

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-19272

(P2015-19272A)

(43) 公開日 平成27年1月29日(2015.1.29)

(51) Int.Cl.

H04L 9/12 (2006.01)

F I

H04L 9/00 631

テーマコード (参考)

5J104

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2013-145636 (P2013-145636)
 (22) 出願日 平成25年7月11日(2013.7.11)

(出願人による申告) 平成25年度、独立行政法人情報通信研究機構「高度通信・放送研究開発委託研究／セキュアフォトリックネットワーク技術の研究開発 課題ア 量子鍵配送ネットワーク制御技術」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100110423
 弁理士 曾我 道治
 (74) 代理人 100111648
 弁理士 梶並 順
 (74) 代理人 100122437
 弁理士 大宅 一宏
 (74) 代理人 100147566
 弁理士 上田 俊一
 (74) 代理人 100161171
 弁理士 吉田 潤一郎
 (74) 代理人 100161115
 弁理士 飯野 智史

最終頁に続く

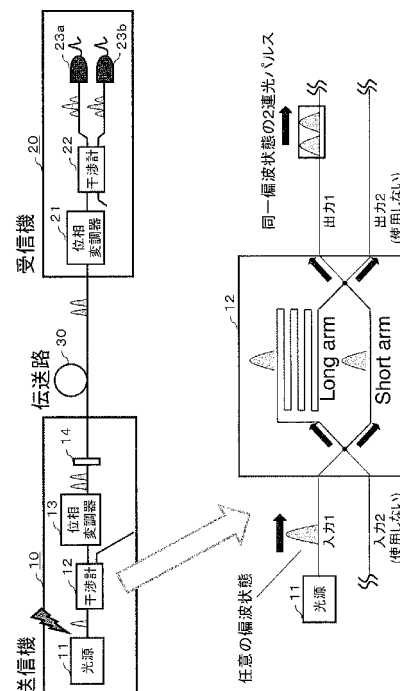
(54) 【発明の名称】 量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法

(57) 【要約】

【課題】送信機内で偏波変動が生じた場合にも、受信機内に入力する2連光パルス同士が同一偏波状態であるという前提条件が常に成立し、干渉明瞭度を改善することのできる量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法を得る。

【解決手段】送信機(10)と受信機(20)との間で量子暗号処理された2連光パルスを用いた通信を行う量子暗号装置であって、送信機(10)は、受信機に対して出力する2連光パルスを同一の偏波状態とする偏波補償部を備える。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

送信機と受信機との間で量子暗号処理された 2 連光パルスを用いた通信を行う量子暗号装置であって、

前記送信機は、前記受信機に対して出力する前記 2 連光パルスを同一の偏波状態とする偏波補償部を備える

量子暗号装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の量子暗号装置において、

前記偏波補償部は、前記 2 連光パルスを生成する干渉計の導波路長差をビート長の整数倍とすることで構成される

量子暗号装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の量子暗号装置において、

前記偏波補償部は、前記 2 連光パルスを生成する干渉計の前段に設置され、前記干渉計へ入力する光信号の偏波状態をモニタリングし補償する偏波補償器で構成される

量子暗号装置。

【請求項 4】

請求項 2 または 3 に記載の量子暗号装置において、

前記送信機内の前記干渉計の温度を、前記受信機内の干渉計とは別個の設定温度により一定に保つように制御し、前記干渉計で生成される前記 2 連光パルス間の遅延量を一定に保つ温度制御部

をさらに備える量子暗号装置。

【請求項 5】

送信機と受信機との間で量子暗号処理された 2 連光パルスを用いた通信を行う量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法であって、

前記送信機において、前記受信機に対して出力する前記 2 連光パルスを同一の偏波状態とする偏波補償ステップと、

前記送信機内の前記干渉計の温度を、前記受信機内の干渉計とは別個の設定温度により一定に保つように制御し、前記干渉計で生成される前記 2 連光パルス間の遅延量を一定に保つ温度制御ステップと

を備える量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、送信機内で偏波変動が生じた場合にも、干渉明瞭度を改善することのできる量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

量子暗号を行うと、通信を行う送受信装置間で秘密鍵を共有することができる。しかしながら、送受信装置や伝送路中で光信号にノイズが加わり、偏光状態がランダムに変化すると、光学系の干渉明瞭度が劣化し、結果として、装置性能（すなわち、秘密鍵の生成速度や通信距離など）が低下する。

