

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 1 月 7 日(07.01.2016)

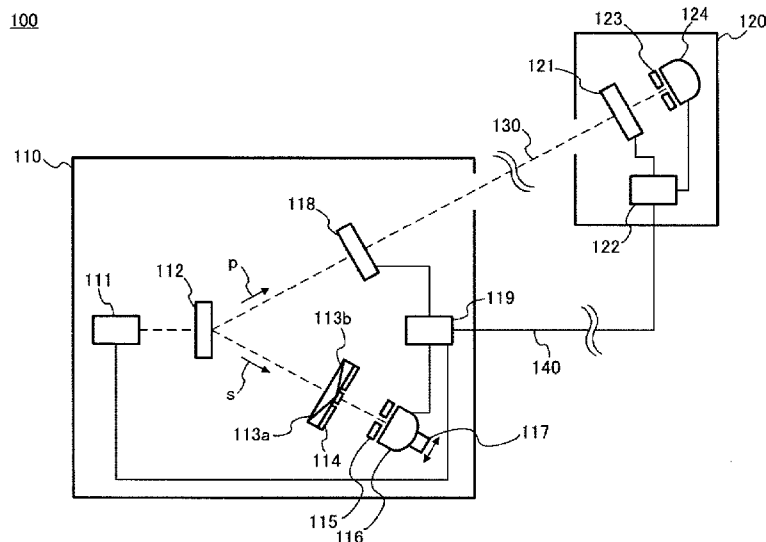


(10) 国際公開番号
WO 2016/002149 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 9/12 (2006.01) *H04B 10/85* (2013.01)
H04B 10/70 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/003018
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 17 日(17.06.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-136718 2014 年 7 月 2 日(02.07.2014) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 森本 政仁(MORIMOTO, Masahito); 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 岡部 譲, 外(OKABE, Yuzuru et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 1-6-5 丸の内北口ビル 2 2 階 Tokyo (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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OPTICAL COMMUNICATION METHOD AND SYSTEM

(54) 発明の名称: 光通信方法およびシステム



(57) Abstract: The present invention provides an optical communication method and system which make tapping more difficult than in the prior art. An optical communication system (100) according to an embodiment of the present invention is provided with: a photon pair generation unit (112) which generates a correlation photon pair; a polarizer (121) which is provided in the optical path of one of the correlation photon pair and is able to change the direction thereof on the basis of transmitted information; a shutter (118) which is provided between the photon pair generation unit and the polarizer in the optical path of the one of the correlation photon pair and is able to block the one of the correlation photon pair; and a photon detector (116) which is provided in the optical path of the other of the correlation photon pair.

(57) 要約: 本発明は、従来よりも盗聴が困難な光通信方法およびシステムを提供する。本発明の一実施形態に係る光通信システム 100 は、相関光子対を発生させる光子対発生部 112 と、相関光子対の一方の光路上に設けられ、送信される情報に基づいて向きが変更可能な偏光子 121 と、相関光子対の一方の光路上において光子対発生部と偏光子との間に設けられ、相関光子対の一方を遮断可能なシャッター 118 と、相関光子対の他方の光路上に設けられた光子検出器 116 と、を備える。



WO 2016/002149 A1

明 細 書

発明の名称：光通信方法およびシステム

技術分野

[0001] 本発明は、光子を用いて情報の送受信を行う光通信方法およびシステムに関する。

背景技術

[0002] 近年、量子力学原理を応用した量子暗号通信について、研究および実験がなされている（非特許文献1、2）。従来の量子暗号通信は、通信経路に量子力学的な重ね合わせ状態の光子が存在することを前提として検討が行われている。重ね合わせ状態の光子は、盗聴者により観測されると、重ね合わせ状態から決定的な情報を持った固有状態へ遷移する。このような効果により、盗聴者は元の重ね合わせ状態を再現できないため、送受信される情報に影響を与えずに盗聴を行うことは不可能である。そのため、本来の送受信者は盗聴の有無を検知できることが安全性の担保となっている。

[0003] 例えば、非特許文献3には、量子暗号通信としての光通信方法が開示されている。非特許文献3に記載の光通信方法では、送信者は光子に対して送信したい情報に応じた位相変調を行い、受信者に該光子を送信する。盗聴者が送信経路に介在して該光子を測定したとしても、送信者が用いた位相を知り得ないため、同じ位相変調を施した光子を受信者に再送信することはできない。その結果、送信者が送信した情報と受信者が受信した情報との間の不一致（エラー）が増加するため、盗聴者の存在を検知することが可能である。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：H. Takesue et al., " Differential phase shift quantum key distribution experiment over 105 km fibre", New Journal of Physics, 2005, Vol. 7, 232

非特許文献2：後藤仁, " 量子暗号通信の仕組みと開発動向", 日本銀行金

融研究所, 金融研究, 2009, 第28巻第3号, pp. 107-150

非特許文献3: K. Inoue, "Quantum Key Distribution Technologies", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2006, Vol. 12 (4), pp. 888-896

非特許文献4: M. Morimoto, "Resolution of Single Photon and Electron Interference Enigma", <http://vixra.org/abs/1312.0097>, 2013

発明の概要

- [0005] 上述した従来の光通信方法では、事後的に盗聴者の存在を検知可能であるとはいえ、盗聴者は通信経路で送受信される光子を測定すること自体は可能である。従来の光通信方法では、盗聴者の存在が検知された場合に不正に測定されたおそれのある光子に係る情報（例えば、暗号鍵）を廃棄すること等により盗聴に対処することはできるが、該光子が盗聴者に何らかの情報を与えてしまうことは否定できない。そのため、盗聴者による光子の測定自体を困難にすることがより望ましい。
- [0006] 本発明は、上述の問題に鑑みて行われたものであって、従来よりも盗聴が困難な光通信方法およびシステムを提供することを目的とする。
- [0007] 本発明の第1の態様は、光通信システムであって、相関光子対を発生させる光子対発生部と、前記相関光子対の一方の光路上に設けられ、送信される情報に基づいて向きが変更可能な偏光子と、前記相関光子対の前記一方の光路上において前記光子対発生部と前記偏光子との間に設けられ、前記相関光子対の前記一方を遮断可能なシャッターと、前記相関光子対の他方の光路上に設けられた光子検出器と、を備えることを特徴とする。
- [0008] 本発明の第2の態様は、光通信方法であって、送信される情報に基づいて偏光子の向きを設定することと、前記偏光子の向きが設定された後に、光子対発生部により相関光子対を発生することと、前記相関光子対が発生された後に、シャッターにより前記相関光子対の一方を遮断することと、前記相関光子対が発生された後に、検出器により前記相関光子対の他方を検出するこ

とと、を備え、前記相関光子対の前記一方の光路上に、前記シャッターおよび前記偏光子が配置されており、前記相関光子対の前記他方の光路上に、前記検出器が配置されていることを特徴とする。

[0009] 本発明に係る光通信方法およびシステムによれば、偏光子の向きによって情報を送信し、シャッターによって相関光子対の一方を遮断するため、光子を読み取って盗聴を行うことが困難である。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の一実施形態に係る光通信システムの概略構成図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る光通信方法のフローチャートを示す図である。

[図3A]本発明の一実施形態に係る光通信方法により測定される結果の模式的なプロットを示す図である。

[図3B]本発明の一実施形態に係る光通信方法により測定される結果の模式的なプロットを示す図である。

[図4]本発明の一実施形態に係る光通信システムの概略構成図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る光通信方法のフローチャートを示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明するが、本発明は本実施形態に限定されるものではない。なお、以下で説明する図面で、同機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略することもある。

[0012] (第1の実施形態)

図1は、本実施形態に係る光通信システム100の概略構成図である。光通信システム100は、受信機110と送信機120とを備え、受信機110と送信機120との間は情報の伝達経路である通信路130により結ばれている。本実施形態において通信路130は自由空間であるが、通信路130の少なくとも一部は光ファイバやPLC等の光導波路でもよい。なお、受信機110および送信機120の名称は情報の送信の方向に基づいて定義さ

