

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/02 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02107910.2

[45] 授权公告日 2008年7月2日

[11] 授权公告号 CN 100399077C

[22] 申请日 2002.3.18 [21] 申请号 02107910.2

[30] 优先权

[32] 2001.3.16 [33] JP [31] 076969/01

[73] 专利权人 古河电气工业株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 武笠和则

[56] 参考文献

CN1287621A 2001.3.14

EP1043609A1 2000.10.11

EP1072909A2 2001.1.31

US5838867A 1998.11.17

审查员 吴松江

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 沈昭坤

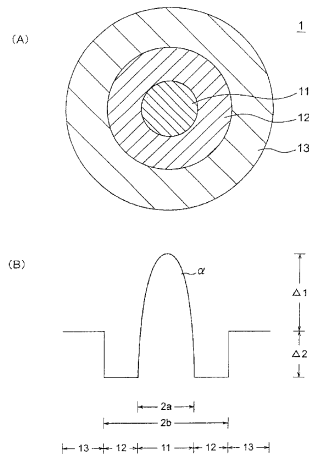
权利要求书3页 说明书17页 附图5页

[54] 发明名称

光纤和波分复用传输线路

[57] 摘要

本发明光纤和波分复用传输线路，提供用于波分复用传输，并适合与单模光纤连接的线路型色散补偿光纤，具有中心芯部和外侧芯部层。中心芯部比折射率差为 1.15 ~ 1.40%，表示中心芯部的折射率分布形状的 α 常数为 1.0 ~ 5.0，外侧芯部层比折射率差为 -0.60 ~ -0.35%，外侧芯部半径 b 与中心芯部半径 a 的比为 1.6 ~ 2.4。中心芯部传输的光波波长为 $1.55 \mu\text{m}$ 的波段时，色散值为 $-60 \sim -35 \text{ps/nm/km}$ ，色散斜率小于 $-0.10 \text{ps/nm}^2/\text{km}$ ，波长 $1.55 \mu\text{m}$ 时传输损失小于 0.35dB/km ，FOM (色散/损失) 大于 120，偏振模式色散小于 $0.15 \text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，有效芯部剖面积大于 $19 \mu\text{m}^2$ ，弯曲直径 20mm 时的弯曲损失小于 5dB/m 。



1. 一种光纤，其特征在于，

具备中心芯部和形成于该中心芯部外侧的第1外侧芯部，

所述中心芯部的比折射率差为1.15~1.40%，

表示所述中心芯部的折射率分布的形状的 α 参数为1.0~5.0，参数 α 以下式定义：

$$n^2\left(\frac{r}{a}\right) = n_1^2 \left[1 - 2 * \frac{n_1 - n_2}{n_1} * \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha \right]$$

其中， $0 \leq \frac{r}{a} \leq 1$ ， r 表示光纤半径方向的位置， n 表示折射率， $n(r/a)$ 表示半径方向位置 r 的折射率， n_1 表示中心芯部的最大折射率，

所述第1外侧芯部层的比折射率差为-0.60~-0.35%，

所述第1外侧芯部的半径 b 与所述中心芯部的半径 a 的比 b/a 为1.6~2.4，

在所述通过中心芯部传输的光波波长为1.55微米的波段时，色散值为-60~-35ps/nm/km，色散斜率为-0.30~-0.10ps/nm²/km，

在通过所述中心芯部传输的光波波长为1.55微米的波段时，传输损失为0~0.35dB/km，对于色散的损失比率，即性能指数FOM是120~500ps/nm/dB，偏振模式色散PMD是0~0.15ps/ \sqrt{km} ，有效芯部剖面面积 A_{eff} 为19~50平方微米，弯曲直径为20mm的弯曲损失是0~5dB/m。

2.根据权利要求1所述的光纤，其特征在于，所述1.55微米波段的波长为1.40~1.65微米的波长区域。

3.根据权利要求1所述的光纤，其特征在于，相对于所述光纤的色散的色散斜率比DPS，即色散/色散斜率DPS为200~400nm。

4.根据权利要求1所述的光纤，其特征在于，通过所述中心芯部传输的光线的波长为1.55微米时，传输损失为0.27dB/km以下，对于色散的传输损失比率FOM为170ps/nm/dB以上。

5.根据权利要求1所述的光纤，其特征在于，通过所述中心芯部传输的光线的波长为1.58微米时，传输损失为0.30dB/km以下，

通过所述中心芯部传输的光线的波长为1.58微米时的传输损失减去通过所述中心芯部传输的光线的波长为1.55微米时的传输损失得到的差值的绝对值

为 0.01dB/km 以下。

6.根据权利要求 1 所述的光纤，其特征在于，还具有形成于所述第 1 外侧芯部层的外侧，比折射率差为 0.05~0.35%，其半径 c 与所述第 1 外侧芯部层的半径 b 之比 c/b 为 1.3~1.7 的第 2 外侧芯部层。

7.根据权利要求 6 所述的光纤，其特征在于，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，有效的芯部剖面面积 A_{eff} 为 23~50 平方微米。

8.一种波分复用传输线路，其特征在于，将 1.31 零色散单模光纤或具有与该单模光纤相似特性的正色散光纤与权利要求 1 所述的光纤相连接，抑制 1.5 微米波段的特定波长的色散。

9.根据权利要求 8 所述的波分复用传输线路，其特征在于，与所述单模光纤相似特性的正色散光纤包含使截止波长向长波长一侧移动的截止移动光纤、采用氟包覆层的纯二氧化硅芯光纤、FF 光纤、有效芯部剖面面积扩大单模光纤。

10.一种光纤，具备中心芯部和形成于该中心芯部外侧的第 1 外侧芯部，所述中心芯部的比折射率差为 0.9~1.4%，

表示所述中心芯部的折射率分布的形状的 α 参数为 1.0~5.0，参数 α 以下式定义：

$$n^2\left(\frac{r}{a}\right) = n_1^2 \left[1 - 2 * \frac{n_1 - n_2}{n_1} * \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha \right]$$

其中， $0 \leq \frac{r}{a} \leq 1$ ， r 表示光纤半径方向的位置， n 表示折射率， $n(r/a)$ 表示半径方向位置 r 的折射率， n_1 表示中心芯部的最大折射率，

所述第 1 外侧芯部层的比折射率差为 -0.60~-0.35%，

所述第 1 外侧芯部的半径 b 与所述中心芯部的半径 a 的比 b/a 为 1.6~2.4，

在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，色散值为 -60~-35ps/nm/km，色散斜率为 -0.30~-0.10ps/nm²/km，

在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，传输损失为 0~0.35dB/km，对于色散的损失比率、即性能指数 FOM 是 120~500ps/nm/dB，偏振模式色散 PMD 是 0~0.15ps/ \sqrt{km} ，有效芯部剖面面积 A_{eff} 为 19~50 平方微米，弯曲直径为 20mm 的弯曲损失是 0~20dB/m。

11.根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，

所述中心芯部的比折射率差为 1.15~1.4%，

弯曲直径为 20mm 的弯曲损失是 0~5dB/m。

12.根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，所述 1.55 微米波段的波长为 1.40~1.65 微米的波长区域。

13. 根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，相对于所述光纤的色散的色散斜率比 DPS，即色散/色散斜率 DPS 为 200—400nm。

14 根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，
通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，传输损失为 0.27dB/km 以下，对于色散的传输损失比率 FOM 为 170ps/nm/dB 以上。

15.根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，
通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时，传输损失为 0.30dB/km 以下，

通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时的传输损失减去通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时的传输损失得到的差值的绝对值为 0.01dB/km 以下。

16.根据权利要求 10 所述的光纤，其特征在于，
还具有形成于所述第 1 外侧芯部层的外侧，比折射率差为 0.05~0.35%，其半径 c 与所述第 1 外侧芯部层的半径 b 之比 c/b 为 1.3~1.7 的第 2 外侧芯部层。

17.根据权利要求 16 所述的光纤，其特征在于，
所述中心芯部的比折射率差为 1.10~1.4%，
弯曲直径为 20mm 的弯曲损失是 0~5dB/m。

18.根据权利要求 16 所述的光纤，其特征在于，
通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，有效的芯部剖面面积 A_{eff} 为 23~50 平方微米。

