[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 6/22
H04B 10/18

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00108880.7

[45] 授权公告日 2004 年 3 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1143148C

[22] 申请日 2000.5.23 [21] 申请号 00108880.7

[30] 优先权

[32] 1999. 5.24 [33] US [31] 09/317，360

[71] 专利权人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 查尔斯·S·布朗

审查员 崔尚科

[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

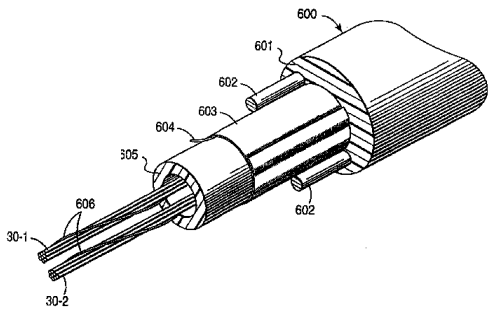
代理人 蒋世迅

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 4 页

[54] 发明名称 在铒放大器区域中具有负色散及低斜率的光纤

[57] 摘要

公开了一种光纤(30)，适用于由铒掺杂光纤放大器服务的色散补偿的光学通信系统(700)。该光纤在波长区域 1530－1565nm 上具有比－0.8ps/(nm－km)更负的色散，以及具有小于 0.05ps/(nm^2－km)的色散斜率。该光纤显示了低于 0.21dB/km 的平均光学传输损耗；以及其有效面积大于 50μm^2，使其对弯曲损耗较不敏感。该光纤进一步包括折射率为 n_1 的锗掺杂硅的芯(31)，以及围绕该芯的一层包层材料(34)。该包层由折射率为 n_2 的近似纯硅组成。



ISSN1008-4274

1. 一种对 1530－1560 nm 区内所有波长的色散小于约－0.8 ps/（nm-km）的玻璃光纤，该光纤包括有最大折射率 n_1 的中央纤芯区（31），和在所述玻璃光纤外表面的由透明包层材料构成的包层区（34），该包层材料的折射率为 n_2，其中，$0.45<(n_1-n_2)/n_2<0.58$

特征在于

该玻璃光纤包括透明材料的第一环（32），与中央纤芯区相邻，所述第一环的宽度约 4.5±1.5 微米，且折射率为 n_3，其中 $-0.09<(n_3-n_2)/n_2<-0.05$；和

该玻璃光纤还包括透明材料的第二环（33），与包层区相邻，并在该包层区之内且在第一环之外，其折射率为 n_4，其中 $0.20<(n_4-n_2)/n_2<0.28$。

2. 权利要求 1 的光纤（30），其中该光纤在波长区域 1530-1565nm 上具有小于 0.05ps/(nm^2-km)的色散斜率。

3. 权利要求 1 的光纤（30），其中色散在波长区域 1530-1565nm 上为-3.0±1.7ps/(nm-km)。

4. 权利要求 1 的光纤（30），其中中央芯区（31）包括锗掺杂的硅材料。

5. 权利要求 1 的光纤（30），其中第一环（32）包括氟掺杂的硅材料。

6. 权利要求 1 的光纤（30），其中第二环（33）包括锗掺杂的硅材料。

7. 权利要求 1 的光纤（30），其中外包层区域（34）包括无掺杂的硅材料。

8. 权利要求 1 的光纤（30），其中该光纤被包围在包括一个塑料护套（601）的护套系统中，由此确定了一种光缆（600）。

9. 权利要求 1 的光纤（30），其中

中央芯区（31）包括锗掺杂的硅，并且具有大约 2.7±1.0 微米的外径；

第一环（32）包括氟掺杂的硅，并且具有大约 7.2±1.0 微米的外径；

第二环（33）包括锗掺杂的硅，并且具有大约 9.0±1.0 微米的外径；以及

包层（34）包括近似纯硅。

在铒放大器区域中具有负色散及低斜率的光纤

本发明涉及光纤，并且尤其涉及适用于色散补偿的光学通信系统中的光纤。

由于一根光纤上可利用的巨大的带宽，光学传输已经成为通信技术的宠儿。这样的带宽使得能够在一根通常由高质量的玻璃材料制成的头发细的光纤上同时传输数千个电话会话和数百个电视信道。在WDM 系统中一根光纤上的传输容量被增加了，其中几个信道被多路复用到一根光纤上——每个信道工作在一个不同的波长。但是，在WDM 系统中，信道间的非线性的相互作用，例如 4-光子混合，严重减小了系统容量。该问题在很大程度上已经被美国专利 5,327,516 解决了，它公开了一种光纤，通过在工作波长处引入少量色散，减小了这些非线性的相互作用。因此，一根光纤需要为每个 WDM 信道提供少量色散。虽然为了使 4-光子混合最少需要色散的存在，但是由于不同的波长以不同的速度在光纤中传播，色散会造成脉冲扩展，因此又是不希望的。幸运的是，脉冲扩展可以通过色散补偿技术处理，其中正负色散的光纤的交替部分串连在一起。通常，对于大约 50 千米以内的通信系统不需要色散补偿。