れており、後述するように光子の送信の方向とは逆である。すなわち、情報の送信方向は送信機 1 2 0 から受信機 1 1 0 の方向であるが、光子の送信方向は受信機 1 1 0 から送信機 1 2 0 の方向である。

[0013] 受信機 1 1 0 内には、受信制御部 1 1 9 による制御にしたがって光子を出力する光子源 1 1 1 と、光子源 1 1 1 から光子が入射されることによって相関光子対を発生させる光子対発生部 1 1 2 とが設けられる。該光子対のうち一方を光子 p とし、他方を光子 s とする。光子 p と光子 s とは互いに直交する偏光を有するように相関がある。すなわち、光子 p が縦偏光のときは光子 s は横偏光となり、又はその逆となる。本実施形態では光子対発生部 1 1 2 として、パラメトリック下方変換により互いに相関がある光子対を発生させる BBO 結晶 ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 結晶) を用いるが、互いに相関がある光子対を発生させる任意の物質又は装置を用いてよい。

[0014] 光子対発生部 1 1 2 による光子 s の出射方向、すなわち光子 s の光路上には、2 つの QWP 1 1 3 a、1 1 3 b (1/4 波長板) と、二重スリット板 1 1 4 とが設けられる。二重スリット板 1 1 4 は平行な 2 本のスリットを有する。第 1 の QWP 1 1 3 a は、それを通過した光子 s が 2 本のスリットの一方に入射するように配置され、第 2 の QWP 1 1 3 b は、それを通過した光子 s が 2 本のスリットの他方に入射するように配置される。

[0015] 直線偏光の光子 s が QWP 1 1 3 a、1 1 3 b の高速軸に対して -45° 又は 45° の傾きで入射する場合 (このときの光子 s の偏光を斜め偏光とする) には、QWP 1 1 3 a、1 1 3 b は光子 s を円偏光に変換して出力する。一方、直線偏光の光子 s が QWP 1 1 3 a、1 1 3 b の高速軸に対して 0° 又は 90° の傾きで入射する場合 (このときの光子 s の偏光を縦偏光又は横偏光とする) には、QWP 1 1 3 a、1 1 3 b は光子 s を直線偏光のまま出力する。さらに、QWP 1 1 3 a、1 1 3 b が光子 s を円偏光に変換する際の方向は、互いに逆である。具体的には、第 1 の QWP 1 1 3 a は光子 s を右円偏光に変換し、第 2 の QWP 1 1 3 b は光子 s を左円偏光に変換する (又はこの逆)。このような構成により、縦偏光又は横偏光の光子 s が QW

P 1 1 3 a、1 1 3 bに入射する場合には二重スリット板 1 1 4 を通った後に干渉が発生し、斜め偏光の光子 s が QWP 1 1 3 a、1 1 3 bに入射する場合には二重スリット板 1 1 4 を通った後に干渉が発生しない。

[0016] 光子 s が二重スリット板 1 1 4 を通過する先、すなわち光子 s の光路上には、スリット板 1 1 5 と、受信検出器 1 1 6 とが設けられる。スリット板 1 1 5 は、光子 s が所定の方向から受信検出器 1 1 6 に入力されるように制限するスリットを有する。

[0017] 受信検出器 1 1 6 は、光子 s を検出すると受信制御部 1 1 9 に所定の信号を出力する。本実施形態では受信検出器 1 1 6 として、APD（アバランシェフォトダイオード）を用いるが、光子を検出可能な任意の装置を用いてよい。受信検出器 1 1 6 には、光子対発生部 1 1 2 による光子 s の出射方向（光子 s の光路）に対して垂直方向に受信検出器 1 1 6 を移動させる駆動部 1 1 7 が接続される。駆動部 1 1 7 は、モータやアクチュエータ等の任意の駆動部である。受信検出器 1 1 6 を駆動部 1 1 7 により移動させながら光子 s の検出を繰り返すことによって、受信検出器 1 1 6 の各位置における光子 s の検出数を取得することができる。

[0018] 光子対発生部 1 1 2 による光子 p の出射方向、すなわち光子 p の光路上には、シャッター 1 1 8 が設けられる。シャッター 1 1 8 は、受信制御部 1 1 9 による制御にしたがって、光子 p を通信路 1 3 0 に通すように開放された状態と、光子 p を通信路 1 3 0 から遮断するように閉鎖された状態との間で切り替え可能である。シャッター 1 1 8 としては、機械的又は電磁的に開放と閉鎖とが切り替えられる任意の装置を用いてよい。

[0019] 光子源 1 1 1、受信検出器 1 1 6 およびシャッター 1 1 8 には、受信制御部 1 1 9 が接続される。受信制御部 1 1 9 は、各部材を電氣的に制御し、送信機 1 2 0 と同期用伝送路 1 4 0 を介して通信し、測定されたデータの記録を行い、またユーザに対して入出力を行う。受信制御部 1 1 9 は、任意のコンピュータ又は電気回路を含む。

[0020] 送信機 1 2 0 内において、受信機 1 1 0 からの光子 p の入射方向、すなわ

ち光子 p の光路上には、偏光子 1 2 1（偏光板）が設けられる。偏光子 1 2 1 は、所定の向きの偏光を有する光子を完全に通す第 1 の状態と、該第 1 の状態から光子の透過方向に関して $+45^\circ$ 又は -45° 傾いた第 2 の状態との間で切り替え可能である。本実施形態では該所定の向きの偏光として縦偏光又は横偏光を用いるため、第 1 の状態の偏光子 1 2 1 は縦偏光又は横偏光の光子を通し、第 2 の状態の偏光子 1 2 1 は斜め偏光の光子を通す。偏光子 1 2 1 は、送信制御部 1 2 2 による制御にしたがって、第 1 の状態と第 2 の状態との間で切り替えられる。

[0021] 光子 p が偏光子 1 2 1 を通過する先には、スリット板 1 2 3 と、送信検出器 1 2 4 とが設けられる。スリット板 1 2 3 は、光子 p が所定の方向から送信検出器 1 2 4 に入力されるように制限するスリットを有する。送信検出器 1 2 4 は、光子 p を検出すると送信制御部 1 2 2 に所定の信号を出力する。なお、後述するように本実施形態では偏光子 1 2 1 の向きによって送信機 1 2 0 から受信機 1 1 0 に情報を送信するため、情報送信のためには送信検出器 1 2 4 は必ずしも必要でない。送信検出器 1 2 4 は、受信機 1 1 0 からの光子を受信することによって、送信機 1 2 0 と受信機 1 1 0 との間で通信路 1 3 0 の光軸を合わせるため、又は送信機 1 2 0 と受信機 1 1 0 との間の距離を測定するために用いられる。

[0022] 偏光子 1 2 1 および送信検出器 1 2 4 には、送信制御部 1 2 2 が接続される。送信制御部 1 2 2 は、各部材を電氣的に制御し、受信機 1 1 0 と同期用伝送路 1 4 0 を介して通信し、測定されたデータの記録を行い、またユーザに対して入出力を行う。送信制御部 1 2 2 は、任意のコンピュータ又は電気回路を含む。

[0023] 受信機 1 1 0 と送信機 1 2 0 とは、同期用伝送路 1 4 0 によって接続されている。同期用伝送路 1 4 0 は、光ファイバ通信路、無線通信路等、任意の通信路でよい。送信制御部 1 2 2 は、同期用伝送路 1 4 0 を介して受信制御部 1 1 9 に同期信号を送信することによって、送受信タイミングの同期を行う。送受信タイミングの同期は、送信時刻を示す信号や周期的な信号等を用

