



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103827709 B

(45)授权公告日 2018.11.13

(21)申请号 201280040234.8

(22)申请日 2012.08.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103827709 A

(43)申请公布日 2014.05.28

(30)优先权数据

61/525,408 2011.08.19 US

61/601,713 2012.02.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.02.18

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/051332 2012.08.17

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/028513 EN 2013.02.28

(73)专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 S·R·别克汉姆 D·C·布克班德

J·库恩 M-J·李 S·K·米斯拉

P·坦登 J·A·韦斯特

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 张欣

(51)Int.Cl.

G02B 6/036(2006.01)

G02B 6/028(2006.01)

审查员 孙丽莹

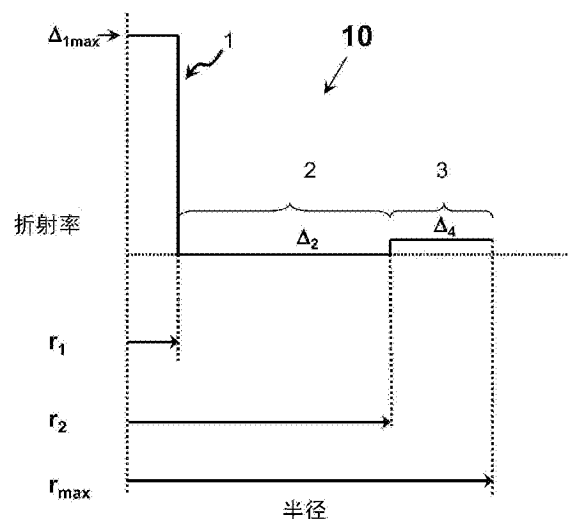
权利要求书2页 说明书20页 附图4页

(54)发明名称

低弯曲损耗光纤

(57)摘要

一种光纤,同时具有低宏弯损耗以及低微弯损耗。该光纤具有第一内包覆区以及围绕该内包覆区的第二外包覆区,其中第一内包覆区具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 ,且第二外包覆区具有折射率 Δ_4 ,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$ 。 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.002%。该光纤展示出小于或等于1260nm的22m光缆截止,并且 r_1/r_2 大于或等于0.25。



1. 一种光纤,包括:

中心芯区,具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 ;

包覆区,包括具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 的第一内包覆区以及围绕所述内包覆区并包含折射率 Δ_4 的第二外包覆区,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,并且其中 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.002%, Δ_4 大于0.0%,且所述光纤展示出在1310nm处的MAC数 > 7.5 ,其中,所述光纤在1550nm处展示出小于0.75dB/匝的20mm弯曲损耗。

2. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于, Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.005%。

3. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于, Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.01%。

4. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,所述光纤展示出22m光缆截止小于或等于1260nm。

5. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,所述光纤的芯所展示出阿尔法小于10。

6. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,所述第一内包覆区实质上不含氟和氧化锆。

7. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,对于从 r_2 延伸到至少30微米半径的长度, $\Delta_4 > \Delta_2$ 。

8. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,在所述第一内包覆区的外半径与30微米的径向距离之间计算出的所述外包覆区的分布体积 V_3 等于

$$V_3 = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-2)}(r) r dr$$

且 $|V_3|$ 至少为2.5% Δ 微米²。

9. 如权利要求1所述的光纤,其特征在于,所述光纤展示出在1550nm处的衰减小于或等于0.186dB/km。

10. 一种光纤,包括:

中心芯区,具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 且阿尔法大于1且小于10;以及

包覆区,包括具有外半径 r_2 大于9微米且小于14微米以及折射率 Δ_2 的第一内包覆区以及围绕所述内包覆区并包含折射率 Δ_4 的第二外包覆区,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,并且其中 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.002%,其中,所述光纤在1550nm处展示出小于0.75dB/匝的20mm弯曲损耗,并且所述光纤展示出在1310nm处的MAC数 > 7.5 。

11. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,所述光纤展示出在1550nm处的衰减小于或等于0.186dB/km。

12. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于, r_1/r_2 小于0.25。

13. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,所述光纤的芯展示出阿尔法大于或等于1.0且小于或等于10。

14. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,所述外包覆区所包含的氯比所述第一内包覆区要高出多于200ppm。

15. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,所述外包覆区所包含的氯比所述第一内包覆区要高出多于1200ppm。

16. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,所述第一内包覆区实质上不含氟和氧化锆。

17. 如权利要求10所述的光纤,其特征在于,在所述第一内包覆区的外半径与30微米的径向距离之间计算出的所述外包覆区的分布体积 V_3 等于

$$V_3 = 2 \int_{r2}^{r30} \Delta_{(4-2)}(r) r dr$$

且 $|V_3|$ 至少为 $2.5\% \Delta$ 微米²。

低弯曲损耗光纤

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据美国35U.S.C. §119要求2011年8月19日提交、临时申请序列号No. 61/525408,以及于2012年2月22日提交的61/601713的优先权的权益,本申请的整体依赖这些申请的内容且这些申请的内容通过引用全部结合至此。

技术领域

[0003] 本发明涉及具有低弯曲损耗的光纤。

技术背景

[0004] 存在对于低弯曲损耗光纤的需求,特别是对于应用在所谓“接入(access)”以及光纤到户(FTTx)光纤网络的光纤的需求。可在此类网络中部署光纤以使在通过光纤传输的光信号中引起弯曲损耗。可强加诸如紧密弯曲半径,光纤的压缩之类的物理要求的引起弯曲损耗的某些应用,包括光引入光缆组件中部署光纤、具有工厂安装终端系统(FITS)以及松弛回路的配电光缆、位于机柜内的连接馈线与配电光缆的小弯曲半径多端口、以及在配电与引入光缆之间的网络接入点的跳线。在一些光纤设计中很难同时实现低弯曲损耗以及低光缆截止波长。

发明内容

[0005] 此处公开的光波导光纤包括中心芯区以及包覆区,中心芯区具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 ,包覆区包括具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 的第一内包覆区以及具有折射率 Δ_4 的第二外包覆区,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,并且 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.002%,且该光纤展示出MAC数 > 7.5 。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,并且在一些实施例中 r_1/r_2 大于或等于0.25,更优选大于0.3,甚至更优选大于0.4。在一些实施例中, Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.005,而在一些实施例中大于0.01%。在一些实施例中, Δ_4 与 Δ_2 之间的差异在0.03和0.06之间,且在一些实施例中 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异在0.07和0.1%之间。在此处公开的光纤中, Δ_4 优选大于0.0,更优选大于0.01,且更优选大于0.02。

[0006] 此处还公开了包括中心芯区以及包覆区的光纤,中心芯区具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 ,包覆区包括具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 的第一内包覆区以及围绕该内包覆区并包括折射率 Δ_4 的第二外包覆区,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,并且 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于0.01%,并且该光纤的中心芯区基本展现出具有 α 值小于10的 α 分布,优选小于6,更优选小于4,且更优选在1至4之间。

[0007] 此处还公开了包括中心芯区以及包覆区的光纤,中心芯区具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 ,包覆区包括具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 的第一内包覆区以及围绕该内包覆区并具有折射率 Δ_4 的第二外包覆区,其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,并且其中芯区包含至少基本遵循超高斯分布的折射率分布,即至少基本遵循方程 $\Delta(r) = \Delta_{1\max} \cdot \text{EXP}(-((r/a)^\gamma))$ 的分布,其中 r 是从光纤中心开始的径向距离, a 是径向尺度参数 $\Delta = (\Delta_{1\max}/e)$, e 是自然对数的

底数($\sim 2.71828\cdots$),且 γ (gamma)是一个正数。优选地,a大于4.0,更优选大于4.6,而最优选大于4.7。

[0008] 此处还公开了包括中心芯区以及包覆区的光纤,中心芯区具有外半径 r_1 以及折射率 Δ_1 ,包覆区包括具有外半径 $r_2 > 8$ 微米以及折射率 Δ_2 (其中 $\Delta_1 > \Delta_2$)的第一内包覆区,且其中芯区包含至少基本遵循超高斯分布的折射率分布,即至少基本遵循方程 $\Delta(r) = \Delta_{1\max} \cdot \text{EXP}(-((r/a)^\gamma))$ 的分布,其中 r 是从光纤中心开始的径向距离,a是径向尺度参数 $\Delta = (\Delta_{1\max}/e)$ 且 $a > 4.5$, e 是自然对数的底数($\sim 2.71828\cdots$),而 γ (gamma)是一个正数。

[0009] 此处公开的光纤设计导致光纤具有以下光学特性:符合G.652,在1310nm处在8.2至9.5微米之间的MFD,一般在1310nm处在9.0至9.4之间,零色散波长 λ_0 , $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{nm}$,小于或等于1260nm的光缆截止,以及在1550nm处 $\leq 0.189\text{dB/Km}$ 的衰减,更优选在1550nm处 $\leq 0.185\text{dB/Km}$,甚至更优选 $\leq 0.183\text{dB/Km}$ 。还公开了超高斯芯分布。该包覆区可包括围绕该芯的下陷折射率。具有该下陷包覆区的光纤具有减少的微弯损耗。该下陷折射率包覆区可具有相对于外包覆层在-0.002和-0.15% Δ 之间的包覆层折射率,且该下陷折射率包覆区的绝对体积在大约0.3至80% Δ 微米²之间。该下陷折射率包覆区可通过对沟区进行向下掺杂(例如通过氟掺杂或通过掺杂非周期空穴)或通过向上掺杂外包形成。在其他实施例中,该光纤可既包括下陷折射率包覆区,又包括相对于二氧化硅向上掺杂的外包覆区,即包括具有足够量的诸如氧化锆或氯之类的折射率增加的掺杂物来明显提高二氧化硅的折射率的包覆区。

[0010] 包括超高斯分布的光纤导致与阶跃折射率芯分布的掺杂氧化锆的单模(在1550nm处)产品相比,减小0.001至0.005dB/km的较低衰减。较低的衰减将能使这些光纤在网络中减少信噪比。超高斯分布还导致较低的宏弯损耗和微弯损耗。具有下陷型包覆区的附加实施例对于色散特性具有更多控制的新的光纤涉及。

