



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103676017 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310358962. X

(22) 申请日 2013. 08. 16

(30) 优先权数据

2012-204864 2012. 09. 18 JP

(71) 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县

(72) 发明人 青木刚 青木重宪 村中秀史

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 李春晖 李德山

(51) Int. Cl.

G02B 6/38 (2006. 01)

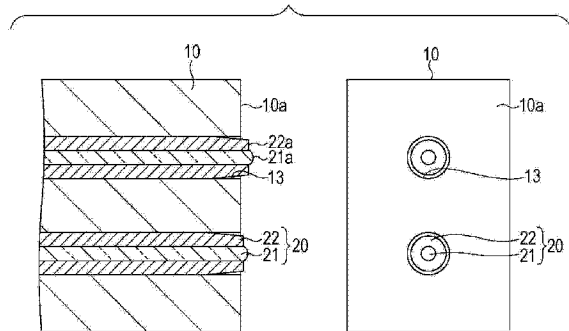
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

制造光连接器的方法和光连接器

(57) 摘要

公开了一种用于制造光连接器的方法和光连接器,所述方法包括:通过电弧放电,使得只有纤芯从光纤的端面呈球状地突出,通过添加增加所述纤芯的折射率并降低所述纤芯的熔点的掺杂物,所述光纤具有纤芯和包层之间1%到3%的折射率差;以及将经电弧放电处理的所述光纤安装在套件中。



1. 一种用于制造光连接器的方法,包括:

通过电弧放电,使得只有纤芯从光纤的端面呈球状地突出,通过添加增加所述纤芯的折射率并降低所述纤芯的熔点的掺杂物,所述光纤具有纤芯和包层之间 1% 到 3% 的折射率差;以及

将经电弧放电处理的所述光纤安装在套件中。

2. 如权利要求 1 所述的制造光连接器的方法,其中

通过电弧放电,将包层端头部分的外周处理成锥形形状。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的制造光连接器的方法,还包括:

电弧放电之前,将添加有所述掺杂物的所述光纤切割成预定长度。

4. 如权利要求 1 到 3 中任一项所述的制造光连接器的方法,其中所述掺杂物包括 GeO_2 、 P_2O_5 、稀土氧化物和稀土氯化物中的至少一种。

5. 如权利要求 1 到 4 中任一项所述的制造光连接器的方法,其中通过设置 10.3 到 13.0 毫安的放电电流进行 300 到 1000 毫秒的电弧放电。

6. 如权利要求 1 到 5 中任一项所述的制造光连接器的方法,其中

套件中的安装包括将经所述电弧放电处理的所述光纤插入到形成在所述套件中的光纤导孔中。

7. 一种光连接器,包括:

光纤;以及

夹持部分,其夹持光纤;其中

所述光纤的纤芯和包层之间的折射率差为 1% 到 3%,以及在所述光纤的端头处所述纤芯从所述包层的端面呈球形地突出。

8. 如权利要求 7 所述的光连接器,其中

在所述光纤的端头处所述包层具有锥形外周。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的光连接器,其中

所述光纤的纤芯中添加有增加折射率并降低熔点的掺杂物。

10. 如权利要求 7 到 9 中任一项所述的光连接器,其中

当所述光连接器不与另一连接器配合时,所述光纤的端头从套件突出,以及

所述套件内部具有空间,并且在所述光连接器与另一连接器配合时允许所述光纤在所述空间中弯曲。

制造光连接器的方法和光连接器

技术领域

[0001] 本文所讨论的实施例涉及用于制造光连接器的方法以及光连接器。

背景技术

[0002] 高性能计算机(HPC)和服务器等需要互连技术,借助该互连技术在LSI(Large-scale integration 大规模集成电路)之间进行宽带和低功耗通信。作为实现这样的互连技术的一种技术,光互连受到了关注。

[0003] 在高性能计算机和服务器等中,进行运算的大规模集成电路被布置在单块板上,并且多块板被连接到背板。在光互连中,板上的大规模集成电路产生的电信号由光电转换元件转换成光信号,该光信号被传输到另一块板。在另一块板上,该光信号重新转换成电信号,并且该电信号被大规模集成电路接收。在这种情况下,光传输线路被设置在背板上或背板内,并且被放置在每个单块板上,从光电转换元件到板边缘放置光传输线路。板和背板通过光连接器相互耦接。

[0004] 由于背板尺寸很大,目前光纤被认为是进行低损耗传输的有效方式。由于单块板被设置成可从背板拆卸以便维护并符合系统配置,因此,基于光纤的光连接器被设置在板边缘并且设置在背板上。

[0005] 然而,为了把在光通信等中使用的光连接器用于装置中的光互连,需要高精度抛光。用于光通信的光连接器被设计成彼此间进行物理接触(PC,Physical Contact)连接来使光纤低损耗低反射地互相连接。因此,如图1A和1B中所示,在使光纤120(纤芯121和包层122)的端头从套件10的配合面10a略微突出的状态下,将光纤120的端面120a处理成具有凸起的形状。为获得这样的形状,需要高精度抛光。在使用了大量光连接器的高性能计算机和服务器等的互连中,要求高精度抛光的光连接器是不合适的。

[0006] 作为一种通过使用未抛光的光纤来进行物理接触连接的技术,已知有在使用电弧放电对从套件突出的光纤的整个端面进行处理以具有球形形状之后对光纤进行定位的方法(例如,参见日本专利申请公开No. 2000-019342)。在使用这种方法的情况下,由于放电条件的轻微变化,光纤端头附近的外径增加,这使得难以将光纤安装在套件上并且降低了产量。作为另一种方法,已知有通过在形成于衬底上的波导末端处进行蚀刻来除去包层而使纤芯突出,以及通过回流焊或激光辐射来使纤芯的端面成为球形的方法(例如,参见日本专利申请公开No. 9-304664)。

发明内容

[0007] 根据本实施例的一个方面,一种用于制造光连接器的方法,包括:通过电弧放电,使得只有纤芯从光纤的端面呈球状地突出,通过添加增加所述纤芯的折射率并降低所述纤芯的熔点的掺杂物,所述光纤具有纤芯和包层之间1%到3%的折射率差;以及将经电弧放电处理的所述光纤安装在套件中。

附图说明

- [0008] 图 1A 和 1B 是描述用于物理接触连接的光纤的端面抛光的图；
- [0009] 图 2 是描述实施例的光纤端头处理的图；
- [0010] 图 3A 到 3C 是实施例的光连接器的制造过程示图；
- [0011] 图 4 是折射率差和传输损耗之间的关系图；
- [0012] 图 5A 到 5C 是在光纤端头上进行电弧放电处理时获得的光学显微图和示意图；
- [0013] 图 6 是安装有实施例的光纤的光连接器的示意性配置图；
- [0014] 图 7A 和 7B 是使用实施例的光连接器的光纤到光纤连接的图；
- [0015] 图 8A 和 8B 是使用实施例的光连接器的光纤到聚合物波导连接的图；
- [0016] 图 9A 和 9B 是图 5A 到 5C 的光连接器的配合状态的图；以及
- [0017] 图 10 是应用实施例的光连接器的光互连的例子的图。

