

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6983891号  
(P6983891)

(45) 発行日 令和3年12月17日(2021.12.17)

(24) 登録日 令和3年11月26日(2021.11.26)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 4 B 10/61 (2013.01)** HO 4 B 10/61  
**GO 2 F 2/00 (2006.01)** GO 2 F 2/00

請求項の数 10 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2019-532541 (P2019-532541)	(73) 特許権者	000208891
(86) (22) 出願日	平成30年7月19日 (2018.7.19)		KDDI株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/026998		東京都新宿区西新宿二丁目3番2号
(87) 国際公開番号	W02019/021917	(74) 代理人	110003281
(87) 国際公開日	平成31年1月31日 (2019.1.31)		特許業務法人大塚国際特許事務所
審査請求日	令和1年10月28日 (2019.10.28)	(74) 代理人	100076428
(31) 優先権主張番号	特願2017-143411 (P2017-143411)		弁理士 大塚 康德
(32) 優先日	平成29年7月25日 (2017.7.25)	(74) 代理人	100115071
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光受信機及びコヒーレント光受信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1偏波の局所光と、前記第1偏波とは直交する第2偏波の信号光を合波して第1合波光を出力する第1合波手段と、

前記第1合波光を第1電気信号に変換する第1変換手段と、

前記第1偏波及び前記第2偏波の偏波面それぞれと45度の角度の偏波面の成分を通過させる第1偏光手段と、

前記第1偏光手段を通過した前記第1合波光の成分を第2電気信号に変換する第2変換手段と、

前記第1偏波又は前記第2偏波の光を1/4波長だけ遅延させる第1遅延手段と、

前記第1偏波及び前記第2偏波の偏波面それぞれと45度の角度の偏波面の成分を通過させる第2偏光手段と、

前記第1遅延手段及び前記第2偏光手段を通過した前記第1合波光の成分を第3電気信号に変換する第3変換手段と、

前記第1電気信号を分岐して、第4電気信号及び第5電気信号を出力する分岐手段と、

前記第2電気信号から前記第4電気信号を減ずる第1減算手段と、

前記第3電気信号から前記第5電気信号を減ずる第2減算手段と、

を備え、

前記第1合波手段は、前記第1合波光を、前記第1変換手段、前記第1偏光手段及び前記第1遅延手段それぞれに出力する、光受信機。

10

20

## 【請求項 2】

前記第 1 合波手段は、同じ電力の前記第 1 合波光を、前記第 1 変換手段、前記第 1 偏光手段及び前記第 1 遅延手段それぞれに出力し、

前記分岐手段は、前記第 1 電気信号を分岐して、前記第 1 電気信号の半分の振幅の前記第 4 電気信号及び前記第 5 電気信号を出力する、請求項 1 に記載の光受信機。

## 【請求項 3】

前記第 1 偏光手段及び前記第 1 遅延手段それぞれに出力される前記第 1 合波光の電力は、前記第 1 変換手段に出力される前記第 1 合波光の 2 倍の電力であり、

前記分岐手段は、前記第 1 電気信号を分岐して、前記第 1 電気信号の半分の電力の前記第 4 電気信号及び前記第 5 電気信号を出力する、請求項 1 に記載の光受信機。

10

## 【請求項 4】

前記第 2 偏波の局所光と、前記第 1 偏波の信号光を合波して第 2 合波光を出力する第 2 合波手段と、

前記第 2 合波光を第 6 電気信号に変換する第 4 変換手段と、

前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を通過させる第 3 偏光手段と、

前記第 3 偏光手段を通過した前記第 2 合波光の成分を第 7 電気信号に変換する第 5 変換手段と、

前記第 1 偏波又は前記第 2 偏波の光を 1 / 4 波長だけ遅延させる第 2 遅延手段と、

前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を通過させる第 4 偏光手段と、

20

前記第 2 遅延手段及び前記第 4 偏光手段を通過した前記第 2 合波光の成分を第 8 電気信号に変換する第 6 変換手段と、

前記第 6 電気信号を分岐して、第 9 電気信号及び第 10 電気信号を出力する分岐手段と

、前記第 7 電気信号から前記第 9 電気信号を減ずる第 3 減算手段と、

前記第 8 電気信号から前記第 10 電気信号を減ずる第 4 減算手段と、

をさらに備え、

前記第 2 合波手段は、前記第 2 合波光を、前記第 4 変換手段、前記第 3 偏光手段及び前記第 2 遅延手段それぞれに出力する、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光受信機。

