



(10) 授权公告号 CN 113939482 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 26

(21) 申请号 202080034652.0

(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 113939482 A

(43) 申请公布日 2022.01.14

(30) 优先权数据
19186735.7 2019.07.17 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.11.09

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2020/069973 2020.07.15

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/009208 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 R·扎特曼

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

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

(56) 对比文件
GB 2566466 A, 2019.03.20
CN 105807363 A, 2016.07.27
JP 2000137143 A, 2000.05.16
US 6529653 B1, 2003.03.04
WO 2009010317 A1, 2009.01.22
WO 2018067445 A2, 2018.04.12

审查员 叶朗

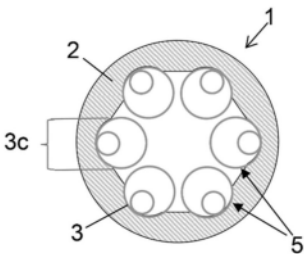
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(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,建议所述的提供所述包层管包括加工处理,其中,所述包层管壁通过在所述规定位置的区域的切削加工设有沿所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构。



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:

(a) 提供包层管(1),所述包层管具有包层管内孔(16)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) 提供若干个反谐振元件预制棒(5),

(c) 将所述反谐振元件预制棒(5)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包层区域的所述空芯光纤的初级预制件,以及

(d) 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(18),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,根据方法步骤(a)所述的提供所述包层管(1)包括加工处理,其中,所述包层管壁(2)通过在所述规定位置的区域中的切削加工设有沿所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构,其中所述纵向结构具有围绕所述包层管壁(2)的圆周分布的纵向开口,且其中所述反谐振元件预制棒(5)各自布置在一个纵向开口处。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,通过钻削、锯切、铣削、切削或磨削制成所述包层管壁(2)的所述纵向结构。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,提供具有圆形内截面的包层管(1),且将所述纵向结构实施为所述包层管壁的所述内表面处的纵向凹槽或纵向开口。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述包层管(1)具有正面端部,且所述纵向结构终止于所述正面端部之前。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,当根据方法步骤(c)将所述反谐振元件预制棒(5)布置在所述规定位置处时,所述反谐振元件预制棒各自在两个边缘(3a;3b)处与所述纵向结构接触。

6. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法,其特征在于,所述纵向结构在所述包层管内表面的圆周方向上具有最大宽度 S_b ,且所述反谐振元件预制棒(5)具有小于所述纵向结构的所述最大宽度 S_b 的直径。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述反谐振元件预制棒(5)至少部分地被所述纵向结构包封。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,在所述包层管内孔中放入嵌套管(8),且所述反谐振元件预制棒(5)各自被包封在所述纵向结构和所述嵌套管(8)之间的压力腔中。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,当根据方法步骤(d)执行过程时,通过在所述压力腔中施加内部压力,使所述纵向结构的区域中的所述嵌套管(8)的壁部分产生变形。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述纵向开口具有平行的纵向边缘 (3a; 3b) 和最大开口宽度 S_b , 且所述反谐振元件预制棒 (5) 与所述纵向边缘 (3a; 3b) 结合。

11. 根据权利要求10所述的方法, 其特征在于, 所述反谐振元件预制棒 (5) 通过软化并伴随同时拉伸, 与所述纵向边缘 (3a; 3b) 结合。

12. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法, 其特征在于, 所述反谐振元件预制棒 (5) 各自具有至少一个反谐振元件和至少一个与所述反谐振元件结合的毛细管 (9), 其中所述毛细管 (9) 容纳在所述纵向结构的凹槽中, 并且当根据方法步骤 (d) 执行过程时, 通过在所述毛细管内孔中施加内部压力使所述毛细管 (9) 变形。

13. 根据权利要求1至5中的一项所述的方法, 其特征在于, 所述反谐振元件预制棒 (5) 以奇对称性围绕所述空芯布置。

14. 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:

(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) 提供若干个反谐振元件预制棒 (5), 以及

(c) 将所述反谐振元件预制棒 (5) 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包层区域的所述空芯光纤的初级预制件,

