



(10) 授权公告号 CN 114127022 B

(45) 授权公告日 2024. 05. 24

(21) 申请号 202080043629.8

S · 魏曼

(22) 申请日 2020.07.15

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
11287

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114127022 A

专利代理师 江葳

(43) 申请公布日 2022.03.01

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据
19186863.7 2019.07.17 EP

G03B 37/027 (2006.01)

G03B 37/012 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.12.14

(56) 对比文件

CN 108919417 A, 2018.11.30

CN 1849270 A, 2006.10.18

DE 102014224964 A1, 2015.11.26

WO 2019008352 A1, 2019.01.10 (续)

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2020/070004 2020.07.15

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/009231 DE 2021.01.21

审查员 郑伊华

(73) 专利权人 贺利氏石英玻璃有限两合公司
地址 德国哈瑙

(72) 发明人 M · 罗森伯格 M · 胡乃曼
M · 特罗默尔 K · 舒斯特

权利要求书3页 说明书10页 附图2页

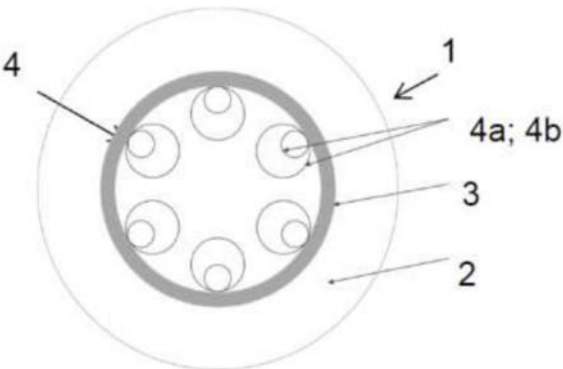
(54) 发明名称

制造空芯光纤和空芯光纤预制件的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种制造反谐振空芯光纤的方法,反谐振空芯光纤具有沿光纤纵轴线延伸的空芯和包围所述空芯的包层区域,所述包层区域包括几个反谐振元件。本公开的方法包括以下步骤:提供包层管,所述包层管具有包层管内孔和包层管纵轴线,由内表面和外表面限定的包层管壁沿所述包层管纵轴线延伸;提供若干个管状反谐振元件预制棒;将所述反谐振元件预制棒布置在所述包层管壁的所述内表面的规定位置处,以形成具有空芯区域和内包层区域的初级预制件;将所述初级预制件拉伸成所述空芯光纤或将所述初级预制件再加工成次级预制件。为了基于此以足够稳定和可重复的方式实现反谐振元件的高精度及其精确定位,本发明提出,当根据方法步骤(c)所述执行过程时,将由石英玻璃制成的

所述初级预制件的组成部分和/或由石英玻璃制成的包围所述初级预制件的部件一起加热和软化,其中,所述预制件组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃和/或包围所述预制件的所述部件中的至少一个部件的石英玻璃包含至少一种掺杂剂,所述掺杂剂使石英玻璃的粘度降低或增加。



[接上页]

(56) 对比文件

Ben Sherlock.Tunable fibre-coupled

multiphoton microscopy with a negative curvature fibre.《Journal of Biophotonics》.2016,第715-720 页.

1. 一种制造反谐振空芯光纤的方法,所述反谐振空芯光纤具有沿光纤纵轴线延伸的空芯和包围所述空芯的内包层区域,所述内包层区域包括几个反谐振元件,所述方法具有以下步骤:

(a) 提供所述空芯光纤的初级预制件,所述初级预制件包括至少一个包层管(3),所述包层管具有包层管内孔和包层管纵轴线,由内表面和外表面限定的包层管壁沿所述包层管纵轴线延伸,

(b) 在所述包层管壁的规定位置处形成若干个用于反谐振元件的前驱体或预制棒,以及

(c) 将所述初级预制件拉伸成所述空芯光纤或将所述初级预制件再加工成次级预制件,由所述次级预制件拉制成所述空芯光纤,其中所述再加工包括一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

(i) 拉伸,

(ii) 塌缩,

(iii) 塌缩和同时拉伸,

(iv) 塌缩附加包层材料,

(v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

(vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸,

其特征在于,当根据方法步骤(c)执行热成型过程时,将由石英玻璃制成的所述初级预制件的组成部分和/或由石英玻璃制成的包围所述初级预制件的部件加热和软化,其中所述初级预制件的组成部分由包层管(3)和用于反谐振元件的前驱体或预制棒组成,其中,所述初级预制件的组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃和/或包围所述初级预制件的所述部件中的至少一个部件的石英玻璃包含至少一种掺杂剂,所述掺杂剂使石英玻璃的粘度降低或增加,

其中所述用于反谐振元件的前驱体中的至少一部分以管状反谐振元件预制棒的形式存在,所述管状反谐振元件预制棒由几个相互嵌套的结构元件组成,包括ARE外管(4a)和插入其中的ARE内管(4b),以及所述管状反谐振元件预制棒由石英玻璃制成,与所述包层管(3)的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述管状反谐振元件预制棒的石英玻璃的粘度高至少0.4dPa·s。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,使石英玻璃的粘度降低的掺杂剂包括氟、氯和/或羟基,以及使石英玻璃的粘度增加的掺杂剂包括Al₂O₃和/或氮。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述再加工所述初级预制件包括所述塌缩附加包层材料,以及所述附加包层材料由石英玻璃制成,所述附加包层材料的石英玻璃包含降低石英玻璃的粘度的掺杂剂。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述附加包层材料的石英玻璃包含浓度介于500重量-ppm和14,500重量-ppm之间的氟作为掺杂剂。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述附加包层材料的石英玻璃包含浓度介于2,000重量-ppm和10,000重量-ppm之间的氟作为掺杂剂。

6. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,与所述附加包层材料的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述包层管(3)的石英玻璃的粘度高至少0.5dPa·s。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 与所述附加包层材料的石英玻璃的粘度相比, 在1250℃的测量温度下, 所述包层管(3)的石英玻璃的粘度高至少0.6dPa·s。

