



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98115501.4

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1124994C

[22] 申请日 1998. 6. 23 [21] 申请号 98115501.4

[30] 优先权

[32] 1997. 6. 23 [33] US [31] 60/050550

[71] 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 戴维 K·司密斯

[56] 参考文献

EP0689068 1995. 12. 27 G02B6/22

EP0724171 1996. 07. 31 G02B6/22

EP0775924 1997. 05. 28 G02B6/22

US5483612 1996. 01. 09 G02B6/22

审查员 齐宏毅

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

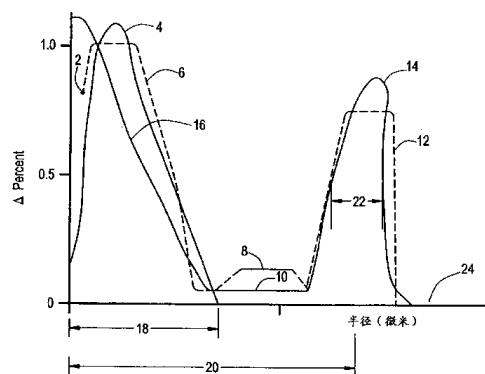
代理人 李 湘

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

[54] 发明名称 零色散波长较高的光纤

[57] 摘要

本发明揭示了一种为高数据速率 WDM 电信系统设计的单模光纤。新的内芯分布改善了弯曲性能。通过在工作窗口上限以上设置零色散波长使扩展波长窗口内的总色散保持较低。此外将截止波长增大到紧靠工作窗口以下。在便于制造的情况下保持了波导非常低的衰减特性。



1. 一种为高数据速率 WDM 电信系统设计的单模光纤，其特征在于，它包含：
内芯区域，包含：

中央区域，半径为 r_0 ，具有一定的折射率分布并且相对折射率为 $\Delta_0\%$ ，

第一圆环区域，贴近所述中央区域，具有一定的折射率分布并且最大折射率为 $\Delta_1\%$ ，以及

第二圆环区域，贴近所述第一圆环区域，半径为 r_2 ，宽度为 w_2 ，具有一定的折射率分布并且最大折射率为 $\Delta_2\%$ ，

其中 $\Delta_0 > \Delta_2 > \Delta_1$ ；

包围所述内芯区域的包层，其折射率 n_c 接近常数；其中第一圆环区域的最大折射率为 n_1 ， $n_1 > n_c$ ；

$\Delta_0\%$ 的范围为 0.79-1.21%， r_0 的范围为 2.55-3.55 微米， $\Delta_1\%$ 不超过 0.2%， $\Delta_2\%$ 的范围为 0.3-1.2%， r_2 的范围为 5.50-8.70 微米，并且 w_2 的范围为 0.4-2 微米；并且

在 1575 至 1590 纳米的波长范围内，零色散斜率小于 0.1，而模式场直径不小于 7.9 微米。

2. 如权利要求 1 所述的单模光纤，其特征在于内部分布容量的范围为 2.9-3.9 个单位而外部分布容量的范围为 2.5-10.2 个单位。

3. 如权利要求 1 所述的单模光纤，其特征在于所述中央区域、所述第一圆环区域和所述第二圆环区域的折射率分布为 α 分布、阶跃指数分布、圆角阶跃指数分布以及梯形分布的一种。

零色散波长较高的光纤

本发明涉及单模光纤，其零色散波长大于工作波长窗口的上限。该特性与抗弯曲诱发衰减可同时实现。

利用大功率激光器、高数据传输率收发机和波分多路复用(WDM)技术的电信系统需要总色散极小但不为零并且极化模式色散(PDM)极小的光纤。此外，光纤必须具备基本消除非线性现象(例如自相位调制(SPM)和四波混频(FWM))的性能。通过降低功率密度(例如增大光纤模场直径)可以限制SPM。通过在非零色散波长范围内操作可以对FWM进行控制。

