



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101207446 B

(45) 授权公告日 2012. 06. 27

(21) 申请号 200710146881. 8

(56) 对比文件

(22) 申请日 2007. 08. 24

CN 1790072 A, 2006. 06. 21, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 孟文婷

342070/2006 2006. 12. 20 JP

(73) 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

(72) 发明人 关根贤郎

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 陈英俊

(51) Int. Cl.

H04B 10/18 (2006. 01)

H04B 10/12 (2006. 01)

H04J 14/02 (2006. 01)

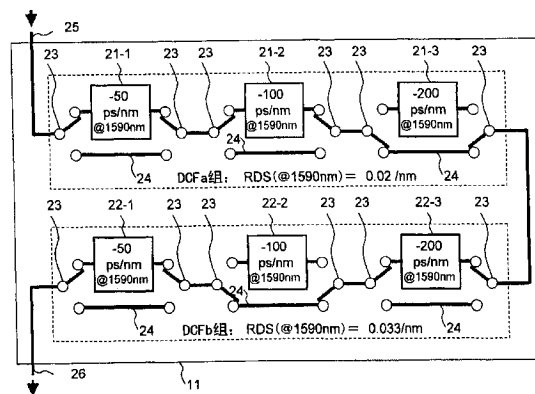
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 20 页

(54) 发明名称

色散补偿器及光传输系统

(57) 摘要

提供一种可变色散斜率补偿器,以廉价的结构高精度地补偿长距离高速 WDM 传输系统中的、伴随传输光纤的零色散波长的偏移而产生的色散斜率补偿误差。当将光纤的色散斜率 (ps/nm/nm/km) 除以色散系数 (ps/nm/km) 的值定义为相对色散斜率 RDS (/nm) 时,可变色散斜率补偿器包括:第一色散补偿光纤组,由共同具有相对色散斜率 RDSa 的至少两根以上的色散补偿光纤构成;第二色散补偿光纤组,由共同地具有与上述第一色散补偿光纤组具有的相对色散斜率 RDSa 不同的相对色散斜率 RDSb 的至少两根以上的色散补偿光纤构成;及光开关组或接线光缆组;用于实现上述第一色散补偿光纤组及第二色散补偿光纤组的任意的连接组合。



1. 一种色散补偿器,其特征在于,包括:

第一色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;

第二色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;及

光开关组或接线光缆组,用于对传输光纤与上述第一色散补偿光纤组及上述第二色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤的连接进行转换,上述传输光纤与上述第一色散补偿光纤组及上述第二色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤连接;

上述第一色散补偿光纤组和上述第二色散补偿光纤组的相对色散斜率不同。

2. 根据权利要求 1 记载的色散补偿器,其特征在于,

上述光开关组或接线光缆组用于实现上述第一色散补偿光纤组中及上述第二色散补偿光纤组中的上述色散补偿光纤的任意的连接组合;

上述第一色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤和上述第二色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤的零色散波长不同。

3. 根据权利要求 2 记载的色散补偿器,其特征在于,上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成,使某个代表波长的色散补偿量相对于既定的色散补偿阶梯量成为整数倍。

4. 根据权利要求 2 记载的色散补偿器,其特征在于,上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成,使某个代表波长的色散补偿量相对于既定的色散补偿阶梯量成为 2 的 N 次方倍,其中 N 为整数。

5. 根据权利要求 3 记载的色散补偿器,其特征在于,将上述代表波长设为传输信号带宽的中心波长或中心附近的波长。

6. 根据权利要求 1 记载的色散补偿器,其特征在于,具有多个上述色散补偿光纤组。

7. 根据权利要求 2 记载的色散补偿器,其特征在于,

与传输光纤连接;

使上述传输光纤的零色散波长位于比零色散波长的分布中心靠短波长侧时的、上述传输光纤的相对色散斜率,与上述第一色散补偿光纤组的相对色散斜率一致;

并且,使上述传输光纤的零色散波长位于比上述传输光纤的零色散波长的分布中心靠长波长侧时的、上述传输光纤的相对色散斜率,与上述第二色散补偿光纤组的相对色散斜率一致。

8. 一种光传输系统,包括:

输出多个波长信号的发送器,

对该信号进行波分复用并输出的光复用器,

用于将由上述光复用器进行了波分复用的信号放大并中继的至少一个中继器,

对由上述中继器中继了的信号的波长进行分波并输出的光解复用器,

接收从上述光解复用器输出的信号的接收部,及

与中继传输线路连接的至少一个色散补偿器,

该光传输系统通过光纤传输该信号,其特征在于,

上述色散补偿器包括:

第一色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;

第二色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;及

光开关组或接线光缆组,用于对传输光纤与上述第一色散补偿光纤组及上述第二色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤的连接进行转换,上述传输光纤与上述第一色散补偿光纤组及上述第二色散补偿光纤组的上述色散补偿光纤连接;

上述第一色散补偿光纤组和上述第二色散补偿光纤组的相对色散斜率不同。

9. 根据权利要求 8 记载的光传输系统,其特征在于,

上述光开关组或接线光缆组用于实现上述第一色散补偿光纤组中及上述第二色散补偿光纤组中的上述色散补偿光纤的任意的连接组合。

10. 根据权利要求 9 记载的光传输系统,其特征在于,上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成,使某个代表波长的色散补偿量相对于既定的色散补偿阶梯量成为整数倍。

11. 根据权利要求 9 记载的光传输系统,其特征在于,上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成,使某个代表波长的色散补偿量相对于既定的色散补偿阶梯量成为 2 的 N 次方倍,其中 N 为整数。

12. 根据权利要求 10 记载的光传输系统,其特征在于,将上述代表波长设为传输信号带宽的中心波长或中心附近的波长。

13. 根据权利要求 8 记载的光传输系统,其特征在于,具有多个上述色散补偿光纤组。

14. 根据权利要求 9 记载的光传输系统,其特征在于,

使上述光纤的零色散波长位于比零色散波长的分布中心靠短波长侧时的、传输光纤的相对色散斜率,与上述第一色散补偿光纤组的相对色散斜率一致;

并且,使上述光纤的零色散波长位于比上述光纤的零色散波长的分布中心靠长波长侧时的、上述光纤的相对色散斜率,与上述第二色散补偿光纤组的相对色散斜率一致。

15. 根据权利要求 8 记载的光传输系统,其特征在于,

还包括与各上述色散补偿器连接的色散补偿量设定部;

在上述色散补偿量设定部中,计算到连接该色散补偿量设定部的上述光纤为止的总色散量,从可以由上述色散补偿器设定的连接组合中,选择通过该色散补偿器来补偿上述总色散量时残留色散量最小的连接组合,该连接组合通过远程操作来实现。

16. 根据权利要求 15 记载的光传输系统,其特征在于,

上述光开关组或接线光缆组用于实现上述第一色散补偿光纤组中及上述第二色散补偿光纤组中的上述色散补偿光纤的任意的连接组合;

上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成,使传输带宽中的代表波长的色散补偿量相对于既定的色散补偿阶梯量成为整数倍;

在上述色散补偿量设定部中,计算到连接该色散补偿量设定部的上述光纤为止的总色散量,从可以由上述色散补偿器设定的上述连接组合中,选择上述代表波长上的上述总色散量与可以由上述色散补偿器设定的连接组合最接近的两组连接组合,进而,从该两组组合中选择在上述传输带宽的两端的色散补偿误差的平方误差最小的连接组合,该连接组合通过远程操作来实现。

色散补偿器及光传输系统

技术领域

[0001] 本发明涉及色散补偿器及包含它的高速 WDM 传输系统,特别涉及高精度地补偿传输光纤的色散斜率的可变色散斜率补偿器。

背景技术

[0002] 在高速光纤通信中,因光纤中的所谓波长色散的特性,造成光波形劣化,传输速度或传输距离会受限制。所谓波长色散(以下称为色散)是指在光纤中信号传播的群速度的波长依存性。严格地讲,光波形具有多个波长成分(具有频谱宽度),若群速度具有波长依存性,则在光纤中出现前进慢的波长成分和前进快的波长成分,其结果波形扩展,当色散值不能忽略时,则发生波形失真,接收特性会劣化。由于色散量与光纤长度成正比,结果传输距离受限制。

[0003] 作为避免因色散导致的波形失真的影响的手段,一般应用色散补偿器。所谓色散补偿器是指具有与传输线路的光纤的色散量相反的色散量的光器件,能够通过该色散补偿器抵消光纤中的色散,抑制因色散产生的波形失真。作为色散补偿器使用最多的是色散补偿光纤(DCF:Dispersion Compensation Fiber)。所谓色散补偿光纤是指通过对光纤的材料和构造加以设计来保持与传输线路的光纤相反的色散特性。

[0004] 色散补偿光纤被设计成抵消传输线路的光纤(以下称为传输光纤)的色散量。例如,在单波长传输时,色散补偿光纤被设计成为绝对值与该色散量相等的、负的色散量,以补偿传输光纤的信号波长的色散量。

[0005] 但是,在波分复用传输(WDM)中应用色散补偿光纤时,需要考虑色散的波长依存性。一般而言,在长波长侧,传输光纤的色散具有色散值在长波长侧增大的特性,在 WDM 传输中使用的带宽内,可以大致用直线近似。用直线近似每个单位距离的色散量、即色散系数(单位 ps/nm/km)的波长依存性时,直线的倾斜度一般称为色散斜率(单位 ps/nm/nm/km)。传输光纤的色散是正的值,例如,在一种主要的传输光纤即色散位移光纤中,一般是在 0.07ps/nm/nm/km 前后的值。

[0006] 若考虑该色散斜率,则由于传输线路的色散量在长波长侧增大,因此,在波长方向上复用多个信道的信号的 WDM 传输中,为了实施完全的色散补偿,需要使用补偿量在长波长侧增大的 DCF。

[0007] 例如,在专利文献 1 中,如图 17 所示,提出一种对传输光纤 102 设置不仅补偿色散、且补偿色散斜率的色散补偿光纤 103 的方法。图 18 中示出传输光纤 102 及色散补偿光纤 103 的色散量的关系。传输光纤 102 的色散量在零色散波长 λ_0 处色散量成为零,之后在右上角增大。当传输实际的 WDM 信号的传输带宽设为从波长 λ_L (最短波长)到 λ_U (最长波长)时,为了完全抵消传输光纤的色散量,色散补偿光纤 103 被设计成,在整个信号带宽(从 λ_L 到 λ_U)具有色散量的绝对值相等、且符号为负的色散量。其结果,色散补偿后的残留色散量在整个信号带宽(从 λ_L 到 λ_U)为零。

[0008] 专利文献 1:(日本)特开平 10—39155

[0009] 大西正志及其他发明《色散补偿光纤及包含它的光传输系统》(注:专利文献1的发明人及标题)

[0010] 但是,传输光纤的特性,如图19所示,一般可知零色散波长按每个固体偏移是离散的,其结果,传输带宽中的色散系数也如图19的斜线部那样分散。特别是,在如上所述的色散位移光纤的情况下,零色散波长的偏移范围(从 λ_{0a} 到 λ_{0b})在10nm以上也不稀奇。在使用这样的零色散波长对每个个体有偏移的传输光纤的WDM传输系统中,应用被设计成补偿上述那样的色散斜率的色散补偿光纤时,有可能由于零色散波长的偏移而使色散补偿后的残留色散不成为零、发生补偿误差。

[0011] 具体地,如图20所举的数值例,对该现象在下面进行说明。设传输光纤的零色散波长在1540nm到1560nm是离散的,并且,设信号带宽为1570nm到1610nm。光纤a及光纤b分别相当于零色散波长成为上述分布中的最短波长的情况及成为最长波长的情况。光纤a、光纤b的1570nm处的色散系数分别为0.7及2.1ps/nm/km,1610nm处的色散系数分别为3.5及4.9ps/nm/km。色散补偿光纤以该带宽内的传输光纤的平均特性、即光纤a和光纤b的中间值为基础进行设计。其结果,1570nm处的色散系数为-1.4ps/nm/km,1590nm处的色散系数为-4.2ps/nm/km。

[0012] 考虑使用该色散补偿光纤对光纤长60km的光纤a、及光纤长100km的光纤b进行色散补偿的情况。带宽中的中间波长1590nm处的光纤a及光纤b的色散系数分别为3.5及2.1ps/nm/km,因此光纤长60km的光纤a及光纤长100km的光纤b,任何情况下色散量都为210ps/nm($=3.5 \times 60$,或 2.1×100)。因此考虑优选作为色散补偿光纤的色散量设计成补偿量在1590nm处成为-210ps/nm。

[0013] 但是,如图21那样100%补偿光纤a时要求的特性、及100%补偿光纤b时要求的特性(即只逆转光纤a及光纤b各自色散量的符号的特性)仅在波长1590nm这1个点一致,但是,在除此以外的波长中不一致。因此,利用平均特性来设计的色散补偿光纤输出的残留色散除波长1590nm以外,其他都不为零,发生补偿误差。在带宽的两端(λ_L 及 λ_U)误差最大,光纤a的补偿误差达到 ± 35 ps/nm,光纤b的补偿误差达到 ± 21 ps/nm。这样,在以往那样设计的色散补偿光纤中,存在因传输光纤的零色散波长的偏移而补偿误差会增大的问题。

[0014] 当长距离中继传输时,这样的补偿误差在每个中继器中放大。一般在中继传输中,在中继器中设置色散补偿光纤,补偿之前的传输光纤的色散量,但是,在每个跨度发生如上所述那样的事故时,补偿误差累积起来,结果因色散导致的波形失真也会增大。

[0015] 众所周知,通过在接收机之前与色散补偿光纤分别设置色散量可变的可变色散补偿器,在接收器之前补偿这样的按每个波长累积的补偿误差(残留色散)的方式。但是,在累积的补偿误差量超过在可变色散补偿器中可设定的可变色散范围时,有仍然残留补偿不完的补偿误差的问题。

