

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02561

研究課題名（和文）幾何学的磁気構造を用いた回路量子電磁気学の研究

研究課題名（英文）Circuit Quantum electrodynamics with various magnetic geometries

研究代表者

中村 秀司（Nakamura, Shuji）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・上級主任研究員

研究者番号：70613991

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、一様磁気モード、磁気渦構造などの磁気構造中に現れる共鳴モード（マグノン）と、超伝導コプレー型共振器、三次元空洞共振器、スプリットリング共振器などに現れる共鳴モード（フォトン）とのコヒーレントな結合を目指した研究を行った。さらに本研究で培った技術を新規計測技術へと応用するため、種々の量子系（超伝導量子ビット、超伝導共振器）の量子回路冷却と、単一エネルギー量子以下のエネルギー分解能での光子検出を行った。結果として、主著共著合わせて15報の論文を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で目指した磁気渦構造などの種々の磁気構造に現れる共鳴モード（マグノン）と共振器中の光子のコヒーレントな結合は、これまで取り組まれてこなかった研究で、その達成に向けて一定の知見が得られたことは意義がある。また、この研究で培った技術は、申請者がこれまで行ってきた単一電子素子の研究と結びつき、磁性体中のマグノンの量子回路冷却という全く新しい研究分野へと着実に進展しており、今後一層の発展が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to achieve coherent coupling between resonant modes (magnon) that appear in magnetic structures such as uniform magnetic modes and magnetic vortex structures, and resonant modes (photons) that appear in superconducting coplanar resonators, three-dimensional cavity resonators, and split-ring resonators. Furthermore, to apply the techniques developed in this research to new measurement technologies, we conducted cooling of quantum systems (superconducting qubits and superconducting resonators) using quantum circuit refrigerator and detected elementary excitations with energy resolution below that of a single energy quantum. As a result, we published a total of 17 papers, both as first author, corresponding and co-authors, and acquired one patent.

研究分野：メゾスコピック系物理

キーワード：回路量子電磁気学 磁性体 マイクロ波共振器 超伝導量子ビット 量子回路冷却

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

吸収、発光、屈折、回折など物質と光の間で発生する物理現象は古くから物理学の基本的テーマの一つであった。この研究は量子力学の進展とともに物質を構成する原子と光、もしくは原子と光子の相互作用を研究する量子電磁気学(QED)へと変化し、それを契機としてレーザーやGPS、原子時計など多くの社会的革新を起こしてきた。さらに量子電磁気学の研究は現在、微細加工技術の進展によって超伝導体、半導体、機械振動子などで作製された「離散化されたエネルギー準位を持つメソスコピック系人工原子」と「基板上の超伝導共振器中に閉じ込められたマイクロ波光子」を利用する回路量子電磁気学へと発展している。(A. Wallraf et al., Nature 431, 261 (2004)) これら人工原子と超伝導共振器を用いた研究では、人工原子の持つ大きな双極子モーメントと超伝導共振器の持つ小さなモードボリュームにより、従来の量子電磁気学では到達できないほど強く人工原子と共振器中光子が結合することが報告されている。さらにこれら回路QEDでは、様々な物理的な自由度(電荷、スピン、フォノン等)とマイクロ波光子とのコヒーレントな結合が次々と実現され、例えば機械振動子中の単一素励起(フォノン)とマイクロ波との量子コヒーレントな結合(T.A. Palomaki et al., Nature 495, 210 (2013))などが行われている。このような様々な自由度の量子状態とマイクロ波の量子的な結合を通じた高度な状態制御とその測定技術への応用は、より精密な測定が要求される将来の科学技術・産業の中心的な役割を果たすと考えられている。

このような研究の流れの中、その自然な発展として強磁性体を対象とする回路QED(オプトマグノニクス)の研究が誕生した。この研究では、超伝導体などで作製された共振器中に光子を閉じ込め、そこに配置した強磁性体中に現れるマグノンと光子を量子力学的に結合させ、強磁性体中の素励起をコヒーレントに検出・制御する。実際にこのオプトマグノニクスの研究ではマグノンと光とのコヒーレントな結合(H. Hueble et al., Phys. Rev. Lett. 111, 127003 (2013))、マグノンから超伝導量子ビットへの量子情報の転写(Y. Tabuchi et al., Science 349, 405 (2015))などが行われている。

