



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103261868 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 21

(21) 申请号 201180059713. X

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(22) 申请日 2011. 10. 18

代理人 舒艳君 李洋

(30) 优先权数据

2010-233922 2010. 10. 18 JP

(51) Int. Cl.

G01M 11/02(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 06. 09

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2011/073893 2011. 10. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02012/053499 JA 2012. 04. 26

(71) 申请人 株式会社藤仓

地址 日本东京都

(72) 发明人 小川宪介

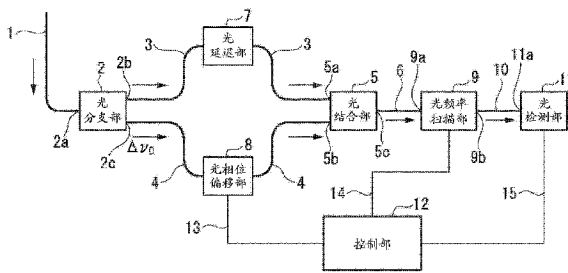
权利要求书3页 说明书30页 附图7页

(54) 发明名称

波长色散测定装置以及使用了该波长色散测定装置的波长色散测定方法

(57) 摘要

波长色散测定装置具有：光分支部，将入射的被测定光信号分离成第1以及第2被测定光信号，在射出时使第1以及第2被测定光信号之间产生频率差；第1以及第2分支路径，具有偏振波保持特性；光移相器，被设置于第1以及第2分支路径的任意一方，使光测定光信号的相位 α_i 周期性地变化；光结合部，对第1以及第2被测定光信号进行叠加，将相位为 α_i 的第i光分量的干涉要素作为叠加波被测定光信号射出；光频率扫描部，扫描使叠加波被测定光信号通过的频率范围，提取频率范围的光谱分量作为分量被测定光信号射出；光检测部，将分量被测定光信号作为干涉信号；和控制部，与光移相器的相位的变化同步地沿时间序列获取与第i光分量对应的干涉信号。



1. 一种波长色散测定装置,其特征在于,具有:

入射路径,其传播从测定对象入射的被测定光信号,由具有偏振波保持特性的光纤构成;

光分支部,其从与所述入射路径连接的第 1 入射端入射被测定光信号,将从该入射端入射的被测定光信号分离成第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号这 2 个信号,从第 1 射出端射出所述第 1 被测定光信号,另外从第 2 射出端射出与所述第 1 被测定光信号相比偏振光方向相同的所述第 2 被测定光信号,并且在射出时在第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号之间产生频率差;

第 1 分支路径,其与所述第 1 射出端连接,传播所述第 1 被测定光信号,由具有偏振波保持特性的光纤构成;

第 2 分支路径,其与所述第 2 射出端连接,传播所述第 2 被测定光信号,由具有偏振波保持特性的光纤构成;

光移相器,其设置于所述第 1 分支路径以及所述第 2 分支路径中的任意一方,使在所述光移相器被设置的分支路径中传播的被测定光信号的相位 α_i 周期性地变化,其中, α_i 以弧度为单位, α_i 是实数, $0 \leq \alpha_i \leq 2\pi$, i 是整数, $3 \leq i$;

光结合部,其将从与所述第 1 分支路径连接的第 2 入射端入射的所述第 1 被测定光信号和从与所述第 2 分支路径连接的第 3 入射端入射的所述第 2 被测定光信号进行叠加,并且将所述相位差为相位 α_i 时通过所述第 1 被测定光信号和所述第 2 被测定光信号的干涉而得到的第 i 光分量的干涉要素作为叠加波被测定光信号从第 3 射出端射出;

结合用路径,其与所述第 3 射出端连接,由传播所述叠加波被测定光信号的光纤构成;

光频率扫描部,其从与所述结合用路径连接的第 4 入射端入射所述叠加波被测定光信号,对使所述叠加波被测定光信号通过的频率范围所包含的频率进行扫描,进行从所述叠加波被测定光信号提取所述频率范围的光谱分量的频率分解,将频率分解的结果作为分量被测定光信号从第 4 射出端射出;

光射出路径,其与所述第 4 射出端连接,由传播所述分量被测定光信号的光纤构成;

光检测部,其从与所述光射出路径连接的第 5 入射端入射所述分量被测定光信号,将该分量被测定光信号变换为电信号,并将变换结果作为干涉信号;和

控制部,其每当进行所述频率范围的扫描时便执行如下处理:与所述光移相器的相位的变化同步地按照在使所述光移相器的相位变化的一个周期内 i 增加的顺序,沿时间序列获取与第 i 光分量对应的所述干涉信号。

2. 根据权利要求 1 所述的波长色散测定装置,其特征在于,

在所述 i 能够取得的值的范围为 m 的情况下,所述控制部对所述各第 i 光分量进行将每个频率分量的测定间隔设为 $1/m$ 的插补处理,由此使所有干涉信号的数据个数成为 m 倍。

3. 根据权利要求 1 或者 2 所述的波长色散测定装置,其特征在于,

所述 α_i 的要素总数是 3 以上,其中, $i \geq 3$,

所述控制部从该要素提取相位 α_1 的第 1 光分量、相位 α_2 的第 2 光分量以及相位 α_3 的第 3 光分量作为 3 个要素,根据该第 1 光分量、该第 2 光分量以及该第 3 光分量分别获取所述干涉信号。

4. 根据权利要求 3 所述的波长色散测定装置,其特征在于,所述 α_i 的要素总数是 20 以上,其中, $i \geq 20$ 。
5. 根据权利要求 1 至 4 中任意一项所述的波长色散测定装置,其特征在于,还具有光延迟部,所述光延迟部被设置于所述第 1 分支路径以及所述第 2 分支路径中的任意一方,对所述第 1 分支路径和所述第 2 分支路径之间的光路长度差值进行调节。
6. 根据权利要求 5 所述的波长色散测定装置,其特征在于,所述光延迟部被设置于所述第 1 分支路径以及所述第 2 分支路径中的任意一方,所述光移相器被设置于所述第 1 分支路径以及所述第 2 分支路径中的任意另一方。
7. 根据权利要求 5 所述的波长色散测定装置,其特征在于,所述光延迟部以及光移相器被一体化地设置于所述第 1 分支路径以及所述第 2 分支路径中的任意一方。
8. 根据权利要求 3 至 7 中任意一项所述的波长色散测定装置,其特征在于,所述控制部具有:第 1 接收部,其接收所述第 1 光分量的所述干涉信号;第 2 接收部,其接收所述第 2 光分量的所述干涉信号;和第 3 接收部,其接收所述第 3 光分量的所述干涉信号。
9. 根据权利要求 3 至 7 中任意一项所述的波长色散测定装置,其特征在于,所述控制部以每当对测定范围的测定频率进行扫描时为测定单位,沿时间序列获取所述第 1 光分量、所述第 2 光分量以及所述第 3 光分量作为数据。
10. 根据权利要求 1 至 9 中任意一项所述的波长色散测定装置,其特征在于,还具有:校正用光源,其射出校正光;和光输入切换部,其借助光纤从第 6 入射端入射从所述光叠加部的所述射出端射出的所述叠加波光信号,从第 7 入射端入射所述校正光,选择所述叠加波光信号或者所述校正光中的任意一个从第 5 射出端射出,所述光输入切换部被插入至所述光叠加部和所述光频率扫描部之间,从所述光输入切换部射出的所述叠加波光信号或者所述校正光中的任意一个借助光纤入射至所述频率扫描部的所述第 4 入射端。
11. 根据权利要求 1 至 10 中任意一项所述的波长色散测定装置,其特征在于,由具有偏振波保持特性的光纤构成所述结合用路径,在所述结合用路径的后段插入控制所述叠加波被测定光信号的偏振光方向的控制器,通过具有偏振波保持特性的光纤将所述偏振波控制器和所述光频率扫描部之间连接起来。
12. 一种波长色散测定方法,使用所述权利要求 1 至 11 中任意一项所述的波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散,其特征在于,把分支部设置在对作为所述测定对象的光传输路径的波长色散进行评价的部分,偏振波控制部将自该分支部得到的被测定光信号的偏振波控制成直线偏振波,与在所述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,使被测定光信号借助所述入射路径入射至该波长色散测定装置,根据所述第 1 光分量、所述第 2 光分量以及所述第 3 光分量的所述干涉信号求出被测定光信号的光谱相位的变化量,评价所述测定对象中的波长色散。
13. 一种波长色散测定方法,使用所述权利要求 1 至 11 中任意一项所述的波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散,其特征在于,

使进行了偏振波控制的光信号入射至评价波长色散的所述测定对象的入射端,将从该测定对象的射出端射出的被测定光信号的偏振波控制成直线偏振波,使所述被测定光信号的偏振波与在所述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,使被测定光信号借助所述入射路径入射至该波长色散测定装置,根据所述第 1 光分量、所述第 2 光分量以及所述第 3 光分量的所述干涉信号来求出被测定光信号的光谱相位的变化量,评价所述测定对象中的波长色散。

14. 一种波长色散测定方法,使用所述权利要求 1 至 11 中任意一项所述的波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散,其特征在于,

使进行了偏振波控制的光信号入射至评价波长色散的所述测定对象的入射端,将从该测定对象的射出端射出的被测定光信号的偏振波控制成直线偏振波,使所述被测定光信号的偏振波与在所述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,在具有多个所述测定对象的波长通路被复用的情况下,从所述被测定信号提取单一的波长通路的光信号作为被测定光波长信号,使所述被测定光波长信号在所述波长色散测定装置中评价每个波长通路的所述测定对象的波长色散。

波长色散测定装置以及使用了该波长色散测定装置的波长色散测定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及测定光脉冲的波长色散的波长色散测定装置等的技术领域。尤其涉及对在传输速率为数十 Gbit/s 的高速光通信系统中的光纤网络的光传输路径中传播的光脉冲的波长色散进行测定的波长色散测定装置以及使用了该波长色散测定装置的波长色散测定方法。

背景技术

[0002] 本申请基于 2010 年 10 月 18 日日本申请的专利申请 2010-233922 号主张优先权，在此引用其内容。

[0003] 近些年，数据通信正向借助光纤的数据通信发展，伴随该发展，数据的传输速度与以往相比也显著提高。正在研究在不久的将来，在借助了这样的光纤的高速光通信系统中使用超短光脉冲，以比当下时刻的传输速度高数十 Gbit/s 或更高的传输速度进行通信。

[0004] 然而，在高速光通信系统中进行数据通信的情况下，存在常常产生串扰 (cross talk)、传输错误之类的问题。

[0005] 然而，随着数据的传输速度成为更高的速度，各个光脉冲的宽度和彼此前后关系的光脉冲的间隔变窄，在进行可靠性高的数据通信时，上述的串扰、传输错误如以下所说明的那样成为非常重要的问题。

[0006] 光在物质中行进的速度由物质的折射率决定，折射率越大光速越慢。在玻璃、半导体、光学晶体等物质中，折射率根据光频率（空气中的波长）而变化，所以光速取决于波长。已知因该折射率的波长依赖性，在光脉冲在物质中行进的期间光脉冲的波形产生失真，成为光脉冲的时间宽度展宽的重要因素。并且，在光纤所代表的光导波路径中，光导波路径的有效折射率由纤芯以及包层各自的形状、尺寸来决定，光速取决于波长。因此，光导波路径的构造也成为光脉冲的时间宽度展宽的重要因素。这样，以下将光速因光的波长而不同的特性称为“波长色散”，或仅称“色散”。

[0007] 这样，在光纤中行进的期间，光脉冲的波形因上述的波长色散而产生失真，光脉冲的时间宽度展宽，但在以往的传输速度中，光脉冲的宽度和前后的光脉冲的间隔与波长色散相比均较宽，所以不会成为特别大的问题。

[0008] 但若数据的传输速度高到数十 Gbit/s 以上，则波长色散变得比前后的光脉冲的间隔宽，前后的光脉冲彼此干涉等，从而产生串扰、传输错误。因此，如果仅在现有技术状态下直接提高传输速度，则无法以更高速实现可靠性高的数据通信。

[0009] 为了去除（或控制）上述的高速光通信系统中的波长色散，首先需要测定用于该高速通信系统的各种光组件等的波长色散，把握各部件的波长色散的特性。

[0010] 例如，为了根据光谱相位的变化求出波长色散，有使用了光谱错位干涉仪的波长色散测定装置，该光谱错位干涉仪使用了测定各种组件的光谱相位的移频器（例如参照专利文献 1）。

[0011] 在该光谱错位干涉仪中,为了能够唯一地测量光谱相位,将光脉冲的 \cos 分量以及 \sin 分量分别变换为水平偏振光分量以及垂直偏振光分量,为了通过进行偏振波分离来同时测量正交二分量,使用空间光学系统构成干涉仪。

[0012] 光谱错位干涉仪在构成干涉仪的一部分的光纤中利用直线偏振光传播光脉冲。

[0013] 在该光谱错位干涉仪中,为了产生 \cos 分量以及 \sin 分量的正交二分量,需要将直线偏振光变换为圆偏振光。

[0014] 通过与纵向以及横向正交的水平偏振光以及垂直偏振光这 2 个正交偏振光的叠加来形成该圆偏振光。水平偏振光和垂直偏振光之间存在 90° 的相位差。

[0015] 因此,使用偏振光束分束器,能够将圆偏振光空间分离成水平偏振光和垂直偏振光,从而得到 \cos 分量和 \sin 分量的正交二分量。

[0016] 如上所述,波长色散的测定需要得到多个波段中的 \cos 分量和 \sin 分量的正交二分量。

[0017] 与此相对,在光纤中,仅与光纤的光路长对应的特定波长的光不从圆偏振光变换为椭圆偏振光地进行传播,其以外波长的光从圆偏振光变化为椭圆偏振光进行传播,无法以稳定的状态维持正交二分量,无法以高精度得到正交二分量。

[0018] 因此,为了使圆偏振光不变成椭圆偏振光,在与正交二分量的分离相关的光路中使用空间光学系统,针对该全部波长的光,稳定地传播圆偏振光,以高精度产生 \cos 分量和 \sin 分量的正交二分量。

[0019] 专利文献 1:日本特开 2007-85981 号公报

[0020] 然而,虽然专利文献 1 的波长色散测定装置能够高精度地得到光脉冲的正交二分量,但由于使用空间光学系统,因光纤和空间光学系统之间的光的输入输出而产生光损失。存在由于该光损失导致光强度降低,从而测定灵敏度降低这样的问题。

[0021] 另外,由于专利文献 1 的波长色散测定装置使用空间光学系统,所以存在装置的构成变得复杂,并且从配置空间光学系统所需要的部件的必要性来看,无法小型化这样的问题。

[0022] 另外,由于专利文献 1 的波长色散测定装置使用空间光学系统通过选择偏振光来得到正交二分量,所以难以扩展光学系统,以便产生正交二分量以外的多个相位分量,例如以弧度为单位的相位角度为 0 、 π 以及 α 的 3 种相位分量。这里, α 表示 0 和 π 之间的任意相位角度,即表示比 0 大比 π 小的任意相位角度。

[0023] 使用上述的 0 、 π 以及 α 的 3 种相位分量,能够通过数值运算去除成为使波长色散特性精度降低的背景分量的非干涉分量(非干涉光分量,即相当于 DC 分量)。

[0024] 但在专利文献 1 的波长色散测定装置中,仅能够产生 0 和 π 的正交二分量,无法产生任意相位角度 α 的相位分量。

[0025] 因此,在专利文献 1 的波长色散测定装置中,为了去除非干涉分量,需要以使光强度在干涉仪的各分支路径上的分布总是与 $50:50$ 一致的方式来最优化干涉仪。因此,需要用于使光强度在分支路径上的分布总是保持于 $50:50$ 的稳定化机构,装置变复杂、大型化,难以进行小型化。

发明内容

[0026] 因此,本发明是鉴于上述课题而完成的,其目的在于提供一种能够使装置小型化,不受非干涉分量的影响,可靠地且高度稳定地实现光脉冲的波长色散的测定的波长色散测定装置等。

