

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/16

G02B 6/22

H04B 10/18



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02818485.8

[43] 公开日 2005 年 7 月 27 日

[11] 公开号 CN 1646957A

[22] 申请日 2002.9.9 [21] 申请号 02818485.8

[30] 优先权

[32] 2001. 9. 26 [33] US [31] 09/965,406

[86] 国际申请 PCT/US2002/028911 2002.9.9

[87] 国际公布 WO2003/027737 英 2003.4.3

[85] 进入国家阶段日期 2004.3.22

[71] 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 P·G·赫布根 G·齐 L·张

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

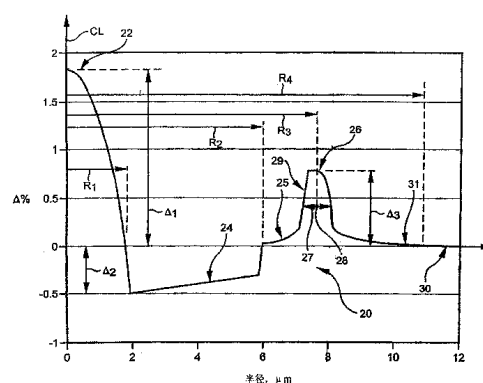
代理人 李家麟

权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 10 页

[54] 发明名称 L 波段色散补偿光纤和包括该光纤的传输系统

[57] 摘要

本发明涉及一种色散补偿光纤(“DC”光纤),该光纤具有至少三层的分层芯并具有 L 波段中的一个负的总的色散和负的色散斜率。分层芯的折射率分布可以选择,以提供具有适用于在 L 波段波长波段,例如,大约 1570nm 至 1620nm 之间工作的高性能通讯系统的性能的光纤。根据本发明的 DC 光纤呈现成在 1595nm 处的总的色散在 -70 和 -225ps/nm - km 之间以及色散斜率负于 -0.7ps/nm² - km。DC 光纤可以与系统的非零色散位移光纤光学连接,以补偿其色散和色散斜率。



1. 一种色散补偿光纤，它包括：
一种分层的芯，它具有至少三层分层，可以选择折射率分布，使之具有：
总的色散在 1595nm 处是在约 -70ps/nm-km 和 -225ps/nm-km 之间；和，
色散斜率在 1595nm 处负于 $-0.7\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 。
2. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于，
总的色散在 1595nm 处是在约 -95ps/nm-km 和 -225ps/nm-km 之间；和，
色散斜率在 1595nm 处负于 $-1.0\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 。
3. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于，所述总的色散在 1595nm 处是在约 -110ps/nm-km 和 -150ps/nm-km 之间。
4. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于，所述总的色散在从约 1570nm 至 1620nm 的波长范围内是在 -60ps/nm-km 和 -190ps/nm-km 之间。
5. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于， $\Delta_1\%$ 是正的， $\Delta_2\%$ 是负的，以及 $\Delta_3\%$ 是正的。
6. 如权利要求 5 所述色散补偿光纤，其特征在于，还包括：一个中心芯具有一个大于 1.5% 的正的 $\Delta_1\%$ ，一个隔离层分层与中心芯相邻并具有一个负于 -0.4% 的负的 $\Delta_2\%$ ，以及一个环形分层与隔离层相邻并具有一个大于 0.7% 的正的 $\Delta_3\%$ 。
7. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于，还包括：
一个中心芯分层，它所具有的 $\Delta_1\%$ 在约 1.5% 至 2.0% 的范围内，以及半径 R_1 在约 $1.5\mu\text{m}$ 至 $2.0\mu\text{m}$ 的范围内；
一个隔离层分层，它所具有的 $\Delta_2\%$ 在约 -0.3% 至 -0.9% 的范围内，以及半径 R_2 在约 $4.5\mu\text{m}$ 至 $6.5\mu\text{m}$ 的范围内；和，
一个环形分层，它所具有的 $\Delta_3\%$ 在约 0.6% 至 1.1% 的范围内，以及中间点半径 R_3 在约 $6.0\mu\text{m}$ 至 $8.0\mu\text{m}$ 的范围内。
8. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤，其特征在于，还包括：
一个中心芯分层，它具有一个大于 1.7% 的正的 $\Delta_1\%$ ；
一个隔离层分层，它相邻于所述中心芯分层并具有一个负于 -0.5% 的负的 $\Delta_2\%$ ；和，
一个环形分层，它相邻于所述隔离层分层并具有一个大于 0.8% 的正的 $\Delta_3\%$ 。

%。

9. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个环形分层具有大于 0.7% 的 $\Delta_3\%$ 。

10. 如权利要求 9 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 所述环形分层的 $\Delta_3\%$ 在 0.7% 和 1.0% 之间并且中间点半径 R_3 在 $6.5\mu\text{m}$ 和 $8.0\mu\text{m}$ 之间。

11. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括:

一个中心芯分层, 它所具有的 $\Delta_1\%$ 在约 1.7% 至 1.9% 的范围内, 以及半径 R_1 在约 $1.7\mu\text{m}$ 至 $1.9\mu\text{m}$ 的范围内;

一个隔离层分层, 它所具有的 $\Delta_2\%$ 在约 -0.5% 至 -0.7% 的范围内, 以及半径 R_2 在约 $5.0\mu\text{m}$ 至 $6.0\mu\text{m}$ 的范围内; 和,

一个环形分层, 它所具有的 $\Delta_3\%$ 在约 0.75% 至 0.9% 的范围内, 以及中间点半径 R_3 在约 $6.5\mu\text{m}$ 至 $8.0\mu\text{m}$ 的范围内。

12. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个定义为在 1595nm 处的色散除以在 1595nm 处的色散斜率的 $K(\text{Kappa})$ 数值, 且该 K 在 90nm 和 110nm 之间。

13. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个定义为在 1595nm 处的色散除以在 1595nm 处的色散斜率的 $K(\text{Kappa})$ 数值, 且该 K 在 95nm 和 100nm 之间。

14. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个定义为在一指定波长的色散除以在 1570nm 至 1620nm 范围内的指定波长的色散斜率的 $K(\text{Kappa})$ 数值的范围, 且该 K 在 80nm 和 155nm 之间。

15. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个标竿阵列, 它在 1595nm 处的损耗小于 7dB。

16. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个高于 LP_{01} 的另一高阶模式的截止波长, 该截止波长小于 2050nm。

17. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个在 1595nm 处大于 $15\mu\text{m}^2$ 的有效面积。

18. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个色散斜率, 它在 1595nm 处在 $-0.7\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 和 $-2.5\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 之间。

19. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个色散斜率, 它在 1595nm 处在 $-0.9\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 和 $-1.5\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 之间。

20. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个色散斜率, 它在 1595nm 处负于 $-0.9\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 。

21. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 一个色散斜率, 它在 1595nm 处负于 $-1.2\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 。

22. 如权利要求 1 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括:

一个中心芯分层, 它所具有的外半径 R_1 在约 $1.5\mu\text{m}$ 至 $2.0\mu\text{m}$ 的范围内;

一个隔离层分层, 它所具有的外半径 R_2 在约 $4.5\mu\text{m}$ 至 $6.5\mu\text{m}$ 的范围内; 和,

一个环形分层, 它所具有的中间点半径 R_3 在约 $6.0\mu\text{m}$ 至 $8.0\mu\text{m}$ 的范围内。

23. 如权利要求 22 所述色散补偿光纤, 其特征在于, 还包括: 环形分层的外半径 R_4 在约 $10\mu\text{m}$ 至 $12\mu\text{m}$ 的范围内。

24. 一种包括权利要求 1 所述色散补偿光纤的光传输系统, 它还包括: 一个总的色散在 1595nm 处在约 $-95\text{ps}/\text{nm-km}$ 和 $-225\text{ps}/\text{nm-km}$ 之间; 以及,

色散斜率在 1595nm 处负于 $-1.0\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 。

25. 如权利要求 24 所述光传输系统, 其特征在于, 还包括: 一个与色散补偿光纤相耦合的非零色散位移光纤, 该非零色散位移光纤在 1595nm 处所具有的色散斜率在约 0.065 和 $0.08\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 之间。

26. 如权利要求 24 所述光传输系统, 其特征在于, 所述非零色散位移光纤在 1595nm 处所具有的色散在约 6.5 和 $8.5\text{ps}/\text{nm-km}$ 之间。

L 波段色散补偿光纤和包括该光纤的传输系统

发明领域

本申请要求享有 2001 年 9 月 26 日申请的美国专利申请号 No. 09/965, 406 的优先权和权益。

发明领域

本发明涉及一种色散补偿光纤和包括该光纤的传输系统，更具体的说，涉及一种色散补偿光纤以及传输系统，其中色散光纤在 L 波段 (1570nm 至 1620nm) 中呈现负的色散和色散斜率。

发明背景

通讯业需要较高的数据速率。于是，就加强了适用于长距离高数据率通讯的高性能光纤的研究。然而，这些高数据率恶化了该光纤的性能。对这些系统来说，特别是，那些采用大的有效面积光纤的系统来说，色散是一个很严重的问题。更具体的说，所构成的正的色散是高数据率传输光纤的长度的函数。在光缆中和在色散补偿模块 (DCM) 中所包括的色散补偿 (DC) 光纤已经设计了对这类色散的补偿。这些光纤一般都具有负的斜率和负的色散，使得一段短的 DC 光纤能补偿较长的传输部分的正的色散和正的斜率。在 2001 年 3 月 9 日申请的目前指定为美国专利申请 No. 09/802, 696 中可以发现一例 DC 光纤的好的实例。对于在 1570nm 和 1620nm 之间的 L 波段的运作来说，DC 光纤的波段性能和色散特性 (色散和/或色散斜率) 都是非常重要的。在一个 DCM 缠绕卷轴所包括的 DC 光纤中更是如此。

