



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106842419 B

(45)授权公告日 2019.10.18

(21)申请号 201611263252.9

(22)申请日 2016.12.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106842419 A

(43)申请公布日 2017.06.13

(73)专利权人 中天科技精密材料有限公司
地址 226009 江苏省南通市开发区中天路3号

专利权人 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)

(56)对比文件

CN 106062599 A,2016.10.26,

CN 104160310 A,2014.11.19,

CN 104391351 A,2015.03.04,

CN 101836144 A,2010.09.15,

CN 104169760 A,2014.11.26,

审查员 罗金

权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

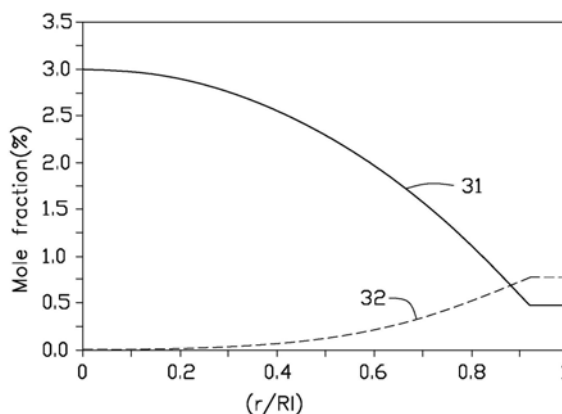
一种宽带弯曲不敏感多模光纤

(57)摘要

一种多模光纤,包括芯层、下陷包层及外包层,所述芯层由渐变层和平台层组成,所述芯层为GeO₂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:

$$M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ M_b, & R_0 < r \leq R_1 \end{cases} \quad M(r) \text{ 为掺杂物在}$$

距离所述芯层中心轴的径向距离r处的摩尔浓度, M₀为掺杂物在所述芯层中心的摩尔浓度, M_b为掺杂物在芯层边界的摩尔浓度, β为掺杂物的浓度分布参数。所述多模光纤不仅在小弯曲半径下具有非常低的弯曲损耗,且可支持宽波长段窗口的数据传输,有效提高光纤的传输容量并与传统多模光纤相互兼容。



1. 一种多模光纤,包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层,所述芯层由渐变层和平台层组成,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_b^2 & , R_0 < r \leq R_1 \\ n_t^2 & , R_1 < r \leq R_2 \\ n_c^2 & , R_2 < r \leq R_3 \end{cases}$$

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

r 为所述多模光纤中某个点距离所述芯层中心轴的径向距离, R_0 、 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为折射率渐变层半径、芯层半径、下陷包层半径和外包层半径, n_0 为 $r=0$ 处的芯层折射率, n_b 为 $R_0 < r \leq R_1$ 处的渐变层边界和平台层折射率, n_t 为 $R_1 < r \leq R_2$ 处的下陷包层折射率, n_c 为 $R_2 < r \leq R_3$ 处的外包层折射率, α 为渐变层折射率剖面分布参数,

其特征在于: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:

$$M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ M_b & , R_0 < r \leq R_1 \end{cases}$$

所述 $M(r)$ 为所述掺杂物在距离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, β 为所述掺杂物的浓度分布参数;

通过调节掺杂物及其摩尔浓度分布,实现800-1500nm范围内多波长的最佳剖面折射率参数 α_{opt} 的差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 的最小优化,得到所述多模光纤。

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0.018~0.026,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0.062~0.097。

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 β_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 β_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 P_2O_5 ,所述 P_2O_5 在所述芯层中心的摩尔浓度范围为1~9%,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0.003~0.024,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

~0.090。

6. 如权利要求5所述的多模光纤,其特征在于:所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_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 P_2O_5 的浓度分布参数 β_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 P_2O_5 ,所述F在所述芯层边界的摩尔浓度范围为1~3%,所述 P_2O_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0.014~0.023,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0.044~0.083。

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 β_F 的取值范围为1.5~7,所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_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 β_F 的取值范围为3~5,所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_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:所述渐变层半径 R_0 范围为20~26 μm ,所述芯层半径 R_1 范围为23~27 μm ,所述下陷包层半径 R_2 范围为 $(R_1+2) \sim (R_1+12) \mu\text{m}$,所述外包层半径 R_3 范围为60.5~64.5 μm 。

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 μm ,0.2NA多模光纤的芯层中心与外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 变化范围为0.011~0.017,所述芯层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 变化范围为-0.003~0.003,所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 变化范围为-0.01~-0.08。

一种宽带弯曲不敏感多模光纤

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光通信技术领域,特别涉及一种宽带弯曲不敏感多模光纤。

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。然而多模光纤会经常应用在室内及狭窄环境中,需要经受很小的弯曲半径。传统多模光纤在小半径弯曲条件下会产生较高的弯曲损耗,使光信号严重损失;而弯曲不敏感多模光纤在小半径弯曲条件下能够使弯曲损耗降到最低,使光信号损失最小化。所以弯曲不敏感多模光纤以其优异的抗弯曲性能被广泛应用于数据中心、办公中心和存储区域网等领域

