

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101551488 B

(45) 授权公告日 2012.09.19

(21) 申请号 200910203954.1

审查员 乔毅

(22) 申请日 2009.04.07

(30) 优先权数据

08/01868 2008.04.04 FR

(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 P·西亚尔 E·雷尼耶

M·比戈-阿斯特吕克 D·莫兰
L-A·德蒙莫里永 S·里夏尔

(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)

(56) 对比文件

US 2004/0213533 A1, 2004.10.28, 全文.

US 6819850 B2, 2004.11.16, 全文.

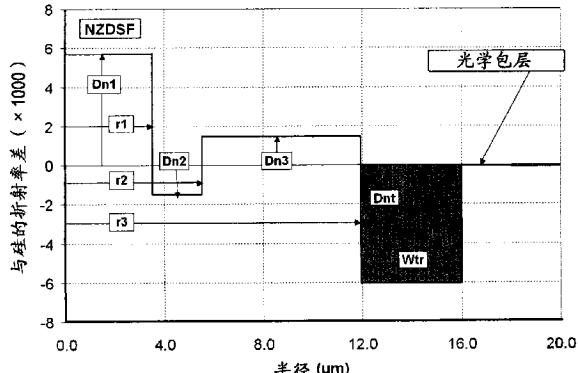
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

色散位移光纤

(57) 摘要

本发明公开了一种色散位移光纤 (NZDSF)，包括中央纤芯 (r_1 , Dn_1)，以及具有至少第一中间包层区 (r_2 , Dn_2)、第二环区 (r_3 , Dn_3) 及第三埋入沟槽 (w_{tr} , D_{nt}) 三个区的内包层。该埋入沟槽区具有与光学包层介于 $-5 \times 10^{-3} \sim -15 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差 (D_{nt}) 和介于 $2.5 \mu m \sim 5.5 \mu m$ 之间的宽度 (w_{tr})。所提出的光纤具有降低了的瑞利散射损耗，在 $1,550nm$ 波长处小于 $0.164dB/km$ ，并具有有限的弯曲损耗。



1. 一种色散位移光纤,从中央向外围包括:中央纤芯,包括至少三个区的内包层,以及光学包层,该中央纤芯具有半径 r_1 和与光学包层之间的折射率差 D_{n1} ,该内包层从中央纤芯向光学包层包括:

中间包层,具有半径 r_2 和与光学包层之间的折射率差 D_{n2} ;

环,具有半径 r_3 和与光学包层之间的折射率差 D_{n3} ;

埋入沟槽,具有半径 r_{tr} 、介于 $2.5 \mu m \sim 5.5 \mu m$ 之间的宽度 W_{tr} 以及与光学包层之间介于 $-5 \times 10^{-3} \sim -15 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差 D_{nt} ,

所述光纤具有:

在 $1,550nm$ 波长处小于或等于 $0.164dB/km$ 的瑞利散射损耗;

在 $1,550nm$ 波长处对于 $16mm$ 的弯曲半径小于 $0.5dB/圈$ 的弯曲损耗,以及

在 $1,625nm$ 波长处对于 $30mm$ 的弯曲半径小于 $0.5dB/100 圈$ 的弯曲损耗。

2. 如权利要求 1 的光纤,其中该中央纤芯与光学包层之间具有小于 7.5×10^{-3} 的折射率差 D_{n1} 。

3. 如权利要求 1 的光纤,其中该中间包层区与光学包层的折射率差 D_{n2} 介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 之间。

4. 如权利要求 1 的光纤,其中该环区与光学包层的折射率差 D_{n3} 介于 $0.0 \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间。

5. 如权利要求 1 的光纤,还包括位于该环区 r_3 , D_{n3} 和该埋入沟槽区 W_{tr} , D_{nt} 之间的第四内包层区,该第四包层区具有半径 r_4 和与光学包层之间介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差。

6. 如权利要求 5 的光纤,其中该第四包层区的半径 r_4 介于 $11 \mu m \sim 14.5 \mu m$ 之间。

7. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中该纤芯的半径 r_1 介于 $2 \mu m \sim 4.35 \mu m$ 之间。

8. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中该中间包层区的外半径 r_2 介于 $4.5 \mu m \sim 8.5 \mu m$ 之间。

9. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中该环区具有介于 $3 \mu m \sim 7.5 \mu m$ 之间的宽度 r_3-r_2 。

10. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中该埋入沟槽区的内半径大于 $10 \mu m$ 。

11. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中该埋入沟槽区的外半径 r_{tr} 小于或等于 $17 \mu m$ 。

12. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中对于 $1,550nm$ 波长该光纤具有小于 $12ps/nm-km$ 的色散。

13. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,其中对于 $1,550nm$ 波长该光纤具有小于或等于 $0.09ps/nm^2-km$ 的色散斜率。

14. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,具有小于 $1,600nm$ 的有效截止波长。

15. 如权利要求 1-6 中任一项的光纤,具有大于 $50 \mu m^2$ 的有效面积。

色散位移光纤

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤传输领域,更具体地,本发明涉及一种衰减得到降低但弯曲损耗并不增加的色散位移光纤。

