

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02127386.3

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 100435503C

[22] 申请日 2002.7.23 [21] 申请号 02127386.3

[30] 优先权

[32] 2001. 7. 26 [33] JP [31] 2001 - 226054

[32] 2002. 4. 24 [33] JP [31] 2002 - 122826

[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

JP9211511A 1997. 8. 15

CA2232101A 1998. 9. 25

"Novel Network Fiber to Manage Dispersion at 1.55 μm with Combination of 1.3 μm Zero Dispersion Single Mode Fiber". Kazunori, Mukasa, et, al. 11th International Conference on Integrated Optics and Optical Fibre Communications, 23rd European Conference on Optical Communications, 第 1 卷. 1997

审查员 崔磊

[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

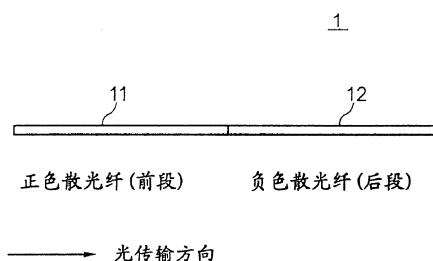
权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 6 页

[54] 发明名称

光传输线路

[57] 摘要

本发明涉及光传输线路。本发明提供将多根光纤组合构成的，适合长距离高速大容量传输的超低损耗的色散管理线路。该进行色散管理的光传输线路包含前段的具有正色散和正色散斜率的正色散光纤以及后段的具有负色散和负色散斜率的负色散光纤，并且在 1.55 μm 波段具有大致为零的色散，其中正色散光纤与负色散光纤在 1.55 μm 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下，两光纤的损耗差小于 0.05dB/km。



1. 一种光传输线路, 包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路; 其特征在于,

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下, 所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下,

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯和在该旁纤芯外周形成的包层;

所述中纤芯的折射率大于所述旁纤芯的折射率, 在该旁纤芯外周形成的包层;

所述包层的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率, 其分布以阶梯型结构构成;

所述包层与所述中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.30% 至 0.50% ;

所述包层与所述旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 0.05% 至 0.25% ;

所述旁纤芯的直径 b 与所述中纤芯的直径 a 的比例 b/a 为 $1.8\sim 2.7$ 倍,

所述负色散光纤用 W +分段纤芯型结构构成,

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.75% 至 0.95% ;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 -0.45% 至 -0.35% ;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.15% 至 0.25% ;

所述中纤芯的直径 a 、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 $a:b:c$ 为 $1:(1.7\sim 2.0):(2.3\sim 3.0)$ 。

2. 一种光传输线路, 包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路; 其特征在于,

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下, 所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下,

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯和在该旁纤芯外周形成的包层;

所述中纤芯的折射率大于所述旁纤芯的折射率, 在该旁纤芯外周形成的包层;

所述包层的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率, 其分布以

阶梯型结构构成；

所述包层与所述中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为0.30%至0.50%；

所述包层与所述旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为0.05%至0.25%；

所述旁纤芯的直径 b 与所述中纤芯的直径 a 的比例 b/a 为1.8~2.7倍，

所述负色散光纤用 $W+$ 分段纤芯型结构构成；

包层与中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为0.60%至0.80%；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为-0.50%至-0.40%；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为0.15%至0.25%；

所述中纤芯的直径 a 、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 $a:b:c$ 为 $1:(1.8\sim 2.2):(2.7\sim 3.0)$ 。

3. 一种光传输线路，包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路；其特征在于，

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23kB/km 以下，所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下，

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯、在该旁纤芯外周形成的分段纤芯和在该分段纤芯外周形成的包层；

形成所述包层的折射率、所述分段纤芯的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯折射率的分布为分段纤芯型结构或 $W+$ 分段纤芯型结构；

包层与中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为0.30%至0.50%；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为-0.10%至0.10%；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为0.10%至0.25%；

所述中纤芯的直径 a 、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 $a:b:c$ 为 $1:(1.3\sim 1.9):(2.2\sim 2.8)$ ，

所述负色散光纤用 $W+$ 分段纤芯型结构构成；

包层与中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为0.75%至0.95%；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为-0.45%至-0.35%；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为0.15%至0.25%；

所述中纤芯的直径 a 、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 $a:b:c$ 为 $1:(1.7\sim 2.0):(2.3\sim 3.0)$ 。

4. 一种光传输线路，包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路；其特征在于，

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下,所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下,

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯、在该旁纤芯外周形成的分段纤芯和在该分段纤芯外周形成的包层;

形成所述包层的折射率、所述分段纤芯的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率的分布为分段纤芯型结构或 W+分段纤芯型结构;

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.30% 至 0.50% ;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 -0.10% 至 0.10% ;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.10% 至 0.25% ;

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 $1:(1.3\sim 1.9):(2.2\sim 2.8)$,

所述负色散光纤用 W+分段纤芯型结构构成;

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.60% 至 0.80% ;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 -0.50% 至 -0.40% ;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.15% 至 0.25% ;

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 $1:(1.8\sim 2.2):(2.7\sim 3.0)$ 。

5. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路,其特征在于,由第 1 和第 2 光纤构成一个跨段;

沿光传输的方向,所述正色散光纤位于前段,作为所述第 1 光纤,而所述负色散光纤位于后段,作为所述第 2 光纤。

6. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路,其特征在于,由第 1~第 3 的三根光纤构成一个跨段;

按照所述正色散光纤作为所述第 1 光纤,所述负色散光纤作为所述第 2 光纤,所述正色散光纤作为所述第 3 光纤的顺序进行连接。

7. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路,其特征在于,所述正色散光纤和所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗以及 $1.58\mu\text{m}$ 波段的传输损耗都在 0.23dB/km 以下;

在 $1.55\mu\text{m}$ 波段和 $1.58\mu\text{m}$ 波段的频带中,所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下。

8. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路,其特征在于, $1.55\mu\text{m}$ 波

段的所述正色散光纤和 1.55 μm 波段的所述负色散光纤的色散绝对值为 10~15ps/nm/km。

9. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于, 155 μm 波段的所述正色散光纤和 1.55 μm 波段的所述负色散光纤的极化模色散为 0~0.06ps/km^{0.5}。

10. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于, 所述正色散光纤的 1.55 μm 波段传输损耗为 0.200dB/km 以下;

所述负色散光纤的 1.55 μm 波段的传输损耗为 0.230dB/km 以下;

扣除将所述正色散光纤与所述负色散光纤加以连接时的连接损耗后的该光传输线路的总传输损耗为 0.215dB/km 以下。

11. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于,

1.55 μm 波段的所述正色散光纤的传输损耗为 0.195dB/km 以下;

1.55 μm 波段的所述负色散光纤的传输损耗为 0.225dB/km 以下;

该光传输线路的总传输损耗为 0.210dB/km 以下。

12. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于,

1.55 μm 波段的所述正色散光纤的色散斜率为 0.08ps/nm²/km 以下;

1.55 μm 波段的所述负色散光纤的色散斜率为 0.020ps/nm²/km 以下;

