



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 00819527.7

[45] 授权公告日 2005 年 4 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1198156C

[22] 申请日 2000. 12. 1 [21] 申请号 00819527.7

[30] 优先权

[32] 2000. 4. 11 [33] JP [31] 109730/2000

[86] 国际申请 PCT/JP2000/008528 2000. 12. 1

[87] 国际公布 WO2001/077727 英 2001. 10. 18

[85] 进入国家阶段日期 2002. 11. 12

[71] 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 加藤考利 平野正晃

审查员 郑 颖

[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

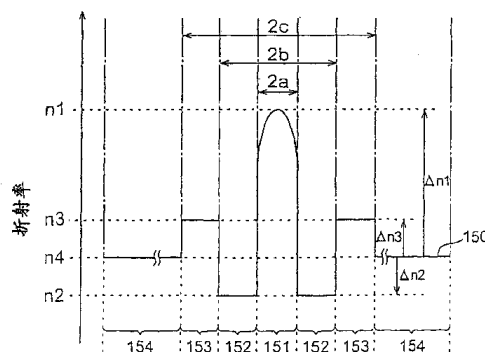
代理人 蒋世迅

权利要求书 5 页 说明书 27 页 附图 17 页

[54] 发明名称 色散补偿光纤、模块及光传输线路

[57] 摘要

本发明针对一种色散补偿光纤，该光纤能够以短长度补偿一个非零色散位移光纤的色散及色散斜率。该色散位移光纤与熔融接合到其上的一个色散补偿光纤一起组成一个光传输线。该色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 $-40\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 或以下的色散 D_{DCF} 以及 $0.005/\text{nm}$ 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($D_{\text{DCF}}/S_{\text{DCF}}$)。



1.一种色散补偿光纤，具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：

所述纤芯区域具有第一折射率，并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对折射率差；

所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：

大于等于-100ps/nm/km 但小于等于-40ps/nm/km 的色散；以及大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值。

2.根据权利要求 1 的色散补偿光纤，其中，所述色散斜率与色散的比值大于等于 0.005/nm 但小于等于 0.015/nm。

3.根据权利要求 1 的色散补偿光纤，其中所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 $16\mu\text{m}^2$ 或以上的有效面积。

4.根据权利要求 3 的色散补偿光纤，其中所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 $20\mu\text{m}^2$ 或以上的有效面积。

5.根据权利要求 1 的色散补偿光纤，其中所述色散补偿光纤具有 $1.2\mu\text{m}$ 或以上但是 $1.8\mu\text{m}$ 或以下的截止波长。

6.根据权利要求 5 的色散补偿光纤，其中所述色散补偿光纤具有 $1.4\mu\text{m}$ 或以上但是 $1.8\mu\text{m}$ 或以下的截止波长。

7.根据权利要求 1 的色散补偿光纤，其中所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 0.5dB/km 或以下的传输损耗。

8.根据权利要求 1 的色散补偿光纤，其中所述纤芯区域相对于所

述第三包层具有大于等于 0.8%但是小于等于 1.5%的相对折射率差。

9.根据权利要求 1 的色散补偿光纤,其中当所述第二包层的外径变化 2%时,色散斜率与色散的所述比值变化 10%或以下。

10.一种色散补偿光纤,具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域,以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域,其中:

所述纤芯区域具有第一折射率;并且所述包层区域具有:一个第一包层,围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率,一个第二包层,围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率,以及一个第三包层,围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率;

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差;

所述第一包层相对于所述第三包层具有 -0.4%或以下的相对折射率差;

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征:
-250ps/nm/km 或以上但是 -120ps/nm/km 或以下的色散; 0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值;以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下的有效面积。

11.根据权利要求 10 的色散补偿光纤,其中色散斜率与色散的比值为 0.015/nm 或以下。

12.根据权利要求 10 的色散补偿光纤,有效面积位于 $(20-|\text{色散}|/25)$ 或以上但是 $(23-|\text{色散}|/25)$ 或以下的范围内。

13.根据权利要求 10 的色散补偿光纤,其中所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 1.0dB/km 或以下的传输损耗。

14.根据权利要求 10 的色散补偿光纤,其中当所述第二包层的外径变化 2%时,色散斜率与色散的所述比值变化 10%或以下。

15.一种光传输线路,包括:

一种色散补偿光纤,具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域,以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域,其中:

所述纤芯区域具有第一折射率，并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对折射率差；

所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：

大于等于-100ps/nm/km 但小于等于-40ps/nm/km 的色散；以及

大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值；

连接到所述色散补偿光纤的一个色散位移光纤，所述色散位移光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：

+2ps/nm/km 或以上但是+10ps/nm/km 或以下的色散；以及

+0.04ps/nm²/km 或以上但是+0.12ps/nm²/km 或以下的色散斜率。

16.根据权利要求 15 的光传输线路，其中所述整个光传输线路在 1535nm 或以上但是 1560nm 或以下的一个波段中的平均色散的偏差为 0.2ps/nm/km 或以下。

17.根据权利要求 16 的光传输线路，其中所述整个光传输线路在 1535nm 或以上但是 1600nm 或以下的一个波段中的平均色散的偏差为 0.2ps/nm/km 或以下。

18. 一种光传输线路，包括：

一种色散补偿光纤，具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：

所述纤芯区域具有第一折射率；并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率，一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率，以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且

具有小于第三折射率的第四折射率；

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差；

所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：
-250ps/nm/km 或以上但是-120ps/nm/km 或以下的色散； 0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值；以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下的有效面积；以及

连接到所述色散补偿光纤的一个色散位移光纤，所述色散位移光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：

+2ps/nm/km 或以上但是+10ps/nm/km 或以下的色散；以及

+0.04ps/nm²/km 或以上但是+0.12ps/nm²/km 或以下的色散斜率。

19.一种色散补偿模块，包括一种色散补偿光纤，其状态是所述色散补偿光纤象线圈一样被缠绕以构成一个模块，其中：

所述色散补偿光纤具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：

所述纤芯区域具有第一折射率，并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对折射率差；

所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：

大于等于-100ps/nm/km 但小于等于-40ps/nm/km 的色散；以及
大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值。

20.根据权利要求 19 的色散补偿模块,其中当波长 1550nm 处的色散补偿量为-640ps/nm 时,所述色散补偿模块在 1535nm 或以上但是 1565nm 或以下的一个波段中具有 7dB 或以下的总损耗。

21. 根据权利要求 20 的色散补偿模块,其中在 1535nm 或以上但是 1610nm 或以下的一个波段中总损耗为 7dB 或以下。

22.根据权利要求 19 的色散补偿模块,其中当波长 1550nm 处的色散补偿量为-320ps/nm 时,所述色散补偿模块在 1535nm 或以上但是 1565nm 或以下的一个波段中具有 3dB 或以下的总损耗。

23.根据权利要求 22 的色散补偿模块,其中在 1535nm 或以上但是 1610nm 或以下的一个波段中总损耗为 3dB 或以下。

24. 一种色散补偿模块,包括一种色散补偿光纤,其状态是所述色散补偿光纤象线圈一样被缠绕以构成一个模块,其中:

所述色散补偿光纤具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域,以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域,其中:

所述纤芯区域具有第一折射率;并且所述包层区域具有:一个第一包层,围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率,一个第二包层,围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率,以及一个第三包层,围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率;

所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差;

所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差;

所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征:
-250ps/nm/km 或以上但是-120ps/nm/km 或以下的色散; 0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值;以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下的有效面积。

色散补偿光纤、模块及光传输线路

技术领域

本发明涉及补偿色散位移光纤的色散及色散斜率的一种色散补偿光纤，包含该色散位移光纤及色散补偿光纤的一种光传输线，以及通过象线圈一样缠绕该色散位移光纤构成的一个色散补偿模块。

背景技术

为了在实现波分复用(WDM)光传输的光传输系统中获得进一步更高的速度及更大的容量，重要的是一个宽信号波段中的累积色散的绝对值应尽可能小。通常，由于这在仅使用一种光纤的一个光传输线中难以实现，因此多种光纤连接以构造一个光传输线，由此减小该光传输线在一个宽波段中的累积色散的绝对值。

例如，日本专利申请公开号 HEI 6-11620 公开了一种技术，其中具有在波长 $1.3\mu\text{m}$ 附近的零色散波长的一个标准单模光纤(SMF)与补偿该标准单模光纤在波长 1550nm 处的色散的一个色散补偿光纤(DCF)互相连接，以减小通过这样连接的光纤构造的该光纤传输线在 $1.55\text{-}\mu\text{m}$ 波段中的累积色散的绝对值。

此外，美国专利号 5,838,867 公开了一种技术，其中在波长 1550nm 处具有小的正色散的一个非零色散位移光纤(NZDSF)与补偿该色散位移光纤的色散及色散斜率的一个色散补偿光纤互相连接，以减小通过这样连接的光纤构造的该光纤传输线在 $1.55\text{-}\mu\text{m}$ 波段中的累积色散的绝对值。

这里，一个标准单模光纤(SMF)在波长 1550nm 处的色散称为 D_{SMF} ，并且其色散斜率称为 S_{SMF} 。一个非零色散位移光纤(NZDSF)在波长 1550nm 处的色散称为 D_{DSF} ，并且其色散斜率称为 S_{DSF} 。一个色散补偿光纤(DCF)在波长 1550nm 处的色散称为 D_{DCF} ，并且其色散斜率称为 S_{DCF} 。因此，为了减小一个光传输线在包括波长 1550nm

的一个宽波段中的累积色散的绝对值，在用于补偿该单模光纤的色散及色散斜率的一个色散补偿光纤（以下称为“用于 SMF 的色散补偿光纤”）中，要求其色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值（ S_{DCF}/D_{DCF} ）与该单模光纤的色散斜率 S_{SMF} 与色散 D_{SMF} 的比值（ S_{SMF}/D_{SMF} ）基本相等。此外，在用于补偿该色散位移光纤的色散及色散斜率的一个色散补偿光纤（以下称为“用于 DSF 的色散补偿光纤”）中，要求其色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值（ S_{DCF}/D_{DCF} ）与该色散位移光纤的色散斜率 S_{DSF} 与色散 D_{DSF} 的比值（ S_{DSF}/D_{DSF} ）基本相等。

发明内容

发明者详细研究了常规的光传输线，并且结果发现了如下问题。

与标准单模光纤比较，色散位移光纤在波长 1550nm 处具有较大的比值（ S_{DSF}/D_{DSF} ）。因此，要求用于 DSF 的色散补偿光纤比用于 SMF 的色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有较大的比值（ S_{DSF}/D_{DSF} ）。

日本专利申请公开号 HEI 6-11620 中公开的用于 SMF 的色散补偿光纤补偿一个标准单模光纤的色散，该标准单模光纤具有在波长 1.3 μ m 附近的零色散波长，以及在波长 1550nm 处的大色散，并且具有大绝对值的负色散。因此，该用于 SMF 的色散补偿光纤适用于补偿标准单模光纤的色散。但是，该用于 SMF 的色散补偿光纤不足以补偿色散斜率。

另一方面，美国专利号 5,838,867 中公开的用于 DSF 的色散补偿光纤能够补偿在波长 1550nm 处具有小的正色散的一个非零色散位移光纤的色散及色散斜率。由于该用于 DSF 的色散补偿光纤具有小绝对值的色散，因此需要一个长的用于 DSF 的色散补偿光纤，用于补偿该非零色散光纤的色散及色散斜率。

例如，S. Bigo 等人的文献 1，“在 4 $\times$ 100km 的 TeraLightTM 光纤上 150 信道以 10Gbit/s 的 1.5Terabit/s 的 WDM 传输”，ECOC'99, PD (1999) 中公开的非零色散位移光纤，在波长 1550nm 处具有 +0.8ps/nm/km 的色散以及 +0.06ps/nm²/km 的色散斜率。另一方面，D. W. Peckham 等人的文献 2，“减小的色散斜率，非零色散光纤”，

ECOC'98, 139-140 页 (1998) 中公开的非零色散位移光纤, 在波长 1550nm 处具有 +4ps/nm/km 的色散以及 +0.046ps/nm²/km 的色散斜率。为了补偿这些文献中公开的长度 80km 的任何非零色散位移光纤的色散及色散斜率, 要求一个用于 DSF 的色散补偿光纤长度为 8km 至 16km。

同时, 即使稍微弯曲, 通常基模光也可能从用于 DSF 的色散补偿光纤中漏出, 使得基模光中弯曲损耗较大。因此, 当一个用于 DSF 的色散补偿光纤组成光缆一样放置或者构成象线圈一样缠绕的色散补偿模块时, 传输损耗变得更大。因此, 在通过一个光传输线上的信号传播实现光学通信的一个光传输系统中, 该光传输线由互相连接的一个色散位移光纤以及一个用于 DSF 的色散补偿光纤构成, 光传输线中的传输损耗如此大, 以致无法延长其中继部分, 由此在光学通信中无法进一步获得更高的速度及更大的容量。

为了克服上述问题, 本发明的一个目的是提供能够以短长度补偿一个非零色散位移光纤的色散及色散斜率的一个色散补偿光纤, 包括该色散位移光纤和色散补偿光纤的具有低传输损耗的一个光传输线, 以及具有低传输损耗的一个色散补偿模块, 其中该色散补偿光纤象线圈一样被缠绕。

根据本发明的该色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有 -40ps/nm/km 或以下的色散 D_{DCF} , 以及 0.005/nm 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF})。通过该结构, 可以有效阻止非线性现象的发生, 因为可以容易地扩大有效面积。较好地, 在根据本发明的色散补偿光纤中, 色散 D_{DCF} 为 -100ps/nm/km 或以上但是 -40ps/nm/km 或以下, 并且色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 为 0.005/nm 或以上但是 0.015/nm 或以下。由于色散 D_{DCF} 为大绝对值的负值, 并且色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 位于上述数字范围内, 因此该色散补偿光纤能够在包括波长 1550nm 的一个宽波段中以短长度补偿一个色散位移光纤的色散及色散斜率。