8. 根据权利要求1至7中的一项所述的方法, 其特征在于, 仅所述附加包层材料包含掺杂剂并且由包含氟的石英玻璃制成。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述包层管(3)由石英玻璃制成, 其中所述包层管(3)的石英玻璃包含降低石英玻璃的粘度的掺杂剂。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在嵌套结构元件的情况下, 所述ARE内管(4b)中的至少一部分由石英玻璃制成, 与所述ARE外管(4a)的石英玻璃的粘度相比, 在1250℃的测量温度下, 其中所述ARE内管(4b)的石英玻璃的粘度高至少0.4dPa·s。

11. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 通过垂直拉制法不使用模具制成所述包层管(3)、所述ARE外管(4a)、所述ARE内管(4b)和/或用于塌缩附加包层材料的包覆圆柱体(2)。

12. 根据权利要求1至7中的一项所述的方法, 其特征在于, 形成次级预制件, 所述次级预制件具有在30mm至90mm的范围内的外径。

13. 根据权利要求1至7中的一项所述的方法, 其特征在于, 根据方法步骤(b)形成反谐振元件预制棒包括将所述反谐振元件预制棒布置在所述包层管壁的所述内表面的规定位置处, 其中插入定位模板以进行所述布置, 所述定位模板具有用于将所述反谐振元件预制棒定位在所述规定位置处的保持元件。

14. 根据权利要求13所述的方法, 其特征在于, 插入定位模板, 所述定位模板具有伸进所述包层管内孔中的柄, 所述柄配备有以几个径向向外指向的托臂形式的保持元件。

15. 根据权利要求1至7中的一项所述的方法, 其特征在于, 所述包层管的内表面通过切削加工制成。

16. 一种制造反谐振空芯光纤预制件的方法, 所述反谐振空芯光纤具有沿光纤纵轴线延伸的空芯和包围所述空芯的内包层区域, 所述内包层区域包括几个反谐振元件, 所述方法包括以下步骤:

(a) 提供所述空芯光纤的初级预制件, 所述初级预制件包括至少一个包层管(3), 所述包层管具有包层管内孔和包层管纵轴线, 由内表面和外表面限定的包层管壁沿所述包层管纵轴线延伸,

(b) 在所述包层管壁的规定位置处形成若干个用于反谐振元件的前驱体或预制棒, 以及(d)将所述初级预制件再加工成次级预制件, 用于所述空芯光纤, 其中所述再加工包括一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

(i) 拉伸,

(ii) 塌缩,

(iii) 塌缩和同时拉伸,

(iv) 塌缩附加包层材料,

(v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

(vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸,

其特征在于, 当根据方法步骤(c)执行热成型过程时, 将由石英玻璃制成的所述初级预

制件的组成部分和/或由石英玻璃制成的包围所述初级预制件的部件加热和软化,其中所述初级预制件的组成部分由包层管 (3) 和用于反谐振元件的前驱体或预制棒组成,其中,所述初级预制件的组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃和/或包围所述初级预制件的所述部件中的至少一个部件的石英玻璃包含至少一种掺杂剂,所述掺杂剂使石英玻璃的粘度降低或增加,其中所述用于反谐振元件的前驱体中的至少一部分以管状反谐振元件预制棒的形式存在,所述管状反谐振元件预制棒由几个相互嵌套的结构元件组成,包括ARE外管 (4a) 和插入其中的ARE内管 (4b),以及所述管状反谐振元件预制棒由石英玻璃制成,与所述包层管 (3) 的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述管状反谐振元件预制棒的石英玻璃的粘度高至少0.4dPa • s。

制造空芯光纤和空芯光纤预制件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种制造反谐振空芯光纤的方法,所述反谐振空芯光纤具有沿光纤纵轴线延伸的空芯和包围所述空芯的包层区域,所述包层区域包括若干个反谐振元件,所述方法包括以下步骤:

[0002] (a) 提供所述空芯光纤的初级预制件,所述初级预制件包括至少一个包层管,所述包层管具有包层管内孔和包层管纵轴线,由内表面和外表面限定的包层管壁沿所述包层管纵轴线延伸,

[0003] (b) 在所述包层管壁的规定位置处形成若干个用于反谐振元件的前驱体或预制棒,以及

[0004] (c) 将所述初级预制件拉伸成所述空芯光纤或将所述初级预制件再加工成次级预制件,由所述次级预制件拉制成所述空芯光纤,其中所述再加工包括一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

[0005] (i) 拉伸,

[0006] (ii) 塌缩,

[0007] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0008] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0009] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0010] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0011] 此外,本发明还涉及一种制造反谐振空芯光纤预制件的方法,所述反谐振空芯光纤具有沿光纤纵轴线延伸的空芯和包围所述空芯的包层区域,所述包层区域包括几个反谐振元件,所述方法包括以下步骤:

[0012] (a) 提供所述空芯光纤的初级预制件,所述初级预制件包括至少一个包层管,所述包层管具有包层管内孔、包层管纵轴线和包层管壁,由内表面和外表面限定的包层管壁沿所述包层管纵轴线延伸,

[0013] (b) 在所述包层管壁的规定位置处形成若干个用于反谐振元件的前驱体或预制棒,

[0014] (c) 将所述初级预制件再加工成所述空芯光纤的次级预制件,其中所述再加工包括一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

[0015] (i) 拉伸,

[0016] (ii) 塌缩,

[0017] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0018] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0019] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0020] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0021] 由固体材料制成的常规单模光纤具有由玻璃制成的纤芯区域,纤芯区域被由较低折射率玻璃制成的包层区域包围。其中光传导基于纤芯和包层区域之间的全反射。然而,与

高能辐射相比,导入光与固体材料的相互作用与数据传输延迟的增加和相对较低的损伤阈值有关。

[0022] “空芯光纤”避免或减少了这些缺点,其中纤芯包括填充有气体或液体的空腔。光与玻璃的相互作用在空芯光纤中比在实芯光纤中小。纤芯的折射率小于包层的折射率,因此光无法通过全反射传导,通常会从纤芯逃逸到包层中。根据光传导的物理机制,空芯光纤分为“光子带隙光纤”和“反谐振反射光纤”。

