



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106772784 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(21)申请号 201611265215.1

(22)申请日 2016.12.30

(71)申请人 中天科技精密材料有限公司  
地址 226010 江苏省南通市开发区中天路3号

申请人 江苏中天科技股份有限公司

(72)发明人 蒋新力 范艳层 李文涛 沈一春

(74)专利代理机构 深圳市赛恩倍吉知识产权代理有限公司 44334

代理人 谢志为

(51)Int.Cl.

G02B 6/028(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

## (54)发明名称

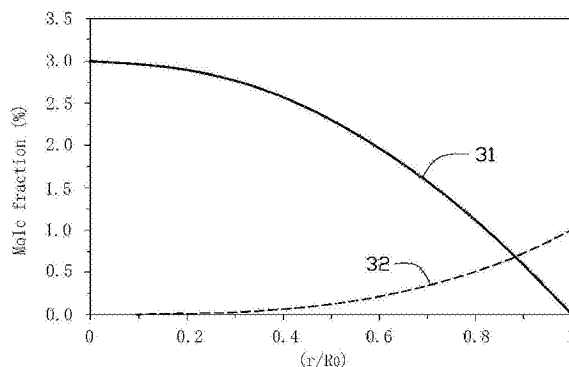
一种宽带折射率渐变的多模光纤

## (57)摘要

一种多模光纤,包括芯层和包覆于所述半径为 $R_0$ 芯层上的包层,所述芯层的折射率剖面呈抛物线,所述芯层为 $GeO_2$ 以及其它掺杂物质共掺的一种玻璃层,所述掺杂物的摩尔浓度随半径变化,并按如下函数分布:

$$M(r) = \begin{cases} M_n - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ 0, & r > R_0 \end{cases}$$

所述 $M(r)$ 为所述掺杂物在距离所述芯层中心轴的径向距离 $r$ 处的摩尔浓度,所述 $M_0$ 为所述掺杂物在芯层中心的摩尔浓度, $M_b$ 为所述掺杂物在芯层边界的摩尔浓度, $\beta$ 为所述掺杂物的浓度分布参数。所述多模光纤不仅可支持宽波长段(例如850nm-950nm,或850nm-1300nm)窗口的数据传输,有效提高光纤的传输容量,而且与传统多模光纤相互兼容。



1. 一种多模光纤,包括芯层和包覆于所述芯层上的包层,所述芯层的折射率剖面呈抛物线,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_c^2 & , \quad r > R_0, \end{cases}$$

其中 $\Delta$ 为相对折射率差, $\Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2}$ ,

$r$ 为所述多模光纤中某个点距离芯层中心轴的径向距离, $R_0$ 为芯层半径, $n_0$ 和 $n_b$ 分别为芯层中心和芯层边界的折射率, $n_c$ 为包层折射率, $\alpha$ 为芯层剖面折射率分布参数,

其特征在于:所述芯层为 $\text{GeO}_2$ 以及其它掺杂物质共掺的一种玻璃层,所述掺杂物的摩尔浓度随半径变化,并按如下函数分布:

$$M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ 0 & , \quad r > R_0, \end{cases}$$

所述 $M(r)$ 为所述掺杂物在距离所述芯层中心轴的径向距离 $r$ 处的摩尔浓度, $M_0$ 为所述掺杂物在所述芯层中心的摩尔浓度, $M_b$ 为所述掺杂物在所述芯层边界的摩尔浓度, $\beta$ 为所述掺杂物的浓度分布参数。

2. 如权利要求1所述的多模光纤,其特征在于:所述掺杂物为F,所述F在所述芯层边界的摩尔浓度范围为1~6%,在所述芯层中心的摩尔浓度范围为0~0.5%;所述多模光纤在850nm~950nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.020~0.026,在850nm~1300nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.067~0.098。

3. 如权利要求2所述的多模光纤,其特征在于:所述F的浓度分布参数 $\beta_F$ 取值范围为1.5~7。

4. 如权利要求3所述的多模光纤,其特征在于:所述F的浓度分布参数 $\beta_F$ 取值范围为3~5。

5. 如权利要求1所述的多模光纤,其特征在于:所述掺杂物为 $\text{P}_2\text{O}_5$ ,所述 $\text{P}_2\text{O}_5$ 在所述芯层中心的摩尔浓度范围为1~12%,在所述芯层边界的摩尔浓度范围为0~0.5%;所述多模光纤在850nm~950nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.000~0.025,在850nm~1300nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.000~0.092。

6. 如权利要求5所述的多模光纤,其特征在于:所述 $\text{P}_2\text{O}_5$ 的浓度分布参数 $\beta_P$ 取值范围为1~5。

7. 如权利要求6所述的多模光纤,其特征在于:所述 $\text{P}_2\text{O}_5$ 的浓度分布参数 $\beta_P$ 取值范围为1.5~3。

8. 如权利要求1所述的多模光纤,其特征在于:所述掺杂物为F及 $\text{P}_2\text{O}_5$ ,所述F在所述芯层边界的摩尔浓度范围为1~3%,所述 $\text{P}_2\text{O}_5$ 在所述芯层中心的摩尔浓度范围为1~3%;所述多

模光纤在850nm~950nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{opt}$  范围为0.016~0.023, 在850nm~1300nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{opt}$  范围为0.053~0.086。

9. 如权利要求8所述的多模光纤, 其特征在于: 所述F的浓度分布参数 $\beta_F$ 的取值范围为1.5~7, 所述 $P_2O_5$ 的浓度分布参数 $\beta_P$ 的取值范围为1~5。

10. 如权利要求9所述的多模光纤, 其特征在于: 所述F的浓度分布参数 $\beta_F$ 的取值范围为3~5, 所述 $P_2O_5$ 的浓度分布参数 $\beta_P$ 的取值范围为1.5~3。

11. 如权利要求1所述的多模光纤, 其特征在于: 所述芯层半径 $R_0$ 范围为23~27 $\mu\text{m}$ , 包层半径的范围为60.5~64.5 $\mu\text{m}$ 。

