

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102156323 B

(45) 授权公告日 2012. 06. 06

(21) 申请号 201110114732. X

US 2008/0056658 A1, 2008. 03. 06,

(22) 申请日 2011. 05. 05

CN 101281275 A, 2008. 10. 08,

(73) 专利权人 长飞光纤光缆有限公司

CN 101598834 A, 2009. 12. 09,

地址 430073 湖北省武汉市武昌关山二路四号

US 6947650 B1, 2005. 09. 20,

审查员 王珏

(72) 发明人 杨晨 曹蓓蓓 陈苏 童维军
倪先元 罗杰

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 胡建平

(51) Int. Cl.

G02B 6/036 (2006. 01)

G02B 6/02 (2006. 01)

G03C 13/04 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0240814 A1, 2004. 12. 02,

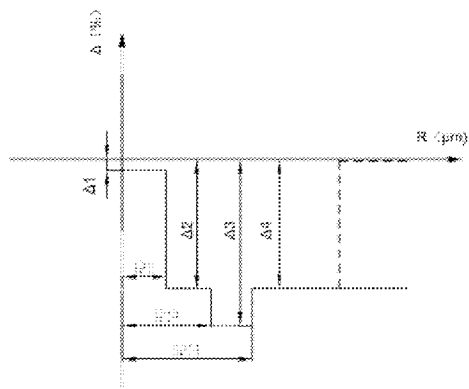
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种单模光纤

(57) 摘要

本发明涉及一种光纤通信系统中使用的低衰减单模光纤,包括有芯层和包层,芯层的相对折射率差 $\Delta 1$ 范围为 -0.1% 至 $+0.1\%$,半径 $R1$ 的范围是 $4.0\mu m$ 至 $6.0\mu m$,围绕在芯层外有三个包层;第一包层相对折射率差 $\Delta 2$ 的范围是 -0.2% 至 -0.6% ,半径 $R2$ 的范围是 $10\mu m$ 至 $22\mu m$;第二包层相对折射率差 $\Delta 3$ 小于 $\Delta 2$,并且第一包层的相对折射率差、半径与第二包层的相对折射率差、半径存在以下的数值关系:设 $V = (\Delta 2 - \Delta 3) \times (R3 - R2)$,则 V 值的范围为 $0.15\% \mu m$ 至 $0.8\% \mu m$;第三包层为紧密围绕第二包层的所有分层,其各个分层的相对折射率差大于 $\Delta 3$ 。本发明提供一种折射率剖面设计合理、光纤的抗弯曲性能得到进一步提高的低衰减单模光纤。



1. 一种单模光纤,包括有芯层和包层,其特征在于芯层的相对折射率差 $\Delta 1$ 范围为 -0.1% 至 $+0.1\%$,半径 $R1$ 的范围是 $4.0\mu\text{m}$ 至 $6.0\mu\text{m}$,围绕在芯层外有三个包层;第一包层紧密围绕芯层,其相对折射率差 $\Delta 2$ 的范围是 -0.2% 至 -0.6% ,半径 $R2$ 的范围是 $10\mu\text{m}$ 至 $22\mu\text{m}$;第二包层紧密围绕第一包层,其相对折射率差 $\Delta 3$ 小于 $\Delta 2$,并且第一包层的相对折射率差、半径与第二包层的相对折射率差、半径存在以下的数值关系:设 $V = (\Delta 2 - \Delta 3) \times (R3 - R2)$,则 V 值的范围为 $0.15\% \mu\text{m}$ 至 $0.8\% \mu\text{m}$;第三包层为紧密围绕第二包层的所有分层,其各个分层的相对折射率差大于 $\Delta 3$ 。

2. 如权利要求 1 所述的单模光纤,其特征在于所述的第二包层的相对折射率差 $\Delta 3$ 的范围是 -0.3% 至 -0.7% ,半径 $R3$ 的范围是 $13\mu\text{m}$ 至 $27.5\mu\text{m}$;第三包层最外层的分层半径为 $R4$, $R4$ 的范围是 $36\mu\text{m}$ 至 $63\mu\text{m}$ 。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述的芯层由掺氟 (F) 的石英玻璃或掺有氟及其他掺杂剂的石英玻璃组成,芯层氟 (F) 的贡献量 ΔF 为 -0.1% 至 0% 。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述的第一包层由掺氟 (F) 的石英玻璃组成,第一包层的半径 $R2$ 与芯层的半径 $R1$ 的比值 $R2/R1$ 为 2 至 4,其相对折射率差 $\Delta 2$ 与芯层的相对折射率差 $\Delta 1$ 的差值 $(\Delta 1 - \Delta 2)$ 为 0.3% 至 0.45% 。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述的第二包层由掺氟 (F) 的石英玻璃组成,其相对折射率差 $\Delta 3$ 小于其它包层。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述的第三包层为一个分层,为掺氟或其他掺杂剂的石英玻璃层,其相对折射率差 $\Delta 4$ 的范围是 -0.25% 至 -0.45% 。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于第三包层为两个分层,内分层为掺氟分层,其相对折射率差 $\Delta 4$ 的范围是 -0.25% 至 -0.45% ,半径范围是 $36\mu\text{m}$ 至 $54\mu\text{m}$,外分层为纯硅分层,即相对折射率差为 0% 。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述光纤在 1550nm 波长处的衰减系数小于或等于 0.180dB/km ,模场直径为 $10\mu\text{m}$ 至 $13\mu\text{m}$ 。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述光纤具有小于或等于 1530nm 的光缆截止波长;在 1550nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.5dB ;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.2dB ;在 1625nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 1.0dB ;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.8dB 。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的单模光纤,其特征在于所述光纤在 1700nm 的微弯损耗小于或等于 0.8dB/km 。

