

令和 5 年 5 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05207

研究課題名（和文）時間領域多重2次元大規模連続量クラスター状態生成とその応用に関する研究

研究課題名（英文）Study on time-domain-multiplexed 2D continuous-variable cluster states and its application to large-scale quantum information processing

研究代表者

古澤 明 (Furusawa, Akira)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：90332569

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 489,200,000円

研究成果の概要（和文）：開発に成功した導波路型光パラメトリックアンプ（導波路型OPA）を用い、10nsの光パルスを用いて、10万パルスの1次元クラスター状態の生成に成功した。時間の関係で2次元化には至らなかったが、1次元クラスターを2次元に拡張する方法は本プロジェクトで確立しているため、本プロジェクトの目標であった、100x10000パルスの2次元大規模クラスター状態の生成はほぼ達成されたといえる。また、非線形測定として $p+kx$ 測定に成功した(A. Sakaguchi et al., arXiv:2210.17120 [quant-ph])。これにより汎用量子計算が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本プロジェクトでは、大規模汎用量子計算を可能にする2次元クラスター状態の生成法を確立した。さらに、超高速光通信テクノロジーである5G/6Gテクノロジーを用いた超高速量子計算法を確立した。この結果、従来の量子コンピューターでは、因数分解や組み合わせ最適化問題などの特定の問題しか従来のコンピューターより速く解けなかったが、我々の光量子コンピューターではあらゆる問題を速く解けるようになった。

研究成果の概要（英文）：Using the waveguide optical parametric amplifier (waveguide OPA) that we have successfully developed, we succeeded in generating one-dimensional cluster states of 100,000 pulses using 10ns optical pulses. Although we did not achieve two-dimensional due to time constraints, we have established a method for extending one-dimensional clusters to two-dimensional in this project, so we have almost achieved the goal of this project, which was to generate two-dimensional large-scale cluster states of 100x10000 pulses. In addition, $p+kx$ was successfully measured as a nonlinear measurement (A. Sakaguchi et al., arXiv:2210.17120 [quant-ph]). This has enabled general-purpose quantum computations.

研究分野：量子テレポーテーション

キーワード：量子テレポーテーション

1. 研究開始当初の背景

次世代の情報通信・情報処理技術として、量子情報通信・量子情報処理(量子コンピューター)が世界中で精力的に研究されている。これは従来のコンピューターが微細加工、発熱、消費電力の観点から、これまで続けてきた発展を今後も続けるのが非常に困難だからである。そして近年の精力的な研究開発の結果、この分野で大きな進展があったが、未だに小規模な量子情報処理の成功にとどまっている。

大規模量子計算を行う方法として、一方向量子計算モデルが知られている。一方向量子計算モデルではまずクラスター状態を生成する。クラスター状態とは、 $|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ (0と1の重ね合わせ)の状態にある量子ビットの2次元量子もつれ状態のことである(各量子ビットをノードと呼ぶ)。これはあらゆる量子状態の重ね合わせ、あるいはあらゆる量子計算パターンの重ね合わせと考えることができる。そもそも量子計算とは、予め答えとなり得るあらゆる状態の重ね合わせを量子コンピューター内で生成し、量子力学的な干渉や測定による波束の収縮を用いて答えを浮かび上がらせるものなので、クラスター状態とは量子コンピューターそのものと言っても良い。

次に何らかの方法により、クラスター状態の左端にある量子ビット(ノード)のいくつかを量子計算の入力状態にする。そして左から右へ(あるいは上下へ)行いたい量子計算にしたがった経路・測定方法で量子ビット(ノード)を測定していく。隣接量子ビット間にもつれているので、片方の測定の影響が測定されていない隣の量子ビットに及ぶ。それにより隣の量子ビットをコントロールすることになる。ただし、測定結果は0か1かがランダムに出てくるので、0の場合は何もしない、1の場合は隣の量子ビットをビットフリップさせる($|0\rangle$ は $|1\rangle$ にし、 $|1\rangle$ は $|0\rangle$ にする)。測定としては、行いたい量子計算 D ($D = e^{-i\alpha Z/2}$: プロットホ球のz軸回りの α 回転、 Z : 位相フリップ、つまり $|0\rangle$ は $|0\rangle$ のまま、 $|1\rangle$ は $-|1\rangle$ にする)に応じて $D^+|+\rangle$ (0に相当)か $D^+|-\rangle$ (1に相当) ($|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$)かを明らかにする測定を行う。また、元々上下方向にももつれているため、任意の2量子ビット計算も可能である。もちろん、大規模なクラスター状態であれば大規模な量子計算ができる。この様子は簡単に言うと、クラスター状態とはあらゆる量子計算パターンの重ね合わせ状態であり、測定による波束の収縮により行いたい量子計算パターンを選ぶことになる。従って、行いたい計算により測定の仕方(測定基底)を変えることになる。ただし、測定結果にはランダム性があるため、それを補正するために測定結果に応じて操作を施すことになる。

一方向量子計算は連続的に隣の量子ビットに量子テレポーテーションを繰り返すことと等価である。量子テレポーテーションとは、量子もつれ状態にある2つの量子を送信者と受信者でそれぞれ1つずつ持ち、送信者側の測定結果に基づいて受信者側の量子に操作を施すことであるが、一方向量子計算は正にこのかたちになっている。唯一違うのは、量子テレポーテーションが入力と同じ状態を再現するのに対し、一方向量子計算では当然のことながら入力とは異なった状態(量子計算結果)が出力される。これは量子テレポーテーションを恒等操作 $D = I$ と考えれば理解できる。つまり、量子テレポーテーションは一方向量子計算において、 $|+\rangle$ か $|-\rangle$ を明らかにする測定およびその測定結果に基づいたビットフリップと考えることができる。ここで、本研究代表者らは世界で初めて決定論的(連続量)量子テレポーテーションを成功させ(A. Furusawa et al., Science **282**, 706 (1998)、平成29年10月現在の被引用回数1886回)、この分野を世界的にリードしている。