12. 如权利要求1所述的多模光纤, 其特征在于: 所述多模光纤的数值孔径NA范围为0.185~0.215, 该数值孔径的测试波长为850nm。

13. 如权利要求12所述的多模光纤, 其特征在于: 50/125 $\mu\text{m}$ , 0.2NA多模光纤的芯层中心与包层之间的折射率差  $\Delta n_0$  变化范围为0.0135~0.0175, 所述芯层边界与所述包层之间的折射率差  $\Delta n_b$  变化范围为0.0000~0.0030。

## 一种宽带折射率渐变的多模光纤

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光通信技术领域,特别涉及一种宽带折射率渐变的多模光纤。

### 背景技术

[0002] 在光纤通信系统中,光纤作为光波的传输介质,其特性对光信号的传输有非常重要的影响。多模光纤芯径粗,数值孔径大,不仅能够从光源耦合更多的光功率,而且与其配套的元件较便宜,操作简单方便。目前,多模光纤以其低廉的系统成本优势,已在中短距离光纤网络系统中得到广泛应用。

[0003] 高带宽多模光纤(如OM3、OM4),在850nm多模激光光源作用下,单根OM3多模光纤能够支持10Gb/s的速率传输距离长达300米,单根OM4多模光纤能够支持10Gb/s的速率传输距离长达550米。根据IEEE802.3ba标准,基于原有已成熟的多模光纤10Gb/s的数据传输流技术,使用8芯多模光纤进行传输40Gb/s速率的信号,使用20芯多模光纤进行传输100Gb/s速率的信号。然而,随着200Gb/s、400Gb/s以及更高速率需要的提出,传统的多模光纤在芯数上成为阻碍未来发展的瓶颈。宽带(宽波长范围)多模光纤(WBMMF)技术借鉴了单模光纤的波分复用(WDM)技术,扩展了网络传输时的可用波长范围,能够在一芯多模光纤上支持多个波长,把需要的光纤芯数大大降低。为多模光纤传输容量的提升确定了新方向。

[0004] TIA-492AAAE标准规定的宽带多模光纤(OM5)设计旨在支持850nm~950nm范围内的至少四个低成本波长,从而能够优化支持新兴的短波分复用(SDWDM)应用,将平行光纤数量减少至少四倍。然而,多模光纤的最佳剖面折射率分布参数 $\alpha_{opt}$ 与波长和材料组分有关,其中 $\alpha_{opt}$ 随传输波长变化非常明显。对于传统多模光纤, $\alpha_{opt}$ 对波长变化的敏感性非常高,当 $\alpha_{opt}$ 一定时,其带宽性能通常在特定的工作波长下达到最优,当工作波长变大或变小,其带宽性能都会明显下降。因此,目前该传统多模光纤难以满足OM5技术的应用要求。

[0005] 为了解决市场对光纤带宽容量不断提升的需求,非常有必要在高带宽且满足多模光纤标准的前提下降低最优 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的敏感性,优化带宽的多波长特性,设计出能够满足多波长范围的宽带多模光纤。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此,有必要提供一种避免上述问题的宽带(宽波长范围)折射率渐变的多模光纤。

[0007] 一种多模光纤,包括芯层和包覆于所述芯层上的包层,所述芯层的折射率剖面呈抛物线,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$[0008] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_c^2, & r > R_0 \end{cases}$$

[0009] 其中  $\Delta$  为相对折射率差,  $\Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2}$ ,

[0010]  $r$  为所述多模光纤中某个点距离芯层中心轴的径向距离,  $R_0$  为芯层半径,  $R_1$  为包层半径,  $n_0$  和  $n_b$  分别为芯层中心和芯层边界的折射率,  $n_c$  为包层折射率,  $\alpha$  为剖面折射率分布参数。芯层中心与包层之间的折射率差为  $\Delta n_0$ , 芯层边界与所述包层之间的折射率差为  $\Delta n_b$ 。所述芯层为  $\text{GeO}_2$  以及其它掺杂物质共掺的一种玻璃层, 所述掺杂物的摩尔浓度随半径变化, 并按如下函数分布:

$$[0011] \quad M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ 0, & r > R_0 \end{cases}$$

[0012] 所述  $M(r)$  为所述掺杂物在距离所述芯层中心轴的径向距离  $r$  处的摩尔浓度,  $M_0$  为掺杂物在芯层中心的摩尔浓度,  $M_b$  为所述掺杂物在芯层边界的摩尔浓度,  $\beta$  为所述掺杂物的浓度分布参数。

[0013] 进一步地, 所述掺杂物为 F, 所述 F 在所述芯层边界的摩尔浓度范围为 1~6%, 在所述芯层中心的摩尔浓度范围为 0~0.5%; 所述多模光纤在 850nm~950nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.020~0.026, 在 850nm~1300nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.067~0.098。

[0014] 进一步地, 所述掺杂物为 F, 所述 F 的浓度分布参数  $\beta_F$  取值范围为 1.5~7。

[0015] 进一步地, 所述掺杂物为 F, 所述 F 的浓度分布参数  $\beta_F$  取值范围为 3~5。

[0016] 进一步地, 所述掺杂物为  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  在所述芯层中心的摩尔浓度范围为 1~12%, 在所述芯层边界的摩尔浓度范围为 0~0.5%; 所述多模光纤在 850nm~950nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.000~0.025, 在 850nm~1300nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.000~0.092。

[0017] 进一步地, 所述掺杂物为  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  的浓度分布参数  $\beta_p$  取值范围为 1~5。

[0018] 进一步地, 所述掺杂物为  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  的浓度分布参数  $\beta_p$  取值范围为 1.5~3。

[0019] 进一步地, 所述掺杂物为 F 及  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述 F 在所述芯层边界的摩尔浓度范围为 1~3%, 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  在所述芯层中心的摩尔浓度范围为 1~3%; 所述多模光纤在 850nm~950nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.016~0.023, 在 850nm~1300nm 波长的最佳剖面折射率分布参数差值  $\Delta \alpha_{\text{opt}}$  范围为 0.053~0.086。

