

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
H04B 10/12
G02B 6/22



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98107498.7

[43] 授权公告日 2003 年 4 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1106090C

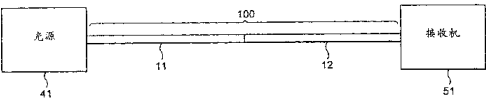
[22] 申请日 1998.5.8 [21] 申请号 98107498.7
[30] 优先权
[32] 1997. 5. 9 [33] JP [31] 119710/1997
[71] 专利权人 住友电气工业株式会社
地址 日本大阪府
[72] 发明人 笹冈英资 加藤考利
审查员 葛 源

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
代理人 黄小临

权利要求书 5 页 说明书 14 页 附图 6 页

[54] 发明名称 光学传输线及其配置方法
[57] 摘要

一种适用于 WDM 传输的光学传输线，它具有限制光传输特性因非线性光学现象出现和波长色散二者造成的恶化的结构。其至少包括：第一光纤，作为在预定工作波长处的特性，具有第一有效面积和第一色散斜率；和第二光纤，与所述的第一光纤光连接以便导入经所述的第一光纤传播的信号光，所述的第二光纤作为在预定工作波长处的特性，具有小于第一有效面积的第二有效面积和小于第一色散斜率的第二色散斜率。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种光学传输线, 包括:

5 第一光纤, 作为在一预定工作波长上的特性, 具有第一有效面积和第一色散斜率; 和

第二光纤, 与所述的第一光纤光连接以便导入经所述的第一光纤传播的信号光, 所述的第二光纤具有作为在该预定工作波长处的特性的小于第一有效面积的第二有效面积和小于第一色散斜率的第二色散斜率。

10 2. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中第二色散斜率不大于所述第一色散斜率的 $1/2$ 。

3. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中所述的的第一和第二光纤的每一个在该预定工作波长处具有其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

15 4. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中整个光学传输线在该预定工作波长处具有其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

5. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中所述入射到第一光纤的信号光具有大于入射到所述第二光纤的信号光的功率。

6. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中所述的整个光学传输线在该预定工作波长处具有小于所述的第一色散斜率的色散斜率。

20 7. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线具有不大于所述的第一色散斜率的 90% 的色散斜率。

8. 根据权利要求1所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线至少设置在: 光源与接收机之间, 光源与中继器之间, 各中继器之间, 或中继器与接收机之间。

25 9. 根据权利要求1所述的光学传输线, 进一步包括:

一第三光纤, 与所述的第二光纤光学连接以便导入已经所述的第二光纤传播的信号光, 所述的第三光纤作为在该预定工作波长处的特性具有大于所述的第二有效面积的第三有效面积和大于所述的第二色散斜率的第三色散斜率。

30 10. 根据权利要求9所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线至少设置在: 其每一个包含光源和接收机的第一与第二站之间, 第一站与中继

器之间, 各中继器之间, 或中继器与第二站之间。

11. 一种光学传输线, 包括多个沿光传播方向设置的光纤;

其中从所述的多个光纤中选择的一对光纤的第一光纤作为在一预定工作波长处的特性具有第一有效面积和第一色散斜率; 和

5 其中设置从所述的多个光纤中选择的一对光纤的第二光纤以便导入经所述的第一光纤传播的信号光, 所述的第二光纤作为在该预定工作波长处的特性具有小于所述的第一有效面积的第二有效面积和小于所述的第一色散斜率的第二色散斜率。

12. 根据权利要求 11 所述的光学传输线, 其中所述的多个光纤的每一个在该预定工作波长处具有其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

13. 根据权利要求 11 所述的光学传输线, 其中所述的整个光学传输线在该预定工作波长处具有其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

14. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中所述的第二色散斜率不大于所述的第一色散斜率的 $1/2$ 。

15 15. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中所述的整个光学传输线在该预定工作波长处具有其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

16. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中入射到所述的第一光纤的信号光具有大于入射到所述的第二光纤的信号光的功率。

17. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中所述的整个光学传输线在该预定工作波长处具有小于所述的第一色散斜率的色散斜率。

18. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线具有不大于所述的第一色散斜率的 90% 的色散斜率。

19. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线至少设置在: 光源与接收机之间, 光源与中继器之间, 各中继器之间, 或中继器与接收机之间。

20. 根据权利要求 3 所述的光学传输线, 进一步包括:

一第三光纤, 与所述的第二光纤光学连接以便导入经所述的第二光纤传播的信号光, 所述的第三光纤作为在该预定工作波长处的特性, 具有大于所述的第二有效面积的第三有效面积、大于所述的第二色散斜率的第三色散斜率、和其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

21. 根据权利要求 20 所述的光学传输线, 其中所述的光学传输线至少

设置在：其每一个包含光源和接收机的第一与第二站之间，第一站与中继器之间，各中继器之间，或中继器与第二站之间。

22. 根据权利要求 3 所述的光学传输线，进一步包括：

5 一第三光纤，与所述的第二光纤光学连接以便导入经所述的第二光纤传播的信号光，所述的第三光纤作为在该预定工作波长处的特性，具有小于所述的第二有效面积的第三有效面积、小于所述的第二色散斜率的第三色散斜率、和其绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

23. 根据权利要求 22 所述的光学传输线，其中所述的光学传输线至少设置在：光源与接收机之间，光源与中继器之间，各中继器之间，或中继器与接收机之间。

24. 一种 WDM 光学传输线，包括：

第一光纤，其具有第一有效面积和第一色散斜率；和

15 第二光纤，已经由所述第一光纤传播的信号光经由该第二光纤传播，所述第二光纤具有小于所述第一有效面积的第二有效面积和小于所述第一色散斜率的第二色散斜率。

25. 如权利要求 24 所述的 WDM 光学传输线，其中所述第二色散斜率不大于所述第一色散斜率的 $1/2$ 。

26. 如权利要求 24 所述的 WDM 光学传输线，进一步包括：

20 第三光纤，其具有在所述第一和第二有效面积之间的区域中的第三有效面积，并具有在所述第一和第二色散斜率之间的区域中的第三色散斜率，

其中设置所述第一、第二和第三光纤，使得信号光在所述第一到第三光纤之中从具有最大有效面积的一个光纤向具有最小有效面积的一个光纤传播。

25 27. 如权利要求 24 所述的 WDM 光学传输线，

其中，所述 WDM 光学传输线作为一个整体抑制因非线性光学现象的出现而造成的光传输特性的恶化，所述非线性光学现象是通过在信号光的强度减小的情况下改变所述整体光学传输线的有效面积和减少所述第一和第二光纤的单位横截面积中的光的能量而造成的。

