



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510053414.1

[43] 公开日 2005年9月14日

[11] 公开号 CN 1667437A

[22] 申请日 2005.3.7

[21] 申请号 200510053414.1

[30] 优先权

[32] 2004.3.9 [33] JP [31] 2004-065843

[71] 申请人 株式会社藤仓

地址 日本东京

[72] 发明人 爱川和彦 铃木龙次 姬野邦治

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

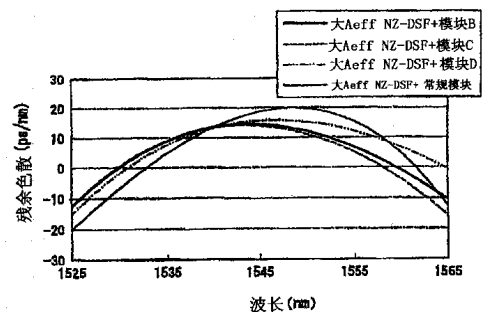
代理人 徐谦 杨红梅

权利要求书2页 说明书16页 附图8页

[54] 发明名称 色散补偿纤模块和光纤传输线

[57] 摘要

一种色散补偿纤模块，当被连接到在 1.55 μm 波长处显示出 +2 和 +6 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075 ps/nm²/km 和 +0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.016nm⁻¹ 和 0.024nm⁻¹ 之间的相对色散斜率的光纤时，其进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小，该色散补偿纤模块包括色散补偿纤和被熔合到该色散补偿纤的至少一个光纤，其中该色散补偿纤模块在 1.55 μm 波长处显示出 0.016nm⁻¹ 和 0.026nm⁻¹ 之间的相对色散斜率；并且在 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围内，当转换为每千米的传输光纤时显示出小于或等于 0.4 ps/nm/km 的最大残余色散差。



1. 一种色散补偿纤模块，包括：
色散补偿纤；和
被熔接到该色散补偿纤的至少一个光纤，在 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长处，所述光纤显示出+2 和+6 ps/nm/km 之间的色度色散，+0.075ps/nm²/km 和+0.095
5 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 $0.016\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.024\ \text{nm}^{-1}$ 之间的相对色散斜率。
其中该色散补偿纤模块在 $1.55\ \mu\text{m}$ 的波长处显示出 $0.016\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.026\ \text{nm}^{-1}$ 之间的相对色散斜率；和
其中该色散补偿纤模块在 $1.525\ \mu\text{m}$ 和 $1.565\ \mu\text{m}$ 之间的波长范围内显示
10 示出小于或等于 $0.4\ \text{ps/nm/km}$ 的最大残余色散差。
2. 权利要求 1 的色散补偿纤模块，其中所述色散补偿纤在 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长处显示出负值的色度色散和色散斜率，以及 $0.006\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.016\ \text{nm}^{-1}$ 之间的相对色散斜率；并且
其中所述光纤在 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率，
15 以及 $0.0028\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.0036\ \text{nm}^{-1}$ 之间的相对色散斜率。
3. 权利要求 1 的色散补偿纤模块，其中每-100 ps/nm 的该色散补偿纤模块中的纤的总长度小于或等于 40 km。
4. 权利要求 1 的色散补偿纤模块，进一步包括卷轴，其中该色散补偿纤被缠绕于该卷轴上。
- 20 5. 一种色散补偿纤模块，当被连接到光纤时，所述模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小，该色散补偿纤模块包括：
色散补偿纤；
被熔接到该色散补偿纤的至少一个光纤，所述光纤在 $1.59\ \mu\text{m}$ 波长处
显示出+6 ps/nm/km 和+10 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和
25 +0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 $0.008\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.014\ \text{nm}^{-1}$ 之间的相对色散斜率。
其中该色散补偿纤模块在 $1.59\ \mu\text{m}$ 波长显示出 $0.008\ \text{nm}^{-1}$ 和 $0.014\ \text{nm}^{-1}$

之间的相对色散斜率；以及

其中该色散补偿纤模块在 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围内，显示出小于或等于 0.3 ps/nm/km 的最大残余色散差。

6. 权利要求 5 的色散补偿纤模块，其中色散补偿纤在 1.59 μm 波长显示出负值的色度色散和色散斜率，以及 0.005 nm^{-1} 和 0.01 nm^{-1} 之间的相对色散斜率；并且

其中所述光纤在 1.59 μm 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率，以及 0.0026 nm^{-1} 和 0.0034 nm^{-1} 之间的相对色散斜率。

7. 权利要求 5 的色散补偿纤模块，进一步包括卷轴，其中色散补偿纤被缠绕于该卷轴上。

8. 权利要求 4 的色散补偿纤模块，其中每-100 ps/nm 的色散补偿纤模块中的纤的总长度小于或等于 30 km。

9. 权利要求 1 的色散补偿纤模块，其中该色散补偿纤模块被用作拉曼放大介质；

15 其中该色散补偿纤在 1.55 μm 带和 1.59 μm 带中的至少一个的波长处显示出负值的色度色散和色散斜率；以及

其中所述色散补偿纤被设置在该色散补偿纤模块内的该拉曼激发光输入侧。

10. 一种光纤传输线，其包括权利要求 1 的色散补偿纤模块和被连接到该色散补偿纤模块的传输光纤。

11. 权利要求 5 的色散补偿纤模块，其中该色散补偿纤模块被用作拉曼放大介质；

其中该色散补偿纤在 1.55 μm 带和 1.59 μm 带中至少一个的波长处显示出负值的色度色散和色散斜率；以及

25 其中所述色散补偿纤被设置在该色散补偿纤模块内的拉曼激励光学输入侧。

色散补偿纤模块和光纤传输线

相关申请的交叉参考

本申请是基于并要求 2004 年 3 月 9 日提交的日本专利申请 No.2004-65843 的优先权，其所公布的被全部合并于此作为参考。

5 技术领域

本发明涉及一种色散补偿纤模块，其被用于补偿非零色散偏移光纤 (NZ-DSF) 的所积累的色度色散，所述光纤在 C 带 (1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长) 和 L 带 (1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长) 中具有几个 ps/nm/km 的色度色散。更具体而言，本发明涉及一种色散补偿纤模块，其
10 能将残余色散抑制到低水平，并涉及一种光纤传输线，其是通过将这种模块连接到传输光纤来制造的。

背景技术

为了增加波分复用 (以下被称为 “WDM”) 的传输能力，有效的是通过加宽工作波长范围来增加用于每个通道的传输速率。传输速率和残余
15 色散之间的关系被示出于图 1 中。为了增加传输速率，有必要减小传输线上所积累的色散。和 2.5 Gbit/秒传输情况进行对比，其容许残余色散是大约 16,000 ps/nm，对于 10 Gbit/秒传输是大约 1,000 ps/nm，而对于 40 Gbit/秒传输是大约 65 ps/nm。这样，随着传输速率的增加，容许残余色散变小。因此，当尝试增加传输距离和增加传输速率时，对每个区段(span)的色散
20 补偿变成不可缺少的。由于在整个工作波长范围内需要这样的色散补偿，亦变得有必要的是补偿相同时间处传输线的所积累的色散斜率。

已报导了有关用于标准单模光纤 (S-SMF) 的斜率补偿和色散补偿纤 (SC-DCF) 的大量研究 (例如参考日本未审查的专利申请，首次出版号 H06-11620，和日本未审查的专利申请，首次出版号 No. 2002-221632)。

25 此外，类似地，已报导了用于 NZ-DSF 的 SC-DCF，其几乎完全补偿宽带中的所积累的色散 (例如，参考 Kazahiko Aikawa 等的 “High performance wide-band dispersion compensating fiber module for non-zero

dispersion shifted optical fiber”, Technology Report of the Institute for Electronics, Information and Communication Engineering, OCS 2002-7, 2002年4月, 第35-40页)。

图2是说明对光纤传输线上色度色散补偿的基本概念的示意图。传输
5 光纤典型地具有都是正值的色度色散和色散斜率。因此,通过连接具有适当长度的(例如,色散能够被消除的长度)SC-DCF,其具有负的色度色散和负的色散斜率,色度色散和色散斜率的比率被适当地调节,有可能补偿宽波长范围内的色散。对于实际传输光纤和SC-DCF,色散斜率的波长
10 依赖性被观测。换句话说,色散特性是弯曲线而不是这种线性线。尽管与SC-DCF相比,传输光纤的色散斜率的波长依赖性小,但SC-DCF的波长依赖性仍比较大。具体而言,在SC-DCF中,相对于色度色散的相对色散斜率(RDS)越大,则色散斜率的波长依赖性变得越大。