### 2. 研究の目的

本研究では強磁性体中に現れる種々の幾何学的な磁気構造に着目し、これまでの回路量子電磁気学では未開拓領域であった空間的にねじれた磁気構造とマイクロ波光子との相互作用が織りなす新しい物理の検出と解明を目指す。これにより空間的に非一様な磁性体の量子制御による新機能素子、量子情報処理技術への利用指針を明らかにする。具体的には強磁性体中に現れる一様磁気構造と磁性円盤中に現れる磁器渦構造の磁気共鳴モード(それぞれキッテルモードとジャイレーションモード)に注目し、その共鳴モードと種々共振器中の光子のコヒーレントな結合を目指す。

### 3. 研究の方法

上記研究目的のために一様磁気構造と磁性円盤中に現れる磁器渦構造を用いた。一様磁気構造は、強磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネットに静磁場を印加することで実現し、磁器渦構造はパーマロイを、大きさ数マイクロメートル程度の円盤に、電子線描画、スパッタリング、超高真空蒸着等を用いた微細加工によって加工することで作製した。また、この磁気構造の共鳴モードと結合するマイクロ波光子の共振器としてスプリットリング共振器、超伝導コプレナー型共振器、三次元空洞共振器を利用した。測定は磁性体中に現れる磁気共鳴を室温で確認した後、磁性体を共振器中に配置し、状況に応じて、4ケルビン、希釈冷凍機温度を使い分けて行った。共振器の共鳴モードと磁性体中に現れる種々の共鳴モードとのコヒーレントな結合は、共振器にマイクロ波を印加し、その透過スペクトルを測定することで確認した。図1は、本研究で利用したイットリウム鉄ガーネット単結晶、作製した磁性円盤の電子顕微鏡写真とそこに現れる磁気渦構造の磁気力顕微鏡写真、三次元空洞共振器、超伝導共振器、スプリットリング共振器の光学顕微鏡写真である。これらの、素子、共振器を状況に応じて組み合わせ、研究を行った。

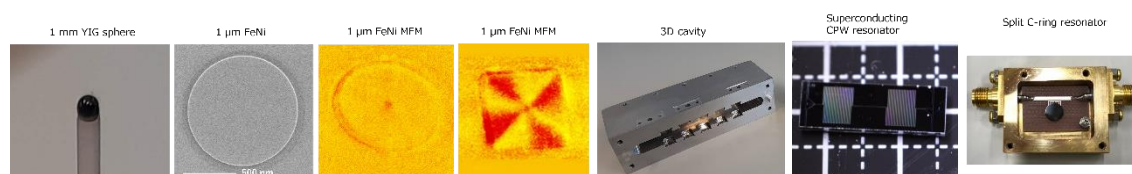


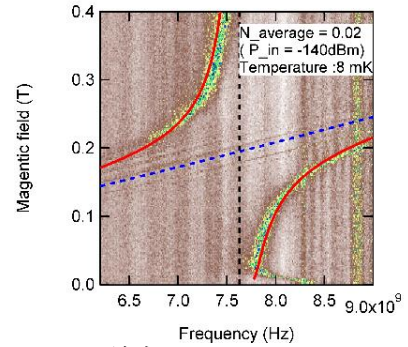
図1. 本研究で作製した種々の磁気構造を持つ磁性体とマイクロ波共振器

さらに本研究では、この研究で培った強磁性体とマイクロ波光子のコヒーレント結合と、その測定および制御技術を、次の新たな研究へと発展させるため、国際共同研究(A)による国際連携を行い、超伝導・常伝導単一電子素子によるマイクロ波共振器の量子回路冷却、および量子ビットによる単一エネルギー量子以下の感度での素励起測定などを行った。

