

Research Report No.17

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

Research Institute of Electrical Communication

Tohoku University

東北大学電気通信研究所附属

ナノ・スピン実験施設

研究報告書 第17号

2022



ISSN 1881-3356

**東北大学電気通信研究所
附属ナノ・スピン実験施設
研究報告書 第 17 号**

**Research Report No.17
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

2022

施設研究報告書 2022

目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	令和3年度の研究成果のハイライト	3
4.	施設の活動	9
4-1	国際共同研究	9
4-2	国際シンポジウム	10
5.	研究成果（令和3年度）	23
5-A	ナノ集積基盤技術関連	23
5-B	スピントロニクス基盤技術関連	115
5-C	ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	185
6.	参考資料	231
6-1	施設の代表的装置の概要	233
6-2	施設の利用状況（令和3年度）	239
6-3	ナノ・スピン工学研究会	244

Annual Research Report 2022

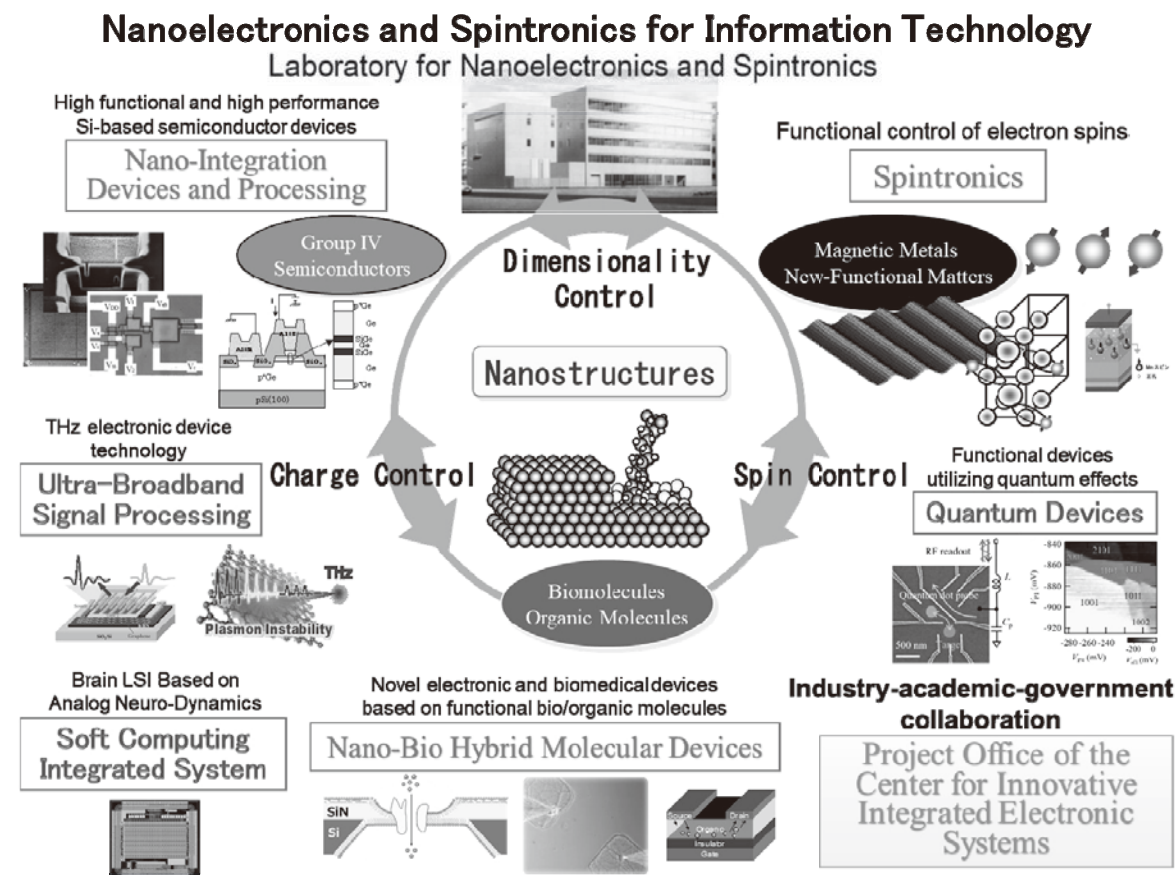
Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2021	3
4.	Global Activities	9
4-1	COE of International Research Collaboration	9
4-2	International Symposium	10
5.	Research Abstracts	23
5-A	Nano Integration	23
5-B	Spintronics and Information Technology	115
5-C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	185
6.	Miscellaneous	231
6-1	Facilities and Equipments	233
6-2	Statistics	239
6-3	Nano-Spin Seminar Series	244

1. 施設の概要

Outline

ナノ・スピンの実験施設



「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「ITプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

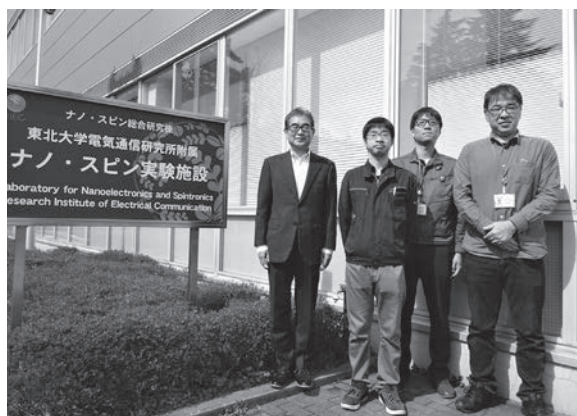
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス（COE）となることを目標としている。

