



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 114007990 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 08

(21) 申请号 202080042645.5

(22) 申请日 2020.07.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114007990 A

(43) 申请公布日 2022.02.01

(30) 优先权数据
19186753.0 2019.07.17 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.12.10

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2020/069994 2020.07.15

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/009222 DE 2021.01.21

(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
S·魏曼

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限
责任公司 11287
专利代理师 刘媛媛

(51) Int.Cl.
C03B 37/027 (2006.01)
C03B 37/012 (2006.01)
G02B 6/032 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 106575012 A, 2017.04.19
US 2005226578 A1, 2005.10.13
CN 109143460 A, 2019.01.04 (续)
审查员 陈夏琳

权利要求书3页 说明书11页 附图2页

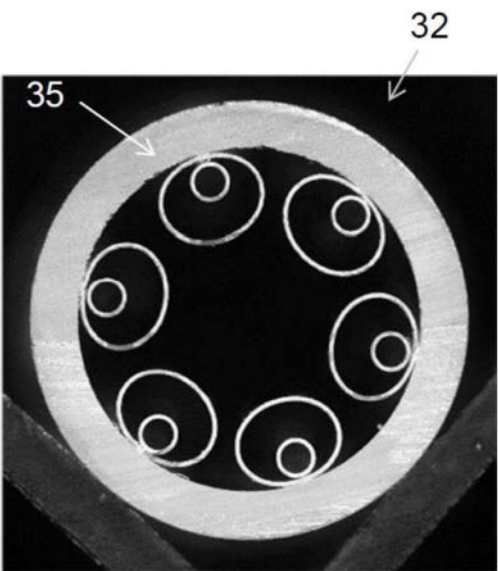
(54) 发明名称

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;将所述初级预制件再加工成次级预制件,其中所述再加工包括拉伸,以及将所述次级预制件拉制成所述空芯光纤。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,根据本发明建议,在所述拉伸所述初级预制件后,所述初级预制件的先前的所述管状反谐振元件预制棒中的至少一部分具有卵形外截面形状,所述外截面形状具有最长截面轴线 A_L 和最短

截面轴线 A_K ,其中轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.27之间的范围内,并且其中从所述包层管纵轴线看,所述最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸。



CN 114007990 B

[接上页]

(56) 对比文件

CN 109932778 A, 2019.06.25

EP 3199991 A1, 2017.08.02

GREGORY T. JASION etc..Fabrication of tubular anti-resonant hollow core fibers: modelling, draw dynamics and process

optimization.OPTICS EXPRESS.2019,第27卷(第15期),20567-20582.

GREGORY T. JASION etc..Fabrication of tubular anti-resonant hollow core fibers: modelling, draw dynamics and process optimization.OPTICS EXPRESS.2019,第27卷(第15期),20567-20582.

1. 一种制造反谐振空芯光纤(33)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) 提供包层管(1),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(2)沿所述包层管纵轴线延伸,

(b) 提供若干个管状反谐振元件预制棒(4;34),

(c) 将所述反谐振元件预制棒(4;34)布置在所述包层管壁(2)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(3;31),

(d) 将所述初级预制件(3;31)再加工成次级预制件(32),由所述次级预制件

(32)拉制成所述空芯光纤(33),其中所述再加工包括拉伸以及可选地一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

(i) 塌缩,

(ii) 塌缩和同时拉伸,

(iii) 塌缩附加包层材料,

(iv) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

(v) 塌缩附加包层材料和同时拉伸,以及

(e) 将所述次级预制件(32)拉制成所述空芯光纤(33),

其中,在根据方法步骤(d)所述拉伸后,所述初级预制件(3;31)的先前的所述管状反谐振元件预制棒(4;34)中的至少一部分具有卵形外截面形状,所述卵形外截面形状具有最长截面轴线 A_L 和最短截面轴线 A_K ,其中轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.27之间的范围内,并且其中从所述包层管纵轴线看,所述最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸;

