



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106054330 B

(45)授权公告日 2019.10.22

(21)申请号 201610196340.5

(51)Int.CI.

(22)申请日 2016.03.31

G02B 6/44(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G02B 6/02(2006.01)

申请公布号 CN 106054330 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2016.10.26

CN 1497274 A, 2004.05.19,

(30)优先权数据

US 2005135760 A1, 2005.06.23,

2015-075141 2015.04.01 JP

EP 1154294 A1, 2001.11.14,

(73)专利权人 住友电气工业株式会社

CN 1717605 A, 2006.01.04,

地址 日本大阪府

JP 2014067020 A, 2014.04.17,

(72)发明人 山本义典 平野正晃 高见正和

EP 1107027 A1, 2001.06.13,

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

CN 1334928 A, 2002.02.06,

有限公司 11112

EP 0503469 A2, 1992.09.16,

代理人 顾红霞 何胜勇

JP 2007286319 A, 2007.11.01,

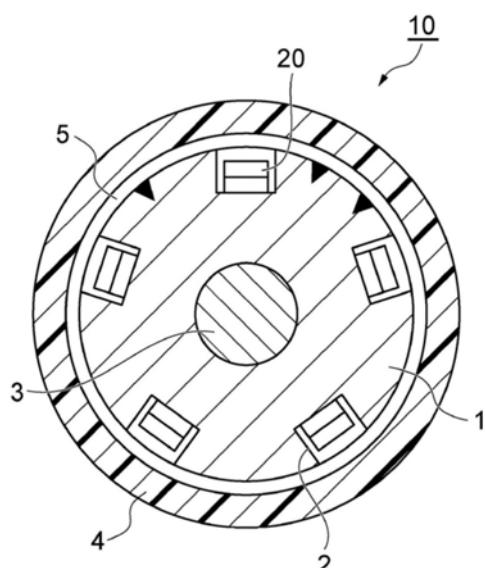
审查员 于子江

(54)发明名称

光缆

(57)摘要

一种光缆具有截面积 $A_c[\text{mm}^2]$ 且收纳有N根光纤。各根光纤在波长为1550nm下的传输损耗 $\alpha_{\text{dB}}[\text{dB}/\text{km}]$ 、模场直径 $W[\mu\text{m}]$ 、有效面积 $A_{\text{eff}}[\mu\text{m}^2]$ 、有效长度 $L_{\text{eff}}[\text{km}]$ 和波长色散 $D[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ 满足预定等式。



1. 一种光缆, 其截面积为 A_c [mm^2] 且收纳有N根光纤,

其中, 各根所述光纤在波长为1550nm下的传输损耗 α_{dB} [dB/km]、模场直径 W [μm]、有效面积 A_{eff} [μm^2]、有效长度 L_{eff} [km] 和波长色散 D [$\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$] 满足等式(1),

$$\log_2 \left[1 + 65.9 \cdot \left\{ \exp \left(200 \cdot \left(\frac{\alpha_{dB} + 0.02}{4.343} \right) \right) \cdot \left(\frac{20 \times W}{W^2 + 104} \right)^{-4} \cdot A_{eff}^{-2} L_{eff} |D|^{-1} \cdot \operatorname{asinh} \left(629 \cdot |D| L_{eff} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right] \times \frac{N}{A_c} \geq 0.008 \times N + 1.7. \quad (1),$$

所述光纤在波长为1550nm下的所述传输损耗为0.18dB/km以下, 并且所述光纤的所述有效面积在从100 μm^2 至125 μm^2 的范围内,

所述光纤在波长为1550nm下的所述模场直径在从11.0 μm 至12.5 μm 的范围内, 并且

所述光纤在波长为1550nm下的所述波长色散在从19ps/nm/km至22ps/nm/km的范围内。

2. 根据权利要求1所述的光缆,

其中, 所述光纤的截止波长在从1400nm至1600nm的范围内。

3. 根据权利要求1或2所述的光缆,

其中, 所述光纤包括:

芯部, 其直径在从10 μm 至13 μm 的范围内; 以及

包层, 其围绕所述芯部且具有比所述芯部的折射率小的折射率,

其中, 所述芯部相对于所述包层的相对折射率差在从0.30%至0.35%的范围内。

4. 根据权利要求1或2所述的光缆,

其中, 所述光纤包括:

芯部, 其直径在从10 μm 至13 μm 的范围内;

内包层, 其围绕所述芯部且具有比所述芯部的折射率小的折射率; 以及

外包层, 其具有比所述芯部的折射率小且比所述内包层的折射率大的折射率,

其中, 所述外包层相对于所述内包层的相对折射率差在从0.05%至0.10%的范围内, 而所述芯部相对于所述内包层的相对折射率差在从0.30%至0.35%的范围内。

5. 根据权利要求3所述的光缆,

其中, 所述芯部相对于纯二氧化硅的相对折射率差在从-0.1%至+0.1%的范围内。

6. 根据权利要求4所述的光缆,

其中, 所述芯部相对于纯二氧化硅的相对折射率差在从-0.1%至+0.1%的范围内。

7. 根据权利要求1或2所述的光缆,

其中, 所述光缆是带状芯部开槽型光缆, 并且

通过将单个槽的截面积除以收纳在所述单个槽中的所述光纤的芯部的数量而得到的值在从0.12 mm^2 /芯至0.16 mm^2 /芯的范围内。

8. 根据权利要求3所述的光缆,

其中, 所述光缆是带状芯部开槽型光缆, 并且

通过将单个槽的截面积除以收纳在所述单个槽中的所述光纤的芯部的数量而得到的值在从0.12 mm^2 /芯至0.16 mm^2 /芯的范围内。

9. 根据权利要求4所述的光缆,

其中,所述光缆是带状芯部开槽型光缆,并且
通过将单个槽的截面积除以收纳在所述单个槽中的所述光纤的芯部的数量而得到的
值在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。

10.根据权利要求5所述的光缆,
其中,所述光缆是带状芯部开槽型光缆,并且
通过将单个槽的截面积除以收纳在所述单个槽中的所述光纤的芯部的数量而得到的
值在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。

11.根据权利要求6所述的光缆,
其中,所述光缆是带状芯部开槽型光缆,并且
通过将单个槽的截面积除以收纳在所述单个槽中的所述光纤的芯部的数量而得到的
值在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。

光缆

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光缆。

背景技术

[0002] 对于利用布置在传输线中的光纤的光通信系统而言,理想的是,以高容量传输信息。一般情况下,由于用于光通信系统的光波段被限制为C波段(1530nm至1565nm)和L波段(1565nm至1610nm),因此为了以高容量传输信息,理想的是,表示每频率的传输容量的频谱效率(SE) [b/s/Hz]较高。

[0003] 另外,包括并一体地覆盖多根光纤的光缆被布置在例如埋设于地下的管线中。由于管线中的空间有限,因此理想的是,采用具有较小截面积的光缆来以高容量传输信息。光缆的每单位截面积的频谱效率表示为空间频谱效率(SSE) [b/s/Hz/mm²]。

[0004] 日本未审查专利申请公开No.2014-067020公开了一种能够在兼顾光缆中的高密度装填的同时提高光信噪比(OSNR)的光纤。另外,国际公开No.2013/129234公开了一种能够增大光纤的每单位截面积的SE的光纤。对于日本未审查专利申请公开No.2014-067020所述的光纤而言,有效面积A_{eff}被限制为100μm²以下。另外,尚未对光缆的SSE进行研究。国际公开No.2013/129234所述的光纤是多芯光纤,而非单芯光纤。另外,尚未对光缆进行研究。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种能够增大光缆的每单位截面积的SE的光缆。

[0006] 根据本发明的一个方面的光缆具有截面积A_c [mm²]且包括N根光纤。各根光纤在波长为1550nm下的传输损耗α_{dB} [dB/km]、模场直径W [μm]、有效面积A_{eff} [μm²]、有效长度L_{eff} [km]和波长色散D [ps/nm/km]满足式(1) :

[0007]

$$\log_2 \left[1 + 65.9 \cdot \left\{ \exp \left(200 \cdot \left(\frac{\alpha_{dB} + 0.02}{4.343} \right) \right) \cdot \left(\frac{20 \times W}{W^2 + 104} \right)^{-4} \cdot A_{eff}^{-2} L_{eff} |D|^{-1} \cdot \operatorname{asinh} \left(629 \cdot |D| L_{eff} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right] \times \frac{N}{A_c} \geq 0.008 \times N + 1.7. \quad (1).$$

