(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2020 年 12 月 10 日 (10.12.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/244034 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 6/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/096641

(22) 国际申请日: 2019 年 7 月 19 日 (19.07.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910482739.3 2019年6月4日 (04.06.2019) CN

(71) 申请人: 烽火通信科技股份有限公司 (**FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路 6 号, Hubei 430000 (CN)。 锐光信通科技有限公司 (**RUIGUANG TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市光谷创业街42号, Hubei 430000 (CN)。

(72) 发明人: 杜城 (**DU, Cheng**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 罗文勇 (**LUO, Wenyong**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 李伟 (**LI, Wei**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 陈保平 (**CHEN, Baoping**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 何茂友 (**HE, Maoyou**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 胡国华 (**HU, Guohua**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 钱峰 (**QIAN, Feng**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。

(74) 代理人: 武汉智权专利代理事务所（特殊普通合伙） (**WUHAN ZHIQUAN PATENT AGENT, LLP.**);

(54) **Title:** MULTI-CORE FEW-MODE OPTICAL FIBER AND MANUFACTURE METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种多芯少模光纤及其制造方法

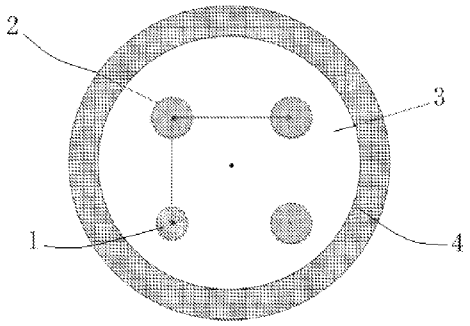


图 2

(57) **Abstract:** Disclosed are a multi-core and few-mode optical fiber and a manufacture method therefor. The multi-core and few-mode optical fiber comprises a fiber body and a cladding layer (3). The fiber body comprises at least one first fiber core (1) and at least two second fiber cores (2), which are a determined distance away from the center of the fiber body and spaced with each other. Each of the first fiber core (1) and the second fiber core (2) comprises at least one circulating layer and a core layer arranged outside the circulating layer. Arbitrary two adjacent core layers of the first fiber core (1) and the second fiber core (2) have different refractive indexes or diameters, and at least one of the effective refractive index and the diameter of the first fiber core (1) is different from that of the second fiber core (2). The cladding layer (3) surrounds the first fiber core (1) and the second fiber core (2), and the refractive index of the cladding layer (3) is lower than that of the first fiber core (1) and the second core (2), and is higher than that of the outermost core layer of the first fiber core (1) and the second fiber core (2). The method solves the problem that the transmission signals are similar and difficult to be distinguished in a signal transmission process when the optical fiber is applied in the sensing and communication field.

WO 2020/244034 A1

[见续页]

中国湖北省武汉市东湖高新区创业广场7-3栋3层302室, Hubei 430000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种多芯少模光纤及其制造方法，多芯少模光纤包括纤体和包层（3），纤体包括有距纤体中心预定距离且相互间隔设置的至少一根第一纤芯（1）和至少两根第二纤芯（2），第一纤芯（1）和第二纤芯（2）均包括至少一循环层和设于循环层外侧的芯层，第一纤芯（1）和第二纤芯（2）任意相邻两层芯层的折射率或直径不同，第一纤芯（1）的有效折射率和直径中的至少一种与第二纤芯（2）不同，包层（3）包围第一纤芯（1）和第二纤芯（2），包层（3）的折射率低于第一纤芯（1）和第二纤芯（2）的有效折射率，高于第一纤芯（1）和第二纤芯（2）最外侧芯层的折射率。解决了光纤在传感及通信领域应用时，信号传输过程中传输信号相似而难以区分的问题。

一种多芯少模光纤及其制造方法

技术领域

本发明涉及光纤传感与光纤通信领域，具体涉及一种多芯少模光纤及其制造方法。

背景技术

未来飞行器中，采用柔性变形机翼的变体飞行器是一个重要的发展方向，而集驱动控制和传感监测于一体的智能复合材料结构成为飞行器新型柔性蒙皮的首选，对于高端变体机翼的变形监测，二维变形数据已经无法满足未来飞行器的要求，实时获得机翼的三维空间变形数据显得极为重要。因此亟待研究开发新一代的监测技术，对未来飞行器变形机翼的三维空间变形进行实时动态监测，提供准确的变形数据，为飞行器的安全飞行提供重要保障。

光纤布拉格光栅（Fiber Bragg Grating）传感器具有较高的环境适应性和长期可靠性，且有微米尺寸、柔软质轻、植入方便等优点，是一种成熟的分布式结构健康长期监测技术。目前柔性蒙皮复合材料的研究热点之一是将刻有光栅的光纤埋植到复合材料中形成智能蒙皮结构，进而实现机翼蒙皮的长期损伤监测，然而传统的光纤传感器均基于常规单芯通信光纤，具有对轴向敏感、侧向变形不敏感的特点，因此需要进行特别布设才可以满足弯曲传感的需求。

多芯光纤因具有多个高折射率纤芯，因此在多芯光纤上写制光栅形成的多芯光栅，可有效结合多芯光纤的弯曲传感特性和光栅的应变敏感特性及分布式测量优势。当前普遍采用无焊点的传感光纤光栅阵

列用于飞行器蒙皮变形的监测，在光纤光栅制造与应用过程中，对多芯结构光纤主体的各芯区进行有效区分尤其重要，而由于不同芯结构的多芯光纤制造工艺难度较大，当前应用的多芯光纤纤芯通常为多个相同简单阶跃型波导的组合，其传输信号相似而难以区分，这类各芯波导结构相似的多芯光纤，也不利于后续光纤光栅刻写效果检验与监测应用中的数据分析。