其特征在于,在所述拉伸时将所述初级预制件(3;31)以某一个进料速度连续地送进加热区,使其在所述加热区中逐区软化,并且将其以某一个出料速度从所述加热区中移出,其中对所述进料速度进行设置,从而使得通过量至少为0.8g/min、且在所述加热区中的平均停留时间为5min至25min。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述管状反谐振元件预制棒(4;34)中的至少一部分由几个相互嵌套的结构元件组成并且包括至少一个ARE外管(4a)和在所述ARE外管(4a)中且平行于所述ARE外管纵轴线延伸的ARE内管(4b),其中所述ARE外管(4a)具有卵形的,轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.07和1.27之间的范围内的外截面形状,并且所述ARE内管(4b)具有卵形的,轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.05之间的范围内的外截面形状。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述初级预制件(3;31)具有在20mm至70mm的范围内的外径。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其中如此设置所述进料速度,使得通过量为在0.8g/min至85g/min的范围内并且在所述加热区中的平均停留时间在5min至25min的范围内。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其中如此设置所述进料速度,使得通过量为在3.3g/min至85g/min的范围内。

6. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,将所述拉伸时的拉伸比设为在1.05至10的范围内的值。

7. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,为所述拉伸所述初级预制件(3;

31)使用温度受控的加热区,所述加热区的目标温度准确地保持在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

8. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,使用含 SiO_2 非晶颗粒的密封或结合材料(5)进行所述反谐振元件预制棒(4;34)的固定。

9. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,在所述拉伸所述初级预制件(3;

31)时,借助所述密封或结合材料(5)封闭所述反谐振元件预制棒(4;34)的开放端部和/或所述反谐振元件预制棒(4;34)的各个结构元件和/或管件之间的任何环形间隙。

10. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,通过在所述规定位置的区域中切削加工为所述包层管内表面配备在所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构。

11. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,借助定位模板将所述反谐振元件预制棒(4;34)定位在所述规定位置处。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,在包层管正面区域插入所述定位模板。

13. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,在根据方法步骤(d)所述拉伸所述初级预制件(3;31)和/或根据方法步骤(e)所述拉制成所述空芯光纤(33)时,将由石英玻璃制成的所述预制件的几个组成部分一起加热并软化,其中所述预制件组成部分中的至少一些组成部分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。

14. 根据权利要求13所述的方法,其特征在于,根据方法步骤(d)所述塌缩附加包层材料,并且与额外施加的所述包层材料的石英玻璃的粘度相比,在 1250°C 的测量温度下,当粘度表示为以 $\text{dPa}\cdot\text{s}$ 为单位的对数值时,所述包层管的石英玻璃的粘度高至少 $0.5\text{dPa}\cdot\text{s}$ 。

15. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,所述将所述反谐振元件预制棒(4;34)布置在所述包层管壁(2)的所述内表面的规定位置处和/或根据方法步骤(d)所述拉制成所述空芯光纤(33)包括使用含 SiO_2 非晶颗粒的密封或结合材料(5)进行固定处理和/或密封处理。

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) 提供包层管(1),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(2)沿所述包层管纵轴线延伸,

(b) 提供若干个管状反谐振元件预制棒(4;34),

(c) 将所述反谐振元件预制棒(4;34)布置在所述包层管壁(2)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(3;31),

(d) 将所述初级预制件(3;31)再加工成所述空芯光纤的次级预制件(32),其中所述再加工包括拉伸以及可选地一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

(i) 塌缩,

(ii) 塌缩和同时拉伸,

(iii) 塌缩附加包层材料,

(iv) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

(v) 塌缩附加包层材料和同时拉伸,以及

其中,在根据方法步骤(d)所述拉伸后,所述初级预制件(3;31)的先前的所述管状反谐振元件预制棒(4;34)中的至少一部分具有卵形外截面形状,所述卵形外截面形状具有最长截面轴线 A_L 和最短截面轴线 A_K ,其中轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.27之间的范围内,并且其中从所述包层管纵轴线看,所述最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸;

其特征在于,在所述拉伸时将所述初级预制件(3;31)以某一个进料速度连续地送进加热区,使其在所述加热区中逐区软化,并且将其以某一个出料速度从所述加热区中移出,其中对所述进料速度进行设置,从而使得通过量至少为0.8g/min、且在所述加热区中的平均停留时间为5min至25min。

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)提供若干个管状反谐振元件预制棒,

[0004] (c)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,

[0005] (d)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拉伸以及可选地一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

