



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114556171 B

(45) 授权公告日 2025. 07. 01

(21) 申请号 202080071303.6

(22) 申请日 2020.10.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114556171 A

(43) 申请公布日 2022.05.27

(30) 优先权数据
2019-193666 2019.10.24 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.04.11

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/038650 2020.10.13

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/079788 JA 2021.04.29

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社
地址 日本大阪府

(72) 发明人 长谷川健美 川口雄挥 铃木雅人

(74) 专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事务
所(普通合伙) 11413
专利代理师 邵秋雨 刘继富

(51) Int. Cl.
G02B 6/02 (2006.01)
G02B 6/036 (2006.01)
G02B 6/028 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2006045450 A1, 2006.03.02
WO 2019122943 A1, 2019.06.27

审查员 邓瑞婕

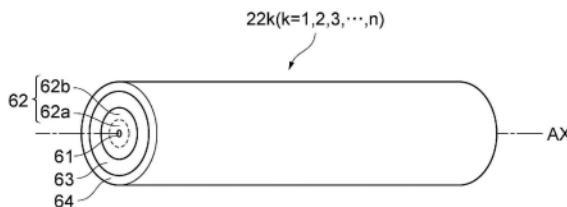
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

光纤和光缆

(57) 摘要

本发明涉及在保持与现有的SMF的兼容性的同时也能够适用于850nm以上且1060nm以下的短波段用的光收发器的光纤等。一个实施方式的光纤具有芯部(61)、包层(62)以及树脂被覆层(63、64),并且具有在波长1310nm为8.2 μ m以上且9.6 μ m以下的模场直径、1060nm以上且1260nm以下的LP11模式的光缆截止波长、以及1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长。



1. 一种光纤,其具有:
 - 芯部,其沿光纤轴延伸且由石英玻璃形成,
 - 包层,其设置在所述芯部的外周面上,由石英玻璃形成,且具有比所述芯部的最大折射率低的最大折射率,以及
 - 树脂被覆层,其设置在所述包层的外周面上;
 所述光纤具有:
 - 在波长1310nm为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径,
 - 1060nm以上且1260nm以下的LP11模式的光缆截止波长,以及
 - 1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长,
 - LP01模式与所述LP11模式之间的模式色散在850nm以上且1060nm以下的波长范围中为1000ps/km以下,
 - 沿与所述光纤轴正交的半径方向定义的所述芯部的半径为 $3\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下,
 - 在由距所述光纤轴为所述芯部的所述半径的0.2倍的、以所述光纤轴为中心的外周面所包围的所述芯部的内侧区域中,所述芯部的折射率分布具有与所述光纤轴一致的芯部中心的相对折射率差为所述芯部的最大相对折射率差的0.8倍以上的形状,
 - 在包围所述内侧区域的所述芯部的外侧区域中,所述芯部的所述折射率分布具有如下形状,该形状是用在所述内侧区域中定义的、距所述光纤轴为距离 r_0 的部位处的相对折射率差 Δ_0 ,距所述光纤轴为距离 r_1 的部位处的相对折射率差 Δ_1 ,以及距所述光纤轴为所述距离 r_0 以上且所述距离 r_1 以下的距离 r 的部位处的相对折射率差 Δ_r 满足
$$\Delta_r = \Delta_0 + (\Delta_1 - \Delta_0) \times ((r - r_0) / (r_1 - r_0))^\alpha$$
的关系的数式进行近似的形状,指数 α 为2.0以上且20以下,所述内侧区域是沿所述半径方向的所述距离 r_0 相对于与所述芯部的所述半径相当的所述距离 r_1 满足 $0 \leq r_0 / r_1 \leq 0.2$ 的关系的区域,
 - 所述光纤在所述波长1310nm的模场直径为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下,所述LP11模式的光缆截止波长为1060nm以上且1260nm以下,且所述LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下。
2. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述LP02模式的光缆截止波长为980nm以下。
3. 根据权利要求2所述的光纤,其中,所述LP02模式的光缆截止波长为850nm以下。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,直径15mm时的弯曲损耗在波长1625nm为1dB/圈以下,
- 所述包层包含内侧包层和外侧包层,所述内侧包层设置在所述芯部的外周面上,所述外侧包层设置在所述内侧包层的外周面上且具有比所述内侧包层的相对折射率差高的相对折射率差。
5. 根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,LP01模式与所述LP11模式之间的模式色散在850nm以上且1060nm以下的波长范围中的至少一个波长处为300ps/km以下。
6. 根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,所述包层的外径的、由沿所述光纤轴变动的标准偏差 σ 定义的值 3σ 处于 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下的范围。
7. 根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,所述指数 α 为2.5以上且5.0以下。
8. 一种光缆,具有多根光纤和包围所述多根光纤的护套,
- 所述多根光纤中的至少两根光纤分别具有芯部、包层以及树脂被覆层,所述芯部沿光纤轴延伸且由石英玻璃形成,所述包层设置在所述芯部的外周面上并由石英玻璃形成且具

有比所述芯部的最大折射率低的最大折射率,所述树脂被覆层设置在所述包层的外周面上,

所述多根光纤中的至少两根光纤分别具有在波长1310nm为8.2 μ m以上且9.6 μ m以下的模场直径、1060nm以上且1260nm以下的LP11模式的光缆截止波长、以及1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长,

LP01模式与所述LP11模式之间的模式色散在850nm以上且1060nm以下的波长范围中为1000ps/km以下,

在所述至少两根光纤的每一根中,

沿与所述光纤轴正交的半径方向定义的所述芯部的半径为3 μ m以上且10 μ m以下,

在由距所述光纤轴为所述芯部的所述半径的0.2倍的、以所述光纤轴为中心的外周面所包围的所述芯部的内侧区域中,所述芯部的折射率分布具有与所述光纤轴一致的芯部中心的相对折射率差为所述芯部的最大相对折射率差的0.8倍以上的形状,

在包围所述内侧区域的所述芯部的外侧区域中,所述芯部的所述折射率分布具有如下形状,该形状是用在所述内侧区域中定义的、距所述光纤轴为距离r0的部位处的相对折射率差 Δ_0 ,距所述光纤轴为距离r1的部位处的相对折射率差 Δ_1 ,以及距所述光纤轴为所述距离r0以上且所述距离r1以下的距离r的部位处的相对折射率差 Δ_r 满足

