

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01072

研究課題名（和文）量子もつれ状態にある2電子の生成および量子干渉現象に関する実験的検証

研究課題名（英文）Experimental verification of the generation of quantum entanglement state of two electrons and the quantum interference phenomena

研究代表者

齋藤 晃（Saitoh, Koh）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：50292280

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,100,000円

研究成果の概要（和文）：半導体フォトカソードに構造化光を照射し、振幅および位相に特定の構造をもつ電子線を生成する電子銃の開発を行った。空間位相変調器をもちいて特定の強度分布をもつ構造化光を生成する光学系を構築し、電子顕微鏡装置に搭載した。開発した光学系により生成した構造化光をフォトカソードに入射し、電子線が生成することを確認した。またスピン偏極電子をもちいた強度干渉実験を行い、スピン偏極率 $\pm 80\%$ の電子線では、スピン偏極率 0% の場合に比べて、アンチバンチングが起きることを見出した。このほか、量子干渉効果とベル不等式の破れを記述する理論の構築および弱値が起こるしくみの解明等を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピン偏極した構造化電子を生成する電子銃を開発し、その電子銃を搭載した電子顕微鏡を開発した。この電子銃は構造化光の波面をそのまま電子線に転写して構造化電子線を生成するため、回折格子や位相板を使う従来法で問題となっている高次光や吸収による損失はなく、またダイナミックに波面制御が行えるため画期的な波面制御技術および電子顕微鏡技術を与える。今回観察したスピン偏極電子の強度干渉におけるアンチバンチング現象は電子のフェルミ統計性を示すものであり、これにより量子力学の根本原理が検証された。また光の制御により電子線を制御するというアイデアはまったく新しい電子顕微鏡装置のデザインを与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We have developed an electron gun that generates structured electron beams having a specific amplitude and phase distribution by illuminating a semiconductor photocathode with structured light. An optical system that generates structured light with a specific intensity distribution was constructed using a spatial phase modulator and mounted on an electron microscope. It was confirmed that electron beams are generated by the structured light generated by the present optical system. We also conducted an intensity interference experiment using spin-polarized electrons, and found that electron beams with spin polarizations of $\pm 80\%$ show anti-bunching phenomena which is not observed by electron beams with a spin polarization of 0% . In addition, we constructed a theory that describes the quantum interference effect and the breaking of Bell's inequality, and elucidated the mechanism by which weak values occur.

研究分野：電子線物理学

キーワード：量子もつれ 電子線 量子干渉 電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

現在の透過電子顕微鏡は、収差補正技術の目覚ましい進展によりその空間分解能は 50pm に達し、また水素原子まで観察可能な検出感度を実現し、現在の材料科学を支える解析装置として学術および産業の進展に多大な貢献を与えている。電子顕微鏡手法は、電子ビームを試料に照射し、散乱・回折した電子の強度や透過波との干渉現象を利用して結像する。一枚の電子顕微鏡像を取得するために多数の電子を照射するが、ビーム中の異なる電子の間に相関はなく、電子発生からスクリーン上での計測までのイベントはすべての単一の電子によるものである。

入射ビーム中の粒子に相関をもたせた顕微鏡は、最近光の分野で実現され、ショットノイズを超えた「超位相感度」計測が可能であることが nature 誌で報告された。互いに相関をもった複数の光子(量子もつれ光子)については、種々のダブルスリット実験、遅延選択、ベル測定など興味深い研究が盛んになされ、量子コンピューターや量子テレポテーションのような夢のような応用研究までなされている。その一方で、電子については、量子もつれ状態にある 2 つの電子を真空中に取り出すことすら未だ実現できておらず、量子もつれ状態にある 2 電子の干渉現象や量子もつれ電子をもちいたベル測定等についてはまったく調べられていない。ごく最近、電子線でも量子干渉効果を利用した量子電子顕微鏡と呼ばれる手法が、米国を中心に開発され始めているが、これも単一の電子をもちいるものである。

量子もつれ状態にある 2 電子を生成するには電子のスピンを含めた制御が必要であるが、これまでスピン偏極電子の生成や制御が困難であったため、このような実験は行われて来なかった。申請者のグループの桑原(分担者)は、半導体フォトカソードに円偏光レーザーを照射する方法により、スピン偏極率 90%以上、輝度 $10^7\text{A}/\text{cm}^2\text{sr}$ 以上、エネルギー幅 0.2eV 以下を達成したスピン偏極電子銃を開発し、世界初のスピン偏極パルス透過電子顕微鏡の実現に成功した。この電子銃は市販の電界放出型電子銃と同程度に輝度を有し、単色性が高いことから、次世代の透過電子顕微鏡の電子銃として注目されている。

半導体フォトカソードに円偏光の光を入射すると、フォトカソードから円偏光の向きに応じたスピン偏極電子が放出される。量子もつれ状態にある 2 つの円偏光光子をフォトカソードに入射すれば、その状態が電子に転写され、量子もつれ状態の 2 つのスピン偏極電子が放出されるはずである。さらに、スピン偏極した 2 つの電子のユニークな量子干渉効果が利用できれば、従来の電子顕微鏡とはまったく異なる革新的な結像原理にもとづく次世代の電子顕微鏡の開発へと繋がる。これらのアイデアをもとに、申請者らは量子もつれ状態にある 2 つのスピン偏極電子を生成し、その量子干渉実験を世界で初めて行う本研究課題の着想に至った。また、本研究で新たに開発する 2 つの電子を生成する技術は、複数の電子源をもつ電子顕微鏡装置という世界に類を見ない新しい装置の開発にも繋がるため、学術面のみならず産業面でのインパクトも極めて大きい。このアイデアはまったく新しい着眼点であり、もちろん応募者の独自の創意であって、世界で初めて行なうものである。

2. 研究の目的

本研究では、量子もつれ状態にある 2 つまたはそれ以上のスピン偏極電子を生成する電子銃を開発し、干渉現象を利用した新しい電子線イメージング法のための実験的検証を行うことを目的とする。