如附图 1 所示的多芯光纤，多芯光纤 1 包括多个纤芯单元 10a、10b、10c 和多个第 2 纤芯 21，纤芯单元 10a 依次包括第一纤芯 11a、内侧包层 12a 和低折射率层 13a,纤芯单元 10b 依次包括第一纤芯 11b、内侧包层 12b 和低折射率层 13b,纤芯单元 10c 依次包括第一纤芯 11c、内侧包层 12c 和低折射率层 13c,低折射率层 13a、13b 和 13c 的外周面均被外侧包层 30 包围，多芯光纤 1 内设有 LY1、LY2、LY3 和 LY4 四层，每一层上的多根纤芯均按照六边形的形状规律分布，纤芯单元 10a、10b 和 10c 与第 2 纤芯 21 的有效折射率不同。此多芯光纤 1 通过满足特定排列规律以及变换折射率从而解决了信号传输过程中抑制交扰的问题。然而其依然存在问题，首先，此类光纤的制作工艺复杂，对排列及精度要求高，其次，纤芯的根数较多且呈对称分布，只能应用在通信领域，而不能应用在传感器上，应用范围有限。

发明内容

针对现有技术中存在的缺陷，本发明的目的在于提供一种多芯少模光纤及其制造方法，解决了光纤在传感及通信领域应用时，信号传输过程中传输信号相似而难以区分的问题。

为达到以上目的，本发明采取的技术方案是：

纤体，其包括有距所述纤体中心预定距离且相互间隔设置的至少

一根第一纤芯和至少两根第二纤芯，所述第一纤芯和第二纤芯均包括至少一循环层，所述循环层包括三层芯层，且所述循环层的外侧还设有一层芯层，所述第一纤芯和第二纤芯任意相邻两层芯层的折射率或直径不同，其中，所述第一纤芯的有效折射率和直径中的至少一种与所述第二纤芯不同；

包层，其包围所述第一纤芯和第二纤芯，所述包层的折射率低于所述第一纤芯和第二纤芯的有效折射率，高于所述第一纤芯和第二纤芯最外侧芯层的折射率。

在上述技术方案的基础上，所述循环层包括从内至外依次设置的第一芯层、第二芯层和第三芯层，位于所述循环层外侧的芯层为第四芯层，其中，所述第一芯层与第三芯层的最大相对折射率差为 0.3%～2.5%，最小相对折射率差为 0.05%～0.6%，所述第三芯层与第四芯层的相对折射率差为 0%～1.1%。

在上述技术方案的基础上，所述第三芯层的折射率大于或等于所述包层的折射率，所述第四芯层、包层和第三芯层的折射率为近似阶跃分布。

在上述技术方案的基础上，所述第一芯层的折射率的分布幂指数 α 为-1.2～-2.5。

在上述技术方案的基础上，所述第一纤芯和第二纤芯均包括多个依次设置的循环层，所述第四芯层设于最外侧的所述循环层外。

在上述技术方案的基础上，所述预定距离为 32～248μm。

在上述技术方案的基础上，所述第一纤芯的根数最多为 3 根。

在上述技术方案的基础上，所述纤体还包括涂覆层，所述涂覆层设于所述包层的外侧。

在上述技术方案的基础上，所述涂覆层的厚度为 20～100μm，所

述包层的半径为 30～500μm。

在上述技术方案的基础上，所述涂覆层为双层丙烯酸树脂、聚酰亚胺、单层丙烯酸树或硅橡胶中的一种。

另一方面，本发明的目的在于提供一种多芯少模光纤的制造方法，解决了光纤在传感及通信领域应用时，信号传输过程中传输信号相似而难以区分的问题。

为达到以上目的，本发明采取的技术方案是：

在石英反应管内采用包括四氯化硅 $SiCl_4$、四氯化锗 $GeCl_4$、三氯氧磷 BCl_3、六氟乙烷 C_2F_6 和氧气 O_2 的沉积原料从外至内分别沉积四层芯层，在沉积过程中，通过分别调整所述沉积原料的流量比例以及沉积的趟数来调节各层所述芯层之间的相对折射率差和半径比；

将沉积后的所述石英反应管在 2000℃以上的温度下熔缩成实心芯棒；

设定不同的沉积原料的流量比例以及沉积的趟数来制备多根与第一纤芯和第二纤芯对应的实心芯棒；

将石英管制成实心棒，在所述实心棒的不同预定位置钻孔，并将多根所述实心芯棒磨制加工后放入至所述实心棒的孔洞中并进行熔缩，形成与所述第一纤芯或第二纤芯对应的多芯结构少模光纤预制棒；

对所述多芯结构少模光纤预制棒进行拉丝，制成多芯结构少模光纤。

在上述技术方案的基础上，所述四层芯层包括从内至外设置的第一芯层、第二芯层、第三芯层和第四芯层，其中，

在沉积所述第四芯层的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 600~4800

趟；

在沉积所述第三芯层的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 0~20%，C_2F_6 的流量比例为 10~40%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 200~1200 趟；

在沉积所述第二芯层的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20~75%，C_2F_6 的流量比例为 0~25%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 300~1200 趟；