$\Delta_r = \Delta_0 + (\Delta_1 - \Delta_0) \times ((r - r_0) / (r_1 - r_0))^\alpha$ 的关系的数式进行近似的形状,指数 α 为2.0以上且20以下,所述内侧区域是沿所述半径方向的所述距离r0相对于与所述芯部的所述半径相当的所述距离r1满足 $0 \leq r_0 / r_1 \leq 0.2$ 的关系的区域,

所述光纤在所述波长1310nm的模场直径为8.2 μ m以上且9.6 μ m以下,所述LP11模式的光缆截止波长为1060nm以上且1260nm以下,且所述LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下。

9. 根据权利要求8所述的光缆,其中,在所述至少两根光纤的每一根中,所述LP02模式的光缆截止波长为980nm以下。

10. 根据权利要求9所述的光缆,其中,在所述至少两根光纤的每一根中,所述LP02模式的光缆截止波长为850nm以下。

11. 根据权利要求8至10中任一项所述的光缆,其中,在所述至少两根光纤的每一根中,直径15mm时的弯曲损耗在波长1625nm为1dB/圈以下。

12. 根据权利要求8至10中任一项所述的光缆,其中,所述指数 α 为2.5以上且5.0以下。

光纤和光缆

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤和光缆。

[0002] 本申请要求2019年10月24日提交的日本专利申请第2019-193666号的优先权,依据其内容并且参考其全文而加入到本说明书中。

背景技术

[0003] 在由光缆和光收发器的组合构成的光通信系统中,存在使系统传输性能相对于构筑系统所需的成本的比最大化的课题。通常,在超过约100km这样的长距离传输(long-haul transmission)中,从光放大器的必要性出发,采用具有优异的成本效益的EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier,掺铒光纤放大器)。作为传输介质,采用由1530nm以上且1625nm以下的波段用的多根单模光纤(Single Mode Fiber、以下记作“SMF”)构成的光缆。另一方面,传输距离长的光缆的制造和铺设所需的成本高也是一个原因,现在,通常采用价格高但高性能的相干方式的光收发器。与此相对,在小于100km、特别是小于10km的短距离传输(short-haul transmission)中,倾向采用更低价的光收发器,有时使用适合于低价的光收发器的光缆。最典型的例子是利用了多模VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser,垂直腔表面发射激光器)的光收发器与由多根多模光纤(Multimode Fiber、以下记作“MMF”)构成的光缆的组合。这样的光通信系统由于光收发器、光连接的低成本性优异,所以特别适用于小于100m的极短距离传输。

[0004] 此外,在专利文献1中公开有一种光纤,其能够在850nm波段、980nm波段、1060nm波段等短波段进行单模工作,且在上述短波段具有 $30\mu\text{m}^2$ 以上且 $110\mu\text{m}^2$ 以下的大有效面积(Effective Area)。上述的光学特性(短波段的有效截面积)通过例如具有 $3.0\mu\text{m}$ 以上且 $6.0\mu\text{m}$ 以下的半径和0.12%以上且0.35%以下的相对折射率差的芯部、以及具有-0.1%以下的相对折射率差和 $20\% \cdot \mu\text{m}^2$ 以上的沟槽体积的凹陷包层(depressed cladding)的光纤来实现。这样的光纤适于与利用了850nm以上且1060nm以下的波段用的单模VCSEL的光收发器组合。利用了单模VCSEL的光收发器价格低廉且能够高速传输,因此期待能够改善与构筑系统相关的成本效益。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:美国专利第9995873号说明书;

[0008] 专利文献2:日本特开2018-45028号公报。

发明内容

[0009] 本发明的实施方式的光纤具有芯部、包层以及树脂被覆层。芯部沿光纤轴(中心轴)延伸且由石英玻璃形成。包层设置在芯部的外周面上,由石英玻璃形成,且具有比该芯部的最大折射率低的最大折射率。树脂被覆层设置在包层的外周面上。具有这样结构的该光纤具有在波长1310nm为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径、1060nm以上且1260nm以下的

LP11模式的光缆截止波长、以及1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长。

附图说明

[0010] 图1是示出能够应用本发明的实施方式的光纤光缆的光通信系统的结构的一个例子的图。

[0011] 图2是示出本发明的实施方式的光纤的结构的一个例子的图。

[0012] 图3A为本发明的实施方式的光纤的一个例子与比较例的光纤各自的折射率分布。

[0013] 图3B是针对本发明的实施方式的光纤的多个样品与多个比较例分别示出指数 α 与模式色散的关系的图表。

具体实施方式

[0014] 发明要解决的问题

[0015] 本发明人对上述现有技术进行了研究,结果发现了以下问题。即,在1310nm以上且1625nm以下的波段的现有的长距离传输中采用上述专利文献1的光纤的情况下,由于高弯曲损耗或由于小模场直径产生高连接损耗,因此,与现有的单模光纤不兼容。这是因为上述专利文献1的光纤在850nm波段、980nm波段或1060nm波段等短波段要求单模工作。在技术上,通过在芯部的外侧依次配置内侧包层、沟槽层以及外侧包层,并且降低该沟槽层的折射率,从而能够降低弯曲损耗。但是,这样的多层的包层结构的制造存在生产性低的问题。

[0016] 进而,在铺设包含上述专利文献1的光纤的光缆的情况下,在刚铺设后能够享受使用850nm以上且1060nm以下的波段用的高性能的光收发器所带来的成本效益。但是,也需要考虑将来1310nm以上且1625nm以下的波段用的光收发器的技术发展的情况。即,可知,在产生将上述专利文献1的光纤与上述的1310nm以上且1625nm以下的波段用的光收发器组合的必要性的情况下,很明显这样的组合的传输性能比上述的1310nm以上且1625nm以下的波段用的光收发器与包含现有的SMF的光缆的组合的传输性能差。重新铺设光缆是一个解决方案,但是在这种情况下,存在芯数(收容在光缆内的光纤的根数)的增大和传输距离的增大,并且重新铺设光缆的费用也增加的问题。

[0017] 本发明是为了解决上述问题而完成的,其目的在于提供一种在保持与现有的SMF的兼容性的同时也能够适用于850nm以上且1060nm以下的短波段用的光收发器的光纤和光缆。

[0018] 发明效果

[0019] 根据本发明的光纤和光缆能够构筑如下光传输线路,其在保持与现有的SMF(1310nm以上且1625nm以下的波段的现有的长距离传输用介质)的兼容性的同时还能够适用于850nm以上且1060nm以下的波段用的低价光收发器。

[0020] [本发明的实施方式的说明]