東北大学電気通信研究所附属
ナノ・スピン実験施設長
教授 堀尾 喜彦

2. 施設の組織 Organization

施設長 Director
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio

共通部 Corporation Section
技術職員 森田 伊織 Technical Staff Iori Morita
技術職員 小野 力摩 Technical Staff Rikima Ono
技術職員 武者 倫正 Technical Staff Michimasa Musya



運営委員会 Steering Committee
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio
教授 佐藤 茂雄 Professor Shigeo Sato
教授 深見 俊輔 Professor Shunsuke Fukami
教授 平野 愛弓 Professor Ayumi Hirano-Iwata
教授 尾辻 泰一 Professor Taiichi Otsuji
教授 末松 憲治 Professor Kenji Suematsu
教授 遠藤 哲郎 Professor Tetsuro Endoh
教授 白井 正文 Professor Masafumi Shirai
教授 石山 和志 Professor Kazushi Ishiyama
教授 齋藤 伸 Professor Shin Saito

拡大実行委員会 Extended Executive Committee
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio
教授 佐藤 茂雄 Professor Shigeo Sato
教授 深見 俊輔 Professor Shunsuke Fukami
教授 平野 愛弓 Professor Ayumi Hirano-Iwata
教授 尾辻 泰一 Professor Taiichi Otsuji

3. 令和 3 年度の研究成果のハイライト

Highlights of Research in FY2021

施設研究部と利用研究室の令和 3 年度の研究成果のハイライトを記します。

ナノ集積基盤技術関連

Nano Integration

● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

Nano-Integration Devices and Processing (S. Sato, M. Sakuraba, and H. Yamamoto)

(1) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、極低電力で動作するスパイクングニューロンから構成されるリカレントニューラルネットワーク LSI を製作した。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路が正確に動作すること、本ネットワークが入力信号に依存して多様な反応を示すことを電気測定により確認した。

(2) 低エネルギープラズマ化学気相成長法を用いることによって化学量論比組成に近い Si 窒化膜形成を可能とするとともに、熱酸化 SiO₂ 絶縁膜の下部の半導体基板表面にナノメートル厚の Si 窒化膜を堆積させておくことにより半導体基板表面の熱酸化を抑制できることを実験的に明らかにした。

(3) 機械学習の一方式である強化学習の専用ハードウェアの開発を目的として、状態遷移が確率的な環境モデルにおいて、Q 学習を処理する専用回路をレジスタ転送レベルで設計し、回路リソースの削減と学習性能の関係を明らかにした。

(1) Toward the development of neuromorphic computation hardware, we fabricated a recurrent neural network LSI composed of spiking neurons that can reproduce various neuron pulses with ultra-low power consumption. We confirmed by electrical measurements that our analog MOS circuit correctly operated in the weak inversion region and that the network showed various responses depending on input signal.

(2) Low-energy plasma chemical vapor deposition method enables the formation of Si nitride film with a composition close to stoichiometric ratio, and it is experimentally shown that a nanometer-thick Si nitride film under the thermally oxidized SiO₂ dielectric film can suppress thermal oxidation of the substrate surface.

(3) Toward the development of a dedicated hardware for reinforcement learning, we investigated the relationship between the bit-length of floating-point operations and the learning performance of the Q-learning algorithm.

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

Soft Computing Integrated System (Y. Horio)

(1) 相互結合型で内部ダイナミクスを持つカオスニューラルネットワークリザバーをサイクリック状態更新方式により 2 層ニューラルネットワークだけで実装する方法を提案した。これを、Through Silicon Via と Micro Bump を用いた 3 次元積層 LSI の実証チップとして実装しその特性を実験で確認した。さらに学習ネットワークを構成した時の特性を回路レベルエミュレータにより評価した。

(2) これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよび

シナプス様デバイスの数理モデルを、集積回路として実装するために必要な回路レベルモデルと、学習ネットワークを設計するために用いるネットワークレベルモデルへと拡張した。

(3) リザーバーニューラルネットワークを実時間追加学習させるためのオンライン学習則を 6 種類提案し、その有効性をシミュレーションにより比較・評価した。

(4) カオスニューラルネットワークリザーバーの局所的な記憶（不応性）パラメータや出力関数の最大ゲインパラメータと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により明らかにした。

(1) We implemented a proof-of-concept chip for a cyclic-updating chaotic neural network reservoir (CNNR) integrated circuit using TSV/bump three-dimensional stacked IC technology. The experimental results from the chip confirmed the validity and efficiency of the proposed technique. We also developed a full circuit level emulator based on the measurement results to evaluate learning CNNR networks.

(2) We improved our mathematical model of neuron-like and synapse-like spintronics devices to be applicable to integrated circuit and learning neural network designs. Some novel spintronics-based neural networks were proposed using the improved model.

(3) We proposed six online learning algorithms for real-time additional learning of reservoir neural networks. Performances of these algorithms were compared through simulations on discrete word recognition tasks.

(4) We clarified the effects of local memory (refractoriness) inside the neuron, and the maximum gain of the neuronal output function in the CNNR on word recognition performance through simulations. As a result, we found that suitable exponential decay of the internal state improves the performance.

