(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 115136047 B
(45)授权公告日 2025.07.04

(21)申请号 202180014393.X
(22)申请日 2021.02.18
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115136047 A
(43)申请公布日 2022.09.30
(30)优先权数据
2020-028324 2020.02.21 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.08.11
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2021/006199 2021.02.18
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/167019 JA 2021.08.26
(73)专利权人 住友电气工业株式会社
地址 日本大阪
(72)发明人 佐久间洋宇 川口雄挥 铃木雅人
(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
专利代理师 赵曦
(51)Int.Cl.
G02B 6/028(2006.01)
C03C 13/04(2006.01)
G02B 6/02(2006.01)
(56)对比文件
EP 3012235 A2,2016.04.27
US 2019391323 A1,2019.12.26
CN 107076921 A,2017.08.18
审查员 蒋红阳

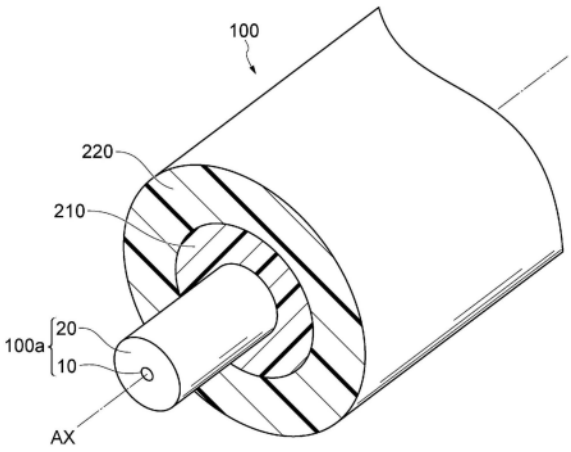
权利要求书2页 说明书8页 附图16页

(54)发明名称

光纤

(57)摘要

一个实施方式的光纤(100)具备能够减少传输损耗增加量的结构。该光纤(100)包括沿中心轴的方向延伸的玻璃部,玻璃部由二氧化硅系玻璃构成,具备芯(10)和包层(20),所述芯(10)包括中心轴并且添加有质量百分比为1%以上的氯,所述包层(20)包围芯(10)并且具有比芯(10)的最大折射率低的折射率,并且,在与中心轴正交的玻璃部的截面的整个区域中具有基本一致的残留应力。



CN 115136047 B

1.一种光纤,

包括沿中心轴的方向延伸的玻璃部,

所述玻璃部由二氧化硅系玻璃构成,具备芯和包层,所述芯包括所述中心轴并且添加有质量百分比为1%以上的氯,所述包层包围所述芯并且具有比所述芯的最大折射率低的折射率,并且,在与所述中心轴正交的所述玻璃部的截面的整个区域中具有基本一致的残留应力,

所述芯还含有氟,

所述芯中的所述氟的质量百分比为0.5%以下,

在所述玻璃部的所述截面中,距所述截面的中心的距离沿着半径方向为50μm以上且62.5μm以下的区域中的残留应力的第一平均值比距所述截面的中心的距离沿着所述半径方向为45μm以上且55μm以下的区域中的残留应力的第二平均值低,

从所述第二平均值减去所述第一平均值而得的差分值越大,传输损耗越低。

2.根据权利要求1所述的光纤,其中,

所述残留应力的最大值与最小值之差为200MPa以下。

3.根据权利要求2所述的光纤,其中,

所述残留应力的最大值与最小值之差为100MPa以下。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

所述芯中的所述氯的质量百分比为1.5%以上。

5.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

所述芯中的所述氯的质量百分比为3%以下。

6.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

具有70μm^{2}以上且150μm^{2}以下的有效截面积。

7.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

规定所述芯的折射率轮廓的形状的α值为150以下,

所述α相当于以下的“α次方轮廓”的定义式的指数:

$$\Delta(r) = \Delta(r_0)\left(1 - \left[\frac{|r - r_0|}{(r_1 - r_0)}\right]^{\alpha}\right)$$

其中,

r0:Δ(r)为最大的位置,

r1:适用于芯和包层的边界,指数α值由最小二乘法决定。

8.根据权利要求7所述的光纤,其中,

所述α值为3以上且99以下。

9.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

在所述玻璃部的所述截面中,从距所述截面的中心的距离沿着半径方向为45μm以上且55μm以下的区域中的残留应力的平均值中,减去距所述截面的中心的距离沿着所述半径方向为55μm以上且62.5μm以下的区域中的残留应力的平均值而得到的值大于20MPa。

10.根据权利要求1至3中任一项所述的光纤,其中,

在分压1.5kPa、温度25℃的氢气氛中暴露720小时后的该光纤中,传输损耗的增加在波

长1550nm下为0.005dB/km以下。

光纤

技术领域

[0001] 本公开涉及一种光纤。

[0002] 本申请主张2020年2月21日申请的日本专利申请第2020-028324号的优先权,依据其内容并且参照其整体编入本说明书中。

背景技术

[0003] 例如,已知一种由在芯中添加了锗(Ge)的二氧化硅系玻璃构成的光纤。在这样的具有添加有Ge的芯的光纤中,由该Ge的浓度波动(距平均值的变动)引起的瑞利散射损耗较大,向芯中添加Ge会成为减少传输损耗的障碍。作为其对策,为了低损耗化,例如,制作了在芯中不添加Ge而在包层中添加了氟(F)的光纤。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:国际公开WO2016/007806A1号

[0007] 非专利文献

[0008] 非专利文献1:Libert et al,IWCS_Proceedings(1998)375

[0009] 非专利文献2:M.P.Varnham et al,Electron Lett 20,1034(1984)

发明内容

[0010] 本发明的光纤包括由二氧化硅系玻璃构成的玻璃部。玻璃部具备包括中心轴的芯和包围芯的包层。在芯中添加有质量百分比为1%以上的氯(Cl)。包层具有比芯的最大折射率低的折射率。此外,在与中心轴正交的玻璃部的截面的整个区域中,残留应力基本一致。

附图说明

[0011] 图1是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的截面结构的图。

[0012] 图2是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品1至样品5各自的规格的图表。

[0013] 图3是表示样品1至样品5各自的氯(Cl)的质量百分比(%)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0014] 图4是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品6至样品9各自的规格的图表。

[0015] 图5是表示样品6至样品9各自的氟(F)的质量百分比(%)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0016] 图6是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品10至样品13各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。

[0017] 图7是表示样品5(参考)以及样品10至样品13各自的残留应力的最大值与最小值之差(MPa)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0018] 图8是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品14至样品16各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。

[0019] 图9是表示样品5(参考)以及样品14至样品16各自的有效截面积A_{eff}(μm^2)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0020] 图10是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品17至样品23各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。

[0021] 图11是表示样品5(参考)以及样品17至样品23各自的α值与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0022] 图12是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品24至样品26各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。