图3和4是示出当Aikawa在上述论文中描述的各种类型的NZ-DSF
的80 km长度已被色散补偿时残余色散特性的实例的曲线图。在图3中,
15 在已借助SC-DCF模块补偿了低色散斜率型NZ-DSF之后的残余色散特性被示出。在C带(波长在1.525 μm 和1.565 μm 之间)和L带(波长在1.565 μm 和1.625 μm 之间)两者中,残余色散小于或等于 ± 5 ps/nm,因此有可能补偿残余色散以使它在整个波长范围内被减小。这是因为由于SC-DCF的RDS不特别大,色散曲线的曲率是小的。然而,对于已借助SC-DCF
20 模块补偿了图4中所示的大有效面积NZ-DSF时的残余色散特性, ± 20 ps/nm的相对大的残余色散仍在C带中,而 ± 15 ps/nm仍在L带中。这是因为由于SC-DCF的RDS大,色散曲线的曲率是大的。这些值均用于具有80 km长度的传输光纤,当残余色散被转换成长度每千米时,它们变成
25 小于或等于 ± 0.25 ps/nm/km(最大残余色散差是0.5 ps/nm/km),以及小于或等于 ± 0.19 ps/nm/km(最大残余色散差是0.38 ps/nm/km)。在长距离传输中,由于这样的残余色散以类似方式积累,当不进行每个波长处的色散补偿时,这导致了传输质量的恶化。

SC-DCF 具有如例如图 5 中所示的折射率分布曲线。通过调节该折射率分布曲线的相应层的半径的比率和德耳塔 (Δ), 调节包括 RDS 的各种类型的光学特性变得有可能。在 RDS 小的范围内, 用于对 RDS 的这种调节的设计和这样的纤的制造可被比较容易地实现。然而, 对于具有超过 5 0.01 nm⁻¹ 的 RDS 的 SC-DCF, 当尝试维持弯曲损失和截止波长等, 同时使色度色散的绝对值大时, 所述设计和制造变得困难, 此外, 色散曲线容易变得严重弯曲。

发明内容

10 本发明是已考虑到上述问题而做出的, 并且一个目的是提供一种 SC-DCF 模块, 该模块能补偿 C 带或 L 带中 NZ-DSF 的所积累的色度色散, 由此延长长距离传输线的传输距离, 并提供了一种包括该 SC-DCF 模块的光纤传输线。

为了实现这样的目的, 本发明的一个方面提供了一种 SC-DCF 模块, 15 当被连接到在 1.55 μm 波长处显示出 +2 和 +6 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和 +0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.016 nm⁻¹ 和 0.024 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时, 所述模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小, 该 SC-DCF 模块包括 SC-DCF 和被熔接到该色散补偿纤的至少一个光纤, 其中 SC-DCF 模块在 1.55 μm 波长处显示出 0.016 nm⁻¹ 20 和 0.026 nm⁻¹ 之间的 RDS; 在 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围内, 当转换为每千米传输光纤时, 显示出小于或等于 0.4 ps/nm/km 的最大残余色散差。

此外, 在上述 SC-DCF 模块中, SC-DCF 在 1.55 μm 波长处显示出负值的色度色散和色散斜率以及 0.006 nm⁻¹ 和 0.016 nm⁻¹ 之间的 RDS; 并且 25 所述光纤在 1.55 μm 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率以及 0.0028 nm⁻¹ 和 0.0036 nm⁻¹ 之间的 RDS。

而且, 在任何一个上述 SC-DCF 模块中, 每-100 ps/nm 的色散补偿纤

和 SC-DCF 模块中的纤的总长度可小于或等于 40 km。

而且,在上述 SC-DCF 模块中,进一步提供了卷轴并且 SC-DCF 被缠绕于该卷轴上。

此外,为了实现上述目的,本发明的另一个方面提供了一种 SC-DCF 模块,当被连接到在 1.59 μm 波长处显示出+6 和+10 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和+0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.008 nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时,所述模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小,该 SC-DCF 模块包括 SC-DCF 和被熔接到该色散补偿纤的至少一个光纤,其中 SC-DCF 模块在 1.59 μm 波长处显示出 0.008 nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS; 在 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围内,当转换为每千米传输光纤时显示出小于或等于 0.3 ps/nm/km 的最大残余色散差。

此外,在上述 SC-DCF 模块中,SC-DCF 在 1.59 μm 波长处显示出负值的色度色散和色散斜率以及 0.005 nm⁻¹ 和 0.01 nm⁻¹ 之间的 RDS; 并且所述光纤在 1.59 μm 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率以及 0.0026 nm⁻¹ 和 0.0034 nm⁻¹ 之间的 RDS。

而且,在另一个方面的上述 SC-DCF 模块中,每-100 ps/nm 的 SC-DCF 模块中的纤的总长度可小于或等于 30 km。

而且,在上述 SC-DCF 模块中,包括了卷轴并且 SC-DCF 被缠绕于该卷轴上。

此外,在任何上述 SC-DCF 模块中,当 SC-DCF 模块被用作拉曼放大介质时,在 1.55 μm 带或 1.59 μm 带的波长显示出负值的色度色散和色散斜率的 SC-DCF 可被设置在 SC-DCF 模块内的拉曼激发光输入侧 (Raman excitation optical input side)。

此外,为了实现上述目的,本发明的又一个方面提供了一种光纤传输线,其包括任何一个上述 SC-DCF 模块和被连接到该 SC-DCF 模块的传输光纤。

此外，当被连接到在 1.55 μm 波长处显示出+2 和+6 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和+0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.016 nm⁻¹ 和 0.024 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时，本发明的 SC-DCF 模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小，该 SC-DCF 模块在 1.55 μm 波长处
5 显示出 0.016 nm⁻¹ 和 0.026 nm⁻¹ 之间的 RDS；在 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围内，当转换为每千米传输光纤时显示出小于或等于 0.4 ps/nm/km 的最大残余色散差。因此，残余色散是限制因素的长距离传输线的传输距离被延长，并且有可能消除任何附加的色散补偿单元。

此外，当被连接到在 1.59 μm 波长处显示出+6ps/nm/km 和+10 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和+0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.008 nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时，本发明的 SC-DCF 模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小，并且该 SC-DCF 模块在 1.59 μm 波长处显示出 0.008nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS；
10 在 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围内，当转换为每千米传输光纤时显示出小于或等于 0.3 ps/nm/km 的最大残余色散差。因此，残余色散是限制因素的长距离传输线的传输距离被延长，并且有可能消除任何补充的色散补偿单元。
15

更进一步，在这种光纤传输线中，由于残余色散比使用常规 SC-DCF 模块的情况小的 SC-DCF 模块被连接到传输光纤，因此，与使用常规 SC-DCF 模块的情况相比，有可能使传输距离较长，并且/或者消除补充的色散补偿单元，因此有可能减小成本。
20

附图说明

通过参考附图对示范实施例的详细描述，本发明的上述和其它目的，
25 特征和优点将变得更明显。其中：

图 1 是示出传输速率和残余色散之间的关系的曲线图；

图 2 是说明对光纤传输线上的色度色散的补偿的基本概念的示意图；

图3是示出在已借助SC-DCF模块补偿了低色散斜率型NZ-DSF之后的残余色散特性的曲线图；

图4是示出在已借助SC-DCF模块补偿了高色散斜率型NZ-DSF之后的残余色散特性的曲线图；

5 图5是示出SC-DCF的横截面折射率分布曲线的实例的示意图；

图6是示出被用在本发明的示范实施例中的纤A的色度色散特性的曲线图；

图7是示出被用在本发明的示范实施例中的SC-DCF B、C和D的色度色散特性的曲线图；

10 图8是示出当通过使用被用在本发明的示范实施例中的SC-DCF模块B、C和D补偿了80 km长的大有效面积NZ-DSF的所积累的色度色散时的残余色散特性的曲线图；

图9是示出被用在本发明的示范实施例中的纤E的色度色散特性的曲线图；

15 图10是示出被用在本发明的示范实施例中的SC-DCF F、G和H的色度色散特性的曲线图；并且

图11是示出当通过使用被用在本发明的示范实施例中的SC-DCF模块F、G和H补偿了80 km长的大有效面积NZ-DSF的所积累的色度色散时的残余色散特性的曲线图。

