

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008年2月7日 (07.02.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/015758 A1

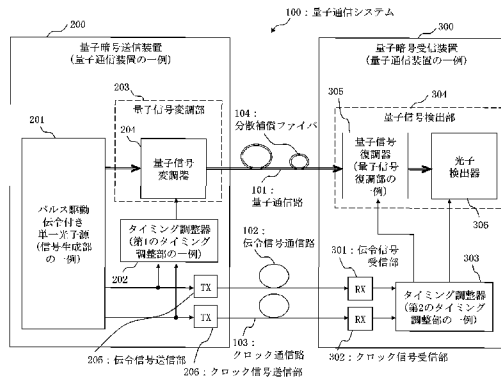
- (51) 国際特許分類:
H04B 10/00 (2006.01) H04L 9/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/315490
- (22) 国際出願日: 2006年8月4日 (04.08.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP). 国立大学法人北海道大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒0600808 北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地 Hokkaido (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 西岡 毅 (NISHIOKA, Tsuyoshi) [JP/JP]; 〒1008310 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 Tokyo (JP). 竹内 繁樹 (TAKEUCHI, Shigeki). ソージャエ

- フアレクサンドル (SOUJAEFF, Alexandre). 長谷川俊夫 (HASEGAWA, Toshio) [JP/JP]; 〒1008310 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 Tokyo (JP). 安部 淳一 (ABE, Junnichi) [JP/JP]; 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 溝井 章司 (MIZOI, Shoji); 〒2470056 神奈川県鎌倉市大船二丁目17番10号 NTA大船ビル3階 溝井国際特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: QUANTUM COMMUNICATION APPARATUS, QUANTUM COMMUNICATION SYSTEM AND QUANTUM COMMUNICATION METHOD

(54) 発明の名称: 量子通信装置及び量子通信システム及び量子通信方法



- 100 - QUANTUM COMMUNICATION SYSTEM
- 200 - QUANTUM ENCRYPTION TRANSMITTER APPARATUS (EXEMPLARY QUANTUM COMMUNICATION APPARATUS)
- 201 - PULSE-DRIVEN MESSENGER SINGLE-PHOTON SOURCE (EXEMPLARY SIGNAL GENERATING PART)
- 203 - QUANTUM SIGNAL MODULATING PART
- 204 - QUANTUM SIGNAL MODULATOR
- 202 - TIMING ADJUSTER (FIRST EXEMPLARY TIMING ADJUSTING PART)
- 205 - MESSENGER SIGNAL TRANSMITTING PART
- 206 - CLOCK SIGNAL TRANSMITTING PART
- 104 - DISTRIBUTION COMPENSATING FIBER
- 101 - QUANTUM COMMUNICATION PATH
- 102 - MESSENGER SIGNAL COMMUNICATION PATH
- 103 - CLOCK COMMUNICATION PATH
- 300 - QUANTUM ENCRYPTION RECEIVER APPARATUS (EXEMPLARY QUANTUM COMMUNICATION APPARATUS)
- 304 - QUANTUM SIGNAL DETECTING PART
- 305 - QUANTUM SIGNAL DEMODULATOR (EXEMPLARY QUANTUM SIGNAL DEMODULATING PART)
- 306 - PHOTON DETECTOR
- 301 - MESSENGER SIGNAL RECEIVING PART
- 302 - CLOCK SIGNAL RECEIVING PART
- 303 - TIMING ADJUSTER (SECOND EXEMPLARY TIMING ADJUSTING PART)

(57) Abstract: To accomplish a stable quantum communication having a high efficiency without being affected by the jitters of messenger signals. In a quantum encryption transmitter apparatus (200), a pulse-driven messenger single-photon source (201) generates a pair of photons, one of which is outputted as a quantum signal and the other of which is outputted as a messenger signal. A timing adjuster (202) outputs the messenger signal, as a trigger signal, in synchronism with a clock signal used to pulse drive the pulse-driven messenger single-photon source (201). A quantum signal modulating part (203) modulates the quantum signal in accordance with the timing of the trigger signal, and transmits the modulated quantum signal to

[続葉有]

WO 2008/015758 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

a quantum encryption receiver apparatus (300) via a quantum communication path (101). A messenger signal transmitting part (205) transmits the messenger signal to the quantum encryption receiver apparatus (300) via a messenger signal communication part (102). A clock signal transmitting part (206) transmits the clock signal to the quantum encryption receiver apparatus (300) via a clock communication part (103).

(57) 要約: 伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することを目的とする。量子暗号送信装置 200 において、パルス駆動伝令付き単一光子源 201 は、光子対を生成し、当該光子対の一方の光子を量子信号として出力するとともに、当該光子対の他方の光子を伝令信号として出力する。タイミング調整器 202 は、伝令信号を、パルス駆動伝令付き単一光子源 201 をパルス駆動するためのクロック信号に同期させてトリガ信号として出力する。量子信号変調部 203 は、トリガ信号のタイミングに合わせて量子信号に信号変調を施し、量子信号を量子暗号受信装置 300 に量子通信路 101 を介して送信する。伝令信号送信部 205 は、伝令信号を量子暗号受信装置 300 に伝令信号通信路 102 を介して送信する。クロック信号送信部 206 は、クロック信号を量子暗号受信装置 300 にクロック通信路 103 を介して送信する。

明 細 書

量子通信装置及び量子通信システム及び量子通信方法

技術分野

[0001] 本発明は、量子通信装置及び量子通信システム及び量子通信方法に関するものである。本発明は、特に、量子暗号通信装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来の伝令付き単一光子源を用いた量子暗号通信装置は、単一光子源から出力される伝令信号を送信装置から受信装置に伝送し、送信装置において、伝令信号をトリガとして量子信号の変調動作を行い、受信装置においても、伝送された伝令信号をトリガとして光子検出動作、及び、量子信号の復調動作を実施していた(例えば、非特許文献1及び2参照)。

[0003] 伝令付き単一光子源とは、パラメトリック下方変換などを用いて双子の光子対を発生させ、一方の光子を測定することで、他方の光子の存在を測定することなく確認し、単一光子源として用いる方式である。ここで、測定された一方の光子の測定出力が他方の光子の出力を知らせる伝令信号として出力される。パラメトリック下方変換などを引き起こすポンプ光源としてCW(Continuous・Wave)レーザを用いるもの(例えば、非特許文献1)と、パルスレーザを用いるものがある。いずれにせよ、確率的な生起事象として双子光子対が発生されるので、光子源としては不規則な時間間隔で単一光子が生成されることになる。

[0004] 量子暗号において、伝令付き単一光子源が好適なものとして用いられるのは、従来のレーザ光を減光したものより、多光子状態が生成される確率が低く、単一光子性の優れた光源であるためである。現在量子暗号に用いられている典型的な光子検出器を用いると、レーザ光を単一光子源として用いたものでは、通信距離25km(キロメートル)程度で安全性が保証できなくなるが、伝令付き単一光子源の場合では、単一光子性が優れているため、50kmを越える距離でも安全性が保証できる。

[0005] 具体的には、伝令付き単一光子源では、一般にポンプ光強度を減少させることで、伝令信号により指定された光パルスの2光子存在確率 $P(2)$ を、1光子存在確率 $P(1)$

)を保ったまま任意に小さくすることができるので、理想的な単一光子源を利用した際と同様の量子暗号の安全性が実現できる。

非特許文献1:A. Trifonov and A. Zavriyev, “Secure communication with a heralded single-photon source,” *Journal of Optics B: Quantum Semiclass. Opt.* 7 No 12 (December 2005) S772–S777, 23 November 2005

非特許文献2:S. Fasel, O. Alibart, S. Tanzilli, P. Baldi, A. Beveratos, N. Gisin and H. Zbinden, “High-quality asynchronous heralded single-photon source at telecom wavelength,” *New Journal of Physics* 6 (November 2004) 163, 12 November 2004

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来の伝令付き単一光子源では、双子光子対の一方を光子検出器で測定することで伝令信号を生成するため、この測定に用いた光子検出器の性能に伝令信号の精度が制限されてしまうという課題があった。

[0007] 例えば、伝令信号として測定される光子としては波長850nm(ナノメートル)以下の短い波長の光が用いられ、この光子の検出のために、SiAPD(Silicon・Avalanche・Photodiode)が好適に用いられる。SiAPDを用いたSPCM(Single・Photon・Counting・Module)という光子検出器ではジッタとして500ps(ピコ秒)くらいの揺らぎがある。このため、単一光子に対して、伝令信号が500psのジッタをもつことになる。量子暗号では通例1.55 μ m(マイクロメートル)の通信波長帯の単一光子が用いられるが、この波長帯の光子検出器(通信波長帯光子検出器)はゲート型ガイガー・モードと呼ばれる光子の入射するタイミングに合わせて動作させる方式をとるため、伝令信号のジッタは無視できない影響を及ぼす。通信波長帯光子検出器は実際100psオーダーでタイミング設定をすることで最適動作を実現しているため、上記SPCMのジッタは無視できない大きさである。

[0008] 本発明は、伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0009] 本発明の一の態様に係る量子通信装置は、
パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して送信する量子通信装置において、
前記単一光子源から出力された量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、トリガ信号として出力するタイミング調整部と、
前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信する量子信号変調部と、
前記伝令信号を、伝令信号通信路を介して送信する伝令信号送信部とを備えることを特徴とする。
- [0010] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を備えることを特徴とする。
- [0011] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を備え、
前記タイミング調整部は、前記伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記トリガ信号として出力することを特徴とする。
- [0012] 前記量子通信装置は、さらに、
前記単一光子源により光子対を生成し、当該光子対の一方の光子を前記量子信号として出力するとともに、当該光子対の他方の光子を前記伝令信号として出力する信号生成部を備え、
前記量子信号変調部は、前記信号生成部から出力された量子信号に信号変調を施し、
前記伝令信号送信部は、前記信号生成部から出力された伝令信号を送信することを特徴とする。
- [0013] 前記信号生成部は、パラメトリック下方変換により前記光子対を生成することを特徴

とする。

[0014] 前記信号生成部は、前記単一光子源から出力された伝令信号と前記クロック信号との論理積演算を行い、当該論理積演算の結果を改めて前記伝令信号として出力することを特徴とする。

前記信号生成部は、前記単一光子源から出力された伝令信号を前記クロック信号により制御し、制御された伝令信号を出力することを特徴とする。

[0015] 本発明の他の態様に係る量子通信装置は、

パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して受信する量子通信装置において、

前記単一光子源から出力された量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、伝令信号通信路を介して受信する伝令信号受信部と、

前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、トリガ信号として出力するタイミング調整部と、

前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子通信路上に存在する量子信号を検出する量子信号検出部とを備えることを特徴とする。

[0016] 前記量子通信装置は、さらに、

前記クロック信号を、クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を備え、

前記タイミング調整部は、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記トリガ信号として出力することを特徴とする。

[0017] 前記量子通信装置は、さらに、

前記クロック信号を、クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を備えることを特徴とする。

[0018] 前記量子信号検出部は、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子通信路上に存在する量子信号に信号復調を施す量子信号復調部を含み、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号復調部により信号復調が施された量子信号を検出することを特徴

とする。

[0019] 前記量子信号検出部は、前記量子通信路を分岐する量子信号分岐部を含み、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号分岐部により分岐された量子通信路上に存在する量子信号を検出することを特徴とする。

[0020] 本発明の一の態様に係る量子通信システムは、
パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を送受信する量子通信システムにおいて、
前記単一光子源から出力された量子信号を搬送する量子通信路と、
前記量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を搬送する伝令信号通信路と、
前記伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力する第1のタイミング調整部と、前記第1のタイミング調整部から出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信する量子信号変調部と、前記伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して送信する伝令信号送信部とを含む第1の量子通信装置と、
前記伝令信号送信部により送信された伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して受信する伝令信号受信部と、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する第2のタイミング調整部と、前記第2のタイミング調整部から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号変調部により前記量子通信路上に送信された量子信号を検出する量子信号検出部とを含む第2の量子通信装置とを備えることを特徴とする。

[0021] 前記量子通信システムは、さらに、
前記クロック信号を搬送するクロック通信路を備え、
前記第1の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号を、前記クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を含み、
前記第2の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号送信部により送信されたクロ

ック信号を、前記クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を含み、

前記第2のタイミング調整部は、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記第2のトリガ信号として出力することを特徴とする。

[0022] 前記量子通信システムは、さらに、

前記クロック信号を搬送するクロック通信路を備え、

前記第2の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号を、前記クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を含み、

前記第1の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号送信部により送信されたクロック信号を、前記クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を含み、

前記第1のタイミング調整部は、前記伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記第1のトリガ信号として出力することを特徴とする。

[0023] 前記量子通信路は、光ファイバの後段に分散補償ファイバを使用したものであることを特徴とする。

[0024] 本発明の一の態様に係る量子通信方法は、

パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して送受信する量子通信方法において、

第1の量子通信装置にて、前記量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力し、

前記第1の量子通信装置にて、前記第1のトリガ信号の出力により出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信し、

前記第1の量子通信装置にて、前記伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して送信し、

第2の量子通信装置にて、前記伝令信号の送信により送信された伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して受信し、

前記第2の量子通信装置にて、前記伝令信号の受信により受信された伝令信号を、前記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力し、

前記第2の量子通信装置にて、前記第2のトリガ信号の出力により出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号の送信により前記量子通信路上に送信された量子信号を検出することを特徴とする。

発明の効果

- [0025] 本発明の一の態様によれば、量子通信装置において、タイミング調整部が伝令信号を、単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、トリガ信号として出力し、量子信号変調部がトリガ信号のタイミングに合わせて量子信号に信号変調を施し、量子信号を、量子通信路を介して送信し、伝令信号送信部が伝令信号を、伝令信号通信路を介して送信することにより、伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することが可能となる。

発明を実施するための最良の形態

- [0026] 以下、本発明の実施の形態について、図を用いて説明する。

- [0027] 実施の形態1.