其特征在于, 根据方法步骤 (a) 所述的提供所述包层管 (1) 包括加工处理, 其中, 所述包层管壁 (2) 通过在所述规定位置的区域中的切削加工设有沿所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构, 其中所述纵向结构具有围绕所述包层管壁 (2) 的圆周分布的纵向开口, 且其中所述反谐振元件预制棒 (5) 各自布置在一个纵向开口处。

15. 根据权利要求14所述的方法, 其中所述步骤进一步包括:

(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 (18), 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。

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,所述包层区域包括几个反谐振元件,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包层区域的所述空芯光纤的初级预制件,以及

[0005] (d) 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:

[0006] (i) 拉伸,

[0007] (ii) 塌缩,

[0008] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0009] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0010] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0011] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[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包层区域的所述空芯光纤的初级预制件,以及

[0016] (d) 可选地,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:

[0017] (i) 拉伸,

[0018] (ii) 塌缩,

[0019] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0020] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0021] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0022] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸

[0023] 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。

[0024] “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”。

[0025] 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。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。

[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实现:根据方法步骤(a)所述的提供所述包层管包括加工处理,其中,所述包层管壁通过在所述规定位置的区域的切削加工设有沿所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构。

[0040] 制造反谐振空芯光纤的起点是预制件,在此称为“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] 通过机械切削加工预先使包层管结构化改善预制棒的定位精度。

[0042] 切削加工是指去除材料的机械加工技术,例如车削、切削、钻削、锯切、铣削或磨削。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。优选地,通过钻削、锯切、铣削、切削或磨削制成包层管内壁的纵向结构。

[0043] 通过这些加工创造沿包层管纵轴线方向延伸的纵向结构,该纵向结构用作反谐振元件预制棒的定位辅助。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。此外,至少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。

[0044] 利用本发明,可精确且可重复地制造反谐振空芯光纤及其预制件。

[0045] 优选地,提供具有圆形内截面的包层管,其中将所述纵向结构实施为所述包层管壁的所述内表面处的纵向凹槽或纵向开口。

[0046] 为了使包层管内表面结构化,提供具有圆形内截面的包层管,通过这种方式,例如与具有内六角形形状内孔的包层管相比,实现了包层管本身的低制造成本。

[0047] 定位点可具有不同的形状。被实施为包层管壁内表面处的纵向凹槽或沿径向连续的纵向开口的纵向结构可被轻易而精确地制造;例如通过铣削、钻削或切削。凹槽和开口的内部几何形状例如是半圆形、半椭圆形、V形、U形或多边形。该内部几何形状还可形成从内向外变窄的凹陷或凹槽。特别在连续纵向开口的情况下,有利的是,所述包层管具有正面端部,其中所述纵向结构终止于所述正面端部之前。

[0048] 根据纵向结构的几何形状以及反谐振元件预制棒的形状和尺寸,在固定时,在反谐振元件预制棒和纵向结构之间产生一个接触点、几个接触点或较大的接触区域。特别行之有效的一个方法是,当根据方法步骤(c)将所述反谐振元件预制棒布置在所述规定位置处时,所述反谐振元件预制棒各自在两个边缘处与所述纵向结构接触。

[0049] 与只有一条接触线相比,这是更稳定的姿态,以及能够可靠地防止反谐振元件预制棒在拉伸过程中“滚走”。其中,所述预制棒的外部尺寸(例如外径)可大于所述纵向结构的最大宽度 S_B ,从而使得所述预制棒位于所述纵向凹槽或纵向开口上且不完全陷入其中。如有必要,在接触边缘下方,在所述纵向凹槽或纵向开口中存在空腔,气体可被引入到所述空腔中或气体可从所述空腔中被吸出。

[0050] 在另一个优选的方法中,所述反谐振元件预制棒具有小于所述纵向结构的所述最大宽度 S_B 的外径。在此,例如所述凹槽可以非常浅,以至于它们仅仅为所述反谐振元件预制棒预定优选位置。