20 图12是说明本发明第一示范实施例的SC-DCF模块的示意内部视图；

图13是沿图12中的线A-A'取的横截面视图；

图14是光学传输系统的第一示范实施例的示意图；并且

图15是光学传输系统的第二示范实施例的示意图。

25 具体实施方式

现在将参考附图描述本发明的示范实施例。所描述的示范实施例是用于帮助理解本发明而决不是用于限制本发明的范围。

第一示范实施例

本发明的第一示范实施例是色散补偿纤 (SC-DCF) 模块。图 12 是说明本发明第一示范实施例的 SC-DCF 模块的示意内部视图。图 13 是沿图 12 中的线 A-A' 取的横截面视图。SC-DCF 模块 10 可包括 SC-DCF 11、两个单模纤 12 (例如, 1.3 μm 零色散单模纤)、卷轴 15 和壳体 16。SC-DCF 11 可缠绕于卷轴 15 (例如铝卷轴) 上, 并且可通过熔接部分 13 而夹在单模纤 12 之间。连接器 14 可被提供于每个单模纤 12 的端部以便于将 SC-DCF 模块 10 连接到传输光纤等。任选地, 适配器可被提供并可被插入在连接器 14 之一和待连接到模块 10 的纤的连接器之间。适配器典型地被连接到壳体 16。在该 SC-DCF 模块 10 的情况下, SC-DCF 11 的长度是根据待实现的补偿量来确定的。注意, 本发明的 SC-DCF 模块不局限于该配置。

当该 SC-DCF 模块被连接到在 1.55 μm 波长处显示出 +2ps/nm/km 和 +6 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和 +0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.016 nm⁻¹ 和 0.024 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时, SC-DCF 模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小。该模块在 1.55 μm 波长处显示出 0.016 nm⁻¹ 和 0.026 nm⁻¹ 之间的 RDS, 并且在 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围 (C 带) 内, 当转换为每千米传输光纤时显示出小于或等于 0.4 ps/nm/km 的最大残余色散差。如在此所使用的, 术语“最大残余色散差”指的是上述波长范围内的最大残余色散和最小残余色散之间的差。

本示范实施例的 SC-DCF 模块可通过使用具有如图 5 中所示的折射率分布曲线的 SC-DCF 来制造。该 SC-DCF 包括芯 1 和包层 2。芯 1 包括: 中心芯区 3, 其具有比包层 2 的折射率大的折射率; 下陷 (depressed) 芯区 4, 其被提供于该中心芯区 3 周围并且具有比包层 2 的折射率小的折射率; 环芯区 5, 其被提供在该下陷芯区 4 周围并且具有比包层 2 的折射率大的折射率; 以及下陷包层区 6, 其被提供在该环芯区 5 的周围并且具有

比包层 2 的折射率小的折射率。包层 2 被提供在下陷包层区 6 周围。

对于本发明的本示范实施例的 SC-DCF，由于被转换成每千米传输光纤的值的 C 带中的其最大残余色散差小于或等于 0.4 ps/nm/km，其小于当使用常规 SC-DCF 模块时的残余色散。因此，残余色散是限制因素的长距离传输线的传输距离被延长，并且有可能减小附加色散补偿单元的数量。

第二示范实施例

本发明的第二示范实施例是这样一种 SC-DCF 模块，其包括在 1.55 μm 波长处显示出负值的色度色散和色散斜率以及 0.006 nm^{-1} 和 0.016 nm^{-1} 之间的 RDS 的 SC-DCF；以及在 1.55 μm 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率以及 0.0028 nm^{-1} 和 0.0036 nm^{-1} 之间的 RDS 的光纤。

该 SC-DCF 模块提供了与上述第一示范实施例类似的有利效果。

第三示范实施例

本发明的第三示范实施例是上述第一示范或第二示范实施例的 SC-DCF 模块，其中每-100 ps/nm 的 SC-DCF 模块中的纤的总长度小于或等于 40 km。

在此，每-100 ps/nm 的 SC-DCF 模块中的纤的总长度 L_{Total} 由以下公式来定义：

$$D_{\text{DCF}} \times L_{\text{DCF}} + D_{\text{SMF}} \times L_{\text{SMF}} = -100 \text{ (ps/nm)}$$

$$L_{\text{Total}} = L_{\text{DCF}} + L_{\text{SMF}}$$

其中 L_{DCF} 是 SC-DCF 的长度 (km)， L_{SMF} 是 S-SMF 的长度 (km)， D_{DCF} 是 SC-DCF 的色度色散 (ps/nm/km)，而 D_{SMF} 是 S-SMF 的色度色散 (ps/nm/km)。

当每-100 ps/nm 的纤的总长度大于 40 km 时，用于该 SC-DCF 模块的壳体的尺寸变得比常规壳体大，这是不理想的，因为它导致了成本等的增加。因此对于每-100 ps/nm 的纤的总长度，尽管它取决于补偿量，理想的

是小于或等于 40 km，这是因为有可能在与常规 SC-DCF 模块可比的尺寸的壳体中容纳该 SC-DCF 模块。应理解，用于常规 SC-DCF 模块的这种壳体的尺寸是例如大约 224 mm × 235 mm × 45 mm。

5 第四示范实施例

本发明的第四示范实施例是 SC-DCF 模块。该补偿纤模块具有与图 12 中所示的第一示范实施例的 SC-DCF 模块相类似的结构。当该 SC-DCF 模块被连接到在 1.59 μm 波长显示出 +6ps/nm/km 和 +10 ps/nm/km 之间的色度色散、+0.075ps/nm²/km 和 +0.095 ps/nm²/km 之间的色散斜率以及 0.008 nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤时，该色散纤模块进行补偿以使所连接的光纤的残余色散被减小。该 SC-DCF 模块在 1.59 μm 波长处显示出 0.008 nm⁻¹ 和 0.014 nm⁻¹ 之间的 RDS，并且在 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围（L 带）内当转换为每千米传输光纤时显示出小于或等于 0.3 ps/nm/km 的最大残余色散差。

15 对于本发明的该第四示范实施例的 SC-DCF 模块，由于被转换成每千米传输光纤的值的 L 带（波长在 1.565 μm 和 1.625 μm 之间）中的其最大残余色散差小于或等于 0.3 ps/nm/km，其小于当使用常规 SC-DCF 模块时的残余色散。因此，残余色散是限制因素的长距离传输线的传输距离被延长，并且有可能减小附加色散补偿单元的数量。

20

第五示范实施例

本发明的第五示范实施例是这样一种 SC-DCF 模块，其包括在 1.59 μm 波长处显示出负值的色度色散和色散斜率以及 0.005 nm⁻¹ 和 0.01 nm⁻¹ 之间的 RDS 的 SC-DCF；以及在 1.59 μm 波长处显示出正值的色度色散和色散斜率以及 0.0026 nm⁻¹ 和 0.0034 nm⁻¹ 之间的 RDS 的光纤。

25 该 SC-DCF 模块提供了与上述第四示范实施例类似的有利效果。

第六示范实施例

本发明的第六示范实施例是上述第四示范或第五示范实施例的 SC-DCF 模块，其中每-100 ps/nm 的 SC-DCF 模块中的纤的总长度小于或等于 30 km。

- 5 当每-100 ps/nm 的纤的总长度大于 30 km 时，用于该 SC-DCF 模块的壳体的尺寸变得比常规壳体大，这是不理想的，因为它导致了成本的增加等。因此对于每-100 ps/nm 的纤的总长度，尽管它取决于补偿量，理想的是小于或等于 30 km，这是因为有可能在与常规 SC-DCF 模块可比的尺寸的壳体中容纳该 SC-DCF 模块。具体而言，由于 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围内的传输线所积累的色度色散比在 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围内大，因此所需要的色散补偿的量变大。因此，对于相同的色散补偿量，理想的是被用于 1.565 μm 和 1.625 μm 之间的波长范围的纤的总长度比被用于 1.525 μm 和 1.565 μm 之间的波长范围的纤短。

15 第七示范实施例

本发明的第七示范实施例是以上所述的上述第一到第六示范实施例的 SC-DCF 模块。当该 SC-DCF 模块被用作拉曼放大介质时，在 1.55 μm 带或 1.59 μm 带的波长处显示出负值的色度色散和色度斜率的 SC-DCF 被设置在 SC-DCF 模块内的拉曼激发光输入侧。

- 20 用本第七示范实施例的 SC-DCF 模块，有可能通过在光学激发输入功率高时在该激发光学输入端设置与显示出正值的色度色散和色度斜率的光纤相比具有较小有效面积 (A_{eff}) 和较大非线性折射率 (n_2) 的 SC-DCF 来有效地获得拉曼增益。