[0023] 图13是表示样品5(参考)以及样品24至样品26各自的特定部位之间的残留应力的差(MPa)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0024] 图14是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品27至样品31各自的规格以及作为参考例的样品5的规格的图表。

[0025] 图15是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品32至样品38各自的规格的图表。

[0026] 图16是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品39至样品41各自的规格的图表。

具体实施方式

[0027] [本公开所要解决的技术问题]

[0028] 发明人们对现有的光纤母材的制造方法进行了研究,结果发现了以下的技术问题。即,在专利文献1中记载了如下内容:通过将母材(preform)的芯区域(在拉丝后应成为光纤的芯的区域)的粘度设定为与包层区域(在拉丝后应成为光纤的包层的区域)的粘度相等或为其以下,并且使芯区域与包层区域之间的热膨胀系数(Coefficient of Thermal Expansion:CTE)一致,能够减少传输损耗。然而,如上述专利文献1所记载的那样,仅通过使母材中的芯区域与包层区域之间的粘性、热膨胀系数的值相互接近,传输损耗的减少并不充分。这是因为,残留在玻璃区域内的应力不仅受到粘性、热膨胀系数等作为母材(preform)的特性的影响,还受到拉丝时的张力、线速、缓冷的方法的影响。

[0029] 本公开是为了解决上述技术问题而完成的,其目的在于提供一种具备能够减少传输损耗增加量的结构的光纤。

[0030] [本公开的效果]

[0031] 根据本公开的光纤,能够减少传输损耗。

[0032] [本申请发明的实施方式的说明]

[0033] 首先,分别单独列举本公开的实施方式的内容进行说明。

[0034] (1)本公开的实施方式所涉及的光纤的一个方式为,包括由二氧化硅系玻璃构成的玻璃部。玻璃部具备包括中心轴的芯和包围芯的包层。在芯中添加有质量百分比为1%以上的氯(Cl)。包层具有比芯的最大折射率低的折射率。此外,在与中心轴正交的玻璃部的截面的整个区域中,残留应力基本一致。具体而言,“残留应力基本一致的状态”是指残留应力

的最大值与最小值之差为230MPa以下或200MPa以下的状态,此外,作为本公开的一个方式,更优选残留应力的最大值与最小值之差为100MPa以下。在本申请中,“残留应力”是非专利文献2中记载的axial stressσz(轴向应力σz)。这是作用在与图1的AX方向垂直的截面上的与AX方向平行的应力的成分,在具有正值的情况下是拉伸应力,在具有负值的情况下是压缩应力。

[0035] 如上所述,在芯中添加了质量百分比为1%以上的Cl的光纤中,在玻璃部中的残留应力的最大值与最小值之差(绝对值)为230MPa以下或200MPa以下的情况下,与现有技术相比,可以得到损耗更低的光纤。在残留应力的最大值与最小值之差(绝对值)为100MPa以下的情况下,低损耗化的效果更加显著。可以认为这是因为,Cl浓度高会降低玻璃粘性,因此利用对在拉丝炉内暂时加热后的光纤(拉丝后的光纤)进行冷却时的缓冷效果,容易减少瑞利散射损耗。

[0036] (2)作为本公开的一个方式,芯还可以含有氟(F)。即,通过添加适当量的F,玻璃粘性进一步降低,因此可以得到减少瑞利散射损耗的效果。

[0037] (3)添加到芯中的氯的质量百分比可以为1.5%以上。在这种情况下,可以进一步减少瑞利散射损耗。另外,作为本公开的一个方式,添加到芯中的氯的质量百分比优选为5%以下,更优选为3%以下。需要说明的是,如果氯的质量百分比超过5%(在某些情况下为3%以上),则有可能在添加氯时产生气泡,光纤母材的制造变得困难。

[0038] (4)作为本实施方式的一个方式,优选该光纤具有70μm^{2}以上且150μm^{2}以下的有效截面积A_{eff}。在这种情况下,可以期待传输损耗的充分降低。

[0039] (5)作为本公开的一个方式,芯的折射率轮廓优选依据α次方轮廓,规定其形状的α值为150以下。这是因为,如果α值超过150,则传输损耗的增加变得显著。另外,作为本公开的一个方式,α值优选为3以上且99以下。当α值的范围为60以上且80以下的范围时传输损耗的减少效果显著,但3以上且99以下的α值是实用的。

[0040] (6)作为本公开的一个方式,在玻璃部的截面中,优选距该截面的中心的距离沿着半径方向为50μm以上且62.5μm以下的区域中的残留应力的平均值比距该截面的中心的距离沿着半径方向为45μm以上且55μm以下的区域中的残留应力的平均值低。通过在这样的不同区域间满足上述关系,可以得到充分的瑞利散射损耗的减少效果。

[0041] (7)作为本公开的一个方式,该光纤优选在波长1550nm下具有1dB/km以下的微弯损耗。通过调整设置在玻璃部的外周面上的覆盖层的杨氏模量,微弯损耗的控制变得容易。

[0042] (8)作为本公开的一个方式,优选在分压1.5kPa、温度25℃的氢气氛中暴露720小时后的该光纤中,传输损耗的增加在波长1550nm下为0.005dB/km以下。通过将假想温度(fictive temperature)控制得较低(例如2000℃以下),氢气氛处理后的传输损耗增加量变小(玻璃结构内的结晶缺陷变少)。

[0043] 以上,在该[本公开的实施方式的说明]栏中列举的各个方式能够应用于所有剩余方式中的每一个或者所有这些剩余方式的组合。

[0044] [本公开的实施方式的详情]

[0045] 以下,参照附图对本公开的实施方式所涉及的光纤的具体结构进行详细说明。需要说明的是,本发明并不限定于这些例示,而是由权利要求指示,旨在包括与权利要求等同的含义以及范围内的所有变更。另外,在附图的说明中,对同一要素标注同一符号,并省略

重复的说明。

[0046] 图1是表示本公开所涉及的光纤的结构的一例的截面图。在图1中,光纤100具备:玻璃光纤(玻璃部)100a,其由二氧化硅系玻璃构成;主覆盖层210,其设置在该玻璃光纤100a的外周面上;以及副覆盖层220,其设置在主覆盖层210的外周面上。玻璃光纤100a具备包括中心轴(光轴)AX的芯10和设置在该芯的外周面上的包层20。在芯10中添加有质量百分比为1%以上的氯(Cl)。另外,包层20也可以添加F等适当的折射率降低剂(refractive index reducer),该包层20的折射率设定为比芯10的最大折射率低。

[0047] 主覆盖层210具有18μm以上且33μm以下的厚度(沿着与中心轴AX正交的半径方向规定的主覆盖层210的宽度)。另外,主覆盖层210具有0.05MPa以上且0.6MPa以下的杨氏模量。另一方面,副覆盖层220具有20μm以上且30μm以下的厚度。另外,副覆盖层220具有1200MPa以上且1500MPa以下的杨氏模量。需要说明的是,主覆盖层210的厚度相对于副覆盖层220的厚度之比("主厚度"/"副厚度")为0.3以上且1.8以下,优选为0.9以上且1.8以下。在这种情况下,可以将设置了主覆盖层210以及副覆盖层220的状态下的光纤100的微弯损耗(dB/km)控制在适当范围内。