具体实施方式

[0018] 在下文中,将参照附图来描述实施例。本实施例提供了一种用于制造光连接器的方法以及用这种方法制造的光连接器,光连接器具有很容易插入到套件中的光纤并且适于物理接触连接。

[0019] 图 2 是由套件 10 夹持的光纤 20 的示意图。光纤 20 是硅基光纤。掺杂物被添加到纤芯 21 从而使纤芯 21 的折射率变得高于包层 22 的折射率,而纤芯 21 的熔点变得低于包层 22 的熔点。纤芯 21 和包层 22 之间的折射率差为 1% 到 3%。

[0020] 光纤 20 被插入到形成在套件 10 中的光纤导孔 13 中。光纤 20 的纤芯 21 具有从包层 22 的端面 22a 突出的端头作为球形突起 21a。包层 22 的端头的外周逐渐变细(具有锥形形状),并且包层 22 的端面 22a 处的外径小于其它部分的外径。光纤导孔 13 通常是以 $\pm 1 \mu\text{m}$ 的光纤直径精度注模模制而成,但是包层 22 的渐细端头使得很容易将光纤 20 插入到光纤导孔 13 中。

[0021] 在套件 10 不与另一连接器的套件匹配的情况下,包层 22 的端面 22a 从套件 10 的配合面 10a 突出。因此,纤芯 21 的球形突起 21a 也从套件 10 的配合面 10a 突出。当套件 10 与另一连接器的套件匹配时,光纤 20 能够在光纤导孔 13 中向后移动。此时,在纤芯 21 的球形突起 21a 略微从套件 10 的配合面 10a 突出的状态下,建立与另一光纤的纤芯的物理接触连接。

[0022] 由于纤芯 21 的球形突起 21a 从锥形包层 22 的端面 22a 突出,即使当另一连接器是聚合物波导光连接器时,也能够在光纤 20 的切面处保护聚合物波导纤芯不受损坏。

[0023] 图 3A 到 3C 是使用图 2 的光纤 20 的光连接器的制造过程的图。首先,如图 3A 中所示,准备硅基光纤 20,其纤芯添加了掺杂物从而使纤芯 21 和包层 22 之间的折射率差为 1% 到 3%。掺杂物的类型是增加纤芯折射率且降低纤芯熔化温度的材料。作为根据所添加掺杂物的浓度来增加纤芯的折射率并降低纤芯的熔点的掺杂物,除了 GeO_2 和 P_2O_5 ,可以使用 Al_2O_3 和具有例如稀土元素 Er、Nd、Yb、La、Tm 和 Pr 的氧化物和氯化物。掺杂物可以至少包括 GeO_2 、 P_2O_5 、稀土氧化物和稀土氯化物的其中一种。优选的是纤芯 21 和包层 22 之间的折射率差 Δ 在 1% 到 3% 的范围内。作为例子,当使用对于波长 $1 \mu\text{m}$ 的光其折射率为 1.45 的石英玻璃作为包层时,使用掺杂有 GeO_2 的硅玻璃作为纤芯玻璃以使折射率差 Δ 为 1% 到

3%。当折射率差 Δ 小于 1% 时,难以在其它部分之前只熔化纤芯 21 来使纤芯 21 从包层 22 的端面突出。此外,不能充分降低弯曲损耗。当折射率差 Δ 超过 3% 时,不能确保包层直径针对弯曲半径的应力优化。此外还会增加传输损耗。

[0024] 一般而言,通过增加纤芯和包层之间的折射率差,能够减小弯曲半径。然而,为了实现小的弯曲半径,同样重要的是确保对于应力的长期可靠性。当使用外径为 $125\mu\text{m}$ 的包层时,如果纤芯和包层之间的折射率差 Δ 为 1%,则弯曲半径为 15mm。当折射率差 Δ 为 2% 时,如果使用外径为 $80\mu\text{m}$ 的包层,则弯曲半径可以被设定为 5mm。当折射率差 Δ 超过 3% 时,弯曲半径可以是若干毫米,但是包层外径为 $60\mu\text{m}$ 或更小。包层外径必须大于或等于纤芯直径。当纤芯直径为 $50\mu\text{m}$ 时,外径为 $60\mu\text{m}$ 或更小的包层实现不了作为包层的功能。因此,理想的是折射率差 Δ 为 3% 或更小。

[0025] 折射率差的上限也基于传输损耗。当纤芯和包层之间的折射率差为 3% 时,与折射率差为 1% 的情形相比,传输损耗增加约 10 倍。如图 4 中所示当在石英衬底上形成高折射率玻璃薄膜从而形成平板波导和掩埋波导时传输损耗依赖于折射率差的改变也支持这一点。

[0026] 如上所述,纤芯和包层之间的折射率差 Δ 的范围被设定在 1% 到 3%,因为如果不这样,则不能确保包层直径针对弯曲半径的应力优化,并且传输损耗达到极限。

[0027] 回到图 3A 中,具有纤芯 21 的光纤 20 被激光切割机切割,纤芯 21 添加有掺杂物以使纤芯 21 的熔点较低并且纤芯 21 和包层 22 之间的折射率差为 1% 到 3%。为了便于说明,只示出了一根光纤 20,但是通常一同切割多根光纤 20。例如,剥去光纤带的胶带覆层并将露出的光纤切割成所需的长度。通过使用激光处理,角度差较小并能够将长度差异减小到 $5\mu\text{m}$ 或更小,但是,在切割时,可能出现(见圆圈 A 的部分)切面倾斜或毛边(进行处理时在端部出现的台阶)。然而,在后续处理中通过电弧放电处理,能够降低光纤切面对另一连接器的影响。

[0028] 在图 3B 中,切割的光纤 20 被置于熔接器等中,通过电弧放电进行端头处理。作为例子,使用 Fujikura 公司制造的 FSM-20PM II N 型熔接器。根据纤芯和包层之间的折射率差、掺杂量和纤芯直径等,通过设置 10.3 到 13mA 的放电电流和 300 到 1000msec 的处理时间,进行电弧放电。纤芯 21 优先被电弧放电产生的热等离子体(P)熔化,而包层 22 被略微熔化或软化。熔化的纤芯 21 的端部通过表面张力变成球形形状,并且包层 22 的外径逐渐减小。由于纤芯的熔点低于包层的熔点,因此能够以较小的电弧功率进行处理,从而使得只有纤芯 21 具有从光纤 20 的端面突出的透镜形状。纤芯 21 的球形突出部分的体积向内拉动包层 22,从而具有图 3B 中所示的锥形形状。

