



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114207490 B

(45) 授权公告日 2024. 05. 24

(21) 申请号 202080054309.2
(22) 申请日 2020.07.29
(65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 114207490 A
(43) 申请公布日 2022.03.18
(30) 优先权数据
 1911183.0 2019.08.05 GB
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2022.01.27
(86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/GB2020/051811 2020.07.29
(87) PCT国际申请的公布数据
 W02021/023969 EN 2021.02.11
(73) 专利权人 微软技术许可有限责任公司
 地址 美国华盛顿州
(72) 发明人 S·鲍恩
(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
 11256
 专利代理师 王茂华

(51) Int.Cl.
 G02B 6/255 (2006.01)
 G02B 6/02 (2006.01)
(56) 对比文件
 CN 104246559 A, 2014.12.24
 CN 106443885 A, 2017.02.22
 CN 109782389 A, 2019.05.21
 US 2006153512 A1, 2006.07.13
 US 2011097045 A1, 2011.04.28
 CN 102169209 A, 2011.08.31
 EP 2172795 A1, 2010.04.07
 JP 2002148468 A, 2002.05.22
 US 2005180703 A1, 2005.08.18
 US 2006067632 A1, 2006.03.30
 WO 03038496 A1, 2003.05.08
 R THAPA等. Arc fusion splicing of hollow-core photonic bandgap fibers for gas-filled fiber cells.《OPTICS EXPRESS》. 2006, 第14卷 (第21期), 全文. (续)

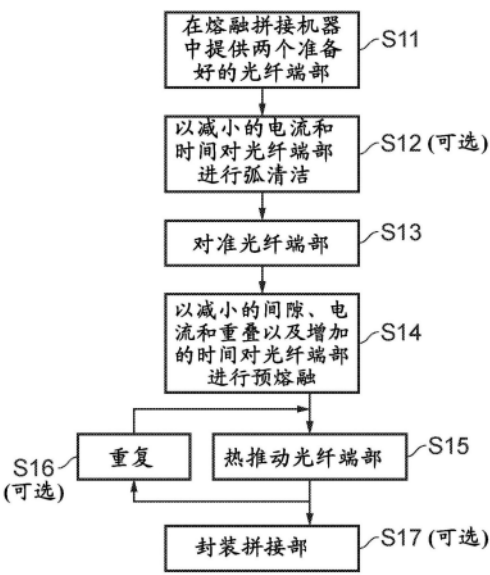
审查员 黎进

权利要求书2页 说明书14页 附图7页

(54) 发明名称
 光纤拼接方法

(57) 摘要
 一种形成拼接部以接合两根光纤的方法包括：提供两根光纤，所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤；将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准，使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且光纤的端部间隔开；执行预熔融阶段(S1)，包括：在光纤的端部附近施加电弧以便软化端部的材料；将光纤的端部移动在一起以进行接触，然后超出接触达重叠距离以形成熔融部分，在熔融部分中端部被熔融在一起；以及执行至少一个推动阶段(S2)，每个推动阶段包括：实现在其期间不施加电弧的冷却时段；在冷却时段结束时，向熔融部分施加电弧以软化熔融端部的材料；以及将光纤

的熔融端部进一步推动在一起。



CN 114207490 B

[接上页]

(56) 对比文件

LIMIN XIAO等.Fusion Splicing Photonic Crystal Fibers and Conventional Single-Mode Fibers: Microhole Collapse Effect.《JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY》.2007,第25卷(第11期),全文.

J H Chong等.Development of a System for Laser Splicing Photonic Crystal

Fiber.《Optics Express》.2003,全文.

李晓倩.空芯光子晶体光纤熔接技术研究.《中国知网硕士电子期刊》.2019,全文.

Krzysztof Borzycki等.Arc fusion splicing of photonic crystal fibres.《Photonic Crystals – Introduction, Applications and Theory》.2012,全文.

1. 一种形成拼接部以接合两根光纤的方法,所述方法包括:
提供两根光纤,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤;
将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准,使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且所述光纤的端部间隔开;
执行预熔融阶段,所述预熔融阶段包括:
在所述光纤的端部附近施加电弧,以便软化端部的材料;
将所述光纤的端部移动在一起以进行接触,然后超出所述接触达重叠距离以形成熔融部分,在所述熔融部分中端部被熔融在一起;以及
执行至少一个推动阶段,每个推动阶段包括:
实现冷却时段,在所述冷却时段期间不施加电弧;
在所述冷却时段结束时,向所述熔融部分施加电弧,以软化熔融端部的材料;以及
将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述至少一个推动阶段包括多达十个推动阶段。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述至少一个推动阶段包括三个、四个或五个推动阶段。
4. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,所述至少一个推动阶段包括在施加电弧的同时将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述推动是在弧时间的最后部分期间执行的,在所述至少一个推动阶段中在所述弧时间内施加电弧。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述弧时间为200ms或更长,并且所述推动是在所述弧时间的最后部分期间执行的,所述最后部分在150ms至250ms的范围内。
7. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,在所述至少一个推动阶段中,所述光纤的熔融端部被进一步推动在一起达一距离,所述距离介于所述预熔融阶段中的所述重叠距离的20%和30%之间。
8. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,在所述对准中,在执行所述预熔融阶段之前,所述光纤的端部间隔开一间隙,所述间隙在约2 μ m至10 μ m的范围内。
9. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,在所述预熔融阶段期间,所述重叠距离在6 μ m至8 μ m的范围内。
10. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,在所述预熔融阶段期间,使用在11mA至14mA的范围内的电流产生电弧。
11. 根据前述任一权利要求所述的方法,所述方法还包括:
在所述对准之前执行清洁阶段,所述清洁阶段包括:
定位所述光纤,其中所述光纤的端部间隔开;以及
在所述光纤的端部附近施加电弧,以便在光纤端部之间的空间中产生等离子体,所述等离子体从所述光纤的端面去除污染物;其中
电弧被施加达清洁弧时间,所述清洁弧时间在20ms至30ms的范围内。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中,在所述清洁阶段,使用在8mA至14mA的范围内的电流产生电弧。
13. 根据前述任一权利要求所述的方法,其中,所述空心芯光纤包括由微结构包覆部围

绕的空心芯部,在所述微结构包覆部中空气填充率至少为0.9。

14.根据权利要求1至13中任一项所述的方法,其中,所述空心芯光纤包括反谐振空心芯光纤。

15.根据权利要求1至13中任一项所述的方法,其中,所述空心芯光纤包括光子带隙空心芯光纤。

16.根据权利要求1至15中任一项所述的方法,其中,所述两根光纤二者都是空心芯光纤。

17.根据权利要求1至15中任一项所述的方法,其中,所述光纤中的一根光纤是全实心光纤。

18.一种电弧熔融拼接装置,所述电弧熔融拼接装置被配置为接收两根光纤的端部,并通过使用根据权利要求1至17中任一项所述的方法形成拼接部来接合所述两根光纤。

19.一种存储介质,所述存储介质存储有计算机可实现指令,所述指令用于控制电弧熔融拼接装置,所述指令在由计算机处理器实现时使得电弧熔融拼接装置能够通过使用根据权利要求1至17中任一项所述的方法形成拼接部来接合两根光纤。

20.一种使用根据权利要求1至17中任一项所述的方法形成的接合两根光纤的拼接部,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤。

21.一种形成拼接部以接合两根光纤的方法,所述方法包括:

提供两根光纤,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤;

将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准,使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且所述光纤的端部间隔开;

执行预熔融阶段,所述预熔融阶段包括:

在所述光纤的端部附近施加一个或多个激光束,以便软化端部的材料;

将所述光纤的端部移动在一起以进行接触,然后超出所述接触达重叠距离以形成熔融部分,在所述熔融部分中端部被熔融在一起;以及

执行至少一个推动阶段,每个推动阶段包括:

实现冷却时段,在所述冷却时段期间不施加激光束;

在所述冷却时段结束时,向所述熔融部分施加一个或多个激光束,以软化熔融端部的材料;以及

将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。

光纤拼接方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于拼接光纤的方法和用于执行用于拼接光纤的方法的装置。

背景技术

[0002] 许多应用需要将两个光纤部分接合在一起以形成连续长度。接合处被称为拼接部,并且接合的过程被称为拼接。关键的示例是电信领域,其中光纤需要被接合,以便产生和维持足够的可部署长度的光纤来携带光学电信信号,并且以便将所部署的光纤耦接到电信链路的端部处的光学发送和接收装备。为了使信号传输最大化,在光从一个光纤部分跨过拼接部到另一个光纤部分时,拼接部应该引入最少量的光学损耗。

[0003] 拼接通常是通过使光纤的准备好的端部细致对准以及在将端部压在一起之前软化光纤端部的材料(通常是玻璃)以便允许经软化的材料熔融在一起来执行的。大多数商用拼接系统尤其是用于安装光纤电信网络的那些商用拼接系统使用电弧放电来加热和软化光纤端部。对于一些基于专业实验室或工厂的应用,热可以替代地由激光束或载流金属丝提供。

[0004] 光纤拼接系统被开发用来加工全实心光纤,在全实心光纤中光纤的芯部和包覆部二者都由实心材料(通常是玻璃)制成。最近,已经开发出其中包覆部包括在包覆材料内的空气孔的阵列的光纤。该布置引入了包覆部的折射率的周期性变化;提供了该变化的部分通常被称为微结构。因此,这些光纤可以被称为微结构光纤。这种光纤的芯部可以是实心的,或者可以包括填充有空气(或另一种气体)的空心空隙,在该情况下光纤可以被称为空心芯光纤或空心芯微结构光纤。

[0005] 微结构和空心芯的存在使这些光纤在拼接期间容易受损。使玻璃材料软化以及将光纤端部压在一起都可以引起孔的变形和塌缩,从而造成微结构的破坏并导致有损耗的拼接部。