该光传输线路的总色散斜率为 0.03 ps/nm²/km 以下。

13. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于, 所述正色散光纤的有效纤芯截面积 A_{eff} 为 80 μm^2 以上。

14. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于, 所述负色散光纤的有效纤芯截面积 A_{eff} 为 30 μm^2 以上。

15. 如权利要求 1 至 4 中任一项所述的光传输线路, 其特征在于,

所述负色散光纤的曲率直径 ϕ 20mm 时的弯曲损耗为 10dB/m 以下;

1580nm 的传输损耗与 1550nm 的传输损耗之差为 0.05dB/km 以下。

光传输线路

技术领域

本发明涉及用于波分复用(WDM)光纤和该光纤构成的光传输线路。

背景技术

采用光纤的光传输高速大容量化正在不断发展,波分复用(WDM)传输技术在其付诸实用之际,作为重要技术受到关注。然而,光纤中光信号的高功率化和信号波长间的相互作用造成的非线性现象成为新的问题。

即使非线性现象中,4频调制(FWM)在进行WDM传输时也影响重大,正在积极研究其抑制方法。FWM在色散小时比较显著,因而色散小的光纤在这方面不利,这一点是公知的。即使历来一直使用良好的NZ-DSF(色散绝对值2~8ps/nm/km左右)这方面也不够好。

SPM和XPM带来的波形失真也是很重大的问题。SPM和XPM产生的信号失真 ϕ_{NL} 一般用下面的式(1)表示。在下面的式(1)中, n_2 表示非线性折射率, A_{eff} 表示有效纤芯截面积, λ 表示传输的光线的波长。

$$\phi_{NL} = (2 \lambda n_2 \times L_{eff} \times P) / (A_{eff}) \quad \dots\dots (1)$$

因此,与OFC'97TuN1b等报告的减小非线性折射率 n_2 的研究同时,早已研究OFC'96WK15和OFC'97TuN2所报告那样的有效纤芯截面积 A_{eff} 的扩大。然而,判明 A_{eff} 的扩大在已有的NZ-DSF之类单一传输线路结构型光纤中,容易产生弯曲损耗增大和色散斜率增大等问题,因而NZ-DSF系统的光传输线路在这方面也有问题。

为了解决上述问题,提出在采用光纤的整个光传输线路中管理色散的方法有效的建议。

例如,日本国特开平9-211511号公报揭示了按照低非线性光纤、高非线性光纤的顺序连接具有正负相反符号的色散的光纤,则可得最佳光传输线路的情况。如ECOC'97卷1第127页所记载的具体例那样,提出具有正色散特性的单模光纤(SMF)和具有相反(负)色散特性的线路用色散补偿光纤(RDF)。这种单模光纤(SMF)和RDF具有色散值的绝对值为16~22ps/nm/km左右的大局部色散,因而在抑制FWM方面有利。

然而，虽然采用上述 SMF 和 RDF 时能抑制 FWM，但在长度方向不断累积 16ps/nm/km 以上的色散值，因而光传输线路上产生色散造成的波形失真。这样大的累积色散值在高速传输时尤其成为大问题。

具有这样大的色散值的 RDF 通常传输损耗高达 0.24dB/km 以上，而且容易发生长波长侧传输损耗增大的问题。这种 RDF 还存在极化模色散 PMD 通常也在 0.07ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 以上的问题。

这样，NZ-DSF 系统光传输线路以及采用 SMF 和 RDF 的 (SMF+RDF) 类光传输线路都存在上述问题。

发明内容

本发明的目的在于解决非线性现象和传输损耗的问题，提供新型低损耗的色散管理线路。

本发明第一方面的光传输线路，包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路；其特征在于，

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 1.55 μm 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下，所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下，

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯和在该旁纤芯外周形成的包层；

所述中纤芯的折射率大于所述旁纤芯的折射率，在该旁纤芯外周形成的包层；

所述包层的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率，其分布以阶梯型结构构成；

所述包层与所述中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.30%至 0.50%；

所述包层与所述旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 0.05%至 0.25%；

所述旁纤芯的直径 b 与所述中纤芯的直径 a 的比例 b/a 为 1.8~2.7 倍，

所述负色散光纤用 W+ 分段纤芯型结构构成，

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.75%至 0.95%；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为 -0.45%至 -0.35%；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.15%至 0.25%；

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 1:(1.7~2.0):(2.3~3.0)。

本发明第二方面的光传输线路，包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路；其特征在于，

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下，所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下，

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯和在该旁纤芯外周形成的包层；

所述中纤芯的折射率大于所述旁纤芯的折射率，在该旁纤芯外周形成的包层；

所述包层的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率，其分布以阶梯型结构构成；

所述包层与所述中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为 0.30% 至 0.50% ；

所述包层与所述旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为 0.05% 至 0.25% ；

所述旁纤芯的直径 b 与所述中纤芯的直径 a 的比例 b/a 为 $1.8\sim 2.7$ 倍，

所述负色散光纤用 $W+$ 分段纤芯型结构构成；

包层与中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为 0.60% 至 0.80% ；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为 -0.50% 至 -0.40% ；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为 0.15% 至 0.25% ；

所述中纤芯的直径 a 、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 $a:b:c$ 为 $1:(1.8\sim 2.2):(2.7\sim 3.0)$ 。

本发明第三方面的光传输线路，包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路；其特征在于，

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 波段的传输损耗均为 0.23dB/km 以下，所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下，

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯、在该旁纤芯外周形成的分段纤芯和在该分段纤芯外周形成的包层；

形成所述包层的折射率、所述分段纤芯的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯折射率的分布为分段纤芯型结构或 $W+$ 分段纤芯型结构；

包层与中纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 为 0.30% 至 0.50% ；

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为 -0.10% 至 0.10% ；

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为 0.10% 至 0.25% ；

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 1:(1.3~1.9):(2.2~2.8),

所述负色散光纤用 W+分段纤芯型结构构成;

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.75%至 0.95%;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为-0.45%至-0.35%;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.15%至 0.25%;

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 1:(1.7~2.0):(2.3~3.0)。

本发明第四方面的光传输线路, 包含具有正色散和正色散斜率的正色散光纤、以及具有负色散和负色散斜率的负色散光纤的光传输线路; 其特征在于,

所述正色散光纤与所述负色散光纤的 1.55 μm 波段的传输损耗均为 0.23kB/km 以下, 所述正色散光纤与所述负色散光纤的传输损耗差为 0.05dB/km 以下,

所述正色散光纤具有中纤芯、在该中纤芯外周形成的旁纤芯、在该旁纤芯外周形成的分段纤芯和在该分段纤芯外周形成的包层;

形成所述包层的折射率、所述分段纤芯的折射率、所述旁纤芯的折射率和所述中纤芯的折射率的分布为分段纤芯型结构或 W+分段纤芯型结构;

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.30%至 0.50%;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为-0.10%至 0.10%;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.10%至 0.25%;

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 1:(1.3~1.9):(2.2~2.8),

所述负色散光纤用 W+分段纤芯型结构构成;