図1は、本実施の形態に係る量子通信システム100の構成を示すブロック図である。

- [0028] 図1において、量子通信システム100(「量子暗号通信システム」ともいう)は、量子暗号送信装置200と、量子暗号受信装置300と、これらの装置間を接続する量子通信路101(「量子信号通信路」ともいう)と伝令信号通信路102とクロック通信路103(「パルス・クロック通信路」又は「パルス・クロック信号通信路」ともいう)を備える。

- [0029] 量子通信路101は、量子信号として光子を搬送する通信路である。量子通信路101が光ファイバを用いて長距離通信するものである場合、その後段に分散補償ファイバ104を接続して、光ファイバ固有の波長分散に伴う光パルス波形のくずれを補償してもよい。伝令信号通信路102は、後述する伝令信号を搬送する通信路である。クロック通信路103は、後述するクロック信号(「パルス・クロック信号」ともいう)を搬送する通信路である。伝令信号通信路102とクロック通信路103とは、光の通信路であってもよいし、電気信号の通信路であってもよい。

[0030] 量子暗号送信装置200は、量子通信装置の一例であり、パルス駆動伝令付き単一光子源201と、量子信号変調部203と、伝令信号送信部205と、クロック信号送信部206と、タイミング調整器202とを備える。パルス駆動伝令付き単一光子源201は、信号生成部の一例である。量子信号変調部203は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力される単一光子の量子状態に信号変調を加える量子信号変調器204を含む。伝令信号送信部205は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力される伝令信号を伝令信号通信路102に送信するトランシーバ又はトランスミッタである。クロック信号送信部206は、パルス駆動伝令付き単一光子源201のポンプ源となるパルスレーザのクロック信号をクロック通信路103に送信するトランシーバ又はトランスミッタである。タイミング調整器202は、第1のタイミング調整部の一例であり、伝令信号をパルス・クロック信号に同期させて、量子信号変調器204に与える第1のトリガ信号(単に「トリガ信号」ともいう)を生成する。

[0031] 伝令信号は、単一光子と同期して不規則な時間間隔で出力される信号であるが、単一光子との間には無視できないジッタがある。一方、パルス・クロック信号はポンプ光源のパルスレーザのクロック信号であるため、規則的に単一光子が出力されないタイムスロットでも出力される。ただし、単一光子との間のジッタは非常に小さい。フェムト秒パルスレーザをポンプ光源に用いた場合、そのジッタは1ps以下である。

[0032] 量子暗号受信装置300は、量子通信装置の一例であり、量子信号検出部304と、伝令信号受信部301と、クロック信号受信部302と、タイミング調整器303とを備える。量子信号検出部304は、量子通信路101を伝送された光子を検出する光子検出器306と、量子通信路101を伝送された光子の量子状態に信号復調を行う量子信号復調器305とを含む。この量子信号復調器305は、量子信号復調部の一例である。伝令信号受信部301は、伝令信号通信路102を伝送された伝令信号を受信するレシーバ又はトランシーバである。クロック信号受信部302は、クロック通信路103を伝送されたパルス・クロック信号を受信するレシーバ又はトランシーバである。タイミング調整器303は、第2のタイミング調整部の一例であり、伝令信号受信部301が受信した伝令信号を、クロック信号受信部302が受信したパルス・クロック信号に同期させて、光子検出器306及び量子信号復調器305に与える第2のトリガ信号(単に「トリガ

信号」ともいう)を生成する。

- [0033] なお、クロック通信路103に用いるトランスミッタ(即ち、クロック信号送信部206)、レシーバ(即ち、クロック信号受信部302)には低ジッタの高速動作が求められている。このため、場合によっては、パルス駆動伝令付き単一光子源201のポンプ光源から出力されるパルスレーザ光の一部を分岐し、必要であれば通信路に適切な波長に波長変換して、光ファイバを用いて伝送するようなクロック通信路103の構成をとってもよい。
- [0034] 量子暗号では、互いに共役な測定手段をランダムに選択することで安全な通信を実現している。この測定手段を受信側で能動的に選択する場合には、量子信号検出部304において、量子信号復調器305を用いるが、受動的に選択する場合には、量子信号復調器305を用いる代わりに、測定に用いる光子検出器306を増やす構成をとる。前者の構成は、図1に示した通りであるが、後者の構成については、実施の形態3以降で説明する。
- [0035] 図2は、測定手段の選択を受信側で能動的に行う量子暗号光学系の一例を示す図である。図2では、簡単のため、制御系は省略している。図2では、特に、量子信号変調部203と量子信号検出部304との構成の一例を示している。
- [0036] 量子暗号送信装置200では、位相変調器208を用いて能動的に量子状態を指定、及び、送信し、量子暗号受信装置300でも、位相復調器307を用いて能動的に量子状態を測定する。また、位相復調器307の後に予め設定及び固定された測定手段に対応する非対称マッハツェンダ干渉計308があつて、その測定手段に対応した光子検出器306a, bに導いている。この例では、量子暗号送信装置200の量子信号変調部203においても、信号変調の処理を行うために、位相変調器208の前に非対称マッハツェンダ干渉計207を用いている。また、この例では、量子信号変調器204の一例として、位相変調器208を用いているが、代わりに偏光変調器などを用いても構わない。また、この例では、量子暗号受信装置300の量子信号検出部304において、量子信号復調部の一例として、位相復調器307を用いているが、代わりに偏光復調器などを用いても構わない。
- [0037] 例えば、ある2ビット情報の量子暗号通信を行う場合、量子暗号送信装置200にお

いて、不図示の入力装置は、その2ビット情報を不図示の処理装置に入力する。不図示の記憶装置がこの2ビット情報を記憶し、処理装置がこの2ビット情報を記憶装置から読み込んでもよい。処理装置は、この2ビット情報を電気信号に変換して、量子信号変調部203に入力する。量子信号変調部203は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力される光子対の一方の光子に対し、非対称マッハツェンダ干渉計207と位相変調器208とを用いて、処理装置から入力された電気信号による信号変調を施す。具体的には、位相変調器208が、 $\{0, \pi/2, \pi, (3/2)\pi\}$ の4種類の位相差で、光子の位相変調を行うことにより、その光子に2ビットの信号変調を施す。このような信号変調が施された光子は、量子通信路101を介して、量子暗号送信装置200から量子暗号受信装置300に伝送される。

[0038] 量子暗号受信装置300において、量子信号検出部304は、不図示の乱数生成器により1ビット乱数を生成し、生成した1ビット乱数を位相復調器307に入力する。量子信号検出部304は、量子通信路101にて伝送される光子に対し、位相復調器307を用いて、入力した1ビット乱数の電気信号による信号復調を施す。具体的には、位相復調器307が、1ビット乱数の値に応じて、光子の0又は $\pi/2$ の位相変調(即ち、位相復調)を行うことにより(例えば、1ビット乱数の値が“1”のときに $\pi/2$ の位相変調を行う)、その光子に信号復調を施す。位相復調器307には非対称マッハツェンダ干渉計308を介して光子検出器306a及び光子検出器306bを接続している。量子信号検出部304は、信号復調が施された光子が光子検出器306a及び光子検出器306bのいずれで検出されたかにより、上記2ビット情報の1ビットの値を特定する。ここで特定されたビットは、2ビット情報の残りの1ビットが上記1ビット乱数と同じ値をもつ場合に有効となる。例えば、光子検出器306aが位相差0の光子を検出し、光子検出器306bが位相差 π の光子を検出するものとする。この場合、量子通信路101にて伝送された光子の位相差が0又は π であって、位相復調器307が0の位相変調を行っている(即ち、位相変調を行っていない)ときには、量子信号検出部304が特定したビットは有効となる。一方、量子通信路101にて伝送された光子の位相差が $\pi/2$ 又は $(3/2)\pi$ であって、位相復調器307が $\pi/2$ の位相変調を行っているときには、量子信号検出部304が特定したビットは有効となる。不図示の出力装置は、量子信

号検出部304が特定したビットを出力する。不図示の処理装置が、このビットを利用して、所定の処理を行ってもよい。このビットは、例えば、鍵情報、あるいは鍵情報の一部として利用可能である。

[0039] 図3は、本実施の形態における量子暗号通信の一例を示すタイミングチャートである。

[0040] まず、量子暗号送信装置200に含まれるパルス駆動伝令付き単一光子源201からパルス・クロック信号(「送信側クロック信号」)が規則正しく出力されている。ただし、単一光子の生成は確率的に生起するため、単一光子とそれに伴う伝令信号(「送信側伝令信号」)の出力は不規則に発生する。このとき、単一光子の生成タイミングは非常に精確にパルス・クロック信号と同期しているが、伝令信号は、単一光子生成タイミング及びパルス・クロック信号との同期において、500psオーダのジッタを持っている。

[0041] 量子暗号送信装置200に含まれるタイミング調整器202は、伝令信号とパルス・クロック信号を取り込み、伝令信号が入力されたときのみ、パルス・クロック信号に精確に同期した第1のトリガ信号(「量子信号変調トリガ信号」)を出力し、量子信号変調器204を動作させる。これにより、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された単一光子が精確に信号変調を受けることになる。

[0042] 次に、量子暗号送信装置200に含まれるクロック信号送信部206と伝令信号送信部205を用いて、パルス・クロック信号と伝令信号が、それぞれ、クロック通信路103と伝令信号通信路102を介して量子暗号受信装置300に伝送される。このとき、信号変調を受けた単一光子は量子通信路101を介して量子暗号受信装置300に伝送されている。

[0043] 量子暗号受信装置300に伝送されたパルス・クロック信号(「受信側クロック信号」)と伝令信号(「受信側伝令信号」)は、それぞれ、クロック信号受信部302と伝令信号受信部301で受信され、量子暗号受信装置300に含まれるタイミング調整器303に入力される。タイミング調整器303は伝令信号が入力されたときのみ、パルス・クロック信号に精確に同期した第2のトリガ信号(「光子検出トリガ信号」)を出力し、光子検出器306を動作させる。このとき、量子暗号受信装置300に伝送された単一光子が光

子検出器306に入力されるタイミングと、光子検出器306の動作タイミングは低ジッタで精確に同期しているため、安定した高効率の光子検出が可能である。

- [0044] また、タイミング調整器303は、光子検出器306に対する第2のトリガ信号と同様に、伝令信号が入力されたときのみ、パルス・クロック信号に精確に同期した第2のトリガ信号(「量子信号復調トリガ信号」)を出力し、量子信号復調器305を動作させる。このため、量子暗号受信装置300に伝送された単一光子に精確に同期して信号復調動作が実施できる。
- [0045] 図3に示すように、例えば、パルス・クロック信号のクロック周波数を80MHzとした場合、クロックの単位時間は12.5nsとなる。よって、伝令信号のジッタが5ns程度に抑えられれば、伝令信号をパルス・クロック信号に同期させることが可能だと考えられる。前述したように、伝令信号のジッタは500ps程度であるため、伝令信号をパルス・クロック信号に同期させることは十分に可能である。また、前述したように、パルス・クロック信号のジッタは1ps程度に抑えられるため、伝令信号をパルス・クロック信号に同期させて生成するトリガ信号のジッタを、100ps程度に抑えることが可能である。これにより、光子検出器306の性能が量子通信の安定性及び効率性に及ぼす影響を低減させることが可能となる。
- [0046] 以上のように、量子暗号送信装置200における量子信号変調タイミング、量子暗号受信装置300における量子信号復調タイミング、光子検出タイミングを、単一光子の伝送タイミングに対して、ジッタの無視できない伝令信号のみではなく、ジッタの非常に小さいパルス・クロック信号に対しても同期をとるようにしているので、伝送される単一光子に対して、量子信号変調、量子信号復調、光子検出の各動作を安定させ、かつ高効率で実現することができる。
- [0047] さらに、単一光子は確率的に不規則に発生するのであるが、規則正しく出力されるパルス・クロック信号に対して精確に同期して発生するので、他の光子源から発生した光子とのBell測定などの2光子測定も容易に実現できる。これは、既存の量子暗号通信の通信距離限界が100km前後であること、Bell測定に基づく量子リピータ、量子リレーが実現できれば、大幅に通信距離を延伸できることを考慮すると、本実施の形態の量子通信システム100は、量子リピータ、量子リレーを利用するのに好適な方

式であり、大幅に通信距離を延伸できる。

[0048] 図4は、本実施の形態における量子通信装置(即ち、量子暗号送信装置200又は量子暗号受信装置300)のハードウェア資源の一例を示す図である。

[0049] 図4において、量子通信装置は、コンピュータであり、CRT(Cathode・Ray・Tube)やLCD(液晶ディスプレイ)の表示画面を有する表示装置901、キーボード902(K/B)、マウス903、FDD904(Flexible・Disk・Drive)、CDD905(Compact・Disc・Drive)、プリンタ装置906などのハードウェア資源を備え、これらはケーブルや信号線で接続されている。また、LAN(ローカルエリアネットワーク)、ゲートウェイを介してインターネットに接続されている。

[0050] 図4において、量子通信装置は、プログラムを実行するCPU911(Central・Processing・Unit)を備えている。CPU911は、処理装置の一例である。CPU911は、バス912を介してROM913(Read・Only・Memory)、RAM914(Random・Access・Memory)、通信ボード915、表示装置901、キーボード902、マウス903、FDD904、CDD905、プリンタ装置906、磁気ディスク装置920と接続され、これらのハードウェアデバイスを制御する。磁気ディスク装置920の代わりに、光ディスク装置、メモリカードリーダーライタなどの記憶媒体が用いられてもよい。

[0051] RAM914は、揮発性メモリの一例である。ROM913、FDD904、CDD905、磁気ディスク装置920の記憶媒体は、不揮発性メモリの一例である。これらは、記憶装置の一例である。通信ボード915、キーボード902、FDD904などは、入力装置の一例である。また、通信ボード915、表示装置901、プリンタ装置906などは、出力装置の一例である。

[0052] 通信ボード915は、LANなどに接続されている。通信ボード915は、LANに限らず、インターネット、ISDN(Integrated・Services・Digital・Network)などのWAN(ワイドエリアネットワーク)などに接続されていても構わない。インターネットあるいはWANなどに接続されている場合、ゲートウェイは不要となる。

[0053] 磁気ディスク装置920には、オペレーティングシステム921(OS)、プログラム群923、ファイル群924が記憶されている。プログラム群923のプログラムは、CPU911、オペレーティングシステム921により実行される。プログラム群923には、データや情

報を処理するプログラムが記憶されている。プログラムは、CPU911により読み出され実行される。また、ファイル群924には、本実施の形態の説明において、「～データ」、「～情報」、「～ID (IDentifier)」、「～フラグ」、「～結果」として説明するデータや情報や信号値や変数値やパラメータが、「～ファイル」や「～データベース」や「～テーブル」の各項目として記憶されている。「～ファイル」や「～データベース」や「～テーブル」は、ディスクやメモリなどの記憶媒体に記憶される。ディスクやメモリなどの記憶媒体に記憶されたデータや情報や信号値や変数値やパラメータは、読み書き回路を介してCPU911によりメインメモリやキャッシュメモリに読み出され、抽出・検索・参照・比較・演算・計算・制御・出力・印刷・表示などのCPU911の処理(動作)に用いられる。抽出・検索・参照・比較・演算・計算・制御・出力・印刷・表示などのCPU911の処理中、データや情報や信号値や変数値やパラメータは、メインメモリやキャッシュメモリやバッファメモリに一時的に記憶される。

[0054] また、本実施の形態の説明において「～部」、「～手段」として説明するものは、「～回路」、「～装置」、「～機器」であってもよく、また、「～ステップ」、「～工程」、「～手順」、「～処理」であってもよい。すなわち、「～部」、「～手段」として説明するものは、ROM913に記憶されたファームウェアで実現されていても構わない。あるいは、ソフトウェアと、素子・デバイス・基板・配線などのハードウェアとの組み合わせ、さらには、ファームウェアとの組み合わせで実現されていても構わない。ファームウェアとソフトウェアは、プログラムとして、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVDなどの記録媒体に記憶される。このプログラムはCPU911により読み出され、CPU911により実行される。

[0055] 図5は、量子暗号送信装置200が、パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路101を介して送信する送信側の量子通信方法を示すフローチャートである。