根据本发明的色散补偿光纤较好地, 在波长 1550nm 处具有 16μm²,

更好地 $20\mu\text{m}^2$ 或以上的有效面积。这种情况下，它可以抑制四波混合的发生以及抑制通过其传播的光信号的波形的退化。

根据本发明的色散补偿光纤较好地具有 $1.2\mu\text{m}$ 或以上但是 $1.8\mu\text{m}$ 或以下，更好地 $1.4\mu\text{m}$ 或以上但是 $1.8\mu\text{m}$ 或以下的截止波长。此外，根据本发明的色散补偿光纤较好地具有在波长 1550nm 处具有 0.5dB/km 或以下的传输损耗。这种情况下，由于截止波长比常规获得的长，因此可以抑制弯曲损耗的增大，并且由于传输损耗也位于上述数字范围内，因此即使当该光纤构成一个光缆或模块时也能获得较低的损耗。

根据本发明的色散位移光纤较好地具有一个纤芯区域，沿预定轴延伸且具有第一折射率，以及围绕该纤芯区域外边缘的一个包层区域。该包层区域包括一个第一包层，围绕该纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率，一个第二包层，围绕该第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率，以及一个第三包层，围绕该第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率。关于第三包层的第四折射率，纤芯区域较好地具有 0.8% 或以上但是 2.0% 或以下，更好地 0.8% 或以上但是 1.5% 或以下的相对折射率差。关于第三包层的第四折射率，第一包层较好地具有 -0.4% 或以下的相对折射率差。这些情况适用于实现具有上述特性的色散补偿光纤。

在根据本发明的色散补偿光纤中，当第二包层的外径变化 2% 时，比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 较好地变化 10% 或以下。这种情况下，可以容易地制造具有所需色散特性的色散补偿光纤。

另一方面，为了通过缩短光纤长度减小传输损耗，根据本发明的色散补偿光纤较好地具有 -250ps/nm/km 或以上但是 -120ps/nm/km 或以下的色散 D_{DCF} ， $0.005/\text{nm}$ 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$)，以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下，更好地 ($20-|D_{\text{DCF}}|/25$) 或以上但是 ($23-|D_{\text{DCF}}|/25$) 或以下的有效面积。因为在色散绝对值变大的弯曲脆弱部分需要减小有效面积的尺寸。此外，色散补偿光纤较好地具有 1.0dB/km 或以下的传输损耗。如上所述，色散补偿光纤具有纤芯区域，以及包括第一至第三包层的包层区域。

而且,较好地,纤芯区域关于第三包层的相对折射率差为 0.2%或以上但是 3.0%或以下,以及第一包层关于第三包层的相对折射率差为 -0.4%或以下。

根据本发明的光传输线具有与上述色散补偿光纤一起放置的一个中继部分;以及熔融接合到该色散补偿光纤的一个色散位移光纤。该色散位移光纤在波长 1550nm 处具有 +2ps/nm/km 或以上但是 +10ps/nm/km 或以下的色散,以及 +0.04ps/nm²/km 或以上但是 +0.12ps/nm²/km 或以下的色散斜率。当色散位移光纤与色散补偿光纤以适当的长度比互相连接时,如此构成的光传输线在波长 1550nm 处产生,总的来说,具有小绝对值的平均色散以及具有小绝对值的平均色散斜率。因此,该光传输线在包括波长 1550nm 的一个宽波段中具有,总的来说,具有小绝对值的平均色散以及小的平均传输损耗。

根据本发明的光传输线在 1535nm 或以上但是 1560nm 或以下的一个波段(C 波段)中较好地具有,总的来说,0.2ps/nm/km 或以下的偏差(=最大值-最小值)的平均色散。更好地,在 1535nm 或以上但是 1600nm 或以下的一个波段(C 和 L 波段)中该平均色散总的来说具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。在通过使信号通过这种情况下的这样一个光传输线传播从而实现光学通信的一个光传输系统中,该光传输线产生低的传输损耗,平均色散具有小绝对值,并且在包括波长 1550nm 的一个宽波段(至少包括 C 波段并且进一步包括 L 波段)中具有高比特率的光传输是可能的。因此,该光传输系统能够延长中继部分并且在光学通信中获得进一步更高的速度及更大的容量。

根据本发明的色散补偿模块其特征在于上述色散补偿光纤象线圈一样被缠绕以构成一个模块。色散补偿光纤在其中构成一个模块的色散补偿模块补偿一个中继部分中放置的一个色散位移光纤的色散及色散斜率,并且当色散位移光纤与色散补偿光纤之间具有适当的长度比时,在波长 1550nm 处产生,总的来说,具有小绝对值的平均色散以及具有小绝对值的平均色散斜率。因此,整个色散位移光纤与色散补偿模块在包括波长 1550nm 的一个宽波段中具有较小绝对值的平均色

散以及小的平均传输损耗。

根据本发明的色散补偿模块当在波长 1550nm 处产生 -640ps/nm 的色散补偿量时, 较好地 在 1535nm 或以上但是 1565nm 或以下的一个波段中具有 7dB 或以下的总损耗, 更好地在 1535nm 或以上但是 1610nm 或以下的一个波段中具有 7dB 或以下的总损耗。在根据本发明的色散补偿模块中, 当波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm 时, 总损耗较好地 在 1535nm 或以上但是 1565nm 或以下的波段中为 3dB 或以下, 更好地在 1535nm 或以上但是 1610nm 或以下的波段中为 3dB 或以下。在具有该色散补偿模块的一个光传输系统中, 其平均传输损耗小, 其平均色散具有小绝对值, 并且在包括波长 1550nm 的一个宽波段(至少包括 C 波段并且进一步包括 L 波段的波段)中具有高比特率的光传输是可能的。因此, 该光传输系统能够延长中继部分并且在光学通信中获得进一步更高的速度及更大的容量。

此外, 根据本发明的色散补偿光纤在波长 1550nm 处较好地具有 -40ps/nm/km 或以下的色散 D_{DCF} , 0.005/nm 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}), 以及 $16\mu m^2$ 或以上, 更好地 $20\mu m^2$ 或以上的有效面积。在包括波长 1550nm 的一个宽波段中, 该色散补偿光纤不仅能够以短长度补偿一个色散位移光纤的色散及色散斜率, 而且能够抑制四波混合的发生以及抑制通过其传播的光信号的波形的退化。

更此外, 根据本发明的色散补偿光纤在波长 1550nm 处较好地具有 -40ps/nm/km 或以下的色散 D_{DCF} , 0.005/nm 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}), 以及 0.5dB/km 或以下的传输损耗。该色散补偿光纤不仅能够以短长度补偿一个色散位移光纤的色散及色散斜率, 而且即使当构成一个光缆或模块时也产生低损耗。

具体来说, 本发明提供了一种色散补偿光纤, 具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域, 以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域, 其中: 所述纤芯区域具有第一折射率, 并且所述包层区域具有: 一个第一包层, 围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折

射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：大于等于-100ps/nm/km 但小于等于-40ps/nm/km 的色散；以及大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值。

本发明还提供了一种色散补偿光纤，具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：所述纤芯区域具有第一折射率；并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率，一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率，以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：-250ps/nm/km 或以上但是-120ps/nm/km 或以下的色散；0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值；以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下的有效面积。

本发明还提供了一种光传输线路，包括：一种色散补偿光纤，具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：所述纤芯区域具有第一折射率，并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对

折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：大于等于-100ps/nm/km 但小于等于-40ps/nm/km 的色散；以及大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值；连接到所述色散补偿光纤的一个色散位移光纤，所述色散位移光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：+2ps/nm/km 或以上但是 +10ps/nm/km 或以下的色散；以及 +0.04ps/nm²/km 或以上但是 +0.12ps/nm²/km 或以下的色散斜率。

本发明还提供了一种光传输线路，包括：一种色散补偿光纤，具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：所述纤芯区域具有第一折射率；并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率，一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率，以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有-0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：-250ps/nm/km 或以上但是 -120ps/nm/km 或以下的色散；0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值；以及 10μm²或以上但是 20μm²或以下的有效面积；连接到所述色散补偿光纤的一个色散位移光纤，所述色散位移光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：+2ps/nm/km 或以上但是 +10ps/nm/km 或以下的色散；以及 +0.04ps/nm²/km 或以上但是 +0.12ps/nm²/km 或以下的色散斜率。

本发明还提供了一种色散补偿模块，包括一种色散补偿光纤，其状态是所述色散补偿光纤象线圈一样被缠绕以构成一个模块，其中：所述色散补偿光纤具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：所述纤芯区域具有第一折射率，并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域

外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率；一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率；以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有大于等于 0.8%但小于等于 2.0%的相对折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有 -0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有下述特征：大于等于 -100ps/nm/km 但小于等于 -40ps/nm/km 的色散；以及大于等于 0.005/nm 的色散斜率与色散的比值。

本发明还提供了一种色散补偿模块，包括一种色散补偿光纤，其状态是所述色散补偿光纤象线圈一样被缠绕以构成一个模块，其中：所述色散补偿光纤具有沿一个预定轴延伸的一个纤芯区域，以及围绕所述纤芯区域外边缘的一个包层区域，其中：所述纤芯区域具有第一折射率；并且所述包层区域具有：一个第一包层，围绕所述纤芯区域外边缘且具有小于第一折射率的第二折射率，一个第二包层，围绕所述第一包层的外边缘且具有大于第二折射率的第三折射率，以及一个第三包层，围绕所述第二包层的外边缘且具有小于第三折射率的第四折射率；所述纤芯区域相对于所述第三包层具有 2.0%或以上但是 3.0%或以下的相对折射率差；所述第一包层相对于所述第三包层具有 -0.4%或以下的相对折射率差；所述色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有以下特征：-250ps/nm/km 或以上但是 -120ps/nm/km 或以下的色散；0.005/nm 或以上的色散斜率与色散的比值；以及 $10\mu\text{m}^2$ 或以上但是 $20\mu\text{m}^2$ 或以下的有效面积。

附图说明

图 1 是一个视图，显示包括根据本发明的光传输线的一个光传输系统的示意结构；

图 2 是一个视图，显示一个光传输系统的示意结构，该光传输系

统中一个色散位移光纤被放置作为光传输线，一个色散补偿光纤被放置在一个站内作为色散补偿模块；

图 3A 和 3B 是视图，分别显示根据本发明的色散补偿光纤的剖面结构及其折射率分布；

图 4 是一个曲线图，显示根据第一至第三实施例的色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系；

图 5 是一个曲线图，显示根据第一至第三实施例的色散补偿光纤在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系；

图 6 是一个曲线图，显示根据第一至第三实施例的色散补偿光纤的色散与波长的关系；

图 7 是一个曲线图，显示每个组件总的来说的平均色散与波长的关系，在每个组件中根据第一至第三每个实施例的色散补偿光纤与一个色散位移光纤互相熔融接合；

图 8 是一个视图，显示根据本发明的色散补偿模块的示意结构；

图 9 是一个曲线图，显示根据第四实施例的色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系；

图 10 是一个曲线图，显示根据第四实施例的色散补偿光纤在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系；

图 11 是一个曲线图，显示根据第四实施例的色散补偿光纤的色散与波长的关系；

图 12 是一个曲线图，显示每个组件总的来说的平均色散与波长的关系，在每个组件中根据第四实施例的色散补偿光纤与一个色散位移光纤互相熔融接合；

图 13 是一个曲线图，显示根据第五至第七实施例的色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系；

图 14 是一个曲线图，显示根据第五至第七实施例的色散补偿光纤在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系；

图 15 是一个曲线图，显示根据第五至第七实施例的色散补偿光纤的色散与波长的关系；

图 16 是一个曲线图, 显示每个组件总的来说的平均色散与波长的关系, 在每个组件中根据第五至第七每个实施例的色散补偿光纤与一个色散位移光纤互相熔融接合;

图 17A 和 17B 是视图, 分别显示根据比较例子的色散补偿光纤的剖面结构及其折射率分布; 以及

图 18 是一个曲线图, 显示根据比较例子的色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系。

具体实施方式

以下, 将参考附图详细说明用于实现本发明的方式。在附图的说明中, 彼此相同的成分将用彼此相同的数字表示, 不重复其重叠的描述。

图 1 是一个视图, 显示包括根据本发明的光传输线 30 的一个光传输系统的示意结构。在该光传输系统 1 中, 光传输线 30 被放置在站(发送站或中继站)10 与站(接收站或中继站)20 之间的一个中继部分中。光传输线 30 由互相熔融接合的一个色散位移光纤 31 与一个色散补偿光纤 32 构成。在该光传输系统 1 中, 从站 10 发送的在一个 1.55- μm 波段中具有多个波长的信号接连通过色散位移光纤 31 和色散补偿光纤 32 到达站 20, 并且被站 20 接收或者被站 20 光学放大以被进一步发送到其下游。

色散位移光纤 31 是一个硅基光纤, 在波长 1550nm 处具有小的正色散。在色散位移光纤 31 中, 在波长 1550nm 处, 色散 D_{DSF} 为 +2ps/nm/km 至 +10ps/nm/km, 色散斜率 S_{DSF} 为 +0.04ps/nm²/km 至 +0.12ps/nm²/km, 并且传输损耗为大约 0.2dB/km。

根据本发明的色散补偿光纤 32 是一个硅基光纤, 补偿色散位移光纤 31 在波长 1550nm 处的色散及色散斜率。在色散补偿光纤 32 中, 在波长 1550nm 处, 其色散 D_{DCF} 为 -40ps/nm/km 或以下, 并且色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 为 0.005/nm 或以上。较好地, 在色散补偿光纤 32 中, 在波长 1550nm 处, 色散 D_{DCF} 为 -100ps/nm/km 至 -40ps/nm/km, 并且色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$)