包层与中纤芯之间的相对折射率差 Δ_1 为 0.60%至 0.80%;

包层与旁纤芯之间的相对折射率差 Δ_2 为-0.50%至-0.40%;

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 Δ_3 为 0.15%至 0.25%;

所述中纤芯的直径 a、所述旁纤芯的直径 b 和所述分段纤芯的直径 c 的直径比 a:b:c 为 1:(1.8~2.2):(2.7~3.0)。

本发明的光传输线路的形态可以是, (1)一个跨段由正色散光纤+负色散光纤构成的类型, 也可以是(2)一个跨段由(正色散光纤+负色散光纤+正色散光纤)构成的类型, 以便适应例如双向通信, 还可以是(3)用四根以上光纤构成的类型, 以便抑制累积色散的增加。可以说只要根据状况决定线路结构即可。任

一种情况下，都能利用上述损耗特性取得有利的特性。

附图说明

从以下结合附图的阐述能够进一步了解上述本发明目的和特征以及其他目的和特征。

图 1 是作为本发明实施形态 1 的光传输线路的结构图。

图 2 是本发明实施形态 1 的，前级光纤和后级光纤的传输损耗差与非线性的关系曲线。

图 3 是负色散光纤的色散与特性变化的关系曲线图。

图 4 是 RDF 的弯曲损耗和特性变化的关系曲线图。

图 5 是本发明实施形态的，阶梯型折射率分布 (profile) 图。

图 6 是本发明实施形态示的，分段 (segment) 纤芯型折射率分布图。

图 7 是本发明实施形态的，W+分段纤芯型折射率分布图；

图 8A~图 8C 是本发明实施形态的，构成光传输线路的一个跨段的光纤组合例。

具体实施形态

第 1 实施形态

根据本发明人的考察，已有的光传输线路前级采用 SMF 而后级采用 RDF 的 (SMF+RDF) 型光传输线路，其传输损耗在 $1.55\mu\text{m}$ 波段存在 0.215dB/km 的极限。其原因是，根据本发明人的考察可知，尽管正色散光纤 (SMF) 的传输损耗减小到 $0.19\sim 0.20\text{dB/km}$ 的程度，负色散光纤 (RDF) 的传输损耗在 $1.55\mu\text{m}$ 波段大到 0.24dB/km 以上。这导致传输损耗造成的可传输距离缩短和输入功率增大造成的非线性现象。存在使前级正色散光纤 (SMF) 损耗进一步减小的手段，但射入负色散光纤 (RDF) 的入射功率会更强，因而不太理想。在这一意义上，希望正色散光纤与负色散光纤的传输损耗差小，不希望像已有的色散管理线路那样，传输损耗差在 0.05dB/km 以上。

因此，作为本发明的第 1 实施形态，本发明人完成了一种传输线路，其中不仅正色散光纤，而且负色散光纤均为 0.23dB/km 以下，两者的损耗差小于 0.05dB/km (0.04dB/km 以下较佳)。

如图 1 所示，连接正色散光纤 11 和负色散光纤 12，构成传输线路 1，并且设传输线路 1 的总传输损耗取一定值，观察传输线路 1 中位于前段的正色散光

纤 11 与位于后段的负色散光纤 12 的传输损耗差扩大时的非线性效应所造成的波形失真的程度。比较对象为传输损耗 0.215dB/km、有效纤芯截面积 A_{eff} 为 $50\mu\text{m}^2$ 的 NZ-DSF 类光传输线路,并且将其光传输线路中产生的非线性现象造成的波形失真归一化。在该条件下,观察构成传输线路 1 的正色散光纤 11 和负色散光纤 12 的传输损耗差扩大时波形失真的情况。

其条件假设为前段正色散光纤 11 的 A_{eff} 是 $90\mu\text{m}^2$, 后段负色散光纤 12 的 A_{eff} 是 $30\mu\text{m}^2$, 传输线路 1 的总传输损耗是 0.215dB/km, 并且将一个跨段的长度取为 50km, 即正色散光纤 11 的长度为 25km, 负色散光纤 12 的长度为 25km。

从图 2 可知,显然从传输损耗差为 0.05dB/km 左右开始,非线性现象变得显著起来。由此可知前段正色散光纤 11 与后段负色散光纤 12 两者的传输损耗差小于 0.05dB/km 较理想。

0.04dB/km 以下的传输损耗的情况下则线性更好。因此,传输损耗最好在 0.04dB/km 以下。

第 2 实施形态

根据本发明人的考察,已有的 RDF 通常具有弯曲损耗造成长波长侧的损耗增加的趋势,即 1580nm 的传输损耗有远高于 1550nm 的传输损耗的倾向。这成了严重问题,即 C 波段传输时也难调整波长损耗差别,而采用 L 波段时长波长侧的损耗增大。

因此,本发明的第 2 实施形态,构成即便在 1580nm 也使正色散光纤 11、负色散光纤 12 的传输损耗均为 0.23dB/km 以下的传输线路 1。基本上将负色散光纤 12 的弯曲损耗抑制于较小的值,从而可抑制长波长侧的损耗增大,能够提供弯曲损耗小的负色散光纤 12。

第 3 实施形态

作为本发明的第 3 实施形态,构成具有在 1.55 μm 波段比已有 SMF 和 RDF 更加能够抑制色散值的类型的光纤的光纤传输线路。但是,为了完全抑制产生 FWM 的问题,将色散绝对值取为 10ps/nm/km 以上。这样,能缓解(SMF+RDF)类传输线路具有的那种大累积色散 (large cumulative chromatic dispersion) 的问题。而且,能减小负色散光纤的色散绝对值,通常意味着增加折射率分布的设计自由度(即使包层与纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 较小也能实现),从而便于将传输损耗抑制于较小的值。更进一步的优点是,与相对折射率差 $\Delta 1$ 关系密切的极化模色散 PMD 也能够抑制于较小的值。

图 3 示出对负色散光纤的色散(横轴)与传输损耗(曲线 CV1)以及极化模色散

PMD(曲线 CV2)的关系进行调查的结果。由图 3 所示可知,减小色散对传输损耗和极化模色散 PMD 有利。因此,构成例如 1.55 μm 波段中色散值为 10~15ps/nm/km 左右的正色散光纤和 1.55 μm 波段中色散为-15~-10ps/nm/km 左右的负色散光纤组合的传输线路。借助于此,不仅传输损耗,而且极化模色散 PMD,都能抑制于例如 0.06ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 以下的低值。

第 4 实施形态

当然,即使优化负色散光纤 12,在正色散光纤 11 的传输损耗大的情况下,也不能将传输线路的总传输损耗抑制为较小的值。因此,作为本发明的第 4 实施形态,正色散光纤 11 的传输损耗不仅小于 0.23dB/km,而且最好小于以往已取得实效的 0.20(最好 0.195)dB/km 以下。负色散光纤 12 的传输损耗,利用优化设计也弄清楚最好是 0.225dB/km 以下。在正色散光纤 11 的色散设定为 14ps/nm/km,传输损耗设定为 0.19dB/km,负色散光纤 12 的色散设定为-14ps/nm/km,传输损耗设定为 0.22dB/km 的情况下,一个跨段的长度取为 50km,即正色散光纤 11 的长度为 25km,负色散光纤 12 的长度为 25km 时,传输线路 1 的总传输损耗为 0.205dB/km 左右,是损耗非常低的特性。而且,这样构成的传输线路,其累积色散也比(SMF+RDF)类传输线路得到进一步抑制。