[0008] 在根据本发明的该方面的光缆中,光纤在波长为1550nm下的传输损耗可以为0.18dB/km以下,并且光纤的A_{eff}可以在从100μm²至125μm²的范围内。光纤在波长为1550nm下的模场直径(MFD)可以在从11.0μm至12.5μm的范围内。光纤在波长为1550nm下的波长色散可以在从19ps/nm/km至22ps/nm/km的范围内。光纤的截止波长可以在从1400nm至1600nm的范围内。

[0009] 包含在根据本发明的该方面的光缆中的光纤可以包括芯部和包层,芯部相对于包层的相对折射率差(n_{core}-n_{cladding})/n_{core}可以在从0.30%至0.35%的范围内,芯部的直径可以在从10μm至13μm的范围内。作为选择,光纤可以包括芯部、内包层和外包层,外包层可以

具有比芯部的折射率小且比内包层的折射率大的折射率,外包层相对于内包层的相对折射率差($n_{\text{outer cladding}} - n_{\text{inner cladding}} / n_{\text{outer cladding}}$)可以在从0.05%至0.10%的范围内,芯部相对于内包层的相对折射率差($n_{\text{core}} - n_{\text{inner cladding}} / n_{\text{core}}$)可以在从0.30%至0.35%的范围内,并且芯部的直径可以在从10 μm 至13 μm 的范围内。芯部相对于纯二氧化硅的相对折射率差($n_{\text{core}} - n_{\text{pure silica}} / n_{\text{pure silica}}$)可以在从-0.1%至+0.1%的范围内。

[0010] 根据本发明的该方面的光缆可以是带状芯部开槽型光缆,并且通过将单个槽的截面积除以收纳在单个槽中的光纤的数量而得到的值可以在从0.12 $\text{mm}^2/\text{芯}$ 至0.16 $\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。作为选择,根据本发明的该方面的光缆可以是带状芯部开槽型光缆,通过将单个槽的截面积除以收纳在单个槽中的光纤的数量而得到的值可以在从0.12 $\text{mm}^2/\text{芯}$ 至0.16 $\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内,光纤在波长为1550nm下的传输损耗可以为0.18dB/km以下,并且光纤在波长为1550nm下的 A_{eff} 可以在从100 μm^2 至125 μm^2 的范围内。

[0011] 通过本发明的该方面,可以提供能够增大光缆的每单位截面积的SE的光缆。

附图说明

- [0012] 图1是根据本发明实施例的光缆的剖视图。
- [0013] 图2是根据本发明实施例的光缆的剖视图。
- [0014] 图3是根据本发明实施例的光缆的剖视图。
- [0015] 图4是包括在图1至图3的各根光缆中的槽的实例的剖视图。
- [0016] 图5是示出当相同类型的光纤彼此熔接时MFD与熔接损耗之间的关系的曲线图。
- [0017] 图6A和图6B是示出根据本发明实施例的光纤的折射率分布的概念图。
- [0018] 图7A至图7F是示出根据本发明实施例的光纤的芯部的折射率分布的概念图。
- [0019] 图8是示出根据比较例和实例的光纤的结构和在波长为1550nm下的光学特性的表格。
- [0020] 图9是示出当根据实例的光纤容纳在光缆中时的SSE的表格。
- [0021] 图10A和图10B是均示出了光纤在波长为1550nm下的 A_{eff} 与光缆的SSE之间的关系的曲线图。
- [0022] 图11A和图11B是均示出了光纤在波长为1550nm下的 A_{eff} 与光缆的SSE之间的关系的曲线图。
- [0023] 图12是示出了根据实例的光缆的槽尺寸和其他规格的表格。

具体实施方式

[0024] 将参考附图对根据实施例的光缆进行详细描述。应注意的是,在附图的描述中,相同的附图标记表示相同的元件,并且省略重复描述。

[0025] 图1至图3是根据本发明实施例的光缆10的剖视图。光缆10的结构根据布置场所和环境被适当选择。另外,光纤的数量根据所需的总传输容量和管路的空间确定。在这种情况下,图1、图2和图3分别示出了包括40根光纤、100根光纤和300根光纤的光缆。另外,图4是示出包括在光缆10中的槽的实例的剖视图。

[0026] 如图1至图4所示,光缆10是所谓的带状芯部开槽型光缆。光缆10包括开槽芯部1、抗拉部件3、护套4、止水带5和光纤带20。

[0027] 开槽芯部1是由例如具有大致圆筒形状的塑料制成的树脂杆。槽2被刻在开槽芯部1中。槽2是用于容纳光纤带20的凹槽。在开槽芯部1的外周表面中设置有沿着光缆10的轴向的多个槽2。在具有40根光纤和100根光纤的光缆的情况下设置有五个槽2，在具有300根光纤的光缆的情况下设置有十五个槽。槽2的底部的宽度为x1，槽2的上部的宽度为x2，以及槽2的深度为y。在图4中，x1等于x2；然而，x1不必一定等于x2。

[0028] 抗拉部件3布置在开槽芯部1的中央部分中，并且与开槽芯部1一体地设置。抗拉部件3由纤维增强塑料(FRP)制成。例如，FRP是通过用基体树脂浸渍一束抗拉纤维形成的，并且基体树脂通过热固化进行硬化。

[0029] 止水带5卷绕在开槽芯部1的外周表面上以覆盖槽2，并且充当绑带。止水带5能够防止光纤带20从槽2突出。另外，止水带5由吸水材料形成，并且能够防止水沿光缆10的纵向流动。

[0030] 护套4设置在光缆10的最外周部处。例如，护套4由高强度塑料形成。具体而言，护套4可以使用高强度塑料，例如聚乙烯、聚苯硫醚、聚醚砜、聚醚醚酮或液晶聚合物。护套4是通过在覆盖有止水带5的开槽芯部1的外周上挤出高强度塑料而形成的。

[0031] 光纤带20包括平行且一体地布置的多根光纤30。在本实施例中，光纤带20形成为内部集成有四根光纤30的四光纤带。在具有40根光纤的光缆的情况下，例如堆叠两个光纤带20，在具有100根光纤和300根光纤的光缆的情况下，例如堆叠五个光纤带20，并且光纤带20容纳在各个槽2中。

[0032] 在光缆10中，通过将截面积 $(x_1+x_2) \times y/2$ 除以单个槽中的光纤数量 N_{slot} 而获得的值 A_{slot} (也就是说， $A_{slot} = (x_1+x_2) \times y / (2 \times N_{slot})$)被设定在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。

[0033] 接下来将对SSE的定义和现有技术的光缆的SSE进行描述，然后将对根据本实施例的光缆10的SSE和光纤30进行描述。

[0034] SSE的定义

[0035] 可以从香农极限获得每一根光纤的SE的限值，并且SE的限值用式(2)表示：

[0036] $SE = \log_2(1+SNR)$ ， (2)。

[0037] 其中，SNR表示信噪比。如在R.Essiambre et al, "Capacity Limits of Optical Fiber Networks," Journal of Lightwave Technology, Vol. 28, No. 4, pp. 662-701 (February, 2010) 中所述那样，SNR与OSNR之间的关系可以用式(3)表示：

$$SNR = \frac{2B_{ref}}{pR_s} OSNR, \quad (3)$$

[0039] 其中，在无偏振复用的情况下，p等于1，而在具有偏振复用的情况下，p等于2。在下文中，p等于2。 R_s 表示符号率，以及 B_{ref} 表示OSNR的基准带宽， B_{ref} 通常为12.5GHz (0.1nm)。

[0040] 在使用数字相干接收机的光通信系统中，如在M.Hirano et al, "Analytical OSNR Formulation Validated with 100G-WDM Experiments and Optimal Subsea Fiber Proposal," OFC/NFOEC Technical Digest, OTu2B.6 (2013) 中所述那样，OSNR的最大值($OSNR_{max}$)用式(4)至式(8)表示：

$$OSNR_{max} = \left\{ \frac{4}{27F^2\eta} \cdot \gamma^2 L_{eff} |D|^{-1} \cdot \exp(2\alpha L) \cdot A_{sp}^{-2} \right\}^{-\frac{1}{3}} \times N_s^{-1}, \quad (4)$$

[0042] $N = NF \cdot h\nu \cdot B_{ref}$, (5)

$$[0043] \eta = \frac{8}{27} \cdot \frac{2\nu^2}{CB_{ch}^3} \cdot \operatorname{asinh} \left(\frac{\pi C |D| L_{eff} B_t^2}{4\nu^2} \right) \cdot B_{ref}, \quad (6)$$

$$[0044] \gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{n_2}{A_{eff}}, \quad (7)$$

