



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111694088 A

(43)申请公布日 2020.09.22

(21)申请号 202010406925.1

C03B 37/027(2006.01)

(22)申请日 2019.09.29

C03B 37/014(2006.01)

(62)分案原申请数据

201910933109.3 2019.09.29

(71)申请人 法尔胜泓昇集团有限公司

地址 214400 江苏省无锡市江阴市高新区
澄江中路165号

申请人 江苏法尔胜光通信科技有限公司

(72)发明人 宋海瑞 冯术娟 孙周 徐亮

侯树虎 缪振华 卞新海 韩婷婷

(74)专利代理机构 江阴市轻舟专利代理事务所

(普通合伙) 32380

代理人 孙燕波

(51)Int.Cl.

G02B 6/02(2006.01)

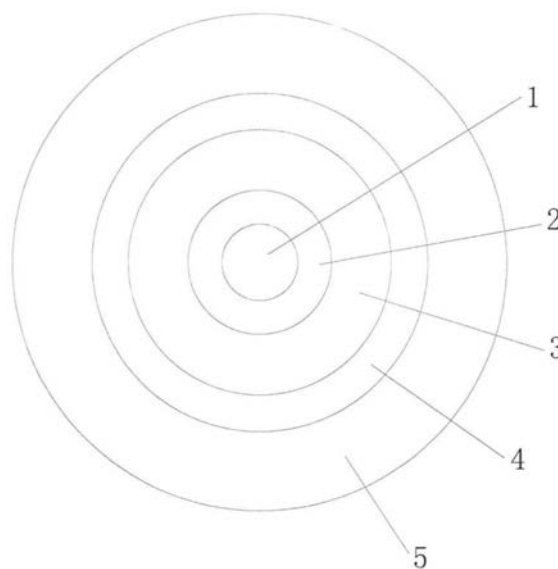
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种单模光纤及其制备方法

(57)摘要

一种单模光纤及其制备方法,裸光纤包括芯层和包层,芯层包括第一芯层、第二芯层、内包层,第一芯层相对折射率差值为 $0.2\% \leq \Delta_1 \leq 0.35\%$,第二芯层相对折射率差值为 $0.15\% \leq \Delta_2 \leq 0.25\%$,内包层折射率半径为 $24 \mu\text{m} \sim 36 \mu\text{m}$,内包层相对折射率差值为 $-0.12\% \leq \Delta_3 \leq 0\%$ 。包层,包括凹陷包层和外包层,凹陷包层相对折射率差值为 $-0.40\% \leq \Delta_4 \leq -0.28\%$,外包层为高硬度纯石英套管。采用两级套管与芯棒在线组装拉丝的方法,在拉丝过程中进行多次光纤退火,在光纤表面内涂低模量、外涂高模量的涂层,制备低损耗大有效面积高强度光纤。方法简单,芯棒可根据需求进行粘度调整,无需采用纯硅芯方案来降低光纤衰减,有利于规模化生产。



1. 一种单模光纤的制备方法,其特征在于:包括如下步骤

1) 在OVD沉积车床上在水平横向设置的靶棒正下方设置垂直喷灯,在靶棒轴向两侧分别设置倾斜喷灯,所述倾斜喷灯的喷射方向与靶棒轴向呈夹角;

2) 将硅源和锗源通入垂直喷灯,在靶棒外沉积第一芯层疏松体,沉积结束后,开启倾斜喷灯将第一芯层疏松体烧结成致密的第一芯层;

3) 先开启垂直喷灯,通入硅源,在第一芯层外先沉积二氧化硅,然后关闭硅源沉积垂直喷灯,开启倾斜喷灯,通入硅源和磷源,开始沉积掺磷的第二芯层疏松体,沉积结束后,开启倾斜喷灯将第二芯层疏松体烧结成致密的第二芯层,并控制第二芯层的烧结密度低于第一芯层的烧结密度;

4) 先开启垂直喷灯,通入硅源,在第二芯层外先沉积二氧化硅,然后开启倾斜喷灯,通入硅源和氟源,与工作中的垂直喷灯一起沉积掺氟的内包层疏松体,完成沉积后取出靶棒;

5) 将步骤4)得到的芯棒置入脱水炉,炉中通入He和Cl₂对内包层疏松体脱水;脱水结束后,在1500~1650℃温度范围内烧结成透明母棒;

6) 对透明母棒退火,延伸为子棒,对子棒进行校直、抛光,再进行一次退火,得到透明芯棒,将透明芯棒套入掺氟套管内,熔缩形成组合芯棒,再将组合芯棒塞入纯石英套管内,在拉丝炉内熔融拉丝成石英光纤;

7) 对石英光纤进行退火;

8) 表面涂覆。

2. 根据权利要求1所述的单模光纤的制备方法,其特征在于:所述倾斜喷灯的喷射方向与靶棒中心轴的夹角为30°~60°且用于氟源喷射的倾斜喷灯与靶棒的垂直间距大于用于磷源喷射的倾斜喷灯与靶棒的垂直间距。

3. 根据权利要求1所述的单模光纤的制备方法,其特征在于:在所述的沉积过程中,靶棒一边自旋,一边沿自身轴向进退往复。

4. 根据权利要求1所述的单模光纤的制备方法,其特征在于:所述步骤6中,烧结完成的透明母棒在1000~1100℃下退火8~10h,将透明母棒安装于挂棒平台后,送入拉丝炉内延伸为子棒,子棒在校直设备上进行微校直处理后,再使用氢氧焰沿轴向正反向抛光,再次将芯棒在1100~1150℃下退火1~2h,最终得到透明芯棒;