第 5 实施形态

正色散光纤 11 通常具有正色散斜率,因而希望使负色散光纤 12 具有负色散斜率。正色散光纤 11 的色散斜率几乎在各种情况下均为 0.06~0.08ps/nm²/km,因而如果负色散光纤 12 的色散斜率为-0.02ps/nm²/km 以下(最好为-0.03ps/nm²/km 以下),则由正色散光纤 11 和负色散光纤 12 组合的本发明第 5 实施形态的光传输线路 1,能达到已有的(NZ-DSF)类传输线路难以达到的 0.03ps/nm²/km 以下的低色散斜率。如图 1 的图解所示,正色散光纤 11 和负色散光纤 12 组合构成光传输线路 1,从这样减小色散斜率的角度看也是有利的。

第 6 实施形态

传输损耗和色散斜率小对传输线路非常重要,但如果有效纤芯截面积小,则有发生非线性现象的问题。因此希望入射较强功率的前段的正色散光纤 11 的 A_{eff} 为 80 μm^2 以上(最好是 90 μm^2 以上),入射较弱功率的后段的负色散光纤 12 的 A_{eff} 为 30 μm^2 以上。但是已经了解到,后段光纤 12 中需要其 A_{eff} 为不由于弯曲损耗造成长波长侧传输损耗增加的程度的 A_{eff} ,而且,如果考虑使用喇曼放大器的可能性,则 A_{eff} 为 30 μm^2 ~34 μm^2 左右较佳。当然,在不引起传输损耗增加的情况下,可根据情况进一步扩大 A_{eff} 。

为了调查长波长侧的损耗增加特性,研究了已有的型号的 RDF 的弯曲损耗与传输损耗的关系。图 4 表示其结果。

弯曲损耗是指以某一曲率直径(图 4 的例子中,曲率直径为 $\phi 20\text{mm}$)弯曲光传输线路时在某一波长的传输损耗的增加。

从图 4 所示可知,已有的型号的 RDF 中,由于加大弯曲损耗,可扩大虚线所示的 A_{eff} (曲线 CV3),但实线所示的长波长侧的传输损耗(曲线 CV4)增加。为了将 1580nm 和 1550nm 的传输损耗差抑制于 0.05dB/km 以下,显然需要将 $\phi 20\text{mm}$ 的弯曲损耗至少抑制于 10dB/m 以下(最好是 8dB/m 以下)。

为了实现如上所述的传输线路 1,分别设计了正色散光纤 11 和负色散光纤 12。结果判明在折射率分布对正色散光纤为图 5 所示的阶梯分布(profile)、图 6 所示的分段纤芯型分布和图 7 所示的(W+分段纤芯)型分布,以及对负色散光纤则为图 7 所示的(W+分段纤芯)型分布,分别能够取得上述那样的特性。

图 5~图 7 中,中纤芯位于中央。

图 5 的阶梯型分布是指折射率大的中纤芯位于中间,并且在其外周形成比中纤芯折射率小而平坦的旁纤芯的折射率分布。旁纤芯的外周形成比旁纤芯折射率小的包层。

第 7 实施形态

作为典型正色散光纤的已有型号的 SMF 具有由中心的纤芯和设置在其周边的包层构成的简单的 2 层结构。这种 SMF 由于纤芯的折射率与包层的折射率之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 低达 0.4%, A_{eff} 大,传输损耗也达到 0.195dB/km 以下。然而,这种 SMF 通常在 1.55 μm 波段的色散值为 16ps/nm/km 以上,在色散值大的方面存在问题。

纤芯折射率与包层折射率之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 按下式定义。

$$\Delta 1 = \frac{n_1^2 - n_0^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_0}{n_1} \quad \dots\dots (1)$$

其中, n_1 为纤芯的折射率, n_0 为包层折射率。

这里,首先用 3 层结构研究色散抑制。如果减小中纤芯的折射率,则对弯曲损耗的敏感性(影响)增大,从而引起长波长侧的传输损耗增加,而如果加大中纤芯的折射率,不仅传输损耗增大到 0.20dB/km 以上,而且 A_{eff} 小于 80 μm^2 ,所以使相对折射率差 $\Delta 1$ 维持在约 0.4%(例如 0.35~0.45%)。

该条件下,如图 5 所示,在增添包层折射率与旁纤芯折射率之间的相对折射率差 $\Delta 2$ 为 0.05~0.25%,且旁纤芯直径 b 与中纤芯直径 a 比、即倍率(b/a)为

1.8~2.7 倍的旁纤芯层时,有可能得到所希望的色散。模拟的结果获得良好的特性。表 1 表示光纤的应该例子。

包层与旁纤芯的相对折射率差 $\Delta 2$ 按下式定义。

$$\Delta 2 = \frac{n_2^2 - n_0^2}{2n_2^2} \approx \frac{n_2 - n_0}{n_2} \quad \dots\dots (2)$$

其中, n_0 为包层折射率, n_2 为旁纤芯折射率。

表 1 正色散光纤模拟结果_(3 层结构)

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	b/a	色散	Slope	Aeff	λc	弯曲 $\phi 20$
%		%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
0.43	2.0	0.10	2.0	14.6	0.068	97.6	1546	6.0
0.41	2.0	0.15	2.3	14.4	0.070	94.1	1520	7.0
0.39	6.0	0.10	2.5	14.0	0.069	90.4	1548	8.0

表 1 中, $\Delta 1$ 表示纤芯折射率与包层折射率之间的相对折射率差, α 为表示中纤芯折射率分布形状的参数, b/a 表示旁纤芯直径 b 相对于中纤芯直径 a 的倍率, 色散表示色散值, slope 表示色散斜率, A_{eff} 表示有效纤芯截面积, λc 表示截止波长, 弯曲 $\phi 20$ 表示 $\phi 20mm$ 的弯曲损耗。

在色散特性、 A_{eff} 、弯曲损耗特性方面取得良好特性。而且, 相对折射率差 $\Delta 1$ 为 0.4% 左右, 因而可期望传输损耗为 0.195dB/km 以下。于是可知例如用这种阶梯型折射率分布(图 5)能得到作为本发明目的的光纤传输线路 1。

