



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104169761 B

(45)授权公告日 2017.07.14

(21)申请号 201280068136.5

(22)申请日 2012.11.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104169761 A

(43)申请公布日 2014.11.26

(30)优先权数据
61/564,902 2011.11.30 US
13/485,028 2012.05.31 US
13/680,676 2012.11.19 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.07.25

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/066952 2012.11.29

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/082218 EN 2013.06.06

(73)专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 D·C·布克班德 M-J·李
P·坦登

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 姬利永

(51)Int.Cl.
G02B 6/036(2006.01)
G02B 6/028(2006.01)

(56)对比文件
US 5559921 A,1996.09.24,
EP 0848266 A1,1998.06.17,
CN 101634728 A,2010.01.27,

审查员 李星

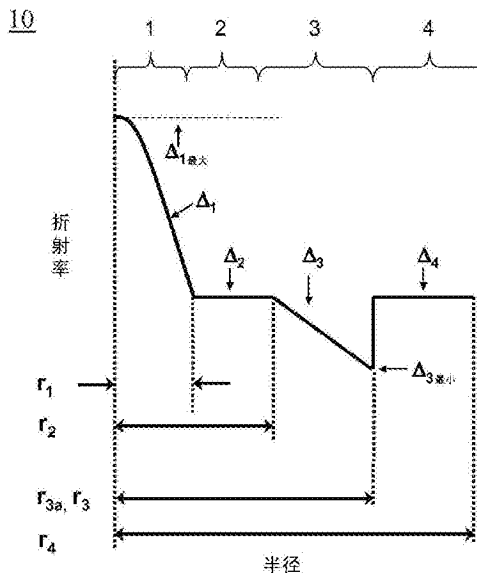
权利要求书2页 说明书16页 附图6页

(54)发明名称

低弯曲损耗光纤

(57)摘要

单模光纤的一个实施例包括:渐变折射率中芯区,具有外半径 r_1 和相对折射率 Δ_1 ;包层区,包括(i)第一内包层区,具有外半径 $r_2 < 10$ 微米、和相对折射率 Δ_2 且 $0.65 \leq r_1/r_2 \leq 1$; (ii)和第二内包层区(即,沟槽),具有外半径 $r_3 > 10$ 微米且包括最小相对折射率 Δ_3 ,其中第二内包层区具有至少一个区,该区具有随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔;和(iii)外包层区,围绕第二内包层区且包括相对折射率 Δ_4 ,其中 $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3, \Delta_3 < \Delta_4$ 。



1. 一种单模光纤,包括:

渐变折射率中芯区,具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大相对折射率 $\Delta_{1\text{最大}}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{\text{芯}}, 0.5 \leq \alpha_{\text{芯}} \leq 4$,其中所述 $\alpha_{\text{芯}}$ 遵循下式: $\Delta_1(r) = \Delta_1(r_0) (1 - [|r-r_0|/(r_{10}-r_0)]^{\alpha_{\text{芯}}})$,其中 r 是半径, r_0 是 $\Delta_1(r)$ 为最大值的点,且 r_{10} 是 $\Delta_1(r)$ 为零的点;

包层区,包括

(a) 沟槽区,围绕所述渐变折射率中芯区且包括随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔 Δ_3 分布,所述沟槽区具有内半径 r_2 、外半径 $r_3 > 10$ 微米、和最小相对折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$,以使得 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_{3\text{最小}}$ 、 $r_3 \geq r_{3a}$ 、且 $0.5 \leq (r_{3a}-r_2)/(r_3-r_2) \leq 1$,其中 r_{3a} 是与光纤中心线的距离且此处 Δ_3 首次达到值 $\Delta_{3\text{最小}}$,所述沟槽区具有阿尔法分布, α_t ,以使得 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$,其中所述 α_t 遵循下式: $\Delta(r) = (\Delta_{3\text{min}} - \Delta(r_2))(1 - [|r_3-r|/(r_3-r_2)]^{\alpha_t}) + \Delta(r_2)$,以及

(b) 外包层区,围绕所述沟槽区且具有相对折射率 Δ_4 ,且 $\Delta_{3\text{最小}} < \Delta_4$,其中所述包层区还包括围绕所述中芯区的第一内包层区,所述第一内包层区具有相对折射率德尔塔 Δ_2 且位于所述中芯区和所述沟槽区之间,以使得所述第一内包层区的外半径等于所述沟槽区的内半径 r_2 ,且 $r_2 \leq 10$ 微米,且 $0.65 \leq r_1/r_2 < 1$,所述第一内包层区具有相对折射率 Δ_2 ;且 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$,且其中层的相对折射率 Δ 由下式定义: $\Delta \% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$,其中 n_c 是所述外包层区的折射率。

2. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于, $0.08\% \leq |\Delta_4 - \Delta_{3\text{最小}}| \leq 0.7\%$ 且 $\Delta_{3\text{最小}}$ 和 Δ_2 之间的绝对差异大于 0.03% ,沟槽区的体积 V_{3a3} 的绝对值为 $5\% \Delta \text{微米}^2 \leq V_{3a3} \leq 105\% \Delta \text{微米}^2$,

其中 $V_{3a3} = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-3)}(r) r dr$,且 $\Delta_{(4-3)}$ 是折射率差异 $(\Delta_4 - \Delta_3)$,并且所述光纤表现出小于或等于 1260nm 的 22m 光缆截止,且具有零色散波长 λ_0 且 $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{nm}$ 。

3. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于, $0.08\% \leq |\Delta_4 - \Delta_{3\text{最小}}| \leq 0.25\%$ 。

4. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于, $0.25\% \leq |\Delta_4 - \Delta_{3\text{最小}}| \leq 0.55\%$ 。

5. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,渐变折射率中芯区包括掺杂氧化锆的氧化硅。

6. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,渐变折射率中芯区包括掺杂氟的氧化硅且没有氧化锆。

7. 如权利要求6所述的光纤,其特征在于,渐变折射率中芯区包括钾。

8. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,以下条件中的至少一个被满足:(i) $0.2\% \leq \Delta_2 - \Delta_{3\text{最小}}$; (ii) 所述内包层区中有小于 $0.02\text{wt}\%$ 的氟,使得所述第一内包层区没有氟和氧化锆。

9. 如权利要求8所述的光纤,其特征在于 $\Delta_2 - \Delta_{3\text{最小}} \leq 0.55\%$ 。

10. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,对于从 r_3 延伸到至少 30 微米的半径的径向长度, $\Delta_4 > \Delta_2$ 。

11. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,在沟槽区的外半径和 30 微米的径向距离之间计算的外包层区的分布体积 V_4 ,等于

$$V_4 = 2 \int_{r_3}^{r_{30}} \Delta_{(4-2)}(r) r dr$$

且 $|V_4|$ 至少5%微米², 其中 $\Delta_{(4-2)}$ 是折射率差异 ($\Delta_4 - \Delta_2$), 且 r_{30} 是在所述30微米的径向距离处的半径。

12. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 当所述光纤缠绕在20mm半径心轴上时表现出小于0.75dB/匝的弯曲损耗且表现出6.4到8.5之间的MACCab数, 其中MACCab数=以微米为单位的在1310nm处的模场直径/以微米为单位的的光缆截止。

13. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 沟槽区的宽度 $r_3 - r_2$ 在3到20微米之间。

14. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 当所述光纤缠绕在10mm直径心轴上时表现出小于1dB/匝的弯曲损耗。

15. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, $0.01\% \leq |\Delta_4 - \Delta_2|$ 。

16. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 具有壕沟体积比为 $0.3 \leq V_{3a3} \leq 0.8$, 其中 $V_{3a3} = V_{3a3} / [\Delta_{3\text{最小}}(r_3^2 - r_2^2)]$, $V_{3a3} = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-3)}(r) r dr$, 且 $\Delta_{(4-3)}$ 是折射率差异 ($\Delta_4 - \Delta_3$)。

17. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 所述沟槽区具有体积 V_{3a3} 且 $5 \Delta \text{ \% 微米}^2 \leq V_{3a3} \leq 105 \Delta \text{ \% 微米}^2$, 其中 $V_{3a3} = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-3)}(r) r dr$, 且 $\Delta_{(4-3)}$ 是折射率差异 ($\Delta_4 - \Delta_3$)。

18. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 具有小于或等于1260nm的2m光缆截止, 且具有零色散波长 λ_0 且 $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{nm}$ 。

19. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 所述光纤具有在1550nm波长处的模场直径MFD使得 $9.69\text{微米} \leq \text{MFD} \leq 10.49\text{微米}$ 。

20. 如权利要求1所述的光纤, 其特征在于, 所述光纤具有在1310nm波长处的模场直径MFD使得 $8.2\text{微米} \leq \text{MFD} \leq 9.6\text{微米}$ 。

21. 一种单模光纤, 包括:

渐变折射率中芯区, 具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大折射率 $\Delta_{1\text{最大}}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{\text{芯}}$, 具有 $0.5 \leq \alpha_{\text{芯}} \leq 4$, 其中所述 $\alpha_{\text{芯}}$ 遵循下式: $\Delta_1(r) = \Delta_1(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^{\alpha_{\text{芯}}})$, 其中 r 是半径, r_0 是 $\Delta_1(r)$ 为最大值的点, 且 r_1 是 $\Delta_1(r)$ 为零的点;

包层区, 包括:

(i) 第一内包层区, 具有外半径 $r_2 \leq 10\text{微米}$ 和相对折射率 Δ_2 且 $0.65 \leq r_1/r_2 \leq 1$;

(ii) 和第二内包层区, 具有外半径 $r_3 > 10\text{微米}$ 且包括相对折射率 Δ_3 和最小相对折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$, 其中所述第二内包层区具有随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔, 其中所述第二内包层区具有阿尔法分布, α_t , 以使得 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$, 其中所述 α_t 遵循下式: $\Delta(r) = (\Delta_{3\text{最小}} - \Delta(r_2)) (1 - [|r_3 - r| / (r_3 - r_2)]^{\alpha_t}) + \Delta(r_2)$, 和

(iii) 外包层区, 围绕第二内包层区且包括相对折射率 Δ_4 , 其中 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$, 且 $\Delta_{3\text{最小}} < \Delta_4$; 且其中 $0.5 \leq (r_{3a} - r_2) / (r_3 - r_2) \leq 1$, 其中 r_{3a} 是与光纤中心线的距离且此处 Δ_3 首次达到值 $\Delta_{3\text{最小}}$ 。

