(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
2023年8月10日(10.08.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/149331 A1

(51) 国際特許分類:
G01J 1/02 (2006.01) *H10N 60/00* (2023.01)
G01J 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/002423

(22) 国際出願日： 2023年1月26日(26.01.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

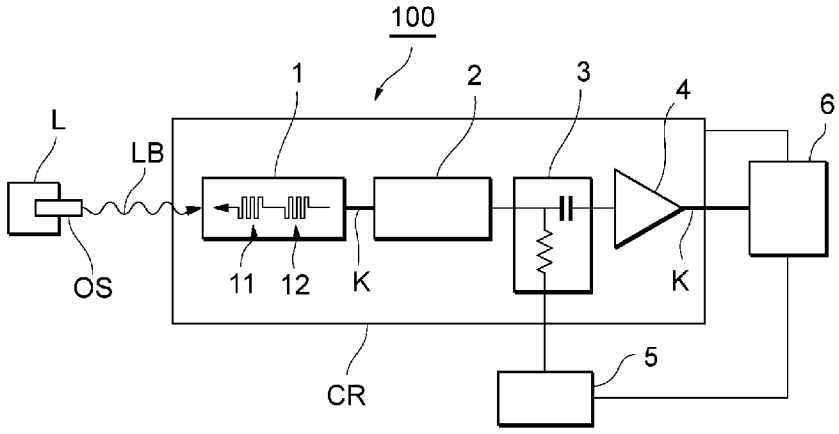
(30) 優先権データ：
特願 2022-016708 2022年2月4日(04.02.2022) JP

(71) 出願人: 国立大学法人 東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 Tokyo (JP). 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町４－２－１ Tokyo (JP).

(72) 発明者: 遠藤 護(ENDO, Mamoru); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 高橋 一真(TAKAHASHI, Kazuma); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 古澤 明(FURUSAWA, Akira); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 三木 茂人(MIKI, Shigehito); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町４－２－１ 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP). 寺井 弘高(TERAI, Hirotaka); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町４－２－１ 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR IDENTIFYING NUMBER OF PHOTONS

(54) 発明の名称： 光子数識別装置及び方法



(57) **Abstract:** A device for identifying the number of photons included in an optical signal from a light source, the device comprising: a light detection unit including a light-receiving unit that is formed from a single-pixel nanostrip disposed in a predetermined light-receiving surface region and that generates an electrical signal corresponding to the optical signal in a superconducting state, and a vibration-imparting unit that is connected to the light-receiving unit and that has electrical circuit characteristics for imparting, to an electrical signal, an amplitude vibration component corresponding to the number of photons; a power supply unit for supplying a bias current to the light detection unit; an amplification unit for amplifying the electrical signal; and a cryostat in which the light detection unit and the amplification unit are housed, and which operates at a temperature at which the light-receiving unit exhibits a superconducting state.

WO 2023/149331 A1

［続葉有］

(74) 代理人:稲葉 良幸，外(**INABA, Yoshiyuki** et al.);
〒1066123 東京都港区六本木６－１０－１ 六本木ヒルズ森タワー２３階 ＴＭＩ総合法律事務所 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, 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, ME, 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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：光源からの光信号に含まれる光子数を識別するための装置であって、所定の受光面領域に配置された単一ピクセルのナノストリップから形成され、かつ、超伝導状態において光信号に対応する電気信号を生成する受光部、及び、受光部に接続され、かつ、光子数に対応する振幅振動成分を電気信号に付与する電気回路特性を有する振動付与部、を含む光検出部と、光検出部にバイアス電流を供給する電源部と、電気信号を増幅する増幅部と、光検出部及び増幅部が収容され、受光部が超伝導状態を発現する温度で作動するクライオスタットを備える光子数識別装置を提供する。

明　細　書

発明の名称 ： 光子数識別装置及び方法

技術分野

[0001]　本開示は、光子数識別装置及び方法に関する。

背景技術

[0002]　入射光の光子数を測定することができる光子数識別器は、光信号のパワーを正確に測定するための光パワーメータとして、量子光学、極微弱光測定、光センシング等の各分野で期待されている。特に、連続量光量子情報処理において、光子数を測定することによって生成し得る特殊な量子状態（非ガウス型量子状態）は、誤り耐性型万能（汎用）量子コンピュータにとって不可欠な状態である。そのための光子数識別器を実現する手法として、古くは、光子の有無のみを判別することができる単一光子検出器を時間的又は空間的に多重化することにより、擬似的な光子数識別器を構成することが試みられた。しかし、近年の研究によれば、かかる手法では一つのセンサに２光子以上入力した場合がエラーとなってしまうため、生成される非ガウス型状態の純度が下がり、非現実的であることが判明している。そこで、高速、高精度、及び多光子識別可能な光子数識別器を、複数の光検出センサを用いた多重化に依らず、すなわち単一ピクセルの光検出センサで実現することが熱望されてきた。

[0003]　現在のところ、このような単一ピクセルで光子数識別性能を有する光検出センサとしては、超伝導転移端センサ（ＴＥＳ：Transition Edge Sensor）や超伝導ナノストリップ光子検出器（ＳＮＳＰＤ：Superconducting NanStrip Photon Detector）が知られている。なお、ＳＮＳＰＤの名称における「ナノストリップ」は、「ナノワイヤ（Nanowire）」と表記又は呼称されることもあるが、本開示で用いる「ナノストリップ」との用語は「ナノワイヤ」を含み、両者は均等なものとする。

[0004]　これらのうちＴＥＳは、超伝導転移温度付近まで冷却した金属薄膜に光子

が入射した際の温度上昇から光子の数を測定し、１００％近い検出効率も実現されており、概ね２０個以上の光子を識別することができる。しかし、ＴＥＳでは、光子信号の読み出しに超伝導量子干渉計と呼ばれる特別な素子計器が必要であり、その応答速度の制限から、ＴＥＳの時間分解能は最も高速と思われる素子でも数ｎｓ以上となってしまう。また、ＴＥＳに用いられる金属薄膜の動作温度は１００ｍＫのオーダーであり、断熱消磁冷凍機や希釈冷凍機といった大型の冷凍機が必要となるため、システム全体を設置することができる環境が制約されてしまう。

[0005] 一方、ＳＮＳＰＤは、高感度、低雑音かつ高速動作可能な光子検出器として、前述の量子情報通信、量子光学、極微弱光センサ等の様々な分野への利用が期待されている。ＳＮＳＰＤにおいては、光検出素子として、所定の受光面領域に配置されたナノストリップと呼ばれる配線状の受光部分が用いられる。この受光部分は、例えば窒化ニオブ（ＮｂＮ）、窒化チタンニオブ（ＮｂＴｉＮ）、ケイ化タングステン（ＷＳｉ）、ケイ化モリブデン（ＭｏＳｉ）等の極細線で形成され、超伝導状態において光検出素子として機能する。

[0006] ところで、ＳＮＳＰＤは、導入初期においては、入射光子の有無のみを判別する光検出センサとして広く使用されてきたが、出力信号の形状、特に立ち上がり部分の波形の相違から、光子数を測定可能な光子数識別器としても使用できることが、近年の研究によって明らかになってきている（例えば非特許文献１～３）。このようなＳＮＳＰＤ型の光子数識別器の時間分解能は１０ｐｓオーダーであり、前述したＴＥＳに比して、１００倍程度高速での応答特性を有している。また、ＳＮＳＰＤに用いられる上記受光部分は、例えば、小型のパルスチューブ冷凍機やギフォード・マクマホン（ＧＭ）冷凍機等によって作動可能であり、これによりシステム全体の規模を小型化して省スペース化を図り得るという大きな利点を有する。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：C. Cahall et al., Optica 4, 1534-1535 (2017)

非特許文献2：K. L. Nicolich et al., Phys. Rev. Appl. 12, 034020 (2019)

非特許文献3：M. Endo et al., Opt. Express 29, 11728-11738 (2021)

発明の概要

[0008] しかし、ＳＮＳＰＤで測定される信号波形のうち光子数の情報を有するは、立ち上がりの１００ｐｓ程度の部分でしかないことが判明しており、そのため、ＳＮＳＰＤの後段に、帯域が十分に広くない増幅回路や計器を備える低速の測定系を用いる場合には、正確な光子数識別ができないという問題があった。換言すれば、ＳＮＳＰＤにより従来の手法で光子数の情報を得るには、１００ｐｓオーダー以下の時間単位で信号波形をリアルタイムで解析しなければならず、また、雑音の影響も受け易いため、非常に高速で特殊な測定系（例えば、高速ＡＤ変換器とＦＰＧＡ又はＡＳＩＣ等の高速回路との組み合わせ等）による複雑な処理が不可欠であり、コストも増大する傾向にあった。

[0009] そこで、本開示は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、ＳＮＳＰＤの優れた光応答特性（光検出特性）を保持しつつ、雑音の影響を軽減することができ、かつ、帯域が狭い低速の測定系を用いた場合でも、正確かつ簡便に優れた光子数識別性を実現することが可能であり、これらにより、経済性、操作性、及び汎用性にも優れる光子数識別装置及び方法を提供することを目的とする。