于是，对 DC 光纤来说，就需要 (1) 当包括在 DCM 中时，是在 L 波段波长范围 (1570nm 至 1620nm) 中的单模；和 (2) 保持着通用高性能光纤的特性，例如，高强度、低衰减和可接受的对弯曲引起的损耗的抗力，以及 (3) 在补偿 L 波段

中的非零色散位移光纤(NZDSF)的色散是特别有用的。

定义

以下的定义是依照本领域中通用的用途。

—折射率分布图是折射率和光纤半径之间的关系。

—一个分层的芯是一个至少具有一个第一和一个第二分层(例如, 一个中心芯和一个隔离层)的芯。各个芯的分层都具有各自的折射率分布曲线和最大和最小折射率。

—可以根据折射率分布曲线的分层的起始点和结束点或者在环形分层的情况下根据分层的中点来定义芯分层的半径。图 2 说明了本文所使用的半径的定义。相同的定义也适用于图 3 至图 5。中心芯分层 22 的半径 R_1 , 是从 DC 光纤的中心线(CL)延伸至在分布曲线与相对折射率为零相交叉的点的长度, 正如相对于外包 30 测量的。隔离层分层 24 的外层半径 R_2 从中心线延伸至隔离层的外边缘与折射率为零相交叉的半径点。半径 R_3 是测量 $\Delta_3\%$ 为环形分层 26 的最大值的一半的位置。在环形分层 26 的半高 $\Delta\%$ 数值处来测量环形分层 26 的半高宽度。分层 26 的半径 R_3 从中心线(CL)延伸至半高线分层 27 的中间点 28。通过将 $\Delta_3\%$ 半高位置处与环形分层相交的两点之间的分层 26 一分为二就可形成中间点 28。半径 R_4 是测量从中心线(CL)到环形分层 26 的最外部分符合零折射率点的点长度, 正如相对于外包 30 的测量。

—有效面积可定义为:

$$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int E^2 r dr)^2 / (\int E^4 r dr)$$

其中, 该积分限制为 0 至 ∞ , 而 E 是在 1595nm 测量到的与传输光有关的电场。

—有效直径 D_{eff} 可定义为:

$$D_{\text{eff}} = (2/\pi^{1/2}) A_{\text{eff}}^{1/2}$$

—分布的内部空间可定义为 $2\pi \int \Delta\% r dr$ 。

中心芯分层 22 的分布内部空间从波导的中心线, $R=0$, 延伸至半径 R_1 。环形分层 26 的分布内部空间从半径 R_2 延伸至在半径 R_4 处的环形分层的最外点。分布内部空间的单位是 $\%\mu\text{m}^2$, 因为相对率是无量纲的。分布内部空间的单位, $\%\mu\text{m}^2$, 将在本文中简化为单位。

一术语, $\Delta\%$, 表示折射率的相对测量, 可由下列等式所定义:

$$\Delta\% = 100 (n_i^2 - n_c^2) / 2n_c^2$$

式中: n_i 是在各个区段 i (例如, 22、24 和 26) 中的最大折射率, 除非有其它限定, 而 n_c 是外包 (例如, 30) 的折射率, 除非有其它限制。

一术语, α 分布, 称之为折射率分布, 可由 $\Delta(b)\%$ 表示, 其中: b 是半径, 它遵循下列等式:

$$\Delta(b)\% = [\Delta(b_0)(1 - |b - b_0| / (b_1 - b_0))^\alpha] 100$$

式中: b_0 是分布的最大点, b_1 是 $\Delta(b)\%$ 为零的点, 以及 b 处于 $b_i \leq b \leq b_f$, 这里将 $\Delta\%$ 定义如上, b_i 是 α 分布的起始点, b_f 是 α 分布的终点, 而 α 是指数, 它是个实数。 α 分布的起始点和终点都是可以选择的, 也可以输入到计算机模型中。正如本文所使用的, 如果 α 分布作为步长指数分布的引导的话, 则 α 分布的起始点就是 α 分布和步长分布的交叉点。在这种模型中, 为了能使得 α 分布与相邻分布分层的分布平滑结合, 将该等式写成:

$$\Delta(b)\% = [\Delta(b_a) + [\Delta(b_0) - \Delta(b_a)] \{ (1 - |b - b_0| / (b_1 - b_0))^\alpha \}] 100$$

式中: b_a 是相邻分层的第一个点。

一标杆阵列弯曲测试用于比较光纤对弯曲的相对抗力。为了能进行这一测试, 就需要在将光纤排列好使之不会产生所引起的弯曲损耗时, 测量衰减损耗。然而将该光纤围绕标杆阵列编织, 并再次测量衰减。在两次衰减测量中, 由弯曲所引起的损耗是不同的。标杆阵列可以设置成以单行排列的十个圆柱形标杆并保持在一个平面表面上的固定垂直位置上。标杆的中心与中心之间的间距为 5mm。标杆的直径为 0.67mm。使得光纤能够在相邻标杆的相反侧通过。在测量的过程中, 光纤处于充分拉紧的状态下, 使得波导与标杆的外围部分相吻合。

发明内容

根据本文所披露和说明的本发明的 DC 光纤特别适用于对 L 波段中的某些 NZDSF 的色散和色散斜率进行补偿。

根据本发明一个实施例, 所提供的 DC 光纤具有至少三个分层的分层芯, 各个分层的特征取决于折射率分布, 相对折射率 $\Delta\%$, 以及半径尺寸。DC 光纤的整体折射率分布结构是可选择的, 从而提供一组特别适合于设计在中间点约

为 1595nm 和波长范围约在 1570nm 和 1620nm 之间的 L 波段波长窗口工作的传输系统的特性(属性)。根据本发明的 DC 光纤特别适合于构成对 NZDSF 中的色散和/或色散斜率的补偿。于是, DC 光纤可与 NZDSF 相耦合, 以形成一个传输系统, 并且设计成能补偿 NZDSF 的色散和/或斜率(并且最好是两者), 特别是在 L 波段。包括 DC 光纤的传输系统也较佳地包括光放大器, 波长分多路操作, 以及其它常规的系统元件。较佳的是, DC 光纤绕在一个轴上并包含于一个模块中。

根据本发明的一个实施例, 采用 100Km 的 NZDSF 传输光纤和适当长度的本发明 DC 光纤的传输系统的总的色散(本文定义成可测量色散—总的色散等于总的色散加上波导色散加上分布色散)使得该系统在整个 L 波段(在 1570nm 和 1620nm 之间)的残余色散小于 $\pm 25\text{ps/nm}$ 。根据本发明所设计的光纤分布呈现出在 1595nm 处小于 0.8dB/Km 优良的衰减特性。此外, 波段损耗, 正如标竿阵列测试中所测量的那样, 较佳的是小于 25dB , 最好是能小于 10dB , 更好的是小于 3dB 。于是, 根据本发明的 DC 光纤呈现出优良的弯曲损耗特性, 并因此有利于卷到和用于小直径的 DCM 中, 以便于在传输系统中用于补偿长距离的 NZDSF 的色散和色散斜率。

根据 DC 光纤较佳实施例, 芯的各个分层都具有—折射率分布, 并且至少一个分层较佳地具有 α 分布。更佳的是, 芯的分布包括一个正的 $\Delta_1\%$ 中心芯分层, 一个负的 $\Delta_2\%$ 的隔离层区, 以及一个正的 $\Delta_3\%$ 的环形分层。较佳的是, 环形分层具有无阶跃的折射率分布并不同于隔离层分层。

根据本发明, DC 光纤具有包含至少三层的分层芯, 并且分层芯的折射率是可以选择的, 从而可以在 1595nm 处提供一个负的总的色散和一个负的色散斜率, 较佳的是在整个从 1570 至 1620nm 的 L 波段中。本发明的 DC 光纤在 1595nm 处的总的色散是在 -70ps/nm-Km 和 -225ps/nm-Km 之间; 并且色散斜率在 1595nm 处负于 $-0.7\text{ps/nm}^2\text{-Km}$ 。更佳的是, 在 1595nm 处的色散是在 -95ps/nm-Km 和 -225ps/nm-Km 之间, 并且色散斜率在 1595nm 处负于 $-0.9\text{ps/nm}^2\text{-Km}$ 。还有更佳的是, 在 1595nm 处的色散是在 -110 和 -150ps/nm-Km 之间以及整个从 1570nm 至 1620nm 的 L 波段波长的范围内是在 -80 和 190ps/nm-Km 之间的范围内。

最佳的是, 色散斜率在 1595nm 处负于 $-0.70\text{ps/nm}^2\text{-Km}$, 以及在 1595nm 处较佳的是处于 $-0.9\text{ps/nm}^2\text{-Km}$ 和 $-1.5\text{ps/nm}^2\text{-Km}$ 之间。

同样, 较佳的是, DC 光纤所具有的色散斜率在整个从 1570nm 至 1620nm 的 L 波段波长的范围内负于 $-0.5\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$; 更佳的是, 负于 $-0.7\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$, 最佳的是, 负于 $-1.2\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 。较佳的是, 在整个 L 波段波长的范围内色散斜率为 $-0.5\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 和 $-2.5\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 之间的范围内, 并且, 更佳的是, 为 $-1.0\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 和 $-1.8\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 之间的范围内。