[0020] 进一步地, 所述掺杂物为 F 和  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述 F 的浓度分布参数  $\beta_F$  取值范围为 1.5~7, 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  的浓度分布参数  $\beta_p$  取值范围为 1~5。

[0021] 进一步地, 所述掺杂物为 F 和  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 所述 F 的浓度分布参数  $\beta_F$  取值范围为 3~5, 所述  $\text{P}_2\text{O}_5$  的浓度分布参数  $\beta_p$  取值范围为 1.5~3。

[0022] 进一步地, 所述芯层半径  $R_0$  范围为 23~27 $\mu\text{m}$ , 所述包层半径范围为 60.5~64.5 $\mu\text{m}$ 。

[0023] 进一步地, 所述多模光纤的数值孔径 NA 范围为 0.185~0.215, 该数值孔径的测试波长为 850nm。

[0024] 进一步地, 50/125 $\mu\text{m}$ , 0.2NA 多模光纤芯层中心与包层之间的折射率差  $\Delta n_0$  变化范围为 0.0135~0.0175, 芯层边界与包层之间的折射率差  $\Delta n_b$  变化范围为 0.0000~0.0030。

[0025] 本发明提供的多模光纤,其通过改变芯层中的GeO<sub>2</sub>及其它掺杂物的摩尔浓度,使得所述多模光纤的渐变折射率剖面得到优化,降低 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的敏感性,实现宽带性能的优化。

### 附图说明

- [0026] 图1是本发明多模光纤折射率剖面示意图。  
 [0027] 图2是宽波长优化前后的多模光纤带宽与波长的关系。  
 [0028] 图3是P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和F在芯层的摩尔浓度随半径变化关系。  
 [0029] 图4是GeO<sub>2</sub>与F共掺的多模光纤 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的关系图。  
 [0030] 图5是GeO<sub>2</sub>与P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的多模光纤 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的关系图。  
 [0031] 图6是GeO<sub>2</sub>、F及P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的多模光纤 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的关系图。以下具体实施方式将结合上述附图进一步说明本发明。

### 具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。在不冲突的情况下,下述的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0033] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在于限制本发明。

[0034] 本发明所述多模光纤包括芯层和包层两部分。所述包层包覆在所述芯层的外周表面上。光纤的折射率剖面请参阅图1,所述芯层的折射率剖面为抛物线,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$[0035] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_c^2, & r > R_0 \end{cases} \quad (1)$$

[0036] 其中,

$$[0037] \quad \Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2} \quad (2)$$

[0038]  $r$ 为所述多模光纤中某个点距离芯层中心轴的径向距离, $R_0$ 为芯层半径, $R_1$ 为包层半径, $n_0$ 和 $n_b$ 分别为 $r=0$ 和 $r=R_0$ 处的芯层折射率, $n_c$ 为包层折射率, $\alpha$ 为芯层剖面折射率分布参数, $\Delta$ 为相对折射率差。所述芯层中心与所述包层之间的折射率差为 $\Delta n_0$ ,所述芯层边界与所述包层之间的折射率差为 $\Delta n_b$ 。

[0039] 要使多模光纤的带宽最大,必须使其模间色散最小,即要选择一个最佳剖面折射率分布参数 $\alpha_{opt}$ ,表达式如下:

$$[0040] \quad \alpha_{opt} = 2 + y - \frac{\Delta(4+y)(3+y)}{5+2y} \quad (3)$$

[0041] 其中,

$$[0042] \quad y = -\frac{2n_0\lambda d\Delta}{N_1\Delta d\lambda} \quad (4)$$

$$[0043] \quad N_1 = n_0 - \frac{\lambda dn_0}{d\lambda} \quad (5)$$

[0044] 掺杂石英玻璃的折射率和波长的关系可由Sellmeier方程表示:

$$[0045] \quad n^2 - 1 = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - L_i^2} \quad (6)$$

[0046] 式中,  $A_i$  为振子强度因子,  $L_i$  为振子波长因子。对于含有  $m$  种组分的玻璃, 这两个因子由以下两个公式决定:

$$[0047] \quad A_i = \sum_{j=1}^m M_j A_{ij} \quad (7)$$

$$[0048] \quad L_i = \sum_{j=1}^m M_j L_{ij} \quad (8)$$

[0049] 其中,  $M_j$  是第  $j$  种组分的摩尔浓度,  $A_{ij}$  和  $L_{ij}$  分别是该组分的振子强度和波长因子。结合方程 (3) - (8) 可以计算所述多模光纤在不同波长的优化  $\alpha_{opt}$ , 由此得到各个波长之间 (例如 850nm 和 950nm 之间, 850nm 和 1300nm 之间) 优化  $\alpha_{opt}$  的差值  $\Delta \alpha_{opt}$ 。

[0050] 除  $SiO_2$  和  $GeO_2$  两种主要的组分外, 通信用多模光纤芯层通常含有少量的 F 或 / 和  $P_2O_5$ 。本发明通过显著提高和优化不同半径位置 F 或 / 和  $P_2O_5$  的摩尔浓度来实现在非常宽波长范围 (800nm-1500nm) 内减小各个波长之间  $\alpha_{opt}$  的差值  $\Delta \alpha_{opt}$ 。

[0051] 请参阅图 2, 为宽波长优化前后多模光纤带宽与波长的关系图。曲线 21 表示未经宽带设计优化 (掺杂) 的多模光纤, 在 890nm 波长的最佳剖面折射率分布参数  $\alpha_{opt\_890}$  条件下光纤带宽 (Bandwidth, 图中纵轴) 随波长的变化; 曲线 22 表示经过宽带设计优化后 (掺杂) 的多模光纤带宽随波长的变化; 曲线 23 表示 OM3 多模光纤的带宽要求; 曲线 24 表示 OM4 多模光纤的带宽要求。可见, 经过宽带设计优化后的多模光纤, 在 850nm-950nm 波长具有 5700MHz-km 或 5700MHz-km 以上的有效模式带宽 (EMB)。