[0023] 在“光子带隙光纤”中,空芯区域被包层包围,包层中周期性地布置着小的中空通道。包层的中空通道的周期性结构引起基于半导体技术称为“光子带隙”的效应,根据该效应,散射在包层结构处的特定波长范围的光由于中心空腔中的布拉格反射而相长干涉,且不能在包层中横向传播。

[0024] 在称为“反谐振空芯光纤”(“antiresonant hollow-core fibers”; ARHCF)的空芯光纤的实施方式中,空芯区域被内包层区域包围,其中布置着所谓的“反谐振的元件”(或“反谐振元件”;简称:“ARE”)。围绕空芯均匀分布的反谐振元件壁可当作在反谐振中运作的法布里-珀罗谐振腔,该谐振腔反射入射光并将其引导通过纤芯。

[0025] 这种光纤技术保证了低光衰减、极宽的透射光谱范围(也在紫外或红外波长范围内)和数据传输的低延迟。

[0026] 空芯光纤的潜在应用领域是数据传输、高性能光束引导,例如用于材料加工、模态滤波、非线性光学,特别是用于从紫外到红外波长范围的超连续谱生产。

背景技术

[0027] 反谐振空芯光纤的一个缺点是高阶模式不一定会被抑制,因此它们在长距离传输中通常不是纯单模,并且输出光束的质量会变差。

[0028] Francesco Poletti的论文“Nested antiresonant nodeless hollow core fiber[嵌套反谐振无节点式空芯光纤]”;Optics Express,Vol.22,No.20(2014)[光学快报,第22卷,第20期(2014年)];DOI:10.1364/OE_22.023807,提出了一种光纤设计,其中反谐振元件不是设计为简单的单一结构元件,而是由几个相互嵌套的(英语:nested)结构元件组成。这种嵌套反谐振元件如此构造而成,使高阶纤芯模与包层模相位匹配,且高阶纤芯模而非纤芯基模被抑制。这样始终保证纤芯基模的传输,并且空芯光纤可在有限的波长范围内被有效地制成单模。

[0029] 有效的模式抑制取决于传输光的中心波长和光纤设计的结构参数,如空芯半径和反谐振元件中嵌套环结构的直径差异。

[0030] EP 3 136 143 A1公开了一种反谐振空芯光纤(该文中称为“无带隙的空芯光纤”),其中纤芯除了基模之外还可以传导其他模式。为此,它被具有“非谐振元件”的内包层包围,这些“非谐振元件”使反谐振模式与更高模式的相位匹配。空芯光纤是使用所谓的“堆叠-拉丝技术”制造的,其中将起始元件布置成一个轴向平行的整体且固定至预制件,然后拉伸预制件。在此,使用具有六边形内截面的包层管,且将六个所谓的“ARE预制件”(反谐振元件预制件)固定在该包层管的内边缘中。分两步将该预制件拉制成空芯光纤。

[0031] WO 2018/169487 A1公开了一种制造反谐振空芯光纤预制件的方法,其中第一包层区域包括多个棒,第二包层区域包括多个被外包层管包围的管。通过“堆叠-拉丝”技术将

棒、管和包层管结合到一起形成预制件。在拉伸预制件之前,通过涂抹密封剂密封预制件的端部。例如,将UV粘合剂用作密封剂。

[0032] 技术问题

[0033] 反谐振空芯光纤,特别是那些具有嵌套结构元件的光纤,具有复杂的内部几何形状,这使得精确且可重复地生产它们变得困难。尤其困难的是,为了保持谐振或反谐振条件,甚至不能容忍传导光的工作波长在数量级上的微小范围偏差。与目标几何形状的偏差可能是由光纤预制件的配置造成的,也可能是由于在光纤拉制过程中出现不想要的,超出比例的变形。

[0034] 在已知的“堆叠-拉丝”技术中,许多元件必须位置精确地接合在一起。例如,为了制造上述论文公开的“NANF”设计的空芯光纤,必须将六个反谐振元件预制棒装接到包层管的内表面处,这些反谐振元件预制棒各自由反谐振元件外管(简称:ARE外管)和单面焊接在ARE外管内包络面处的反谐振元件内管(简称:ARE内管)组成。

[0035] 为了实现低衰减值和宽的透射光谱范围,除了反谐振元件壁厚均匀外,包层管内反谐振元件的方位角位置也很重要。使用“堆叠-拉丝”技术无法轻易实现这一点。本发明的目的是提供一种低成本制造反谐振空芯光纤的方法,该方法避免了传统制造方法的局限性。

[0036] 特别地,本发明的目的是提供一种制造反谐振空芯光纤和反谐振空芯光纤预制件的方法,使用该方法能够以足够稳定和可重复的方式可重复地实现结构元件的高精度和反谐振元件在光纤中的精确定位

[0037] 此外,传统的“堆叠-拉丝”技术的缺点,即不能轻易实现所需的结构精度,特别是反谐振元件的均匀壁厚和预定方位角位置的精确定位,应尽可能避免。

发明内容

[0038] 关于制造反谐振空芯光纤,该问题通过本发明所述的上述类别的方法来解决:当根据方法步骤(c)所述执行过程时,将由石英玻璃制成的所述初级预制件的组成部分和/或由石英玻璃制成的包围所述初级预制件的部件一起加热和软化,其中所述预制件组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃和/或包围所述预制件的所述部件中的至少一个部件的石英玻璃包含至少一种掺杂剂,所述掺杂剂使石英玻璃的粘度降低或增加。

[0039] 所述预制件的组成部分包括所述包层管、布置在所述包层管内表面处的反谐振元件预制棒以及任何在包层管外包络面上生成的附加包层材料。包围预制件的部件例如是一个包覆圆柱体或几个包覆圆柱体,这些包覆圆柱体在热成型过程中包围所述预制件,以塌缩于其上,以形成附加包层材料。为简单起见,在下文中,包围预制件的部件也归入术语预制件的“组成部分”之内。