[0006] (i)塌缩,

[0007] (ii)塌缩和同时拉伸,

[0008] (iii)塌缩附加包层材料,

[0009] (iv)塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0010] (v)塌缩附加包层材料和同时拉伸,以及

[0011] (e)将所述次级预制件拉制成所述空芯光纤,

[0012] 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:

[0013] (a)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,

[0014] (b)提供若干个管状反谐振元件预制棒,

[0015] (c)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,以及

[0016] (d)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拉伸以及可选地一次或重复执行以下热成型过程的一项或几项:

[0017] (i)塌缩,

[0018] (ii)塌缩和同时拉伸,

[0019] (iii)塌缩附加包层材料,

[0020] (iv)塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0021] (v)塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0022] 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。

[0023] “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”。

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 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

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] W0 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。

[0033] 技术问题

[0034] 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。

[0035] 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外管的内包络面处的反谐振元件内管(简称:ARE内管)组成。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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

[0039] 关于制造反谐振空芯光纤的方法,该问题通过本发明所述的上述类别的方法来解决:在根据方法步骤(d)所述拉伸后,所述初级预制件的先前的所述管状反谐振元件预制棒中的至少一部分具有卵形外截面形状,所述外截面形状具有最长截面轴线 A_L 和最短截面轴线 A_K ,其中轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.27之间的范围内,并且其中从所述包层管纵轴线看,所述最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸。

[0040] 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”。通常地,初级预制件的制造包括反谐振元件预制棒与包层管的嵌套和结合。可将初级预制件拉伸成空芯光纤;然而,通常对初级预制件进行再加工,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。

[0041] 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或次级预制件上来进行。在包覆圆柱体塌缩时拉伸由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。

[0042] 次级预制件的制造包括若干个方法步骤和至少一个热变形步骤,在所述若干个方法步骤中制造空芯光纤的起始元件并且使其相对于彼此定位。起始元件中的每个起始元件

都与其目标几何形状有一定的偏差,并且定位和变形的每个步骤都不可避免地导致几何偏差,这些偏差加起来就是成品预制件的绝对几何误差。特别地,即便与理想的,通常为圆柱对称的加热区温度曲线存在极微小的偏差,玻璃的热变形也会导致不想要且不可重复的变形。此类变形也可基于拉伸或光纤拉制过程中的压力和温度条件,难以规避或避免。

[0043] 根据本发明的方法旨在补偿在拉伸或光纤拉制过程中此类压力和温度条件下的变形效应。

[0044] 为此目的设置为,如此引导初级预制件的拉伸,使得在拉伸步骤完成后,先前的管状的且截面为圆形的所述反谐振元件预制棒中的至少一部分具有卵形外截面形状。

[0045] 在拉伸初级预制件时,施加附加包层材料或不施加附加包层材料。拉伸步骤的结果是次级预制件或另一种半成品,如有必要,所述半成品需要再加工成次级预制件。

[0046] 已证明有利的是,先前的初级预制件的大多数的,优选所有的最初为圆形的结构元件在拉伸过程中在几何形状上如此发生变化,即它们在拉伸过程之后具有非圆形,卵形和在理想情况下椭圆形的截面形状。因为在随后的光纤拉制过程中会发生进一步的几何变化,因此具有卵形径向截面的空腔变形为具有圆形径向截面的空腔。

[0047] 已经发现,对于这种补偿有利的,用于衡量被拉伸的结构元件的截面形状的卵形程度的尺度可通过它们(在截面中)的最长轴线和最短轴线的长度来描述。截面中最长截面轴线 A_L 与截面中最短截面轴线 A_K 的比在介于1.01和1.27之间的范围内。其中重要的是,卵形在前包层管的内包络面处的取向:即最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸,最长截面轴线 A_L 与前内包络面相切。

[0048] 反谐振元件预制棒可由一个结构元件组成,例如一个简单的管件,或由几个结构元件组成。在几个结构元件的情况下,它们例如相互嵌套并且在最简单的情况下形成ARE外管,在该ARE外管中插入有ARE内管。

[0049] 在一个特别优选的方法中,所述方法涉及由一个简单的管状结构元件组成的反谐振元件预制棒,所述管件具有卵形的,优选椭圆形的,轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.07和1.27之间的范围内的外截面形状。