[0016] 另外,当考虑称作自相位调制(SPM)或交叉相位调制(XPM)等非线性现象和色散的相互作用时,希望通过上述的可变色散补偿器,不只是仅在接收机之前抑制残留色散,而且最好对每个中继器输出抑制残留色散。但是,在以往那样设计的色散补偿光纤中,由于传输光纤的零色散波长的偏移,每个中继器输出会发生残留色散,可能存在因非线性现象和色散的相互作用而发生波形失真的问题。

发明内容

[0017] 因此,本发明的目的在于提供一种补偿零色散波长且色散斜率的色散补偿器。

[0018] 对于这样的问题,本申请的发明提供的结构的色散补偿器,其特征在于,包括:第一色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;第二色散补偿光纤组,具有相对色散斜率共同的至少两根色散补偿光纤;及光开关组或接线光缆组,用于对传输光纤与第一色散补偿光纤组及第二色散补偿光纤组的色散补偿光纤的连接进行转换,该传输光纤与第一色散补偿光纤组及第二色散补偿光纤组的色散补偿光纤连接;第一色散补偿光纤组及第二色散补偿光纤组的相对色散斜率不同。

[0019] 若采用本申请的发明,能够构成对与传输光纤的零色散波长且色散斜率呼应的色散进行补偿的可变色散斜率补偿器。

[0020] 附图说明

[0021] 图 1 是本发明的第 1 实施例的结构。

[0022] 图 2 是说明第一及第二色散补偿光纤的设计手法的图。

[0023] 图 3 是第一及第二色散补偿光纤的设计例。

[0024] 图 4 是第一及第二色散补偿光纤组的色散分布图。

[0025] 图 5 是第一及第二色散补偿光纤组的代表特性值。

[0026] 图 6 是可通过第一实施例实现的色散补偿量的组合的例子。

[0027] 图 7 是可通过第一实施例实现的色散分布的例子。

[0028] 图 8 是第一实施例的其他实施例的结构。

[0029] 图 9 是可通过第一实施例的其他结构实现的色散分布图的例子。

[0030] 图 10 是本发明的第 2 实施例的结构。

[0031] 图 11 是色散补偿量的设定流程。

[0032] 图 12 是说明色散补偿量的设定流程中的 DCF 选择方法的图。

[0033] 图 13 是色散斜率补偿的模拟结果的例子 (1)。

[0034] 图 14 是色散斜率补偿的模拟结果的例子 (2)。

[0035] 图 15 是色散斜率补偿后的残留色散分布图 (1)。

[0036] 图 16 是色散斜率补偿后的残留色散分布图 (2)。

[0037] 图 17 是以往例中的包含色散斜率补偿器的系统结构。

[0038] 图 18 是说明以往例中的色散斜率补偿的图。

[0039] 图 19 是说明传输光纤的零色散波长的偏移的图。

[0040] 图 20 是说明以往例中的色散斜率补偿误差的图 (1)。

[0041] 图 21 是说明以往例中的色散斜率补偿误差的图 (2)。

具体实施方式

[0042] 本申请的第一发明提供的结构是可变色散斜率补偿器,当将光纤的色散斜率 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$) 除以色散系数 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$) 的值定义为相对色散斜率 $\text{RDS} (/ \text{nm})$ 时,上述可变色散斜率补偿器包括:第一色散补偿光纤组,由共同具有相对色散斜率 RDSa 的至少两根以上的色散补偿光纤构成;第二色散补偿光纤组,由共同地具有与上述第一色散补偿光纤组具有

的相对色散斜率 $RDSa$ 不同的相对色散斜率 $RDSb$ 的至少两根以上的色散补偿光纤构成；及光开关组或接线光缆组；用于实现上述第一色散补偿光纤组及第二色散补偿光纤组的任意的连接组合。

[0043] 若采用本申请的第一发明，通过用于实现相对色散斜率 RDS 值不同的第一色散补偿光纤组、及第二色散补偿光纤组、及它们的色散补偿光纤组的任意的连接组合的光开关组或接线光缆组，能够构成根据传输光纤的零色散波长来改变色散斜率的可变色散斜率补偿器。

[0044] 另外，本申请的第二发明提供的结构是基于第一发明的可变色散斜率补偿器，其特征在于，上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成，某个代表波长的色散补偿量成为既定的色散补偿阶梯量的整数倍。

[0045] 另外，本申请的第三发明提供的结构是基于第一发明的可变色散斜率补偿器，其特征在于，上述第一色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤及上述第二色散补偿光纤组中的各色散补偿光纤被设计成，某个代表波长的色散补偿量成为既定的色散补偿阶梯量的 2 的 N 次方 (N 为整数) 倍。

[0046] 若采用本申请的第二、第三发明，在构成第一色散补偿光纤组、及第二色散补偿光纤组的各色散补偿光纤中，各代表波长的色散补偿量被设计为既定的色散补偿阶梯量的整数倍、或 2 的 N 次方 (N 为整数) 倍，从而可以构成可以高精度地调节斜率的可变色散斜率补偿器。

[0047] 另外，本申请的第四发明提供的结构是基于第一发明的可变色散斜率补偿器，其特征在于，将上述代表波长设为传输信号带宽的中心波长或中心附近的波长。

[0048] 另外，本申请的第五发明提供的结构是光传输系统，其特征在于，设置有多个利用第一发明的可变色散斜率补偿器和传输光纤。

[0049] 另外，本申请的第六发明提供的结构是基于第五发明的光传输系统，其特征在于，上述传输光纤的零色散波长的每一个都有偏移，使零色散波长位于比该零色散波长的分布中心靠短波长侧时的、传输光纤的相对色散斜率 RDS 与上述第一色散补偿光纤组的相对色散斜率 $RDSa$ 一致，并且，使零色散波长位于比该零色散波长的分布中心靠长波长侧时的传输光纤的相对色散斜率 RDS 与上述第二色散补偿光纤组的相对色散斜率 $RDSb$ 一致。

[0050] 若采用本申请的第六发明，对于假定的传输光纤的零色散波长偏移，通过使零色散波长位于比分布中心靠短波长侧时的、传输光纤的 RDS 值与第一色散补偿光纤组的 RDS 值一致，另外，使零色散波长位于比分布中心靠长波长侧时的传输光纤的 RDS 值与第二色散补偿光纤组的 RDS 值一致，从而能够构成在较宽范围可调节斜率的可变色散斜率补偿器。

[0051] 另外，本申请的第七发明提供的结构是基于第五发明的光传输系统，其特征在于，使用零色散波长分布在 $1510\text{nm} \sim 1590\text{nm}$ 范围的色散位移光纤作为传输光纤。

[0052] 若采用本申请的第七发明，通过做成如下的光传输系统，不仅能够降低接收端的残留色散，而且能够降低在整个中继传输系统中各中继器输出的残留色散，上述光传输系统能够远程操作可变色散斜率补偿器内的光开关组，根据光传输系统内的传输光纤的色散信息，计算出各可变色散斜率补偿器所希望的色散补偿量，并远程操作上述光开关。

[0053] 另外,本申请的第八发明提供的结构是基于第五发明的光传输系统,其特征在于,使用 L 波带 (1565nm ~ 1615nm) 作为信号带宽。

[0054] 另外,本申请的第九发明提供的结构是基于第五发明的光传输系统,其特征在于,使用 C 波带 (1525nm ~ 1565nm) 作为信号带宽。

[0055] 另外,本申请的第十发明提供的结构是基于第五发明的光传输系统,其特征在于,能够远程操作上述可变色散斜率补偿器内的上述光开关组,且根据上述光传输系统内的传输光纤的色散信息计算出各可变色散斜率补偿器的色散补偿量并远程操作上述光开关来设定计算出的色散补偿量,使残留色散在所希望的范围内。

[0056] (实施例 1)

[0057] 使用图 1 来说明本发明的第 1 实施例。可变色散斜率补偿器 11 由第一色散补偿光纤组 21—1、2、3 和第二色散补偿光纤组 22—1、2、3 构成,在各色散补偿光纤的两端设有 1×2 的光开关 23。在光开关 23 的色散补偿光纤和另一方的端口上设有直通光纤 24。从可变色散斜率补偿器 11 的输入端口 25 入射的光信号通过任意地转换各光开关 23,在各色散补偿光纤 21—1、2、3 及 22—1、2、3、或直通光纤 24 中的某一个中传播后,从输出端口 26 输出。即,通过任意地转换各光开关 23,可以实现各色散补偿 光纤 21—1、2、3 及 22—1、2、3 的任意的组合连接。

[0058] 该可变色散斜率补偿器 11 中的第一色散补偿光纤组 21—1、2、3 和第二色散补偿光纤组 22—1、2、3 的特性设计如下。传输光纤的色散系数如图 2 所示地零色散波长在 λ_{0a} 到 λ_{0b} 之间离散。另外 WDM 信号波长的带宽,以最短波长侧为 λ_L 、最长波长侧为 λ_U 。在此,考虑零色散波长位于比平均特性靠短波长侧的光纤 a 和零色散波长位于比平均特性靠长波长侧的光纤 b。设带宽内的代表波长 λ_x 的色散系数在光纤 a 及光纤 b 中分别是 D_a 及 D_b (ps/nm/km)。另外,设色散斜率无论是光纤 a 及光纤 b 中的任一个的情况下都是 S (ps/nm/nm/km)。

[0059] 在此,DCFa 被设计成,以便补偿光纤 a 的色散及色散斜率,即,使代表波长 λ_x 处的色散系数成为 $-D_a$,并且,色散斜率成为 $-S$ 。另外,DCFb 被设计成,以便补偿光纤 b 的色散及色散斜率,即,使代表波长 λ_x 处的色散系数成为 $-D_b$,并且色散斜率成为 $-S$ 。

[0060] 换言之,当使用由将光纤的色散斜率 (单位:ps/nm/nm/km) 除以色散系数 (单位:ps/nm/km) 的值定义的相对色散斜率 RDS (单位:/nm) 时,DCFa 被设计成使代表波长 λ_x 处的相对色散斜率 RDS 成为 $RDS_a = S/D_a$,DCFb 被设计成使代表波长 λ_x 处的相对色散斜率 RDS 成为 $RDS_b = S/D_b$ 。

[0061] 图 3 示出具体的数值例。设传输光纤的色散在 1540nm (λ_{0a}) 到 1560nm (λ_{0b}) 之间是离散的,色散斜率为 0.07ps/nm/nm/km。另外,WDM 信号波长的带宽,设最短波长侧为 1570nm (λ_L)、最长波长侧为 1610nm (λ_U),设信号带宽内的代表波长为带宽中心的 1590nm (λ_x)。在此,使光纤 a 的零色散波长位于分布的最短波侧 (1540nm),并且,使光纤 b 的零色散波长位于分布的最长波侧 (1560nm)。在这样的情况下,DCFa 被设计成使色散斜率成为 -0.07 ps/nm/nm/km、代表波长 1590nm 处的色散量成为 -3.5 ps/nm/km。另外,DCFb 被设计成使色散斜率成为 -0.07 ps/nm/nm/km、代表波长 1590nm 处的色散量成为 -2.1 ps/nm/km。若使用相对色散斜率 RDS 来表现时,则如图 1 中的数值例所示,DCFa21—1、2、3 的 RDS 成为 0.02/nm ($= 0.07/3.5$)。另外,DCFb22—1、2、3 的 RDS 被设计成为 0.033/nm ($=$

0.07/2.1)。

[0062] 进而,构成 DCFa 组 21—1、2、3 及 DCFb 组 22—1、2、3 的各光纤被设计成,使代表波长的色散量(色散补偿量)成为某种规定的色散阶梯值 D_s (ps/nm) 的 M 倍 ($M = 1、2、3、\dots$)、或 2 的 N 次方倍 ($N = 1、2、3、\dots$)。若列举具体的数值例,则考虑将色散量设定为色散阶梯值 (D_s)—50ps/nm 的 2 的 N 次方倍 ($N = 1、2、3、\dots$) 即 1 倍、2 倍、4 倍。如图 1 的数值例所示,DCFa 组的各色散补偿光纤 21—1、2、3 的代表波长 1590nm 的色散量分别成为—50、—100、—200ps/nm。同样地,DCFb 组的各色散补偿光纤 22—1、2、3 的代表波长 1590nm 的色散量分别成为—50、—100、—200ps/nm。图 4 示出该数值例中的 DCFa21—1、2、3 及 DCFb22—1、2、3 的色散分布图,图 5 示出代表特性值的一览表。

[0063] 在此,在由按以上说明那样设计的 DCFa21—1、2、3 及 DCFb22—1、2、3 构成的、图 1 所示的可变色散斜率补偿器 11 中,考虑任意转换各光开关 23 的情况。通过转换光开关 23,各 DCF21—1、2、3 及 22—1、2、3 的连接组合自由地变化,从输入端口 25 到输出端口 26 之间的色散量变化。其一方面,即使在不同的连接组合中,也存在多个代表波长 λ_x 中的色散量相等的组合。例如实现色散量—100ps/nm 的组合可以有以下 3 种情况:色散量为—100ps/nm 的 DCFa21—2 单独的情况,或者组合色散量都为—50ps/nm 的 DCFa21—1 和 DCFb22—1 的情况,或者色散量—100ps/nm 的 DCFb22—2 单独的情况。

[0064] 为了标记的简洁化,作为识别这样的组合的符号,用“代表波长的全部色散量的绝对值、 d ”和“将选择的 DCFb 的全部色散量除以色散阶梯 D_s 的值、 k ”这两根量,将各组合表示为“ d ps— $\#k$ ”。例如,实现上述色散量—100ps/nm 的组合如下进行标记:在色散量为—100ps/nm 的 DCFa21—2 的单独的情况下标记为“100ps— $\#0$ ”,并且,在组合了色散量都为—50ps/nm 的 DCFa21—1 和 DCFb22—1 的情况下标记为“100ps— $\#1$ ”,并且,在色散量为—100ps/nm 的 DCFb22—2 单独的情况下标记为“100ps— $\#2$ ”。

