



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101055331 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 19

(21) 申请号 200710096317. X

G02B 6/36 (2006. 01)

(22) 申请日 2007. 04. 10

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

W0 2006/016572 A1, 2006. 02. 16,

06/03128 2006. 04. 10 FR

审查员 金伟华

(73) 专利权人 德雷卡通信技术公司

地址 荷兰阿姆斯特丹市

(72) 发明人 L-A·德蒙里永 D·莫兰

P·马蒂日塞 F·戈奥伊热尔

E·珀蒂弗雷尔 Y·吕米纳奥

F·J·阿什唐

M·比戈-阿斯特吕克 P·西亚尔

P·努希

(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)

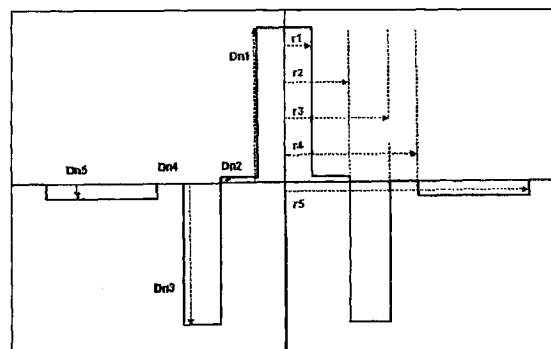
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 2 页

(54) 发明名称

单模光纤

(57) 摘要

一种传输光纤,包括:中央纤芯;第一中间包层,具有与外包层之间的折射率差异 Dn_2 ;第一凹陷包层,具有高于或者等于 -5×10^{-3} 的与外包层之间的折射率差异 Dn_3 ;第二中间包层,具有与外包层之间的折射率差异 Dn_4 ;以及第二凹陷包层,具有与外包层之间的折射率差异 Dn_5 。该光纤在 1625nm 的波长处对于 15mm 的弯曲半径而言呈现低于或者等于 0.1dB/10 匝的弯曲损耗,而对于 7.5mm 的弯曲半径而言呈现低于或者等于 0.5dB/匝的弯曲损耗。该光纤呈现减少的弯曲和微弯曲损耗,同时具有标准阶梯折射率传输光纤(ssmf)的光学性能。



1. 一种传输光纤,包括:
 - 中央纤芯,具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_1 ;
 - 第一中间包层,具有与所述外光学包层之间的折射率差异 Dn_2 ;
 - 第一凹陷包层,具有与所述外光学包层之间的低于或者等于 -5×10^{-3} 的折射率差异 Dn_3 ;
 - 第二中间包层,具有与所述外光学包层之间的折射率差异 Dn_4 ;
 - 第二凹陷包层,具有与所述外光学包层之间的折射率差异 Dn_5 ,所述折射率差异 Dn_5 在绝对值上低于所述第一凹陷包层与所述外光学包层之间的所述折射率差异 Dn_3 ;
 - 其中所述中央纤芯与所述第一中间包层之间的折射率差异 $(Dn_1 - Dn_2)$ 处于 4.5×10^{-3} 与 6.0×10^{-3} 之间;
 - 其中所述光纤具有低于或者等于 1260nm 的线缆截止波长,并且在 1625nm 的波长处,对于 15mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 0.1dB/10 匝的弯曲损耗,对于 7.5mm 的弯曲半径而言,具有低于或者等于 0.5dB/匝的弯曲损耗。
2. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第二凹陷包层与所述外光学包层之间的所述折射率差异 Dn_5 处于 -0.3×10^{-3} 与 -3×10^{-3} 之间。
3. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中对于处于 5.0×10^{-3} 与 5.6×10^{-3} 之间的与所述外光学包层之间的折射率差异 Dn_1 ,所述中央纤芯具有处于 $3.5 \mu m$ 与 $4.5 \mu m$ 之间的半径 r_1 。
4. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第一中间包层具有处于 $9 \mu m$ 与 $12 \mu m$ 之间的半径 r_2 。
5. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第一凹陷包层具有处于 $14 \mu m$ 与 $16 \mu m$ 之间的半径 r_3 。
6. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第二中间包层具有与所述外光学包层之间约为零的折射率差异 Dn_4 。
7. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第二中间包层具有处于 $18 \mu m$ 与 $20 \mu m$ 之间的半径 r_4 。
8. 根据权利要求 1 所述的光纤,其中所述第二凹陷包层具有处于 $25 \mu m$ 与 $40 \mu m$ 之间的半径 r_5 。
9. 根据权利要求 1 所述的光纤,在 1625nm 的波长处对于 20mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 0.1dB/100 匝的弯曲损耗。
10. 根据权利要求 1 所述的光纤,在 1625nm 的波长处对于 10mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 0.2dB 的弯曲损耗。
11. 根据权利要求 1 所述的光纤,在 1625nm 的波长处对于 5mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 1dB/匝的弯曲损耗。
12. 根据权利要求 1 所述的光纤,上至 1625nm 的波长,具有低于或者等于 0.8dB/km 的根据固定直径鼓方法的微弯曲损耗。
13. 根据权利要求 1 所述的光纤,在 1310nm 的波长处具有处于 $8.6 \mu m$ 与 $9.5 \mu m$ 之间的模场直径 (MFD)。
14. 根据权利要求 1 所述的光纤,在 1150nm 处的模场直径与有效截止波长 λ_{Ceff} 之比 (MAC) 小于 8.2。

15. 根据权利要求 1 所述的光纤,具有处于 1300nm 与 1324nm 之间的零色散波长 (λ_0),其中在所述波长处具有低于或者等于 $0.092\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率。