[0056] 量子暗号送信装置200において、パルス駆動伝令付き単一光子源201は、パラメトリック下方変換などにより光子対を生成し、当該光子対の一方の光子を量子信号として出力するとともに、当該光子対の他方の光子を伝令信号として出力する(ステップS101)。タイミング調整器202は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力

された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、パルス駆動伝令付き単一光子源201をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力する(ステップS102)。量子信号変調部203は、タイミング調整器202から出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された量子信号に信号変調を施し(ステップS103)、信号変調が施された量子信号を、量子通信路101を介して送信する(ステップS104)。伝令信号送信部205は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号を、伝令信号通信路102を介して送信する(ステップS105)。クロック信号送信部206は、上記クロック信号を、クロック通信路103を介して送信する(ステップS106)。

[0057] 図6は、量子暗号受信装置300が、パルス駆動されて光子を出力する単一光子源(即ち、量子暗号送信装置200に含まれるパルス駆動伝令付き単一光子源201)から量子信号として出力される光子を、量子暗号送信装置200から量子通信路101を介して受信する受信側の量子通信方法を示すフローチャートである。

[0058] 量子暗号受信装置300において、伝令信号受信部301は、単一光子源から出力された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、量子暗号送信装置200から伝令信号通信路102を介して受信する(ステップS201)。クロック信号受信部302は、単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号を、量子暗号送信装置200からクロック通信路103を介して受信する(ステップS202)。タイミング調整器303は、伝令信号受信部301により受信された伝令信号を、クロック信号受信部302により受信されたクロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する(ステップS203)。量子信号検出部304に含まれる量子信号復調器305は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、量子通信路101上に存在する量子信号に信号復調を施す(ステップS204)。量子信号検出部304は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、量子信号復調器305により信号復調が施された量子信号を検出する(ステップS205)。

[0059] 以上、説明したように、本実施の形態では、パラメトリック下方変換などにより生成される伝令信号を出力するパルス駆動伝令付き単一光子源201を用いた量子暗号通

信を行う量子通信システム100が、量子通信路101、伝令信号通信路102、その他制御信号の伝送用の通信路に加えて、パラメトリック下方変換などのポンプ源として用いたパルスレーザのクロック信号を量子暗号送信装置200から量子暗号受信装置300へ伝送するクロック通信路103を備えたことを特徴とする。

[0060] 上記量子暗号送信装置200は、パルス駆動伝令付き単一光子源201と、単一光子の量子状態に信号変調を加える量子信号変調器204と、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号を伝令信号通信路102に送信する伝令信号送信部205と、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力されたパルス・クロック信号をクロック通信路103に送信するクロック信号送信部206と、伝令信号をパルス・クロック信号に高精度で同期させて、量子信号変調器204へのトリガ信号を生成するタイミング調整器202を備えたことを特徴とする。

[0061] 上記量子暗号受信装置300は、量子通信路101を伝送された光子を検出する光子検出器306と、伝令信号通信路102を伝送された伝令信号を受信する伝令信号受信部301と、クロック通信路103を伝送されたパルス・クロック信号を受信するクロック信号受信部302と、伝令信号をパルス・クロック信号に高精度で同期させて、光子検出器306へのトリガ信号を生成するタイミング調整器303を備えたことを特徴とする。

[0062] 上記量子暗号受信装置300は、量子通信路101を伝送された光子に信号復調を施す量子信号復調器305と、伝令信号をパルス・クロック信号に高精度で同期させて、量子信号復調器305へのトリガ信号を生成するタイミング調整器303を備えたことを特徴とする。

[0063] 上記量子通信システム100は、量子通信路101である光ファイバの後段に分散補償ファイバ104を使うことを特徴とする。

[0064] 以上、述べたように、本実施の形態に係る量子通信装置を用いることにより、伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することが可能となる。また、受信側の量子通信装置において、光子検出器の数が少ない構成をとっているため、構成が相対的にコンパクトになる。そして、コストも相対的に低くなる。

[0065] 実施の形態2.

本実施の形態について、主に実施の形態1との差異を説明する。

- [0066] 実施の形態1においては、パルス駆動伝令付き単一光子源201のポンプ光源であるパルスレーザをマスタクロックとする構成をとったが、本実施の形態では、2つの量子暗号通信装置間で、低ジッタでクロックを共有し、この共有クロックをマスタとして、ポンプ光源であるパルスレーザを同期及び駆動する。
- [0067] したがって、実施の形態1では、量子通信システム100において、トリガ信号を生成するために伝令信号を同期させるクロック信号は、量子暗号送信装置200から量子暗号受信装置300に送信していたが、本実施の形態では、量子暗号受信装置300から量子暗号送信装置200に送信する。
- [0068] 図7は、本実施の形態に係る量子通信システム100の構成を示すブロック図である。
- [0069] 実施の形態1で説明した図1との主な差異は、量子暗号送信装置200が、クロック信号送信部206の代わりにクロック信号受信部209を備えることと、量子暗号受信装置300が、クロック信号受信部302の代わりにクロック信号送信部309を備えることである。
- [0070] 量子暗号受信装置300において、クロック信号送信部309は、例えばタイミング調整器303が内蔵するクロックにより生成されるクロック信号をクロック通信路103に送信するランシーバ又はトランスミッタである。タイミング調整器303は、伝令信号受信部301が受信した伝令信号を、自己に内蔵されたクロックが生成するクロック信号に同期させて、光子検出器306及び量子信号復調器305に与える第2のトリガ信号を生成する。
- [0071] 量子暗号送信装置200において、クロック信号受信部209は、クロック通信路103を伝送されたクロック信号を受信するレシーバ又はランシーバである。タイミング調整器202は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力される伝令信号を、クロック信号受信部209が受信したクロック信号に同期させて、量子信号変調器204に与える第1のトリガ信号を生成する。
- [0072] 図8は、送信側の量子通信方法を示すフローチャートである。
- [0073] 量子暗号送信装置200において、クロック信号受信部209は、パルス駆動伝令付

き単一光子源201をパルス駆動するためのクロック信号を、量子暗号受信装置300からクロック通信路103を介して受信する(ステップS111)。パルス駆動伝令付き単一光子源201は、クロック信号受信部209により受信されたクロック信号に同期して駆動し、パラメトリック下方変換などにより光子対を生成する(ステップS112)。そして、当該光子対の一方の光子を量子信号として出力するとともに、当該光子対の他方の光子を伝令信号として出力する。タイミング調整器202は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、クロック信号受信部209により受信されたクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力する(ステップS113)。量子信号変調部203は、タイミング調整器202から出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された量子信号に信号変調を施し(ステップS114)、信号変調が施された量子信号を、量子通信路101を介して送信する(ステップS115)。伝令信号送信部205は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号を、伝令信号通信路102を介して送信する(ステップS116)。

[0074] 図9は、受信側の量子通信方法を示すフローチャートである。

[0075] 量子暗号受信装置300において、クロック信号送信部309は、単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号を、クロック通信路103を介して送信する(ステップS211)。伝令信号受信部301は、単一光子源から出力された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、量子暗号送信装置200から伝令信号通信路102を介して受信する(ステップS212)。タイミング調整器303は、伝令信号受信部301により受信された伝令信号を、上記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する(ステップS213)。量子信号検出部304に含まれる量子信号復調器305は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、量子通信路101上に存在する量子信号に信号復調を施す(ステップS214)。量子信号検出部304は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、量子信号復調器305により信号復調が施された量子信号を検出する(ステップS215)。

[0076] 以上、述べたように、本実施の形態に係る量子通信装置を用いることにより、伝令

信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することが可能となる。また、そのために用いるクロック信号の供給元を送信側の量子通信装置以外に設けることができる。

[0077] 実施の形態3.

本実施の形態について、主に実施の形態1との差異を説明する。

[0078] 実施の形態1では、量子暗号受信装置300の量子信号検出部304において、量子信号復調器305を用いる構成をとり、量子暗号送信装置200から送信される光子の量子状態の測定手段を能動的に選択していたが、本実施の形態では、量子信号復調器305を用いる代わりに、測定に用いる光子検出器306を増やす構成をとり、量子状態の測定手段を受動的に選択する。

[0079] 図10は、本実施の形態に係る量子通信システム100の構成を示すブロック図である。

[0080] 実施の形態1で説明した図1との主な差異は、量子暗号受信装置300の量子信号検出部304が、量子信号復調器305の代わりにビームスプリッタ310を含むことである。

[0081] 量子暗号受信装置300において、ビームスプリッタ310は、量子通信路101を介して量子暗号送信装置200から伝送される光子の光路を、受動的に、かつ、ランダムに選択する。光子検出器306は、ビームスプリッタ310が選択した光路上の光子を検出する。量子信号検出部304が量子信号復調器305を含まないため、タイミング調整器303は、第2のトリガ信号を光子検出器306のみに与えればよい。

[0082] 図11は、測定手段の選択を受信側で受動的に行う量子暗号光学系の一例を示す図である。図11では、簡単のため、制御系は省略している。図11では、特に、量子信号変調部203と量子信号検出部304との構成の一例を示している。

[0083] 量子暗号送信装置200では、位相変調器208を用いて能動的に量子状態を指定、及び、送信するが、量子暗号受信装置300では、ビームスプリッタ310で受動的に、かつ、ランダムに光路を選択する。それぞれの光路には予め設定及び固定された測定手段に対応する非対称マッハツェンダ干渉計308a, bがあつて、各測定手段に対応した光子検出器306a~dに導いている。この例では、量子暗号送信装置200の

量子信号変調部203においても、信号変調の処理を行うために、位相変調器208の前に非対称マッハツェンダ干渉計207を用いている。また、この例では、量子信号変調器204の一例として、位相変調器208を用いているが、代わりに偏光変調器などを用いても構わない。また、この例では、量子暗号受信装置300の量子信号検出部304において、量子信号分岐部の一例として、ビームスプリッタ310を用いている。

[0084] 例えば、ある2ビット情報の量子暗号通信を行う場合、量子暗号送信装置200において、不図示の入力装置は、その2ビット情報を不図示の処理装置に入力する。不図示の記憶装置がこの2ビット情報を記憶し、処理装置がこの2ビット情報を記憶装置から読み込んでもよい。処理装置は、この2ビット情報を電気信号に変換して、量子信号変調部203に入力する。量子信号変調部203は、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力される光子対の一方の光子に対し、非対称マッハツェンダ干渉計207と位相変調器208とを用いて、処理装置から入力された電気信号による信号変調を施す。具体的には、位相変調器208が、 $\{0, \pi/2, \pi, (3/2)\pi\}$ の4種類の位相差で、光子の位相変調を行うことにより、その光子に2ビットの信号変調を施す。このような信号変調が施された光子は、量子通信路101を介して、量子暗号送信装置200から量子暗号受信装置300に伝送される。

[0085] 量子暗号受信装置300において、量子信号検出部304は、量子通信路101にて伝送される光子の光路をビームスプリッタ310により2つの光路に分岐させる。この例では、ビームスプリッタ310は、50対50の無偏光ビームスプリッタとする。このビームスプリッタ310で分岐された一方の光路には非対称マッハツェンダ干渉計308aを介して光子検出器306a及び光子検出器306bを接続し、他方の光路には非対称マッハツェンダ干渉計308aを介して光子検出器306c及び光子検出器306dを接続している。量子信号検出部304は、量子通信路101にて伝送された光子が光子検出器306a～dのいずれで検出されたかにより、上記2ビット情報の2ビットの値を特定する。ここで特定された2ビットのうち1ビットは、残りの1ビットの値が対応する光路とビームスプリッタ310で選択された光路とが一致する場合に有効となる。例えば、非対称マッハツェンダ干渉計308aが位相差0又は π の光子を出力し、非対称マッハツェンダ干渉計308bが位相差 $\pi/2$ 又は $(3/2)\pi$ の光子を出力するように調整されている

ものとする。また、光子検出器306aが位相差0の光子を検出し、光子検出器306bが位相差 π の光子を検出し、光子検出器306cが位相差 $\pi/2$ の光子を検出し、光子検出器306dが位相差 $(3/2)\pi$ の光子を検出するものとする。この場合、量子通信路101にて伝送された光子の位相差が0又は π であって、ビームスプリッタ310が非対称マッハツェンダ干渉計308aを接続する光路を選択しているときには、量子信号検出部304が特定したビットは有効となる。一方、量子通信路101にて伝送された光子の位相差が $\pi/2$ 又は $(3/2)\pi$ であって、ビームスプリッタ310が非対称マッハツェンダ干渉計308bを接続する光路を選択しているときには、量子信号検出部304が特定したビットは有効となる。不図示の出力装置は、量子信号検出部304が特定したビットを出力する。不図示の処理装置が、このビットを利用して、所定の処理を行ってもよい。このビットは、例えば、鍵情報、あるいは鍵情報の一部として利用可能である。

[0086] 図12は、本実施の形態における量子暗号通信の一例を示すタイミングチャートである。図12は、受信側で量子信号復調器305を動作させるための第2のトリガ信号(「量子信号復調トリガ信号」)が不要であること以外は、実施の形態1で説明した図3と同様である。

[0087] 図13は、受信側の量子通信方法を示すフローチャートである。送信側の量子通信方法は、実施の形態1で図5に示したものと同様である。

[0088] 量子暗号受信装置300において、伝令信号受信部301は、単一光子源から出力された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、量子暗号送信装置200から伝令信号通信路102を介して受信する(ステップS221)。クロック信号受信部302は、単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号を、量子暗号送信装置200からクロック通信路103を介して受信する(ステップS222)。タイミング調整器303は、伝令信号受信部301により受信された伝令信号を、クロック信号受信部302により受信されたクロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する(ステップS223)。量子信号検出部304に含まれるビームスプリッタ310は、量子通信路101を分岐する(ステップS224)。量子信号検出部304は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、ビームスプリッタ310によりに

より分岐された量子通信路101上に存在する量子信号を検出する(ステップS225)。

[0089] 以上、述べたように、本実施の形態に係る量子通信装置を用いることにより、伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することが可能となる。また、受信側の量子通信装置において、量子信号復調器を用いない構成をとっているため、量子信号復調器に与えるトリガ信号が不要となり、制御が相対的に容易になる。

[0090] 実施の形態4.

本実施の形態について、主に実施の形態3との差異を説明する。

[0091] 実施の形態3では、実施の形態1と同様に、量子通信システム100において、トリガ信号を生成するために伝令信号を同期させるクロック信号は、量子暗号送信装置200から量子暗号受信装置300に送信していたが、本実施の形態では、実施の形態2と同様に、量子暗号受信装置300から量子暗号送信装置200に送信する。

[0092] 図14は、本実施の形態に係る量子通信システム100の構成を示すブロック図である。

[0093] 実施の形態3で説明した図10との主な差異は、量子暗号送信装置200が、クロック信号送信部206の代わりにクロック信号受信部209を備えることと、量子暗号受信装置300が、クロック信号受信部302の代わりにクロック信号送信部309を備えることである。クロック信号送信部309とクロック信号受信部209の機能は、実施の形態2で図7に示したものと同様である。

[0094] 図15は、受信側の量子通信方法を示すフローチャートである。送信側の量子通信方法は、実施の形態2で図8に示したものと同様である。

[0095] 量子暗号受信装置300において、クロック信号送信部309は、単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号を、クロック通信路103を介して送信する(ステップS231)。伝令信号受信部301は、単一光子源から出力された量子信号が量子通信路101上に存在することを示す伝令信号を、量子暗号送信装置200から伝令信号通信路102を介して受信する(ステップS232)。タイミング調整器303は、伝令信号受信部301により受信された伝令信号を、上記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する(ステップS233)。量子信号検出部304に含まれるビームスプリッタ

310は、量子通信路101を分岐する(ステップS234)。量子信号検出部304は、タイミング調整器303から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、ビームスプリッタ310により分岐された量子通信路101上に存在する量子信号を検出する(ステップS235)。

[0096] 以上、述べたように、本実施の形態に係る量子通信装置を用いることにより、伝令信号のジッタに左右されないで、安定した高効率の量子通信を実現することが可能となる。また、そのために用いるクロック信号の供給元を送信側の量子通信装置以外に設けることができる。

[0097] 実施の形態5.