[0045] 以及

$$[0046] L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha}, \quad (8)$$

[0047] 在各式中, γ 表示非线性系数 [1/W/km], D 表示色散 [ps/nm/km], α 表示传输损耗 [1/km], n_2 表示非线性折射率 [m^2/W], 以及 A_{eff} 表示光纤的有效面积 [μm^2]。在标准的单模光纤 (标准SMF) 的情况下, 当波长为1550nm时, 这些值被设定为如下: $\gamma = 1.2/\text{W/km}$, $D = 17\text{ps/nm/km}$, $\alpha = 0.047/\text{km}$ (0.185dB/km), $n_2 = 2.35 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$, 以及 $A_{eff} = 80\mu\text{m}^2$ 。另外, L_{eff} 表示有效长度 [km], L 表示跨长 (中继器间隔) [km], N_s 表示跨度数, NF 表示中继器的噪声系数 (掺铒光纤放大器, EDFA), h 表示普朗克常数 $6.63 \times 10^{-34} \text{J}\text{s}$, ν 表示光信号的频率 [THz], C 表示的光的速度 $3 \times 10^8 \text{m/s}$, 以及 B_t 表示波分复用 (WDM) 信号带 [GHz]。 A_{sp} 表示位于跨度两端处的光纤和中继器之间的熔接损耗, 并且可以从光纤和标准SMF的MFD获得。如果假定标准SMF的MFD在波长为1550nm下为 $10.2\mu\text{m}$, 则MFD为 $W[\mu\text{m}]$ 时的光纤的 A_{sp} 可以基本上表示为 $[20 \times W / (W^2 + 104)]^2$ 。

[0048] 在这种情况下, 为了便于理解, 采用在仅由传输光纤和中继器构成的传输线中传送奈奎斯特WDM信号的情况, 然而, 即使在正常的WDM传输中也会大致形成这种情况。根据式 (2) 至式 (4), 每一根光纤的SE的限值用式 (9) 表示:

$$[0049] SE = \log_2 \left(1 + \frac{B_{ref}}{R_s} OSNR_{max} \right) = \log_2 \left[1 + N_s^{-1} \cdot \left\{ (NF \cdot h\nu \cdot \exp(\alpha L) \cdot A_{sp})^2 \cdot \gamma^2 L_{eff} |D|^{-1} \cdot \frac{4\nu^2}{C} \cdot \operatorname{asinh} \left(\frac{\pi C |D| L_{eff} B_t^2}{4\nu^2} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right]. \quad (9)$$

[0050] 此外, 在光纤数量为 N 且截面积为 $A_c [\text{mm}^2]$ 的光缆的情况下, SSE的限值用式 (10) 表示:

$$[0051] SSE = \log_2 \left[1 + N_s^{-1} \cdot \left\{ (NF \cdot h\nu \cdot \exp(\alpha L) \cdot A_{sp})^2 \cdot \gamma^2 L_{eff} |D|^{-1} \cdot \frac{4\nu^2}{C} \cdot \operatorname{asinh} \left(\frac{\pi C |D| L_{eff} B_t^2}{4\nu^2} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right] \times \frac{N}{A_c}. \quad (10)$$

[0052] 如果假定光信号的频率 $\nu = 194\text{THz}$, 噪声系数 $NF = 6\text{dB}$, 跨度长度 $L = 100\text{km}$, 跨度数量 $N_s = 15$, 以及WDM信号带 $B_t = 10\text{THz}$, 并且如果假定纯二氧化硅芯部光纤 $n_2 = 2.2 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$, 则SSE可以改写为式 (11):

[0053]

$$SSE = \log_2 \left[1 + 65.9 \cdot \left\{ \exp(200 \cdot \alpha) \cdot \left(\frac{20 \times W}{W^2 + 104} \right)^{-4} \cdot A_{eff}^{-2} L_{eff} |D|^{-1} \cdot \operatorname{asinh} \left(629 \cdot |D| L_{eff} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right] \times \frac{N}{A_c} \quad (11)$$

[0054] 现有技术的光缆的SSE

[0055] 现有技术的典型带状芯部开槽型光缆的光缆直径在光缆包括40根光纤的情况下为约12mm,在光缆包括100根光纤的情况下为约17mm,以及在光缆包括300根光纤的情况下为约23mm。另外,容纳在现有技术的光缆中的光纤使用标准SMF。

[0056] 如果当光纤容纳在光缆中时弯曲损耗或微弯损耗不增加,则光缆的传输损耗相当于光纤的传输损耗。然而,当光纤容纳在光缆中时,一些光纤可能具有增加了弯曲损耗或微弯损耗的传输损耗。作为选择,光纤卷绕在小直径缠线管上时的弯曲损耗或微弯损耗可以被释放,并且可以降低传输损耗。标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中之后的传输损耗与标准SMF的传输损耗之间的平均差值为0.00dB/km以及最大差值为+0.018dB/km。

[0057] 另外,如果假定通过将0.02dB/km与光纤的传输损耗(光纤传输损耗,光纤损耗)相加而获得的值用作基本标准光缆的传输损耗(光缆传输损耗),则式(11)可以被改写成式(12):

[0058]

$$SSE = \log_2 \left[1 + 65.9 \cdot \left\{ \exp \left(200 \cdot \left(\frac{\alpha_{dB} + 0.02}{4.343} \right) \right) \cdot \left(\frac{20 \times W}{W^2 + 104} \right)^{-4} \cdot A_{eff}^{-2} L_{eff} |D|^{-1} \cdot \operatorname{asinh} \left(629 \cdot |D| L_{eff} \right) \right\}^{-\frac{1}{3}} \right] \times \frac{N}{A_c} \quad (12)$$

[0059] 其中,光纤传输损耗为 α_{dB} [dB/km]。根据式(12),当标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中时的SSE在光缆包括40根光纤的情况下为1.5b/s/Hz/mm²,在光缆包括100根光纤的情况下为1.9b/s/Hz/mm²,以及在光缆包括300根光纤的情况下为3.2b/s/Hz/mm²。

[0060] 光缆10的SSE

[0061] 相反,光缆10的光缆直径在光缆包括40根光纤、100根光纤、200根光纤、300根光纤的情况下分别为约11mm、13mm、17mm、19mm。光缆10满足式(13):

[0062] $5SE \geq 0,008 \times N + 1.7$, (13)。

[0063] 其中,如上所述, α_{dB} 表示光纤30的传输损耗[dB/km]。根据式(13),与包括相同数量的标准SMF的现有技术的带状芯部开槽型光缆相比,SSE可以增加30%以上。更优选地,满足式(14):

[0064] $SSE \geq 0.009 \times N + 2.0$. (14)。

[0065] 因此,与包括相同数量的标准SMF的现有技术的带状芯部开槽型光缆相比,SSE可以增加50%以上。进一步优选地,满足式(15):

[0066] $SSE \geq 0.011 \times N + 2.3$ (15)。

[0067] 因此,与包括相同数量的标准SMF的现有技术的带状芯部开槽型光缆相比,SSE可

以增加75%以上。应注意的是,式(13)、式(14)和式(15)的左侧与式(12)的右侧相同。

[0068] 光纤30

[0069] 容纳在根据本实施例的光缆10中的光纤30出于两个原因优选地为单芯光纤。

[0070] 在多芯光纤的情况下,难以以低损耗熔接相同类型的多芯光纤。当通过使用熔接机来执行熔接时,例如可能产生在约0.2μm至约0.4μm的范围内的不对准量。在多芯光纤中,由于多个芯部容纳在单根光纤中,因此难以准确对准所有芯部的轴线。一般来说,所布置的单根光缆的长度在从约1km至约5km的范围内。因此,在跨度长度为100km的传输线中,相同类型熔接部的数量为每跨度20至100个。鉴于此,总跨度损耗在很大程度上增加了熔接损耗。另外,多芯光纤在跨度的两端处与设备连接,需要对每个芯部进行分支的设备,并且增加了设备的插入损耗。因此,总损耗增加。

[0071] 光纤30优选地在波长为1550nm下具有以下特征(1)至(5)。

[0072] (1) 传输损耗优选地为0.18dB/km以下。随着传输损耗的减小,SSE可以增大。传输损耗更优选地为0.17dB/km以下。

[0073] (2) A_{eff} 优选地在从100μm²至125μm²的范围内。随着 A_{eff} 增大,γ减小。因此,SSE可以增大。另一方面,如果 A_{eff} 过度增大,则光在芯部中的传播的限制效应下降。因此,光缆传输损耗因容纳在光缆10中时的弯曲损耗和微弯损耗而变为大于标准SMF的传输损耗。