19. 一种波分复用传输线路，其特征在于，将 1.31 零色散单模光纤或具有与该单模光纤相似特性的正色散光纤与权利要求 10 所述的光纤相连接，抑制 1.5 微米波段的特定波长的色散。

20. 根据权利要求 19 所述的波分复用传输线路，其特征在于，与所述单模光纤相似特性的正色散光纤包含使截止波长向长波长一侧移动的截止移动光纤、采用氟包覆层的纯二氧化硅芯光纤、FF 光纤、有效芯部剖面面积扩大单模光纤。

光纤和波分复用传输线路

技术领域

本发明涉及光纤，尤其是涉及与单模光纤（SMF）连接构成传输线路时能够实现最佳特性的线路用的色散补偿光纤（即 RDF: Reverse Dispersion（optical）Fiber（逆色散光纤））。

特别是本发明涉及波分复用（WDM: Wave Division Multiplexing）传输光纤以及在这种光纤与单模光纤（SMF）连接使用时适于使用的波分复用（WDM）传输线路。

背景技术

近年来，人们强烈要求实现以波分复用（WDM）传输为代表那样的，能够在一条光纤传输线路上长距离传输多个不同的高频率脉冲信号的宽带通信。在这样的宽带通信中，不但有长距离通信要求的传输损耗小，而且有色散小等各种要求。

作为满足这样的要求的一种方法，提出迄今为止广泛使用的把单模光纤（SMF）和色散补偿光纤（DCF）相连接，总体上满足上述要求的构想。

这样的色散补偿光纤（DCF）不是已有的模块型色散补偿型光纤，而是被称为与 SMF 连接作为线路使用的线路用色散补偿光纤（RDF），其实用化正在认真研究之中。

在波长 1.31 微米色散为 0（ps/nm/km）的 1.31 零色散单模光纤（SMF）是非线性、传输损耗、偏振模式色散（PMD）等特性方面极为优异的线路（光纤），但是由于在波长为 1.55 μm 的波段上有着很大的正色散值和正色散斜度（也称为“色散斜率”，表示色散的变化与波长变化之比），所以只用 SMF 很难长距离无色散地传输波长为 1.55 μm 的光信号。因此，仅使用 SMF 是很难实现波分复用（WDM）的。因此色散的补偿是必要的。

在这里，一边谋求利用 1.31 零色散 SMF 的特性的优点，一边在与模块型的 SMF 连接时对色散进行补偿，使得在 1.55 μm 频宽上能够进行传输的色散补偿光纤（DCF）的研究和实用化正在努力进行。

作为这样的色散补偿光纤（DCF），研究出有例如，为了补偿 1.31 零色散单模光纤（SMF）具有的的正色散，在与 SMF 连接时，通过将中心芯部的比折射率差提高 2.0% 以上来获得很大的负色散，从而达到在与 SMF 连接时总体上有良好的性能指数（FOM; Figure of Merit），色散与传输损失之比（色散/传输损失），例如 FOM 值达到 200ps/nm/dB 程度的色散补偿光纤（DCF）。

此外，同时补偿色散斜率的斜率补偿型色散补偿光纤用于波分复用（WDM）传输是引人注目的。这样的斜率补偿型色散补偿光纤（DCF），不仅对性能指数（FOM）的控制，而且对色散斜率的控制也变得重要了。

在将 1.31 零色散单模光纤（SMF）与上述色散补偿光纤（DCF）加以连接时，色散补偿性能用下面公式定义的补偿率 CR 来描述则很容易理解。

$$\text{补偿率}(\%) = [(\text{斜率}_{\text{DCF}} / \text{斜率}_{\text{SMF}}) / (\text{色散}_{\text{DCF}} / \text{色散}_{\text{SMF}})] \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

在公式 1 中，记号“斜率_{DCF}”表示色散补偿光纤（DCF）的色散斜率（ps/nm²/km），记号“斜率_{SMF}”表示单模光纤（SMF），例如 1.31 零色散 SMF 的色散斜率（ps/nm²/km），记号“色散_{DCF}”表示色散补偿光纤的色散（ps/nm/km），记号“色散_{SMF}”表示 1.31 零色散 SMF 的色散（ps/nm/km）。

公式 1 中的补偿率 CR 越是接近 100%，宽带零色散越是可能。换句话说，这意味着色散补偿光纤（DCF）的 DPS 越是接近于单模光纤的 DPS，在宽带中进行补偿越是可能。

标记“DPS”是“单位斜率的色散”的缩写，表示色散斜率与色散的之比，即色散/色散斜率（nm）。

日本特开平 8-136758 号公报提出了这样的模块型色散补偿光纤（DCF）的最佳设计。

然而，在日本特开平 8-136758 号公报中公开的那样的光纤，是迄今为止以缩短尺寸为目标的模块型色散补偿光纤（DCF），其有效芯部剖面积 A_{eff} 通常为 18μm² 或更小，而且比折射率差很高。因此，非线性现象很容易发生。此外，这样的模块型色散补偿光纤（DCF）传输损失和偏振模式色散（PMD）值也很大。

因此，为了实现作为本发明的主题的波分复用传输，日本特开平 8-136758 号公报中公开的那样的模块型 DCF 不适于与单模光纤（SMF）、例如 1.31 零色散 SMF 连接。

最近，作为新的研究，在文献 ECOC '97, vol.1, p.127 发表了通过将单模光纤（SMF）与具有逆色散特性的线路型色散补偿光纤（RDF）加以连接以补偿色

散的方法。

但是，这样的线路型色散补偿光纤（RDF）的色散值仅仅为 $-15 \sim -30$ ps/nm/km。在与SMF连接时，设想以SMF和RDF的长度比约为1:1来构建线路。但即使将有这样的色散值的RDF与SMF联接，也不能实现作为本发明的主题的性能。

具有能够与单模光纤（SMF）的正色散值相互补偿的色散值的线路型色散补偿光纤（RDF）很受人注意，但是迄今为止还没有出现关于能够满足这样的要求的包括色散值、色散斜率、非线性、传输损失、偏振模式色散（PMD）的最佳特性和最佳设计的报告。

本发明的研究认为，这样的线路型的色散补偿光纤（RDF）中，由于RDF占线路的大约一半，有比较大的功率在RDF中长距离传输，其结果是，产生了非线性现象的问题。

在将单模光纤（SMF）与线路型色散补偿光纤（RDF）连接的情况下，RDF的色散绝对值大的一方能够与条长更长的低非线性的SMF连接，由于可以加大SMF与RDF的长度比（条长比），因此，在将SMF与RDF连接的情况下能够降低总的线路的非线性，这是有益的性能。

在这里，将具有已有的色散补偿光纤（DCF）那样的大色散值、例如 -60 (ps/nm/km)以下的色散值的光纤与单模光纤（SMF）连接构成线路进行了试验，如上所述在传输损失和偏振模式色散(PDM)等上存在着问题。

例如已有的色散补偿光纤（DCF）在1.55微米的波长区域的传输损失大于 0.4 dB/km，偏振模式色散（PMD）大于 0.2 (ps/ \sqrt{km})。而且还存在可能由于色散的累积导致波形畸变增大的缺点。

将这样的已有的色散补偿光纤（DCF）作为与单模光纤（SMF）连接的光纤（线路）使用从现实上看来是很困难的。

发明内容

本发明的目的在于提供在单模光纤（SMF）与例如1.31零色散SMF连接使用时能够满足各种特性，发挥合适的性能的线路型色散补偿光纤（RDF）。

本发明的另一目的在于，提供能够把单模光纤（SMF）、例如1.31零色散SMF与那样的合适的线路型色散补偿光纤（RDF）加以连接，实现波分复用传输、宽带复用传输等的光纤传输线路。