いて、任意の同期方式により行われる。

[0024] ここで本発明の原理の説明を行う。従来、BBO結晶（光子対発生部）により発生される相関光子対（エンタングル光子対）において、一方の光子sが縦偏光 $|y\rangle$ であれば他方の光子pは横偏光 $|x\rangle$ 、若しくはその逆であり、これらの偏光方向は観測するまで決定されず、これらの重ね合わせ状態である、と考えられてきた。すなわち、相関光子対は、光子sが縦偏光 $|y\rangle$ で光子pが横偏光 $|x\rangle$ である状態 $|y\rangle_s |x\rangle_p$ と、光子sが横偏光 $|x\rangle$ で光子pが縦偏光 $|y\rangle$ である状態 $|x\rangle_s |y\rangle_p$ との重ね合わせ状態であると考えられてきた。この状態は式（1）で表される。

[0025] [数1]

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|x\rangle_s |y\rangle_p + |y\rangle_s |x\rangle_p) \quad (1)$$

[0026] しかし、このような考え方では時間が逆転したようなパラドックスが発生し、原因と結果が入れ替わる等の特殊な状況が発生してしまう。それに対して、以下に述べるような非局在ポテンシャルの存在を認めると、従来の考え方をを用いることなく説明が可能である。

[0027] すなわち、従来、偏光子（ポラライザ）等の偏光を揃えるデバイスを通った横偏光 $|x\rangle$ および縦偏光 $|y\rangle$ は、式（2）で表されるように $+45^\circ$ 又は -45° 傾いた偏光の重ね合わせであるとされていた。

[0028] [数2]

$$\begin{aligned} |x\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle \\ |y\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle \end{aligned} \quad (2)$$

[0029] ここで、 $|+\rangle$ はx軸に対して $+45^\circ$ の偏光、 $|-\rangle$ はx軸に対して -45° の偏光を示す。古典的な電磁場ではこれは正しいが、単一光子のように分けられない光子にまで、この表式を用いることはパラドックスに繋がる。このような極少数の光子を取り扱う場合には、重ね合わせと考えるのではなく、空間中に普遍的に存在する非局在ポテンシャルを用いることによって

上手く説明することができる。この場合に、式（２）に非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ を加えた式（３）が正しい表式と考える必要がある。

[0030] [数3]

$$\begin{aligned} |x\rangle &\rightarrow |x\rangle + |\zeta_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle \\ |y\rangle &\rightarrow |y\rangle + |\zeta_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle \end{aligned} \quad (3)$$

[0031] よって、非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ は式（４）により表される。

[0032] [数4]

$$\begin{aligned} |\zeta_1\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle - |x\rangle \\ |\zeta_2\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}|+\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|-\rangle - |y\rangle \end{aligned} \quad (4)$$

[0033] ここで、非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ の添え字は偏光子（光通信システム 100 における偏光子 121）の向きを示しており、 $|\zeta_1\rangle$ は横向き、 $|\zeta_2\rangle$ は縦向きを示す。このように、偏光子が存在することによって、非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ が方向付けされる。すなわち、偏光子が横向きであれば非局在ポテンシャル $|\zeta_1\rangle$ となり、偏光子が縦向きであれば非局在ポテンシャル $|\zeta_2\rangle$ となる。

[0034] この非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ は Maxwell 方程式に従うので、光速で偏光子から伝搬する。この伝搬した非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ が光子対を発生させる BBO 結晶（光通信システム 100 における光子対発生部 112）に到達すると、BBO 結晶は、この方向付けられた非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ によって、発生可能な光子の偏光を決定づけられてしまう。

[0035] 具体的には、BBO 結晶が光子を発生する前に、BBO 結晶から光子が射出される方向に存在する偏光子から BBO 結晶に非局在ポテンシャル $|\zeta\rangle$ が到達する。偏光子が横向きの場合には、非局在ポテンシャル $|\zeta_1\rangle$ が到達するため、BBO 結晶は偏光子に向かう方向に横偏光 $|x\rangle$ でしか光子 p を発生できない。このとき相関光子対のうち他方の光子 s は縦偏光 $|y\rangle$ となる。一方、偏光子が縦向きの場合には、非局在ポテンシャル $|\zeta_2\rangle$ が到達す

るため、ＢＢＯ結晶は偏光子に向かう方向に縦偏光 $|y\rangle$ でしか光子 p を発生できない。このとき相関光子対のうち他方の光子 s は横偏光 $|x\rangle$ となる。このように、ＢＢＯ結晶から光子が出射される方向に存在する偏光子の向きによって、ＢＢＯ結晶が発生可能な光子の偏光は拘束される。なお、ここでは縦偏光又は横偏光について説明したが、縦偏光又は横偏光から $+45^\circ$ 又は -45° 傾けた斜め偏光についても、同様に偏光子の向きによってＢＢＯ結晶が発生可能な光子の偏光は拘束される。

[0036] すなわち、ＢＢＯ結晶では完全に相関のある光子対が始めから発生されているのであり、従来の考え方のように観測されるまで相関光子対が重ね合わせの状態にあるのではない。しかしながら、非局在ポテンシャルそのものは観測できないので、このような方向付けを感知することができない為に、光子対には不思議な相関があると従来考えられてきたのである。

[0037] 非局在ポテンシャルは、確率振幅が $\langle \xi_1 | \xi_1 \rangle = 0$ 、 $\langle \xi_2 | \xi_2 \rangle = 0$ であることから、観測できないことがわかる。これは、式（４）をそのまま掛け合わせて、式（５）の関係を用いることによって容易に導かれる。

[0038] [数5]

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2}} &= \langle x|+ \rangle = \langle +|x \rangle = \langle y|+ \rangle = \langle +|y \rangle \\ &= \langle x|- \rangle = \langle -|x \rangle = -\langle y|- \rangle = -\langle -|y \rangle \end{aligned} \quad (5)$$

[0039] 以上をまとめると、ＢＢＯ結晶によって発生される相関光子対においては、一方が縦偏光 $|y\rangle$ であれば他方は横偏光 $|x\rangle$ （又はその逆）という完全な相関があるが、これは観測する又は観測しないに関わらず、光子対が発生されたときに決定されており、従来の考え方のように相関光子対が重ね合わせ状態にあるわけではない。この決定は、方向付けられた非局在ポテンシャル $|\xi\rangle$ が光子対発生前にＢＢＯ結晶に到達することによって為されている。

[0040] 図２は、光通信システム１００を用いる光通信方法のフローチャートを示す図である。まず、シャッター１１８が開放された状態で、送信制御部１２

2は、送信される情報に基づいて偏光子121の向きを設定する（ステップS101）。本実施形態では、第1の情報として「1」を送信する場合には偏光子121を縦偏光又は横偏光の光子を完全に通す第1の状態にし、第2の情報として「0」を送信する場合には偏光子121を該第1の状態から光子の透過方向に関して $+45^\circ$ 又は -45° 傾いた第2の状態にする。第1の状態を通す偏光の向きを縦偏光又は横偏光以外に設定してもよく、また送信される情報としての「0」と「1」は逆でもよい。これらの場合には偏光の向きと送信される情報との関係の定義を適宜変更して受信機110を構成すればよい。

[0041] 次に、受信制御部119は、光子源111から光子を発生させる（ステップS102）。光子源111から光子を発生させるタイミングは、偏光子121からの非局在ポテンシャルが光子対発生部112に到達した後に、光子源111からの光子が光子対発生部112に到達するように設定する。具体的には、偏光子121の向きが設定された時刻を t_1 、偏光子121からの非局在ポテンシャルが光子対発生部112に到達するのに要する時間を a 、光子源111からの光子が光子対発生部112に到達するのに要する時間を b とすると、光子源111から光子を発生させる時刻 t_2 は式（6）のように表される。

[0042] [数6]

$$t_2 > t_1 + a - b \quad (6)$$

[0043] 非局在ポテンシャルおよび光子は光速で運動するため、時間 a 、 b は各部材間の距離から算出できる。偏光子121の向きが設定された時刻 t_1 は、送信制御部122から同期用伝送路140を介して受信した同期信号に基づいて決定される。

