



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01135778.9

[45] 授权公告日 2005 年 6 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1205492C

[22] 申请日 2001.10.16 [21] 申请号 01135778.9

[30] 优先权

[32] 2000.10.16 [33] FR [31] 0013210

[71] 专利权人 阿尔卡塔尔公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 卢多维克·弗勒里

弗罗伦特·博蒙特 皮埃尔·西拉德

路易斯-安尼·德·蒙特莫里昂

马克西米·戈里尔 帕斯卡尔·诺奇

审查员 崔艳慧

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

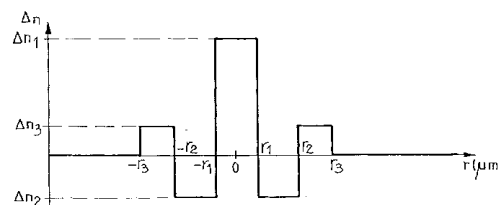
代理人 鄧 迅

权利要求书 5 页 说明书 11 页 附图 1 页

[54] 发明名称 用于对一根单模光纤在 S 频带作色散补偿的光纤

[57] 摘要

用来在 S 频带补偿单模折射率阶跃光纤的色散的一种色散补偿光纤，其在 1475nm 附近的色散小于 $-40\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ ，色散变化率小于 $-0.16\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ ，且在这一波长值附近的有效截面大于或等于 $14 \mu\text{m}^2$ 。这种光纤在 1475nm 处是单模的。这种光纤可以具有带有一个凹陷沟槽和一个环的矩形曲线。这种光纤能对以折射率阶跃单模光纤为传输光纤的传输系统在 S 频带进行色散和色散变化率的补偿。



1. 一种在 1475nm 处为单模的光纤，且在这个波长处的色散小于
-40ps/(nm.km)，色散与色散变化率之比小于 250nm，有效截面大于或
5 等于 $14\mu\text{m}^2$ 。

2. 权利要求 1 的光纤，其特征在于在 1450nm 处的有效截面大于
 $13\mu\text{m}^2$ 。

3. 权利要求 1 或 2 的光纤，其特征在于它在 1475nm 处的色散大
于或等于 -150 ps/(nm.km)。

10 4. 权利要求 1 或 2 的光纤，其特征在于在 1475nm 处的色散小于
或等于 -60ps/(nm.km)。

5. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于在 1475nm 处，它的
色散与色散变化率之比在 170 到 230nm 之间。

6. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于它绕半径为 30mm 环
15 绕 100 圈在波长 1500nm 处所有的弯曲损耗小于 10^{-3}dB 。

7. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于它绕半径为 10mm 环
绕一圈在 1500nm 处的弯曲损耗小于 100dB/m。

8. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于它在波长 1475nm 处
的衰减小于 1.2dB/km。

20 9. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于其在波长 1475nm 处
的模直径大于 $4\mu\text{m}$ 。

10. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于它在波长 1475nm 处
的微曲灵敏度小于 1，最好小于或等于 0.5。

11. 权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于它的理论截止波长
25 大于 1100nm 而小于 1800nm，最好是 1700nm，甚至 1600nm。

12. 权利要求 1 所述的光纤，其特征在于它具有带有一凹陷沟槽
和一个环的矩形折射率曲线。

13. 权利要求 1 所述的光纤，其特征在于它具有带有一个凹陷沟
槽和一个环的梯形折射率曲线。

14. 权利要求 12 或 13 的光纤, 其特征不在于矩形的折射率或环的折射率与包层的折射率之差 (Δn_1) 在 16×10^{-3} 到 25×10^{-3} 之间, 其特征还在于所述光纤中折射率大于包层折射率的那部分的半径 (r_1) 是在 1.3 到 $2.3 \mu\text{m}$ 之间。

5 15. 权利要求 12 或 13 的光纤, 其特征不在于凹陷沟槽的折射率与包层折射率之差 (Δn_2) 在 -9×10^{-3} 到 -5×10^{-3} 之间, 而这沟槽外径 (r^2) 是在 3.7 到 $6 \mu\text{m}$ 之间。

16. 权利要求 12 或 13 所述的光纤, 其特征不在于环的折射率与包层折射率之差 (Δn_3) 在 3×10^{-3} 到 11×10^{-3} 之间, 特征还在于这环的外径 (r_3) 是在 6.6 到 $8.3 \mu\text{m}$ 之间。

17. 权利要求 12 或 13 所述的光纤, 其特征不在于半径与折射率的乘积在从半径为零到具有高于包层的参数的光纤中央部分的外径 (r_1) 之间的积分的二倍在 30×10^{-3} 到 $60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

18. 权利要求 12 或 13 所述的光纤, 其特征不在于凹陷沟槽的外径 (r_2) 的平方与沟槽的折射率的乘积是在 -300×10^{-3} 到 $-110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