【0003】

そこで、このような干渉明瞭度の劣化を防ぐためには、光信号の偏波補償を行うこととなる。従来の偏波補償方式の 1 つとしては、受信側干渉計に偏波保持ファイバを用いた非対称 Mach-Zehnder 干渉計（AMZI）を使用するものがあり、AMZI の Long arm と Short arm の導波路長差が、ビート長の整数倍となるよう適切に調整されている。具体的には、例えば、ファイバや導波路の温度を調整することで、ファイバ長を変化させている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

これにより、伝送路上で生じる偏波変動によって任意の偏波状態の光が入射しても、この偏波状態を補償している（例えば、非特許文献 1 参照）。ただし、このような従来技術を用いる際には、受信装置側に入力する 2 連光パルス同士が同一偏波状態であることが前提となる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特許第 3 8 2 1 6 7 5 号公報

【 非特許文献 】

10

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 Tadamasa Kimura、Yoshihiro Nambu、Takaaki Hatanaka、Akihisa Tomita、Hideo Kosaka and Kazuo Nakamura、Jpn. J. Appl. Phys. 43、No.9A/B pp. L 1217-L 1219 (2004).

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、従来技術には、以下のような課題がある。

受信機側で行う従来の偏波補償方式では、送信機から出力される信号光（2 連光パルス）の偏波状態が同一であれば、伝送路中で生じた偏波変動を補償し、干渉明瞭度を改善することができる。しかしながら、送信機内の光源等で偏波変動が生じていた場合には、出力される信号光（2 連光パルス）の偏波状態が異なるため、受信機で偏波補償を行うための前提条件が成立しない。その結果、入力する 2 連光パルス同士が同一偏波状態であるという前提が成立しないことに起因して、干渉明瞭度を改善できず、通信速度が低下するという問題がある。

20

【 0 0 0 8 】

本発明は、前記のような課題を解決するためになされたものであり、送信機内で偏波変動が生じた場合にも、受信機内に入力する 2 連光パルス同士が同一偏波状態であるという前提条件が常に成立し、干渉明瞭度を改善することのできる量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法を得ることを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明に係る量子暗号装置は、送信機と受信機との間で量子暗号処理された 2 連光パルスを用いた通信を行う量子暗号装置であって、送信機は、受信機に対して出力する 2 連光パルスを同一の偏波状態とする偏波補償部を備えるものである。

【 0 0 1 0 】

また、本発明に係る量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法は、送信機と受信機との間で量子暗号処理された 2 連光パルスを用いた通信を行う量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法であって、送信機において、受信機に対して出力する 2 連光パルスを同一の偏波状態とする偏波補償ステップと、送信機内の干渉計の温度を、受信機内の干渉計とは別個の設定温度により一定に保つように制御し、干渉計で生成される 2 連光パルス間の遅延量を一定に保つ温度制御ステップとを備えるものである。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、送信側の干渉計より出力される 2 連光パルスの偏波状態を同一の状態に揃える偏波補償部を備えることにより、送信機内で偏波変動が生じた場合にも、受信機内に入力する 2 連光パルス同士が同一偏波状態であるという前提条件が常に成立し、干渉明瞭度を改善することのできる量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法を得ることができる。

【 図面の簡単な説明 】

50

【 0 0 1 2 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 における量子暗号装置の構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 における量子暗号装置の受信機の詳細構成図である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 における偏波保持ファイバの説明図である。

【図 4】本発明の実施の形態 1 における受信機内の干渉計の内部構成を詳細に示した図である。

【図 5】本発明の実施の形態 1 における送信機内の干渉計の内部構成を詳細に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

10

以下、本発明の量子暗号装置の好適な実施の形態につき図面を用いて説明する。

本発明の量子暗号装置および量子暗号装置に用いられる送信信号光処理方法は、送信側の干渉計で Long arm と Short arm の導波路長差をビート長の整数倍とする、あるいは送信側の干渉計の前段に偏波補償器を設置することで、送信側の干渉計より出力される 2 連光パルスの偏波状態を同一の状態に揃えることを技術的特徴としており、これにより、Visibility を改善し、量子暗号の通信速度を高めるといった優れた項を実現できる。

