(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118434693 A
(43)申请公布日 2024.08.02

(21)申请号 202380015276.4
(22)申请日 2023.01.10
(30)优先权数据
63/299,471 2022.01.14 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.06.18
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2023/060382 2023.01.10
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/137269 EN 2023.07.20
(71)申请人 贺利氏石英北美有限责任公司
地址 美国乔治亚州
(72)发明人 马秋林 章凯慧
(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205
专利代理师 王欢 臧建明
(51)Int.Cl.
C03B 37/012(2006.01)

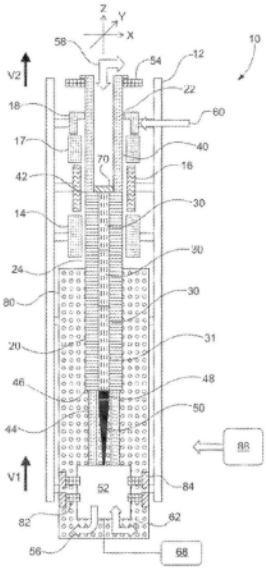
权利要求书2页 说明书22页 附图31页

(54)发明名称

多芯光纤预成型件几何畸变的减少

(57)摘要

一种用于制造MCF预成型件的方法,该MCF预成型件具有定位在芯孔中的芯棒和覆盖这些芯棒中的每个芯棒的公共包层。提供具有至少约200mm的外径的圆筒,该圆筒将形成该包层并且可具有中心芯孔。在该圆筒中创建周边芯孔。将多个芯棒中的每个芯棒插入到相应周边芯孔中。加热插入有这些芯棒的该圆筒,由此使该圆筒塌缩到这些芯棒上并且形成该预成型件。这些周边芯棒和这些周边孔之间的间隙在创建该多个周边芯孔的步骤期间维持在约0.2mm至4mm的范围内,平均径向温度梯度在加热该圆筒的步骤期间维持在约0.5°K/mm至4°K/mm之间,或两者。



CN 118434693 A

1.一种用于制造多芯光纤预成型件的方法,所述多芯光纤预成型件具有:中心纵向轴线;多个芯棒,每个芯棒定位在相应芯孔中并且沿所述纵向轴线延伸;和公共包层,所述公共包层覆盖所述多个芯棒中的每个芯棒,所述方法包括以下步骤:

提供将形成所述预成型件的所述包层的圆筒,所述圆筒任选地具有中心芯孔;

在所述圆筒中创建沿所述纵向轴线延伸的多个周边芯孔;

将多个芯棒中的每个芯棒插入到所述圆筒的相应周边芯孔中;以及

通过使所述圆筒和所述芯棒暴露于加热元件来加热所述相应芯孔中插入有所述多个芯棒的所述圆筒,由此使所述圆筒塌缩到所述多个芯棒上并且形成所述预成型件,

其中所述周边芯棒和周边孔之间的间隙(g)在创建所述多个周边芯孔的步骤期间维持在约0.2mm至4mm的范围内,并且平均径向温度梯度在加热所述圆筒的步骤期间在所述芯棒和所述圆筒之间的塌缩开始的平面处维持在约0.5°K/mm至4°K/mm之间。

2.根据权利要求1所述的方法,其中所述圆筒具有至少约200mm的外径。

3.根据权利要求2所述的方法,其中所述圆筒具有范围从约200mm至250mm的外径。

4.根据权利要求1所述的方法,其中所述间隙(g)在创建所述多个周边芯孔的步骤期间维持在约0.3mm至1mm的范围内。

5.根据权利要求1所述的方法,其中所述平均径向温度梯度在加热所述圆筒的步骤期间在所述芯棒和所述圆筒之间的塌缩开始的所述平面处维持在约1°K/mm至2°K/mm之间。

6.根据权利要求1所述的方法,其中创建所述多个周边芯孔的步骤包括钻取所述多个周边芯孔。

7.根据权利要求1所述的方法,其中加热所述圆筒的步骤包括在使所述圆筒塌缩到所述芯棒上时,同时拉伸所述圆筒和所述芯棒。

8.根据权利要求1所述的方法,其中加热所述圆筒的步骤包括使所述加热元件维持在低于约2,500°K的温度下。

9.根据权利要求1所述的方法,其中所述圆筒具有中心芯孔、所述中心孔和所述周边孔之间的厚度(t1)、以及所述周边孔和所述包层的外径之间的厚度(t2),并且所述圆筒满足以下关系:$0.7*t2<t1<=t2$。

10.根据权利要求1所述的方法,其中加热所述圆筒的步骤作为其中所述圆筒塌缩到所述芯孔中的所述芯棒上的向上拉制方法的一部分来执行,所述向上拉制方法包括:

从下方支撑所述圆筒和所述芯棒两者,使得所述圆筒和所述芯棒的重量从下方被完全支撑,并且当所述圆筒塌缩到所述芯棒上时,所述芯棒不相对于所述圆筒纵向移动;以及

使所述圆筒和所述芯棒相对于所述加热元件向上移动,使得在所述圆筒和所述芯棒向上移动时,所述圆筒连续地塌缩到所述芯棒上,

其中由于重力引起的所述圆筒和所述芯棒沿所述纵向轴线的差流被最小化。

11.根据权利要求10所述的方法,其中所述向上拉制方法包括在使所述圆筒塌缩到所述芯棒上时,同时拉伸所述圆筒和所述芯棒。

12.一种由根据权利要求1所述的方法制造的预成型件制成的多芯光纤。

13.一种由根据权利要求10所述的方法制造的预成型件制成的多芯光纤。

14.一种用于制造多芯光纤预成型件的方法,所述多芯光纤预成型件具有:中心纵向轴线;多个芯棒,每个芯棒定位在相应芯孔中并且沿所述纵向轴线延伸;和公共包层,所述公

共包层覆盖所述多个芯棒中的每个芯棒,所述方法包括以下步骤:

提供将形成所述预成型件的所述包层的圆筒,所述圆筒任选地具有中心芯孔;

在所述圆筒中创建沿所述纵向轴线延伸的多个周边芯孔;

将多个芯棒中的每个芯棒插入到所述圆筒的相应周边芯孔中;以及

通过使所述圆筒和所述芯棒暴露于加热元件来加热所述相应芯孔中插入有所述多个芯棒的所述圆筒,由此使所述圆筒塌缩到所述多个芯棒上并且形成所述预成型件,

其中所述周边芯棒和所述周边孔之间的间隙(g)在创建所述多个周边芯孔的步骤期间维持在约0.2mm至4mm的范围内。

15.一种用于制造多芯光纤预成型件的方法,所述多芯光纤预成型件具有:中心纵向轴线;多个芯棒,每个芯棒定位在相应芯孔中并且沿所述纵向轴线延伸;和公共包层,所述公共包层覆盖所述多个芯棒中的每个芯棒,所述方法包括以下步骤:

提供将形成所述预成型件的所述包层的圆筒,所述圆筒任选地具有中心芯孔;

在所述圆筒中创建沿所述纵向轴线延伸的多个周边芯孔;

将多个芯棒中的每个芯棒插入到所述圆筒的相应周边芯孔中;以及

通过使所述圆筒和所述芯棒暴露于加热元件来加热所述相应芯孔中插入有所述多个芯棒的所述圆筒,由此使所述圆筒塌缩到所述多个芯棒上并且形成所述预成型件,其中平均径向温度梯度在所述芯棒和所述圆筒之间的塌缩开始的平面处维持在约0.5°K/mm至4°K/mm之间。

多芯光纤预成型件几何畸变的减少

技术领域

[0001] 本公开整体涉及光纤技术领域,并且具体地涉及用于多芯光纤(MCF)的预成型件。这些光纤通过空分复用实现电信光缆中增加的比特率容量。

背景技术

[0002] 如本申请的受让人Heraeus Quarzglas GmbH&Co.KG提交的名称为“Upward Collapse Process and Apparatus for Making Glass Preforms”的美国专利申请公布2018/0145752号(以及相关的EP 3323791)和名称为“Automated Large Outside Diameter Preform Tipping Process and Resulting Glass Preforms”的美国专利申请公布2020/0223737号所公开,涉及光纤的设计和应用的应用科学和工程领域称为光纤光学。光纤是通过将玻璃(二氧化硅)拉制至比人类毛发的直径略厚的直径而制成的柔性透明纤维。光纤最常用于在纤维的两个端部之间传输光,并且在光纤光学通信中广泛使用,其中与金属电缆相比,它们准许在较长距离上并且以较高的带宽(数据速率)进行传输。使用光纤而不是金属线,因为信号以高容量以及减小的损失沿光纤行进。此外,光纤也不受电磁干扰的影响,而电磁干扰是困扰金属线的问题。光纤还用于照明,并且包裹成束,使得它们可用于承载图像,从而允许在有限空间中查看,如纤维镜的情况。专门设计的光纤还用于多种其他应用,诸如光纤光学传感器和光纤激光器。

[0003] 光纤通常包括由具有较低折射率的透明包层材料包围的透明纤芯。通过致使光纤充当波导的全内反射现象将光保持在纤芯中。支持许多传播路径或横向模式的光纤称为多模光纤;支持单模的那些光纤称为单模光纤。通常通过在加热炉内部加热预制的预成型件并且将预成型件拉制成光纤来制造光纤。一个预成型件可产生大约7,000km至8,000km的光纤。

[0004] 如今,必须满足严格的光纤截止波长规格,并且不容许为实现那些规格而造成产率损失。截止波长可被定义为低于单模光纤将充当多模光纤时的波长。或者,换句话讲,截止波长可被定义为高于在单模光纤中确保单模操作时的波长。许多网络规划人员现认识到,电缆截止波长是在制备光纤电缆规格时要定义的最重要参数之一。

[0005] 多芯光纤(MCF)传输技术作为最简单形式的空间复用(SM)或空分复用(SDM)以及作为对带宽的日益增长的需求的回应已得到广泛研究。在光纤光学通信系统中,SDM是指使用光纤的横向尺寸来分离通道。MCF技术在单个包层内包含多个纤芯。MCF的每个纤芯可容纳单个模式或多个模式,这取决于所使用的SDM的方法。通常,MCF具有四至八个纤芯,但其他数量的纤芯是可能的。如果纤芯相距相对很远,则它们各自的模式重叠可忽略不计,并且多芯光纤表现为一束单模光纤。然而,如果纤芯紧密地间隔,则模式重叠是不可忽略的。

[0006] 日本公司在开发MCF技术方面已特别活跃。例如,Furukawa ElectricCo.Ltd.提交了名称为“Method of Manufacturing Multicore Fiber Preform and Method of Manufacturing Multicore Fiber”的申请JP20160191693号(发布为专利JP6560178号)。该专利的制造多芯光纤预成型件的方法包括:制备包层预成型件,该包层预成型件具有在玻

璃预成型件中的柱状玻璃预成型件的较长方向上延伸的多个通孔;将圆柱形构件与包层预成型件同轴地连接到包层预成型件的一个端部部分;以及将纤芯预成型件分别插入到包层预成型件的多个通孔中。圆柱形构件的内径小于在包层预成型件中形成的多个通孔之中的定位在最外圆周侧的通孔的外接圆的直径,并且在制备过程中,包层预成型件具有连通结构,该连通结构被形成为允许圆柱形构件的内部与多个通孔之中的在顶面视图中与圆柱形构件的至少一部分重叠的通孔连通。

[0007] Sumitomo Electric Industries,Ltd.获得了名称为“Preform Manufacturing Method”的美国专利9,604,868号(其要求申请JP20130030890号的优选权)。该制造方法具有:在玻璃坯体中形成多个孔以生产玻璃管的孔形成步骤;以及在包括纤芯部分的芯棒插入到相应孔中的情况下加热玻璃管,由此实现芯棒和玻璃管的整合的加热整合步骤。在孔形成步骤中,要在玻璃坯体中形成的孔之外的周边孔形成在考虑整合之前和之后纤芯部分的位置变化来确定的位置处。更具体地,所估计的是当利用多孔玻璃管/圆筒塌缩多个芯棒时周边纤芯相对于MCF预成型件的中心偏移。提议周边孔的半径R和周边纤芯棒的半径r之间的间隙的下限为0.15mm。要求保护的是位于在连接周边纤芯部分的中心位置和玻璃坯体的中心轴线的直线上满足一定关系的位置处的周边孔。

[0008] Sumitomo Electric Industries,Ltd.还获得了名称为“Method for Producing Multicore Optical Fiber and Multicore Optical Fiber”的美国专利10,520,668号(其要求申请JP2018061331号的优先权)。该专利描述了一种制作横截面非圆形形状的MCF的方法,其中使用了由于包层中的孔和间隙而引起的预成型件横截面积(CSA)变形。具体地,该专利公开了在与多个芯棒插入孔的位置不同的位置处创建凹面部分形成孔以形成公共包层管件。因此,通过将公共包层管件与芯棒整合并且使凹面部分形成孔塌缩,形成具有非圆形横截面形状并且包括多个纤芯和公共包层的纤芯-包层复合体。

[0009] 通过凹面形成孔的塌缩引起的从圆形形状的MCF预成型件CSA变形用于帮助制作具有非圆形CSA的MCF预成型件。该专利公开并非意图防止或减少预成型件包层非圆度或纤芯椭圆度;相反,目标是使用预成型件CSA的有意创建的非圆度。目标是创建非圆形横截面形状的MCF,以便于在MCF连接期间更容易地旋转对准。该公开未解决对MCF光纤性能的不利影响,诸如由预成型件包层非圆度或纤芯椭圆度几何畸变造成的偏振模色散(PMD)。

发明内容

[0010] 为了解决常规MCF预成型件制造工艺中固有的问题,所公开的制造MCF预成型件的工艺的目的是使预成型件包层非圆度和纤芯椭圆度几何畸变最小化(如果没有消除的话)。另一目的是制造使此类几何畸变最小化的预成型件。相关目的是提供一种产生具有改进的PMD性能的MCF的方法。另一目的是提供一种预成型件制造方法,该预成型件制造方法允许相对容易且高效地制造其中几何畸变被最小化的MCF预成型件。相关目的是在纤芯和包层圆度方面制造高精度预成型件。

[0011] 为了实现这些和其他目的并且考虑到其意图,本公开提供了一种用于制造MCF预成型件的方法,该MCF预成型件具有:中心纵向轴线;多个芯棒,每个芯棒定位在相应芯孔中并且沿该纵向轴线延伸;和公共包层,该公共包层覆盖该多个芯棒中的每个芯棒。该方法包括以下步骤。提供具有至少约200mm的外径的圆筒,该圆筒将形成该预成型件的该包层并且

可具有中心芯孔。在该圆筒中创建沿该纵向轴线延伸的周边芯孔。将多个芯棒中的每个芯棒插入到相应周边芯孔中。通过使该圆筒和这些芯棒暴露于加热炉的加热元件来加热这些相应芯孔中插入有这些芯棒的该圆筒,由此使该圆筒塌缩到该多个芯棒上并且形成该预成型件。这些周边芯棒和这些周边孔之间的间隙(g)在创建该多个周边芯孔的步骤期间维持在约0.2mm至4mm的范围内,平均径向温度梯度在加热该圆筒的步骤期间在这些芯棒和该圆筒之间的塌缩开始的平面处维持在约0.5°K/mm至4°K/mm之间,或两者。

[0012] 应当理解,前述一般描述和以下详细描述对本发明都是示例性的,而非限制性的。

附图说明

[0013] 当结合附图阅读时,从以下详细描述中最好地理解本公开。强调的是,根据惯例,附图的各个特征不是按比例的。相反,为了清楚起见,各种特征的尺寸被任意扩大或缩小。附图中包括了以下各图:

[0014] 图1是例示在形成细长玻璃部件的向上塌缩工艺中使用的设备的主要部件的示意图;

[0015] 图2是用于生产光学部件的玻璃坯体的透视侧视图;

[0016] 图3描绘了具有两个纤芯区域和公共外包层区域的多芯玻璃纤维的横截面;

[0017] 图4A(七芯MCF)和图4B(四芯MCF)显示了利用断层折射率轮廓测量获得的MCF预成型件横截面图像的两个示例,每个图像都示出了包层非圆度以及纤芯椭圆度两者;

[0018] 图5描绘了图4A所例示的七芯MCF预成型件的2D仅塌缩有限元模型;

[0019] 图6描绘了图4A所例示的七芯MCF预成型件在真空下在带孔圆筒塌缩期间玻璃流动的速度量值场;

[0020] 图7A是作为第一种情况用于对带孔圆筒变形进行建模的相对大的径向温度梯度(平均值为5.2°K/mm)的曲线图;

[0021] 图7B例示了针对图7A的相对大的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了非常近似图4A所示的实际七芯MCF预成型件示例的严重的周边纤芯椭圆度以及包层的六边形形状;

[0022] 图8A是作为第二种情况用于对带孔圆筒变形进行建模的相对大的径向温度梯度(平均值为6.3°K/mm)的曲线图;

[0023] 图8B例示了针对图8A的相对大的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了非常近似图4A所示的实际七芯MCF预成型件示例的严重的周边纤芯椭圆度以及包层的六边形形状;

[0024] 图9A是作为第三种情况用于对带孔圆筒变形进行建模的相对大的径向温度梯度(平均值为7.9°K/mm)的曲线图;

[0025] 图9B例示了针对图9A的相对大的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了非常近似图4A所示的实际七芯MCF预成型件示例的严重的周边纤芯椭圆度以及包层的六边形形状;

[0026] 图10A是作为第一种情况用于对在本公开的制造工艺期间显著减小温度梯度之后的带孔圆筒变形进行建模的径向温度梯度(平均值为1.1°K/mm)的曲线图;

[0027] 图10B例示了针对图10A的显著减小的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了

周边孔和总体包层两者的圆形形状被更好地保留;

[0028] 图11A是作为第二种情况用于对在本公开的制造工艺期间显著减小温度梯度之后的带孔圆筒变形进行建模的径向温度梯度(平均值为1.6°K/mm)的曲线图;

[0029] 图11B例示了针对图11A的显著减小的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了周边孔和总体包层两者的圆形形状被更好地保留;

[0030] 图12A是作为第三种情况用于对在本公开的制造工艺期间显著减小温度梯度之后的带孔圆筒变形进行建模的径向温度梯度(平均值为2.0°K/mm)的曲线图;

[0031] 图12B例示了针对图12A的显著减小的温度梯度进行建模的带孔圆筒变形,示出了周边孔和总体包层两者的圆形形状被更好地保留;

[0032] 图13至图17通过FEM模拟例示了针对相对低的径向温度梯度,24mm(图13)、33mm(图14)、35.92mm(图15)、42.5mm(图16)和51mm(图17)的中心孔大小对所公开的工艺的性能的影响;

[0033] 图18至图23通过FEM模拟例示了针对相对高的径向温度梯度,24mm(图18)、33mm(图19)、42.5mm(图20)、45mm(图21)、48mm(图22)和51mm(图23)的中心孔大小对所公开的工艺的性能的影响;

[0034] 图24至图26通过FEM模拟例示了针对相对低的径向温度梯度,134mm(图24)、167mm(图25)和200mm(图26)的包层大小对所公开的工艺的性能的影响;

[0035] 图27至图29通过FEM模拟例示了针对无中心孔的四孔预成型件示例,6°K/mm(图27)、2°K/mm(图28)和1.2°K/mm(图29)的温度梯度对所公开的工艺的性能的影响;

[0036] 图30(无中心孔)和图31(中心孔)通过FEM模拟例示了针对四孔预成型件示例,中心孔对所公开的工艺的性能的影响;

[0037] 图32和图33通过FEM模拟例示了针对无中心孔的四孔预成型件示例,150mm(图32)和200mm(图33)的包层大小对所公开的工艺的性能的影响;并且

[0038] 图34是概述所公开的工艺的一个实施方案的步骤的流程图。

具体实施方式

[0039] 在本说明书和随后的权利要求书中,将参考多个术语,该多个术语将被定义为具有归于它们的以下含义。

[0040] “包含、“具有”、“包括”等类似术语意指涵盖但不限于,即包涵性的而不是排他性的。

[0041] 术语“约”意指量、大小、配方、参数和其他数量和特性不是且不必是精确的,而是根据需要可以是近似的和/或更大或更小,从而反映公差、转换因子、四舍五入、测量误差等,以及本领域技术人员已知的其他因素。当值被描述为约或约等于某个数时,该值在该数的±10%内。例如,约10的值是指介于9和11之间的值,包括端值在内。当术语“约”在描述值或范围的端点中使用时,本公开应被理解为包括具体值或端点。无论本说明书中的数值或范围的端点是否叙述“约”,该数值或范围的端点意图包括两个实施方案:一个实施方案由“约”修饰并且一个实施方案不由“约”修饰。还将理解,范围中的每个范围的端点相对于另一端点和独立于另一端点都是有意义的。

[0042] 术语“约”还指范围内的所有术语,除非另外陈述。例如,约1、2或3等同于约1、约2

或约3,并且还包括从约1至3、从约1至2和从约2至3。针对组合物、组分、成分、添加剂等类似方面所公开的具体值和优选值以及它们的范围仅用于例示;它们不排除其他限定值或限定范围内的其他值。本公开的组合物和方法包括具有任何值或所描述的值、具体值、更具体的值和优选值的任何组合的那些组合物和方法。

[0043] 如本公开所用的不定冠词“一”或“一个”及其对应定冠词“该(the)”意指至少一个,或一个或多个,除非另外规定。

[0044] 如本公开所用的方向术语——例如上、下、右、左、前、后、顶、底——仅参考如所绘制的附图和随那些附图一起提供的坐标轴而做出,并且不意图暗示绝对取向。

[0045] “接触”是指直接接触或间接接触。直接接触是指在不存在居间材料的情况下的接触,并且间接接触是指通过一种或多种居间材料的接触。直接接触的元件彼此接触。间接接触的元件不彼此接触,但接触一个居间材料或一系列居间材料,其中居间材料或一系列居间材料中的至少一个居间材料接触另一居间材料。接触的元件可刚性或非刚性接合。“接触”是指将两个元件放置成直接接触或间接接触。直接(间接)接触的元件可称为彼此直接(间接)接触。

[0046] “光纤”是指具有由涂层包围的玻璃部分的波导。玻璃部分包括纤芯和包层,并且在本公开中称为“玻璃纤维”。多芯光纤是具有包括两个或更多个纤芯的玻璃纤维的光纤,该两个或更多个纤芯由两个或更多个纤芯共用的包层包围。玻璃纤维用作波导。

