

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 27/20 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/08 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710139001.4

[43] 公开日 2008年4月2日

[11] 公开号 CN 101155162A

[22] 申请日 2007.7.20

[21] 申请号 200710139001.4

[30] 优先权

[32] 2006.9.28 [33] JP [31] 2006-265680

[71] 申请人 冲电气工业株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 贺川昌俊

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司  
代理人 黄纶伟

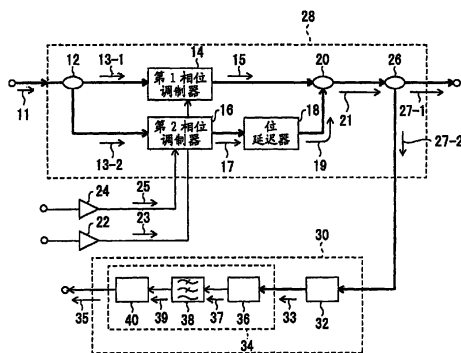
权利要求书9页 说明书52页 附图19页

## [54] 发明名称

光时分复用差分相位调制信号生成装置

## [57] 摘要

本发明提供光时分复用差分相位调制信号生成装置，可检测构成 OTDM - DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差。 OTDM - DPSK 信号生成部具有光分支器、第 1 相位调制器、第 2 相位调制器、光耦合器和监视信号分支器。光分支器把光脉冲串 2 分割成第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串。第 1 相位调制器和第 2 相位调制器分别生成和输出第 1 信道的 DPSK 信号和第 2 信道的 DPSK 信号。把 1 位延迟赋给 DPSK 信号和 DPSK 信号而生成的 DPSK 信号被输入光耦合器，作为 OTDM - DPSK 信号输出而输入到监视信号分支器。监视信号分支器从 OTDM - DPSK 信号分支出监视信号来输入到光载波相位差检测部。光载波相位差检测部生成和输出作为光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。



1. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部和光载波相位差检测部；

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有：

光分支器，其把光脉冲串 2 分割成第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串；

第 1 和第 2 相位调制器，其分别输入上述第 1 光脉冲串和上述第 2 光脉冲串，分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号；

光耦合器，其对上述第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号进行光时分复用，生成和输出 2 复用的光时分复用差分相位调制信号；以及

监视信号分支器，其从上述 2 复用的光时分复用差分相位调制信号分支取出监视信号；

上述光载波相位差检测部输入上述监视信号，生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

2. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部和光载波相位差检测部；

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有：

光分支器，其把光脉冲串  $2^N$  分割成第 1~第  $2^N$  光脉冲串（这里，N 是大于等于 2 的整数）；

第 1~第  $2^N$  相位调制器，其分别输入上述第 1~第  $2^N$  光脉冲串，分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1~第  $2^N$  信道的差分相位调制信号；

$(2^N-1)$  个光耦合器，其对该第 1~第  $2^N$  信道的差分相位调制信号进行光时分复用，生成和输出  $2^N$  复用的光时分复用差分相位调制信号；

$(2^{N-1})$  个 1 次监视信号分支器，其从对相邻的第 i 信道和第 (i+1)

信道的差分相位调制信号 ( $i$  是从 1 到  $2^N-1$  的所有整数) 进行光时分复用而生成的 ( $2^{N-1}$ ) 个 1 次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出 1 次监视信号; 以及

( $2^{N-k}$ ) 个  $k$  次监视信号分支器, 其依次从 ( $2^{N-k}$ ) 个 (这里,  $k$  是从 1 到  $N$  的所有整数)  $k$  次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出  $k$  次监视信号;

上述光载波相位差检测部输入上述 1~ $k$  次监视信号, 生成和输出作为分别构成该 1~ $k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的 ( $2^N-1$ ) 个光载波相位差检测信号。

3. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置, 其特征在于,

该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部、光载波相位差检测部以及光载波相位差控制部;

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有:

光分支器, 其把光脉冲串 2 分割成第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串;

第 1 和第 2 相位调制器, 其分别输入上述第 1 光脉冲串和上述第 2 光脉冲串, 分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号;

光耦合器, 其对上述第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号进行光时分复用, 生成和输出 2 复用的光时分复用差分相位调制信号; 以及

监视信号分支器, 其从上述 2 复用的光时分复用差分相位调制信号分支取出监视信号;

上述光载波相位差检测部输入上述监视信号, 生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号;

上述光载波相位差控制部输入上述光载波相位差检测信号, 生成和输出光载波相位差控制信号, 该光载波相位差控制信号用于控制上述光时分复用差分相位调制信号生成部, 以使作为构成上述光时分复用差分相位调制信号的光脉冲的光载波相位与应取的相位值即 0 或  $\pi$  的偏差量来定义的波动量为 0。

4. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，  
该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部、光载波相位差检测部以及光载波相位差控制部；

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有：

光分支器，其把光脉冲串  $2^N$  分割成第 1~第  $2^N$  光脉冲串（这里， $N$  是大于等于 2 的整数）；

第 1~第  $2^N$  相位调制器，其分别输入上述第 1~第  $2^N$  光脉冲串，分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1~第  $2^N$  信道的差分相位调制信号；

$(2^N-1)$  个光耦合器，其对该第 1~第  $2^N$  信道的差分相位调制信号进行光时分复用，生成和输出  $2^N$  复用的光时分复用差分相位调制信号；

$(2^{N-1})$  个 1 次监视信号分支器，其从对相邻的第  $i$  信道和第  $(i+1)$  信道的差分相位调制信号（ $i$  是从 1 到  $2^N-1$  的所有整数）进行光时分复用而生成的  $(2^{N-1})$  个 1 次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出 1 次监视信号；以及

$(2^{N-k})$  个  $k$  次监视信号分支器，其依次从  $(2^{N-k})$  个（这里， $k$  是从 1 到  $N$  的所有整数） $k$  次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出  $k$  次监视信号；

上述光载波相位差检测部输入 1~ $k$  次监视信号，生成和输出作为分别构成该 1~ $k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的  $(2^N-1)$  个光载波相位差检测信号；

上述光载波相位差控制部输入上述  $(2^N-1)$  个光载波相位差检测信号，生成和输出光载波相位差控制信号，该光载波相位差控制信号用于控制上述光时分复用差分相位调制信号生成部，以使作为构成上述光时分复用差分相位调制信号的光脉冲的光载波相位与应取的相位值即 0 或  $\pi$  的偏差量来定义的波动量为 0。

5. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，  
该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部和光载波相位差检测部；

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有：

波长复用耦合器，其将波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串和波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串（这里， $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ）合波来生成多波长光脉冲串进行输出；

光分支器，其把上述多波长光脉冲串 2 分割成第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串；

第 1 和第 2 相位调制器，其分别输入上述第 1 多波长光脉冲串和上述第 2 多波长光脉冲串，分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号；

光耦合器，其对上述第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号进行光时分复用，生成和输出 2 复用的光时分复用差分相位调制信号；以及

波长复用分波器，其把上述 2 复用的光时分复用差分相位调制信号波长分割成波长是 $\lambda_1$ 的光时分复用差分相位调制信号和波长是 $\lambda_2$ 的监视信号来输出；

上述光载波相位差检测部输入上述监视信号，生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

6. 一种光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，该装置具有光时分复用差分相位调制信号生成部和干涉信号检测部；

上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有：

波长复用耦合器，其将波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串和波长是 $\lambda_2$ 的连续波光（这里，是 $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ）合波来生成多波长光脉冲串进行输出；

光分支器，其把上述多波长光脉冲串 2 分割成第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串；

第 1 和第 2 相位调制器，其分别输入上述第 1 多波长光脉冲串和上述第 2 多波长光脉冲串，分别生成和输出以差分相位调制方式所编码的第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号；以及

复合型光合波/分波器，其输入上述第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号，对上述第 1 和第 2 信道的差分相位调制信号进行光时分复用，生

成和输出波长 $\lambda_1$ 的2复用的光时分复用差分相位调制信号，并生成和输出波长是 $\lambda_2$ 的干涉监视信号；

上述干涉信号检测部输入上述干涉监视信号，生成和输出作为构成该干涉监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

7. 根据权利要求6所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

上述复合型光合波/分波器具有：第1半透镜，第2半透镜，第3半透镜，1/4波长板以及第4半透镜；

上述第2半透镜设置在将入射到上述第1半透镜上的上述第1信道的差分相位调制信号反射输出的该第1半透镜的输出侧；

上述第3半透镜设置在将入射到上述第1半透镜上的上述第1信道的差分相位调制信号透射输出的该第1半透镜的输出侧；

上述1/4波长板设置在将入射到上述第3半透镜上的上述第1信道的差分相位调制信号反射输出的该第3半透镜的输出侧；

上述第4半透镜设置在由上述第2半透镜反射而从该第2半透镜输出的信号光与由上述第3半透镜反射而从该第3半透镜输出的信号光产生干涉的位置。

8. 根据权利要求1、3、5和6中的任一项所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有位延迟器，该位延迟器把为了对上述第1和第2信道的各自的差分相位调制信号进行位交织和光时分复用所需要的与构成第2信道的差分相位调制信号的1个光脉冲在时间轴上所占的时间的1/2相当的时间延迟赋予给该第2信道的差分相位调制信号。

9. 根据权利要求2或4所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，上述光时分复用差分相位调制信号生成部具有位延迟单元，该位延迟单元把为了对上述第1~ $2^N$ 信道的各自的差分相位调制信号进行位交织和光时分复用所需要的时间延迟赋予给上述第1~ $2^N$ 信道的各自的差分相位调制信号。

10. 根据权利要求 1、3、5 和 6 中的任一项所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

上述光载波相位差检测部具有：

光载波干涉仪，其输入所输入的上述监视信号，把根据构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差来调制该监视信号的强度而生成的干涉光作为干涉监视信号来输出；以及

干涉信号检测部，其输入该干涉监视信号来生成上述光载波相位差检测信号进行输出；

该干涉信号检测部具有：光电转换器，其对上述干涉复用监视信号进行光电转换，作为电干涉信号来输出；低通滤波器，其遮断该电干涉信号的高频分量来输出低频电干涉信号；以及强度检测器，其检测该低频电干涉信号的时间平均强度，作为上述光载波相位差检测信号来输出。

11. 根据权利要求 2 或 4 所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

上述光载波相位差检测部具有：

k 个光载波干涉仪，其输入所输入的上述 1 次监视信号至上述 k 次监视信号，把根据构成该 1 次监视信号至该 k 次监视信号的光脉冲间的光载波相位差来调制该 1 次监视信号至该 k 次监视信号的强度而生成的干涉光作为 1~k 干涉监视信号来输出；以及

干涉信号检测部，其输入该 1~k 干涉监视信号来生成上述  $(2^N - 1)$  个光载波相位差检测信号进行输出；

该干涉信号检测部具有：k 个光电转换器，其对上述 1~k 干涉监视信号进行光电转换，作为 1~k 电干涉信号来输出；低通滤波器，其遮断该 1~k 电干涉信号的高频分量来输出 1~k 低频电干涉信号；以及强度检测器，其检测该 1~k 低频电干涉信号的时间平均强度，作为上述  $(2^N - 1)$  个光载波相位差检测信号来输出。

12. 根据权利要求 3 所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，上述光载波相位差控制部具有：偏置信号调整器，其把第 1 和第 2 偏置调整信号分别提供给上述第 1 和第 2 相位调制器；以及第 1

和第2信号耦合器，其用于将上述第1和第2偏置调整信号分别耦合附加给从第1和第2调制器驱动器分别提供的第1和第2信道的发送信号。

13. 根据权利要求4所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，上述光载波相位差控制部具有：偏置信号调整器，其把第1~第 $2^N$ 偏置调整信号分别提供给上述第1~第 $2^N$ 相位调制器；以及第1~第 $2^N$ 信号耦合器，其用于将上述第1~第 $2^N$ 偏置调整信号分别耦合附加给从第1~第 $2^N$ 调制器驱动器分别提供的第1~第 $2^N$ 信道的发送信号。

14. 根据权利要求10或11所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

上述光载波干涉仪具有：第1光分支器，第2光分支器，第3光分支器， $\pi$ 移相器， $\pi/2$ 移相器，第1光耦合器，第2光耦合器，以及第3光耦合器；

上述第1光分支器把上述监视信号强度分割成第1分支监视信号和第2分支监视信号来输出，并分别输入到第1波导支路和第2波导支路；

上述第2光分支器把上述第1分支监视信号强度分割成第(1-1)分支监视信号和第(1-2)分支监视信号来输出，并分别输入到第(1-1)波导支路和第(1-2)波导支路；

上述第3光分支器把上述第2分支监视信号强度分割成第(2-1)分支监视信号和第(2-2)分支监视信号来输出，并分别输入到第(2-1)波导支路和第(2-2)波导支路；

上述第(1-1)波导支路和第(1-2)波导支路的光路长度被设定成在上述第(1-1)分支监视信号和上述第(1-2)分支监视信号之间具有与1个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差；

上述第(2-1)波导支路和第(2-2)波导支路的光路长度被设定成在上述第(2-1)分支监视信号和上述第(2-2)分支监视信号之间具有与1个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差；

上述 $\pi$ 移相器设置在上述第(2-2)波导支路的途中，使上述第(2-2)分支监视信号的光载波相位移动 $\pi$ ，生成和输出 $\pi$ 相移第(2-2)分支监视信号；

上述第 2 光耦合器对分别在上述第 (1-1) 波导支路和上述第 (1-2) 波导支路上传播的第 (1-1) 分支监视信号和第 (1-2) 分支监视信号进行复用, 生成和输出第 2 复用监视信号;

上述第 3 光耦合器对从上述 $\pi$ 移相器所输出的 $\pi$ 相移第 (2-2) 分支监视信号和在上述第 (2-1) 波导支路上传播的第 (2-1) 分支监视信号进行复用, 生成和输出第 3 复用监视信号;

上述 $\pi/2$  移相器使上述第 3 复用监视信号的光载波相位移动 $\pi/2$ , 生成和输出 $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号;

上述第 1 光耦合器对从上述第 2 光耦合器所输出的上述第 2 复用监视信号和上述 $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号进行复用, 生成和输出上述第 1 复用监视信号;

从上述第 1 光分支器到上述第 2 光分支器的光路长度和从上述第 1 光分支器到上述第 3 光分支器的光路长度被设定为相等;

从上述第 2 光耦合器到上述第 1 光耦合器的光路长度和从上述第 3 光耦合器到上述第 1 光耦合器的光路长度被设定为相等。

15. 根据权利要求 10 或 11 所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置, 其特征在于,

上述光载波干涉仪具有: 第 1 半透镜,  $1/4$  波长板, 第 2 半透镜, 第 1  $1/2$  位延迟器, 第 1 相位微调整元件, 第 1 全反射镜, 第 2 全反射镜, 第 3 半透镜, 第 2  $1/2$  位延迟器, 第 2 相位微调整元件, 第 3 全反射镜以及第 4 全反射镜;

朝入射到上述第 1 半透镜上的输入信号透射的方向依次串联配置有上述第 1 半透镜、上述  $1/4$  波长板、上述第 2 半透镜、上述第 1  $1/2$  位延迟器、上述第 1 相位微调整元件以及上述第 1 全反射镜;

朝入射到上述第 1 半透镜上的输入信号反射的方向依次串联配置有上述第 1 半透镜、上述第 3 半透镜、上述第 2  $1/2$  位延迟器、上述第 2 相位微调整元件以及上述第 3 全反射镜;

上述第 2 全反射镜设置在透射上述第 1 半透镜而入射到上述第 2 半透镜上的信号光被反射输出一侧的面上, 上述第 4 全反射镜设置在从上

述第 1 半透镜反射而入射到上述第 3 半透镜上的信号光被反射输出一侧的面上。

16. 根据权利要求 10 或 11 所述的光时分复用差分相位调制信号生成装置，其特征在于，

上述光载波干涉仪具有：偏光镜，半透镜，1/2 位延迟器，第 1 全反射镜，第 1 单轴性晶体，第 2 全反射镜，第 2 单轴性晶体以及检偏镜；

朝入射到上述半透镜上的输入信号透射该半透镜的方向依次串联配置有上述偏光镜、上述半透镜、上述第 1 单轴性晶体以及上述第 2 全反射镜；

从入射到上述半透镜上的输入信号光被反射输出的上述半透镜的输出端面开始依次配置有上述 1/2 位延迟器和上述第 1 全反射镜；

从与入射到上述半透镜上的输入信号光被反射输出的上述半透镜的输出端面相反侧的端面开始依次配置有上述第 2 单轴性晶体和上述检偏镜。

## 光时分复用差分相位调制信号生成装置

### 技术领域

本发明涉及对以差分相位调制（DPSK: Differentially Phase Shift Keying: 差分相移键控）方式所编码的光脉冲信号进行光时分复用（OTDM: Optical Time Division Multiplexing），生成光时分复用差分相位调制信号（OTDM-DPSK 信号）进行输出的光脉冲信号生成装置，特别是涉及 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差的检测和光脉冲间的光载波相位差的控制。

### 背景技术

在光通信技术领域中，除了直接检波（IM-DD: Intensity Modulation - Direct Detection: 强度调制-直接检波）方式以外，还探讨了平衡检波（Balanced detection）方式（例如，参照非专利文献1）。

IM-DD 方式是在接收侧使用光电二极管检测接收信号的光载波的包络线强度来进行检波的方式，使用以 ASK 方式所编码的光脉冲信号的光通信是代表例。强度调制一般标记为 ASK（Amplitude Shift Keying: 幅移键控）或 OOK（On Off Keying: 通断键控），然而在以下描述中标记为 ASK。

并且，平衡检波方式是使用平衡检波器检测具有 IM-DD 方式的 2 倍大小的振幅的电信号来进行检波的方式，使用以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光通信是代表例。

IM-DD 方式具有可使用简易的装置进行收发、并且还能应用于装入有光放大器的强度再现装置的优点，因而得到广泛利用。另一方面，DPSK 方式是以下方式，即：以  $0$  和  $\pi$  的 2 个变量进行光脉冲串的调制来生成发送信号进行发送，在接收侧，把接收信号 2 分割成第 1 和第 2 接收信号，把一个光脉冲（1 位）在时间轴上所占的时间即时间延迟赋予给

第 1 接收信号，将被赋予该时间延迟的第 1 接收信号和第 2 接收信号合波，对该合波获得的接收信号进行平衡检波。以下，设  $n$  为正整数，有时把一个光脉冲在时间轴上所占的时间的  $1/n$  称为与  $1/n$  位相当的时间。并且，有时把以  $0$  和  $\pi$  的 2 个变量进行光脉冲串的调制而生成的发送信号（光脉冲信号）称为以 DPSK 方式所编码的发送信号或者以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号。

这里，对光脉冲和光脉冲的相位进行说明。作为光强度的变化而观测的光脉冲表示为光载波的电场向量的振幅波形的包络线。因此，在以下的说明中，在提到光脉冲的时间波形的情况下，表示光载波的电场向量的振幅波形的包络线。

作为光脉冲的光载波的相位意味着光载波的峰值对光脉冲的电场向量的包络线的峰值的相对相位，被称为光载波相位或者绝对相位。并且，光载波相位或者绝对相位，更严格地说，有时也被称为光载波包络相位（carrier-envelope phase: 大多简称为 CEP）。以下，假定把作为光脉冲的光载波的相位称为光载波相位。光脉冲的电场向量的包络线的一个峰值包含有非常多的光载波峰值。

例如，假定光载波的波长是  $1.5\mu\text{m}$ ，则将该波长转换成频率时为  $2 \times 10^{14}\text{Hz}$  左右。另一方面，光脉冲的重复频率假定是  $40\text{GHz}$  左右，则是  $4 \times 10^{10}\text{Hz}$ 。因此，在该情况下，光脉冲的电场向量的包络线的一个峰值包含有  $5000 (= (2 \times 10^{14}) / (4 \times 10^{10}) = 5 \times 10^3)$  个光载波峰值。

上述的以  $0$  和  $\pi$  的 2 个变量对光脉冲进行调制，意味着使形成光脉冲的光载波的电场向量的相位（作为光载波的相位）相对于光载波的包络线保持原样或者进行  $\pi$  相移。即，以  $0$  和  $\pi$  的 2 个变量对光脉冲进行调制，意味着使光载波相位保持原样或者进行  $\pi$  相移。

公知的是，根据应用于 DPSK 方式的平衡检波方式，与应用于 ASK 方式的直接检波方式相比较，实现了  $3\text{dB}$  以上的接收灵敏度的提高（例如，参照非专利文献 1）。

在非专利文献 1 公开的 DPSK 方式的 OTDM 通信系统中，生成  $40\text{Gbit/s}$  的 DPSK 信号，把该 DPSK 信号 4 分割，除了第 1 系统的信号（1

个信道的信号)以外,把与 $1/4$ 、 $2/4$ 、 $3/4$ 位相当的时间延迟分别赋予给第2~第4的3个系统的信号(3个信道的信号),包含未赋予时间延迟的第1系统的信号在内,对第1~第4系统的信号进行复用,从而生成OTDM信号。即,4个系统的信号中,第1系统可看作实际的信号,而剩余的第2~第4的3个系统可看作第1系统的信号的复制信号。在实用的生成装置中,由于有必要把各个信号载入第1~第4系统的各信号内,因而在将非专利文献1公开的DPSK方式的OTDM通信系统照原样利用时,不能实现生成实用的OTDM-DPSK信号的装置。

作为对实用的多个信道的以DPSK方式所编码的光脉冲信号进行光时分复用来生成光时分复用差分相位调制信号的装置(以下,有时也称为OTDM-DPSK信号生成装置),参照图1对非专利文献1公开的根据DPSK方式的OTDM通信系统而构成的一例进行说明。图1是OTDM-DPSK信号生成装置的概略框结构图。

OTDM-DPSK信号生成装置10构成为具有光分支器12、第1相位调制器14、第2相位调制器16、 $1/2$ 位延迟器18以及光耦合器20。从第1调制器驱动器22和第2调制器驱动器24把发送信号提供给OTDM-DPSK信号生成装置10。

在时间轴上等间隔地排列光脉冲的光脉冲串11被输入到OTDM-DPSK信号生成装置10中。光脉冲串11由光分支器12进行2分割,生成第1光脉冲串13-1和第2光脉冲串13-2。第1光脉冲串13-1和第2光脉冲串13-2分别被输入到第1相位调制器14和第2相位调制器16中。

在第1相位调制器14和第2相位调制器16中,第1光脉冲串13-1和第2光脉冲串13-2分别根据从第1调制器驱动器22和第2调制器驱动器24所提供的发送信号23和25以DPSK方式来编码,生成第1相位调制信号15和第2相位调制信号17来输出。

第2相位调制信号17被输入到 $1/2$ 位延迟器18中,被赋予与 $1/2$ 位相当的时间延迟,生成延迟第2相位调制信号19来输出。第1相位调制信号15和延迟第2相位调制信号19由光合波器20复用,生成复用相位

调制信号 21 来输出。即, OTDM-DPSK 信号生成装置 10 具有以下功能, 即: 根据光脉冲串 11, 把从第 1 调制器驱动器 22 和第 2 调制器驱动器 24 所提供的 2 个信道的发送信号转换成 DPSK 信号, 对该 2 个信道的 DPSK 信号进行光时分复用来输出。

图 1 示出实现 2 个信道的光时分复用的例子, 然而信道数是几个都一样。例如, 为了实现 4 个信道的光时分复用, 只要把与 0、1/4、2/4、3/4 位相当的时间延迟分别赋予给第 1~第 4 信道的以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号进行复用即可。

为了使 OTDM-DPSK 信号生成装置 10 作为生成 OTDM-DPSK 信号的装置来动作, 必要的是, 由光分支器 12 所分割的第 1 光脉冲串 13-1 和第 2 光脉冲串 13-2 分别不接受由第 1 相位调制器 14、第 2 相位调制器 16 以及 1/2 位延迟器 18 所提供的相位调制以外的相位调制。即, 在光合波器 20 中, 构成第 1 相位调制信号 15 的光脉冲间的光载波相位差和构成延迟第 2 相位调制信号 19 的光脉冲间的光载波相位差不得取 0 或  $\pi$  以外的值。

然而, 在第 1 光脉冲串 13-1 和第 2 光脉冲串 13-2 传播的传送路径、第 1 相位调制信号 15 和第 2 相位调制信号 17 传播的传送路径、以及延迟第 2 相位调制信号 19 传播的传送路径的各方中, 由于温度变动等而发生光路长度的波动。把该光路长度的波动大小抑制到换算成光载波相位而与 0 或  $\pi$  相比较可忽视的程度以下, 这在技术上极其困难。因此, 有必要采用某种方法检测和控制构成光脉冲信号的光脉冲间的光载波相位差。

检测和控制光载波相位差的方法的一例在专利文献 1 中作了公开。专利文献 1 公开的检测光载波相位差的方法是分支出以 ASK 方式所编码的光脉冲信号的一部分, 把该分支出的光脉冲信号导入干涉仪, 观测从该干涉仪所输出的干涉光的强度的方法。

例如, 以光载波抑制 RZ (Carrier-suppressed-RZ: CS-RZ) 格式的光脉冲信号为例进行说明。CS-RZ 格式的光脉冲信号是对将相邻光脉冲按照彼此的光载波相位是  $\pi$  的相位差排列的光脉冲串 (以下, 有时也称

为 CS 光脉冲串) 以 ASK 方式进行编码而生成的光脉冲信号。

对 CS-RZ 格式的光脉冲信号的一部分进行强度分割, 导入到光载波相位差检测装置, 以便检测光载波相位差。输入到光载波相位差检测装置的 CS-RZ 格式的光脉冲信号被 2 分割, 向其中一方赋予 1 位延迟, 再次使两者干涉。这样当使干涉信号从光载波相位差检测装置输出时, 相邻光脉冲间的光载波相位差不取  $\pi$  以外的值, 在理想的 CS-RZ 格式的光脉冲信号的情况下, 输出光的强度为 0。

原因是, CS-RZ 格式是针对每 1 位, 根据相位以 0、 $\pi$  反转的最小光脉冲来生成的, 当对光脉冲串进行 2 分割, 并向其中一方赋予 1 位延迟来使其干涉时, 光载波相位是  $\pi$  的光脉冲之间相互干涉。

另一方面, 在 CS-RZ 格式的光脉冲信号的相邻光脉冲间的光载波相位差取 0 或  $\pi$  以外的值的情况下, 从光载波相位差检测装置输出强度是最大的干涉信号。即, 当考虑光脉冲间的光载波相位差从 0 或  $\pi$  偏离  $\phi$  ( $0 < \phi \leq \pi$ ) 的情况时,  $\phi$  的值越接近 0, 从光载波相位差检测装置所输出的干涉信号的强度就越大, 在  $\phi=0$  的情况下输出最大强度的干涉信号。因此, 通过监视从光载波相位差检测装置所输出的干涉信号的强度的时间平均值, 可知道  $\phi$  的值。并且, 进行反馈控制, 以使从光载波相位差检测装置所输出的干涉信号的强度的时间平均值总是最小, 从而相邻光脉冲间的光载波相位差不取  $\pi$  以外的值, 可生成理想的 CS-RZ 格式的光脉冲信号。以下, 有时也把  $\phi$  称为相位波动大小。

【非专利文献 1】R. Ludwig, et al., "160 Gbit/s DPSK-Transmission-Technologies and System Impact", Proc. 30th European Conference on Optical Communication (ECOC 2004), Tul. 1, 1.