16. 一种光学模块,包括容纳有根据权利要求 1 至 15 中任一权利要求的所述光纤的至少卷起部分的壳体。

17. 根据权利要求 16 的所述光学模块,其中所述光纤以少于 15mm 的弯曲半径被卷起。

18. 根据权利要求 16 的所述光学模块,其中所述光纤以少于 7.5mm 的弯曲半径被卷起。

19. 一种存放箱,容纳有根据权利要求 1 至 15 中任一权利要求的所述光纤的至少卷起的部分。

20. 根据权利要求 19 的所述存放箱,其中所述光纤以少于 15mm 的弯曲半径被卷起。

21. 根据权利要求 19 的所述存放箱,其中所述光纤以少于 7.5mm 的弯曲半径被卷起。

22. 一种光纤到户 (FTTH) 或者光纤到路边 (FTTC) 的光学系统,包括根据权利要求 16 或 19 的所述至少一个光学模块或者至少一个存放箱。

单模光纤

技术领域

[0001] 本发明涉及通过光纤传输的领域,并且更具体地涉及一种具有减少的弯曲和微弯曲损耗的线光纤。

背景技术

[0002] 就光纤而言,折射率分布一般被描述为将折射率与光纤半径相关联的函数的曲线外观。常规而言,在横坐标上代表到光纤中央的距离 r ,而在纵坐标上代表折射率与光纤包层的折射率之间的差异。就分别地具有阶梯、梯形或者三角形形状的曲线而言,折射率分布由此被称为“阶梯”、“梯形”或者“三角形”。这些曲线一般代表光纤的理论分布或者设定分布;制造光纤的约束可能造成基本上不同的分布。

[0003] 光纤常规地包括光纤纤芯和外光学包层,该光纤纤芯具有传输并且可能放大光学信号的功能,而该外光学包层具有将光学信号约束于纤芯中的功能。出于这一目的,纤芯的折射率 n_c 和外光学包层的折射率 n_g 满足 $n_c > n_g$ 。众所周知,光学信号在单模光纤中的传播被分成纤芯中的基本引导模式和纤芯包层组件中在某一距离上引导的辅助模式(称为包层模式)。

[0004] 常规而言,又称为单模光纤(SMF)的阶梯折射率光纤对利用光纤的传输系统而言被用作线路光纤。这些光纤表现出满足具体电信标准的色散和色散斜率。

[0005] 就对于来自不同制造商的光学系统之间兼容性的要求而言,缩写词为 ITU 的国际电信联盟定义了具有称为 ITU-T G. 652 的规范的标准,用于标准传输的光纤应当遵守该规范,这些光纤称为 SSMF 标准单模光纤。

[0006] 这一规范 G. 652 推荐如下:就传输光纤而言,在 1310nm 的波长处,模场直径(MFD)的值的范围是 $[8.6; 9.5 \mu m]$;线缆截止波长的最大值是 1260nm;记为 λ_0 的零色散波长的范围是 $[1300; 1324nm]$;色散斜率的最大值是 $0.092ps/nm^2 \cdot km$ 。线缆截止波长常规地被测量为如下波长,在该波长处光学信号在通过二十二米光纤传播之后不再是单模,这比如由国际电工技术委员会的附属委员会 86A 在 IEC60793-1-44 标准中的定义。

[0007] 另外就给定光纤而言,定义了所谓的 MAC 值,该值被定义为光纤在 1550nm 处的模场直径与有效截止波长 λ_{ceff} 之比。有效截止波长常规地被测量为如下波长,在该波长处光学信号在通过两米光纤传播之后不再是单模,这正如由国际电工委员会的附属委员会 86A 在 IEC 60793-1-44 标准中的定义。MAC 是用于鉴别光纤性能的参数,特别是用于发现模场直径、有效截止波长与弯曲损耗之间折衷的参数。

[0008] 图 1 图示了源于申请人的实验结果,并且图示了相对于在 1550nm 的波长处的 MAC 值,阶梯折射率 SSMF 中就 15mm 的弯曲半径而言在 1625nm 的波长处的弯曲损耗。可见 MAC 值影响光纤的弯曲损耗,并且可以通过减少 MAC 来减少这些弯曲损耗。

[0009] 现在,通过减少模场直径和/或通过增加有效截止波长来减少 MAC 可能造成偏离于 G. 652 标准,并且使得光纤无法与某些传输系统商业性地相兼容。

[0010] 事实上,为了遵循线缆截止频率 λ_{cc} 的最大值 1260nm,有效截止波长 λ_{ceff} 的值无

法增加到超出限制值。另外,严格地强制用于给定波长的模场直径值以便最小化光纤之间的耦合损耗。

[0011] 用于限制弯曲损耗的 MAC 指标的减小因此应当与对有效截止波长 λ_{ceff} 的值的限制相结合以便限制较高阶的模式在光纤中的传播,同时保留充分的模场直径用以提供耦合而不会产生过多的光纤损耗。

[0012] 特别地,既与 G. 652 标准相兼容并且减少弯曲损耗是针对应用如下光纤的真实保证,这些光纤将被用于到达个人的光纤系统,即所谓的光纤到户 (FTTH) 或者到达路边或者到达大楼的光纤系统,即所谓的光纤到路边 (FTTC)。