[0048] 以下,使用图2至图16,对本公开的光纤100的样品1至样品41各自的评价结果进行说明,作为其前提,首先对图2、图4、图6、图8、图10、图12、图14至图16各自所示的规格进行说明。需要说明的是,在各样品所涉及的光纤的包层中添加有F。

[0049] (1)"芯Δ(%)":

[0050] 项目(1)是各样品中的芯的最大相对折射率差(%),以纯二氧化硅玻璃的折射率n_0为基准。例如,具有折射率n的部分的相对折射率差Δ可以由$(n/n_0)-1$的式子给出。

[0051] (2)"芯的α值":

[0052] 项目(2)相当于上述专利文献1中记载的"α次方轮廓"的定义式的指数,通过该α值来表现芯的轮廓形状。即,各样品中的芯的折射率轮廓(沿着与中心轴AX正交的半径方向的相对折射率差的变化)为以下的"α次方轮廓"的定义式:

[0053] [数学式1]

[0054] $$\Delta(r) = \Delta(r_0)\left(1-\left[\frac{|r-r_0|}{(r_1-r_0)}\right]^{\alpha}\right)$$

[0055] 其中,

[0056] r0:Δ(r)为最大的位置

[0057] r1:适用于芯和包层的边界,指数α值由最小二乘法决定。

[0058] (3)"芯的掺杂物":

[0059] 项目(3)是除了Cl以外还添加到各样品中的芯内的元素。

[0060] (4)"芯内Cl的质量百分比(%)":

[0061] 项目(4)是添加到各样品中的芯内的氯(Cl)的质量百分比(%)。需要说明的是,在测定元素的质量百分比时,对光纤的研磨后的截面,使用EPMA(Electron Probe Micro Analyzer:电子探针显微分析仪),从光纤的中心轴沿着半径方向进行测定。测定条件例如为将加速电压设为20kV、将探针光束直径设为1μm以下、将测定间隔设为100nm以下,利用测定值和预先求出的校准曲线求出质量百分比。

[0062] (5)“芯内F的质量百分比(%)”:

[0063] 项目(5)是添加到各样品中的芯内的氟(F)的质量百分比(%),质量百分比(%)的测定与上述项目(4)的情况相同。

[0064] (6)“芯外径(μm)”:

[0065] 项目(6)是各样品中的芯的外径(μm)。

[0066] (7)“玻璃部外径(μm)”:

[0067] 项目(7)是各样品中的玻璃部、即相当于图1所示的玻璃光纤100a(由芯10以及包层20构成的部分)的部分的外径(μm)。

[0068] (8)“色散@1550nm(ps/nm/km)”:

[0069] 项目(8)是波长1550nm下的各样品的波长色散(chromatic dispersion,单位:ps/nm/km)。

[0070] (9)“MFD(μm)”:

[0071] 项目(9)是波长1550nm下的各样品的模场直径(mode field diameter,单位:μm)。

[0072] (10)“A_{eff}(μm^2)”:

[0073] 项目(10)是波长1550nm下的各样品的有效截面积(effective area,单位:μm^2)。

[0074] 此外,

[0075] (11)“22m光缆截止波长λ_{cc}(μm)”:

[0076] 项目(11)是由ITU-T G650.1定义的光缆截止波长(μm)。

[0077] (12)“MFD/λ_{cc}”:

[0078] 项目(12)是“MFD”相对于“22m光缆截止波长λ_{cc}”的比。

[0079] (13)“弯曲损耗@1550nm(dB/卷)(弯曲直径30mm)”:

[0080] 项目(13)是对卷绕在直径30mm的芯轴上的各样品输入波长1550nm的光时测定的每1卷(1圈)的损耗增加量(dB/卷)。

[0081] (14)“弯曲损耗@1550nm(dB/卷)(弯曲直径60mm)”:

[0082] 项目(14)是对卷绕在直径60mm的芯轴上的各样品输入波长1550nm的光时测定的每1卷(1圈)的损耗增加量(dB/卷)。

[0083] (15)“传输损耗@1550nm(dB/km)”:

[0084] 项目(15)是波长1550nm下的各样品的传输损耗(dB/km)。

[0085] (16)“最大残留应力与最小残留应力的差分(MPa)”:

[0086] 项目(16)是表示在各样品的玻璃部(相当于图1所示的玻璃光纤100a)的截面整个区域中残留应力的变动状态的数值(MPa)。

[0087] (17)“微弯损耗(dB/km)”:

[0088] 项目(17)是各样品的微弯损耗(dB/km)。需要说明的是,微弯损耗参考非专利文献1进行评价。具体而言,根据对500m的各样品输入波长1550nm的光时的损耗的增加量来求出,所述500m的各样品以80gf的张力卷绕在滚筒上,所述滚筒形成有主体直径为405mm、截面直径为50μm的金属线以100μm的间隔编织成网状的主体面。

[0089] (18)“主厚度(μm)”:

[0090] 项目(18)是各样品的主覆盖层(相当于图1所示的主覆盖层210)的厚度(μm),即沿着半径方向的主覆盖层的截面宽度。

[0091] (19)“副厚度(μm)”：

[0092] 项目(19)是各样品的副覆盖层(相当于图1所示的副覆盖层220)的厚度(μm)，即沿着半径方向的副覆盖层的截面宽度。

[0093] 此外，

[0094] (20)“主杨氏模量(MPa)”：

[0095] 项目(20)是各样品中的主覆盖层的杨氏模量(MPa)。

[0096] (21)“副杨氏模量(MPa)”：

[0097] 项目(21)是各样品中的副覆盖层的杨氏模量(MPa)。

[0098] (22)“覆盖层厚度之比”：

[0099] 项目(22)是在各样品中，主覆盖层的厚度相对于副覆盖层的厚度之比(“主厚度(μm)”/“副厚度(μm)”)。

[0100] (23)“氢损耗增加量(dB/km)”：

[0101] 项目(23)是关于将各样品在分压1.5kPa、温度25℃的氢气氛中暴露720小时后的光纤而测定的波长1550nm下的传输损耗的增加量(dB/km)。

[0102] (24)“55-62.5残留应力的平均值(55-62.5平均值)”：

[0103] 项目(24)是在各样品的截面(与相当于图1所示的中心轴AX的轴正交的截面)中，由半径55μm的内周部和半径62.5μm的外周部夹持的圆环区域中的残留应力的平均值(MPa)。