[0010] 〔１〕本開示に係る光子数識別装置の一例は、光源からの光信号に含まれる光子数を識別するための装置であって、所定の受光面領域に配置された単一ピクセルのナノストリップから形成され、かつ、超伝導状態において前記光信号に対応する電気信号を生成する受光部、及び、前記受光部に（直列又は並列に）接続され、かつ、光子数に対応する振幅振動成分を前記電気信号に付与する電気回路特性を有する振動付与部、を含む光検出部と、前記光検出部にバイアス電流を供給する電源部と、前記電気信号を増幅する増幅部と、

前記光検出部及び前記増幅部が収容され、前記受光部が超伝導状態を発現する温度で作動するクライオスタットを備える。

[0011] かかる構成では、受光部として、クライオスタットによって超伝導状態となるように冷却されるＳＮＳＰＤの光検出素子と同等の構成を採用し得る。そして、その受光部に振動付与部を追設することにより、光源からの光信号を受信した受光部で生成する電気信号に、光子数に対応する振幅振動成分（すなわち光子数に応じた振動特性を有する成分）が付与される。よって、光検出部から出力される電気信号は、従来のＳＮＳＰＤからの出力信号とは異なり、各光子数に応じて異なる強度の振幅振動を有する複数の成分が重畳され、例えば１０ｎｓ程度以上持続する波形を示現する。従って、ＳＮＳＰＤで必要であった立ち上がり部分の高速での信号処理が不要となり、また、光検出部からの電気信号又はその増幅信号波形における強度が異なる振幅振動成分の数に基づいて、光子数の識別及び計数が可能となる。

[0012] 〔２〕上記態様において、前記振幅振動成分の周波数は、下記式（１）；

[0013] [数1]

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{L_s + L_c}{L_s L_c (C_s + C_c)}} \quad \cdots (1)$$

fr：共振周波数
Ls：前記受光部のインダクタンス
Cs：前記受光部の容量
Lc：前記振動付与部のインダクタンス
Cc :前記振動付与部の容量

で表される共振周波数ｆｒ、又は、該共振周波数ｆｒに基づく周波数であってもよい。

[0014] 本開示における光検出部は、受光部及び振動付与部が、ともにそれぞれ、電気素子的な内部要素として所定のインダクタンスＬｓ，Ｌｃと所定の容量（寄生容量）Ｃｓ，Ｃｃを有する等価回路と捉え得るので、両者の接続により、上記式（１）で表される共振周波数が生起され、このような簡便な素子

構造により、受光部で生成される電気信号に振幅振動成分が付与され、かつ、雑音の発生を極力抑制することができる。

[0015] 〔３〕上記態様において、より具体的には、前記振動付与部が、前記受光部と同等又は同種の材料から構成されてもよい。このようにすれば、受光部と振動付与部をパターン形成し易くなり、また、構造及び性能シミュレーションや実設計を行い易くなる。

[0016] 〔４〕上記態様において、前記振動付与部を、前記受光部のナノストリップとは形状が異なるナノストリップから形成してもよい。このようにすれば、受光部と振動付与部を更にパターン形成し易くなり、また、構造及び性能シミュレーションや実設計を更に行い易くなる。

[0017] 〔５〕上記態様において、前記振動付与部のナノストリップの線幅を、前記受光部のナノストリップの線幅よりも太くし、前記振動付与部のナノストリップの間隔を、前記受光部のナノストリップの間隔よりも広くしてもよい。本発明人の知見によれば、かかる構成を採用することにより、受光部からの電気信号に、前述した振幅振動成分をより一層付与し易くなり、また、電気信号波形において、光子数に応じた振幅成分をより明確に弁別し易くなることが確認された。

[0018] 〔６〕上記態様において、更に具体的には、前記受光部及び前記振動付与部を、蛇行配線が複数回繰り返されて成るミアンダ配線から形成してもよい。このようにすれば、ナノストリップを用いた受光部及び振動付与部の形成面積を狭小化することができ、光検出部の軽薄化及び小型化を促進することができる。

[0019] 〔７〕上記態様において、前記増幅部に接続され、前記電気信号の増幅信号を受信し、該増幅信号波形における強度が異なる前記振幅振動成分を弁別する信号処理部を更に備えてもよい。この信号処理部により、前記〔１〕で述べたような、光検出部からの電気信号の増幅信号波形における異なる強度の振幅振動成分の数に基づいた光子数の識別及び計数を、確実にかつ一層簡便に行うことができる。

[0020] 〔８〕上記態様において、前記光検出部と前記増幅部との間に接続され、前記電気信号を受信し、該電気信号を減衰させる減衰部、及び／又は、該電気信号の所定の周波数成分をフィルタリングするフィルタ部を更に備えてもよい。この場合、減衰部により、光検出からの電気信号に含まれる光子数の情報を、その後の信号処理に適するように適宜調節制御することができる。また、本開示では、出力される電気信号の振幅振動成分から光子数の情報が得られるところ、たとえ電気的な雑音が大きい場合であっても、フィルタ部（バンドパスフィルタ等）によって雑音成分をカットして振幅振動成分のみを取り出すことができる。

[0021] 〔９〕また、本開示に係る光子数識別方法の一例は、本開示に係る光子数識別装置を用いて好適に実施することができる方法である。すなわち、本例は、光源からの光信号に含まれる光子数を識別するための方法であって、本開示による光子数識別装置を準備するステップと、前記クライオスタットが、前記受光部が超伝導状態を発現する温度で動作するステップと、前記電源部が、前記光検出部にバイアス電流を供給するステップと、前記光検出部の前記受光部が、超伝導状態において前記光信号に対応する電気信号を生成するステップと、前記光検出部の前記振動付与部が、光子数に対応する振幅振動成分を前記電気信号に付与するステップと、前記増幅部が、前記電気信号を増幅するステップを含む。

[0022] 〔１０〕上記態様において、前記光子数識別装置は、前記信号処理部を更に備えており、該信号処理部が、前記増幅信号波形における異なる強度の前記振幅振動成分を弁別するステップを更に含んでもよい。

[0023] 〔１１〕上記態様において、前記振動付与部の電気回路特性を変更することにより、前記光子数に対応する振幅振動成分を変化させるステップを更に含んでもよい。このようにすれば、光検出部の上記式（１）で示す共振周波数ｆｒが変化し、その結果、光子数に応じた振幅振動成分を有する電気信号の周波数、振幅、波形形状、縮退数等といった種々の特性を調整し得る。

[0024] なお、本開示において、１つの「部」や「装置」（「機」、「器」、「手

段」、「機構」、「システム」等と言い換えることも可能な概念である。以下同様。）、及びそれらの構成部品や構成要素が有する機能が、２つ以上の物理的手段や装置等によって実現されてもよく、或いは、２つ以上の「部」や「装置」、及びそれらの構成部品や構成要素の機能が１つの物理的手段や装置等によって実現されてもよい。

発明の効果

[0025] 本開示によれば、ＳＮＳＰＤの光検出素子と同等の構成を有する受光部に振動付与部を接続することにより光検出部を構成するので、ＳＮＳＰＤの優れた光応答特性をそのまま保持することができる。また、振動付与部が、受光部からの電気信号に、光子数に応じた異なる強度の振幅振動成分を付与し、その数に基づいて、光子数の識別及び計数を行うことができる。さらに、この振幅振動を有する波形は、例えば１０ｎｓ程度以上持続する。よって、ＳＮＳＰＤで必要であった立ち上がり部分の高速での信号処理が不要となる。また、そのように高速での信号処理が不要であるので、複雑な信号処理に依らずとも雑音の影響を軽減しつつ、帯域が狭い低速の測定系を用いた場合でも、高分解能で優れた光子数識別性能を、簡易な構成で十分に実現することができる。その結果、光子数識別における経済性、操作性、及び汎用性を従来に比して格段に向上させることができ、かつ、従来の高速信号処理では困難であった多チャネル化も可能となる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本開示の一実施形態に係る光子数識別装置の一例の概略構成を示す平面図である。

[図2]図１における受光センサ１を拡大して示す部分拡大図である。

[図3]図２に示す受光センサ１の一部を更に拡大して示す部分拡大図である（一部省略）。

[図4]受光センサの等価回路の一例を示す回路モデル図である。

[図5]本開示の一実施形態に係る光子数識別装置のハードウェア構成の一例を示す概略ブロック図である。

[図6]本開示の一実施形態に係る光子数識別装置の受光センサから出力される電気信号のシミュレーション結果の一例を示すグラフである。

[図7]本開示の一実施形態に係る光子数識別装置の受光センサから出力される電気信号の実測結果（実施例１）を示すグラフである。

[図8]図７に示す実施例１におけるヒストグラムである。

[図9]本開示の一実施形態に係る光子数識別装置の受光センサから出力される電気信号の実測結果（実施例２）を示すグラフである。

[図10]図９に示す実施例２におけるヒストグラムである。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、本開示の一例に係る実施形態について、図面を参照して説明する。但し、以下に説明する実施形態は、あくまでも例示であり、以下に明示しない種々の変形や技術の適用を排除する意図ではない。すなわち、本開示の一例は、その趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。また、以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付し、図面は模式的なものであって、必ずしも実際の寸法や比率等とは一致しない。さらに、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることがある。また、以下に説明する実施形態は本開示の一部の実施形態であって全ての実施形態ではない。さらに、本開示の実施形態に基づいて、当業者が創造性のある行為を必要とせずに得られる他の実施形態は、いずれも本開示の保護範囲に含まれる。

