

1. 一种多芯光纤,具备:
多个芯,沿着中心轴延伸;以及
公共包层,包围所述多个芯中各个芯,
在波长1260nm下,包括基模的10种以上的LP模在所述多个芯各自中被导波1m以上。
2. 根据权利要求1所述的多芯光纤,其中,
在与所述中心轴正交的所述多芯光纤的截面上被定义的所述多个芯各自的相对折射率差体积V满足以下的关系:
2. $2.302 \leq V$,所述相对折射率差体积V的单位为 μm^2 ,
所述相对折射率差体积V是通过在从对象芯的中心到所述公共包层中包括的最低折射率区域的所述截面内对所述对象芯相对于所述最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的。
3. 根据权利要求1所述的多芯光纤,其中,
所述LP模为13种以上。
4. 根据权利要求3所述的多芯光纤,其中,
在与所述中心轴正交的所述多芯光纤的截面上被定义的所述多个芯各自的相对折射率差体积V满足以下的关系:
2. $9.256 \leq V$,所述相对折射率差体积V的单位为 μm^2 ,
所述相对折射率差体积V是通过在从对象芯的中心到所述公共包层中包括的最低折射率区域的所述截面内对所述对象芯相对于所述最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的。
5. 一种多芯光纤,具备:
多个芯,沿着中心轴延伸;以及
公共包层,包围所述多个芯中各个芯,
在与所述中心轴正交的所述多芯光纤的截面上被定义的所述多个芯各自的相对折射率差体积V满足以下的关系:
2. $2.302 \leq V$,所述相对折射率差体积V的单位为 μm^2 ,
所述相对折射率差体积V是通过在从对象芯的中心到所述公共包层中包括的最低折射率区域的所述截面内对所述对象芯相对于所述最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的。
6. 根据权利要求5所述的多芯光纤,其中,
单位为 μm^2 的所述相对折射率差体积V满足以下的关系:
2. $9.256 \leq V$ 。
7. 根据权利要求2、4、5、6中任一项所述的多芯光纤,其中,
单位为 μm^2 的所述相对折射率差体积V为15以下。
8. 根据权利要求7所述的多芯光纤,其中,
单位为 μm^2 的所述相对折射率差体积V为11以下。
9. 根据权利要求1至8中任一项所述的多芯光纤,其中,
在所述多个芯中满足中心间距离 Λ 最短的相邻关系的第一芯及第二芯中,具有半径a的第一芯与具有半径b的第二芯满足以下的关系:

$34 \leq \Lambda \leq 46$ 、

$0.6375 < (a+b) / \Lambda < 0.8625$ 、

所述中心间距离 Λ 的单位为 μm ，所述半径 a 的单位为 μm ，所述半径 b 的单位为 μm 。

10. 根据权利要求9所述的多芯光纤，其中，

在所述多个芯中满足单位为 μm 的中心间距离 Λ 最短的相邻关系的第一芯及第二芯中，具有单位为 μm 的半径 a 的第一芯与具有单位为 μm 的半径 b 的第二芯满足以下的关系：

$34 \leq \Lambda \leq 46$ 、

$0.675 < (a+b) / \Lambda < 0.825$ 。

11. 根据权利要求1至10中任一项所述的多芯光纤，其中，

所述多个芯各自具有GI型折射率分布。

12. 根据权利要求1至11中任一项所述的多芯光纤，其中，

所述多芯光纤还具备多个沟槽部，所述多个沟槽部分别配置为与所述多个芯各自一对一地对应，并且包围所述多个芯中对应的芯的外周，所述多个沟槽部分别具有比所述公共包层的折射率低的折射率。

13. 一种光组合器，具备：

权利要求1至12中任一项所述的多芯光纤；以及

光波导器件，

所述光波导器件具有：

第一端面，具有规定的芯配置；

第二端面，具有与所述第一芯配置不同的第二芯配置；以及

多个芯，设置于所述第一端面与所述第二端面之间，

所述第一端面与所述第二端面之间的所述多个芯在所述第一端面处与所述多芯光纤的所述多个芯一对一地光学连接。

14. 根据权利要求13所述的光组合器，其中，

所述光波导器件包括多个单芯光纤部件作为所述多个芯，所述多个单芯光纤部件分别具有：第一光纤端面，构成所述第一端面的一部分；第二光纤端面，构成所述第二端面的一部分；以及单芯，从所述第一光纤端面延伸至所述第二光纤端面，

所述多个单芯光纤部件各自在包括所述第一光纤端面的前端部分的侧面设置有一个以上的平坦面，

通过将所述平坦面彼此以面对面的状态固定，所述多个单芯光纤部件的所述第一光纤端面构成所述光波导器件的所述第一端面。

15. 根据权利要求14所述的光组合器，其中，

所述多个单芯光纤部件的根数为两根。

16. 一种光组合器，具备：

权利要求1至12中任一项所述的多芯光纤；以及

光连接器件，作为光波导器件发挥功能，

所述光连接器件具有：

第一端部，保持所述多芯光纤的包括端面的前端部分；

第二端部，保持多个单芯光纤的前端部分，所述多个单芯光纤分别具有与所述多芯光

纤的所述多个芯中的任一者一对一地对应的芯；

贯通孔,从所述第一端部延伸至所述第二端部,并且在所述多芯光纤与所述多个单芯光纤之间使多个光束在不同的光路中传播;以及

空间光学系统,使所述多芯光纤的所述多个芯各自与所述多个单芯光纤的所述芯中对应的芯光学耦合。

17. 根据权利要求16所述的光组合器,其中,
所述空间光学系统包括GRIN透镜。

18. 一种光纤特性测定方法,在所述光纤特性测定方法中,
准备作为测定对象的被测定多芯光纤,所述被测定多芯光纤具有第一端面和第二端面,并具有分别从所述第一端面朝向所述第二端面延伸的多个芯;

准备第一光传输路径,所述第一光传输路径配置于所述测定对象的所述第一端面或所述第二端面一侧,作为输入侧光传输路径或输出侧光传输路径发挥功能,所述第一光传输路径包括具有与权利要求1至12中任一项所述的多芯光纤相同的结构的第一多芯光纤;

通过将所述第一多芯光纤的所述多个芯与所述测定对象的所述多个芯一对一地光学连接而构成包括所述测定对象的光纤线路;

针对所述光纤线路的多个芯中各个芯,一边变更在输入到所述光纤线路的输入侧端面之后从所述光纤线路的输出侧端面输出的测定光的波长,一边测定所述测定光的强度;

基于与所述测定对象相关的测定结果,确定所述测定对象的所述多个芯各自的截止波长作为光纤特性。

19. 根据权利要求18所述的光纤特性测定方法,其中,
所述第一光传输路径是具备所述第一多芯光纤和第一光波导器件的光组合器,
所述第一光波导器件具有:
第一端面,具有规定的第一芯配置;
第二端面,具有与所述第一芯配置不同的第二芯配置;以及
多个芯,设置于所述第一端面与所述第二端面之间,
所述第一端面与所述第二端面之间的所述多个芯在所述第一端面处与所述第一多芯光纤的所述多个芯一对一地光学连接。

20. 根据权利要求18所述的光纤特性测定方法,其中,
还准备第二光传输路径,所述第二光传输路径相对于所述测定对象位于与所述第一光传输路径相反的一侧,作为所述输入侧光传输路径或所述输出侧光传输路径发挥功能,所述第二光传输路径包括具有与所述第一多芯光纤相同的结构的第二多芯光纤,

通过以所述测定对象被夹在所述第一多芯光纤与所述第二多芯光纤之间的方式将所述第二多芯光纤的所述多个芯与所述测定对象的所述多个芯一对一地光学连接而构成所述光纤线路。

21. 根据权利要求20所述的光纤特性测定方法,其中,
所述第二光传输路径是具备所述第二多芯光纤和第二光波导器件的光组合器,
所述第二光波导器件具有:
第一端面,具有规定的第一芯配置;
第二端面,具有与所述第一芯配置不同的第二芯配置;以及

多个芯,设置于所述第一端面与所述第二端面之间,

所述第一端面与所述第二端面之间的所述多个芯在所述第一端面处与所述第二多芯光纤的所述多个芯一对一地光学连接。

22. 一种光纤特性测定方法,在所述光纤特性测定方法中,

准备作为第一测定对象的被测定多芯光纤,所述被测定多芯光纤具有第一端面和第二端面,并具有分别从所述第一端面朝向所述第二端面延伸的多个芯;

准备输出侧光传输路径,所述输出侧光传输路径配置于所述第一测定对象的所述第二端面一侧,所述输出侧光传输路径包括权利要求1至12中任一项所述的多芯光纤;

通过将所述多芯光纤的所述多个芯与所述第一测定对象的所述多个芯一对一地光学连接而构成包括整个所述第一测定对象的第一光纤线路;

通过针对所述第一光纤线路的多个芯中各个芯测定在输入到所述第一光纤线路的输入侧端面之后从所述第一光纤线路的输出侧端面输出的测定光的强度而执行第一测定步骤;

将所述第一测定对象的一部分即从所述第一测定对象切下的具有规定的截断长度的部分作为第二测定对象,在通过将所述第二测定对象的多个芯与所述多芯光纤的所述多个芯一对一地光学连接而构成除了所述第二测定对象以外所述第一测定对象均被去除的第二光纤线路之后,针对所述第二光纤线路的多个芯中各个芯测定在输入到所述第二光纤线路的输入侧端面之后从所述第二光纤线路的输出侧端面输出的测定光的强度而执行第二测定步骤;

基于所述第一测定步骤及所述第二测定步骤的测定结果,确定切下所述第二测定对象之后所述第一测定对象的所述多个芯各自的传输损耗的波长依赖性作为光纤特性。

23. 根据权利要求22所述的光纤特性测定方法,其中,

所述输出侧光传输路径是具备所述多芯光纤和光波导器件的光组合器,

所述光波导器件具有:

第一端面,具有规定的第一芯配置;

第二端面,具有与所述第一芯配置不同的第二芯配置;以及

多个芯,设置于所述第一端面与所述第二端面之间,

所述第一端面与所述第二端面之间的所述多个芯在所述第一端面处与所述多芯光纤的所述多个芯一对一地光学连接。

多芯光纤、光组合器及光纤特性测定方法

技术领域

[0001] 本公开涉及多芯光纤(以下,记为“MCF”)、光组合器及光纤特性测定方法。

[0002] 本申请要求以2022年3月17日申请的日本专利申请第2022-042673号以及2022年12月21日申请的国际申请第PCT/JP2022/047220号为基础的优先权,以其内容为依据,并且参照其整体内容而结合于本说明书中。

背景技术

[0003] 专利文献1中公开了使用OTDR(Optical Time Domain Reflectometer:光时域反射仪)的MCF的串扰(以下,记为“XT”)的测定方法,另外,公开了为了测定高效化而利用光组合器这一点。专利文献2中公开了少模用的束型光组合器(FIFO:FAN-IN/FAN-OUT:扇入/扇出),在该FIFO上连接4种LP(Linearly Polarized:线偏振)模能够在各芯中被导波的少模MCF(Few-mode MCF)。进而,专利文献3中公开了通过GI(Graded-index:渐变折射率)型折射率分布芯使连接损耗降低的单芯光纤(以下,记为“SCF”)的例子。需要说明的是,有时也将FIFO单体称为光组合器,但在本说明书中,除了FIFO以外,还将连接用的SCF及MCF包含在内地称为“光组合器”。

[0004] 另一方面,非专利文献1中公开了9种LP模能够在各芯中被导波的非耦合MCF的设计。非专利文献2中定义了具有单模的芯的SCF的截止波长的测定方法。进而,在非专利文献3中,评价了分别具有26 μm 的芯径的多个芯以39 μm 的芯节距排列而成的MCF的特性。在非专利文献3的MCF中,芯间的折射率之差为0.016,各芯具有GI型的折射率分布。另外,在各芯中,能够对9种左右的LP模进行导波。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开2012-202827号公报

[0008] 专利文献2:日本特开2017-146354号公报

[0009] 专利文献3:日本特开2009-258354号公报

[0010] 非专利文献

[0011] 非专利文献1:Taiji Sakamoto, et al., “Spatial Density and Splicing Characteristic Optimized Few-Mode Multi-Core Fiber”, JURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 38, NO. 16, pp. 4490-4496, AUGUST 15, 2020

[0012] 非专利文献2:ITU-T G.650.1

[0013] 非专利文献3:Benyuan Zhu, et al., “7 \times 10-Gb/s Multicore Multimode Fiber Transmissions for Parallel Optical Data Links”, ECOC2010, We. 6.B.3, 19-23 September, 2010, Torino, Italy

[0014] 非专利文献4:Y. Tottori, et al., “Low Loss Optical Connection Module for Seven-Core Multicore Fiber and Seven Single-Mode Fibers”, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 24, NO. 21, pp. 1926-1928, NOVEMBER 1, 2012