DC 光纤较佳地具有一个 $K(\text{Kappa})$ 数值, $K(\text{Kappa})$ 数值定义为在 1595nm 处的总的色散除以在 1595nm 处的色散斜率且在 90nm 至 110nm 之间, 更佳的是, 在 90nm 至 105nm 之间, 最佳是在 95nm 至 100nm 之间。最佳的是, K 数值在整个从 1570nm 至 1620nm 的 L 波段波长的范围内是在约 80nm 和 155nm 之间; 更佳的是在 85nm 和 110nm 之间。

DC 光纤较佳地包括一个中心芯分层, 它所具有的 α 分布是在约 1.8 至 5.0 之间的范围内; 更佳的是在约 2.0 至 2.2 之间。

根据本发明实施例的 DC 光纤较佳地包括一个具有大于 1.5% 的正的 $\Delta_1\%$ 的中心芯分层, 一个相邻于中心芯分层并具有负于 -0.3% 的负的 $\Delta_2\%$ 的隔离层分层, 以及一个相邻于隔离层分层并具有大于 0.6% 的正的 $\Delta_3\%$ 的环形分层。

更佳的是, 根据本发明实施例的 DC 光纤较佳地包括一个具有大于 1.7% 的正的 $\Delta_1\%$ 的中心芯分层, 一个相邻于中心芯分层并具有负于 -0.5% 的负的 $\Delta_2\%$ 的隔离层分层, 以及一个相邻于隔离层分层并具有大于 0.8% 的正的 $\Delta_3\%$ 的环形分层。

根据本发明 DC 光纤在 1595nm 处的有效面积大于 $15\mu\text{m}^2$, 更佳的是, 大于 $17\mu\text{m}^2$ 。

根据本发明另一实施例, 所提供的光传输系统具有一个色散补偿光纤, 其中, 色散补偿光纤包括一个分层芯且至少具有三个分层, 折射率分布可以选择, 以在 1595nm 上提供总的色散在约 $-70\text{ps}/\text{nm-Km}$ 和 $-225\text{ps}/\text{nm-Km}$ 之间; 并且色散斜率在 1595nm 处负于 $-0.7\text{ps}/\text{nm}^2\text{-Km}$ 。

在以下的详细讨论中阐述了本发明的其它性能和优点, 并且从包括以下详细的讨论、权利要求说明书以及附图的本文所讨论的实现本发明的讨论或理解中, 本领域的普通熟练人士对上述性能和优点可有更加清晰的认识。应该理解的是, 上述的一般讨论以及以下详细的讨论都仅仅是本发明的举例, 并且旨在提供理解权利要求所述的本发明的性能和特性的概述或架构。所包括的附图提供了对本发明的进一步理解, 并且合并和构成了本申请的一部分。附图说明了

本发明的几个实施例，并且与讨论一起用于解释本发明的原理和操作。

附图简要说明

图 1 图示了根据本发明的 DC 光纤的各个分层的分布投影图；
图 2 是根据本发明 DC 光纤的第一实施例的 $\Delta\%$ 与芯半径(μm)的图形；
图 3 是根据本发明 DC 光纤的第二实施例的 $\Delta\%$ 与芯半径(μm)的图形；
图 4 是根据本发明 DC 光纤的第三实施例的 $\Delta\%$ 与芯半径(μm)的图形；
图 5 是根据本发明 DC 光纤的第四实施例的 $\Delta\%$ 与芯半径(μm)的图形；
图 6 是根据本发明 DC 光纤的几个实施例的色散与波长的曲线；
图 7 是根据本发明 DC 光纤的几个实施例的色散斜率与波长的曲线；
图 8 是根据本发明 DC 光纤的几个实施例的 $K(\text{Kappa})$ 与波长的曲线；
图 9 是包括根据本发明的 DC 光纤的传输系统的第一实施例的示意图；
图 10 是包括根据本发明的 DC 光纤的传输系统的第二实施例的示意图；和
图 11 是根据本发明 DC 光纤的第五实施例的 $\Delta\%$ 与芯半径(μm)的图形。

本发明的详细描述

根据本发明的 DC 光纤可以包含在一系列能够产生一些非常特殊的所需要的性能(属性)的分层芯的设计中，本文将对此进行全面的讨论。DC 光纤芯的设计系列可以包括但不限于本文所讨论的特殊实施例。于是，应该意识到，可以在不脱离本发明范围的条件下对本发明所讨论的特殊实施例进行改进。第一实施例可以参考图 1 和图 2 来讨论。DC 光纤 20 在其芯中包括至少三层分层。应该理解的是，正如图 1 所显示的，图 1 并没有按实际比例来画，为了显示清晰已经放大了各层的相对尺寸。较佳的是，DC 光纤 20 具有一个中心芯分层 22，一个相邻的圆柱形隔离层分层 24，以及一个环绕着隔离层分层的圆柱性环形分层 26。该环形分层 26 还被圆柱形的外包层 30 所环绕着，它延伸至离中心线(CL)大约 $62.5\mu\text{m}$ 的半径处。光纤 20 的整个芯和外包 30 都采用一个保护层 34 来覆盖，例如，尿脞丙烯酸脂和其它合适的涂层。涂层 34 可由几层来组成且各层可 34 具有不同的特性。例如，第一最内层的涂层可以具有比第二外层涂层低的模数。但是，应该理解的是，可以采用传统的方法来涂覆任何合适的涂层。

各种芯分层 22、24 和 26 较佳的包括了掺杂剂，从而改变了它们相对于外包 30 的折射率。芯分层 20 较佳的包括了掺锗的二氧化硅，以提高它相对于外部 30 的折射率。外包 30 较佳的是由纯二氧化硅所制成的。隔离层分层 24 是由诸如氟之类的合适的低掺杂剂掺杂的二氧化硅玻璃制成的。环形分层 26 是由类似于芯分层采用诸如锗之类的合适的高掺杂剂掺杂的二氧化硅制成的。也可以采用其它掺杂剂只要折射率的水平可相对于所获得的外包来变化。

于是，通过这类掺杂剂的添加，可以制成具有精确定义分布的 DC 光纤芯。特别是，通过适当掺杂剂数量的添加，就能将中心芯分层 22 制成为具有一个正的 $\Delta_1\%$ ，隔离层分层 24 制成为具有一个负的 $\Delta_2\%$ ，以及环形分层 26 制成为具有一个正的 $\Delta_3\%$ 。 $\Delta_1\%$ ， $\Delta_2\%$ 和 $\Delta_3\%$ 各自都可定义成相对于外包 30 的折射率为正的和负的，如同传统的实践。

正如以上所提到的，根据本发明的 DC 光纤对 NZDSF(例如，由康宁(Corning Inc.)公司制成的 LEAF®)的色散和斜率的补偿特别有效。特别是，DC 光纤设计成对在 1595nm 处具有色散的 NZDSF 光纤补偿约 7.93ps/nm-km 和在 1595nm 处具有色散斜率的 NZDSF 光纤补偿约 0.0791ps/nm²-km。为了能补偿 NZDSF 的色散和色散斜率并且能够采用一个小的 DC 光纤的光纤长度来实现，该 DC 光纤就必须在 1595nm 处具有一个高的负的色散和一个高的色散斜率。较佳的是，由色散除以色散斜率的比率(本文定义为 Kappa)也应该是在 1595nm 处所限定的范围内。根据本发明的 DC 光纤适用于对在 1595nm 处具有约 0.065 和 0.080ps/nm²-km 之间的色散斜率的任何非零色散位移光纤进行补偿。根据本发明的 DC 光纤也可以用于对在 1595nm 处具有约 6.5 和 8.5ps/nm-km 之间的色散的任何非零色散位移光纤进行补偿。

特别是，正如图 6 所示，DC 光纤系列所具有总的色散在整个 L 波段操作窗口较佳的是在具有约 -60ps/nm-km 和 -275ps/nm-km 之间的范围内。在一个实施例中，由标记为 120 的曲线来说明总的色散范围在 -80 和 -190 ps/nm-km 之间的范围内。正如图 7 所示，在整个 L 波段(1570nm 至 1620nm)上的 DC 光纤系列的色散斜率都负于 -0.5ps/nm²-km；许多是负于 -0.7ps/nm²-km；，以及部分是负于 -1.2 ps/nm²-km。较佳的是，DC 光纤在 1595nm 处所具有的色散斜率在约 -0.7ps/nm²-km 和 -2.5ps/nm²-km 之间。这些相对低的负的色散数值和非常低的负的斜率数值能够对 L 波段中 NZDSF 的色散和色散斜率进行补偿。正如图 8 所示，当对这类 NZDSF 进行补偿时，就需要 $K(Kappa)$ (K 定义为色散除

以色散斜率)处于 1595nm 处的约 90nm 和 110nm 之间;较佳的是在 90nm 和 105nm 之间;更佳的是在 95nm 和 100nm 之间。在整个 1570nm 至 1620nm 的 L 波段中 Kappa 较佳的范围是约 80nm 和 155nm 之间。在部分实施例中, Kappa 在 1620nm 具有比 1570nm 更高的数值, 正如图 8 中的标识为 120 的曲线所示。

作为一个例子, 但并不作为限制, 图 9 所示的传输系统 32 具有 100Km 长的 NZDSF 36, 例如, 由康宁(Corning Inc.)公司制成的 LEAF®光纤具有在 1595nm 处约 7.93ps/nm-km 正的色散和在 1595nm 处约 0.0791ps/nm²-km 正的色散斜率, 该正的色散和色散斜率可以由根据本发明约 1.8km 较短长度的 DC 光纤 120 来补偿。在一个实例中, DC 光纤 120 具有在 1595nm 处约 -142ps/nm-km 的色散和在 1595nm 处约 -1.46ps/nm²-km 的色散斜率。以 DCM 方式所使用的 DC 光纤 20 在 L 波段中具有在约 -110ps/nm-km 至 -180ps/nm-km 范围内的色散以及在 L 波段中具有 -1.15ps/nm²-km 至约 -1.7ps/nm²-km 之间的色散斜率, 它使得传输系统 32 在从 1570nm 至 1620nm 的整个 L 波段中的总的残余色散不大于约 +/-25pb/nm。传输系统 32 可以包括一些常规的元件, 例如, 收发器 40、光放大器 42 和接收器 44。正如图 10 所示, 可选择的是, 传输系统 32a 可以与一个或多个附加长度的 NZDSF 36b 而不是与接收器相耦合。

