



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98105729.2

[45] 授权公告日 2004 年 10 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1173495C

[22] 申请日 1998.3.19 [21] 申请号 98105729.2

[30] 优先权

[32] 1997.9.9 [33] JP [31] 243877/1997

[71] 专利权人 富士通株式会社

地址 日本神奈川

[72] 发明人 石川丈二

审查员 赵 颖

[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

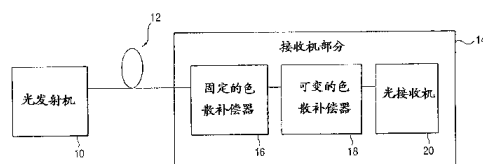
代理人 罗亚川

权利要求书 8 页 说明书 16 页 附图 28 页

[54] 发明名称 包括固定的和可变的色散补偿器的
色散补偿装置

[57] 摘要

一个补偿在一个光传输线中的色散的装置。这个装置包括一个固定的色散补偿器和一个可变的色散补偿器。固定的色散补偿器有一个固定的色散量和粗略地补偿传输线中的色散。可变的色散补偿器有一个可变的色散量和精细地补偿传输线中的色散。固定的和可变的色散补偿器能够安装在许多位置。例如，一个可以在一个发射机中，而另一个可以在一个接收机中。两者可以都在发射机和/或接收机中。



1. 一个色散补偿装置，它补偿一条光传输线中的色散，包括：

一个固定的色散补偿器，它有一个固定的色散量，粗略地补偿传输线中的色散；和

一个可变的色散补偿器，它有一个可变的色散量，精细地补偿传输线中的色散，

其中所述固定的色散补偿器和可变的色散补偿器串接在光传输线中。

2. 一个如权利要求 1 中的装置，其中传输线有一个发射端和一个接收端，且固定的色散补偿器及可变的色散补偿器两者都位于传输线的接收端。

3. 一个如权利要求 1 中的装置，其中传输线有一个发射端和一个接收端，且固定的色散补偿器及可变的色散补偿器两者都位于传输线的发射端。

4. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个接收机，它接收通过传输线传输的一个光信号，其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都位于接收机中。

5. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号，其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都位于发射机中。

6. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号；和

一个接收机，它接收通过传输线传输的光信号，其中

由固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的一个位于发射机中，和

由固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的另一个位于接收机中。

7. 一个如权利要求 1 中的装置，其中：

传输线有一个发射端和一个接收端，

由固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，和

由固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端。

8. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个光中继器，其中

传输线包括一个发射端和一个接收端，将光中继器沿在发射端和接收端之间的传输线放置，

固定的色散补偿器包括第一和第二固定的色散补偿器，每个都有一个固定的色散量，

由第一固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，和

由第一固定的色散补偿器和可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端，和

第二固定的色散补偿器位于光中继器中。

9. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个光中继器，其中

传输线包括一个发射端和一个接收端，将光中继器沿在发射端和接收端之间的传输线放置，

固定的色散补偿器包括第一和第二固定的色散补偿器，每个都有一个固定的色散量，

可变的色散补偿器包括第一和第二可变的色散补偿器，每个都有一个可变的色散量，

由该第一固定的色散补偿器和该第一可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，

由该第一固定的色散补偿器和该第一可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端，和

第二个固定的色散补偿器和第二个可变的色散补偿器两者都位于光中继器中。

10. 一个如权利要求 1 中的装置，其中：

传输线包括一个发射端和一个接收端，

固定的色散补偿器包括第一和第二个固定的色散补偿器，每个都有一个固定的色散量，第一个固定的色散补偿器位于传输线的发射端和第二个固定的色散补偿器位于传输线的接收端。

11. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号；和

一个接收机，它接收通过传输线传输的光信号，其中

固定的色散补偿器包括第一和第二个固定的色散补偿器，每个都有一个固定的色散量，第一个固定的色散补偿器位于发射机中和第二个固定的色散补偿器位于接收机中。

12. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个测量装置，它从通过传输线传输的一个光信号测量传输线的一个传输特性，其中根据由测量装置测得的传输特性设定可变的色散补偿器的可变的色散量。

13. 一个如权利要求 12 中的装置，还包括：

一个控制器，它根据由测量装置测得的传输特性控制可变的色散补偿器的可变的色散量。

14. 一个如权利要求 1 中的装置，其中可变的色散补偿器的可变的色散量小于或等于固定的色散补偿器的固定的色散量的 20%。

15. 一个如权利要求 1 中的装置，还包括：

一个外壳，将固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

16. 一个如权利要求 4 中的装置，其中接收机包括一个外壳，将固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

17. 一个如权利要求5中的装置,其中发射机包括一个外壳,将固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

18. 一个如权利要求1中的装置,其中固定的色散补偿器是一条色散位移光纤。

19. 一个如权利要求1中的装置,其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器在物理上彼此分开一个小于或等于三米的距离。

20. 一个如权利要求1中的装置,其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器彼此直接连接在一起,使得在固定的色散补偿器和可变的色散补偿器之间没有传输线段。

21. 一个如权利要求1中的装置,其中传输线根据传输线的长度需要一个特定的色散补偿量,而固定的色散补偿器和可变的色散补偿器一起提供一个等于所需的色散补偿量的色散补偿总量。

22. 一个色散补偿装置,它补偿一条光传输线中的色散,包括:

一个离散地可变的色散补偿器,它有一个不连续地可变的色散量,粗略地补偿传输线中的色散;和

一个连续地可变的色散补偿器,它有一个连续地可变的色散量,精细地补偿传输线中的色散,

其中所述离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器串接在光传输线中。

23. 一个如权利要求22中的装置,其中传输线有一个发射端和一个接收端,和离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都位于传输线的接收端。

24. 一个如权利要求22中的装置,其中传输线有一个发射端和一个接收端,和离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都位于传输线的发射端。

25. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个接收机，它接收通过传输线传输的一个光信号，其中离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都位于接收机中。

26. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号，其中离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都位于发射机中。

27. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号；和
一个接收机，它接收通过传输线传输的光信号，其中
由离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的一个位于发射机中，和

由离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的另一个位于接收机中。

28. 一个如权利要求 22 中的装置，其中：

传输线有一个发射端和一个接收端，
由离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，和
由离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端。

29. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个光中继器，其中
传输线包括一个发射端和一个接收端，将光中继器沿在发射端和接收端之间的传输线放置，
离散地可变的色散补偿器包括第一和第二个离散地可变的色散补偿器，每个都有一个不连续地可变的色散量，
由第一个离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，和

由第一个离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端，和

第二个离散地可变的色散补偿器位于光中继器中。

30. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个光中继器，其中

传输线包括一个发射端和一个接收端，将光中继器沿在发射端和接收端之间的传输线放置，

离散地可变的色散补偿器包括第一和第二个离散地可变的色散补偿器，每个都有一个不连续地可变的色散量，

连续地可变的色散补偿器包括第一和第二个连续地可变的色散补偿器，每个都有一个连续地可变的色散量，

由第一个离散地可变的色散补偿器和第一个连续地可变的色散补偿器组成的组的一个位于传输线的发射端，

由第一个离散地可变的色散补偿器和第一个连续地可变的色散补偿器组成的组的另一个位于传输线的接收端，和

第二个离散地可变的色散补偿器和第二个连续地可变的色散补偿器两者都位于光中继器中。

31. 一个如权利要求 22 中的装置，其中：

传输线包括一个发射端和一个接收端，

离散地可变的色散补偿器包括第一和第二个离散地可变的色散补偿器，每个都有一个不连续地可变的色散量，第一个离散地可变的色散补偿器位于传输线的发射端和第二个离散地可变的色散补偿器位于传输线的接收端。

32. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个发射机，它发射一个通过传输线的光信号；和

一个接收机，它接收通过传输线传输的光信号，其中

离散地可变的色散补偿器包括第一和第二个离散地可变的色散补偿器，每个都有一个不连续地可变的色散量，第一个离散地可变的色散补偿器位于发射机中和第二个离散地可变的色散

补偿器位于接收机中。

33. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个测量装置，它从通过传输线传输的一个光信号测量传输线的一个传输特性，其中根据由测量装置测得的传输特性设定离散地可变的色散补偿器的不连续地可变的色散量和连续地可变的色散补偿器的连续地可变的色散量。

34. 一个如权利要求 33 中的装置，还包括：

一个控制装置，它根据由测量装置测得的传输特性控制离散地可变的色散补偿器的不连续地可变的色散量和连续地可变的色散补偿器的连续地可变的色散量。

35. 一个如权利要求 22 中的装置，其中连续地可变的色散补偿器的连续地可变的色散量小于或等于离散地可变的色散补偿器的不连续地可变的色散量的 20%。

36. 一个如权利要求 22 中的装置，还包括：

一个外壳，将离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

37. 一个如权利要求 25 中的装置，其中接收机包括一个外壳，将离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

38. 一个如权利要求 26 中的装置，其中发射机包括一个外壳，将离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器两者都包含在这个外壳中。

39. 一个如权利要求 22 中的装置，其中离散地可变的色散补偿器是一条色散位移光纤。

40. 一个如权利要求 22 中的装置，其中离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器将在物理上彼此分开一个小于或等于三米的距离。

41. 一个如权利要求 22 中的装置，其中离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器彼此直接连接在一起，使得在

离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器之间没有传输线段。

42. 一个如权利要求 22 中的装置，其中传输线根据传输线的长度需要一个特定的色散补偿量，和离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器一起提供一个等于所述特定的色散补偿量的色散补偿总量。

43. 一个色散补偿装置，它包括：

一条传输线，它有一个相应的色散量；

一个固定的色散补偿器，它有一个固定的色散量，粗略地补偿传输线中的色散；和

一个可变的色散补偿器，它有一个可变的色散量，精细地补偿传输线中的色散，其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器一起提供一个等于传输线的色散量的色散补偿总量，

其中所述固定的色散补偿器和可变的色散补偿器串接在传输线中。

44. 一个如权利要求 43 中的装置，其中可变的色散补偿器的可变的色散量小于或等于固定的色散补偿器的固定的色散量的 20%。

45. 一个色散补偿方法，用它来补偿有一个相应的色散量的一条光传输线中的色散，它包括下列步骤：

用一个固定的色散量粗略地补偿传输线中的色散；和

用一个可变的色散量精细地补偿传输线中的色散，其中粗略地补偿和精细地补偿的步骤一起提供一个等于传输线的色散量的色散补偿总量。

46. 一个如权利要求 45 中的方法，其中精细地补偿的步骤提供一个色散补偿量，它小于或等于粗略地补偿的步骤提供的色散补偿量的 20%。

包括固定的和可变的色散补偿器的色散补偿装置

本申请基于 1997 年 9 月 9 日在日本归档的日本申请号 9—243877，作为参考将它结合到本申请中，并且本申请宣布对它有优先权。

技术领域

本发明涉及一个补偿在一条光纤传输线中的色散的装置。更特别的是，本发明涉及一个包括一个用于粗略补偿的固定的色散补偿器和一个用于精细补偿的可变的色散补偿器的装置。

背景技术

使用诸光纤的光传输线的诸光传输系统正用来传输相当大量的信息。例如，现在正在实际使用 10Gb/s（千兆比特/秒）的诸光传输系统。然而，当用户需要迅速地传输更大量的信息时，就需要进一步增加诸光传输系统的容量。

然而，在一个光传输系统中，当传输速度增加时，因为由一条光纤中的群速度色散（GVD）引起的波长退化，使传输距离受到严重的限制。而且，当增加传输的光功率，以便保持所需的传输/接收电平差时，自相位调制（SPM）效应，光纤的一种非线性效应，增加。在 SPM 中的这种增加进一步使通过和群速度色散相互作用引起的波形退化复杂化（SPM—GVD 效应）。

作为一个例子，考虑一个光传输系统，它有用在 $1.3\mu\text{m}$ 区域中有一个零色散波长的诸单模光纤（SMF）的诸传输线。SMF 的这种类型是广泛地用于现有的诸光纤传输线中的光纤的最普通的类型。在这样一个光传输系统中，在单一光波长 $1.55\mu\text{m}$ （在这个波长，石英基光纤的传输损耗最低）的色散值约为 $+18\text{ps/nm/km}$ 那样大。结果，对于 10Gb/s 和能容忍一个相当小量的色散的较高速度的诸传输系统需要诸色散补偿技术。

例如，根据一个对在一个 50km 的距离上的一个 40Gb/s SMF 传输的实验（参见 G.Ishikawa 等，对于发射机/接收机配置的 ECOC'96 ThC.3.3），当功率损失为 1db 或更小时色散补偿的容限是非常小的，即

为 30ps/nm。所以，在 40Gb/s SMF 传输系统中，必须对系统中的每一个中继器区段进行高精度的色散补偿。

用诸 1.55 μm 频带的色散位移光纤 (DSF) 的诸传输线在最近几年中已经安装起来用于 10Gb/s 的长距离传输。然而，因为当光纤制造过程中拉动光纤时引起的光纤芯直径中的诸轻微变化，零色散波长 λ_0 从一个中继器区段到另一个发生变化。而且，甚至在同一个中继器区段内， λ_0 会沿光纤长度变化。此外，一条传输电缆通常是通过将每段都有数千米长的诸多光纤芯电缆段连接在一起构成的。也就是说，在相邻电缆段之间在 λ_0 中没有连续性，所以， λ_0 有一个随机分布图。结果，在一个中继器区段内能够发生一个 $\pm 10\text{nm}$ 的变化，这种变化的状态从一个中继器区段到另一个是不同的。所以在一个 40Gb/s 的长距离 DSF 传输系统中需要严格的色散补偿。

在传输速度高到 10Gb/s 的诸光传输系统中，因为色散容限相当宽，设计允许在一个 20 到 40km 的传输距离上共同使用一个有一个预先定义的色散值的色散补偿器，例如一个色散补偿光纤 (DCF) 或一个光纤光栅，的系统是可能的。然而，当色散补偿容限非常小时，如在诸 40Gb/s 系统中，必须对每一个中继器区段使色散补偿的量最佳化。现在，为达到这种色散补偿的仅有的一些途径是：

- (1) 制造一个和传输线的色散的实际测量值匹配的色散补偿器；或
- (2) 准备其色散值有小量不同的多个 DCF 或光纤光栅的“单元”，并根据色散的实际测量值，以类似于在一个天平上称一个物体的重量的方式改变插入的诸单元的组合。

然而，在情形 (2) 中，如果将多个单元连接起来，则装置的尺寸增加。而且，如果通过诸连接器将诸单元连接起来，则总的插入损耗增加。如果色散的值是未知的，则可以通过插入和移去诸单元实现最佳化，但是这导致人员—工时的大量增加以及诸多单元的浪费。