[0006] 因此,使得能够进行空心芯光纤的低损耗拼接的拼接技术备受关注。

发明内容

[0007] 在所附权利要求中阐述了方面和实施例。

[0008] 根据本文描述的某些实施例的第一方面,提供了一种形成拼接部以接合两根光纤的方法,该方法包括:提供两根光纤,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤;将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准,使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且所述光纤的端部间隔开;执行预熔融阶段,所述预熔融阶段包括:在所述光纤的端部附近施加电弧,以便软化端部的材料;将所述光纤的端部移动在一起以进行接触,然后超出所述接触达重叠距离以形成熔融部分,在所述熔融部分中端部被熔融在一起;以及执行至少一个推动阶段,每个推动阶段包括:实现冷却时段,在所述冷却时段期间不施加电弧;在所述冷却时段结束时,向熔融部分施加电弧,以软化熔融端部的材料;以及将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。

[0009] 根据本文描述的某些实施例的第二方面,提供了一种电弧熔融拼接装置,该电弧熔融拼接装置被配置为接收两根光纤的端部,并通过使用根据第一方面所述的方法形成拼接部来接合所述两根光纤。

[0010] 根据本文描述的某些实施例的第三方面,提供了存储在存储介质上的计算机可实现指令,所述指令用于控制电弧熔融拼接装置,所述指令在由计算机处理器实现时使得电弧熔融拼接装置能够通过使用根据第一方面所述的方法形成拼接部来接合两根光纤。

[0011] 根据本文描述的某些实施例的第四方面,提供了一种接合两根光纤的拼接部,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤,所述拼接部是使用根据第一方面所述的方法形成的。

[0012] 根据本文描述的某些实施例的第五方面,提供了一种接合两根光纤的拼接部,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤,所述拼接部具有小于0.5dB的光学传输损耗和大于3N的拼接部强度。

[0013] 根据本文描述的某些实施例的第六方面,提供了一种形成拼接部以接合两根光纤的方法,该方法包括:提供两根光纤,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤;将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准,使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且所述光纤的端部间隔开;执行预熔融阶段,所述预熔融阶段包括:在所述光纤的端部附近施加一个或多个激光束以便软化端部的材料;将所述光纤的端部移动在一起以进行接触,然后超出所述接触达重叠距离以形成熔融部分,在所述熔融部分中端部被熔融在一起;以及执行至少一个推动阶段,每个推动阶段包括:实现冷却时段,在所述冷却时段期间不施加激光束;在所述冷却时段结束时,向熔融部分施加一个或多个激光束,以软化熔融端部的材料;以及将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。

[0014] 在所附的独立权利要求和从属权利要求中阐述了某些实施例的这些方面和其他方面。应该理解,从属权利要求的特征可以以除了权利要求中明确阐述的那些组合之外的组合来彼此组合和与独立权利要求的特征组合。此外,本文描述的方法不限于诸如以下阐述的实施例之类的特定实施例,而是包括并料想到本文呈现的特征的任何适当组合。例如,可以按照本文描述的方法提供酌情包括以下描述的各种特征中的任一个或多个的方法和装置。

附图说明

[0015] 为了更好地理解本发明并且为了示出可以如何实践本发明,现在通过示例的方式参照附图,在附图中:

[0016] 图1示出了全实心光纤的横向截面视图;

[0017] 图2示出了适于执行如本文公开的拼接方法的电弧熔融拼接装置的示意表示;

[0018] 图3示出了用于全实心光纤的电弧熔融拼接的常规方法中的步骤的流程图;

[0019] 图4示出了光子带隙空心芯微结构光纤(HCPBF)的示例的横向截面视图;

[0020] 图5示出了第一示例反谐振空心芯微结构光纤的横向截面视图;

[0021] 图6示出了第二示例反谐振空心芯微结构光纤的横向截面视图;

[0022] 图7示出了如本文公开的用于空心芯微结构光纤的电弧熔融拼接的示例方法中的步骤的流程图;

[0023] 图8示出了使用第一类型的电弧熔融装置的根据如本文公开的方法形成的多个空心芯光纤拼接部的所测得的拼接损耗的直方图；

[0024] 图9示出了使用第二类型的电弧熔融装置的根据如本文公开的方法形成的多个空心芯光纤拼接部的所测得的拼接损耗的直方图；

[0025] 图10示出了与图8中相同的空心芯光纤拼接部的所测得的拼接部强度的直方图；以及

[0026] 图11示出了与图9中相同的空心芯光纤拼接部的所测得的拼接部强度的直方图。

具体实施方式

[0027] 本文讨论/描述了某些示例和实施例的方面和特征。某些示例和实施例的一些方面和特征可以被常规地实现,并且为了简洁起见,没有详细地讨论/描述这些方面和特征。因此,将认识到,本文讨论的方法和装置的没有被详细描述的一些方面和特征可以按照用于实现这样的方面和特征的任何常规技术来实现。

[0028] 在发明出光纤后的许多年里,全实心光纤是标准,在全实心光纤中,光纤的芯部区域和包覆部区域二者都由一种或多种实心材料(通常是诸如二氧化硅之类的玻璃)限定。

[0029] 图1示出了示例全实心光纤的横向截面视图,该视图处于与光纤的长度方向正交的平面中,光沿着该长度方向传播通过光纤。光纤1包括具有第一折射率的实心玻璃材料的中央芯部区域或芯部2,该中央芯部区域或芯部2由具有低于第一折射率的第二折射率的实心玻璃材料的包覆部区域或包覆部3围绕。芯部2沿着光纤1的中央纵向轴线同轴地设置在包覆部3内。在光纤1中传播的光通过在芯部2与包覆部3之间的边界处由折射率差异引起的全内反射而被沿着芯部2引导。

[0030] 图2示出了用于在两个光纤部分之间形成拼接部以便将光纤部分接合成连续长度的光纤的示例电弧熔融拼接装置或机器的简化示意表示。可商业获得的电弧熔融拼接器包括可从Fujikura Europe有限公司获得的Fujikura FSM-100M以及可从Furukawa Electric Europe有限公司获得的Fitel型号SI78LDF。这两种机器都相对小,并因此适合在现场使用,诸如用于光纤电信系统安装。各种各样的替代机器也是可用的。

[0031] 图2中的装置包括一对夹持件12,其中每个夹持件12中都可以安装有光纤部分10的端部16。夹持件12在控制器14(其例如可以被实现为可编程微处理器,尽管不排除使用硬件和固件作为软件的替代或附加的布置)的控制下。控制器14可操作以调整夹持件12,从而使光纤10的端部16在三个维度上相对于彼此移动。在x-y平面中的移动是横向于光纤10的长度的移动,并且被执行以便对准光纤10,使得它们的物理结构在空间上是匹配的,使得当端部16聚在一起以形成拼接部时,芯部和包覆部对准并重合。这对于低损耗的拼接部是重要的,使得光可以从一个光纤部分10的芯部到另一光纤部分10的芯部,而在两个部分10之间的界面处没有经历显著损耗。芯部的不对准可以允许光逃逸到包覆部中并且最终离开光纤,从而导致跨拼接部的光学传输损耗。它也会引起反向反射。Z方向上的移动是光纤10平行于其纵向轴线的移动,并且被执行以将光纤端部16接触在一起以形成拼接部。夹持件12还可以被配置为提供光纤端部16绕其纵向轴线的旋转(在x-y平面中的旋转)。该移动对于对准诸如维持极化的光纤之类的具有缺乏圆对称性的内部结构的光纤可以是有用的。

[0032] 该装置附加地包括跨弧区20彼此面对地布置的一对尖电极18。电极18还连接到控

制器14并在控制器14的控制下,控制器14通过施加电压激活电极18,以引起弧电流在电极18之间流动,从而在弧区中产生等离子体。在产生弧电流时将光纤10的端部16放置在弧区20中使端部靠近弧定位,使得热可以被传递到光纤端部16的材料。这使材料软化并允许端部16在相接触时熔融在一起。

[0033] 控制器可以被编程,以便在光纤端部之间实现所期望的间距和接触,并在所期望的时间段(弧时间)内以所期望的电流水平(弧电流)施加电弧。

[0034] 图3示出了用于使用电弧熔融装置熔融全实心光纤的已知常规方法的示例中的步骤或阶段的流程图。全实心光纤的示例是具有 $125\mu\text{m}$ 的包覆部直径的由Corning (RTM)制作的广泛使用的单模二氧化硅光纤SMF-28e (RTM)。

[0035] 在第一步骤S1中,要被拼接在一起的两个光纤部分的端部被准备,并通过被安装到诸如图2中的示例之类的熔融拼接机器中来提供用于拼接。准备通常包括剥去围绕光纤包覆部的任何外部护套,并劈开光纤的端部,以便实现光纤的平坦和相对清洁的端面或刻面。将光纤安装到熔融拼接机器中,使光纤的端部间隔开在图2中指示的分隔距离或间隙s。

[0036] 一旦安装了光纤,就执行步骤S2,步骤S2是通过从电极施加弧来清洁光纤的端部的清洁阶段。通过使光纤端部或顶端处于弧区中并通过清洁间隙分隔,弧跨电极击出,以便在弧区中产生等离子体。等离子体分解和蒸发来自光纤端面和光纤端部的相邻侧表面的任何污染物。进行该清洁阶段是因为可以从清洁的端面实现更强和更可靠的低损耗拼接部。对于清洁阶段,间隙s具有诸如 $100\mu\text{m}$ 之类的选定值,该值允许端面暴露于等离子体,但不会引起光纤材料的显著软化。为了产生清洁等离子体,可以从约16mA的弧电流(例如,适于拼接SMF-28e)施加弧达约150ms的弧时间。