在沉积所述第一芯层的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 200~6000 趟。

在上述技术方案的基础上，所述预定位置分别与距所述纤体中心预定距离的所述第一纤芯和第二纤芯的位置对应。

在上述技术方案的基础上，采用等离子体化学气相沉积法来沉积所述芯层。

与现有技术相比，本发明的优点在于：

（1）本发明提供的一种多芯少模光纤，包括 2 种均具有渐变折射率的环形纤芯结构，每根纤芯包括具有不同折射率或直径的四层芯层，每根纤芯均能支持多个线性偏振模式，能够契合形状传感需求，在满足光栅阵列刻写的同时，通过不同线偏振模式的区分，保障不同纤芯传输信号的简单辨识，降低三维形状传感信号的解调难度，在满足通信领域应用的基础上，提升基于多芯光纤的 FBG 传感器侧向变形敏感性。另外，利于低阶模式信号传输的特殊多梯度波导结构，能够降低多芯光纤在形状传感应用环节中，在因压应力造成的微弯和整体形状弯曲的情况下的光信号的泄露与串扰，多芯结构少模光纤具备

良好的光学性能与可靠性，具备优良的多个模式传输性能，契合形状传感应用需求。

（2）本发明提供的一种多芯少模光纤，利用等离子体化学气相沉积工艺制成，直接实现了与设计匹配的环形纤芯式波导结构，各根纤芯在满足预定中心距离的基础上可以任意设置，对于多芯结构少模光纤中纤芯的分布精度要求较低，能较容易的满足多方向形状传感需求的多个维度信道并行对比需求，有效解决了多个纤芯中特定位置掺杂实现环形纤芯结构的难题。

附图说明

图 1 为现有技术中多芯光纤的结构示意图；

图 2 为本发明实施例中的多芯少模光纤的结构示意图；

图 3 为本发明实施例中的多芯少模光纤的第一纤芯的结构示意图；

图 4 为本发明实施例中的多芯少模光纤的第一纤芯的纵截面的示意图。

图中：1-第一纤芯，11-第一芯层，12-第二芯层，13-第三芯层，14-第四芯层，2-第二纤芯，3-包层，4-涂覆层。

具体实施方式

以下结合附图对本发明的实施例作进一步详细说明。

为了方便理解，首先对本发明涉及的专业术语如相对折射率差进行解释，其定义如下：

$$\Delta\% = \left[\frac{n_i^2 - n_0^2}{2 \times n_i^2}\right] \times 100\% \approx \frac{n_i - n_0}{n_0} \times 100\%$$

这里 n_i 和 n_0 分别为各芯层和包层 3 在 1550nm 波长时的折射率，

i=1,2,3,4，i 的取值分别与第一芯层 11，第二芯层 12，第三芯层 13 和第四芯层 14 对应。

$$n^2(r) = n_1^2[1 - 2 \times \Delta \times A \times (\frac{r}{a})^{\alpha}]$$

其中，n(r)为幂指数律折射率分布函数，n_1 为多芯少模光纤的轴心处的折射率，r 为各个芯层的外侧面距离多芯少模光纤轴心的距离，a 为整根多芯少模光纤的半径，α 为分布幂指数，Δ 为相对折射率差，其中，a＞r，A＜0。

参见图 2 所示，本发明实施例提供一种多芯少模光纤，包括纤体和包层 3，具体地，纤体包括有距纤体中心预定距离且相互间隔设置的至少一根第一纤芯 1 和至少两根第二纤芯 2，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 以及每两根第二纤芯 2 之间均间隔设置，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 均包括至少一循环层，循环层包括三层芯层，且循环层的外侧还设有一层芯层，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 任意相邻两层芯层的折射率或直径不同，其中，第一纤芯 1 的有效折射率和直径中的至少一种与第二纤芯 2 不同，使第一纤芯 1 和第二纤芯 2 在传输光信号的过程中模长不一样，以保证不同纤芯传输信号的简单辨识，满足使用要求，这里第一纤芯 1 和第二纤芯 2 均可以支持多个线偏振模式与轨道角动量模式传输。包层 3 具有一定的厚度且包围第一纤芯 1 和第二纤芯 2，使第一纤芯 1 和第二纤芯 2 嵌设于包层 3 内，这里，包层 3 的折射率低于第一纤芯 1 和第二纤芯 2 的有效折射率，高于第一纤芯 1 和第二纤芯 2 最外侧芯层的折射率。

参见图 3 所示，循环层包括从内至外依次设置的第一芯层 11、第二芯层 12 和第三芯层 13，位于循环层外侧的芯层为第四芯层 14。具体地，第一芯层 11 位于纤芯的正中心，且呈圆柱状，第二芯层 12、第三芯层 13 和第四芯层 14 沿第一芯层 11 的外侧面从内至外层层设

置，构成纤芯整体。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的最大相对折射率差为 0.3%～1.8%，最小相对折射率差为 0.05%～0.6%，第三芯层 13 与第二芯层 12 的相对折射率差为 0.2%～1.2%，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差为 0%～1.1%。

参见图 2-图 3 所示，第三芯层 13 的折射率大于或等于包层 3 的折射率，第四芯层 14、包层 3 和第三芯层 13 的折射率为近似阶跃分布，第一芯层 11 的折射率的分布幂指数为-1.2～-2.5。

其中，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 的有效折射率或者直径不同均会影响传输光的模长，而不同的模长可以解决不同纤芯传输信号时的信号辨识问题，因此，第一纤芯 1 与第二纤芯 2 的有效折射率或者直径中的至少一种彼此不同。第一纤芯 1 和第二纤芯 2 的有效折射率受任意一层芯层的折射率或芯层厚度影响，其中这里的芯层的厚度是指呈环形的芯层的内外半径的差值，因此，通过调节每一芯层的折射率或芯层厚度即可。这里的第一纤芯 1 和第二纤芯 2 的每一层芯层的折射率和厚度的取值范围均相同，但是具体取值有差异，保证第一纤芯 1 与第二纤芯 2 的有效折射率或者直径中的至少一种彼此不同，能够在传输信号时将信号有效的辨识。