[0074] (3) MFD优选地在从11.0μm至12.5μm的范围内。当通过使用熔接机来熔接相同类型的光纤30时,例如可能产生在约0.2μm至约0.4μm的范围内的不对准量。图5是示出了相同类型的熔接损耗与MFD之间的关系的曲线图。横轴表示在波长为1550nm下的MFD,而纵轴表示当熔接相同类型的光纤30时的熔接损耗。随着MFD增大,即使存在不对准,也能够将熔接损耗抑制在较低值。相反,如果MFD过度增大,则相对于用作中继器的尾光纤的标准SMF的熔接损耗增大。

[0075] (4) 色散优选地在从19ps/nm/km至22ps/nm/km的范围内。随着色散增大,SSE可以增大。

[0076] (5) 光纤截止波长优选地在从1400nm至1600nm的范围内。随着截止波长增大,弯曲损耗可以被抑制在较低值。布置在光缆中之后的传输损耗可以被保持在较低值。然而,如果截止波长过度增大,则不再执行单模传输。

[0077] 图6A和图6B是示出根据本实施例的光纤30的折射率分布的概念图。如图6A所示,光纤30的一个实例包括:芯部,其具有折射率n1和直径2a[μm];以及包层,其具有折射率n2。在这种情况下,如果假定芯部相对于纯二氧化硅的折射率n0的相对折射率差 $\Delta 0 [\%]$ 为 $100 \times (n1 - n0) / n1$ 且芯部相对于包层的相对折射率差 $\Delta 1 [\%]$ 为 $100 \times (n1 - n2) / n1$,则 $\Delta 1$ 优选地在从0.30%至0.35%的范围内,并且2a优选地在从10μm至13μm的范围内。另外, $\Delta 0$ 优选地在从-0.1%至+0.1%的范围内。有效的是,基本上不往传播光信号的大部分功率的芯部添加掺杂剂,以便减小光纤传输损耗。

[0078] 如图6B所示,光纤30的另一实例包括:芯部,其具有折射率n1和直径2a[μm];内包层,其具有折射率n2和直径2b[μm];以及外包层,其具有折射率n3。光纤具有n1>n3>n2的下凹包层型折射率分布。由于光纤30具有下凹包层型折射率分布,因此即使 A_{eff} 增大,也能够将弯曲损耗抑制在相对较低的值。因此,光纤30的该实例是优选的。

[0079] 在这种情况下,如果假定芯部相对于纯二氧化硅的折射率n0的相对折射率差 $\Delta 0$

[%]为 $100 \times (n_1 - n_0) / n_1$,芯部相对于内包层的相对折射率差为 $\Delta 1 [\%] = 100 \times (n_1 - n_2) / n_1$,以及外包层相对于内包层的相对折射率差为 $\Delta 2 [\%] = 100 \times (n_3 - n_2) / n_3$,则 $\Delta 1$ 优选地在从0.30%至0.35%的范围内, $\Delta 2$ 优选地在从0.05%至0.10%的范围内,2a优选地在从10 μm 至13 μm 的范围内,以及2b优选地在从40 μm 至55 μm 的范围内。另外, $\Delta 0$ 优选地在从-0.1%至+0.1%的范围内。有效的是,基本上不往传播光信号的大部分功率的芯部添加掺杂剂,以便减小光纤传输损耗。

[0080] 图7A至图7F是示出根据本实施例的光纤的芯部的折射率分布的示意图。光纤30的芯部的折射率分布可以修改成各种形状的任一种。在这种情况下,假定芯部的折射率的平均值为n1。

[0081] 如上所述,根据本实施例的光缆10容纳有多根光纤30且满足式(1)。因此,与容纳有相同数量的标准单模光纤(标准SMF)的现有技术的带状芯部开槽型光缆相比,光缆10的SSE可以增加30%。另外,由于光纤30在波长为1550nm下的所述传输损耗为0.18dB/km以下并且 A_{eff} 在从100 μm^2 至125 μm^2 的范围内,因此采用增大的SSE值可以抑制传输损耗。

[0082] 另外,由于光纤在波长为1550nm下的MFD在从11.0 μm 至12.5 μm 的范围内,因此即使存在不对准,也可以将相同类型光纤之间的熔接损耗抑制在较低的值,并且就用作中继器的尾光纤的标准SMF而言的熔接损耗也可以被抑制在较低的值。另外,由于光纤30在波长为1550nm下的色散在从19ps/nm/km至22ps/nm/km的范围内,因此可以增大SSE。另外,由于光纤30的截止波长在从1400nm至1600nm的范围内,因此通过在单模传输可用的范围内增大光缆的截止波长,弯曲损耗可以被抑制在较低的值,并且光缆中的光纤的传输损耗可以被保持在较低的值。

[0083] 另外,在光缆10的一个实例中,光纤30包括芯部和包层,芯部相对于包层的相对折射率差 $\Delta 1$ 在从0.30%至0.35%的范围内,并且芯部的直径2a在从10 μm 至13 μm 的范围内。因此,可以增大光缆10的SSE。

[0084] 另外,在光缆10的另一实例中,光纤30包括芯部、内包层和外包层。外包层的折射率n3小于芯部的折射率n1且大于内包层的折射率n2。外包层相对于内包层的相对折射率差 $\Delta 2$ 在从0.05%至0.10%的范围内,芯部相对于内包层的相对折射率差 $\Delta 1$ 在从0.30%至0.35%的范围内,并且芯部的直径2a在从10 μm 至13 μm 的范围内。因此,即使 A_{eff} 增大,也可以将弯曲损耗抑制在相对较低的值,并且可以增大光缆的SSE。

[0085] 另外,由于芯部相对于纯二氧化硅的相对折射率差 $\Delta 0$ 在从-0.1%至+0.1%的范围内,并且基本上不往传播光信号的大部分功率的芯部添加掺杂剂,因此可以降低光纤30的传输损耗。

[0086] 另外,光缆10是带状芯部开槽型光缆。通过将单个槽2的截面积除以容纳在单个槽2中的光纤的数量N_{slot}而得到的值 A_{slot} 在从0.12mm²/芯至0.16mm²/芯的范围内。如果槽2的截面积 $(x_1 + x_2) \times y / 2$ 减小,则可以减小光缆的截面积。这有利于增大光缆10的SSE。然而,如果槽2的截面积过度减小,则就光纤带20而言的间隙也减小。因此,光纤带20与槽2的内壁接触,并且因光纤30的应力而产生弯曲损耗和微弯损耗。结果,损耗增大为超过现有技术的光缆的损耗,并且SSE减小。特别是在具有比标准SMF的 A_{eff} 大的 A_{eff} 的光纤(例如,根据本实施例的光纤30)的情况下,对光在芯部中的传播的限制被减弱,并且很可能产生弯曲损耗和微弯损耗。在本实施例中,由于 A_{slot} 被限定在预定范围内,因此即使容纳上述光纤30,也可以

在光纤30与光缆10之间的传输损耗之差被抑制为等同于标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况的同时减小光缆的截面积。结果,可以增大光缆10的SSE。

[0087] 另外,光缆10是带状芯部开槽型光缆,通过将单个槽2的截面积除以容纳在单个槽2中的光纤的数量 N_{slot} 而得到的值 A_{slot} 在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内,光纤30在波长为 1550nm 下的传输损耗为 0.18dB/km 以下,并且 A_{eff} 在从 $100\mu\text{m}^2$ 至 $125\mu\text{m}^2$ 的范围内。在这种情况下,如上所述,由于 A_{slot} 被限定在预定范围内,因此即使容纳上述光纤30,也可以在光纤30与光缆10之间的传输损耗之差被抑制为等同于标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况的同时减小光缆的截面积。结果,可以增大光缆10的SSE。另外,通过增大的SSE值可以抑制传输损耗。

[0088] 接下来,将在与比较例进行对比的情况下对根据本实施例的光纤的具体实例进行描述。根据实例1的光纤是具有如图6A所示的折射率分布的光纤。根据实例2至实例5的光纤是均具有如图6B所示的下凹包层型折射率分布的光纤。根据比较例的光纤是标准SMF。

[0089] 图8是示出根据比较例和实例的光纤的结构和在波长为 1550nm 下的光学特性的表格。图9是示出当根据实例的光纤容纳在光缆中时的SSE的表格。当根据任一实例的光纤容纳在根据本发明实施例的光缆中时的光缆传输损耗与图8所示的传输损耗之差的最大值为 0.02dB/km 以下,这基本上等同于标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况。因此,与标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况类似,在通过将 0.02dB/km 与光纤的传输损耗相加而获得的值被视为基本标准光缆的传输损耗的同时,可以根据式(11)获得SSE。在图9中,如果所获得的SSE满足式(13)至式(15),则标示“Y”,如果所获得的SSE不满足式(13)至式(15),则标示“N”。