一种单模光纤

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光纤通信系统中使用的低衰减单模光纤,该光纤具有改进的抗弯曲性能和低的光纤损耗,属于光通信技术领域。

背景技术

[0002] 单模光纤因其具有传输速率快,携带信息容量大,传输距离远等优点,已经大量应用于光纤通信网络的建设之中。随着光放大技术和波分复用技术的进一步发展,光纤通信系统向着更高传输功率和更长的传输距离的方向持续向前发展。作为光纤通信系统中的重要传输媒质,单模光纤的相关性能指标也有待得到进一步的改进,以满足光纤通信系统实际发展的需要。光纤的衰减系数和有效面积是单模光纤的两个重要的性能指标。光纤的衰减系数越小,则其携带的光信号的可传输距离就更长。光纤的有效面积越大,则其非线性效应越弱。大有效面积可以有效地抑制自相位调制、四波混频、交叉相位调制等非线性效应,保证高功率光信号的传输质量。降低的衰减系数和增大的有效面积可以有效提高光纤通信系统中的光信噪比(OSNR:optical-signal-to-noise ratio),进一步提高系统的传输质量和传输距离。

[0003] 在光纤材料中,由于不均匀性所引起的光的散射构成光纤的散射损耗。其中光纤的瑞利散射为三种散射机理之一,为线性散射(即与光信号的频率无关)。瑞利散射的特点是其大小与波长的四次方成反比,同时由其引起的损耗与掺杂材料的种类与浓度有关。一般来说,掺杂材料的浓度越低,则瑞利散射所引起的损耗越小。“纯硅芯”光纤就是一种芯层部分无任何掺杂(即为纯二氧化硅石英玻璃)的光纤。理论上认为纯硅芯光纤的瑞利散射将非常接近于纯石英玻璃材料的本征瑞利散射,因而也将明显地降低光纤的衰减系数。同时通过优化芯层直径和包层的掺氟浓度等参数,使得光纤具有更大的有效面积。然而,一般而言,较大的有效面积会造成光纤的弯曲损耗的明显增加(包括光纤的宏弯损耗和微弯损耗),特别是在长波长区域。在光纤的成缆过程或者实际的铺设以及使用过程中,如果光纤的抗弯曲性能不能满足要求,则信号的损耗将会变大,信号的传输质量无法得到保证。

[0004] 在美国专利 US6917740 中,描述了一种材料粘度失配得到改善的纯硅芯单模光纤及其制造方法。通过在芯层中掺氯(Cl)和氟(F),使得芯层与包层的玻璃化转变温度 T_g 的差值缩小到 200℃ 以内,优化光纤的衰减性能。该专利未涉及到对光纤的弯曲性能的研究和改进,未涉及光纤的光学传输性能。

[0005] 在美国专利 US6449415 中,公开了一种芯层掺氯(Cl),其相对折射率差为正值,包层掺氟(F),其相对折射率差为负值的光纤,并且该光纤具有内包层为下陷包层(depressed cladding)的结构。芯层掺氯的材料可以有效降低光纤芯包材料的失配,减少由拉丝过程产生的附加应力,同时内包层为下陷包层结构,可以改善光纤的弯曲性能,然而下陷包层的结构改善弯曲性能的能力有限,同时会影响光纤的其它光学参数,比如光纤的模式直径和截止波长等。而且在外包层参数设计不合理的情况下,内下陷包层结构有可能会引起 LP01 模的泄漏问题(即单模光纤的衰减系数在长波长区域急剧地上升)。

[0006] 在美国专利 US6947650 中,提出了一种具有掺氟下陷内包层的纯硅芯光纤,其下陷包层的直径 D 与芯层 d 的直径之比 D/d 约为 8.5,范围为小于 10。其光纤的工作波长入_{op} 与截止波长入_{cut} 的比值范围在 1.0 和 1.2 之间。该专利未描述光纤的衰减和弯曲等性能。

[0007] 一般的,通过下述方法可以改善光纤的弯曲性能,一是通过改变光纤的 MAC 值(即光纤模场直径与截止波长的比值)。MAC 值越小,则光纤的抗弯曲性能越好。然而,模场直径的减小会造成有效面积的减小,同时光纤的截止波长必须小于工作波长,以保证单模的工作特性,所以通过改变光纤的 MAC 值来改善光纤的弯曲性能的空间有限。二是可以通过内包层为下陷包层的双包层结构来改善弯曲性能,但是下陷包层有可能引起光纤的“LP01 模泄漏”现象。三是通过在光纤的内包层外增加一层类似于沟槽的下陷包层(trench),在保证较大的模场直径的同时,改善光纤的弯曲性能,此方法在弯曲不敏感单模光纤(即 G.657 光纤)中得到普遍的应用,如中国专利 CN101598834A,美国专利 US7450807 以及欧洲专利 EP1978383 等。未发现相关专利或文献报道在纯硅芯光纤中采用类似于沟槽的下陷包层(trench)来进一步改善该种光纤的弯曲性能。