参见图 2 所示，纤体还包括涂覆层 4，涂覆层 4 设于包层 3 的外侧，涂覆层 4 可以为双层丙烯酸树脂、聚酰亚胺、单层丙烯酸树或硅橡胶中的一种，多芯少模光纤的包层 3 的半径为 30～500μm，涂覆层 4 的厚度为为 20～100μm，这里的厚度是指涂覆层 4 的内外面的距离。多芯少模光纤具有两种不同的纤芯，且纤芯之间间隔一定距离，在距离纤体预定距离的基础上任意设置，两种不同的纤芯之间的有效折射率或直径中的至少一种不同，使得多芯少模光纤可以支持 LP_{01}、LP_{02}、LP_{11}、LP_{21}、LP_{31} 五个线偏振模式，且对除了 LP_{01}、LP_{02}、LP_{11}、LP_{21}、

LP_{31} 线偏振模式及 OAM_0、$OAM_{\pm1}$、$OAM_{\pm2}$ 以外的其他模式的每米损耗均大于 20dB。多芯少模光纤的比例系数小于零的指数函数分布纤芯有效增大了模式与模式耦合，降低了长距离传输中的 MIMO 计算难度，使得其所支持模式的传输损耗在 1550nm 波长处小于 0.20dB/km。另外，多芯少模光纤在 LP_{41} 等其他线偏振模式的截止波长小于 1500nm，多芯少模光纤性能实现参数如下表：

支持模式	LP_{01}/LP_{02}/LP_{11}/LP_{21}/LP_{31}/OAM1 阶/OAM2 阶/OAM0 阶
LP_{01} 衰减系数(dB/km)	0.188
LP_{02} 衰减系数(dB/km)	0.24
LP_{11} 衰减系数(dB/km)	0.192
LP_{21} 衰减系数(dB/km)	0.21
LP_{31} 衰减系数(dB/km)	0.23

具体的，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 距纤体中心的预定距离为 32～248μm，及在保证每根纤芯间隔设置的基础上，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 距纤体中心的距离可以取在预定距离 32～248μm 的范围内任意取值后在任意位置设置，相比于对于位置关系要求严格的纤芯来说，结构简单，制作方便。

进一步的，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 均包括多个依次设置的循环层，第四芯层 14 设于最外侧的循环层外，设置多个循环层后，这样按规律的多个叠加可以实现稳定传输模式的增加。

进一步的，第一纤芯 1 的根数最多为 3 根。当应用在传感器上时，由于纤芯过多会影响其传输性能，因此，纤芯的根数不宜过多，优选的总数最多不超过 7 根。这里第一纤芯 1 的根数最多为 3 根，一根光纤内，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 一般可能的数量组合为 1+2、1+3、2+5、3+4 等等。

本发明还提供一种多芯少模光纤的制造方法，采取的技术方案为，首先在石英反应管内采用包括四氯化硅 $SiCl_4$、四氯化锗 $GeCl_4$、三氯氧磷 BCl_3、六氟乙烷 C_2F_6 和氧气 O_2 的沉积原料从外至内分别沉积四层芯层，并且在沉积过程中，通过分别调整沉积原料 $SiCl_4$、$GeCl_4$、BCl_3、C_2F_6 和 O_2 的流量比例以及每层沉积的趟数来调节各层芯层之间的相对折射率差和半径比；由于石英反应管在没有沉积之前为空心反应管，在沉积四层芯层后，沉积后的石英反应管的中心依然存在空心区域，因此需要进行熔缩，于是在沉积结束后，将沉积后的石英反应管在2000℃以上的温度下熔缩成实心芯棒；随后根据设计的需求，设定不同的沉积原料的流量比例以及沉积的趟数来制备多根与第一纤芯 1 和第二纤芯 2 对应的实心芯棒；多根实心芯棒制作完成后，再将石英管熔缩成制成实心棒，并在实心棒的不同预定位置钻孔，将多根制作好的实心芯棒磨制加工后放入至实心棒的孔洞中并进行熔缩，使沉积后的石英反应管的外层与石英管制成的实心棒的内层融合，形成与第一纤芯 1 或第二纤芯 2 对应的多芯少模光纤预制棒；最后对多芯少模光纤预制棒进行拉丝，制成符合要求的多芯结构少模光纤。

具体的，预定位置分别与距纤体中心预定距离的第一纤芯 1 和第二纤芯 2 的位置对应，及预定位置与纤体中心的距离在预定距离范围内。

进一步的，采用等离子体化学气相沉积法来沉积各层芯层，具体的，四层芯层包括从内至外设置的第一芯层 11、第二芯层 12、第三芯层 13 和第四芯层 14，其中，在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 600~4800 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，

控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 0~20%，C_2F_6 的流量比例为 10~40%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 200~1200 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20~75%，C_2F_6 的流量比例为 0~25%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 300~1200 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 200~6000 趟。

下面结合具体的实施例对本发明做出进一步详细的说明。

实施例 1

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 52%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 0%，O_2 的流量比例为 55%，沉积趟数为 650 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数 200 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 75%，C_2F_6 的流量比例为 0%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 320 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50%，$GeCl_4$ 的流量比例为 18%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 0%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数为 300 趟。

与此对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 35μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 35μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 49.5μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为

1.8%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.35%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.87，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.11%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 2.2μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 3.2μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 3.6μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 4.8μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 125μm，涂覆层 4 的直径为 245μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 1 所示：