30 28. 根据权利要求 27 所述的 WDM 光学传输线，其中所述第一光纤设置于所述 WDM 光学传输线的端部，该端部包括所述 WDM 光学传输线的光入射

端面。

29. 一种双向 WDM 光学传输线, 包括:

第一光纤, 其具有第一有效面积和第一色散斜率;

第二光纤, 其具有第二有效面积和第二色散斜率; 和

5 第三光纤, 其具有第三有效面积和第三色散斜率,

其中所述第二有效面积小于所述第一和第三有效面积, 并且所述第二色散斜率小于所述第一和第三色散斜率; 并且,

其中所述第二光纤设置于所述第一和第三光纤之间, 从而使信号光依次从所述第一光纤向所述第三光纤传播或从所述第三光纤向所述第一光纤传播。
10

30. 一种配置 WDM 光学传输线的方法, 包括步骤:

提供具有第一有效面积和第一色散斜率的第一光纤;

提供具有小于所述第一有效面积的第二有效面积和小于所述第一色散斜率的第二色散斜率的第二光纤; 和

15 安置所述第一和第二光纤, 使信号光依次从所述第一光纤向所述第二光纤传播通过。

31. 如权利要求 30 所述的方法, 其中, 所述 WDM 光学传输线作为一个整体抑制因非线性光学现象的出现而造成的光传输特性的恶化, 所述非线性光学现象是通过在信号光的强度减小的情况下改变所述整体 WDM 光传输线的有效面积和减少所述第一和第二光纤的单位横截面积中的光的能量而造成的, 并且
20

其中所述第二色散斜率足以减小所述整体双向 WDM 光学传输线的色散斜率。

32. 一种光学传输线, 包括多个沿信号光的传播方向设置的光纤;

25 其中从所述多个光纤中选出来的第一光纤, 作为在一预定工作波长上的特性, 具有第一有效面积和第一色散斜率;

其中设置了从所述多个光纤中选出来的第二光纤, 以便导入经所述第一光纤传播的信号光, 所述的第二光纤具有作为在该预定工作波长处的特性的小于第一有效面积的第二有效面积和小于第一色散斜率的第二色散斜率; 和
30

其中所述第二光纤的第二色散斜率具有的值使得由所述第一和第二光

纤定义的传输线的色散斜率减小为不大于所述第一光纤的第一色散斜率的90%。

33. 根据权利要求 32 所述的光学传输线，其中所述光学传输线至少设置于：其每一个都包括光源和接收机的第一与第二站之间、第一站与一中
5 继器之间、各中继器之间、或中继器与第二站之间。

光学传输线及其配置方法

- 5 本发明涉及一种适合信号光的远距离传输和大容量传输的光学传输线。

由光纤构成的光学传输线目前已经被用于如图像通信那样的大容量高速通信、和如国际通信那样的远距离通信，但仍然存在更大容量和更长距离的需求。在更大容量通信方面，使用的是复用若干信号光波长的波分复用(WDM)传输。另一方面，在延长通信距离方面，光纤网中的中继器间的距离被增加，但增大了每个中继器的光学放大因子，从而使中继器输出的信号光增加了功率以便它有足够的功率到达下一级的中继器。

另一方面，正如我们通常所知道的那样，当光沿介质传播时，会出现非线性光学现象。这种非线性光学现象包括：例如，自相位调制(SPM)，四波混合(FWM)，交叉相位调制(XPM)，非线性散射，或类似现象，并随介质中每单位体积的光能量密度增大而变大。所以，当中继器中的光学放大因子增加以便覆盖光纤传输线的更长距离时，这种非线性光学现象会发生。当非线性现象在光学传输线中出现时，信号光质量降低，从而使接收误差容易在其接收站出现。

20 为此，解决上述问题的一些建议已经被提出。例如，日本专利申请公开第 6-85757 号(文件 1)公开了这样一种技术：具有相互不同的有效面积和相互不同的波长色散的两个光纤被相互级联以便构成光学传输线，从而减小由非线性光学现象出现和波长色散造成的其光传输特性的恶化。此外，日本专利申请第 8-248251 号(文件 2)公开了这样一种技术：使用具有大于普通色散位移光纤的有效面积(大于或等于 $70\mu\text{m}^2$)的色散位移光纤，从而减小因非线性光学现象出现而造成的其光传输特性的恶化。此外，日本专利申请公开第 8-304655(文件 3)号公开了这样一种技术：使用具有小于普通色散位移光纤的波长色散斜率($0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)的色散位移光纤，从而减小因非线性光学现象出现而造成的其光传输特性的恶化。

30 通过对上述现有技术的讨论，发明人发现了以下问题。在文件 1 和文件 2 公开的技术中，增加了光纤的有效面积以减小每单位体积的信号光的光能

量,从而减小因非线性光学现象出现而造成的其光传输特性的恶化。然而,因使用的波长带中光纤的色散斜率的缘故,它的波长色散值根据信号光的波长而变化。因此,对 WDM 传输来说,甚至当对于某一信号光的波长来减小波长色散造成的其光传输特性的恶化时,对其它光信号的波长来说这种恶化是不可忽视的。所以这些技术不能在 WDM 传输中使用。

在文件 3 公开的技术中,由于使采用的波长带中的色散斜率变小,即便对 WDM 传输来说,出现在信号光波长间的波长色散的差值是很小的,从而可以减小波长色散造成的其光传输特性的恶化。然而,由于根本未考虑光纤的有效面积,因此这一技术不能克服因非线性光学现象出现而造成的光传输特性的恶化。

因此本发明的目的是提供一种光学传输线,它适用于 WDM 传输并具有抑制因非线性光学现象的出现和波长色散二者造成的光传输特性恶化的结构。

为了实现上述目的,本发明的光学传输线至少包括:一第一光纤,和与第一光纤光学连接的第二光纤以便导入已经第一光纤传播的信号光。在一个预定波长带中允许存在一个信号光或多个信号光。一预定的工作波长可以由该一个信号光的波长、该多个信号光中的最大波长和最小波长之间区域的中心波长、预定波长带的中心波长等来定义。例如,当 1.55- μ m 波长带是作为使用区域的预定波长时,并且该多个信号光被包括在 1,500nm 至 1,600nm 的范围内(即 1.55 μ m 波长带)。预定工作波长可以设置为 1550nm 作为 1.55- μ m 波长带的中心波长。

特别是,第一光纤具有作为在预定工作波长处的特性的第一有效面积和第一色散斜率;而第二光纤具有作为在预定工作波长处的特性的小于第一有效面积的第二有效面积和小于第一色散斜率的第二色散斜率。第二色散斜率最好不大于第一色散斜率的 1/2。

