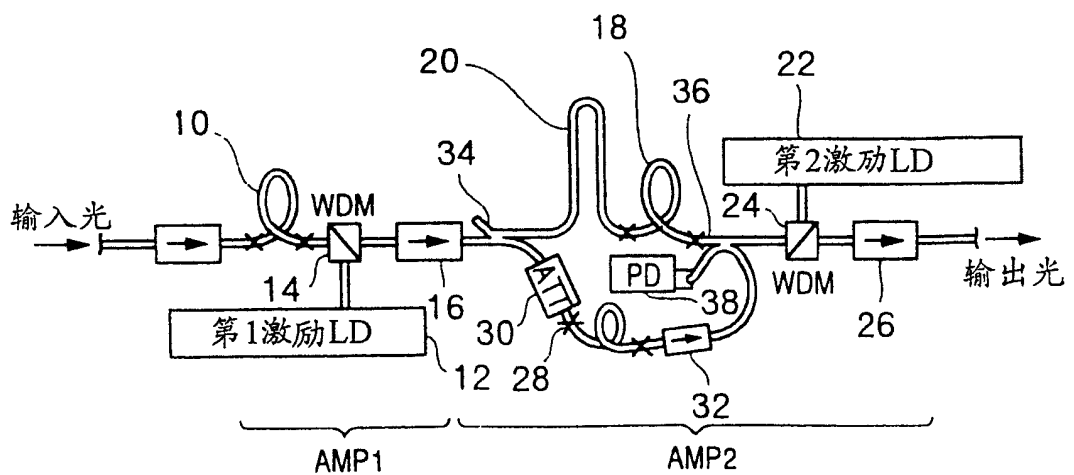


图 43
现有技术