[0021] 首先,分别单独列举本发明的实施方式的内容来进行说明。

[0022] (1)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,其具有芯部、包层以及树脂被覆层。芯部沿光纤轴(中心轴)延伸且由石英玻璃形成。包层设置在芯部的外周面上,由石英玻璃形成,且具有比该芯部的最大折射率低的最大折射率。树脂被覆层设置在包层的外周面上。具有这样的结构的该光纤具有在波长1310nm为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径、

1060nm以上且1260nm以下的光纤截止波长、以及1060nm以下的光纤截止波长。另外在本说明书中,以纯石英玻璃(折射率 n_0)为基准的某介质(折射率 n)的相对折射率差 Δ 由下式给出:

$$[0023] \quad \Delta = (n/n_0) - 1。$$

[0024] 另外,规定的模式的截止波长定义为在具有规定的弯曲状态的规定长度的光纤中,该模式的传输损耗为19.3dB以上的波长的最小值。在光纤截止波长的情况下,以在22m的光纤中对1m长的两端部各赋予1周直径80mm的弯曲并且将20m长的中间部卷绕成直径280mm的状态进行测定。

[0025] 该光纤在波长1260nm以上以单模进行工作,在1060nm以上且1260nm以下以LP01和LP11这两种LP模式进行工作,在1060nm以下以包含LP01、LP02和LP11的三种以上的LP模式进行工作。LP11模式为奇模,LP01模式为偶模,因此,通过抑制连接点处的轴偏移和角度偏移能够抑制LP01模式与LP11模式之间的模式耦合,与此相对,LP02模式与LP11模式同是偶模,因此即使假设抑制了轴偏移和角度偏移,也会由于芯部直径、NA的偏差而产生LP01模式与LP02模式之间的模式耦合。因此,通过抑制连接点处的轴偏移和角度偏移,能够有效地将以单模进行工作的下限波长从1260nm扩大到1060nm。

[0026] 在该光纤中,芯部中心的距包层中心的偏心量优选为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $0.3\mu\text{m}$ 以下。此外,包层的不圆度优选为1.0%以下,更优选为0.7%以下。由此,通过抑制连接点处的轴偏移和角度偏移,能够有效地将以单模进行工作的下限波长从1260nm扩大到1060nm。

[0027] 通过该结构,该光纤作为在保持与1310nm以上且1625nm以下的波段的现有的长距离传输用SMF(现有的SMF)的兼容性的同时还能够适用于波长1060nm附近的短波段的高速传输的传输介质,能够实现更宽的波段的信号传输。

[0028] (2)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,LP02模式的光纤截止波长可以为980nm以下。在该情况下,作为在保持上述那样的与现有的SMF的兼容性的同时还能够适用于波长980nm附近的短波段的高速传输的传输介质,也能够实现更宽的波段的信号传输。

[0029] 在该光纤中,芯部中心的距包层中心的偏心量优选为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $0.3\mu\text{m}$ 以下。此外,包层的不圆度优选为1.0%以下,更优选为0.7%以下。由此,通过抑制连接点处的轴偏移和角度偏移,能够有效地将以单模进行工作的下限波长从1260nm扩大到980nm。

[0030] (3)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,LP02模式的光纤截止波长可以为850nm以下。在该情况下,作为在保持上述那样的与现有的SMF的兼容性的同时还能够适用于波长850nm附近的短波段的高速传输的传输介质,也能够实现更宽的波段的信号传输。

[0031] 在该光纤中,芯部中心的距包层中心的偏心量优选为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $0.3\mu\text{m}$ 以下。此外,包层的不圆度优选为1.0%以下,更优选为0.7%以下。由此,通过抑制连接点处的轴偏移和角度偏移,能够有效地将以单模进行工作的下限波长从1260nm扩大到850nm。

[0032] (4)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,优选直径15mm时的弯曲损耗在波长1625nm为1dB/圈以下。此外,包层可以包含设置在芯部的外周面上的内侧包层和设置在该内侧包层的外周面上的外侧包层,且该外侧包层具有比该内侧包层的相对折射率差高的相对折射率差。在该情况下,该光纤能够在适用于850nm以上且1060nm以下的短波段的高速传输的同时还能够适用于波长1625nm的高空间密度且高速的传输。

[0033] (5)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,优选LP01模式与LP11模式之间的

模式色散在850nm以上且1060nm以下的波长范围中为1000ps/km以下。在该情况下,在850nm以上且1060nm以下的宽波长范围中,即使由于低品质的连接等而激励LP11模式的情况下,也能够有效地抑制由该LP11模式引起的噪声(对于LP01模式而言的噪声)的产生,能够实现稳定的高速传输。

[0034] (6)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,优选LP01模式与LP11模式之间的模式色散在850nm以上且1060nm以下的波长范围中的至少一个波长为300ps/km以下。在该情况下同样,即使由于低品质的连接等而激励LP11模式的情况下,也能够有效地抑制由该LP11模式引起的噪声的产生,结果是能够实现稳定的高速传输。

[0035] (7)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,优选以包层的外径的、由沿光纤轴变动(外径变动)的标准偏差 σ 定义的值 3σ 处于 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下的范围。在此,标准偏差 σ 由光纤轴方向的位置 z 处的包层外径 $d(z)$ 表示,在将100km以上的长度 L 的范围的 $d(z)$ 和 $d^2(z)$ 的平均值分别用 $\langle d \rangle$ 和 $\langle d^2 \rangle$ 表示时,标准偏差 σ 由 $\sigma = \{\langle d^2 \rangle - \langle d \rangle^2\}^{1/2}$ 定义。此外,更优选值 3σ 处于 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下的范围。通过外径变动的 3σ 的上限为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,能够将光纤的结构变动引起的模式耦合抑制得低。另一方面,在 3σ 的下限为 $0.1\mu\text{m}$ 以上的情况下,能够确保长的冷却时间,在 3σ 的下限为 $0.2\mu\text{m}$ 以上的情况下,能够确保更长的冷却时间,因此能够将传输损耗抑制得低。因此,通过 3σ 处于上述范围,能够实现长距离且高速的传输。

[0036] 进而,优选光纤的外径变动中由周期为 0.1mm 以上且 100mm 以下的频率分量带来的外径变动处于 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下的范围。在多数的高阶模式中,与LP01模式之间的传播常数差的倒数为 0.1mm 以上且 100mm 以下,因此,通过使上述那样的特定频率分量的带来的外径变动处于上述范围,能够将模式耦合和传输损耗抑制得低,实现长距离且高速的传输。此外,为了抑制偏振模式色散,光纤通常通过拉丝时赋予转矩来赋予长度方向的扭转,优选该扭转的旋转速度为 0 次/m以上且 10 次/m以下。由于容易与旋转同步地产生外径变动,因此通过使旋转速度处于上述范围,能够将模式耦合和传输损耗抑制得低。

