



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101587204 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 200910140806. X

G02B 6/44 (2006. 01)

(22) 申请日 2009. 05. 06

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

- 61/112, 006 2008. 11. 06 US
- 61/101, 337 2008. 09. 30 US
- 61/112, 374 2008. 11. 07 US
- 08/02503 2008. 05. 06 FR

- CN 1982928 A, 2007. 06. 20,
- CN 101055331 A, 2007. 10. 17,
- US 6694079 B1, 2004. 02. 17,
- US 7164835 B2, 2007. 01. 16,
- US 2007/0147756 A1, 2007. 06. 28,

(73) 专利权人 德雷卡通信技术公司
地址 荷兰阿姆斯特丹市

审查员 高慧敏

(72) 发明人 L-A·德蒙莫里永 S·里夏尔
D·莫兰 M·比戈-阿斯特吕克
P·西亚尔 D·布瓦万

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

代理人 王茂华

(51) Int. Cl.

G02B 6/036 (2006. 01)

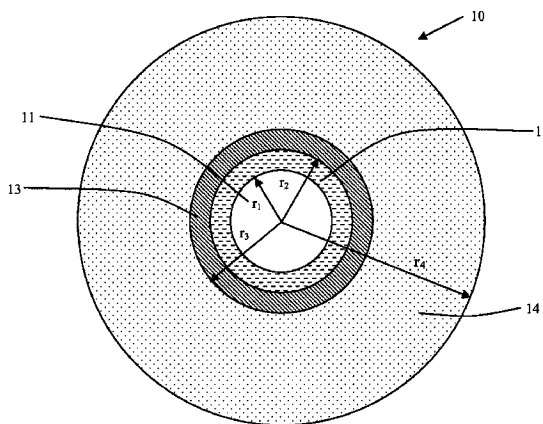
权利要求书2页 说明书20页 附图1页

(54) 发明名称

单模光纤

(57) 摘要

一种单模光纤,从中央到周边包括,中央纤芯、中间包层、凹陷槽和外部光包层。中央纤芯具有半径 r_1 和与光包层之间的正折射率差 Δn_1 ; 中间包层具有半径 r_2 和与光包层之间的正折射率差 Δn_2 , 其中 Δn_2 小于纤芯的折射率差 Δn_1 。凹陷槽具有半径 r_3 和与光包层之间的负折射率差 Δn_3 。该光纤在 1310 纳米波长处具有在 $8.6 \mu\text{m}$ 到 $9.5 \mu\text{m}$ 之间的标称模场直径 (MFD), 并且该光纤对于 1550 纳米波长以及对于 5 毫米的曲率半径具有小于 0.15dB/圈 的弯曲损耗, 以及小于或等于 1260 纳米的缆线截止波长, 该缆线截止波长被测量为这样的波长: 在该波长处, LP11 模在传播超过 22 米光纤之后, 该 LP11 模的衰减大于或等于 19.3dB 。这样的光纤可以用于诸如微型化光盒的不同环境中。



1. 一种具有降低的弯曲损耗的单模光纤,具有从该光纤的中央到外部光包层延伸的半径处测量的折射率分布,该光纤包括:

中央纤芯,被外部光包层围绕,所述中央纤芯具有半径 r_1 和与光包层之间的正折射率差 Δn_1 ;

中间包层,位于所述中央纤芯与所述外部光包层之间,所述中间包层具有半径 r_2 和与光包层之间的折射率差 Δn_2 ,其小于该纤芯的折射率差 Δn_1 ,其中, Δn_2 在 -0.1×10^{-3} 和 0.6×10^{-3} 之间;

凹陷槽,位于所述中间包层与所述外部光包层之间,所述凹陷槽具有半径 r_3 和与光包层之间的负折射率差 Δn_3 ,其中所述凹陷槽的体积分 (V_{13}) 被定义为

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

所述体积分在 $-1200 \times 10^{-3} \mu m^2$ 和 $-750 \times 10^{-3} \mu m^2$ 之间,并且其中所述凹陷槽的面积分 (V_{03}) 被定义为

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

所述面积分在 $-55.0 \times 10^{-3} \mu m$ 和 $-30.0 \times 10^{-3} \mu m$ 之间;

其中该光纤在 1310 纳米波长处具有在 $8.6 \mu m$ 到 $9.5 \mu m$ 之间的标称模场直径 (MFD),而且,该光纤对于 1550 纳米波长以及对于 5 毫米的曲率半径具有小于 0.15dB/圈的弯曲损耗;以及

小于或等于 1260 纳米的缆线截止波长,该缆线截止波长被测量为这样的波长:在该波长处,LP11 模在传播超过 22 米光纤之后,该 LP11 模的衰减大于或等于 19.3dB。

2. 根据权利要求 1 的光纤,其中:

所述中央纤芯的面积分 (V_{01}) 被定义为

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

其在 $19.0 \times 10^{-3} \mu m$ 和 $23.0 \times 10^{-3} \mu m$ 之间。

3. 根据权利要求 2 的光纤,其中所述中央纤芯的面积分 (V_{01}) 在 $20.0 \times 10^{-3} \mu m$ 和 $23.0 \times 10^{-3} \mu m$ 之间。

4. 根据权利要求 1 的光纤,其中所述凹陷槽的面积分 (V_{03}) 在 $-42.5 \times 10^{-3} \mu m$ 和 $-32.5 \times 10^{-3} \mu m$ 之间。

5. 根据权利要求 1 的光纤,其中所述凹陷槽的体积分 (V_{13}) 在 $-1000 \times 10^{-3} \mu m^2$ 和 $-750 \times 10^{-3} \mu m^2$ 之间。

6. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,进一步包括大于 1300 纳米的有效截止波长 λ_{ceff} ,该有效截止波长被测量为这样的波长:在该波长处,光信号进行超过 2 米的光纤传输后不再是单模的。

7. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,进一步包括在 1240 纳米和 1310 纳米之间的截

止波长,在该波长处,光信号传播超过 5 米的光纤后不再是单模的。

8. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,进一步包括小于或等于 1250 纳米的理论截止波长,该理论截止波长是 LP₁₁ 模自此以泄漏模进行传播的波长。

9. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,其中该中央纤芯具有在 3.8 μm 和 4.35 μm 之间的半径 (r_1),和 / 或其中该中央纤芯与光包层之间具有在 4.9×10^{-3} 和 5.7×10^{-3} 之间的折射率差 (Δn_1)。

10. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,其中该中间包层具有包含在 8.5 μm 和 9.7 μm 之间的半径 (r_2)。

11. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,其中该凹陷槽具有在 13.5 μm 和 16 μm 之间的半径 (r_3),和 / 或该凹陷槽与光包层之间具有包含在 -10.0×10^{-3} 和 -5.0×10^{-3} 之间的折射率差 (Δn_3)。

12. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,进一步包括在 1300 纳米和 1324 纳米之间的零色散波长 (ZDW)。

13. 根据权利要求 1-5 中任一项的光纤,进一步包括在零色散波长 (ZDW) 处的小于 0.092ps/(nm²·km) 的零色散斜率值。

14. 一种光盒,接纳有根据前述权利要求中任一项的光纤的至少一部分。

15. 根据权利要求 14 所述的光盒,其中所述光纤具有小于 15 毫米的曲率半径。

16. 根据权利要求 14 所述的光盒,其中所述光纤具有约为 5 毫米的曲率半径。

17. 一种光纤到户 (FTTH) 系统,包括根据权利要求 1-13 中任一项的光纤的至少一部分。

单模光纤

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤传输领域,而且更具体地,涉及弯曲损耗显著降低的光纤。

背景技术

[0002] 对于光纤,通常根据关联光纤半径和折射率的函数图上的两点之间的差值来表达折射率分布。传统地,沿着该分布的 x 轴示出到光纤中央的距离 r。沿着 y 轴示出距离 r 处的折射率和外部光纤包层的折射率差(图 2,标号 21-24)。外部包层作为光包层而且具有基本上恒定的折射率;该光包层通常包括纯二氧化硅(silica),但是还可以包含一种或多种掺杂物。光纤折射率分布涉及“阶跃”分布、“梯形”分布或“三角形”分布,其图形分别具有阶跃、梯形或三角形的形状。这些曲线通常表示光纤的理论或参照折射率分布(也就是,设置分布)。光纤制造约束条件可能导致在实际光纤中的分布略有不同。

[0003] 传统地,光纤包括(i)光纤芯,具有传输和可选地放大光信号的功能,以及(ii)光包层,具有将光信号限制在光纤芯中的功能。为此目的,纤芯的折射率(n_c)和包层的折射率(n_g)满足 $n_c > n_g$ 。正如本领域所公知,光信号在单模光纤中的传播被划分为在纤芯内引导的基模(公知为 LP01),以及在纤芯-包层组件内的某半径内引导的二次模。

[0004] 传统地,阶跃折射率光纤,也称为 SMF 光纤(“单模光纤”)用作光纤传输系统的线路光纤。这些光纤呈现出对应于特定电信建议的色散和色散斜率。

[0005] 为了满足来自不同制造商的光学系统的兼容性需求,国际电信联盟(ITU)定义了具有标准单模光纤(SSMF)必须满足的称为 ITU-TG. 652 规范的建议。

[0006] 除其他之外,用于传输光纤的 G. 652 建议推荐:在 1310 纳米波长处,模场直径(MFD)在 8.6 微米到 9.5 微米的标称范围,由于制造容限其可以变化 $\pm 0.4 \mu\text{m}$; 缆线截止波长最大值为 1260 纳米;色散消除波长(用 λ_0 表示)在 1300 纳米到 1324 纳米的范围;以及最大色散斜率为 $0.092\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ (也就是, $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)。

[0007] 传统上,将以下波长作为缆线截止波长进行测量,在该波长处,光信号通过光纤传播 22 米后不再是单模的,比如国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 标准中定义的那样。