[0090] 图10A、图10B、图11A和图11B是均示出了光纤在波长为 1550nm 下的 A_{eff} 与光缆的SSE之间的关系的曲线图。图10A、图10B、图11A和图11B分别示出了光缆包括40根光纤、100根光纤、200根光纤和300根光纤的情况。针对光纤传输损耗为 0.180dB/km 、 0.170dB/km 和 0.160dB/km 的各种情况,各图均示出了光纤在波长为 1550nm 下的 A_{eff} 与光缆的SSE之间的关系。另外,各图示出了式(13)至式(15)中的右侧的值。

[0091] 在 A_{eff} 的从 $70\mu\text{m}^2$ 至 $125\mu\text{m}^2$ 的范围内,光缆与光纤之间的传输损耗之差的最大值为 0.02dB/km 以下,并且与标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况类似,通过将 0.02dB/km 与光纤的传输损耗相加而获得的值被视为基本标准光缆的传输损耗。参考图10A、图10B、图11A和图11B,只要 A_{eff} 为 $100\mu\text{m}^2$ 以上且光纤传输损耗为 0.180dB/km 以下,就可以满足式(13)。

[0092] 图12是示出了根据实例的光缆的槽尺寸和其他规格的表格。如图12所示,对于根据任意实例的光缆而言, A_{slot} 被设定在从 $0.12\text{mm}^2/\text{芯}$ 至 $0.16\text{mm}^2/\text{芯}$ 的范围内。因此,即使容纳光纤,也可以在光纤与光缆之间的传输损耗之差被抑制为等同于标准SMF容纳在现有技术的典型带状芯部开槽型光缆中的情况的同时减小光缆的截面积。