[0015] 非专利文献5:Y.Tottori,et al.,“Integrated optical connection module for 7-core multi-core fiber and 7 single mode fibers”,2013 IEEE MC3.2,pp.82-83

发明内容

[0016] 为了解决上述技术问题,本公开的MCF具备:多个芯,沿着中心轴延伸;以及公共包层,包围多个芯中的各个芯,在波长1260nm下,包括基模的10种以上的LP模在多个芯各自中被导波1m以上。

附图说明

[0017] 图1是示出本公开所涉及的MCF及光组合器的基本结构的图。

[0018] 图2是用于说明能够应用于本公开的光组合器的FIFO器件的另一例的图。

[0019] 图3是用于说明作为图2所示的光组合器的变形例而芯数不同的光组合器的构成部件的各端面结构的图。

[0020] 图4是用于说明能够应用于本公开的光组合器的FIFO器件的又一例的图。

[0021] 图5是用于说明相对折射率差体积V的图。

[0022] 图6是示出用于将截止波长作为测定对象的光纤特性的例子来进行测定的测定装置及测定结果的图。

[0023] 图7是针对在截止波长的测定中不满足本公开的MCF所要求的连接条件的各种样品示出连接损耗的波长依赖性的图。

[0024] 图8是用于说明应用于本公开的MCF的XT条件的图。

[0025] 图9是示出用于将传输损耗的波长依赖性作为测定对象的光纤特性的例子来进行测定的测定装置的图。

具体实施方式

[0026] [本公开要解决的技术问题]

[0027] 发明人们对上述那样的现有技术进行了研究,结果发现如下的技术问题。

[0028] 作为一例,例如,在“截止波长”、“传输损耗的波长依赖性”等的标准的测定方法中,存在即使使用专利文献1所公开的光组合器也无法进行对MCF的批量测定的技术问题。这是因为,在“截止波长”、“传输损耗的波长依赖性”的测定中,需要接收多个LP模的光。然而,在现有的光组合器中,如专利文献2那样,至多只能接收4种LP模的光,无法充分地降低由轴偏移导致的连接损耗。另外,如非专利文献1、非专利文献3所记载的那样,即使只限于MCF,若以现有的光纤设计的话也只能对9种左右的LP模进行导波,需要新的MCF。关于光组合器与测定对象的连接损耗的具体数值,如非专利文献2所记载的那样,在标准的测定方法中,在示出每个波长的测定值的图表的长波长侧,在成为图表的一部分的线段的0.1dB上划平行线,将该平行线与图表的交点处的波长确定为截止波长。为此,对测定对象输入输出测定光时的连接损耗需要比0.1dB足够小。

[0029] 作为另一例,若将专利文献3那样的使连接损耗降低的SCF用作来自测定对象的各芯的光的受光单元,则存在测定对象中的芯间的XT变大的技术问题。即,为了降低连接损耗,需要比9种多的LP模在各芯中被导波的MCF。然而,若要对更多的LP模进行导波,则各芯

的芯径也变大,因而被测定多芯光纤(以下,记为“被测定MCF”)内的芯间的XT变大。在这种情况下,由于每个芯的信号串线,因而无法进行准确的测定。

[0030] 本公开是为了解决上述那样的技术问题而完成的,其目的在于提供具备用于即使在应光学连接的芯间产生轴偏移的情况下也能抑制连接损耗增加的结构的多芯光纤、包括该多芯光纤的光组合器、以及使用该多芯光纤的光纤特性测定方法。

[0031] [本公开的效果]

[0032] 根据本公开的多芯光纤,在该多芯光纤与成为测定对象的其他光纤的连接中,即使是在应光学连接的芯间产生轴偏移的状态下,也可以有效抑制连接损耗增加。

[0033] [本公开的实施方式的说明]

[0034] 首先,分别单独地列举本公开的实施方式的内容进行说明。

[0035] 本公开的多芯光纤

[0036] (1) 也可以具备沿着中心轴延伸的多个芯以及包围多个芯中各个芯的公共包层,并具有以下的第二结构。第二结构通过在波长1260nm下、包括基模的10种以上的LP模在多个芯各自中被导波1m以上而定义。

[0037] 根据本公开的多芯光纤,通过除了基模以外还包括高阶模的10种以上的LP模在各芯内被导波1m以上,可以降低对应于轴偏移的连接损耗。需要说明的是,在本说明书中,“LP模被导波”的状态意指成为导波对象的在芯内传播1m之后的该LP模的传输损耗为3.01dB以下的状态。另外,“轴偏移”状态意指应光学连接的芯双方的中心轴分离1 μ m以上的状态,在本公开的多芯光纤中容许的轴偏移为5 μ m以下。

[0038] (2) 在上述(1)中,本公开的多芯光纤也可以具有以下的第二结构。第二结构能够与上述第一结构组合,由多个芯各自的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 定义,各芯的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 在与中心轴正交的多芯光纤的截面上被定义。具体而言,第二结构通过在从对象芯的中心到公共包层中包括的最低折射率区域的基准截面内对对象芯相对于该最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 满足以下的关系:

[0039] $2.2302 \leq V$

[0040] 而定义。该关系式是为了在各芯中对除了基模以外还包括高阶模的10种以上的LP模进行导波的具体条件,是为了在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时归一化频率 v_{eff} 为8.6以上的条件。

[0041] (3) 在上述(1)中,本公开的多芯光纤也可以具有以下的第三结构。第三结构中,上述的LP模为13种以上。这样,通过除了基模以外还包括高阶模的13种以上的LP模在各芯内被导波1m以上,可以进一步降低对应于轴偏移的连接损耗。需要说明的是,包括13种以上的LP模的模组中包含包括上述10种以上的LP模的模组。另外,总括性地定义在各芯内被导波的模的“模组”也可以包括LP模以外的模式。

[0042] (4) 在上述(3)中,本公开的多芯光纤也可以具有以下的第四结构。第四结构能够与上述第三结构组合,由多个芯各自的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 定义,各芯的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 在与中心轴正交的多芯光纤的截面上被定义。不过,第四结构通过在从对象芯的中心到公共包层中包括的最低折射率区域的基准截面内对对象芯相对于该最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 满足以下的关系:

[0043] $2.9256 \leq V$

[0044] 而定义。该关系式是为了在各芯中对除了基模以外还包括高阶模的13种以上的LP模进行导波的具体条件,是为了在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时归一化频率 v_{eff} 为9.85以上的条件。

[0045] 本公开的MCF

[0046] (5)也可以具备沿着中心轴延伸的多个芯以及包围多个芯中各个芯的公共包层,并具有由多个芯各自的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 定义的结构。各芯的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 在与中心轴正交的MCF的截面上被定义。具体而言,第二结构通过在从对象芯的中心到公共包层中包括的最低折射率区域的基准截面内对对象芯相对于该最低折射率区域的相对折射率差进行积分而得到的相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 满足以下的关系:

[0047] $2.2302 \leq V$

[0048] 而定义。该关系式是为了在各芯中对除了基模以外还包括高阶模的10种以上的LP模进行导波的具体条件,是为了在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时归一化频率 v_{eff} 为8.6以上的条件。

[0049] (6)在上述(5)中,相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 也可以满足以下的关系:

[0050] $2.9256 \leq V$ 。

[0051] 该关系式是为了在各芯中对除了基模以外还包括高阶模的13种以上的LP模进行导波的具体条件,是为了在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时归一化频率 v_{eff} 为9.85以上的条件。

[0052] (7)在上述(2)、上述(4)、上述(5)及上述(6)中的任一项中,相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 也可以为15以下。如果相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 为15以下,则在各芯内传播的光、例如用于测定用的光的光强度的超出必要的衰减得到有效抑制。

[0053] (8)在上述(7)中,相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 也可以为11以下。如果相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 为11以下,则在各芯内传播的光的超出必要的衰减进一步得到有效抑制。

[0054] (9)在上述(1)至上述(8)中的任一项中,具有半径 $a(\mu\text{m})$ 的第一芯与具有半径 $b(\mu\text{m})$ 的第二芯也可以满足以下的关系:

[0055] $34 \leq \Lambda \leq 46$ 、

[0056] $0.6375 < (a+b) / \Lambda < 0.8625$ 、

[0057] 第一芯与第二芯是多个芯中满足中心间距离 $\Lambda(\mu\text{m})$ 最短的相邻关系的第一芯与第二芯。

[0058] (10)在上述(9)中,第一芯及第二芯也可以满足以下的关系:

[0059] $34 \leq \Lambda \leq 46$ 、

[0060] $0.675 < (a+b) / \Lambda < 0.825$ 。

[0061] 通过满足上述关系式中的任一者,有效降低处于相邻关系的芯间的XT。

[0062] (11)在上述(1)至上述(10)中的任一项中,多个芯中的至少任一个芯也可以具有GI型折射率分布。在这种情况下,在本公开的MCF与其他MCF的连接中,有效降低应光学连接的芯间的连接损耗。

[0063] (12)在上述(1)至上述(11)中的任一项中,本公开的MCF也可以还具备多个沟槽部,该多个沟槽部分别配置为与多个芯各自一对一地对应,并且包围多个芯中对应的芯的外周。多个沟槽部分别具有比公共包层的折射率低的折射率。在这种情况下,能够有效地降

低XT。

[0064] 本公开的光组合器

[0065] (13)也可以具备上述(1)至上述(12)中任一项的MCF。在这种情况下,该光组合器由本公开的MCF和光波导器件构成。光波导器件具有:第一端面,具有规定的第一芯配置;第二端面,具有与第一芯配置不同的第二芯配置;以及多个芯,设置于第一端面与第二端面之间。另外,在第一端面处,第一端面与第二端面之间的多个芯与本公开的MCF的多个芯一对一地光学连接。通过由本公开的MCF构成光组合器的一部分,实现光纤特性测定方法的测定装置的构成变得容易。需要说明的是,在本公开的光组合器中,光波导器件的多个芯也可以分别是多模芯。

[0066] (14)在上述(13)中,光波导器件也可以包括多个SCF部件作为多个芯。在这种情况下,多个SCF部件各自具有:第一光纤端面,构成该光波导器件的第一端面的一部分;第二光纤端面,构成该光波导器件的第二端面的一部分;以及单芯,从第一光纤端面延伸至第二光纤端面。另外,多个SCF部件各自在包括第一光纤端面的前端部分的侧面设置有一个以上的平坦面。通过将平坦面彼此以面对面的状态固定,多个SCF部件的第一光纤端面构成该光波导器件的第一端面。这样,通过利用多个SCF部件来构成包括多个芯的光波导器件,能够容易地制造该光波导器件本身。

[0067] (15)在上述(14)中,多个SCF部件的根数也可以为两根。在这种情况下,针对所准备的两根SCF部件的侧面的平坦加工的次数为一次即可。为此,光组合器的制造变得更容易。

[0068] 本公开的光组合器

[0069] (16)也可以由本公开的MCF和光连接器件构成,其中,本公开的MCF为上述(1)至上述(12)中任一项的MCF。光连接器件具有第一端部、第二端部、贯通孔及空间光学系统。第一端部保持MCF的包括端面的前端部分。第二端部保持多个SCF的前端部分,该多个SCF分别具有与MCF的多个芯中的任一者一对一地对应的芯。贯通孔从第一端部延伸至第二端部,并且在MCF与多个SCF之间使多个光束在不同的光路中传播。另外,空间光学系统使MCF的多个芯各自与多个SCF的芯中对应的芯光学耦合。通过在MCF的多个芯与多个SCF的芯之间配置空间光学系统,能够单独地变更贯通孔内的多个光路。

[0070] (17)在上述(16)中,空间光学系统也可以包括GRIN(GRaded INdex:梯度折射率)透镜。GRIN透镜是折射率分布型透镜,通过针对MCF的多个芯中的各个芯变更来自该芯的光向GRIN透镜的输入位置,能够配合对应的SCF的设置位置来调整焦点位置。

[0071] 本公开的光纤特性测定方法

[0072] (18)为了测定作为光纤特性的截止波长,准备作为测定对象的被测定MCF,准备第一光传输路径,构成包括测定对象的光纤线路,测定测定光的强度,并确定测定对象的多个芯各自的截止波长。作为测定对象的被测定MCF具有第一端面和第二端面,并具有分别从第一端面朝向第二端面延伸的多个芯。第一光传输路径配置于该测定对象的第一端面或第二端面一侧,作为输入侧光传输路径或输出侧光传输路径发挥功能。另外,第一光传输路径包括具有与作为本公开的MCF的上述(1)至上述(12)中任一项的本公开的MCF相同的结构的第一多芯光纤(第一MCF)。光纤线路包括第一MCF和测定对象,通过将第一MCF的多个芯与测定对象的多个芯一对一地光学连接而构成。在这样的构成中,针对光纤线路的多个芯中各个

芯,一边变更在输入到光纤线路的输入侧端面之后从该光纤线路的输出侧端面输出的测定光的波长,一边测定测定光的强度。基于与测定对象相关的测定结果确定测定对象的多个芯各自的截止波长作为光纤特性。