[0037] 然后,该方法前进至对准阶段(步骤S3),在步骤S3中光纤的端部在x-y平面中相对于彼此移动(线性移动和可选地旋转移)到其中两端的结构特征处于良好的空间对准的位置,以便跨拼接部形成平滑连续的芯部和包覆部结构。各种技术可用于实现对准。这些包括芯部对准和包覆部对准,其中相邻光纤端部的图像在视觉上被检查或经由图像处理被检查,以确保两个芯部或两个包覆部(或这二者)处于良好的空间对准。替代方案是功率对准,其中使光纤端部接近在一起,将光注入到一根光纤的相对端部中并在光跨相邻端部传输之后在第二光纤的相对端部处检测光。调整光纤位置,以便使在第二光纤的端部处检测到的传输功率最大化。选择这些对准技术中的任一种不会影响熔融过程。

[0038] 下一步骤S4是其中光纤端部被预熔融的预熔融阶段。在x-y平面对准之后,光纤端部定位于弧区中、在z方向上间隔开选定的预熔融间隙。典型的预熔融间隙大小为约 $15\mu\text{m}$ 。在选定的弧时间内并以选定的弧电流从电极击出弧,以便在光纤端部处将光纤材料的温度升高至材料的软化点。在材料处于该软化状态时,通过夹持件的操作,将光纤端部移动或推动在一起,以相互进行接触。在接触之后,通常超出接触点继续移动进一步的距离;这被称为重叠或重叠距离。由于材料是软的,因此光纤的端部在它们重叠时塑性变形,并且来自两个端部的材料熔融在一起,以形成光纤的熔融部分。进行到重叠距离的推动达选定的时间,该选定的时间也可以被称为预熔融推动时间。在光纤在预熔融阶段内移动期间,弧被维持。

[0039] 接下来,在步骤S5中,执行熔融阶段。在熔融阶段中,一旦已经实现了重叠,就维持在预熔融阶段结束时实现的光纤的位置(没有进一步的移动或推动),并且还通常以较高的弧电流继续弧。这使光纤的端部保持在软化状况,使得两个端部的材料能够流动在一起,由

此改善了光纤端部的物理接合。将在通常为大约2-3秒的选定弧时间内施加熔融弧。

[0040] 一旦实现了足够水平的熔融,就可以在最后步骤S6中封装拼接的光纤。允许光纤端部冷却和重新固化,并将拼接的光纤从拼接机器中卸下。在拼接部周围放置某种形式的拼接部保护器,以便保护暴露和接合的光纤材料;这被称为封装。

[0041] 这种方法对于全实心光纤是非常成功的。然而,最近开发出的光纤具有包括沿着光纤平行于纵向轴线的长度延伸的在光纤材料内的孔、毛细管或腔的阵列或布置的结构。该结构可以因图3的拼接方法而受损,从而导致有损耗的拼接部。孔的布置可以被称为微结构,使得这种光纤可以被认为是微结构光纤。通常,微结构形成光纤的包覆部的至少部分,在这种情况下,被包覆部微结构围绕的光纤的中央区域提供了如全实心光纤中一样的芯部。芯部可以是实心的,或者可以是填充有空气或另一种气体的空心空隙。该后一种类型的光纤可以被称为空心芯微结构光纤,或更简单地,空心芯光纤。

[0042] 考虑微结构光纤(包括空心芯光纤)时的相关参数是空气填充率。包括形成有纵向孔的内部的包覆部的光纤的微结构部分由空气和玻璃形成。空气填充率是微结构的(一个或多个)空气填充部分的体积与微结构的总体积的比率。因此,空气填充率具有在0和1之间的值。类似地,它可以被定义为穿过光纤的横向截面中对应区域的比率;获得了相同的结果。另外,空气填充率可以被表示为百分比。虽然早期的微结构光纤(其具有实心芯部)在微结构中具有大比例的玻璃,从而赋予以0.1(10%)或0.2(20%)的低空气填充率,但最近开发出的光纤特别是空心芯型的光纤具有高得多的空气填充率,包括0.9(90%)和更高(>90%)的空气填充率,因此微结构主要是空气,而非主要是玻璃。这种增加致使这些光纤类型在拼接期间尤其容易受损,使得拼接技术的发展具有重大的意义。

[0043] 如上所述,空心芯光纤具有包括中央空隙(通常填充有空气,但也可替代地填充有另一种气体或气体混合物,或者是真空)的光引导芯部,该光引导芯部被包覆部区域围绕,该包覆部区域包括沿着光纤长度延伸的纵向毛细管的结构化布置:微结构。因不存在实心玻璃芯部而实现的在空气中的光传播与实心芯光纤相比减少了被引导的光波的在玻璃中传播的比例,从而提供了诸如增加的传播速度、减少的来自吸收和散射二者的损耗和减少的非线性相互作用之类的益处。因此,对于电信应用,空心芯光纤极具吸引力;它们使得能够几乎以真空中的光速并且以更高的光功率并在更宽的光学带宽内进行数据传输,相对免受能够影响在实心光纤中行进的光的诸如非线性和热光效应之类的问题的影响。

[0044] 空心芯光纤可以根据其光引导机制被分类为两种主要类别或类型:空心芯光子带隙光纤(HCPBF,可替代地被称为空心芯光子晶体光纤HCPCF)[1]和反谐振空心芯光纤(AR-HCF或ARF)[2]。存在根据其几何结构表征的各种子分类的ARF,包括kagome光纤[3]、嵌套反谐振无节点光纤(NANF)[4]和管状光纤[5]。本发明可应用于所有类型的空心芯光纤,包括这两个主要类别及其相关联的子类型加上其他空心芯设计。注意的是,在本领域中,对于各种类别的光纤,存在一些术语的重叠使用。出于本公开的目的,术语“空心芯光纤”和“空心芯微结构光纤”旨在涵盖具有如上所述的空心芯的所有类型的这些光纤。术语“HCPBF”和“HCPCF”用于指具有通过光子带隙效应提供波导的结构的光纤(下面更详细地描述)。术语“ARF”和“反谐振空心芯光纤”用于指具有通过反谐振效应提供波导的结构的光纤(也在下面更详细地描述)。

[0045] 图4示出了示例HCPBF 20的截面视图。在这种光纤类型中,结构化的内部的包覆部

21包括许多小玻璃毛细管的规则紧密堆积的阵列,从该阵列中排除了中央的组以限定基本上圆形的空心的芯部22。包覆部结构的周期性提供了基本上周期性结构化的折射率,并因此提供了将传播的光波朝向芯部约束的光子带隙效应。可以依据被排除以制成芯部22的包覆部毛细管或“单元”的数量来描述这些光纤。在图4的示例中,来自阵列的中央19个单元不存在于芯部区域中,从而使其成为19单元芯的HCPBF。结构化的包覆部21由围绕芯部22的单元的六个环加上第七个环中的一些单元形成,以改善内部的包覆部21的外表面的圆度。外部的包覆部23围绕结构化的包覆部21。该示例光纤的空气填充率大于90%。

[0046] 与HCPBF相比,反谐振空心芯光纤通过反谐振光引导效应来引导光。ARF的结构化包覆部具有更简单的配置,与HCPBF相比包含少得多数量的较大玻璃毛细管或管,以提供缺乏高度周期性的结构,使得光子带隙效应不明显,但由于管是均匀间隔的,因此在较大尺度上有一定周期性。该结构意味着,反谐振被设置用于传播不与包覆部毛细管的壁厚度谐振的波长,换句话说,用于由包覆部毛细管壁厚度限定的反谐振窗口中的波长。包覆部毛细管围绕中央的空隙或空腔,该中央的空隙或空腔提供了光纤的空心芯并能够支持由反谐振引导的光模式。结构化的包覆部还可以支持能够主要在毛细管内部、在毛细管壁的玻璃中或者在包覆部毛细管与光纤的外部包覆部之间的空间或间隙中传播的包覆部模式。这些附加的非芯部引导模式的损耗通常比芯部引导模式的损耗高得多。迄今为止,在芯部引导模式当中,基本芯部引导模式通常具有最低的损耗。由与传播的光的波长反谐振的毛细管壁厚度所提供的反谐振用于抑制基本芯部模式与任何包覆部模式之间耦合,使得光被约束于芯部并且能够以非常低的损耗传播。

[0047] 图5示出了示例的简单的反谐振空心芯光纤的横向截面视图。光纤20具有外部管状包覆部23。结构化的内部的包覆部21包括多个管状包覆部毛细管24(在该示例中,七个具有相同截面大小和形状的毛细管),该多个管状包覆部毛细管24在外部包覆部23的内部被布置成环,使得每个包覆部毛细管24的纵向轴线与外部包覆部23的纵向轴线基本上平行。每个包覆部毛细管24在位置25处与外部包覆部23的内表面接触(结合),使得包覆部毛细管24围绕外部包覆部23的内圆周均匀地间隔,并且也彼此间隔开,因此在邻近的毛细管之间没有接触。在ARF的一些设计中,包覆部管24可以被定位成彼此接触(换句话说,不是图5中那样间隔开),但用于消除这种接触的间隔可以使光纤的光学性能提高。间隔去除了在相邻管之间的接触点处出现并往往会造成导致高损耗的不期望谐振的节点。因此,具有间隔开的包覆部毛细管的光纤可以被称为“无节点反谐振空心芯光纤”。

[0048] 包覆部毛细管24围绕管状外部包覆部23的内部布置成环创建了光纤20内的中央空间、空腔或空隙,另外其纵向轴线平行于外部包覆部23的纵向轴线和毛细管24的纵向轴线,其是光纤的空心芯部24。芯部22由包覆部毛细管24的外表面的面向内部分界定。这是芯部边界,并且构成该边界的毛细管壁的材料(例如,玻璃或聚合物)提供了所需的反谐振光引导效应或机制。毛细管24在芯部边界处具有限定在ARF中发生反谐振光引导的波长的厚度。该示例光纤的空气填充率超过90%。

