

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/16

H04B 10/18



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99127449.0

[45] 授权公告日 2004 年 8 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1163768C

[22] 申请日 1999. 12. 30 [21] 申请号 99127449.0

[30] 优先权

[32] 1999. 1. 4 [33] FR [31] 990007

[71] 专利权人 阿尔卡塔尔公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 让-克劳德·罗塞奥

马里安·培劳特

审查员 崔尚科

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

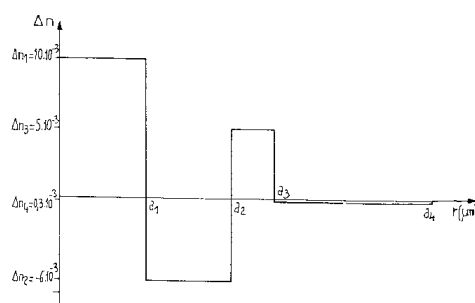
代理人 鄧 迅

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 1 页

[54] 发明名称 低色散梯度的光纤

[57] 摘要

本发明涉及一种偏移色散的单模光纤，它在 1400 至 1650nm 的波长段中有一个色散最大值和一个绝对值低于 $0.05\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。有利的是，该最大值在 1400 至 1650nm 的波长段中是唯一的。该种光纤在 1530 至 1580nm 的波长段内还有一个绝对值低于 $0.03\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。本发明的该种光纤特别适用于波分复用的通信系统。



ISSN 1008-4274

1. 一种偏移色散的单模光纤，在 1400 至 1650nm 的波长段内具有一个色散最大值和一个绝对值低于 $0.05\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度，所述的光纤具有光纤纤芯和包层的折射率分布图，该纤芯包括：其折射率 n_1 高于该光纤的包层的折射率 n_s 的中央部分；包围所述中央部分、其折射率 n_2 低于所述包层的折射率的第一环形部分；以及包围所述第一环形部分、其折射率 n_3 高于所述包层的折射率的环。

2. 按照权利要求 1 所述的光纤，其特征在于，在 1400 至 1650nm 的波长段内该最大值是唯一的。

3. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，在该所述的最大值处所述光纤具有正的色散值。

4. 按照权利要求 3 所述的光纤，其特征在于，该所述的最大值是对于在 1530 和 1580nm 之间的一个波长达到的。

5. 按照权利要求 3 所述的光纤，其特征在于，对低于 1450nm 的波长所述光纤具有零色散。

6. 按照权利要求 3 所述的光纤，其特征在于，对高于 1600nm 的波长所述光纤具有零色散。

7. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，在所述的最大值处该光纤具有负的色散值。

8. 按照权利要求 7 所述的光纤，其特征在于，所述的最大值是在 1480 和 1520nm 之间的一个波长达到的。

9. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，在 1530 至 1580nm 的波长段内，它具有正的色散梯度。

10. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，在从 1530 至 1580nm 的波长段内，它具有负的色散梯度。

11. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，在从 1530 至 1580nm 的波长段内，它具有其绝对值低于 $0.03\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。

12. 按照权利要求 1 或 2 所述的光纤，其特征在于，对于 1300nm 的波长，它具有其绝对值低于 $7\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 的色散。

13. 按照权利要求 1 所述的光纤，其特征在于，该光纤还具有包围所述环、其折射率 n_4 低于该包层的折射率的第二环形部分。

14. 按照权利要求 1 所述的光纤，其特征在于，该中央部分和该第一环形部分或第二环形部分的折射率之差在 13×10^{-3} 和 17×10^{-3} 之间。

15. 按照权利要求 14 所述的光纤，其特征在于，该环形部分的折射率 n_2 和该包层的折射率 n_s 之差在 -8×10^{-3} 和 -6×10^{-3} 之间。

16. 按照权利要求 15 所述的光纤，其特征在于，该环的折射率 n_3 和该包层的折射率 n_s 之差 Δn_3 包括在 3×10^{-3} 和 6×10^{-3} 之间。

17. 按照权利要求 1 或 14 所述的光纤，其特征在于，该中央部分的半径 a_1 小于或等于 $3\mu\text{m}$ 。

18. 按照权利要求 17 所述的光纤，其特征在于，该第一环形部分的厚度和该中央部分的半径之间的比值 $a_2 - a_1 / a_1$ 在 0.8 和 1.2 之间，其中 a_1 是所述中央部分的半径， $a_2 - a_1$ 是所述第一环形部分的厚度。

