



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01800324.9

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1178080C

[22] 申请日 2001.2.23 [21] 申请号 01800324.9

[30] 优先权

[32] 2000. 2. 25 [33] JP [31] 49089/2000

[86] 国际申请 PCT/JP2001/001353 2001.2.23

[87] 国际公布 WO2001/063329 日 2001.8.30

[85] 进入国家阶段日期 2001.10.25

[71] 专利权人 古河电气工业株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 荒井慎一 杉崎隆一 相层景一

小山直人 寺田淳 小相泽久

井上克德

审查员 高懿颖

[74] 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

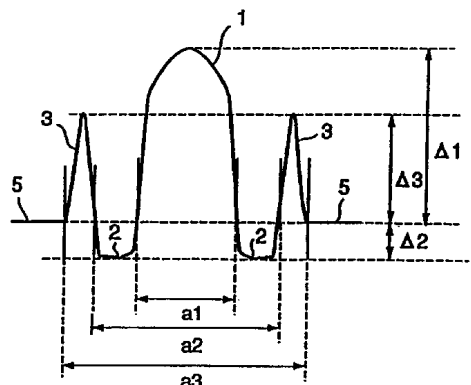
代理人 潘培坤 陈郁红

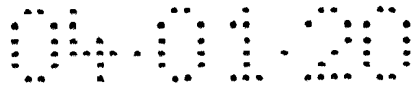
权利要求书 2 页 说明书 25 页 附图 4 页

[54] 发明名称 低色散光纤和采用这种低色散光纤的光传输系统

[57] 摘要

一种低色散光纤能够在使用的频带内降低色散，同时增大有效纤芯面积。这种低色散光纤是通过在纤芯(1)上覆盖第一个侧纤芯(2)，在第一个侧纤芯(2)上覆盖第二个侧纤芯(3)，在第二个侧纤芯(3)上覆盖一个包层(5)来做成的。当纤芯(1)的最大折射率被写成 n_1 ，第一个侧纤芯(2)的最小折射率被写成 n_2 ，第二个侧纤芯(3)的最大折射率被写成 n_3 ，包层(5)的折射率被写成 n_c 的时候，就能够满足 $n_1 < n_3 < n_c < n_2$ 。纤芯(1)的最大折射率、第一个侧纤芯(2)的最小折射率和第二个侧纤芯(3)的最大折射率相对于包层(5)的相对折射率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ 分别满足 $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$ 、 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ 和 $0.2\% \leq \Delta 3$ 。





权 利 要 求 书 PC01367

1. 一种低色散光纤，它是通过在纤芯上覆盖第一个侧纤芯，在第一个侧纤芯上覆盖第二个侧纤芯，并且在第二个侧纤芯上覆盖一个包层来形成的一种色散位移光纤，其中将纤芯的最大折射率写成 n_1 ，将第一个侧纤芯的最小折射率写成 n_2 ，将第二个侧纤芯的最大折射率写成 n_3 ，将包层的折射率写成 n_c ，就会有 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ ；纤芯的最大折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 1$ 是 $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$ ；第一个侧纤芯的最小折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 2$ 是 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ ；第二个侧纤芯的最大折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 3$ 是 $0.2\% \leq \Delta 3$ ；纤芯的直径 a_1 跟第一个侧纤芯的直径 a_2 之间的比值 (a_1/a_2) 最小是 0.4，不超过 0.7；第二个侧纤芯的直径 a_3 跟第一个侧纤芯的直径 a_2 之间的比值 (a_3/a_2) 不超过 1.6；其特征是，第二个侧纤芯掺杂了一种添加物，它能够提高二氧化硅的折射率；掺杂在第二个侧纤芯中的添加物在光纤径向上的浓度分布有一个峰。

2. 如权利要求 1 所述的低色散光纤；其中的峰的位置在第二个侧纤芯径向中心的第一个侧纤芯一侧。

3. 如权利要求 2 所述的低色散光纤，其中的添加物是二氧化锆。

4. 如权利要求 1 到 3 所述的任意一个低色散光纤，其中在包层和第二个侧纤芯之间提供了折射率比包层低的低折射率包层部分。

5. 如权利要求 1 到权利要求 3 所述的任意一个低色散光纤，在 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带内包括的使用的波长频带中没有零色散波长。

6. 如权利要求 4 所述的低色散光纤，在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带内包括的使用的波长频带里没有零色散波长。

7. 如权利要求 1 到 3 和权利要求 6 所述的任意一个的低色散光纤，

其中包括在波长频带 1450 纳米到 1650 纳米中具有 30 纳米的任意带宽的波长频带内，色散值的最大值和最小值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

8. 如权利要求 4 所述的低色散光纤，其中在 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带包括的具有 30 纳米带宽的波长频带内的色散值的最大值和最小值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

9. 如权利要求 5 所述的低色散光纤，其中 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带内包括的具有 30 纳米任意带宽的波长频带里色散值的最小值和最大值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

10. 一种光传输系统，包含一根光传输线，包括如权利要求 1 到权利要求 9 所述的任意一个低色散光纤，和一个色散补偿装置，它在 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带内的色散斜率是负的，其中在这一波长频带内光传输线的正的色散斜率被这一色散补偿装置减小。

说明书

低色散光纤和采用这种低色散光纤的光传输系统

5 技术领域

本发明涉及一种用于例如在 1.5 微米频带内进行波分复用光传输时候使用的低色散光纤，还涉及一种采用这种低色散光纤的光传输系统。

背景技术

10 随着信息社会的发展，信息的传递量迅速增加，在光纤通信中实现高比特率和高容量已经变成一个非常紧迫和无法回避的问题。作为实现更高比特率更高容量的一种方法，利用掺杂稀土元素的光纤，比如能够放大光形式的光信号、掺杂 Er^{3+} 的掺铒光纤 (EDF) 已经被开发出来了。随着利用那些光纤的光放大器被开发出来，高功率信号光的实现已经迅速发展起来
15 了。

与此同时，为了在光通信中提高通信容量，利用波分复用方式的光传输通信已经发展起来，其中具有不同波长的光信号在单根光纤中传输。将利用上述光纤的光放大器应用于采用这一波分复用光传输（波分复用光传输系统）的光通信，能够进一步地提高通信容量，从而使远距离传输的实现指日可待。
20

光纤类型光放大器的一个代表性实例是 EDFA（掺铒光纤放大器），它具有上面提到的那种 EDF。利用这种 EDFA 在 1.5 微米波长频带（波长从 1520 纳米到 1620 纳米）内进行上面提到的波分复用光传输，这个频带是 EDFA 的增益频带，是人们正在研究的传输频带。

25 图 6(a) 和 6(b) 给出了在相关技术中被建议用作波分复用光传输的光

纤的光纤折射率分布曲线(refractive index profile)的实例，它们被用于上面提到的 1.5 微米波长频带，特别是作为传输频带(使用的波长频带)的 1550 纳米附近的波长频带(1.55 微米波长频带)。图 6(a)给出了一个双形折射率分布曲线，图 6(b)给出了一个 W 形的折射率分布曲线。