[0047] “径向位置”、“半径”或径向坐标“r”是指相对于多芯光纤的纤芯的中心线(r=0)的径向位置。多芯光纤的两个或更多个纤芯中的每个纤芯具有中心线和单独的径向坐标r。“径向位置”、“半径”或径向坐标“r”是指相对于多芯光纤的中心线(R=0)的径向位置。多芯光纤具有单个中心线。

[0048] 光纤通常在两个单独的工艺中制造。首先,制备芯棒,然后通过管中棒(RIT)或圆筒中棒(RIC)工艺或者通过另一外包层工艺诸如外部气相沉积(OVD)工艺来制造预成型件。其次,在加热炉内部加热所制造的预成型件并且将其拉制成光纤。完成两个工艺中的第一个工艺的用于生产光纤预成型件的常规方法和设备可包括提供光纤RIT外包层设备。

[0049] 外包层设备包括立式车床、安装在立式车床的每个端部中的卡盘、立式车床中的用于在立式车床的两个端部之间竖直移动的托架、安装在托架中的氧-氢燃烧器、安装在托架中的加热炉、设置在立式车床的端部处的真空泵、用于将真空泵连接到立式车床的端部的联接器,以及位于立式车床外部的用于控制托架的竖直移动、氧-氢燃烧器的流率和卡盘的旋转的控制器。加热炉预先加热或加热玻璃管件以利用该玻璃管件外包覆芯棒。

[0050] 实际上,在常规RIT外包层设备中,预成型件的外径被限制为90mm或更小。该限制是由氧-氢燃烧器的低效加热造成的。此外,必须将手柄焊接到单个芯棒(长度与RIT外包层管件相同),以便从顶端为芯棒重量提供单独支撑。这导致两个缺点:(1)浪费芯棒材料,因为不能有效地使用短芯棒;以及(2)将手柄焊接到芯棒,特别是利用氧-氢焊炬,导致在芯棒表面上渗入表面氢氧化物(OH),如果不将其蚀刻掉(工艺的附加成本),则可由于OH吸收而增加光纤衰减,特别是在1,383nm下。

[0051] 更近期地,石英玻璃管材、棒或塌缩离线筒中棒(ORIC)的预成型件已通过以下来生产:将石英玻璃部件(例如,圆筒、锭、或塌缩RIC)以竖直取向引入到包括加热区(例如,加热炉)的设备中,使得下端部开始软化并且形成股线。然后,将股线放置在包括一组或多组

牵拉轮的牵拉装置中。股线的拉制速率由牵拉轮的速度来控制,这些牵拉轮可施加向下或向上的力,这取决于形成区温度或粘度以及由这些轮支撑的股线的重量。形成在没有模具的帮助下完成。因此,股线尺寸由石英玻璃部件的进给速率、加热区的温度和牵拉轮的速度来控制。

[0052] 对于常规ORIC工艺,由合成高纯度玻璃制成的圆筒(通常3m长,具有约200mm的外径)塌缩到高纯度玻璃芯棒上,以在界面间隙处利用热量和真空来形成光纤预成型件。预成型件通常以显著小于圆筒的原始直径的直径连续向下拉制。必须将足够的真空施加到圆筒和芯棒之间的间隙,以便于界面塌缩以及通过软化的玻璃支撑芯棒的重量。真空对防止芯棒相对于圆筒移动是必需的;否则,所得预成型件的包层与纤芯比将畸变,并且从它们拉制的光纤将不能满足所需波导规格(诸如截止波长)。在向下塌缩、拉伸和拉制工艺中还需要复杂且昂贵的预成型件外径测量和反馈控制,并且即使利用此类控制,也难以实现精确的预成型件几何形状(包括低预成型件弓度或曲率和直径变化)以及无包层与纤芯畸变的波导属性。向下拉制工艺中的该固有波导畸变效应很大程度上是由于作用在加热炉中的熔融玻璃和未附接的芯棒上的重力和真空力,其中较热的外包层玻璃向下流动得比内芯棒玻璃快。

[0053] 利用常规向下拉制系统和工艺生产外径接近原始圆筒或包层大小的最大预成型件存在显著的困难。在工艺的启动和结束时浪费了显著量良好预成型件玻璃,其中预成型件的几何形状和波导属性在诸如几何形状、包层与纤芯比、纤芯偏心度和弓度的参数的方面远非所需规格。因此,常规预成型件系统和工艺具有明显弊端。

[0054] 根据美国专利申请公布2018/0145752号,提供了一种设备和向上塌缩工艺,该设备和向上塌缩工艺产生具有已知存在的最大外径和长度(即,约200mm的外径(其中常规外径被限制为约150mm)和约3m的长度,或与原始圆筒或包层约相同的大小)的预成型件,而几乎无波导(包层与纤芯)畸变,并且显著减少了浪费和成本。常规光纤预成型件具有90mm至150mm的外径。在流线型向上塌缩工艺中,ORIC包层中的堆叠芯棒从下方支撑(因此芯棒在塌缩工艺中不相对于包层移动),并且整个ORIC组件相对于加热炉向上移动,因此预成型件连续地向上塌缩并拉制,如图1所例示以及下文所述。该设备和向上塌缩工艺:(1)生产最大已知的预成型件,因为它们可在仅塌缩工艺中利用最大已知的外包层圆筒来制作;(2)由于几乎100%的外包层和成品(烧尖)预成型件产率(几乎无浪费)以及包括整体式在线预成型件烧尖工艺(节省处理时间和加热步骤)的流线型且简化(例如,无需在线测量或反馈控制)的工艺而降低成本;(3)由于具有可变且任意的长度的固定、堆叠和受支撑的芯棒的固有低波导(包层与纤芯)畸变而改进波导质量;以及(4)允许反应气体(诸如SF_6)施加到界面直至约一个大气压(即,无需真空)以实现改进的界面和较低的芯棒D/d比(界面较靠近波导芯)。

[0055] 芯棒的D/d比是芯棒的外径与波导芯(光在其中传播)的直径之比,其中“D”是芯棒的外径,并且“d”是波导芯的直径。对于使用RIT或RIC预成型件来生产光纤的那些,该比在限定纤芯容量扩展方面非常重要。随着芯棒的D/d比降低,界面变得更靠近波导芯,并且这意指芯棒中所需的相对玻璃量减少(而包层中的玻璃量需要增加)。这继而意指对于相同芯棒制造设施,其用于制作芯棒的容量(或光纤纤芯的等效容量)大致与D/d的平方成比例(例如,通过将D/d从3.3减小至2.3来使纤芯容量加倍)。然而,降低芯棒D/d对外包层材料纯度和界面质量提出了重大挑战,因为那里的光功率传播指数地增加。因此,在较低的芯棒D/d

处将需要在界面处进行更激进的气体蚀刻、清洁和干燥过程(例如,利用SF6)。简言之,较低的D/d比(即,界面较靠近纤芯)允许预成型件的制造商:(a)容易地扩展纤芯容量而无需昂贵的投资,以及(b)实现具有较靠近纤芯的折射率特征的更复杂且先进的光纤设计。

[0056] 参考图1,示出了用于生产光纤预成型件的设备10。设备10包括竖直布置的框架12。从底部到顶部,框架12具有下开口端部;预先加热或下隔热区14;加热区16;后加热或上隔热区17;后加热冷却、退火和烘箱气体吹扫区18;以及与下开口端部相对的上开口端部。加热区16可优选地通过加热元件(通常为烘箱或加热炉)加热至约500℃至2,300℃、并且更优选地约1,000℃至2,300℃、并且还最优选地约1,500℃至2,300℃的温度。更具体地,加热元件优选地具有环形构型。加热元件优选地定位在框架12内或周围,以便形成框架12的加热区16。在高温下将惰性气体注入到加热元件中以防止加热元件的氧化。

[0057] 参考图2,玻璃坯体20用于生产光纤预成型件。玻璃坯体20具有圆柱形或管状构型。玻璃坯体20具有从第一或上端部22延伸到相对的第二或下端部24的长度L。纵向轴线X在相对的第一端部22和第二端部24之间延伸。优选地,玻璃坯体20的第一端部22和第二端部24两者都是方形切割端部。

[0058] 玻璃坯体20优选地由包含波导光纤纤芯的玻璃纤芯或芯棒30和包围芯棒30的玻璃包层32组成。更具体地,芯棒30优选地形成于玻璃坯体20的几何中心并且沿玻璃坯体20的长度L延伸。包层32优选地形成在芯棒30之上以沿玻璃坯体20的长度L径向包围芯棒30。包层32以沿公共中心线对准的同轴布置包围芯棒30。间隙31最初存在于芯棒30和包层32之间。包层32具有外径“OD”。

[0059] 包层32可以是纯石英玻璃或掺杂石英玻璃。然而,优选地,包层32具有最高纯度的合成二氧化硅,无论它是未掺杂的还是掺杂的(例如,掺有氟)。芯棒30优选地是具有掺杂区域和未掺杂区域的大部分高纯度石英玻璃,以实现适当的折射率轮廓。包层32和芯棒30可各自通过任何合适的工艺形成,诸如熔融石英或一种或多种类型的化学气相沉积(CVD),包括内部气相沉积、外部气相沉积和气相轴向沉积。芯棒30的中心处的纤芯材料通常具有大于周围包层32中的材料的折射率的折射率,以使得光信号的内反射能够穿过从预成型件拉制的光纤,从而产生有效波导。

[0060] 返回到图1,第一或顶部轴环40附连到包层32的顶部。尽管可使用其他机构来将顶部轴环40附连到包层32,但顶部焊缝42是合适的。顶部轴环40的外径与包层32的外径大致相同或小于该外径。第二或底部轴环44附连到包层32的底部。尽管可使用其他机构来将底部轴环44附连到包层32,但底部焊缝46是合适的。底部轴环44的外径小于包层32的外径或与该外径大致相同。顶部轴环40和底部轴环44两者都是中空管状部件。

[0061] 堆叠芯棒30定位在包层32内部并且搁置在任选的短间隔件48的顶部上,该短间隔件继而搁置在长间隔件50的顶部上。长间隔件50由位于长间隔件50下方的底部轴环保持架和真空单元52支撑。底部轴环保持架和真空单元52还保持(如其名称所暗示)并支撑底部轴环44。圆筒中棒或RIC组件(其包括堆叠芯棒30和玻璃坯体20的包层32,以及附连到包层32的顶部轴环40和底部轴环44)以及底部轴环保持架和真空单元52首先装载到位于烘箱气体吹扫区18上方的顶部轴环保持架和真空单元54上。(底部轴环保持架和真空单元52以及顶部轴环保持架和真空单元54允许设备10在设备10的任一端部处从设备10去除气体(即,创建真空)或者将气体引入到设备。顶部轴环保持架和真空单元54保持(如其名称所暗示)并

支撑顶部轴环40。)然后,玻璃坯体20相对于加热区16并且更具体地相对于加热区16的加热元件定位,并且向上移动穿过加热元件。底部轴环保持架和真空单元52被夹持并支撑在加热区16下方;顶部轴环保持架和真空单元54被夹持并支撑在加热区16上方。在加热步骤开始之前,顶部焊缝42(以及因此包壳32的顶部)最初放置在加热元件的中心下方预定距离,以避免对顶部焊缝42的热冲击。("预定"意指预先确定,使得预定特性必须先于某个事件确定,即选择或至少已知。)例如,该距离可为约350mm。

[0062] 参考图1解释使用设备10来制造预成型件的向上塌缩工艺。玻璃坯体20穿过框架12,在该框架中,玻璃坯体被加热、软化并拉长以形成光学部件,诸如光纤预成型件。更具体地,玻璃坯体20的下端部24优选地在工艺开始时以稳定的方式定位在框架12中,并且然后玻璃坯体20在向上(即,与常规向下相对)的方向上前进穿过框架12。在框架12中,玻璃坯体20在加热区16中以分区方式加热。通过熔化变形连续地创建预成型件,以使外包层间隙31塌缩并且将芯棒30熔合到外包层圆筒或包层32(并且任选地,预成型件在工艺期间可通过由顶部轴环保持架和真空单元54以及底部轴环保持架和真空单元52施加的拉力或压缩力来拉伸/拉长或缩短/压缩)。

[0063] 在一个实施方案中,玻璃坯体20是两个单独玻璃部件的同轴组件:堆叠芯棒30和包层32。更具体地,芯棒30呈实心圆柱形棒的形式,并且包层32呈包围堆叠芯棒30的中空外包层圆筒的形式(即,圆筒中棒组件)。在同轴组件中,堆叠芯棒30和包层32在玻璃组件进入加热区16之前不熔合在一起。

[0064] 当玻璃坯体20的该实施方案的同轴组件向上前进穿过框架12时,芯棒30和包层32加热至足够的预定温度和时间以致使两个玻璃部件软化并熔合在一起以形成整体且固结的玻璃坯体20。"整体"是指单个件或单个一体式零件,其本身完整而无附加件,即,该零件是与另一零件形成为单元的一个单片件。更具体地,当两件式玻璃坯体20的连续部分接近加热区16并且在加热区16中加热时,包层32和芯棒30被软化,并且所软化的包层32塌缩在芯棒30上并与该芯棒熔合。然后,可将至少一个、并且更优选地多个"准备拉制"预成型件从所得单片玻璃坯体20直接拉制成光纤。

[0065] 优选地,玻璃坯体20的该实施方案的同轴布置加热至约500℃至2,300℃、并且更优选地约1,000℃至2,300℃、并且最优选地约1,500℃至2,300℃的温度。更优选地,包层32的软化和在芯棒30上的塌缩在约1,000℃至2,200℃、并且更优选地约1,300℃至2,000℃、并且最优选地约1,600℃至1,800℃的温度下进行。使所软化并塌缩的包层32与所软化的芯棒30熔合在一起优选地在约1,000℃至2,200℃、并且更优选地约1,300℃至2,200℃、并且最优选地约1,600℃至2,200℃的温度下进行。然而,本领域技术人员将理解,诸如玻璃材料组合物和吞吐量的其他因素也影响包层32将在芯棒30上塌缩并与该芯棒熔合的温度。

[0066] 芯棒30和包层32之间的熔合界面由设备10的若干部件确保清洁。例如,均被密封的底部轴环保持架和真空单元52以及顶部轴环保持架和真空单元54准许向上塌缩工艺在真空中操作。底部轴环保持架和真空单元52以及顶部轴环保持架和真空单元54还将预成型件组件(具体是界面)与加热元件(例如,加热炉)和外部环境中的潜在污染物隔离。加热炉和外部环境是常规工艺的典型污染源,特别是在其中难以避免污染物进入到界面中的真空启动工艺期间。此外,可使用反应性界面处理气体来蚀刻、清洁和干燥界面。

[0067] 用于加热加热区16的加热元件的典型配方为约50kW持续30分钟、约100kW持续10

分钟、约150kW持续10分钟、约200kW持续10分钟、约220kW(或稍低的最大功率,例如212kW)进入工艺的稳态。位于设备10的底部处的底部轴环保持架和真空单元52以速度V1移动,而位于设备10的顶部处的顶部轴环保持架和真空单元54以速度V2移动。通常,在工艺开始时,V1=V2。在典型配方中,在达到100kW持续2分钟之后,V1=V2=约13.5mm/分钟,持续6分钟。然后,组件停止约4分钟。在4分钟暂停之后,组件以约13.5mm/分钟再次向上移动,直到顶部焊缝42到达加热元件的中心。一旦顶部焊缝42到达加热元件的中心,组件就停止约6分钟。然后,组件以V1=V2再次向上移动,以进行稳态塌缩。

[0068] 当顶部焊缝42在加热区16的中心上方约110mm至约135mm时,激活(即,打开)底部轴环保持架和真空单元52的真空泵。这种激活在箭头56的方向上抽取真空,并且致使顶部轴环40中的压力开始减小。当顶部轴环40中的压力停止减小时,包层32的顶部将塌缩,间隙31将闭合,并且包层32将与芯棒30密封或熔合。此时,真空在底部轴环保持架和真空单元52处保持泵送,同时向顶部轴环40回填气体(例如,氮气N_2),直到压力达到约1atm。然后,顶部轴环40连接到空气。

[0069] 顶部轴环保持架和真空单元54的真空泵可被激活(即,打开)以在箭头58的方向上抽取真空。类似地,在加热区16的加热元件中使用的气体(通常为惰性气体,诸如氩气、氦气、或最通常地氮气)的吹扫可通过在箭头60的方向上将气体引入到加热元件中来实现。气体吹扫在玻璃坯体20的外表面和加热元件的表面之间进行,以防止玻璃坯体20的外表面上的烟灰生成和加热元件的氧化。加热元件的顶部处的气体吹扫通常从工艺开始时开启。标识适当的吹扫速率(例如,约9m^3/h)是重要的,使得在工艺期间或之后无烟灰或其他沉积物形成在预成型件的表面上。

[0070] 当底部焊缝46在加热区16的中心下方预定距离(例如,约500mm)时,加热元件的功率开始线性降低。当底部焊缝46到达加热区16的中心时,加热元件的功率应处于预定结束功率值(例如,约150kW至约160kW)。在维持该结束功率时,组件应当仍然保持向上移动短距离(例如,约50mm)。该工艺步骤抑制结束阶段温度升高并且避免玻璃在底部附近过热和塌落。

[0071] 当底部焊缝46在加热元件的中心上方短距离(例如,约50mm)时,工艺完成。在该位置处,完全关闭对加热元件的供电,并且同时停止组件移动。在工艺停止之后,真空泵送可维持短时间段(例如,约1分钟至2分钟),以保证包层32完全塌缩到玻璃坯体20的下端部24。然而,如果结束阶段加热配方是100%正确的,则维持真空不是必需的,并且维持真空持续额外时间还可带来使底部轴环44变形的风险。

[0072] 负荷传感器68用于测量由底部轴环44支撑的总重量。如果轻微的恒定振荡扰动叠加到顶部轴环和真空单元54的速度V2上并且底部轴环保持架和真空单元52的速度V1保持恒定,则“波纹”出现在负荷传感器读数曲线上。“波纹”的振幅越大,工艺就越冷。这是因为对于较冷的工艺,加热元件的中心处的软化玻璃更刚硬并且更能够将振荡的力转移到组件的底部。在恒定加热元件功率设定的情况下,该信息指示由于加热元件的实际状况,工艺是在略微较热侧还是略微较冷侧上。基于该知识,可确定工艺的结束功率,即工艺越冷,所需的结束功率就越高。该“波纹”振幅基本上是加热元件的中心处的玻璃坯体20的真实粘度测量,该真实粘度测量比利用高温计得到的任何玻璃表面温度测量都可靠得多。

[0073] 因此,设备10和相关的向上塌缩工艺准许通过强加振荡移动来得到加热元件的中

心处的玻璃坯体20的粘度测量。将小振荡强加到预成型件组件的顶部处的位置上。并行地，预成型件组件的重量通过负荷传感器68测量。负荷传感器68的测量提供了加热元件的中心处的玻璃坯体20的粘度的间接测量。该信息可用于使用例如控制器88(下文所讨论)来控制加热区16的温度/加热功率。

[0074] 作为与常规向下拉制工艺的明显不同之处，堆叠芯棒30在堆叠芯棒30的底部处由间隔件48支撑，而不是由真空支撑，从而在外包层和拉制工艺期间基本上相对于包层32固定芯棒30的位置。换句话讲，向上塌缩工艺不需要真空来防止可导致包层与纤芯波导畸变并因此导致光纤截止波长问题的芯棒移动。此外，与常规向下拉制工艺不同，在向上拉制工艺中，在加热区16中的熔融玻璃上方和下方两者的玻璃重量由顶部轴环40和底部轴环44良好地支撑，这基本上消除了加热区16中常规上由重力和真空力造成的包层与纤芯波导畸变效应。当加热元件或塌缩温度在冷侧上运行时，该差异允许向上塌缩工艺更加宽容(因为玻璃尚未充分软化以转移来自真空的压力差并且支撑芯棒30)。

[0075] 向上塌缩工艺还允许芯棒30和包层32之间的间隙31中存在分压(高达大气压或稍高，通常为约1,100mbar)，因为不需要真空来支撑芯棒30的重量。因此，可在高温塌缩期间在界面处理气体箭头62的方向上自由地施加反应性界面处理气体诸如六氟化硫(SF_6，其在室温下处理是安全的)，以蚀刻掉任何潜在的界面污染，诸如金属颗粒或表面氢氧化物(OH)。除六氟化硫之外，其他合适的反应性界面处理气体包括氧气(O_2)、氯气(Cl_2)(但安全问题将出现)、氟气(F_2)、三氟化氮(NF_3)、四氟化硅(SiF_4)、四氟化碳(CF_4)和三氟甲烷(CHF_3)。使用反应性界面处理气体来蚀刻、清洁和干燥预成型件界面产生改进的界面、增强的光纤质量(减少的光纤断裂、气泡、损失或空气线)和降低芯棒D/d比的能力。

[0076] 如先前段落所提及，向上塌缩工艺更不易受差动纤芯-包层玻璃流动或波导畸变效应的影响，因为堆叠芯棒30由间隔件48从下方支撑，并且加热区16(玻璃在其中软化)上方和下方两者的玻璃重量也被支撑。这种支撑消除了不受控制的玻璃流动和畸变的问题。因此，存在处理低粘度玻璃材料(诸如重F掺杂的包层32)的自然优点，而无因过度加热或因重力和真空力引起包层与纤芯波导畸变的风险。这为使用F掺杂的包层32材料的某一类别光纤设计提供了重要处理优点。

[0077] 返回到图1，外径(即，通常为约126mm)略小于顶部轴环40的内径的玻璃盘70放置在芯棒30和包层32的顶部上以及顶部轴环40的内部。盘70可为约5cm厚。在工艺的启动期间，在顶部焊缝42在加热元件的中心处的6分钟停留时间之后，从底部轴环保持架和真空单元52以及顶部轴环保持架和真空单元54两者施加真空。真空使顶部轴环40塌缩到盘70上。通过设定V2>V1，在包层32的其余部分的稳态塌缩(其中V2＝V1)之前，在包层32的顶部上牵拉尖端。结果是产生对于随后光纤拉制是最容易且最高效的预成型件的低成本和高产率在线预成型件烧尖工艺。与常规离线烧尖工艺相比，整体式在线预成型件烧尖工艺节省了大量努力和成本两者(例如，节省了额外加热步骤)。

[0078] 如果当界面塌缩已启动并且继续进行时将V2设定为高于V1，则向上塌缩工艺也可向上拉伸或拉制直径显著小于包层32的原始直径的预成型件。所拉伸的(或甚至压缩的)预成型件的直径可通过经由质量守恒定律精确设定线性竖直速度V1和V2来准确地控制。然而，与常规向下拉制工艺相比，对于向上塌缩工艺，良好预成型件玻璃的启动损失少得多，并且其可因此导致所拉伸的预成型件的显著成本节省。