以下所列的表 1 定义了一系列根据本发明的 DC 光纤, 这些光纤具有可补偿在 1595nm 处具有约 7.9ps/nm-km 色散和 0.079ps/nm²-km 色散斜率的 NZDSF 的斜率和色散所需要的性能。应该意识到的是, 在下面的例子中衰减是非常低的并且弯曲引起的损耗是可接受的。

参考图 2, 示出了 $\Delta\%$ 相对芯半径 (μm) 的折射率分布曲线。这是本文所讨论的 DC 光纤 20 的第一实施例并且与下列表 1 中的实例 1 相对应。具体说, 中心芯分层 22 具有一个 α 分布, 该分布的 α 为约 2.0, 最大 $\Delta_1\%$ 为 1.83% 以及外半径 R_1 为约 1.83 微米。芯分层包括一个分段的折射率区段, 它具有在中心线处的相对折射率百分比为约 1.83% 并且延伸至半径约为 0.2 μm , 正好在 α 分布开始的点上。相邻的隔离层分层 24 环绕和毗邻着芯分层 22 并具有一个分段的折射率的分布, 该分布可由具有 $\Delta_2\%$ 所定义的微斜度, 在其最内半径 R_1 处比在其最外半径 R_2 处要稍微负一些。隔离层分层 24 所具有的外径 R_2 为约 5.97 μm 以及最大负的 $\Delta_2\%$ 为约 -0.5%。例子 1 的实施例包括了一个位于半径 R_3 的环形分层。该半径 R_3 是根据以上所定义的环形分层中间点的半径。 R_3 量度至环形分层 26 半高宽度的中点。环形分层 26 环绕和毗邻着隔离层分层 24 并

且所包括的半径 R_3 为 $7.70\mu\text{m}$ ，环形分层 26 的半高宽度为约 $0.9\mu\text{m}$ ，以及 $\Delta_3\%$ 为约 0.8% 。环形分层 26 包括一个第一斜度部分 25，它从环形分层 26 的主体向在 R_2 处的隔离层分层 24 的边缘延伸。一个第二斜度部分 31 从主体 29 向在 R_4 处外包 30 的起始位置延伸。

实例 1

DC 光纤 20 按图 2 设计并具有以上所描述的结构。依次对分层进行计数，环绕着中心线的中心芯分层以 1 开始，使用上述的各定义，也在表 1 中描述芯的结构。

正如图 6 至 8 所说明的那样，该实施例的 DC 光纤 20 具有下列预期的性能：

- 在 1570nm 处的总的色散为 -90ps/nm-km ；
- 在 1595nm 处的总的色散为 -115ps/nm-km ；
- 在 1620nm 处的总的色散为 -148ps/nm-km ；
- 在 1595nm 处的色散斜率为 $-1.18\text{ps/nm}^2\text{-km}$ ；
- 截止波长， λ_{c1} ，为 2019nm （截止波长最高为 LP_{11} 并且 LP_{02} 为高于笔直 DC 光纤的 LP_{01} 的高阶模）；
- 有效面积， A_{eff} ，为 $17.17\mu\text{m}^2$ ；
- 在 1595nm 处的衰减为 0.5dB/km ；以及，
- 标竿阵列弯曲损耗为 6.4dB 。

实例 2

第二个三层芯 DC 光纤 120 根据图 3 所示的折射率分布设计。在这种情况下，芯分层 122 的 α 分布在离开中心线 $0.2\mu\text{m}$ 处开始，并且所具有的 α 为 2.0 ， $\Delta_1\%$ 为 1.83% ，以及 R_1 为 $1.81\mu\text{m}$ 。隔离层分层 124 具有一个倾斜的分段分布，最负的 $\Delta_2\%$ 为 -0.6% ，并且外径 R_2 为 $5.38\mu\text{m}$ 。环形分层 126 所具有的 $\Delta_3\%$ 为 0.85% ，以上所定义的中间点半径 R_3 为 $7.02\mu\text{m}$ ，以及中间点的宽度为 $0.8\mu\text{m}$ 。在表 1 中还可以发现其它性能和特性。

正如图 6 至图 8 所说明的，该 DC 光纤 120 可具有下列预期的性能：

- 在 1570nm 处的总的色散为 -118ps/nm-km ；

- 在 1595nm 处的总的色散为 -142ps/nm-km ;
 - 在 1620nm 处的总的色散为 -180ps/nm-km ;
 - 在 1595nm 处的色散斜率为 $-1.46\text{ps/nm}^2\text{-km}$;
 - 截止波长, λ_{c1} , 为 1975nm(截止波长最高为 LP_{11} 并且 LP_{02} 为高于笔直 DC 光纤的 LP_{01} 的高阶模);
 - 有效面积, A_{eff} , 为 $17.49\mu\text{m}^2$;
 - 在 1595nm 处的衰减为 0.6dB/km ; 以及,
 - 标杆阵列弯曲损耗为 6.8dB .
- 在该实施例中, 各项性能是优良的并且弯曲损耗的改进超过了实例 1 的设计。

实例 3

根据本发明的 DC 光纤 220 按图 4 所示的分布设计。该芯分层 222 具有的折射率 Δ_1 为 1.73% 以及外半径 R_1 为 $1.83\mu\text{m}$ 。 α 分布所具有的 α 为 2.2。隔离层分层 224 所具有的 $\Delta_2\%$ 为 -0.5% , 以及外层分层半径 R_2 为 $5.87\mu\text{m}$ 。环形分层 226 所具有的 $\Delta_3\%$ 为 0.85 以及中间点 R_3 为 $7.53\mu\text{m}$ 。

该 DC 光纤 220 可具有下列预期的性能:

- 在 1570nm 处的总的色散为 -75ps/nm-km ;
- 在 1595nm 处的总的色散为 -95ps/nm-km ;
- 在 1620nm 处的总的色散为 -126ps/nm-km ;
- 色散斜率为 $-1.04\text{ps/nm}^2\text{-km}$;
- 截止波长, λ_{c1} , 为 2010nm(截止波长最高为 LP_{11} 并且 LP_{02} 为高于笔直 DC 光纤的 LP_{01} 的高阶模);
- 有效面积, A_{eff} , 为 $16.73\mu\text{m}^2$;
- 在 1595nm 处的衰减为 0.5dB/km ; 以及,
- 标杆阵列弯曲损耗为 5.5dB .

实例 4

根据本发明的 DC 光纤 320 的设计也可作为另一个三层设计的实例。参考

图 5, 芯分层 322 所具有的 α 分布的 α 为 2.0, $\Delta_1\%$ 为 1.83%, 以及 R_1 为 $1.79\mu\text{m}$ 。隔离层分层 324 具有的 $\Delta_2\%$ 为 -0.7% , 并且外径 R_2 为 $5.33\mu\text{m}$ 。环形分层 326 所具有的 $\Delta_3\%$ 为 0.85%, 中间点半径 r_3 为 $6.93\mu\text{m}$, 以及环形分层的半高宽度为 $0.8\mu\text{m}$ 。

根据本发明的该 DC 光纤具有下列预期的性能:

- 在 1570nm 处的总的色散为 -165ps/nm-km ;
- 在 1595nm 处的总的色散为 -222ps/nm-km ;
- 在 1620nm 处的总的色散为 -275ps/nm-km ;
- 在 1595nm 处的色散斜率为 $-2.40\text{ps/nm}^2\text{-km}$;
- 截止波长, λ_{c1} , 为 1950nm(截止波长最高为 LP_{11} 并且 LP_{02} 为高于笔直 DC 光纤的 LP_{01} 的高阶模);
- 有效面积, A_{eff} , 为 $19.84\mu\text{m}^2$;
- 在 1595nm 处的衰减为 0.8dB/km ; 以及,
- 标竿阵列弯曲损耗为 22dB 。

实例 5

根据本发明的 DC 光纤 420 的设计也可作为另一个三层设计的实例。参考图 11, 芯分层 422 所具有的 α 分布的 α 为 2.0, $\Delta_1\%$ 为 1.89%, 以及 R_1 为 $1.86\mu\text{m}$ 。隔离层分层 424 具有的 $\Delta_2\%$ 为 -0.61% , 并且外径 R_2 为 $5.68\mu\text{m}$ 。环形分层 426 所具有的 $\Delta_3\%$ 为 0.81%, 中间点半径 r_3 为 $7.41\mu\text{m}$, 以及环形分层的半高宽度为 $0.9\mu\text{m}$ 。

根据本发明的该 DC 光纤具有下列预期的性能:

- 在 1570nm 处的总的色散为 -58ps/nm-km ;
- 在 1595nm 处的总的色散为 -74ps/nm-km ;
- 在 1620nm 处的总的色散为 -95ps/nm-km ;
- 在 1595nm 处的色散斜率为 $-0.71\text{ps/nm}^2\text{-km}$;
- 截止波长, λ_{c1} , 为 2037nm(截止波长最高为 LP_{11} 并且 LP_{02} 为高于笔直 DC 光纤的 LP_{01} 的高阶模);
- 有效面积, A_{eff} , 为 $15.63\mu\text{m}^2$;
- 在 1595nm 处的衰减为 0.7dB/km ; 以及,