30

## 【請求項 5】

光源が射出する光を偏波分離して前記第 1 偏波の局所光及び前記第 2 偏波の局所光を出力する第 1 分離手段と、

光伝送路から受信する光を偏波分離して前記第 1 偏波の信号光及び前記第 2 偏波の信号光を出力する第 2 分離手段と、

をさらに備えている、請求項 4 に記載の光受信機。

## 【請求項 6】

第 1 偏波の局所光と、前記第 1 偏波とは直交する第 2 偏波の信号光を合波して第 1 合波光を出力する第 1 合波手段と、

前記第 1 合波光を第 1 電気信号に変換する第 1 変換手段と、

40

前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を通過させる第 1 偏光手段と、

前記第 1 偏光手段を通過した前記第 1 合波光の成分を第 2 電気信号に変換する第 2 変換手段と、

前記第 1 偏波又は前記第 2 偏波の光を 1 / 4 波長だけ遅延させる第 1 遅延手段と、

前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を通過させる第 2 偏光手段と、

前記第 1 遅延手段及び前記第 2 偏光手段を通過した前記第 1 合波光の成分を第 3 電気信号に変換する第 3 変換手段と、

前記第 1 電気信号をデジタル変換して第 1 デジタル値を出力する第 1 出力手段と、

50

前記第 2 電気信号をデジタル変換して第 2 デジタル値を出力する第 2 出力手段と、  
 前記第 3 電気信号をデジタル変換して第 3 デジタル値を出力する第 3 出力手段と、  
 前記第 1 デジタル値に所定係数を乗じて第 4 デジタル値を求め、前記第 2 デジタル値から前記第 4 デジタル値を減ずる処理と、前記第 3 デジタル値から前記第 4 デジタル値を減ずる処理を行う処理手段と、  
 を備え、

前記第 1 合波手段は、前記第 1 合波光を、前記第 1 変換手段、前記第 1 偏光手段及び前記第 1 遅延手段それぞれに出力する、光受信機。

【請求項 7】

前記所定係数は 0.5 である、請求項 6 に記載の光受信機。

10

【請求項 8】

前記所定係数は  $1/2$  である、請求項 6 に記載の光受信機。

【請求項 9】

第 1 偏波の局所光と、前記第 1 偏波とは直交する第 2 偏波の信号光を合波して合波光を出力することと、

前記合波光を分岐して第 1 合波光と、第 2 合波光と、第 3 合波光と、を出力することと

、  
 前記第 1 合波光を第 1 電気信号に変換することと、

前記第 2 合波光から前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を取り出して第 2 電気信号に変換することと、

20

前記第 3 合波光に含まれる前記第 1 偏波の局所光又は前記第 2 偏波の信号光を  $1/4$  波長だけ遅延させた後、前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を取り出して第 3 電気信号に変換することと、

前記第 1 電気信号を分岐して、第 4 電気信号及び第 5 電気信号を生成することと、

前記第 2 電気信号から前記第 4 電気信号を減ずることと、

前記第 3 電気信号から前記第 5 電気信号を減ずることを、

含む、コヒーレント光受信方法。

【請求項 10】

第 1 偏波の局所光と、前記第 1 偏波とは直交する第 2 偏波の信号光を合波して合波光を出力することと、

30

前記合波光を分岐して第 1 合波光と、第 2 合波光と、第 3 合波光と、を出力することと

、  
 前記第 1 合波光を第 1 電気信号に変換することと、

前記第 2 合波光から前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を取り出して第 2 電気信号に変換することと、

