

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/16

G02B 6/18 G02F 1/35

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99801864.3

[43] 公开日 2001 年 3 月 14 日

[11] 公开号 CN 1287622A

[22] 申请日 1999.1.7 [21] 申请号 99801864.3

[30] 优先权

[32] 1998.1.16 [33] US [31] 60/071,732

[86] 国际申请 PCT/US99/00287 1999.1.7

[87] 国际公布 WO99/36816 英 1999.7.22

[85] 进入国家阶段日期 2000.6.19

[71] 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 R·M·霍克 D·A·诺兰

S·H·塔尔茨扎

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 李家麟

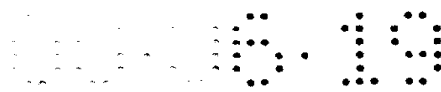
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图页数 2 页

[54] 发明名称 高度非线性的单模波导

[57] 摘要

本发明揭示了一种单模光学波导纤维,它具有一纤芯区折射率分布,该分布提供了一种高度的非线性折射率。高度非线性波导的纤芯折射率分布是一种 α 分布,具有预选的相对折射率值和纤芯直径,从而保留了光学波导性能的优点,如:低衰耗、恰当配置的零色散和极限波长、在预选波长范围内的低的正总色散值,和低的色散变化率。

ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种单模光纤波导光纤，其特征在于，它包含：

纤芯区，所述纤芯区具有一表面、直径、相对折射率 Δ_0 ，以及折射率分布，所述单模光纤具有一长轴，所述直径是沿垂直于长轴，并延伸在所述纤芯区表面上的两个点之间的线测量的；以及

包层，所述包层在所述纤芯区表面周围并与所述纤芯区表面接触，所述包层具有一折射率分布、相对折射率 Δ_c 和最小折射率 n_c ，所述最小折射率 n_c 是所述相对折射率的参照折射率，并且 $\Delta_0 > \Delta_c$ ；

其中，

纤芯区折射率分布是 α 分布，纤芯的相对折射率在 0.016 到 0.040 的范围内，纤芯直径在 $3\mu\text{m}$ 到 $8\mu\text{m}$ 的范围内；并且，

其中，所述波导具有零色散波长和一非线性常数；

零色散波长 λ_0 在约 1500nm 到 1570nm 的范围内，并且非线性常数在约 $3(\text{W}\cdot\text{km})^{-1}$ 到 $13(\text{W}\cdot\text{km})^{-1}$ 的范围内。

2. 如权利要求 1 所述的单模波导，其特征在于，它满足 $1.8 \leq \alpha \leq 2.4$ ，并且所述纤芯直径在约 $5\mu\text{m}$ 到 $6\mu\text{m}$ 的范围内，所述纤芯区的相对折射率在约 0.019 到 0.03 的范围内。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的单模波导，其特征在于，所述极限波长在约 1400nm 到 1500nm 的范围内，在 1550nm 处的衰减不大于 1dB/km，所述色散斜率在 $0.03\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ 到 $0.10\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ 的范围内，并且在 1520nm 到 1600nm 的波长范围内，总色散为正值，并且不大于约 $2\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$ 。

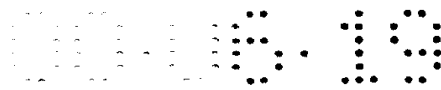
4. 如权利要求 1 所述的单模光学波导，其特征在于，所述包层折射率分布是平坦的，并且具有折射率 n_c 。

5. 如权利要求 1 所述的单模光学波导，其特征在于，所述折射率分布形状是阶跃式的，或者是圆阶式的。

6. 一种采用如权利要求 1 所述的非线性波导的光学电路。

7. 一种单模光学波导光纤，其特征在于，它包含：

纤芯区，所述纤芯区具有一表面、直径、相对折射率 Δ_0 ，以及折射率分布，所述单模光纤具有一长轴，所述直径是沿垂直于长轴，并延伸在所述纤芯区表面上的两个点之间的线测量的；以及