[0104] (25)“45-55残留应力的平均值(45-55平均值)”：

[0105] 项目(25)是在各样品的截面中，由半径45μm的内周部和半径55μm的外周部夹持的圆环区域中的残留应力的平均值(MPa)。

[0106] (26)“芯平均假想温度(℃)”：

[0107] 项目(26)是各样品中的芯的假想温度(℃)的平均值。

[0108] 接下来，图2是表示作为本公开的一个实施方式所涉及的光纤准备的样品1至样品5各自的规格的图表。另外，图3是表示样品1至样品5各自的氯(Cl)的质量百分比(%)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0109] 由图3所示的样品1至样品5的测定结果可知，氯浓度(氯的质量百分比)越高，传输损耗越低。可以认为这是因为，氯浓度越高，玻璃粘性越低。即，可以认为这是因为，通过从拉丝炉加热后到冷却的对于拉丝光纤的缓冷效果，瑞利散射损耗容易减少。需要说明的是，在芯中添加质量百分比高于3％的浓度的Cl的情况下，存在由于产生气泡而难以制造光纤母材的倾向。因此，添加到芯中的Cl的质量百分比为5％以下是妥当的。

[0110] 图4是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品6至样品9各自的规格的图表。另外，图5是表示样品6至样品9各自的氟(F)的质量百分比(%)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。需要说明的是，样品6至样品9都是将相同程度浓度的Cl以及F共同添加到芯中的光纤。

[0111] 从图5所示的样品6至样品9的测定结果可知，如果F的质量百分比为0.5％以下，则传输损耗大致为相同程度，但如果F的质量百分比为0.5％以上，则传输损耗增加。在F的质量百分比为0.5％以下的情况下(样品6至样品8)，传输损耗在各样品间几乎不变化，可以认为这是因为，由添加F导致的玻璃粘度的降低而引起的瑞利散射损耗的减少量与由F的浓度

波动(从设计浓度分布的偏离)所引起的瑞利散射损耗的增加量为相同程度。另一方面,在F的质量百分比为0.5%以上的情况下(样品9),由玻璃粘度的降低而引起的瑞利散射损耗的减少效果开始饱和,因此可以推测出由F的浓度波动引起的瑞利散射损耗的增大量超过由玻璃粘度降低引起的瑞利散射损耗的减少量。另外,在比较样品5至8时,与未添加相比,在芯中添加了F的情况下,有时传输损耗减少。该F的质量百分比需要为0.1%以上。

[0112] 图6是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品10至样品13各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。另外,图7是表示样品5(参考)以及样品10至样品13各自的残留应力的最大值与最小值之差(MPa)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0113] 从图7所示的样品5的测定结果和样品10至样品13的测定结果可知,残留在各样品的截面整个区域中的应力中最大残留应力与最小残留应力的差越小则传输损耗越低。可以认为这是由于,通过各样品(光纤)的内部、特别是玻璃部内的变形而引起的折射率差,瑞利散射损耗发生变化。

[0114] 图8是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品14至样品16各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。另外,图9是表示样品5(参考)以及样品14至样品16各自的有效截面积A_{eff}(μm^2)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0115] 从图9所示的样品5的测定结果和样品14至样品16的测定结果可知,有效截面积A_{eff}越大,传输损耗越低。可以认为这是因为,如果为了扩大有效截面积A_{eff}而降低各样品的包层中的F浓度,则可以减少分配于包层模式光的由F的浓度波动导致的瑞利散射而引起的损耗部分。

[0116] 图10是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品17至样品23各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。另外,图11是表示样品5(参考)以及样品17至样品23各自的α值与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。

[0117] 从图11所示的样品5的测定结果和样品17至样品23的测定结果可知,在α值为60以上且80以下的范围内传输损耗最低。在α值小于该范围的情况以及α值大于该范围的情况下,传输损耗都有增大的倾向。可以认为,α值变小的情况下的传输损耗的增加的主要原因是,由于芯外周部的Cl浓度降低,因此该芯外周部的玻璃粘性增加。即,可以认为这是因为,由于芯外周部的玻璃粘性的增加,瑞利散射损耗增大。另一方面,关于α值变大的情况下的传输损耗的增加,虽然尚不清楚明确的原因,但可以推测其主要原因是,例如由于芯与包层的界面的Cl浓度增大而在该界面附近产生微小气泡。即,可以推测由界面不一致引起的瑞利散射损耗增大的现象是传输损耗增大的主要原因。需要说明的是,在各样品的拉丝中,使用保温炉对从拉丝炉拉出的各样品进行缓冷。各样品在该保温炉中的温度不同。

[0118] 图12是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品24至样品26各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。另外,图13是表示样品5(参考)以及样品24至样品26各自的特定部位之间的残留应力的差(MPa)与传输损耗(dB/km)的关系的曲线图。需要说明的是,“特定部位之间的残留应力的差”是从距截面中心的距离沿着半径方向为45μm以上且55μm以下的区域中的残留应力的平均值(45-55平均值)中,减去距截面中心的距离沿着半径方向为55μm以上且62.5μm以下的区域中的残留应力的平均值(55-62.5平均值)而得到的差分值。

[0119] 从图13所示的样品5的测定结果和样品24至样品26的测定结果可知,该差分值越

大,传输损耗越低。具体而言,由“(45-55平均值”-(55-62.5平均值)”定义的差分值优选为20MPa以上。在对“玻璃部外径”为110μm以上且130μm以下(55μm以上且62.5μm以下的半径)的最外周部赋予压缩方向的应力的情况下,在包层中残留拉伸应力,结果在光功率集中的芯中残留压缩应力。根据这种状况,可以推测这是因为瑞利散射损耗减少。

[0120] 接下来,对于在分压1.5kPa、温度25℃的氢气氛中暴露720小时后的各样品,评价波长1550nm下的传输损耗的增加量(氢损耗增加量)。图14是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品27至样品31各自的规格以及样品5(参考)的规格的图表。

[0121] 在图14所示的样品5以及样品27至样品31的情况下,假想温度(fictive temperature)越小,氢损耗增加量(氢特性评价中的传输损耗增加量)越小。可以认为这是因为,假想温度越低,在玻璃结构内缺陷越少。另外,对样品5、样品30以及样品31进行比较,芯的Cl浓度越高,氢损耗增加量越小。可以认为这是因为,如果Cl浓度较少,则在玻璃结构内缺陷增多。因此,可以认为,在使氢损耗增加量为0.008dB/km以下的情况下,只要假想温度为2000℃以下且CL的质量百分比为1%以上即可。

[0122] 图15是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品32至样品38各自的规格的图表。在图15中,追加显示了样品32至样品38的微弯损耗(在设置了主覆盖层以及副覆盖层两者的状态下测定的微弯损耗)。

[0123] 根据图15的图表,对样品32至样品38进行比较,主覆盖层的厚度“主厚度”和副覆盖层的厚度“副厚度”为相同程度,可以得到它们的杨氏模量与微弯损耗的关系。在主覆盖层的杨氏模量“主杨氏模量”大于0.5MPa,并且副覆盖层的杨氏模量“副杨氏模量”大于500MPa的情况下,微弯损耗可以抑制在1dB/km以下。