[0079] 向上塌缩工艺对于成品预成型件也是完全无接触的工艺,因为加热区16(玻璃在其中软化)上方和下方两者的玻璃重量由顶部轴环40和底部轴环44支撑,同时预成型件自身的外表面未被接触。与其中牵拉轮在整个工艺中始终与预成型件接触并且向其施加力的常规向下拉制工艺不同,避免预成型件接触并因此避免任何侧向力或横向力导致非常干净的预成型件表面和具有非常小的弓度的预成型件。

[0080] 在许多常规向下拉制工艺中,在牵拉轮和预成型件圆周之间存在小接触区域。这种接触可在预成型件表面上引入杂质或污染物。此外,牵拉轮可在向下拉制工艺中产生侧向力,从而导致预成型件弓度(这对于较长的预成型件会加剧,即对于简单曲率情况,弓度随预成型件长度的平方而增加)。可由牵拉轮施加到预成型件的接触力的量受到限制,因为过度的压力可损坏预成型件的玻璃表面。因此,对于需要比可由单组牵拉轮施加的拉力大的拉力的大预成型件,多组牵拉轮可以不同水平施加到预成型件,以实现支撑预成型件重量所需的总竖直(摩擦)力。但多组牵拉轮增加了设备高度和成本两者。另外,只有在多组牵拉轮精确地对准的情况下,才能用该多组牵拉轮来实现预成型件的低弓度,这在实践中难以实现。由于缺乏施加到预成型件的任何侧向力,因此无接触向上塌缩工艺产生具有非常小的弓度的预成型件。

[0081] 再次返回到图1,设备10可任选地包括附接到框架12的夹持器系统80。在美国专利10,590,022号中更全面地描述了一种合适的夹持器系统80,该专利要求由本申请的受让人Heraeus Quarzglas GmbH&Co.KG于2015年1月22日提交的并且名称为“Formation Of Elongated Glass Components With Low Bow Using A Gripper Device”的国际专利申请PCT/US2015/012471号的优先权。在一个实施方案中,通过将夹持器系统80附接到框架12,设备10包括夹持器系统80。

[0082] 夹持器系统80包括夹紧元件82和将夹紧元件82附接到夹持器系统80的安装元件84。夹持器系统80可平行于框架12的长度(在图1中定义为Z方向)竖直移动。安装元件84允许夹紧元件82在X方向和Y方向上平移移动(即,到X-Y平面内的任何位置)。(尽管不是必需或优选的,但也可使用允许旋转的卡盘系统——特别是在焊炬而不是加热炉来提供加热元件的情况下。)在一个实施方案中,安装元件84是X-Y工作台,这些X-Y工作台包括安装在线性轴承或线性轨道上的一对臂和用于控制臂的移动的马达,例如手动或伺服马达驱动器。安装元件84是另外的低摩擦装置,使得由外部物体施加到夹紧元件82的力将导致夹紧元件82沿安装元件84偏转,而不是夹紧元件82将阻力施加到外部物体。

[0083] 一旦预成型件已形成,夹持器系统80就可通过将夹紧元件82移动成与底部轴环44或(如图1所示的)底部轴环保持架和真空单元52接触来附接。夹紧元件82优选地不应接触预成型件。夹紧元件82的大小可被设计成具有凸区域,这些凸区域具有底部轴环44的相反形状,使得夹紧元件82牢固地装配在底部轴环44周围,而不会对底部轴环44造成损坏。夹紧元件82可接触底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的外表面的全部或(如图1所示的)仅一部分。在示例性实施方案中,夹紧元件82可由高温可压缩材料(诸如硅酸钙、石棉、压缩玻璃或陶瓷纤维(例如,岩棉)或高温橡胶(例如,硅酮或含氟聚合物弹性体))制成。

[0084] 夹紧元件82首先通过确定底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的中心并且然后在X方向上将夹紧元件82移动成与中心对准来与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的中心对准。在一些实施方案中,夹紧元件82可对准到底部轴环44或底部轴环保

持架和真空单元52的估计中心,例如基于期望行进路径的预期中心。在其他实施方案中,为了更准确地将夹紧元件82与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52对准,设备10还可包括能够定位底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的中心的感测元件以及用于根据感测元件的输出确定中心的计算机。感测元件可包括一个或多个激光装置、相机/视觉系统或机械接触(刻度盘指示器)系统。在示例性实施方案中,感测元件可附接到夹持器系统80或者可位于夹持器系统80外部,例如附接到框架12。在另一实施方案中,感测元件(例如,相机)可位于夹持器系统80和框架12两者外部。因为夹持器系统80包括用于防止未对准的另外元件,所以夹持器系统80不必与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的中心完美地对准。

[0085] 一旦夹紧元件82对准,就通过安装元件84在X方向上的移动来使夹紧元件82与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52接触。安装元件84可通过任何合适的机构例如用于控制X-Y工作台的该一对臂的马达来移动。因为安装元件84是低摩擦装置,所以如果夹紧元件82试图附接到底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52,同时未与中心适当地对准,则底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52推向夹紧元件82的力将使夹紧元件82移动到对准位置中,而不是使底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52移动。安装元件84还可包括锁定机构,一旦夹紧元件82附接到底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52,该锁定机构就可接合和脱离以防止夹紧元件82移动。当夹紧元件82移动到位时,锁定机构解锁,使得夹紧元件82可由马达移动,同时仍通过施加到夹紧元件82的任何附加力发生移位。一旦夹紧元件82与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52接触,锁定机构就接合以防止夹紧元件82在X-Y平面中进一步移动。

[0086] 在一个实施方案中,为了检测未对准,夹持器系统80还包括力感测装置,诸如负荷传感器,该力感测装置用于感测和测量在夹紧元件82附接到底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的过程期间发生的反作用力。负荷传感器是将施加到夹紧元件82、到每个负荷传感器的应变仪(未示出)的力转换成电信号的变换器。然后,电信号可被测量并与施加到应变仪的力关联。示例性负荷传感器包括液压负荷传感器、气动负荷传感器和应变仪负荷传感器。如果夹紧元件82未与底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的中心适当对准,则反作用力将大于夹紧元件82适当对准的情况。通过利用力感测装置测量反作用力,可在夹紧元件82向底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52施加足以导致底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52移动的力之前检测并校正未对准。在一个实施方案中,力感测装置可结合低摩擦安装元件84来使用,其中夹紧元件82附接到底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52的速度响应于大于预期的反作用力而减慢,以便允许夹紧元件82在安装元件84上移动到对准位置中。在示例性实施方案中,夹紧元件82可以范围从大约50mm/分钟至大约100mm/分钟的速率朝向底部轴环44或底部轴环保持架和真空单元52移动,同时力感测装置未检测到未对准,并且如果检测到未对准,则速率降低至大约10mm/分钟至大约25mm/分钟。在其他应用中,夹紧速度可超过这些范围。

[0087] 总之,夹持器系统80有助于支撑预成型件组件重量(其可为约350kg或更大),从而替换常规全接触牵拉轮系统。夹持器系统80准许用于在水平(X-Y)平面中制作预成型件的玻璃坯体20的浮动定位以及在竖直(Z)方向上的精确线性移动,以便预成型件几何形状和预成型件烧尖工艺的精确对准和控制。特别是在结合夹持器系统80的情况下,设备10避免

了预成型件上的侧向力或横向力,由此使预成型件弓度最小化并且可能消灭预成型件弓度;可使用负荷传感器来监测加热期间的玻璃行为;并且准许使用物理学(质量守恒)来精确地控制尺寸(从而消除常规在线测量和反馈控制的花费)。

[0088] 此外,设备10和相关的向上塌缩工艺可结合预成型件测量装置来使用。在美国专利10,378,996号中更全面地描述了一种合适的预成型件测量装置,该专利要求由本申请的受让人于2014年8月8日提交的并且名称为"Methods And Apparatus For Determining Geometric Properties Of Optical Fiber Preforms"的国际专利申请PCT/US2014/050368号的优先权。

[0089] 控制器是管理或引导两个部件之间的数据流(即,促进两个部件之间的通信)的硬件装置或软件程序。设备10包括控制器88。控制器88提供从例如负荷传感器68、夹持器系统80、顶部和底部轴环保持架和真空单元52、54以及真空和处理气体系统获得数据的能力,并且使用该数据来控制设备10的其他部件和相关的向上塌缩工艺。控制器88以本领域技术人员众所周知的方式在其中编程预设控制程序或例程,以高效地确保最佳加热和移动工艺配方。更具体地,控制器88可限定例如速度V1和V2、气体的流率和真空泵的压力。控制器88有助于确保稳健且可再现的"一键式"自动化生产工艺。

[0090] 向上塌缩工艺的重要优点是使波导(包层与纤芯)畸变最小化(可能消除)。波导畸变的来源是常规工艺中固有的在芯棒和熔融玻璃上的重力和真空力,并且通过向上塌缩工艺来消除。波导畸变是在RIT/RIC领域中很少(如果有的话)得到解决的问题。缺乏问题认知可能是因为过去的光纤性能要求不那么严格,因此本领域往往就像简单玻璃棒那样处理光学预成型件,而不担心可导致例如光纤截止波长失败等的实际波导(包层与纤芯)畸变效应。

[0091] 全球连接装置、云服务、5G(第5代移动网络或第5代无线系统,其表示移动电信标准的主要阶段)和工业4.0(或第四次工业革命,制造技术中的自动化和数据交换的当前趋势,包括网络物理系统、物联网和云计算)以及其他进展正驱动对带宽的指数增长的需求。因此,光纤制造商必须增加他们的产出和生产率。对于下一代光纤制造,需要以高速拉制的非常大的预成型件。向上塌缩工艺的结果是可承受数天不间断光纤拉制的"准备拉制"固体预成型件,从而增加生产率和光纤产出以及降低成本并且为预成型件的用户实现改进的光纤产率。

[0092] 向上塌缩工艺自然地包括向上拉制(以及任选地拉伸或压缩)以及通过塌缩顶部轴环40或底部轴环44并且通过将顶部轴环40的外径与包层32的外径匹配的低成本向上在线烧尖。与常规向下拉制工艺相比,向上塌缩工艺的这些附加特征可经由质量守恒和玻璃流动的确切物理学更准确且更便宜地进行。向上塌缩工艺(包括拉制/拉伸和烧尖特征)还可实现几乎100%的烧尖预成型件产率,其中在预成型件端部处的波导畸变最小(即,更"良好"的玻璃)。还值得指出的是,在向上塌缩工艺的情况下,良好预成型件玻璃产率为几乎100%,而无用于常规向下拉制工艺的启动的浪费牺牲启动材料。并且用于顶部轴环40和底部轴环44的材料的消耗在向上塌缩工艺中也是最小的。

[0093] 上文描述了单个外包层向上塌缩工艺。然而,该工艺可以微小修改应用于多个外包层"间隙"套管或圆筒,这些微小修改诸如增加间隔件48的外径并且略微调整最大加热功率和结束功率。此外,向上塌缩工艺还能够适应两倍(或甚至三倍或更多倍)长度的包层32,

具有无需包层内径匹配(即,供底部包层支撑顶部包层内部的芯棒的较小内径,如常规向下拉制工艺的情况)的明显优点,因为堆叠芯棒30的重量从下方被完全支撑。单个或多个外包层向上塌缩工艺还可应用于制造MCF。

[0094] MCF用于电信和光纤传感器。图3例示了具有两个纤芯的多芯光纤100。在每个纤芯中,纤芯区域与公共外包层区域直接相邻。第一纤芯包括纤芯区域120和公共外包层136。纤芯区域120具有在124处描绘的半径r1。第二纤芯包括纤芯区域130和公共外包层136。纤芯区域130具有在134处描绘的半径r2。公共外包层区域136具有在114处描绘的半径R,并且纤芯区域120和130的中心线之间的间隔在116处描绘。

[0095] 偏振模色散(PMD)是MCF的问题。PMD是一种形式的模色散,其中通常以相同速度行进的波导中的光的两个不同偏振由于随机缺陷以及不对称和几何畸变而以不同速度行进,从而造成光学脉冲的随机扩散。除非阻止(或至少最小化)或补偿(这是困难的),否则PMD最终限制数据可通过光纤传输的速率。

[0096] 在理想光纤中,纤芯具有完美的圆形横截面。在理想情况下,基本模式具有以相同速度行进的两个正交偏振(电场的取向)。通过光纤传输的信号是随机偏振的(即,这两个偏振的随机叠加),但这在理想光纤中并不重要,因为这两个偏振以相同方式传播(是简并的)。然而,在真实光纤中,存在破坏圆形对称性的随机缺陷,从而致使这两个偏振以不同速度传播。在真实情况下,信号的两个偏振分量将缓慢地分开,从而致使脉冲扩散和重叠。因为缺陷是随机的,所以脉冲扩散效应对应于随机游走,并且因此具有与传播距离L的平方根成比例的平均偏振相关时间差$\Delta\tau$(也称为差分群延迟):$\Delta\tau = D_{PMD}\sqrt{L}$。$D_{PMD}$是光纤的PMD参数,通常以ps/√km为单位测量,是对缺陷的强度和频率的测量。

[0097] 导致PMD的对称性破坏随机缺陷属于若干类别。首先,存在应力诱导的材料双折射,其中折射率本身取决于偏振。其次,存在几何畸变或不对称性,例如MCF预成型件的横截面形状的包层非圆度和纤芯椭圆度(特别是对于周边纤芯)。这两种效应均可源于制造中的缺陷(其永远不是完美的或无应力的)或者源于在现场强加在光纤上的热应力和机械应力(此外,后一种应力通常随时间变化)。本公开的制造工艺聚焦于减少几何畸变。

[0098] 光纤包层非圆度的问题是:(1)光纤拼接期间的对准误差和拼接损失,以及(2)其对纤芯椭圆度的负面影响。纤芯椭圆度、特别是MCF中的周边纤芯的椭圆度具有与光纤的增加的PMD的强相关性。因此,使圆形横截面形状的MCF预成型件中的纤芯椭圆度和包层非圆度最小化是至关重要的。

[0099] 图4A(七芯MCF)和图4B(四芯MCF)显示了利用断层折射率轮廓测量获得的MCF预成型件横截面图像的两个示例。图4A的七芯MCF示例清楚地示出了预成型件外径的包层非圆度(即,六边形形状)以及六个周边纤芯的纤芯椭圆度。包层非圆度(NC)为约0.24%。下面的表I概述了七个纤芯中的每个纤芯的纤芯椭圆度(标记为“内纤芯NC%”)。

[0100] 表I

[0101] ※包层NC:0.24%

[0102]

内纤芯偏移 [mm]	内纤芯 NC%	纤芯角部 NC%	纤芯边缘 NC%
23.95	22.28	15.32	8.70
23.84	23.38	16.08	8.77
24.02	23.01	16.29	9.53
0.1	1.26	0.61	0.35
24.02	17.49	12.18	6.82
24.06	16.06	13.06	8.00
23.84	20.98	15.40	8.59

[0103] 对于七芯MCF示例,预成型件外径轮廓也近似六边形形状,并且周边纤芯椭圆度达到约20%,这对于光纤的PMD性能是极其有害的。

[0104] 图4B的四芯MCF示例的几何畸变比七芯MCF示例轻微得多。包层非圆度为约0.12%。下面的表II概述了四个纤芯中的每个纤芯的纤芯椭圆度。

[0105] 表II

[0106] *包层NC:0.12%

[0107]

内纤芯偏移 [mm]	内纤芯 NC%	纤芯角部 NC%	纤芯边缘 NC%
18.67	3.55	2.88	2.24
18.96	4.04	3.09	2.67
18.65	3.47	2.85	2.54
18.83	3.87	3.00	2.51

[0108] 四芯MCF示例的纤芯椭圆度在3%至4%范围内。在PMD补偿装置的帮助下,该范围可以是可容忍的,该PMD补偿装置诸如可购自加拿大渥太华的Nortel的相干40Gbit/s双偏振正交相移键控(DP-QPSK)收发器。参见C.Laperle等人的“WDM Performance and PMD Tolerance of a Coherent 40-Gbit/s Dual-Polarization QPSK Transceiver”,Journal of Lightwave Technology,第26卷,第1期(2008年1月1日)。PMD补偿装置使用偏振控制器来对光纤中的PMD进行补偿。基本上,装置将光纤的输出拆分成两个主偏振(通常是那些时间延迟不随频率一阶变化的偏振),并应用差分延迟来重新同步它们。因为PMD效应是随机且时间相关的,所以该补偿需要随时间对反馈作出响应的有源装置。这种要求使得补偿装置相对昂贵且复杂。结合PMD在仍普遍使用的较低数据速率中还不是限制因素的事实,这意指PMD补偿装置在大规模电信系统中的部署有限。因此,非常期望MCF预成型件中的任何非圆度或椭圆度几何畸变最小化,使得光纤PMD和带宽性能最大化。

[0109] 所公开的工艺的目的是防止或至少最小化两种类型的几何畸变:预成型件非圆度

和纤芯椭圆度。另选地说,目的是实现具有最小纤芯椭圆度(特别是周边纤芯)的圆形形状MCF预成型件。对于给定MCF设计,非圆度和椭圆度的这些畸变在所公开的预成型件制造工艺期间被最小化。该工艺具有两个主方面,通过以下来使非圆度和椭圆度最小化:(1)通过适当地设计芯棒和带孔圆筒的孔之间的间隙以及优化带孔圆筒的直径;以及(2)通过基于对芯棒和包层塌缩工艺期间的温度和粘度梯度以及玻璃流动的精确理解和建模来优化热处理条件。这两个方面中的每个方面的描述如下。

[0110] A.几何参数的优化

[0111] 可在用于创建MCF的三种不同制造工艺之间作出区分。三个另选工艺是“堆叠和拉制”工艺、“管中颗粒”工艺、和钻孔工艺。下文依次描述这三个工艺中的每个工艺。

[0112] 在“堆叠和拉制”工艺中,各个纤芯和填充棒以六边形堆叠,并且在真空下在包层管件中熔化在一起,并且同时拉伸或拉制成光纤。堆叠和拉制工艺是EP1002249A1(Corning Inc.)和EP 2320256 A1(Furukawa Co.Ltd.)的主题。该工艺的优点是,该工艺很快并且无需附加机械处理。缺点是减少的设计多样性(六边形封装)以及由于散射引起的预期较高的串扰和光学损失(大量畸变的内部界面)。利用堆叠和拉制工艺也难以实现体积缩放。

[0113] 第二个工艺是管中颗粒工艺(也称为管中粉末工艺或砂工艺)。砂工艺是JP2019081681A(Furukawa Co.Ltd.)和JP 5995298 B1(Nippon Telegraph and Telephone Corporation)的主题。各个纤芯根据设计规格定位在套管中,并且剩余腔体利用石英玻璃粉末来填充。使用砂工艺,一方面要掌握纤芯的几何定位准确度并且另一方面要生成无瑕疵包层是非常困难的。

[0114] 第三个工艺(钻孔工艺)涉及一种包层圆筒,该包层圆筒根据期望设计规格无限制地钻孔,并且然后在其孔中填充芯棒。在随后步骤中,圆筒塌缩到芯棒上,并且然后(任选地)拉伸至适当大小或直接拉制为光纤。塌缩和拉伸步骤还可在一个步骤中进行。消除表面瑕疵和几何伪影在钻孔工艺的直接光纤拉制步骤中是项挑战。

[0115] 从光纤组合物的几何方面来看,基本因素是纤芯的绝对径向位置和方位角位置以及它们沿光纤的变化。因此,非常期望在纤芯大小、位置和形状以及包层圆度方面制造高精度的预成型件。所公开的工艺能够制作精确加工的MCF圆筒并且建立将MCF圆筒和芯棒熔合以形成具有高几何精度的预成型件的稳健外包层工艺。用于制作多孔圆筒的钻孔工艺是目前用于生产具有最大的体积缩放潜力的高精度多芯光纤的最有希望的工艺。在本公开中,最大的圆筒坯体(具有高达约250mm的直径)被加工成使得在相同绝对加工精度的情况下,对于最终MCF预成型件或光纤,可实现MCF纤芯和包层圆度的最大精度。

[0116] 因此,该工艺包括钻孔以创建多孔或带孔圆筒(具有或不具有中心孔)。所公开的工艺开始于提供具有范围从约150mm至250mm、并且优选地约200mm或更大的OD的玻璃圆筒(其将形成预成型件的包层)。圆筒的相对大的大小使得更容易在圆筒中精确地钻孔;对于较大圆筒,孔位置的误差占外径(OD)大小的百分比较少。玻璃圆筒可以是实心的或者可具有中心孔(如果使用芯轴来制作玻璃圆筒,则中心孔将存在)。周边孔或侧孔(其将接纳芯棒)在圆筒中小心地且以高精度创建(例如,钻取)。

[0117] 一旦获得所钻取的圆筒,所公开的工艺中的下一步骤是制作具有钻取的MCF圆筒的预成型件。将玻璃棒插入到孔中以创建周边纤芯(以及任选地中心纤芯)。然后,通过将多孔圆筒塌缩并且任选地拉伸到多个芯棒上来生产MCF预成型件。该塌缩步骤可使用上文所

述的常规向下拉制工艺或向上塌缩工艺来完成。为了使预成型件制作工艺中的波导(包层与纤芯)畸变最小化,该工艺优选地结合向上拉制工艺步骤(如上文所述)使得由于重力而引起的包层和纤芯玻璃差动轴向流动最小化。

[0118] 在向上拉制工艺中,自由移动和独立式芯棒从圆筒底部方便地堆叠和支撑。径向塌缩和轴向拉伸彼此正交,从而提供对径向玻璃流动和轴向玻璃流动两者的完全且精确的控制。任何期望的预成型件OD可以包层与纤芯波导比的最小畸变和径向/方位角纤芯位置的最高精度来实现。

[0119] 使MCF圆筒塌缩到钻孔内部的芯棒上以制作预成型件的步骤可在拉伸或不拉伸的情况下进行。来自MCF圆筒的不同几何特征(诸如椭圆度、弓度、侧线、偏心度和孔位置)的精度可使用完全塌缩而不进行拉伸操作来在最终预成型件中维持至最大程度。然而,预成型件的OD被限制为略微小于MCF圆筒的OD(假定不存在拉伸)。

