

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19032

研究課題名（和文）単一イオンチャンネル観察のための電子線検出型イオンセンサーの開発

研究課題名（英文）Ion concentration imaging system with electron beam excitation for observation of a single ion channel

研究代表者

川田 善正（KAWATA, Yoshimasa）

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：70221900

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、イオン感応膜の電荷検出に集束電子線を用いることにより、ナノスケールの分解能をもつイオンイメージングシステムを実現するとともに、細胞の単一イオンチャンネルを観察可能なシステムを実現することを目的として研究を実施してきた。本手法は、集束電子線を用いるためナノメートルスケールの空間分解能を実現することが可能である。電子線散乱をモンテカルロシミュレーションを用いて、スポットサイズを評価し、イオンセンサー基板の最適化を行なった。バイアス電圧を変化させて、pHによる測定電流の変化を測定し、提案手法の原理を確認し、その有効性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本提案は、イオン感応膜上の電荷分布の検出に集束電子線を用いて、イオンセンシングシステムの空間分解能を飛躍的に向上させる点に新規性があり、世界的に見ても全く例のない、研究代表者らのこれまでの研究実績に基づく独創性の高い研究である。本システムを実現することにより、イオンセンサーの空間分解能を飛躍的に向上させることができ、ナノ領域のイオン移動のダイナミクスを明らかにすることができる。本システムを細胞試料の観察に応用すればイオンチャンネルの機能解明が可能となる。イオン感応膜上と電子線との相互作用の理論構築、ナノ領域におけるイオン挙動の解明、などさまざまな分野への波及効果が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed ion-sensitive imaging system with electron beam excitation and we try to apply the developed system for the observation of a single ion channel. The unique advantage of the developed system is possible to observe ion concentration distribution with higher spatial resolution than that of the conventional ion imaging system. The spot size of focused electron beam in an ion sensitive substrate was simulated with Monte-Carlo method and the resolution was evaluated. The layer structure of ion-sensitive substrate was optimized with the simulation results. The function of ion sensor was verified by changing a bias voltage and evaluated in measurement of ion concentration.

研究分野：応用物理学

キーワード：光学顕微鏡 電子顕微鏡 イオンチャンネル イオンセンサー イオン感応膜 半導体

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究は、イオン感応膜の電荷検出に集束電子線を用いることにより、ナノスケールの分解能をもつイオンイメージングシステムを実現するとともに、細胞の単一イオンチャンネルを観察可能なシステムを実現することを目的としたものである。研究代表者らが進めてきた集束電子線を用いて試料の蛍光を励起する超解像イメージング法をベースにイオンイメージングシステムに応用展開することを目的としている。これまで開発を進めてきた超解像イメージング法は、数10ナノメートルの空間分解能を有し、大気中や液中の生物試料を生きたままその動態を観察可能にする手法である。生きた生物細胞のダイナミクスを無染色で、観察することが可能である。これまでの研究における基礎実験において、HeLa細胞内やMC3T3-E1細胞などの内部顆粒を50nm以下の高分解能でかつその挙動を動的に観察することに成功した。また電子線の加速電圧を制御することにより、電子を直接細胞の微小領域に照射し、細胞機能を制御できる可能性を見出した。これらの結果は、非染色で液中試料の動態を回折限界を超えた分解能で観察可能であることを示したものであり、開発した顕微鏡システムの有効性を顕著に示すものである。

開発したシステムのキーポイントは、試料を配置する蛍光薄膜に電子線を照射し、微小な点光源を誘起して試料を高分解能に観察する点にある。試料を配置する薄膜にさまざまな機能を付与すれば、より高機能なイメージングシステムを実現することが可能となる。

このような研究を進めるにあたって、試料基板にイオン感応膜を用いて集束電子線による電荷検出を行えば、イオン感応膜上の電荷分布をナノスケールの高空間分解能で検出することができるとの着想を得た。さらに本手法によりナノスケールのイオンの挙動が観察できれば、細胞表面の単一イオンチャンネル機能解明が可能となるとの発想を得た。これらの着想は世界的に見ても全く例のない、研究代表者らのこれまでの研究実績に基づく独創性の高い研究である。