[0008] 在大部分情形中,对弯曲损耗最具抵抗力的二次模是 LP11 模。因此,缆线截止波长是这样的波长,超出该波长,则 LP11 模在通过光纤传播 22 米后都被充分减弱。该标准提出的方法包括,当 LP11 模的衰减大于或等于 19.3dB 时,认为光信号是单模的。

[0009] 而且,对于给定的光纤,所谓的 MAC 值被定义为 1550 纳米处光纤的模场直径与有效截止波长 λ_{eff} 的比值。正如国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 中定义的那样,在传统上将以下波长作为截止波长进行测量,在该波长处,光信号通过光纤传播超过 2 米后不再是单模的。MAC 构建了用于评估光纤性能的参数,特别用于在模场直径、有效截止波长和弯曲损耗之间找到折衷的参数。

[0010] 欧洲专利申请 No. 1, 845, 399 和欧洲专利申请 No. 1, 785, 754 阐述了申请人的实验结果。这些在前申请建立了在标准阶跃折射率光纤 SSMF 中曲率半径为 15 毫米时的 1550

纳米波长处的 MAC 值与 1625 纳米波长处的弯曲损耗之间的关系。在此通过参考而将每个欧洲专利申请整体引入于此。而且,每个申请都指出 MAC 值影响光纤的弯曲损耗,以及降低 MAC 会降低这些弯曲损耗。降低模场直径和 / 或增加有效截止波长降低 MAC 值,但是可能导致不符合 G. 652 建议,使得光纤与一些传输系统在商业上不兼容。

[0011] 降低弯曲损耗同时保持某些光传输参数,对于针对光纤系统到用户的光纤应用(称为 FTTH, 光纤到户)构成了挑战。

[0012] 国际电信联盟 (ITU) 还定义了称为 ITU-T G. 657A 和 ITU-TG. 657B 的建议,针对 FTTH 应用的光纤必须满足该标准,特别是在对弯曲损耗的抵抗力方面。G. 657A 建议对弯曲损耗值设定了限制,但是首先寻求与 G. 652 建议保持兼容,特别是在模场直径 MFD 和色散方面。另一方面,G. 657B 建议设定严格的弯曲损耗限制,特别对于 (i) 对于 15 毫米的曲率半径,在 1550 纳米的波长处小于 0.003dB/圈 (dB/turn) 的弯曲损耗,以及 (ii) 对于 15 毫米的曲率半径,在 1625 纳米的波长处小于 0.01dB/圈的弯曲损耗。

[0013] 欧洲专利申请 No. 1, 845, 399 和欧洲专利申请 No. 1, 785, 754 提出具有有限弯曲损耗的光纤分布,特别对应于 G. 657A 和 G. 657B 建议中的规范。然而,这些欧洲专利申请中描述分布,仅可能满足由 G. 657B 建议设定的弯曲损耗限制。

[0014] 美国专利 No. 7, 164, 835 和美国专利申请公开号 No. 2007/0147756 中的每个都通过参考而整体引入于此,它们也描述了呈现出有限弯曲损耗的光纤分布。然而,这些美国专利的光纤仅仅对应于 G. 657A 和 G. 657B 建议的规范,特别是在模场直径 MFD 和色散方面。

[0015] 在目前,对于某些应用,降低弯曲损耗是必须的,特别是当旨在将光纤布设 (staple) 或绕在微型化的光盒中时。

[0016] 孔助光纤技术使得实现关于弯曲损耗的优良性能成为可能,但是这个技术复杂而且实施昂贵并且不能用于旨在低成本系统的 FTTH 系统中使用的光纤。

[0017] 申请人以 BendBright-XS 为商标来销售对于弯曲损耗具有良好抵抗性的弯曲不敏感光纤。这种范围的光纤完全服从 ITU-T G. 652 和 G. 657B 建议,并提出在 1550nm 处 5 毫米的曲率半径的典型弯曲损耗是 0.3dB/圈。针对光纤存在以下需求:即,光纤需要对弯曲损耗具有典型的抵抗力,针对 5 毫米的曲率半径,该典型的抵抗力要明显优于上述销售的光纤的典型水平。满足这个规范的光纤还应该在传输分布方面,特别是在模场直径和缆线截止方面,保持完全服从 G. 652 建议。倘若 (i) 直接的高次 LP11 模被充分衰减,以及 (ii) LP11 模在 1260 纳米波长处的衰减达到 19.3dB 所需要的光纤长度小于 22 米,从而确保缆线截止低于或等于 1260nm,那么弯曲损耗的这种可观改进可以实现对更高截止波长的损害。满足这种规范的光纤还必需保持完全服从 G. 657B 建议。

发明内容

[0018] 为了上述目的,本发明包括一种光纤,该光纤具有中央纤芯,中间包层和被外部光包层围绕的凹陷槽 (depressed trench)。折射率分布被优化,以相比 G. 657B 建议所设定的限制,十倍级地改善弯曲损耗,同时保持模场直径与 G. 652 建议兼容,并且确保 LP11 模的充分衰减。

[0019] 特别地,纤芯的表面以及凹陷槽的表面和体积被优化,以显著改善弯曲损耗。在本发明的上下文中,纤芯的表面或凹陷槽的表面不能几何学地延伸,但应该对应于考虑了二

维的值 - 半径与折射率差的积。类似地,凹陷槽的体积对应于考虑了三维的值 - 半径的平方与折射率差的积。

[0020] 更具体地,本发明提出一种单模光纤,从中央到周边,包括中央纤芯、中间包层、凹陷槽以及外部光包层。中央纤芯具有半径 r_1 并且与外部光包层之间具有正折射率差 Δn_1 。中间包层具有半径 r_2 并且与外部光包层之间具有正折射率差 Δn_2 。差 Δn_2 小于纤芯的折射率差 Δn_1 。凹陷槽具有半径 r_3 并且与外部光包层之间具有负折射率差 Δn_3 。本发明的光纤进一步特征在于,它 (i) 在 1310 纳米波长处具有在 $8.6 \mu\text{m}$ 到 $9.5 \mu\text{m}$ 之间的标称模场直径 (MFD); (ii) 在 1550 纳米的波长处,对于 5 毫米曲率半径具有小于 $0.15 \times 10^{-3} \text{dB/圈}$ 的弯曲损耗,以及小于或等于 1260 纳米的缆线截止波长,该缆线截止波长测量被测量为这样的波长:在该波长处,LP11 模在传播超过 22 米光纤之后,该 LP11 模的衰减大于或等于 19.3dB,该光纤被调整为平直或者被调整为围绕 140nm 的曲率半径心轴 (mandrel)。

[0021] 根据这个发明的光纤的一个实施方式,该中央纤芯的面积分 (V_{01}) 被定义为

$$[0022] \quad V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

[0023] 其在 $19.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间,优选在 $20.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间。在另一个优选实施例中,中央纤芯的面积分 (V_{01}) 在 $20.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $21.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间,因为这引起当前光纤的最优光学特性。

[0024] 根据本发明的光纤的一个实施例,凹陷槽的面积分 (V_{03}) 定义为

$$[0025] \quad V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

[0026] 其在 $-55.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $-30.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间。在另一个优选实施例中,凹陷槽的面积分 (V_{03}) 在 $-42.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $-32.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间,因为这引起当前光纤的最优光学特性。

[0027] 根据本发明的光纤的一个实施例,凹陷槽的体积分 (V_{13}) 定义为

$$[0028] \quad V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

[0029] 其在 $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。在另一个优选实施例中,凹陷槽的体积分 (V_{13}) 在 $-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,因为这引起当前光纤的最优光学特性。

[0030] 在优选实施方式中,该光纤具有弯曲损耗抵抗力得到改善的物理属性和可操作参数。例如,该光纤具有大于 1300 纳米的有效截止波长 λ_{ceff} ,将以下波长作为有效截止波长 λ_{ceff} 进行测量,在该波长处,光信号进行超过 2 米的光纤传输后变为是单模的。对于 1550 纳米波长,对于 15 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 0.003dB/圈 的弯曲损耗,优选地,对于 10 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 $7.5 \times 10^{-3} \text{dB/圈}$ 的弯曲损耗,对于 7.5 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 0.05dB/圈 的弯曲损耗,以及对于 5 毫米的曲率半径,该光纤具有小于 0.15dB/圈 的弯曲损耗,优选具有小于 0.10dB/圈 的弯曲损耗。

[0031] 这里公开的光纤还在更大的波长处表现出降低的弯曲损耗。例如,在 1625 纳米波长处,对于 15 毫米的曲率半径,该光纤具有小于 10^{-2}dB/圈 的弯曲损耗,优选小于

1.5×10^{-3} dB/圈的弯曲损耗,对于 10 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 0.1 dB/圈的弯曲损耗,优选小于或等于 25×10^{-3} dB/圈的弯曲损耗,对于 7.5 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 0.15 dB/圈的弯曲损耗,优选小于或等于 0.08 dB/圈的弯曲损耗,对于 5 毫米的曲率半径,该光纤具有小于或等于 0.25 dB/圈的弯曲损耗。因此,在优选实施方式中,该光纤具有在 1240 纳米和 1310 纳米之间的截止波长,将以下波长作为截止波长进行测量,在该波长处,光信号传播超过 5 米的光纤后不再是单模的。截止波长与缆线截止不同,将以下波长作为截止波长进行测量,在该波长处,在进行超过 22 米的光纤传播后 LP11 模的衰减大于或等于 19.3 dB。光纤具有小于或等于 1260 纳米的缆线截止波长。

[0032] 在此讨论的第四截止定义是理论截止波长,该理论截止波长被定义为 LP11 模自此以泄漏模进行传播的波长。在一个实施方式中,该光纤具有小于或等于 1250 纳米的理论截止波长。在 1260 纳米波长处,该光纤在传播超过 22 米光纤后 LP11 模的衰减大于 5 dB。