25 第八示范实施例

本发明的第八示范实施例是光纤传输线，其包括如以上所述的依照本发明的 SC-DCF 模块和被连接到上述 SC-DCF 模块的传输光纤。

图 14 是第一示范实施例的光学传输系统 20 的示意图。在图 14 中，参考数字 21 指示传输光纤，并且色散补偿纤模块 22 可被连接到该传输光纤 21 的每个区段 (span)。一组光学传输线区段可由该传输光纤 21 和色散补偿纤模块 22 形成，并且该示范实施例的光学传输线 25 可通过在至少一个级中连接该组光学传输区段而形成。发射器 23 和接收器 24 可通过光学传输线 25 来连接以形成光学传输系统 20。

图 15 是第二示范实施例的光学传输系统 30 的示意图。亦在图 15 中，参考数字 21 表示传输光纤，并且色散补偿纤模块 22 可被连接到该传输光纤 21 的每个区段。一组传输线区段可由该传输光纤 21 和色散补偿纤模块 22 形成，并且在至少一个级中该组传输线区段可被连接以形成该示范实施例的光学传输线 25。

亦在该实例中，尽管发射器 23 和接收器 24 被连接到该光学传输线 25 以形成光学传输系统 30，在该实例的光学传输系统 30 中，可借助接收器 24 通过在中间传输线区段处提取光学信号来接收光学信号，或者发射器 23 可被提供于中间点，并且光学信号从该发射器 23 发出。注意，本发明的光学传输线不局限于这些配置。

在该光纤传输线中，由于残余色散比使用常规 SC-DCF 模块的情况小的 SC-DCF 模块被连接，因此，与使用常规 SC-DCF 模块的情况相比，有可能使传输距离较长，或者消除附加的色散补偿单元，因此有可能减小成本。

实例

比较例 1

具有如图 5 中所示的折射率分布曲线的 SC-DCF A(在以下简称为“纤 A”)是通过气相轴向淀积 (VAD) 方法或改进的化学气相淀积 (MCVD) 方法等来制造的。纤 A 被制造成使 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ 、 b/a 、 c/b 、 d/c 和芯半径“d”具有表 1 中所列的值。

纤 A 的光学特性在表 2 中列出。此外，纤 A 的色度色散特性在图 6 中示出。

SC-DCF 模块（被称为“模块 A”）通过使用纤 A 来制造。当 80 km 长的 NZ-DSF 的所积累的色度色散通过使用模块 A 来补偿时，残余色散特性被评价。结果在图 4 中由粗线示出。

这些带中的最大残余色散的绝对值是 20 ps/nm。

例如，如果 40 Gbit/秒传输所容许的残余色散容差被采用为 65 ps/nm，仍有每 260 km 需要色散补偿的波长范围。因此，色散补偿的次数增加，并且光纤传输线的结构变得复杂，这是不理想的。

10

表 1

编号	$\Delta 1$ [%]	$\Delta 2$ [%]	$\Delta 3$ [%]	$\Delta 4$ [%]	b/a	c/b	d/c	d [μm]
纤A	1.89	-1.20	0.46	-0.05	2.5	1.4	1.6	12.0

表 2

编号	λ [μm]	CD ¹⁾ [ps/nm/km]	传输 损失 [dB/km]	DS ²⁾ [ps/nm ² /km]	FOM ³⁾ [ps/nm/dB]	RDS [nm ⁻¹]	A_{eff} [μm^2]	弯曲 损失 [dB/m, 2R=20mm]	PMD ⁴⁾ [ps/ $\sqrt{\text{km}}$]
纤A	1.55	-77	0.60	-1.6	128	0.020	12	2.1	0.11

15 1) CD: 色度色散, 2) DS: 色散斜率, 3) FOM: 品质因数, 以及 4) PMD: 偏振模式色散

实例 1

20 具有如图 5 中所示的折射率分布曲线的 SC-DCF B、C 和 D（在以下分别简称为“纤 B”、“纤 C”和“纤 D”）是通过众所周知的 VAD 方法或 MCVD 方法等来制造的。纤 B、C 和 D 被制造成使 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ 、b/a、c/b、d/c 和芯半径“d”具有表 3 中所列的值。

纤 B、C 和 D 的光学特性在表 4 中列出。此外，纤 B、C 和 D 的色度色散特性在图 7 中示出。SC-DCF 模块（在以下分别被称为“模块 B”、“模块 C”和“模块 D”）通过将 S-SMF 连接到纤 B、C 和 D 来制造。当 80 km 长的大有效面积 NZ-DSF 的所积累的色度色散通过使用模块 B、C 和 D 来补偿时，残余色散特性被评价。结果在表 5 和图 8 中被列出。

表 3

编号	$\Delta 1$ [%]	$\Delta 2$ [%]	$\Delta 3$ [%]	$\Delta 4$ [%]	b/a	c/b	d/c	d [μm]
纤B	1.49	-0.77	0.43	-0.10	2.5	1.4	1.6	13.2
纤C	1.47	-0.75	0.43	-0.10	2.5	1.4	1.6	13.4
纤D	1.53	-0.57	0.34	-0.05	2.6	1.4	1.6	11.8

表 4

编号	λ [μm]	CD [ps/nm/km]	传输 损失 [dB/km]	DS [ps/nm ² /km]	FOM [ps/nm/dB]	RDS [nm ⁻¹]	A_{eff} [μm^2]	弯曲 损失 [dB/m, 2R=20mm]	PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$]
纤B	1.55	-98.7	0.37	-1.13	267	0.011	18	0.8	0.08
纤C	1.55	-68.9	0.35	-0.79	197	0.012	17	1.2	0.10
纤D	1.55	-80.6	0.34	-0.53	237	0.0066	18	0.3	0.08

10

表 5

编号	λ [μm]	总CD [ps/nm]	RDS [nm ⁻¹]	DCF 长度 [km]	损失 [dB]	S-SMF 长度 [km]	最大 残余差 [ps/nm]	每 -100ps/nm 的纤的长度 [km]	每 -100ps/nm 的损失 [dB]
模块B	1.55	-324	0.024	8.1	9.1	28.0	27	11.1	2.8
模块C	1.55	-325	0.024	11.6	10.1	27.8	29	12.2	3.1
模块D	1.55	-321	0.023	23.4	26.2	91.7	31	35.9	8.2

用于每个这些带的最大残余色散差分别为对于模块 B 是 27 ps/nm，对于模块 C 是 29 ps/nm，而对于模块 D 是 31 ps/nm；并且当这些被转换成每千米传输光纤的值时，它们分别得到 0.34 ps/nm/km、0.37 ps/nm/km 和

15

0.39 ps/nm/km 的相应值。这样，当使用常规模块（最大小于或等于 40 ps/nm，并且当转换为每千米时是 0.5 ps/nm/km）时，SC-DCF 模块能分别将最大残余色散差减小到相对于残余色散特性的 67.5%、72.5%和 77.5%。

5 结果，通过使用用于 40 Gbit/秒传输的模块 B、C 和 D，使得有可能借助单个色散补偿将可能传输距离分别延长到 384 km、358 km 和 336 km。

比较例 2

10 具有如图 5 中所示的折射率分布曲线的 SC-DCF E（在以下简称为“纤 E”）是通过 VAD 方法或 MCVD 方法等来制造的。纤 E 被制造成使 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ 、 b/a 、 c/b 、 d/c 和芯半径“d”具有表 6 中所列的值。

纤 E 的光学特性在表 7 中列出。此外，纤 E 的色度色散特性在图 9 中示出。

15 SC-DCF 模块（被称为“模块 E”）通过使用纤 E 来制造。当 80 km 长的 NZ-DSF 的所积累的色度色散通过使用模块 D 来补偿时，残余色散特性被评价。结果在图 4 中由细线示出。

这些带中的最大残余色散差最大是 30 ps/nm。

例如，如果 40 Gbit/秒传输所容许的残余色散容差被采用为 65 ps/nm，仍有每 173 km 需要色散补偿的波长范围。因此，色散补偿的次数增加，并且光纤传输线的结构变得复杂，这是不理想的。

20 表 6

编号	$\Delta 1$ [%]	$\Delta 2$ [%]	$\Delta 3$ [%]	$\Delta 4$ [%]	b/a	c/b	d/c	d [μm]
纤E	1.71	-0.87	0.44	-0.12	2.5	1.5	1.6	13.2

表 7

编号	λ [μm]	CD [ps/nm/k m]	传输 损失 [dB/km]	DS [ps/nm ² /k m]	FOM [ps/nm/dB]	RDS [nm ⁻¹]	A_{eff} [μm^2]	弯曲 损失 [dB/m, 2R=20mm]	PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$]
纤E	1.59	-74	0.41	-0.81	180	0.011	16	0.8	0.09