一标杆阵列弯曲损耗为 3.0dB。

下面的表 1 说明了根据本发明的较佳 DC 光纤参数，它达到了所期望的性能。表 1 所说明的参数适用于以上所列出的三层设计。列示了各个具体分层的最大 $\Delta\%$ ，以及所对应的半径 R_i 。在该表的表头上列出了以分层的中间点进行半径测量的情况。所有其它半径都是一个给定分层的最大外半径以及下一个相邻分层的最大内半径，其中，分层是以 1 开始(对应于中心芯分层)并向外推进。这些其它半径都是以该分布与外包折射率相交叉的点来测量的。

表 1

实例	1	2	3	4	5
$\Delta_1\%$	1.83	1.83	1.75	1.83	1.89
$R_1(\mu\text{m})$	1.82	1.81	1.82	1.79	1.86
$\Delta_2\%$	-0.5	-0.6	-0.5	-0.7	-0.6
$R_2(\mu\text{m})$	5.97	5.38	5.87	5.33	5.68
$\Delta_3\%$	0.8	0.85	0.85	0.85	0.81
$R_3(\mu\text{m})$	7.70	7.02	7.53	6.97	7.41
$R_4(\mu\text{m})$	11.0	10.2	10.8	10.0	10.7
α 中心芯 (单位)	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0
内部空间中心芯 (单位)	10.2	10.0	10.1	9.8	10.6
内部空间环	45.8	42.6	45.0	41.9	45.5
色散@1595nm (ps/nm-km)	-115	-142	-95	-222	-74
色散斜率@1595nm (ps/nm ² -km)	-1.18	1.46	-1.04	-2.40	-0.71
$K(\text{Kappa})$ @1595nm (nm)	97.9	97.2	91.3	92.5	103
模场直径 (μm)	4.67	4.64	4.63	4.74	4.52
$A_{\text{eff}}(\mu\text{m}^2)$	17.17	17.49	16.73	19.84	15.63
$\lambda_c(\text{nm})$	2019	1975	2010	1950	2037

本发明的 DC 光纤可以根据诸如 OVD、MCVD 和 PCVD 等之类任何众所周知的化学蒸汽沉积方法来制造。较佳的是，DC 光纤可以由一种 OVD 方法来制成的，其中，首先在氧化铝芯轴上沉积具有氧化锗掺杂的二氧化硅来制造芯，使之达到所需直径并且使氧化锗掺杂至适当水平，能达到适用于芯分层所需要的折射率分布。随后抽去芯轴，并且在含氯环境中彻底干燥之后，在包括氦气氛的固化炉中固化构成芯分层的碳黑半成品。固化后的芯半成品随后再拉制成芯的细长的茎，它将随后成为最终沉积的表面，用于隔离层分层碳黑的涂布。二氧化硅碳黑沉积至适当的直径作为隔离层使用，并随后在固化炉中以含氯氛围中干燥。随后将碳黑半成品采用含氟气体，例如， CF_4 或 SiF_4 进行掺杂并随后固化，并再拉制成细长的茎。这些细长的茎将成为环形分层碳黑的沉积表面。在两个分层的细长茎上沉积掺锗的二氧化硅碳黑，并随后干燥和固化。接着，再拉制固化的半成品，这次将成为包括分层芯的三个分层的最终芯半成品。随后，在芯的细长茎上沉积构成外包的其它二氧化硅的碳黑。干燥和固化最终的碳黑半成品并随之转移至拉制炉中，在该炉中拉制成 DC 光纤。尽管本文已经披露和讨论了 DC 光纤的具体实例，但是对本领域的熟练技术人员来说，应该理解的是，对本发明所作的各种改进和变化都没有脱离本发明的范围。于是，本发明试图覆盖本发明的这类改进和变化，所提供的这类改进和变化都将在所附的权利要求以及它们等效技术方案的范围之内。

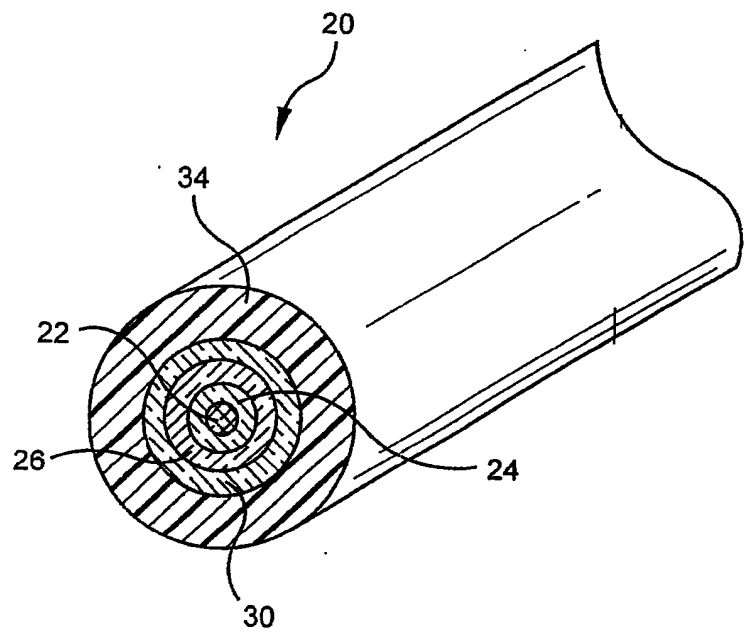
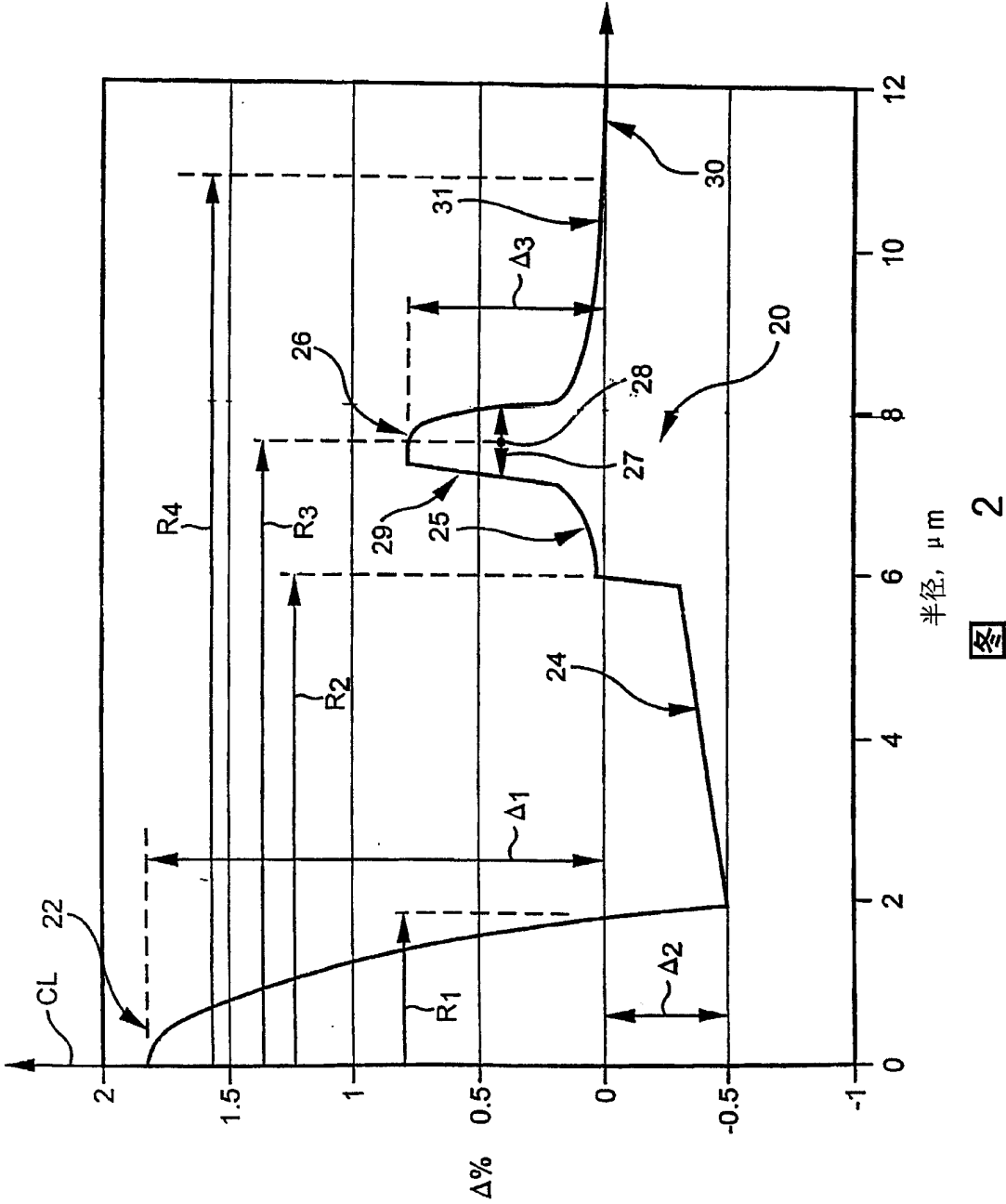