而且，无论 (1) 或 (2) 都不能用于由于传输线 (波导) 温度，诸外部压力或振动引起的色散的值随时间的变化。

所以，对于一个非常高速的系统如一个 40Gb/s 系统，开发能用单个器件改变色散量的一个“可变的色散补偿器”是极其重要的。作为一

个可变的色散补偿器,已经提出一个能将它的色散量从-383ps/nm 改变到+615ps/nm 的平面光波电路(PLC)(例如,参见 K.Takiguchi 等, ECOC'93 ThC 12.9, 已将它作为参考结合到本申请中)。然而,一个有一个从-383ps/nm 到+615ps/nm 的可变范围的可变的色散补偿器,在一个 SMF 有一个+18ps/nm/km 的色散值的情形中,仅能支持长到 20km 的传输距离。还有,通过制造的办法以及从可控性的观点来看在商业上实施是困难的。

也已提出一种方法,在这种方法中,在一个光纤光栅色散补偿器中,用一个珀耳帖元件提供一个温度梯度,或用压电元件将一个外部张力加到光纤光栅本身上,以便提供改变色散补偿量的能力(例如,参见 R.I.Raming 和 N.N.Zervas, ECOC'96 的短期课程,已将它作为参考结合到本申请中)。然而,这种方法涉及如复杂的控制和窄带宽那样的诸多问题(例如,参见 M.Kato 和 Y.Miyajima, OECC'97 9D1-2, 已将它作为参考结合到本申请中),并且还没有作好在商业上实施的准备。

所以,如上所述,已知的或建议的诸可变的色散补偿器,因为它们设计得把(1)一个大的色散量和(2)一个大的可变范围在单个色散补偿器中结合起来,所以很难设计,制造,和控制,并且缺乏实际可行性。

发明内容

因此,本发明的一个目的是提供一个装置,用它来补偿在一条传输线中的色散和诸非线性效应,以便实现进一步增加传输距离和传输容量的目的。

本发明的一个附加的目的是提供一个装置,当在一个高传输速率传输一个大容量光信号时,它能根据不同的参量,如传输距离,精确地补偿一条传输线中的色散。

根据本发明的第一方面,在此提供一个色散补偿装置,它补偿一条光传输线中的色散,包括:一个固定的色散补偿器,它有一个固定的色散量,粗略地补偿传输线中的色散;和一个可变的色散补偿器,它有一个可变的色散量,精细地补偿传输线中的色散,其中所述固定的色散补偿器和可变的色散补偿器串接在光传输

线中。

根据本发明的第二方面，在此提供一个色散补偿装置，它补偿一条光传输线中的色散，包括：一个离散地可变的色散补偿器，它有一个不连续地可变的色散量，粗略地补偿传输线中的色散；和一个连续地可变的色散补偿器，它有一个连续地可变的色散量，精细地补偿传输线中的色散，其中所述离散地可变的色散补偿器和连续地可变的色散补偿器串接在光传输线中。

根据本发明的第三方面，在此提供一个色散补偿装置，它包括：一条传输线，它有一个相应的色散量；一个固定的色散补偿器，它有一个固定的色散量，粗略地补偿传输线中的色散；和一个可变的色散补偿器，它有一个可变的色散量，精细地补偿传输线中的色散，其中固定的色散补偿器和可变的色散补偿器一起提供一个等于传输线的色散量的色散补偿总量，其中所述固定的色散补偿器和可变的色散补偿器串接在传输线中。

根据本发明的第四方面，在此提供一个色散补偿方法，用它来补偿有一个相应的色散量的一条光传输线中的色散，它包括下列步骤：用一个固定的色散量粗略地补偿传输线中的色散；和用一个可变的色散量精细地补偿传输线中的色散，其中粗略地补偿和精细地补偿的步骤一起提供一个等于传输线的色散量的色散补偿总量。

例如，本发明的一个目的是提供一个色散补偿装置，它能够在一个传输系统中提供需要的色散补偿量，这个传输系统通过一条需要大的色散补偿量的传输线以 40Gb/s 传输信息。例如，这样一条传输线可能有一个，例如，+18ps/nm/km 的色散值，和传输距离可能，例如，为 20km 或更长。

本发明的诸附加的目的和优点一部分将在下面的描述中提出，一部分将从这些描述显而易见，或可从本发明的实践中获悉。

本发明的上述诸目的通过提供一个补偿在一条光传输线中的色散的装置来实现，这个装置包括一个固定的色散补偿器和一个可变的色散补偿器。固定的色散补偿器有一个固定的色散量并粗略地补偿传输线中

的色散。可变的色散补偿器有一个可变的色散量并精细地补偿传输线中的色散。

本发明的诸目的也通过提供一个补偿在一条光传输线中的色散的装置来实现，这个装置包括一个离散地可变的色散补偿器和一个连续地可变的色散补偿器。离散地可变的色散补偿器有一个不连续地可变的补偿量并粗略地补偿传输线中的色散。连续地可变的色散补偿器有一个连续地可变的色散量并精细地补偿传输线中的色散。

附图说明

本发明的这些和其它的诸目的和优点将从下面的对诸优先实施例的，结合诸附图的描述变得很清楚和更容易估计，这些图包括：

图 1 是说明根据本发明的一个实施例的一个光传输系统的图。

图 2 是说明根据本发明的一个实施例的一个可变的色散补偿器的图。

图 3 说明根据本发明的一个实施例，加到图 2 的可变的色散补偿器的诸部分的电压 V_1 到 V_{21} 的图形 A 到 D 的图。

图 4 是说明根据本发明的一个实施例，对于在图 3 中的电压图形 A 到 D 的诸色散值的图。

图 5 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个变形的图。

图 6 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个变形的图。

图 7 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个附加的变形的图。

图 8 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个变形的图。

图 9 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个变形的图。

图 10 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个附加的变形的图。

图 11 是说明根据本发明的一个实施例，图 1 的光传输系统的一个变形的图。

图 12 是说明根据本发明的又一个实施例，一个光传输系统的图。

图 13 是说明根据本发明的一个实施例，一个离散地可变的色散补偿器的图。

图 14 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 15 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 16 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 17 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 18 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 19 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 20 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的光传输系统的一个变形的图。

图 21 是说明根据本发明的又一个实施例，一个光传输系统的的图。

图 22 是说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的一个变形的图。

图 23 是说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的一个变形的图。

图 24 是说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的一个变形的图。

图 25 是说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的一个变形的图。

图 26 是说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的一个变形的图。

图 27 是说明根据本发明的一个实施例，一个传输特性测量部分的一个详细配置的图。

图 28 是说明根据本发明的一个实施例，在图 27 中一个微型计算机的工作的流程图。

图 29 是表示根据本发明的一个实施例，定义一个 Q 值的图。

具体实施方式

现在我们详细地论述本发明的现在的诸优先实施例，在诸附图中说明了它们的例子，在全部附图中相同的参照数字表示相同的元件。

图 1 是说明根据本发明的一个实施例的一个光传输系统的图。参照图 1，一个发射机 10 通过一个 SMF 12 输出一个光信号。例如，光信号是在 $1.55\mu\text{m}$ 波长和 40Gb/s 传输速度上，且 SMF 12 在 $1.3\mu\text{m}$ 有零色散。由有一个光接收机 20 的一个接收机部分 14 接收光信号。一个固定的色散补偿器 16 和一个可变的色散补偿器 18 也位于接收机部分 14 中。固定的色散补偿器 16 有一个根据 SMF 12 的长度从若干个选择中优先选出的色散量。可变的色散补偿器 18 能够根据诸参量如传输距离，改变色散补偿量。

而且，固定的色散补偿器 16 提供粗略的色散补偿，而可变的色散补偿器 18 提供精细的色散补偿。这里，“粗略”和“精细”是相对的术语，其中“粗略”表示比“精细”大的一个补偿量。所以，固定的色散补偿器 16 提供一个相对大的固定补偿量，而可变的色散补偿器 18 基本上是“细调”补偿量，从而能够提供一个精确的总补偿量。

固定的色散补偿器 16 能够，例如，从一个色散补偿光纤（DCF）构造，这个光纤的光纤芯有一个折射率，它用在其径向中的一个专门的剖面来分级，因此提供在符号上和在一个正常的 SMF 中的色散（正的）相反（即，负的）的色散，或者从一个光纤光栅色散补偿器构造，其中在光纤光纤芯中形成一个有变化的折射率的布拉格光栅，以便提供负的色散。

可变的色散补偿器 18 能够从前面提到的 PLC 色散补偿器构造，或者从通过给一个光纤光栅提供一个张力梯度或温度梯度来改变色散量的一个色散补偿器构造。

后一种型式，即通过将张力加到光纤光栅上来实现可变的色散补偿器（参见 M.M.Ohm 等“用一个压电堆的可调光纤光栅色散”，OFC'97

Technical Digest (技术文摘), WJ3, pp.155-156, 已将它作为参考结合到本申请中)的一个例子将作为一个例子加以描述。

更加特别的是,图2是说明根据本发明的一个实施例的一个可变的色散补偿器的图。图3说明根据本发明的一个实施例,加到图2的可变的色散补偿器的诸区段的电压 V_1 到 V_{21} 的图形A和D的图。图4是说明根据本发明的一个实施例,对于在图3中的电压图形A到D的诸色散值的图。

如图2所示,一个压电元件24和一个啁啾(chirped)光纤光栅22的每一个部分21连接。当将电压 V_1 到 V_{21} ,它们有如图3所示的一个梯度,加到诸压电元件上时,加到光栅22的纵向上的压力发生变化,并且对于图3所示的电压图形A到D,诸色散值(诸直线的斜率)如图4所示地发生变化。这里,当然,可通过给出所示的这些图形之间的中间的诸电压图形来连续地改变诸色散值。

图5是说明根据本发明的一个实施例,图1的光传输系统的一个变形的图。更特别的是,图5表示一个例子,在这个例子中光传输系统包括一个光放大器—中继器,它放大和中继但不再生一个光信号。

现在参照图5,将每个都有一个掺铒光纤放大器(EDFA)26的许多光放大器—中继器安装在沿传输线的诸中间点上,以便中继而不再生光信号。如图1的配置所示,固定的色散补偿器16和可变的色散补偿器18位在接收机部分14中。

在图1和图5的诸例子中,可以交换固定的色散补偿器16和可变的色散补偿器18的顺序。可选地,如图6和图7所示,可将固定的色散补偿器16和可变的色散补偿器18提供给在光发射机10所在的一个发射机部分28。又,在这种情形,可以交换它们的顺序。

然而,如图8和图9所示,固定的色散补偿器16和可变的色散补偿器18可以如此放置,使一个在发射机部分28中而另一个在接收机部分14中。

进一步,如图 10 所示,在每一个光放大器—中继器 30 中也可有固定的色散补偿器 16 和可变的色散补偿器 18。在图 10 中,在每一个光放大器—中继器 30 中有色散补偿器 16 和 18,但是只有在指定的诸光放大器—中继器中可能有这些。进一步,在图 10 中,在接收机部分 14 中有一个固定的色散补偿器 16 和一个可变的色散补偿器 18,但是,代替地,在发射端可能有它们。

可选地,如图 11 所示,在每个光放大器—中继器 30 中可能只有固定的色散补偿器 16,以便实施粗略的色散补偿,而在接收部分 14 中可能只有可变的色散补偿器 18,以便实施精细的色散补偿。在这种情形,可能在发射端,不是在接收机部分 14 有可变的色散补偿器 18。又,在系统中能够有多于一个的可变的色散补偿器 18。而且,可能只在指定的诸光放大器—中继器中,而不在每一个光放大器—中继器中,有固定的色散补偿器 16。

所以,根据本发明的诸实施例,一个固定的色散补偿器有一个固定的色散量,并粗略地补偿传输线中的色散。一个可变的色散补偿器有一个可变的色散量,并精细地补偿传输线中的色散。优先地,固定的色散补偿器和可变的色散补偿器一起提供一个基本上等于传输线的色散量的色散补偿的总量。

如上面所指出的,固定的色散补偿器提供粗略的色散补偿,可变的色散补偿器提供精细的色散补偿。如以前指出的那样,“粗略”和“精细”是相对的术语,其中“粗略”表示比“精细”较大的一个补偿量。所以,固定的色散补偿器提供一个相对大的固定补偿量,而可变的色散补偿器基本上是“细调”补偿量,从而能提供一个精确的总补偿量。

典型地,由可变的色散补偿器提供的补偿量将小于或等于由固定的色散补偿器提供的补偿量的 20%。作为一个例子,在一个有一条 50km 的 SMF 传输线的 40Gb/s 传输系统中,总的色散典型地约为 920ps/nm。在这种情形,作为一个例子,固定的色散补偿器能够提供近似为 -850 ps/nm 的色散补偿,和可变的色散补偿器能够提供范围在 0 到 -150 ps/nm 的可变的色散补偿。(这样, $-150/-850 \approx 0.176$, 即,小于或等于 20%。)

本发明的上述诸实施例在精细地调谐色散补偿的总量,以便对诸环

境条件中的诸变化，和系统的诸技术要求偏离理想的诸技术要求的变化作出调整方面是非常有效的。作为一个例子，假定多个中继器沿着一条传输线以 50km 的间隔分开放置。如果诸中继器精确地以 50km 的诸间隔分开放置，则一个单个的固定的色散补偿器（例如一个 DCF）能够被它自己用来对每个 50km 的间隔补偿色散。因为在两个中继器之间的间隔精确地等于 50km，所以能够确定需要的精确的色散量，并且能用固定的色散补偿器对它进行补偿。然而，实际上，在每个中继器之间的间隔可能不精确地等于 50km。例如，一些中继器可能分开 49km，51km 或 52km。在这种情形，能够用可变的色散补偿器来精细调谐补偿总量，以便对两个中继器之间的间隔中的诸变化作出调整。可变的色散补偿器也能，例如，对环境随时间的诸变化作出调整。可以将这样一个可变的色散补偿器放置在许多不同的位置，例如在发射机，接收机或一个中继器中。然而，能够提供多个这样的可变的色散补偿器以便提供所需要的“精细调谐”。

图 12 是说明根据本发明的一个进一步的实施例，一个光传输系统的图。现在参照图 12，一个离散地可变的色散补偿器 32 和一个连续地可变的色散补偿器 34 位于接收机部分 14。

