

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4996290号
(P4996290)

(45) 発行日 平成24年8月8日(2012.8.8)

(24) 登録日 平成24年5月18日(2012.5.18)

(51) Int. Cl. F 1
G 0 2 F 3 / 0 0 (2006.01) G 0 2 F 3 / 0 0 5 0 2

請求項の数 2 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-66936 (P2007-66936) (22) 出願日 平成19年3月15日 (2007.3.15) (65) 公開番号 特開2008-225341 (P2008-225341A) (43) 公開日 平成20年9月25日 (2008.9.25) 審査請求日 平成21年1月22日 (2009.1.22)</p>	<p>(73) 特許権者 000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 (74) 代理人 110001243 特許業務法人 谷・阿部特許事務所 (74) 代理人 100077481 弁理士 谷 義一 (74) 代理人 100115624 弁理士 濱中 淳宏 (72) 発明者 武居 弘樹 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 審査官 佐藤 宙子</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 時間位置もつれ光子対測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の時間間隔だけ離れた2つの時間位置に関する量子もつれ光子対の量子状態を測定する時間位置もつれ光子対測定装置であって、

光子対をなすそれぞれの光子に対して入力された光を2経路に分岐する光分岐手段と、
 2×2の入出力端子を有する光カプラと、前記光分岐手段により分岐された2経路の光を、一方の経路の光が他方の経路に光に対し前記所定の時間間隔だけ遅延された状態で前記光カプラの一方の入力端子に入力させる遅延手段と、前記光分岐手段により分岐された2経路の光の位相差を調整する位相差調整手段とを有する遅延干渉計と、

前記遅延干渉計から出力される光子とその到着時刻を検出するための光子検出器とを備え、

2つの時間位置に関する量子もつれ光子対が、前記光分岐手段に入力されて前記光カプラから出力され、前記光子検出器により検出される際に、該光子対をなすそれぞれの光子が、検出される可能性のある3つの時間位置のどこで検出されたかを記録し、

前記2つの時間位置に関する量子もつれ光子対のそれぞれの光子に対して、前記3つの時間位置のうち、1番目の時間位置、3番目の時間位置、および前記遅延干渉計の位相差を / 2異なる2つの値に設定した場合の2番目の時間位置、のそれぞれにおける4通りの射影状態の光子計数を行って、2光子の4通りの射影状態による、16通りの組み合わせの同時計数を行うことを特徴とする時間位置もつれ光子対測定装置。

【請求項2】

10

20

所定の時間間隔だけ離れた2つの時間位置に関する量子もつれ光子対の量子状態を測定する時間位置もつれ光子対測定装置であって、

光子対をなすそれぞれの光子に対して入力された光を2経路に分岐する光分岐手段と、 2×2 の入出力端子を有する光カプラと、前記光分岐手段により分岐された2経路の光を、一方の経路の光が他方の経路に光に対し前記所定の時間間隔だけ遅延された状態で前記光カプラの一方の入力端子に入力させる遅延手段と、前記光分岐手段により分岐された2経路の光の位相差を調整する位相差調整手段とを有する遅延干渉計と、

前記光カプラの2つの出力端子の一方に接続、またはその両方にそれぞれ接続され、前記遅延干渉計から出力される光子とその到着時刻を検出するための光子検出器とを備え、

2つの時間位置に関する量子もつれ光子対が、前記光分岐手段に入力されて前記光カプラから出力され、前記光子検出器により検出される際に、該光子対をなすそれぞれの光子が、検出される可能性のある3つの時間位置のどこで検出されたかを記録し、