背景技术

[0002] 对光纤而言,折射率分布通常根据将光纤折射率与半径相关起来的函数的曲线图这种形式来描述。距光纤中心的距离 r 习惯表示在横坐标上,并且光纤折射率与光纤包层折射率之间的差表示在纵坐标上。作为光学包层的外包层具有基本恒定的折射率;该光学包层通常由纯石英 (silica) 组成,但也可以包含一种或多种掺杂物。由此,折射率分布被称为“阶跃型”、“梯型”、“三角型”或“ α 型”,其曲线图相应地分别具有阶梯形、梯形或三角形。这些曲线通常代表的是光纤理论上的或设定的分布,而对光纤制造的约束可能导致稍微不同的分布。

[0003] 光纤通常包括作用在于传输并可能放大光信号的光学纤芯,以及作用在于将光信号限制在纤芯里的光学包层。为此目的,纤芯的折射率 n_c 和包层的折射率 n_g 被设置成 $n_c > n_g$ 。如众所周知那样,光信号在单模光纤内的传播被分解为在纤芯内引导的基模和在纤芯-包层组件内特定距离上引导的次模,即所谓的包层模。

[0004] 传统上,通常所说的 SSMF (标准单模光纤) 色散位移光纤,也称作 NZDSF 光纤 (非零色散位移光纤) 被用作陆地传输系统的线路光纤 (line fiber)。在所用波长处 (通常为 1,550nm 附近) 具有非零且正色散的位移色散光纤被描述为 NZDSF+。

[0005] 典型地,SSMF 满足特定的通信标准,尤其是 G. 652 标准。SSMF 具有在 1,550nm 波长处测量的约为 0.19dB/km 的衰减 (其瑞利贡献在 0.160dB/km 的量级),约为 $80 \mu m^2$ 的有效面积,小于 1,350nm 的有效截止波长,在 1,550nm 约为 17ps/nm-km 的正色散,以及 0.058ps/nm²-km 的正色散斜率。

[0006] NZDSF+ 光纤在 1,550nm 波长处具有比 SSMF 更低的色散 (通常在 3 ~ 14ps/nm-km 之间),以及通常小于 0.1ps/(nm². km) 的色散斜率。NZDSF+ 光纤一般被用于短距离传输系统,并且满足特定的通信标准,特别是 G. 655 和 G. 656 标准。

[0007] 图 1 示出 SSMF 光纤和标准 NZDSF 光纤的设定分布。所示出的分布是设定分布,即表示的是光纤的理论分布,而从预制件拉制光纤之后实际得到的光纤可能具有稍微不同的分布。

[0008] 典型地,SSMF 光纤包括半径为 $4.35 \mu m$ 并且与作为光学包层的外包层具有折射率差 5.2×10^{-3} 的中央纤芯。标准的 NZDSF 光纤包括与作为光学包层的外包层具有折射率差 Dn_1 的中央纤芯,与外包层具有折射率差 Dn_2 的中间包层,以及与外包层具有折射率差 Dn_3 的环。该中央纤芯中、中间包层中以及环中的折射率在它们整个宽度上都是基本恒定的。纤芯的宽度用它的半径 r_1 限定,中间包层和环的宽度分别用它们的外半径 r_2 和 r_3 限定。典型地,中央纤芯、中间包层、环以及外包层通过在石英管内用 CVD 型沉积得到,而光学包层用该管和通常为天然石英或掺杂石英的该管的外覆层 (overclad) 形成,但是它也可以用

任何其他沉积技术 (VAD 或 OVD) 得到。

[0009] 如图 1 所示, 该 NZDSF 具有比 SSMF 的中央纤芯更小半径和更大折射率差的中央纤芯。在这种纤芯尺寸下, 色散可以被降低。然而, 同 SSMF 相比, 其纤芯更显著的掺杂却会引入更加明显的瑞利散射损耗, 高于 0.164dB/km, 从而在 1,550nm 处导致比 0.190dB/km 更大的衰减。

[0010] 希望能将 NZDSF 的衰减减小到与 SSMF 相等的值。在某种意义上讲, 周知的是, 光纤内的衰减主要是由于瑞利散射损耗引起的, 而部分是由于吸收损耗和因光导缺陷产生的损耗引起的。

[0011] 在 NZDSF 的情形中, 纤芯内存在比 SSMF 更高浓度的掺杂物增加了因瑞利散射导致的损耗。已知的是, 通过用纯石英纤芯制作光纤来降低瑞利散射损耗。例如, 这在 K. Nagayama 等人公布在 SEITechnical Review, No. 57, 2004 年 1 月的出版物“Ultra Low Loss (0.1484dB/km) Pure Silica Core Fiber”或 M. Ohashi 等人公布在 Journal of Lightwave Technology, Vol. 10, No. 5, 1992 年 5 月, PP539–543 的出版物“Optical Loss Property of Silica-Based Single ModeFibers”中已经提出。然而, 具有纯石英纤芯的光纤因为必须通过用例如氟进行掺杂来埋入光学包层中, 因此制作起来很昂贵。