图 13 是说明一个离散地可变的色散补偿器 32 的图。也请参见 A.Sano 等, ECOC'96, Tud.3.5, 已将它作为参考结合到本申请中。现在参照图 13，离散地可变的色散补偿器 32 有一个能够连续地改变的色散量。离散地可变的色散补偿器 32 包括有诸正或负色散值并和 1X4 开关 38 串联的诸 DCF 36。在这个说明的例子中，可以在 -183 ps/nm 和 +152 ps/nm 之间以约 7 ps/nm 的诸增量设定色散值。可以用其它的能够设定一个固定的色散值的诸器件，例如诸光纤个栅，代替诸 DCF。我们不想将本发明限于这个特殊的例子中，对于一个离散地可变的色散补偿器可以用许多其它的配置。例如，实际上，可以用任何数量的 DCF 和开关提供许多不同的配置，也可用不同于诸 DCF 和诸开关的其它诸元件。

连续地可变的色散补偿器 34 可以，例如，从前面提到的 PLC 色散补偿器或从有一个张力梯度或温度梯度的光纤光栅构成。

图 14 是说明根据本发明的一个实施例，图 12 的一个光传输系统的

一个变形的图。更特别的是，图 14 表示一个光放大器—中继器传输系统的一个例子。如图 12 的配置所示，离散地可变的色散补偿器 32 和连续地可变的色散补偿器 34 位在接收机部分 14 中。

在图 12 和图 14 的诸例子中，离散地可变的色散补偿器 32 和连续地可变的色散补偿器 34 的顺序可以交换。可选地，如图 15 和 16 所示，在发射机部分 28 可以有这些补偿器。进一步，如图 17 和 18 所示，离散地可变的色散补偿器 32 和连续地可变的色散补偿器 34 能够如此放置，使得一个在发射机部分 28 和另一个在接收机部分 14。

作为一个附加的例子，如图 19 所示，在每个光放大器—中继器 30 中可以有离散地可变的色散补偿器 32 和连续地可变的色散补偿器 34。在图 19 中，在每个光放大器—中继器 30 中有色散补偿器 32 和 34，但是只有在指定的诸光放大器—中继器中可能有色散补偿器 32 和 34。进一步，在图 19 中，在接收机部分 14 有色散补偿器 32 和 34，但是，代替地，在发射端可能有色散补偿器 32 和 34。

可选地，如图 20 所示，在每个光放大器—中继器 30 中可能只有离散地可变的色散补偿器 32，以便实施粗略的色散补偿，和只有在接收机部分 14 中可能有连续地可变的色散补偿器 34，以便实施精细的色散补偿。然而，代替地，在发射端，不是在接收机部分中，可能有连续地可变的色散补偿器 34。进一步，只有在指定的诸光放大器—中继器中，不是在每个光放大器—中继器 30 中，可能有离散地可变的色散补偿器 32。

在到现在为止描述的诸例子中，如果已经从，例如，传输波形模拟知道了包括其沿光纤长度的变化在内的色散，则能够从模拟的诸结果确定诸色散补偿器（固定的，连续地可变的，和离散地可变的）和它们的诸色散补偿量。

另一方面，如果传输线的色散是未知的，可以测量一个发射特征，和根据测得的发射特性能够设定诸可变的色散补偿值，以便使诸发射特性最佳化。

更特别的是，图 21 是说明根据本发明的一个进一步的实施例，一个光传输系统的图。图 22—26 说明根据本发明的一个实施例，图 21 的光传输系统的诸变形。

现在参照图 21—26, 将一个传输特性测量部分 36 优先地提供给接收端。于是, 例如, 在系统接通电源期间, 传输特性测量部分 36 测量一个传输特性, 并如此设定诸色散补偿值, 使得诸传输特性最佳化。在这个时候, 当向可变的色散补偿器 (连续地可变的, 离散地可变的) 反馈回一个控制信号时, 也可以扫描色散补偿量, 如诸图中所示。能够将位误码率, Q 值, 信号奇偶位校验, 传输波形等用作在这里测量的发射特性。

图 27 是说明传输特性测量部分 36 的一个详细配置的一个例子的图, 其中测量 Q 值并将它作为传输特性反馈回去。现在参照图 27, 一个 Q 值测量系统 42 从一个通过传输线传输的光信号测量 Q 值, 和一台微型计算机 40 用测得的 Q 值提供一个反馈控制信号。

图 28 是说明根据本发明的一个实施例, 如在图 27 中所示的一台微型计算机 40 的工作的流程图。在图 28 中, 在系统接通电源期间当扫描可变的色散补偿器中的色散值时测量 Q 值 (步骤 1000), 并将可变的色散补偿器的色散值设定在一个使 Q 值最大的值上 (步骤 1002)。在系统工作期间, 例如在一小时的诸间隔测量 Q 值 (步骤 1004), 和如果测得的值小于参考值 (步骤 1006), 则通过一个步骤增加在可变的色散补偿器中的色散值 (步骤 1008)。如果 Q 值得到改善, 则过程回到在步骤 1006 中的作出决定的工作状态。如果 Q 值没有得到改善, 则通过一个步骤增加色散值 (步骤 1012), 和重复步骤 1012 直到 Q 值变得等于或大于参考值。

图 29 是表示根据本发明的一个实施例, 由 Q 值测量系统 42 测得的 Q 值的定义的图。即

$$Q = 20 \log_{10} [(\mu_1 - \mu_0) / (\sigma_1 + \sigma_0)]$$

其中 μ_1 : 在“发射”期间的平均值

μ_0 : 在“不发射”期间的平均值

σ_1 : 在“发射”期间的电平的标准偏差

σ_0 : 在“不发射”期间的电平的标准偏差

用在发射和不发射之间的信号电平差 (信号振幅) 作为分子, 和用在发射期间及不发射期间的噪声的标准偏差之和作为分母来表示 Q 值。当假设噪声分布是一个高斯分布时, 在图 29 中定义的由 Q 值给出的位

误码率和实际测得的位误码率的最小值相符合。Q 值测量系统 42 在配置上基本上和光接收机相同。即，用一个有一个参考电压变化函数的鉴别电路，相对于测量位误码率的最佳电平上下改变一个均衡波形的鉴别电平，和通过找出从测量得到的两条直线的交点，估算位误码率的最小点，这样就能得到 Q 值。

可以测量接收光本身的色散值作为传输特性，和可以如此控制可变的色散补偿器，使色散被设定在一个最佳值。通过简单地用一个可在市场上买到色散测量器件，或通过将等效函数与发射和/或接收装置结合起来能够实现色散值的测量。可选地，在基带区域中的一个特殊的频率分量的强度，特别是一个时钟信号分量的强度，可以从接收信号检测出来，并且通过利用色散值和时钟信号分量的强度之间的关系，可以如此控制色散补偿量，使得强度达到一个最大值或一个最小值，或一个规定的值。

进一步，通过不仅在系统接通电源期间而且也在系统工作期间，在监视发射特性同时控制色散补偿量，可以实施控制以便调节传输线的色散值的温度依赖关系，时间变化等。

色散补偿器 16, 18, 32 和 34 的位置不限于图 21 到 26 中所示的诸例子，而且如上面描述的那些不同的变形是可能的。

为了将反馈信号从接收端传输到每一个可变的色散补偿器可能有若干种方法。例如，可以用一种使用一条光纤传输线的双向通信方法或者一种低速电模拟通信方法。进一步，通过用一个 CPU 或通过中心控制整个系统将色散补偿量自动地设定在一个最佳值也是可能的。当有一条备用的线，它有基本上和工作线一样的色散条件和安装环境时，可以采用这样一种方法，在这种方法中首先用备用线将色散补偿量最佳化，然后参照这个结果，将这个值加到工作线上。用这种方法，可使色散补偿量最佳化而不用中断业务。

根据本发明的上述诸实施例，当用已经安装好的诸光纤传输线而没有诸修改时能够增加传输速度，也能够调整不同类型的光纤（SMF，DSF），不同的中继器间隔，和沿着光纤长度色散值的变化。将这些一起用于减少系统的总的价格。

根据本发明的上述诸实施例，通过用一个固定的色散补偿器或一个

离散地可变的色散补偿器根据传输距离的长度，粗略地补偿光传输线的色散，然后通过用一个可变的色散补偿器或一个连续地可变的色散补偿器，精细地补偿色散。在这种方法中，甚至当所需的色散补偿量很大时也能够做到高度精确的补偿，这样就能够进行大容量的发射。

在本发明的上述诸实施例中，一个光传输系统包括两种类型的色散补偿器（例如一个固定的色散补偿器和一个可变的色散补偿器组合，或一个离散地可变的色散补偿器和一个连续地可变的色散补偿器的组合）。这些不同的补偿器在光传输系统可以有許多不同的位置。例如，一个补偿器可以在一个发射机部分而另一个补偿器可以在一个接收机部分。或者，两个补偿器都能在发射机部分，接收机部分或一个中继器中。

常常，能将两个补偿器都包含在同一个外壳中。例如，当两个补偿器都在接收机部分，发射机部分或中继器中时，典型地将它们都包含在同一个外壳中。例如，在上述的诸图中，这样一个外壳典型地用说明一个特殊的元件的“盒子”来代表。例如，在图1中，代表接收机部分14的“盒子”能够表示接收机部分的一个外壳，接收部分包括包含在外壳里的诸不同的元件。类似地，例如，在图6中，代表发射机部分28的“盒子”能够表示发射机部分的一个外壳，发射机包括包含在外壳里的诸不同的元件。

此外，在许多情形中，两个补偿器的位置在物理上非常接近，例如小于或等于三米。在某些情形中，诸补偿器能够非常靠近在一起，以致在两个补偿器之间没有传输线。例如，当两个补偿器位于发射机部分或接收机部分时能够发生这种靠近的情形。当两个补偿器很靠近时，非常容易调整组合的补偿，并提供适当的色散补偿精细调谐的量。

在本发明的上述诸实施例中，可将“接收机部分”简单地称为一台“接收机”。类似地，可将“发射机部分”简单地称为一台“发射机”。

所以，根据本发明的上述诸实施例，一个装置补偿一条光传输线中的色散。这个装置包括一个固定的色散补偿器和一个可变的色散补偿器。固定的色散补偿器有一个固定的色散量和粗略地补偿光传输线中的色散。可变的色散补偿器有一个可变的色散量和精细地补偿光传输线中的色散。

固定的和可变的色散补偿器能够安装在许多位置。例如，一个可以在一个发射机中，而另一个可以在一个接收机中。两者可以都在发射机和/或接收机中。一个可以或者在发射机中或者在接收机中，而另一个在沿传输线放置的一个光中继器中。

还有许多其它可能的配置。例如，或者一个第一个固定的色散补偿器或者可变的色散补偿器可以在发射机中，而其它的在接收机中。在这种情形，一个第二个固定的色散补偿器可以在一个光中继器中。

进一步，或者一个第一个固定的色散补偿器或者一个第一个可变的色散补偿器可以在发射机中，而其它的在接收机中。在这种情形，一个第二个固定的色散补偿器和一个第二个可变的色散补偿器可以在一个光中继器中。

然而，一个第一个固定的色散补偿器可以在发射机中，而一个第二个固定的色散补偿器在接收机中。在这种情形，一个可变的色散补偿器实际上可以在光传输系统中的任何位置。

此外，可以将固定的色散补偿器和可变的色散补偿器两者都包含在同一个外壳中。而且，在许多情形，固定的色散补偿器和可变的色散补偿器将在物理上彼此靠得很近。例如小于或等于三米。然而，在某些情形，固定的色散补偿器和可变的色散补偿器可以彼此直接连接在一起，使得在固定的色散补偿器和可变的色散补偿器之间没有传输线段。

此外，根据本发明的上述诸实施例，一个装置包括一个离散地可变的色散补偿器和一个连续地可变的色散补偿器。离散地可变的色散补偿器有一个不连续地可变的色散量和粗略地补偿传输线中的色散。连续地可变的色散补偿器有一个连续地可变的色散量和精细地补偿传输线中的色散。

离散地和连续地可变的色散补偿器可以处在许多位置。例如，一个可以在一个发射机中，而另一个可以在一个接收机中。两者可以都在发射机和/或接收机中。一个可以或者在发射机中或者在接收机中，而另一个在沿传输线放置的一个光中继器中。

还有许多其它可能的配置。例如，或者一个第一个离散地可变的色散补偿器或者连续地可变的色散补偿器可以在发射机中，而其它的在接

收机中。在这种情形，一个第二个离散地可变的色散补偿器可以在一个光中继器中。

进一步，或者一个第一个离散地可变的色散补偿器或者一个第一个连续地可变的色散补偿器可以在发射机中，而其它的在接收机中。在这种情形，一个第二个离散地可变的色散补偿器和一个第二个连续地可变的色散补偿器可以在一个光中继器中。

然而，一个第一个离散地可变的色散补偿器可以在发射机中，而一个第二个离散地可变的色散补偿器在接收机中。在这种情形，一个连续地可变的色散补偿器实际上可以在光传输系统中的任何位置。

此外，可以将离散地和连续地可变的色散补偿器两者都包含在同一个外壳中。而且，在许多情形，离散地和连续地可变的色散补偿器将在物理上彼此靠得很近。例如小于或等于三米。然而，在某些情形，离散地和连续地可变的色散补偿器可以彼此直接连接在一起，使得在固定的色散补偿器和可变的色散补偿器之间没有传输线段。

根据本发明的上述诸实施例，一个补偿器可以位在一条传输线的或者发射端或者接收端处。一般地，可以认为一条传输线有两个终端。一个终端是这样的一端，在那里将一个要通过传输线传输的信号提供给传输线，而另一个终端是这样的一端，在那里接收来自传输线的信号。

虽然我们已指出和描述了本发明的一些优先实施例，熟练的技术人员将估计到在这些实施例中可以做出诸多变化而没有偏离本发明的诸原理和精神，在权利要求书和与其等效的文件中定义了它们的范围。

