

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

**特許第5737874号
(P5737874)**

(45) 発行日 平成27年6月17日 (2015. 6. 17)

(24) 登録日 平成27年5月1日 (2015. 5. 1)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 F 2/00 (2006. 01)

G O 2 F 2/00

H O 4 B 10/516 (2013. 01)

H O 4 B 9/00

L

H O 4 B 10/61 (2013. 01)

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2010-154137 (P2010-154137)
 (22) 出願日 平成22年7月6日 (2010. 7. 6)
 (65) 公開番号 特開2012-18225 (P2012-18225A)
 (43) 公開日 平成24年1月26日 (2012. 1. 26)
 審査請求日 平成25年6月7日 (2013. 6. 7)

(73) 特許権者 301005371
 日本オクラロ株式会社
 神奈川県相模原市中央区小山四丁目1番5
 5号
 (74) 代理人 110000154
 特許業務法人はるか国際特許事務所
 (72) 発明者 三上 秀治
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社日立製作所中央研究所内

審査官 廣崎 拓登

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 復調器及び光送受信機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

D P - Q P S K 信号光と局部発振光とが入射し、それぞれを垂直偏光成分と水平偏光成分に偏光分離する第1偏光分離手段と、

前記第1偏光分離手段で分離された前記局部発振光の水平偏光成分を45度偏光状態に変換する第1偏光変換手段と、

前記第1偏光分離手段で分離された前記信号光の水平偏光成分を円偏光状態に変換する第2偏光変換手段と、

前記第1偏光変換手段で変換された前記局部発振光の水平偏光成分を第1垂直偏光成分局部発振光と第1水平偏光成分局部発振光に偏光分離し、前記第2偏光変換手段で変換された前記信号光の水平偏光成分を、第1垂直偏光成分信号光と第1水平偏光成分信号光に偏光分離する第2偏光分離手段と、

前記第1水平偏光成分信号光と前記第1垂直偏光成分局部発振光の偏光状態をそれぞれ90度回転した偏光状態に偏光変換する第3偏光変換手段と、

前記第1水平偏光成分局部発振光と前記第3偏光変換手段で変換された前記第1水平偏光成分信号光とを合波して第1合波光を出力し、前記第1垂直偏光成分信号光と前記第3偏光変換手段で変換された前記第1垂直偏光成分局部発振光とを合波して第2合波光を出力する第1合波手段と、

前記第1及び2合波光の偏光状態をそれぞれ45度回転した偏光状態に偏光変換する第4偏光変換手段と、

10

20

前記第 4 偏光変換手段で変換された前記第 1 及び 2 合波光を、それぞれ水平偏光成分と垂直偏光成分に偏光分離する第 3 偏光分離手段と、を有し、

前記第 3 偏光分離手段で分離された干渉光を用いて前記 D P - Q P S K 信号光を復調する復調器。

【請求項 2】

前記第 1 乃至 3 偏光分離手段がビームディスプレイサであることを特徴とする請求項 1 に記載の復調器。

【請求項 3】

前記第 1 乃至 3 偏光分離手段が偏光ビームスプリッタであることを特徴とする請求項 1 に記載の復調器。

10

【請求項 4】

前記第 3 偏光変換手段は、前記第 1 水平偏光成分信号光を偏光変換するものと、前記第 1 垂直偏光成分局部発振光を偏光変換するものとが別体であることを特徴とする請求項 1 に記載の復調器。

【請求項 5】

前記第 1 偏光分離手段から前記第 3 偏光分離手段の光路の間に、スキュー調整手段をさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の復調器。

【請求項 6】

前記スキュー調整手段は、ガラス板であることを特徴とする請求項 5 に記載の復調器。

【請求項 7】

20

D P - Q P S K 信号光と局部発振光とが入射し、それぞれを垂直偏光成分と水平偏光成分に偏光分離する第 1 偏光分離手段と、

前記第 1 偏光分離手段で分離された前記局部発振光の水平偏光成分を 4 5 度偏光状態に変換する第 1 偏光変換手段と、

前記第 1 偏光分離手段で分離された前記信号光の水平偏光成分を円偏光状態に変換する第 2 偏光変換手段と、

前記第 1 偏光変換手段で変換された前記局部発振光の水平偏光成分を第 1 垂直偏光成分局部発振光と第 1 水平偏光成分局部発振光に偏光分離し、前記第 2 偏光変換手段で変換された前記信号光の水平偏光成分を第 1 垂直偏光成分信号光と第 1 水平偏光成分信号光に偏光分離し、前記第 1 水平偏光成分信号光と前記第 1 垂直偏光成分局部発振光を合波した第 1 合波光を出力し、前記第 1 垂直偏光成分信号光と前記第 1 水平偏光成分局部発振光を合波して第 2 合波光を出力する第 1 分離合波手段と、

30

前記第 1 及び 2 合波光の偏光状態をそれぞれ 4 5 度回転した偏光状態に偏光変換する第 3 偏光変換手段と、

前記第 3 偏光変換手段で変換された前記第 1 及び 2 合波光を、それぞれ水平偏光成分と垂直偏光成分に偏光分離する第 2 偏光分離手段と、を有し、

前記第 2 偏光分離手段で分離された干渉光を用いて前記 D P - Q P S K 信号光を復調する復調器。

【請求項 8】

前記第 1 及び 2 偏光分離手段がビームディスプレイサであることを特徴とする請求項 7 に記載の復調器。

40

【請求項 9】

前記第 1 分離合波手段が偏光ビームスプリッタであることを特徴とする請求項 7 に記載の復調器。

【請求項 10】

D P - Q P S K 信号変調された光を送信する送信部と、

D P - Q P S K 信号光が入力され、複数のデータ信号とクロック信号とを生成する受信部とを有し、

前記受信部は、

D P - Q P S K 信号光と局部発振光とが入射し、それぞれを垂直偏光成分と水平偏光成

50

分に偏光分離する第1偏光分離手段と、

前記第1偏光分離手段で分離された前記局部発振光の水平偏光成分を45度偏光状態に変換する第1偏光変換手段と、

前記第1偏光分離手段で分離された前記信号光の水平偏光成分を円偏光状態に変換する第2偏光変換手段と、

前記第1偏光変換手段で変換された前記局部発振光の水平偏光成分を第1垂直偏光成分局部発振光と第1水平偏光成分局部発振光に偏光分離し、前記第2偏光変換手段で変換された前記信号光の水平偏光成分を、第1垂直偏光成分信号光と第1水平偏光成分信号光に偏光分離する第2偏光分離手段と、

前記第1水平偏光成分信号光と前記第1垂直偏光成分局部発振光の偏光状態をそれぞれ90度回転した偏光状態に偏光変換する第3偏光変換手段と、 10

前記第1水平偏光成分局部発振光と前記第3偏光変換手段で変換された前記第1水平偏光成分信号光とを合波して第1合波光を出力し、前記第1垂直偏光成分信号光と前記第3偏光変換手段で変換された前記第1垂直偏光成分局部発振光とを合波して第2合波光を出力する第1合波手段と、