(1) スピン偏極電子銃および電子顕微鏡装置の開発：旧スピン偏極電子銃をベースに、量子もつれ電子を生成するスピン偏極電子銃の開発を行う。フォトカソードに量子もつれ光子および構造化光を照射できるよう空間位相変調器をもちいた光学系を構築し、電子銃フォトカソードに構造化光を転送して構造化電子を生成する。

(2) スピン偏極電子顕微鏡装置の生成および干渉実験

2 つのスピン偏極電子の生成・干渉実験：2 つの光子をフォトカソードに照射し、2 つのスピン偏極電子の強度干渉のバンチング・アンチバンチング現象の観察から、量子もつれ状態の検証を試みる。

(3) 量子もつれした 2 電子を生成し、電子の干渉および計測に関する実験・理論両面の研究を行う。特に電子スピンのもつれ状態の生成機構とスピン偏極電子ホログラフィーに関する理論的基礎を提供する。また、スピン偏極電子を用いたベル測定の実装方法を研究した。

3. 研究の方法

(1) 電子銃の開発：本研究で開発する新型電子銃では、複数の励起レーザーを照射する機構およびフォトカソードを冷却する機構を新規に開発する必要があり、このための設計が必要となる。また、旧電子銃とは加速電圧が異なるため、アノード部の設計の修正も必要となる。実際の装置の加工および組み上げについては、外部の業者と綿密に打ち合わせながら進める。

電子銃の設計・加工・組み上げと並行して、半導体フォトカソードの作製を開始し、励起用レーザーの準備を進める。励起用レーザーおよび周辺システムは旧スピン偏極透過電子顕微鏡で利用しているものを流用する。また、電子銃と電子顕微鏡本体の接続部である差動排気システ

ムの開発を開始する。新電子銃を搭載する透過型電子顕微鏡の準備、設置環境の整備も開始する。

(2) 電子顕微鏡本体への搭載：高圧印加試験が終了し次第、準備していた電子顕微鏡本体への搭載を行う。差動排気システムも含めて本体全体の組み上げ・調整が完了し、超高真空状態の実現を確認する。電子銃の真空度は 2×10^{-9} Pa 以下、NEA 表面作製室の真空度は 8×10^{-9} Pa 以下となることを確認する。フォトカソードに入射するレーザーシステムの構築を行う。入射レーザーの波長は 700nm ~ 850nm、パワーは連続モードで 100mW を実現する。

真空度およびレーザーシステムの構築が完了し次第、NEA 表面作製室にて半導体フォトカソードの表面処理を行う。

(3) 構造化電子生成のための光学系の開発：構造化光の生成には、空間位相変調器 (SLM) をもちいて行った。SLM の有効領域は 12mm x 16mm、ピクセルサイズは 20 μ m、画素数 600 x 800 ピクセルである。構築した光学系を図 1(a) および 1(b) に示す。1/2 板で P 偏光にしたレーザー光を偏光ビームスプリッター (PBS) に入射し、反射光を SLM に入射し、反射光として構造化光を得た。SLM で生成された構造化光は PBS を二つ通過し、フォトカソードに入射される。二つ目の PBS はフォトカソードからの反射光を CCD カメラで観察するためにもちいる。

今回の実験では対物レンズ、結像系レンズを使用せず、試料の照射系レンズのみを用いてフォトカソードから放射された光電子を観察した。レーザー光をレンズによりスポット状に収束してフォトカソードに照射した場合および SLM により構造化したレーザー光をフォトカソードに照射した場合で電子線放出実験を行い、放出される電子線の強度分布を観察した。電子線の強度分布の観察には装置下流に搭載したダイレクトカウント型の CMOS カメラをもちいた。

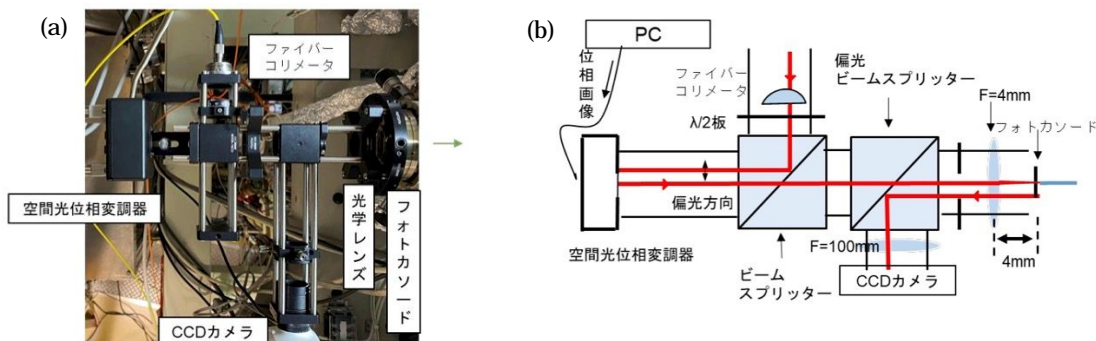


図 1 開発した構造化光生成のための光学系

(4) 理論的研究：量子力学および電磁気学を微分幾何学と作用素代数理論を用いて定式化し、量子干渉効果を記述する理論を構築する。弱値・弱測定を含む量子測定理論を整備し、微弱な信号を効率よく検出する方法を理論的に基礎づける。また、実験・理論を結びつける普遍的な数理論語として圏論を応用した物理量の理論を構築する。

4. 研究成果

(1) 電子顕微鏡装置の開発：図 2 は本研究で開発した電子顕微鏡装置全体の模式図である。裏面からレーザーを照射する方式によりレーザー経路と電子線の経路が同一の光軸上に沿っており対称性の高い光学系となっている。

初年度までに電子銃チャンバー、加速電極、表面活性化チャンバー、電子顕微鏡との接続部、高圧導入部等の設計まで完了し、2 年度までに加工および電子銃チャンバーの組み上げまで完了した。納入搬送の際に装置の一部が破損するトラブルがあり、部品の再加工および組み上げが必要となったが、スケジュールを変更して対応した。真空度および高圧安定度の確認し、半導体フォトカソードの導入まで完了した。