[0008] 一般的,掺杂剂会改变石英玻璃的相对折射率差。锗(Ge)、氯(Cl)、磷(P)等掺杂剂可以使得掺杂后的石英玻璃的相对折射率差为正值,我们称之为“正掺杂剂”,而氟(F)、硼(B)等掺杂剂可以使得掺杂后的石英玻璃的相对折射率差为负值,我们称之为“负掺杂剂”。如果同时使用一种“正掺杂剂”和一种“负掺杂剂”对石英玻璃进行掺杂,则掺杂后的石英玻璃的相对折射率差可以为正值或者负值,或者为 0。

发明内容

[0009] 为方便介绍本发明内容,定义以下术语:

[0010] 折射率剖面:光纤中玻璃折射率与其半径之间的关系;

[0011] 相对折射率差:

[0012]
$$\Delta = \left[\frac{(n_i^2 - n_0^2)}{2n_i^2} \right] \times 100\% \approx \frac{n_i - n_0}{n_0} \times 100\%$$
 , ni 和 n0 分别为各对应部分的折射率

和纯二氧化硅石英玻璃的折射率。

[0013] 氟(F)的贡献量:掺氟(F)石英玻璃相对于纯二氧化硅石英玻璃的相对折射率差(ΔF),以此来表示掺氟(F)量;

[0014] 本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术存在的不足而提供一种折射率剖面设计合理、光纤的抗弯曲性能得到进一步提高的低衰减单模光纤。

[0015] 本发明单模光纤的技术方案为:

[0016] 包括有芯层和包层,其不同之处在于芯层的相对折射率差 Δ1 范围为 -0.1% 至 +0.1%,半径 R1 的范围是 4.0 μm 至 6.0 μm,围绕在芯层外有三个包层;第一包层紧密围绕芯层,其相对折射率差 Δ2 的范围是 -0.2% 至 -0.6%,半径 R2 的范围是 10 μm 至 22 μm;第二包层紧密围绕第一包层,其相对折射率差 Δ3 小于 Δ2,并且第一包层的相对折射率差、半径与第二包层的相对折射率差、半径存在以下的数值关系:设 V = (Δ2 - Δ3) × (R3 - R2),则 V 值的范围为 0.15% μm 至 0.8% μm;第三包层为紧密围绕第二包层的所有分层,其各个分层的相对折射率差大于 Δ3。

[0017] 按上述方案,所述的第二包层的相对折射率差 $\Delta 3$ 的范围是 -0.3% 至 -0.7% ,半径 $R3$ 的范围是 $13\mu\text{m}$ 至 $27.5\mu\text{m}$;第三包层最外层的分层半径为 $R4$, $R4$ 的范围是 $36\mu\text{m}$ 至 $63\mu\text{m}$ 。

[0018] 按上述方案,所述的芯层由掺氟 (F) 的石英玻璃或掺有氟及其他掺杂剂的石英玻璃组成,芯层氟 (F) 的贡献量 ΔF 为 -0.1% 至 0% 。

[0019] 按上述方案,所述的第一包层由掺氟 (F) 的石英玻璃组成,第一包层的半径 $R2$ 与芯层的半径 $R1$ 的比值 $R2/R1$ 为 2 至 4,其相对折射率差 $\Delta 2$ 与芯层的相对折射率差 $\Delta 1$ 的差值 ($\Delta 1-\Delta 2$) 为 0.3% 至 0.45% ;所述的第二包层由掺氟 (F) 的石英玻璃组成,其相对折射率差 $\Delta 3$ 小于其它包层。

[0020] 按上述方案,所述的第三包层为一个分层,为掺氟或其他掺杂剂的石英玻璃层,其相对折射率差 $\Delta 4$ 的范围是 -0.25% 至 -0.45% ;或者第三包层为两个分层,内分层为掺氟分层,其相对折射率差 $\Delta 4$ 的范围是 -0.25% 至 -0.45% ,半径范围是 $36\mu\text{m}$ 至 $54\mu\text{m}$,外分层为纯硅分层,即相对折射率差为 0% 。

[0021] 按上述方案,所述光纤在 1550nm 波长处的衰减系数小于或等于 0.180dB/km 。

[0022] 按上述方案,所述光纤在 1550nm 波长处的模场直径为 $10\mu\text{m}$ 至 $13\mu\text{m}$ 。

[0023] 按上述方案,所述光纤具有小于或等于 1530nm 的光缆截止波长;在 1550nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.5dB ;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.2dB 。在 1625nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 1.0dB ;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.8dB 。