低弯曲损耗光纤

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2011年11月30日提交的美国临时申请序列号No. 61/564902、2012年5月31日提交的美国临时申请序列号No. 13/485028、以及2012年11月19日提交的美国申请序列号No. 13/680676的优先权,本申请基于这些申请的内容并且这些申请的内容通过引用而整体结合于此。

技术领域

[0003] 本申请涉及具有低弯曲损耗的光纤。

技术背景

[0004] 对于低弯曲损耗光纤、特别是对于用在所谓“接入 (access)”和光纤到驻地 (FTTx) 光网络中使用的光纤,存在需求。可以以減少通过光纤传输的光信号的弯曲损耗的方式,在这样的网络中部署光纤。使用光纤的一些应用或光部件可强加引起弯曲损耗的诸如紧密弯曲半径、光纤压缩等等之类的物理要求。这些应用和/或组件包括将光纤部署在光分接缆线组件、具有工厂安装的终端系统 (FITS) 和膨胀圈的分配缆线、位于连接馈送器和分配缆线的机柜内的小弯曲半径多端口、以及分配和分接缆线之间的网络接入点中的跳接器中。在一些单模光纤设计中难以在较小和较大弯曲直径处都实现在1550nm处的低弯曲损耗。

发明内容

[0005] 根据某些实施例,一种单模光纤包括:

[0006] 渐变折射率的中芯区,具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大相对折射率 $\Delta_{1最大}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{芯}$,其中 $0.5 \leq \alpha_{芯} \leq 4$;

[0007] 包层区,包括

[0008] (a) 沟槽区,围绕所述渐变折射率中芯区且包括随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔 Δ_3 ,所述沟槽区具有内半径 r_2 、外半径 $r_3 > 10$ 微米、和最小相对折射率 $\Delta_{3最小}$,以使得 $\Delta_{1最大} > \Delta_{3最小}$ 、 $r_3 \geq r_{3a}$ 、且 $0.5 \leq (r_{3a} - r_2) / (r_3 - r_2) \leq 1$,其中 r_{3a} 是到光纤中心线的距离,其中 Δ_3 首先到达值 $\Delta_{3最小}$,所述沟槽区具有阿尔法分布, α_t ,以使得 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$,且

[0009] (b) 外包层区,围绕所述沟槽区且具有相对折射率 Δ_4 ,且 $\Delta_{3最小} < \Delta_4$ 。

[0010] 在至少一些实施例中,单模光纤还包括位于渐变折射率中芯区和沟槽区之间(即,在渐变折射率中芯区和第二内包层区之间,第二内包层区具有随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔)的第一内包层区。

[0011] 根据某些实施例,一种单模光纤包括:

[0012] 渐变折射率的掺杂氧化锆的中芯区,具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大相对折射率 $\Delta_{1最大}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{芯}$,其中 $0.5 \leq \alpha_{芯} \leq 4$;

[0013] 包层区,包括 (i) 第一内包层区,具有外半径 $r_2 \leq 10$ 微米、和相对折射率 Δ_2 且 $0.65 \leq r_1 / r_2 < 1$; (ii) 和第二内包层区,具有外半径 $r_3 > 10$ 微米且包括相对折射率 Δ_3 和最小相对

折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$, 其中所述第二内包层区具有随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔, 其中第二内包层区具有阿尔法分布, α_t , 以使得 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$; (iii) 外包层区, 围绕第二内包层区且包括相对折射率 Δ_4 , 其中 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$, 且 $\Delta_{3\text{最小}} < \Delta_4$; 且其中 $0.5 \leq (r_{3a}-r_2)/(r_3-r_2) \leq 1$ 。

[0014] 根据此处公开的某些实施例, 光纤包括渐变折射率中芯区, 具有外半径 r_1 和最大折射率德尔塔 $\Delta_{1\text{最大}}$; 包层, 包括具有外半径 r_2 以使得 $r_1 \leq r_2 < 8$ 微米和相对折射率德尔塔 Δ_2 的第一内包层区, 具有相对折射率德尔塔 Δ_3 和最小相对折射率德尔塔 $\Delta_{3\text{最小}}$ 的第二内包层区, 其中 $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$, 以使得 Δ_2 和 $\Delta_{3\text{最小}}$ 之间的差异大于 0.08% ; 以及围绕这两个内包层区的外包层区。此处公开的光纤实施例优选地展示出小于或等于 1260nm 的 22m 光缆截止、在 1310nm 处在 8.2 到 9.6 微米之间的模场直径 (MFD)、以及在 1300 和 1324nm 之间的零波长色散波长。在至少一些光纤实施例中, r_1/r_2 大于或等于 0.6 、更优选地大于 0.65 , 且小于或等于 1 。在至少一些光纤实施例中, r_1/r_2 大于或等于 0.75 、更优选地大于 0.8 , 且小于或等于 1 。

[0015] 根据某些其他实施例, 一种单模光纤包括:

[0016] 渐变折射率的掺杂氧化锆的中芯区, 具有外半径 r_1 、且在中芯区中的峰值 (最大) 相对折射率德尔塔 $\Delta_{1\text{最大}}$; 和中芯区, 具有渐变折射率阿尔法分布, 具有 1 和 3 之间的 α_t ;

[0017] 包层区, 包括 (i) 第一内包层区, 具有外半径 4.5 微米 $< r_2 < 9$ 微米、和相对折射率 Δ_2 且 $0.65 \leq r_1/r_2 \leq 1$; (ii) 和第二内包层区, 具有外半径 $r_3 > 10$ 微米且包括最小相对折射率德尔塔 $\Delta_{3\text{最小}}$, 其中所述第二内包层区具有随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔的至少一个区, 其中第二内包层区具有阿尔法分布, α_t , $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$; 和 (iii) 外包层区, 围绕内包层区且包括相对折射率 Δ_4 , 其中 $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$, $\Delta_{3\text{最小}} < \Delta_4$ 。

[0018] 此处还公开了光纤实施例, 包括中芯区, 具有外半径 r_1 和最大相对折射率德尔塔 $\Delta_{1\text{最大}}$; 包层区, 包括第一内包层区和第二内包层区, 其中第一内包层区具有外半径 $r_2 < 8$ 微米和相对折射率德尔塔 Δ_2 , 且第二内包层区围绕第一内包层区且具有相对折射率 Δ_3 , 其中 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}$, 且 $\Delta_2 - \Delta_{3\text{最小}} \geq 0.1$ 。此处公开的光纤优选地展示出小于或等于 1260nm 的 22m 光缆截止、在 1310nm 处在 8.2 到 9.6 微米之间的模场直径 (MFD)、以及在 1300 和 1324nm 之间的零波长色散。在这些光纤中的某些实施例中, r_1/r_2 大于或等于 0.6 , 更优选在 0.8 到 1 之间。优选地, $|\Delta_4 - \Delta_2| \geq 0.01$ 。

[0019] 申请人已经发现, 使得光纤具有沟槽且沟槽具有非恒定相对折射率德尔塔有助于在较小 ($< 10\text{mm}$) 和较大 ($> 20\text{mm}$) 直径下都实现较好的宏弯曲性能。接下来的单模光纤实施例具有沟槽, 且沟槽具有在其至少一个区中随着半径增加而减少的非恒定相对折射率德尔塔, 导致与 ITU-G.652 标准兼容的低宏弯曲损耗和光学特性 (光学性能参数)。在至少某些实施例中, 第二内包层区的折射率随着半径位置增加而减少。

[0020] 在至少某些实施例中 $\alpha_t \leq 5$, 其中 α_t (即, α_t) 是沟槽 α 参数。对于某些实施例, $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$ 。

[0021] 现在将具体参考现有优选实施例, 其示例在附图中示出。

[0022] 附图简述

[0023] 图 1-6 示出对应于此处公开的光纤的数个实施例的示意性相对折射率分布。

具体实施方式

[0024] 将在以下详细描述中陈述附加特征和优点,这些特征和优点对于本领域的技术人员来说根据该描述将是显而易见的,或者通过实施在以下详细描述以及权利要求书和附图中描述的可认识到。

[0025] “折射率分布”是折射率或相对折射率与光纤半径之间的关系。折射率分布的每一段的半径由简写 r_1, r_2, r_3, r_4 等给出,且此处互换使用大小写(如, r_1 等效于 R_1)。

[0026] “相对折射率百分比”被定义为 $\Delta \% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$,且如此处所使用地, n_c 是外包层区的折射率,除非另外指明,否则是纯二氧化硅的折射率。如本文中使用时,相对折射率以 Δ 表示,而且其值以“%”单位给出,除非另外指明。术语:相对折射率德尔塔、德尔塔、 Δ 、 Δ %、% Δ 、德尔塔%、%德尔塔、和百分比德尔塔此处可互换地使用。在区域的折射率小于外包层的平均折射率的情况下,相对折射率百分比为负且被认为具有下陷区或下陷折射率。在区域的折射率大于外包层区的平均折射率的情况下,相对折射率百分比为正。“上掺杂剂”在这里被认为是相对于未掺杂的纯 SiO_2 具有提高折射率的倾向的掺杂剂。“下掺杂剂”在这里被认为是相对于未掺杂的纯 SiO_2 具有降低折射率的倾向的掺杂剂。上掺杂剂的示例包括 GeO_2 (氧化锗)、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 TiO_2 、Cl、Br。下掺杂剂的示例包括氟、硼、和非周期性空隙。术语 $\alpha_{\text{芯}}$ 、 α_c 和 α (芯)指芯阿尔法,且此处互换地使用。对于本领域技术人员,明显地,可修改此处公开的相对折射率分布以使得整个折射率分布相对于纯氧化硅的折射率线性上升或下降,且导致所得光纤的类似光学性质。

[0027] 除非另作说明,此处将“色散现象”称为“色散”,光纤的色散是材料色散、以及波导色散的总和。零色散波长是色散具有零值的波长。色散斜率是色散相对于波长的变化率。

[0028] 在式1中,“有效面积”定义为:

$$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int f^2 r \, dr)^2 / (\int f^4 r \, dr) \quad (\text{式1})$$