用于制造光纤的玻璃材料（接近纯硅-SiO_2）的质量已经有了重要的进步。1970 年，玻璃光纤的可接受的损耗在 20dB/km 的范围；而现在，损耗通常低于 0.25dB/km。实际上，玻璃光纤的理论最小损耗约为 0.16dB/km，并且是在大约 1550 纳米（nm）的波长处。特性看起来有利于该波长区域的光学传输，因为这是铒掺杂光纤放大器工作的波长区域，并且铒掺杂光纤放大器已经成为可用的最实用的光学放大器。在这样一个放大器中，光纤内的铒离子在第一波长区域（例如 980nm）被“泵浦”能量，然后当铒离子被第二波长区域（例如 1530-1565nm）中的光学信号激发时，该能量被释放到该第二波长区

域。

光纤设计中涉及的许多考虑必须进行必要的综合以提供商业上可接受的产品。通常需要传输损耗小；光纤能够承受适度的弯曲而不表现过度的损耗；光纤在预定的波长区域具有已知的色散；色散斜率较低；以及光纤具有的截止波长适合于系统波长处的单模式传输。如上所述，高质量的玻璃材料已经有了很大发展，能够提供低传输损耗，但是高质量玻璃本身不足以满足现代光纤的所有所需的特性。许多特性需要由描述光纤折射率如何随距其中心轴的距离的函数变化的光纤折射率分布决定。描述该折射率分布的参数通常是指玻璃最外的折射率。折射率分布的理想化模型常常包括不同折射率的轴对称环。但是，改变任意一个环的大小或形状通常影响该光纤的不止一个特性（例如色散斜率可能减小，但传输损耗增加）；并且创造既能够提供所有所需特性又容易制造的的折射率分布是一项重大的设计成果。

例如，美国专利 5,878,182 公开了在铒放大器区域中具有低斜率的正和负色散光纤的设计。并且虽然这些设计能够有效地得到一个所需的结果，但是该专利的图 3C 中所示的负色散光纤的制造公差比所需的更严格。

在铒放大器区域上提供低色散斜率的另一个光纤具有类似环形的折射率分布，这在 OFC'95 技术文摘的 259-260 页，名称为“用于高比特率和多波长系统的色散移位的单模式光纤”的文章中显示。该设计由一环高折射率材料包围着低折射率材料的芯构成。但是，这样一个折射率分布将似乎比所需的具有更高的传输损耗和/或更高的弯曲灵敏度。

因此，所需的但似乎未在现有技术中公开的是一种容易制造的光纤，显示低传输损耗、低弯曲灵敏度以及在铒放大器区域具有低斜率的负色散。

现有技术的问题可以通过一种光纤克服，该光纤在中央芯区以及外包层之间具有两环受控折射率材料的折射率分布。第一环与中央芯相邻，其折射率比包层的折射率低。第二环与包层相邻，其折射率比

包层的折射率高。特别地，芯的标称折射率为 n_1，包层的标称折射率为 n_2，第一环的标称折射率为 n_3，第二环的标称折射率为 n_4。折射率分布表示如下：

中央芯区：$0.45<(n_1-n_2)/n_2<0.58$;

第一环：$-0.09<(n_3-n_2)/n_2<-0.05$；以及

第二环：$0.20<(n_4-n_2)/n_2<0.28$。

此外，第一环的宽度约为 4.5±1.5 微米。

已经发现通过构造第一环作为较宽而浅的槽的下凹折射率材料，可以容易地制造一个在铒放大器区域具有低斜率的负色散光纤。

在本发明的一个示例性实施例中，光纤的色散比大约 -0.8ps/(nm-km) 更负，理想地为 -3.0±1.7ps/(nm-km)，并且在 1530-1565nm 的波长区域内斜率小于 $0.05ps/(nm^2-km)$。第一环包含氟掺杂以减小折射率。

本发明的负色散光纤示例性地用于具有色散补偿的 WDM 系统，其总长度大于 50km。有利的是，光纤在 1550nm 处的平均传输损耗约为 0.20dB/km；有效区域大于 $50\mu m^2$，折射率分布使其对弯曲损耗较不敏感。

参考附图阅读以下详细描述可以更清楚地理解本发明及其工作模式，其中：

图 1 是具有两个保护性涂层的已知光纤的透视图；

图 2 是一个色散平化的光纤的综合色散作为波长的函数的图，显示其材料色散及波导色散成分；

图 3A 是一个无涂层光纤的剖视图，显示几层不同折射率的材料；

图 3B 公开了一种已知光纤的折射率分布；

图 3C 公开了根据本发明的一种光纤的折射率分布；

图 4 是根据本发明的一种光纤的色散作为波长的函数的图，显示其材料色散及波导色散成分；

图 5 是本发明的光纤的色散图，显示其在铒放大器区域的详细特性；

图 6 是包含根据本发明的几组光纤的缆线的透视图；以及

图 7 公开了一种工作在包含正和负色散光纤以及铒掺杂光纤放大器的一个传输路径的四信道 WDM 系统。

多种机制限制光纤的带宽。在多模式光纤中，例如，存在模式色散，在模式色散中进入光纤一端的光脉冲当从光纤另一端出来时被扩展了。这是因为多模光纤支持一个特定波长的数百种不同模式(路径)。并且当不同模式在光纤的另一端合并时，净结果是脉冲扩展（色散），这是不希望的。除非另外声明，色散是指色散或“线性”色散。传统上，在短波辐射速度大于长波辐射的条件下认为色散的符号为正。