[0073] 需要说明的是,测定光是针对光纤线路的多个芯中各个芯在输入到该光纤线路的输入侧端面之后从该光纤线路的输出侧端面输出的光。另外,测定对象的多个芯中的每个波长的强度测定可以对多个芯同时进行,也可以对多个芯各自错开时间来进行。在执行该测定之后,基于该测定对象的测定结果确定测定对象的多个芯各自的截止波长作为光纤特性。本公开的光纤特性测定方法通过利用本公开的MCF,能够在不使光纤间的连接损耗增加的情况下进行被测定MCF中的各芯的光纤特性的测定。

[0074] (19)在上述(18)中,第一光传输路径也可以具有与作为本公开的光组合器的上述(13)或上述(16)的光组合器相同的结构。具体而言,第一光传输路径也可以是具备第一MCF和第一光波导器件的光组合器。第一光波导器件具有:第一端面,具有规定的第一芯配置;第二端面,具有与第一芯配置不同的第二芯配置;以及多个芯,设置于第一端面与第二端面之间。另外,在该第一端面处,第一光波导器件的多个芯与第一MCF的多个芯一对一地光学连接。需要说明的是,输入侧光传输路径及输出侧光传输路径中未应用与本公开的光组合器相同的结构的光传输路径构成为使得来自光源的测定光可以作为多模光输入到被测定MCF的所有芯、且来自被测定MCF的所有芯的光可以作为多模光由功率计接收即可。更具体而言,测定光可以从光源直接输入到被测定MCF的所有芯,也可以经由单芯的大口径多模光纤(以下,记为“MMF”)或本公开的MCF而输入到被测定MCF。从被测定MCF的所有芯输出的光可以直接输入到功率计,也可以经由单芯的大口径MMF或本公开的MCF而输入到功率计。

[0075] (20)在上述(18)中,也可以还准备第二光传输路径,该第二光传输路径相对于测定对象位于与第一光传输路径相反的一侧,作为输入侧光传输路径或输出侧光传输路径发挥功能。该第二光传输路径包括与第一MCF同样地具有与作为本公开的MCF的上述(1)至上述(12)中任一项的MCF相同的结构的第二多芯光纤(第二MCF)。另外,光纤线路通过以测定对象被夹在第一MCF与第二MCF之间的方式将第二MCF的多个芯与测定对象的多个芯一对一地光学连接而构成。这样,即使在输入侧光传输路径及输出侧光传输路径双方中应用本公开的光组合器,也可以得到同样的测定结果,而不使光纤间的连接损耗增加。在这种情况下,能够提高实现光纤特性测定方法的测定装置的设计自由度。

[0076] (21)在上述(20)中,第二光传输路径也可以具有与上述(13)或上述(16)的光组合器相同的结构。具体而言,第二光传输路径也可以是具备第二MCF和第二光波导器件的光组合器。第二光波导器件具有与第一光波导器件相同的结构,具有:第一端面,具有规定的第一芯配置;第二端面,具有与第一芯配置不同的第二芯配置;以及多个芯,设置于第一端面与第二端面之间。该第二光波导器件的多个芯在该第一端面处与第二MCF的多个芯一对一地光学连接。在这种情况下,也能够提高实现光纤特性测定方法的测定装置的设计自由度。

[0077] 本公开的光纤特性测定方法

[0078] (22)为了测定作为光纤特性的基于截断法的传输损耗的波长依赖性,准备作为第一测定对象的被测定MCF,准备包括本公开的MCF的输出侧光传输路径,构成包括整个第一测定对象的第一光纤线路,并确定截断后的第一测定对象的各芯中的光学特性。作为第一测定对象的被测定MCF具有第一端面和第二端面,并具有分别从第一端面朝向第二端面延

伸的多个芯。输出侧光传输路径配置于第一测定对象的第二端面一侧,并包括作为本公开的MCF的上述(1)至上述(12)中任一项的MCF。第一光纤线路包括输出侧光传输路径的MCF和整个第一测定对象,通过将该MCF的多个芯与第一测定对象的多个芯一对一地光学连接而构成。于是,在这样的构成中,执行针对第一测定对象的第一测定步骤、以及针对作为第一测定对象的一部分的第二测定对象的第二测定步骤。需要说明的是,第二测定对象是第一测定对象的一部分,是从该第一测定对象切下的具有规定的截断长度的部分。

[0079] 在第一测定步骤中,针对第一光纤线路的多个芯中各个芯测定在输入到该第一光纤线路的输入侧端面之后从第一光纤线路的输出侧端面输出的测定光的强度。在第二测定步骤中,利用包括第二测定对象的第二光纤线路测定测定光的强度。即,第二测定对象是第一测定对象的一部分,是从第一测定对象切下的具有规定的截断长度的部分。第二光纤线路是除了第二测定对象以外第一测定对象均被去除的光纤线路,通过将第二测定对象的多个芯与构成第一光纤线路的一部分的MCF的多个芯一对一地光学连接而构成。在构成该第二光纤线路之后,针对第二光纤线路的芯中各个芯测定在输入到该第二光纤线路的输入侧端面之后从第二光纤线路的输出侧端面输出的测定光的强度。基于上述的第一测定步骤及第二测定步骤的测定结果确定切下第二测定对象后的第一测定对象的多个芯各自的传输损耗的波长依赖性作为光纤特性。根据这样的构成,通过利用本公开的MCF,也能够在不使光纤间的连接损耗增加的情况下进行被测定MCF中的各芯的光纤特性的测定。

[0080] (23) 在上述(22)中,输出侧光传输路径也可以具有与上述(13)或上述(16)的光组合器相同的结构。具体而言,输出侧光传输路径也可以是具备该输出侧光传输路径中包括的MCF和光波导器件的光组合器。光波导器件具有:第一端面,具有规定的第一芯配置;第二端面,具有与第一芯配置不同的第二芯配置;以及多个芯,设置于第一端面与第二端面之间。另外,该光波导器件的多个芯在第一端面处与上述MCF的多个芯一对一地光学连接。在这种情况下,也能够提高测定装置的设计自由度。

[0081] [本公开的实施方式的详情]

[0082] 参照附图,对本公开所涉及的多芯光纤(MCF)、光组合器及光纤特性测定方法的具体例进行详细说明。需要说明的是,本发明并不限于这些示例,而是由权利要求示出,旨在包括与权利要求等同的含义及范围内的所有变更。另外,在附图的说明中,对相同的要素标注相同的附图标记,并省略重复的说明。

[0083] 图1是示出本公开所涉及的多芯光纤(MCF)及光组合器的基本结构的图(在图1中,记为“基本结构”)。需要说明的是,在图1的上段(在图1中,记为“MCF”)示出了本公开的多芯光纤100的例子。不过,多芯光纤100中的芯的根数为两根以上即可,并不限于图1的上段所示的例子。另外,在图1的下段(在图1中,记为“光组合器1”),作为本公开的光组合器200的一例,示出了包括FIFO器件210作为多模光波导的例子。需要说明的是,在本说明书中,作为光组合器200,将位于被输入测定光的测定对象的输入端侧的要素记为输入侧光组合器200A,将位于测定对象的输出端侧的要素记为输出侧光组合器200B。另外,作为FIFO器件210,将输入侧光组合器200A中包括的FIFO器件记为FAN-IN器件210A,将输出侧光组合器200B中包括的FIFO器件记为FAN-OUT器件210B。

[0084] 图1的上段所示的本公开的多芯光纤100具备:玻璃光纤110,具有第一端面110a和第二端面110b;以及树脂包覆130,设置于玻璃光纤110的外周面上。玻璃光纤110具备:芯111至

芯114,沿着作为中心轴的光纤轴AX,分别从第一端面110a朝向第二端面110b延伸;以及公共包层120,将这些芯111至芯114分别包围。需要说明的是,玻璃光纤110也可以具备与芯111至芯114各自一对一地对应地设置的多个沟槽部140。这多个沟槽部140各自构成公共包层120的一部分,成为公共包层120的最低相对折射率区域。即,各沟槽部140的折射率比除了多个沟槽部140以外的公共包层120的折射率低。在公共包层120内未设置多个沟槽部140的构成中,整个公共包层120成为最低折射率区域。

[0085] 图1的下段所示的本公开的光组合器200具备:FIFO器件210,作为光波导器件发挥功能;多个连接用SCF230,分别具有多模芯;以及本公开的MCF100。FIFO器件210具有多个芯220,在FIFO器件210的第一端面210a处,多个芯220与MCF100的芯111至芯114一对一地光学连接。同样地,在FIFO器件210的第二端面210b处,多个芯220与多个连接用SCF230的芯一对一地光学连接。

[0086] 图2是用于说明能够应用于本公开的光组合器的FIFO器件的另一例的图(在图2中,记为“光组合器2”),图3是用于说明作为图2所示的光组合器的变形例而芯数不同的光组合器的构成部件的各端面结构的图(在图3中,记为“端面结构”)。需要说明的是,在图3中,作为构成部件的端面结构,在左侧(在图3中,记为“FIFO器件侧”)示出了FIFO器件侧的端面结构,在右侧(在图3中,记为“MCF侧”)示出了MCF侧的端面结构。在图2的上段(在图2中,记为“制造工序”)示出了组装有FIFO器件的另一例的光组合器的制造工序,在图2的下段(在图2中,记为“SCF的结构”)示出了应用于FIFO器件的另一例的SCF的结构。另外,在图3的上段(在图3中,记为“双芯结构”)示出了由两根SCF构成的FIFO器件端面结构及MCF的端面结构。在图3的中段(在图3中,记为“三芯结构”)示出了由三根SCF构成的FIFO器件端面结构及MCF的端面结构。在图3的下段(在图3中,记为“四芯结构”)示出了由四根SCF构成的FIFO器件端面结构及MCF的端面结构。

[0087] 如图2的上段所示,在构成具有两根芯的FIFO器件210的情况下,首先,作为多个单芯光纤部件(以下,记为“SCF部件”),准备两根SCF部件700A、700B,该多个单芯光纤部件为光波导。SCF部件700A、700B各自的全长为2m。

[0088] SCF部件700A具有单芯710A、包围单芯710A的包层720A、构成FIFO器件210的第一端面210a的一部分的第一光纤端面700A1、以及构成FIFO器件210的第二端面210b的一部分的第二光纤端面700A2。另外,在包括第一光纤端面700A1的该SCF部件700A的前端部分的侧面,设置有沿光纤轴AX的长度LL为几cm左右的平坦面730A。

[0089] 另一方面,SCF部件700B也具有单芯710B、包围单芯710B的包层720B、构成FIFO器件210的第一端面210a的一部分的第一光纤端面700B1、以及构成FIFO器件210的第二端面210b的一部分的第二光纤端面700B2。另外,在包括第一光纤端面700B1的该SCF部件700B的前端部分的侧面,设置有沿光纤轴AX的长度LL为几cm左右的平坦面730B。

[0090] 例如,在SCF部件700A中,如图2的下段所示,形成于侧面的平坦面730A相对于光纤轴AX倾斜。为此,设置有平坦面730A的第一光纤端面700A1的面积比第二光纤端面700A2的面积小。SCF部件700B也具有与SCF部件700A同样的结构。

[0091] 具有如上所述的结构SCF部件700A、700B的平坦面730A、730B彼此在相互面对面的状态下被粘接固定。由此,得到FIFO器件210。FIFO器件210的第一端面210a由SCF部件700A、700B的被粘接固定后的第一光纤端面700A1、700B1构成。另外,FIFO器件210的第二端

面210b由SCF部件700A、700B的第二光纤端面700A2、700B2构成。需要说明的是,SCF部件700A、700B的第二光纤端面700A2、700B2未固定。然后,由这两根SCF部件700A、700B构成的FIFO器件210的第一端面210a粘接固定于MCF100。此时,MCF100的芯与SCF部件700A、700B中对应的SCF侧的单芯光学连接。

[0092] 接着,使用图3所示的例子,对相互光学连接的FIFO器件210和MCF100双方的端面结构进行说明。需要说明的是,图3的上段所示的FIFO器件为图2所示的例子,由两根SCF部件700A、700B构成。图3的中段所示的FIFO器件由三根SCF部件700C、700D、700E构成。图3的下段所示的FIFO器件由四根SCF部件700F、700G、700H、700I构成。

[0093] 在构成图3的上段所示的FIFO器件的SCF部件700A、700B各自中,包层外径为125 μ m,芯外径为30 μ m。例如,SCF部件700A在其包括第一光纤端面700A1的前端部分的侧面设置有平坦面730A。在该第一光纤端面700A1上,构成端面轮廓的直线部分相当于平坦面730A的边缘,端面轮廓中的曲线部分相当于除了平坦面730A以外的包层720A的端面边缘。具体而言,从单芯710A的中心到直线部分的最短距离 D_s 为18.05 μ m。另外,最短距离 D_s 比从单芯710A的中心到曲线部分的距离即包层半径 D_c 短。需要说明的是,SCF部件700B也具有与SCF部件700A同样的截面结构。