前記第1及び2合波光の偏光状態をそれぞれ45度回転した偏光状態に偏光変換する第4偏光変換手段と、

前記第4偏光変換手段で変換された前記第1及び2合波光を、それぞれ水平偏光成分と垂直偏光成分に偏光分離する第3偏光分離手段と、を有し、

前記第3偏光分離手段で分離された干渉光を用いて前記DP-QPSK信号光を復調することを特徴とする光送受信器。 20

【請求項11】

DP-QPSK信号変調された光を送信する送信部と、

DP-QPSK信号光が入力され、複数のデータ信号とクロック信号とを生成する受信部とを有し、

前記受信部は、

DP-QPSK信号光と局部発振光とが入射し、それぞれを垂直偏光成分と水平偏光成分に偏光分離する第1偏光分離手段と、

前記第1偏光分離手段で分離された前記局部発振光の水平偏光成分を45度偏光状態に変換する第1偏光変換手段と、 30

前記第1偏光分離手段で分離された前記信号光の水平偏光成分を円偏光状態に変換する第2偏光変換手段と、

前記第1偏光変換手段で変換された前記局部発振光の水平偏光成分を第1垂直偏光成分局部発振光と第1水平偏光成分局部発振光に偏光分離し、前記第2偏光変換手段で変換された前記信号光の水平偏光成分を第1垂直偏光成分信号光と第1水平偏光成分信号光に偏光分離し、前記第1水平偏光成分信号光と前記第1垂直偏光成分局部発振光を合波した第1合波光を出力し、前記第1垂直偏光成分信号光と前記第1水平偏光成分局部発振光を合波して第2合波光を出力する第1分離合波手段と、

前記第1及び2合波光の偏光状態をそれぞれ45度回転した偏光状態に偏光変換する第3偏光変換手段と、 40

前記第3偏光変換手段で変換された前記第1及び2合波光を、それぞれ水平偏光成分と垂直偏光成分に偏光分離する第2偏光分離手段と、を有し、

前記第2偏光分離手段で分離された干渉光を用いて前記DP-QPSK信号光を復調することを特徴とする光送受信器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信システムにおける位相変調信号を復調する復調器、及びそれを用いた光送受信器（光通信モジュール）に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

光通信の分野では、信号変調として強度変調を行い、復調として光検出器を用いて光強度を直接電気信号に変換する、という最も単純な方式が長らく用いられてきた。しかし近年、40Gb/sを上回る高ビットレートに対応するために、信号変調として位相変調を行う方式が注目されている。位相変調信号の復調方法には、信号変調されて送信された光を受信器側に備えた局部発振光からの光と干渉させて復調させる方法（コヒーレント方式）、信号変調された光を2分岐して信号変調1ビット分だけタイミングをずらして合波して干渉させ、位相の偏移を光強度信号に変換して復調する方法（差動位相偏移変調方式）の2通りがある。このうち差動位相偏移変調方式は、変調される位相の数によって差動2値位相偏移変調（DBPSKもしくはDPSK, Differential Binary Phase Shift Keying）、差動4値位相偏移変調（DQPSK, Differential Quadrature Phase Shift Keying）などと呼ばれる。また、コヒーレント方式においては、例えば位相4値変調の場合はQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）と呼ばれる。また、上記いずれの方式も、光の2つの偏光成分を独立に変調する偏波ダイバシティ方式との併用が可能であり、これにより情報量を2倍に増やすことが可能である。特にコヒーレント方式においては、偏波ダイバシティ方式とQPSKを組み合わせたDP-QPSK（Dual Polarization QPSK）と呼ばれる方式も検討されている。

10

【 0 0 0 3 】

DQPSKにおける復調方法を、復調器のブロック図である図1を用いて説明する。差動位相偏移変調された被変調光100はまずハーフビームスプリッタのような分岐素子101で分岐光102, 分岐光103に2分割される。分岐光102はさらに分岐素子104で2分割され、そのうち一方は遅延部105により信号変調1シンボル分の光路長（例えば信号変調周波数が20GHzの場合、約14mm）が加えられ、分岐素子104の2つの分岐光の光路長差が光の波長の整数倍（すなわち位相差が0）となるように設定される。その後、2つの分岐光はハーフビームスプリッタのような合波素子106で再び合波され、2つの干渉光が生成される。これらの干渉光の強度差を、平衡型光検出器とトランスインピーダンスアンプからなる差動検出器107によって検出することによって出力信号を得る。この位相差ゼロの干渉光から得られる出力信号のチャンネルは、Iチャンネルと呼ばれる。一方、分岐素子101からの分岐光103は分岐光102と同様に分岐素子108によって2分岐され、遅延部109により一方に1シンボル分の遅延が与えられ、再び合波素子110により合波され、2つの干渉光が生成される。但し、ここで位相差は90度になるように設定されている。これらの干渉光はIチャンネルと同様に検出器111によって検出され、出力信号が得られる。この位相差90度の干渉光から得られる出力チャンネルはQチャンネルと呼ばれる。

20

30

【 0 0 0 4 】

DP-QPSKにおける復調方法を、復調器のブロック図である図2に示す。被変調光200（以後、信号光と呼ぶ）は偏光ビームスプリッタ等の偏光分離素子201により2つの偏光成分に分離される。同様に受信側に用意された局部発振光202も分岐素子203によって2分岐される。ここで信号光、局部発振光の分岐光は光90度ハイブリッド204, 205の一方に入力され、ここで信号光と局部発振光の干渉光が生成される。このとき信号光と局部発振光はそれぞれ光90度ハイブリッドの内部において光分岐素子により分岐され、互いに90度異なる位相関係で2種類の合波がなされる。ここで、ひとつの合波により生成される2つの干渉光は平衡型検出器206, 207, 208, 209のいずれかで検出され、強度差に対応した電気信号を出力するため、DQPSKの復調器と同様、1つの偏光成分につきIチャンネル、Qチャンネルの出力信号が生成される。

40

【 0 0 0 5 】

以上のように位相変調信号の復調には、複数の光を合波させ干渉させる干渉計型の光学系が用いられる。また、DQPSKやDP-QPSKの例で述べたように、4値位相変調信号の復調には、2チャンネルの出力が必要であるため、互いに90度異なる位相関係で2種類の合波がなされ、干渉光が生成される。このような実装形態として、特許文献1、

50

特許文献2、特許文献3、特許文献4、特許文献5、特許文献6などが知られている。

【0006】

上に述べた干渉計の実装形態として、主に光導波路を用いる形態と、バルク光学素子を用いた空間光学系を用いる形態があり、後者は前者にくらべて低コストであるという特徴をもつ。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2008-278249号公報（対応US12/104056号公報）

10

【特許文献2】特開2006-287493号公報（対応US11/391414号公報）

【特許文献3】特開2007-306371号公報（対応US2007/0264029号公報）

【特許文献4】特開2008-17445号公報（対応US11/479920号公報）

【特許文献5】特許第4170298号公報（対応US11/117429号公報）

【特許文献6】特開2006-270909号公報（対応US12/656413号公報）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0008】