在这个光学传输线中,即使当经第一光纤传送的信号光具有高功率时,由于第一有效面积大,因此波长色散造成的其光学传输特性的恶化也会有效地减小。此外,由于经第一光纤传播后再经第二光纤传播的信号光减小了其经第一光纤传播时的功率,因此即便第二有效面积小,也可以减小波长色散造成的光学传输特性的恶化。也就是说,入射到第一光纤的信号光具有大于入射到第二光纤的信号光的功率。所以,在整个光学传输线中可以有效地减

小波长色散造成的其光传输特性的恶化。

在本说明书中，正如日本专利申请公开第 8-248251 号所表示的那样，例如，光纤的有效面积(A_{eff})由下列公式给出：

$$A_{\text{eff}} = 2\pi(\int_0^\infty E^2 r dr)^2 / (\int_0^\infty E^4 r dr)$$

5 其中 E 是伴随传播信号光的电场，r 是从光纤中心起的半径距离。

由于整个光学传输线的色散斜率是关于长度的第一和第二色散斜率的加权平均值，因此它小于仅采用第一光纤的结构中的色散斜率，因而能够减小波长色散造成的其光传输特性的恶化。也就是说，第二光纤的作用是使整个光学传输线的预定工作波长上的色散斜率变得小于第一色散斜率，特别
10 是，光学传输线的色散斜率最好不大于第一色散斜率的 90%。

在本说明书中，色散斜率是指表示依赖波长色散的波长的色散曲线的斜率。

最好是，在本发明的光学传输线中，在预定工作波长处的整个光学传输线中的波长色散的绝对值不大于 5ps/nm/km。另外，第一和第二光纤最好各
15 在预定工作波长上，都具有绝对值不大于 5ps/nm/km 的波长色散。

在上述结构中，光学传输线至少设置在光源与接收机之间、光源与中继器之间、中继器之间、或中继器与接收机之间。

本发明的光学传输线可进一步包括与第二光纤光学连接的第三光纤，以便为实现双向光学传输而导入已经第二光纤传播的信号光。在该结构中，第三光纤具有，作为在预定工作波长处的特性，大于第二有效面积的第三有效
20 面积和大于第二色散斜率的第三色散斜率。

因而，在信号光经第一、第二和第三光纤这样的顺序连续传播的情况下，由于有了第一和第二光纤的结构，从而使整个光学传输线的光传输特性的恶化可以被有效抑制。另一方面，在信号光经第三、第二和第一光纤这样的
25 的顺序连续传播的情况下，由于有了第三和第二光纤的结构，从而使整个光学传输线的光传输特性的恶化可以被有效抑制。

在这种结构中，光学传输线至少被设置在每一个含有一个光源和一个接收机的第一与第二站之间、第一站与中继器之间、中继器之间、或中继器与第二站之间。

30 此外，本发明的光学传输线被这样构成：多个光纤至少被设置在光源与接收机之间、光源与中继器之间、中继器之间，或中继器与接收机之间。在

该结构中, 从该多个光纤中选择的一对光纤的一个具有作为在预定工作波长处的特性的第一有效面积和第一色散斜率; 而从该多个光纤中选择的一对光纤的另一个(在该一个光纤的下游设置)具有作为在预定工作波长处的特性的第二有效面积和小于第一色散斜率的第二色散斜率。

- 5 换句话说, 本发明的光学传输线可以这样构成: 具有随其有效面积增大而增大色散斜率的至少三个光纤实质上按照降低有效面积的顺序相互级联, 且信号光从大的有效面积侧向较小的有效面积侧传播。在该光学传输线中, 由于信号光连续地从具有大的有效面积和色散斜率的光纤向具有小的有效面积和色散斜率的光纤传播, 因此减小了非线性光现象和波长色散的出现造成的其光传输特性的恶化。此外, 在这种情况下, 由于级联的预定数量的光纤的有效面积和色散斜率逐级改变, 因此可以减小每个光纤连接点的光纤的结构脱节(structural dissociation)现象, 从而使整个光学传输线的连接损耗降低。
- 10

- 此外, 本发明的光学传输线可以这样构成: 整个波长色散的绝对值在预定工作波长处不大于 5ps/nm/km 。在这种情况下, 整个光学传输线的波长色散变得足够小以致波长色散造成的其光传输特性的恶化可以被充分降低。
- 15

从下面给定的具体说明和给出的附图中可以进一步理解本发明, 该说明和附图仅仅通过举例说明的方式给出, 因而不能认为是对本发明的限定。

- 通过下面给出的具体说明, 本发明的应用范围将会变得十分清楚。然而, 需要指出的是: 具体说明和特定实例(尽管它表述了本发明的优选实施例)仅仅通过举例说明的方式给出, 这是因为本领域的熟练人员可以通过该具体说明在本发明精神和范围内作出各种变化和变形。
- 20

图 1 是显示本发明的光学传输线第一实施例的结构示意图;

图 2A 至图 2D 是显示本发明光学传输线第一实施例改型的结构示意图;

- 25 图 3 是显示本发明的光学传输线第二实施例的结构示意图;

图 4A 至图 4D 是显示本发明的光学传输线第二实施例的改型的结构示意图;

图 5 是显示本发明的光学传输线第三实施例的结构示意图;

- 图 6A 至图 6D 是显示本发明光学传输线第三实施例的改型的结构示意图。
- 30

在下面的说明中, 将结合附图详细说明本发明的实施例。在附图的解释

中，相同的部件用相同的标号表示，而不对它们进行重复说明。

在说明实施例之前，首先说明光纤中的每个波长色散、色散斜率和有效面积。

在具有单波长的光脉冲入射到光纤一端和经其传播的情况中，到达光纤另一端的
5 光脉冲的脉冲时间宽度变宽而其形状变扁。这是由于其光源发射的信号光，即使具有单波长，实际上具有光谱宽度以及光纤中的传播速度根据波长变化等原因所致。光纤的每单位长度(单位： km)的光脉冲的每单位光谱宽度(单位： nm)的脉冲时间宽度(单位： ps)的扩展被称为波长色散(单位： ps/nm/km)。代表波长该波长色散的依赖性的色散曲线的斜率被称为色散斜率
10 (单位： ps/nm²/km)。

在光纤是单模光纤的情况中，它的波长色散是其材料色散(由光纤材料中固有的折射率的波长依赖性造成的色散)和结构色散(由传播光群速的波长依赖性造成的色散)的总和。由于光纤材料通常是石英玻璃，因此材料色散是预定范围内的数值。另一方面，结构色散非常依赖于光纤的结构参数(折射率分
15 布)。

经光纤传播的光的光学能量不是仅均匀地存在于光纤的线芯区域而且还出现在其包层(cladding)区域，并与其线芯区域中某些分布(横向模式分布)一致。考虑横向模式分布而确定的有效面积代表了光纤中有关非线性光学现象的有效截面面积。