前記2つの時間位置に関する量子もつれ光子対のそれぞれの光子に対して、前記3つの時間位置のうち、1番目の時間位置、3番目の時間位置、および前記遅延干渉計の位相差を / 2異なる2つの値に設定した場合の2番目の時間位置、のそれぞれにおける4通りの射影状態の光子計数を行って、2光子の4通りの射影状態による、16通りの組み合わせの同時計数を行うことを特徴とする時間位置もつれ光子対測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光子の存在する可能性のある2つの時間位置に関して、量子力学的相関を有する時間位置もつれ光子対の品質を評価するための時間位置もつれ光子対測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、量子暗号、量子テレポーテーションといった、量子力学を利用した新しいタイプの通信システムが提案されている。量子暗号とは、個々の光子が持つ偏光や位相といった量子状態に「0」「1」を対応させて暗号の秘密鍵情報を載せて伝送する技術であり、1つの光子はそれ以上に分割することができず、そのため量子状態を変えずに物理量を観測することが一般にはできないことを利用して、共通鍵暗号方式における鍵配送を行う暗号方式であり、観測によって光子の量子状態に変化が生じて盗聴した痕跡が残ってしまうという、量子力学の原理により暗号鍵の安全性が保証された究極的に安全な暗号通信システムである。量子テレポーテーションとは、量子状態を転送するシステムで、上記量子暗号における伝送距離の延長や、量子計算機などの量子情報処理装置における信号転送に利用される。

【0003】

量子力学的相関を有する光子対（量子もつれ光子対）は、以上のような量子情報通信システムにおける重要な要素である。例えば、量子もつれ光子対を用いることにより、長距離伝送に適した量子暗号システムを実現できる。また、光子の量子状態を上記量子テレポーテーションにより転送するには、送信者と受信者の間で量子もつれ光子対を共有することが必要である。

【0004】

量子もつれ光子対を上記のような通信システムに適用するには、品質のよい量子もつれ光子対を用意する必要があるため、量子もつれ光子対の品質を評価することは重要である。その評価手法の一つとして、光子対の密度行列を測定することがあげられる。光子対の偏波状態に関する量子もつれ状態（偏波もつれ光子対）に関しては、量子状態トモグラフィと呼ばれる、光子対の密度行列を測定する手法が非特許文献1においてすでに提案されている。

【0005】

以下に、偏波もつれ光子対について説明する。横方向（水平）の偏波（H偏波）を持つ

10

20

30

40

50

単一の光子の状態を $|H\rangle$ 、縦方向（垂直）の偏波（V偏波）を持つ単一の光子の状態を $|V\rangle$ とする。偏波もつれ状態にある光子対の一方を信号光子（シグナル光子）、他方をアイドラ光子と呼ぶことにして、それぞれ添え字 s 及び i で表す。このとき、偏波もつれ光子対の状態（ $|\Phi_p\rangle$ ）は、例えば次の式（1）で表される。

【0006】

【数1】

$$|\Phi_p\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle_s |H\rangle_i + |V\rangle_s |V\rangle_i) \quad (1)$$

【0007】

10

この信号アイドラ光子対を分離して、離れた2者であるA（例えば、アリス）とB（例えば、ボブ）にそれぞれ送り、両者がそれぞれの光子に対して偏波測定を行うとする。式（1）の意味するところによると、AがH偏波 $|H\rangle$ を観測すれば、それと対になる光子についてBも必ず $|H\rangle$ を観測する。同様に、AがV偏波 $|V\rangle$ を観測すれば、それと対になる光子についてBも必ず $|V\rangle$ を観測する。また、式（1）は、H-V偏波の基底を用いているが、これを別の基底、例えば右回り円偏波 $|R\rangle$ と左回り円偏波 $|L\rangle$ を用いた基底で書き直しても、2光子の偏波に関する相関は保持される特徴をもつ。

【0008】

偏波もつれ光子対においては、光子の量子状態を2つの偏波モードの重ね合わせとして表現することを前提としている。一般に、任意の偏波をもつ純粋状態の単一光子は次式（2）で表される。

20

【0009】

【数2】

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle + e^{i\phi} |V\rangle) \quad (2)$$

【0010】

ここで、 ϕ は0から2πまでの値をとる位相である。このような、光子の偏波に関する量子状態は、光の偏波状態の表示法であるポアンカレ球表面上の点として表すことができる。光子の偏波に関する量子状態をポアンカレ球形式で図1に示す。ここで、球の赤道にある $|D^+\rangle$ 、 $|D^-\rangle$ はそれぞれ