スピントロニクス基盤技術関連

Spintronics and Information Technology

● スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics (S. Fukami)

固体中の電子のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子への応用を目的として研究を行い、主に以下の成果を得た。(1) 量子ビット応用に適した固体中のスピン中心の物性と、今後ブレイクスルーが期待される物性や材料を系統的に示した。(2) 確率ビット応用に適したストカスティック磁気トンネル接合の新たな構造としてダブルフリー層構造を提案し、数値計算によりその時間領域特性、時間平均特性を明らかにした。(3) ノンコリニア反強磁性体からなるヘテロ構造に電流を導入することでスピン軌道トルクによって誘起される新奇スピントロニクス現象であるカイラルスピン構造の恒常回転を発見・実証した。(4) Wi-Fi の 2.4 GHz 周波数帯の電磁波と共鳴する高周波スピントロニクス素子を開発し、それを連結した構造における環境発電のでも実験を行い、LED を点灯させることに成功した。(5) ノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn 薄膜の結晶構造、磁気特性、磁気輸送特性の Mn-Sn 組成依存性、温度依存性を詳細に測定し、異常ホール効果等のトポロジカル物性が決まる機構に関する重要な知見を得た。(6) ジャロシンスキー・守谷相互作用の簡便な定量測定手法として広く用いられている電流誘起ヒステリシスループシフト実験の解析において見過ごされている要素を明らかにし、正しい解析手法を提案した。(7) 垂直磁界容易軸を有するストカスティック磁気トンネル接合の磁場や電流に対する時間平均応答特性を系統的に評価し、その特性を決める物理的な機構を明らかにした。(8) 人工ニューロンとしての利用が期待されるスピンホールナノ振動子と人工シナプスとしての利用が期待されるメモリストを連結した構造を作製し、神経回路網の基本動作と類似する、振動子の発振特性の不揮発制御を実証した。(9) オングストローム半導体世代向けの高性能磁気トンネル接合に関し、

積層構造の設計による緩和時間の制御により、直径 10 nm を下回る素子において 10 ns 以下のパルスでの書き込み動作を実証した。(10) ストカスティック磁気トンネル接合からなる確率ビットを用い、ボルツマン機械学習の原理実証に成功した。

Our research activities aim at realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) Summarizing physical properties and potential materials for qubit applications with spin centers, (2) proposing double-free-layer stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic bit applications and clarifying the physical mechanism governing the time-domain and time-averaged properties, (3) discovering a persistent rotation of chiral-spin structure in non-collinear antiferromagnet driven by current-induced spin-orbit torque, (4) demonstrating the energy harvesting of Wi-Fi band signal using series connected spintronic oscillators, (5) elucidating the critical factors that govern the topological properties of non-collinear antiferromagnetic Mn_3Sn thin film through a systematic measurement of the crystalline structure, magnetic properties and magnetotransport properties, (6) revealing a missing factor in the analysis of current-induced hysteresis loop measurement that is used to quantify the Dzyaloshinskii-Moriya interaction, (7) clarifying the physical mechanism governing the time-averaged response of the stochastic magnetic tunnel junction with respect to magnetic field and current, (8) demonstrating a nonvolatile control of oscillation properties in an artificial structure consisting of spin Hall nano-oscillators as an artificial neuron and memristors as an artificial synapse, (9) establishing a device technology to extend nonvolatile magnetic tunnel junction to angstrom semiconductor generation while keeping high performance, and (10) demonstrating Boltzmann machine learning using a probabilistic bits with stochastic magnetic tunnel junctions.

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

Ultra-Broadband Signal Processing (T. Otsuji and A. Satou)

本研究室では、いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し、次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として、III-V 族化合物半導体ならびに炭素同素体単原子材料グラフェンを材料系として用い、プラズモンなどの新しい動作原理の導入によって、新規の集積型ミリ波・テラヘルツ波電子デバイスと回路システムの創出を目指している。さらに、それらを応用した超高速無線通信システムや安心安全のための分光・イメージング技術などの超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。本年度は、以下の成果を得た。

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得 9 % のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した（2020.07. プレスリリース；国際会議招待講演 16 件）。

2. プラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発

InGaAs チャネルを有するプラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発を進め、光起電圧のゲート読み出し方式において、電子トンネリングに起因するダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された”三次元整流効果”を、正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来の負ゲート電圧印加時よりも一桁向上させることに成功した。

The goal of our research is to explore the terahertz frequency range by creating novel integrated electron devices and circuit systems. III-V- and graphene-based active plasmonic heterostructures for creating new types of terahertz lasers and ultrafast transistors are major concerns. By making full use of these world-leading device/circuit technologies, we are developing future ultra-broadband wireless communication systems as well as spectroscopic/imaging systems for safety and security. The followings

are the major achievements in 2020FSY.

1. Creation of graphene-based current-injection terahertz lasers

Graphene, a monolayer sheet of honeycomb carbon crystal, exhibits unique carrier transport properties owing to the massless and gapless energy spectra, which is expected to break through the limit on conventional device operating speed/frequency performances. Towards the creation of novel current-injection graphene THz laser-transistors, we developed a graphene laser-transistor featured with our original asymmetric dual-grating gates demonstrating coherent amplification of THz radiation with the maximal gain of 9% at room temperature promoted by graphene plasmon instabilities driven by dc-channel current flow (Press-released on July 2020).

2. Development of plasmonic THz detectors

Regarding the InGaAs-channel plasmonic THz detector, we demonstrated that the "3D rectification effect", where the diode current nonlinearity associated with the electron tunneling is superimposed onto the plasmonic hydrodynamic nonlinearities, can take place by applying a positive gate bias voltage in the gate-readout configuration of the photovoltage and succeeded in drastic enhancement of the detector responsivity by one order of magnitude.