[0052] 需要说明, 改变 F 或 / 和  $P_2O_5$  的浓度将显著改变所述芯层的折射率及其分布, 为了得到方程 (1) 所需的折射率剖面, 必须对芯层的  $GeO_2$  的摩尔浓度及其分布进行调整以补偿 F 或 / 和  $P_2O_5$  浓度变化导致的折射率的改变。

[0053] 在光纤剖面优化过程中, 需要根据光纤的工作波长 (例如 850nm 和 950nm) 的带宽和 DMD 的测试值, 对光纤预制棒制造过程中不同光纤半径对应预制棒半径的原料  $GeCl_4$  的用量进行多次微小的调整。

[0054] 在以下的实施例中, 所述多模光纤的折射率剖面测试波长为 632.8nm。没有特殊说明的情况下, 玻璃光纤的折射率或折射率差是指在波长 632.8nm 下的值。

[0055] 本发明第一实施例提供一种多模光纤。所述芯层为  $GeO_2$  与 F 共掺的玻璃芯层。所述芯层中心与所述包层之间的折射率差  $\Delta n_0$  为 0.0155, 所述芯层边界与所述包层之间的折射率差  $\Delta n_b$  为 0.0015, 所述芯层半径  $R_0$  为 25 $\mu$ m, 所述包层半径  $R_1$  为 62.5 $\mu$ m。其中, F 在所述芯层

的摩尔浓度随所述芯层半径变化,按如下函数分布:

$$[0056] \quad M_F(r) = \begin{cases} M_{F0} - (M_{F0} - M_{Fb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_F}, & r \leq R_0 \\ 0 & , r > R_0 \end{cases} \quad (9)$$

[0057] 式中, $M_{F0}$ 为F在芯层中心(即 $r=0$ 处)的摩尔浓度(Mole fraction), $M_{Fb}$ 为F在芯层边界(即 $r=R_0$ 处)的摩尔浓度; $\beta_F$ 为掺杂物F的浓度分布参数, $\beta_F$ 取值范围为1.5~7,更优的 $\beta_F$ 取值范围为3~5;所述 $M_F(r)$ 为所述F在距离所述芯层中心轴的径向距离 $r$ 处的摩尔浓度。请参阅图3中的曲线32,为典型F在所述芯层的摩尔浓度随所述芯层半径的变化。

[0058] 根据本发明,提高芯层边界的F摩尔浓度同时降低芯层中心的F摩尔浓度可以有效降低各个波长的优化 $\alpha_{opt}$ 的差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 。值得指出,现有规模化预制棒生产工艺的掺F摩尔浓度的极限大约是6%。

[0059] 上述由 $GeO_2$ 与F共掺的多模光纤,其芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{opt}$ 见表1。请一并参阅图4, $GeO_2$ 与F共掺多模光纤 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的关系图。

[0060] 表1. 实施例一多模光纤芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{opt}$

[0061]

图4对应曲线标识	芯层中心掺杂浓度(mol%)		芯层边界掺杂浓度(mol%)		$\Delta\alpha_{opt\_850-950}$	$\Delta\alpha_{opt\_850-1300}$
	$P_2O_5$	F	$P_2O_5$	F		
41	0.00	0.0~1.00	0.00	0.0~1.00	0.028	0.104
42	0.00	0.0~0.50	0.00	1.00	0.026	0.098
43	0.00	0.0~0.50	0.00	3.00	0.024	0.085
44	0.00	0.0~0.50	0.00	6.00	0.020	0.067

[0062] 在现有的 $GeO_2$ 与F共掺的多模光纤制造工艺中,掺F的主要目的是降低石英玻璃的粘度和羟基含量。芯层中心和边界掺F的摩尔浓度基本相同,范围为0.0~1.0%。850nm~950nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 约为0.028,850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 约为0.104。

[0063] 本实施例中,所述的由 $GeO_2$ 与F共掺的多模光纤,F在芯层边界的摩尔浓度范围为1~6%,F在芯层中心的摩尔浓度范围为0~0.5%;所述多模光纤在850nm~950nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 范围为0.020~0.026,在850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 范围为0.067~0.098。

[0064] 本发明第二实施例提供一种多模光纤,所述芯层为 $GeO_2$ 与 $P_2O_5$ 共掺的玻璃层芯层。芯层中心与所述包层之间的折射率差值 $\Delta n_0$ 为0.0155,芯层边界与所述包层之间的折射率差值 $\Delta n_b$ 为0.0015,所述芯层的半径 $R_0$ 为25 $\mu m$ ,包层半径 $R_1$ 为62.5 $\mu m$ 。其中, $P_2O_5$ 在芯层的摩尔浓度随所述芯层的半径变化,按如下函数分布:

$$[0065] \quad M_P(r) = \begin{cases} M_{P0} - (M_{P0} - M_{Pb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_P}, & r \leq R_0 \\ 0 & , r > R_0 \end{cases} \quad (10)$$

[0066] 式中, $M_{P0}$ 为芯层中心 $P_2O_5$ 的摩尔浓度, $M_{Pb}$ 为芯层边界 $P_2O_5$ 的摩尔浓度; $\beta_P$ 为掺杂物



P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的浓度分布参数,β<sub>p</sub>取值范围为1~5,更优的β<sub>p</sub>取值范围为1.5~3;所述M<sub>p</sub>(r)为所述P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在距离所述芯层中心轴的径向距离r处的摩尔浓度。请参阅图3中的曲线31,为典型P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在所述芯层的摩尔浓度随所述芯层的半径变化。

[0067] 上述GeO<sub>2</sub>与P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的多模光纤,其芯层的掺杂物浓度设计及Δα<sub>opt</sub>见表2,图5为α<sub>opt</sub>与波长之间的关系图。

[0068] 表2. 实施例二多模光纤芯层的掺杂物浓度设计及Δα<sub>opt</sub>

[0069]

图 5 对 应曲线 标识	芯层中心掺杂 浓度 (mol%)		芯层边界掺杂 浓度 (mol%)		Δα <sub>opt_850-950</sub>	Δα <sub>opt_850-1300</sub>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F		
51	0.0~1.00	0.00	0.0~1.00	0.00	0.028	0.104
52	1.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.025	0.092
53	3.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.019	0.070
54	6.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.012	0.039
55	9.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.006	0.011
56	12.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.000	-0.013