2. 研究の目的

本研究では、イオン感応膜の電荷検出に集束電子線を用いることにより、ナノスケールの分解能をもつイオンイメージングシステムを実現するとともに、細胞の単一イオンチャンネルを観察可能なシステムを実現することを目的とする。研究代表者がこれまで進めてきた電子線励起アシスト光学顕微鏡をイオンチャンネルの観察に応用することにより、従来のイオンセンサーに比べて圧倒的に高い分解能を有するイオンイメージングシステムを実現する。集束電子線を用いて電荷分布を検出するため、ナノメートルスケールの空間分解能を実現することが可能であり、さらに微小領域に電子線を照射することにより、細胞刺激や試料の電荷制御も可能となる。LSIの集積化技術を用いたセンサーや光学顕微鏡などに比べて加工精度や回折限界の制限を受けないため、飛躍的に空間分解能を向上させることができる。

研究代表者はこれまで集束電子線を用いて微小な点光源を励起し走査することにより、従来の光学顕微鏡における回折限界を超えた分解能を有する超解像イメージング法を開発を進めてきた。開発した超解像イメージング法では、蛍光薄膜に集束電子線を照射して、大きさ数10ナノメートル微小光源を励起するとともに、蛍光膜により大気圧と真空を分離する。微小光源により試料を観察するため、数10ナノメートルの空間分解能を実現でき、試料は大気圧中に配置できるため、大気中や液中の生物試料を生きたままその動態を観察可能である。生きたHeLa細胞の動態観察を行なうとともに、細胞内の微小顆粒のダイナミクスを解析可能であることを示してきた。

本研究では、これまでの研究実績と研究成果から、試料基板にイオン感応膜を用い電荷検出に応用することにより、ナノスケールの高空間分解能を有するイオンセンサーを実現する。開発するイオン分布のナノイメージングシステムの原理を図1に示す。イオン感応膜上に試料を配置すると、イオン感応膜の電荷分布により半導体の空乏層の拡がりの空間分布が形成される。集束電子線を空乏層に照射しキャリアを励起することにより、空乏層の拡がりの空間分布を電流として検出することが可能となる。電荷検出に集束電子線を用いるため、電子線を考慮しても十分高い空間分解能を実現できる。細胞での局所的かつ定量的なイオンの挙動を実時間で観察可能な超解像イオンイメージング法が開発できれば、分子・タンパク質レベルでの機能解析から細胞・臓器レベルでの機能解析まで、統一的な観察を行なうことが可能となる。

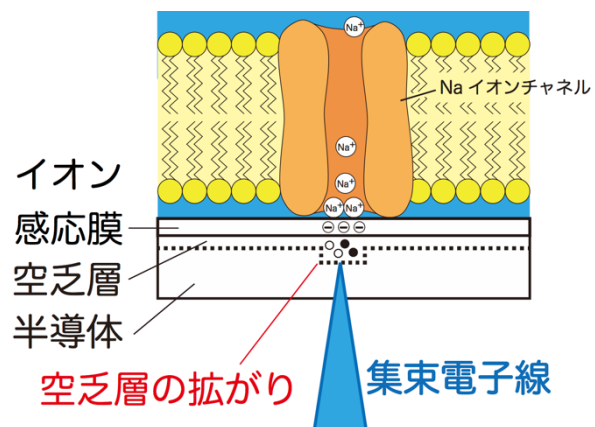


図1. 電子線照射によるイオン検出の原理

3. 研究の方法

(平成30年度)

(1) イオンセンシングのための基礎システムの試作と原理検証

本研究で開発する電子線検出型のイオンセンサーの基礎実験システムを構築し、電子線照射による電荷検出の原理検証、イオン感応膜の構成、感度、イオン分布測定の高空間分解能などにつ

いて評価した。基本システムでは、現有の電子線顕微鏡システム改良し、イオン感応膜に照射できる構成とし、イオン濃度による検出電流の変化を測定し、感度を明らかにした。

(2) イオン感応膜の構成検討

本研究では、イオン感応膜によって電子線が散乱され空間分解能が低下することから、イオン感応膜の構成が大きなポイントの一つになる。50nm程度の厚みのSi₃N₄基板をイオン感応膜として使用し、SiO₂を絶縁膜、n型半導体の多層膜をベースとして、膜厚、半導体内の不純物濃度等による検出電流、空間分解能を評価し、最適な膜構成を検討する。

(3) 数値解析による電子散乱の解析と膜構造の最適化

さらに、モンテカルロシミュレーションによる電子線散乱を解析し、達成可能な空間分解能を評価する。数値解析結果からイオン膜の構成および膜厚に関する空間分解能、感度を評価し、最適な膜構成を検討する。この解析結果を基礎実験システムにフィードバックし、システムを最適化した。