19. 权利要求 12 或 13 所述的光纤, 其特征不在于环的厚度 ($r_3 - r_2$) 与环的折射率的乘积是在 7×10^{-3} 到 $14.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间。

20. 一个传输系统, 其传输光纤中有一种阶跃折射率单模光纤 ($4i, 12i$), 并在 S 波段用一种在 1475nm 处为单模的光纤作色散补偿, 所述光纤在这个波长处的色散小于 $-40\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$, 色散与色散变化率之比小于 250nm , 有效截面大于或等于 $14 \mu\text{m}^2$ 。

21. 权利要求 20 的传输系统, 其特征不在于, 所述光纤在 1450nm 处的有效截面大于 $13 \mu\text{m}^2$ 。

22. 权利要求 20 或 21 的传输系统, 其特征不在于所述光纤在 1475nm 处的色散大于或等于 $-150 \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

23. 权利要求 20 或 21 的传输系统, 其特征不在于所述光纤在 1475nm 处的色散小于或等于 $-60\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

24. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统, 其特征不在于所述光纤在

1475nm 处的色散与色散变化率之比在 170 到 230nm 之间。

25. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤绕半径为 30mm 环绕 100 圈在波长 1500nm 处所有的弯曲损耗小于 10^{-3} dB。

26. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤绕
5 半径为 10mm 环绕一圈在 1500nm 处的弯曲损耗小于 100dB/m。

27. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤在波长 1475nm 处的衰减小于 1.2dB/km。

28. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤在波长 1475nm 处的模直径大于 $4\mu\text{m}$ 。

10 29. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤在波长 1475nm 处的微曲灵敏度小于 1，最好小于或等于 0.5。

30. 权利要求 20 或 21 所述的传输系统，其特征在于所述光纤的理论截止波长大于 1100nm 而小于 1800nm，最好是 1700nm，甚至 1600nm。

15 31. 权利要求 20 所述的传输系统，其特征在于所述光纤具有带有一凹陷沟槽和一个环的矩形折射率曲线。

32. 权利要求 20 所述的传输系统，其特征在于所述光纤具有带有一个凹陷沟槽和一个环的梯形折射率曲线。

33. 权利要求 31 或 32 的传输系统，其特征在于，在所述光纤中，
20 矩形的折射率或环的折射率与包层的折射率之差 (Δn_1) 在 16×10^{-3} 到 25×10^{-3} 之间，其特征还在于所述光纤中折射率大于包层折射率的那部分的半径 (r_1) 是在 1.3 到 $2.3\mu\text{m}$ 之间。

34. 权利要求 31 或 32 的传输系统，其特征在于，在所述光纤中，
25 凹陷沟槽的折射率与包层折射率之差 (Δn_2) 在 -9×10^{-3} 到 -5×10^{-3} 之间，而这沟槽外径 (r^2) 是在 3.7 到 $6\mu\text{m}$ 之间。

35. 权利要求 31 或 32 所述的传输系统，其特征在于，在所述光纤中，环的折射率与包层折射率之差 (Δn_3) 在 3×10^{-3} 到 11×10^{-3} 之间，特征还在于这环的外径 (r_3) 是在 6.6 到 $8.3\mu\text{m}$ 之间。

36. 权利要求 31 或 32 所述的传输系统，其特征在于，在所述光

纤中,半径与折射率的乘积在从半径为零到具有高于包层的参数的光纤中央部分的外径(r_1)之间的积分的二倍在 30×10^{-3} 到 $60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

37. 权利要求 31 或 32 所述的传输系统,其特征在于,在所述光纤中,凹陷沟槽的外径(r_2)的平方与沟槽的折射率的乘积是在 -300×10^{-3} 到 $-110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

38. 权利要求 31 或 32 所述的传输系统,其特征在于,在所述光纤中,环的厚度(r_3-r_2)与环的折射率的乘积是在 7×10^{-3} 到 $14.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

39. 权利要求 20 或 21 的系统,其特征在于在每条 1460 到 1490nm 间的信道中传输 100km 累积的色散的绝对值小于 100ps/nm。

40. 色散补偿模块,其中有一个放大器和一段在 1475nm 处为单模的光纤,所述光纤在这个波长处的色散小于 $-40\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$,色散与色散变化率之比小于 250nm,有效截面大于或等于 $14 \mu\text{m}^2$ 。

41. 权利要求 40 的色散补偿模块,其特征在于,所述光纤在 1450nm 处的有效截面大于 $13 \mu\text{m}^2$ 。

42. 权利要求 40 或 41 的色散补偿模块,其特征在于所述光纤在 1475nm 处的色散大于或等于 $-150 \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