[0012] 还已知的是, 可以通过使光纤拉制条件最优化来降低因瑞利散射引起的损耗。例如, 这在 K. Tsujikawa 等人公布在 Journal ofLightwave Technology, Vol. 18, No. 11, 2000 年 11 月, pp 1528–1532 的出版物“Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber”或在 K. Mukasa 等人公布在 ECOC’ 05, Tu 1. 4. 6 的出版物“A high performance GeO₂/SiO₂ NZ-DSF and the prospects for future improvement using Holey Fiber technology”中已经提出。然而, 所提出的这些解决方法产业上应用起来很复杂, 因为在加热和冷却循环时采用多个光纤拉制温度, 而这些光纤拉制温度很难控制。

[0013] 文献 US-A-6, 576, 164 也提出一种制作 SSMF 光纤的方法, 其中为降低因瑞利散射引起的损耗而使光纤拉制条件最优化。然而在该文献中提出的方法需要带有额外冷却设备的复杂装备。

[0014] 文献 EP-A-1 256 554 描述了一种制作阶跃折射率光纤的方法, 该光纤包括掺锗中央纤芯以及具有比石英低的折射率的外部光学包层。因为该包层是部分埋入的, 所以纤芯内掺杂的量可以减小, 从而光纤内的衰减降低。然而, 这种解决办法成本昂贵, 并且不能直接应用到 NZDSF 型光纤。

[0015] EP-A-1 288 685 公开了一种包括中央纤芯、中间包层、环、凹陷包层以及光学包层的非零色散位移光纤。但是没有提及瑞利损耗。

[0016] EP-A-1 434 071, EP-A-1 382 981, EP-A-1 865 348 和 EP-A-1 734390 都描述了包括中央纤芯、中间包层、环、凹陷包层及光学包层的色散补偿光纤。但是都没有提及瑞利损耗。

[0017] EP-A-1 610 160 描述一种包括中央纤芯和至少五个内包层的色散补偿光纤。但是也没有提及瑞利损耗。

[0018] 图 2 示出 NZDSF 光纤的设定分布, 其中整个结构都被部分埋入, 即纤芯较低掺杂, 中间包层和外包层具有比石英低的折射率。为成本原因, 该光学包层 (可以用 OVD、VAD、CVD 用形成有光纤预制件的管或管的外覆层制得) 保持为石英。若这种光纤分布实际地将因瑞

利散射引起的损耗减小到基本与 SSMF 相等的值，则弯曲损耗被非常明显地消减（参看下面表 I 和 II 的例子 2a）。

[0019] 还已知的是，特别是从文献 US-A-4, 852, 968 获知，利用埋入的沟槽，可以减小弯曲损耗。然而，仅是通过向图 2 所给结构增加埋入沟槽，还不能达到下面表 I 和 II 的例子 2b 所示那样可接受的弯曲损耗。

[0020] 因此，需要一种 NZDSF+ 光纤，其具有降低的瑞利散射损耗，而不会恶化其他光学参数，特别是不会恶化弯曲损耗，并且其能以合理成本制作且不用改变光纤拉制设备。

发明内容

[0021] 因此，为了达到与 SSMF 接近的衰减，同时限制弯曲损耗，并且遵守与 NZDSF 相关的标准，特别是在色散、有效面积以及截止波长方面，本发明提出对 NZDSF 光纤的整体优化。

[0022] 本发明更具体地提出一种非零色散位移光纤 (NZDSF)，从中央向外围包括中央纤芯、包括至少三个区的内包层，以及光学包层，该中央纤芯具有半径和与光学包层之间的折射率差，该内包层从中央纤芯向光学包层包括：

[0023] 中间包层，其具有半径和与光学包层之间的折射率差；

[0024] 环，其具有半径和与光学包层之间的折射率差；

[0025] 埋入沟槽，其具有半径，介于 $2.5 \mu m \sim 5.5 \mu m$ 之间的宽度，以及与光学包层之间的、介于 $-5 \times 10^{-3} \sim -15 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差；

[0026] 所述光纤具有：

[0027] 在 1, 550nm 波长处小于或等于 0.164dB/km 的瑞利散射损耗；

[0028] 在 1, 550nm 波长处对于 16mm 的弯曲半径小于 0.5dB/ 圈 (dB/turn) 的弯曲损耗，以及

[0029] 在 1, 625nm 波长处对于 30mm 的弯曲半径小于 0.5dB/100 圈的弯曲损耗。

[0030] 依照这些实施例，本发明的光纤还可以包括下列特征中的一个或多个：

[0031] 该中央纤芯具有与光学包层小于 7.5×10^{-3} 的折射率差 (Dn1)；

[0032] 该中间包层区与光学包层的折射率差介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 之间；

[0033] 该环区与光学包层的折射率差介于 $0.0 \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间；