[0013] 事实上,通过光纤的传输系统包括在未来应急情况下在其中提供光纤余长的存放箱;这些光纤余长缠绕于箱中。由于想要针对 FTTH 或者 FTTC 应用而试图使这些箱小型化,所以在这一背景下的单模光纤将以越来越小的直径进行缠绕(以便达到如 15mm 那样小的弯曲半径)。另外,在 FTTH 或者 FTTC 应用范围内,光纤面临比在较长距离的应用中受到更苛刻的安装约束的风险,即存在与安装的低成本和与环境有关的偶然弯曲。对于存在等于 7.5mm 或者甚至 5mm 的偶然弯曲半径必须有所防备。为了满足与存放箱和与安装约束有关的约束,用于 FTTH 或者 FTTC 应用的单模光纤具有有限的弯曲损耗因此是绝对有必要的。然而理解到弯曲损耗的这一减少不应在有损于信号单模特征损耗的情况下来实现,这会强烈地恶化信号,或者不应在有损于引入显著结光学损耗的情况下来实现。

[0014] US 4,852,968 涉及一种具有折射率分布的单模光纤,该光纤包括纤芯区域、第一包层区域沟槽区域和第二包层区域以及可选第二沟槽区域。此文献涉及优化色散特征。

[0015] 为了获得满足减少弯曲损耗这一要求的光纤,在现有技术中已经提出三种解决方案。

[0016] 在现有技术中发现的第一解决方案包括产生具有减少的模场直径的常规阶梯折射率光纤。通过模场直径的减少从而减少 MAC 来确实地减少弯曲损耗,并且在保持少于 1260nm 的线缆截止波长情况下保留单模特征。然而,这样的光纤具有显著的耦合损耗而不适应于如上所述的 FTTH 应用。

[0017] I. Sakabe 等人在 IWCS Proceeding 2004 年第 53 期第 112-118 页中发表的文献“Enhanced Bending Loss Insensitive Fiber and NewCables for CWDM Access Networks”建议减少光纤的模场直径以便减少弯曲损耗。然而模场直径的这一减少造成偏离于 G. 562 标准。

[0018] T. Yokokawa 等人在 IWCS Proceeding 2004 年第 53 期第 150-155 页中发表的文献“Ultra-low Loss and Bend insensitive Pure-silica-coreFiber Complying with G.652 C/D and its Applications to a Loose TubeCable”提出一种具有减少的传输损耗和弯曲损耗但又具有处于 G. 652 标准以外的减少的模场直径的纯硅纤芯光纤 (PSCF)。

[0019] 在现有技术中发现的第二解决方案包括产生具有凹陷段的阶梯折射率光纤,即该光纤具有中央纤芯、中间包层和凹陷包层。利用这样的结构,有可能针对典型为 10mm 的小弯曲半径以恒定的 MAC 来实际地减少弯曲损耗。

[0020] S. Matsuo 等人在 Journal of Lightwave Technology 2005 年第 23 卷第 11 期第 3494-3499 页中发表的文献“Low-bending-loss and low-splice-loss single-mode fibers employing a trench index profile”和 K. Himeno 等人在 Journal of Lightwave

Technology 2005 年第 23 卷第 11 期第 3494-3499 页中发表的文献“Low-bending-loss single mode fibers for fiber-to-the home”中提出这种具有凹陷段的光纤结构以便减少弯曲损耗。

[0021] 现在, 申请人所进行的分析已经表明: 如果利用具有凹陷段的光纤分布可以实质性地改进弯曲损耗, 则这样的分布也由于主要在中间包层和凹陷段中传播的阻性泄漏模式的出现而造成有效截止波长的增加。

[0022] 这一观测于是要求选择在 1550nm 处具有少于 7.9 的 MAC 的光纤以便补偿有效截止波长远大于预期的这一事实, 同时确保就半径为 15mm 的绕组而言在 1625nm 处弯曲损耗小于 0.1dB/ 匝; 而对于 SSMF, 选择在 1550nm 处具有少于 8.1 的 MAC 的光纤足以确保就半径为 15mm 的弯曲半径而言在 1625nm 处的损耗小于 0.1dB/ 匝 (源于图 1 的结果)。因此减少了这种具有凹陷段的阶梯折射率光纤的制造产量。

[0023] 在现有技术中发现的第三解决方案包括产生孔辅助式阶梯折射率光纤。

[0024] K. Bandou 等人在 IWCS Proceedings 2004 年第 53 期第 119-122 页中发表的文献“Development of Premise Optical Writing Components Using Hole-Assisted Fiber”提出一种具有孔的光纤, 该光纤具有弯曲损耗减少的阶梯折射率 SSMF 这一光学特征。

[0025] 这种用于减少弯曲损耗的孔辅助式阶梯折射率光纤已经在如下发表的文献中有所描述: T. Hasegawa 等人, 在意大利, 里米尼, 2003 年 Proceedings ECOC' 03 论文 We2. 7. 3 中的“Bend-insensitive single-mode holey fiber with SMF-compatibility for optical wiring applications”; D. Nishioka 等人, 在 SEI Technical Review 2004 年第 58 期第 42-47 页的“Development of holey fiber supporting extra-small diameter bending”; K. Miyake 等人, 在瑞典, 斯德哥尔摩, 2004 年 Proceedings ECOC' 04 论文 Mo3. 3. 4 的“Bend resistant photonic crystal fiber compatible with conventional single mode fiber”; Y. Tsuchida 等人, 在 Optics Express 2005 年第 13 卷第 12 期第 4470-4479 页的“Design and characterization of single-mode holey fibers with low bending losses”; K. Ohsono 等人, 在 Hitachi Cable Review, 2003 年 No. 22, pp. 1-5, 的“High performance optical fibers for next generation transmission systems”; K. Nakajima 等人, 在 IEEE Photonics Technology Letters 2003 年第 15 卷第 12 期第 1737-1739 页的“Hole-assisted fiber design for small bending and splice loss”; K. Ieda 等人, 在 IWCS Proceedings 2005 年第 54 期第 63-68 页的“Transmission characteristics of a hole-assisted fiber cord for flexible optical wiring”; N. Guan 等人, 在瑞典, 斯德哥尔摩, 2004 年 Proceedings ECOC' 04 论文 Mo3. 3. 5 的“Hole-assisted single mode fibers for low bending loss”; 以及 K. Himeno 等人, 在 Journal of Lightwave Technology 2005 年第 23 卷第 11 期第 3494-3499 页的“Low-bending-loss single-mode fibers for fiber-to-the-home”。

