

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15187

研究課題名（和文）連続量光子数情報処理の実現に向けた超伝導転移端センサ式光子数識別器の開発と検証

研究課題名（英文）Superconducting photon-number resolving detector for continuous-variable quantum information processing

研究代表者

遠藤 護（Endo, Mamoru）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：90848003

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：超伝導ナノストリップ型光子検出器（SNSPD）の信号の立ち上がり部分を詳細に調べることによって、従来光子の有無のみしか判別できないとされたSNSPDに光子数識別性能があることを示した。さらに波形解析を行うことで光子数識別性能が向上することも示した。また誤り耐性型光子量子コンピュータに不可欠である非ガウス型状態の生成も行い、波長1545 nmの超短光波束に高品質な非ガウス型状態を生成することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光子量子コンピュータは高速で大規模な量子計算が可能なプラットフォームとして注目されている。その最大の課題は、計算に非線形性を付与するために必要な非ガウス型状態と呼ばれる量子状態を如何にして生成するかである。本研究では生成に必要な光子数識別器を開発した。さらに、高速量子計算に適しているが光子エネルギーの小ささから実現が困難であった通信波長帯での非ガウス型状態の生成に成功した。この研究の延長には誤り耐性型光子量子コンピュータの実現があり、その学術的・社会的意義は極めて大きい。

研究成果の概要（英文）：By examining the rising edge of the superconducting nanostrip photon detector (SNSPD) signal in detail, we have shown that the SNSPD, which was previously thought to discriminate only the presence or absence of photons, has photon number discrimination performance. We also showed that waveform analysis improves the photon number discrimination performance. We also generated non-Gaussian states, which are indispensable for an error-tolerant optical quantum computer, and succeeded in generating high-quality non-Gaussian states in ultrashort optical wave packets with a wavelength of 1545 nm.

研究分野：量子光学

キーワード：光子数識別器 非ガウス型状態 量子コンピュータ

1. 研究開始当初の背景

処理すべき情報量が爆発的に増大している現代において、既存のコンピュータの性能は限界を迎えようとしている。これ以上の高性能化が困難になることは明らかであり、全く新しいアーキテクチャのコンピュータが渴望されている。量子エンタングルメントや量子重ね合わせ状態といった、量子力学特有の性質を巧みに利用した量子コンピュータは最有力候補である。申請者たちは、誤り訂正能力・スケーラビリティ・汎用計算性を兼ね備えた量子コンピュータの実現手法として光の直交位相振幅に情報をエンコードする連続量光量子情報処理(Continuous-variable quantum information processing: CVQIP)に着目している。最終目標は、CVQIPの手法に基づき誤り訂正能力をもつ万能量子操作を実現することであり、理論的にはGKP状態などの特殊な非ガウス型状態を用いて実現可能である [D. Gottesman *et al*, PRA 64, 012310 (2001)]。これらの状態生成に不可欠なのが光子の数を測定することができる光子数識別器(Photon-number resolving detector: PNRD)を用いた測定誘起型量子操作である。しかし、CVQIP実験に応用可能な性能を持つPNRDは開発途上であるため、ほとんど全ての実験では単一光子検出器(光子の有無のみを判別)や、擬似的なPNRDによる近似的な実験しか行われていない。つまり、CVQIPにおける直近の課題は高性能PNRDを開発し、その有用性を検証することにある

2. 研究の目的

上述の通り、CVQIPにおける課題の多くはPNRDを用いた非ガウス型状態生成に関係している。本研究の目的は大きく二つに分けられる。一つは高性能なPNRDを開発することである。もう一つはPNRDがCVQIPに必須な量子状態である非ガウス型状態を生成に使用できるかを検証することである。

3. 研究の方法

(1) PNRDの候補として、超伝導ナノストリップ型光子検出器(SNSPD)や超伝導転移端センサ(TES)がある。SNSPDは従来単一光子検出器、つまり光子の数を判別できないとされてきたが、近年の研究により、信号の立ち上がり部分や、信号の波高値に光子数の情報があることが示唆された [C. Cahall *et al*, Optica 4, 1534 (2017)]。しかしながら、測定可能光子数も3個程度と少なく、CVQIPの実験、つまり非ガウス型状態生成に使用できるかということは未知であった。本研究では信号の立ち上がりから光子を判別する方式を採用し、研究を行った。この方式では冷凍機内に設置したSNSPDの直後に低雑音・広帯域の増幅器を設置し、広帯域のオシロスコープなどで信号を取得し、解析する。信号の傾きが大きいほど光子の数が多いことになる。しかし、この信号の傾きの時間スケールは100 psと高速であり、通常入手できる増幅器や測定器では多光子を判別することができないという課題がある。そこで、本研究では信号処理を行うことを考えた。ここで使用した信号処理は、予め各光子数に対応する参照波形を取得しておき、その参照波形と実際の波形とを比較することで、どの参照波形に最も近いかを判別する。この手法の利点は、非常に単純な解析であるためFPGAなどを用いてほぼリアルタイムでの光子数識別が可能である点である。また、使用しているのは、一般的なSNSPDであり、特殊な構造である必要はない。本研究では共同研究先のNICTから提供されたSNSPDを断熱消磁冷凍機内のステージ(約500 mK)に設置した。SNSPDの直後に低温・広帯域増幅器を設置して増幅し、