[0044] 光子対発生部112は、光子源111から光子を受けると、相関光子対である光子 p 、 s を発生させる（ステップS103）。この時点で、偏光子121からの非局在ポテンシャルが既に光子対発生部112に到達しているため、該非局在ポテンシャルによって光子 p 、 s の偏光方向が決定されている

。具体的には、偏光子 1 2 1 が縦偏光又は横偏光の光子を完全に通す第 1 の状態である場合には、光子対発生部 1 1 2 から偏光子 1 2 1 へ向かう光子 p は縦偏光又は横偏光であり、他方の光子 s も縦偏光又は横偏光である。それに対して、偏光子 1 2 1 が第 1 の状態から $+45^\circ$ 又は -45° 傾けられて斜め偏光を通す第 2 の状態である場合には、光子対発生部 1 1 2 から偏光子 1 2 1 へ向かう光子 p は斜め偏光であり、他方の光子 s も斜め偏光である。

[0045] 次に、受信制御部 1 1 9 は、シャッター 1 1 8 を閉鎖する（ステップ S 1 0 4）。シャッター 1 1 8 を閉鎖するタイミングは、光子対発生部 1 1 2 において光子 p、s が発生された後であって、光子 p がシャッター 1 1 8 に到達する前である。具体的には、光子対発生部 1 1 2 において光子 p、s が発生されるのに要する時間を c、光子対発生部 1 1 2 からの光子 p がシャッター 1 1 8 に到達するのに要する時間を d とすると、シャッター 1 1 8 を閉鎖する時刻 t_3 は式（7）のように表される。光子は光速で運動するため、時間 c、d は各部材間の距離から算出できる。

[0046] [数7]

$$t_2 + b + c < t_3 < t_2 + b + c + d \quad (7)$$

[0047] ステップ S 1 0 4 と並行して、受信検出器 1 1 6 は、QWP 1 1 3 a、1 1 3 b および二重スリット板 1 1 4 を通過した光子 s を検出し、検出の有無を受信制御部 1 1 9 に記録する（ステップ S 1 0 5）。その後、受信制御部 1 1 9 は、シャッター 1 1 8 を開放する（ステップ S 1 0 6）。

[0048] 本実施形態では測定結果における干渉の発生有無により送信情報（偏光子 1 2 1 の方向）を決定するため、検出を複数の測定箇所、かつ各測定箇所でも複数回行う必要がある。そのため、偏光子 1 2 1 の方向を変更せずに、駆動部 1 1 7 により受信検出器 1 1 6 を所定の距離ずつ移動させながら（ステップ S 1 0 7）、各測定箇所でもステップ S 1 0 2 ～ステップ S 1 0 6 を所定の回数繰り返す（ステップ S 1 0 8）。例えば、20 箇所において 50 回ずつ（合計 1000 回）、ステップ S 1 0 2 ～ステップ S 1 0 7 を実行する。

[0049] 最後に、受信制御部 1 1 9 は、各測定箇所について測定された光子検出数

をプロットすることによって、送信された情報を決定する（ステップS109）。具体的には、該プロットにおいて干渉の発生が認められる場合には、QWP113a、113bに入射する前の光子sは縦偏光又は横偏光であるため、他方の光子pも縦偏光又は横偏光である。したがって、光子pの光路上にある偏光子121が縦偏光又は横偏光の光子を完全に通す第1の状態であることがわかるため、受信制御部119は送信機120から送信された情報を第1の情報である「1」と決定する。一方、該プロットにおいて干渉の発生が認められない場合には、QWP113a、113bに入射する前の光子sは斜め偏光であるため、他方の光子pも斜め偏光である。したがって、光子pの光路上にある偏光子121が第1の状態から $+45^\circ$ 又は -45° 傾いた第2の状態であることがわかるため、受信制御部119は送信機120から送信された情報を第2の情報である「0」と決定する。

[0050] 図3Aおよび3Bは、受信検出器116により測定される結果の模式的なプロットを示す図である。図3Aに示すように、プロットが単一の頂点を有する山型である場合には、干渉が発生していないため、QWP113a、113bに入射する前の光子sは斜め偏光である。一方、図3Bに示すように、プロットが複数の頂点を有する波型である場合には、干渉が発生しているため、QWP113a、113bに入射する前の光子sは縦偏光又は横偏光である。これらの判定は受信制御部119が行ってもよく、ユーザが行ってもよい。

[0051] 本実施形態に係る光通信システム100は、観測できない非局在ポテンシャルが送信機120から受信機110に送信され、該非局在ポテンシャルにより光子対発生部112から発生し得る光子の偏光が拘束されることを利用して情報の伝達を行う。光通信システム100の受信機110および送信機120は、光子を送受信可能な位置に配置されているが、実際に光子が受信機110から送信機120に出射される前にシャッター118によって光子を遮断する。そのため、盗聴者は送受信される光子を盗んで情報を読み取ることはできない。さらに、送信機120から受信機110への情報の伝達経

路には観測可能な光子が通らないため、盗聴者が該伝達経路を知ること自体も困難である。

[0052] (第2の実施形態)

第1の実施形態に係る光通信システム100では、干渉の有無を利用して統計的に情報を決定するため、1つの情報(「1」又は「0」)に対して複数回の送信が必要であった。それに対して、本実施形態では、1つの情報に対して1回の送信によって情報を決定することができる。

[0053] 図4は、本実施形態に係る光通信システム200の概略構成図である。光通信システム200は、受信機210と送信機220とを備え、受信機210と送信機220との間は情報の伝達経路である通信路230により結ばれている。本実施形態において通信路230は自由空間であるが、通信路230の少なくとも一部は光ファイバやPLC等の光導波路でもよい。

[0054] 受信機210内には、受信制御部219による制御にしたがって光子を出力する光子源211と、光子源211から光子が入射されることによって相関光子対を発生させる光子対発生部212とが設けられる。該光子対のうち一方を光子pとし、他方を光子sとする。光子pと光子sとは互いに直交する偏光を有するように相関がある。すなわち、光子pが縦偏光のときは光子sは横偏光となり、又はその逆となる。本実施形態では光子対発生部212として、パラメトリック下方変換により互いに相関がある光子対を発生させるBBO結晶($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 結晶)を用いるが、互いに相関がある光子対を発生させる任意の物質又は装置を用いてよい。

[0055] 光子対発生部212による光子sの出射方向、すなわち光子sの光路上には、第2のシャッター213と、第2の偏光子214(偏光板)とが設けられる。第2のシャッター213は、受信制御部219による制御にしたがって、光子sを第2の偏光子214に通すように開放された状態と、光子sを第2の偏光子214から遮断するように閉鎖された状態との間で切り替え可能である。第2のシャッター213としては、機械的又は電磁的に開放と閉鎖とが切り替えられる任意の装置を用いてよい。