本发明提出具有光纤传输用的在光波波长为1.55微米的波段的色散值为 $-$

60~-35 (ps/nm/km) 和色散斜率为-0.10 (ps/nm²/km) 以下的新型的线路型色散补偿光纤 (RDF)。

本发明选择非线性型和在损失上有利的色散值即-60~-35 (ps/nm/km)，求得线路型色散补偿光纤 (RDF) 的最佳设计。其结果是，通过使用中心芯部的比折射率差为 1.2~1.4%，表示中心芯部的折射率分布的形状的 α 常数为 1.0~5.0，外侧芯部 (side core) 的比折射率差为-0.60~-0.35%，外侧芯部的半径 b 与中心芯部的半径 a 之比 (径比) 为 1.6~2.4 倍的形状 (剖面) 的光纤，使有效芯部剖面积 A_{eff} 为 $19 \mu\text{m}^2$ 以上，能够实现传输损失小于 0.27 (dB/km) 的低损失，小于 $0.15 (\text{ps}/\sqrt{\text{km}})$ 的低 PMD (偏振模式色散)、以 20mm 直径弯曲时损失小于 5 (dB/m) 的具有低弯曲损失特性的线路型色散补偿光纤 (RDF)。又可以了解到，以在中心芯部外围附加第 2 外侧芯部层的结构，可以使中心芯部、第 1 外侧芯部层、以及第 2 外侧芯部层的比折射率差和外侧芯部层的径比等实现最佳化，以此可以将有效芯部剖面积 A_{eff} 扩大到 $23 \mu\text{m}^2$ 以上。

所谓有效芯部剖面积 A_{eff} 意味着 LP_{01} 模式的有效的传输区域，以 $E(r)$ 表示光纤中的电场分布时，由下式定义：

$$A_{\text{eff}} = \frac{2\pi \left[\int_0^{\infty} E(r)^2 r dr \right]^2}{\int_0^{\infty} E(r)^4 r dr} \dots\dots (2)$$

其中，r 表示光纤的半径方向的位置。

本发明的第 1 种能够提供具有以下特征的光纤，即中心芯部和形成于该中心芯部外侧的第 1 外侧芯部层，所述中心芯部的比折射率差为 1.15~1.40 (%)，表示中心芯部的折射率分布的形状的 α 常数为 1.0~5.0，所述第 1 外侧芯部层的比折射率差为-0.60~-0.35 (%)，所述第 1 外侧芯部层的半径 (b) 与所述中心芯部的半径 (a) 的比 (b/a) 为 1.6~2.4，在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，色散值为-60~-35 (ps/nm/km)，色散斜率为-4.0~-0.10 (ps/nm²/km)，在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，传输损失为 0~0.35 (dB/km)，对于色散的损失比率 (性能指数 (FOM: Figure of Merit)、色散/损失是 120~500 ((ps/nm)/dB)，偏振模式色散 (PMD) 是 $0 \sim 0.15 (\text{ps}/\sqrt{\text{km}})$ ，有效芯部剖面积 (A_{eff}) 为 19~50 平方微

米，曲率直径为 20mm 的弯曲损失是 0~5 (dB/m)。

最好，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，传输损失为 0.27dB/km 以下，对于色散的传输损失比率 FOM 为 170ps/nm/dB 以上。

最好，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时，传输损失为 0.30dB/km 以下，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时的传输损失减去通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时的传输损失得到的差值的绝对值为 0.01dB/km 以下。

本发明的第 2 种能够提供具有以下特征的光纤，即具备中心芯部和形成于该中心芯部外侧的第 1 外侧芯部层，所述中心芯部的比折射率差为 0.9~1.4(%)，表示所述中心芯部的折射率分布的形状的 α 常数为 1.0~5.0，所述第 1 外侧芯部层的比折射率差为 -0.65~-0.35(%)，所述第 1 外侧芯部层的半径 b 与所述中心芯部的半径 a 的比 b/a 为 1.6~2.4，在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，色散值为 -60~-35(ps/nm/km)，色散斜率为 -4.0~-0.05(ps/nm²/km)，在通过所述中心芯部传输的光波波长为 1.55 微米的波段时，传输损失为 0~0.35dB/km，对于色散的损失比率(性能指数(FOM))是 120~500((ps/nm)/dB)，偏振模式色散 PMD 是 0~0.15ps/ \sqrt{km} ，有效芯部剖面积 A_{eff} 为 19~50 平方微米，曲率直径为 20mm 的弯曲损失是 0~20 (dB/m)。

所述 1.55 微米波段的波长为 1.40~1.65 微米的波长区域。上述光纤在通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，有效的芯部剖面积 A_{eff} 为 23~50 平方微米。

最好，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时，传输损失为 0.27dB/km 以下，对于色散的传输损失比率 FOM 为 170ps/nm/dB 以上。

最好，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时，传输损失为 0.30dB/km 以下，通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.58 微米时的传输损失减去通过所述中心芯部传输的光线的波长为 1.55 微米时的传输损失得到的差值的绝对值为 0.01dB/km 以下。

本发明的第 3 种是具有以下特征的光纤，即还具有形成于所述第 1 外侧芯部层的外侧，比折射率差为 0.05~0.35%，其半径 c 与所述第 1 外侧芯部的半径 b 之比 c/b 为 1.3~1.7 的第 2 外侧芯部层。

最好，所述中心芯部的比折射率差为 1.10~1.4%，弯曲直径为 20mm 的弯曲损失是 0~5dB/m。

本发明的第 4 种能够提供具有以下特征的波分复用传输线路，即将 1.31 零色散单模光纤或具有与该单模光纤(SMF)相似特性的正色散光纤与上述第 1~第 3 种发明的光纤相连接，将 1.5 微米波段的特定波长的色散抑制于低色散范

围。

附图概述

本发明的上述目的和特征以及其他目的和特征从下述利用附图进行的描述能够得到进一步了解。

图 1(A)、(B)是对本发明的光纤的第 1 实施形态,即具有 W 形折射率曲线形状的线路型色散补偿光纤(RDF)的图解。图 1(A)是本发明第 1 实施形态的 RDF 的剖面图,图 1(B)是图解于图 1(A)的 RDF 的折射率分布的图解图。

图 2 是在图 1(B)图解的光纤中,中心芯部的比折射率差、对于单模光纤(SMF)的色散补偿率以及传输损失的调查结果的曲线图。

图 3(A)、(B)是对本发明的光纤的第 2 实施形态,即具有 W 形+外侧芯部的折射率曲线形状的线路型色散补偿光纤(RDF)的图解。图 3(A)是本发明第 2 实施形态的 RDF 的剖面图,图 3(B)是图解于图 3(A)的 RDF 的折射率分布的图解图。

图 4(A)是单模光纤(SMF)与线路型色散补偿光纤(RDF)以 1 比 1 连接的基本结构的图解。图 4(B)是图解于图 4(A)的 SMF 与 RDF 的多个单元线路连接的情况下的结构图。

图 5 是本发明的实施形态的线路型色散补偿光纤(RDF)的波长损失特性的图解曲线。

具体实施形态

下面参照图 1~图 5 对本发明的光纤的实施形态进行叙述。

第 1 实施形态

图 1(A)是本发明第 1 实施形态的线路型色散补偿光纤(RDF)的剖面图,图 1(B)是图解于图 1(A)的 RDF 的折射率分布的图解图。

本发明第 1 实施形态的线路型色散补偿光纤(RDF)1 是进行波分复用传输等情况下与单模光纤(SMF)连接构成传输线路用的合适的光纤。

图 1(A)图解的线路型色散补偿光纤(RDF)1 具有中心芯部 11、形成于其外围的外侧芯部层(或 depressed layer)12、以及形成于外侧芯部层 12 的外围的包覆层 13。

如图 1(B)所示,中心芯部 11 比折射率差为 $\Delta 1$,外侧芯部层 12 的比折射率差为 $\Delta 2$,折射率分布为 W 形。

中心芯部 11 的折射率分布（或比折射率差分布）的轮廓形状以参数 α 表示。

参数 α 以式(3)定义：

$$n^2\left(\frac{r}{a}\right) = n_1^2 \left[1 - 2 * \frac{n_1 - n_2}{n_1} * \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha \right] \quad \dots\dots(3)$$

其中， $0 \leq \frac{r}{a} \leq 1$ ， a 表示中心芯部的半径， n_1 表示中心芯部的最大折射率， n_2 表示包覆层的折射率。

以 $2a$ 表示中心芯部 11 的直径，以 $2b$ 表示外侧芯部层 12 的直径。将外侧芯部层 12 的直径与中心芯部 11 的直径之比 b/a 称为径比（或称为“径倍率”）。

如图 1(A)、(B)所示，在中心芯部 11 的外围具有外侧芯部 12 的、具有以 W 型为基础的比折射率差（或折射率）轮廓形状的线路型色散补偿光纤（RDF）具有高色散补偿性能，而且结构简单，因此具有比较容易制作的优点。