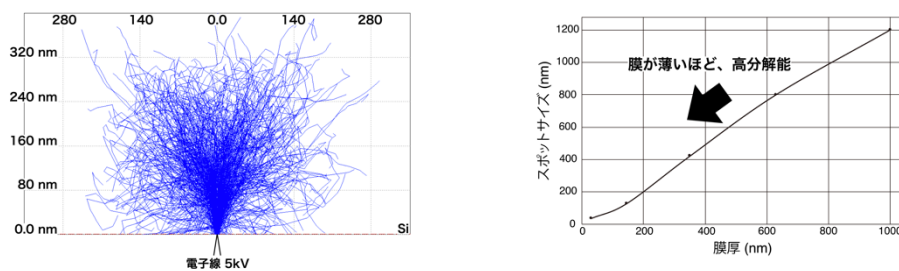
(令和元年度)

(1) システムの再設計と膜構造の最適化

試作した基礎システムによる標準試料の測定結果と数値解析結果を詳細に比較検討し、開発したセンサー基板の問題点を明らかにするとともに、その解決方法を検討し、基板構成を改良し、本システムで実現可能な空間分解能、感度などを評価した。これらの結果から膜構造の解析を行い、最適な膜構成を検討した。システム全体の課題の洗い出しと改良を進めることにより、高い空間分解能と感度を有するイオンセンサーを開発した。

4. 研究成果

図2(a)にモンテカルロシミュレーションを用いた電子線散乱の計算結果を示す。加速電圧5kVでSi基板に電子線を照射した場合の散乱の様子である。電子線は300nm程度の深さまで侵入し、幅300nm程度まで広がっていることがわかる。図2(b)にはセンサー基板の膜厚と電子線散乱によるスポット径を評価した結果を示す。基板膜厚が薄くなるにしたがって、スポット径が小さくなり、分解能が向上することかわかる。100nm以下の分解能を得るためには、膜厚を100nm以下にする必要があることが確認できる。



(a) 電子線散乱の解析結果 (b) 膜厚とスポットサイズの関係
図2. モンテカルロシミュレーションによる電子線散乱の解析結果

図3に開発したセンサー基板の構造を示す。イオン感応膜としてSi₃N₄を用い、SiO₂、p-Siの3層構造とした。膜厚は、それぞれ50nm、12nm、50nmである。センサー基板は厚み375nmのSiO₂と厚み500μmのSi基板上に構成されている。基板裏面より異方性エッチングすることにより、センサー一面を薄膜とする構成とした。

図4にpHによるバイアス電圧依存性を示す。バイアス電圧を上昇させるとともに、測定電流が増加していることが確認できる。バイアス電圧を0.1Vのところで見ると、pHが大きくなるとともに、測定電流が小さくなることを確認できる。したがって、バイアス電圧を固定することによって、pHを測定することができることが確認できた。これによりpH測定の原理が確認できた。この場合の加速電圧は5kV、電子線照射の変調周波数は、820Hzである。