表 1　实施例 1 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**四芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	4
	3 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.19
		0.20
		0.21
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.24
	零色散波长（nm）	1290
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	8.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 2

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 11%，BCl_3 的流量比例为 28%，C_2F_6 的流量比例

为 10%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数为 620 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 0%，C_2F_6 的流量比例为 40%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数 300 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30%，$GeCl_4$ 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 20%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数 380 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数为 320 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 45μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 45μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 77.9μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 0.70%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.15%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.85，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.04%。另外，第一芯层 11 的半径 D1 为 2.3μm，第二芯层 12 的半径 D2 为 3.3μm，第三芯层 13 的半径 D3 为 4.0μm，第四芯层 14 的半径 D4 为 5.1μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 125μm，涂覆层 4 的直径为 245μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 2 所示：

表 2　实施例 2 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**三芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	3
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.22
		0.2

	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.25
	零色散波长（nm）	1305
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	7.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 3

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 1%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数为 4000 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数 1100 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 65%，C_2F_6 的流量比例为 2%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 900 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 2%，O_2 的流量比例为 45%，沉积趟数为 5700 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 40μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 40μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 69.2μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 1.56%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min

为 0.30%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.92，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.10%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 9.5μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 10.2μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 11.7μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 13.7μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 250μm，涂覆层 4 的直径为 400μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 3 所示：

表 3　实施例 3 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**三芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	3
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.20
		0.18
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.23
	零色散波长（nm）	1298
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	7.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 4

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 12%，BCl_3 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 7%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数为 4700 趟；在沉积第三芯

层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 37%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 1150 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 20%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数 1100 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 80%，$GeCl_4$ 的流量比例为 12%，BCl_3 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数为 5500 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 45μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 45μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 77.94μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 0.32%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.13%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.91，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.03%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 9.4μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 11.1μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 14.1μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 28.2μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 250μm，涂覆层 4 的直径为 400μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 4 所示：

表 4　实施例 4 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**三芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	3
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.22
		0.23
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.26

	零色散波长（nm）	1302
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	7.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 5

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 55%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 2%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数为 800 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 15%，O_2 的流量比例为 55%，沉积趟数 300 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 22%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数 900 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 80%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 20%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 55%，沉积趟数为 1500 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 32μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 32μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 45.3μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 0.35%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.32%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.92，第三芯层 13 与第

四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.11%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 4.9μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 6.2μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 6.6μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 7.5μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 125μm，涂覆层 4 的直径为 245μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 5 所示：

表 5　实施例 5 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**四芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	4
	3 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.20
		0.19
		0.21
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.24
	零色散波长（nm）	1302
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	8.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 6

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 80%，$GeCl_4$ 的流量比例为 12%，BCl_3 的流量比例为 25%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数为 4200 趟；在沉积第三芯

层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20%，C_2F_6 的流量比例为 35%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数 600 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 55%，C_2F_6 的流量比例为 2%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 850 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 75%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 20%，C_2F_6 的流量比例为 5%，O_2 的流量比例为 55%，沉积趟数为 4500 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 60μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 60μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 103.92μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 1.32%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.14%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.92，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.04%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 8.5μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 9.2μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 9.7μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 12.7μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 250μm，涂覆层 4 的直径为 350μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 6 所示：

表 6　实施例 6 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**三芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	3
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.21
		0.22
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.27

	零色散波长（nm）	1307
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	8.0
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 7

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10%，BCl_3 的流量比例为 30%，C_2F_6 的流量比例为 7%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数为 620 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 55%，$GeCl_4$ 的流量比例为 5%，C_2F_6 的流量比例为 25%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数 300 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 35%，$GeCl_4$ 的流量比例为 75%，C_2F_6 的流量比例为 2%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 350 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 55%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 4%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数为 270 趟。

与此对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 20μm，第二纤芯 2 距纤体中心的距离均为 20μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 34.64μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 2.5%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.18%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.91，第三芯层 13 与第四

芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.05%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 2.1μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 3.1μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 3.8μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 5.0μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 80μm，涂覆层 4 的直径为 165μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 7 所示：

表 7　实施例 7 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**三芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	3
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.24
		0.24
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.23
	零色散波长（nm）	1306
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	5.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 8

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 75%，$GeCl_4$ 的流量比例为 18%，BCl_3 的流量比例为 10%，C_2F_6 的流量比例为 1%，O_2 的流量比例为 55%，沉积趟数为 4800 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 8%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数 1200

趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 50%，C_2F_6 的流量比例为 25%，O_2 的流量比例为 65%，沉积趟数 1100 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 12%，BCl_3 的流量比例为 30%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数为 5900 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离均为 175μm，第二纤芯 2（第 3、第 4）距纤体中心的距离均为 175μm，第一纤芯 1 和第二纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 247.49μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 0.65%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.22%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为 -1.89，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.06%。另外，第一芯层 11 的半径 D_1 为 9.69μm，第二芯层 12 的半径 D_2 为 10.56μm，第三芯层 13 的半径 D_3 为 11.42μm，第四芯层 14 的半径 D_4 为 14.38μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 850μm，涂覆层 4 的直径为 1000μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 8 所示：

表 8　实施例 8 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**四芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	4
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.27
		0.25
		0.27
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.24
	零色散波长（nm）	1302