【 0 0 1 4 】

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 における量子暗号装置の構成図である。本実施の形態 1 における量子暗号装置は、大きく分けて、送信機（送信装置）10、受信機（受信装置）20、および両者を結ぶ伝送路 30 の 3 つで構成されている。

20

【 0 0 1 5 】

そして、送信機 10 は、レーザ光源 11、干渉計 12、位相変調器 13、および光アッテネータ 14 を備えて構成されている。一方、受信機 20 は、位相変調器 21、干渉計 22、および光検出器 23 を備えて構成されている。また、送信機 10 と受信機 20 を結ぶ伝送路 30 には、光ファイバが使用されている。

【 0 0 1 6 】

以下、送信機 10、受信機 20 のそれぞれの部分における動作を説明する。

< 送信機 10 側の動作説明 >

30

まず、送信機 10 では、レーザ光源 11 からパルス光が発せられる。このパルス光は、送信側の干渉計 12 へと入射し、干渉計 12 内部で 2 つのパルスに分割される。それぞれの光パルスは、Long arm、Short arm を伝播した後、さらに 2 つずつに分割され、干渉計の出力ポート 1、2 から、時間的に離れた 2 連光パルスとして出力される。

【 0 0 1 7 】

ここで、干渉計 12 内部の温度は、ペルチエ素子（温度制御部に相当）等を用いることによって、一定に保っておく必要がある。温度を一定に保つことは、上述した 2 連光パルス間の遅延量を一定に保っておくことに相当する。そして、遅延量が一定でない場合には、光学系の干渉明瞭度が減少することとなる。なお、干渉計 12 の出力ポート 2 から出力された 2 連光パルスは、以降、使用されない。

40

【 0 0 1 8 】

次に、出力ポート 1 から出力された 2 連光パルスは、送信側の位相変調器 13 へと入射する。位相変調器 13 では、2 連パルスの間に相対的な位相差を付加する。与える位相変調量 ϕ_A としては、例えば、 $(-\pi/2, 0, \pi/2, \pi)$ の 4 つの変調量のいずれか 1 つがランダムに選択される。

【 0 0 1 9 】

最後に、光アッテネータ 14 によって、1 パルスあたりの光の強度を単一光子レベルにまで減光する。信号光の光強度は、送信機 10 から出力される際に単一光子レベルになっていけばよい。そこで、減光操作は、例えば、レーザ光源 11 から光が出力された直後や

50

、干渉計 12 の出力ポート 1 の直後で行ってもよい。最後に、送信機 10 から出力された 2 連光パルスは、伝送路 30 へと入射する。

【0020】

< 受信機 20 側の動作説明 >

一方、受信機 20 では、まず、伝送路 30 から出力された 2 連光パルスが、受信側の位相変調器 21 へと入力される。位相変調器 21 は、送信機 10 側で行った処理と同様に、2 連光パルスの間に相対的な位相差を付加する。与える位相変調量 ϕ_B としては、例えば、 $(-\pi/2, 0, \pi/2, \pi)$ の 4 つの変調量のいずれか 1 つがランダムに選択される。

【0021】

受信機 20 側で与える位相変調量は、本来ならば $(0, \pi/2)$ からランダムに選択すればよい。しかしながら、後段の光検出器 23a、23b の量子効率が、光検出器 23a と光検出器 23b とでは一般には異なる。このため、上述した 4 値からランダムに位相変調量を選択することによって、得られる鍵の値の偏り (0 と 1 の比) を解消することができる (例えば、特許文献 1 参照)。

【0022】

図 2 は、本発明の実施の形態 1 における量子暗号装置の受信機 20 の詳細構成図である。上述した透過成分が減少する問題を解決するために、この図 2 における受信機 20 では、偏光ビームスプリッタ (PBS) 24a、24b と、位相変調器 21a、21b を組み合わせることによって、伝送路 30 中の偏光状態に依存することなく、位相変調を行うことを実現している。

【0023】

ただし、この図 2 に示した構成の場合には、光部品点数が増えているので、光検出器 23a、23b へ到達する光パルス数が減少してしまう。一方、図 1 に示したように、位相変調器 21 と PBS 24 とを組み合わせない場合には、光部品点数が少ないので、光検出器 23a、23b へ到達する光パルス数は、図 2 の場合に比べて多くなる。