[0026] 然而, 用于制造这种光纤的成本以及目前为高的衰减水平 ($> 0.25\text{dB/km}$) 使得它难以在 FTTH 或者 FTTC 系统中被商业性地利用。另外, 利用这些光纤完全不可能实现特别是在色散方面由 G. 652 标准所推荐的光学特征。

[0027] 因此需要一种用来满足 G. 652 标准的指标的传输光纤, 即该光纤在 FTTH 或者 FTTC 型传输系统中可以被商业性地利用, 并且该光纤具有减少的弯曲和微弯曲损耗。特别地, 需

要一种针对 15mm 的弯曲半径以及针对如 7.5mm 那样小的弯曲半径具有减少的损耗的光纤。事实上,在 FTTH 应用中,光纤余长一般缠绕于越来越小型化的存放箱中;另外,光纤将会受到与它的安装环境有关的显著弯曲应力的影响。

发明内容

[0028] 为此目的,本发明提出一种具有特定阶梯折射率分布的光纤,该光纤具有高度凹陷的第一段和弱凹陷的第二段。

[0029] 利用这样的结构,有可能以恒定的 MAC 有效地减少弯曲损耗、同时有力地最小化较高阶的泄漏模式。因此,与现有技术中具有凹陷段的阶梯折射率结构的光纤不同,本发明的光纤具有保持少于 1260nm 的线缆截止波长。本发明的光纤因此符合 G. 652 标准。

[0030] 更特别地,本发明提出一种传输光纤,包括:

[0031] - 中央纤芯,具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_1 ;

[0032] - 第一中间内包层,具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_2 ;

[0033] - 第一凹陷内包层,具有低于或者等于 -5×10^{-3} 的与外光学包层之间的折射率差异 Dn_3 ;

[0034] - 第二中间内包层,具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_4 ;

[0035] - 第二凹陷内包层,具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_5 , 折射率差异 Dn_5 在绝对值上低于第一内凹陷包层与外光学包层之间的折射率差异 Dn_3 ;

[0036] - 该光纤在 1625nm 的波长处对于 15mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 0.1dB/10 匝的弯曲损耗,而对于 7.5mm 的弯曲半径而言具有低于或者等于 0.5dB/匝的弯曲损耗。

[0037] 根据实施例,本发明的光纤可以包括以下特征中的一个或者多个特征:

[0038] - 第二凹陷内包层与外光学包层之间的折射率差异在 -0.3×10^{-3} 与 -3×10^{-3} 之间;

[0039] - 中央纤芯与第一中间内包层之间的折射率差异在 4.5×10^{-3} 与 6.0×10^{-3} 之间;

[0040] - 对于处于 5.0×10^{-3} 与 5.6×10^{-3} 之间的与外光学包层之间的折射率差异,中央纤芯具有在 $3.5 \mu m$ 与 $4.5 \mu m$ 之间的半径;

[0041] - 第一中间内包层具有在 $9 \mu m$ 与 $12 \mu m$ 之间的半径;

[0042] - 第一凹陷内包层具有在 $14 \mu m$ 与 $16 \mu m$ 之间的半径;

[0043] - 第二中间内包层具有与外光学包层之间基本上为零的折射率差异;

[0044] - 第二中间内包层具有在 $18 \mu m$ 与 $20 \mu m$ 之间的半径;

[0045] - 第二凹陷内包层具有在 $25 \mu m$ 与 $40 \mu m$ 之间的半径;

[0046] - 在 1625nm 的波长处对于 20mm 的弯曲半径而言低于或者等于 0.1dB/100 匝的弯曲损耗;

[0047] - 在 1625nm 的波长处对于 5mm 的弯曲半径而言低于或者等于 1dB/匝的弯曲损耗;

[0048] - 上至 1625nm 的波长、低于或者等于 0.8dB/km 的根据所谓固定直径鼓(法语是“toubret à diamètre fixe”)方法的微弯曲损耗;

[0049] - 低于或者等于 1260nm 的线缆截止波长;

[0050] - 对于 1310nm 的波长在 $8.6 \mu m$ 与 $9.5 \mu m$ 之间的模场直径;

- [0051] - 少于 8.2 的、在 1550nm 处的模场直径与有效截止波长 λ_{ceff} 之比 (MAC) ;
- [0052] - 在 1300nm 与 1324nm 之间的零色散波长 (λ_0), 其中在这一波长处具有低于或者等于 0.092ps/nm²/km 的色散斜率。
- [0053] 本发明还涉及一种包括壳体的光学模块, 根据本发明至少一个光纤部分在该壳体中被卷起; 以及涉及一种存放箱, 根据本发明至少一个光纤部分缠绕于该存放箱中。
- [0054] 根据一些实施例该光纤以少于 15mm 的弯曲半径和 / 或以少于 7.5mm 的弯曲半径被卷起。
- [0055] 本发明还涉及一种光纤到户 (FTTH) 或者光纤到路边 (FTTC) 的光学系统, 该系统包括根据本发明的至少一个光学模块或者存放箱。