[0029] 图 5A 到 5C 是在放电电流为 11mA,处理时间为 500msec 的情况下,在掺杂有 Ge 的石英光纤 20 的端头上进行电弧放电时获得的光学显微图和示意图,石英光纤 20 具有 $50\mu\text{m}$ 的纤芯直径, $80\mu\text{m}$ 的包层外径,2% 的折射率差 Δ 。这样处理的纤芯 21 的端头部分的突出部分的长度为 $0.4\mu\text{m}$,在纤芯的端头处纤芯外径被压缩约 $1\mu\text{m}$ 。纤芯的外径被压缩了纤芯端头部因表面张力而呈球形突出的体积压缩(见图 5C 的字符 G),通过纤芯外径的压缩,包层的外径也逐渐减小。从图 5A 到 5C 可以清楚地看到,能够实现包层侧面的精确的锥形形状,以及从包层端头突出的纤芯的球形形状。

[0030] 回到图 3C 中,经过端头处理的光纤 20 被插入到套件 10 的光纤导孔 13 中,光纤 20 的根部被粘合剂定位的同时被固定。一般而言,把光纤插入到套件中的处理的难度造成

生产上的问题。然而,本实施例的光纤 20 中,由于包层 22 的端头具有锥形形状,因此,很容易将光纤 20 插入到光纤导孔 13 中。顺便提及,当把覆层用于经过电弧放电处理的光纤 20 时,可以在套件 10 中设置用于喷射的孔,并且在光纤 20 被粘合剂固定在套件中之后,可以用喷射器在光纤上喷涂聚酰亚胺等。通过对光纤 20 应用覆层,能够增强对应力施加和光纤弯曲的耐受性,从而增加产品的可靠性。

[0031] 图 6 是安装有通过图 3A 到 3C 的方法处理的光纤 20 的光连接器 30 的示意性配置图。光连接器 30 包括光纤 20 和夹持光纤 20 的套件 10。在图 6 的例子中,光连接器 30 是多光纤连接器,多根光纤 20 被胶带覆层 25 捆在一起。被胶带覆层 25 捆在一起的光纤 20 被放置在套管 17 中,并且被安装在套件 10 中。如图 3C 中所示,每一根光纤 20 具有从锥形形状的包层 22 的端面呈球形突出的纤芯 21。

[0032] 套件 10 的内部设置有空间 15,与空间 15 连通的光纤导孔 13 以及导销孔 14。穿过空间 15 插入到光纤导孔 13 中的光纤 20 被保持为光纤 20 从套件 10 的配合面突出的状态。从胶带覆层 25 延伸的光纤 20 的根部侧被粘合剂 18 固定在套件 10 的后端。

[0033] 光纤 20 具有激光切割时产生的长度差异。因此,从套件 10 的配合面 10a 突出的光纤 20 部分的长度也不同。当在光纤 20 和另一连接器之间建立物理接触连接时,在空间 15 内部消除长度差异。

[0034] 图 7A 和 7B 是连接器互相配合时光纤之间物理接触连接的图。在图 7A 中,放置光连接器 30A 和光连接器 30B 以使其互相面对。每一根光纤 20 具有包层 22 的端面 22a,纤芯 21 的球形突起 21a 从端面 22a 突出。当使用折射率差为 2% 的 GI50 多模光纤(纤芯直径 $50\ \mu\text{m}$) 时,纤芯 21 从包层 22 的端面 22a 突出的部分的长度为 $0.4\ \mu\text{m}$ 。

[0035] 如图 7B 中所示,通过使光连接器 30A 和 30B 互相配合,相应的光纤 20 被互相连接。对每根光纤设定 2.0N 的压力,能够通过使纤芯 21 的突起 21a 略微弹性变形来在石英光纤之间建立物理接触连接。物理接触连接是有利的,这是因为物理接触连接产生很少的反射损耗。当使用垂直腔面发射激光器(VCSEL)作为光互连中的光源时,模式经常是低阶模式。在这种情况下,无需将多模光纤的纤芯 21 的突起 21a 处理成完美的球形,就能够建立物理接触连接。通过增加每根光纤的压力,能够使可弹性变形的纤芯 21 的曲率半径更小。换句话说,即使当光纤 20 的纤芯 21 的突起 21a 具有陡的突出形状时,也能够通过增加压力建立光纤 20 之间的物理接触连接。

[0036] 作为光纤 20 的类型,除了多模光纤,光纤 20 可以是纤芯直径约 $10\ \mu\text{m}$ 的单模光纤。当采用单模光纤时,纤芯 21 的突出的球形部分长于多模光纤的纤芯 21 的突出的球形部分。然而,由于纤芯直径小,能够将施加到一根光纤的压力降低到小于 2.0N 的压力。当采用单模纤芯时,光纤端头处的外径也被压缩约 $1\ \mu\text{m}$ 。

[0037] 将单模光纤的端头处理成本实施例的形状在利用硅波导建立连接时尤其有利。当将光纤的纤芯直接或经由模斑转换器连接到通过硅光子学形成在衬底上的传输线的纤芯端面时,能够可靠地建立物理接触连接并且降低传输损耗。

[0038] 图 8A 和 8B 是当本实施例的光连接器 30A 被连接到聚合物波导连接器 60 时的示意图。在连接器 60 中,柔性聚合物波导 40 被夹持在套件 50 中。聚合物波导 40 的纤芯 41 的例子是在每侧测量为 $50\ \mu\text{m}$ 的多模纤芯,与光纤 20 间相同的间隔,例如 $250\ \mu\text{m}$ 的间隔分隔纤芯 41。连接器 60 的套件 50 是 PMT 套件,该套件具有与 MT 套件相同的尺寸,并且与

MT 套件兼容,而且能够通过使用导销等进行套件 50 针对光连接器 30A 的光纤 20 的精确定位。

[0039] 放置光连接器 30A 和聚合物波导连接器 60 以使其互相面对,在光连接器 30A 的光纤纤芯 21 和聚合物波导连接器 60 的波导纤芯 41 之间建立物理接触连接。光纤 20 的纤芯 21 的突出部分的长度为 $2.0\ \mu\text{m}$,纤芯 21 的压力为 2.0N 。由于聚合物波导 40 的弹性系数远远低于石英的弹性系数,通过使波导纤芯 41 的端面弹性变形,石英基光纤 20 的纤芯 21 的突起部分 21a 实现物理接触连接。