本実施の形態について、主に実施の形態1との差異を説明する。

[0098] 実施の形態1では、量子暗号送信装置200において、伝令信号としてはパルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号をそのまま用いていたが、本実施の形態では、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号と同じく出力されたパルス・クロック信号とを論理積演算ゲートに入力し、当該ゲートから出力された信号を伝令信号として用いる。

[0099] 図16は、本実施の形態に係る量子通信システム100の構成を示すブロック図である。

[0100] 実施の形態1で説明した図1との主な差異は、量子暗号送信装置200が、信号生成部として、パルス駆動伝令付き単一光子源201だけでなく、ANDゲート210(論理積演算ゲート)を備えることである。本実施の形態では、信号生成部は、パルス駆動伝令付き単一光子源201により光子対を生成し、当該光子対の一方の光子を量子信号として出力するとともに、ANDゲート210により当該光子対の他方の光子(即ち、伝令信号)とクロック信号との論理積演算を行い、当該論理積演算の結果を改めて伝令信号として出力する。

[0101] 例えば、パルス駆動伝令付き単一光子源201において、伝令信号が光から電気信号へと変換される際に、伝令信号にエラーが発生することがある。本実施の形態では、ANDゲート210が伝令信号とパルス・クロック信号の論理積演算を行い、その結果を改めて伝令信号とすることで、そのような伝令信号のエラーの影響をパルス・クロッ

ク信号のタイミングに制限することが可能となる。つまり、本実施の形態に係る量子通信装置を用いることにより、伝令信号のエラーの影響を低減させることができる。そして、結果的に、S/N比(信号対雑音比)が高くなる。

[0102] 本実施の形態と実施の形態1との差異を、前述した実施の形態2~4に適用しても構わない。つまり、実施の形態2~4でも、量子暗号送信装置200において、伝令信号としてはパルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号をそのまま用いていたが、本実施の形態と同様に、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号と同じく出力された(あるいは、量子暗号受信装置300から受信した)クロック信号とを論理積演算ゲートに入力し、当該ゲートから出力された信号を伝令信号として用いてもよい。

[0103] 上記のように、本実施の形態では、ANDゲート210を用いて、パルス駆動伝令付き単一光子源201から出力された伝令信号とパルス・クロック信号との論理積演算を行うことにより、伝令信号がパルス・クロック信号の立ち上がり時にのみ(信号生成部から)出力されるようにしている。そうすることで、上記のように伝令信号のエラーの影響をパルス・クロック信号のタイミングに制限することが可能となる。伝令信号がパルス・クロック信号の立ち上がり時にのみ出力されるようにするためには、信号生成部が、ANDゲート210以外の手段を用いて、伝令信号とパルス・クロック信号との論理積演算を行い、当該論理積演算の結果を改めて伝令信号として出力してもよい。また、信号生成部が、論理積演算以外の方法(例えば、否定論理和演算、否定論理積演算、論理和演算、又はこれらの任意の組み合わせ)で、伝令信号をパルス・クロック信号により制御し、制御された伝令信号を出力してもよい。

[0104] 以上、複数の実施の形態について説明したが、これらのうち、2つ以上の実施の形態を組み合わせ実施しても構わない。また、いずれの実施の形態においても、各量子通信装置が送信側及び受信側の両方の構成を含んでも構わない。

図面の簡単な説明

[0105] [図1]実施の形態1に係る量子通信システムの構成を示すブロック図である。

[図2]実施の形態1における量子信号変調部と量子信号検出部との構成の一例を示す図である。

[図3]実施の形態1における量子暗号通信の一例を示すタイミングチャートである。

[図4]実施の形態1における量子通信装置のハードウェア資源の一例を示す図である。

。

[図5]実施の形態1に係る量子通信方法(送信側)を示すフローチャートである。

[図6]実施の形態1に係る量子通信方法(受信側)を示すフローチャートである。

[図7]実施の形態2に係る量子通信システムの構成を示すブロック図である。

[図8]実施の形態2に係る量子通信方法(送信側)を示すフローチャートである。

[図9]実施の形態2に係る量子通信方法(受信側)を示すフローチャートである。

[図10]実施の形態3に係る量子通信システムの構成を示すブロック図である。

[図11]実施の形態3における量子信号変調部と量子信号検出部との構成の一例を示す図である。

[図12]実施の形態3における量子暗号通信の一例を示すタイミングチャートである。

[図13]実施の形態3に係る量子通信方法(受信側)を示すフローチャートである。

[図14]実施の形態4に係る量子通信システムの構成を示すブロック図である。

[図15]実施の形態4に係る量子通信方法(受信側)を示すフローチャートである。

[図16]実施の形態5に係る量子通信システムの構成を示すブロック図である。

符号の説明

- [0106] 100 量子通信システム、101 量子通信路、102 伝令信号通信路、103 クロック通信路、104 分散補償ファイバ、200 量子暗号送信装置、201 パルス駆動伝令付き単一光子源、202 タイミング調整器、203 量子信号変調部、204 量子信号変調器、205 伝令信号送信部、206 クロック信号送信部、207 非対称マッハツェンダ干渉計、208 位相変調器、209 クロック信号受信部、210 ANDゲート、300 量子暗号受信装置、301 伝令信号受信部、302 クロック信号受信部、303 タイミング調整器、304 量子信号検出部、305 量子信号復調器、306 光子検出器、307 位相復調器、308 非対称マッハツェンダ干渉計、309 クロック信号送信部、310 ビームスプリッタ、901 表示装置、902 キーボード、903 マウス、904 FDD、905 CDD、906 プリンタ装置、911 CPU、912 バス、913 ROM、914 RAM、915 通信ボード、920 磁気ディスク装置、921 オペレーティングシ

ステム、923 プログラム群、924 ファイル群。

請求の範囲

- [1] パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して送信する量子通信装置において、
前記単一光子源から出力された量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、トリガ信号として出力するタイミング調整部と、
前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信する量子信号変調部と、
前記伝令信号を、伝令信号通信路を介して送信する伝令信号送信部とを備えることを特徴とする量子通信装置。
- [2] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を備えることを特徴とする請求項1に記載の量子通信装置。
- [3] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を備え、
前記タイミング調整部は、前記伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記トリガ信号として出力することを特徴とする請求項1に記載の量子通信装置。
- [4] 前記量子通信装置は、さらに、
前記単一光子源により光子対を生成し、当該光子対の一方の光子を前記量子信号として出力するとともに、当該光子対の他方の光子を前記伝令信号として出力する信号生成部を備え、
前記量子信号変調部は、前記信号生成部から出力された量子信号に信号変調を施し、
前記伝令信号送信部は、前記信号生成部から出力された伝令信号を送信することを特徴とする請求項1に記載の量子通信装置。
- [5] 前記信号生成部は、パラメトリック下方変換により前記光子対を生成することを特徴

とする請求項4に記載の量子通信装置。

- [6] 前記信号生成部は、前記単一光子源から出力された伝令信号と前記クロック信号との論理積演算を行い、当該論理積演算の結果を改めて前記伝令信号として出力することを特徴とする請求項4に記載の量子通信装置。
- [7] 前記信号生成部は、前記単一光子源から出力された伝令信号を前記クロック信号により制御し、制御された伝令信号を出力することを特徴とする請求項4に記載の量子通信装置。
- [8] パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して受信する量子通信装置において、
前記単一光子源から出力された量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、伝令信号通信路を介して受信する伝令信号受信部と、
前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、トリガ信号として出力するタイミング調整部と、
前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子通信路上に存在する量子信号を検出する量子信号検出部とを備えることを特徴とする量子通信装置。
- [9] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を備え、
前記タイミング調整部は、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記トリガ信号として出力することを特徴とする請求項8に記載の量子通信装置。
- [10] 前記量子通信装置は、さらに、
前記クロック信号を、クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を備えることを特徴とする請求項8に記載の量子通信装置。
- [11] 前記量子信号検出部は、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子通信路上に存在する量子信号に信号復調を施す量子信号復調部を含み、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号復調部により信号復調が施された量子信号を検出することを特徴

とする請求項8に記載の量子通信装置。

[12] 前記量子信号検出部は、前記量子通信路を分岐する量子信号分岐部を含み、前記タイミング調整部から出力されたトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号分岐部により分岐された量子通信路上に存在する量子信号を検出することを特徴とする請求項8に記載の量子通信装置。

[13] パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を送受信する量子通信システムにおいて、
前記単一光子源から出力された量子信号を搬送する量子通信路と、
前記量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を搬送する伝令信号通信路と、
前記伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力する第1のタイミング調整部と、前記第1のタイミング調整部から出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信する量子信号変調部と、前記伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して送信する伝令信号送信部とを含む第1の量子通信装置と、
前記伝令信号送信部により送信された伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して受信する伝令信号受信部と、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力する第2のタイミング調整部と、前記第2のタイミング調整部から出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号変調部により前記量子通信路上に送信された量子信号を検出する量子信号検出部とを含む第2の量子通信装置とを備えることを特徴とする量子通信システム。

[14] 前記量子通信システムは、さらに、
前記クロック信号を搬送するクロック通信路を備え、
前記第1の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号を、前記クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を含み、
前記第2の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号送信部により送信されたクロ

ック信号を、前記クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を含み、

前記第2のタイミング調整部は、前記伝令信号受信部により受信された伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記第2のトリガ信号として出力することを特徴とする請求項13に記載の量子通信システム。

[15] 前記量子通信システムは、さらに、

前記クロック信号を搬送するクロック通信路を備え、

前記第2の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号を、前記クロック通信路を介して送信するクロック信号送信部を含み、

前記第1の量子通信装置は、さらに、前記クロック信号送信部により送信されたクロック信号を、前記クロック通信路を介して受信するクロック信号受信部を含み、

前記第1のタイミング調整部は、前記伝令信号を、前記クロック信号受信部により受信されたクロック信号に同期させて、前記第1のトリガ信号として出力することを特徴とする請求項13に記載の量子通信システム。

[16] 前記量子通信路は、光ファイバの後段に分散補償ファイバを使用したものであることを特徴とする請求項13に記載の量子通信システム。

[17] パルス駆動されて光子を出力する単一光子源から量子信号として出力される光子を、量子通信路を介して送受信する量子通信方法において、

第1の量子通信装置にて、前記量子信号が前記量子通信路上に存在することを示す伝令信号を、前記単一光子源をパルス駆動するためのクロック信号に同期させて、第1のトリガ信号として出力し、

前記第1の量子通信装置にて、前記第1のトリガ信号の出力により出力された第1のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号に信号変調を施し、信号変調が施された量子信号を、前記量子通信路を介して送信し、

前記第1の量子通信装置にて、前記伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して送信し、

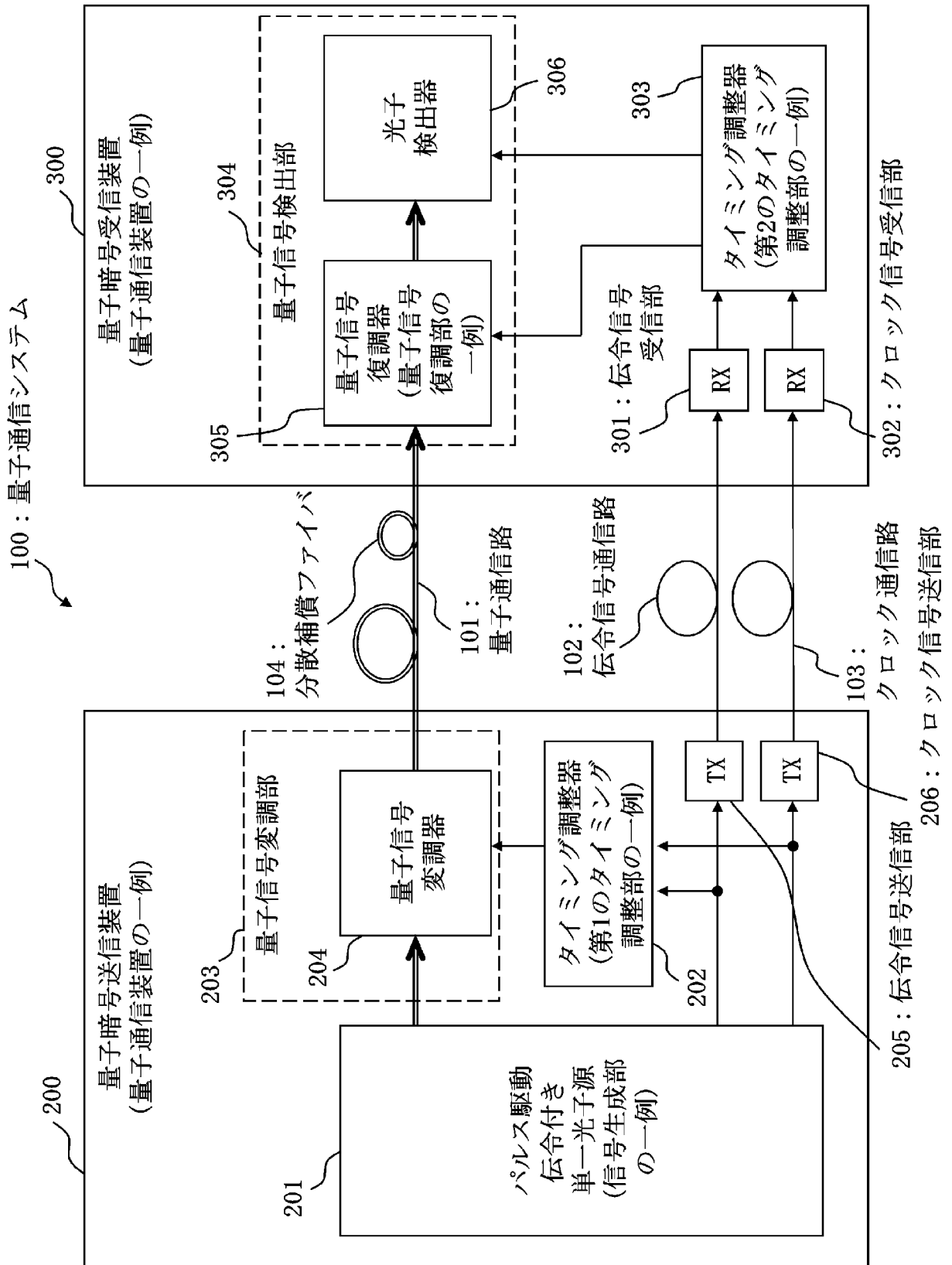
第2の量子通信装置にて、前記伝令信号の送信により送信された伝令信号を、前記伝令信号通信路を介して受信し、