[0011] 优选地,此处公开的光纤能够在1550nm处展示出丝网覆盖的鼓微弯损耗(即,从未弯状态开始增加的衰减)小于或等于0.07dB/km,更优选小于或等于0.05dB/km。此外,此处公开的光纤优选地在1550nm处展示出不大于0.75dB/匝的20mm直径弯曲损耗,在1625nm处展示出不大于1.5dB/匝的20mm直径弯曲损耗。同时,这些光纤能够在1550nm处提供小于或等于0.19dB/km的衰减,更优选小于0.186dB/km,且最优选小于0.184dB/km,以及在1310nm处小于或等于0.34dB/km的衰减,更优选小于0.32dB/km。优选地,在1550nm处的30mm直径弯曲损耗不大于0.025dB/匝。在一些优选实施例中,在1550nm处的20mm直径弯曲损耗不大于0.4dB/匝。在其他优选实施例中,在1550nm处的20mm直径弯曲损耗不大于0.3dB/匝。在一些优选实施例中,在1550nm处的30mm直径弯曲损耗不大于0.02dB/匝。使用施加至该光纤的一次和二次涂层可达到这样的弯曲损耗以及衰减性能数值,其中一次涂层的杨氏模量小于5,更优选小与1MPa,且二次涂层的杨氏模量大于500MPa,更优选大于900MPa,甚至更优选大于1100MPa。

[0012] 在一些实施例中,折射率分布还提供小于1325nm的零色散波长。在优选实施例中,折射率分布还提供1300nm与1325nm之间的零色散波长。

[0013] 优选地,折射率分布还提供小于或等于1260nm的光缆截止,更优选在1000nm与1260nm之间。

[0014] 在一些优选实施例中,折射率分布还提供在1310nm处在8.2微米与9.5微米之间的

模场直径。在其他优选实施例中,折射率分布还提供在1310nm处在8.2微米与9.0微米之间的模场直径。

[0015] 如此处使用的,MAC数是指在1310处的模场直径(nm)除以22m光缆截止波长(nm)。在一些优选实施例中,折射率分布还提供大于7.5的MAC数。在一些优选实施例中,折射率分布还提供大于7.6或大于7.77,或至少为8的MAC数。

[0016] 优选地,在经受0.01atm分压氢达至少144小时后,该光纤具有在1383nm处小于0.03dB/km的最大氢致衰减变化。优选地,该光纤在1383nm处具有的光衰减比1310nm处的光衰减不大于0.10dB/km,甚至更优选在1383nm处的光衰减小于在1310nm处的光衰减。

[0017] 现在将对本发明的优选实施例进行详细参考,这些实施例的示例将在相应附图中示出。

附图说明

[0018] 图1示出了对应于如此处公开的光波导光纤的实施例的折射率分布。

[0019] 图2示出了根据可选实施例包括超高斯芯分布的折射率分布。

[0020] 图3示出了根据如此处公开的光波导光纤的一个可选实施例包括由升高外包覆区围绕的超高斯芯分布的折射率分布升高包覆区。

[0021] 图4示出了根据如此处公开的光波导光纤的一个可选实施例的折射率分布,包括由下陷型包覆区以及升高外包覆区围绕的超高斯芯分布。

[0022] 参考实施例的具体实施方式

[0023] 在下面的详细描述中会陈述附加特征及优势,通过这些描述,这些附加特性及优势对于该领域内的技术人员是显而易见的,或者他们在根据下面结合权利要求及附图的描述进行实践后会认识到这些附加特征及优势。

[0024] “折射率分布”是折射率或相对折射率以及波导光纤半径之间的关系。折射率分布的每一段的半径由缩写 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 等给出,并且此处所使用的大小写字母可互换(例如, r_1 等效于 R_1)。

[0025] “相对折射率百分比”被定义为 $\Delta\% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$,而且如此处使用, n_c 是未掺杂的二氧化硅的平均折射率。除非另有指定,如此处使用的,相对折射率由 Δ 表示且其值以单位“%”给出。术语:德尔塔、 Δ 、 $\Delta\%$ 、 $\% \Delta$ 、 δ 、 $\delta\%$ 、 $\% \delta$ 以及德尔塔百分比此处可交换使用。在其中一个区域的折射率小于未掺杂二氧化硅的平均折射率的情况下,相对折射率百分比为负并且是指具有下陷型区域或下陷折射率。在其中一个区域的折射率大于包覆区的平均折射率的情况下,相对折射率百分比为正。“上掺杂物”此处被认为是具有相对于纯的未掺杂 SiO_2 而言提高折射率倾向的掺杂物。“下掺杂物”此处被认为是具有相对于纯的未掺杂 SiO_2 而言降低折射率倾向的掺杂物。上掺杂物的示例包括 GeO_2 (氧化锗)、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 TiO_2 、Cl、Br。下掺杂物的示例包括氟和硼。

[0026] 光导光纤的“色彩色散”(除非另有说明,此处被称为“色散”)是材料色散、波导色散、以及模间色散的总和。在单模光波导光纤的情况下,模间色散为0。零色散波长是在该波长下,色散的值为0。色散斜率是相对于波长的色散变化率。

[0027] “有效面积”被定义为:

[0028] $A_{\text{eff}} = 2\pi (\int f^2 r \, dr)^2 / (\int f^4 r \, dr)$,

[0029] 其中,积分极限为0到 ∞ ,且 f 是与在波导中传播的光相关的电场横向分量。如此处使用的,除非另有说明,“有效面积”或“ A_{eff} ”指的是1550nm波长处的光学有效面积。

[0030] 术语“ α 分布”指的是相对折射率分布,用 $\Delta(r)$ 表示,其单位为“%”, r 是半径,遵循以下方程:

$$[0031] \quad \Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha),$$

[0032] 其中 r_0 是 $\Delta(r)$ 为最大的点, r_1 是 $\Delta(r)$ %为0的点,且 r 的范围为 $r_i < r < r_f$,其中 Δ 已在上文中定义, r_i 是 α 分布的始点, r_f 是 α 分布的终点,且 α 是一个实数指数。

[0033] 利用彼得曼II(Peterman II)方法测量模场直径(MFD),在该方法中 $2w = \text{MFD}$,并且 $w^2 = (2ff^2r \, dr / \int [df/dr]^2 r \, dr)$,积分极限为0到 ∞ 。

[0034] 可通过在规定测试条件下引入的衰减,来测量波导光纤的抗弯性,例如围绕指定直径的心轴来部署或包裹光纤,例如围绕6mm、10mm或20mm或类似直径(例如“1x10mm直径宏弯损耗”或“1x20mm直径宏弯损耗”)的心轴来包裹一匝,并测量每匝的衰减增加。

[0035] 一种类型的弯曲测试是横向负荷微弯测试。在这种所谓的“横向负荷”测试(LLWM)中,将规定长度的波导光纤放置在两块平板之间。#70丝网附连至其中一块平板上。已知长度的波导光纤被夹在平板之间,并且当平板被30牛的力压在一起时测得参考衰减。然后向平板施加70牛的力并测量衰减的增加(dB/m)。衰减的增加是指定波长(一般在1200nm至1700nm之间,例如1310nm或1550nm或1625nm)处波导的横向负荷衰减(dB/m)。

[0036] 另一种类型的测试是丝网覆盖的鼓微弯测试(WMCD)。在这种测试中,用丝网包裹40mm直径的铝鼓。网被没有拉伸地紧紧包裹,并且没有小孔、浸湿(dip),或损伤。丝网材料规格:McMaster-Carr供应公司(克利夫兰、俄亥俄州),部件型号:85385T106,耐腐蚀型304不锈钢织的丝布,每线性英寸网眼:165x165,丝径:0.0019”,宽度开口:0.0041”,开放面积%:44.0。当施加80(+/-1)克张力时,规定长度(750米)的波导光纤以0.050厘米占据间距(take-up pitch)以1m/s缠绕在丝网鼓上。规定长度光纤的两端被带子捆起来以保持张力并且没有光纤交叉。在指定的波长(一般在1200nm至1700nm范围内,例如1310nm或1550nm或1625nm)处测量该光纤的衰减;在缠绕在光滑鼓上的光纤上测量参考衰减。衰减的增加是指定波长(一般在1200nm至1700nm范围内,例如1310nm或1550nm或1625nm)处波导的丝网覆盖的鼓衰减(dB/m)。

[0037] “引脚阵列”弯曲测试被用于比较波导光纤对于弯曲的相对耐受力。为了执行该测试,对基本没有被引起弯曲损耗的波导光纤测量衰减损耗。然后,绕引脚阵列编织该波导光纤并再次测量其衰减。由弯曲引起的损耗是两个所测量的衰减的差异。该引脚阵列是引脚在平坦表面上以单行排列并保持在固定的垂直位置的一组十个圆柱引脚。引脚中心到中心间距为5mm。引脚直径为0.67mm。在测试期间,施加足够的张力使波导光纤符合引脚表面的一部分。衰减的增加是指定波长(一般在1200nm至1700nm之间的范围,例如1310nm或1550nm或1625nm)处波导的引脚阵列衰减(dB)。

[0038] 对于给定模式,理论光纤截止波长,或“理论光纤截止”,或“理论截止”,是在该波长上,所引导的光不能在该模式中传播。可在《单模光纤光学》(Single Mode Fiber Optics, Jeunhomme, pp.39-44, Marcel Dekker, New York, 1990)中找到其数学定义,其中理论光纤截止被描述为在此处波长下,该模式传播常数变得等于外包覆区内的平面波传播常数。该理论波长适用于无限长、笔直且没有直径变化的光纤。

[0039] 光纤截止采用标准2m光纤截止测试FOTP-80 (EIA-TIA-455-80) 进行测量以获得“光纤截止波长”,也被称为“2m光纤截止”或“测量截止”。执行FOTP-80标准测试使用受控弯曲量去除高阶模,或将光纤的光谱响应归一化为多模光纤的光谱响应。