[0040] 光纤 20 的纤芯 21 的突出部分的长度和纤芯 21 的压力不限于本示例,但是,光纤 20 的纤芯 21 的突出部分的长度和纤芯 21 的压力被设定使得配合时的形变不超过形成聚合物波导 40 的材料的屈服应力。在现有的不抛光光纤中,由切割机切割引起的在光纤端面中出现的倾斜或毛边经常损坏聚合物波导纤芯,并且由于光连接器被重复地插入和断开,连接损耗增加。另一方面,在本实施例的光连接器中,通过将光纤纤芯 21 的端头处理成从包层 22 突出的球形形状,能够在不损坏另一连接器的波导纤芯的情况下进行连接器的插入和断开。

[0041] 作为与光连接器连接的另一光连接器,可以使用塑料光纤(POF)连接器或硬塑料包层光纤(H-PCF)连接器代替使用石英光纤和聚合物波导连接器 60 的光连接器 30B。

[0042] 图 9A 和 9B 是光连接器 30A 和光连接器 30B 的配合状态的图。图 9A 是俯视图,图 9B 是侧视图。在光连接器 30A 和 30B 被导销 28 定位后,光连接器 30A 和 30B 通过弹簧等使套件 10A 和 10B 分别紧压光连接器 30B 和 30A。在被推向内部的同时,突出的光纤 20 在纤芯 21 的突起 21a 处建立物理接触连接(见图 7A 和 7B)。如果在光纤 20 的长度变化很大时,通过弹簧等在光纤 20 上一并地施加负荷以将光纤 20 推入套件 10A 和 10B 中,则光纤 20 上施加的负荷不一致。在这种情况下,在一些通道中有可能没有建立物理接触连接。

[0043] 为了解决这个问题,本实施例中,在套件 10A 和 10B 中设置空间 15,光纤 20 的根部被粘合剂固定,如图 6 所示,光纤 20 被保持在使光纤 20 的端头略微突出的状态。

[0044] 当光连接器 30A 和 30B 被互相连接时,光纤 20 以光纤 20 的突出部分的长度递减的顺序接触对应的光纤 20。光纤 20 可以在套件 10A 和 10B 的光纤导孔 13 中移动,在内部空间 15 中多余部分略微变弯。光纤 20 在空间 15 中弯曲的结果是,能够沿轴向方向在光纤 20 上施加独立的压曲负荷。

[0045] 图 10 是应用有本实施例的光连接器 30 的光互连的例子。安装有大规模集成电路 85 的板 80 通过光连接器 30A 和 30B 或 60 连接到背板 70。背板 70 上的光传输线路 71 例如是使用光纤的传输线路。

[0046] 本实施例的光连接器 30 适用于位于背板 70 上的连接器和位于板 80 上的连接器。当基于光纤的光连接器 30A 和 30B 被用作这些连接器时,如图 7A 和 7B 中所示,光纤 20 之间的物理接触连接被建立。当聚合物波导连接器 60 被用作板 80 上的连接器时,得到了图 8A 和 8B 中所示的连接模式。作为板 80 上的传输线路 81,从布线容易和耐弯曲的角度,经常采用柔性波导。本实施例的光连接器 30 在光纤到聚合物波导连接中也有用。

[0047] 如上所述,在本实施例的方法中,通过控制石英光纤纤芯掺杂的掺杂量,使纤芯的折射率高于包层的折射率并且纤芯的熔点低于包层的熔点。纤芯和包层之间的折射率差为 1% 到 3%。用比现有的电弧放电方法的电弧功率更小的电弧功率处理这样的光纤,能够通过

优先熔化纤芯部分而仅使纤芯从光纤的端面突出。这种配置使得很容易进行与其它传输线路(例如光纤、聚合物波导、POF 和 H-PCF)的物理接触连接。

[0048] 即使在重复执行插入聚合物波导或塑料光纤(POF)以及从聚合物波导或塑料光纤(POF)断开时,也能够减少对聚合物波导或塑料光纤的损坏。通过提供具有锥形形状的光纤端头,很容易进行将光纤插入到套件中的处理,这使得能够实现成本降低。当采用多光纤连接器时,通过在套件的空间中弯曲光纤,能够吸收光纤之间长度差异。与通过抛光进行精确处理相比,很容易进行电弧放电处理,并且能够降低成本。通过结合激光处理和电弧放电,能够形成包层端头的锥形形状以及纤芯的从包层端面突出的突起部的球形突起。因此,实现了高精度的物理接触连接。

[0049] 本实施例中所述的结构仅仅是例子,即使当包层外径和纤芯直径与本实施例的包层外径和纤芯直径不同时,也能够实施任何石英光纤。作为光连接器,除了多光纤连接器,可以使用单纤芯连接器,例如可以使用常用的方形连接器 SC (Square Connector)和套筒连接器 FC (Ferrule Connector)。