包层，所述包层在所述纤芯区表面周围并与所述纤芯区表面接触，所述包层具有一折射率分布、相对折射率 Δ_c 和最小折射率 n_c ，所述最小折射率 n_c 是所述相对折射率的参照折射率，并且 $\Delta_o > \Delta_c$ ；

其中，

纤芯区折射率分布是 α 分布，所述 α 在约 1.8 到 2.4 的范围内，所述纤芯的相对折射率在 0.019 到 0.030 的范围内，并且所述纤芯直径在 $5\mu\text{m}$ 到 $6\mu\text{m}$ 的范围内。

8. 如权利要求 7 所述的光学波导光纤，其特征在于，所述包层折射率分布是平坦的，并且具有相对折射率 n_c 。



说明书

高度非线性的单模波导

发明背景

本申请是基于申请日为 1998 年 1 月 16 日的临时专利申请 60/071,732 的，该申请日是本申请的优先权日。

本发明涉及一种单模波导光纤，它具有一定的折射率分布、纤芯直径和相对折射率，给出较高的非线性系数。尤其是，这一较高的非线性系数是与零色散波长、极限波长和 1550nm 操作视窗中的光谱衰耗的预选值一起得到的。

在过去的几十年里，人们已经对 α 分布波长光纤纤芯进行了详细的研究。第一根要制造的单模波导的设计包括中央纤芯区域中的阶跃式折射率分布。

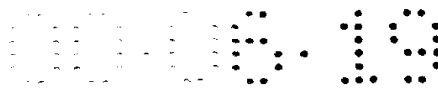
纤芯折射率分布设计随着波导光学系统要求的变化而进步。纤芯分布的研究受这种波导特性的需求的驱动：

- 极限波长的定位；
- 零色散波长的定位；
- 较低的衰耗；
- 改进的弯曲阻力；以及
- 较低的总色散和色散斜率。

最近，在很高性能的通信系统中，即包括多路复用、高数据速率、长再生器跨距、孤立子传播或光放大器的高性能通信系统中，人们已经对纤芯折射率分布进行了广泛的研究，包括这样一些设计，即高有效面积，使因非线性影响造成的信号失真和色散为最小。

然而在某些装置中，非线性折射率的增加或有效面积的减小可以提高性能。通过增加非线性使性能得到加强的一种值得注意的情况是基于调制的不稳定性的波长转换装置。

采用较高非线性波导光纤装置所需的是如上所述，非线性波导保持这样的特性。由于使非线性增加通常要求增加形成金属氧化物的玻璃(称为掺杂物)的浓度并且掺杂物会改变波导纤芯的折射率，所以制造非线性波导的困难是其复杂性。增加掺杂物浓度导致较高的衰耗，并且会影响模式的功率分布，这接着又会影响采用非线性波导的装置有效工作所需的波导的性能。特别是，增加掺杂物的浓度



使得零色散波长增加，超过用于孤立子传播的波长区。

定义

一有效面积定义为：

$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int E^2 r dr)^2 / (\int E^4 r dr)$ ，这里，积分极限是 0 至 a ，并且 E 是与传播光相关的电场。有效直径 D_{eff} 可以定义为：

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

一相对折射率， Δ ，是由下述等式定义的，

$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$ ，这里， n_1 是折射率分布段 1 的最大折射率，而 n_2 是参考区中的折射率，并且该参考区通常被取作是包层的最大折射率。

对于本申请中描述的特定分布，纤芯区有一个段。标记 Δ_c 用来描述该单段的相对折射率。标记 Δ_0 用来描述包层区的相对折射率。

一术语折射率分布或简单折射率分布是所选纤芯部分上 $\Delta\%$ 或折射率与半径之间的关系。术语 α 分布指的是满足下述等式的折射率分布：

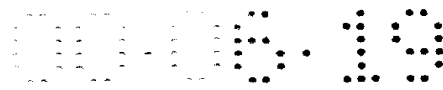
$n(r) = n_0(1 - \Delta[r/a]^\alpha)$ ，这里， r 是纤芯半径， Δ 的定义如上所述， a 是分布中的最终点， r 是选择在分布曲线第一点处的零点，而 α 是限定分布曲线形状的数字。其他的折射率分布曲线形状包括阶跃式折射率、梯形折射率和圆阶式 (rounded step) 折射率，其中，圆阶式是由于快速折射率区域中掺杂扩散的变化而引起的。