[0050] 另一个特别优选的方法涉及这样的反谐振元件预制棒,所述反谐振元件预制棒由几个相互嵌套的结构元件组成并且包括至少一个ARE外管和在所述ARE外管中且平行于所述ARE外管纵轴线延伸的ARE内管。

[0051] 在这类反谐振元件预制棒中,ARE内管固定在ARE外管壁的内表面处。如果ARE内管和ARE外管之间的接触面积太小,则ARE内管也可由于热成型过程中的表面张力而在ARE外管内出现脱落和偏心。为了解决这个问题,已证明有利的是,所述ARE外管具有卵形的,优选椭圆形的,轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.07和1.27之间的范围内的外截面形状,并且所述ARE内管具有卵形的,优选椭圆形的,轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.05之间的范围内的外截面形状。

[0052] ARE外管相对大的卵形程度增加了与内毛细管的接触面积。

[0053] 所述初级预制件在所述拉伸前优选地具有在20mm至70mm的范围内的外径,特别优选地在30mm至70mm的范围内。

[0054] 因为直径越大,拉伸时的跟踪速度越慢,预制件的每个轴向部分暴露在加热区高温下的时间越长。然而,如果拉伸时的跟踪速度过慢,反谐振元件预制棒的结构元件就会变

形。因此,初级预制件的直径优选地最大为70mm。并且初级预制件的直径优选地至少为20mm,特别优选地至少为30mm。因为已经表明的是,对于更小的直径,预制件的热惰性过低而无法补偿加热区中的任何温度波动。

[0055] 在一个优选的方法中,在所述拉伸时将所述初级预制件以某一个进料速度连续地送进加热区,使其在所述加热区中逐区软化,并且将其以某一个出料速度从所述加热区中移出。

[0056] 若进料速度过高,初级预制件中会出现温度梯度,该温度梯度导致其中分布在不同径向位置上的反谐振元件预制棒表现出不同程度的拉伸。过低的进料速度会导致反谐振元件预制棒出现不想要的变形。作为合适的折衷,已证明的是,如此设置进料速度,使得通过量至少为0.8g/min,优选为在0.8g/min至85g/min的范围内,并且特别优选为在3.3g/min至85g/min的范围内,并且在所述加热区中的平均停留时间小于25min,优选在5min至25min的范围内。

[0057] 热成型过程中加热区的温度应尽可能恒定。因此有利地,在根据方法步骤(d)所述的热成型过程中使用温度受控的加热元件,所述加热元件的目标温度准确地保持在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

[0058] 因此,可将热成型过程中的温度波动值限制为小于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

[0059] 为了减小绝对几何误差,在拉伸时需要大的拉伸比(*Ausziehverhältnis*)。另一方面,大的拉伸比伴随着对应得大的变形过程和材料运动,这很容易导致反谐振元件预制棒的精细结构元件出现不想要的变形。

[0060] 作为合适的折衷,已证明有利的是,将所述拉伸时的拉伸比设为在1.05至10的范围内的值,优选为在1.05至5的范围内的值。

[0061] 在一个优选的方法变体中,所述布置所述反谐振元件预制棒和/或所述拉伸所述初级预制件和/或所述拉制成所述空芯光纤包括使用含 SiO_2 非晶颗粒的密封或结合材料进行固定处理和/或密封处理。

[0062] 用于密封或固定的密封或结合材料包含 SiO_2 非晶颗粒,这些颗粒例如在分散液中被吸收。将这些材料施加在要结合或密封的表面之间,使用时通常是糊状的。低温干燥时,部分或全部除去分散液并且固化材料。所述密封或结合材料,特别是干燥后得到的,固化的含 SiO_2 的密封或结合材料满足固定和密封要求。干燥所需的温度低于 300°C ,这有助于保持预制件的尺寸精度并避免热损伤。加热到 800°C 左右的更高温度,例如在拉伸预制件以形成空芯光纤时,会导致密封或结合材料的进一步热固化,这也适用于形成不透明或透明玻璃。这通过烧结或玻璃化来发生,其中与玻璃化成完全透明玻璃相比,烧结成不透明玻璃需要相对较低的温度和/或较短的加热时间。因而,可通过加热使所述密封或结合材料完全固化并在热成型过程中通过加热使其玻璃化。