[0040] 光缆截止波长,或此处使用的“光缆截止”,我们是指22m光缆截止测试,它在EIA-445光纤测试程序中有所描述,EIA-445是EIA-TIA光纤标准,即电子工业协会-通信工业协会光纤标准,的一部分。

[0041] 除非另有说明,对LP01模报告光学特性(诸如色散、色散斜率等)。

[0042] 此处公开的光纤能够展示出在1550nm处的有效面积大于约55微米²,优选在55微米²至95微米²之间,甚至更优选在大约65微米²至85微米²之间。在一些优选实施例中,在1550nm处的光学模式有效面积在75微米²至90微米²之间。

[0043] 图1示出了一个示例性光纤10,包括含最大折射率德尔塔百分比 Δ_1 的中心玻璃芯区1。第一下陷型内包覆区2围绕中心芯区1,第一内包覆区2包含折射率德尔塔百分比 Δ_2 。外包覆区3围绕第一内包覆区2并含 Δ_4 。在优选实施例中, $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$ 。在图1所示出的实施例中,区1、2、3彼此紧邻。然而,这并非必要,且可选地,可采用附加芯或包覆区。例如,可采用外包覆区(未示出),该外包覆区围绕环形区3并含比环形区3更低的折射率德尔塔百分比 Δ_4 。

[0044] 中心芯区1包含外半径 r_1 , r_1 被定义为通过中心芯区1的折射率最大斜率画出的切线与零德尔塔线相交处。芯区1优选展示出折射率德尔塔百分比 Δ_1 在大约0.3至0.7之间,在一些实施例中在大约0.3至0.5之间,更优选在大约0.32至0.48之间。在一些实施例中, Δ_1 优选在0.36至0.46之间。在一些实施例中, Δ_1 优选小于0.4。芯半径 r_1 优选在3至10微米之间,更优选在大约4.0至7.0之间。中心芯区1可包含单段,阶跃折射率分布。在一些实施例中,中心芯区1展示出的阿尔法大于0.5小于10,在一些实施例中小于7.5,小于6,或小于4。然而,在其他实施例中,中心芯区1可含阿尔法在10至100之间,在一些情况下阿尔法可在15至40之间。在一些优选实施例中,中心芯区1展示出的阿尔法大于0.5并小于10,在一些实施例中小于7.5,小于5,或小于3,且芯区1具有的折射率德尔塔百分比 Δ_1 在0.38至0.48之间。在一些优选实施例中,中心芯区1基本上展示出阿尔法分布的阿尔法大于0.5小于10,而在一些实施例中小于7.5,小于5,小于3,或大于1小于3,且芯区1具有的折射率德尔塔百分比 Δ_1 在0.38至0.70之间,且芯半径在大约4至7微米之间。在一些优选实施例中,中心芯区1基本上展示出的阿尔法分布的阿尔法大于或等于1.5并且小于或等于3.5,且芯区1的折射率德尔塔百分比 Δ_1 在0.38至0.70之间,且芯半径在大约4至7微米之间。

[0045] 在图1示出的实施例中,内包覆区2围绕中心芯区1且包含内半径 r_1 以及外半径 r_2 , r_1 如上述定义, r_2 被定义为折射率分布曲线与零德尔塔线相交处。在一些情况下区域2中的折射率本质上是平的,在一些实施例中,区域2的折射率会随半径增加而增加。又一些情况下,由于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,第一内包覆区包含的氟小于0.02wt%。在一些实施例中,内包覆区2包含基本上未掺杂氟或氧化锆的二氧化硅,即这样的区域基本上不含氟及氧化锆。内包覆区2包含的折射率德尔塔百分比 Δ_2 如下计算:

$$[0046] \quad \Delta_2 = \int_{r_1}^{r_2} \Delta(r) dr / (r_2 - r_1)$$

[0047] 内包覆区2优选展示出宽度在3至13微米之间,更优选在4至12微米之间,甚至更优选在大约7至9微米之间。在一些实施例中, R_2 可大于8,大于9微米,或大于10微米且小于16微米,小于14微米或小于12微米。在其他实施例中, R_2 可大于20微米或甚至大于23微米。在一些实施例中,芯半径 r_1 与内包覆区2半径 r_2 的比优选大于0.25,更优选在大约0.3至0.55之间。在一些实施例中,半径 r_1 与半径 r_2 的比大于0.25。在一些实施例中, r_1/r_2 大于或等于0.25,更优选大于0.3,甚至更优选大于0.4。在一些其他实施例中, r_1/r_2 小于0.25且大于0.15,更优选大于0.20。

[0048] 外包覆区3围绕下陷型环形区3包覆区且包含折射率德尔塔百分比 Δ_4 , Δ_4 大于内包覆区2的折射率 Δ_2 ,藉此形成相对于内包覆区2而言“上掺杂”的作为外包覆区3的区域,例如,通过添加足量的掺杂物(诸如氧化锆或氯)以增加外包覆区的折射率。然而,注意,增加折射率的掺杂物必须被包含在区域3内以使区域3被上掺杂并非关键。实际上,包覆区可通过相对于外包覆区3来下掺杂内包覆区2包覆区,实现相同类型的外包覆区3的升高折射率效果。然而,在一些实施例中,在内包覆区2中没有氟或其他下掺杂物,且区域3包含上掺杂物,例如氯。外包覆区3包含高于内包覆区2的折射率,且优选包含折射率德尔塔百分比 Δ_4 大于0.002,优选至少0.005,例如至少0.01,且可大于0.02或0.03百分比德尔塔。优选,外包覆区3的较高折射率部分(与内包覆区2相比)至少扩展到其中将通过光纤传播的光功率大于或等于所传播的光功率的90%处的点,更优选是扩展到其中将通过光纤传播的光功率大于或等于所传播的光功率的95%处的点,且最优选是扩展到其中将通过光纤传播的光功率大于或等于所传播的光功率的98%处的点处。在许多实施例中,可通过将“上掺杂”的第三环形区扩展至少到大约30微米的径向点处实现此举。因此,第二及第三环形区域2和3的体积 V_2 和 V_3 此处分别被定义为,对于 V_2 的情况而言使用 r_1 和 r_2 之间的 $\Delta_{(4-2)}(r) r dr$ 进行计算,对于 V_3 的情况而言使用 r_2 和 r_{30} (30微米处的半径)之间的 $\Delta_{(4-2)}(r) r dr$ 进行计算,因此定义为:

$$[0049] \quad V_2 = 2 \int_{r_1}^{r_2} \Delta_{(4-2)}(r) r dr$$

[0050] 以及

$$[0051] \quad V_3 = 2 \int_{r_2}^{r_{30}} \Delta_{(4-2)}(r) r dr$$

[0052] 所有的体积都是绝对大小(即 $V_2=|V_2|$, $V_3=|V_3|$,等等)。内包覆区体积 V_2 相比外包覆区3体积,优选大于0.7,更优选大于2,也可能大于10% Δ 微米²,且在一些实施例中可大于20% Δ 微米²。内包覆区的体积 V_2 在一些实施例中大于2% Δ 微米²小于20% Δ 微米²。优选, $|V_3|$ 至少为2.5% Δ 微米²。

[0053] 外包覆区(在30微米内)的体积 V_3 与内包覆区2的体积相比,优选大于5,更优选大于7,且可大于10% Δ 微米²,且在一些实施例中可大于20% Δ 微米²。外包覆区(在30微米内)的体积 V_3 在一些实施例中小于80% Δ 微米²。

[0054] 在一些实施例中,外包覆区的折射率 Δ_4 大于0.002与内包覆区2的折射率相比,在一些实施例中大于0.005,在一些实施例中至少0.007,在一些实施例中至少0.01%且更优选

大于0.02%。在一些实施例中,按重量计算,当与内包覆区2的情况相比时,第三环形区域包含的氯(Cl)的量大于200ppm,例如大于400或700或1000ppm或更多,在一些实施例中优选大于1500ppm,且在一些实施例中,最优选大于2000ppm(0.2%)(例如:2200ppm、2500ppm、3000ppm、4000ppm、5000ppm、6000ppm、10000ppm、或在其之间)。此处描述的氯浓度单位为按重量每百万份(此处缩写为ppmwt,或ppm)。

[0055] 芯区1优选是全部具有正的折射率。芯1包含的最大相对折射率 Δ_{MAX} 出现在 $r=0$ and $r=3$ 微米之间。 Δ_{MAX} 优选大于0.32-0.70%。

[0056] 内包覆区2优选具有基本上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%,且在一些优选实施例中小于0.01%。因此,内包覆区20的相对折射率分布优选具有基本上平的形状。

[0057] 芯区1可以是阶跃折射率芯,并可包含阿尔法(α)形状。在优选实施例中, R_1 小于8.0微米,更优选在4.0微米及7.0微米之间。对于MAC值大于7.5的光纤,当缠绕在20mm半径心轴上时,光纤能够展示出小于0.5dB/匝的弯曲损耗。在一些实施例中,此处公开的光纤具有的MAC值大于7.6或7.7,或在一些实施例中大于或等于8,且零色散波长小于1450nm,更优选小于1330nm且大于1300nm。

[0058] 此处公开的光纤可使用传统制造技术且使用已知的光纤拉制方法及装置从光纤预制件拉出,例如美国专利号No.7565820、5410567、7832675、6027062所公开的,此处通过参考将它们的说明书结合至此。

[0059] 将通过下述示例对多种示例性实施例进行进一步阐明。对于本领域技术人员而言,在不背离本发明的精神或范围内作出各种修改和变形是显而易见的。

[0060] 下面的表1、2a、以及2b列出了模制的比较示例1和具有图1所示的折射率的说明性示例2至8的特性。特定地,每个示例列出中心芯区1的折射率德尔塔 Δ_1 、芯阿尔法、以及外半径 R_1 ,内包覆区2的折射率德尔塔 Δ_2 以及外半径 R_2 以及在 R_1 和 R_2 之间计算出的内包覆区2的分布体积 V_2 ,外包覆区3的折射率 Δ_4 以及在外包覆区3的内半径 R_2 和30微米径向距离之间(且在折射率 Δ_4 和 Δ_2 之间)计算出的外包覆区3的体积 V_3 。还列出了在1310nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的色彩色散以及色散斜率,1310nm及1550nm处的模场直径、在1550nm下的横向负荷丝网微弯、1550nm处的引脚阵列宏弯、1310nm处的零色散波长、22m光缆截止、MAC数、在1550nm处与比较示例1相比在1550nm处的横向负荷金属丝微弯的改进、与比较示例1相比在1550nm处的引脚阵列弯曲损耗的改进、在1310nm以及1550nm处的1x20mm直径弯曲损耗、光谱衰减。