光纤也可以被设计成仅支持一个特定波长的基模（LP_{01}）。这样的光纤称为“单模”。其带宽远远大于多模光纤并且能够以成比例的更快的速度传输光学信号。然而，对于小于 LP_{11} 截止波长的波长，单模式光纤的作用就象多模光纤一样。LP_{11} 截止波长由芯半径(a)、折射率(n)以及分数芯/包层折射率差(Δ)决定。实际上，当Δ和 a 减小时，在大于 LP_{11} 截止波长的波长处传播的模式越来越少直到仅一个模式传播。因此，LP_{11} 截止波长需要比将被传输的波长小一个合适的量。

在制造光纤时，一个玻璃预制棒垂直悬挂并以可控的速率进入一个熔炉。该预制棒在熔炉中软化并且一根光纤通过位于拉制塔的底部的绞盘从该预制棒的熔化端自由拉出。(尽管拉出的光纤的直径比该预制棒小数千倍，但是具有相同的折射率分布。)因为玻璃光纤的表面容易被磨损，所以有必要在光纤拉出后但暴露给污染物或磨损之前涂覆涂层。既然涂覆涂层材料必须不损坏玻璃表面，因此涂层材料是在液态涂覆的。一旦被涂覆，涂层材料必须在玻璃光纤达到绞盘之前固化。这典型地通过光固化在短暂的时间间隔内完成，在光固化过程中液态涂层材料通过暴露在电磁辐射下而转化成固态。图 1 公开了一种双涂层的光纤 110，其结构适用于本发明。如图所示，两层涂层材料被涂覆在拉出的光纤 10 上，光纤 10 包括一个传光芯 11 和包层 14。包层光纤 10 直径约为 125μm。内层 111，称为第一涂层材料，被涂覆到玻璃光纤 10；外层 112，称为第二涂层材料，被涂覆到第一涂层材

料 111。第二涂层材料通常具有较高的模量（例如 10^9Pa）以耐操作，而第一涂层材料具有较低的模量（例如 10^6Pa）以提供减小微弯曲损耗的缓冲。可以在第一涂层还是湿的时候涂覆第二材料，然后两个涂层通过电磁波谱的紫外区域的辐射同时固化。

图 2 显示一个现有技术的光纤的色散，并且特别地显示如何通过材料和波导色散成分的加法合并形成一个综合色散平化的特性 23。（色散平化的光纤通常在两个波长——例如 1400nm 和 1700nm 处具有零色散。）回想起材料色散本质上与制造光纤时使用的实际材料有关。这里，材料色散 21 与硅玻璃有关。另一方面，波导色散 22 是折射率分布的函数。波导色散不象材料色散，它可以在一定限度内由设计工程师整形。这个特定的折射率分布已经被用于色散平化光纤的设计中，其中在 1400-1700nm 的宽波长区域上色散被减小。

现在参考图 3A，它通常公开了一个无涂层玻璃光纤 30 的截面，显示多个层 31-34——每层具有不同的折射率用于修改光纤的波导色散特性。图 3A 建议层之间折射率的变化要急剧，尽管不是必须这样。折射率的渐变更常见并且这种光纤称为渐变折射率光纤。然而，为了便于理解本发明，显示了急剧的变化。应理解到本发明也考虑了渐变折射率光纤。

光纤 30 包括一个中央芯区 31，其折射率标称为 n_1。中央芯区 31 被标称折射率 n_3 的第一环 32 包围，而第一环又被标称折射率 n_4 的第二环 33 包围。标称折射率 n_2 的外包层 34 包围着第二环。注意到图 3A 不是按比例的，因为包层 34 的直径约为 125 微米，而中央芯区 31 的直径仅约为 8 微米。

比起使用折射率的实际值绘制折射率分布图，我们很容易显示其分布作为归一化的折射率差Δ_1、Δ_2和Δ_3的函数，折射率差Δ_1、Δ_2和Δ_3的定义如下：

$$\Delta_1 \approx (n_1-n_2)/n_2 \times 100\%$$

$$\Delta_2 \approx (n_3-n_2)/n_2 \times 100\%$$

$$\Delta_3 \approx (n_4-n_2)/n_2 \times 100\%$$

图 3B 公开了用于在铒放大器区域具有低斜率的负色散光纤的一种已知的折射率分布（见美国专利 5,878,182）。该光纤包括外径为 b_1 内径为 b_2 的第一环。该环的实际宽度（b_2-b_1）仅约为 1.8 微米，考虑到制造公差，该宽度比较窄。使用图 3C 所示的折射率分布实现了重大的改进，它根据本发明提供了一种容易制造的、在铒放大器区域具有低斜率以及低弯曲损耗的负色散光纤。已经发现对于Δ_1、Δ_2和Δ_3在一段范围值内实现了这些光纤特性，其中：