进一步的要求是光波导与包含光学放大器的远距离系统兼容。

美国专利 5,483,612 中揭示的化合物内芯设计所提供的光纤满足了这些要求。最近人们认识到，在光缆敷设困难或者敷设后接近不便的系统中，对光纤还有其它的要求。特别是，这样的敷设需要扩展的波长工作窗口以提供更多数量的WDM信道。较宽的工作窗口使得每根光纤传输的信息量更大，这也降低了光缆及其敷设成本。由于敷设后接近不便，所以光缆的性能必须长期保持不变。例如需要采用弯曲性能得到改进的光纤。而且这种高性能系统中转发器的间距很可能较大，特别需要低的总色散和极化模式色散(PMD)。

在本技术领域，以下的定义是通用的。

-内芯区域半径用折射率定义。特定的区域具有第一和最后折射率点。波导中线到第一折射率点位置的半径为内芯区域或部分的内径。同样，波导中线到最后折射率点位置的半径为内芯部分的外径。根据需要可以采用内芯几何结构的其它定义。

除非文中特别指明，这里讨论的折射率分布图参数按照惯例定义如下：

*中央内芯区域的半径是从波导中轴线到外推中央折射率分布图与x轴的交点测量的距离。

*第二圆环区域的半径是从波导中轴线测量至第二圆环基线中心的距离。

*第二圆环区域的宽度是平行线之间的距离，平行线从折射率分布图的半折射率点引出到达到波导半径处。

第一圆环区域的几何尺寸取决于中央区域与第二圆环区域几何尺寸之差。

-有效面积为

$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int E^2 r dr)^2 / (\int E^4 r dr)$, 这里积分限为 $0-\infty$, E 与传播光线相关的电场。有效直径 D_{eff} 定义如下,

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

-首字母 PMD 代表极化模式色散。

-首字母 WDM 代表波分多路复用。

-首字母 SPM 代表自相位调制, 这种现象表现为高于特定功率电平的信号部分相对低于该功率电平的信号部分以不同的速度在波导内传播。

-首字母 FWM 代表四波混频, 这种现象表现为两个或更多的信号在波导内发生干涉从而形成频率不同的信号。

-项 $\Delta\%$ 代表下列方程定义的折射率的相对量度,

$\Delta\% = 100 \times (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$, 这里 n_1 为区域 1 内最大的折射率, 而 n_2 为通常被视为包层区域的基准区域内的折射率。

-术语折射率分布图或者简称折射率分布图是 $\Delta\%$ 或者折射率与内芯选定区域上半径之间的关系。阿尔法分布图指的是遵循下列方程的折射率分布图,

$n(r) = n_0(1 - \Delta[r/a]^\alpha)$, 这里 r 为半径, Δ 定义如上, a 为分布图中的最后一点, r 在分布图的第一点选取为零, α 为定义分布图形状的指数。其它的折射率分布图包括阶跃折射率、梯形折射率和由于掺杂剂在折射率陡然变化区域扩散而形成圆角的圆角阶跃折射率。

-分布容量定义为 $2 \int_0^a (\Delta\% r dr)$ 。内部分布容量从波导中线 $r=0$ 处延续到跨接半径。外部分布容量从跨接半径延续到内芯的最后一点。由于折射率无单位, 所以分布容量的单位为 $\% \mu m^2$ 。为了避免混淆, 分布图容量将在字母后面标以数字。

-跨接半径随着信号波长的变化, 与信号内的功率分布有相依性。超过内部容量上, 信号功率随波长的增加而减小。超过外部容量, 信号功率随波长的增加而增加。

-波导光纤的抗弯曲度在规定测试条件下用诱发衰减表示。在本文中, 75mm 弯曲指的是绕 75mm 芯轴 100 匝波导内的诱发衰减。32mm 弯曲指的是绕 32mm 芯轴 1 匝波导内的诱发衰减。