前記第 3 合波光に含まれる前記第 1 偏波の局所光又は前記第 2 偏波の信号光を  $1/4$  波長だけ遅延させた後、前記第 1 偏波及び前記第 2 偏波の偏波面それぞれと 45 度の角度の偏波面の成分を取り出して第 3 電気信号に変換することと、

前記第 1 電気信号をデジタル変換して第 1 デジタル値を出力することと、

前記第 2 電気信号をデジタル変換して第 2 デジタル値を出力することと、

40

前記第 3 電気信号をデジタル変換して第 3 デジタル値を出力することと、

前記第 1 デジタル値に所定係数を乗じて第 4 デジタル値を求め、前記第 2 デジタル値から前記第 4 デジタル値を減ずる処理と、前記第 3 デジタル値から前記第 4 デジタル値を減ずる処理を行うことと、

を含む、コヒーレント光受信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コヒーレント光通信システムの光受信機及びコヒーレント光受信方法に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

通信容量の増大に対応するためコヒーレント光通信システムが利用されている。通常、コヒーレント光通信システムの光受信機は、2つの90°光ハイブリッド回路と、4つのバランズドレシーバと、4つのバランズドレシーバが出力する電気信号のアナログ・デジタル変換を行う4つのアナログ・デジタル変換器(ADC)と、を使用して復調を行う。なお、バランズドレシーバは、2つのフォトダイオード(PD)が出力する電気信号の差分を出力するものである。つまり、従来の光受信機は、2つの90°光ハイブリッド回路と、8つのPDと、4つのADCとを必要とする。

## 【0003】

非特許文献1は、上記、従来の光受信機より部品数を削減できる光受信機を開示している。非特許文献1によると、2つの90°光ハイブリッド回路に代えて、2つの3×3カップラを使用し、これにより、PDの数及びADCの数をそれぞれ6つ及び4つに削減している。具体的には、非特許文献1の光受信機は、1つの3×3カップラが出力する3つの光信号を、まず、3つのPDで電気信号に変換する。そして、非特許文献1の光受信機は、この3つのPDが出力する3つの電気信号の重み付き加減算をアナログ的に行って、2つの電気信号を出力し、この2つの電気信号を2つのADCでデジタル信号に変換している。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0004】

【非特許文献1】C. Xie et al, "Colorless coherent receiver using 3×3 coupler hybrid and single-ended detection", Opt. Express, vol. 20, 1164-1171, 2012年

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

非特許文献1の光受信機は、アナログ領域での3つの電気信号の複雑な重み付き加減算を必要とする。このため、非特許文献1は、アナログ領域での複雑な加減算を必要としない別の構成も開示している。当該別の構成によると、光受信機は、1つの3×3カップラが出力する3つの光信号を、まず、3つのPDで電気信号に変換する。そして、この3つのPDが出力する3つの電気信号を3つのADCでデジタル信号に変換し、その後、デジタル領域で複雑な加減算を行っている。つまり、当該別の構成では、2つの3×3カップラと、6つのPDと、6つのADCを使用する。

## 【0006】

本発明は、従来の構成より簡易な構成でコヒーレント光受信を実現する技術を提供するものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の一態様によると、光受信機は、第1偏波の局所光と、前記第1偏波とは直交する第2偏波の信号光を合波して第1合波光を出力する第1合波手段と、前記第1合波光を第1電気信号に変換する第1変換手段と、前記第1偏波及び前記第2偏波の偏波面それぞれと45度の角度の偏波面の成分を通過させる第1偏光手段と、前記第1偏光手段を通過した前記第1合波光の成分を第2電気信号に変換する第2変換手段と、前記第1偏波又は前記第2偏波の光を1/4波長だけ遅延させる第1遅延手段と、前記第1偏波及び前記第2偏波の偏波面それぞれと45度の角度の偏波面の成分を通過させる第2偏光手段と、前記第1遅延手段及び前記第2偏光手段を通過した前記第1合波光の成分を第3電気信号に変換する第3変換手段と、前記第1電気信号を分岐して、第4電気信号及び第5電気信号を出力する分岐手段と、前記第2電気信号から前記第4電気信号を減ずる第1減算手段と