[0028] ［光子数識別装置の構成例］

図１は、本開示の一実施形態に係る光子数識別装置の一例の概略構成を示す平面図である。光子数識別装置１００は、本開示に係る光子数識別方法を実行するための装置であり、適宜の光源Ｌから光学系ＯＳによって光信号ＬＢが導出又は送出される受光センサ１、その受光センサ１に順次接続された減衰器２、バイアスティー３、及び増幅器４を備える。これらの受光センサ１、減衰器２、バイアスティー３、及び増幅器４は、冷凍機クライオスタットＣＲの内部に収容設置されている。また、バイアスティー３は、冷凍機ク

ライオスタットＣＲの外部に設けられた定電流源５に接続されており、これにより、冷凍機クライオスタットＣＲの外部から、バイアスティー３を介して、受光センサ１に所定のバイアス電流が印加される。さらに、例えば増幅器４の出力側、定電流源５、及び冷凍機クライオスタットＣＲには、冷凍機クライオスタットＣＲの外部に設けられた制御部６が接続されている。また、冷凍機クライオスタットＣＲの内部及び外部の各要素機器の接続は、同軸ケーブルによって配線されると好ましく、図１においては、受光センサ１と減衰器２、及び、増幅器４と制御部６の接続配線が同軸ケーブルＫによって接続されている状態を例示した。なお、制御部６として、或いは、制御部６に代えて、出力信号の波形観測を行うオシロスコープ等の測定器（測定・信号処理部）を用いてもよく、その場合、その測定・信号処理部と、定電流源５、及び、冷凍機クライオスタットＣＲとは独立して作動し得るので、接続を不要としてもよい。

[0029] このとおり、これらの光子数識別装置１００、受光センサ１、減衰器２、増幅器４、制御部６（オシロスコープ等の測定・信号処理部を含む。）、及び冷凍機クライオスタットＣＲが、それぞれ、本開示における「光子数識別装置」、「光検出部」、「減衰部」、「増幅部」、「信号処理部」、及び「クライオスタット」の一例に相当する。また、バイアスティー３及び定電流源５が、本開示における「電源部」の一例に相当する。

[0030] ここで、図２は、図１における受光センサ１を拡大して示す部分拡大図であり、図３は、図２に示す受光センサ１の一部を更に拡大して示す部分拡大図である（一部省略）。受光センサ１は、光信号ＬＢを受光するための所定の受光面領域に配置された単一ピクセルの超伝導ナノストリップから形成された受光部１１に、例えば同種の超伝導ナノストリップから形成された振動付与部１２が直列に接続された構成を有する。これらのうち受光部１１は、ＳＮＳＰＤにおける光検出素子と同種材料及び同等形状で形成されており、振動付与部１２は、受光部１１と形状は異なるものの、同種材料及び近似形状で形成されている。このように、受光部１１として、ＳＮＳＰＤにおける

光検出素子をほぼそのまま利用することができるので、光子数識別装置１００は、超伝導ナノストリップ（ＳＮ：Superconducting NanStrip）型の光子数識別装置ということもできる。

[0031] 具体的には、受光部１１及び振動付与部１２は、図２及び図３に示すとおり、ナノストリップ材料の蛇行配線が複数回繰り返されて成るミアンダ配線から形成されている。また、図３に示すように、受光部１１及び振動付与部１２のそれぞれの配線を構成するナノストリップは、下記式（Ａ）及び式（Ｂ）で表される関係を満たすように形成されている。

[0032] 振動付与部１２のナノストリップの線幅＞受光部１１のナノストリップの線幅　…（Ａ）

振動付与部１２のナノストリップの間隔＞受光部１１のナノストリップの間隔　…（Ｂ）

より具体的には、受光部１１のナノストリップの線幅及び間隔が数１０ｎｍであり、振動付与部１２のナノストリップの線幅及び間隔が数１００ｎｍであり、受光部１１及び振動付与部１２の全体幅が数１０～数１００μｍであり、その全体高さが数１０μｍである例が挙げられる。

[0033] ここで、図４は、受光センサ１の等価回路の一例を示す回路モデル図である。図４において、Ｌｓ，Ｃｓは、それぞれ受光部１１のインダクタンス及び容量（寄生容量）を示し、Ｌｃ，Ｃｃは、それぞれ振動付与部１２のインダクタンス及び容量（寄生容量）を示し、R_Nは、光信号ＬＢから受光部１１に入射した光子数に依存する常伝導抵抗を示す。なお、受光部１１の常伝導抵抗R_Nは、例えば非特許文献２によれば、光子数の平方根に比例することが知られている。また、図４において、ＳＷは、入射した光子により超伝導状態が壊れることをモデル化したスイッチを示す。なお、この回路モデル図より、振動付与部１２は、等価的に、並列接続されたインダクタンス及び容量成分を有することから、一種のチョークコイル又はインダクタと看做すこともできる。

[0034] 図４に模式的に示すとおり、スイッチＳＷは、光検出前つまり超伝導状態

（ＳＣ）のときは閉じており、バイアス電流はスイッチＳＷを流れる。一方、光子の入射による熱の発生により超伝導状態が壊れて常伝導状態（Ｎ）になると、スイッチＳＷは開き、バイアス電流は常伝導抵抗R_Nを流れるので、その大きさに応じた電圧が発生することとなる。この等価回路の共振周波数ｆｒは、下記式（１）のように記述することができ、このことから、受光センサ１から出力される電気信号（電圧信号）には、この共振周波数ｆｒ又はそれに基づく振幅（電圧）振動成分が生じ得る。すなわち、受光部１１に振動付与部１２が接続されることにより、受光部１１に入射した光子数に対応した下記式（１）で表される共振周波数ｆｒ、又は、該共振周波数ｆｒに基づく周波数を有する振幅振動成分が、受光部１１で生成される電気信号に付与される。

[0035] [数2]

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{L_s + L_c}{L_s L_c (C_s + C_c)}} \quad \cdots (1)$$

fr：共振周波数
Ls：前記受光部のインダクタンス
Cs：前記受光部の容量
Lc：前記振動付与部のインダクタンス
Cc :前記振動付与部の容量

[0036] また、振動付与部１２の電気回路特性に影響を与える形状パラメータ、つまり、振動付与部１２を構成するナノストリップの幅、間隔、及び全長、並びに、振動付与部１２の全体幅及び全体高さの少なくとも何れかを調節することにより、振動付与部１２のインダクタンス及び／又は容量を調節し得るので、上記式（１）より、共振周波数ｆｒを所望に変化させ得ることが理解される。よって、このように振動付与部１２の電気回路特性を変更することにより、受光部１１で生成される電気信号に付与される振幅振動成分を変化させることが可能となる。さらに、より具体的には、例えば、振動付与部１２のナノストリップの全長を大きくしてインダクタンスＬｃ及び容量Ｃｃを

大きくすることで、共振周波数ｆｒを下げることにより、測定可能な光子数を増大させて光子数識別性能を向上させることができる。

[0037] ［制御系のハードウェア構成例］

図５は、本開示の一実施形態に係る光子数識別装置１００のハードウェア構成の一例を、制御系としての観点から示す概略ブロック図である。光子数識別装置１００は、前述した受光センサ１、減衰器２、バイアスティー３、増幅器４、定電流源５、及び、冷凍機クライオスタットＣＲのうち増幅器４及び定電流源５と、外部記憶装置７とに制御部６が接続された構成を有する。また、外部記憶装置７は、増幅器４から出力される電気信号波形や種々の演算及び計算データ等を電磁的に記憶することができる。さらに、制御部６は、制御演算部６１、通信インタフェース（Ｉ／Ｆ）部６２、記憶部６３、入力部６４、及び出力部６５を含み、これらの各部はバスライン６６を介して相互に通信可能に接続され得る。なお、制御部６として、或いは、制御部６に代えて、出力信号の波形観測を行うオシロスコープ等の測定器（測定・信号処理部）を用いる場合、これらの各部は、その測定・信号処理部に備わる機能部と看做すこともでき、例えば、通信Ｉ／Ｆ部６２は、オシロスコープ等におけるＡＤ変換機能を担う部分と捉え得る。

[0038] 制御演算部６１は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）等を含み、情報処理に応じて各構成要素の制御及び各種演算を行う。また、通信Ｉ／Ｆ部６２は、例えば、有線又は無線により他の構成要素と通信するための通信モジュールである。通信Ｉ／Ｆ部６２が通信に用いる通信方式は特に制限されず任意であり、例えば、ＬＡＮ（Local Area Network）やＵＳＢ（Universal Serial Bus）等が挙げられ、バスライン６６と同等の適宜の通信線を適用することもできる。増幅器４、定電流源５、及び外部記憶装置７は、ともに、この通信Ｉ／Ｆ部６２を介して、制御演算部６１等と通信可能に設けられている。