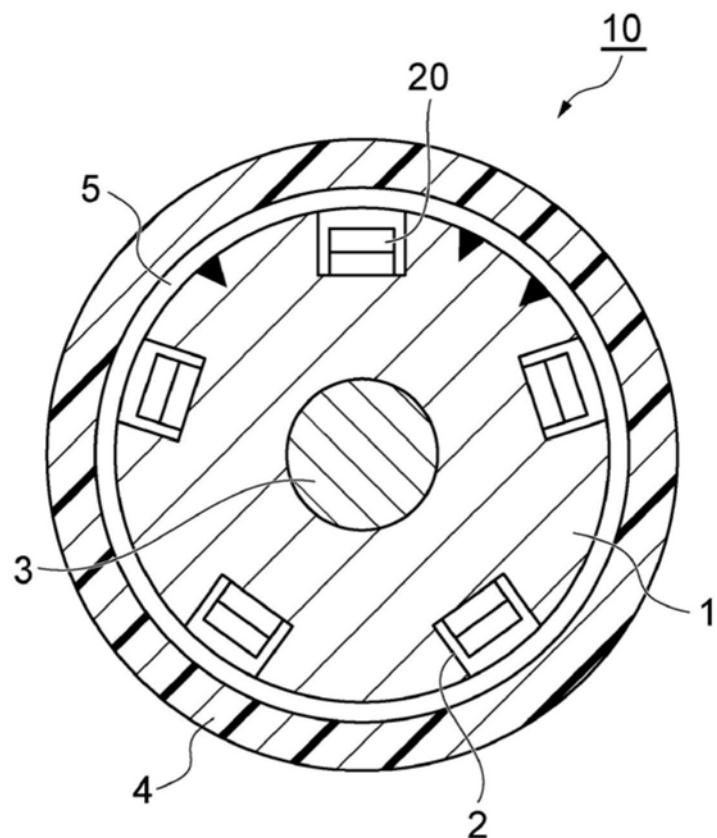


图1

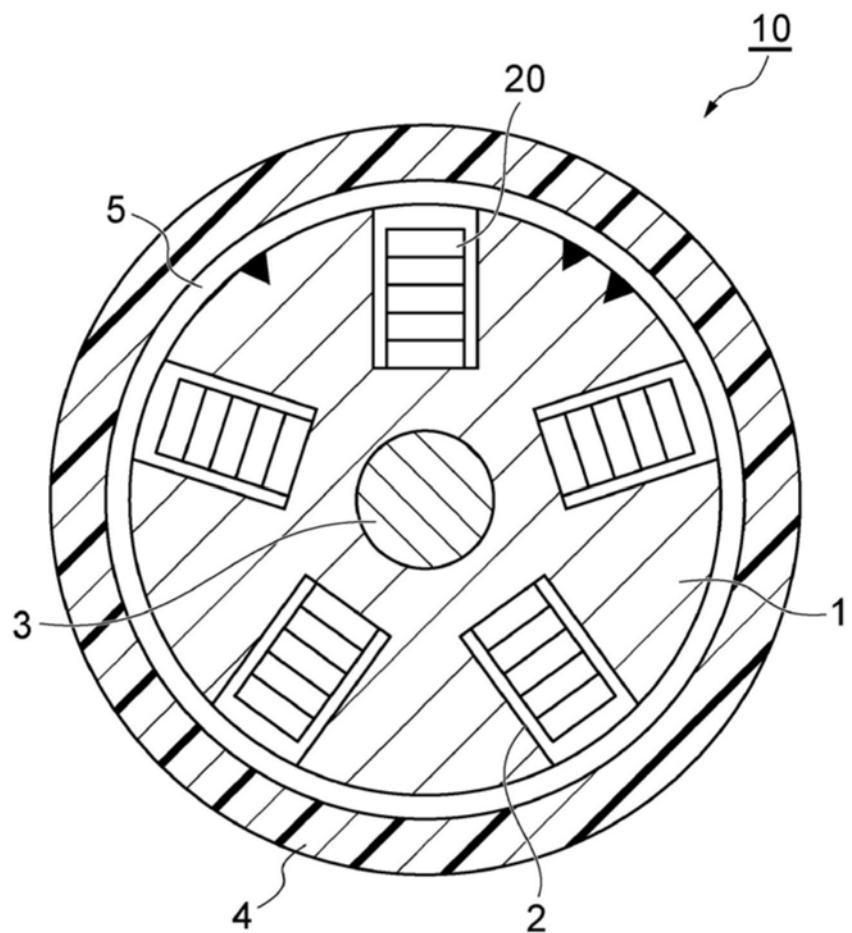


图2

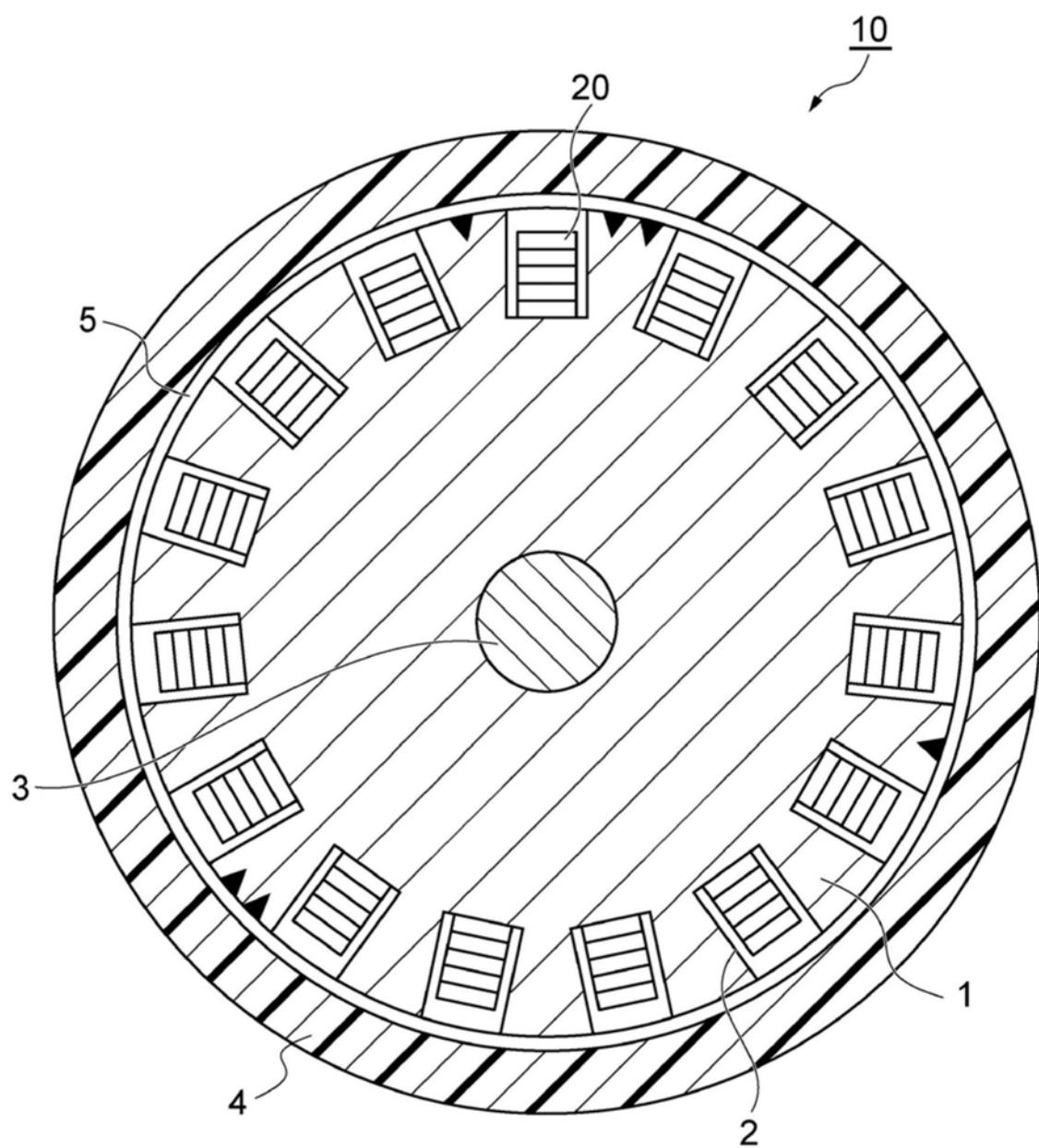


图3

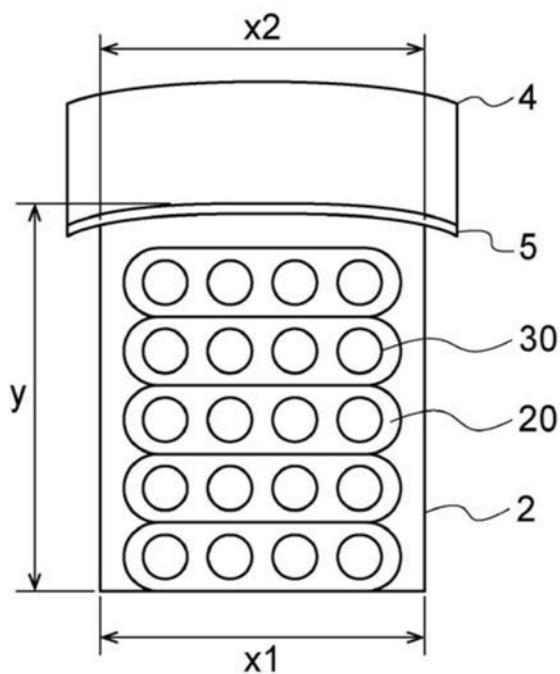


图4

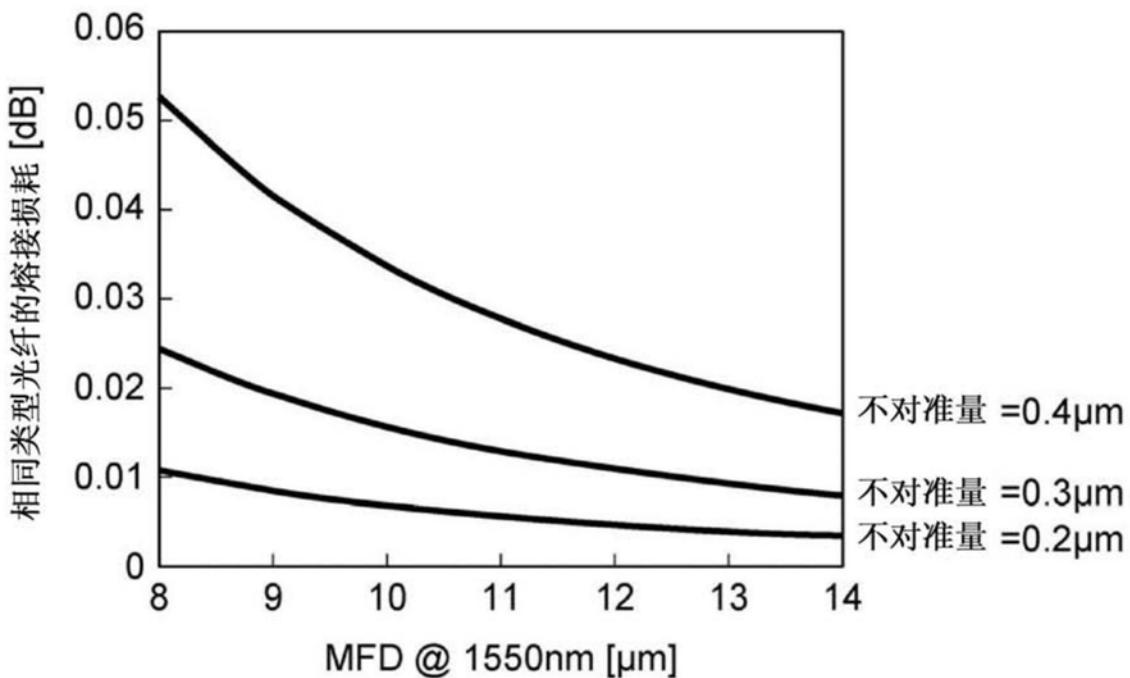


图5

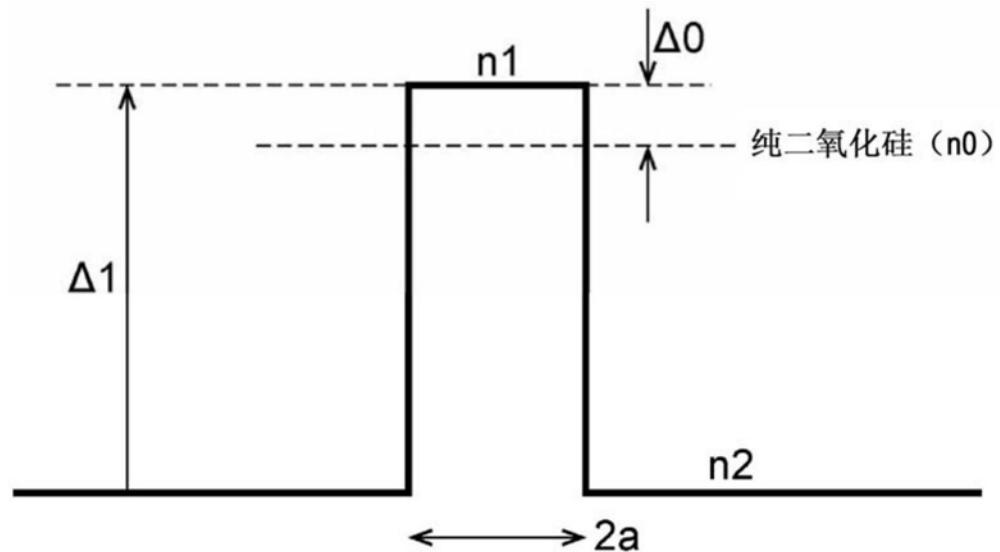


图6A

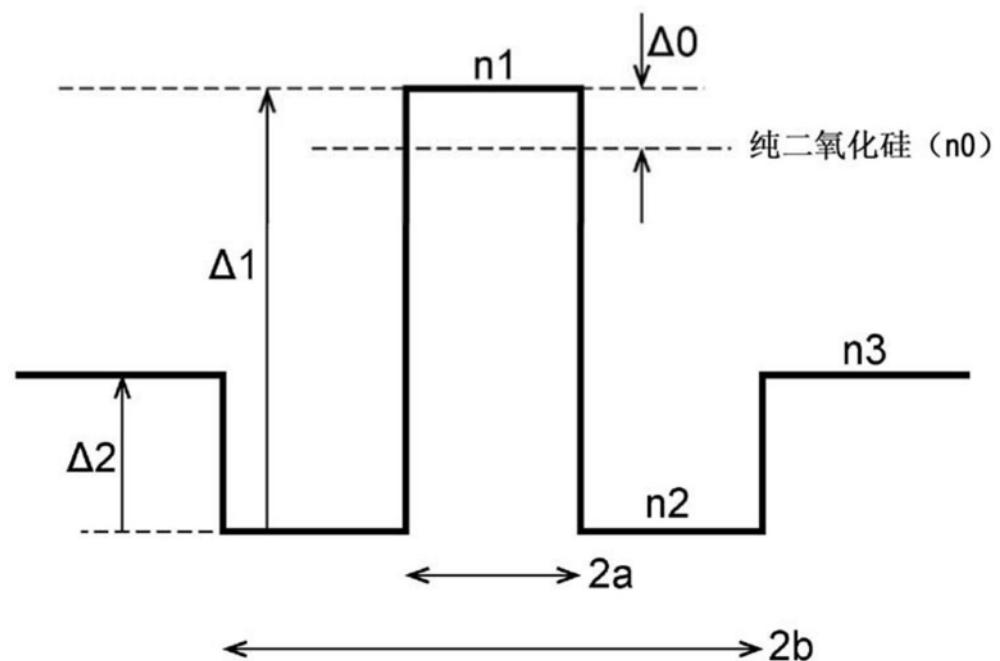


图6B

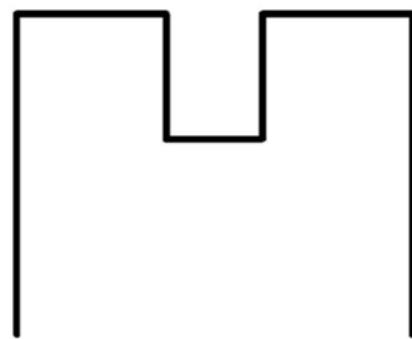


图7A

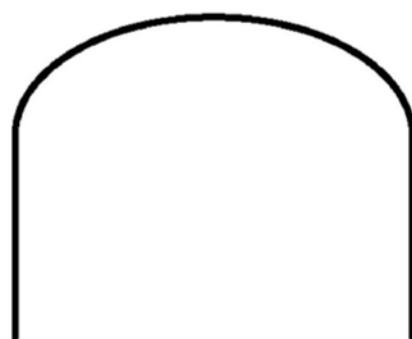


图7B

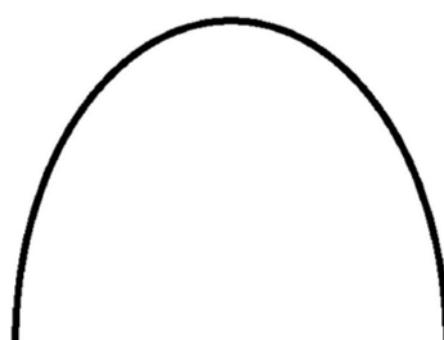


图7C

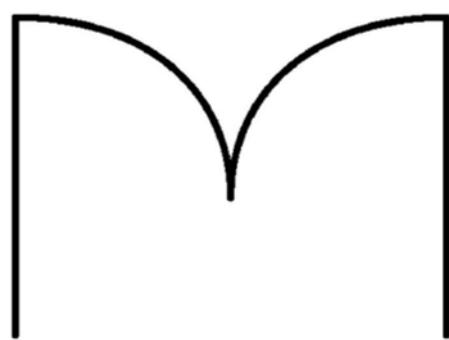


图7D

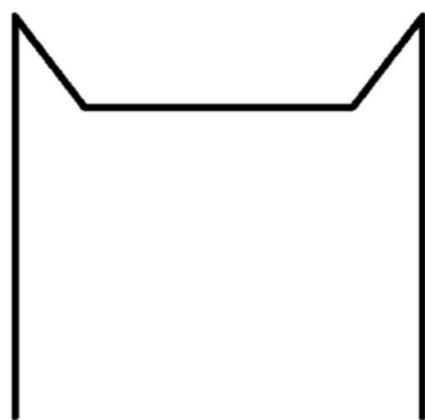


图7E

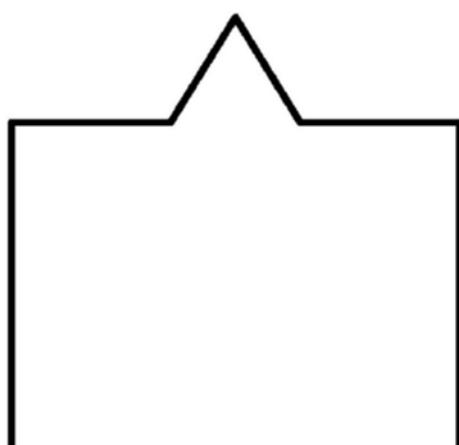


图7F