[0024] 按上述方案,所述光纤在 1700nm 的微弯损耗小于或等于 0.8dB/km 。

[0025] 本发明的有益效果在于:1. 具有最小相对折射率差的第二包层,可有效地将光信号约束在纤芯中进行传播,同时在弯曲状态下,能有效阻止光信号向外的泄漏,使得光纤的抗弯曲性能,包括光纤的抗宏弯性能和抗微弯性能得到保证。光纤的模场直径增大后,其有效面积也随之增大,然而随着 MAC 值的增大,其抗弯曲性能恶化。第二包层将使得光纤具有较大有效面积的同时,依然能够保持良好的弯曲性能,使得成缆后光纤在实际应用中的性能得到保障;2. 芯层中至少掺有氟,使得芯层材料的粘度得到降低,芯层与包层的粘度失配情况随之得到改善,拉丝后光纤内部的残余应力将会减小,有利于改善光纤的衰减性能;3. 第三包层的掺氟分层的掺氟 (F) 贡献量 ΔF 小于 -0.25% ,以保证避免出现“LP01 模泄漏”现象,由于其粘度大于第二包层,较高粘度的第三包层材料将在拉丝时承载较大比例的拉丝张力,这样就可以有效的阻止拉丝张力所造成的应力集中在纤芯部分而造成光纤衰减的增加。

附图说明

[0026] 图 1 是普通芯层掺锗的匹配包层单模光纤的折射率剖面示意图。其中 01 所对应的虚线为纯石英玻璃的相对折射率差 (即其值为 0%)。

[0027] 图 2 是纯硅芯光纤的折射率剖面示意图。虚线表示光纤含有内包层为下陷包层 (depressed cladding) 的结构。

[0028] 图 3 是本发明一个实施例的径向截面示意图。图中 00 对应光纤的芯层,10 对应光

纤的第一包层,20 对应光纤的第二包层,30 对应光纤的第三包层。

[0029] 图 4 是本发明另一个实施例的径向截面示意图。图中 301 对应第三包层中靠内的掺氟分层,302 对应靠外的纯硅分层。

[0030] 图 5 是本发明一个实施例的折射率剖面示意图。

[0031] 图 6 是本发明另一个实施例的折射率剖面示意图。

[0032] 图 7、图 8 分别是本发明第十一个实施例的折射率剖面图及其氟 (F) 掺杂剖面图。

[0033] 图 9 是本发明一个实施例的光纤的微弯损耗谱。

[0034] 图 10 是纯硅芯光纤的一个微弯损耗谱实例。

具体实施方式

[0035] 下面将给出详细的实施例,对本发明作进一步的说明。

[0036] 包括有芯层和包层,芯层 00 由掺氟 (F) 的石英玻璃或掺有氟及其他掺杂剂的石英玻璃组成;围绕在芯层外有三个包层。第一包层 10 紧密围绕芯层,由掺氟 (F) 的石英玻璃组成;第二包层 20 紧密围绕第一包层,第二包层由掺氟 (F) 的石英玻璃组成,其相对折射率差 $\Delta 3$ 小于其它包层。第三包层 30 为紧密围绕第二包层的所有分层,其各个分层的相对折射率差大于 $\Delta 3$,第三包层最外层的分层半径为 R_4 , R_4 的范围是 $36 \mu\text{m}$ 至 $63 \mu\text{m}$ 。所述的第三包层可为一个分层,为掺氟或其他掺杂剂的石英玻璃层,或者第三包层可为两个分层,内分层为掺氟分层 301,半径范围是 $36 \mu\text{m}$ 至 $54 \mu\text{m}$,外分层为纯硅分层 302,即相对折射率差为 0%。

[0037] 按照上述单模光纤的技术方案,在其所规定的范围内对光纤的参数进行设计,并通过我们熟知的 PCVD 工艺、MCVD 工艺、OVD 工艺或 VAD 工艺等芯棒制造工艺来根据光纤的设计要求制造芯棒,通过套管工艺、OVD 工艺或 VAD 工艺等外包工艺来完成整个预制棒的制造。PCVD 工艺在进行高浓度的掺氟 (F) 时,具有一定的优势。

[0038] 所拉光纤的折射率剖面使用 NR-9200 设备 (EXFO) 进行测试,光纤的折射率剖面以及掺杂材料的主要参数如表 1-a 和表 1-b 所示。

[0039] 宏弯附加损耗测试方法参照 IEC 60793-1-47 中规定的方法,由于波长越长对弯曲越敏感,所以主要测试光纤在 1550nm 和 1625nm 波长处的弯曲附加损耗,以准确评估光纤在全波段范围内 (尤其是 L 波段) 的弯曲敏感性。将光纤按一定直径绕成 1 圈或 10 圈,然后将圆圈放开,测试打圈前后光功率的变化,以此作为光纤的宏弯附加损耗。

[0040] 微弯损耗测试方法参照 IEC TR 62221-2001 中规定 Method B 的方法,由于长波长对于弯曲更敏感,故测试波长范围为 1300nm 至 1700nm,并且重点关注光纤在 1550nm 以上波长的微弯损耗的大小。