[0120] 因此,优选的是,钻孔内部具有芯棒的MCF圆筒在加热时塌缩并拉伸以制作预成型件。该完全塌缩和拉伸操作提供了大的灵活性,并且使得能够生产可适应于光纤制造商的拉制能力的一定范围的预成型件OD。(通常,预成型件随后被拉制成光纤。)拉伸步骤减小圆筒的OD。在MCF圆筒中形成孔的步骤被配置为在考虑加热芯棒和玻璃圆筒的步骤之前和之后纤芯部分的位置变化之后预定的位置处形成周边孔。因此,该操作允许容易地制造其中多个纤芯部分准确地布置在预定、指定、按设计的位置处的MCF预成型件。

[0121] 预成型件中的周边纤芯的椭圆度(或非圆度)可使用四个另选等式中的任一个等式来计算。具体地,椭圆度=(1)(最大直径减去最小直径)除以平均直径,或(2)长轴的改变加上短轴的改变。椭圆度还为(3)近似方位角和径向向内的玻璃流动的效应的总和。该第三个等式调用圆柱坐标系,该圆柱坐标系是通过距所选参考轴的距离、从该轴相对于所选参考方向的方向、以及距与该轴垂直的所选参考平面的距离来指定点位置的三维坐标系。根据参考平面的哪一侧面向该点,后一距离被给定为正数或负数。距轴的距离可称为径向距离或半径,而角坐标可称为角位置或方位角。

[0122] 最后,椭圆度为(4)近似$\alpha(g/d)+\beta(G/D)$,其中α和β是取决于工艺条件和MCF几何设计的比例常数,圆筒的直径为D,中心芯棒和中心孔之间的间隙为G,周边孔的直径为d,并且周边芯棒和周边孔之间的间隙为g。因此,从芯棒和圣圆筒制备的视角来看,很明显,涉及几何参数的以下步骤应当帮助降低周边纤芯椭圆度:(a)减小总外包层间隙G和周边孔间隙g;(b)增大带孔圆筒的直径D;(c)减少芯棒“挤压”或“压平”方位角玻璃流动对长轴的效应g/d;以及(d)减少芯棒玻璃的向内径向流动对短轴的效应G/D。

[0123] 对于这些步骤,该工艺维持参数g和G小于或等于约4mm,但大于阈值(诸如0.2mm),使得芯棒插入到孔中更可行。因此,参数g和G的范围可从约0.2mm至4mm、更优选地约0.2mm至3mm、还更优选地约0.2mm至2mm并且最优选地约0.2mm至1mm。参数g和G的范围还可从约0.3mm至4mm、更优选地约0.3mm至3mm、还更优选地约0.3mm至2mm并且最优选地约0.3mm至1mm。参数g和G的范围还可从约0.5mm至4mm、更优选地约0.5mm至3mm、还更优选地约0.5mm至2mm并且最优选地约0.5mm至1mm。参数g和G的范围还可从约0.6mm至1mm并且更优选地约0.6mm至0.8mm。带孔圆筒的直径(D)应尽可能大,至少约200mm或更大。

[0124] 因此,所公开的工艺通过优化几何参数来使非圆度和椭圆度最小化。具体地,优化了芯棒和带孔圆筒的孔之间的间隙以及带孔圆筒的直径。在第二主要方面,所公开的工艺

通过基于对芯棒和包层塌缩工艺期间温度和粘度梯度以及玻璃流动的精确理解和建模来优化热处理条件来使非圆度和椭圆度最小化。

[0125] B.热处理条件的优化

[0126] 对于预成型件组件的给定设计(带孔圆筒加芯棒),使包层的非圆度和纤芯的椭圆度最小化的另一方式是通过理解圣圆筒塌缩到芯棒上期间的确切玻璃流动,并且因此相应地优化热处理配方或条件。带孔圆筒塌缩和拉制工艺的多物理FEM(有限元建模)已用于理解和验证复杂的玻璃流动。使用图4A中的具有严重的周边纤芯椭圆度和六边形形状包层的七芯MCF预成型件作为示例,创建2D仅塌缩模型,如图5所描绘。

[0127] 利用预成型件的对称性,仅对几何形状的一半进行建模。假设了恒定烘箱温度(诸如2,200°K;2,300°K;等),以向带孔圆筒的外表面提供辐射加热。假设了整个带孔圆筒的某一初始温度,以形成特定径向温度梯度,作为模拟吞吐量影响的方式(较高的吞吐量导致较高的径向温度梯度)。径向温度在100秒的时间t处在预成型件的边缘处测量,如图5所指示。对于所有模拟的示例,在t=100s处,在1s内施加950mbar的负压以模拟真空下的塌缩。

[0128] 根据模型的随机情况产生近似图4A中的周边纤芯形状的塌缩周边孔形状和接近六边形的总体包层形状,观察到如图6所示的玻璃流动速度量值场。很明显,最大玻璃流动速度发生在周边孔和带孔圆筒的外表面之间,这正是周边孔和纤芯被挤压的原因。该观察表明,周边孔和圆筒的外表面之间的玻璃的粘度比圆筒的内部的粘度、特别是比中心孔和周边孔之间的部分的粘度低得多。这指示塌缩期间带孔圆筒的径向温度梯度太大,从而生成大径向粘度梯度。实际上,为了降低该径向温度梯度,需要减少玻璃的吞吐量(即,通过加热炉的质量流率),使得该工艺允许热量有更多时间径向传递,并且因此更好地均衡径向温度场。利用该见解,如上述模型设定所述,使用带孔圆筒的不同初始温度水平,但真空塌缩工艺在恒定时间(t=100s)开始,以模仿塌缩期间不同水平的径向温度梯度,并且作为近似不同水平的吞吐量的影响的方式。

[0129] 实施例

[0130] 包括以下实施例以更清楚地展示本公开的总体性质。本公开的这些实施例是示例性而非限制性的。FEM用于经由模拟来开发实施例。

[0131] 烘箱温度和带孔圆筒的初始温度之间的大差值用于获得相对大的径向温度梯度并且模拟较高的吞吐量影响。对于图7至图9所示的三种情况,烘箱温度从2,400°K至2,300°K至2,200°K变化,同时烘箱温度和圆筒的初始温度之间保持相同差值(800°K)。

[0132] 图7A是径向温度梯度的曲线图,并且图7B例示了第一种情况的带孔圆筒变形。第一种情况的条件是烘箱温度=2,400°K,圆筒的初始温度=1,600°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为5.2°K/mm。

[0133] 图8A是径向温度梯度的曲线图,并且图8B例示了第二种情况的带孔圆筒变形。第二种情况的条件是烘箱温度=2,300°K,圆筒的初始温度=1,500°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为6.3°K/mm。

[0134] 图9A是径向温度梯度的曲线图,并且图9B例示了第三种情况的带孔圆筒变形。第三种情况的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,400°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为7.9°K/mm。

[0135] 因此,从图7至图9观察到,在t=100s处,当施加真空时,平均温度梯度分别为5.2°

K/mm、6.3°K/mm和7.9°K/mm。在不同烘箱温度水平下,这些相对大的温度梯度生产非常近似图4A所示的实际七芯MCF预成型件示例的严重的周边纤芯椭圆度以及包层的六边形形状。

[0136] 因为该模型能够在实际运行中再现周边纤芯和整体包层变形,所以该模型可用于示出通过在本公开的制造工艺期间显著降低温度梯度实现的优点。图10至图12例示了示出这些优点的三种情况。下文描述了这些情况中的每个情况。

[0137] 图10A是径向温度梯度的曲线图,并且图10B例示了第一种情况的带孔圆筒变形。第一种情况的条件是烘箱温度=2,500°K,圆筒的初始温度=2,200°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为1.1°K/mm。

[0138] 图11A是径向温度梯度的曲线图,并且图11B例示了第二种情况的带孔圆筒变形。第二种情况的条件是烘箱温度=2,300°K,圆筒的初始温度=2,000°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为1.6°K/mm。

[0139] 图12A是径向温度梯度的曲线图,并且图12B例示了第三种情况的带孔圆筒变形。第三种情况的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=100s处真空启动。平均径向温度梯度为2.0°K/mm。

[0140] 如图10至图12所示,在不同烘箱温度下,烘箱温度和烘箱的初始温度之间的差值保持恒定为300°K,这分别导致1.1°K/mm、1.6°K/mm和2.0°K/mm的温度梯度。对于这些显著较低的径向温度梯度,观察到周边孔的径向"挤压"效应显著减少。因此,周边孔和总体包层两者的圆形形状被更好地保留。然而,还值得注意的是,当烘箱温度太高(即,在2,500°K)时,即使在如图10A所示的低径向温度梯度下,周边孔也可能在方位角上压缩,而不是被径向挤压。图12A和图12B例示了近似最佳条件的情况,其中在低温梯度下,周边孔形状是三种情况中最圆的。

[0141] 因此,为了使MCF预成型件中的包层的非圆度以及孔和纤芯(特别是周边孔和纤芯)的椭圆度最小化,本公开的工艺在圆筒塌缩到芯棒上期间将带孔圆筒的径向温度梯度维持在低水平。降低玻璃吞吐量是降低该径向温度梯度的良好实用方式。根据FEM结果,在图4A中的七芯情况下,生产周边纤芯变形的径向温度梯度估计需要减小约70%才能保留包层和周边纤芯的圆形形状。此外,适度的烘箱温度(诸如约2,200°K)或最低的可能烘箱温度是优选的,这防止周边孔在方位角上被压缩/挤压并且帮助实现最佳结果。

[0142] 如上文所陈述,某些预成型件设计具有中心孔;其他设计不具有。在七孔示例(一个中心孔和六个周边孔)上完成附加FEM模拟,以研究中心孔大小对所公开的工艺的性能的影响。图13至图17例示了针对相对低的径向温度梯度,中心孔大小的影响。图13至图17的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=100s处真空启动。模拟了24mm(图13)、33mm(图14)、35.92mm(周边纤芯的两侧上的径向相等厚度;图15)、42.5mm(原始值;图16)和51mm(图17)的中心孔直径。表III概述了关于针对这些模拟中的每个模拟的包层非圆度和周边孔椭圆度的观察。

[0143] 表III

[0144]

图	径向温度梯度	中心孔直径（mm）	观察
13	低	24	观察到周边纤芯径向挤压效应，包层变形为六边形
14	低	33	观察到周边纤芯径向挤压效应，包层变形为六边形
15	低	35.92	观察到周边纤芯径向挤压效应，但有所减少，包层变形为六边形
16	低	42.5	周边纤芯径向挤压效应显著减少，包层圆形形状被良好保留
17	低	51	观察到周边纤芯方位角压缩效应，但包层圆形形状被良好保留

[0145] 图18至图23例示了针对相对高的径向温度梯度,中心孔大小的影响。图18至图23的条件是烘箱温度＝2,400°K,圆筒的初始温度＝1,600°K,并且在t＝100s处真空启动。模拟了24mm(图18)、33mm(图19)、42.5mm(原始值;图20)、45mm(图21)、48mm(图22)和51mm(图23)的中心孔直径。表IV概述了关于针对这些模拟中的每个模拟的包层非圆度和周边孔椭圆度的观察。

[0146] 表IV

[0147]

图	径向温度梯度	中心孔直径（mm）	观察
18	高	24	严重的周边纤芯径向挤压效应严重，包层变形为六边形
19	高	33	严重的周边纤芯径向挤压效应严重，包层变形为六边形
20	高	42.5	严重的周边纤芯径向挤压效应不太严重，包层变形为六边形
21	高	45	严重的周边纤芯径向挤压效应不太严重，包层变形为六边形
22	高	48	观察到周边纤芯方位角压缩效应，但包层圆形形状被较好地保留
23	高	51	观察到周边纤芯方位角压缩效应，但包层圆形形状被良好保留

[0148] 从图13至图23中呈现的数据可得出多个结论。首先,中心孔大小对周边孔的变形存在显著的影响。当中心孔相对小使得中心孔和周边孔之间的厚度(t1)远大于周边孔和包层外表面之间的厚度(t2)时,周边孔趋于被更多地径向挤压。在相对低的径向温度梯度下,最佳地保留周边孔的圆形形状的场景是中心孔和周边孔之间的厚度(t1)等于或略小于周边孔和包层外表面之间的厚度(t2)的情况。在相对低的温度梯度下,最佳场景估计为0.7*t2<t1<＝t2。当t1远小于t2,即中心孔远大于周边孔时,周边孔趋于在方位角上被压缩。另

一方面,如果t1远大于t2,则周边纤芯趋于被径向挤压。最后,当周边孔/周边纤芯之间的间隙(直径差)为包层OD的1.5%(即,2mm/134mm)时,周边纤芯椭圆度可被维持为<=0.2%,其中最佳配方组合低温度梯度并且0.7*t2<t1<=t2。

[0149] 在七孔示例(一个中心孔和六个周边孔)上完成附加FEM模拟,以研究包层大小对所公开的工艺的性能的影响。图24至图26例示了针对相对低的径向温度梯度,包层大小的影响。如下概述图24至图26的条件和观察。

[0150] 图24所示的模拟的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=100s处真空启动。中心孔直径为42.5mm(原始值),并且包层OD为134mm。图24示出了周边纤芯径向挤压效应显著减少,并且包层圆形形状被良好保留。

[0151] 图25所示的模拟的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=120s处真空启动(以允许径向温度梯度有时间达到约相同的2.0°K/mm)。134mm的包层OD设计按比例放大为167mm的OD设计。图25示出了周边纤芯径向挤压效应显著减少,并且包层圆形形状被良好保留。

[0152] 图26所示的模拟的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=145s处真空启动(以允许径向温度梯度有时间达到约相同的2.0°K/mm)。134mm的包层OD设计按比例放大为200mm的OD设计。图26示出了周边纤芯径向挤压效应显著减少,并且包层圆形形状被良好保留。

[0153] 从图24至图26中呈现的数据可得出重要结论。当带孔圆筒设计按比例例如从134mm的OD放大至200mm的OD时,只要径向温度梯度保持相同,包层圆度或周边孔椭圆度就基本上不改变。

[0154] 在无中心孔的四孔示例上完成附加FEM模拟,以研究温度梯度对所公开的工艺的性能的影响。图27至图29例示了相对低的径向温度梯度的影响。如下概述图27至图29的条件和观察。

[0155] 图27所示的模拟的条件是烘箱温度=2,400°K,圆筒的初始温度=1,600°K,并且在t=65s处真空启动。平均径向温度梯度为6.0°K/mm。周边孔直径为43mm,距包层的中心的距离为33.94mm,并且包层OD为150mm。图27示出了周边纤芯径向挤压效应是显著的,并且包层圆形形状变形为正方形形状。

[0156] 图28所示的模拟的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=1,900°K,并且在t=65s处真空启动。平均径向温度梯度为2.0°K/mm。周边孔直径为43mm,距包层的中心的距离为33.94mm,并且包层OD为150mm。图28示出了周边纤芯径向挤压效应不太显著,压平的端部反而靠近包层的中心,并且包层圆形形状被良好保留。

[0157] 图29所示的模拟的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=2,000°K,并且在t=65s处真空启动。平均径向温度梯度为1.2°K/mm。周边孔直径为43mm,距包层的中心的距离为33.94mm,并且包层OD为150mm。图29示出了周边纤芯径向挤压效应不太显著,压平的端部反而靠近包层的中心,并且包层圆形形状被良好保留。

[0158] 从图27至图29中呈现的针对无中心孔的四芯设计的数据可得出多个结论。首先,当径向温度梯度相对高时,周边孔被径向挤压,其中它们压平的端部朝向包层的外表面。并且包层圆形形状变形为正方形形状。其次,当径向温度梯度相对低时,周边孔被径向挤压,其中它们压平的端部朝向包层的中心。并且包层圆形形状被良好保留。这是优选场景并且

是实际运行的情况。

[0159] 在四孔示例上完成附加FEM模拟,以研究中心孔对所公开的工艺的性能的影响。图30和图31例示了针对相对低的径向温度梯度,中心孔的影响。图30和图31的条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=2,000°K,并且在t=65s处真空启动。平均径向温度梯度为1.2°K/mm。周边孔直径为43mm,距包层的中心的距离为33.94mm,并且包层OD为150mm。图30的设计不具有中心孔。图30示出了周边纤芯径向挤压效应不太显著,压平的端部反而靠近包层的中心,并且包层圆形形状被良好保留。图31的设计具有直径为20mm的中心孔。图31示出了在这种情况下添加远小于周边孔的中心孔对减小周边孔椭圆度并无太多帮助。

[0160] 在无中心孔的四孔示例上完成附加FEM模拟,以研究包层大小对所公开的工艺的性能的影响。图32和图33例示了针对相对低的径向温度梯度,包层大小的影响。图32和图33的共同条件是烘箱温度=2,200°K,圆筒的初始温度=2,000°K,平均径向温度梯度=1.2°K/mm,周边孔直径=43mm,并且距包层的中心的距离=33.94mm。图32的设计具有在t=65s处真空启动并且包层OD=150mm。图33的设计具有在t=85s处真空启动并且包层OD=200mm。图32和图33两者都示出了周边纤芯径向挤压效应不太显著,压平的端部反而靠近包层的中心,并且包层圆形形状被良好保留。

[0161] 从图32和图33中呈现的数据可得出重要结论。当带孔圆筒设计按比例例如从150mm的OD放大至200mm的OD时,只要径向温度梯度保持相同,包层圆度或周边孔椭圆度就基本上不改变。

[0162] 图34是概述所公开的工艺500的一个实施方案的步骤的流程图。在第一步骤510中,提供具有至少约200mm的OD的玻璃圆筒。在第二步骤520中,在玻璃圆筒中钻取孔以创建带孔圆筒。这些孔包括周边孔以及任选的中心孔。步骤520在将周边芯棒和周边孔之间的间隙(g)维持在约0.2mm至4mm的范围内的情况下完成。在第三步骤530中,将玻璃棒插入到孔中以创建周边纤芯(以及任选地中心纤芯)。在第四步骤540中,多孔(即,带孔)圆筒塌缩(并且任选地拉伸)到多个芯棒上。步骤540在芯棒和圆筒之间的塌缩开始的平面处将平均径向温度梯度维持在特定范围内的情况下完成。

[0163] 径向温度梯度的范围可从约0.5°K/mm至4°K/mm、更优选地约0.5°K/mm至3°K/mm、还更优选地约0.5°K/mm至2°K/mm并且最优选地约0.5°K/mm至1°K/mm。径向温度梯度的范围还可从约1°K/mm至4°K/mm、更优选地约1°K/mm至3°K/mm、还更优选地约1°K/mm至2°K/mm。径向温度梯度的范围还可从约2°K/mm至4°K/mm并且更优选地约2°K/mm至3K/mm。径向温度梯度的范围还可从约3°K/mm至4°K/mm。

[0164] 如上文所公开的该制造工艺对于工业规模的多芯预成型件和光纤既是可再现且精确的也是成本和时间高效的。意图生产用于电信应用的MCF预成型件和光纤。

[0165] 对优选实施方案的前述描述应当被视为是例示而不是限制如权利要求书所限定的本发明。如将容易理解,在不脱离如权利要求书所阐述的本发明的情况下,可利用上文所阐述的特征的众多变化和组合。此类变化不视为脱离本发明的精神和范围,并且所有此类变化意图包括在以下权利要求书的范围内。例如,明确意指在本文件中广泛列举的所有范围在其范围内包括落在更宽范围内的所有更窄范围。还明确意图的是,如本领域技术人员所理解,可省略包括在该方法中的某些步骤;可添加某些附加步骤;并且步骤的次序可按所述的特定次序更改。

