

一种一体式空芯光纤预制棒、光纤及其制备方法

技术领域

本发明属于光纤通信技术领域，更具体地，涉及一种一体式空芯光纤预制棒及光纤的制备方法，可以用于制备空芯微结构光纤。

背景技术

空芯微结构光纤具有结构简单、空芯单模导光、传输谱宽的特点，在光与填充物质相互作用、非线性光学、气体检测、气体激光产生、光流体技术等领域都具有重要的应用；大空气孔纤芯导光具有超低的瑞利散射、低非线性系数、色散可调特性，可以提供更高的激光损伤阈值，使其在高功率激光传输、紫外/中红外光传输、脉冲压缩和光孤子传输等方面有潜在的应用；空气芯的超低损耗、低色散、低非线性、接近光速的传播速度，可实现空芯光纤通信传输及通信器件的开发，为下一代超大容量、低延迟、高速光通信系统的建设发展奠定基础。

即使空芯光纤在设计和应用方面有很大优势，然而其传输损耗一直高于传统的石英光纤，近年发现基于反谐振原理的空芯光纤在合理的结构设计之下，能有效减小传输损耗，具有作为超长距离通信光纤的潜力。进一步降低衰减，是空芯微结构光纤制造领域的一个重要课题。

虽然已知的反谐振空芯光纤，特别是具有嵌套结构元件的光纤，能够显著降低光纤的衰减，但是由于其内部几何形状较为复杂，且几何上的微小偏差都可能导致反谐振条件发生变化，使得精确且可重复地生产它们变得困难。同时，更薄壁厚的反谐振层有助于实现更低的损耗以及更宽的带宽，因此制备更薄壁厚的反谐振层也是急需解决的问题。

发明内容

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明提供了一种空芯微结构光纤预制棒、光纤及其制备方法，其目的在于提供一种更高精度定位的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。

为实现上述目的，本发明采用技术方案如下：

一种一体式空芯光纤预制棒，包括套管，所述套管的管壁内开设有若干周向分布的轴向孔，轴向孔内壁与套管的内壁之间最小距离 t_1 位于靠套管中心一侧，且 t_1 与轴向孔直径的比值 ≤ 0.35 。

进一步地，所述轴向孔沿同一环线均匀分布，其数量 ≥ 4 。

进一步地，所述套管的内径与外径之比为 $0.2 \sim 0.8$ 。

进一步地，所述轴向孔内插入毛细管，形成嵌套结构的光纤预制棒。

进一步地，所述轴向孔内插入石英片，形成连接片结构的光纤预制棒，石英片与套管的径向线垂直设置。

一种空芯微结构光纤的制备方法，包括以下步骤：

步骤 1、选择一根套管，从套管端部开始钻孔，制备上述一体式空芯光纤预制棒；

步骤 2、将步骤 1 得到的一体式空芯光纤预制棒高温拉丝，拉丝过程中，在所述轴向孔内通入气体，使得轴向孔气压高于套管中心孔内的气压，由于轴向孔和套管中心孔压差以及表面张力的作用，拉丝后轴向孔向套管中心孔方向凸出，形成负曲率的反谐振环，所有反谐振环一起构成环形的反谐振层，反谐振层围成的区域构成空心的纤芯，从而形成具有负曲率反谐振环的空芯微结构光纤。

进一步地，步骤 1 中，钻孔后通入酸液腐蚀轴向孔，使得轴向孔内壁与套管的内壁之间最小距离 t_1 与轴向孔直径的比值 ≤ 0.1 。

优选的，所述酸液为氢氟酸。

进一步地，步骤 1 中，当轴向孔内嵌有毛细管时，毛细管内也通入气体，并控制毛细管内、轴向孔和套管中心孔气压依次梯度降低。

进一步地，步骤 1 中，通入所述轴向孔或者毛细管内的气体为压缩空气、氮气、氦气、氩气中的任意一种或几种。

进一步地，步骤 2 中，所述反谐振层和拉丝后套管构成包层，所述包层的外径 100~300 μm ，所述纤芯的直径为 10~50 μm 。

进一步地，步骤 2 中，反谐振环的最小壁厚 $\leq 2\mu\text{m}$ ，更优选的 $\leq 1\mu\text{m}$ 。

采用本发明方法制备的空芯微结构光纤具备较低的传输损耗，其最低的传输损耗 $\leq 30\text{dB/km}$ ，更优的 $\leq 1\text{dB/km}$ 。