[0027] 为了解决上述课题,本发明的第一实施方式的波长色散测定装置是对在光传输路径中传播的光脉冲的波长色散进行测定的波长色散测定装置,具有:入射路径,其传播从测定对象入射的被测定光信号,且由具有偏振波保持特性的光纤构成;光分支部,其从与上述入射路径连接的第1入射端入射被测定光信号,将从该入射端入射的被测定光信号分离成第1被测定光信号以及第2被测定光信号这2个被测定光信号,使上述第1被测定光信号从第1射出端射出,另外,使偏振光方向与上述第1被测定光信号相同的上述第2被测定光信号从第2射出端射出,且在射出时使第1被测定光信号以及第2被测定光信号之间产生频率差;第1分支路径,其与上述第1射出端连接,传播上述第1被测定光信号,且由具有偏振波保持特性的光纤构成;第2分支路径,其与上述第2射出端连接,传播上述第2被测定光信号,且由具有偏振波保持特性的光纤构成;光移相器,其被设置于上述第1分支路径以及上述第2分支路径中的任意一方,使在被设置的分支路径中传播的被测定光信号的相位 α_i (弧度单位, α_i 是实数,且 $0 \leq \alpha_i \leq 2\pi$, i 是整数,且 $3 \leq i$)周期性地变化;光结合部,其对从与上述第1分支路径连接的第2入射端入射的上述第1被测定光信号和从与上述第2分支路径连接的第3入射端入射的上述第2被测定光信号进行叠加,将在上述相位差为相位 α_i 时通过上述第1被测定光信号和上述第2被测定光信号的干涉得到的第 i 光分量的干涉要素作为叠加波被测定光信号,从第3射出端射出;结合用路径,其与上述第3射出端连接,由传播上述叠加波被测定光信号的光纤构成;光频率扫描部,其从与上述结合用路径连接的第4入射端入射上述叠加波被测定光信号,对使上述叠加波被测定光信号通过的频率范围所包含的频率进行扫描,进行从上述叠加波被测定光信号提取上述频率范围的光谱分量的频率分解,将频率分解的结果作为分量被测定光信号从第4射出端射出;光射出路径,其与上述第4射出端连接,由传播上述分量被测定光信号的光纤构成;光检测部,其从与上述光射出路径连接的第5入射端入射上述分量被测定光信号,将该分量被测定光信号变换为电信号,将变换结果作为干涉信号;和控制部,其每当进行所述频率范围的扫描时便执行如下处理:与上述光移相器的相位的变化同步地按照在使所述移相器的相位变化的一个周期内 i 增加的顺序,沿时间序列获取与第 i 光分量对应的所述干涉信号。

[0028] 在上述波长色散装置中也可以是,在上述 i 能够取得的值的范围为 m 的情况下,上述控制部对上述各第 i 光分量进行将每个频率分量的测定间隔设为 $1/m$ 的插补处理,使全部干涉信号的数据个数为 m 倍。

[0029] 在上述波长色散装置中也可以是,上述 α_i 的要素总数是3以上($i \geq 3$),上述控制部从该要素提取相位 α_1 的第1光分量、相位 α_2 的第2光分量以及相位 α_3 的第3光分量作为3个要素,根据该第1光分量、该第2光分量以及该第3光分量分别获取上述干涉信号。

[0030] 在上述波长色散装置中也可以是,上述 α_i 的要素总数也可以是20以上($i \geq 20$)。

[0031] 在上述波长色散装置中也可以是,具有光延迟部,该光延迟部被设置于上述第1分支路径以及上述第2分支路径中的任意一方,对上述第1分支路径和上述第2分支路径的光路长度差值进行调节。

[0032] 在上述波长色散装置中也可以是,上述光延迟部被设置于上述第1分支路径以及上述第2分支路径中的任意一方,上述光移相器被设置于上述第1分支路径以及上述第2分支路径中的另一方。

[0033] 在上述波长色散装置中也可以是,上述光延迟部以及光移相器被一体化地设置于上述第1分支路径以及上述第2分支路径中的任意一方。

[0034] 在上述波长色散装置中也可以是,上述控制部具有:第1接收部,其接收上述第1光分量的上述干涉信号;第2接收部,其接收上述第2光分量的上述干涉信号;和第3接收部,其接收上述第3光分量的上述干涉信号。

[0035] 在上述波长色散装置中也可以是,上述控制部以每当对测定范围的测定频率进行扫描时为测定单位,沿时间序列获取上述第1光分量、上述第2光分量以及上述第3光分量作为数据。

[0036] 在上述波长色散装置中也可以是,具有:校正用光源,其射出校正光;和光输入切换部,其借助光纤从第6入射端入射从上述光叠加部的上述射出端射出的上述叠加波光信号,从第7入射端入射上述校正光,选择上述叠加波光信号或者上述校正光中的任意一个从第5射出端射出,上述光输入切换部被插入在上述光叠加部和上述光频率扫描部之间,从上述光输入切换部射出的上述叠加波光信号或者上述校正光中的任意一个借助光纤入射至上述频率扫描部的上述第4入射端。

[0037] 在上述波长色散装置中也可以是,由具有偏振波保持特性的光纤构成上述结合用路径,在上述结合用路径的后段插入控制上述叠加波被测定光信号的偏振光方向的控制器,通过具有偏振波保持特性的光纤连接上述偏振波控制器和上述光频率扫描部之间。

[0038] 在使用上述任意一个波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散的波长色散测定方法中,在评价作为上述测定对象的光传输路径的评价波长色散的部分设置分支部,偏振波控制部将通过该分支部得到的被测定光信号的偏振波控制成直线偏振波,与在上述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,使被测定光信号借助上述入射路径入射至该波长色散测定装置,根据上述第1光分量、上述第2光分量以及上述第3光分量的上述干涉信号来求出被测定光信号的光谱相位的变化量,评价上述测定对象的波长色散。

[0039] 在使用上述任意一个波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散的波长色散测定方法中,使进行了偏振波控制的光信号入射至评价波长色散的上述测定对象的入射端,将从该测定对象的射出端射出的被测定光信号的偏振波控制为直线偏振波,与在上述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,使被测定光信号借助上述入射路径入射至该波长色散测定装置,根据上述第1光分量、上述第2光分量以及上述第3光分量的上述干涉信号来求出被测定光信号的光谱相位的变化量,评价上述测定对象的波长色散。

[0040] 在使用上述波长色散测定装置来求出测定对象的波长色散的波长色散测定方法中,使进行了偏振波控制的光信号入射至评价波长色散的上述测定对象的入射端,将从该测定对象的射出端射出的被测定光信号的偏振波控制为直线偏振波,与在上述波长色散测定装置内传播的偏振光轴对齐,在存在多个上述测定对象的波长通路被复用的情况下,从上述被测定信号提取单一的波长通路的光信号作为被测定光波长信号,使上述被测定光波长信号在上述波长色散测定装置中评价每个波长通路的上述测定对象的波长色散。

[0041] 根据上述本发明的技术方案,不使用空间光学系统,而是由具有偏振波维持特性

的光纤的第 1 分支路径以及第 2 分支路径来构成波长色散测定装置的干涉仪,所以不会像以往的例子那样,产生在光纤和空间光学系统之间的光的输入输出所引起的光损失,从而使被测定光信号的光的强度降低。

[0042] 另外,根据上述本发明的实施方式,利用具有偏振波维持特性的光纤在维持了被测定光信号的偏振波的状态下使被测定光信号在装置内传播,构成干涉仪的第 1 分支路径以及第 2 分支路径中,相对于传播至第 1 分支路径的第 1 被测定光信号,使传播至第 2 分支路径的第 2 被测定光信号的相位差沿时间序列以弧度为单位从 0 到 π 之间进行周期性地切换,从而能够从稳定的同一偏振波状态的第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号提取分别不同的相位偏移量的第 i 光分量的干涉要素,与以往相比,能够高精度且高灵敏度地进行光脉冲的波长色散的测定。

[0043] 另外,根据上述本发明的实施方式,由于不使用空间光学系统,所以装置的构成变得简单,且无需像空间光学系统那样配置必要的部件,能够使装置小型化。

附图说明

[0044] 图 1A 是用于说明从光脉冲测定光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 的图。

[0045] 图 1B 是用于说明从光脉冲测定光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 的图。

[0046] 图 1C 是用于说明从光脉冲测定光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 的图。

[0047] 图 2 是表示本发明的第 1 实施方式的波长色散测定装置的构成例的框图。

[0048] 图 3 是表示本发明的第 1 实施方式中的、光频率扫描部 9 的频率扫描动作、与其对应的光相位偏移部 8 的相位偏移的动作、和控制部 12 对来自光检测部 11 的电信号的取样中的动作定时的波形图。

[0049] 图 4 是表示本发明的第 2 实施方式中的、光频率扫描部 9 的频率扫描动作、与其对应的光相位偏移部 8 的相位偏移的动作、和控制部 12 对来自光检测部 11 的电信号的取样中的动作定时的波形图。

[0050] 图 5 是表示本发明的第 4 实施方式的波长色散测定装置的构成例的框图。

[0051] 图 6 是对使用本发明的波长色散测定装置,测定在光纤传输路径中传播的光脉冲的色散参数的测定方法进行说明的图。

[0052] 图 7 是对使用本发明的波长色散测定装置,测定在光部件中传播的光脉冲的色散参数的测定方法进行说明的图。

[0053] 图 8 是表示用于进行调节以便使入射至光频率扫描部 84 的光的偏振光方向与构成带通滤光器的光纤的单一偏振光轴(例如慢轴)一致的构成例的图。

[0054] 图 9 是对使用本发明的第 1 实施方式至第 3 实施方式中任意一个波长色散测定装置,测定在光信号发生器中产生的光脉冲的色散参数进行说明的图。

[0055] 图 10 是表示本发明的第 8 实施方式的波长色散测定装置的构成例的框图。

具体实施方式

[0056] 以下,基于附图对本发明的优选实施方式进行说明。此外,本实施方式是将本发明应用于波长色散测定装置以及使用了该波长色散测定装置的波长色散测定方法的情况下的实施方式,其中,该波长色散测定装置用于评价例如在东京-大阪间的干线光纤传输路

径、城市地区的城域光纤网络等并用波长多路传输的光网络等光纤传输路径中传播的光脉冲的波长色散特性。

[0057] 波长色散

[0058] 首先,对利用本实施方式中的波长色散测定装置测定的波长色散进行说明。

[0059] 在本实施方式中,如上所述,测定在光纤传输路径中传播的光脉冲的光谱相位,进行在光纤传输路径中产生的波长色散的特性评价。尤其对本实施方式的在进行在 10Gbit/s ~ 40Gbit/s 程度的高速光通信系统中使用的光纤传输路径的波长色散的特性评价的情况下优选的实施方式进行说明。

[0060] 为了评价光纤传输路径的波长色散,重要之处在于频率 - 波数之间的关系即色散关系。根据该关系求出光在光纤传输路径中传播时的速度。该速度指光脉冲的重心移动的速度 (speed),被称作“群速度 (group speed)”。群速度的波长 (频率) 依赖性表示波长色散。

[0061] 作为频率 - 波数特性曲线的斜率 (微分系数) 赋予该群速度,在真空、空气中,频率 - 波数特性为直线,群速度不取决于频率而是恒定的,但在玻璃、半导体、金属等物质中,频率 - 波数特性不是直线,群速度随频率而变化。由于光脉冲传播的光纤传输路径主要由玻璃形成,所以产生与玻璃的特性对应的波长色散,且产生与纤芯以及包层的形状和尺寸对应的波长色散,群速度随光脉冲的频率 (也可以说是波长) 而变化。

[0062] 这里,由于光脉冲不仅包含单一的波长,还包含各种波长分量,所以若群速度取决于波长,则光脉冲的宽度随着在光纤传输路径中传播而扩展,光脉冲的波形失真,信号在前后的光脉冲重叠而产生串扰,发生错误。

[0063] 由于波长色散与传播的光纤等介质的长度成比例地增大,所以随着光网络普及,由光纤、光部件构成的路径的长度增加,光脉冲的失真大幅扩展,成为严重的问题。

[0064] 因此,构建并运用光网络时,补偿波长色散成为重要的课题。为了补偿该波长色散,需要评价该波长色散的程度。

[0065] 由以下所示的式 (1) 表示该光纤传输路径的波长色散的特性亦即色散参数 (dispersion parameter) D。色散参数的单位例如是 ps/nm/km。在该式 (1) 中, $\Delta \tau_g$ 是群延迟时间差, L 是光传播的距离, $\Delta \lambda$ 是波长差。

[0066] [式 1]

$$D = \frac{\Delta \tau_g}{L \Delta \lambda} \quad \dots (1)$$

[0068] 在本实施方式中,色散参数 D 例如是光纤传输路径、光部件的长度。由于光传播的距离 L 已知,所以若求出相对于波长差的群延迟时间差,就能够计算出色散参数 D。

[0069] 利用频率差 $\Delta \nu$ 将上述波长差表示为以下式 (2)。在式 (2) 中, ν 是频率, c 是光速。

[0070] [式 2]

$$\Delta \lambda = -\frac{c \Delta \nu}{\nu^2} \quad \dots (2)$$

[0072] 通过将式 (2) 代入式 (1) 得到以下所示的式 (3)。

[0073] [式 3]

$$[0074] \quad D = -\frac{\nu^2 \Delta \tau_g}{cL \Delta \nu} \quad \dots (3)$$

[0075] 然而,光的频率非常高,例如波长为 1500nm 的光的频率相当于 200THz(太赫),通过电测定来测定光电场的振动在当前技术中是不可能的。因此,作为测定光的相位的装置使用干涉仪。

[0076] 在该干涉仪中,入射光被光束分束器分割成 2 个方向,各光在通过了独立的路径后再次结合为一束光。能够测定分割后的光在各自的路径中传播引起的相位差作为结合后的干涉光的强度。

[0077] 因此,在本实施方式中,取出在光纤传输路径中传播的光脉冲自身的一部分,利用通过移频器(AOFS:acousto-optic frequency shifter:声光移频器)将该取出的光脉冲的一部分频移 $\Delta \nu_0$ 后的光脉冲,将与原始的光脉冲发生干涉而得到的干涉条纹极坐标转换为强度以及相位,从而能够求出原始的光脉冲的相位的频率微分,能够测定群延迟时间。

[0078] 以下,使用附图更加具体地进行说明。

[0079] 图 1A 是表示在光纤传输路径中传播的光脉冲的波形的图,是以时间 t 表示横轴,以信号强度 I 表示纵轴的光脉冲的时间波形。在该图所示的例子中,架设光脉冲每隔 25ps(40Gbit/s) 便反复 ON、OFF 的光脉冲。若将在光纤传输路径、光部件中传播后的光谱相位设为 $\phi(\nu)$,将光谱相位相对于 $\Delta \nu$ 的频率差的变化量设为 $\Delta \phi(\nu)$,则通过以下式(4)表示群延迟时间差 $\Delta \tau_g$ 。这里,光谱相位一般被称作光脉冲啁啾(pulse chirp),作为频率的函数描述相位如何变化,这里,表示在光纤传输路径中产生的相位变化。

[0080] [式 4]

$$[0081] \quad \Delta \tau_g = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \phi}{\partial \nu} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \phi(\nu)}{\Delta \nu} \quad \dots (4)$$

[0082] 通过将式(4)代入式(3),导出以下所示的式(5)表示的关系式。

[0083] [式 5]

$$[0084] \quad D = -\frac{1}{2\pi c} \frac{\Delta \phi(\nu)}{L} \left(\frac{\nu}{\Delta \nu} \right)^2 \quad \dots (5)$$

[0085] 通过根据该式(5)式,针对在光纤传输路径、光部件中传播的光脉冲求出光谱相位相对于频率差 $\Delta \nu$ 的变化量,能够求出光纤传输路径、光部件中的色散参数 D ,能够评价波长色散。由于将色散斜率等高次波长色散表示为色散参数的频率依赖性,所以能够通过式(5)评价全部次数的波长色散。

[0086] 另外,图 1B 示出光脉冲的相位的频率 ν 依赖特性。作为测定对象的光纤传输路径的光脉冲具有二次色散,另外如该图所示,相位以在上部具有凸形的抛物线所示那样变化。在使频率微小偏移了 $\Delta \nu_0$ 的情况下,如图中的虚线所示,通过该偏移,光谱相位也变化了 $\Delta \phi$ 。该光谱相位的变化量 $\Delta \phi$ 的值与对未移频的原始的光脉冲(图中实线)进行微分后的值等价。因此,通过用频率的偏移量 $\Delta \nu_0$ 除光谱相位的变化量 $\Delta \phi$,能够如式(4)所示那样求出群延迟时间差 $\Delta \tau_g$ 。

[0087] 光谱错位干涉仪

[0088] 在光谱错位干涉仪中,利用干涉仪所具备的 2 条分支路径,将输入的光脉冲分支

成 2 支,并使偏振光方向维持相同,针对在任意一支的分支路径中传播的光脉冲赋予移频。

[0089] 图 1C 示出光脉冲的强度光谱波形。该图表示频率 ν 相对于电场 R 的依赖特性,如实线所示,可知未移频的原始的光脉冲具有在中心频率 ν_0 处电场 R 成为最大(峰值)的光谱。另一方面,可知在使频率微小偏移了 $\Delta \nu_0$ 的情况下(以虚线图示),强度光谱的峰值偏移,但波形不变化。换句话说,即便使频率微小偏移,电场 R 的值也没有变化,所以,能够根据使频率微小偏移了 $\Delta \nu_0$ 的光脉冲的功率光谱来近似以绝对值表示的原始的光脉冲的功率光谱。

[0090] 因此,能够获取通过该移频产生的干涉条纹的光谱,能够测定图 1B 所示的光谱相位相对于频率差 $\Delta \nu$ 的变化量 $\Delta \phi(\nu)$,即测定出与对光脉冲进行微分后的值等价的值。其结果,通过将得到的光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 代入式(5)能够计算出色散参数,能够评价波长色散。在 OPTICS LETTERS Vol. 19, No. 4, pp. 287-289, February 15, 1994, "Analysis of ultrashort pulse-shape measurement using linear interferometers", Victor Wong and Ian Walmsley 中示出该光谱错位干涉仪的详细内容。