将透明芯棒套入掺氟深度-0.0045~-0.005的掺氟石英管内,将芯棒与深掺氟管安装在MCVD设备的夹具上,使用氢氧焰将深掺氟管表面加热到2000~2250℃,氢氧焰以20mm/min~60mm/min的速度在掺氟管轴向连续往复移动,管内保持-40~-60kpa负压状态,直至掺氟管与芯棒全部塌缩为一体棒,即完成组合芯棒的加工;

将组合芯棒放置于高硬度纯石英套管内,抽真空拉丝,拉丝温度控制在1900~2060℃。

一种单模光纤及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种单模光纤及其制备方法。

背景技术

[0002] 众所周知,随着光纤通信技术的快速发展,现有的常规G.652光纤已无法满足400G甚至1T等高速光通信干线传输,长途骨干网建设不断向超长距离、超高速率和超大容量方向发展。作为光纤信号传输的主要指标和症候所在,降低光纤损耗和增大有效面积被业界普遍认为是提高光纤传输容量和增加传输距离的关键因素。

[0003] 目前,业内用于制备低损耗、大有效面积光纤时,大多采用VAD法、PCVD法制作芯棒,而VAD法制作的光纤折射率较难控制,PCVD法由于受衬管尺寸的影响无法提高单根产能。而在调研中发现,通过外部气相沉积法(OVD)制作掺氟芯棒鲜有报道。针对通信光纤的衰减,除SiO₂的本征吸收外,掺杂GeO₂的吸收和散射是通信光纤衰减的最主要来源,减少芯层GeO₂含量是降低光纤衰减的有效手段和主要方向,于此同时,通过合理配比光纤芯层和包层的粘度、降低光纤内应力、较少界面缺陷、降低瑞利散射等因素,来降低光纤衰减。

[0004] 中国专利ZL201310409732公开了一种利用纯硅芯方案制备低损耗光纤的方法,但此方法由于采用纯硅芯设计,芯层与包层粘度匹配难度极大,径向折射率均匀性较差,且采用PCVD管内法制备,工艺复杂且对光纤拉丝要求极高,不利于实现批量化生产。201510355895.5公开了一种锗氟共掺芯子下制备低损耗大有效面积高强度单模光纤的方法,虽然采用VAD法制备芯棒,但折射率剖面设计非常复杂,步骤繁琐,不利于大批量规模生产。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术中存在的以上问题,开发设计了一种低损耗大有效面积高强度单模光纤,以及通过外部气相沉积法(OVD)制备该光纤芯棒的方法,利用OVD工艺制备芯棒,在沉积过程中在各层掺入掺杂元素控制芯棒折射率及粘度,来实现芯包粘度的合理配置,通过多次退火工艺,有效降低光纤内部应力和消除残余应力。

[0006] 此外,本申请进一步设计了采用两级套管与制备的芯棒在线组装拉丝的方法,在拉丝过程中进行多次光纤退火,在光纤表面内涂低模量、外涂高模量的涂层,制备低损耗大有效面积高强度光纤。此方法简单,芯棒可根据需求进行粘度调整,无需采用纯硅芯方案来降低光纤衰减,有利于规模化生产。

[0007] 本发明实现上述目的所采用的技术方案为:

[0008] 一种单模光纤,包括第一芯层,截面为圆形,材料为石英基的掺锗材料,半径为R₁,折射率为n₁,相对于纯石英折射率差值为 $\Delta_1=0.20\%\sim 0.35\%$;所述第一芯层外侧为第二芯层,材料为石英基的掺磷材料,截面为环形,半径为R₂,折射率为n₂,相对于纯石英折射率差值 $\Delta_2=0.15\%\sim 0.25\%$;所述第二芯层外侧为内包层,材料为石英基的掺氟材料,截面为环形,半径为R₃,折射率为n₃,相对于纯石英折射率差值 $\Delta_3=-0.12\%\sim 0$;所述第一芯层、

第二芯层和内包层共同构成光纤的芯棒,其中,第二芯层与内包层的高温粘度匹配:在1900℃~2060℃范围的粘度比值为1~1.3;所述内包层外侧为凹陷包层,材料为石英基的掺氟材料,截面为环形,半径为 R_4 ,折射率为 n_4 ,相对于纯石英折射率差值 $\Delta_4 = -0.40\% \sim -0.28\%$;所述凹陷包层外侧为外包层,材料为纯石英材料,半径为 R_5 ,折射率为 n_5 ,相对于纯石英折射率差值 $\Delta_5 = 0 \sim 0.02\%$ 。

[0009] 上述相对折射率(Δ_i): $\Delta_i = (n_i^2 - n_0^2) / n_i^2 * 100\%$,其中 n_i 为第 i 层光纤材料的折射率, i 为整数; n_0 为纯石英折射率。