图 1



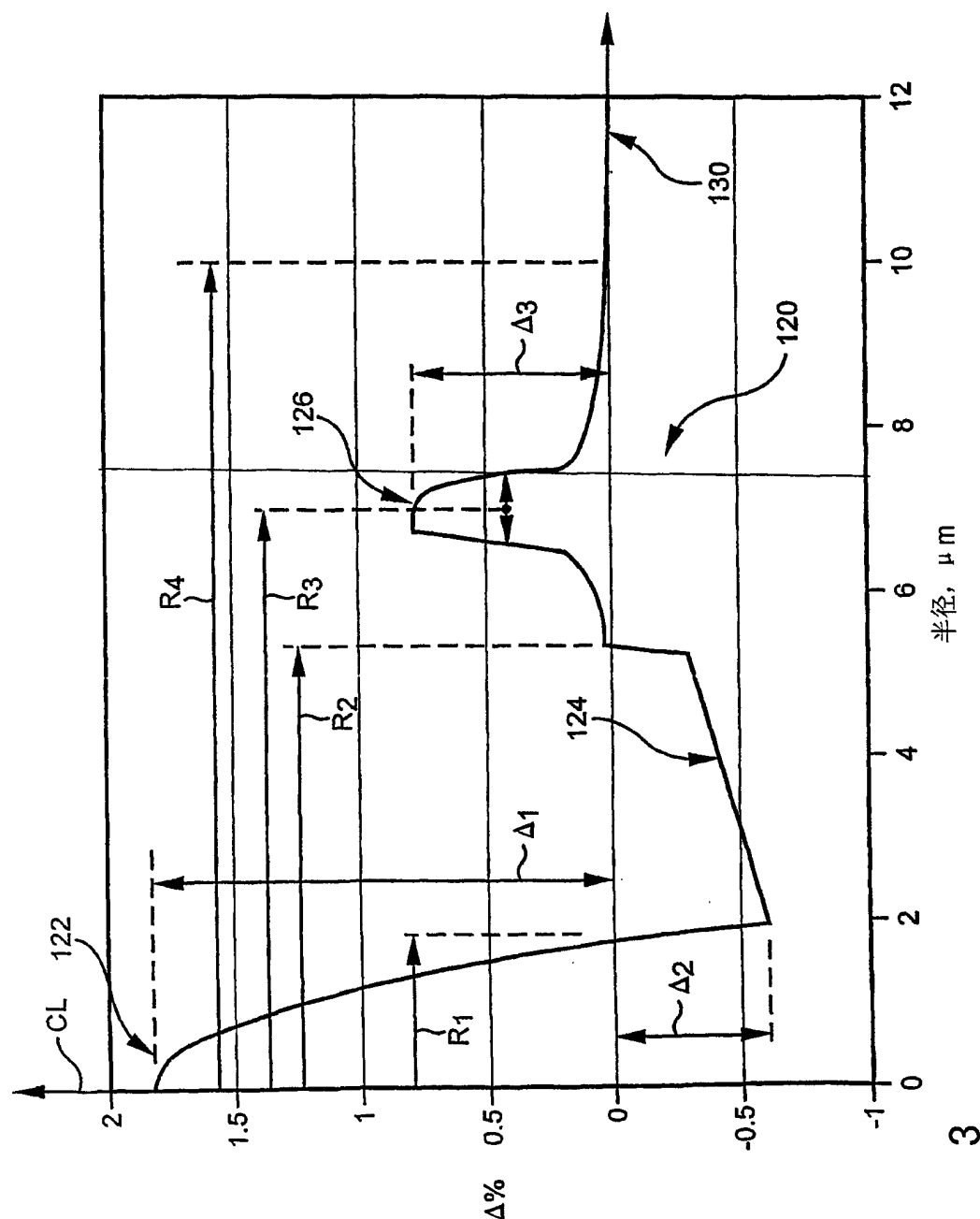
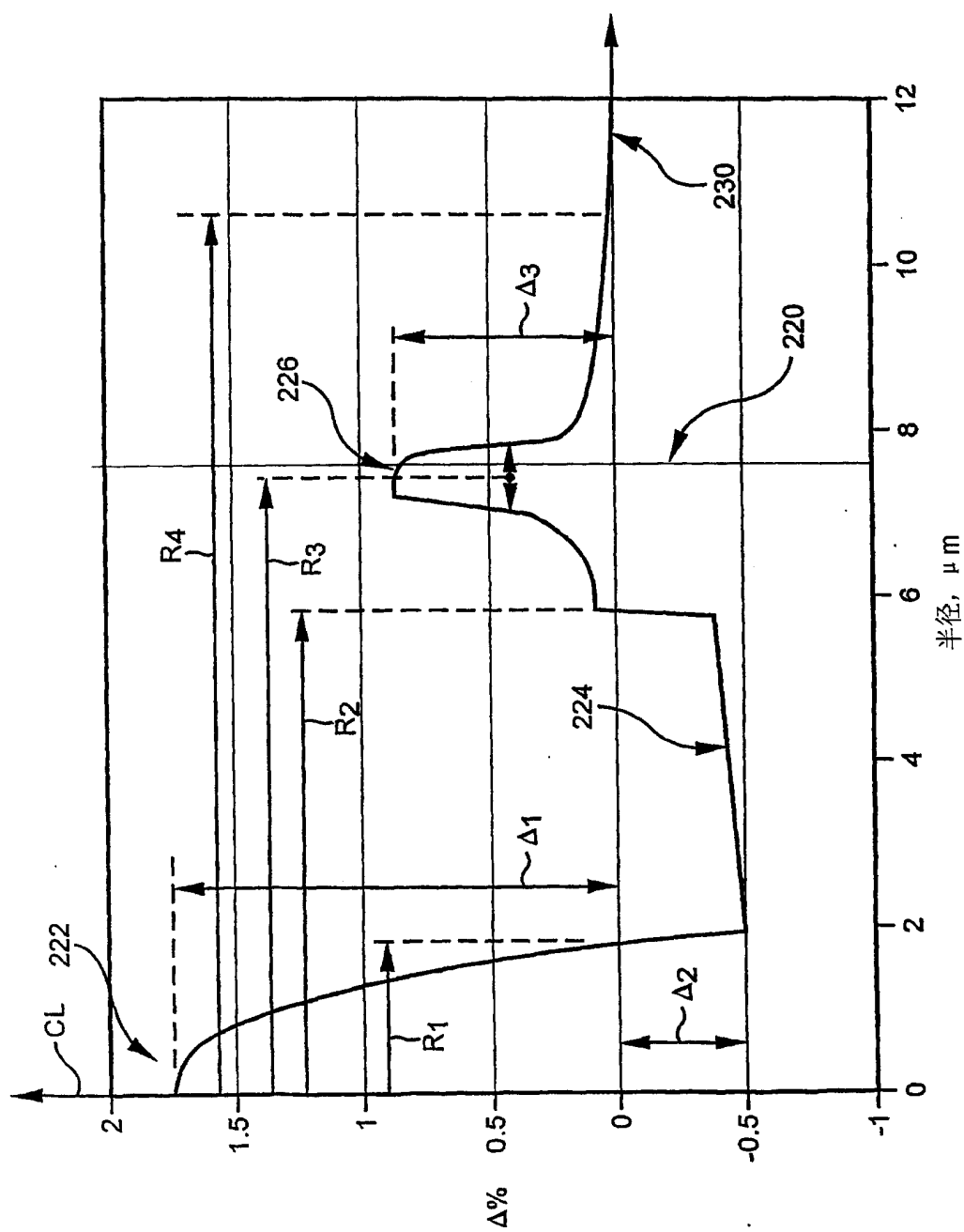