● 量子デバイス（大塚朋廣）

Quantum Device (T. Otsuka)

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速測定、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。

(1) 固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法を開発している。高周波測定技術の改良や、データ科学手法を活用した解析等、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定、制御する手法について研究を行った。

(2) 電気的精密高速測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。半導体量子ドットデバイスにおける単一電子ダイナミクスや、新材料における電子物性についてその詳細を解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態の精密高速測定・制御技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイスの研究を行った。量子ビット操作、読み出しに関する研究とともに、量子システムのスケールアップに向けた研究を行った。

We are exploring interesting properties of solid-state nanostructures utilizing precise and high-speed electric measurement and control techniques. We are also developing materials and devices using nanostructures. Our research activities in FY 2021 are the following.

(1) We developed electronic measurement and control methods of local electronic states in nanostructures utilizing semiconductor quantum dots. We improved the methods with high-frequency techniques and data informatics approaches.

(2) We measured local electronic and spin states in nanostructures utilizing sensitive electronic measurement techniques. We revealed the detail of local electronic states in quantum dot devices and new materials.

(3) We studied semiconductor quantum bits for future quantum information processing. We worked on quantum bit operations and readout and developed techniques for scale-up of quantum systems.

ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

Nano-Bio Hybrid Molecular Devices

● ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）

Nano-Bio Hybrid Molecular Devices (A. Hirano-Iwata)

微細加工技術とバイオ・有機材料との融合により、高次情報処理を可能にする様々な分子デバイスの開発を目指す。半導体微細加工技術を薬物スクリーニング等に応用するバイオエレクトロニクスの研究や、有機材料に基づくデバイス開発、生きた細胞を使って神経回路を作り上げ、固体基板上に脳機能を再構成しようとする研究を進めている。これらのデバイスは情報通信システムと結合可能であり、健康社会のための新技術として実現することを目指している。

(1) 膜平行方向への電圧印加・測定を可能にする新しい人工細胞膜プラットフォームの構築

細胞膜を模した脂質二分子膜中にイオンチャネル等の膜タンパク質を包埋した人工細胞膜系は、1962年の初めての報告以来、膜タンパク質の機能性評価のための優れた膜系として広く用いられてきた。従来、人工細胞膜系に包埋されたイオンチャネルの機能評価は、膜に直交する向きに電圧を印加した際に観測される膜貫通方向の電流を記録することで行われてきた。我々は、膜タンパク質の機能評価の新機軸として、膜に平行な向きの電圧「膜平行電圧」を着想し、この印加を可能とする膜プラットフォームの構築を試みた。その結果、膜平行電圧によるイオンチャネルの開閉促進や、有機ナノ粒子であるフラーレン含有膜における光誘起膜貫通電流の増幅効果といった全く新しい現象を見出した。これらの結果は、膜貫通電流が膜平行電圧によって増強されるという新しい制御様式を示しており、新規デバイスの創成に繋がる重要な成果である。

(2) マイクロ加工基板を用いた神経回路機能の in vitro 再構成

マイクロ加工基板やマイクロ流体デバイスを用いて生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御する技術を1つのコアとして、科研費・学術変革領域研究(B)「脳神経マルチセルラバイオコンピューティング」を立ち上げた。当該プロジェクトのメンバー間の共著論文として国際誌 *Electrochemistry* に発表した論文では、マイクロ加工基板上に培養した神経細胞に対して局所的な刺激を印加するための新しい電極技術を開発した。

(3) ナノポーラス構造体を用いたガスセンサの開発／ナノバブルによる殺菌作用の解明

酸化チタン (TiO_2) ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した。ニューラルネットワークに基づく機械学習解析の導入により、混合ガス中に含まれる微量な一酸化炭素を、市販の電気化学式センサと同等以上の精度で検出することに成功した。また、二酸化炭素 (CO_2) ガスを、ナノポーラス構造体であるポーラスアルミナ (Al_2O_3) 薄膜フィルタに通し生成させた CO_2 ナノバブルが、モデル細菌の大腸菌に対して殺菌効果をもたらし、かつ、ナノバブル水中で生成される活性酸素が殺菌に寄与することを見出した。

Our research activities focus on development of sophisticated molecular-scale devices through the combination of well-established microfabrication techniques and various soft materials, such as biomaterials and organic materials.

(1) We developed a new measurement system for artificial lipid bilayer membranes, in which a lateral voltage was introduced as a new input in addition to the traditional transmembrane voltage. We demonstrated that the new system could effectively modulate the ion-channel activity and the performance of hybrid devices based on fullerene-doped bilayer membranes.

(2) In collaboration with a member of the newly launched Grant-in-Aid for Transformative Research Area

(B) “Multicellular Neurobiocomputing” (MEXT KAKENHI), we developed a novel microelectrode technology to deliver localized stimulation to cultured neuronal networks grown on microfabricated substrates.