与现有技术相比，本发明通过以上技术方案，能够取得下列有益效果。

1、本发明提供的空芯微结构光纤预制棒，与传统的“堆棒-拉丝”法不同，采用钻孔法得到初始预制棒，再通过拉丝过程中往孔中进行增压控制来实现反谐振环结构的光纤，此方法的有益效果之一是可以机械钻孔，从而实现对反谐振单元的精确定位，且保证了轴向的均匀性，拉丝过程中避免了反谐振单元的方位角偏移；

2、本发明没有引入其他的材料对反谐振单元进行定位，从而减少杂质的污染，提高了光纤的衰减和强度性能；

3、本发明在拉丝过程中通过气压控制使得反谐振单元进行膨胀，从而进一步降低了反谐振单元的壁厚，降低了光纤的衰减。

附图说明

图 1 是本发明实施例 1 提供具有空芯微结构的光纤预制棒的结构示意图；
图 2 是本发明实施例 1 提供的空芯微结构光纤结构示意图；
图 3 是本发明实施例 2 提供具有空芯微结构的光纤预制棒的结构示意图；
图 4 是本发明实施例 2 提供的空芯微结构光纤结构示意图；
图 5 是本发明实施例 3 提供的嵌套结构的光纤预制棒的结构示意图；
图 6 是本发明实施例 3 提供的空芯微结构光纤结构示意图；
图 7 是本发明实施例 4 提供的连接片结构的光纤预制棒的结构示意图；
图 8 是本发明实施例 4 提供的空芯微结构光纤结构示意图。

1-光纤预制棒，2-套管，3-轴向孔，4-空芯微结构光纤，5-光纤包层，6-反谐振环，7-光纤空芯纤芯，10-毛细管，11-第一层反谐振环，12-第二层反谐振环，13-石英片，14-反谐振环，15-反谐振片，16-轴向孔，17-套管内壁，18-大圆孔。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明提供了一种空芯微结构光纤制备方法，包括以下步骤：

步骤 1、选择一根套管，从套管端部开始钻孔，制备一体式空芯光纤预制棒；

一体式空芯光纤预制棒，包括套管，所述套管的管壁内开设有若干周向分布的轴向孔，轴向孔内壁与套管的内壁之间最小距离 t_1 位于靠套管中心一侧，且 t_1 与轴向孔直径的比值 ≤ 0.35 。

步骤 2、将步骤 1 得到的一体式空芯光纤预制棒高温拉丝，拉丝过程中，在所述轴向孔内通入气体，使得轴向孔气压高于套管中心孔内的气压，由于轴向孔和套管中心孔压差以及表面张力的作用，拉丝后轴向孔向套管中心孔方向凸出，形成负曲率的反谐振环，所有反谐振环一起构成环形的反谐振层，反谐振层围成的区域构成空心的纤芯，从而形成具有负曲率反谐振环的空芯微结构光纤。

实施例 1

光纤预制棒的制备：

如图 1 所示，先选择一根套管 2，套管材料为纯二氧化硅，套管的内径 d_0 为 30mm，外

径 D_0 为 50mm，长度为 1000mm。采用钻孔法，在套管上钻 5 个轴向孔 3，轴向孔为等方位角排列（方位角为 72° ），轴向孔 3 的直径 d_1 为 6.5mm，轴向孔 3 的内壁与套管内壁 17 之间的最小距离 t_1 与轴向孔的直径 d_1 的比值为 0.08，即完成了具有空芯微结构的光纤预制棒 1 的制备。