本研究代表者らの連続量量子テレポーテーションを一方向量子計算に応用し大規模量子計算を行うためには、連続量クラスター状態が必要となる。連続量クラスター状態とは、図1の各ノードの状態を $|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ の代わりに $|\tilde{+}\rangle \propto \int_{-\infty}^{+\infty} dx |x\rangle$ (x : 連続量 = 光電場の振幅)としたものである。 $|\tilde{+}\rangle$ は光電場振幅のすべての場合の重ね合わせと考えられるから、連続量クラスター状態もあらゆる量子状態の重ね合わせ、あるいはあらゆる量子計算パターンの重ね合わせ

と考えることができる。本研究提案者らは 2013 年に光波束の時間領域多重の手法（図 1）を用いて、10000 を越える量子波束による 1 次元連続量クラスター状態生成に世界で初めて成功している(S. Yokoyama et al., Nature Photonics 7, 982 (2013))。さらに 2016 年に、100 万を越えるものの生成も確認しており、この手法を用いればポンプレーザーのコヒーレンス時間を越え

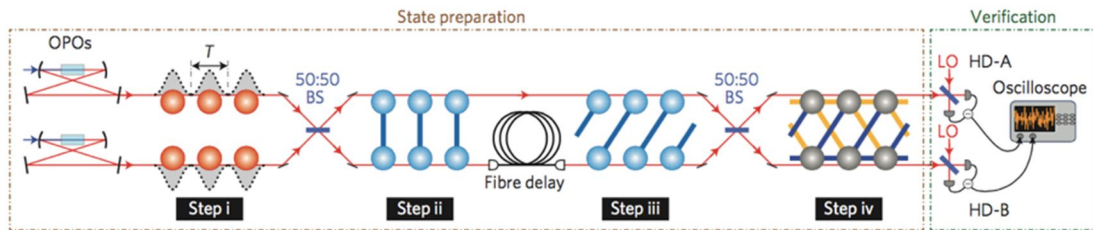


図 1 2 本の連続波スクイーズド光（パルス幅 T のスクイーズド光パルス列に相当）を用いて時間無制限大規模 1 次元連続量クラスター状態を生成。

て時間無制限に 1 次元連続量クラスター状態を生成し続けられることを確認している(J. Yoshikawa et al., APL Photonics 1, 060801 (2016))。尚、ここでは $|\varphi\rangle$ の近似状態として光のスクイーズド状態を用いている。この連続量クラスター状態を用いれば、図 2 で示したセットアップを用いて時間無制限で 1 量子ビット量子計算を続けることができる。これは、検出器の直前にある光パルス（量子波束）から 2 つ目のビームスプリッターの直前にある隣の光パルスまで、量子テレポーテーションを繰り返していると考えられる。その解釈を図 3 に示す。もちろん、測定の測定の仕方を行いたい量子計算に応じて適宜変えているので、量子テレポーテーションの出力は適宜変化することになる。ここで、この方法では連続的に変化する光の振幅と位相を用いて離散的な量子ビットをコードすることから、ハイブリッド量子情報処理と呼ばれている(A. Furusawa and P. van Loock, “Quantum Teleportation and Entanglement: A Hybrid Approach to Optical Quantum Information Processing,” Wiley-VCH (2011))

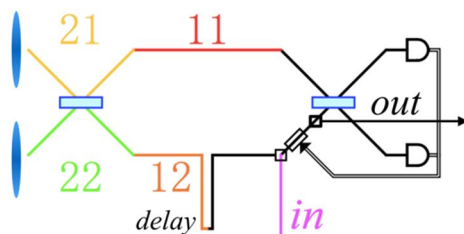


図 2 時間無制限大規模 1 次元クラスター状態を用いた量子計算。は光スイッチであり、入出力のときだけオンになる。左端の 2 つの楕円で 2 つのスクイーズド光を表している。

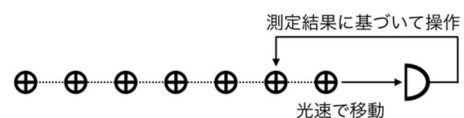


図 3 時間無制限大規模 1 次元クラスター状態とそれを用いた量子計算の解釈。右端の光パルスからその左隣の光パルスに量子テレポーテーションをしているのと等価。

2. 研究の目的

本研究では、大規模量子計算実現を目指す研究の一環として、時間領域多重の方法を 2 次元に拡張し、2 次元大規模連続量クラスター状態を生成する。具体的には縦 5 ノード、横ノード無制限の大規模連続量クラスター状態を生成する。そして、これを用いてユニバーサル量子計算を行うために必要な、線形測定および非線形測定を実現する。これらは量子計算における線形操作および非線形操作に対応している。具体的には、線形測定として高速にローカルオシレーターの位相を変化できる広帯域ホモダイン測定の実現、および非線形測定として $p + kx^2$ ($x + ip$: 複素振幅、 k は適当な実数) の広帯域測定を実現する。ここで本研究代表者らは、補助状態として光子数状態の重ね合わせのような非ガウス型状態(複素振幅の統計がガウス型にならないもの)を

補助状態として用いて非線形測定を実現する、アダプティブヘテロダイン測定の手法を發明している(K. Miyata et al., Phys. Rev. A **93**, 022301 (2016))。この手法では、補助状態に施した量子操作が量子もつれを通じて測定基底の変化を誘起する。したがって、非線形測定のための補助状態を生成する必要があるが、そのために超伝導光子数識別器および共振器 QED 系に関する研究も行う。これらが実現すれば、大規模量子コンピューター実現に向けた大きな一歩となる。