[0003] 高性能传输网的建设不仅对多模光纤的抗弯性能有较高的要求,光纤的带宽性能也是非常重要的参数。多模光纤存在模间色散,其严重影响数据信息在光纤中的传输距离,进而影响其带宽。

[0004] 高带宽多模光纤(如OM3、OM4),在850nm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,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以太网发展的瓶颈。宽带多模光纤(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。

[0005] 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(SDWM)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 α_{opt} 与波长和材料组分有关,其中 α_{opt} 随传输波长变化非常明显。对于传统多模光纤, α_{opt} 对波长变化的敏感性非常高,当 α_{opt} 一定时,其带宽性能通常在特定的波长下达到最优,当波长变大或变小,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。

[0006] 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、高抗弯曲性能且满足多模光纤标准的前提下降低最优 α_{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弯曲不敏感多模光纤。

发明内容

[0007] 有鉴于此,有必要提供一种避免上述问题的宽带弯曲不敏感多模光纤。

[0008] 一种多模光纤,包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层,所述芯层由折

射率渐变层和平台层组成,所述多模光纤的径向折射率 $n(r)$ 可表示为:

$$[0009] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_b^2 & , R_0 < r \leq R_1 \\ n_t^2 & , R_1 < r \leq R_2 \\ n_c^2 & , R_2 < r \leq R_3 \end{cases}$$

[0010] 其中 Δ 为相对折射率差, $\Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2}$,

[0011] r 为所述多模光纤中某个点距离所述芯层中心轴的径向距离, R_0 、 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为折射率渐变芯层半径、平台芯层半径、下陷包层半径和外包层半径, n_0 为 $r=0$ 处的纤芯折射率, n_b 为 $R_0 < r \leq R_1$ 处的渐变层边界和平台层折射率, n_t 为 $R_1 < r \leq R_2$ 处的下陷包层折射率, n_c 为 $R_2 < r \leq R_3$ 处的外包层折射率, α 为渐变层折射率剖面分布参数,所述芯层为 GeO_2 以及其它掺杂物共掺的一种玻璃层,所述掺杂物的摩尔浓度随半径变化,并按如下函数分布:

$$[0012] \quad M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ M_b & , R_0 < r \leq R_1 \end{cases}$$

[0013] 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, β 为所述掺杂物的浓度分布参数。

[0014] 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0.018~0.026,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0.062~0.097。

[0015] 进一步地,所述F的浓度分布参数 β_F 取值范围为1.5~7。

[0016] 进一步地,所述F的浓度分布参数 β_F 取值范围为3~5。

[0017] 进一步地,所述掺杂物为 P_2O_5 ,所述 P_2O_5 在所述芯层中心的摩尔浓度范围为1~9%,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0.003~0.024,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0.000~0.090。

[0018] 进一步地,所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_p 取值范围为1~5。

[0019] 进一步地,所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_p 取值范围为1.5~3。

[0020] 进一步地,所述掺杂物为F及 P_2O_5 ,所述F在所述芯层边界的摩尔浓度范围为1~3%,所述 P_2O_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 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围0.014~0.023,在850nm~1300nm波长所能实现的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta \alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.044~0.083。

[0021] 进一步地,所述F的浓度分布参数 β_F 的取值范围为1.5~7,所述 P_2O_5 的浓度分布参

数 β_p 的取值范围为1~5。

[0022] 进一步地,所述F的浓度分布参数 β_F 的取值范围为3~5,所述 P_2O_5 的浓度分布参数 β_p 的取值范围为1.5~3。

[0023] 进一步地,所述渐变层半径 R_0 范围为20~26 μm ,所述芯层半径 R_1 范围为23~27 μm ,所述下陷包层半径 R_2 范围为 $(R_1+2) \sim (R_1+12) \mu m$,所述外包层半径 R_3 范围为60.5~64.5 μm 。

[0024] 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。

[0025] 进一步地,50/125 μm ,0.2NA多模光纤的芯层中心与外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 变化范围为0.011~0.017,所述芯层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 变化范围为-0.003~0.003,所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 变化范围为-0.01~-0.08。

[0026] 本发明提供的宽带弯曲不敏感多模光纤,其通过改变芯层中的 GeO_2 及其它掺杂物的摩尔浓度,使得所述多模光纤的折射率剖面得到优化,降低 α_{opt} 与波长之间的敏感性,实现宽带性能的优化。