[0094] 如上所述,在由SCF部件700A的第一光纤端面700A1及700B的第一光纤端面700B1构成的FIFO器件210的第一端面210a处,单芯710A与单芯710B的中心间距离为 P_1 。另一方面,在与FIFO器件210光学连接的MCF100、实质上为玻璃光纤110的第一端面110a上配置有两个芯115,该两个芯115的中心间距离也设定为 P_1 。需要说明的是,玻璃光纤110的包层外径为125 μ m,芯115各自的芯径为28 μ m,芯115的中心间距离 P_1 为36.1 μ m。

[0095] 为了构成图3的中段所示的FIFO器件而准备的SCF部件700C、700D、700E各自在平坦面形成前具有与上述的SCF部件700A同样的结构。即,SCF部件700C具有单芯710C和包层720C,SCF部件700D具有单芯710D和包层720D,SCF部件700E具有单芯710E和包层720E。需要说明的是,相对于在配置于左右的SCF部件700C、700E上设置有一个平坦面730C、730E,在SCF部件700D上设置有两个平坦面730D1、730D2。例如,在SCF部件700C的情况下,在第一光纤端面700C1上,构成端面轮廓的直线部分相当于平坦面730C的边缘,另外,端面轮廓中的曲线部分相当于除了平坦面730C以外的包层720C的端面边缘。在SCF部件700E的情况下,在第一光纤端面700E1上,构成端面轮廓的直线部分相当于平坦面730E的边缘,另外,端面轮廓中的曲线部分相当于除了平坦面730E以外的包层720E的端面边缘。另一方面,在设置有两个平坦面730D1、730D2的SCF部件700D的情况下,在第一光纤端面700D1上,构成端面轮廓的直线部分相当于平坦面730D1、730D2的边缘,另外,端面轮廓中的曲线部分相当于除了这些平坦面730D1、730D2以外的包层720D的端面边缘。特别是,如果提到SCF部件700D,则从单芯710D的中心到直线部分的最短距离 D_s 比从单芯710D的中心到曲线部分的距离即包层半径 D_c 短。

[0096] 通过将SCF部件700C、700E的平坦面730C、730E各自粘接于具有如上所述的端面结构的SCF部件700D的两个平坦面730D1、730D2,从而得到FIFO器件210。此时,FIFO器件210的第一端面210a由SCF部件700C的第一光纤端面700C1、SCF部件700D的第一光纤端面700D1及SCF部件700E的第一光纤端面700E1构成。在这样的FIFO器件210的第一端面210a处,单芯710C与单芯710D的中心间距离以及单芯710D与单芯710E的中心间距离分别为 P_2 。另一方

面,在与具有如上所述的端面结构的FIFO器件210光学连接的MCF100中包括的玻璃光纤110的第一端面110a上配置有三个芯116,该三个芯116中相邻的芯间的中心间距离也设定为 P_2 。

[0097] 为了构成图3的下段所示的FIFO器件而准备的SCF部件700F、700G、700H、700I各自在平坦面形成前具有与上述的SCF部件700A同样的结构。即,SCF部件700F具有单芯710F和包层720F,SCF部件700G具有单芯710G和包层720G,SCF部件700H具有单芯710H和包层720H,而且,SCF部件700I具有单芯710I和包层720I。需要说明的是,在SCF部件700F的包括第一光纤端面700F1的前端部分的侧面设置有两个平坦面730F1、730F2,在SCF部件700G的包括第一光纤端面700G1的前端部分的侧面设置有两个平坦面730G1、730G2,在SCF部件700H的包括第一光纤端面700H1的前端部分的侧面设置有两个平坦面730H1、730H2,而且,在SCF部件700I的包括第一光纤端面700I1的前端部分的侧面设置有两个平坦面730I1、730I2。

[0098] 例如,在SCF部件700F的情况下,在第一光纤端面700F1上,构成端面轮廓的直线部分相当于平坦面730F1、730F2的边缘,另外,端面轮廓中的曲线部分相当于除了平坦面730F1、730F2以外的包层720F的端面边缘。特别是,如果提到SCF部件700F,则从单芯710F的中心到直线部分的最短距离 D_s 均比从单芯710F的中心到曲线部分的距离即包层半径 D_c 短。SCF部件700G、700H、700I各自也具有与SCF部件700F的第一光纤端面700F1同样的端面结构。

[0099] 由具有如上所述的端面结构的SCF部件700F、700G、700H、700I得到FIFO器件210。具体而言,将SCF部件700F的平坦面730F2与SCF部件700G的平坦面730G1粘接固定,将SCF部件700G的平坦面730G2与SCF部件700H的平坦面730H1粘接固定,将SCF部件700H的平坦面730H2与SCF部件700I的平坦面730I1粘接固定,而且,将SCF部件700I的平坦面730I2与SCF部件700F的平坦面730F1粘接固定。

[0100] 此时,FIFO器件210的第一端面210a由SCF部件700F的第一光纤端面700F1、SCF部件700G的第一光纤端面700G1、SCF部件700H的第一光纤端面700H1及SCF部件700I的第一光纤端面700I1构成,从单芯710F到单芯710G及单芯710I的各中心间距离以及从单芯710H到单芯710G及单芯710I的各中心间距离分别为 P_3 。另一方面,在与具有如上所述的端面结构的FIFO器件210光学连接的MCF100中包括的玻璃光纤110的第一端面110a上配置有三个芯111至114,该四个芯111至114中相邻的芯间的中心间距离也设定为 P_3 。

[0101] 图4是用于说明能够应用于本公开的光组合器的FIFO器件的又一例的图(在图4中,记为“光组合器3”)。在图4的上段(在图4中,记为“空间光学系统1”)示出了组装于FIFO器件的空间光学系统的例子。在图4的中段(在图4中,记为“空间光学系统2”)示出了组装于FIFO器件的空间光学系统的另一例。在图4的下段(在图4中,记为“截面结构”)示出了能够应用于本公开的光组合器的FIFO器件及其周边的截面构图。需要说明的是,图4的下段所示的FIFO器件是具有与图1的下段及图2的上段所示的作为光波导器件的FIFO器件210同等的功能的光连接器件。

[0102] 如非专利文献4所公开的那样,图4的上段所示的空间光学系统800A实质上配置于作为玻璃光纤110的端面的MCF100的第一端面110a与多个连接用SCF230的端面230a之间,使MCF100的多个芯111至芯114与多个连接用SCF230的芯231一对一地单独耦合。在该空间光学系统800A中,在多个连接用SCF230一侧配置有与该多个连接用SCF230一对一地对应的

多个准直透镜810,在MCF100一侧配置有GRIN透镜820。准直透镜810各自将所输入的准直光聚光于对应的连接用SCF230的芯231。另一方面,准直透镜810各自对来自对应的芯231的光束进行准直。GRIN透镜820对分别来自MCF100的芯111至芯114的光束进行准直,并输出这些准直光以使其在不同的光路中传播。另一方面,GRIN透镜820将输入到不同位置的准直光分别向对应的MCF100的芯111至芯114中的任一者聚光。需要说明的是,图4的上段所示的构成例仅由多个准直透镜810及GRIN透镜820构成,但也可以在多个准直透镜810与GRIN透镜820之间配置用于变更光路的棱镜元件。

[0103] 图4的中段所示的空间光学系统800B也配置于MCF100的第一端面110a与多个连接用SCF230的端面230a之间,使MCF100的多个芯111至芯114与多个连接用SCF230的芯231一对一地单独耦合。不过,在该空间光学系统800B中,如非专利文献5所公开的那样,在多个连接用SCF230一侧配置有具有与该多个连接用SCF230一对一地对应的透镜部分的准直透镜810A,在MCF100一侧配置有GRIN透镜820。与多个连接用SCF230一对一地对应的准直透镜810A的透镜部分各自将所输入的准直光聚光于对应的连接用SCF230的芯231。另一方面,准直透镜810A的透镜部分各自对来自对应的芯231的光束进行准直。GRIN透镜820对分别来自MCF100的芯111至芯114的光束进行准直,并输出这些准直光以使其在不同的光路中传播。另一方面,GRIN透镜820将输入到不同位置的准直光分别向对应的MCF100的芯111至芯114中的任一者聚光。另外,在准直透镜810A与GRIN透镜820之间配置有将从MCF100的芯111至芯114到多个连接用SCF230的芯231的各光路一并进行变更的棱镜830A。

[0104] 图4的下段所示的FIFO器件是用于如非专利文献4所公开的那样将MCF100的芯111至芯114与多个连接用SCF230的芯231光学连接的光连接器件,具有与图1的下段及图2的上段所示的FIFO器件210同样的功能。该FIFO器件采用包括与多个连接用SCF230一对一地对应地设置的棱镜830B的上述空间光学系统800A。具体而言,图4的下段所示的FIFO器件具有包括棱镜830B的空间光学系统800A以及具有收纳该空间光学系统800A的贯穿孔851A的框体。框体由第一端部852、第二端部853、棱镜保持架854及主体851构成。第一端部852保持MCF100的包括第一端面110a的前端部分。第二端部853一并保持多个连接用SCF230的包括端部的前端部分。棱镜保持架854保持棱镜830B。GRIN透镜820配置于主体851的贯通孔开口部。多个准直透镜810固定于安装在连接用SCF230的前端部分的作为连接器发挥功能的透镜保持架856的开口端。

[0105] 图5是用于说明相对折射率差体积V的图(在图5中,记为“折射率分布”)。需要说明的是,在图5的上段(在图5中,记为“类型1”)示出了沿着图1的上段所示的线L的芯以及芯周面部的折射率分布150A的例子。在图5的中段(在图5中,记为“类型2”)示出了沿着图1的上段所示的线L的芯以及芯周面部的折射率分布150B的例子。在图5的下段(在图5中,记为“类型3”)示出了沿着图1的上段所示的线L的芯以及芯周面部的折射率分布150C。

[0106] 图5的上段所示的类型1的折射率分布150A是设置有与芯111至芯114各自一对一地对应地设置的多个沟槽部140的例子。在折射率分布150A中,构成公共包层120的一部分的各沟槽部140配置于与芯111至芯114中对应的芯分离的位置。进而,各沟槽部140成为公共包层120中包括的最低折射率区域。需要说明的是,在图5的上段,用虚线示出了各芯的GI型折射率分布的例子。

[0107] 图5的中段所示的类型2的折射率分布150B也是设置有与芯111至芯114各自一对

一地对应地设置的多个沟槽部140的例子。在折射率分布150B中,与折射率分布150A不同,构成公共包层120的一部分的各沟槽部140与芯111至芯114中对应的芯接触。进而,各沟槽部140成为公共包层120中包括的最低折射率区域。

[0108] 图5的下段所示的类型3的折射率分布150C是在芯111至芯114各自的周边未设置沟槽部的例子。即,在折射率分布150C中,与上述的折射率分布150A及折射率分布150B不同,公共包层120与芯111至芯114各自直接接触。在该折射率分布150C中,公共包层120中包括的最低折射率区域是公共包层120本身。

[0109] 使用上述那样的类型1的折射率分布150A至类型3的折射率分布150C的三种折射率分布的例子,对各芯的相对折射率差体积V进行说明。需要说明的是,一般而言,难以测定有几个多少种的LP模在多模芯中被导波。为此,作为测定被导波的LP模的数量的代替指标,使用相对折射率差体积V。另外,图5所示的折射率分布150A至折射率分布150C为一例,即使是形状与它们不同的折射率分布,也能够计算相对折射率差体积V。

[0110] 通过使用该相对折射率差体积V,能够大致估计有多少种LP模在多模芯内被导波。关于相对折射率差体积V,在上述图5所示的类型1至类型3中,将在对象芯的周边部中相对折射率差最小的点、或者相对折射率差最小的区域中离芯最近的点距芯中心的距离设为 r_{\min} 。当将距离 r_{\min} 的点处的相对于纯二氧化硅的折射率的相对折射率差设为 Δ_{\min} 、将对象芯及芯周边部的相对于纯二氧化硅的折射率的相对折射率差作为距芯中心的距离r的函数而设为 $\Delta(r)$ 时,相对折射率差体积V由以下的(1)表示。

$$[0111] \quad V = 2\pi \int_0^{r_{\min}} (\Delta(r) - \Delta_{\min}) r dr \quad \dots (1)$$

[0112] 关于在芯周边部没有折射率变化的阶跃折射率型芯,将对象芯的相对于纯二氧化硅的折射率的相对折射率差设为 Δ_{core} ,将芯周边部的相对于纯二氧化硅的折射率的相对折射率差设为 Δ_{\min} ,将芯半径设为r,相对折射率差体积V由以下的式(2)表示。

$$[0113] \quad V = \pi (\Delta_{\text{core}} - \Delta_{\min}) r^2 \dots (2)$$

[0114] 另外,关于在芯周边部没有折射率变化的梯度折射率型芯,将对象芯的相对于纯二氧化硅的折射率的最大相对折射率差设为 Δ_{core} ,将芯周边部的相对于纯二氧化硅的折射率的相对折射率差设为 Δ_{\min} ,将芯半径设为r,相对折射率差体积V由以下的式(3)表示。

$$[0115] \quad V = \pi (\Delta_{\text{core}} - \Delta_{\min}) r^2 / 2 \dots (3)$$