[0061] 表1

[0062]

参数	比较示例	示例 1	示例 2	示例 3	示例 4	示例 5	示例 6	示例 7	示例 8
$\Delta 1$ (%)	0.34	0.35	0.355	0.36	0.365	0.36	0.37	0.38	0.39
R1 (微米)	4.5	4.6	4.65	4.65	4.7	4.7	4.75	4.8	4.8
芯 阿尔法	20	20	20	20	20	20	20	20	20
R2 (微米)	4.5	13.8	13.95	13.95	14.1	9	7	6.5	6.5
$\Delta 2$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 3$ (%)	0.000	0.010	0.015	0.020	0.025	0.020	0.030	0.040	0.050
V2 (%微米 ²)	0.0	1.7	2.6	3.5	4.4	1.2	0.8	0.8	1.0
V3 (%微米 ²)	0.0	7.1	10.6	14.1	17.5	16.4	25.5	34.3	42.9
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	0.00	0.43	0.61	0.69	0.87	0.69	0.69	0.69	0.69
在 1310nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.0862	0.0865	0.0867	0.0867	0.0867	0.0865	0.0862	0.0863	0.086
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.0	17.5	17.7	17.8	18.0	17.7	17.6	17.7	17.6
在 1550nm 下的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.0577	0.0577	0.0578	0.0577	0.0578	0.0572	0.0577	0.0573	0.0570
在 1310nm 处的 MFD (微米)	9.18	9.17	9.16	9.14	9.13	9.18	9.19	9.21	9.17
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10.40	10.33	10.30	10.24	10.22	10.31	10.33	10.35	10.30
在 1550nm 下的 LLWM, dB/m	0.549	0.456	0.419	0.400	0.378	0.424	0.427	0.417	0.42
在 1550nm 下的引脚阵列, dB	9.16	7.97	7.42	7.64	7.08	7.13	6.81	6.42	6.81
λ_0 (nm)	1310	1305	1303	1302	1300	1302	1302	1302	1302
光缆截止 (nm)	1177	1182	1184	1187	1189	1185	1202	1212	1200
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止)	7.80	7.76	7.73	7.70	7.68	7.74	7.64	7.60	7.64
在 1550nm 下对比较示例的 LLWM % 改进	0	20	31	37	45	29	29	32	31
在 1550nm 处对比较示例的引脚阵列 %改进	0	15	23	20	29	28	35	43	35
1x20mm 弯曲损耗, 1550nm(dB/匝)	0.50	0.37	0.32	0.30	0.25	0.32	0.30	0.28	0.28
1x30 mm 弯曲, 1550nm (dB/匝)	0.025	0.019	0.016	0.016	0.014	0.016	0.014	0.013	0.013

[0063]

在 1550 nm 处的衰减, dB/km	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191
在 1310 nm 处的衰减, dB/km	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332

[0064] 下面的表3列出了另外施加具有杨氏模量大约为0.9MPa的一次涂层以及具有杨氏模量大约为1200MPa的二次涂层、具有如图1所示的折射率分布的实际制造的说明性示例21和22的特性。示例21及22的光纤是在拉伸炉上光纤预制件拉出的。特定地,下面对每个示例列出中心芯区1的折射率德尔塔 Δ_1 、芯阿尔法以及外半径 R_1 、内包覆区2的折射率德尔塔 Δ_2 以及外半径 R_2 以及在 R_1 和 R_2 之间计算出的内包覆区2的分布体积 V_2 ,外包覆区3的折射率 Δ_4 以及在外包覆区3的内半径 R_2 和30微米径向距离之间(并在折射率 Δ_4 和 Δ_2 之间)计算出的

外包覆区3的体积 V_3 。还列出了在1310nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的色彩色散以及色散斜率,1310nm及1550nm处的模场直径、在1550nm处的横向负荷丝网微弯、1550nm处的丝网覆盖鼓微弯测试、1550nm处的引脚阵列宏弯、1310nm处的零色散波长、22m光缆截止、MAC数、在1310和1550nm处的1x20mm直径弯曲损耗、光谱衰减,与比较示例1相比在1550nm处的横向负荷金属丝微弯的改进、与比较示例1相比在1550nm处的引脚阵列弯曲损耗的改进。在表2a及2b中,对示例9和12实际光纤测量了这些特性,除了模制的LLWM以及引脚阵列,且在光纤示例10、11及13至15上模制示出的特性。此外,比较示例1被制造且在1550nm处执行丝网覆盖的鼓微弯测试且获得0.07dB/km的损耗。

[0065] 表2a

[0066]	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	示例 17
	$\Delta 1$ (%)	0.402	0.473	0.417	0.402	0.473	0.450	0.483	0.402	0.402
	R1 (微米)	5.75	6.5	5.55	5.75	6.5	6.00	6.03	5.75	5.75
	芯 阿尔法	2.20	1.00	2.20	2.20	1.00	2.2	2.2	2.2	2.2

[0067]

R2 (微米)	13.82	18.52	13.52	13.82	18.52	13.82	13.95	25	25
$\Delta 2$ (%)	0	-0.3	0	0	-0.3	0	0	0	0.015
$\Delta 4$ (%)	0.03	0.07	0.04	0.03	0.07	0.07	0.07	0.03	0.035
V2 (%微米 ²)	4.7	111.3	6.1	4.7	111.3	10.8	11.1	17.8	11.8
V3 (%微米 ²)	21.3	39.0	28.7	21.3	39.0	49.6	49.4	8.25	9.6
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	-0.204	-0.775	-0.510	-0.204	-0.775	-0.336	-0.222	-0.20	-0.204
在 1310nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.089	0.088	0.089	0.089	0.088	0.090	0.090	0.089	0.089
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.17	16.60	16.98	17.17	16.60	17.01	17.19	17.15	17.16
在 1550nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.060	0.056	0.061	0.060	0.056	0.060	0.060	0.057	0.056
在 1310nm 处的 MFD (微米)	9.20	9.20	9.00	9.20	9.20	8.80	8.60	9.2	9.2
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10.48	10.48	10.25	10.48	10.48	9.96	9.70	10.48	10.48
@1550nm 处的 LLWM, dB/m	0.36	0.58	0.27	0.36	0.58	0.12	0.04	0.34	0.36
在 1550nm 处的 WMCD, dB/km	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.02	0.01	0.024	0.028
在 1550 nm 处的引脚阵列, dB	4.65	8.32	3.47	4.65	8.32	1.46	0.42	4.6	4.65
λ_0 (nm)	1315	1318	1316	1315	1318	1317	1316	1315	1315
光缆截止(nm)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1250	1215	1200
MAC # (1310nm 处的 MFD /光缆截止)	7.67	7.67	7.5	7.67	7.67	7.34	6.88	7.57	7.67
在 1550nm 处的 1x20mm 弯曲损耗(dB/匝)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.10	0.10	0.30	0.30
1550nm 处的衰减, dB/km	0.189	0.188	0.190	0.181	0.182	0.185	0.187	0.181	0.181
1310nm 处的衰减, dB/km	0.330	0.328	0.331	0.320	0.318	0.322	0.324	0.318	0.318

[0068] 表2b

[0069]

参数	示例 18	示例 19	示例 20
$\Delta 1$ (%)	0.41	0.42	0.4
R1 (微米)	6	6	5.86

[0070]

芯 阿尔法	2	2	2
R2 (微米)	30	30	29.3
$\Delta 2$ (%)	0	0	0
$\Delta 4$ (%)	0.05	0.05	0.05
V2 (%微米 ²)	43.2	43.2	24.7
V3 (%微米 ²)	0	0	1.25
1310 nm 处的色散 (ps/nm/km)	-0.129	-0.101	-0.437
1310 nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.089	0.089	0.089
1550 nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.23	17.27	16.82
1550 nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.06	0.06	0.06
1310 nm 处的 MFD (微米)	9.2	9.1	9.2
1550 nm 处的 MFD (微米)	10.45	10.34	10.51
1550 nm 处的 LLWM, dB/m	0.228	0.208	0.245
1550nm 处的 WMCD, dB/km	0.05	0.04	-0.05
1550nm 处的引脚阵列, dB	22.36	17.32	19.91
λ_0 (nm)	1311	1311	1315
光缆截止 (nm)	1189	1208	1152
MAC # (1310 nm 处的 MFD/ 光缆截止)	7.73	7.55	7.98
1x20mm 弯曲损耗 (dB/匝)	0.09	0.06	0.25
1550 nm 处的衰减, dB/km	0.187	0.188	0.188
1310 nm 处的衰减, dB/km	0.327	0.329	0.328

[0071] 如在以上表1、2a及2b中可看到的,此处的示例示出了说明性示例光纤,这些示例性光纤采用具有折射率 Δ_1 的中心玻璃芯区、具有折射率 Δ_2 的第一内包覆区、以及具有折射率 Δ_4 的外包覆区;其中 $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$,其中 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于或等于0.01且分布体积的绝对值 $|V_3|$ 至少为5%微米²。当缠绕在20mm直径心轴上时,这些光纤展示出的光缆截止小于或等于1260nm且弯曲损耗小于0.75dB/匝。这些光纤还展示出在1310nm处模场直径在8.2至9.5微米之间,零色散波长在1300至1324nm之间,在1310nm处的色散斜率小于或等于

0.092ps/nm²/km。这些光纤展示出在1550nm处丝网覆盖的鼓(WMCD)弯曲损耗小于或等于0.07dB/km,更优选小于或等于0.06dB/km,且在一些实施例中小于或等于0.05dB/km。这些光纤还展示出在1550nm处引脚阵列弯曲损耗小于8.5dB,更优选小于5dB且在一些实施例中小于4dB。