[0010] 优选地,所述第二芯层与内包层在1900℃~2060℃范围的粘度比值为1.1~1.15。

[0011] 优选地,所述第一芯层半径 R_1 为3.5 μm ~5.5 μm ,第二芯层半径 R_2 为5.0~7 μm ,内包层半径 R_3 为24 μm ~36 μm ,所述芯棒的包芯比为4.5~6,所述凹陷包层半径 R_4 为40 μm ~50 μm ,外包层半径 R_5 为60 μm ~62.5 μm 。

[0012] 上述芯棒的包芯比:内包层直径与芯层直径的比值。

[0013] 优选地,所述第一芯层中掺杂的锗占所述芯棒总质量的3%~10%;所述第二芯层中掺杂的磷占所述芯棒总质量的1~3%,所述内包层中氟的掺杂浓度不高于1200ppm。

[0014] 可选地,光纤的折射率剖面上,所述第一芯层的折射率为平顶分布或尖顶分布。

[0015] 可选地,在所述外包层外侧还涂覆有内涂层和外涂层,内涂层模量低于0.5Mpa,外涂层模量高于1000Mpa,涂层为聚丙烯酸酯类涂料。

[0016] 本申请还要提供上述单模光纤的制备方法,包括如下步骤

[0017] 1) 在OVD沉积车床上在水平横向设置的靶棒正下方设置垂直喷灯,在靶棒轴向两侧分别设置倾斜喷灯,所述倾斜喷灯的喷射方向与靶棒轴向呈夹角;

[0018] 2) 将硅源和锗源通入垂直喷灯,在靶棒外沉积第一芯层疏松体,沉积结束后,开启倾斜喷灯将第一芯层疏松体烧结成致密的第一芯层;

[0019] 3) 先开启垂直喷灯,通入硅源,在第一芯层外先沉积二氧化硅,然后关闭垂直喷灯,开启倾斜喷灯,通入硅源和磷源,沉积掺磷的第二芯层疏松体,沉积结束后,开启倾斜喷灯将第二芯层疏松体烧结成致密的第二芯层,并控制第二芯层的烧结密度低于第一芯层的烧结密度;

[0020] 4) 先开启垂直喷灯,通入硅源,在第二芯层外先沉积二氧化硅,然后开启倾斜喷灯,通入硅源和氟源,与工作中的垂直喷灯一起沉积掺氟的内包层疏松体,完成沉积后取出靶棒;

[0021] 5) 将步骤4)得到的芯棒置入脱水炉,炉中通入He和Cl₂对内包层疏松体脱水;脱水结束后,在1500~1650℃温度范围内烧结成透明母棒;

[0022] 6) 对透明母棒退火,延伸为子棒,对子棒进行校直、抛光,再进行一次退火,得到透明芯棒,将透明芯棒套入掺氟套管内,熔缩形成组合芯棒,再将组合芯棒塞入纯石英套管内,在拉丝炉内熔融拉丝成石英光纤;

[0023] 7) 对石英光纤进行退火;

[0024] 8) 表面涂覆。

[0025] 与现有技术相比,本申请具有如下优点

[0026] (一) 本发明的单模光纤具有低损耗大有效面积高强度的优点:

[0027] (1) 光纤在1550nm波长衰减 $\leq 0.175\text{dB/km}$,衰减典型值为0.170dB/km。

[0028] (2)在上述单模光纤制备方法的基础上,低损耗大有效面积高强度单模光纤的基模光功率分布为平顶分布,该单模光纤在1550nm波长的有效面积为110~140 μm^2 。

[0029] (3)该单模光纤在30mm弯曲半径下卷绕100圈时,在1625nm波长处的宏弯损耗 $\leq 0.1\text{dB}$,优选的宏弯损耗值为 $\leq 0.03\text{dB}$ 。

[0030] (二)单模光纤的制备:通过外部气相沉积的方式分别沉积第一芯层、第二芯层和内包层共同组成芯棒部分,第一芯层掺杂锗、第二芯层掺杂磷、内包层掺杂氟,三种掺杂元素分别通过沉积喷灯氢氧焰喷射的方式进入设计区域,芯棒外配有凹陷包层和高硬度纯石英外包层,制备过程中经过粘度匹配和多次退火。

[0031] (1)在第二芯层中掺杂P元素,有效降低石英玻璃粘度,原因是P氧化成 P_2O_5 破坏了玻璃内部结构,一方面可以降低粘度,一方面可以提升折射率,有效降低光纤假想温度和瑞利散射系数,进一步降低光纤衰减。这是因为,P有效提高芯层与内包层的粘度匹配值,使二氧化硅的网状结构得到松弛,平衡芯层的结构弛豫时间与内包层的结构弛豫时间差,减少芯层中心位置应力失配,降低因拉丝过程中粘度差及膨胀系数差造成的界面缺陷过高,同时有利于降低光纤假想温度。P大部分被掺杂在第二芯层,且本申请通过控制第一芯层的烧结密度大于第二芯层的烧结密度以减小P向第一芯层扩散,尽管如此但不影响整体粘度的匹配。

[0032] (2)在OVD沉积过程中对内包层进行掺氟,可以大幅度改善光纤弯曲损耗。

[0033] (3)OVD沉积除设置在靶棒正下方的垂直喷灯外,在靶棒两侧分别设计斜角度沉积喷灯(倾斜喷灯),专用于含磷气体和含氟气体的渗透掺杂以及致密层的灼烧,此方式可以增大火焰分散面积,降低火焰灼烧温度,可以灵活调整径向掺杂浓度、调节沉积密度分布,有利于控制掺杂气体的渗透趋势。较合理的是,倾斜喷灯的喷射角度是可调节的,但当喷灯工作时,喷灯的喷射角度应该是固定的以确保轴向沉积密度、掺杂浓度均匀。