附图说明

- [0056] 在阅读通过例子和参照附图而给出的对本发明实施例的以下描述时, 本发明的其它特征和优点将变得明显, 在附图中。
- [0057] 此前描述的图 1 示出了如下曲线, 该曲线图示了相对于在 1550nm 的波长处的 MAC 值, 标准阶梯折射率光纤中就 15mm 的弯曲半径而言在 1625nm 的波长处的弯曲损耗;
- [0058] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的阶梯折射率光纤的设定分布的图解;
- [0059] 图 3 示出了如下曲线, 这些曲线图示了针对现有技术的另一光纤和根据本发明的光纤就阶梯折射率 SSMF 而言相对于弯曲半径在 1625nm 的波长处的弯曲损耗。

具体实施方式

- [0060] 本发明的光纤具有中央纤芯、第一中间内包层和第一凹陷内包层。该光纤还具有第二中间内包层和第二凹陷内包层。凹陷内包层意味着光纤的径向部分具有比外光学包层的折射率更低的折射率。第一凹陷内包层具有与外光学包层之间的强折射率差异, 该差异小于 -5×10^{-3} 并且可能达到 -15×10^{-3} 。第二凹陷内包层相比于第一凹陷内包层具有与外包层之间的较小折射率差异, 该差异优选地在 -0.3×10^{-3} 与 -3×10^{-3} 之间。
- [0061] 图 2 图示了根据本发明的传输光纤的折射率分布。所示分布是设定分布, 即代表光纤的理论分布, 在预制件的光纤拉丝之后实际获得的光纤可能具有基本上不同的分布。
- [0062] 根据本发明的阶梯折射率传输光纤包括: 中央纤芯, 具有与充当光学包层的外光学包层之间的折射率差异 Dn_1 ; 第一中间内包层, 具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_2 ; 第一凹陷内包层, 具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_3 ; 第二中间内包层, 具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_4 ; 以及第二凹陷内包层, 具有与外光学包层之间的折射率差异 Dn_5 。折射率差异 Dn_5 在绝对值上低于折射率差异 Dn_3 。中央纤芯中的、第一和第二凹陷内包层中的以及第一和第二中间内包层中的折射率在它们的整个宽度上基本上恒定。该设定分布是阶梯折射率光纤。纤芯的宽度由它的半径 r_1 限定, 而包层的宽度由它们的相应外径 r_2 - r_5 限定。
- [0063] 为了限定光纤的设定折射率分布, 外包层的折射率值一般被取作基准。图 2 仅示出了外光学包层的一小部分并且试图示意性地图示纤芯中的折射率差异。折射率基本上恒定的外光学包层伸展到直至光纤外部, 这意味着在外光学包层外部不再有具有不同折射率的光学包层。中央纤芯、凹陷内包层和中间包层的折射率值于是被表示为折射率差异 $Dn_{1,2}$ 。

3,4,5。一般而言,外光学包层包括硅,但是此包层可以省略以便增加或者减少它的折射率使得例如改变信号的传播特征。

[0064] 下表给出了半径和折射率差异的优选限制值,这些值允许实现光纤分布,使得光纤具有减少的弯曲损耗、同时满足 G. 652 标准针对传输光纤的光学传播指标。表中的值对应于设定的光纤分布。

[0065] 表

[0066]

	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	r_4 (μm)	r_5 (μm)	Dn_1 ($\cdot 10^{-3}$)	Dn_1-Dn_2 ($\cdot 10^{-3}$)	Dn_3 ($\cdot 10^{-3}$)	Dn_5 ($\cdot 10^{-3}$)
min	35	9.0	14.0	18.0	25.0	5.0	4.5	-5	-0.3
Max	4.5	12.0	16.0	20.0	40.0	5.6	6.0	-15	-3

[0067] 比第一凹陷内包层凹陷较少的第二凹陷内包层 (r_5 , Dn_5) 的存在提供了对能够沿着光纤传播并且造成有效截止波长增加的泄漏模式的存在的限制。由于第一中间内包层 (r_2 , Dn_2) 的存在, 所以有可能确保单模信号在中央纤芯中的恰当约束, 并且保持与 G. 652 标准相兼容的模场直径。由于第一深凹陷内包层 (r_3 , Dn_3) 的存在, 所以可进一步减少弯曲损

耗。

[0068] 具有如上所述折射率分布的根据本发明的传输光纤在有用波长处具有减少的弯曲损耗。特别地,就 1625nm 的波长而言,根据本发明的光纤具有如下弯曲损耗:对于围绕弯曲半径为 20mm 的线轴的 100 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.1dB;对于围绕弯曲半径为 15mm 的线轴的 10 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.1dB;对于围绕弯曲半径为 10mm 的线轴的 1 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.2dB;对于围绕弯曲半径为 7.5mm 的线轴的 1 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.5dB;对于围绕弯曲半径为 5mm 的线轴的 1 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 1dB。根据本发明的光纤在 1550nm 的波长处具有甚至更小的弯曲损耗。特别地,就 1550nm 的波长而言,根据本发明的光纤具有如下弯曲损耗:对于围绕弯曲半径为 15mm 的线轴的 10 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.02dB;对于围绕弯曲半径为 10mm 的线轴的 1 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.05dB;对于围绕弯曲半径为 7.5mm 的线轴的 1 匝绕组,弯曲损耗低于或者等于 0.2dB。