- [0056] 第2の偏光子214は、所定の向きの偏光を有する光子を通し、該所定の向き以外の偏光を有する光子を通さない。本実施形態においては該所定の向きの偏光として横偏光を用いるため、第2の偏光子214は、光子sが横偏光の場合は通し、それ以外の偏光、すなわち縦偏光又は斜め偏光の場合は通さない。
- [0057] 光子sが第2の偏光子214を通過する先には、スリット板215と、受信検出器216とが設けられる。スリット板215は、光子sが所定の方向から受信検出器216に入力されるように制限するスリットを有する。
- [0058] 受信検出器216は、光子sを検出すると受信制御部219に所定の信号を出力する。本実施形態では受信検出器216として、APD（アバランシェフォトダイオード）を用いるが、光子を検出可能な任意の装置を用いてよい。
- [0059] 光子対発生部212による光子pの出射方向、すなわち光子pの光路上には、第1のシャッター218が設けられる。第1のシャッター218は、受信制御部219による制御にしたがって、光子pを通信路230に通すように開放された状態と、光子pを通信路230から遮断するように閉鎖された状態との間で切り替え可能である。第1のシャッター218としては、機械的又は電磁的に開放と閉鎖とが切り替えられる任意の装置を用いてよい。
- [0060] 光子源211、受信検出器216、第1のシャッター218および第2のシャッター213には、受信制御部219が接続される。受信制御部219は、各部材を電氣的に制御し、送信機220と同期用伝送路240を介して通信し、測定されたデータの記録を行い、またユーザに対して入出力を行う。受信制御部219は、任意のコンピュータ又は電気回路を含む。
- [0061] 送信機220内において、受信機210からの光子pの入射方向、すなわち光子pの光路上には、第1の偏光子221（偏光板）が設けられる。第1の偏光子221は、所定の向きの偏光を有する光子を完全に通す第1の状態と、該第1の状態から光子の透過方向に関して所定の角度（例えば、 $+90^\circ$ 又は -90° ）傾いた第2の状態との間で切り替え可能である。本実施形

態では該所定の向きの偏光として縦偏光を用いるため、第1の状態の偏光子121は縦偏光の光子を通し、第2の状態の偏光子121は横偏光の光子を通す。第1の偏光子221は、送信制御部222による制御にしたがって、第1の状態と第2の状態との間で切り替えられる。

[0062] 光子pが第1の偏光子221を通過する先には、スリット板223と、送信検出器224とが設けられる。スリット板223は、光子pが所定の方向から送信検出器224に入力されるように制限するスリットを有する。送信検出器224は、光子pを検出すると送信制御部222に所定の信号を出力する。なお、本実施形態では、第1の実施形態と同様に第1の偏光子221の向きによって送信機220から受信機210に情報を送信するため、情報送信のためには送信検出器224は必ずしも必要でない。送信検出器224は、受信機210からの光子を受信することによって、送信機220と受信機210との間で通信路230の光軸を合わせるため、又は送信機220と受信機210との間の距離を測定するために用いられる。

[0063] 第1の偏光子221および送信検出器224には、送信制御部222が接続される。送信制御部222は、各部材を電氣的に制御し、受信機210と同期用伝送路240を介して通信し、測定されたデータの記録を行い、またユーザに対して入出力を行う。送信制御部222は、任意のコンピュータ又は電気回路を含む。

[0064] 受信機210と送信機220とは、同期用伝送路240によって接続されている。同期用伝送路240は、光ファイバ通信路、無線通信路等、任意の通信路でよい。送信制御部222は、同期用伝送路240を介して受信制御部219に同期信号を送信することによって、送受信タイミングの同期を行う。送受信タイミングの同期は、送信時刻を示す信号や周期的な信号等を用いて、任意の同期方式により行われる。

[0065] 図5は、光通信システム200を用いる光通信方法のフローチャートを示す図である。まず、第2のシャッター213が閉鎖された状態であり、かつ第1のシャッター218が開放された状態で、送信制御部222は、送信さ

れる情報に基づいて第1の偏光子221の向きを設定する（ステップS201）。本実施形態では、第1の情報として「1」を送信する場合には第1の偏光子221を縦偏光の光子を完全に通す第1の状態にし、第2の情報として「0」を送信する場合には第1の偏光子221を該第1の状態から所定の角度（例えば $+90^\circ$ 又は -90° ）傾けた第2の状態にする。第1の状態を通す偏光の向きを縦偏光以外に設定してもよく、また送信される情報としての「0」と「1」は逆でもよい。これらの場合には偏光の向きと送信される情報との関係の定義を適宜変更して受信機210を構成すればよい。

[0066] 次に、受信制御部219は、光子源211から光子を発生させる（ステップS202）。光子源211から光子を発生させるタイミングは、第1の偏光子221からの非局在ポテンシャルが光子対発生部212に到達した後に、光子源211からの光子が光子対発生部212に到達するように設定する。該タイミングは、第1の実施形態と同様に式（6）により算出できる。

[0067] 光子対発生部212は、光子源211から光子を受けると、相関光子対である光子p、sを発生させる（ステップS203）。この時点で、第1の偏光子221からの非局在ポテンシャルが既に光子対発生部212に到達しているため、該非局在ポテンシャルによって光子p、sの偏光方向が決定されている。具体的には、第1の偏光子221が縦偏光の光子を完全に通す第1の状態である場合には、光子対発生部212から第1の偏光子221へ向かう光子pは縦偏光であり、他方の光子sは横偏光である。それに対して、第1の偏光子221が第1の状態から所定の角度（ここでは $+90^\circ$ 又は -90° ）傾けられて横偏光を通す第2の状態である場合には、光子対発生部212から第1の偏光子221へ向かう光子pは横偏光であり、他方の光子sは縦偏光である。

[0068] 次に、受信制御部219は、第1のシャッター218を閉鎖する（ステップS204）。第1のシャッター218を閉鎖するタイミングは、光子対発生部212において光子p、sが発生された後であって、光子pが第1のシャッター218に到達する前である。該タイミングは、第1の実施形態と同

様に式（７）により算出できる。

[0069] ステップＳ２０４と並行して、受信制御部２１９は、第２のシャッター２１３を開放する（ステップＳ２０５）。第２のシャッター２１３を開放するタイミングは、光子対発生部２１２において光子ｐ、ｓが発生された後であって、光子ｓが第２のシャッター２１３に到達する前である。具体的には、式（６）、（７）で用いた t_2 、 b 、 c に加え、光子対発生部２１２からの光子ｓが第２のシャッター２１３に到達するのに要する時間を e とすると、第２のシャッター２１３を開放する時刻 t_4 は式（８）のように表される。光子は光速で運動するため、時間 e は各部材間の距離から算出できる。

[0070] [数８]

$$t_2 + b + c < t_4 < t_2 + b + c + e \quad (8)$$

[0071] 受信検出器２１６は、第２の偏光子２１４を通過した光子ｓを検出し、検出の有無を受信制御部２１９に記録する（ステップＳ２０６）。その後、受信制御部２１９は、第１のシャッター２１８を開放するするとともに、第２のシャッター２１３を閉鎖する（ステップＳ２０７）。

[0072] 最後に、受信制御部２１９は、受信検出器２１６により測定された結果を用いて、送信された情報を決定する（ステップＳ２０８）。具体的には、受信検出器２１６で光子が検出される場合には、第２の偏光子２１４に入射する前の光子ｓは横偏光であるため、他方の光子ｐは縦偏光である。したがって、光子ｐの光路上にある第１の偏光子２２１が縦偏光の光子を完全に通す第１の状態であることがわかるため、受信制御部２１９は送信機２２０から送信された情報を第１の情報である「１」と決定する。一方、受信検出器２１６で光子が検出されない場合には、第２の偏光子２１４に入射する前の光子ｓは横偏光ではないため、他方の光子ｐは横偏光である。したがって、光子ｐの光路上にある第１の偏光子２２１が第１の状態から所定の角度傾けられた第２の状態であることがわかるため、受信制御部２１９は送信機２２０から送信された情報を第２の情報である「０」と決定する。

[0073] 本実施形態に係る光通信システム２００によれば、第１の実施形態が奏す

る効果に加え、1回のみの送信によって1つの情報を送信することができるため、送信速度をより向上させることが可能である。

[0074] 本発明は、上述の実施形態に限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

[0075] 本明細書では、光子の偏光として縦偏光、横偏光および斜め偏光の語を用いて本発明の説明を行ったが、本発明は偏光の具体的な向きに限定されるものではない。本発明の実施においては、偏光の対称性に基づいて、その他の向きの偏光を用いてもよい。該その他の向きの偏光を用いる場合には、本明細書の記載を適宜読み替えればよい。