图 3



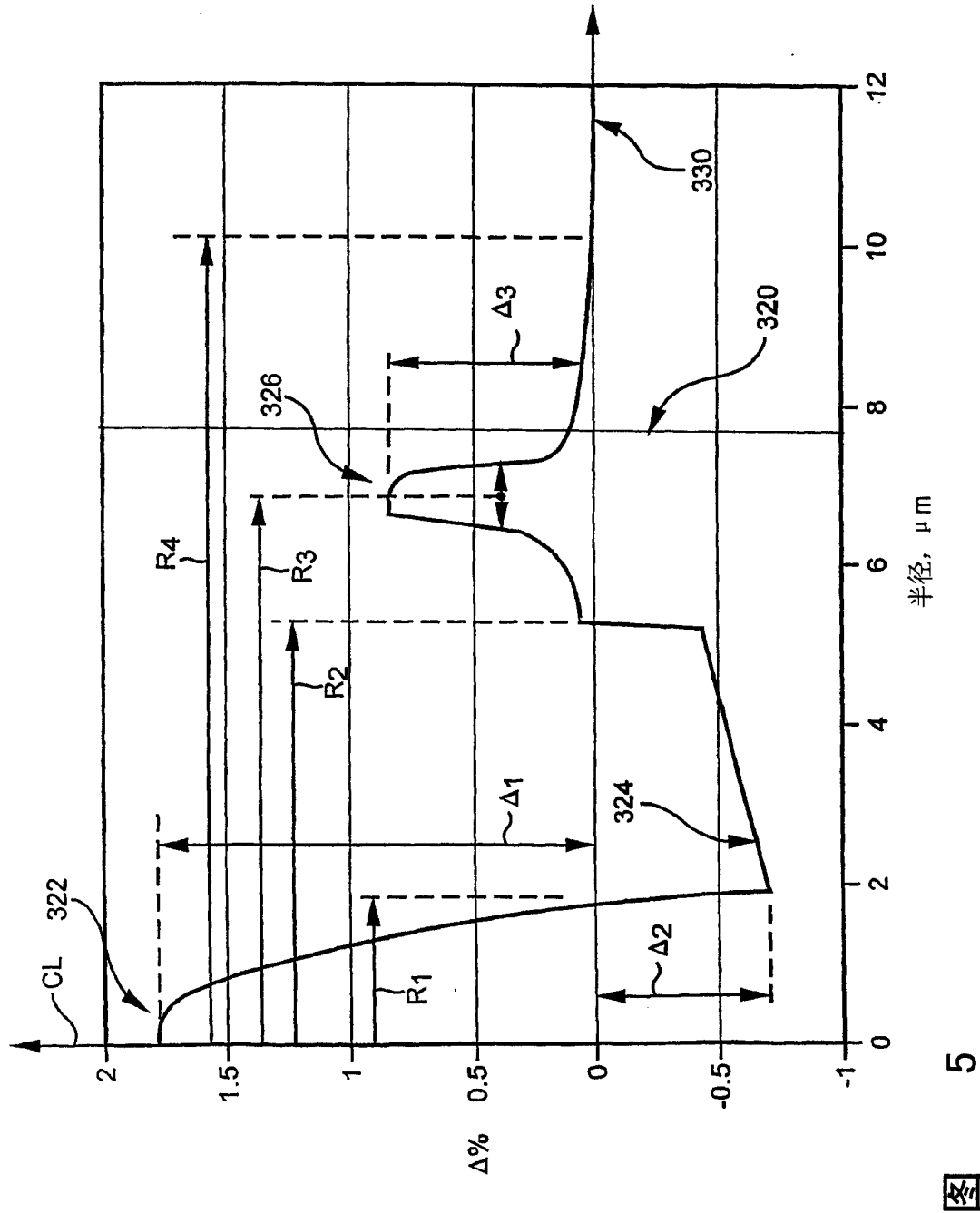


图 5

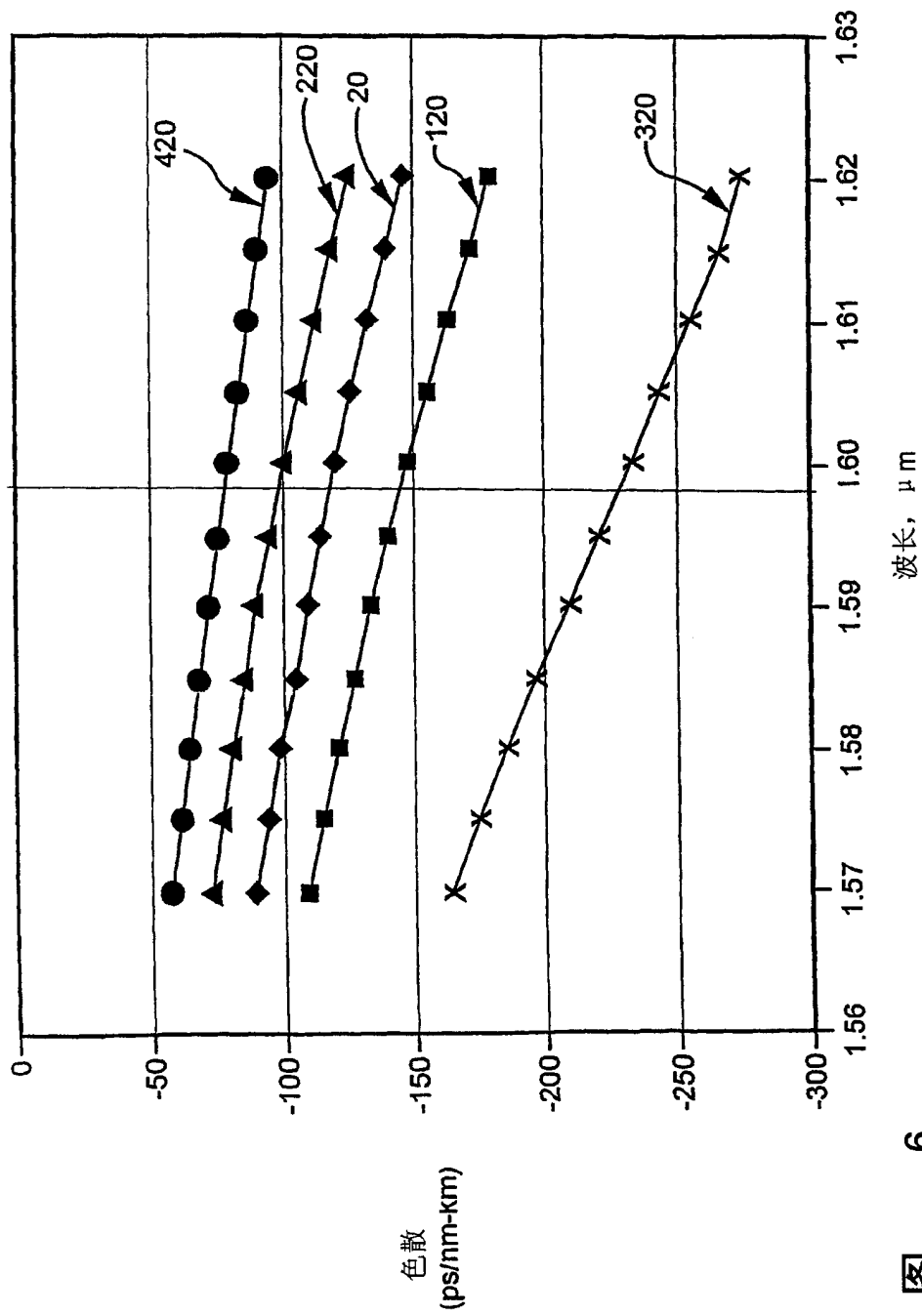


图 6

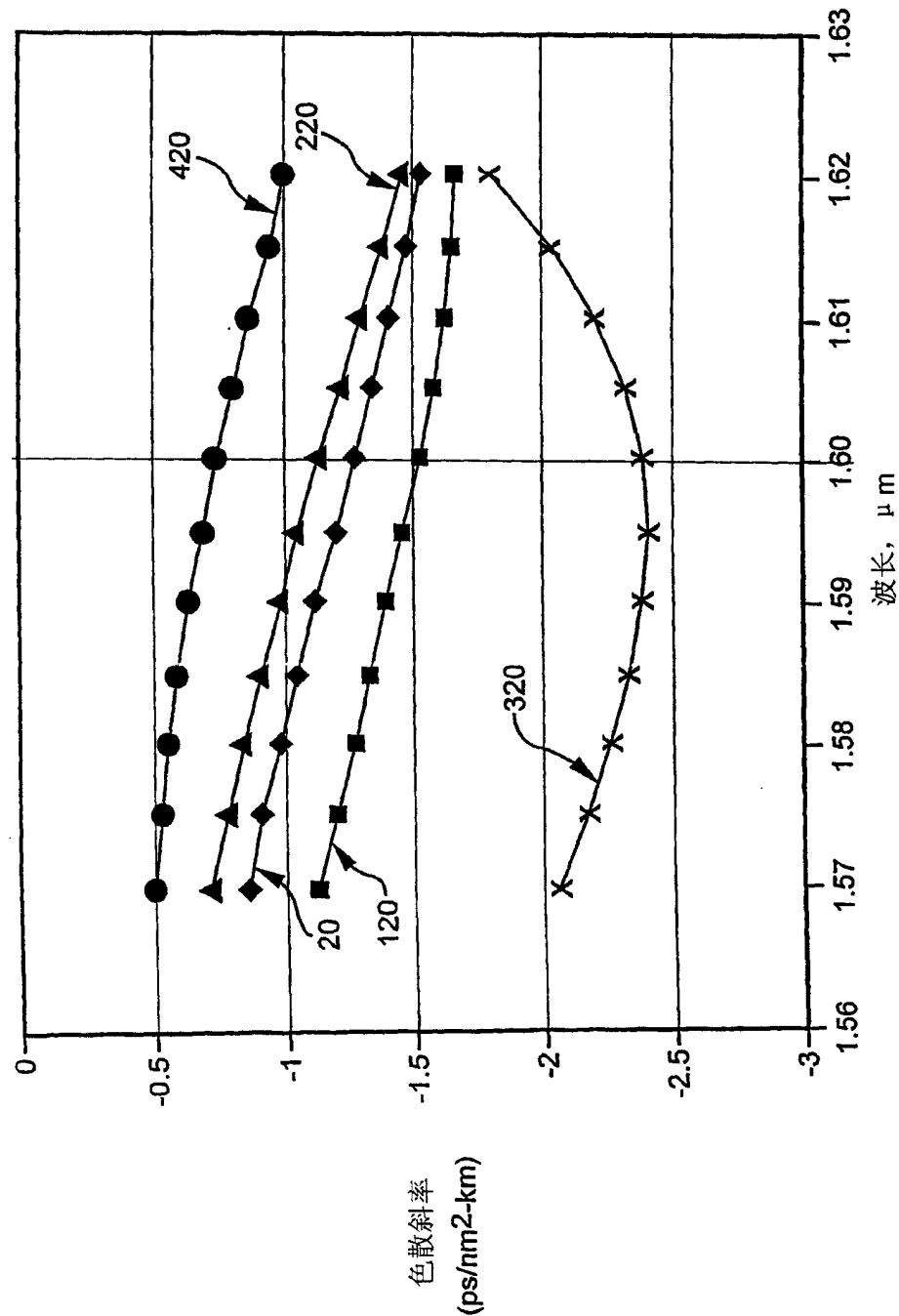


图 7