[0039] 記憶部６３は、例えばハード・ディスク・ドライブ（ＨＤＤ）、ソリッド・ステート・ドライブ（ＳＳＤ）等の補助記憶装置であり、制御演算部６１で実行される各種プログラム（定電流源５の制御、及び、増幅器４から出力された電気信号の処理を実行するための制御演算プログラム等）、増幅器４から出力された電気信号波形、その他の各種演算結果及び設定パラメータ等を含むデータを記憶する。また、記憶部６３に記憶されたデータ等は、外部記憶装置７に適宜記憶させてもよい。

[0040] 入力部６４は、光子数識別装置１００を利用するユーザからの各種入力操作を受け付けるためのインタフェースデバイスであり、例えば、マウス、キーボード、タッチパネル、例えばオシロスコープの操作パネル、ボタン、及びスイッチ等、並びに、音声マイク、外部メモリ等で実現し得る。また、出力部６５は、光子数識別装置１００を利用するユーザ等へ、各種情報を、その表示、音声出力、印刷出力等により報知するためのインタフェースデバイスであり、例えば、ディスプレイ、スピーカ、プリンタ等で実現し得る。

[0041] ［光子数識別装置の動作例］

以上の構成を有する光子数識別装置１００では、制御部６の制御演算部６１からの指令等により、冷凍機クライオスタットＣＲ内の受光センサ１が超伝導状態となるように冷却され、また、受光センサ１にバイアスティー３からバイアス電流が印加される。この状態で受光センサ１の受光部１１に、光源Ｌから光信号ＬＢが送出されると、入射した光量に応じた電圧が発生する。また、その電圧信号が電気信号として減衰器２及びバイアスティー３を介した後、増幅器４によって増幅され、さらに、その増幅電気信号が制御部６へ出力されて出力信号波形が観測される。

[0042] このとき、受光部１１に振動付与部１２が接続されているので、受光部１１で生成された電気信号には、受光部１１に入射した光子数に対応する振幅振動成分（すなわち光子数に応じた振幅強度を有する成分）が付与される。こうして得られる振幅振動成分を有する電気信号は、従来のＳＮＳＰＤからの出力信号とは異なり、時間経過とともに各光子数に応じて異なる強度の振

幅振動を有する複数の成分が重畳されたものとなる。

[0043]（シミュレーション例）

図６は、本開示の一実施形態に係る光子数識別装置１００の受光センサ１から出力される電気信号のシミュレーション結果の一例を示すグラフであり、時間（横軸）経過に対する出力信号電圧（縦軸：任意単位）の変化を示す（立ち上がり時刻を「時間＝０ｎｓ」として規格化した。）。このシミュレーションは、図４に示す等価回路を回路モデルとして用い、光子検出時の出力信号波形を推算したものであり、受光部１１の回路パラメータは、図６に示す例１～３について共通とし、受光部１１のインダクタンスＬｓ＝１．６μＨ、及び、容量Ｃｓ＝２２．４ｆＦと設定した。

[0044] 実線Ｇ０で表す例１は、振動付与部１２が存在しないか、或いは、受光部１１に比してインダクタンスＬｃ及び容量Ｃｃが無視できる場合の出力信号波形を示す（この点において、参考例又は比較例である。）。また、一点鎖線Ｇ１で表す例２は、振動付与部１２を有し、そのインダクタンスＬｃ＝４００ｎＨ、及び、容量Ｃｃ＝２．７ｆＦ（共振周波数ｆｒ＝１．７８ＧＨｚ相当）としたときの出力信号波形を示す。さらに、破線Ｇ２で表す例３は、振動付与部１２を有し、そのインダクタンスＬｃ＝８００ｎＨ，容量Ｃｃ＝５．４ｆＦ（共振周波数ｆｒ＝１．３１ＧＨｚ相当）としたときの出力信号波形を示す。

[0045] これらの例１～３として示す結果より、受光部１１に振動付与部１２を追設した光子数識別装置１００によれば、受光センサ１からの出力信号波形に振幅振動成分が発現することが理解される。また、このような振幅振動を有する出力信号波形（一点鎖線Ｇ１及び破線Ｇ２）が５ｎｓ程度経過した時点でも減衰しておらず、１０ｎｓ程度以上持続することが示唆される。さらに、振動付与部１２の電気回路特性を変更することにより、出力信号の周波数や振幅が変化し得ることも判明した。

実施例

[0046] そこで、光子数識別装置１００と同等の構成を有する実機を試作し、光源

Ｌとしてパルス光を用いて、その光子数識別性能を評価した。

[0047]（実施例１）

図７は、本開示の一実施形態に係る光子数識別装置１００の受光センサ１から出力される電気信号の実測結果（実施例１）を示すグラフであり、実際の時間（横軸）経過に対する出力信号電圧（縦軸：任意単位）の変化を示す。本実施例は、受光センサ１の回路パラメータを、受光部１１のインダクタンスＬｓ＝１．６μＨ、及び、容量Ｃｓ＝２２．４ｆＦとし、また、振動付与部１２のインダクタンスＬｃ＝４００ｎＨ、及び、容量Ｃｃ＝２．７ｆＦ（共振周波数ｆｒ＝１．７８ＧＨｚ相当）として得られた出力信号波形を８１９２本重ねて得たものである。すなわち、本実施例は、図６に示すシミュレーション結果における例２（一点鎖線Ｇ１）と同じパラメータ条件に対応する実測結果を示す。この結果は、受光センサ１の出力信号波形が振幅振動成分を有しており、その振幅の相違から光子数を識別可能であることを示すものである。なお、図７中に、０光子、１光子、及び２光子以上に対応する部位の目安を示す。

[0048] また、図８は、図７に示す出力信号波形の時間＝１２６．９ｎｓの時点（図７の横軸に破線を付した時間位置）におけるヒストグラムを示し、各信号電圧（横軸）の計数（縦軸：頻度）をプロットしたグラフである。この結果より、光子数識別装置１００を用いた実施例１の条件では、０光子と１光子を明確に区別できることが判明し、また、２光子以上は縮退していると認められるものの、複数の光子数を識別及び計数し得ることが確認された。

[0049]（実施例２）

図９は、本開示の一実施形態に係る光子数識別装置１００の受光センサ１から出力される電気信号の実測結果（実施例２）を示すグラフであり、受光センサ１の回路パラメータを、振動付与部１２のインダクタンスＬｃ＝８００ｎＨ、及び、容量Ｃｃ＝５．４ｆＦ（共振周波数ｆｒ＝１．３１ＧＨｚ相当）としたこと以外は、実施例１と同様にして得られたものである。すなわち、本実施例は、図６に示すシミュレーション結果における例３（破線Ｇ２

）と同じパラメータ条件に対応する実測結果を示す。この結果も、受光センサ１の出力信号波形が振幅振動成分を有しており、その振幅の相違から光子数を識別可能であることを示すものである。なお、図９中に、０光子、１光子、２光子、及び３光子以上に対応する部位の目安を示す。

[0050] また、図１０は、図９に示す出力信号波形の時間＝１２６．４ｎｓの時点（図９の横軸に破線を付した時間位置）におけるヒストグラムを示し、各信号電圧（横軸）の計数（縦軸：頻度）をプロットしたグラフである。この結果より、光子数識別装置１００を用いた実施例２の条件では、０光子、１光子、及び２光子（つまり２光子まで）を明確に区別できることが判明し、また、３光子以上は縮退していると認められるものの、実施例１と同様に、複数の光子数を識別及び計数し得ることが確認された。

[0051] また、本実施例では、図９に示されるように、振動部分に繋がる出力信号の立ち上がり部分では波形が２つ（２本）に縮退しているものの、時間が経過して振幅振動を示現する部分では、２つのうちの一方の縮退が解けている点が注目される。つまり、従来手法では判別が不可能であった２光子と３光子以上の成分が、光子数識別装置１００によれば、振幅振動部分をいわば発現させることによって分離することが可能であることが判明した。

[0052] このように構成された光子数識別装置１００、及び、それを用いた光子数識別方法によれば、ＳＮＳＰＤの光検出素子（受光部分）と同等の構成を有する受光部１１に振動付与部１２を接続した受光センサ１を備えるので、ＳＮＳＰＤの優れた光応答特性をそのまま保持することができ、既存のＳＮＳＰＤをほぼそのまま流用することができる。また、振動付与部１２が、受光センサ１からの電気信号に、光子数に応じた異なる強度の振幅振動成分を付与し、その数に基づいて、光子数の識別及び計数を行うことができる。さらに、この振幅振動を有する波形は、例えば１０ｎｓ程度以上持続し得る。よって、ＳＮＳＰＤで必要であった立ち上がり部分の高速での信号処理が不要となり、信号処理系の簡素化が可能となる。また、そのように高速での信号処理が不要であるので、複雑な信号処理に依らずとも雑音の影響を軽減しつ

つ、帯域が狭い低速の測定系を用いた場合でも、高分解能で優れた光子数識別性能を、簡易な構成で十分に実現することができる。その結果、光子数識別における経済性、操作性、及び汎用性を従来に比して格段に向上させることができ、かつ、従来の高速信号処理では困難であった多チャネル化も可能となる。