[0070] 在现有的GeO<sub>2</sub>与P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的多模光纤制造工艺中,掺P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的主要目的是降低氧化反应温度、烧结温度及生成石英玻璃的粘度。掺P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的摩尔浓度范围为0.5~1%。850nm~950nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值Δα<sub>opt</sub>约为0.028,850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值Δα<sub>opt</sub>约为0.104。

[0071] 本实施例中,所述的GeO<sub>2</sub>与P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的多模光纤,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在芯层中心的摩尔浓度范围为1~12%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在芯层边界的摩尔浓度范围为0~0.5%;所述多模光纤在850nm~950nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值Δα<sub>opt</sub>范围为0.000~0.025,在850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值Δα<sub>opt</sub>范围为0.000~0.092。

[0072] 本发明的第三实施例提供一种多模光纤,所述芯层为GeO<sub>2</sub>、F与P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共掺的玻璃层芯层。所述芯层中心与所述包层之间的折射率差值Δn<sub>0</sub>为0.0155,所述芯层边界与所述包层之间的折射率差值Δn<sub>b</sub>为0.0015,芯层半径R<sub>0</sub>为25μm,包层半径R<sub>1</sub>为62.5μm。其中,F和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在所述芯层的摩尔浓度随半径变化,分别按如下函数分布:

$$[0073] \quad M_F(r) = \begin{cases} M_{F0} - (M_{F0} - M_{Fb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_F}, & r \leq R_0 \\ 0, & r > R_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$[0074] \quad M_P(r) = \begin{cases} M_{P0} - (M_{P0} - M_{Pb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_P}, & r \leq R_0 \\ 0, & r > R_0 \end{cases} \quad (10)$$

[0075] 式中,M<sub>P0</sub>为芯层中心P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的摩尔浓度,M<sub>Pb</sub>为芯层边界P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的摩尔浓度;M<sub>F0</sub>为芯层中心F的摩尔浓度,M<sub>Fb</sub>为芯层边界F的摩尔浓度;β<sub>p</sub>为掺杂物P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的浓度分布参数,β<sub>F</sub>为掺杂物F的浓度分布参数,β<sub>p</sub>取值范围为1~5,更优的β<sub>p</sub>取值范围为1.5~3,β<sub>F</sub>取值范围为1.5~7,更优的β<sub>F</sub>取值范围为3~5;所述M<sub>p</sub>(r)为所述P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>在距离所述芯层中心轴的径向距离r处的摩

尔浓度,所述 $M_F(r)$ 为所述F在距离所述芯层中心轴的径向距离 $r$ 处的摩尔浓度。当 $M_{P_0}$ 为3%, $M_{P_b}$ 为0%, $M_{F_0}$ 为0%, $M_{F_b}$ 为1%时, $\beta_p$ 和 $\beta_F$ 分别取值2.1和3.0,芯层 $P_2O_5$ 和F的摩尔浓度随半径变化如图3所示(曲线31表示 $M_P$ ,曲线32表示 $M_F$ )。

[0076] 表3. 实施例三多模光纤芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{opt}$

图 6 对 应曲线 标识	芯层中心掺杂 浓度 (mol%)		芯层边界掺杂 浓度 (mol%)		$\Delta\alpha_{opt\_850-950}$	$\Delta\alpha_{opt\_850-1300}$
	$P_2O_5$	F	$P_2O_5$	F		
[0077] 61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028	0.104
62	1.00	0.00	0.00	1.00	0.023	0.086
63	1.00	0.00	0.00	3.00	0.021	0.074
[0078] 64	3.00	0.00	0.00	1.00	0.018	0.064
65	3.00	0.00	0.00	3.00	0.016	0.053

[0079] 本实施例中,所述的 $GeO_2$ 、F及 $P_2O_5$ 共掺的多模光纤,芯层中心 $P_2O_5$ 的摩尔浓度范围为1~3%,芯层边界F的摩尔浓度范围为1~3%;所述多模光纤在850nm~950nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 范围为0.016~0.023,在850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 范围为0.053~0.086。

[0080] 按上述方案,所述多模光纤的芯层半径 $R_0$ 范围为23~27 $\mu m$ ,包层半径 $R_1$ 范围为60.5~64.5 $\mu m$ 。

[0081] 按上述方案,所述多模光纤的数值孔径NA范围为0.185~0.215,该数值孔径的测试波长为850nm。

[0082] 按上述方案,50/125 $\mu m$ ,0.2NA多模光纤的 $\Delta n_0$ 变化范围为0.0135~0.0175, $\Delta n_b$ 变化范围为0.0000~0.0030。

[0083] 本发明实施例提供的多模光纤,其通过改变芯层中的 $GeO_2$ /F、 $GeO_2$ / $P_2O_5$ 及 $GeO_2$ /F/ $P_2O_5$ 掺杂摩尔浓度,使得所述多模光纤的渐变折射率剖面得到优化,降低 $\alpha_{opt}$ 与波长之间的敏感性,实现宽带性能的优化。进一步地,所述多模光纤能够支持宽波长段(例如850nm-950nm,或850nm-1300nm)窗口的数据传输。还有,所述多模光纤与传统多模光纤相互兼容。更甚者,所述多模光纤芯层设计可有效提高光纤的传输容量,该设计对WBMMF技术的广泛应用具有指导性的作用。

[0084] 可以理解,所述芯层中掺杂基础掺杂物 $GeO_2$ 外,其它掺杂物不限定为F、 $P_2O_5$ ,其它掺杂物还可以为其它能够实现本发明目的的掺杂物。

[0085] 一种多模光纤,包括芯层和包覆于所述芯层上的包层,所述芯层的折射率剖面呈抛物线,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$[0086] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_c^2, & r > R_0 \end{cases},$$

$$[0087] \quad \text{其中 } \Delta \text{ 为相对折射率差, } \Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2},$$