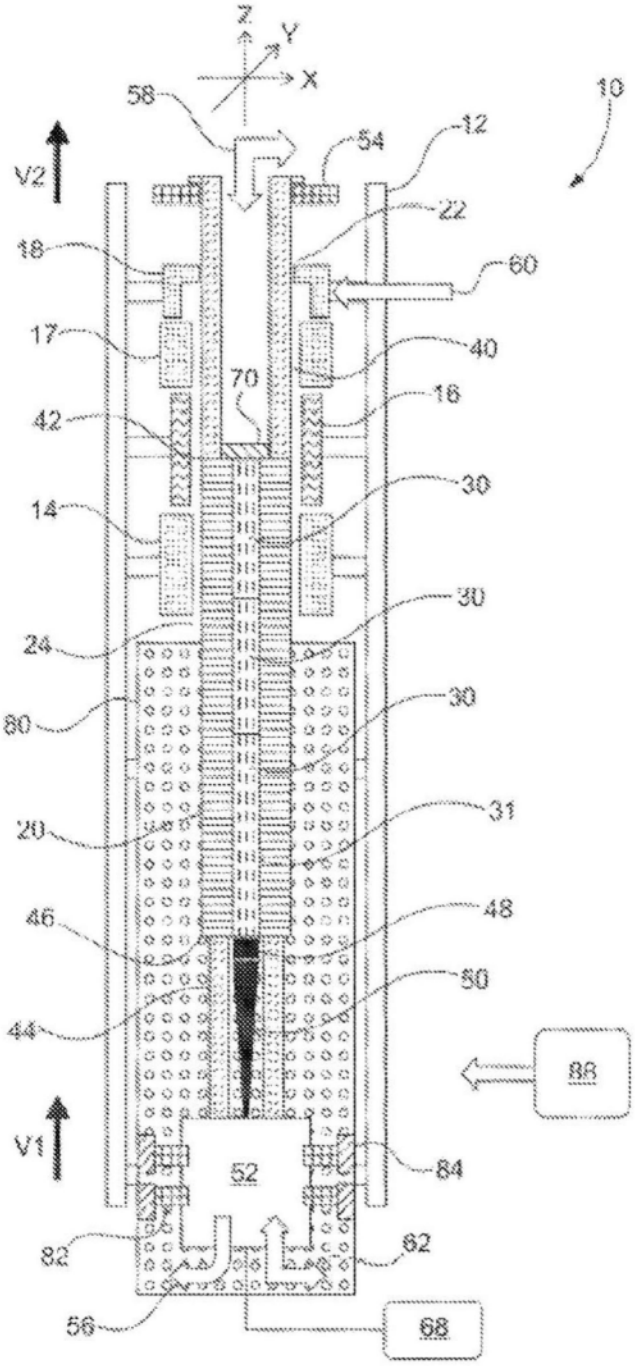

Z
Y
X
10
58
54
12
V2
22
18
60
17
40
70
16
42
30
14
30
24
30
80
31
20
48
46
50
44
88
V1
52
84
82
62
56
68

图1

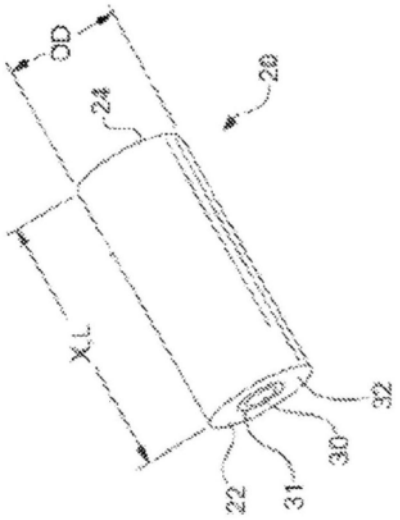


图2

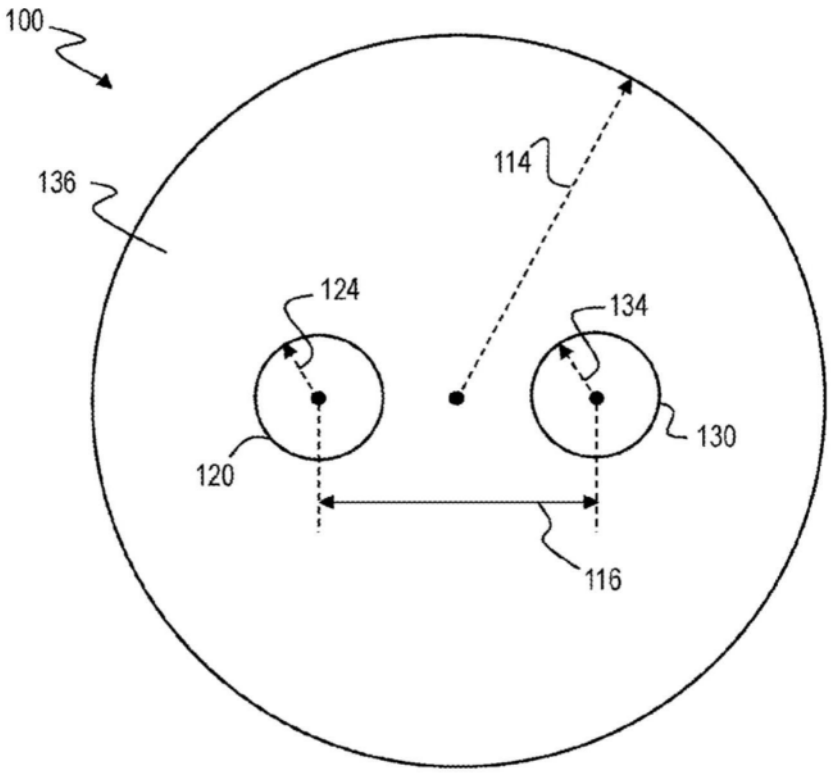


图3

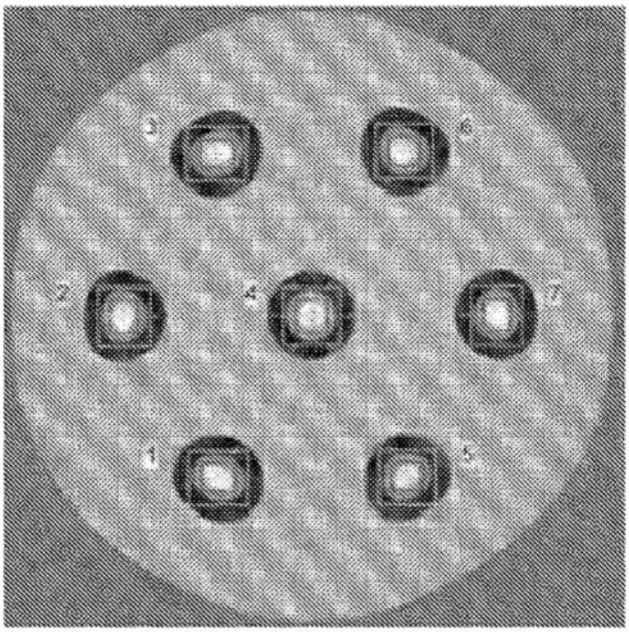


图4A

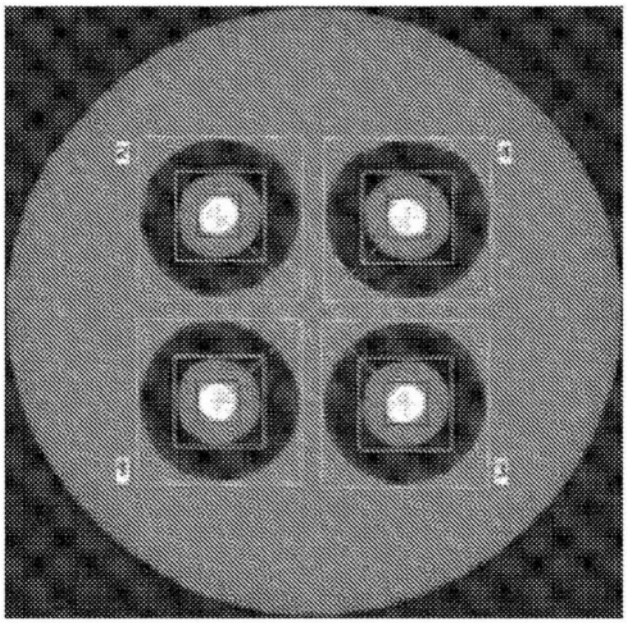


图4B

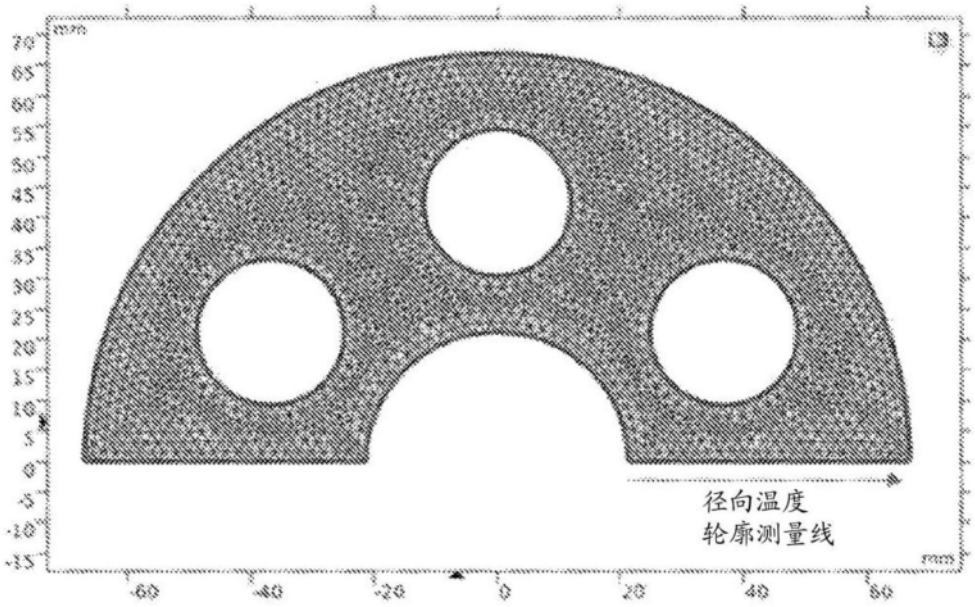


图5

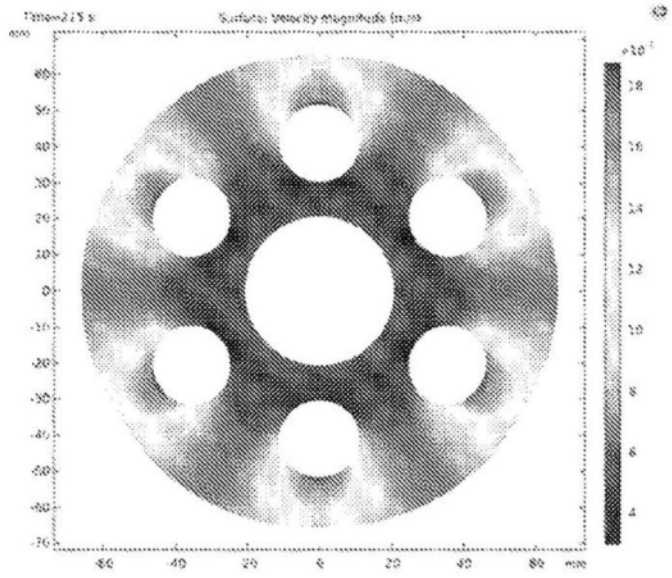


图6

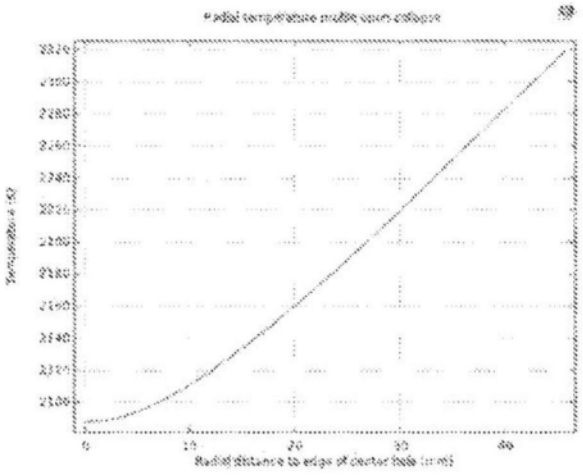


图7A

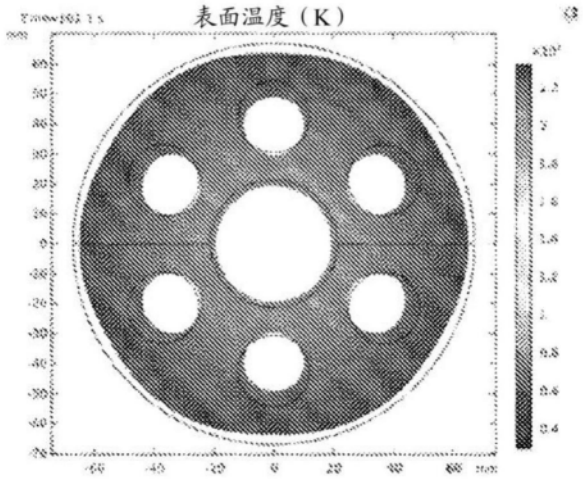


图7B

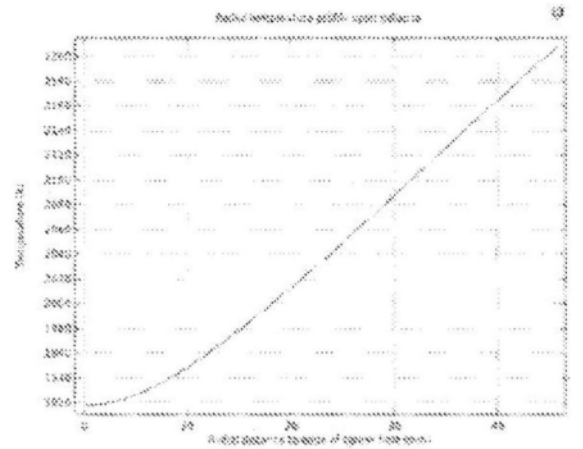


图8A

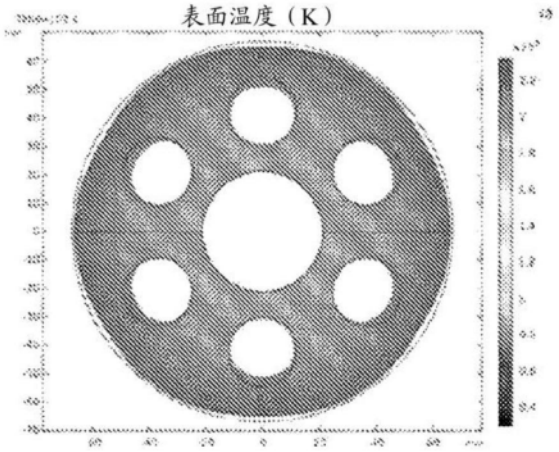


图8B

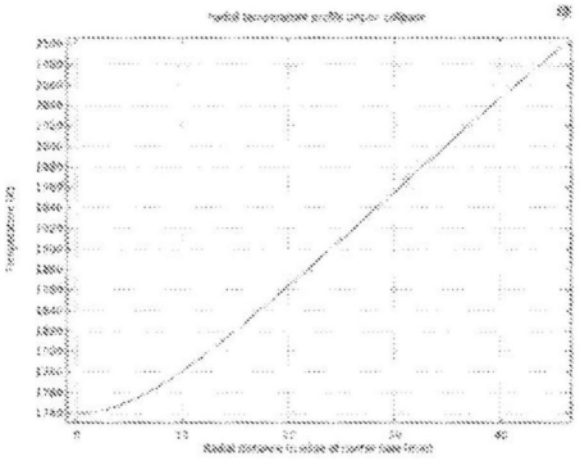


图9A

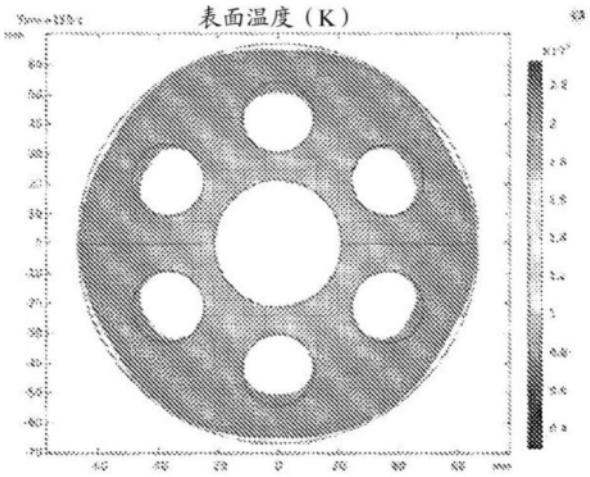


图9B

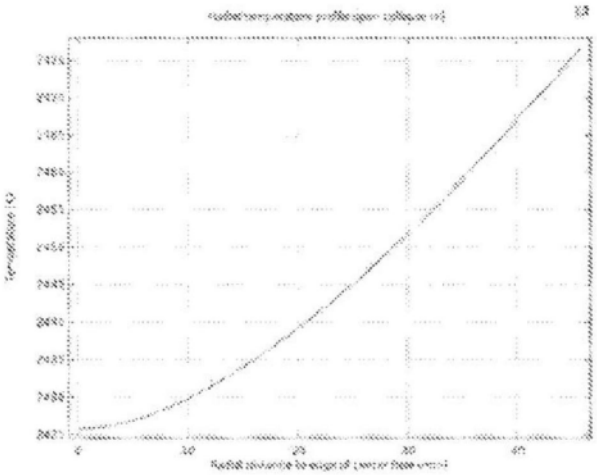


图10A

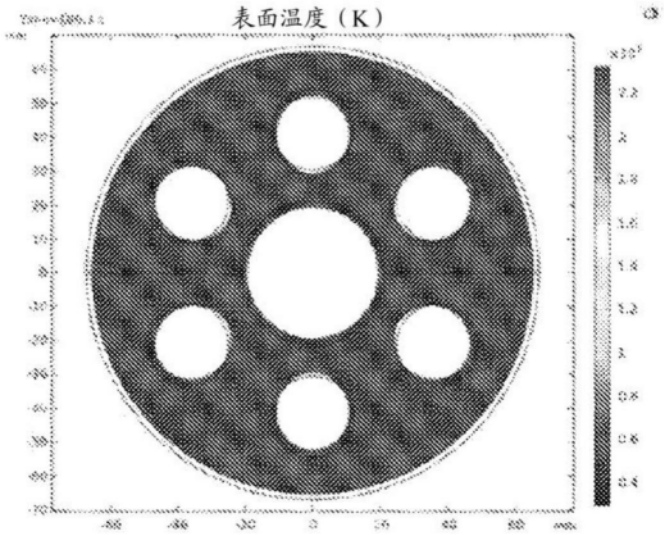


图10B

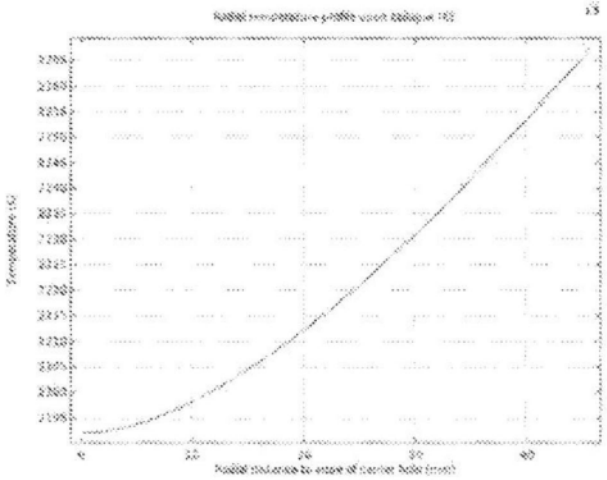


图11A

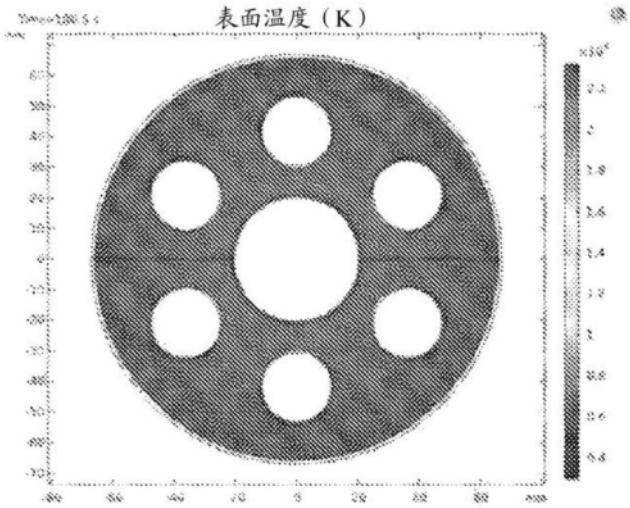


图11B

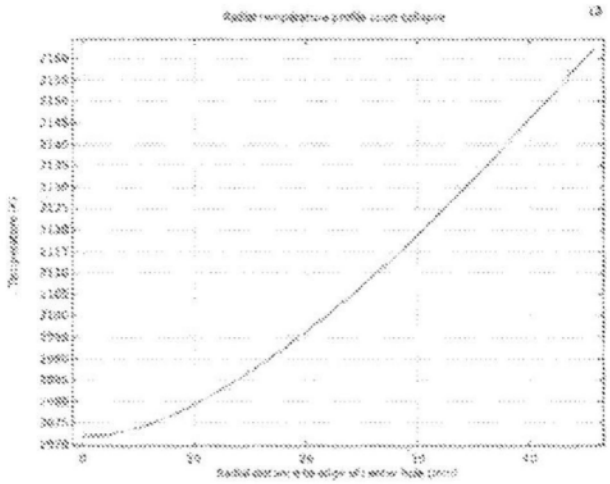


图12A

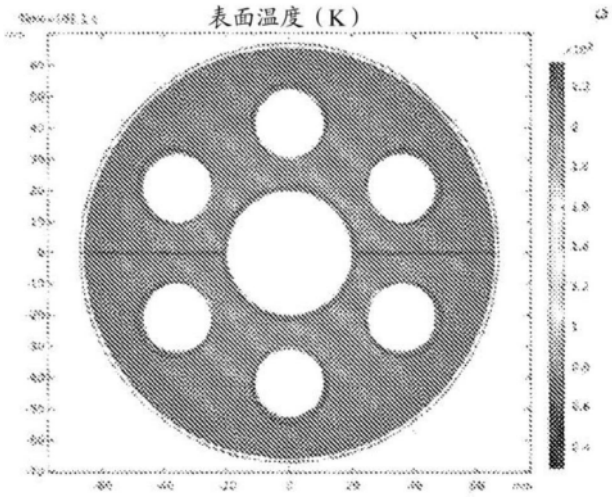


图12B

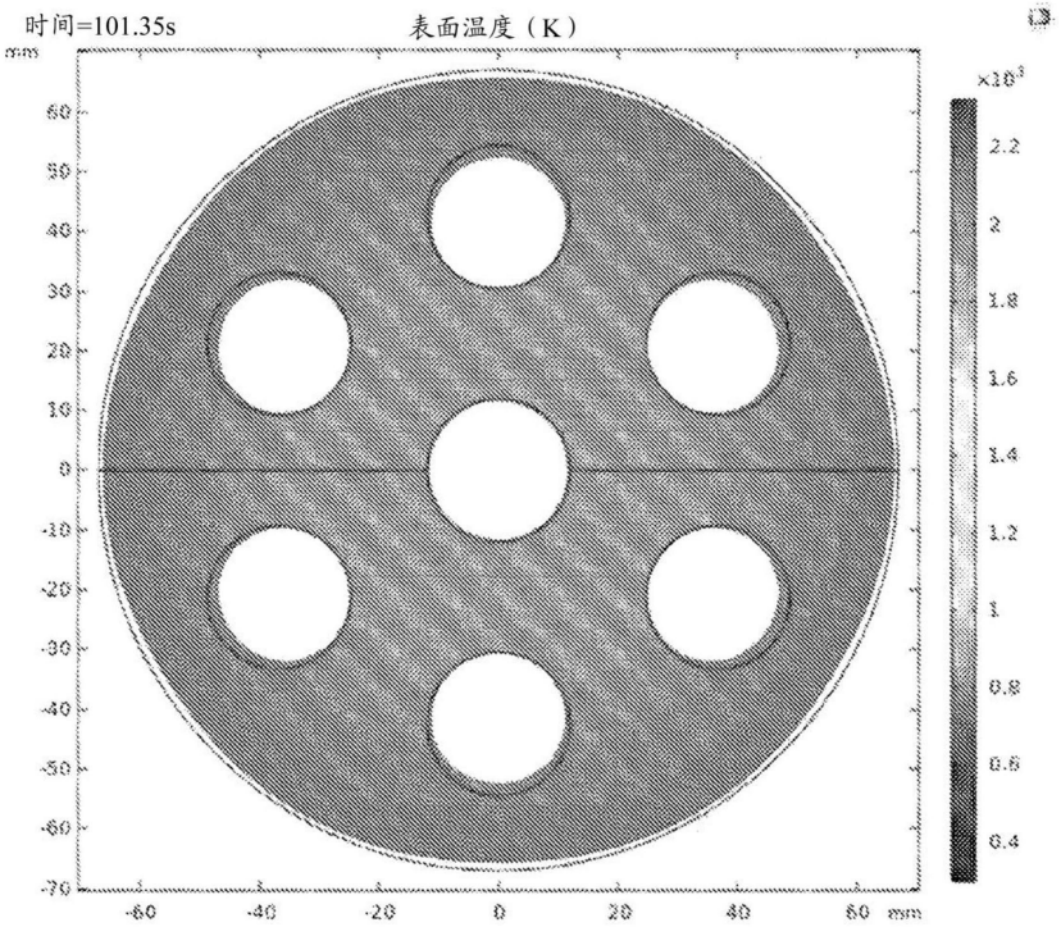

时间=101.35s
表面温度（K）
mm
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图13

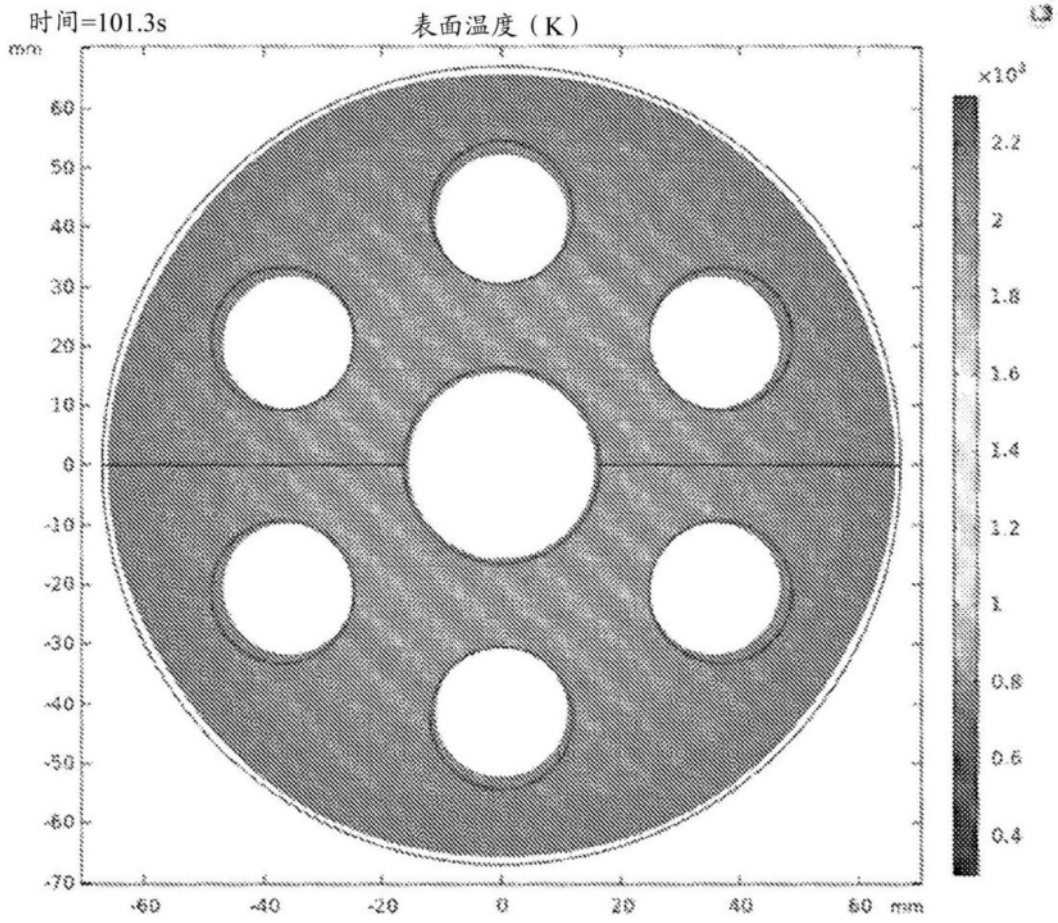

时间=101.3s
表面温度（K）
mm
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60 mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图14