[0041] 所拉光纤的主要性能参数如表 2 所示。

[0042] 从实施例可以看出,V 值和 ($\Delta 1 - \Delta 2$) 值对于光纤的弯曲性能有明显的影响,如序号为 5 和 6 以及序号 3 和 4 的实施例所反映的情况,更大的 V 值和 ($\Delta 1 - \Delta 2$) 值意味着光纤具有更好的抗弯曲性能。而芯层中氟 (F) 的贡献量会影响光纤的衰减性能,在 $\Delta 1$ 为一定值的情况下,芯层中氟 (F) 的贡献量如果增加,则意味着芯层中“正掺杂剂”的浓度需要相应的增加以维持 $\Delta 1$ 不变,掺杂剂浓度的增加将进一步降低芯层材料的粘度,使得芯层和包层材料的粘度匹配程度提高,有利于对光纤衰减性能的改善,如序号为 1 和 2 的实施例

所反映的情况。第三包层的氟 (F) 的贡献量 ΔF 对于光纤的衰减性能也有影响,如序号为 7、8、9 的实施例所反映的情况。更大的掺氟浓度会使得掺氟分层的相对折射率差更低,将有利于进一步的避免光纤的“LP01 模泄漏”现象,然而更大的掺氟浓度也意味着该包层的粘度会进一步降低,这样将不利于该包层在拉丝过程中承载拉丝张力,会使得光纤纤芯部分集中更多的应力,对于衰减会有不利的影响,所以需要综合考虑第三包层的掺氟量的大小。同时,如果第三包层包含靠内的掺氟分层和靠外的纯硅分层,则需要考虑靠外的纯硅分层的定位,使得该分层不会引起光纤的“LP01 模泄漏”,同时又要维持足够的厚度使得其在拉丝过程中承载部分拉丝张力,避免应力集中在光纤纤芯部分。序号为 10、11、12 的实施例中,光纤的第三包层分成靠内的掺氟分层和靠外的纯硅分层,从表 2 的数据来看,当靠外的纯硅分层所在环的内径 $D4^*$ 足够大时,在避免光纤的“LP01 模泄漏”现象的同时,该层材料可有效承载部分拉丝张力,这样应力将不会明显集中于光纤的纤芯部分,光纤的衰减性能就得到了改善。

[0043] 实验表明,按照本发明的技术方案所制造的光纤,其 1550nm 处的模场直径可以达到 $10\ \mu\text{m}$ 以上,光缆截止波长保证在 1530nm 以下,1550nm 处的衰减系数保证在 0.180dB/km 以下,且光纤具有良好的抗弯曲性能,包括良好的抗宏弯性能和抗微弯性能,光纤在 1550nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.5dB;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.2dB;在 1625nm 波长处,对于围绕 10mm 弯曲半径绕 1 圈弯曲附加损耗小于或等于 1.0dB;对于围绕 15mm 弯曲半径绕 10 圈弯曲附加损耗小于或等于 0.8dB。同时光纤在 1700nm 的微弯损耗小于 0.8dB/km。

[0044] 表 1-a :光纤的结构和材料组成

[0045]

序号	芯层			第一包层				第二包层			第三包层	
	半径 R1 (μm)	相对折射率差 $\Delta 1$ (%)	F 的贡献量 ΔF (%)	半径 R2 (μm)	相对折射率差 $\Delta 2$ (%)	R2/R1	$\Delta 1-\Delta 2$	半径 R3 (μm)	相对折射率差 $\Delta 3$ (%)	V 值 ($\% \mu\text{m}$)	半径 R4 (μm)	相对折射率差 $\Delta 4$ (%)
1	4.1	-0.02	-0.06	12.8	-0.38	3.1	0.36	17	-0.53	0.63	52.4	-0.28
2	4	-0.03	-0.11	13	-0.4	3.3	0.37	14	-0.54	0.14	42.1	-0.3
3	5	0.01	-0.03	10	-0.36	2.0	0.37	13	-0.55	0.57	55.6	-0.25
4	4.9	0.05	-0.04	11.5	-0.37	2.3	0.42	23	-0.61	2.76	62.3	-0.27
5	5.8	0.03	-0.05	20	-0.36	3.4	0.39	25	-0.49	0.65	62.2	-0.35
6	5.5	0.01	-0.06	21	-0.38	3.8	0.39	23	-0.48	0.20	62.7	-0.35
7	4.8	-0.03	-0.07	14	-0.39	2.9	0.36	20	-0.57	1.08	62.3	-0.25
8	4.7	-0.02	-0.07	12	-0.4	2.6	0.38	19	-0.63	1.61	62.5	-0.3
9	4.9	-0.03	-0.07	14	-0.41	2.9	0.38	20	-0.54	0.78	62.4	-0.35
13	5.2	-0.10	-0.10	17	-0.42	3.3	0.31	30	-0.48	0.78	62.3	-0.33
14	4.3	-0.03	-0.09	18	-0.48	4.2	0.45	28	-0.73	2.50	62.5	-0.29

[0046] 表 1-b :光纤的结构和材料组成

[0047]