[0034] 该纤芯的半径介于 $2 \mu m \sim 4.35 \mu m$ 之间；

[0035] 该中间包层区的外半径介于 $4.5 \mu m \sim 8.5 \mu m$ 之间；

[0036] 该环区具有介于 $3 \mu m \sim 7.5 \mu m$ 之间的宽度；

[0037] 该埋入沟槽区的内半径大于 $10 \mu m$ ；

[0038] 该埋入沟槽区的外半径小于或等于 $17 \mu m$ ；

[0039] 该光纤对于 1, 550nm 波长具有小于 12ps/nm-km 的色散；

[0040] 该光纤对于 1, 550nm 波长具有小于或等于 0.09ps/nm²-km 的色散斜率；

[0041] 该光纤具有小于 1, 600nm 的有效截止波长；

[0042] 该光纤具有大于 $50 \mu m^2$ 的有效面积。

[0043] 依照一个实施例，该光纤还包括位于该环区和该埋入沟槽区之间的第四内包层区，该第四包层区具有外半径和与光学包层之间的、介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3}$ 之间的折射

率差。依照一个实施例，该第四包层区的半径介于 $11 \mu\text{m} \sim 14.5 \mu\text{m}$ 之间。

附图说明

[0044] 在阅读下面以示例给出的本发明的实施例并参看附图的描述的基础上，本发明的其他特性和优点将变得明显。在附图中：

[0045] 图 1 是已经描述了的依照现有技术的 SSMF 光纤和 NZDSF+ 光纤的设定分布的图解说明；

[0046] 图 2 是已经描述了的根据不是依照本发明的实施例的 NZDSF+ 光纤的设定分布的图解说明；

[0047] 图 3 是依照本发明第一个实施例的 NZDSF+ 光纤的设定分布的图解说明；

[0048] 图 4 是依照本发明第二个实施例的 NZDSF+ 光纤的设定分布的图解说明。

具体实施方式

[0049] 依照本发明的光纤是一种非零色散位移光纤，其具有比标准阶跃型折射率 SSMF 光纤的色散更低的色散。依照本发明的光纤具有降低了的瑞利散射损耗，在 $1,550\text{nm}$ 处小于 0.164dB/km 。依照本发明的光纤还具有有限的弯曲损耗，在 $1,550\text{nm}$ 处对于 16mm 的弯曲半径，弯曲损耗小于 0.5dB/圈 ，在 $1,625\text{nm}$ 处对于 30mm 的弯曲半径，弯曲损耗小于 0.5dB/100 圈 。

[0050] 将参看图 3 和图 4 来描述本发明的光纤，该图 3 和图 4 图解了两种可能实施例的设定分布。

[0051] 依照本发明的 NZDSF 光纤包括与作为光学包层的外包层具有折射率差 $Dn1$ 的中央纤芯，以及位于中央纤芯与光学包层之间的至少三个内包层区。在本文中，中央纤芯和内包层区通过在石英管中用 CVD 型沉积制得，光学包层用该管和通常为天然或掺杂石英的该管的外覆层制得，但是也可以用任何其他沉积技术 (VAD 或 OVD) 制得。

[0052] 第一包层区是与光学包层具有折射率差 $Dn2$ 的中间包层，第二包层区是与光学包层具有折射率差 $Dn3$ 的环，第三包层区是与光学包层具有折射率差 Dnt 的埋入沟槽。在图 3 中，存在第四包层区，它以阶跃形式位于环和埋入沟槽之间，与光学包层具有折射率差 $Dn4$ 。中间包层 $Dn2$ 、环 $Dn3$ 、埋入沟槽 Dnt 以及如果需要的阶跃 $Dn4$ 的折射率在它们的整个宽度上基本恒定。这里，中央纤芯具有阶跃形，但是也可以具有梯形、三角形或 α 形。该纤芯的宽度由它的半径 $r1$ 限定，而包层由它们各自的外半径 $r2-r4$ 限定；埋入沟槽的宽度由半径差 Wtr 限定。

[0053] 除其他因素之外，瑞利损耗取决于纤芯 $Dn1$ 的折射率分布，内包层和外包层 $Dn2$ 、 $Dn3$ 和 $Dn4$ 的折射率分布，以及由下式给出的光纤截面上的光场分布：

$$[0054] \frac{\int \alpha(r) \cdot \psi^2(r) dr}{\int \psi^2(r) r dr}$$

[0055] 其中， r 是光纤横截面的半径， $\psi(r)$ 是光场， $\alpha(r)$ 是瑞利系数。

[0056] 依照本发明的光纤是 NZDSF 光纤，其中央纤芯的半径 $r1$ 大于 $2 \mu\text{m}$ 但小于 SSMF 光纤的中央纤芯半径，即小于 $4.35 \mu\text{m}$ ，优选地小于 $4.00 \mu\text{m}$ ，与光学包层的折射率差 $Dn1$ 大于 SSMF 光纤，即大于 5.0×10^{-3} ，但保持为小于 7.5×10^{-3} ，以限制纤芯中的掺杂量。在光纤具