发明概述

本申请的新型单模波导满足了人们对波导的需要，这种波导具有较高的非线性，但保留了所需特性：在 1550nm 视窗中的低损耗、合适定位的零色散和极限波长、较低的正总色散和低色散斜率。

本发明的第一个方面是一种单模光波导，这种光波导具有由包层包覆的纤芯区。该纤芯区具有一个表面、直径、相对折射率 Δ_c 和折射率分布。纤芯的直径是从单模光纤的中央长轴测量到纤芯表面的。纤芯的相对折射率 Δ_c 大于包层的相对折射率 Δ_0 。两个相对折射率都参照包层的最小折射率 n_c 。

纤芯区域分布是一种 α 分布，对于这种分布，相对折射率在 0.016 到 0.040 的范围内，直径在 $3\mu\text{m}$ 到 $8\mu\text{m}$ 的范围内。已知了这种基本结构，用来限定波导的两个主要的波导光纤参数是在约 1500nm 到 1570nm 范围内的零色散波长 λ_0 ，和



在约 $3(W\text{-km})^{-1}$ 到 $13(W\text{-km})^{-1}$ 范围内的非线性常数。非线性常数是折射率等式 $n = n_0 + n_2 P / A_{\text{eff}}$ 中的 n_2 ，其中， P 是发射功率， n_0 是线性折射率，而 A_{eff} 是有效的确定面积。

当这种新型的波导用于波长转换装置中的时候，改进了其性能。在这一方面的一种实施例中，波导纤芯的 α 在约 1.8 到 2.4 的范围内，纤芯直径在 $5\mu\text{m}$ 到 $6\mu\text{m}$ 的范围内，而纤芯的相对折射率在约 0.019 到 0.030 的范围内。在该实施例和本发明的第一个方面中，极限波长在约 1400nm 到 1500nm 的范围内，在 1550nm 处的衰耗不大于 1dB，色散斜率在 $0.03\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 到 $0.10\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 的范围内，而在波长 1520nm 到 1600nm 范围内的总色散是正值，并且不大于约 $2\text{ps}/\text{nm}\text{-km}$ 。

从计算可以得到，当 α 很大时，可以得到具有所需波导非线性和所需的波导特性，这就是说， α 分布基本上是一种阶跃式折射率分布。所以，本发明人考虑采用从 1.8 到无限大的 α 值。所以，本发明的一个实施例是阶跃式分布或圆阶式分布。在分布形状的该实施例中， Δ 值和纤芯直径是不变的。

在第一个方面的另一个实施例中，包层折射率分布是平坦的，并且具有与最小折射率 n_c 相等的常数折射率。

本发明也可以采用与波导 α 分布的特定 α 相关的特定几何尺寸来描述。所以，本发明是一种具有与上述第一个方面描述的一样的纤芯和包层的单模波导光纤。纤芯区分布的 α 在约 1.8 到 2.4 的范围内，而纤芯的相对折射率在 0.019 到 0.030 的范围内，而纤芯直径在 $5\mu\text{m}$ 到 $6\mu\text{m}$ 的范围内。在一种较佳实施例中，由于制造简单，所以包层折射率分布是平坦的，并且具有与最小包层折射率 n_c 相等的折射率。再有，具有较高的 α 计算值可以有效地用来制造具有所有所需特性的波导。所以，阶跃式折射率和圆阶式折射率也可以用来恰当地描述这种新型波导的分布形状。

附图简述

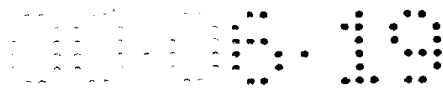
图 1 是单模波导折射率分布及其变化的图。

图 2 是单模波导实施例的相对折射率随半径变化的曲线图。

图 3 是总波长色散随波长变化的图。

图 4 是装入波长转换装置中的环境中的非线性波导的示意图。

本发明的详细描述



将阶跃式折射率分布或 α 分布用于单模波导的纤芯分布在本领域中是众所周知的。所揭示和描述的本发明涉及一种单模波导，其波导的非线性得到加强。这与近来纤芯设计工作中通过增大波导的有效面积减小非线性的影响的情况正好相反。