#### 4. 研究成果

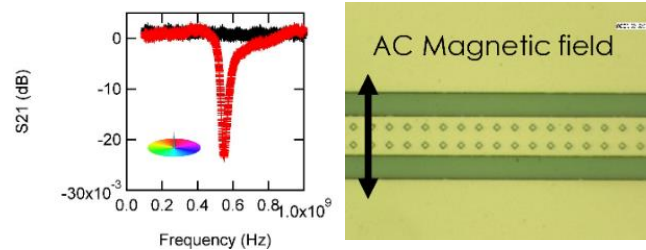
##### ①一様磁化の歳差モード (キッテルモード) とスプリットリング共振器の共鳴モード超強結合

本研究では、スプリットリング共振器に現れる共鳴モードと、強磁性絶縁体中に有限磁場下であられる一様磁化歳差モードとコヒーレントな結合を確認した。実験では、大きさが 5mm、厚みが 500  $\mu\text{m}$  の YIG 基板をテフロン基板上に作製した 7.6GHz のスプリットリング共振器上に配置し、希釈冷凍機温度 (<10mK) に冷却して、その透過特性をベクトルネットワークアナライザで測定した。その結果、共振器中真空場光子と一様磁化の歳差モードが結合した真空ラビ分裂を観測した。本研究で確認した結合強度は、共振器の共鳴周波数の 1.2% 程度の超強結合領域であることが分かった。



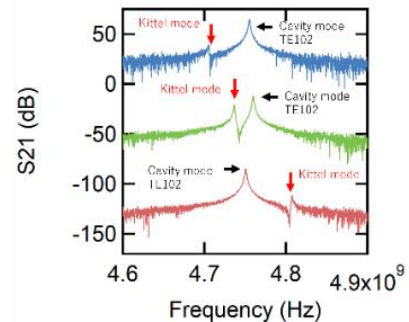
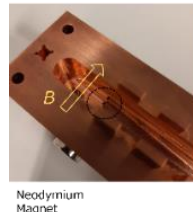
##### ②磁器渦の回転モードと超伝導コプレナー型共振器の共鳴モードとの結合

本研究では、超伝導コプレナー型共振器と磁性円盤中に現れる磁器渦構造の回転モードとの間のコヒーレントな結合を目指して研究を行った。素子は、超伝導コプレナー型共振器の中心導体上に微細加工によって磁性円盤を配置し、希釈冷凍機温度 (< 10 mK) に冷却して測定を行った。磁性円盤中の欠陥 (二準位系) の影響によって極低温において磁器渦構造の共鳴線幅が温度低下に伴い大きくなり、結合強度よりも大きくなってしまったことが原因で、マグノンとフォトンのコヒーレントな結合を見るには至らなかったが、今後、磁性円盤の材質、作製方法を変更することで欠陥 (二準位系) の影響を低減することを検討している。



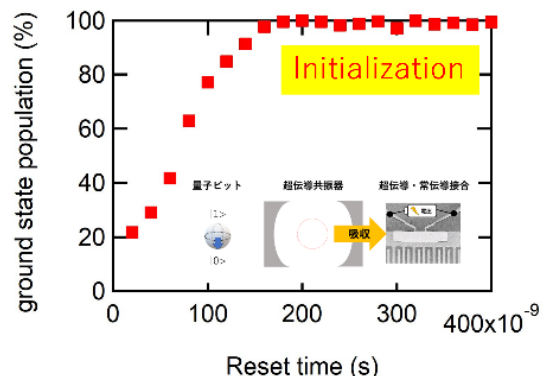
##### ③一様磁化の歳差モード (キッテルモード) と三次元共振器の共鳴モードとの強結合

本研究では、三次元共振器中の共鳴モードと強磁性絶縁体 YIG 球中に現れる歳差モードとの間のコヒーレントな結合を確認した。強磁性体 YIG 球は 1mm のテフロン棒状に接着し、外部から三次元共振器に挿入することで、三次元共振器の共鳴モード (磁場) のピーク位置に配置した。結果、マグノンモードと共振器中の共鳴モードの結合強度が数十 MHz 程度のコヒーレントな結合を確認した。前記①の実験でのスプリットリング共振器に比べると結合強度は小さいが、YIG 球の大きさを変化させることで、結合強度を増加させることができると考えられる。