5 具有双形折射率分布曲线的光纤是由：一个包层 5、折射率比包层 5 大的中央纤芯 1、和折射率小于纤芯 1 但大于包层 5 的折射率的第一个侧纤芯 2 所组成。折射率分布曲线是 W 形状的光纤是由：一个包层 5、折射率大于包层 5 的折射率的中央纤芯 1、和折射率小于包层 5 的第一个侧纤芯 2。

10 在具有上面描述的双形折射率分布曲线的光纤中，那些在 1.55 微米波长附近具有零色散波长的光纤叫做色散位移光纤。因为色散位移光纤在 1.55 微米波长附近具有零色散波长，它是 1.55 微米波长频带的中心波长，在 1.55 微米波长频带内由于色散引起的光信号的波形失真能够得到抑制。然而在低频段(down side)，四波混频非线性现象的发生非常明显。因此，
15 这一色散位移光纤，由于四波混合光的出现会导致信号光的波形失真，因而不可能进行高质量的波分复用光传输。

为了克服这一缺点，从 1.55 微米波长频带具有零色散波长位移的双形折射率分布曲线的光纤已经开发了出来。但是人们知道，这种光纤在 1.55 微米波长频带的色散斜率 (gradient) 很大。由于这一原因，用这种
20 光纤很难将波分复用光纤传输中使用的波长频带内的色散差(使用的波长频带内色散最大值和最小值之间的差)缩小。所以，采用这种光纤的时候，用于波分复用光传输的使用波长频带不可能做得很宽。

具有 W 形折射率分布曲线的光纤的作用和一种均匀色散光纤相同，因为上述色散差别很小。但是，双形折射率分布曲线光纤的有效纤芯面积
25 (effective core area) (光纤通过它有效地传播的区域： A_{eff}) 大约是

45 平方微米，W 形折射率分布曲线光纤的有效纤芯面积是例如大约 30 平方微米，也就是双形折射率分布曲线光纤的三分之二。当有效纤芯面积是这样小的时候，在波分复用光传输中存在这样的问题，既传输的光信号由于光纤中存在的非线性效应而变坏。

5 为了克服这一缺点，已经有人提出了这样的思想，那就是通过利用具有图 6(c)所示的一种分段式 (segment) 纤芯折射率分布曲线的光纤来增大有效纤芯面积。在图 6(c)中，1 表示中央纤芯；2 表示第一个侧纤芯；3 表示第二个侧纤芯；5 表示一个包层。然而，利用这种光纤，因为在 1.5 微米波长频带内色散斜率很大，而且在同一波长频带内色散差很大，当这种光纤被用于光分复用传输的时候，由色散引起的信号光波形恶化的问题
10 变得非常明显。

还有，为了将光纤用于波分复用传输系统，必须将光纤装进光缆。因为要求这一光缆具有这样的特性，既由于光纤的弯曲和光纤受到侧向压力而导致的损耗应当很小，所以也要求用于波分复用光传输的光纤其弯曲特性良好。
15

然而，如前所述，还没有这样一种光纤，利用它能够同时获得实现高质量波分复用传输系统所必需的有效纤芯面积和降低色散差，另外实现弯曲损耗特性非常好的光纤也非常困难。

还有，在近些年，作为光放大器，拉曼放大器已经接近实际应用。拉曼放大器比现有的 EDFA 具有更宽的可放大波长频带，能够放大例如在 1450 纳米到 1650 纳米的波长范围内任意指定波长频带的光信号。但是，在这一波长范围内对光纤的研究还没有取得进展。
20

发明内容

25 因此本发明的一个目的是提供一种低色散光纤，利用它能够在使用的

波长频带内提高有效纤芯面积，同时缩小色散差别，进一步减小将光纤装进光缆以后由于弯曲和侧向压力导致的损耗增大，并提供一利用这种低色散光纤的光传输系统。

本发明提供的第一种结构的低色散光纤，能够实现这一目的和其它目的，其是这样一种色散位移光纤，通过在中央纤芯上覆盖第一个侧纤芯，在第一个侧纤芯上覆盖第二个侧纤芯，在第二个侧纤芯上覆盖一个包层形成的，其特征在于将中央纤芯的最大折射率写成 n_1 ，第一个侧纤芯的最小折射率写成 n_2 ，第二个侧纤芯的最大折射率写成 n_3 ，将包层的折射率写成 n_c 的时候，有 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ ；中央纤芯的最大折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 1$ 是 $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$ ；第一个侧纤芯最小折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 2$ 是 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ ；第二个侧纤芯的最大折射率相对于包层的相对折射率差 $\Delta 3$ 是 $0.2\% \leq \Delta 3$ ；纤芯的直径 a_1 与第一个侧纤芯的直径 a_2 的比值 (a_1/a_2) 至少是 0.4，不大于 0.7；第二个侧纤芯的直径 a_3 跟第一个侧纤芯的直径 a_2 的比值 (a_3/a_2) 不大于 1.6；其中，第二个侧纤芯掺杂了一种添加物，它能够提高二氧化硅 (SiO_2) 的折射率；掺杂在第二个侧纤芯中的添加物在光纤径向的浓度分布有一个峰值。

本发明提供的第二种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构以外，这个峰值的位置位于第二个侧纤芯径向中心的第一个侧纤芯一侧上。

本发明提供的第三种结构的一低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第二种结构以外，其中的添加物是二氧化锗 (GeO_2)。

本发明提供的第四种结构的一低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构或者第二种结构或者第三种结构以外，在包层和第二个侧纤芯之间提供了折射率比包层小的一个低折射率包层部分。

本发明提供的第五种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构或者第二种结构或者第三种结构以外，在包括在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带内使用的波长频带里没有零色散波长。

5 本发明提供的第六种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构以外，在包括在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带内使用的波长频带里没有零色散波长。

本发明提供的第七种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构或者第二种结构或者第三种结构或者第六种结构以外，在包括在波长频带 1450 纳米到 1650 纳米的任意 30 纳米带宽的波长频带内的色散值的最大值和最小值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

本发明提供的第八种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构以外，在包括在波长频带 1450 纳米到 1650 纳米内具有任意 30 纳米带宽的波长频带内，色散值的最大值和最小值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

15 本发明提供的第九种结构的低色散光纤的特征在于，除了上面描述的第一种结构以外，在带宽为 30 纳米，包括在波长频带 1450 纳米到 1650 纳米范围内的波长频带内，色散值的最大值和最小值之间的差不大于 2 ps/nm/km。

20 本发明提供的第十种结构的光传输系统的特征在于，它有一根光传输线，包括上面描述的从第一种到第九种结构的低色散光纤中的任意一种色散光纤，以及一种色散补偿装置，它在波长频带 1450 纳米到 1650 纳米范围内的色散斜率是负的，在这一波长频带内光传输线的正色散斜率由这一色散补偿装置降低。