$0.45<\Delta_1<0.58$;

$-0.09<\Delta_2<-0.05$; 以及

$0.20<\Delta_3<0.28$

此外，第一环有外径 c_2、内径 c_1 使得环的宽度（c_2-c_1）约为 4.5±1.5 微米。

在本发明的一个最佳实施例中，Δ_1=0.52，Δ_2= -0.08，Δ_3=0.24。同样在该最佳实施例中，不同层的半径为：c_1=2.7±1.0μm; c_2=7.2±1.0μm; c_3=9.0±1.0μm。图 3C 中公开的折射率分布包括锗掺杂的硅芯、氟掺杂的第一环、锗掺杂的第二环以及纯硅的外包层。但是，应当理解到芯和包层不是必须以这种方式构造，因为是折射率的相对差异提供了本发明的优点。例如，芯可以由纯硅制成，而环和包层可以具有不同程度的氟掺杂。

适用于本发明的一种光纤的规格表已经研究出来了。但是，它并未试图限定可接受的光纤的整个范围，而仅是提出作为示例。

示例性光纤规格表

1550nm 处的衰减	≤0.21dB/km（平均）
模式场直径	8.4±0.6 微米（1550nm）
芯偏心率	<0.8 微米
包层直径	125±1.0 微米
截止波长	<1450nm（2m 参考长度）
色散	-3.0±1.7ps/(nm-km)（1530-1565nm）
色散斜率	<+0.05ps/(nm^2-km)（平均）

宏弯曲	<0.5dB，1550nm 处（1 圈，32mm）
宏弯曲	<0.1dB，1550nm 处（100 圈，75mm）
涂层直径	250±10 微米
筛选试验	200kpsi

合适的制造步骤的详细描述可以容易地得到。预制棒可以是整体的或复合的。芯区理想地通过改型的化学蒸汽沉积或通过使用碳黑化学的一个步骤——外蒸汽沉积或蒸汽轴向沉积制成。已知的步骤（例如用于包层、外包层（overclading）、涂层、成缆等）不受光纤设计的影响。

图 4 公开了根据本发明的一种光纤的色散特性 43。特别地，它公开了如何通过材料和波导色散成分 41、42 加法合并形成低色散斜率。尽管图 2 中用于色散平化的光纤的波导色散曲线 22 还显示了一个负斜率，但是材料色散在长波处迅速增加以形成第二零色散（在 1700nm 处显示）及平坦的综合色散曲线 23。但是，这样的平化实际是当基模开始有效截止时造成的，并且这将导致不希望的高弯曲损耗。

图 5 是正色散光纤 43-1，以及具有图 3C 所示的折射率分布的负色散光纤 43-2 的色散图。每种光纤的平均损耗在 1550nm 处低于 0.21dB/km; 有效面积大于 50μm^2; 在铒掺杂光纤放大器服务的波长区域（1530-1565nm）每种光纤的色散的绝对值大于 0.8ps(nm-km)。更重要的是，每种光纤的色散斜率在 1550nm 处低于大约 0.05ps/(nm^2-km)。这些特性使得光纤 43-1、43-2 在用于铒放大器区域上需要低损耗和小色散的 WDM 信号传输时很理想。（为了比较，一个未移位的硅光纤在约 1310nm 处具有零色散点λ_0，在 1550nm 处的色散约为 +17ps/(nm-km)，在 1550nm 处的色散斜率约为 0.095ps/(nm^2-km)。）

图 6 提供关于根据本发明构造一个实际的缆线的详图。光缆 600 包括两束光纤，使用线包扎带 606 松散地缠绕，以形成一个可以确认的单元。其中一束最好包括正色散光纤 30-1，而另一束最好包括负色散光纤 30-2——如美国专利 5,611,016 中所述。并且虽然理想地是将正

和负色散光纤分成单独的组或单元，但是在本发明的实践中不是必要的。这些光纤束位于管状部件 605 内，例如由绝缘材料例如聚氯乙烯或聚乙烯制成。管状部件 605 周围的是一个护套系统，包括：吸水带 603；塑料护套 601，示例性地由聚乙烯材料制成；以及强度部件 602-602，示例性地由钢或环氧树脂浸制的玻璃纤维制成。强度部件用于消除或减小在操作或正常服务过程中可能另外加到光纤上的压力，并且可以以任意已知方式包括在缆线 600 中。裂索（rip cord）604，由 Kevlar®塑料制成，帮助除去整个护套系统 601-603。典型地，填充材料位于管状部件 605 内，为包含在其中的光纤提供缓冲，由此保护它们避免微弯损耗。

图 7 公开了根据本发明的一种 WDM 系统 700。它包括四个发射机 71-74，用四个不同的基带信号调制 1530-1565nm 区域中的四个预定的波长。被调制的波长然后通过一个无源的 4:1 耦合器 75 合并，并被引入一根光纤传输线 30-1、30-2，包括一个光学放大器 710——最好是一个铒掺杂的光纤放大器。在图 7 的实施例中，根据本发明，光纤传输线 30-1 由一个预定长度的正色散光纤组成，而光纤传输线 30-2 由一个预定长度的负色散光纤组成。在接收器端，四个信道被解复用器 85 根据其波长分离，并且由接收器 81-84 处理，以提取各基带信号。