[0091] 以下,除了上述文献所示的构成外,首先对如下内容进行说明,假定不存在成为背景分量的非干涉分量的情况,通过检测正交二分量,利用包含唯一的相位测定的本实施方式的光谱错位干涉仪来评价波长色散的基础原理。接下来对如下内容进行说明,在存在非干涉分量的情况下,根据以弧度单位将相位偏移设为 0 、 π 、 α 来进行测定的相位分量(光分量),去除成为背景分量的非干涉分量,从而求出正交二分量的方法(后述的“重叠于干涉分量的非干涉分量的去除”)。

[0092] 将在成为评价波长色散的对象的光纤传输路径、光部件中传播的光脉冲作为被测定光信号,在使偏振光方向维持相同的状态下,利用光分支部将该被测定光信号分离成 2 支分支路径。以使在这些 2 支分支路径的一支中传播的被测定光信号相位偏移 $\pi/2$,叠加在 2 支分支路径中传播的被测定光信号,例如叠加在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号和在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号的方式构成干涉仪。

[0093] 通过以下式(6)表示在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号的电场的时域波形。在该式(6)中, t 是时间, ν_0 是被测定信号的中心频率。

[0094] [式 6]

$$[0095] \begin{pmatrix} E_1^{\cos}(t) \\ E_1^{\sin}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_1^{\cos}(t)| \exp[-i \{2\pi \nu_0 t - \psi\}] \\ |E_1^{\sin}(t)| \exp[-i \{2\pi \nu_0 t - \psi\}] \end{pmatrix} \dots (6)$$

[0096] 在该式(6)中,示出表示正交二分量的第 1 被测定光信号的时域波形,上一行表示作为正交二分量的一方的分量的 \cos 分量,下一行表示作为正交二分量的另一方的分量的 \sin 分量。另外, $|E_1^{\cos}(t)|$ 、 $|E_1^{\sin}(t)|$ 分别表示电场的包络线的绝对值。这里,第 1 被测定光信号中的第 1 光分量亦即 \cos 分量和相位相对于 \cos 分量 $\pi/2$ 不同的第 2 光分量亦即 \sin 分量的偏振光方向相同。

[0097] ψ 是时间区域记载的相位,包含与波长色散相关的项。另外,在式(6)中,省略取决于信号调制格式的相位分量。

[0098] 在光谱干涉仪中,对式(6)的电场的时域波形进行分光,即进行傅立叶变换,变换

为以中心频率 ν_0 为原点的光谱,得到以下式 (7)。

[0099] [式 7]

$$[0100] \begin{pmatrix} E_1^{\cos}(\nu) \\ E_1^{\sin}(\nu) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_1^{\cos}(\nu)| \exp[-i\phi(\nu)] \\ |E_1^{\sin}(\nu)| \exp[-i\phi(\nu)] \end{pmatrix} \dots (7)$$

[0101] 接下来,使在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号相对于中心频率 ν_0 进行 $\Delta\nu_0$ 的移频。该频移 $\Delta\nu_0$ 微小,处于 $\nu_0 \gg \Delta\nu_0$ 的关系。另外,通过以下式 (8) 表示在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号的电场的时域波形。相对于第 1 被测定光信号,第 2 被测定光信号中的 \cos 分量的相位差为 0 度, \sin 分量的相位差为 90 度,与此对应, \sin 分量被附加相位差 $\pi/2$ 。这里,为了得到基于 \sin 分量的干涉分量(干涉条纹)的功率光谱,给予第 2 被测定光信号 $\pi/2$ 的相位差,作为 \sin 分量。另外,作为第 2 被测定光信号中的第 1 光分量的 \cos 分量和作为相对于 \cos 分量相位 $\pi/2$ 不同的第 2 光分量的 \sin 分量的偏振光方向相同。

[0102] [式 8]

[0103]

$$\begin{pmatrix} E_2^{\cos}(t) \\ E_2^{\sin}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_2^{\cos}(t)| \exp[-i\{2\pi(\nu_0 + \Delta\nu_0)t - \psi\}] \\ |E_2^{\sin}(t)| \exp[-i\{2\pi(\nu_0 + \Delta\nu_0)t - \psi + \pi/2\}] \end{pmatrix} \dots (8)$$

[0104] 若对上述式 (8) 进行傅立叶变换,变换为以中心频率 ν_0 为原点的光谱,得到以下式 (9)。

[0105] [式 9]

$$[0106] \begin{pmatrix} E_2^{\cos}(\nu) \\ E_2^{\sin}(\nu) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_2^{\cos}(\nu)| \exp[-i\phi(\nu - \Delta\nu_0)] \\ |E_2^{\sin}(\nu)| \exp[-i\{\phi(\nu - \Delta\nu_0) + \pi/2\}] \end{pmatrix} \dots (9)$$

[0107] 如上所述,由于使频移 $\Delta\nu_0$ 微小,所以将以下所示的式 (10) 的近似式分别应用于式 (9) 中的 \cos 分量以及 \sin 分量。

[0108] [式 10]

[0109]

$$|E_2^{\cos/\sin}(\nu - \Delta\nu_0)| = |E_2^{\cos/\sin}(\nu)| \dots (10)$$

[0110] 在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号和在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号通过结合部再次叠加,若通过光检测部检测出叠加后的叠加波被测定光信号,则得到基于第 1 测定光信号和第 2 被测定光信号的干涉的功率光谱。将再次结合后的 \cos 分量以及 \sin 分量的干涉分量的功率光谱分别设为 $|E_{\cos}(\nu)|$ 、 $|E_{\sin}(\nu)|$,合并式 (7) 以及式 (9) 的电场光谱中的偏振光方向相同的第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号的各项 \cos 分量和 \sin 分量,求出绝对值的平方,从而如以下式 (11) 那样分别求出 \cos 分量的干涉分量、 \sin 分量的干涉分量的功率光谱。

[0111] [式 11]

[0112]

$$\begin{pmatrix} |E^{\cos}(\nu)|^2 \\ |E^{\sin}(\nu)|^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_1^{\cos}(\nu)|^2 + |E_2^{\cos}(\nu)|^2 + 2|E_1^{\cos}(\nu)| \cdot |E_2^{\cos}(\nu)| \cos[\Delta\phi(\nu)] \\ |E_1^{\sin}(\nu)|^2 + |E_2^{\sin}(\nu)|^2 + 2|E_1^{\sin}(\nu)| \cdot |E_2^{\sin}(\nu)| \sin[\Delta\phi(\nu)] \end{pmatrix}$$

• • • (11)

[0113] 在上述式 (11) 中, 视为频移 Δv_0 与式 (4) 以及式 (5) 中的频率差 Δv 相等, 假设如以下所示的式 (12) 那样表示相位差的项与光谱相位的变化量 $\Delta\phi(\nu)$ 比频率差 Δv 相等。

[0114] [式 12]

$$[0115] \quad \phi(\nu - \Delta v_0) - \phi(\nu) = \Delta\phi(\nu) \quad \cdot \cdot \cdot (12)$$

[0116] 接下来, 使式 (11) 变形, 如以下式 (13) 所示那样得到与光谱相位的变化量 $\Delta\phi(\nu)$ 对应的 \cos 分量以及 \sin 分量的项。这里, 进行上述再结合时, 第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号的偏振光方向相同, 第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号中的 \cos 分量和 \sin 分量的偏振光方向也相同。

[0117] [式 13]

$$[0118] \quad \begin{pmatrix} \cos[\Delta\phi(\nu)] \\ \sin[\Delta\phi(\nu)] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{|E^{\cos}(\nu)|^2 - |E_1^{\cos}(\nu)|^2 - |E_2^{\cos}(\nu)|^2}{2|E_1^{\cos}(\nu)| \cdot |E_2^{\cos}(\nu)|} \\ \frac{|E^{\sin}(\nu)|^2 - |E_1^{\sin}(\nu)|^2 - |E_2^{\sin}(\nu)|^2}{2|E_1^{\sin}(\nu)| \cdot |E_2^{\sin}(\nu)|} \end{pmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot (13)$$

[0119] 第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号中的 \cos 分量和 \sin 分量的干涉中的干涉条纹分量包含于式 (13) 中的 $|E^{\cos}(\nu)|$ 、 $|E^{\sin}(\nu)|$ 。

[0120] 另外, 在本实施方式中, 为了得到上述式 (13), 在进行第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号的再次结合时, 使第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号中的任意一方相对于另一方, 相位交替偏移为 0 度和 90 度。针对光移相器亦即光相位偏移部, 在时间上交替施加控制相位的偏移量的电压亦即相位偏移电压进行该相位的偏移。另外, 即便在进行了该相位的偏移后, 第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号的偏振光方向也相同。

[0121] 其结果, 交替获得式 (8) 的被测定信号中的 \cos 分量 (上一行) 和 \sin 分量 (下一行)。在本实施方式中, 该光相位偏移部被设置于第 2 分支路径, 如上所述, 根据所施加的相位偏移电压, 利用 0 度 (获取 \cos 分量) 和 90 度 (获取 \sin 分量) 这 2 个值使在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号的相位差相对于在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号的相位交替变化。其结果, 在第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号的叠加波中, 交替获得 \cos 分量的干涉分量和 \sin 分量的干涉分量。而且, 通过将交替获取的一对 \cos 分量和 \sin 分量的干涉分量的功率光谱代入至以下式 (14), 利用单值函数的 \tan^{-1} 在 0 到 2π 的范围内唯一求出光谱相位相对于频率差 Δv 的变化量 $\Delta\phi(\nu)$ 。这里, \cos 分量和 \sin 分

量的一对是按照频率求出光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 的单位。

[0122] [式 14]

$$[0123] \quad \Delta \phi(\nu) = \tan^{-1} \left[\frac{\sin [\Delta \phi(\nu)]}{\cos [\Delta \phi(\nu)]} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{|E^{\sin}(\nu)|^2 - |E_1^{\sin}(\nu)|^2 - |E_2^{\sin}(\nu)|^2}{|E^{\cos}(\nu)|^2 - |E_1^{\cos}(\nu)|^2 - |E_2^{\cos}(\nu)|^2} \right] \quad \dots (14)$$

[0124] 在式 (14) 中, 为了得到最右边的式子, 使在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号和在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号各自的 \cos 分量以及 \sin 分量的功率相等, 应用了以下式 (15)。

[0125] [式 15]

$$[0126] \quad |E_{1,2}^{\cos}(\nu)| = |E_{1,2}^{\sin}(\nu)| \quad \dots (15)$$

[0127] 由于在 0 到 2π 的范围内周期卷积上述光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$, 所以通过 unwarped 处理进行展开来解除该相位的卷积。

[0128] 如上所述, 使用光谱错位干涉仪测定光谱相位相对于频率差 $\Delta \nu$ 的变化量 $\Delta \phi(\nu)$, 代入式 (5) 计算出色散参数 D , 进行光纤传输路径中的波长色散的特性评价。

[0129] 另一方面, 在利用光谱干涉仪测定色散参数 D 的过程中, 对测定出的光谱相位 $\phi(\nu)$ 进行频率微分求出群延迟时间, 从而能够计算出色散参数 D 。但若进行该频率微分, 则光谱相位中的测定噪声也同时被微分, 对测定噪声进行了微分后的尖锐尖峰噪声与群延迟时间重叠, 使计算色散参数时的精度降低。

[0130] 这样, 在光谱干涉仪中存在无法高精度检测色散参数的缺点。因此, 在本申请发明中, 使用光谱错位干涉仪来测定光谱相位相对于频率差 $\Delta \nu$ 的变化量 $\Delta \phi(\nu)$, 从而高精度地评价波长色散。

[0131] (重叠于干涉分量的非干涉分量的去除)

[0132] 在上述的“光谱错位干涉仪”中, 在导出表示 \cos 分量的干涉分量以及 \sin 分量的干涉分量各自的功率光谱的式 (11) 的过程中, 使在第 1 分支路径中传播的第 1 被测定光信号和在第 2 分支路径中传播的第 2 被测定光信号叠加后的功率相等。即, 在式 (11) 的导出部分中已经进行了记载, 但假定光谱错位干涉仪的分支比以及叠加比均是 50 : 50, 不存在成为干涉条纹的背景分量的非干涉分量。

[0133] 由于假设实际不存在非干涉分量的状态, 所以要求针对不同的波长总是将分支比以及叠加比保持在 50 : 50, 考虑构成光谱错位干涉仪的全部要素的波长依赖性, 作为构成需要极其特殊的光谱错位干涉仪的设计。

[0134] 这样的特殊构成的光谱错位干涉仪的构成用的要素变得复杂, 且要素数量也增大, 在实用上装置大型化, 所以并不优选。另外, 需要稳定化机构, 该稳定化机构使温度保持恒定, 从而抑制构成要素的热膨胀引起的光谱错位干涉仪的路径长的变动、热光学效应引起的构成要素的折射率的变动, 使得分支比以及叠加比不变动 (摆动)。

[0135] 然而, 使用 3 个相位分量, 能够通过数值运算去除成为使波长色散的特性的精度

降低的背景分量的非干涉分量。

[0136] 因此,并不将在移相器中产生的相位偏移局限于 0 以及 $\pi/2$ 这 2 个值,而是使移相器产生相互不同的 3 个值以上的相位偏移。

[0137] 而且,针对该相互不同的 3 个值以上的相位偏移测定重叠了成为背景分量的非干涉分量的干涉条纹,从而能够通过数值运算去除非干涉分量,能够从正交二分量求出光谱相位的变化量。通过使用该方法,将分支比以及叠加比均保持于 50 :50,无需导入用于抑制温度引起的变动的稳定化机构,能够使光谱错位干涉仪小型化,简便制作。

[0138] 如上所述,以下说明针对相位偏移的值相互不同的 3 个值的相位偏移测定重叠了非干涉分量的干涉条纹,从正交二分量导出光谱相位的变化量的处理的顺序。另外,即便在使用相位偏移的值相互不同的 4 个值以上的相位偏移的情况下,也按照与使用了以下说明的 3 个值的相位偏移的处理的顺序相同的顺序来去除成为背景分量的非干涉分量,能够高精度求出光谱相位的变化量。

[0139] 在以下的说明中,将相位偏移的值相互不同的 3 种作为 0、 π 以及 α 进行说明。这里,以弧度表示相位偏移的值, α 是比 0 大,比 π 小的任意的值 ($0 < \alpha < \pi$)。

[0140] 上述的值相互不同的 3 个值的相位偏移的各干涉功率光谱的成为背景分量的非干涉分量与干涉分量重叠,在行列式中被表示为下述的式 (16)。该式 (16) 是对表示相位偏移为 0 以及 $\pi/2$ 中的干涉分量的干涉功率光谱的式 (11) 进行置换后的表达式。

[0141] [式 16]

$$[0142] \begin{pmatrix} I_0(\nu) \\ I_\pi(\nu) \\ I_\alpha(\nu) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{\text{back}}(\nu) + I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu)] \\ I_{\text{back}}(\nu) + I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu) + \pi] \\ I_{\text{back}}(\nu) + I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu) + \alpha] \end{pmatrix} \dots (16)$$

[0143] 在上述式 (16) 的左边,从上部向下部按顺序是重叠了相位偏移为 0、 π 以及 α 的非干涉分量的干涉条纹。这里,例如按照 0、 π 、 α 的顺序交替切换相位偏移。具体而言,以 $0 \rightarrow \pi \rightarrow \alpha \rightarrow 0 \rightarrow \pi \rightarrow \alpha \dots$ 、和 $0 \rightarrow \pi \rightarrow \alpha$ 为一个周期进行重复。

[0144] 另外,在上述式 (16) 的右边,第 1 项 ($I_{\text{back}}(\nu)$) 表示成为各自的背景分量的非干涉分量,第 2 项 ($I_{\text{int}}(\nu) \cos[\dots]$) 表示干涉分量。该非干涉分量不取决于相位偏移,仅取决于光脉冲的频率 ν 。

[0145] 上述的各相位偏移的干涉分量在 \cos 函数的变量部分别包含相位偏移 (0、 π 、 α)。

[0146] 另外,作为以下所示的式 (17),根据重叠了式 (16) 的相位偏移为 0 和 π 的非干涉分量的干涉条纹,赋予 \cos 干涉分量 (相位偏移为 0) 和成为背景分量的非干涉分量。

[0147] [式 17]

$$[0148] \quad \begin{pmatrix} I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu)] \\ I_{\text{back}}(\nu) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{I_0(\nu) - I_\pi(\nu)}{2} \\ \frac{I_0(\nu) + I_\pi(\nu)}{2} \end{pmatrix} \quad \dots (17)$$

[0149] 按照以下顺序进行求出 sin 干涉分量 (相位偏移 $\pi/2$) 的处理。首先,使用三角函数的加法定理,以下式 (18) 表示 sin 干涉分量。

[0150] [式 18]

[0151]

$$I_{\text{int}}(\nu) \sin[\Delta\phi(\nu)] = \frac{1}{\sin \alpha} [I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu)] \cos \alpha - I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu) + \alpha]] \quad \dots (18)$$

