



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106145661 A

(43)申请公布日 2016.11.23

(21)申请号 201610402256.4

G02B 6/036(2006.01)

(22)申请日 2010.06.09

(30)优先权数据

102009025168.5 2009.06.12 DE

(62)分案原申请数据

201080016398.8 2010.06.09

(71)申请人 J-纤维有限公司

地址 德国耶拿

(72)发明人 W·黑默勒 L·布雷姆 M·奥特

E·波皮茨

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 张立国

(51)Int. Cl.

C03B 37/018(2006.01)

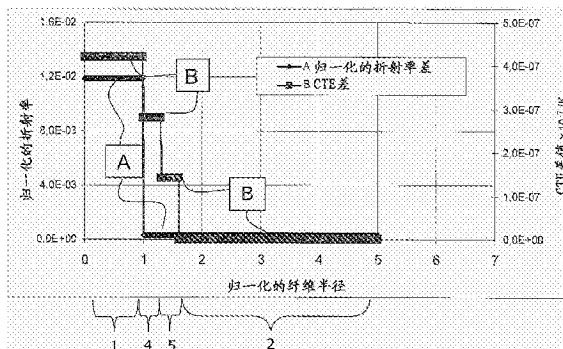
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

包括掺杂的玻璃纤芯和包围玻璃纤芯的包层的光导纤维

(57)摘要

本发明涉及一种光导纤维、特别是激光纤维,包括一个掺杂的玻璃纤芯(1)和一个包围玻璃纤芯的包层(2),具有从纤芯芯向外减小的折射率分布曲线。该光导纤维的特征在于至少一个在玻璃纤芯与包层之间设置的、减小在玻璃纤芯与包层之间的机械应力的中间层。在一种符合目的的实施形式中,该中间层具有保证在玻璃纤芯与包层之间的阶梯形机械应力走势的中间层掺杂部分和降低折射率的中间层共掺杂部分,该中间层共掺杂部分抵制中间层掺杂部分的提高折射率的作用。本发明还涉及在制造预制件时在芯区域上施加至少一个掺杂的阻隔层,目的在于避免在萎陷过程中特别的芯掺杂物从芯中扩散出来并且能实现特别的掺杂物在阻隔层与芯层之间扩散。



1. 光导纤维,包括一个掺杂的玻璃纤维芯(1)和一个包围玻璃纤维芯的包层(2),具有从纤维芯向外减小的折射率分布曲线;其特征在于:有至少一个在玻璃纤维芯与包层之间和/或在玻璃纤维芯与半成品的管内部之间设置的、减小在玻璃纤维芯与包层之间的机械应力的中间层(3);所述至少一个中间层(3)具有保证在玻璃纤维芯(1)与包层(2)之间的阶梯形的机械应力走势的中间层掺杂部分和降低折射率的中间层共掺杂部分,该中间层共掺杂部分抵制中间层掺杂部分的提高折射率的作用;所述至少一个中间层(3)有这样的热膨胀系数,该热膨胀系数的值在玻璃纤维芯(1)的膨胀系数的值与包层(2)的膨胀系数的值之间;在所述至少一个中间层与设置的芯层之间构成至少一个扩散区,在该扩散区中至少一种内含材料扩散进入芯层或从芯层扩散出来。

2. 按照权利要求1所述的光导纤维,其特征在于,所述玻璃纤维芯(1)具有含有芯掺杂物和增溶剂的芯掺杂部分,包括至少一种活性的激光介质。

3. 按照权利要求2所述的光导纤维,其特征在于,所述芯掺杂物是氧化镱,和/或增溶剂是一种元素的氧化物。

4. 按照权利要求1至3之一项所述的光导纤维,其特征在于,所述中间层掺杂部分包含一种元素的氧化物形式的中间层掺杂物,和/或中间层共掺杂部分包含卤化物形式的中间层共掺杂物。

5. 按照权利要求1至3之一项所述的光导纤维,其特征在于,设有两个中间层(4、5),其中,第一中间层(4)和第二中间层(5)的热膨胀系数的值具有阶梯形的分布曲线并且在第一中间层和第二中间层中设置中间层掺杂物与中间层共掺杂物之间的不同的数量比例。

6. 按照权利要求1至3之一项所述的光导纤维,其特征在于,内含材料的浓度具有径向梯度。

7. 按照权利要求1至3之一项所述的光导纤维,其特征在于,内含材料的浓度均匀地渗透芯。

8. 按照权利要求1至3之一项所述的光导纤维,其特征在于,所述光导纤维是激光纤维。

9. 按照权利要求2所述的光导纤维,其特征在于,所述激光介质是稀土元素和/或d族元素。

10. 按照权利要求3所述的光导纤维,其特征在于,所述增溶剂是第三主族和/或第五主族元素的氧化物。

11. 按照权利要求4所述的光导纤维,其特征在于,所述中间层掺杂部分包含第三主族和/或第五主族元素的氧化物形式的中间层掺杂物,和/或中间层共掺杂部分包含氟化物形式的中间层共掺杂物。

12. 用于制造光导纤维的方法,所述光导纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯(1)和一个包围玻璃纤维芯的包层(2),具有从纤维芯向外减小的折射率分布曲线;其特征在于,利用以下方法步骤制造具有阻隔层形式的至少一个暂时的中间层的预制件:

以给定的Soot掺杂物浓度沉积至少一个掺杂的Soot层,

以等于Soot掺杂物浓度的阻隔掺杂物浓度沉积至少一个掺杂的阻隔层,

实施萎陷步骤和紧接其后的阻隔层的去除,

实施封闭步骤。

13. 按照权利要求12所述的方法,其特征在于,在沉积掺杂的Soot层之后利用第三主族

和/或第五主族元素的卤化物和/或稀土元素的卤化物实现溶液掺杂。

14. 按照权利要求12或13所述的方法,其特征在于,Soot掺杂物和阻隔掺杂物是相同的。

15. 按照权利要求12或13所述的方法,其特征在于,实现至少一种成分从所述至少一个中间层和/或阻隔层向芯的扩散,其中,至少局部地径向地影响芯玻璃的化学组分。

16. 按照权利要求12或13所述的方法,其特征在于,阻隔层的去除通过气相腐蚀实现。

17. 按照权利要求12所述的方法,其特征在于,所述光导纤维是激光纤维。

18. 按照权利要求15所述的方法,其特征在于,所述成分是氟。

包括掺杂的玻璃纤维芯和包围玻璃纤维芯的包层的光导纤维

[0001] 本申请是基于申请号为201080016398.8(国际申请号为PCT/EP2010/058045)、申请日为2010年06月09日、发明名称为“包括掺杂的玻璃纤维芯和包围玻璃纤维芯的包层的光导纤维、特别是激光纤维”的中国专利申请提出的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及一种光导纤维、特别是激光纤维,该光导纤维、特别是激光纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层,以及一种用于制造光导纤维、特别是激光纤维的方法,该光导纤维、特别是激光纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层。

背景技术

[0003] 光导纤维、特别是激光纤维一般包括一个玻璃纤维芯和至少一个包层,该包层在激光纤维中用作作为泵芯(Pumpkern)。此外,通过聚合物层保护该结构免受环境影响。玻璃纤维芯和包层在化学上基本上由氧化硅构成。为了确保泵芯的波导,聚合物层由这样的材料构成,该材料的折射率小于氧化硅的折射率。