[0124] 图16是表示本公开的一个实施方式所涉及的光纤的样品39至样品41各自的规格的图表。对图16所示的、固定主覆盖层的杨氏模量和副覆盖层的杨氏模量并改变这些覆盖层的厚度的样品39至样品41进行比较,当主覆盖层的外径小于160μm时(样品39:161μm,样品40:161μm,样品41:141μm),微弯损耗大于1dB/km。另外,当副覆盖层的外径大于200μm时(样品39:201μm,样品40:181μm,样品41:201μm),微弯损耗大于1dB/km。对样品39至样品41进行比较,在“覆盖层厚度之比”大于0.3的情况下,可以减少微弯损耗。

[0125] 符号说明

[0126] 10芯,20包层,100光纤,100a玻璃光纤(玻璃部),210主覆盖层,220副覆盖层。

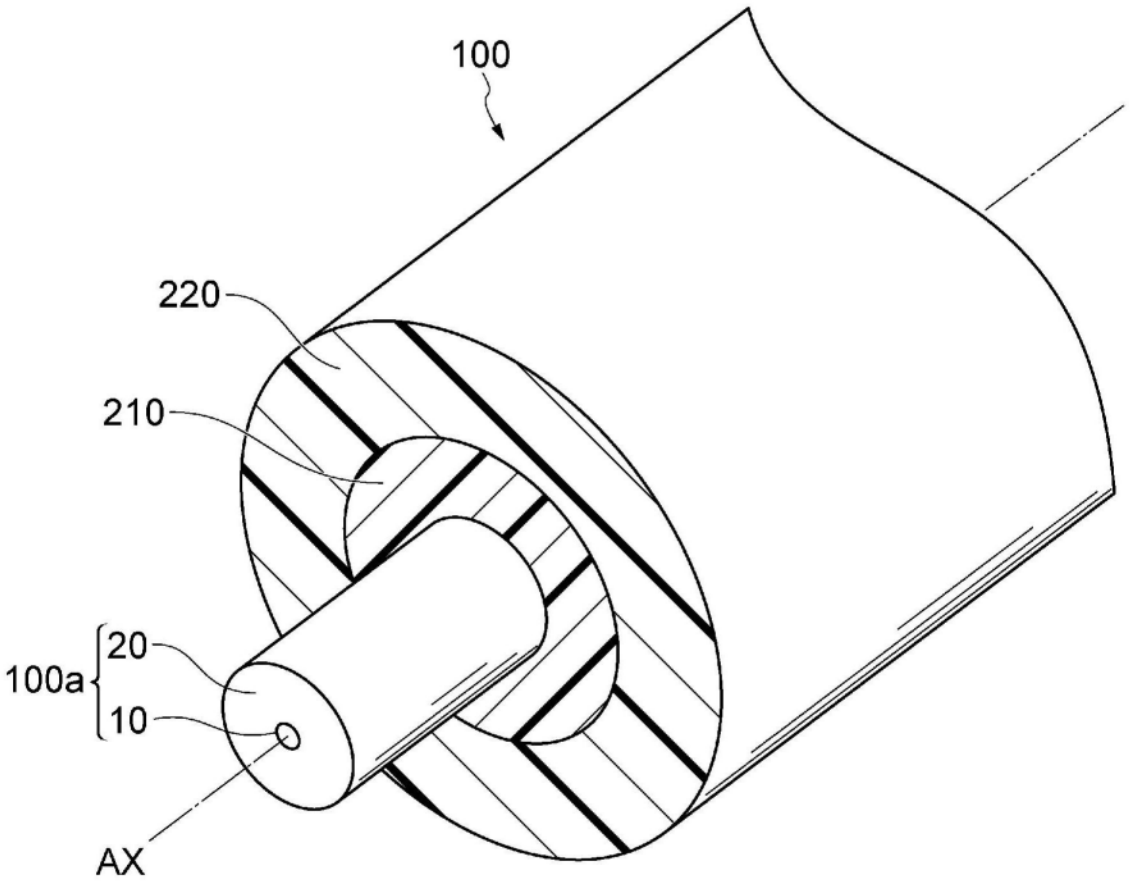


图1

样品No.	1	2	3	4	5
芯Δ（%）	0.1	0.15	0.22	0.28	0.18
芯的α值	80	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.0	1.5	2.2	2.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.2	8.3	8.2	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.7	16.7	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.3	10.1	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	82	80	81	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.49	1.48	1.47	1.48	1.48
MFD/λcc	6.8	7.0	6.9	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.171	0.169	0.165	0.164	0.163
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	25	35	35	25	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
主厚度（μm）	33	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

图2

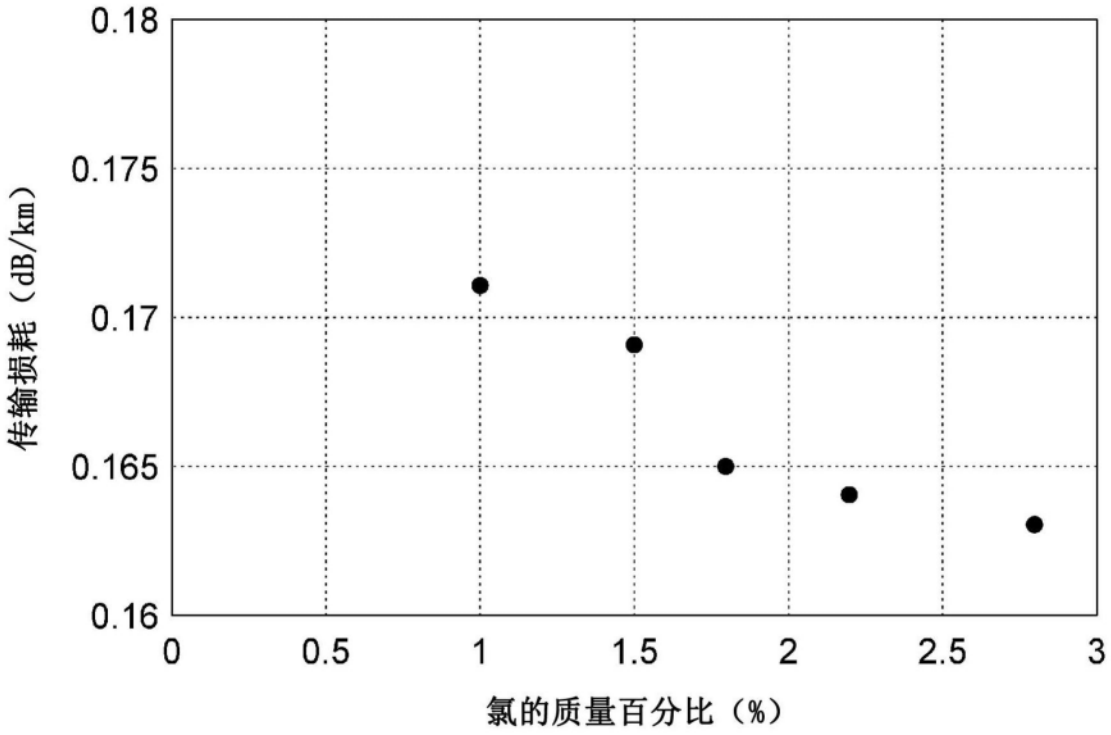


图3

样品No.	6	7	8	9
芯Δ（%）	0.15	0.09	0.03	-0.03
芯的α值	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl,F	Cl,F	Cl,F	Cl,F
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0.1	0.3	0.5	0.7
芯外径（μm）	8.3	8.3	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.5	16.7	16.8
MFD(μm)	10.2	10.3	10.3	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	83	82	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.47	1.49	1.48
MFD/λcc	6.9	7.0	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.162	0.163	0.162	0.167
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.3	0.3	0.3
主厚度（μm）	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1
氢损耗增加量（dB/km）	0.002	0.002	0.002	0.002