[0050] 不仅能够将本实施例的光纤应用于匹配连接器,还能够用于机械接头等,并且在进行到波导装置的永久性连接时使用本实施例的光纤。

[0051] 优点

[0052] 实现了能够进行高精度物理接触连接的光连接器。

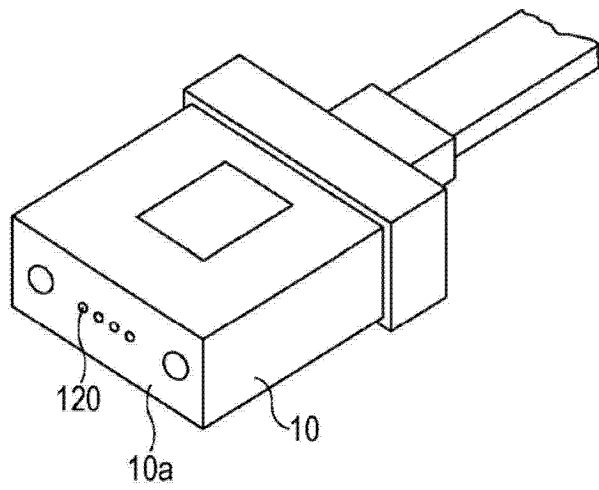


图 1A 相关技术

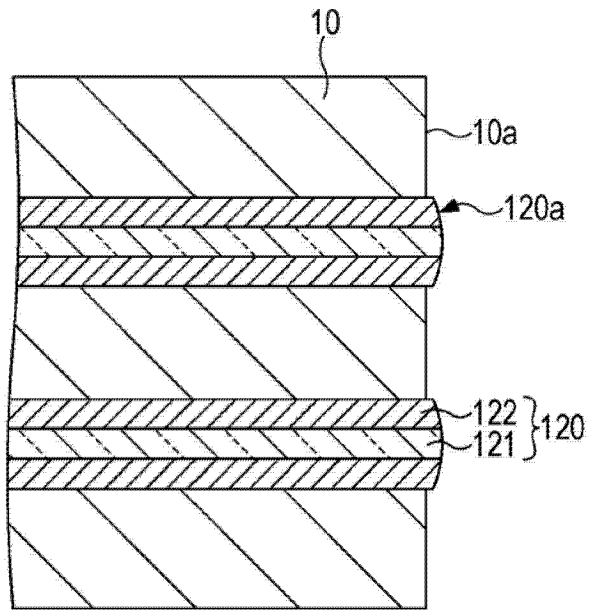


图 1B 相关技术