序号	芯层			第一包层				第二包层			第三包层		
	半径 R1 (μm)	相对 折射 率差 $\Delta 1$ (%)	F 的 贡献 量 ΔF (%)	半径 R2 (μm)	相对 折射 率差 $\Delta 2$ (%)	R2/R1	$\Delta 1-\Delta 2$	半径 R3 (μm)	相对 折射 率差 $\Delta 3$ (%)	V 值 ($\% \mu\text{m}$)	D4* (μm)	D4 (μm)	相对 折射 率差 $\Delta 4^*$ (%)
10	4.9	0.01	-0.06	13.5	-0.38	2.76	0.39	17	-0.44	0.21	80	124.8	-0.29
11	4.8	-0.02	-0.07	13	-0.4	2.71	0.38	16	-0.47	0.21	90	125	-0.3
12	5	-0.01	-0.07	13.4	-0.41	2.68	0.40	17	-0.47	0.22	108	124.9	-0.3

[0048] 注 1 :D4*表示第三包层靠内的掺氟分层的直径,D4表示第三包层最外层的纯硅分层的直径。

[0049] 注 2 : $\Delta 4^*$ 表示第三包层靠内的掺氟分层的相对折射率差。

[0050] 表 2 :光纤的主要性能参数

[0051]

序号	模场直径 (μm) @1550nm	光缆 截止 波长 (nm)	光纤 直径 (μm)	衰减系数 (dB/km) @1550nm	微弯损耗 (dB/km) @1700nm	1550nm 处的弯 曲附加损耗 (dB/圈)		1625nm 处的弯 曲附加损耗 (dB/圈)	
						R10m m	R15m m	R10m m	R15m m
1	10.2	1230	124.8	0.177	0.7	0.4	0.015	0.68	0.06
2	10.1	1220	124.2	0.172	0.68	0.41	0.014	0.66	0.05
3	11.2	1340	125.2	0.176	0.6	0.23	0.01	0.35	0.035
4	11.3	1335	124.6	0.175	0.45	0.13	0.006	0.25	0.02
5	12.7	1525	124.4	0.175	0.4	0.18	0.011	0.36	0.03
6	12.1	1500	125.4	0.174	0.2	0.08	0.003	0.14	0.007
7	11.3	1295	124.6	0.177	0.4	0.22	0.011	0.33	0.03
8	11.2	1280	125	0.173	0.35	0.21	0.01	0.32	0.028
9	11.4	1310	124.8	0.176	0.32	0.2	0.009	0.31	0.025
10	11.5	1320	124.8	0.175	0.5	0.3	0.013	0.6	0.026
11	11.4	1300	125	0.172	0.48	0.28	0.01	0.48	0.02
12	11.6	1340	124.9	0.174	0.52	0.25	0.009	0.4	0.018
13	11.4	1300	124.6	0.177	0.32	0.11	0.002	0.18	0.007
14	10.3	1285	125	0.176	0.4	0.18	0.009	0.23	0.01