[0053] 以上、本開示の一例としての上記実施形態について詳細に説明してきたが、上述したとおり、前述した説明はあらゆる点において本開示の一例を示すに過ぎず、本開示の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることはいうまでもない。また、上記実施形態は、部分的に置換、削除、又は組み合わせて構成することも可能である。

[0054] 例えば、受光センサ１の後段に、バンドパスフィルタ等のフィルタ部を設けてもよい。光子数識別装置１００によれば、受光センサ１から出力される電気信号の振幅振動成分から光子数の情報が得られるので、電気的な雑音が大きい場合であっても、フィルタ部によって雑音成分をカットして振幅振動成分のみを取り出すことにより、更に高精度な光子数識別を実現することができる。また、受光部１１と振動付与部１２の材料や形状は、図４に示すような等価回路を構成することができれば、互いに異なっていてもよい。さらに、図４に示すような等価回路以外でも、受光部１１からの電気信号に振幅振動を付与することができる場合には、振動付与部１２は、受光部１１に並列に接続されていてもよい。

[0055] また、受光センサ１、減衰器２、バイアスティー３、及び増幅器４、並びに適宜のフィルタ部（用いる場合）の全部又は一部を、単一の基板に集積化してもよい。またさらに、バイアスティー３や増幅器４として、種々の形態や機能を有するものを用いることができ、例えば、バイアスティー３が増幅器４に内蔵されていてもよく、増幅器４が低周波成分をカットするフィルタ機能を備えていてもよい。さらにまた、単一ピクセルの受光部１１に、電気回路特性が互いに異なる複数の振動付与部１２を切り替え可能に接続してもよい。加えて、低速の測定系ではなく、高速の測定系を使用してももちろん

よく、この場合でも、従来手法に比して多光子識別性能が向上することはいうまでもない。また、実施例１及び２で説明した光子数識別までの信号処理を、制御部６の制御演算部６１やその他の測定・信号処理部によって自動化して実行しても構わない。

請求の範囲

[請求項1] 光源からの光信号に含まれる光子数を識別するための装置であって、

所定の受光面領域に配置された単一ピクセルのナノストリップから形成され、かつ、超伝導状態において前記光信号に対応する電気信号を生成する受光部、及び、前記受光部に接続され、かつ、光子数に対応する振幅振動成分を前記電気信号に付与する電気回路特性を有する振動付与部、を含む光検出部と、

前記光検出部にバイアス電流を供給する電源部と、

前記電気信号を増幅する増幅部と、

前記光検出部及び前記増幅部が収容され、前記受光部が超伝導状態を発現する温度で作動するクライオスタットと、

を備える、光子数識別装置。

[請求項2] 前記振幅振動成分は、下記式（１）；

[数1]

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{L_s + L_c}{L_s L_c (C_s + C_c)}} \quad \cdots (1)$$

fr：共振周波数
Ls：前記受光部のインダクタンス
Cs：前記受光部の容量
Lc：前記振動付与部のインダクタンス
Cc :前記振動付与部の容量

で表される共振周波数ｆｒ、又は、該共振周波数ｆｒに基づく周波数を有する、

請求項１に記載の光子数識別装置。

[請求項3] 前記振動付与部は、前記受光部と同等又は同種の材料から構成される、請求項１又は２に記載の光子数識別装置。

[請求項4] 前記振動付与部は、前記受光部のナノとは形状が異なるナノから形

成される、請求項１～３の何れかに記載の光子数識別装置。

[請求項5] 前記振動付与部のナノストリップの線幅は、前記受光部のナノストリップの線幅よりも太く、

前記振動付与部のナノストリップの間隔は、前記受光部のナノストリップの間隔よりも広い、

請求項４に記載の光子数識別装置。

[請求項6] 前記受光部及び前記振動付与部は、蛇行配線が複数回繰り返されて成るミアンダ配線から形成される、請求項４又は５に記載の光子数識別装置。

[請求項7] 前記増幅部に接続され、前記電気信号の増幅信号を受信し、該増幅信号波形における異なる強度の前記振幅振動成分を弁別する信号処理部を更に備える、請求項１～６の何れかに記載の光子数識別装置。

[請求項8] 前記光検出部と前記増幅部との間に接続され、前記電気信号を受信し、該電気信号を減衰させる減衰部、及び／又は、該電気信号の所定の周波数成分をフィルタリングするフィルタ部を更に備える、請求項１～７の何れかに記載の光子数識別装置。

[請求項9] 光源からの光信号に含まれる光子数を識別するための方法であって、

所定の受光面領域に配置された単一ピクセルのナノストリップから形成された受光部、及び、特定の電気回路特性を有して前記受光部に接続された振動付与部を含む光検出部、電源部、増幅部、並びに、前記光検出部及び前記増幅部が収容されたクライオスタットを備える光子数識別装置を準備するステップと、

前記クライオスタットが、前記受光部が超伝導状態を発現する温度で動作するステップと、

前記電源部が、前記光検出部にバイアス電流を供給するステップと、

前記光検出部の前記受光部が、超伝導状態において前記光信号に対

応する電気信号を生成するステップと、

前記光検出部の前記振動付与部が、光子数に対応する振幅振動成分を前記電気信号に付与するステップと、

前記増幅部が、前記電気信号を増幅するステップと、

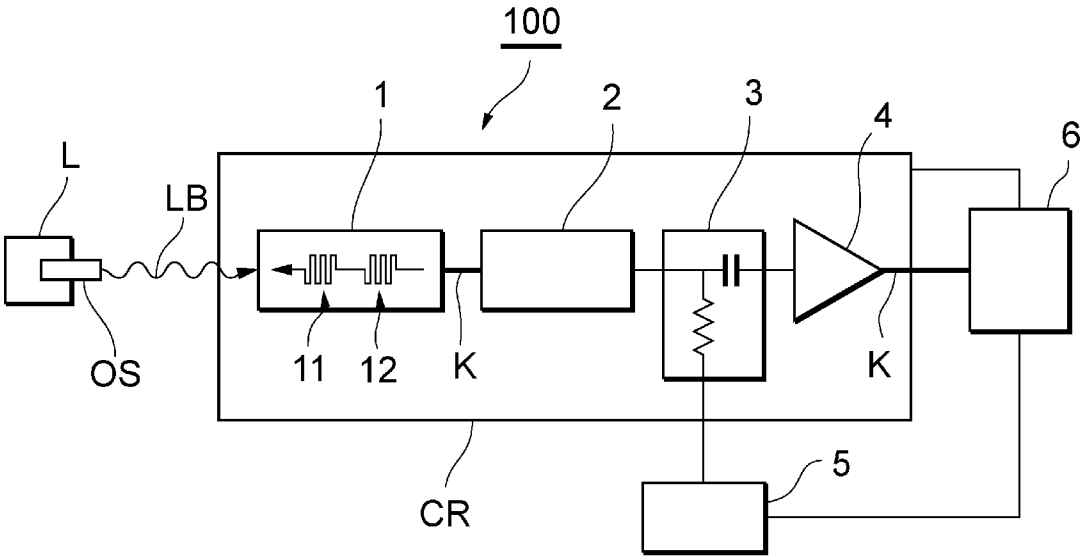
を含む、光子数識別方法。

[請求項10] 前記光子数識別装置は、前記増幅部に接続されて前記電気信号の増幅信号を受信する信号処理部を更に備え、

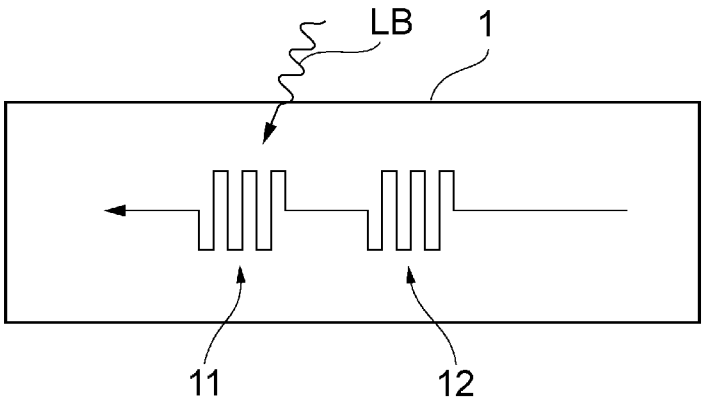
前記信号処理部が、前記増幅信号波形における異なる強度の前記振幅振動成分を弁別するステップを更に含む、請求項９に記載の光子数識別方法。

[請求項11] 前記振動付与部の電気回路特性を変更することにより、前記光子数に対応する振幅振動成分を変化させるステップを更に含む、請求項９又は１０に記載の光子数識別方法。