DQPSKやDP-QPSKなどにおいてIチャンネル、Qチャンネルの出力を得るため、信号光と（コヒーレント方式の場合は）局部発振光を2分岐する必要がある。ここで従来の空間光学系型の復調器においては、入力する光の偏光状態によらずに光を2分岐する、無偏光ビームスプリッタが用いられていた（特許文献1、2、3、5のハーフミラー（HM）、特許文献4のビームスプリッタ、特許文献6の光カプラ。但し特許文献6の復調器は導波路型である）。分岐後の2光束の光量は等しくする必要があり、受信機としての性能を確保するために無偏光ハーフビームスプリッタの分岐比は高い精度が要求される。さらに、ここで述べられる位相変調信号の復調器は、一般に波長多重方式と併用されるのが一般的であり、入力される光の波長は所定の範囲で変化する。従って上記の高い精度の分岐比を、広い波長範囲にわたって確保する必要がある。さらに、無偏光ハーフビームスプリッタは一般に、透過光、反射光に対して、2つの異なる偏光状態（水平偏光、垂直偏光）で異なる位相差を生じる。この性質により、Iチャンネル、Qチャンネルの位相差（本来90度）に誤差が発生する。従って上記位相差をゼロに抑える必要がある。このような無偏光ビームスプリッタの設計は非常に複雑であり、高コストになる。なお、2光束を合波して干渉光を発生させる目的でも無偏光ハーフビームスプリッタが用いられる。この場合も上記と同様、復調器としての性能を満足させるための分岐比や偏光状態間の位相差の精度を満足するためには無偏光ハーフビームスプリッタが高コストになる。

30

【0009】

また、別の課題として、無偏光ビームスプリッタや偏光ビームスプリッタによる光分岐は分離面での反射を伴うため、入力される光と分岐光が同一方向を向かない。このため従来の復調器は基本的に検出器に出力される干渉光の複数の光束が整列していない。一方で電気回路を簡素化するために、検出器の受光部はすべて同一直線状に整列していることが望ましい。整列していない干渉光を整列した検出器に導く手段として、特許文献5に示されているように光ファイバを用いることが可能であるが、出力チャンネル間のスキュー（光路長差）を抑えるため、各光ファイバの長さを高い精度で一致させる必要があり、装置が高コストになるという課題がある。

40

【0010】

上記問題に鑑み、本発明の第一の目的は、低コストな位相偏移変調信号の復調器、更には、それを用いた光通信モジュールを提供することにある。

50

【 0 0 1 1 】

本発明の第二の目的は、低コストでスキューの抑圧が容易な位相偏移変調信号の復調器、更には、それを用いた光通信モジュールを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明の目的を達成するために以下の手段を用いた。

【 0 0 1 3 】

(1) 所定の偏光状態の信号光の偏光を変換する波長板等の偏光変換手段と、前記偏光変換された信号光を、互いに異なる位相関係で干渉する複数の信号光に分離し、それぞれの前記分離された信号光は互いに直交する偏光状態であるビームディスプレイ等の偏光分離手段と、前記偏光分離手段にて分離されたそれぞれの信号光を別の分離された信号光もしくは局部発振光と合波する偏光合波手段と、前記偏光合波手段により生成された合波光束の偏光を変換、分離して複数の干渉光を生成する、波長板、ビームディスプレイ等からなる干渉光生成手段と、を有する構成とした。

10

【 0 0 1 4 】

これにより、互いに異なる位相関係で干渉する複数の信号光を生成する際、あるいは複数の干渉光を生成する際の光パワーを精度良く等しく設定することができる。また、上記信号光の生成時において偏光状態に依存した位相差が原理的に発生しないため、複数の信号光が干渉する際の、位相関係の差の誤差を抑えることが容易に実現でき、結果的に装置の低コスト化が可能となる。

20

【 0 0 1 5 】

(2) (1) において偏光分離手段にて分離された信号光が、偏光変換手段に入力される信号光に対して実質的に平行であるとした。これにより、分離された光束を整列させて出射させることが可能となり、光学系の簡素化と、スキューの抑圧が可能となる。

【 0 0 1 6 】

(3) (2) において、前記偏光分離手段がビームディスプレイであるとした。これにより、分離された光束を整列させることが容易に行うことができるため、光学系の簡素化、スキューの抑圧を簡素に行うことができる。

【 0 0 1 7 】

(4) (2) において、前記偏光分離手段が、入射光束と出射光束が平行になるよう配置された偏光ビームスプリッタであるとした。これにより、分離された光束間の距離を微調整することが可能であり、精度良く干渉光を生成することが可能である。

30

【 0 0 1 8 】

(5) (1) において、前記偏光変換手段の光源側に、ランダムな偏光状態の信号光の2つの偏光状態を分離する第2の偏光分離手段を有することとした。これにより、入力される信号光の偏光状態によらずに(1)の効果をを得ることができる。

【 0 0 1 9 】

(6) (5) において、前記干渉光それぞれを偏光状態によって合波する第二の偏光合波手段を、前記干渉光生成手段の検出器側に設けることとした。これにより、入力される信号光の偏光状態ごとに検出器を設ける必要がなくなるため、簡素な構成でランダムな偏光状態の信号光から信号を復調することが可能となる。

40

【 0 0 2 0 】

(7) 所定の偏光状態の信号光と局部発振光の偏光を変換する偏光変換手段と、前記偏光変換された信号光と局部発振光の2つの偏光状態を分離する同一の偏光分離手段と、前記偏光分離手段にて分離されたそれぞれの信号光と局部発振光とを合波する偏光合波手段と、前記偏光合波手段により生成された合波光束の偏光を変換、分離して干渉光を生成する干渉光生成手段と、を有することとした。これにより、信号光と局部発振光を合波を精度よく行うことが可能となり、高品質の復調信号を生成することが可能となる。

【 0 0 2 1 】

(8) 信号光の2つの偏光成分のそれぞれに対し、局部発振光を干渉させて複数の干渉

50

光束を生成する干渉光学系と、前記複数の干渉光束のそれぞれを反射する複数の反射素子と、反射素子から反射された干渉光束を検出し、受光部が一直線上に配置された複数の検出器と、からなり、信号光が前記複数の反射素子に到達するまでの光路長が実質的に全て等しく、前記反射素子から反射された干渉光束が実質的に整列して前記複数の検出器に入射することとした。これにより、スキューの抑圧が容易な復調器を実現することが可能となる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、従来に比べて低コスト或いはスキューの小さな位相変調信号の復調器や光通信モジュールを提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】DQPSK信号復調器のブロック図である。

【図2】DP-QPSK信号復調器のブロック図である。

【図3】本発明のDP-QPSK信号復調器の構成図である。

【図4】ビームディスプレイサの厚さ誤差により合波が不完全になることを説明する図である。

【図5】偏光ビームスプリッタを用いたDP-QPSK信号復調器の構成図である。

【図6】偏光ビームスプリッタでの作用を説明する図である。

【図7】偏光ビームスプリッタの変位により分離光束間の距離が調整できることを説明する図である。

20

【図8】DP-QPSK信号復調器において、偏光分離と信号光、局部発振光の合波を同一の偏光ビームスプリッタで行う実施形態の構成図である。

【図9】偏光ビームスプリッタにより偏光分離と合波が同時に行われることを説明する図である。

【図10】偏光ビームスプリッタによる偏光分離、合波を用いた実施形態の構成図である。

【図11】スキューを抑圧した実施形態の構成図である。

【図12】本発明のDQPSK信号復調器の構成図である。

【図13】DQPSK信号復調器において偏光分離と2光束の合波を同一の偏光ビームスプリッタで行う実施形態の構成図である。

30

【図14】本発明のDP-QPSK信号を用いた光送受信機の構成図である。

【図15】本発明のDQPSK信号を用いた光送受信機の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【実施例1】