[0033] 上述可操作参数由光纤的优选物理属性所致。在一个实施方式中,光纤的中央纤芯具有在 $3.8 \mu\text{m}$ 和 $4.35 \mu\text{m}$ 之间的半径;该中间包层具有包含在 $8.5 \mu\text{m}$ 和 $9.7 \mu\text{m}$ 之间的半径;该凹陷槽具有包含在 $13.5 \mu\text{m}$ 和 $16 \mu\text{m}$ 之间的半径,可以小于或等于 $15 \mu\text{m}$ 。优选地,中央纤芯与外部光包层之间具有的折射率差 (Δn_3) 在 4.9×10^{-3} 和 5.7×10^{-3} 之间。

[0034] 如上所述,根据外部光包层和光纤半径上的点的折射率差值绘制光纤的折射率分布。中间包层与光包层之间具有在 -0.1×10^{-3} 和 0.6×10^{-3} 之间的折射率差。该凹陷槽与光包层之间具有在 -10.0×10^{-3} 和 -5.0×10^{-3} 之间的折射率差。该光纤在 1300 纳米和 1324 纳米之间具有零色散波长;该光纤在零色散波长处具有小于 $0.092 \text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 的色散斜率值。

[0035] 本发明还涉及接纳此处公开光纤的至少一部分的光盒。在这样的盒子中,该光纤可以布置为半径曲率小于 15 毫米,其可以处于 5 毫米的级别。该发明还涉及包括根据本发明的光纤的至少一部分的光纤到户 (FTTH) 系统。

[0036] 在下面的详细描述及其附图中,进一步详述本发明上述与其它特性和优点及其实现的方式。

附图说明

[0037] 图 1 描述单模光纤的横截面,该单模光纤具有在从中央延伸的各半径处的包层。

[0038] 图 2 描述根据本发明的图 1 的示例性单模光纤的标称折射率分布。

具体实施方式

[0039] 本发明的光纤 (10) 具有中央纤芯 (11)、中间包层 (12) 和凹陷包层 (13)。为了此处目的以及不超出本发明的范围,凹陷包层表示光纤 (10) 中具有的折射率小于外部光包层 (14) 的折射率的径向部分。典型地,通过硅管中进行化学汽相沉积来获取中央纤芯 (11)、中间包层 (12) 和凹陷包层 (13)。外部光包层 (14) 包括硅管以及该管上的外包层 (overcladding)。在优选实施方式中,外包层通常是天然的或掺杂硅,还可以通过其它沉积技术 (轴向汽相沉积 (“VAD”) 或外汽相沉积 (“OVD”)) 来获取。

[0040] 图 2 示出了图 1 的传输光纤 (10) 的折射率分布。图 2 的分布为设置分布,也就是,表示光纤的理论分布,但是在对预制棒进行光纤拉制后获得的光纤可能具有稍微不同的分

布。

[0041] 通过本领域本身已知的方式,通过预制棒控制而获取光纤(10)。作为实例,预制棒可以是最终形成外部光包层(14)的一部分的非常高质量的玻璃管(纯二氧化硅)。外部光包层(14)包围光纤(10)的中央纤芯(11)和内部包层(12,13)。继而该管可以被外包(overclad),以在进行到光纤拉制塔的光纤拉制操作之前增加其直径。对于预制棒的制造,该管通常水平安装,并且在其两端被玻璃棒(glass bar)保持在车床上;接着旋转并且局部加热该管用于沉积过程,从而确定该预制棒的构成。该构成确定未来光纤的光学特性。

[0042] 该光纤包括与作为光包层的外部包层(14)之间具有折射率差 Δn_1 的中央纤芯(11)。该光纤(10)进一步包括与外部光包层(14)之间具有折射率差 Δn_2 的中间包层(12),以及与外部光包层(14)之间具有折射率差 Δn_3 的凹陷槽包层(13)。中央纤芯(11)、中间包层(12)和凹陷槽(13)中的折射率在他们各自的整个宽度中基本上恒定,如图2所示。图1示出纤芯(11)的宽度由其半径 r_1 限定并且包层的宽度由其各自外部半径 r_2 和 r_3 限定。外部光包层由 r_4 表示。

[0043] 为了定义针对光纤的设置折射率分布,外部光包层的折射率值通常为标号(n_g)。接着在图2中通过折射率差 $\Delta n_{1,2,3}$ 表示中央纤芯(11)、中间包层(12)和凹陷槽包层(13)的折射率值。通常,外部光包层(14)由二氧化硅构成,但是该包层可能被掺杂以便增加或降低其折射率,例如,以便修改信号的传播特性。

[0044] 基于联系折射率变量和光纤(10)的每个部分的半径的积分,还可以定义图2中示出的每个光纤分布部分(21-24)。因此,可以为本发明的光纤(10)定义三个面积分,表示纤芯表面 V_{01} 、中间包层表面 V_{02} 以及凹陷槽表面 V_{03} 。术语“表面”不应该按照几何学来理解,而应该对应于考虑了2维的值。这三个面积分可以通过下列表示:

$$[0045] \quad V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

$$[0046] \quad V_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_2 - r_1) \times \Delta n_2$$

$$[0047] \quad V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

[0048] 类似地,可以为本发明的光纤(10)定义三个体积分,表示纤芯体积 V_{11} 、中间包层体积 V_{12} 以及凹陷槽体积 V_{13} 。术语“体积”不应该按照几何学来理解,而应该对应于考虑了3维的值。这三个体积分可以通过下列表示:

$$[0049] \quad V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \Delta n_1$$

$$[0050] \quad V_{12} = 2 \cdot \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_2^2 - r_1^2) \times \Delta n_2$$

$$[0051] \quad V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

[0052] 表 I(下面)示出根据本发明优选实施方式,与 3 个 SSMF 光纤分布和 1 个对应于 G. 657A 建议和 G. 657B 建议的光纤分布(标记为“BIF”弯曲不敏感光纤)相比较的 9 个光纤分布例子以及 13 个比较例子。申请人在 BendBright 的商标范围内销售对于弯曲损耗具有良好抵抗性的弯曲不敏感光纤。表中的值对应于每个光纤的设置分布。

[0053] 所有分布都被设计为确保多径干扰(MPI)水平低于 -30dB,这确保与适当安装的系统网络(包括接入网和光纤到户)完全兼容。MPI 在 W. Zheng 等人的“Measurement and System Impact of Multipath Interference From Dispersion Compensating Fiber Modules”(IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 53, pp 15-23)中定义,并且其具体测量问题在 S. Ramachandran 等人的“Measurement of Multipath Interference in the Coherent Crosstalk Regime”(IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15, pp 1171-1173)中详细描述。

[0054] 表 I 的第 1 列为每个例子指定参考符号(例如,Ex 针对根据本发明的例子,而 C. Ex 针对比较例子);接下来的 3 列分别给出了纤芯(11)、中间包层(12)和凹陷槽(13)的半径值。接下来的 3 列给出了与外部光包层(14)的折射率差的对应值。折射率值在 633 纳米波长处测量。表 I 还示出如上定义的纤芯(11)、中间包层(12)和凹陷槽(13)的面积分和体积分值。

[0055] 表 I

[0056]

	r_1	r_2	r_3	Dn_1	Dn_2	Dn_3	V_{01}	V_{02}	V_{03}	V_{11}	V_{12}	V_{13}
	(μm)	(μm)	(μm)	$[10^{-2}]$	$[10^{-2}]$	$[10^{-2}]$	(μm) $[10^{-3}]$	(μm) $[10^{-3}]$	(μm) $[10^{-3}]$	(μm^2) $[10^{-2}]$	(μm^2) $[10^{-2}]$	(μm^2) $[10^{-2}]$
BIF	3.93	9.38	14.72	5.26	0.13	-5.01	20.7	0.7	-26.8	81.1	9.4	-645
SSMF1	4.35	13.92		5.00	-0.20		21.8	-1.9	0.0	94.6	-35.0	0
SSMF2	4.51	13.92		5.00	-0.20		22.5	-1.9	0.0	101.5	-34.7	0
SSMF3	4.55	13.92		5.24	-0.20		23.8	-1.9	0.0	109.4	-34.6	0
C.Ex1	3.82	9.01	13.55	5.67	0.57	-9.63	21.7	2.9	-43.7	82.8	37.7	-986
C.Ex2	3.96	8.61	13.86	5.58	0.31	-7.87	22.1	1.4	-41.3	87.6	17.9	-926
C.Ex3	3.92	8.78	13.84	5.55	0.32	-8.75	21.7	1.5	-44.3	85.2	19.7	-1002
C.Ex4	3.88	9.09	14.35	5.62	0.34	-7.84	21.8	1.8	-41.2	84.5	23.1	-965
C.Ex5	3.93	9.30	14.43	5.30	0.51	-7.76	20.8	2.7	-40.1	81.7	36.0	-955
C.Ex6	3.93	9.28	14.47	5.31	0.53	-7.51	20.9	2.8	-39.0	82.0	37.5	-926
C.Ex7	3.93	8.50	15.00	5.48	0.50	-5.00	21.5	2.3	-32.5	84.6	28.4	-764
C.Ex8	3.93	9.28	13.65	5.37	0.50	-9.90	21.1	2.7	-43.5	83.0	35.1	-997
C.Ex9	3.93	8.50	15.50	5.33	0.51	-5.00	21.0	2.3	-35.0	82.4	28.8	-840
C.Ex10	3.93	9.27	13.65	5.31	0.52	-9.80	20.9	2.8	-42.9	82.1	36.9	-983
C.Ex11	3.94	9.25	13.54	5.30	0.56	-9.87	20.9	3.0	-42.3	82.3	39.2	-964
C.Ex12	3.95	9.29	13.91	5.30	0.50	-8.93	20.9	2.7	-41.2	82.6	35.4	-957
C.Ex13	3.93	8.50	15.50	5.32	0.57	-5.00	20.9	2.6	-35.0	82.1	32.2	-840
Ex1	3.90	9.23	14.34	4.94	0.35	-7.15	19.3	1.9	-36.5	75.1	24.5	-861
Ex2	3.91	9.23	14.34	5.14	0.10	-7.15	20.1	0.5	-36.5	78.6	7.0	-861
Ex3	3.91	9.23	14.81	5.14	0.10	-7.15	20.1	0.5	-39.9	78.6	7.0	-959
Ex4	3.91	9.23	14.34	5.29	-0.06	-7.15	20.7	-0.3	-36.5	80.9	-4.2	-861
Ex5	3.91	9.23	14.81	5.29	-0.06	-7.15	20.7	-0.3	-39.9	80.9	-4.2	-959
Ex6	3.93	9.26	13.53	5.34	0.51	-9.74	21.0	2.7	-41.6	82.3	36.0	-949
Ex7	3.93	9.25	13.53	5.31	0.50	-9.93	20.8	2.7	-42.5	81.9	35.3	-967
Ex8	3.94	8.50	15.00	5.43	0.50	-5.00	21.4	2.3	-32.5	84.3	28.6	-764
Ex9	3.94	9.26	13.50	5.33	0.51	-9.88	21.0	2.7	-41.9	82.8	35.5	-954