43. 权利要求 40 或 41 的色散补偿模块,其特征在于所述光纤在 1475nm 处的色散小于或等于 $-60\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

44. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块,其特征在于所述光纤在 1475nm 处的色散与色散变化率之比在 170 到 230nm 之间。

45. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块,其特征在于所述光纤绕半径为 30mm 环绕 100 圈在波长 1500nm 处所有的弯曲损耗小于 10^{-3}dB 。

46. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块,其特征在于所述光纤绕半径为 10mm 环绕一圈在 1500nm 处的弯曲损耗小于 100dB/m。

47. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块,其特征在于所述光纤在波长 1475nm 处的衰减小于 1.2dB/km。

48. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块,其特征在于所述光

纤在波长 1475nm 处的模直径大于 $4\mu\text{m}$ 。

49. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块, 其特征在于所述光纤在波长 1475nm 处的微曲灵敏度小于 1, 最好小于或等于 0.5。

50. 权利要求 40 或 41 所述的色散补偿模块, 其特征在于所述光纤的理论截止波长大于 1100nm 而小于 1800nm, 最好是 1700nm, 甚至 1600nm。

51. 权利要求 40 所述的色散补偿模块, 其特征在于所述光纤具有带有一凹陷沟槽和一个环的矩形折射率曲线。

52. 权利要求 40 所述的色散补偿模块, 其特征在于所述光纤具有带有一个凹陷沟槽和一个环的梯形折射率曲线。

53. 权利要求 51 或 52 的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 矩形的折射率或环的折射率与包层的折射率之差 (Δn_1) 在 16×10^{-3} 到 25×10^{-3} 之间, 其特征还在于所述光纤中折射率大于包层折射率的那部分的半径 (r_1) 是在 1.3 到 $2.3\mu\text{m}$ 之间。

54. 权利要求 51 或 52 的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 凹陷沟槽的折射率与包层折射率之差 (Δn_2) 在 -9×10^{-3} 到 -5×10^{-3} 之间, 而这沟槽外径 (r^2) 是在 3.7 到 $6\mu\text{m}$ 之间。

55. 权利要求 51 或 52 所述的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 环的折射率与包层折射率之差 (Δn_3) 在 3×10^{-3} 到 11×10^{-3} 之间, 特征还在于这环的外径 (r_3) 是在 6.6 到 $8.3\mu\text{m}$ 之间。

56. 权利要求 51 或 52 所述的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 半径与折射率的乘积在从半径为零到具有高于包层的参数的光纤中央部分的外径 (r_1) 之间的积分的二倍在 30×10^{-3} 到 $60 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间。

57. 权利要求 51 或 52 所述的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 凹陷沟槽的外径 (r_2) 的平方与沟槽的折射率的乘积是在 -300×10^{-3} 到 $-110 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间。

58. 权利要求 51 或 52 所述的色散补偿模块, 其特征在于, 在所述光纤中, 环的厚度 ($r_3 - r_2$) 与环的折射率的乘积是在 7×10^{-3} 到 $14.5 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ 之间。

用于对一根单模光纤在 S 频带作色散补偿的光纤

技术领域

本发明涉及的是光纤传输领域，特别涉及的是在光纤传输系统中的色散和色散变化率的补偿。

背景技术

对于光纤，通常用折射率随功能图形的而变化的曲线来表征，这种曲线是折射率和光纤的半径有关。按照传统的方法，横轴是到光纤中心的半径 r ，纵横为光纤在该处折射率与包层折射率之差，并分别将表现的形状为斜坡形、梯形或三角形的折射率曲线分别称为“锯齿形”、“梯形”或“三角形”。这些曲线通常是光纤的理论曲线或参考曲线，而光纤在制造中的条件可以导致曲线有明显的不同。

在所有新的高速率且波长多工传输的网络中，特别是速率大于或等于 10Gbit/s 的情况下，需要对色散进行控制。其目的是对于多工的所有波长值，都要得到在线路上累积的色散大体为零，以使减少脉冲加宽。在整个传输系统中，累积的色散值为几百个 ps/nm 是可以接受的。同时还要避免使用在系统中的临近的波长的色散为零，对于这一些，非线性效应是非常重要的。最后，还要限制在多工范围内的色散变化率，以避免或缩小多工信道间变坏。色散补偿和色散变化率问题对于甚高速率 (à très haut débit) 传输特别重要，尤其是在以 40 Gbit/s 及以上的速率/信道的波长多工传输系统中。当频带宽度增加并达到超过或等于 30nm，例如 35nm 时，这个问题同样变得尖锐。

在传统上，是将折射率阶跃光纤作为传输光纤用于光纤通讯系统中的。通常称这些光纤为单模光纤或 SMF (来自英语: “single mode fiber”)。标号为 ASMF200 的一种商品化的折射率阶跃单模光纤，其无色散波长 λ_0 在 1300 到 1320nm 之间，且在 1285 ~ 1330nm 范围内的色