图1

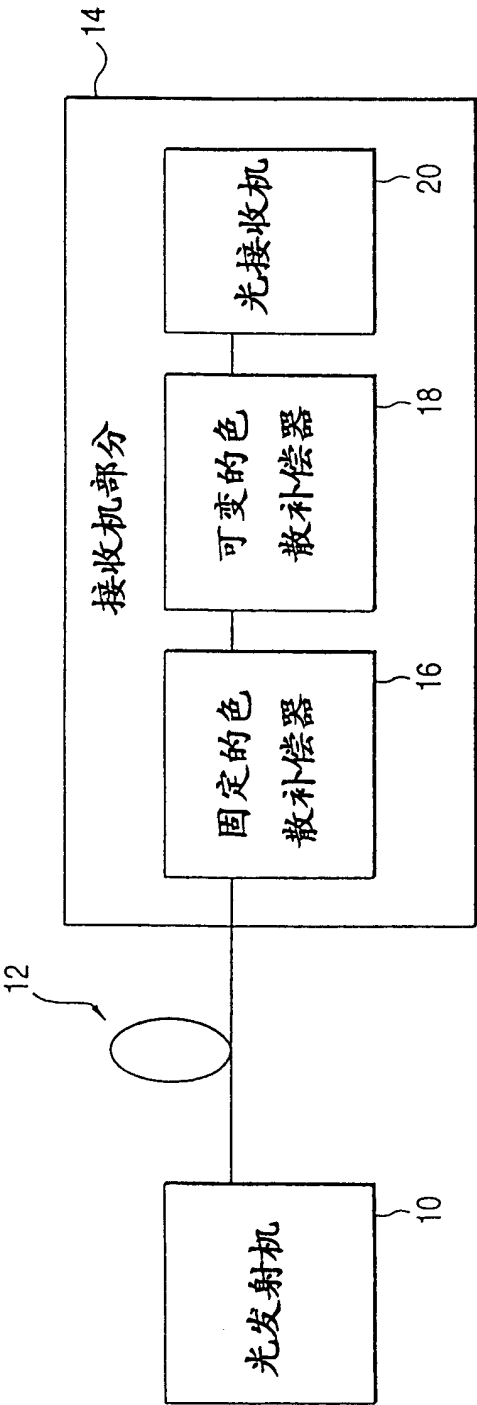
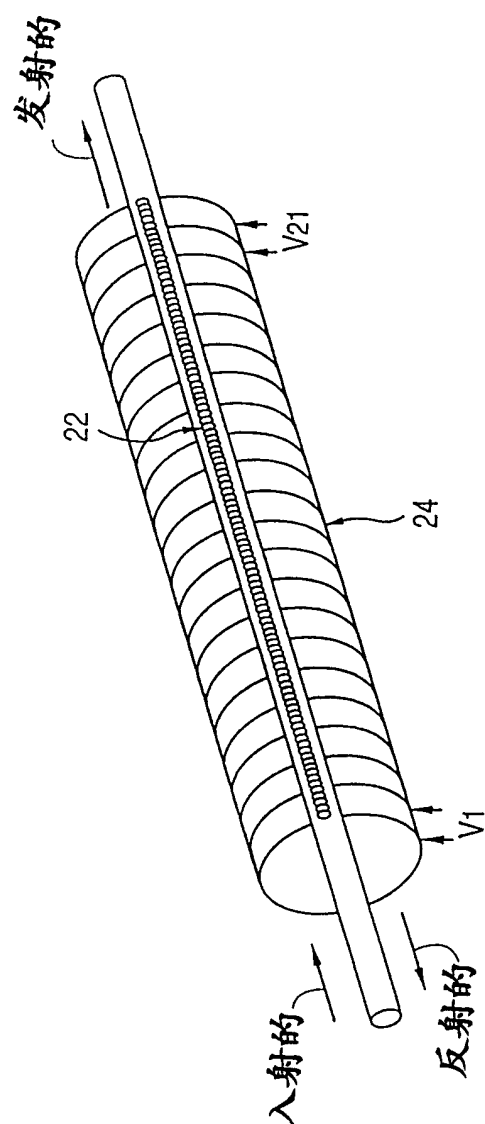


图 2



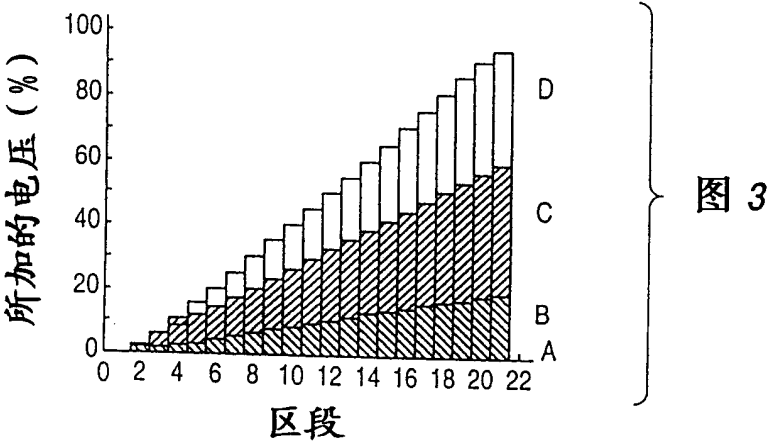


图 3

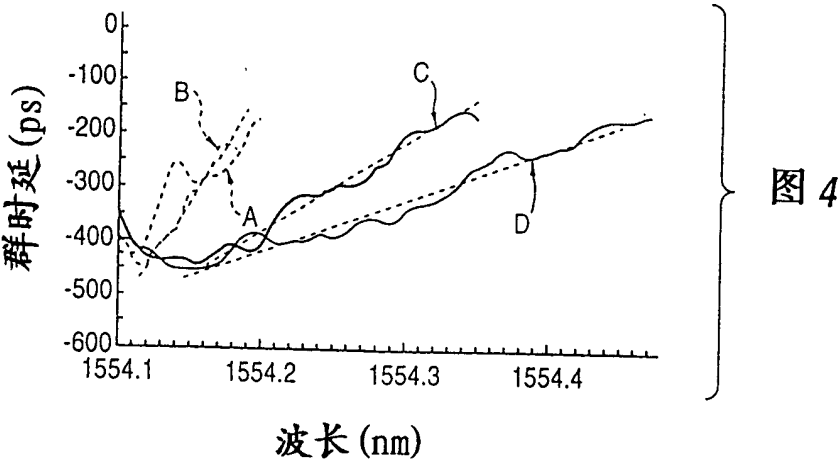


图 4

图 5

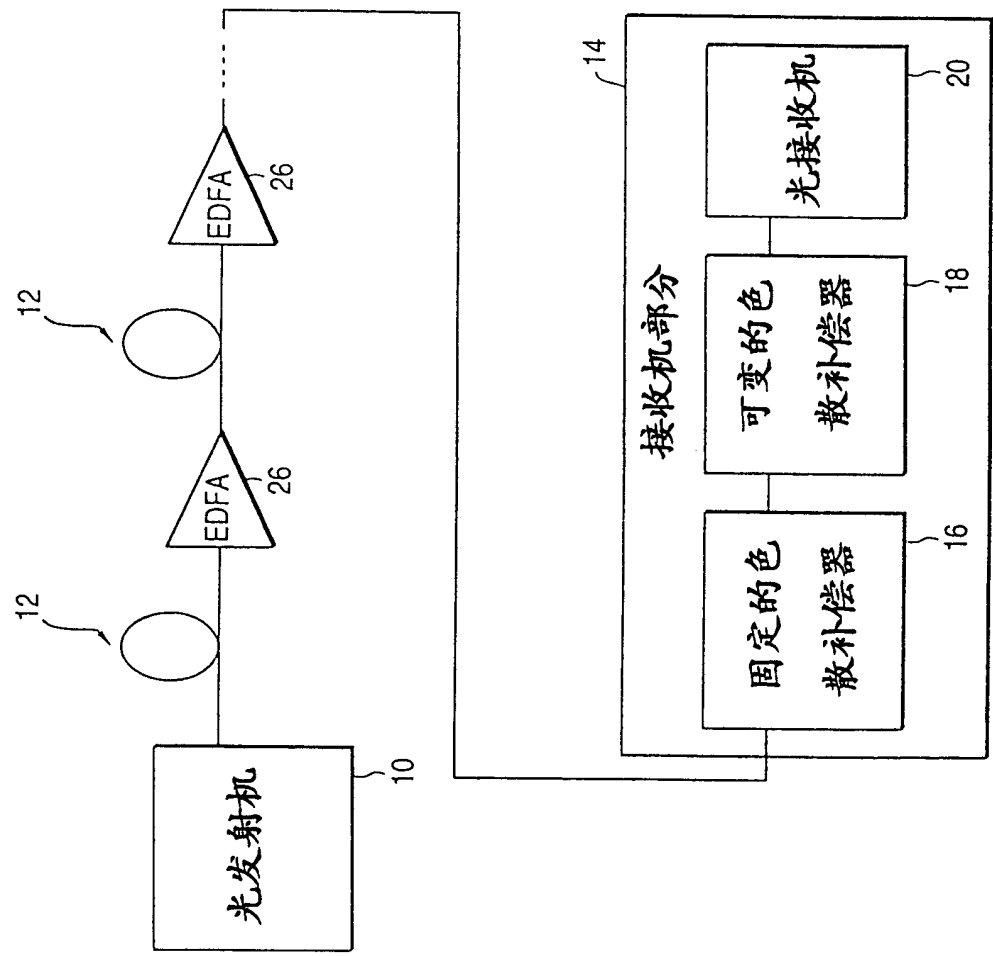


图 6

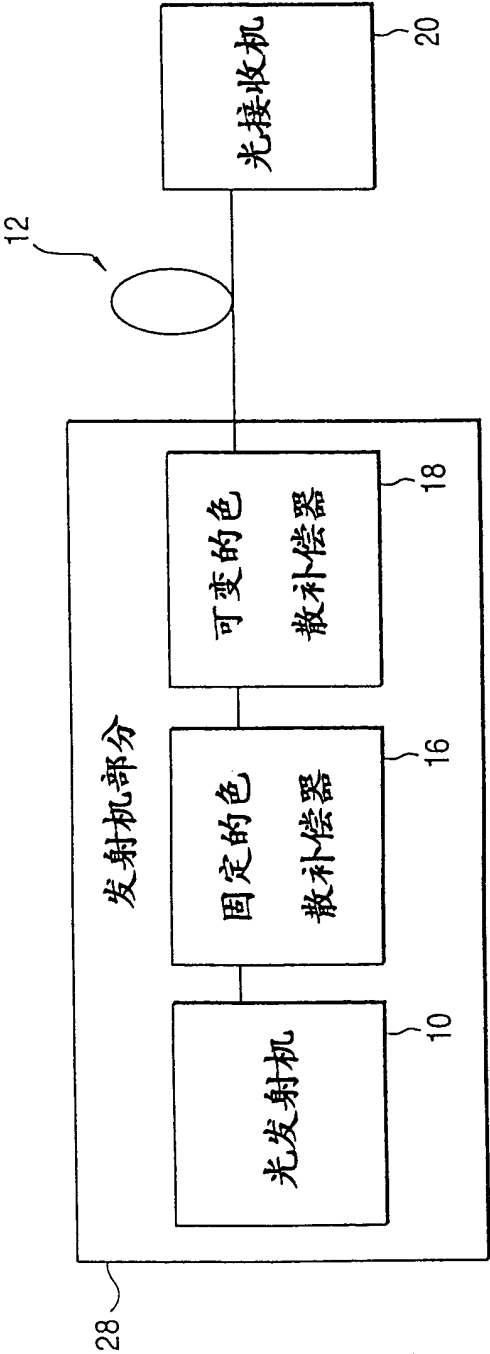


图 7

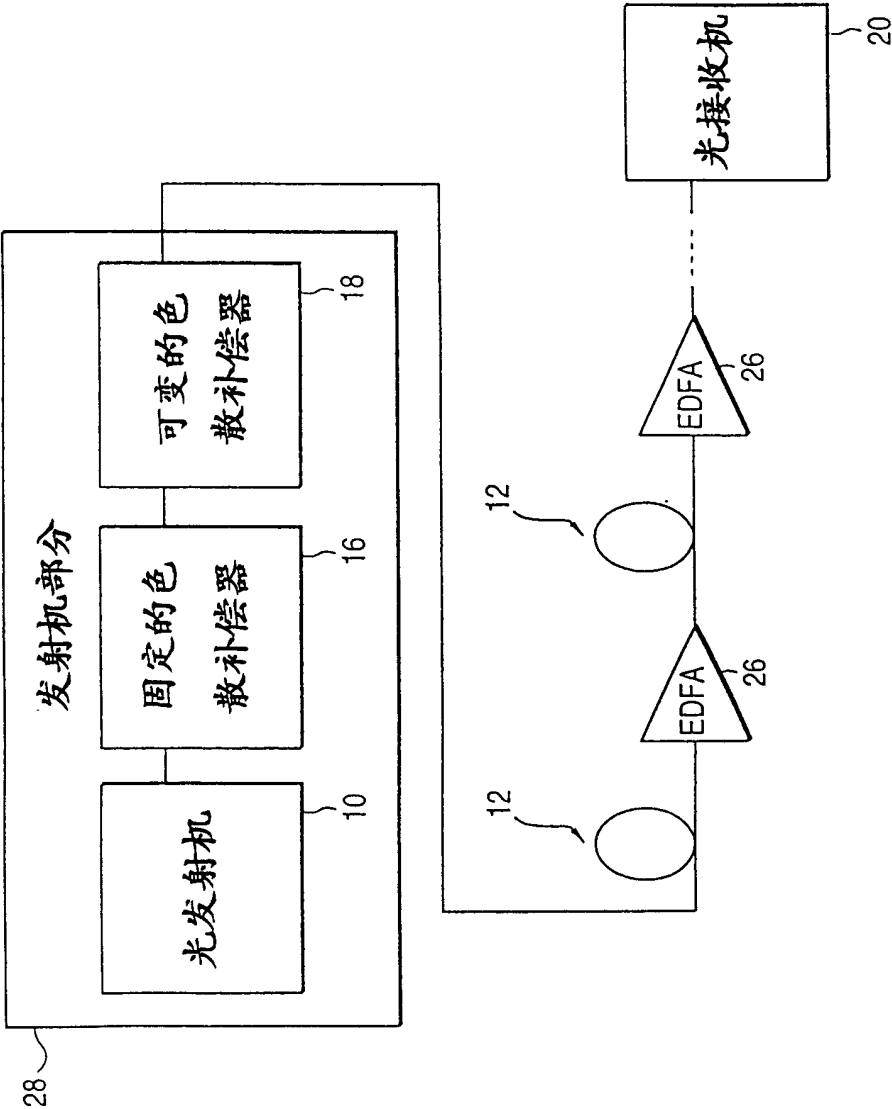
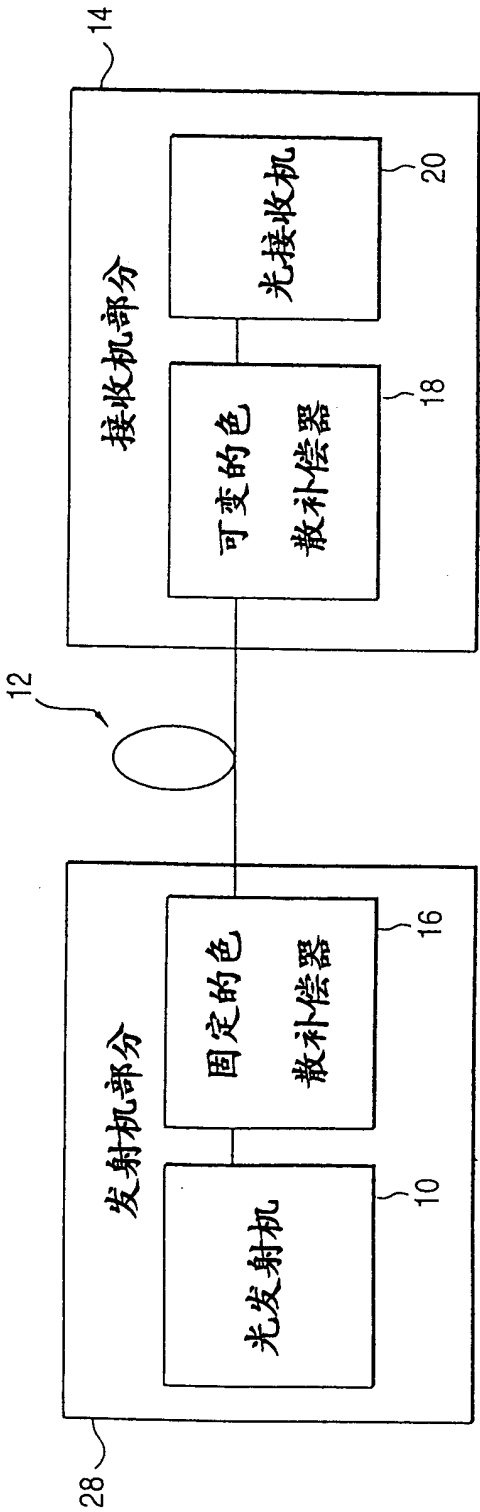