尽管显示和描述了不同的特定实施例，但是在本发明的范围内进行变型也是可能的。这些变型包括，但不限于，在相邻层间逐渐变小的折射率分布（例如渐变折射率分布）；改变层的宽度；使用不同掺杂的材料以获得相同的一般折射率分布形状；以及使用塑料材料，而不是玻璃，用于制造光纤。应注意到在许多实际光纤中，由于在制造光纤过程中使用的生产步骤，在芯区的中央存在折射率降低。此外，应理解到图 3C 显示了一种理想化的分布，本发明包括在相邻环之间具有逐级过渡的折射率分布。

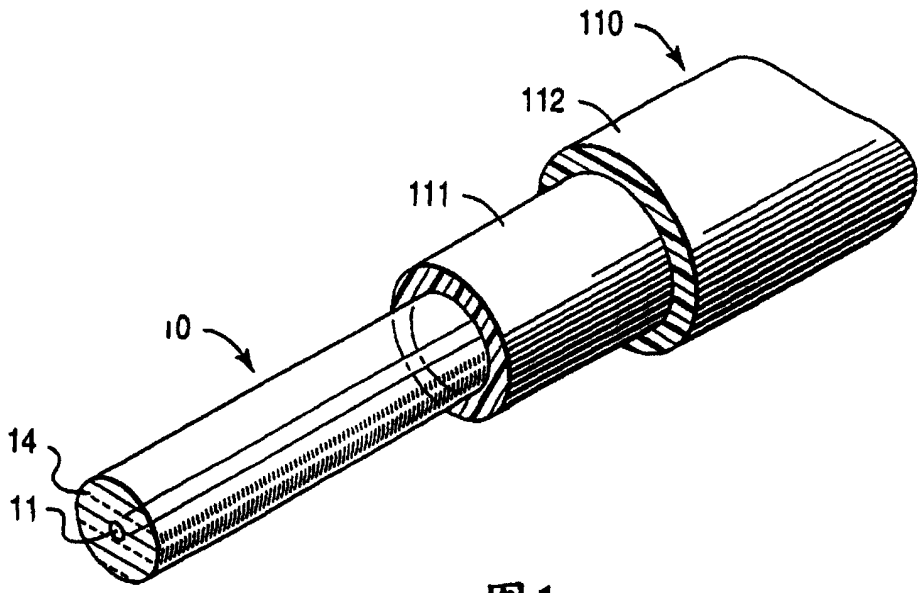