【0024】

しかしながら、位相変調器 21 にて付加する変調量が、偏光依存性を持っている場合には、受信機 20 や伝送路 30 でのノイズが大きいと、意図した位相変調量がかからないこととなる。したがって、結果として、QBER 値が増加し、秘密鍵の生成速度が低下する結果となる。

【0025】

ここで、位相変調を行う部分を、位相変調器 21a、21b と PBS 24a、24b を組み合わせる図 2 の場合と、位相変調器 21 単体のみの図 1 の場合のどちらが秘密鍵の生成速度が高いかは、量子暗号装置の性能 (各光部品の性能) や、伝送路 30 の状態に依存するため、一概には言えない。

【0026】

次に、受信側の位相変調器 21 から出力された 2 連光パルスは、受信側の干渉計 22 の入力ポート 1 へと入射する。送信側の干渉計 12 と同様に、この受信側の干渉計 22 でも、2 連光パルスのそれぞれが 2 つのパルスずつに分割され、Long arm と Short arm を伝播した後、出力ポート 1、出力ポート 2 に出力される。

【0027】

このとき、送信側の干渉計 12 と同様に、受信側の干渉計 22 内部の温度を、一定に保つとともに、送信側の干渉計 12 で生じた 2 連光パルス間の遅延量と同じ分の遅延量を生じさせる温度に設定することで、Long arm を伝播したパルスのうちの前方のパルスと、Short arm を伝播したパルスのうちの後方のパルスが干渉し、3 連光パルスとなって出力される。

【0028】

干渉した光パルス (3 連光パルスの真ん中のパルス) が、出力ポート 1、出力ポート 2 のどちらから出力されるかは、送信側の位相変調器 13 で付加した位相変調量 ϕ_A と、受

10

20

30

40

50

信側の位相変調器 21 で付加した位相変調量 ϕ_B で決まる。

【0029】

さらに、ここで設定する受信側の干渉計 12 内部の温度は、後述するように、適切な値を設定することで、出力ポート 1、出力ポート 2 から出力される光強度の比が、入射する光パルスの偏光状態に依存しないようにすることができる。

【0030】

最後に、受信側の干渉計 22 から出力された 3 連光パルスのうちの真ん中のパルスが、光検出器 23a、23b によって検出される。

【0031】

次に、送信機 10 内の干渉計 12 と、受信機 20 内の干渉計 22 について、さらに詳細に説明する。

まず、受信側の干渉計 22 では、干渉計 22 の入出力用ファイバに偏波保持ファイバを用い、その Long arm と Short arm の導波路長差が、ビート長の整数倍となるように適切に調整される。

【0032】

ここで、偏波保持ファイバのビート長とは、入射した光の偏光状態が再び同一の偏光状態に戻るまでの距離のことである。図 3 は、本発明の実施の形態 1 における偏波保持ファイバの説明図である。図 3 に示すように、偏波保持ファイバでは、偏波を保持するために付加されている応力付与部の影響で、fast 軸方向に偏光した光と、slow 軸方向に偏光した光とで感じる屈折率が異なる。

【0033】

これにより、任意の偏光状態の光が伝播するにしたがって、fast 軸方向に偏光した光と slow 軸方向に偏光した光の位相差が変化する。この位相差の変化量が 2π に達したときの偏光状態は、入射時のものと等しい。したがって、ビート長とは、fast 軸方向に偏光した光と slow 軸方向に偏光した光の位相差の変化量が、 2π に達するまでの導波路長とも言える。

【0034】

導波路長の調整方法としては、例えば、温度を変化させて熱光学効果や熱膨張・収縮を利用する方法、あるいはストレッチャーを用いて直接長さを調整する方法などがある。このようにして、Long arm と Short arm の導波路長差をビート長の整数倍とする。

【0035】

図 4 は、本発明の実施の形態 1 における受信機 20 内の干渉計 22 の内部構成を詳細に示した図である。図 4 において、Long arm と Short arm の導波路長差をビート長の整数倍となるように調整される。このような調整を行うことで、伝送路上で生じる偏波変動によって任意の偏波状態の光が受信側の干渉計 22 の入力ポート 1 へと入力した場合にも、Long arm を伝播した前方のパルスと Short arm を伝播した後方のパルスとが合波される際の偏光状態を一致させることができる。