空芯微结构光纤的制备：

将具有空芯微结构的光纤预制棒 1 放入高温拉丝炉中进行拉丝，炉温为 1710°C ，预制棒中间的空芯部分保持与大气压力相等的压力值，在 5 个轴向孔中通入等压的气体，压力为 2.9KPa。由于轴向孔内外压力差导致轴向孔在拉丝后膨胀，从而形成反谐振环 6，最后形成如图 3 所示的空芯微结构光纤 4。光纤包层 5 的外径为 124.7 μm ，光纤空芯纤芯 7 直径为 27.4 μm ，反谐振环的最薄壁厚为 637nm。此光纤在 1550nm 处的衰减为 12.7dB/km。

实施例 2

光纤预制棒的制备：

如图 3 所示，先选择一根套管，套管材料为纯二氧化硅，套管的内径为 40mm，外径为 80mm，长度为 900mm。采用钻孔法，在套管上钻 6 个轴向孔 3，轴向孔 3 为等方位角排列（方位角为 60° ），轴向孔 3 的直径为 8.2mm，轴向孔 3 内壁与套管内壁 17 之间的最小距离 8 与轴向孔 3 的直径的比值为 0.21。将钻孔后的套管放入酸液中腐蚀，腐蚀后的轴向孔 16 的内壁与套管内壁 17 之间的最小距离 9 与轴向孔 16 的直径的比值为 0.06，即完成了具有空芯微结构的光纤预制棒 1 的制备。

空芯微结构光纤的制备：

将具有空芯微结构的光纤预制棒 1 放入高温拉丝炉中进行拉丝，炉温为 1760°C ，预制棒中间的空芯部分通入气体保持气压在 0.56Kpa 附近，在 6 个轴向孔 16 中通入等压的气体，压力为 1.9KPa。由于轴向孔 16 内外压力差导致轴向孔在拉丝后膨胀，从而形成反谐振环 6，最后形成如图 4 所示的空芯微结构光纤 4。光纤包层 5 的外径为 243 μm ，光纤空芯纤芯 7 的直径为 42.7 μm ，反谐振环 6 的最薄壁厚为 336nm。此光纤在 1550nm 处的衰减为 1.45dB/km。

实施例 3

光纤预制棒的制备：

如图 5 所示，先选择一根套管 2，套管材料为纯二氧化硅，套管 2 内径为 13mm，外径为 28mm，长度为 700mm。采用钻孔法，在套管上钻 6 个轴向孔 3，轴向孔 3 为等方位角排列（方位角为 60° ），轴向孔的直径为 2.4mm，轴向孔内壁与套管内壁 17 之间的最小距离与轴向孔的直径的比值为 0.13。将钻孔后的套管放入酸液中腐蚀，腐蚀后的轴向孔 3 内壁与套管

内壁 17 之间的最小距离与轴向孔的直径的比值为 0.06。然后在轴向孔中插入外径为 1.1mm 壁厚 0.12mm 的毛细管 10，即完成了嵌套结构的光纤预制棒 1 的制备。

空芯微结构光纤的制备：

将嵌套结构的光纤预制棒 1 放入高温拉丝炉中进行拉丝，炉温为 1770℃，预制棒中间的空芯部分保持与大气压力相等的压力值，在 6 个轴向孔 3 中通入等压的气体，压力为 3.7KPa，在 6 个嵌套毛细管中通入等压的气体，压力为 4.6KPa。由于轴向孔内外压力差以及嵌套毛细管内外压力差，从而形成了嵌套结构的反谐振环，最后形成如图 6 所示的嵌套结构空芯微结构光纤 4。光纤包层 5 外径为 153um，光纤空芯纤芯直径为 33.2um，第一层反谐振环 11 的最薄壁厚为 217nm，第二层反谐振环 12 的最薄壁厚为 265nm。此光纤在 1550nm 处的衰减为 0.78dB/km。

实施例 4

光纤预制棒的制备：

如图 7 所示，先选择一根实芯棒，材料为纯二氧化硅，实芯棒外径为 63mm，长度为 1000mm。采用钻孔法，在实芯棒上钻 6 个小圆孔作为轴向孔 3，轴向孔 3 为等方位角排列（方位角为 60°），轴向孔的直径为 7.4mm，再在实芯棒中心钻一个大圆孔 18 作为套管中心孔，轴向孔 3 内壁与套管中心孔（大圆孔 18）内壁之间的最小距离与轴向孔直径的比值为 0.16。将钻孔后的套管放入酸液中腐蚀，腐蚀后的轴向孔内壁与套管中心孔的内壁之间的最小距离与轴向孔的直径的比值为 0.07。然后在轴向孔中插入壁厚 0.19mm 的石英片 13，石英片 13 的中垂线通过实芯棒的圆心，即完成了连接片结构的光纤预制棒 1 的制备。