[0051] 在一个进一步优选的方法中,所述反谐振元件预制棒也具有小于所述纵向结构的最大宽度 S_B 的外径,但其中所述反谐振元件预制棒至少部分地被所述纵向结构包封并因此完全固定在包层管的内壁中。

[0052] 在所述方法的一个特别有利的实施方案中,在所述包层管内孔中附加地放入嵌套管,其中所述反谐振元件预制棒各自被包封在所述纵向结构和所述嵌套管之间的压力腔中。

[0053] 以这种方式,在所述预制件的纵向结构处各自形成一个中空通道,反谐振元件预制棒抵接在所述中空通道内并且由所述纵向结构和所述嵌套管的壁限定。

[0054] 当根据方法步骤(d)执行过程,例如拉伸或塌缩时,将气体引入所述中空通道并且通过在所述压力腔中施加内部压力使所述嵌套管变形。其中,抵接于所述纵向结构处(更准确地:所述压力腔处)的嵌套管的壁部分变形并在所述嵌套管内表面处形成沿所述空芯方向向内突出的细长凸起,所述凸起用作反谐振元件。

[0055] 行之有效的一个方法变体是,所述反谐振元件预制棒各自具有至少一个反谐振元件和至少一个与所述反谐振元件结合的毛细管,其中所述毛细管容纳在所述纵向结构的凹槽中,并且在拉伸预制件和/或半成品的过程中,通过在所述毛细管内孔中施加内部压力使

所述毛细管变形。

[0056] 在此,所述毛细管一方面用于将所述反谐振元件预制棒固定到所述纵向结构处,为此所述纵向结构具有尺寸足以容纳毛细管的凹槽,另一方面,所述毛细管额外受到在拉伸过程中施加的压力,从而使得毛细管因其变形膨胀而将原本的预制棒反谐振元件定位到位。其中,变形的毛细管的壁可形成预制棒的附加反谐振元件。

[0057] 在一个优选的方法变体中,所述纵向结构具有围绕所述包层管壁的圆周分布的纵向开口,其中所述反谐振元件预制棒布置在纵向开口处。

[0058] 除了包层管的两个正面端部区域之外,所述纵向开口从内到外贯穿所述包层管壁。这些纵向开口具有平行的纵向边缘且具有最大开口宽度 S_B ,其中所述反谐振元件预制棒优选地与所述纵向边缘结合。

[0059] 其中,所述反谐振元件预制棒具有大于所述最大宽度 S_B 的宽度尺寸,因此它们不会完全陷入纵向开口中。

[0060] 为了保证更精确的几何结构,反谐振元件预制棒与相应的纵向边缘的结合通过软化并同时伴随所述结合的拉长而发生。因此拉伸由包层管和反谐振元件预制棒构成的整体。其中,所述反谐振元件预制棒在其整个长度上与所述包层管内部的切割边缘结合。

[0061] 在所述纵向边缘下方的区域形成空腔,气体可被引入到所述空腔中或气体可从所述空腔中被吸出。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所述空芯布置。

[0062] 在一个优选的方法变体中,布置反谐振元件预制棒和/或拉伸初级预制件和/或拉制成空芯光纤包括使用含 SiO_2 非晶颗粒的密封或结合材料的固定处理和/或密封处理。

[0063] 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 $300^{\circ}C$,这有助于保持预制件的尺寸精度并避免热损伤。加热到 $800^{\circ}C$ 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。

[0064] 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。

[0065] 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/或拉制成空芯光纤的过程中,封闭所述反谐振预制棒的开放端部和/或所述反谐振预制棒的各个结构元件和/或管件之间的任何环形间隙。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] 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 0.2 和 $2mm$ 的范围内的壁厚,优选地,具有在 0.25 和 $1mm$ 的范围内的壁厚,且其中提供具有在 90 和 $250mm$ 的范围内的外径的包层管,优

选地,具有在120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,重力支持结构元件纵轴线的平行度和垂直定向。关于反谐振空芯光纤预制件的制造,上文提出的技术问题通过本发明所述的上述类别的方法来解决:根据方法步骤(a)所述的提供所述包层管包括加工处理,其中,所述包层管壁通过在所述规定位置的区域的切削加工设有沿所述包层管纵轴线方向延伸的纵向结构。