[0116] 为了在波长1260nm下有10种LP模(包括基模)在多模芯内被导波的条件为 $2.2302 \leq V$ 。另外,为了在波长1260nm下有13种以上的LP模在多模芯内被导波的条件为 $2.9256 \leq V$ 。需要说明的是,通过满足条件 $2.2302 \leq V$,在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时,归一化频率 v_{eff} 为8.6以上。通过满足条件 $2.9256 \leq V$,在将芯的折射率分布近似为阶跃折射率型时,归一化频率 v_{eff} 为9.85以上。

[0117] 具有如上所述的结构的本公开的MCF100能够应用于信号传输用的光波导,但也能够应用于其他用途。以下,作为其他应用例,对使用本公开的MCF100的本公开的光纤特性测定方法的各种例子进行说明。具体而言,关于作为测定对象的被测定MCF的各芯,对截止波长的测定和传输损耗的波长依赖性的测定进行说明。

[0118] (截止波长的测定)

[0119] 图6是示出用于将截止波长作为被测定MCF的光纤特性的例子来进行测定的测定装置及测定结果的图(在图6中,记为“截止波长的测定”)。需要说明的是,在图6的上段(在

图6中,记为“测定装置”)示出了用于测定测定对象的截止波长的测定装置的构成例。在图6的下段(在图6中,记为“测定结果”)示出了图6的上段所示的测定装置的测定结果的例子。

[0120] 图6的上段所示的测定装置具备分别输出测定光的多个光源300、多个功率计400、以及配置于测定对象500的输入侧及输出侧双方的光组合器200A和光组合器200B。光组合器200A和光组合器200B均具有图1的下段、图2的上段或图4的下段所示的结构。需要说明的是,测定对象500是被测定MCF,光组合器200A和光组合器200B均是本公开的光组合器。

[0121] 光组合器200A具备:本公开的MCF100,具有多模的芯111至芯114;FAN-IN器件210A;以及多个连接用SCF230,分别具有多模的芯。MCF100的第二端面110b在一方的熔接点A处,在芯111至芯114各自与测定对象500的芯一对一地光学连接的状态下与该测定对象500的输入侧端面连接。MCF100的第一端面110a在芯111至芯114各自与FAN-IN器件210A的多模芯一对一地光学连接的状态下与该FAN-IN器件210A连接。多个光源300配置成与测定对象500的芯各自一对一地对应,为了将这多个光源300与FAN-IN器件210A的对应的芯光学连接,配置有多个连接用SCF230。

[0122] 另一方面,光组合器200B具备:本公开的MCF100,具有多模的芯111至芯114;FAN-OUT器件210B;以及多个连接用SCF230,分别具有多模的芯。MCF100的第二端面110b在另一方的熔接点A处,在芯111至芯114各自与测定对象500的芯一对一地光学连接的状态下与该测定对象500的输出侧端面连接。MCF100的第一端面110a在芯111至芯114各自与FAN-OUT器件210B的多模芯一对一地光学连接的状态下与该FAN-OUT器件210B连接。多个功率计400配置成与测定对象500的芯各自一对一地对应,为了将这多个功率计400与FAN-OUT器件210B的对应的芯光学连接,配置有多个连接用SCF230。

[0123] 需要说明的是,光组合器200A及光组合器200B中的至少任一者也可以替换为图9的上段及图9的下段所示的一般的光组合器(标准光组合器)和本公开的MCF100的组。这样的标准光组合器具有与图1的下段、图2的上段或图4的下段所示的光组合器200同样的结构,具备FIFO器件610、连接用的MCF600及连接用的多个连接用SCF620。不过,FIFO器件610的各芯、MCF600的各芯、多个连接用SCF620各自的芯均为单模芯。

[0124] 在具有如上所述的结构测定装置中,针对测定对象500的各芯(对象芯),一边变更在从与对象芯对应的作为可变长度光源的光源300输入到光组合器200A之后经由该对象芯从第二光组合器200B输出的测定光的波长,一边测定该测定光的强度。在对测定对象500的所有芯执行了该测定步骤之后,基于该测定对象500的测定结果确定测定对象500的多个芯中所有芯的截止波长作为光纤特性。在图6的下段,作为与成为对象芯的一个芯相关的测定结果,示出了光强度的波长依赖性。

[0125] 图7是针对在截止波长的测定中不满足本公开的MCF所要求的连接条件的各种样品而示出连接损耗的波长依赖性的图(在图7中,记为“连接损耗的波长依赖性”)。需要说明的是,在图7的上段(在图7中,记为“比较例1”)示出了在波长1150nm至波长1175nm的范围内从基模起数第10个LP模被截止、在波长1175nm以上的波长范围内仅9种LP模被导波的MCF在存在 $3\mu\text{m}$ 的轴偏移的情况下的连接损耗的波长依赖性。在图7的下段(在图7中,记为“比较例2”)示出了在波长1225nm至波长1250nm的范围内从基模起数第13个LP模被截止、在波长1250nm以上的波长范围内仅12种LP模被导波的MCF在存在 $3\mu\text{m}$ 的轴偏移的情况下的连接损耗的波长依赖性。

[0126] 在确定各芯的截止波长时,如非专利文献2所公开的那样,如图6的下段所示的图表所示,将使对长波长侧进行直线近似后的线上升0.1dB后的校正线与测定数据的交点确定为截止波长。需要说明的是,校正线是图6的下段所示的虚线。因此,对作为测定对象500的被测定MCF输入输出测定光时的连接损耗至少需要合计为0.05dB以下。即,作为本公开的MCF100所要求的第一连接条件,被测定MCF与本公开的MCF100在熔接点A处的连接损耗需要设为0.025dB以下。

[0127] 在图7的上段所示的比较例1的图表中,与包括基模在内有10种以上的LP模被导波的短波长侧区间相比,在有9种以下的LP模被导波的长波长侧区间中,连接损耗大幅上升,测定光的输入输出时的连接损耗超过0.025dB。因此,有10种以上的LP模被导波这一条件可以成为本公开的MCF100所要求的第一连接条件。一般而言,在ITU-T G652标准中,截止波长的标准被定义为1260nm以下,因而在波长1260nm下有10种以上的LP模被导波的MCF是本公开的MCF所要求的规格之一。

[0128] 进而,为了降低由连接损耗引起的测定误差,对测定对象输入输出测定光时的连接损耗也可以合计为0.025dB以下。即,作为本公开的MCF100所要求的第二连接条件,作为测定对象500的被测定MCF与本公开的MCF100在熔接点A处的连接损耗也可以为0.0125dB以下。

[0129] 在图7的下段所示的比较例2的图表中,与包括基模的13种以上的LP模被导波的短波长侧区间相比,在12种以下的LP模被导波的长波长侧区间中,连接损耗上升,测定光的输入输出时的连接损耗超过0.0125dB。因此,在波长1260nm下有13种以上的LP模被导波这一条件可以成为本公开的MCF100所要求的第二连接条件。

[0130] 在此,在本说明书中,如上所述,“LP模被导波”的状态意指成为对象的LP模在本公开的MCF100的各芯内传播1m之后的该LP模的传输损耗为3.01dB以下的状态。由图6及图7可知,即使假设从基模起数第10个LP模至第13个LP模的功率为一半,也能够充分实现有10种LP模、13种LP模被导波时的被测定MCF中的连接损耗的降低效果。另外,在实用上,本公开的MCF100的长度也可以为1m以上。因此,多个LP模传播了1m时的功率衰减为50%以下、即传输损耗为3.01dB以下可以成为用于本公开的MCF100得到期望的技术效果的条件、即本公开的MCF100所要求的导波条件。

[0131] 图8是用于说明应用于本公开的MCF的XT条件的图(在图8中,记为“串扰XT的优化”)。需要说明的是,在图8的上段(在图8中,记为“截面结构”)示出了与本公开的MCF100的光纤轴AX正交的截面的一部分。在图8的下段(在图8中,“XT特性”)示出了波长1300nm下的XT损耗的 $(a+b)/\Lambda$ 依赖性。

[0132] 在一般的多模的MCF中,在包括规定模的10种以上的LP模在各芯中被导波的情况下,需要增大芯径,其结果,XT变大。由于该XT成为测定噪声的原因,因而在10种以上的LP模在多模的MCF的各芯中被导波的情况下,需要降低XT的机构。另外,在一般的MCF中,由于处于相邻关系的芯的中心间距离 Λ 为 $34\mu\text{m}$ 以上且 $46\mu\text{m}$ 以下,因而至少芯径需要抑制为 $46\mu\text{m}$ 以下。需要说明的是,在本说明书中,关于在MCF中处于相邻关系的芯,将MCF内的多个芯中中心间距离最短的两个芯的关系定义为相邻关系。因此,由于专利文献3所记载的降低连接损耗的多模的MCF的各芯具有 $50\mu\text{m}$ 的芯径,因而无法直接应用于本公开的MCF。

[0133] 为了解决上述技术问题,处于相邻关系的芯间的中心间距离 Λ 也可以为 $34\mu\text{m}$ 以上

且 $46\mu\text{m}$ 以下,芯配置条件 $(a+b)/\Lambda$ 也可以满足以下条件:

[0134] $0.675 < (a+b)/\Lambda < 0.825$

[0135] 需要说明的是,芯配置条件 $(a+b)/\Lambda$ 的各参数如图8的上段所示进行定义。即, a 是芯111的半径, b 是与芯111处于相邻关系的芯112的半径。 Λ 是连结芯111的中心111a与芯112的中心112a的线段的距离、即芯111与芯112的中心间距离。

[0136] 在芯配置条件 $(a+b)/\Lambda$ 小的情况下,通过芯径变小,从而与芯径大的情况相比,即使是相同的轴偏移量,芯径小的MCF中也更容易使芯传播模与电场分布扩展至芯外侧的模功率耦合。为此,在芯径小的MCF中,容易发生XT。另一方面,在芯配置条件 $(a+b)/\Lambda$ 大的情况下,由于芯彼此的距离变窄,因而在这种情况下也容易发生XT。位于这两个相反的作用的中间、且最适合于降低XT的条件为上述条件。如图8的下段所示,在 $(a+b)/\Lambda = 0.75$ 附近,XT最小。另外, $(a+b)/\Lambda$ 在0.60至0.90的范围内,XT上升。为此, $(a+b)/\Lambda$ 可以为0.6375以上且0.8625以下的范围,也可以为0.675以上且0.825以下的范围。需要说明的是,0.60至0.90的范围是以0.75为基准的 -0.15 以上且 $+0.15$ 以下的范围。0.6375以上且0.8625以下的范围是以0.75为基准的 $-0.15 \times 3/4$ 以上且 $+0.15 \times 3/4$ 以下的范围。另外,0.675以上且0.825以下的范围是以0.75为基准的 $-0.15/2$ 以上且 $+0.15/2$ 以下的范围。

[0137] 一般而言,在高阶的LP模在芯内被导波的情况下,与低阶的LP模相比较,在被导波相同距离的情况下,衰减变大。因此,在使用增大上述相对折射率差体积 V 而能够使更多的LP模在芯内被导波的光纤进行截止波长的测定的情况下,例如在图6的上段所示的第一光组合器200A的MCF100中,所有LP模几乎均等地被激发,因而导致来自光源300的测定光更大地衰减。由于多数情形下截止波长的测定中使用的光源300的强度小,因而光强度的衰减不过于变大更好。为了满足这样的条件,相对折射率差体积 $V(\mu\text{m}^2)$ 可以为15以下,也可以为11以下。

[0138] (传输损耗的波长依赖性的测定)

[0139] 图9是示出用于将传输损耗的波长依赖性作为测定对象的光纤特性的例子来进行测定的测定装置的图(在图9中,记为“传输损耗的波长依赖性的测定”)。需要说明的是,在图9的上段(在图9中,记为“测定装置(状态1)”)示出了作为第一测定步骤而对整个测定对象(第一测定对象)进行测定的装置构成。在图9的下段(在图9中,记为“测定装置(状态2)”)示出了作为第二测定步骤而将从第一测定对象切下的规定的截断长度的部分(截断部分)作为第二测定对象来进行测定的装置构成。需要说明的是,除了测定对象以外,图9的上段所示的状态1和图9的下段所示的状态2为相同的装置构成。

[0140] 图9的上段及图9的下段所示的测定装置具备:多个光源300,作为可变长度光源,分别输出测定光;多个功率计400;第一光组合器,配置于测定对象500或截断部分500A的输入侧;以及第二光组合器200B,配置于测定对象500或截断部分500A的输出侧,并包括本公开的MCF100。需要说明的是,测定对象500是作为第一测定对象的被测定MCF,截断部分500A是作为第二测定对象的被测定MCF的一部分。第一光组合器是标准光组合器,第二光组合器200B是本公开的光组合器。