[0065] 当使用该标记『 d ps— $\#k$ 』来整理转换光开关 23 时的各色散补偿光纤 21—1、2、3 及 22—1、2、3 的连接组合时,成为如图 6 那样。图中的记号 $\bigcirc$ 意味着选择相应的色散补偿光纤,记号 $\times$ 意味着不选择相应的色散补偿光纤(即,选择直通光纤侧的情况)。

[0066] 在此,如上所述,因为 DCFa21—1、2、3 及 DCFb22—1、2、3 的相对色散斜率值互不相同,因此,使 DCF 组合变化时(即,使“将选择的 DCFb 的全部色散量除以色散阶梯 D_s 的值、 k ”的值变化时),能够使该连接组合的相对色散斜率 RDS 值变化。即,在图 6 中,全部色散量相同的组合之间,代表波长 1590nm 处的色散量都相等,另一方面,能够使带宽的两端 1570nm 及 1610nm 处的色散量可变。例如,若看全部色散量的绝对值 $d = -100$ ps/nm 情况,则在“100ps— $\#0$ ”、“100ps— $\#1$ ”、“100ps— $\#2$ ”的任意组合中,代表波长 1590nm 处的色散量是—100ps/nm,但是,在分别是“100ps— $\#0$ ”、“100ps— $\#1$ ”、“100ps— $\#2$ ”的情况下,1570nm 处的色散量为—60、—46.7、—33.3ps/nm,随着 k 值的增加而减少。另一方面,分别在“100ps— $\#0$ ”、“100ps— $\#1$ ”、“100ps— $\#2$ ”的情况下,1610nm 处的色散量为—140、—153.3、—166.7ps/nm,随着 k 值的增加而增大。总之,能够通过改变 k 值而使相对色散斜率 RDS 变化。

[0067] 如上所述,构成 DCFa 组 21—1、2、3 及 DCFb 组 22—1、2、3 的各光纤的代表波长的色散量(色散补偿量)被设定成,成为某个规定的色散阶梯值 D_s (ps/nm) 的 M 倍 ($M = 1、2、3、\dots$)、或 2 的 N 次方倍 ($N = 1、2、3、\dots$)。因此,通过从 DCFa 组 21—1、2、3 中选择适当

的一个或多个光纤并连接它们,能够实现总色散量 $d=k \times D_s$ 。同样地,通过从 DCFb 组 22—1、2、3 中选择适当的一个或多个光纤并连接它们,能够实现总色散量 $k \times D_s$ 。总之,通过连接这些光纤,在总色散量 d 的状态下,能够通过改变 k 值使色散斜率变化。为了抑制色散斜率补偿器内的全部 DCF 的总量,将构成 DCFa 组 21—1、2、3 及 DCFb 组 22—1、2、3 的各光纤设定为,使代表波长的色散量(色散补偿量)成为某个规定的色散阶梯值 D_s (ps/nm) 的 2 的 N 次方倍($N=1,2,3,\dots$)是有效的。

[0068] 该相对色散斜率 RDS 的变化的样子根据图 7 所示的色散分布图可知。在固定了“代表波长中的全部色散量的绝对值、 d ”的状态下,使“将选择的 DCFb 的全部色散量除以色散阶梯 D_s 的值、 k ”变化时,代表波长处的色散量不变化,仅色散斜率变化。例如,对“100ps—#0”、“100ps—#1”、“100ps—#2”而言,观察到当保持代表波长 1590nm 处的色散量为—100ps/nm 不变而使 k 值增加为 0、1、2 时,色散斜率变得更陡峭的样子。该现象在“代表波长中的全部色散量的绝对值、 d ”为 100ps/nm 以外的情况下也是同样的,仍然增加 k 值时,保持代表波长中的色散量不变,仅色散斜率变得陡峭起来。总之,采用本发明的图 1 的结构,通过转换光开关 23,不仅色散而且色散斜率也可变,实现可变色散斜率补偿器。

[0069] 在图 1 的结构中,将色散量设定为相对于色散阶梯值 (D_s)—50ps/nm 成为 2 的 N 次方倍($N=1,2,3$),即成为 1 倍、2 倍、4 倍,DCFa 组的各色散补偿光纤 21—1、2、3 的代表波长 1590nm 处的色散量分别为—50、—100、—200ps/nm。当使该色散阶梯值 (D_s) 减少时,实现精度更高的可变色散补偿器。例如,设色散阶梯值 (D_s) 为—25ps/nm,进而使 DCFa 组及 DCFb 组分别由 4 根 DCF 构成,将色散量设定为 2 的 N 次方倍($N=1,2,3,4$) 即 1 倍、2 倍、4 倍、8 倍,各色散补偿光纤的代表波长 1590nm 的色散量如图 8 所示那样分别设为—25、—50、—100、—200ps/nm 时,如图 9 所示,不仅对代表波长中的色散量,而且对色散斜率也增大可实现的色散分布,实现精度更高的色散斜率补偿。

[0070] 另外,在图 1 及图 3 的例子中,使光纤 a 的零色散波长位于分布的最短波长侧(1540nm),并且,使光纤 b 的零色散波长位于分布的最长波长侧(1560nm),决定了与此对应的 DCFa 及 DCFb 的特性值。但是,如图 2 所示,使光纤 a 的零色散波长位于分布的短波长区域内的任意的波长上,使光纤 b 的零色散波长位于分布的长波长区域内的任意的波长上,决定与此对应的 DCFa 及 DCFb 的特性值,本专利也是有效的。即,使用将光纤的色散斜率(单位:ps/nm/nm/km)除以色散系数(单位:ps/nm/km)的值来定义的相对色散斜率 RDS(单位:/nm) 时,DCFa 被设计成使代表波长 λ_x 中的相对色散斜率 RDS 成为 $RDS_a = S/D_a$, DCFb 被设计成使代表波长 λ_x 中的相对色散斜率 RDS 成为 $RDS_b = S/D_b$,若维持 $RDS_a < RDS_b$ 的关系,则本专利有效。总之,使光纤 a 的零色散波长位于 1540nm,光纤 b 的零色散波长位于 1555nm,决定与此对应的 DCFa 及 DCFb 的特性值,本专利是有效的,提高设计的自由度。

[0071] 另外,在目前的实施例的数值例中,设代表波长(λ_x)为信号波长的中心波长(1590nm),但将信号波长附近的例如 ITU—Grid 波长即 1589.57nm 或 1590.41nm 作为代表波长,也能够应用本专利,另外即使不在中心附近,而是将长波长侧的例如 1595nm 的任意的波长、或短波长侧的任意的波长作为代表波长,也不损害本专利的有效性。

[0072] 另外,在到此为止的实施例的数值例中,将各 DCF 的色散量设定为色散阶梯值 (D_s)—50ps/nm 的 2 的 N 次方倍($N=1,2,3$),即 1 倍、2 倍、4 倍,但即使为 2 的 M 倍($M=1,2,3,\dots$),即 1 倍、2 倍、3 倍,也能够应用本专利。另外,即使对于色散阶梯值 (D_s)—50ps/

nm,不是严格的 2 的 N 次方倍 ($N = 1, 2, 3$),或 2 的 M 倍 ($M = 1, 2, 3, \dots$),通过设为其附近的值的色散量,也能够应用本专利。

[0073] 在实际的色散补偿光纤中,色散的波长依存性不是严格的直线,在色散斜率之外,还存在向上凸或向下凸的高次的波长依存性,因此当需要更高精度的色散补偿时,需要考虑该影响,但即使在这样的情况下,色散斜率的成分也能够在本专利中高精度地补偿,不损害本专利的有效性。

[0074] 如以上说明那样,通过相对色散斜率 RDS 值不同的第一色散补偿光纤组、及第二色散补偿光纤组、及用于实现它们的色散补偿光纤组的任意的连接组合的光开关组或接线光缆组,能够构成相应于传输光纤的零色散波长且色散斜率而使色散补偿器补偿的色散斜率可变的可变色散斜率补偿器。

[0075] 进而,在构成第一色散补偿光纤组、及第二色散补偿光纤组的各色散补偿光纤中,各代表波长的色散补偿量被设计成,成为既定的色散补偿阶梯量的整数倍、或 2 的 N 次方 (N 为整数) 倍,能够构成可以高精度调节斜率的可变色散斜率补偿器。

[0076] 进而,对于假定的传输光纤的零色散波长的偏移,通过使零色散波长位于比分布中心靠短波长侧时的传输光纤的 RDS 值和第一色散补偿光纤组的 RDS 值一致,另外,使零色散波长位于比分布中心靠长波长侧时的传输光纤的 RDS 值和第二色散补偿光纤组的 RDS 值一致,能够构成在广泛范围可调节斜率的可变色散斜率补偿器。

[0077] 另外,本专利并不限于两根色散补偿光纤组,通过使用三组以上的色散补偿光纤组,能够进行更高精度的补偿,也提高设计自由度。

[0078] (实施例 2)

[0079] 使用图 10、图 11 来说明本发明的第 2 实施例。图 10 是包含本发明的第 1 实施例的可变色散斜率补偿器 11 的多中继传输系统。发送器 12 通过光复用器 13 被复用而形成 WDM 信号,在光放大器 14—1 中被放大后入射到中继传输线路。传输线路由传输光纤 15—1、2...、可变色散斜率补偿器 11—1、2...、及光开关 14—1、2...构成,经过中继传输线路的 WDM 信号在光解复用器 16 中被分波而到达接收器 17。各可变色散斜率补偿器 11—1、2...的色散补偿量通过色散补偿量设定单元 18 计算出并被远程设定。

[0080] 在此,通过图 11 所示的流程设定各可变色散斜率补偿器 11 的色散补偿量。在此,考虑对于该跨度编号 i (初始值 1) 来设定可变色散斜率补偿器 11— i 的色散补偿量的情况。首先,计算出到之前的传输光纤 15— i 的总色散量 $D_{ti}(\lambda)$ 。如图 10 的结构时,根据到可变色散斜率补偿器 11— i 的之前为止的传输光纤的色散量的总和 $D_{f1}(\lambda) + D_{f2}(\lambda) + \dots + D_{fi}(\lambda)$ 、和到可变色散斜率补偿器 11— i 的之前为止的可变部分色散斜率补偿器的色散设定量的总和 $D_{d1}(\lambda) + D_{d2}(\lambda) + \dots + D_{d(i-1)}(\lambda)$ 之和计算总色散量 $D_{ti}(\lambda)$ 。

[0081] 传输光纤的色散量的总和 $D_{f1}(\lambda)$ 、 $D_{f2}(\lambda)$... $D_{fi}(\lambda)$ 可以事先将测量的现场数据手动输入到色散补偿量设定单元 18 中,也可以将管理事先测量的现场数据的图表区域可以设置在色散补偿量设定单元 18 的内部或色散补偿量设定单元 18 能够存取的区域中,通过参照该图表来导出。另外,也可以设置另外的色散测量单元,准时取得色散数据,可以使用该值求出传输光纤的色散量。另外,通过将到此为止计算并实际设定的分散设定量预定保存在色散补偿量设定单元 18 的内部,可取得之前的可变色散斜率补偿器的色散设定

量 $Dd1(\lambda)$ 、 $Dd2(\lambda)$ 、 $\dots Dd(i-1)(\lambda)$ 。

[0082] 接下来,对于代表波长中的总色散量 $Dti(\lambda_x)$ 、色散阶梯量 Ds ,求出满足 $N \times Ds < Dti(\lambda_x) < (N+1) \times Ds$ 的零或正的自然数 N 。这意味着在可变色散斜率补偿器 13 中,从可设定的“代表波长中的全部色散量的绝对值、 d ”中,选择与代表波长中的总色散量 $Dti(\lambda_x)$ 最接近的值。

[0083] 接下来,设 $n = N$ 后,在使 DCFa 的代表波长中的色散量为 $(n-k) \times Ds$ 、DCFb 的代表波长中的色散量为 $k \times Ds$ 时的连接组合中,计算出色散量 $Ddi(\lambda)$ 。该操作相当于选择图 6 中的识别编号 $(n \times Ds)ps\#k$ 。

[0084] 在此,在最短波长时和最长波长时分别计算色散补偿后的积累色散量的平方和,进而,计算出其和 $T = (Dti(\lambda_L) + Ddi(\lambda_L))^2 + (Dti(\lambda_U) + Ddi(\lambda_U))^2$ 。

[0085] 计算出的 T 与 n 及 k 的组合一起保存在存储器中,同样地,计算出 $n = N$ 、且 $k = 0, 1, 2, \dots, n$ 的各组合中的 T 。另外,同样地,计算出 $n = N+1$ 、且 $k = 0, 1, 2, \dots, n$ 的各组合中的 T 。

[0086] 各组合中的 T 的计算结束后,查找使 T 最小的 n, k 的组合,将该组合作为可变色散斜率补偿器 (11—i) 的设定量。即设定成为 $d = n \times Ds$ 的“ $d\ ps\#k$ ”的组合。