##### ④超伝導常伝導単一電子素子による超伝導量子ビットの量子回路冷却

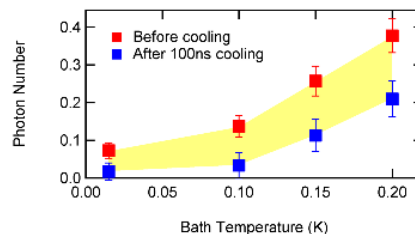
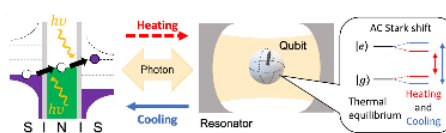
本研究では、量子系の励起状態占有数を量子回路冷却によって冷却する研究を行った。具体的には超伝導量子ビットの励起状態占有数を、超伝導・常伝導ハイブリッド単一電子素子の光子吸収を用いた冷却した。素子はシリコン基板上に、超伝導量子ビット、超伝導共振器、超伝導・常伝導ハイブリッド単一電子素子を作製し、測定は希釈冷凍機中で行った。実験では超伝導量子ビットの励起状態を、量子ビットに静電的に結合したら超伝導共振器中の光子にパルスを用いて変換し、それを単一電子素子によって吸収した。その結果、180 ns 以下の時間で励起状態の占有数を 1% 以下に低減することに成功した。本技術を、強磁性の共鳴モードに応用することで、磁性体中の素励起を量子回路冷却によって冷却することが可能になると考えられる。



## ⑤超伝導量子ビットによる単一エネルギー量子以下の感度での素励起冷却測定

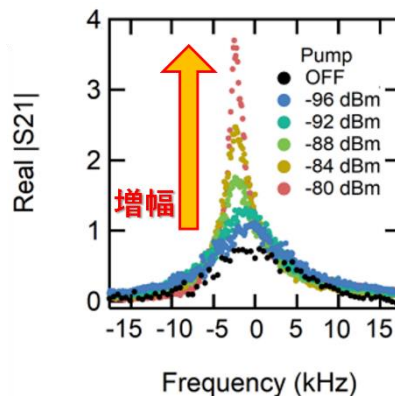
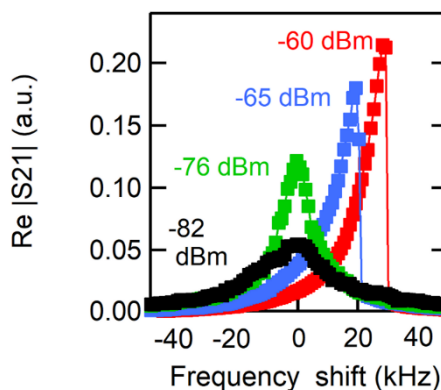
本研究では、量子系の励起状態占有数を量子回路冷却によって冷却し、その励起状態占有数を単一エネルギー量子以下の測定感度で測定する研究に取り組んだ。具体的には、超伝導共振器中の光子を単一電子素子によって吸収し、その低減された光子数を超伝導量子ビットの AC Stark シフトによって測定した。素子はシリコン基板上に、超伝導量子ビット、超伝導共振器、超伝導・常伝導ハイブリッド単一電子素子を作製し、測定は希釈冷凍機中で行った。その結果、0.05 個以下の光子数の変化をとらえることに成功した。

この研究を応用することによって、量子回路冷却によって磁性体中の磁気共鳴モードを冷却し、その冷却を超伝導量子ビットの共鳴周波数変化によってとらえるための測定技術を確立した。