3. 研究の方法

原理的には、どんなに大規模な 2 次元連続量クラスター状態でも、4 つのスクイズド光と 5 つのビームスプリッターおよび 2 つの光学遅延により生成できる(R. Ukai, Springer Theses (2014))。このように時間領域多重には驚異的な拡張性がある。これを検証するのが本研究の最も大きな目的の 1 つである。たとえば、光学遅延(delay)を光パルスの時間幅の 5 倍とすると、5 ノードのスパイラル状の連続量クラスター状態となる。これは、縦 5 ノード、横ノード無制限の 2 次元大規模連続量クラスター状態に相当する。一般に、縦 N ノード、横ノード無制限の 2 次元大規模連続量クラスター状態を生成するためには時間遅延を光パルスの時間幅の N 倍にする必要がある。光パルスの時間幅はスクイズド光の帯域幅の逆数程度であり、レーザーの線幅の逆数程度がコヒーレンス時間となるので、たとえばスクイズド光の帯域を 100MHz、つまり光パルスの時間幅 10ns、レーザーの線幅を 1KHz、つまりコヒーレンス時間 1ms とすると、 $1\text{ms}/10\text{ns} = 10^5$ 程度まで縦ノード数を増やすことができる。つまり、スクイズド光の帯域が 100MHz でレーザーの線幅が 1KHz であれば、原理的には縦 10^5 ノード × 横ノード無制限の 2 次元大規模連続量クラスター状態を生成することができる。これを用いれば、 10^5 量子ビット並列、時間無制限で量子計算をし続けられることになる。本研究では、線幅 1KHz のレーザーおよび 100MHz 帯域のスクイズド光を用い、 $N=5$ の場合に相当する時間無制限大規模連続量クラスター状態を生成しその検証を行う。このためには 100MHz 帯域のスクイズド光を生成・検出する必要があるが、それを本研究にて行う。本研究代表者らは既に 65MHz までのスクイズド光の発生・検出に成功している(T. Serikawa et al., Opt. Exp. **24**, 28383 (2016))。本研究ではそれをさらに発展させ 100MHz 帯域を達成する。

2 次元大規模連続量クラスター状態を用いてユニバーサルな量子計算を行うためには、線形測定と非線形測定が必要になるが、本研究では線形測定として高速にローカルオシレーターの位相を変化できる広帯域ホモダイン測定を実現し、非線形測定として $p + kx^2$ ($x + ip$: 複素振幅、 k は適当な実数) の広帯域測定を実現する。線形測定における新規開発要素は 100MHz 以上の帯域を有し、検出量子効率が 100% に近い超高感度ホモダイン検出器と 100MHz の帯域でローカルオシレーターの位相を変化できる装置系の実現となる。これには本研究代表者らが世界で初めて成功したアダプティブホモダイン測定の手法(H. Yonezawa et al., Science **337**, 1514 (2012))を用いる。また、非線形測定に関しては、本研究代表者らが發明したアダプティブヘテロダイン測定(K. Miyata et al., Phys. Rev. A **93**, 022301 (2016))の手法を用いる。この手法では、補助状態に施した量子操作が量子もつれを通じて測定基底の変化を誘起する。したがって、この非線形測定のためには補助状態が必要になるが、本研究ではその生成に超伝導光子数識別器および共振器 QED 系を用いる。以下ではそれらについて述べる。

たとえば、 $p + kx^2$ を測定するためには、補助状態として 6 光子までの重ね合わせ $c_0|0\rangle + c_1|1\rangle + c_2|2\rangle + c_3|3\rangle + c_4|4\rangle + c_5|5\rangle + c_6|6\rangle$ を生成する必要がある。このような状態を生成し任意の

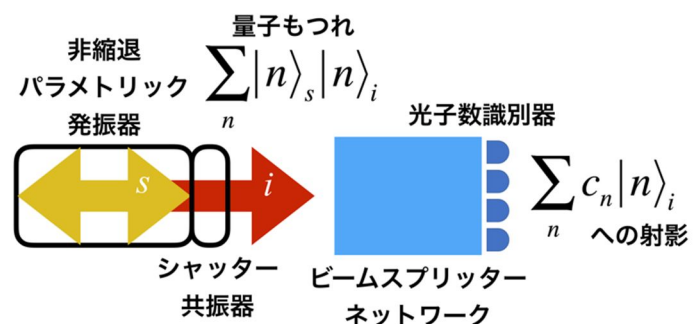


図 4 光子数識別器および量子メモリーを用いた補助状態生成。

タイミングで利用するためには、光子数識別器および量子メモリーが必要になる。本研究代表者らはこれらを行う方法を開発しつつある(J. Yoshikawa et al., Phys. Rev. X 3, 041028 (2013))。図 4 にその具体例を示した。ここでは非縮退パラメトリック発振器によって生成されるシグナル光(s)とアイドラー光(i)において、シグナル光をシャッター共振器に非共振、アイドラー光を共振とすることにより、シグナル光の量子メモリーを構成する。ここで、シグナル光とアイドラー光は $\sum_n |n\rangle_s |n\rangle_i$ のかたちの量子もつれ状態となっている。アイドラー光は、ビームスプリッターネットワークと光子数識別器により構成される任意状態射影器により所望の状態 $\sum_n c_n |n\rangle_i$ に射影される。量子もつれの効果により、シグナル光は $\sum_n c_n |n\rangle_s$ のように変換され、光パラメトリック発振器の共振器中に保存される。そして、これを補助状態として必要になったとき、シャッター共振器をシグナル光に共振するようにすれば、これを取り出し使うことができる。本研究では特に、本研究で必要とされる性能(少なくとも 6 光子までの識別と 1GHz の帯域)を持つ光子数識別器の開発を目指す。この開発は共同研究者の東京大学高橋浩之教授が担当する。高橋教授はこの分野の世界的権威である。

4 . 研究成果

開発に成功した OPA を用い、10ns の波束 (パルス) を用いて、10 万パルスの 1 次元クラスター状態の生成に成功した。また、OPA は通信波長帯でのみ動作するので、実験系をチタンサファイアレーザーの波長帯から通信波長帯に切り替えた。これにより、光ファイバーを用いた実験が容易になり、1km 程度まで光学遅延系を拡張できる目処がたった。10ns のパルスであれば、100 パルスを時間的に並べるなら光ファイバーで 200m の遅延が必要ということになるが、通信波長帯ではほぼロスが無視できるので、何の問題もない。時間の関係で 2 次元化には至らなかったが、1 次元クラスターを 2 次元に拡張する方法は本プロジェクトで確立しているので、本プロジェクトの目標であった、100x10000 パルスの 2 次元大規模クラスター状態の生成はほぼ達成されたといえる。また、非線形測定として $p + kx^2$ の測定に成功した(A. Sakaguchi et al., arXiv:2210.17120 [quant-ph])。これによりユニバーサル方向量子計算が可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計50件（うち査読付論文 50件 / うち国際共著 19件 / うちオープンアクセス 22件）