在本说明书中，上面提到的具体折射率 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ 用以下表达式
25 (1) ~ (3) 来定义。

$$\Delta 1 = \{ (n1^2 - nc^2) / 2nc^2 \} \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta 2 = \{ (n2^2 - nc^2) / 2nc^2 \} \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta 3 = \{ (n3^2 - nc^2) / 2nc^2 \} \times 100 \quad (3)$$

本发明的低色散光纤的第一个目的是在一组波长频带内，例如在 1450 5 纳米到 1650 纳米的波长范围内，增大有效纤芯面积，同时缩小使用的波长频带内的色散差。本发明优化了低色散光纤的折射率分布和它的纤芯直径比，从而使它能够实现这第一个目的，同时缩小了当光纤被做进光缆的时候由于弯曲和侧向压力造成的损耗增加。这样，利用本发明的低色散光纤，就有可能获得即增大有效纤芯面积，又同时减小在使用的波长频带内 10 的色散差，并进一步降低光纤被做成光缆的时候由于弯曲和侧向压力造成的损耗增大。从这以后在实施本发明的实施方案中讨论本发明的低色散光纤的具体实例。

在本发明的低色散光纤的一种结构中，第二个侧纤芯掺杂了一种添加物，它能提高二氧化硅的折射率；掺杂进第二个侧纤芯的添加物在光纤的 15 径向浓度分布有一个峰值；这个峰值在第二个侧纤芯径向中心的第一个侧纤芯的一侧上。在另一种结构中，在包层和第二个侧纤芯之间有一个折射率比包层小的低折射率包层部分。

在这些结构中，有效截止波长可以做得很短。因此，利用这些结构，有可能使有效纤芯面积增加得更多，并且更加进一步地降低在使用的波长 20 频带内的色散差，从而能够获得性能优良的低色散单模光纤。

还有，在上面描述的一种结构中，其中掺杂在第二个侧纤芯中提高二氧化硅的折射率的添加物在光纤径向方向上的浓度分布的峰值位于第二个侧纤芯径向中心的第一个侧纤芯一侧，如果这种添加物是用二氧化锆制作的，就能利用现有的光纤制造技术很容易地制造这一光纤。

25 如果本发明的低色散光纤具有这样一种结构，使得在 1450 纳米到 1650

5 纳米的波长范围内被使用的波长频带里其不具有零色散波长，例如在波长频带 1530 纳米到 1560 纳米中不具有零色散波长，如果例如在这一波长频带内进行波分复用光传输，就能够抑制四波混合的发生，由于非线性现象引起的波形失真也能因此得到抑制。上面提到的使用的波长频带可以在 1450 纳米到 1650 纳米的波长范围内自由地设置。

如果在本发明的低色散光纤中，上面提到的波长频带内色散值的最大值和最小值之间的差是 2 ps/nm/km 或者更小，在这一波长频带内进行例如波分复用光传输的时候，由于色散导致的波形失真肯定能够得到抑制。

10 本发明的光传输系统利用一种光传输线，其包括上面描述的低色散光纤，在包括低色散光纤的这一光传输线中 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带里，正的色散斜率被色散补偿装置的负色散斜率降低。利用本发明的光传输系统，由于在上面提到的波长频带内色散斜率能够被做得接近 0，而且色散的影响能够被进一步抑制，所以能够构造一种光传输系统，它能够进行高质量的波分复用传输。

15

附图说明

图 1 说明本发明的低色散光纤中第一个实施例的折射率在径向的分布（在一个横截面上的折射率分布）的详细结构图；

20 图 2(a) 说明本发明中低色散光纤第二个实施例的折射率径向分布的详细结构图，图 2(b) 说明用于比较的光纤在径向的折射率分布示意图；

图 3 说明本发明中低色散光纤的第三个实施例在径向的折射率分布的详细结构；

图 4 说明利用本发明中低色散光纤的光传输系统的一个实施例的色散特性，以及应用于这一光传输系统的低色散光纤的色散特性；

25 图 5(a) 说明折射率分布，图 5(b) 说明应用于上述光传输系统的实施

例的色散补偿装置的色散特性；和

图 6(a)~6(c)说明被建议用于相关技术中波分复用光传输的光纤在径向的折射率分布（横截面上的折射率分布）。

5 优选实施方案

为了更详细地说明本发明，下面将在附图的基础之上描述本发明的多个实施例。在以下对实施例的说明中，与现有技术实例中具有相同名称的部件采用同样的引用数字，重复的描述都被省去了。图 1 说明本发明中低色散光纤的第一个实施例的折射率分布曲线（折射率分布结构）。

10 如图所示，这一低色散光纤有一个中央纤芯 1，其被第一个侧纤芯 2 覆盖；第一个侧纤芯 2 上覆盖了第二个侧纤芯 3；第二个侧纤芯 3 上覆盖了一个包层 5。还有，在这一低色散光纤中，如果将纤芯 1 的最大折射率写成 n_1 ，将第一个侧纤芯 2 的最小折射率写成 n_2 ，将第二个侧纤芯 3 的最大折射率写成 n_3 ，将包层 5 的折射率写成 n_c ，就会有 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ 。

15 本发明这第一个实施例最具特性的特征是第二个侧纤芯 3 的最大折射率相对于包层 5 的相对折射率差 Δ_3 至少等于 0.2%，第二个侧纤芯 3 的折射率的最大值 n_3 远远大于包层 5 的折射率 n_c 。在这第一个实施例中，中央纤芯 1 的最大折射率相对于包层 5 的相对折射率差 Δ_1 至少等于 0.4%，不大于 0.7% ($0.4\% \leq \Delta_1 \leq 0.7\%$)，第一个侧纤芯 2 的最小折射率相对于包层 5 的相对折射率差 Δ_2 至少等于 -0.3%，不大于 -0.05% ($-0.30\% \leq \Delta_2 \leq -0.05\%$)。

在这第一个实施例中，中央纤芯 1 的最大折射率相对于包层 5 的相对折射率差 Δ_1 最好是至少等于 0.42%，不大于 0.62% ($0.42\% \leq \Delta_1 \leq 0.62\%$)，第一个侧纤芯 2 的最小折射率相对于包层 5 的相对折射率差 Δ_2 25 最小等于 -0.25%，不大于 -0.05% ($-0.25\% \leq \Delta_2 \leq -0.05\%$)。

在这第一个实施例中，最好是这样，中央纤芯 1 的直径 a_1 与第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_1/a_2) 至少等于 0.4，不大于 0.7，第二个侧纤芯 3 的直径 a_3 与第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_3/a_2) 不大于 1.6。第二个侧纤芯 3 的直径 a_3 与第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_3/a_2) 不超过 1.5 更好。