30

【0011】

【数3】

$$|D^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle + |V\rangle)$$

$$|D^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle - |V\rangle)$$

【0012】

40

を表す。また、球の北極、南極にあたる $|L\rangle$ 、 $|R\rangle$ は

【0013】

【数4】

$$|L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle + i|V\rangle)$$

$$|R\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle - i|V\rangle)$$

【0014】

50

に相当する。

【0015】

非特許文献1で開示された量子状態トモグラフィにおいては、偏波もつれ状態にある2光子を分離した後に、それぞれの光子に対して、ポアンカレ球の4分の1球（球の中心を通り、互いに直交する2平面で球を4分割した場合の一片）のうち、その2平面の交線と球の表面とが交差する2点と、その2点を結ぶ弧の中間点に相当する2点の計4点に相当する偏波状態への射影測定を行う（図1では、例えば状態 $|H\rangle$ 、 $|V\rangle$ 、 $|L\rangle$ 、 $|D\rangle$ の4状態への射影測定に相当する）。個々の光子に対して上記の4通りの射影測定を適用して、2光子が同時に検出される事象数を測定する。すなわち、2光子に対して合計16通りの射影測定の組み合わせを用いて同時計数を行う。このようにして得た16個の測定結果を非特許文献1に記載されている手法で処理することにより、偏波もつれ光子対の 4×4 行列で表される密度行列を構築することができる。

10

【0016】

非特許文献1においては、偏波状態の射影測定の手法も示されている。以下にその概要を述べる。図2にその偏波状態の射影測定系を示す。この射影測定系は、回転可能な4分の1波長板（quarter wave plate: QWP）21、回転可能な半波長板（half wave plate: HWP）22、透過軸が垂直（V）偏波に設定された偏光子（V偏波透過偏光子）23、およびその偏光子23からの出力光子を受信する光子検出器24とから構成されている。角度 θ の回転行列 $T(\theta)$ は次式で表される。

【0017】

【数5】

$$T(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

【0018】

進相軸をH偏波方向に固定したときHWP22、QWP21のJones（ジョーンズ）行列は、

【0019】

【数6】

$$h = \begin{pmatrix} e^{i\pi/2} & 0 \\ 0 & e^{-i\pi/2} \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} e^{i\pi/4} & 0 \\ 0 & e^{-i\pi/4} \end{pmatrix}$$

【0020】

と表すことができる。進相軸がH方向から反時計回りに角度 θ_q 、 θ_h を回転しているQWP21、HWP22のJones行列はそれぞれ次式(3)、(4)のようになる。

$$H(\theta_h) = T(\theta_h) h T(-\theta_h) \quad (3)$$

$$Q(\theta_q) = T(\theta_q) q T(-\theta_q) \quad (4)$$

【0021】

図2に示す射影測定系において、QWP21、HWP22の回転角度を θ_q 、 θ_h にそれぞれ設定して光子を光子検出器24で検出したとする。このとき、入力光子は次式(5)で示される状態 $|x\rangle$ に射影されたことを意味する。

$$|x\rangle = Q(\theta_q)^{-1} H(\theta_h)^{-1} |V\rangle \quad (5)$$

【0022】

20

30

40

50

(5)式によると、例えば (q, h) を $(0, 0)$ に設定すれば状態 $|V\rangle$ に対する射影測定を行うことができ、 (q, h) を $(0, \pi/4)$ に設定すれば状態 $|H\rangle$ に対する射影測定を行うことができる。

【0023】

【非特許文献1】Daniel. F. V. James, et. al., "Measurement of qubits", Physical Review A, vol.64, pp. 052312-1 ~ -5 (2001)。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0024】

上述の偏波もつれ光子対とは異なる物理量に関するもつれ光子対として、時間位置もつれ光子対(光子の時間位置を観測量とし、時間位置に関するもつれ合った光子状態)がある。 $|k\rangle$ を時間位置 k に光子が1個ある状態であるとする、時間位置もつれ光子対の一例は次式(6)で表される。