空芯微结构光纤的制备：

将具有连接片结构的光纤预制棒 1 放入高温拉丝炉中进行拉丝，炉温为 1735℃，预制棒中间的空芯部分保持与大气压力相等的压力值，在 6 个轴向孔中通入等压的气体，压力为 2.6KPa。由于轴向孔内外压力差导致轴向孔在拉丝后膨胀，从而形成反谐振环 14，且插入轴向孔 3 的石英片 13 形成反谐振片 15，所有反谐振片 15 共同组成第二反谐振层，最后形成如图 8 所示的空芯微结构光纤 4。光纤包层 5 外径为 201um，光纤空芯纤芯 7 直径为 53.2um，反谐振环 14 的最薄壁厚为 616nm，反谐振片 15 的最薄壁厚为 543nm。此光纤在 1550nm 处的衰减为 1.54dB/km。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种一体式空芯光纤预制棒，其特征在于，包括套管，所述套管的管壁内开设有若干周向分布的轴向孔，轴向孔内壁与套管的内壁之间最小距离 t_1 位于靠套管中心一侧，且 t_1 与轴向孔直径的比值 ≤ 0.35 。

2. 根据权利要求 1 所述的一体式空芯光纤预制棒，其特征在于：所述轴向孔沿同一环线均匀分布，其数量 ≥ 4 。

3. 根据权利要求 1 所述的一体式空芯光纤预制棒，其特征在于：所述套管的内径与外径之比为 0.2~0.8。

4. 根据权利要求 1 所述的一体式空芯光纤预制棒，其特征在于：所述轴向孔内插入毛细管，形成嵌套结构的光纤预制棒。

5. 根据权利要求 1 所述的一体式空芯光纤预制棒，其特征在于：所述轴向孔内插入石英片，形成连接片结构的光纤预制棒。

6. 一种空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1、选择一根套管，从套管端部钻孔，制备权利要求 1-5 任意一项所述的一体式空芯光纤预制棒；

步骤 2、将步骤 1 得到的一体式空芯光纤预制棒高温拉丝，拉丝过程中，在所述轴向孔内通入气体，使得轴向孔气压高于套管中心孔内的气压，由于轴向孔和套管中心孔压差以及表面张力的作用，拉丝后轴向孔向套管中心孔方向凸出，形成负曲率的反谐振环，所有反谐振环一起构成环形的反谐振层，反谐振层围成的区域构成空心的纤芯，从而形成具有负曲率反谐振环的空芯微结构光纤。

7. 根据权利要求 6 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 1 中，钻孔后通入酸液腐蚀轴向孔，使得轴向孔内壁与套管的内壁之间最小距离 t_1 与轴向孔直径的比值 ≤ 0.1 。

8. 根据权利要求 7 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 1 中，所述酸液为氢氟酸。

9. 根据权利要求 6 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 1 中，当轴向孔内嵌有毛细管时，毛细管内也通入气体，并控制毛细管内、轴向孔和套管中心孔气压梯度降低。

10. 根据权利要求 9 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 1 中，通入所述轴向孔或者毛细管内的气体为压缩空气、氮气、氦气、氩气中的任意一种或几种。

11. 根据权利要求 6 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 2 中，所述反谐振层和拉丝后套管构成包层，所述包层的外径 100~300um，所述纤芯的直径为 10~50um。

12. 根据权利要求 6 所述空芯微结构光纤的制备方法，其特征在于：步骤 2 中，反谐振环的最小壁厚 $\leq 2\mu\text{m}$ 。

13. 一种空芯微结构光纤，其特征在于，采用权利要求 6-12 任意一项所述制备方法所制备。