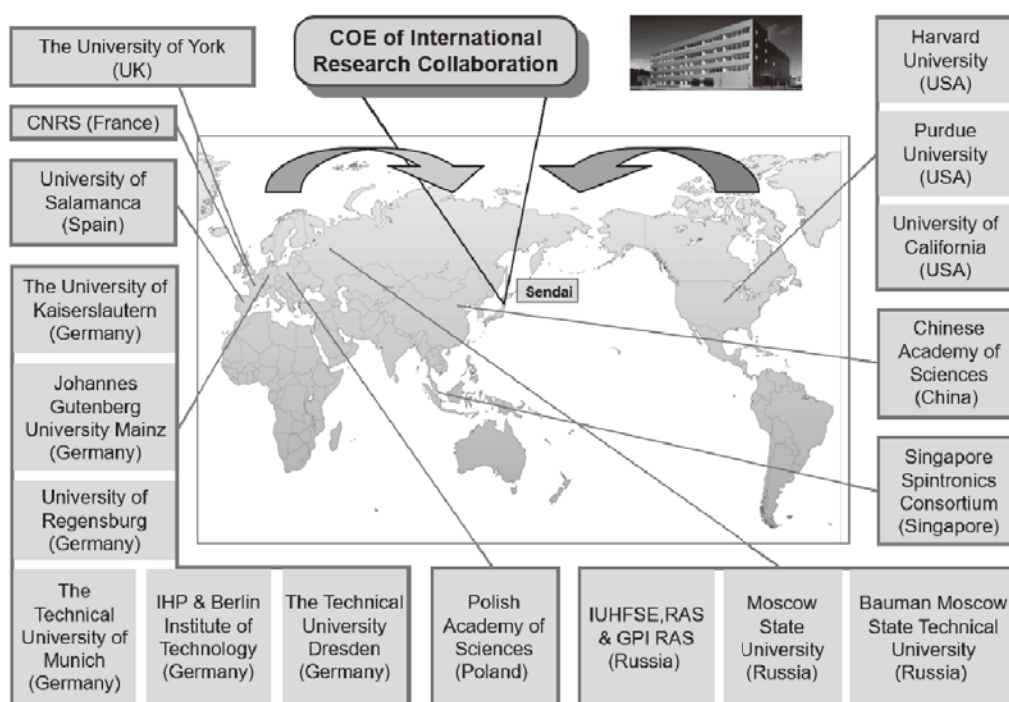
(3) We developed a TiO₂ nanotube-based gas sensor for precisely detecting trace amounts of CO in a gas mixture. We also confirmed the bactericidal activity of nanobubbles generated using porous alumina films.

4. 施設の活動

Global Activities

4-1 国際共同研究 COE of International Research Collaboration

ナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業（平成 17 年度～21 年度特別教育研究経費として採択）を基盤として、21 世紀に求められる高度な情報通信を実現するため、「ナノ集積化技術の追求と展開」、「スピン制御技術の確立と情報処理への応用」、「分子ナノ構造による情報処理の実現と応用」の 3 本を柱に据え、ナノエレクトロニクス情報デバイスと、これを用いた情報システムの構築を推進するとともに、これらを実現するための国際共同研究体制を構築し、ナノエレクトロニクス分野の世界における COE の確立を目指している。



Academic Exchange Programs

The University of York, UK
The Interdisciplinary Center on Nanoscience of Marseille, CNRS, France
University of Salamanca, Spain
The University of Kaiserslautern, Germany
The Technical University Dresden, Germany
Johannes Gutenberg University Mainz, Germany
University of Regensburg, Germany
The Technical University of Munich, Germany
IHP & Berlin Institute of Technology, Germany
Polish Academy of Sciences, Poland
IUHFSE, RAS & GPI RAS, Russia
Moscow State University, Russia
Bauman Moscow State Technical University, Russia
Singapore Spintronics Consortium, Singapore
Chinese Academy of Sciences, China
University of California, USA
Purdue University, USA
Harvard University, USA

ナノ・スピン実験施設で開催した国際シンポジウム

International Symposium Held in LNS,RIEC

RIEC Symposium on Spintronics

第1回 : 2005年2月8-9日	第2回 : 2006年2月15-16日
第3回 : 2007年10月31日-11月1日	第4回 : 2008年10月9-10日
第5回 : 2009年10月22-23日	第6回 : 2010年2月5-6日
第7回 : 2011年2月3-4日	第8回 : 2012年2月2-3日
第9回 : 2012年5月31日-6月2日	第10回 : 2013年1月15-16日
第11回 : 2013年1月31日-2月1日	第12回 : 2014年6月25-27日
第13回 : 2015年11月18-20日	第14回 : 2016年11月17-19日
第15回 : 2017年12月13-14日	第16回 : 2019年1月9-10日
第17回 : 2019年12月3-6日	第18回 : 2021年11月5-30日



7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

International Workshop on Nanostructure & Nanoelectronics

第1回 : 2007年11月21-22日	第2回 : 2010年3月11-12日
第3回 : 2012年3月21-22日	第4回 : 2013年3月7-8日
第5回 : 2014年3月5-7日	第6回 : 2015年3月2-4日
第7回 : 2016年3月1-3日	第8回 : 2017年3月6-7日
第9回 : 2018年3月1-2日	第10回 : 2019年3月6-7日
第11回 : 2021年3月1-2日	第12回 : 2022年3月14-15日



RIEC-CNSI Workshop on Nano & Nanoelectronics, Spintronics and Photonics

第1回 : 2009年10月22-23日

RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

第1回 : 2012年11月15-16日	第2回 : 2014年2月21-22日
第3回 : 2015年2月18-19日	第4回 : 2016年2月23-24日
第5回 : 2017年2月27-28日	第6回 : 2018年2月1-2日
第7回 : 2019年2月22-23日	第8回 : 2020年2月13-15日
第9回 : 2020年12月5日	第10回 : 2022年2月18-19日