第 8 实施形态

如上文所述那样将色散值抑制于 15ps/nm/km 以下, 但以进一步抑制色散值为目标, 探讨一下具有图 6、图 7 所示 4 层以上的折射率分布的结构。与上文所述完全相同, 取包层与中纤芯间的相对折射率差的值为 0.4% 左右, 这时调整包层与旁纤芯的相对折射率差 $\Delta 2$ 、包层与分段纤芯间的相对折射率差 $\Delta 3$ 、直径比 a:b:c 的各参数, 使 A_{eff} 、 λc 、色散值等为最佳值。可知为了满足色散值 10~15ps/nm/km 的条件, 同时获得 $80\mu m^2$ 以上的大 A_{eff} 和 1550nm 以下的 λc , 需要使相对折射率差 $\Delta 2$ 的值为 -0.10~0.10%, 相对折射率差 $\Delta 3$ 的值为 0.10~

0.25%，b 为 1.3~1.9，c 为 2.2~2.8。模拟结果取得的特性良好的折射率分布示于表 2。

包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 按下式定义。

$$\Delta 3 = \frac{n_3^2 - n_0^2}{2n_3^2} \approx \frac{n_3 - n_0}{n_3} \dots\dots (3)$$

其中： n_0 为包层折射率， n_3 为分段纤芯折射率。

表 2 正色散光纤模拟结果（4 层结构）

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a:b:c	色散	Slope	A _{eff}	λ_c	弯曲 $\phi 20$
%			%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
0.42	8.0	0	0.10	1:1.5:2.5	12.0	0.065	85.9	1449	6.0
0.41	10.0	0	0.20	1:1.8:2.5	11.4	0.071	81.9	1495	7.0
0.40	10.0	-0.1	0.10	1:1.4:2.5	10.9	0.073	80.5	1362	8.0

表 2 中， $\Delta 1$ 表示包层与上述中纤芯之间的相对折射率差， $\Delta 2$ 表示包层与旁纤芯的相对折射率差， $\Delta 3$ 表示包层与分段纤芯之间的相对折射率差， α 为表示中纤芯折射率分布形状的参数，a:b:c 表示中纤芯直径 a、旁纤芯直径 b 和分段纤芯直径 c 之间的比例关系，色散表示色散值，slope 表示色散斜率，A_{eff} 表示有效纤芯截面积， λ_c 表示截止波长，弯曲 $\phi 20$ 表示 $\phi 20mm$ 的弯曲损耗。

从该结果可知，显然用例如这样的分段纤芯型分布(图 6)或(W+分段纤芯)型分布(图 7)能获得特性良好的光纤传输线路。

第 9 实施形态

还对负色散光纤进行优化。已有的 RDF 采用 W 型折射率分布，并且在未达到弯曲损耗极限的条件下，使相对折射率差 $\Delta 1$ 减小，以此实现低损耗特性和小色散值。虽然也可以使相对折射率差 $\Delta 1$ 减小得更多，以进一步减小损耗和色散绝对值，但弯曲损耗将变得非常大。但是，利用在 W 型折射率分布的外侧增添分段纤芯层的结构，可以抑制弯曲损耗。因此，采用图 7 所示的(W+分段纤芯)型分布(profile)，研究在 1.55 μm 满足 -15~-10ps/nm/km 色散值，并且在弯曲损耗非常小的范围($\phi 20mm$ 为 10dB/km 以下)有可能将 A_{eff} 扩大到 30 μm^2 以上

的分布。

作为满足传输损耗小于 0.23dB/km 的包层与中纤芯间的相对折射率差 $\Delta 1$ ，选择 0.85%左右(例如 0.8%~0.9%)。相对折射率差 $\Delta 1$ 为 0.80%以下时有可能因弯曲损耗增大造成长波长侧的传输损耗增加。还了解到，表示中纤芯折射率分布形状的参数 α 接近 2.0(例如为 1.5~3.0)能使色散斜率为 $-0.030\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下的小数值。对各相对折射率差 $\Delta 1$ 优化的旁纤芯结构的研究结果表明，包层与旁纤芯的相对折射率差 $\Delta 2$ 为 $-0.45\sim-0.35\%$ 、包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 为 0.15~0.25%是最佳范围。还了解到，为了抑制长波长侧的损耗增加，相对折射率差 $\Delta 2$ 需要在 -0.45% 以上，但至少相对折射率差 $\Delta 2$ 不在 0.35%以下时，色散斜率增大到 $-0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以上。而且，为了抑制长波长侧的传输损耗增加，相对折射率差 $\Delta 3$ 需要在 0.15%以上，但如果相对折射率差 $\Delta 3$ 超过 0.35%，则 λ_c 增大到 1500nm 以上，不能满足单模条件。

又调整中纤芯直径 a、旁纤芯直径 b 和分段纤芯直径 c 之间的比率 $\bar{a}:b:c$ 的值。 $a:b$ 的比率为 1:(1.7~2.0)时，使其他特性维持良好的值，同时取得低弯曲损耗特性，了解到如果小于 1.7，则色散特性差，大于 2.0，则 λ_c 大到 1500nm 以上。而且， $a:b$ 的比率为 1:2.3~1:3.0 时色散斜率如果在 $-0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下，则维持高补偿率不变，弯曲损耗也在 10dB/m($\phi 20\text{mm}$)以下，不受损，而且截止波长 λ_c 保持在 1500nm 以下。因此，直径比($a:b:c$)选择为 1:(1.7~2.0):(2.3~3.0)。

下面示出从模拟结果得到的，将损失维持于较小的值，同时能实现良好的特性的分布的例子。

表 3 中， $\Delta 1$ 表示包层与中纤芯之间的相对折射率差， $\Delta 2$ 表示包层与旁纤芯的相对折射率差， $\Delta 3$ 表示包层与分段纤芯之间的相对折射率差， α 为表示中纤芯折射率分布形状的参数， $a:b:c$ 表示中纤芯直径 a、旁纤芯直径 b 和分段纤芯直径 c 之间的比例关系，色散表示色散值，slope 表示色散斜率， A_{eff} 表示有效纤芯截面积， λ_c 表示截止波长，弯曲 $\phi 20$ 表示 $\phi 20\text{mm}$ 的弯曲损耗。

表 3 负色散光纤模拟结果 (1)

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a:b:c	色散	Slope	A_{eff}	λ_c	弯曲 $\phi 20$
%		%	%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
0.85	2.0	-0.40	0.30	1:1.9:2.5	-14.0	-0.045	31.8	1498	6.0
0.83	2.0	-0.40	0.20	1:1.9:2.5	-13.8	-0.037	32.5	1326	7.0
0.82	2.0	-0.40	0.20	1:2.0:2.9	-13.4	-0.052	31.7	1486	8.0

第 10 实施形态

对于负色散光纤也进行是否可进一步抑制色散的研究。为了抑制色散值，包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 降到 0.70%左右(例如 0.65%~0.75%)是有效的。然而，如上文所述，相对折射率 $\Delta 1$ 小会导致长度波长侧的传输损耗增加。为了抑制该长波长侧的传输损耗增加，将表示中纤芯折射率分布形状的参数 α 取为 10 左右。这样，色散斜率比表 3 的负色散光纤有若干增大，但可以看出利用使分布(profile)优化的方法可获得 $-0.020\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下的色散斜率值。还可以看出，为了维持小色散值同时将弯曲损耗抑制于 $10\text{dB}/\text{m}(\phi 20\text{mm})$ 以下，包层与旁纤芯的相对折射率差 $\Delta 2$ 需要在 -0.50% 以上，但至少相对折射率差 $\Delta 2$ 不为 -0.40% 以下时，色散斜率大于 $0.02\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 。为了抑制长波长侧的传输损耗增加，包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 3$ 需要在 0.15%以上，但相对折射率差 $\Delta 3$ 如果超过 0.25%，则截止波长 λ_c 向长波长侧移动，不满足单模条件。