[0037] (8)作为本发明的实施方式的光纤的一个方面,该光纤为了实现在波长 1310nm 为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径、 1060nm 以上且 1260nm 以下的LP11模式的光缆截止波长、以及 1060nm 以下的LP02模式的光缆截止波长,调节该光纤的芯部半径(或外径)和折射率分布形状。具体而言,优选沿与光纤轴正交的半径方向定义的芯部的半径为 $3\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下(由与光纤轴正交的直径方向定义的芯部的外径为 $6\mu\text{m}$ 以上且 $20\mu\text{m}$ 以下)。此外,在芯部的内侧区域(由距光纤轴为芯部的半径的 0.2 倍且以该光纤轴为中心的外周面所包围的区域)中,优选该芯部的折射率分布具有被调整成与光纤轴一致的芯部中心的相对折射率差为该芯部的最大相对折射率差的 0.8 倍以上的形状(该折射率分布的凹陷得到改善的形状)。进而,在包围内侧区域的芯部的外侧区域中,该芯部的折射率分布具有如下形状,该形状满足在沿半径方向的距离 r_0 为相当于芯部半径的距离 r_1 的 0.2 倍以下的内侧区域中所定义的、沿半径方向距光纤轴为距离 r_0 的部位处的相对折射率差 Δ_0 ,距光纤轴为距离 r_1 的部位处的相对折射率差 Δ_1 ,以及距光纤轴为距离 r_0 以上且距离 r_1 以下的距离 r 的部位处的相对折射率差 Δ_r 用下式(1):

$$[0038] \quad \Delta_r = \Delta_0 + (\Delta_1 - \Delta_0) \times ((r - r_0) / (r_1 - r_0))^\alpha \cdots (1)$$

[0039] 进行近似的关系。在此,“近似的关系”定义为上述式(1)的左边的值作为以右边的

值为中心的相对值处于 $\pm 5\%$ 的范围。在半径 $r \leq r_0$ 时, Δ_r 与 Δ_0 大致相等。特别是, 通过上述式(1)中的指数 α 调节至2.0以上且20以下, 从而如上所述, 波长1310nm的模场直径为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下, LP11模式的光缆截止波长为1060nm以上且1260nm以下, 且LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下。

[0040] (9) 作为本发明的实施方式的光纤的一个方面, 优选上述式中的指数 α 为2.5以上且5.0以下。在该情况下, 即使由于低品质的连接等而激励LP11模式的情况下, 也能够有效地抑制由该LP11模式引起的噪声的产生, 结果是能够实现稳定的高速传输。

[0041] (10) 作为本发明的实施方式的光缆的一个方面, 其具有多根光纤和包围该多根光纤的护套 (sheath)。特别是, 多根光纤中的至少两根光纤分别具有芯部、包层以及树脂被覆层。芯部沿光纤轴延伸且由石英玻璃形成。包层设置在该芯部的外周面上, 由石英玻璃形成, 且具有比该芯部的最大折射率低的最大折射率。树脂被覆层设置在包层的外周面上。特别是具有这样结构的至少两根光纤具有在波长1310nm为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径、1060nm以上且1260nm以下的LP11模式的光缆截止波长、以及1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长。在该情况下, 除了能够适用于在1310nm以上且1625nm以下的波段的光通信中使用的现有的光收发器以外, 还能够适用于在波长1060nm的光通信中使用的光收发器 (能够实现波长1060nm的光通信)。

[0042] (11) 作为本发明的实施方式的光缆的一个方面, 优选在至少两根光纤的每一根中, LP02模式的光缆截止波长为980nm以下。在该情况下, 除了能够适用于在1310nm以上且1625nm以下的波段的光通信中使用的现有的光收发器以外, 还能够适用于在波长980nm的光通信中使用的光收发器。

[0043] (12) 作为本发明的实施方式的光缆的一个方面, 在至少两根光纤的每一根中, LP02模式的光缆截止波长可以为850nm以下。在该情况下, 除了能够适用于在1310nm以上且1625nm以下的波段的光通信中使用的光收发器以外, 还能够适用于波长850nm的光收发器。

[0044] (13) 作为本发明的实施方式的光缆的一个方面, 优选在至少两根光纤的每一根中, 直径15mm时的弯曲损耗在波长1625nm为1dB/圈以下。在该情况下, 除了能够适用于在850nm以上且1060nm以下的波段的光通信中使用的光收发器以外, 还能够适用于在1310nm以上且1625nm以下的波段中的高空间密度的高速传输。

[0045] (14) 作为本发明的实施方式的光缆的一个方面, 在至少两根光纤的每一根中, 为了实现在波长1310nm为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下的模场直径、1060nm以上且1260nm以下的LP11模式的光缆截止波长、以及1060nm以下的LP02模式的光缆截止波长, 调节芯部半径 (或外径) 和折射率分布形状。具体而言, 优选沿与光纤轴正交的半径方向定义的芯部的半径为 $3\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下 (芯部外径为 $6\mu\text{m}$ 以上且 $20\mu\text{m}$ 以下)。此外, 在芯部的内侧区域 (由距光纤轴为芯部的半径的0.2倍且以该光纤轴为中心的外周面所包围的区域) 中, 优选芯部的折射率分布具有被调节成与光纤轴一致的芯部中心的相对折射率差为芯部的最大相对折射率差的0.8倍以上的形状 (该折射率分布的凹陷得到改善的形状)。进而, 在包围内侧区域的芯部的外侧区域中, 该芯部的折射率分布具有如下形状, 该形状满足在沿半径方向的距离 r_0 为相当于芯部半径的距离 r_1 的0.2倍以下的内侧区域中所定义的、沿半径方向距光纤轴为距离 r_0 的部位处的相对折射率差 Δ_0 , 距光纤轴为距离 r_1 的部位处的相对折射率差 Δ_1 , 以及距光纤轴为距离 r_0 以上且距离 r_1 以下的距离 r 的部位处的相对折射率差 Δ_r 用上述式(1)

进行近似的关系。特别是通过上述式中的指数 α 调节至2.0以上且20以下,从而如上所述,在波长1310nm的模场直径为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下,LP11模式的光缆截止波长为1060nm以上且1260nm以下,且LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下。

[0046] (15)作为本发明的实施方式的光缆的一个方面,优选上述式中的指数 α 为2.5以上且5.0以下。在该情况下,即使由于低品质的连接等而激励LP11模式的情况下,也能够有效地抑制由该LP11模式引起的噪声的产生,结果是能够实现稳定的高速传输。