图1
（现有技术）

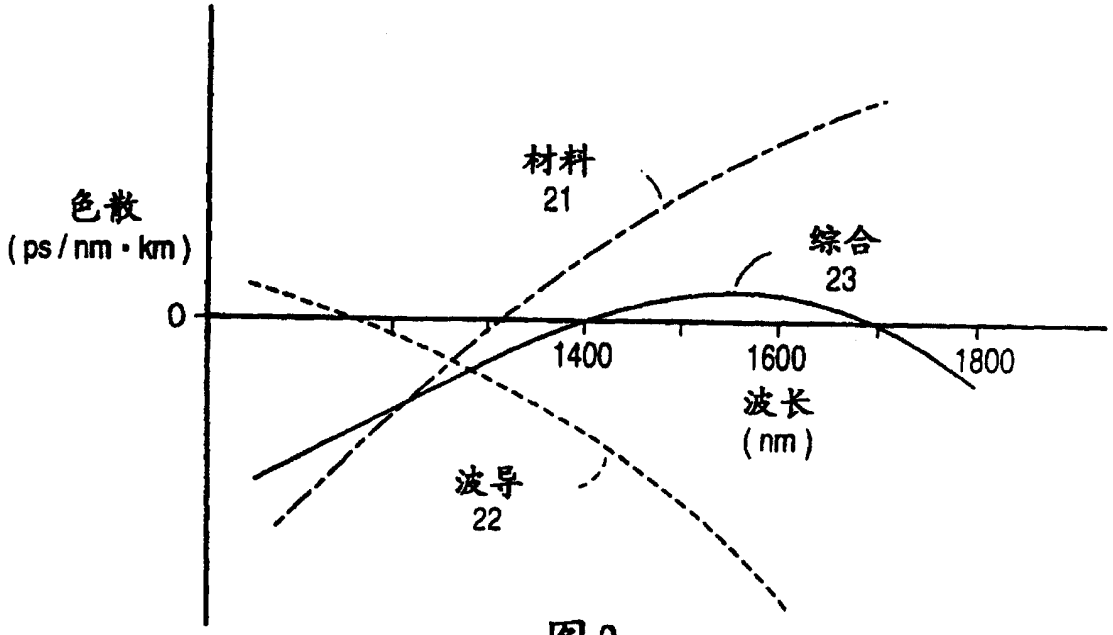


图2
（现有技术）

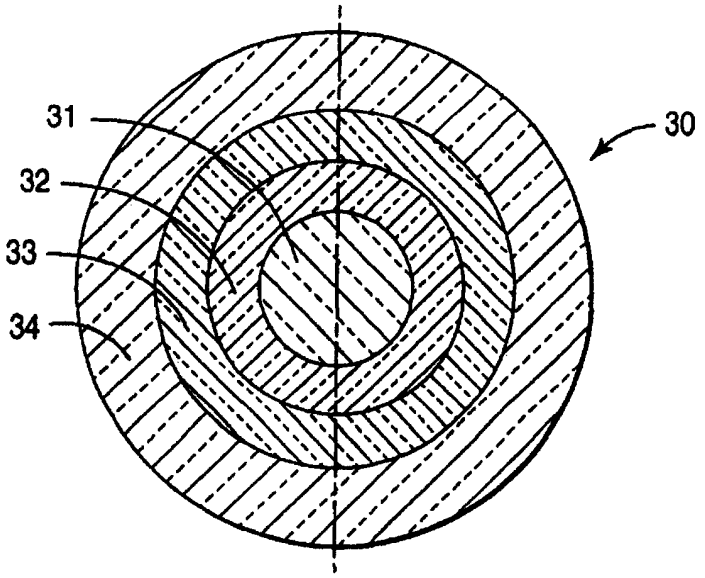


图 3A

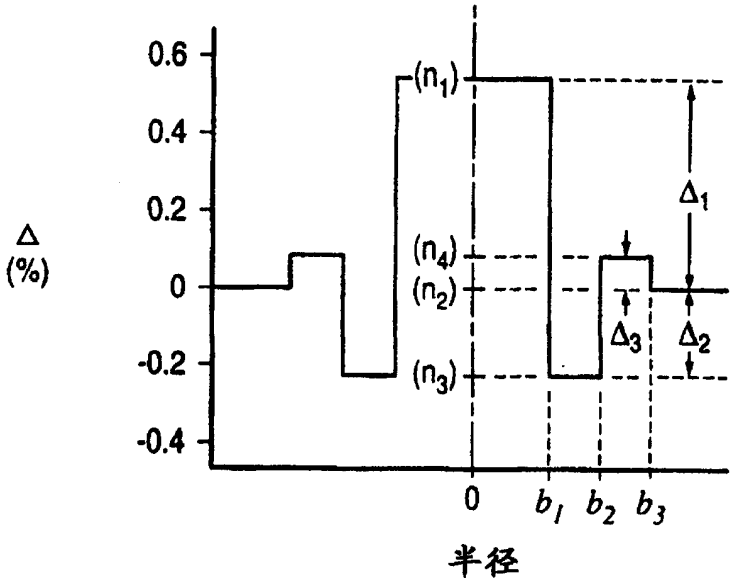


图 3B
（现有技术）

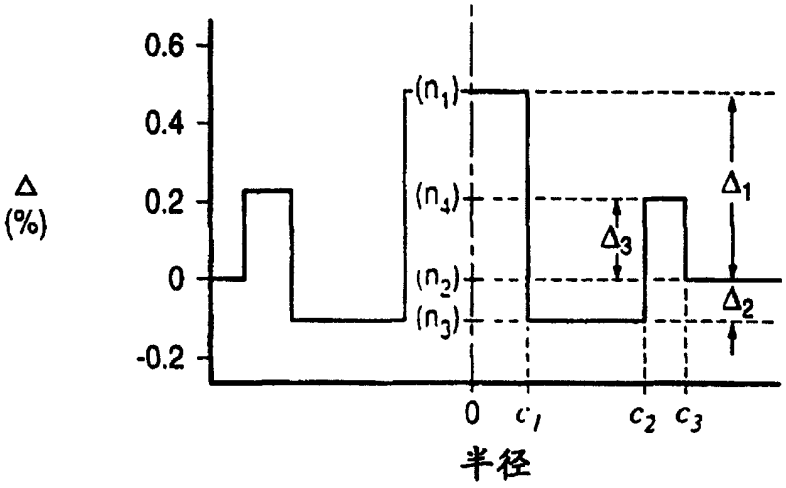


图 3C

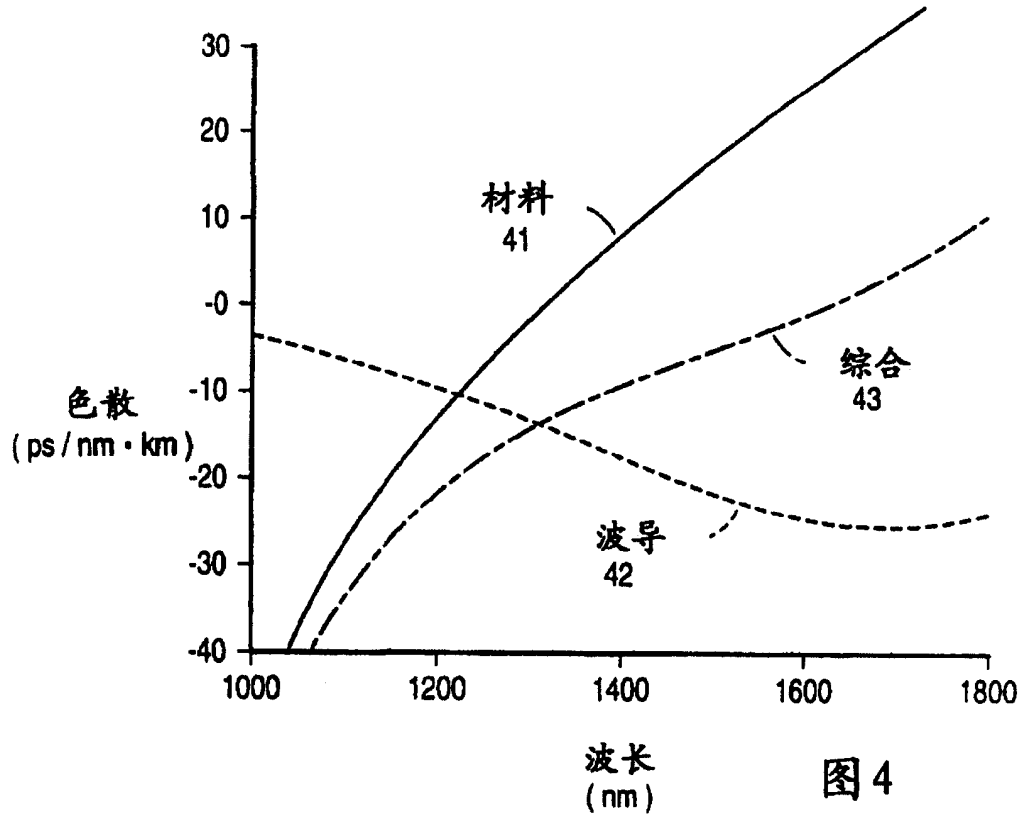