[0040] 预制件组成部分中的至少一个组成部分包含至少一种降低石英玻璃粘度或增加石英玻璃粘度的掺杂剂。降低石英玻璃粘度的掺杂类型在下文中也简称为“减掺杂”,增加石英玻璃粘度的掺杂类型在下文中也简称为“加掺杂”。氟、氯和/或羟基优选地用作降低石英玻璃粘度的掺杂剂。考虑将 Al_2O_3 和/或氮用作增加石英玻璃粘度的掺杂剂。

[0041] 制造反谐振空芯光纤的起点是预制件,在此也称为“初级预制件”。预制件包括包层管,在包层管中或包层管处包含用于在空芯光纤中形成反谐振的元件(在此简称为“反谐

振元件”)的前驱体或预制棒。可将初级预制件拉伸成空芯光纤;然而,通常是初级预制件添加附加包层材料,以由此制成在此称为“次级预制件”的预制件。如有必要,通过拉伸次级预制件制成空芯光纤。可替代性地,利用一个包覆圆柱体或几个包覆圆柱体包围初级预制件或次级预制件以形成部件的同轴整体,并且将该同轴整体直接拉伸成空芯光纤。通用术语“预制件”在此理解为表示最终由此拉制成空芯光纤的部件或该部件的同轴整体。

[0042] 包层材料的添加例如通过将包覆圆柱体塌缩在初级预制件上来进行。在包覆圆柱体塌缩时拉伸由初级预制件和包覆圆柱体构成的同轴组件,或者不拉伸。其中,将改变反谐振元件预制棒的形式或布置,或者不改变其形式或布置

[0043] 执行方法步骤(c)中提到的热成型过程中的一个热成型过程(在下文中也称为“热处理”)可导致所要获得的光纤几何形状的变形和结构偏差。该情况特别地是,由相同材料制成的厚壁且纤细的预制件部件紧密地彼此靠近或彼此相邻。

[0044] 这是因为所需的处理温度通常由表面积最大的组成部分决定;通常是预制件的外包层区域。较小的组成部分(例如反谐振元件预制棒及其各个结构元件)在相同温度下会发生更大的变形。由于在热处理中,在加热区从外向内加热预制件,因此在预制件体积上建立了在预制件中心具有最小值的径向温度分布。通常对于反谐振空芯光纤预制件是这样的情况,如果将纤细的组成部分布置在比少数纤细的组成部分更靠近加热区的预制件半径上,则可加剧提到的变形问题。

[0045] 本发明旨在缓解这个问题,从而使反谐振元件的几何形状及其在空芯光纤中的定位更准确。为此,预制件组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃包含至少一种降低或增加石英玻璃粘度的掺杂剂。

[0046] 掺杂使得调整相邻的预制件组成部分的粘度成为可能。特别地,掺杂可用于降低组成部分的热稳定性,以利于相邻的组成部分的稳定性。特别地,通过减-掺杂表面积最大的预制件组成部分,降低必要的处理温度,从而由此间接改善更内部的组成部分的相对刚性和热稳定性,即在热成型过程中将它们暴露于较低温度。

[0047] 在理想情况下,预制件的外包层区域中的组成部分配备减-掺杂。该组成部分特别是预制件的最外包层。这使得降低处理温度成为可能,因此可减少热成型过程中的变形。

[0048] 因此,在一个优选的方法中,所述可选的再加工所述初级预制件包括所述塌缩附加包层材料,以及所述附加包层材料由石英玻璃组成,所述石英玻璃包含降低石英玻璃的粘度的掺杂剂,其中所述掺杂剂优选为氟,并且浓度介于500重量-ppm和14,500重量-ppm之间,优选地介于2,000重量-ppm和10,000重量-ppm之间。

[0049] 与包层管的石英玻璃相比,该区域中附加包层材料的氟掺杂使得降低粘度成为可能,即使包层管的石英玻璃本身不包含任何掺杂剂。已证明有利的是,与所述附加包层材料的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述包层管的石英玻璃的粘度高至少0.5dPa·s,优选地高至少0.6dPa·s。在此和下文中的粘度差异表示为以dPa·s为单位的对数粘度值。

[0050] 在一个有利的方法中,预制件的所有预制件组成部分由不同质量的石英玻璃制成,其中这些组成部分的粘度在第一近似中从外向内增加。除氟外,还可使用其他掺杂剂,例如 Al_2O_3 、氮、氯和羟基来调节粘度。 Al_2O_3 在石英玻璃中以最高至约15重量-ppm的浓度起到增加粘度的作用。然而,在最简单的情况下,仅所述附加包层材料包含掺杂剂并且由包含

氟的石英玻璃制成就足够了。

[0051] 在一个优选的方法中,用于反谐振元件的所述前驱体中的至少一部分以管状反谐振元件预制棒的形式存在,所述反谐振元件预制棒优选地由几个相互嵌套的结构元件组成,包括ARE外管和插入其中的ARE内管,其中所述反谐振元件预制件由石英玻璃制成,与所述包层管的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述石英玻璃的粘度高至少0.4dPa·s,优选地高至少0.5dPa·s。

[0052] 其中,ARE外管的石英玻璃可包含增加粘度的掺杂剂,例如 Al_2O_3 或氮。然而,已证明特别有利的是,所述包层管由石英玻璃制成,所述石英玻璃包含降低石英玻璃的粘度的掺杂剂。

[0053] 关于在嵌套结构元件的情况下ARE内管的高的热稳定性,已证明有利的是,所述ARE内管中的至少一部分,优选地所有ARE内管由石英玻璃制成,与所述ARE外管的石英玻璃的粘度相比,在1250℃的测量温度下,所述石英玻璃的粘度高至少0.4dPa·s,优选地高至少0.5dPa·s。