【专利文献 1】日本特开 2005-006175 号公报

然而, 上述的利用 CS-RZ 格式的光脉冲信号的光载波相位差检测方法不能利用于从参照图 1 所说明的 OTDM-DPSK 信号生成装置所输出的 OTDM-DPSK 信号。参照图 2 (A)、(B) 和 (C) 对该理由进行说明。图 2 (A)、(B) 和 (C) 示出图 1 所示的 OTDM-DPSK 信号生成装置的各部位的光信号的时间波形, 分别是示出 (A) 第 1 相位调制信号

15、(B) 延迟第 2 相位调制信号 19 以及 (C) 复用相位调制信号 21 的时间波形的图。图 2 (A)、(B) 和 (C) 所示的时间波形示出光载波的电场向量的振幅波形的包络线中的取正值的侧的包络线，删除取负值的侧的包络线。并且，分别以任意刻度在横轴方向示出时间轴，在纵轴方向示出振幅大小。

图 2 (A) 所示的第 1 相位调制信号 15 和图 2 (B) 所示的延迟第 2 相位调制信号 19 以构成各自的信号的光脉冲的光载波相位是 0 和  $\phi$ 、 $\phi$  和  $\pi$ 、0 和  $(\pi + \phi)$  以及  $\pi$  和  $(\pi + \phi)$  的相位差进行干涉。对理想的 CS-RZ 格式的光脉冲信号进行光时分复用来生成复用相位调制信号 21 的情况是指相位波动大小是 0，即  $\phi = 0$  的情况。然而，如上所述，在 OTDM-DPSK 信号生成装置的光信号传播的光传送路径的各方中发生光路长度的波动，因而只要不进行某种控制，就不能总是保持  $\phi = 0$  的状态。

在第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16 中，对构成 CS 光脉冲串的光脉冲进行光载波相位 0 或  $\pi$  的调制。即，对构成 CS 光脉冲串的光脉冲进行使光脉冲的光载波相位不变化（进行 0 的调制）、或者使光脉冲的光载波相位移动  $\pi$ （进行  $\pi$  的调制）的任一种调制。

构成第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 的各自的光脉冲的光载波相位被施加第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16 中的调制结果，即光载波相位是保持原样（图 2 (A) 和 (B) 中表示为 0）或者移动  $\pi$ （图 2 (A) 和 (B) 中表示为  $\pi$ ）的任一种相位变化。存在有以下光脉冲，即：除了该相位调制以外，还对构成第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 的各自的光脉冲的光载波相位施加由光路长度的波动等引起的  $\phi$  的相位波动（图 2 (A) 和 (B) 中表示为  $\phi$ ）。

其结果，图 2 (A) 所示的第 1 相位调制信号 15 和图 2 (B) 所示的延迟第 2 相位调制信号 19 被合波的结果生成的复用相位调制信号 21 的时间波形是图 2 (C) 所示的形状。以下对该理由进行说明。

在图 2 (A)、(B) 和 (C) 中，针对各光脉冲，将包含该光脉冲之一的时间范围用纵的虚线隔开示出。首先，在图 2 (A)、(B) 和 (C) 中，着眼于最左侧的光脉冲。图 2 (A) 所示的构成第 1 相位调制信号 15 的

光脉冲中的最左侧的光脉冲的光载波相位是 0。图 2 (B) 所示的构成延迟第 2 相位调制信号 19 的光脉冲中的最左侧的光脉冲的光载波相位是  $\phi$ 。在该情况下, 两者的光脉冲的干涉结果生成的光脉冲是像图 2 (C) 所示的复用相位调制信号 21 的光脉冲中的最左侧的光脉冲那样具有不同于 0 的有限大小的振幅 (称为第 1 大小振幅) 的光脉冲。

同样, 当着眼于从最左侧起第 2 个光脉冲时, 得到光载波相位是  $\phi$  的光脉冲和光载波相位是  $\pi$  的光脉冲的干涉, 生成具有与上述的第 1 大小振幅不同大小的振幅 (称为第 2 大小振幅) 的光脉冲。

如以上说明那样, 当从最左侧顺次观察图 2 (A)、(B) 和 (C) 所示的构成信号的光脉冲的振幅大小时, 得到以下结论。即, 生成具有第 1 大小振幅的光脉冲, 是在构成第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 的光脉冲之间的干涉中, 彼此的光载波相位是 0 和  $\phi$  的组合、以及  $\pi$  和  $(\pi + \phi)$  的组合的情况。并且, 生成具有第 2 大小振幅的光脉冲, 是在构成第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 的光脉冲之间的干涉中, 彼此的光载波相位是  $\phi$  和  $\pi$  的组合、以及 0 和  $(\pi + \phi)$  的组合的情况。

因此知道, 构成复用相位调制信号 21 的光脉冲由具有第 1 和第 2 大小的 2 种构成。构成复用相位调制信号 21 的 2 种光脉冲的振幅大小分别为由光路长度的波动等引起的  $\phi$  的函数, 在  $\phi$  接近 0 的情况下, 第 1 振幅大小大于第 2 振幅大小, 在  $\phi$  接近  $\pi$  的情况下, 第 2 振幅大小大于第 1 振幅大小。图 2 (C) 所示的例子示出第 1 振幅大小大于第 2 振幅大小的情况, 即  $\phi$  接近 0 的情况。

这样, 当  $\phi$  的值在从 0 到  $\pi$  之间变化时, 伴随于此, 第 1 振幅大小和第 2 振幅大小分别根据一方减少而另一方增大的关系变动。即, 复用相位调制信号 21 的平均强度不变动, 在上述的光载波相位差检测方法中, 不能检测相位差  $\phi$ 。

#### 发明内容

因此, 本发明的目的是提供一种具有可检测构成 OTDM-DPSK 信

号的光脉冲间的光载波相位差的光脉冲间的光载波相位差检测部的 OTDM-DPSK 信号生成装置。

并且, 本发明还提供一种可根据由该光载波相位差检测部检测出的光载波相位差的值来控制以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光载波相位差的 OTDM-DPSK 信号生成装置。

为了达到上述目的, 根据本发明的要旨, 提供了第 1~第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置。

第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部和光载波相位差检测部。生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部和光载波相位差检测部构成如下。

OTDM-DPSK 信号生成部具有光分支器、第 1 和第 2 相位调制器、光耦合器、以及监视信号分支器。光分支器把光脉冲串 2 分割成第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串。第 1 和第 2 相位调制器分别输入第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串, 分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号。光耦合器对第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号进行光时分复用, 生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号。监视信号分支器从 2 复用的 OTDM-DPSK 信号分支取出监视信号。

光载波相位差检测部输入监视信号, 生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

一般情况下, 生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号 (这里,  $N$  是大于等于 2 的整数) 的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置明显可以按如下构成。首先, OTDM-DPSK 信号生成部构成为具有光分支器、第 1~第  $2^N$  相位调制器、 $(2^N-1)$  个光耦合器、 $(2^{N-1})$  个 1 次监视信号分支器、以及  $(2^{N-k})$  个  $k$  次监视信号分支器。

即, OTDM-DPSK 信号生成部具有光分支器、第 1~第  $2^N$  相位调制器、 $(2^N-1)$  个光耦合器、以及  $(2^{N-k})$  个 (这里,  $k$  是从 1 到  $N$  的所有整数)  $k$  次监视信号分支器。光分支器把光脉冲串  $2^N$  分割成第 1~第  $2^N$  光脉冲串。第 1~第  $2^N$  相位调制器分别输入第 1~第  $2^N$  光脉冲串, 分

别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1~第  $2^N$  信道的 DPSK 信号。 $(2^N - 1)$  个光耦合器对第 1~第  $2^N$  信道的 DPSK 信号进行光时分复用 (OTDM), 生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号。 $(2^{N-1})$  个 1 次监视信号分支器从对相邻的第  $i$  信道和第  $(i+1)$  信道的 DPSK 信号 ( $i$  是从 1 到  $2^N - 1$  的所有整数) 进行光时分复用而生成的  $(2^{N-1})$  个 1 次 OTDM-DPSK 信号分别分支取出 1 次监视信号。 $(2^{N-k})$  个 (这里,  $k$  是从 1 到  $N$  的所有整数)  $k$  次监视信号分支器依次从  $(2^{N-k})$  个  $k$  次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出  $k$  次监视信号。

光载波相位差检测部输入 1~ $k$  次监视信号, 生成和输出作为分别构成这些 1~ $k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的  $(2^N - 1)$  个光载波相位差检测信号。

这里, 对光载波相位差检测信号的总数为  $(2^N - 1)$  个的理由进行说明。如上所述, 光载波相位差检测信号的各方是作为分别构成这些 1~ $k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的, 因而光载波相位差检测信号的总数等于 1~ $k$  次监视信号的总数。1 次监视信号的个数是  $(2^{N-1})$  个, 2 次监视信号的个数是  $(2^{N-2})$  个, 一般情况下,  $k$  次监视信号的个数是  $(2^{N-k})$  个, 因而 1~ $k$  次监视信号的总数为  $2^{N-1} + 2^{N-2} \dots + 2^0 = 2^N - 1$  (个)。

第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部、光载波相位差检测部以及光载波相位差控制部。生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号、而且具有根据由该光载波相位差检测部检测出的光载波相位差的值来控制 OTDM-DPSK 信号的光载波相位差的功能的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部、光载波相位差检测部以及光载波相位差控制部构成如下。

OTDM-DPSK 信号生成部具有光分支器、第 1 和第 2 相位调制器、光耦合器、以及监视信号分支器。光分支器把光脉冲串 2 分割成第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串。第 1 和第 2 相位调制器分别输入第 1 光脉冲串和第 2 光脉冲串, 分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号。光耦合器对第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号进行光时分

复用，生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号。监视信号分支器从  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号分支取出监视信号。

光载波相位差检测部输入监视信号，生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

光载波相位差控制部输入光载波相位差检测信号，生成和输出光载波相位差控制信号，该光载波相位差控制信号用于控制 OTDM-DPSK 信号生成部，以使作为构成 OTDM-DPSK 信号的光脉冲的光载波相位与应取的相位值即  $0$  或  $\pi$  的偏差量来定义的波动量为  $0$ 。

一般情况下，生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号（这里， $N$  是大于等于  $2$  的整数）的第  $2^N$  OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部、光载波相位差检测部以及光载波相位差控制部按如下构成。

OTDM-DPSK 信号生成部具有光分支器、第  $1 \sim$  第  $2^N$  相位调制器、 $(2^N - 1)$  个光耦合器、 $(2^{N-1})$  个  $1$  次监视信号分支器、以及  $(2^{N-k})$  个（这里， $k$  是从  $1$  到  $N$  的所有整数） $k$  次监视信号分支器。光分支器把光脉冲串  $2^N$  分割成第  $1 \sim$  第  $2^N$  光脉冲串。第  $1 \sim$  第  $2^N$  相位调制器分别输入第  $1 \sim$  第  $2^N$  光脉冲串，分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第  $1 \sim$  第  $2^N$  信道的 DPSK 信号。 $(2^N - 1)$  个光耦合器对第  $1 \sim$  第  $2^N$  信道的 DPSK 信号进行光时分复用，生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号。 $(2^{N-1})$  个  $1$  次监视信号分支器从对相邻的第  $i$  信道和第  $(i+1)$  信道的 DPSK 信号（ $i$  是从  $1$  到  $2^N - 1$  的所有整数）进行光时分复用而生成的  $(2^{N-1})$  个  $1$  次 OTDM-DPSK 信号分别分支取出  $1$  次监视信号。 $(2^{N-k})$  个  $k$  次监视信号分支器依次从  $(2^{N-k})$  个  $k$  次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出  $k$  次监视信号。

光载波相位差检测部输入  $1 \sim k$  次监视信号，生成和输出作为分别构成这些  $1 \sim k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的  $(2^N - 1)$  个光载波相位差检测信号。

光载波相位差控制部输入光载波相位差检测信号，生成和输出第  $1 \sim$  第  $k$  光载波相位差控制信号，该第  $1 \sim$  第  $k$  光载波相位差控制信号用于控

制 OTDM-DPSK 信号生成部, 以使作为构成 OTDM-DPSK 信号的光脉冲的光载波相位与应取的相位值即  $0$  或  $\pi$  的偏差量来定义的波动量为  $0$ 。

第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部和光载波相位差检测部。

OTDM-DPSK 信号生成部具有 WDM (Wavelength Division Multiplexing: 波分复用) 耦合器、光分支器、第 1 和第 2 相位调制器、光耦合器、以及 WDM 分波器。WDM 耦合器将波长是  $\lambda_1$  的光脉冲串和波长是  $\lambda_2$  的光脉冲串合波来生成多波长光脉冲串进行输出。光分支器把多波长光脉冲串 2 分割成第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串。

第 1 和第 2 相位调制器分别输入第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串, 分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号。光耦合器对第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号进行光时分复用, 生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号。WDM 分波器把 2 复用的 OTDM-DPSK 信号波长分割成波长是  $\lambda_1$  的 OTDM-DPSK 信号和波长是  $\lambda_2$  的监视信号来输出。

光载波相位差检测部输入监视信号, 生成和输出作为构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置具有 OTDM-DPSK 信号生成部和干涉信号检测部。

OTDM-DPSK 信号生成部具有 WDM 耦合器、光分支器、第 1 和第 2 相位调制器、以及复合型光合波/分波器。WDM 耦合器将波长是  $\lambda_1$  的光脉冲串和波长是  $\lambda_2$  的连续波光合波来生成多波长光脉冲串进行输出。光分支器把多波长光脉冲串 2 分割成第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串。第 1 和第 2 相位调制器分别输入第 1 多波长光脉冲串和第 2 多波长光脉冲串, 分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号。复合型光合波/分波器输入第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号, 对上述第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号进行光时分复用, 生成和输出波长  $\lambda_1$  的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号, 并生成和输出波长是  $\lambda_2$  的干

涉监视信号。

干涉信号检测部输入干涉监视信号，生成和输出作为构成该干涉监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

复合型光合波/分波器可以构成为具有第1半透镜、第2半透镜、第3半透镜、1/4波长板以及第4半透镜。第2半透镜设置在将入射到第1半透镜上的第1信道的DPSK信号反射输出的该第1半透镜的输出侧。第3半透镜设置在将入射到第1半透镜上的第1信道的DPSK信号透射输出的该第1半透镜的输出侧。1/4波长板设置在将入射到第3半透镜上的第1信道的DPSK信号反射输出的该第3半透镜的输出侧。第4半透镜设置在由第2半透镜反射而从第2半透镜输出的信号光与由第3半透镜反射而透过1/4波长板的信号光干涉的位置。

在上述的第1~第4 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出2复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部的优选实施例中，可以具有位延迟器。位延迟器把为了对第1和第2信道的各自的DPSK信号进行位交织和光时分复用所需要的时间延迟赋予给第2信道的DPSK信号。该时间延迟量是与构成第2信道的DPSK信号的1个光脉冲在时间轴上所占的时间的1/2相当的时间延迟量。

并且，在上述的第1~第2 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出 $2^N$ 复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部的优选实施例中，可以具有位延迟单元。位延迟单元把为了对第 $2\sim 2^N$ 信道的各自的DPSK信号进行位交织和光时分复用所需要的时间延迟赋予给该第 $2\sim 2^N$ 信道的各自的DPSK信号。

在上述的第1~第4 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出2复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的光载波相位差检测部的优选实施例中，可以具有光载波干涉仪和干涉信号检测部。光载波干涉仪输入监视信号，把通过根据构成该监视信号的光脉冲间的光载波相位差来调制监视信号的强度而生成的干涉光作为干涉监视信号

来输出。干涉信号检测部输入干涉监视信号来生成光载波相位差检测信号进行输出。

干涉信号检测部具有：光电转换器，其对干涉复用监视信号进行光电转换，作为电干涉信号来输出；低通滤波器，其遮断电干涉信号的高频分量来输出低频电干涉信号；以及强度检测器，其检测低频电干涉信号的时间平均强度，作为光载波相位差检测信号来输出。

并且，在上述的第1和第2 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的光载波相位差检测部的优选实施例中，可以具有  $k$  个光载波干涉仪（这里， $k$  是满足  $2^N-1$  的所有整数）和干涉信号检测部。 $k$  个光载波干涉仪输入所输入的 1 次监视信号至  $k$  次监视信号，把通过根据构成 1 次监视信号至  $k$  次监视信号的光脉冲间的光载波相位差来调制 1 次监视信号至  $k$  次监视信号的强度而生成的干涉光作为 1~ $k$  干涉监视信号来输出。干涉信号检测部输入 1~ $k$  干涉监视信号来生成  $(2^N-1)$  个光载波相位差检测信号。

干涉信号检测部具有： $k$  个光电转换器，其对 1~ $k$  干涉监视信号进行光电转换，作为 1~ $k$  电干涉信号来输出；低通滤波器，其遮断 1~ $k$  电干涉信号的高频分量来输出 1~ $k$  低频电干涉信号；以及强度检测器，其检测 1~ $k$  低频电干涉信号的时间平均强度，作为光载波相位差检测信号来输出。

在上述的第2 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的优选实施例中，光载波相位差控制部可以具有偏置信号调整器以及第1和第2信号耦合器。偏置信号调整器把第1和第2偏置调整信号分别提供给第1和第2相位调制器。第1和第2信号耦合器将第1和第2偏置调整信号分别耦合附加给从第1和第2调制器驱动器分别提供的第1和第2信道的发送信号。

并且，在上述的第2 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的优选实

施例中，光载波相位差控制部可以具有偏置信号调整器以及第 1~第  $2^N$  信号耦合器。偏置信号调整器把第 1~第  $2^N$  偏置调整信号分别提供给第 1~第  $2^N$  相位调制器。第 1~第  $2^N$  信号耦合器将第 1~第  $2^N$  偏置调整信号分别耦合附加给从第 1~第  $2^N$  调制器驱动器分别提供的第 1~第  $2^N$  信道的发送信号。

在上述的光载波干涉仪的优选实施例中，可以具有第 1 光分支器、第 2 光分支器、第 3 光分支器、 $\pi$ 移相器、 $\pi/2$  移相器、第 1 光耦合器、第 2 光耦合器、以及第 3 光耦合器。

第 1 光分支器把监视信号强度分割成第 1 分支监视信号和第 2 分支监视信号来输出，并分别输入到第 1 波导支路和第 2 波导支路。

第 2 光分支器把第 1 分支监视信号强度分割成第 (1-1) 分支监视信号和第 (1-2) 分支监视信号来输出，并分别输入到第 (1-1) 波导支路和第 (1-2) 波导支路。

第 3 光分支器把第 2 分支监视信号强度分割成第 (2-1) 分支监视信号和第 (2-2) 分支监视信号来输出，并分别输入到第 (2-1) 波导支路和第 (2-2) 波导支路。

第 (1-1) 波导支路和第 (1-2) 波导支路的光路长度被设定成在第 (1-1) 分支监视信号和第 (1-2) 分支监视信号之间具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差。

第 (2-1) 波导支路和第 (2-2) 波导支路的光路长度被设定成在第 (2-1) 分支监视信号和第 (2-2) 分支监视信号之间具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差。

$\pi$ 移相器设置在第 (2-2) 波导支路的途中，使第 (2-1) 分支监视信号的光载波相位移动 $\pi$ ，生成和输出 $\pi$ 相移第 (2-1) 分支监视信号。

第 2 光耦合器对分别在第 (1-1) 波导支路和第 (1-2) 波导支路上传播的第 (1-1) 分支监视信号和第 (1-2) 分支监视信号进行复用，生成和输出第 2 复用监视信号。

第 3 光耦合器对从 $\pi$ 移相器所输出的 $\pi$ 相移第 (2-2) 分支监视信号和在第 (2-1) 波导支路上传播的第 (2-1) 分支监视信号进行复用，

生成和输出第3复用监视信号。

$\pi/2$ 移相器使第3复用监视信号的光载波相位移动 $\pi/2$ ，生成和输出 $\pi/2$ 相移第3复用监视信号。

第1光耦合器对从第2光耦合器所输出的第2复用监视信号和 $\pi/2$ 相移第3复用监视信号进行复用，生成和输出第1复用监视信号。

然后，从第1光分支器到第2光分支器的光路长度和从第1光分支器到第3光分支器的光路长度被设定为相等，从第2光耦合器到第1光耦合器的光路长度和从第3光耦合器到第1光耦合器的光路长度被设定为相等。

在上述的光载波干涉仪的另一优选实施例中，可以具有第1半透镜、 $1/4$ 波长板、第2半透镜、第1 $1/2$ 位延迟器、第1相位微调整元件、第1全反射镜、第2全反射镜、第3半透镜、第2 $1/2$ 位延迟器、第2相位微调整元件、第3全反射镜以及第4全反射镜。

该光载波干涉仪朝入射到第1半透镜上的输入信号透射的方向依次串联配置有第1半透镜、 $1/4$ 波长板、第2半透镜、第1 $1/2$ 位延迟器、第1相位微调整元件以及第1全反射镜。并且，朝入射到第1半透镜上的输入信号反射的方向依次串联配置有第1半透镜、第3半透镜、第2 $1/2$ 位延迟器、第2相位微调整元件以及第3全反射镜。然后，第2全反射镜设置在透射第1半透镜而入射到第2半透镜上的信号光被反射输出的侧的面上。第4全反射镜设置在从第1半透镜反射而入射到第3半透镜上的信号光被反射输出的侧的面上。

在上述的光载波干涉仪的另一优选实施例中，可以具有偏光镜、半透镜、 $1/2$ 位延迟器、第1全反射镜、第1单轴性晶体、第2全反射镜、第2单轴性晶体以及检偏镜。

该光载波干涉仪朝入射到半透镜上的输入信号透射半透镜的方向依次串联配置有偏光镜、半透镜、第1单轴性晶体以及第2全反射镜。并且，从入射到半透镜上的输入信号光被反射输出的半透镜的输出端面开始依次配置有 $1/2$ 位延迟器和第1全反射镜。然后，从与入射到半透镜上的输入信号光被反射输出的半透镜的输出端面相反侧的端面开始依次配