10

20

30

40

50

、前記第3電気信号から前記第5電気信号を減ずる第2減算手段と、を備え、前記第1合波手段は、前記第1合波光を、前記第1変換手段、前記第1偏光手段及び前記第1遅延手段それぞれに出力することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によると、従来の構成より簡易な構成でコヒーレント光受信を実現することができる。

【0009】

本発明のその他の特徴及び利点は、添付図面を参照とした以下の説明により明らかになるであろう。なお、添付図面においては、同じ若しくは同様の構成には、同じ参照番号を付す。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】一実施形態による光受信機の構成図。

【図2】ストークスパラメータ測定の説明図。

【図3】図1の光受信機の置換形態を示す図。

【図4】図1の光受信機の他の置換形態を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の例示的な実施形態について図面を参照して説明する。なお、以下の実施形態は例示であり、本発明を実施形態の内容に限定するものではない。また、以下の各図においては、実施形態の説明に必要な構成要素については図から省略する。

20

【0012】

図1は、本実施形態による光受信機の構成図である。光送信機からの信号光は、偏光ビームスプリッタ11に入力される。偏光ビームスプリッタ11は、信号光の偏波分離を行い、信号光のY偏波成分 $S_y$ を偏光ビームスプリッタ13に出力し、信号光のX偏波成分 $S_x$ を偏光ビームスプリッタ14に出力する。以下、信号光のX偏波成分 $S_x$ 及びY偏波成分 $S_y$ を、それぞれ、信号光 $S_x$ 及び信号光 $S_y$ と呼ぶものとする。一方、図示しない光源が生成する局所光は、偏光ビームスプリッタ12に入力される。偏光ビームスプリッタ12は、局所光の偏波分離を行い、局所光のY偏波成分 $L_y$ を偏光ビームスプリッタ14に出力し、局所光のX偏波成分 $L_x$ を偏光ビームスプリッタ13に出力する。以下、局所光のX偏波成分 $L_x$ 及びY偏波成分 $L_y$ を、それぞれ、局所光 $L_x$ 及び局所光 $L_y$ と呼ぶものとする。なお、X偏波の偏波面とY偏波の偏波面は互いに直交する。光ビームスプリッタ13は、信号光 $S_y$ 及び局所光 $L_x$ を含む光信号（合波光）を1×3カップラ21に出力し、光ビームスプリッタ14は、信号光 $S_x$ 及び局所光 $L_y$ を含む光信号（合波光）を1×3カップラ22に出力する。1×3カップラ21及び22は、それぞれ、入力される光信号を等振幅（等パワー）で3分岐して出力する。

30

【0013】

1×3カップラ21及び22が出力する3つの光信号に対するその後の処理は同様であるため、以下では、1×3カップラ21が出力する3つの光信号に対する処理について説明する。1×3カップラ21が出力する3つの光信号のうちの1つは、PD52に入力される。PD52は、入力される光信号のパワーに対応する電気信号を分岐部61に出力する。1×3カップラ21が出力する3つの光信号のうちの1つは、45度偏光子41に入力される。45度偏光子41は、X偏波及びY偏波の偏波面それぞれに対して45度の角度を持った偏波面の成分（以下、45度成分と呼ぶ。）のみを通過させる。45度偏光子41を通過後の光信号は、PD51に入力される。したがって、PD51は、信号光 $S_y$ の45度成分及び局所光 $L_x$ の45度成分のビート信号を電気信号として出力する。

40

【0014】

1×3カップラ21が出力する3つの光信号のうちの1つは、1/4波長板31を通過後、45度偏光子42に入力される。本実施形態において、1/4波長板31は、X偏波

50

の光に対してY偏波の光を1/4波長だけ遅延させて45度偏光子42に出力する。なお、1/4波長板31は、Y偏波の光に対してX偏波の光を1/4波長だけ遅延させるものであっても良い。45度偏光子42は、X偏波及びY偏波の偏波面それぞれに対して45度の角度を持った偏波面の成分(45度成分)のみを通過させる。45度偏光子42を通過後の光信号は、PD53にされる。したがって、PD53は、信号光Syの45度成分及び局所光Lxの45度成分のビート信号を電気信号として出力する。ただし、1/4波長板31により、PD53にされる信号光Syの45度成分は、1/4波長だけ遅延されている。