在这第一个实施例的低色散光纤中，光纤的结构并不是特别受到限制。具有上面描述的折射率分布曲线的光纤可以通过例如在中央纤芯 1 和第二个侧纤芯 3 中掺杂二氧化锗 (GeO_2)，在第一个侧纤芯 2 中掺杂氟 (F) 做出来。掺杂进第二个侧纤芯 3 的添加物不限于二氧化锗，可以是能提高二氧化硅的折射率的其它添加物，例如三氧化二铝 (Al_2O_3) 之类。

在图 1 所示的实例中，掺杂进中央纤芯 1 的二氧化锗在光纤径向的浓度分布有一个峰值，位于中央纤芯 1 的中心。掺杂进第二个侧纤芯 3 中的二氧化锗在光纤径向的浓度分布也有一个峰值，这个峰值在第二个侧纤芯 3 的径向中心上。光纤的二氧化锗的浓度分布的峰值还可以在中央纤芯 1 的光纤径向上，而不是在中心。

在这第一个实施例中，利用上面描述的折射率分布曲线和中央纤芯 1、第一个侧纤芯 2 和第二个侧纤芯 3 的直径的比值，有可能即增大有效纤芯面积，又降低使用的波长频带内的色散差。利用这第一个实施例的低色散光纤，在使用的波长频带内由于弯曲造成的损耗很小，当光纤被做成光缆的时候，能够获得良好的性能。

在这第一个实施例的低色散光纤中，有效纤芯面积最小等于 45 平方微米，从波长 1530 纳米到波长 1560 纳米的任意一个位置上色散的绝对值 (单位: $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$) 至少等于 2，不大于 12，从而使光纤在使用的波长频带内没有零色散波长。还有，在这第一个实施例的低色散光纤中，在使用的波长频带内任意一个位置上的色散斜率值不大于 $0.05 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ ，在使

用的波长频带内色散最大值和最小值之间的差（色散差）不大于 2 ps/nm/km。

在上面说明折射率分布曲线和纤芯直径比的过程中，本发明人通过进行试验和模拟，获得了多种光纤的特性。结果发现，当上面提到的相对折射率差 $\Delta 1$ 小于 0.4% 的时候，虽然能够增大有效纤芯面积，降低色散斜率，但是光纤的弯曲损耗往往增大，当光纤组成光缆的时候很难维持良好的性能。

另一方面，本发明人发现当相对折射率差 $\Delta 1$ 超过 0.7% 的时候，色散斜率变得非常大；色散斜率变得大于上面描述的具有双形折射率分布曲线的光纤的色散斜率；而且有效纤芯面积变得跟双形折射率分布曲线光纤的纤芯面积近似相同。由于这些原因，如前所述，在本发明的第一个实施方案中，将相对折射率差 $\Delta 1$ 选择为 0.4%~0.7%。

虽然可以将相对折射率差 $\Delta 1$ 设置在以上范围中的任意一个位置上，但是当中央纤芯 1 的折射率分布曲线是一个 α 幂（ α -power）分布曲线的时候，当 α 很大的时候相对折射率差 $\Delta 1$ 最好是较小，当 α 很小的时候，最好是较大。折射率分布曲线是一个 α 幂分布曲线指的是折射率的形状是曲线 $y = -x^\alpha$ ，曲线的中心在纤芯的中心。作为一个典型的实例，当 α 等于 4~6 的时候，相对折射率差 $\Delta 1$ 最好是在 0.53% 到 0.60% 之间。

当相对折射率差 $\Delta 2$ 小于 -0.30% 的时候，虽然色散斜率很小，但是有效纤芯面积却也变小了。当相对折射率差 $\Delta 2$ 大于 -0.05% 的时候，虽然有效纤芯面积变得很大，但是色散斜率变得跟现有技术中双形折射率分布曲线光纤的色散斜率近似一样大。由于这些原因，如前所述，在本发明的第一个实施方案中，将相对折射率差 $\Delta 2$ 选择为 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ 。

还有，在具有上面描述的折射率分布曲线的光纤中，由于中央纤芯 1 的直径 a_1 跟第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_1/a_2) 变得较小，在 1450

纳米到 1650 纳米的波长频带内，往往很难获得很低的弯曲损耗。而且会使有效截止波长变长，并且使光纤工作于单模方式变得非常困难。当上面提到的比值 (a_1/a_2) 小于 0.4 的时候，1450 纳米到 1650 纳米的波长频带内弯曲损耗增大非常显著，这一光纤不适合用于电缆。

5 另一方面，当上面提到的比值 (a_1/a_2) 大于 0.7 的时候，要获得低色散值变得非常困难，这一光纤变得不适合于在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带范围内的波分复用光传输。由于这些原因，在本发明的第一个实施方案中，如前所述，上面提到的比值 (a_1/a_2) 被设置在最小等于 0.4，但是不大于 0.7。

10 当第二个侧纤芯 3 的直径很大，第二个侧纤芯 3 的直径 a_3 跟第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_3/a_2) 超过 1.6 的时候，有效截止波长变长，光纤的单模方式工作变得非常困难。由于这一原因，在本发明的第一个实施方案中，这一比值 (a_3/a_2) 被选择成不大于 1.6。

在这第一个实施方案中，折射率分布曲线和纤芯直径比值是在上面描述的研究的基础之上确定的。因此，增大了有效纤芯面积，缩小了在使用
15 的波长频带内的色散差；四波混合的出现得到了抑制；在使用的波长频带内弯曲导致的损耗很小；当光纤做成光缆的时候能够获得良好的性能。

在表 1 中，作为本发明第一个实施方案的具体实例，在实例 1~9 中每一个实例里给出了相对折射率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ ，纤芯直径的 a_1/a_2 和
20 a_2/a_3 以及纤芯直径 a_3 ，同时给出了每个实例的特性。用于比较的实例的特性在表 2 中给出。

表 1

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a1/a2	a2/a3	色散	色散斜率	有效纤芯面积	弯曲损耗	直径 a3
单位	%	%	%			ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	dB/m	μm
实例 1	0.50	-0.05	0.40	0.45	0.80	4.1	0.044	54	3.5	18.4
实例 2	0.58	-0.15	0.35	0.42	0.75	-2.5	0.035	48	2.0	18.4
实例 3	0.47	-0.10	0.42	0.475	0.80	2.6	0.026	56	8.5	19.1
实例 4	0.57	-0.15	0.45	0.464	0.78	2.2	0.045	61	9.9	19.2
实例 5	0.55	-0.10	0.37	0.445	0.75	3.2	0.032	58	3.1	21.2
实例 6	0.54	-0.12	0.41	0.457	0.81	5.8	0.054	69	2.5	19.4
实例 7	0.53	-0.15	0.35	0.533	0.75	5.2	0.046	55	1.1	18.5
实例 8	0.56	-0.20	0.27	0.67	0.68	5.2	0.048	53	0.5	17.4
实例 9	0.58	-0.20	0.31	0.63	0.71	4.0	0.045	50	0.05	16.3