置有第 2 单轴性晶体和检偏镜。

根据生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置, 由该装置具有的监视信号分支器从该 OTDM-DPSK 信号分支取出监视信号。

该监视信号如后所述, 包含有 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差相关的信息。监视信号被输入到光载波相位差检测部, 生成和输出作为构成监视信号的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号。

因此, 根据第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置, 由于具有光载波相位差检测部, 因而可检测构成 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差。

即使在将第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置扩展为一般生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的装置的情况下, 也能检测构成  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差。

生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为除了具有 OTDM-DPSK 信号生成部和光载波相位差检测部以外, 还具有光载波相位差控制部。因此, 根据第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置, 可检测构成 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差, 并可根据从光载波相位差检测部提供给光载波相位差控制部的光载波相位差检测信号, 控制以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光载波相位差。

即使在将第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置扩展为一般生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的装置的情况下, 也能检测构成  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差, 并可根据从光载波相位差检测部提供给光载波相位差控制部的光载波相位差检测信号, 控制以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光载波相位差。

第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部具有将波长是  $\lambda_1$  的光脉冲串和波长是  $\lambda_2$  的光脉冲串合波来生成多波长光脉冲串进行输出的 WDM 耦合器。并且, 具有把 2 复用的 OTDM-DPSK

信号波长分割成波长是 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号和波长是 $\lambda_2$ 的监视信号来输出的 WDM 分波器。

因此，第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置可生成与 OTDM-DPSK 信号不同波长的监视信号。通过采用这种结构，第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置可进行如下动作，即：在 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 最小的状态下，使光载波相位差检测信号的值取极大值与极小值之间的值。由此，可随着光载波相位差检测信号的值的增减，使相位波动大小 $\phi$ 的值增减，可判定相位波动大小 $\phi$ 的值的变动方向（增大方向或减少方向）。

第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置具有 OTDM-DPSK 信号生成部和光载波相位差检测部，OTDM-DPSK 信号生成部采用替代光耦合器和 WDM 分波器而使用兼备两者的功能的复合型光合波/分波器。即，复合型光合波/分波器输入第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号，生成和输出波长 $\lambda_1$ 的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号，并生成和输出波长是 $\lambda_2$ 的监视信号。这样，通过使用复合型光合波/分波器，可减少构成 OTDM-DPSK 信号生成部的部件数量，并可实现用于形成装置的成本的低廉化。

复合型光合波/分波器采用具有第 1 半透镜、第 2 半透镜、第 3 半透镜、1/4 波长板以及第 4 半透镜的上述结构，因而可实现以下功能，即：输入第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号，生成和输出波长 $\lambda_1$ 的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号，并生成和输出波长是 $\lambda_2$ 的监视信号。

第 1~第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置由于具有位延迟器，因而可将第 1 和第 2 信道的各自的 DPSK 信号进行位交织来生成 2 复用的 OTDM-DPSK 信号。并且，上述的第 1 和第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置由于具有位延迟单元，因而可将第 2~ $2^N$ 信道的各自的 DPSK 信号进行位交织来生成和输出  $2^N$ 复用的 OTDM-DPSK 信号。

第 1~第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置，即生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的光载波相位差检测部具有光载波干涉仪和干涉信号检测部，因而可生成和输出光载波相位差检测信号。同样，上述的第 1 和第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置，即

生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号的 OTDM-DPSK 信号生成装置的光载波相位差检测部由于具有  $k$  个光载波干涉仪和干涉信号检测部，因而可生成和输出  $(2^N-1)$  个光载波相位差检测信号。

光载波干涉仪具有第 1 光分支器、第 2 光分支器、第 3 光分支器、 $\pi$  移相器、 $\pi/2$  移相器、第 1 光耦合器、第 2 光耦合器、以及第 3 光耦合器，因而可根据监视信号生成和输出第 1 复用监视信号。

这里，为了便于说明，在对光载波干涉仪单独的功能进行说明的情况下，把与上述的干涉监视信号相当的信号称为第 1 复用监视信号。然而，这是为了避开把光载波干涉仪的功能作为构成要素装入光载波相位差检测部内的限定而进行一般说明所采取的措施。即，在把光载波干涉仪作为构成要素装入光载波相位差检测部内的情况下，将监视信号输入到光载波干涉仪而获得的输出信号是干涉监视信号。

并且，另一优选实施例的光载波干涉仪还能构成为具有第 1 半透镜、 $1/4$  波长板、第 2 半透镜、第 1  $1/2$  位延迟器、第 1 相位微调整元件、第 1 全反射镜、第 2 全反射镜、第 3 半透镜、第 2  $1/2$  位延迟器、第 2 相位微调整元件、第 3 全反射镜以及第 4 全反射镜。当这样构成光载波干涉仪时，在以少量生产为前提的情况下，可制造成低成本的光载波干涉仪。

并且，另一优选实施例的光载波干涉仪还能构成为具有偏光镜、半透镜、 $1/2$  位延迟器、第 1 全反射镜、第 1 单轴性晶体、第 2 全反射镜、第 2 单轴性晶体以及检偏镜。当这样构成光载波干涉仪时，在以少量生产为前提的情况下，可制造成低成本且小型化的光载波干涉仪。

#### 附图说明

图 1 是 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 2 示出 OTDM-DPSK 信号生成装置中的光信号的时间波形，分别是示出 (A) 第 1 相位调制信号、(B) 延迟第 2 相位调制信号以及 (c) 复用相位调制信号的时间波形的图。

图 3 是具有光载波相位差检测部的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 4 是光载波干涉仪的概略结构图。

图 5 是示出光载波干涉仪的各处的光信号的时间波形的图，分别是示出 (A) 第 (1-1) 分支监视信号和第 (2-1) 分支监视信号、(B) 第 (1-2) 分支监视信号、(C)  $\pi$  相移第 (2-1) 分支监视信号、(D) 第 2 复用监视信号、(E) 第 3 复用监视信号、(F)  $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号、(G-1) 在  $\phi=0$  或者  $\phi=\pi$  的情况下的第 1 复用监视信号、(G-2) 在  $\phi=\pi/4$  或者  $\phi=3\pi/4$  的情况下的第 1 复用监视信号、以及 (G-3) 在  $\phi=\pi/2$  的情况下的第 1 复用监视信号的时间波形的图。

图 6 是对相位调制信号的合成进行说明的图。

图 7 是示出复用相位调制信号的强度与相位波动  $\phi$  的关系的图。(A) 是将第 1 复用监视信号具有的 2 种光脉冲强度的各方作为  $\phi$  的函数来给出的图，(B) 是把光载波相位差检测信号的强度作为  $\phi$  的函数来给出的图。

图 8 是具有光载波相位差检测部的 4 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 9 是具有光载波相位差检测部和光载波相位差控制部并具有光载波相位差控制功能的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 10 是具有光载波相位差检测部和光载波相位差控制部并具有光载波相位差控制功能的 4 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 11 是具有光载波相位差检测部的利用 2 波长光脉冲串的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 12 是示出把波长  $\lambda_1$  的干涉监视信号具有的 2 种光脉冲强度的平均值作为  $\phi$  的函数来给出的曲线 (曲线  $\lambda_1$ ) 和把波长  $\lambda_2$  的干涉监视信号具有的 2 种光脉冲强度的平均值作为  $\phi$  的函数来给出的曲线 (曲线  $\lambda_2$ ) 的图。

图 13 是将图 12 的  $\phi=0$  的附近放大的详图。

图 14 是光合波/分波器由复合型光合波/分波器构成的具有光载波相位差检测部的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

图 15 是用于对光合波/分波器由复合型光合波/分波器构成的具有光载波相位差检测部的 OTDM-DPSK 信号生成装置中的波长是 $\lambda_2$ 的监视信号的生成过程进行说明的图。(A) 是示出 OTDM-DPSK 信号生成部的概略以及复合型光合波/分波器的结构的图,(B) 是用于对根据复合型光合波/分波器中的第 1 信道的 DPSK 信号和第 2 信道的 DPSK 信号来生成波长是 $\lambda_2$ 的监视信号的过程进行说明的图。

图 16 是示出第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置的特别是复合型光合波/分波器的各处的光信号的时间波形的图, 分别是示出 (A) 波长是 $\lambda_2$ 的第 1 信道的 DPSK 信号、(B) 向第 2 信道的 DPSK 信号提供 1 位时间延迟而生成的第 2 信道的 DPSK 信号、(C) 第 (2-2) 信号的时间波形、(D) 第 (3-2) 信号的时间波形、(E) 第 (3-2) 相位差附加信号的时间波形、(F) 第 (4-1) 信号的时间波形, 即 (F-1) 在 $\phi=0$  或者 $\phi=\pi$  的情况下的第 (4-1) 信号、(F-2) 在 $\phi=\pi/4$  或者 $\phi=3\pi/4$  的情况下的第 (4-1) 信号、以及 (F-3) 在 $\phi=\pi/2$  的情况下的第 (4-1) 信号的时间波形的图。

图 17 是使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的概略结构图。(A) 是从斜上方观察使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的透视图,(B) 是从上方观察使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的平面图。

图 18 是使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的概略结构图。(A) 是从斜上方观察使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的透视图,(B) 是从上方观察使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的平面图。

图 19 是用于对使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的动作进行说明的图。(A) 是对在第 1 路径上行进的第 1 分支信号的偏光状态进行说明的图,(B) 是对在第 2 路径上行进的第 2 分支信号的偏光状态进行说明的图,(C) 是对在第 1 路径上行进的第 1 分支信号和在第 2 路径上行进的第 2 分支信号被干涉而生成的干涉信号的偏光状态进行说明的图。

### 具体实施方式

以下, 参照附图对本发明的实施方式进行说明。另外, 各图是示出

根据本发明的一个结构例的图，只不过在能理解本发明的程度上概略示出各构成要素的配置关系等，本发明并不限于图示例。并且，在以下说明中，有时使用特定条件等，然而这些条件等只不过是优选例之一，因此，丝毫不限于这些条件。在各图中，使用沿着信号的传送路径的箭头，附上识别在该传送路径中传播的信号的识别编号或识别符号，然而有时也省略沿着传送路径的箭头而把识别在该传送路径中传播的信号的识别编号直接附给传送路径。并且，关于各图中相同的构成要素，附上同一编号示出，有时也省略其重复说明。

### <第1实施例>

参照图3对第1 OTDM-DPSK 信号生成装置的结构及其动作进行说明。图3是具有检测构成 OTDM-DPSK 信号的光脉冲间的光载波相位差的光载波相位差检测部的、2复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

#### [结构]

2复用的第1 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部28和光载波相位差检测部30。

OTDM-DPSK 信号生成部28具有光分支器12、第1相位调制器14、第2相位调制器16、1/2位延迟器18、光耦合器20、以及监视信号分支器26。光分支器12把光脉冲串11-2分割成第1光脉冲串13-1和第2光脉冲串13-2。第1相位调制器14和第2相位调制器16分别输入第1光脉冲串13-1和第2光脉冲串13-2，分别生成和输出以DPSK方式所编码的第1信道的DPSK信号15和第2信道的DPSK信号17。

第1信道的2值数字信号由第1调制器驱动器22放大到第1相位调制器14可动作的水准，作为第1信道的电信号23来提供给第1相位调制器14。并且，同样，第2信道的2值数字信号由第2调制器驱动器24放大到第2相位调制器16可动作的水准，作为第2信道的电信号25来提供给第2相位调制器16。

第1信道的DPSK信号15是由第1相位调制器14将第1光脉冲串13-1以DPSK方式编码而生成的信号，被输入到光耦合器20。另一方

面，第2信道的DPSK信号17是由第2相位调制器16将第2光脉冲串13-2以DPSK方式编码而生成的信号，被输入到1/2位延迟器18。1/2位延迟器18把与构成所输入的DPSK信号17的1个光脉冲在时间轴上所占的时间的1/2相当的时间延迟（以下有时也称为“1/2位时间延迟”）提供给DPSK信号17，生成DPSK信号19来输出。DPSK信号19被输入到光耦合器20。

1/2位延迟器18可由BK7玻璃等的标准具（etalon）构成。为了将标准具用作1/2位延迟器18，只要选择为了向透射该标准具的DPSK信号17提供1/2位时间延迟所需要的厚度的标准具，来将其插入在第2相位调制器16与光耦合器20之间的光路内即可。

光耦合器20通过位交织来对第1信道的DPSK信号15和进行1/2位时间延迟而生成的DPSK信号19进行光时分复用，生成和输出2复用的OTDM-DPSK信号21。OTDM-DPSK信号21被输入到监视信号分支器26。

监视信号分支器26从OTDM-DPSK信号21分支取出监视信号27-2，并把OTDM-DPSK信号27-1作为OTDM-DPSK信号生成部28的输出信号来输出。监视信号27-2被输入到光载波相位差检测部30。

光载波相位差检测部30生成和输出作为构成监视信号27-2的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号35。

生成和输出光载波相位差检测信号35的光载波相位差检测部30具有光载波干涉仪32和干涉信号检测部34。光载波干涉仪32输入监视信号27-2，把进行了与构成监视信号27-2的光脉冲间的光载波相位差对应的强度调制的干涉信号光作为干涉监视信号33来输出。干涉信号检测部34输入干涉监视信号33，生成光载波相位差检测信号35来输出。

干涉信号检测部34具有光电转换器36、低通滤波器38以及强度检测器40。光电转换器36对干涉监视信号33进行光电转换，作为电干涉信号37来输出。当对干涉监视信号33进行了光电转换时，干涉监视信号33的光载波的作为波的信息（光载波的频率分量）消失，由光载波的包络线形成的电信号波形被生成电干涉信号37。即，光电转换器36对频

率远比干涉复用监视信号的位速率频率高的光载波的频率分量不能响应，只有由等于干涉复用监视信号的位速率频率的光载波的包络线形成的电信号分量被生成电干涉信号 37。

低通滤波器 38 遮断电干涉信号 37 的高频分量，输出单纯的电压信号即电干涉信号 39。强度检测器 40 检测电干涉信号 39 的时间平均强度（直流电压），转换成可驱动后述的光载波相位差控制部的程度的直流信号，作为光载波相位差检测信号 35 来输出。低通滤波器 38 可适当利用环滤波器等。

参照图 4 对光载波干涉仪 32 的结构进行说明。图 4 是光载波干涉仪的概略结构图。

光载波干涉仪 32 具有第 1 光分支器 42、第 2 光分支器 44、第 3 光分支器 46、 $\pi$ 移相器 54、 $\pi/2$ 移相器 56、第 1 光耦合器 52、第 2 光耦合器 48、以及第 3 光耦合器 50。

第 1 光分支器 42 把监视信号 41（27-2）强度分割成第 1 分支监视信号 42-1 和第 2 分支监视信号 42-2 来输出，并分别输入到第 1 波导支路 60 和第 2 波导支路 62。

第 2 光分支器 44 把第 1 分支监视信号 42-1 强度分割成第（1-1）分支监视信号 44-1 和第（1-2）分支监视信号 44-2 来输出，并分别输入到第（1-1）波导支路 64 和第（1-2）波导支路 66。

第 3 光分支器 46 把第 2 分支监视信号 42-2 强度分割成第（2-1）分支监视信号 46-1 和第（2-2）分支监视信号 46-2 来输出，并分别输入到第（2-1）波导支路 68 和第（2-2）波导支路 70。

第（1-1）波导支路 64 和第（1-2）波导支路 66 的光路长度被设定成在第（1-1）分支监视信号 44-1 和第（1-2）分支监视信号 44-2 之间，具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差。

第（2-1）波导支路 68 和第（2-2）波导支路 70 的光路长度被设定成在第（2-1）分支监视信号 46-1 和第（2-2）分支监视信号 46-2 之间，具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差。

$\pi$ 移相器 54 设置在第（2-2）波导支路 70 的途中，使第（2-2）分

支监视信号 46-2 的光载波相位移动 $\pi$ ，生成和输出 $\pi$ 相移第(2-2)分支监视信号 54-2。 $\pi$ 移相器 54 通过使波导的一部分的有效折射率变化，可容易形成。

因此，对第(2-1)波导支路 68 和第(2-2)波导支路 70 的光路长度被设定成在第(2-1)分支监视信号 46-1 和第(2-2)分支监视信号 46-2 之间，具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差作了说明，然而严格地说，与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差还加上第(2-2)分支监视信号 46-2 的光载波相位仅移动 $\pi$ 的光路长度差。

第 2 光耦合器 48 对在第(1-1)波导支路 64 和第(1-2)波导支路 66 上分别传播的第(1-1)分支监视信号 44-1 和第(1-2)分支监视信号 44-2 进行复用，生成和输出第 2 复用监视信号 49。

第 3 光耦合器 50 对从 $\pi$ 移相器 54 所输出的 $\pi$ 相移第(2-2)分支监视信号 54-2 和在第(2-1)波导支路 68 上传播的第(2-1)分支监视信号 46-1 进行复用，生成和输出第 3 复用监视信号 51-1。

$\pi/2$  移相器 56 使第 3 复用监视信号 51-1 的光载波相位移动 $\pi/2$ ，生成和输出 $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号 51-2。 $\pi/2$  移相器 56 通过使波导的一部分的有效折射率变化，可容易形成。

第 1 光耦合器 52 对从第 2 光耦合器 48 所输出的第 2 复用监视信号 49 和 $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号 51-2 进行复用，生成和输出第 1 复用监视信号 53。

然后，从第 1 光分支器 42 到第 2 光分支器 44 的光路长度和从第 1 光分支器 42 到第 3 光分支器 46 的光路长度被设定为相等，从第 2 光耦合器 48 到第 1 光耦合器 52 的光路长度和从第 3 光耦合器 50 到第 1 光耦合器 52 的光路长度被设定为相等。然而，严格地说，通过插入了 $\pi/2$  移相器 56，在从第 2 光耦合器 48 到第 1 光耦合器 52 的光路长度与从第 3 光耦合器 50 到第 1 光耦合器 52 的光路长度之间存在仅使第 3 复用监视信号 51-1 的光载波相位移动 $\pi/2$  的光路长度差。

[动作]

参照图 3~图 7 对 2 复用的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置的动作进行说明。当对 2 复用的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置的动作进行说明时,假定第 1 信道的 DPSK 信号即第 1 相位调制信号 15 和第 2 信道的 DPSK 信号即第 2 相位调制信号 17 的位速率均是 40Gbit/s。因此,对第 1 相位调制信号 15 和第 2 相位调制信号 17 进行光时分复用而生成的复用相位调制信号 21 (2 复用的 OTDM-DPSK 信号)的位速率是 80Gbit/s。这样,即使把第 1 和第 2 信道的 DPSK 信号假定为特定的位速率来进行说明,以下说明对于与该位速率不同的位速率的情况也照原样成立,不失一般性。

频率是 40GHz 的光脉冲串 11 被输入到 OTDM-DPSK 信号生成部 28。光脉冲串 11 由光分支器 12 进行 2 分割,生成第 1 光脉冲串 13-1 和第 2 光脉冲串 13-2。第 1 光脉冲串 13-1 和第 2 光脉冲串 13-2 分别被输入到第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16。

在第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16 中,第 1 光脉冲串 13-1 和第 2 光脉冲串 13-2 分别根据从第 1 调制器驱动器 22 和第 2 调制器驱动器 24 所提供的发送信号以 DPSK 方式来编码,生成第 1 相位调制信号 15 和第 2 相位调制信号 17 来输出。

第 2 相位调制信号 17 被输入到 1/2 位延迟器 18,被提供与 1/2 位相当的时间延迟  $1.25 \times 10^{-7}$  秒 ( $=1/(2 \times 40 \times 10^9)$ ),生成延迟第 2 相位调制信号 19 来输出。第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 由光耦合器 20 复用,生成复用相位调制信号 21 来输出。即,在 OTDM-DPSK 信号生成部 28 中,根据光脉冲串 11,把从第 1 调制器驱动器 22 和第 2 调制器驱动器 24 所提供的 2 个信道的发送信号转换成 DPSK 信号,对该 2 个信道的 DPSK 信号进行光时分复用,生成 OTDM-DPSK 信号即复用相位调制信号 21。

生成和输出复用相位调制信号 21 是 OTDM-DPSK 信号生成部 28 的本来功能,而 OTDM-DPSK 信号生成部 28 具有监视信号分支器 26,该监视信号分支器 26 用于从复用相位调制信号 21 分支出监视信号 27-1,2,用来检测构成复用相位调制信号 21 的光脉冲间的光载波相位差。由

监视信号分支器 26 所分支取出的监视信号 27-2 被输入到光载波相位差检测部 30。

当在光耦合器 20 中对第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 进行复用来生成复用相位调制信号 21 时, 由于未设有用于将第 1 相位调制信号 15 和延迟第 2 相位调制信号 19 的相位关系规定为一定关系来复用的单元, 因而构成复用相位调制信号 21 的光脉冲间的相位差以  $0$ 、 $\phi$ 、 $\pi$  以及  $\phi + \pi$  中的任意一方的关系随机分布。

以 DPSK 方式所编码的 DPSK 信号通过把构成 DPSK 信号的光脉冲间的相位差设定为是  $0$  或者是  $\pi$  的任意一方, 从而构成为 2 值数字信号。因此, 理想的是, 构成复用相位调制信号 21 的光脉冲间的相位差按照是  $0$  或者是  $\pi$  的任意一方的关系分布。即, 理想的是, 构成复用相位调制信号 21 的光脉冲间的相位差的关系被规定为总是  $\phi = 0$ 。

因此, 首先, 为了生成被规定为总是  $\phi = 0$  的复用相位调制信号 21, 需要知道  $\phi$  的值。用于计量该  $\phi$  的值的单元是光载波相位差检测部 30, 从光载波相位差检测部 30 生成和输出作为构成复用相位调制信号 21 的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号 35。

下面, 对在光载波相位差检测部 30 中, 在输入监视信号 27-2 并生成光载波相位差检测信号 35 之前的动作进行说明。在生成光载波相位差检测信号 35 之前, 发挥中心作用的是光载波干涉仪 32, 因而参照示出光载波干涉仪 32 的结构图 4 和示出光载波干涉仪 32 的各处的光信号的时间波形的图 5, 并适当参照图 6 和图 7, 对光载波干涉仪 32 的动作进行说明。

图 5 (A) ~ (G-3) 是示出光载波干涉仪的各处的光信号的时间波形的图, 分别是示出图 4 所示的 (A) 第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (2-1) 分支监视信号 46-1、(B) 第 (1-2) 分支监视信号 44-2、(C)  $\pi$  相移第 (2-1) 分支监视信号 54-2、(D) 第 2 复用监视信号 49、(E) 第 3 复用监视信号 51-1、(F)  $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号 51-2、(G-1) 在  $\phi = 0$  或者  $\phi = \pi$  的情况下的第 1 复用监视信号 53、(G-2) 在  $\phi = \pi/4$  或者  $\phi = 3\pi/4$  的情况下的第 1 复用监视信号 53、以及 (G-3) 在  $\phi$

$=\pi/2$  的情况下的第 1 复用监视信号 53 的时间波形的图。横轴是时间轴，以任意刻度标示出。并且，纵轴表示振幅。图 5 (D) ~ (F) 所示的 A、B、C 和 D 分别表示后述的  $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$  和  $\angle D$ 。

光载波相位差检测部 30 不限于第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置，也可用于后述的第 2~第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置，因而这里，输入到光载波相位差检测部 30 的信号不限于监视信号 27-2，把该信号作为监视信号 41 进行一般说明。

监视信号 41 的时间波形是图 5 (A) 所示的时间波形。当表示信号的时间波形时，时间轴的原点可任意设定，因而为了便于说明，假定第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (2-1) 分支监视信号 46-1 的时间波形也给出为图 5 (A) 所示的时间波形，以下进行说明。即，监视信号 41 的时间波形的时间轴的原点与第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (2-1) 分支监视信号 46-1 的时间波形的时间轴的原点在本来偏离的位置，然而在以下说明中，关于两者的原点位置，无需看作问题。

当监视信号 41 被输入到光载波干涉仪 32 时，由第 1 光分支器 42 强度 2 分割成第 1 分支监视信号 42-1 和第 2 分支监视信号 42-2。第 1 分支监视信号 42-1 和第 2 分支监视信号 42-2 分别由第 2 光分支器 44 和第 3 光分支器 46 进行强度 2 分割，生成第 (1-1) 分支监视信号 44-1、第 (1-2) 分支监视信号 44-2、第 (2-1) 分支监视信号 46-1 以及第 (2-2) 分支监视信号 46-2。