[0054] 优选地,包层管是在没有模具,具有两个阶段的拉伸过程的垂直拉制方法中制造出来的。在第一阶段,对由玻璃制成的起始空芯圆柱体进行机械加工以设置起始空芯圆柱体的最终尺寸。在第一拉伸过程中,在纵轴线垂直取向的情况下将起始圆柱体连续地送进具有第一加热区长度的加热区,使其在该加热区中逐区软化,并且从软化的区域中移出中间圆柱体。在第二拉伸过程中,在纵轴线垂直取向的情况下将中间圆柱体连续地送进另一个具有第二较短加热区长度的加热区,使其在该加热区中逐区软化,并从软化区域中移出管柱。通过将管柱切割成一定长度获得包层管。

[0055] 通过使用具有低粘度的预制件组成部分,特别是在外包层区域,根据本发明的方法使得使用相对大的预制件进行热处理成为可能。

[0056] 鉴于此,优选地形成次级预制件,所述次级预制件具有在30mm至90mm的范围内的外径,和/或形成次级预制件,所述次级预制件具有在20mm至70mm的范围内的,优选地在30mm至70mm的范围内的外径。

[0057] 与现有技术相比,在30mm至90mm的范围内的预制件外径是大的。由于随着预制件外径的增加,存在的绝对几何误差在光纤拉制时会极大地减小,因此在使用大预制件时原则上也使得更精确地制造空芯光纤成为可能。对于外径大于90mm的情况,在光纤拉制过程中在预制件体积内然而形成温度梯度,这可导致空芯光纤中反谐振元件的壁厚偏差。对于预制件外径小于30mm的情况,减小几何误差不再有任何特殊贡献。此外,有利的是形成大的初级预制件,所述初级预制件的外径在20mm至70mm的范围内,优选地在30mm至70mm的范围内。在这种情况下,这是一个相对大的外径。在现有技术中,初级预制件的外径通常为4mm至6mm。

[0058] 在一个优选的方法变体中,根据方法步骤(b)所述形成用于反谐振元件的预制棒包括将所述反谐振元件预制棒布置在所述包层管壁的所述内表面的规定位置处,其中插入定位模板以进行所述布置,所述定位模板具有用于将所述反谐振元件预制棒定位在所述规定位置处的保持元件。

[0059] 所述定位模板具有例如伸进所述包层管内孔中的柄,所述柄配备有以几个径向向外指向的托臂形式的保持元件。

[0060] 保持元件的设计上预定的星形布置使得反谐振元件预制棒更容易在相应的规定位置处精确定位并固定。其中,优选仅在所述包层管正面区域,优选在两个所述包层管正面区域插入所述定位模板。

[0061] 预制棒在包层管的内包络面处的定位精度通过以下方式得以改善:包层管内表面通过切削加工制成,特别是通过钻削、铣削、磨削、珩磨和/或抛光。

[0062] 在一个优选的方法中,由此进一步改善预制棒在包层管中的定位精度,即提供管状结构元件,其中至少一部分管状结构元件具有在0.2mm和2mm的范围内的壁厚,优选地,具有在0.25mm和1mm的范围内的壁厚,且其中提供具有在90mm和250mm的范围内的外径的包层管,优选地,具有在120mm到200mm的范围内外径的包层管。其中,这些部件各自具有至少1m的长度。在这种情况下,这涉及相对大体积的用于形成反谐振元件的结构元件。这使操作得以简化。此外,当包层管和结构元件垂直布置时,如果结构元件各自以其上方的正面端部定位并固定在规定位置处,例如并且优选地使用以上详述的密封或结合材料并且补充性地或可替代性地为此借助以上详述的定位模板,重力就会支持结构元件纵轴线的平行度和垂直定向。

[0063] 关于制造空芯光纤的预制件,上述技术问题通过本发明所述的上述类别的方法来解决:当根据方法步骤(c)所述执行过程时,将由石英玻璃制成的所述初级预制件的组成部分和/或由石英玻璃制成的包围所述初级预制件的部件一起加热和软化,其中,所述预制件组成部分中的至少一个组成部分的石英玻璃和/或包围所述预制件的所述部件中的至少一个部件的石英玻璃包含至少一种掺杂剂,所述掺杂剂使石英玻璃的粘度降低。

[0064] 预制件是制造反谐振空芯光纤的起点。通过拉伸预制件,直接拉制成反谐振空芯光纤,或先制成半成品,然后再由该半成品拉制成反谐振空芯光纤。制造预制件包括形成由石英玻璃制成的初级预制件的组成部分,该石英玻璃包含降低石英玻璃粘度的掺杂剂。这允许在热成型过程中处理温度降低并且使得使用相对大的预制件成为可能。

[0065] 预制件的制造方案已在上文结合空芯光纤的制造进行了说明,这些说明均包含于本发明。

[0066] 定义

[0067] 上述说明的各个方法步骤和术语如下补充定义。这些定义是本发明说明书的一部分。如果以下任一定义与说明书的其它部分之间存在实质性矛盾,则说明书中的内容具有权威性。

[0068] 反谐振元件

[0069] 反谐振元件可以是空芯光纤的简单或嵌套的结构元件。这些反谐振元件至少具有两个壁,当从空芯的方向看时,这两个壁具有负曲率(凸)或无曲率(平、直)。通常地,它们由对工作光来说透明的材料组成,例如玻璃,特别是掺杂或无掺杂的SiO₂,合成材料,特别是聚合物,复合材料或结晶材料。

[0070] 反谐振元件预制棒/反谐振元件前驱体

[0071] 预制件的部件或组成部分被称为反谐振元件预制棒,它们在光纤拉制过程中实质上通过简单地拉长成为空芯光纤中的反谐振元件。预制件的部件或组成部分被称为反谐振元件前驱体,它们先通过变形成为反谐振元件预制棒或直接成为反谐振元件。反谐振元件预制棒可以是简单或嵌套的部件,附加的定位辅助也可固定在此处。这些反谐振元件预制

棒最初以初级预制件的形式存在。

[0072] 嵌套反谐振元件预制棒在空芯光纤中形成嵌套反谐振元件。它们由外管和至少一个别的结构元件组成,该结构元件布置在外管的内孔中。该别的结构元件可以是一个别的管,该别的管抵接于外管的内包络面处。外管称为“反谐振元件外管”或简称为“ARE外管”,该别的管称为“反谐振元件内管”或简称为“ARE内管”或“嵌套ARE内管”。