[0063] 在热成型过程中,所述密封或结合材料不会分解,并且释放的杂质很少。因而,它的特点是在热成型过程中具有热稳定性和无掺杂,并且避免了由于不同的热膨胀系数而产生变形。

[0064] 所述密封和结合材料还可有利地用于在拉伸初级预制件和/或拉制成空芯光纤时,封闭所述反谐振元件预制棒的开放端部和/或所述反谐振元件预制棒的各个结构元件和/或管件之间的任何环形间隙。

[0065] 以此方式,可在拉伸或光纤拉制过程中对初级预制件和/或次级预制件的各个组成部分施加不同的内部压力。

[0066] 使预制棒在包层管的内包络面处的定位精度得以进一步改善的是,通过切削加工制成所述包层管内表面和/或所述包层管外表面和/或所述ARE外管内表面和/或所述ARE外管外表面,特别是通过钻削、铣削、磨削、珩磨和/或抛光

[0067] 与其他已知的使用热和压力的成型技术相比,这些加工技术提供了更精确和更精细的结构,并且它们避免了诸如喷嘴、压制机或熔化成型器之类的成型工具对表面的污染。

[0068] 机械切削加工优选还包括包层管内表面在反谐振元件预制棒的规定位置区域内的结构化,方式是为其配备在包层管纵轴线方向上延伸的纵向结构。所述纵向结构包括例如包层管内壁中的纵向开口和/或纵向凹槽,它们平行于包层管纵轴线延伸并且优选通过钻削、锯切、铣削、切削或磨削制成。

[0069] 在包层管纵轴线方向上延伸的纵向结构用作反谐振元件预制棒的定位辅助。这使得反谐振元件预制棒更容易在包层管的内表面处占据预定的,限定的位置。

[0070] 使预制棒在包层管的内包络面处的定位精度得以改善的是,借助定位模板将所述结构元件的上方正面端部定位在所述规定位置处。

[0071] 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。

[0072] 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,例如借助上述密封或结合材料。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。

[0073] 此外,还有一个方法也是行之有效的,其中,在根据方法步骤(d)所述拉伸所述初级预制件和/或根据方法步骤(e)所述拉制成所述空芯光纤时,将由石英玻璃制成的所述预制件的几个组成部分一起加热并软化,其中所述预制件组成部分中的至少一些组成部分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。

[0074] 所述初级预制件的组成部分包括所述包层管和所述布置在其中的反谐振元件预制棒。所述次级预制件包含附加包层材料,所述附加包层材料例如以包覆圆柱体或几个包覆圆柱体的形式提供并且塌缩到所述初级预制件上。

[0075] 氟、氯和/或羟基优选地用作降低石英玻璃粘度的掺杂剂。

[0076] 掺杂使得调整相邻预制件组成部分的热膨胀系数成为可能,以避免或减少应力。掺杂还可用于降低组成部分的热稳定性,有利于相邻组成部分的稳定性。

[0077] 例如,已证明有利的是,与额外施加的所述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(当粘度表示为以dPa·s为单位的对数值时)。

[0078] 特别地,在空芯光纤的低光衰减和高的光传输带宽方面被证明特别有利的是,所述反谐振元件以奇对称性围绕空芯布置。

[0079] 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。

[0080] 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:在根据方法步骤(d)所述拉伸后,所述初级预制件的先前的所述管状反谐振元件预制棒中的至少一部分具有卵形外截面形状,所述外截面形状具有最长截面轴线 A_L 和最短截面轴线 A_K ,其中轴线长度比 A_L/A_K 在介于1.01和1.27之间的范围内,并且其中从所述包层管纵轴线看,所述最短截面轴线 A_K 在径向方向上延伸。

[0081] 在拉伸初级预制件时,施加附加包层材料或不施加附加包层材料。拉伸步骤的结果是次级预制件或另一种呈被拉伸的初级预制件形式的半成品,如有必要,所述被拉伸的初级预制件需要再加工成次级预制件。在任何情况下,所述被拉伸的初级预制件的特征在于,反谐振元件预制棒中的至少一部分具有卵形截面形状,这一方面适合于抵消次级预制件拉伸成空芯光纤时可发生的变形,另一方面可扩大嵌套结构元件之间的接触面积,从而有助于更高的机械稳定性。这个方法使得更精确地制造空芯光纤成为可能。