[0034] (4)该折射率剖面设计有利于稳定光纤模场直径等光纤参数,有效提升光纤拉丝合格率。同时,将纤芯基模电场功率密度设计为“平顶分布”,可有效降低光功率密度,提高芯层光功率强度,增大光纤的有效面积。最终所得光纤1550nm窗口衰减 $\leq 0.175\text{dB/km}$,模场直径稳定在 $11.8 \pm 0.8\mu\text{m}$,符合低损耗G.654.E光纤的制备要求,并适用于高速规模化生产。

附图说明

[0035] 图1为本发明实施例光纤截面示意图;

[0036] 图2为本发明采用OVD法制作芯棒结构的沉积喷灯布置示意图;

[0037] 图3为平顶分布下的折射率剖面结构示意图;

[0038] 图4为尖顶分布下的折射率剖面结构示意图;

[0039] 图5为芯层基模光功率强度分布示意图。

[0040] 图中,1-第一芯层,2-第二芯层,3-内包层,4-凹陷包层,5-外包层,6-第一喷灯,7-第二喷灯,8-第三喷灯,9-第四喷灯,10-陶瓷靶棒,11-第一芯层烧结层,12-第二芯层烧结层,13-OVD母棒疏松体。

具体实施方式

[0041] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述,所述实施例的示例在附图中示

出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0042] 术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0043] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0044] 沉积:光纤原材料在一定的环境下发生化学反应生成(掺杂的)石英玻璃的工艺流程。

[0045] OVD:外部气相沉积。

[0046] 熔缩:将沉积后的空心玻璃管在一定的热源下逐渐烧成实心玻璃棒的工艺过程,也成为塌缩。

[0047] 套管:能够满足一定截面积和尺寸均匀性的高硬度石英玻璃管,或掺氟石英玻璃管。

[0048] 折射率剖面(RIP):光纤或光纤预制棒(包括光纤芯棒)的折射率与其半径之间的关系曲线。

[0050] 包芯比b/a:代表内包层直径与芯层直径的比值。

[0051] 相对折射率(Δ_i): $\Delta_i = (n_i^2 - n_0^2) / n_i^2 * 100\%$,其中 n_i 为第i层光纤材料的折射率,i为整数; n_0 为纯石英折射率。

[0052] 光纤有效面积 A_{eff} :

$$[0053] \quad A_{eff} = 2\pi \frac{(\int_0^\infty E^2 r dr)^2}{(\int_0^\infty E^4 r dr)}$$

[0054] 其中,E是与传播有关的电场,r为轴心到电场分布点之间的距离。

$$[0055] \quad A_{eff} = \frac{1}{4} k\pi (MFD)^2$$

[0056] MFD为光纤模场直径。MFD越大,光纤有效面积越大。

[0057] 瑞利散射系数R: $R = R_c + R_d$, R_c 为浓度波动引起的瑞利散射, R_d 为密度波动引起的瑞利散射。 $R_d = 4.1 * 10^{-4} (K)$ 可以通过降低假想温度来降低 R_d 。

[0058] 实施例1

[0059] 如图1所示,为单模光纤的截面图,裸光纤包括芯层和内包层,芯层包括第一芯层1、第二芯层2,第一芯层1半径 R_1 为 $3.5 \sim 5.5 \mu\text{m}$,相对折射率差值为 $0.2\% \leq \Delta_1 \leq 0.35\%$,第二芯层2半径 R_2 为 $5 \sim 7 \mu\text{m}$,相对折射率差值为 $0.15\% \leq \Delta_2 \leq 0.25\%$,内包层3折射率半径为 $24 \mu\text{m} \sim 36 \mu\text{m}$,内包层3与第二芯层2半径比值为 $4.5 \sim 6$,相对折射率差值为 $-0.12\% \leq \Delta_3 \leq$

0%。包层,包括凹陷包层4和外包层5,凹陷包层4半径为 $40\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$,相对折射率差值为 $-0.40\%\leq \Delta_4\leq -0.28\%$,外包层5为高硬度纯石英套管,外包层5半径为 $62.5\mu\text{m}$,相对于纯石英折射率差值 $\Delta_5=0\sim 0.02\%$ 。

[0060] 第一芯层中部为尖顶分布(如图4所示)或平顶分布(如图3所示)。该单模光纤中,第一芯层内除 SiO_2 外,需控制掺锗含量,使得锗对第一芯层的贡献折射率为 $0.04\%\sim 0.12\%$,芯层含锗量占芯棒重量的 $5\%\sim 8\%$ 。第二芯层内控制磷元素含量,使得磷对第二芯层的贡献折射率为 $0.02\sim 0.06\%$,芯层含磷量占总质量的 $1\sim 2.4\%$,磷原料可以为 POCl_3 。内包层掺杂少量氟,使得氟对内包层的贡献折射率为 $-0.01\sim -0.03\%$,掺氟浓度在 $800\sim 1200\text{ppm}$ 。掺氟原料可以是 SF_6 、 CF_4 、 SiF_4 中的一种。