本電子銃を搭載する電子顕微鏡装置の設置および通常の電子銃をもちいた電子顕微鏡装置の性能を評価し、また新規開発する大重量の電子銃を支えるための指示棒を取り付け、装置の除震性能に影響がないことを確認した。さらに電子銃と電子顕微鏡本体の接続部である差動排気システムを取り付けを行い、到達真空度の確認をした。

設置した電子顕微鏡装置に今回開発した電子銃を搭載し、電子銃部のベークアウト、真空の確認、NEA 活性化を行い、装置全体での電子線放出実験を行い、電子銃部分を通することを確認した。装置全体としての軸調整の後、電子線の電流量、輝度、エネルギー幅、パルス幅、干

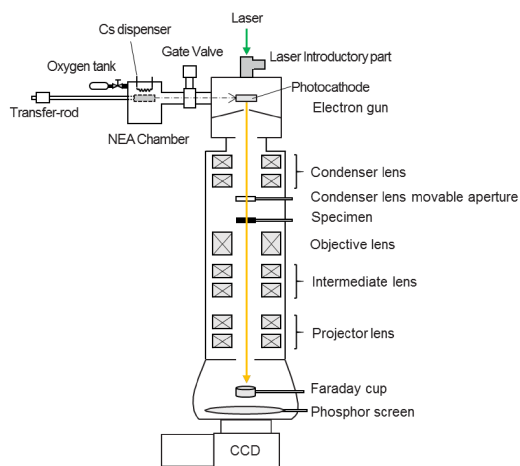


図 2 開発した電子顕微鏡装置の模式図

渉性の計測を行った。図2はパルス輝度の電荷密度依存性である。ピコ秒パルス電子線の輝度はビームエネルギー70keVにおいて $10^7\text{A/cm}^2\text{sr}$ オーダーに到達することを実証した(図2、表1)。また、電子線用パイプリズムを導入し、干渉縞の測定に成功した。これにより、干渉性を持った電子線が発生していることを確認した。またエネルギー幅に関しては、新たに電子線用エネルギー分析器を導入し、計測した。この結果、ピコ秒パルス電子線発生において0.7eVのエネルギー線幅であることを計測した。また本研究では光誘起近接場電子顕微鏡法(PINEM)をもちいて光励起した試料が示すEELSスペクトルの変化を観察し、金ナノ粒子の光誘起近接場の形成を確認した(図3)。

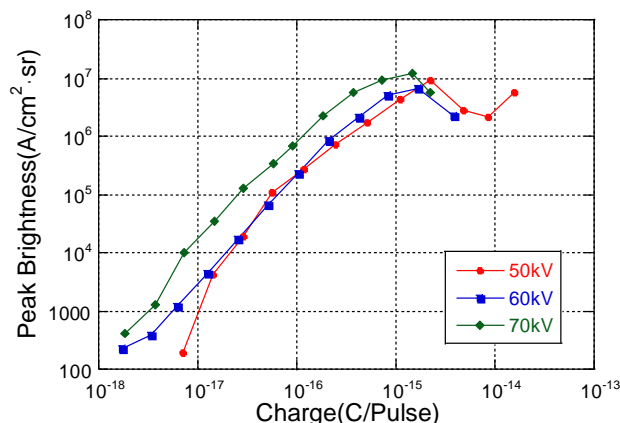


図3 ピーク輝度のパルス電荷密度依存性

表1 各加速電圧における電荷密度、最高ピーク輝度および最高パルス輝度

加速電圧(kV)	電荷密度(C/pulse)	最高ピーク輝度(A/cm ² ·sr)	最高パルス輝度(C/cm ² ·sr)
50	2.2×10^{-15}	9.2×10^6	1.0×10^{-4}
60	1.69×10^{-15}	6.7×10^6	7.3×10^{-5}
70	1.47×10^{-15}	1.2×10^7	1.3×10^{-4}

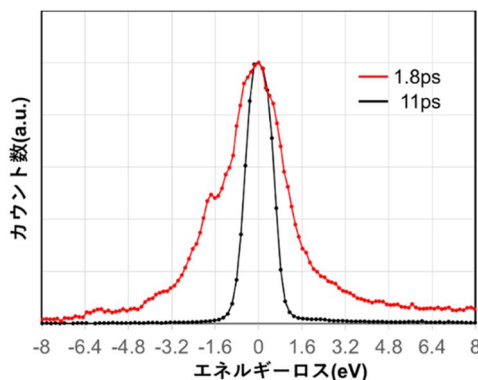


図4 本研究で開発したパルス電子源のエネルギー幅。黒線および赤線はそれぞれ光誘起近接場効果がない場合およびある場合を表す。

(3) 半導体フォトカソードの作製

半導体フォトカソードとして用いるGaAs薄膜結晶を作製し、旧装置を用いて放出電子ビームの性能評価を行い、輝度、電流量、エネルギー幅、パルス応答性等が問題ないことを確認した。

(4) 構造化照明光を生成する光学系の開発

今回使用したSLMの性能評価のために、テスト画像の再生テストを行った。図5(a)は今回のテストでもちいた「NU」という文字からなる画像である。図5(b)は、図5(a)の強度分布をもつレーザー光が生成される位相分布を反復位相回復法によりもとめたものである。この位相分布がSLM上に形成される。図5(c)は図5(b)のワースペクトル画像である。ワースペクトルを取得する際、実際のレーザー光照射を想定して、SLM上の半径?ピクセルの円盤上領域のみから計算した。ワースペクトルには強度の非一様性やボケがみられるが、NUの文字が形成されて