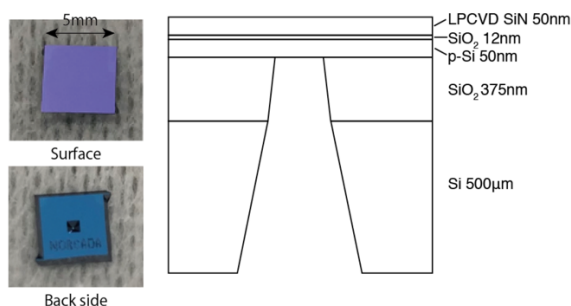


図3. センサー基板の構成

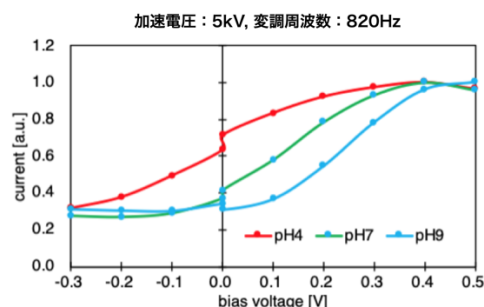


図4. バイアス電圧依存性

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Seo Min-Woong, Shirakawa Yuya, Kawata Yoshimasa, Kagawa Keiichiro, Yasutomi Keita, Kawahito Shoji	4. 巻 53
2. 論文標題 A Time-Resolved Four-Tap Lock-In Pixel CMOS Image Sensor for Real-Time Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Solid-State Circuits	6. 最初と最後の頁 2319-2330
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSSC.2018.2827918	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 Ibrahim Khaleelullah Mohamed Mathar Sahib, Tanaka Asahi, Dheivasigamani Thangaraju, Sugimoto Kyohei, Shimura Yosuke, Inami Wataru, Kawata Yoshimasa, Hayakawa Yasuhiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Photothermally Active Upconversion Core-Shell NaGdF ₄ :Yb:Tm@Cu Nanostructures: Synthesis and Theranostic Properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Particle & Particle Systems Characterization	6. 最初と最後の頁 1800227-1800227
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ppsc.201800227	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 Hanulia Taras, Inami Wataru, Ono Atsushi, Kawata Yoshimasa	4. 巻 427
2. 論文標題 Fluorescence Lifetime Measurement Excited with Ultraviolet Surface Plasmon Resonance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Communications	6. 最初と最後の頁 266-270
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optcom.2018.06.069	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 Mykyta Kolchiba, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata	4. 巻 9
2. 論文標題 Highly Luminescent YAlO ₃ :Gd ³⁺ Thin Films as a Nanoscale Optical Source for Super-Resolution Bioimaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Material Express	6. 最初と最後の頁 1803-1814
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OME.9.001803	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 Wataru Inami, Daiki Horiba, Yoshimasa Kawata	4. 巻 206
2. 論文標題 Cell stimulation by focused electron beam of atmospheric SEM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 112823-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultramic.2019.112823	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 Wataru Inami, Masahiro Fukuta, Yoshimasa Kawata, Susumu Terakawa	4. 巻 276
2. 論文標題 Visualization of ultraviolet absorption distribution beyond the diffraction limit of light by electron beam excitation assisted optical microscope	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Microscopy	6. 最初と最後の頁 46-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmi.12835	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 Atsushi Sugita, Suto Kaname, Kannta Mochizuki, Kohei Kikuchi, Atsushi Ono, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata	4. 巻 101
2. 論文標題 Second harmonic conversions of surface-plasmon-polariton-enhanced optical fields in nonlinear optics polymer/Ag/glass structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045303-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.045303	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 Hafizah Halip, Yuto Yoshimura, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata	4. 巻 8
2. 論文標題 Ultrashort laser based two-photon phase-resolved fluorescence lifetime measurement method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Methods and Applications in Fluorescence	6. 最初と最後の頁 025003-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2050-6120/ab71c2	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 川田善正	4. 巻 6
2. 論文標題 深紫外プラズモニクスと高感度蛍光バイオイメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 41-45
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 川田善正、小野篤史、居波 涉	4. 巻 70
2. 論文標題 深紫外光励起表面プラズモンと高感度蛍光バイオイメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学工業「プラズモニクスの新展開」	6. 最初と最後の頁 15-21
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 Yoshimasa Suzuki, Satoshi Watanabe, Mayumi Odaira, Toshiro Okamura, and Yoshimasa Kawata	4. 巻 58
2. 論文標題 Numerical simulations of partially coherent illumination for multi-scattering phase objects via a beam propagation method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 954-962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.000954	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29件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Wataru Inami, Kiyohisa Nii, Satoru Shibano, Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Electron Beam Addressable Potentiometric Sensor for Ion Distribution Imaging with High Resolution