[0061] 对于凹陷包层4部分,采用外部购置的深掺氟套管(Heraeus,F520-40)与芯棒进行熔缩,当然也可以通过OVD工艺外包进行烧结掺氟。外包层5材料选用高硬度纯石英套管。

[0062] 光纤芯层材料与内包层材料在高温下需粘度匹配,在 $1900\sim 2060^\circ\text{C}$ 拉丝温度条件下,其比值范围在 $1.0\sim 1.15$ 之间。

[0063] 在外包层外还设置内涂层和外涂层,其中,内涂层模量低于 0.5Mpa ,内涂层直径在 $192\mu\text{m}$ 以上,外涂层模量高于 1000Mpa ,外涂层直径 $245\pm 3\mu\text{m}$,该光纤强度 $\geq 200\text{kpsi}$ 。

[0064] 上述单模光纤属于低损耗大有效面积高强度单模光纤:在 1550nm 波长的有效面积为 $110\sim 150\mu\text{m}^2$ 。所述光纤的在 1550nm 波长衰减 $\leq 0.175\text{dB/km}$,衰减典型值为 0.170dB/km 。该单模光纤在 1550nm 波长的模场直径为 $11.0\sim 14.0$,有效面积为 $110\sim 140\mu\text{m}^2$ 。该单模光纤在 30mm 弯曲半径下卷绕100圈时,在 1625nm 波长处的宏弯损耗等于或小于 0.1dB ,优选的宏弯损耗值等于或小于 0.03dB 。

[0065] 实施例2

[0066] 一种制备折射率剖面(RIP)中第一芯层中心为平顶分布的单模光纤的方法,包括如下步骤

[0067] 采用OVD外部气相沉积来制备芯棒,芯棒分为第一芯层1、第二芯层2和内包层3,沉积车床内设置四盏喷灯,其中,两盏垂直喷灯设置在预装陶瓷靶棒(长度 $2000\sim 2200\text{mm}$,直径 $6\text{mm}\sim 8\text{mm}$)正下方 $200\sim 300\text{mm}$ 处,垂直喷灯沿直线平行排列,喷射方向垂直于陶瓷靶棒,分别命名为第一喷灯和第二喷灯;另外两盏喷灯分布在预装陶瓷靶棒主轴线的两侧,各与水平面成 45° 角预先固定,分别命名为第三喷灯和第四喷灯,陶瓷靶棒能够沿其轴向即水平方向前后往复移动,同时陶瓷靶棒能够自身旋转。第三喷灯距离陶瓷棒主轴线距离为 $180\text{mm}\sim 300\text{mm}$,第四喷灯距离陶瓷棒主轴线距离为 $220\text{mm}\sim 270\text{mm}$,第四喷灯距离主轴线距离要比第三喷灯要大。第三喷灯和第四喷灯位置可在设计的半圆弧式轨道进行位置调整,使第三、四喷灯的喷射角度控制在与水平面呈 $30^\circ\sim 60^\circ$ 之间。第三喷灯用来喷射 POCl_3 ,第四喷灯用来喷射 SF_6 或 CF_4 或 SiF_4 。具体实施步骤如下:

[0068] S1:首先,沉积第一芯层,在第一喷灯和第二喷灯中供应 SiCl_4 、 GeCl_4 、 H_2 、 O_2 作为原料, SiCl_4 流量: $2.8\sim 3.2\text{g/min}$, GeCl_4 流量: $1.3\sim 1.6\text{g/min}$,保持沉积过程中流量稳定,减小波动,随着陶瓷棒的来回旋转运动,正向运动速度慢,移动速度 2000mm/min ,反向运动速度快,移动速度 10000mm/min ,靶棒旋转速度 200rpm ,经氢氧焰水解后得到的 SiO_2 和 GeO_2 颗粒一层一层的沉积在陶瓷棒表面,第一芯层沉积密度控制在 $0.6\sim 0.9\text{g/cm}^3$,完成芯层沉积后,停止喷灯供料,开启第三、四沉积喷灯(喷射角度 40°),用大流量氢氧焰对芯层外表面进行

加热烧结,喷灯中 H_2 和 O_2 流量分别为35L/min和18L/min,使形成致密层,致密层密度控制在 $1.4g/cm^3 \sim 2.0g/cm^3$ 。

[0069] S2:沉积第二芯层,在第一喷灯中供应 $SiCl_4$ 、 H_2 、 O_2 ,第一喷灯中 $SiCl_4$ 流量要控制大一些,流量为3.0~3.3g/min,在沉积至重量为2.3kg~2.5kg后,停止在第一喷灯中供应原料;在第三喷灯中通入 $SiCl_4$ 、 $POCl_3$ 、 H_2 、 O_2 ,其中 $SiCl_4$ 流量0.5~0.8g/min, $POCl_3$ 流量0.3~0.5g/min,第三喷灯作业前,第三喷灯喷设角度调整至 30° ,固定不动,第三喷灯持续将磷元素通过沉积的方式扩散入第二芯层。第二芯层沉积密度控制在 $0.8 \sim 1.0g/cm^3$,第二芯层沉积半径达到55mm。关闭第三喷灯,开启第三、四喷灯,用大流量氢氧焰对芯层外表面进行加热,喷灯中 H_2 和 O_2 流量分别为30L/min和15L/min,使其表面形成致密层,致密层密度控制在 $1.2g/cm^3 \sim 1.8g/cm^3$,并使第二芯层的烧结密度小于第一芯层烧结密度。