1. 著者名 Ishikawa Tomohiro, Kawasaki Yuki, Tsuji Kenji, Yamada Rika, Watanabe Izumi, Wu Bin, Iwaguchi Shoki, Shimizu Ryuma, Umemura Kurumi, Nagano Koji, Enomoto Yutarō, Komori Kentarō, Michimura Yuta, Furusawa Akira, Kawamura Seiji	4. 巻 107
2. 論文標題 First-step experiment for sensitivity improvement of DECIGO: Sensitivity optimization for simulated quantum noise by completing the square	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 022007-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.022007	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 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 1-9
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 Kawasaki Akito, Takase Kan, Nomura Takefumi, Miki Shigehito, Terai Hirotaka, 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 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 043714-1-8
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 Hiroataka, 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, 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 022436-1-9
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 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 240503-1-8
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 該当する

1. 著者名 Mitsuya Yuki, Konno Toshio, Takasu Sachiko, Hattori Kaori, Ohno Masashi, Fukuda Daiji, Takahashi Hiroyuki	4. 巻 210
2. 論文標題 Photon Number Resolution with an Iridium Optical Transition Edge Sensor at a Telecommunication Wavelength	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 498 ~ 505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02928-0	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 -

1. 著者名 Jodoi Takeshi, Mitsuya Yuki, Smith Ryan, Sakura Tsuyoshi, Ohno Masashi, Takahashi Hiroyuki	4. 巻 209
2. 論文標題 Iridium?Gold Bilayer Optical Transition Edge Sensor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 556 ~ 561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02757-1	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 -

1. 著者名 Smith Ryan, Ohno Masashi, Mitsuya Yuki, Takahashi Hiroyuki	4. 巻 209
2. 論文標題 Optimized Detector Design of Transition-Edge Sensors for the Calorimetry of Carbon Ion Beams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 427 ~ 432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02900-y	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 -

1. 著者名 Shinya Kato and Takao Aoki	4. 巻 47
2. 論文標題 Single-frequency fiber Fabry-Perot Brillouin laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 5000-5003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.472199	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 -

1. 著者名 Asavanant Warit, Charoensombutamon Baramee, Yokoyama Shota, Ebihara Takeru, Nakamura Tomohiro, Alexander Rafael N., Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, Menicucci Nicolas C., Yonezawa Hidehiro, Furusawa Akira	4. 巻 16
2. 論文標題 Time-Domain-Multiplexed Measurement-Based Quantum Operations with 25-MHz Clock Frequency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 034005 ~ 034005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.16.034005	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 Konno Shunya, Sakaguchi Atsushi, Asavanant Warit, Ogawa Hisashi, Kobayashi Masaya, Marek Petr, Filip Radim, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 15
2. 論文標題 Nonlinear Squeezing for Measurement-Based Non-Gaussian Operations in Time Domain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 024024 ~ 024024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.15.024024	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 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 043701 ~ 043701
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanamura Fumiya, Asavanant Warit, Fukui Kosuke, Konno Shunya, Furusawa Akira	4. 巻 104
2. 論文標題 Estimation of Gaussian random displacement using non-Gaussian states	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 0062601 ~ 062601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.104.062601	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 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 該当する

1. 著者名 Konno Shunya, Asavanant Warit, Fukui Kosuke, Sakaguchi Atsushi, Hanamura Fumiya, Marek Petr, Filip Radim, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 3
2. 論文標題 Non-Clifford gate on optical qubits by nonlinear feedforward	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043026 ~ 043026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043026	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 Yamada Rika, Enomoto Yutaro, Watanabe Izumi, Nagano Koji, Michimura Yuta, Nishizawa Atsushi, Komori Kentaro, Naito Takeo, Morimoto Taigen, Iwaguchi Shoki, Ishikawa Tomohiro, Ando Masaki, Furusawa Akira, Kawamura Seiji	4. 巻 402
2. 論文標題 Reduction of quantum noise using the quantum locking with an optical spring for gravitational wave detectors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 127365 ~ 127365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2021.127365	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 該当する

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 022436 ~ 022436
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 該当する

1. 著者名 Kashiwazaki Takahiro, Yamashita Taichi, Takanashi Naoto, Inoue Asuka, Umeki Takeshi, Furusawa Akira	4. 巻 119
2. 論文標題 Fabrication of low-loss quasi-single-mode PPLN waveguide and its application to a modularized broadband high-level squeezer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 251104 ~ 251104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0063118	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, Endo Mamoru, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Watanabe Kei, Umeki Takeshi, Miki Shigehito, Terai Hiroataka, Yabuno Masahiro, China Fumihiro, Asavanant Warit, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Generation of Schrodinger 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 ~ 14171
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 該当する

1. 著者名 Asaoka Rui, Tokunaga Yuuki, Kanamoto Rina, Goto Hayato, Aoki Takao	4. 巻 104
2. 論文標題 Requirements for fault-tolerant quantum computation with cavity-QED-based atom-atom gates mediated by a photon with a finite pulse length	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 43702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.104.043702	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 -

1. 著者名 Kato Shinya, Aoki Takao	4. 巻 30
2. 論文標題 Photon transport enhancement through a coupled-cavity QED system with dynamic modulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 6798 ~ 6807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.452080	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 Kashiwazaki Takahiro, Takanashi Naoto, Yamashita Taichi, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Kasahara Ryoichi, Umeki Takeshi, Furusawa Akira	4. 巻 5
2. 論文標題 Continuous-wave 6-dB-squeezed light with 2.5-THz-bandwidth from single-mode PPLN waveguide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 036104 ~ 036104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5142437	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 Okada Masanori, Serikawa Takahiro, Dannatt James, Kobayashi Masaya, Sakaguchi Atsushi, Petersen Ian, Furusawa Akira	4. 巻 91
2. 論文標題 Extending the piezoelectric transducer bandwidth of an optical interferometer by suppressing resonance using a high dimensional IIR filter implemented on an FPGA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 055102 ~ 055102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5143477	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 該当する