实例 2

具有如图 5 中所示的折射率分布曲线的 SC-DCF F、G 和 H（在以下分别简称为“纤 F”、“纤 G”和“纤 H”）是通过 VAD 方法或 MCVD 方法等来制造的。纤 F、G 和 H 被制造成使 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ 、 b/a 、 c/b 、 d/c 和芯半径“d”具有表 8 中所列的值。

纤 F、G 和 H 的光学特性在表 9 中列出。此外，纤 F、G 和 H 的色度色散特性在图 10 中示出。SC-DCF 模块（在以下分别被称为“模块 F”、“模块 G”和“模块 H”）通过将 S-SMF 连接到纤 F、G 和 H 来制造。当 80 km 长的大有效面积 NZ-DSF 所积累的色度色散通过使用模块 F、G 和 H 来补偿时，残余色散特性被评价。结果在表 10 和图 11 中被列出。

表 8

编号	$\Delta 1$ [%]	$\Delta 2$ [%]	$\Delta 3$ [%]	$\Delta 4$ [%]	b/a	c/b	d/c	d [μm]
纤F	1.69	-0.73	0.41	-0.08	2.3	1.5	1.6	11.7
纤G	1.69	-0.73	0.41	-0.08	2.3	1.5	1.6	11.7
纤H	1.72	-0.63	0.41	-0.11	2.5	1.5	1.6	11.4

15 表 9

编号	λ [μm]	CD [ps/nm/k m]	传输 损失 [dB/km]	DS [ps/nm ² /k m]	FOM [ps/nm/dB]	RDS [nm ⁻¹]	A_{eff} [μm^2]	弯曲 损失 [dB/m, 2R=20mm]	PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$]
纤F	1.59	-80.5	0.35	-0.56	230	0.0069	17	0.9	0.12
纤G	1.59	-78.3	0.35	-0.58	224	0.0074	17	1.2	0.11
纤H	1.59	-70.8	0.33	-0.34	215	0.0048	18	0.7	0.06

表 10

编号	λ [μm]	总CD [ps/nm]	RDS [nm^{-1}]	DCF 长度 [km]	损失 [dB]	S-SMF 长度 [km]	最大残 余差[ps/n m]	每 -100ps/nm 的纤的长度 [km]	每 -100ps/nm 的损失 [dB]
模块F	1.59	-595	0.011	14.5	11.5	29.6	28	7.4	1.9
模块G	1.59	-596	0.011	13.4	10.0	23.5	26	6.2	1.7
模块H	1.59	-602	0.012	38.9	34.8	111.2	15	24.9	5.8

用于每个这些带的最大残余色散差分别为对于模块 F 是 28 ps/nm, 对于模块 G 是 26 ps/nm, 而对于模块 H 是 15 ps/nm; 并且当这些被转换成每千米传输光纤的值时, 它们分别得到 0.35 ps/nm/km、0.33 ps/nm/km 和 0.19 ps/nm/km 的相应值。这样, 当使用常规模块 (最大小于或等于 30 ps/nm, 并且当按照千米来转换时是 0.38 ps/nm/km) 时, SC-DCF 模块能分别将最大残余色散差减小到相对于残余色散特性的 92%、87%和 50%。

结果, 通过使用用于 40 Gbit/秒传输的模块 F、G 和 H, 使得有可能借助单个色散补偿将可能传输距离分别延长到 372 km、400 km 和 694 km。

尽管已描述和图示了本发明的示范实施例, 应理解这些是本发明的示范实施例而不应被认为是限制。可在本发明的精神和范围内进行添加、省略、替换和其它修改。因此, 本发明不应被认为是由以上描述来限制。