[0070] 上述S1制备的第一芯层和S2制备的第二芯层密度不同是因为要控制掺杂元素的渗透,第一芯层密度高,第二芯层密度低,这样可保证磷元素只进入第二芯层,而不进去或难以进入第一芯层。

[0071] S3:沉积内包层,开启第一、二喷灯(垂直喷灯),分别供应 $SiCl_4$ 、 H_2 、 O_2 作为原料,待沉积到约22~25kg后,第一、二喷灯中 $SiCl_4$ 流量减少50%,开启第四喷灯,第四喷灯中喷射 $SiCl_4$ 、 SF_6 、 H_2 、 O_2 的混合原料,以使内包层内扩散入少量的氟,第四喷灯中 $SiCl_4$ 流量控制在2.8g/min, SF_6 流量控制在0.2~0.4L/min,内包层沉积密度控制在 $0.5 \sim 0.8g/cm^3$ 。当外径达到280mm~300mm,芯棒疏松体沉积完成,在内包层疏松体沉积完成后取出中心陶瓷棒,芯棒呈中心孔状态。

[0072] S4:将芯棒疏松体安置到脱水炉内,芯棒疏松体旋转速度控制在3r/min,在脱水炉内通入He和 Cl_2 ,He流量:15~20L/min, Cl_2 流量为0.8~1.2L/min,脱水温度:1100~1150 $^\circ C$,脱水时间:200~300min;然后将芯棒疏松体从脱水炉转移到烧结炉内,炉内真空度控制在100毫帕,He流量28~35L/min,在1500 $^\circ C \sim 1600^\circ C$ 温度下烧结6~8h获得透明玻璃母棒,母棒直径140~150mm,长度为1~1.1m,中心孔闭合良好,无气线,烧结完成的透明玻璃母棒在1000~1100 $^\circ C$ 下退火8~10h,经延伸炉延伸为相应直径的子棒,子棒直径 $38 \pm 0.5mm$,长度1~1.1m后,在校直设备上进行微校直处理后,接着横向安装在车床上,使用氢氧焰进行表面抛光处理,正反向抛光各1遍,校直、抛光处理后,再次将芯棒在1100~1150 $^\circ C$ 下退火4~8h,最终得到透明芯棒。

[0073] S5:芯棒与深掺氟管,掺氟管内径 $40 \pm 0.5mm$,壁厚9mm,长度1100mm,掺氟深度-0.0045~-0.005,在MCVD车床上利用氢氧焰进行高温熔缩,将芯棒与深掺氟管安装在车床夹具上,使用氢氧焰燃烧火焰,将深掺氟管表面温度加热到2000~2250 $^\circ C$,热源以20mm/min~60mm/min的速度在掺氟管纵向连续移动,管内保持-40~-60kpa的负压状态,直至掺氟管与芯棒全部塌缩为一体棒,最终形成组合芯棒。

[0074] S6:将组合芯棒置入高硬度纯石英套管(内径60mm,壁厚 $45 \pm 0.5mm$,长度1100mm)内,进行在线抽真空拉丝,拉丝温度1980~2100 $^\circ C$,裸纤张力150g,拉丝速度1200~1700mpm,拉丝炉下方配备1~3节退火炉,退火炉温度设置为1100~1300 $^\circ C$,对光纤进行退火处理。再经特制涂料进行内、外层涂覆,内涂层直径优选195 μm ,外涂层直径 $245 \pm 3\mu m$,内涂层模量低于0.5Mpa,外涂层模量高于1000Mpa。

[0075] 该方式下制备的光纤,其1550nm衰减值为0.170dB/km,光纤强度>200kpsi。

[0076] 单模光纤的结构设计如表1所示:

[0077] 表1为光纤结构及掺杂含量设计

[0078]

序号	半径 R ₁ /μm	Δn ₁	锗的贡献 折射率/%	半径 R ₂ /μm	Δn ₂	磷的 贡献 量	半径 R ₃ /μm	Δn ₃	氟的贡 献量	包芯 比 b/a	半径 R ₄ /μm	Δn ₄	半径 R ₅ /μm
1	3.5	0.25%	0.06%	5.5	0.18%	0.02%	26	-0.07%	1200ppm	4.73	40	-0.36%	62.5
2	4	0.28%	0.07%	5.8	0.25%	0.04%	28	-0.05%	1000ppm	4.83	42	-0.34%	62.5
3	4.5	0.30%	0.09%	6.2	0.22%	0.03%	30	-0.03%	900ppm	4.84	48	-0.40%	62.5
4	5	0.32%	0.10%	6.5	0.26%	0.05%	34	-0.02%	800ppm	5.23	44	-0.30%	62.5

[0079] 单模光纤的主要技术指标如表2所示:

[0080] 表2为光纤主要技术指标

[0081]

序号	1550nm 模场直 径(μm)	22m 光 纤截止 波长 (nm)	有效面 积(μm ²)	瑞丽散射系 数 (dB/km/μm ⁴)	1550nm 衰 减(dB/km)	内涂模 量(Mpa)	外涂模 量(Mpa)	强度 (kpsi)	1625nm BL30R-100(dB)
1	11.5	1420	110	0.62	0.172	0.3	1050	200	<0.03
2	12.2	1480	120	0.6	0.168	0.3	980	190	<0.03
3	12.4	1470	125	0.67	0.17	0.32	1000	220	<0.03
4	13.5	1510	130	0.63	0.173	0.28	90	180	<0.03