[0030] 其中积分上下限为0到 ∞ ,而 f 是与波导中传播的光相关联的电场的横向分量。如本文中所使用,“有效面积”或“ A_{eff} ”指的是1550nm波长下的光纤的光学有效面积,除非另作说明。

[0031] 术语“ α 分布”指的是区域的相对折射率分布,以单位为“%”的项 $\Delta(r)$ 表示,其中 r 是半径,对于芯阿尔法的 $\Delta(r)$ 遵循以下式2,

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha)^{\alpha} \quad (\text{式2})$$

[0033] 其中 r_0 是 $\Delta(r)$ 为最大值的点, r_1 是 $\Delta(r)$ %为零的点,而 r 在 $r_i \leq r \leq r_f$ 范围内,其中 Δ 如上定义, r_i 是 α 分布的起点, r_f 是 α 分布的终点,而 α 是作为实数的指数。

[0034] 使用式3和4中示出的Peterman II方法度量模式模场直径(MFD),其中分别

$$2w = \text{MFD} \quad (\text{式3})$$

[0036] 且

$$w^2 = (2 \int f^2 r \, dr / \int [df/dr]^2 r \, dr) \quad (\text{式4})$$

[0038] 其中积分极限是0到 ∞ 。

[0039] 可通过在规定的测试条件下诱发的衰减来量测光纤的抗弯性,例如通过将光纤围绕预定直径的心轴部署或缠绕,例如,围绕6mm、10mm、20mm、30mm、或类似直径心轴(如,“1x10mm直径宏弯曲损耗”或“1x30mm直径宏弯曲损耗”)缠绕1匝并测量每匝的衰减的增加。

[0040] 一类弯曲测试是横向负载微弯曲测试。在所谓的“横向负载线网”测试(LLWM)中,将规定长度的光纤置于两个平板之间。将#70线网附连到平板之一。将已知长度的光纤夹在

板之间,并且在用30牛顿的力挤压平板的同时测量参考衰减。然后,向平板施加70牛顿的力,并且以dB/m测量衰减的增大。衰减的增大是在指定波长处(典型地在1200-1700nm范围内,如1310nm或1550nm或1625nm)以dB/m为单位的光纤的横向负载衰减。

[0041] “引脚阵列”弯曲测试用于比较光纤对弯曲的相对抵抗。为了执行这种测试,对基本没有诱导的弯曲损耗的光纤测量衰减损耗。随后绕引脚阵列编织光纤,并且再次测量衰减。由弯曲引起的损耗是两次测量的衰减之差。引脚阵列是一组十个圆柱引脚,它们被配置成单排并保持在平坦表面上的固定垂直位置。引脚间距为5mm,从中心到中心。引脚直径为0.67mm。在测试期间,施加足够的张力以使光纤顺应引脚表面的一部分。衰减的增大是在特定波长处(典型地在1200-1700nm范围内,如1310nm或1550nm或1625nm)以dB为单位的光纤的引脚阵列衰减。

[0042] 对给定模式而言,理论光纤截止波长或“理论光纤截止”或“理论截止”是在其之上被传导的光不能在该模式下传播的波长。数学定义可以在1990年Jeunhomme在纽约的Marcel Dekker出版的“Single Mode Fiber Optics(单模光纤光学)”第39-44页找到,其中理论光纤截止被描述为模式传播常数变成与外包层中的平面波传播常数相等时所处的波长。此理论波长适合于无直径变化的无限长的完美直光纤。

[0043] 可通过标准的2m光纤截止测试,FOTP-80(EIA-TIA-455-80)来测量光纤截止以产生“光纤截止波长”,也称为“2m光纤截止”或“测量的截止”。执行FOTP-80标准测试以使用受控的弯曲量来去除较高阶模式,或将该光纤的光谱响应对多模光纤的光谱响应进行归一化。

[0044] 通过此处使用的成缆截止波长,或“成缆截止”,我们是指在EIA-445光纤测试步骤中描述的22m成缆截止,EIA-445光纤测试步骤是EIA-TIA光纤标准的一部分,EIA-TIA光纤标准即是电子工业协会-电信工业协会光纤标准。

[0045] 除非在本文中另作说明,针对LP₀₁模式报告光学特性(诸如色散、色散斜率等)。

[0046] 申请人发现,将具有非恒定深度的偏置沟槽放在单模光纤的分布中,可同时改进在较小($\leq 10\text{mm}$)和较大($\geq 20\text{mm}$)弯曲直径处的弯曲性能。如下的光纤实施例导致在较小和较大弯曲直径处的低弯曲性能且具有符合G.652标准的光学特性(在1310nm处在8.2和9.6微米之间的MFD、在1300和1324nm之间的零色散波长、小于或等于1260nm的光缆截止波长)。

[0047] 优选地光纤10的MFD(在1310nm波长处)在8.2微米和9.6微米之间。例如,8.2微米 \leq MFD \leq 且9.6微米、或8.5微米 \leq MFD \leq 且9.4微米(如,8.6微米、8.8微米、9微米、9.2微米、9.4微米、9.6微米、或在其之间)。

[0048] 如图1-6中所示,根据某些实施例,单模光纤10包括:

[0049] 渐变折射率的中芯区1(或芯),具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大相对折射率 $\Delta_{1\text{最大}}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{\text{芯}}$,其中 $0.5 \leq \alpha_{\text{芯}} \leq 4$;和包层区,围绕芯且包括至少一个内包层区2,3和外包层区4。第二内包层区3(此处也称为沟槽、沟槽区、或壕沟)具有内半径 r_2 和外半径 r_3 。在某些实施例中, $r_3 > 10$ 微米。区域3还包括相对折射率 Δ_3 和最小相对折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$,以使得其相对折射率德尔塔随着半径增加变得更负。内包层区3具有阿尔法分布, α_t ,且优选地 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$ 。外包层区4,围绕内包层区且具有相对折射率 Δ_4 ,其中 $\Delta_{1\text{最大}} > \Delta_2 > \Delta_{3\text{最小}}, \Delta_{3\text{最小}} < \Delta_4$ 。在图1-6的光纤实施例中, $r_1 \leq r_2$ 。在某些优选实施例中, $0.65 \leq r_1/r_2 \leq 1$ 。

[0050] 根据某些实施例,光纤10包括具有外半径 r_2 的第一内包层区2、和具有外半径 r_3 的

第二内包层区3。对于这些实施例， $r_1 < r_2$ 。在某些实施例中，光纤10不包括第一内包层区2（例如，见图4），对于这些实施例 $r_2 = r_1$ 且比值 $r_1/r_2 = 1$ 。

[0051] 示例性光纤10的一些示意性折射率分布被图示于1-6中。图1-6的光纤10包括中心渐变折射率玻璃芯区1（或芯），包括最大相对折射率德尔塔百分比 $\Delta_{1最大}$ 。芯区1具有渐变折射率分布，此处也被称为梯度或渐变折射率分布。光纤10可具有芯区，具有 $\alpha_{芯}$ 值（ $\alpha_{芯}$ ）范围 $0.5 \leq \alpha_{芯} \leq 5$ ，在某些实施例中 $1 \leq \alpha_{芯} \leq 5$ ，在某些实施例中 $1 \leq \alpha_{芯} \leq 4$ ，在某些实施例中 $1.5 \leq \alpha_{芯} \leq 3$ ，在某些实施例中 $1.5 \leq \alpha_{芯} \leq 2.5$ 。如图1-3和5-6中所示，在光纤10的某些实施例中，第二内包层区3与芯区1偏移，以使得任意的第一内包层区2夹在中心玻璃芯区1和第二内包层区3之间（在这些实施例中， $r_2 > r_1$ ）。外包层区4围绕第二内包层区3且包括相对折射率德尔塔 Δ_4 。在这些实施例中，第一、任意的内包层区2围绕中芯区1并与中芯区1直接相邻，且包括相对折射率德尔塔百分比 Δ_2 。在这些实施例中，第二内包层区3围绕第一内包层区2且包括最小折射率德尔塔百分比 $\Delta_{3最小}$ 。在不包括第一内包层区2的光纤实施例（例如图示于图4中），第二内包层区3（即，沟槽区）围绕芯区1且与芯区1直接相邻，第二内包层区3包括最小相对折射率德尔塔百分比 $\Delta_{3最小}$ 。在这些实施例中，为了建模目的，我们设 $r_2 = r_1$ 、且 $\Delta_2 = \Delta_{3最大}$ 。

[0052] 第二内包层区3并不具有常数 $\Delta_3(r)$ 。优选地， $\Delta_3(r)$ 随着半径增加而减少，且具有三角形截面。因此，在某些实施例中，这个区域的最小相对折射率 Δ_3 出现在 $r = r_3$ 处（即， $\Delta_3(r = r_3) = \Delta_{3最小}$ ）。优选地，第二内包层区3包括掺杂氟的氧化硅。外包层区4围绕第二内包层区3（即，沟槽）且包括相对折射率德尔塔百分比 Δ_4 。

[0053] 图1示出具有三角形沟槽分布的光纤10的实施例的相对折射率分布 $\Delta_3(r)$ 。这个图示出随着半径增加而单调递减的第二内包层区3的相对折射率，且 $\Delta_3(r_2) > \Delta_3(r_3)$ 。在图1的实施例中， $\Delta_2 = \Delta_4$ 。然而， Δ_2 并不需要与 Δ_4 一样（如， Δ_2 可大于或小于 Δ_4 ）。在某些实施例中， $\Delta_4 \geq \Delta_2$ 。在某些实施例中， $0.00\% \leq (\Delta_4 - \Delta_2) \leq 0.1\%$ 。

[0054] 图2示出具有梯形沟槽分布的光纤10的实施例的相对折射率分布。在这个实施例中，第二内包层区3的相对折射率也随着半径增加而单调递减，且 $\Delta_3(r_2) > \Delta_3(r_3)$ 。在图2的实施例中 $\Delta_2 = \Delta_4$ ，但是在某些实施例中 Δ_2 和 Δ_4 具有不同值（如， $\Delta_2 > \Delta_4$ ，或 $\Delta_2 < \Delta_4$ ）。