于是, 需要一种性能优于美国专利 5,483,612('612 专利)揭示的光纤的光纤

来满足极高性能系统要求，这样的光纤提供了：

- 扩展波长窗口内低的衰减；
- 扩展窗口内低的总色散和 PMD 色散；以及
- 在恶劣环境下出色的长期抗弯曲诱发衰减性能。

新型波导通过改进内芯折射率分布设计可以满足这种需求。经过计算机建模和试制过程，已经发现一组折射率内芯分布，它们具有较高的截止波长以改善抗弯曲性能，并且具有较高的零色散波长以在扩展的波长窗口内提供低的总色散。

应该强调的是，光纤性能对内芯折射率分布的变化非常敏感。因此不可能预测分布变化对波导性能的影响。即使分布变化较小或者两组分布密切相关时情况也是如此。

本发明的一个方面是包含内芯的单模光纤，内芯包括三部分，中央内芯区域以波导对称轴排列，第一圆环区域靠近中央区域，而第二圆环区域靠近第一圆环区域。

中央区域的折射率在波导中线附近可能会陡降。这种陡降源于特定工艺步骤中掺杂剂从中线区域向外扩散。在淀积步骤中可以补偿这种扩散，从而有效消除折射率降低的中线容量。另一种方法是通过调整模型来处理这种掺杂剂扩散。如果选择后一方法，则将中线折射率降低视为中央区域的一部分。因此权利要求书和说明书并不受选择消除中线折射率降低方法还是选择通过调整内芯折射率分布其它区域来补偿中线掺杂剂扩散的方法的影响。

与第一圆环区域和包围并且贴近第二圆环区域的包层相比，中央区域和第二圆环区域的折射率较高。新波导的内部分布容量在 2.90-3.90 个单位的范围内，而外部分布容量在 7.20-10.20 个单位的范围内。外部与内部分布容量之比在 1.96-3.04 范围内。与'612 专利揭示的最新已有技术相比，这种内芯折射率分布具有明显的特点，即它的外部容量较大。

在满足相对折射率和分布内外容量的限制条件前提下，三部分的任意一部分都可以是 α 指数分布、阶跃、圆角阶跃或者梯形分布。 α 一般可取零到无限大的任意值。 α 取值为 1 的折射率分布容易实现并且提供具有所需性能的波导。大于 4 的 α 值产生的基本上是阶跃折射率的分布。

新型波导提供的上述系统的独特性能要求为：在 1525-1565 纳米的波长范围内，总色散低，介于 $-0.75\text{ps/nm-km} \sim -5.5\text{ps/nm-km}$ 范围之内；零色散波长范围

在 1575-1595 纳米范围内；色散斜率在波长范围内小于 $0.1\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$ ；模场直径不小于 7.90 微米；波导连接光缆之后测得的截止波长在 1400-1520 纳米范围之内；PMD 不超过 $0.25\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ ；75mm 芯轴诱发弯曲衰减不超过 0.03db；以及 32mm 芯轴诱发弯曲衰减不超过 0.30db。

利用具有下面定义的内芯折射率分布的波导满足了这组范围广泛而严格的特性。利用上述定义和惯例，内芯中央部分的 $\Delta_0\%$ 在 0.79%-1.21% 之间，半径在 2.55-3.55 微米之间。贴近中央内芯的第一环的 $\Delta_1\%$ 不超过 0.20%。第二环贴近第一环，它的 $\Delta_2\%$ 在 0.30%-1.2% 之间，测量到第二环中心的半径在 5.5-8.70 微米之间，而在半 $\Delta\%$ 点之间测量的宽度在 0.4-2 微米之间。