本发明人求出了将这样的 RDF 与单模光纤（SMF）、例如传输波长为 1.31 微米的光线时色散为零的 1.31 色散 SMF 连接、使用于波分复用（WDM）传输等情况下的 RDF 的最佳条件。该最佳条件记述如下。

表 1

	色散	斜率	Aeff	DPS	λ_c	弯曲损失
	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	nm	dB/m
SMF	16.5	0.060	75	260	1250	1.0

基本条件

(1)线路型色散补偿光纤（RDF）的色散绝对值务必做得比较大。其理由是，如果色散绝对值大，则在与单模光纤（SMF）连接时能够对色散进行充分补偿。尤其是能够与大正色散的单模光纤（SMF）连接。而且，如上所述，色散绝对值大有各种优点。

(2)作为补偿率的指标的色散与色散斜率之比（色散/色散斜率、DPS）应该良好。作为目标，最好是 DPS 与单模光纤（SMF）的 DPS 大致相同，在 200~400nm 范围。因为这样一来，将 SMF 与 RDF 连接时补偿率会接近 100%，能够得到理想的补偿率。

(3)有效芯部剖面积 Aeff 应该比已有的色散补偿光纤（DCF）的有效芯部剖面积 Aeff 大。例如线路型色散补偿光纤（RDF）的色散补偿光纤（DCF）应该

是大于 $19 \mu\text{m}^2$ 。在已有的模块中使用的 DCF 的 A_{eff} 小于 $19 \mu\text{m}^2$ ，但是那在非线形方面不理想。

还有，有效芯部剖面面积 A_{eff} 的最大值最好是实质上与作为连接对象的 SMF 的有效芯部剖面面积 A_{eff} 同值。在本实施形态中，1.31 零色散 SMF 的有效芯部剖面面积 A_{eff} 为 $50 \sim 19 \mu\text{m}^2$ 。最好是有效芯部剖面面积 A_{eff} 大，但是如果大于 $50 \mu\text{m}^2$ ，则弯曲损失就会变得特别大。因此有效芯部剖面面积 A_{eff} 最好是在这样的范围内。

根据上述条件(1)和(2)，使 $1.55 \mu\text{m}$ 波段的线路型色散补偿光纤 (RDF) 的色散值小于 -35ps/nm/km ，色散斜率值小于 $-0.10(\text{ps/nm}^2/\text{km})$ 。

色散值的范围为 $-35 \sim -60 (\text{ps/nm/km})$ 。

色散斜率值为 $-0.30 \sim -0.10 (\text{ps/nm}^2/\text{km})$ 。

在这样的色散值和色散斜率值的情况下，与 SMF 连接时能够维持式 1 所示的补偿率于高补偿率。

补偿率最好是在 $100\% \sim 85\%$ 的范围。

通常，在以 W 型为基础的轮廓中，如果加大中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ ，就能够使色散绝对值增大。

在这里，本发明人为了使色散增大到比在记载着中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 为 1.1% 左右的 ECOC '97,vol.1,p.127 发表的线路型色散补偿光纤 (RDF) 更大，将中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 定为 1.15% 以上。还有，为了完全消除弯曲损失的影响，最好是使比折射率差 $\Delta 1$ 大于 1.20% 。

可以确认，作为设计的结果，用这样的方法能够得到色散值小于 $-35(\text{ps/nm/km})$ 的线路型色散补偿光纤 (RDF)。

又可以了解到，在中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 小于 1.15% 的情况下，如果要使色散小于 $-35(\text{ps/nm/km})$ ，弯曲损失或色散补偿率将受到损失。

在这个意义上，如果提高中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ ，则能够得到良好的（绝对值大的）色散特性，但是如果加大比折射率差 $\Delta 1$ ，则会遭遇到传输损失和偏振模式色散 (PDM) 变大的麻烦。一旦增大比折射率差 $\Delta 1$ ，增大补偿率也将变得困难。

将这样的关系的分析结果示于图 2。

图 2 是表示在图 1(B)图解的光纤 1 中，中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 、对于单模光纤 (SMF) 的色散补偿率以及传输损失的调查结果的曲线图。在该调

查结果中，W型轮廓的其他参数固定不变。

在图2中，曲线 CV_{CR} 表示色散补偿率的变化，曲线 CV_L 表示传输损失的变化。

从图2所示的曲线可知，如果提高中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ ，则色散补偿率下降，传输损失增大。因此中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 不能够无条件加大。

根据上述观点，作为合适的比折射率差 $\Delta 1$ 的范围，也就是作为传输损失缓慢上升的区域而且能够在某种程度上维持高补偿率的区域，将中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 定为1.15%以上、1.40%以下。从图2可知，这时的补偿率高达约100%~97%。

这样一来，与中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 密切相关的偏振模式色散(PMD)的值也可望抑制于例如 $0.15 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下的较小的值。

作为一个例子，将中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 设定为1.30%，将表示中心芯部11的折射率分布的形状的常数 α 、外侧芯部层12的比折射率差 $\Delta 2$ 、中心芯部11的直径 $2a$ 与外侧芯部层12的直径 $2b$ 之比 b/a 作为变数对特性变化进行研究。其结果示于表2。

表2
改变 b/a 时的模拟结果

b/a	色散	斜率	DPS	A_{eff}	λ_c
	$\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$	$\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$	nm	μm^2	nm
1.70	-44.1	-0.071	623	22.4	788
1.75	-43.0	-0.091	470	21.5	793
1.80	-41.8	-0.109	385	20.8	797
1.85	-40.6	-0.119	340	20.3	802
1.90	-37.3	-0.115	325	19.7	807
1.95	-34.2	-0.098	348	19.0	813
2.00	-30.5	-0.077	397	18.6	820

$$\alpha = 2.0, \Delta 2 = -0.50\%$$

表2表示例如 α 为2.0，外侧芯部层12的比折射率差 $\Delta 2$ 为-0.50%时的，相对于中心芯部11的半径 a 与外侧芯部层12的半径 b 之比 b/a ，色散、色散斜率、DPS、有效芯部剖面积 A_{eff} 、截止波长 λ_c 等特性的变化的例子。

中心芯部 11 的直径调整为使弯曲损失为一定值的大小。

从表 2 所示的结果可知, 径比 b/a 如果接近 1.70, 则色散斜率大于 $-0.10(\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km})$, DPS 大于 $400(\text{nm})$, 因此偏离单模光纤的 DPS, 所以由式 1 可知, 提高补偿率 CR 变得困难, 其实用化将变得严峻。

一旦径比 (b/a) 接近 2.00, 色散值达到 $-30(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$, 色散值的绝对值变成作为目标值的 $35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$ 。而且有效芯部剖面面积 A_{eff} 也小于 $19 \mu\text{m}^2$ 。可知一旦直径比 b/a 这样变大, 则色散值和补偿率等色散特性方面和有效芯部剖面面积 A_{eff} 方面要发生问题。

根据上述考察可知, 在这样的轮廓范围, 直径比 b/a 的最佳值是 $1.80 \sim 1.90$ 。

以这样的方法使各参数最佳化。而且在改变中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 的同时实施该最佳化。

其结果是, 中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 为 $1.10 \sim 1.4\%$, 最好是 $\Delta 1$ 为 $1.2 \sim 1.4\%$, α 为 $1.5 \sim 5.0$, 外侧芯部层 12 的比折射率差 $\Delta 2$ 为 $-0.6 \sim -3.5\%$, 径比 b/a 在 $1.6 \sim 2.4$ 范围内时, 色散为 $-60 \sim -35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$, DPS 在 $200 \sim 400\text{nm}$ 的范围内, 补偿率高, 有效芯部剖面面积 A_{eff} 为 $19 \mu\text{m}^2$ 以上 (具体地说, 在 $19 \sim 50 \mu\text{m}^2$ 的范围内), 可知能够实现低弯曲损失特性的线路型色散补偿光纤 (RDF)。

还由于曲率直径 20mm 的弯曲损失设定为较小的 $3\text{dB}/\text{km}$ 进行设计, 可以期望能够抑制在长波长的一侧传输损失的增加。

在 α 小于 1.0 的情况下, 即使是把其他参数最佳化, 弯曲损失也大于 $3\text{dB}/\text{m}$, 在使 α 大于 5.0 的情况下, DPS 变成 400nm 以上, 补偿率下降。