[0055] 图3示出光纤10的另一个实施例的相对折射率分布。在这个实施例中，第二内包层区3的相对折射率随着半径增加而单调递减直到它达到值 $r = r_{3a}$ ，且然后在半径 r_{3a} 和 r_3 之间为常数。在这个实施例中， $\Delta_3(r_2) > \Delta_3(r_3)$ 且 $\Delta_3(r_2) > \Delta_3(r_{3a})$ 。如图3中所示，例如，半径 r_{3a} 是从中心线径向向外地移动首次到达值 $\Delta_{3最小}$ 处的半径。在某些实施例中， $r_{3a} = r_3$ 。（见例如图1、2、4、和5）在图3所示实施例中 $\Delta_2 = \Delta_4$ ，但是在某些实施例中 Δ_2 和 Δ_4 具有不同值（如， $\Delta_2 > \Delta_4$ ，或 $\Delta_2 < \Delta_4$ ）。在某些实施例中 $0.1\% \geq |\Delta_2 - \Delta_4| \geq 0.01\%$ 。

[0056] 图4示出也具有与图1的分布类似的沟槽分布的光纤10的实施例的相对折射率分布，但是在图4中第一内包层区2的宽度为零，即，这个光纤实施例不具有内包层区2。在这个实施例中， $r_1 = r_2$ 。

[0057] 图5示出也具有类似于图1的分布的沟槽分布的光纤10的实施例的相对折射率分布，但是在图5中第二内包层区3的相对折射率分布具有凹入的形状。

[0058] 图6示出也具有沟槽分布且类似于图1的分布的光纤10的实施例的相对折射率分布，但是在图6中第二内包层区3的相对折射率分布具有凸出的形状。即，第二内包层区3的

相对折射率在邻近第一内包层区2的区域内相对缓慢地减小,且随半径接近 r_3 (在邻近外包层区的第二内包层区3的区域内)而相对快速地减小。

[0059] 在该示例性实施例中, $\Delta_{1最大} > \Delta_2 > \Delta_{3最小}$ 且 $\Delta_{3最小} < \Delta_4$ 。优选地 $\Delta_2 - \Delta_{3最小} \geq 0.08\%$ 。在某些实施例中 $0.08\% \leq \Delta_2 - \Delta_{3最小} \leq 0.7\%$ 。在其他实施例中 $0.08\% \leq \Delta_2 - \Delta_{3最小} \leq 0.25\%$ 。在其他实施例中 $0.25\% \leq \Delta_2 - \Delta_{3最小} \leq 0.55\%$ 。可采用附加任选的芯或包层区。例如(未示出),另一区(2A)可位于芯和区域3之间。任选的内包层区2A可与芯区1直接相邻并围绕芯区1,且包括比环形区2更高或更低的相对折射率德尔塔百分比 Δ_{2A} (即, $\Delta_{2A} < \Delta_2$, 或 $\Delta_{2A} > \Delta_2$)。第二内包层区3(沟槽区)的折射率(和因此的相对折射率德尔塔)优选地随着径向位置增加而减小。

[0060] 可用于定义沟槽形状(即,第二内包层区3的折射率形状,其中 $r_2 \leq r \leq r_3$)的另一个参数是参数 α_t (阿尔法 t),定义了第二内包层区3中的相对折射率分布,用单位为“%”的项 $\Delta(r)$ 表达,其中 r 是半径,遵循式5,

$$[0061] \quad \Delta(r) = (\Delta_{3min} - \Delta(r_2)) (1 - [|r_3 - r| / (r_3 - r_2)]^{\alpha_t}) + \Delta(r_2) \quad (式 5)$$

[0062] 其中 α_t 是沟槽阿尔法参数(此处也称为阿尔法 t)。对于矩形沟槽,参数 α_t 的值大于100,而对于三角形沟槽,参数 α_t 的值是1。优选地 $\alpha_t \leq 10$ 。在光纤10的某些实施例中,参数 α_t 在0.5和5之间,更优选地在0.5和3之间,且甚至更优选地在0.75和2之间。

[0063] 中芯区1包括外半径 r_1 ,被定义为从 $\Delta_{1最大}$ 径向向外移动的第一径向位置,对应于其中绘制通过中芯区1的相对折射率的最大绝对斜率的切线(即 $r = r_1$,其中 $|d\Delta(r)/dr|$ 为最大值)穿过零德尔塔线。芯区1(此处也称为芯)优选地表现出最大相对折射率德尔塔百分比, $\Delta_{1最大}$,在约0.3到0.5之间、更优选地在约0.31到0.48之间,例如在约0.31到0.45之间。在某些实施例中, $\Delta_{1最大}$ 在0.31和0.43之间。在某些实施例中, $\Delta_{1最大}$ 小于0.42。芯半径 r_1 优选地在3和9微米之间,更优选地在约3.5到8微米之间,例如 $3.5 \leq r_1 \leq 7.0$ 微米、或 $4.5 \leq r_1 \leq 6.5$ 微米。中芯区1可包括单段、阶跃折射率分布。在某些实施例中,中芯区1表现出具有大于0.5且小于10(且在某些实施例中小于7.5、小于5、或小于3)的阿尔法 α 值的阿尔法分布。在某些优选实施例中,中芯区1表现出大于0.5且小于10的阿尔法,且在某些实施例中小于5、或小于3,且芯区1具有相对折射率德尔塔百分比, $\Delta_{1最大}$ 在0.30到0.48之间(如, $0.36 \leq \Delta_1 \leq 0.44$)。

[0064] 在图1所示的实施例中,内包层区2围绕中芯区1且包括内半径 r_1 和外半径 r_2 , r_1 被如上定义且 r_2 被定义为从 r_1 径向向外移动的第一径向位置,其中相对折射率等于0.03 ($\Delta_{3最小}$)。在某些情况下,区域2内的相对折射率基本是平的,在其他情况下可存在梯度折射率分布,且在某些实施例中,当半径增加时,区域2的相对折射率减小。又在其他情况下,作为较小的分布设计或工艺变化的结果,可存在波动。在一些实施例中,第一内包层区2包含小于0.02wt%的氟。在某些实施例中,内包层区2包括基本未掺杂氟或氧化锆的氧化硅,即,使得该区域基本没有氟和氧化锆。在某些其他实施例中,区2被掺杂小于0.2wt%的氟。根据某些实施例,内包层区2表现出在约0.2到6微米之间的宽度、更优选0.5到5微米、甚至更优选在约1到4微米之间。优选地, $5 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 9 \mu\text{m}$,更优选地 $6 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 8 \mu\text{m}$ 。芯半径 r_1 与内包层2半径 r_2 之间的比值优选地至少0.75且小于1、更优选地大于0.8。

[0065] 内包层区2包括相对折射率德尔塔百分比,其中 r_2 当不等于 r_1 时,使用式6来计算

Δ_2 :

$$[0066] \quad \Delta_2 = \int_{r_1}^{r_2} \Delta(r) dr / (r_2 - r_1) \quad (\text{式 } 6)$$

[0067] 在某些实施例中,第一内包层区2包括基本未掺杂氟或氧化锆的氧化硅,即,使得该区基本没有氟和氧化锆。内包层区3优选地包括下掺杂剂,例如氟,来提供低于区2的相对折射率德尔塔的最小相对折射率德尔塔。在图1-3和5-6所示的实施例中,第二内包层区3围绕第一内包层区2且包括内半径 r_2 和外半径 r_3 , r_2 如上定义且 r_3 被定义为其中相对折射率分布曲线在从半径 r_2 径向向外移动的第一径向位置处再次穿过零德尔塔线(Δ_4)之处。(请注意在图4的实施例中,没有内包层,即内包层宽度为零($r_1=r_2$),在这个情况下 $\Delta_2=\Delta_{3\text{最大}}$ 。)在某些情况下,区域3中的相对折射率(即,沟槽的相对折射率)可具有梯度折射率分布,在某些优选实施例中,区域3中的相对折射率在区域的内部部分中具有较浅的凹陷且在区域的外部部分中具有较深的凹陷。此外,作为较小的分布设计或工艺变化的结果,可存在波动。在某些实施例中,第二内包层区3包括氟和/或硼。内包层区3包括相对折射率德尔塔百分比 $\Delta_3(r)$,以及最小相对折射率德尔塔 $\Delta_{3\text{最小}}$ 。第二内包层区中的最小折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$ 优选地小于或等于-0.08%(即, $\Delta_4-\Delta_3\geq 0.08\%$)。在某些实施例中, $\Delta_{3\text{最小}}$ 小于或等于-0.2%。在某些实施例中, $\Delta_{3\text{最小}}$ 小于或等于-0.35%。 R_4 是光纤的外半径位置,且在50微米 $\leq r_4 \leq 75$ 微米的优选范围内,更优选地 r_4 为62.5微米。

[0068] 第二内包层区3的体积(即,沟槽的体积)定义为式7中所示,且单位为百分比德尔塔微米²(% Δ 微米²)

$$[0069] \quad V_{3a3} = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-3)}(r) r dr \quad (\text{式 } 7)$$

[0070] 其中 $\Delta_{(4-3)}$ 是折射率差异($\Delta_4-\Delta_3$)。在图1-5的实施例中,内包层区3的绝对体积 V_{3a3} 是5 Δ %微米² $\leq V_{3a3} \leq 105\Delta$ %微米²。在某些实施例中,更优选地,5 Δ %微米² $\leq V_{3a3} \leq 75\Delta$ %微米²。内包层区3优选地表现出宽度 W_3 ,(r_3-r_2)在约5到20微米之间,更优选在5到15微米。半径 r_3 与内包层区2半径 r_2 的比值优选地大于1.3,更优选地在1.5和约4之间。壕沟体积比,在式8中定义如下,且单位为百分比德尔塔微米²(% Δ 微米²)

$$[0071] \quad V_{3a3\text{比}} = V_{3a3} / [\Delta_{3\text{最小}} (r_3^2 - r_2^2)] \quad (\text{式 } 8)$$