与这组折射率分布有关的内部和外部分布容量分别在 2.9-3.9 个单位和 2.5-10.2 个单位之间。

各部分的折射率形状可以根据 α 分布、阶跃指数、圆角阶跃指数或者梯形分布选择。如上所述， α 可以是任意的正数。

图 1 为新型光纤的内芯折射率分布示意图。

在发明内容中我们论述了中线扩散现象。由于在不作消除中线扩散锥形的工艺调节时比较容易形成新型分布，所以新型内芯折射率分布的较佳实施例，在波导中线上具有减小的折射率容量(称为中线扩散锥形)。中线扩散锥形对波导特性的影响程度非常小，只要在内芯折射率分布的其余区域进行微调即可补偿中线扩散锥形。

图 1 为 $\Delta\%$ -波导半径曲线图，它示出了新型分布的主要特征。通过本文图 1 与 '612 专利的比较可以发现，这里揭示的新型分布是 '612 专利中揭示和提出权利要求的这类分布的特例。图 1 的区域 2 表示中线扩散锥形。高折射率中央区域 4 为 α 分布， α 值介于 1-2 之间。

另一中央区域为标号 6 表示的圆角或梯形分布，而 16 为 α 取值 1 与 2 之间的 α 分布，并且提供了补偿以消除中线扩散锥形。示出的另一种形状表明，分布形状与各部分的 $\Delta\%$ 、半径和宽度可以根据所需的波导特性予以改变。

第一圆环区域 10 靠近中央区域并且具有较低的 $\Delta\%$ 。另一分布形状 8 也表示第一圆环区域。贴近第一圆环区域的第二圆环区域具有另外的分布形状 12 或 14。贴近第二圆环的包层标为 24。

图 1 还示出了这里所用的尺寸惯例。中央内芯半径用 18 表示，也就是从波

导中线到外推中央分布与 x 轴交点的距离。限定第二圆环区域位置的半径为从波导中线到第二圆环投射到 x 轴的中心的距离 20。在 1/2 Δ % 点处测得的第二圆环宽度用长度 22 表示。第一圆环的内半径为长度 18。第一圆环的外半径为半径 20 减去 1/2 宽度 22 的距离。

从便于制造和相对标称值微小分布偏差不敏感的角度考虑，较佳实施例是分布部分 4、10 和 14 的组合。这种分布允许存在中线扩散锥形 2，中央区域的 α ≈ 1，第一圆环区域为阶跃分布而第二圆环区域为圆角阶跃折射率分布。包层的折射率为常数。中央内芯区域的 Δ₀% 为 0.9%，半径为 3.2 微米。第一圆环区域的 Δ₁% 为 0.02%。第二圆环区域的 Δ₂% 为 0.5%，中心半径为 7 微米，1/2 Δ % 处的宽度为 0.9。内部容量和外部容量分别为 3.4 和 7.3 个单位。另一种分布提供了与较佳实施例相同的特性，它的 Δ₂% 为 0.25%，宽度为 1.8 微米。

较佳实施例在 1525-1565 纳米波长范围内提供了 -6-0.5ps/nm-km 范围的色散和合适的 0.075ps/nm-km 色散斜率。在一定的成品率下，制造差别引起的波导特性变化程度是可接受的。主要由于截止频率(在连接光缆的波导上测量得到的截止频率接近 1500 纳米)的缘故，弯曲损耗小于'612 专利揭示的波导型的一半。此外，模场的标称值为 8.4 微米，有效面积为 53 微米²左右。