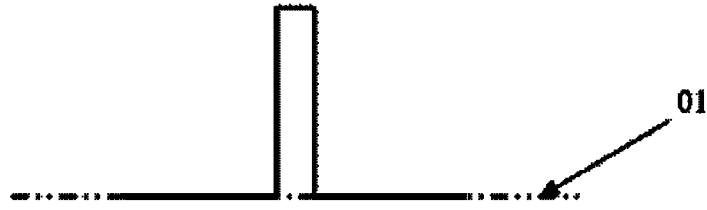


图 1

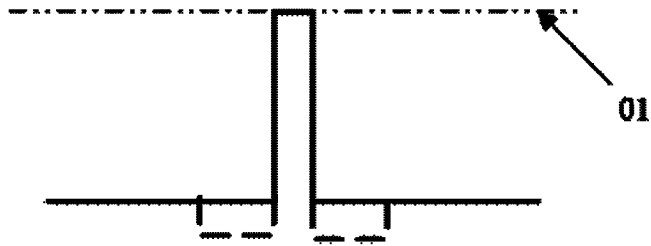


图 2

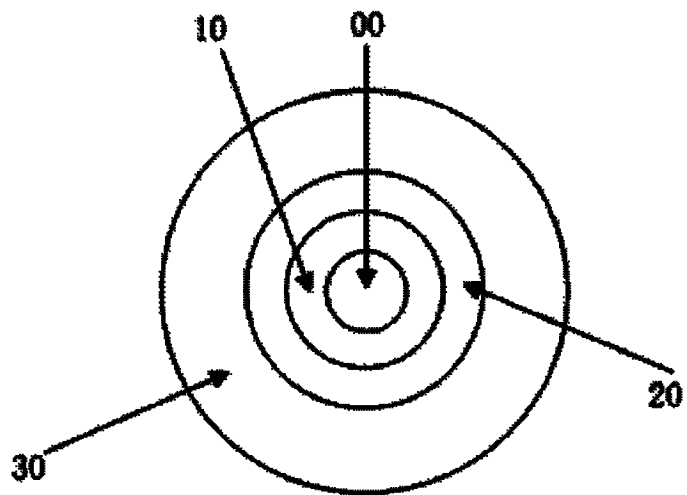


图 3

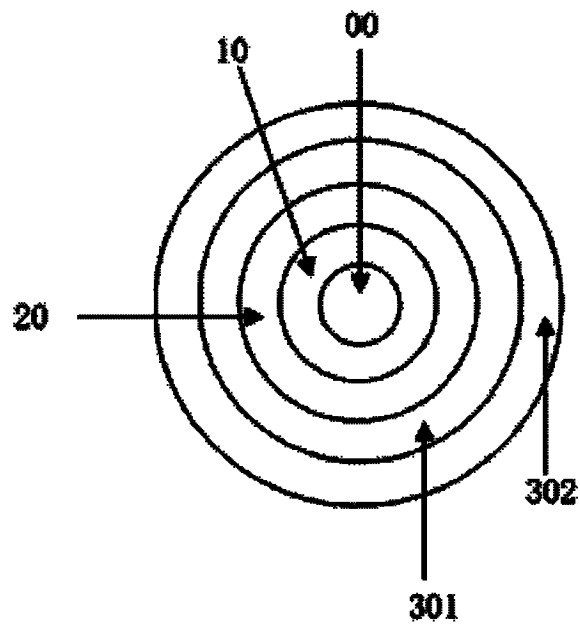


图 4

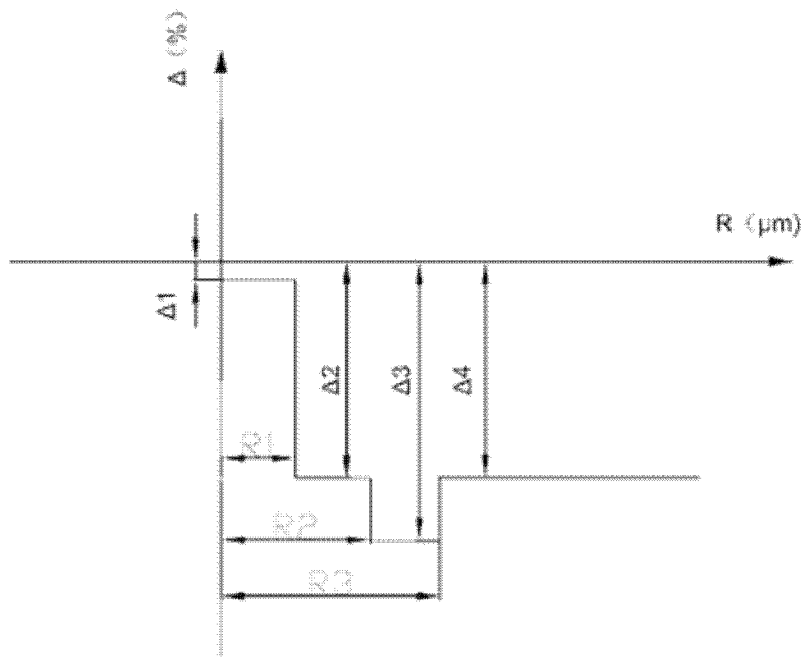


图 5