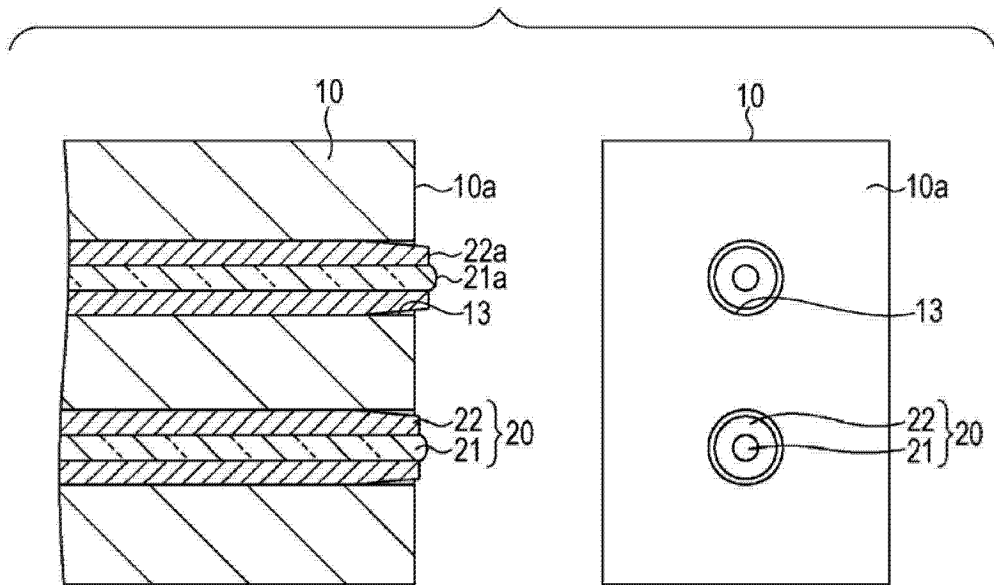


图 2

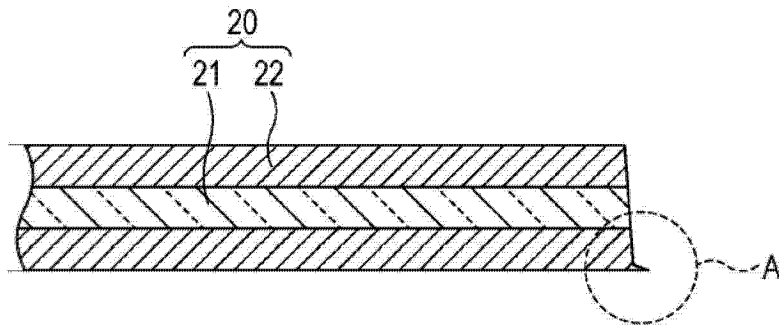


图 3A

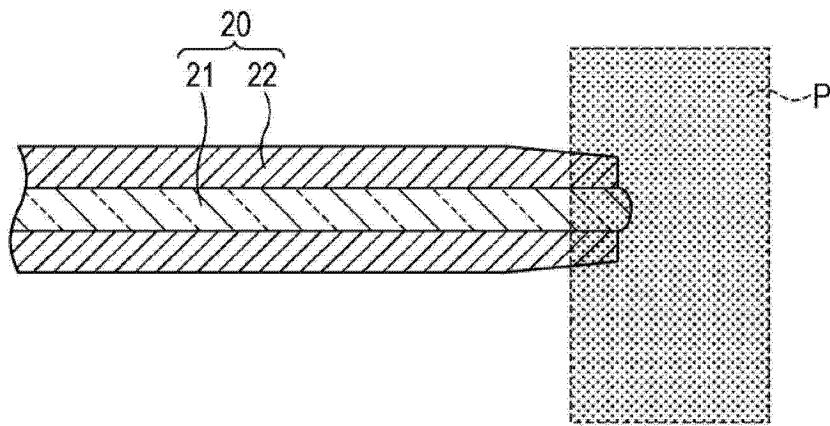


图 3B

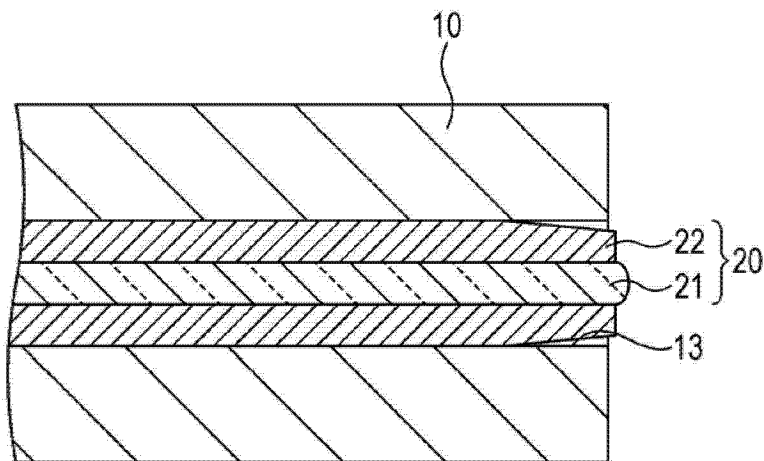


图 3C

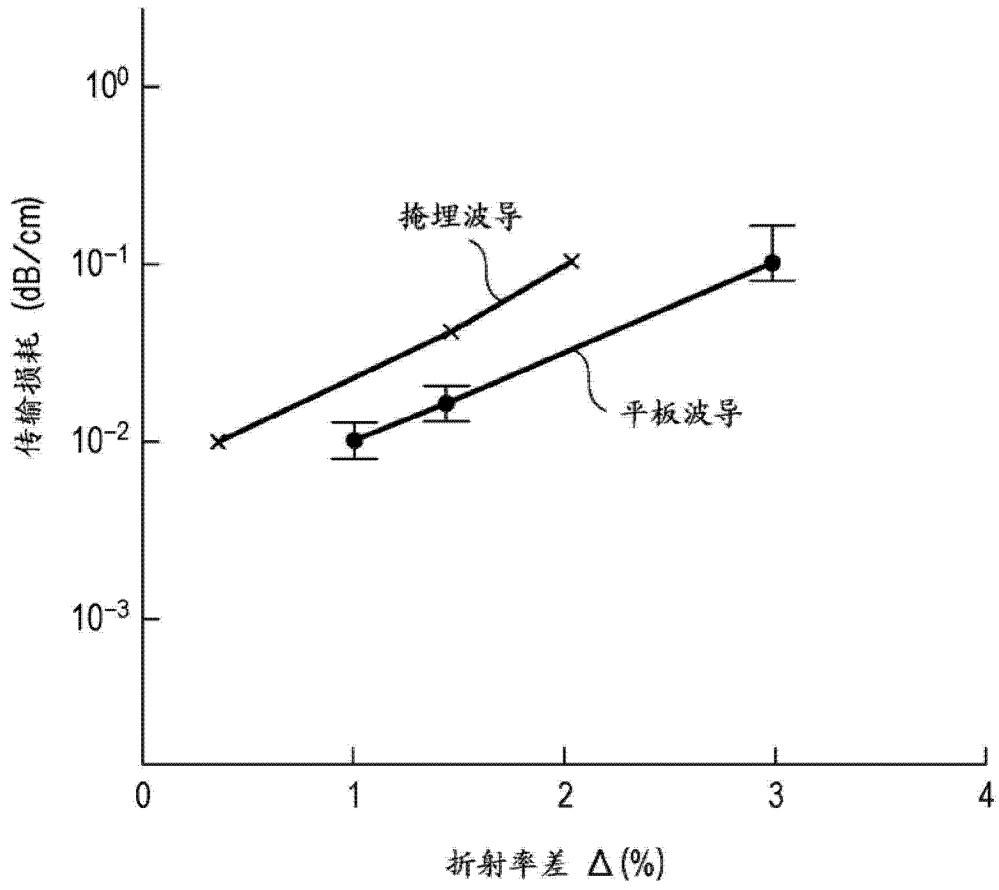


图 4