本发明所要解决的一个问题是在预选的波导范围内保持零色散波长的同时实现高非线性。另外，这种新的波长还保留有其他重要的特征，如低损耗、恰当定位的极限波长、低的正总色散和低色散斜率。

找到的用来提供这些主要特性的分布种类见图 1 所示，其中，折射率分布是按照相对折射率 Δ 对波导半径而绘出的。实线 6 代表 α 分布，它可以具有在 2 附近的 α 值，即，该分布可以近似为抛物线。图 1 中的虚线 2 和 4 表示， α 分布上的小变化可能不会使足以将波导参数移出预选范围以外的模式功率分布。虚线 11 是由计算给出的略微为圆阶式折射率分布，提供了一种具有所有所需特性的波导光纤。

实线 10 和虚线 8 表示包层分布会具有的两种形状。该分布还可以有小的变化，这在实际上不会影响模式功率分布和取决于此的波长参数。通常，为使制造简化，选择平坦的包层折射率分布。

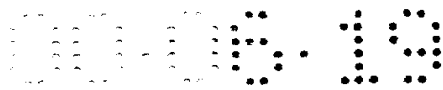
举例一具有受控参数的高非线性波导

图 2 中示出了制造的具有纤芯折射率分布 12 的波导。分布的 α 是由最小平方决定的，约为 2.22。纤芯的相对折射率 Δ_0 约为 0.0218。纤芯直径约为 $5.66 \mu\text{m}$ 。波导包层是平坦的，并且基本上是由石英组成的。波导的外径为 $125 \mu\text{m}$ 。测得的该波导的参数如下：

- 波长在 1500nm 到 1600nm 内的损耗不再大于约 0.80 dB/km；
- 零色散波长约为 1532nm；
- 极限波长约为 1467nm；
- 图 3 中曲线 14 给出的在 1532nm 到 1600 的波长范围内的总色散是正值，并且不大于约 2ps/nm-km；
- 色散斜率约为 $0.048\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ ；并且
- 非线性常数约为 $9.9(\text{W-km})^{-1}$ 。

这些参数对于中心近 1550nm 的操作视窗中非线性装置的操作是理想的。

波长转换器的简化示意图如图 4 所示。转换器实施例的更详细的描述见美国专利申请 09/008,179。图 4 中，来自激光泵 18 和信号激光器 16 的光脉冲与耦合



器 20 光学连接。耦合器 20 将光脉冲传送到环镜 22 中，该环镜 22 包含高度非线性的单模波导光纤，如在上述例子中所给出的那样。耦合器的设计使得信号光围绕波导环路 22 按顺时针方向传播。可以将激光泵的光按顺时针方向和逆时针方向中之一或两者耦合到环路 22 中。泵脉冲和信号脉冲在环路 22 的长度上相互作用，从而能量从泵脉冲转变成原始的信号脉冲以及转变成具有经转换波长的信号脉冲。这两个信号波长被耦合到波导光纤 26 中，并通过滤色镜 24 传播。滤色镜 24 滤除所有同时传播的泵光。信号脉冲和经转换的信号脉冲沿波导 28 传送出波长转换器。