使比折射率差 $\Delta 2$ 下降到 -0.60% 以下则弯曲损失增大, 而使比折射率差 $\Delta 2$ 大于 -0.35% 则补偿率低下。

在径比 (径倍率) b/a 小于 1.6 时, 色散绝对值大于 $35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$, 有效芯部剖面面积 A_{eff} 也大于 $22 \mu\text{m}^2$, 但是 DPS 也达到 60nm , 偏离 SMF 的 DPS 很远, 补偿率下降。另一方面, 在大于 2.0 时, 色散绝对值不足, 小于 $35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$, DPS 小于 400nm , 有效芯部剖面面积 A_{eff} 也小于 $19 \mu\text{m}^2$, 可知不能够同时满足必要条件。因此, 径比 b/a 的最佳范围是约 $1.8 \sim 1.9$ 。还有, 作为径比 b/a 的允许偏差范围, 可以选定为上述最佳范围的 25%, 即 $1.6 \sim 2.4$ 。

第 2 实施形态

如上所述, 采用上述第 1 实施形态, 对 W 型的轮廓进行最佳化, 能够实现

比已有的色散补偿光纤（DCF）有效芯部剖面积 A_{eff} 扩大到 $19 \mu\text{m}^2$ 以上的线路型色散补偿光纤（RDF）。但即使是直径比 b/a 为 1.70，有效芯部剖面积 A_{eff} 扩大，也只是 $22 \mu\text{m}^2$ 左右，还希望能够进一步扩大有效芯部剖面积 A_{eff} 。

下面参照图 3(A)、(B)对实现更大的有效芯部剖面积 A_{eff} 的第 2 实施形态加以说明。

图 3(A)所示的光纤 1A 在图 1(A)所示的外侧芯部层 12 与包覆层 13 之间附加第 2 外侧芯部层 14。下面称外侧芯部层 12 为第 1 外侧芯部层 12。光纤 1A 的中心芯部 11 与图 1(A)所示的中心芯部 11 实质上相同。

如图 3(B)的折射率分布轮廓所示，该光纤 1A 的折射率的轮廓由于添加了第 2 外侧芯部层 14，变成（W+外侧芯部）型的轮廓。

下面对该光纤 1A 探讨有效芯部剖面积 A_{eff} 扩大的问题。

本发明人在以 $2a$ 表示中心芯部 11 的直径，以 $\Delta 1$ 表示中心芯部 11 的比折射率差， $2b$ 表示第 1 外侧芯部层 12 的直径，以 $\Delta 2$ 表示第 1 外侧芯部层 12 的比折射率差，以 $2c$ 表示第 2 外侧芯部层 14 的直径，以 $\Delta 3$ 表示第 2 外侧芯部层 14 的比折射率差的情况下，利用使这些参数的组合最佳化的方法探讨扩大有效芯部剖面积 A_{eff} 的方法。

下面对基本上如上所述实现最佳化的 W 型轮廓的外侧附加第 2 外侧芯部层的情况下的特性变化进行研究，

作为一个例子，在中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 为 1.25%， α 为 2.0，第 1 外侧芯部层 12 的比折射率差 $\Delta 2$ 为 -0.50%，第 1 径比 $a:b=0.5:1.0$ ($b/a=2.0$) 的情况下，附加第 2 外侧芯部层 14 引起的特性变化的模拟结果示于表 3。

表 3
改变外侧芯部层时的模拟结果

$\Delta 3$	c/b	色散	斜率	DPS	Aeff	λ_c
%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm	μm^2	nm
0	0	-30.1	-0.071	380	20.5	813
0.15	1.50	-43.0	-0.148	298	22.5	1256
0.20		-47.1	-0.144	348	23.0	1391
0.25		-49.6	-0.135	368	23.6	1516
0.30		-53.3	-0.142	397	24.1	1629
0.15	1.40	-40.6	-0.142	286	22.0	1173
0.20		-44.3	-0.131	339	22.8	1231
0.25		-47.4	-0.132	360	23.2	1390
0.30		-51.6	-0.133	388	23.8	1532
0.15	1.60	-46.3	-0.152	305	23.0	1426
0.20		-50.4	-0.142	355	23.4	1548
0.25		-52.2	-0.140	372	23.9	1610
0.30		-55.1	-0.135	409	24.4	1669
0.15	1.30	-37.4	-0.138	271	21.6	1097
0.20		-39.9	-0.123	324	22.7	1146
0.25		-45.1	-0.127	355	23.1	1298
0.30		-49.6	-0.130	382	23.4	1476
0.15	1.70	-51.4	-0.160	321	23.6	1515
0.20		-53.6	-0.150	357	23.8	1639
0.25		-56.8	-0.146	389	24.3	1702
0.30		-59.0	-0.143	413	24.7	1776

从表 3 的结果可知，利用附加第 2 外侧芯部层 14 的方法，能够得到色散绝对值、DPS（换句话说，也就是补偿率）、有效芯部剖面积 Aeff 等特性良好的光纤。

也就是说，表 3 例示的色散绝对值比表 2 所示的色散绝对值大，达到 35(ps/nm/km)以上，DPS 也大约在 300~400nm 的范围内，有效芯部剖面积 Aeff 也在 20~24 μm^2 的范围内，特别是第 2 实施形态的有效芯部剖面积 Aeff 比表 2 所示的第 1 实施形态的有效芯部剖面积 Aeff 大。由于弯曲损失不是一定值，反之如果色散补偿和有效芯部剖面积 Aeff 放宽，则可以把弯曲损失抑制于较小的数值。

但是如果第 2 外侧芯部层 14 过分扩大（如果第 2 直径比 c/b 的数值变大），或第 2 外侧芯部层 14 的比折射率差 $\Delta 3$ 过大，则截止波长 λ_c 变大，与单模光

纤连接时的补偿率（式1）也逐渐变坏。

这样试行各种设计，其结果表明，在当前的轮廓范围，维持其他特性不变，能够得到有效芯部剖面面积 A_{eff} 大于 $23 \mu\text{m}^2$ 的结果的第2外侧芯部层14，参照表3例示的结果，比折射率差 $\Delta 3$ 为0.05（ c/b 大的时候） \sim 0.35%（ c/b 小的时候），第2径比 c/b 为1.3 \sim 1.7。

第3实施形态

对本发明的光纤进一步试行适合光纤的使用形态的光纤最佳化。

最近，利用光纤的光缆化工程的最佳化等，验证了光纤即使弯曲损失稍大一些也能够实际使用。

特别是只使用C波段的情况等，即使光纤的弯曲损失稍大，也有偏重色散补偿率和传输损失，希望减小中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 的情况。在外侧芯部型光纤中，即使进一步减小中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 也能够抑制弯曲损失。

但是，如果中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 小于0.9%，则弯曲损失达到20dB/m以上，超出了光纤的可使用范围。因此可知中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 应该大于0.9%。

还了解到，通常为了满足作为光纤光缆化的指标使用的弯曲直径20mm时弯曲损失小于10dB/m的条件，中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 应该大于1.0%。

这样，还可以了解到，中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 应该适应使用的光波的波段和光纤光缆化的条件进行适当的选择。但是，也了解到，作为基本条件，中心芯部11的比折射率差 $\Delta 1$ 应该在0.9 \sim 1.4%的范围内。关于1.4%的根据在上面已经进行了说明。

上面所述事项可以适用于具有图1(A)、(B)和图3(A)、(B)所示结构的两种光纤。

采用后述实施例，能够实现在波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的波段具有 $-60 \sim -35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$ 的色散值和 $-0.05(\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km})$ 的色散斜率的线路型色散补偿光纤（RDF）。

第4实施形态

使用这种线路型色散补偿光纤（RDF）的系统的例子示于图4(A)、(B)。

图4(A)表示一根单模光纤（SMF）与一根线路型色散补偿光纤（RDF）连接作为单位传输线路的基本结构。

图 4(B)表示将多个由图 4(A)所示的 SMF 与 RDF 的单位线路连接起来的情况下的结构图。记号 TX 表示光信号发送装置, RX 表示光信号接收装置, EDFA 表示放大器。