表 2

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	a1/a2	色散	色散斜率	有效纤芯面积	弯曲损耗
单位	%	%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	dB/m
比较实例 1	0.55	-0.45	0.55	-0.8	0.009	37	8.1
比较实例 2	0.8	0.2	0.36	0.5	0.0845	45	1.8

在表 1 和表 2 中，色散、色散斜率、有效纤芯面积 (A_{eff}) 和弯曲损耗的值都是波长 1550 纳米上的值。弯曲损耗值都是光纤弯曲直径是 20 毫米的时候的值。尽管在表 1 中没有给出，但是在所有实例 1~9 的光纤中，有效截止波长在波长范围 1450 纳米到 1650 5 纳米内使用的波长频带的短波长一侧，单模方式工作是可以的。

具体的说，在实例 8 和实例 9 中，弯曲损耗小于 1dB/m，当光纤做成光缆的时候，不仅是弯曲和侧向压力引起的损耗增加能够被减小，而且微小的弯曲引起的损害增加也能够被减小。

在表 2 中，比较实例 1 是图 6(b) 所示类型的 W 形折射率分布曲线光纤，比较实例 2 是图 6(a) 所示的那种双形折射率分布曲线 10 光纤。在表 2 中，相对折射率差 $\Delta 1$ 是按照上面描述的第一个实施方案中的方式获得的，在比较实例 1 的情形中，相对折射率差 $\Delta 2$ 也是按照上面描述的第一个实施方案中的相同方式获得的。在比较实例 2 的情形中，相对折射率差 $\Delta 2$ 说明第一个侧纤芯 2 的最大 15 折射率相对于包层 5 的相对折射率差，是利用前面的表达式 (2) 获得的，其中第一个侧纤芯 2 的最大折射率是 n_2 ，包层 5 的折射率是 n_c 。

从表 1 和表 2 中的特性比较可以清楚地看到，在实例 1 到实例 9 中有效纤芯面积大于比较实例 1 和实例 2 中的有效纤芯面积，色 20 散斜率小于比较实例 1 和比较实例 2 中的色散斜率。这样，通过将实例 1 到实例 9 跟比较实例 1 和比较实例 2 进行比较，可以肯定，本发明的这第一个实施方案具有良好的特性。也就是说，利用本发明的第一个实施方案，既能增加有效纤芯面积，又能降低在使用的波长频带内的色散差，还有，在使用的波长频带内，当 25 光纤弯曲直径是 20 毫米的时候，由于弯曲造成的损耗很小，低于

20 dB/m, 从而在光纤做成光缆的时候能够获得良好的性能。

下一步将描述本发明中低色散光纤的第二个实施方案。这里描述的第二个实施方案的折射率分布曲线如图 2(a) 所示。在这一低色散光纤中, 第二个侧纤芯 3 的折射率假定其最大值处的折射率峰值位于第二个侧纤芯 3 径向中心的第一个侧纤芯 2 的一侧。否则, 图 2(a) 所示的折射率分布曲线基本上跟图 1 所示的折射率分布曲线相同。第二个侧纤芯 3 的折射率峰最好是尽可能地接近第一个侧纤芯 2 一侧。

图 2(a) 所示的折射率分布曲线是通过将用作添加物, 用来提高掺杂在第二个侧纤芯 3 中的二氧化硅的折射率的二氧化锗的浓度在光纤径向上的分布的峰的位置安排在第二个侧纤芯 3 径向中心第一个侧纤芯 2 的一侧来得到的。

因为本发明的第二个实施方案具有这样一个折射率分布曲线, 就得到了有效截止波长被缩短的效果, 在使用的整个波长频带范围内, 肯定能够用这一光纤进行单模方式工作。

如同跟实例 10 的结构基本相同的图 2(b) 所示, 作为第二个实施方案的一个具体实例的实例 10 的特性和结构在表 3 中说明。试验样本 1 的结构和特性也在表 3 中说明, 其中掺杂进第二个侧纤芯 3 的二氧化锗的浓度分布在光纤的径向基本上是常数。

表 3

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a1/a2	a3/a2	色散	色散斜率	有效纤芯面积	有效截止波长
单位	%	%	%			ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm
实例 10	0.525	-0.15	0.35	0.547	1.33	3.11	0.044	55	1516
试验样本 1	0.525	-0.15	0.35	0.547	1.33	3.11	0.044	56	1834

还有，作为参数不同于实例 10 的参数的光纤，本发明人构造了实例 11 和 12，其中掺杂进第二个侧纤芯 3 的二氧化锗的浓度在光纤径向的分布的峰的位置接近第二个侧纤芯 2 一侧。这些实例 11 和 12 的结构和特性在表 4 中说明。在表 4 中，第二个侧纤芯 3 中的二氧化锗的浓度在光纤径向的分布的峰的位置表示为：第一个侧纤芯 2 一侧是 0，包层 5 是 1。

表 4 还给出了跟实例 11 和 12 具有基本相同参数的试验样本 2 和 3 的结构和特性，但是掺杂进第二个侧纤芯 3 的二氧化锗的浓度在光纤径向的分布的峰的位置更加接近包层 5 一侧。

表 4

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a1/a2	a3/a2	二氧化锗 浓度峰 的位置	色散	色散斜率	有效纤 芯面积	有效截 止波长	直径 a3
单位	%	%	%				ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	μm
实例 1	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.07	3.58	0.048	49	1293	15.7
实例 2	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.29	3.49	0.047	49	1321	15.8
试验样本 2	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.57	3.40	0.046	49	1354	15.8
试验样本 3	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.86	3.36	0.044	48	1381	15.8

从这些表可以清楚地看到,随着掺杂在第二个侧纤芯 3 中二氧化锆浓度分布的不同,有效截止波长明显地不同。

在这里,在表 4 所示的实例中,给出了弯曲损耗是大约 1 分贝每米的情况下特性的变化,当第二个侧纤芯 3 的折射率峰朝着第二个侧纤芯径向中心的第一个侧纤芯 2 的方向移动的时候,色散和色散斜率往往略微增大。然而,除了移动第二个侧纤芯 3 的折射率峰以外,有可能用一种方法来调整色散和色散斜率值。例如,可以改变中央纤芯 1 的折射率或者第一个侧纤芯 2 的折射率。

调整色散值和色散斜率的效果最好是通过将第二个侧纤芯 3 的折射率峰的位置移向第一个侧纤芯 2 一侧的第二个侧纤芯 3 的三分之一宽度处。从可制造性和制造色散的角度来看这也是最佳的方式。