室温まで導いた後に 10 GHz のオシロスコープで測定する。本研究において波形解析は PC 上で行うオフラインの手法を取った。なお、本研究において、測定波長は 780 nm の光で実験を行った。光源は 1550 nm のフェムト秒モード同期レーザーの第二高調波を使用した。

(2) 次に、PNRD を用いた非ガウス型状態生成について説明する。非ガウス型状態の生成自体は多くの先行研究があるが、ごく僅かな例外を除き PNRD は使用されていない。また、波長としても近赤外領域での実験が多い。本研究では、PNRD を用い、通信波長帯である 1550 nm 近傍で非ガウス型状態を生成することを目指している。成熟した光通信技術（光ファイバー、変調器や検出器など）を利用できるため、通信波長帯での量子光学実験は実用的な光量子コンピュータ実現に向けて望ましい。しかし、光子のエネルギーが近赤外光に比べて小さいため、光子数識別測定などの測定が極めて困難になる。そこで、本研究では通信波長帯でも光子数識別性能が高い Ti/Au- TES を PNRD として使用した。非ガウス型状態の生成は光子引き取り法によって行う [M. Dakna et al., PRA 55, 3184 (1997)]。光子引き取り法とは、光パラメトリック増幅器で生成することができるスキューズド光の一部をビームスプリッターでピックアップし、PNRD で検出する。すると、ビームスプリッターのもう一方の出力には PNRD での測定結果に応じて非ガウス型状態が生成される。この時生成される状態はシュレディンガーの猫状態の近似として使用でき、CVQIP において重要な状態である。生成した状態の検証にはホモダイン検出器を用いたホモダイントモグラフィによって状態の密度行列およびウィグナー関数を推定することで行う。生成した状態のウィグナー関数に負値が存在すれば、その状態は古典的なプロセスでは決して生成できない状態であり、非ガウス型状態生成に成功したという極めて強い主張になる。またウィグナー関数の負値は実験の不完全性（損失や、位相揺らぎなど）で簡単に劣化してしまうため、ロス補正をすることなしにウィグナー関数の負値を得ることは困難である。

4. 研究成果

主に二つの研究の成果について述べる。

(1) SNSPD 型の PNRD の研究

SNSPD の信号を取得し、ある時刻での電圧のヒストグラムを描画したところ、4つのピークが見ることができた。先行研究では 3つのピークであったが、これは使用している測定器の帯域が高いため、より多光子（つまり傾きが大きい）成分が測定できたからだと考えられる。このヒストグラムではある時刻での値のみを使って判別しているが、波形全体を使用することでより識別性能を高められるかを検証した。その結果、5光子までを識別できるようになった。これ以上の光子数の識別は SNSPD 素子自体の帯域やジッターの影響で困難であり、素子自体の改良が必要となる。さらに、本研究では検出器トモグラフィを実行し、この SNSPD が真の PNRD であることを証明した。つまりこの検出器は非ガウス型状態生成に使用できることが明らかとなった。この内容は[M. Endo et al., Optics Express 29, 11728 (2021)]で発表済みである。SNSPD 型 PNRD は高速に動作する反面、多光子検出能力に関しては TES 等に劣る。実験に応じて両者を使い分けていくことで、非ガウス型状態の生成研究が大きく進展することになるだろう。

(2) 非ガウス型状態生成の研究

ホモダイン測定の位相を 0 から 90° まで 15° 刻みで変化させ、生成された状態の直交位相振幅を測定した。多くの先行研究ではホモダイン測定の位相を固定していないため、ホモダイン測定が精度良く実行できていない可能性がある。本研究では 3光子引き取りまでの測定をしており、現状の生成レートは 10 カウント毎秒以下と少ない。ホモダイン測定では各位相で十分に多くの