【0025】

【数7】

$$|\Phi_{ib}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle_s |1\rangle_i + |2\rangle_s |2\rangle_i) \quad (6)$$

【0026】

ここで、添え字 s および i はシグナル光子およびアイドラ光子をそれぞれ示している。本形式の量子もつれは、時間位置に関する任意の量子状態が次式(7)で表されることに基づいている。

【0027】

【数8】

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle + e^{i\phi}|2\rangle) \quad (7)$$

【0028】

ここで、 ϕ は0から 2π までの値をとる位相である。

【0029】

偏波に基づく場合と同様に、上式(6)で表される時間位置に関する量子状態も、図1において、 $|H\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle + |2\rangle)$ と置き換えることにより、ポアンカレ球上の点で表すことができる(図3)。このとき、 $|L\rangle$, $|R\rangle$, $|D^+\rangle$, $|D^-\rangle$ はここでは次式のように状態 $|1\rangle$ と $|2\rangle$ の重ね合わせとする。

【0030】

【数9】

$$|L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle + i|2\rangle)$$

$$|R\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle - i|2\rangle)$$

$$|D^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle + |2\rangle)$$

$$|D^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle - |2\rangle)$$

【0031】

この時間位置に関する量子状態のポアンカレ球上において、偏波の場合と同様の4点への射影測定を各光子に対して行い、計16通りの射影測定の組み合わせに基づく同時計数率

10

20

30

40

50

を測定すれば、非特許文献 1 と同様の手法を用いて 2 光子の密度行列が構築できる。しかし、明らかに、前節（背景技術の項）に述べた偏波状態の射影測定法（図 2）は、時間位置に関する量子状態の射影測定には適用不可能である。このように、従来技術では、時間位置に関する量子状態の射影測定の手法が未知であったため、時間位置もつれ光子対に対する量子トモグラフィは行われていなかった。

【0032】

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、時間位置もつれ光子対の量子状態トモグラフィが可能となり、もつれ品質の正確な評価が可能となる時間位置もつれ光子対測定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0033】

上記目的を達成するため、本発明は、所定の時間間隔だけ離れた 2 つの時間位置に関する量子もつれ光子対の量子状態を測定する時間位置もつれ光子対測定装置であって、光子対をなすそれぞれの光子に対して入力された光を 2 経路に分岐する光分岐手段と、 2×2 の入出力端子を有する光カブラと、前記光分岐手段により分岐された 2 経路の光を、一方の経路の光が他方の経路に光に対し前記所定の時間間隔だけ遅延された状態で前記光カブラの一方の入力端子に入力させる遅延手段と、前記光分岐手段により分岐された 2 経路の光の位相差を調整する位相差調整手段とを有する遅延干渉計と、前記遅延干渉計から出力される光子とその到着時刻を検出するための光子検出器とを備え、2 つの時間位置に関する量子もつれ光子対が、前記光分岐手段に入力されて前記光カブラから出力され、前記光子検出器により検出される際に、該光子対をなすそれぞれの光子が、検出される可能性のある 3 つの時間位置のどこで検出されたかを記録し、前記 2 つの時間位置に関する量子もつれ光子対のそれぞれの光子に対して、前記 3 つの時間位置のうち、1 番目の時間位置、3 番目の時間位置、および前記遅延干渉計の位相差を / 2 異なる 2 つの値に設定した場合の 2 番目の時間位置、のそれぞれにおける 4 通りの射影状態の光子計数を行って、2 光子の 4 通りの射影状態による、16 通りの組み合わせの同時計数を行うことを特徴とする。

【0035】

また、前記光子検出器は、前記光カブラの 2 つの出力端子の一方に接続、またはその両方にそれぞれ接続していることができる。

【発明の効果】

【0036】

本発明は、上記構成により、時間位置もつれ光子対の量子状態トモグラフィが可能となり、もつれ品質の正確な評価が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