1. 著者名 Takanashi Naoto, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Kasahara Ryoichi, Umeki Takeshi, Furusawa Akira	4. 巻 56
2. 論文標題 4-dB Quadrature Squeezing With Fiber-Coupled PPLN Ridge Waveguide Module	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 600100 ~ 600100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JQE.2020.2982698	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, Asavanant Warit, Furusawa Akira	4. 巻 102
2. 論文標題 Temporal-mode continuous-variable three-dimensional cluster state for topologically protected measurement-based quantum computation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 032614 ~ 032614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.102.032614	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 -

1. 著者名 Yamada Rika, Enomoto Yutaro, Nishizawa Atsushi, Nagano Koji, Kuroyanagi Sachiko, Kokeyama Keiko, Komori Kentaro, Michimura Yuta, Naito Takeo, Watanabe Izumi, Morimoto Taigen, Ando Masaki, Furusawa Akira, Kawamura Seiji	4. 巻 384
2. 論文標題 Optimization of quantum noise by completing the square of multiple interferometer outputs in quantum locking for gravitational wave detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 126626 ~ 126626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2020.126626	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 -

1. 著者名 Takanashi Naoto, Inoue Asuka, Kashiwazaki Takahiro, Kazama Takushi, Enbutsu Koji, Kasahara Ryoichi, Umeki Takeshi, Furusawa Akira	4. 巻 28
2. 論文標題 All-optical phase-sensitive detection for ultra-fast quantum computation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 34916 ~ 34916
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.405832	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 Okamoto Fumiya, Endo Mamoru, Matsuyama Mikiyoshi, Ishizuka Yuya, Liu Yang, Sakakibara Rei, Hashimoto Yosuke, Yoshikawa Jun-ichi, van Loock Peter, Furusawa Akira	4. 巻 125
2. 論文標題 Phase Locking between Two All-Optical Quantum Memories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 260508 ~ 260508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.260508	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 該当する

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 Schroedinger 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 ~ 013710
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 -

1. 著者名 S. K. Ruddell, K. E. Webb, M. Takahata, S. Kato, and T. Aoki	4. 巻 45
2. 論文標題 Ultra-low-loss nanofiber Fabry-Perot cavities optimized for cavity quantum electrodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 4875 ~ 4878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.396725	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 N. Nakada, K. Hattori, Y. Nakashima, F. Hirayama, R. Yamamoto, H. Yamamori, S. Kohjiro, A. Sato, H. Takahashi, D. Fukuda	4. 巻 199
2. 論文標題 Microwave SQUID Multiplexer for Readout of Optical Transition Edge Sensor Array	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 206 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02298-0	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 -

1. 著者名 Miura Y., Irimatsugawa T., Ohno M., Takahashi H.	4. 巻 954
2. 論文標題 Development of an Ir-TES for near infrared single photon counting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 162120 ~ 162120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.04.074	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 -

1. 著者名 Y. Hashimoto, A. Goban, Y. Hirabayashi, Y. Kobayashi, T. Araki, and T. Aoki	4. 巻 29
2. 論文標題 On-chip photon-pair generation in a silica microtoroidal cavity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 3533 ~ 3542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.414037	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 Miura Y., Irimatsugawa T., Ohno M., Takahashi H.	4. 巻 954
2. 論文標題 Development of an Ir-TES for near infrared single photon counting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 162120 ~ 162120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.04.074	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 -

1. 著者名 Takanashi Naoto, Inokuchi Wataru, Serikawa Takahiro, Furusawa Akira	4. 巻 27
2. 論文標題 Generation and measurement of a squeezed vacuum up to 100 MHz at 1550 nm with a semi-monolithic optical parametric oscillator designed towards direct coupling with waveguide modules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 18900 ~ 18909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.018900	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 -

1. 著者名 Takeda S., Furusawa A.	4. 巻 4
2. 論文標題 Toward large-scale fault-tolerant universal photonic quantum computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 060902 ~ 060902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5100160	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 -

1. 著者名 Asavanant Warit, Shiozawa Yu, Yokoyama Shota, Charoensombutamon Baramee, Emura Hiroki, Alexander Rafael N., Takeda Shuntaro, Yoshikawa Jun-ichi, Menicucci Nicolas C., Yonezawa Hidehiro, Furusawa Akira	4. 巻 366
2. 論文標題 Generation of time-domain-multiplexed two-dimensional cluster state	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 373 ~ 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aay2645	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 該当する

1. 著者名 Takase Kan, Okada Masanori, Serikawa Takahiro, Takeda Shuntaro, Yoshikawa Jun-ichi, Furusawa Akira	4. 巻 99
2. 論文標題 Complete temporal mode characterization of non-Gaussian states by a dual homodyne measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 33832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.033832	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 -

1. 著者名 Takeda Shuntaro, Takase Kan, Furusawa Akira	4. 巻 5
2. 論文標題 On-demand photonic entanglement synthesizer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaaw4530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aaw4530	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 -

1. 著者名 Hashimoto Yosuke, Toyama Takeshi, Yoshikawa Jun-ichi, Makino Kenzo, Okamoto Fumiya, Sakakibara Rei, Takeda Shuntaro, Peter van Loock, Furusawa Akira	4. 巻 123
2. 論文標題 All-Optical Storage of Phase-Sensitive Quantum States of Light	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 113603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.113603	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 該当する

1. 著者名 Donald H. White, Kato Shinya, Nikolett Nemet, Scott Parkins, Aoki Takao	4. 巻 122
2. 論文標題 Cavity Dark Mode of Distant Coupled Atom-Cavity Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 253603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.253603	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 該当する