[0049] 图6示出了第二示例ARF的横向截面视图。ARF 20具有结构化的内部的包覆部21,该包覆部21包括围绕管状外部包覆部23的内表面均匀地间隔开并围绕空心芯部22的六个包覆部毛细管24。每个包覆部毛细管24具有嵌套在其内部的二级的较小的毛细管26,毛细管26结合到包覆部毛细管24的内表面,在该示例中,毛细管26在与主毛细管24和外部包覆

部23之间的结合点相同的方位角位置25处结合到包覆部毛细管24的内表面。这些附加的较小的毛细管26可以减少光学损耗。另外附加的更小的三级的毛细管也可以被嵌套在二级的毛细管26内部。带有二级的毛细管和可选地更加小的毛细管的这种类型的ARF设计可以被称为“嵌套反谐振无节点光纤”或NANF。在其他NANF设计中,一个或多个附加毛细管可以被嵌套在与主毛细管和外部包覆部之间的结合点不同的方位角位置处。例如,一对附加的毛细管可以相对于结合点相等地或不等地位移。

[0050] 用于ARF的结构化包覆部的许多其他毛细管配置是可能的,并且本公开不限于上述示例。例如,毛细管不需要是圆形截面,和/或可以是或可以不是都有相同的大小和/或形状。围绕芯部的毛细管的数量可以是例如四个、五个、六个、七个、八个、九个、十个或更多个。

[0051] 在本文中,包括空心芯光学纤维、空心芯光纤、空心芯波导、空心芯光波导、空心芯微结构光纤、空心芯微结构波导和类似术语的术语旨在涵盖根据以上示例中的任一个配置的光波导结构和类似结构,其中在由包括多个纵向毛细管的结构化(微结构化)包覆部围绕的空心细长空隙或芯部中通过几种引导机制(光子带隙引导、反谐振引导和/或抑制耦合引导)中的任一种来引导光。在本公开中,这些各种术语可以可互换地使用。

[0052] 诸如针对图3描述的方法之类的常规熔融拼接方法往往会造成空心芯光纤的内部结构受损,从而导致与全实心光纤可实现的拼接部相比,拼接部的损耗非常大。这对于高空气填充率光纤尤其相关,因为在拼接过程期间,更精细的微结构更容易扰动,并且所得的扰动对于光纤的光学传播能力有更显著的影响。空心芯的存在使问题变严重。当光纤端部被加热时,已知的拼接工艺往往会造成微结构中的孔和/或芯部空隙的变形或塌缩。塌缩可以以两种方式影响损耗:第一,光引导结构被破坏;以及第二,如果两个光纤部分中塌缩不同,则跨拼接部发生模式不匹配。

[0053] 用于解决该问题的早期尝试只取得了很小程度上的成功。首次报道的努力是将空气填充率约为0.2的实心芯微结构光纤拼接到常规的全实心色散移位光纤,以获得在 $1.55\mu\text{m}$ 的传播光波长处的大致1.5dB的损耗[6]。后续的工作是将空气填充率为0.12的实心芯微结构光纤拼接到自身,并获得从约0.08dB至约3dB的损耗范围,其中,扩展归因于孔中的一些或全部的塌缩[7]。

[0054] 最近的工作涉及具有更高空气填充率的空心芯微结构光纤,其被拼接到自身[8]和拼接到全实心光纤[9]。空心芯光纤之间的拼接部具有0.16dB的低传输损耗,并且在验证测试中能够承受200ms或更长的时间段内施加的2N的力。光纤拼接部的强度对于接合部署在电信链路中的光纤高度相关。然而,结果是使用不适合在现场安装光纤网络的专业实验室装备产生的。

[0055] 因此,需要可以在现场方便地利用的用于通过低损耗、高强度的拼接部来接合空心芯微结构光纤的光纤拼接方法。本公开提出了可以实现具有0.5dB及以下的低损耗的、能够承受3-4N及以上的范围内的力的强壮拼接部的技术。该损耗水平对于将该技术应用于电信系统是可接受的,并且强度能力指示该方法适合于在现场使用,诸如在数据中心处使用。根据本公开的空心芯光纤的拼接使得空心芯光纤能够使用简单和便携的技术通过低损耗拼接部而被接合到自身(或接合到全实心光纤)。对于电信系统而言,这提供了增加长度的光纤链路、修复已经部署的光纤中的断裂的能力以及在实验室外和在现场进行拼接的容

易。另外,拼接部损耗是光纤链路的总功率预算的组成部分,因此低损耗的拼接提高了最大的可实现链路长度。

[0056] 图7示出了根据实施例的示例方法中的步骤的流程图。与用关于图3描述的常规方法一样,该方法可以使用诸如以上提到的可商业获得的型号之类的电弧熔融拼接机器来执行。然而,可以替代地使用其他电弧熔融拼接机器,包括其他可商业获得的型号或定制的机器。本发明在这方面不受限制。

[0057] 在第一步骤S11中,准备要被拼接的光纤的端部并将其放置到电弧熔融拼接机器(或允许执行各种步骤的类似布置)中。光纤中的至少一根光纤是空心芯微结构光纤。这两根光纤都可以是空心芯微结构光纤。在这种情况下,这两根光纤可以是不同类型或配置的空心芯微结构光纤(例如,上述类型中的任何一种类型,尽管不排除空心芯微结构光纤的其他设计),或者可以是相同类型或配置的空心芯微结构光纤。在其他替代方式中,一根光纤可以是空心芯微结构光纤,而另一根光纤可以是全实心光纤或实心芯微结构光纤。光纤由一种或多种诸如二氧化硅之类的玻璃材料制成。

[0058] 光纤的端部可以以常规方式来准备,例如,通过剥离任何外部涂层或护套层以便暴露下面的玻璃材料并劈开端部以实现整齐的端面来准备。也可以执行替代或附加的准备过程。准备的本质在所附权利要求的范围外,并且可以完全省略准备,尽管细致和适当的准备可以增强拼接部的质量,特别是在强度方面。在准备之后,例如,通过将每个端部安装到诸如图2中的一对面对的夹持件12之类的光纤夹持件中来将两个光纤端部引入到拼接机器中。

[0059] 然后,该方法可以前进至包括清洁阶段的可选步骤S12。对于清洁阶段,光纤端部被定位在弧区中介于熔融机器的电极之间,在Z方向上间隔开清洁间隙或距离,并且在电极之间击出电弧以便产生等离子体来去除存在于光纤端面 and/或光纤端部的相邻外侧上的任何污染物中的一些或全部。为了减少在以常规方式进行弧清洁期间可以引起的对光纤微结构的损害,在缩短的时间段内施加弧。在对全实心光纤的常规弧清洁中,弧时间通常为约150ms。在当前的弧清洁步骤中,弧时间大大缩短,例如,缩短至约25ms,或在22ms至28ms的范围内的时间,或在20ms至30ms的范围内的时间,或在10ms至40ms的范围内的时间。弧时间的这种缩短减少了微结构被暴露于其的弧中的能量的量,使得因材料软化而引起孔变形或塌缩所造成的损害更小。附加地或替代地,通过减小使弧从电极击出的电流(弧电流),可以减少到达微结构的能量。有用的是,可以使用约11mA或11.2mA、或在11mA至12mA的范围内、或在10mA至12mA的范围内、或在9mA至13mA的范围内、或在8mA至14mA的范围内的弧电流。11.2mA的值对应于通常用于对全实心光纤进行弧清洁的弧电流的水平(约16mA)的约70%,因此,弧电流相对于全实心光纤弧电流减少了约30%。

[0060] 注意的是,清洁阶段可以被替代地省略,或者可以按照用于全实心光纤的常规弧等离子体清洁而非根据刚才描述的修改的参数来执行。

[0061] 然后,该方法前进至步骤S13,在步骤S13中光纤端部被对准。这可以如针对图3中的步骤S3描述的,并可以通过功率对准或包覆部对准来进行。因为尚未开发出合适的图像处理软件,所以对于空心芯微结构光纤而言,芯部对准目前并不是可用的选项。然而,这可能是未来的可能性,因此芯部对准作为步骤S13的对准阶段的选项被包括在本公开的范围之内。可以实现旋转调整以对准微结构的特征。一旦光纤端部在x-y平面中被适当地对准(使

两根光纤的纵向轴线沿着同一条线),它们就被设置成在拼接机器的弧区中在z方向上具有间隔或间隙的间隔开配置,为下一步骤做好准备。

[0062] 该下一步骤S14是预熔融阶段。这可以主要如针对图3的步骤S4的预熔融阶段描述的来执行,但用到了一个或多个修改的参数。因此,总体上,将弧施加到间隔开的光纤端部所处的拼接机器的弧区,以便软化光纤端部的材料。然后,端部朝向彼此被移动在一起,首先接触,然后重叠,使得软化后的材料可以熔融在一起。这样创建了将两根光纤接合在一起的熔融部分或区域;这就是拼接部。

[0063] 四个参数与预熔融阶段相关,并且它们中的任一个或全部与全实心光纤的熔融拼接中使用的这些参数的典型值相比可以被修改。第一,光纤端部之间的间隙可以减小。这限制了弧所产生的等离子体到达微结构的能力(该微结构从光纤端部的外表面径向向内定位,并因此在一定程度上受到外部包覆部的保护—参见图4、图5和图6),使得减少或避免了限定微结构的材料的软化。由此,更好地维持了微结构的形状。在全实心光纤的常规预熔融中,通常采用约 $15\mu\text{m}$ 的间隙大小。这里,建议将预熔融间隙减小至约 $5\mu\text{m}$,或在约 $3\mu\text{m}$ - $7\mu\text{m}$ 的范围内,或在约 $2\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 的范围内。实际上,由于能在光纤端部上获得的最小劈开角,可以对预熔融间隙设置下限。