請求の範囲

- [請求項1] 相関光子対を発生させる光子対発生部と、
前記相関光子対の一方の光路上に設けられ、送信される情報に基づいて向きが変更可能な偏光子と、
前記相関光子対の前記一方の光路上において前記光子対発生部と前記偏光子との間に設けられ、前記相関光子対の前記一方を遮断可能なシャッターと、
前記相関光子対の他方の光路上に設けられた光子検出器と、
を備えることを特徴とする光通信システム。
- [請求項2] 前記光子対発生部は、前記情報に基づいて前記偏光子の向きが変更された後に、前記相関光子対を発生させるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の光通信システム。
- [請求項3] 前記シャッターは、前記相関光子対が発生された後であって、前記相関光子対の前記一方が前記シャッターに到達する前に、前記相関光子対の前記一方を遮断するように構成されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の光通信システム。
- [請求項4] 前記偏光子を有する送信機と、
前記光子対発生部と、前記シャッターと、前記光子検出器とを有する受信機と、
を備えることを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光通信システム。
- [請求項5] 前記シャッターは、前記相関光子対の前記一方が前記受信機の外に出る前に、前記相関光子対の前記一方を遮断するように構成されていることを特徴とする、請求項4に記載の光通信システム。
- [請求項6] 前記相関光子対の前記他方の光路上において前記光子対発生部と前記光子検出器との間に設けられた1／4波長板および二重スリット板と、
前記相関光子対の前記他方が前記1／4波長板および前記二重スリ

ット板を通過する際に発生する干渉の有無に基づいて、前記情報を決定する制御部と、

をさらに備えることを特徴とする、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光通信システム。

[請求項7] 前記相関光子対の前記他方の光路上において前記光子対発生部と前記光子検出器との間に設けられた第 2 の偏光子と、

前記相関光子対の前記他方が前記第 2 の偏光子を通過するか否かに基づいて、前記情報を決定する制御部と、

をさらに備えることを特徴とする、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光通信システム。

[請求項8] 送信される情報に基づいて偏光子の向きを設定することと、

前記偏光子の向きが設定された後に、光子対発生部により相関光子対を発生することと、

前記相関光子対が発生された後に、シャッターにより前記相関光子対の一方を遮断することと、

前記相関光子対が発生された後に、検出器により前記相関光子対の他方を検出することと、

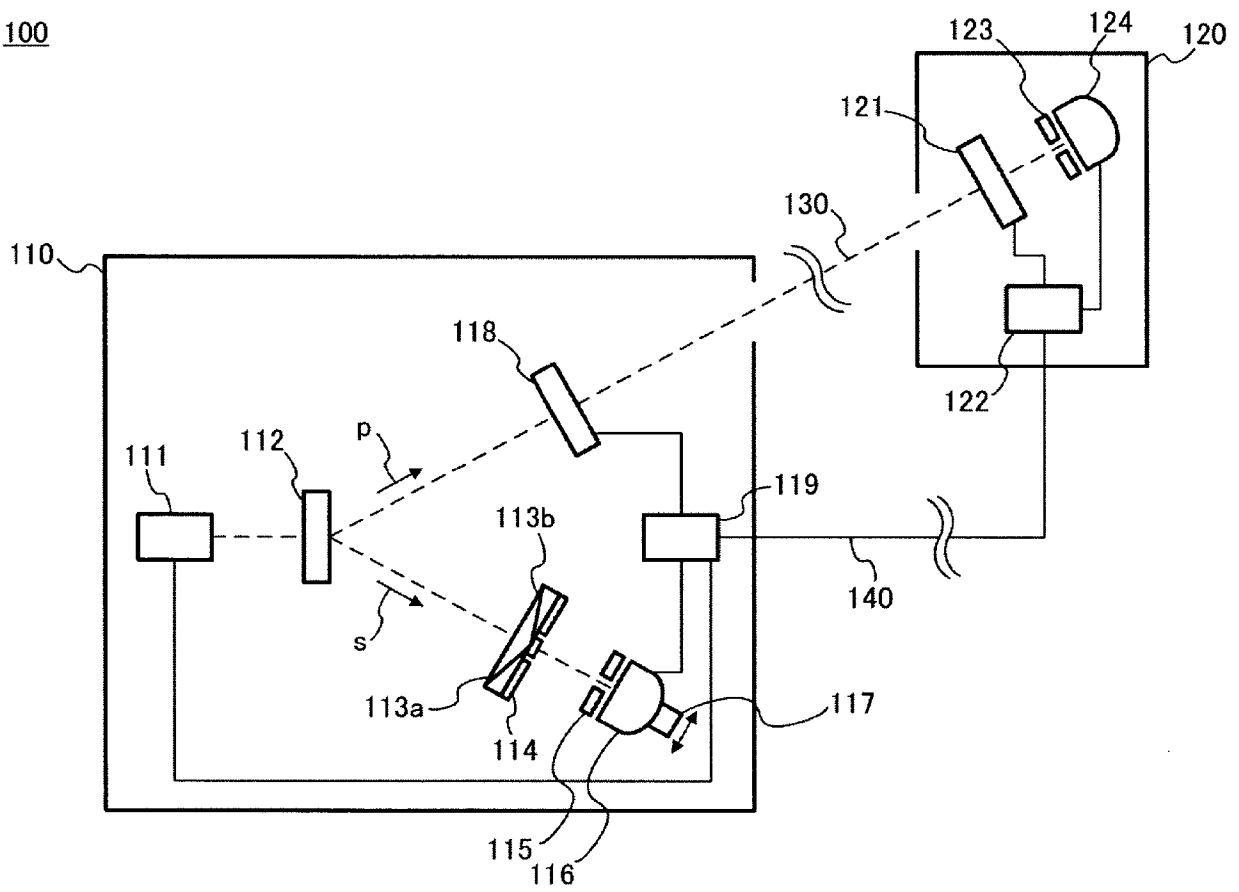
を備え、

前記相関光子対の前記一方の光路上に、前記シャッターおよび前記偏光子が配置されており、

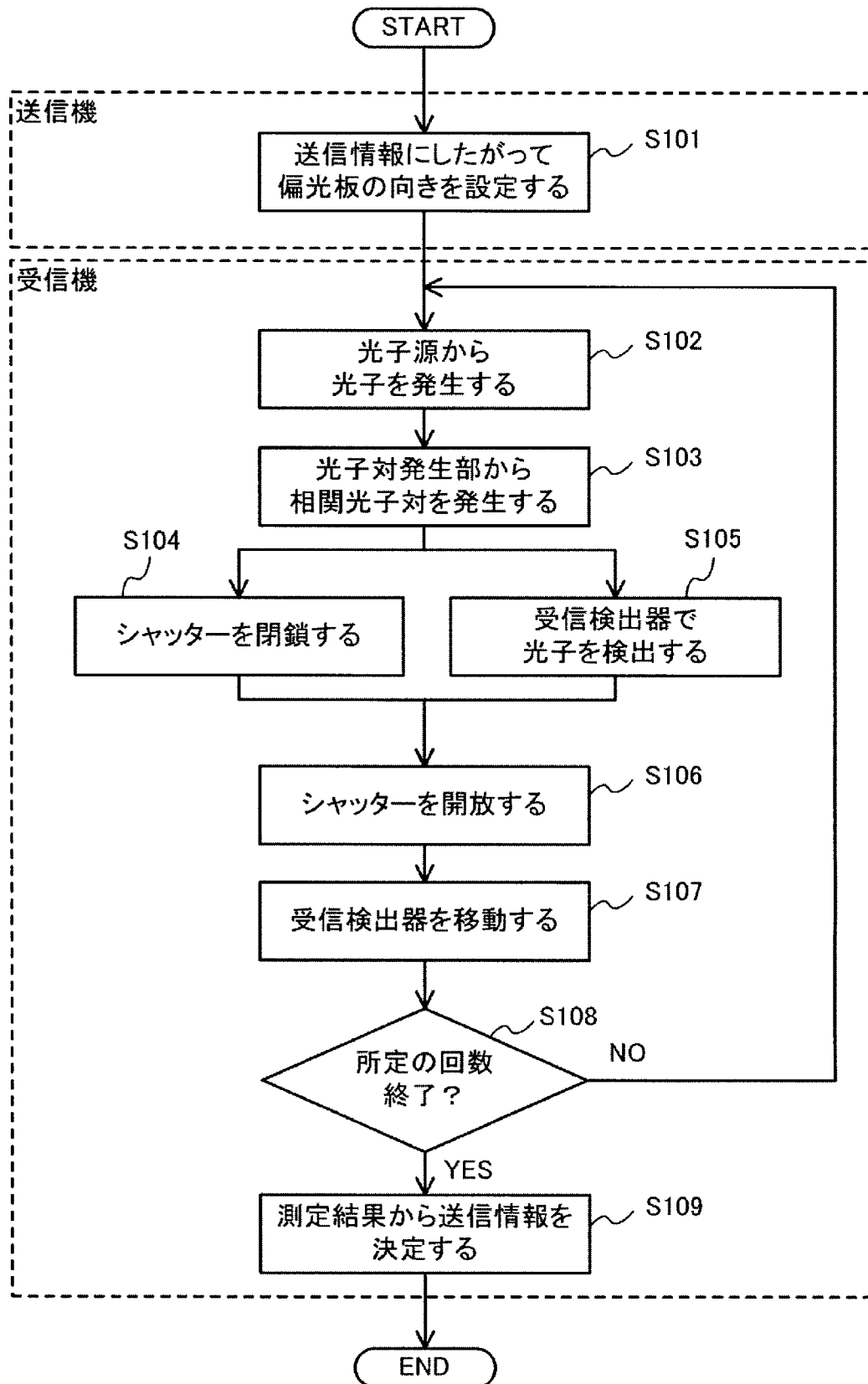
前記相関光子対の前記他方の光路上に、前記検出器が配置されていることを特徴とする光通信方法。