为 $0.005/\text{nm}$ 至 $0.015/\text{nm}$ 。此外，色散补偿光纤 32 具有在波长 1550nm 处的 $16\mu\text{m}^2$ 或以上，较好地 $20\mu\text{m}^2$ 或以上的有效面积， $1.2\mu\text{m}$ 至 $1.8\mu\text{m}$ ，较好地 $1.4\mu\text{m}$ 至 $1.8\mu\text{m}$ 的截止波长，以及在波长 1550nm 处的 0.5dB/km 或以下的传输损耗。

此外，色散补偿光纤 32 在波长 1550nm 处可以具有 -250ps/nm/km 至 -120ps/nm/km 的色散 D_{DCF} ， $0.005/\text{nm}$ 或以上的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$)，以及在波长 1550nm 处的 $10\mu\text{m}^2$ 至 $20\mu\text{m}^2$ 的有效面积。此外，色散补偿光纤具有 $1.2\mu\text{m}$ 至 $1.8\mu\text{m}$ ，较好地 $1.4\mu\text{m}$ 至 $1.8\mu\text{m}$ 的截止波长，以及在波长 1550nm 处的 1.0dB/km 或以下的传输损耗。

由于色散 D_{DCF} 及色散斜率 S_{DCF} 位于上述其数字范围内，因此具有这些特性的色散补偿光纤 32 能够在包括波长 1550nm 的一个宽波段中以短长度补偿色散位移光纤 31 的色散及色散斜率。此外，由于色散补偿光纤 32 具有上述其数字范围内的色散以及足够的有效面积，因此它能够抑制四波混合的发生以及抑制通过其传播的信号的字形的退化。此外，在色散补偿光纤 32 中，由于截止波长位于上述其数字范围内，因此能够抑制弯曲损耗的增大，并且由于传输损耗也位于上述其数字范围内，因此即使当光传输线 30 构成一个光缆时也获得较低的损耗。

色散位移光纤 31 与色散补偿光纤 32 在其中以适当的长度比互相熔接的光传输线 30 在波长 1550nm 处，总的来说具有小绝对值的平均色散以及小绝对值的平均色散斜率。因此，光传输线 30 在包括波长 1550nm 的一个宽波段中具有，总的来说，较小绝对值的平均色散。此外，光传输线 30 具有总的来说小的平均传输损耗。整个光传输线 30 的平均色散的偏差在 1535nm 至 1560nm 的一个波段 (C 波段) 中较好地为 0.2ps/nm/km 或以下，在 1535nm 至 1600nm 的一个波段 (C 和 L 波段) 中更好地为 0.2ps/nm/km 或以下。在光传输系统 1 中，产生通过光传输线 30 传播的信号实现光学通信，光传输线 30 的平均传输损耗小，平均色散的绝对值小，并且在包括波长 1550nm 的一个宽波段 (至少包括 C 波段并且进一步包括 L 波段) 中具有高比特率的光

传输是可能的。因此，光传输系统 1 能够延长中继部分并且在光学通信中获得进一步更高的速度及更大的容量。

图 2 是一个视图，显示一个光传输系统 2 的示意结构，该光传输系统 2 中一个色散位移光纤 31 被放置作为一个光传输线，并且一个色散补偿光纤 32 被放置在站 20 内作为一个色散补偿模块。在该光传输系统 2 中，色散位移光纤 31 被放置在站（发送站或中继站）10 与站（接收站或中继站）20 之间的一个中继部分中。在该光传输系统 2 中，从站 10 发送的在一个 $1.55\text{-}\mu\text{m}$ 波段中具有多个波长的信号通过作为光传输线的色散位移光纤 31 到达站 20。在站 20 中，信号被光学放大器 21 光学放大，其色散通过色散补偿光纤 32 被补偿，并且信号通过光学放大器 22 被光学放大并且然后被接收或者被进一步发送到其下游。

在图 2 的光传输系统 2 中用作光传输线的色散位移光纤 31 与在图 1 的光传输系统 1 中用作光传输线的一部分的色散位移光纤 31 具有类似的特性。此外，在图 2 的光传输系统 2 中用作色散补偿模块的色散补偿光纤 32 与在图 1 的光传输系统 1 中用作光传输线的一部分的色散补偿模块 32 具有类似的特性。但是，在图 2 所示的光传输系统 2 中，色散补偿光纤 32 位于站 20 内，象围绕线轴的线圈一样被缠绕以构成一个模块。

由于色散 D_{DCF} 及色散斜率 S_{DCF} 位于上述其数字范围内，因此具有上述特性的色散补偿光纤 32 能够在包括波长 1550nm 的一个宽波段中以短长度补偿色散位移光纤 31 的色散及色散斜率。此外，由于色散补偿光纤 32 具有上述其数字范围内的色散以及足够的有效面积，因此它能够抑制四波混合的发生以及抑制通过其传播的信号波形的退化。此外，由于截止波长位于上述其数字范围内，因此色散补偿光纤 32 能够抑制弯曲损耗的增大，并且由于传输损耗也位于上述其数字范围内，因此即使当构成一个模块时也获得较低的损耗。

作为一个光传输线的色散位移光纤 31 与作为一个色散补偿模块的色散补偿光纤 32 的整体当它们具有其各自适当的长度时，在波长 1550nm 处具有，总的来说，小绝对值的平均色散以及小绝对值的平均

色散斜率。因此，色散位移光纤 31 与色散补偿光纤 32 的整体在包括波长 1550nm 的一个宽波段中具有较小绝对值的平均色散，以及小的平均传输损耗。其总平均色散的偏差在 1535nm 至 1560nm 的波段（C 波段）中较好地为 0.2ps/nm/km 或以下，在 1535nm 至 1600nm 的波段（C 和 L 波段）中更好地为 0.2ps/nm/km 或以下。

另一方面，作为一个色散补偿模块的色散补偿光纤 32 当在波长 1550nm 处产生 -640ps/nm 的色散补偿量时，较好地在 1535nm 至 1565nm 的波段（C 波段）中具有 7dB 或以下的总损耗，更好地在 1535nm 至 1610nm 的波段（C 和 L 波段）中具有 7dB 或以下的总损耗。此外，作为一个色散补偿模块的色散补偿光纤 32 当在波长 1550nm 处产生 -320ps/nm 的色散补偿量时，较好地在 1535nm 至 1565nm 的波段（C 波段）中具有 3dB 或以下的总损耗，更好地在 1535nm 至 1610nm 的波段（C 和 L 波段）中具有 3dB 或以下的总损耗。

在光传输系统 2 中，平均传输损耗小，平均色散的绝对值小，并且在包括波长 1550nm 的一个宽波段（至少包括 C 波段并且进一步包括 L 波段）中具有高比特率的光传输是可能的。因此，光传输系统 2 能够延长中继部分并且在光学通信中获得进一步更高的速度及更大的容量。

图 3A 和 3B 是视图，分别显示根据本发明的色散补偿光纤的剖面结构及其折射率分布。

图 3A 所示的光纤 100 对应色散补偿光纤 32，并且包括沿预定轴延伸的一个纤芯区域 110，以及用于围绕纤芯区域 110 外边缘的一个包层区域 120。纤芯区域 110 具有折射率 n_1 以及外径 $2a$ 。此外，包层区域 120 包括第一包层 121，具有第二折射率 n_2 ($<n_1$) 以及外径 $2b$ ，第二包层 122，用于围绕第一包层 121 的外边缘，具有第三折射率 n_3 ($>n_2$, $<n_1$) 以及外径 $2c$ ，以及第三包层 123，用于围绕第二包层 122 的外边缘，具有第四折射率 n_4 ($<n_3$, $>n_2$)。

图 3B 所示的折射率分布 150 表示图 3A 中线 L1 上各个部分处的各个折射率，使得折射率分布 150 中的区域 151、152、153 和 154 分

别表示纤芯区域 110、第一包层 121、第二包层 122 和第三包层 123 中线 L1 上的各个部分的折射率。

在图 3A 和 3B 的色散补偿光纤 100 中，关于用作一个参考区域的第三包层 123，纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 、第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 、以及第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 由以下各个表达式给出：

$$\Delta n_1 = (n_1 - n_4) / n_4$$

$$\Delta n_2 = (n_2 - n_4) / n_4$$

$$\Delta n_3 = (n_3 - n_4) / n_4$$

其中 n_1 为纤芯区域 110 的折射率， n_2 为第一包层 121 的折射率， n_3 为第二包层 122 的折射率，以及 n_4 为用作参考区域的第三包层 123 的折射率。在本说明书中，每个部分的相对折射率差用百分比表示，并且上述表达式中的各个参数可以按固定顺序放置。因此，折射率小于第三包层 123（参考区域）的一个玻璃区域的相对折射率差用负值表示。

这里，在色散补偿光纤 100 中，关于第三包层 123 的折射率 n_4 ，纤芯区域 110 具有 0.8% 至 2.0%，更好地 0.8% 至 1.5% 的相对折射率差 Δn_1 ，第一包层 121 具有 -0.4% 或以下的相对折射率差 Δn_2 。

由于色散补偿光纤 100 具有这样的折射率分布，因此其色散 D_{DCF} 、比值 (S_{DCF}/D_{DCF})、有效面积、截止波长以及传输损耗位于上述各个数字范围内。对于具有这样的折射率分布的色散补偿光纤 100，较好地使用硅玻璃作基，其纤芯区域 110 掺杂 GeO_2 ，其第一包层 121 掺杂 F 元素，以及其第二包层 122 掺杂 GeO_2 。因此，可以实现图 3B 所示的折射率分布，并且可以减小色散补偿光纤 100 在波长 1550nm 处的传输损耗。

接着，现在将说明根据本发明的色散补偿光纤 32 的实施例。将在以下说明的分别根据第一至第七实施例的每个色散补偿光纤 DCF1-DCF7，具有图 3A 的剖面结构及图 3B 的折射率分布 150。

第一实施例

在根据第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 1.2%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.20%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值($2a/2c$)为 0.30, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值($2b/2c$)为 0.60。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $17.7\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 显示 -62.4ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-0.44\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $24.4\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 10dB/m 的弯曲损耗, 以及 0.30dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1224nm, 并且波长 1550nm 处的比值($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$)为 0.0071/nm。

第二实施例

在根据第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 1.3%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.23%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值($2a/2c$)为 0.27, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值($2b/2c$)为 0.55。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.0\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 显示 -80.4ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-0.59\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $23.9\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 4dB/m 的弯曲损耗, 0.33dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1576nm, 并且波长 1550nm 处的比值($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$)为 0.0073/nm。

第三实施例

在根据第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 1.7%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.25%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值($2a/2c$)为 0.23, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值($2b/2c$)为 0.53。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $18.7\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 显示 -83.7ps/nm/km 的色散 D_{DCF} ,

-0.66ps/nm²/km 的色散斜率 S_{DCF} , 17.2 μm^2 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 0.2dB/m 的弯曲损耗, 0.39dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1696nm, 并且波长 1550nm 处的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 为 0.0079/nm。

图 4 是一个曲线图, 显示第一至第三实施例的每个色散补偿光纤中在波长 1550nm 处色散与色散斜率之间的关系。在图 4 中, G110 表示第一实施例的曲线, G210 表示第二实施例的曲线, 以及 G310 表示第三实施例的曲线。这里显示的是当第二包层 122 的外径 2c 变化时, 这些实施例的每个色散补偿光纤中色散 D_{DCF} 与色散斜率 S_{DCF} 之间的关系。从图 4 的曲线图可见, 如果色散 D_{DCF} 近似在 -60ps/nm/km 至 -10ps/nm/km 的范围内, 即使当第二包层 122 的外径 2c 变化时, 每个色散补偿光纤 DCF1 至 DCF3 中的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 的变化也较小。在第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 中, 当第二包层 122 的外径 2c 变化 2% 时, 比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 变化 2.5% 或以下, 并且此外比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -68ps/nm/km 至 -17ps/nm/km。在第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 中, 当第二包层 122 的外径 2c 变化 2% 时, 比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 变化 9.0% 或以下, 并且此外比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -81ps/nm/km 至 -30ps/nm/km。在第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 中, 当第二包层 122 的外径 2c 变化 2% 时, 比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 变化 4.0% 或以下, 并且此外比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -115ps/nm/km 至 -62ps/nm/km。如果当第二包层 122 的外径 2c 同样地变化 2% 时, 比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 的变化为 10% 或以下, 则可以容易地制造具有所需色散特性的色散补偿光纤。

图 5 是一个曲线图, 显示第一至第三实施例的每个色散补偿光纤中在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系。在图 5 中, G120 表示第一实施例的曲线, G220 表示第二实施例的曲线, 以及 G320 表示第三实施例的曲线。第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 中第二包层 122 的外径 2c 为 17.7 μm , 第二实施例的色散补偿光纤

DCF2 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.0\mu\text{m}$, 以及第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $18.7\mu\text{m}$ 。从图 5 的曲线图可见, 每个色散补偿光纤 DCF1 至 DCF3 在波长为 1610nm 或更短的范围具有低的弯曲损耗。

因此, 每个色散补偿光纤 DCF1 至 DCF3 不仅适合用作构成图 1 所示的光传输系统 1 中光传输线 30 的一部分的色散补偿光纤 32, 而且适合用作构成图 2 所示的光传输系统 2 中色散补偿模块的色散补偿光纤 32, 由此不仅在 C 波段中而且在 L 波段中能够以低损耗补偿色散。

图 6 是一个曲线图, 显示第一至第三实施例的每个色散补偿光纤中的色散与波长的关系。在图 6 中, G130 表示第一实施例的曲线, G230 表示第二实施例的曲线, G330 表示第三实施例的曲线, 以及 G1000 表示上述文献 1 中公开的一个非零色散位移光纤 NZDSF 的曲线。这里, 同样, 第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $17.7\mu\text{m}$, 第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.0\mu\text{m}$, 以及第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $18.7\mu\text{m}$ 。