[0073] 在多重嵌套反谐振元件预制棒的情况下,至少一个别的结构元件可布置在嵌套ARE内管的内孔中,例如抵接于嵌套ARE内管的内包络面的第三管。为了在多重嵌套反谐振元件预制棒的情况下区分布置在ARE外管内的几个管,必要时区分为“外嵌套ARE内管”和“内嵌套ARE内管”。

[0074] 与圆柱形反谐振元件预制棒及其圆柱形结构元件相关的术语“截面”始终是指垂直于相应的圆柱形纵轴线的横截面,即除非另有说明,在管状部件的情况下指外轮廓的横截面(而非内轮廓的横截面)。

[0075] 通过再加工初级预制件,特别是通过热成型步骤,可产生中间产品,其中最初的反谐振元件预制棒以相比最初形状发生了改变的形状存在。改变的形状在此同样称为反谐振元件预制棒或反谐振元件前驱体。

[0076] 预制件/初级预制件/次级预制件/纤芯预制件(Cane)

[0077] 预制件是由此拉制成反谐振空芯光纤的部件。它是初级预制件或通过再加工初级预制件而制成的次级预制件。初级预制件可作为整体存在,该整体由至少一个包层管和松散容纳其中或牢固固定其中的反谐振元件预制棒或前驱体构成。将所述初级预制件再加工成次级预制件,由所述次级预制件拉制成所述空芯光纤,所述再加工包括一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

[0078] (i) 拉伸,

[0079] (ii) 塌缩,

[0080] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0081] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0082] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0083] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0084] 在文献中,纤芯预制件(英语:Cane)是通过塌缩和/或拉伸初级预制件获得的预制件。通常地,在拉制空芯光纤之前或之时用附加的包层材料将其包覆。

[0085] 拉伸/塌缩

[0086] 在拉伸时,将初级预制件拉长。可在不塌缩的情况下同时进行拉长。拉伸可按比例进行,从而使例如初级预制件的部件或组成部分的形状和布置反映在拉伸的最终产品中。然而,在拉伸时,也可不按比例拉制初级预制件,并可改变其几何形状。

[0087] 在塌缩时,内孔变窄或管状部件之间的环形间隙闭合或变窄。通常地,塌缩伴随着拉伸发生。

[0088] 纤芯/内包层区域/外包层区域

[0089] 由至少一个包层管和松散容纳其中或牢固固定其中的反谐振元件预制棒或前驱体构成的整体在这里也称为“初级预制件”。初级预制件包括纤芯和包层区域。当同时存在例如通过塌缩在整体上制成的“外包层区域”,且应区分这些包层区域时,该包层区域也称

为“内包层区域”。名称“内包层区域”和“外包层区域”也用于空芯光纤或通过再加工初级预制件获得的中间产品中的对应的区域。

[0090] 术语“管内表面”也用作“管内包络面”的同义词,而术语“管外表面”也用作“管外包络面”的同义词。与管相关的术语“内孔”并不意味着内孔是通过钻孔工序产生的。

[0091] 切削加工

[0092] 切削加工被理解为用于分离加工工件的分离机械制造方法,特别是车削、切削、钻削、锯切、铣削和磨削。通过这些加工创造在包层管纵轴线方向上延伸的纵向结构,该纵向结构用作反谐振元件预制棒的定位辅助。可从包层管内表面进入纵向结构;纵向结构也可通过整个包层管壁延伸到外表面。

[0093] 粒度和粒度分布

[0094] SiO_2 颗粒的粒度和粒度分布借助 D_{50} 值表征。这些值取自粒度分布曲线,这些曲线显示与粒径相关的 SiO_2 颗粒的累积体积。粒度分布通常借助相应的 D_{10} 、 D_{50} 和 D_{90} 值表征。其中, D_{10} 值表示未达到10%的 SiO_2 颗粒累积体积的粒径,对应地, D_{50} 值和 D_{90} 值表示未达到50%和90%的 SiO_2 颗粒累积体积的粒径。粒度分布根据ISO 13320通过散射光和激光衍射光谱法确定。

实施例

[0095] 下面借助实施例和附图更详细地解释本发明。具体而言,在示意图中:

[0096] 图1基于截面视图显示由包覆圆柱体和初级预制件构成的同轴管组件,该初级预制件由包层管以及定位和固定在其中的反谐振元件预制棒组成,

[0097] 图2显示包覆圆柱体和包层管中氟浓度和粘度的径向梯度示意图,以及

[0098] 图3显示用于解释空芯光纤预制件的理想的径向浓度或粘度分布曲线的草图。

[0099] 在制造空芯光纤或空芯光纤预制件时,必须将多个部件相互结合。此外,在执行热成型过程时,密封预制件中的现有间隙或通道会很有帮助。如DE 10 2004 054 392 A1公开的,为了结合或密封,使用含 SiO_2 的密封或结合材料。其中,通过湿磨石英玻璃颗粒,制成含 SiO_2 非晶颗粒的水性浆料,其粒度分布的特征为约 $5\mu\text{m}$ 的 D_{50} 值和约 $23\mu\text{m}$ 的 D_{90} 值。将别的平均晶粒径约为 $5\mu\text{m}$ 的 SiO_2 非晶颗粒混入基础浆料中。用作结合材料的浆料具有90%的固体含量,至少99.9% (重量百分数) 由 SiO_2 组成。

[0100] 图1示意性地显示同轴管组件1,具有包覆圆柱体2、带包层管壁的包层管3,在包层管壁的内包络面处在之前预定的方位角位置处以均匀的间距固定有反谐振元件预制棒4;在本实施例中为六个预制棒4,在另一个未示出的优选实施方式中为奇数个预制棒。