いるのが認識できる。

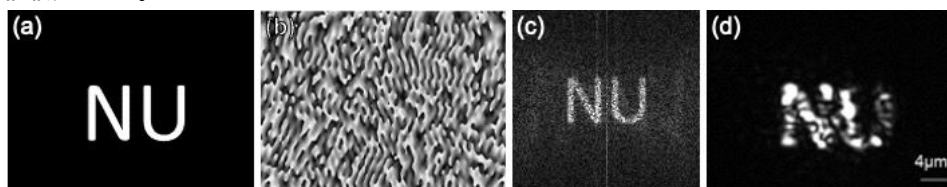


図5 (a)テスト画像。(b)計算でもとめた位相分布。(c)(b)のパワースペクトル画像。(d)(b)の位相分布を与えた SLM にレーザー光を照射して得た強度分布。

図5(d)は計算でもとめた位相パターンを入力した SLM にレーザー光を照射して得た構造化光である。強度分布のムラなどの乱れがみられるものの、NU という文字が認識できる。強度分布の乱れの原因については、SLM に照射するレーザーが SLM 全面ではなくその一部にしか照射されてないためと考えられる。形の違いは計算方法の違いや光学系を構築する上での誤差によるものと考えられる。

図6(a)および6(b)はそれぞれフォトカソード上に照射したレーザースポットおよび SLM により形成した "NU" の強度分布をもつ構造化光の像である。図6(c)および6(d)はそれぞれ図6(a)および6(b)の照射光により CMOS カメラ上で観察された電子線強度分布を示す。フォトカソード面に電子顕微鏡側の光学系の焦点を合わせておらず、したがって電子放出の実空間分布を表す像は観察されなかったが、CMOS 上で電子線強度が確認され、構造化光により電子線が放出されたことが確認された。

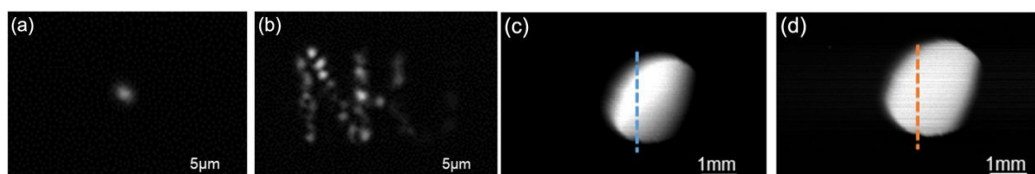


図6 (a)フォトカソード上のレーザースポット像。(b)SLM により生成した NU の強度分布をもつ構造化光のフォトカソード上での像。(c)(a)のレーザースポットの場合の電子顕微鏡装置下流での電子線の強度分布。(d) (a)のレーザースポットの場合の電子顕微鏡装置下流での電子線の強度分布。

(5) スピン偏極電子の強度干渉実験

旧装置をもちいた予備実験として、スピン偏極電子による世界初の強度干渉(2次干渉)の実験を行い、アンチバンチングを確認した。このことから、本装置が量子干渉現象を観察するのに十分な性能を有していることが確認された。この結果は学術的価値が高く評価され、Physical Review Letter 誌に掲載された。

(6) 理論的考察

代数的量子論の方法を用いて量子干渉効果とベル不等式の破れを記述する理論を構築した。その成果は、谷村省吾「量子論と代数 思考と表現の進化論」数理科学 56 巻 3 号 (No.657) 2018 年 3 月号 pp. 42-48 で発表した。

電磁場のベクトルポテンシャル概念を幾何学的に定式化し、その量子的役割を説明する理論を構築した。その成果は、谷村省吾「ベクトルポテンシャルの古典力学的意味とベクトルポテンシャルを用いない量子力学」日本物理学会、九州大学、2019 年 3 月 15 日などで発表した。また、電磁気学と力学の微分幾何的理論については、書籍：谷村省吾『幾何学から物理学へ---物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう』サイエンス社、全 196 ページ (2019)の形で発表した。

量子力学系で測定される弱値は、弱い信号を増幅して測定する方法として知られているが、その信号の増幅が起こるしくみを負の確率概念を用いて解明した。その成果は、谷村省吾「量子論の弱値の幾何学的解釈、とくに負の確率の幾何学的描像」日本物理学会 2019 年秋季大会、岐阜大学、2019 年 9 月 11 日などで発表した。