【0024】

本発明のDP-QPSK信号復調器を図3に示す。DP-QPSKはコヒーレント方式の1種であるため、4値位相変調された信号光301と、受信側に用意された局部発振光302が入力される。まず信号光301と局部発振光302は、ビームディスプレイサ303によりそれぞれの偏光成分が分離される。ビームディスプレイサは複屈折媒質を切り出すことにより得られる光学素子であり、入射する光の直交する2つの偏光成分を分離する性質がある。また、分離された2つの光は平行に入射光と平行に出射するという性質を持つ。ここで局部発振光302は予め垂直偏光（ビームディスプレイサ中で光軸位置の変位を伴わずに出射される偏光成分）と水平偏光（ビームディスプレイサ中で光軸位置の変位を伴って出射される偏光成分）とが等しい大きさを持つ45度偏光状態となっており、ビームディスプレイサ303によって分岐された2光束の光量は等しくなっている。

40

【0025】

ビームディスプレイサ303の通過後に生成された4つの光束のうち、信号光301の垂直偏光成分、局部発振光302の垂直偏光成分、水平偏光成分は、軸方向が水平偏光方向に対して22.5度に設定された1/2板304を通過し、45度偏光状態となる、信

50

号光の水平偏光成分は、軸方向が水平偏光に対して45度に設定された / 4板305を通過し、円偏光状態となる。円偏光状態は45度偏光状態と同じく水平偏光成分と垂直偏光成分が等しく含まれるが、水平偏光成分と垂直偏光成分との間の位相差が90度となっている(45度偏光の場合は0度)。この90度の位相差が、後述する出力のIチャンネルとQチャンネルの間の、信号光と局部発振光の相対位相の差となる。これら4つの光束は、ビームディスプレイサ306もしくはビームディスプレイサ307によってそれぞれ2分岐され、合計8つの光束が生成される。これらの光束は、スキュー補正のため、それぞれ所定の厚さのガラス板308を通過する。そして、8つの光束のうち4つは軸方向が水平偏光に対して45度の / 2板309を通過して偏光が90度回転され、この時点で信号光はすべて垂直偏光、局部発振光はすべて水平偏光とされる。ここでこれら8つの光束がビームディスプレイサ310に入射し、局部発振光の4光束は水平偏光であるためにそれぞれ変位を生じ、信号光の4光束とそれぞれ合波される。これら4つの合波光束は、軸方向が水平偏光に対して22.5度に設定された / 2板311を通過し、各合波光束中の信号光成分と局部発振光成分がそれぞれ45度偏光と45度偏光となる。その後4つの合波光束はビームディスプレイサ312によって水平偏光成分と垂直偏光成分に分離され、この時点で信号光と局部発振光の干渉光が8つ生成される。これらの光束のうち一部はスキュー補正のためのガラス板313を通過し、最終的に8つの光束それぞれがアレイレンズ314に入射し、集光されて検出器315に検出される。これら8つの光束のうち隣接する2光束の強度差が所望の干渉信号となり、最終的に信号光の水平偏光成分、垂直偏光成分のそれぞれにつき、互いに90度異なる位相の干渉信号出力であるIチャンネル、Qチャンネルの出力が得られる。

【0026】

ここで、本実施例において高い分岐比が実現可能であることを説明する。本実施例において、光束の分離はビームディスプレイサによる偏光分離に基づいて行われた。従って、この分離時の分岐比(分岐された2光束の強度比)は、入射する光の水平偏光成分と垂直偏光成分の比で決まっている。従って、ビームディスプレイサの直前に配置された波長板304、305、309、311の軸方向が所望の値となっていれば、ビームディスプレイサや波長板の製作精度やばらつきによらず、1:1の分岐比を実現することが可能である。波長板304、305、309、311の軸方向はそれぞれ調整可能であるため、調整により極めて高い精度で1:1の分岐比を実現することが可能である。特に波長板304、305、ビームディスプレイサ306、307による光束分離はIチャンネルとQチャンネルを発生させる箇所であり、従来に比べて大幅に高い精度でIチャンネルとQチャンネルの強度比を等しくすることが可能である。

【0027】

また、本実施例のビームディスプレイサのような偏光分離素子は、基本的に水平偏光成分と垂直偏光成分を別々の光束に分離するため、無偏光ハーフビームスプリッタで現れる、分岐後の光の水平偏光成分と垂直偏光成分の間の位相差が原理的に発生しない。従ってI、Qチャンネル分岐時に、光束分離に由来するチャンネル間の位相差偏差が発生しない。同様に、信号光、局部発振光の合波や干渉光生成箇所においても位相差偏差が発生しないため、結果的に復調器としてIチャンネル出力とQチャンネル出力の間の位相差偏差(90°からのずれ)を抑圧することが可能である。

【0028】

また、ガラス板308、313の役割について説明する。ビームディスプレイサによって変位を伴って出射される光束と、変位を伴わずに出射される光束は、平行に出射するが、ビームディスプレイサ内部での屈折率が異なるため、異なる光路長を経て出射されている。この光路長差は、変調信号の受信器としてはスキュー(変調信号の各ポート間のタイミング差)として現れ、受信器としての性能劣化に直結するため相対的に短い光路長を経て出射された、変位を伴わない出射光束に対し、ガラス板を通過させて他方の光束と光路長が等しくなるようにする。但し、ビームディスプレイサにおけるスキュー発生量が十分小さく無視できる場合は、これらガラス板は省略可能である。

【 0 0 2 9 】

本実施例において、基本的に信号光と局部発振光は同一のビームディスプレイサを通過している。これは、ビームディスプレイサの点数を減らすだけでなく、ビームディスプレイサの厚さばらつきによる、ビーム分離距離の差を生じさせない効果もある。例えば図4のように、信号光と局部発振光をそれぞれ異なるビームディスプレイサで分離した後に、別のビームディスプレイサで合波する場合を考える。このような場合、信号光を分離するビームディスプレイサと局部発振光を分離するビームディスプレイサの間に厚さの誤差が生じていると、信号光と局部発振光を分離した時の変位量が異なる。すると、別のビームディスプレイサで合波する際に、2つの光束対が変位量の差のために正確に合波できなくなり、結果的に干渉光の生成効率が悪くなり、受信器の性能劣化につながる。これに対し

10

【実施例2】

【 0 0 3 0 】

本実施例は、実施例1におけるビームディスプレイサを偏光ビームスプリッタに置き換えた別の実施例である。本実施例の構成図を図5に示す。偏光ビームスプリッタは通常、図6(a)のごとく入射面601に対してほぼ垂直に光束が入射され、分離面602において入射光束の水平偏光成分が光軸を変えずに透過し、垂直偏光成分が90°の方向に反射する。これに対し、本実施例では図6(b)のごとく、偏光ビームスプリッタへの入射角を変え、光束が入射面601、出射面603、604で屈折して方向が変わることを利用し、分離面での透過光605と反射光606が入射光607と平行に出射されるようにしている。従って実施例1のビームディスプレイサと全く同等に扱うことができる。但し、ビームディスプレイサにおける分離された光束間の距離はビームディスプレイサの外形と光軸方向により決まっているのに対し、本実施例の偏光ビームスプリッタについては、図7のように偏光ビームスプリッタを入射光束と垂直方向に移動させることにより、反射光束位置を可変とすることができ、透過光束、反射光束間の距離の微調整が可能である。