附图说明

[0027] 图1是本发明宽带弯曲不敏感多模光纤折射率剖面示意图。

[0028] 图2是宽波长优化前后的多模光纤带宽与波长的关系图。

[0029] 图3是光纤芯层 P_2O_5 和F的摩尔浓度随半径变化关系图。

[0030] 图4是 GeO_2 /F共掺宽带弯曲不敏感多模光纤 α_{opt} 与波长之间的关系图。

[0031] 图5是 GeO_2 / P_2O_5 共掺宽带弯曲不敏感多模光纤 α_{opt} 与波长之间的关系图。

[0032] 图6是 GeO_2 /F/ P_2O_5 共掺宽带弯曲不敏感多模光纤 α_{opt} 与波长之间的关系图。

[0033] 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

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 本发明提供的多模光纤为宽带弯曲不敏感多模光纤。所述多模光纤包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层。所述芯层由渐变层和平台层组成,所述下陷包层包覆于所述芯层的外周表面,所述外包层包覆于所述下陷包层的外周表面。所述下陷包层可提高高阶模的有效折射率从而降低光纤在小弯曲半径下的损耗。但下陷包层也改变了高阶模的传输性能、降低高阶模的群速度从而导致光纤的带宽性能的恶化。所述平台层可以部分补偿下陷包层对高阶模的影响。

[0037] 所述芯层由 GeO_2 /F、 GeO_2 / P_2O_5 或 GeO_2 /F/ P_2O_5 共掺组成,所述下陷包层掺杂F元素。

所述多模光纤的折射率剖面请参阅图1,所述径向折射率 $n(r)$ 可表示为以下函数:

$$[0038] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta (\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_b^2 & , R_0 < r \leq R_1 \\ n_t^2 & , R_1 < r \leq R_2 \\ n_c^2 & , R_2 < r \leq R_3 \end{cases} \quad (1)$$

[0039] 其中,

$$[0040] \quad \Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2} \quad (2)$$

[0041] 式(1)中, r 为离开所述芯层中心轴的径向距离, R_0 、 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为渐变层半径、平台层半径、下陷包层半径和外包层半径, n_0 为 $r=0$ 处的芯层折射率, n_b 为 $R_0 < r \leq R_1$ 处的渐变层边界和平台层折射率, n_t 为 $R_1 < r \leq R_2$ 处的下陷包层折射率, n_c 为 $R_2 < r \leq R_3$ 处的外包层折射率, α 为渐变层折射率剖面分布参数。

[0042] 图1中 δ_{n_0} 为芯层中心(即 $r=0$ 处)与所述外包层之间的折射率差, δ_{n_b} 为芯层边界与所述外包层之间的折射率差, δ_{n_t} 为所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差。所述渐变层的折射率剖面为抛物线。

[0043] 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 α_{opt} ,表达式如下:

$$[0044] \quad \alpha_{opt} = 2 + y - \frac{\Delta(4+y)(3+y)}{5+2y} \quad (3)$$

[0045] 其中,

$$[0046] \quad y = -\frac{2n_0 \lambda d\Delta}{N_1 \Delta d\lambda} \quad (4)$$

$$[0047] \quad N_1 = n_0 - \frac{\lambda dn_0}{d\lambda} \quad (5)$$

[0048] 掺杂石英玻璃的折射率和波长的关系可由Sellmeier方程表示:

$$[0049] \quad n^2 - 1 = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - L_i^2} \quad (6)$$

[0050] 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:

$$[0051] \quad A_i = \sum_{j=1}^m M_j A_{ij} \quad (7)$$

$$[0052] \quad L_i = \sum_{j=1}^m M_j L_{ij} \quad (8)$$

[0053] 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 α_{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 α_{opt} 的差值 $\Delta \alpha_{opt}$ 。

[0054] 除SiO₂和GeO₂两种主要的组分外,通信用多模光纤芯层通常含有少量的F或/和P₂O₅。本发明通过显著提高和优化不同半径位置F或/和P₂O₅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 α_{opt} 的差值 $\Delta\alpha_{opt}$ 。

[0055] 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。在图2中曲线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 α_{opt_890} 条件下光纤带宽随波长的变化,曲线22表示经过宽带(宽波长)设计优化后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。经过宽带(宽波长)设计优化后光纤在850nm-950nm波长具有5700MHz-km或5700MHz-km以上的有效模式带宽(EMB)。

[0056] 需要说明,改变F或/和P₂O₅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,必须对所述芯层的GeO₂的摩尔浓度及其分布进行调整以补偿F或/和P₂O₅浓度变化导致的折射率的改变。

[0057] 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GeCl₄的用量进行多次微小的调整。

[0058] 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。

[0059] 本发明第一实施例提供一种多模光纤。所述多模光纤包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层。所述芯层由渐变层和平台层组成,所述下陷包层包覆于所述芯层的外周表面,所述外包层包覆于所述下陷包层的外周表面。请参阅图1,所述芯层中心与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 为0.014,所述芯层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 为0.0016,所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 为-0.0055,渐变层半径 R_0 为23.0 μ m,芯层半径 R_1 为24.5 μ m,下陷包层半径 R_2 为30.5 μ m,外包层半径 R_3 范围为62.5 μ m。所述芯层部分为由GeO₂/F共掺组成的玻璃层。所述渐变层折射率剖面为抛物线,分布参数为 α 。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:

$$[0060] \quad M_F(r) = \begin{cases} M_{F0} - (M_{F0} - M_{Fb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_F}, & r \leq R_0 \\ M_{Fb} & R_0 < r \leq R_1 \end{cases} \quad (9)$$