1. 著者名 Shinya Kato, Nikolett Nemet, Kohei Senga, Shota Mizukami, Xinhe Huang, Scott Parkins, Takao Aoki	4. 巻 10
2. 論文標題 Observation of dressed states of distant atoms with delocalized photons in coupled-cavities quantum electrodynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-08975-8	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 該当する

1. 著者名 Goto Hayato, Mizukami Shota, Tokunaga Yuuki, Aoki Takao	4. 巻 99
2. 論文標題 Figure of merit for single-photon generation based on cavity quantum electrodynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 53843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.053843	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 -

1. 著者名 Shiozawa Yu, Yoshikawa Jun-ichi, Yokoyama Shota, Kaji Toshiyuki, Makino Kenzo, Serikawa Takahiro, Nakamura Ryosuke, Suzuki Shigenari, Yamazaki Shota, Asavanant Warit, Takeda Shuntaro, van Loock Peter, Furusawa Akira	4. 巻 98
2. 論文標題 Quantum nondemolition gate operations and measurements in real time on fluctuating signals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052311-1 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.98.052311	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 該当する

1. 著者名 T. Serikawa and A. Furusawa	4. 巻 89
2. 論文標題 500 MHz resonant photodetector for high-quantum-efficiency, low-noise homodyne measurement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 063120 ~ 063120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029859	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 -

1. 著者名 Serikawa Takahiro, Yoshikawa Jun-ichi, Takeda Shuntaro, Yonezawa Hidehiro, Ralph Timothy C., Huntington Elanor H., Furusawa Akira	4. 巻 121
2. 論文標題 Generation of a Cat State in an Optical Sideband	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 143602-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.143602	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 該当する

1. 著者名 Serikawa Takahiro, Furusawa Akira	4. 巻 10
2. 論文標題 Excess Loss in Homodyne Detection Originating from Distributed Photocarrier Generation in Photodiodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064016-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.10.064016	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79件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 63件)