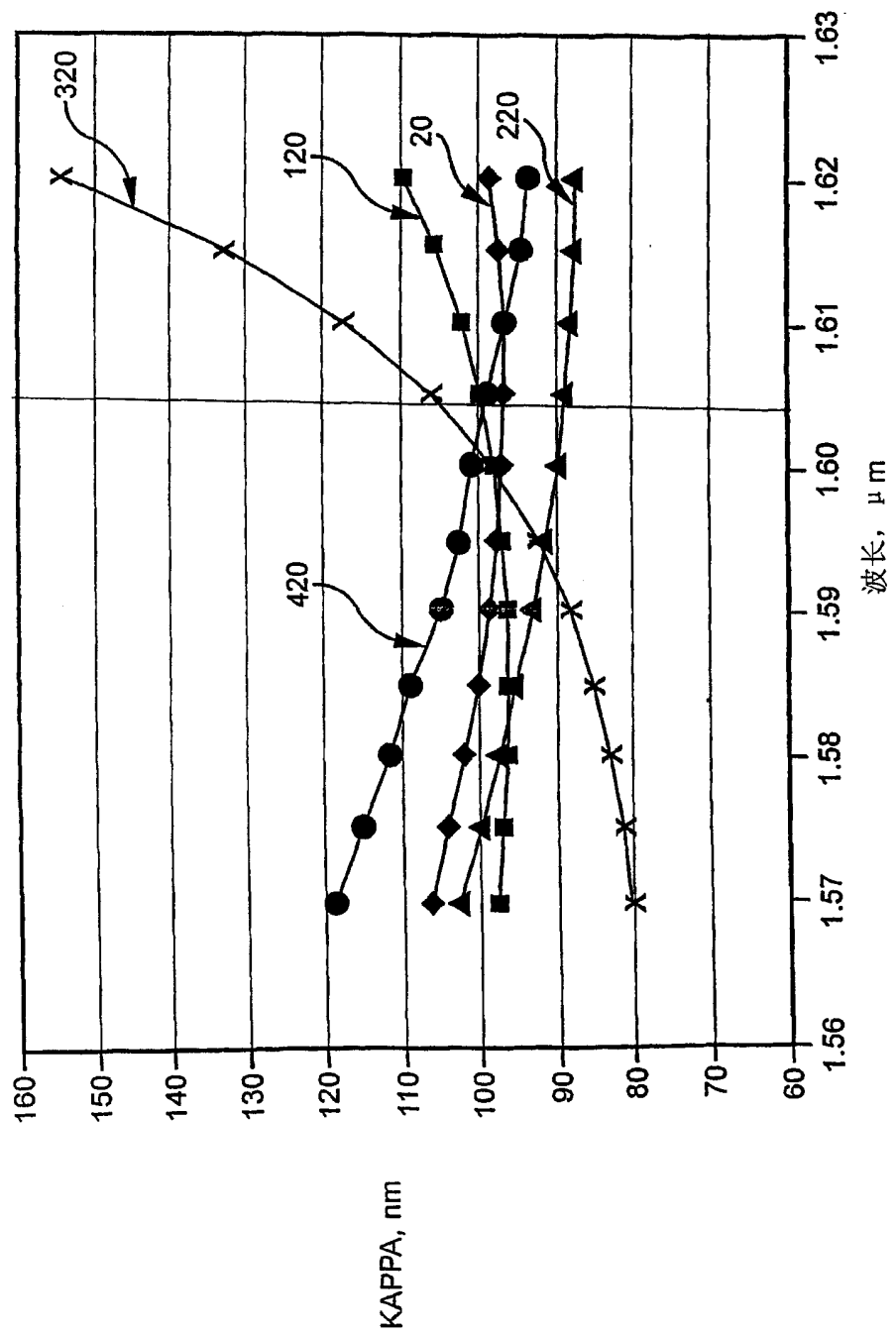


图 8

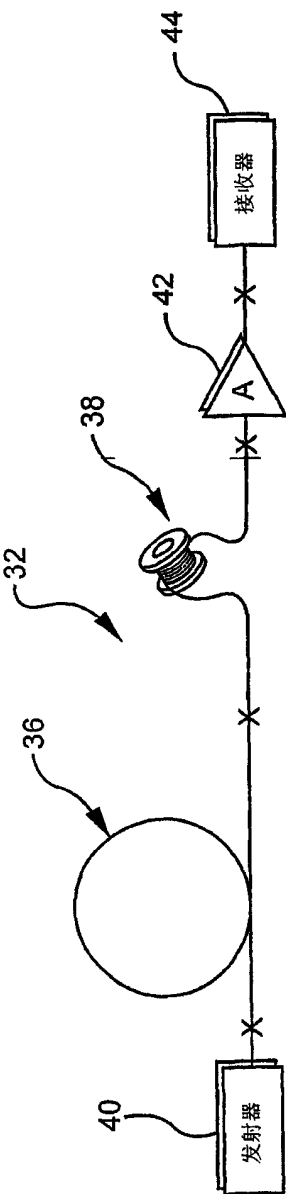


图 9

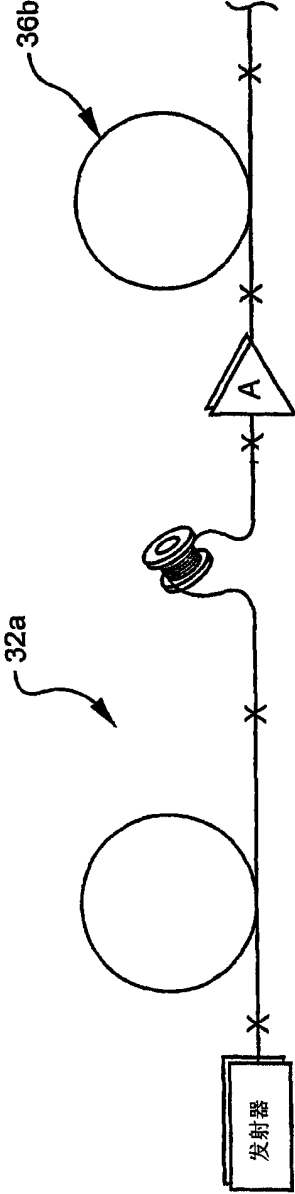
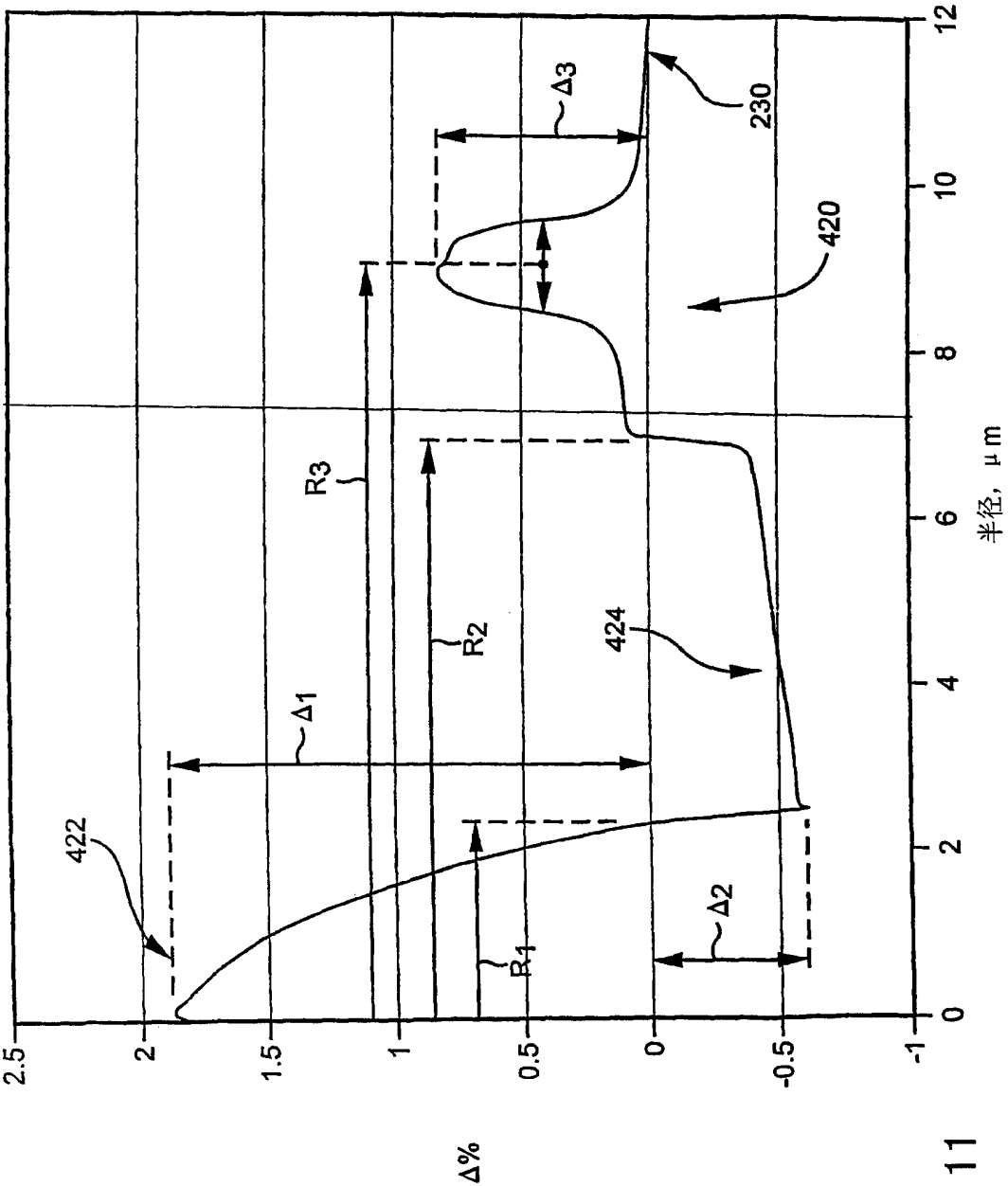


图 10



图

11