又调整 a:b:c 的值。a:b 的值为 1:1.8~1:2.2 时，使其他特性维持良好的值，同时取得在 $\phi 20\text{mm}$ 情况下为 $10\text{dB}/\text{m}$ 以下的低弯曲损耗特性。1.8 以下时色散绝对值变大，2.2 以上时截止波长 λ_c 从 1500nm 向长波长侧移动。又，将 a:c 的值取为 1:2.7~1:3.0。这是因为在 2.7 以上维持高补偿率不变，使弯曲损耗也在 $10\text{dB}/\text{m}$ 以下($\phi 20\text{mm}$)，不受损，而在 3.0 以下截止波长 λ_c 保持于 1500nm 以下。因此，直径比(a:b:c)选择为 1:(1.8~2.2):(2.7~3.0)。

模拟的结果，使损耗维持小的值，同时能实现良好的特性的分布的例子如下所示。

表 4 负色散光纤模拟结果 (2)

$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a:b:c	色散	Slope	Aeff	λ_c	弯曲 $\phi 20$
%		%	%		ps/nm ² /km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
0.71	10.0	-0.48	0.18	1:1.9:2.8	-11.9	-0.032	32.2	1427	6.0
0.70	10.0	-0.40	0.20	1:2.0:2.9	-11.1	-0.031	33.7	1486	4.0
0.68	10.0	-0.46	0.19	1:1.9:2.9	-10.6	-0.026	32.8	1464	5.0

从以上的结果可知，将当前发明的图 1 所示的正色散光纤 11 的和负色散光纤 12 加以连接，构成光传输线路 1，就能够得到可实现低非线性、低弯曲损耗特性和低色散斜率这样的结果。而且光传输线路 1 具有已有的 RDF 与 NZ-DSF 之间的色散值，从而能抑制累积色散。再者，从折射率分布形状方面看来，光传输线路 1 在较宽的频带实现了低损耗特性和极化模色散 PMD 特性。

如上所述，开发将新型正色散光纤和负色散光纤加以组合的传输线路，在较

宽频带实现低损耗特性的同时，也实现累积色散小、非线性低、色散斜率小、极化模色散 PMD 小的特性。该新传输线路的低损耗、小累积色散、低极化模色散 PMD、小色散斜率和低非线性的特性最适合作为高速 WDM 传输线路。采用这种正色散光纤和负色散光纤构成的新型传输线路是将来能成为 WDM 传输的胜利者的传输线路，以此能方便地制作适合高速大容量传输的传输线路。

实施例

下面，利用实施例确认本发明的实施形态的光纤的有效性。

实施例 1

首先，进行试制以获得具有图 5 中说明的阶梯型分布的正色散光纤。表 5 示出参考模拟结果进行试制的结果。

表 5 正色散光纤试制结果（3 层结构）

	1.55 损耗	1.58 损耗	色散值	斜率	A_{eff}	λ_c	弯曲损耗	PMD
	dB/km	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m	ps/ \sqrt{km}
1	0.193	0.191	14.6	0.070	96.5	1533	4.0	0.04
2	0.189	0.188	14.2	0.069	92.4	1546	3.5	0.04

由于包层与分段纤芯之间的相对折射率差 $\Delta 1$ 较小，在 1.55 μm 和 1.58 μm 的传输损耗也低达 0.19dB/km 左右。而且，试制件 1、2 均有效截面积 $A_{eff} 90\mu m^2$ 以上，取得大于已有的 SMF 的 A_{eff} 值。而且 1.55 μm 波段的色散值比 SMF 得到进一步抑制。试制件 1、2 的色散值与已有型的 NZ-DSF 相比，该值足够大，因而能期望抑制 FWM 造成的信号噪声。截止波长 λ_c 虽然略大，但在采用 22m 长的光纤测量截止波长 λ_c 的“22m 法”的测量中得到该截止波长小于 1400nm。色散斜率、弯曲损耗、极化模色散 PMD 等其他特性也良好。

实施例 2

关于 4 层结构的分布，也参考模拟结果进行若干试制。表 6 示出试制结果。

表 6 正色散光纤试制结果（4 层结构）

	1.55 损耗	1.58 损耗	色散值	斜率	A_{eff}	λ_c	弯曲损耗	PMD
	dB/km	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m	ps/ \sqrt{km}
1	0.194	0.199	12.6	0.067	84.5	1523	7.0	0.04
2	0.195	0.202	11.2	0.067	80.4	1510	9.5	0.05

从表 6 可知，在采用 4 层结构的情况下，依旧维持低损耗不变，能够将色散值进一步抑制于 11~13ps/nm/km 左右。与表 5 的试制结果相比，有效截面积

A_{eff} 有若干减小,但是能够进一步抑制累积色散。弯曲损耗的值比表 5 的值略大,但能抑制于 10dB/m 以下, 1.58 μm 的损耗也达到 0.200dB/km 左右的不成问题的程度。

实施例 3

还用(W+分段纤芯)型分布进行试制,以图获得负色散光纤。表 7 示出根据模拟进行试制的结果。

表 7 负色散光纤试制结果

	1.55损耗	1.58损耗	色散值	斜率	A_{eff}	λ_c	弯曲损耗	PMD
	dB/km	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m	ps/ $\sqrt{\text{km}}$
1	0.218	0.220	-14.5	-0.040	31.2	1453	4.0	0.06
2	0.216	0.221	-14.2	-0.031	32.7	1396	4.5	0.05
3	0.215	0.228	-12.0	-0.035	31.9	1405	6.0	0.05
4	0.213	0.229	-11.4	-0.031	32.6	1462	7.5	0.04

根据表 7 的结果,不仅获得 0.215dB/km 左右的低传输损耗,而且获得有效截面积 A_{eff} 、色散补偿率、极化模色散 PMD 等非常良好的结果。而且弯曲损耗也抑制于较小的程度, 1.58 μm 的传输损耗在 0.23dB/km 以下,可确认有稳定的特性。

本发明的光传输线路的形态如图 1、图 8A 所示,可以把多个由正色散光纤 11 和负色散光纤 12 连接构成跨段(单元)的光传连接成所需的距离的光传输线路 1。

一个跨段的结构,不仅是用图 1 说明的正色散光纤 11 和负色散光纤 12 的组合,而且可以有各种形态。

例如,为了适应双向通信,也可如图 8B 说明的那样,构成用正色散光纤+负色散光纤+正色散光纤组成一个跨段的光传输线路。

又例如,为了抑制累积色散的增加,也可如图 8C 说明的那样,构成用 4 根以上光纤组成一个跨段这种类型的光纤。

组成一个跨段的光纤种类及其组合可按照目的或根据状况决定。

本实施形态的任一传输线路中，都能根据上述损耗特性取得有利特性。

如上所述，采用本发明，在将正色散光纤和负色散光纤加以连接时，可在宽大的波长范围内获得低损耗和小色散。

又，采用本发明，能够实现非线性低。

还有，极化模色散 PMD 和任何一种光纤都呈现低于 $0.05\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 左右的值。这样，能够得到总特性良好的结果。