图4

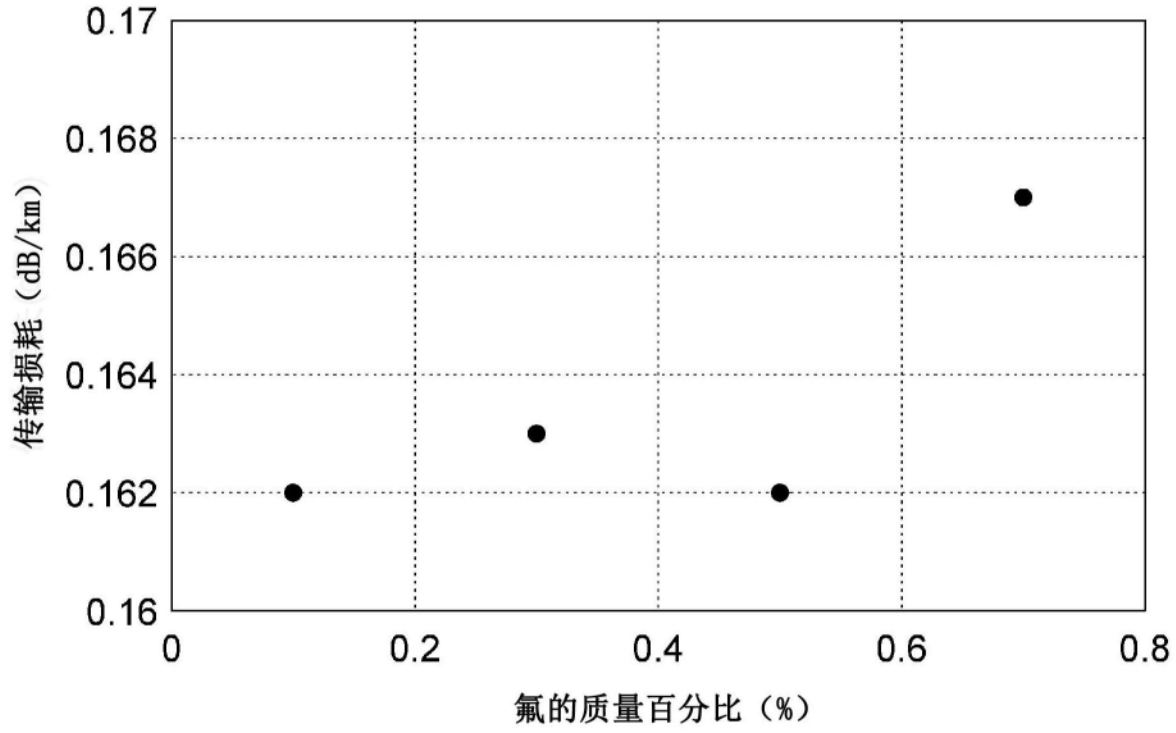


图5

样品No.	5（参考）	10	11	12	13
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	8.2	8.3	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	81	81	81	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.49	1.49	1.49	1.49
MFD/λcc	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.164	0.167	0.169	0.178
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	70	130	180	250
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
主厚度（μm）	33	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

图6

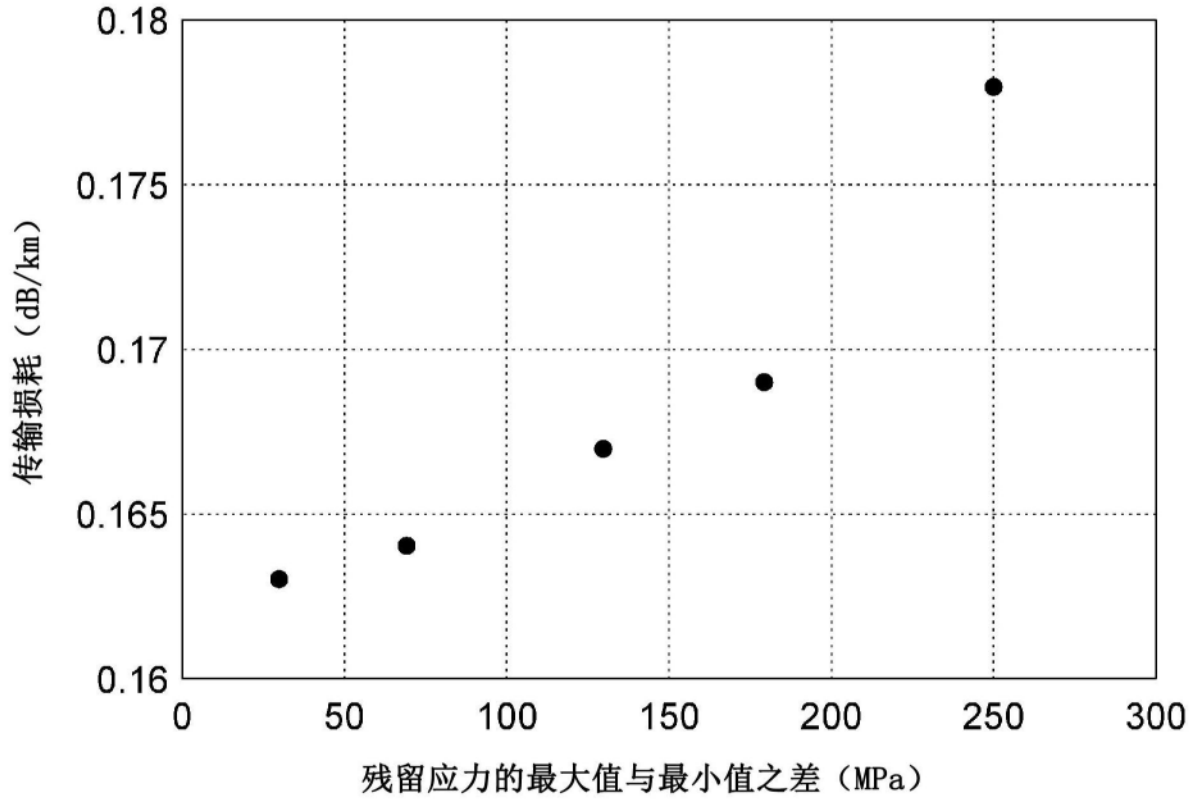

0.18
0.175
0.17
0.165
0.16
传输损耗（dB/km）
0
50
100
150
200
250
300
残留应力的最大值与最小值之差（MPa）