图 7 是一个曲线图, 显示通过第一至第三实施例的每个色散补偿光纤与色散位移光纤互相连接而成的每个组件中总的来说平均色散与波长的关系。在图 7 中, G140 表示其中第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 与图 6 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件的曲线, G240 表示其中第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 与图 6 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件的曲线, 以及 G340 表示第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 与图 6 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件的曲线。为了补偿具有图 6 所示色散特性以及 80km 长度的色散位移光纤 NZDSF 在波长 1550nm 处的色散, 第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 需要长度 10.3km , 第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 需要长度 8.0km , 以及第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 需要长度 7.5km 。

在其中第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中, 在 1535nm 至 1600nm 的一个波段 (C 和 L 波段)

中总平均色散具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。在其中第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中，在 1535nm 至 1560nm 的一个波段（C 波段）中平均色散总的来说具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。此外，在其中第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中，在 1535nm 至 1560nm 的一个波段（C 波段）中平均色散总的来说具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。因此，它们能够以 40Gb/s 的比特率在 400km 的距离上光传输。

图 8 是一个视图，显示包括根据本发明的色散补偿光纤的一个色散补偿模块的示意结构。色散补偿光纤 100（对应色散补偿光纤 32）被容纳在具有输出及输出连接器 310 的箱 300 中。光纤 100 的两端分别熔接到尾光纤 320，以减小连接损耗。当长度 10.3km 的第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm ，以及总损耗为 4.1dB （波长 1550nm 处）。当长度 8.0km 的第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm ，以及总损耗为 4.4dB （波长 1550nm 处）。此外，当长度 7.5km 的第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm ，以及总损耗为 4.1dB （波长 1550nm 处）。

此外，当第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm ，总损耗为 2.3dB （波长 1550nm 处）。当第二实施例的色散补偿光纤 DCF2 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm ，总损耗为 2.5dB （波长 1550nm 处）。此外，当第三实施例的色散补偿光纤 DCF3 以 140mm 的弯曲直径缠绕以构成一个色散补偿模块时，而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm ，总损耗为 2.7dB （波长 1550nm 处）。

因此，每个色散补偿光纤 DCF1 至 DCF3 可以在包括波长 1550nm

的一个宽波段中以短长度以低损耗补偿色散位移光纤的色散及色散斜率。

第四实施例

在根据第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 1.6%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.24%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2a/2c$) 为 0.23, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2b/2c$) 为 0.55。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.2\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 显示 -85.1ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-0.83\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $18.1\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 0.9dB/m 的弯曲损耗, 0.38dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1638nm , 并且波长 1550nm 处的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 为 $0.0098/\text{nm}$ 。

图 9 是一个曲线图, 显示第四实施例的色散补偿光纤中在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系。在图 9 中, G410 表示第四实施例的曲线。这里显示的是当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化时, 该实施例的色散补偿光纤中色散 D_{DCF} 与色散斜率 S_{DCF} 之间的关系。从图 9 的曲线图可见, 如果色散 D_{DCF} 近似在 -102ps/nm/km 至 -71ps/nm/km 的范围内, 即使当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化时, 色散补偿光纤 DCF4 中的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 的变化也保持为 10% 或以下。在第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 中, 当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 变化 5.8% 或以下。如果当第二包层 122 的外径 $2c$ 同样地变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 的变化为 10% 或以下, 则可以容易地制造具有所需色散特性的色散补偿光纤。

图 10 是一个曲线图, 显示第四实施例的色散补偿光纤中在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系。在图 10 中, G420 表示第四实施例的曲线。第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $17.2\mu\text{m}$ 。从图 10 的曲线图可见, 色散补偿光纤 DCF4 在波长为 1610nm 或更短的范围中具有低的弯曲损耗。

因此，色散补偿光纤 DCF4 不仅适合用作构成图 1 所示的光传输系统 1 中光传输线 30 的一部分的色散补偿光纤 32，而且适合用作构成图 2 所示的光传输系统 2 中色散补偿模块的色散补偿光纤 32，由此不仅 C 波段中而且 L 波段中能够以低损耗补偿色散。

图 11 是一个曲线图，显示第四实施例的色散补偿光纤中的色散与波长的关系。在图 11 中，G430 表示第四实施例的曲线，以及 G1000 表示上述文献 1 中公开的一个非零色散位移光纤 NZDSF 的曲线，具有 4ps/nm/km 或以下的色散以及 $0.046\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 或以下的色散斜率。这里，同样，第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 中的第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.2\mu\text{m}$ 。

图 12 是一个曲线图，显示通过第四实施例的色散补偿光纤与色散位移光纤互相连接而成的组件中总的来说平均色散与波长的关系。在图 12 中，G440 表示其中第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 与图 11 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件的曲线。为了补偿具有图 11 所示色散特性以及 80km 长度的色散位移光纤 NZDSF 在波长 1550nm 处的色散，第一实施例的色散补偿光纤 DCF1 需要长度 10.3km ，第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 需要长度 4.4km 。

在其中第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中，在 1535nm 至 1600nm 的一个波段（C 和 L 波段）中总平均色散具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。因此，它们能够以 40Gb/s 的比特率在 400km 的中继器距离上光传输。

当长度 4.4km 的第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时，波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm ，以及总损耗为 3.9dB （波长 1550nm 处）。此外，当第四实施例的色散补偿光纤 DCF4 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时，而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm ，总损耗为 2.5dB （波长 1550nm 处）。

因此，色散补偿光纤 DCF4 可以在包括波长 1550nm 的一个宽波段中以短长度以低损耗补偿色散位移光纤 NZDSF 的色散及色散斜率。

第五实施例

在根据第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 2.1%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.20%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2a/2c$) 为 0.18, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2b/2c$) 为 0.49。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.4\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 显示 -160.7ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-1.63\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $15.7\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 1.8dB/m 的弯曲损耗, 0.49dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1566nm, 并且波长 1550nm 处的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 为 $0.0101/\text{nm}$ 。

第六实施例

在根据第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 2.4%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.40%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2a/2c$) 为 0.20, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2b/2c$) 为 0.65。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $16.0\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 显示 -181.6ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-1.87\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $13.8\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 0.5dB/m 的弯曲损耗, 0.61dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1660nm, 并且波长 1550nm 处的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 为 $0.0103/\text{nm}$ 。

第七实施例

在根据第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 中, 关于第三包层 123, 纤芯区域 110 的相对折射率差 Δn_1 为 2.7%, 第一包层 121 的相对折射率差 Δn_2 为-0.50%, 第二包层 122 的相对折射率差 Δn_3 为 0.40%, 纤芯区域 110 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2a/2c$) 为 0.19, 以及第一包层 121 与第二包层 122 的各个外径的比值 ($2b/2c$) 为 0.67。当第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $15.2\mu\text{m}$ 时, 在波长 1550nm 处, 第七实施例

的色散补偿光纤 DCF7 显示 -215.8ps/nm/km 的色散 D_{DCF} , $-2.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 的色散斜率 S_{DCF} , $13.1\mu\text{m}^2$ 的有效面积, 弯曲直径 20mm 处 1.3dB/m 的弯曲损耗, 0.75dB/km 的传输损耗。此外, 其截止波长为 1514nm , 并且波长 1550nm 处的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 为 $0.0097/\text{nm}$ 。

图 13 是一个曲线图, 显示第五至第七实施例的每个色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系。在图 13 中, G510 表示第五实施例的曲线, G610 表示第六实施例的曲线, 以及 G710 表示第七实施例的曲线。这里显示的是当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化时, 这些实施例的每个色散补偿光纤中色散 D_{DCF} 与色散斜率 S_{DCF} 之间的关系。从图 13 的曲线图可见, 如果色散 D_{DCF} 近似在 -200ps/nm/km 至 -120ps/nm/km 的范围内, 即使当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化时, 每个色散补偿光纤 DCF5 至 DCF7 中色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 的变化也小。在第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 中, 当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 变化 7.7% 或以下, 并且此外比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -192ps/nm/km 至 -135ps/nm/km 。在第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 中, 当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 变化 4.6% 或以下, 并且此外比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -226ps/nm/km 至 -146ps/nm/km 。在第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 中, 当第二包层 122 的外径 $2c$ 变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 变化 4.9% 或以下, 并且此外比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 被保持在 10% 或以下处的色散 D_{DCF} 的范围为 -173ps/nm/km 至 -269ps/nm/km 。如果当第二包层 122 的外径 $2c$ 同样地变化 2% 时, 比值 ($S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}}$) 的变化为 10% 或以下, 则可以容易地制造具有所需色散特性的色散补偿光纤。

图 14 是一个曲线图, 显示第五至第七实施例的每个色散补偿光纤中在 140mm 的弯曲直径处的弯曲损耗与波长的关系。在图 14 中, G520 表示第五实施例的曲线, G620 表示第六实施例的曲线, 以及 G720 表示第七实施例的曲线。第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 中第二包层

122 的外径 $2c$ 为 $19.4\mu\text{m}$, 第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $16.0\mu\text{m}$, 以及第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $15.2\mu\text{m}$ 。从图 14 的曲线图可见, 每个色散补偿光纤 DCF5 至 DCF7 在波长为 1610nm 或更短的范围具有低的弯曲损耗。

因此, 每个色散补偿光纤 DCF5 至 DCF7 不仅适合用作构成图 1 所示的光传输系统 1 中光传输线 30 的一部分的色散补偿光纤 32, 而且适合用作构成图 2 所示的光传输系统 2 中色散补偿模块的色散补偿光纤 32, 由此不仅 C 波段中而且 L 波段中能够以低损耗补偿色散。

图 15 是一个曲线图, 显示第五至第七实施例的每个色散补偿光纤中的色散与波长的关系。在图 15 中, G530 表示第五实施例的曲线, G630 表示第六实施例的曲线, 以及 G730 表示第七实施例的曲线。这里, 同样, 第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $19.4\mu\text{m}$, 第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $16.0\mu\text{m}$, 以及第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 中第二包层 122 的外径 $2c$ 为 $15.2\mu\text{m}$ 。

图 16 是一个曲线图, 显示通过第五至第七实施例的每个色散补偿光纤与上述文献 2 中公开的并且具有 $4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 或以下的色散以及 $0.046\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 或以下的色散斜率的一个非零色散位移光纤互相连接而成的每个组件中总的来说平均色散与波长的关系。在图 16 中, G540 表示其中第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 与文献 2 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接而成的组件的曲线, G640 表示其中第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 与文献 2 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接而成的组件的曲线, 以及 G740 表示其中第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 与文献 2 的色散位移光纤 NZDSF 互相连接而成的组件的曲线。为了补偿长度 80km 的色散位移光纤 NZDSF 在波长 1550nm 处的色散, 第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 需要长度 2.2km , 第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 需要长度 1.9km , 以及第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 需要长度 1.7km 。

在其中第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中, 在 1535nm 至 1560nm 的一个波段 (C 波段) 中总平均色散具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。在其中第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中, 在 1535nm 至 1600nm 的一个波段 (C 和 L 波段) 中平均色散总的来说具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。此外, 在其中第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 与色散位移光纤 NZDSF 互相连接的组件中, 在 1535nm 至 1600nm 的一个波段 (C 和 L 波段) 中平均色散总的来说具有 0.2ps/nm/km 或以下的偏差。因此, 它们能够以 40Gb/s 的比特率在 400km 的中继器距离上光传输。

如图 8 所示, 当长度 2.2km 的第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm, 以及总损耗为 3.0dB (波长 1550nm 处)。当长度 1.9km 的第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm, 以及总损耗为 2.7dB (波长 1550nm 处)。此外, 当长度 1.7km 的第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 波长 1550nm 处的色散补偿量为 -640ps/nm, 以及总损耗为 2.5dB (波长 1550nm 处)。

此外, 当第五实施例的色散补偿光纤 DCF5 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm, 总损耗为 2.0dB (波长 1550nm 处)。当第六实施例的色散补偿光纤 DCF6 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm, 总损耗为 1.9dB (波长 1550nm 处)。此外, 当第七实施例的色散补偿光纤 DCF7 以 140mm 的弯曲直径被缠绕以构成一个色散补偿模块时, 而波长 1550nm 处的色散补偿量为 -320ps/nm, 总损耗为 1.7dB (波长 1550nm 处)。

因此, 每个色散补偿光纤 DCF5 至 DCF7 可以在包括波长 1550nm

的一个宽波段中以短长度以低损耗补偿色散位移光纤 NZDSF 的色散及色散斜率。

比较例

为了比较每个上述第一至第七实施例的色散补偿光纤，现在将说明一个比较例子的色散补偿光纤。图 17A 和 17B 是视图，分别显示根据比较例子的色散补偿光纤的剖面结构及其折射率分布。该比较例子 200 包括沿预定轴延伸的一个纤芯区域 210，以及用于围绕纤芯区域 210 外边缘的一个包层区域 220。纤芯区域 210 具有折射率 n_1 以及外径 $2a$ 。此外，包层区域 220 包括一个第一包层 221，具有第二折射率 n_2 ($<n_1$) 以及外径 $2b$ 。以及第二包层 222，用于围绕第一包层 221 的外边缘，具有第三折射率 n_3 ($>n_2$, $<n_1$)。

图 17B 所示的折射率分布 250 表示图 17A 中线 L2 上各个部分处的各个折射率，使得折射率分布 250 中的区域 251、252 和 253 分别表示纤芯区域 210、第一包层 221 和第二包层 222 中线 L2 上的各个部分的折射率。

在图 17A 和 17B 的比较例子 200 中，关于用作一个参考区域的第二包层 222，纤芯区域 210 的相对折射率差 Δn_1 以及第一包层 221 的相对折射率差 Δn_2 由以下各个表达式给出：

$$\Delta n_1 = (n_1 - n_3) / n_3$$

$$\Delta n_2 = (n_2 - n_3) / n_3$$

其中 n_1 为纤芯区域 210 的折射率， n_2 为第一包层 221 的折射率，以及 n_3 为用作参考区域的第二包层 222 的折射率。在本说明书中，每个部分的相对折射率差用百分比表示，并且上述表达式中的各个参数可以按固定顺序放置。因此，折射率小于第二包层 222（参考区域）的一个玻璃区域的相对折射率差用负值表示。