[0082] 本申请外涂模量大于1000Mpa,目的是提高光纤强度,序号2、4所选外涂模量小于1000Mpa,其光纤强度也随之低于200kpsi的设计要求。

[0083] 尽管以上详细地描述了本发明的优选实施例,但是应该清楚地理解,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

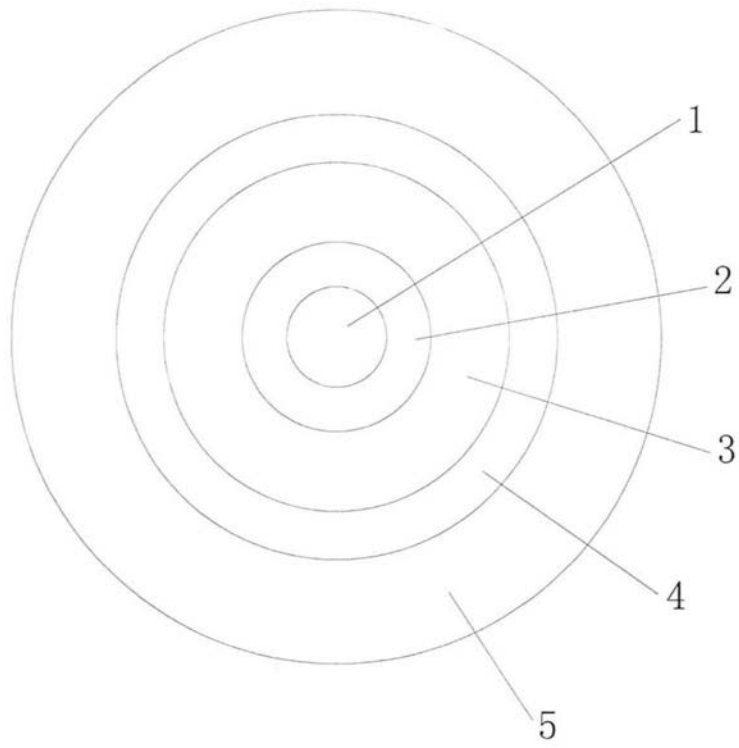