前記第2の量子通信装置にて、前記伝令信号の受信により受信された伝令信号を

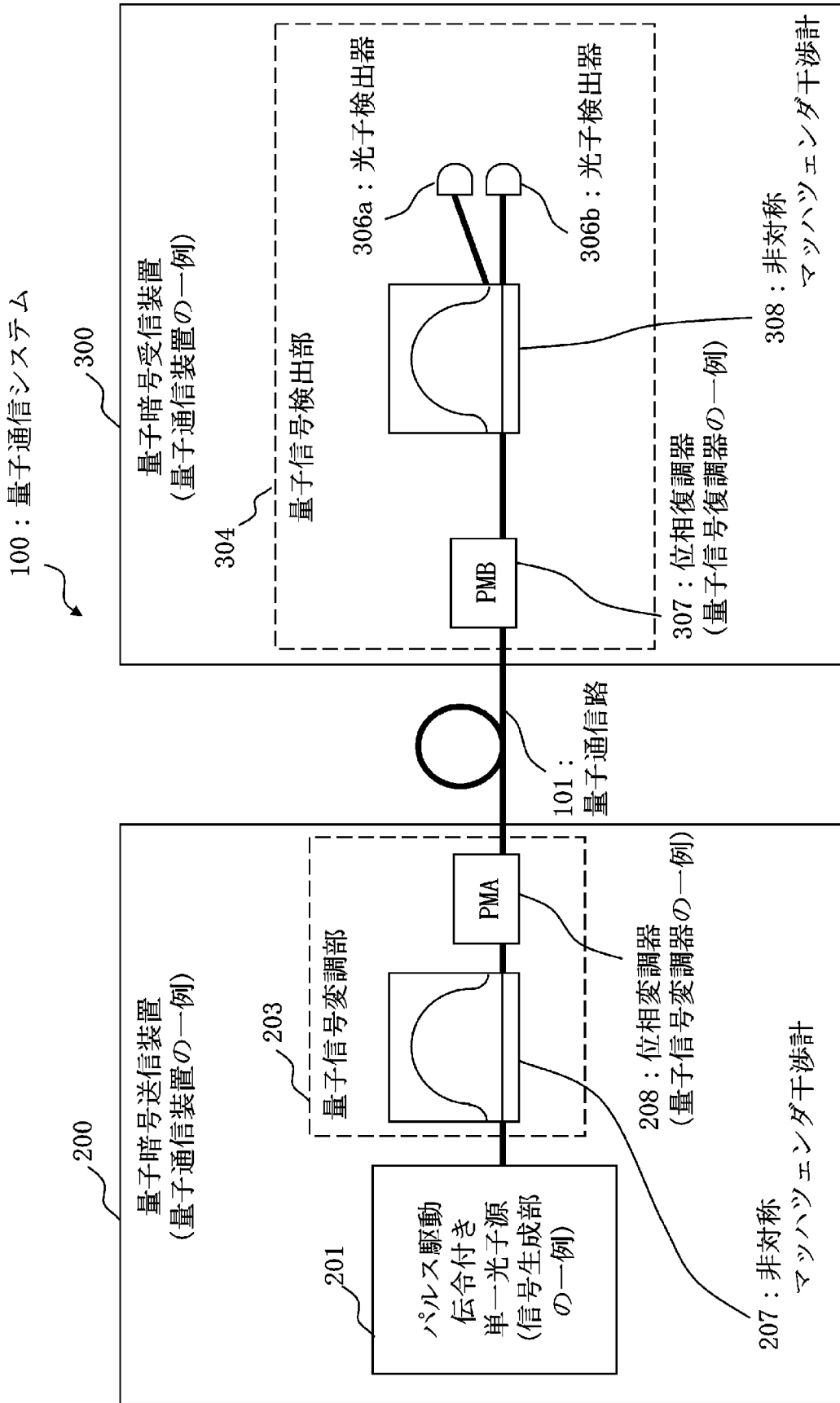
、前記クロック信号に同期させて、第2のトリガ信号として出力し、

前記第2の量子通信装置にて、前記第2のトリガ信号の出力により出力された第2のトリガ信号のタイミングに合わせて、前記量子信号の送信により前記量子通信路上に送信された量子信号を検出することを特徴とする量子通信方法。

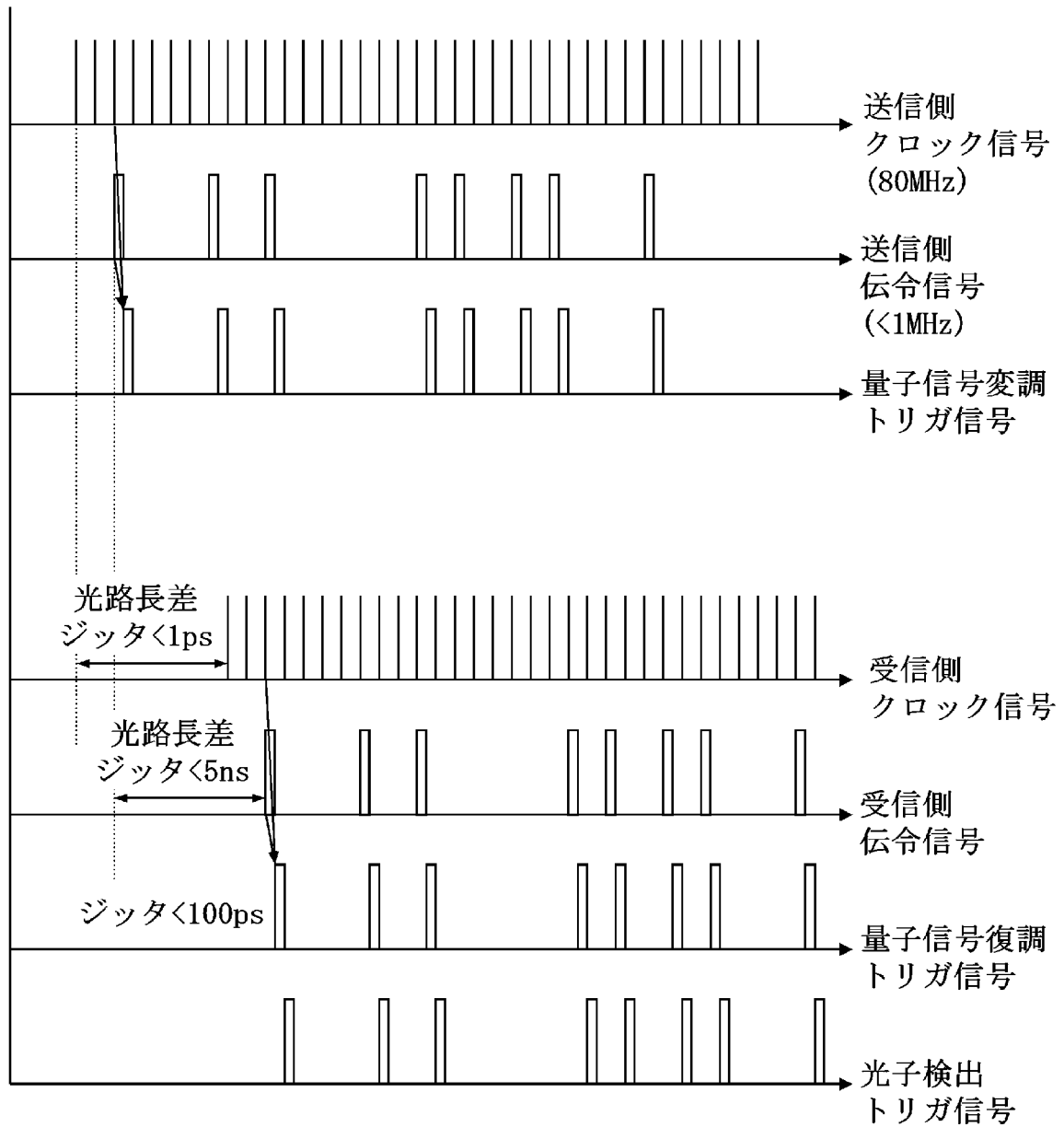
図1



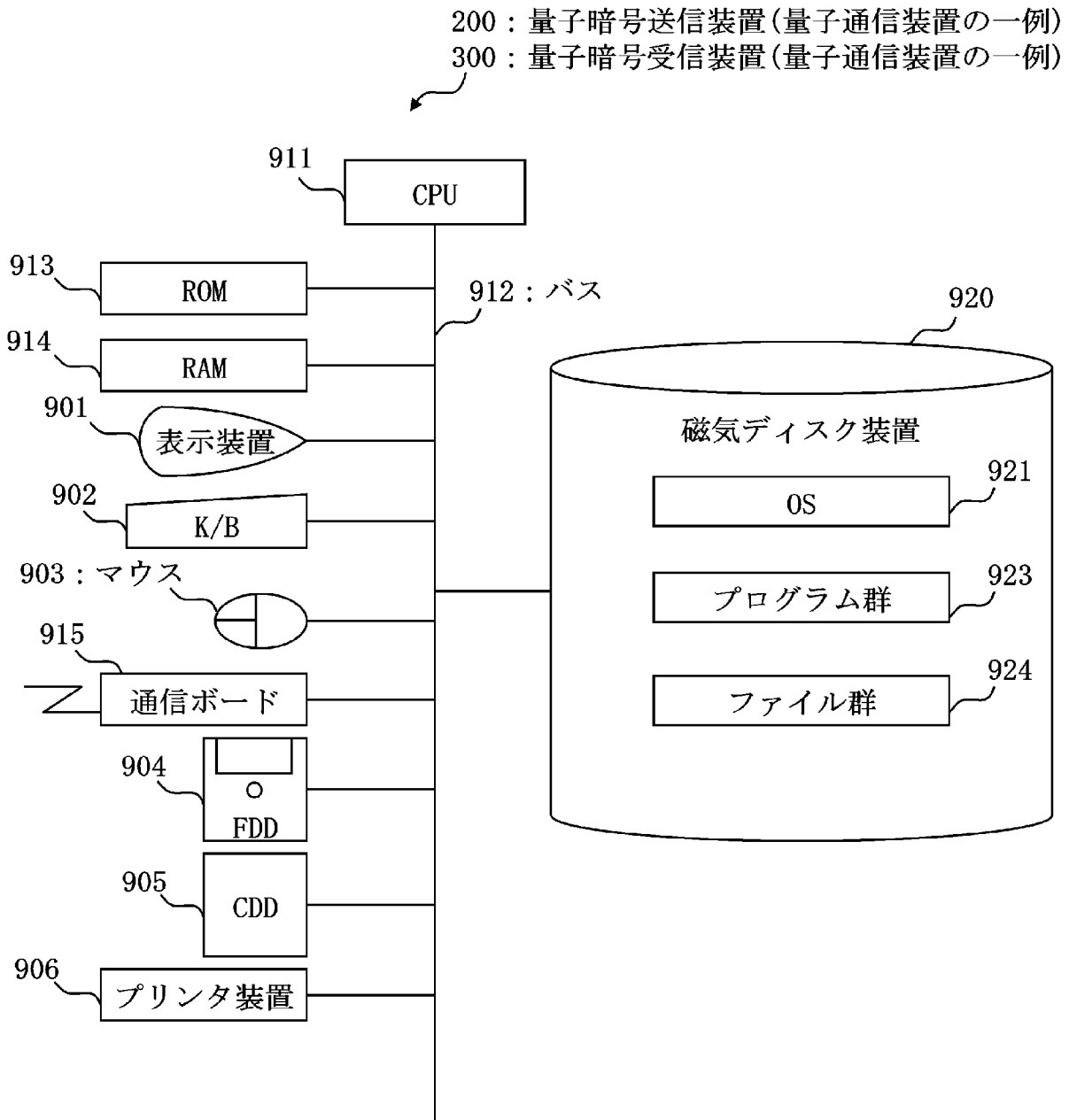
[図2]



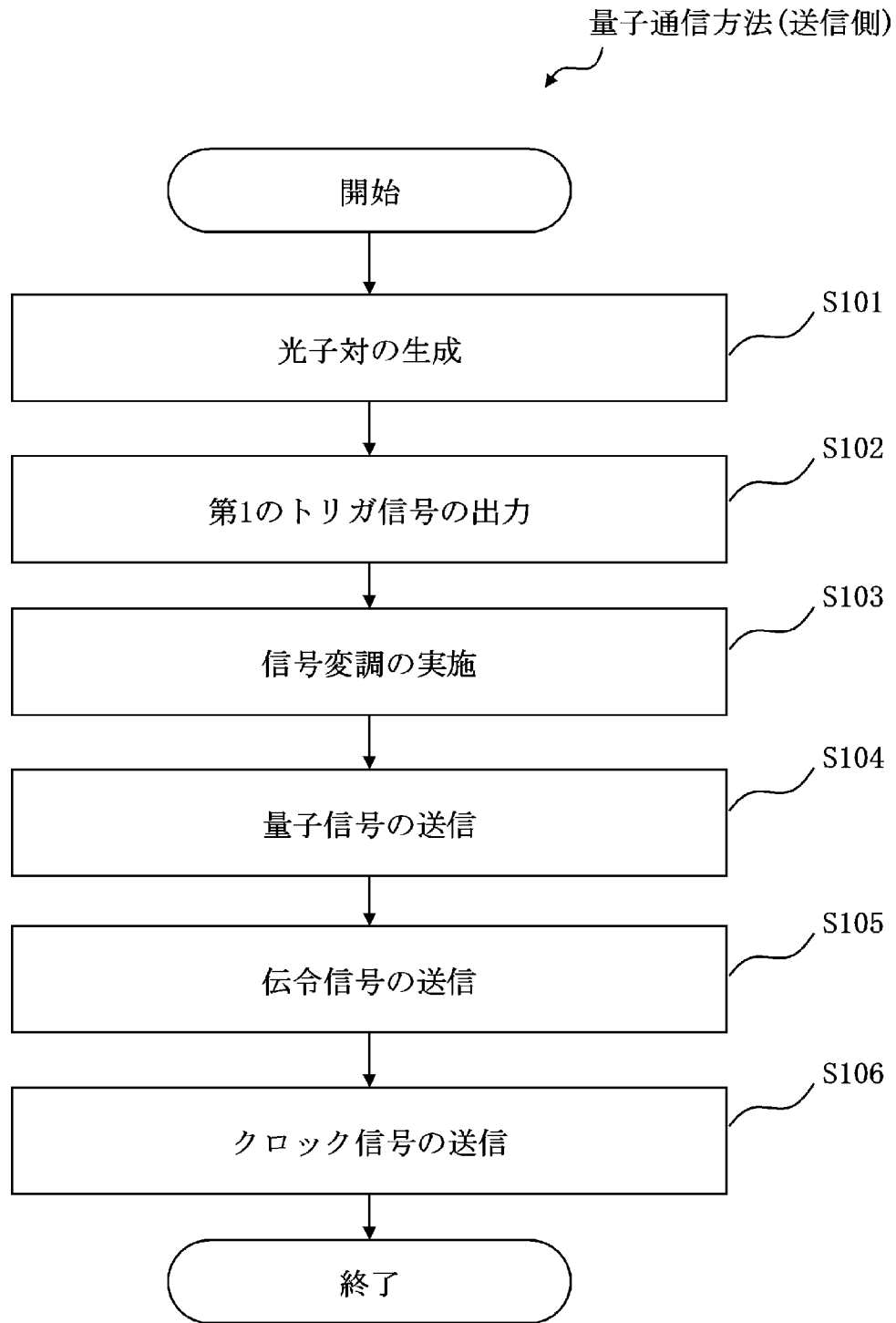
[図3]