[0087] 将以上的工序,使 i 逐一增加而依次地计算、设定,若在全部分布中结束可变色散斜率补偿器 13 的设定,则设定流程结束。

[0088] 以上说明的流程相当于如下情况:如图 12 那样,对于 100% 补偿之前的传输光纤为止的总色散量 $Dti(\lambda)$ 的特性,从在可变色散斜率补偿器 13 中可设定的组合中选择与代表波长 (λ_x) 的色散量最接近的 2 组 (色散量 $N \times Ds$ 的组、及色散量 $(N+1) \times Ds$ 的组),进而,从属于这 2 组的“ $(N \times Ds)ps\#0$ ”、“ $(N \times Ds)ps\#1$ ”、 $\dots$ “ $(N \times Ds)ps\#N$ ”及“ $((N+1) \times Ds)ps\#0$ ”、“ $((N+1) \times Ds)ps\#1$ ”、 $\dots$ “ $((N+1) \times Ds)ps\#N+1$ ”中,选择两端的波长 (λ_L 及 λ_U) 的平方误差最小的组合。这样,用简便的算法能够从在可变色散斜率补偿器 13 中可设定的组合中选择带宽中的补偿误差最小 (或大致最小) 的组合。在下面示出对利用上述流程来选择时的本专利的效果进行模拟时的结果。在图 10 所示的传输系统结构中,设中继数为 10,传输光纤 15—1、2、 $\dots$ 10 的零色散波长由从 1540nm (λ_{0a}) 到 1560nm (λ_{0b}) 之间的均匀分布随机数来设定。另外,传输光纤 15—1、2、 $\dots$ 10 的光纤长也由 60km 到 90km 之间的均匀分布随机数来设定。将以上 10 个中继传输系统生成 1000 个模式,在各模式中应用图 11 的流程,设定各色散斜率补偿器的色散量,计算出在各色散斜率补偿器输出的残留色散量。另外,设色散斜率为 0.07ps/nm/nm/km、WDM 信号波长的带宽的最短波长侧为 1570nm (λ_L)、最长波长侧为 1610nm (λ_U)、信号带宽内的代表波长为带宽的中心即 1590nm (λ_x)。DCFa 及 DCFb 被设计成补偿零色散波长位于分布的最短波侧 (1540nm) 及最长波长侧 (1560nm) 时的光纤,另外,设色散阶梯为 50ps/nm。总之,各 DCFa 及 DCFb 的特性值是上述图 5 所示的值,做成图 1 所示结构的可变色散斜率补偿器。

[0089] 图 13 及图 14 示出计算出 1000 个模式的色散补偿的一例。图 13(a) 及图 14(a) 是每个跨度的色散斜率补偿器输出的残留色散量,在图 13(b) 及图 14(b) 中示出各跨度的 (由随机数赋予) 光纤长及零色散波长、及利用图 11 的流程选择的 DCF『 $d\ ps\#k$ 』的 d 值及 k 值。在图 13(a) 及图 14(a) 中图示最短波长 (1570nm) 及最长波长 (1610nm) 的各自的值。另外,在图 13(a) 及图 14(a) 中,为了比较一并标记了以往方式,即,在色散阶梯 50ps/nm

中对具有相当于传输线路的平均特性（零色散波长 1550nm）的、单一的相对色散斜率 RDS 的一种 DCF 进行调节的情况的结果。

[0090] 如图 13 所示,利用传输光纤的分布,判明不应用本发明时存在残留色散量累积达到 $\pm 100\text{ps/nm}$ 的情况。但是,通过应用本专利,判明能够抑制残留色散在 $\pm 20\text{ps/nm}$ 以内。

[0091] 由色散造成的波形失真的影响,与传输信号的位速率的平方成正比而变得严重,例如在 40Gbps 的零啁啾型 NRZ 信号时,可以忽略传输波形失真的容许色散量例如成为（依存于发送器、接收器、及特性） $\pm 80\text{ps/nm}$ 左右。这时,在使用以往的相对色散斜率仅是一种的色散斜率补偿光纤的系统中,由于 10 个中继后的接收端的残留色散超过上述可以容许的色散量 $\pm 80\text{ps/nm}$,因此新的色散补偿器必须在接收器之前。但是,通过应用本专利,接收端的残留色散量大幅地减少,即使在图 13 的情况下,在接收端不需要新的色散补偿器。在实际的色散补偿光纤中,设计值与实际的色散量有误差,另外色散的波长依存性也不是严格的直线,存在向上凸或向下凸的高次的波长依存性,因此,残留色散比图 13 的结果增大,但由于该影响不仅作用于本发明,而且共同作用于使用了色散补偿光纤的色散补偿器,因此不损害本发明的优越性。

[0092] 另外,在图 14 的例子中,在使用以往类型的色散斜率补偿光纤的情况下,接收端的残留色散量被抑制在 $\pm 20\text{ps/nm}$ 左右。但是,判明在中继传输线路的中途,临时性的残留色散增大到 $\pm 60\text{ps/nm}$ 左右。当由色散造成的线形,仅考虑波形失真的情况时,无论在传输线路的中途发生多少残留色散,在接收端中残留色散量被抑制在容许色散以内,则可以忽略该影响。但是,考虑称作自相位调制 (SPM) 或相互相位调制 (XPM) 等非线性现象和色散的相互作用时,不仅需要对接收端、且对传输线路中途的每个中继器输出抑制残留色散。判明通过应用本发明,在全部中继器输出中,残留色散量被抑制在 $\pm 20\text{ps/nm}$ 以内。因此,考虑到非线性现象和色散的相互作用,本专利也对每个跨度的严格的色散补偿有效。

[0093] 图 15 中示出计算了 1000 个模式时的各中继器输出的残留色散量的 20000 个采样（1000 个模式、10 个中继、最长波长和最短波长 2 个波长的量）的分布状况。该分布图是图示每 2ps/nm 的分布数的图,例如示出在应用本专利时的 1570nm 的特性中,残留色散满足 $+0\text{ps/nm}$ 以上、小于 $+2\text{ps/nm}$ 的采样数为 467 个的情况。标准偏差在应用本专利时是 $14.2@1570\text{nm}$ 及 $16.4@1610\text{nm}$,另一方面,使用以往型的色散斜率补偿光纤时的标准偏差是 $35.2@1570\text{nm}$ 及 $40.9@1610\text{nm}$ 。示出了通过应用本发明,能够在整个 20000 个采样中将残留色散抑制在 $\pm 50\text{ps/nm}$ 以内。

[0094] 进而,在图 16 中示出如图 8 那样使色散阶梯为 25ps/nm 时的残留色散量的分布状况。比较图 15,本专利的效果进一步增大,标准偏差在应用本专利时是 $7.3@1570\text{nm}$ 及 $7.9@1610\text{nm}$,另一方面,使用以往类型的色散斜率补偿光纤时的标准偏差是 $34.7@1570\text{nm}$ 及 $36.2@1610\text{nm}$ 。使用以往类型的色散斜率补偿光纤时即使设色散阶梯为 25ps/nm ,也只提高代表波长 1590nm 处的补偿精度,带宽的两端 1570nm 及 1610nm 处的残留色散与色散阶梯 50ps/nm 时几乎没有变化。与此相对,表明在本专利的情况下能够在整个 20000 个采样中将残留色散抑制在 $\pm 25\text{ps/nm}$ 以内。

[0095] 在图 11 所示的流程中,在计算之前的传输光纤 15—i 为止的总色散量 $D_{ti}(\lambda)$ 时,根据可变色散斜率补偿器 11—i 之前的传输光纤的色散量和设置在各中继器的可变色散斜率补偿器 11—i 的跟前的可变色散斜率补偿器的色散设定量的总和进行计算,但是,

当除此以外存在不能忽略色散量的元件时,也可以包含这些色散量进行计算。另外,在接收侧进行前置色散补偿时,也可以包含该前置色散量来计算总色散量 $D_{ti}(\lambda)$ 。另外,在图 11 所示的流程中,选择色散补偿量接近总色散量 $D_{ti}(\lambda)$ 的 100% 的组合,但是选择过大的补偿(例如 110%)、或过小的补偿(例如 90%)的流程,也不会损害本专利的一般性。

[0096] 如以上说明,可以远程操作可变色散斜率补偿器内的光开关组,根据光传输系统内的传输光纤的色散信息计算出各可变色散斜率补偿器所希望的色散补偿量,并做成远程操作上述光开关的光传输系统,能够提供一种光传输系统,不仅可以降低接收端的残留色散,而且可以降低整个中继传输系统中各中继器输出的残留色散。