（第 1 の実施の形態）

本発明の第 1 の実施の形態として、各光子に対して光子検出器を 1 個用いる場合の時間位置もつれ光子対測定装置について説明する。

【0038】

時間位置に関する量子状態の射影測定には、図 4 に示すような遅延干渉計を用いる。遅延干渉計 41 は 2 経路に量子状態を構成する 2 つの時間位置モードの時間間隔に等しい伝搬時間差を有する。また、2 経路を伝搬する光の位相差を調整する機構も有する。さらに本実施形態では、遅延干渉計 41 の 1 出力ポートにのみ光子検出器 47 が接続されている場合を考える。

【0039】

さらにその構成を詳しく説明すると、この遅延干渉計 41 は、光子対をなすそれぞれの光子に対して入力された光を 2 経路に分岐する光分岐手段 42 と、 2×2 の入出力端子を有する光カブラ 43 と、光分岐手段 42 により分岐された一方の経路の光が他方の経路に光に対して所定の時間間隔だけ遅延された状態で光カブラ 43 の一方の入力端子に入力さ

10

20

30

40

50

せる遅延手段 4 4 と、光分岐手段 4 2 により分岐された 2 経路の光の位相差を調整する位相差調整手段 4 5 とを有する 1 ビット遅延マツハツエンダ干渉計である。

【 0 0 4 0 】

光カプラ 4 2 の一方の出力端子 (1 出力ポート) のみに光子検出器 4 6 が接続されており、この光子検出器 4 6 は、光カプラ 4 2 から出力される光子とその到着時刻を検出する。情報処理装置 4 8 は、2 つの時間位置に関する量子もつれ光子対をなすそれぞれの光子が、光子検出器 4 6 で検出される可能性のある 3 つの時間位置のどこで検出されたかを記録する。また、後で詳述するように、情報処理装置 4 8 は、光子対のそれぞれの光子に対して、上記 3 つの時間位置のうち、1 番目の時間位置、3 番目の時間位置、および遅延干渉計 4 1 の位相差を $\pi/2$ 異なる 2 つの値に設定した場合の 2 番目の時間位置のそれぞれにおける 4 通りの射影状態の光子計数を行うことと、2 光子の 4 通りの射影状態による、16 通りの組み合わせの同時計数を行う。

10

【 0 0 4 1 】

上記のように構成した遅延干渉計 4 1 に、2 つの時間位置モードで構成された量子状態を入力すると、遅延干渉計 4 1 の出力においては、3 つの時間位置において光子を観測する可能性がある。以降では、1 番及び 3 番の時間位置における測定は、入力された光子の状態が $|1\rangle$ か、あるいは $|2\rangle$ であるかを判別できるので、タイムベース (time base 時間基底) における測定と呼び、2 番の時間位置における測定をエネルギーベース (energy base エネルギー基底) における測定と呼ぶことにする。そのエネルギーベースでの光子検出は、入力状態が $|1\rangle$ と $|2\rangle$ の状態の重ね合わせ状態に射影されたことを意味する。測定において光子がタイムベースか、エネルギーベースかのいずれで検出されるかは確率的にしかわからない。

20

【 0 0 4 2 】

2 番目のタイムスロットにおいては、1 番目のパルスの位相が θ 変化回転して、2 番目のパルスに合波された状態が出力すると考えられる。よって、この 2 番目のタイムスロットにおいて光子が検出されれば、

【 0 0 4 3 】

【数 1 0】

$$\frac{e^{i\theta}|1\rangle + |2\rangle}{\sqrt{2}} \rightarrow \frac{|1\rangle + e^{-i\theta}|2\rangle}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

30

【 0 0 4 4 】

に射影されたと考えることができる。上記 (8) 式において、 $\theta = 0$ とし、2 番目のタイムスロットにおいて光子を検出すれば、状態 $|D^+\rangle$ へ射影測定を行ったことになり、上記 (8) 式において、 $\theta = -\pi/2$ とし、2 番目のタイムスロットにおいて光子を検出すれば、状態 $|L\rangle$ への射影測定を行ったことになる。