[0152] 通过将式 (17) 的第 2 行的式子代入上述式 (16) 的第 3 行的式子,得到以下所示的式 (19)。

[0153] [式 19]

$$[0154] \quad I_{\text{int}}(\nu) \cos[\Delta\phi(\nu) + \alpha] = I_\alpha(\nu) - I_{\text{back}}(\nu)$$

$$[0155] \quad = I_\alpha(\nu) - \frac{I_0(\nu) + I_\pi(\nu)}{2} \quad \dots (19)$$

[0156] 而且,将式 (17) 的第 1 行所示的 cos 分量和式 (19) 代入式 (18),得到表示 sin 干涉分量的以下所示的式 (20)。

[0157] [式 20]

[0158]

$$I_{\text{int}}(\nu) \sin[\Delta\phi(\nu)] = \frac{1}{\sin \alpha} \left[\frac{I_0(\nu) - I_\pi(\nu)}{2} \cos \alpha - I_\alpha(\nu) + \frac{I_0(\nu) + I_\pi(\nu)}{2} \right] \quad \dots (20)$$

[0159] 接下来,根据式 (17) 的第 1 行的式子和式 (20),通过以下所示的式 (21)、式 (22) 分别得到光谱相位的变化量 $\Delta\phi(\nu)$ 和功率光谱 $I_{\text{int}}(\nu)$ 。此外,功率光谱与图 1C 的电场强度 R 的平方相等。

[0160] [式 21]

$$[0161] \quad \Delta\phi(\nu) = \tan^{-1} \left[\frac{\sin[\Delta\phi(\nu)]}{\cos[\Delta\phi(\nu)]} \right]$$

$$[0162] \quad = \tan^{-1} \left[\frac{1}{\sin \alpha} \left\{ \cos \alpha - \frac{2I_{\alpha}(\nu) - I_0(\nu) - I_{\pi}(\nu)}{I_0(\nu) - I_{\pi}(\nu)} \right\} \right] \quad \dots (21)$$

[0163] [式 22]

$$[0164] \quad I_{\text{int}}(\nu) =$$

[0165]

$$\sqrt{\left\{ \frac{I_0(\nu) - I_{\pi}(\nu)}{2} \right\}^2 + \frac{1}{\sin^2 \alpha} \left\{ \frac{I_0(\nu) - I_{\pi}(\nu)}{2} \cos \alpha - I_{\alpha}(\nu) + \frac{I_0(\nu) + I_{\pi}(\nu)}{2} \right\}^2} \quad \dots (22)$$

[0166] 如上所述,在本发明中,针对相互不同的值的 3 个值的相位偏移,能够通过测定重叠了非干涉分量的干涉条纹,来根据去除了非干涉分量的正交二分量求出光谱相位的变化量。

[0167] 波长色散测定装置的构成以及功能

[0168] < 第 1 实施方式 >

[0169] 接下来,参照图 2 对本实施方式的波长色散测定装置的构成以及功能进行说明。图 2 是表示本实施方式的波长色散测定装置的构成例的框图。

[0170] 波长色散测定装置具备:作为入射路径的入射光纤 1、光分支部 2、作为第 1 光分支路径的第 1 光纤 3、作为第 2 光分支路径的第 2 光纤 4、光结合部 5、作为结合用路径的结合用光纤 6、光延迟部 7、作为光移相器的光相位偏移部 8、光频率扫描部 9、作为光射出路径的射出光纤 10、光检测部 11、控制部 12、相位控制线 13、频率控制线 14、检测控制线 15。第 1 光纤 3、第 2 光纤 4 的光路长是光谱错位干涉仪的干涉仪长。

[0171] 入射光纤 1 的一端从作为评价波长色散的评价对象的光纤传输路径或者光部件入射光脉冲,另一端与光分支部 2 的入射端(第 1 入射端)2a 连接。这里,借助入射光纤 1 入射在评价波长色散的评价对象的光纤传输路径或者光部件中传播的光脉冲,将入射的光脉冲设为被测定光信号。

[0172] 光分支部 2 使从入射端输入的被测定光信号分支为 2 个方向,针对一端与一射出端(第 1 射出端)2b 连接的第 1 光纤 3 导入一方的光束作为第 1 被测定光信号,并且针对一端与另一射出端(第 2 射出端)2c 连接的第 2 光纤 4 导入另一方光束作为第 2 被测定光信号。这里,第 1 被测定光信号是式(6)所示的时间波形,具有式(7)所示的频率光谱。第 2 被测定光信号是式(8)所示的时间波形,具有式(9)所示的频率光谱。

[0173] 另外,光分支部 2 使从一射出端 2b 向第 1 光纤 3 射出的第 1 被测定光信号和从另一射出端 2c 向第 2 光纤 4 射出的第 2 被测定光信号之间产生载波频率差。

[0174] 在本实施方式中,产生了载波频率差的结果,例如对向第 2 光纤 4 射出的第 2 被测定光信号赋予频移 $\Delta \nu_0$ 作为载波频率差,使得成为与向第 1 光纤 3 射出的第 1 被测定光信号的频率不同的频率。另一方面,向第 1 光纤 3 射出的第 1 被测定光信号没有发生频率变化。

[0175] 光分支部 2 例如使用声光移频器。该声光移频器的 0 次光输出端口与第 1 光纤 3

的一端连接,1次光输出端口与第2光纤4的一端连接。声光移频器在被供给了频率 $\Delta\nu_0$ 的高频的情况下,从0次光输出端口输出未被移频的第1被测定光信号,另一方面,从1次光输出端口输出被移频了频率 $\Delta\nu_0$ 的第2被测定光信号。为了在后述的光结合部5中再次结合,从而获取干涉分量,光分支部2使第1被测定光信号和第2被测定光信号的偏振光方向相同地射出。

[0176] 光结合部5的一入射端(第2入射端)5a与第1光纤3的另一端连接,另一输入端(第3入射端)5b与第2光纤4的另一端连接。另外,光结合部5的射出端(第3射出端)5c与结合用光纤6连接。

[0177] 光结合部5对从一入射端5a入射的第1被测定光信号和从另一入射端5b输入的第2被测定光信号进行叠加,将叠加后的叠加波被测定光信号从射出端5c射出至结合用光纤6。

[0178] 另外,在第1光纤3的路径中插入有光延迟部7。以使第1光纤3和第2光纤4的光路长度差值相同为目的,将该光延迟部7设置在相对于另一方光路长较短的一方的光纤上,将用于消除光路长度差值的调整的延迟赋予被测定光信号。

[0179] 然而,由于通过设置光延迟部7来消除光路长度差值,能够降低在第1光纤3和第2光纤4之间产生的光路长的摆动,所以能够使式(14)中的光谱相位的变化量 $\Delta\phi(\nu)$ 的测定精度提高。

[0180] 此外,若是第1光纤3和第2光纤4的光路长度差值不给测定精度带来影响的程度,则无需设置。

[0181] 另外,在第2光纤4的路径中插入有光相位偏移部8。该光相位偏移部8使在第2光纤4中传播的第2被测定光信号的相位在一定的第1周期中在0到 π (弧度单位)之间连续地相位偏移。即,光相位偏移部8使在第1光纤3中传播的第1被测定光信号和在第2光纤4中传播的第2被测定光信号之间的相位差在一定的第1周期在0至 π 之间连续地变化。这里,光相位偏移部8使第2被测定光信号的相位相对于第1被测定光信号的相位偏移,但偏移后,也使第2被测定光信号的偏振光方向与第1被测定光信号的偏振光方向相同地射出。

[0182] 由此,将在第1光纤3中传播的第1被测定光信号和在第2光纤4中传播的第2被测定光信号之间的相位差为0的情况设为0分量检测模式,另外,将相位差为 π 的情况设为 π 分量检测模式,另外,将相位差为 α 的情况设为 α 分量检测模式。

[0183] 式(16)的行列的行中的第1行、第2行以及第3行的各表达式分别与分别以0分量检测模式、 π 分量检测模式、 α 分量检测模式在干涉分量中重叠了非干涉分量后的干涉条纹对应。

[0184] 这里,如上所述,从光分支部2射出的第1被测定光信号和第2被测定光信号的偏振光方向相同,并且第1被测定光信号与利用光相位偏移部8使相位差在0至 π 之间相位偏移后的第2被测定光信号的偏振光方向也相同。因此,通过使在光相位偏移部8中产生的相位差在0到 π 之间依次变化,能够选择0时的0分量检测模式、 π 时的 π 分量检测模式或 α 时的 α 分量检测模式的任意一个。

[0185] 在本实施方式中,在第2被测定光信号相对于第1被测定光信号的相位偏移为0的情况下,在第1被测定光信号和第2被测定光信号中产生0分量的干涉,在第2被测定光

信号相对于第 1 被测定光信号的相位偏移为 π 的情况下,在第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号中产生 π 分量的干涉,在第 2 被测定光信号相对于第 1 被测定光信号的相位偏移为 α 的情况下,在第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号中产生 α 分量的干涉。

[0186] 光结合部 5 在第 2 被测定信号的相位偏移为 0 的情况下,将第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号的 0 分量中的干涉分量作为叠加波被测定光信号输出,在第 2 被测定信号的相位偏移为 π 的情况下,将第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号的 π 分量中的干涉分量作为叠加波被测定光信号输出,在第 2 被测定信号的相位偏移为 α 的情况下,将第 1 被测定光信号和第 2 被测定光信号的 α 分量中的干涉分量作为叠加波被测定光信号输出。

[0187] 例如,能够在该光相位偏移部 8 中应用例如使用了电光晶体(例如 LiNbO_3) 的移相器,通过使施加的相位偏移电压(后述的 V_0 、 V_π 、 V_α) 变化,能够使相位的偏移量在 0 到 π 之间连续地变化。在本实施方式中,使相位偏移连续地变化,但并不局限于此,在离散地变化(例如以 $0 \rightarrow \alpha \rightarrow \pi$ 的 3 个值变化)的情况下,也能够构成本实施方式的波长色散测定装置。

[0188] 此外,在本实施方式中,构成为光延迟部 7 与第 1 光纤 3 连接,且光相位偏移部 8 与第 2 光纤 4 连接,但实际上将光延迟部 7 插入第 1 光纤 3 以及第 2 光纤 4 中任意一个光路长较短的光纤,使光相位偏移部 8 与另一方连接。

[0189] 如上所述,分别将光延迟部 7 和光相位偏移部 8 插入彼此不同的光纤的光路中,从而能够防止残留反射光在光延迟部 7 和光相位偏移部 8 之间往复。因此,能够去除残留反射光往复共振而产生的光谱波动。

[0190] 光频率扫描部 9 的入射端(第 4 入射端)9a 与结合用光纤 6 的另一端连接,射出端(第 4 射出端)9b 与射出光纤 10 的一端连接。光频率扫描部 9 例如是可调带通滤波器,根据表示频率扫描周期(在设定的测定频率范围内进行频率的扫描的周期)的开始的触发信号,进行使频率在规定的测定频率的范围内变化的扫描。光频率扫描部 9 使通过的带通频率宽度的中心频率在上述测定频率的范围内按照时间序列变化。另外,光频率扫描部 9 进行从由结合用光纤 6 入射的叠加波被测定光信号取出与上述带通频率宽度对应的频率的干涉要素的处理,即进行叠加波被测定光信号的频率分解。光频率扫描部 9 从射出端 9b 向射出光纤 10 射出频率分解后的分量被测定光信号(表示每个频率的光谱强度的信号)。将用于对第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号进行叠加而成的叠加波被测定光信号的频率数分解的频率设为上述带通频率宽度中的中心频率。在上述频率分解中,检测频率分解中的每个频率(不同频率中)的 0 分量、 π 分量以及 α 分量的干涉要素(干涉分量以及重叠于该干涉分量的非干涉分量)。

[0191] 光检测部 11 的入射端(第 5 入射端)11a 与射出光纤 10 的另一端连接。而且,光检测部 11 将从射出光纤 10 入射的分量被测定光信号转换为电信号,将转换结果作为包括非干涉分量(重叠了非干涉分量)的干涉信号输出给控制部 12。

[0192] 这里,对于分量被测定光信号而言,在光相位偏移部 8 将相位的偏移量设为 0 的情况下,是对应的频率的 0 分量的干涉要素,在光相位偏移部 8 将相位的偏移量设为 π 的情况下,是对应的频率的 π 分量的干涉要素,另外,在光相位偏移部 8 将相位的偏移量设为 α 的情况下,是对应的频率的 α 分量的干涉要素。

[0193] 另外,在本实施方式中,入射光纤 1、第 1 光纤 3、第 2 光纤 4 分别使用具有偏振波

保持特性的偏振波保持光纤 (PMF: Polarization Maintaining Fiber)。设为这些入射光纤 1、第 1 光纤 3、第 2 光纤 4 各自的偏振光轴全部在相同方向上对齐的状态,使第 1 被测定光信号以及第 2 被测定光信号的偏振光方向对齐,相同,并入射至光结合部 5。因此,在使用未图示的偏振波控制器,使在评价波长色散的对象的光纤传输路径中刚刚传播之后的被测定光信号的偏振波为直线偏振波,使其偏振光轴与入射光纤 1 的偏振光轴(例如慢轴)对齐后,使被测定光信号入射至入射光纤 1。另外,结合用光纤 6、射出光纤 10 也可以使用偏振波保持光纤。

[0194] 控制部 12 与从光频率扫描部 9 借助频率控制线 14 输入的表示频率扫描周期的开始点的触发信号同步,使每隔第 1 周期施加给光相位偏移部 8 的相位偏移电压连续地依次变化,进行相位偏移,所以,借助相位控制线 13 向光相位偏移部 8 供给该相位偏移电压。

[0195] 即,在测定频率为 n 点的情况下,针对一个频率将 0 分量、 π 分量以及 α 分量设为一组,所以每隔利用测定频率的数 n 来除频率扫描周期得到的第 1 周期,使相位偏移电压在该第 1 周期内依次变化,与上述触发信号同步地进行切换相位偏移的偏移量的处理。

[0196] 另外,控制部 12 与该第 1 周期同步,借助检测信号线 15 从光检测部 11 连续地依次接收 0 分量、 π 分量以及 α 分量的干涉信号。例如在本实施方式中,设为在测定利用测定频率的数 n 乘以测定频率而得的一个频率的第 1 周期内,按照 0 分量 \rightarrow α 分量 \rightarrow π 分量的顺序分别与第 1 周期同步地周期性地接收。在该第 1 周期内,按照 0 分量 \rightarrow α 分量 \rightarrow π 分量使相位偏移电压连续地依次变化,在频率扫描周期内,按照第 1 周期反复进行该变化的处理。

[0197] 而且,控制部 12 将在该时间序列获取的 0 分量、 π 分量以及 α 分量的干涉要素作为一对,作为用于运算各频率中的色散参数的功率光谱的数据使用。

[0198] 接下来,控制部 12 得到式 (16),该式 (16) 针对输入的 0 分量、 π 分量以及 α 分量的重叠了非干涉分量的干涉信号的电平,从而功率光谱方面求出 0 分量的干涉信号、 π 分量的干涉信号以及 α 分量的干涉信号的基于 3 个值的相位偏移的干涉功率光谱。

[0199] 并且,控制部 12 根据使用式 (16) 以及三角函数的加法定理得到的式 (17)、式 (19) 以及式 (20),能够得到每个频率的一对 \cos 分量以及 \sin 分量的功率光谱,能够根据式 (21) 得到每个频率的相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 。而且,控制部 12 通过将该相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 代入式 (5),计算出每个频率的色散参数。

[0200] 如上所述,在本实施方式中,设为根据从光频率扫描部 9 供给的触发信号来通知测定频率的范围中的频率扫描的开始。

[0201] 另外,也可以构成为控制部 12 将第 1 周期的 n 倍设为频率扫描周期,生成表示该频率扫描周期的开始的触发信号,向光频率扫描部 9 输出触发信号,在测定频率的范围内,控制频率的扫描。

[0202] 另外,使频率扫描周期不连续,在周期间设置预先设定的一定时间,通过使用频率扫描周期的开始点以及结束点的各触发信号,无需将开始点和结束点设定为相同时刻,能够在开始点和结束点之间设置使频率返回扫描的初始值的时间。因此,不会像结束点和开始点相同的情况那样,为了进行从开始点向初始值的变化,通过频率变化的时间,缩短频率扫描周期中的最初的第 1 周期,能够进一步使测定时间的控制高精度化。

[0203] 接下来,使用图 3 对本实施方式的图 2 所示的波长色散测定装置测定被测定光信

号的动作进行说明。图 3 是表示光频率扫描部 9 的频率扫描动作、与其对应的光相位偏移部 8 的相位偏移的动作、和控制部 12 中对来自光检测部 11 的干涉信号进行的取样的动作定时的波形图。

[0204] 即,图 3(a) 的纵轴是电压,横轴是时间,是表示光频率扫描部 9 输出的触发信号的输出定时的图。在该图 3(a) 中,设定为从光频率扫描部 9 输出的触发信号的 H 电平 (VH) 以及 L 电平 (VL) 分别适合 TTL 控制 (使用了 TTL (Transistor-Transistor Logic: 晶体管-晶体管逻辑) 接口的控制)。