	机械性能	指标
	最小弯曲半径（mm）	11.0
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

实施例 9

本实施例中提供的传感用多芯结构少模光纤的制造方法具体为：

在沉积第四芯层 14 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 72%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 18%，C_2F_6 的流量比例为 5%，O_2 的流量比例为 70%，沉积趟数为 2000 趟；在沉积第三芯层 13 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 65%，$GeCl_4$ 的流量比例为 16%，C_2F_6 的流量比例为 22%，O_2 的流量比例为 40%，沉积趟数 800 趟；在沉积第二芯层 12 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 60%，$GeCl_4$ 的流量比例为 70%，C_2F_6 的流量比例为 20%，O_2 的流量比例为 60%，沉积趟数 900 趟；在沉积第一芯层 11 的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 80%，$GeCl_4$ 的流量比例为 15%，BCl_3 的流量比例为 20%，C_2F_6 的流量比例为 10%，O_2 的流量比例为 50%，沉积趟数为 3500 趟。

与此方法对应的多芯少模光纤的结构参数如下，第一纤芯 1 距纤体中心的距离为 62μm，第二纤芯距纤体中心的距离均为 62μm，第一纤芯 1 和第三纤芯 2 及每两根第二纤芯 2 之间的距离均为 100.32μm。其中，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最大值 Δ%max 为 0.98%，第一芯层 11 与第三芯层 13 的相对折射率差最小值 Δ%min 为 0.19%，且第一芯层 11 的分布幂指数 α 为-1.90，第三芯层 13 与第四芯层 14 的相对折射率差 Δ%为 0.05%。另外，第一芯层 11 的半径

D_1为 7.4μm，第二芯层 12 的半径 D_2为 8.3μm，第三芯层 13 的半径 D_3为 9.1μm，第四芯层 14 的半径 D_4为 10.7μm。与此对应的多芯少模光纤的包层 3 的直径为 250μm，涂覆层 4 的直径为 350μm。其中，本实施例对应的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数如表 9 所示：

表 9　实施例 9 的多芯少模光纤的主要性能和对应的性能参数

产品名称		**五芯光纤**
主要功能/性能参数	**光学性能**	**指标**
	纤芯数量（个）	5
	2 根第一纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.22
		0.21
		0.22
		0.23
	1 根第二纤芯衰减@1550nm（dB/km）	0.25
	零色散波长（nm）	1302
	机械性能	**指标**
	最小弯曲半径（mm）	6.5
	筛选强度（kpsi）	50
涂覆层性能		
涂层材料		丙烯酸树脂
使用温度（℃）		-40~+70

本发明不仅局限于上述最佳实施方式，任何人在本发明启示下都可得出其他各种形式的产品，但不论在其形状或结构上作任何变化，凡是具有与本发明相同或相近似的技术方案，均在其保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种多芯少模光纤，其特征在于，其包括：

纤体，其包括有距所述纤体中心预定距离且相互间隔设置的至少一根第一纤芯（1）和至少两根第二纤芯（2），所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）均包括至少一循环层，所述循环层包括三层芯层，且所述循环层的外侧还设有一层芯层，所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）任意相邻两层芯层的折射率或直径不同，其中，所述第一纤芯（1）的有效折射率和直径中的至少一种与所述第二纤芯（2）不同；

包层（3），其包围所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2），所述包层（3）的折射率低于所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）的有效折射率，高于所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）最外侧芯层的折射率。

2、如权利要求 1 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述循环层包括从内至外依次设置的第一芯层（11）、第二芯层（12）和第三芯层（13），位于所述循环层外侧的芯层为第四芯层（14），其中，所述第一芯层（11）与第三芯层（13）的最大相对折射率差为 0.3%～2.5%，最小相对折射率差为 0.05%～0.6%，所述第三芯层（13）与第四芯层（14）的相对折射率差为 0%～1.1%。

3、如权利要求 2 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述第三芯层（13）的折射率大于或等于所述包层（3）的折射率，所述第四芯层（14）、包层（3）和第三芯层（13）的折射率为近似阶跃分布。

4、如权利要求 2 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述第一芯层（11）的折射率的分布幂指数 α 为-1.2～-2.5。

5、如权利要求 2 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）均包括多个依次设置的循环层，所述

第四芯层（14）设于最外侧的所述循环层外。

6、如权利要求 1 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述预定距离为 32～248μm。

7、如权利要求 1 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述第一纤芯（1）的根数最多为 3 根。

8、如权利要求 1 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述纤体还包括涂覆层（4），所述涂覆层（4）设于所述包层（3）的外侧。

9、如权利要求 8 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述涂覆层(4)的厚度为 20～100μm，所述包层(3)的半径为 30～500μm。

10、如权利要求 9 所述的一种多芯少模光纤，其特征在于：所述涂覆层（4）为双层丙烯酸树脂、聚酰亚胺、单层丙烯酸树或硅橡胶中的一种。

11、如权利要求 1 所述的一种多芯少模光纤的制造方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

在石英反应管内采用包括四氯化硅 $SiCl_4$、四氯化锗 $GeCl_4$、三氯氧磷 BCl_3、六氟乙烷 C_2F_6 和氧气 O_2 的沉积原料从外至内分别沉积四层芯层，在沉积过程中，通过分别调整所述沉积原料的流量比例以及沉积的趟数来调节各层所述芯层之间的相对折射率差和半径比；

将沉积后的所述石英反应管在 2000℃以上的温度下熔缩成实心芯棒；

设定不同的沉积原料的流量比例以及沉积的趟数来制备多根与第一纤芯（1）和第二纤芯（2）对应的实心芯棒；

将石英管制成实心棒，在所述实心棒的不同预定位置钻孔，并将多根所述实心芯棒磨制加工后放入至所述实心棒的孔洞中并进行熔缩，形成与所述第一纤芯（1）或第二纤芯（2）对应的多芯结构少模