图 8



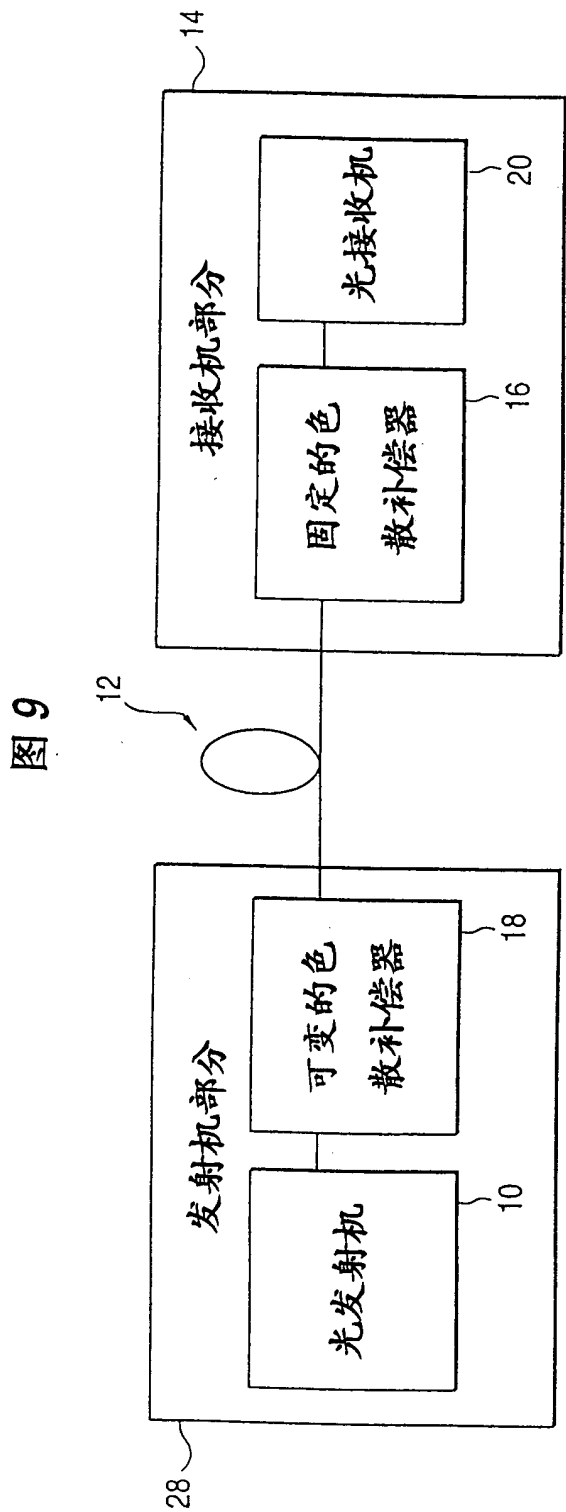


图 10

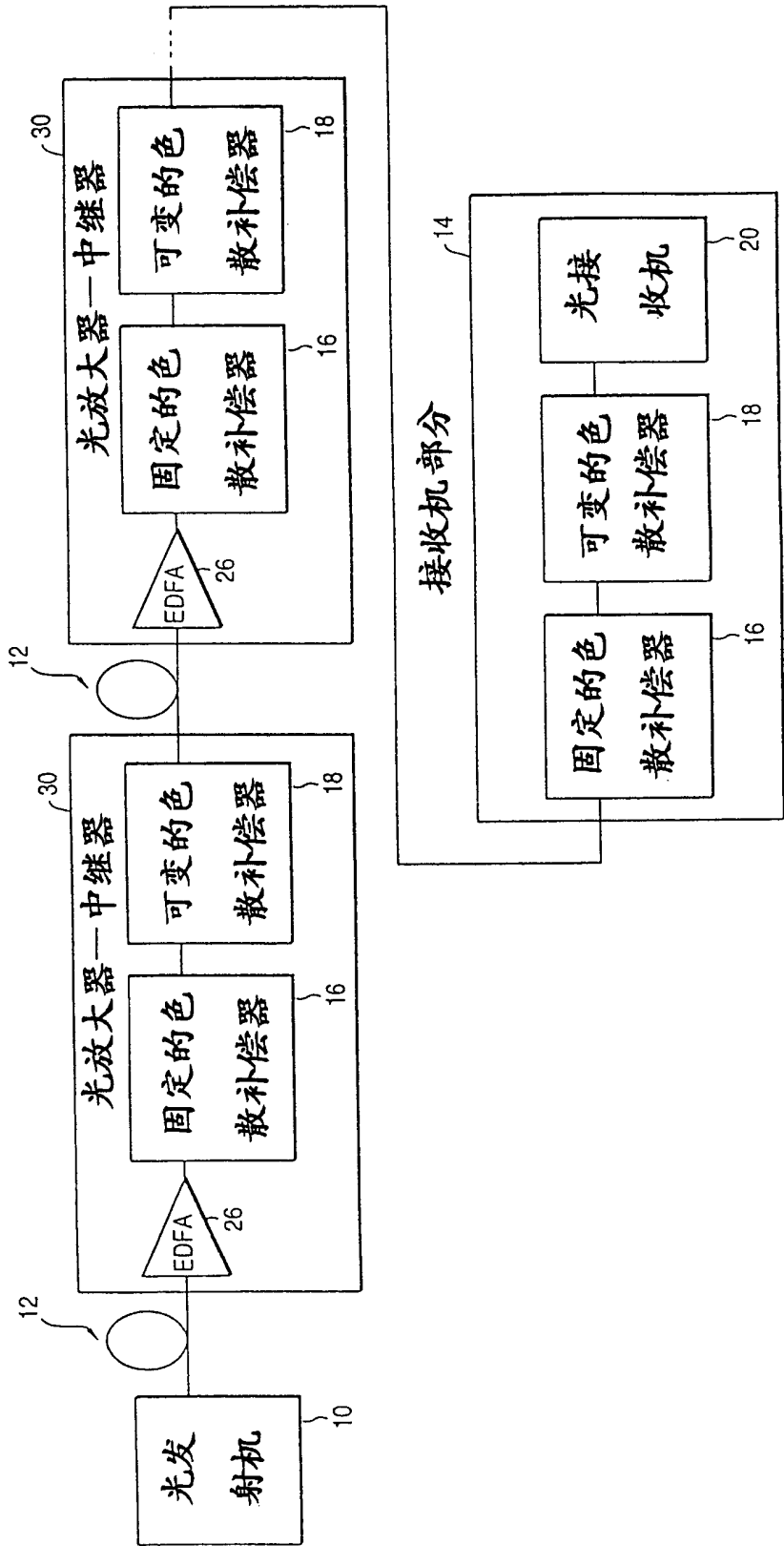


图 11

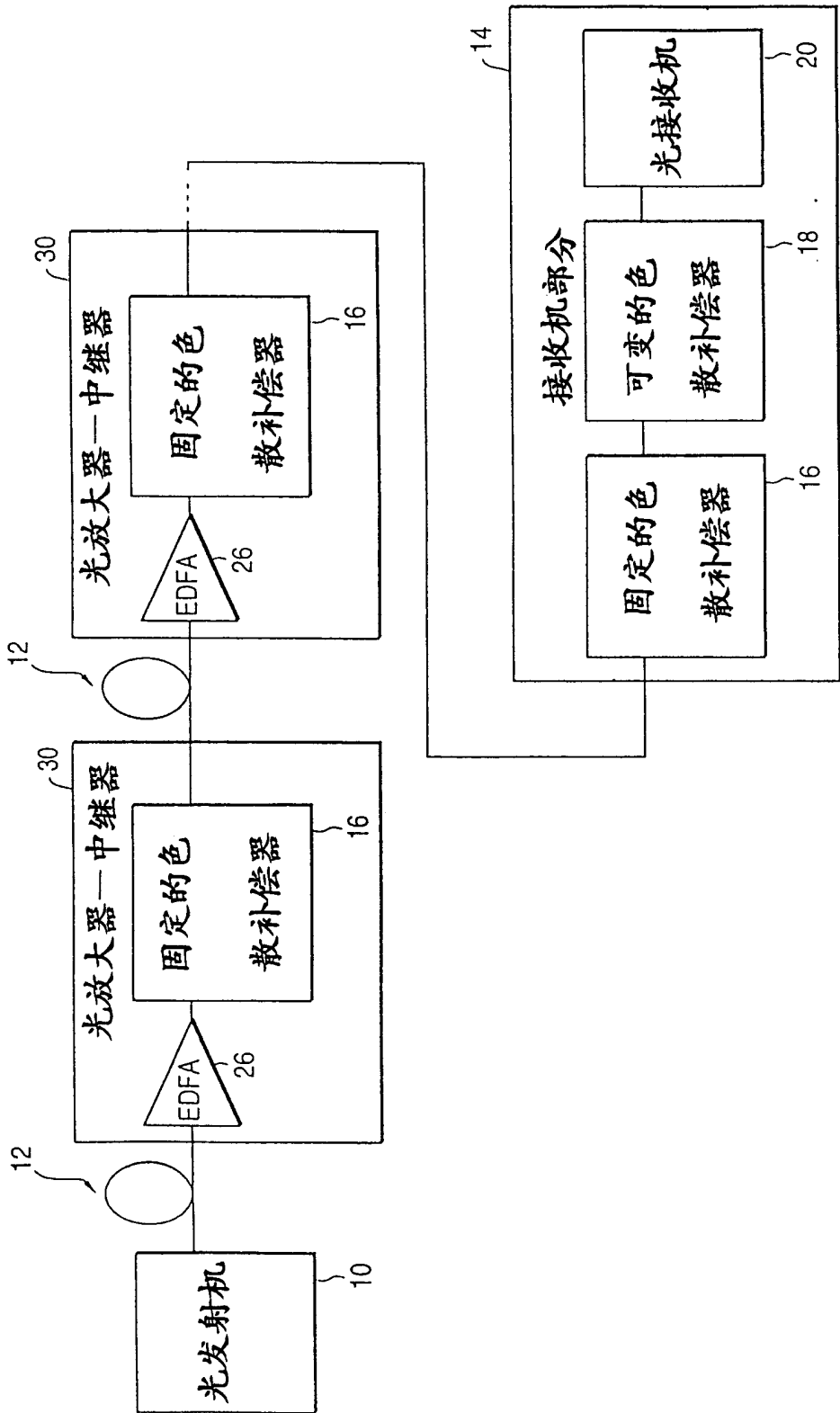


图12

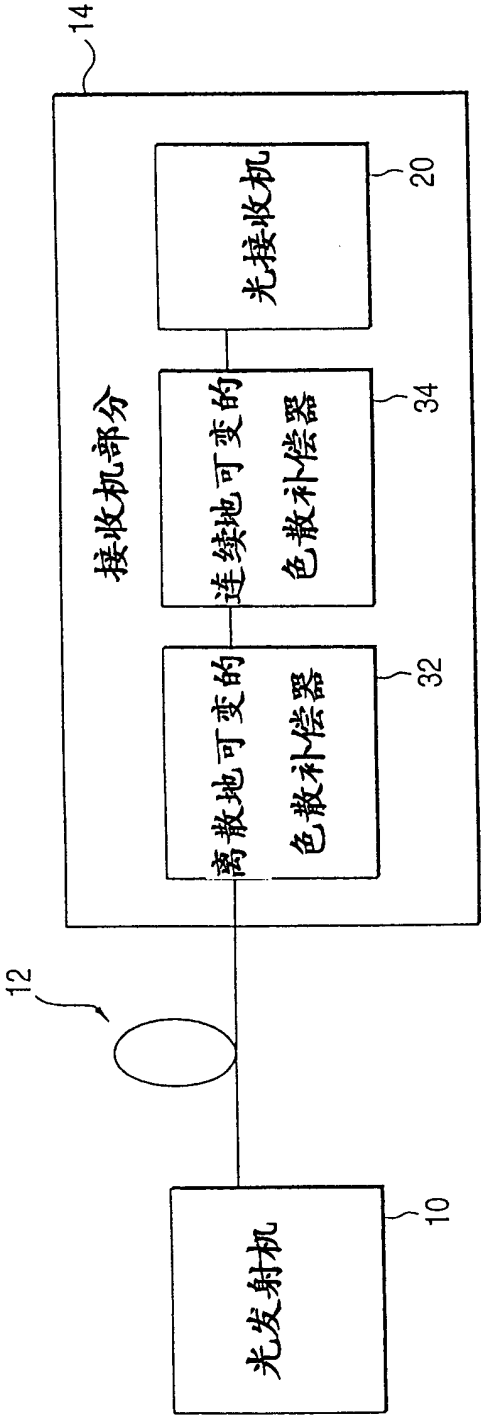


图 13

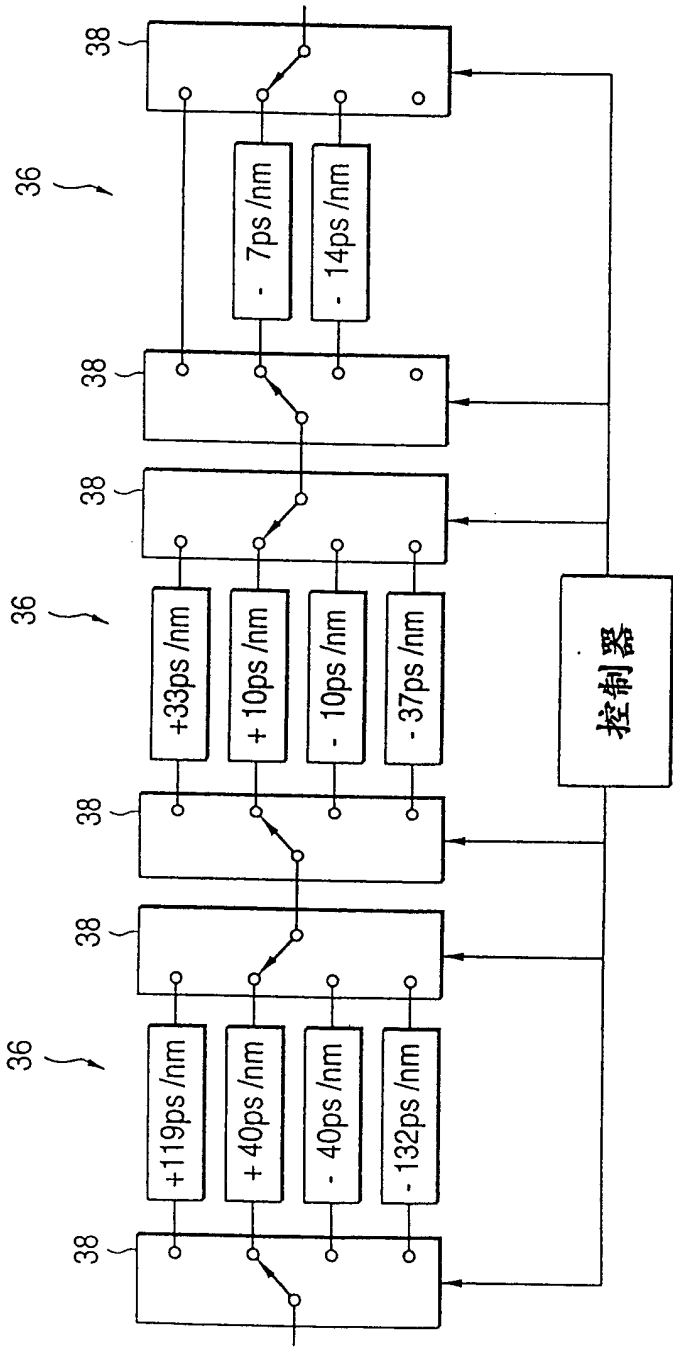