[0205] 图 3(b) 的纵轴是频率,横轴是时间,表示在光频率扫描部 9 的扫描中输出的通带的中心频率的时间变化。在该图 3(b) 中, v_1 是扫描开始的频率 (测定频率的范围内的最低频率), v_2 是扫描停止的频率 (测定频率的范围内的最大频率)。因此,频率 v_1 至频率 v_2 成为测定频率的范围,即扫描频率的范围。

[0206] 图 3(c) 的纵轴是电压,横轴是时间,是表示使施加至光相位偏移部 8 的相位差以第 1 周期 Δt 变化的相位偏移电压的波形的图。相位偏移电压 V_0 是将相位差设为 0 (0 分量检测模式) 时的电压,相位偏移电压 V_π 是将相位差设为 π (π 分量检测模式) 时的电压。另外,若将相位偏移的偏移量设为 α (α 分量检测模式) 时的电压设为 V_α ,则在本实施方式中, V_α 比 V_0 大且比 V_π 小,即 $V_0 < V_\alpha < V_\pi$ 。控制部 12 针对第 1 周期 Δt 使相位偏移电压周期性地变化成正弦波的形状,施加给光偏移相位部 8。

[0207] 图 3(d) 的纵轴是电压,横轴是时间,是表示控制部 12 将来自光检测部 11 的重叠了非干涉信号的干涉信号作为时间序列数据接收的取样周期的定时的图。

[0208] 由于对于图 3(c) 以及图 3(d) 明确记载第 1 周期,所以放大图 3(a) 以及图 3(b) 的横向宽度的时间刻度,仅示出一部分的时间范围。

[0209] 光频率扫描部 9 产生触发信号,在时间“ $T_{1+1}-T_1$ ”的频率扫描周期向控制部 12 输出触发信号,并且为了进行叠加波被测定光信号的频率分解,开始线性增加从频率 v_1 至频率 v_2 的频率的扫描处理。这里,用户在实际的测定前测定扫描变化,在检测出没有实现扫描出的频率相对于时间的线性的情况下,进行扫描频率的校正,修正频率扫描的非线性。另外,在本实施方式中,进行从低频侧向高频侧的频率扫描,但也可以构成为从高频侧向低频侧进行频率扫描。另外,定时控制并不局限于 TTL 控制,例如也可以使用 CMOS (Metal Oxide Semiconductor: 金属氧化物半导体) 接口。

[0210] 控制部 12 若被供给触发信号,则与该触发信号同步,开始每隔第 1 周期 Δt 向光相位偏移部 8 连续地依次输出电压 V_0 至电压 V_π 的相位偏移电压的处理。在本实施方式中,从相位偏移电压 V_0 开始供给,但也可以构成为从相位偏移电压 V_π 供给至电压 V_0 。

[0211] 其结果,光相位偏移部 8 根据供给的相位偏移电压 V_0 至相位偏移电压 V_π 的变化,使在第 2 光纤 4 中传播的第 2 被测定光信号的相位在 0 到 π 的范围内连续地依次变化。

[0212] 光检测部 11 随着每隔第 1 周期 Δt ,即每隔测定频率从 0 变化至 π 的相位偏移,将具有分别与每个测定频率中的相位偏移的偏移量为 0、 π 以及 α 对应的干涉要素的分量被测定光信号连续地作为干涉信号,供给至控制部 12。

[0213] 而且,控制部 12 与第 1 周期 Δt 同步,在该第 1 周期 Δt 内且以一定的取样间隔对上述分量被测定光信号进行取样,能够按照各测定频率中的具有 0 分量的干涉要素的分量被测定光信号、具有 α 分量的干涉要素的分量被测定光信号以及具有 π 分量的干涉要

素的分量被测定光信号的顺序分别对它们进行获取。这里,控制部 12 在上述的一定的取样间隔使相位偏移电压依次变化,与输出各相位偏移电压 V_0 、 V_α 以及 V_π 的定时同步,对分量被测定光信号进行取样,将它们作为 0 分量的干涉要素、 α 分量的干涉要素、 π 分量的干涉要素进行获取。

[0214] 即,控制部 12 使第 2 被测定信号的相位偏移的相位量在第 1 周期内连续变化成 $0 \rightarrow \pi \rightarrow 0$,能够按照与一个测定周期对应的 1 个组的 0 分量、 α 分量以及 π 分量的干涉要素的顺序对它们进行获取。由此,在测定频率的范围内,从 n 的第 1 周期 Δt 得到 n 组的 0 分量、 α 分量以及 π 分量的干涉要素的组。

[0215] 另外,为了使相位偏移的偏移量为 0、 α 以及 π 的决定精度提高,在相位偏移电压在第 1 周期内变化成 $0 \rightarrow \pi \rightarrow 0$ 的期间,控制部 12 进行 20 点的取样。即,在本实施方式中,控制部 12 在第 1 周期内获取与 20 种分量被测定光信号对应的、偏移量不同的 20 种分量的干涉条纹数据。

[0216] 而且,控制部 12 在求光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 和功率光谱 $I_{int}(v)$ 时,基于输出了各相位偏移电压 V_0 、 V_α 以及 V_π 的定时,从取样出的多个干涉条纹数据提取 20 种分量的干涉条纹数据中与 0 分量、 π 分量以及 α 分量对应的 3 种,代入式 (21) 以及式 (22)。这里,在测定频率为 n 点的情况下,在频率扫描周期扫描 1 次频率,从而总取样数成为 $20n$ (光分量)。

[0217] 如上所述,控制部 12 通过一定的时间间隔的取样周期对 0 分量、 α 分量以及 π 分量的干涉要素进行取样测定。因此,构成为在控制部 12 上统一设置对用于取样的时钟信号 (电信号) 以及分量比测定光信号进行接收的接收端口即可,能够简单地构成波长色散测定装置。

[0218] 图 3(d) 示出每隔 n 个测定频率的第 1 周期进行 20 次取样的情况下的第 1 个测定频率的测定点即取样定时 $t_{1,1}$ 至 $t_{1,20}$,以及第 n 个测定频率的测定点即取样定时 $t_{n,1}$ 至 $t_{n,20}$ 。

20°

[0219] 这里,在各第 1 周期内存在 20 个进行取样的测定点的情况下,不能忽视每个测定点的扫描频率的变化。因此,需要修正各第 1 周期内的每个测定点的扫描频率的变化,维持得到的各干涉条纹数据的频率精度。在本实施方式中,在控制部 12 设置有如下构成,在频率扫描周期内的 $20n$ 个测定值中,按照各相同顺序进行基于各第 1 周期中成为相同顺序的测定频率的取样定时的 n 个测定值的线性插补,按照各取样定时计算出 20 种分量的干涉条纹数据。因此,控制部 12 具有对进行上述的线性插补的程序进行存储的存储器、或用于执行线性插补的电路。

[0220] 由此,分别针对各相位分量进行将每个频率分量的测定间隔设为 $1/20$ 的插补处理,将每个各相位分量的干涉信号的数据点数设为 20 倍,从设为 20 倍的光分量的干涉条纹数据中选择任意的数据,能够用于波长色散的评价。由于线性地进行频率的扫描,所以能够通过线性关系来决定随时间经过与测定频率对应的相位量。其结果,能够容易插补与各相位分量对应的干涉条纹数据。

[0221] 另外,在图 2 中虽未记载,但本实施方式的波长色散测定装置具备对用于进行线性插补的、 $20n$ 个测定的干涉条纹数据进行存储的存储部。控制部 12 依次将测定出的 $20n$ 个干涉条纹数据与识别信息 (例如表示是否是上述的第 i 个第 1 频率中的第 j 个测定点

的取样定时 $t_{i,j}$) 一起写入并存储至该存储部,在频率扫描周期结束的時刻读出各干涉条纹数据进行线性插补。这里, i 是 1 以上 n 以下 ($1 \leq i \leq n$) 的整数, j 是 1 以上 20 以下 ($1 \leq j \leq 20$) 的整数。

[0222] 在图 3(d) 中,相位偏移的偏移量为 0 时的 0 分量、为 α 时的 α 分量以及为 π 时的 π 分量分别与在各取样定时 $t_{i,1}$ 、 $t_{i,6}$ 、 $t_{i,11}$ 测定出的干涉条纹数据对应。这里,控制部 12 进行用于计算光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 的 α 分量相位量的相位校正。

[0223] 例如,在本实施方式中,进行与取样时间 $t_{i,6}$ 对应的相位量的相位校正,以弧度为单位将取样时间 $t_{i,6}$ 的相位量设为 0.418436π 。

[0224] 这里进行的 α 分量的相位校正的方法为以下顺序。

[0225] 由于相位相对于取样定时线性变化,所以若将取样定时 $t_{i,1}$ 的干涉条纹数据的值设为 0 相位分量的值,将取样定时 $t_{i,11}$ 的干涉条纹数据的值设为 π 相位分量的值,则作为取样定时的函数唯一决定出与其对应的三角函数。基于该三角函数的反函数,求出在取样定时 $t_{i,5}$ 与干涉条纹数据的值对应的相位值。利用该三角函数的反函数求出的相位值成为 α 分量的相位值的校正值。上述的 j 越大,取样定时的相位值的分辨率越高,所以上述最大值以及最小值接近实际的最大值以及最小值,决定 α 分量的相位的精度变高。

[0226] 另外,在取样点数少的情况下(在本实施方式中为比 20 个少的情况),由于上述的干涉条纹数据的插补的精度降低,所以作为相位偏移的偏移量的 0、 α 以及 π 的决定精度恶化,光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 或功率光谱 $I_{\text{int}}(v)$ 的计算结果(以横轴为频率,在纵轴分别描绘变化量 $\Delta \phi(v)$ 、功率光谱 $I_{\text{int}}(v)$ 的图)产生波动。

[0227] 另外,在通过相位校正求出的相位量为 α 的数值中,在小数点后的计算位数少的情况下(相位校正的精度低的情况下),也在光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 或功率光谱 $I_{\text{int}}(v)$ 的计算结果中产生波动。

[0228] 在本实施方式中,将波动的相对强度以不足光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 以及功率光谱 $I_{\text{int}}(v)$ 的各实测值的 1ppm 的方式计算为取样点数(在第 1 周期内为 20 点)以及校正后的取样时间 $t_{i,6}$ 的相位量的小数点后的位数(6 位)。

[0229] 另外,若在光相位偏移部 8 中产生的相位偏移存在频率依赖性,则在扫描频率的情况下,相位偏移随频率而变化,相位偏移的决定精度降低。

[0230] 然而,在扫描频率中的某个频率中,若光谱相位的变化量 $\Delta \phi(v)$ 或功率光谱 $I_{\text{int}}(v)$ 的波动的相对强度不足 1ppm,则在其他频率中,波动的相对强度也有可能不足 1ppm,能够进行测定精度高的波长色散的评价。

[0231] 在本实施方式中,将第 1 周期内的干涉分量,即取样点数设为 20,将相位量 α 的计算位数设为小数点后 6 位,但不对该取样点数以及小数点后的位数进行限定,根据能够允许需要的波动的相对强度到何种程度,来决定将波动的相对强度降低到何种程度,从而设定取样点数以及小数点后的位数即可。此外,相位量为 π 的计算位数的小数点后的位数也与相位量 α 相同,当然也需要根据波动的相对强度的降低来进行决定设定。

[0232] 另外,在本实施方式中,作为上述的相位量为 α 的干涉条纹数据使用在取样时间 $t_{i,6}$ 测定出的分量被测定光信号,但不对该取样时间进行限定,若是相位量为 0 以及 π 以外的相位偏移,则可以使用测定出的 20 个内的任意一个。这里通常,若不是相位偏移的相位量接近的值,则相位量的误差缩小,所以给波动的相对强度带来的影响小。

[0233] 因此,在各取样时间 $t_{i,j}$ 观察波动的相对强度,决定是否将波动的相对强度处于所需要的允许范围的取样时间用于相位量 α 的取样即可。

[0234] 另外,在“Applied Optics Vol.39, No.4, pp.585-591, February1,2000, “Phase-shifting interferometry with uncalibrated phase shifts,”Xin Chen, Maureen Gramaglia, and John A.Yeazell”中示出测量多个相位偏移的相位量不同的干涉分量,相位偏移干涉仪针对提高相位差决定的精度的、在图像处理中的应用。

[0235] 例如,在第1周期的数 n 是1000,将频率扫描周期 $T_{1+1}-T_1$ 设为1s(秒)的情况下,作为相位偏移电压的切换周期的第1周期 Δt 成为利用 n 即1000除1秒,成为1ms。另外,利用第1周期中的测定点(取样点)的数20除第1周期的时间1ms,取样定时的间隔成为50 μ s。如上所述,通过线性插补,相位偏移的各相位量的分量的干涉条纹数据的总数是使 n 乘以20而成为20000。

[0236] 另外,被测定光信号作为按照100GHz间隔的ITU(International Telecommunication Union:国际电信联盟)网络的信号,将频率扫描范围 $\nu_2-\nu_1$ 设为100GHz。例如,在将被测定光信号分配给ITU网络的C波段31号通路的情况下,分别将频率 ν_1 以及频率 ν_2 设为193.05THz以及193.15THz。该情况下,若将取样间隔换算成频率间隔,则是50MHz。

[0237] 为了提高光谱相位的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 的测定精度,需要高精度求出各取样点处的相位。因此,优选将光频率扫描部9的带通频率宽度设为上述取样间隔的一半以下的宽度。

[0238] 带通频率宽度越窄,越能够使频率分解的分辨率提高,能够高精度测定光谱相位相对于频率的变化量 $\Delta \phi(\nu)$ 。

[0239] 但是,由于使带通频率宽度变窄,从而存在入射至光检测部11的光量减少,测定噪声的影响变强的问题。

[0240] 在本实施方式中,将带通频率宽度设为取样频率(取样间隔)的1/2,即设为25MHz。此时,用于光频率扫描部9的带通滤波器的精细度成为利用透过峰值的半高全宽除峰值间隔的值,即成为4000。

[0241] 若使用外差光谱干涉仪测定相位波动,则若用于干涉仪的路径的光纤长是1m左右,则相位波动180度左右所需要的时间常数是5s左右。因此,在将频率扫描周期设定为1s的情况下,预计干涉仪的相位波动的影响小。

[0242] 在为了提高测定精度而需要进一步降低相位波动的情况下,进一步缩短频率扫描周期即可。例如,通过将频率扫描周期缩短至大约0.1s,能够忽略频率色散中的相位波动的影响。

[0243] 另外,在本实施方式中,对光频率扫描部9线性扫描频率进行了说明,但也可以在在一组的0分量、 α 分量以及 π 分量的取样的期间停止扫描,在进行一组的0分量、 α 分量以及 π 分量的取样的期间,以成为与测定频率相同的频率的方式以阶梯状进行频率的扫描。

[0244] 若是该构成,则在一组的0分量、 α 分量以及 π 分量的各自的期间,无频率变化,无需进行已经说明了的线性插补,所以无需在空间上配置进行线性插补的构成,能够使波长色散测定装置的构造进一步简单化,能够使装置小型化。

[0245] 并且,在本实施方式中,由于不像以往例那样使用空间光学系统校正干涉仪,所以

不产生在光纤和空间光学系统之间的光的输入输出的光损失,能够抑制光强度的降低,维持干涉分量的测定灵敏度,测定波长色散。

[0246] 另外,在本实施方式中,对使相位偏移中的相位量变化的范围为 0 至 π 进行了说明,但也可以构成为使相位量在 0 到 π 以上 2π 以下的范围变化。特别是通过使相位偏移中的相位量在 0 到 2π 的范围内变化,能够在扫描频率的整个区域进行移相器 8 中的相位偏移的相位量的频率依赖性,能够在扫描的频率的整个区域使相位的决定精度提高。

[0247] 但该情况下,由于使第 1 周期中的取样点数增加,例如使取样点数从 20 增加至 40,从而需要提高相位偏移的相位量的决定精度。

[0248] < 第 2 实施方式 >

[0249] 接下来,进行第 2 实施方式的波长色散测定装置的说明。第 2 实施方式是与第 1 实施方式相同的构成,但在图 2 的构成中,具有利用并列设置于控制部 12 的 3 个接收端口(后述的接收端口 P1、P2 以及 P3) 并列接收 1 组的 0 分量、 α 分量以及 π 分量的构成。

[0250] 图 4 是表示光频率扫描部 9 的频率扫描动作、与其对应的光相位偏移部 8 的相位偏移的动作、和控制部 12 对来自光检测部 11 的干涉信号进行的取样中的动作定时的波形图。

[0251] 图 4(a) 的纵轴是电压,横轴是时间,是表示光频率扫描部 9 输出的触发信号的输出定时的图。在该图 4(a) 中,将从光频率扫描部 9 输出的触发信号的 H 电平以及 L 电平分别设定为适合 TTL 控制。

[0252] 图 4(b) 的纵轴是频率,横轴是时间,表示在光频率扫描部 9 的扫描中输出的共振频率的时间变化。在该图 4(b) 中, v_1 是扫描开始的频率(测定频率的范围内的最低频率), v_2 是扫描停止的频率(测定频率的范围内的最大频率)。