[0069] 另外,根据本发明的光纤还具有与 SSMF 相比有所减少的微弯曲损耗。微弯曲损耗可以在 1550nm 的波长处利用一种称为栅格测试(10 个 1.5mm 针状物)的测试来估计。在这一测试中,使用了以间距为 1cm、直径为 1.5mm 的 10 个抛光针状物所形成的栅格。光纤通过与针状物的轴正交的两个通道穿过栅格。在覆盖有约 3mm 高密度聚乙烯泡沫层的两个刚性板之间按压光纤和栅格。该组件的各层(板、栅格、光纤)被水平地定位并且整体覆盖有 250g 的重物。利用这一测试,根据本发明的光纤在 1550nm 处具有低于或者等于 0.025dB 的微弯曲损耗。微弯曲损耗也可以在 1625nm 的波长处通过所谓的固定直径鼓方法来估计。此方法在国际电工委员会的附属委员会 86A 于参考号 IEC TR-62221 之下的技术推荐中有描述。所用鼓的直径是 60cm;该鼓覆盖有额外的细微砂纸。利用此方法,根据本发明的光纤在 1625nm 处具有低于或者等于 0.8dB/km 的微弯曲损耗。

[0070] 另外,本发明的光纤满足 G.652 标准的指标。

[0071] 特别地,它具有少于 1330nm 的有效截止波长 I_{ceff} ,使得线缆截止波长 I_{cc} 遵从于 G.652 标准而少于 1260nm。根据本发明的光纤就 1310nm 的波长而言还具有在 8.6 μm 与 9.5 μm 之间的 MFD。

[0072] 根据本发明的光纤还具有范围上至 8.2 的 MAC 比率;根据本发明的光纤的制造产量因此更佳,因为不再有任何排他性地选择具有少于 7.9 的 MAC 的光纤这样的负担。

[0073] 图 3 的曲线图示了针对与本发明相同但是没有第二凹陷段的光纤和根据本发明的两种光纤就 SSMF 而言相对于弯曲半径在 1625nm 处的弯曲损耗。

[0074] 第一曲线(3A)示出了阶梯折射率 SSMF 的弯曲损耗。此光纤具有 8.1 的 MAC。注意到对于小于 7.5mm 的小弯曲半径,弯曲损耗相当可观地增加并且就 1 匝绕组而言超过 1dB 的值。这种当前用于长距离传输的常规光纤因此不是很适合于 FTTH 或者 FTTC 应用,因为它既不可能缠绕于光学模块的小型箱中,也不会在不引入强光学损耗的情况下受到与安装有关的可能的偶然弯曲的影响。

[0075] 第二曲线(3B)示出了与本发明相似但是没有第二凹陷段的光纤的弯曲损耗。此光纤具有 8.2 的 MAC 并且满足 G.652 标准的指标。注意到对于少于 7.5mm 的小弯曲半径而言,弯曲损耗少于 1dB/匝。另一方面,弯曲损耗对于较大弯曲半径而言保持相对地显著。因此,该光纤对于围绕半径等于 20mm 的线轴的 10 匝绕组而言具有 0.5dB 数量级的弯曲损

耗,而对于围绕半径等于 20mm 的线轴的 100 匝绕组而言具有 0.4dB 数量级的弯曲损耗。对于半径 15mm 和 20mm 而言这些弯曲损耗值不允许此光纤使用于具有这种绕组半径的存放箱中。

[0076] 第三曲线 (3C) 示出了根据本发明的光纤的弯曲损耗。与此曲线相对应的光纤具有 8.2 的 MAC 并且满足 G. 652 标准的指标。注意到对于少于 7.5mm 的小弯曲半径,弯曲损耗是在 0.4dB/匝的数量级,少于优选最大值 0.5dB/匝;而对于 10mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.2dB/匝数量级的弯曲损耗,即目标上限值。另外,对于较大弯曲半径,弯曲损耗保持有限;因此,对于 15mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.04dB/10 匝数量级的弯曲损耗,少于优选最大值 0.1dB/10 匝;而对于 20mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.03dB/100 匝数量级的弯曲损耗,小于优选最大值 0.1dB/100 匝。

[0077] 第四曲线 (3D) 示出了根据本发明的另一光纤的弯曲损耗。与此曲线相对应的光纤具有 8.1 的 MAC 并且满足 G. 652 标准的指标。注意到对于少于 7.5mm 的小弯曲半径,弯曲损耗是在 0.1dB/匝的数量级,少于优选最大值 0.5dB/匝;而对于 10mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.07dB/匝数量级的弯曲损耗,少于优选最大值 0.2dB/匝。另外,对于较大弯曲半径,弯曲损耗保持有限;因此,对于 15mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.04dB/10 匝数量级的弯曲损耗,少于优选最大值 0.1dB/10 匝;而对于 20mm 的弯曲半径,根据本发明的光纤具有 0.01dB/100 匝数量级的弯曲损耗,小于优选最大值 0.01dB/100 匝。

[0078] 根据本发明的传输光纤可以通过具有如上所述折射率分布的预制件的光纤拉丝来制作。

[0079] 以一种本质上已知的方式,通过在光纤拉丝塔上拉引预制件来制作光纤。预制件例如包括由很高质量的玻璃管组成的初级预制件,该玻璃管构成光纤的包层和纤芯的一部分。此初级预制件然后被复载或者套接以便增加它的直径并且以便形成可以在光纤拉丝塔上使用的预制件。缩放光纤拉丝操作由在塔上垂直地放置预制件并且从预制件的末端拉引光纤股线组成。为此,在预制件的一端局部地施加高温直至硅被软化,然后在光纤拉丝过程中持久地监视光纤拉丝速率和温度,因为它们确定光纤的直径。预制件的几何形状应当完全地遵循折射率之比和光纤的纤芯直径和包层直径之比,使得拉丝光纤具有所需要的分布。