[0004] 在由现有技术已知的激光纤维中,玻璃纤维芯掺杂有至少一种稀土元素和至少另一种掺杂物(Dotanden)。一种或多种附加的掺杂物用作用于稀土元素在由氧化硅构成的玻璃基质中的增溶剂并且应当有利地影响纤维的附加特性、特别是所谓光暗化效应。

[0005] 光导纤维、特别是激光纤维在其芯中通常具有阶梯形的折射率分布曲线。芯对此可以包括多个芯层。各芯层通常利用用于化学气相沉积的方法与浸渍方法相组合地制造。不过,制造的高复杂性使得只可以沉积不多的芯层。因此,实现分级的芯折射率分布曲线由于制造工艺的原因只有以极度的费用和很少的收益才是可能的并因此实际上并未采用。

[0006] 稀土元素在纯氧化硅中的溶解度通常限于几百mol-ppm,但通过使用增溶剂例如铝或磷可以得到改善。因此,增溶剂作为掺杂物在掺杂稀土的激光纤维的芯内一般是常用的和必需的。不过,用作增溶剂的掺杂物与掺杂的稀土元素一起在预制芯或在纤维芯界面中引起机械应力。这些机械应力在较高的增溶剂浓度或稀土元素浓度时导致在制造和处理光导纤维时不希望的玻璃缺陷。机械应力主要出现在芯和包层之间的界面中,其可能导致破坏预制件或纤维。

[0007] 此外,设定作为用于大功率领域的激光纤维的光导纤维必须设计成,使得不希望的非线性光学效应、例如所谓的Raman效应或所谓的Brillouin效应被抑制。这在最简单的情况下通过将激光纤维保持得尽可能短来实现,因为许多非线性效应的强度与激光纤维长度成比例。

[0008] 为了在用于大功率领域的激光纤维中实现典型地为10m的短的纤维长度,包层中的吸收作用必须是尽可能高的并且例如为1.5dB/m。原则上可以经由两种途径实现所需要的高的包层吸收作用:

[0009] 1. 力求达到激光纤维的高的芯吸收作用。这通过激光芯中的高的稀土浓度来实

现。

[0010] 2.实现在包层面积与芯面积之间的尽可能小的比例。

[0011] 因此,为了到泵芯或包层中的泵辐射的大的耦合面积,芯的横截面积必须相应地增大。但芯面积的增大在技术上受到限制。一方面在增大芯横截面时必须考虑仍然保持芯的所谓的单一性因而以及由此确保的良好的辐射质量。因此,随着芯面积的增大必须同时按等式

[0012] $2n \cdot a \cdot NA/\lambda = \text{常数}$

[0013] 降低激光芯的数值孔径。其中,a是芯的半径,NA是其数值孔径,而 λ 是要在芯中传导的光的波长。具有较大的芯直径和较小的芯数值孔径的纤维通常被称为大模式面积纤维(LMA纤维)。但数值孔径降低到约0.05以下的值特别是在采用化学气相沉积法与浸渍掺杂相组合时在技术上受到限制。

[0014] 在通过提高稀土浓度来增大芯吸收作用时芯的折射率也增大,因为稀土元素起提高折射率的掺杂物的作用。此外,稀土化合物、特别是在大功率激光纤维中通常采用的镱III氧化物 Yb_2O_3 具有与其他通常采用的芯掺杂物相比特别高的热膨胀系数(F. Just, H.-R. Müller, H-Bartelt: Mechanical stresses in rare-earth doped fiber performs(在掺杂稀土的纤维预制件中的机械应力), DGA0学报2008年)。

[0015] 这样例如 Yb_2O_3 的热膨胀系数在 $4.1 \times 10^{-7} (K \cdot \text{mol}\%)^{-1}$ 的值时明显在通常使用的共掺杂物 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 GeO_2 、 B_2O_3 的热膨胀系数之上。因此通过在芯区域内的高的镱掺杂相对于未掺杂的包层区域产生如此高的机械应力,以致预制芯或纤维芯在冷却阶段期间可能破裂。

[0016] 热膨胀系数关于掺杂物浓度的变化的描述对于不同的掺杂物示于下表中:

[0017]

掺杂物	热膨胀系数关于掺杂物浓度的变化
Yb_2O_3	$4.1 \times 10^{-7} 1/(K \cdot \text{mol}\%)$
P_2O_5	$1.51 \times 10^{-7} 1/(K \cdot \text{mol}\%)$
Al_2O_3	$0.53 \times 10^{-7} 1/(K \cdot \text{mol}\%)$
SiF_4	$0.5 \times 10^{-7} 1/(K \cdot \text{mol}\%)$

[0018] 掺杂的硅玻璃的折射率和热膨胀系数的相关性的示例性的概况对于不同的共掺杂物示于图1中(Chin-Lin Chen: Foundations for guided-wave optics(导波光学基础), Wiley Interscience(交互科学)2007年, 283页)。图2示出掺杂的石英玻璃根据若干共掺杂物的示例性的热膨胀系数。

[0019] 此外,设定用于大功率领域的激光纤维必须以小的光暗化损失为特点,以便可以长时间稳定地工作。为了激光纤维表现出小的光暗化,激光芯除了稀土元件外一般还掺杂有至少另一种共掺杂物。在这方面,高的 Al_2O_3 和/或 P_2O_5 浓度(3至10mol%)以特别的方式被证实是合适的(S. Jetschke, Photodarkening in Yb-dotierten Lichtleitfasern(掺杂Yb的光导纤维中的光暗化), IPHT报告, 2008年6月13日)。为了确保稀土元素在玻璃基质中的足够高的溶解度,同样需要足够大量的共掺杂物例如 Al_2O_3 或 P_2O_5 。

[0020] 激光纤维在激光器操作中在高的激光器输出功率(1800W)时在芯区域中一直达到约634°C的温度以及比这更高的温度(D. C. Brown, H. J. Hoffmann: Thermal, Stress, and Thermo-Optic Effects in High Average Power Double-Clad Silica Fiber Lasers(在高的平均功率双包层硅纤维激光器中的热效应、应力效应和热光学效应), IEEE Journal

of Quantum Electronics(量子电子学的IEEE期刊),卷37,2001年2月2日,第207-217页)。必须排出此时在纤维芯中产生的热。因此通常从外部主动或被动地冷却大功率纤维,以便导出在芯区域中产生的热并且避免外部的聚合物覆盖物被热破坏。不过通过外部的冷却和在纤维芯中的高的热负荷再次产生强的、热的和通过掺杂物通常加强的应力,所述应力可能导致纤维芯的机械破坏。

[0021] 纤维芯的破裂在纤维中,其作为芯玻璃 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Yb}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 由于芯玻璃的 AlPO_4 或 $\text{Al}(\text{OP})_4$ 或 $\text{P}(\text{OAl})_4$ 类型的形态的高的结晶倾向特别是在缓慢的冷却时而被有利。因此可以已经在预制件制造或紧接着的纤维拉伸过程中发生结晶和发生纤维芯的由应力引起的破坏(C.C.de Araujo,L.Zhang,H-Eckert:Sol-gel preparation of $\text{AlPO}_4\text{-SiO}_2$ glasses with high surface mesoporous structure(具有大量表面间隙孔结构的 $\text{AlPO}_4\text{-SiO}_2$ 玻璃的溶胶配制),J.Mater.Chem.(期刊材料化学),2006年,No.16,第1323-1331页)。通过机械应力在芯/包层-界面中可能形成结晶晶核,该结晶晶核形成玻璃结晶的前提条件并且特别是鉴于光暗化的不利效应可显而易见。