[0141] 第一光组合器具有与图1的下段、图2的上段或图4的下段所示的光组合器200同样的结构,具备作为FAN-IN器件发挥功能的FIFO器件610、连接用的MCF600及连接用的多个连接用SCF620,FIFO器件610的各芯、MCF600的各芯、多个连接用SCF620各自的芯均为单模芯。

MCF600的第二端面600b在MCF600的芯各自与测定对象500的芯一对一地光学连接的状态下与该测定对象500的输入侧端面连接。MCF600的第一端面600a在MCF600的芯各自与FIFO器件610的单模芯一对一地光学连接的状态下与该FIFO器件610连接。多个光源300配置成与测定对象500的芯各自一对一地对应,为了将这多个光源300与FIFO器件610的对应的芯光学连接,配置有多个连接用SCF620。

[0142] 另一方面,第二光组合器200B具备:本公开的MCF100,具有多模的芯111至芯114;FAN-OUT器件210B;以及多个连接用SCF230,分别具有多模的芯。MCF100的第二端面110b在熔接点A处,在芯111至芯114各自与测定对象500的芯一对一地光学连接的状态下与该测定对象500的输出侧端面连接。MCF100的第一端面110a在芯111至芯114各自与FAN-OUT器件210B的多模芯一对一地光学连接的状态下与该FAN-OUT器件210B连接。多个功率计400配置成与测定对象500的芯各自一对一地对应,为了将这多个功率计400与FAN-OUT器件210B的对应的芯光学连接,配置有多个连接用SCF230。

[0143] 在图9的上段所示的装置中,执行将测定对象500作为第一测定对象的第一测定步骤。另一方面,在图9的下段所示的装置构成中,将测定对象500的一部分即从该测定对象500切下的规定的截断长度的截断部分500A作为第二测定对象,来执行第二测定步骤。在该装置构成中,截断部分500A的入射侧端面为与第一光组合器连接的状态,截断部分500A的出射侧端面在熔接点A处与本公开的MCF100的第二端面110b连接。需要说明的是,在第一测定步骤中,测定在输入到第一光组合器之后经由测定对象500从第二光组合器200B输出的测定光的强度。在第二测定步骤中,在仅残留有从测定对象500切下的截断部分500A的状态下,测定在输入到第一光组合器之后经由截断部分500A从第二光组合器200B输出的测定光的强度。在这些第一测定步骤及第二测定步骤之后,基于第一测定步骤及第二测定步骤的测定结果确定截断部分500A被切下之后的测定对象500的剩余部分的所有芯的传输损耗的波长依赖性作为光纤特性。具体而言,第一测定步骤的测定结果是从测定对象500的各芯输出的测定光的强度数据。第二测定步骤的测定结果是从截断部分500A的各芯输出的测定光的强度数据。通过从第一测定步骤的测定结果减去第二测定步骤的测定结果,确定截断后的测定对象500中除了截断部分500A以外的剩余部分中的所有芯各自的传输损耗的波长依赖性。

[0144] 需要说明的是,图9的上段及图9的下段所示的测定装置中的第二光组合器200B也能够替换为一般的光组合器,该一般的光组合器是具有与具备连接用的MCF600、FIFO器件610及多个连接用SCF620的光组合器相同的结构的标准光组合器。在这种情况下,在测定对象500或截断部分500A的输出侧端面与替换后的标准光组合器的MCF600的第二端面600b之间配置本公开的MCF100。

[0145] 在上述内容中,针对LP模进行了说明,但也可以是包括LP模的模组。即,模组也可以包括LP模以外的模式。

[0146] 附图标记说明

[0147] 100MCF;110玻璃光纤;110a、210a第一端面;110b、210b第二端面;111至116、220芯;111a、112a中心;120公共包层;130树脂包覆;140沟槽部;150A至150C折射率分布;200、200A、200B光组合器;210FIFO器件;210AFAN-IN器件;210B FAN-OUT器件;230连接用SCF;230a端面;231芯;300光源;400功率计;500测定对象;500A截断部分;600MCF;610FIFO器件;

620连接用SCF;700A至700I SCF部件;700A1至700I1第一光纤端面;700A2、700B2第二光纤端面;710A至710I芯;720A至720I包层;730A、730B、730C、730D1、730D2、730E、730F1、730F2、730G1、730G2、730H1、730H2、730I1、730I2平坦面;800A、800B空间光学系统;810、810A准直透镜;820GRIN透镜;830A、830B棱镜;851主体;852第一端部;853第二端部;854棱镜保持架;856透镜保持架;A熔接点;AX光纤轴。