光纤预制棒；

对所述多芯结构少模光纤预制棒进行拉丝，制成多芯结构少模光纤。

12、如权利要求 11 所述的制造方法，其特征在于：所述四层芯层包括从内至外设置的第一芯层（11）、第二芯层（12）、第三芯层（13）和第四芯层（14），其中，

在沉积所述第四芯层（14）的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 600~4800 趟；

在沉积所述第三芯层（13）的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 0~20%，C_2F_6 的流量比例为 10~40%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 200~1200 趟；

在沉积所述第二芯层（12）的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 30~70%，$GeCl_4$ 的流量比例为 20~75%，C_2F_6 的流量比例为 0~25%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数 300~1200 趟；

在沉积所述第一芯层（11）的过程中，控制 $SiCl_4$ 的流量比例为 50~85%，$GeCl_4$ 的流量比例为 10~20%，BCl_3 的流量比例为 10~30%，C_2F_6 的流量比例为 0~10%，O_2 的流量比例为 30~70%，沉积趟数为 200~6000 趟。

13、如权利要求 11 所述的制造方法，其特征在于：所述预定位置分别与距所述纤体中心预定距离的所述第一纤芯（1）和第二纤芯（2）的位置对应。

14、如权利要求 11 所述的制造方法，其特征在于：采用等离子体化学气相沉积法来沉积所述芯层。

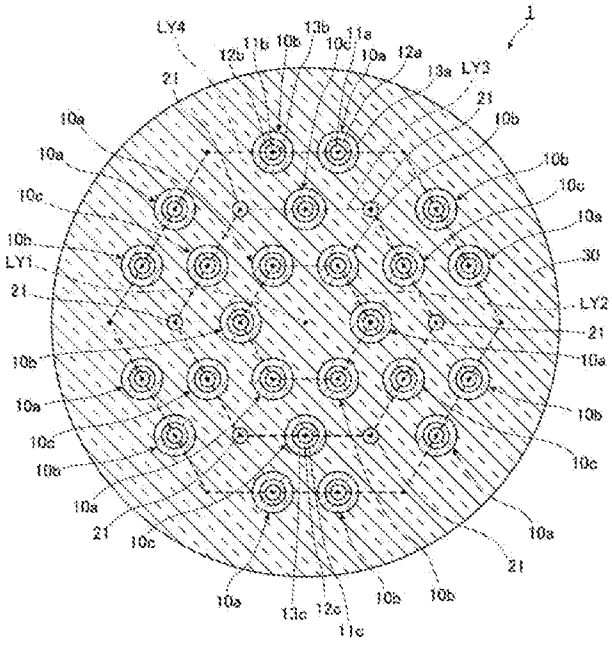

1
LY4
LY3
LY2
LY1
21
10a
10b
10c
11a
11b
11c
12a
12b
12c
13a
13b
13c
30

图 1

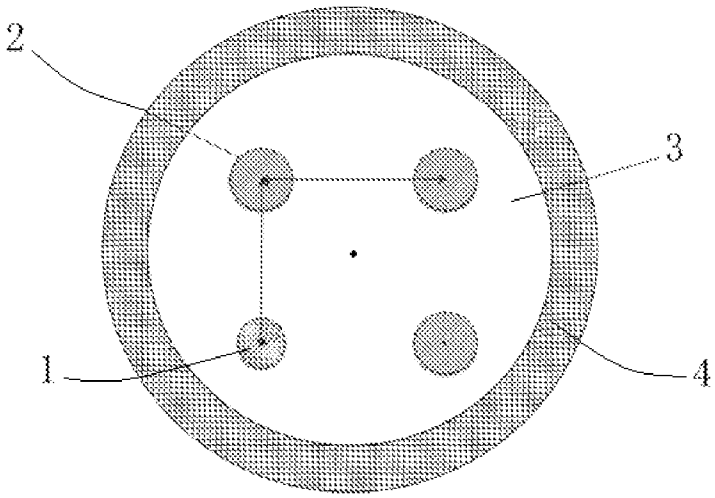

2
3
1
4

图 2

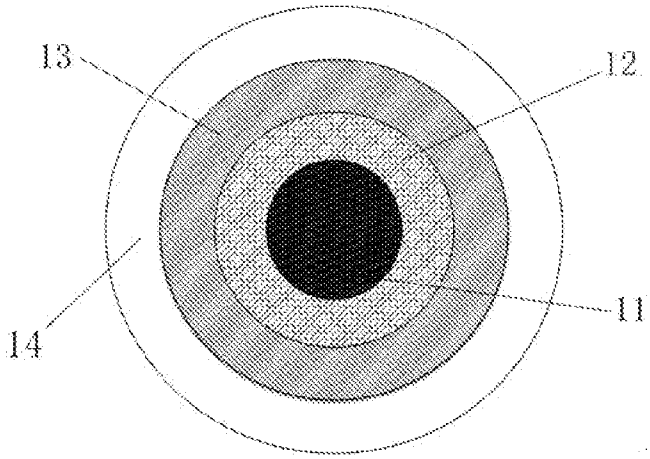


图 3

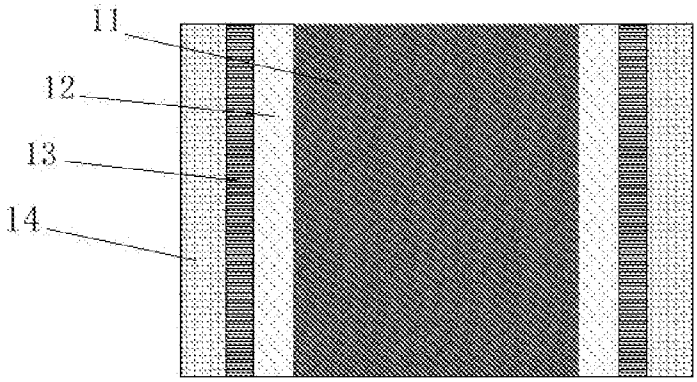


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/096641

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B6/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 光纤, 纤芯, 包层, 多层, 多芯, 少模, 折射率, 直径, 粗细, 不同, 相等, fiber, fibre, multi, plural, core?, differ+, distin+, diverse