将单模光纤 (SMF) 与线路型色散补偿光纤 (RDF) 的长度 11、12 适当调整, 可以得到波分复用 (WDM) 传输用的平坦的色散特性。

由于最初信号光是射入非线性较小 (也就是线性良好) 的 SMF, 所以也能够抑制非线性现象。

又, 也可以使用在 $1.55\ \mu\text{m}$ 具有大的正色散的其他光纤代替作为单模光纤 (SMF) 的例子叙述的 1.31 零色散 SMF。作为这样的光纤, 可以使用例如(1)使截止波长向长波长侧移动的 CSF (截止移动光纤; Cutoff Shifted optical-fiber) 采用氟包覆层的纯二氧化硅芯光纤、或 FF 光纤 (Fully fluoride doped optical fiber)。又可以使用日本特开平 11-364609 号公报等所述的有效芯部面积扩大型单模光纤 (SMF)。

除了单模光纤 (SMF) 以外的这样的正色散光纤的特性的例子示于表 4。

表 4
与 SMF 类似的正色散光纤

SMF的种类	损失	色散	斜率	Aeff	λ_c	$\phi 20$ 的弯曲	DPS
	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m	nm
CSF	0.19	18.5	0.060	80.0	1500	1.0	310
FF	0.18	20.0	0.060	77.0	1500	1.0	330
	0.19	15.0	0.065	100.0	1500	5.0	230

如表 4 所示, 作为取代单模光纤 (SMF) 的光纤, 例如色散为 $10\sim 25$ (ps/nm/km) 左右的正色散光纤是合适的。其理由是, 如果色散小于 10 (ps/nm/km), 则也会发生 FWM (四光波混合) 的问题, DPS 值也会变小。另一方面, 色散如果大于 25 (ps/nm/km), 则正色散光纤的条长比变短, 即使特地加大线路型色散补偿光纤 (RDF) 的色散也没有意义。

如上所述, 本发明人研制出了能够作为线路使用的新型的线路型色散补偿光纤 (RDF)。

RDF 的低非线性 (高线性)、低传输损失、低 PMD 特性是作为波分复用 (WDM) 传输线路的最佳特性。

又，这种线路型色散补偿光纤（RDF）是将来能够进行波分复用（WDM）传输的光纤，通过完成其能够实现的轮廓，能够方便地制造适用于高速大容量传输的光纤。

实施例

下面利用实施例确认本发明的有效性。参考模拟结果试制光纤。其结果示于表 5～表 8。

表 5～表 8 的各参数取接近模拟求得的最佳值的数值，中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 取较小的数值以降低损失和降低 PMD。

第 1 实施例

第 1 实施例是与参照图 1(A)、(B)叙述的第 1 实施形态的线路型色散补偿光纤（RDF）的实施例。

第 1 实施例的单模光纤（SMF）与色散补偿光纤（DCF）的尺寸如下所述。

SMF 的芯部直径为 $10\ \mu\text{m}$ ，包覆层直径为 $125\ \mu\text{m}$ 。

DCF 的芯部直径（有效芯部剖面积 A_{eff} ）的数值如表 6、8 所示，包覆层直径为 $125\ \mu\text{m}$ 。

表 5 是与参照图 1(A)、(B)所述的光纤有关的补偿率高的 W 型线路型色散补偿光纤（RDF）的实施例的结果。

以模拟结果为依据选择表 5 中的两种轮廓。根据表 5 所示的结果可以希望能够得到低非线性（高线性）、高补偿率的线路型色散补偿光纤（RDF）特性。

表 5

模拟中补偿率高的 RDF 的轮廓

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	b/a	芯部直径	色散	DPS	A_{eff}	λ_c	$\phi 20$ 的弯曲
%		%		μm	ps/nm/km	nm	μm^2	nm	dB/m
1.25	2.0	-0.55	1.8	8.1	-39.2	335	21.4	816	3.0
1.35	2.5	-0.59	1.7	7.7	-46.4	315	20.2	811	1.0

以接近上述轮廓的轮廓试制了几种光纤。试制的 W 型线路型色散补偿光纤（RDF）的特性示于表 6。

表 6

试制结果

No.	$\Delta 1$	损失	色散	DPS	Aeff	λc	$\phi 20$ 的弯曲	PMD	FOM
	%	dB/km	ps/nm/km	nm	μm^2	nm	dB/m	ps/ \sqrt{km}	ps/nm/dB
01	1.25	0.255	-37.3	324	21.2	829	3.5	0.06	146
02	1.25	0.256	-39.3	304	20.9	832	4.0	0.07	154
03	1.35	0.267	-45.4	310	20.2	821	1.6	0.09	170
04	1.35	0.274	-53.2	315	20.0	829	2.0	0.11	194

根据表 6 的结果，线路型色散补偿光纤（RDF）利用使色散值维持比较大的一35~−55(ps/nm/km)左右的数值，同时得到高补偿率（适当的 DPS），以期待在与单模光纤（SMF）连接时在较宽的波长范围能够实现低色散。而且能够把损失也抑制于低水平。还有，有效芯部剖面积 Aeff 也达到 $20.0 \mu m^2$ 以上，与已有的色散补偿光纤（DCF）相比有所扩大。而且由于中心芯部 11 的比折射率差 $\Delta 1$ 相对较小，实现了低非线性。PMD、弯曲损失等其他数值也非常良好。

传输损失也小于 0.27dB/km，比目标值 0.35dB/km 小。还有，由于弯曲损失也比较小，只有 4dB/m，所以长波长一侧(L-波段)的传输损失也小于 0.35dB/km，得到了波长 1580nm 的传输损失的代表性数值 0.30dB/km 以下。

性能指数（FOM）、即传输损失与色散的比（色散/传输损失）为 146~194（ps/nm/dB）。由于已有的 RDF 的 FOM 为 100~120（ps/nm/dB），因此可以了解到，本实施例的 FOM 得到改善。FOM 有很大程度的改善。特别是设想本实施例的 RDF 与 SMF 连接使用的情况，如果 FOM 大，即使是在低传输损失时也能够得到相同的色散值。在 FOM 为 170(ps/nm/dB)的本实施例中，在传输损失相同的情况下能够得到好 1.4 倍的良好色散值。

图 5 是上述第 1 实施例的线路型色散补偿光纤（RDF）的波长损失特性的图解曲线。

从图 5 可知，光信号的波长为 1500nm~1600nm，传输损失小于 0.30dB/km。

本发明的光纤的目的是传输 $1.55 \mu m$ 波段的波长为 1400~1650 μm 波长的光线，即使是在这样大范围的波段，也可以证明传输损失是低的。

下面对评价波长为 $1.58 \mu m$ 时的传输损失与波长为 $1.55 \mu m$ 时的传输损失之差的评价根据加以叙述。 $1.55 \mu m$ 波段是 C-波段的中心波长， $1.58 \mu m$ 波段是 C-波段的端部（L-波段的开始）。由于两者的损失差比较小，故具有在 C-波段的平坦的特性得到补偿的 L-波段能够使用的可能性很大的优点。

第 2 实施例

根据上面所述结果，第1实施例的线路型色散补偿光纤（RDF）能够得到比已有的色散补偿光纤（DCF）大的有效芯部剖面积 A_{eff} 。作为对进一步扩大有效芯部剖面积 A_{eff} 的探讨，试制了参照图3(A)、(B)叙述的、附加第2外侧芯部层14，具有（W+外侧芯部型）轮廓的第2实施形态的线路型色散补偿光纤（RDF）。

轮廓使用表7所示的模拟中得到良好结果的轮廓。表7表示对于补偿率高的第2实施形态的（W+外侧芯部型）线路型色散补偿光纤（RDF）的模拟结果的轮廓。

表7

模拟中补偿率高的 RDF 的轮廓

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a:b:c	芯部直径	色散	DPS	A_{eff}	λ_c	ϕ_{20} 的弯曲
%		%	%		μm	ps/nm/km	nm	μm^2	nm	dB/m
1.10	2.0	-0.55	0.29	1:2.0:3.3	15.9	-44.0	338	26.8	1480	3.5
1.20	2.0	-0.50	0.20	1:1.9:2.9	14.2	-44.2	312	24.6	1386	2.0
1.30	2.5	-0.50	0.25	1:2.1:3.2	13.8	-54.4	327	23.2	1357	1.0