2nd RIEC Symposium on Spintronics-MgO-based Magnetic Tunnel Junction-
Left: Albert Fert (received 2007 Nobel Prize in Physics); Right: Russel Cowburn

4-2 国際シンポジウム開催 International Symposium

第 112 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 1 回 オンライン 国際スピントロニクスワークショップ 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics

深見 俊輔
Shunsuke FUKAMI

開催日 : 令和3年11月5日(金) ~ 30日(火) (26日間)

開催場所 : オンライン開催

本ワークショップは、2004年以降ほぼ年1回のペースで開催してきた RIEC International

Workshop on Spintronics の一環として開催したものであり、今回はコロナ禍での対面開催の困難を鑑みて、初めてオンラインで開催した。これまでの全 17 回の対面イベントで築き上げてきた知名度を維持しながら、オンラインの特徴を活かしてスピントロニクスコミュニティにとって実りのある企画とするため、開催方法に以下のような工夫を施した。会議は 11 月 18 日に開催したライブセッションと、11 月 5 日から公開したオンデマンドセッションの 2 部構成とした。ライブセッションは PI クラスの著名研究者 6 名からなるパネルディスカッション形式を採用して集中力が持続するよう開催時間を 1.5 時間に限定し、一方オンデマンドコンテンツは各 PI が指名した若手研究者による 15～40 分程度の研究紹介の招待講演ビデオで構成した。

扱われた主なトピックは、スピン軌道トルクが誘起する磁化ダイナミクス、電子の軌道角運動量の機能性素子への応用、反強磁性スピントロニクスの新展開などである。最新かつ世界トップレベルの研究成果が共有されるとともに、今後コミュニティが開拓すべき方向性について活発な議論がなされた。これに加え、次代を担う若手研究者の講演で構成されたオンデマンドセッションは、人材発掘という観点でも実りのあるものとなった。

参加者は合計 417 名を数え、32 の国と地域から非常に多くの研究者、技術者、学生にご参加いただいた。またオンデマンドページへのアクセス総数は 2021/11/25 の時点で 510 回に達した。これは各参加者が平均 1 回以上オンデマンドページにアクセスして動画を視聴したことを意味し、コンテンツへの注目度の高さがうかがえるものである。

第 114 回電気通信研究所国際シンポジウム
第 10 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム
The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and
Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開 催 日：令和 4 年 2 月 18 日（金）～19 日（土）（2 日間）

開催場所：オンライン開催

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大腦生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が 10 回目であり、令和 4 年 2 月 18 日～19 日に開催された。アメリカ、カナダ、韓国、スペイン、スウェーデン、フランスから 8 名の海外招待講演者を迎え、33 件の口頭発表が行われた。前回に引き続き 2 度目のオンライン開催となったが、分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。

第 115 回電気通信研究所国際シンポジウム
第 12 回 ナノ構造・ナノエレクトロニクスに関する国際ワーク
ショップ
12th International Workshop on Nanostructures &
Nanoelectronics

平野 愛弓
Ayumi HIRANO-IWATA

開催日：令和4年3月14日（月）～15日（火）（2日間）

開催場所：オンライン開催

第12回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップが令和4年3月14日（月）～15日（火）の2日間にわたり、オンラインにて開催された。ドイツ、中国、そして日本からの計7件の招待講演が行われ、2日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め55名を数えた。昨年度に続きオンライン形式での開催となったが、ナノ・バイオ融合分野の発展に資する、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、光触媒反応を用いた酸化チタンナノチューブ構造体での水素生成の実現、有機導電性分子を用いたナノコイル構造を足場とする細胞培養の実現、ナノ・マイクロ加工技術と人工脂質二分子膜との融合から成る新奇バイオセンシングプラットフォームの創成、抹消神経インターフェイスに適用可能な電極アレイの開発、個々の細胞に対する電気化学的ナノイメージング技術の開発、酸化チタンナノチューブ構造体のバイオメディカル応用、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、本ワークショップに係わる研究者間での交流も日頃より活発に行われており、ナノ・バイオ融合分野の今後益々の発展が期待される。

The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: February 18-19th, 2022

Place: Virtual Symposium

Organizers:

Symposium Chair

Shigeo Sato, Tohoku Univ.

Program Committee

Takahiro Hanyu, Tohoku Univ., Yoshihiko Horio, Tohoku Univ.,

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Hideaki Yamamoto, Tohoku Univ.,

Kiyotaka Naoe, Tohoku Univ., Yasunari Takaura, Tohoku Univ.,

Yasunori Yamanouchi, Tohoku Univ., Masato Morishima, Tokyo Electron.,

Secretary

Satoshi Moriya, Tohoku Univ.