圏論を用いた古典物理・量子物理の両方に使える物理量の数学理論を構築した。その成果は、Shogo Tanimura, "Tensor categorical structure of observables in classical physics", Symposium on the Categorical Unity of the Sciences, Kyoto University, March 23, 2019, 谷村省吾『科学の書き言葉としての圏論』現代思想 2020 年 7 月号 (特集 = 圏論の世界：現代数学の最前線)(青土社) pp. 136-149 などで発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Uesugi Yuuki, Fukushima Ryota, Saitoh Koh, Sato Shunichi	4. 巻 27
2. 論文標題 Creating electron phase holograms using femtosecond laser interference processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 20958 ~ 20958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.020958	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 Noguchi Yuuki, Nakayama Shota, Ishida Takafumi, Saitoh Koh, Uchida Masaya	4. 巻 12
2. 論文標題 Efficient Measurement of the Orbital-Angular-Momentum Spectrum of an Electron Beam via a Dammann Vortex Grating	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064062-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.12.064062	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 Kuwahara Makoto	4. 巻 58
2. 論文標題 Development of Spin-polarized Pulse-TEM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 269 ~ 274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.58.269	査読の有無 無
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 Nomura Yuki, Yamamoto Kazuo, Hirayama Tsukasa, Ouchi Satoru, Igaki Emiko, Saitoh Koh	4. 巻 58
2. 論文標題 Direct Observation of a Li Ionic Space Charge Layer Formed at an Electrode/Solid Electrolyte Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5292 ~ 5296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201814669	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 Nagase T., Komatsu M., So Y.?G., Ishida T., Yoshida H., Kawaguchi Y., Tanaka Y., Saitoh K., Ikarashi N., Kuwahara M., Nagao M.	4. 巻 123
2. 論文標題 Smectic Liquid-Crystalline Structure of Skyrmions in Chiral Magnet Co8.5Zn7.5Mn4(110) Thin Film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 137203 ~ 137203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.137203	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 Noguchi Yuuki, Nakayama Shota, Ishida Takafumi, Saitoh Koh, Uchida Masaya	4. 巻 12
2. 論文標題 Efficient Measurement of the Orbital-Angular-Momentum Spectrum of an Electron Beam via a Damann Vortex Grating	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064062 ~ 064062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.12.064062	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 Nomura Yuki, Yamamoto Kazuo, Hirayama Tsukasa, Saitoh Koh	4. 巻 67
2. 論文標題 Electric shielding films for biased TEM samples and their application to in situ electron holography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 178 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfy018	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 Nomura Yuki, Yamamoto Kazuo, Hirayama Tsukasa, Ohkawa Mayumi, Igaki Emiko, Hojo Nobuhiko, Saitoh Koh	4. 巻 18
2. 論文標題 Quantitative Operando Visualization of Electrochemical Reactions and Li Ions in All-Solid-State Batteries by STEM-EELS with Hyperspectral Image Analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5892 ~ 5898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.8b02587	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 Kuwahara M., Ujihara T., Saitoh K., Tanaka N.	4. 巻 7
2. 論文標題 Coherent pulse beam in spin-polarized TEM using an NEA photocathode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IVNC	6. 最初と最後の頁 4-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IVNC.2018.8520014	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 Nomura Yuki, Yamamoto Kazuo, Hirayama Tsukasa, Ouchi Satoru, Igaki Emiko, Saitoh Koh	4. 巻 58
2. 論文標題 Direct Observation of a Li-Ionic Space-Charge Layer Formed at an Electrode/Solid-Electrolyte Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5292 ~ 5296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201814669	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 Ichihashi Fumiaki, Dong Xinyu, Inoue Akito, Kawaguchi Takahiko, Kuwahara Makoto, Ito Takahiro, Harada Shunta, Tagawa Miho, Ujihara Toru	4. 巻 89
2. 論文標題 Development of angle-resolved spectroscopy system of electrons emitted from a surface with negative electron affinity state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 073103 ~ 073103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021116	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 H. Nambu, Y. Noguchi, K. Saitoh, M. Uchida	4. 巻 66
2. 論文標題 Nearly nondiffracting electron lattice beams generated by polygonal slits	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 295-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 4号
2. 論文標題 「第6回：テンソル代数と物理量」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 68-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 5号
2. 論文標題 「第7回：外積代数」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 75-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 7号
2. 論文標題 「第8回：向き付けと捩テンソル」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 8号
2. 論文標題 「第9回：スハウテン表示と鎖体・境界」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 76-83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 10号
2. 論文標題 「第10回：体積形式と内積とホッジ変換」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 61-68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第55巻 11号
2. 論文標題 「第11回：ミンコフスキー計量とシンプレクティック形式」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 76-83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第56巻 1号
2. 論文標題 「第12回：多様体」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 73-80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第56巻 2号
2. 論文標題 「第13回：多様体上の微積分」幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学（サイエンス社）	6. 最初と最後の頁 68-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 第98号
2. 論文標題 局在化と不確定性関係：光子をめぐる古くて長い問題	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 強光子場科学研究懇談会 (JILS) Newsletter	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 谷村省吾	4. 巻 56巻3号 (No. 657)
2. 論文標題 量子論と代数 思考と表現の進化論	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学	6. 最初と最後の頁 42-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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98件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 40件)