散为 $3.5\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ，在 1550nm 处的色散为 $18\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ 。在 1550nm 处的色散变化率为 $0.06\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ 。在已知的传输系统中，将这种光纤用于波长在 1550nm 附近的信号传输（信道 C）。

为了在这个频段中消除在用作传输光纤的 SMF 光纤中或 NZ-DSF（英语“non-zero dispersion shifted fibers”的缩写）光纤中的色散和色散变化率，已知的办法是使用短的色散补偿光纤或 DCF（英语 Dispersion Compensating Fiber），这种光纤的色散和色散变化率的符号都和传输光纤的色散和色散变化率的符号相反。在传输 SMF 光纤的情况下 L.Gr ner 及其同事给出一个例子，见 Large volume Manufacturing of Dispersion Compensating fiber, OFC' 98 Technical Digest TuDs.

文献 EP-A-0935 146 推荐用于补偿 SMF 光纤在 1550nm 附近波长范围内的色散及色散变化率的一些光纤。在这个波长附近，这些光纤的色散与色散变化率之比与传输光纤的色散与色散变化率之比相接近。这个文献还提出不同的光纤曲线，图 3 为带有一个下沉的沟槽和一个环的矩形折射率曲线。

发明内容

和这个文献相比，本发明提出解决新的问题，是对 SMF 光纤在 S 频带的色散补偿，此处称 S 频带是在 1450 到 1500nm 之间或在 1460 到 1490nm 之间，或在 1475nm 附近。这个频带具有的好处是扩大并增加波长多工传输系统的信道数。本发明所提出的方案适于在现存的传输系统中在宽频带中的高速率的传输。

更详细地说，本发明推荐一种在 1475nm 处的单模光纤，且这种光纤在这一波长处的色散小于 $-40\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ，色散与色散变化率之比小于 250nm ，以及有效截面大于或等于 $14\mu\text{m}^2$ 。

相当有好处的是，这种光纤在 1450nm 处具有的有效截面大于 $13\mu\text{m}^2$ ，还在 1475nm 处的色散大于或等于 $-150\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ 。

在一种实施方式中，这种光纤在 1475nm 处的色散小于或等于 $-60\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ 。这种光纤在 1475nm 波长处的色散与色散变化率之比在 170

到 230nm 之间。

在另一种实施方式中，将这种光纤绕成 100 圈，半径为 30nm 的圈，在波长为 1500nm 的弯曲损耗小于 10^{-3} dB，且半径为 10mm 的一圈中在波长为 1500nm 的弯曲损耗低于 100dB/m。

最好，述及的光纤对于波长 1475nm 的损耗小于 1.2dB/km。在另一种实施方式中，述及的光纤在波长 1475nm 处的模直径 (diametre de mode) 大于 $4\mu\text{m}$ ，且对于波长 1475nm 处的微曲灵敏度 (sensibitite aux mioro-courbure) 可以小于 1，而最好小于或等于 0.5。

还有相当的好处是，这种光纤具有的理论截止波长大于 1100nm，且小于 1800nm，最好为 1700nm，或 1600nm。

为从曲线中得到上述的参数，述及的光纤可以为具有一个凹陷的沟槽和一个环的矩形折射率曲线，或具有一个凹陷的沟槽和一个环的梯形折射率曲线。

在一种实施方式中，矩形或环的折射率与包层的折射率之差在 16×10^{-3} 到 25×10^{-3} 之间，且折射率大于包层折射率的光纤部分的半径在 1.3 至 $2.3\mu\text{m}$ 之间。

在另一种实施方式中，凹陷沟槽折射率与包层折射率之差在 -9×10^{-3} 到 -5×10^{-3} 之间。这个凹槽的外径在 3.7 到 $6\mu\text{m}$ 之间。

在又一种实施方式中，还有环的折射率与包层折射率之差在 3×10^{-3} 到 11×10^{-3} 之间，且环的外半径在 6.6 到 $8.3\mu\text{m}$ 之间。

最好，半径与折射率的乘积在从半径为零到光纤中心部分的外径间的积分的两倍具有的折射率大于包层的这个值，在 30×10^{-3} 到 $60 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ 之间。

同样可以预见，凹陷沟槽的外半径的平方与凹陷沟槽折射率的乘积是在 -300×10^{-3} 到 $-110 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间。

还有可能，环的厚度与环的折射率的乘积是在 7×10^{-3} 到 $14.5 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ 。

本发明还推荐一种传输系统，这系统的传输光纤中有一在 S 频带得到补偿的阶跃折射率单模光纤，其好处是每条信道在 1460 到 1490nm

间在 100km 传输中累积的色散的绝对值平均小于 100ps/nm.