图1

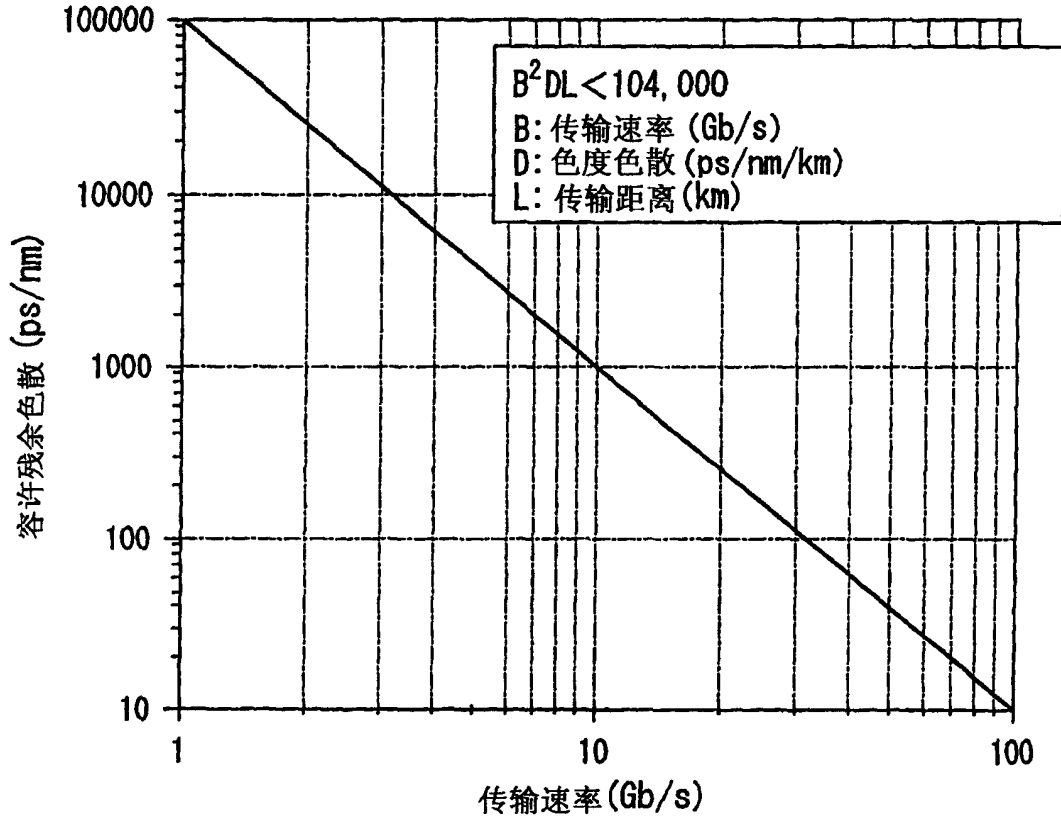


图2

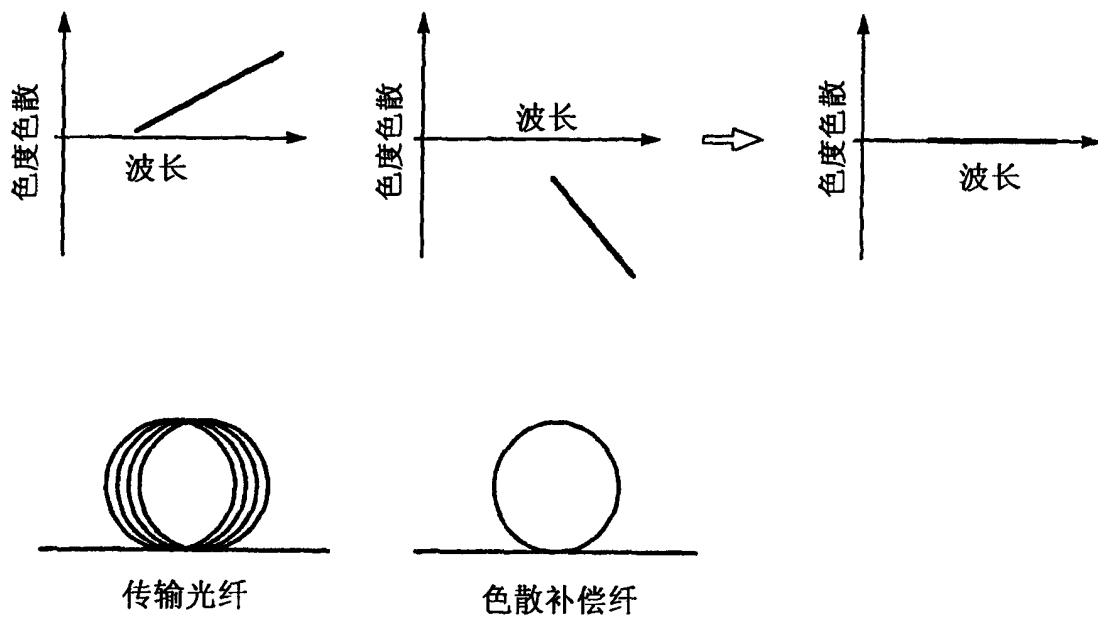


图3

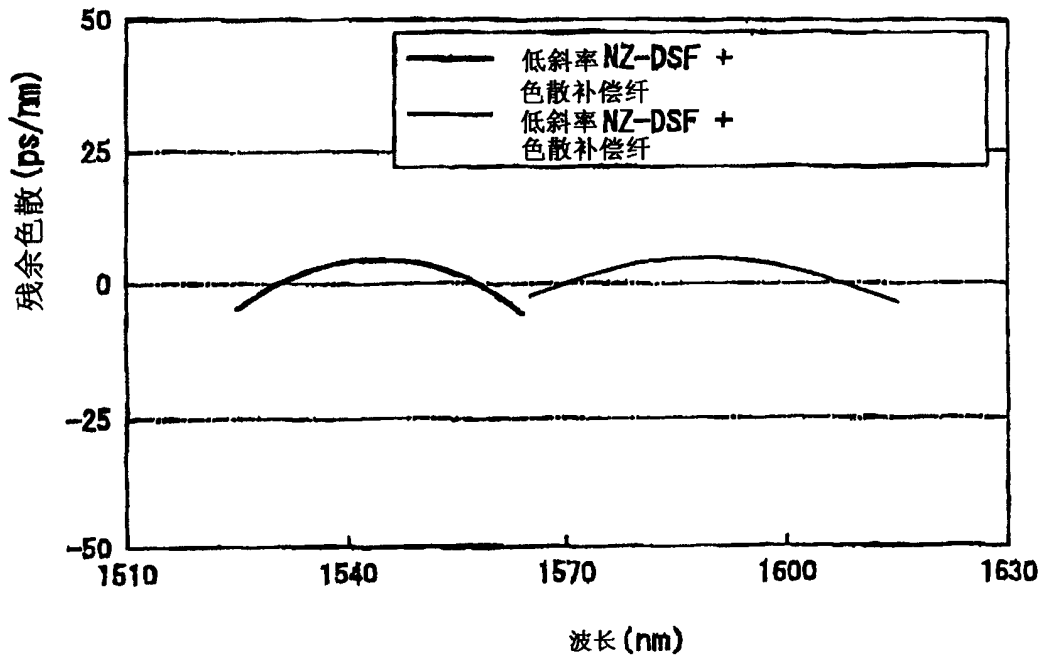


图4

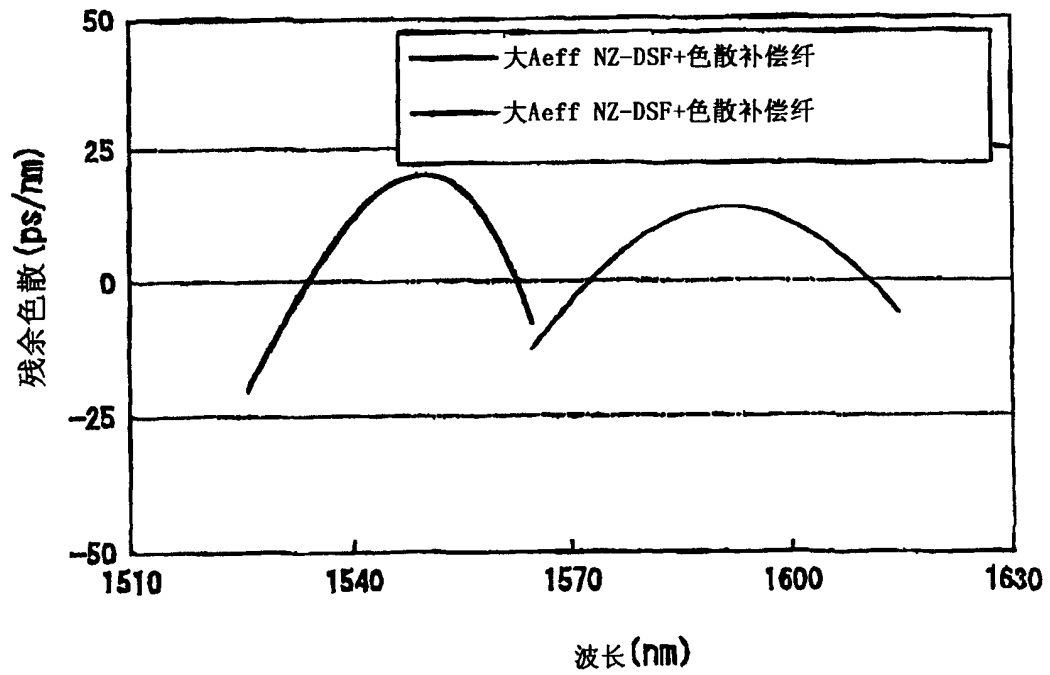


图5

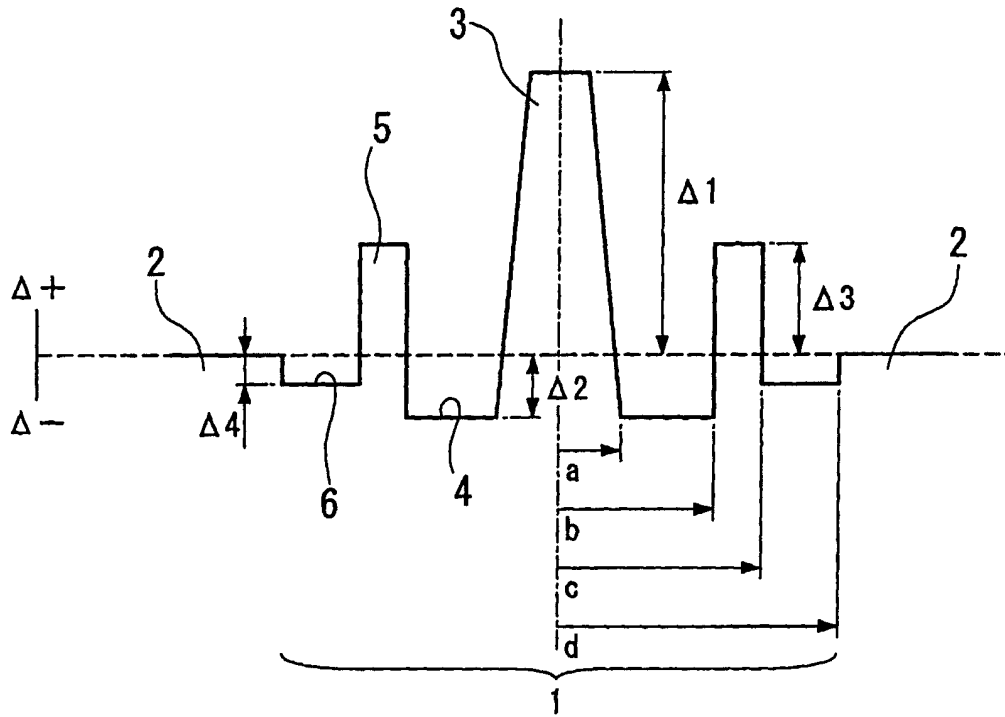