20 第一实施例

下面说明本发明的光学传输线的第一实施例。图1是第一实施例的光学传输线100的结构图。

第一实施例的光学传输线100是这样构成的： 光纤11的一端与光纤12的一端相互连接。与光纤11的另一端连接的是用于发射信号光的光源(例如，半
25 导体激光源)41。与光纤12连接的是用于接收信号光的接收机(例如，含有光电二极管作为光接收装置的接收机)51。光纤11和12或者通过熔化或者通过连接器方式相互连接。光源41发射的信号光经光纤11再经光纤12传播，到达接收器51以便接收信号光。

这里，前端光纤11的有效面积大于后端光纤12的有效面积。所以，当光源41发射的信号光即使以高功率经光纤11传播时，由于光纤11具有大的有效
30 面积因而使每单位体积的信号光的光学能量变小，从而减小了非线性光学现

象的出现造成的其光传输特性的恶化。尽管后端光纤12的有效面积小于前端光纤11的有效面积，但由于信号光在经光纤11传播时其功率下降到一定程度后再入射到光纤12和经光纤12传播，因此，光纤12中每单位面积的光学能量也是很小的，从而减小了此后所有的非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化。作为上述的结果，在光纤11和12相互级联的整个光学传输线100中，由非线性光学现象造成的其光传输特性的恶化被减低。

此外，在使用中的波长带(1,500nm至1,600nm)的1,500nm中心波长上，前端光纤11的色散斜率大于后端光纤12的色散斜率。即，尽管光纤11的色散斜率因增加其有效面积使其必然较大，但光纤12的色散斜率可以较小，这是因为它的有效面积小于光纤11的有效面积。光纤11和12相互级联构成的整个光学传输线100的色散斜率是关于其长度的光纤11和12的各自色散斜率的加权平均值，因而小于仅由光纤11制成的光学传输线的色散斜率。即，光纤12的贡献在于降低了整个光学传输线100的色散斜率。具体地说，最好是整个光学传输线100的色散斜率不大于前端光纤11的色散斜率的90%。对波长色散来说也同样如此。

最好是，光纤12的色散斜率不大于光纤11的色散斜率的1/2。在这种情况下，整个光学传输线100的色散斜率可以被充分降低。整个光学传输线100的波长色散的绝对值最好不大于5ps/nm/km。在这种情况下整个光学传输线100的波长色散可以被充分减小，从而使波长色散造成的其光传输特性的恶化被充分降低。此外，光纤11和12的每一个的波长色散的绝对值最好不大于5ps/nm/km。

如此构成的光学传输线100可以抑制非线性光学现象出现和波长色散的每个造成的其光传输特性恶化的影响，并使光源41发射的信号光到达接收机51。

下面说明实验的结果，在1,550nm信号光波长的条件下，有效面积、色散斜率、波长色散、和光纤11和12的数值设置如表1所示。该表1还示出了光纤11和12相互级联的整个光学传输线100的色散斜率和波长色散的实验得到的数值。

表 1

	光纤 11	光纤 12	整个线路
有效面积($\mu\text{ m}^2$)	80	20	——
色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.11	0.01	0.06
波长色散 (ps/nm/km)	-2.0	-1.8	-1.9
长度(km)	30	30	——

如上表所示，光纤 11 中的有效面积和色散斜率大于光纤 12 中的有效面积和色散斜率。整个光学传输线 100 的色散斜率是关于其长度的光纤 11 和 12 的各自色散斜率的加权平均值。而整个光学传输线 100 的波长色散是关于其长度的光纤 11 和 12 的各自波长色散的加权平均值。所以，与仅由光纤 11 制成的整个光学传输线的情况相比，可以减小波长色散造成的整个光学传输线 100 的光传输特性的恶化。特别是，光纤 12 的色散斜率不大于光纤 11 的色散斜率的 1/2 。光纤 11 和 12 的每个的波长色散的绝对值不大于 5ps/nm/km 。整个光学传输线的色散斜率不大于光纤 11 的色散斜率的 90%，从而可以看出光纤 12 的贡献在于降低了整个光学传输线的色散斜率。

前端光纤 11 的传输损耗为 0.20dB/km ，因而，经 30km 光纤 11 传输的信号光的功率降低了 6dB 。所以，即便具有高功率的信号光经光纤 11 传播时，也可以降低由非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化，这是因为光纤 11 具有大的有效面积。另一方面，当信号光经光纤 12 传播时，尽管光纤 12 具有小的面积，但由于信号光功率低，因此可以降低由非线性光学现象出现造成的其光学传输线的恶化。因此，可以进一步确认在整个光学传输线 100 中由非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化是很小的。

本发明第一实施例的光学传输线 100 不是必须设置在光源 41 与接收机 51 之间。当光学传输线 100 设置在光源 41 与中继器 71 诸如图 2A 所示的光放大器之间、图 2B 所示的中继器 71 之间、或图 2C 所示的中继器 71 与接收机 51 之间时可以获得同样的效果。

在光纤 11 和 12 的连接点 110 上，光纤 11 和 12 可通过熔化或连接器方

式相互连接。

只要进入光纤 11 的信号光的功率大于进入光纤 12 的信号光的功率，就可以在具有光放大作用的光学装置 120 被设置在图 2D 所示的光纤 11 和 12 之间的结构中获得上述相同的效果。

5 第二实施例

下面说明本发明的光学传输线的第二实施例。图 3 是根据第二实施例的光学传输线 200 的结构图。

第二实施例的光学传输线 200 是这样构成的：光纤 21、22、和 23 按此顺序相互级联。光纤 21 的自由端连接用于发射信号光的光源 42。光纤 23 的自由端连接用于接收信号光的接收机 52。光纤 21 至 23 可以通过或者熔化或者连接器方式相互连接。光源 42 发射的信号光经光纤 21、22、和 23 连续传播，并到达接收机 52 以便接收信号光。

这里，光纤 21、22、23 的有效面积按顺序逐渐降低。因此，当光源 42 发射的信号光即使以高功率经光纤 21 传播时，由于光纤 21 具有大的有效面积因而每单位体积的信号光的能量变小，从而减小了因非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化。尽管下级光纤 22 的有效面积小于光纤 21 的有效面积，但由于信号光在经光纤 22 传播时其功率降到一定程度后经光纤 22 传播，因此光纤 22 每单位面积的光能量也是小的，从而也减小了因非线性光学现象造成的其光传输特性的恶化。尽管后端光纤 23 的有效面积小于光纤 22 的有效面积，但由于信号光在其功率进一步降低后经光纤 23 传播，因此光纤 23 每单位面积的光能量也是小的，从而也减小了此后非线性光学现象造成的其光传输特性的恶化。作为上述的结果，在光纤 21 至 23 相互级联的整个光学传输线 200 中，非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化被降低。