[0061] 式(9)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在芯层边界的摩尔浓度; β_F 为掺杂物F的浓度分布参数, β_F 取值范围为1.5~7,更优的 β_F 的取值范围为3~5;所述 $M_F(r)$ 为所述P₂O₅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。

[0062] 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 α_{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%。

[0063] 上述由GeO₂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,GeO₂与F共掺多模光纤的 α_{opt} 与波长之间的关系图。

[0064] 表1.实施例一多模光纤芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{opt}$

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%)		$\Delta\alpha_{\text{opt}_{850-950}}$	$\Delta\alpha_{\text{opt}_{850-1300}}$
	P ₂ O ₅	F	P ₂ O ₅	F		
[0065] 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	0.097
43	0.00	0.0~0.50	0.00	3.00	0.023	0.083
44	0.00	0.0~0.50	0.00	6.00	0.018	0.062

[0066] 在现有的芯层由GeO₂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 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 约为0.028,850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 约为0.104。

[0067] 本实施例中,所述的由GeO₂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 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.018~0.026,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0.062~0.097。

[0068] 本发明第二实施例提供一种多模光纤,所述多模光纤包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层。所述芯层由渐变层和平台层组成,所述下陷包层包覆于所述芯层的外周表面,所述外包层包覆于所述下陷包层的外周表面。所述芯层中心与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 为0.014,芯层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 为0.0016,下陷包层与外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 为-0.0055,渐变层半径 R_0 为23.0 μm ,芯层半径 R_1 为24.5 μm ,下陷包层半径 R_2 为30.5 μm ,外包层半径 R_3 范围为62.5 μm 。所述芯层部分为由GeO₂/P₂O₅共掺组成的玻璃层。所述渐变层折射率剖面为抛物线,分布参数为 α 。其中,P₂O₅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:

$$[0069] \quad M_p(r) = \begin{cases} M_{p_0} - (M_{p_0} - M_{p_b}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_p}, & r \leq R_0 \\ M_{p_b}, & R_0 < r \leq R_1 \end{cases} \quad (10)$$

[0070] 式(10)中, M_{p_0} 为P₂O₅在芯层中心(即 $r=0$ 处)的摩尔浓度, M_{p_b} 为P₂O₅在芯层边界的摩尔浓度; β_p 为P₂O₅掺杂物的浓度分布参数, β_p 取值范围为1~5,更优的 β_p 取值范围为1.5~3;所述 $M_p(r)$ 为所述P₂O₅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P₂O₅在所述芯层的摩尔浓度随所述芯层半径的变化。

[0071] 上述GeO₂与P₂O₅共掺的多模光纤,其芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 见表2,请一并参阅图5,GeO₂与P₂O₅共掺多模光纤 α_{opt} 与波长之间的关系图。

[0072] 表2. 实施例二多模光纤芯层的掺杂物浓度设计及 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$

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%)		$\Delta\alpha_{\text{opt}_{850-950}}$	$\Delta\alpha_{\text{opt}_{850-1300}}$
	P ₂ O ₅	F	P ₂ O ₅	F		
[0073] 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	0.024	0.090
53	3.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.018	0.064
54	6.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.010	0.027
55	9.00	0.00	0.0~0.50	0.00	0.003	0.000

[0074] 在现有的芯层由GeO₂与P₂O₅共掺的多模光纤制造工艺中,掺P₂O₅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P₂O₅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 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 约为0.028,850nm~1300nm波长的最佳剖面折射率分布参数差值 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 约为0.104。

[0075] 本实施例中,所述的GeO₂与P₂O₅共掺的多模光纤,P₂O₅在芯层中心的摩尔浓度范围为1~9%,P₂O₅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 $\Delta\alpha_{\text{opt}}$ 范围为0.003~0.024,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0.000~0.090。

[0076] 本发明的第三实施例提供一种多模光纤,所述多模光纤包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层。所述芯层由渐变层和平台层组成,所述下陷包层包覆于所述芯层的外周表面,所述外包层包覆于所述下陷包层的外周表面。芯层中心与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 为0.014,渐变层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 为0.0016,所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 为-0.0055,渐变层半径R₀为23.0 μm ,芯层半径R₁为24.5 μm ,下陷包层半径R₂为30.5 μm ,外包层半径R₃范围为62.5 μm 。渐变层折射率剖面为抛物线,分布参数为 α 。所述芯层由GeO₂/F/P₂O₅共掺组成的玻璃芯层,F和P₂O₅在芯层的摩尔浓度随半径变化分别按式(9)和(10)分布,

$$[0077] \quad M_F(r) = \begin{cases} M_{F0} - (M_{F0} - M_{Fb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_F}, & r \leq R_0 \\ M_{Fb} & , R_0 < r \leq R_1 \end{cases} \quad (9)$$

$$[0078] \quad M_{P_2O_5}(r) = \begin{cases} M_{P0} - (M_{P0} - M_{Pb}) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{\beta_P}, & r \leq R_0 \\ M_{Pb} & , R_0 < r \leq R_1 \end{cases} \quad (10)$$