[0253] 图 4(c) 的纵轴是电压,横轴是时间,是使施加至光相位偏移部 8 的相位差在第 1 周期内变化的相位偏移电压的波形的图。相位偏移电压 V_0 是将相位差设为 0 (0 分量检测模式) 时的电压,相位偏移电压 V_π 是将相位差设为 π (π 分量检测模式) 时的电压,相位偏移电压 V_α 是将相位差设为 α (α 分量检测模式) 时的电压。另外,进行 0 分量、 α 分量以及 π 分量的检测的相位偏移电压在第 1 周期内以正弦波变化。这里, α 是以弧度单位表示的相位量,是 $0 < \alpha < \pi$ 之间的实数。因此, α 在该 $0 < \alpha < \pi$ 的范围内变化。

[0254] 图 4(d) 的纵轴是电压,横轴是时间,是表示控制部 12 将来自光检测部 11 的干涉信号作为时间序列数据并列地从接收端口 P1、接收端口 P2、接收端口 P3 接收的取样周期的定时的图。在本实施方式中,接收端口 P1 接收 0 分量的分量被测定光信号,接收端口 P2 接收 π 分量的分量被测定光信号,接收端口 P3 接收 α 分量的分量被测定光信号。

[0255] 由于图 4(c) 以及图 4(d) 明确记载第 1 周期,所以放大图 4(a) 以及图 4(b) 的横向宽度的时间刻度,仅示出一部分的时间范围。

[0256] 控制部 12 在输出相位偏移电压 V_0 时,从光检测部 11 通过接收端口 P1 接收分量被测定光信号,在输出相位偏移电压 V_π 时,从光检测部 11 通过接收端口 P2 接收分量被测定光信号,在输出相位偏移电压 V_α 时,从光检测部 11 通过接收端口 P3 接收分量被测定光信号。

[0257] 第 2 实施方式也与第 1 实施方式相同,频率扫描周期中的第 1 周期的数 n 是 1000,将频率扫描周期设为 1s。接收端口 P1、接收端口 P2 以及接收端口 P3 的取样周期分别是

1ms。

[0258] 在控制部 12 中,进行 A/D(模拟 / 数字)变换,将来自光检测部 11 的干涉信号的电压电平作为数字数据(干涉条纹数据)进行获取。

[0259] 因此,存在控制部 12 中的 A/D 变换电路的动作速度成为限制想要缩短取样周期时的重要因素。但在本实施方式中,采用接收端口 P1、接收端口 P2 以及接收端口 P3 的三个系统的并列接收,各接收端口的取样速度成为仅以 1 个端口接收时的三分之一,所以能够使 A/D 变换电路的动作速度的限制上升 3 倍。

[0260] 另外,无需在一个接收端口按顺序分配 0 分量、 α 分量以及 π 分量的各自的测定定时,所以数据处理程序变得简单,能够使数据处理速度提高。

[0261] < 第 3 实施方式 >

[0262] 接下来,进行第 3 实施方式的波长色散测定装置的说明。图 5 是表示第 3 实施方式的构成例的框图。对与第 1 实施方式相同的构成赋予相同的附图标记,以下对与第 1 实施方式不同的构成进行说明。

[0263] 在使用消除第 1 光纤 3 和第 2 光纤 4 的光路长度差值的光延迟部 7 以及使被测定光信号的相位偏移的光相位偏移部 8 的情况下,在第 1 实施方式的情况下,分别使光延迟部 7 以及光相位偏移部 8 与不同的光纤连接。

[0264] 由图 2 所示的第 1 实施方式的构成可知,无需将光延迟部 7 以及光相位偏移部 8 分别设置在不同的光纤上,所以在第 3 实施方式中,使光延迟部 7 以及光相位偏移部 8 合为一体,构成为将具有光延迟部 7 的使光传播延迟的功能和光相位偏移部 8 的使光相位差偏移的功能的光延迟 - 光相位偏移部 47 设置在第 1 光纤 3 或者第 2 光纤 4 中的任意一方。在第 1 光纤 3 或者第 2 光纤 4 中的任意一方与另一方相比光路长短的情况下,在一方设置光延迟 - 光相位偏移部 47,修正针对另一方的光路长度差值。

[0265] 由此,使用使光延迟部 7 以及光相位偏移部 8 一体化的光延迟 - 光相位偏移部 47,与第 1 实施方式相比,能够使装置进一步小型化。

[0266] 另外,通过使光延迟部 7 以及光相位偏移部 8 合为一体,与使光延迟部 7 和光相位偏移部 8 分离设置在相同的光纤的情况相比,能够减少在光纤中产生的残留反射光。因此,能够将在第 1 实施方式中所示的残留反射光的共振引起的光谱波动抑制在更加低的水平。

[0267] < 第 4 实施方式 >

[0268] 接下来,进行第 4 实施方式的波长色散测定装置的说明。图 6 是对使用第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个的波长色散测定装置,来测定在光纤传输路径中传播的光脉冲的色散参数的测定方法进行说明的图。在该图中,波长色散测定装置 66 是第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个的波长色散测定装置。

[0269] 监视用光分支部 62 被配置在光纤传输路径 61 的路径中评价波长色散的位置,将传播至光纤传输路径 61 的光脉冲作为被测定信号进行提取,借助监视用光纤 63 向偏振波控制器 64 射出。

[0270] 此时,监视用光分支部 62 以不衰减到给光纤传输路径 61 中的传播带来影响的程度的方式提取在光纤传输路径 61 中传播的光脉冲的功率的一部分。在本实施方式中,监视用光分支部 62 将传播至光纤传输路径 61 的光脉冲的功率的一部分例如 10% 作为被测定光

信号,分支成监视用光纤 63。即,通过监视用光分支部 62 的分支,使在光纤传输路径 61 中传播的光脉冲和在监视用光纤 63 中传播的被测定光信号的功率分支比为 9:1。监视用光纤 63 例如使用标准色散的单一模式光纤。

[0271] 偏振波控制器 64 将被测定光信号的偏振波状态设为直线偏振波,使其偏振光轴与入射用光纤 65(图 2 或者图 5 的入射光纤 1)的偏振光轴(例如慢轴)对齐后,向入射用光纤 65 射出被测定光信号。

[0272] 入射用光纤 65 使用偏振波保持光纤,使偏振光轴与波长色散测定装置 66 内部的偏振波保持光纤(第 1 光纤 3、第 2 光纤 4)的偏振光轴对齐。

[0273] 以上,在本实施方式中,在测定光纤传输路径 61 中的波长色散时,实际利用在光纤传输路径 61 中传播的光脉冲来进行波长色散的测定,所以无需像以往那样,准备专用的光源,自该光源,从光纤传输路径 61 的入射端入射测定用的光脉冲,取出从光纤传输路径 61 的射出端输出的测定用的光脉冲,取出该测定用的光脉冲进行波长色散的测定。

[0274] 不仅是光纤传输路径 61 的整体的波长色散的测定,能够在光纤传输路径 61 的任意位置测定距该位置的距离的波长色散,能够使波长色散的测定位置的自由度提高。

[0275] 另外,由于不使用空间光学系统,所以装置本身能够小型化,携带装置在任意的光纤传输路径的任意位置,使用担任传输信息的任务进行传播的光脉冲,监视该光脉冲,所以尤其无需测定用的光源,通过测定光谱相位相对微小移频的变化量 $\Delta \phi(\nu)$,就能够评价光纤传输路径 61 的波长色散。

[0276] <第 5 实施方式>

[0277] 接下来,进行第 5 实施方式的波长色散测定装置的说明。图 7 是对使用第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个的波长色散测定装置,来测定在光部件中传播的光脉冲的色散参数的测定方法进行说明的图。在该图中,波长色散测定装置 78 是第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个的波长色散测定装置。

[0278] 在本实施方式中,在测定被测定对象的光部件的波长色散时,并不准备测定用的特别的光源,作为光源 71 通常使用将为了信息传递而传输的光脉冲输出至光纤传输路径的光发送机。这样,光源 71 是用于光纤传输路径的光源,在本实施方式中,使用将干涉信号变换为光脉冲的光收发器。光源 71 将光脉冲作为被测定光信号射出至入射用光纤 72。

[0279] 入射用光纤 72 由与配置作为被测定对象 74 的光部件的、用于光纤传输路径的部件相同的光纤构成。在该入射用光纤 72 插入有入射光控制部 73。

[0280] 入射光控制部 73 对在入射用光纤 72 中传播的被测定光信号的功率以及偏振光状态进行控制,借助入射用光纤 72 将控制后的被测定光信号射出至被测定对象 74 的入射端。

[0281] 通过控制被测定光信号的功率,能够对被测定对象 74 中的波长色散的功率依赖性即波长色散的程度和功率的关系进行测定评价。另外,通过控制被测定光信号的偏振光状态,能够对波长色散的偏振光状态依赖性即偏振光状态和波长色散的程度进行测定评价。

[0282] 在被测定对象 74 的射出端连接射出用光纤 75 的一端,将从入射端入射的被测定光信号从射出端射出至射出用光纤 75。

[0283] 射出用光纤 75 由与配置作为被测定对象 74 的光部件的、用于光纤传输路径相同的光纤构成。

[0284] 在偏振波控制器 76 的入射端连接射出用光纤 75 的另一端,入射来自被测定对象 74 的被测定光信号。另外,在偏振波控制器 76 的射出端连接有入射用光纤 77 的一端。该入射用光纤 77 使用偏振波保持光纤,使偏振光轴与波长色散测定装置 78 内部的偏振波保持光纤(第 1 光纤 3、第 2 光纤 4)的偏振光轴对齐。

[0285] 偏振波控制器 76 将被测定光信号的偏振波状态设为直线偏振波,使其偏振光轴与入射用光纤 77(图 2 或者图 5 的入射光纤 1)的偏振光轴(例如慢轴)对齐后,向入射用光纤 77 射出被测定光信号。

[0286] 另外,作为被测定对象 74 也可以是反射型光部件。在为反射型光部件的情况下,被测定对象 74 的入射端和射出端相同,朝向被测定对象 74 的入射用光纤 72 和从被测定对象 74 朝向的射出用光纤 75 借助循环器连接。

[0287] 如上述那样,不使用空间光学系统,能够使装置小型化,携带装置在任意的地方,通过将作为被测定对象的光部件内传播的光信号作为被测定光信号,测定光谱相位相对于微小移频的变化量 $\Delta \phi(\nu)$,都能够使用实际在光部件内传播的光脉冲来评价作为测定对象的光部件的波长色散。

[0288] <第 6 实施方式>

[0289] 接下来,进行第 6 实施方式的波长色散测定装置的说明。第 6 实施方式的波长色散测定装置是与第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个相同的构成。

[0290] 第 6 实施方式成为如下构成,进行使入射至图 2 中的光频率扫描部 9 的叠加波被测定光信号的偏振光方向与光频率扫描部 9 中的带通滤光器的偏振光轴一致的控制,提高光谱分解特性。在以下的说明中,仅对与第 1 实施方式至第 5 实施方式不同的构成进行说明。

[0291] 为了提高针对频率的分辨率,光频率扫描部 9 利用带通频率宽度窄并且精细度高的带通滤光器。

[0292] 作为该带通滤光器的一个例子,有在光纤中设置 Q 值高的共振器而构成的光元件。

[0293] 这样,若带通滤光器自身由光纤构成,则进一步地有利于使已经说明了的实施方式 1 至实施方式 5 的波长色散测定装置的构成小型化并且轻型化。

[0294] 另一方面,在带通滤光器中不使用偏振波保持光纤,而使用偏振波非保持光纤(以下称为“光纤”)的情况下,若因固定状态等对光纤施加了形变,则针对入射的光的偏振光方向产生折射率不同的偏振光依赖性。其结果,在带通滤光器中,带通频率宽度因偏振光方向而展宽,产生带通频带不单一,而取决于偏振光方向而存在多个的问题。

[0295] 为了解决在该带通滤光器中产生偏振光依赖性的问题采用如下构成即可,在由带通滤光器构成的光频率扫描部的前段设置偏振波控制器,进行调节,使得入射的光的偏振光方向与构成带通滤光器的光纤的特定的偏振光轴一致,消除偏振光依赖性。这里,偏振波控制器使入射的叠加波被测定光信号的偏振光方向与用于带通滤光器的光纤的慢轴一致。

[0296] 图 8 示出用于调节为使入射的光的偏振光方向与构成带通滤光器的光纤的单一的偏振光轴(例如慢轴)一致的构成例。图 8 中的光纤 81 与图 2 的结合用光纤 6 对应,图 8 中的光频率扫描部 84 与图 2 的光频率扫描部 9 对应,图 8 中的光纤 85 是偏振波非保持光纤,与图 2 的射出光纤 10 对应。

[0297] 在本实施方式中,为了控制偏振光的目的,将图 8 的入射侧的光纤 81 以及连接光纤 83 设为偏振波保持光纤。偏振波控制器 82 的入射端连接光纤 81 的射出端,在射出端连接连接光纤 83 的入射端。另外,偏振波控制器 82 使借助光纤 81 入射的叠加波被测定光信号的偏振光方向与光频率扫描部 84 中的构成带通滤光器的光纤的慢轴一致后,射出至连接光纤 83。

[0298] 由此,光频率扫描部 84 从光结合部 5 借助连接光纤 83 入射偏振光特性与构成内部的带通滤光器的光纤的慢轴一致的叠加波被测定光信号。

[0299] 而且,光频率扫描部 84 通过在测定频率的范围内扫描带通频率宽度,来频率分解叠加波被测定光信号,作为分量被测定光信号借助光纤 85 射出至光检测部 11。

[0300] 如上所述,偏振波控制器 82 使叠加波被测定光信号的偏振光方向与光频率扫描部 84 中的构成带通滤光器的光纤的偏振光轴一致,能够防止偏振光方向引起的光谱分解特性的恶化,能够提高频率分解特性的精度。

[0301] 此外,在光频率扫描部 84 中的构成带通滤光器的光纤是偏振波保持光纤的情况下,通过将光纤 81 设为偏振波保持光纤,能够省略偏振波控制器 82。即,使入射侧的光纤 81 的偏振光方向和光频率扫描部 84 中的构成带通滤光器的光纤的偏振光方向对齐,直接连接即可。

[0302] 以上,在由作为光纤基础的光部件构成波长色散测定装置的全部的光的传输路径的情况下,能够防止光频率扫描部 84 中的频率分解(光谱分解特性)的精度恶化。

[0303] < 第 7 实施方式 >

[0304] 接下来,进行第 7 实施方式的波长色散测定装置的说明。第 7 实施方式的波长色散测定装置使用第 1 实施方式至第 5 实施方式的任意一个波长色散测定装置,来测定在光信号发生器中产生的光脉冲的色散参数。图 9 是对使用第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个波长色散测定装置,测定在光脉冲传输路径中传播的、在光信号发生器 91 中产生的光脉冲的色散参数的方法进行说明的图。

[0305] 另外,在该图 9 中,波长色散测定装置 97 是第 1 实施方式至第 3 实施方式的任意一个波长色散测定装置。

[0306] 图 9 所示的色散参数的测定系统由光信号发生器 91、光纤传输路径 92、偏振波控制器 93、光纤 94、波长通路选择滤波器 95、入射用光纤 96 以及波长色散测定装置 97 构成。光纤 94 以及入射用光纤 96 使用偏振波保持光纤。

[0307] 光信号发生器 91 构成为具备光转发器/光收发器以及波长叠加器,作为产生用于光网络的光传输装置中的光脉冲的光信号产生部发挥功能。

[0308] 另外,光信号发生器 91 的光输出端与光纤传输路径 92 的一端连接。

[0309] 光纤传输路径 92 是用于光网络的光纤电缆所构成的基本要素,全长根据作为使用对象的光网络决定。例如,在海底光纤网络的情况下,有时光纤传输路径 92 的全长为 1000km 以上。

[0310] 另外,在光纤传输路径 92 的全长变长,在传输路径的中途插入光中继装置时,需要评价通过了光中继装置的光脉冲的色散参数,该情况下,在光纤传输路径 92 插入光放大器等用于光中继装置的设备。

[0311] 本实施方式中的光信号发生器 91 的构成要素的光转发器/光收发器例如具有连

续发送的半导体激光器、用于根据传输的数据编码即调制该半导体激光器的射出光的光调制器。该光调制器作为数据的调制格式例如使用 10Gbps-NRZ(non-return to zero) 强度调制,或者 40Gbps-DQPSK(differential quadrature phase-shift keying) 调制。

[0312] 因此,在本实施方式中,作为测定对象的被测定光信号包含上述的 10Gbps-NRZ、40Gbps-DQPSK 等调制格式的光信号。但在本实施方式中,作为测定对象的被测定光信号并不局限于这些调制格式,除此而外,也包含 QAM(quadrature amplitude modulation) 等处于研究开发阶段的、今后被实用化的调制格式。

[0313] 光纤传输路径 92 的另一端与偏振波控制器 93 的光输入端连接。

[0314] 偏振波控制器 93 将从光纤传输路径 92 入射至光入射端的被测定光信号的偏振波状态变换为直线偏振波,使被测定光信号的偏振光轴与入射用光纤 96(图 2 或者图 5 的入射光纤 1) 的偏振光轴(例如慢轴)对齐后,将被测定光信号射出至一端与光射出端连接的光纤 94。