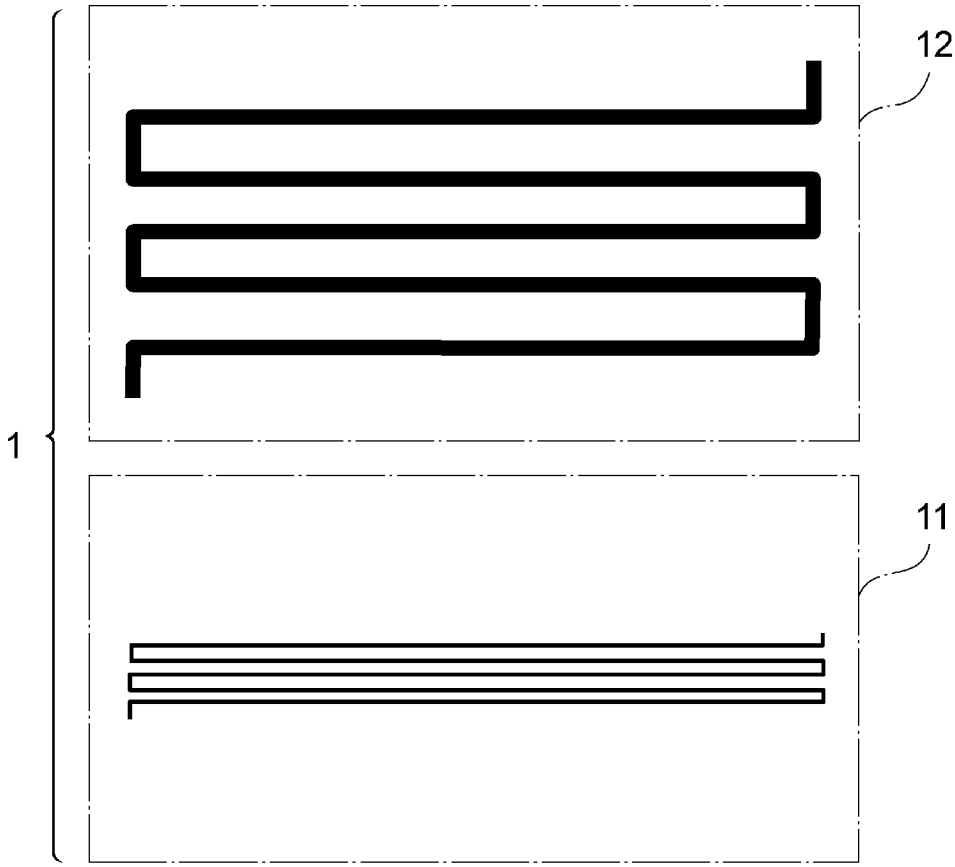
[図1]



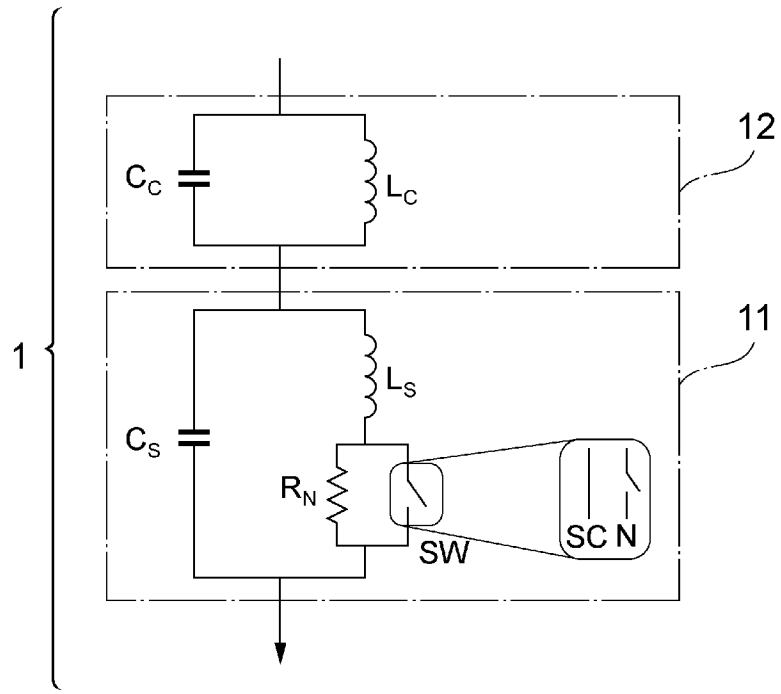
[図2]



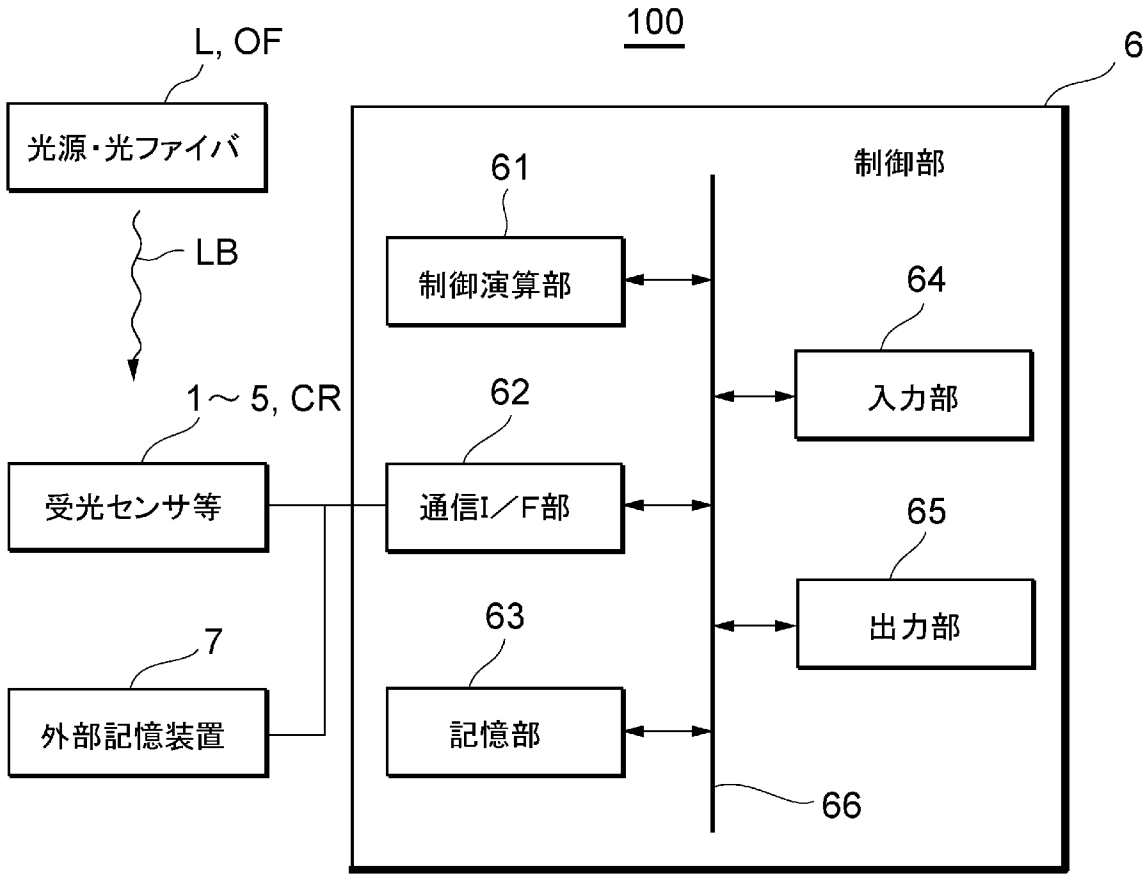
[図3]



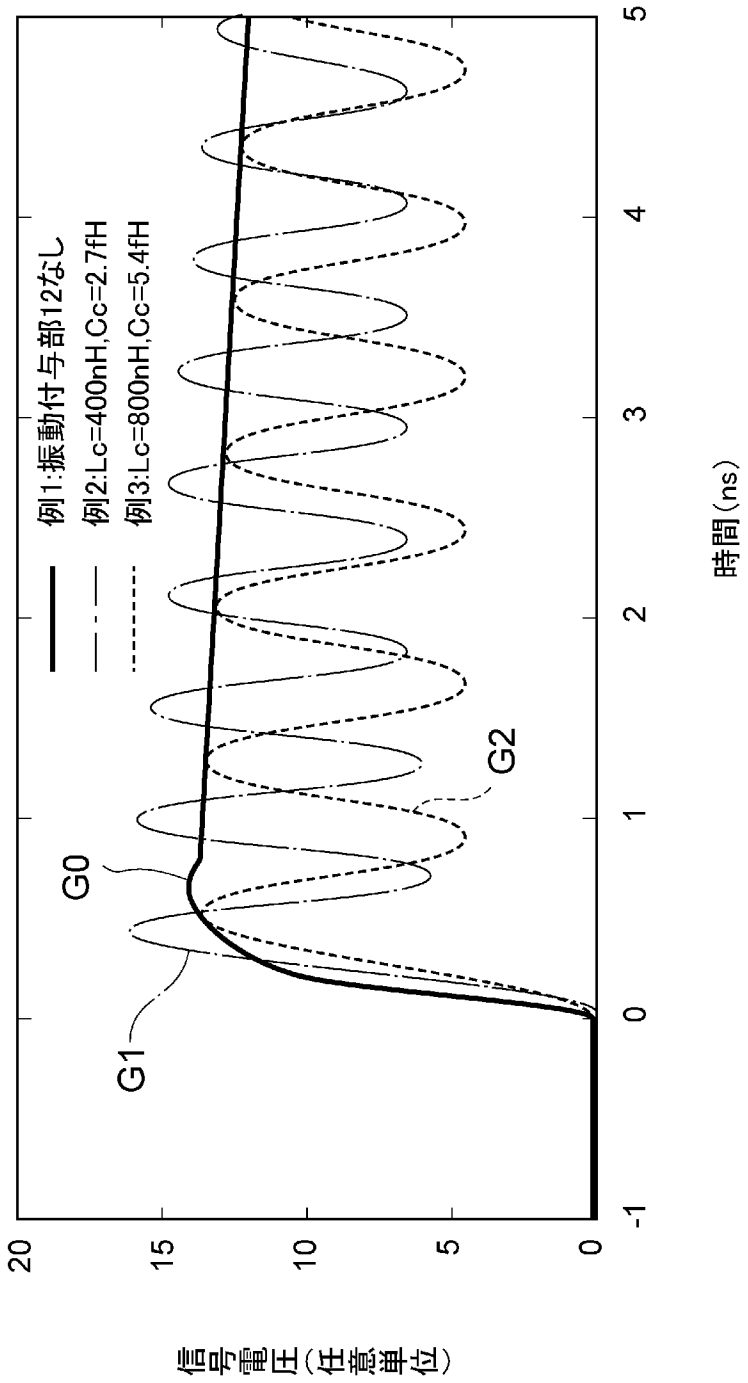
[図4]