【0015】

PD51が出力する電気信号は減算器71のプラス端子にされ、PD53が出力する電気信号は減算器72のプラス端子にされる。PD52が出力する電気信号は、分岐部61で分岐され、それぞれ、減算器71及び減算器72のマイナス端子にされる。なお、分岐部61が出力する2つの電気信号の振幅は、PD52が出力する電気信号の振幅の半分とする。減算器71及び減算器72は、それぞれ、プラス端子にされる電気信号からマイナス端子にされる電気信号を減じた電気信号を出力する。減算器71及び減算器72それぞれが出力する電気信号は、示しないADCによりデジタル信号に変換されて、DSP等の処理回路にされる。

【0016】

続いて、1の構成で復調できる理由について説明する。そのため、まず、1x3光カップラ21が出力する信号光Sy及び局所光Lxを含む合波光についてのストークスパラメータについて説明する。局所光Lxを複素数Exで表し、信号光Syを複素数Eyで表すと、合波光のストークスパラメータS0、S1、S2及びS3は、それぞれ、以下の式で表される。

$$S_0 = |E_x|^2 + |E_y|^2 \quad (1)$$

$$S_1 = |E_x|^2 - |E_y|^2 \quad (2)$$

$$S_2 = 2 \operatorname{Re} [E_x^* E_y] \quad (3)$$

$$S_3 = 2 \operatorname{Im} [E_x^* E_y] \quad (4)$$

なお、式(3)及び(4)のEx\*は、Exの共役複素数であり、Re及びImは、それぞれ、実数部分及び虚数部分を取り出すことを意味している。式(3)及び(4)から明らかのように、S2 + jS3は、信号光Syをコヒーレント検出して得た信号に対応し、S2 + jS3により信号光Syを復調できる。

【0017】

なお、ストークスパラメータS0、S1、S2及びS3には、以下の関係がある。

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \quad (5)$$

【0018】

続いて、ストークスパラメータの測定について説明する。測定対象の光信号を等振幅(等パワー)で4分岐し、それぞれ、2に示す回路81~84にする。2の回路81において、PDは、分岐光の全体の受光量に対応する電流I0を出力する。2の回路82においては、分岐光の基準偏波面の光成分のみを0度偏光子で取り出し、PDは、この光成分に対応する電流I1を出力する。2の回路83においては、基準偏波面に対して45度の角度を有する偏波面の光成分を分岐光から取り出し、PDは、この光成分に対応する電流I2を出力する。2の回路84においては、基準偏波面に対して90度の角度の偏波面の光成分の位相を1/4波長だけ遅延させ、その後、基準偏波面に対して45度の角度を有する偏波面の光成分を分岐光から取り出し、PDは、この光成分に対応する電流I3を出力する。よく知られているように、ストークスパラメータは、電流I0、I1、I2、I3から以下の式で求められる。

$$S_0 = I_0 \quad (6)$$

$$S_1 = 2 \times I_1 - I_0 \quad (7)$$

$$S_2 = 2 \times I_2 - I_0 \quad (8)$$

$$S_3 = 2 \times I_3 - I_0 \quad (9)$$

## 【 0 0 1 9 】

ここで、図 1 の P D 5 2 は、図 2 の回路 8 1 に対応し、図 1 の 4 5 度偏光子 4 1 及び P D 5 1 は、図 2 の回路 8 3 に対応し、図 1 の 1 / 4 波長板 3 1、4 5 度偏光子 4 2 及び P D 5 3 は、図 2 の回路 8 4 に対応する。つまり、図 1 の P D 5 2 は、合波光についての上記電流  $I_0$  を出力し、P D 5 1 は、合波光についての上記電流  $I_2$  を出力し、P D 5 3 は、合波光についての上記電流  $I_3$  を出力する。