[0057] 根据本发明的图 1 和图 2 的实施例的光纤 (10) 是阶跃光纤, 包括中央纤芯 (11)、中间包层 (12) 和凹陷槽 (13)。从表 I 可以注意到, 中央纤芯 (11) 具有在 $3.8 \mu\text{m}$ 和 $4.35 \mu\text{m}$ 之间的半径 r_1 , 半径 r_1 优选在 $3.8 \mu\text{m}$ 和 $4.05 \mu\text{m}$ 之间, 也就是, 比 SSMF 光纤的纤芯要更窄。光纤 (10) 与外部光包层之间具有折射率差 Δn_1 (21) 在 4.9×10^{-3} 和 5.7×10^{-3} 之间, 也就是, 处于 SSMF 光纤的量级或大于 SSMF 光纤。纤芯的面积分 V_{01} 在 $19.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 和 $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 之间, 纤芯的体积分 V_{11} 在 $75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。

[0058] 从表 I 还可以注意到, 根据本发明的光纤具有凹陷槽 (13)。凹陷槽 (13) 具有大体积, 而且使得显著降低弯曲损耗成为可能。因此, 表 I 示出了凹陷槽 (13) 具有 $13.5 \mu\text{m}$

和 $16\ \mu\text{m}$ 之间的半径 r_3 以及与外部光包层 (14) 具有 -10.0×10^{-3} 和 -5.0×10^{-3} 之间的折射率差 Δn_3 (23)。表 I 还示出如上定义的凹陷槽的面积分 V_{03} 在 $-55.0 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}$ 和 $-30.0 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}$ 之间, 而且如上定义的凹陷槽的体积分 V_{13} 在 $-1200 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 和 $-750 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 之间。

[0059] 根据优选实施方式, 凹陷包层的半径 r_3 可以限定到 $15\ \mu\text{m}$ 以进一步降低光纤制造成本, 并且所有根据例子的光纤都服从它。实际上, 可以通过等离子体化学汽相沉积 (PCVD) 来制造凹陷槽 (13), 使得将大量氟结合到二氧化硅中以形成深度凹陷包层成为可能。然而, 光纤 (10) 对应于管和 PCVD 沉积的部分是最昂贵的, 因此希望尽可能地限制这部分。可以设想通过结合微孔或微泡而不是通过氟掺杂来产生凹陷槽 (13)。然而, 对于工业生产, 氟掺杂比结合微泡更容易控制。

[0060] 对应于上面定义的表面和体积规范的凹陷槽 (13), 使得可以在相比现有光纤显著降低弯曲损耗和在 1260 纳米波长处 LP11 模的充分一致的泄漏体制 (regime) 之间实现折衷。

[0061] 由表 I 还可以注意到, 光纤的优选实施方式在中央纤芯 (11) 和凹陷槽 (13) 之间具有中间包层 (12)。这个中间包层 (12) 使得限制凹陷槽 (13) 对纤芯中光信号的传播的影响成为可能。表 I 示出中间包层 (12) 具有的半径 r_2 在 $8.5\ \mu\text{m}$ 和 $9.7\ \mu\text{m}$ 之间, 以及与光包层之间的折射率差 Δn_2 (22) 在 -0.1×10^{-3} 和 0.6×10^{-3} 之间。表 I 示出了如上定义的中间包层的面积分 V_{02} 在 $-0.5 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}$ 和 $3.0 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}$ 之间。如上定义的中间包层的体积分 V_{12} 在 $6 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 和 $40 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 之间。

[0062] 结合中间包层 (12) 优化了根据本发明的光纤 (10) 的中央纤芯 (11), 从而保证光纤中的光传输参数与 G. 652 和 G. 657A 建议相一致, 特别是在模场直径和色散方面。这还有助于确保与其它光系统的光纤的兼容性。

[0063] 表 II (下面) 示出根据本发明的光纤的光传输特性。第一列重复表 I 的参考符号。随后的列针对每种光纤分布来提供针对 1310 纳米和 1550 纳米波长的模场直径 (MFD) 值, 零色散波长 (ZDW) 和零色散斜率 (ZDS)。

[0064] 表 II

[0065]

	MFD1310 (μm)	MFD1550 (μm)	ZDW (nm)	ZDS ps/($\text{nm}^2 \cdot \text{km}$)
BIF	8.80	9.90	1320	0.0878
SSMF1	9.14	10.31	1314	0.0855
SSMF2	9.27	10.39	1309	0.0871
SSMF3	9.18	10.25	1306	0.088
C. Ex1	8.67	9.68	1317	0.0908
C. Ex2	8.65	9.59	1310	0.0917
C. Ex3	8.66	9.62	1312	0.0914
C. Ex4	8.64	9.65	1317	0.0897

C. Ex5	8.95	10.01	1317	0.0905
C. Ex6	8.96	10.02	1317	0.0905
C. Ex7	8.80	9.81	1314	0.0906
C. Ex8	8.89	9.91	1315	0.0913
C. Ex9	8.88	9.91	1314	0.0909
C. Ex10	8.94	9.97	1315	0.0914
C. Ex11	8.97	10.00	1314	0.0917
C. Ex12	8.95	9.99	1315	0.0911
C. Ex13	8.92	9.95	1314	0.0911
Ex1	9.00	10.10	1318	0.0906
Ex2	8.75	9.81	1318	0.0895
Ex3	8.75	9.81	1318	0.0895
Ex4	8.60	9.64	1318	0.0888
Ex5	8.60	9.64	1318	0.0888
Ex6	8.91	9.94	1315	0.0913
Ex7	8.92	9.95	1315	0.0914
Ex8	8.83	9.84	1313	0.0908
Ex9	8.93	9.95	1314	0.0915

[0066] 由表 II 注意到,根据本发明的光纤 (10) 与对应于 G. 652 建议的规范的光纤相兼容。特别地,在 1310 纳米波长处,此处公开的光纤具有在从 8.6 μm 到 9.5 μm 的值的标准化范围之间的模场直径 MFD,在 1300 纳米和 1324 纳米之间的零色散波长,以及小于 0.092ps/($\text{nm}^2 \cdot \text{km}$) 的零色散斜率。这些值中的每一个都是按照建议 G. 652 的。

[0067] 另一方面,如表 III(下面)所示,光纤的有效截止波长 λ_{ceff} (或者标准光纤截止,表 III 的第 3 列)大于 1300 纳米,甚至大于 1350 纳米。如上讨论,正如国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC6-793-1-44 标准中所定义的那样,将以下波长作为有效截止波长进行测量,在该波长处,光信号通过光纤传播超过 2 米后不再是单模的。增加的有效截止波长值导致缆线截止波长值 λ_{cc} (或者标准缆线截止,表 III 的第 5 列)在 1200 纳米和 1260 纳米之间。正如国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 6-793-1-44 标准中所定义,通过以下方式测量截止波长缆线截止波长,在该波长处,光信号通过光纤传播超过 22 米后不再是单模的。当 LP11 模的衰减大于或等于 19.3dB 时,光信号是单模的。G. 652 和 G. 657 建议对于缆线截止波长都设定最大值为 1260 纳米。

[0068] 此处公开的发展的一个目的,是生产在光学系统采用的所有传输带宽上都能够使用的光纤,也就是,可以在单模传输中使用的光纤,该单模传输从原始带宽 (OB)(其从 1260

纳米延伸到 1360 纳米) 到超过 1625 纳米的超长 (UL) 带宽。低的有效截止波长使得可以在所有可用带宽上使用该光纤。

[0069] 然而, 表 III(下面) 的仿真示出从 1260 纳米波长根据泄漏模传播直接更高次 LP11 模。因此, 这里公开的光纤可以使用在原始带宽 (OB :1260 纳米到 1360 纳米) 的单模传输中。

[0070] 表 III(下面) 示出根据本发明的光纤的一些截止波长值。表 III 的第一列重复表 I 的参考符号。

[0071] “Fiber Cutoff(theory)(理论光纤截止)”列提供理论截止波长值, 其对应于在 LP11 模的引导传播和该 LP11 模的泄漏模传播之间的跃迁波长。对于超过该有效截止波长的工作波长, 在泄漏模中传播 LP11 模。

[0072] “Standard Fiber Cutoff(标准光纤截止)”列对应于由国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 标准中定义的有效截止波长 λ_{ceff} 。