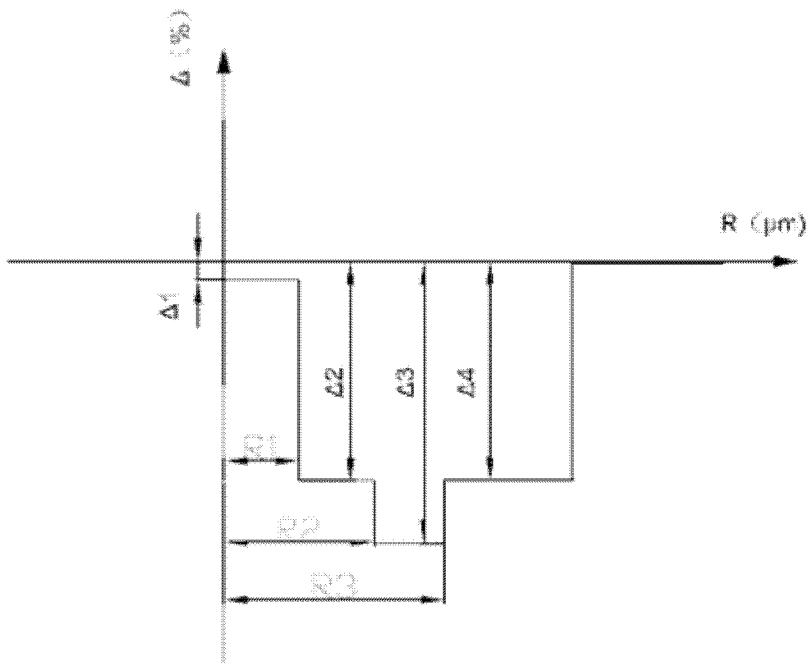


图 6

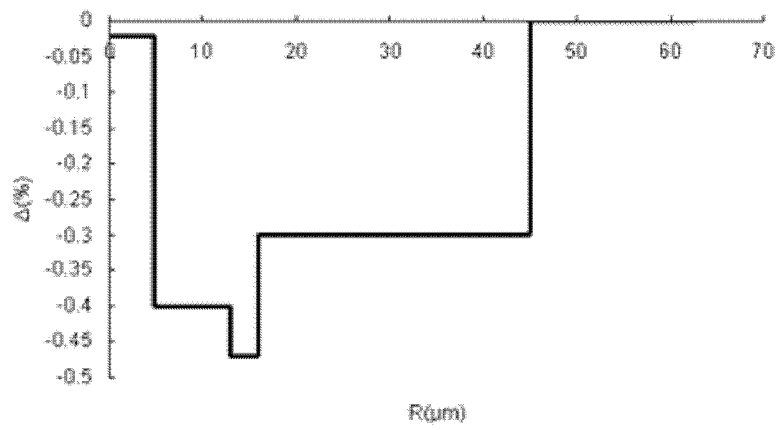


图 7

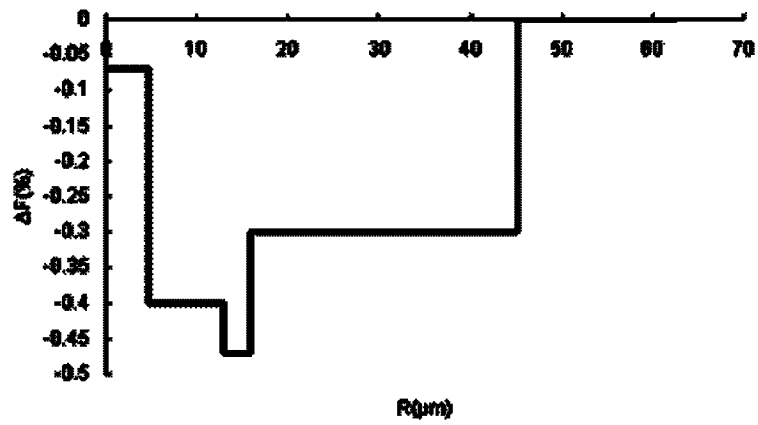


图 8

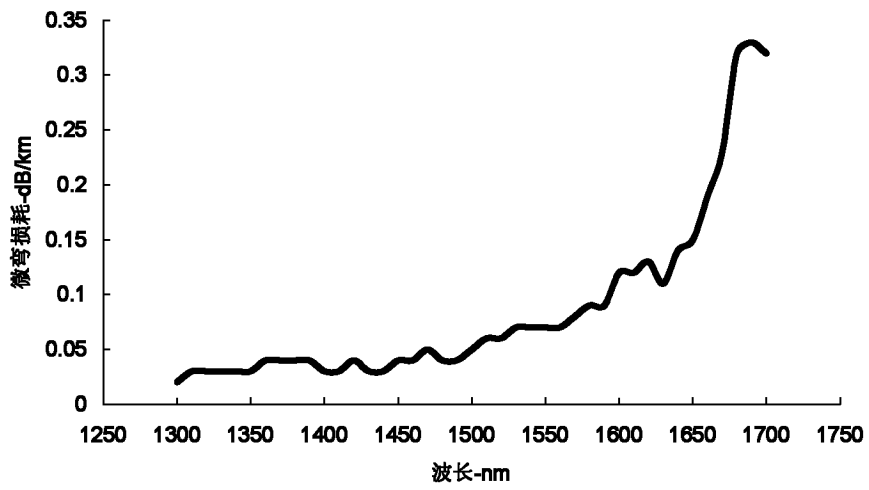


图 9

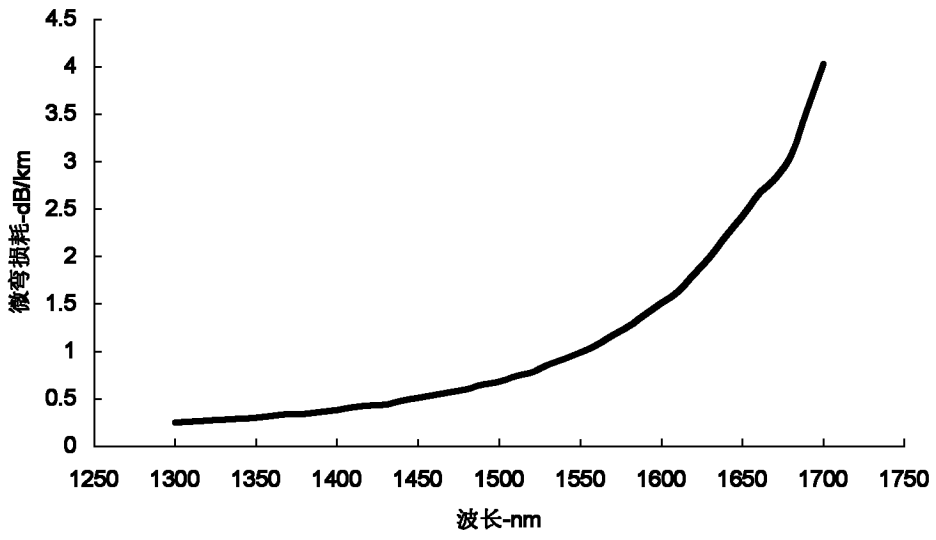


图 10