【 0 0 4 5 】

1 番目のタイムスロットにおいて光子が検出されたならば、入力された光子状態は必ず $|1\rangle$ であったことを示しているから、状態 $|1\rangle$ への射影測定が行われたと考えることができる。同様に、3 番目のスロットで検出されたら、入力された光子状態は必ず $|2\rangle$ であったことを示しているから、状態 $|2\rangle$ への射影測定が行われたと考えることができる。ただし、タイムベースの測定は、以下に示すようにエネルギーベースに比べて確率が半分 (確率振幅で $1/\sqrt{2}$) になることに注意する必要がある。

40

【 0 0 4 6 】

仮に、 $|D^+\rangle$ の光子を、 $\theta = 0$ の遅延干渉計 4 1 に入力し、エネルギーベースで測定したとすると、(系の損失が無く、光子がエネルギーベースに出力されるならば)、100% の確率で光子は検出される。すなわち、光子は遅延干渉計 4 1 の 2 出力のうち、光子検出器 4 7 が接続されているポートから必ず出力する。

【 0 0 4 7 】

一方、 $|1\rangle$ の光子を遅延干渉計 4 1 に入力し、タイムベースで測定したとする。この

50

とき、光子は遅延干渉計 4 1 の 2 出力ポートから等しい確率で出力されるから、系の損失が無く、光子がタイムベースに出力される場合でも、光子が検出される確率は 50% である。言い換えれば、タイムベースでの測定は、光子を $|1\rangle / \sqrt{2}$ または $|2\rangle / \sqrt{2}$ に射影すると考えることもできる。

【 0 0 4 8 】

以上を踏まえ、各光子に対し、例えば $|1\rangle$, $|2\rangle$, $|D^+\rangle$, $|L\rangle$ の 4 測定を行う。密度行列は $|1\rangle$, $|2\rangle$ を基底として表示することとすると、2 光子の射影後の状態 $|\psi\rangle$ は

$$\left(|11\rangle , |12\rangle , |21\rangle , |22\rangle \right)$$

の 4 成分を持つベクトルで表される。ここで、 i は 2 光子の射影状態の組み合わせを示す 1 から 16 までの番号である。この 16 通りの射影状態は表 1 のように表される。

【 0 0 4 9 】

【表 1】

2光子の射影状態。

α は、実験値 m_ν より n_ν を導出するための係数 ($n_\nu = \alpha m_\nu$)

ν	光子 1	光子 2	$ \Psi_\nu\rangle = (11\rangle, 12\rangle, 21\rangle, 22\rangle)$	α
1	$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$(1, 0, 0, 0)$	4
2	$ 1\rangle$	$ 2\rangle$	$(0, 1, 0, 0)$	4
3	$ 2\rangle$	$ 1\rangle$	$(0, 0, 1, 0)$	4
4	$ 2\rangle$	$ 2\rangle$	$(0, 0, 0, 1)$	4
5	$ 2\rangle$	$ D^+\rangle$	$(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}})$	2
6	$ 1\rangle$	$ D^+\rangle$	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0)$	2
7	$ D^+\rangle$	$ D^+\rangle$	$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$	1
8	$ L\rangle$	$ D^+\rangle$	$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{i}{2}, \frac{i}{2})$	1
9	$ L\rangle$	$ 1\rangle$	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{i}{\sqrt{2}}, 0)$	2
10	$ L\rangle$	$ 2\rangle$	$(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{i}{\sqrt{2}})$	2
11	$ L\rangle$	$ L\rangle$	$(\frac{1}{2}, \frac{i}{2}, \frac{i}{2}, -\frac{1}{2})$	1
12	$ 1\rangle$	$ L\rangle$	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{i}{\sqrt{2}}, 0, 0)$	2
13	$ 2\rangle$	$ L\rangle$	$(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{i}{\sqrt{2}})$	2
14	$ D^+\rangle$	$ L\rangle$	$(\frac{1}{2}, \frac{i}{2}, \frac{1}{2}, \frac{i}{2})$	1
15	$ D^+\rangle$	$ 1\rangle$	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0)$	2
16	$ D^+\rangle$	$ 2\rangle$	$(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}})$	2