[0082] 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。

[0083] 定义

[0084] 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。

[0085] 反谐振元件

[0086] 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 SiO_2 ,合成材料,特别是聚合物,复合材料或结晶材料。

[0087] 反谐振元件预制棒/反谐振元件前驱体

[0088] 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。

[0089] 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”。

[0090] 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”。

[0091] 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)。

[0092] 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。

[0093] 预制件/初级预制件/次级预制件/纤芯预制件(Cane)

[0094] 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:

[0095] (i) 拉伸,

[0096] (ii) 塌缩,

[0097] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0098] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0099] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0100] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0101] 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。

[0102] 拉伸/塌缩

[0103] 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。

[0104] 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。

[0105] 纤芯/内包层区域/外包层区域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。

[0106] 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。

[0107] 切削加工

[0108] 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。

[0109] 粒度和粒度分布

[0110] 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

[0111] 下面借助实施例和附图更详细地解释本发明。具体而言:

[0112] 图1 借助示意图中的截面视图显示用于制造空芯光纤次级预制件的, 具有包层管以及定位和固定在其中的反谐振元件预制棒的初级预制件,

[0113] 图2 以截面视图显示具有预成型反谐振元件预制棒的次级预制件的照片,

[0114] 图3 显示从初级预制件到反谐振空芯光纤的加工阶段, 以及

[0115] 图4 显示用来解释嵌套反谐振元件在热加工时的力比的草图。

[0116] 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。

[0117] 图1 示意性地显示初级预制件 3, 具有含包层管壁 2 的包层管 1, 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。

[0118] 包层管 1 由石英玻璃制成并且具有 1000mm 的长度、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。ARE 外管 4a 和 ARE 内管 4b 的长度对应于包层管长度。

[0119] 包层管 1 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。根据最终尺寸, 外径为 90mm, 并且外径与内径的直径比为 2.5。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长度为 200mm 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长度为 100mm 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管柱。通过将管柱切割成一定长度获得包层管。

[0120] 借助基于 SiO_2 的结合材料 5 将反谐振元件预制棒 4 固定在包层管 1 的内表面。

[0121] 在正面端部区域中将结合材料 5 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, 定位模板被限制在包层管两个正面端部周

围的区域。

[0122] 通过这种方法,在包层管1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5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。

[0123] 利用由石英玻璃制成的包覆圆柱体包覆初级预制件3,其中该包覆圆柱体塌缩于包层管1上,同时将管整体拉伸成次级预制件。包覆圆柱体具有63.4mm的外径和17mm的壁厚。

[0124] 在塌缩和拉伸过程中,将由包层管1和包覆圆柱体构成的同轴组件从纵轴线垂直取向的下方送进温度受控的加热区,并在加热区中从组件的上方端部开始逐区软化。

[0125] 加热区保持在1600℃的目标温度,控制精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。因此,可将热成型过程中的温度波动值限制为小于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

[0126] 在塌缩和拉伸步骤中,通过在空芯区域和管状反谐振元件预制棒4中产生和保持相同的内部压力,将初级预制件3的先前的管状反谐振元件预制棒4压制成卵形外截面形状。图4粗略描绘其中出现的力比。在拉伸时,在空芯区域40和ARE内管4b的内孔中均存在环境压力 p_a 。若ARE内管4b的空腔中的超压为2.36mbar(与施加在其外部的压力相比),ARE内管4a在拉伸期间会是稳定的。在没有内部压力的情况下,力的作用如方向指示箭头F所示。上方顶点“S”上的法向力 F_{N1} 与ARE内管壁表面处的法向力 F_{N2} 的比介于1.07和1.27之间($1.07 < F_{N1}/F_{N2} < 1.27$),因此根据力比,ARE内管4b在拉伸时会变成卵形和近似椭圆形,其中椭圆的长轴线与ARE外管4a的壁相切,并且较短的轴线与其垂直延伸。

[0127] 对于ARE外管4a的对应的考虑得出卵形外截面形状,其特征在于,其轴线长度比 A_L/A_K 介于1.07和1.27之间($1.07 < A_L/A_K < 1.27$)。