[0064] 第二,预熔融弧电流的大小与通常用于全实心光纤拼接的预熔融弧电流相比减小。相对于针对 $125\mu\text{m}$ 直径的全实心光纤使用的典型弧电流(约 14.9mA),弧电流可以减小约18%。因此,弧电流可以为约 12.2mA ,或者在 12mA 至 13mA 的范围内,或者在 11mA 至 14mA 的范围内。所传递的电流的减小为光纤端部提供了更少的加热,因此端部处的温度增加更少,从而减少了端部处的光纤材料的软化量。这在光纤端部聚在一起时使材料不太容易变形。

[0065] 第三,并且也是为了减少微结构的变形,重叠距离与预熔融全实心光纤时使用的典型重叠相比可以减小。回想一下,重叠是两个光纤端部朝向彼此移动(使得一根光纤在+z方向上移动而另一根光纤在-z方向上移动)超出端面接触的位置的量。用于全实心光纤的典型重叠约为 $10\mu\text{m}$ 。建议将重叠减小至约 $8\mu\text{m}$ 或更小,例如,在 $7\mu\text{m}$ - $8\mu\text{m}$ 的范围内,或在约 $6\mu\text{m}$ 至 $8\mu\text{m}$ 的范围内。

[0066] 第四,为了在两个端部在预熔融阶段中被移动至接触时实现两个端部的材料的足够熔融(假设由于弧电流减少,因此与已知方法中相比,该材料被较少软化),建议增加将光纤端部移动或推动在一起以实现重叠的时间。在该预熔融推动时间期间,施加预熔融弧。建议至少 400ms 的预熔融推动时间,例如,在 400ms - 500ms 、或 400ms - 600ms 、或 400ms - 700ms 、或 400ms - 800ms 、或 600ms - 800ms 的范围内时间。然而,不排除超过 800ms 的时间,并且可以在适当时使用超过 800ms 的时间。

[0067] 在全实心光纤的常规弧熔融拼接中,熔融阶段(图3中的步骤S5)是最长且温度最高的阶段。如果应用于空心芯微结构光纤,则熔融阶段会造成微结构的严重破坏,从而导致有损耗的拼接部。根据本公开的方法,建议在拼接空心芯光纤时省略常规的熔融阶段。

[0068] 由拼接部在给定时间段内能承受的所施加力的量定义的拼接部的强度是至少部分地通过重叠来推导的。如上所述,在修改的预熔融阶段中,建议较小的重叠,这可以导致减小的拼接部强度。为了补偿这一点,新方法用新设计的推动阶段取代省略的熔融阶段,在该新设计的推动阶段中,在限制光纤材料所经历的加热量和所得的软化的过程期间增加重叠,使得对微结构的损害受到限制。

[0069] 因此,在步骤S14的预熔融阶段之后,该方法前进至推动阶段S15,在其中进行第一“热推动”。初始地,在弧区中不施加电弧的冷却时段期间,允许光纤端部冷却。这允许在预熔融阶段中产生的热从光纤的熔融部分消散,使得微结构可以稳定。冷却时段可以具有例如约200ms的持续时间。一旦光纤已充分冷却,通常冷却至基本上低于软化点的水平,就在电极之间击出弧,以在弧区中再加热熔融的光纤端部。例如,可以使用约12.5mA的弧电流。弧提供了特别是对光纤端部的外部部分的加热和一些软化。一旦热已被传递并且熔融部分的光纤材料再次软化,就将光纤端部一起移动或推动得更近。换句话说,它们沿着z方向在相反的方向上移动。附加推动距离可以是先前在预熔融阶段S14中实现的重叠距离的约25%。回想一下,重叠可以约为8 μm ,诸如在6 μm 和8 μm 之间,热推动中的附加推动距离可以在约1 μm 至5 μm 的范围内。

[0070] 可以在实现推动之前关掉弧,或者可替代地,可以在推动期间维持弧。用于推动阶段的弧时间可以是200ms或更长,例如,长达约800ms,或者在需要时稍微更长。因此,弧时间可以在200ms-800ms、或300ms-800ms、或400ms-800ms、或500ms-800ms、或600ms-800ms、或700ms-800ms、或750ms-850ms、或700ms-900ms的范围内。如果在施加弧的同时进行推动,则可以在弧时间的最后部分期间(例如,在弧时间的最后200ms内、或在最后150ms内、或在最后175ms内、或在最后225ms内、或在最后250ms内)进行推动。然而,不排除其他持续时间。

[0071] 可选地,可以重复推动阶段,在这种情况下,方法前进至步骤S16。该方法可以包括例如在一个至十个推动阶段的范围内的多个热推动或推动阶段。发现特别有用的数量是三个、四个或五个推动阶段。该数量可以给出足够强的拼接部。在一些情况下,一个或两个推动阶段可能实现期望强度的拼接部,而在其他情况下,超过五个推动阶段可能是合适的。推动阶段的数量可能取决于光纤的直径,并因此取决于例如必须熔融的玻璃材料的量,并且还取决于将被运用的光纤的拼接长度,其中不同的应用可以要求光纤拼接部中的不同健壮性水平。

[0072] 每个推动阶段将光纤端部进一步移动超出接触点,并因此增加了重叠。因此,在最后的推动之后的总重叠是预熔融重叠距离与所有热推动距离之和。作为示例,8 μm 的预熔融重叠和各自施加2 μm 的推动距离的三个热推动将产生14 μm 的最后重叠距离。对于常规的全实心光纤熔融拼接部,重叠可以约为10 μm ,因此所建议的熔融拼接方法可以导致比用于全实心光纤之间的拼接部的典型重叠距离大的最后重叠。这可以有助于提高拼接部强度。

[0073] 一旦已经进行了期望数量的热推动,该方法就移动至可选的最后步骤S17,在其中封装拼接部以便保护拼接部。可以使用任何封装技术。可替代地,拼接部可以保持未封装,或者以某种其他方式被进一步处理。

[0074] 总体而言,本公开提议了对已知弧熔融拼接的各种修改和改编,以便产生适于当光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤时在光纤之间创建低损耗、高强度的拼接部的方法。针对两根全实心光纤的常规熔融拼接的各种阶段所建议的差异可以被总结为:

[0075] ●清洁阶段:以下中的一些或全部

[0076] ○减少的弧时间

[0077] ○减小的弧电流

[0078] ●预熔融阶段:以下中的一些或全部

[0079] ○减小的在光纤端部之间的间隙

[0080] ○减小的弧电流

[0081] ○减小的重叠距离

[0082] ○更长的推动时间

[0083] ●熔融阶段

[0084] ○省略

[0085] ●推动阶段(热推动)

[0086] ○附加阶段,包括至少一个和多达约十个“热推动”。

[0087] 如上所述,清洁阶段可以以未修改的形式进行、可替代的形式进行,或者根本不进行。对预熔融阶段的修改和用(一个或多个)热推动取代熔融阶段被认为在帮助维持光纤微结构的完整性方面更为重要。在一些情况下,可以发现仅从这些改变之一就能得到足够的效果,使得修改的预熔融阶段之后是常规的(或其他的)熔融阶段,或者常规的(或其他的)预熔融阶段之后是一个或多个热推动。

[0088] 测试了使用符合图7的示例方法的方法制造的各种拼接部,以证实这些方法形成具有低损耗和高强度的拼接部的能力。

[0089] 图8示出了测量使用在Fujikura FSM-100M拼接机器(Fujikura Europe有限公司)上实现的所提出的方法在空心芯光纤的两个长度之间制作的十个拼接部的损耗的结果的直方图。空心芯光纤具有235 μm 的包覆部直径,90 μm 的微结构直径,30 μm 的芯部直径和大致为93%的空气填充率。损耗被指示为在1550nm的波长处测量的以分贝(dB)为单元的拼接损耗。这特别意指由预熔融阶段和热推动引入的损耗。该措施消除了对来自与所提出方法无关的主要是几何方面的效果(诸如光纤端面的劈开角的变化)的损耗的贡献。通过将在对准阶段之后从一根光纤传输到另一根光纤的功率与在推动阶段之后的传输的功率进行比较来测量拼接损耗。在对准之后,光纤端部间隔开5 μm 的间隙;由于这比瑞利长度(Rayleigh length)小得多,因此通过形成拼接部来闭合间隙对所测得的拼接损耗的影响可忽略不计。

[0090] 如可以看出的,实现了大于-0.4dB并且小于0.5dB的拼接损耗的范围,其中最大数量的拼接部的损耗在0dB和0.1dB之间。这是有吸引力的低水平的损耗,并且代表了优于已知拼接方法的显著改进。若使用常规的弧熔融拼接方法接合空心芯光纤,拼接损耗将达几分贝。

[0091] 图9示出了测量另外十个拼接部的损耗的结果的直方图,这次是使用Fitel型号S178LDF拼接机器(Furukawa Electric Europe有限公司)制造的,但在其他方面用了与针对图8的数据形成的拼接部相同的光纤和条件。同样,实现了在-0.1dB和0.3dB的范围内的非常低的拼接损耗。

[0092] 图10示出了其拼接损耗在图8中示出的拼接部的所测得的拼接部强度的直方图。通过将拼接部中的一个光纤部分附接到Mecmesin BFG测力计并对拼接上的另一个光纤部分施加越来越大的力直到拼接部断裂来测量强度。由测力计测得的失效时的力被指定为拼接部强度。如可以看出的,发现拼接部具有在从大于3N至小于4.5N的范围内的相对高的强度。