20

【実施例3】

【 0 0 3 1 】

本実施例は、実施例1、2における、I, Qチャンネル生成のための偏光分離と、干渉光生成のための偏光合波を同時に行う別の実施形態である。図8に構成図を示す。実施例1と同様にビームディスプレイサ303で偏光分離され、/2板304または/4板305によって偏光変換された信号光、局部発振光は、偏光ビームスプリッタ802, 803のいずれかに入射される。ここで、偏光ビームスプリッタ802, 803は信号光、局部発振光それぞれの水平偏光成分、垂直偏光成分を分離するが、図9に示すように、信号光の水平偏光成分と、局部発振光の垂直偏光成分が同軸となって合波され、また信号光の垂直偏光成分と、局部発振光の水平偏光成分が同軸となって合波される。すなわち、実施例1においてビームディスプレイサ306, 307によってなされた偏光変換と、ビームディスプレイサ310によってなされた信号光、局部発振光の合波が、偏光ビームスプリッタ802, 803によって同時になされている。偏光ビームスプリッタ802, 803より出射される4光束は実施例1においてビームディスプレイサ301から出射される4光束と同一であり、これらの光束が検出されるまでの過程は実施例1と同一である。

30

40

【 0 0 3 2 】

なお、図10のように、偏光分離素子として偏光ビームスプリッタ(光束の入射方向は図6(a)のごとく、透過光と反射光が90度の方向を向く方向)のみを用いた構成も可能である。

【実施例4】

【 0 0 3 3 】

本実施例は、本発明のDP-QPSK信号復調器の、スキューを抑圧した別の実施形態である。本実施例の構成図を図11に示す。入力された信号光は局部発振光とともに偏光ビームスプリッタ1101に入射し、図9のごとく信号光の垂直偏光成分と局部発振光の

50

水平偏光成分が合波された第一の合波光束 1102 と、信号光の水平偏光成分と局部発振光の垂直偏光成分が合波された第二の合波光束 1103 とが生成される。第一の合波光束 1102 は無偏光ビームスプリッタ 1104 に入射し、透過光である第一の分岐光束と反射光である第二の分岐光束に分岐される。同様に第二の合波光束は無偏光ビームスプリッタ 1105 に入射し、反射光である第三の分岐光束と透過光である第四の分岐光束に分岐される。第一、第三の分岐光束はそれぞれ / 2 板 1106, 1107 (軸方位: 水平偏光方向に対して 22.5 度) を、第二、第四の分岐光束は / 4 板 1108、1109 (軸方位: 水平偏光方向に対して 45 度) を、それぞれ通過し、信号光、局部発振光が水平偏光成分と垂直偏光成分を等しく有する偏光状態とされる。これら分岐光束は偏光ビームスプリッタ 1110 または 1111 によって水平偏光成分と垂直偏光成分とに分離され、干渉光が生成される。各偏光ビームスプリッタからの透過光と反射光はそれぞれミラー 1112 で反射されてレンズ 1113 により集光され、それぞれ検出器 1114 の隣接した受光部に入射し、これらの強度差に対応する信号が生成される。第一、第二の分岐光から生成される出力信号はそれぞれ、信号光の垂直偏光成分に対する I チャンネル出力信号、Q チャンネルであり、第三、第四の分岐光から生成される出力信号はそれぞれ、信号光の水平偏光成分に対する I チャンネル出力信号、Q チャンネルである。

【0034】

なお、本構成において、無偏光ビームスプリッタ 1104、1105 は偏光ビームスプリッタ 1101 から等しい距離に配置されており、また偏光ビームスプリッタ 1110 と無偏光ビームスプリッタ 1104 との距離、偏光ビームスプリッタ 1111 と無偏光ビームスプリッタ 1105 との距離はいずれも等しく配置されている。さらに、偏光ビームスプリッタ 1110, 1111 のそれぞれから生成される反射光、透過光は、ほぼ整列した状態で検出器に入射する。すなわち、光軸がこれらの光束を検出する検出器の中心軸に対して対称であり、かつ検出器に近づく方向へ出射されている。このように対称性を持った構成のため、各干渉光の偏光ビームスプリッタ 1101 での合波時点からミラー 1112 に到達するまでの光路長が等しい。さらにミラーの 1112 から反射された光束は実質的に整列して検出器 1114 に入射するため、ミラー 1112 反射時点から検出器 1114 に到達するまでの各光束の光路長も等しくなり、結果として各干渉光の、偏光ビームスプリッタ 1101 での合波時点から検出器 1114 に到達するまでの光路長が等しくなる。すなわちスキューが発生しない。さらに、偏光ビームスプリッタ 1101、1110、1111 や無偏光ビームスプリッタ 1104、1105 の搭載位置ずれなどによりミラー 1112 到達以前の光束にスキューが発生した場合も、ミラー 1112 のそれぞれの位置、角度を微調整することによりミラー 1112 から検出器 1114 までの光路長を微調整し、スキューを補正することが可能であり、スキューの抑圧が容易である。

【実施例 5】

【0035】

本実施例は、本発明の DQPSK 信号復調器の実施形態である。図 12 に構成図を示す。入力されたランダムな偏光状態の信号光は、実施例 1 と同様、ビームディスプレイサ 1201 によって水平偏光成分と垂直偏光成分とに分離される。分離された光束は / 2 板 1202 (軸方向: 水平偏光方向に対して 22.5 度) によって水平偏光成分と垂直偏光成分を等しく有する偏光状態とされた後、ビームディスプレイサ 1203、1204 のいずれかによって水平偏光成分と垂直偏光成分が別々の光束として分離され、I, Q チャンネルに対応する光束が生成される。これらの光束は / 2 板 1205 (軸方向: 水平偏光方向に対して 22.5 度)、 / 4 板 1206 (軸方向: 水平偏光方向に対して 45 度)、 / 2 板 1207 (軸方向: 水平偏光方向に対して 67.5 度)、 / 4 板 1208 (軸方向: 水平偏光方向に対して 135 度) のいずれかにより水平偏光成分と垂直偏光成分を等しく有する偏光状態とされた後、それぞれ偏光ビームスプリッタ 1209 により透過する水平偏光成分と反射する垂直偏光成分とに分離される。このうち反射された光束はミラー 1210, 1211 により光路を折り返されることで透過光に対して信号光の 1 シンボル分の遅延が与えられた状態で偏光ビームスプリッタ 1213 に入射し、ここで透過光

と合波される。これらの合波光束は、実施例 1 における信号光と局部発振光とが合波された合波光束に対応しており、実施例 1 と同様、 $\lambda/2$ 板 1 2 1 4 (軸方向: 水平偏光方向に対して 22.5°)、ビームディスプレイサ 1 2 1 5 を通過することで干渉光が生成される。本実施例における干渉光とは、偏光ビームスプリッタ 1 2 0 9 における透過光束と反射光束との干渉光である。これらの干渉光は実施例 1 と同様にガラス板 1 2 1 6 によってスキュー補正され、一部の光束は $\lambda/2$ 板 1 2 1 7 (軸方向: 水平偏光方向に対して 45°) を通過する。この時点で、ビームディスプレイサ 1 2 0 1 によって分離された水平偏光成分の光束に由来する干渉光は垂直偏光に、垂直偏光成分の光束に由来する干渉光は水平偏光になっている。そしてこれら水平偏光の干渉光と垂直偏光の干渉光はビームディスプレイサ 1 2 1 8 によって合波され、アレイレンズ 1 2 1 9 によって検出器 1 2 2 0 に集光され、検出される。