[0128] 在塌缩和拉伸过程中以此方式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。图2的照片显示以此方式制成的具有变形的反谐振元件预制棒35的次级预制件32,并特别地显示呈卵形的ARE外管。ARE内管同样具有可测量的卵形变形,然而变形程度如此小,使得在图2中的变形无法在视觉上辨别。

[0129] 将次级预制件拉伸成反谐振空芯光纤。此外,使用上述密封或结合材料封闭先前的反谐振元件预制棒的所有结构元件,即ARE外管4a和ARE内管4b。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。

[0130] 然后,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5固定在包覆圆柱体和包层管上。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。加热区保持在2100℃左右的目标温度,控制精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。因此,可将热成型过程中的温度波动值限制为小于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。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。

[0131] 通过这样引导的光纤拉制过程,反谐振元件预制棒的先前结构元件的卵形截面形状变为圆形截面形状,从而获得具有嵌入其中的反谐振元件的反谐振空芯光纤,所述反谐振元件具有圆形截面形状。

[0132] 图3示意性显示该过程的方法步骤。通过拉伸和塌缩过程37,由具有截面为圆形的反谐振元件预制棒34的初级预制件31拉伸出次级预制件32,所述次级预制件具有截面形状

为卵形的（其特征在于短的截面轴线 A_K 和长的截面轴线 A_L ）的被拉伸的反谐振元件预制棒35,以及在光纤拉制过程38中将所述次级预制件拉伸成反谐振空芯光纤33,所述反谐振空芯光纤包含截面形状为圆形的反谐振元件36。