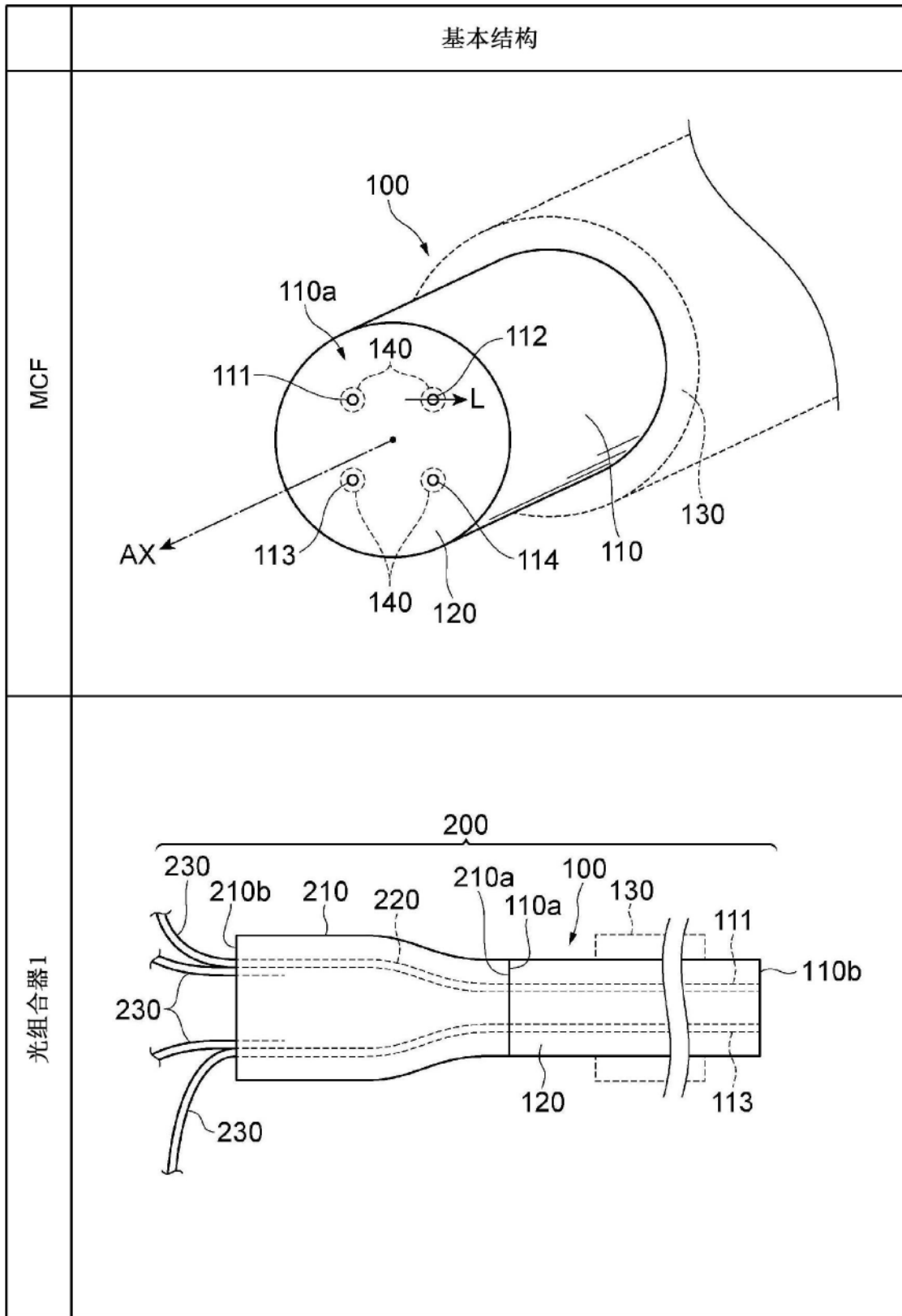


图1

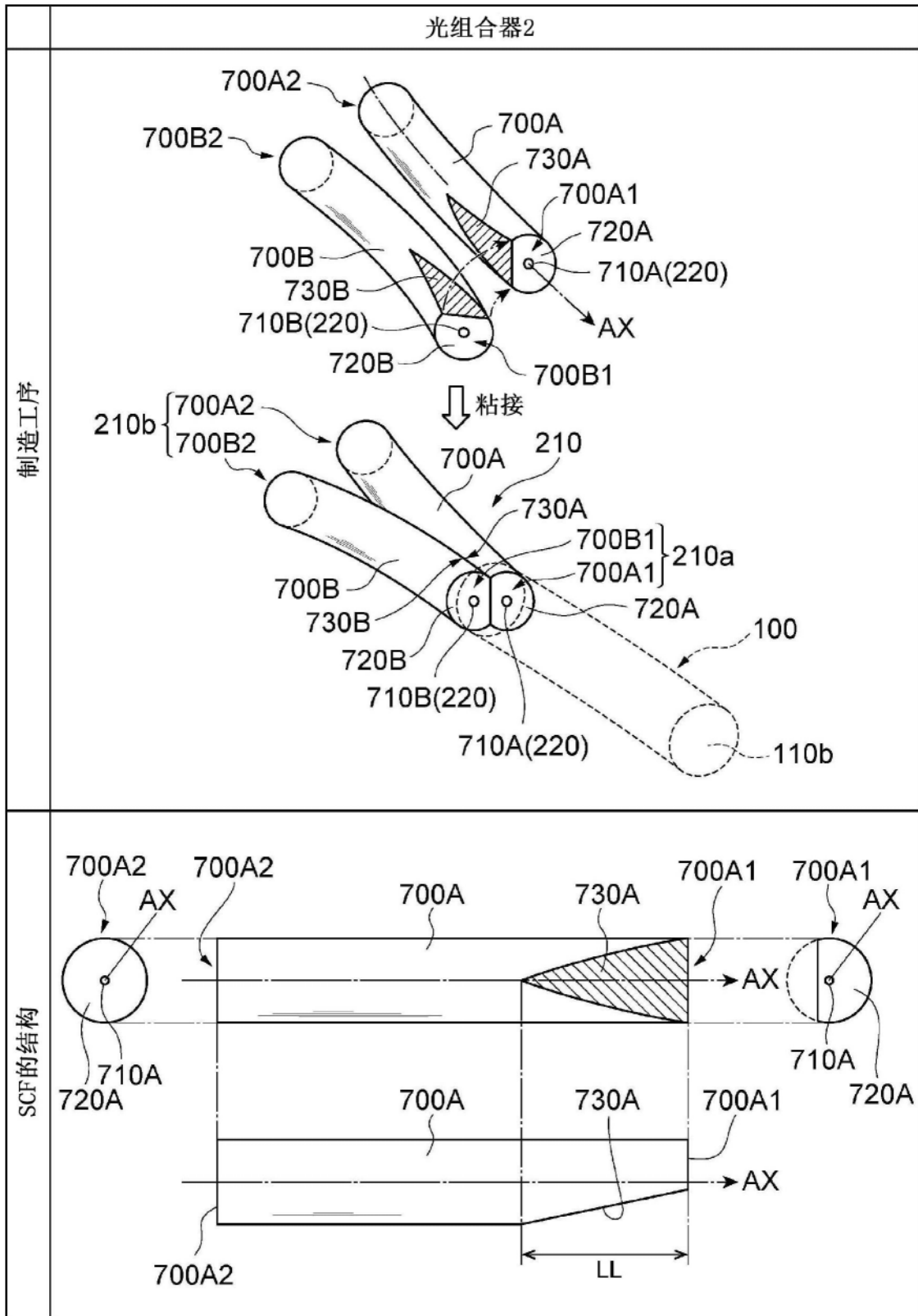


图2

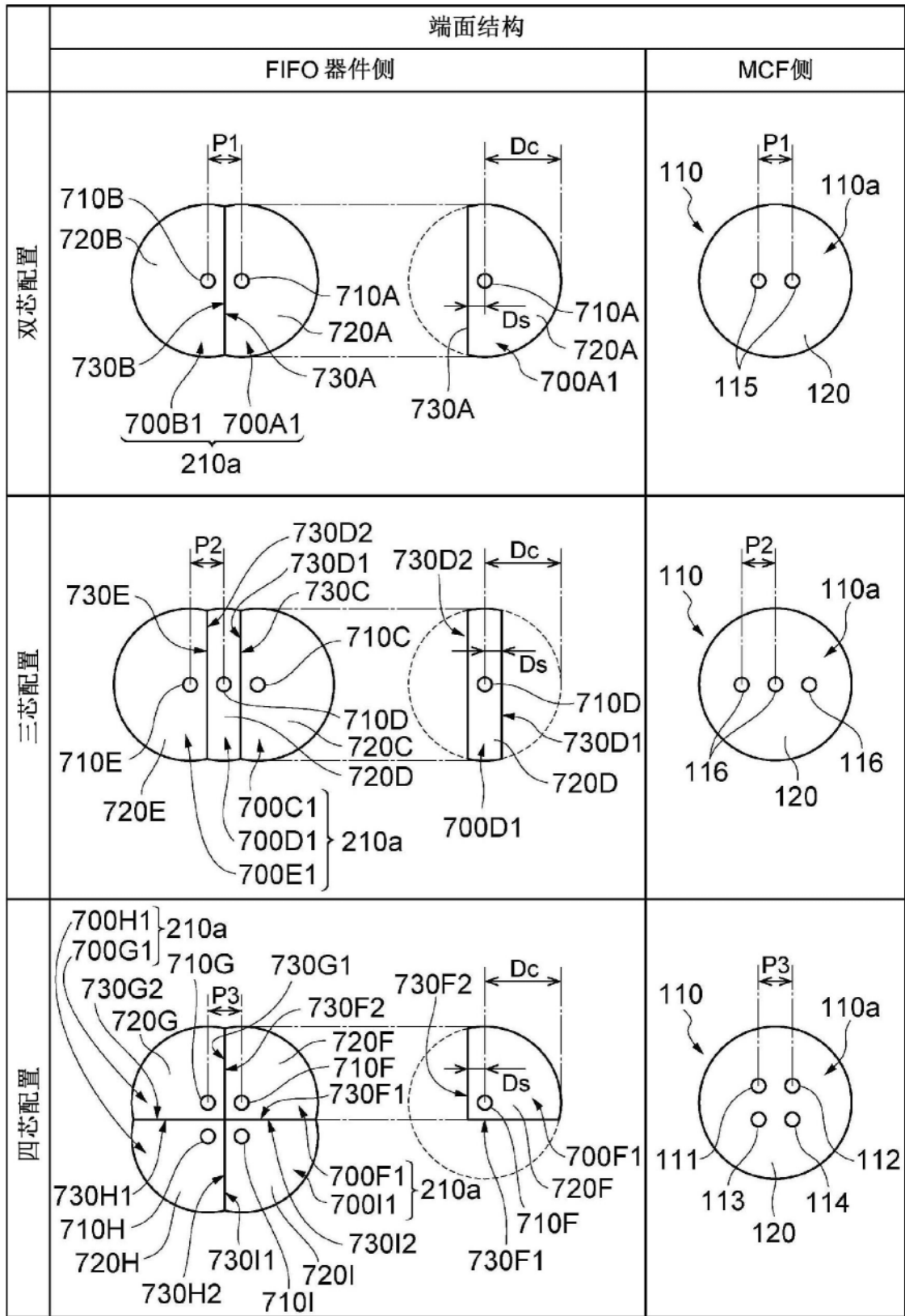


图3

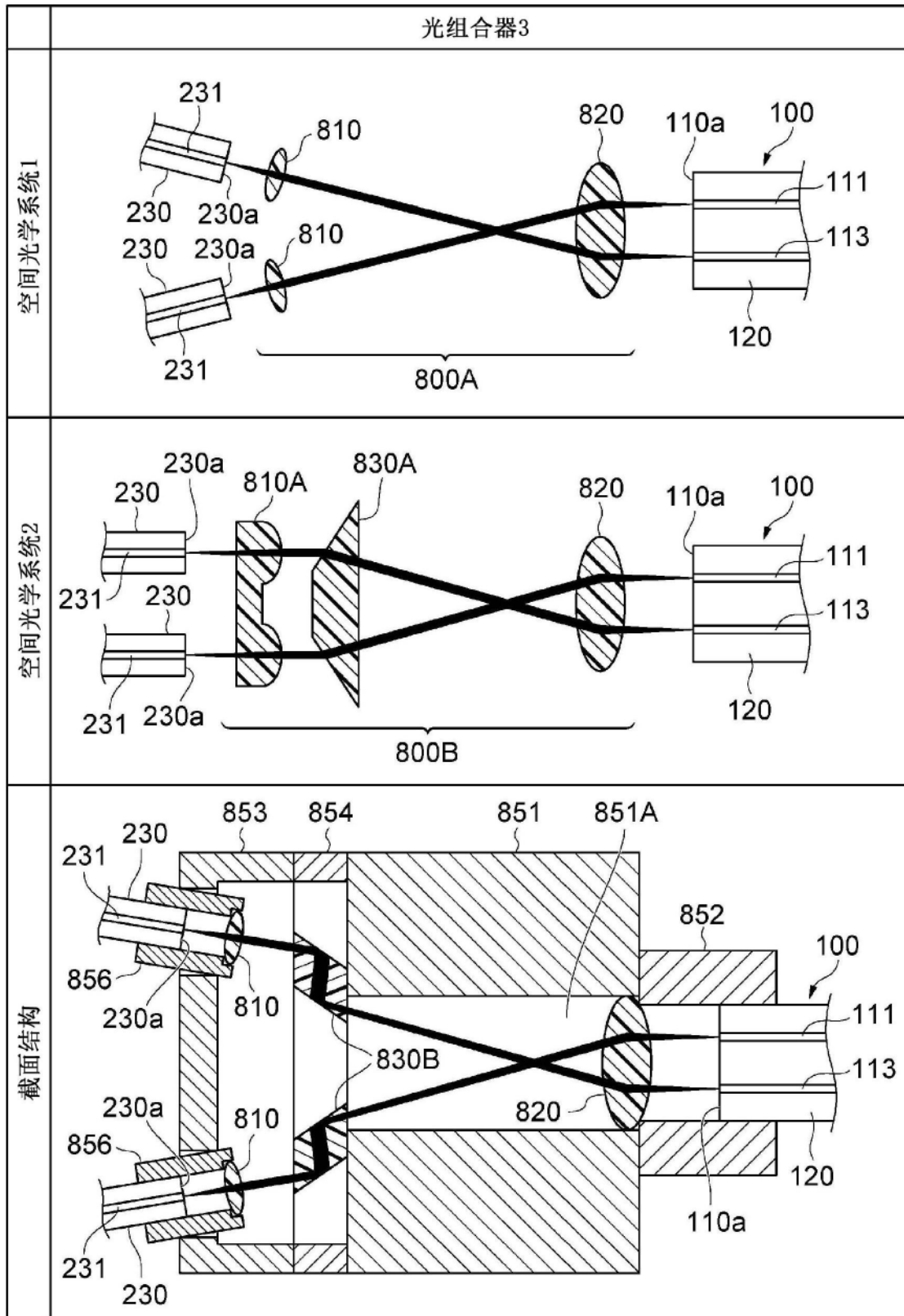


图4

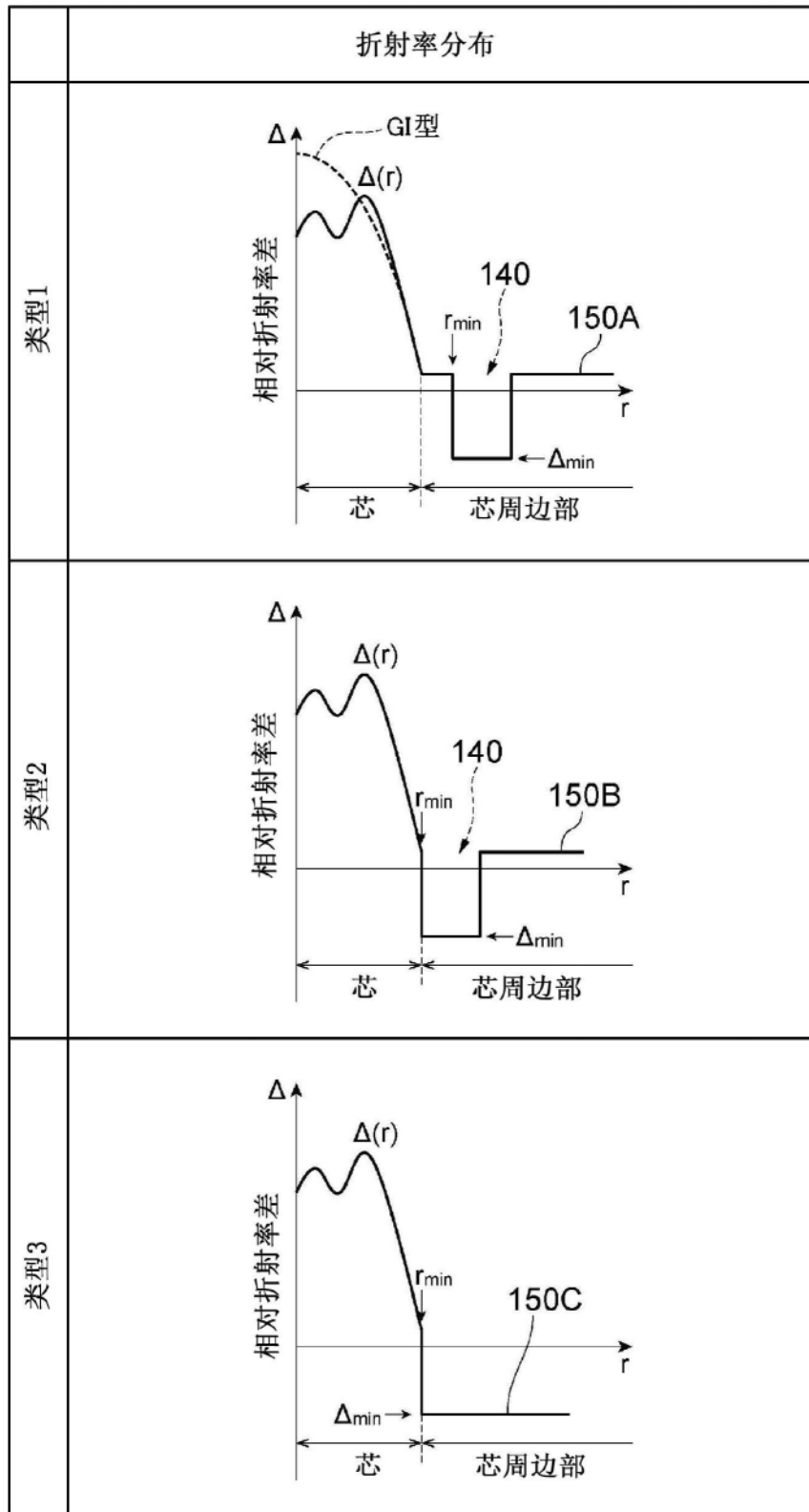