[0072] 下面的表3列出了说明性光纤示例21及22的特性。在这些实施例21及22中,C1在外包覆区3中的量分别为1700pm,及1400ppm,且区域2中的C1量为1000ppm。

[0073] 表3

[0074]

参数	示例 21	示例 22
$\Delta 1$ (%)	0.403	0.404
R1 (微米)	5.35	5.26
芯 阿尔法	2.2	2.2
R2 (微米)	13.4	13.20
R1/R2	0.40	0.40
$\Delta 2$ (%)	0	0
$\Delta 4$ (%)	0.007	0.004
V2 (%微米 ²)	1.1	0.6
V3 (%微米 ²)	5.0	2.9
1310 nm 处的色散 (ps/nm/km)	-0.51	-0.20
1310 nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.089	0.089
1550 nm 处的色散 (ps/nm/km)	17.0	17.2
1550 nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.0600	0.06

[0075]

MFD 1310 nm (微米)	9.20	9.2
MFD 1550 nm (微米)	10.48	10.48
LLWM @ 1550 nm	0.4	0.52
引脚阵列 @ 1550 nm	5.11	6.02
λ_0 (nm)	1316	1318
光缆截止(nm)	1200	1200
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止)	7.67	7.67
在 1550nm 处, 相对比较示例的 LLWM % 改进	37	6
在 1550nm 处, 相对比较示例的引脚阵列%改进	79	52
1550nm 处的 1x20mm 弯曲损耗 (dB/匝)	0.40	0.60
1550nm 处的 WMCD, dB/Km	0.05	0.07
1550 nm 处的衰减, dB/km	0.189	0.189
1310 nm 处的衰减, dB/km	0.33	0.33

[0076] 如在以上表3的这些示例性光纤中可看到, 示例性光纤实施例采用具有折射率 Δ_1 的中心玻璃芯区、具有折射率 Δ_2 的第一内包覆区、以及具有折射率 Δ_4 的外包覆区; 其中, $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2$, 其中 Δ_4 与 Δ_2 之间的差异大于或等于 0.004 且分布体积的绝对值 $|V_3|$ 至少为 2.5% 微米²。当缠绕在 20mm 直径心轴上时, 这些示例性光纤实施例展示出的光缆截止小于或等于 1260nm 且其弯曲损耗小于 0.75dB/匝。这些示例性光纤实施例还展示出在 1310nm 处的模场直径在 8.2 至 9.5 微米之间, 零色散波长在 1300 至 1324nm 之间, 在 1310nm 处的色散斜率小于或等于 0.092ps/nm²/km。这些示例性光纤实施例展示出在 1550nm 处的丝网覆盖的鼓 (WMCD) 弯曲损耗小于或等于 0.07dB/km, 更优选小于或等于 0.06dB/km, 且在一些实施例中小于或等于 0.05dB/km。这些示例性光纤实施例还展示出在 1550nm 处的引脚阵列弯曲损耗小于 8.5dB, 更优选小于 7dB。

[0077] 这些光纤中的许多还展示出在 1550nm 处, 当缠绕在 15mm 直径心轴上时其弯曲损耗小于 1dB/匝, 并在一些情况下小于 0.5dB/匝。这些光纤还展示出在 1550nm 处, 当缠绕在 20mm 直径心轴上时其弯曲损耗小于 0.75dB/匝, 更优选小于 0.3dB/匝, 且一些光纤最优小于 0.1dB/匝。这些光纤还展示出在 1550nm 处, 当缠绕在 30mm 直径心轴上时其弯曲损耗小于 0.025dB/匝, 并且一些光纤更优选小于 0.003dB/匝。这些示例中的一些在外包覆区中采用的氯含量大于 1200ppm, 例如在 1200ppm 至 12000ppm 之间。这些示例中的一些在外包覆区中采用的氯含量大于或等于 1400ppm。这些实例中的一些在外包覆区中采用的氯含量大于 1400ppm 且小于 3000ppm。这些示例中的一些在外包覆区中采用的氯含量大于 2000ppm, 且在

一些情况下大于3000或甚至大于4000ppm(按重量)。在一些实施例中外包覆区包含的氯含量按重量大于2000且小于12000ppm。

[0078] 在1550nm处的衰减优选小于0.21dB/km,更优选小于0.20dB/km,甚至更优选小于0.197dB/km。在一些优选实施例中,在1550nm处的衰减小于或等于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0.186dB/km,甚至更优选小于或等于0.184dB/km,且最优选小于或等于0.182dB/km。

[0079] 在图2中示出一个可选实施例,示出了光纤的折射率分布,包含超高斯芯折射率分布。我们已经发现,使用超高斯芯分布进一步降低了光纤的衰减。我们相信这是由于折射率以及玻璃粘度从芯到包覆层更为平稳的过渡的缘故。此外,我们相信光纤中的光功率遵循高斯分布,且因此超高斯折射率分布相比阿尔法分布更佳地遵循功率(power)。改进的衰减可以是降低小角度散射的结果。下面在表4以及表5中分别示出了建模及所制造的光纤的数据。

[0080] 超高斯分布遵循下列方程:

[0081] $\Delta(r) = \Delta_{1\max} \cdot \exp(-(r/a)^\gamma)$ (方程1)

[0082] 其中r=从中心位置开始的径向位置,

[0083] a=对应径向位置 $\Delta = (\Delta_{1\max}/e)$ 的径向尺度参数,

[0084] e是自然对数的底数($\sim 2.71828\cdots$)

[0085] 以及 γ (gamma)=是一个正数。

[0086] 在图2中, a 优选大于4.5,更优选大于4.6,且最优选大于4.7。

[0087] 根据在此公开的一种光波导纤维的可选实施例,图3示出折射率分布,包含具有 Δ_1 的超高斯芯分布区1,由具有 Δ_2 的内包覆区2和具有 Δ_4 的升高外包覆区3。 Δ_4 及 Δ_2 之间的德尔塔优选大于0.002德尔塔%且该光纤展示出MAC数 >7.5 。在图3中示出的实施例中,芯分布段1是超高斯折射率分布,内包覆层2优选是基本上未掺杂的二氧化硅,且上掺杂包覆区3包含氧化锆或氯或其他增加折射率的掺杂物,且含量足够来提高折射率德尔塔 Δ_4 ,优选至少为0.002%,更优选至少0.005%。在一些实施例中, Δ_4 及 Δ_2 之间的差异在0.03和0.06之间,且在一些实施例中 Δ_4 及 Δ_2 之间的差异在0.07至0.1百分比之间。

[0088] 图4示出了可选折射率分布,包含超高斯芯分布。在图4示出的分布中,超高斯芯折射率分布区1具有 Δ_1 ,并被具有 Δ_2 的内包覆区2围绕。内包覆区2被具有 Δ_3 的下陷型包覆区3围绕,包覆区3依序被具有 Δ_4 的升高外包覆区4围绕。 Δ_4 和 Δ_2 的德尔塔之间的差异优选大于0.002德尔塔%且该光纤展示出MAC值 >7.5 。在图4示出的实施例中,芯分布段1是超高斯分布,内包覆层2优选是基本是未掺杂的二氧化硅,下陷型包覆区3是掺杂氟的二氧化硅,具有折射率 Δ_3 , $\Delta_{3\min}$ 及沟槽阿尔法,且外包覆区4包含氧化锆或氯的含量足够相对于内包覆区2提高折射率 Δ_4 ,包覆区优选至少0.002%,更优选至少0.005%。相对于纯二氧化硅的折射率, Δ_4 优选大于0.0,更优选大于0.01且更优选大于0.02。

[0089] 下面的表4a和4b列出了具有如图2所示的折射率的模制的说明性示例23以及25-30的特性,示例24以及31-32具有如图3所示出的折射率,且示例33-34具有如图4所示出的折射率。特定地,对每个示例列出中心芯区1的折射率德尔塔 Δ_1 、外半径 R_1 ,内包覆区2的芯阿尔法、径向尺度参数a、芯 γ (gamma)、包覆区外半径 R_2 、芯半径与内包覆区半径的比 R_1/R_2 、内包覆区2的折射率德尔塔 Δ_2 、下陷型包覆区3的外半径 R_3 以及折射率德尔塔 Δ_3 、下陷型包

覆区3的阿尔法、以及在 r_1 和 r_2 之间计算出的体积 V_2 , $0.3 \leq V_2 \leq 60$ 、区域3的折射率德尔塔 Δ_4 、在R3及距光纤中心30微米距离之间计算出的体积 V_3 、以及作为光纤外直径的 $R_{\max}$ 。还列出了LP01的截止波长、LP11的截止波长、在1310nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的衰减、在1550nm处的有效面积、在1310nm及1550nm处的模场直径、在1550nm处的丝网微弯、在1550nm处的引脚阵列弯曲损耗、与比较示例1相比在1550nm处的丝网微弯、零色散波长、光缆截止、以及MAC数。

[0090] 表4a模制的光纤的数据

参数	示例 23	示例 24	示例 25	示例 26	示例 27	示例 28
$\Delta 1_{\max}$ (%)	0.385	0.415	0.423	0.385	0.385	0.470
R1 (微米)	6.10	5.30	6.06	6.49	6.81	7.16
a (微米)	4.64	4.54	4.56	4.88	5.12	4.56
γ (gamma)	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	2.0
R2 (微米)	不适用	14.4	不适用	不适用	不适用	不适用
R1/ R2	不适用	0.37	不适用	不适用	不适用	不适用
$\Delta 2$ (%)	不适用	0.00	不适用	不适用	不适用	不适用
R3 (微米)	不适用	14.4	不适用	不适用	不适用	不适用
V_2 (%微米 ²)	不适用	4.8	不适用	不适用	不适用	不适用
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
V_3 (%微米 ² , 绝对量, 从 R3 到 30 微米)	不适用	26.6	不适用	不适用	不适用	不适用
$R_{\max}$ (微米)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
截止 LP01 (nm)	5000	5000	5000	5000	5000	5000
截止 LP11 (nm)	1390	1309	1241	1327	1391	1548
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	0.76	0.04	-0.87	-0.23	0.16	-1.70
在 1310nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.090	0.090	0.089	0.091	0.091	0.093
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	16.8	17.5	16.8	17.5	180.	16.4
在 1550nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.061	0.060	0.061	0.062	0.062	0.063
在 1550 nm 处的衰减 (dB/km)	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18
在 1310nm 处的	9.36	9.10	9.00	9.18	9.33	9.10