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 9081129 B2 (FUJIKURA LTD. et al.) 14 July 2015 (2015-07-14) abstract, description, column 13, line 45 to column 15, line 3, and figure 7	1-14
Y	CN 106461859 A (FUJIKURA LTD.) 22 February 2017 (2017-02-22) description, paragraphs 0129-0141, and figures 6-9	1-14
Y	CN 103630965 A (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 12 March 2014 (2014-03-12) description, paragraphs 0006-0031, and figure 1	11-14
A	CN 108292009 A (CORNING INCORPORATED) 17 July 2018 (2018-07-17) entire document	1-14
A	CN 208367258 U (JIANGSU STERLITE TONGGUANG FIBER CO., LTD.) 11 January 2019 (2019-01-11) entire document	1-14
A	CN 105425335 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE JOINT STOCK LIMITED COMPANY) 23 March 2016 (2016-03-23) entire document	1-14

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 February 2020	**04 March 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/096641

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013039627 A1 (UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA RESEARCH FOUNDATION, INC.) 14 February 2013 (2013-02-14) entire document	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/096641

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	9081129	B2	14 July 2015	EP	2806297	A1	26 November 2014
				WO	2013108523	A1	25 July 2013
				JP	2013167861	A	29 August 2013
				US	2014334789	A1	13 November 2014
				JP	5916525	B2	11 May 2016
				EP	2806297	B1	25 September 2019
CN	106461859	A	22 February 2017	WO	2016157978	A1	06 October 2016
				CN	106461859	B	17 May 2019
				US	10073217	B2	11 September 2018
				JP	6226905	B2	08 November 2017
				JP	2016191730	A	10 November 2016
				US	2017205575	A1	20 July 2017
CN	103630965	A	12 March 2014	CN	103630965	B	24 June 2015
CN	108292009	A	17 July 2018	US	2017146371	A1	25 May 2017
				US	10302463	B2	28 May 2019
				WO	2017087301	A1	26 May 2017
				JP	2018536162	A	06 December 2018
				EP	3377926	A1	26 September 2018
CN	208367258	U	11 January 2019		None		
CN	105425335	A	23 March 2016	CN	105425335	B	16 April 2019
US	2013039627	A1	14 February 2013	US	9103961	B2	11 August 2015

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/096641

A. 主题的分类

G02B 6/02(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G02B6/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC:光纤，纤芯，包层，多层，多芯，少模，折射率，直径，粗细，不同，相等，fiber,fibre,multi,plural,core?,differ+,distin+,diverse

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	US 9081129 B2 (FUJIKURA LTD. 等) 2015年 7月 14日 (2015-07-14) 摘要、说明书第13栏第45行-第15栏第3行，图7	1-14
Y	CN 106461859 A (株式会社藤仓) 2017年 2月 22日 (2017-02-22) 说明书第0129-0141段，图6-9	1-14
Y	CN 103630965 A (烽火通信科技股份有限公司 等) 2014年 3月 12日 (2014-03-12) 说明书第0006-0031段，图1	11-14
A	CN 108292009 A (康宁股份有限公司) 2018年 7月 17日 (2018-07-17) 全文	1-14
A	CN 208367258 U (江苏斯德雷特通光光纤有限公司) 2019年 1月 11日 (2019-01-11) 全文	1-14
A	CN 105425335 A (长飞光纤光缆股份有限公司) 2016年 3月 23日 (2016-03-23) 全文	1-14
A	US 2013039627 A1 (UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA RESEARCH FOUNDATION, INC.) 2013年 2月 14日 (2013-02-14) 全文	1-14

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2020年 2月 21日	2020年 3月 4日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 邹丽娜 电话号码 86-(10)-53962622

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/096641

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	9081129	B2	2015年 7月 14日	EP	2806297	A1	2014年 11月 26日
				WO	2013108523	A1	2013年 7月 25日
				JP	2013167861	A	2013年 8月 29日
				US	2014334789	A1	2014年 11月 13日
				JP	5916525	B2	2016年 5月 11日
				EP	2806297	B1	2019年 9月 25日
CN	106461859	A	2017年 2月 22日	WO	2016157978	A1	2016年 10月 6日
				CN	106461859	B	2019年 5月 17日
				US	10073217	B2	2018年 9月 11日
				JP	6226905	B2	2017年 11月 8日
				JP	2016191730	A	2016年 11月 10日
				US	2017205575	A1	2017年 7月 20日
CN	103630965	A	2014年 3月 12日	CN	103630965	B	2015年 6月 24日
CN	108292009	A	2018年 7月 17日	US	2017146371	A1	2017年 5月 25日
				US	10302463	B2	2019年 5月 28日
				WO	2017087301	A1	2017年 5月 26日
				JP	2018536162	A	2018年 12月 6日
				EP	3377926	A1	2018年 9月 26日
CN	208367258	U	2019年 1月 11日		无		
CN	105425335	A	2016年 3月 23日	CN	105425335	B	2019年 4月 16日
US	2013039627	A1	2013年 2月 14日	US	9103961	B2	2015年 8月 11日