所说的传输光纤可以是由折射率阶跃单模光纤构成, 亦可是折射率阶跃单模光纤和色散补偿光纤构成。前面所推荐的光纤在这样的传输系统中用作色散补偿光纤是特别有好处的。

最后, 本发明推荐一个色散补偿模块, 在这个模块中有一个放大器和一段这种光纤。

附图说明

在后面对本发明的实施方式的描述中将看到本发明的其它特征和优点, 后面对实施方式的描述是作为示例, 并参考下面的附图:

—图 1 和 2 是根据本发明的一个传输系统的实施方式的示意性表示。

—图 3 和 4 是根据本发明的光纤曲线的例子。

具体实施方式

本发明推荐一种色散补偿光纤, 这种光纤用来补偿一种折射率阶跃单模光纤在 S 频带的色散, 这种光纤在 1475nm 处是单模的。这种光纤在 1475nm 附近的色散小于 $-40\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, 色散变化率小于 $-0.16\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$, 且在这同一个波长处, 有效截面大于或等于 $14\mu\text{m}^2$ 。亦可预计, 这种光纤在波长 1475 附近的色散与色散变化率之比小于 250nm, 这样便可以在将这种光纤用于 SMF 光纤的补偿光纤时, 对于每根信道, 在 100km 的传输中在 1450 到 1500nm 之间平均积累的色散的绝对值保证小于 70ps/nm.

本发明的光纤可以用来对用在将传统折射率阶跃单模光纤用作传输光纤的传输系统中在 S 频带进行色散补偿和折射率变化率补偿。如前面已经指出, SMF 光纤在 1550nm 附近的色散的典型值在 15 到 20ps/(nm.km) 之间, 色散变化率的典型值约为 $0.06\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ 。在 S 频带, SMF 光纤在 1475nm 处的色散约为 $13\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, 以及色散变化率约为 $0.064\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$, 色散与色散变化率之比约为 200nm。在这个波长处, 现在技术状态的补偿光纤—例如 EP-A-0 935 146 中的光纤—不能满足色散补偿和色散变化率的补偿。在这种现在技术的光纤

中,色散与色散变化率之比超过 250,甚至 300nm。即使将这种色散补偿光纤在 S 频带用于以 SMF 光纤为传输光纤的传输系统中,它也不能够保证对色散和色散变化率进行部分补偿,例如对于折射率与折射率变化率之比为 300nm 的光纤,对于中心在 1450 到 1500nm 的信道,在 100km 的传输中累积的色散的绝对值超过 100ps/nm。

本发明还涉及光纤传输系统,其中的传输光纤用 SMF 光纤,即这一种光纤,在 1550nm 处的色散在 15 到 20ps/(nm.km)之间,色散变化率在 0.055 到 0.060ps/(nm².km),这种传输光纤的特征还在于它在 1475nm 附近的色散值和色散变化率的值是如在前面已经指出的那样。

图 1 示出根据本发明的传输系统的第一实施方式的示意性表示。在这个图中,示出一个发射器 TX1 和一个接收器 RX2,这两部分之间用多段光纤 4_i 到 4_n 连接。此处意味着传输光纤延伸到整个传输系统的长度,其长度大体上相当于系统的长度。在图 1 所示的实施方式中,传输光纤是由 SMF 光纤构成的,在各段光纤之间安装有色散补偿块 5_i 到 5_n ,一个色散补偿块 5_i 中有一个放大器 6_i ,后面跟着一段色散光纤 7_i 。在这个图中没有画出滤波器和其它与本发明的运行不直接有关的器件。

将来自 SMF 光纤的光进行放大,然后传到一段色散补偿光纤中,在这光纤中,色散和色散变化率得到补偿,亦可将补偿模块中的色散补偿光纤和放大器的位置相互颠倒。

图 2 示出根据本发明的传输系统的另一种实施方式。在图 2 所示的实施方式中,仍将色散补偿光纤用作传输光纤。在这图中仍然有发射器 TX1 和接收器 RX2,这两个部分之间用多段传输光纤 10_i 连接,传输光线段由中继器隔开,每个中继器中有放大器、滤波器,以及其它已知部件,并没有进行更详细的描述。每段传输光纤 10_i 中有一段 SMF 光纤 12_i 和一段根据本发明的色散补偿光纤 13_i 。

图 1 和图 2 所示的实施方式构成了两个极端:在图 1 所示的实施方式中,传输光纤仅为 SMF 光纤,所有的色散补偿光纤都密藏在转接器中。在这种情况下,色散补偿光纤与传输系统的长度无关。这种实施方式特别适用于现存的 SMF 光纤的连接,并可对这种系统进行修改,以