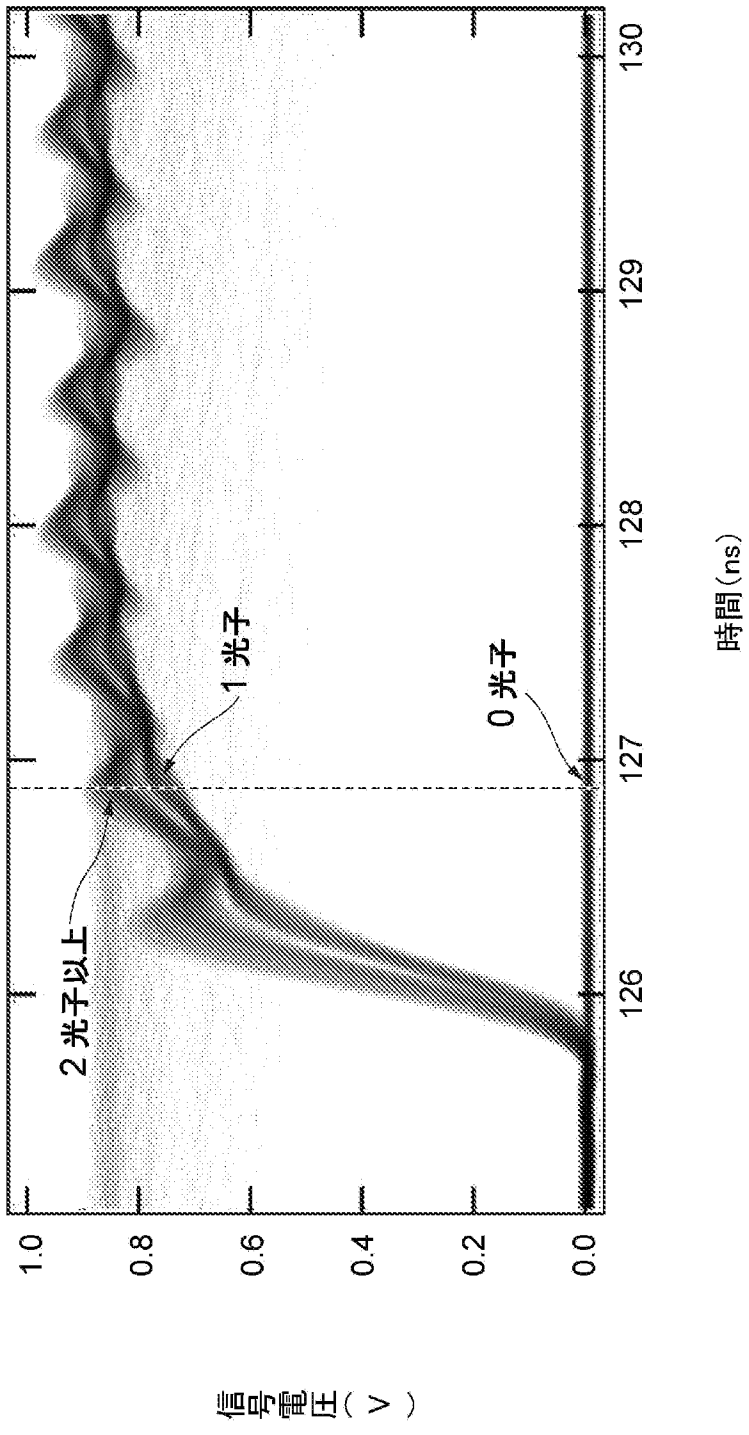
[図5]


100
L, OF
光源・光ファイバ
LB
1～5, CR
受光センサ等
7
外部記憶装置
6
制御部
61
制御演算部
62
通信I／F部
63
記憶部
64
入力部
65
出力部
66

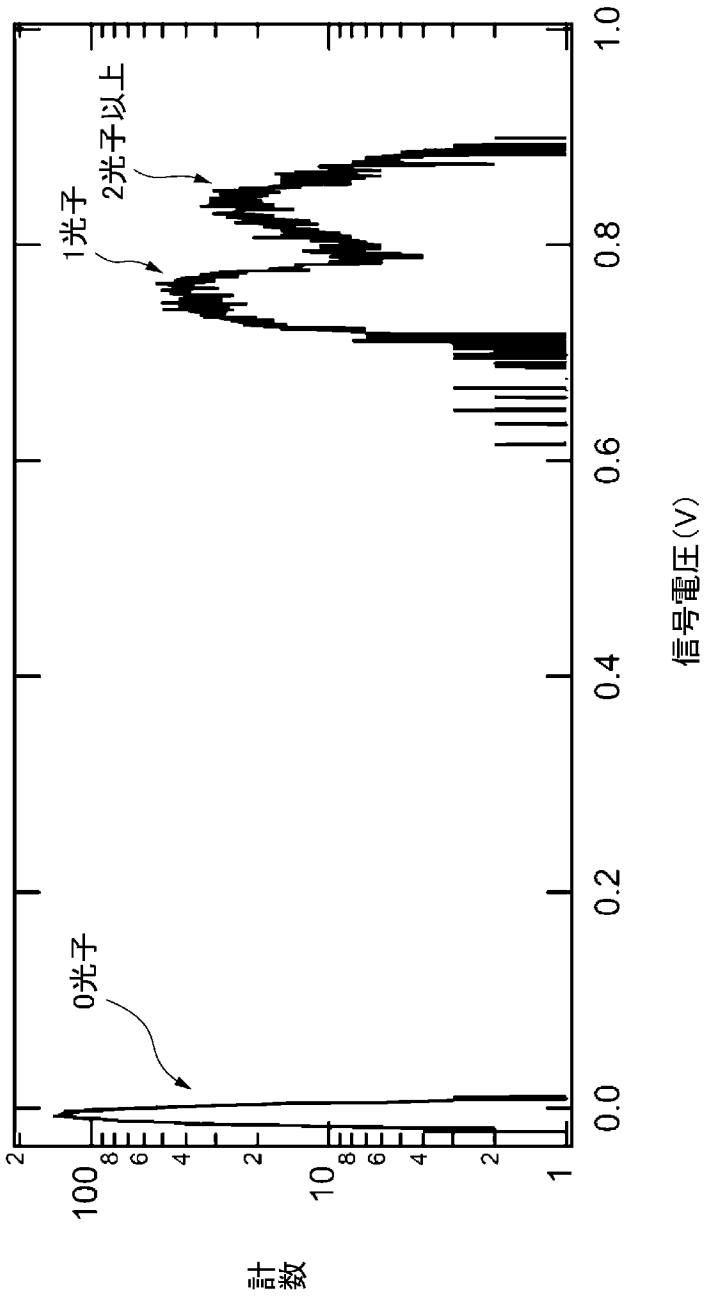
[図6]


例1:振動付与部12なし
例2:Lc=400nH,Cc=2.7fH
例3:Lc=800nH,Cc=5.4fH
G0
G1
G2
信号電圧(任意単位)
時間(ns)
20
15
10
5
0
-1
0
1
2
3
4
5