Co-organized by

Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

Tohoku Forum for Creativity Program 2020 "Designing the Human-Centric IoT Society

-Cooperative Industry-Academic Strategies for Creative Future Connection"

Transformative Research Areas (B) "Multicellular Neurobiocomputing"

In cooperation with

WISE Program for AI Electronics, Tohoku University

Program

Feb. 18

- 9:30 - 9:35 Opening Remarks
A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
---- Special Session 1 (Chairs: Y. Katori, H. Yamamoto) ----
"The 1st Symposium on Multicellular Neurobiocomputing (1)"
- 9:35 - 9:55 [SS1-1] The launch of "Multicellular Neurobiocomputing"
H. Yamamoto, Y. Katori, T. Matsui, Y. Masamizu (Tohoku Univ., Japan)
- 9:55 - 10:25 [SS1-2 (Invited)] Modeling mean-field neuronal responses of the visual cortex
T. Netoff, A. Kiani, G. Ghose (Univ. Minnesota, U.S.A.)
- 10:25 - 10:55 [SS1-3 (Invited)] Perceptron-like learning rules mediate a plastic response to stressors in corticotropin-releasing hormone neurons of the hypothalamus
W. Nicola, T. Fuzesi, J. Bains (Univ. Calgary, Canada)
- 10:55 - 11:05 Break (10 min)
- 11:05 - 11:25 [SS1-4] Reservoir based sensory and motor processing models for multicellular neurobiocomputing
Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
- 11:25 - 11:45 [SS1-5] Spatiotemporal activity in the biological neural network: properties, functions, and potential applications
T. Matsui (Okayama Univ., Japan)
- 11:45 - 12:05 [SS1-6] Development of techniques to construct novel brain's neural circuits
Y. Masamizu, T. Ebina, Y. Tanaka, M. Negishi-Kato, H. Onoe, S. Takeuchi, M. Matsuzaki (Doshisha Univ., Japan)
- 12:05 - 13:30 Lunch Break
--- Special Session 2 (Chair: M. Kimura) ---
"Brain-like Integrated System: Device, Circuit, System, etc."
- 13:30 - 13:50 [SS2-1 (Session Invited)] Demonstrations on synaptic operations of ferroelectric-gate field-effect transistors
S.-M. Yoon (Kyung Hee Univ., Korea)
- 13:50 - 14:10 [SS2-2 (Session Invited)] IMAX2: A CGRA with interface to neuromorphic and stochastic computing
Y. Nakashima (NAIST, Japan)

- 14:10 - 14:25 [SS2-3] Multi-domain spiking neural network on analog neuromorphic hardware
R. Oshio, A. Sawada, M. Kimura, R. Zhang, Y. Nakashima (NAIST, Japan)
- 14:25 - 14:45 [SS2-4] Neuromorphic systems using thin-film memcapacitors
M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)
- 14:45 - 15:00 [SS2-5] Analog memristor using amorphous metal-oxide thin-film devices
D. Makioka, S. Shiomi, E. Iwagi, Y. Ishisaki, T. Katagiri, M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)
- 15:00 - 15:30 Break (30 min)
- Special Session 3 (Chairs: Y. Masamizu, T. Matsui) ----
- "The 1st Symposium on Multicellular Neurobiocomputing (2)"***
- 15:30 - 15:50 [SS3-1 (Invited)] High-resolution intravital imaging based on novel two-photon microscopic technologies
K. Otomo, T. Nemoto (Juntendo Univ., Japan)
- 15:50 - 16:10 [SS3-2] Nonlinear integration of synaptic inputs revealed by large-scale synapse imaging without backpropagating action potentials
S. Kondo, K. Kikuta, K. Ohki (Univ. Tokyo, Japan)
- 16:10 - 16:30 [SS3-3] Modeling subthreshold voltage signaling along axon in the hippocampus
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
- 16:30 - 16:50 [SS3-4] Glial assembly for the fine tuning of synaptic transmission
S. Katsurabayashi, K. Oyabu, K. Takeda, K. Kubota, T. Watanabe, K. Iwasaki (Fukuoka Univ., Japan)
- 16:50 - 17:00 Break (10 min)
- 17:00 - 17:20 [SS3-5] A new lipid bilayer platform for analyzing ion channel functions
A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
- 17:20 - 17:50 [SS3-6 (Invited)] Spiking Neural Network for bio-hybrid systems
T. Levi, R. Beaubois, F. Khoyratee (Univ. Bordeaux, France)
- 17:50 - 18:20 [SS3-7 (Invited)] Rich dynamics and functional organization on topographically designed neuronal networks in vitro
M. Montalà-Flaquer, C. F. López-León, D. Tornero, T. Fardet, P. Monceau, S. Bottani, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
-

Feb. 19

--- Special Session 4 (Chair: S. Sato) ---

"Spintronics-based edge computing hardware fundamentals"

- 10:00 - 10:30 [SS4-1 (Invited)] Massively parallel probabilistic computing through MRAM
K. Camsari, J. Kaiser, S. Datta, W. A. Borders, H. Ohno, S. Fukami (UC Santa Barbara, U.S.A.)
- 10:30 - 10:50 [SS4-2] Spiking neuron circuit and efficient CMOS reservoir computing
S. Sato, S. Moriya, S. Ono, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)
- 10:50 - 11:05 [SS4-3] Design of an energy-efficient binarized CNN accelerator using an appropriate schedule of intra-data life time
T. Oka, D. Suzuki, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)
- 11:05 - 14:00 Lunch Break
- General Session 1 (Chairs: Y. Horio, S. Moriya) ---
- 14:00 - 14:15 [GS1-1] Feasibility of neuromorphic wetware using configurable polymer networks
N. Hagiwara, Y. Amemiya, J. E. Ali, T. Asai, M. Akai-Kasaya (Hokkaido Univ., Japan)
- 14:15 - 14:30 [GS1-2] A co-design environment for computational models and circuits using PyLTSpice and its application to circuit design for reinforcement learning using reservoir computing
Y. Shishido, K. Kawazoe, K. Tamai, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- 14:30 - 14:45 [GS1-3] Numerical simulation for VLSI implementation of reinforcement learning using reservoir computing
K. Tamai, K. Kawazoe, Y. Shishido, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- 14:45 - 15:00 [GS1-4] A situation-dependent navigation system by brain-inspired neural networks with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions
A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, Y. Katori, K. Tateno, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- 15:00 - 15:15 [GS1-5] Artificial cerebellum implemented on an FPGA for real-time adaptive motor control
Y. Shinji, O. Hirotsugu, Y. Hirata (Chubu Univ., Japan)