[0067] 预制件是制造反谐振空芯光纤的起点。通过拉伸初级预制件,直接拉制成反谐振空芯光纤,或先通过再加工初级预制件制成另一种半成品,在此也称为“次级预制件”,然后由此拉制成反谐振空芯光纤。

[0068] 在任何情况下,预制件的制造都包括反谐振元件预制棒与包层管的嵌套和结合。通过预先使包层管结构化改善预制棒的定位精度。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。

[0069] 定义

[0070] 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。

[0071] 反谐振元件

[0072] 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。

[0073] 反谐振元件预制棒/反谐振元件前驱体

[0074] 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。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”。

[0075] 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”。

[0076] 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)。

[0077] 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。

[0078] 预制件/初级预制件/次级预制件/纤芯预制件(纤杆件)

[0079] 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:

[0080] (i) 拉伸,

[0081] (ii) 塌缩,

[0082] (iii) 塌缩和同时拉伸,

[0083] (iv) 塌缩附加包层材料,

[0084] (v) 塌缩附加包层材料和随后拉伸,

[0085] (vi) 塌缩附加包层材料和同时拉伸。

[0086] 在文献中,纤芯预制件(英语:纤杆件)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。

[0087] 拉伸/塌缩

[0088] 在拉伸过程中,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,在拉伸过程中,也可不按比例拉制初级预制件,并可改变其几何形状。

[0089] 在塌缩过程中,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。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 切削加工

[0093] 切削加工被理解为用于分离加工工件的分离机械制造过程,特别是车削、切削、钻削、锯切、铣削和磨削。通过这些加工创造沿包层管纵轴线方向延伸的纵向结构,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。

[0094] 粒度和粒度分布

[0095] 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

[0096] 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:

[0097] 图1至3 在几个实施方式中显示在制造空芯光纤预制件的方法中使用的包层管,所述包层管具有用于定位反谐振元件预制棒的纵向结构,

[0098] 图4和5 显示具有纵向结构的包层管以及基于接触点和接触面定位其中的反谐振元件预制棒,

[0099] 图6和7 显示具有纵向结构的包层管和定位其中的反谐振元件预制棒的其他实施方式,

[0100] 图8和9 显示具有纵向结构的包层管和定位其中的反谐振元件预制棒的一个实施方式,这些反谐振元件预制棒配置有用于可调节定位之目的毛细管,

[0101] 图10 显示使用开口包层管制造空芯光纤预制件的方法步骤,

[0102] 图11 通过放大图示出图10c的纵向结构和反谐振元件的截面,以及

[0103] 图12 利用反谐振元件的另一实施方式显示与图11对应的截面。

[0104] 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 392A1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。

[0105] 图1至图8各自示意性地显示包层管正面的俯视图。包层管1在包层管壁2的内表面处在每种情况下都具有纵向凹槽3。纵向凹槽3以六重对称的方式围绕相应的包层管1的内圆周均匀分布。包层管1由石英玻璃制成。这些包层管具有500mm的长度,73mm的外径,24mm的内径。

[0106] 图1显示深,窄且截面几乎为封闭的圆形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过钻削制成。最大深度为3mm,内径为4mm。

[0107] 图2显示浅,窄且截面为半圆形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过铣削制成。

[0108] 图3显示浅,窄且截面为碗形的纵向凹槽3,该纵向凹槽同样通过铣削制成。

[0109] 纵向凹槽3用作反谐振元件预制棒5的定位辅助。如图4和5所示,这些反谐振元件预制棒可作为由ARE外管5a和ARE内管5b构成的相互嵌套的元件的整体存在。

[0110] 图4示出深,窄且截面几乎为封闭的圆形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过钻削制成,且在该纵向凹槽处反谐振元件预制棒5各自抵接于两个边缘3a、3b处。ARE外管在每种情况下具有73mm的外径。ARE内管和ARE外管的壁厚大致相同,均为0.35mm。