[0088]  $r$ 为所述多模光纤中某个点距离芯层中心轴的径向距离, $R_0$ 为芯层半径, $R_1$ 为包层半径, $n_0$ 和 $n_b$ 分别为芯层中心和芯层边界的折射率, $n_c$ 为包层折射率, $\alpha$ 为剖面折射率分布参数。芯层中心与包层之间的折射率差为 $\Delta n_0$ ,芯层边界与所述包层之间的折射率差为 $\Delta n_b$ 。所述芯层为 $\text{GeO}_2$ 以及其它掺杂物质共掺的一种玻璃层,所述掺杂物的摩尔浓度随半径变化,并按如下函数分布:

$$[0089] \quad M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ 0, & r > R_0 \end{cases}$$

[0090] 所述 $M(r)$ 为所述掺杂物在距离所述芯层中心轴的径向距离 $r$ 处的摩尔浓度, $M_0$ 为掺杂物在芯层中心的摩尔浓度, $M_b$ 为所述掺杂物在芯层边界的摩尔浓度, $\beta$ 为所述掺杂物的浓度分布参数。

[0091] 可以理解的是,本领域技术人员还可在本发明精神内做其它变化等用在本发明的设计,只要其不偏离本发明的技术效果均可。这些依据本发明精神所做的变化,都应包含在本发明所要求保护的范围之内。