本发明人发现,当相对折射率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ 、中央纤芯 1 的直径 a_1 跟第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 的比值 (a_1/a_2) 和第二个侧纤芯 3 的直径 a_3 跟第一个侧纤芯 2 的直径 a_2 之间的比值 (a_3/a_2) 被设置在参考图 1 的描述中所指定的范围内,使有效纤芯面积大得多,同时降低在使用的波长频带内色散差的时候,有时会出现有效截止波长变长的情况,具体情况取决于设置的值(例如在试验样本 1 中)。

也就是说,一般情况下,在光纤中提供第二个侧纤芯 3 以增大有效纤芯面积 A_{eff} 的时候,截止波长会移向长波长一侧。例如,就像在表 3 中的试验样本 1 的情况下,在 1450 纳米到 1650 纳米的波长范围内使用的波长频带内,光纤有可能不能工作在单模方式下。

考虑到这一点,本发明人进行了各种研究,试图将有效截止波

长移向短波长一侧，使单模方式工作成为可能。结果发现，当第二个侧纤芯 3 的折射率分布采用例如图 2(a) 所示的那种分布的时候，如同实例 10、实例 11 和实例 12 所示，有可能在使用的波长频带内更大程度地缩短有效截止波长，增大有效纤芯面积，降低色散差。

也就是说，如图 2(a) 和表 3、表 4 所示的实例 10、实例 11 和实例 12 所示，第二个侧纤芯 3 的折射率峰被移向第二个侧纤芯 3 径向中心的第一个侧纤芯 2 一侧。这样就将截止波长移向了短波长一侧，从而能够获得这样一种光纤，它能够在 1450 纳米到 1650 10 纳米的波长范围内使用的波长频带里工作在单模方式下。

本发明人认为这一现象的原因如下。在光纤的传播模式中， LP_{0m} ($m=2, 3, \dots$) 和 LP_{11} 在光纤的径向上有一个很宽范围的电场分布。因此，通过将第二个侧纤芯 3 的折射率峰移向第二个侧纤芯 3 的径向中心的第一个侧纤芯 2 的一侧，有可能防止光以 LP_{0m} 模式和 15 LP_{11} 模式传播，同时保持对光在光纤中传播的 LP_{01} 模式的影响很小，从而使单模方式工作成为可能。

在这一研究的基础之上，描述了本发明第一个实施方案的构造，并提供了表 3 和表 4 所示的上述效果。

下面开始描述本发明中低色散光纤的第三个实施方案。第三个 20 实施方案的折射率分布曲线如图 3 所示。除了在包层 5 和第二个侧纤芯 3 之间提供了具有较低折射率的一个低折射率包层部分以外，这个折射率分布曲线基本上跟图 1 所示的折射率分布曲线相同。

本发明人按照前面指定图 2(a) 所示的结构所进行的研究，对 25 具有这一结构的低色散光纤进行了同样的研究。图 3 所示的结构

是在这一研究的基础之上指定的，通过提供这一低折射率包层部分 4，跟第二个侧纤芯 3 的折射率取最大值的折射率峰移向第二个侧纤芯 3 径向中心的第一个侧纤芯 2 一侧一样，可以获得同样的效果。

- 5 表 5 说明实例 13 的构造和特性，作为这个实施方案的一个具体实例，它具有低折射率包层部分 4 和试验样本 4 的构造和特性，跟实例 13 的结构基本相同，但没有低折射率包层部分。从这个表可以清楚地看到，通过在包层 5 和第二个侧纤芯 3 之间提供低折射率包层部分 4，有可能缩短有效截止波长。

表 5

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	a1/a2	a3/a	a4/a	色散	色散斜率	有效纤芯面积	有效截止波长	直径
单位	%	%	%	%				ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	μm
实例 3	0.425	-0.17	0.415	-0.20	0.475	1.35	1.80	4.82	0.046	64	1498	21.9
试验样本 4	0.425	-0.17	0.415		0.475	1.35		5.251	0.022	67	2407	24.2

下面描述本发明中光传输系统的一个实施方案。这个光传输系统有一条光传输线，它包括上面描述的实施方案之一的至少一种低色散光纤，还包括一种色散补偿装置，它在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带范围内的色散斜率是负的。这一类光传输系统的特征在于包括低色散光纤的光传输线的正的色散斜率通过色散补偿装置来降低。

作为一个实例，通过将具有表 1 中的实例 7 的结构和特性的一条低色散光纤跟具有负的色散和负的色散斜率的色散补偿装置连接起来构成一个光传输系统。

这一应用中的色散补偿装置是利用具有图 5(a) 那种折射率分布曲线的色散波长光纤来制作的。也就是说，色散补偿装置是利用具有第一个侧纤芯 2 覆盖着中央纤芯 1、第二个侧纤芯 3 覆盖着第一个侧纤芯 2 和包层 5 覆盖第二个侧纤芯 3 的色散补偿光纤来制作的。

在这种色散补偿光纤中，如果将中央纤芯 1 的最大折射率写成 n_1 ，将第二个侧纤芯 2 的最小折射率写成 n_2 ，将第二个侧纤芯 3 的最大折射率写成 n_3 ，并将包层 5 的折射率写成 n_c ，就有 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ 。在这个色散补偿光纤中，相对折射率差的值 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ 不同于上面描述的本发明中低色散光纤实施方案中的值， $\Delta 1$ 大约是 2.85%， $\Delta 2$ 大约是 -1%， $\Delta 3$ 大约是 1.28%。纤芯直径比 ($a_1/a_2/a_3$) 大约是 1/3/3.7。

在 1450 纳米到 1650 纳米波长频带内这一色散补偿装置的色散特性有一个负的色散（例如在波长 1550 纳米上大约 -150 ps/nm/km 或者更低）和一个负的色散斜率（大约 -2.18 ps/nm²/km），这些值的绝对值都很大。因此，在这一光传输系统中，实例 7 的低色散光纤的长度跟色散补偿装置的长度之比为 98 比 2。

在 1530 纳米到 1600 纳米波长频带内，这一光传输系统具有图 4 的曲线 a 所说明的色散特性。图 4 中的曲线 b 说明实例 7 中低色散光纤在 1530

纳米到 1600 纳米波长频带内的色散特性。

从图 4 可以清楚地看到，将具有图 5(b) 所示的那种负色散斜率的色散补偿装置跟低色散光纤 7 连接起来构成光传输系统的时候，在使用的波长频带里（在这一情况下是 1450 纳米到 1650 纳米的波长范围内的一个波长频带），光传输系统中的色散差作为一个整体可以被大大地减小。用于本发明的光传输系统的这个实施方案的色散补偿装置的一个实例是这样一

个装置，如前所述，还有一个绝对值很大的负的色散斜率。

采用这种色散补偿装置的时候，如上所述，这个装置的长度可以缩短。因此，这种色散补偿装置的应用能够减小对非线性特性和除了色散特性以外的类似特性的影响，并且使得构造具有前面的实施方案中的低色散光纤的良好特性，并能够高质量地进行波分复用传输的光传输系统成为可能。