第 (1-1) 波导支路 64 和第 (1-2) 波导支路 66 的光路长度被设定成在第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (1-2) 分支监视信号 44-2 之间，具有与 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间相当的时间延迟差（以下，有时也称为“1 位延迟差”。这里是  $2.5 \times 10^{-7}$  秒。），因而第 (1-2) 分支监视信号 44-2 针对第 (1-1) 分支监视信号 44-1，根据 1 位延迟差由第 2 光耦合器 48 合波。

另一方面，第 (2-1) 波导支路 68 和第 (2-2) 波导支路 70 的光路长度被设定成在第 (2-1) 分支监视信号 46-1 和第 (2-2) 分支监视信号 46-2 之间具有 1 位延迟差， $\pi$  移相器 54 设置在第 (2-2) 波导

支路 70 的途中。因此，第 (2-2) 分支监视信号 46-2 针对第 (2-1) 分支监视信号 46-1，根据 1 位延迟差以及使第 (2-2) 分支监视信号 46-2 的光载波的相位移动 $\pi$ （附加与相位 $\pi$ 相当的时间差）的延迟差，由第 3 光耦合器 50 合波。

参照图 5 (A) ~ (E) 对在第 2 光耦合器 48 和第 3 光耦合器 50 中分别生成和输出的第 2 复用监视信号 49 和第 3 复用监视信号 51-1 的时间波形是什么样进行说明。

在第 (1-1) 波导支路 64 上传播的第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和在第 (1-2) 波导支路 66 上传播的第 (1-2) 分支监视信号 44-2 分别具有图 5 (A) 和 (B) 所示的时间波形，两者在第 2 光耦合器 48 中发生干涉，成为第 2 复用监视信号 49 来输出。其结果，第 2 复用监视信号 49 的时间波形为图 5 (D) 所示的时间波形。并且，在第 (2-1) 波导支路 68 上传播的第 (2-1) 分支监视信号 46-1 和在第 (2-2) 波导支路 70 上传播的 $\pi$ 相移第 (2-2) 分支监视信号 54-2 分别具有图 5 (A) 和 (C) 所示的时间波形，两者在第 3 光耦合器 50 中发生干涉，成为第 3 复用监视信号 51-1 来输出。其结果，第 3 复用监视信号 51-1 的时间波形为图 5 (E) 所示的时间波形。

如图 5 (A) 所示，构成第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (2-1) 分支监视信号 46-1 的光脉冲间的相位差按照 0、 $\phi$ 、 $\pi$  以及  $\phi + \pi$  的任意一方的关系随机分布。并且，由于第 (1-2) 分支监视信号 44-2 与第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (2-1) 分支监视信号 46-1 具有 1 位延迟差，因而如图 5 (B) 所示，光脉冲的相位移动 1 位。

第 2 复用监视信号 49 是第 (1-1) 分支监视信号 44-1 和第 (1-2) 分支监视信号 44-2 干涉的结果而生成的信号，因而该信号的时间波形为图 5 (D) 所示。这里，以 $\phi$ 的值比 $\pi$ 充分小的情况为例，对第 2 复用监视信号 49 的时间波形为图 5 (D) 所示的理由进行说明。

假定把图 5 (D) 的光脉冲存在的时隙从最左侧依次称为第 1 位、第 2 位等。当观察图 5 (D) 的第 1 位时，图 5 (A) 所示的第 (1-1) 分支监视信号 44-1 的光脉冲的相位是 0，图 5 (B) 所示的第 (1-2) 分支

监视信号 44-2 的光脉冲的相位是 $\phi$ 。因此，图 5 (D) 所示的第 2 复用监视信号 49 的光脉冲的相位为  $0+\phi$ ，由于以大致相同的相位进行干涉，因而成为强的光强度的光脉冲 A。

同样当观察第 2 位时，第 2 复用监视信号 49 的光脉冲的相位为 $\phi+\pi$ ，由于以大致相反的相位进行干涉，因而成为弱的光强度的光脉冲 B。第 5 位由于第 2 复用监视信号 49 的光脉冲的相位为  $0+(\pi+\phi)$ ，因而成为弱的光强度的光脉冲 C。第 6 位由于第 2 复用监视信号 49 的光脉冲的相位为  $(\pi+\phi)+\pi$ ，因而成为强的光强度的光脉冲 D。

即，在第 (1-1) 分支监视信号 44-1 的光脉冲与第 (1-2) 分支监视信号 44-2 的光脉冲的干涉中，有必要考虑以下 (1) ~ (4) 的 4 种干涉。(1) 两者的光脉冲的相位是  $0$  和  $\phi$  (或者  $\phi$  和  $0$ ) 的情况，在该情况下，干涉结果是生成强的光强度的光脉冲 A。(2) 两者的光脉冲的相位是  $\pi$  和  $\phi$  (或者  $\phi$  和  $\pi$ ) 的情况，在该情况下，干涉结果是生成弱的光强度的光脉冲 B。(3) 两者的光脉冲的相位是  $0$  和  $\pi+\phi$  (或者  $\pi+\phi$  和  $0$ ) 的情况，在该情况下，干涉结果是生成弱的光强度的光脉冲 C。(4) 两者的光脉冲的相位是  $\pi+\phi$  和  $\pi$  (或者  $\pi$  和  $\pi+\phi$ ) 的情况，在该情况下，干涉结果是生成强的光强度的光脉冲 D。

关于图 5 (E) 所示的第 3 复用监视信号 51-1 的时间波形，与上述的图 5 (D) 所示的第 2 复用监视信号 49 的时间波形一样来说明。

参照图 6 (A) ~ (D)，分别对相互干涉的光脉冲的相位关系是上述的 (1) 两者的光脉冲的相位是  $0$  和  $\phi$  (或者  $\phi$  和  $0$ ) 的情况、(2) 两者的光脉冲的相位是  $\pi$  和  $\phi$  (或者  $\phi$  和  $\pi$ ) 的情况、(3) 两者的光脉冲的相位是  $0$  和  $\pi+\phi$  (或者  $\pi+\phi$  和  $0$ ) 的情况、以及 (4) 两者的光脉冲的相位是  $\pi+\phi$  和  $\pi$  (或者  $\pi$  和  $\pi+\phi$ ) 的情况、和干涉结果生成的光脉冲的强度进行说明。

图 6 (A) ~ (D) 是用于对相位调制信号的合成进行说明的图，通过相量 (phasor) 显示，示出构成相位调制信号的光脉冲的状态。这里，相量显示是使用位置向量来显示与构成相位调制信号的光脉冲的状态对应的复平面上的点的位置 (与复数一对一对应) 的方法。即，相量显示

是把复数的绝对值和相位分别设定为构成相位调制信号的光脉冲的光载波的振幅和相位，将与该复数对应的位置向量显示在复平面（高斯平面）上的方法。

图 6 (A) 是两者的光脉冲的相位是 0 和  $\phi$ （或者  $\phi$  和 0）的情况，图 6 (B) 是两者的光脉冲的相位是  $\pi$  和  $\phi$ （或者  $\phi$  和  $\pi$ ）的情况，图 6 (C) 是两者的光脉冲的相位是 0 和  $\pi + \phi$ （或者  $\pi + \phi$  和 0）的情况，以及图 6 (D) 是两者的光脉冲的相位是  $\pi + \phi$  和  $\pi$ （或者  $\pi$  和  $\pi + \phi$ ）的情况。

在以下的 (1) ~ (4) 的情况下的光脉冲之间的干涉的说明中，把进行干涉的光脉冲之间的振幅分别标准化为 1 来表示。

(1) 两者的光脉冲的相位是 0 和  $\phi$ （或者  $\phi$  和 0）的情况

相位是 0 的光脉冲的状态由  $e^{ix_0}=1$  给出。并且，相位是  $\phi$  的光脉冲的状态由  $e^{i\phi}$  给出。然而，由于相位是 0 和  $\phi$  的光脉冲的光载波（把角频率设定为  $\omega$ ）的时间依赖项  $e^{i\omega t}$  不会给以下讨论带来本质影响，因而省略示出。在 (2) ~ (4) 的情况的说明中，同样时间依赖项  $e^{i\omega t}$  省略示出。

两者在相量显示中是用作复平面上的位置向量的量。相位是 0 的光脉冲和相位是  $\phi$  的光脉冲的干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_1$  由下述式 (1) 给出。

$$I_1 = 1 + e^{i\phi} \quad (1)$$

干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_1$  的相位  $\angle A$  由下述式 (2) 给出，其强度  $|I_1|$  由下述式 (3) 给出。

$$\angle A = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{1 + \cos \phi} \right) \quad (2)$$

$$|I_1| = \sqrt{2(1 + \cos \phi)} \quad (3)$$

在图 6 (A) 中，光脉冲的状态  $I_1$  的相位  $\angle A$  是作为表示光脉冲的状态  $I_1$  的向量  $I_1$  与实轴形成的角度来给出的。并且，强度  $|I_1|$  给出上述的图 5 (D) 所示的强的光强度的光脉冲 A 强度。

(2) 两者的光脉冲的相位是  $\pi$  和  $\phi$ （或者  $\phi$  和  $\pi$ ）的情况

相位是  $\pi$  的光脉冲的状态由  $e^{i\pi} = -1$  给出。并且，相位是  $\phi$  的光脉冲的状态由  $e^{i\phi}$  给出。相位是  $\pi$  的光脉冲和相位是  $\phi$  的光脉冲的干涉结果生成

的光脉冲的状态  $I_2$  由下述式 (4) 给出。

$$I_2 = -1 + e^{i\phi} \quad (4)$$

干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_2$  的相位  $\angle B$  由下述式 (5) 给出, 其强度  $|I_2|$  由下述式 (6) 给出。

$$\angle B = \tan^{-1} \left( \frac{-\sin \phi}{1 - \cos \phi} \right) + \pi \quad (5)$$

$$|I_2| = \sqrt{2(1 - \cos \phi)} \quad (6)$$

在图 6 (B) 中, 光脉冲的状态  $I_2$  的相位  $\angle B$  是作为表示光脉冲的状态  $I_2$  的向量  $I_2$  与实轴形成的角度来给出的。然而, 相位  $\angle B$  是以实轴的正方向为起点绕左测量的角度。并且, 强度  $|I_2|$  给出上述的图 5 (D) 所示的弱的光强度的光脉冲 B 强度。

(3) 两者的光脉冲的相位是  $0$  和  $\pi + \phi$  (或者  $\pi + \phi$  和  $0$ ) 的情况

相位是  $0$  的光脉冲的状态由  $e^{i \times 0} = 1$  给出。并且, 相位是  $\pi + \phi$  的光脉冲的状态由  $e^{i(\pi + \phi)}$  给出。相位是  $0$  的光脉冲和相位是  $\pi + \phi$  的光脉冲的干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_3$  由下述式 (7) 给出。

$$I_3 = 1 + e^{i(\pi + \phi)} \quad (7)$$

干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_3$  的相位  $\angle C$  由下述式 (8) 给出, 其强度  $|I_3|$  由下述式 (9) 给出。

$$\angle C = \tan^{-1} \left( \frac{-\sin \phi}{1 - \cos \phi} \right) \quad (8)$$

$$|I_3| = \sqrt{2(1 - \cos \phi)} \quad (9)$$

在图 6 (C) 中, 光脉冲的状态  $I_3$  的相位  $\angle C$  是作为表示光脉冲的状态  $I_3$  的向量  $I_3$  与实轴形成的角度来给出的。然而, 相位  $\angle C$  是以实轴的正方向为起点绕左测量的角度。并且, 强度  $|I_3|$  给出上述的图 5 (D) 所示的弱的光强度的光脉冲 C 强度。

(4) 两者的光脉冲的相位是  $\pi + \phi$  和  $\pi$  (或者  $\pi$  和  $\pi + \phi$ ) 的情况

相位是  $\pi$  的光脉冲的状态由  $e^{i\pi} = -1$  给出。并且, 相位是  $\pi + \phi$  的光脉冲的状态由  $e^{i(\pi + \phi)}$  给出。相位是  $\pi$  的光脉冲和相位是  $\pi + \phi$  的光脉冲的干涉

结果生成的光脉冲的状态  $I_4$  由下述式 (10) 给出。

$$I_4 = -1 + e^{i(\pi + \phi)} \quad (10)$$

干涉结果生成的光脉冲的状态  $I_4$  的相位  $\angle D$  由下述式 (11) 给出，其强度  $|I_4|$  由下述式 (12) 给出。

$$\angle D = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{1 + \cos \phi} \right) + \pi \quad (11)$$

$$|I_4| = \sqrt{2(1 + \cos \phi)} \quad (12)$$

在图 6 (D) 中，光脉冲的状态  $I_4$  的相位  $\angle D$  是作为表示光脉冲的状态  $I_4$  的向量  $I_4$  与实轴形成的角度来给出的。然而，相位  $\angle D$  是以实轴的正方向为起点绕左测量的角度。并且，强度  $|I_4|$  给出上述的图 5 (D) 所示的强的光强度的光脉冲 D 强度。

在光脉冲间的光载波相位差是 0 或者与  $\pi$  的偏差量即  $\phi$  ( $0 < \phi \leq \pi$ ) 是 0 的情况下，得到  $|I_2| = |I_3| = 0$ ，弱的光强度的光脉冲 B 和 C 消失，得到  $|I_1| = |I_4| = 2$ ，光脉冲 A 和 D 为具有最大强度的光脉冲。并且，在  $\phi = \pi$  的情况下，得到  $|I_1| = |I_4| = 0$ ，强的光强度的光脉冲 A 和 C 消失，得到  $|I_2| = |I_3| = 2$ ，光脉冲 B 和 C 为具有最大强度的光脉冲。

在图 5 (D) 和 (E) 所示的第 2 复用监视信号 49 和第 3 复用监视信号 51-1 的时间波形是  $\phi = 0$  和  $\pi$  的任意一方的情况下，弱的光强度的光脉冲消失，仅得到强的光强度的光脉冲的光脉冲信号。

图 5 (F) 所示的时间波形是使图 5 (E) 所示的第 3 复用监视信号 51-1 的作为光载波的相位移动  $\pi/2$  后的干涉信号的时间波形。

从式 (2)、(5)、(8) 和 (11) 以及根据图 6 (A) ~ (D) 可以看出，向量  $I_1$  和  $I_2$ 、向量  $I_1$  和  $I_3$ 、向量  $I_2$  和  $I_4$  以及向量  $I_3$  和  $I_4$  分别相互正交。这里，把表示光脉冲的状态  $I_1 \sim I_4$  的向量分别设定为向量  $I_1 \sim I_4$ 。

因此，第 2 复用监视信号 49 和第 3 复用监视信号 51-1 的相位偏移  $90^\circ$  ( $\pi/2$  弧度) 或  $-90^\circ$  ( $-\pi/2$  弧度)。因此，采取以下对策，即：在光载波干涉仪 32 中，使第 3 复用监视信号 51-1 通过  $\pi/2$  移相器 56，从而使其相位延迟  $90^\circ$  ( $\pi/2$  弧度)，生成  $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号 51-2。

其结果，第 2 复用监视信号 49 和  $\pi/2$  相移第 3 复用监视信号 51-2

由第 1 光耦合器 52 合波而生成的第 1 复用监视信号 53 的时间波形为图 5 (G-1) 至 (G-3) 所示的形状。即, 第 1 复用监视信号 53 由强的光强度  $I_a$  的光脉冲和弱的光强度  $I_b$  的光脉冲的 2 种光脉冲构成。光强度  $I_a$  和  $I_b$  根据式 (3)、(6) 和 (9), 由下式 (13) 和 (14) 给出。

$$I_a = \sqrt{2(1+\cos\phi)} + \sqrt{2(1-\cos\phi)} \quad (13)$$

$$I_b = \sqrt{2(1+\cos\phi)} - \sqrt{2(1-\cos\phi)} \quad (14)$$

参照图 7 (A) 和 (B) 对光强度  $I_a$  和  $I_b$  的相位波动  $\phi$  依赖性进行说明。图 7 (A) 和 (B) 是示出复用相位调制信号的强度与相位波动  $\phi$  的关系的图。图 7 (A) 是把第 1 复用监视信号 53 具有的 2 种光脉冲强度 (光强度  $I_a$  和  $I_b$ ) 的各方作为  $\phi$  的函数来给出的图, 图 7 (B) 是给出光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值的图, 横轴表示  $\phi$  的值, 纵轴以任意刻度标示出光强度。即, 该图是把光载波相位差检测信号 35 的强度作为  $\phi$  的函数来给出的图。

如图 7 (A) 所示, 在  $\phi = \pi/2$  弧度 ( $0.5\pi$  弧度) 时光强度  $I_a$  为极大, 光强度  $I_b$  为极小 (极小值是 0)。并且, 如图 7 (B) 所示, 光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值在  $\phi = \pi/2$  弧度 ( $0.5\pi$  弧度) 时取极小值。

第 1 复用监视信号 53 在图 3 所示的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置中, 相当于干涉监视信号 33。从光载波干涉仪 32 所输出的干涉监视信号 33 被输入到干涉信号检测部 34 具有的光电转换器 36 进行光电转换, 作为电干涉信号 37 来输出。当对干涉监视信号 33 进行了光电转换时, 只有由光载波的包络线形成的、且由与干涉复用监视信号的位速率频率相等的光载波的包络线形成的电信号分量生成电干涉信号 37。电干涉信号 37 被输入到低通滤波器 38, 对电干涉信号的交流分量进行时间平均, 从而遮断高频分量, 作为电干涉信号 39 来输出。

构成第 1 复用监视信号 53 的 2 种光脉冲强度的平均值  $((I_a + I_b) / 2)$  也是与从低通滤波器 38 所输出的电干涉信号 39 的时间平均值成正比的值。因此, 电干涉信号 39 是给出图 7 (B) 所示的光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值的高频分量被遮断而生成的反映了光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值的 (与光强度  $I_a$  和  $I_b$  的时间平均值成正比的) 信号。

即，在第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置中的光载波相位差检测部 30 中，生成与光强度  $I_a$  和  $I_b$  的时间平均值成正比的电干涉信号 39。然后，作为直流信号的电干涉信号 39 由强度检测器 40 转换成能驱动后述的光载波相位差控制部的程度的直流信号，生成和输出光载波相位差检测信号 35。由此，可检测构成 OTDM-DPSK 信号 21 的光脉冲间的光载波相位差。

并且，如图 7 (B) 所示，光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值在  $\phi = \pi/2$  弧度 ( $0.5\pi$  弧度) 时取极小值，因而从低通滤波器 38 所输出的电干涉信号 39 的直流电压值在  $\phi = \pi/2$  弧度时为极小。复用相位调制信号的相位波动大小  $\phi$  是  $0 \sim 2\pi$  弧度，然而在 0 的情况下和  $\pi$  的情况下，相邻的光脉冲间的光载波相位差为  $\pi$ ，因而为相同状态的信号。因此，只要  $\phi$  考虑为 0 至  $\pi/2$ ，就能把握所有状态。在  $\phi$  是 0 至  $\pi/2$  时，光载波相位差检测信号 35 在复用相位调制信号的相位波动大小  $\phi$  最小 ( $\phi = 0$ ) 时为最大，在  $\phi$  最大 ( $\phi = \pi/2$  弧度) 时为最小。即，通过把 OTDM-DPSK 信号生成部 38 控制成可生成 OTDM-DPSK 信号 21，以使光载波相位差检测信号 35 的值为最大，可控制以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号 15 和 19 的光载波相位差。

#### [ $2^N$ 复用的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置]

参照图 8 对生成和输出  $2^N$  复用的 OTDM-DPSK 信号 (这里，N 是大于等于 2 的整数) 的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置的结构进行说明。这里，以  $N=2$  的情况，即生成和输出 4 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置为例进行说明，然而即使  $N$  大于等于 3，也是一样。并且，关于动作，由于与上述的生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置相同，因而省略其说明。图 8 是具有光载波相位差检测部的 4 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

OTDM-DPSK 信号生成部 200 在一般把  $N$  设定为大于等于 2 的整数的情况下，具有光分支器、第 1~第  $2^N$  相位调制器、 $(2^N - 1)$  个光耦合器、以及从  $(2^{N-k})$  个 (这里， $k$  是从 1 到  $N$  的所有整数)  $k$  次光时分复用差分相位调制信号分别分支取出  $k$  次监视信号的  $(2^{N-k})$  个  $k$  次监视

信号分支器。因此，在  $N=2$  的情况下，由于  $k$  仅是 1 和 2，因而具有第 1~第  $2^2$  相位调制器（第 1~第 4 相位调制器， $(2^2-1)$  个光耦合器（3 个光耦合器）、2 个（即， $(2^{2-1})$  个= $2^1$  个）1 次监视信号分支器、以及 1 个（即， $(2^{2-2})$  个= $2^0$  个）2 次监视信号分支器。

因此，如图 8 所示，在  $N=2$  的情况下，即 4 复用的第 1 OTDM—DPSK 信号生成装置具有光分支器 212、第 1~第 4 相位调制器 214—1~4、3 个光耦合器 216、220 和 232、2 个 1 次监视信号分支器 218 和 234、以及 1 个 2 次监视信号分支器 222。

光分支器 212 把光脉冲串 211 4 分割成第 1~第 4 光脉冲串 213—1~4。第 1~第 4 相位调制器 214—1~4 分别输入第 1~第 4 光脉冲串 213—1~4，分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1~第 4 信道的 DPSK 信号。第 1~第 4 信道的电信号 243—1~4 分别从第 1~第 4 调制器驱动器 240—1~4 被提供给第 1~第 4 相位调制器 214—1~4。

3 个光耦合器 216、220 和 232 对第 1~第 4 信道的 DPSK 信号进行光时分复用，生成和输出 4 复用的 OTDM—DPSK 信号 223。并且，具有位延迟单元 230，该位延迟单元 230 提供为了对第 1~第 4 信道的各自的差分相位调制信号进行位交织和光时分复用所需要的时间延迟。这里，位延迟单元 230 是指位延迟器 224、226 和 228。位延迟器 224 和 228 是具有附加与构成第 1~第 4 信道的 DPSK 信号的 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间的  $1/2$  相当的时间延迟量的功能的位延迟器。并且，位延迟器 226 是具有附加与构成第 1~第 4 信道的 DPSK 信号的 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间的  $1/4$  相当的时间延迟量的功能的位延迟器。

1 次监视信号分支器有 2 个，是 1 次监视信号分支器 218 和 234。1 次监视信号分支器 218 从对第 1 信道的 DPSK 信号和第 3 信道的 DPSK 信号进行光时分复用而生成的 1 次 OTDM—DPSK 信号分支取出 1 次监视信号 251—1。1 次监视信号分支器 234 从对第 2 信道的 DPSK 信号和第 4 信道的 DPSK 信号进行光时分复用而生成的 1 次 OTDM—DPSK 信号分支取出 1 次监视信号 251—2。2 次监视信号分支器 222 从 2 次 OTDM—DPSK 信号分支取出 2 次监视信号 251—3。

光载波相位差检测部 250 具有光载波干涉仪 244-1~3 和干涉信号检测部 246-1~3, 并生成和输出作为分别构成 1 次和 2 次监视信号 251-1~3 的光脉冲间的光载波相位差的函数而分别给出的光载波相位差检测信号 247-1~3。

### <第 2 实施例>

参照图 9 对第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置的结构及其动作进行说明。图 9 是具有光载波相位差检测部和光载波相位差控制部并具有光载波相位差控制功能的 2 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。

第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部 28、光载波相位差检测部 30 以及光载波相位差控制部 80。其中, OTDM-DPSK 信号生成部 28 和光载波相位差检测部 30 与第 1 OTDM-DPSK 信号生成装置相同, 因而不重复其结构和功能的说明。

光载波相位差控制部 80 具有偏置信号调整器 72, 该偏置信号调整器 72 把第 1 偏置调整信号 73-1 和第 2 偏置调整信号 73-2 分别提供给第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16。并且, 具有第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76, 该第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76 用于将第 1 偏置调整信号 73-1 和第 2 偏置调整信号 73-2 分别耦合附加给从第 1 调制器驱动器 22 和第 2 调制器驱动器 24 分别提供的第 1 和第 2 信道的发送信号。第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76 分别可利用由电容器和电阻构成的被称为偏置 T 的元件。构成第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76 的电容器发挥以下作用, 即: 防止第 1 偏置调整信号 73-1 和第 2 偏置调整信号 73-2 分别被输入到第 1 调制器驱动器 22 和第 2 调制器驱动器 24。