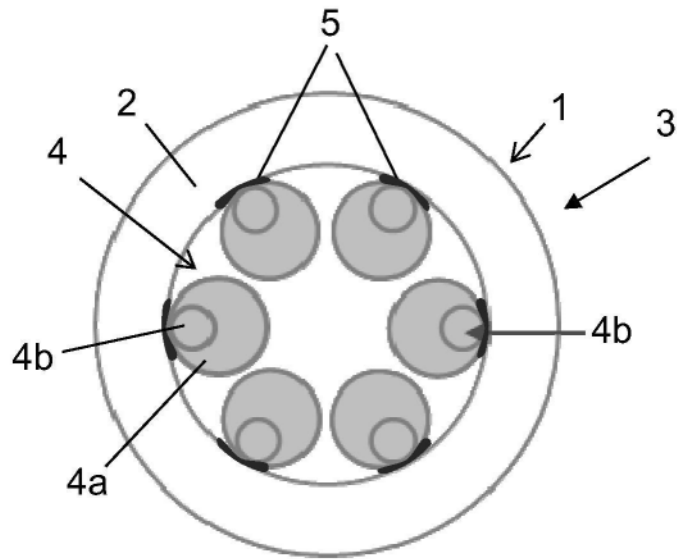


图1

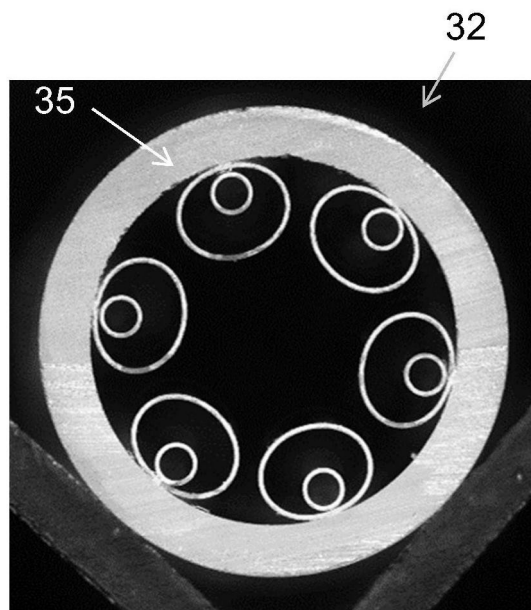


图2

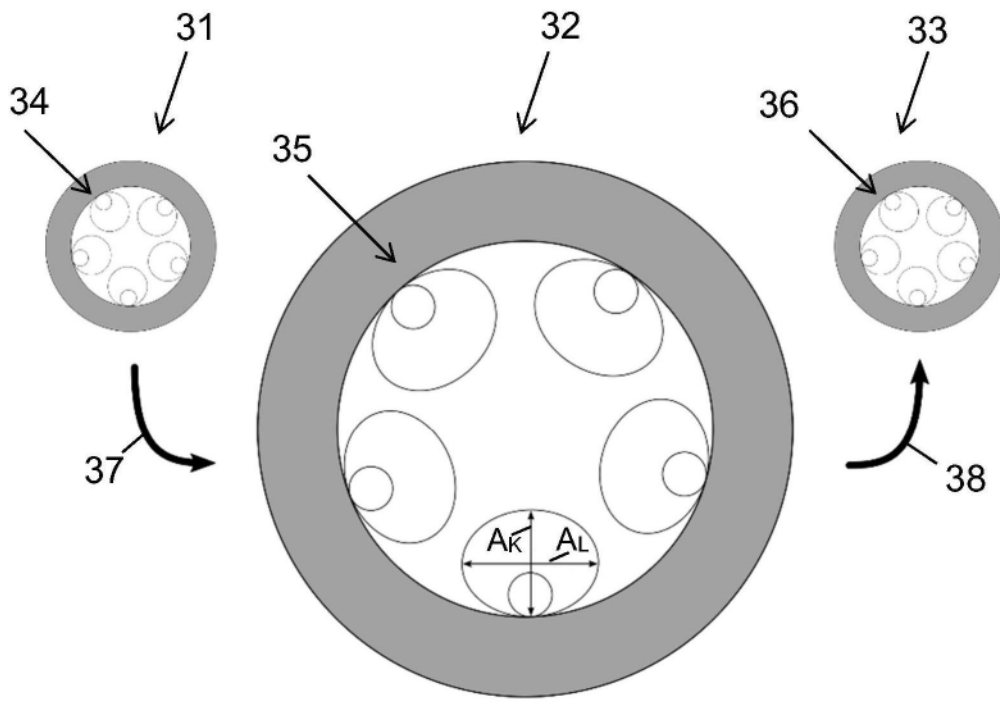


图3

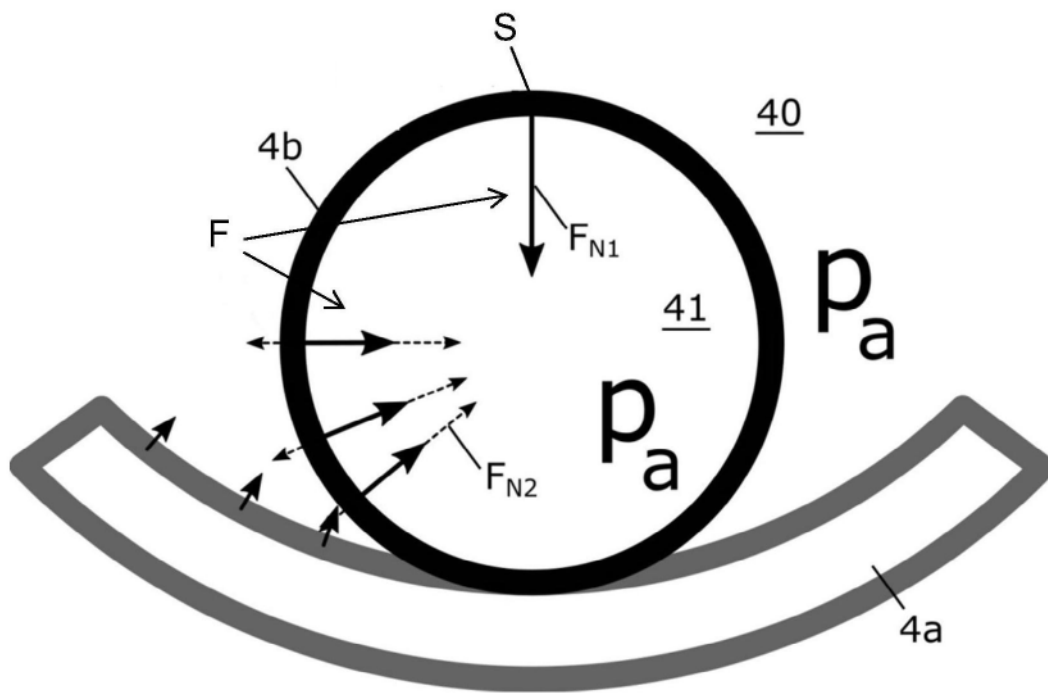


图4