	$\Delta 0$ [%]	$\Delta 1$ [%]	$\Delta 2$ [%]	2a [μm]	2b [μm]	传输损耗 [dB/km]	MFD [μm]	A_{eff} [μm^2]	波长色散 [ps/mm/km]	截止波长 [nm]
光纤比较例	0.35	0.35	-	8.4	-	0.185	10.2	80	17	1260
光纤实例 1	0.32	0.32	-	10.6	-	0.180	11.2	100	19	1420
光纤实例 2	0.27	0.33	-0.06	12.0	50.4	0.178	11.6	111	21	1510
光纤实例 3	0.03	0.33	-0.08	11.3	46.3	0.162	11.3	110	20	1480
光纤实例 4	0.07	0.34	-0.09	12.2	52.5	0.170	11.8	113	20	1550
光纤实例 5	0.06	0.31	-0.10	12.9	54.2	0.159	12.4	125	21	1540

	40 个芯部的光缆			100 个芯部的光缆			200 个芯部的光缆			300 个芯部的光缆		
	SSE [b/s/Hz/mm ²] (13)	式 (14)	式 (15)									
光纤实例 1	2.0	Y	N	3.6	Y	Y	4.2	Y	Y	5.1	Y	Y
光纤实例 2	2.1	Y	N	3.7	Y	Y	4.4	Y	Y	5.2	Y	Y
光纤实例 3	2.2	Y	N	4.0	Y	Y	4.6	Y	Y	5.6	Y	Y
光纤实例 4	2.2	Y	N	3.9	Y	Y	4.5	Y	Y	5.4	Y	Y
光纤实例 5	2.3	Y	N	4.1	Y	Y	4.8	Y	Y	5.7	Y	Y