[0101] 包层管3具有27mm的外径和20mm的内径。反谐振元件预制棒4作为由ARE外管4a和ARE内管4b构成的相互嵌套的结构元件的整体存在。ARE外管4a具有6.2mm的外径并且ARE内管4b具有2.5mm的外径。两个结构元件(4a;4b)的壁厚是一样的并且为0.3mm。所有管状组成部分2、3、4a、4b的长度均为700mm。

[0102] 借助基于 SiO_2 的结合材料将反谐振元件预制棒4固定在包层管3的内壁处。在正面端部区域中将结合材料局部施加在包层管的内包络面上,并且利用定位模板将反谐振元件预制棒4放置在所述结合材料上,所述定位模板具有设计上预定的星形布置的用于各个反谐振元件预制棒4的托臂。其中,定位模板的作用限制在包层管两个正面端部周围的区域。

通过这种方法,在包层管3与反谐振元件预制棒4之间创造精确且可重复的结合。在低于300℃的低温下固化结合材料就足以固定了,从而避免周围的区域大幅升温以及由此而来的反谐振元件预制棒4的变形。

[0103] 利用由石英玻璃制成的包覆圆柱体2包覆以此方式获得的初级预制件。包覆圆柱体2具有63.4mm的外径和17mm的壁厚。当包覆圆柱体2塌缩到包层管3上时,同时拉伸同轴管组件。此外,将由包层管3和包覆圆柱体2构成的同轴管组件从纵轴线垂直取向的下方送进温度受控的加热区,并在加热区中从管组件的上方端部开始逐区软化。加热区保持在1580℃的目标温度,控制精度为+/-0.1℃。因此,可将热成型过程中的温度波动值限制为小于+/-0.5℃。

[0104] 在塌缩和拉伸过程中形成的次级预制件具有约50mm的外径,和16.6mm的由外包层和内包层组成的包层壁厚。然后,将次级预制件拉制成反谐振空芯光纤。在此之前,将所有反谐振元件预制棒都用密封或结合材料密封。其中,密封材料仅施加在反谐振元件预制棒的在光纤拉制过程中朝上的正面。将该正面与由石英玻璃制成的保持管结合,该保持管也用作气体接口。支架通过密封或结合材料固定在包覆圆柱体2和包层管3上。

[0105] 在光纤拉制过程中,将次级预制件从纵轴线垂直取向的上方送入温度受控的加热区,并在加热区中从下方端部开始逐区软化。同时,向纤芯区域(空芯)送入气体,从而在纤芯区域中建立4mbar的内部压力。加热区保持在2080℃左右的目标温度,控制精度为+/-0.1℃。因此,可将热成型过程中的温度波动值限制为小于+/-0.5℃。

[0106] 通过将预制件拉制成空芯光纤,缩小现有的绝对几何误差,从而使得在空芯光纤中,从反谐振元件预制棒获得的反谐振元件的壁厚的最大偏差小于3.5%(基于壁厚平均值)。

[0107] 壁厚的低误差,一方面归因于使用相对大的次级预制件以及与此相关的原始存在的绝对几何偏差按比例地缩小,另一方面归因于热成型过程(拉伸和塌缩、光纤拉制)中相对低的处理温度。反之,较低的处理温度需归因于,包覆圆柱体2和包层管3是由掺杂氟的石英玻璃制成的。这些组成部分在同轴组件1中表示表面积最大的组成部分,并且决定性地确定处理温度。特别地,通过为表面积最大的次级预制件的组成部分掺杂氟,可降低必要的处理温度,从而由此间接改善更内部的反谐振元件预制棒4的相对刚性和热稳定性,即在热成型过程中将它们暴露于较低温度。

[0108] 下表1总结了同轴组件的组成部分或次级预制件的材料的信息。

[0109] 表1

图1中的标号	名称/功能	材料
2	包覆圆柱体	掺杂氟的石英玻璃 10,000重量-ppm
3	包层管	掺杂氟的石英玻璃 2,700重量-ppm
4a	ARE 外管	无掺杂的石英玻璃
4b	ARE 内管	无掺杂的石英玻璃

[0111] 掺杂氟的石英玻璃管(2;3)具有的氟浓度分布曲线在管壁中间具有最大的氟浓度。表1的“材料”栏中给出的石英玻璃的氟浓度数据是平均值。

[0112] 图2的示意图显示测得的包层管 $C_F(M)$ 和包覆圆柱体 $C_F(Z)$ 的氟浓度分布曲线 C (以重量-ppm计),以及从1250°C的温度下的浓度分布曲线中计算得出的沿径向位置坐标(位置 P (以mm为单位))的粘度分布曲线 η (以lg dPa·s为单位)。

[0113] 石英玻璃中的氟浓度变化通过红外光谱测定。给定温度下的粘度与氟浓度成比例,并基于无掺杂的石英玻璃的基础值($\eta=11.8\text{dPa}\cdot\text{s}$ (对应于100%))使用以下公式计算:

[0114] 1250°C时粘度减小:12%(±2%)/重量%氟。

[0115] 表2指定市售石英玻璃质量的氟含量的粘度值(1250°C的测量温度下)。

[0116] 表2

氟含量 [重量-ppm]	1250° C 条件下的 lg η [dPa*s]
0	11.80
4800	11.00
10000	10.50
13000	9.80

[0118] 图2的示意图显示包覆圆柱体 $\eta(Z)$ 的粘度低于包层管 $\eta(M)$ 的粘度。两个石英玻璃管的粘度在管中间都有一个最小值,包层管的最小粘度约为 $10^{11.45}\text{dPa}\cdot\text{s}$,包覆圆柱体的最小粘度约为 $10^{10.65}\text{dPa}\cdot\text{s}$ 。因此,最小粘度值之间的粘度差异(以lg dPa·s为单位)约为0.80dPa·s。包层管外表面中的包层管的粘度(约为 $10^{11.5}\text{dPa}\cdot\text{s}$)与包覆圆柱体的最小粘度之间的差异约为0.85(以lg dPa·s为单位)。

[0119] 在预制件中,包层管的外包络面和包覆圆柱体的内包络面形成共同的接触表面。接触表面的局部位置转换在粘度分布曲线上在示意图中由两个矩形“K”表示。在这些位置处,包覆圆柱体和包层管的粘度得出以下值:

[0120] 包层管:约11.5 lg(dPa·s)

[0121] 包覆圆柱体:约11.15 lg(dPa·s)

[0122] 因此,接触面区域中的粘度差异约为0.35(以lg dPa·s为单位)。

[0123] 反谐振元件预制件(4)的结构元件(4a;4b)由未掺杂的石英玻璃制成并且具有大约 $10^{11.8}\text{dPa}\cdot\text{s}$ 的粘度。

[0124] 图3的示意图以理想的形式显示在次级预制件的壁上径向的掺杂剂浓度变化。在y轴上,氟浓度 C_F (以相对单位表示)相对位置坐标 P (以相对单位表示)绘制。在接触表面“K”处,来自包覆圆柱体的掺杂氟的石英玻璃的掺杂浓度 $C_F(Z)$ 在理想情况下与来自包层管的掺杂氟的石英玻璃的浓度 $C_F(M)$ 一样高。据此,包层管和包覆圆柱体的粘度的对应的粘度分布曲线在接触表面K的两侧处显示相同的粘度。

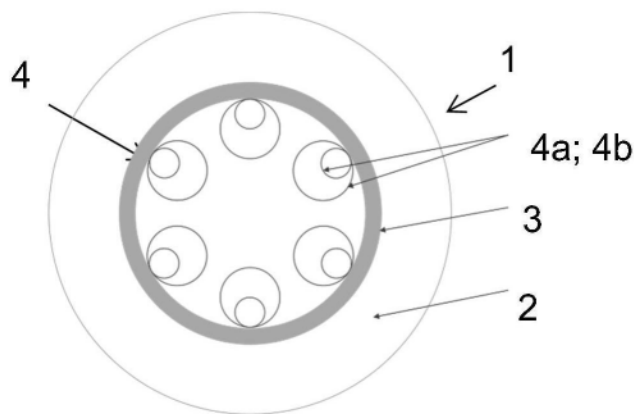


图1

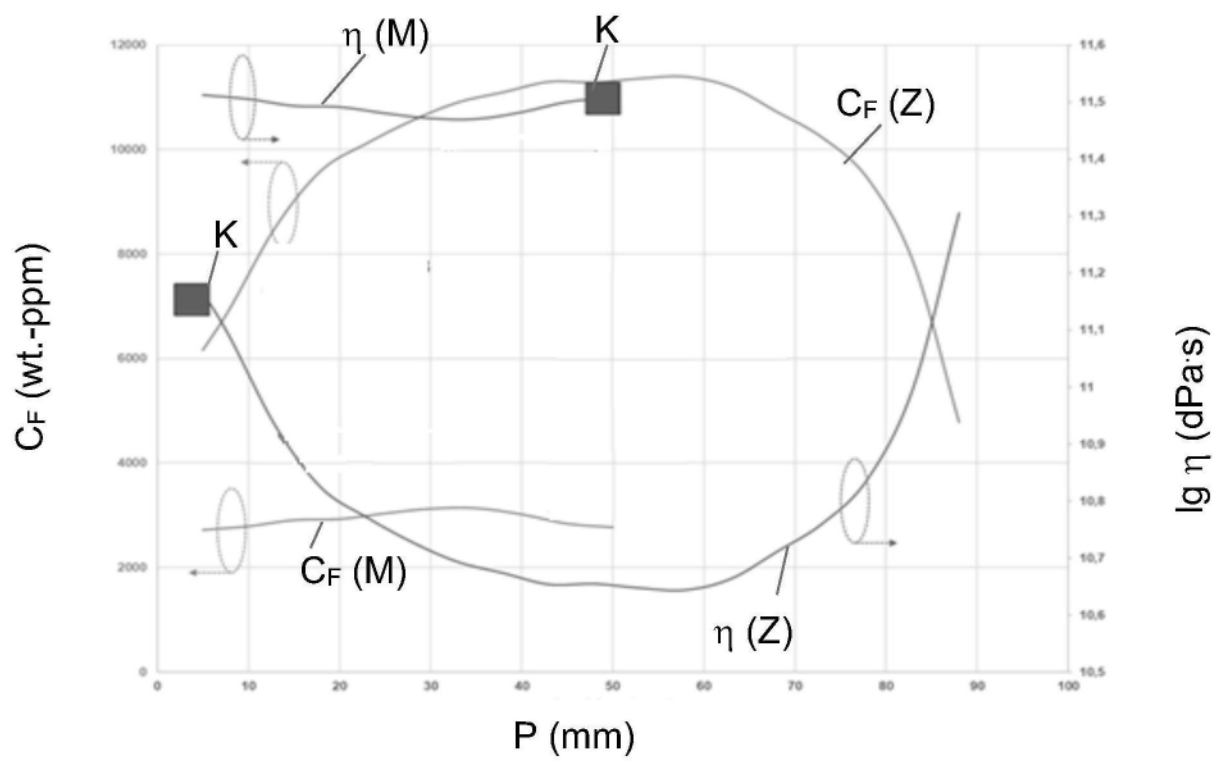


图2

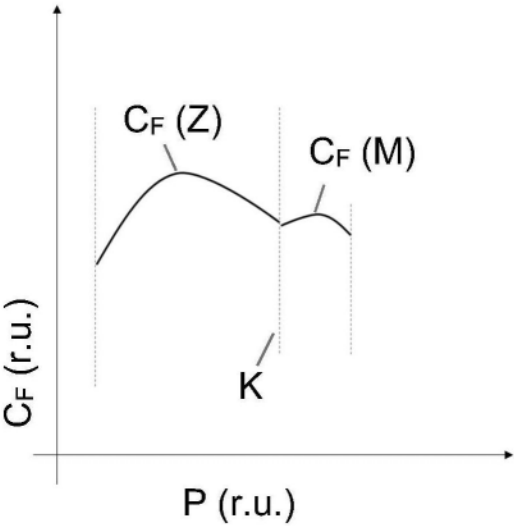


图3