此外，在使用的波长带(1,500nm 至 1,600nm)的 1,550nm 中心波长上，光纤 21、22、23 的各自色散斜率按此顺序逐渐降低。即，尽管光纤 21 的色散斜率因其增大的有效面积而必然很大，但光纤 22 的色散斜率可以较小，其原因是光纤 22 的有效面积小于光纤 21 的有效面积。光纤 23 的色散斜率可以进一步降低。光纤 21 至 23 相互级联的整个光学传输线 200 的色散斜率是关于其长度的光纤 21 至 23 的各自色散斜率的加权平均值，因而小于仅由光纤 21 制作的光学传输线的色散斜率。也就是说，光纤 22 和 23 贡献在于降低了

整个光学传输线 200 的色散斜率。具体地说，最好是整个光学传输线 200 的色散斜率不大于光纤 21 的色散斜率的 90%。对波长色散来说也同样如此。

光学传输线 200 的这种结构可以抑制由非线性光学现象出现和波长色散二者造成的其光传输特性恶化的影响，并允许光源 42 发射的信号光到达接收机 52。此外，由于第二实施例的光学传输线 200 是按照光纤 21 和 23 的有效面积和色散斜率被逐步改变的方式构成的，通过光纤 21，因此在光纤 21 与光纤 22 之间和光纤 22 与光纤 23 之间的每个连接点可以被减小，这导致作为整个光学传输线的连接损耗减小。

下面说明实验的结果。在 1,550nm 的信号光波长上，有效面积、色散斜率、波长色散、和光纤 21 至 23 的长度的数值设置如下列表 2 所示。该表 2 还示出了光纤 21 至 23 相互级联的整个光学传输线 200 的色散斜率和波长色散实验得到的数值。

表 2

	光纤 21	光纤 22	光纤 23	整个线路
有效面积($\mu\text{ m}^2$)	80	50	20	——
色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.11	0.08	0.01	0.05
波长色散 (ps/nm/km)	-2.0	-2.1	-1.8	-1.9
长度(km)	10	20	30	——

如上表所示，光纤 21 至 23 的有效面积和色散斜率按顺序(光纤 21 至 23)逐渐下降。整个光学传输线 200 的色散斜率是关于其长度的光纤 21 至 23 的各自色散斜率的加权平均值，而整个光学传输线 200 的波长色散是关于其长度的光纤 21 至 23 的各自波长色散的加权平均值。因此，与光学传输线仅用光纤 21 制成的情况相比，波长色散造成的整个光学传输线 200 的光传输特性的恶化可以被减小。特别是，光纤 21、 22、 23 每个的波长色散的绝对值不大于 5 ps/nm/km。

前端光纤 21 的传输损耗为 0.20 dB/km，因而经 10km 光纤 21 传输的信号光的功率下降了 2dB。下级光纤 22 的传输损耗也为 0.20dB/km，因而经 20km 光纤 22 传输的信号光的功率进一步下降了 4dB。所以，当信号光即使以高功率经光纤 21 传播时，也能降低因非线性光学现象造成的光传输特性的

恶化，这是因为光纤 21 具有大的有效面积。另一方面，当信号光经光纤 22 传播时，尽管它具有小面积，但由于信号光的功率低，因此非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化能够减小。此外，当信号光经光纤 23 传播时，尽管它的有效面积小，但由于信号光的功率低，因此非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化能够减小。此外，该实验进一步证实在整个光学传输线 200 中因非线性光学现象造成的其光传输特性的恶化是很小的。

第二实施例的光学传输线 200 不一定必须设置在光源 42 与接收机 52 之间。当光学传输线 200 设置在光源 42 与像图 4A 所示的光放大器那样的中继器 72 之间、图 4B 所示的中继器 72 之间、或图 4C 所示的中继器 72 与接收机 52 之间时，可以获得上述相同效果。

在光纤 21 和 22 的连接点 210 上，和光纤 22 和 23 的连接点 211 上，光纤 21、22 和 23 可以通过或者熔化或者用连接器方式相互连接。

只要进入光纤 21 的信号光的功率大于进入光纤 22 的信号光的功率，就可以在如图 4D 所示的具有光放大功能的光学装置 220 被设置在光纤 21 与光纤 22 之间的结构中得到上述相同效果。此外，只要进入光纤 22 的信号光的功率大于进入光纤 23 的信号光的功率，就能够实现具有光放大功能的光学装置 221 被设置在光纤 22 与光纤 23 之间的结构。

第三实施例

下面说明本发明的光学传输线的第三实施例。图 5 是第三实施例的光学传输线 300 的结构图。

第三实施例的光学传输线 300 是这样构成的：光纤 31、32、和 33 依次相互级联。通过光多路复用/解复用器 61，使光纤 31 的自由端与光源 43 和接收机 53 连接。通过光多路复用/解复用器 62，使光纤 33 的自由端与光源 44 和接收机 54 连接。光纤 31 至 33 可以或者通过熔化或者以连接器方式相互连接。光源 43、接收机 53 和光多路复用/解复用器 61 构成第一站 500，而光源 44、接收机 54、和光多路复用/解复用器 62 构成第二站 600。

第三实施例的光学传输线 300 具有能够进行双向光通信的结构。光源 43 发射的信号光通过光多路复用/解复用器 61 经光纤 31、32、和 33 连续传播，然后通过光多路复用/解复用器 62 由接收机 54 接收。另一方面，光源 44 发射的信号光通过光复用/解复用器 62 经光纤 33、32、和 31 连续传播，然后通过光多路复用/解复用器 61 由接收机 53 接收。

这里, 光纤 31 和 33 每一个的有效面积大于光纤 32 的有效面积。因此, 当光源 43 发射的信号光即使以高功率经光纤 31 传播时, 由于光纤 31 具有大的有效面积, 因此每单位体积的信号光的光能量变小, 从而减小了非线性光学现象造成的光传输特性的恶化。尽管下级光纤 32 的有效面积小于光纤 31 的有效面积, 但由于信号光在经光纤 31 传播时其功率降到一定程度后经光纤 32 传播, 因此光纤 32 的每单位面积的光能量也是小的, 从而也减小了非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化。由于信号光在其功率进一步下降后经光纤 33 传播, 因此光纤 33 的每单位面积的光能量是小的, 从而也减小了非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化。对光源 44 发射的信号光向接收机 53 传播的情况来说, 也同样如此。由于有了上述结构, 因此在光纤 31 至 33 相互级联的整个光学传输线 300 中, 就以两个方向传播的信号光来说, 能够降低非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化。