采用本发明，能够构成兼有对 SPM、XPM、FWM 等的低非线性和色散平坦性的、适合高速大容量传输的低损耗 WDM 传输线路。

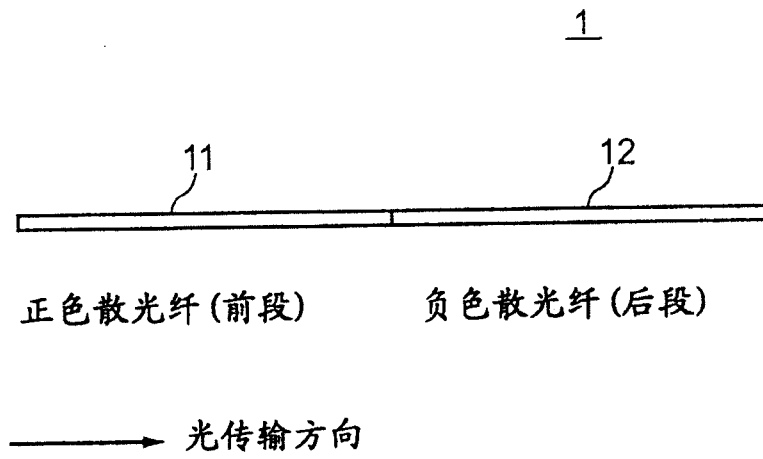
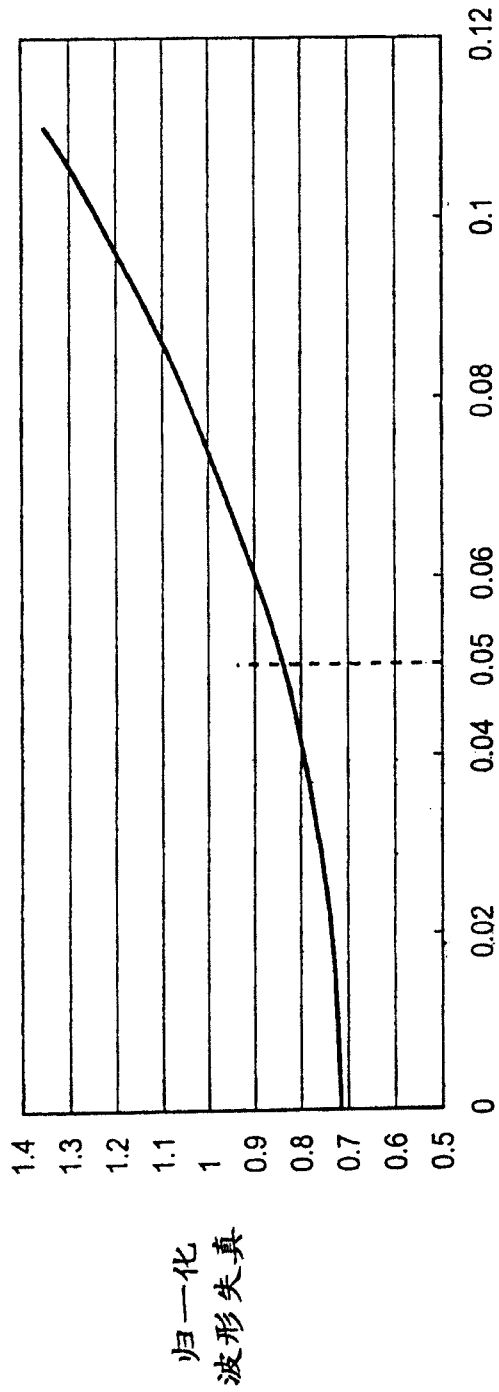


图 1



前段光纤与后段光纤的传输损耗差与波形失真的关系

图 2

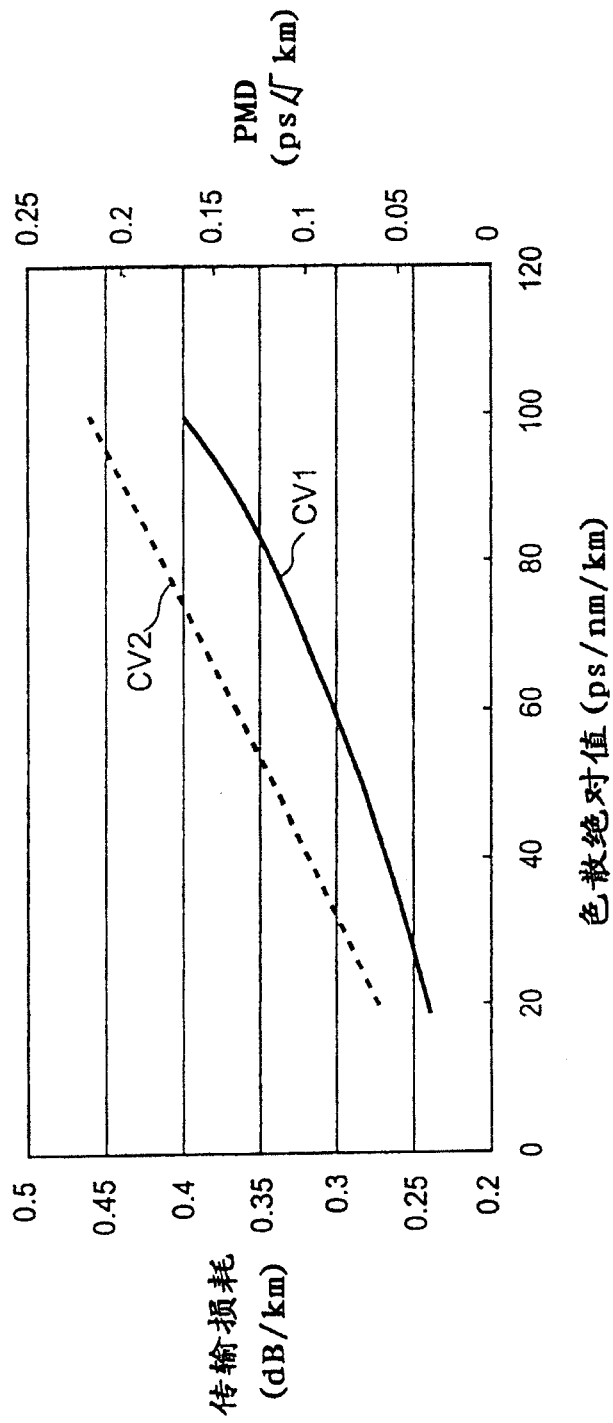
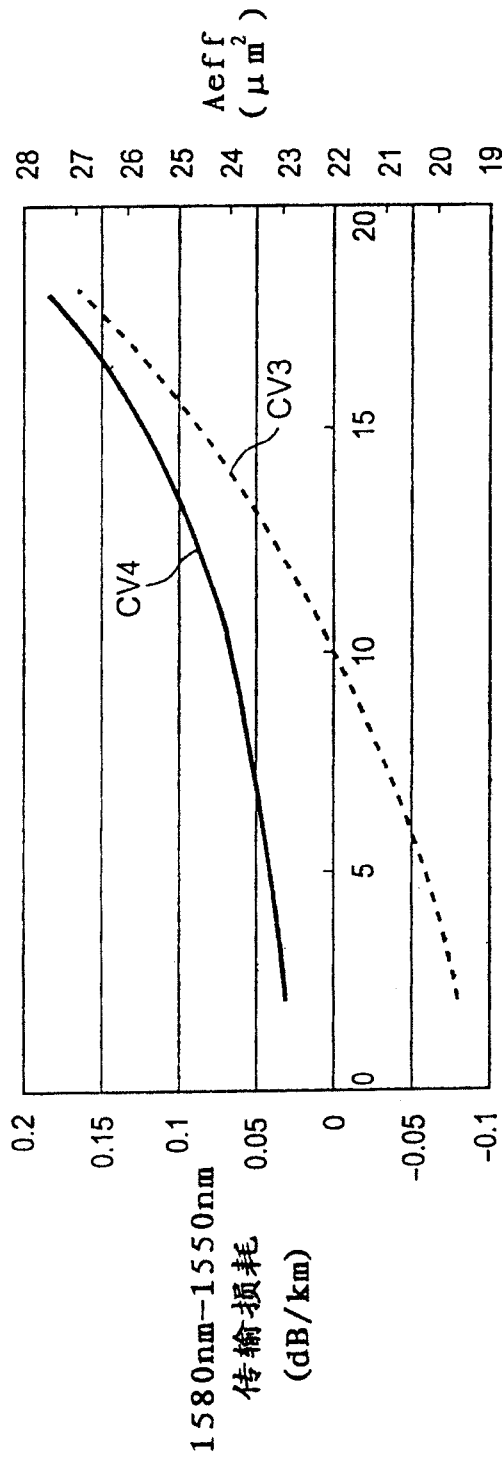