图9

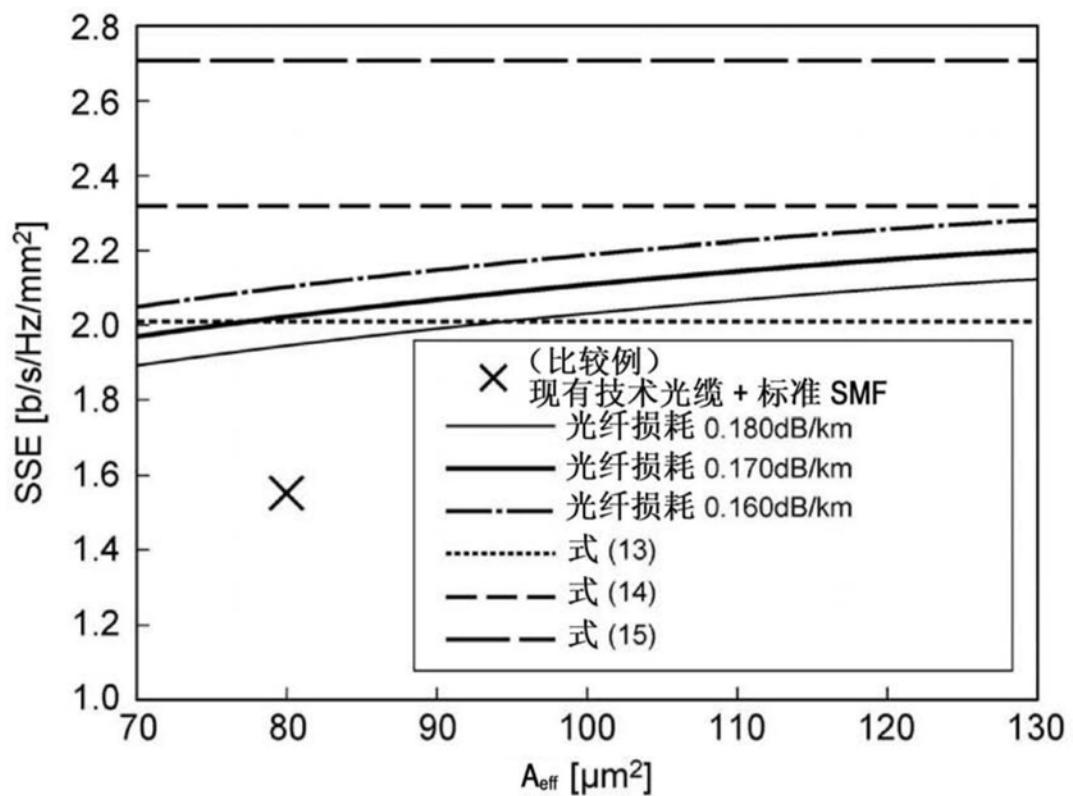


图10A

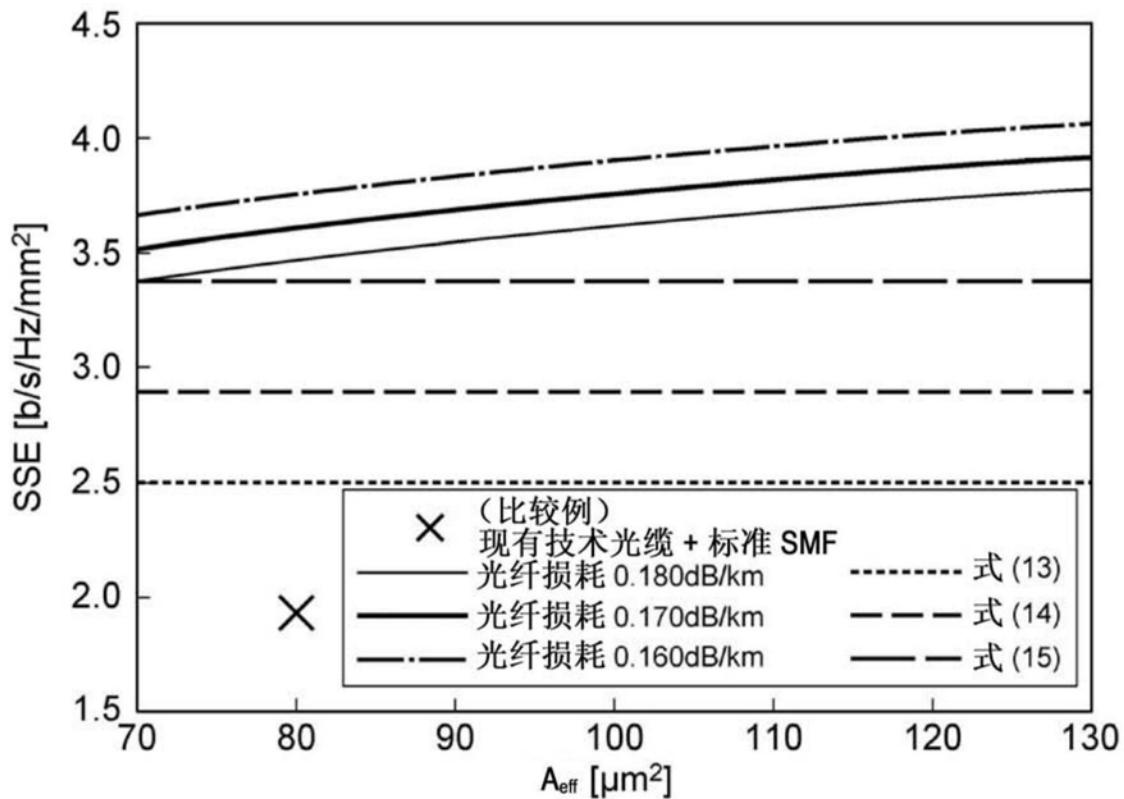


图10B

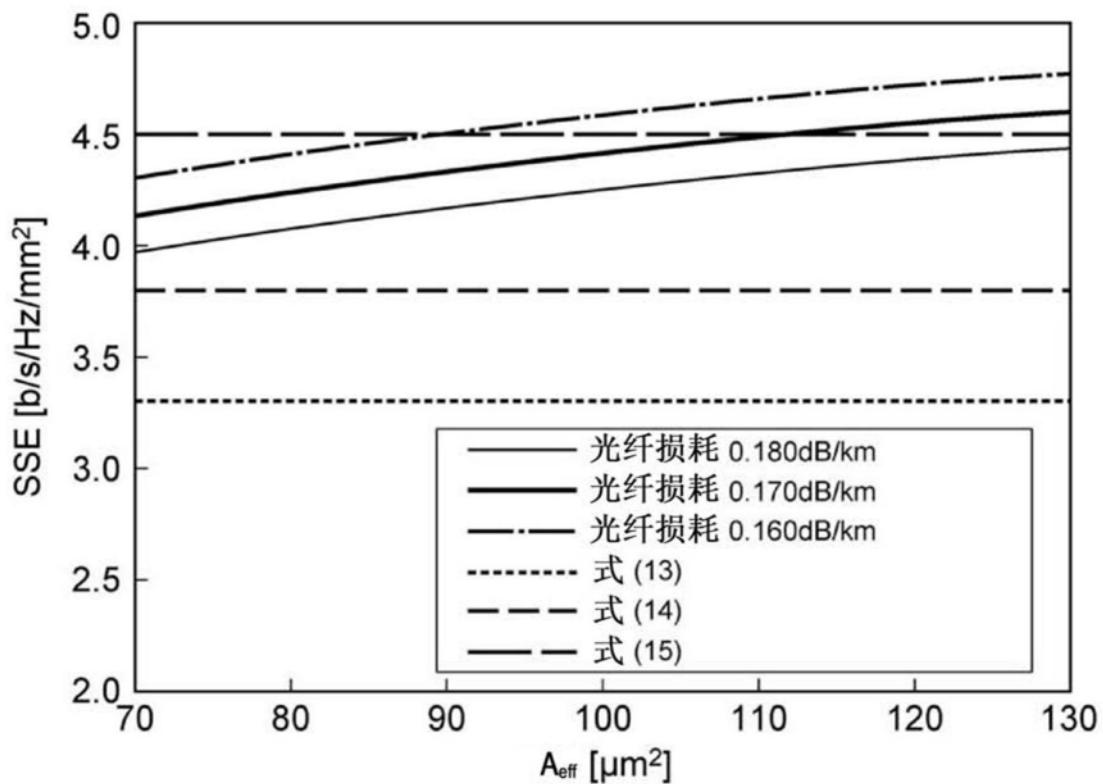


图11A

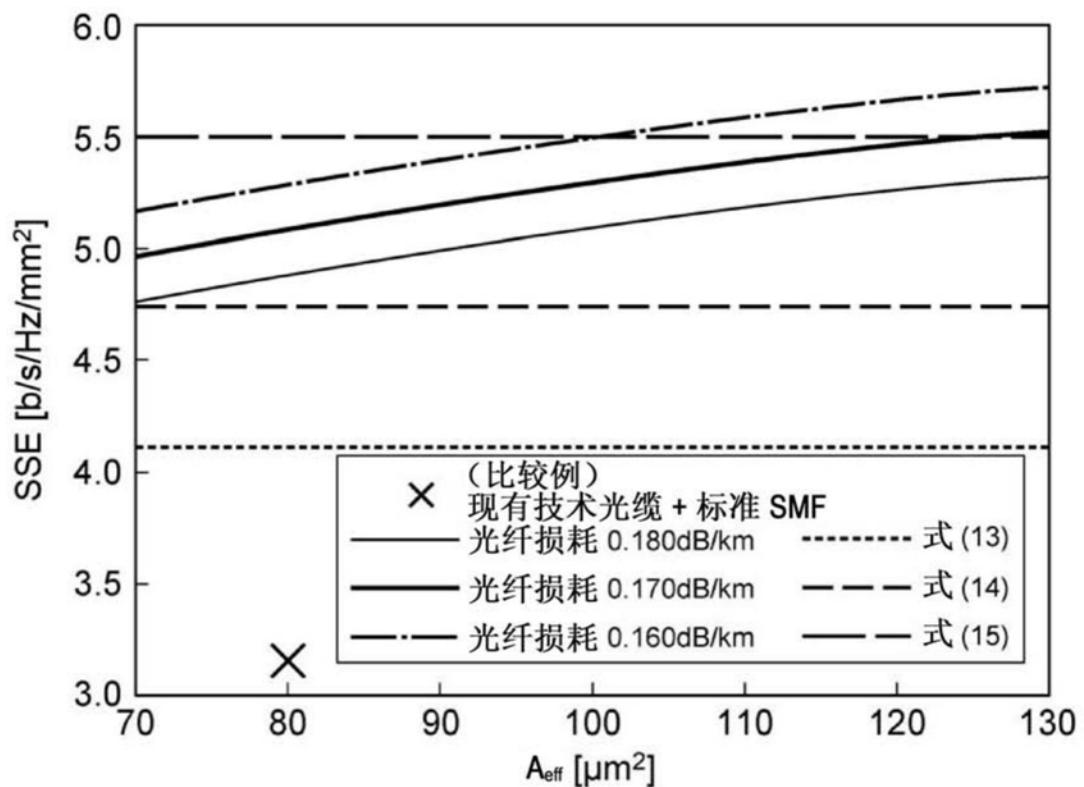


图11B

	光缆类型	光纤数量	槽的底部宽度 [mm]	槽的上部宽度 [mm]	槽的深度 [mm]	槽的截面积 [mm ²]	槽中的 光纤数量	A_{slot} [mm ² /芯]
光缆实例 1	带状开槽型	100	1.5	1.4	1.95	2.5	20	0.13
光缆实例 2	带状开槽型	100	1.2	1.5	2.00	3.0	20	0.15

图12