有这种纤芯分布下,可以降低色散,并且通过限制纤芯内的掺杂量,可以控制因瑞利散射引起的损耗。

[0057] 依照本发明的光纤还包括位于纤芯与光学包层之间、包括至少三个区的包层。第一区是半径为 r_2 并且与光学包层的折射率差为 Dn_2 的中间包层。该中间包层可以是稍微埋入的,它具有与外包层介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差 Dn_2 。该中间包层的外半径 r_2 介于 $4.5 \mu m \sim 8.5 \mu m$ 之间。第二区是半径为 r_3 并且与光学包层的折射率差为 Dn_3 的环。不像图 2 的分布,该环是不埋入的,它具有与光学包层介于 $0.0 \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差。环的宽度 (r_3-r_2) 介于 $3 \mu m \sim 7.5 \mu m$ 之间。第三区是具有半径 r_{tr} 、可控宽度 W_{tr} 和可控深度 D_{nt} 的埋入沟槽。如图 3 所示,还可以添加具有半径 r_4 和与光学包层的折射率差 Dn_4 的第四包层区,其以阶跃的形式位于环和埋入沟槽之间。该阶跃比环和埋入沟槽都要窄,并且可以是稍微埋入的,它可以具有介于 $11 \mu m \sim 14.5 \mu m$ 之间的外半径 r_4 ,以及与光学包层介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差 Dn_4 。

[0058] 在埋入沟槽的深度 D_{nt} 介于 $-15 \times 10^{-3} \sim -5 \times 10^{-3}$ 之间和埋入沟槽的宽度 W_{tr} 介于 $2.5 \mu m \sim 5.5 \mu m$ 之间的情况下,可以在有效地限制弯曲损耗的同时控制截止频率,即同时将更高阶模的传播限制在光纤内。因此,依照本发明的光纤具有小于 $1,600nm$ 的有效截止波长,优选地具有小于 $1,450nm$ 的光缆截止波长,这符合 G.655 和 G.656 标准要求的条件。

[0059] 为了降低制作成本,埋入沟槽区可以具有限于 $17 \mu m$ 的外半径 r_{tr} 。

[0060] 为了降低因瑞利散射引起的损耗,同时限制弯曲损耗,而不干扰光纤的其他光学参数,与中间包层区和环区结合来最优化埋入沟槽区。埋入沟槽区因中间包层和环的存在而距离纤芯足够远,其内径大于或等于 $10 \mu m$ 。在沟槽相对于中央纤芯具有这个距离的情况下,可以不会太多地干扰基模的传播,从而使有效面积和色散值保持为符合 G.655 和 G.656 标准要求的条件。为了保证弯曲损耗的降低并控制直接更高阶模 (LP11 和 LP02) 的损耗以及因此得出的截止波长,沟槽还是足够深和窄的。

[0061] 下面的表 I 给出依照本发明的传输光纤的可能折射率分布的六个例子 (例 3 和例 4),以及作为与标准 SSMF 光纤对比的不符合本发明的五个例子 (例 1 和例 2)。第一列为每个分布指定参考编号。后面的几列给出每段的半径值 (r_1-r_4) 以及埋入沟槽的宽度 (W_{tr}) ;接下来的几列给出每段与光学包层的折射率差的值 (Dn_1-Dn_4 和 D_{nt})。这些折射率的值是在 $633nm$ 波长处测量的。表 I 中各例的光纤具有 $125 \mu m$ 的外直径。表 I 中的各值对应于光纤的设定分布。

[0062] 表 1

[0063]

折射率分布	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	r_4 (μm)	W_{tr} (μm)	Dn_1 ($.10^3$)	Dn_2 ($.10^3$)	Dn_3 ($.10^3$)	Dn_4 ($.10^3$)	Dn_{tr} ($.10^3$)
SSMF	4.35					52				
1a	3.26	6.00	11.65			6.9	0.0	13		
1b	2.86	7.87	10.82			7.9	0.0	2.3		

1c	2.50	4.03	8.13			8.5	0.0	25		
2a	3.26	6.00	11.65	15.10		5.4	-1.5	-0.2	-1.5	
2b	3.26	6.00	11.65	13.14	2.86	5.4	-1.5	-0.2	-1.5	-6
3a	3.36	5.94	9.98	11.20	4.80	5.7	-1.5	1.8	-1.5	-5.0
3b	3.73	7.19	11.56	14.11	2.89	5.7	-1.5	2.5	-1.5	-5.9
3c	3.28	7.38	11.52	12.08	3.92	6.5	-1.5	2.8	-1.5	-6.0
4a	3.52	5.51	11.94		4.06	5.7	-1.5	1.5		-6.0
4b	3.12	7.31	11.78		4.22	6.4	-0.6	2.6		-6.0
4c	2.64	8.10	11.92		4.08	7.0	0.6	2.7		-6.0

[0064] 依照本发明的光纤用上表中的各个例子以非限制性的方式给出。特别地,要注意,依照本发明的光纤具有比 SSMF 窄的中央纤芯以及比 SSMF 大的折射率差。还要注意,依照本发明的光纤在中央纤芯与光学包层之间具有至少三个包层区,这些区中的一个具有宽度介于 $2.5 \mu m \sim 5.5 \mu m$ 之间和与光学包层之间的折射率差介于 $-5 \times 10^{-3} \sim 15 \times 10^{-3}$ 之间的埋入沟槽 (W_{tr}, D_{nt})。该埋入沟槽距离中央纤芯相对较远,其内半径大于 $10 \mu m$ 。在沟槽相对于中央纤芯具有这个距离的情况下,可能不会太多地干扰基模的传播,以将有效面积和色散值保持为符合 G.655 和 G.656 标准要求的条件;并且,为了保证弯曲损耗的降低并控制直接更高阶模 (LP11 和 LP02) 的损耗以及因此得出的截止波长,沟槽的宽度和深度被最优化。