[0047] 以上,该[本发明的实施方式的说明]栏中列举出的各方面能够适用于其余的所有方面的每一个,或者能够适用于这些其余方面的所有组合。

[0048] [本发明的实施方式的详细内容]

[0049] 以下,一边参照以下所附的附图一边详细说明本发明的光纤和光缆的具体例。需要说明的是,本发明不限于这些示例,而是通过权利要求书所表示的,并且意在包含与权利要求书等同的含义和范围内的全部变更。此外,在附图的说明中,对相同的要素采用相同的附图标记,省略重复的说明。

[0050] 图1是示出能够应用本发明的实施方式的光缆的光通信系统的结构的一个例子的图。图1所示的光通信系统1具有:作为传输介质的光缆2,配置在该光缆2的一个端部侧的n个光收发器 $3_1, 3_2, 3_3, \dots, 3_n$,以及配置在该光缆2的另一个端部侧的n个光收发器 $4_1, 4_2, 4_3, \dots, 4_n$ 。在此,“n”为2以上且100000以下的整数,整数“n”的下限条件优选为10以上、100以上、或也可以是1000以上。此外,从n个光收发器 $3_1, 3_2, 3_3, \dots, 3_n$ 分别延伸出n根连接用光布线(光纤) $5_1, 5_2, 5_3, \dots, 5_n$,并且,从n个光收发器 $4_1, 4_2, 4_3, \dots, 4_n$ 分别延伸出n根连接用光布线(光纤) $6_1, 6_2, 6_3, \dots, 6_n$ 。

[0051] 光缆2具有:n根光纤 $22_1, 22_2, 22_3, \dots, 22_n$,以及收容这n根光纤的护套(sheath)21。另外,为了容易操作,也可以将n根光纤 $22_1, 22_2, 22_3, \dots, 22_n$ 分成多个组,将各个光纤组分别进行带化后,再将得到的多个带进行单元化。

[0052] n根光纤 $22_1, 22_2, 22_3, \dots, 22_n$ 的一个端部经由n个光连接器 $23_1, 23_2, 23_3, \dots, 23_n$ 分别与从n个光收发器 $3_1, 3_2, 3_3, \dots, 3_n$ 延伸出的n个连接用光布线 $5_1, 5_2, 5_3, \dots, 5_n$ 连接。此外,n根光纤 $22_1, 22_2, 22_3, \dots, 22_n$ 的另一个端部经由n个光连接器 $24_1, 24_2, 24_3, \dots, 24_n$ 分别与从n个光收发器 $4_1, 4_2, 4_3, \dots, 4_n$ 延伸出的n根连接用光布线 $6_1, 6_2, 6_3, \dots, 6_n$ 连接。在此,光连接器 23_k ($k=1, 2, 3, \dots, n$)包括用于将光纤 22_k ($k=1, 2, 3, \dots, n$)的一个端部和连接用光布线 5_k ($k=1, 2, 3, \dots, n$)的端部以光学连接的状态固定的、具有定位机构的结构体(该结构体本身作为光连接器发挥功能)。同样,光连接器 24_k ($k=1, 2, 3, \dots, n$)包括用于将光纤 22_k 的另一个端部和连接用光布线 6_k ($k=1, 2, 3, \dots, n$)的端部以光学连接的状态固定的、具有定位机构的结构体。在图1的例子中,示出有用1个光连接器实现1根光纤的光学连接的单芯连接器结构,但也可以采用用1个光连接器实现多根光纤的光学连接的多芯连接器结构。

[0053] 在图1所示的n根光纤 $22_1, 22_2, 22_3, \dots, 22_n$ 的每一根或它们中的至少两根光纤的每一根中,LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下,优选为980nm以下,更优选为850nm以下。此外,LP11模式的光缆截止波长为1260nm以下。直径15mm时的弯曲损耗在波长1625nm为1dB/圈以下。在波长1310nm的模场直径为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下。通过将具有上述的光学特性的光纤用作传输介质,不仅能够进行1260nm以上且1625nm以下的波段的光收发器的光传输,还能够通过将连接部(光连接器)的轴偏移和角度偏移引起的模式耦合控制得低,从

而进行使用850nm波段、980nm波段、1060nm波段等短波段(850nm以上且1060nm以下的波长范围)用的光收发器的光传输。结果是,无需重新铺设光缆,通过使用当时最适当的波段的光收发器就能够使光通信系统的性价比最优化。

[0054] 进而,在n根光纤 22_1 、 22_2 、 22_3 、 \dots 、 22_n 的每一根或它们中的至少两根光纤的每一根中,优选模式色散也最优化。具体而言,在波长1060nm、波长980nm、或波长850nm,LP01模式与LP11模式之间的模式色散为1000ps/km以下,优选为300ps/km以下。在该情况下,即使由于连接中的轴偏移和角度偏移而激励LP11模式,也能够有效地抑制由该LP11模式引起的噪声(对于LP01模式而言的噪声)的产生,因此能够提高该光通信系统1的传输性能或者降低连接成本。

[0055] 另外,最优选光缆2所包含的n根光纤 22_1 、 22_2 、 22_3 、 \dots 、 22_n 全部满足光纤的上述光学特性。但是,也可以根据对该光通信系统1的传输性能、制造成本的要求而构成为按构成光缆2的每个单元、或者构成各单元的每个带(作为光纤组进行使用的一个单位),使成为对象的单元或成为对象的带所包含的全部光纤满足上述光学特性,由此能够实现性价比的最优化。

[0056] 图2是示出图1所示的n根光纤 22_1 、 22_2 、 22_3 、 \dots 、 22_n 中的第k根光纤 22_k ($k=1、2、3、\dots、n$)的结构的一个例子的图。另外,图2所示的结构不需要应用于收容在光缆2的护套(sheath)21内的全部n根光纤 22_1 、 22_2 、 22_3 、 \dots 、 22_n ,应用于至少两根光纤即可。

[0057] 光纤 22_k 具有沿光纤轴(中心轴)AX延伸的芯部61、设置在芯部61的外周面上的包层62、设置在包层62的外周面上的第1被覆层63、以及第2被覆层64。另外,第1被覆层63和第2被覆层64构成设置在包层62的外周面上的树脂被覆层。