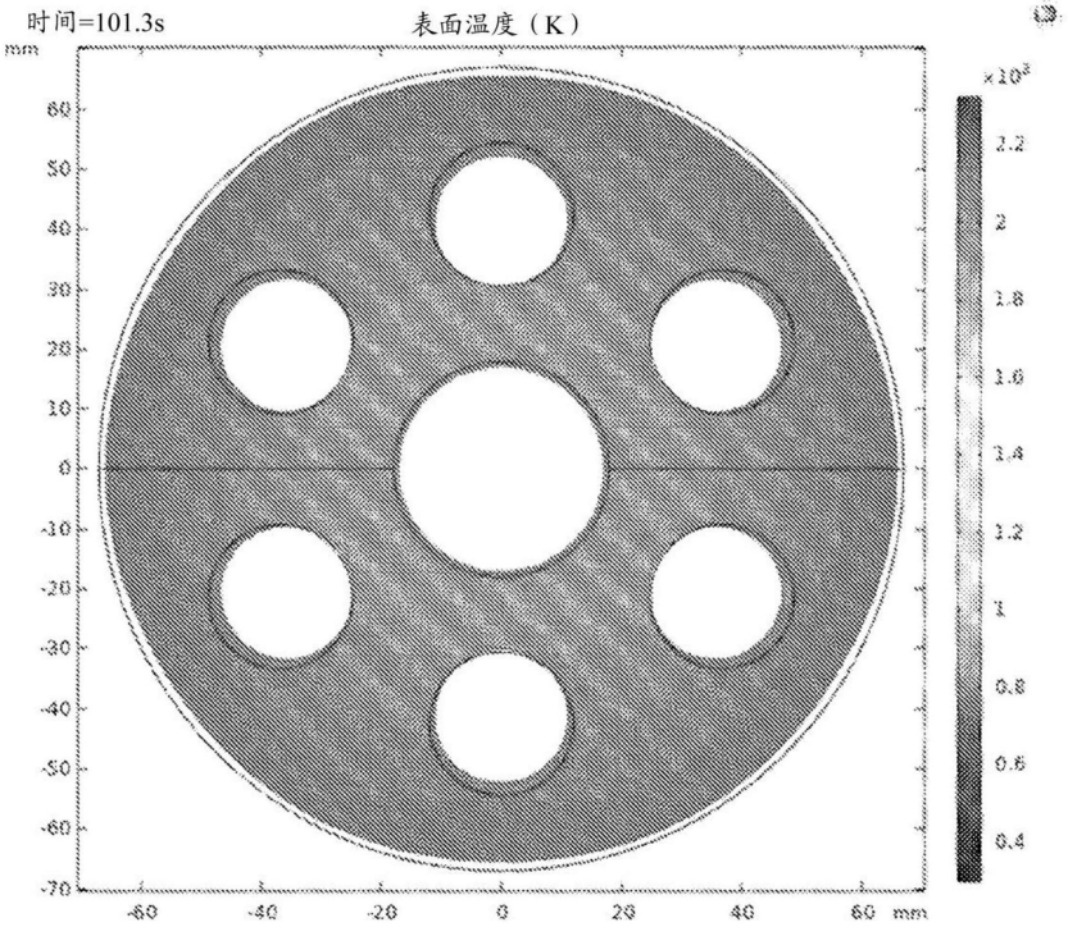

时间=101.3s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图15

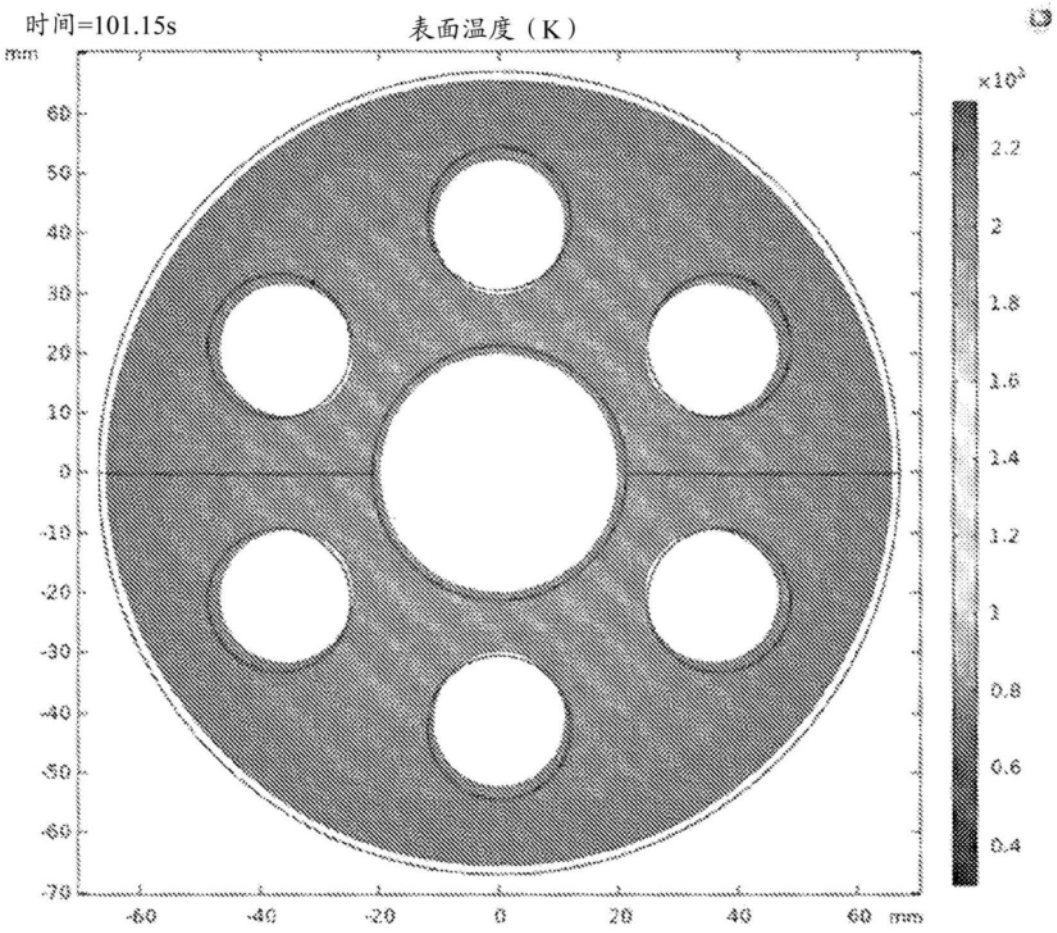

时间=101.15s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图16

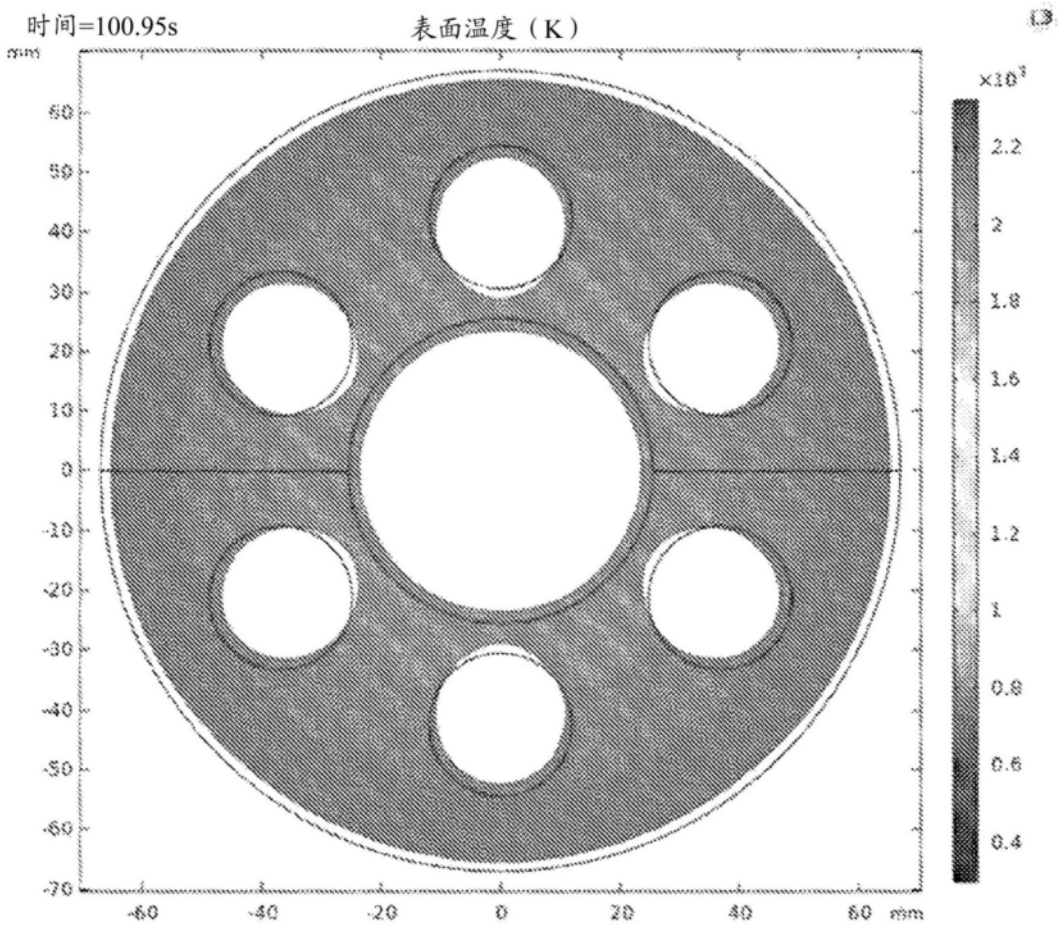

时间=100.95s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图17

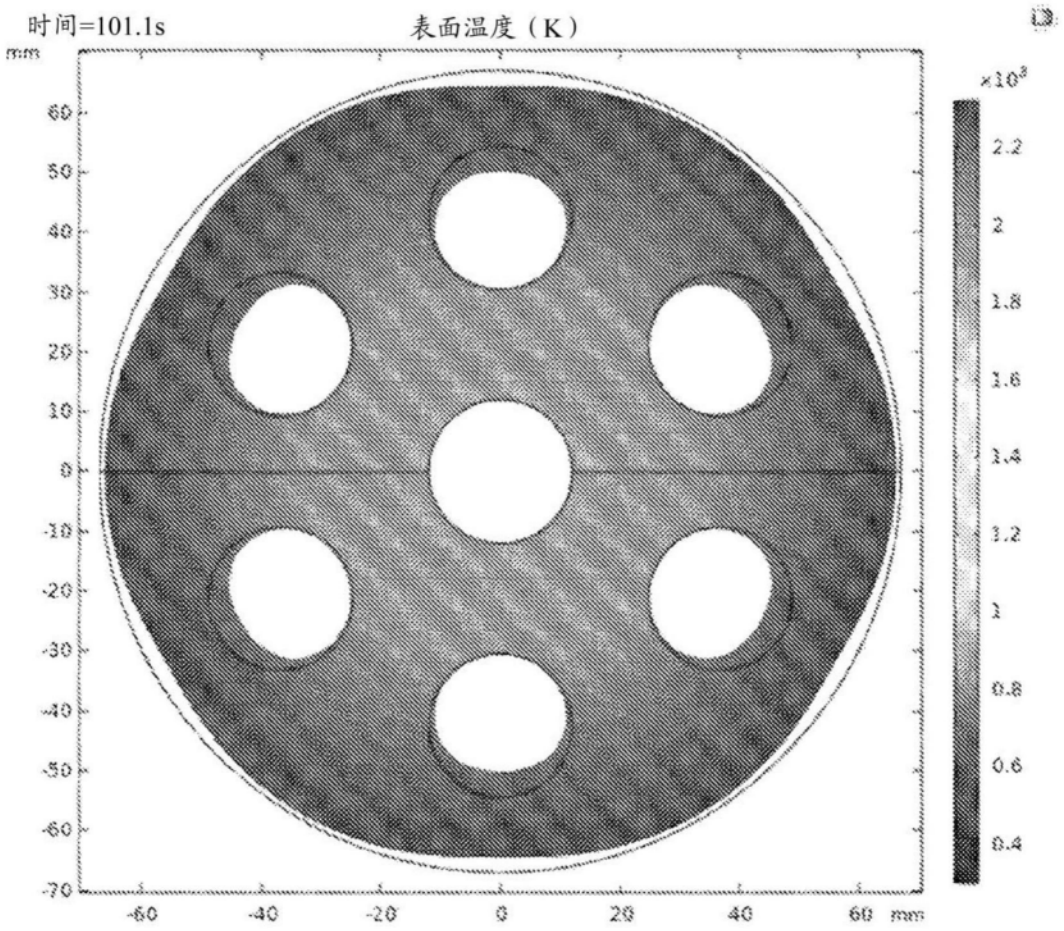

时间=101.1s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图18

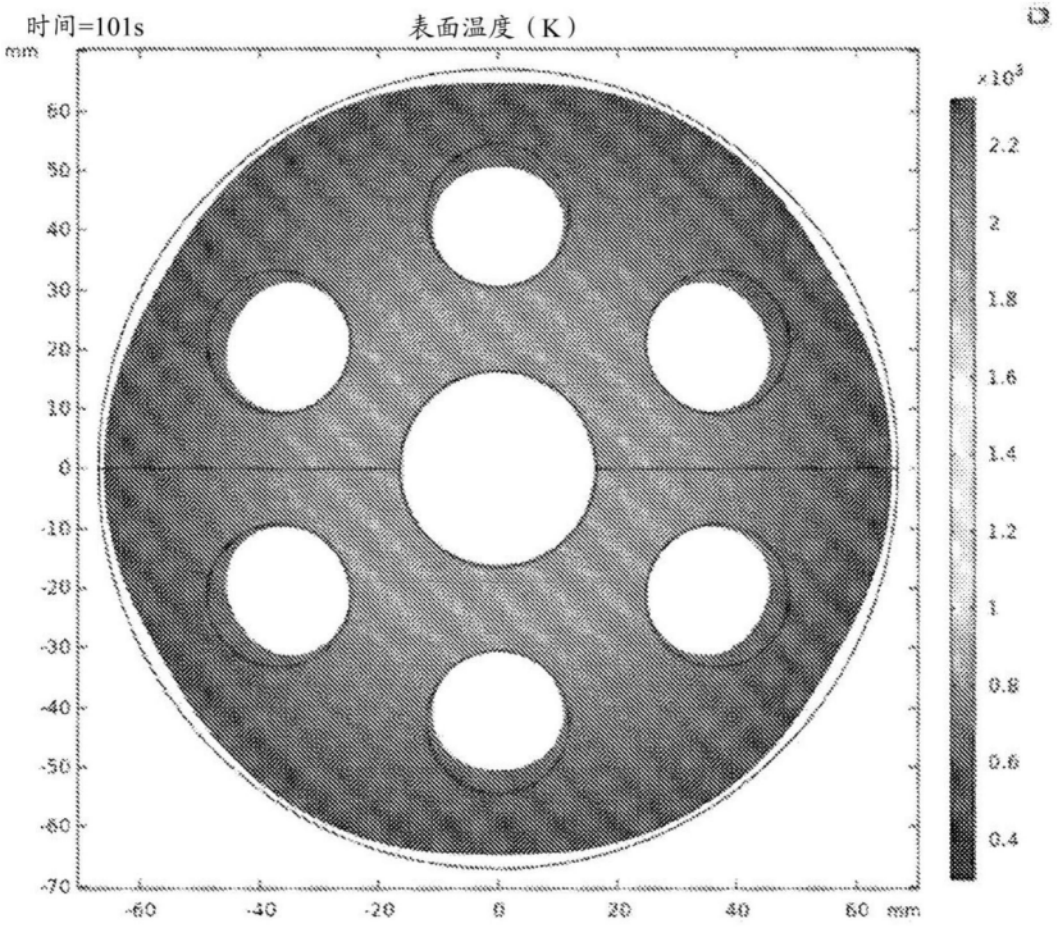

时间=101s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图19

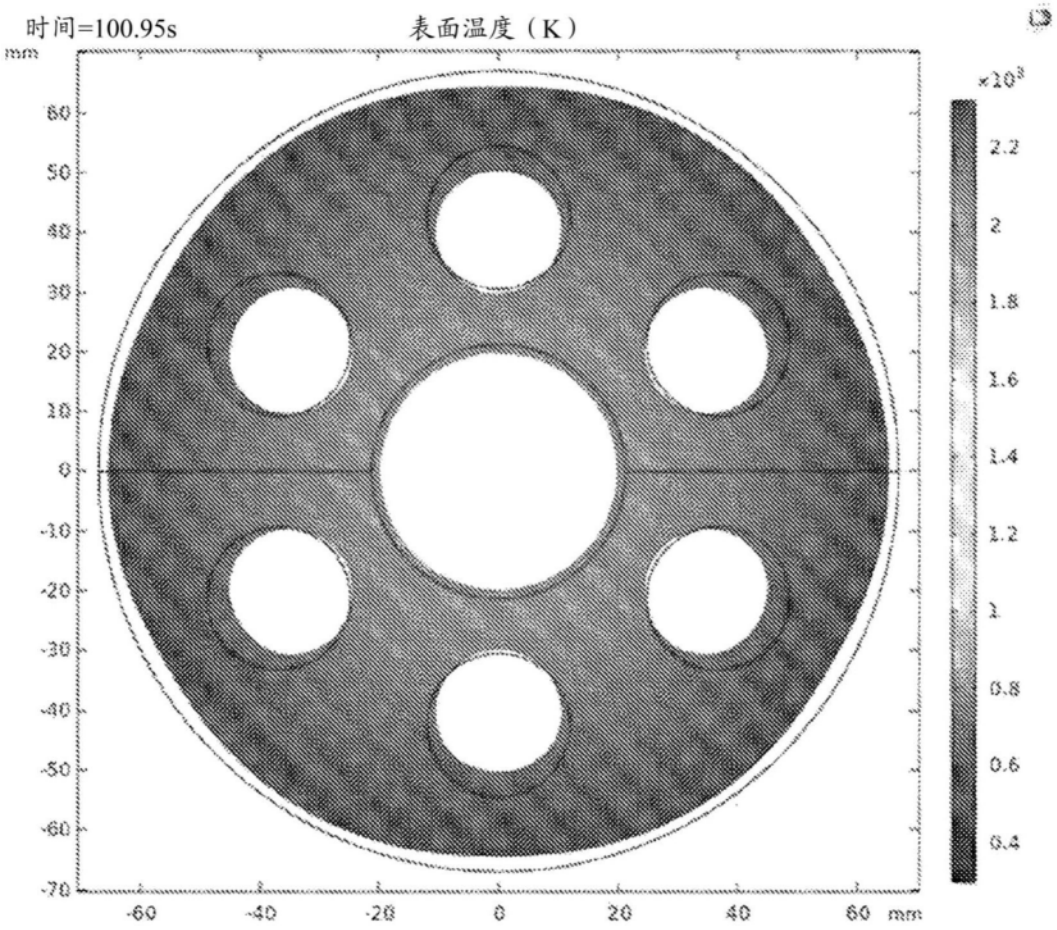

时间=100.95s
表面温度（K）
mm
×10^3
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图20