[0079] 式中, M_{P0} 为P₂O₅在芯层中心的摩尔浓度, M_{Pb} 为P₂O₅在芯层边界的摩尔浓度; M_{F0} 为F在芯层中心的摩尔浓度, M_{Fb} 为F在芯层边界的摩尔浓度; β_P 为掺杂物P₂O₅的浓度分布参数, β_F 为掺杂物F的浓度分布参数, β_P 取值范围为1~5,更优的 β_P 取值范围为1.5~3, β_F 取值范围为1.5~7,更优的 β_F 取值范围为3~5;所述M_P(r)为所述P₂O₅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_{P0}为3%,M_{Pb}为0%,M_{F0}为0%,M_{Fb}为1%时, β_P 和 β_F 分别取值2.1和3.0,芯层P₂O₅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)。

[0080] 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 ₂ O ₅	F	P ₂ O ₅	F		
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028	0.104
62	1.00	0.00	0.00	1.00	0.023	0.083
63	1.00	0.00	0.00	3.00	0.020	0.070
64	3.00	0.00	0.00	1.00	0.017	0.057
65	3.00	0.00	0.00	3.00	0.014	0.044

[0082] 本实施例中,所述的GeO₂、F及P₂O₅共掺的多模光纤,芯层中心P₂O₅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0.014~0.023,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0.044~0.083。

[0083] 按上述方案,所述多模光纤的渐变层的半径R₀范围为20~26 μ m,所述芯层半径R₁范围为23~27 μ m,所述下陷包层半径R₂范围为(R₁+2)~(R₁+12) μ m,所述外包层半径R₃范围为60.5~64.5 μ m。

[0084] 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。

[0085] 按上述方案,50/125 μ m,0.2NA多模光纤的芯层中心与外包层之间的折射率差 δ_{n_0} 变化范围为0.011~0.017,所述芯层边界与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_b} 变化范围为-0.003~0.003,所述下陷包层与所述外包层之间的折射率差 δ_{n_t} 变化范围为-0.01~-0.08。本发明实施例提供的多模光纤,其通过改变所述芯层中的GeO₂/F、GeO₂/P₂O₅及GeO₂/F/P₂O₅掺杂摩尔浓度,使得所述多模光纤的折射率剖面得到优化,降低 α_{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,所述多模光纤芯层具有较高的抗弯曲性能,该设计对WBMMF技术的广泛应用具有指导性的作用。

[0086] 可以理解,所述芯层中掺杂基础掺杂物GeO₂外,其它掺杂物不限定为F、P₂O₅,其它掺杂物还可以为其它能够实现本发明目的掺杂物。

[0087] 一种多模光纤,包括从内到外依次设置的芯层、下陷包层及外包层,所述芯层由渐变层和平台层组成,所述多模光纤的径向折射率n(r)可表示为:

$$[0088] \quad n^2(r) = \begin{cases} n_0^2 [1 - 2\Delta(\frac{r}{R_0})^\alpha], & r \leq R_0 \\ n_b^2 & , R_0 < r \leq R_1 \\ n_t^2 & , R_1 < r \leq R_2 \\ n_c^2 & , R_2 < r \leq R_3 \end{cases}$$

[0089] 其中 Δ 为相对折射率差, $\Delta = \frac{n_0^2 - n_b^2}{2n_0^2}$,

[0090] r 为所述芯层中某个点距离所述多模光纤芯层中心轴的径向距离, R_0 、 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为渐变层半径、平台层半径、下陷包层半径和外包层半径, n_0 为 $r=0$ 处的芯层折射率, n_b 为 $R_0 < r \leq R_1$ 处的渐变层边界和平台层折射率, n_t 为 $R_1 < r \leq R_2$ 处的下陷包层折射率, n_c 为 $R_2 < r \leq R_3$ 处的外包层折射率, α 为渐变层折射率剖面分布参数, 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:

$$[0091] \quad M(r) = \begin{cases} M_0 - (M_0 - M_b) \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^\beta, & r \leq R_0 \\ M_b, & R_0 < r \leq R_1 \end{cases}$$