此外, 在使用的波长带(1,500nm 至 1,600nm)中 1,550nm 中心波长上, 光纤 31 和 33 每个的色散斜率大于光纤 32 的色散斜率。即, 尽管因光纤 31 和 33 加大了有效面积而使它们每个的色散斜率必然很大, 但由于光纤 32 的有效面积小于光纤 31 和 33 的有效面积, 因此光纤 32 的色散斜率可以较小。光纤 31 至 33 相互级联的整个光学传输线 300 的色散斜率是关于其长度的光纤 31 至 33 的各自色散斜率的加权平均值, 因而小于仅由光纤 31 或 33 构成的光学传输线的色散斜率。即, 光纤 32 贡献在于降低了整个光学传输线 300 的色散斜率。具体地说, 最好是整个光学传输线的色散斜率不大于光纤 31 或 33 的色散斜率的 90%。对于波长色散来说也同样如此。

光学传输线 300 的这种结构可以抑制因非线性光学现象出现和波长色散二者造成的其光传输特性恶化的影响。此外, 由于对双向传播的信号光来说光传输特性的恶化可以被减小, 因此第三实施例的光学传输线 300 适用于双向通信。

下面, 说明实验结果, 在 1,550nm 的信号光波长上, 光纤 31 至 33 的有效面积、色散斜率、波长色散、和长度的数值设置如表 3 所示。该表 3 还示出了光纤 31 至 33 相互级联的整个光学传输线 300 的色散斜率和波长色散的实验得到的数值。

表 3

	光纤 31	光纤 32	光纤 33	整个线路
有效面积($\mu\text{ m}^2$)	80	20	80	——
色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.11	0.01	0.11	0.08
波长色散 (ps/nm/km)	-2.0	-1.8	-2.0	-1.9
长度(km)	30	30	30	——

如表 3 所示，光纤 31 和 33 具有相同的有效面积和相同的色散斜率，它们分别大于光纤 32 的有效面积和色散斜率。整个光学传输线 300 的色散斜率是关于长度的光纤 31 至 33 的各自色散斜率的加权平均值，而整个光学传输线 300 的波长色散是关于其长度的光纤 31 至 33 的各自波长色散的加权平均值。因此，与光学传输线仅用光纤 31 或 33 制成的情况相比，波长色散造成的整个光学传输线 300 的光传输特性的恶化可以被减小。特别是，光纤 31、32、33 每个的波长色散的绝对值不大于 5 ps/nm/km。

前端光纤 31 的传输损耗为 0.20 dB/km，因而经 30km 光纤 31 传输的信号光的功率下降了 6dB。光纤 32 的传输损耗也为 0.20dB/km，因而经 30km 光纤 32 传输的信号光的功率进一步下降了 6dB。所以，当光源 43 发射的信号光即使以高功率经光纤 31 传播时，也能降低因非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化，这是因为光纤 31 具有大的有效面积。另一方面，当信号光经光纤 32 传播时，尽管它具有较小面积，但由于信号光的功率低，因此非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化能够被减小。此外，当信号光经光纤 33 传播时，由于它的有效面积较大，且信号光的功率被进一步降低，因此非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化能够被减小。此外，该实验进一步证实在整个光学传输线 300 中因非线性光学现象造成的光传输特性的恶化是很小的。同样地，该实验还证实当光源 44 发射的信号光向接收机 53 传播时因非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化也是很小的。

第三实施例的光学传输线 300 不一定必须设置在包括光源 43、接收机 53 等的的第一站 500 与包括光源 44、接收机 54 等的第二站 600 之间。当光学传输线 300 设置在第一站 500 与如图 6A 所示的光放大器那样的中继器 73 之间，图 6B 所示的中继器 73 之间，或图 6C 所示的中继器 73 与第二站 600 之

间时, 可以获得上述相同效果。

在光纤 31 和 32 的连接点 310 上, 和光纤 32 和 33 的连接点 311 上, 光纤 31、32 和 33 可以通过或者熔化或者用连接器方式相互连接。

只要进入光纤 31 的信号光的功率大于进入光纤 32 的信号光的功率, 就可以在如图 6D 所示的具有光放大功能的光学装置 320 被设置在光纤 31 与光纤 32 之间的结构中得到上述相同效果。此外, 只要进入光纤 32 的信号光的功率大于进入光纤 33 的信号光的功率, 就能够实现具有光放大功能的光学装置 321 被设置在光纤 32 与光纤 33 之间的结构。

尽管在第二实施例中构成光学传输线 200 的数目是 3, 但可以相互级联大量的光纤。此外在这种情况下, 具有较大有效面积和较大色散斜率的光纤应更接近光源连接。

如上所述, 根据本发明, 甚至当经第一光纤传播的信号光具有高功率时, 也能减小非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化, 这是因为第一有效面积较大。此外, 由于经第一光纤传播后再经第二光纤传播的信号光功率低于经第一光纤传播时的信号光功率, 因此, 即使第二有效截面面积小, 也能减小非线性光学现象出现造成的其光传输特性的恶化。所以, 在整个光学传输线中能够减小非线性光学现象出现造成的光传输特性的恶化。由于整个光学传输线的色散斜率是关于其长度的第一和第二色散斜率的加权平均值, 因此, 它小于仅使用第一光纤的色散斜率。所以, 还可以降低波长色散造成的其光传输特性的恶化。

当第二色散斜率不大于第一色散斜率的 $1/2$ 时, 整个光学传输线的色散斜率可以充分减小。

在具有大于第二有效面积的第三有效面积和大于第二色散斜率的第三色散斜率的第三光纤实质上级联到第二光纤, 并且经第三光纤传播的信号光入射到第二光纤并经第二光纤传播的结构中, 第一、第二和第三光纤以此顺序依次级联。因此, 不仅对从第一光纤到第三光纤传播的信号光而且对从第三光纤到第一光纤传播的信号光来说, 都能够降低因非线性光学现象出现和波长色散二者造成的光传输特性的恶化。

在预定数目不小于三个的其色散斜率随有效面积增大而增大的光纤实质上按照减小有效面积的顺序相互级联, 并且信号光从大的有效面积侧到小的有效面积侧连续传播的情况中, 信号光经按照减小有效面积和色散斜率的

顺序级联的光纤连续传播。因此，可以减小非线性光学现象出现和波长色散的每个造成的其光传输特性的恶化。此外，在这种情况下，由于形成了逐级变化的级联光纤的有效面积和色散斜率，因此可以减小每个光纤连接点上的光纤的结构脱节，因而，可使整个光学传输线的连接损耗降低。

- 5 此外，在1.55- μm 波长带中整个波长色散的绝对值不大于5ps/nm/km的情况下，整个光学传输线的波长色散变得足够小，以致可以充分降低波长色散造成的光传输特性的恶化。特别是，构成光学传输线的每个光纤最好具有其绝对值不大于5ps/nm/km的波长色散。