1. 発表者名 Jun Yamasaki, Masaki Kano, Koh Saitoh, Kenta Yoshida, Keita Kobayashi, and Nobuo Tanaka Jun Yamasaki, Masaki Kano, Koh Saitoh, Kenta Yoshida, Keita Kobayashi, and Nobuo Tanaka
2. 発表標題 Analysing 3D distribution of nanoparticles by aberration-corrected TEM focal series
3. 学会等名 The Fifth Conference on Frontiers of Aberration Corrected Electron Microscopy (PIC02019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ishida, Y. Yoshida, H. Higuchi, M. Kuwahara, K. Saitoh, M. Tomita, T. Tanji
2. 発表標題 Operando STEM-EELS Observation of Anodic Reactions in Solid Oxide Fuel Cells
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations (AMTC6) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Shogo Tanimura
2 . 発表標題 Geometric interpretation of weak value in quantum theory and geometric picture for negative probability
3 . 学会等名 Workshop on Quantum Information Processing in Non-Markovian Quantum Complex Systems (QIPQC19) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 L. Mizuno, M. Kuwahara, S. Kuwahara, T. Ishida, K. Saitoh
2 . 発表標題 Fine Structure of Plasmon Hybridization on Au nanotriangles via STEM-EELS
3 . 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2019 (M&M 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Yokoi, T. Ishida, M. Kuwahara, K. Saitoh
2 . 発表標題 High-Brightness Bunched Electrons Using a Semiconductor Photocathode and Optimized Acceleration Field
3 . 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2019 (M&M 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuki Nomura, Kazuo Yamamoto, Tsukasa Hirayama, Emiko Igaki, Koh Saitoh
2 . 発表標題 Visualization of a Li-Ionic Space-Charge Layer in a Solid-Electrolyte by Transmission Electron Microscopy
3 . 学会等名 The 6th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuwahara, R. Yokoi, L. Mizuno, W. Nagata, Y. Yoshida, T. Ishida, T. Ujihara and K. Saitoh
2 . 発表標題 Spin-Polarized Pulse-TEM
3 . 学会等名 75th Annual Meeting of The Japanese Society of Microscopy/Germany-Japan Joint Seminar on Advanced Electron Microscopy and its Application (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ishida, M. Kuwahara, K. Saitoh
2 . 発表標題 Atomic Resolution Imaging with an Electron Bessel Beam in Aberration Corrected Scanning Transmission Electron Microscopy
3 . 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2019 (M&M 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Saitoh
2 . 発表標題 Orbital angular momentum spectrum measured by forked gratings and its relation to angular Fourier transform
3 . 学会等名 Microscopy Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuwahara
2 . 発表標題 Spin-Polarized Pulse-TEM
3 . 学会等名 Germany-Japan Joint Seminar on Advanced Electron Microscopy and its Application (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Nomura, Kazuo Yamamoto, Tsukasa Hirayama, Emiko Igaki, Koh Saitoh
2. 発表標題 Dynamic Observation of Li-ion movement in a Solid-State Li-Ion Battery
3. 学会等名 Microscopy and Microanalysis 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Nomura, Kazuo Yamamoto, Tsukasa Hirayama, Emiko Igaki, Koh Saitoh
2. 発表標題 Visualization of the Electric Potential in a Li-ionic Space-charge Layer
3. 学会等名 Microscopy and Microanalysis 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Yamasaki, M. Kano, K. Saitoh, K. Yoshida, K. Kobayashi, and N. Tanaka
2. 発表標題 Analyzing 3D Distributions of Au/Pt Nanoparticles by Focal Series of Aberration-Corrected TEM Images
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Saitoh, Y. Noguchi, W. Li, M. Uchida
2. 発表標題 Performance of orbital-angularmomentum measurements using forked gratings
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuwahara, R. Yokoi, L. Mizuno, W. Nagata, Y. Yoshida, T. Ishida, T. Ujihara and K. Saitoh
2 . 発表標題 High-brightness pulsed electron microscopy toward advanced measurement of time-evolution in nanomaterials
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Uesugi, R. Fukushima, K. Saitoh, and S. Sato
2 . 発表標題 Fabrication of holograms for electron vortex generation by one-shot laser interference processing
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Hattori, Y. Nomura and K. Saitoh
2 . 発表標題 Image Reconstruction of HighResolution STEM Image by Dictionary Learning and Evaluation of Atom Displacement
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Nagase, M. Komatsu, Y. G So, T. Ishida, H. Yoshida, Y. Kawaguchi, Y. Tanaka, K. Saitoh, N. Ikarashi, M. Kuwahara and M. Nagao
2 . 発表標題 Observation of Anisotropic Skyrmion Interactions Using Lorentz Transmission Electron Microscopy
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. Li, K. Saitoh and M. Uchida
2 . 発表標題 How to Use Angular Fourier Transform for Orbital Angular Momentum Spectrum Mapping
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ishida, T. Owaki, M. Kuwahara and K. Saitoh
2 . 発表標題 Generation and Application of UltraFine Electron Bessel Beams using RingShaped Apertures by an AberrationCorrected Scanning Transmission Electron Microscope
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Shinozaki, K. Fukuwa, T. Ishida, M. Kuwahara, T. Miyoshi Y. Arai and K. Saitoh
2 . 発表標題 High-sensitive electron imaging sensor toward nano-second single shot imaging
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Yoshida, T. Ishida, K. Higuchi, K. Saitoh, M. Tomita and T. Tanji
2 . 発表標題 Operando Measurement of Electrode Reactions in Solid Oxide Fuel Cells Using Environmental Electron Microscopy
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Suzuta, Y. Kawasaki, K. Tanaka, T. Ishida, T. Hatano, H. Ikuta and K. Saitoh
2. 発表標題 Observation of Manganese Nitride Thin Films by Electron Microscopy
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Yokoi, T. Ishida, M. Kuwahara, and K. Saitoh
2. 発表標題 Novel Transmission Electron Microscope Using High Brightness Pulsed Beam Emitted from NEAPhotocathode
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村優貴, 穴田智史, 山本和生, 服部颯介, 平山 司, 川崎忠寛, 佐々木祐生, 井垣恵美子, 齋藤 晃