[0315] 在波长通路选择滤波器 95 的光入射端联结有光纤 94 的另一端,借助光纤 94 从偏振波控制器 93 入射被测定光信号。

[0316] 该波长通路选择滤波器 95 从入射的被测定光信号使在波长色散测定装置 97 中成为评价的对象的波长通路的光信号选择性透过,作为针对波长色散测定装置 97 的被测定光信号从光射出端射出。

[0317] 另外,在图 9 中,波长通路选择滤波器 95 被配置在偏振波控制器 92 的后段,但也可以配置在偏振波控制器 92 的前段。

[0318] 即,在使偏振光轴与入射用光纤 96 后的被测定光信号的偏振波状态通过波长通路选择滤波器 95 发生显著变化的情况下,如上所述,优选在波长通路选择滤波器 95 的后段配置偏振波控制器 93 的构成,以便在选择了波长通路后进行使波长通路的光信号的偏振光轴对齐的处理。该情况下,在光纤传输路径 92 和光纤 94 之间设置波长通路选择滤波器 95,在光纤 94 和入射用光纤 96 之间设置偏振波控制器 93。另外,在对该波长通路选择滤波器 95 的后段配置偏振波控制器 93 的构成的情况下,光纤 94 是无需偏振波保持光纤。

[0319] 根据上述的本实施方式的波长色散测定装置,波长通路选择滤波器 95 使透过的频率通路变化,从而能够评价构成光信号发生器 91 的光转发器/光收发器的啁啾特性。在进行该啁啾特性(频率啁啾量)的评价的情况下,也可以替换光纤传输路径 92,使用更短的长条形(例如几米)的光纤跳线。该光纤跳线由标准色散单一模式光纤、或者色散偏移光纤等光纤构成。

[0320] 此外,在本实施方式中使用的波长通路选择滤波器 95 在对用于波长多路传输的被复用的波长通路的任意一个频率进行选择的目的中被使用,在本发明的其他实施方式中也能够使用。

[0321] 例如,在第 6 实施方式的波长色散测定装置中,通过在监视用分支部 62 的后段,即在监视用分支部 62 和波长色散测定装置 66 之间设置波长通路选择滤波器 95,能够提取被复用的波长通路的任意一个波长通路的被测定光信号,评价该一个波长通路的波长色散特性。

[0322] <第 8 实施方式>

[0323] 接下来,参照图 10,对第 8 实施方式的波长色散测定装置的构成以及功能进行说

明。图 10 是表示第 8 实施方式的波长色散测定装置的构成例的框图。对与第 1 实施方式相同的构成赋予相同的附图标记,以下对与第 1 实施方式不同的构成以及动作进行说明。

[0324] 在图 10 中,本实施方式的波长色散测定装置构成为在图 2 的第 1 实施方式的波长色散装置的光结合部 5 和光频率扫描部 9 之间插入光输入切换部 101。另外,在本实施方式的波长色散测定装置设置有校正用光源 103。

[0325] 因此,在本实施方式中,图 2 的第 1 实施方式的波长色散测定装置中的作为结合用路径的结合用光纤 6 被置换成连接光纤 107、光输入切换部 101、连接光纤 102、校正用光源 103 以及连接光纤 104。

[0326] 即,在光结合部 5 的光射出端(第 3 射出端)5c 连接有连接光纤 107 的一端。光输入切换部 101 从光射出端射出从 2 个光入射端入射的光信号的任意一个。光输入切换部 101 的光射出端(第 5 射出端)101a 与连接光纤 104 的一端连接。光输入切换部 101 的 2 个光入射端的任意一方(第 6 入射端)101b 与连接光纤 107 的另一端连接,2 个光入射端的另一方(第 7 入射端)101c 与连接光纤 102 的一端连接。光纤 104 的另一端与光频率扫描部 9 的入射端 9a 连接。另外,借助光输入切换控制线 105 从控制部 12 向光输入切换部 101 供给从光射出端射出从 2 个光入射端入射的光信号的哪一个的控制信号。

[0327] 校正用光源 103 的光射出端与连接光纤 102 的另一端连接,连接供给来自控制部 12 的进行频率控制的控制信号的校正用光源控制线 106 的一端。校正用光源控制线 106 的另一端与控制部 12 连接。

[0328] 在上述的波长色散测定装置中,控制部 12 借助光输入切换控制线 105 向光输入切换部 101 输出对向光频率扫描部 9 的光入射端射出借助连接光纤 107 从光结合部 5 入射的被测定光信号、和借助连接光纤 102 从校正用光源 103 入射的校正光中的哪一个进行控制的电信号(控制信号)。

[0329] 而且,光输入切换部 101 在从控制部 12 供给了表示输出从连接光纤 102 入射的校正光的控制信号的情况下,将从连接光纤 102 入射的校正光从光射出端借助连接光纤 104 射出至光频率扫描部 9 的光入射端。

[0330] 这里,光频率扫描部 9 对从连接光纤 104 入射的校正光进行与已经在第 1 实施方式中说明了的针对被测定光信号的频率扫描相同的处理,借助光射出光纤 10 将通过扫描得到的分量被测定光信号射出至光检测部 11。

[0331] 而且,光检测部 11 将从光射出光纤 10 入射的分量被测定光信号变换为电信号,将该变换后的电信号输出给控制部 12。

[0332] 控制部 12 使校正用光源 103 射出的校正光的光频率变化,测定输入的电信号,从而能够进行在频率扫描部 9 被频率扫描的光频率的校正。

[0333] 例如,光频率扫描部 9 利用使用了光纤校准器的可调滤光器。该可调滤光器一般利用 PZT(lead zirconate titanate)等压电元件使光纤伸缩,从而将光纤校准器的透过光频率设为可变。

[0334] 使用了该压电元件的可调滤光器的扫描光频率因压电元件的驱动电压的变动或控制器的电压变动而变动。因此,为了消除该扫描光频率的变动引起的分量测定光信号的频率的变动,需要针对校正用光源 103 的校正光的频率校正可调滤光器的扫描光频率(透过频率)的偏移。

[0335] 校正用光源 103 根据借助校正用光源控制线 106 从控制部 12 借助校正用光源控制线 106 发送来的控制信号（控制指令或者控制电信号），对射出至连接光纤 102 的校正光的频率进行控制。

[0336] 控制部 12 使射出光输入切换部 101 中的被测定光信号和校正光的哪一个的控制与光频率扫描部 9 中的频率扫描以及校正用光源 103 的校正光的光频率的控制同步，从而能够交替进行被测定光信号的波长色散测定和被测定光信号的频率的校正，即便光频率扫描部 9 透过的光频率偏移，也能够利用校正光校正频率的偏移，能够准确地测定每个频率的色散参数。

[0337] 控制部 12 在从光频率扫描部 9 透过校正用光源 103 输出的校正光时，通过决定强度最大的波长来检测扫描时光频率扫描部 9 透过的频带每当扫描就发生变动的情况。

[0338] 另外，在光频率扫描部 9 透过的光频率的偏移不大的情况下，也可以每隔预先设定的一定的时间进行被测定光信号的频率的校正。

[0339] 作为校正用光源 103 的构成，进行波长校正、波长稳定化控制，例如使用以下所示的 5 种构成的任意一种即可。

[0340] (1) 由以单一纵模式振荡的激光元件构成的构成

[0341] (2) 使用以单一纵模式振荡，并且振荡波长彼此不同的多个激光元件，能够通过光开关选择彼此不同的振荡波长的构成

[0342] (3) 是以单一纵模式振荡，振荡波长可变的可调激光元件，根据来自控制部 12 的指令或电气控制信号使振荡波长可变的构成

[0343] (4) 利用滤光器使来自广带域光源的光信号透过，根据来自控制部 12 的指令或电控制信号使透过的光的峰值波长或频率宽度可变的构成

[0344] (5) 是纵模式为多模式的激光元件或光频梳 (optical frequency comb) 光源，根据来自控制部 12 的指令或电控制信号使峰值波长的频率周期可变的构成

[0345] 另外，本实施方式中的构成用光源 103 的构成并不局限于上述的 (1) 至 (5) 的构成。

[0346] 另外，基于第 1 实施方式的波长色散测定装置，对本实施方式的说明中的附加光频率的构成功能的构成进行了说明，也能够容易适用于本发明的第 1 实施方式以外的其他实施方式的波长色散测定装置。

[0347] 以上，参照附图对该发明的实施方式进行了详细叙述，具体的构成并不局限于该实施方式，也包含不脱离该发明的主旨的范围的设计等。

[0348] 产业上的可用性

[0349] 本发明能够广泛适用于波长色散测定装置等，能够使装置小型化，不受非干涉分量的影响，而可靠且高稳定地实现光脉冲的波长色散的测定。

[0350] 附图标记说明

[0351] 1…入射光纤；2…光分支部；2a…光分支部 2 的光入射端（第 1 入射端）；2b…光分支部 2 的一方的光射出端（第 1 射出端）；2c…光分支部 2 的另一方的光射出端（第 2 射出端）；3…第 1 光纤；4…第 2 光纤；5…光结合部；5a…光结合部 5 的一方的光入射端（第 2 入射端）；5b…光结合部 5 的另一方的光输入端（第 3 入射端）；5c…光结合部 5 的光射出端（第 3 射出端）；6…结合用光纤；7…光延迟部；8…光相位偏移部；9…光频率扫描部；

9a...光频率扫描部 9 的光入射端 (第 4 入射端);9b...光频率扫描部 9 的光射出端 (第 4 射出端);10...射出光纤;11...光检测部;11a...光检测部 11 的光入射端 (第 5 入射端);12...控制部;13...相位控制线;14...频率控制线;15...检测信号线;47...光延迟、光相位偏移部;61...光纤传输路径;62...监视用光分支部;63...监视用光纤;64...偏振波控制器;65...入射用光纤;66...波长色散测定装置;71...光源;72...入射用光纤;73...入射光控制部;74...被测定对象;75...射出用光纤;76...偏振波控制器;77...入射用光纤;78...波长色散测定装置;81...光纤;82...偏振波控制器;83...连接光纤;84...光频率扫描部;85...光纤;91...光信号发生器;92...光纤传输路径;93...偏振波控制器;94...光纤;95...波长通路选择滤波器;96...入射用光纤;97...波长色散测定装置;101...光输入切换部;101a...光输入切换部 101 的光射出端 (第 5 射出端);101b...光输入切换部 101 的一方的光入射端 (第 6 入射端);101c...光输入切换部 101 的另一方的光入射端 (第 7 入射端);102...连接光纤;103...校正用光源;104...连接光纤;105...光输入切换控制线;106...校正用光源控制线;107...连接光纤。