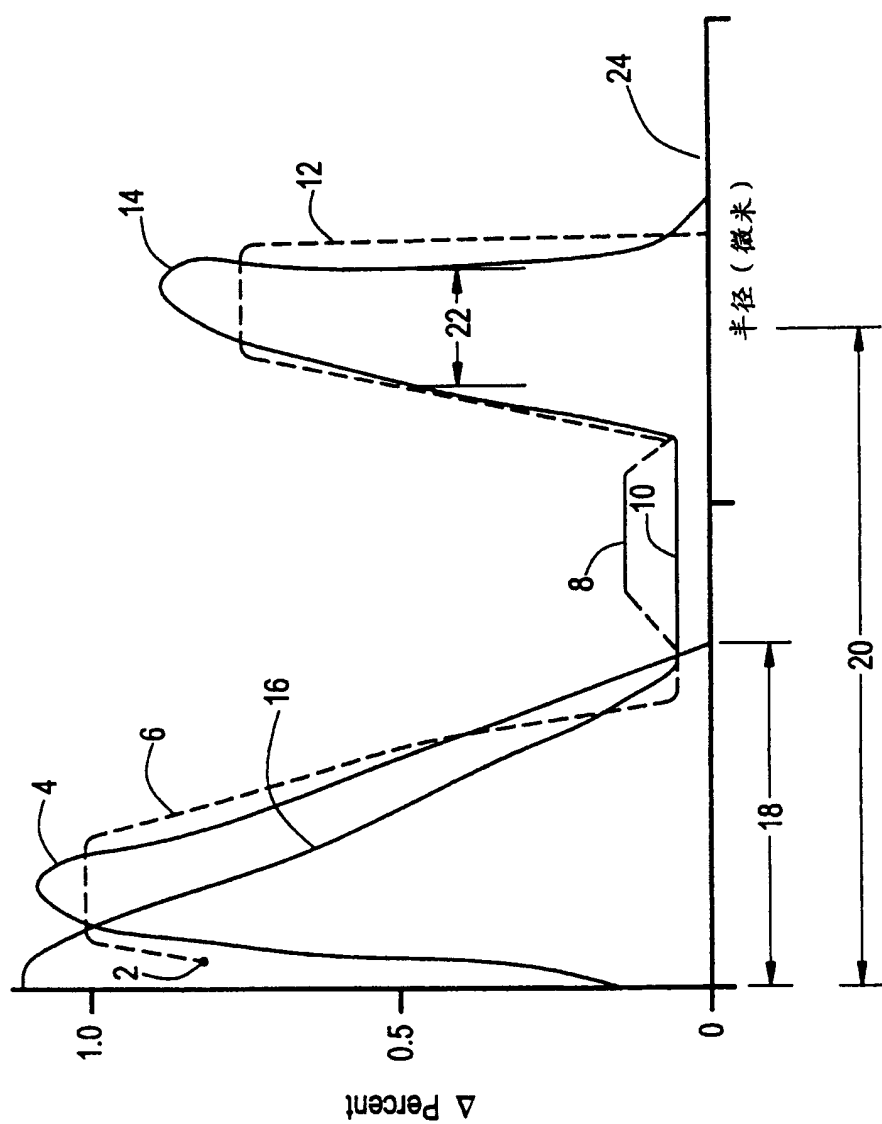
- 具体的范围和要求给定如下：
- 零色散 λ：1575-1595 纳米；
 - 色散斜率<0.1ps/nm-km；
 - 模场直径:7.9-9.1 微米；
 - 截止频率 λ (未接光缆波导)：1760 纳米；以及
 - 至少与'612 专利波导设计一样出色的抗弯曲性能；
- 模型预测的波导物理特性如表 1 所示。

表 1

	Δ ₀ %	r ₀ μm	Δ ₁ %	Δ ₂ %	r ₂ μm	w ₂ μm	内部容量	外部容量
上限	1.21	3.55	0.12	1.2	8.66	1.71	3.90	10.16
下限	0.94	2.55	0	0.3	5.54	-	2.92	2.59

表 1 所示参数板限的所有可能组合并不提供规定特性的波导。表 1 由计算机模型得到，它允许一个或多个参数改变直到至少一个规定的波导特性超出允许范围。满足规定的最后的内芯折射率分布参数被记录下来。因此每个分布参数的上限和下限可以源于符合规定的完全不同的分布。本领域内技术人员经过少数几个试验就可以得到符合特定波导特性的分布。

虽然上面描述和揭示了本发明特定实施例，但是本发明由后面的权利要求限定。



一
四