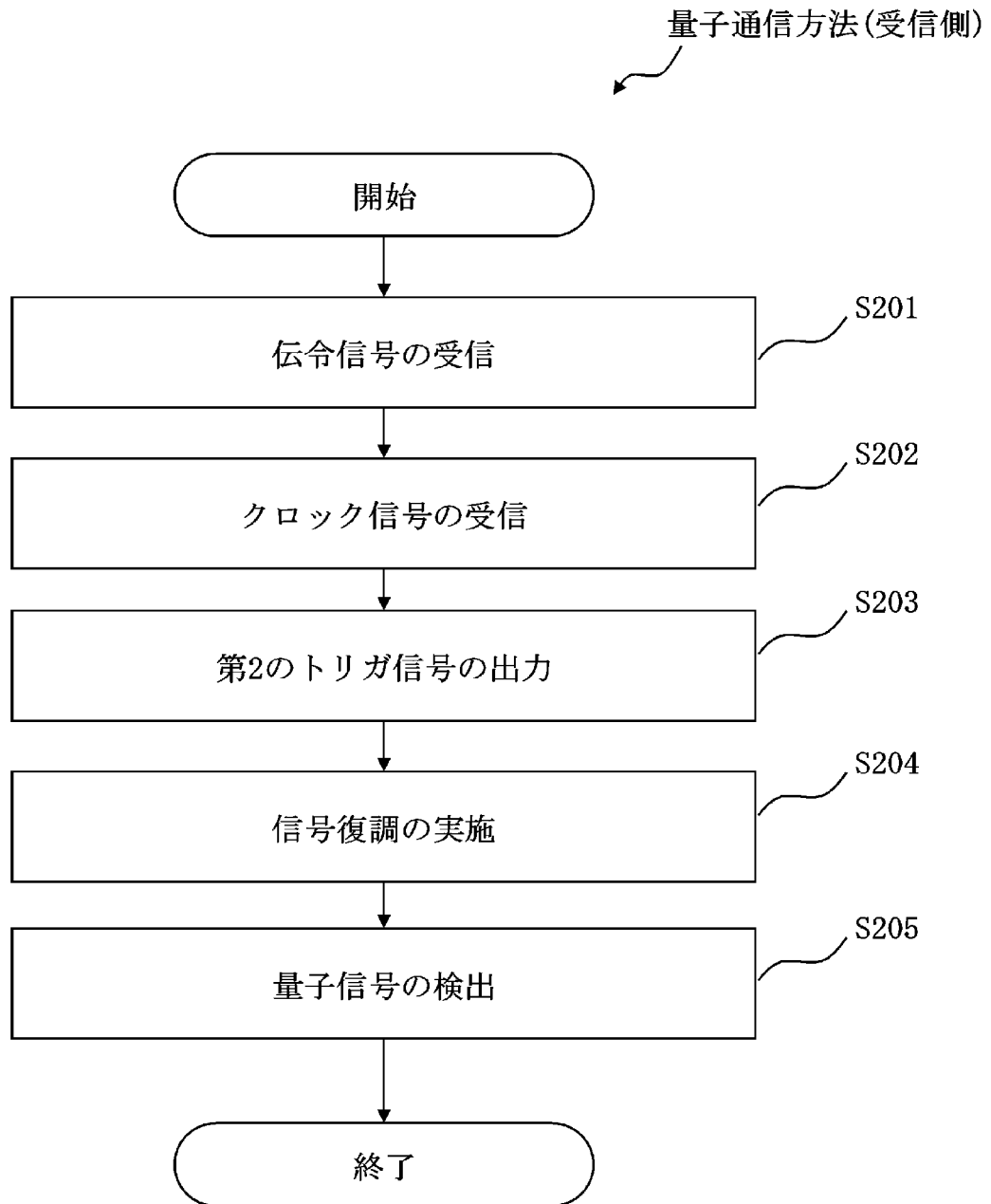
[図4]



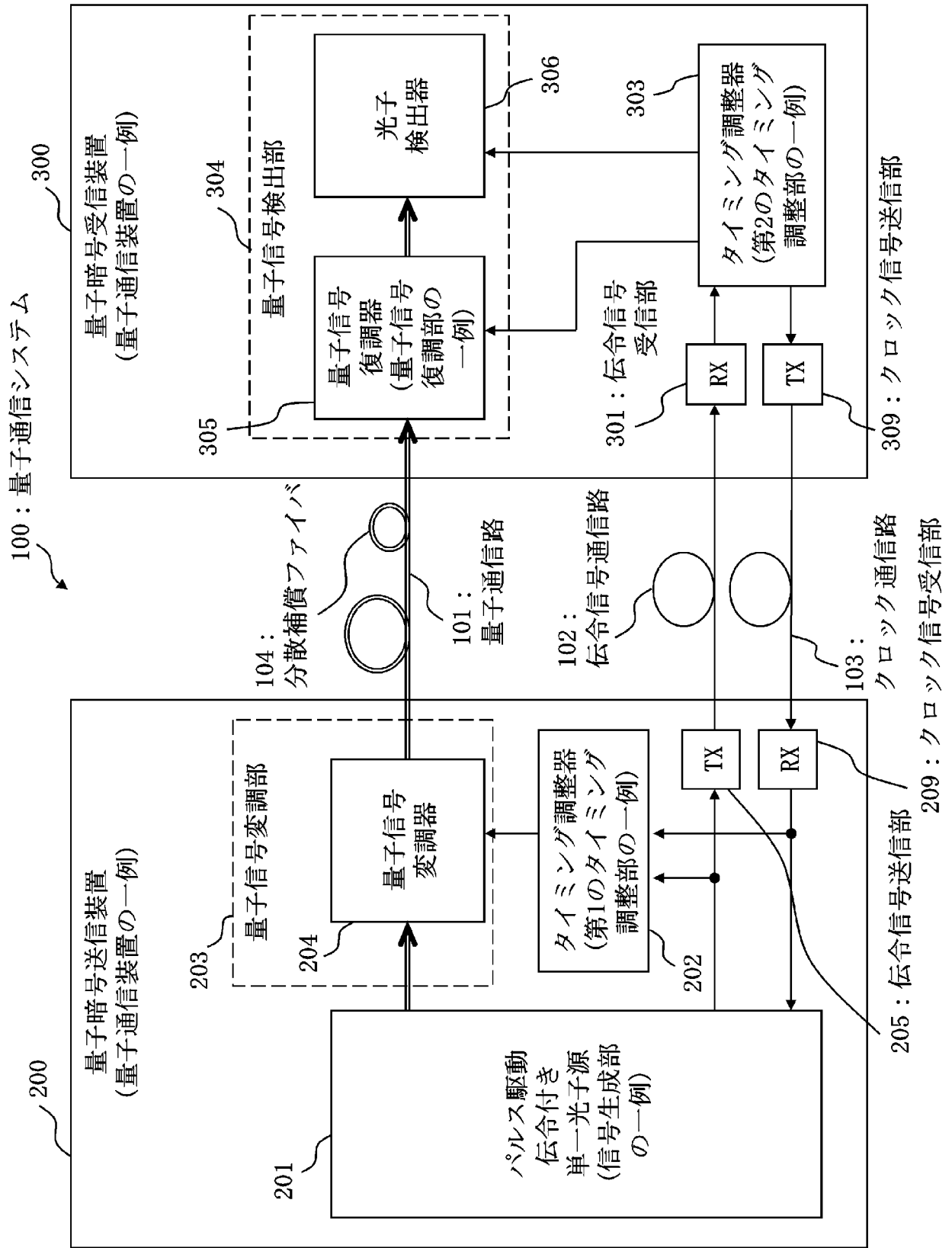
[図5]



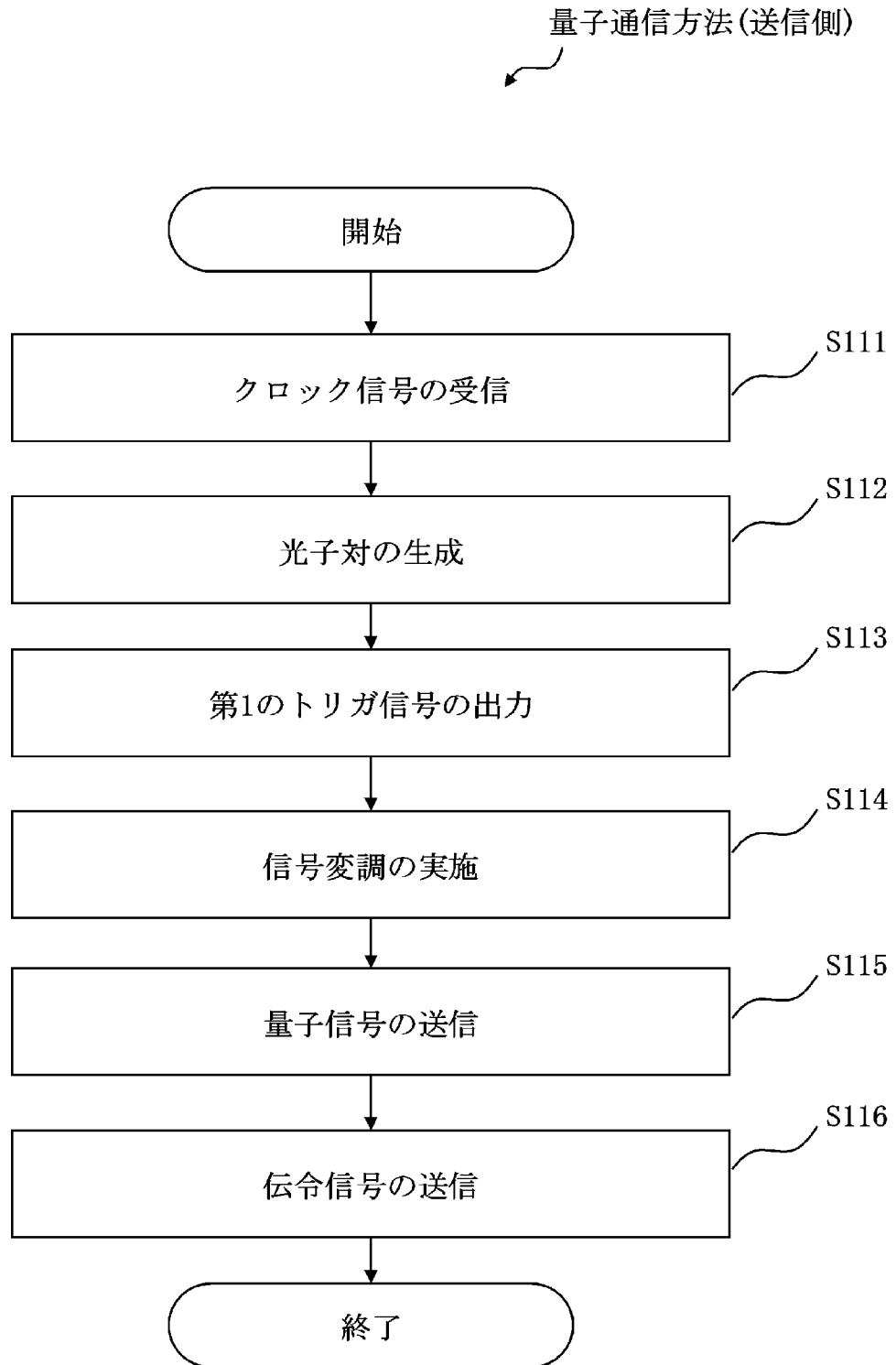
[図6]



[図7]



[図8]



[図9]