[0080] 通常通过“掺杂”这一表达来指代管中的成分沉积,即“杂质”被添加到硅中以便改变它的折射率。因此,锗 (Ge) 或者磷 (P) 增加硅的折射率;它们常常用于对光纤的中央纤芯进行掺杂。另外,氟 (F) 或者硼 (B) 降低硅的折射率;氟常常用于形成凹陷包层。

[0081] 制作具有高度凹陷的包层预制件颇为棘手。事实上,氟难以结合在超过某一温度的加热的硅中,而高温是制作玻璃所需要的。

[0082] 通过在制作玻璃所需要的高温与促进氟的恰当结合的低温之间折衷,无法获得比硅的折射率少得多的折射率。

[0083] 优选的是,根据等离子体化学气相沉积 (PCVD) 技术来制作根据本发明的光纤的预制件,因为通过反应化合物的离子化,可以在比常规技术 (CVD、VAD、OVD) 中更低的温度进行反应。这样的制造技术在 US RE 30,635 和 US 4,314,833 中有描述;它允许将氟大量地结合到硅中以便形成高度凹陷的包层。然而,根据本发明的光纤的预制件也可以利用 CVD、VAD 或者 OVD 技术来制作。

[0084] 在玻璃制品锁紧装置中提供和装配纯的或者略微掺杂有氟的硅管。其中可以掺杂或者可以不掺杂的玻璃形成母体的玻璃混合物被注入管中。微波所生成的等离子体沿着管横穿而过。在等离子体中玻璃形成母体被反应成在管中的内表面上沉积的玻璃。

[0085] 微波加热所生成的掺杂物的高反应率使得高浓度的掺杂物能够结合到硅层中。特别地,在利用 PCVD 通过吹管进行局部加热而少量地结合于硅中的氟的情况下,硅层可以掺杂有高浓度的氟以便构成第一高度凹陷的包层 (r_3 , Dn_3)。第二略微凹陷的内部包层 (r_5 , Dn_5) 也可以通过与针对第一高度凹陷的内包层一样的 PCVD 型沉积来获得,或者可以利用略微掺杂有氟的实际硅管来构成,或者甚至可以在预制件的套接或者复载过程中例如通过使用略微氟化的中间套接管或者通过制作具有略微氟化硅颗粒的复载部分来制作它。

[0086] 根据本发明的传输光纤可以在具有减少的光学损耗情况下使用于 FTTH 或者 FTTC 系统内的发送或者接收模块中或者高速和长距离光学传输线缆中。本发明的光纤与市面上的系统相兼容,因为它满足 G. 652 标准。特别地,根据本发明的光纤的余长可以缠绕在与 FTTH 或者 FTTC 系统的光学模块相关联的存放箱中,根据本发明的光纤可以用少于 15mm 或者甚至 7.5mm 的弯曲半径来缠绕而不引起强光学损耗。根据本发明的光纤也很适合于支持与它在个人家庭的安装有关的偶然弯曲,其中弯曲半径的范围可下至 5mm。