图14

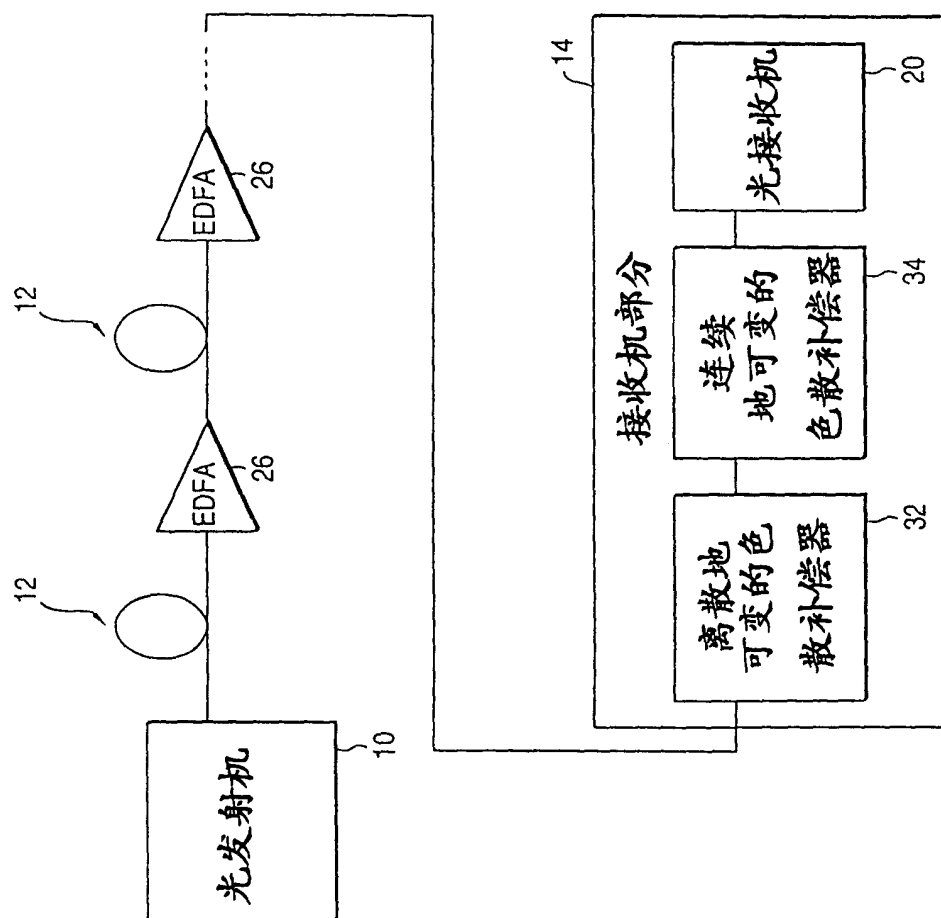


图15

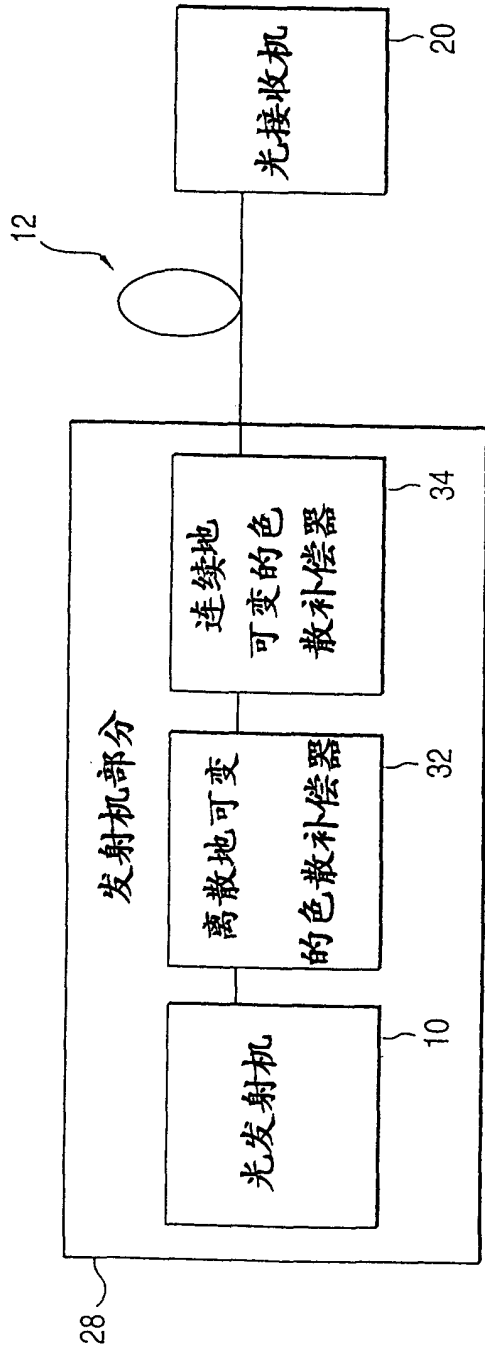


图 16

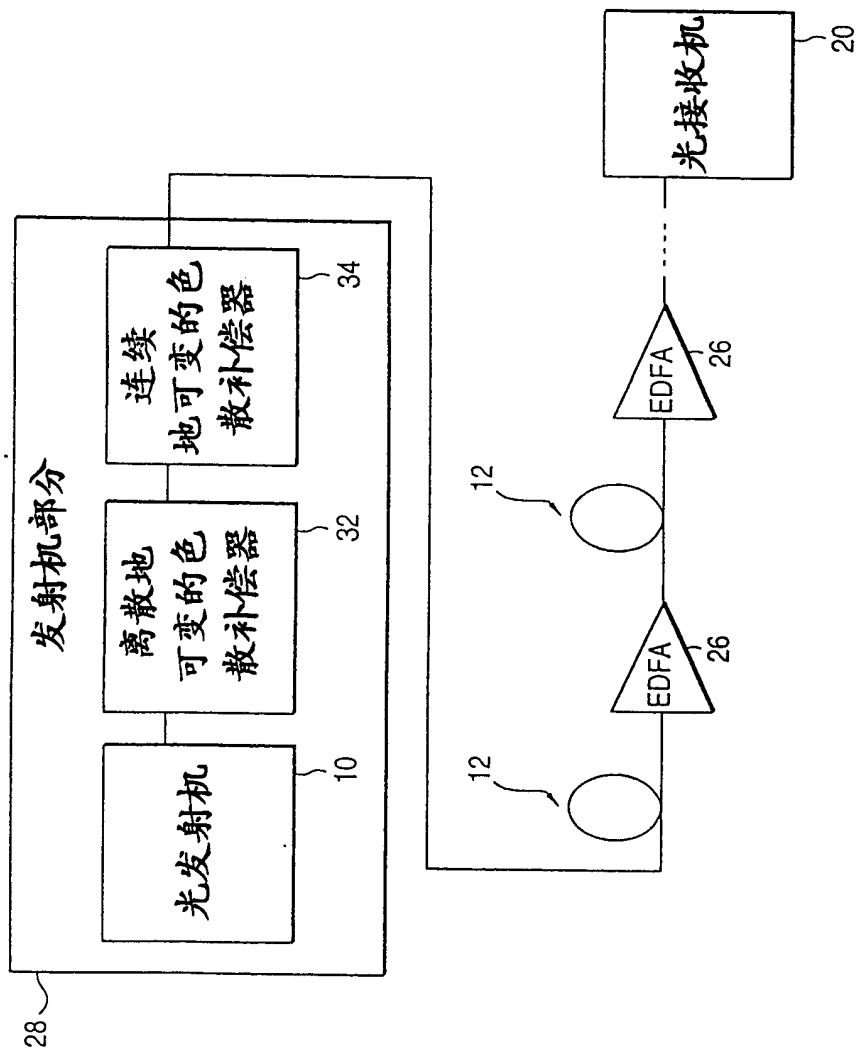


图 17

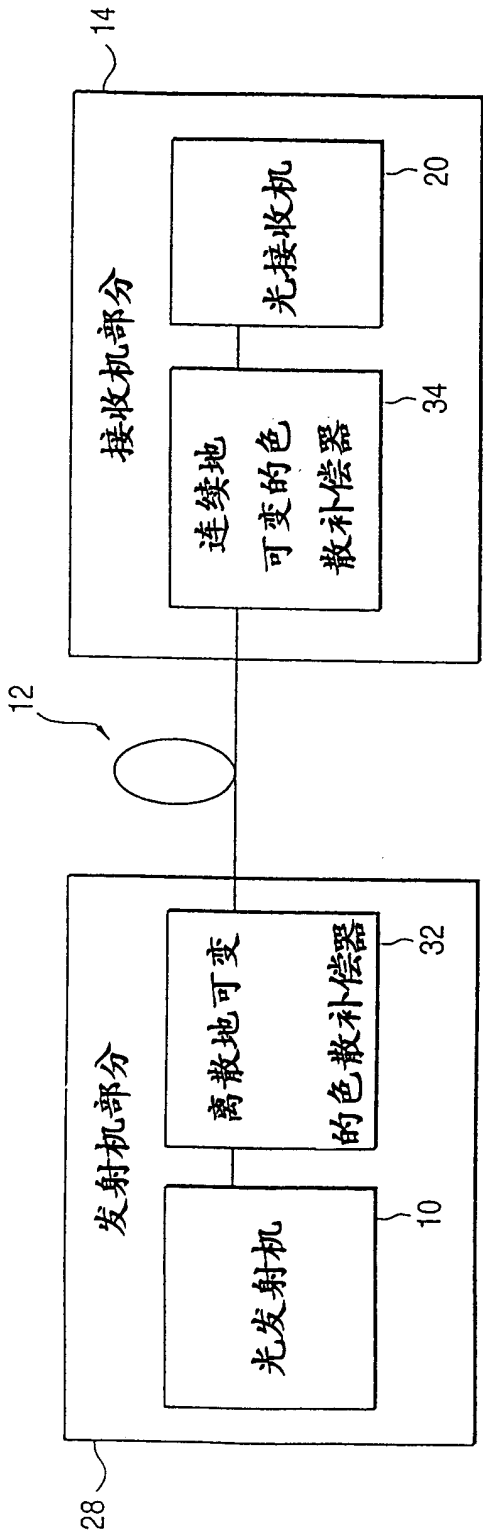


图 18