[0111] 图5示出浅,窄且截面为碗形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过铣削制成,且在该纵向凹槽处反谐振元件预制棒5各自抵接于较大的接触面3c处。ARE外管在每种情况下具有73mm的外径。ARE内管和ARE外管的壁厚大致相同,均为0.35mm。

[0112] 图6示出深,窄且截面几乎为封闭的圆形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过钻削制成,且反谐振元件预制棒5容纳于该纵向凹槽。在这种情况下,反谐振元件预制棒5被设计成简单的毛细管。

[0113] 图7示出深,窄且截面几乎为封闭的圆形的纵向凹槽3,该纵向凹槽通过钻削制成,且反谐振元件预制棒5容纳于该纵向凹槽。在这种情况下,反谐振元件预制棒5被设计成简单的毛细管。在包层管内孔7中与包层管纵轴线同轴地放入嵌套管8。

[0114] 嵌套管8的外径与包层管1的内径相近(如图1)且嵌套管的壁厚与反谐振元件预制棒的壁厚相近。在光纤拉制过程之前,使包层管1塌缩到嵌套管8上,从而封闭纵向凹槽3。封闭的纵向凹槽形成空芯通道,随后使这些空芯通道(例如在拉伸预制件时)膨胀。由此,在嵌套管8处形成沿内孔7的方向向内突出的带凸面的凸起,用作附加的反谐振边界层。

[0115] 在(图中未示出的方法变体)中,通过钻削制成截面几乎为封闭的圆形的纵向凹槽。在包层管内孔中与包层管纵轴线同轴地放入嵌套管。嵌套管8的外径与包层管的内径相近(如图1)且嵌套管壁厚与反谐振元件预制棒的壁厚相近。在光纤拉制过程之前,使包层管塌缩到嵌套管上,从而封闭纵向凹槽。封闭的纵向凹槽形成空芯通道,随后使这些空芯通道(例如在拉伸预制件时)膨胀。由此,在嵌套管处形成沿内孔的方向向内突出的带凸面的凸起,用作反谐振元件。

[0116] 在图8显示的方法变体中,反谐振元件预制棒5配置有反谐振元件以及额外配置有定位毛细管9。定位毛细管9被各自放入纵向凹槽3中,这些纵向凹槽具有几乎封闭的圆形的截面,通过钻削制成。定位毛细管9形成空芯通道,当整体软化时,例如当拉伸预制件时,可使这些空芯通道膨胀,从而可将固定在此处的反谐振元件推进至中心(纤芯区域)。其中,可简单地经由空芯通道(定位毛细管9)中的内部压力调节和控制位移的程度。因而,除了方位角位置的精确调节之外,还可调节反谐振元件的径向位置并以此调节反谐振空芯光纤的纤芯直径。

[0117] 图9显示反谐振元件预制棒5的两个不同的实施方式,这两个实施方式各自配置有定位毛细管9。图10至12示意性地显示制造空芯光纤的方法步骤,其中使用具有纵向开口3的石英玻璃包层管1来精确定位反谐振元件预制棒。如图10(a)所示,例如借助机械锯、水射流切割、激光等在预先限定的方位角位置处以均匀距离纵向切割包层管1的壁。纵向切口3的数目对应于要定位的反谐振元件预制棒5的数目;在本实施例中,有六个预制棒5。纵向切口3终止于包层管正面端部之前,从而使得正面端部区域12继续保持四周封闭并连接其余的连皮14。然后将切割边缘玻璃化。纵向开口3的切割宽度一致,均为2mm。反谐振元件预制棒5具有直径为7.4mm的基本上为圆形的外截面。

[0118] 从沿图10(b)的切线A-A的中间管10截面的俯视图中可看出,六个纵向开口3均匀分布在管壁2周围,并显示反谐振元件预制棒5,这些反谐振元件预制棒在纵向切口3处各自抵接于两条接触线,切割边缘3a;3b,且伸入包层管内孔16中。为了固定,将反谐振元件预制棒5的两个端部例如粘接到包层管1的内表面或与其熔合。可替代性且优选地,借助上述含 SiO_2 的密封和结合材料将反谐振元件预制棒与包层管内包络面结合。为此,局部固定就足够了,特别是在两个正面端部区域中。