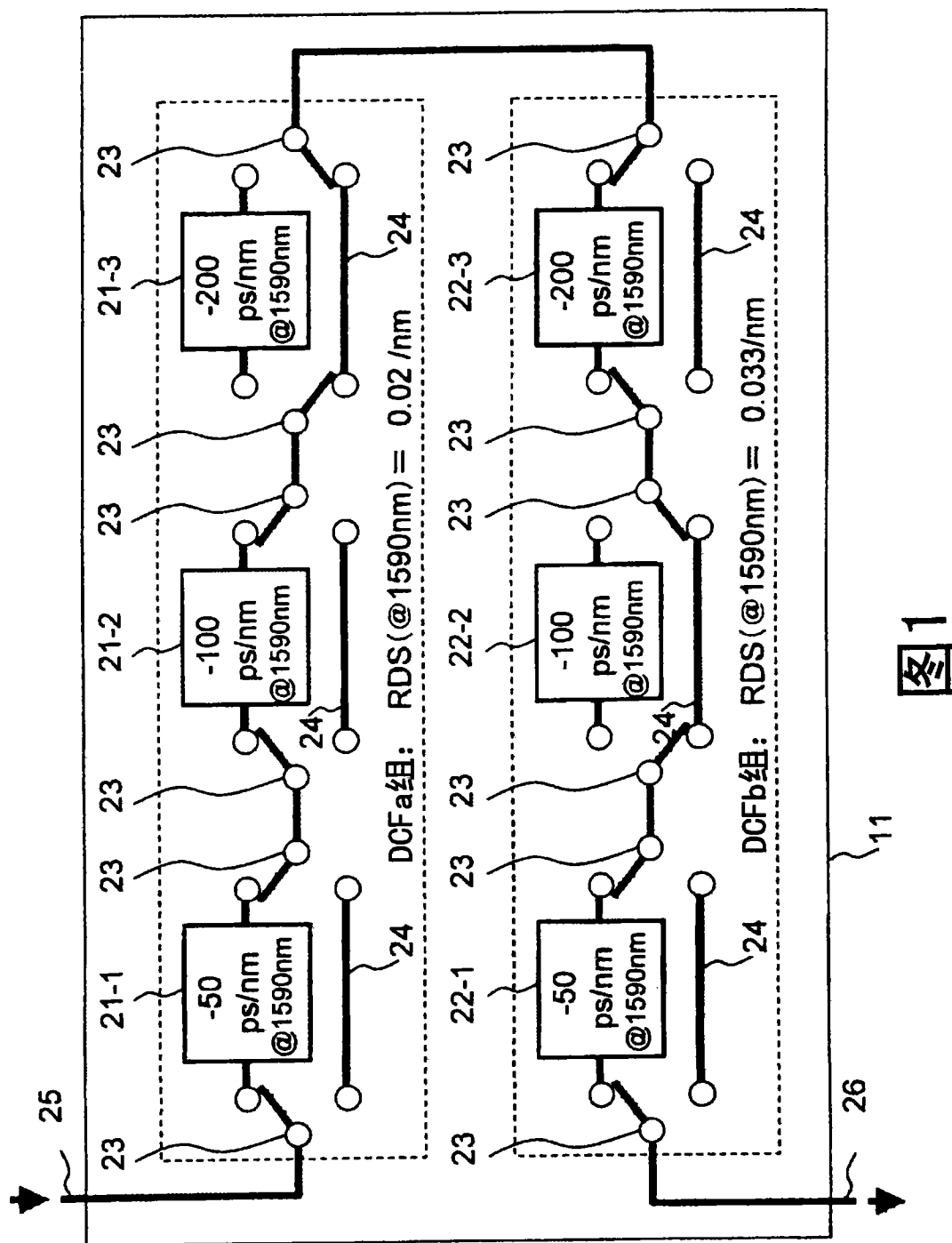


图1

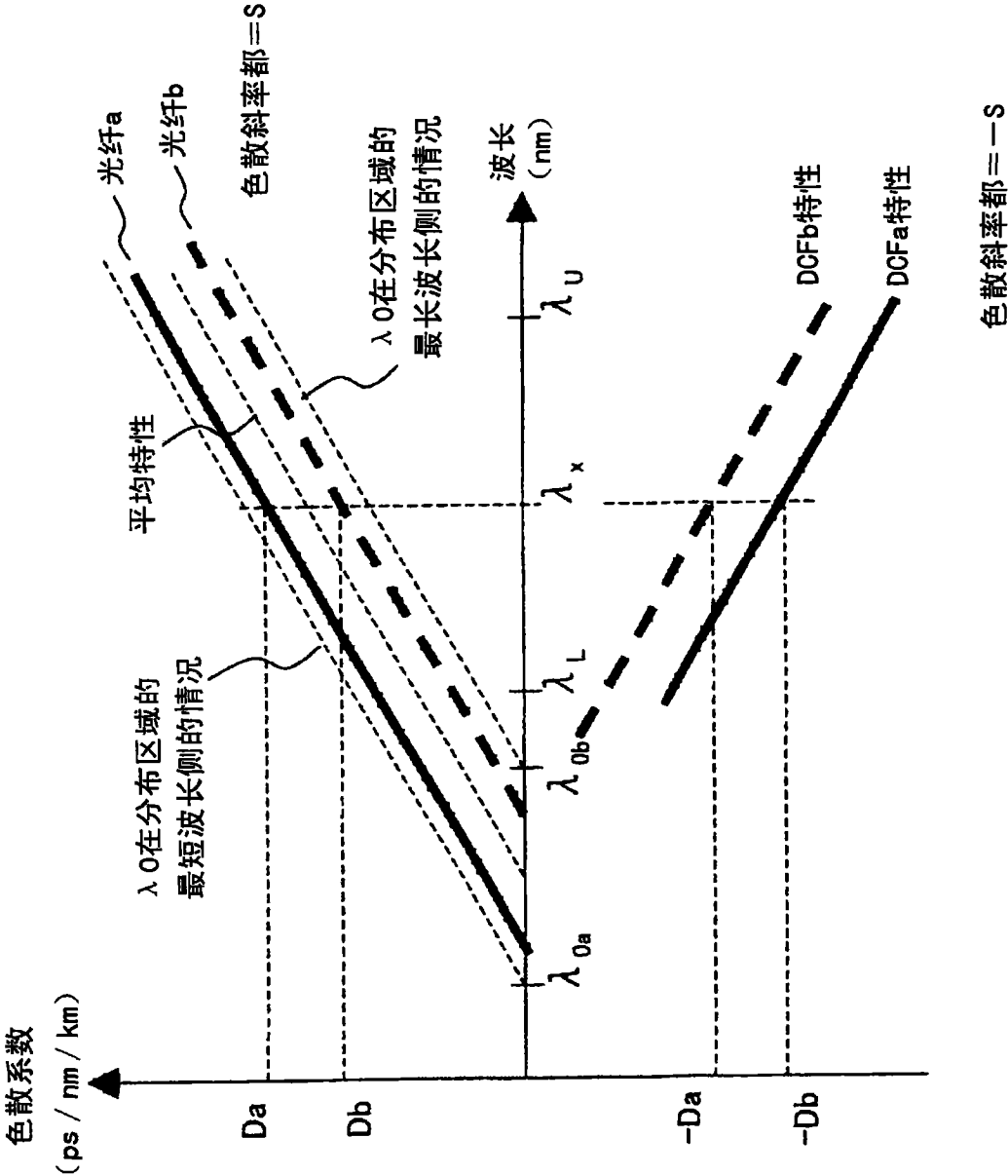


图2

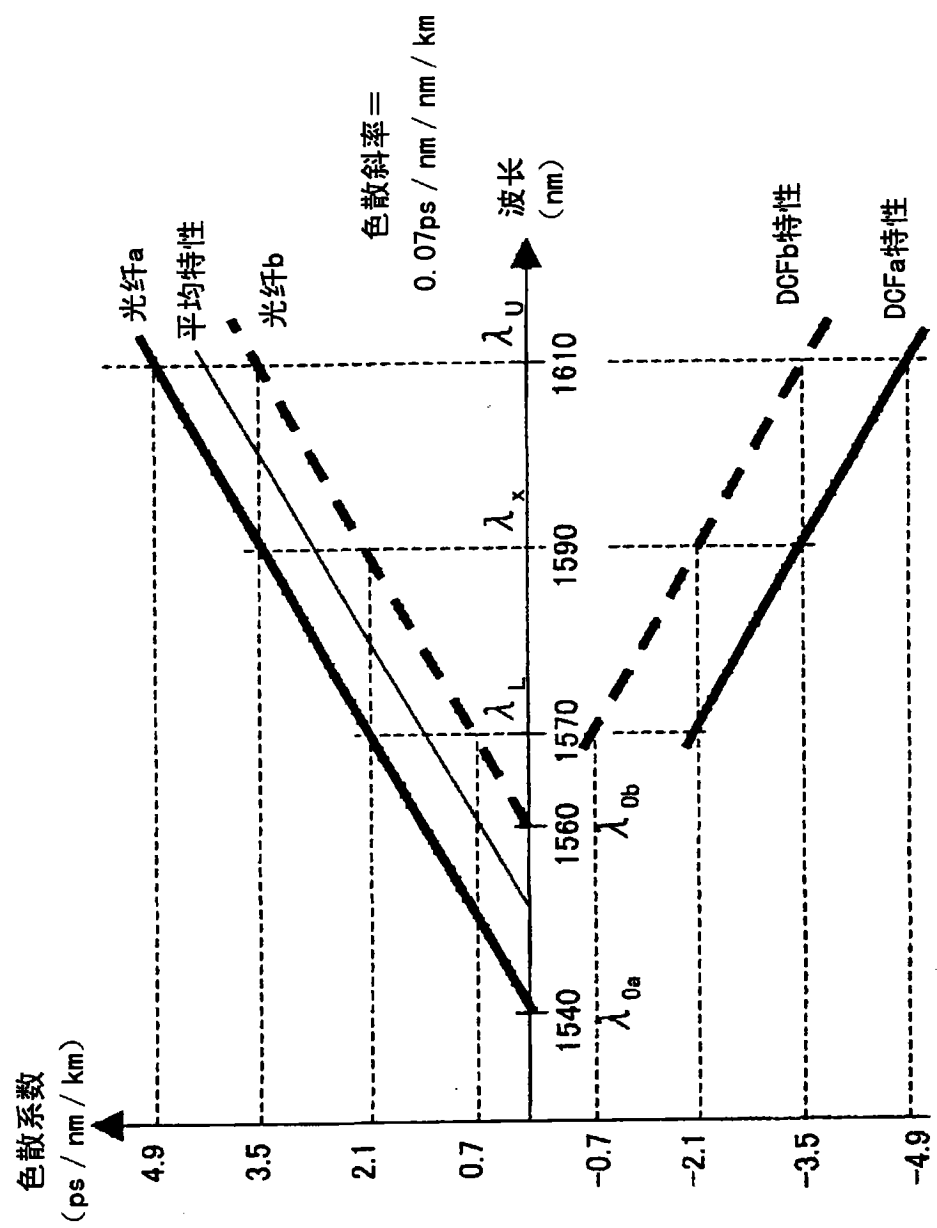


图3

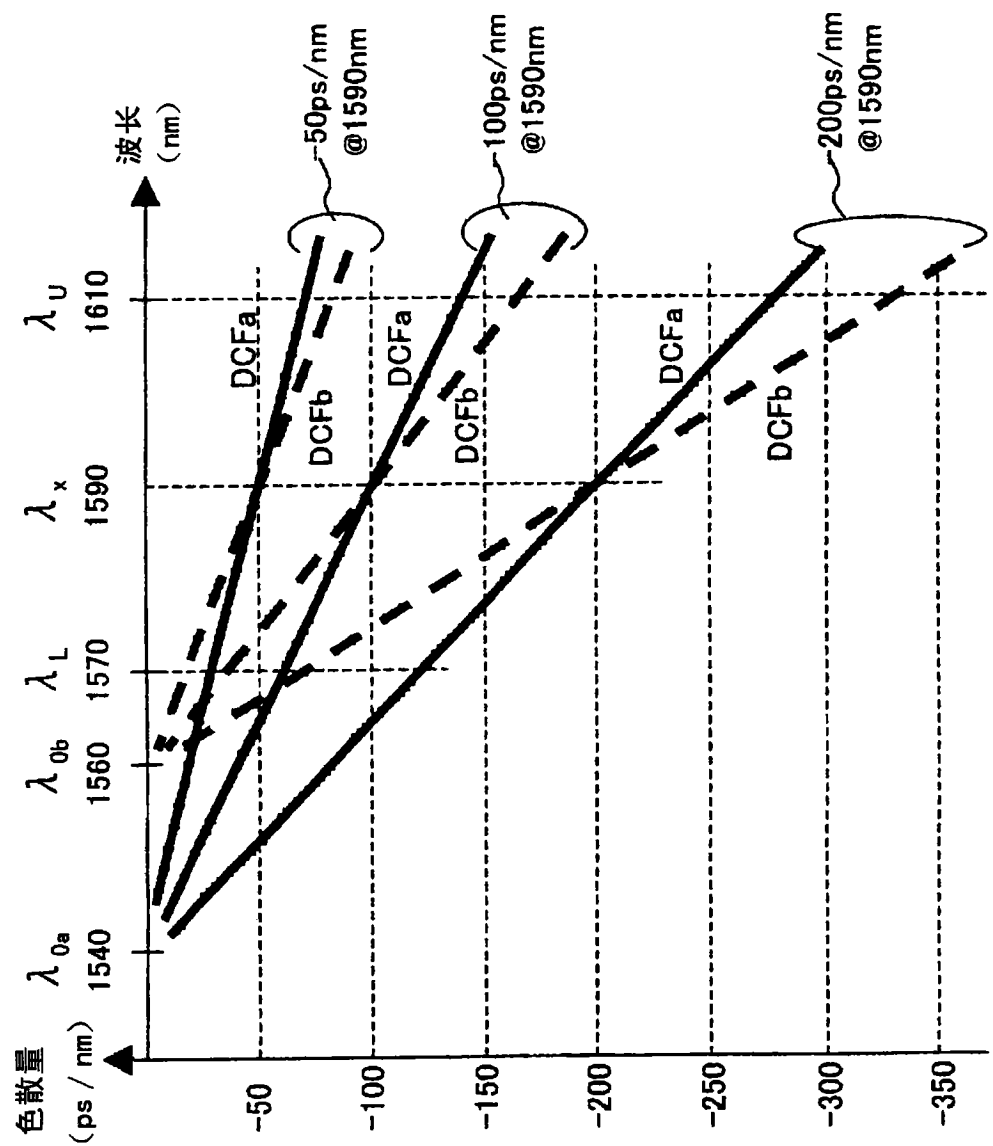


图4

		色散系数	色散斜率	RDS	色散量		
		@1590nm	@1590nm	@1590nm	@1570nm	@1590nm	@1610nm
DCFa	-50ps/nm	-3.5	-0.07	0.020	-30	-50	-70
	-100ps/nm				-60	-100	-140
	-200ps/nm				-120	-200	-280
DCFb	-50ps/nm	-2.1	-0.07	0.033	-16.6	-50	-83.3
	-100ps/nm				-33.3	-100	-166.6
	-200ps/nm				-66.6	-200	-333.3
		(ps/nm/km)	(ps/nm/nm/km)	(/nm)	(ps/nm)	(ps/nm)	(ps/nm)

图5

(d)ps-#(k)	DCFa (ps/nm)				DCFb(ps/nm)				全部DCF色散量 (ps / nm)			
	-50	-100	-200		-50	-100	-200		1570nm	1590nm	1610nm	
50ps-#0	○	×	×		×	×	×		-30.0	-50.0	-70.0	
50ps-#1	×	×	×		○	×	×		-16.7		-83.3	
100ps-#0	×	○	×		×	×	×		-60.0	-100.0	-140.0	
100ps-#1	○	×	×		○	×	×		-46.7		-153.3	
100ps-#2	×	×	×		×	○	×		-33.3		-166.7	
150ps-#0	○	○	×		×	×	×		-90.0	-150.0	-210.0	
150ps-#1	×	○	×		○	×	×		-76.7		-223.3	
150ps-#2	○	×	×		×	×	×		-63.3		-236.7	
150ps-#3	×	×	×		○	×	×		-50.0		-250.0	
...												
350ps-#4	○	○	×		×	×	○		-156.7	-350.0	-543.3	
350ps-#5	×	○	×		○	×	○		-143.3		-556.7	
350ps-#6	○	×	×		×	×	○		-130.0		-570.0	
350ps-#7	×	×	×		○	○	○		-116.7		-583.3	