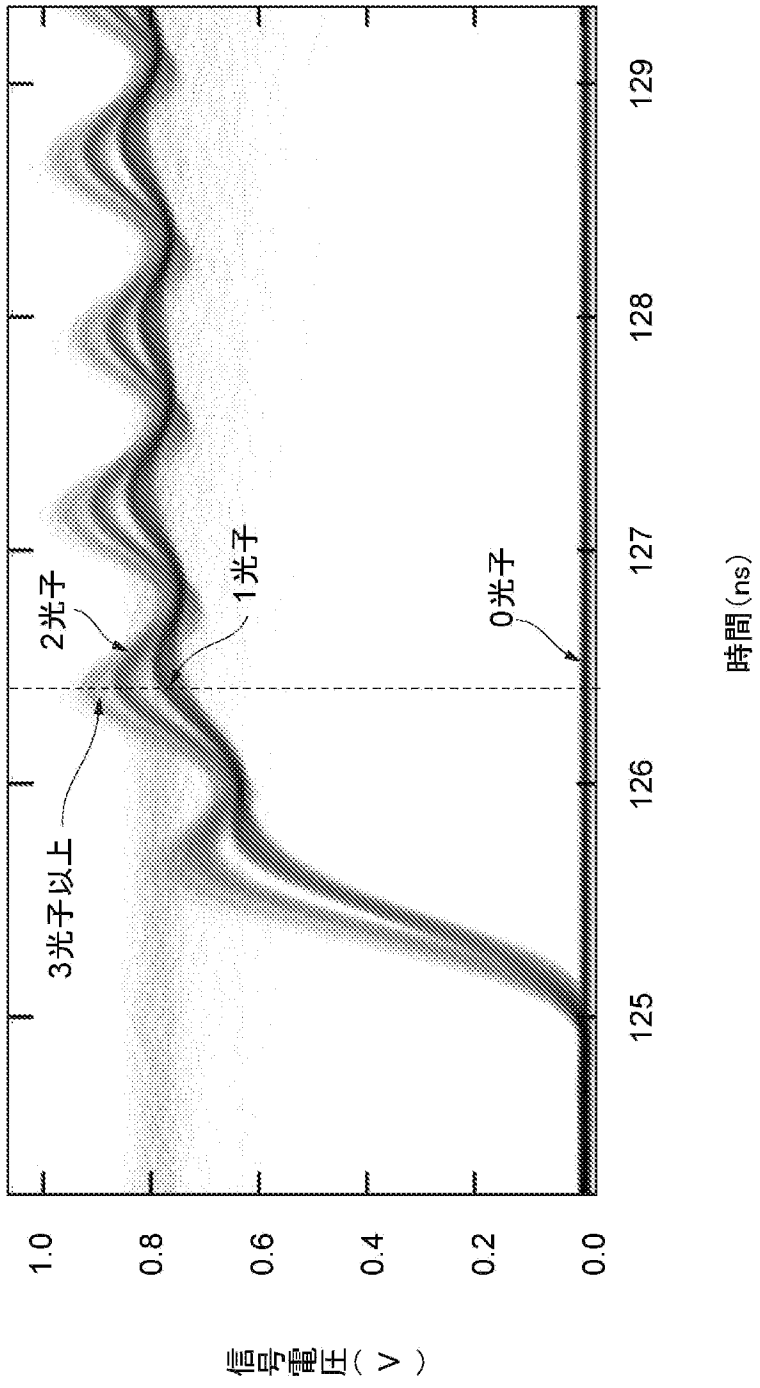
[図7]



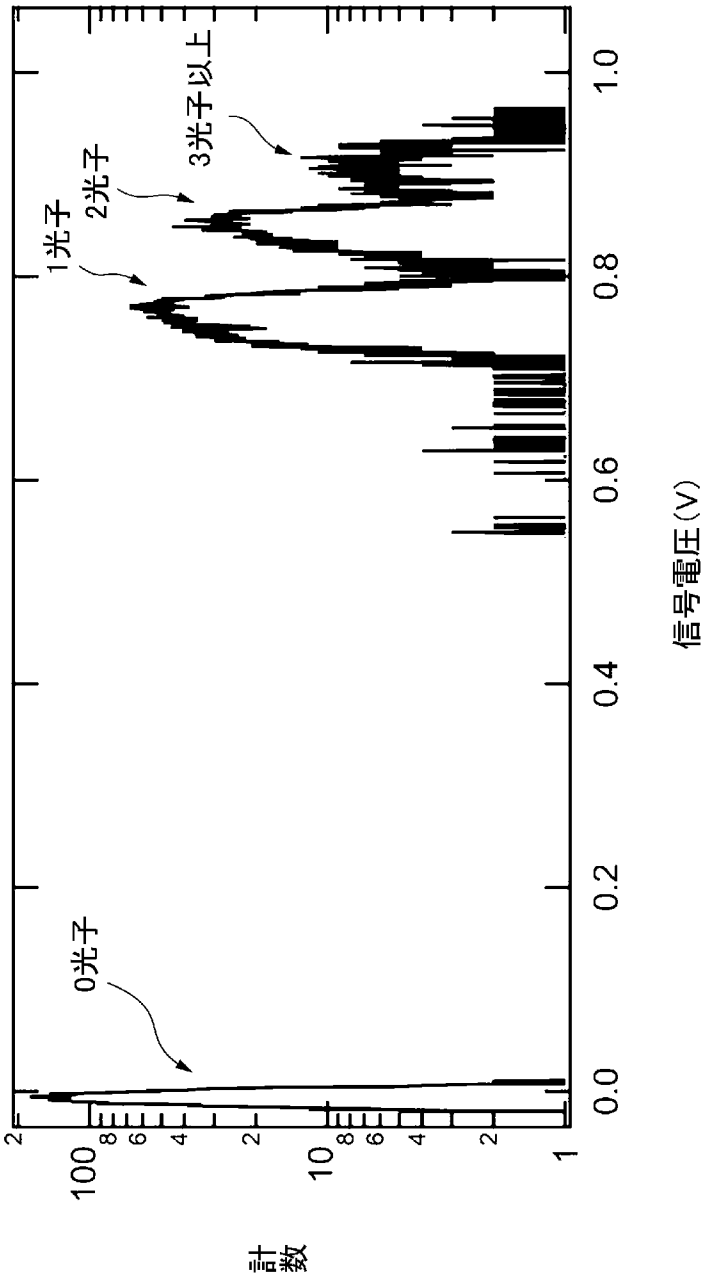
[図8]



[図9]


3光子以上
2光子
1光子
0光子
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
信号電圧（V）
125
126
127
128
129
時間（ns）

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/002423

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J 1/02(2006.01)i; ***G01J 11/00***(2006.01)i; ***H10N 60/00***(2023.01)i
FI: G01J1/02 R ZAA; H10N60/00 A; G01J11/00 ZNM

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)

G01J1/00-1/60; G01J11/00; H01L31/00-31/20

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2018/0145110 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 24 May 2018 (2018-05-24) paragraphs [0041], [0046]-[0047], [0076], fig. 1-2, 7-8	1, 3-11
A		2
Y	ENDO, Mamoru et al. Quantum detector tomography of a superconducting nanostrip photon-number-resolving detector. Optics Express. 30 March 2021, vol. 29, no. 8, pp. 11728-1 to 11728-11, DOI: doi.org/10.1364/OE.423142 fig. 2	1, 3-11
A	WO 2014/132609 A1 (NEC CORPORATION) 04 September 2014 (2014-09-04) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2013-156238 A (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION & COMMUNICATIONTECHNOLOGY) 15 August 2013 (2013-08-15) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2010-109697 A (NEC CORPORATION) 13 May 2010 (2010-05-13) entire text, all drawings	1-11

☑ 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	Date of mailing of the international search report
04 April 2023	**18 April 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/002423

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102353464 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 15 February 2012 (2012-02-15) entire text, all drawings	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/002423

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2018/0145110 A1	24 May 2018	WO 2017/136585 A1	
WO 2014/132609 A1	04 September 2014	(Family: none)	
JP 2013-156238 A	15 August 2013	(Family: none)	
JP 2010-109697 A	13 May 2010	(Family: none)	
CN 102353464 A	15 February 2012	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/002423

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01J 1/02(2006.01)i; G01J 11/00(2006.01)i; H10N 60/00(2023.01)i
FI: G01J1/02 R ZAA; H10N60/00 A; G01J11/00 ZNM

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））

G01J1/00-1/60; G01J11/00; H01L31/00-31/20

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

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
Y	US 2018/0145110 A1 (Massachusetts Institute of Technology) 24.05.2018 (2018-05-24) pars.[0041],[0046]-[0047],[0076], FIGs.1-2,7-8	1,3-11
A		2
Y	Mamoru ENDO et al., Quantum detector tomography of a superconducting nanostrip photon-number-resolving detector, Optics Express, 2021.03.30, Vol. 29, No. 8, pp.11728-1～11728-11, DOI: doi.org/10.1364/OE.423142 FIG.2	1,3-11
A	WO 2014/132609 A1 (日本電気株式会社) 04.09.2014 (2014-09-04) 全文、全図	1-11
A	JP 2013-156238 A (独立行政法人情報通信研究機構) 15.08.2013 (2013-08-15) 全文、全図	1-11
A	JP 2010-109697 A (日本電気株式会社) 13.05.2010 (2010-05-13) 全文、全図	1-11
A	CN 102353464 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 15.02.2012 (2012-02-15) 全文、全図	1-11

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
04.04.2023	18.04.2023

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

田中　洋介 2W 3009

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/002423

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2018/0145110 A1	24.05.2018	WO 2017/136585 A1	
WO 2014/132609 A1	04.09.2014	（ファミリーなし）	
JP 2013-156238 A	15.08.2013	（ファミリーなし）	
JP 2010-109697 A	13.05.2010	（ファミリーなし）	
CN 102353464 A	15.02.2012	（ファミリーなし）	