測定（数千から数万点）することが必要であるため、ホモダイン測定器の位相制御も重要な要素である。ホモダイン測定によって得られた結果から最尤推定法を用いて密度行列を推定し、ウィグナー関数を計算した。1光子と3光子検出のウィグナー関数の原点は負値を取っており、強い非古典性があることが分かる。通信波長帯かつ多光子検出の実験でウィグナー関数の負値を得られたのは本研究が世界初である。また、本研究で確立した実験手法はより複雑な非ガウス形状生成にも適用できるため、若手研究終了以降はこの研究を発展させていく。この内容は[M. Endo et al., *Optics Express* 31, 12865 (2023)]で発表済みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 NAKAMURA Tomohiro, Nomura Takefumi, Endo Mamoru, He Ruofan, Kashiwazaki Takahiro, Umeki Takeshi, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 31
2. 論文標題 Low-loss polarization control in fiber systems for quantum computation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 19236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.489082	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kawasaki Akito, Takase Kan, Nomura Takefumi, Miki Sige-hito, Terai Hiro-taka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Generation of highly pure single-photon state at telecommunication wavelength	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 24831 ~ 24831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.460583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Inoue A., Kashiwazaki T., Yamashita T., Takanashi N., Kazama T., Enbutsu K., Watanabe K., Umeki T., Endo M., Furusawa A.	4. 巻 122
2. 論文標題 Toward a multi-core ultra-fast optical quantum processor: 43-GHz bandwidth real-time amplitude measurement of 5-dB squeezed light using modularized optical parametric amplifier with 5G technology	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 104001 ~ 104001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0137641	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Endo Mamoru, He Ruofan, Sonoyama Tatsuki, Takahashi Kazuma, Kashiwazaki Takahiro, Umeki Takeshi, Takasu Sachiko, Hattori Kaori, Fukuda Daiji, Fukui Kosuke, Takase Kan, Asavanant Warit, Marek Petr, Filip Radim, Furusawa Akira	4. 巻 31
2. 論文標題 Non-Gaussian quantum state generation by multi-photon subtraction at the telecommunication wavelength	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 12865 ~ 12865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.486270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takase Kan, Kawasaki Akito, Jeong Byung Kyu, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Watanabe Kei, Umeki Takeshi, Miki Shigehito, Terai Hirotaka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantum arbitrary waveform generator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.add4019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sonoyama Tatsuki, Asavanant Warit, Fukui Kosuke, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 105
2. 論文標題 Analysis of optical quantum state preparation using photon detectors in the finite-temporal-resolution regime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.105.043714	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takase Kan, Kawasaki Akito, Jeong Byung Kyu, Endo Mamoru, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Watanabe Kei, Umeki Takeshi, Miki Shigehito, Terai Hirotaka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Generation of Schrödinger cat states with Wigner negativity using a continuous-wave low-loss waveguide optical parametric amplifier	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 14161 ~ 14161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.454123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukui Kosuke, Takeda Shuntaro, Endo Mamoru, Asavanant Warit, Yoshikawa Jun-ichi, van Loock Peter, Furusawa Akira	4. 巻 128
2. 論文標題 Efficient Backcasting Search for Optical Quantum State Synthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.240503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawasaki Akito, Takase Kan, Nomura Takefumi, Miki Sige-hito, Terai Hiro-taka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Generation of highly pure single-photon state at telecommunication wavelength	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 24831 ~ 24831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.460583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takase Kan, Kawasaki Akito, Jeong Byung Kyu, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Watanabe Kei, Umeki Takeshi, Miki Shigehito, Terai Hiro-taka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantum arbitrary waveform generator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.add4019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Endo Mamoru, He Ruofan, Sonoyama Tatsuki, Takahashi Kazuma, Kashiwazaki Takahiro, Umeki Takeshi, Takasu Sachiko, Hattori Kaori, Fukuda Daiji, Fukui Kosuke, Takase Kan, Asavanant Warit, Marek Petr, Filip Radim, Furusawa Akira	4. 巻 31
2. 論文標題 Non-Gaussian quantum state generation by multi-photon subtraction at the telecommunication wavelength	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 12865 ~ 12865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.486270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Inoue A., Kashiwazaki T., Yamashita T., Takanashi N., Kazama T., Enbutsu K., Watanabe K., Umeki T., Endo M., Furusawa A.	4. 巻 122