图5

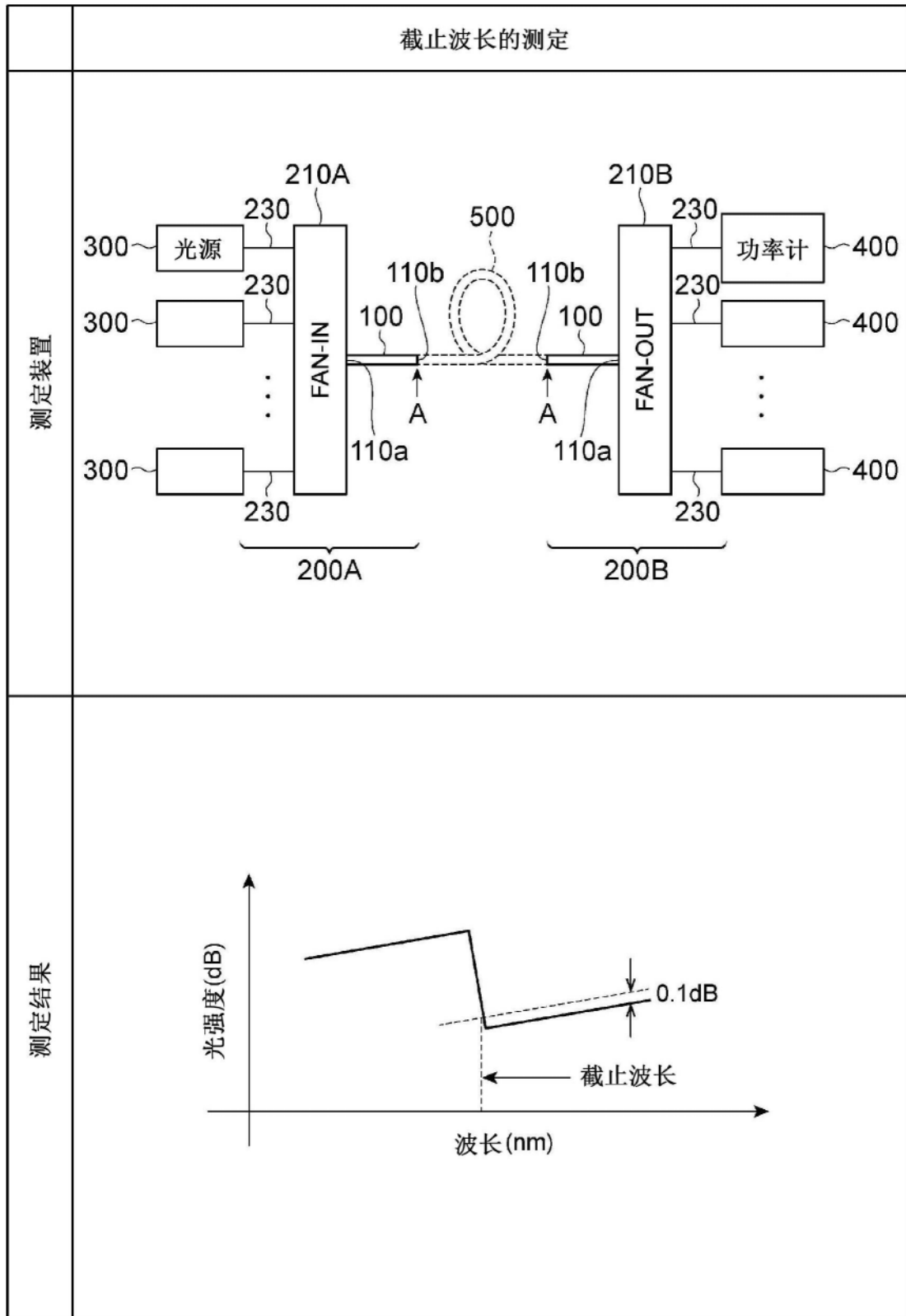


图6

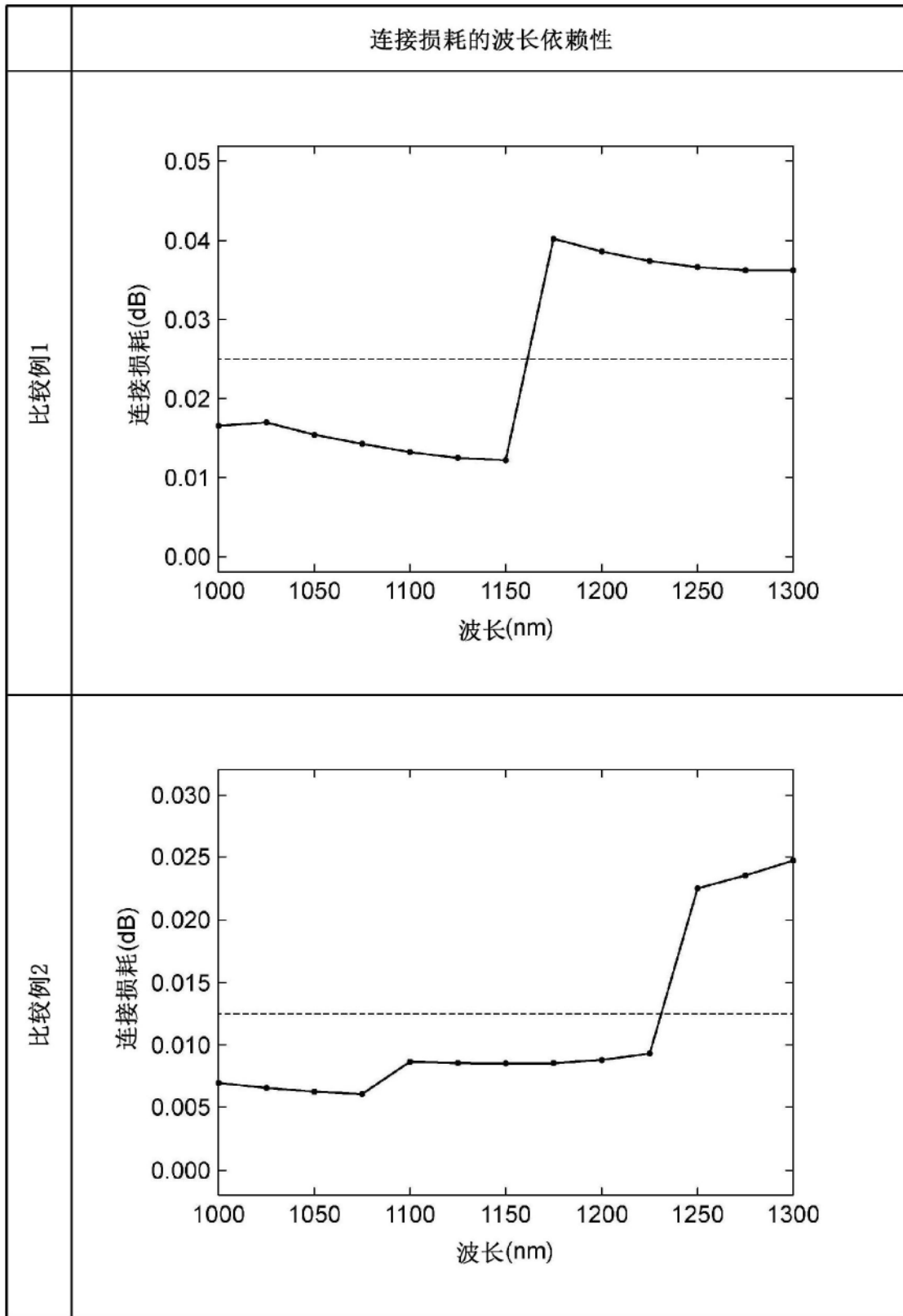


图7

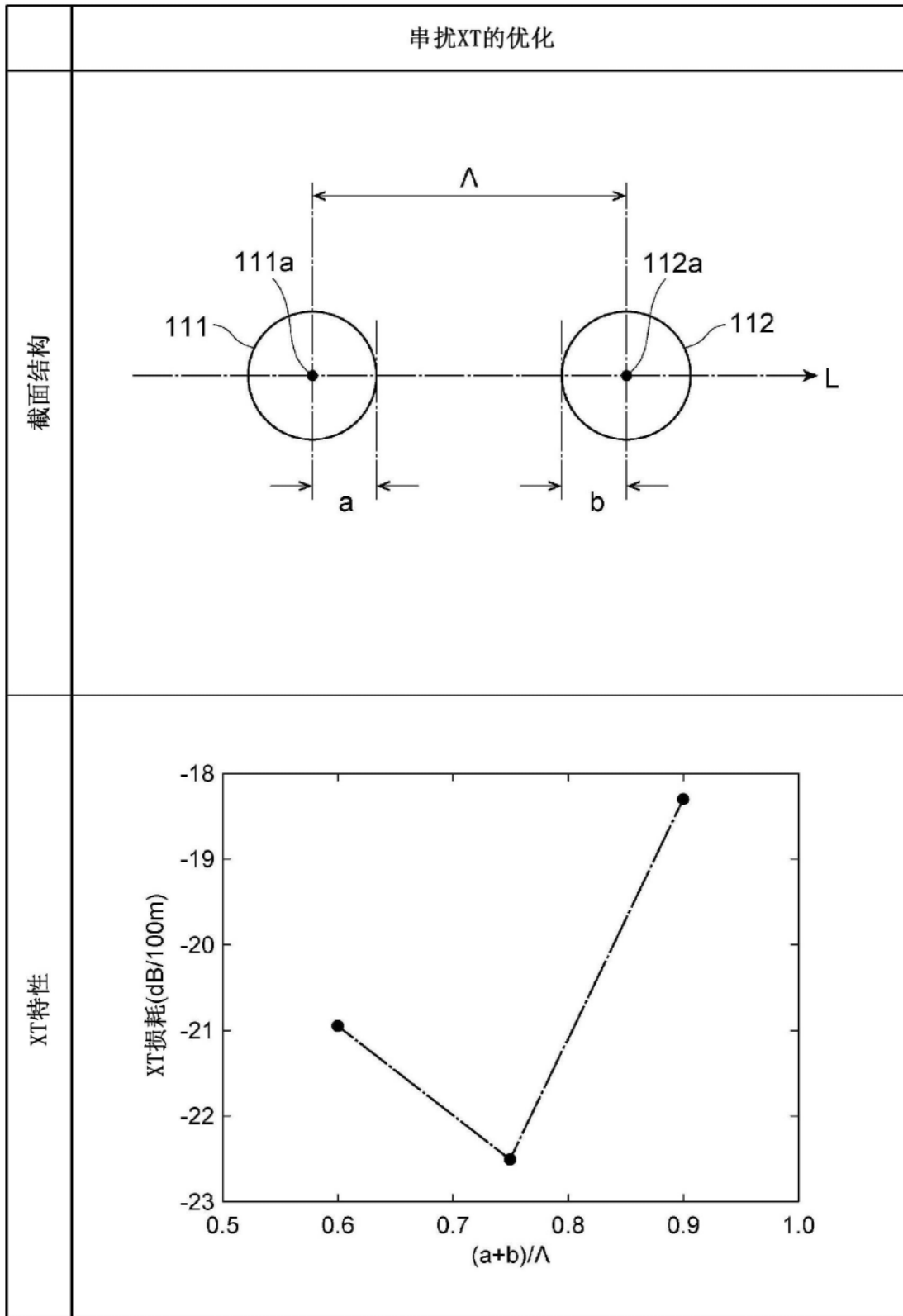


图8

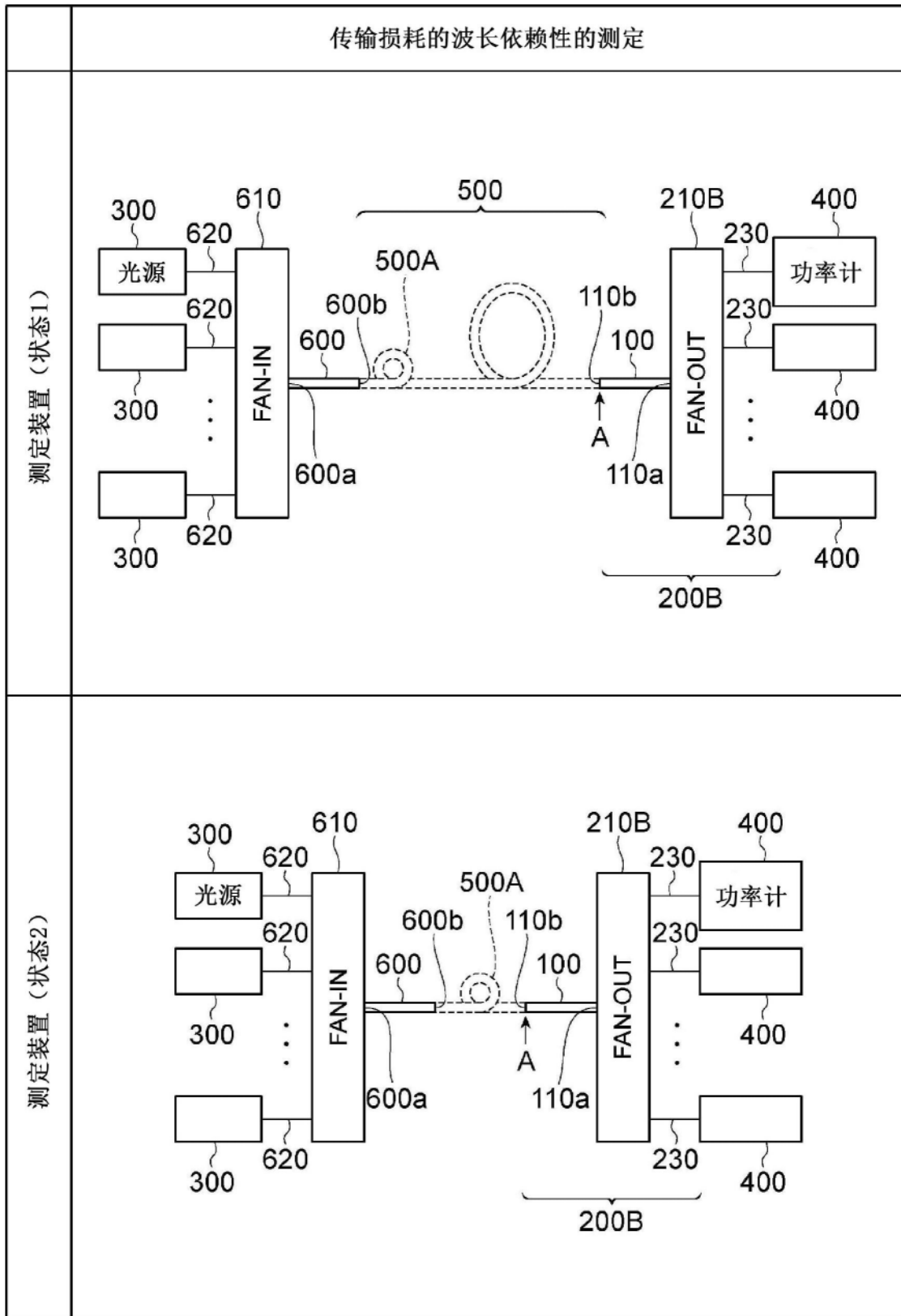


图9