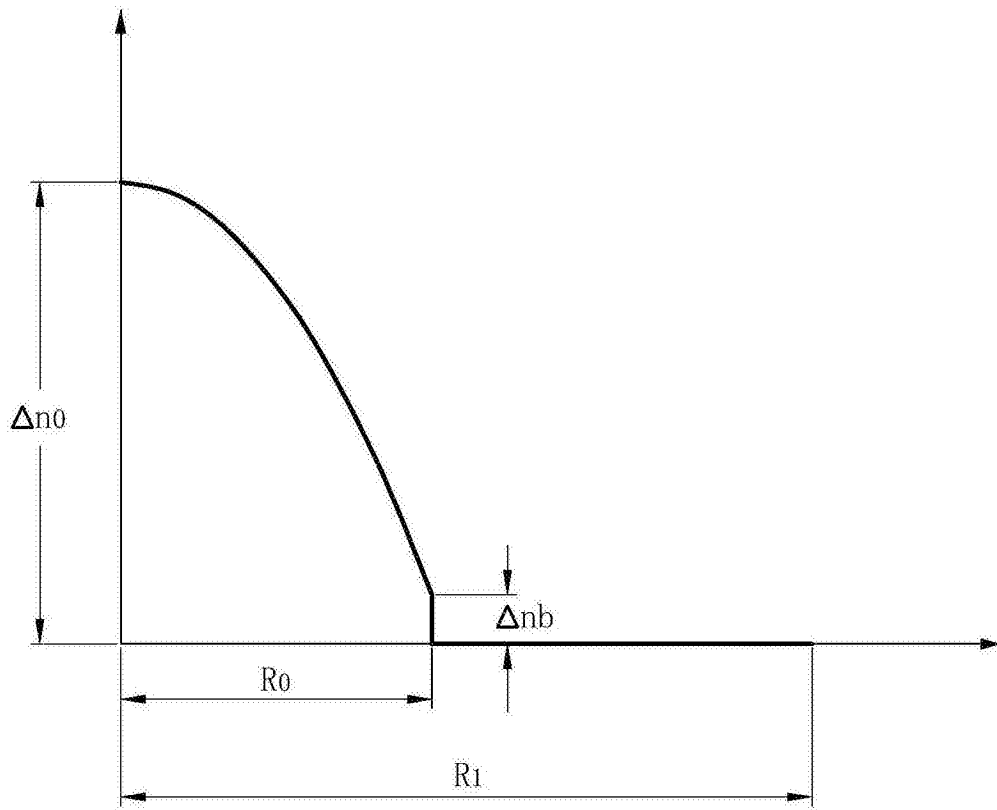


图1

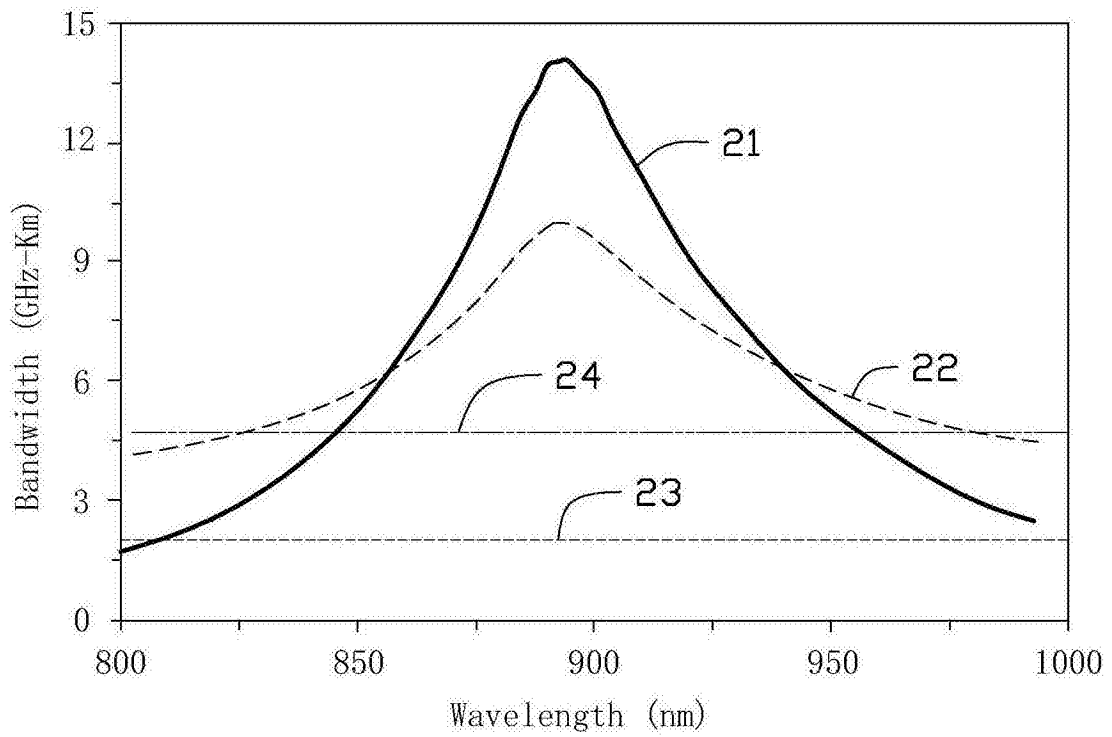


图2

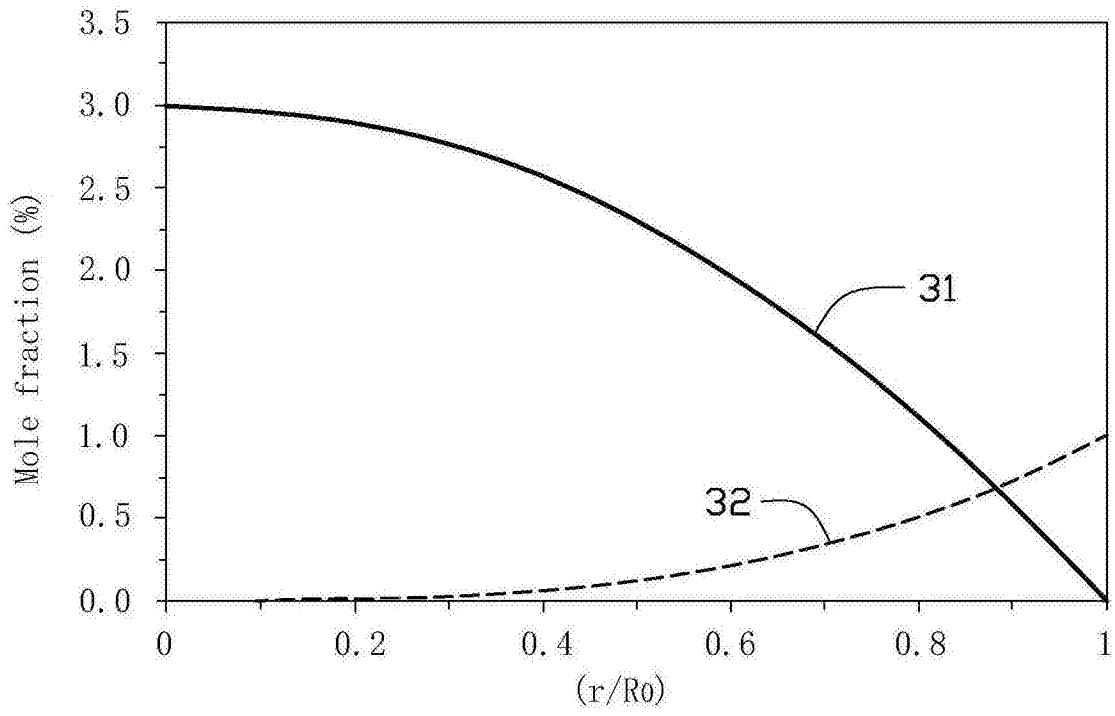


图3