发明内容

[0022] 由以上所述得出本发明的目的,给出一种光导纤维、特别是激光纤维,其包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层,其中避免所提到的断裂和破坏过程并且即使在长的操作时间内也可以实现纤维的高的操作稳定性。

[0023] 按照本发明,该目的利用一种如下特征的光导纤维、特别是激光纤维实现,该光导纤维、特别是激光纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层。关于其方法方面,该目的利用一种具有如下特征的用于制造光导纤维、特别是激光纤维的方法实现,该光导纤维、特别是激光纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层。

[0024] 规定一种光导纤维、特别是激光纤维,其包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层,设有从纤维芯向外减小的折射率分布曲线。按照本发明,该结构的特征在于:有至少一个在玻璃纤维芯与包层之间和/或在玻璃纤维芯与半成品的管内部之间设置的、减小在玻璃纤维芯与包层之间的机械应力的中间层;所述至少一个中间层具有保证在玻璃纤维芯与包层之间的阶梯形的机械应力走势的中间层掺杂部分和降低折射率的中间层共掺杂部分,该中间层共掺杂部分抵制中间层掺杂部分的提高折射率的作用;所述至少一个中间层具有这样的热膨胀系数,该热膨胀系数的值在玻璃纤维芯的膨胀系数的值与包层的膨胀系数的值之间;在所述至少一个中间层与设置的芯层之间构成至少一个扩散区,在该扩散区中至少一种内含材料扩散进入芯层或从芯层扩散出来。

[0025] 按照本发明的光导纤维基于这样的构思:这样拦截在必要掺杂的玻璃纤维芯与未掺杂的包层之间的和/或在玻璃纤维芯层与半成品的管内层之间的机械应力,即,在这两个在其特性方面基本上预定的层之间嵌入至少一个中间层,该中间层连结到玻璃纤维芯上和/或包层上,在此在这两个层之间或在界面上承受和补偿机械应力并因此总体上使整个的纤维结构稳定。

[0026] 为此,所述至少一个中间层符合目的地具有中间层掺杂部分,该中间层掺杂部分保证在玻璃纤维芯与包层之间的阶梯形的机械应力走势。同时,所述至少一个中间层具有

中间层共掺杂部分,该中间层共掺杂部分抵制中间层掺杂部分的提高折射率的作用。

[0027] 因此通过该实施形式将在玻璃纤维芯与包层或管内层之间的界面上的机械应力一方面分成在玻璃纤维芯与所述至少一个中间层之间的非破坏性的第一分应力并且另一方面分成在所述至少一个中间层与包层或管内层之间的非破坏性的第二分应力。因此不同于在传统的纤维结构中在这里存在的情况下将在纤维芯与包层之间的全部界面应力分配到中间层的空间上。

[0028] 为此目的,所述至少一个中间层具有赋予中间层对于该功能必需的机械特性的中间层掺杂部分。为了补偿在中间层中的折射率的由此引起的增大并因此确保在玻璃纤维芯中的不被妨碍的光导,在中间层中设有中间层共掺杂部分。该中间层共掺杂部分并不影响中间层的机械特性,而是只将中间层的折射率修正到对于在纤维中的光导必需的值。

[0029] 所述至少一个中间层特别是具有这样的热膨胀系数,该热膨胀系数的值在玻璃纤维芯的膨胀系数的值与包层的膨胀系数的值之间。由此产生的、在玻璃纤维芯间经由中间层到包层中的热膨胀分布曲线总体上引起光导纤维的耐热强度的增加并且导致在存在的外部冷却时纤维的较高的机械抵抗能力。

[0030] 在一种符合目的的实施形式中,玻璃纤维芯具有含有芯掺杂物和增溶剂的芯掺杂部分,包括至少一种活性的激光介质、优选稀土元素、和/或d族元素。在一种实施形式中,芯掺杂物是氧化镱和/或增溶剂是第三主族和/或第五主族元素的氧化物。

[0031] 在一种实施形式中,中间层掺杂部分包括一种元素的、优选第三主族和/或第五主族元素的氧化物形式的中间层掺杂物,中间层共掺杂部分包括卤化物、优选氟化物形式的中间层共掺杂物。

[0032] 在一种符合目的的实施形式中设有两个中间层。对此,第一中间层和第二中间层的热膨胀系数的值具有阶梯形的分布曲线,其中,在第一中间层和第二中间层中设置中间层掺杂物与中间层共掺杂物之间的不同的数量比例。

[0033] 因此在这样的情况下在各中间层的区域内设有另一边界层,在该边界层上进一步分配机械应力。两个中间层为此具有不同的热膨胀系数,这些热膨胀系数的值通过中间掺杂物调整。由于在这种情况下在两个中间层中受中间层掺杂物影响的折射率通过中间层共掺杂物来补偿,所以两个中间层相应具有在两种掺杂成分之间不同的数量比例。

[0034] 在另一种实施形式中,在所述至少一个中间层与设置的芯层之间构成至少一个扩散区,在该扩散区中至少一种内含材料扩散进入芯层或从芯层扩散出来。因此在该实施例中所述至少一个中间层除了其稳定作用和应力补偿作用外还用于有针对性地在化学上影响芯层的至少一部分并在那里或者经由扩散而引入内含材料或者有针对性地在芯层贫乏该内含材料。借此可以达到其他的光学的优点,特别是在光导纤维的芯的数值孔径和折射率分布曲线形状方面。

[0035] 对此在一种实施形式中,内含材料的浓度具有径向(radial)梯度。但也可能的是,在另一种实施形式中芯均匀地被内含材料渗透(durchsetzen)。在这样的情况下,扩散层实际上完全充满芯层。

[0036] 中间层在光导纤维的制造过程中也可以构成为仅暂时的阻隔层。在一种按照本发明的用于制造光导纤维、特别是激光纤维的方法中,该光导纤维、特别是激光纤维包括一个掺杂的玻璃纤维芯和一个包围玻璃纤维芯的包层,具有从纤维芯向外减小的折射率分布曲

线,按照本发明规定制造具有阻隔层形式的暂时的中间层的预制件,其中,实施以下方法步骤:

[0037] 在第一步序中实现以给定的Soot-掺杂物浓度沉积至少一个掺杂的Soot-层。Soot-层为了调整限定的烧结度而经受高温步骤。之后在所谓的浸渍掺杂期间以附加的掺杂物实现掺杂。氧化和加固掺杂的多孔的层,然后开始第二制造部分。在第二步序中以等于Soot-掺杂物浓度的阻隔掺杂物浓度沉积掺杂的阻隔层。可选地之后接着热处理。在另一步骤中实施萎陷(Kollabieren)步骤和紧接在其后的阻隔层的去除。最后实施封闭步骤。

[0038] 方法意图在于:保护在沉积的Soot-层中存在的掺杂物在预制件的随后的强热的萎陷过程中免于从加固的层或形成的芯扩散出来并且以这样的方式阻止掺杂物浓度的与之相关的减少,即,其表面由所提到的阻隔层覆盖。由于掺杂物在芯层和阻隔层中的缺少的浓度落差,有效地实现基本上没有从芯层到与阻隔层的界面上的掺杂物扩散并且从而在芯层中的掺杂物浓度没有减小。