图7

样品No.	5（参考）	14	15	16
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	10.6	12.3	13.4
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	19.2	19.7	20.1
MFD(μm)	10.2	12.1	12.9	13.4
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	113	134	151
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.47	1.49	1.49
MFD/λcc	6.9	8.2	8.7	9.0
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.03	0.03	0.03
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.002	0.002	0.002
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.162	0.161	0.159
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.5	0.6	0.7
主厚度（μm）	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1

图8

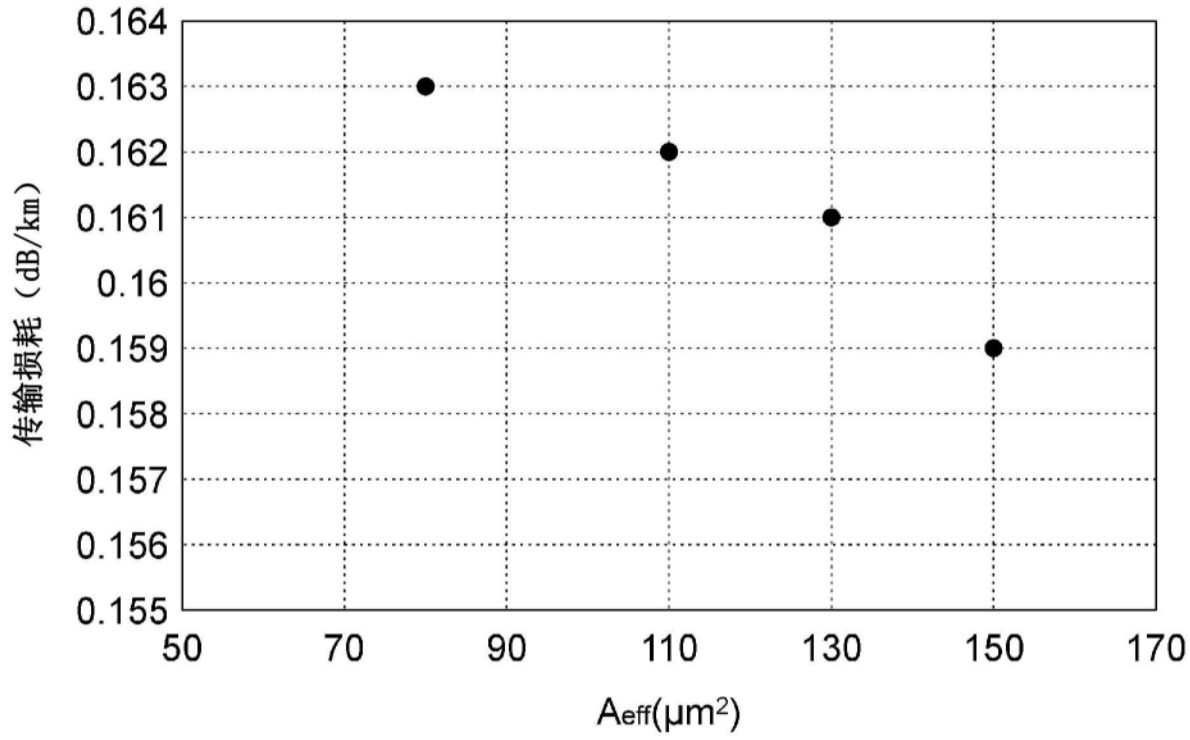

0.164
0.163
0.162
0.161
0.16
0.159
0.158
0.157
0.156
0.155
传输损耗（dB/km）
50
70
90
110
130
150
170
Aeff(μm2)

图9

样品No.	5 (参考)	17	18	19	20	21	22	23
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	2	3	30	50	100	120	150
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	8.2	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.6	16.7	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.3	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	82	81	80	80	80	80	80
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.47	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
MFD/λcc	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.179	0.174	0.169	0.166	0.169	0.174	0.178
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30	30	30	30	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
主厚度（μm）	33	33	33	33	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

图10

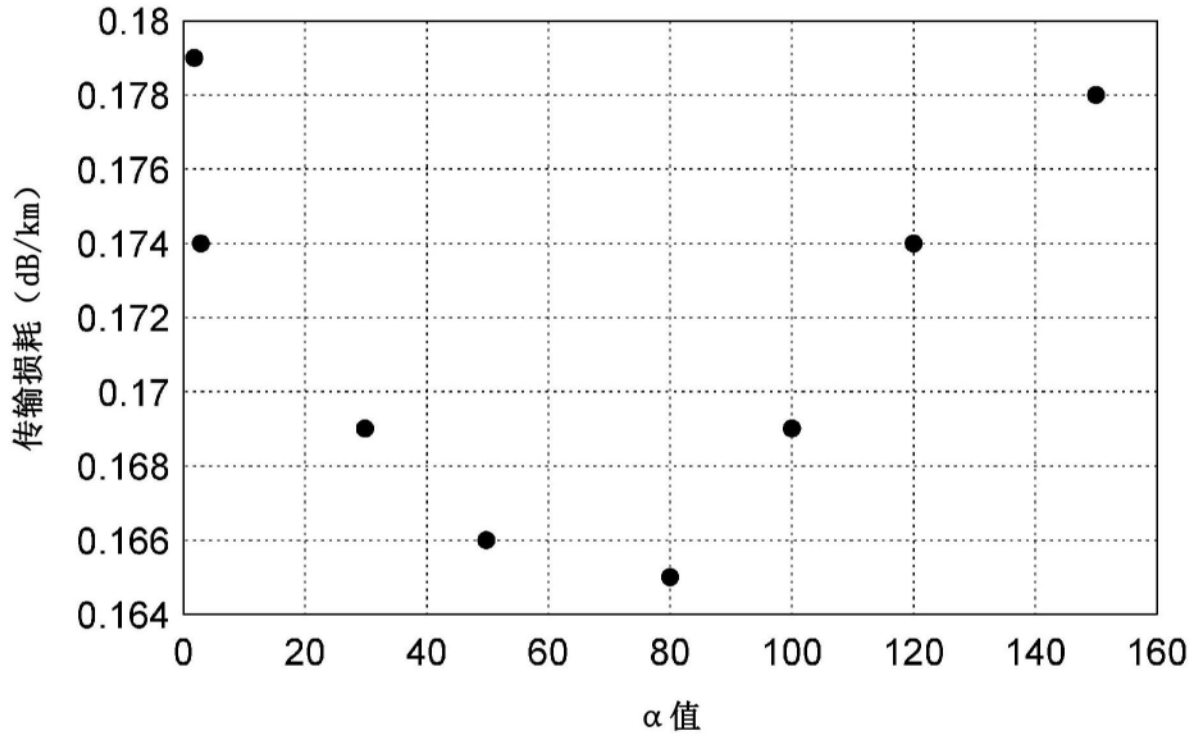

0.18
0.178
0.176
0.174
0.172
0.17
0.168
0.166
0.164
传输损耗（dB/km）
0
20
40
60
80
100
120
140
160
α值