这里，在比较例子 200 中，关于第二包层 222 的折射率 n_3 ，纤芯区域 210 具有 1.2% 的相对折射率差 Δn_1 ，第一包层 221 具有 -0.36% 的相对折射率差 Δn_2 。此外，纤芯区域 210 的外径 $2a$ 与第一包层 221 的外径 $2b$ 的比值 Ra ($=2a/2b$) 为 0.50。

图 18 是一个曲线图，显示比较例子的色散补偿光纤在波长 1550nm 处的色散与色散斜率之间的关系。这里显示的是当第一包层 221 的外径 2b 变化时，比较例子中色散 D_{DCF} 与色散斜率 S_{DCF} 之间的关系。在色散为 -40ps/nm/km 或以下的范围中，该比较例子具有不利的弯曲特性以致无法使用。如果第二包层 222 的外径 2c 变化很大，则色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 将变化很大。例如，当第一包层 221 的外径 2b 为 10.0 μ m 时，则色散 D_{DCF} 为 -28ps/nm/km (对应图 18 中点 A 的条件)，由此色散斜率 S_{DCF} 为 -0.081ps/nm²/km。此外，当第一包层 221 的外径 2b 为 9.8 μ m 时，则色散 D_{DCF} 为 -22ps/nm/km (对应图 18 中点 B 的条件)，由此色散斜率 S_{DCF} 为 -0.056ps/nm²/km。如果外径 2b 从该值变化 2%，则比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 将变化达到 17%。因此，难以制造具有所需色散特性的色散补偿光纤。

与比较例子的色散补偿光纤比较，根据实施例的色散补偿光纤(包括第一至第七实施例的色散补偿光纤)具有极好的弯曲特性并且可以用于上述色散为 -40ps/nm/km 或以下的范围内。此外，如果色散 D_{DCF} 在一个预定范围内，即使当第二包层的外径 2c 变化时，根据本发明的色散补偿光纤中色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF}) 的变化也小。因此，容易制造具有所需色散特性的根据本发明的色散补偿光纤。

工业应用性

如前所详细说明，根据本发明的色散补偿光纤在波长 1550nm 处具有显示 -40ps/nm/km 或以下 (较好地 -100ps/nm/km 至 -40ps/nm/km 或 -250ps/nm/km 至 -120ps/nm/km) 的色散 D_{DCF} ，0.005/nm 或以上 (较好地 0.005/nm 至 0.015/nm) 的色散斜率 S_{DCF} 与色散 D_{DCF} 的比值 (S_{DCF}/D_{DCF})。由于根据本发明的色散补偿光纤具有这样的特性，因此它可以在包括波长 1550nm 的一个宽波段中以短长度补偿色散位移光纤的色散及色散斜率。

图1

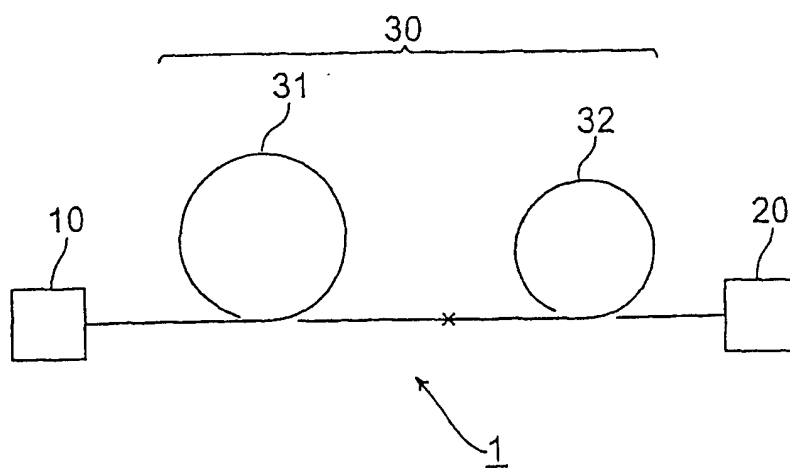


图2

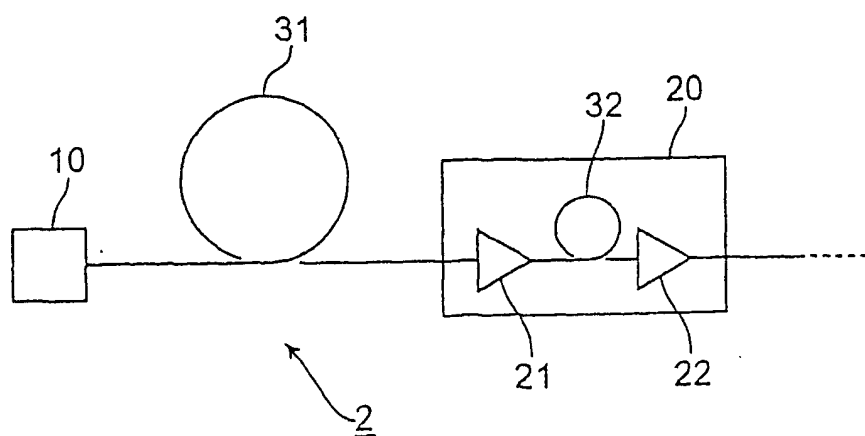


图3A

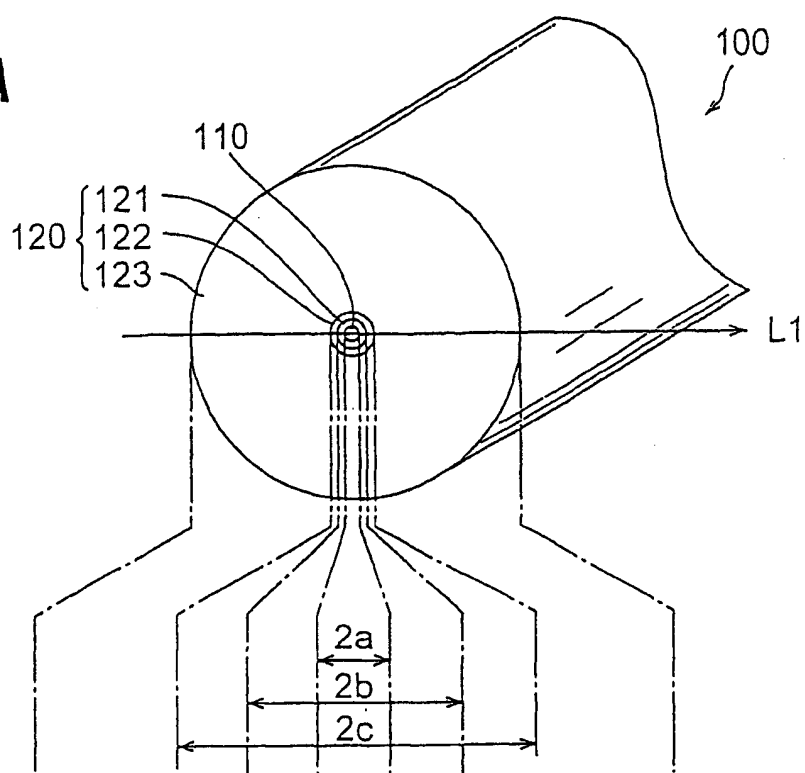
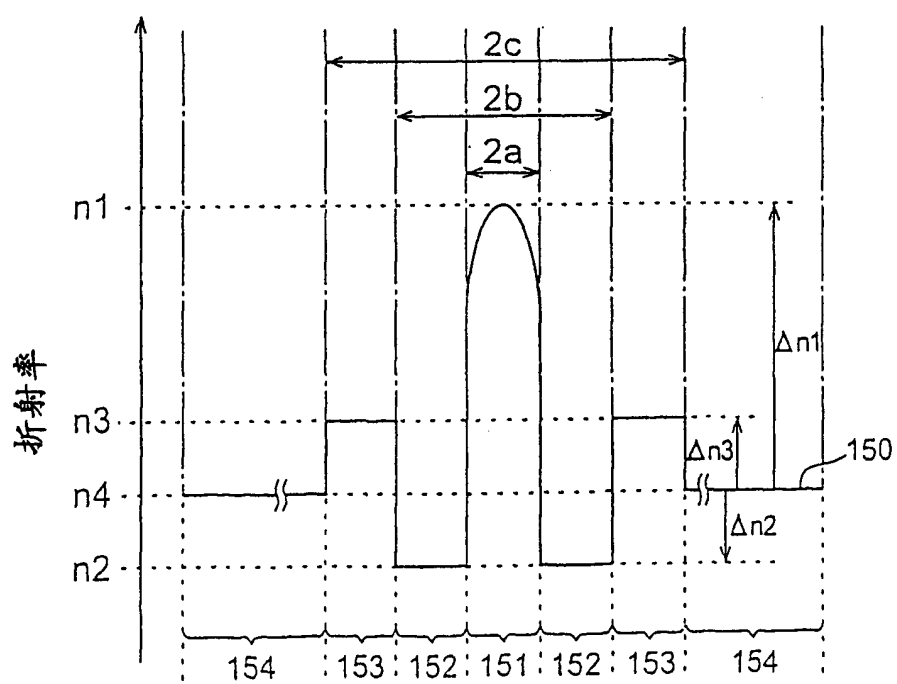


图3B



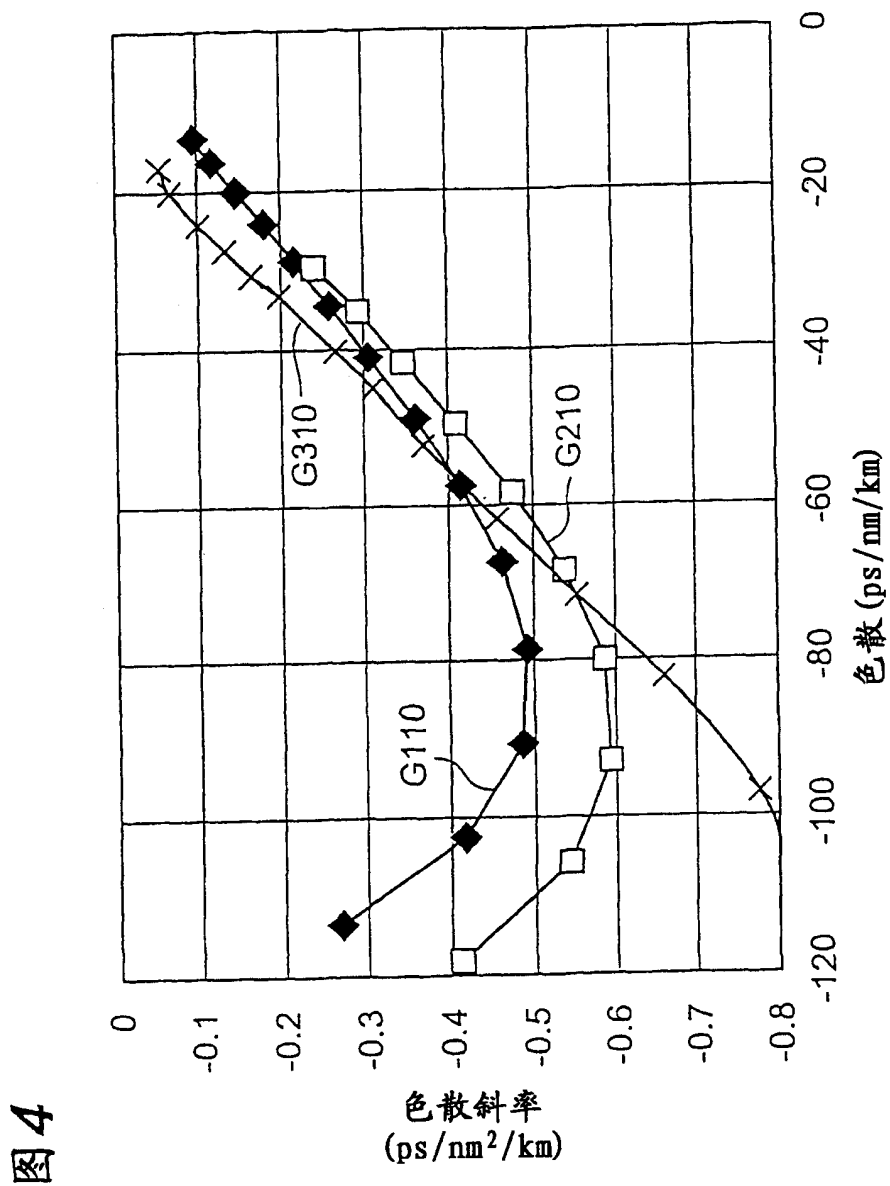
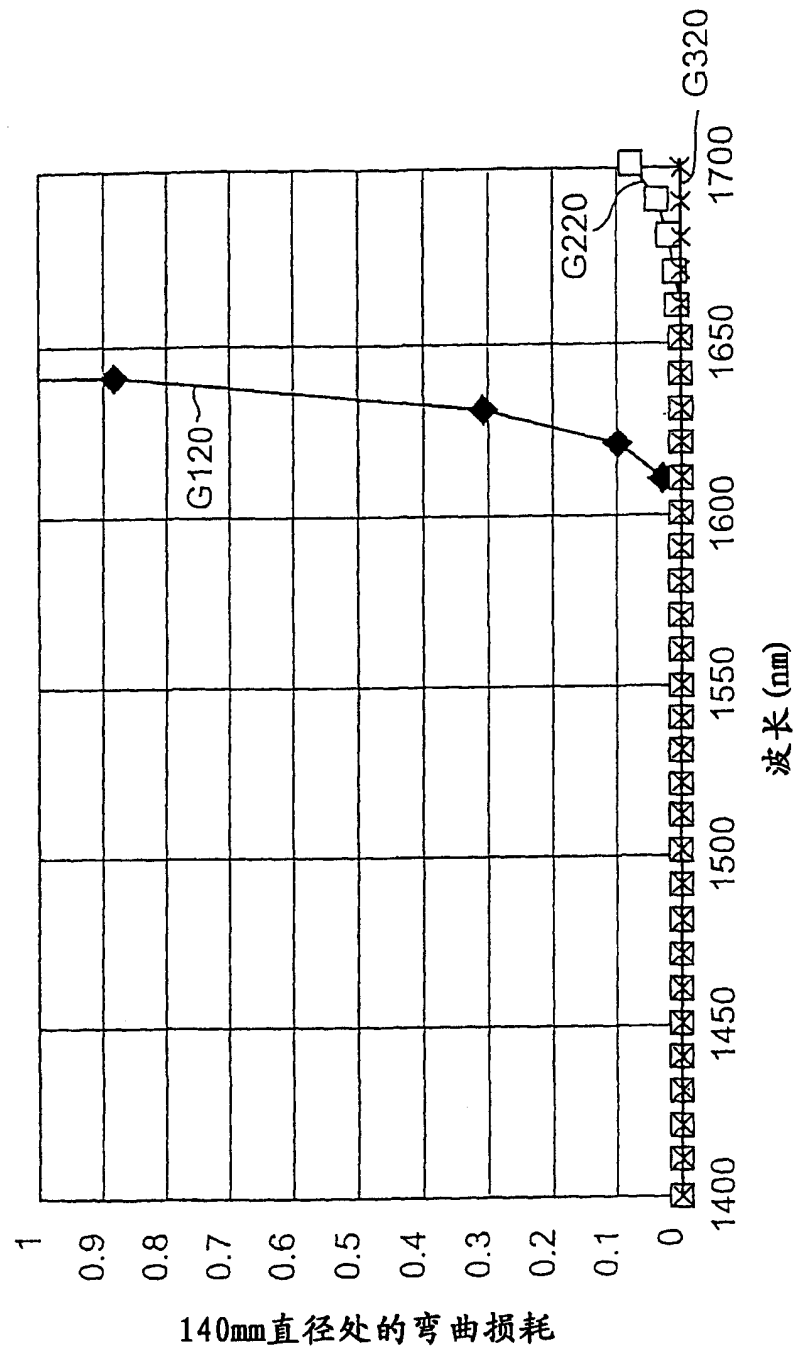