[0087] 当然,本发明既不限于所述实施例也不限于通过例子所述的用途。特别地,根据本发明的光纤也可以使用于除 FTTH 或者 FTTC 以外的应用中。

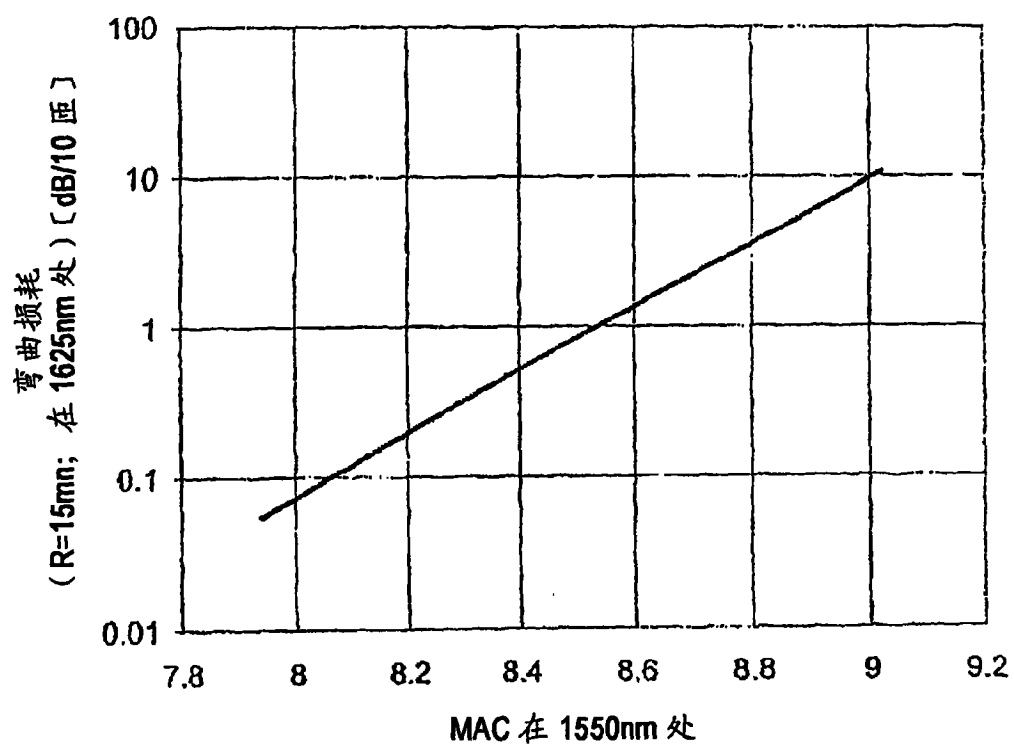


图 1

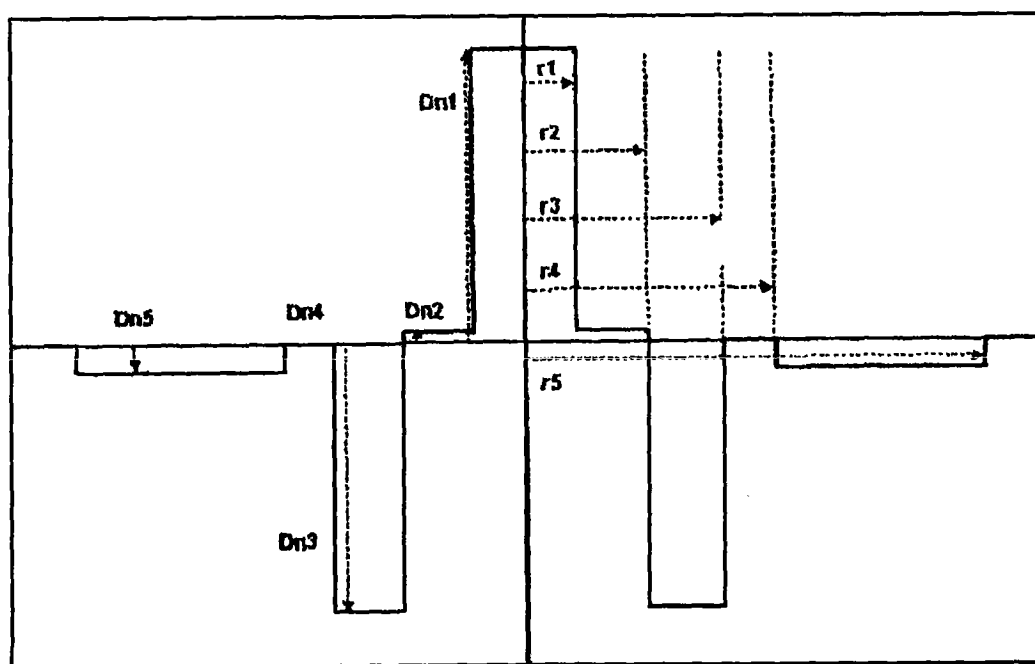


图 2

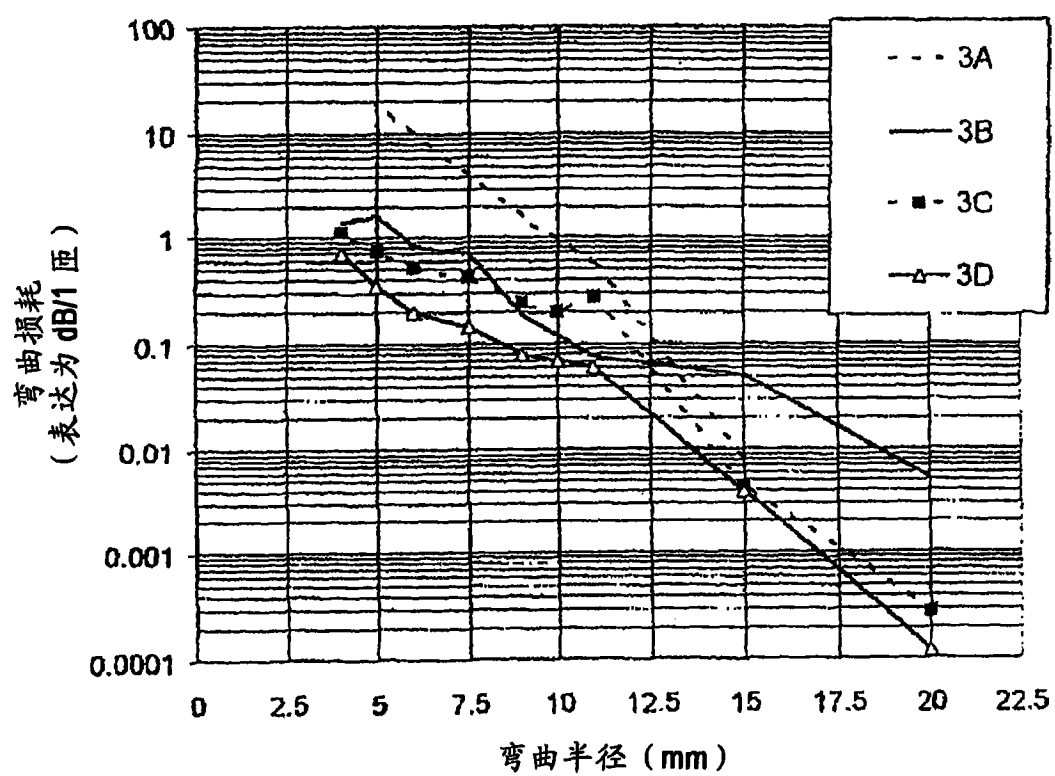


图 3