图11

样品No.	5（参考）	24	25	26
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	8.3	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.2	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	81	81	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.48	1.48	1.48
MFD/λcc	6.9	6.9	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.162	0.168	0.171
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.3	0.3	0.3
主厚度（μm）	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1
55-62.5残留应力的平均值(55-62.5平均值)	-20	-40	-5	20
45-55残留应力的平均值(45-55平均值）	-10	-10	-10	-10

图12

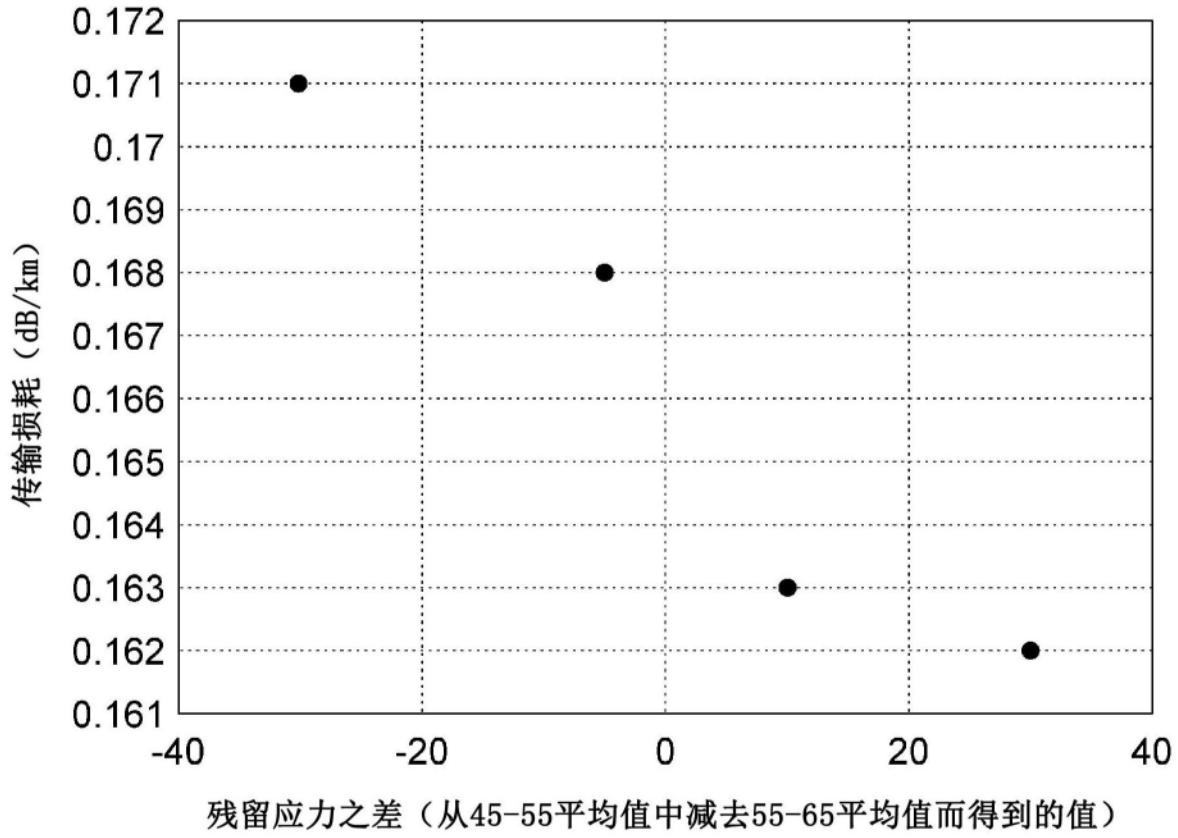

0.172
0.171
0.17
0.169
0.168
0.167
0.166
0.165
0.164
0.163
0.162
0.161
传输损耗（dB/km）
-40
-20
0
20
40
残留应力之差（从45-55平均值中减去55-65平均值而得到的值）

图13

样品No.	5（参考）	27	28	29	30	31
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18	0.1	0.08
芯的α值	80	80	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8	1.0	0.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	81	81	81	81	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.47	1.48	1.46	1.47	1.48
MFD/λcc	6.9	6.9	6.9	7.0	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30	30	30
微弯损耗（dB/km）	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
主厚度（μm）	33	33	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
副杨氏模量（MPa）	1200	1200	1200	1200	1200	1200
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
氢损耗增加量（dB/km）	0.002	0.01	0.008	0.002	0.004	0.008
芯平均假想温度（℃）	1720	2180	2010	1720	1710	1720

图14

样品No.	32	33	34	35	36	37	38
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	80	80	80	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0	0	0	0	0
芯外径（μm）	8.3	8.2	8.2	8.3	8.4	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125	125	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	80	80	81	83	82	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
MFD/λcc	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30	30	30	30	30
主厚度（μm）	33	33	33	33	33	33	33
副厚度（μm）	30	30	30	30	30	30	30
主杨氏模量（MPa）	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3	0.5	0.7
副杨氏模量（MPa）	300	500	1500	2500	1000	1000	1000
覆盖层厚度之比	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
微弯损耗（dB/km）	3	0.7	0.5	0.3	0.04	0.4	3

图15

样品No.	39	40	41
芯Δ（%）	0.18	0.18	0.18
芯的α值	80	80	80
芯的掺杂物	Cl	Cl	Cl
芯内Cl的质量百分比（%）	1.8	1.8	1.8
芯内F的质量百分比（%）	0	0	0
芯外径（μm）	8.2	8.3	8.3
玻璃部外径（μm）	125	125	125
色散@1550nm（ps/nm/km）	16.8	16.8	16.8
MFD(μm)	10.2	10.2	10.2
$A_{eff}(\mu m^2)$	81	82	81
22m光缆截止波长λcc（μm）	1.48	1.48	1.49
MFD/λcc	6.9	6.9	6.8
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径30mm）	0.01	0.01	0.01
弯曲损耗@1550nm（dB/卷）（弯曲直径60mm）	0.001	0.001	0.001
传输损耗@1550nm（dB/km）	0.163	0.163	0.163
最大残留应力与最小残留应力的差分（MPa）	30	30	30
主厚度（μm）	18	18	8
副厚度（μm）	20	10	30
主杨氏模量（MPa）	0.05	0.05	0.05
副杨氏模量（MPa）	1500	1500	1500
覆盖层厚度之比	0.9	1.8	0.3
微弯损耗（dB/km）	0.8	0.4	2

图16