【0036】

したがって、偏光モードのミスマッチによる Visibility 低下を避けることができる。ただし、このような受信側での調整方式を用いる際には、受信側干渉計へ入射する任意の偏波状態の 2 連光パルス同士は、同一の偏波状態であることが前提である。

【0037】

そこで、本発明では、送信機 10 内の光源 11 等、特に、干渉計 12 以前の部分において、偏波変動がある場合に、最終的に送信機 10 から出力する 2 連光パルス同士を同一の偏波状態にする信号処理方法について考える。すなわち、本発明は、送信機 10 内で偏波変動が生じた場合にも、常に上記前提条件を成立させ、Visibility を改善することのできる構成を備えていることを技術的特徴とするものである。

【0038】

送信機 10 内の干渉計 12 以前の部分において偏波変動があるとき、送信側の干渉計 1

10

20

30

40

50

2 へ入射する光パルスの偏波状態は、偏波保持ファイバの *f a s t* 軸、および *s l o w* 軸と一般には一致していない。このような光パルスが干渉計 1 2 へ入射すると、出力される 2 連光パルスは、異なる偏波状態の光となる。

【0039】

したがって、一般に、伝送路 3 0 を通過後の 2 連光パルスも異なる偏波状態となり、上述の前提条件が満たされないこととなる。この結果として、*V i s i b i l i t y* が低下し、量子暗号の通信速度が低下するという問題が生じる。

【0040】

このような問題を解消するための送信信号光処理を実現する構成について、図面を用いて具体的に説明する。図 5 は、本発明の実施の形態 1 における送信機 1 0 内の干渉計 1 2 の内部構成を詳細に示した図である。送信機 1 0 内で偏波変動が生じた場合にも、2 連光パルス同士が同一の偏波状態を有するようにするためには、例えば、図 5 に示すように、送信側の干渉計 1 2 が、*L o n g a r m* と *S h o r t a r m* の導波路長差がビート長の整数倍となる構成（偏波補償部に相当）を備えることで、偏波状態を調整することができる。

10

【0041】

このような調整を行うことで、任意の偏波状態の光が送信側の干渉計 1 2 へ入射しても、出力は同一偏波状態の 2 連光パルスとなり、結果として、受信側の干渉計 2 2 で偏波補償を行うための前提条件が成立することとなる。

【0042】

20

また、送信側の出力を同一偏波状態の 2 連光パルスとするための別の方法としては、送信側の干渉計 1 2 の前段に偏波補償器（偏波補償部に相当）を設置し、干渉計 1 2 へ入力する光の偏波状態をモニタリングし補償する構成を採用することもできる。

【0043】

以上のように、従来方式においては、受信側の干渉計で *L o n g a r m* と *S h o r t a r m* の導波路長差をビート長の整数倍とすることで、伝送路上で生じた偏波変動を補償していた。しかしながら、このような従来方式では、送信側、特に、送信側の干渉計より前段で生じる偏波変動に対しては、これを補償することができなかった。

【0044】

そこで、本発明では、送信側の干渉計より出力される 2 連光パルスの偏波状態を同一の状態に揃えることにより、受信側の干渉計で偏波を補償するための前提条件を成立させることを技術的特徴としている。より具体的には、送信側の干渉計で *L o n g a r m* と *S h o r t a r m* の導波路長差をビート長の整数倍とする、あるいは送信側の干渉計の前段に偏波補償器を設置することで、送信側の干渉計より出力される 2 連光パルスの偏波状態を同一の状態に揃えることを実現している。これにより、*V i s i b i l i t y* を改善し、量子暗号の通信速度を高めることができる量子暗号装置を得ることができる。

30

【0045】

さらに、一般的には、量子暗号の干渉計を構成する際に、送信側と受信側のそれぞれの干渉計の設定温度は、同一にしていた。これに対して、本発明では、送信側と受信側のそれぞれの干渉計で、各々異なる最適な温度に設定することをさらなる技術的特徴としている。この結果、光源を含む送信側から検出器を含む受信側までの全体を補償することができる。