图 3



弯曲损耗(曲率直径为 ϕ 20mm时) (dB/m)
曲率直径为 ϕ 20mm时的弯曲损耗与其他特性的关系

图 4

阶梯型折射率分布

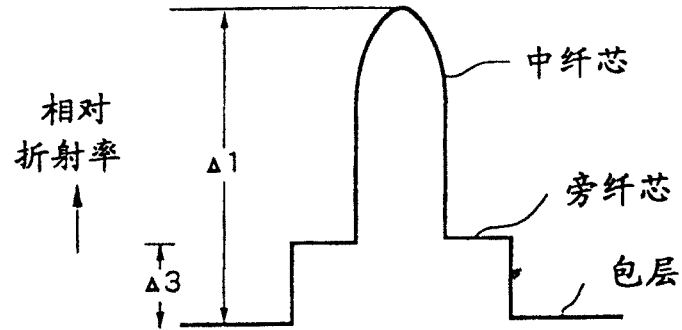


图 5

分段纤芯
折射率分布

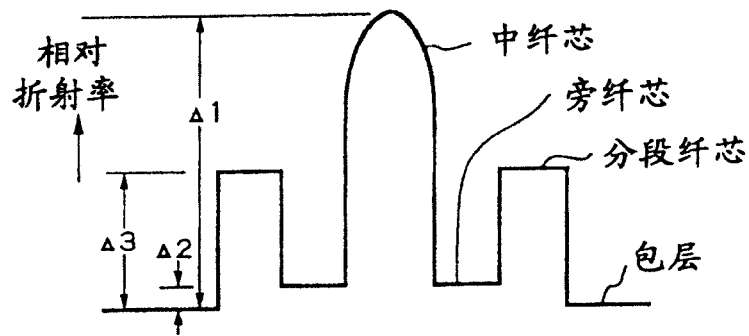


图 6

(W+分段纤芯)
型折射率分布

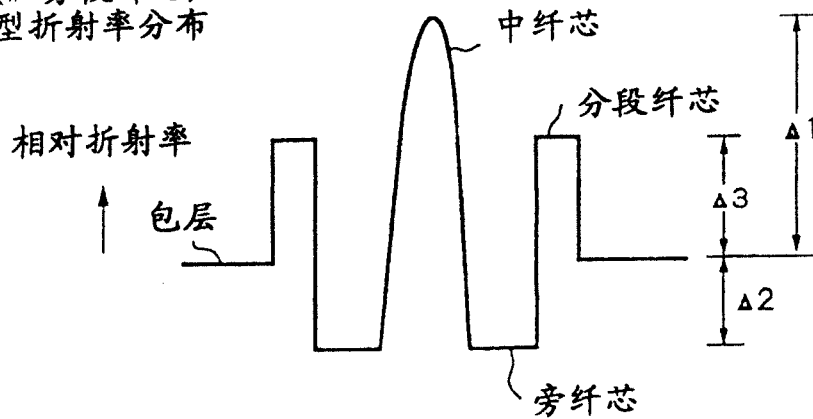


图 7

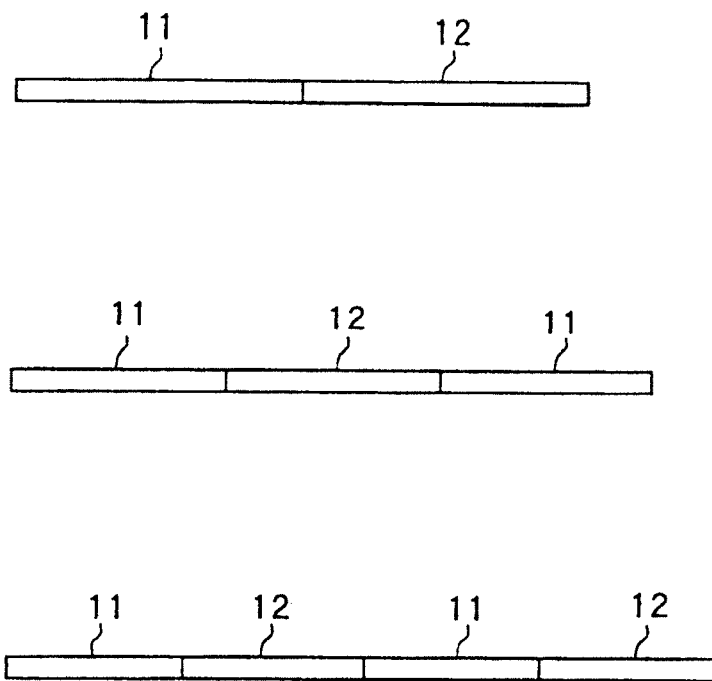


图 8