[0091]

[0092]

MFD (微米)						
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10.71	10.28	10.26	10.40	10.52	10.46
1550nm 处的有效面积 (微米 ²)	85.6	79.8	78.8	81.4	83.5	81.2
在 1550nm 处的 LLWM (dB/m)	0.290	0.190	0.195	0.217	0.234	0.245
在 1550nm 处的引脚阵列 (dB)	7.75	5.69	9.00	4.70	2.97	1.98
在 1550nm 处对比较示例的 LLWM % 改进	47	65	64	60	57	55
在 1550nm 处的宏弯损耗(在 20mm 直径心轴上的 dB/匝)	0.34	0.37	0.93	0.49	0.33	0.07
λ_0 (nm)	1318	1310	1320	1313	1308	1328
光缆截止 (nm)	1185	1117	1036	1122	1186	1343
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止, 微米)	7.90	8.14	8.69	8.18	7.87	6.78

[0093] 表4b模制的光纤的数据

[0094]

参数	示例 29	示例 30	示例 31	示例 32	示例 33	示例 34
$\Delta 1_{\max}$ (%)	0.385	0.370	0.400	0.385	0.385	0.415
R1 (微米)	6.17	5.82	5.47	5.11	5.64	4.91
a (微米)	4.64	4.64	4.48	4.56	4.32	4.16
γ (gamma)	2.8	3.5	3.5	5.0	3.0	3.5
R2 (微米)	不适用	不适用	13.44	13.68	8.60	8.28
R1/ R2	不适用	不适用	0.41	0.37	0.66	0.59
$\Delta 2$ (%)	不适用	不适用	0.00	-0.03	0.00	0.00
R3 (微米)	不适用	不适用	13.44	13.68	13.0	12.5
$\Delta 3_{\min}$ (%)	不适用	不适用	不适用	不适用	-0.40	-0.40
沟 α	不适用	不适用	不适用	不适用	100	100
V2 (%微米 ²)	不适用	不适用	2.0	4.3	37.4	35.9
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.00	0.015	0.00	0.00	0.03
V3 (%微米 ² , 绝对量, 从 R3 到 30 微米)	不适用	不适用	10.8	21.4	0.0	24.9
Rmax (微米)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
截止 LP01 (nm)	5000	5000	5000	5000	5000	5000
截止 LP11 (nm)	1365	1365	1273	1278	1189	1104
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	-0.89	-0.54	-0.781	0.210	0.300	0.101
在 1310nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.089	0.089	0.089	0.088	0.084	0.089
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	16.7	16.9	16.5	17.25	19.2	18.7
在 1550nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.062	0.061	0.060	0.059	0.066	0.065
在 1550 nm 处	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18

[0095]

的衰减 (dB/km)						
在 1310nm 处的 MFD (微米)	9.57	9.37	9.02	8.80	9.00	8.57
在 1550nm 处的 MFD (微米)	11.00	10.81	10.30	9.92	10.10	9.59
1550nm 处的有效面积 (微米 ²)	89.9	85.7	79.5	74.8	76.9	70.0
在 1550nm 处的 LLWM (dB/m)	0.380	0.280	0.20	0.14	0.16	0.11
在 1550nm 处的引脚阵列 (dB)	13.5	9.1	9.49	4.94	9.4	10.4
在 1550nm 处对比较示例的 LLWM % 改进	31	49	64	74	0	80
在 1550nm 处的宏弯损耗 (在 20mm 直径心轴上的 dB/匝)	0.59	0.44	0.59	0.34	0.12	0.19
λ_0 (nm)	1320	1341	1314	1307	1306	1307
光缆截止 (nm)	1160	1160	1242	1238	1243	1238
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止, 微米)	8.25	8.08	7.26	7.11	7.24	6.92

[0096] 下面的表5列出了具有如图2至图4所示的折射率的实际制造的说明性示例35至37的特性。特定地,针对每个示例列出中心芯区1的折射率德尔塔 Δ_1 、外半径R₁,内包覆区2的芯阿尔法、径向尺度参数a、芯 γ (gamma)、包覆区外半径R₂、芯半径与内包覆层半径的比R₁/R₂、内包覆区2的折射率德尔塔 Δ_2 、下陷型包覆区3的外半径R₃以及折射率德尔塔 Δ_3 、下陷型包覆区3的阿尔法 (沟槽阿尔法)、以及在r₁和r₂之间计算出的体积V₂,0.3≤V₂≤60、区域3的折射率德尔塔 Δ_4 、在R₃及距光纤中心30微米距离之间计算出的体积V₃、以及作为光纤外直径的R_{max}。2m光缆截止波长、在1310nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的色彩色散以及色散斜率、在1550nm处的衰减、在1310nm及1550nm处的模场直径、在1550nm处的有效面积、在1550nm处的宏弯损耗、在1310nm处的零色散波长、光缆截止、以及MAC数。在示例38及39中外包覆区3的C1的量分别为1400ppm和1700ppm,且区域2中的C1含量为1000ppm。

[0097] 表5制造光纤数据

[0098]

参数	示例 35	示例 36	示例 37
Δ_{1max} (%)	0.438	0.395	0.391
R1 (微米)	6.10	5.55	5.55
阿尔法 _芯	不适用	不适用	不适用

[0099]

a (微米)	4.60	4.67	4.67
γ (gamma)	3.0	4.0	4.0
R2 (微米)	不适用	13.14	13.14
R1/ R2	不适用	0.42	0.42
$\Delta 2$ (%)	不适用	0.00	0.00
R3 (微米)	不适用	13.14	13.14
$\Delta 3_{\min}$ (%)	不适用	不适用	不适用
沟槽阿尔法 (α)	不适用	不适用	不适用
V_2 (%微米 ²)	不适用	0.5	1.1
$\Delta 4$ (%)	0.00	0.008	0.004
V_3 (%微米 ² , 绝对量, 从 R3 到 30 微米)	不适用	5.8	2.9
$R_{\max}$ (微米)	62.5	62.5	62.5
2m 截止 (nm)	1320	1291	1317
在 1310nm 处的色散 (ps/nm/km)	-1.42	-0.722	-0.729
在 1310nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.087	0.087	0.087
在 1550nm 处的色散 (ps/nm/km)	16.1	不适用	不适用
在 1550nm 处的色散斜率 (ps/nm ² /km)	0.061	不适用	不适用
在 1550 nm 处的衰减 (dB/km)	0.187	0.183	0.183
在 1310nm 处的 MFD (微米)	8.98	9.21	9.20
在 1550nm 处的 MFD (微米)	10.15	10.33	10.42
1550nm 处的有效面积 (微米 ²)	80.9	83.9	85.3
1550nm 处的宏弯损耗 (在 20mm 直径心轴上的 dB/匝)	0.4	0.4	0.4
零色散波长 λ_0 (nm)	1326	1318	1318
光缆截止 (nm)	1246	1173	1200
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止, 微米)	7.21	7.85	7.67

[0100] 下面的表6列出了具有如图3所示的折射率的制造的说明性示例38至46的特性。特定地,对每个示例列出中心芯区1的折射率德尔塔 Δ_1 、外半径 R_1 、内包覆区2的芯阿尔法、径向尺度参数 a 、芯 γ (gamma)、包覆区外半径 R_2 、芯半径与内包覆层半径的比 R_1/R_2 、内包覆区2的折射率德尔塔 Δ_2 、区3的折射率德尔塔 Δ_4 、在 R_2 及距光纤中心30微米距离之间计算出的体积 V_3 。在每种情况下光纤的外直径为125微米。还列出了2m光缆截止波长、在1310、1383及1550nm处的衰减、在1310nm处的MAC数、以及在1550nm及1625nm处的1x20mm弯曲损耗。

[0101] 表6制造的光纤的数据

[0102]

参数	示例 38	示例 39	示例 40	示例 41	示例 42	示例 43	示例 44	示例 45	示例 46
$\Delta 1$ (%)	0.38	0.39	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.44	0.45
R1 (微米)	5.62	5.5	5.69	5.95	5.25	5.27	5.61	5.42	5.61
芯阿尔法	2.92	2.53	2.5	2.36	3.160	3.27	2.61	2.6	2.47
a (微米)	4.83	4.62	4.72	4.86	4.72	4.78	4.93	4.78	5.04
γ (gamma)	4.16	3.87	4.06	4.00	4.48	4.42	4.19	4.21	4.19
R2 (微米)	10.18	10.91	10.18	10.91	11.1	10.73	10.91	10.55	11.29
R1/R2	0.55	0.50	0.56	0.55	0.47	0.49	0.51	0.51	0.50
$\Delta 2$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 4$ (%)	0.003	0.008	0.005	0.004	0.025	0.027	0.037	0.041	0.08
V3 (%微米 ²)	2.3	1.7	4	2.6	13.5	16.3	22.6	27	55.1
MFD	9.37	9.12	9.40	9.19	9.08	9.07	9030	8.88	8.95
λ_0	1313.2	1319.2	1316.8	1314.7	1313.4	1312.3	1312.0	1313.6	1306.3
光缆截止	1228.9	1183.3	1186.6	1226.9	1206.4	1207.8	1176	1204.7	1204.9
1310nm 处的衰减 (dB/km)	0.329	0.322	0.332	0.335	0.334	0.334	0.331	0.339	0.343
1383nm 处的衰减 (dB/km)	0.299	0.324	0.316	0.308	0.297	0.291	0.290	0.293	0.290
1550nm 处的衰减 (dB/km)	0.189	0.184	0.187	0.190	0.188	0.195	0.190	0.193	0.197
MAC # (1310 nm MFD/光缆截止)	6.980	7.088	7.079	6.889	7.061	7.155	7.349	6.989	7.199
在 1550nm 处的 1x20mm 弯曲损耗 (dB/匝)					0.191	0.155	0.461	0.195	0.133
在 1625nm 处的 1x20mm 弯曲损耗 (dB/匝)					0.647	0.463	1.077	0.312	0.385