[0072] 优选地,此处的光纤具有壕沟体积比 $0.3 \leq V_{3a3\text{比}} \leq 0.8$ 。

[0073] 外包层区4围绕下陷的环形区3且包括高于内包层区3的折射率 $\Delta_{3\text{最小}}$ 的相对折射率德尔塔百分比 Δ_4 。在某些实施例中,外包层区4具有高于第一内包层区2的相对折射率,藉此形成相对于第一内包层区2的“上掺杂”的外包层区4,如通过添加上掺杂剂(诸如氧化锆或氟),添加量足以增加外包层区4的相对折射率。然而,注意,必须在外包层区4中包括折射率增加的掺杂剂,在此意义上,外包层区并非严格上掺杂的。事实上,通过相对于外包层区4来下掺杂第一内包层区2,可实现在外包层区4中的提升的折射率效果。根据某些实施例,外包层区4包括比第一内包层区2更高的相对折射率,且可包括相对于第一内包层区2中的折射率,大于0.01%的相对折射率德尔塔百分比 Δ_4 ,且在某些实施例中大于0.02%或0.03%。优选地,外包层区4的较高折射率部分(相比第一内包层区2或 $\Delta_{3\text{最大}}$)至少延伸向其

中将由光纤传输的光功率大于或等于所传输的光功率的90%的点处,更优选延伸至其中将由光纤传输的光功率大于或等于所传输的光功率的95%的点处,且最优选地延伸至其中将由光纤传输的光功率大于或等于所传输的光功率的98%的点处。在很多实施例中,通过具有至少延伸至约30微米的径向点处的“上掺杂的”第三环形区域来实现这一点。因此,第三环形区域4的体积,此处被定义为在半径 r_3 和 r_{30} (在30微米处的半径)之间被计算且因此在式9中被定义为

$$[0074] \quad V_4 = 2 \int_{r_3}^{r_{30}} \Delta_{(4-2)}(r) r dr \quad (\text{式 } 9)$$

[0075] 其中 $\Delta_{(4-2)}$ 是折射率差异 ($\Delta_4 - \Delta_2$)。

[0076] 相比第一内包层区2的体积,外包层区4(在30微米内)的体积 V_4 ,优选地大于 $5\Delta\%$ 微米²、更优选地大于 $7\Delta\%$ 微米²,且可大于 $10\Delta\%$ 微米²。外包层区(在30微米内)的这个体积 V_4 在某些实施例中小于 $50\Delta\%$ 微米²。

[0077] 在某些实施例中,外包层区4的相对折射率 Δ_4 比第一内包层折射率 Δ_2 大0.01%,更优选地大于0.02%。在某些实施例中,外包层区4包括氯(Cl)。在某些实施例中,外包层区包括氧化锗。

[0078] 芯区1整个优选地具有正的相对折射率,以及出现在 $r=0$ 和 $r=3$ 微米之间的最大相对折射率 $\Delta_{1\text{最大}}$ 。 $\Delta_{1\text{最大}}$ 优选地在0.30到0.48%之间,且甚至更优选地在0.3到0.45%。

[0079] 第一内包层区2优选地具有基本恒定的相对折射率分布,即,在中间区内任意两个半径处的相对折射率之间的差异小于0.02%,且在某些优选实施例中小于0.01%。因此,第一内包层区2的相对折射率分布优选地具有基本平的形状。在某些实施例中,外包层区4相对于纯氧化硅被上掺杂且在某些实施例中第一内包层区2相对于纯氧化硅被下掺杂。

[0080] 中芯区1可包括阿尔法(α)分布,其中芯阿尔法, α_c ,在1.5到2.5之间,例如 $1.8 < \alpha_c < 2.2$ 。在某些优选实施例中, r_1 小于8.0微米,且更优选地在3.5微米到7.0微米之间。光纤能在1310nm处表现出8.2到9.6微米之间的模场直径,在1300和1324nm之间具有零色散波长、小于或等于1260nm的光缆截止、以及当缠绕在10mm半径心轴上小于1dB/匝的弯曲损耗。

[0081] 在某些实施例中,渐变折射率中芯区1包括掺杂Ge的氧化硅,其中随着芯半径接近外半径 $r=r_1$ 而Ge水平下降。然而,在某些实施例中,渐变折射率中芯包括掺杂氟的氧化硅且基本没有氧化锗。在这些实施例中,包层相对于中芯区被下掺杂,具有诸如F、B之类的下掺杂剂,且可包括非周期性孔或空隙。在某些实施例中,折射率下陷的环形部分包括非周期性设置或周期性设置或两者兼而有之的孔。关于“非周期性设置”或“非周期性”分布,我们的意思是当对该光纤取截面(诸如垂直于纵轴的截面)时,非周期性设置的空隙在光纤的一部分上随机或非周期性地分布。沿该光纤的长度的不同点处所取的类似截面将揭示不同的截面孔洞图案,即各截面将具有不同的孔洞图案,其中孔的分布和孔的大小不匹配。也就是说,孔是非周期性的,即它们被非周期性地设置在光纤结构内。这些孔沿光纤的长度(即平行于纵轴)伸展(延长),但对于典型的传输光纤的长度而言不会延伸整个光纤的整个长度。孔可包含诸如氩、氮、氦、CO₂、SO₂或氧之类的一种或多种气体,或孔可包含基本没有气体的真空;不管是否存在任何气体,环形部分50的折射率因为孔的存在而被降低。虽然不希望受

理论限制,但认为这些孔沿光纤长度而延伸小于几米,而且在许多情况下小于1米。此处公开的光纤可通过利用预制棒固化条件的方法来制造,这能有效地使大量气体被捕获在固化的玻璃坯料中,从而在固化的玻璃光纤预制棒中形成孔。不是设法去掉这些孔,而是使用所得的预制棒来形成其中具有孔的光纤。如此处所使用,当从横切光纤的纵轴的垂直截面观察光纤时,孔洞的直径是端点设置在限定孔洞的氧化硅内表面上的最长线段。

[0082] 在某些示例性实施例中,渐变折射率芯区1还包括至少一个碱金属氧化物掺杂剂,例如,其中碱是K(钾)、Na(钠)、Li(锂)、Cs(铯)、和Rb(铷)。在某些示例性实施例中,芯1包含重量%为20ppm到1000ppm的K的量的 K_2O ,更优选在50-500ppm的wt%的K之间,且最优选在50-300ppm的wt%的K之间。光纤还可包括氯。优选的是在芯区1中氯的量按照wt%小于1500ppm,且在包层区2-4中按照wt%小于500ppm。在某些实施例中,掺杂碱的光纤包括不含氧化锆的氧化硅的芯和/或包层(优选地按重量小于1%的氧化锆,更优选按重量小于0.1%的氧化锆)。注意,术语“ppm”,除非另有特别说明,是指按重量的百万分之几,或按重量ppm,且通过乘以因子10000可将以wt%为单位的度量值转换为ppm。

[0083] 可从使用常规制造技术制造的光纤预成型件中拉制此处公开的光纤,且使用已知的光纤拉取技术和装置,例如在美国专利No.7,565,820中所公开的,该专利的说明书通过引用结合至此。

[0084] 各示例性实施例通过以下示例将更为清楚。对本领域普通技术人员明显的是,可作出各种更改和改变而不背离权利要求书的精神和范围。

[0085] 光纤示例1-25和比较性示例

[0086] 下表1-4列出模制的说明性光纤示例1-25和比较性示例的特性。特定地,以下对于表1-4的每一个示例设置的是中芯区1的相对折射率德尔塔 Δ_1 、 $\alpha_{芯}$ 、和外半径 r_1 ,第一内包层区2的相对折射率德尔塔 Δ_2 和外半径 r_2 , r_1/r_2 ,第二内包层区3的相对折射率德尔塔 Δ_3 和 $\Delta_{3最小}$ 、壕沟阿尔法(α_t)、径向位置 r_{3a} 和 r_3 , $(r_{3a}-r_2)/(r_3-r_2)$,壕沟体积 V_{3a3} 和壕沟体积比 V_{3a3} 比,外包层区4的相对折射率德尔塔 Δ_4 和体积 V_4 ,这是在外包层区3的内半径 r_3 和30微米的径向距离之间所计算的。还列出(表1-4)模制的数据,包括:以nm为单位的LP11截止波长、在1310nm处的色散和色散斜率以及在1550nm处的色散和色散斜率、在1310nm和1550nm处的模场直径、在1550nm处的引脚阵列宏弯曲、以dB/m为单位的在1550nm处的LLWM微弯曲、零色散波长(拉姆达0)、22m光缆截止、在1550nm处每匝的以dB为单位的1x 10mm,1x 20mm和1x 30mm直径引起的弯曲损耗、MACCab(以微米为单位的在1310nm处的MFD/以微米为单位的光缆截止)。

[0087] 表1

[0088]

参数	示例 1	示例 2	示例 3	示例 4	示例 5	示例 6	示例 7	示例 8
R1 (微米)	5.0	5.0	6.0	6.0	5.0	5.0	6.0	6.0
Δ_1 最大 (%)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.40	0.40	0.40	0.40
芯阿尔法	2	2	2	2	2	2	2	2
R2 (微米)	5.0	6.0	6.0	7.0	5.0	6.0	6.0	7.0

[0089]

$\Delta 2$ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1/R2	1.00	0.83	1.00	0.86	1.00	0.83	1.00	0.86
R3a (微米)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
$\Delta 3$ 最小 (%)	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45
沟槽阿尔法 (α_t)	1	1	1	1	1	1	1	1
R3 (微米)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
$\Delta 3a$ (%)	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45
(R3a-R2)/(R3-R2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
沟槽体积, V_{3a3} (% Δ 微米 ²)	70	66	66	61	70	66	66	61
沟槽体积比	0.59	0.58	0.58	0.56	0.59	0.58	0.58	0.56
R4 (微米)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V4 (% Δ 微米 ²)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
在 1310nm 处的 MFD (微米)	8.70	8.86	9.23	9.33	8.57	8.71	9.09	9.19
在 1550nm 处的 MFD (微米)	9.85	10.07	10.28	10.45	9.69	9.89	10.13	10.27
LP11 截止(nm)	1033	1042	1219	1238	1052	1069	1252	1271
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	-0.41	-0.85	1.01	0.65	-0.50	-0.96	0.95	0.60
在 1310nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.092	0.092	0.093	0.093	0.092	0.092	0.093	0.093
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.5	17.5	19.3	18.9	17.6	17.3	19.2	18.9
在 1550nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.064	0.065	0.064	0.064	0.064	0.065	0.064	0.064
光缆截止(nm)	1167	1150	1371	1357	1190	1179	1405	1391
MACCab (以微米为单位的在 1310nm 处的 MFD/以微米为单位的 光缆截止)	7.46	7.71	6.73	6.88	7.20	7.39	6.47	6.61
10mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.372	0.499	0.087	0.126	0.198	0.271	0.054	0.078
20 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.130	0.172	0.021	0.030	0.061	0.082	0.012	0.017