以接近上述轮廓的轮廓试制了几种光纤，试制的 W 型线路型色散补偿光纤（RDF）的特性示于表8。表8是对第2实施形态的线路型色散补偿光纤（RDF）进行试制得到的光纤（W+外侧芯部型）的特性表。

表8

试制结果

No.	$\Delta 1$	损失	色散	DPS	A_{eff}	λ_c	ϕ_{20} 的弯曲	PMD	FOM
	%	dB/km	ps/nm/km	nm	μm^2	nm	dB/m	ps/ \sqrt{km}	ps/nm/dB
01	1.10	0.237	-43.0	312	25.9	1445	4.2	0.04	181
02	1.10	0.239	-45.3	277	25.6	1495	3.0	0.05	190
03	1.20	0.250	-43.1	314	25.2	1329	1.5	0.05	172
04	1.20	0.252	-47.3	320	24.9	1432	2.2	0.05	188
05	1.30	0.263	-53.9	315	23.2	1326	3.8	0.07	205
06	1.30	0.270	-57.2	339	23.0	1395	4.2	0.09	212

根据表8可知，有效芯部剖面积 A_{eff} 达到 $23.0 \mu m^2$ 以上，得到了比 W 型结构大的值。FOM 也达到 $170(\text{ps/nm/dB})$ 以上。