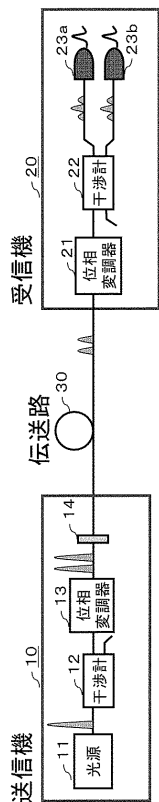
40

【符号の説明】

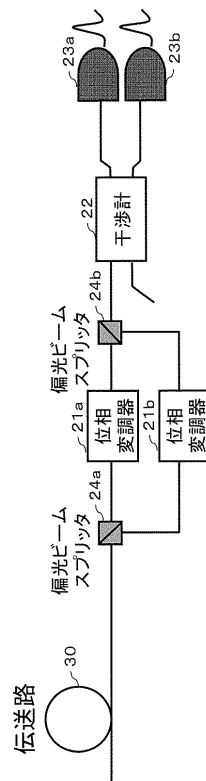
【0046】

1 0 送信機、1 1 光源（レーザ光源）、1 2 干渉計、1 3 位相変調器、1 4 光アッテネータ、2 0 受信機、2 1、2 1 a、2 1 b 位相変調器、2 2 干渉計、2 3 a、2 3 b 光検出器、2 4 a、2 4 b 偏光ビームスプリッタ、3 0 伝送路。

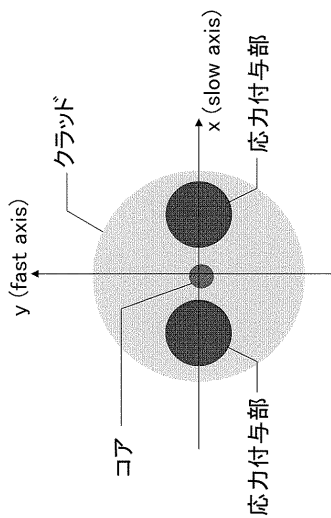
【図 1】



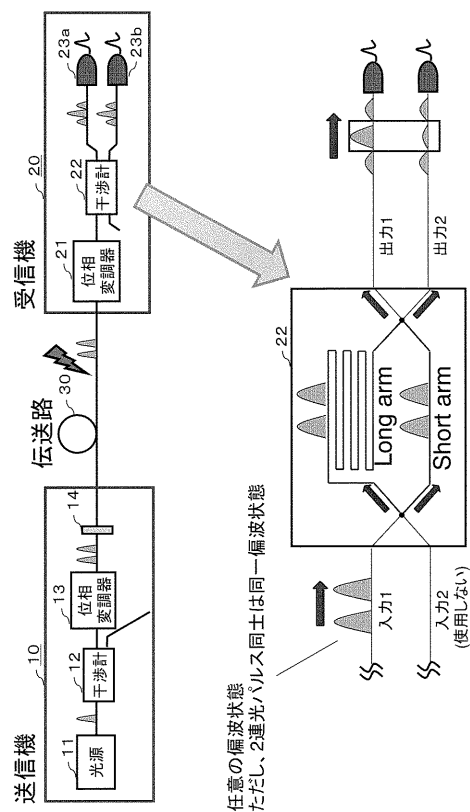
【図 2】



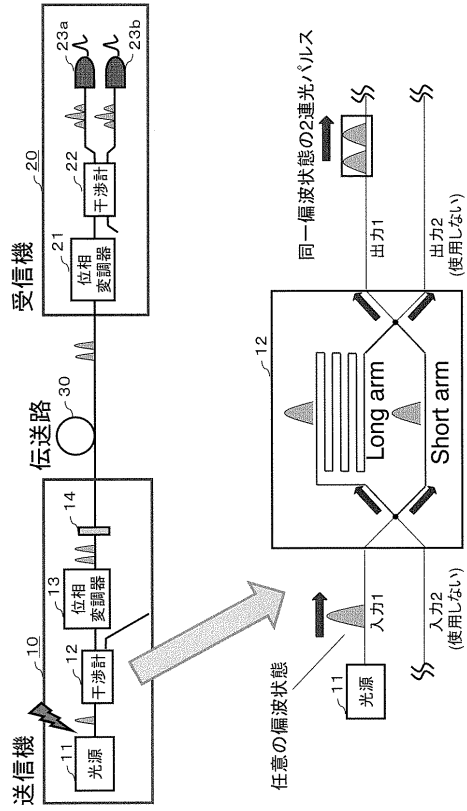
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 浅井 健志

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 長谷川 俊夫

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5J104 AA05 AA27 NA24