[0090]

匝)								
30 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.016	0.0192	0.0015	0.0018	0.0067	0.0079	0.0007	0.0009
拉姆达 0 (nm)	1314	1319	1299	1303	1315	1320	1300	1304
LLWM (在 1550 nm 处, dB/m)	0.605	0.64	0.2794	0.308	0.424	0.45	0.174	0.192
引脚阵列 (在 1550 nm 处, dB)	28.10	26.60	6.34	6.29	18.32	17.48	3.60	3.58

[0091] 表2

[0092]

参数	示例 9	示例 10	示例 11	示例 12	示例 13	示例 14	示例 15	示例 16
R1 (微米)	5.4	5.4	5.4	5.4	6.08	5.68	5.68	5.68
$\Delta 1_{\text{最大}}$ (%)	0.40	0.40	0.42	0.42	0.40	0.40	0.40	0.40
芯阿尔法	2	2	2	2	2	2	2	2
R2 (微米)	5.4	6.6	5.4	6.6	9.12	8.52	8.52	5.68
$\Delta 2$ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1/R2	1.00	0.82	1.00	0.82	0.67	0.67	0.67	1.00
R3a (微米)	16.8	16.8	16.8	16.8	15.26	14.2	15.27	14.27
$\Delta 3_{\text{最小}}$ (%)	-0.45	-0.45	-0.43	-0.43	-0.20	-0.20	-0.10	-0.10
沟槽阿尔法 (α_t)	1	1	1	1	1	1	1	1
R3 (微米)	16.8	16.8	16.8	16.8	15.26	14.20	15.27	14.27
$\Delta 3a$ (%)	-0.45	-0.45	-0.43	-0.43	-0.20	-0.20	-0.10	-0.10
(R3a-R2)/(R3-R2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
沟槽体积, V_{3a3} (% Δ 微米 ²)	66	62	72	68	16.2	14.1	7.1	9.7
沟槽体积比	0.58	0.57	0.63	0.63	0.54	0.55	0.44	0.57
R4 (微米)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
V4 (% Δ 微米 ²)	0.0	0.0	12.4	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0
在 1310nm 处的 MFD (微米)	8.82	8.96	8.74	8.85	9.29	9.10	9.11	9.04

[0093]

在 1550nm 处的 MFD (微米)	9.90	10.13	9.79	9.97	10.49	10.34	10.39	10.25
LP11 截止(nm)	1123	1146	1078	1093	1339	1252	1265	1240
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	0.18	-0.29	0.34	-0.10	0.06	-0.05	-0.69	-0.32
在 1310nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.092	0.0925	0.035	0.036	-0.019	0.071	0.083	0.081
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	18.4	18.0	18.4	18.1	17.9	17.3	16.9	17.3
在 1550nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.0640	0.0647	0.063	0.063	0.062	0.063	0.061	0.061
光缆截止(nm)	1274	1261	1229	1217	1289	1192	1173	1180
MACCab (以微米为单位的在 1310nm 处的 MFD/以微米为单位的光缆截止)	6.92	7.10	7.11	7.27	7.21	7.63	7.77	7.66
10mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.12	0.17	0.07	0.09	1.65	3.23	5.42	4.47
20 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.032	0.044	0.017	0.023	0.31	0.67	1.11	0.92
30 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.008	0.010	0.009
拉姆达 0 (nm)	1308	1313	1301	1313	1313	1317	1318	1314
LLWM (在 1550 nm 处, dB/m)	0.309	0.338	0.122	0.148	0.231	0.211	0.224	0.193
引脚阵列 (在 1550 nm 处, dB)	10.14	9.75	16.77	16.39	4.38	8.34	9.16	9.2

[0094] 表3

[0095]

参数	示例 17	示例 18	示例 19	示例 20	示例 21	示例 22	示例 23	示例 24	示例 25
R1 (微米)	5.4	5.6	5.6	5.6	5.2	5.68	5.68	6.16	6.56
$\Delta 1_{\text{最大}}$ (%)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	0.44

[0096]

芯阿尔法	2	2	2	2	3	2	2	1.5	1
R2 (微米)	5.4	7.0	7.0	7.0	6.5	8.52	8.52	6.16	6.6
$\Delta 2$ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1/R2	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.67	0.67	1.00	1.00
R3a (微米)	16.8	17.4	17.4	17.4	17.4	14.20	14.20	15.46	16.47
$\Delta 3_{\text{最小}}$ (%)	-0.45	-0.20	-0.10	-0.10	-0.10	-0.20	-0.10	-0.20	-0.20
沟槽阿尔法 (α_t)	0.5	2	2	5	2	1	1	1	1
R3 (微米)	16.8	17.4	17.4	17.4	17.4	15.62	18.46	15.46	16.47
$\Delta 3a$ (%)	-0.45	-0.20	-0.10	-0.10	-0.10	-0.20	-0.10	-0.20	-0.20
$(R3a-R2)/(R3-R2)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.57	1.00	1.00
沟槽体积, V_{3a3} (% Δ 微米 ²)	46	37.3	18.6	22.3	16.1	22.2	20.8	22.9	26.0
沟槽体积比	0.40	0.73	0.73	0.88	0.62	0.65	0.78	0.57	0.57
R4 (微米)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$V4$ (% Δ 微米 ²)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
在 1310nm 处的 MFD (微米)	8.84	9.00	9.04	9.00	8.79	9.09	9.11	9.15	9.15
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10	10.17	10.29	10.2	9.92	10.36	10.36	10.33	10.43
LP11 截止(nm)	1162	1216	1231	1218	1264	1268	1260	1245	1239
在 1310nm 处的色 散 (ps/nm/km)	-0.35	-0.23	-0.59	-0.31	-0.04	-0.50	-0.67	-0.15	-1.02
在 1310nm 处的斜 率 (ps/nm ² /km)	0.067	0.025	0.076	0.065	0.067	0.072	0.076	0.042	0.073
在 1550nm 处的色 散 (ps/nm/km)	17.6	17.8	17.1	17.5	17.8	17.5	17.0	18.0	17.4
在 1550nm 处的斜 率 (ps/nm ² /km)	0.063	0.063	0.062	0.062	0.061	0.063	0.062	0.063	0.065
光缆截止(nm)	1218	1238	1186	1196	1214	1231	1227	1244	1246
MACCab (以微米 为单位的在	7.26	7.27	7.62	7.52	7.24	7.38	7.42	7.35	7.34

[0097]

1310nm 处的 MFD/ 以微米为单位的光 缆截止)									
10mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.47	0.66	2.63	2.00	1.73	1.78	1.97	1.59	1.31
20 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.011	0.015	0.056	0.043	0.033	0.037	0.041	0.033	0.028
30 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.0045	0.004	0.008	0.007	0.004	0.006	0.006	0.005	0.005
拉姆达 0 (nm)	1315	1319	1318	1315	1311	1317	1319	1314	1324
LLWM (在 1550 nm 处, dB/m)	0.153	0.185	0.209	0.189	0.148	0.208	0.223	0.203	0.231
引脚阵列(在 1550 nm 处, dB)	9.81	7.36	9.08	8.78	4.32	6.58	7.75	7.88	8.74

[0098] 表4

参数	比较示例
R1 (微米)	4.5
$\Delta 1_{\text{最大}}$ (%)	0.34
芯阿尔法	20.0
R2 (微米)	4.5
$\Delta 2$ (%)	0.0
R1/R2	1.00
R3a (微米)	不适用
$\Delta 3_{\text{最小}}$ (%)	不适用
沟槽阿尔法 (α_t)	不适用
R3 (微米)	不适用
$\Delta 3a$ (%)	不适用
$(R3a-R2)/(R3-R2)$	0.00
沟槽体积, V_{3a3} (% Δ 微米 ²)	0.00
沟槽体积比	不适用
R4 (微米)	62.5

[0099]

[0100]

Δ_4 (%)	0.00
在 1310nm 处的 MFD (微米)	9.18
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10.40
LP11 截止(nm)	1327
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	0.17
在 1310nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.086
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.0
在 1550nm 处的斜率 (ps/nm ² /km)	0.058
光缆截止(nm)	1177
MACCab (以微米为单位的在 1310nm 处的 MFD/以微米为单 位的光缆截止)	7.8
10mm 直径弯曲 (dB/匝)	8.66
20 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.49
30 mm 直径弯曲 (dB/匝)	0.012
拉姆达 0 (nm)	1308
LLWM (在 1550 nm 处, dB/m)	0.549
引脚阵列 (在 1550 nm 处, dB)	9.16

[0101] 表1-4的示例性光纤1-25在1310nm处具有约-1.05ps/nm/km to about 1ps/nm/km的色散、在1020nm和1300nm之间的LP11截止波长、和在1550nm波长处的围绕10mm直径心轴的小于5.5dB/匝的弯曲损耗。示例性实施例光纤1-25具有分布设计,该分布设计具有渐变折射率中芯区1,具有外半径 r_1 、具有相对折射率 Δ_1 、最大相对折射率 $\Delta_{1最大}$ 、且具有阿尔法分布, $\alpha_{芯}$,具有 $0.5 \leq \alpha_{芯} \leq 4$;和内包层区3(即,沟槽),围绕着渐变折射率中芯区且包括随着半径增加变得更负的相对折射率德尔塔 Δ_3 。内包层区3具有内半径 r_2 、外半径 $r_3 > 10$ 微米,和最小相对折射率 $\Delta_{3最小}$,以使得 $\Delta_{1最大} > \Delta_{3最小}$ 、 $r_3 > r_{3a}$ 且 $0.5 \leq (r_{3a} - r_2) / (r_3 - r_2) \leq 1$,其中 r_{3a} 是从光纤中心线开始 Δ_3 首次达到值 $\Delta_{3最小}$ 的距离。内包层区3具有阿尔法分布, α_t ,以使得 $0.5 \leq \alpha_t \leq 5$ 。外包层区围绕内包层区且具有相对折射率 Δ_4 ,其中 $\Delta_{3最小} < \Delta_4$ 。在这些实施例中, $(\Delta_4 - \Delta_{3最小})$ 之间的绝对差异为 $0.08\% \leq |\Delta_4 - \Delta_{3最小}| \leq 0.7\%$,且 $\Delta_{3最小}$ 和 Δ_2 之间的绝对差异大于 0.03% 。第二内包层区的绝对值为 $5\% \Delta_{微米^2} \leq V_{3a3} \leq 105\% \Delta_{微米^2}$,且沟槽体积比