图5



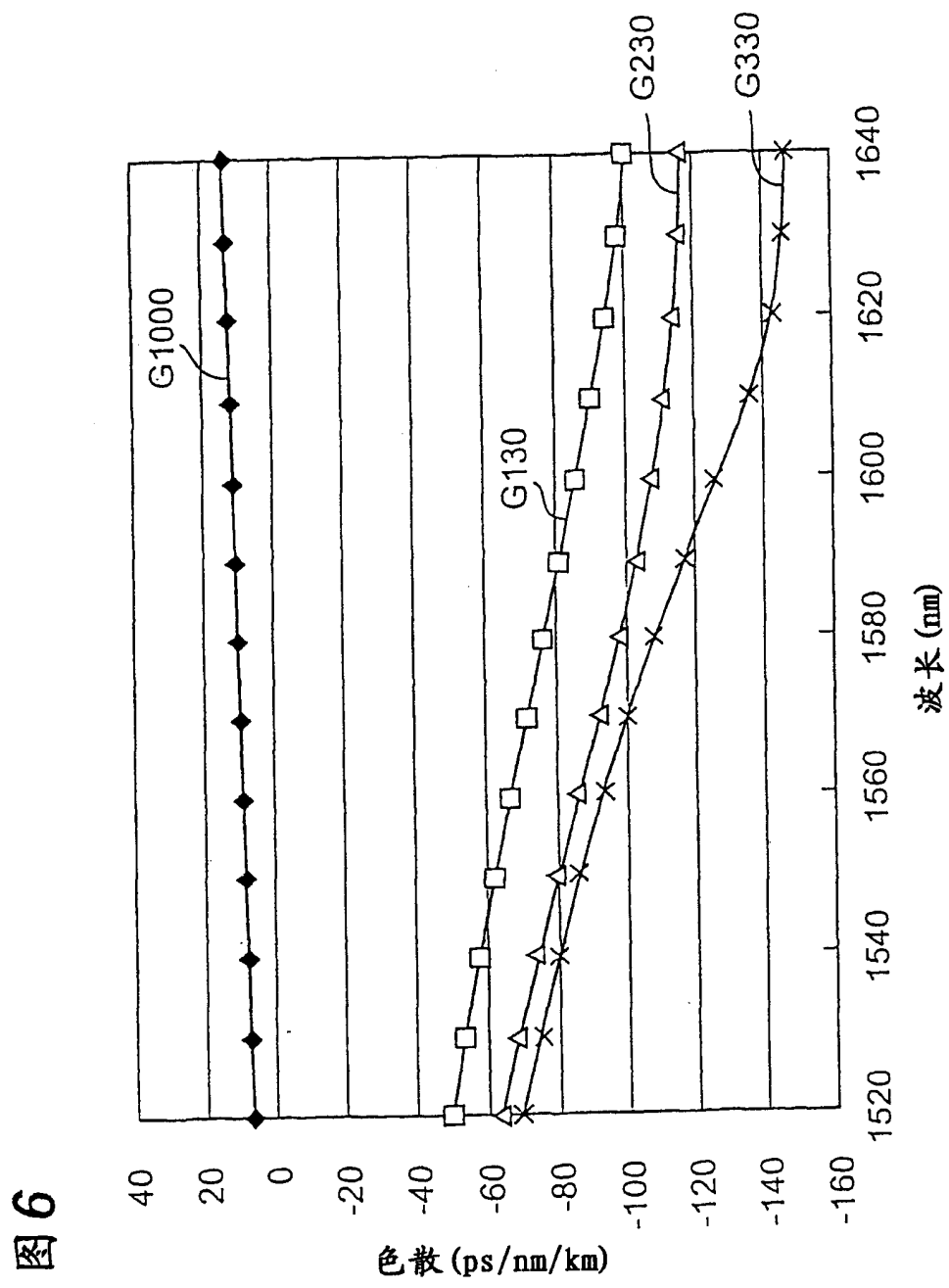


图7

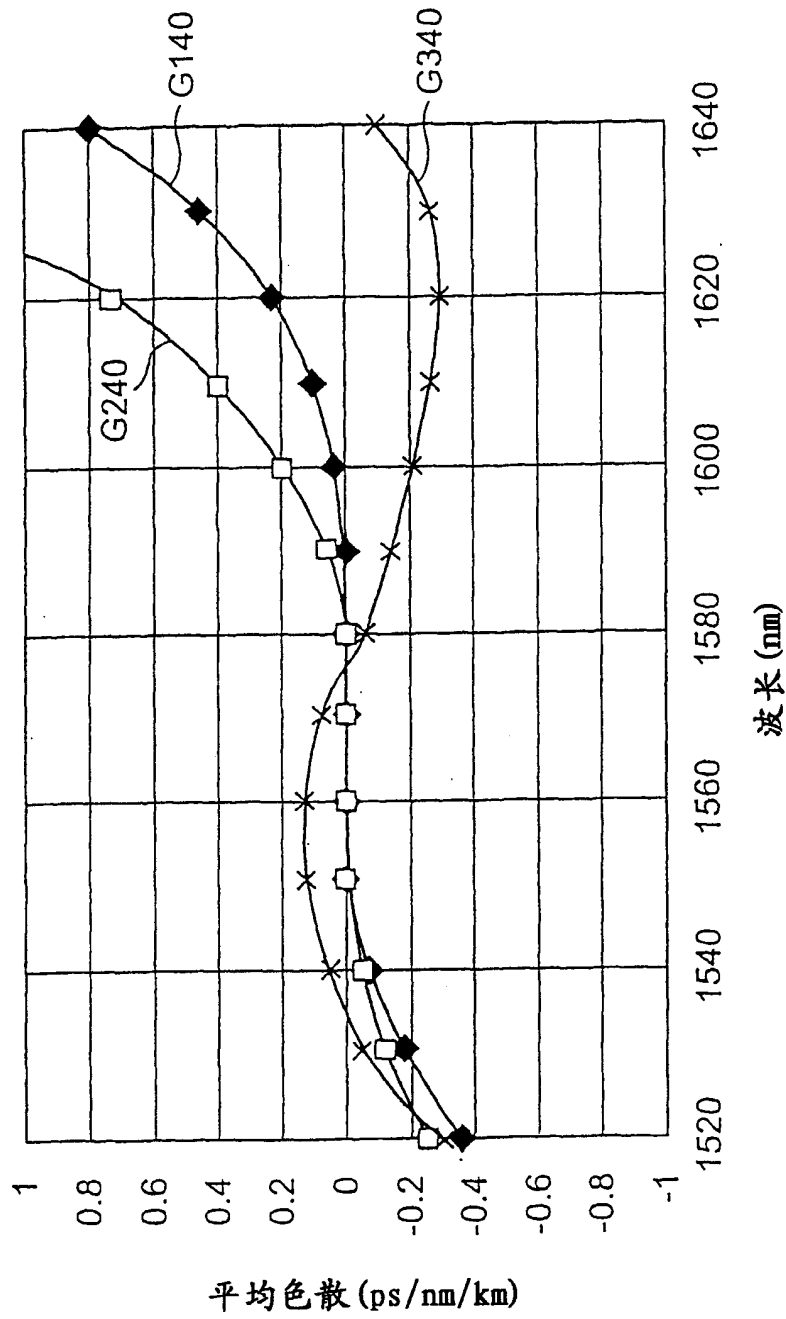


图 8

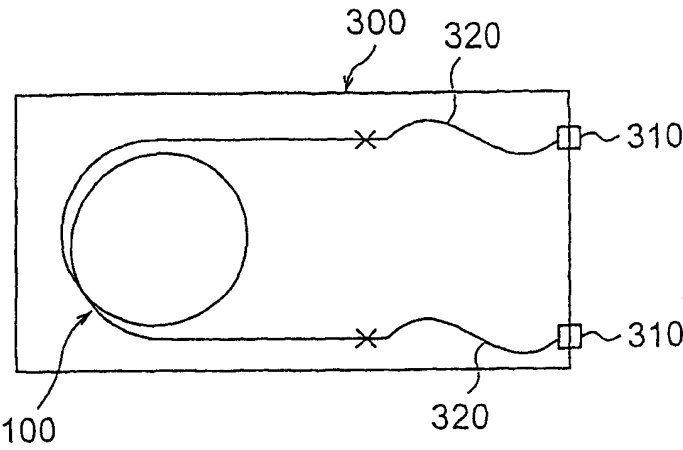


图9

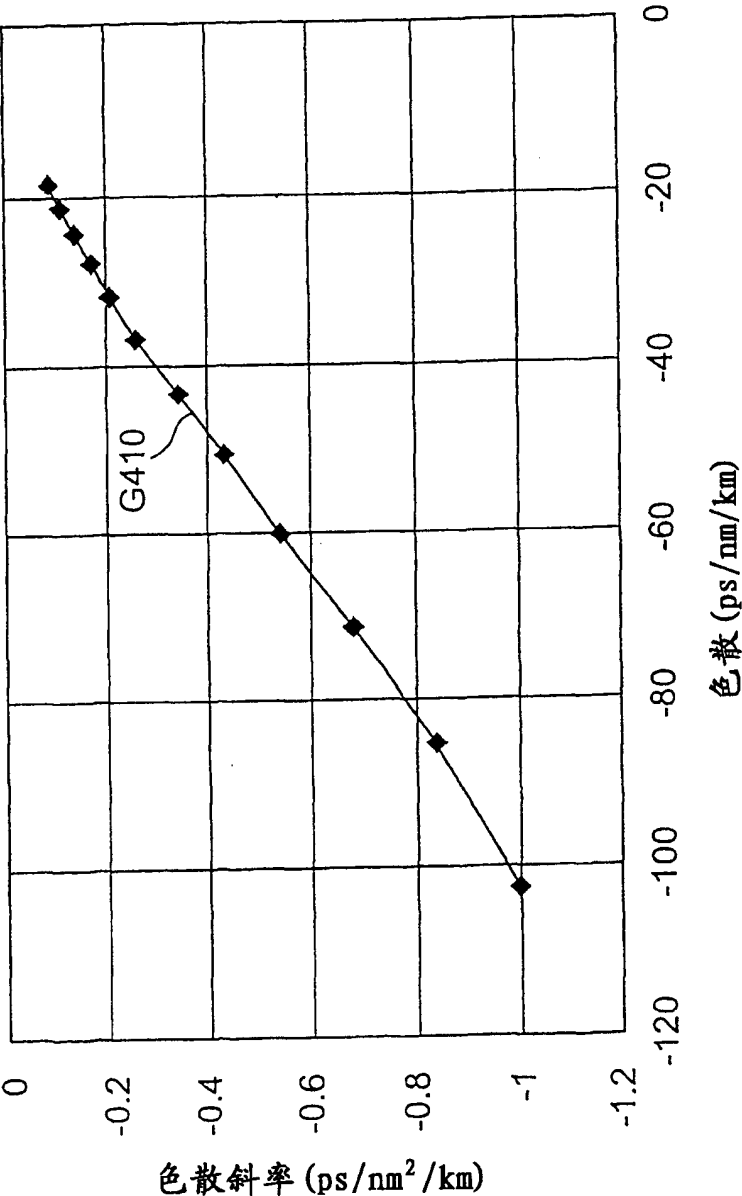