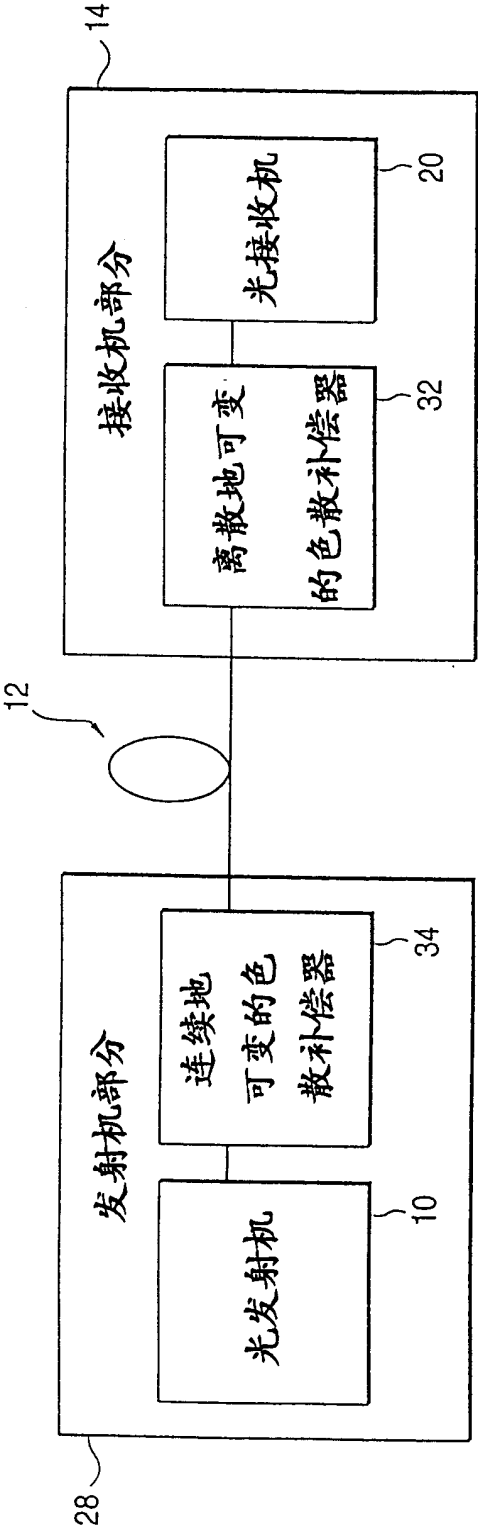


图 19

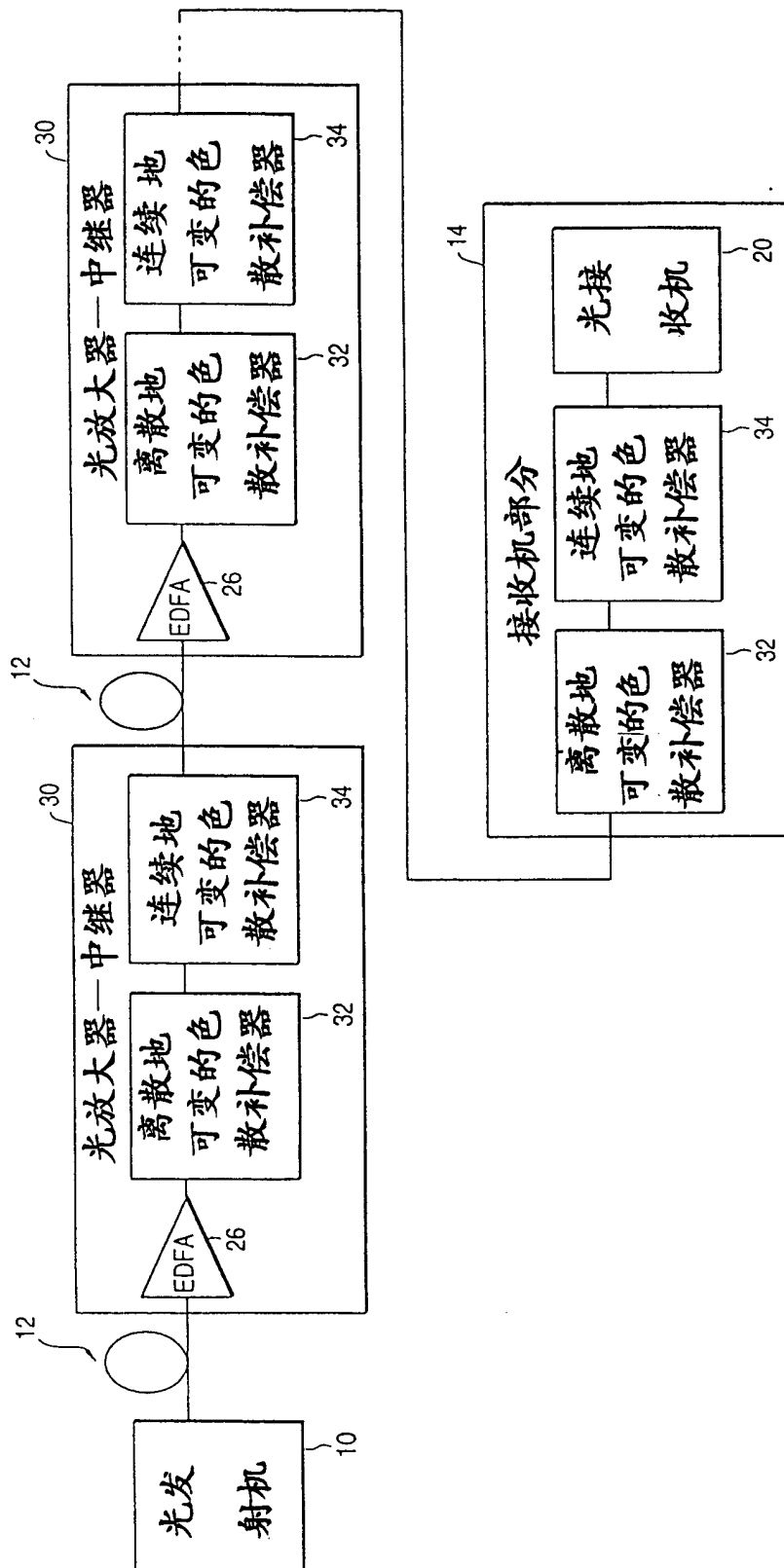


图 20

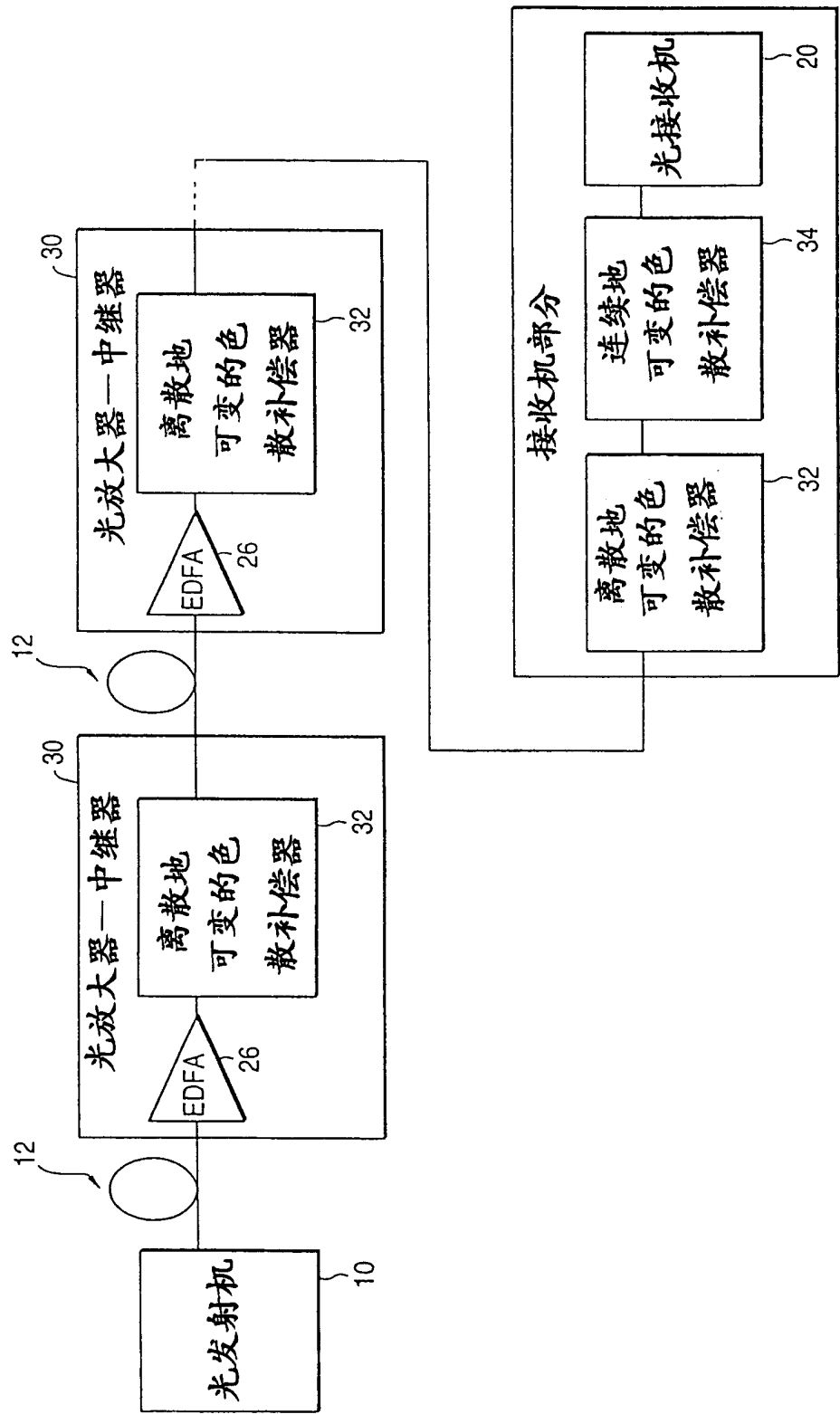


图 21

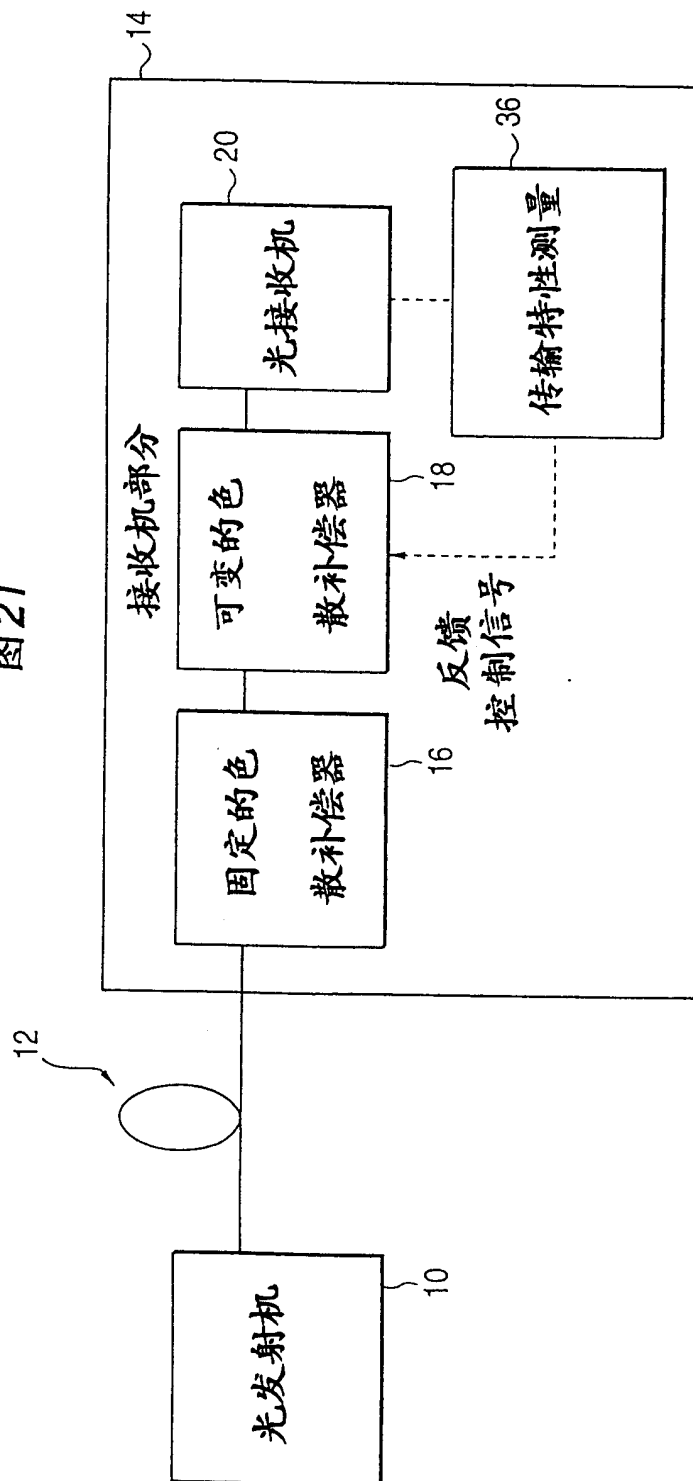
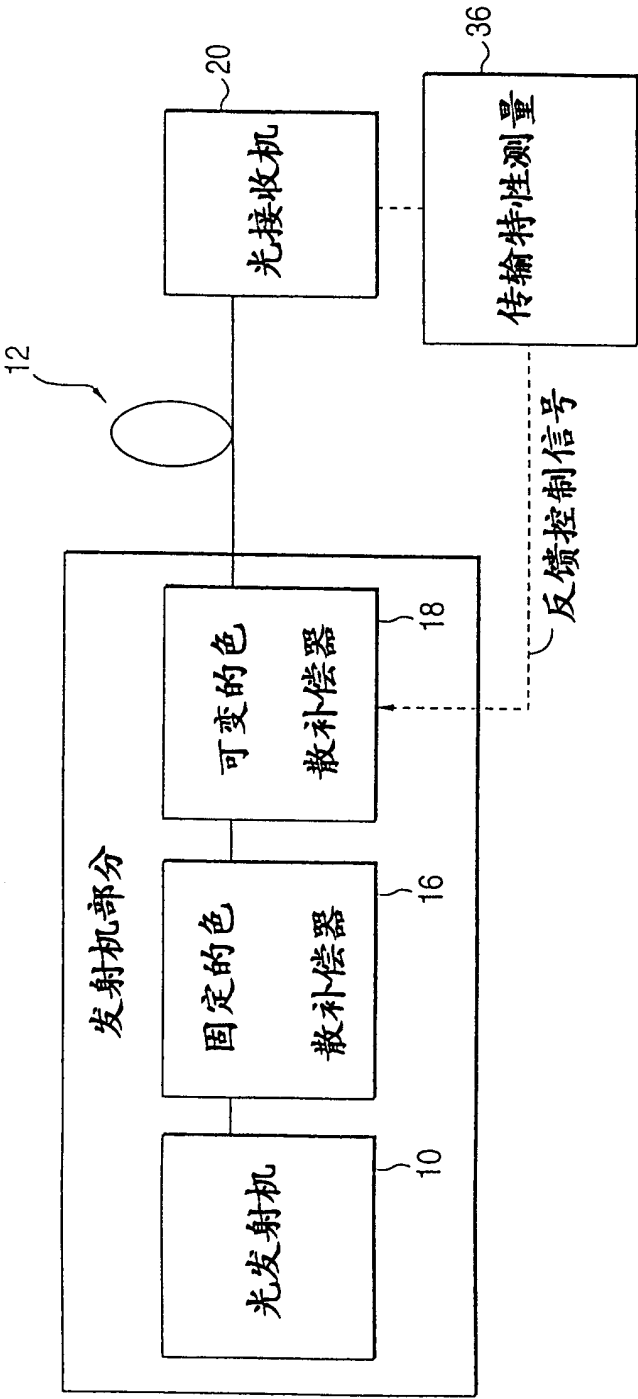