2. 発表標題 スパースコーディングによるSTEM/SEM画像の超解像と鮮鋭化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 磁場中の荷電粒子の対称性と保存量/Symmetry and conservation law of electrically charged particle in magnetic field
3. 学会等名 「幾何学と力学とその応用」(Geometry, Mechanics, and their Applications) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村優貴, 山本和生, 平山 司, 大内 暁, 井垣恵美子, 齋藤 晃
2. 発表標題 電子線ホログラフィーによる固体電解質内の空間電荷層の可視化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部颯介, 野村優貴, 齋藤 晃
2. 発表標題 辞書学習による原子分解能HAADF-STEM像のノイズ除去およびその定量性の評価2
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村優貴, 穴田智史, 山本和生, 服部颯介, 平山 司, 川崎忠寛, 佐々木祐生, 井垣恵美子, 齋藤 晃
2. 発表標題 スパースコーディングによるSTEM/SEM画像の超解像と鮮鋭化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下英郎, 大嶋卓, 栗原真人, 小瀬洋一, 揚村寿英
2. 発表標題 高輝度NEAホトカソード電子源によるSEMの低加速分解能向上
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長瀬知輝, 小松正弥, 肖 英紀, 石田高史, 齋藤 晃, 五十嵐信行, 桑原真人, 長尾全寛
2. 発表標題 ローレンツ電子顕微鏡法を用いたスキルミオン配列の解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚宏幸, 齋藤 晃, 恩田正一
2. 発表標題 電子線ロッキングカーブの位相回復による転位近傍の歪み場の決定
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大脇健史, 石田高史, 桑原真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 電子ベッセルビームをもちいたADF-STEMにおける像コントラストの定量評価
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野りら, 石田高史, 桑原彰太, 桑原真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 金ナノプレートの局在表面プラズモンをもちいたカップリング効果の研究
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠崎 暉, 福和果歩, 石田高史, 桑原真人, 三好敏喜, 新井康夫, 齋藤 晃
2. 発表標題 SOI-CMOSイメージセンサを用いた単パルス電子線イメージングにおける高効率検出
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴田朋也, 川崎友暉, 石田高史, 畑野敬史, 生田博志, 齋藤 晃
2. 発表標題 Mn3AgxCu1-xN単結晶薄膜のSTEM観察による構造評価
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 偉, 齋藤 晃, 内田正哉
2. 発表標題 Angular Fourier変換をもちいた位相特異点スペクトルのマッピング
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井里奈, 永田 涉, 水野りら, 石田高史, 桑原真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 高密度パルス電子線発生を可能にする120kVパルス透過電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富樫将孝, 石田高史, 小松正弥, 長尾全寛, 肖 英紀, 桑原真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 Co-Zn-Fe合金の電子顕微鏡学的評価
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原真人, 横井里奈, 水野りら, 永田涉, 石田高史, 齋藤晃
2. 発表標題 超高速時間分解位相像を実現するコヒーレントパルス電子線
3. 学会等名 第4回「表面界面の機能創成とデバイス応用」セミナー(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野りら, 桑原真人, 石田高史, 齋藤晃
2. 発表標題 STEM-EELSを用いた周期閉じ込め構造に誘起される表面プラズモンモードの研究
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会(物性)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原 真人, 横井 里奈, 永田 涉, 石田 高史
2. 発表標題 コヒーレント偏極電子線をもちいた二次干渉実験
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠崎 暉, 福和 果歩, 石田 高史, 桑原 真人, 三好 敏喜, 新井 康夫, 齋藤 晃
2. 発表標題 SOI ピクセル検出器を用いたナノ秒パルス電子線イメージング
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井 里奈, 永田 渉, 石田 高史, 長沖 功, 揚村 寿英, 桑原 真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 120 kVフォトカソード電子銃を用いた高輝度パルス透過電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 順, 鹿野正起, 齋藤 晃, 吉田健太, 小林慶太
2. 発表標題 収差補正TEMのスルーフォーカスシリーズに基づく金属ナノ粒子三次元分布計測法の開発
3. 学会等名 応用物理学会 第80回秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田高史, 篠崎 暉, 桑原 真人, 齋藤 晃, 三好 敏喜, 新井 康夫
2. 発表標題 Nanosecond imaging by a time-resolved transmission electron microscope with an SOI detector
3. 学会等名 第2回量子線イメージング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 高い縮退度を有する超短パルス電子線による顕微分析手法の開発
3. 学会等名 第2回表面真空学会若手部会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部颯介, 野村優貴, 齋藤晃
2. 発表標題 原子分解走査透過電子顕微鏡画像のピーク検出のための辞書学習アルゴリズムにおけるハイパーパラメータの最適化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第62回シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上杉祐貴, 福島涼太, 齋藤晃, 佐藤俊一
2. 発表標題 レーザー干渉加工による電子位相ホログラムの作製と電子渦生成
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第62回シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤晃, 内田正哉
2. 発表標題 フォーク型回折格子をもちいて生成した電子らせん波による収束電子回折図形の観察
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部颯介, 野村優貴, 齋藤晃,
2. 発表標題 高分解能HAADF-STEM像の辞書学習によるペロブスカイト酸化物の原子変位検出
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 振形式の定義・描像・応用
3. 学会等名 量子と古典の物理と幾何
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 量子論の弱値の幾何学的解釈, とくに負の確率の幾何学的描像
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 値はいかにして負の確率を誘導するか---擬確率の幾何学的描像
3. 学会等名 第9回QUATUO研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Kuwahara
2. 発表標題 Semiconductor photocathode in a transmission electron microscope
3. 学会等名 Photocathode Physics for Photoinjectors 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Noguchi, K. Saitoh, M. Uchida
2. 発表標題 Measuring the orbital angular momentum spectrum of electron beams using a Dammann vortex grating
3. 学会等名 19TH INTERNATIONAL MICROSCOPY CONGRESS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Murayama, M. Kuwahara, T. Ishida, K. Saitoh
2. 発表標題 TEM-EELS of Photo-excited MWCNTs Using a Pulsed Electron Beam
3. 学会等名 19TH INTERNATIONAL MICROSCOPY CONGRESS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 スピン偏極パルス電子源搭載した透過電子顕微鏡の開発および超高速ミクロスコピー・スペクトロスコピー手法としての実験的研究
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 NEA半導体フォトカソードを応用した電子顕微鏡開発とその性能
3. 学会等名 荷電粒子ビームの工業への応用第132委員会第231回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 Coherent bunched beam in a spin-polarized TEM using an NEA photocathode
3. 学会等名 RIKEN SEMINAR（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 Coherent puluse beam in spin-polarized TEM using an NEA photocatohde
3. 学会等名 31st International Vacuum Nanoelectronics Conference（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原真人
2. 発表標題 スピンパルスTEMの開発とそのコヒーレンス
3. 学会等名 第63回化合物新磁性材料専門研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤 晃, 野口雄紀, 内田正哉
2. 発表標題 2次元ダンマン渦渦回折格子をもちいた軌道角運動量測定
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村優貴, 山本和生, 平山 司, 齋藤 晃
2. 発表標題 辞書学習による電子顕微鏡画像の圧縮センシング
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村山恒介, 横井里奈, 桑原真人, 石田高史, 齋藤 晃
2. 発表標題 時間分解EELSによる光励起したカーボンナノチューブのC-Kエッジの測定
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019年春季)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠崎 暉, 福和果歩, 石田高史, 桑原真人, 三好敏喜, 新井康夫, 齋藤 晃