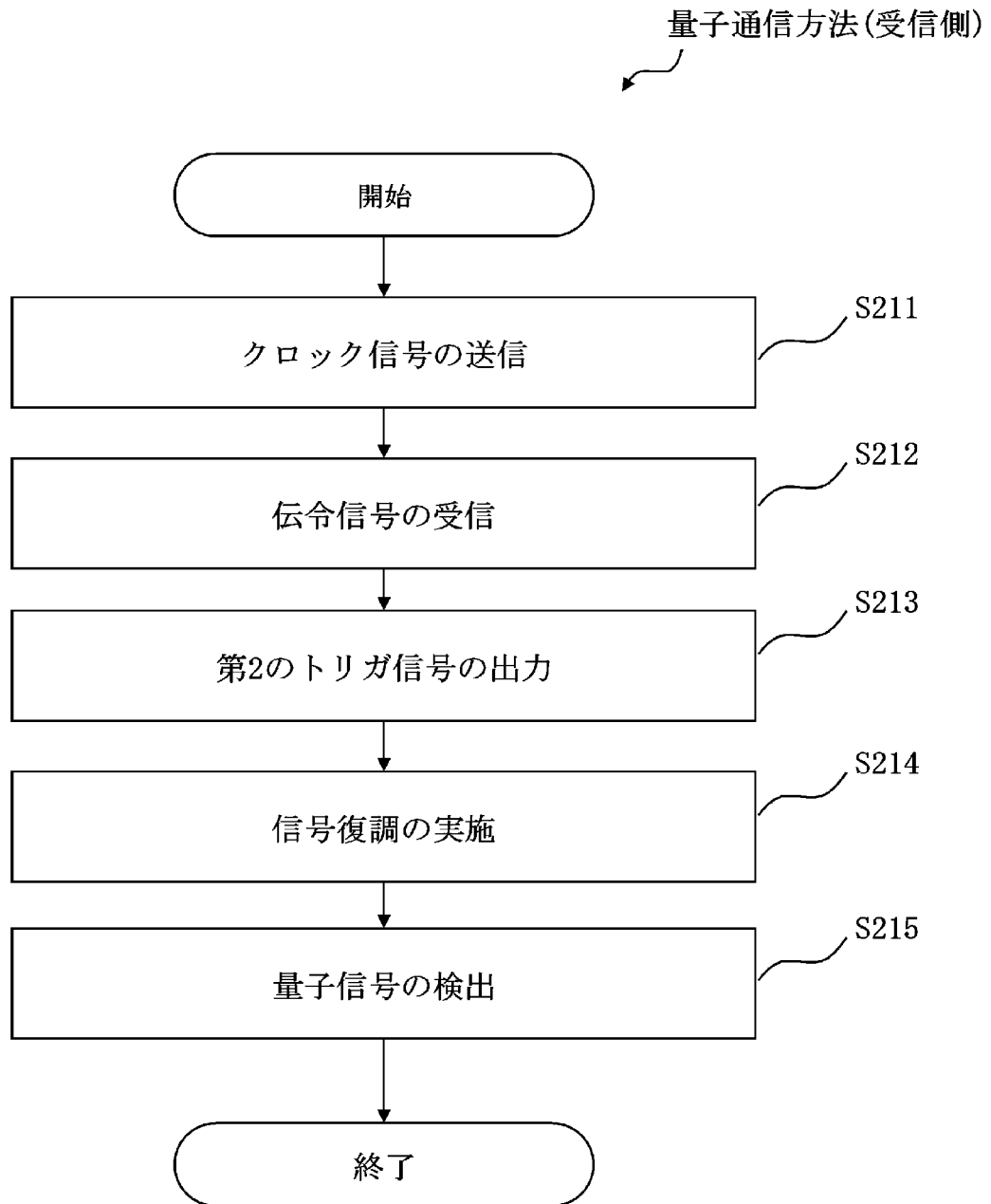
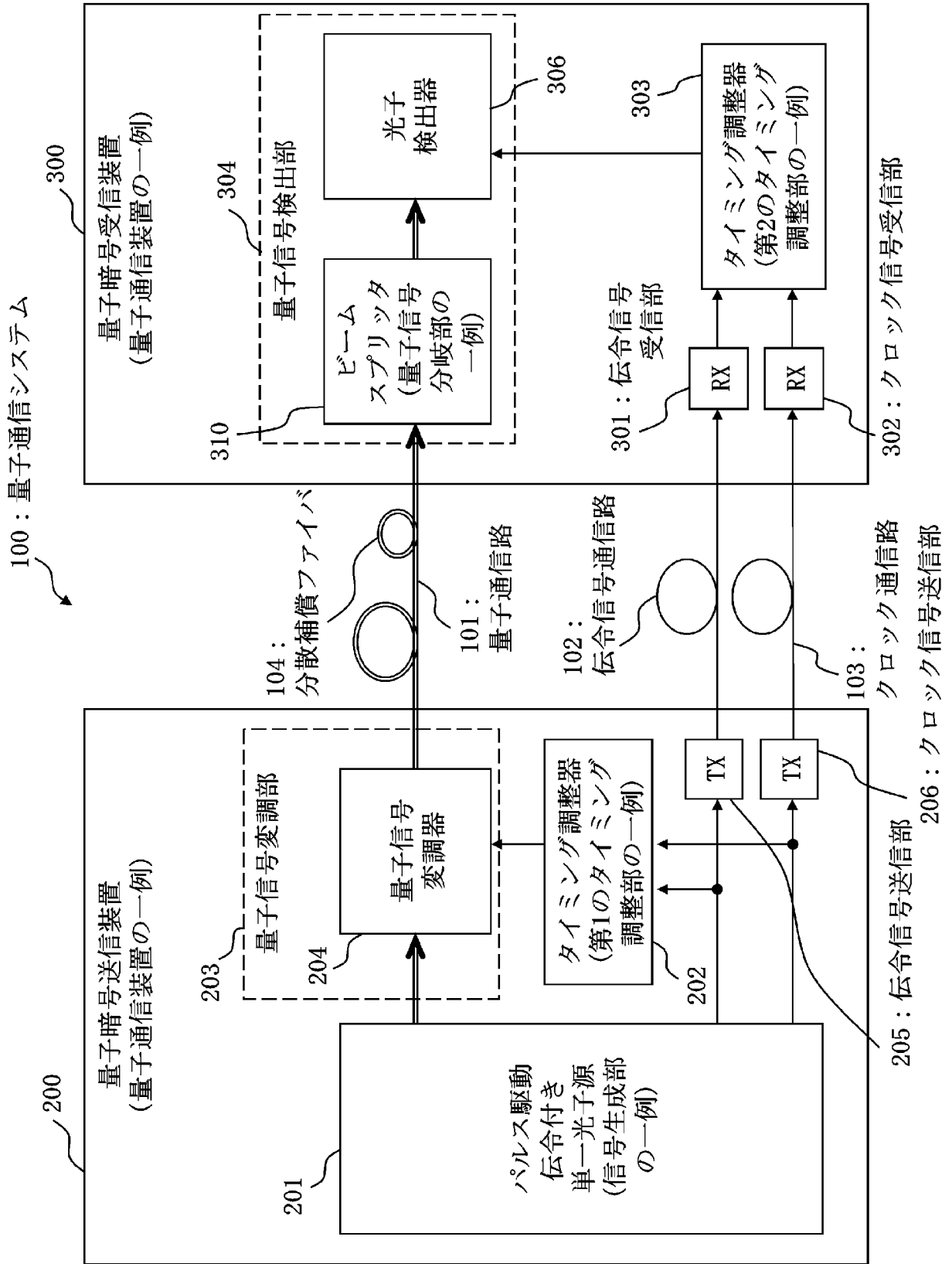
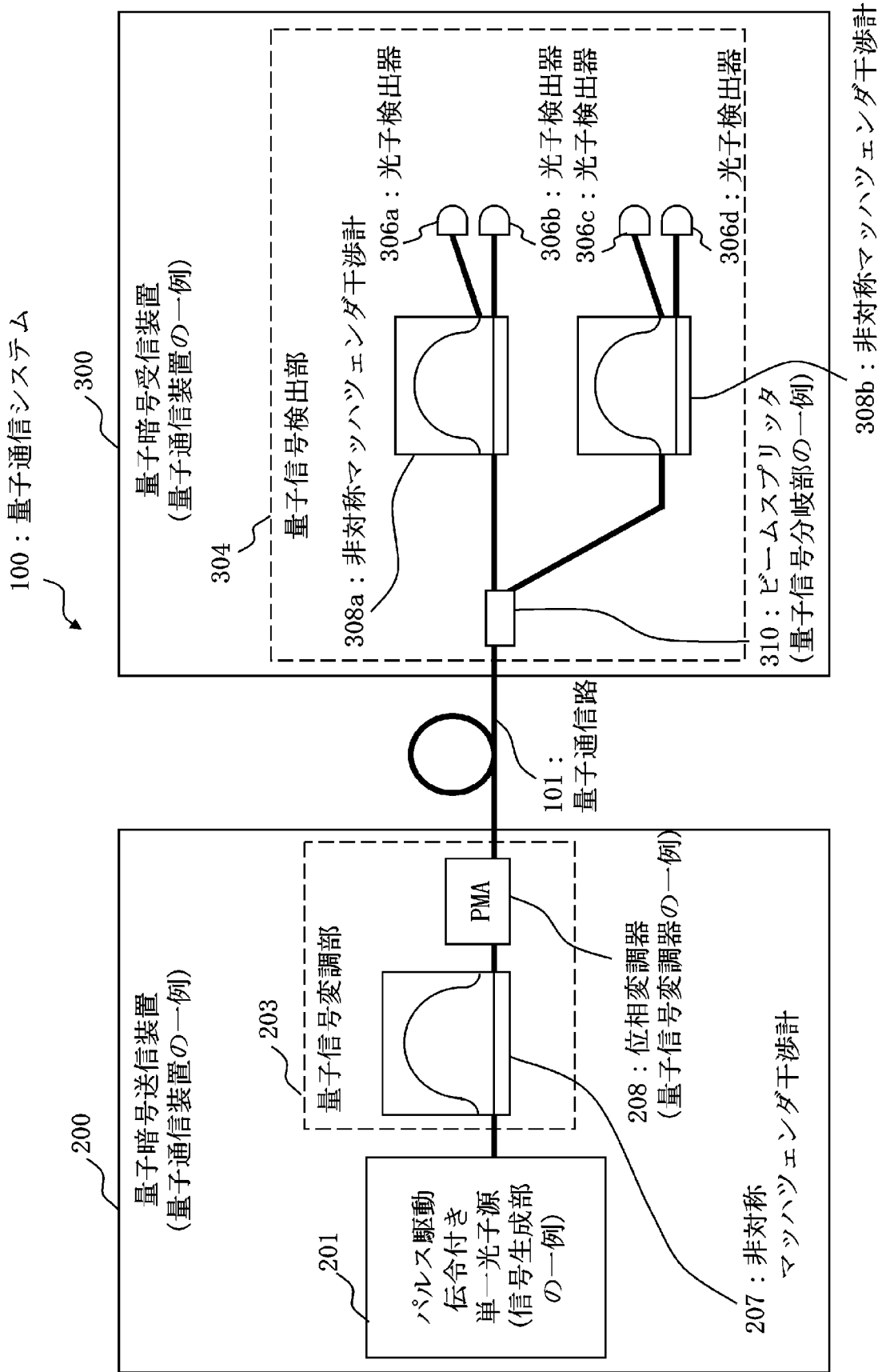


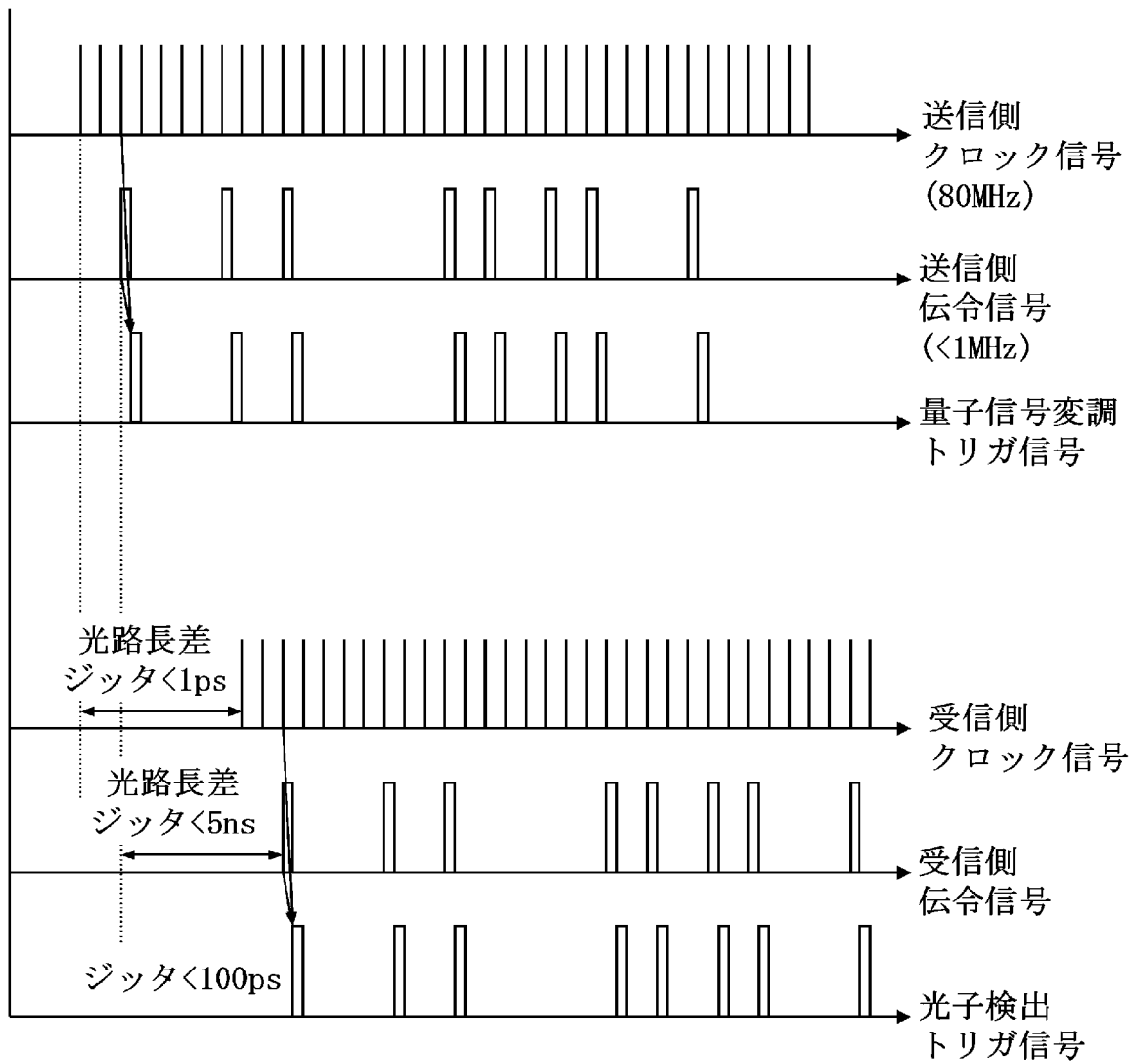
図10



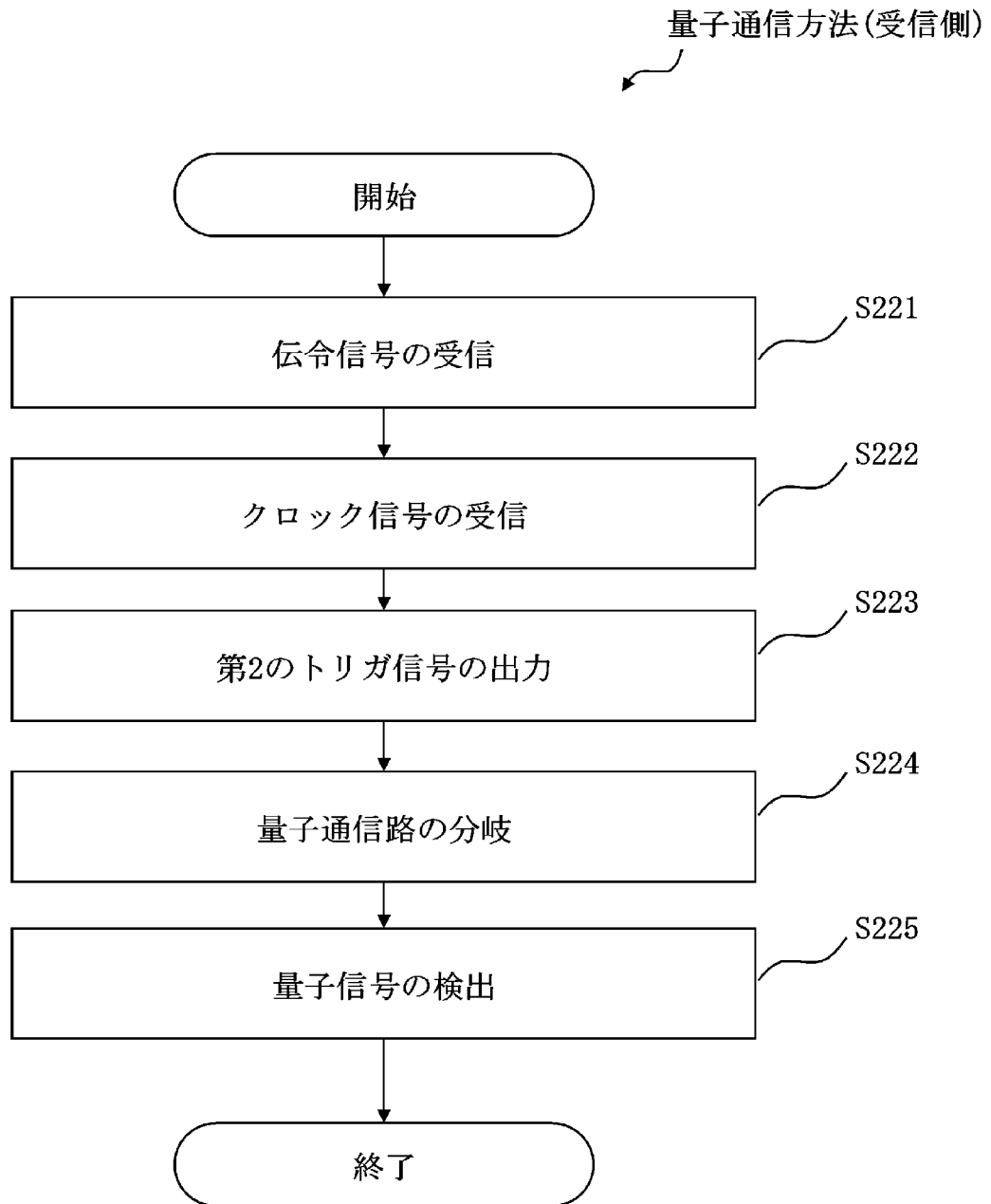
[図11]