1. 発表者名 T. Sonoyama, M. Endo, M. Matsuyama, F. Okamoto, S. Miki, H. Terai, M. Yabuno, F. China, A. Furusawa
2. 発表標題 "Photon-number-resolving detection for non-Gaussian quantum technology" (Poster)
3. 学会等名 Twinning in non-Gaussian Physics for Quantum Technology, NONGAUSS (Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Konno, W. Asavanant, K. Fukui, A. Sakaguchi, F. Hanamura, P. Marek, R. Filip, J. Yoshikawa, A. Furusawa
2. 発表標題 "Non-Clifford gate on optical qubits by nonlinear feedforward" (Poster)
3. 学会等名 Twinning in non-Gaussian Physics for Quantum Technology, NONGAUSS (Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Sakaguchi, S. Konno, F. Hanamura, K. Takase, W. Asavanant, J. Yoshikawa, P. Marek, R. Filip, H. Yonezawa, A. Furusawa
2 . 発表標題 “ Demonstration of non-Gaussian measurement with nonlinear feed-forward and non-Gaussian ancilla ” (Poster)
3 . 学会等名 Twinning in non-Gaussian Physics for Quantum Technology, NONGAUSS (Online) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 "Non-Gaussian operations with nonlinear feedforward for fault-tolerant universal quantum computers"
3 . 学会等名 Twinning in non-Gaussian Physics for Quantum Technology, NONGAUSS (Online) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 “ Toward fault-tolerant large-scale universal optical quantum computing with continuous-variable quantum teleportation ”
3 . 学会等名 52nd Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Konno, W. Asavanant, K. Fukui, A. Sakaguchi, F. Hanamura, P. Marek, R. Filip, J. Yoshikawa, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Non-Cliffordgate on Gottesman-Kitaev-Preskill encoded optical qubits with nonlinear feedforward
3 . 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Sonoyama, M. Endo, M. Matsuyama, F. Okamoto, S. Miki, H. Terai, M. Yabuno, F. China, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Detector Tomography of Superconducting-Nanowire Photon-Number-Resolving Detector
3 . 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Takase, J. Yoshikawa, W. Asavanant, M. Endo, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Generation of Schroedinger cat states by generalized photon subtraction
3 . 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3 . 学会等名 IEEE Nuclear Science Symposium(Virtual) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 F. Hanamura, W. Asavanant, K. Fukui, S. Konno, A. Furusawa
2 . 発表標題 Estimation and Correction of Gaussian Random Displacement Error Using Simple Non-Gaussian States (Poster)
3 . 学会等名 2021 OSA Frontiers in Optics + Laser Science Conference (Virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 W. Asavanan, K. Takase, K. Fukui, M. Endo, J. Yoshikawa, A. Furusawa
2 . 発表標題 Wave-function-based State Generator Using Quantum Teleportation with Non-Gaussian Entangled State
3 . 学会等名 2021 OSA Frontiers in Optics + Laser Science Conference (Virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Sakaguchi, S. Konno, F. Hanamura, H. Ogawa, K. Takase, W. Asavanant, P. Marek, R. Filip, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, E. Huntington, A. Furusawa
2 . 発表標題 Nonlinear Feedforward enabling Nonlinear Quadrature Measurement toward Fault-tolerant Universal Quantum Computation
3 . 学会等名 2021 OSA Frontiers in Optics + Laser Science Conference (Virtual) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3 . 学会等名 Quantum Information & Measurement VI Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Optical Quantum Computers
3 . 学会等名 American Physical Society March Meeting 2022 (Chicago, virtual) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Mitsuya, Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Dynamic Electro-Thermal Feedback for Superconducting Transition Edge Sensor
3. 学会等名 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Mitsuya, Takeshi Jodoi, Ryan Smith, Masashi Ohno, Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Iridium/gold bilayer optical transition edge sensor and optical cavity structure for single-photon detection at telecommunication wavelengths
3. 学会等名 19th International Workshop on Low Temperature Detector (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeshi Jodoi, Tsuyoshi Sakura, Ryan Smith, Yuki Mitsuya, Masashi Ohno, Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Improvement of the photon number resolving detector with superconducting transition edge sensor
3. 学会等名 19th International Workshop on Low Temperature Detector (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上土井 猛、桜 剛、Ryan Smith、三津谷 有貴、大野 雅史、高橋 浩之
2. 発表標題 イリジウム/金近接二重層薄膜を用いた超伝導転移端センサの開発
3. 学会等名 日本原子力学会 2021年秋の大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Rui Asaoka, Takeru Utsugi, Yuuki Tokunaga, Rina Kanamoto, Takao Aoki
2. 発表標題 Optimization of a cavity QED system for fast two qubit gates
3. 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sachi Tamechika, Yasunari Suzuki, Yuuki Tokunaga, and Takao Aoki
2. 発表標題 A framework for efficient entanglement distribution with cavity QED systems
3. 学会等名 Qcrypt 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sachi Tamechika, Yasunari Suzuki, Yuuki Tokunaga, and Takao Aoki
2. 発表標題 Memory-assisted Bell measurement for high-performance entanglement distribution based on multiplexed cavity QED systems
3. 学会等名 AQIS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇津木健、碁盤晃久、徳永裕、後藤隼、青木隆朗
2. 発表標題 任意の結合条件・パルスに適用可能な共振器QEDに基づく光子成効率の定式化
3. 学会等名 日本物理学会2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末永晃理、宇津木健、浅岡類、徳永裕己、金本理奈、青木隆朗
2. 発表標題 散逸条件下における共振器光子を介した断熱転写の時間的制約
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末永晃理、宇津木健、浅岡類、徳永裕己、金本理奈、青木隆朗
2. 発表標題 散逸下の共振器光子を介した断熱転写の時間的制約
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Furusawa
2. 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Furusawa
2. 発表標題 Universal quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 Symposium on Photonic NISQ Technologies at CLEO (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Endo, F. Okamoto, M. Matsuyama, Y. Ishizuka, Y. Hashimoto, R. Sakakibara, J. Yoshikawa, P. van Loock, A. Furusawa
2 . 発表標題 Generation of two-mode quantum states of light with timing controllable memories
3 . 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 B. Charoensombutamon, W. Asavanant, T. Nakamura, T. Ebihara, S. Yokoyama, R. Alexander, N. Menicucci, M. Endo, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, A. Furusawa
2 . 発表標題 Continuous-variable Quantum Teleportation of States Multiplexed in Time Domain
3 . 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3 . 学会等名 Quantum 2020, A virtual conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Caltech, quantum teleportation, and GKP qubits
3 . 学会等名 Caltech Physics Colloquium, Online Event (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Furusawa
2. 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 Byron Bay Quantum Workshop, Online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Endo, J. Yoshikawa, A. Furusawa
2. 発表標題 All-optical quantum memories towards photonic quantum information processing
3. 学会等名 International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory, Online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeru Utsugi, Rui Asaoka, Yuuki Tokunaga and Takao Aoki
2. 発表標題 Optimization of cavity parameters for high-speed quantum computation based on cavity QED
3. 学会等名 CLEO Pacific Rim 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇津木健、浅岡類、徳永裕己、青木隆朗
2. 発表標題 共振器QED系による SWAPゲートの高速化に向けた共振器パラメータ最適化
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 末永晃理、宇津木健、浅岡類、徳永裕己、金本理奈、青木隆朗
2. 発表標題 共振器を介した断熱転写の共振器長依存性
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 為近彩智、鈴木泰成、徳永裕己、青木隆朗
2. 発表標題 ナノファイバー共振器QED系を用いた量子中継の検討
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 宇津木健、浅岡類、徳永裕己、青木隆朗
2. 発表標題 損失のある共振器QED系による(SWAP) ^Λ ゲート成立条件の解析
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 青木隆朗
2. 発表標題 分散型量子計算に向けたナノ光ファイバー共振器量子電気力学系
3. 学会等名 第 158 回微小光学研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三津谷 有貴
2. 発表標題 イリジウム超伝導転移端センサによる通信波長帯光子計測
3. 学会等名 第81回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Mitsuya
2. 発表標題 Demonstration of photon number resolution with the iridium optical transition edge sensor
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Mitsuya, Yoshitaka Miura, Masashi Ohno, Daiji Fukuda, Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Iridium-based superconducting optical transition edge sensor for single-photon detection