用于在 S 波段的传输。与此相反,在图 2 所示的实施方式中,色散补偿光纤起传输光纤的作用而中继器中并没有色散补偿光纤。可以有在图 1 所示方案与图 2 所示方案之间的中间方案。

在这种情况下或那种情况下,色散补偿光纤的长度和希望的传输光纤 F 的长度分别为 L_{DCF} 和 L_F , 选择这两个长度,使得

$$L_{DCF} \times C_{DCF} = -L_F \times C_F \quad (1)$$

此处, L_{DCF} 是色散补偿光纤在 1475nm 处的色散,而 C_F 是传输光纤在 1475nm 处的色散。这种实施保证了在传输光纤中积累的色散在色散补偿光纤中得到补偿,可以放宽这个条件,使得在传输 100km 后,在 1475nm 处剩余的累积色散小于 10ps/nm。亦可选择大的负色散,以使所用的补偿光纤尽可能短。

作为例子,可以考察图 1 所示类型的传输系统,其中传输 SMF 光纤各段的长度 L_{SMF} 为 100km,在转播器中的一段光纤的长度 L_{DCF} 为 20km,在 1475nm 处,SMF 光纤的色散约为 13ps/(nm.km),色散变化率为 0.064ps/(nm².km); DCF 光纤为图 3 所示的那类光纤,在波长 1475nm 处的色散为 -65ps/(nm.km) 及色散变化率为 -0.33ps/(nm².km)。在这种情况下,在 1475nm 处的累积色散接近于 0ps/nm。对于一个在 1450 到 1500nm 间的波长多工信号,构成传输系统一段的每条信道,100km 中累积色散小于 20ps/nm。由此可以得到前面指出的将累积色散限制在几十个 ps/nm 以下。平均而言,在 S 频带的每条信道上传输 100km,将累积色散限制在 20ps/nm 以下。

在补偿色散的同时对色散变化率进行补偿,这取决于在 SMF 光纤中和在色散补偿光纤中的色散与色散变化率之比。在理想的情况下,将 SMF 光纤和色散补偿光纤的这个比分别记作 R_{SMF} 和 R_{DCF} ,便有在波长 1475nm 处 $R_{SMF} = R_{DCF}$,这便保证了如果在 1475nm 处的累积色散很好地得到补偿,在这个波长处小于 10ps/nm,则在 1475nm 处的色散变化率也得到很好的补偿。

如果将色散与色散变化率的比 R_{DCF} 保持在 250nm 以下,便保证对于在波长 1475 为中心附近 30nm 频宽内的多工的每条 1460 到 1490nm

间的每条信道，在 100km 传输中累积的剩余色散小于 50ps/nm。如增加使用范围，在 1450 到 1500nm 间，对于比 R_{DCF} 为 250nm，剩余累积色散的绝对值将小于 70ps/nm，70ps/nm 是可达到的最大值。

对于比值 R_{DCF} 大于 250nm，则对于以 1475nm 为中心的多工信道整体的平均累积色散的绝对值将增加。因此，本发明建议，光纤的色散与色散变化率之比要小于 250nm，以限制在 1450 到 1500nm 之间的给定的传输长度上平均累积色散的绝对值。

现在来描述本发明的色散补偿光纤的特征，然后给出这种光纤的一种实施方法。这种光纤在波长 1475nm 处有负色散和负的色散变化率，以能补偿 SMF 光纤的色散和色散变化率。其色散小于 -40ps/(nm.km)，例如在 -150 到 -40ps/(nm.km) 之间。这种光纤的色散变化率在 -0.5ps/(nm².km) 到 -0.16ps/(nm².km)。可以预计，这种光纤的色散与色散变化率之比约为 200nm，非常接近 SMF 光纤的色散与色散变化率之比，在 1475nm 处，这个比在 170 到 230nm 之间是相当好的。另外这光纤在 1475nm 处是单模的。

如前面已经指出，这种光纤的好处在于这种光纤有小的弯曲损耗。这弯曲损耗是用已知的方法进行估计的，即测量将光纤绕圈所生成的损耗。例如将光纤绕在半径为 30mm 的筒上 100 圈并测量由于绕圈而引入的损耗，亦可简单地将光纤在半径为 10mm 的筒上形成一圈而测定线性损耗。在这种和那种情况下，弯曲损耗是波长的增函数，且光纤在 1475nm 处的性能总是优于在 1500nm 处的性能，因此用检测 1500nm 处的光纤特征就足以保证在 S 带的运行。根据本发明，绕成半径为 30mm 的圈 100 圈光纤在 1500nm 处的弯曲损耗最好小于 10⁻³dB。对于弯曲损耗的这个限制保证可以将色散补偿光纤在转播器中绕圈，像在图 1 所示的实施方式中那样，或者制成光缆，如在图 2 所示的实施方式中那样。还可利用测量光纤在半径为 10mm 的环之一圈中的损耗来表示，在 1500nm 处要低于 100dB/m。

所述的光纤还要有下列特征中的一个或多个：

— 在 1475nm 处的色散小于 -60ps/(nm.km)；

- 在 2m 中测得的截止波长低于 1450nm;
- 光缆的有效截止波长小于 1300nm;
- 理论截止波长大于 1100nm, 小于 1800nm, 甚至 1700nm 或 1600nm.