图6

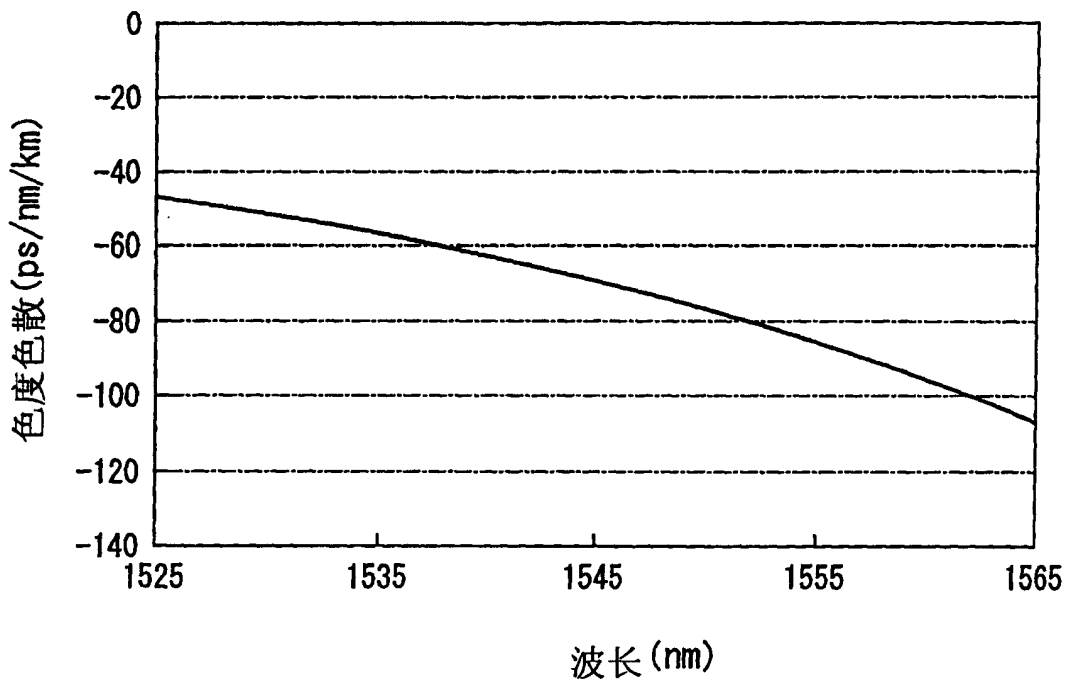


图7

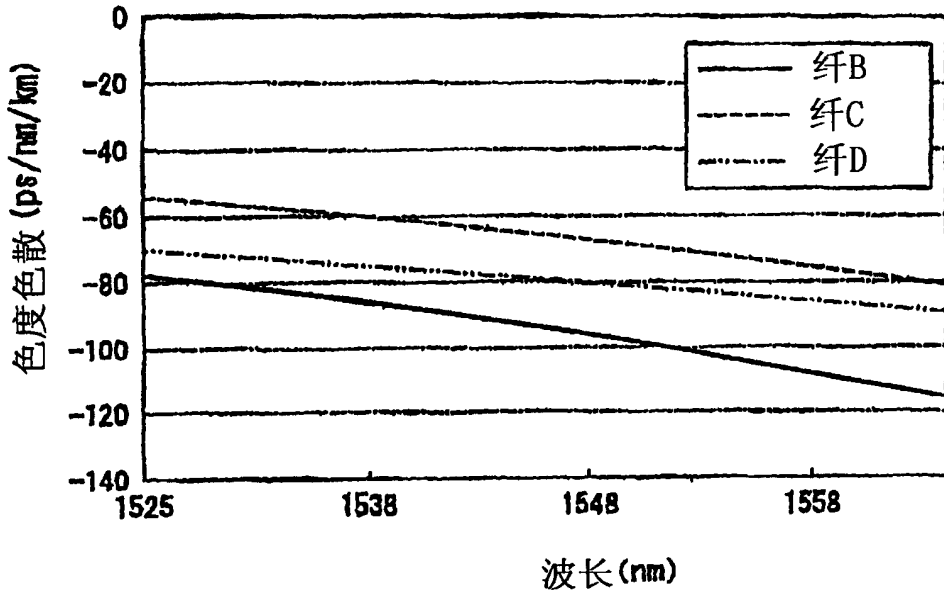


图8

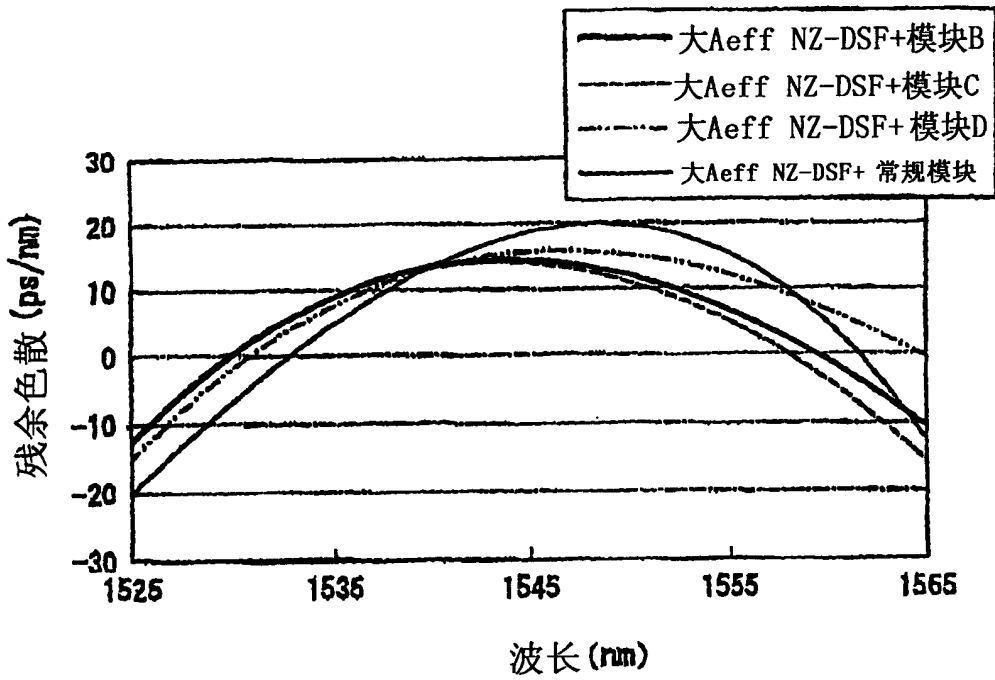


图9

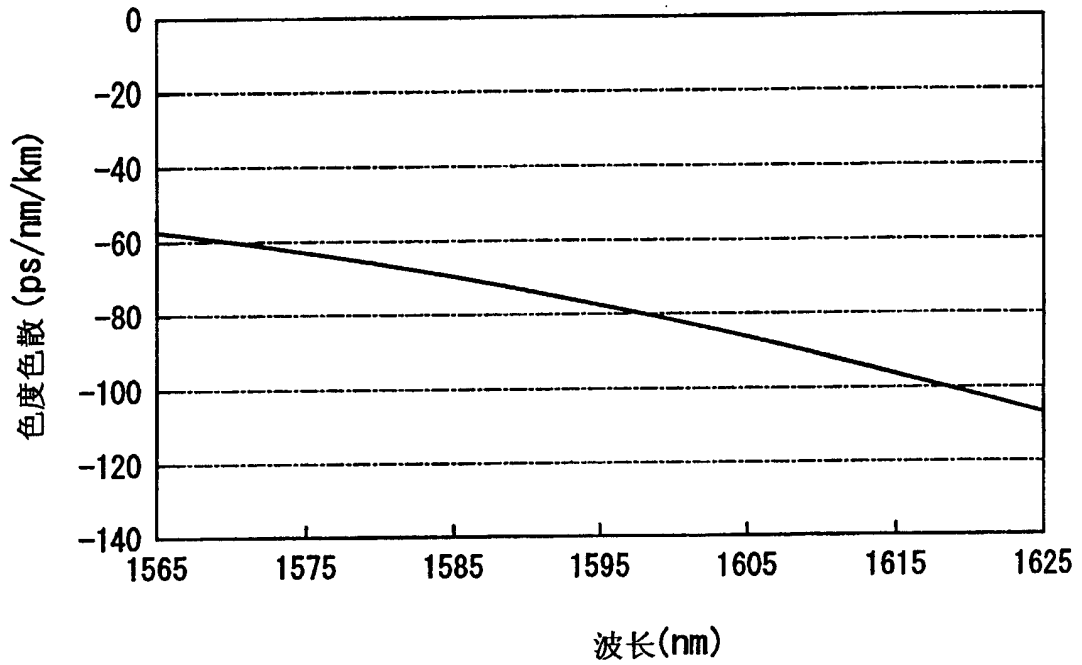


图10