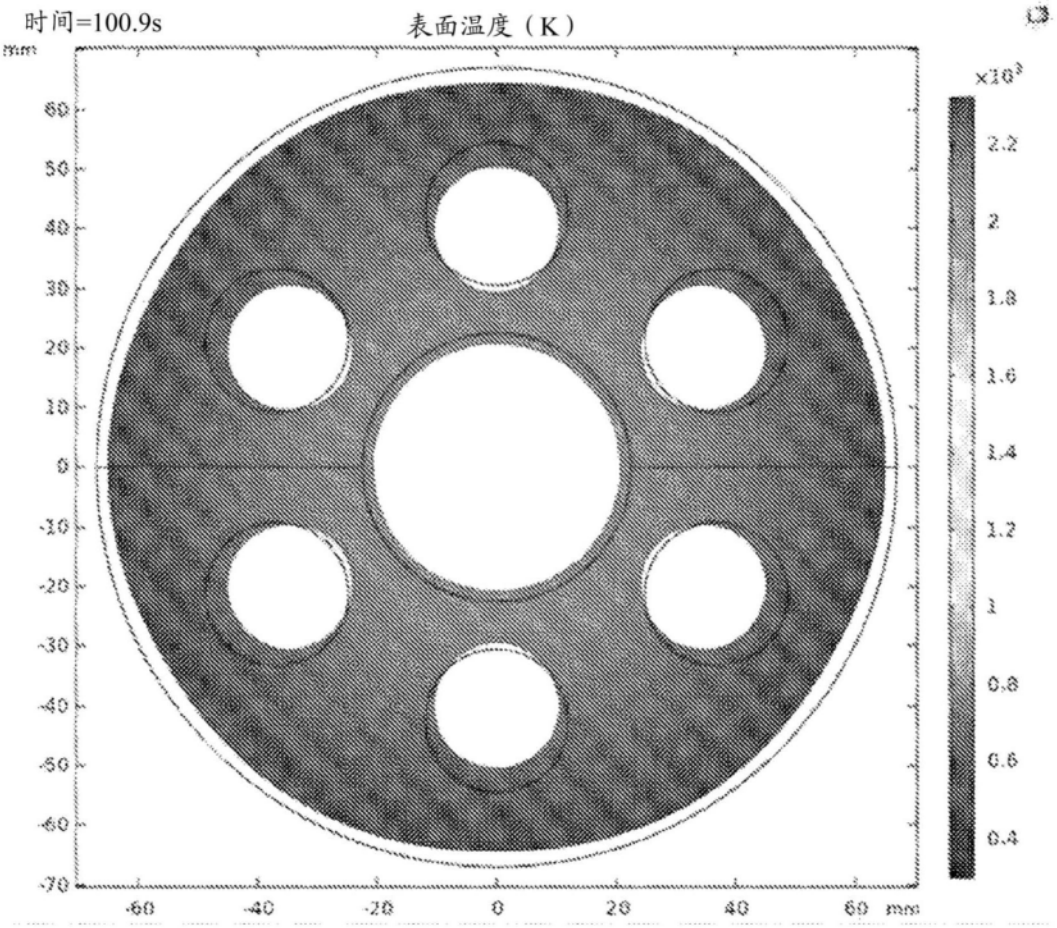

时间=100.9s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60 mm

图21

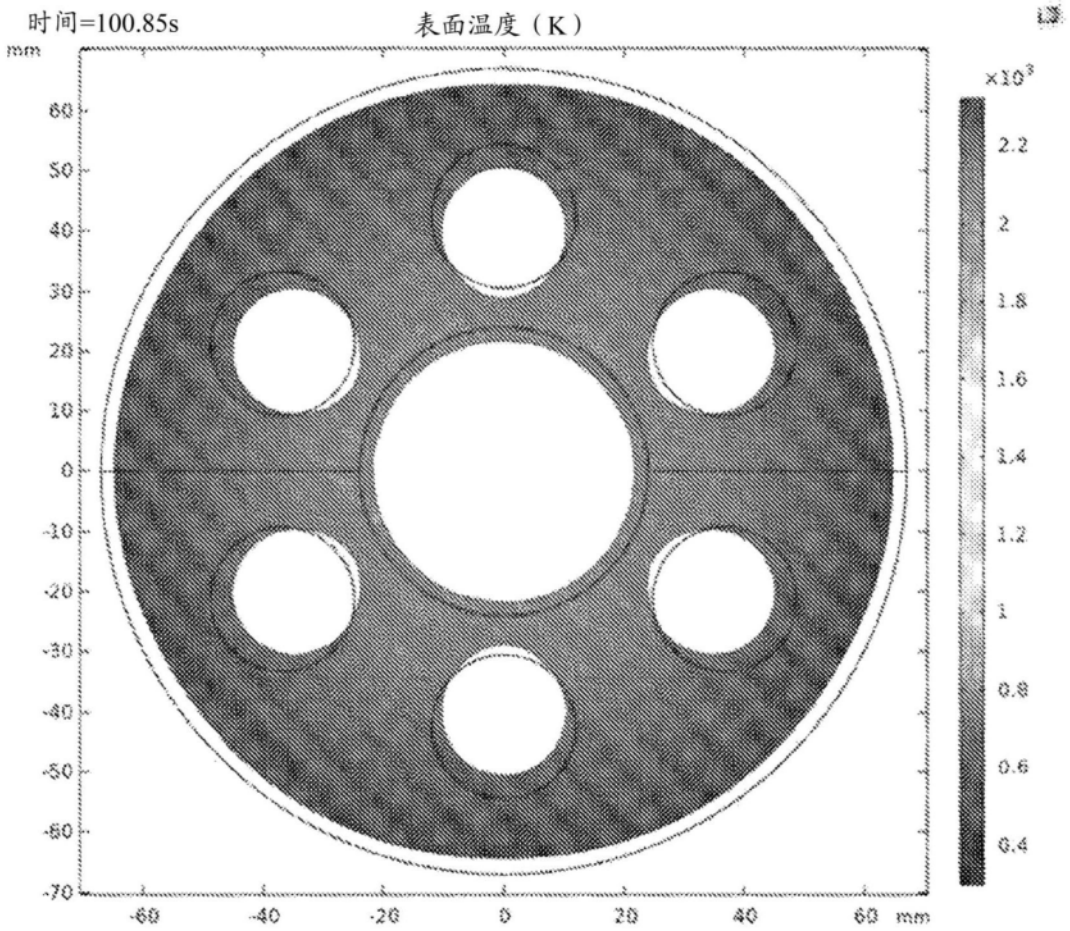

时间=100.85s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图22

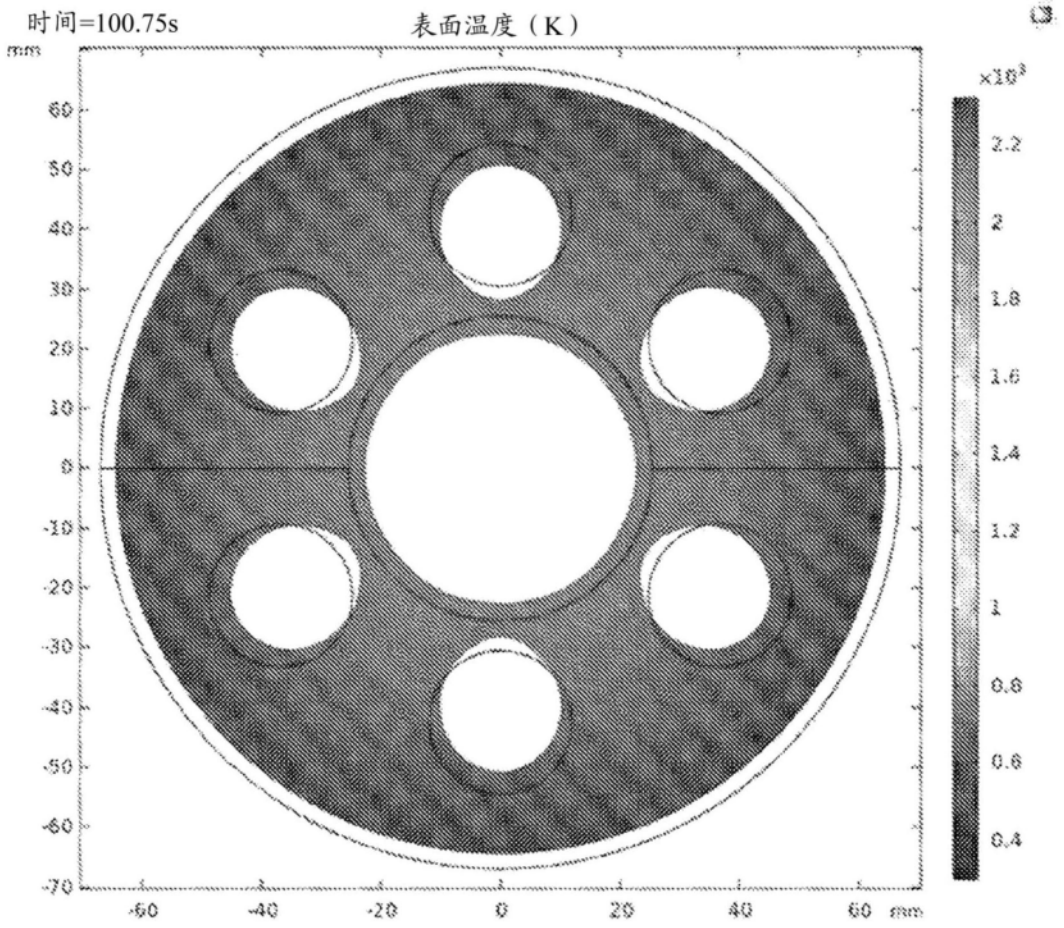

时间=100.75s
表面温度（K）
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm

图23

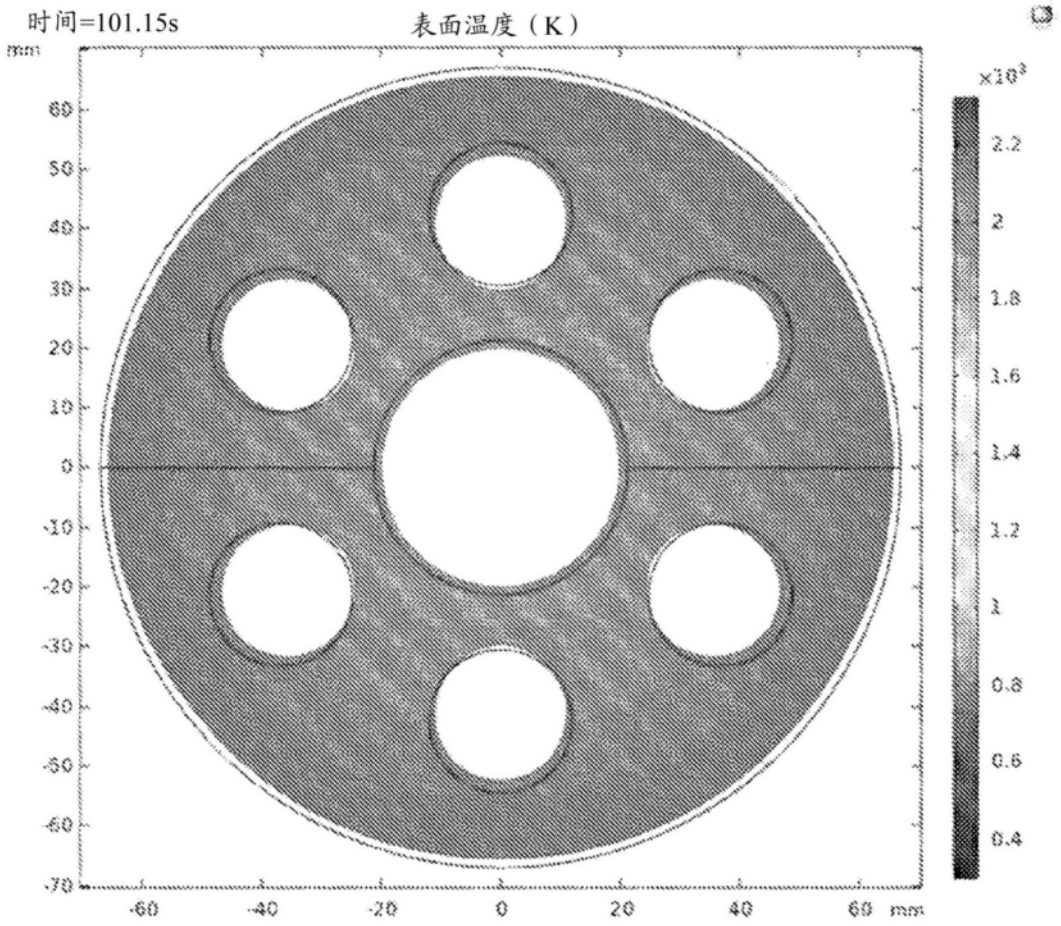

时间=101.15s
表面温度（K）
mm
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图24

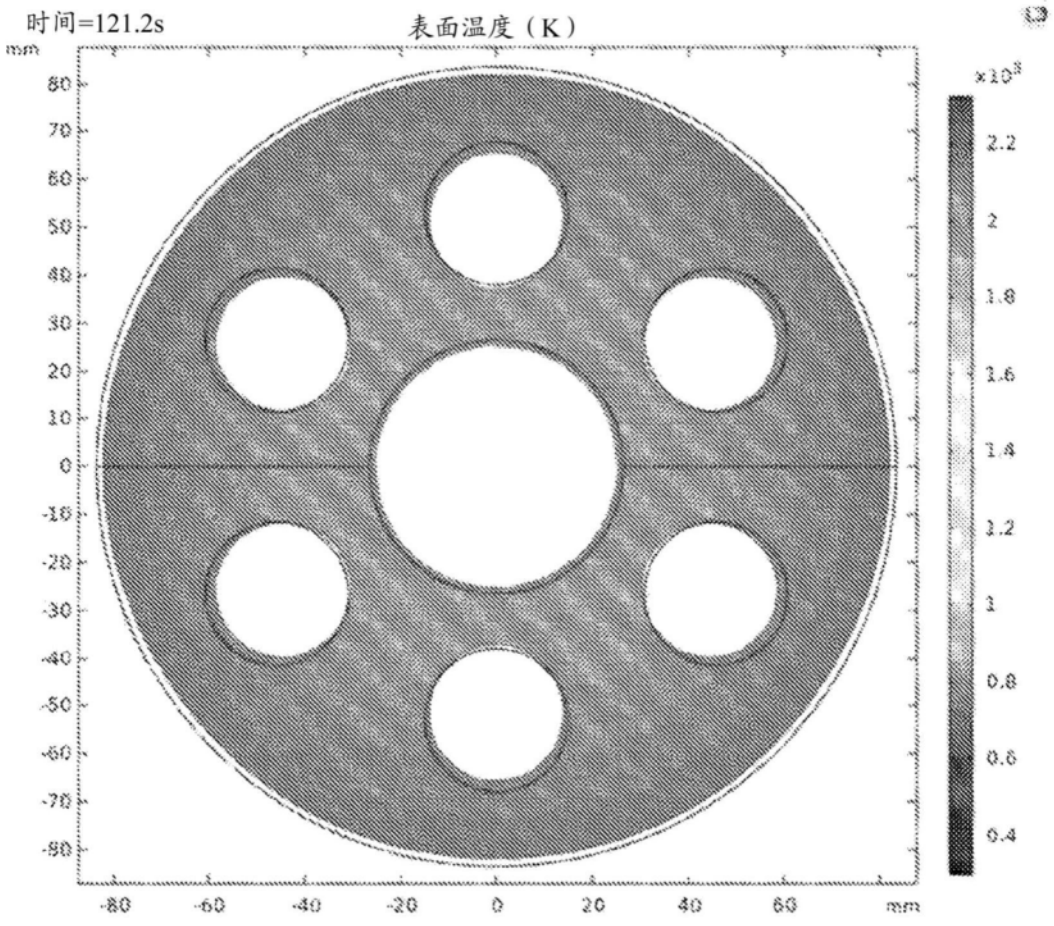

时间=121.2s
表面温度（K）
mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
x10^3
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图25

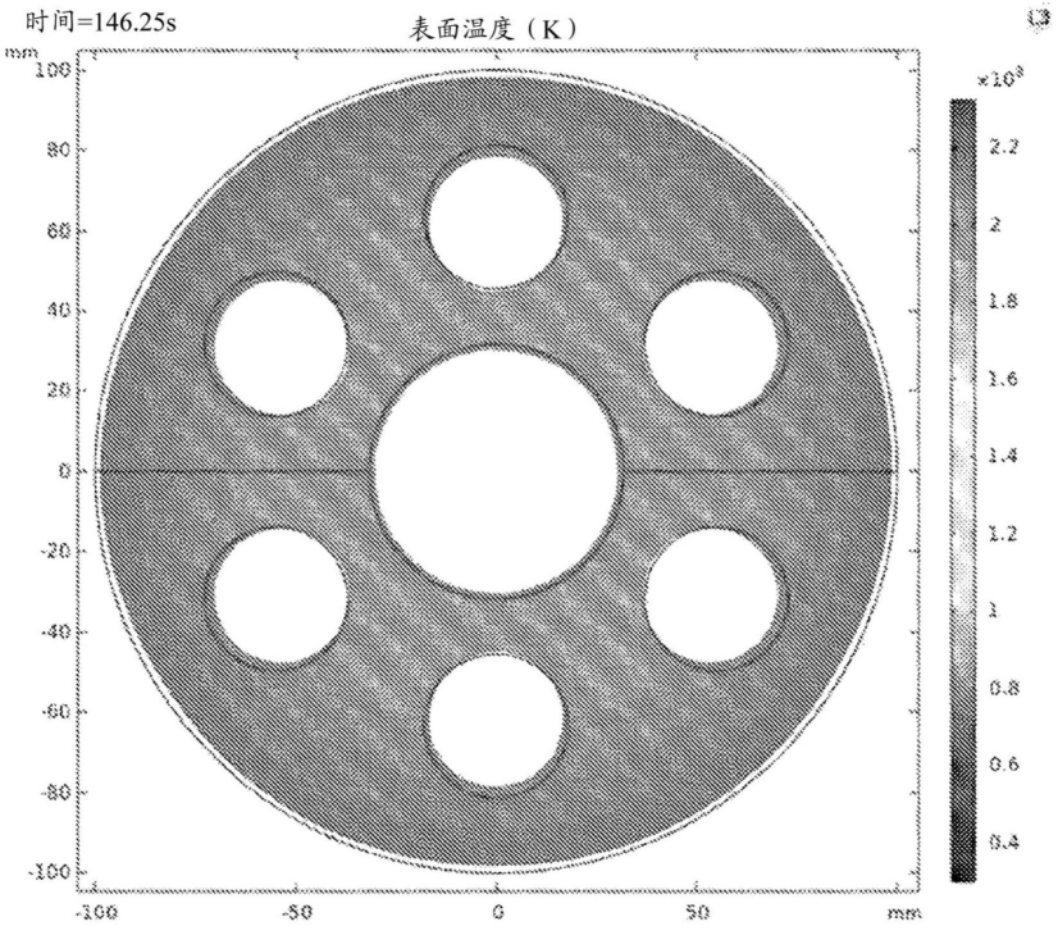

时间=146.25s
表面温度（K）
mm
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-100
-50
0
50
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图26

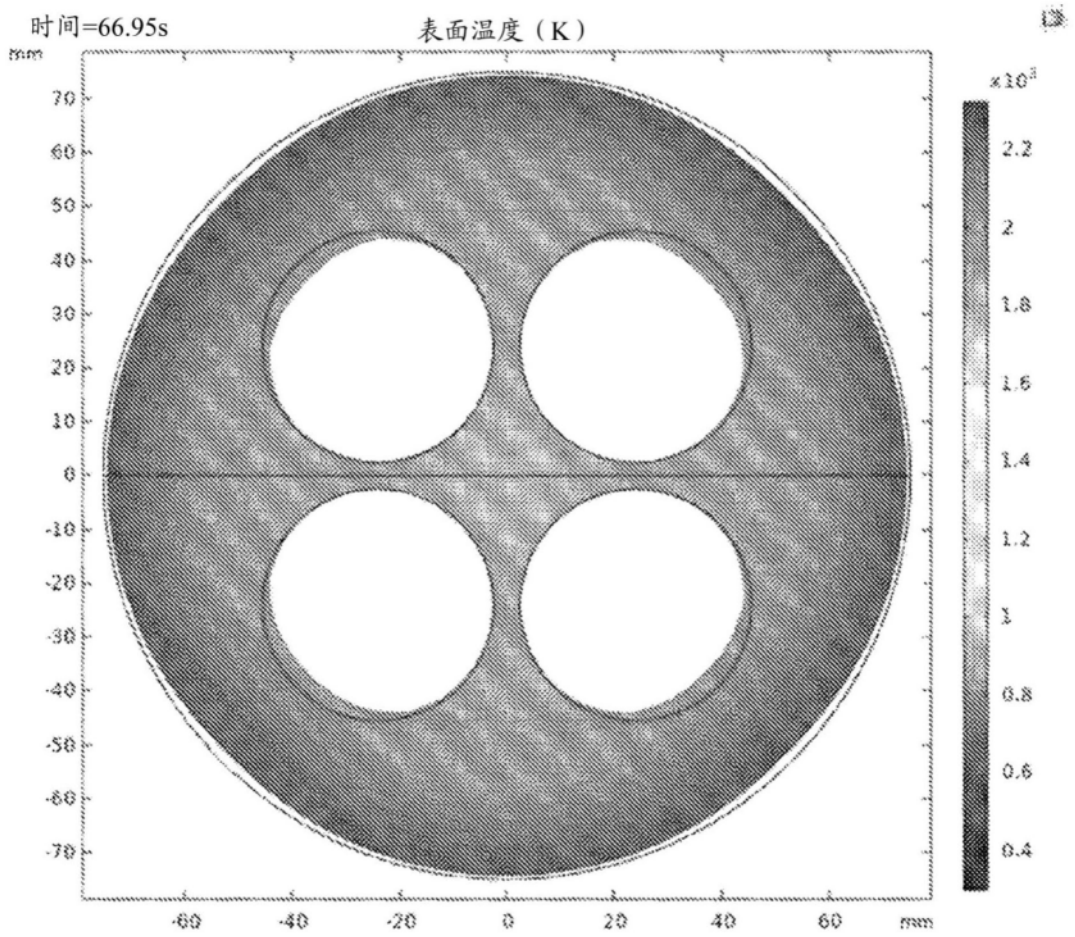

时间=66.95s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图27

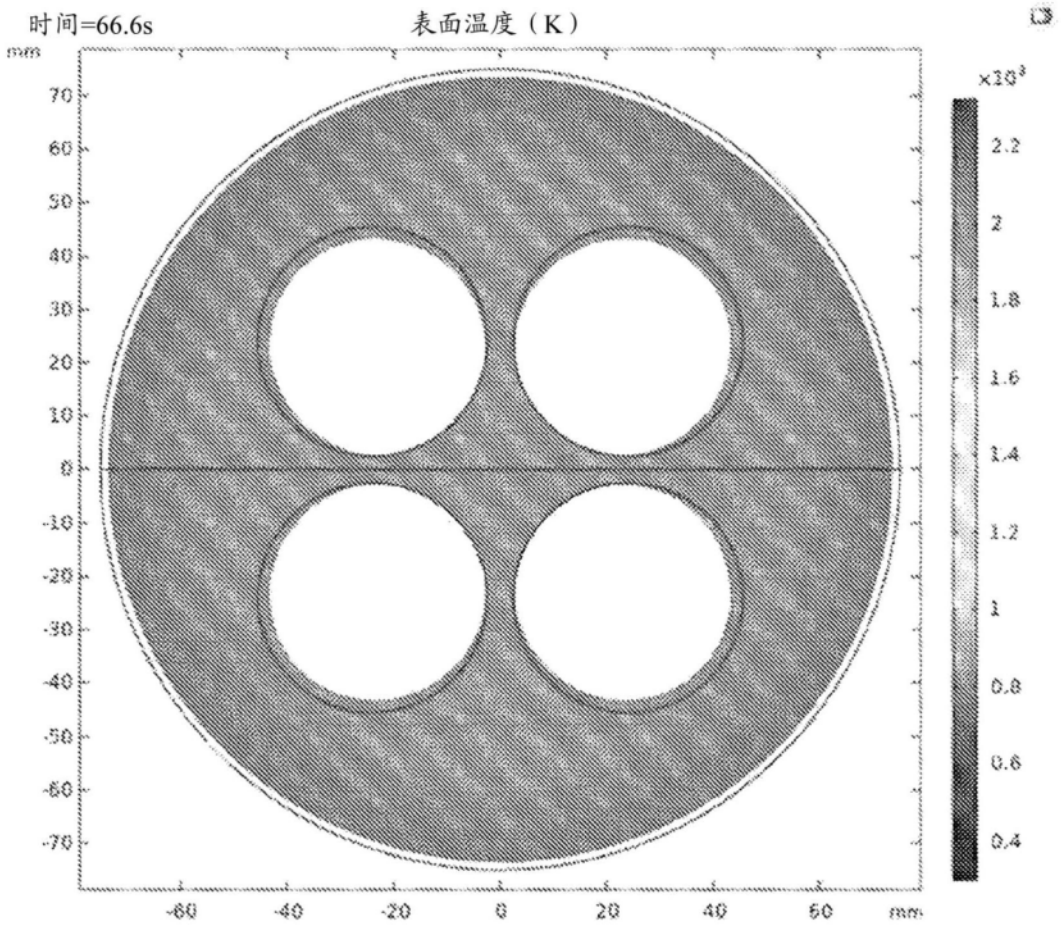

时间=66.6s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
x10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图28