[0092] 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, β 为所述掺杂物的浓度分布参数。

[0093] 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。

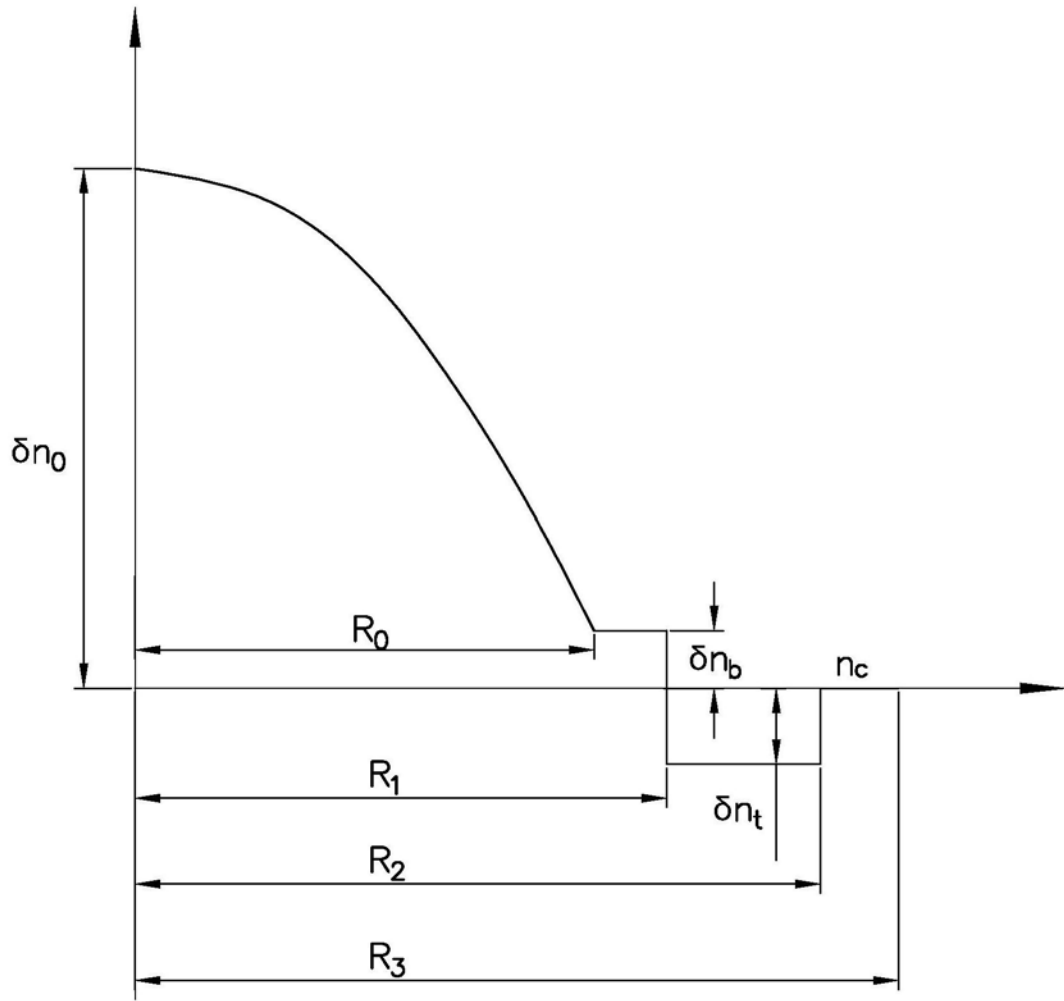


图1

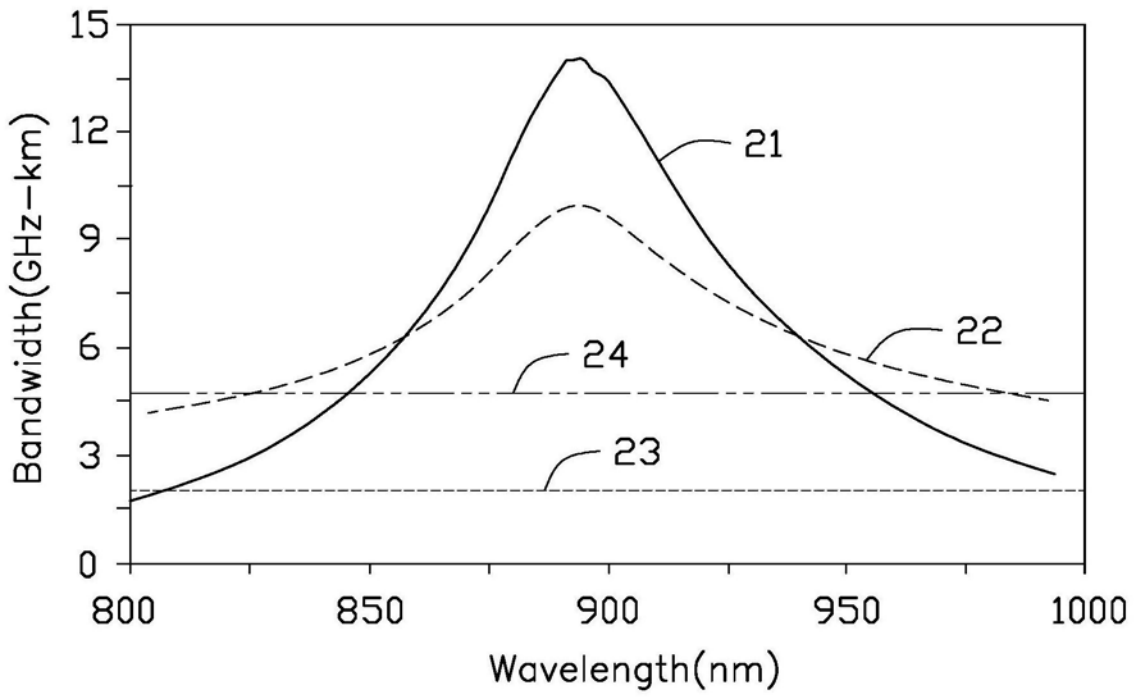


图2

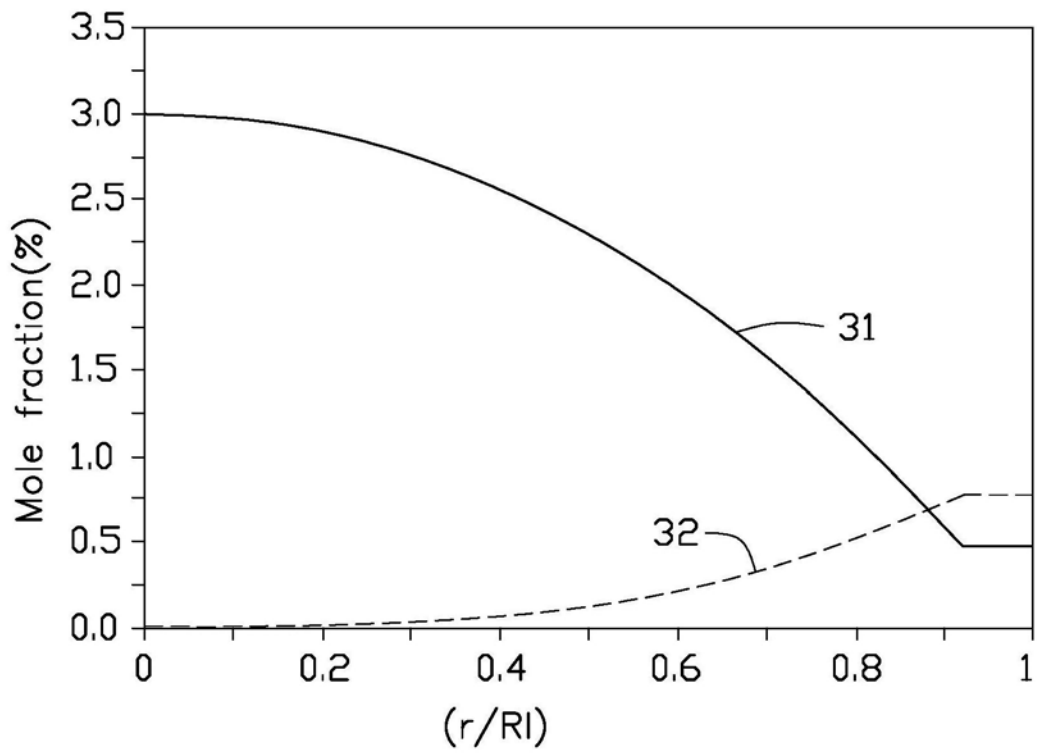