3. 学会等名 32nd International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 Denmark and Japan STI Seminar Quantum Technology Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 Plenary lecture
3. 学会等名 2019 workshop of Taiwan quantum technology consortium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Study on combined operation of superconducting transition edge sensors
3. 学会等名 IEEE Nuclear Science Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 New Trends in Quantum Information Science: Summer School, Uzbekistan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 Large-scale quantum computing with quantum teleportation
3. 学会等名 ICQT 2019 (V International Conference on Quantum Technologies), Moscow (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Miura, T. Irimatsugawa, Y. Mitsuya, M. Ohno, Hiroyuki Takahashi
2. 発表標題 Combined operation of two small pixel Ir TESs for optical application
3. 学会等名 18th International Workshop on Low Temperature Detectors, Milano (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Aoki
2. 発表標題 Coupled-Cavities Quantum Electrodynamics
3. 学会等名 Canada-Japan Workshop on Hybrid Quantum Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Aoki
2. 発表標題 Coupled-cavities quantum electrodynamics with optical nanofibers and trapped atoms
3. 学会等名 Optical Nanofibre Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 A time-domain multiplexed measurement-based large-scale optical quantum computer
3. 学会等名 University of Toronto Photonics Seminar Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Aoki
2. 発表標題 Cavity Quantum Electrodynamics with Optical Nanofibers and Trapped Atoms
3. 学会等名 Frontiers in Quantum Materials and Devices Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Furusawa
2. 発表標題 A time-domain multiplexed measurement-based large-scale optical quantum computer
3. 学会等名 QIM V (Quantum Information and Measurement: Quantum Technologies), Rome (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Takeda
2. 発表標題 A programmable loop-based photonic quantum processor
3. 学会等名 Coherent Network Computing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Okada, K. Takase, T. Tsukada, S. Takeda, J. Yoshikawa, and A. Furusawa
2. 発表標題 Broadband Squeezed state generation with a ring parametric oscillator
3. 学会等名 Photons beyond qubits 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Takeda and A. Furusawa
2 . 発表標題 Scalable and Universal Quantum Computing with Continuous-Variable Gate Sequence in a Loop-Based Architecture
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. D. A. Meinecke, G. Masada, T. Serikawa, and J. L. O'Brien
2 . 発表標題 On-chip continuous variables squeezing
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Sakaguchi, H. Ogawa, M. Kobayashi, S. Suzuki, H. Yonezawa, E. Huntington, S. Takeda, J. Yoshikawa, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Low-Latency Digital Feedforward for Universal Continuous-Variable Quantum Computation in Time Domain
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Yoshikawa, W. Asavanant, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Purification of Photon Subtraction from Continuous Squeezed Light by Filtering
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Serikawa, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, T. C. Ralph, E. H. Huntington, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Generation of Schrödinger's cat state in an optical double sideband mode
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Time-domain multiplexed measurement-based quantum computing for large-scale optical quantum computing
3 . 学会等名 Principles and Applications of Control in Quantum Systems (PRACQSYS 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 Hybrid quantum information processing: A way for large-scale optical quantum information processing "
3 . 学会等名 CLEO-PR 2018, (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Yoshikawa, Y. Hashimoto, H. Ogawa, T. Serikawa, Y. Shiozawa, M. Okada, W. Asavanant, A. Sakaguchi, N. Takanashi, F. Okamoto, K. Takase, M. Kobayashi, S. Yokoyama, S. Takeda, P. van Loock, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Optical quantum information processing and storage
3 . 学会等名 SPIE Quantum Communications and Quantum Imaging XVI (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Furusawa
2 . 発表標題 A time-domain multiplexed measurement-based large-scale optical quantum computer
3 . 学会等名 The Quantum Technology International Conference (QTech 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 F. Okamoto, Y. Hashimoto, J. Yoshikawa, R. Sakakibara, P. van Loock, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Generation and Storage of Entanglement between Two All-Optical Quantum Memories
3 . 学会等名 OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS (F10/LS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Takase, M. Okada, T. Serikawa, S. Takeda, J. Yoshikawa, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Complete characterization of optical multi-temporal-mode quantum states
3 . 学会等名 OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS (F10/LS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Takanashi, T. Serikawa, W. Inokuchi, J. Sakamoto, Y. Sakamaki, T. Hashimoto and A. Furusawa
2 . 発表標題 Heading toward combination of quantum optics and optical communication technology (Poster)
3 . 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Takase, M. Okada, T. Serikawa, S. Takeda, J. Yoshikawa, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Analysis of optical multi-temporal-mode states (Poster)
3 . 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Serikawa, J. Yoshikawa, S. Takeda, H. Yonezawa, T. C. Ralph, E. H. Huntington, and Akira Furusawa
2 . 発表標題 Generating cat state on optical sideband (Poster)
3 . 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 F. Okamoto, Y. Hashimoto, J. Yoshikawa, R. Sakakibara, P. van Loock, A. Furusawa
2 . 発表標題 " Generation and storage of entanglement between two all-optical quantum memories (Poster)
3 . 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 W. Asavanant ¹ , Y. Shiozawa, H. Emura, B. Chareonsombutamon, S. Yokoyama, R. N. Alexander, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, N. C. Menicucci, and A. Furusawa
2 . 発表標題 Generation of time-domain two-dimensional-graph cluster state (Poster)
3 . 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kobayashi, A. Sakaguchi, H. Ogawa, S. Takeda, J. Yoshikawa, A. Furusawa
2. 発表標題 A broadband dynamic squeezing gate by use of an FPGA (Poster)
3. 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takeda
2. 発表標題 A programmable loop-based photonic quantum processor
3. 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Furusawa
2. 発表標題 A time-domain multiplexed measurement-based large-scale optical quantum
3. 学会等名 The 13th US-Japan Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 シャロンソバトアモン パラミー、塩沢優、アサバナント ワリット、横山翔竜、Rafael N. Alexander、Nicolas C. Menicucci、吉川純一、米澤英宏、古澤明
2. 発表標題 多入出力量子計算のための時間領域2次元拡張EPR状態の生成
3. 学会等名 日本物理学会 第73回2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古澤明
2. 発表標題 時間領域多重大規模光量子コンピューター
3. 学会等名 日本物理学会 第73回2018年秋季大会（一般シンポジウム講演）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高瀬寛、武田俊太郎、古澤明
2. 発表標題 プログラマブルなループ型光回路による量子もつれ状態の生成
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田将典、小林将也、阪口淳”史、芹川昂寛、古澤明
2. 発表標題 FPGAで実装された高次元フィルターによる光路長の広帯域フィードバック制御
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芹川昂寛、古澤明
2. 発表標題 フォトダイオードにおける分布光吸収に起因するホモダイン測定の高周波余剰雑音
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高梨直人、猪ノ口涉、芹川昂寛、古澤明
2. 発表標題 セミノリシク型光パラメトリック発振器を用いた1550nm帯での広帯域スクイズド状態の生成
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 量子計算ユニット、単一光子源、量子計算装置、及び量子計算方法	発明者 青木隆朗	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/025783	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 超低温超伝導センサ用信号増幅デバイス	発明者 高橋浩之、三津谷有貴	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-020988	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

古澤研究室 http://www.alice.t.u-tokyo.ac.jp/index.php 高橋研究室 http://spiny.t.u-tokyo.ac.jp/ 青木研究室 http://www.qo.phys.waseda.ac.jp/index.html 研究室ホームページ http://www.alice.t.u-tokyo.ac.jp/5thesis.html
--

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
研究分担者	青木 隆朗 (Aoki Takao) (10343146)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	高橋 浩之 (Takahashi Hiroyuki) (70216753)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授 (12601)	

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