10

【0036】

なお、偏光ビームスプリッタ 1 2 0 9 で反射した光束にはシリコン単結晶 1 2 1 3 が挿入されている。これは図示しない発熱体により温度を可変とされ、温度による屈折率変化のために反射光束の (偏光ビームスプリッタ 1 2 0 8 の透過光束に対する) 位相が調整される。この位相は I チャンネルにおいて 0° となるように調整される。ここで、 $\lambda/2$ 板 1 2 0 5, 1 2 0 7、 $\lambda/4$ 板 1 2 0 6, 1 2 0 8 によって Q チャンネルにおける位相は I チャンネルにおける上記位相に対して 90° となるように調整されており、I チャンネルにおける位相を 0° に設定することで、Q チャンネルにおける位相は必然的に 90° となる。また、I チャンネルと Q チャンネルに相当する光束は 2 つずつあるが、同一チャンネルに相当する 2 光束の位相は $\lambda/2$ 板 1 2 0 5, 1 2 0 7、 $\lambda/4$ 板 1 2 0 6, 1 2 0 8 により等しくなるように設定されている。

20

【0037】

本実施例において、光束の分離は基本的にビームディスプレイサや偏光ビームスプリッタのような偏光分離素子を用いている。ビームディスプレイサ 1 2 0 1 は入力される信号光の偏光状態がランダムであっても、それを 2 つの所定の偏光状態の光束に分離するため、その後の偏光分離素子による光束の分岐を、入力された信号光の偏光状態によらずに精度良く行うことを可能にしている。

【0038】

また、ビームディスプレイサ 1 2 1 8 は、ビームディスプレイサ 1 2 0 1 によって分岐された信号光の水平偏光成分と垂直偏光成分を再び合波する目的で挿入されている。これは、信号光の位相変調が D P - Q P S K と異なり偏波多重されておらず、復調器の出力として、入力される信号光の偏光状態によらない出力であることが望ましいためである。逆に、偏波多重された D Q P S K 信号を復調する場合は、 $\lambda/2$ 板 1 2 1 7、ビームディスプレイサ 1 2 1 8 を取り除き、8 つの干渉光束を検出して実施例と同様に偏光成分ごとに I チャンネル、Q チャンネルの信号を出力する復調器とすればよい。

30

【実施例 6】

【0039】

本実施例は、実施例 5 における偏光ビームスプリッタ 1 2 0 9 の偏光分離と、偏光ビームスプリッタ 1 2 1 2 の 2 光束合波を同時に行う別の実施形態である。本実施例の構成図を図 1 3 に示す。本実施例の場合、実施例 4 のビームディスプレイサ 1 2 0 3, 1 2 0 4 の代わりに偏光ビームスプリッタ 1 3 0 1 により入力された信号光の水平偏光成分、垂直偏光成分それぞれに対する I チャンネル、Q チャンネルに相当する光束が生成される。偏光ビームスプリッタ 1 3 0 1 での反射光束 (垂直偏光成分) はプリズムミラー 1 3 0 2, 1 3 0 3 により光路を変えて信号変調 1 シンボル分の遅延が与えられた後、 $\lambda/2$ 板 1 3 0 4 (軸方向: 水平偏光方向に対して 22.5°) を通過し、水平偏光成分と垂直偏光成分が等しく含まれた偏光状態となる。同様に偏光ビームスプリッタ 1 3 0 2 での透過光束 (水平偏光成分) は $\lambda/4$ 板 1 3 0 5 (軸方向: 水平偏光方向に対して 45°) を通過し、水平偏光成分と垂直偏光成分が等しく含まれた偏光状態となる。(但し、水平偏光成分と垂直偏光成分には 90° の位相差が発生している)。これらの光束は従って実施例 3 と

40

50

同様に、図9のごとく、偏光ビームスプリッタ1306によって各光束の水平偏光成分と垂直偏光成分が分離され、かつ異なる光束と合波される。ここで生成される4つの光束は実施例4における偏光ビームスプリッタによって生成される合波光束と同等であり、以後の過程は実施例4と同一である。(但し入力された信号光の水平偏光成分、垂直偏光成分に基づく干渉光の合波はI、Qチャンネルで別々のビームディスプレイサ1307、1308を用いている)

【実施例7】

【0040】

図14は、本発明のDP-QPSKの送受信器(光通信モジュール)の構成を示すものである。図14に示すように、本送受信器1401は送信部1402と受信部1403からなる。送信部1402は複数のデータ信号1404とクロック信号1405とマルチプレクサ1406より4つのデータ変調信号1407、1408、1409、1410と、クロック信号1411を生成する。4つのデータ変調信号1407、1408、1409、1410は、それぞれ別々のドライバ1412、1413、1414、1415により位相変調器1416、1417、1418、1419を変調し、レーザ光源1420から出射された光に対してDP-QPSK信号変調を行う。なお、位相変調器1416、1417により信号変調された光と位相変調器1418、1419により信号変調された光とは偏光が互いに直交した状態で偏光ビームスプリッタ1421において合波され、DP-QPSK信号変調された光が生成される。クロック信号1411はドライバ1422に送られ、パルルカーバ1423によりDP-QPSK信号変調された光に対してパルス状の変調が加えられる。このようにして変調された光1424が送信される。

【0041】

受信部はDP-QPSK信号変調された光1425が、受信部に用意されたレーザ光源1426からの局部発振光1427とともに実施例1に示したものと同様の復調器1428に入力され、ここで入力された信号光の直交する偏光成分のそれぞれに対してIチャンネル出力信号1429、1430とQチャンネル出力信号1431、1432が生成される。これらはADコンバータ1433によりデジタル信号へと変換された後、デジタル信号処理回路1434に入力され、ここで再生信号1435が生成される。この再生信号はデマルチプレクサ1436において複数のデータ信号1437とクロック信号1438に分離される。

【実施例8】

【0042】

図15は、本発明のDQPSKの送受信器(光通信モジュール)の構成を示すものである。図12に示すように、本送受信器1501は送信部1502と受信部1503からなる。送信部1502は複数のデータ信号1504とクロック信号1505とマルチプレクサ1506より第一のデータ変調信号1507と第二のデータ変調信号1508と、クロック信号1509を生成する。第一のデータ変調信号1507と第二のデータ変調信号1508は、それぞれ第一のドライバ1510と第二のドライバ1511によって第一の位相変調器1512と第二の位相変調器1513を変調し、レーザ光源1514から出射された光に対して差動位相偏移変調を行う。クロック信号1509は第三のドライバ1515に送られ、パルルカーバ1516により差動位相偏移変調された光に対してパルス状の変調が加えられる。このようにして変調された光1517が送信される。

【0043】

受信部は差動位相偏移変調された光1518が入力され、実施例5に示したものと同様の復調器1519によってIチャンネル出力信号1520とQチャンネル出力信号1521が生成され、これらはデマルチプレクサ1522(信号処理部)において複数のデータ信号1523とクロック信号1524に分離される。また、制御部1525は、シリコン単結晶を加熱するヒータへの駆動信号を発生するドライバ1526を制御し、遅延干渉計の位相制御を行う。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 4 4 】