[図1]

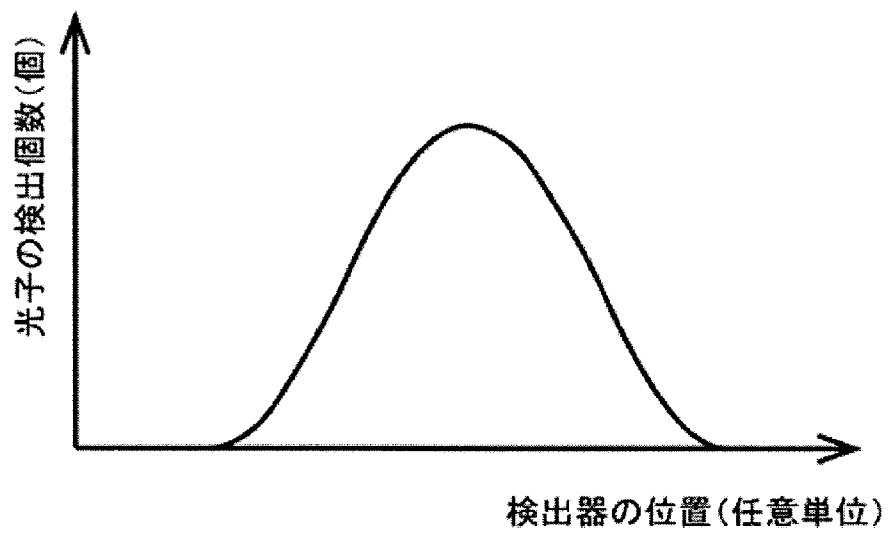
100



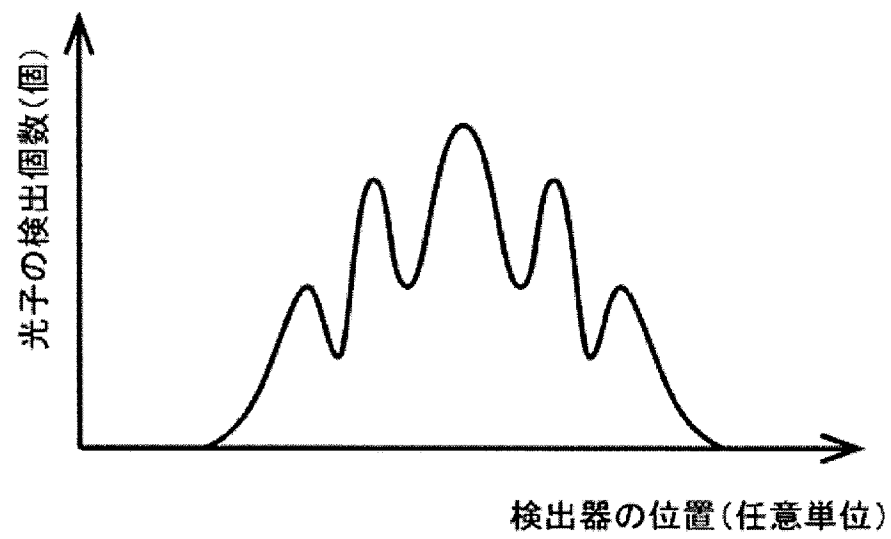
[図2]



[図3A]

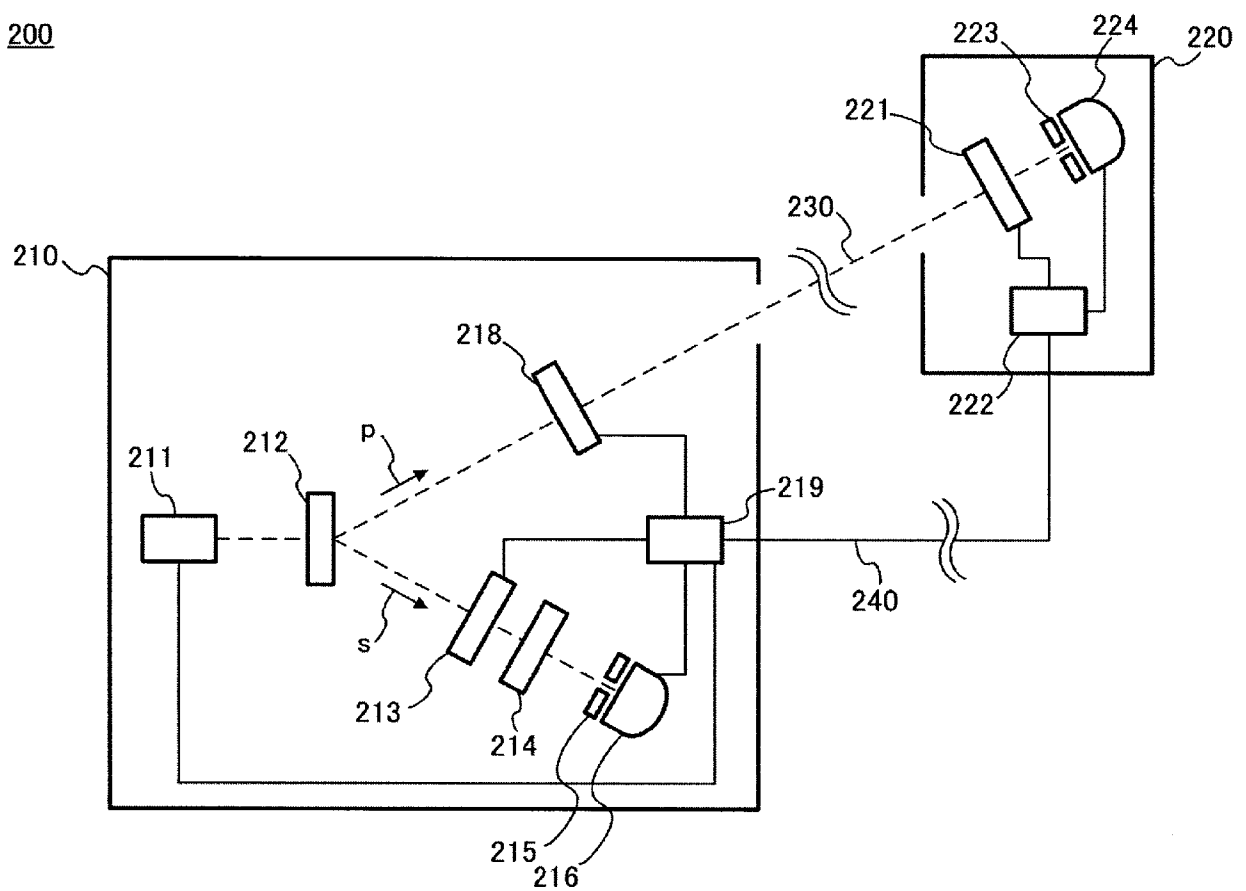


[図3B]