[0093] 图11示出了其拼接损耗在图9中示出的拼接部的对应数据的直方图。在这种情况下,发现在从大于3N至小于5N的范围内的类似的拼接部强度。

[0094] 这些拼接部强度水平被认为就承受在电信系统环境中对光纤拼接部施加的要求

而言绰绰有余。

[0095] 上面提到的并且已确立了合适的电弧熔融参数的SMF-28e全实心光纤具有125 μm 的包覆部直径。相比之下,图8至图11中的结果涉及具有235 μm 的更大直径的空心芯微结构光纤。该更大尺寸对于可以具有通常超过200 μm 的直径的空心芯光纤而言是十分典型的。如果将从熔融弧向较大的空心芯光纤和较小的全实心光纤传递相同量的能量,则空心芯光纤中将产生较小的温度增加。对应减少的光纤材料软化程度将有可能被认为不足以在空心芯光纤类型中形成健壮的拼接部。因此,令人惊讶的结果是本文提出的方法能够通过使用比常规低的弧电流成功地拼接空心芯光纤,因为这样将进一步减少在光纤材料中实现的加热量。

[0096] 可以调整诸如弧电流、弧时间、重叠尺寸和推动距离之类的各种拼接参数,以便在不同类型和尺寸的空心芯微结构光纤中实现有质量的拼接,并且还以便在由出于材料的定制性质的目的而具有不同浓度的一种或多种掺杂物的材料制造的微结构光纤中实现有质量的拼接。本文给出的示例参数特别适于直径在220 μm 至250 μm 范围内的空心芯微结构光纤,但对于更大或更小的光纤,只用很少的调整或不调整就可以成功地使用。方法可以用于具有任何水平的空气填充率(例如,0.1及以上)的空心芯光纤,但有用的是,可适用于目前正在生产的空气填充率为0.9及以上、或0.8及以上、或0.7及以上的越来越纤弱的微结构。

[0097] 已知熔融拼接受各种环境和参数的影响,包括环境条件、电极磨损和光纤几何形状。例如,如技术人员将理解的,随着时间的推移,拼接机器中的电极往往会劣化并且表现不佳。包括温度、湿度和压力的大气条件也随着时间而变化,并影响等离子体产生。因此,本文给出的各种弧电流值只是典型的,并在实际情形下可能需要进行某种调整。这种调整和修改应该被理解为落入所要求保护的发明的范围内。

[0098] 光纤可以由已知用于制造空心芯光纤的基于玻璃的材料中的任何一种制成,特别地由二氧化硅制成。玻璃的类型包括基于化学化合物二氧化硅(二氧化硅或石英)的“基于二氧化硅的玻璃”或“硅酸盐玻璃”,存在其很多示例。适于光纤的其他玻璃包括但不限于掺杂的二氧化硅玻璃。为了定制光纤的光学性质(诸如修改吸收或透射),或出于诸如制造光纤制品、提高可靠性、或使得能够实现或增强特定最终用途之类的目的而定制材料的性质,材料可以包括一种或多种掺杂物。

[0099] 本公开还涉及用于拼接空心芯光纤的装置。可以使用定制的电弧熔融拼接机器或装置执行根据所提出方法的空心芯光纤的电弧熔融拼接,该定制的电弧熔融拼接机器或装置被配置为使用本文描述的阶段和参数来执行拼接。有用的是,可以调整装置,以便重新设置用于不同光纤类型的拼接的参数。这可以通过将装置实现为包括针对装置的各种部件(光纤夹持件和电极)生成控制信号的可编程控制器或控制单元或处理器来容易地实现。可以提供用户接口以允许用户更改与这些部件的操作有关的各种设置,使得可以根据需要更改诸如弧时间、弧电流、光纤端部间隙、重叠距离和热推动距离、时间和数量之类的参数。

[0100] 可替代地,可以修改或设置现有(包括可商业获得的)弧熔融拼接机器的参数,以便它们可操作以遵循所提出方法进行拼接。在这种机器包括在软件控制下操作的可编程控制器的情况下,可以提供当由控制器中的处理器执行时使得机器能够按照所提出方法操作的软件。软件可以取代、更新或补充存储在机器的存储器中的现有控制软件。因此,本公开

还涉及适于在计算机处理器上执行的可以控制电弧熔融拼接机器以形成如本文描述的空心芯光纤拼接部的计算机可实现指令。

[0101] 虽然本公开目前为止是与通过电弧熔融技术对空心芯光纤进行熔融拼接相关,但也可以通过使用施加到光纤端部附近的激光束取代电弧来加热和软化光纤材料以执行熔融拼接。用于熔融全实心光纤的常规方法对于激光熔融和弧熔融二者而言是相同或类似的。因此,对本文提出的弧熔融方法的修改也被认为可应用于激光熔融方法。因此,也在本公开的范围内的方法包括一种形成拼接部以接合两根光纤的方法,所述方法包括:提供两根光纤,所述两根光纤中的至少一根光纤是空心芯光纤;将所述光纤中的一根光纤的端部与另一根光纤的端部对准,使得所述两根光纤的纵向轴线基本上沿着同一条线并且所述光纤的端部间隔开;执行预熔融阶段,所述预熔融阶段包括:在所述光纤的端部附近施加一个或多个激光束以便软化端部的材料;将所述光纤的端部移动在一起以进行接触,然后超出接触达重叠距离,以形成端部在其中被熔融在一起的熔融部分;以及执行至少一个推动阶段,每个推动阶段包括:实现冷却时段,在所述冷却时段期间不施加激光束;在所述冷却时段结束时,向熔融部分施加一个或多个激光束,以软化熔融端部的材料;以及将所述光纤的熔融端部进一步推动在一起。

[0102] 本文描述的各种实施例仅是为了辅助理解和教导要求保护的特征而提出的。提供这些实施例仅作为实施例的代表性样本,并不是穷举性和/或排他的。要理解,本文描述的优点、实施例、示例、功能、特征、结构和/或其他方面将不被认为是对如权利要求所限定的本发明的范围的限制或对权利要求的等同物的限制,并且在不脱离要求保护的发明的范围的情况下,可以利用其他实施例并且可以进行修改。本发明的各种实施例可以适当地包括除了本文具体描述的那些之外的所公开的元件、部件、特征、零件、步骤、装置等的适当组合、由其组成、或基本上由其组成。另外,本公开可以包括目前未要求保护但将来可以要求保护的其他发明。

[0103] 参考文献

[0104] [1]US 9,904,008

[0105] [2]WO 2015/185761

[0106] [3]J Broeng等人,“Analysis of air-guiding photonic bandgap fibers”,*Optics Letters*,第25(2)卷,96-98,2000年

[0107] [4]Francesco Poletti,“Nested antiresonant nodeless hollow core fiber”,*Opt.Express*,第22卷,23807-23828,2014年

[0108] [5]JR Hayes等人,“Antiresonant hollow core fiber with an octave spanning bandwidth for short haul data communications”,*Journal of Lightwave Technology*,第35(3)卷,437-442,2017年

[0109] [6]P.J.Bennett,T.M.Monro和D.J.Richardson,“Toward practical holey fiber technology:Fabrication,splicing,modeling,and characterization”,*Opt.Lett.*,第24(17)卷,1203-1205,1999年

[0110] [7]B.Bourliaguet,C.Paré,F.émond,A.Croteau,A.Proulx和R.Vallée,“Microstructured fiber splicing”,*Opt.Express*,第11(25)卷,3412-3417,2003年

[0111] [8]J Wooler等人,“Robust low loss splicing of hollow core

microstructured photonic bandgap fiber to itself”,Proc.Opt.Fiber Commun.Conf.,2013年

[0112] [9]J Wooller等人,“Overcoming the challenges of splicing dissimilar diameter solid-core and hollow-core photonic band gap fibers”,Workshop on Speciality Optical Fibers and their Applications,Optical Society of America, 2013年