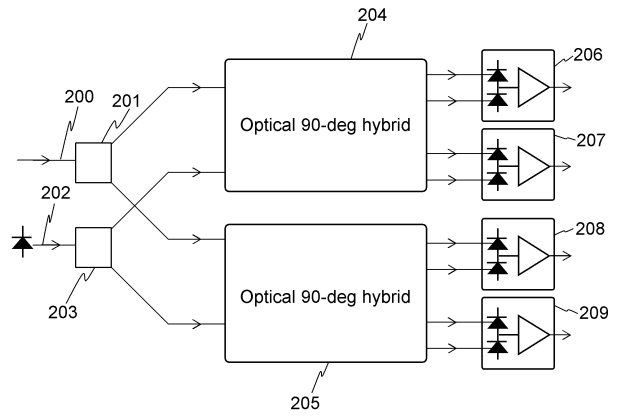
本発明により、低コスト、高性能な大容量光通信システムの受信機を実現することができる。通信容量の大容量化に貢献することができる。

【 符号の説明 】

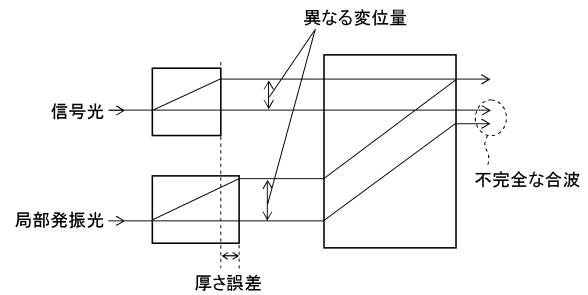
【 0 0 4 5 】

100 被変調光、101 光分岐素子、102、103 分岐光、104、108 分岐素子、105、109 遅延部、106、110 合波素子、107、111 検出器、200 被変調光、201 偏光分離素子、202:局部発振光、203 光分岐素子、204、205 光90度ハイブリッド、206、207、208、209 平衡型検出器、301 信号光、302 局部発振光、303 ビームディスプレイサ、304 / 2板、305 / 4板、306、307 ビームディスプレイサ、308 ガラス板、309 / 2板、310 ビームディスプレイサ、311 / 2板、312 ビームディスプレイサ、313 ガラス板、314 アレイレンズ、315 検出器、501、502、503、504、505 偏光ビームスプリッタ、600 偏光ビームスプリッタ、601 入射面、602 分離面、603、604 出射面、605 透過光、606 反射光、802、803 偏光ビームスプリッタ、1001、1002 偏光ビームスプリッタ、1003 ミラー、1004 レンズ、1101 偏光ビームスプリッタ、1102、1103 分岐光束、1104、1105 無偏光ビームスプリッタ、1106、1108 / 2板、1107、1109 / 4板、1110、1111 偏光ビームスプリッタ、1112 ミラー、1113 レンズ、1114 検出器、1201、1203、1204、1215、1218 ビームディスプレイサ、1202、1205、1207 / 2板、1206、1208 / 4板、1209、1212 偏光ビームスプリッタ、1210、1211 ミラー、1213 シリコン単結晶、1214 / 2板、1216 ガラス板、1217 / 2板、1219 アレイレンズ、1220 検出器、1301、1306 偏光ビームスプリッタ、1302、1303 プリズムミラー、1304 / 2板、1305 / 4板、1307、1308 ビームディスプレイサ、1401 送受信機、1402 送信部、1403 受信部、1404 データ信号、1405 クロック信号、1406 マルチプレクサ、1407、1408、1409、1410 データ変調信号、1411 クロック信号、1412、1413、1414、1415 ドライバ、1416、1417、1418、1419 位相変調器、1420 レーザ光源、1421 偏光ビームスプリッタ、1422 ドライバ、1423 パルスカーバ、1424、1425 変調光、1426 レーザ光源、1427 局部発振光、1428 復調器、1429、1430 Iチャンネル出力信号、1431、1432 Qチャンネル出力信号、1433 ADコンバータ、1434 デジタル信号処理回路、1435 再生信号、1436 デマルチプレクサ、1437 データ信号、1438 クロック信号、1501 送受信機、1502 送信部、1503 受信部、1504 データ信号、1505 クロック信号、1506 マルチプレクサ、1507、1508 データ変調信号、1519 クロック信号、1510、1511 ドライバ、1512、1513 位相変調器、1514 レーザ光源、1515 ドライバ、1516 パルスカーバ、1517、1518 変調光、1519 復調器、1520 Iチャンネル出力信号、1521 Qチャンネル出力信号、1522 デマルチプレクサ、1523 データ信号、1524 クロック信号、1525 制御部、1526 ドライバ。