在光载波相位差控制部 80 中, 当光载波相位差检测信号 35 被输入时, 生成用于控制第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16, 以使 OTDM-DPSK 信号 27-1 的波动量 $\phi$ 为 0 的第 1 偏置调整信号 73-1 和第 2 偏置调整信号 73-2。然后, 第 1 偏置调整信号 73-1 和第 2 偏置调整信号 73-2 分别经由第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76 与第 1 和第 2 信

道的发送信号耦合，作为光载波相位差控制信号 75 和 77 被分别提供给第 1 相位调制器 14 和第 2 相位调制器 16。

如上所述，光载波相位差检测信号 35 在复用相位调制信号的相位波动大小 $\phi$ 最小（ $\phi=0$ ）时为最大，在 $\phi$ 最大（ $\phi=\pi/2$  弧度）时为最小。即，可根据从光载波相位差控制部 80 提供给 OTDM-DPSK 信号生成部 28 的光载波相位差控制信号 75 和 77，对 OTDM-DPSK 信号生成部 28 进行反馈控制，以使光载波相位差检测信号 35 的值为最大（波动大小 $\phi$ 为最小）。因此，根据第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置，可控制以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光载波相位差。

#### [ $2^N$ 复用的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置]

参照图 10 对生成和输出  $2^N$ 复用的 OTDM-DPSK 信号（这里， $N$ 是大于等于 2 的整数）的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置的结构进行说明。图 10 是具有光载波相位差检测部和光载波相位差控制部并具有光载波相位差控制功能的 4 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。这里，以  $N=2$  的情况，即生成和输出 4 复用的 OTDM-DPSK 信号的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置为例进行说明，然而即使  $N$  大于等于 3，也是一样。

一般情况下，生成和输出  $2^N$ 复用的 OTDM-DPSK 信号（这里， $N$ 是大于等于 2 的整数）的第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部 200、光载波相位差检测部 250 以及光载波相位差控制部 252 按如下构成。其中，OTDM-DPSK 信号生成部 200 和光载波相位差检测部 250 与参照图 8 所说明的第 1  $2^N$ 复用的 OTDM-DPSK 信号生成装置相同，因而不重复其结构和功能的说明。

光载波相位差控制部 252 具有偏置信号调整器 248 和第 1~第 4 信号耦合器 242-1~4。第 1~第 4 信号耦合器 242-1~4 分别是与上述的第 1 信号耦合器 74 和第 2 信号耦合器 76 相同的结构。第 1~第 4 信号耦合器 242-1~4 将第 1~第 4 偏置调整信号分别耦合附加给从第 1~第 4 调制器驱动器 240-1~4 所输出的第 1~第 4 信道的发送信号 243-1~4，生成和输出光载波相位差控制信号 249-1~4。光载波相位差控制信号

249-1~4 分别被提供给第 1~第 4 相位调制器 214-1~4。

即，由光载波相位差控制部 252 对 OTDM-DPSK 信号生成部 200 进行反馈控制，以使光载波相位差检测信号 247-1~3 的值为最大（波动大小 $\phi$ 为最小），从而可控制由第 1~第 4 相位调制器 214-1~4 所生成和输出的以 DPSK 方式所编码的光脉冲信号的光载波相位差。

### <第 3 实施例>

在第 1 和第 2 实施例的 OTDM-DPSK 信号生成装置中，从光载波相位差检测部所输出的光载波相位差检测信号在 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 最小的状态下取极大值。因此，相对于 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 的变动量的光载波相位差检测信号的变动量大小由于在极值附近，因而不太大。并且，在光载波相位差检测信号的极值附近，光载波相位差检测信号的值减少的情况下，判定不出相位波动大小 $\phi$ 的值是减少还是增大。即，针对光载波相位差检测信号的值的增减，不能判定相位波动大小 $\phi$ 的值的变动方向（增大方向或减少方向）。

因此，对从光载波相位差检测部所输出的光载波相位差检测信号在 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 最小的状态下取极大值的关系进行变更的是第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置。具体地说，采用可生成与 OTDM-DPSK 信号不同的波长的监视信号的结构。即，第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为，在 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 最小的状态下，与 OTDM-DPSK 信号不同的波长的监视信号的值取极大值与极小值之间的值。采用以下结构，即：取代观测光载波相位差检测信号的变动量大小，而观测与 OTDM-DPSK 信号不同的波长的监视信号的变动大小，从而可评价 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 。

因此，如果把光载波相位差检测信号和 OTDM-DPSK 信号设定成在时间轴上偏移的关系，则与 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 为 0 的情况对应的光载波相位差检测信号的变动量大小由于在远离极值的位置而会充分增大。并且，由于与 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 为 0 的情况对应的光载波相位差检测信号的变动量大小在远离极值的位置，因而光载波相位差检测信号的变动处于单调减少或单调增加的任一状

态。因此，对应于 OTDM-DPSK 信号的相位波动大小 $\phi$ 的减少，光载波相位差检测信号的值确定为减少或增加的任意一种。即，针对光载波相位差检测信号的值增减，可判定相位波动大小 $\phi$ 的值的变动方向（增大方向或减少方向）。

#### [结构]

由于采用上述的可生成与 OTDM-DPSK 信号不同的波长的监视信号的结构，因而图 11 所示的第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置构成为具有 OTDM-DPSK 信号生成部 90 和光载波相位差检测部 96，然而 OTDM-DPSK 信号生成部 90 的结构与上述的第 1 和第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置不同。

OTDM-DPSK 信号生成部 90 具有 WDM 耦合器 92、光分支器 112、第 1 相位调制器 114、第 2 相位调制器 116、位延迟器 118、光耦合器 120、以及 WDM 分波器 94。WDM 耦合器 92 将波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 91 和波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99 合波来生成多波长光脉冲串 93 进行输出。这里， $\lambda_1 \neq \lambda_2$ 。光分支器 112 把多波长光脉冲串 93 2 分割成第 1 多波长光脉冲串 113-1 和第 2 多波长光脉冲串 113-2。

第 1 相位调制器 114 和第 2 相位调制器 116 分别输入第 1 多波长光脉冲串 113-1 和第 2 多波长光脉冲串 113-2，分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 信道的 DPSK 信号 115 和第 2 信道的 DPSK 信号 117。位延迟器 118 把 1/2 位时间延迟赋予给所输入的 DPSK 信号 117，生成 DPSK 信号 119 来输出。DPSK 信号 119 被输入到光耦合器 20。第 1 信道的 DPSK 信号 115 和第 2 信道的 DPSK 信号 117 全都包含有波长是 $\lambda_1$ 的信号分量和波长是 $\lambda_2$ 的信号分量。

光耦合器 120 对 DPSK 信号 115 和 DPSK 信号 119 进行光时分复用，生成和输出 2 复用的 OTDM-DPSK 信号 121。WDM 分波器 94 执行作为监视信号分支器的功能，即：把 2 复用的 OTDM-DPSK 信号 121 波长分割成波长是 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 和波长是 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2。

光载波相位差检测部 96 生成和输出作为构成波长是 $\lambda_2$ 的监视信号

95-2 的光脉冲间的光载波相位差的函数而给出的光载波相位差检测信号 135。

生成和输出光载波相位差检测信号 135 的光载波相位差检测部 96 具有光载波干涉仪 132 和干涉信号检测部 134。光载波干涉仪 132 输入监视信号 95-2, 把通过根据构成监视信号 95-2 的光脉冲间的光载波相位差来调制监视信号的强度而生成的干涉光作为干涉监视信号 133 来输出。干涉信号检测部 134 输入干涉监视信号 133, 生成光载波相位差检测信号 135 来输出。

由于干涉信号检测部 134 的结构与上述的第 1 和第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的干涉信号检测部 34 相同, 因而省略对其结构和动作的说明。

#### [动作]

在波长是 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2 被输入到光载波相位差检测部 96, 并生成和输出光载波相位差检测信号 135 之前的光载波相位差检测部 96 中的信号处理过程与上述的第 1 和第 2 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的光载波相位差检测部 30 中的过程相同。即, 从光载波干涉仪 132 所输出的干涉监视信号 133 与图 4 所示的第 1 复用监视信号 53 对应, 由强的光强度  $I_a$  的光脉冲和弱的光强度  $I_b$  的光脉冲的 2 种光脉冲构成。然后, 光强度  $I_a$  和  $I_b$  由上述的式 (13) 和 (14) 给出。然而, 与第 1 复用监视信号 53 对应的干涉监视信号 133 是与 OTDM-DPSK 信号 (波长是 $\lambda_1$ ) 不同的波长 ( $\lambda_2$ )。

对于监视信号 95-2, 根据从波长 $\lambda_2$ 的脉冲光源 98 所提供的波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99, 由第 1 相位调制器 114、第 2 相位调制器 116 以及位延迟器 118 所生成的波长是 $\lambda_2$ 的 OTDM-DPSK 信号是由 WDM 分波器 94 分支获得的信号。因此, 在以下说明中, 干涉监视信号 133 可以考虑为与图 3 所示的干涉复用监视信号 33 相同的信号。然而, 波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 和波长 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2 在分配有 1/2 位的时间轴上的时隙位置发生偏移。

这样为了使两者的时隙位置错开, 当把波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 91 和波

长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99 的两者输入到 WDM 耦合器 92 时, 只要使波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 91 和波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99 的两者的时隙位置错开即可。理想的是, 可以调整把波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 91 和波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99 输入到 WDM 耦合器 92 的定时, 以使在波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 91 的相邻的时隙的中间存在波长是 $\lambda_2$ 的光脉冲串 99 的时隙。

参照图 12 和图 13 对光载波相位差检测信号 135 进行说明。波长是 $\lambda_2$ 的干涉监视信号 133 由 2 种强度的光脉冲构成, 将给出该 2 种强度的光脉冲强度的平均值  $((I_a + I_b) / 2)$  的高频分量遮断而生成的反映了光强度  $I_a$  和  $I_b$  的平均值的 (与光强度  $I_a$  和  $I_b$  的时间平均值成正比的) 信号是光载波相位差检测信号 135。图 12 是示出把波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号具有的 2 种光脉冲强度的平均值作为 $\phi$ 的函数来给出的曲线 (以下, 有时也称为“曲线 $\lambda_1$ ”) 和把波长 $\lambda_2$ 的干涉监视信号 133 具有的 2 种光脉冲强度的平均值作为 $\phi$ 的函数来给出的曲线 (以下, 有时也称为“曲线 $\lambda_2$ ”) 的图。即, 曲线 $\lambda_2$ 是把干涉监视信号 133 具有的 2 种光脉冲强度 ( $I_a$  和  $I_b$ ) 的平均值  $((I_a + I_b) / 2)$  作为 $\phi$ 的函数来给出的图, 图 13 是图 12 的 $\phi = 0$  的附近的放大图。在图 12 和图 13 中, 横轴表示 $\phi$ 的值, 纵轴以任意刻度标示出光强度。

在图 12 中, 表示为 $\lambda_1$ 的曲线是与把图 7 (B) 所示的干涉复用监视信号具有的 2 种光脉冲强度的平均值作为 $\phi$ 的函数来给出的曲线相当的曲线。由于使波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 和波长 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2 在时间轴上的位置错开, 因而曲线 $\lambda_2$ 相对于曲线 $\lambda_1$ 在横轴方向偏移。

将 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2 相对于波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 错开, 以使波长 $\lambda_2$ 的监视信号 95-2 在分配有 1 位的时间轴上的时隙被分配给波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 的相邻时隙的正中间, 从而可进行如下。即, 可构成为, 在波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 的相位波动大小 $\phi$ 最小的状态下, 光载波相位差检测信号 135 的值取极大值与极小值之间的值。

从图 12 可以看出, 在波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 具有的 2 种光脉冲强度的平均值为极大的 $\phi = 0$  的位置, 在给出波长 $\lambda_2$ 的干涉监视

信号 133 具有的 2 种光脉冲强度的平均值的曲线中, 偏离极大值。图 13 将图 12 中的曲线 $\lambda_1$ 取极大的 $\phi=0$ 的附近放大示出。在曲线 $\lambda_1$ 中, 在 $\phi=0$ 的附近相对于 $\phi$ 的值的微小变动量 $\pm\Delta\phi$ 的 2 种光脉冲强度的平均值的变动量 $\Delta I_1$ 如图 13 所示非常小。相比之下, 在曲线 $\lambda_2$ 中, 相对于 $\phi$ 的值的微小变动量 $+\Delta\phi$ 和 $-\Delta\phi$ 的 2 种光脉冲强度的平均值的变动量 $\Delta I_2$ 分别是 $+\Delta I_2$ 和 $-\Delta I_2$ 。曲线 $\lambda_2$ 中的变动量 $\Delta I_2$ 充分大于曲线 $\lambda_1$ 中的变动量 $\Delta I_1$ 。而且在曲线 $\lambda_2$ 中, 针对 $\phi$ 的值的微小变动量 $+\Delta\phi$ 和 $-\Delta\phi$ 的各方, 变动量 $\Delta I_2$ 分别与 $+\Delta I_2$ 和 $-\Delta I_2$ 符号不同。

因此, 在光载波相位差检测信号的极值附近(波长 $\lambda_1$ 的 OTDM-DPSK 信号 95-1 具有的 2 种光脉冲强度的平均值为极大的 $\phi=0$ 的位置), 光载波相位差检测信号的值减少的情况下, 相位波动大小 $\phi$ 的值是减少还是增大的判定可根据上述的变动量 $\Delta I_2$ 的符号来进行。

#### <第 4 实施例>

第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置具有 OTDM-DPSK 信号生成部 400 和作为光载波相位差检测部的干涉信号检测部 134, OTDM-DPSK 信号生成部 400 的结构与第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置不同。并且, 无需设置光载波干涉仪。取代第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置的 OTDM-DPSK 信号生成部 90 中的光耦合器 120 和 WDM 分波器 94, 而使用兼有两者的功能的复合型光合波/分波器 142, 按以下构成 OTDM-DPSK 信号生成部 400, 从而可减少构成 OTDM-DPSK 信号生成部 400 的部件数量, 并且无需另行设置光载波干涉仪, 因而可降低用于形成装置的成本。

#### [结构]

参照图 14、图 15 (A) 和 (B) 对第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置的结构进行说明。图 14 是光合波/分波器由复合型光合波/分波器构成的具有光载波相位差检测部的第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置的概略框结构图。图 15 (A) 和 (B) 是用于对光合波/分波器由复合型光合波/分波器构成的具有光载波相位差检测部的 OTDM-DPSK 信号生成装置中的波长是 $\lambda_2$ 的监视信号的生成过程进行说明的图。(A) 是示出 OTDM-DPSK

DPSK 信号生成部的概略以及复合型光合波/分波器的结构的图, (B) 是用于对根据复合型光合波/分波器中的第 1 信道的 DPSK 信号和第 2 信道的 DPSK 信号来生成波长是 $\lambda_2$ 的监视信号的过程进行说明的图。

OTDM-DPSK 信号生成部 400 具有 WDM 耦合器 92、光分支器 112、第 1 相位调制器 114、第 2 相位调制器 116、位延迟器 118、以及复合型光合波/分波器 142。由于 OTDM-DPSK 信号生成部 400 具有的 WDM 耦合器 92、光分支器 112、第 1 相位调制器 114、第 2 相位调制器 116 以及位延迟器 118 与第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置中的 OTDM-DPSK 信号生成部 90 相同, 因而附上同一编号示出。然而, OTDM-DPSK 信号生成部 400 的结构与第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置中的 OTDM-DPSK 信号生成部 90 的不同是具有复合型光合波/分波器 142 等, 而且由 OTDM-DPSK 信号生成部 400 所处理的信号与由第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置中的 OTDM-DPSK 信号生成部 90 所处理的信号不同, 因而附上不同编号, 将第 3 和第 4 OTDM-DPSK 信号生成装置中的信号分别加以区别。

WDM 耦合器 92 将波长是 $\lambda_1$ 的光脉冲串 101 和波长是 $\lambda_2$ 的连续波光 145 合波来生成多波长光脉冲串 193 进行输出。光分支器 112 把多波长光脉冲串 193 2 分割成第 1 多波长光脉冲串 413-1 和第 2 多波长光脉冲串 413-2。第 1 相位调制器 114 和第 2 相位调制器 116 分别输入第 1 多波长光脉冲串 413-1 和第 2 多波长光脉冲串 413-2, 分别生成和输出以 DPSK 方式所编码的第 1 信道的 DPSK 信号 415 和第 2 信道的 DPSK 信号 417。另外, 第 2 多波长光脉冲串 413-2 由反射镜 238 反射而输入到第 2 相位调制器 116。第 1 信道的 DPSK 信号 415 和第 2 信道的 DPSK 信号 417 全都包含有波长是 $\lambda_1$ 的信号分量和波长是 $\lambda_2$ 的信号分量。

位延迟器 118 把 1/2 位时间延迟赋予给所输入的第 2 信道的 DPSK 信号 417, 生成 DPSK 信号 419 来输出。位延迟器 118 把为了对第 1 信道的 DPSK 信号 415 和第 2 信道的 DPSK 信号 417 进行位交织和光时分复用所需要的时间延迟赋予给第 2 信道的 DPSK 信号 417。该时间延迟量是与构成第 2 信道的 DPSK 信号 417 的 1 个光脉冲在时间轴上所占的时间

的  $1/2$  相当的时间延迟量。第 1 信道的 DPSK 信号 415 和第 2 信道的 DPSK 信号 419 分别由反射镜 236 和 238 反射而输入到复合型光合波/分波器 142。

复合型光合波/分波器 142 如图 15 (B) 所示, 具有第 1 半透镜 260、第 2 半透镜 262、第 3 半透镜 264、 $1/4$  波长板 268 以及第 4 半透镜 270。第 2 半透镜 262 设置在将入射到第 1 半透镜 260 上的入射光反射输出的第 1 半透镜 260 的输出侧。第 3 半透镜 264 设置在将入射到第 1 半透镜 260 上的入射光透射输出的第 1 半透镜 260 的输出侧。 $1/4$  波长板 268 设置在将入射到第 3 半透镜 264 上的入射光反射输出的第 3 半透镜 264 的输出侧。第 4 半透镜 270 设置在由第 2 半透镜 262 反射而从第 2 半透镜 262 输出的反射光与由第 3 半透镜 264 反射而从第 3 半透镜 264 输出的反射光产生干涉的位置。

第 2 半透镜 262 是 WDM 分波器, 使波长  $\lambda_1$  的入射光透射, 使波长  $\lambda_2$  的入射光反射。第 3 半透镜 264 是 WDM 分波器, 使波长  $\lambda_1$  的入射光透射, 使波长  $\lambda_2$  的入射光反射。

复合型光合波/分波器 142 分别输入 DPSK 信号 415 和 DPSK 信号 419 并对这些信号进行光时分复用, 生成和输出波长  $\lambda_1$  的 2 复用的 OTDM—DPSK 信号 443—1, 并生成和输出波长  $\lambda_2$  的干涉监视信号 271—1 (443—2)。

干涉信号检测部 134 是与第 1 和第 2 OTDM—DPSK 信号生成装置具有的干涉信号检测部 34 相同的结构, 并输入波长  $\lambda_2$  的干涉监视信号 443—2, 输出光载波相位差检测信号 235。

#### [动作]

参照图 15 和图 16 对第 4 OTDM—DPSK 信号生成装置的动作进行说明。图 16 (A) ~ (F-3) 所示的时间波形是示出第 4 OTDM—DPSK 信号生成装置的特别是复合型光合波/分波器 142 的各处的光信号的时间波形的图, 分别是示出 (A) 波长是  $\lambda_2$  的第 1 信道的 DPSK 信号、(B) 把 1 位时间延迟赋予给第 2 信道的 DPSK 信号而生成的第 2 信道的 DPSK 信号、(C) 第 (2—2) 信号的时间波形、(D) 第 (3—2) 信号的时间波

形、(E)第(3-2)相位差附加信号的时间波形、(F)第(4-1)信号的时间波形,即(F-1)在 $\phi=0$ 或者 $\phi=\pi$ 的情况下的第(4-1)信号、(F-2)在 $\phi=\pi/4$ 或者 $\phi=3\pi/4$ 的情况下的第(4-1)信号、以及(F-3)在 $\phi=\pi/2$ 的情况下的第(4-1)信号的时间波形的图。图16(C)~(E)所示的A、B、C和D分别意味着上述的 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$ 、 $\angle D$ 。

由于波长 $\lambda_1$ 的2复用的OTDM-DPSK信号443-1是仅通过了复合型光合波/分波器142的信号,因而与从第3 OTDM-DPSK信号生成装置的WDM光分波器94所输出的波长是 $\lambda_1$ 的OTDM-DPSK信号95-1相同。

波长是 $\lambda_2$ 的第1信道的DPSK信号415和把1/2位时间延迟赋予给第2信道的DPSK信号417而生成的第2信道的DPSK信号419分别具有图16(A)和(B)所示的时间波形。波长是 $\lambda_2$ 的信号由于是根据从波长 $\lambda_2$ 的连续波光源144所提供的连续波光而生成的信号,因而不是图5(A)~(G-3)所示的脉冲信号,而是直流信号。在图16(A)~(F-3)中,虚线表示信号强度0的水准,实线与虚线的间隔表示信号强度。

DPSK信号415和DPSK信号419首先被输入到复合型光合波/分波器142的第1半透镜260。由第1半透镜260的反射面反射的光的相位偏移 $\pi/2$ 。因此,在DPSK信号419透射第1半透镜260的反射面,并且DPSK信号415由第1半透镜260的反射面反射而使其相位偏移了 $\pi/2$ 的状态下,两者被合波而作为第(1-2)信号261-2被输入到第2半透镜262。第2半透镜262是WDM光合波/分波器,使波长 $\lambda_1$ 的信号分量透射,使波长 $\lambda_2$ 的信号分量反射。因此,输入到第2半透镜262的第(1-2)信号261-2中,波长是 $\lambda_1$ 的信号分量即第(1-2)透射信号443-1被透射,波长是 $\lambda_2$ 的信号分量即第(2-2)信号263被反射,分别被输出。第(2-2)信号263当从第2半透镜262输出时,被输入到第4半透镜270。

第3半透镜264也是WDM光合波/分波器,使波长 $\lambda_1$ 的信号分量透射,使波长 $\lambda_2$ 的信号分量反射。因此,输入到第3半透镜264的第(1-1)信号261-1中,波长是 $\lambda_1$ 的信号分量即透射分量265-1被透射,波长是 $\lambda_2$ 的信号分量即第(3-2)信号265-2被反射,分别被输出。其中,

透射分量 265-1 照原样被废弃。

输入到第 2 半透镜 262 并由其反射面反射而生成的第 (2-2) 信号 263 的时间波形是图 16 (C) 所示的时间波形。并且, 由第 1 半透镜 260 的反射面合波而生成的第 (1-1) 信号 261-1 由第 3 半透镜 264 的反射面反射后的第 (3-2) 信号 265-2 的时间波形是图 16 (D) 所示的时间波形。

第 (3-2) 信号 265-2 通过  $1/4$  波长板 268, 从而被附加  $\pi/2$  的相位差, 生成第 (3-2) 相位差附加信号 267 来输出。第 (3-2) 相位差附加信号 267 的时间波形是图 16 (E) 所示的时间波形。第 (2-2) 信号 263 和第 (3-2) 相位差附加信号 267 由第 4 半透镜 270 合波, 作为第 (4-1) 信号 271-1 来输出。并且, 第 (2-2) 信号 263 和第 (3-2) 相位差附加信号 267 由第 4 半透镜 270 合波, 作为第 (4-2) 信号 271-2 来输出, 然而这些信号被废弃。

第 (4-1) 信号 271-1 的时间波形在相位波动  $\phi$  的值是 0 或  $\pi$  的情况下, 是图 16 (F-1) 所示的时间波形, 在  $\phi$  的值是  $\pi/4$  或者  $3\pi/4$  的情况下, 是图 16 (F-2) 所示的时间波形, 在  $\phi$  的值是  $\pi/2$  的情况下, 是图 16 (F-3) 所示的时间波形。即, 第 (4-1) 信号 271-1 的时间波形根据相位波动  $\phi$  的值而如图 16 (F-1) ~ (F-3) 所示那样变化, 因而利用第 (4-1) 信号 271-1 可监视相位波动  $\phi$  的值。由于第 (4-1) 信号 271-1 对应于图 14 所示的波长  $\lambda_2$  的干涉监视信号 443-2, 因而可把第 (4-1) 信号 271-1 输入到干涉信号检测部 134, 生成和输出光载波相位差检测信号 235。

#### <使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪>

作为第 1~第 3 实施例的第 1~第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的光载波干涉仪, 上述结构如参照图 4 所说明的那样, 是由平面光波导 (PLC: Planar Lightwave Circuit) 形成的光波导型的干涉仪。由 PLC 形成的光载波干涉仪具有能大量廉价生成的特长。然而, 当以少量生产为前提时, 由 PLC 形成的光载波干涉仪的单价增高。