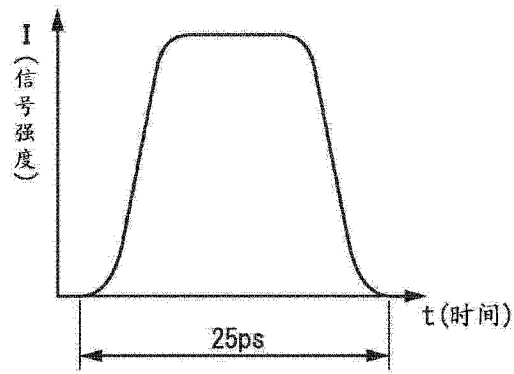


图 1A

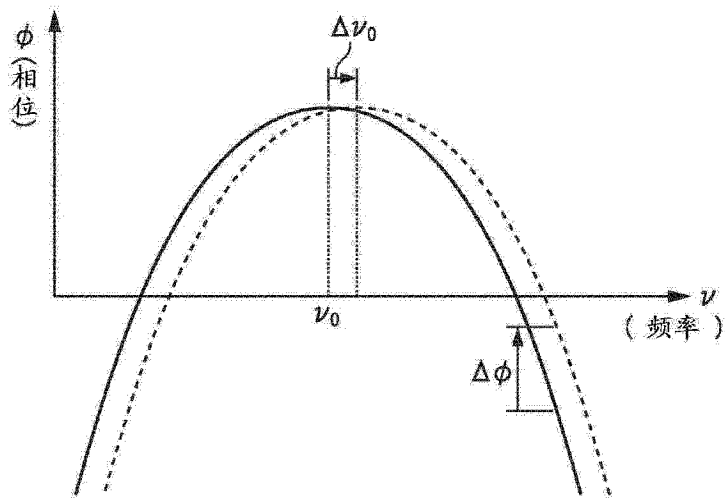


图 1B

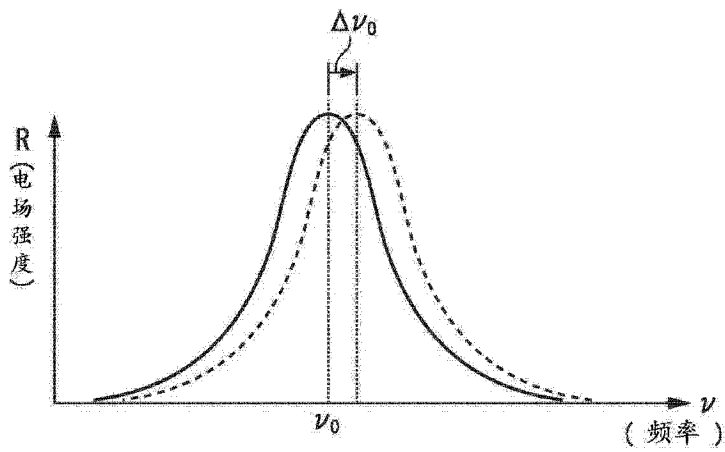


图 1C

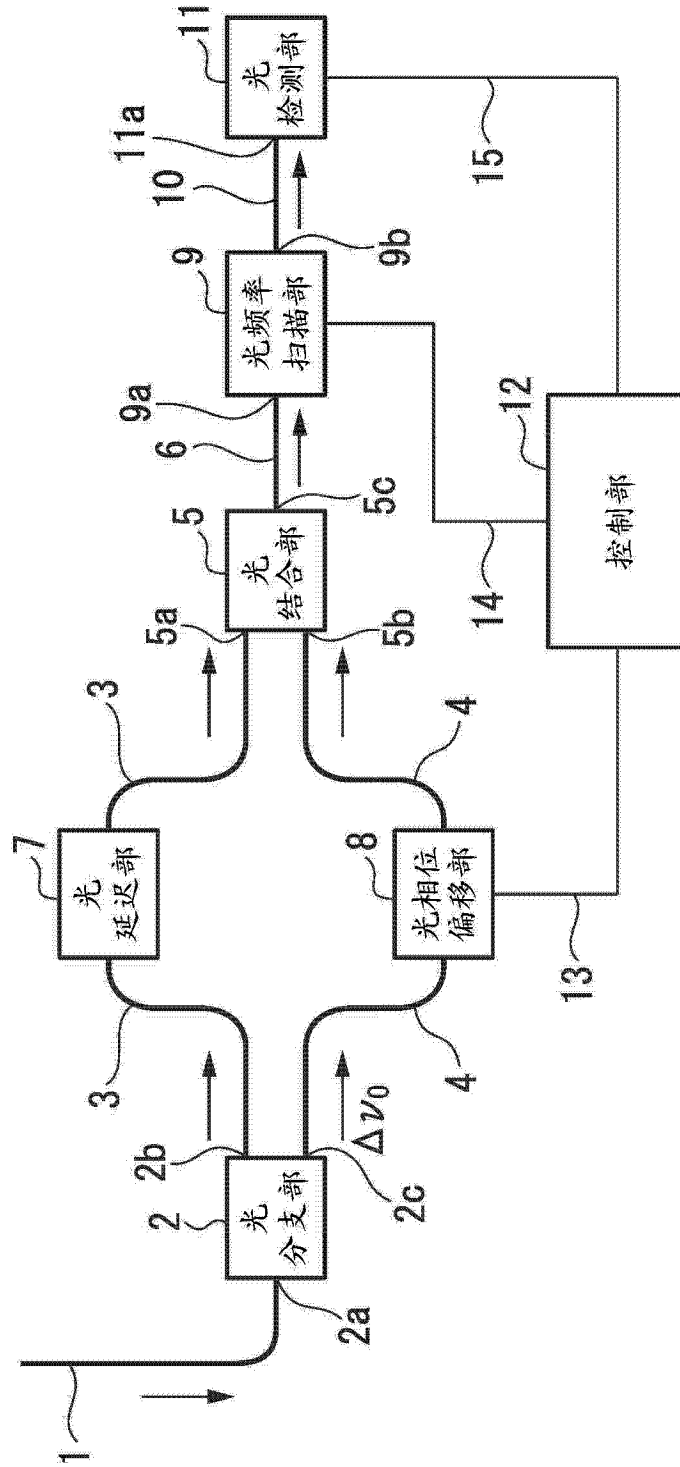


图 2

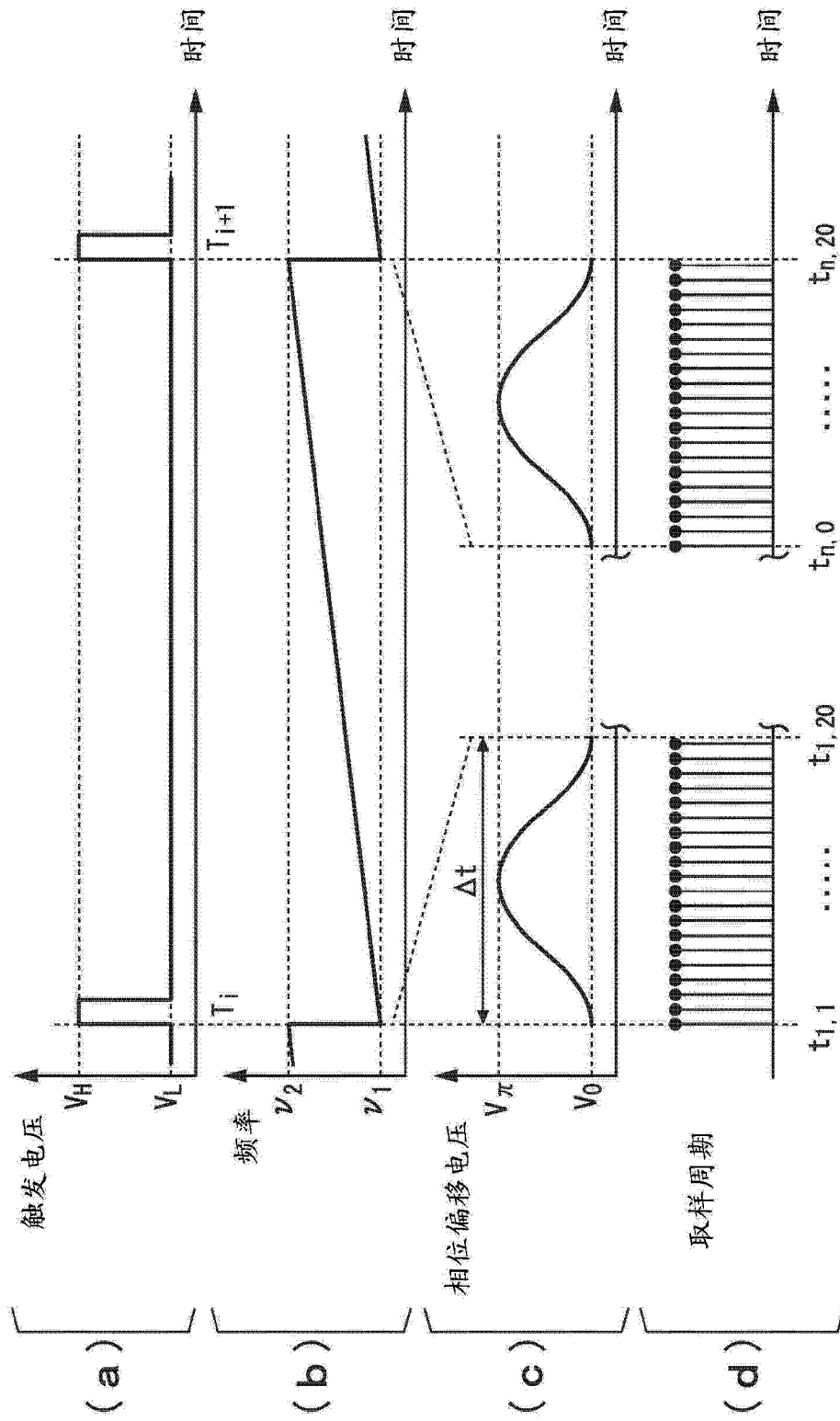


图 3

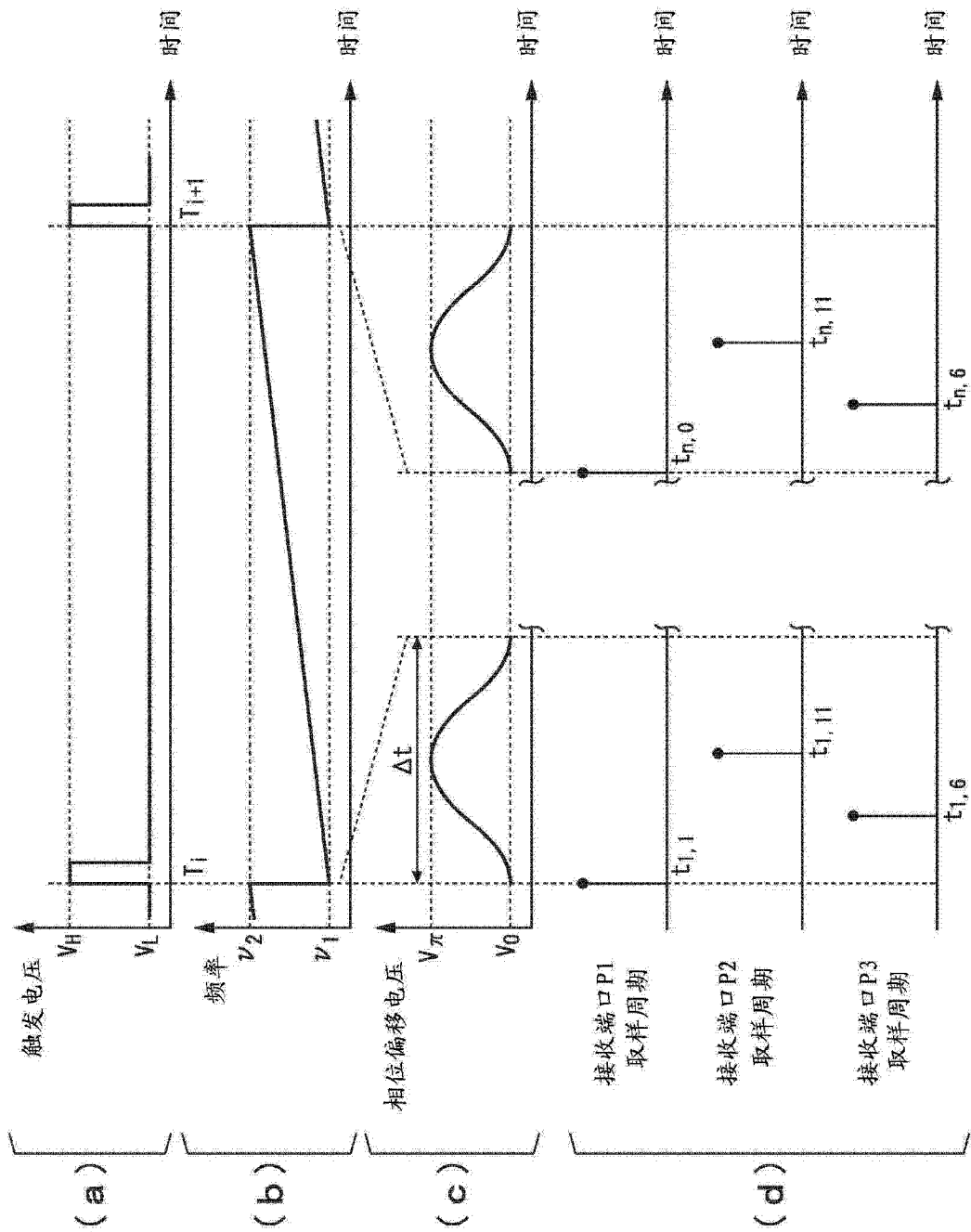


图 4

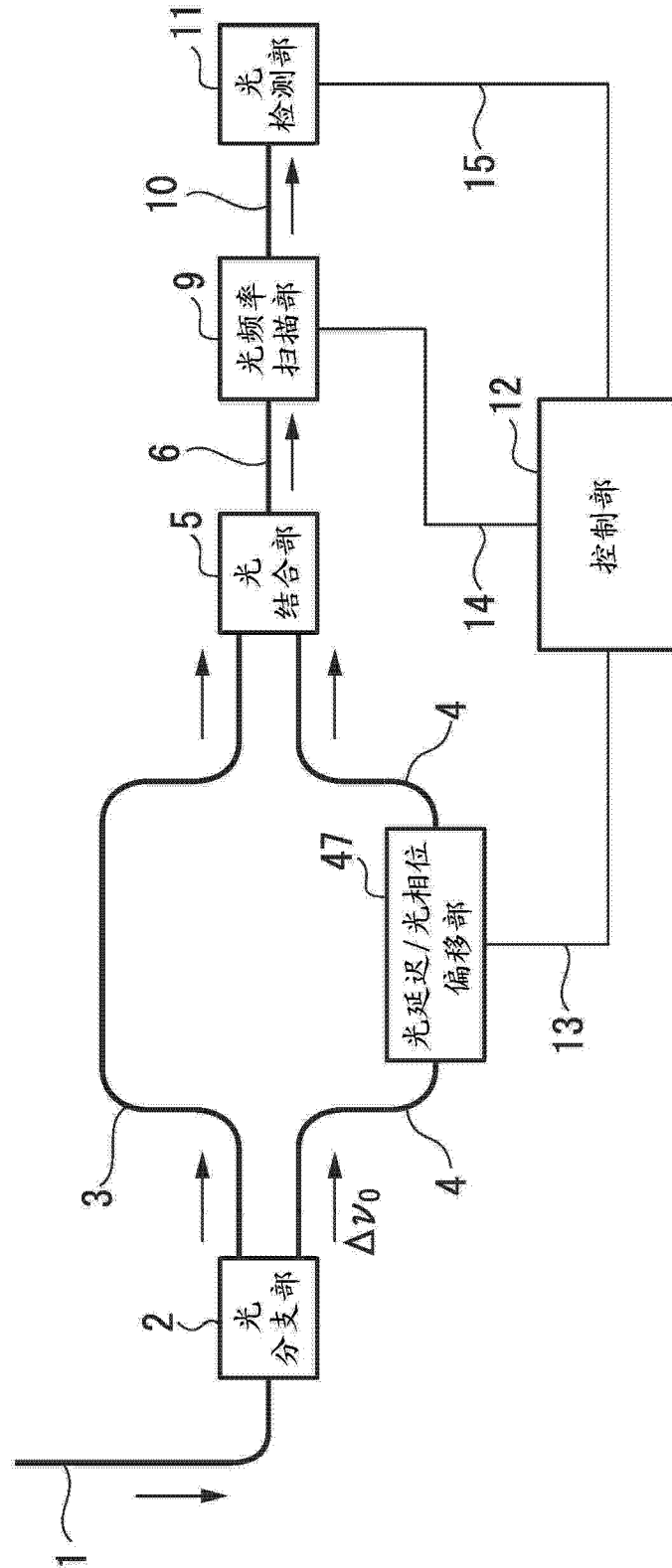


图 5

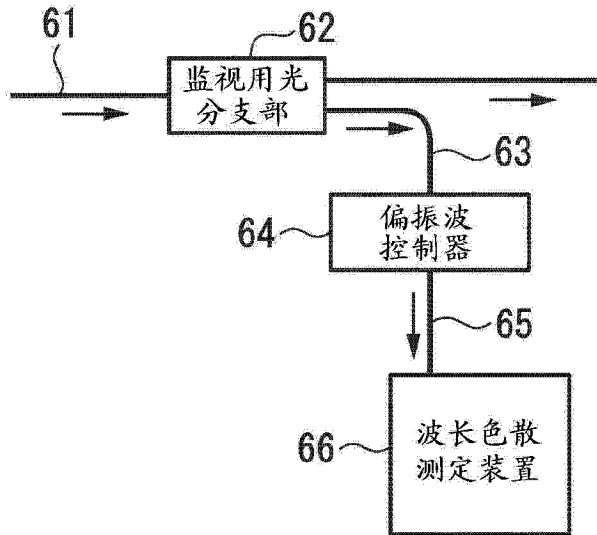


图 6

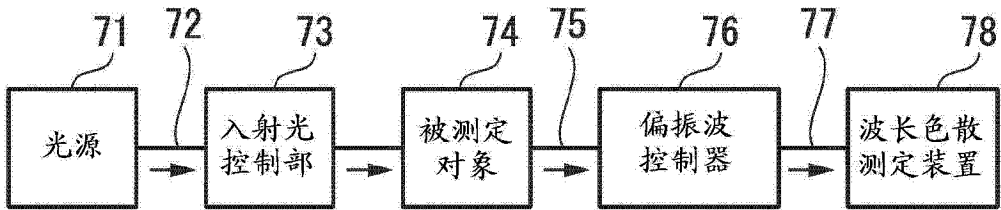


图 7

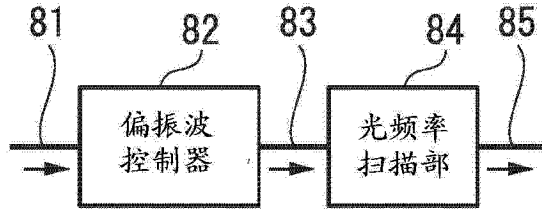


图 8

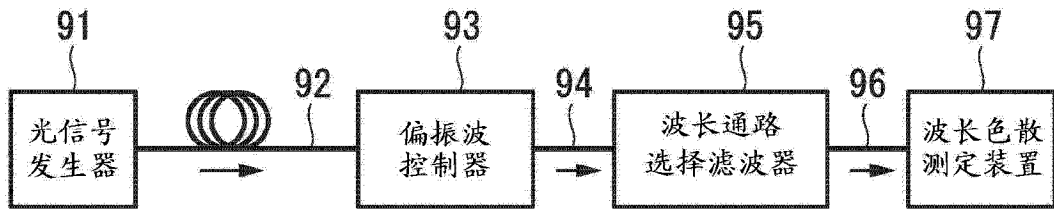


图 9

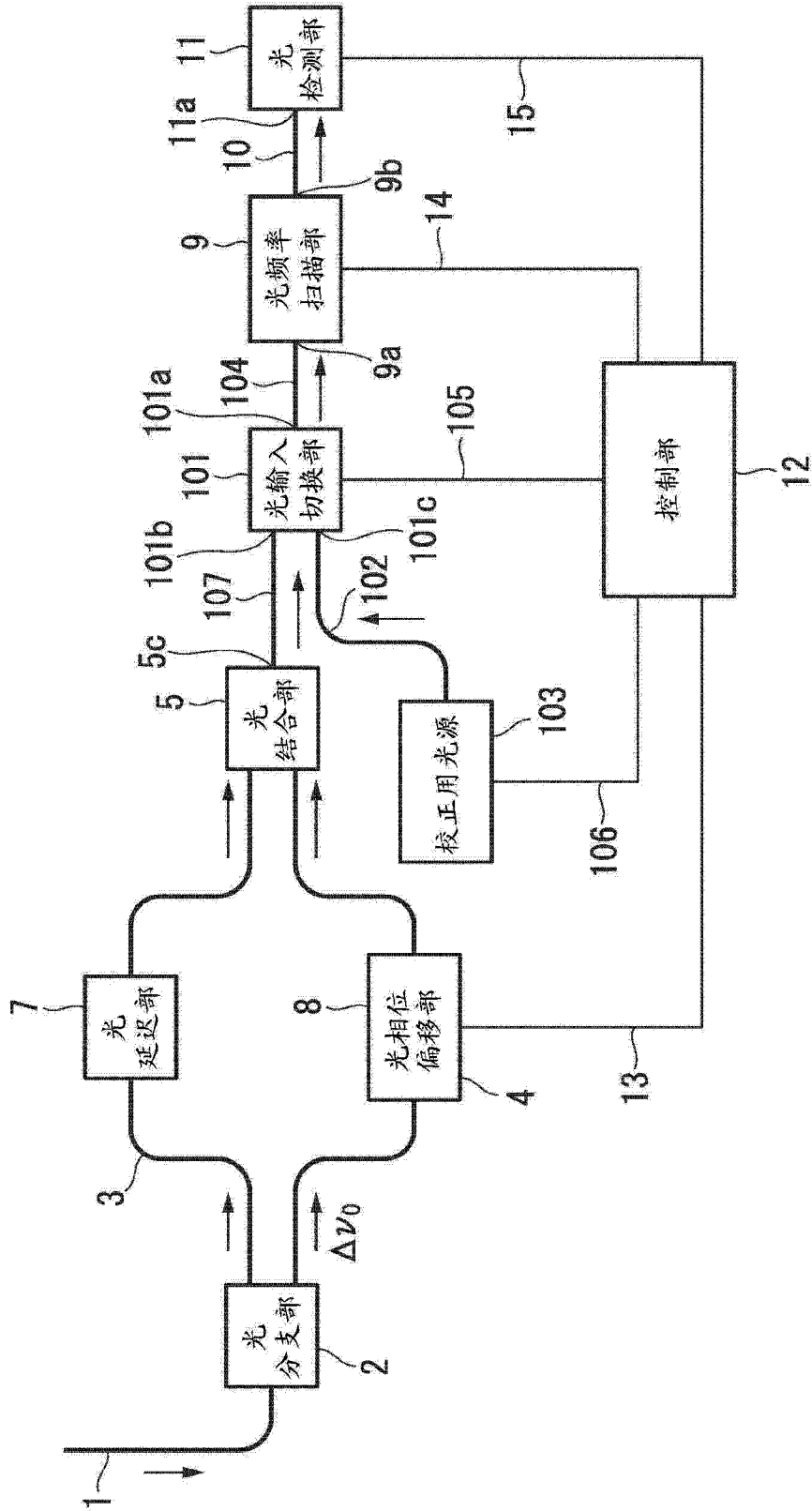


图 10