图 22



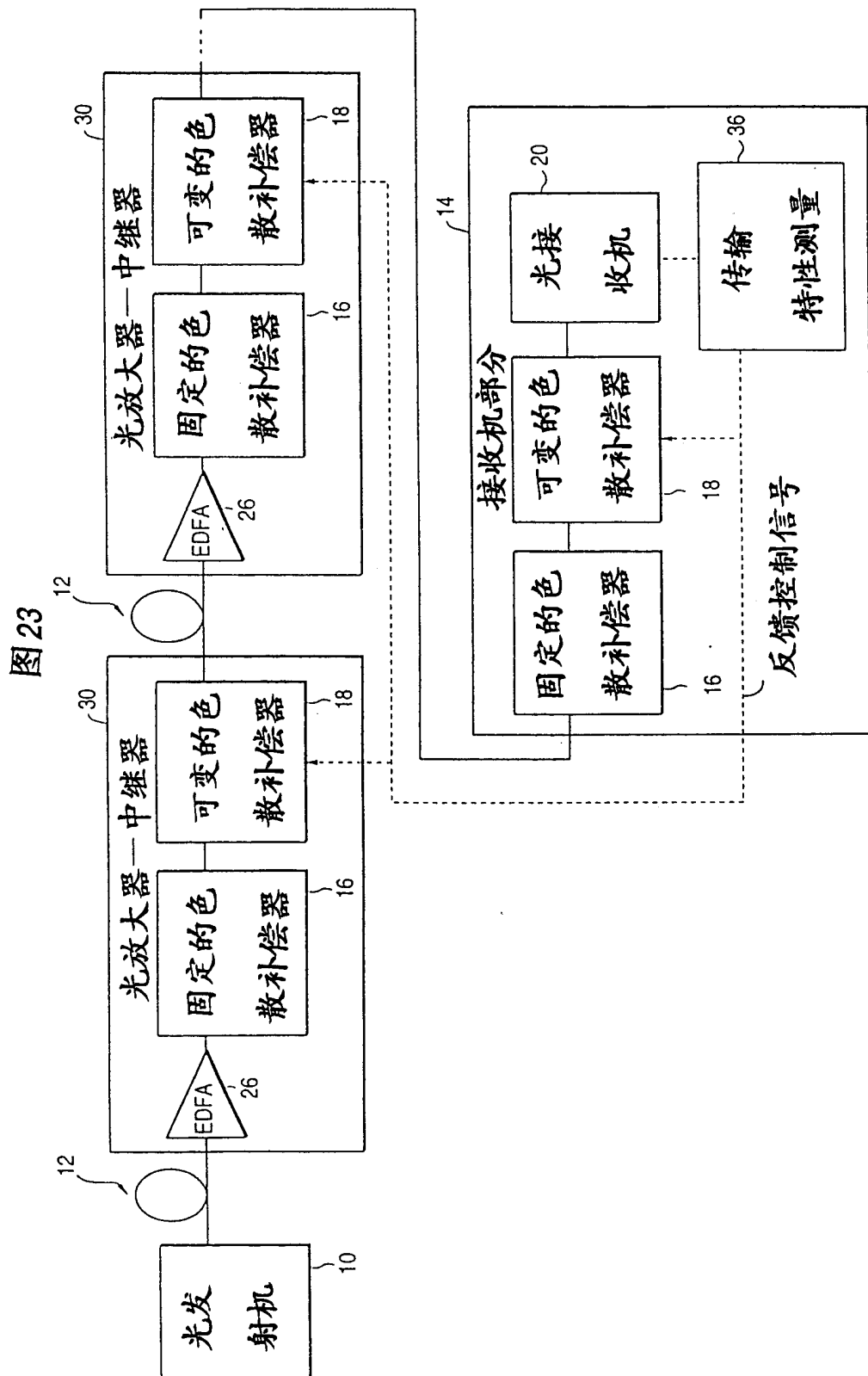


图 24

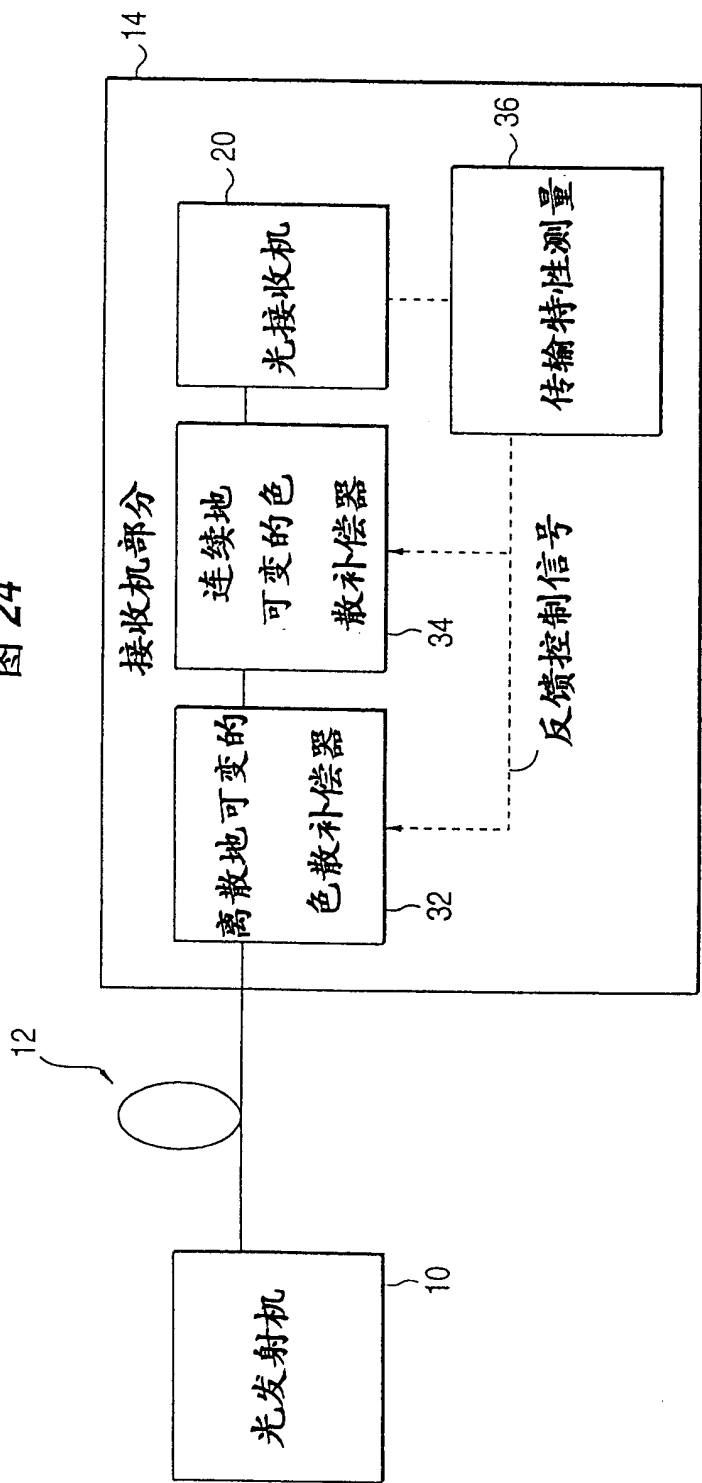
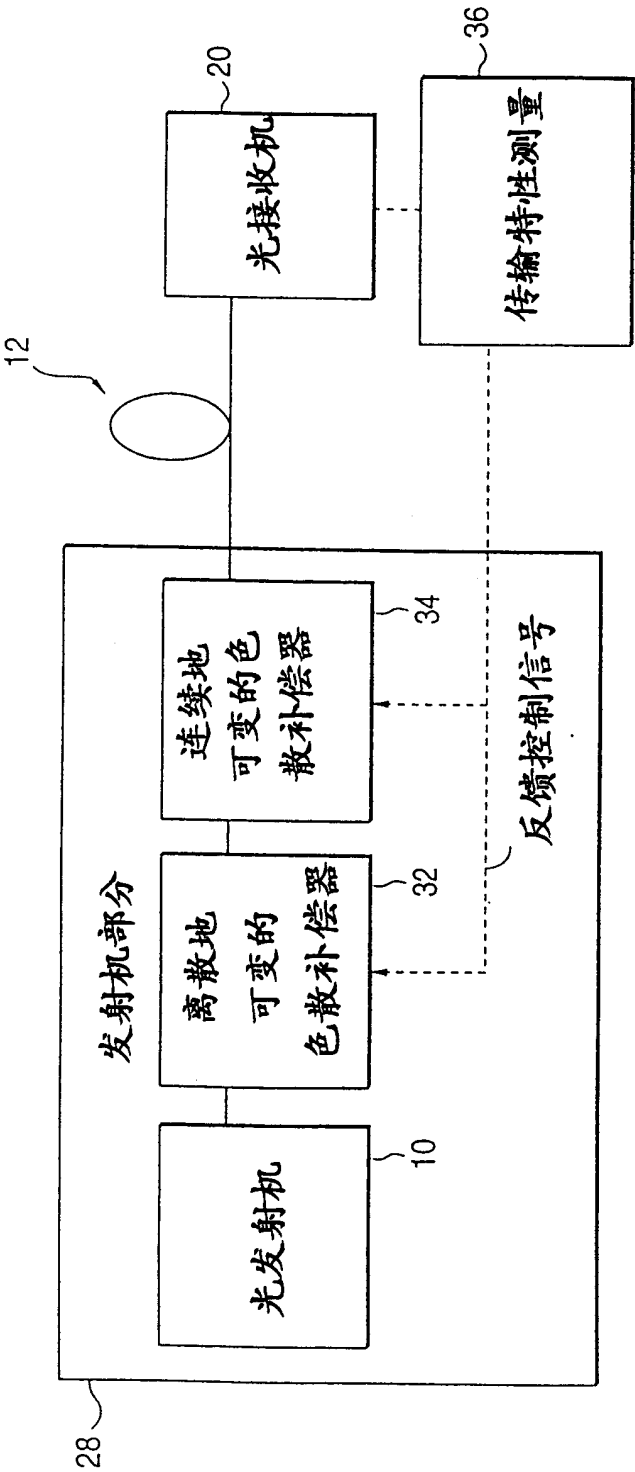


图 25



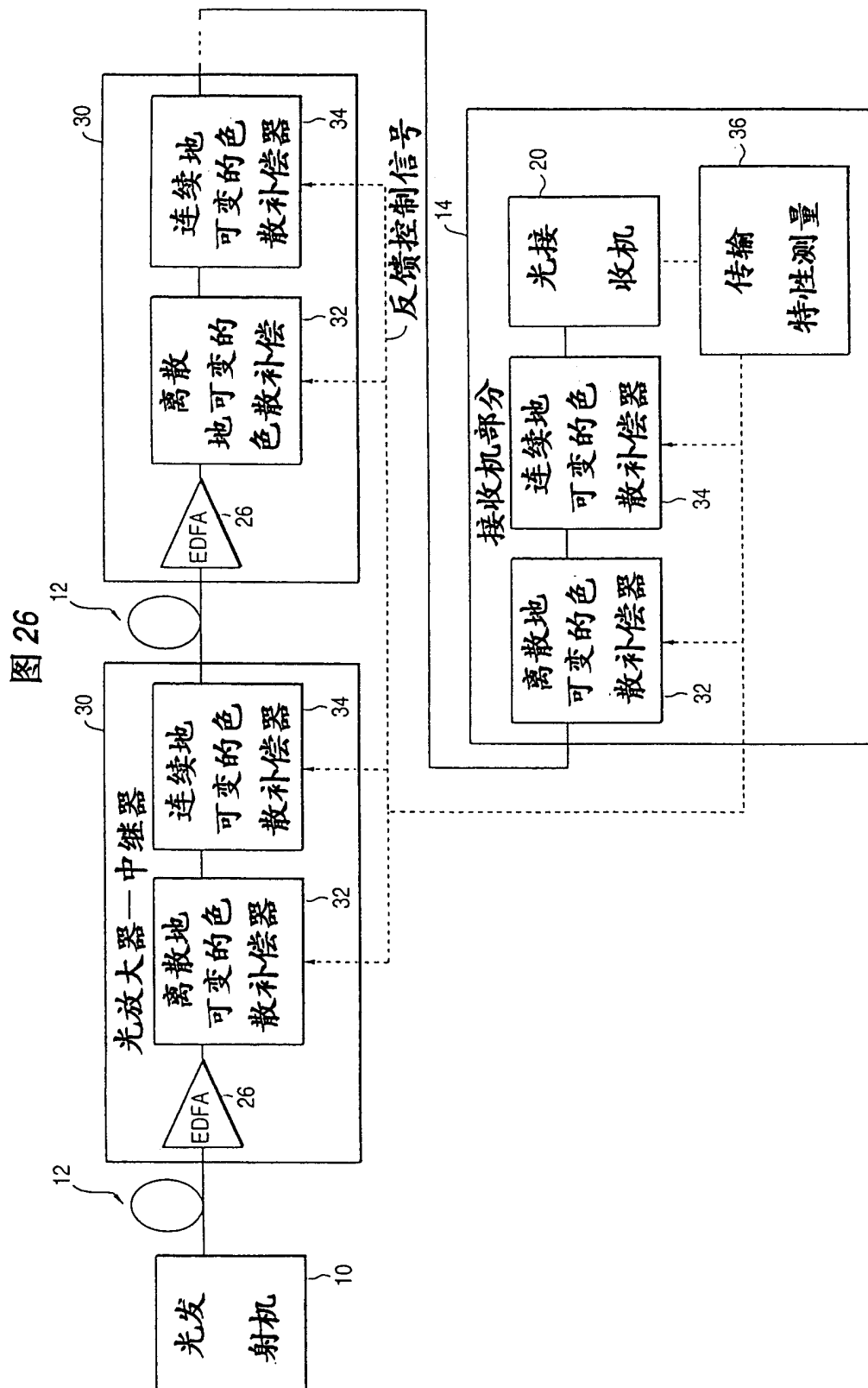


图 27

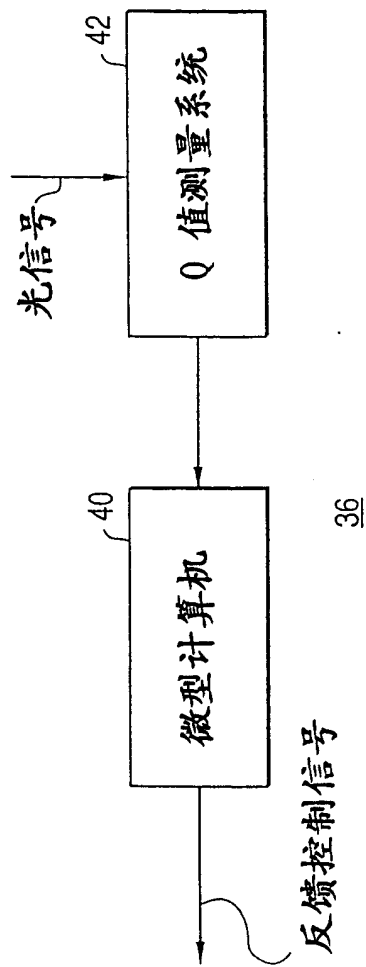


图28