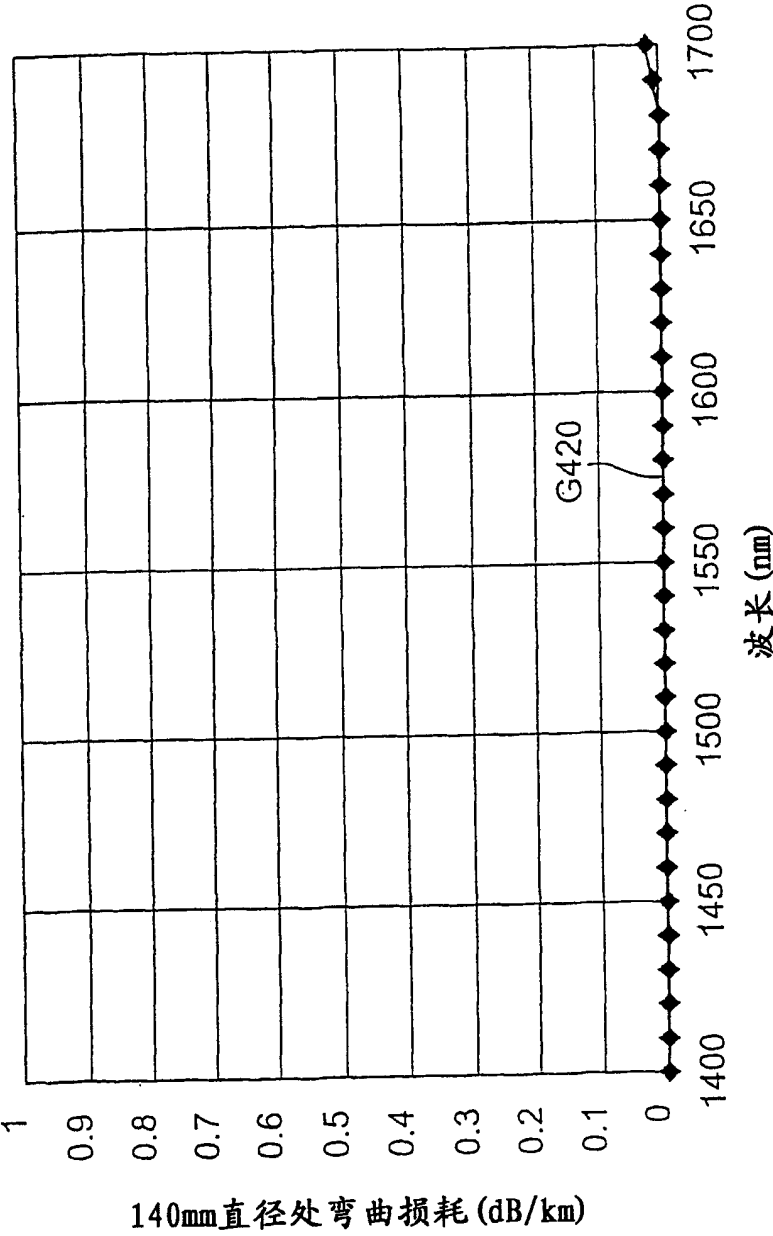
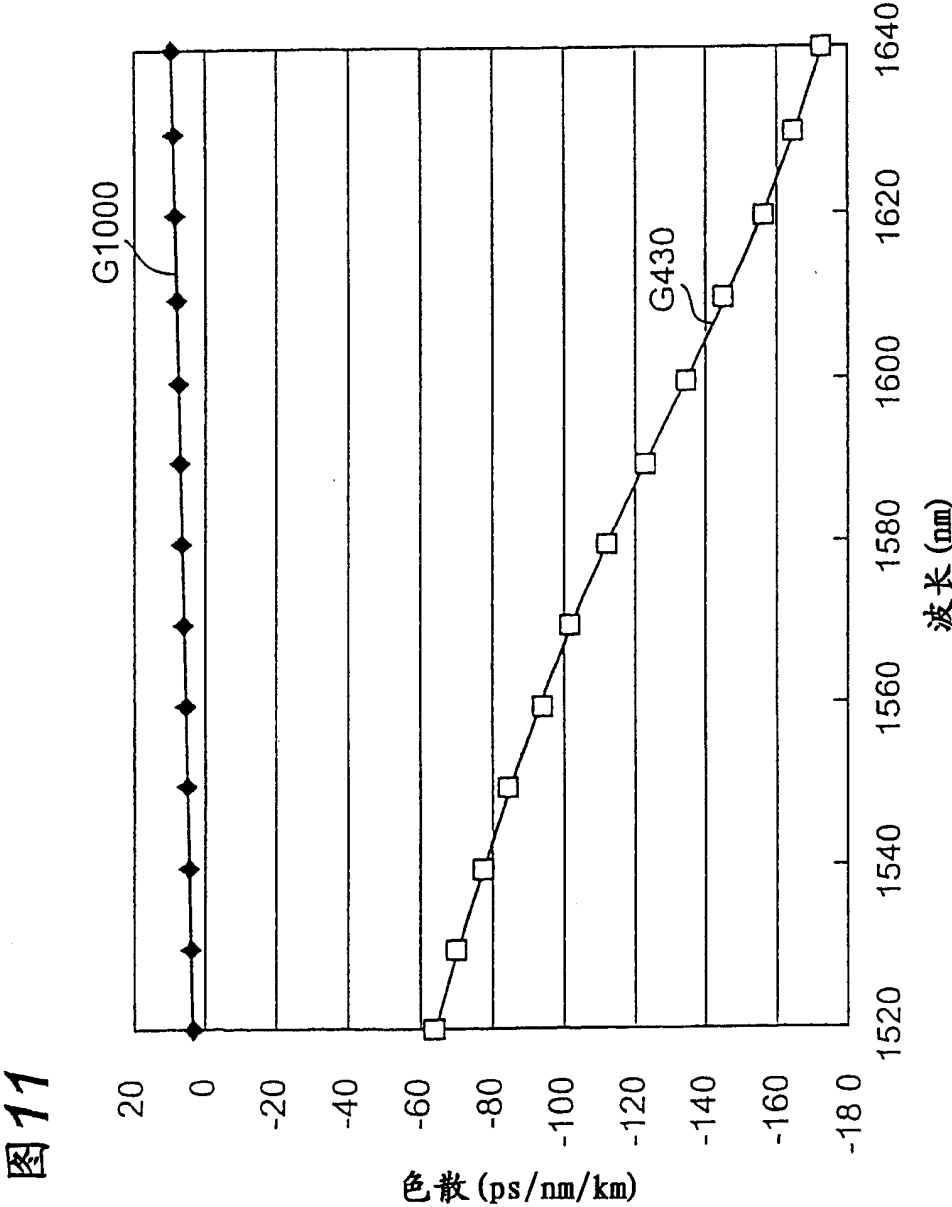
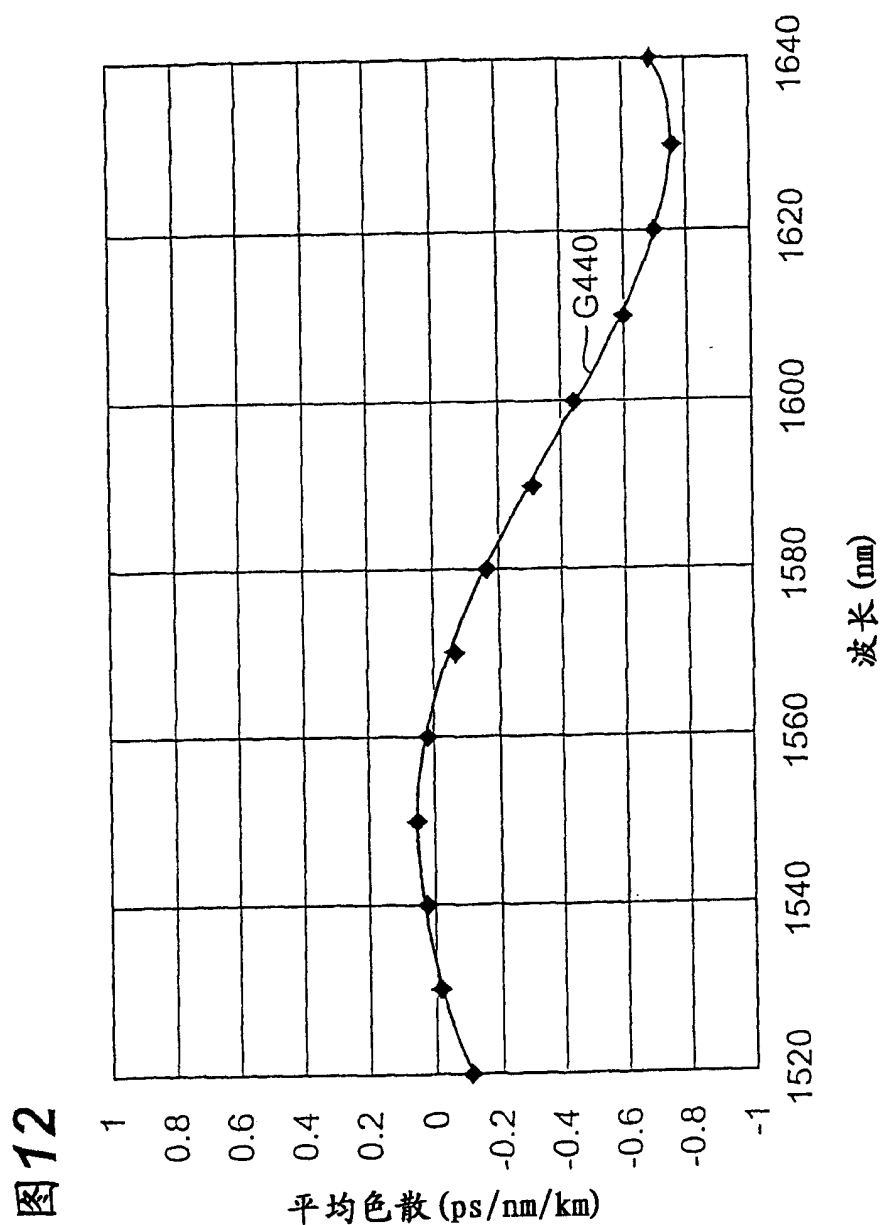
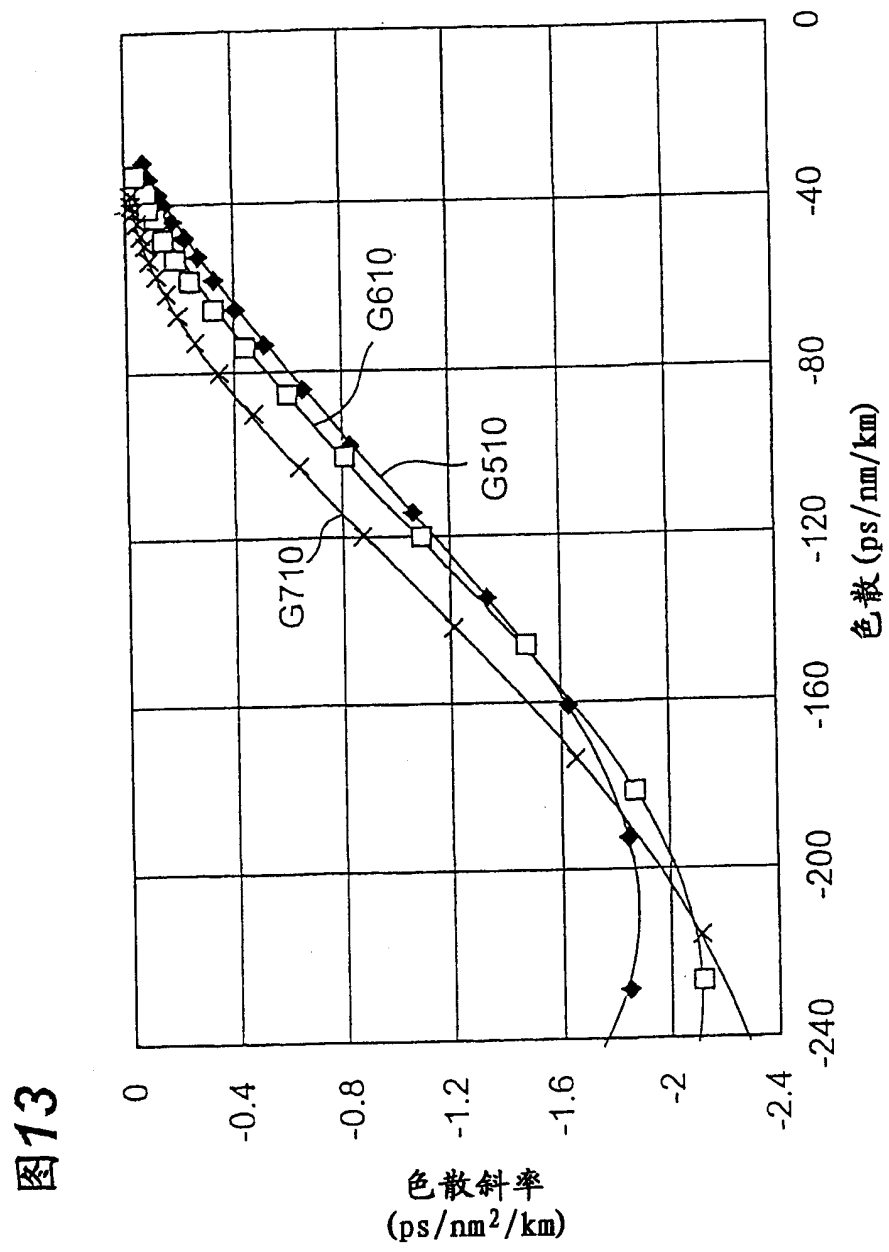