19. 按照权利要求 18 所述的光纤，其特征在于，该环的厚度和该中央部分的半径之间的比值 $a_3 - a_2 / a_1$ 在 0.3 和 0.7 之间，其中 a_1 是上述中央部分的厚度， $a_3 - a_2$ 是上述环的厚度。

20. 按照权利要求 13 所述的光纤，其特征在于，该第二环形部分的折射率 n_4 和该包层的折射率 n_s 之差 Δn_4 在 -0.5×10^{-3} 和 -0.1×10^{-3} 之间。

21. 一种波分复用系统，所述系统包含一种偏移色散的单模光纤，在 1400 至 1650nm 的波长段内所述单模光纤具有一个色散最大值和一个绝对值低于 $0.05\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度，所述的光纤具有光纤纤芯和包层的折射率分布图，该纤芯包括：其折射率 n_1 高于该光纤的包层的折射率 n_s 的中央部分；包围所述中央部分、其折射率 n_2 低于所述包层的折射率的第一环形部分；以及包围所述第一环形部分、其折射率 n_3 高于所述包层的折射率的环。

22. 按照权利要求 21 所述的系统，其中对于所述光纤，在 1400 至 1650nm 的波长段内该最大值是唯一的。

低色散梯度的光纤

本发明涉及光纤通信的领域，特别是波分复用通信的技术领域。

对于光纤，通常可以根据将折射率和半径的关系的函数图形的状况对折射率的分布进行属性评定。通常以横座标表示到光学纤维中心的距离 r ，而以纵座标表示由其相对于光纤包层的折射率的绝对差值或其百分数确定的折射率。这样对于折射率随半径变化的分别呈现台阶形、梯形或三角形的各种形状的典型曲线可以称为“台阶形”、“梯形”或“三角形”折射率分布。这些曲线通常代表该种光纤的理论分布或标准分布，那些制造该种光纤的限制导致一种不同分布。

在高数据速率和波分复用的新型通信网中，特别对于超过或等于 10 G 比特/秒的数据速率，对色散进行管理是很有好处的。目的是对于复用的所有波长得到对该链路基本上为零的累计色散，以限制脉冲展宽。该色散数百 ps/nm 的累计值是可以接受的。避免使该色散的值在与该系统中使用的波长接近处为零也有好处，在这些零值的非线性作用是很强的。因此最好使用称为 NZ-DSF（英文“non zero DSF”的首字母缩合词）的光纤，这种光纤该复用的信道区之外有一个零色散波长 λ_0 ，可以避免四波混合所带来的问题。而且，将这些光纤使用于波分复用系统会导致要寻求一个低的色散梯度，以使不同的信道保持相同的传播特性。按此观点，色散梯度的基准值为 $0.075 \text{ ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 。

Richard Lundin 在 Applied Optics 杂志 1994 年 33 卷第 6 期 1011-1014 页的“Dispersion Flattening in a W fiber”一文中叙述了一种可以在双层包层的单模光纤中获得平缓色散的方法。此方法被应用于具有带矩形芯和折射率低于包层折射率的环的折射率分布图形的光纤，并能在 1250 nm 至 1600 nm 的波长段内得到 $0.9 \text{ ps}/\text{km} \cdot \text{nm}$ 的色散平均值，

并有1250nm的截止波长。此资料简单指出，将色散保持在低水平这一事实许可限制脉冲展宽。

Y. Li 和 C. D. Hussey 在 *Optical Engineering* 杂志 1994 年 33 卷第 12 期 3999-4005 页的 “Triple-clad single mode fibers for dispersion flattening” 一文中叙述了在波分复用通信系统中平缓色散光纤在 1300 和 1550 nm 处有色散消除的好处。此资料提出用于获得平缓色散的、在 1300 和 1550 nm 处有零色散、本征损耗低、以及对弯曲敏感性好的三层包层的光纤的最佳化。该第二种模式的截止波长在 1250 nm 处。得到的光纤具有一个其芯的折射率高于外层包层折射率、一个第一层包层，其折射率低于外层包层折射率、以及一个其折射率高于外层包层折射率的第二层包层。在 5cm 的半径上绕制光纤在 1300 和 1550 nm 之间的波长范围内引起的损耗低于 2.4 dB/km ，而色散低于 $3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 。