30
20
10
-0
-10
-20
-30
-40
色散
(ps/nm·km)
材料
41
综合
43
波导
42
1000
1200
1400
1600
1800
波长
(nm)

图4

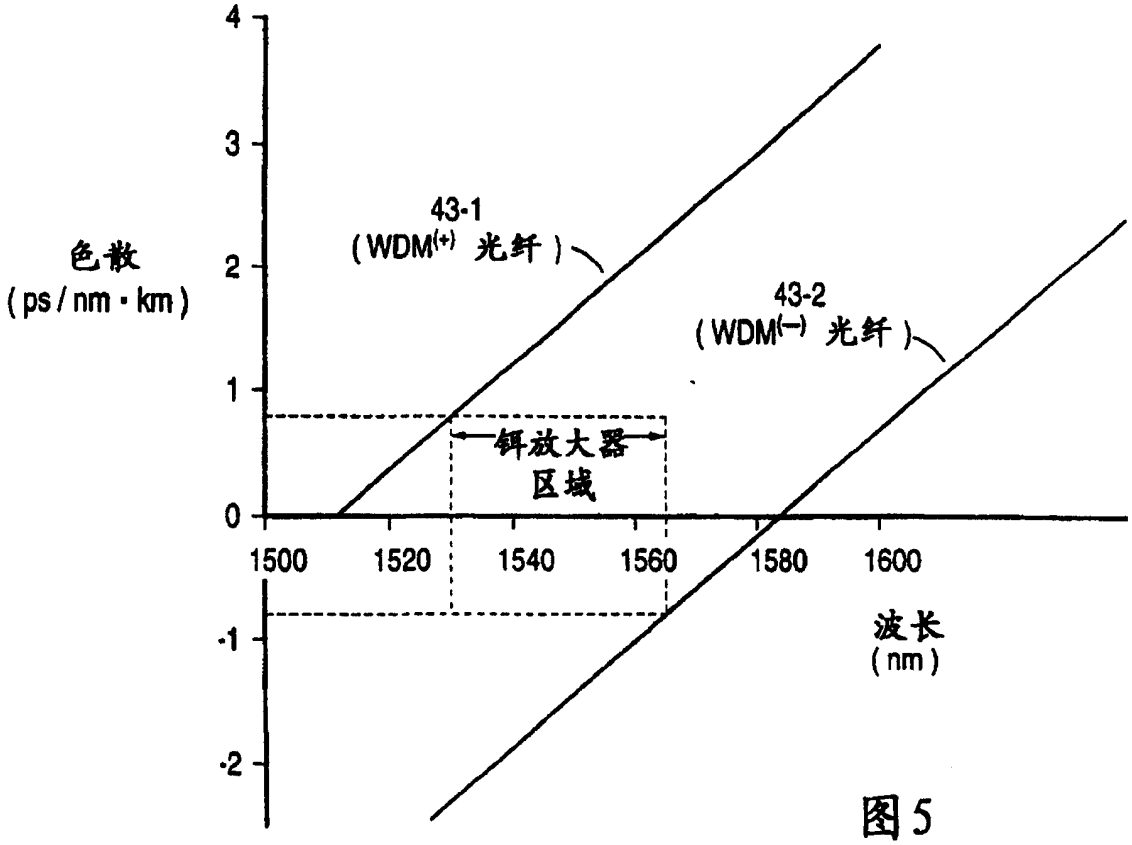

4
3
2
1
0
-1
-2
色散
(ps/nm·km)
43-1
(WDM(+) 光纤)
43-2
(WDM(-) 光纤)
铒放大器
区域
1500
1520
1540
1560
1580
1600
波长
(nm)