[0073] “5m Fiber Cutoff(5m 光纤截止)”列对应于通过以下方式测量得到的波长, 超出该波长, 光信号在传播超过 5 米光纤后不再是多模的。因此, 该值对应于传播超过 5 米光纤而不是 2 米光纤后测量的有效截止波长。

[0074] “Standard Cable Cutoff(标准缆线截止)”列对应于由国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 标准中定义的缆线截止波长 λ_{cc} 。根据国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 标准中的建议, 通过将光纤定位在 2 个 40 毫米半径环中并且将该光纤的剩余部分(也就是, 21.5 米的光纤)布置在具有 140 毫米半径的心轴上, 从而确定缆线截止波长 λ_{cc} 。根据本发明, 该截止应该是 1260nm 或更小。比较例子 7 是按照该要求的, 但是比以上的平直缆线截止稍微过高, 因此落在本发明的范围之外。

[0075] 通过将光纤定位到两个各具有 40 毫米半径的环中, 以及通过布置基本平直的缆线的剩余部分(也就是, 21.5 米的光纤), “StraightCable Cutoff(平直缆线截止)”列对应于缆线截止波长。根据本发明, 该截止应该是 1260nm 或更小。比较例子 9、10 和 12 是按照该要求的, 但是比标准缆线截止稍微过高, 因此落在本发明的范围之外。所有的比较例子都落在本发明的范围之外, 因为这些例子给出的标准截止稍高于 1260nm 或者平直缆线截止稍高于 1260nm。

[0076] “LP11LL@1260after 22m(22m 之后的 LP11LL@1260)”列, 表示在传播超过 22 米的基本平直的光纤后 LP11 模的泄漏损耗。

[0077] “Length-19.3dB LP11 LL@1260nm(长度-19.3dB LP11 LL@1260nm)”列, 表示通过基本保持平直的光纤来实现 LP11 模的泄漏损耗等于 19.3dB 所需要的光纤长度。这表示在该距离处, 基本平直布置的光纤在 G. 652 和 G. 657 建议的涵义内为单模。

[0078] 表 III

[0079]

	Fiber Cutoff (theory)	Std Fiber Cutoff	5-m Fiber Cutoff	Std Cable Cutof f	Straight Cable Cutoff	LP11 LL @1260 nm after 22m	Length- 19.3dB LP11LL @1260nm
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(dB)	(m)
BIF	1197	1270	1234	1196	1208	180	2
SSMF 1	1287	1226	1226	1151	1151	2	212
SSMF 2	1334	1267	1267	1188	1188	0	> 1000
SSMF 3	1381	1311	1311	1231	1231	0	> 1000
C. Ex 1	1250	1379	1321	1271	1268	10	41
C. Ex 2	1243	1383	1323	1271	1266	16	27
C. Ex 3	1232	1397	1333	1271	1265	16	26
C. Ex 4	1239	1392	1331	1272	1267	15	28
C. Ex 5	1242	1382	1322	1268	1264	18	24
C. Ex 6	1247	1376	1319	1267	1266	15	28
C. Ex 7	1249	1351	1302	1259	1262	18	23
C. Ex 8	1246	1378	1319	1268	1264	17	25

C. Ex 9	1235	1373	1317	1264	1260	18	24
C. Ex 10	1243	1371	1313	1263	1260	22	20
C. Ex 11	1246	1367	1310	1263	1263	17	25
C. Ex 12	1244	1371	1314	1264	1260	20	21
C. Ex 13	1240	1375	1319	1267	1263	17	24
Ex1	1175	1316	1255	1204	1201	88	5
Ex2	1171	1316	1246	1205	1198	83	5
Ex3	1171	1366	1271	1225	1205	44	10
Ex4	1171	1316	1244	1207	1195	75	6
Ex5	1171	1366	1269	1226	1200	40	11
Ex9	1243	1360	1304	1257	1258	26	16
Ex7	1238	1362	1305	1256	1255	24	17
Ex8	1247	1350	1300	1257	1260	22	19
Ex9	1245	1362	1306	1259	1259	24	18

[0080] 由表 III 注意到,标准有效截止波长 λ_{ceff} ,也就是,如根据国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC 60793-1-44 标准中建议所测量的那样,大于 1300 纳米。类似地,由表 III 注意到,标准缆线截止波长 λ_{cc} ,也就是,如根据国际电工委员会的 86A 子委员会在 IEC6-793-44 标准中的建议所测量的那样,在 1200 纳米和 1260 纳米之间,也就是,按照由 G. 652 和 G. 657 建议设定的 1260 纳米的限制。

[0081] 由表 III 注意到,LP11 模从 1260 纳米严重衰减。实际上,“理论”光纤截止波长小于或者等于 1250 纳米。因此,更高次 LP11 模在原始带宽中以泄漏模机制传播,并且在本发明的光纤中只有基模从 1260 纳米波长起保持引导。

[0082] 类似地,由表 III 注意到,在光纤中仅进行 5 米的传播后,光纤截止波长显著地降低。因此,对于根据本发明的光纤,截止波长在 1240 纳米到 1310 纳米之间,其中将以下波

长作为截止波长进行测量,在该波长处,光信号传输超过 5 米的光纤后不再是单模的。

[0083] 而且,表 III 清楚表明,22 米的传播后,LP11 模已经大幅衰减。特别注意到,当光纤基本平直布置时,LP11 模在根据本发明的光纤 (10) 中的衰减大于 LP11 模在 SSMF 光纤中的衰减。实际上,在 SSMF 光纤中,弯曲使得高度衰减 LP11 模成为可能。因此,对于 1260 纳米波长,在平直光纤中进行超过 22 米的传播后,该光纤的 LP11 模衰减大于 5dB。

[0084] 而且,表 III 还表明,根据建议设定的缆线截止,在不到 22 米之后,相对迅速地实现至少 19.3dB 的 LP11 模衰减。

[0085] 而且,有效截止波长的增加,使得可以增加如上定义的 MAC 值,并且最终降低弯曲损耗。

[0086] 表 IV(下面)报告了这里公开的光纤的优选实施方式的弯曲损耗值。表 IV 的第 1 列重复表 I 的参考符号。接下来的 4 列表明 1550 纳米波长处 15 毫米、10 毫米、7.5 毫米和 5 毫米曲率半径的各自弯曲损耗值 PCC。接下来的 4 列给出 1625 纳米波长处 15 毫米、10 毫米、7.5 毫米和 5 毫米曲率半径的各自弯曲损耗值 PCC。

[0087] 最后 1 列具有品质因子 FOM,其表示根据本发明的光纤相对于 G. 657B 的标准设定的限制在弯曲损耗方面改进的幅度级。因此,表 IV 的 FOM 被定义为,对于每个测量的曲率半径,G. 657B 建议设定的上限与本发明的光纤中弯曲损耗的比率的平均值。所有例子都给出低于或等于 1 的 FOM,这意味着这些例子都符合 G. 657B 弯曲损耗建议。

[0088] 表 IV 在第一行描述,G. 657B 建议为每个曲率半径以及 1550 纳米和 1625 纳米波长所设定的弯曲损耗限制值。

[0089] 表 IV

[0090]

	R=15mm	R=10mm	R=7.5mm	R=5mm	R=15mm	R=10mm	R=7.5mm	R=5mm	FOM
	PPC @1550nm (dB/turn)				PPC @1625nm (dB/turn)				
G657B	3 E-03	1 E-01	5 E-01		1 E-02	2 E-01	1 E+00		1.00
BIF	1.3E-03	2.9E-02	1.0E-01	3.3E-01	7.0E-03	8.4E-02	2.3E-01	6.3E-01	0.70
SSMF1	1.5E-02	6.0E-01	3.4E+00	1.7E+01	7.5E-02	1.7E+00	6.9E+00	2.7E+01	8.44
SSMF2	6.3E-03	3.6E-01	2.4E+00	1.4E+01	3.4E-02	1.0E+00	5.0E+00	2.3E+01	5.21
SSMF3	9.6E-04	1.1E-01	1.0E+00	8.9E+00	6.5E-03	3.6E-01	2.5E+00	1.4E+01	2.45
C.Ex1	4.9E-05	2.9E-03	1.6E-02	7.1E-02	3.9E-04	1.1E-02	4.2E-02	1.3E-01	0.05
C.Ex2	5.4E-05	2.9E-03	1.6E-02	6.5E-02	4.3E-04	1.1E-02	4.1E-02	1.3E-01	0.05
C.Ex3	6.6E-05	3.0E-03	1.5E-02	5.6E-02	5.0E-04	1.1E-02	3.8E-02	1.1E-01	0.05
C.Ex4	6.2E-05	3.1E-03	1.5E-02	6.3E-02	4.7E-04	1.1E-02	3.9E-02	1.2E-01	0.06
C.Ex5	2.2E-04	6.9E-03	2.7E-02	1.0E-01	1.3E-03	2.1E-02	6.4E-02	1.8E-01	0.13
C.Ex6	2.1E-04	7.1E-03	2.9E-02	1.1E-01	1.3E-03	2.2E-02	6.9E-02	2.0E-01	0.13
C.Ex7	1.4E-04	6.3E-03	3.1E-02	1.3E-01	1.0E-03	2.2E-02	7.7E-02	2.4E-01	0.11
C.Ex8	1.4E-04	5.4E-03	2.4E-02	9.0E-02	9.2E-04	1.8E-02	5.8E-02	1.7E-01	0.09
C.Ex9	2.3E-04	7.3E-03	2.8E-02	1.0E-01	1.4E-03	2.3E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.14
C.Ex1 0	2.0E-04	6.8E-03	2.9E-02	1.0E-01	1.2E-03	2.2E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.12
C.Ex1 1	2.0E-04	7.1E-03	3.0E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.1E-02	2.1E-01	0.12
C.Ex1 2	2.0E-04	7.0E-03	2.9E-02	1.0E-01	1.3E-03	2.2E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.13
C.Ex1 3	2.3E-04	7.4E-03	2.9E-02	1.1E-01	1.4E-03	2.3E-02	7.0E-02	2.1E-01	0.14
Ex1	2.3E-03	2.8E-02	8.0E-02	1.4E-01	1.0E-02	7.5E-02	1.7E-01	2.5E-01	1.00
Ex2	1.2E-03	1.9E-02	5.0E-02	1.0E-01	6.5E-03	5.4E-02	1.3E-01	2.1E-01	0.65
Ex3	8.5E-04	1.2E-02	3.6E-02	6.7E-02	4.5E-03	3.7E-02	8.4E-02	1.4E-01	0.45
Ex4	7.1E-04	1.3E-02	4.3E-02	8.7E-02	4.1E-03	4.2E-02	1.0E-01	1.8E-01	0.41
Ex5	4.9E-04	8.7E-03	2.8E-02	5.6E-02	2.8E-03	2.8E-02	6.7E-02	1.2E-01	0.28
Ex6	2.0E-04	7.1E-03	3.1E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.12
Ex7	2.3E-04	7.4E-03	3.1E-02	1.1E-01	1.4E-03	2.4E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.14
Ex8	1.7E-04	7.4E-03	3.4E-02	1.3E-01	1.2E-03	2.4E-02	8.2E-02	2.5E-01	0.12
Ex9	1.9E-04	7.0E-03	3.0E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.12