## 【 0 0 2 0 】

したがって、P D 5 2 が出力する電流  $I_0$  と、P D 5 1 が出力する電流  $I_2$  と、P D 5 3 が出力する電流を  $I_3$  と、に基づき上記式 ( 8 ) 及び ( 9 ) より  $S_2$  及び  $S_3$  を求めることができる。ここで、減算器 7 1 は、P D 5 1 が出力する電気信号 ( 電流  $I_2$  ) から、P D 5 2 が出力する電気信号 ( 電流  $I_0$  ) の半分の振幅を減ずるものであるため、減算器 7 1 が出力する電気信号は  $S_2$  を示すものとなる。一方、減算器 7 2 は、P D 5 3 が出力する電気信号 ( 電流  $I_3$  ) から、P D 5 2 が出力する電気信号 ( 電流  $I_0$  ) の半分の振幅を減ずるものであるため、減算器 7 2 が出力する電気信号は  $S_3$  を示すものとなる。したがって、1 × 3 カップラ 2 1 が出力する光信号に基づき減算器 7 1 及び減算器 7 2 が出力する電気信号を、それぞれ、デジタル信号に変換し、図示しない処理部に入力する。この電気信号は、上述した様に、信号光の Y 偏波成分をコヒーレント検出して得た信号に対応する。同様に、1 × 3 カップラ 2 2 が出力する光信号に基づき 2 つの減算器が出力する電気信号を、それぞれ、デジタル信号に変換し、図示しない処理部に入力する。1 × 3 カップラ 2 2 には、元の信号光の X 偏波成分が入力されるため、この電気信号は、信号光の X 偏波成分をコヒーレント検出して得た信号に対応する。したがって、処理部は、この 4 つの電気信号に基づき信号光を復調することができる。

## 【 0 0 2 1 】

図 1 の構成から明らかな様に、本実施形態の光受信機に必要な P D の数は 6 つであり、A D C の数は 4 つであり、非特許文献 1 に記載の構成と同様である。しかしながら、本実施形態の光受信機においては、アナログ領域にて、各減算器 7 1 及び 7 2 での、2 つの電気信号の単なる減算処理を行うのみであり、アナログ領域での複雑な加減算を必要としない。

## 【 0 0 2 2 】

なお、非特許文献 1 の別の構成と同様に、アナログ領域での加減算をデジタル領域で行う様に変更することも可能である。その場合、P D 5 1 ~ P D 5 3 が出力する 3 つの電気信号を、それぞれ、3 つの A D C でデジタル信号に変換して処理部に入力する。ここで、P D 5 2 の出力に基づくデジタル信号が示す値を第 1 デジタル値とし、P D 5 1 の出力に基づくデジタル信号が示す値を第 2 デジタル値とし、P D 5 3 の出力に基づくデジタル信号が示す値を第 3 デジタル値とする。処理部は、第 1 デジタル値に所定係数を乗じて第 4 デジタル値を求める。なお、所定係数は 0 . 5 である。そして、処理部は、第 2 デジタル値から、第 4 デジタル値を減じることで  $S_2$  を求め、第 3 デジタル値から、第 4 デジタル値を減じることで  $S_3$  を求める。この場合、非特許文献 1 の別の構成と同様に、P D 及び A D C をそれぞれ 6 つ使用するが、処理部でのデジタル演算の処理負荷は、非特許文献 1 の別の構成より軽くなる。

## 【 0 0 2 3 】

なお、図 1 の偏光ビームスプリッタ 1 3 及び 1 4 と、1 × 3 光カップラ 2 1 及び 2 2 を、図 3 に示す様に、3 × 3 光カップラ 2 3 及び 2 4 に置換することもできる。3 × 3 光カップラ 2 3 は、入力される信号光  $S_y$  及び局所光  $L_x$  を合波し、さらに、合波光を 3 つに分岐して出力する。同様に、3 × 3 光カップラ 2 4 は、入力される信号光  $S_x$  及び局所光  $L_y$  を合波し、さらに、合波光を 3 つに分岐して出力する。