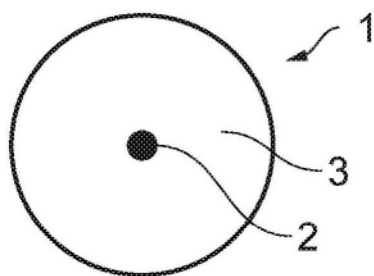


图1

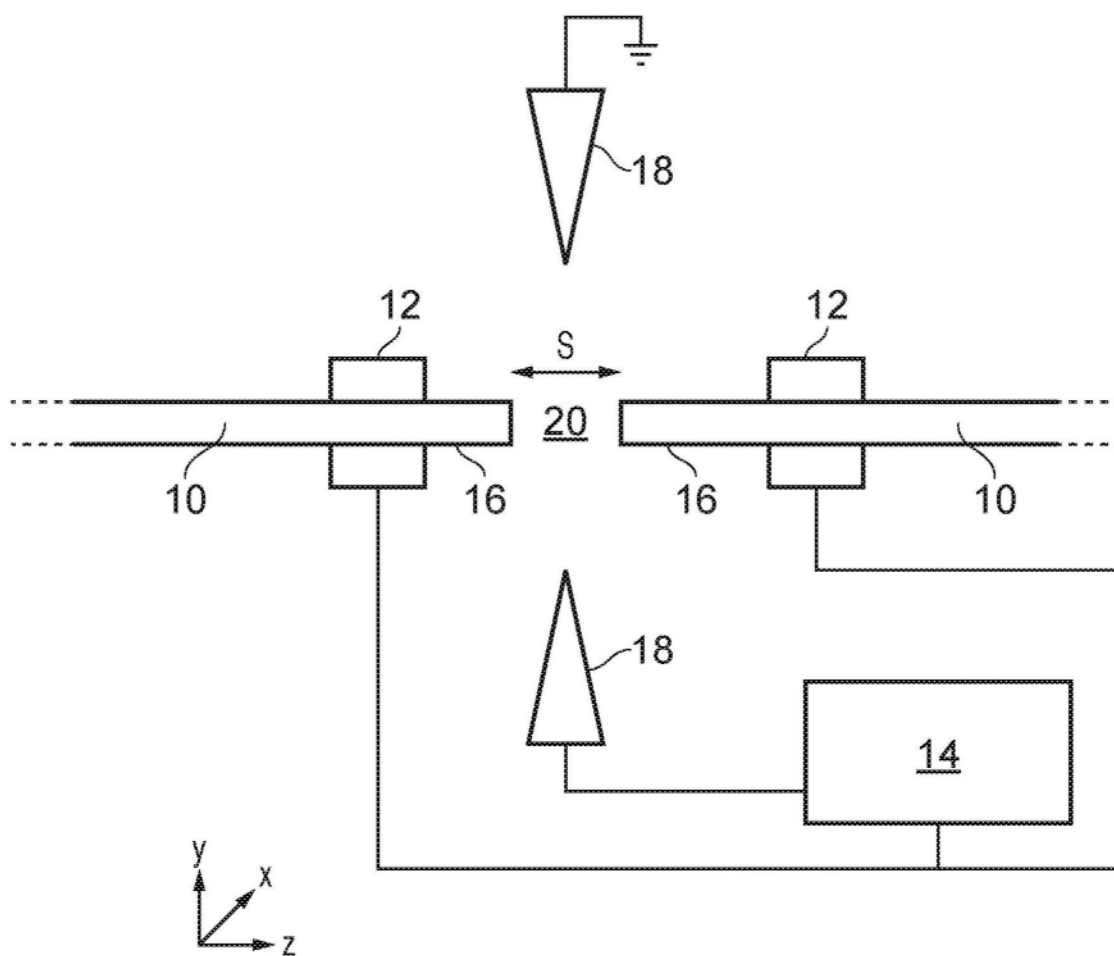


图2

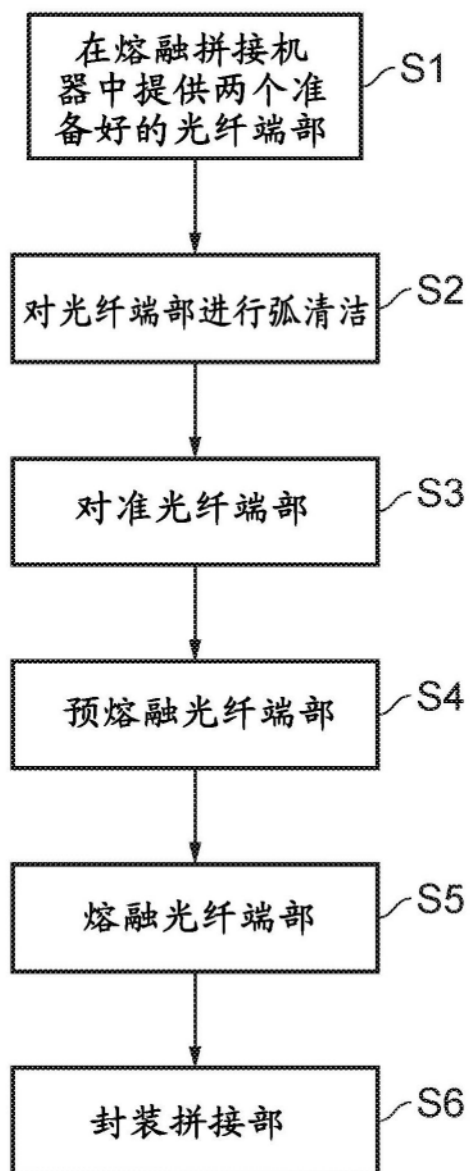


图3 (现有技术)