3. 学会等名 The 4th Biomedical Imaging and Sensing (Bisc2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wataru Inami, Kiyohisa Nii, Satoru Shibano, Hikaru Tomita, Yoshimasa Kawata, Yuji Miyahara
2. 発表標題 High Spatial Resolution Ion Imaging with Potentiometric Sensor Using an Electron Beam
3. 学会等名 The 4th International Conference on Nano Electronics Research Education 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Optics and Photonics
3. 学会等名 Intensive Course at National Taiwan University of Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 結像の評価と近接場光学
3. 学会等名 2018光応用技術研修会テキスト (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川田善正、居波 涉
2. 発表標題 電子線励起による超解像光学顕微鏡(EXA)の開発
3. 学会等名 第23回 福井セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 深紫外プラズモニクスと高感度バイオイメージング
3. 学会等名 光とレーザーの科学技術フェア2018」レーザーセミナー講演予稿集（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 紫外領域における表面プラズモン共鳴の現象研究とその応用
3. 学会等名 平成30年度多元技術融合光プロセス研究会第4回研究交流会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 High Resolution Bio-imaging of Non-Stained Cells with Electron Beam Excitation
3. 学会等名 5th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 High Resolution Bio-Imaging of Non-Stained Cells with Electron Beam Excitation
3. 学会等名 Joint Student Scientific Seminar Between Faculty of Engineering & Physics of Amur State University, Russia and Faculty of Engineering of National University Corporation Shizuoka University, Japan（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 電子線励起アシスト超解像顕微鏡
3. 学会等名 第45回冬期講習会「光と生命科学」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 光を用いた超解像バイオイメージング
3. 学会等名 東三河・浜松地区高大連携協議会フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田善正、居波 涉
2. 発表標題 電子線励起蛍光顕微鏡
3. 学会等名 マイクロビームアナリシス 第141委員会 第175回 研究会資料 日本学術振興会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田善正
2. 発表標題 電子線励起による超解像光学顕微鏡
3. 学会等名 日本フォトリソグラフィ協会 JPC アカデミック・パートナーシップ・ゼミナール (APS) 第5回 「静岡大学 -次世代イメーシングを目指した ひかり技術-」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 High resolution imaging of ion-distribution with electron beam excitation
3. 学会等名 Global Nanophotonics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 High Resolution Bio-Imaging with Electron Beam Excitation assisted (EXA) optical microscopy
3. 学会等名 12th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '19 (ALC'19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hafizah Halip, Yuto Yoshimura, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Two-photon Phase-resolved Fluorescence-lifetime-measurement Method Involving Use of Ultrashort-pulsed Laser
3. 学会等名 2019 年日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Yamamoto, Atsushi Ono, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Fluorescence Enhancement by Electron Beam Excitation LSPR
3. 学会等名 Optics + Photonics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mykyta Kolchiba, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Highly Luminescent YAlO ₃ :Gd ³⁺ Thin Films as a Nanoscale Optical Source for Super-resolution Microscopy
3. 学会等名 The 4th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hafizah Halip, Yuto Yoshimura, Wataru Inami, Yoshimasa Kawata
2. 発表標題 Two-photon Phase-resolved Fluorescence Lifetime Measurement Method Using Ultrashort Pulse Laser
3. 学会等名 The 4th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本秀介、居波涉、手老龍吾、川田善正
2. 発表標題 電子線照射による人工細胞膜のダメージ評価
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井清久, 居波涉, 川田善正
2. 発表標題 電子線励起高空間分解能イオンイメージングのための基板構造の最適化
3. 学会等名 2019年第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 柴野暁, 川田善正, 居波涉
2. 発表標題 高空間分解能イオンイメージングシステムのセンサー基板の評価
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田勝平, 松井大海, 小野篤史, 居波涉, 川田善正, 吉澤雅幸, 杉田篤史
2. 発表標題 ドルマン型金ナノ粒子複合系の超高速時間分解吸収分光
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本雄大, 川田善正, 居波 涉
2. 発表標題 2光子過程を用いた深紫外励起顕微鏡に関する研究
3. 学会等名 情報フォトンクス研究会第13回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田光, 川田善正, 居波 涉
2. 発表標題 細胞膜観察のための高分解能イオンイメージングシステムの開発
3. 学会等名 情報フォトンクス研究会第13回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 峻亮, 川田 善正, 居波 涉
2. 発表標題 電子線の侵入長の違いを用いた走査型電子顕微鏡による3次元構造観察
3. 学会等名 情報フォトニクス研究会第13回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小出 瑛大, 川田 善正, 居波 涉
2. 発表標題 共焦点顕微鏡を用いた精密濾過の3次元動態観察
3. 学会等名 情報フォトニクス研究会第13回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪 直也, 川田 善正, 居波 涉
2. 発表標題 水溶液への電子線照射による金属微細構造の作製
3. 学会等名 情報フォトニクス研究会第13回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 達也, 小野 篤史, 居波 涉, 川田 善正
2. 発表標題 電子線励起局在プラズモンを用いた蛍光増強の研究
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会 第39回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	居波 渉 (INAMI Wataru) (30542815)	静岡大学・電子工学研究所・教授 (13801)	