[0103] 因此,此处描述的光纤提供了出色的弯曲性能,在20mm直径心轴上小于1dB/匝,且在一些实施例中在20mm心轴上小于0.5dB/匝,零色散波长 λ_0 小于1350nm,且在一些实施例中 $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{nm}$,且在波长大于约1260nm时额外提供适合单模操作的截止波长,在1310nm处的MDF在8.2和9.5微米之间,在1550nm处的衰减 $\leq 0.189\text{dB/km}$ 且在一些实施例中 $\leq 0.185\text{dB/km}$,更特定地 $\leq 0.183\text{dB/km}$ 。

[0104] 在一些实施例中,芯可包括具有所谓中心线下降的相对折射率分布,这可能是一项或多项光线制造技术造成的结果。然而,此处公开的任何折射率分布的中心线下降都是任选的。

[0105] 此处公开的光纤包含芯以及围绕并直接邻接芯的包覆层(或包覆层或最外层的环形包覆区)。优选,芯包括掺杂了锆的二氧化硅,即掺杂氧化锆的二氧化硅。还可在芯中采用除(单的或组合的)锆之外的其他掺杂物,特别是此处公开的光纤的中心线处或其附近以获得理想的折射率和密度。在优选实施例中,此处公开的光纤的芯具有非负折射率分布,更优选具有正折射率分布,其中芯被包覆层围绕并直接邻接。

[0106] 优选,此处公开的光纤具有二氧化硅基的芯以及包覆。在优选实施例中,包覆的外直径,即 $R_{\max}$ 的两倍大约为125微米。

[0107] 此处公开的光纤可由保护涂层围绕,例如接触并围绕外包覆区3的一次涂层P,一次涂层P的杨氏模量小于1.0MPa,优选小于0.9MPa,且在优选实施例中不大于0.8MPa,并进一步包含接触并围绕一次涂层P的二次涂层S,二次涂层S的杨氏模量大于1200MPa,且在优选实施例中大于1400MPa。

[0108] 如此处使用的,一次涂层的固化聚合材料的杨氏模量、断裂伸长率、以及抗张强度,使用拉伸试验仪器(例如,Sintech MTS拉伸试验机、或INSTRON通用材料测试系统)测量

在薄膜形状的材料样本上测得,该材料厚度在大约0.003”(76微米)以及0.004”(102微米)之间,宽度大约为1.3cm,标距为5.1cm,且测试速度为2.5cm/min。

[0109] 对于合适的一次及二次涂层的附加描述可在PCT公开W02005/010589中找到,该专利通过引用全部结合至此。

[0110] 优选,此处公开的光纤具有低OH含量,且优选具有在特定波长区域(特别在E带)展示出相对低的或没有水峰的衰减曲线。此处公开的光纤优选具有在1383nm处的光衰减(光谱)高于在1310nm处的光衰减不大于0.10dB/km,且更优选不大于1310nm处的光衰减。此处公开的光纤优选在经受氢气氛后(例如在0.01atm分压氢下达至少144小时),具有的最大氢致衰减变化在1383nm处小于0.03dB/km。

[0111] 低水峰通常提供较低的衰减损耗,特别是对于在1340nm及大约1470nm之间的传输信号。进一步,低水峰还为与光纤光耦合的泵浦发光设备,诸如可能在一个或多个泵浦波长运作的Raman泵浦或Raman放大器,提供改进的泵浦效率。优选,Raman放大器在低于任何理想的操作波长或波长区域约100nm的一个或多个波长处泵浦。例如,携带约1550nm波长处的操作信号的光纤可由Raman放大器在约1450nm的泵浦波长处进行泵浦。从而,从大约1400nm到大约1500nm波长区域中较低的光纤衰减将趋向于降低泵浦衰减并提高泵浦效率,例如,获得每mW的泵浦功率,特别对于大约1440nm的泵浦波长。

[0112] 此处公开的光纤展示出低PMD值,特别在使用OVD工艺制造时。对于此处公开的光纤,光纤的自旋也会降低PMD值。

[0113] 应当理解,前面的描述仅是示例性,意在为由权利要求所定义的光纤性质及特性的理解提供概览。包括附图,意在为优选实施例提供进一步的理解,且这些附图结合进本说明书,是本说明书的组成部分。这些图示出了多种特征以及实施例以及对它们的描述,用于解释原理及操作。对于本领域的技术人员显而易见的是,可对此处描述的优选实施例进行各种修改,而不背离所附权利要求的精神或范围。