[0065] 而且,在表 I 中,可以注意到,依照本发明的光纤的中央纤芯与光学包层之间具有小于 7.5×10^{-3} 但大于 SSMF 即大于 5.0×10^{-3} 的折射率差 D_{n1} ;中间包层区 D_{n2} 与光学包层具有介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差,环区 D_{n3} 与光学包层之间具有介于 $0.0 \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间的折射率差。还要注意,第四包层区(当存在时)比埋入沟槽区要窄和较少埋入或完全没有埋入;该第四包层区具有的与光学包层之间的折射率差 D_{n4} 介于 $-2.5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3}$ 之间。还要注意,在表 I 中,光纤的中央纤芯比 SSMF 窄,其半径 r_1 介于 $2 \mu m \sim 4.0 \mu m$ 之间。

[0066] 依照本发明的、具有如前所述折射率分布的 NZDSF 光纤具有降低了的瑞利散射损耗,并因而具有接近于 SSMF 的衰减,同时不会增加弯曲损耗。而且,具有依照本发明折射率分布的 NZDSF 光纤满足 G.655 和 G.656 标准的要求,如 ITU-T 推荐标准所定义那样。

[0067] 下面的表 II 给出具有对应于表 I 的折射率分布的传输光纤的光学性质。在表 II 中,第一列是对表 I 的参考编号的重复。后面的几列为每种光纤分布提供在 1,550nm 波长处的色散值 D 和色散斜率值 P,以及在 1,550nm 波长处的有效面积值 A_{eff} 。接下来的几列为每种光纤分布提供在 1,550nm 波长处的瑞利散射损耗值和弯曲损耗值 PPC,分别在 1,625nm 波长处 10mm 的半径上,在 1,550nm 波长处 16mm 的半径上,在 1,550nm 波长处 25mm 的半径

上以及在 1,625nm 波长处 30mm 的半径上。最后一列为每种分布提供根据目前标准在两米光纤上测量到的有效截止波长 λ_{eff} 的值。

[0068] 表 2

[0069]

折射率分布	D @1550nm (ps/nm·km)	P @1550nm (ps/nm ² ·km)	A _{eff} @1550nm (μm ²)	瑞利散射 @1550nm (dB/km)	PPC(10mm) @1625nm (dB/m)	PPC(16mm) @1550nm (dB/turns.)	PPC(25mm) @1550nm (dB/100turns)	PPC(30mm) @1625nm (dB/100turns)	λ _{eff} (μm)
SSMF	17	0.058	80	0.160	< 100	< 0.5	< 0.05	< 0.05	< 1350
1a	8	0.055	65	0.165	< 100	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 1400
1b	4.5	0.045	55	0.166	< 100	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 1400
1c	4.2	0.084	70	0.166	< 100	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 1450
2a	7.7	0.050	65	0.160	> 200	> 1	> 50	> 100	< 1200
2b	8.6	0.056	65	0.160	< 100	> 0.5	> 10	> 10	< 1200
3a	8.5	0.070	75	0.161	< 100	< 0.1	< 0.5	< 0.5	< 1200
3b	8.0	0.055	75	0.163	< 100	< 0.05	< 0.02	< 0.02	< 1500
3c	4.5	0.050	60	0.164	< 100	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 1500
4a	9.0	0.070	80	0.161	< 100	< 0.1	< 0.05	< 0.05	< 1350
4b	5.0	0.065	70	0.162	< 100	< 0.1	< 0.05	< 0.05	< 1500
4c	4.5	0.083	77	0.159	< 100	< 0.1	< 0.05	< 0.05	< 1550

[0070] 例 1a、1b 和 1c 不属于本发明；它们对应于如图 1 所示的标准 NZDSF 光纤。例 2a 和 2b 也不属于本发明。例 2a 示出在图 2 中，其对应于例 1 的光纤，相对于外光学包层被埋入 1.5×10^{-3} 。未示出的例 2b 对应于例 2a 的分布，仅是增加有沟槽。