## ⑥シリコン酸化膜中の欠陥準位を利用した非線形超伝導共振器の実現とマイクロ波のパラメトリック増幅

本研究では、シリコン薄膜中に存在する欠陥準位を利用して、その上に作製した超伝導コプレーナ型共振器に非線形性を誘起し、その 3 次の非線形性を利用した 4 波混合によるマイクロ波の増幅を行った。素子はシリコン基板上に水蒸気によって 1 マイクロメートルから 2 マイクロメートル程度の厚い熱酸化膜を形成し、その上に超伝導コプレーナ型共振器を作製し、その透過特性を評価した。その結果、マイクロ波の強度増加に伴い、共鳴周波数がブルーシフトし、かつ非線形な共振器に特徴的な分岐現象を観測した。さらにこのマイクロ波強度による共鳴周波数の変化を、二準位系による誘電率変化としてパワー依存性、温度依存性を理論計算し、定量的に説明できることをしめした。さらにこの二準位系による (3 次の) 非線形誘電率を利用することで、パラメトリック増幅を行い、信号光が増幅できることを実験的に示した。また、アイドラー光と信号光との相関などを測定し、この増幅が上記過程で発生していることを確かめた。



以上の結果などを含めて筆頭著者、責任著者、共著者として 15 報の論文を報告した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Okazaki Yuma, Oe Takehiko, Kawamura Minoru, Yoshimi Ryutarō, Nakamura Shuji, Takada Shintaro, Mogi Masataka, Takahashi Kei S., Tsukazaki Atsushi, Kawasaki Masashi, Tokura Yoshinori, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 18
2. 論文標題 Quantum anomalous Hall effect with a permanent magnet defines a quantum resistance standard	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 25 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-021-01424-8	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 -

1. 著者名 Takada Shintaro, Georgiou Giorgos, Arrighi Everton, Edlbauer Hermann, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Yamamoto Michihisa, Buerle Christopher, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 90
2. 論文標題 Heat-Driven Electron-Motion in a Nanoscale Electronic Circuit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.113707	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 Edlbauer Hermann, Wang Junliang, Ota Shunsuke, Richard Aymeric, Jadot Baptiste, Mortemousque Pierre-Andre, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Kadera Tetsuo, Kaneko Nobu-Hisa, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Urdampilleta Matias, Meunier Tristan, Buerle Christopher, Takada Shintaro	4. 巻 119
2. 論文標題 In-flight distribution of an electron within a surface acoustic wave	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 114004 ~ 114004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0062491	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 Misawa Tetsuro, Nakamura Shuji, Okazaki Yuma, Fukuyama Yasuhiro, Nasaka Nariaki, Ezure Hiroki, Urano Chiharu, Kaneko Nobu-Hisa, Sasagawa Takao	4. 巻 32
2. 論文標題 Dual-gate control of the surface carriers of the highly-bulk-resistive topological insulator Sn <sub>0.02</sub> Bi <sub>1.08</sub> Sb <sub>0.9</sub> Te <sub>2</sub> S	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 405704 ~ 405704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ab997e	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 Okazaki Yuma, Oe Takehiko, Kawamura Minoru, Yoshimi Ryutarō, Nakamura Shuji, Takada Shintaro, Mogi Masataka, Takahashi Kei S., Tsukazaki Atsushi, Kawasaki Masashi, Tokura Yoshinori, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 116
2. 論文標題 Precise resistance measurement of quantum anomalous Hall effect in magnetic heterostructure film of topological insulator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 143101 ~ 143101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5145172	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 Misawa Tetsuro, Nakamura Shuji, Okazaki Yuma, Fukuyama Yasuhiro, Nasaka Nariaki, Ezure Hiroki, Urano Chiharu, Kaneko Nobu-Hisa, Sasagawa Takao	4. 巻 118
2. 論文標題 Single-surface conduction in a highly bulk-resistive topological insulator Sn <sub>0.02</sub> Bi <sub>1.08</sub> Sb <sub>0.9</sub> Te <sub>2</sub> S using the Corbino geometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 033102 ~ 033102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0026730	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 Okazaki Yuma, Oe Takehiko, Kawamura Minoru, Yoshimi Ryutarō, Nakamura Shuji, Takada Shintaro, Mogi Masataka, Takahashi Kei S., Tsukazaki Atsushi, Kawasaki Masashi, Tokura Yoshinori, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 18
2. 論文標題 Quantum anomalous Hall effect with a permanent magnet defines a quantum resistance standard	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 25 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-021-01424-8	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 -