图10









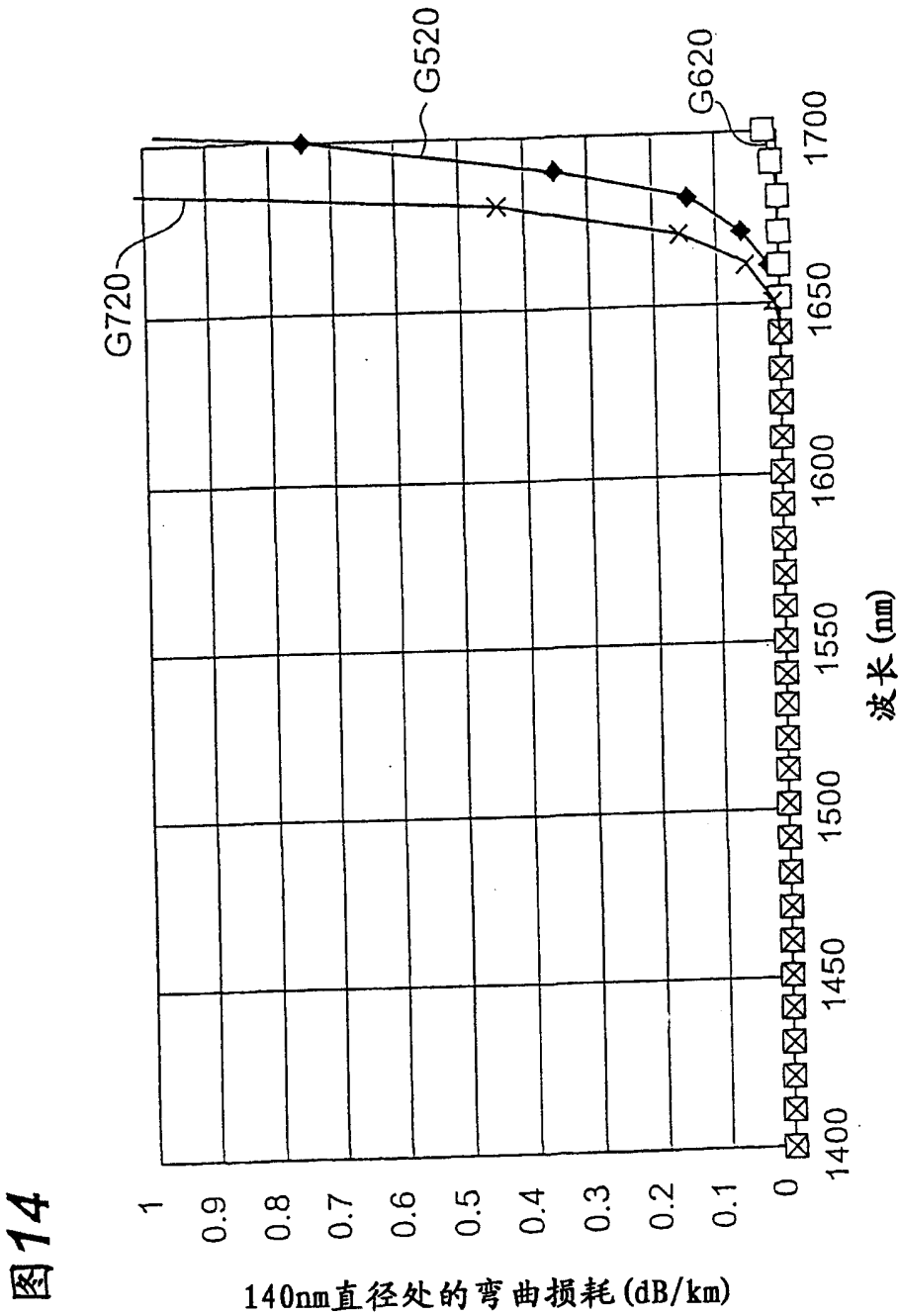
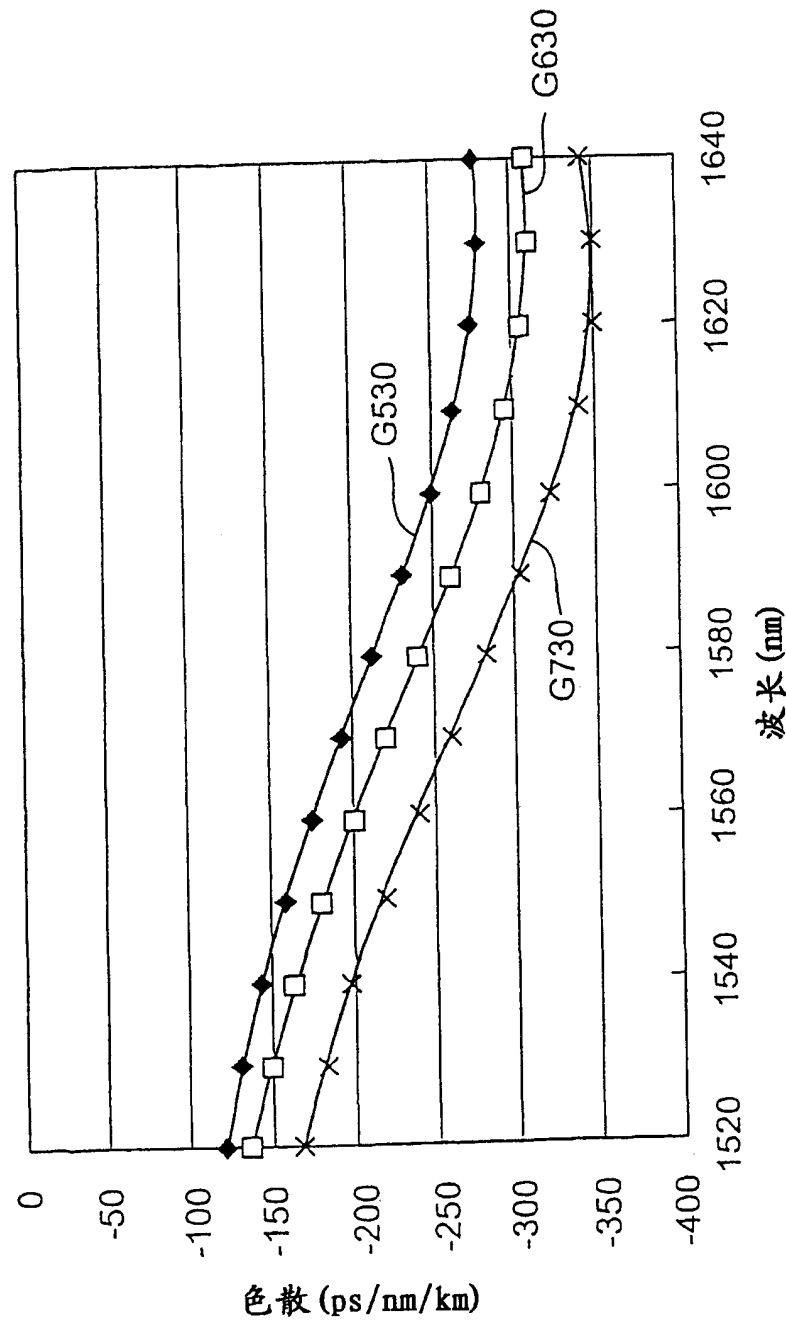


图15



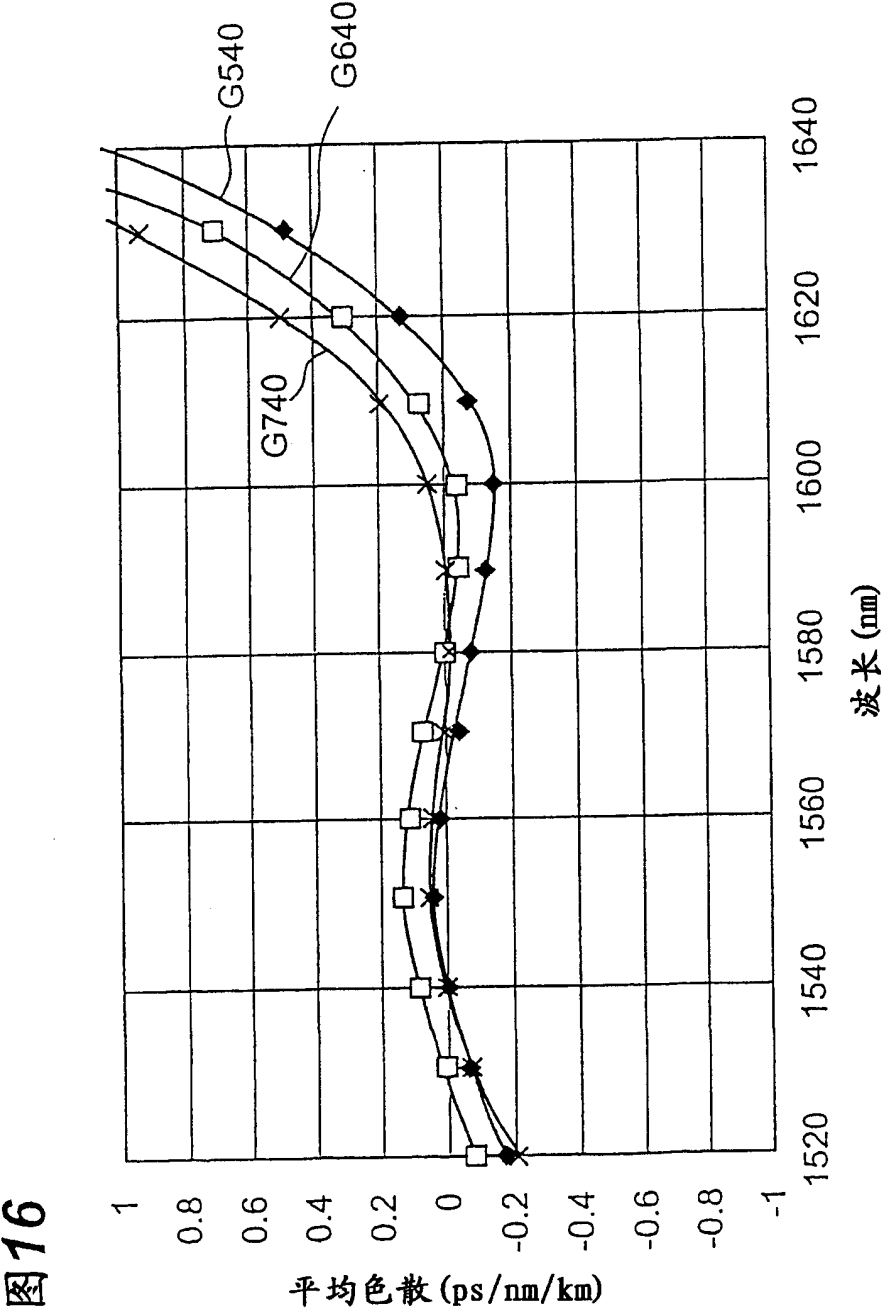


图17A

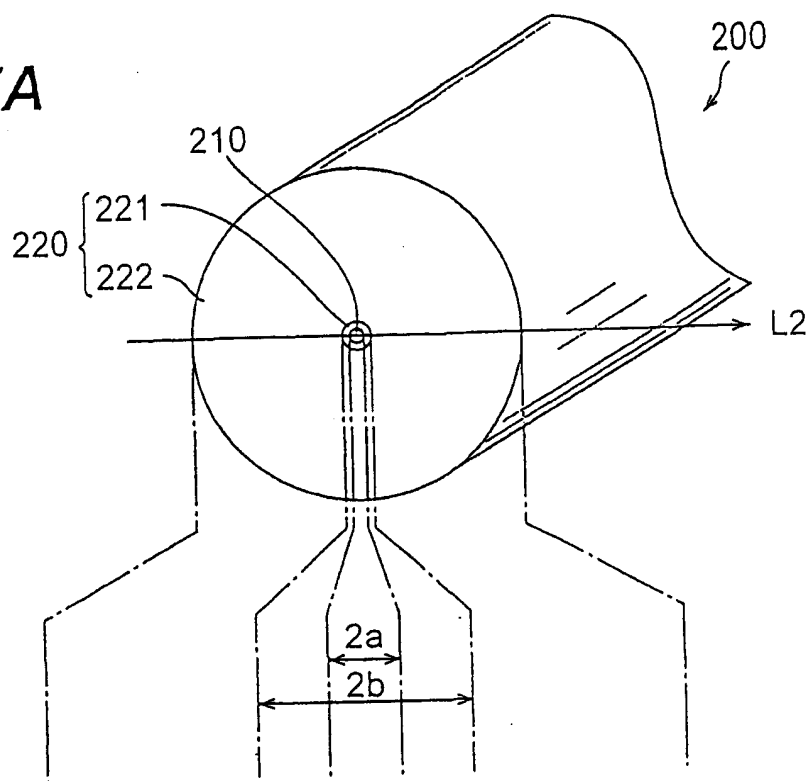


图17B

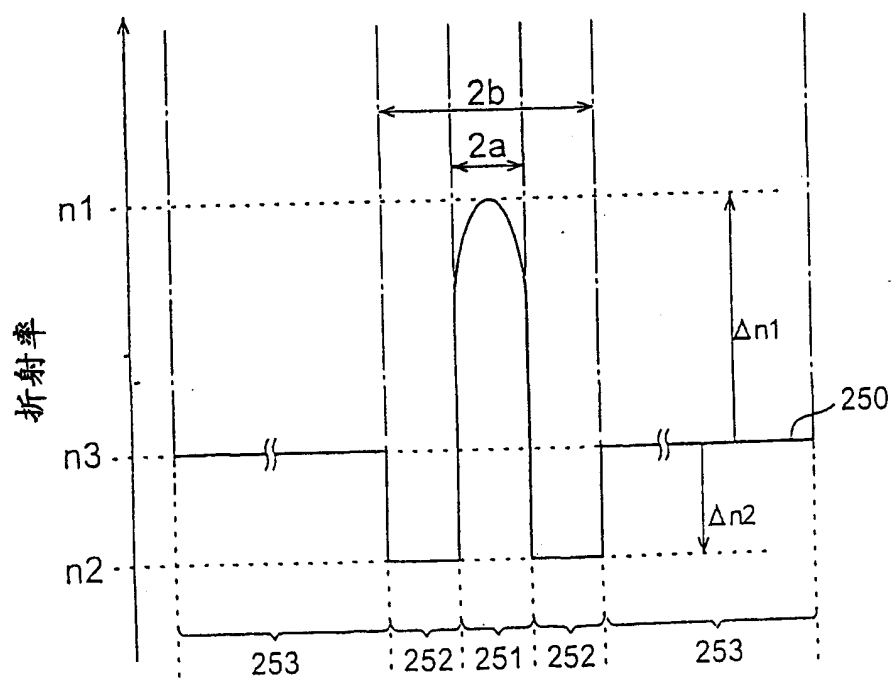


图18