- 10 如上所述，在本发明的光学传输线中，在具有较大有效面积的光纤中色散斜率较大，而在具有较小有效面积的光纤中色散斜率较小。所以构成光学传输线的每个光纤可以被容易地设计和制造。即，能够抑制非线性光学现象出现和波长色散二者造成的光传输特性恶化的光学传输线可以被低成本地构成。因此，本发明的光学传输线适用于借助WDM传输的大容量、远距离通信。

- 15 从上述说明中可以得知，本发明的这些实施例可以用多种方式改变。这种变化没有背离了本发明的精神和范围，本领域的熟练技术人员容易作出的对本发明的改型应落入所附权利要求书的范围。

图 1

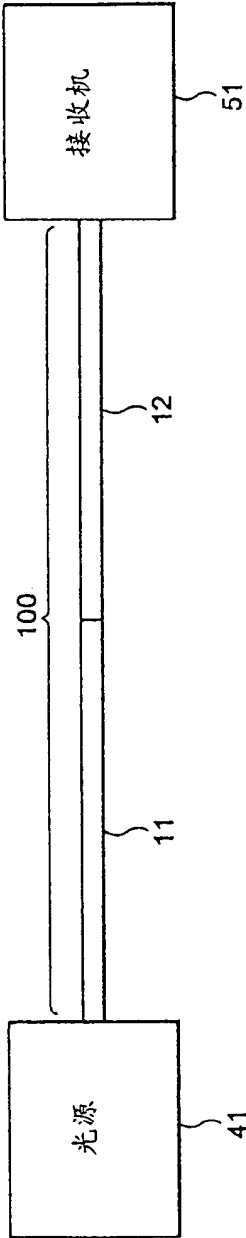


图 2A

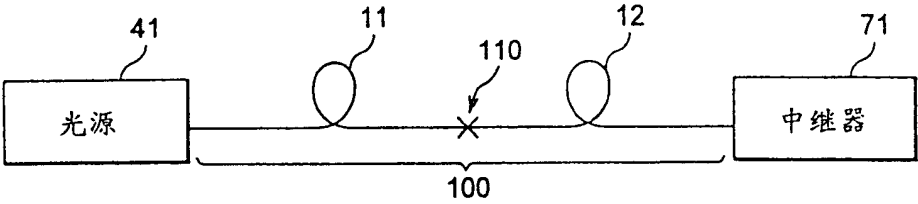


图 2B

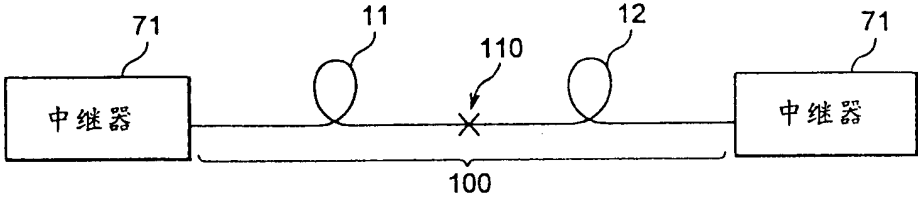


图 2C

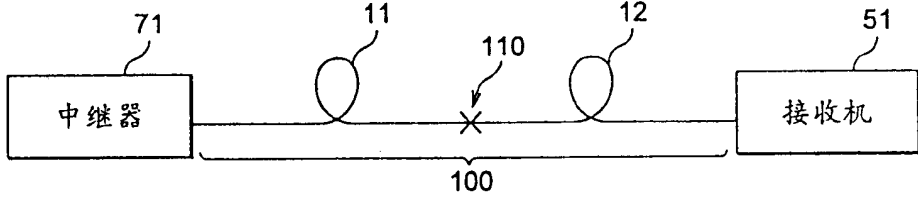


图 2D