因此, 假定少量生产 OTDM-DPSK 信号生成装置的情况, 参照图

17 (A) 和 (B) 对能以低成本少量生产的利用体光学元件而形成的光载波干涉仪的例子 (使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪) 进行说明。图 17 (A) 和 (B) 是使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的概略结构图。

(A) 是从斜上方观察使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的透视图, (B) 是从上方观察使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的平面图。

使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪构成为具有第 1 半透镜 280、1/4 波长板 282、第 2 半透镜 284、第 1 1/2 位延迟器 286、第 1 相位微调整元件 288、第 1 全反射镜 290、第 2 全反射镜 292、第 3 半透镜 294、第 2 1/2 位延迟器 296、第 2 相位微调整元件 298、第 3 全反射镜 300 以及第 4 全反射镜 302。

朝入射到第 1 半透镜 280 上的输入信号透射的方向依次串联配置有第 1 半透镜 280、1/4 波长板 282、第 2 半透镜 284、第 1 1/2 位延迟器 286、第 1 相位微调整元件 288 以及第 1 全反射镜 290。并且, 朝入射到第 1 半透镜 280 上的输入信号反射的方向依次串联配置有第 1 半透镜 280、第 3 半透镜 294、第 2 1/2 位延迟器 296、第 2 相位微调整元件 298 以及第 3 全反射镜 300。第 2 全反射镜 292 设置在透射第 1 半透镜 280 的信号光由第 2 半透镜 284 反射输出的侧的面上。第 4 全反射镜 302 设置在由第 1 半透镜 280 反射的信号光由第 3 半透镜 294 反射输出的侧的面上。

通过了光隔离器 276 的输入信号 277 被输入到第 1 半透镜 280, 被分支成第 1 光信号 281-1 和第 2 光信号 281-2。这里, 作为输入信号 277, 假定了 OTDM-DPSK 信号。第 1 光信号 281-1 和第 2 光信号 281-2 的时间波形分别是图 5 (A) 和 (B) 所示的时间波形。

第 1 光信号 281-1 是透射第 1 半透镜 280 的光信号, 当从第 1 半透镜 280 输出时, 通过 1/4 波长板 282 而被输入到第 2 半透镜 284, 被分支成第 (1-1) 光信号 285-1 和第 (1-2) 光信号 285-2。第 (1-1) 光信号 285-1 透射第 2 半透镜 284, 通过第 1 1/2 位延迟器 286 和第 1 相位微调整元件 288, 由第 1 全反射镜 290 反射, 再次通过第 1 相位微调整元件 288 和第 1 1/2 位延迟器 286, 返回到第 2 半透镜 284。

另一方面, 第 (1-2) 光信号 285-2 由第 2 全反射镜 292 反射而返

回到第2半透镜284。在第2半透镜284中,由第1全反射镜290反射而返回的第(1-1)光信号285-1和由第2全反射镜292反射的第(1-2)光信号285-2在第2半透镜284的反射面上产生干涉。

第(1-1)光信号285-1由于2次通过第1 1/2位延迟器286,因而在相对于第(1-2)光信号285-2延迟了1位的状态下产生干涉。并且,第(1-1)光信号285-1由于在第1相位微调整元件288中往返,因而作为光信号的光载波的相位相对于第(1-2)光信号285-2延迟 $\pi$ 。由第1全反射镜290和第2全反射镜292分别反射而返回到第2半透镜284的第(1-1)光信号285-1和第(1-2)光信号285-2产生干涉而生成第3光信号285-3,从第2半透镜284被输出。

由第1半透镜280分支而生成的第2光信号281-2被输入到第3半透镜294,被分支成第(2-1)光信号303-1和第(2-2)光信号303-2。第(2-1)光信号303-1是透射第3半透镜294的光信号。第(2-1)光信号303-1通过第2 1/2位延迟器296和第2相位微调整元件298,由第3全反射镜300反射,再次通过第2相位微调整元件298和第2 1/2位延迟器296,返回到第3半透镜294。第(2-2)光信号303-2是由第3半透镜294反射的光信号。第(2-2)光信号303-2由第4全反射镜302反射,返回到第3半透镜294。

第(2-1)光信号303-1由于在第2 1/2位延迟器296和第2相位微调整元件298中往返,因而在第3半透镜294中,在相对于第(2-2)光信号303-2延迟了1位的状态下产生干涉。并且,第(2-1)光信号303-1由于在第2相位微调整元件298中往返,因而在第3半透镜294中,作为光信号的光载波的相位与第(2-2)光信号303-2同相位。由第3全反射镜300和第4全反射镜302分别反射而返回到第3半透镜294的第(2-1)光信号303-1和第(2-2)光信号303-2通过干涉而生成第4光信号303-3,从第3半透镜294被输出。

第3光信号285-3从第2半透镜284被输出后,通过1/4波长板282,从而作为该光信号的光载波的相位延迟 $\pi/2$ ,被输入到第1半透镜280。作为光信号的光载波的相位延迟了 $\pi/2$ 的第3光信号285-3在第1半透

镜 280 中与第 4 光信号 303-3 产生干涉而作为干涉信号 281-3 从第 1 半透镜 280 被输出。

对构成使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的构成要素与构成图 4 所示的光载波干涉仪的构成要素的对应关系进行说明。两者的构成要素的对应关系如下所述。即，第 1 半透镜 280 发挥兼有图 4 所示的光载波干涉仪的第 1 光分支器 42 和第 1 光耦合器 52 的功能。第 2 半透镜 284 发挥兼有图 4 所示的光载波干涉仪的第 3 光分支器 46 和第 3 光耦合器 50 的功能。第 3 半透镜 294 发挥兼有图 4 所示的光载波干涉仪的第 2 光分支器 44 和第 2 光耦合器 48 的功能。

根据上述的构成使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的构成要素与构成图 4 所示的光载波干涉仪的构成要素的对应关系，从第 1 半透镜 280 所输出的干涉信号 281-3 的时间波形等同于上述的图 5 (G-1) ~ (G-3)。即知道，干涉信号 281-3 是与图 4 所示的第 1 复用监视信号 53 同等的光信号，是与从第 1~第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的光载波干涉仪所输出的干涉监视信号相同的光信号。

设置在使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的输入侧的光隔离器 276 发挥从光载波干涉仪遮断反射光的作用。根据使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪，可实现与上述的第 1~第 3 实施例的第 1~第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的使用 PLC 的光载波干涉仪相同的功能。即，根据使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪，可根据监视信号生成和输出第 1 复用监视信号。

#### <使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪>

上述的使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的形状大。当光载波干涉仪的形状大时，为了将温度保持均匀且恒定而需要高级技术。当光载波干涉仪的温度变化时，构成光载波干涉仪的波长板等的体光学元件的折射率变动，作为光载波干涉仪，不能保障按照设计的动作。

因此，提供小型、可实现光载波干涉仪的功能的使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪。参照图 18 (A) 和 (B) 对使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的结构及其动作进行说明。图 18 (A) 和 (B) 是使用第 2 体

光学元件的光载波干涉仪的概略结构图，图 18 (A) 是从斜上方观察使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的透视图，图 18 (B) 是从上方观察使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的平面图。

使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪构成为具有偏光镜 310、半透镜 312、1/2 位延迟器 316、第 1 全反射镜 318、第 1 单轴性晶体 320、第 2 全反射镜 322、第 2 单轴性晶体 324 以及检偏镜 326。

朝入射到半透镜 312 上的输入信号透射的方向依次串联配置有偏光镜 310、半透镜 312、第 1 单轴性晶体 320 以及第 2 全反射镜 322。并且，从入射到半透镜 312 上的输入信号光被反射输出的半透镜 312 的输出端面 312-1 开始依次配置有 1/2 位延迟器 316 和第 1 全反射镜 318。并且，从与入射到半透镜 312 上的输入信号光被反射输出的半透镜 312 的输出端面 312-1 相反侧的端面 312-2 开始依次配置有第 2 单轴性晶体 324 和检偏镜 326。

作为第 1 单轴性晶体 320 的晶体轴，可利用例如由晶体板形成的 1/2 波长板。设光的波长为  $\lambda$ ，晶体对正常光线和异常光线的折射率差为  $\Delta n$ ，以及  $m$  为整数，则第 1 单轴性晶体 320 在光行进方向上的厚度  $d$  由下式 (15) 给出。

$$\frac{\Delta n \cdot d}{\lambda} = m + \frac{1}{2} \quad (15)$$

并且，第 2 单轴性晶体 324 也与上述的第 1 单轴性晶体 320 同样配置，而且可利用发挥相同功能的 1/2 波长板。

参照图 18 和图 19 (A) ~ (C) 对使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的动作进行说明。图 19 (A) ~ (C) 是用于对使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪的动作进行说明的图。图 19 (A) 是对在第 1 路径上行进的第 1 分支信号的偏光状态进行说明的图，图 19 (B) 是对在第 2 路径上行进的第 2 分支信号的偏光状态进行说明的图。图 19 (C) 是对在第 1 路径上行进的第 1 分支信号和在第 2 路径上行进的第 2 分支信号干涉而生成的干涉信号的偏光状态进行说明的图。把光 (信号) 的行进方向取为  $z$  轴示出。在被附给第 1 单轴性晶体 320 和第 2 单轴性晶体 324

的线段的两端附上箭头的记号表示晶体轴的方向。并且，在被附给检偏镜 326 的线段的两端附上箭头的记号表示要透射的光的电场向量的振动方向。

输入信号 311 通过偏光镜 310 而生成直线偏光来输出，被输入到半透镜 312，被分支成第 1 分支信号 311-1 和第 2 分支信号 311-2。这里，作为输入信号 311，假定了 OTDM-DPSK 信号。

第 1 分支信号 311-1 是在第 1 路径上传播的信号。第 1 路径是从半透镜 312 的反射面通过 1/2 位延迟器 316 而由第 1 全反射镜 318 反射，再次通过 1/2 位延迟器 316 而到达半透镜 312 的反射面的路径。

第 1 分支信号 311-1 如图 19 (A) 所示，由于通过 1/2 位延迟器 316 而受到 1/2 位的延迟，由第 1 全反射镜 318 反射。由第 1 全反射镜 318 反射的第 1 分支信号 311-1 由于再次通过 1/2 位延迟器 316 而再次受到 1/2 位的延迟，作为受到合计 1 位的延迟的信号，即第 1 反射信号 315 而到达半透镜 312 的反射面。

图 19 (A) 概略示出在第 1 路径上行进的第 1 分支信号 311-1 在第 1 路径上传播而生成第 1 反射信号 315，到达半透镜 312 的反射面之前的作为光载波的电场向量的振动（作为正弦波的光波）。假定包含相位波动  $\phi$ 。由于第 1 反射信号 315 不通过 1/2 波长板，因而正交的偏光分量之间的相位差为 0。

另一方面，第 2 分支信号 311-2 是在第 2 路径上传播的信号。第 2 路径是透射半透镜 312 的反射面，通过第 1 单轴性晶体 320 (1/2 波长板) 而由第 2 全反射镜 322 反射，再次通过第 1 单轴性晶体 320 而到达半透镜 312 的反射面的路径。第 2 分支信号 311-2 如图 19 (B) 所示，由于在第 1 单轴性晶体 320 上往返而作为第 2 反射信号 321 到达半透镜 312 的反射面时，与 x 轴方向形成  $45^\circ$  的偏光分量和与 y 轴方向形成  $45^\circ$  的偏光分量产生  $\pi$  的相位差。在图 19 (B) 和 (C) 中，用虚线表示第 2 反射信号 321 的电场向量的振动状况，以便容易与图 19 (A) 所示的第 1 反射信号 315 的电场向量的振动状况加以区别。

第 1 反射信号 315 和第 2 反射信号 321 在半透镜 312 的反射面产生

干涉，生成干涉信号 317，被输入到第 2 单轴性晶体 324。此时，第 1 反射信号 315 和第 2 反射信号 321 在各自的振动方向相等的分量之间产生干涉。

与第 1 单轴性晶体 320 的晶体轴垂直的分量根据图 5 (A) 和 (B) 所示的关系产生干涉，从而获得具有图 5 (D) 所示的时间波形的干涉信号。并且，与第 1 单轴性晶体 320 的晶体轴垂直的分量根据图 5 (A) 和 (C) 所示的关系产生干涉，从而获得具有图 5 (E) 所示的时间波形的干涉信号。第 1 单轴性晶体 320 的晶体轴被调整成与干涉信号 317 的偏光方向平行，并且与垂直于该方向的方向的偏光分量的相位差为 $\pi/2$ （往返为 $\pi$ ）。

干涉信号 317 还由于通过检偏镜 326，因而与第 1 单轴性晶体 320 的晶体轴平行的分量和垂直的分量相互干涉而生成干涉信号 327 来输出。干涉信号 327 的时间波形等同于上述的图 5 (G-1) ~ (G-3)。即，干涉信号 327 是与图 4 所示的第 1 复用监视信号 53 同等的光信号，是与从第 1~第 3 OTDM-DPSK 信号生成装置具有的光载波干涉仪所输出的干涉监视信号相同的光信号。即，根据使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪，可根据监视信号生成和输出第 1 复用监视信号。

根据使用第 2 体光学元件的光载波干涉仪，半透镜只需一个半透镜 312 即可，能以比构成使用第 1 体光学元件的光载波干涉仪的部件数量少的部件实现同等的功能，可实现小型化。