其他特性也非常好。而且也确认了如上所述实施的结果也是良好的。

使用本发明的线路型色散补偿光纤（RDF）与单模光纤（SMF）连接，能够构成适用于高速度大容量传输的低非线性的波分复用（WDM）传输线路。

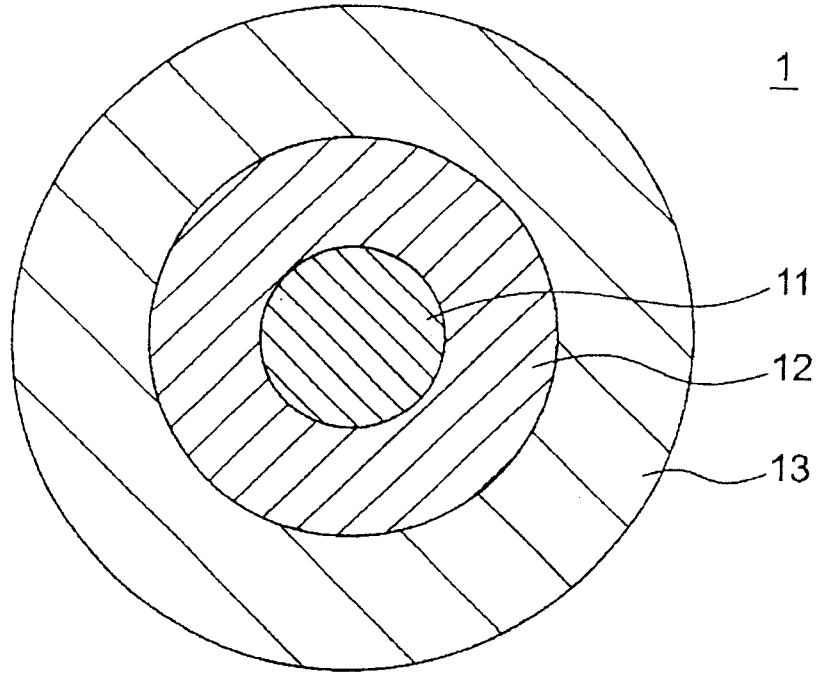


图 1A

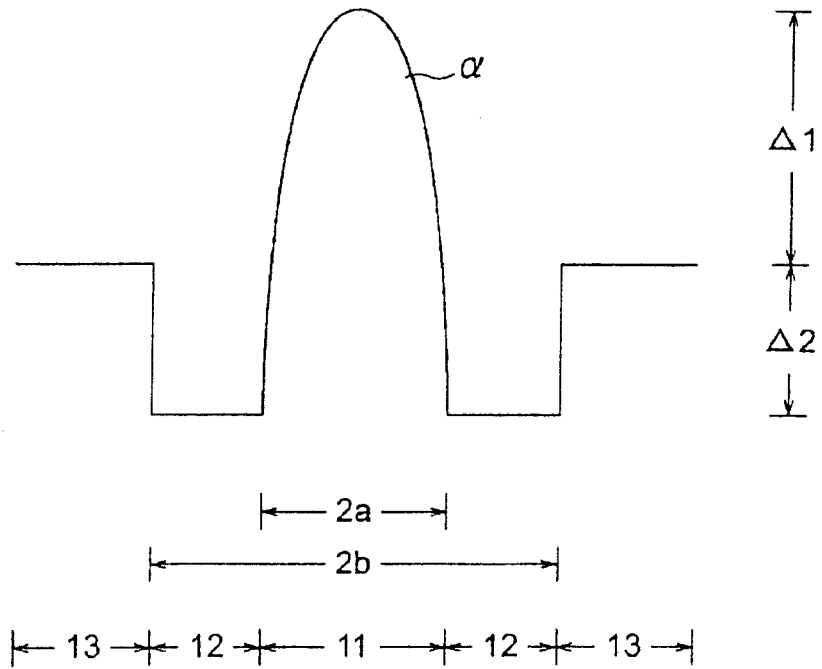


图 1B

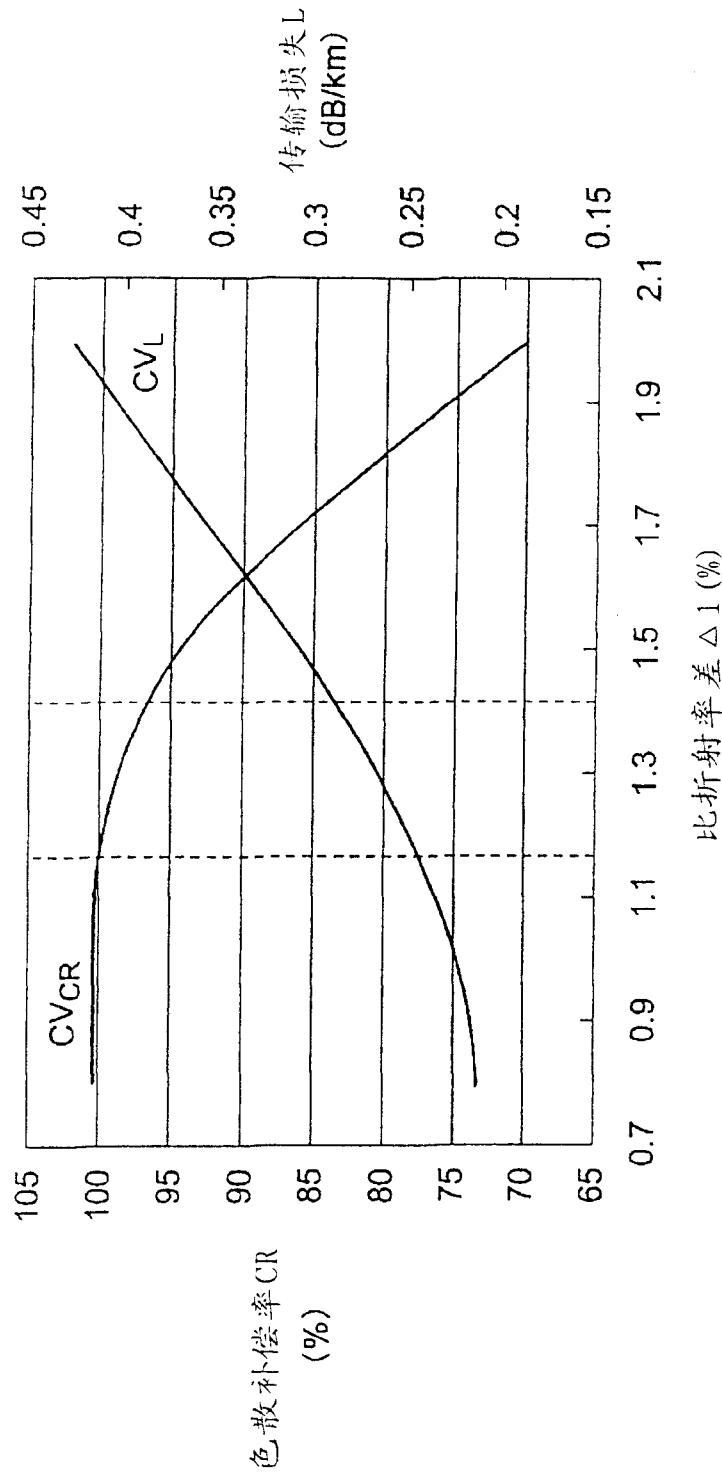


图 2

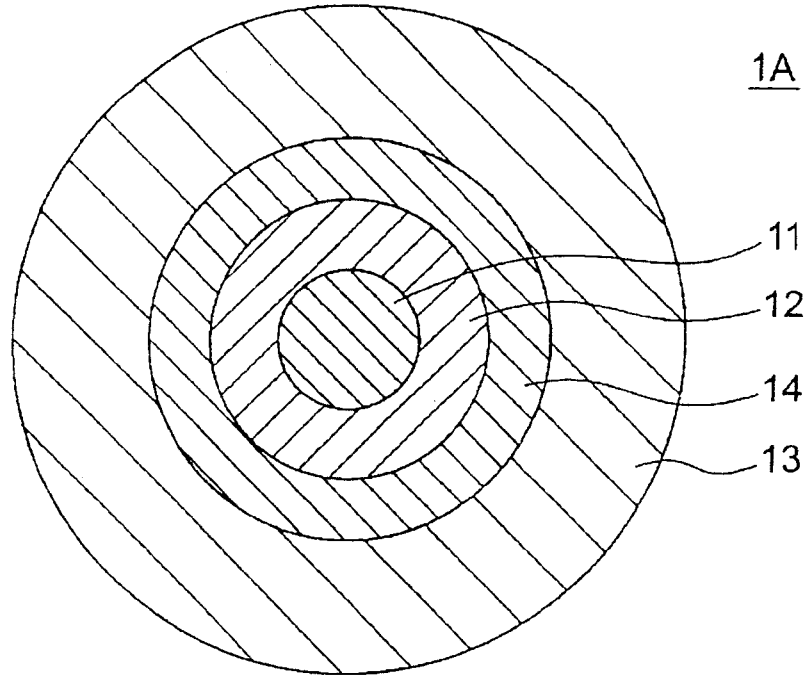


图 3A

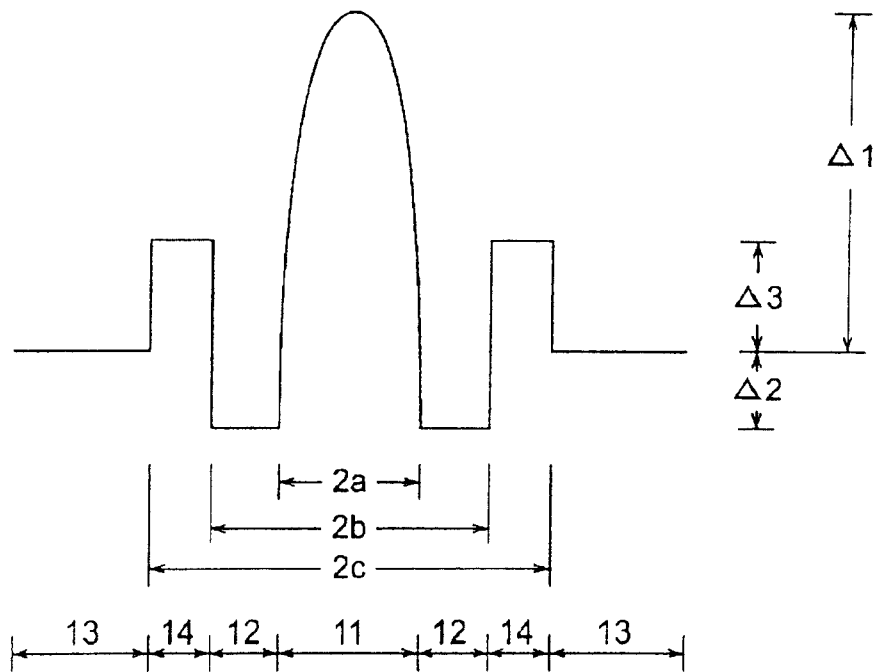


图 3B



图 4A

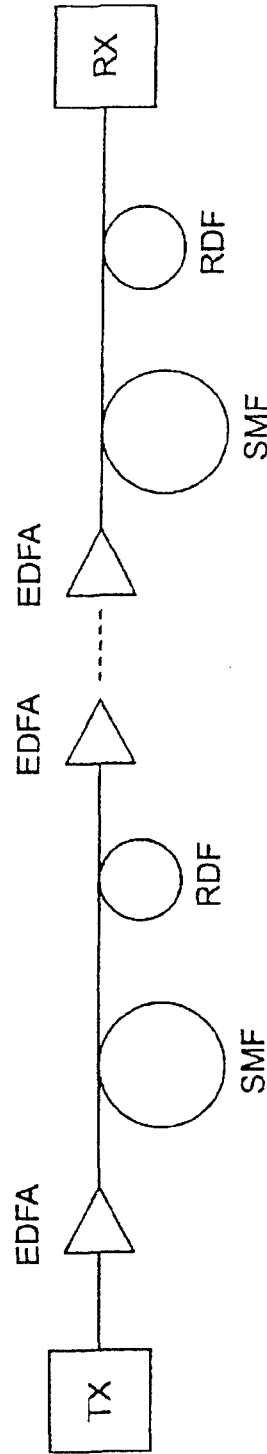


图 4B

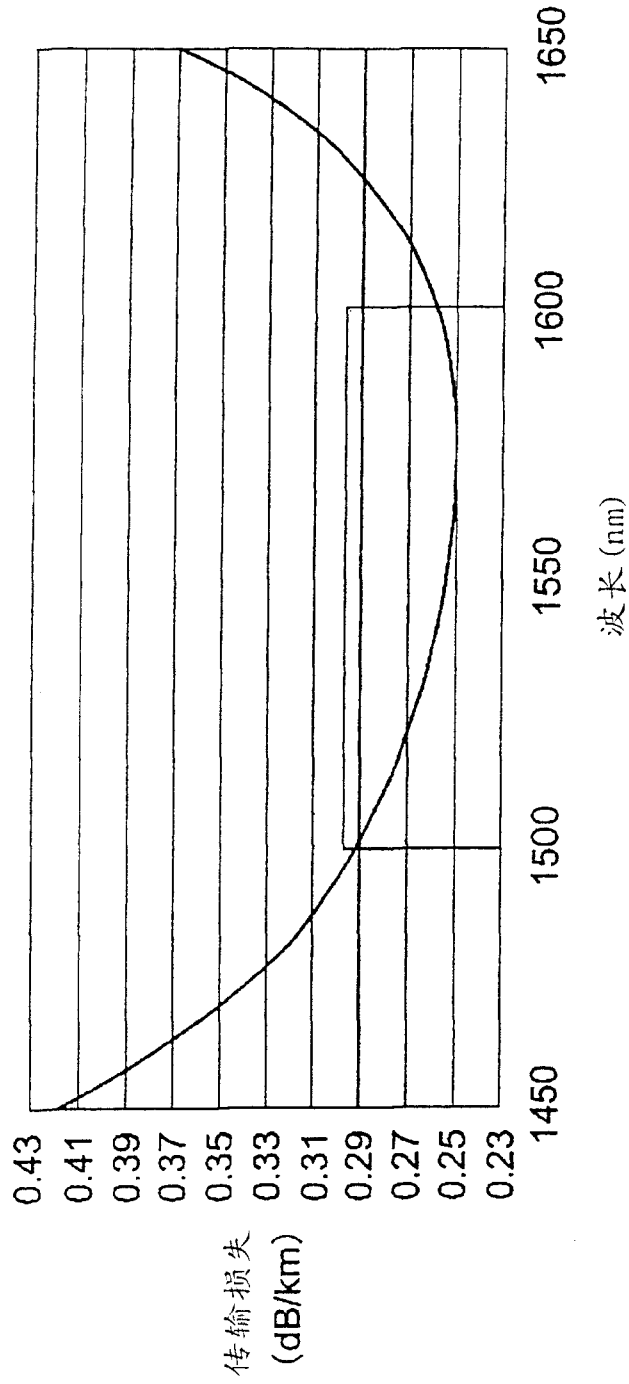


图 5