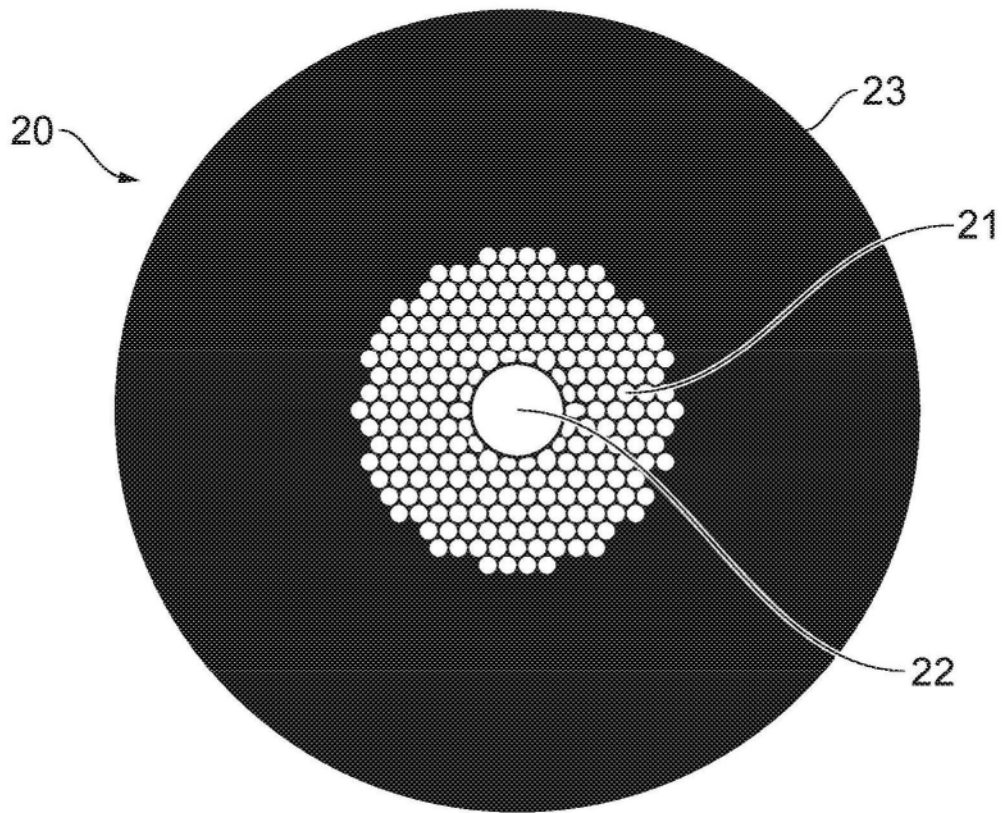


图4

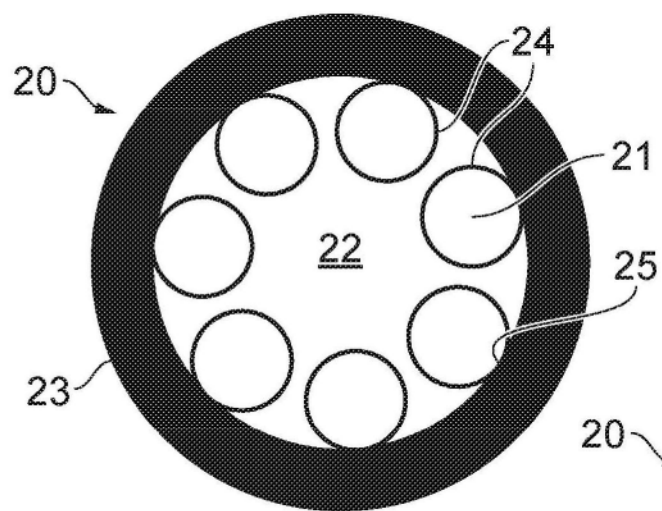


图5

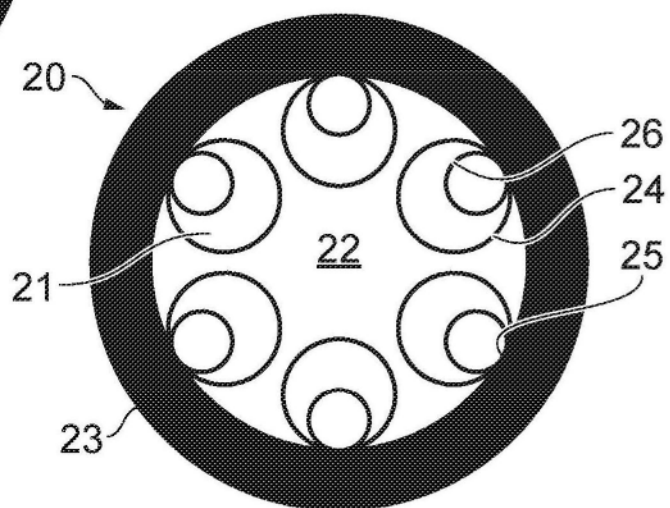


图6

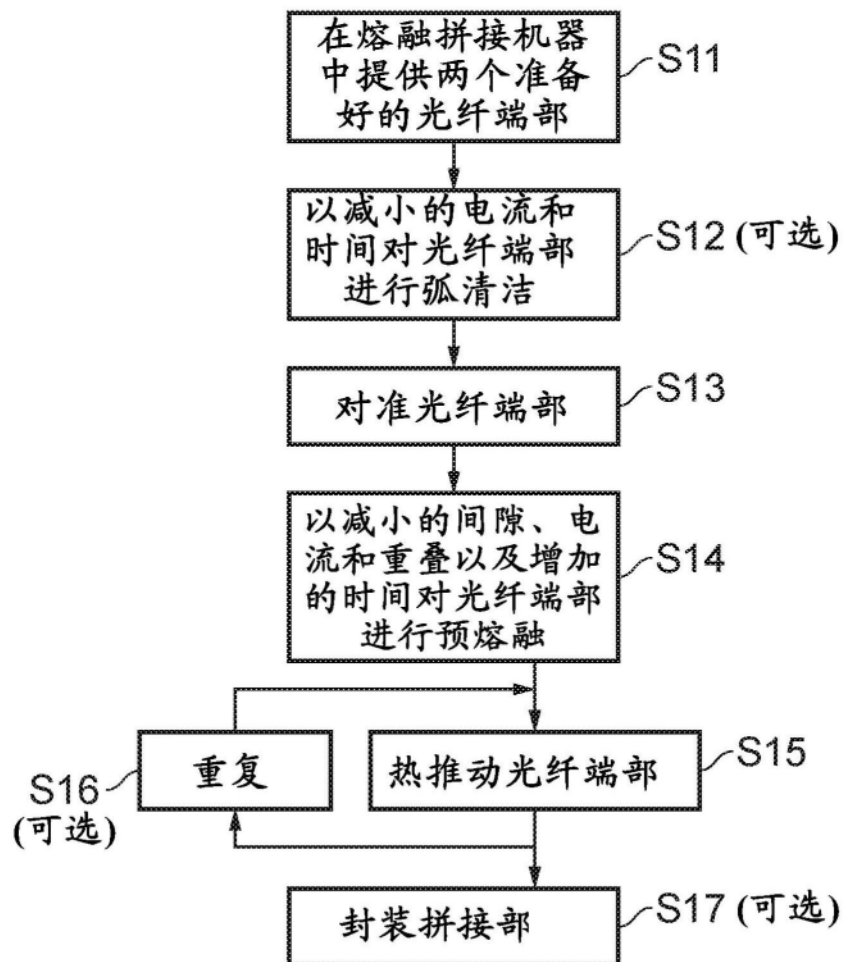


图7

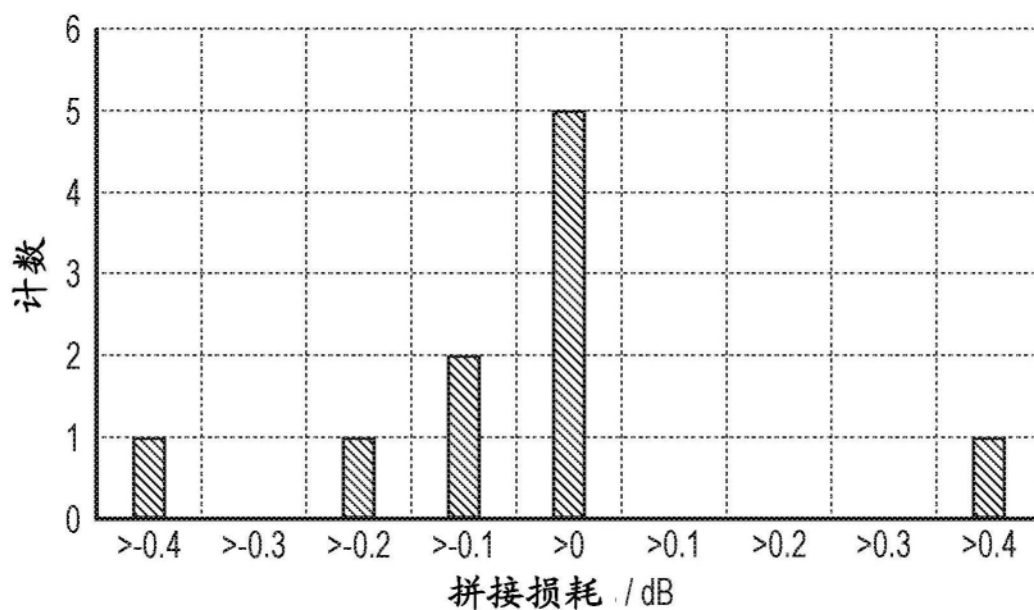


图8

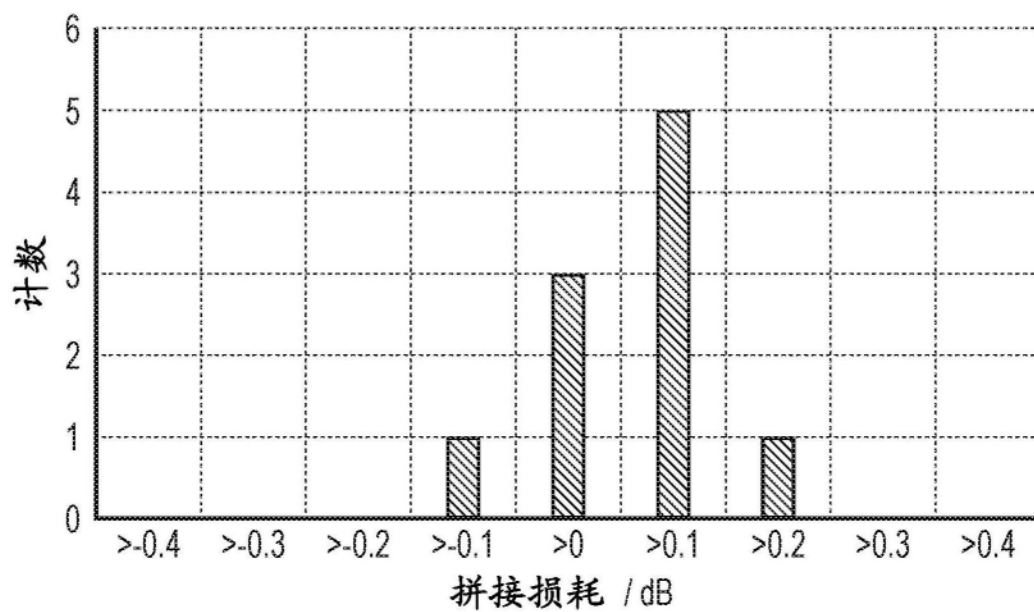


图9

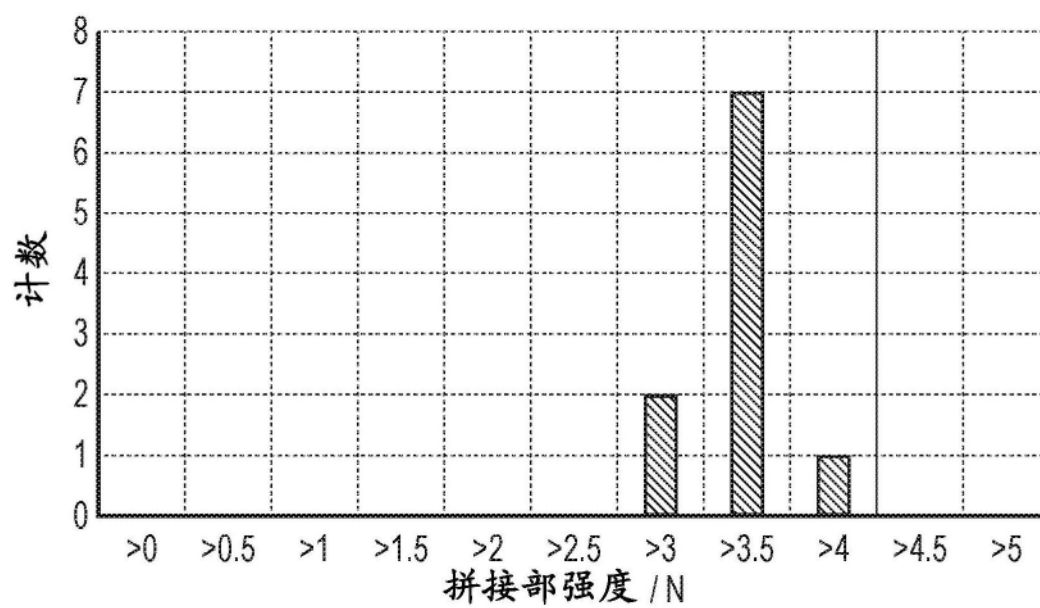


图10

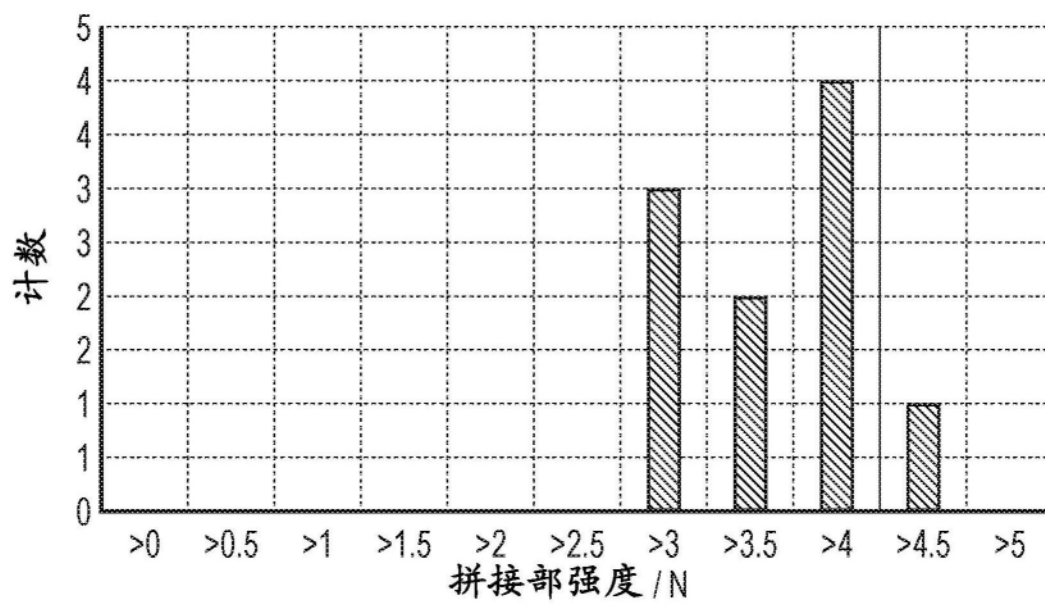


图11