[0091] 由表 IV 可以注意到, 对应于根据本发明分布的光纤的弯曲损耗明显小于 G. 657 标准设定的限制。仅在例子 1 (Ex1) 中, 在 1625 纳米处, 15 毫米的曲率半径的弯曲损耗等于建议的弯曲损耗。

[0092] 因此, 对于 1550 纳米波长, 与 G. 657B 建议设定的 3×10^{-3} dB/ 圈的限制相对比, 对

于 15 毫米曲率半径, 光纤的弯曲损耗小于 3×10^{-3} dB/圈, 优选小于 0.25×10^{-3} dB/圈。与 G. 657B 建议设定的 0.1 dB/圈的限制相对比, 对于 10 毫米曲率半径光纤的弯曲损耗小于或等于 3×10^{-2} dB/圈, 优选小于或等于 7.5×10^{-3} dB/圈。与 G. 657B 建议设定的 0.5 dB/圈的限制相对比, 对于 7.5 毫米曲率半径, 光纤的弯曲损耗小于或等于 0.05 dB/圈, 以及对于 5 毫米曲率半径, 光纤的弯曲损耗小于或等于 0.15 dB/圈, 优选小于或等于 0.10 dB/圈。

[0093] 类似地, 对于 1625 纳米波长, 与 G. 657B 建议设定的 10^{-2} dB/圈的限制相对比, 根据本发明的光纤对于 15 毫米的曲率半径展现出的弯曲损耗小于 10^{-2} dB/圈, 优选小于 1.5×10^{-3} dB/圈。与 G. 657B 建议设定的 0.2 dB/圈的限制相对比, 对于 10 毫米的曲率半径, 弯曲损耗小于或等于 0.1 dB/圈, 优选小于或等于 25×10^{-3} dB/圈。与 G. 657B 标准设定的 1 dB/圈的限制相对比, 该光纤对于 7.5 毫米的曲率半径展现出的弯曲损耗小于或等于 0.15 dB/圈, 优选小于或等于 0.08 dB/圈, 以及对于 5 毫米的曲率半径, 弯曲损耗小于 0.25 dB/圈。

[0094] 这里公开的光纤非常适于在安装到用户家庭的 FTTH 类型的光学系统中使用, 在这种情况下由于光盒微型化或用钉将光纤保持, 光纤容易遭受显著弯曲应力。光纤可以布置在部分紧密的光盒中。实际上, 光纤可以被设置为具有小于 15 毫米的曲率半径, 例如, 大约 5 毫米的曲率半径。该光纤与现有系统的光纤保持兼容, 特别是在良好的光纤到光纤耦合的模场直径方面。由于 LP₁₁ 模从 1260 纳米波长显著衰减, 截止波长的增加并没有害处。

[0095] 如关于抗微弯曲光纤 (Microbend Resistant Optical Fiber) 的共同受让美国专利申请 No. 60/986, 737 (Overton) 和关于抗微弯曲光纤 (Microbend Resistant Optical Fiber) 的共同受让美国专利申请 No. 61/041, 484 (Overton) 中所阐述 (每个都通过参考而整体引入), 将弯曲不敏感的玻璃光纤 (例如, Draka Comteq 的商标名为 **BendBright^{XS}**[®] 的可用单模玻璃光纤) 和具有非常低模数的一次涂覆层 (例如, DSM Desotech 的以商标名 **DeSolite[®]** DF 1011 提供的 UV-可固化聚氨酯丙烯酸酯产品) 配对, 实现了具有非常低损耗的光纤 (例如, 与采用传统涂覆层系统的单模光纤相比, 降低了至少 10 倍的微弯曲灵敏度)。因此, 美国专利申请 No. 60/986, 737 和美国专利申请 No. 61/041, 484 中公开的涂覆层应用到本发明的单模光纤也是在本发明的范围内的。

[0096] 在这点上, 根据 IEC 固定直径砂纸鼓 (fixed-diameter sandpaper drum) 测试 (其, 即使在室温下也提供影响单模光纤的微弯曲压力情形) (也就是, IEC TR62221, 方法 B, 40 微米等级砂纸), 可以分析微弯曲。IEC TR62221 微弯曲 - 灵敏性技术报告和标准测试过程 (例如, IEC TR62221, 方法 B (固定直径砂纸鼓) 和方法 D (竹篮式织法)) 在此通过参考而整体引入。

[0097] 本申请进一步通过参考而整体引入以下共同受让专利、专利申请和专利申请公开, 每一个分别讨论光纤如下: 关于用于光纤光学引导应用的单模弯曲不敏感光纤 (Single Mode Bend Insensitive Fiber for Use in Fiber Optic Guidance Applications) 的美国专利 No. 4, 838, 643 (Hodges 及其他人); 美国专利申请公开号 No. US2007/0127878A1 及其相关的关于单模光纤的美国专利申请 No. 11/556, 895 (de Montmorillon 及其他人); 美国专利申请公开号 No. US 2007/0280615A1 及其相关的关于单模光纤 (Single Mode Optical Fiber) 的美国专利申请 No. 11/697, 994 (de Montmorillon 及其他人); 美国专利号 No. 7, 356, 234 及其相关的关于色散补偿光纤 (Chromatic Dispersion

Compensating Fiber) 的美国专利申请 (deMontmorillon 及其他人); 美国专利申请公开号 US 2008/0152288A1 及其相关的关于光纤 (Optical Fiber) 的美国专利申请 No. 11/999, 333 (Flammer 及其他人); 以及关于单模光纤 (Single Mode Optical Fiber) 的美国专利申请 No. 61/101, 337 (de Montmorillon 及其他人)。

[0098] 根据本发明的光纤可以进一步包括一个或多个涂覆层 (例如, 一次涂覆层和二次涂覆层)。涂覆层中的至少一个 (通常为二次涂覆层) 可以着色和 / 或拥有其它标记以帮助标识单独的光纤。可选地, 第三墨色层可以包围一次涂覆层和二次涂覆层。

[0099] 根据本发明的光纤可以布置在各种结构中, 诸如下面公开的这些示例性结构。

[0100] 例如, 可以在缓冲管内装进本发明的一个或多个光纤。例如, 光纤可以布置在单光纤松散缓冲管中或者多光纤松散缓冲管中。对于后者, 可以在缓冲管或其它结构中卷或绞多个光纤。在这点上, 在多光纤松散缓冲管的内部, 光纤的子束可以与包扎件分离 (例如, 每个光纤子束封套在包扎件中)。而且, 扇出管可以安装在这样的松散缓冲管的终端处, 从而直接用现场组装的连接器端接被松散缓冲的光纤。

[0101] 在其它实施方式中, 缓冲管可以紧固地包围最外面的光纤涂覆层 (也就是, 紧缓冲光纤) 或包围最外面的光纤涂覆层或墨色层以提供示例性的大约 50 到 100 微米的径向间隙 (也就是, 半紧缓冲光纤)。

[0102] 关于先前的紧缓冲光纤, 通过用固化成分 (curable composition) (例如, UV-可固化材料) 或热塑材料涂覆光纤可以形成缓冲。紧缓冲管的外直径典型的小于 1,000 微米 (例如, 大约 500 微米或大约 900 微米), 而无论该缓冲管由可固化或非可固化材料形成。

[0103] 关于后面的半紧缓冲光纤, 可以在光纤和缓冲管之间包括润滑剂 (例如, 提供滑动层)。

[0104] 正如本领域普通技术人员所知, 可以由聚烯烃 (例如, 聚乙烯或聚丙烯), 包括氟化的聚烯烃、聚脂 (例如, 聚对苯二甲酸丁二醇酯)、聚酰胺 (例如, 尼龙) 以及其它聚合材料和合成物, 形成在此公开的包含光纤的示例性缓冲管。通常, 可以由一层或多层形成缓冲管。这些层可以是同性质的或者可以在每层内包括各种材料的混合物或合成物。

[0105] 在此处的上下文中, 缓冲管可以被挤压 (extrude) (例如, 受挤压的聚合材料) 或拉挤 (pultrude) (例如, 被拉挤的光纤增强塑料)。例如, 缓冲管可以包括抗高温和抗化学的材料 (例如, 芳族材料或聚砜材料)。