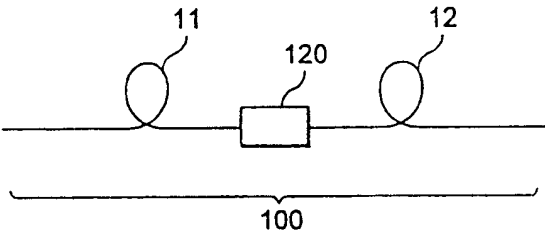


图 3

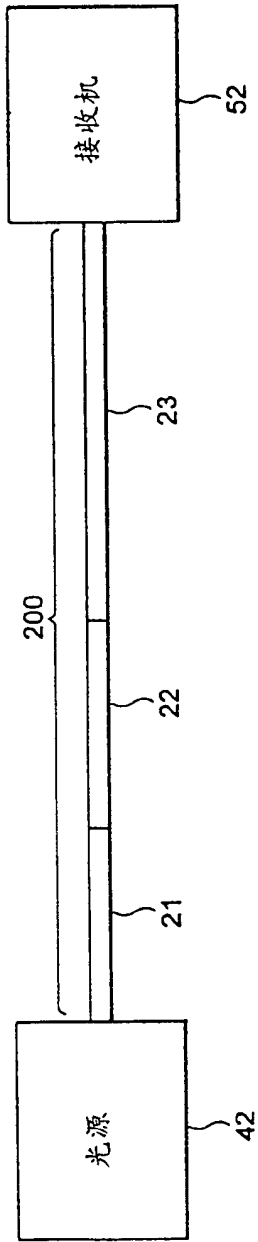


图 4A

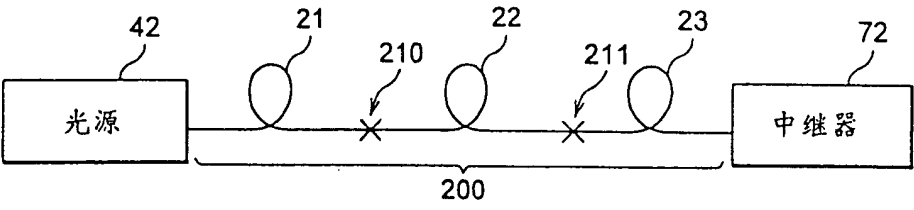


图 4B

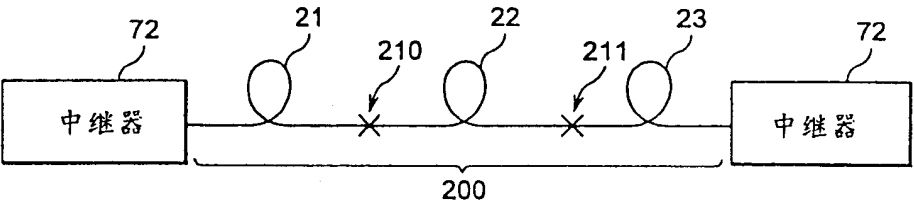


图 4C

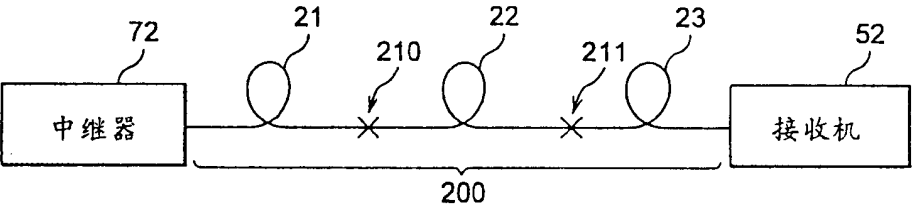


图 4D

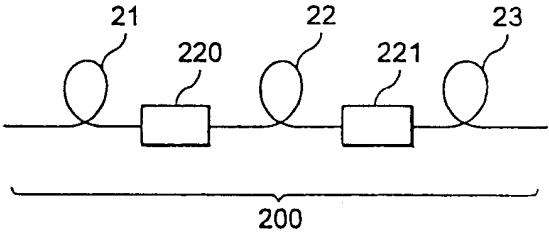


图 5

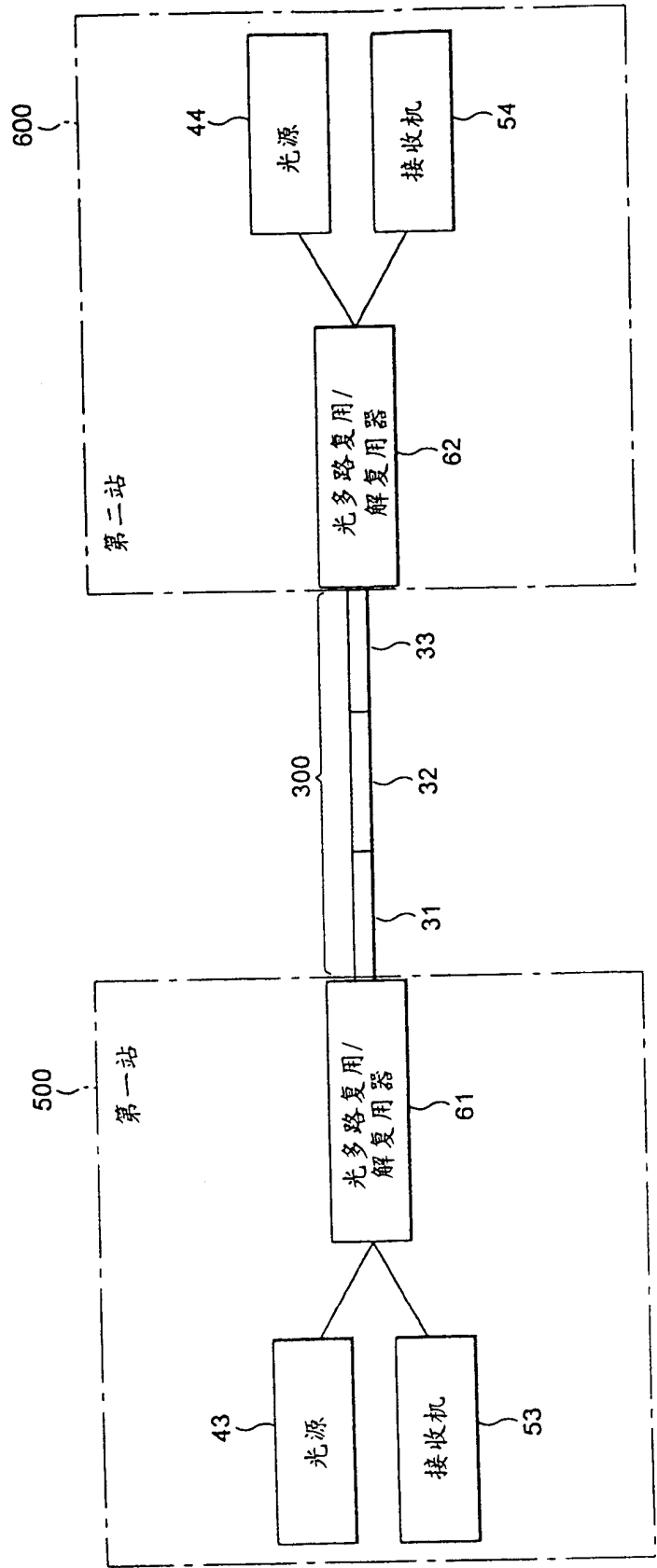


图 6A

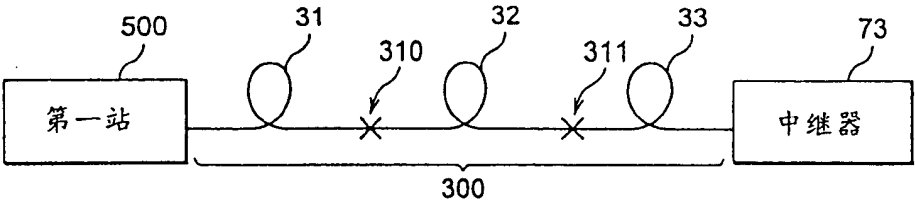


图 6B

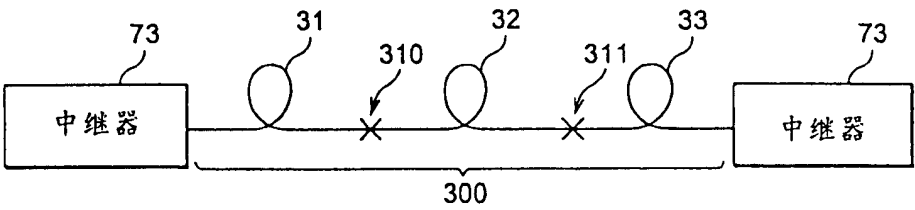


图 6C

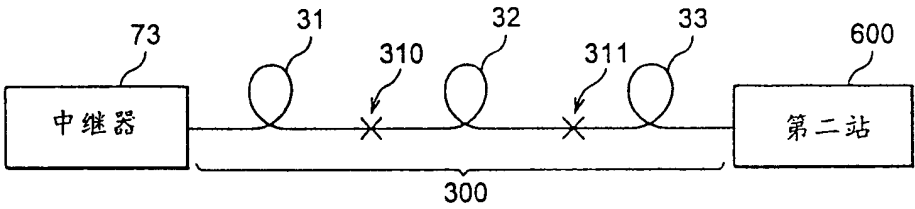


图 6D