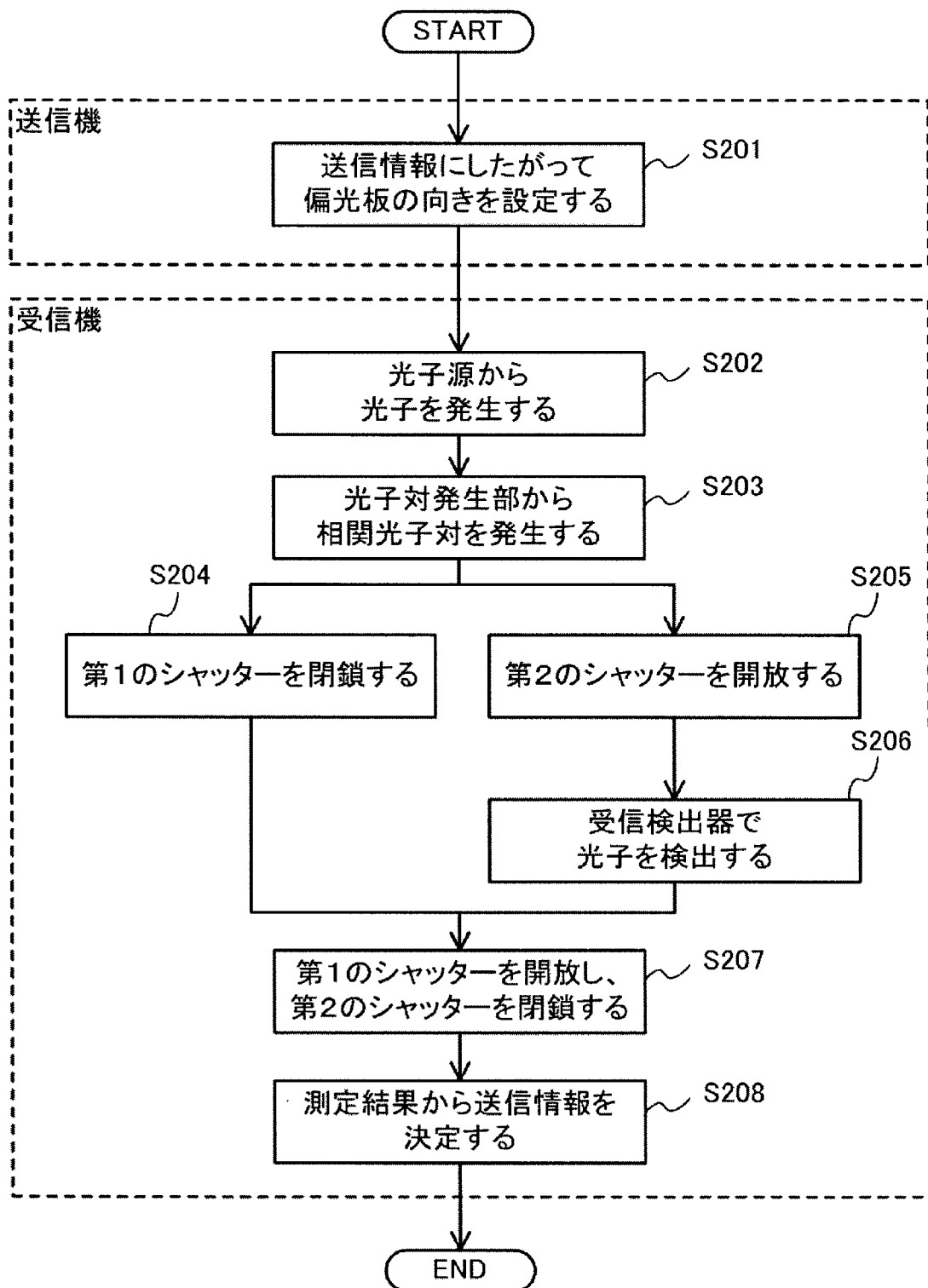


[図4]

200



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/003018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L9/12(2006.01)i, H04B10/70(2013.01)i, H04B10/85(2013.01)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)

H04L9/12, H04B10/70, H04B10/85

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 A	JP 2001-339387 A (Akio MOTOYOSHI, Masahiro MATSUOKA), 07 December 2001 (07.12.2001), paragraphs [0019] to [0029], [0037] to [0039]; fig. 2 (Family: none)	1-5, 8 6-7
A	Masahito MORIMOTO, "Resolution of Single Photon and Electron Interference Enigma", viXra.org e-Print archive, 1312.0097v1, [online], 2013.12, [retrieval date: 27 August 2015 (27.08.2015)], Internet, URL:< http://rxiv.org/pdf/1312.0097v1.pdf >	1-8

☒ 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
27 August 2015 (27.08.15)

Date of mailing of the international search report
08 September 2015 (08.09.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/003018

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/112335 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 24 November 2005 (24.11.2005), column 5, lines 1 to 11; column 6, lines 25 to 28 & US 2007/0182968 A1 & EP 1748595 A1	1-8
A	JP 2011-217344 A (Yugen Kaisha Hit Design), 27 October 2011 (27.10.2011), paragraphs [0034] to [0053]; fig. 1 (Family: none)	1-8
A	US 2010/0166187 A1 (Alexel Trifonov, Gelfond Robert), 01 July 2010 (01.07.2010), paragraphs [0017] to [0036]; fig. 1 to 3 & WO 2008/033284 A2	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04L9/12(2006.01)i, H04B10/70(2013.01)i, H04B10/85(2013.01)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（I P C））

Int.Cl. H04L9/12, H04B10/70, H04B10/85

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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 請求項の番号
X A	JP 2001-339387 A（元吉 明夫、松岡 正浩）2001.12.07, 段落[0019] - [0029]、[0037] - [0039]、 [図2]（ファミリーなし）	1-5, 8 6-7
A	森本 正仁（Masahito Morimoto）, “単一光子、単一電子干渉の考 察（Resolution of Single Photon and Electron Interference Enigma）”, viXra.org e-Print archive, 1312.0097v1, [オンライ ン], 2013.12, [検索日：2015-08-27]、インターネット、 U R L : <http://rxiv.org/pdf/1312.0097v1.pdf>	1-8

☒ 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

27.08.2015

国際調査報告の発送日

08.09.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/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）

青木 重徳

5 S

4 2 2 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3546

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 請求項の番号
A	WO 2005/112335 A1 (三菱電機株式会社) 2005. 11. 24, 第5欄第1－11行、第6欄第25－28行 & US 2007/0182968 A1 & EP 1748595 A1	1－8
A	JP 2011-217344 A (有限会社 ビットデザイン) 2011. 10. 27, 段落 [0034]－[0053]、[図1] (ファミリーなし)	1－8
A	US 2010/0166187 A1 (Alexei Trifonov, Gelfond Robert) 2010. 07. 01, 段落 [0017]－[0036]、FIG. 1－3 & WO 2008/033284 A2	1－8