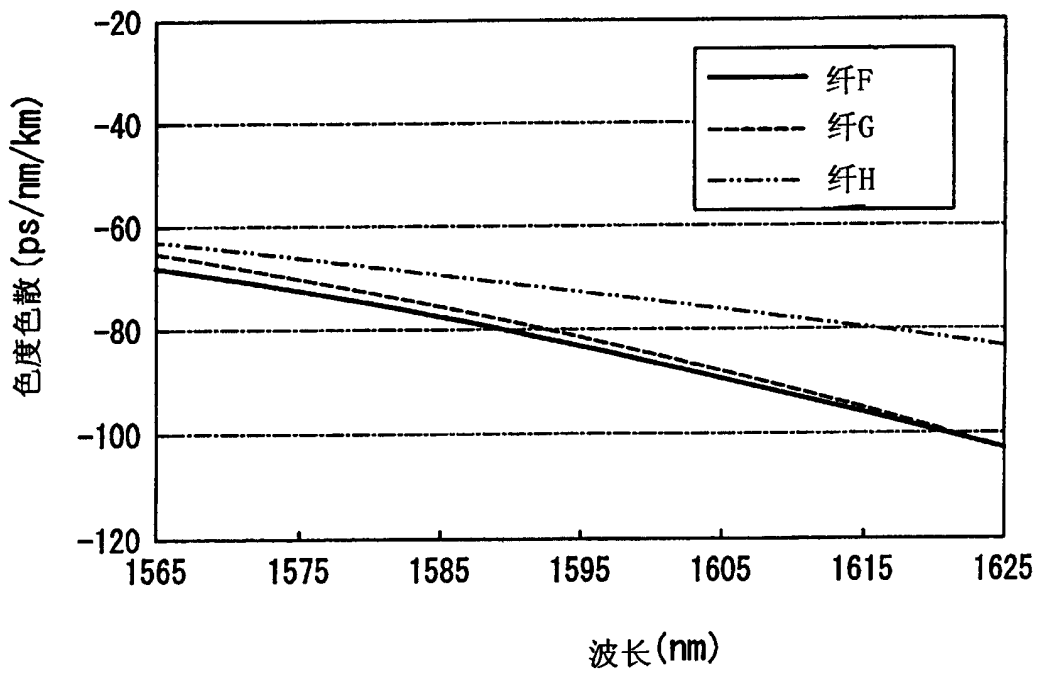


图11

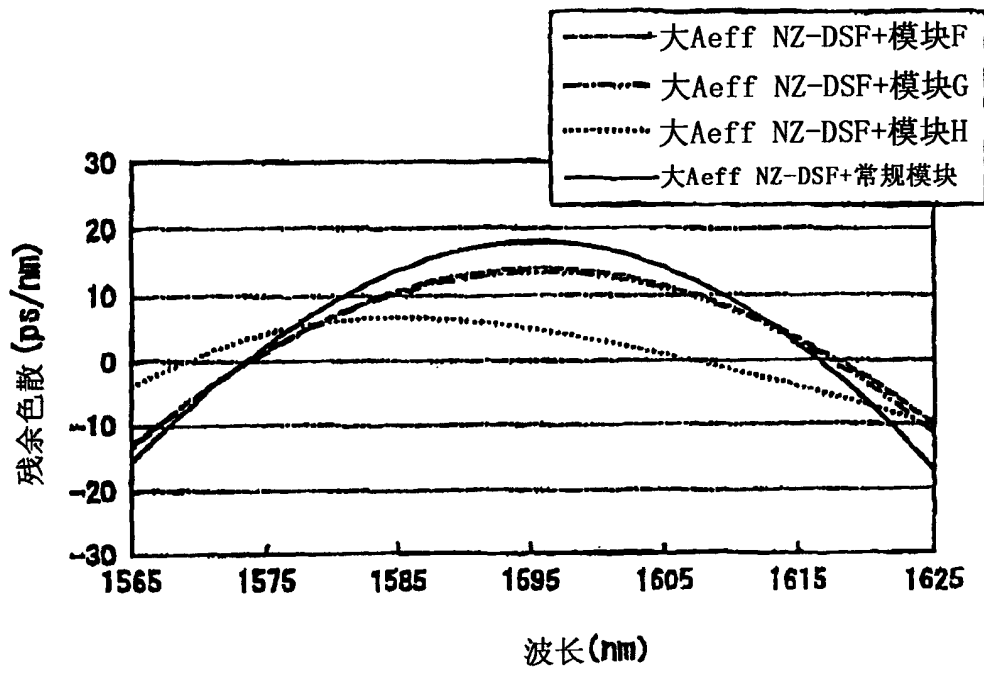


图12

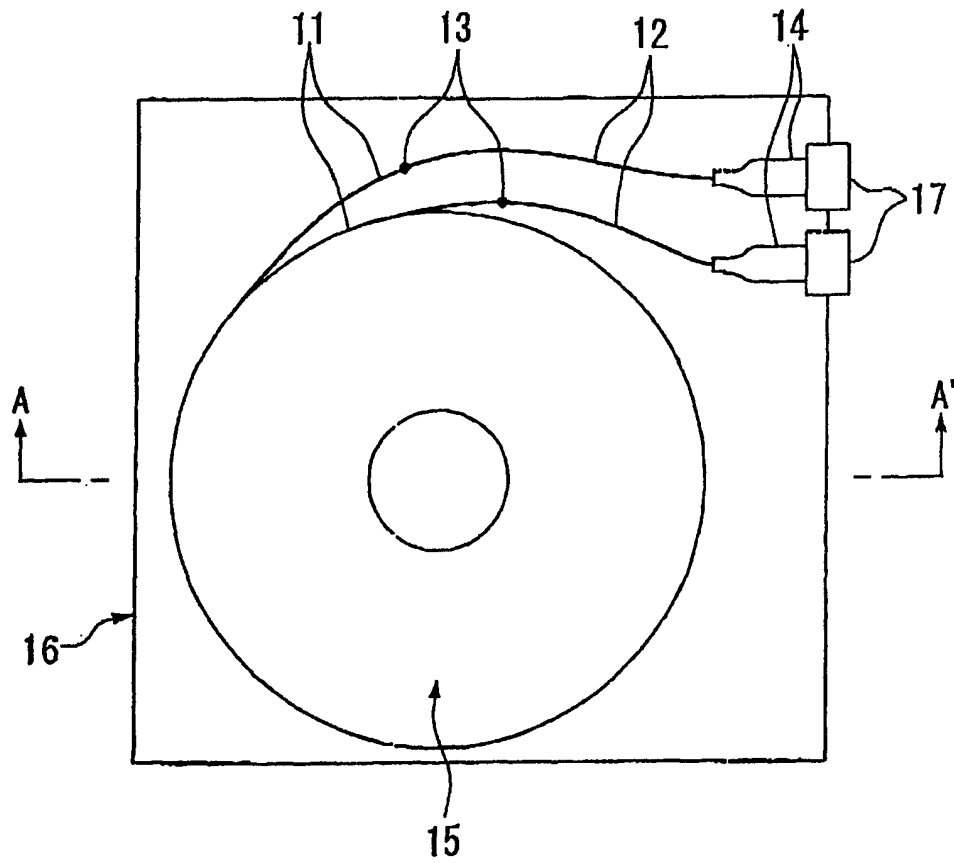


图13

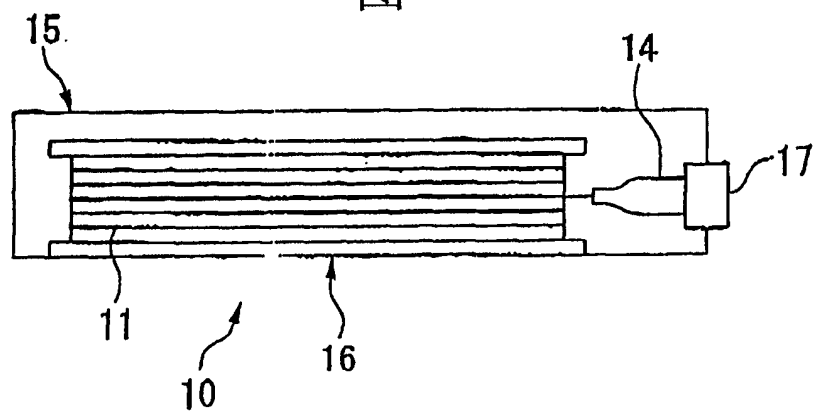


图14

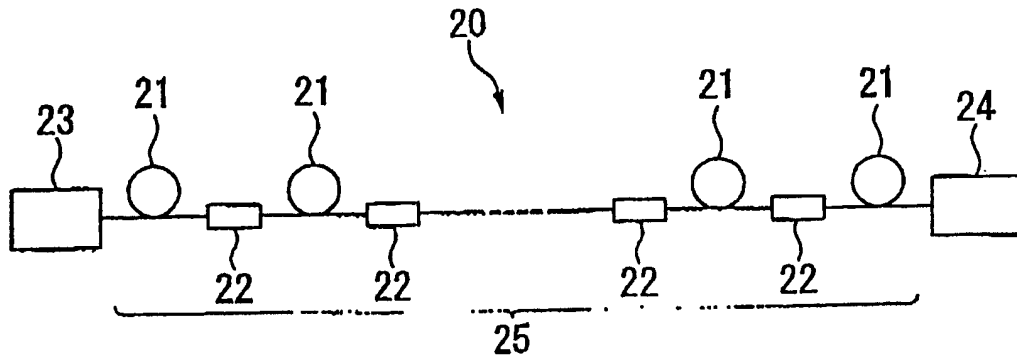


图15