1. 著者名 Wang Junliang, Ota Shunsuke, Edlbauer Hermann, Jadot Baptiste, Mortemousque Pierre-Andre, Richard Aymeric, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Urdampilleta Matias, Meunier Tristan, Kodera Tetsuo, Kaneko Nobu-Hisa, Takada Shintaro, Buerle Christopher	4. 巻 12
2. 論文標題 Generation of a Single-Cycle Acoustic Pulse: A Scalable Solution for Transport in Single-Electron Circuits	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 031035-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.12.031035	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 Nakamura Shuji, Matsumaru Daiki, Yamahata Gento, Oe Takehiko, Okazaki Yuma, Takada Shintaro, Maruyama Michitaka, Fujiwara Akira, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 72
2. 論文標題 Cryogenic Operation of Electromechanical Relay for Reversal of Quantized Current Generated by a Single-Electron Pump	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	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) 10.1109/TIM.2023.3290995	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 Matsumaru Daiki, Nakamura Shuji, Maruyama Michitaka, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 72
2. 論文標題 Stable Voltage Generation With a Josephson Voltage Standard Device Cooled at a 4 K Stage in a Dilution Refrigerator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2023.3276017	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 Fujiwara Akira, Yamahata Gento, Johnson Nathan, Nakamura Shuji, Kaneko Nobuhisa	4. 巻 112
2. 論文標題 (Invited) Silicon Quantum Dot Single-Electron Pumps for the Closure of the Quantum Metrology Triangle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 119~130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/11201.0119ecst	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 Yoshioka Teruaki, Mukai Hiroto, Tomonaga Akiyoshi, Takada Shintaro, Okazaki Yuma, Kaneko Nobu-Hisa, Nakamura Shuji, Tsai Jaw-Shen	4. 巻 20
2. 論文標題 Active initialization experiment of a superconducting qubit using a quantum circuit refrigerator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 044077-1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.20.044077	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 Ota Shunsuke, Wang Junliang, Edlbauer Hermann, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Oe Takehiko, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Sellier Hermann, Buerle Christopher, Kaneko Nobu-Hisa, Kodera Tetsuo, Takada Shintaro	4. 巻 21
2. 論文標題 On-demand single-electron source via single-cycle acoustic pulses	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 024034-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.21.024034	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 Ota Shunsuke, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Oe Takehiko, Sellier Hermann, Buerle Christopher, Kaneko Nobu-Hisa, Kodera Tetsuo, Takada Shintaro	4. 巻 17
2. 論文標題 Suppression of electromagnetic crosstalk by differential excitation for SAW generation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 022002 ~ 022002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ad253f	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 Lenziakov S. A., Karimi B., Nakamura S., Lvov D. S., Upadhyay R., Satrya C. D., Chen Z.-Y., Subero D., Chang Y.-C., Wang L. B., Pekola J. P.	4. 巻 1
2. 論文標題 Applications of Superconductor?Normal Metal Interfaces	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-024-03144-8	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

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 平山勝登、中村 秀司、岡崎 雄馬、高田 真太郎、金子 晋久、小寺 哲夫
2. 発表標題 表面弾性波共振器を用いた極低温環境における水晶基板の欠陥評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Daiki Matsumaru, Shuji Nakamura, Zhengsen Jia, Michitaka Maruyama, Nobu-Hisa Kaneko
2. 発表標題 Operation of a Josephson voltage standard device cooled with a dilution refrigerator
3. 学会等名 ISS 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Teruaki Yoshioka, Shuji Nakamura, Nobu-Hisa Kaneko, Jaw Shen Tsai
2. 発表標題 Fast Initialization Experiment of Superconducting Qubit Using SINIS
3. 学会等名 APS March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>中村秀司のホームページ  <a href="https://www.sites.google.com/site/shujinakamuraist/">https://www.sites.google.com/site/shujinakamuraist/</a></p>
---

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	浦野 千春  (Urano Chiharu)  (30356589)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ長    (82626)	

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
---------	---------