本发明并不局限于上面描述的实施方案，可以采用实践本发明的各种模式。例如，在本发明的光传输系统中，包括前面的实施方案之一的低色散光纤和在使用波长频带内具有负的色散斜率的色散补偿装置的一条光传输线被用于减小使用的波长频带内的色散差。因此，在本发明的光传输系统的一个实施方案中，这一光传输线可以通过将上面的实施方案之一的低色散光纤跟另外一个光纤，例如能够进行单模方式工作的光纤，连接起来来制作。

应用于光传输线的这一实施方案的色散补偿装置的构造并不特别受限制，可以怎样方便就怎样设置。但是，当这一色散补偿装置是用上面描述的色散补偿光纤来制作的时候，就能够很容易地制作这一装置，并将它跟包括低色散光纤的光传输线连接起来。

还有，在上面描述的低色散光纤的实施方案中，二氧化锆被掺杂进中央纤芯 1 和第二个侧纤芯 3，氟 (F) 被掺杂进第一个侧纤芯 2。但是，通过将二氧化锆和 F 掺杂进第一个侧纤芯 2，并调整它们的掺杂量，本发明

中低色散光纤的一个实施方案还可以具有图 1、图 2 或者图 3 所示的那种折射率分布曲线。还有，本发明中低色散光纤的组成也能够改变。

此外，虽然前面的实施方案中的每一个实施方案中，构造的低色散光纤在 1530 纳米到 1560 纳米波长频带内没有零色散波长，但是本发明的低色散光纤可以被构造成在 1450 纳米到 1650 纳米的波长频带内包括的任意一个使用的波长频带里不具有零色散波长。当本发明的低色散光纤按照这种方式来构造的时候，因为在使用的波长频带内进行波分复用传输的时候，四波混合的发生可以得到抑制，所以有可能获得适合于在更宽的频带内进行波分复用传输的低色散光纤。