[0039] 在方法的一种符合目的的实施形式中,在掺杂的Soot-层的沉积之后以第三主族和/或第五主族元素的卤化物和/或稀土元素的卤化物实现溶液掺杂。

[0040] 有利的是,Soot-掺杂物和阻隔掺杂物是相同的。由此在加固的Soot与阻隔层之间的界面上发生扩散过程,在该扩散过程中掺杂物在两个层之间的净流等于零并因此掺杂物的浓度不仅在沉积的和加固的Soot-层中、而且在阻隔层中几乎保持不变。

[0041] 在方法的一种符合目的的实施形式中,实现至少一种成分、优选氟从所述至少一个中间层和/或阻隔层到芯中的扩散,其中,至少局部地径向地影响芯玻璃的化学组分。由此产生有利的光学效应、特别是在芯的减小的数值孔径或通过在后来的光导纤维中的较高的Yb浓度而提高的芯或包层吸收作用方面。

[0042] 符合目的地,阻隔层的去除在被萎陷的和内涂层的管封闭之前通过气相腐蚀实现。

附图说明

[0043] 以下应借助实施例更详细地说明按照本发明的玻璃纤维和制造方法。附图3至6用于说明。对于相同的或作用相同的部分采用相同的附图标记。其中:

[0044] 图1对于不同的共掺杂物示出掺杂的硅玻璃的折射率和热膨胀系数的相关性的示例性的概况,

[0045] 图2示出掺杂的石英玻璃根据若干共掺杂物的示例性的热膨胀系数,

[0046] 图3示出一示例性的构成为激光导体的按照本发明的光导纤维体的横剖面图,

[0047] 图4示出一示例性的构成为激光导体的、包括两个中间层的光导纤维体的横剖面图,

[0048] 图5示出玻璃纤维芯、各邻接的中间层的归一化的折射率差的示意的走势以及玻璃纤维芯和各中间层的热膨胀系数与包层相比的差,

[0049] 图6示出在用暂时的阻隔层覆盖的纤维芯上的折射率分布曲线在去除阻隔层之前和之后的示意的走势。

具体实施方式

[0050] 图3示出一个构成为激光导体的光导纤维体的横剖面图,包括一个玻璃纤维芯1、一个包围玻璃纤维芯的包层2和一个在玻璃纤维芯与包层之间设置的中间层3。在该实例中为了清晰图示的原因大大减小了包层的厚度。在实际的光导纤维或激光纤维中,包层具有这样的厚度,该厚度的值至少大致等于玻璃纤维芯的半径的大小。光密度从而以及折射率从玻璃纤维芯朝包层的方向减小。

[0051] 中间层符合目的地被这样掺杂,使得在通过该中间层构成的、在比较高度地掺杂的芯到未掺杂的包层区域之间的过渡区域内,不是突然式地、而是阶梯形地传递并同时减小在芯与包层之间出现的机械应力。不过中间层的掺杂不允许妨碍激光芯中的光导。这样满足该要求,即,通过用降低折射率的掺杂物、用 $\text{SiO}_{1.5}\text{F}$ 或 B_2O_3 另外地共掺杂来补偿所使用的中间层掺杂部分的折射率提高,但其机械应力的所描述的降低在最大程度上得以保持。

[0052] 为了降低在芯/包层界面中的应力,也可以在芯与包层之间嵌入多个中间层。图4示出一个这样的实例。在这里所示的纤维横剖面中设有一个第一中间层4和一个第二中间层5。在该视图中为了清晰起见同样大大减小了包层的厚度。

[0053] 各中间层被这样掺杂,使得其热膨胀系数的值在玻璃纤维芯1的较高的膨胀系数与未掺杂的泵芯或外部包层2的与之相比较低的膨胀系数之间。为了不妨碍激光芯的波导,各中间层还必须被这样共掺杂,使得每个中间层的由在掺杂部分与共掺杂部分之间的比例得到的折射率等于包层2的材料的折射率。在这样的情况下,各中间层在光学上形成包层的一部分,而芯的在光学上有效的横截面积保持不受影响。

[0054] 图5示出在一种相应的包括两个中间层的激光纤维中在纤维芯($r/a \leq 1$)和紧接着的中间层4和5($1 \leq r/a \leq 1.6$)的区域内归一化的折射率与对芯半径 a 归一化的半径 r/a 相关的示意的走势以及玻璃纤维芯和各中间层的热膨胀系数相对于由未掺杂 SiO_2 构成的包层2的差。根据曲线A可见,两个中间层4和5具有包层2的折射率,而其热膨胀系数阶梯形地朝向包层那边下降,其中,其值在玻璃纤维芯1的值与包层2的值之间,如曲线B所示。

[0055] 激光纤维的玻璃纤维芯例如包括下列掺杂物:

[0056] 1. 镱-III-氧化物(Yb_2O_3)形式的稀土元素,浓度为0.5mol%,

[0057] 2. 铝-III-氧化物(Al_2O_3)作为增溶剂并且用于改善激光纤维的光暗化性能,浓度为4mol%,并且

[0058] 用于玻璃纤维芯的芯掺杂物及其浓度对于相对于未掺杂的包层的归一化的折射率差的贡献/份额示例性可由下表得知:

[0059]

芯掺杂物	折射率差 每 mol%	掺杂物浓度 mol%	对于芯折射率差的贡献
Yb_2O_3	67×10^{-4}	0.5	33.5×10^{-4}
Al_2O_3	21.3×10^{-4}	4.0	85.2×10^{-4}
		总额	118.7×10^{-4}

[0060] 对于玻璃纤维芯CTE(芯)的热膨胀系数(CTE)相对于包层的膨胀系数CTE(SiO_2)得出的差,人们利用用于玻璃纤维芯中的相应的掺杂物浓度的变量 x 和 y 相对于未掺杂的包层

用以下公式算出以下值： $CTE(\text{芯}) - CTE(\text{SiO}_2) = x \times CTE(\text{Yb}_2\text{O}_3) / \text{mol}\% + y \times CTE(\text{Al}_2\text{O}_3) / \text{mol}\% = 0.5 \text{mol}\% \times 4.1 \times 10^{-7} / (\text{K} \cdot \text{mol}\%) + 4.0 \times 0.53 \times 10^{-7} / (\text{K} \cdot \text{mol}\%) = 4.2 \times 10^{-7} / \text{K}$ 。

[0061] 现在将在玻璃纤维芯与未掺杂的包层之间的该得出的CTE差符合目的地分配到两个中间层4和5上。对于最内部的、第一中间层4例如选择 $2.8 \times 10^{-7} / \text{K}$ 的值，对于第二中间层选择 $1.4 \times 10^{-7} / \text{K}$ 的值。

[0062] 在下一步骤中必须为每个中间层4和5如此确定不仅中间层掺杂物、中间层掺杂物的浓度、而且中间层共掺杂物以及中间层共掺杂物的浓度，使得一方面每个中间层的相对于包层折射率的得出的折射率差消失，而另一方面在每个中间层中达到分别要求的CTE差。在此应考虑，在玻璃纤维芯中包括的 Yb_2O_3 掺杂部分不许包括于各中间层中。

[0063] 对于中间层4和5的玻璃系统，例如选择 P_2O_5 的掺杂部分作为中间层掺杂物和 SiF_4 作为修正折射率的中间层共掺杂物。这之所以实现，是因为 P_2O_5 在较小的浓度时提供中间层CTE的足够大的份量并且 SiF_4 作为降低折射率的掺杂物可有利地用于补偿由于 P_2O_5 成分引起的折射率提高。