- 有效截面大于 $14\mu\text{m}^2$, 在 1450nm 处最好大于 $13\mu\text{m}^2$;
- 微曲灵敏度小于 1, 最好小于或等于 0.5;
- 对于波长大于 1450nm 时的模直径大于 $4\mu\text{m}$.

上面推荐的色散值可以限制用于系统中的色散补偿光纤的长度。将理论截止波长增加到 1100nm 以上, 可以使传输特性更好地协调。如理论截止波长小于 1600nm, 则可以保证, 对于大部分折射曲线的光纤在 S 频带是单模的, 对于理论截止波长大于 1600nm, 则某些曲线的光纤在 S 频带就不再是单模的。根据 UIT-TG650 标准, 有效截止波长小于 1450nm, 则保证补偿光纤在 S 带是单模运行。有效截面限制了大功率信号在补偿光纤中传播时出现的可能的非线性效应, 特别是在图 1 所示的根据本发明的传输系统的实施方式中。在 1475nm 处的有效截面积大于 $14\mu\text{m}^2$, 这可以限制在整个 S 频带中的非线性效应。光纤的微曲灵敏度是用相对的方法估计的, 相对于用标号 ASMF200 标记的商品化的光纤; 亦可使用已知的将光纤在两个栅之间压挤的方法。

图 3 示出根据本发明的光纤的记录的折射率曲线的示意图。在这个实施方式中, 折射率曲线是矩形的, 其中有一个下沉的凹槽和一个环, 从光纤的中心开始为:

- 一个中央部分, 折射率大体为常数, 大于或等于包层的折射率;
- 一个环形部分, 折射率小于或等于包层的折射率;

这整个构成的折射率曲线被称为带有下沉或凹陷沟槽的矩形。

图 3 中的光纤在这个凹陷沟槽的外周有一个环, 即是一个折射率大于包层折射率的部分, 由此来形容成带有一个凹陷沟槽和一个环的矩形曲线。

在图 3 的实施方式中, 折射率和半径的值如下: 中央矩形的半径 r_1 为 $1.66\mu\text{m}$, 而其折射率与包层折射率的差 Δn_1 为 18.4×10^{-3} 。

凹陷的沟槽在半径 r_1 与 r_2 之间, 且 $r_2=4.68 \mu\text{m}$, 而其折射率相对包层折射率有一差值 Δn_2 , 为 -7.0×10^{-3} 。

在凹陷的沟槽外周是一个环, 在半径 r_2 和半径 r_3 之间, 及 $r_3=7.2 \mu\text{m}$, 它的折射率相对于包层折射率有一差值 Δn_3 , 为 4.1×10^{-3} 。

在这个环的外面是光纤的包层, 所有的折射率的差都是相对于包层来测量的。

这些数值使得获得的光纤具有下列特征:

- 理论截止波长 λ_{cth} : 1600nm ;
- 在 1475nm 处的有效截面为 $17 \mu\text{m}^2$;
- 在 1475nm 处的色散: $-65\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$
- 在 1475nm 处的色散变化率: $-0.33\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$;
- 色散与色散变化率之比: 197nm ;
- 在 1475nm 处的 $2W_{02}$ 模的直径: $4.62 \mu\text{m}$;
- 在从 1475nm 到 1500nm 处, 半径为 30mm 的绕线 100 圈中的弯曲损耗小于 10^{-3}dB ;
- 在 1475nm 处的微曲灵敏度: 0.2

此处给出的截止波长是理论截止波长, 实际上, 在光缆中测得的截止波长较这一波长要小几百个 nm 。正如人们所知, 光纤的有效单模是在有用信号波长范围内, 例如在 1460 到 1490nm 间。

在另一种实施方式中, 光纤具有相同的曲线, 而折射率和半径的值如下:

$r_1(\mu\text{m})$	$r_2(\mu\text{m})$	$r_3(\mu\text{m})$	$10^3 \Delta n_1$	$10^3 \Delta n_2$	$10^3 \Delta n_3$
1.45	4.39	7.174	22.2	-6.9	4.6

这些数值使获得如下的传播特性:

$\lambda_{\text{cth}}(\text{nm})$	$A_{\text{eff}}(\mu\text{m}^2)$	C (ps/nm/km)	dC/d λ (ps/nm ² /km)	C/(dC/d λ) (nm)	$2W_{02}(\mu\text{m})$
1629	15.1	-101.8	-0.51	201	4.56

图 4 还示出根据本发明的光纤的另一种曲线。在这种实施方式中, 光纤具有带有一个凹陷沟槽和一个环的梯形曲线。换言之, 从光纤的中

心开始，有：

——一个中央部分：折射率大体为常数，大于或等于包层折射率；

——一个环形部分：折射率小于或等于包层的折射率

这两个部分为一个环状部分分开，在这个部分中折射率大体上成线性下降，整个构成一条折射率曲线，称为“带有一个凹陷或下沉的槽的梯形”折射率曲线。

如在图 3 所示的实施方式中那样，在这个凹陷沟槽的外周有一个环。

类似于图 3 的实施方式，可将图 4 记作：

—— r_{1a} ：梯形小底的半径，即中央折射率大体为常数的部分的半径；

—— r_{1b} ：梯形大底的半径，即下沉沟槽的内径；

—— r_1 ：梯形半径，比处的折射率等于包层的折射率；

—— r_2 ：下沉沟槽的外径；

—— r_3 ：环的外径。

下面是各个折射率和各个半径的值：

r_{1a}/r_{1b}	$r_1(\mu m)$	$r_2(\mu m)$	$r_3(\mu m)$	$10^3 \Delta n_1$	$10^3 \Delta n_2$	$10^3 \Delta n_3$
0.73	1.97	5.25	7.71	18	-5.9	5.15

在此情况下得到的光纤具有下面的传播特性：

$\lambda_{cth}(nm)$	$A_{eff}(\mu m^2)$	C (ps/nm/km)	$dC/d\lambda$ (ps/nm ² /km)	$C/(dC/d\lambda)$ (nm)	$2W_{02}(\mu m)$
1698	17.6	-53	-0.256	207	4.73

一般地可将光纤的曲线表征如下：一方面这个曲线是一条带有一个下沉或凹陷的沟槽和一个环的梯形曲线或矩形曲线。中央部分的折射率与包层折射率之差为

$$1.6 \times 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 25 \times 10^{-3}$$

像前面指出的那样的，可以将 r_1 称为大于包层折射率部分的半径——在 r_1 以下，矩形曲线的折射率为常数，而梯形曲线的折射率并非为常数。在此情况下，可将半径 r_1 用微米表示，有

$$1.3 \leq r_1 \leq 2.3 \mu m$$

对于凹陷的沟槽，可以选择折射率差的值 Δn_2 和外径 r_2 的值，使得

$$-9 \times 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -5 \times 10^{-3}$$

$$3.7 \leq r_2 \leq 6 \mu\text{m}$$

对于环，可以选择折射率差的值 Δn_3 和外径 r_3 的值，以致

$$3 \times 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq 11 \times 10^{-3}$$

$$6.6 \leq r_3 \leq 8.3 \mu\text{m}$$

这种光纤还可以有别的特征。还可以使用参数 S ，这是由

$$S = 2 \int_0^a \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

来定义。这个参数和面积与折射率的乘积是等质的，可简单地将这个参数用于梯形曲线，亦可用于矩形曲线，表征光纤中心附近的折射率的增量，最好为

$$30 \times 10^{-3} \leq S \leq 60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$$

可用外径平方与折射率的乘积作为参数来表征凹陷的沟槽。这个参数用来区分本发明的光纤，而不是简单地提供这个参数的简单的物理解释。于是有

$$-300 \times 10^{-3} \leq r_2^2 \Delta n_2 \leq -110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$$

对于环，亦可使用和中央部分同样类型的参数，例如环的宽度与折射率差的乘积，在这种情况下，有

$$7 \times 10^{-3} \leq (r_3 - r_2) \Delta n_3 \leq 14.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$$

技术人员可用已知的技术制造本发明的光纤，如用 MCVD、POVD 或别的通常用来制造光纤的技术。

当然，本发明并不限制在已经描述和表示的示例和实施方式中，可以有多种技术人员可接受的变种。可将本发明的光纤用于不同于图 1 和图 2 所示的系统中去，特别是可用于图 1 所示类型的传输系统中，而这系统中有一个多工器，将信号分在 S、C 以及 L 频带。在这种情况下，本发明的补偿光纤可以用来补偿 S 频带的色散，而别的类型的色散补偿光纤用来补偿在 C 频带和/或 L 频带中的色散。可以在图 1 所示的图中在色散补偿光纤之后加一放大器，成为放大器+DCF+放大器结构，即二级放大。

还可以用不同于图 3 或图 4 所示的曲线获得根据本发明的光纤。