为 $0.3 \leq V_{3a3b} \leq 0.8$ 。表1-4的上述光纤1-25表现出小于或等于1400nm的22m光缆截止,且在很多实施例中小于或等于1260nm,在1310nm处在8.2和9.6微米之间的模场直径(MFD),且具有零色散波长 λ_0 且 $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{nm}$ 。

[0102] 更特定地,优选地,此处描述的示例性光纤实施例10表现出在1550nm处的弯曲损耗,当缠绕在15mm直径心轴上时小于0.5dB/匝,且在某些实施例中小于0.25dB/匝。这些光纤还表现出在1550nm处的弯曲损耗,当缠绕在10mm直径心轴上时小于1dB/匝,且更优选地小于0.5dB/匝,且某些光纤最优选地小于0.2dB/匝。光纤表现出在1550nm处的弯曲损耗,当缠绕在15mm直径心轴上时小于0.25dB/匝,且某些光纤更优选地小于0.15dB/匝。光纤表现出在1550nm处的弯曲损耗,当缠绕在20mm直径心轴上时小于0.1dB/匝,且某些光纤更优选地小于0.03dB/匝。上述光纤中的一些当缠绕在20mm半径心轴上时小于0.75dB/匝的弯曲损耗且表现出6.4到8.5之间的MACCab数。(注意,MACCab数=以微米为单位的在1310nm处的MFD/以微米为单位的光缆截止。)光纤还表现出在1550nm处的弯曲损耗,当缠绕在30mm直径心轴上时小于0.01dB/匝,且某些光纤更优选地小于0.003dB/匝。这些示例中的一些在外包层区中采用氟,按重量,量大于2000ppm,且在某些情况下大于3000或甚至大于4000ppm。在某些实施例中,外包层区包括按重量,量大于2000且小于12000ppm的氟。

[0103] 1550nm处的衰减(光谱)优选地小于0.21dB/km,更优选地小于0.20dB/km,甚至更优选地小于0.197dB/km。在某些优选实施例中,1550nm处的衰减(光谱)小于或等于0.191dB/km,甚至更优选小于或等于0.189dB/km,甚至更优选小于或等于0.182dB/km。

[0104] 因此,此处描述的光纤10的实施例提供了卓越的弯曲性能,且附加地提供在大于约1260nm的波长处适于单模操作的截止波长。

[0105] 在某些实施方式中,芯区1可包括具有所谓的中心线下降的相对折射率分布,该中心线下降会因为一种或多种光纤制造技术而出现。然而,在此处公开的任何相对折射率分布中的中心线下降是任选的。

[0106] 此处所公开的光纤10包括芯和包围芯的包层(或包层或最外环形包层区)。优选地,芯包括锗掺杂的氧化硅,即氧化锗掺杂的氧化硅。可在本文所公开的光纤的芯内,具体在其中心线处或其附近单独或组合地采用除锗之外的掺杂剂,以获得期望的相对折射率和密度。

[0107] 优选地,此处公开的光纤具有基于氧化硅的芯区1和包层。在优选实施例中,该包层具有约125微米的外半径(2倍 r_4)。

[0108] 特别是用OVD工艺制造时,此处公开的光纤表现出较低的PMD值。光纤的自旋也可降低此处公开的光纤的PMD值。

[0109] 应当理解的是,上述描述仅仅是示例,而且旨在提供用于理解由所附权利要求限定的光纤的本质和特征的概览。所包括的附图用于提供对优选实施例的进一步理解,且被结合到本说明书中并构成其一部分。附图示出了多个特征和实施例,并与详细说明一起用来解释其原理和操作。对本领域的技术人员显而易见的是,可在不背离随附权利要求的精神或范围的情况下对本文描述的优选实施例作出各种变型。