[0064] 中间层4的中间层掺杂物浓度 x_1 和中间层共掺杂物浓度 y_1 或中间层5的中间层掺杂物浓度 x_2 和中间层共掺杂物浓度 y_2 现在对于每个中间层由以下方程组：

[0065] 对于内部的第一中间层4：

$$[0066] \quad x_1 \times dn(\text{P}_2\text{O}_5) / \text{mol}\% + y_1 \times dn(\text{SiF}_4) / \text{mol}\% = 0$$

$$[0067] \quad x_1 = -(y_1 \times dn(\text{SiF}_4) / dn(\text{P}_2\text{O}_5))$$

$$[0068] \quad x_1 \times CTE(\text{P}_2\text{O}_5) / \text{mol}\% + y_1 \times CTE(\text{SiF}_4) / \text{mol}\% = 2.8 \times 10^{-7} / \text{K}$$

[0069] 得出 $x_1 = 1.97 \text{mol}\%$ 和 $y_1 = 0.35 \text{mol}\%$ ，

[0070] 并且对于第二中间层5：

$$[0071] \quad x_2 \times dn(\text{P}_2\text{O}_5) / \text{mol}\% + y_2 \times dn(\text{SiF}_4) / \text{mol}\% = 0$$

$$[0072] \quad x_2 \times CTE(\text{P}_2\text{O}_5) / \text{mol}\% + y_2 \times CTE(\text{SiF}_4) / \text{mol}\% = 1.4 \times 10^{-7} / \text{K}$$

[0073] 得出 $x_2 = 0.99 \text{mol}\%$ 和 $y_2 = 0.17 \text{mol}\%$ 。

[0074] 适用于每个中间层的方程组在此考虑：一方面必须将对于每个中间层的降低折射率的共掺杂物的份额选择成使得其抵消各自的掺杂物在各自的中间层中的提高折射率的作用，而使在每个中间层中的相对于包层的折射率差消失。另一方面，对于每个中间层要达到的热膨胀系数的分差作为参数分别进入方程组中。

[0075] 这样构成的、为在大功率领域内使用而包括特别掺杂的中间层的激光纤维突出之处在于一系列优点。

[0076] 一方面，通过特别掺杂的中间层如此地减小机械应力，使得不损坏激光纤维，所述机械应力由于在高的kW范围内的激光功率时在芯/包层界面中的高的温度梯度而出现并由此可能导致破坏激光纤维。通过各中间层与未掺杂的包层区域的折射率匹配不妨碍在纤维激光芯中的激光辐射的波导。

[0077] 另一方面，在预制件和纤维制造的高温步骤中已经如此地减小在芯/包层区域内的高的机械应力，使得芯在冷却时没有微观的或宏观的裂纹。否则激光辐射通过在芯中的散射而会减小纤维芯中的裂纹并且显著地降低可达到的激光功率。此外，在聚合物涂层中会吸收从芯散射出来的激光辐射。涂层材料在此受热，该涂层材料降级并且最后导致破坏涂层并从而导致破坏激光纤维。通过在预制件和纤维制造期间降低机械应力也减小通常高

度掺杂的预制芯/或纤维芯的结晶倾向。

[0078] 所提到的中间层在光导纤维的制造方法的范围内也可以只暂时地施加在玻璃纤维芯上。在这样的情况下中间层起阻隔层作用,该阻隔层阻止包含在玻璃纤维芯中的掺杂物和共掺杂物、特别是磷P或五氧化二磷 P_2O_5 的向外扩散、排气或蒸发。这特别地在玻璃纤维的光暗化性能方面具有重要性,因为均质的和在玻璃纤维制造过程中保持不变的掺杂物含量特别是在用稀土元素掺杂的玻璃纤维芯中抵制光暗化。

[0079] 但各中间层还具有另外很有利的功能。通过围绕掺杂稀土的层施加中间层,通过扩散过程可以有针对性地改变其化学组分。

[0080] 对于大功率纤维激光器,在芯中需要激光活性的介质的、在当前有利的实施形式是Yb,的高的浓度。但用Yb掺杂提高芯的折射率。在所谓的大模式面积纤维(LMA纤维)中,其中光功率可以分配到较大的芯上,可以传输特别高的光功率密度。但为了在这样的LMA纤维中有效的光导,在芯与包层折射率之间需要尽可能小的差别。因此在芯中高的Yb浓度的需求和尽可能小的折射率差别相对立。

[0081] 但已表明,掺杂氟的中间层按灵巧的方式解决该问题。将氟加入活性的芯中,以便补偿通过激光活性的元素而提高的折射率,一般被应用。但激光介质用氟直接掺杂是成问题的,因为形成易挥发的化合物如 YbF_3 、 AlF_3 和/或 PF_3 ,所述化合物在各层熔化时离开芯。因此,氟加入按这种方式大大受限。

[0082] 已令人惊喜地表明,如果不仅在活性芯的外界面上而且在其内界面上沉积至少一个、有利地两个含氟的中间层,则氟在芯中的浓度有可能显著较高。在加固之后由其形成活性芯的、包含激光介质的层因此在两侧被这些中间层包围。由于继续的热处理步骤和/或热加工步骤、有利地萎陷过程,实现氟扩散到包含激光介质的芯层中。挥发性的化合物例如 YbF_3 、 AlF_3 或类似物可以不形成和/或可以不再离开该层。在最后的萎陷步骤过程中,在封闭被涂层的管之前去掉内中间层。

[0083] 由此有可能,以相当大的程度提高在活性芯中的氟浓度并因此提高Yb浓度、而不提高折射率。该方法并不限于Yb和氟的实例,而是可以由本领域技术人员用其他元素组合类似地使用。

[0084] 以下描述对此示例性的制造步骤用以制造用于待制造的光导纤维的预制件。在此从待制造的玻璃纤维芯出发,该玻璃纤维芯由氧化硅基质连同镱III氧化物的掺杂部分及铝III氧化物和五氧化二磷的共掺杂部分构成。

[0085] 在第一制造步骤中,首先沉积由氧化硅层构成的多孔的Soot-层,其掺杂有五氧化二磷。在沉积Soot-层和调整层的限定的烧结度之后,在层上用氯化铝和氯化镱实施溶液掺杂。为此例如使用浸渍方法,其中将层依次地浸渍到具有氯化铝的第一溶液中和紧接着浸渍到具有氯化镱的第二溶液中或者使层经受由两种物质构成的混合溶液。

[0086] 接着氧化这样掺杂的沉积的Soot-层。在此,包含在Soot-层中的氯化铝以及氯化镱转变为铝III氧化物或镱III氧化物。紧接其后加固在沉积的Soot-层内部的此时形成的用氧化物掺杂的各层。特别掺杂的层此时转变为芯层。

[0087] 直接在加固结束以后在芯层上沉积暂时的阻隔层。这例如通过改进的化学气相沉积(MCVD)的过程实现,在该过程中施加另一透明的用五氧化二磷掺杂的氧化硅层。该过程原则上可以在之前已使用的MCVD沉积装置中实施。对此重要的是,五氧化二磷在现在待沉

积的层中的浓度等于五氧化二磷在芯层中的浓度,以便避免在芯层与新施加的阻隔层之间的边界层上的浓度落差。阻隔层便起在随后实施的高温步骤中阻止五氧化二磷或磷从芯层向中间层扩散的阻隔层的作用。