EP-A-0368014 叙述另一种具有同样分布图类型的光纤。此光纤在 1280 和 1560 nm 之间有一个低于或等于 $3.5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 的色散，以及对于 5 cm 的半径，对弯曲有低于 10^{-6} dB/m 的敏感度。

EP-A-0131634 还叙述了一种具有同样类型分布图的光纤。此光纤的色散有三个零色散，以及在各个零值之间和色散的各个相对的最大值和最小值。

P. K. Bachmann 在 1987 年的 *Philips J. Res.* 42 的 435-450 页的 “Worldwide status of dispersion-modified single mode fibers” 一文提出对平缓色散和偏移色散 (DSF) 光纤的回顾。作者就降低光纤弯曲造成的损耗的必要性作出了结论。

本发明提出一种光纤，具有适宜于在波分复用通信系统中使用而不会引起大的损耗并能限制非线性效应的特性。本发明适用于使用各种性能的脉冲的、特别是使用 RZ 或 NRZ 脉冲的波分复用通信系统。

更准确地说，本发明提出一种偏移色散的单模光纤，它在1400到1650 nm的波长范围内具有一个色散最大值和一个绝对值低于 $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。

在一种实施方式中，在1400到1650 nm的波长段内该色散最大值是唯一的。

更好的是，该光纤在所述的最大值处具有一个正的色散值。

在此情况下，对于1530和1580 nm之间的一个波长最好能达到该最大值。

对低于1450 nm的一个波长该光纤可以具有一个零色散。

对高于1600 nm的一个波长该光纤也很好具有一个零色散。

在另一种实施方式中，该光纤在所述的最大值处具有一个负的色散值。

在此情况下，对于1480和1520 nm之间的一个波长能很好地达到该最大值。

该光纤在1530至1580 nm的波长范围内还可以具有正的色散梯度。

在一种实施方式中，该光纤在1530至1580 nm的波长范围内具有负的色散梯度。

在另一种实施方式中，该光纤在1530至1580 nm的波长范围内具有一个绝对值低于 $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。

有利的是，该光纤对于1300 nm的一个波长具有绝对值低于 $7 \text{ ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 的色散。

在一种实施方式中，该光纤有具有一个光纤芯和一个包层的折射率分布图，该芯包含有一个其折射率（ n_1 ）比该光纤包层的折射率（ n_s ）高的中央部分、一个其折射率（ n_2 ）比包层的折射率低的围绕在该所述的中央部分周围的环形部分、以及一个其折射率（ n_3 ）比包层的折射率高的围绕在该所述的环形部分周围的环。

该光纤在该所述的环周围还可以有另一个其折射率（ n_4 ）比该

包层的折射率低的的环形部分。

有利的是，该中心部分和环形部分的折射率之差在 1.3×10^{-3} 和 1.7×10^{-3} 之间。

优选的是，该环形部分的折射率 (n_2) 和包层折射率 (n_s) 之差 (Δn_2) 在 -8×10^{-3} 和 -6×10^{-3} 之间。

在一种实施方式中，该环的折射率 (n_3) 和包层折射率 (n_s) 之差 (Δn_3) 被包括在 3×10^{-3} 和 6×10^{-3} 之间。

有利的是，该中心部分的半径 (a_1) 小于或等于 $3 \mu\text{m}$ 。

优选的是，在该环形部分的厚度和中央部分的半径之间的比值 ($a_2 - a_1$) / a_1 在 0.8 和 1.2 之间。

在一种实施方式中，该环的厚度和中央部分的半径之间的比值 ($a_3 - a_2$) / a_1 在 0.3 与 0.7 之间。

也可以预料到在另一个环形部分的折射率 (n_4) 和包层的折射率 (n_s) 之差 (Δn_4) 在 -0.5×10^{-3} 和 -0.1×10^{-3} 之间。

本发明还提出将这样一种光纤用于波分复用的通信系统。

本发明的其他特征和优点在阅读本发明的各种实施方式后，仅作为例子给出的说明及附图明白地表示出来。附图中：

- 图 1 为按照本发明的一种光纤的折射率分布图的一个例子；
- 图 2 为按照本发明的一种光纤的折射率分布图的另一个例子；

本发明提出一种偏移色散的单模光纤，它在 1400 至 1650 nm 的波长段中有一个色散最大值和一个绝对值小于 $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 的色散梯度。