图5

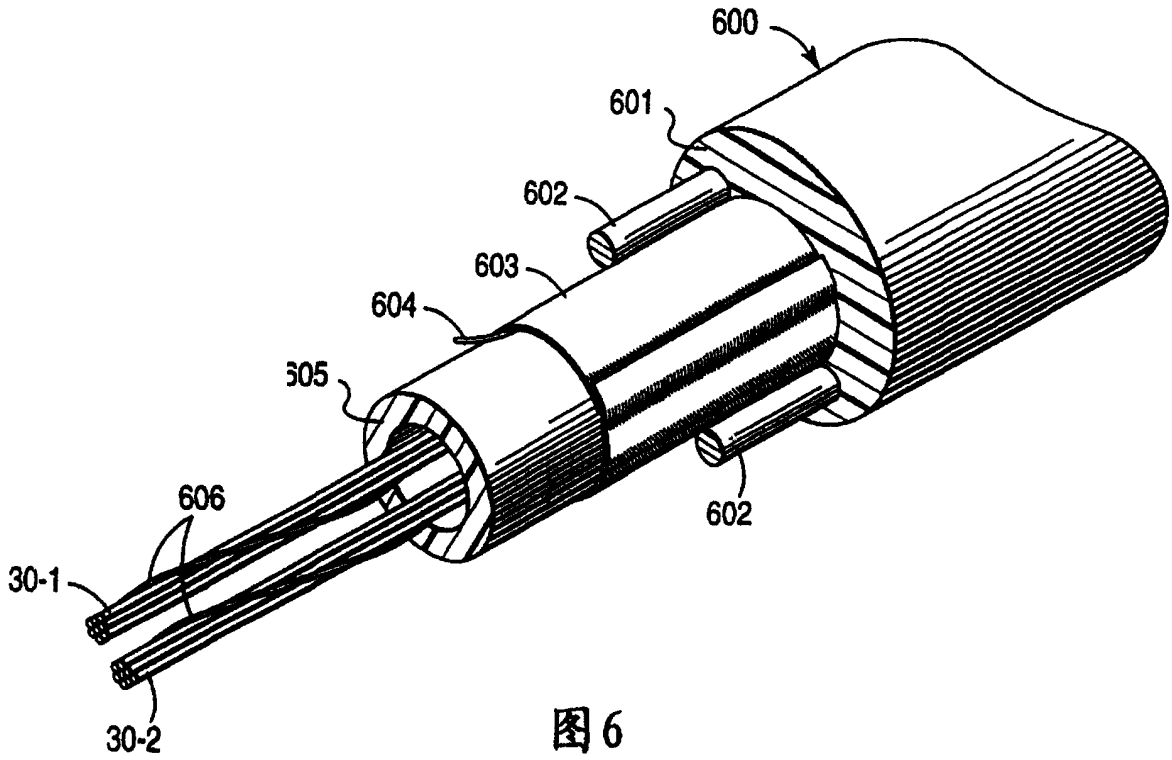

600
601
602
603
604
605
606
30-1
30-2
602

图6

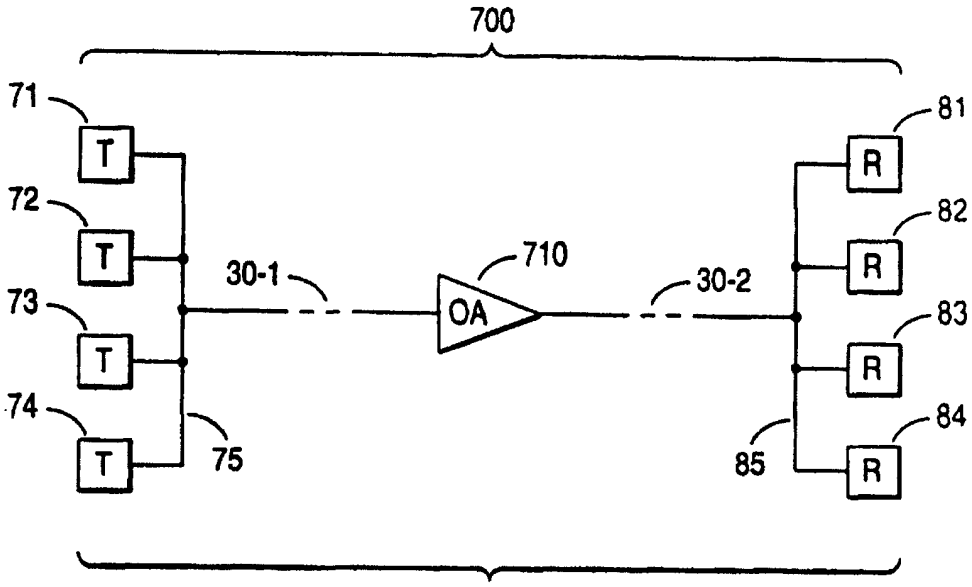

700
71
72
73
74
T
T
T
T
30-1
710
OA
30-2
75
81
82
83
84
85
R
R
R
R

图7