尽管上文中揭示和描述了本发明的特定的实施例，但本发明由权利要求书来限定其保护范围。

说明书附图

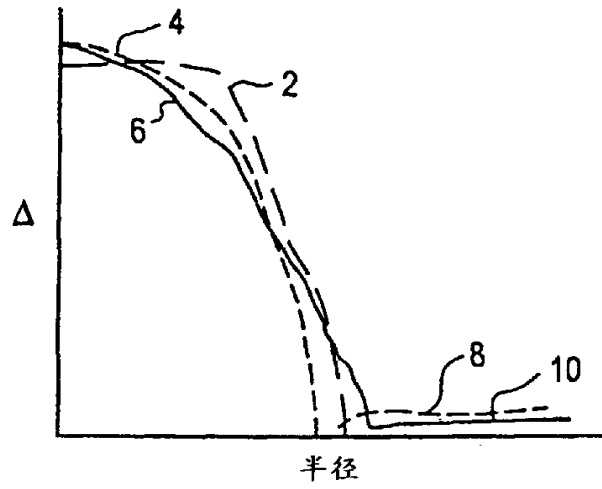


图 1

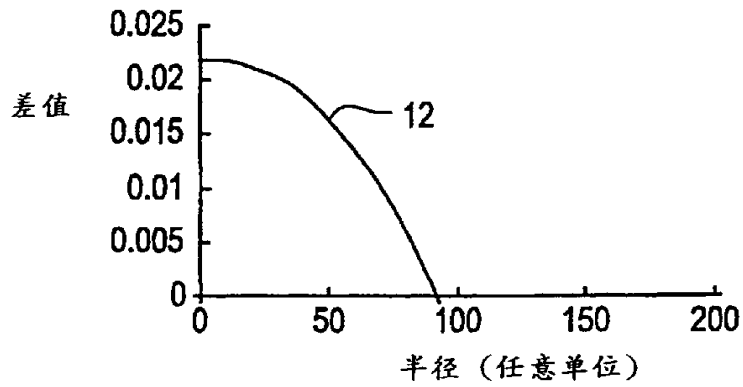


图 2

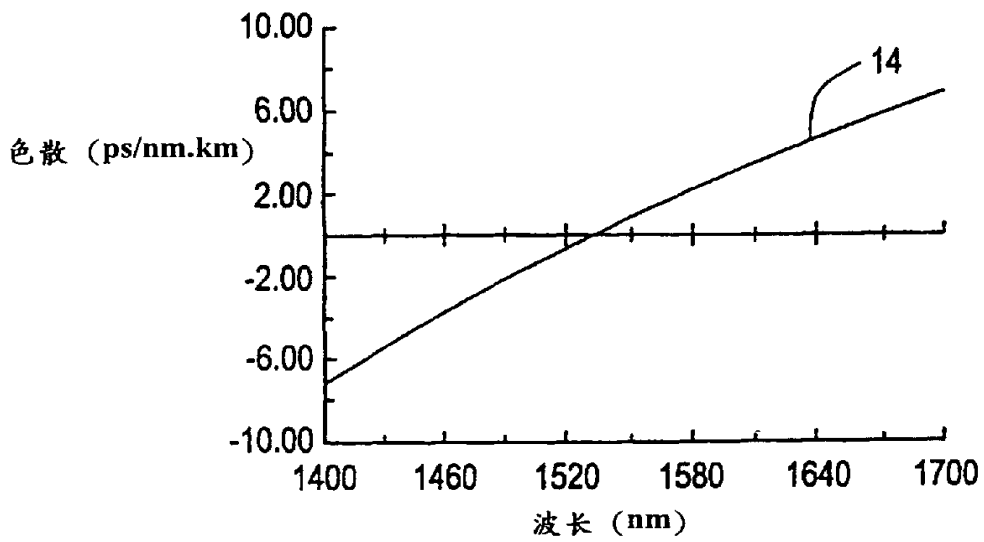


图 3

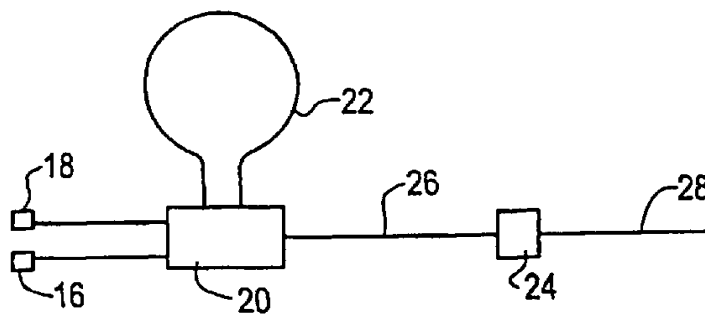


图 4