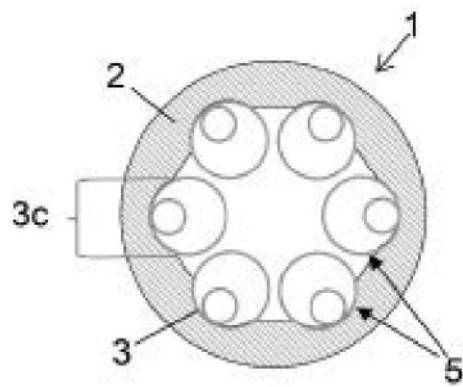
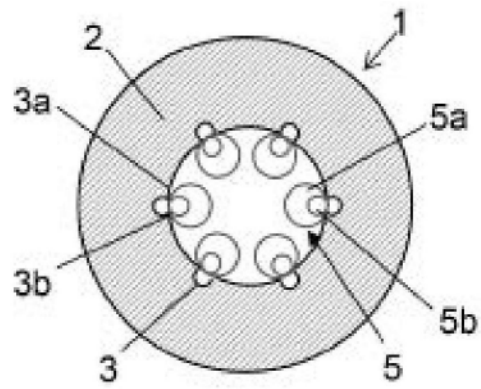
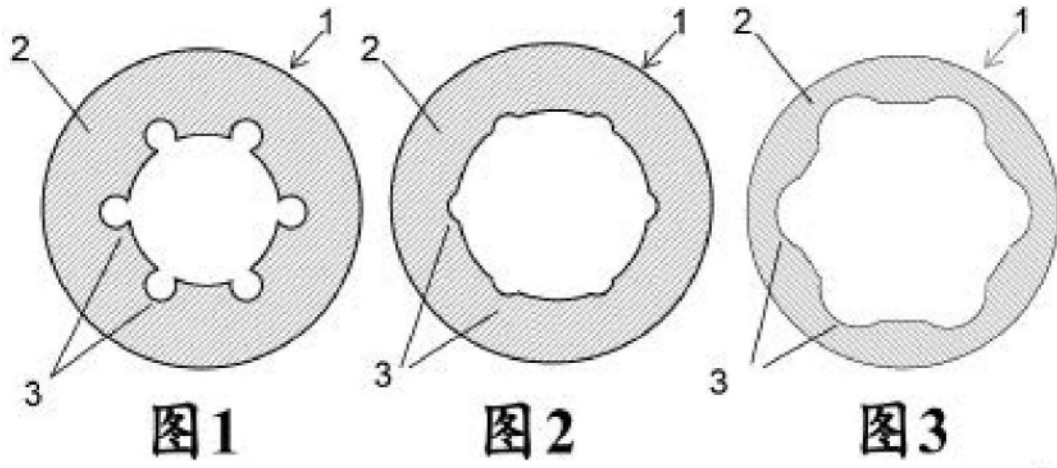
[0119] 通过随后拉长该整体,反谐振元件预制棒5在其整个长度上与包层管1内部的切割边缘3a;3b结合。通过在包层管1的内孔中施加超压,可检查切口3是否被反谐振元件预制棒

5完全封闭。因而,纵向开口3用作精确定位辅助,可将每个反谐振元件预制棒5精确地定位和固定在此处。在图10(c)中示出,随后用包覆管15包覆由包层管1和定位其中的反谐振元件预制棒构成的整体17,以添加附加的包层材料并调节次级预制件18中的为空芯光纤预定的纤芯-包层直径比。在以此方式获得的次级预制件18中,在包覆管15和整体17之间留有环形间隙19。

[0120] 当拉伸预制件18以形成空芯光纤时,可经由中空通道中的环形间隙19引入或从中吸出气体,这些中空通道是事先在包覆管15和熔融的反谐振元件预制棒5之间的切口3中形成的,以便在中空通道中产生超压或负压。