很有好处的是，在此波长段中该色散最大值是唯一的。

对于此最大值色散可以为正或负值。如果该色散在最大值处为正值，则该光纤在此最大值的两边都可以有零色散。那么该色散最大值的位置最好选取在该复用的波长段中，即在 1530 和 1580 nm 之间。有利的是，在低于 1450 nm 的一个波长值处色散第一次被消除。它可以在高于 1600 nm 的一个波长值处第二次被消除。在

此情况下该光纤是NZ-DSF式的，即在1530和1580 nm之间的梳形波长段中没有零色散，因而特别适合于使用在波分复用的通信系统中。非零的色散值可以限制例如与四波混频这样的非线性效应。

如果色散在其最大值处具有负值，则最好此最大值的位置被选取得使得在此复用的波长段内色散和色散梯度为负。这样，如果在1480和1520 nm之间最好靠近1500 nm处选取一个色散最大值，则可以在该复用的波长段内获得负色散和负的色散梯度。

在这种情况下的优点是在该通信系统中有可能将一种折射率跳变的具有正的色散梯度和正色散的光纤用于色散补偿。那么便没有必要去使用强衰减并具有小的模式直径的色散补偿光纤，在本申请人在和本申请书同一日递交的题为“波分复用光纤通信系统”的专利申请书中叙述了这样的色散管理。这里建议使用在1530至1600 nm之间的波长段内色散绝对值在3和5.5 ps/nm·km之间，以及在1530至1600 nm之间的波长段内色散梯度绝对值低于0.04 ps/nm²·km的低梯度的光纤作为线路光纤。

也可以在复用的波长段内选取一个负的色散和一个正的色散梯度，或者还可以在复用的该波长段内选取一个正的色散和一个负的色散梯度。

无论如何，这些低的色散梯度值能保证复用的各个信道无显著传输特性差异地进行传送。而且，这些色散梯度值能保证本发明的光纤在1300 nm附近也具有低的色散值，并且因而也能使用在此波长值附近。

更好的是，本发明的光纤也在复用的波长范围内具有绝对值低于0.03 ps/nm²·km的色散梯度。这样的值具有能在各不同梳状信道之间限制失真的优点。

该光纤在1300 nm处优选地具有低色散，通常是绝对值低于7 ps/nm·km的色散。

本发明的光纤的其他传播特性能够选取在用于NZ-DSF光纤

的典型值的范围内，例如：

- 衰减低于 $0.25 \text{ dB} / \text{km}$;
- 对于围绕半径为 30 mm 的卷绕，弯曲损耗低于 $0.5 \text{ dB} / \text{km}$;

现在参照图 1 给出实现本发明的一个例子，图 1 表示出按照本发明的一种光纤的折射率分布图的例子。图 1 的折射率分布图是环和矩形折射率分布图。这种分布图从光纤的中心出发向包层直到半径 a_1 处有一个中央部分，其折射率 n_1 基本上为变数。折射率 n_1 高于包层的硅的折射率 n_s 。在图 1 的该种实施方式中，折射率 n_1 和包层的折射率之差 Δn_1 等于 10×10^{-3} ，而半径 a_1 等于 $2.7 \mu\text{m}$ 。

在其折射率大于包层折射率的矩形中央部分周围，在半径 a_1 和 a_2 之间，本发明的光纤有一个其折射率 n_2 低于包层折射率的埋入环形部分。在图 1 的这种实施方式中，折射率 n_2 和包层折射率之差 Δn_2 等于 -6×10^{-3} 。而该埋入部分伸展接近 $2.7 \mu\text{m}$ 的厚度。

该种光纤在埋入部分周围在半径 a_2 和 a_3 之间，有一个其折射率 n_3 高于包层折射率的环。在图 1 的该种实施方式中，该环的折射率 n_3 和包层折射率之差 Δn_3 等于 3.2×10^{-3} 。而该环的厚度为 $1.35 \mu\text{m}$ ，结果使半径 a_3 等于 $6.75 \mu\text{m}$ 。

对折射率分布图的这种选取能保证在 1300 和 1600 nm 之间的色散梯度保持低于 $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 。更准确地说，对 1500 nm 的波长值，本例中的色散有最大值 $-0.6 \text{ ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 。