【0050】

ここで、実験において射影状態の組み合わせ に対して得た同時計数率を m とし、上記のタイムベースの射影測定においては、光子の半分は別のポートに出力されていることを考慮に入れて補正した同時計数率を n とすると、 n と m の関係は次式(9)で表される。

$$n = m \quad (9)$$

【0051】

ここで、 は2光子共にエネルギーベースで測定している場合は1、一方のみタイムベースの場合は2、両方タイムベースの場合は4である(表1を参照)。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

この測定において求められた n ($= 1 - 16$) を用いて、上式 (1) と同じ処理を施すことにより、時間位置もつれ光子対の密度行列を構築することができる。

【 0 0 5 3 】

(第 2 の実施の形態)

次に、本発明の第 2 の実施の形態として、各光子に対して光子検出器を 2 個用いる場合の時間位置もつれ光子対測定装置について説明する。

【 0 0 5 4 】

上記の第 1 実施の形態においては、タイムベースにおける測定時に、光子の半分が遅延干渉計 4 1 の他方のポートから出力されるため、上式 (9) による同時計数率データの補正が必要であった。そこで、本実施の形態では、図 5 に示すように、それぞれの遅延干渉計 4 1 の 2 出力ポートに光子検出器 4 6 , 4 7 を配置し、タイムベースでの測定においては両光子検出器 4 6 , 4 7 のどちらかの計数と他方の光子の検出結果との同時計数を情報処理装置 4 8 により取る。エネルギーベースでの測定は第 1 の実施の形態の場合と同じである。2 つの光子検出器 4 6 , 4 7 の量子効率が同じであるならば、上式 (9) による補正なしに、同時計数率 n を得ることができる。

10

【 0 0 5 5 】

(他の実施の形態)

上記では、本発明の好適な実施の形態を例示して説明したが、本発明の実施の形態は上記例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載の範囲内であれば、その構成部材等の置換、変更、追加、個数の増減、形状の設計変更等の各種変形は、全て本発明の実施の形態に含まれる。また、本発明は、複数の機器から構成されるシステムに適用しても良いし、1 つの機器からなる装置に適用してもよい。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 6 】

【 図 1 】 偏波に基づく量子状態のポアンカレ球表示を示す概念図である。

【 図 2 】 偏波に基づく量子状態の射影測定を実行する従来装置の構成例を示すブロック図である。

【 図 3 】 時間位置に基づく量子状態のポアンカレ球表示を示す概念図である。

【 図 4 】 本発明の第 1 の実施の形態における遅延干渉計を用いた時間位置に基づく量子状態の射影測定を行う時間位置もつれ光子対測定装置の構成を示すブロック図である。

30

【 図 5 】 本発明の第 2 の実施の形態における時間位置もつれ光子対測定装置の構成を示すブロック図である。

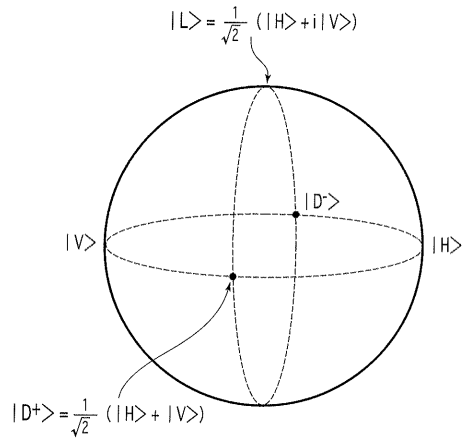
【 符号の説明 】

【 0 0 5 7 】

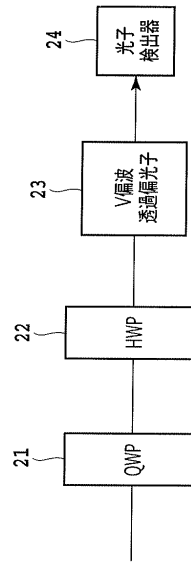
- 4 1 遅延干渉計 (1 ビッド遅延マッハーツェンダ干渉計)
- 4 2 分岐手段
- 4 3 光カプラ
- 4 4 遅延手段
- 4 5 位相差調整手段
- 4 6 , 4 7 光子検出器
- 4 8 情報処理装置