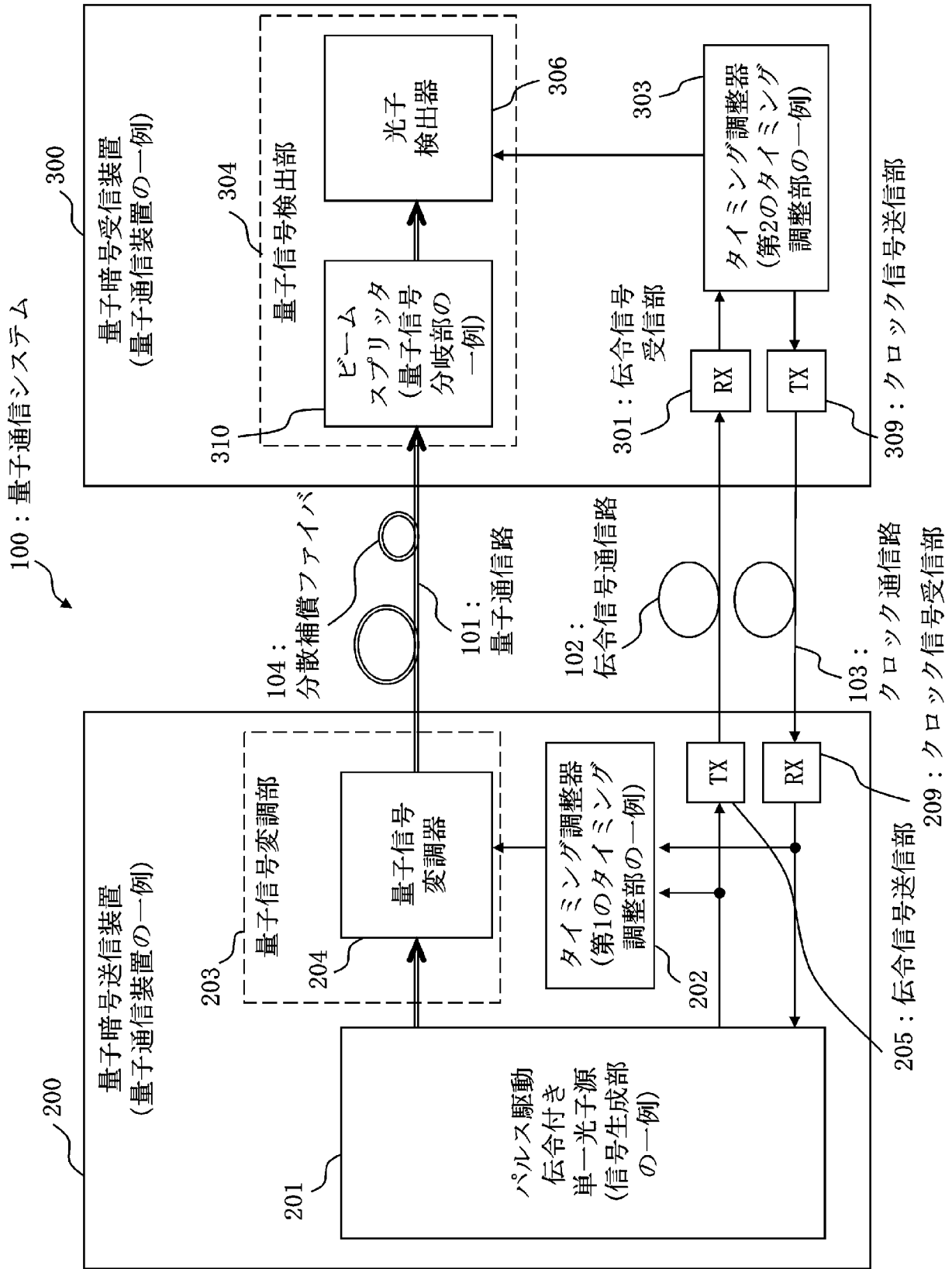
[図12]



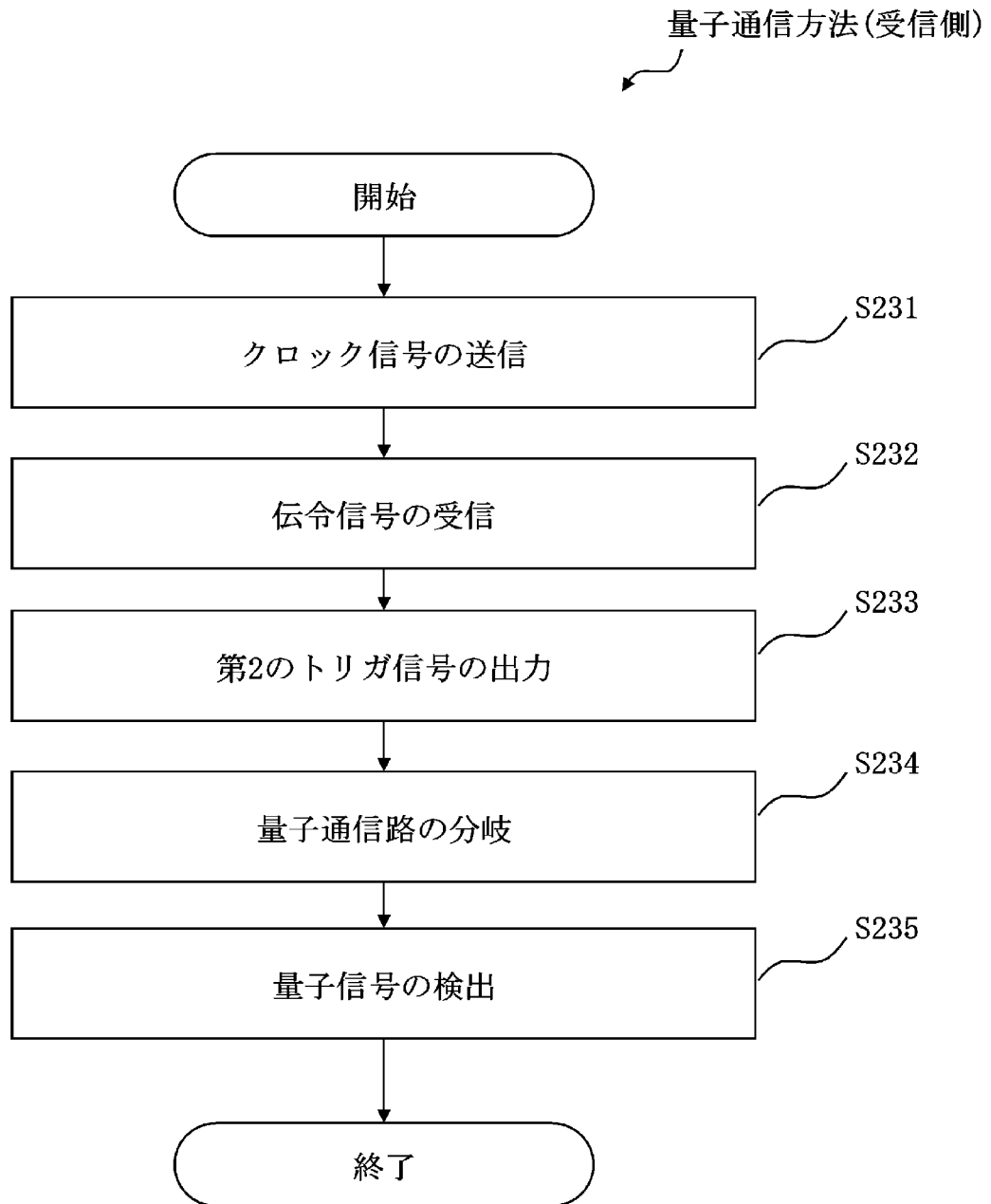
[図13]



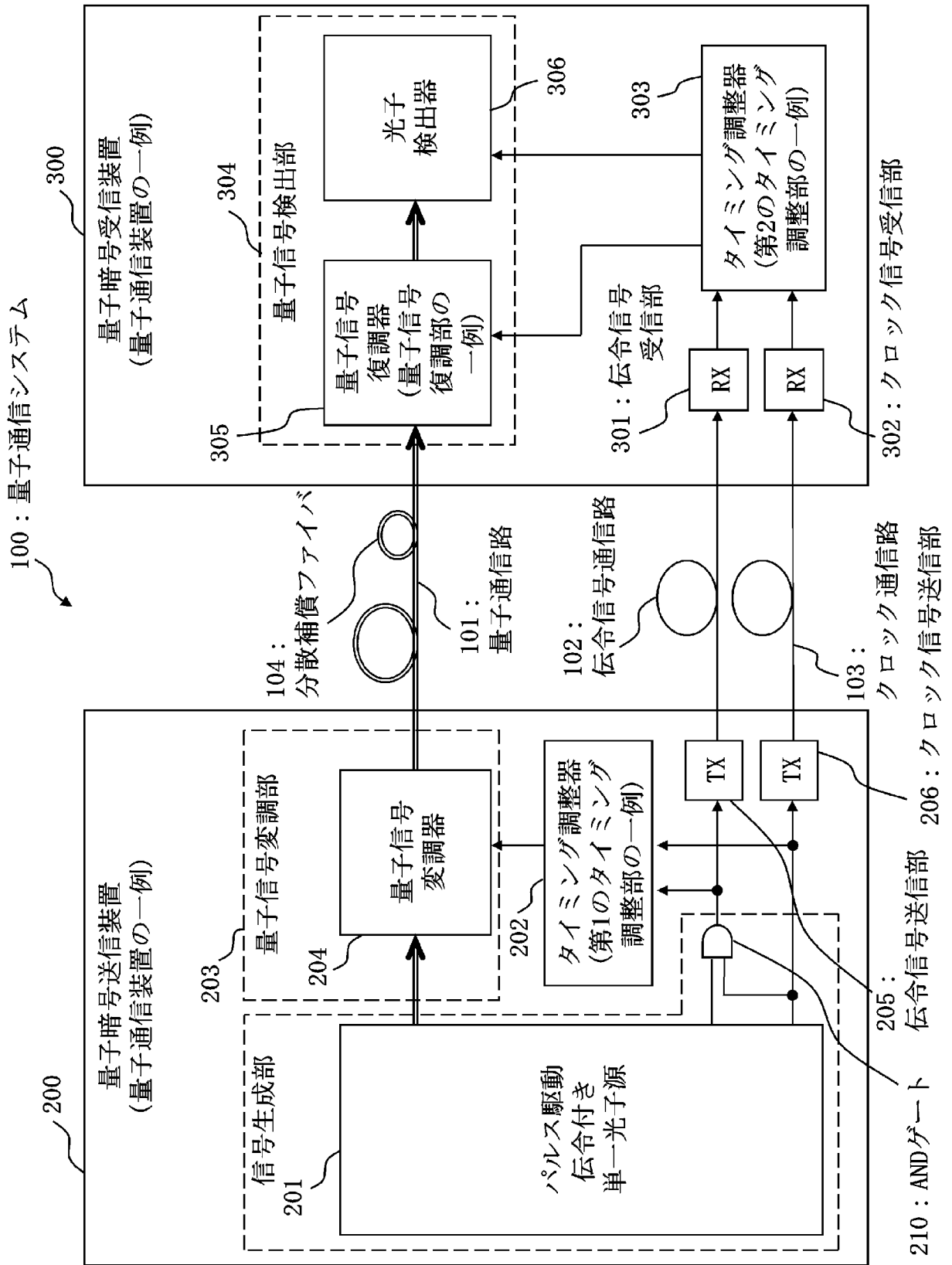
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/315490

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B10/00(2006.01) i, H04L9/12(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B10/00, H04L9/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Paul Toliver et.al., Experimental Investigation of Quantum Key Distribution Through Transparent Optical Switch Elements, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.15, No.11, 2003.11, pages 1669-1671 especially Fig.1-Fig.3, "II QKD System Concept", "III Experimental Setup"	1, 8, 11-13, 17 6, 7, 9, 10, 14-16
X Y	Alexandre Soujaeff et.al., Heralded single photon source for quantum cryptography at 1550nm, 2005 European Quantum Electronics Conference, 2005.06.12, page.285	4, 5 6, 7, 9, 10, 14-16
X Y	Kyo Inoue, Quantum key distribution using a series of quantum correlated photon pairs, Physical Review A, A 71 032301, 2005.03, 032301-1 - 032301-6	4, 5 6, 7, 9, 10, 14-16

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 September, 2006 (07.09.06)

Date of mailing of the international search report
19 September, 2006 (19.09.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/315490

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	P.D.Townsend, Secure key distribution system based on quantum cryptography, ELECTRONICS LETTERS, Vol.30, No.10, 1994.05.12, pages.809-810	2,3 6,7,9,10, 14-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04B10/00(2006.01)i, H04L9/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04B10/00, H04L9/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	Paul Toliver et.al., Experimental Investigation of Quantum Key Distribution Through Transparent Optical Switch Elements, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.15, No.11, 2003.11, pages 1669-1671 especially Fig.1-Fig.3, "II QKD System Concept", "III Experimental Setup"	1, 8, 11-13, 17 6, 7, 9, 10, 14-16
X Y	Alexandre Soujaeff et.al., Heralded single photon source for quantum cryptography at 1550nm, 2005 European Quantum Electronics Conference, 2005.06.12, page.285	4, 5 6, 7, 9, 10, 14-16

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

- の日の後に公表された文献
- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
07.09.2006

国際調査報告の発送日
19.09.2006

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
前田 典之
5 J | 9 0 7 3
電話番号 03-3581-1101 内線 3534

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	Kyo Inoue, Quantum key distribution using a series of quantum correlated photon pairs, Physical Review A, A 71 032301, 2005.03, 032301-1 - 032301-6	4, 5 6, 7, 9, 10, 14-16
X Y	P.D.Townsend, Secure key distribution system absed on quantum cryptography, ELECTRONICS LETTERS, Vol.30, No.10, 1994.05.12, pages.809-810	2, 3 6, 7, 9, 10, 14-16