图 1 的光纤有如下的以 $\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 为单位的色散值：

1450 nm	1500 nm	1550 nm	1600 nm
-0,7	-0,6	-0,95	-1,8

在此图的例子中，色散的最大值是对一个负的色散值得到的，而在复用的波长段内色散是负的。

图 2 表示按照本发明的折射率分布图的另一个例子。在图 2 的该

实施方式中，折射率分布图和图 1 一样是一种带有环的矩形分布图，但是在此环周围还有一个埋入部分。这种分布图从光纤的中心出发向包层直到半径 a_1 处有一个中央部分，其折射率 n_1 基本不变。折射率 n_1 高于包层的硅的折射率 n_s 。在图 2 的该种实施方式中，折射率 n_1 和包层的折射率之差 Δn_1 等于 1.0×10^{-3} 。

在其折射率比包层折射率高的矩形中央部分周围，图 2 的光纤在半径 a_1 和 a_2 之间有一个其折射率 n_2 低于包层折射率的埋入环形部分。在该图的这种实施方式中，折射率 n_2 和包层折射率之差 Δn_2 等于 -6×10^{-3} 。

该种光纤在埋入部分周围在半径 a_2 和 a_3 之间，有一个其折射率 n_3 高于包层折射率的环。在图 2 的该种实施方式中，环的折射率 n_3 和包层折射率之差 Δn_3 等于 5×10^{-3} 。

在该环周围，该光纤在半径 a_3 和 a_4 之间还有一个埋入部分，其折射率 n_4 低于包层折射率，而比在矩形和环之间伸展的埋入部分的折射率高。在图 2 的例子中，环的折射率 n_3 和包层折射率之差 Δn_4 等于 -0.3×10^{-3} 。

对于这些折射率值的可能的半径优选地符合以下各个关系式：

$$a_2 = 2 \cdot a_1$$

$$a_3 = 5 \cdot a_1 / 2$$

$$a_4 = 9 \cdot a_1 / 2$$

对于半径间的这些关系式，以及对于该矩形部分的半径 a_1 的两个不同值，可以在下面表中找到以 $\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 为单位给出的色散值：

	1450 nm	1500 nm	1550nm	1600 nm	1650 nm
$a_1 = 2,8 \mu\text{m}$	0,6	1,2	1,3	1,1	0,7
$a_1 = 2,9 \mu\text{m}$	3,9	4,9	5,5	5,8	5,7

在这两种情况下都可以在 1450 到 1650 nm 的范围内找到正的色散值，以及在此范围内找到色散的一个最大值。

也可以选取和图 2 上例子中所给值不同的折射率值。对于以下的

一些折射率数值:

$$\Delta n_1 = 10 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_2 = -7 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_3 = 5 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_4 = -0.3 \times 10^{-3}$$

对于半径 a_1 的不同值可以在下表中找到以 $\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 为单位给出的色散值:

	1450 nm	1500 nm	1550 nm	1600 nm	1650 nm
$a_1 = 2,8 \mu\text{m}$	0,8	1	0,7	-0,1	-1,3
$a_1 = 2,9 \mu\text{m}$	4,2	5,1	5,5	5,3	4,7

在第一种情况, 最大值在 1500 nm 附近达到, 色散值先为正, 后为负。在第二种情况, 最大值在 1550 nm 附近达到, 而色散值在梳形波长段内为正。

对于以下折射率值

$$\Delta n_1 = 10 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_2 = -7 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_3 = 3 \times 10^{-3}$$

$$\Delta n_4 = -0.3 \times 10^{-3}$$

可以在下表中对不同的半径 a_1 的值找到以 $\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ 为单位给出的色散值:

	1450 nm	1500 nm	1550 nm	1600 nm	1650 nm
$a_1 = 2,8 \mu\text{m}$	3,8		5		4
$a_1 = 2,9 \mu\text{m}$		7,3	8,5	9,4	9,3