40

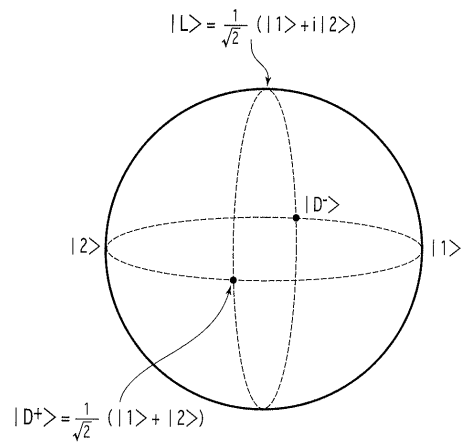
【図1】



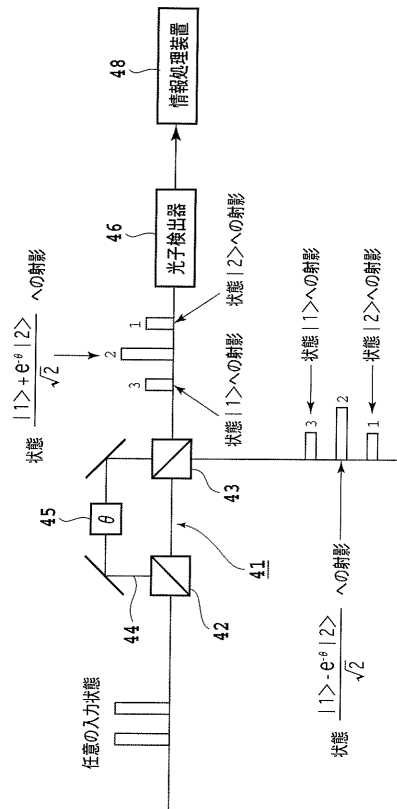
【図2】



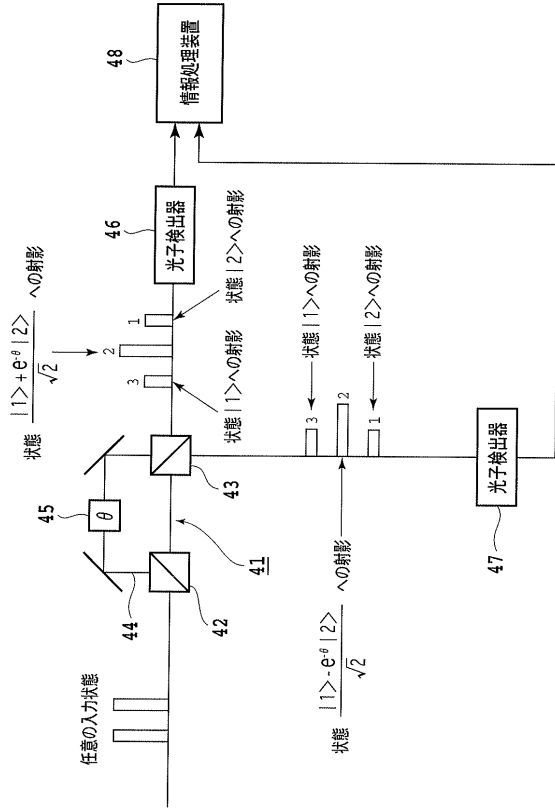
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-187268(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/01-3/00

H04L 9/00

JSTPlus(JDreamII)

IEEE Xplore