图6

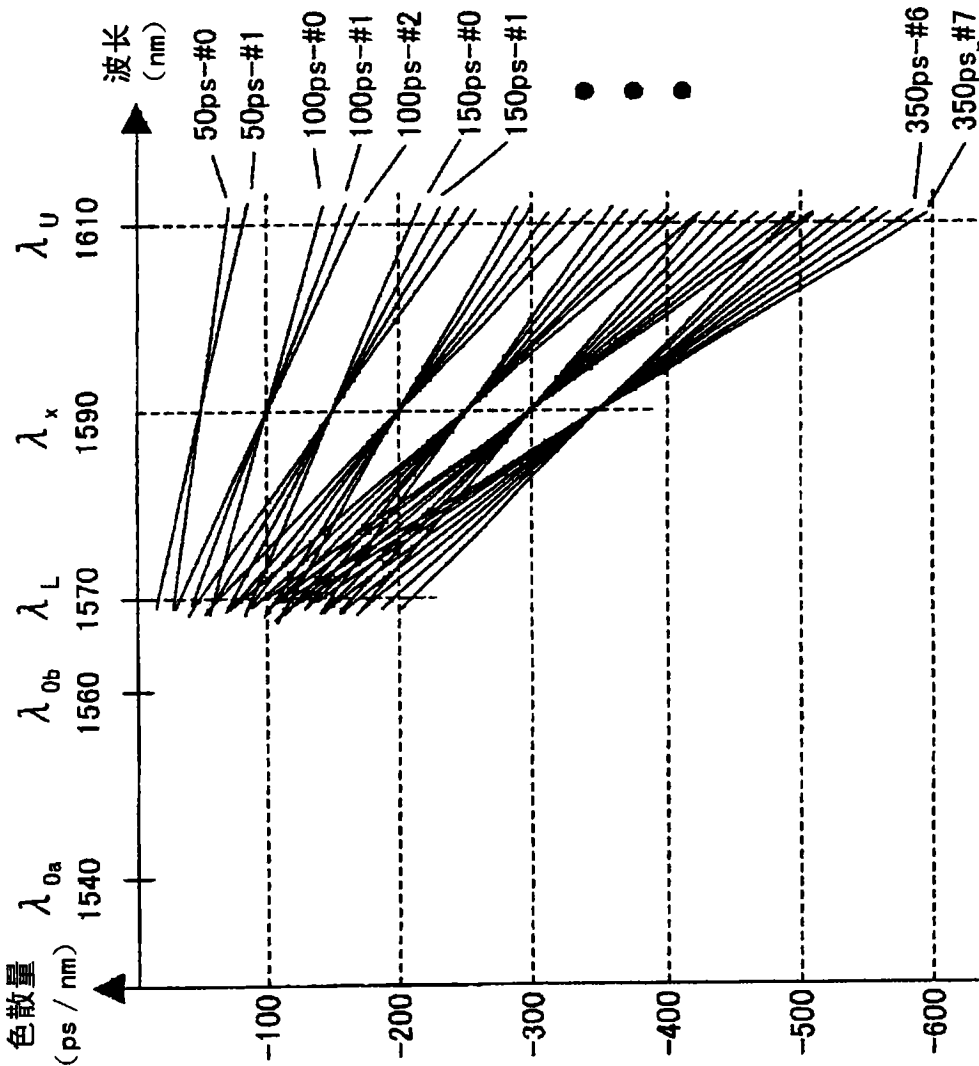


图7

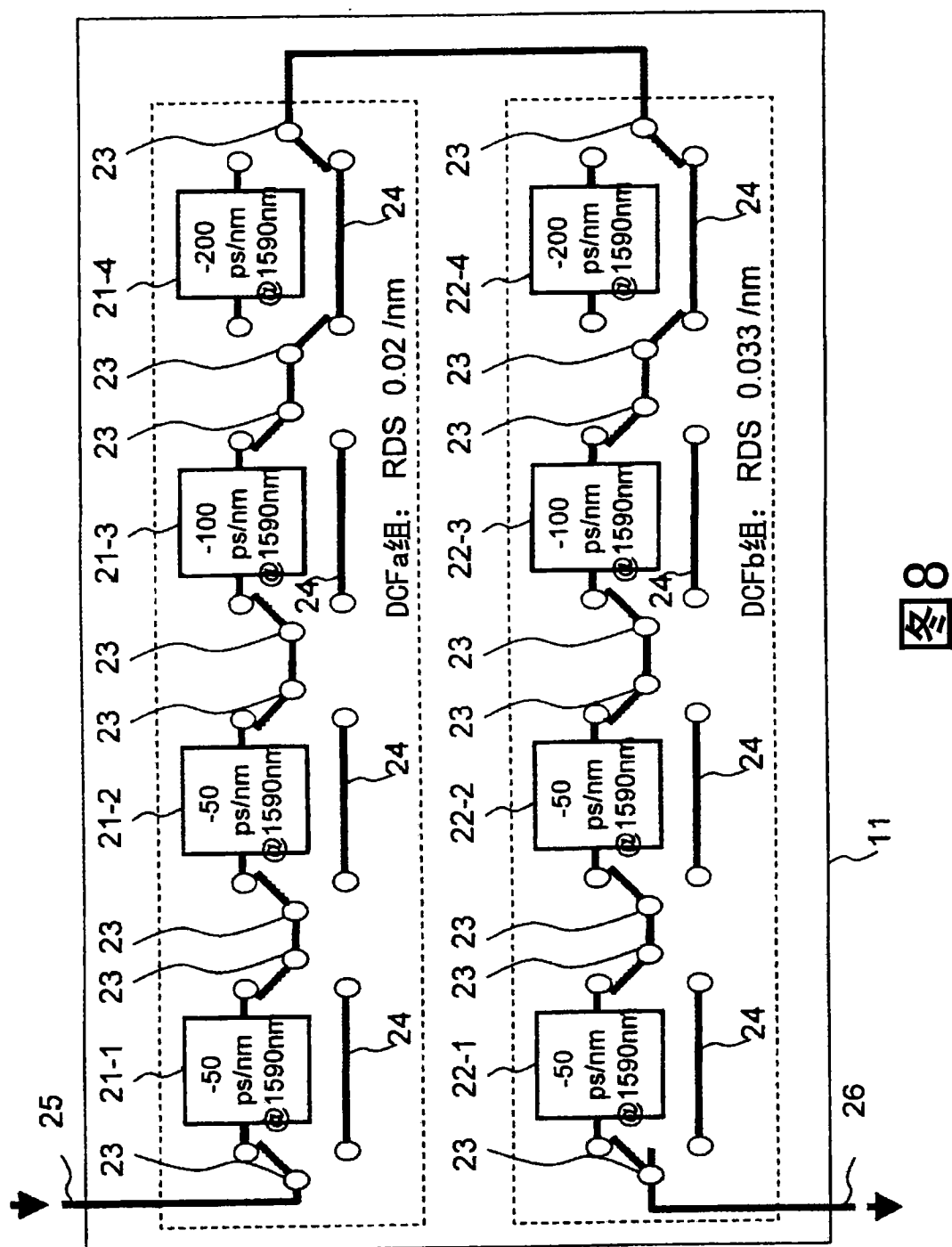


图8

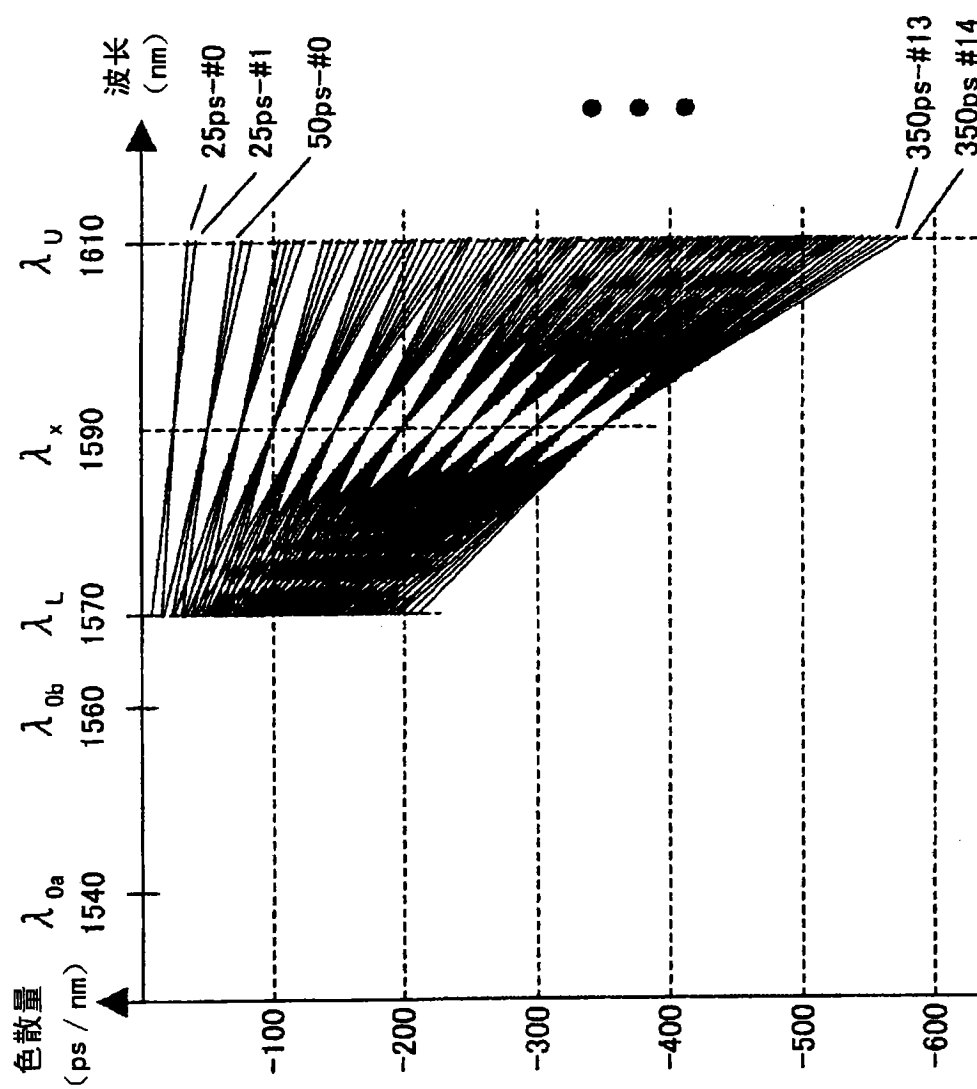


图9

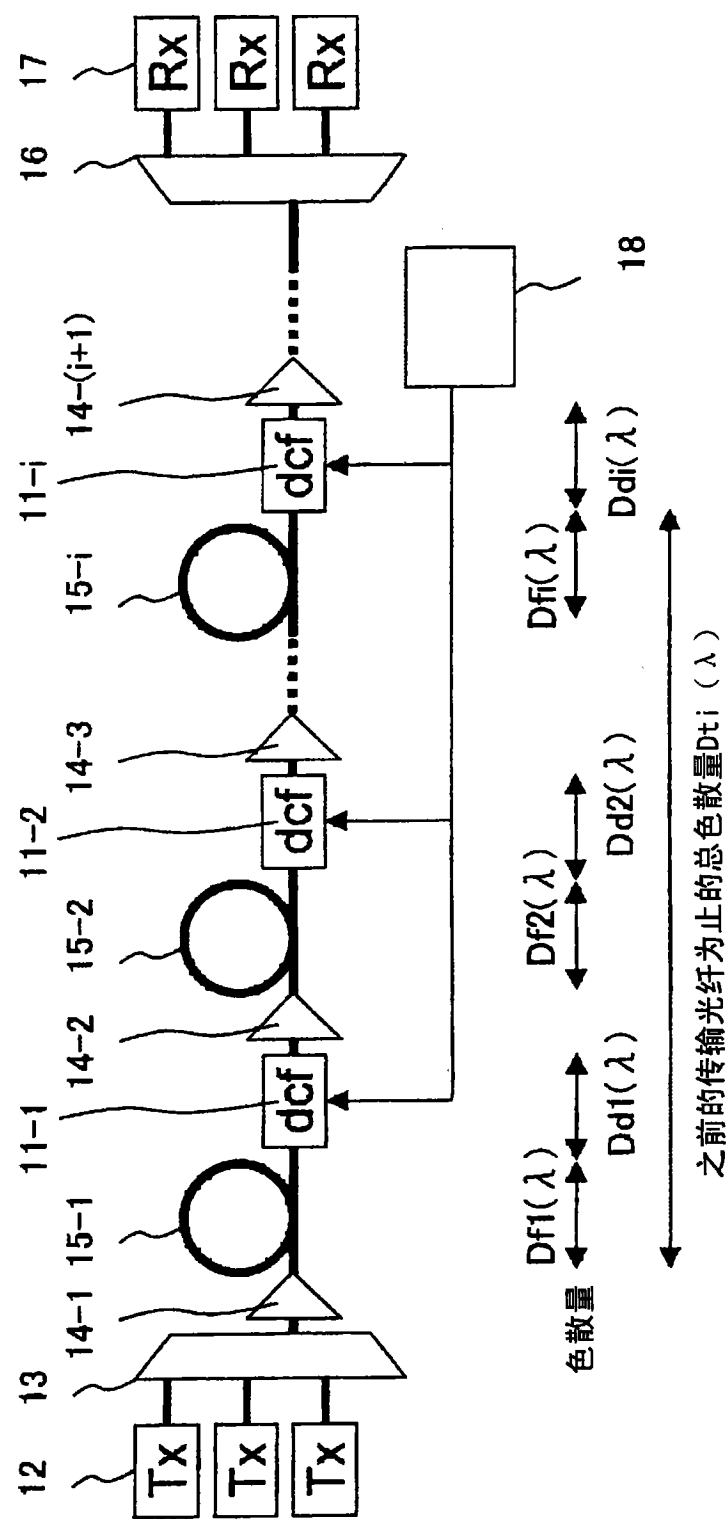


图10

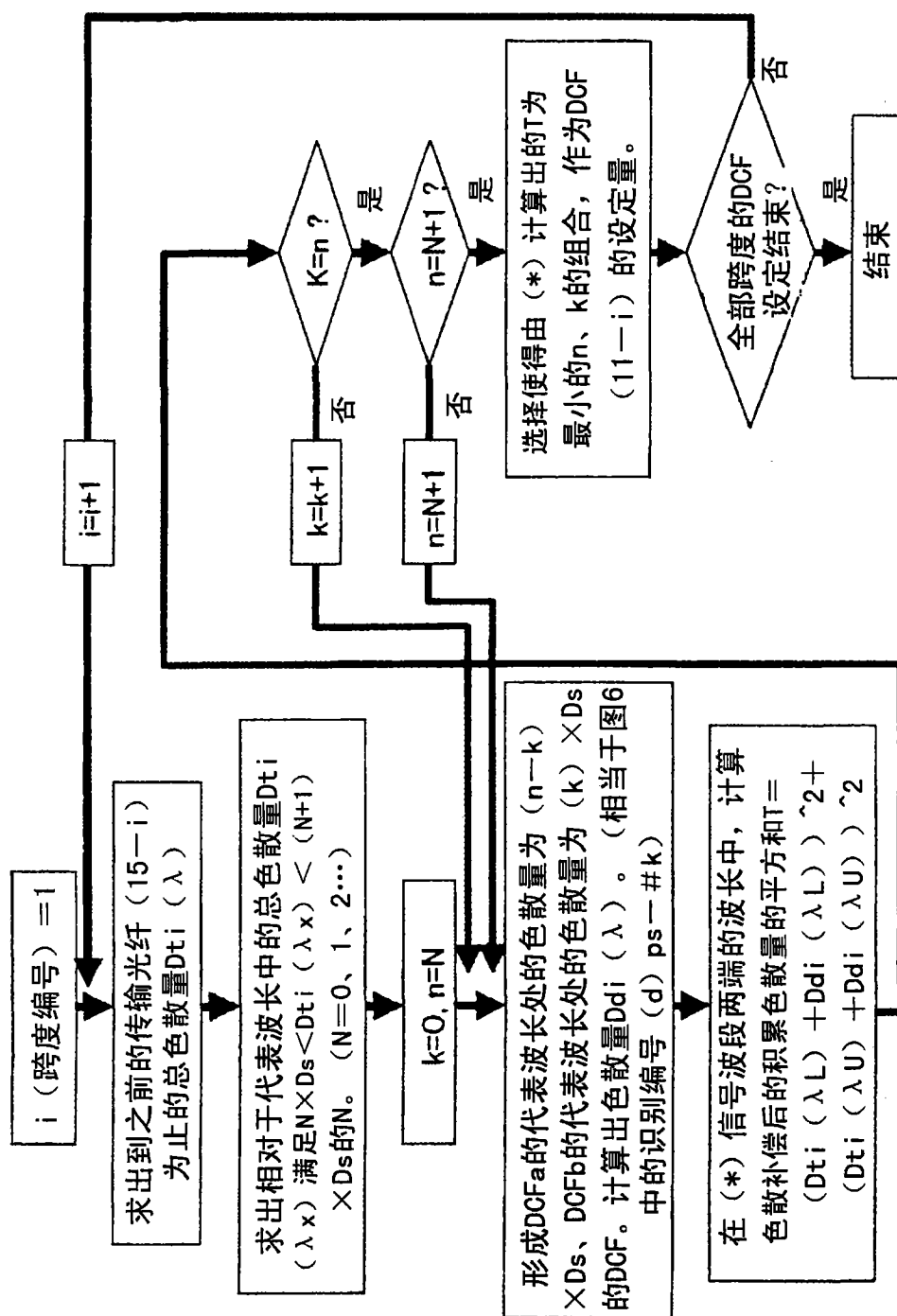


图 11

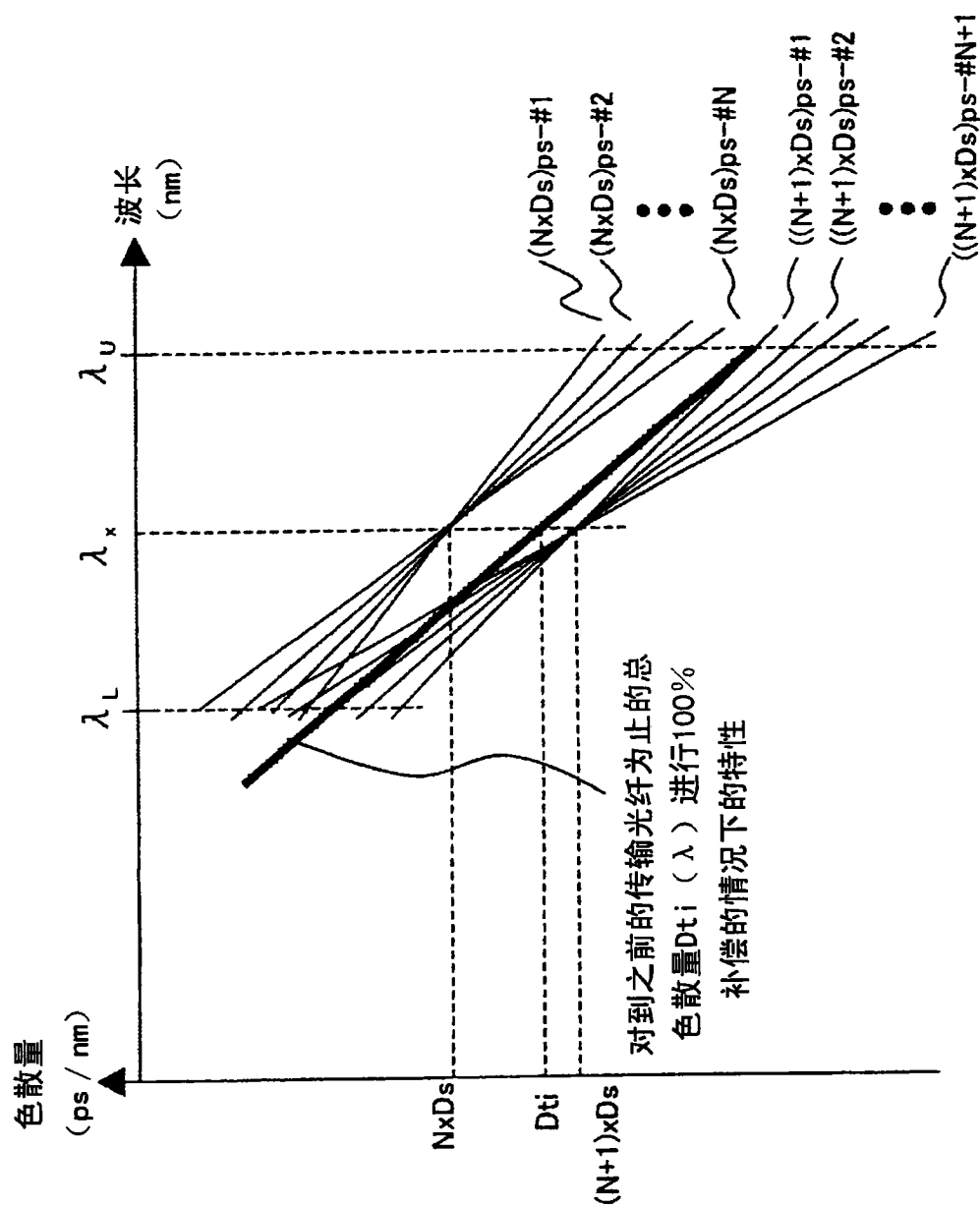
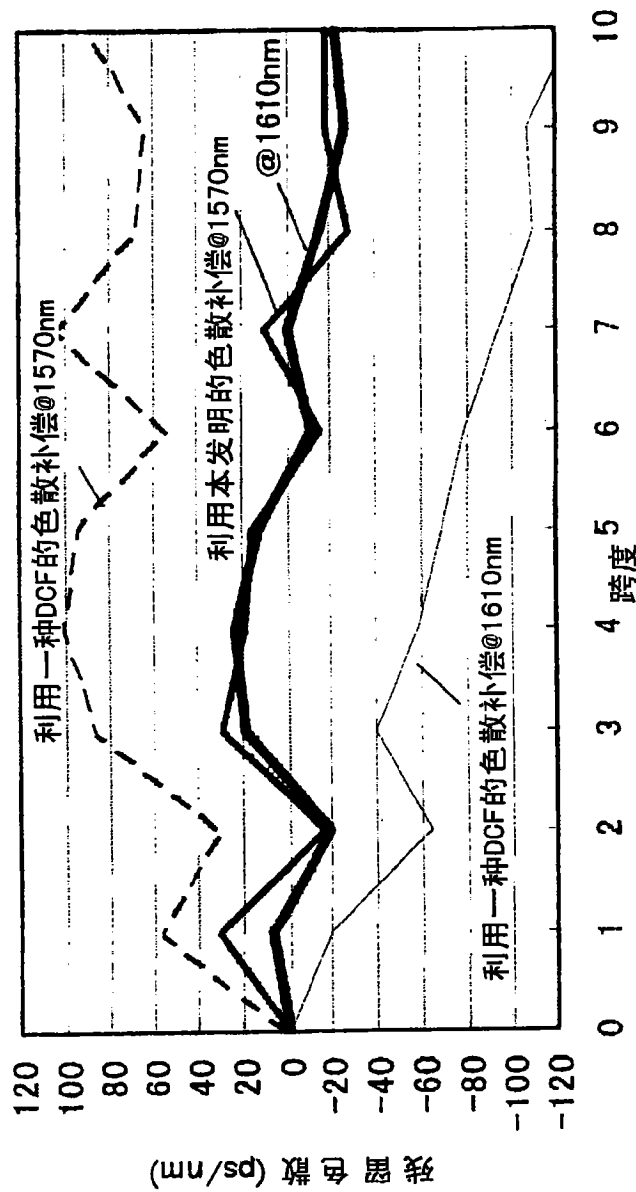


图12

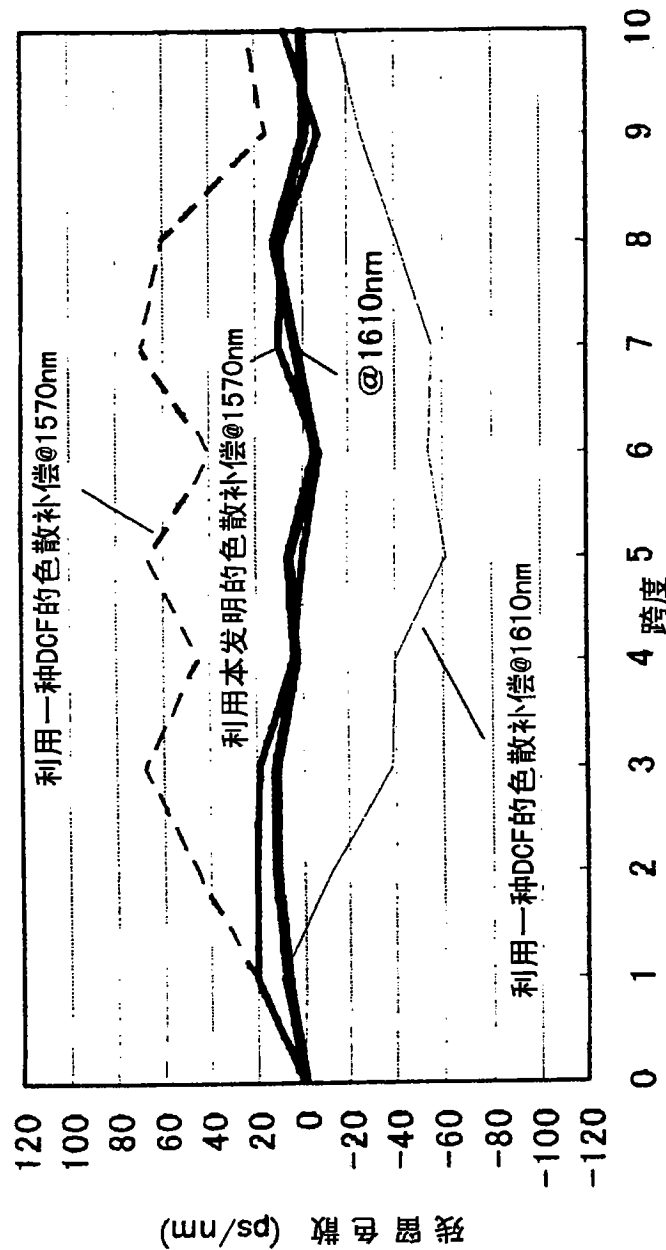


(a) 每个跨度的残留色散图表

传输 光纤	跨度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	长度	80	78	65	66	55	78	77	82	51	70	km
DCF	λ_0	1560	1560	1548	1558	1553	1549	1559	1551	1548	1559	nm
	d	150	200	150	150	150	250	150	250	150	150	ps/nm
	k	3	3	2	3	1	1	3	2	0	3	

(b) 各跨度的传输光纤特性、及DCF的设置值

图13



(a) 每个跨度的残留色散图表

传输 光纤	跨度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	长度	57	70	71	64	69	59	65	63	85	71	km
	λ_0	1549	1559	1560	1548	1559	1544	1554	1544	1542	1548	nm
DCF	d	150	150	150	200	150	200	150	200	300	200	ps/nm
	k	1	3	3	1	3	0	2	1	0	1	