[0088] 现在在用阻隔层覆盖的芯层上实施继续的对于制造预制件必需的制造步骤。这特别是涉及萎陷步骤。在萎陷期间,包含在中间层中的五氧化二磷或磷从阻隔层的露出的表面进入周围环境,而该掺杂剂的浓度在芯与中间层之间的界面上保持恒定。

[0089] 但可以随时去除阻隔层本身。在这里存在的实例中,中间层的去除直接在封闭预制件之前通过气相腐蚀实现。在此重新暴露不受扩散和蒸发效应影响的芯。

[0090] 在封闭期间芯的内表面足够小,从而仅仅仍微小的五氧化二磷或磷的剩余量可以从芯层中扩散出来和蒸发,其中,在芯中的掺杂物的浓度仅还不明显地改变。

[0091] 通过使用至少一个阻隔层和在预制件的封闭步骤之前去除阻隔层实现,在沿芯半径恒定的浓度时保持在预制件的芯中五氧化二磷的为光暗化效应确定的含量。由此显著地改善光导纤维特别是在用作为激光纤维时的光暗化性能。此外改善芯的折射率分布曲线,主要是在玻璃纤维芯与包围的包层之间或玻璃纤维芯与可能以后施加的和上述永久的和补偿应力的中间层之间的阶梯形的折射率分布曲线方面。同时由此实现芯的折射率的改善的纵向同一性。

[0092] 在图6中借助两个示意示出的折射率分布曲线更详细地说明这一点。左边示出的曲线图示出这样的芯的折射率分布曲线,该芯在萎陷和封闭预制件之后具有半径R和在其上沉积的厚度为D的阻隔层。右边在其旁边画出的曲线图示出在去除阻隔层之后的折射率分布曲线。

[0093] 在左边示出的曲线图中,折射率由于在那里发生的掺杂物在阻隔层厚度上的蒸发而朝向阻隔层的边缘那边连续地下降。

[0094] 在去除阻隔层之后,切下在该层中存在的、折射率连续下降的区域。由此露出的芯因此在其内界面上具有折射率的急剧的下降。芯的折射率分布曲线因此接近于对于光导理想的矩形分布曲线。