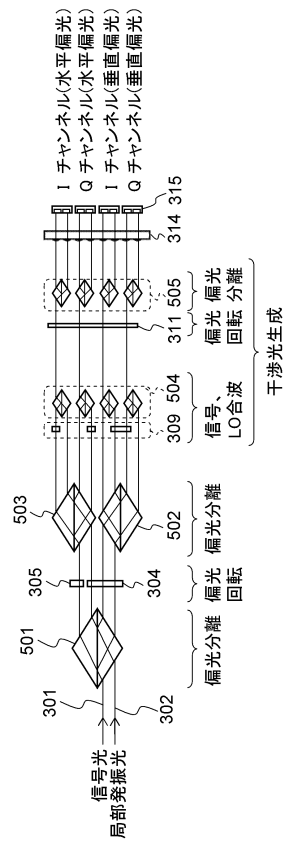
【 図 2 】



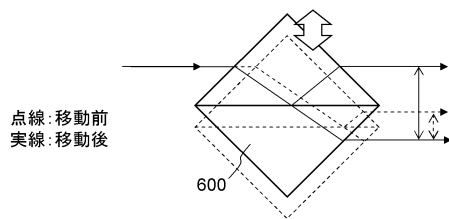
【 図 4 】



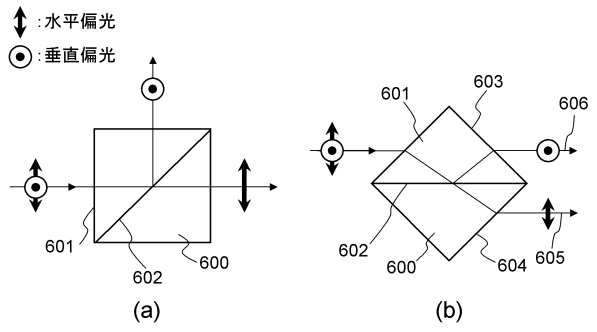
【 図 5 】



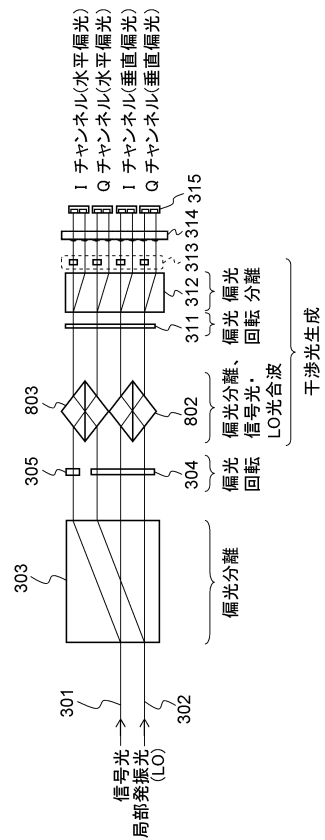
【 図 7 】



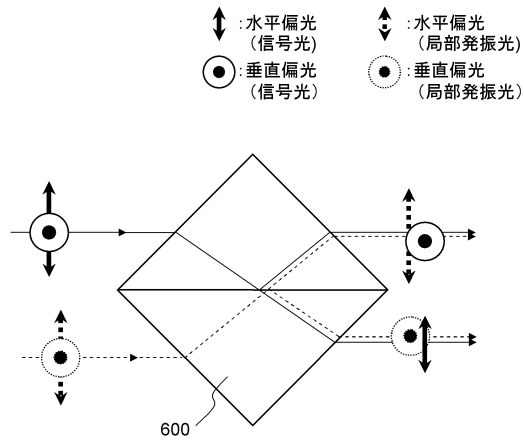
【 図 6 】



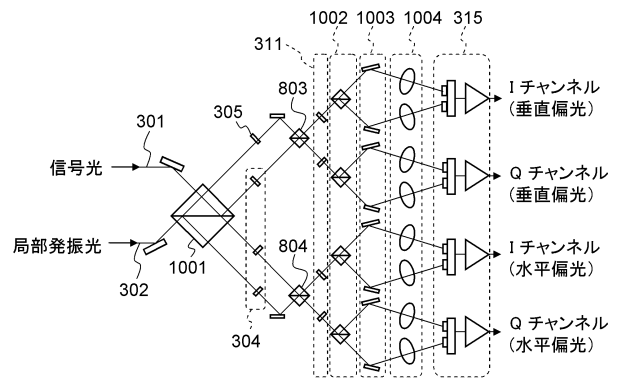
【 図 8 】



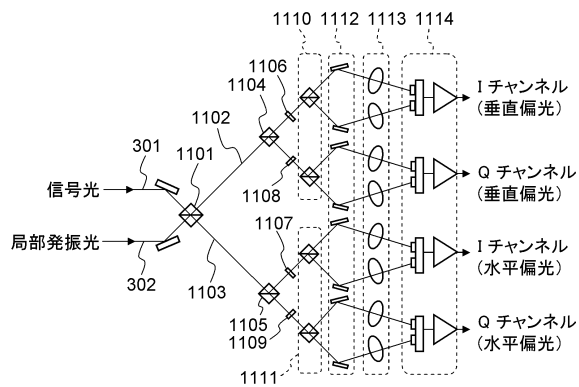
【図 9】



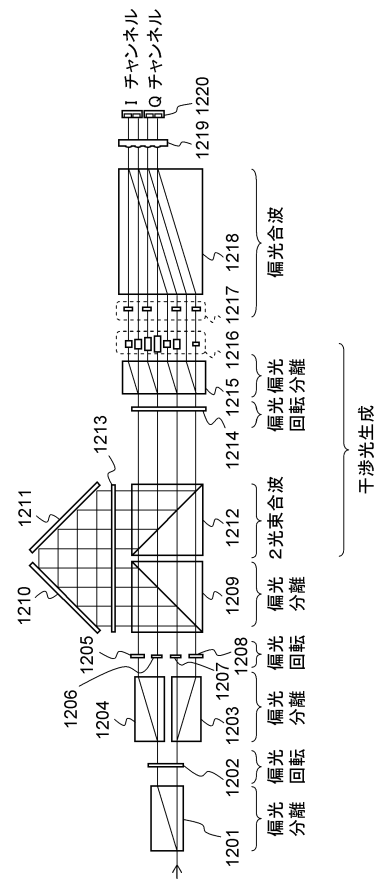
【図 10】



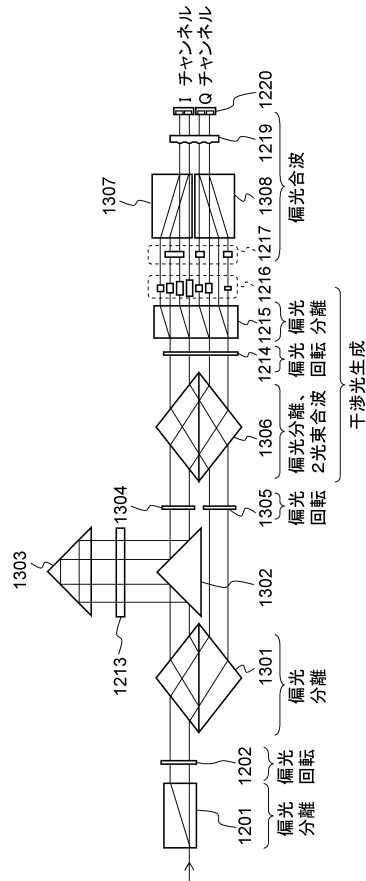
【図 11】



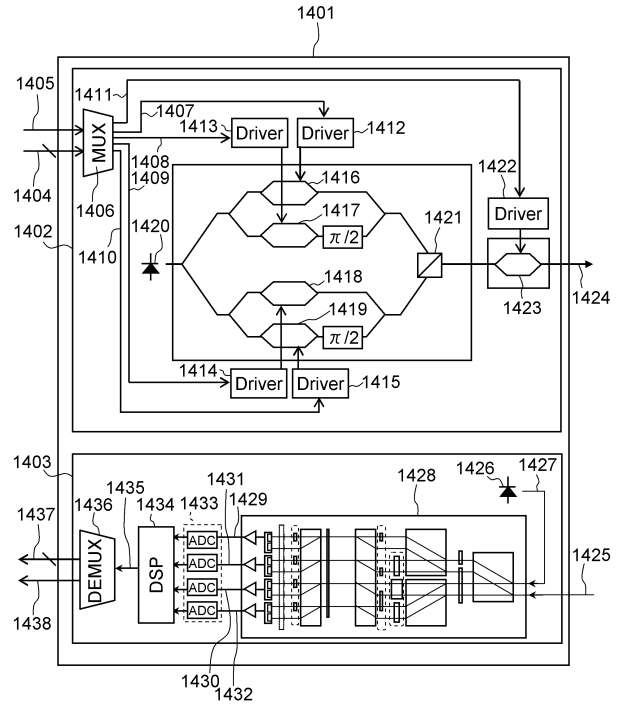
【図 12】



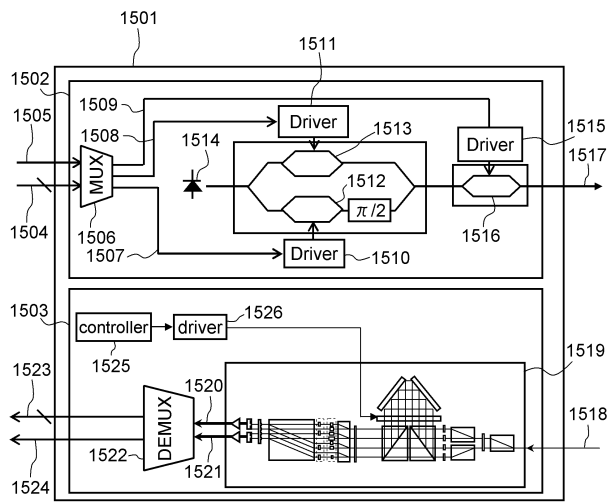
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(56)参考文献 中国実用新案第201491031(CN, U)
特開2008-263590(JP, A)
特開平01-167723(JP, A)
特開昭63-052530(JP, A)
国際公開第2009/031196(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 2/00
H04B 10/00 - 10/90
H04J 14/00 - 14/08