[0058] 在图2的例子中,包层62具有设置在芯部的外周面上的内侧包层62a和设置在内侧包层62a的外周面上的外侧包层62b。在此,芯部61和包层62(内侧包层62a和外侧包层62b)由石英玻璃形成,可以包含Ge、F、Cl、Br、P等用于调节折射率的添加物。内侧包层62a具有比芯部61的折射率低的折射率。外侧包层62b具有比芯部61的折射率低且比内侧包层的折射率高的折射率。因此,芯部61具有比包层62的最大折射率高的最大折射率。芯部61的最大相对折射率差(以纯石英玻璃为基准的值)为0.2%以上且0.6%以下。芯部61的外径为 $6\mu\text{m}$ 以上且 $20\mu\text{m}$ 以下。即,芯部61的半径(从光纤轴AX到芯部外周的距离)为 $3\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下。通过这样的芯部结构,在波长1260nm具有单一的波导模式(能够单模工作)。优选包层62的外径(外侧包层62b的外径)为 $124\mu\text{m}$ 以上且 $126\mu\text{m}$ 以下的标准外径(玻璃外径)。此外,通过这样的芯部结构,该光纤 22_k 能够在适用于850nm以上且1060nm以下的短波段的高速传输的同时还能够适用于波长1625nm的高空间密度且高速的传输。

[0059] 第1被覆层63和第2被覆层64由聚氨酯丙烯酸酯系的紫外线固化性树脂形成。优选第1被覆层具有 $15\mu\text{m}$ 以上且 $40\mu\text{m}$ 以下的厚度(沿与光纤轴AX正交的半径方向定义的内径与外径的差)和0.05MPa以上且0.5MPa以下的弹性模量。第2被覆层64具有 $15\mu\text{m}$ 以上且 $40\mu\text{m}$ 以下的厚度和500MPa以上且2000MPa以下的弹性模量。由此,可有效地屏蔽从该光纤 22_k 的侧方施加到玻璃部分(由芯部61和包层62构成的部分)的外力。

[0060] 接下来,图3A为本发明的实施方式的光纤的一个例子和比较例的光纤各自的折射率分布。在图3A中,310为本发明的实施方式的光纤 22_k 的折射率分布,320为比较例的光纤的折射率分布。

[0061] 在芯部61的内侧区域(由距光纤轴AX为芯部61的半径的0.2倍且以该光纤轴AX为中心的外周面所包围的区域)中,芯部61的折射率分布310具有如下结构:以与光纤轴AX一致的芯部中心的相对折射率差为芯部61的最大相对折射率差的0.8倍以上的方式减少或去除该折射率分布310的凹陷。进而,在包围内侧区域的芯部61的外侧区域中,芯部61的折射率分布310具有如下形状,该形状满足在沿半径方向的距离 r_0 为相当于芯部半径的距离 r_1 的0.2倍以下的内侧区域中所定义的、沿半径方向距光纤轴AX为距离 r_0 的部位处的相对折射率差 Δ_0 ,距光纤轴AX为距离 r_1 的部位处的相对折射率差 Δ_1 ,以及距光纤轴AX为距离 r_0 以上且距离 r_1 以下的距离 r 的部位处的相对折射率差 Δ_r 用下式(2):

$$[0062] \quad \Delta_r = \Delta_0 + (\Delta_1 - \Delta_0) \times ((r - r_0) / (r_1 - r_0))^\alpha \quad (2)$$

[0063] 进行近似的关系。在半径 $r \leq r_0$ 时, Δ_r 与 Δ_0 大致相等。特别是,通过调节上述式(2)中的指数 α ,从而如上所述,波长1310nm的模场直径为 $8.2\mu\text{m}$ 以上且 $9.6\mu\text{m}$ 以下,LP11模式的光缆截止波长为1060nm以上且1260nm以下,且LP02模式的光缆截止波长为1060nm以下。

[0064] 具体而言,在本发明的实施方式的光纤22_k中,芯部61由包含Ge的石英玻璃形成,且具有 $4.65\mu\text{m}$ 以上且 $5.0\mu\text{m}$ 以下的半径和 $0.42\% \pm 0.01\%$ 的最大相对折射率差。决定外侧区域的分布形状的上述式(2)的指数 α 的值为 3.4 ± 0.1 。包层62具有由内侧包层62a和外侧包层62b构成的双重包层结构,内侧包层62a由包含F的石英玻璃形成,且具有 $-0.07\% \pm 0.01\%$ 的相对折射率差。(芯部61的半径)/(内侧包层62a的外半径)的比为 0.25 ± 0.02 。外侧包层62b由纯石英玻璃形成,且具有 $62.5\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$ 的外半径(包层外径)。

[0065] 另一方面,比较例的光纤除芯部61的内侧区域的分布形状以外,具有与上述的光纤22_k同样的结构。即,在芯部的内侧区域中,折射率分布320具有根据上述式(2)的形状(芯部中心的相对折射率差为 Δ_0 ,内侧区域的外周部的相对折射率差为 Δ_1 ,指数 α 为3.4),芯部中心的相对折射率差 Δ_0 低至最大相对折射率差的 0.8 ± 0.1 倍。由于芯部的制造技术的影响,会产生芯部中心的这样的折射率的凹陷。与此相对,本发明的实施方式的光纤22_k的折射率分布310通过调节制造条件而去除了芯部中心的折射率的凹陷。特别是,通过VAD法制造芯部,可抑制芯部中心的折射率的凹陷,因此优选。在OVD法和CVD法的情况下,在将圆筒状的玻璃体实心化时,由于添加物脱离,可能产生芯部中心的折射率的凹陷,但优选预先多添加会脱离的量的添加剂。

[0066] 图3B是对于具有上述那样的结构的光纤22_k(本发明的实施方式的光纤)的多个样品和多个比较例分别示出指数 α 与模式色散的关系的图表。具体而言,图3B所示的图表示出将上述式(2)中的指数 α 在2.6以上且5.0以下的范围内变更时的样品和比较例的模式色散的变化。

[0067] 另外,在图3B中,图表311示出LP02模式的光缆截止波长被设定为850nm的光纤22_k的第1样品的测定结果(指数 α 与模式色散的关系),图表312示出LP02模式的光缆截止波长被设定为980nm的光纤22_k的第2样品的测定结果,图表313示出LP02模式的光缆截止波长被设定为1060nm的光纤22_k的第3样品的测定结果。另一方面,点321示出LP02模式的光缆截止波长被设定为850nm的第1比较例的测定结果(指数 α 与模式色散的关系),点322示出LP02模式的光缆截止波长被设定为980nm的第2比较例的测定结果,点323示出LP02模式的光缆截止波长被设定为1060nm的第3比较例的测定结果。