[0095] 借助实例更详细地说明了按照本发明的光导纤维和按照本发明的光导纤维制造方法。在本领域技术人员的范围内,其他的实施形式是可能的。

[0096] 附图标记清单

[0097] 1 玻璃纤维芯

[0098] 2 包层

[0099] 3 中间层

[0100] 4 第一中间层

[0101] 5 第二中间层。

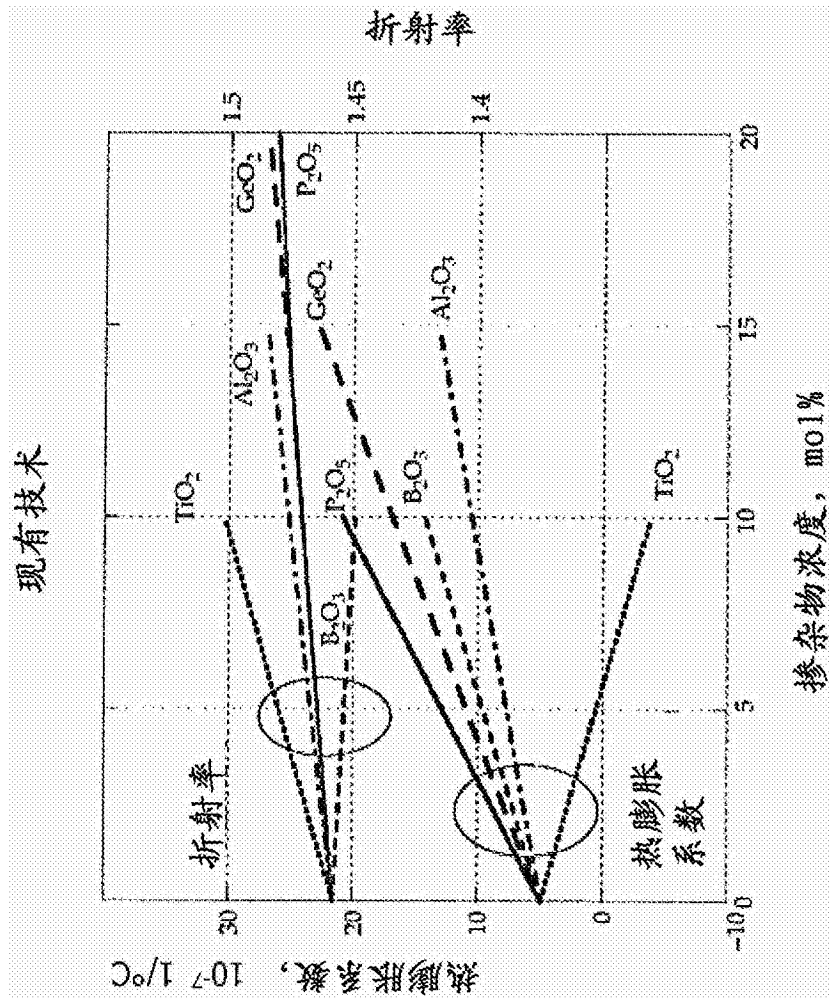


图1