2. 論文標題 Toward a multi-core ultra-fast optical quantum processor: 43-GHz bandwidth real-time amplitude measurement of 5-dB squeezed light using modularized optical parametric amplifier with 5G technology	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 104001 ~ 104001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0137641	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takase Kan, Kawasaki Akito, Jeong Byung Kyu, Endo Mamoru, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Watanabe Kei, Umeki Takeshi, Miki Shigehito, Terai Hirotaka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Generation of Schrödinger cat states with Wigner negativity using a continuous-wave low-loss waveguide optical parametric amplifier	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 14161 ~ 14161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.454123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sonoyama Tatsuki, Asavanant Warit, Fukui Kosuke, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 105
2. 論文標題 Analysis of optical quantum state preparation using photon detectors in the finite-temporal-resolution regime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.105.043714	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukui Kosuke, Endo Mamoru, Asavanant Warit, Sakaguchi Atsushi, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 105
2. 論文標題 Generating the Gottesman-Kitaev-Preskill qubit using a cross-Kerr interaction between squeezed light and Fock states in optics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.105.022436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Asavanant Warit, Takase Kan, Fukui Kosuke, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 103
2. 論文標題 Wave-function engineering via conditional quantum teleportation with a non-Gaussian entanglement resource	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.103.043701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Endo Mamoru, Sonoyama Tatsuki, Matsuyama Mikiyoshi, Okamoto Fumiya, Miki Shigehito, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Terai Hirofumi, Furusawa Akira	4. 巻 29
2. 論文標題 Quantum detector tomography of a superconducting nanostrip photon-number-resolving detector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 11728 ~ 11738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.423142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takase Kan, Yoshikawa Jun-ichi, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Furusawa Akira	4. 巻 103
2. 論文標題 Generation of optical Schrödinger cat states by generalized photon subtraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 013710-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.103.013710	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Tatsuki Sonoyama, Warit Asavanant, Kan Takase, Kosuke Fukui, Mamoru Endo, Jun-ichi Yoshikawa, Akira Furusawa
2. 発表標題 Non-Gaussian State Generation Using A Photon Detector With Finite Timing Jitter
3. 学会等名 CLEO 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mamoru Endo, Ruofan He, Tatsuki Sonoyama, Kazuma Takahashi, Takahiro Kashiwazaki, Takeshi Umeki, Sachiko Takasu, Kaori Hattori, Daiji Fukuda, Kosuke Fukui, Kan Takase, Warit Asavanant, Jun-ichi Yoshikawa, Akira Furusawa
2. 発表標題 Non-Gaussian state generation by multi-photon subtraction at the telecommunication wavelength
3. 学会等名 CLEO 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤 護, 何 若凡, 園山 樹, 高橋 一真, 柏崎 貴大, 梅木 毅伺, 鷹巢 幸子, 服部 香里, 福田 大治, 福井 浩介, 高瀬 寛, アサバナン ト ワリット, 古澤 明
2. 発表標題 多光子引き去りによる非ガウス型量子状態の生成
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mamoru Endo, Akira Furusawa
2. 発表標題 Toward practical quantum computation using optical quantum memory and photon-number-resolving detector
3. 学会等名 Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mamoru Endo, Akira Furusawa
2. 発表標題 Toward Large-Scale Fault-Tolerant Universal Quantum Computation With a Traveling Wave of Light
3. 学会等名 SEMICONMEET2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kan Takase, Jun-ichi Yoshikawa, Warit Asavanant, Mamoru Endo, Akira Furusawa
2. 発表標題 Generation of Schrodinger cat states by generalized photon subtraction
3. 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Sonoyama, Mamoru Endo, Mikiyama, Fumiya Okamoto, Shigehito Miki, Hirotaka Terai, Masahiro Yabuno, Fumihiro China, Akira Furusawa
2. 発表標題 Detector Tomography of Superconducting-Nanowire Photon-Number-Resolving Detector
3. 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎彬斗, 高瀬寛, 遠藤護, 吉川純一, 古澤明
2. 発表標題 非ガウス型状態の時間モード関数エンジニアリング
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎彬斗, 高瀬寛, 遠藤護, 吉川純一, 古澤明
2. 発表標題 連結共振器型量子メモリの広帯域化・マルチモード化の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mamoru Endo, Jun-ichi Yoshikawa, Akira Furusawa
2. 発表標題 All-optical quantum memories towards photonic quantum information processing
3. 学会等名 Imaging, Sensing, and Optical Memory 2020 (ISOM'20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高瀬 寛, 吉川 純一, アサバナント フリット, 遠藤 護, 古澤 明
2. 発表標題 一般化光子引き去りによるシュレディンガーの猫状態の生成
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園山 樹, 遠藤 護, 松山 幹尚, 岡本 史也, 三木 茂人, 寺井 弘高, 藪野 正裕, 知名 史博, 古澤 明
2. 発表標題 ルビクセル超伝導ナノワイヤ光子検出器の光子数識別性能評価
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 光子数識別装置及び方法	発明者 遠藤 護、古澤 明、高橋 一真、三木 茂人、寺井 弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-016708	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------