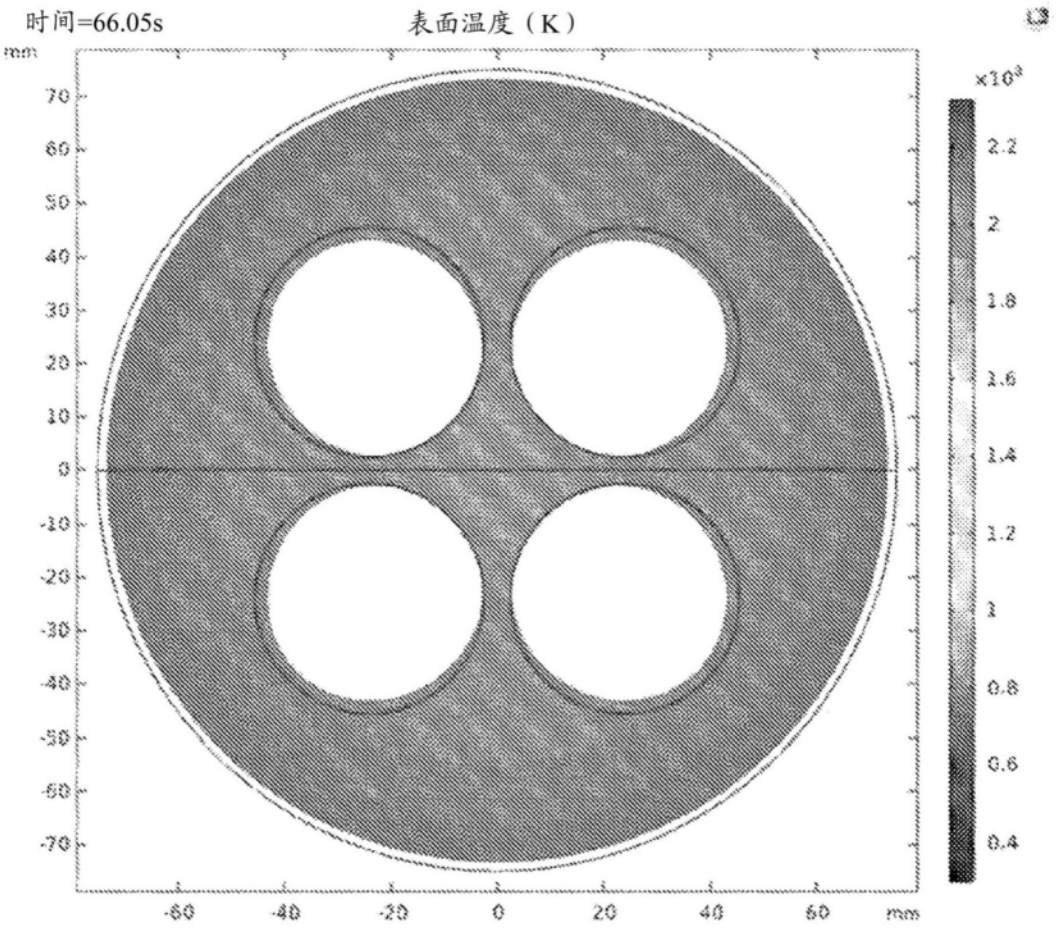

时间=66.05s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图29

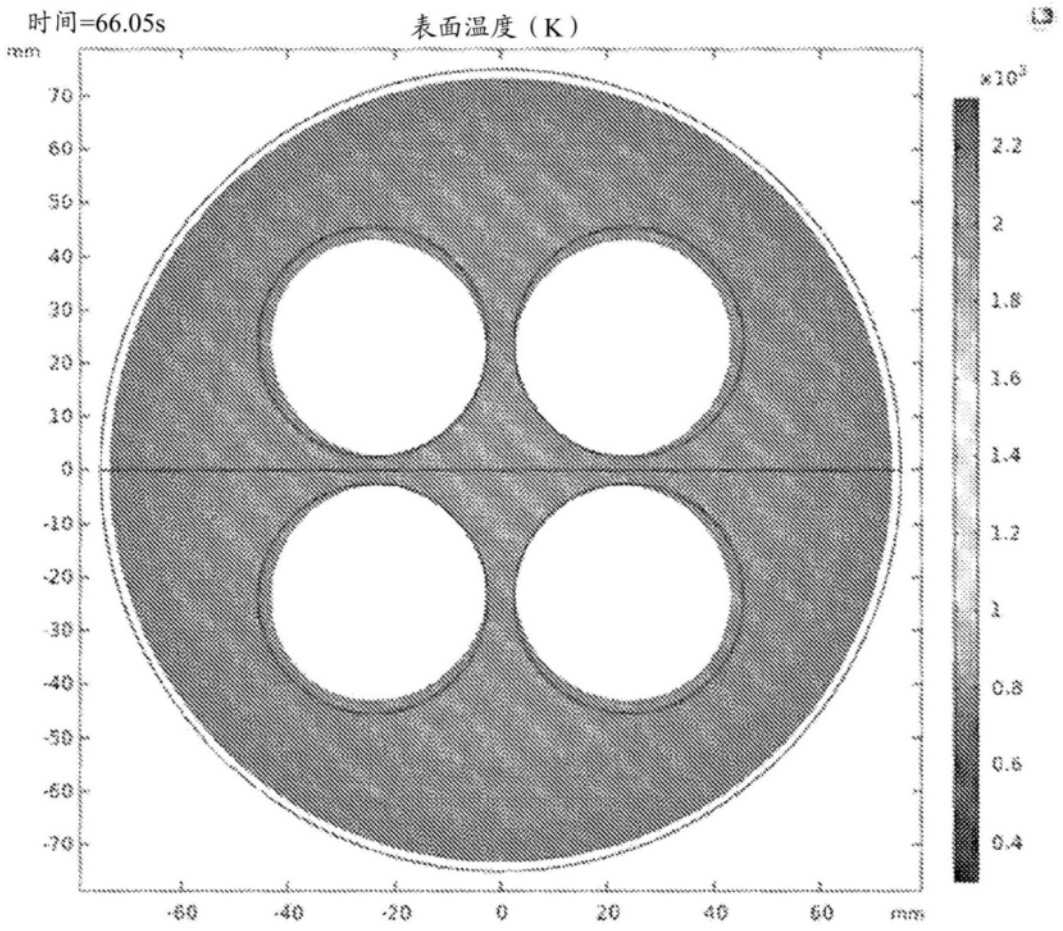

时间=66.05s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图30

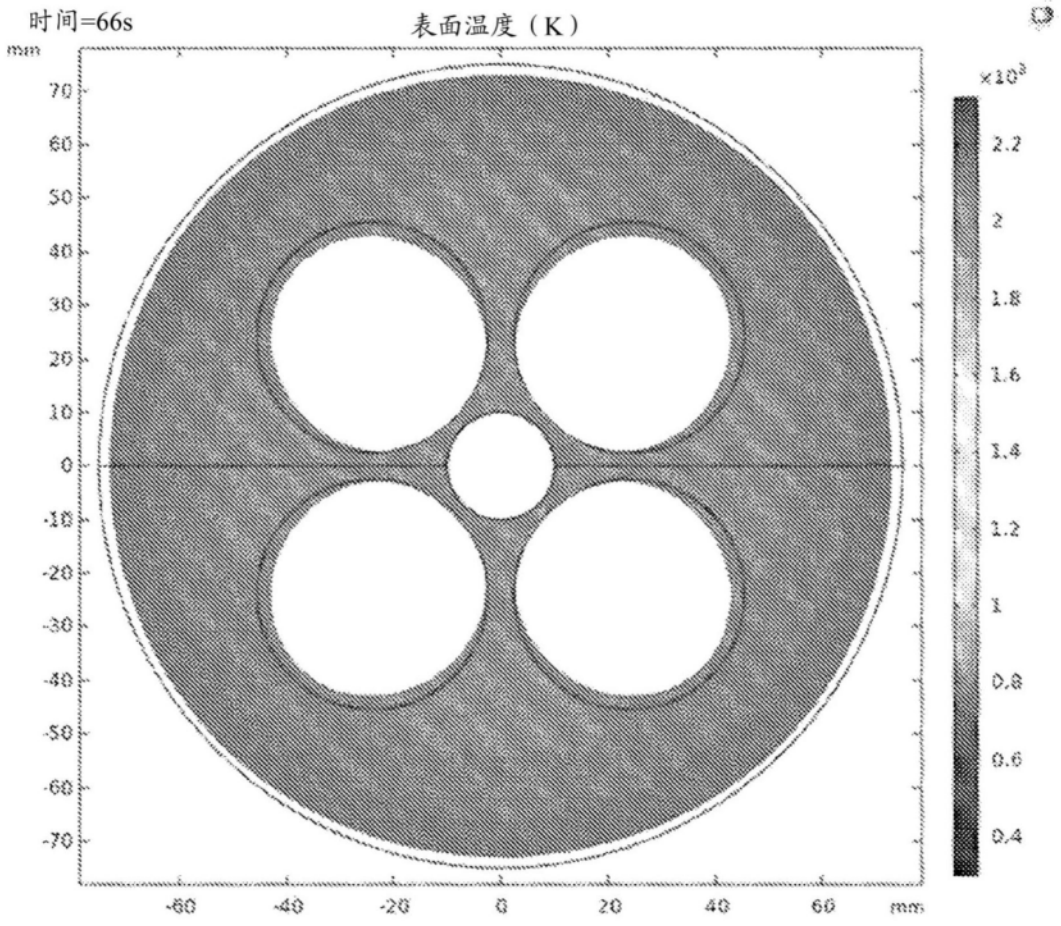

时间=66s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图31

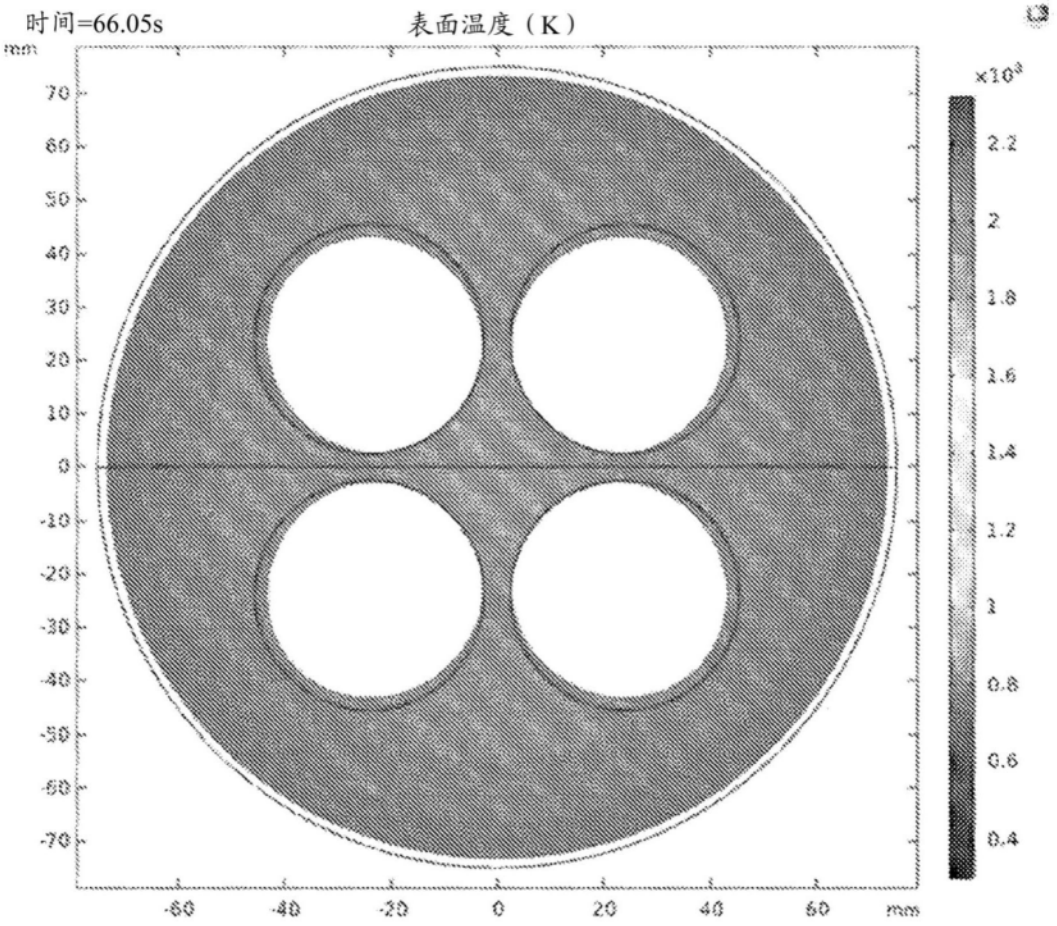

时间=66.05s
表面温度（K）
mm
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-60
-40
-20
0
20
40
60
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图32

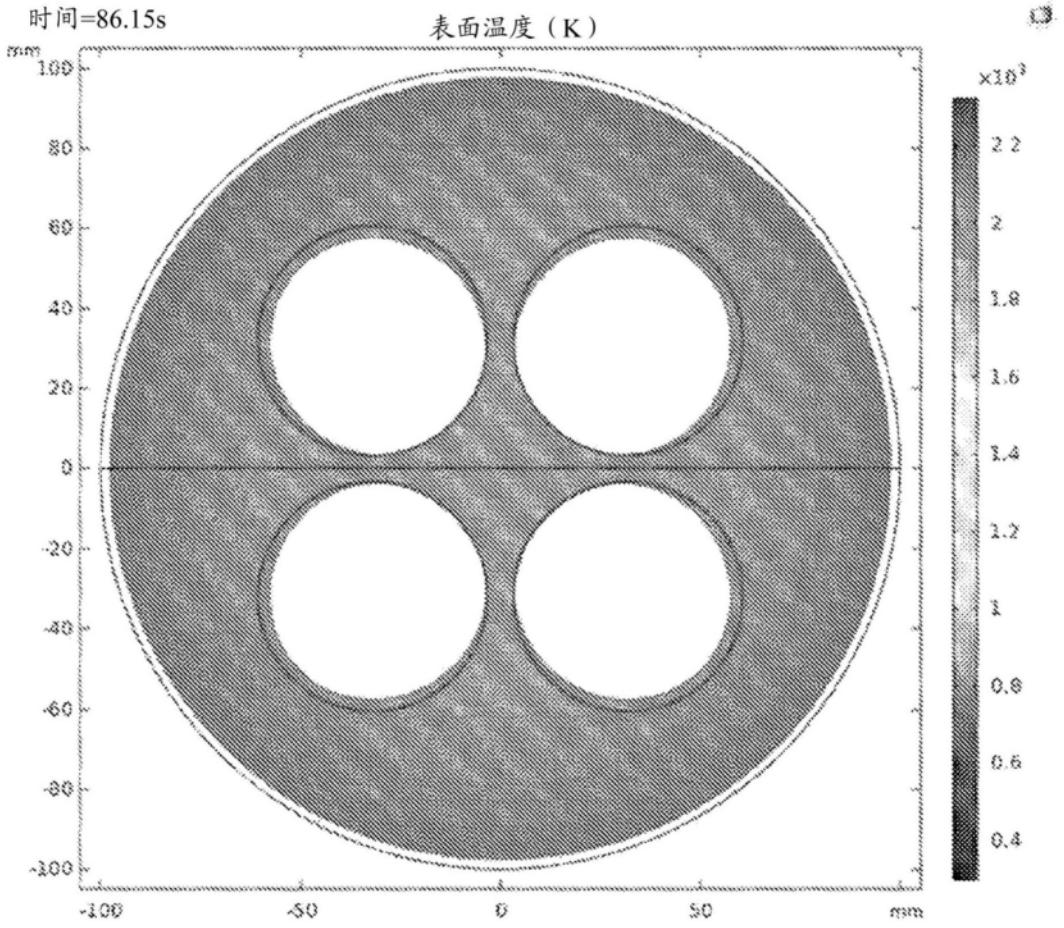

时间=86.15s
表面温度（K）
mm
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-100
-50
0
50
mm
×10³
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4

图33

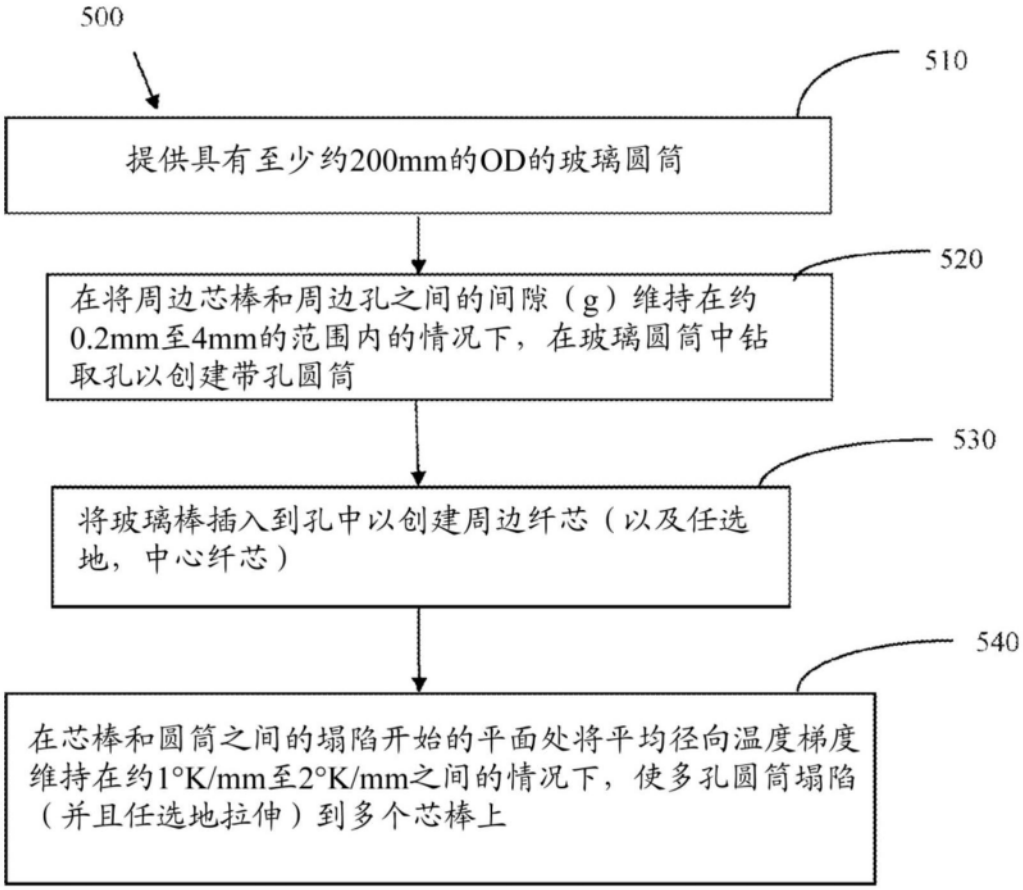

500
510
提供具有至少约200mm的OD的玻璃圆筒
520
在将周边芯棒和周边孔之间的间隙（g）维持在约0.2mm至4mm的范围内的情况下，在玻璃圆筒中钻取孔以创建带孔圆筒
530
将玻璃棒插入到孔中以创建周边纤芯（以及任选地，中心纤芯）
540
在芯棒和圆筒之间的塌陷开始的平面处将平均径向温度梯度维持在约1°K/mm至2°K/mm之间的情况下，使多孔圆筒塌陷（并且任选地拉伸）到多个芯棒上

图34