[0106] 虽然缓冲管典型具有圆形截面, 但可选地, 缓冲管可以具有不规则或非圆形形状 (例如, 椭圆或梯形截面)。

[0107] 可选地, 一个或多个本发明的光纤可以简单地由外部保护外壳环绕, 或者封装在密封金属管中。在每个结构中, 并不必然需要中间缓冲管。

[0108] 这里公开的多种光纤, 可以被夹持、封装, 和 / 或粘边, 以形成光纤带。光纤带可以被分成子单元 (例如, 12 光纤带可以分成 6 个光纤子单元)。而且, 可以聚集多个这种光纤带, 以形成可以具有各种尺寸和形状的带垛 (ribbon stack)。

[0109] 例如, 可以形成矩形带垛, 或者最上面和最下面的光纤带比朝向垛中央的光纤带具有更少光纤的带垛。这种结构可以有助于增加缓冲管和 / 或缆线中的光学元件 (例如, 光纤) 密度。

[0110] 通常, 由于遭受其它的约束 (例如, 缆线或中跨距衰减), 期望在缓冲管和 / 或缆

线中增加传播元件的填充。光学元件自身可以被设计用于增加的填充密度。例如,光纤可以具有修改的属性,比如改进的折射率分布、纤芯或包层尺寸,或一次涂覆层厚度和 / 或模数,以改进微弯曲和宏弯曲 (macrobending) 特性。

[0111] 例如,可以通过或不通过中央绞线 (twist) (即“一次绞线”) 来形成矩形带垛。本领域普通技术人员将意识到,带垛通常使用旋转绞线来制造,从而允许管或缆线弯曲,而在缠绕、安装和使用期间不会将过量的机械应力施加于光纤上。在结构变形中,绞绕的 (或没有绞绕的) 矩形带垛可以进一步形成盘绕 (coil) 状配置 (例如,螺旋) 或波状配置 (例如,正弦)。换句话说,带垛可以具有规则的“二次”变形。

[0112] 正如本领域普通技术人员将意识到,可以将这种光纤带定位到缓冲管或其它包围结构中,比如缓冲-管-自由缆线。由于遭受某种约束 (例如,衰减),期望增加诸如缓冲管和 / 或光纤缆线中的光纤或光纤带之类的元件的密度。

[0113] 容纳光纤的多个缓冲管 (例如,松散的或者带化的光纤) 可以外部定位在中央加强部件附近且股绞 (strand) 环绕中央加强部件。可以在一个方向螺旋地实现该股绞,公知为“S”或“Z”股绞,或者反向摆动层股绞,公知为“S-Z”股绞。当在安装和使用中出现缆线应变时,环绕中央加强部件的股绞降低了光纤应变。

[0114] 本领域普通技术人员将理解,在安装或操作状态下将针对拉伸缆线应变和纵向压缩缆线应变二者的光纤应变最小化的优点。

[0115] 关于可能发生在安装过程中的拉伸缆线应变,缆线将变得更长而光纤可以移动到更接近缆线的中轴,以降低 (假如不消除) 转移到光纤的应变。关于可能在低操作温度下由于缆线部件的收缩而发生的纵向压缩应变,光纤将更加远离缆线的中轴移动,以降低 (假如不消除) 变换到光纤的压缩应变。

[0116] 在一种变形中,缓冲管的两个或更多基本上同心的层可以定位在中央加强部件的周围。在进一步的变形中,多个股绞元件 (例如,股绞环绕加强部件的多个缓冲管) 自身可以相互股绞环绕,或环绕一次中央加强部件。

[0117] 可选地,包含光纤的多个缓冲管 (例如,松散的或带化的光纤),可以简单在外部邻近中央加强部件布置 (也就是,不以特定方式有意地将缓冲管股绞或布置环绕中央,而且缓冲管基本上与中央加强部件平行)。

[0118] 还是可选地,可以用中央缓冲管定位本发明的光纤 (也就是,中央缓冲管缆线具有中央缓冲管而不是中央加强部件)。这样的中央缓冲管缆线可以在别处布置加强部件。例如,金属或非金属 (例如,GRP) 加强部件可以布置在缆线外壳自身内部,和 / 或高强度纱 (例如,聚芳基酰胺线或非聚芳基酰胺线) 的一层或多层可以被定位为平行于或卷绕 (例如,反向螺旋) 中央缓冲管 (也就是,在缆的内部空间中)。同样地,加强部件可以包括在缓冲管的外套内。

[0119] 在其它实施方式中,光纤可以布置在开槽纤芯缆线中。在开槽纤芯缆线中,光纤 (独自地或者作为光纤带) 可以布置在中央加强部件表面上预制形状的螺旋槽 (即,沟道) 中,从而形成开槽纤芯单元。开槽纤芯单元可以被缓冲管包绕。一个或多个这种开槽纤芯单元可以布置在开槽纤芯缆线中。例如,多个开槽纤芯单元可以螺旋股绞在中央加强部件周围。

[0120] 可选地,可以用双保险钩 (maxitube) 缆线设计方式来股绞光纤,从而光纤在大的

多光纤松散缓冲管内股绞环绕自身,而不是股绞环绕中央加强部件。换句话说,大的多光纤松散缓冲管中央地布置在双保险钩缆线内。例如,这样的双保险钩缆线可以部署在光纤地线(OPGW)中。

[0121] 在其它布线实施方式中,多个缓冲管可以股绞环绕自身,而无需存在中央部件。这些股绞缓冲管可以被保护管包围。保护管可以作为光纤缆线的外部壳,或者进一步被外壳包围。保护管可以紧密或松散环绕被股绞的缓冲管。

[0122] 正如本领域普通技术人员公知,可以在缆线纤芯内包括附加部件。例如,铜缆或者其它有源传输元件可以被股绞或被捆扎在缆外壳内。无源元件也可以布置在缆芯内,比如在缓冲管的内壁和封闭的光纤之间。可选地,例如,无源元件还可以布置在缓冲管的外面,在缓冲管各外壁和缆线护套的内壁之间,或者,在缓冲-管-自由缆线的内部空间内。

[0123] 例如,可以采用纱、非纺织品、织品(例如,带子)、泡沫,或包含遇水膨胀材料和/或涂覆有遇水膨胀材料(例如,包括高吸水性树脂(SAP),比如SAP粉)的其它材料,以提供水阻(waterblocking)和/或将光纤耦合到环绕缓冲管和/或缆线护套(例如,经由粘结、摩擦和/或压缩)。示例性的遇水膨胀元件公开于共同受让的美国专利申请公开号US2007/0019915A1及其相关的美国专利申请号11/424112“Water-Swellable Tape, Adhesive-Backed fbr coupling when Used Inside a Buffer Tube(Overton等人)”中,其中每个在此都通过参考而整体引入。

[0124] 而且,可以在一个或多个无源元件(例如,遇水膨胀材料)上提供胶粘剂(例如,热熔胶粘剂或可固化胶粘剂,比如通过暴露到光化辐射而交联的聚硅酮丙烯酸酯),以将该元件粘结到缓冲管。还可以使用胶粘剂材料,在缓冲管内将遇水膨胀部件粘结到光纤。在关于“Gel-Free Buffer Tube with Adhesively Coupled Optical Element(Overton等人)”的共同受让美国专利申请公开号No. US2008/0145010A1中公开了这种元件的示例性布置,其在此通过参考而整体引入。

[0125] 缓冲管(或缓冲-管-自由缆)还可以在光纤和缓冲管的内壁之间包含触变(thixotropic)成分(例如,脂肪或类脂胶)。例如,用水阻的油基填充脂填充缓冲管的自由空间,有助于阻止水的进入。另外,触变填充脂机械地(例如,粘性地)将光纤耦合到围绕的缓冲管。

[0126] 这种触变填充脂相对较重和混乱,从而妨碍连接和接合(slice)操作。因此,本发明的光纤可以部署到干的缆线结构中(也就是,无脂缓冲管)。

[0127] 在2008年6月26日递交的关于“Coupling Composition for Optical fiber Cables”的共同受让美国专利申请No. 12/146,588(Parris及其他人)中,公开了无触变填充脂的示例性缓冲管结构,在此通过参考整体引入。这种缓冲管采用由高分子重量弹性聚合物(例如,在重量方面约占百分之35或更少)和在低温流动的油(例如,在重量方面约占百分之65或更多)的混合物所形成的耦合成分。不同于触变填充脂,该耦合成分(例如,用为粘胶或泡沫)通常是干的,因此在接合过程中不太混乱。

[0128] 正如本领域普通技术人员理解,此处公开的包围光纤的缆线可以具有根据各种设计由各种材料所形成的外壳。可以由聚合材料形成缆线外壳,比如,例如,聚乙烯,聚丙烯,聚氯乙烯(PVC),聚酰胺(例如,尼龙),聚酯(例如,PBT),氟化塑料(例如,丙烯,聚氟乙烯或聚乙烯二氟化物),以及乙烯-醋酸乙烯。外壳和/或缓冲管材料还可以包含其它添加

物,比如成核剂,阻燃剂,耐烟剂,抗氧化剂,UV 吸收剂,和 / 或增塑剂。

[0129] 缆线外壳可以是由绝缘材料(例如,非导电聚合物)形成的单个外壳,具有或者不具有可以用于改进保护(例如,防止被侵蚀)和由缆线外壳提供的强度的补充结构元件。例如,随同一个或多个绝缘外套,一个或多个金属(例如,钢)带层可以形成缆线外壳。金属或玻璃纤维的加固杆(例如,GRP)还可以结合到外壳中。另外,还可以在各种外壳材料下采用芳族聚酰胺、玻璃纤维或涤纶纱(例如,在缆线外壳和缆线纤芯之间),和 / 或可以例如在缆线外壳内定位剥离绳(ripcord)。