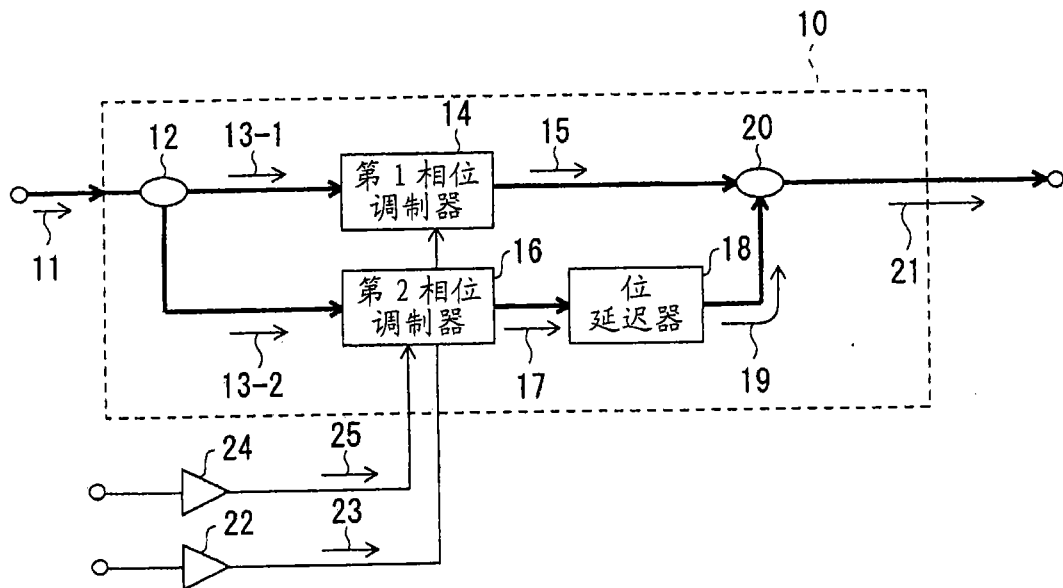


图 1

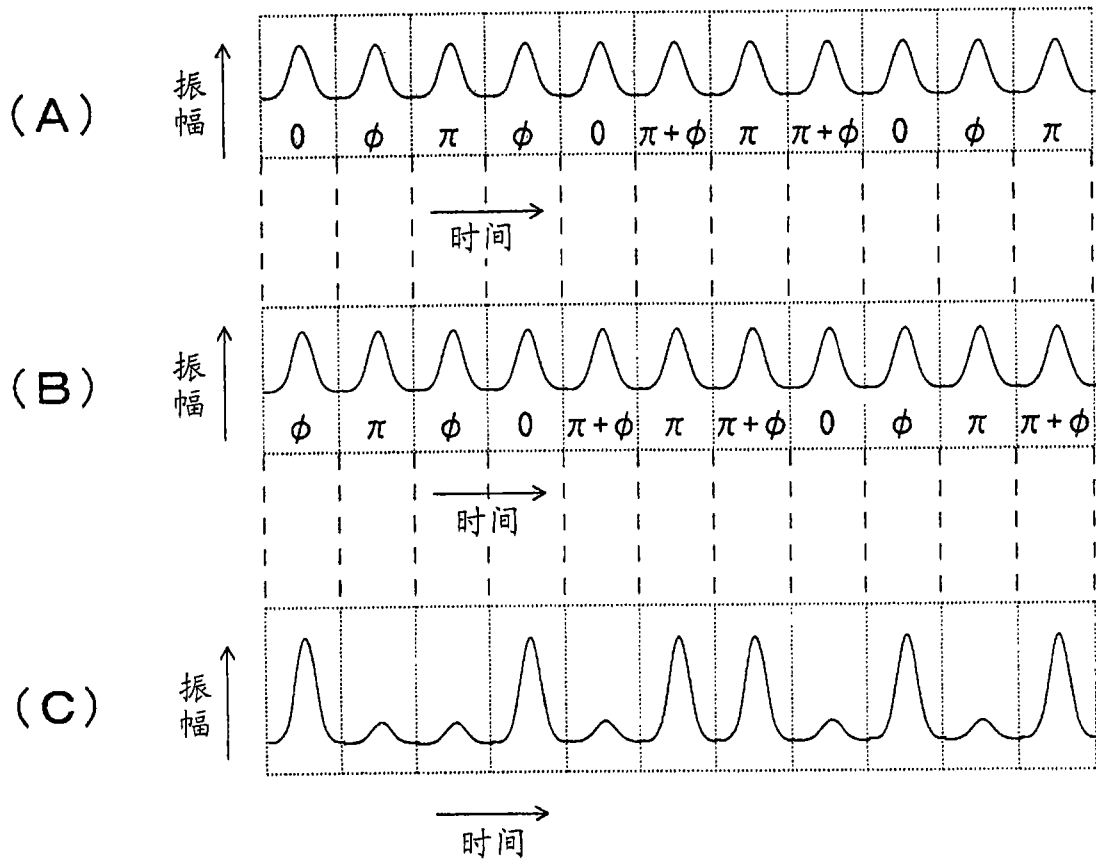


图 2

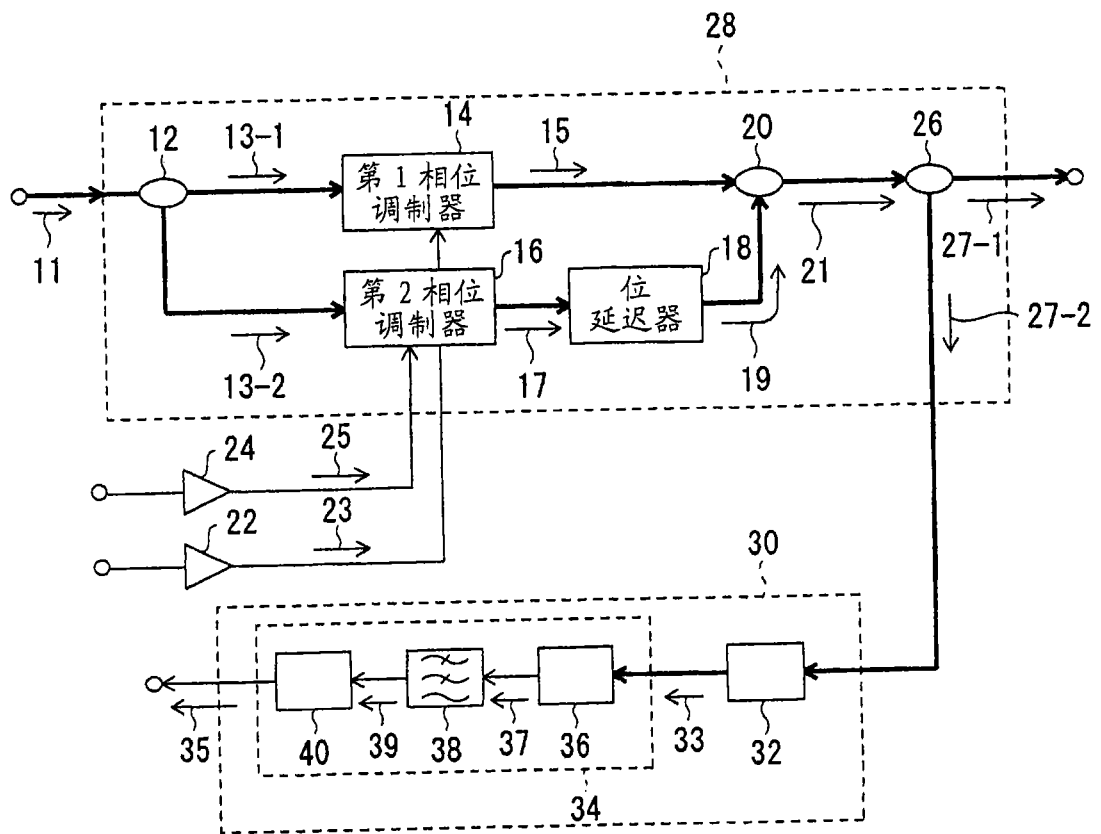


图 3

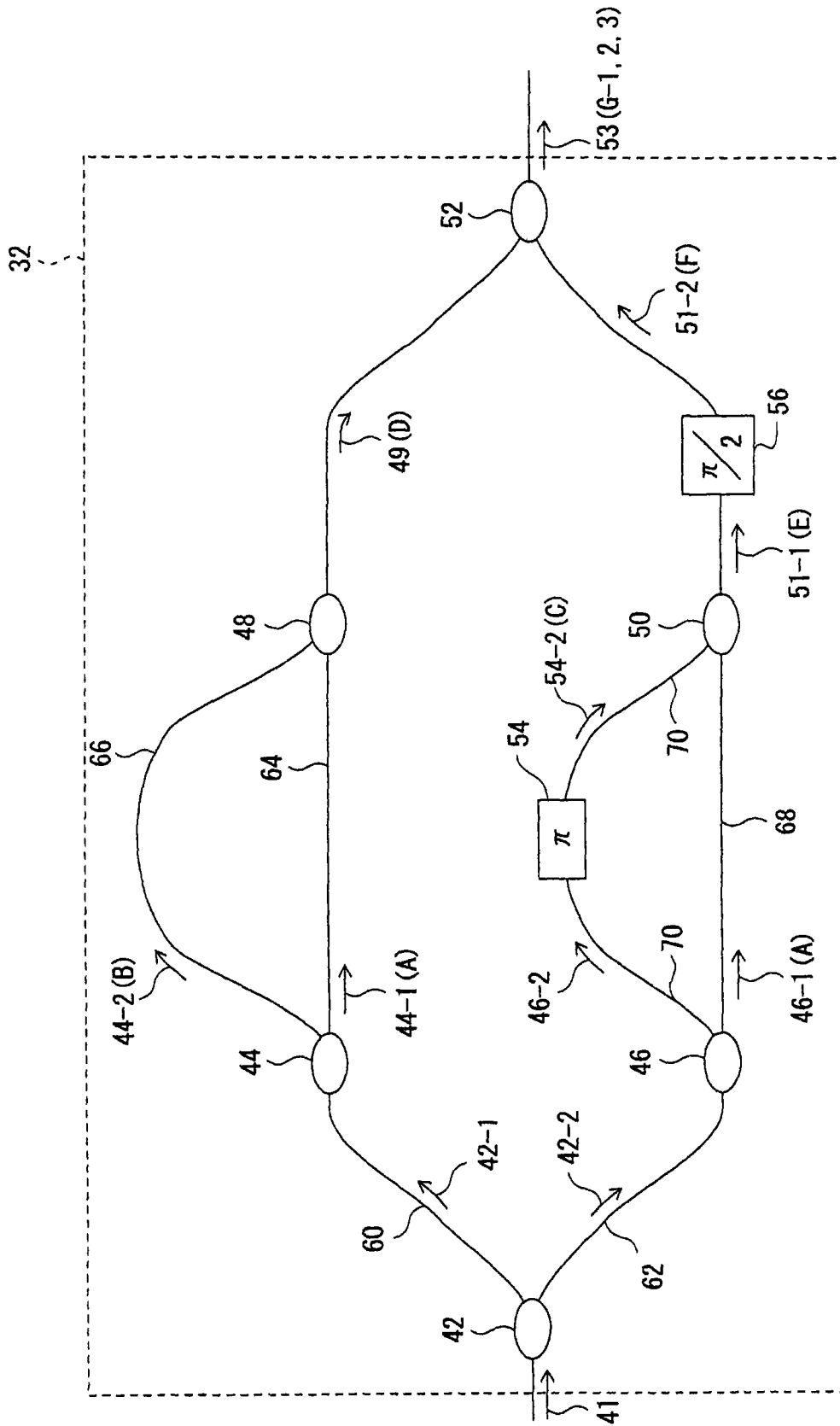


图 4

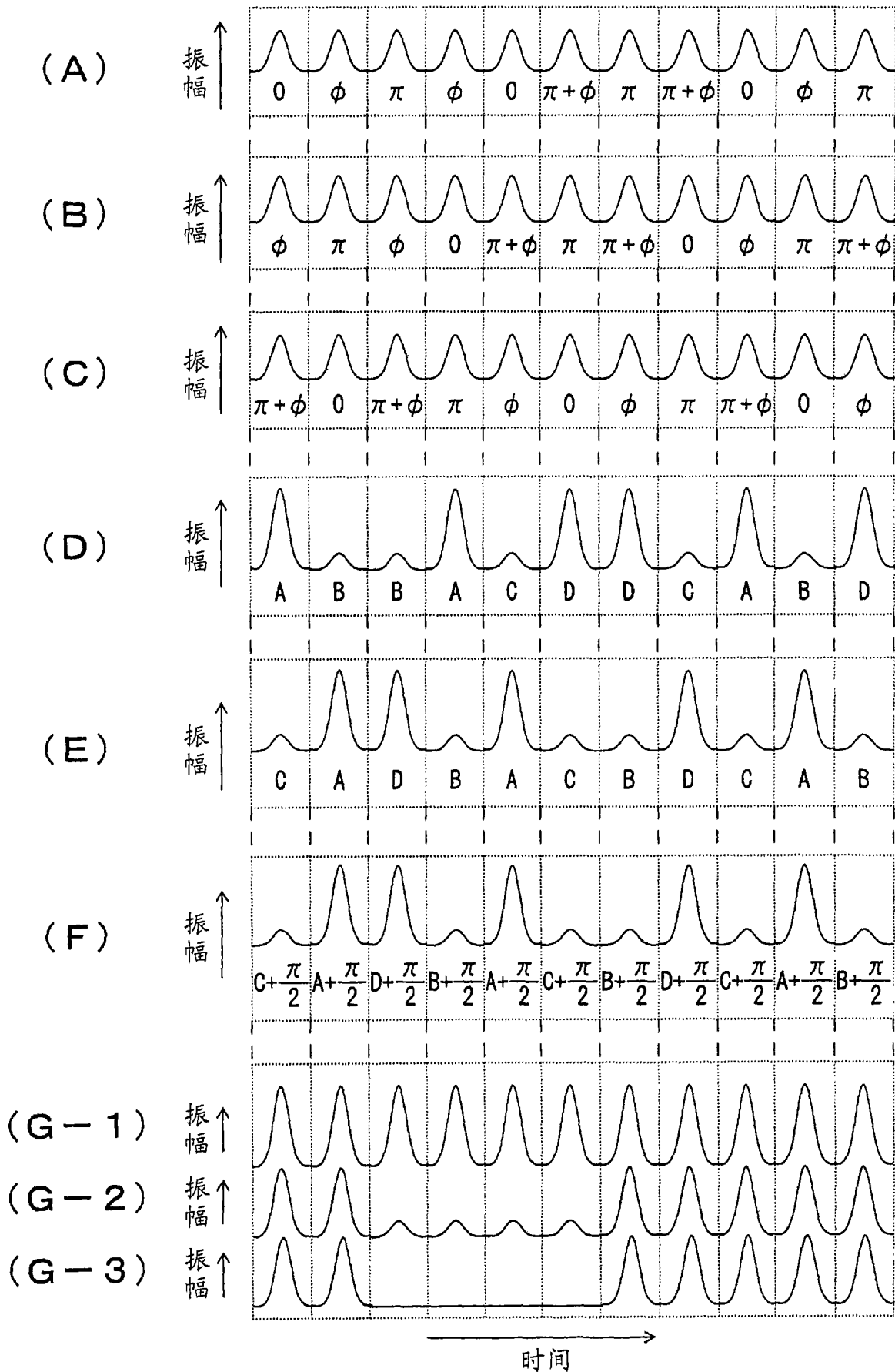


图 5

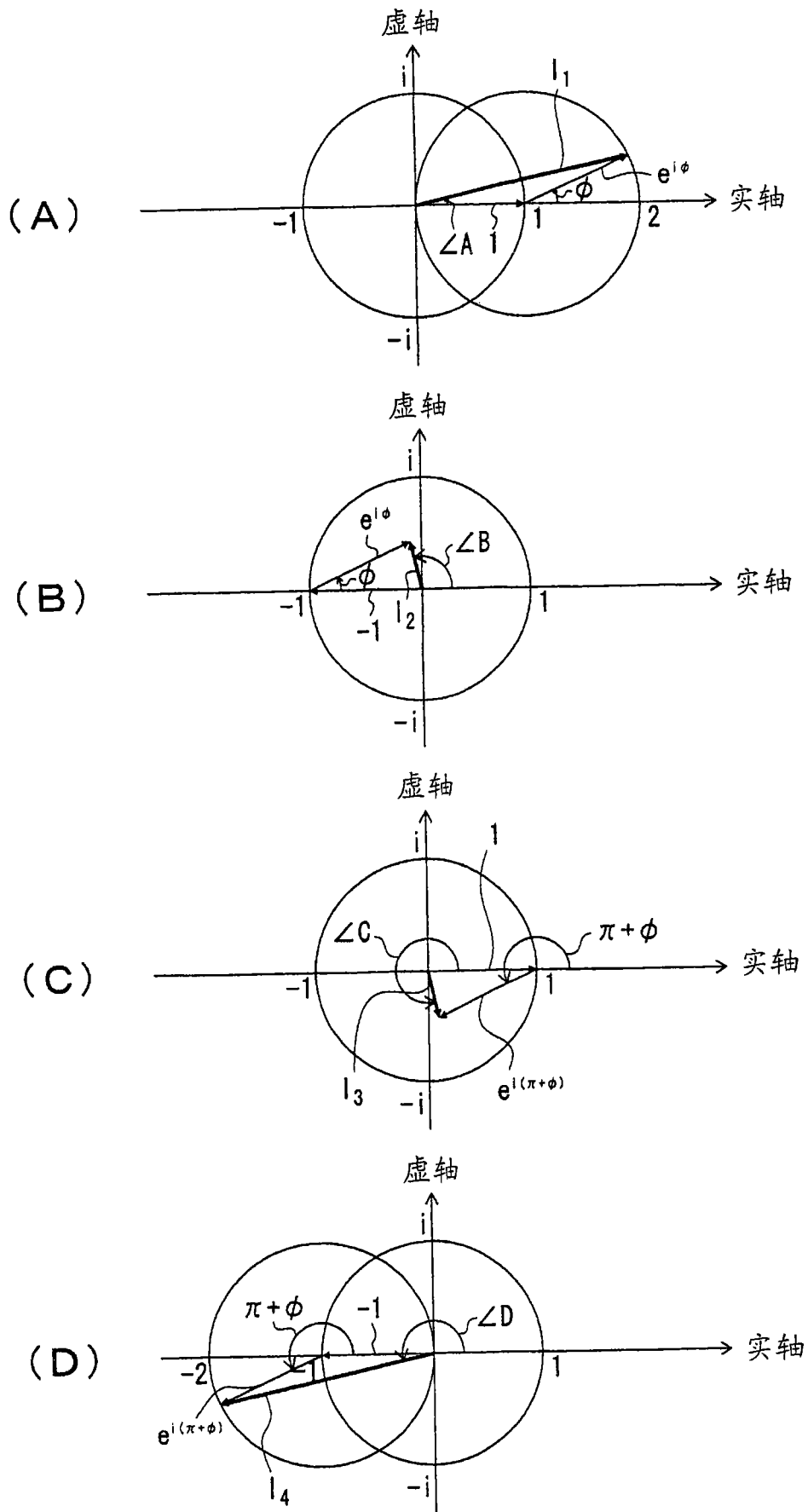


图 6

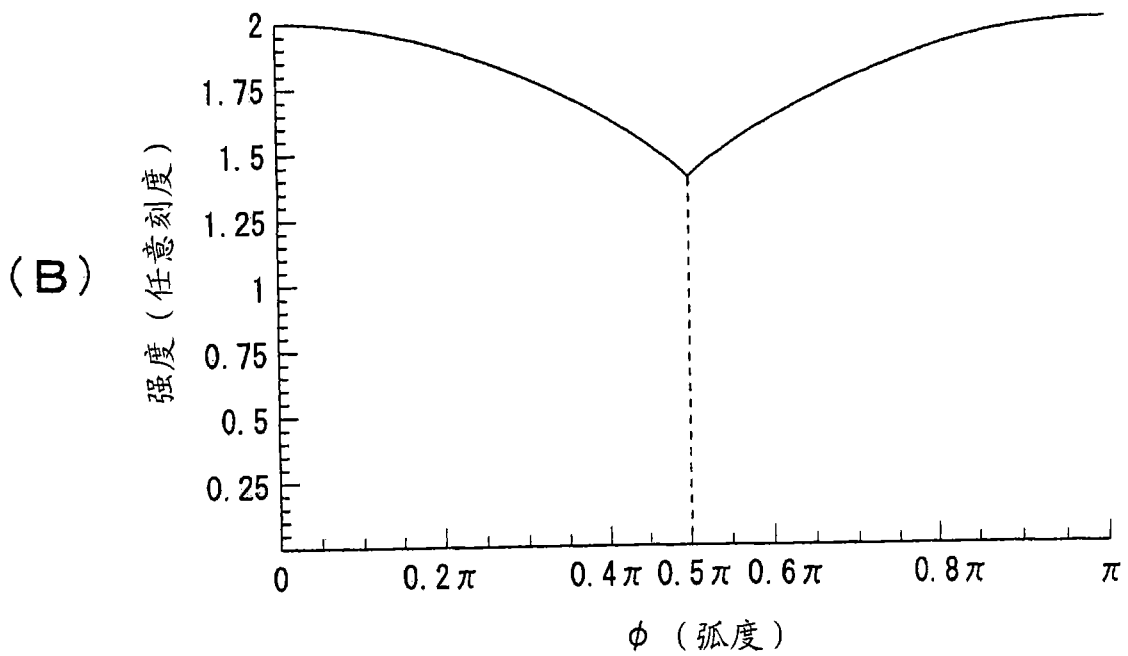
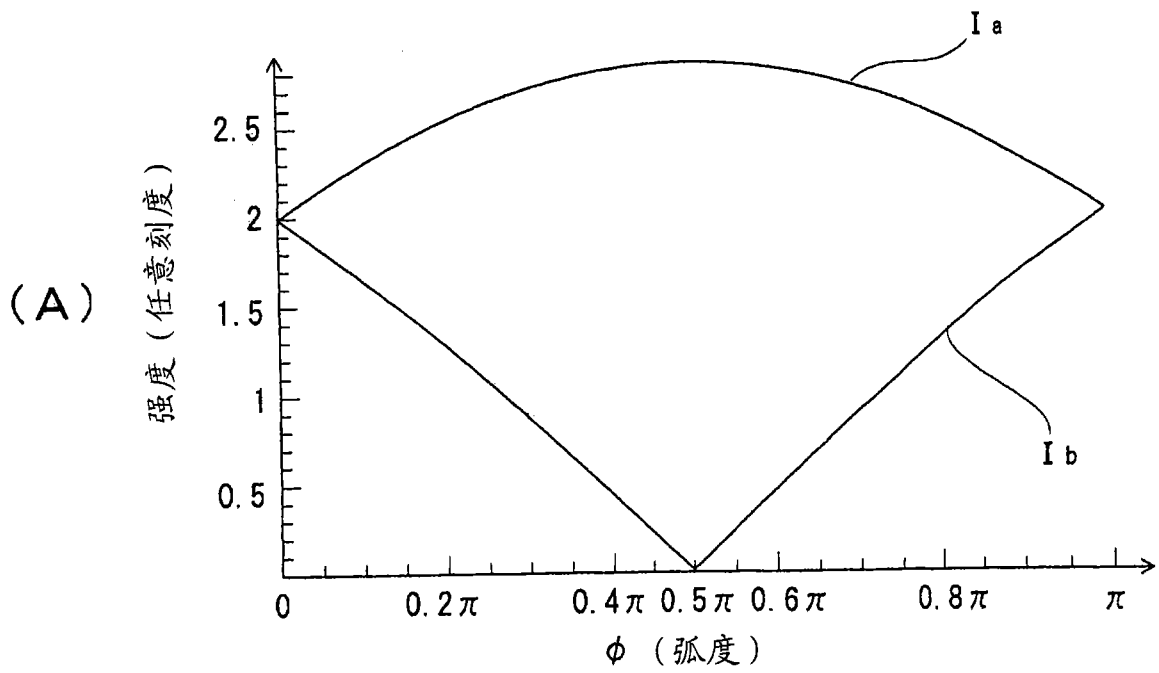