[0071] 注意，例 1 的光纤具有比 SSMF 高的衰减，而例 2 的光纤具有等于 SSMF 的衰减但具有增加的弯曲损耗。

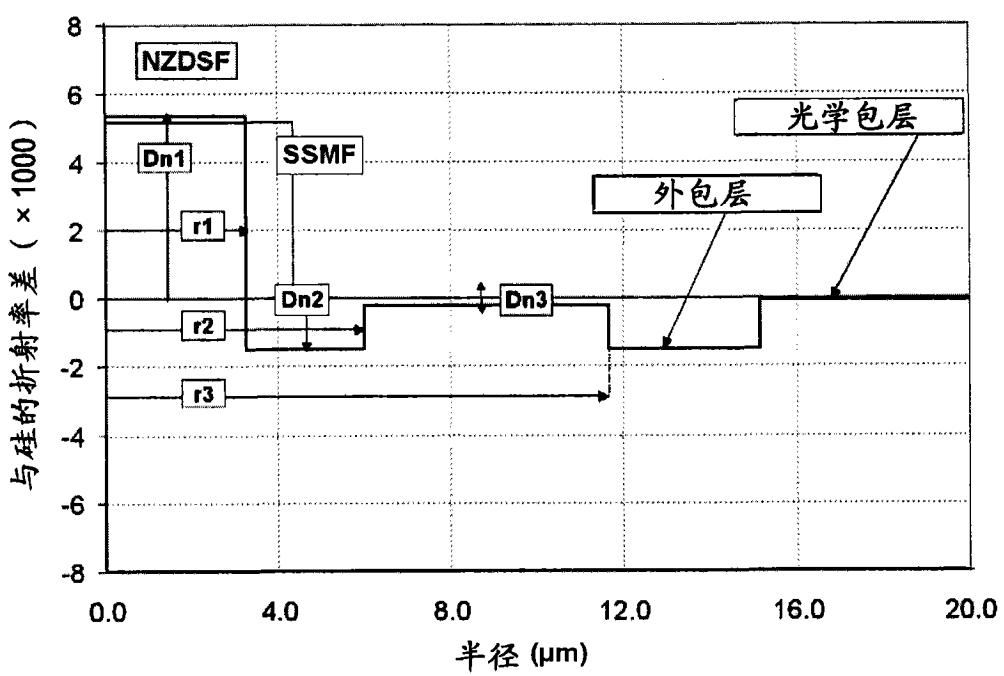
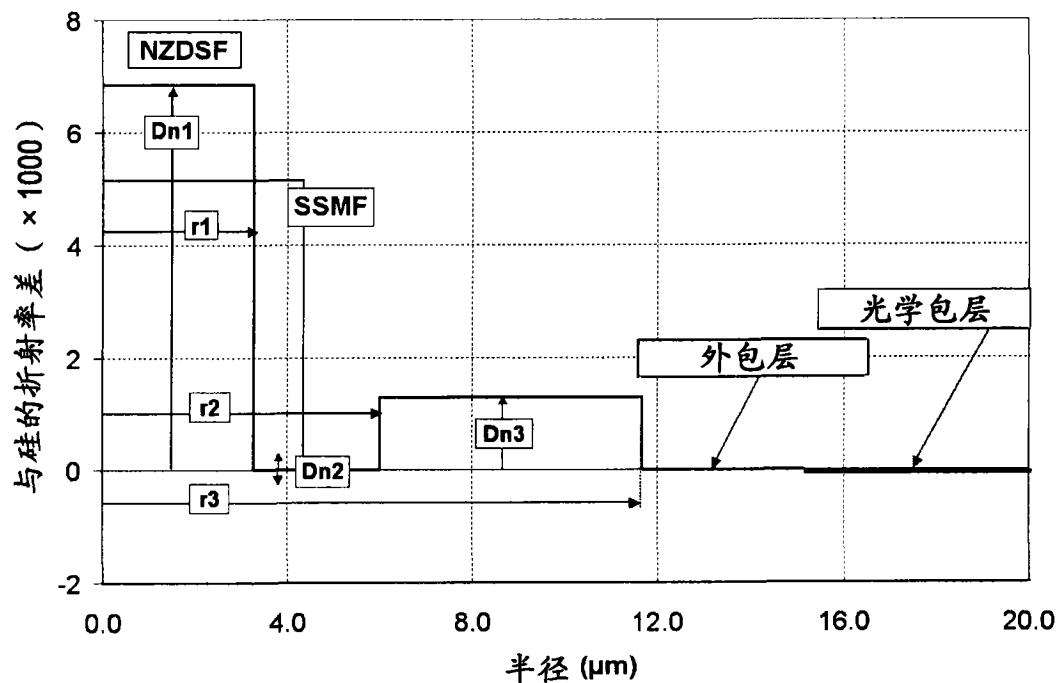
[0072] 例 3a、3b 和 3c 是依照本发明的；它们对应于如图 3 所示的 NZDSF 光纤，其具有位于环与埋入沟槽之间的第四阶跃形包层区。例 4a、4b 和 4c 也是依照本发明，它们对应于如图 4 所示的 NZDSF 光纤，即其具有位于中央纤芯与光学包层之间的三个包层区。

[0073] 从表 II 可以看出，依照本发明的光纤的弯曲损耗等同于 SSMF 的弯曲损耗，或者甚至更好。另外，依照本发明的光纤与标准 NZDSF 光纤相比具有降低了的瑞利散射损耗，依照本发明的光纤的瑞利散射损耗可以被降低为标准 SSMF 光纤的瑞利散射损耗。因此，依照本发明的光纤的衰减在 1,550nm 波长处接近于 SSMF 的衰减。

[0074] 从表 II 还要注意，位于中央纤芯与光学包层之间的一组三个包层区被相结合地最优化。实际上，例 2b 清楚地表明，仅通过具有降低了瑞利损耗的 NZDSF 光纤的分布添加埋入沟槽，还不能在降低弯曲损耗的同时保持瑞利散射损耗的减小。

[0075] 从表 II 还要注意，在依照本发明的光纤的折射率分布下，可以保证小于 12ps/nm·km 的正色散和小于 0.09ps/nm²·km 的色散斜率，以及大于 50 μm² 的有效面积和小于