[0068] 从图3B可知,光纤22_k的第1样品、第2样品以及第3样品均能够在指数 α 的最优值处

将模式色散抑制为300ps/km以下,因此适于高速传输。另外,第1样品的指数 α 的最优值在 2.8 ± 0.1 附近,第2样品的指数 α 的最优值在 3.4 ± 0.1 附近,第3样品的指数 α 的最优值在 4.6 ± 0.1 附近。此外,通过将指数 α 的值设定为 3.4 ± 0.1 (3.3以上且3.5以下的范围),能够在850nm波段、980nm波段、以及1060nm波段的全部波段(850nm以上且1060nm以下的波长范围)中,将模式色散抑制为1000ps/km以下。此外,在该 α 中,图表311、312、313与点321、322、323相比分别都具有低的模式色散。这表明降低芯部的中心的折射率的凹陷的效果。

[0069] 此外,本发明的实施方式的光纤22_k优选以包层62的外径(玻璃部分的外径)的偏差(沿与光纤轴AX一致的长度方向的外径偏差)的标准偏差 σ 定义的值 3σ 为 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下。此外,更优选值 3σ 为 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $0.5\mu\text{m}$ 以下。通过值 3σ 为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,能够有效地抑制从LP01模式向LP02模式的模式耦合引起的噪声,维持稳定的传输性能。此外,如根据上述专利文献2所知的那样,通过在值 3σ 为 $0.1\mu\text{m}$ 以上的冷却条件下对光纤进行拉丝,能够将瑞利散射抑制得低,通过在值 3σ 为 $0.2\mu\text{m}$ 以上的冷却条件下对光纤进行拉丝,能够将瑞利散射抑制得更低。

[0070] 附图标记说明

[0071] 1…光通信系统;2…光缆;3₁、3₂、3₃、…、3_n, 3_k (k=1、2、3、…、n), 4₁、4₂、4₃、…、4_n, 4_k (k=1、2、3、…、n)…光收发器;5₁、5₂、5₃、…、5_n, 5_k (k=1、2、3、…、n), 6₁、6₂、6₃、…、6_n, 6_k (k=1、2、3、…、n)…光布线(光纤);22₁、22₂、22₃、…、22_n, 22_k (k=1、2、3、…、n)…光纤;23₁、23₂、23₃、…、23_n, 23_k (k=1、2、3、…、n), 24₁、24₂、24₃、…、24_n, 24_k (k=1、2、3、…、n)…光连接器;61…芯部;62…包层;62a…内侧包层;62b…外侧包层;63…第1被覆层;64…第2被覆层;AX…光纤轴(中心轴)。