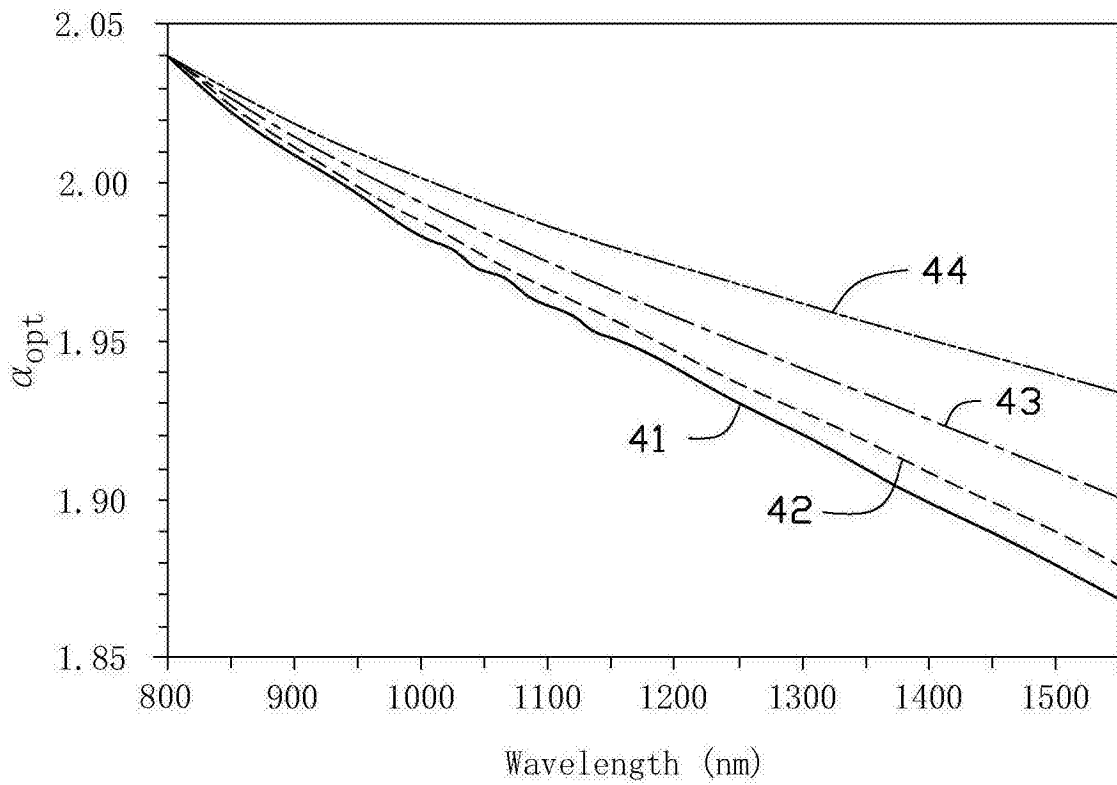


图4

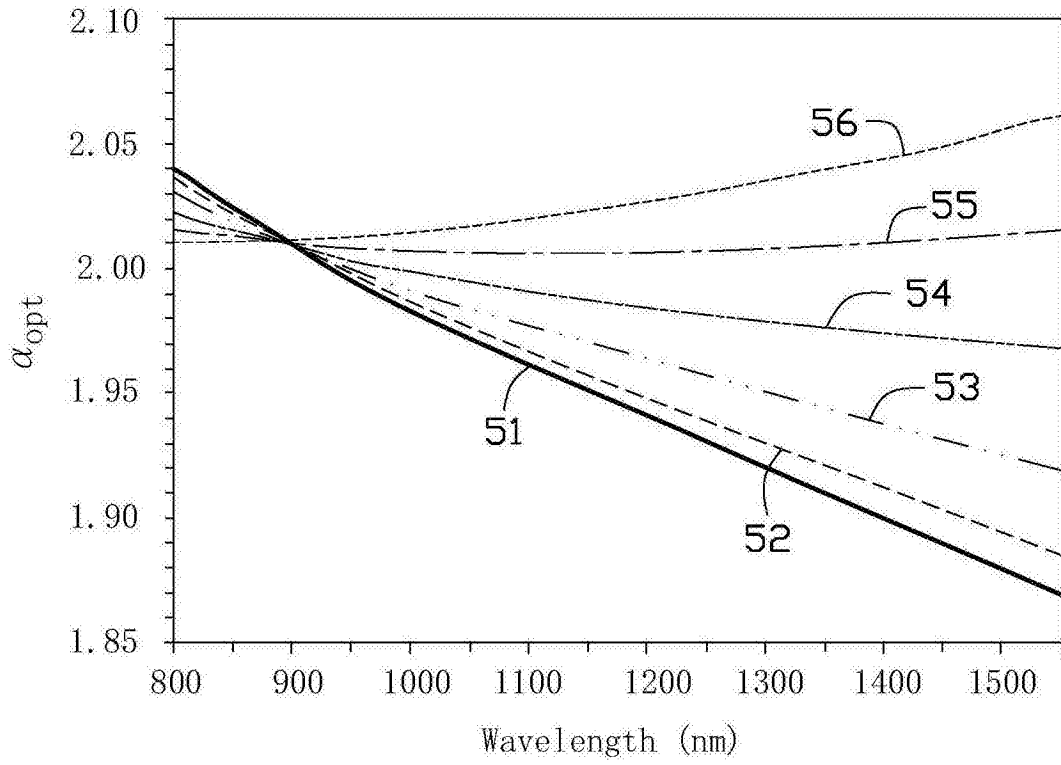


图5

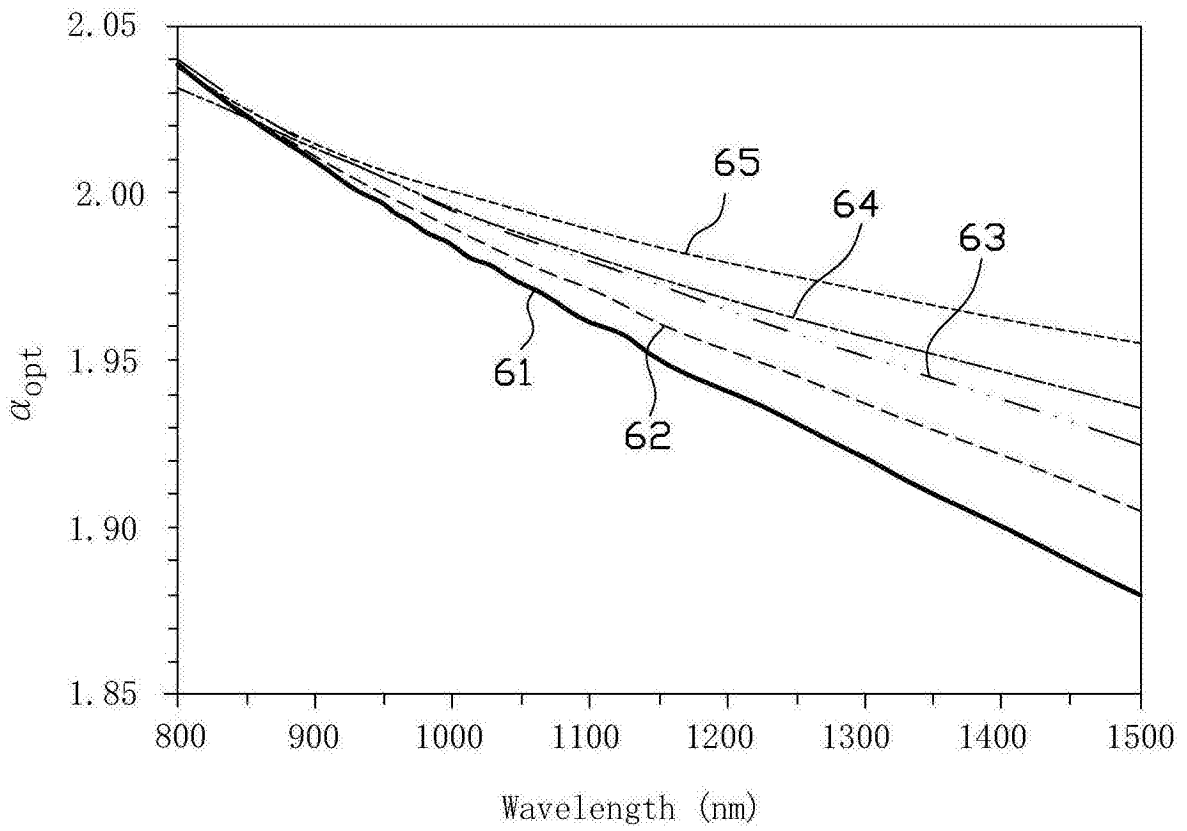


图6