1,600nm 的截止波长。依照本发明的光纤能够符合 ITU-T G. 655 和 G. 656 标准的推荐标准，这些标准特别推荐小于 1,450nm 的光缆截止波长 λ_{ce} ，介于 $8 \mu\text{m} \sim 11 \mu\text{m}$ 之间的模直径，在 1,550nm 处小于 $10\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 的正色散。因此，依照本发明的光纤可以装设在很多传输系统中，其能与系统中的其他光纤很好地相容。这些符合 G. 655 和 G. 656 标准的要求的有效面积、色散以及有效截止波长的值可以通过对埋入沟槽、中间包层和环进行联合优化来获得。



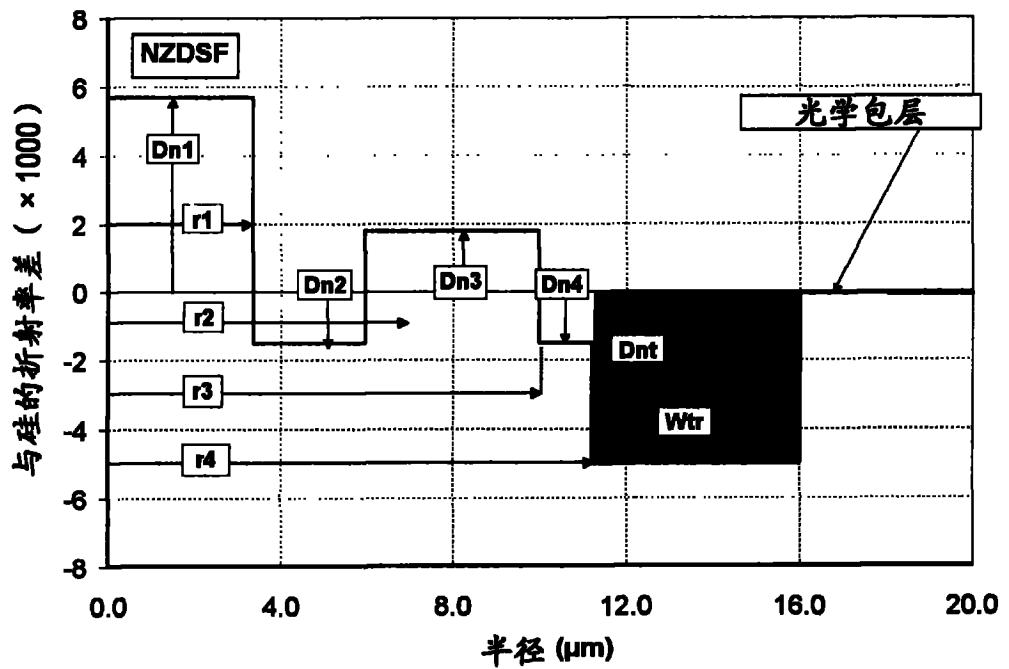


图 3

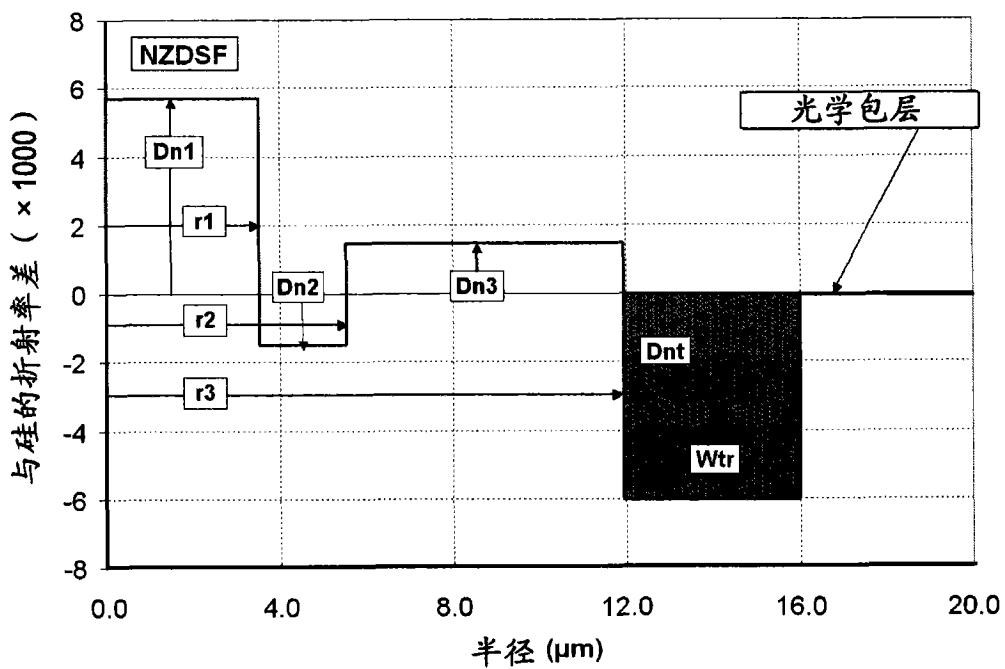


图 4