2. 発表標題 透過電子顕微鏡を用いたSOIピクセル検出器の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019年春季)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井里奈, 水野りら, 篠崎 暉, 石田高史, 桑原真人, 齋藤 晃
2. 発表標題 高密度パルス電子線発生のための120kVフォトカソード電子銃の開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019年春季)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部颯介, 齋藤 晃, 野村優貴, 片山尚幸, 小島慶太, 澤 博
2. 発表標題 辞書学習による原子分解能電子顕微鏡像のノイズ除去および原子位置決定精度の評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019年春季)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shogo Tanimura
2. 発表標題 Relation among measurement time, energy-difference uncertainty and signal-to-noise ratio
3. 学会等名 18th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shogo Tanimura
2. 発表標題 Tensor categorical structure of observables in classical physics
3. 学会等名 Symposium on the Categorical Unity of the Sciences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村省吾, 杉尾一
2. 発表標題 量子論と代数：思考と表現の進化論，についての討議
3. 学会等名 第8回量子基礎論懇話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 超選択則とディラック拘束系とマルスデン・ワインスタイン簡約に見る量子古典対応
3. 学会等名 第8回QUATUO研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 ベクトルポテンシャルの古典力学的意味とベクトルポテンシャルを用いない量子力学
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kuwahara, K. Aoki, H. Asano, T. Ujihara, N. Tanaka and K. Saitoh
2. 発表標題 Coherence of picosecond bunched electrons emitted from a semiconductor photocathode in transmission electron microscope
3. 学会等名 Electron Microscopy with High Temporal Resolution (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Kuwahara, K. Aoki, F. Ichihashi, T. Ujihara, N. Tanaka, K. Saitoh
2 . 発表標題 Time-resolved TEM-EELS using a pulsed beam extracted from a semiconductor photocathode
3 . 学会等名 8th International Workshop on Electron Energy Loss Spectroscopy and Related Techniques (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Ishida, Wei Li, T. Tanji, Y. Yamamoto, K. Saitoh
2 . 発表標題 Contrast Enhancement of Biological Specimens by Differential Phase Electron Microscopy using the Aharonov-Bohm Effect
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Noguchi, K. Saito, M. Uchida
2 . 発表標題 Measurement of orbital angular momentum of electrons using the Dammann vortex gratings
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Kuwahara, K. Aoki, H. Suzuki, H. Asano, T. Ujihara, K. Saitoh, N. Tanaka
2 . 発表標題 Coherent bunched electron beam extracted from a semiconductor photocathode in a transmission electron microscope
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Suzuki, M. Kuwahara, T. Ishida, M. Nagao, K. Saitoh
2 . 発表標題 Fabrication and analysis of Pt/Co/Ta multilayer disks for investigation of a magnetic chirality
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Hamanaka, H. Suzuki, T. Ishida, M. Kuwahara, K. Saitoh
2 . 発表標題 Fabrication and Evaluation of Structure Controlled Magnetic Thin Film for TEM Observation
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Murayama, M. Kuwahara, K. Aoki
2 . 発表標題 Bandgap measurement of gallium phosphide using electron energy loss spectroscopy in SP-TEM
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Owaki, T. Ishida, K. Saitoh
2 . 発表標題 Evaluation of Focal-depth Extension Using an Annular Aperture in Aberration-corrected STEM
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shota, K. Saitoh
2. 発表標題 Determination of the crystal chirality by convergent-beam electron diffraction using electron vortex beams
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤 晃、野口 雄紀、南部 裕紀、内田 正哉
2. 発表標題 非回折性をもつ電子ボルテックスビームの生成
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野口 雄紀、齋藤 晃、内田 正哉
2. 発表標題 ダンマン渦回折格子をもちいた軌道角運動量の測定
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中山 翔太、齋藤 晃
2. 発表標題 電子らせん波をもちいた結晶のキラリティー判別の検証
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 潤士、桑原 真人、石田 高史、長尾 全寛、齋藤 晃
2. 発表標題 磁気キラリティを有するPt/Co/Ta多層膜ディスクの作製と顕微鏡学的磁気構造解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野口雄紀、 齋藤晃、 内田正哉
2. 発表標題 ダンマン渦回折格子をもちいた電子線の軌道角運動量の測定
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 濱中幸祐、 鈴木潤士、 石田高史、 桑原真人、 齋藤晃
2. 発表標題 ナノスケールに構造制御した磁性薄膜の作製と電子顕微鏡評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村山恒介、 柴原真人、 青木幸太
2. 発表標題 スピン偏極パルス透過電子顕微鏡を用いた電子エネルギー損失分光によるGaPのバンドギャップ測定
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石田高史、篠崎暉、桑原真人、三好敏喜、新井康夫、齋藤晃
2. 発表標題 低加速透過電子顕微鏡を用いたSOIピクセルディテクタの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桑原真人、宇治原徹、齋藤晃、田中信夫
2. 発表標題 スピン偏極透過電子顕微鏡による強度干渉実験
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 モノポール磁場と中心力場中を動く荷電粒子の運動についての幾何学的考察
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 ベクトルポテンシャルの古典・量子力学的解釈
3. 学会等名 第7回QUATUO研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 ベクトルポテンシャルの幾何的・力学的解釈
3. 学会等名 研究会「量子と古典の物理と幾何」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 ホロノミーと力学系 循環・反復から発展へ
3. 学会等名 計測自動制御学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾, 宮沢孝幸, 橋本麻里
2. 発表標題 第2回サイエンスバトル：猫に捧げるサイエンス
3. 学会等名 東京大学 分子細胞生物学研究所, 新学術領域オーケストレーションシステ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷村省吾
2. 発表標題 量子のミステリー：数理と実験による量子論の謎解き
3. 学会等名 摂南大学第5回数理セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 谷村省吾	4. 発行年 2019年
2. 出版社 サイエンス社	5. 総ページ数 196
3. 書名 幾何学から物理学へ---物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう 臨時別冊・数理科学SGCライブラリ150	

1. 著者名 谷村省吾(分担執筆) 森田 邦久 著	4. 発行年 2019年
2. 出版社 勁草書房	5. 総ページ数 320
3. 書名 現在 という謎	

1. 著者名 桑原真人	4. 発行年 2018年
2. 出版社 産業技術サービスセンター	5. 総ページ数 5
3. 書名 最新 实用真空技術総覧(極高真空スピン偏極電子銃)	

1. 著者名 谷村省吾	4. 発行年 2018年
2. 出版社 サイエンス社	5. 総ページ数 第14-20回各8ページ
3. 書名 「幾何学から物理学へ 物理を圏論・微分幾何の言葉で語ろう」連載	

1. 著者名 谷村省吾	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日経サイエンス社	5. 総ページ数 pp.64--71
3. 書名 「アインシュタインの夢 ついえる 測っていない値は実在しない」日経サイエンス2019年2月号	

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	桑原 真人 (Kuwahara Makoto) (50377933)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授 (13901)	
研究分担者	谷村 省吾 (Tanimura Shogo) (90273482)	名古屋大学・情報学研究科・教授 (13901)	

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