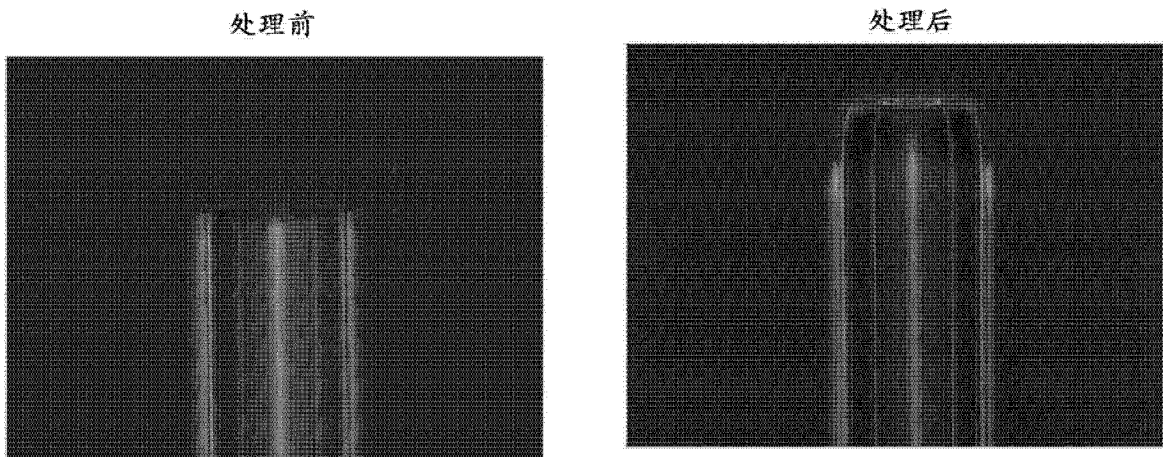


图 5A

图 5B

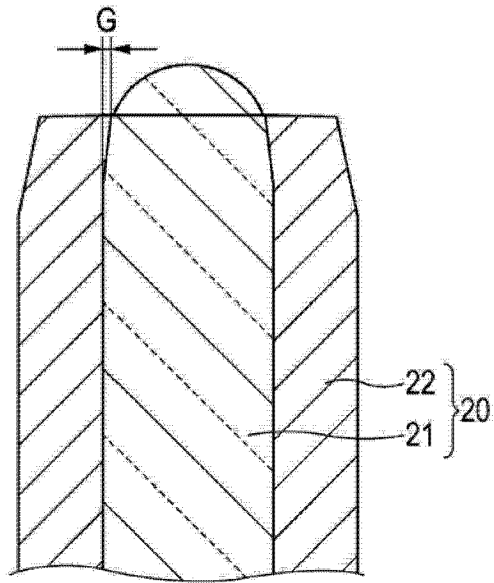


图 5C

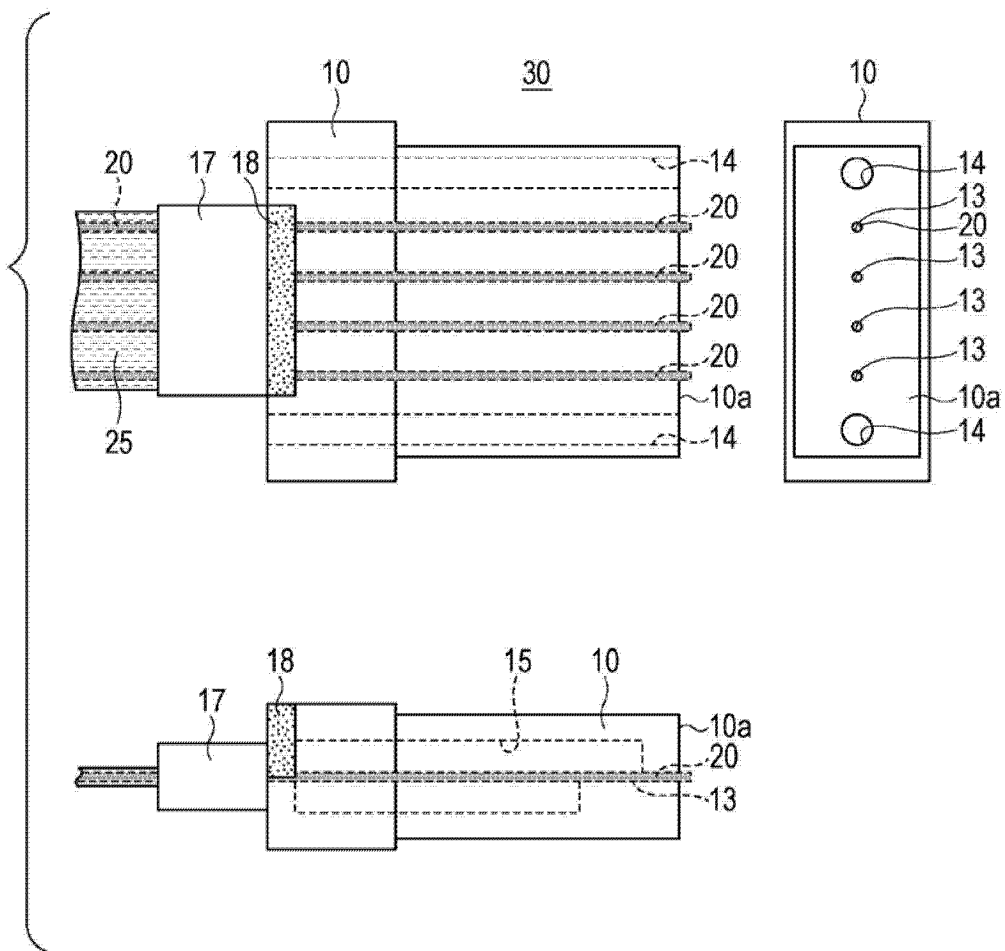


图 6

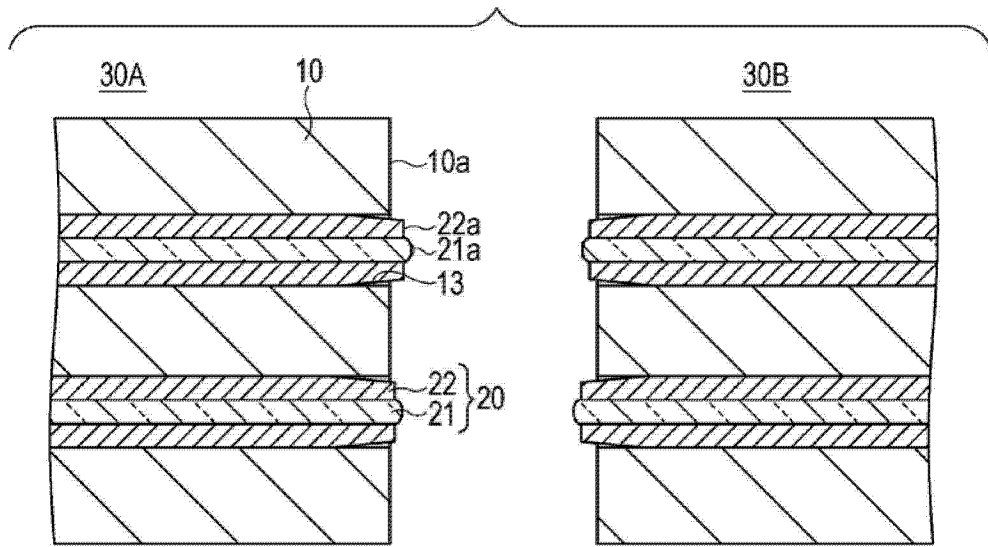


图 7A

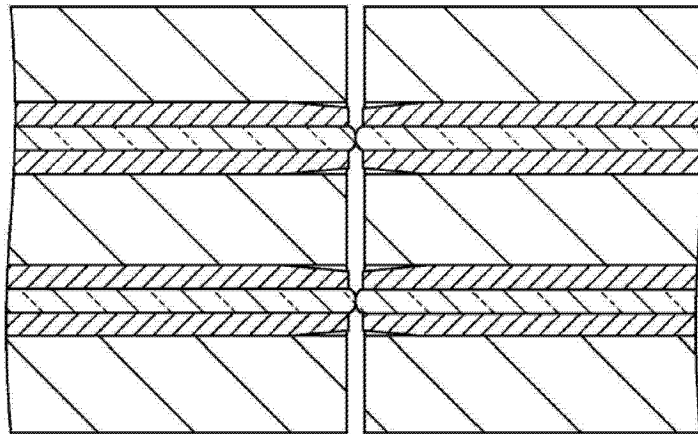


图 7B