(b) 各跨度的传输光纤特性、及DCF的设置值

图14

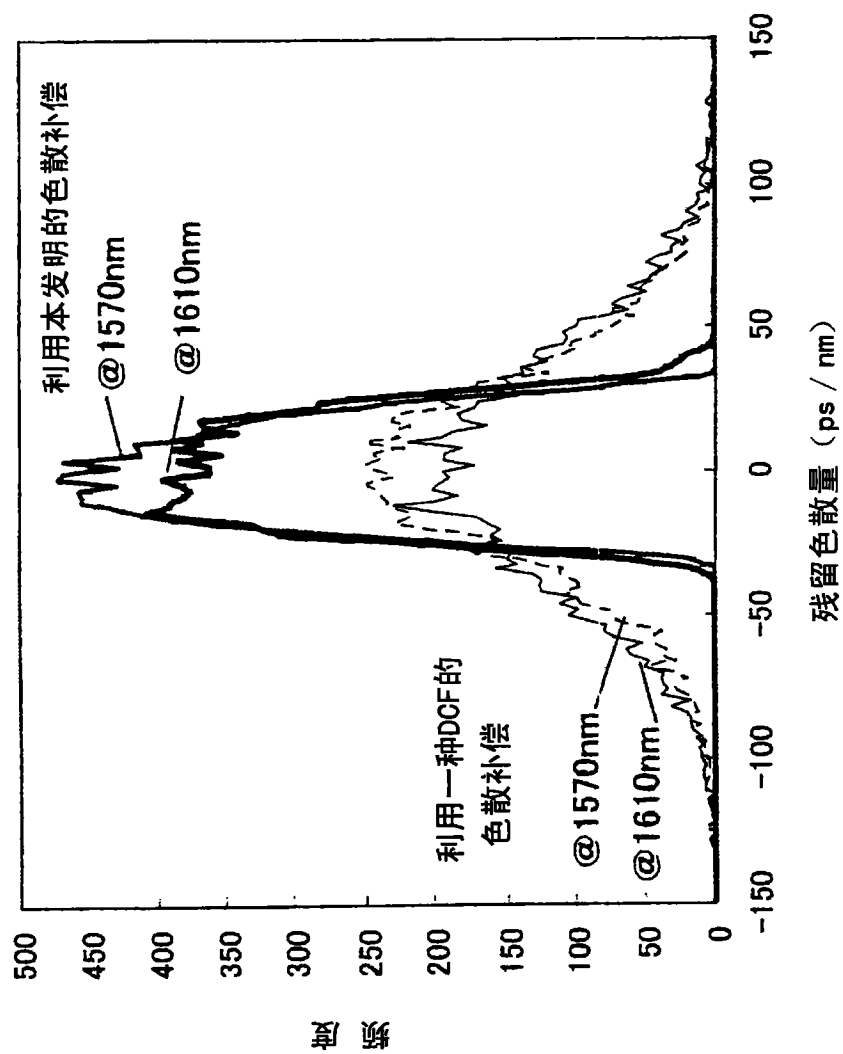


图15

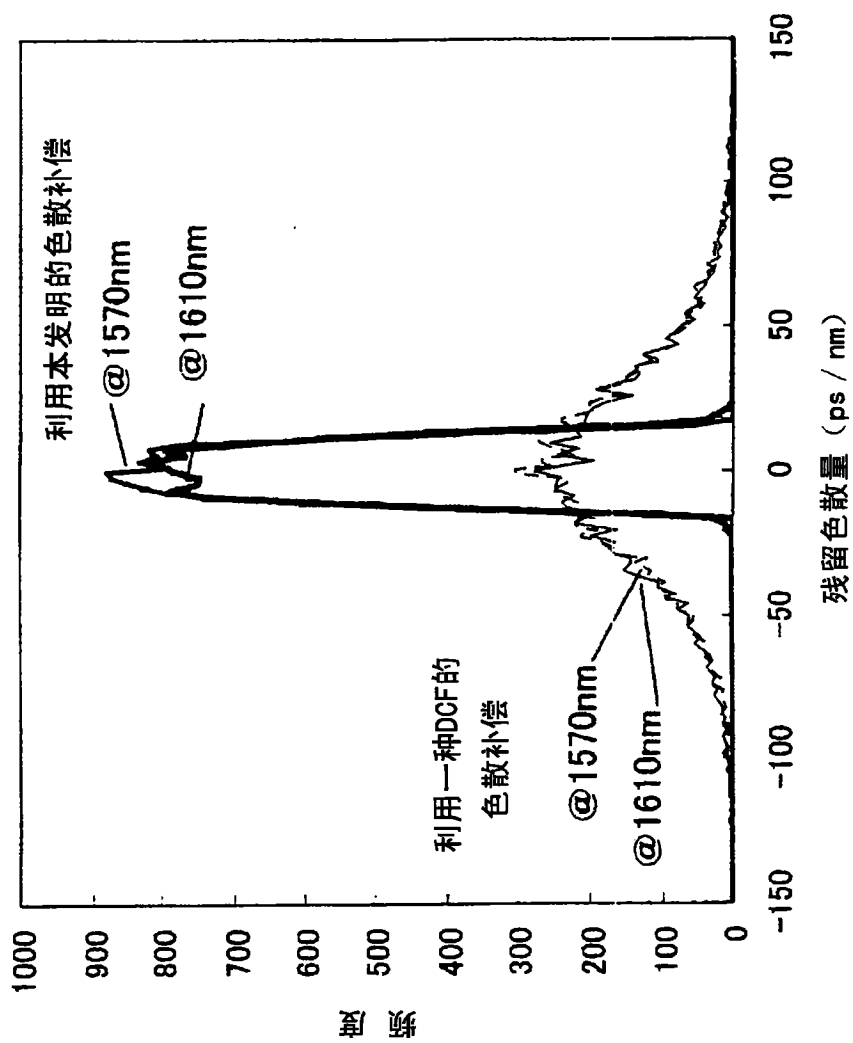


图16

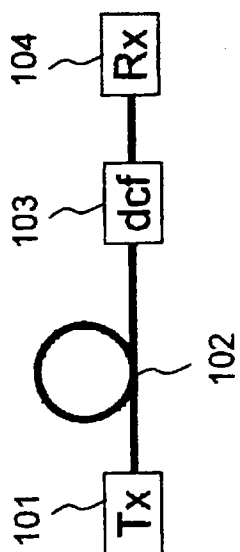


图17

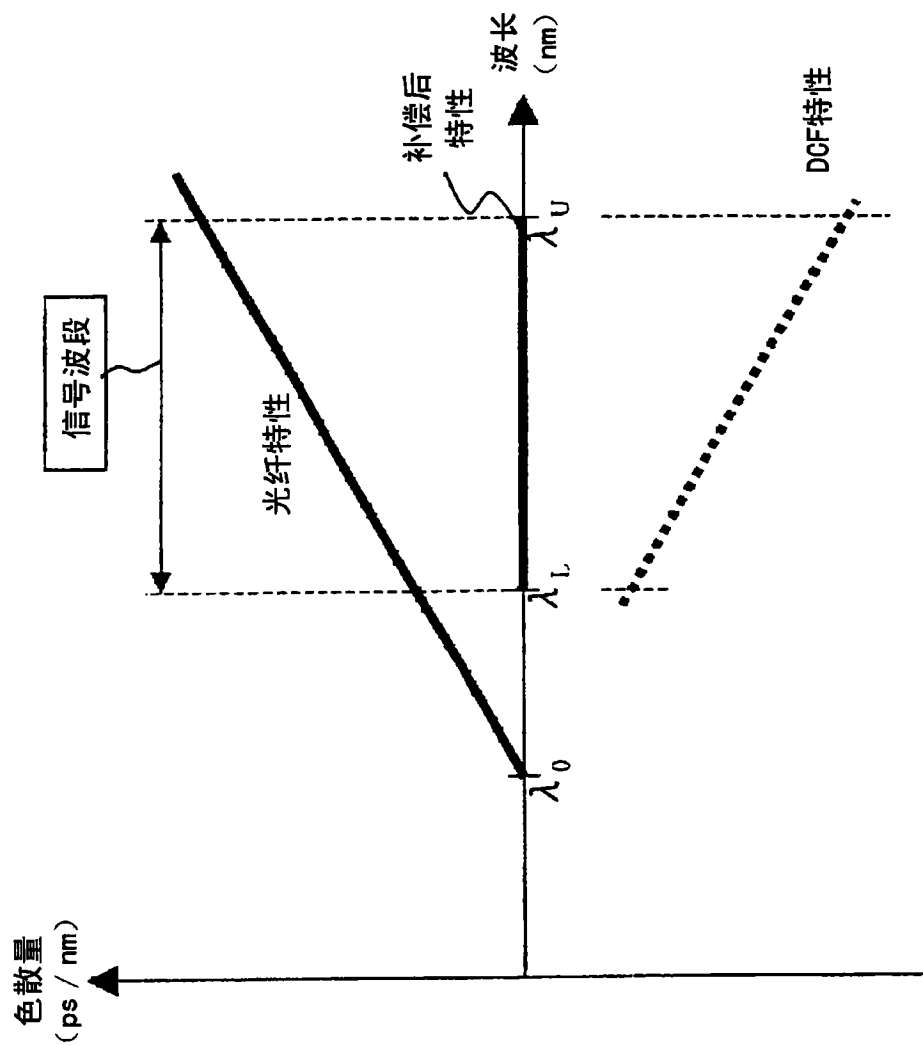


图18

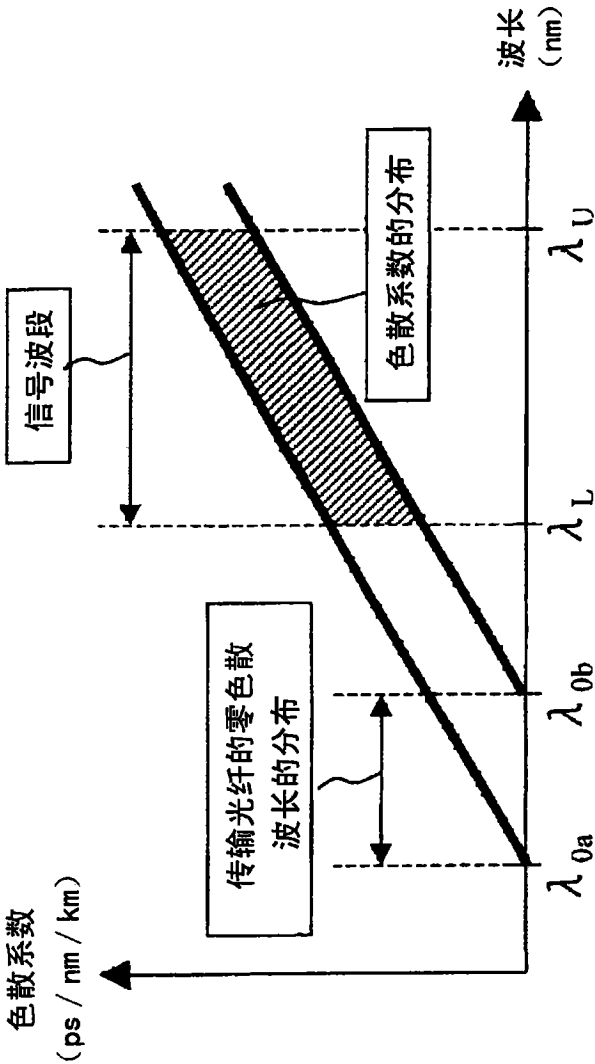


图19

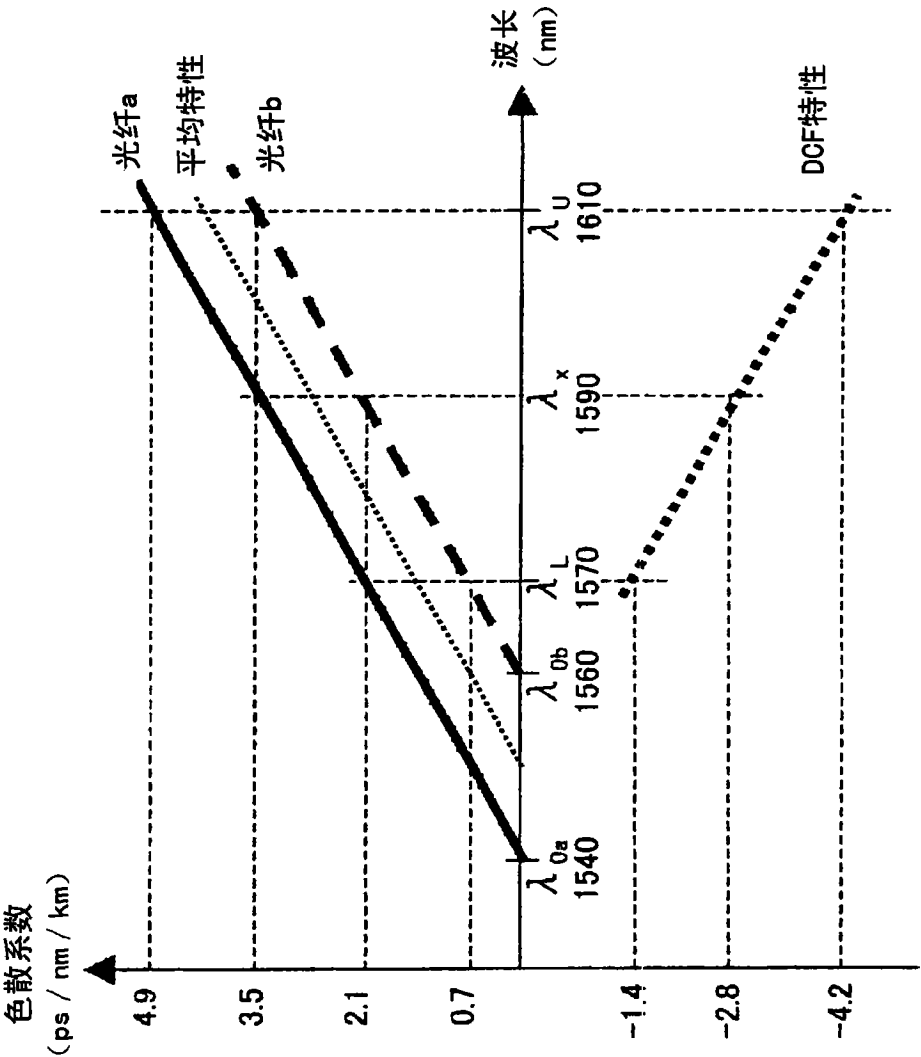


图20

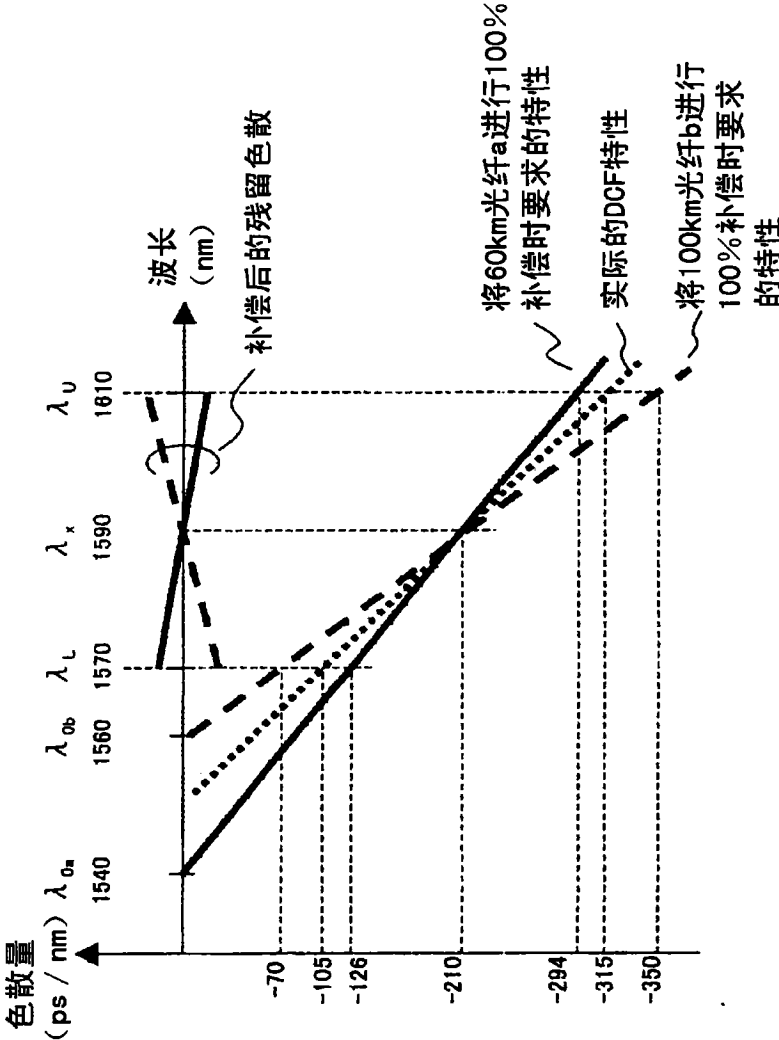


图21