10

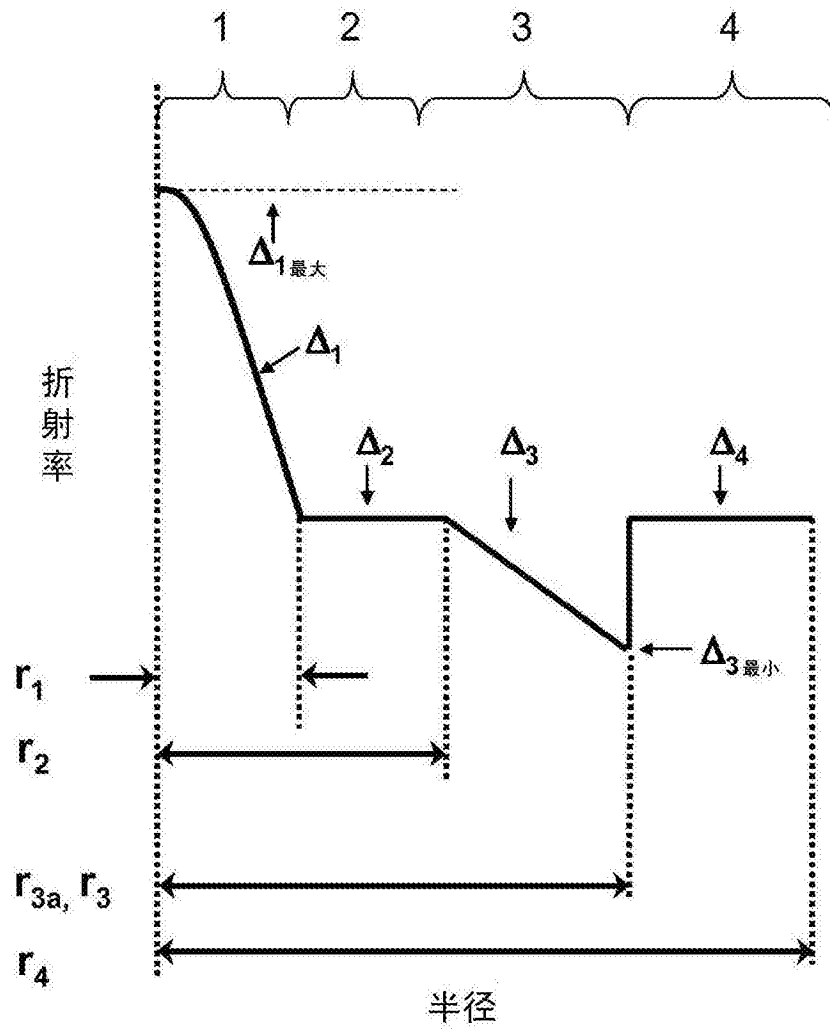


图1

10

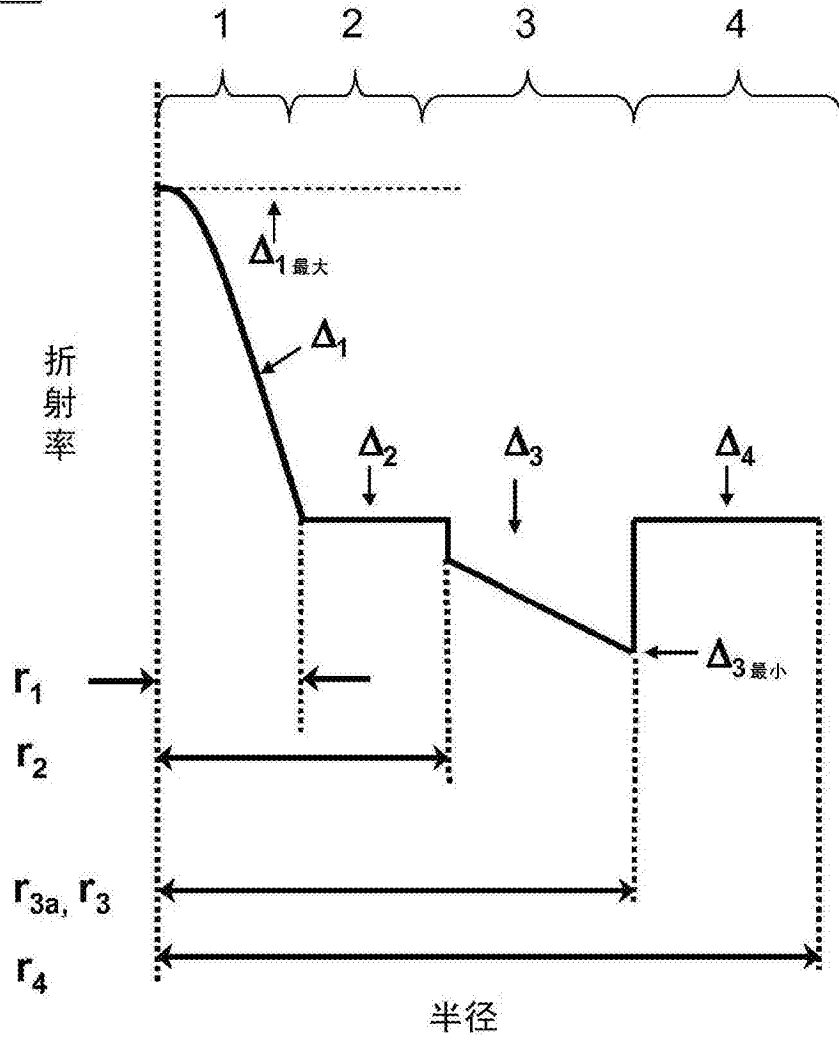


图2

10

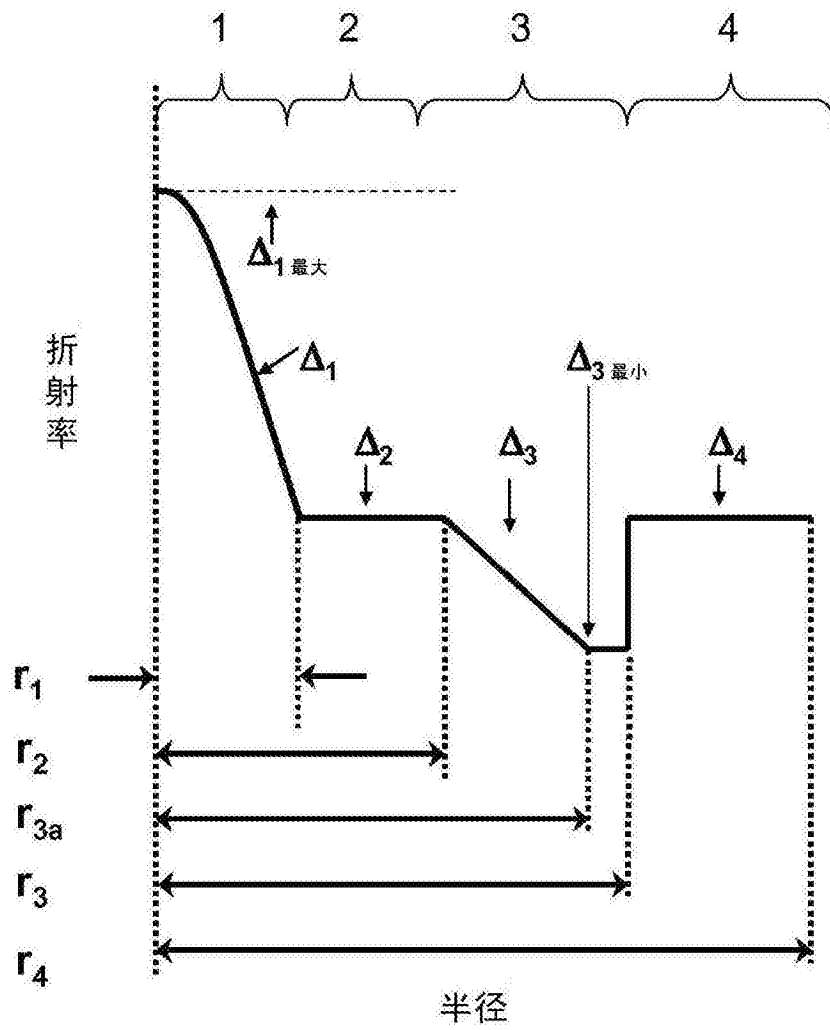


图3

10

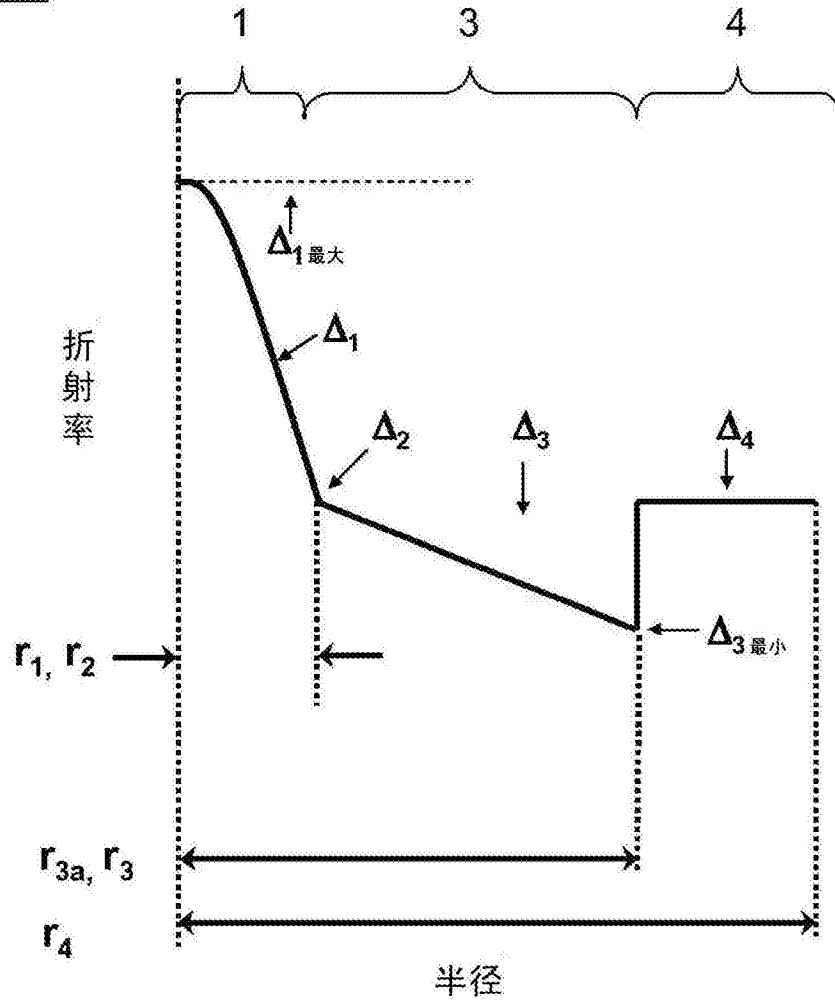


图4

10

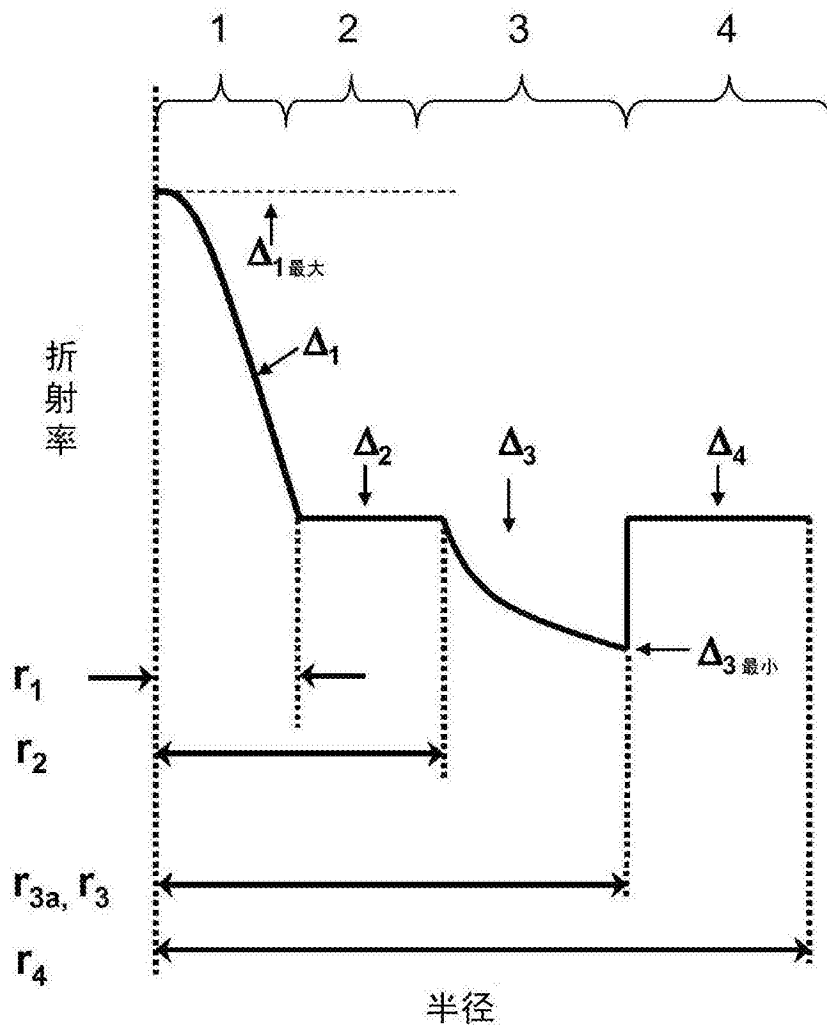


图5

10

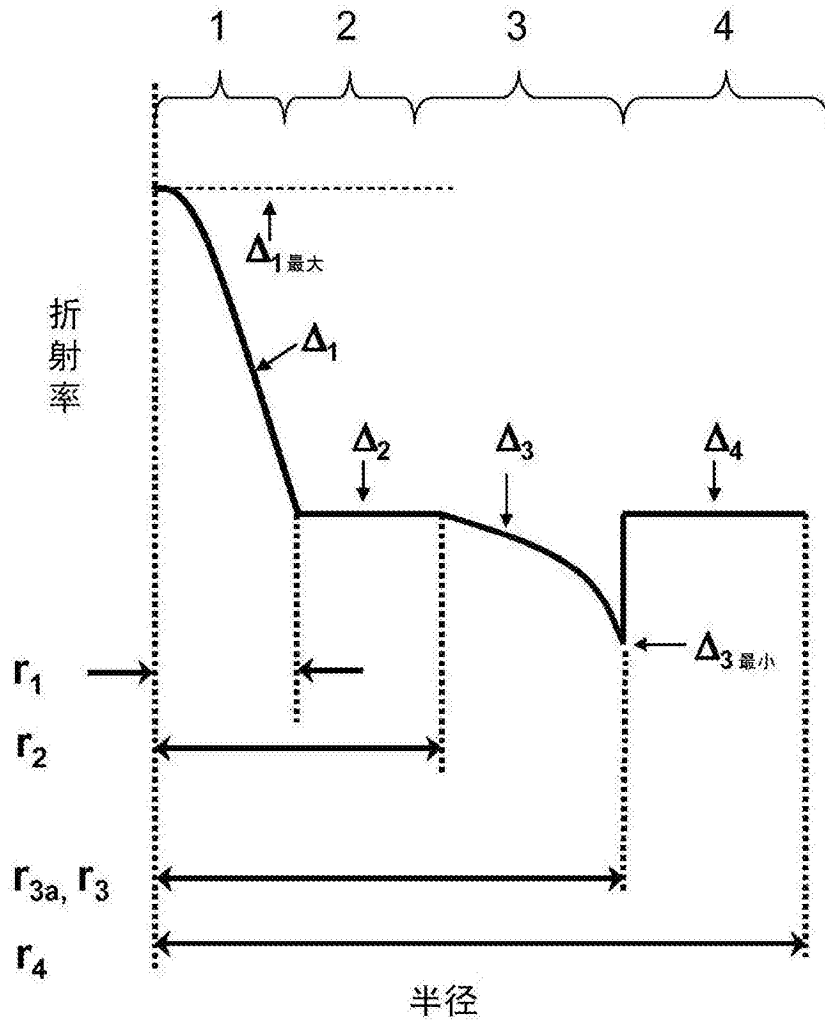


图6