图 7

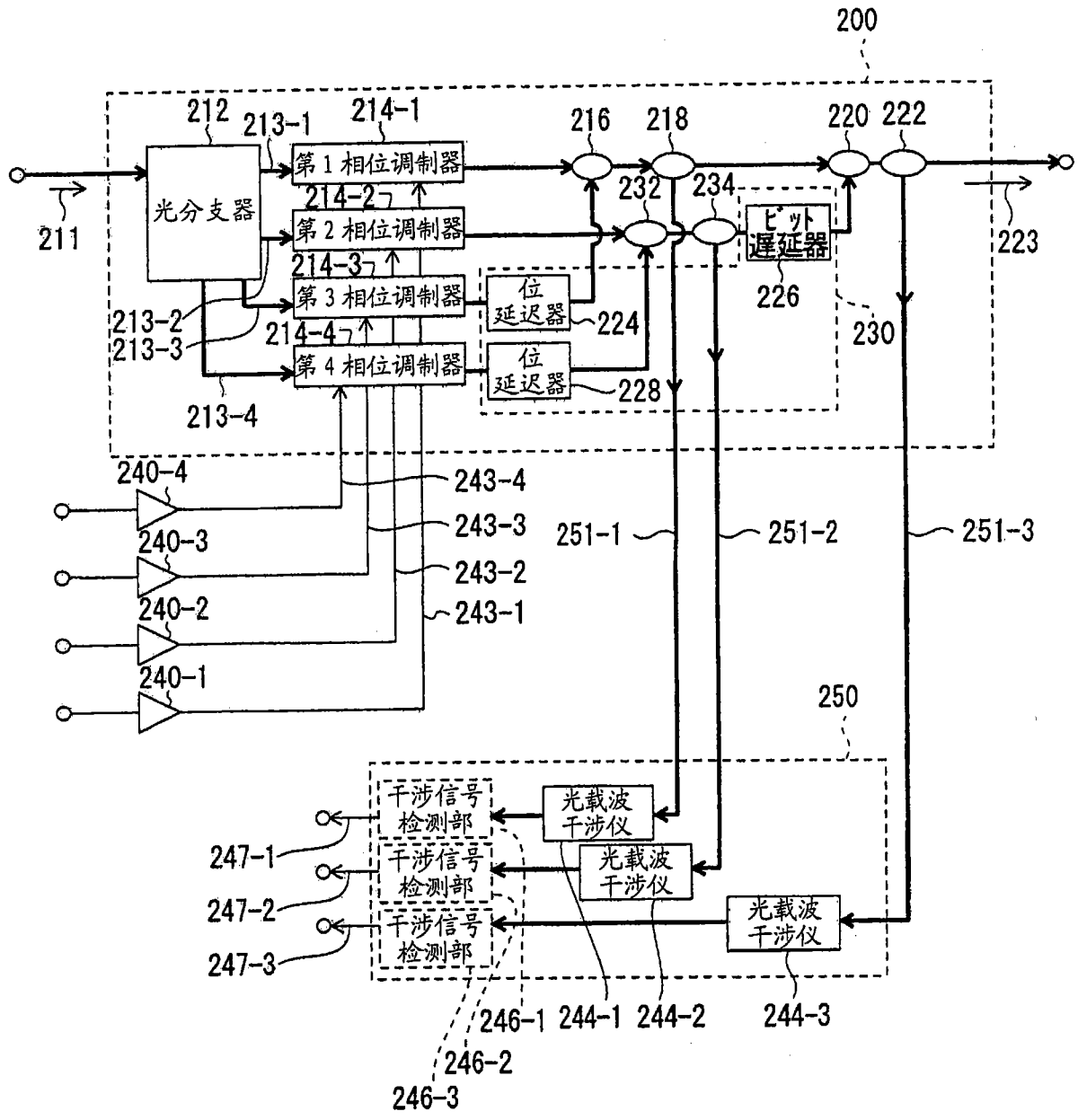


图 8

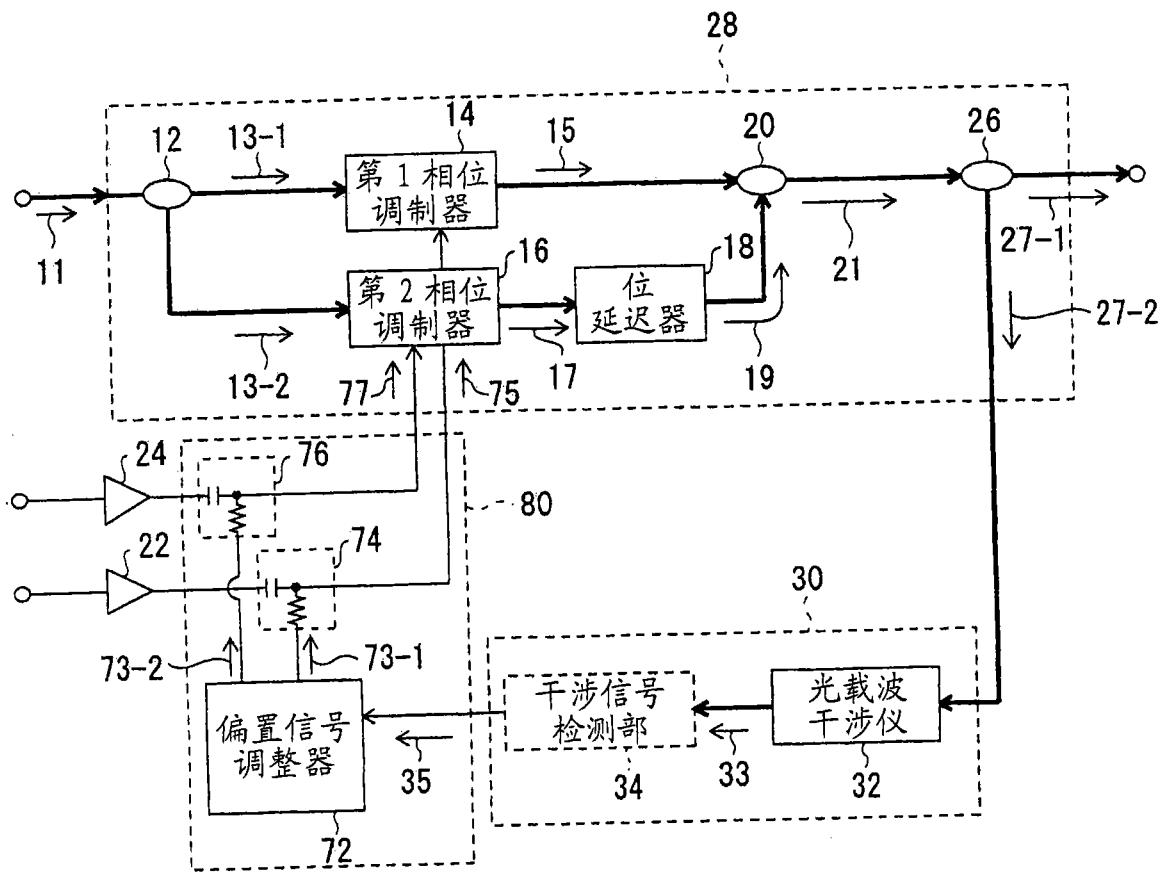


图 9

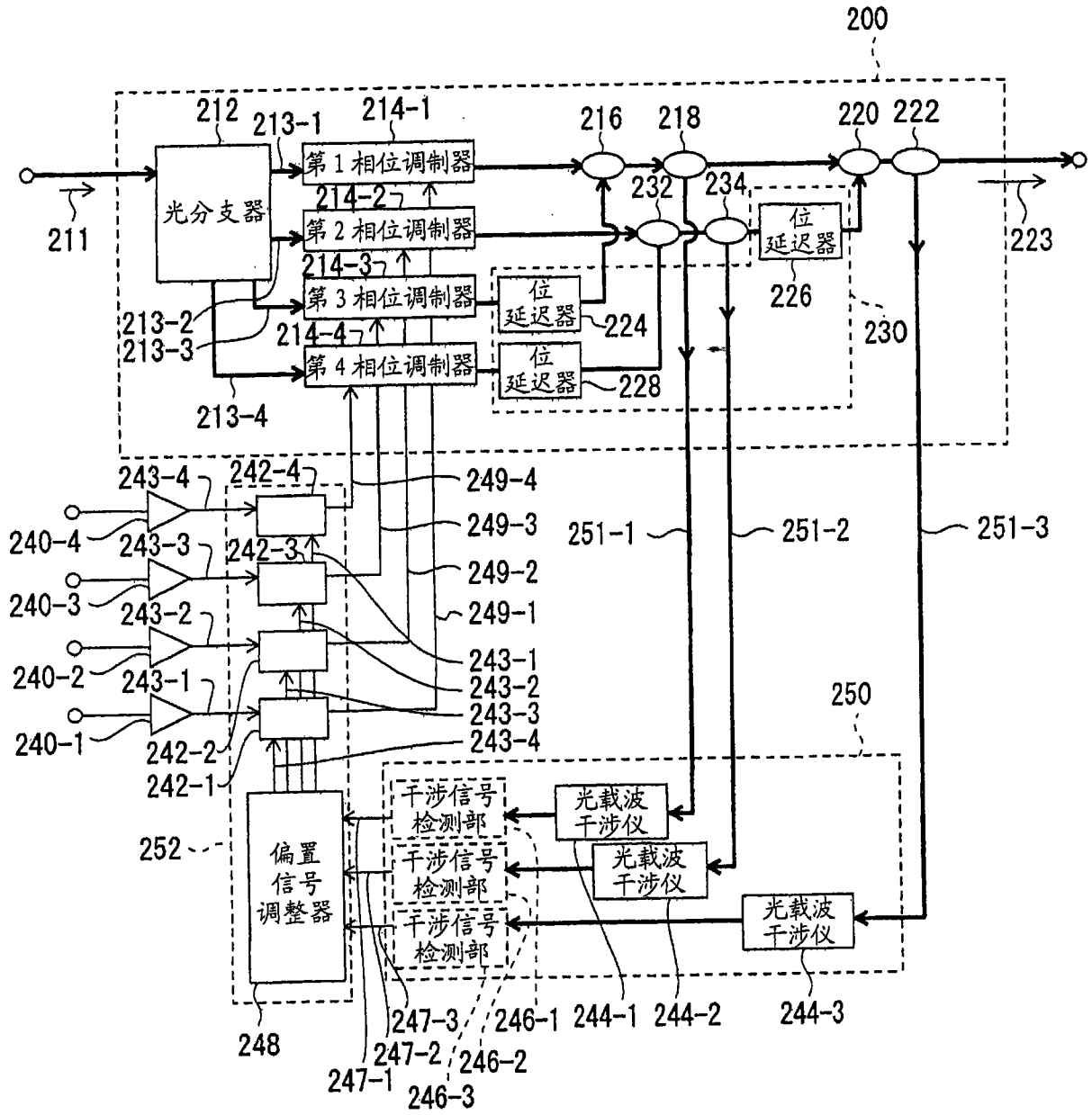


图 10

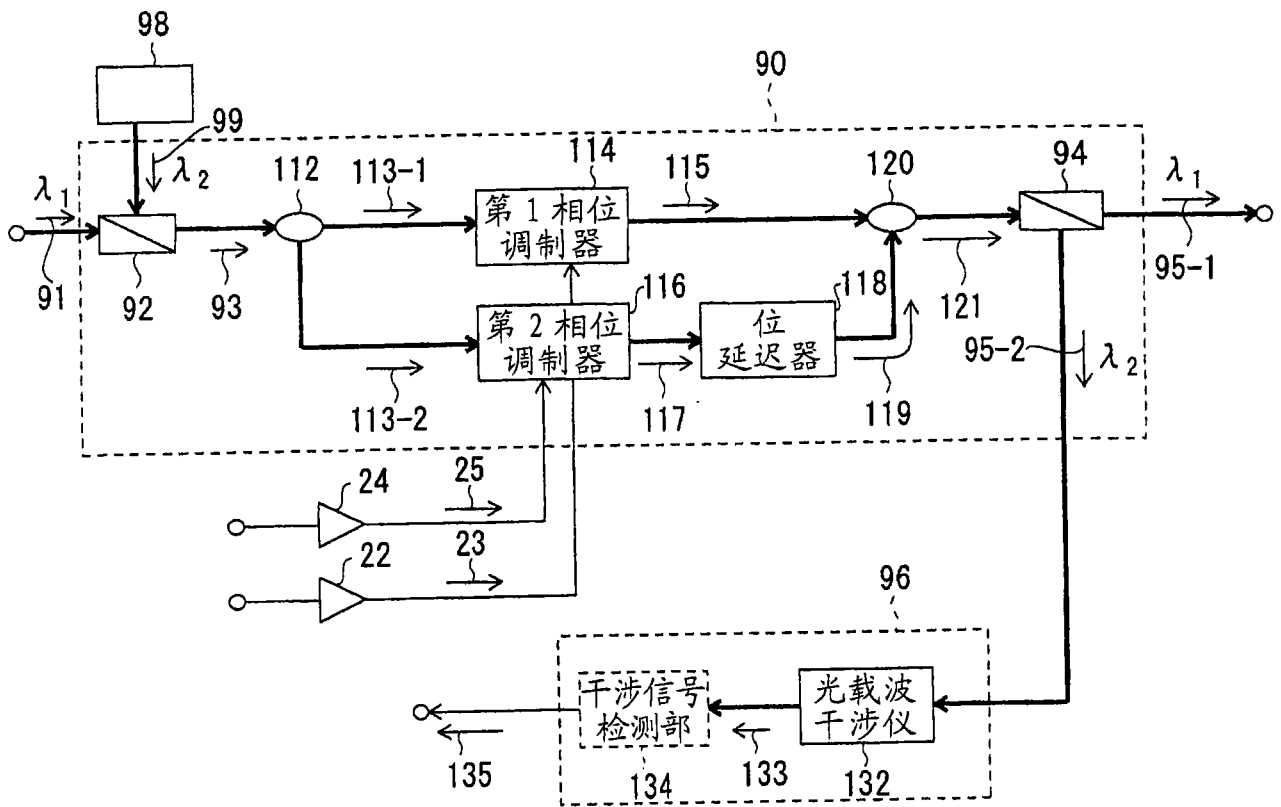


图 11

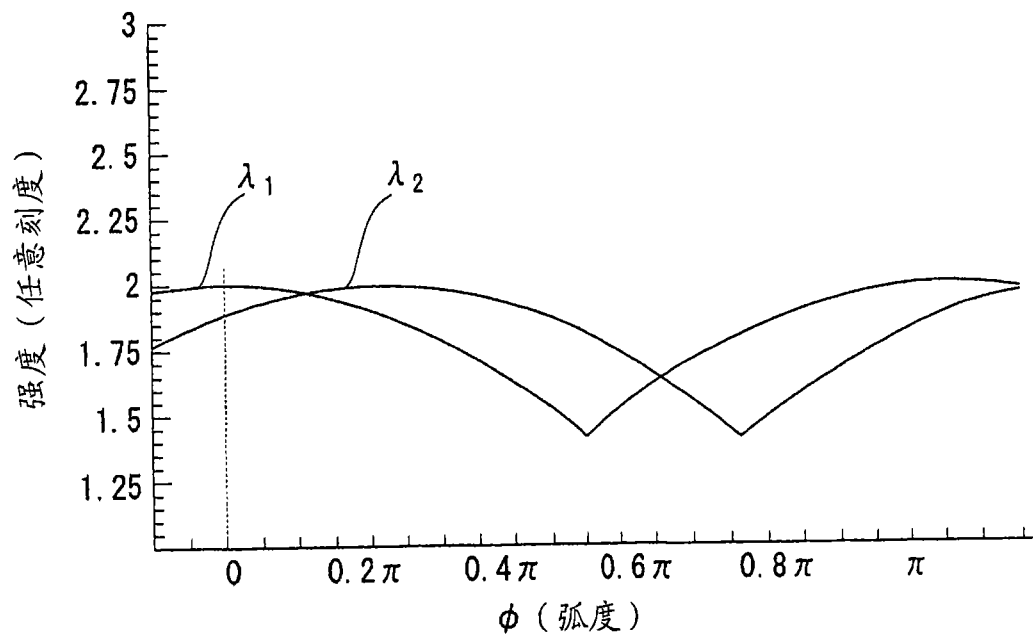


图 12

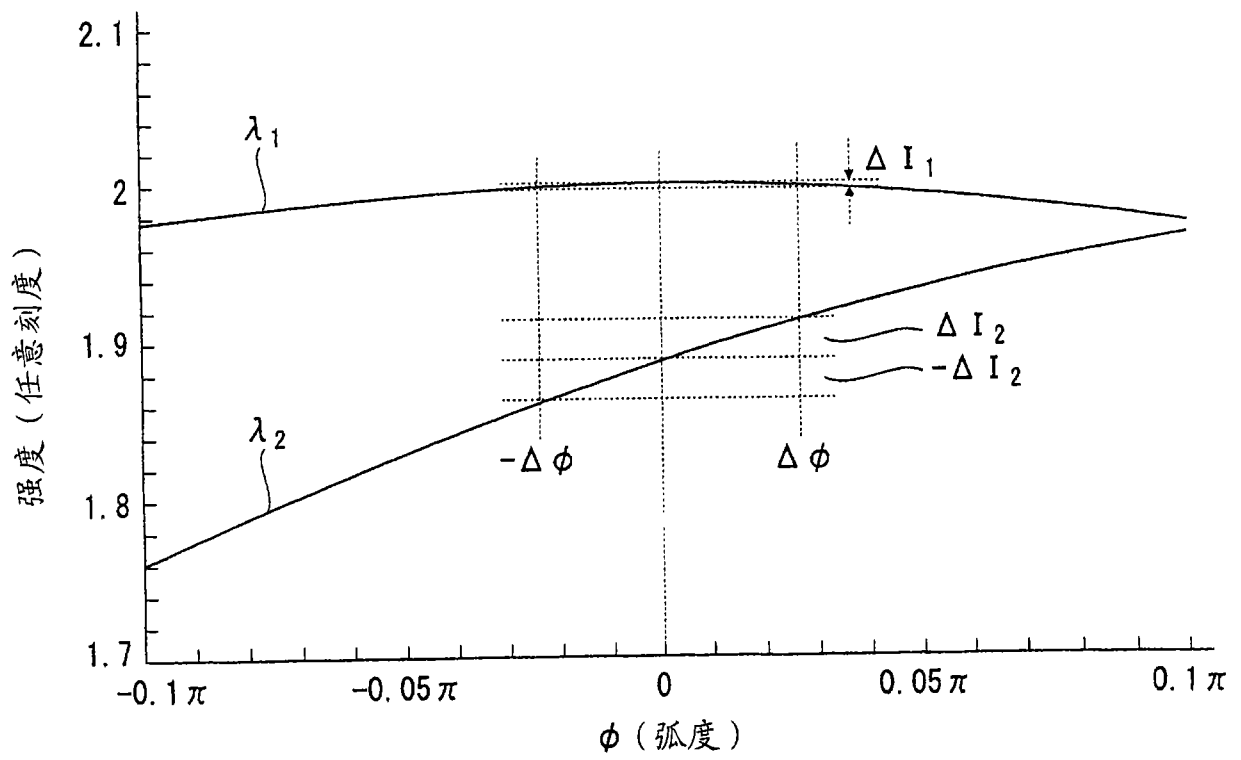


图 13

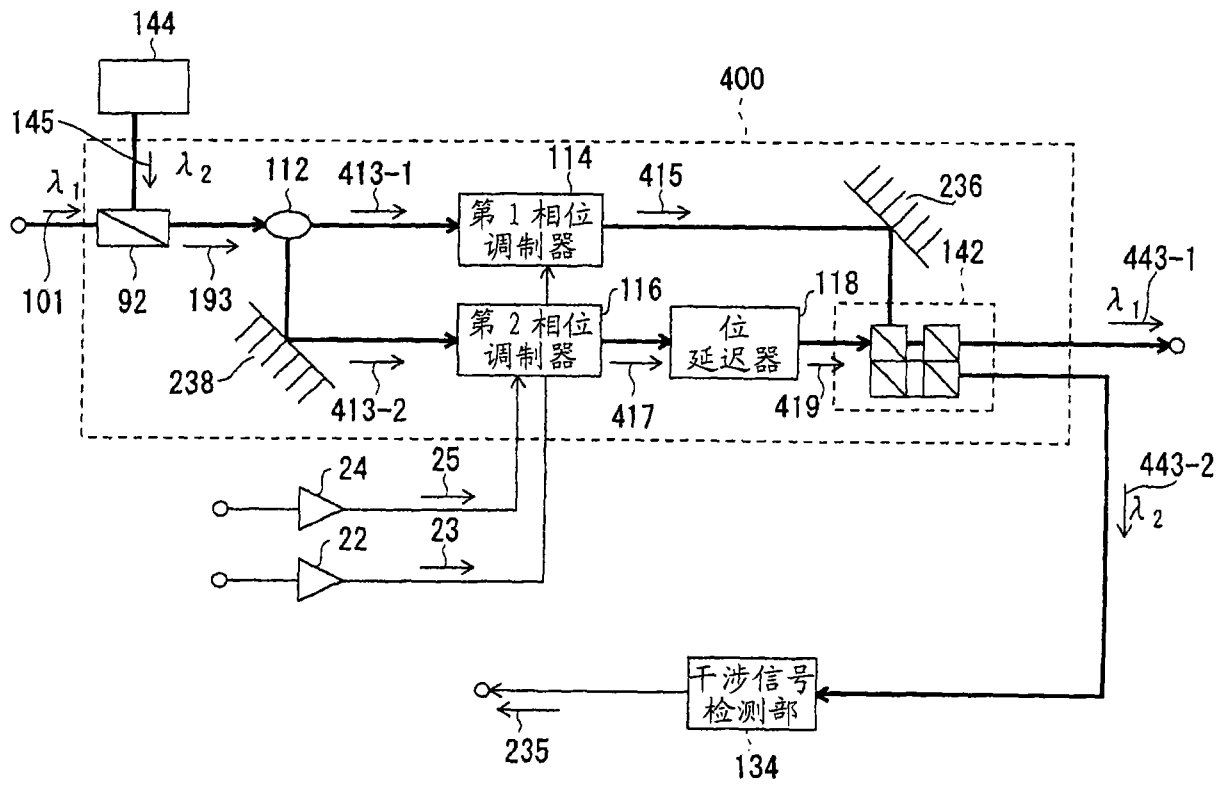


图 14

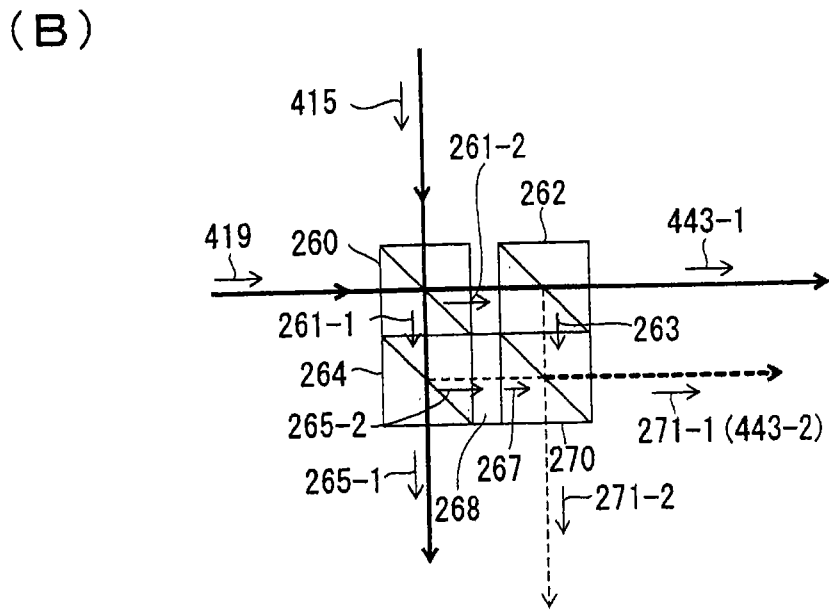
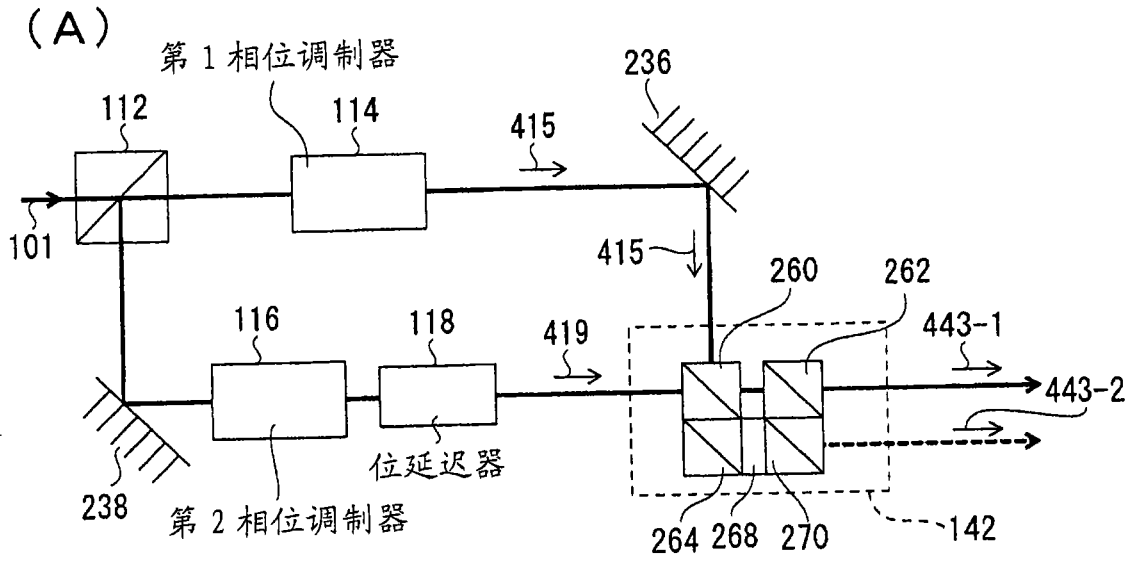


图 15

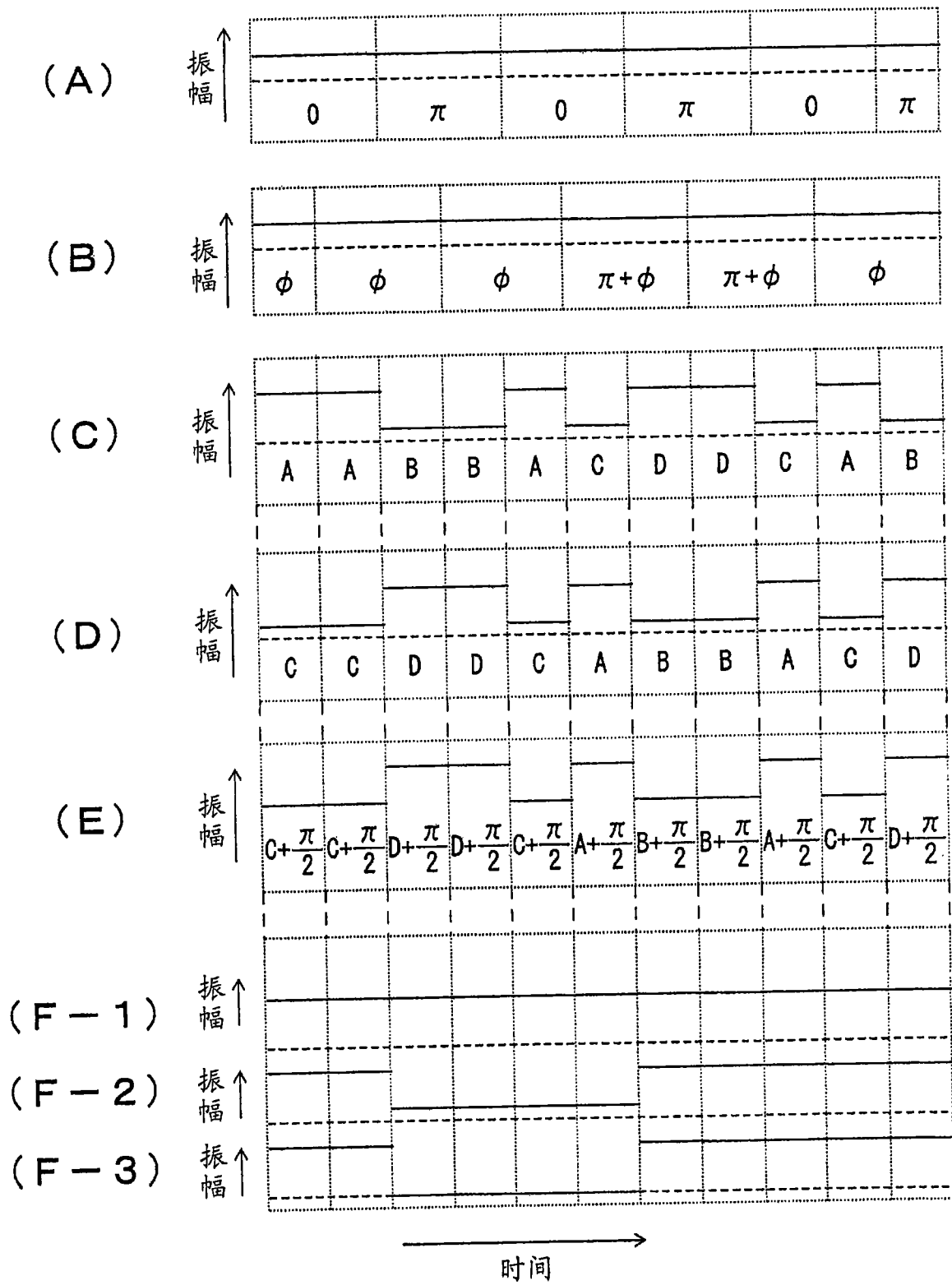
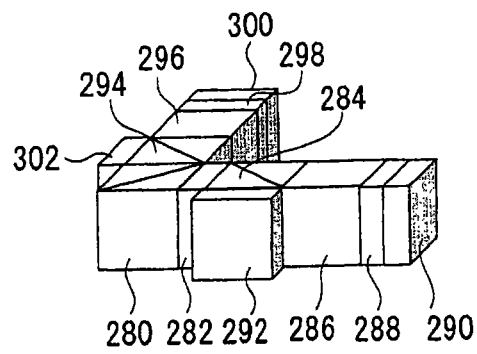


图 16

(A)



(B)

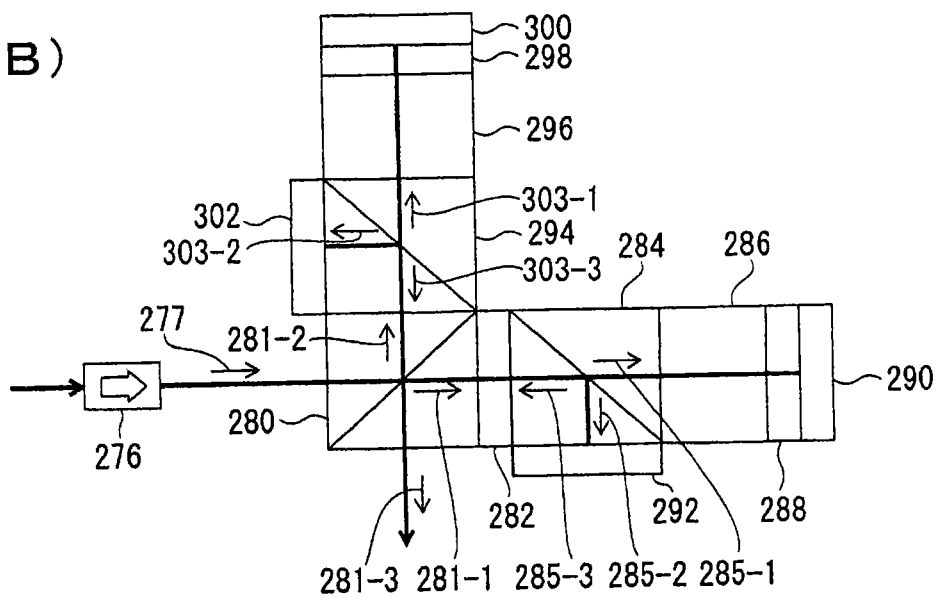


图 17



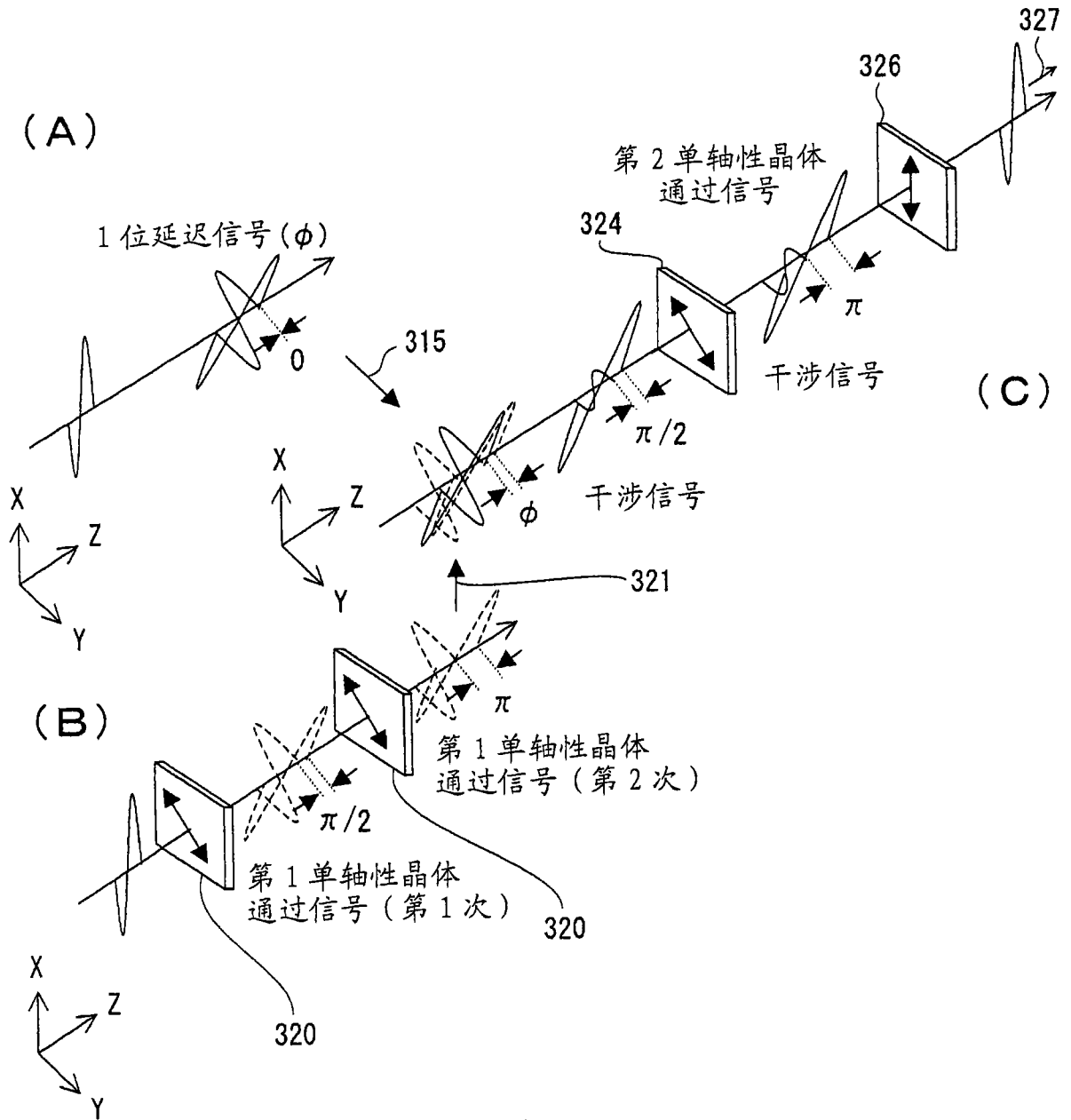


图 19