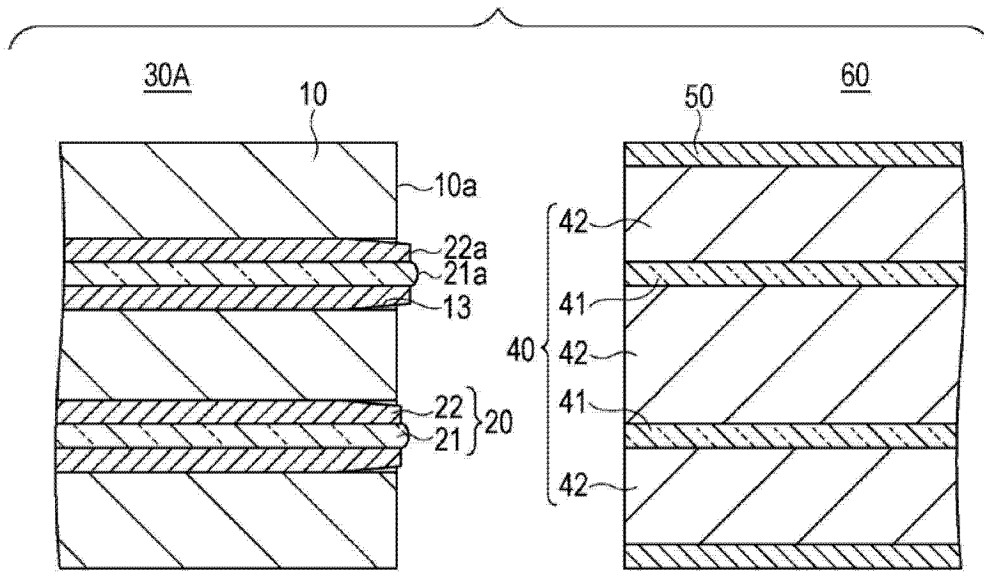


图 8A

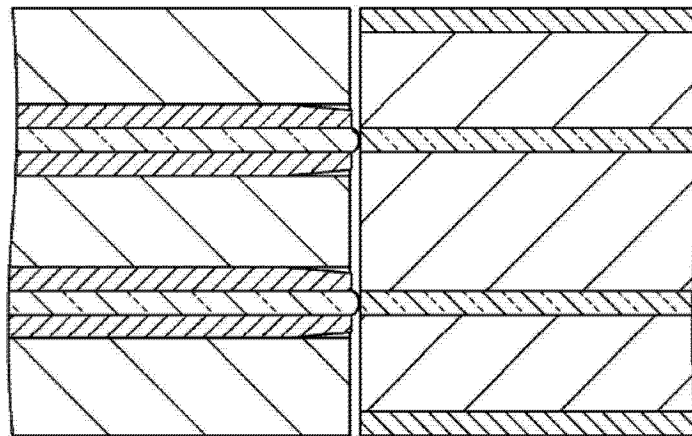


图 8B

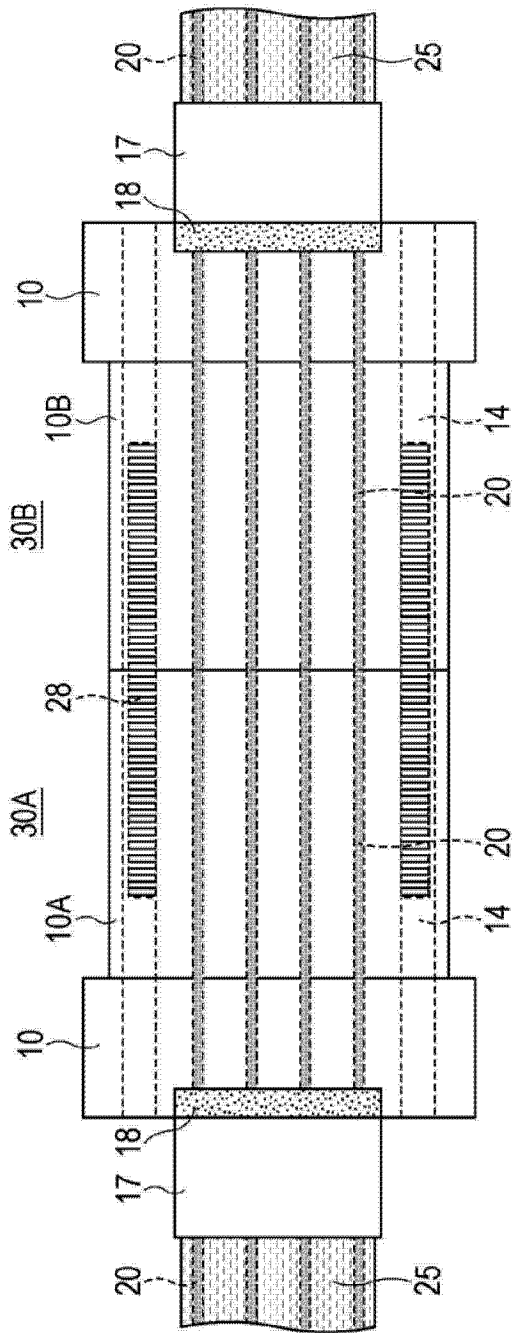


图 9A

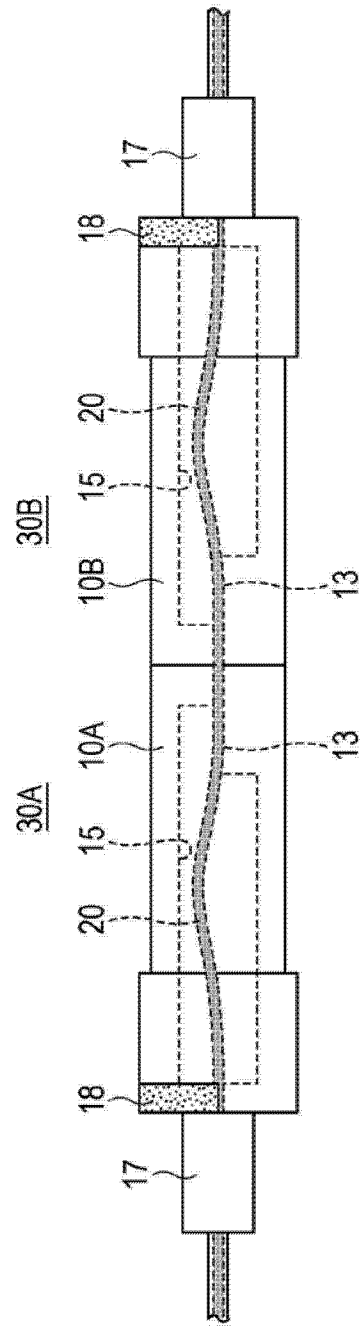


图 9B

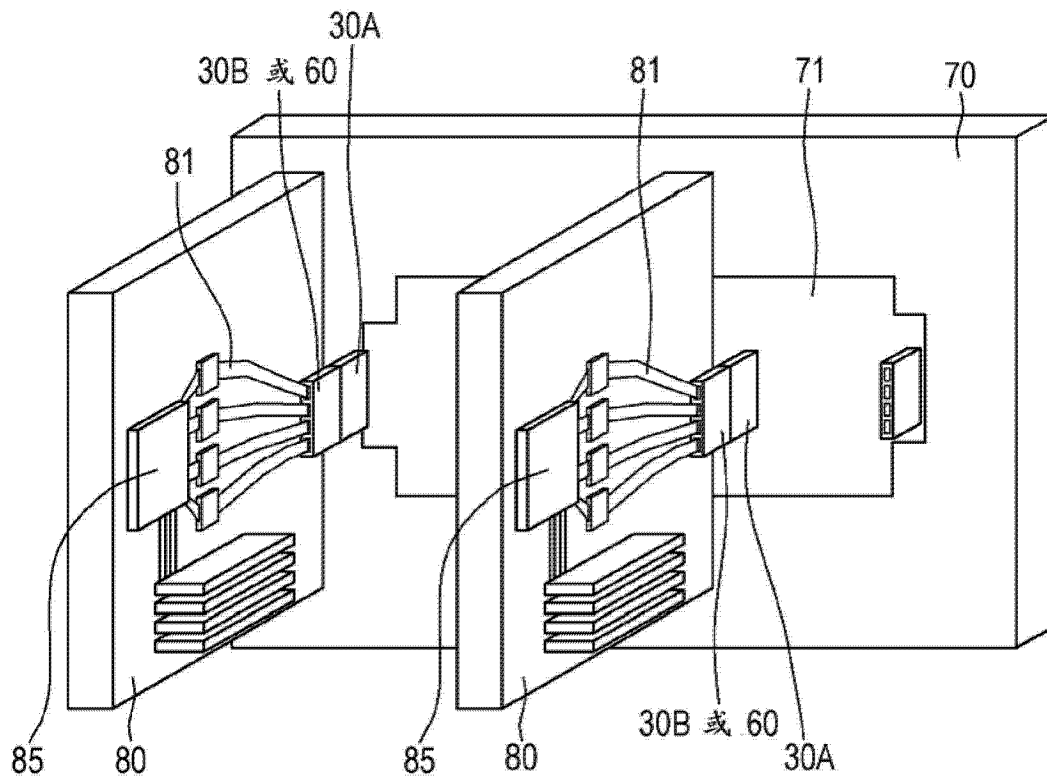


图 10