[0130] 类似于缓冲管,光纤缆线外壳通常具有圆形横截面,但是缆线外壳可选地可以是不规则的或非圆形的(例如,椭圆,梯形或扁平横截面)。

[0131] 例如,根据本发明的光纤可以结合到单光纤引出缆线(single fiber drop cable)中,比如那些在多住户单元(MDU)应用中采用的缆线。在这样部署中,缆线外套必须呈现建筑规范所要求的抗压性、耐磨性、抗穿刺性、热稳定性和耐火性。这种缆线外套的示例性材料是机械地保护光纤而且足够有弹性以促进容易 MDU 安装的热稳定的阻燃聚氨酯(PUR)。可选地,可以使用阻燃聚烯烃或聚氯乙烯外壳。

[0132] 通常,正如本领域普通技术人员所知,加强部件典型为棒或股绕 / 螺旋绕线或光纤的形式,然而其它配置在本领域普通技术人员的知识范围内。

[0133] 可以不同地部署包含所公开光纤的光纤缆线,包括作为引出缆线、配电缆线、馈电缆线、干线缆线和连接(stub)缆线,这些中的每一个都可以具有变化的操作需求(例如,温度范围,抗压性,抗紫外线和最小弯曲半径)。

[0134] 这样的光纤缆线可以安装在管道、微管道、气室(plenum)或气口(riser)中。例如,光纤缆线通过牵拉和吹制(blowing)(例如,使用压缩空气)可以安装在现有的管道或微管道中。在关于“Communication Cable Assembly and Installation Method”的共同受让美国专利申请公开号 No. 2007/0263960(Lock 及其他人),以及 2008 年 8 月 28 日递交的、关于“Modified Pre-Ferrulized Communication Cable Assembly and Installation Method”的美国专利申请 No. 12/200,095(Griffioen 及其他人)中公开了示例性缆线安装方法,它们中每一个在此通过参考而整体引入。

[0135] 注意的是,包含光纤的缓冲管(例如,松散的或带化光纤)可以被股绞(例如,环绕中央加强部件)。在这样的配置中,光纤缆线的保护性外壳可以具有带纹路(textured)的外表面,其沿着缆线的长度方向以重复下面的缓冲管的股绞形状的方式周期性地改变。保护外壳的纹路分布可以改进光纤缆线的吹制性能。带纹路的表面降低了缆线与管道或微管道之间的接触面,并增加了吹制介质(例如,空气)和缆线之间的摩擦。可以由能够促进吹制安装的低摩擦系数材料生成保护性外壳。而且,可以向保护性外壳提供润滑剂以进一步促进吹制安装。

[0136] 通常,为了实现满意的长距离吹制性能(例如,大约 3000 到 5000 英尺之间或更长),光纤缆线的外部缆线直径应该不超过管道或微管道内部直径的大约百分之 70 到 80。

[0137] 在空气吹制光纤系统中,压缩空气还可以用于安装根据本发明的光纤。在空气吹制光纤系统中,未填充的缆线或微管道的网络在光纤安装之前被安装。随后,光纤可以在需要时被吹到安装缆线中,以支持该网络变化的需求。

[0138] 而且,光纤缆线可以直接埋在地下,或作为悬架在支柱或支撑塔的架空缆线。架空

缆线可以是自支撑的或固定或缠挂到支撑体上（例如，吊线或其它缆线）。示例性的架空光纤缆线包括架空地线（OPGW）、全介质自承式缆线（ADSS）、全介质捆绑式缆线（AD-Lash）以及 8 字缆线，本领域普通技术人员良好地理解这些中的每个缆线。（8 字缆线以及其它设计可以直接埋在或安装到管道中，而且可选的包括调色（toning）元件，比如金属线，从而可以用金属探测器发现它们）。

[0139] 另外，虽然可以用外部缆线外壳进一步保护光纤，但光纤自身可以进一步被加强，从而光纤可以包含在允许单独光纤的单独路由的分支（breakout）缆线中。

[0140] 为了在传输系统中有效地采用本发明的光纤，网络的各点处需要连接。典型通过熔接、机械接合或机械连接器形成光纤连接。

[0141] 在安装到网络上之前，连接器的匹配端部可以在现场（例如在网络位置处）或者在工厂中安装到光纤端部。连接器的端部在现场进行匹配，从而将光纤连接在一起，或者将光纤连接到无源或有源部件。例如，特定的光纤缆线组件（例如分叉组件）可以以保护性方式将单独的光纤从通往连接器的多个光纤缆线中分离并转移。

[0142] 这种光纤缆线的部署可以包括补充装备。例如，可以包括放大器以改进光信号。可以安装色散补偿模块，以降低色散和偏振模色散的效果。类似地，可以包括通过围绕而受到保护的接合盒、基座和配线框。例如，附加元件包括远程终端交换机、光网络单元、分光器和中心局交换机。

[0143] 包含根据本发明的光纤的缆线可以部署用在通信系统（例如，网络或电信）中。通信系统可以包括光纤缆线架构，比如光纤到节点（FTTN）、光纤到局（FTTE）、光纤到配线盒（FTTC）、光纤到楼（FTTB）和光纤到户（FTTH），以及长距离或城域架构。

[0144] 而且，根据本发明的光纤可以用在其它应用中，包括但是不局限于光纤传感器或照明应用（例如，发光）。

[0145] 在说明书和附图中，已经公开了本发明的典型实施方式。本发明并不局限于这些示例性实施方式。除非另行表明，否则以通称和描述意义来使用特定术语，并不用于限制目的。

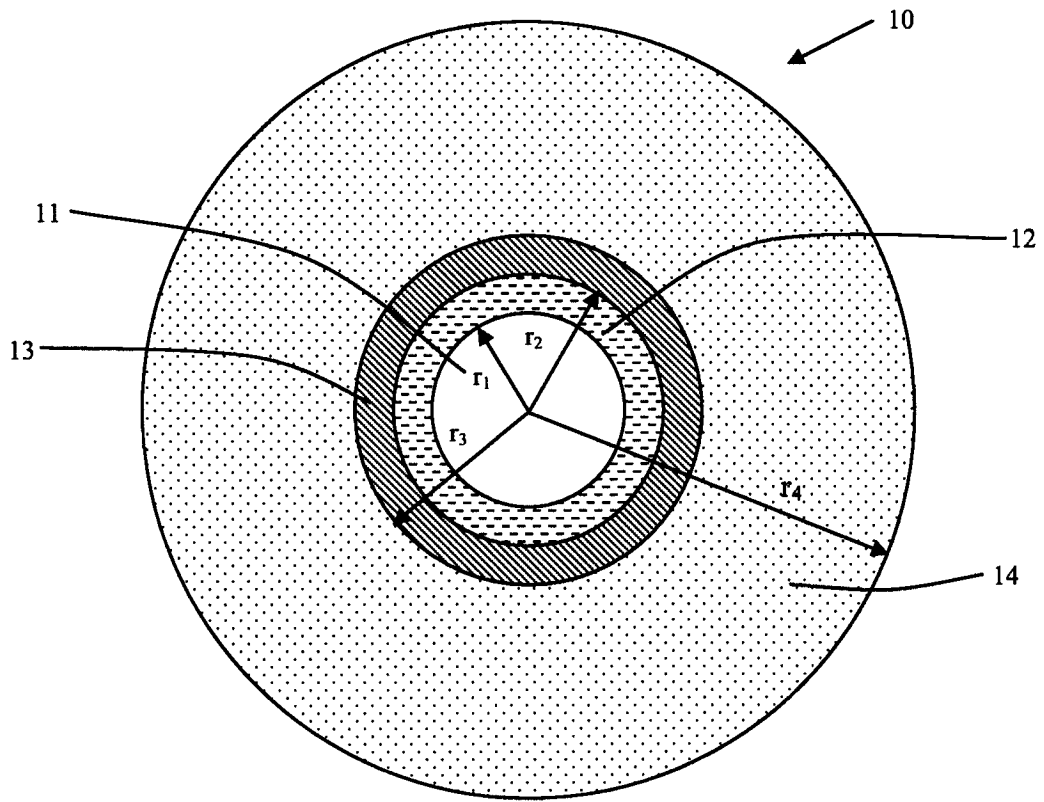


图 1

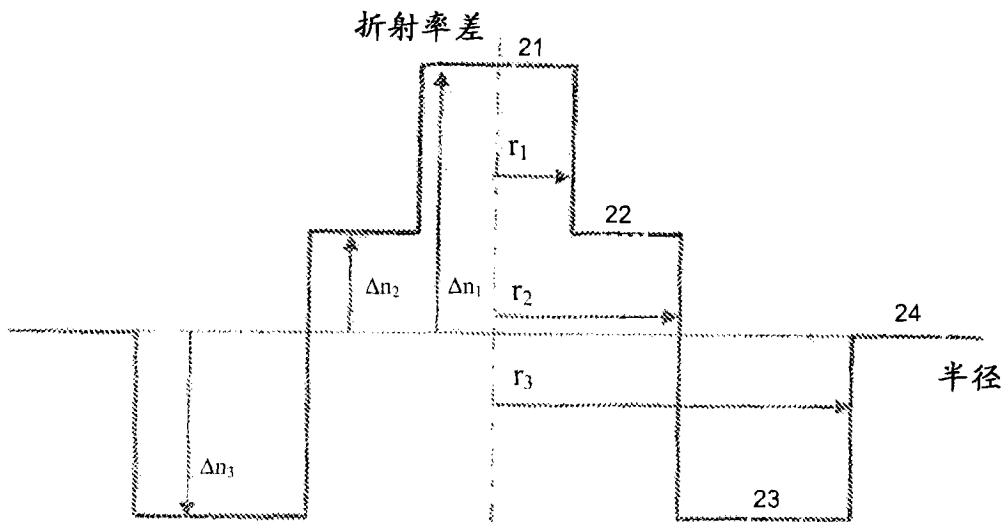


图 2