图1

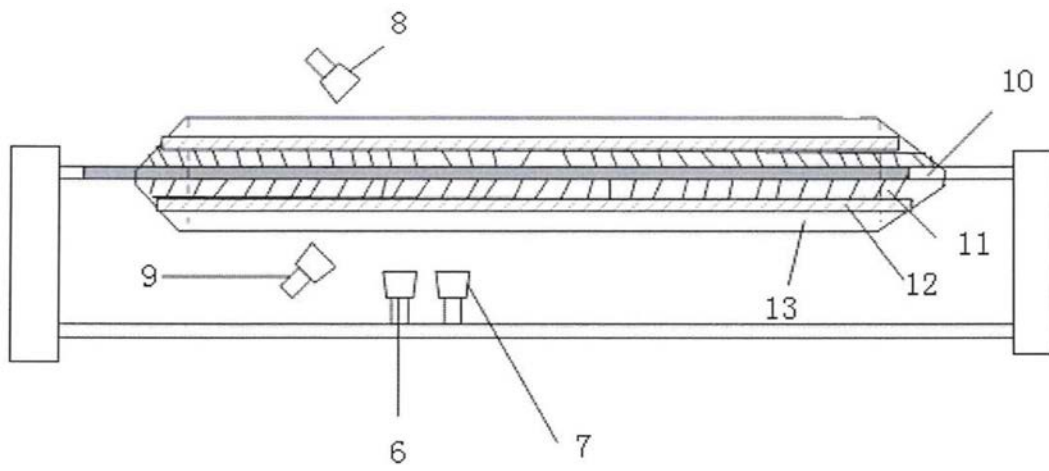


图2

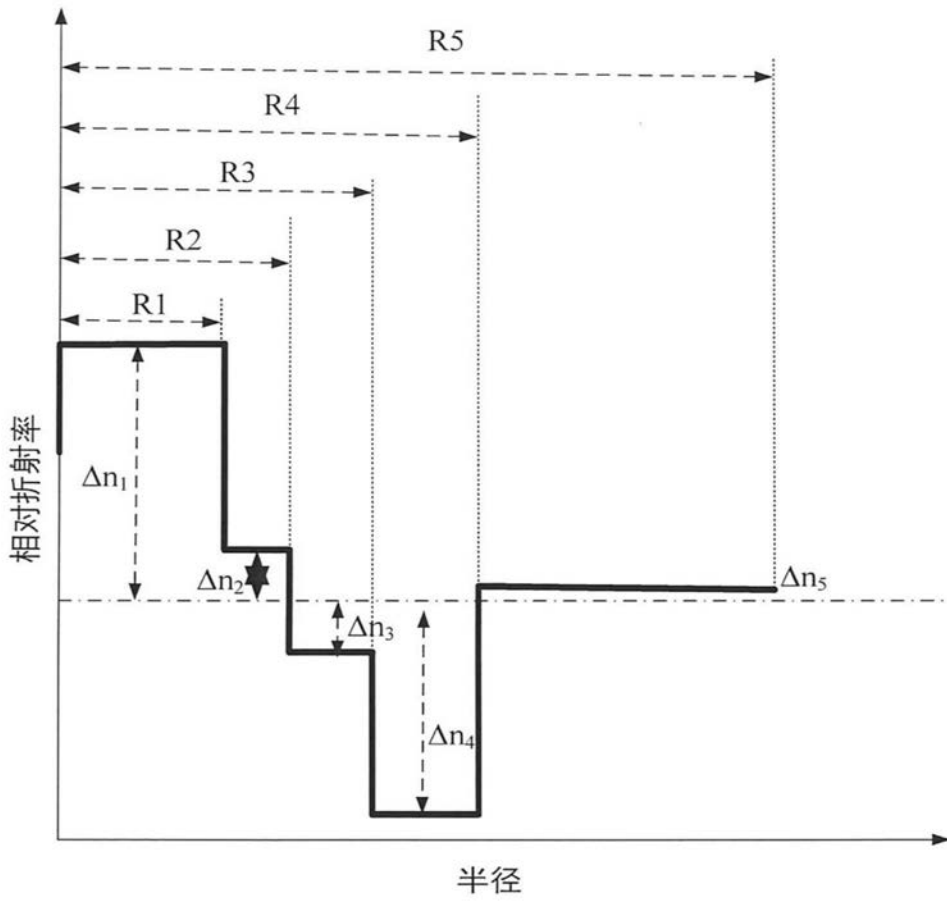


图3

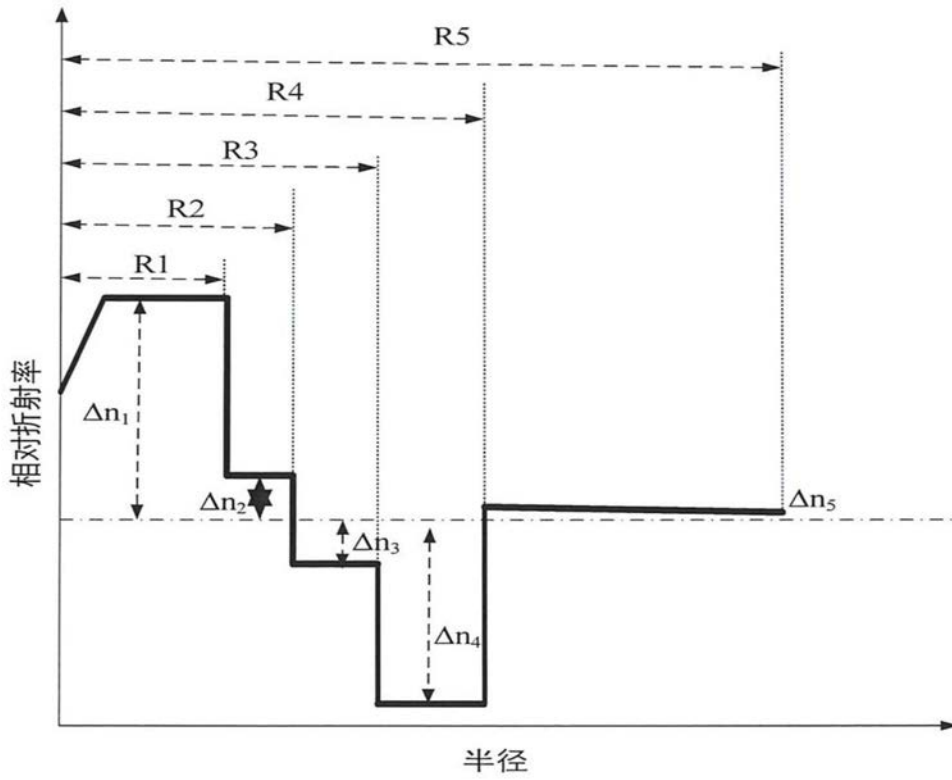


图4

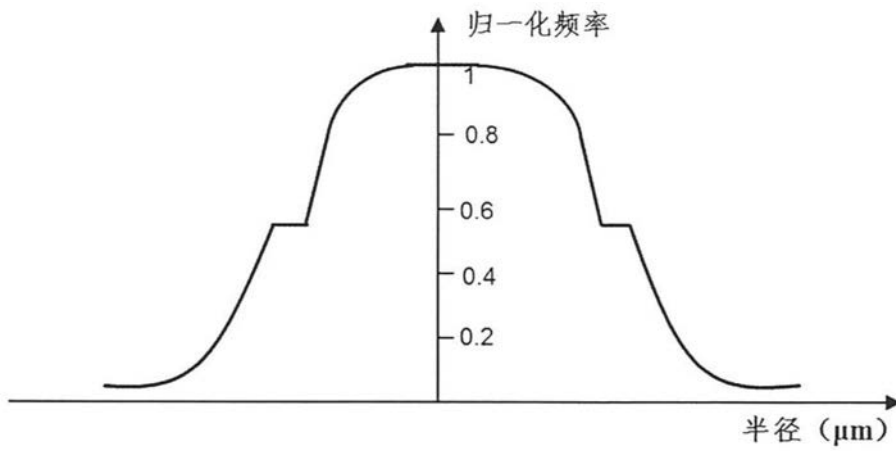


图5