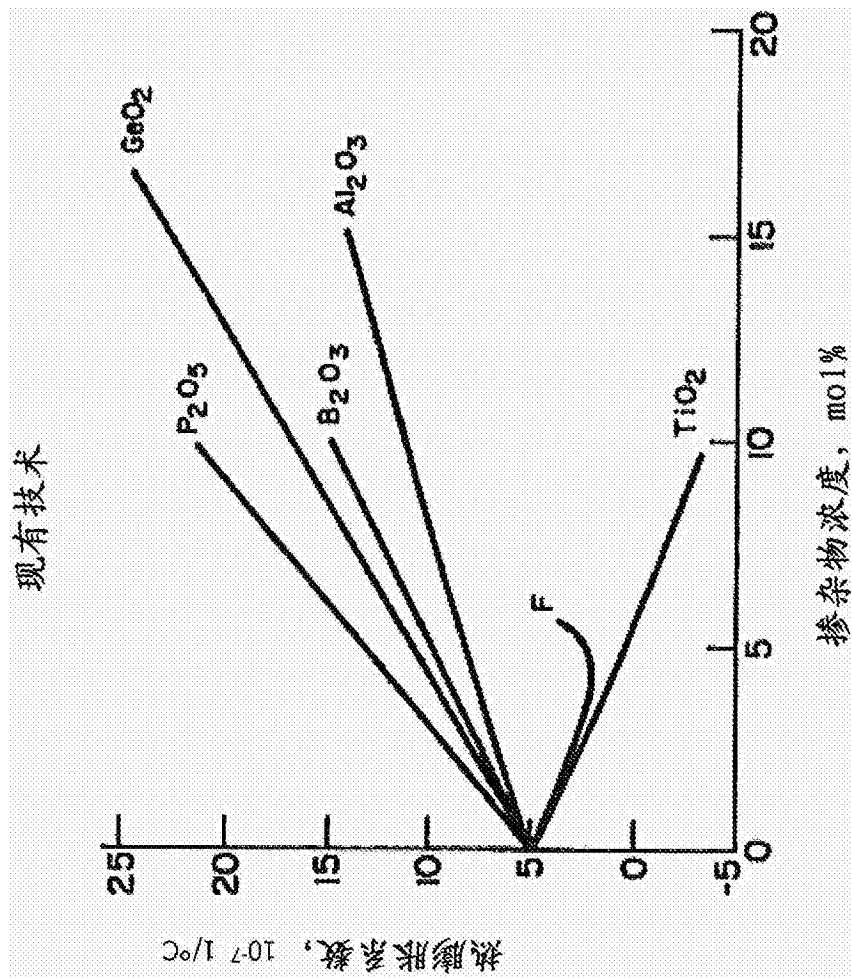


图2

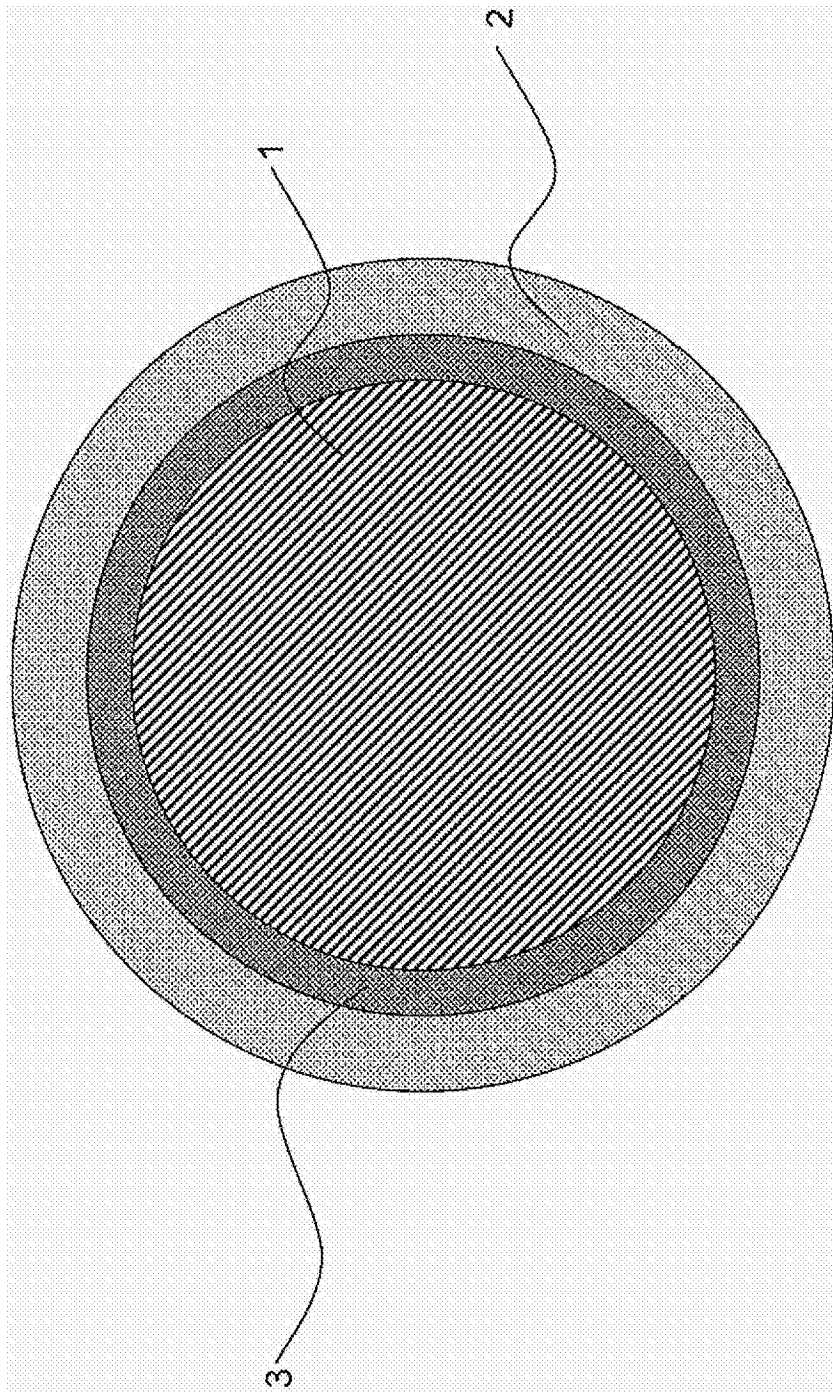


图3

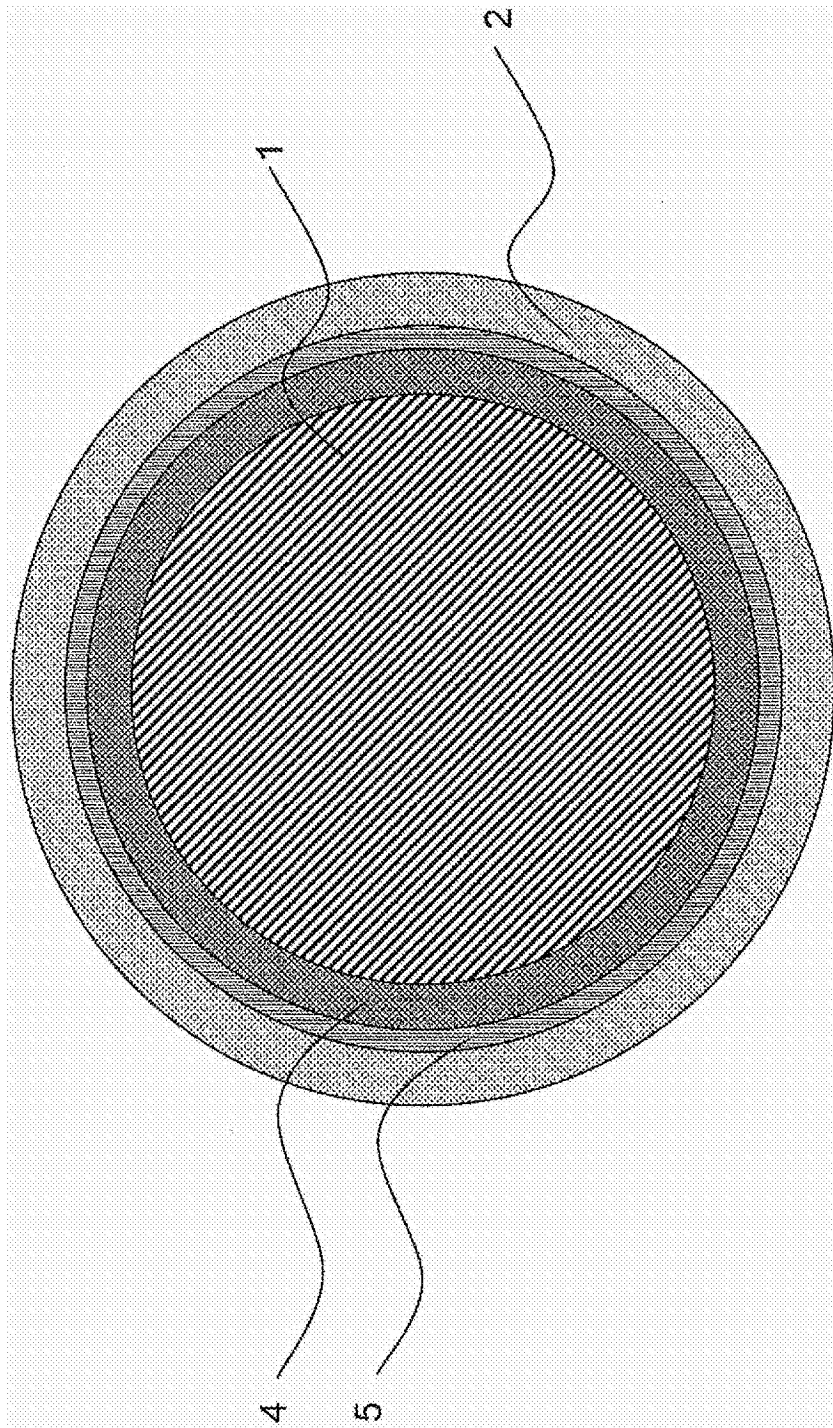


图4

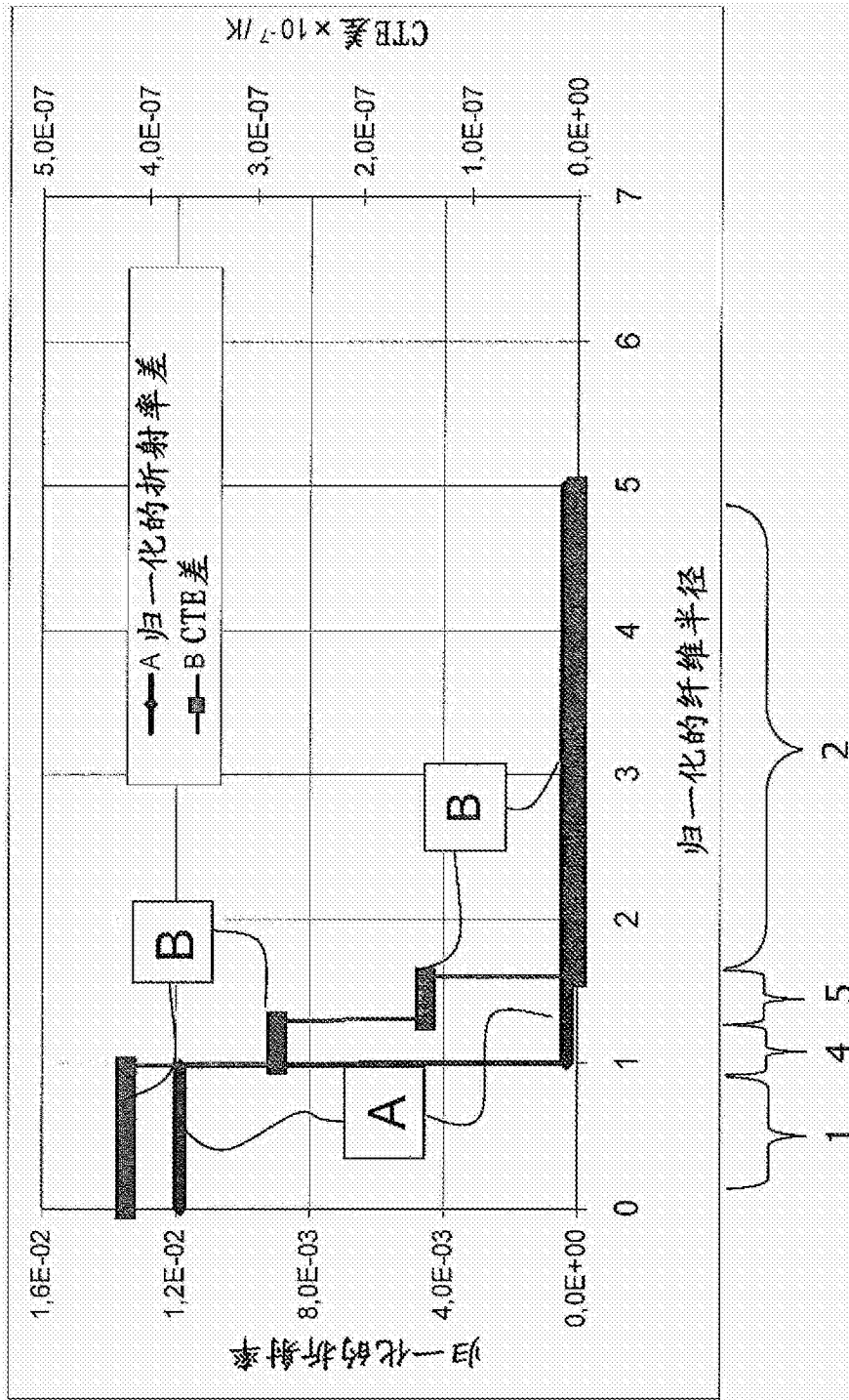


图5

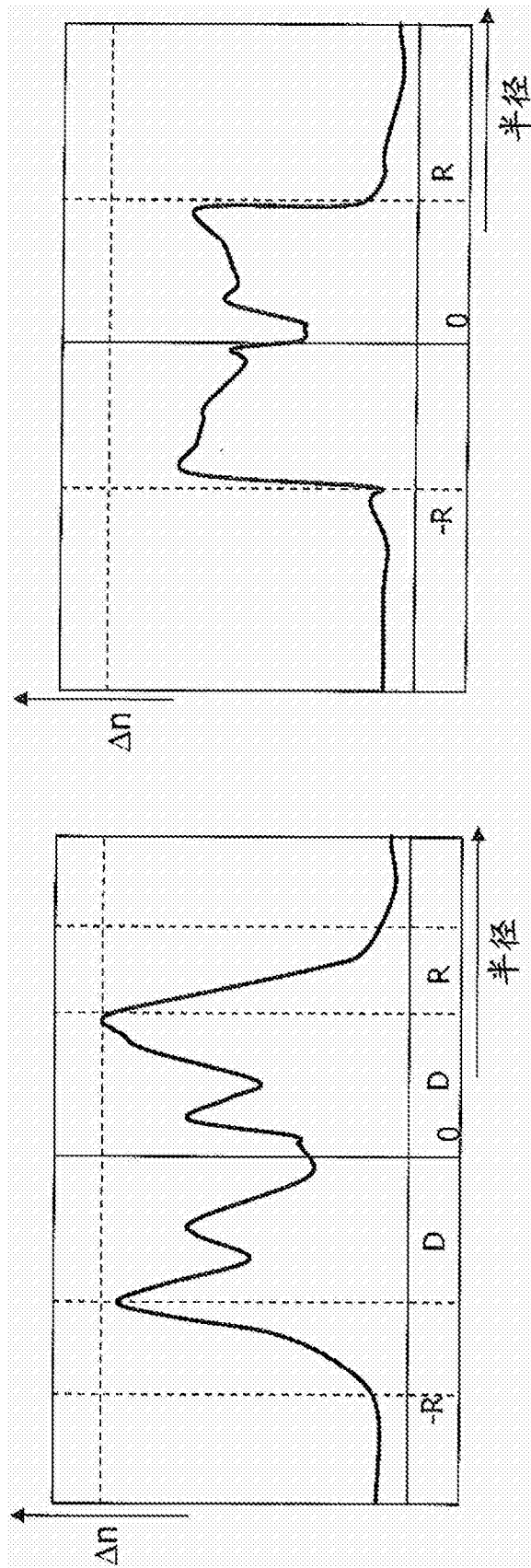


图6