10

如上所述，本发明的低色散光纤和利用这种低色散光纤的光传输系统既能够增大有效纤芯面积，又能够减小使用的波长频带内的色散差，因而特别适合于波分复用传输。

15

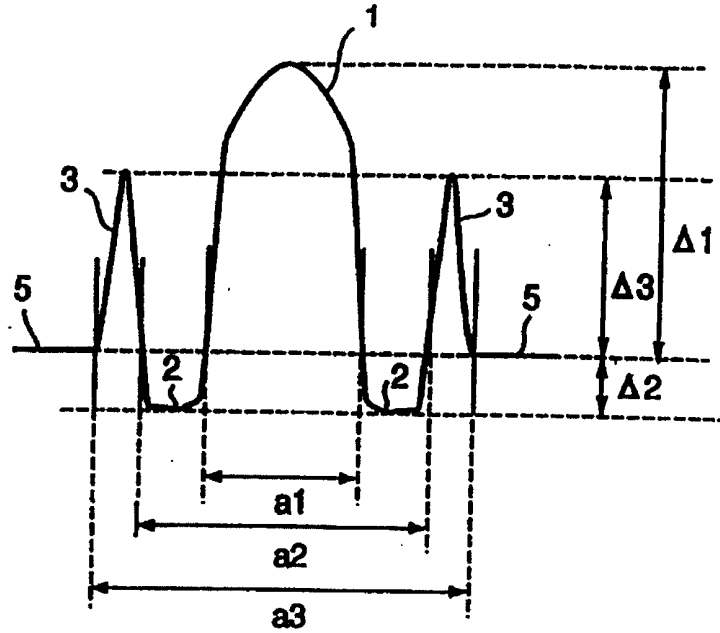


图1

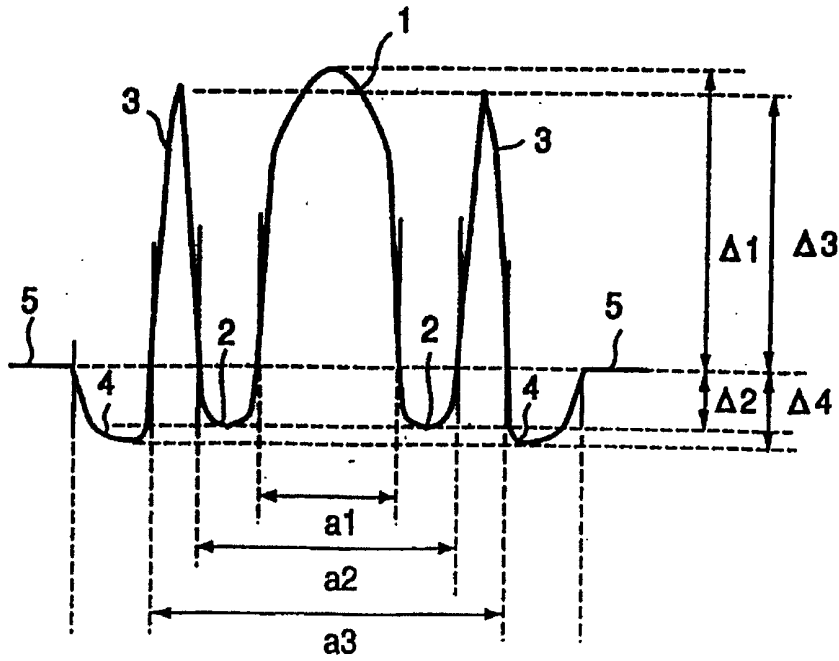


图3

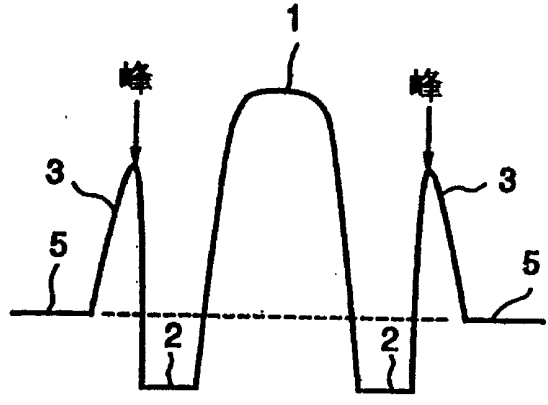


图2a

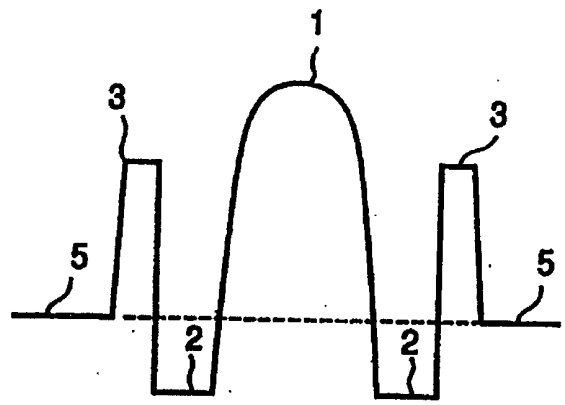


图2b

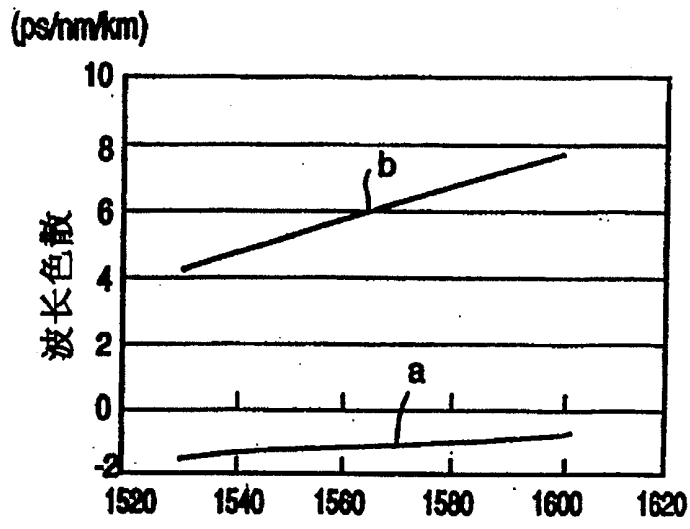


图4

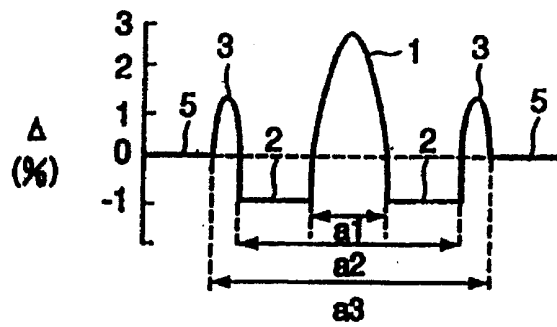


图5a

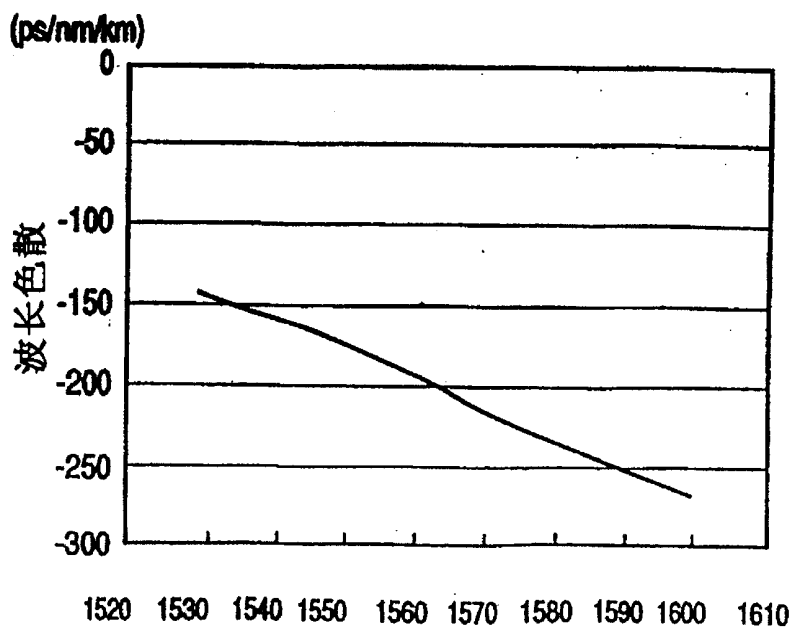


图5b

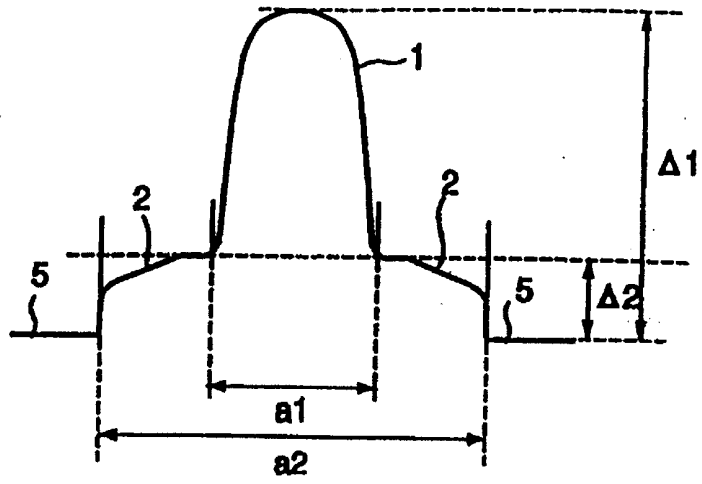


图6a

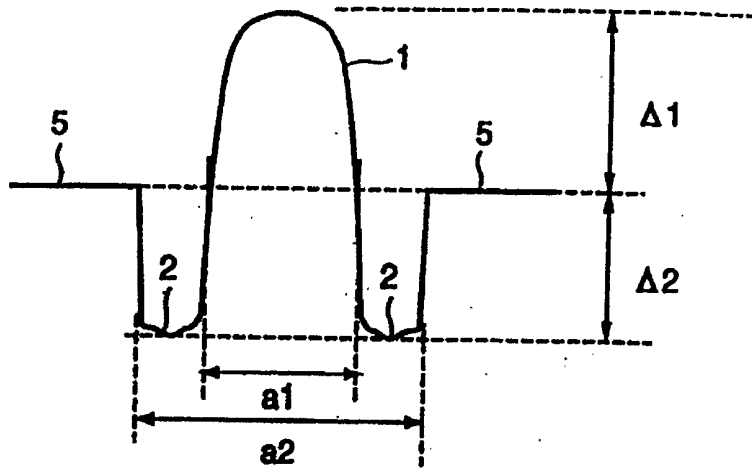


图6b

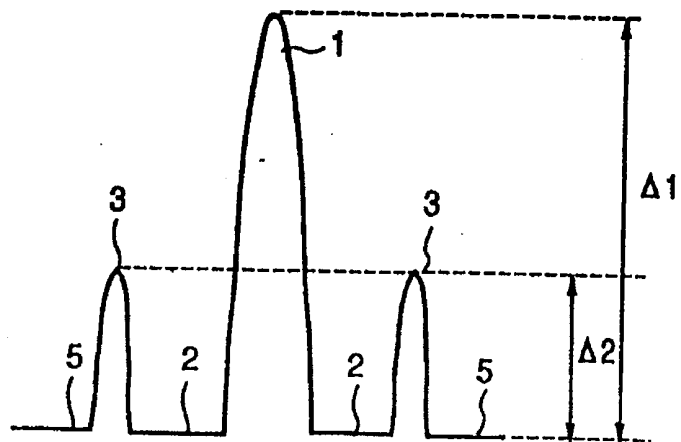


图6c