## 【 0 0 2 4 】

さらに、図 1 の構成においては、偏光ビームスプリッタ 1 1 が信号光の偏波分離を行い、偏光ビームスプリッタ 1 2 が局所光の偏波分離を行い、偏光ビームスプリッタ 1 3 及び 1 4 は、それぞれ、互いに直交する偏波の信号光及び局所光を合波していた。しかしなが

10

20

30

40

50

ら、図4に示す様に、偏光ビームスプリッタ11～14を、偏光ビームスプリッタ15に置換することもできる。図4に示す偏光ビームスプリッタ15は、入力される光のX偏波成分を90度だけ偏向し、Y偏波成分については直進させる。したがって、局所光と信号光の入射方向を90度だけ異ならせることで、偏光ビームスプリッタ15は、信号光 $S_x$ と局所光 $L_y$ を合波した光と、信号光 $S_y$ と局所光 $L_x$ を合波した光と、をそれぞれ出力する。さらに、図4の偏光ビームスプリッタ15として、MZI（マッハツエンダー干渉計）型の偏光ビームスプリッタを使用することも可能であり、この場合、局所光と信号光の入射方向が互いに直交する様に調整する必要はない。

【0025】

なお、上記実施形態において、1×3カップラ21及び22は、それぞれ、入力される光信号を等振幅（等パワー）で3分岐して出力し、分岐部61は、PD52が出力する電気信号の半分の振幅の電気信号を出力するものとした。この場合、減算器71は、入力される2つの信号の減算を行うことで $S_2$ を示す電気信号を出力し、減算器72は、入力される2つの信号の減算を行うことで $S_3$ を示す電気信号を出力することができる。しかしながら、分岐部61が出力する電気信号の電力は、入力される電気信号の電力の1/4になる。以下では、信号対雑音比（SN比）の劣化を抑えるため、分岐部61として、PD52が出力する電気信号の半分の電力の電気信号を出力する分岐部を使用する場合について説明する。

【0026】

まず、この場合、分岐部61は、PD52が出力する電気信号の1/(2)の振幅の電気信号を出力することになる。上述した様に、減算器71及び減算器72が、入力される2つの信号の減算を行うことで $S_2$ 及び $S_3$ を示す電気信号を出力するためには、減算器71及び減算器72のプラス端子に入力される電気信号の振幅は、分岐部61が出力する信号の2倍でなければならない。つまり、減算器71及び減算器72のプラス端子に入力される電気信号の振幅は、PD52が出力する電気信号の2倍でなければならない。ここで、フォトダイオードは、入力される光のパワーに比例した振幅の電気信号を出力する。したがって、この場合、1×3カップラ21及び22は、それぞれ、入力される光信号を、そのパワーが2:1:2となる様に分岐すれば良い。つまり、1×3カップラ21は、PD52に出力する光信号の2倍の電力の光信号を、それぞれ、45度偏光子51及び1/4波長板31に出力する様にすれば良い。1×3カップラ22についても同様である。また、PD51～PD53が出力する3つの電気信号を、それぞれ、3つのADCでデジタル信号に変換して処理する場合、上述した所定係数を1/2とすれば良い。

【0027】

本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために、以下の請求項を添付する。

【0028】

本願は、2017年7月25日提出の日本国特許出願特願2017-143411を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てを、ここに援用する。