[0121] 如图11粗略绘制的那样,如有必要或需要,可因此改变和校正反谐振元件5在包层管内孔16中的径向位置。其中,草图(a)示出处在起始位置的具有ARE外管5a和嵌套内元件(ARE内管5b)的反谐振元件预制棒5。草图(b)示出受压力 and 高温的作用而变形并在某些区域内向内弯卷的ARE外管壁,其具有固定于弯卷上的ARE内管5b,与起始位置相比,其处在改变后的径向位置。以此方式,也可以实现光纤设计,与经典的“堆叠-拉伸技术”不同,它也具有非六边形对称性,特别是非整数对称性。

[0122] 通过在空芯通道中施加压力,还可将反谐振元件预制棒5的壁部分向反谐振元件预制棒的内部“折叠”。图12(a)显示处在起始位置的具有简单的ARE外管5a(无附加嵌套ARE内管)的反谐振元件预制棒5。两条接触线之间的壁部分在高温和压力的作用下向内膨胀。如图12b显示的那样,如此在ARE外管5a内产生具有负(凸)曲面的一个别的玻璃膜5c,该别的玻璃膜可替代嵌套的内部元件,例如ARE内管5b(在技术文献中也称为“嵌套元件”)。



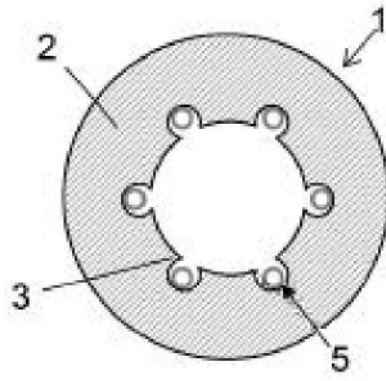


图6

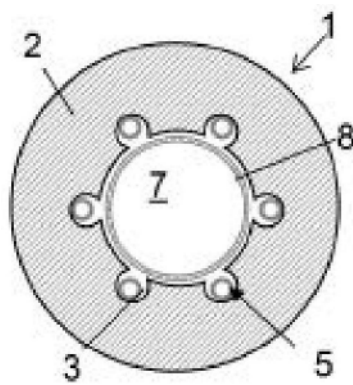


图7

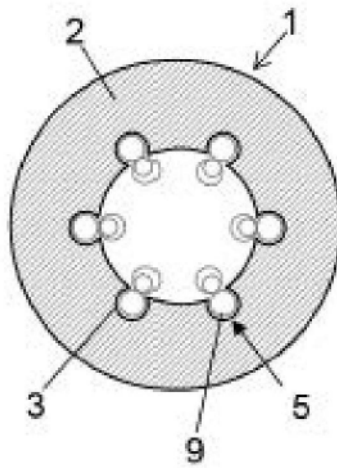


图8

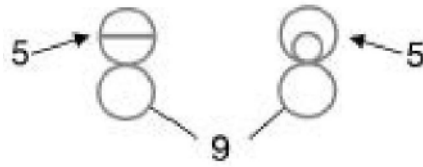


图9

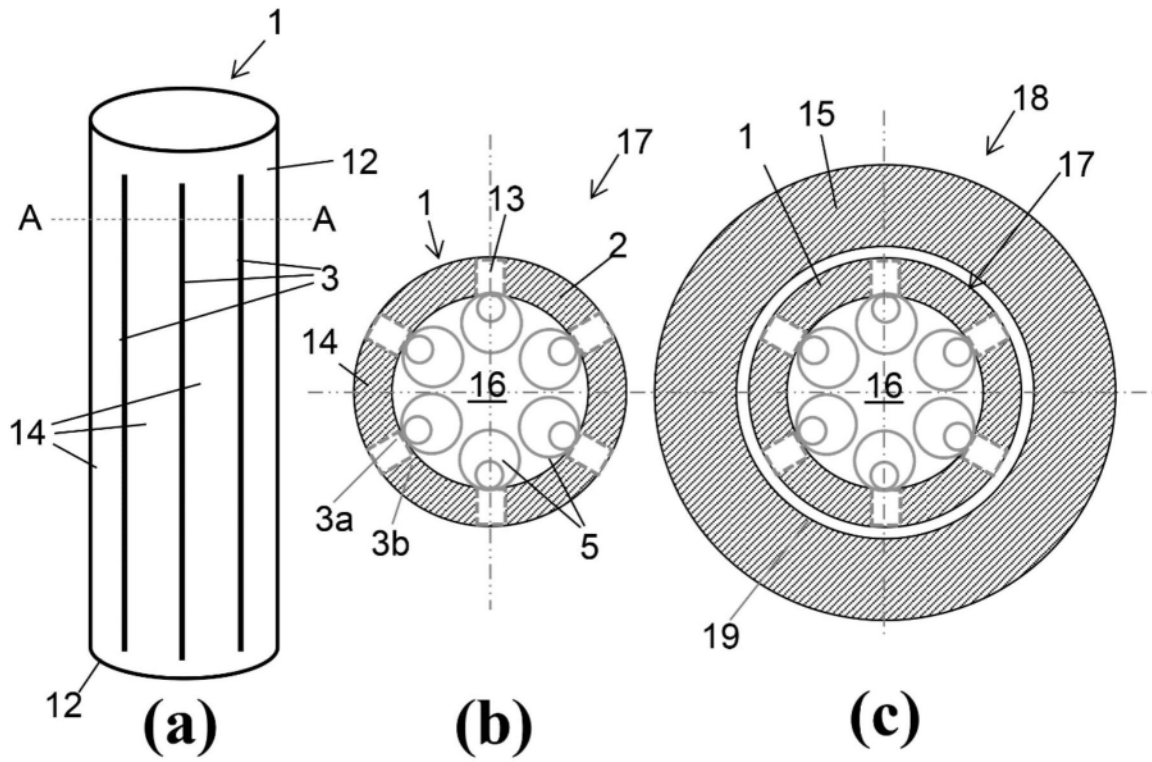


图10

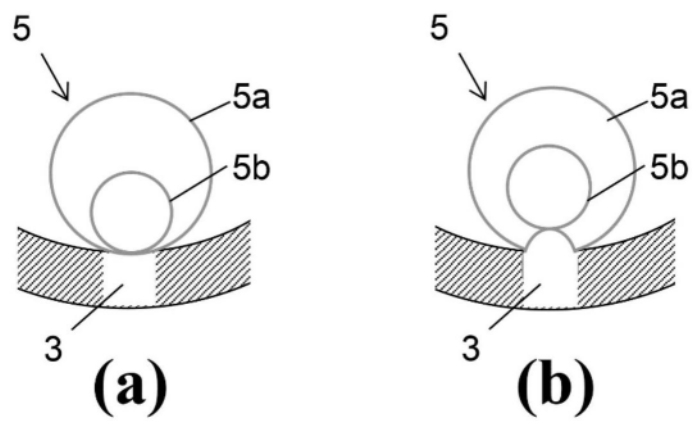


图11

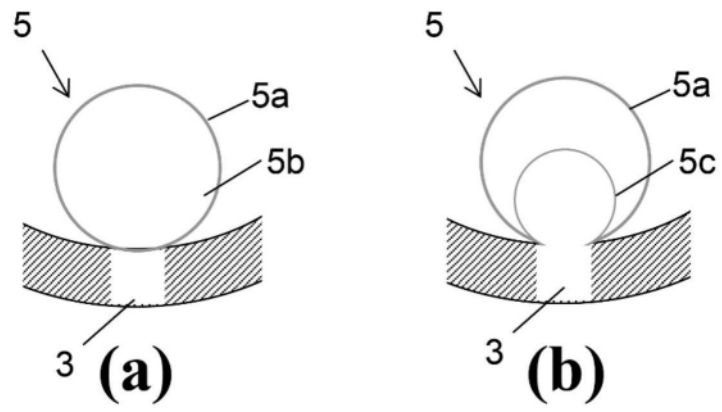


图12