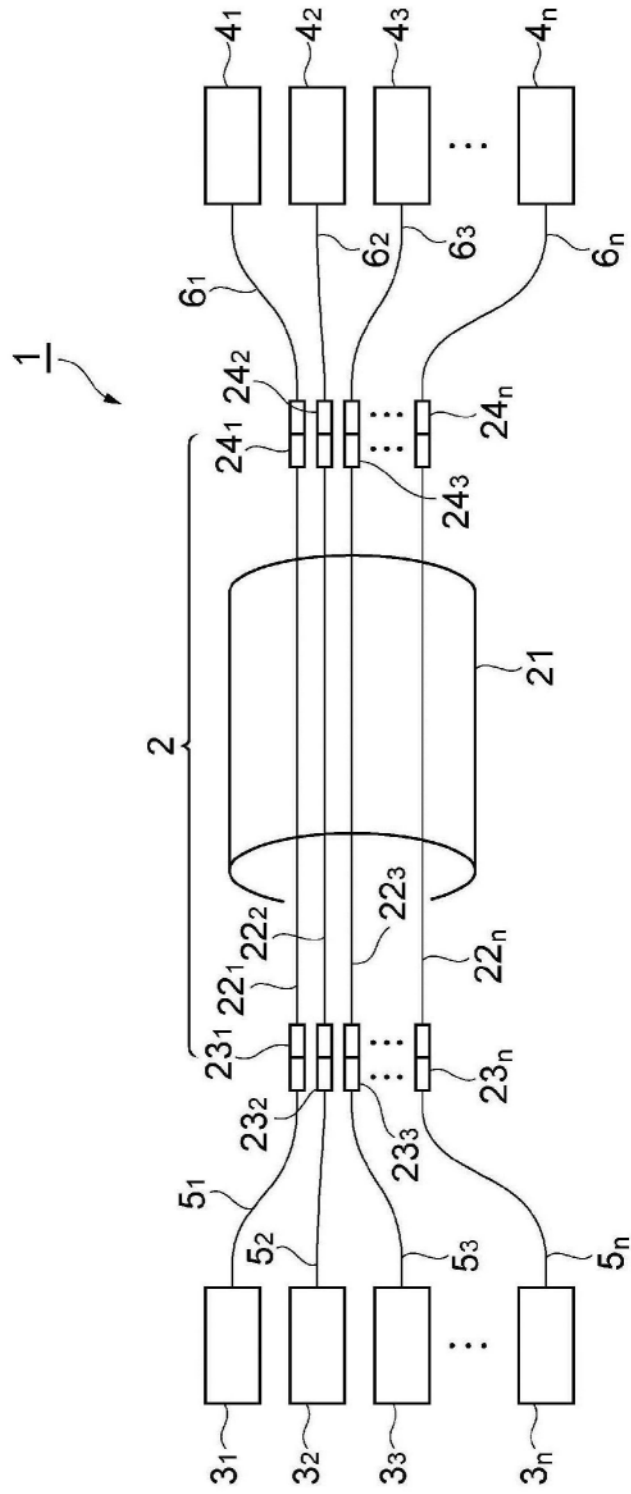


图1

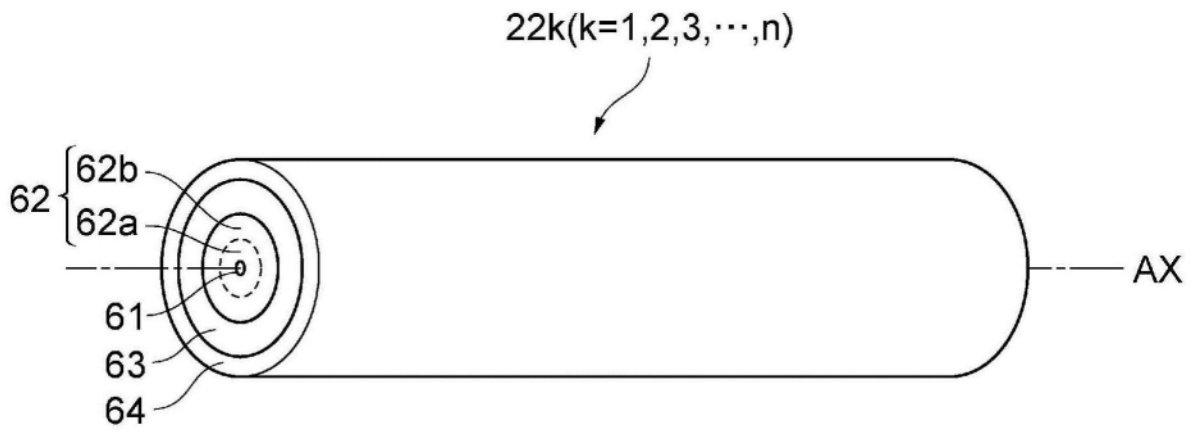


图2

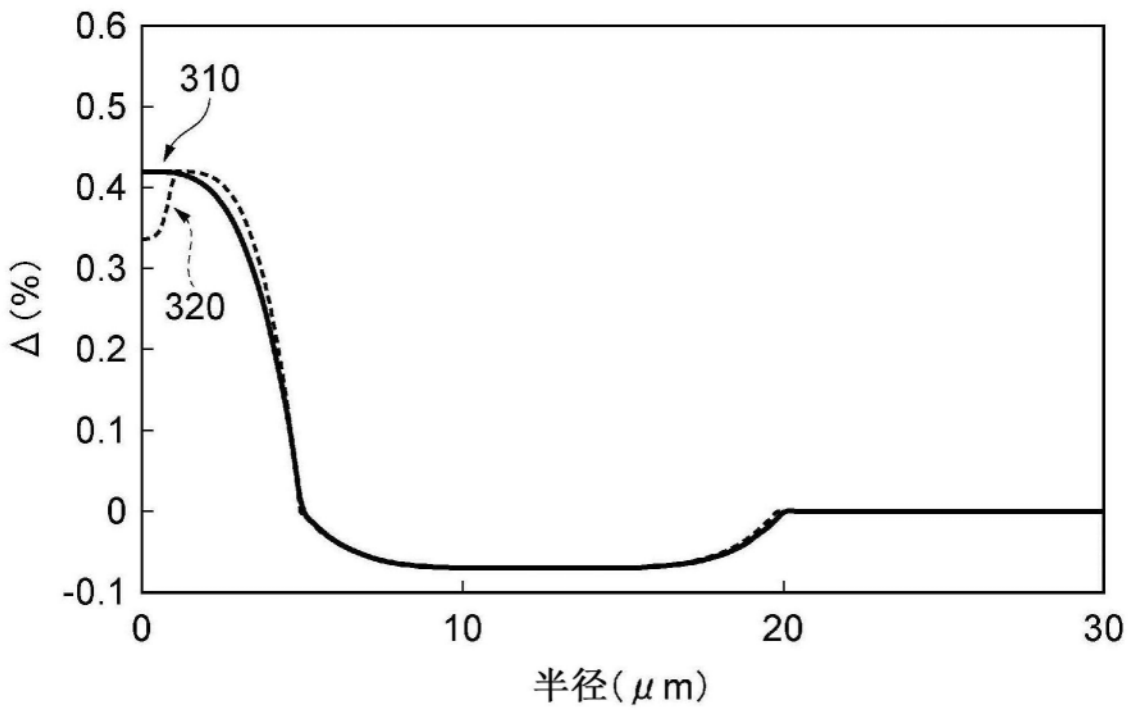


图3A

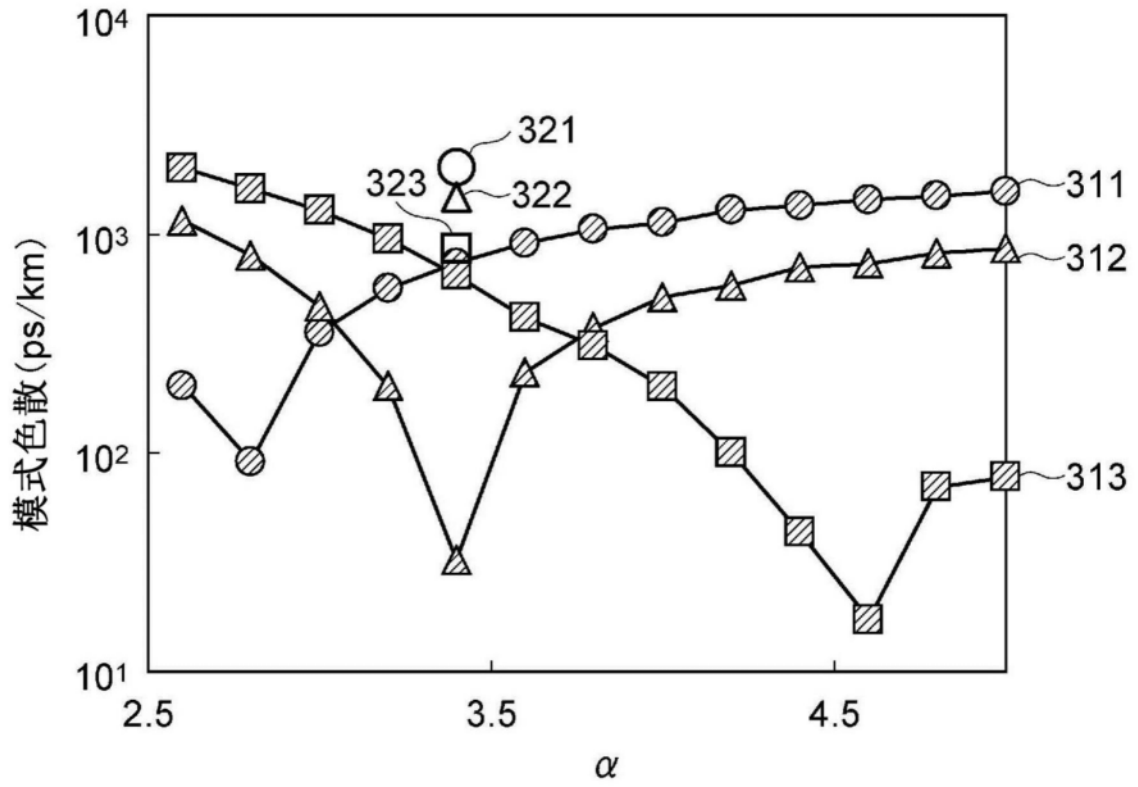


图3B