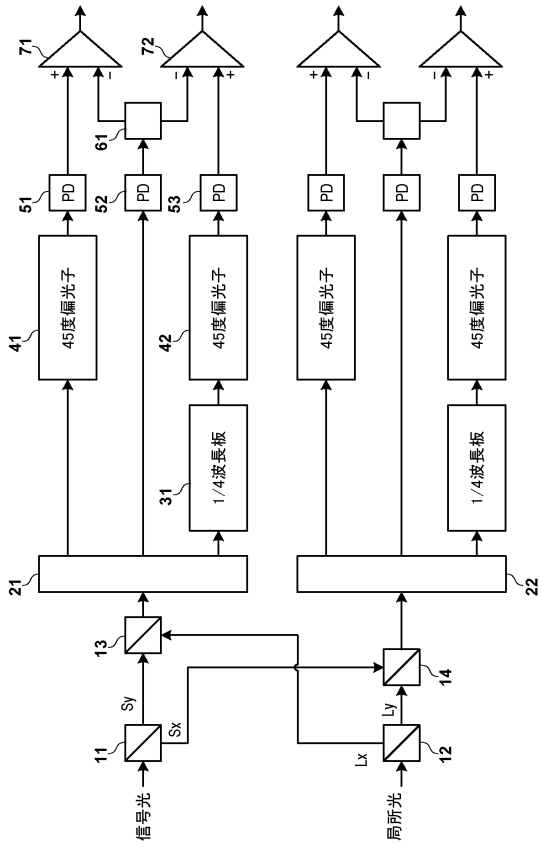
10

20

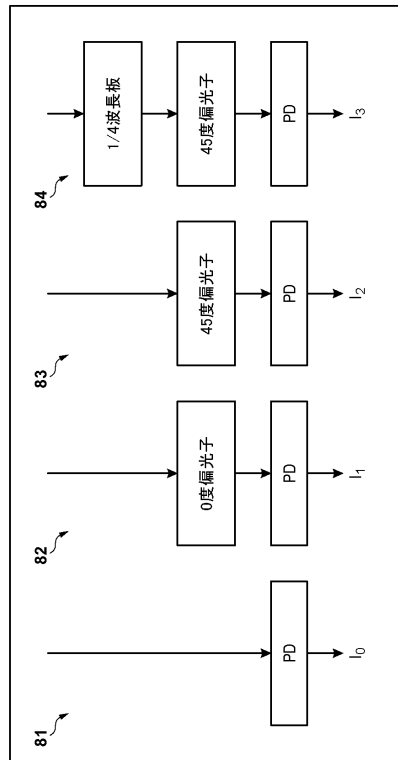
30

40

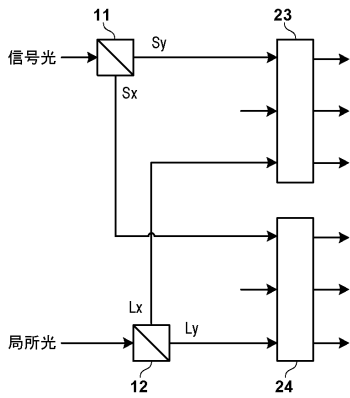
【图 1】



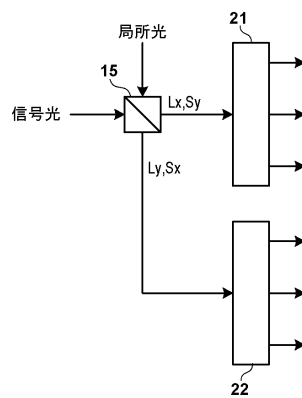
【图 2】



【图 3】



【图 4】



## フロントページの続き

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(74)代理人 100131886

弁理士 坂本 隆志

(74)代理人 100170667

弁理士 前田 浩次

(72)発明者 石村 昇太

埼玉県ふじみ野市大原二丁目1番15号 株式会社KDDI総合研究所内

審査官 対馬 英明

(56)参考文献 特開2015-136015(JP,A)

KIKUCHI K. et al., Multi-level signaling in the Stokes space and its application to large-capacity optical communications, OPTICS EXPRESS, 米国, OSA, 2014年03月24日, Vol. 22, No. 7, pages 7374-7387

XIE C. et al., Colorless coherent receiver using 3x3 coupler hybrids and single-ended detection, OPTICS EXPRESS, 米国, OSA, 2012年01月04日, Vol. 20, No. 2, pages 1164-1171

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/00 - 10/90

H04J 14/00 - 14/08

G02F 1/00 - 1/125

G02F 1/21 - 7/00