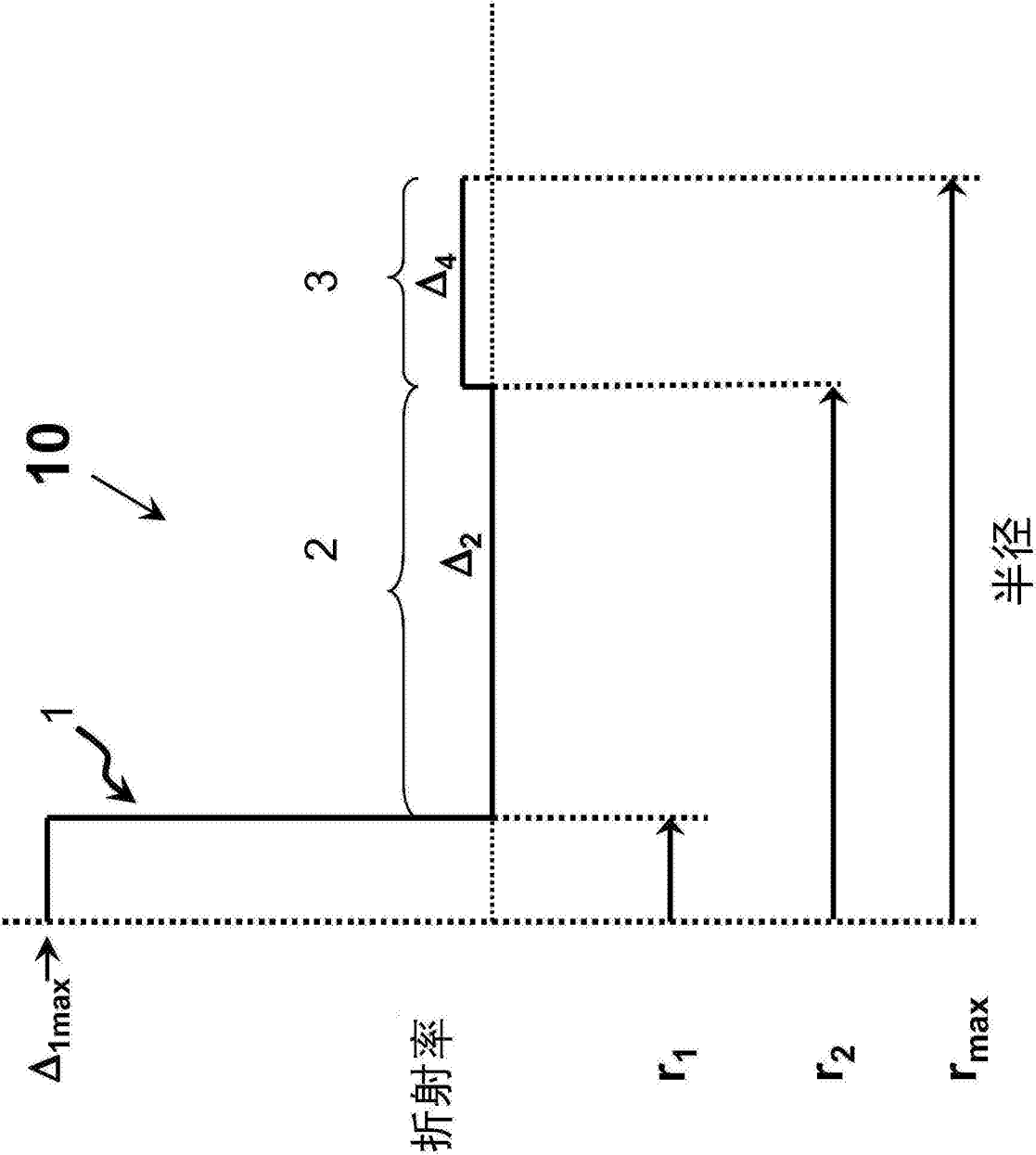


图1

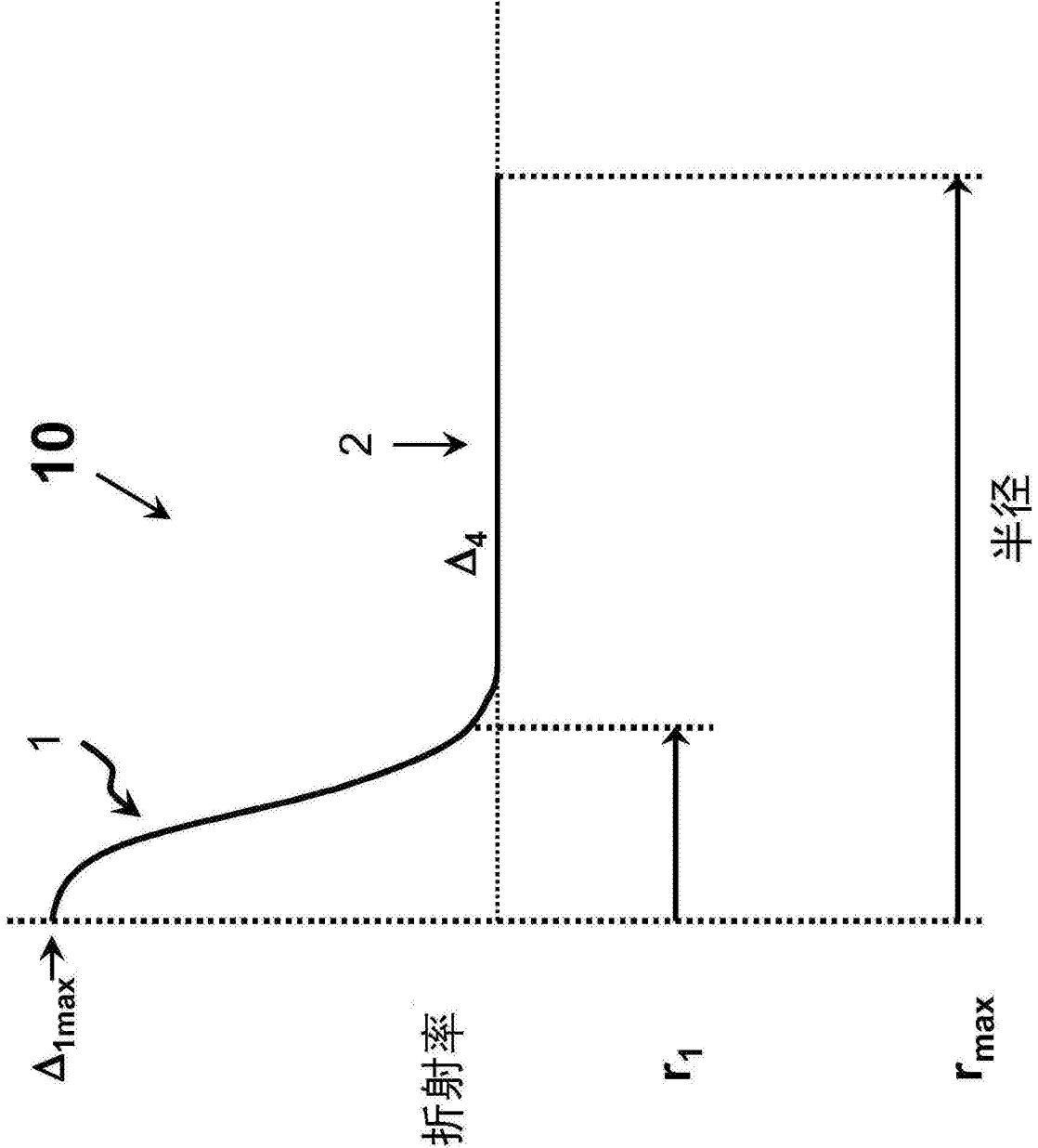


图2

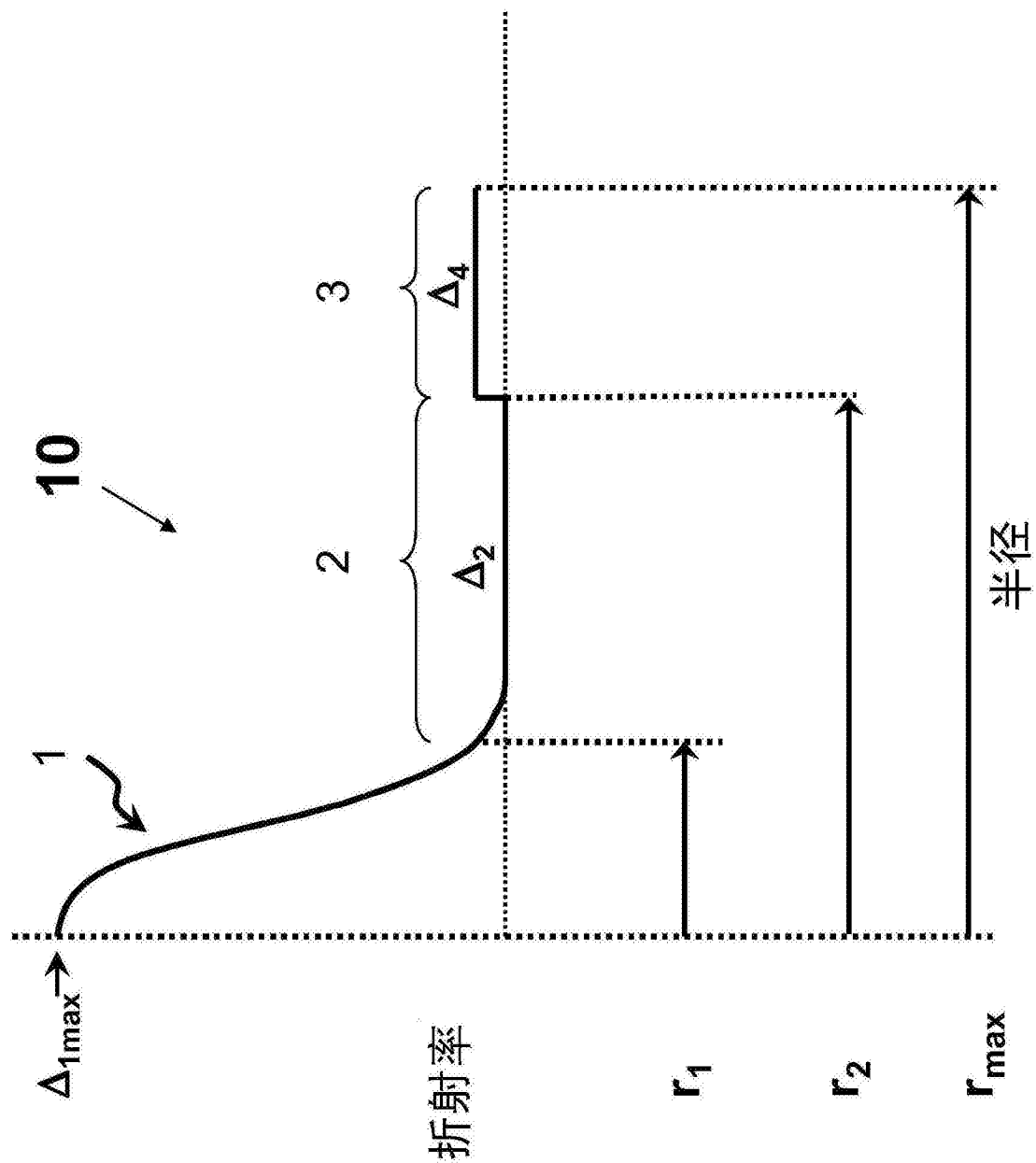


图3

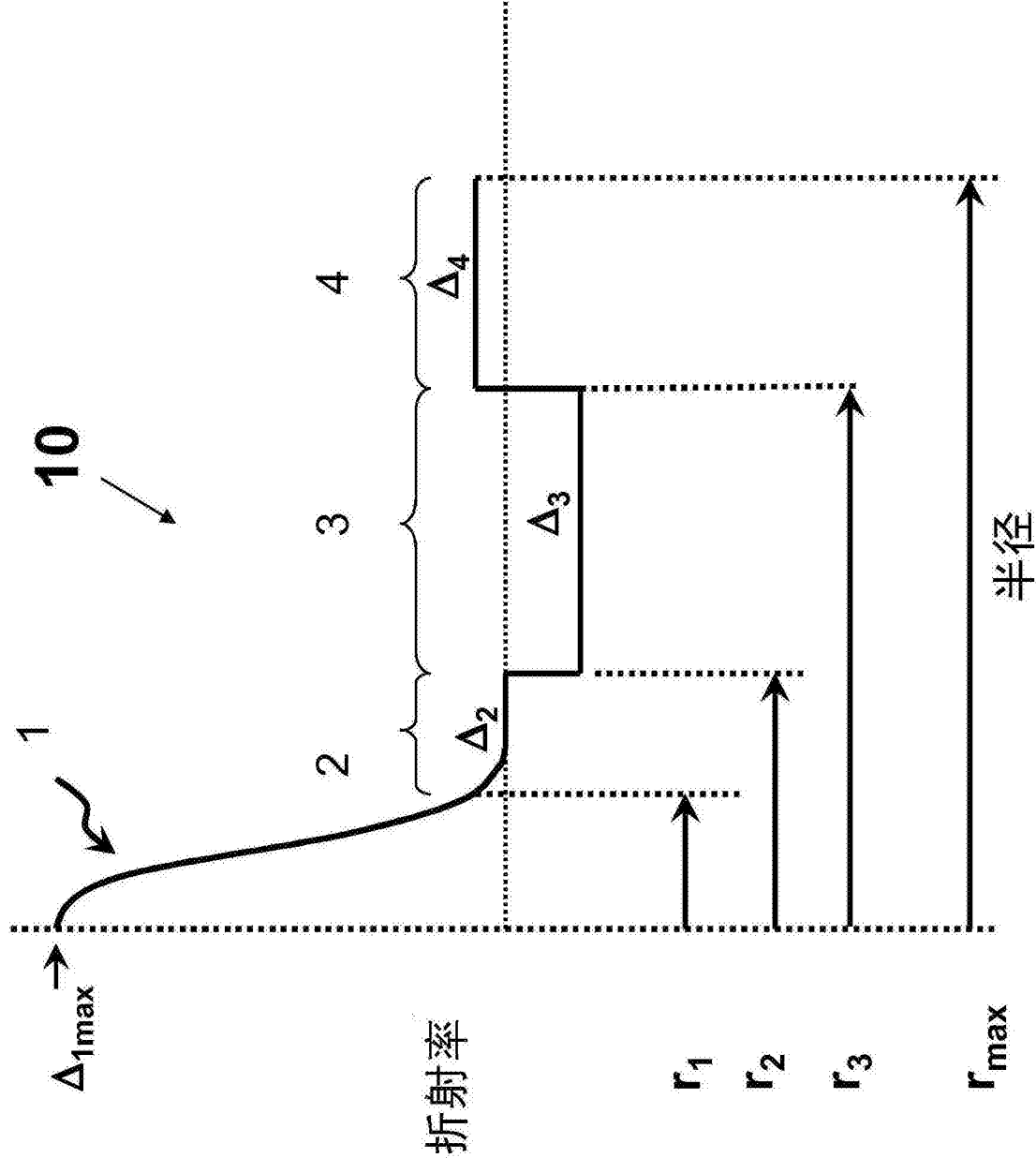


图4