该最大值在第一种情况约在 1550 nm 达到, 而在第二种情况约在 1600 nm 达到。

在所有的情况下, 光纤的这些例子都可以使用本发明。一般地说, 本发明可以通过以下特性的组合而得到:

$$13 \times 10^{-3} \leq \Delta n_1 - \Delta n_2 \leq -17 \times 10^{-3}$$

$$-8 \times 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -6 \times 10^{-3}$$

$$3 \times 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 6 \times 10^{-3}$$

$$a_1 \leq 3 \mu m$$

$$0.8 \leq (a_2 - a_1) / a_1 \leq 1.2$$

$$0.3 \leq (a_3 - a_2) / a_1 \leq 0.7$$

对于图2的实施方式最好还有:

$$1.5 \leq (a_4 - a_3) / a_1 \leq 2.5 \text{ 以及}$$

$$-0.5 \times 10^{-3} \leq \Delta n_4 \leq -0.1 \times 10^{-3}$$

在图1和图2的各个例子中, $(a_2 - a_1) / a_1$ 等于1而 $(a_3 - a_2) / a_1$ 等于0.5。在图2的例子中, $(a_4 - a_3) / a_1$ 等于2。在最后两个例子中, $(a_2 - a_1) / a_1$ 等于1而 $(a_3 - a_2) / a_1$ 等于0.5。

本发明可以由内行人员借助已知技术如MCVD或其他通常用于制造光学纤维的各种技术进行制造。

当然, 本发明不仅限于说明和表示出来的各种实施方式。该图的分布图, 以及在说明中给出的其他各种分布图只构成能够实现本发明的一些例子。其他一些分布图也可以用来达到本发明中提出的各个色散梯度值和色散值。

在前面的说明中考虑了1400至1650 nm波长段内的一些色散值。在此波长段内存在一个色散最大值并不能预料色散在该波段以外的变化。

图1

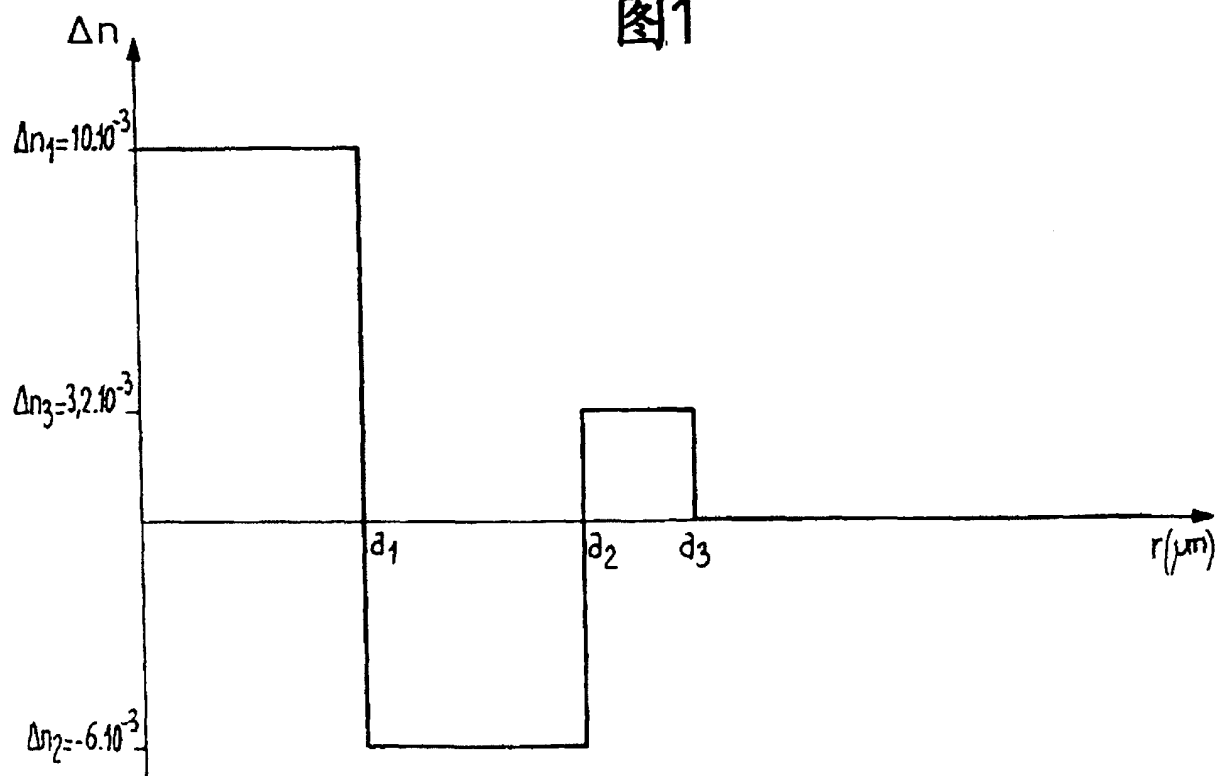


图2