图3

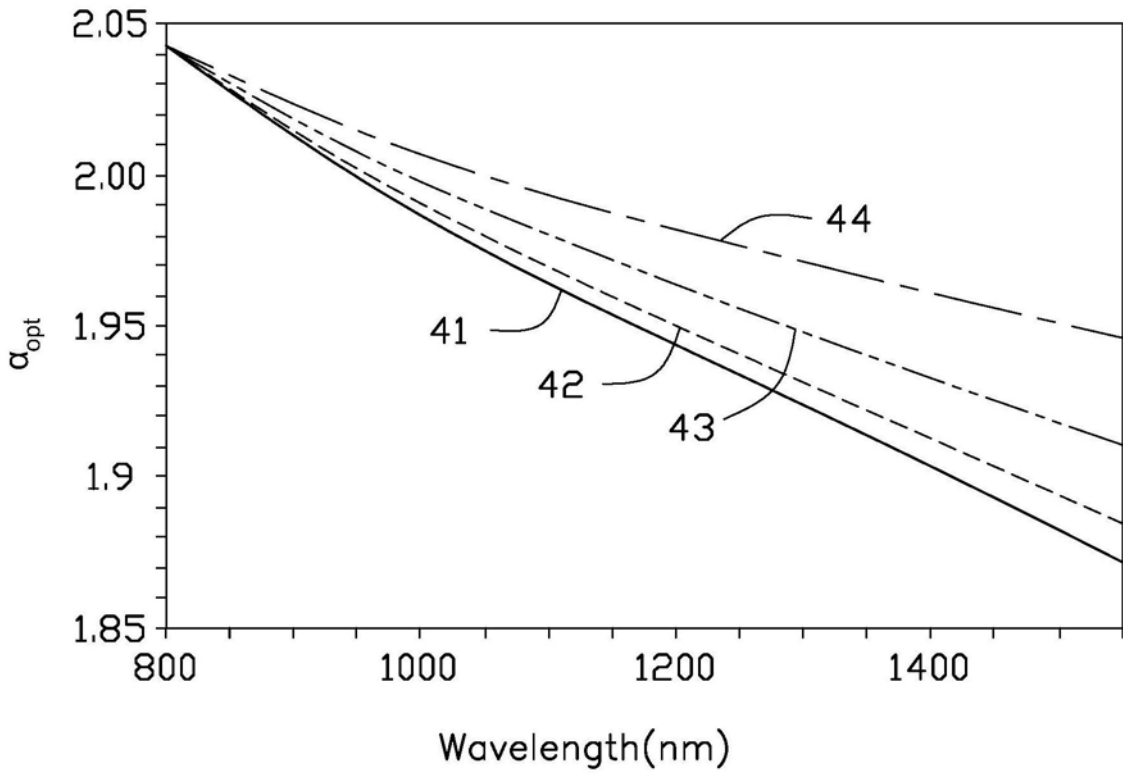


图4

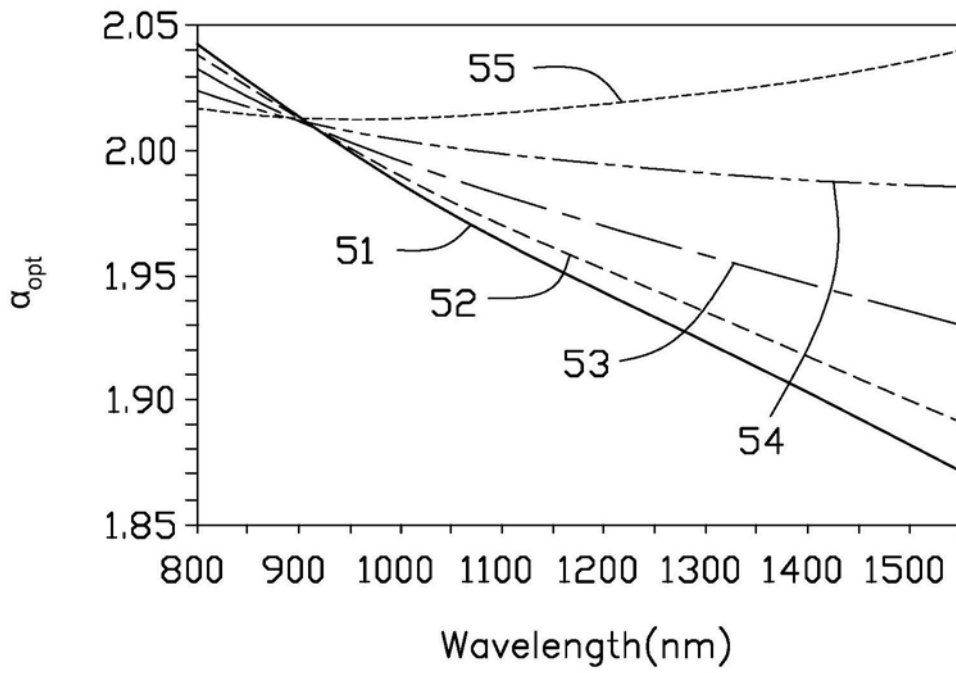


图5

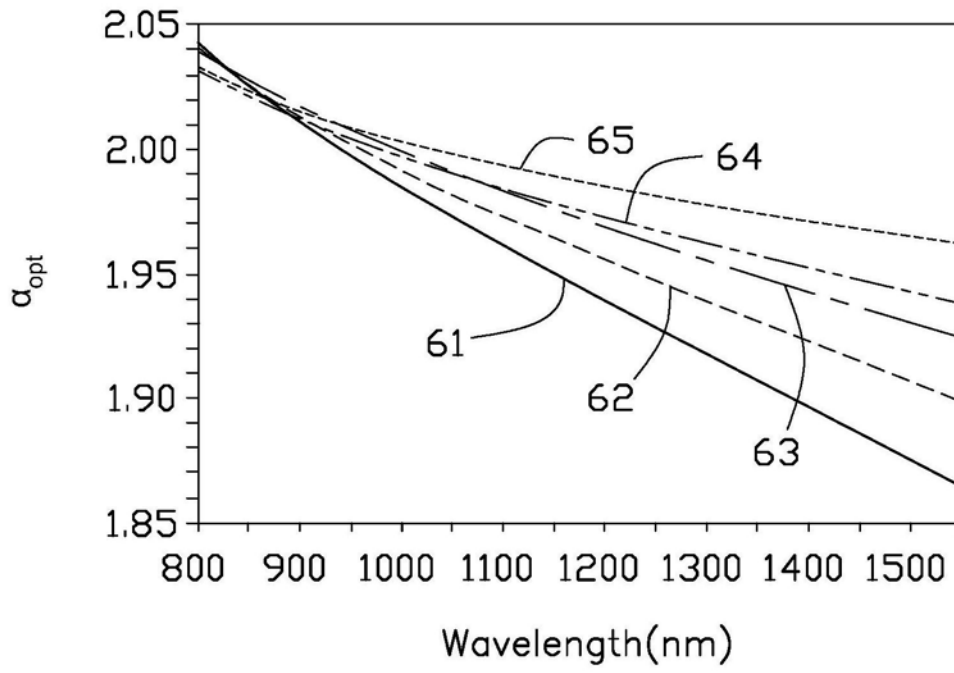


图6