- 15:15 - 15:30 [GS1-6] Development of a robot control system mimicking biological nervous system functions
K. Morishita, Y. Takei, K. Saito (Nihon Univ., Japan)
- 15:30 - 15:45 [GS1-7] Controlling chaotic bipolar-disorder system by reduced-region-of-orbit feedback method
H. Doho, S. Nobukawa, H. Nishimura, N. Wagatsuma (Kochi Univ., Japan)
- 15:45 - 16:00 [GS1-8] Extracting nonlinear latent dynamics of neurons using replica exchange particle Markov chain Monte Carlo method
H. Inoue, T. Omori (Kobe Univ., Japan)
- 16:00 - 16:15 [GS1-9] Temporal modulations of neural sequential patterns in a multiple-timescale network
T. Kurikawa (Kansai Medical Univ., Japan)
- 16:15 - 16:35 Break (20 min)
 --- General Session 2 (Chair: S. Sato) ---
- 16:35 - 16:55 [GS2-1 (Invited)] Physical reservoir computing frameworks utilizing optical or spin-wave dynamics
A. Hirose, H. Numata, J. B. Héroux, T. Yamane, D. Nakano, G. Tanaka, R. Nakane (Univ. Tokyo, Japan)
- 16:55 - 17:15 [GS2-2 (Invited)] Flexible real-time display of SNN hardware architecture execution
B. Vallejo, C. Nader, J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
- 17:15 - 17:45 [GS2-3 (Invited)] Unsupervised representation learning in brain-like neural networks with Bayesian-Hebbian synaptic mechanisms
P. Herman, N. B. Ravichandran, A. Lansner (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)
- 17:45 - 17:50 Closing Remarks
 Y. Horio, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

Online

March 14-15, 2022

Organized by

**Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

Co-Organized by

Nano-Spin Engineering Seminar

Cooperative Research Projects

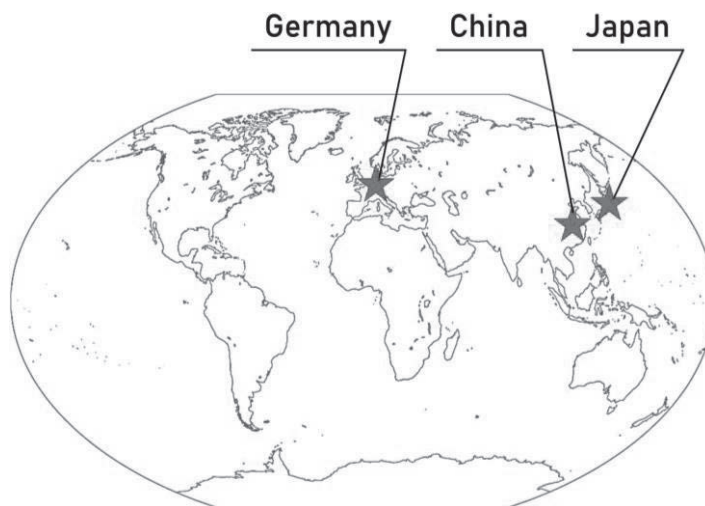
Information Biotronics Seminar

Cooperative Society

**Division of Soft-Nanotechnology,
The Japan Society of Vacuum and Surface Science**

12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

【Online】



Organizer:

Symposium Chairs

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Ryugo Tero, Toyohashi Univ. of Tech.

Program Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Organizing Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Ryugo Tero, Toyohashi Univ. of Tech.

Teng Ma, Tohoku Univ.

Daisuke Tadaki, Tohoku Univ.

Program

March 14 (Monday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: UTC

[Germany: UTC+1, China: UTC+8]

17:00 ~ 17:05 Opening Remarks

8:00 ~ 8:05 Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}

(¹Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, ²Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

(Chair: Teng Ma)

17:05 ~ 17:50 Titania nanotubes in photocatalytic H₂ generation

8:05 ~ 8:50 Patrik Schmuki

(Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)

17:50 ~ 18:20 The Scaffold of molecular nanocoils composed of organic conducting materials,
8:50 ~ 9:20 and its electromagnetic properties with AC magnetic field

Yoko Tatewaki¹, Tsuyoshi Minami², Sadafumi Nishihara³, Tomoyuki Akutagawa⁴,
Takayoshi Nakamura⁵

(¹Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Japan, ²The University of Tokyo, Tokyo, Japan, ³Hiroshima University, Hiroshima, Japan, ⁴Tohoku University, Sendai, Japan, ⁵Hokkaido University, Sapporo, Japan)

18:20 ~ 18:50 RT atomic layer deposition of aluminum silicate and SiO₂ multiple layers for ion
9:20 ~ 9:50 sorption

Fumihiko Hirose

(Yamagata University, Yonezawa, Japan)

18:50 ~ 19:10 Break

9:50 ~ 10:10

(Chair: Ayumi Hirano-Iwata)

- 19:10 ~ 19:40 Reconstitution of membrane proteins into a micropatterned model membrane
- 10:10 ~ 10:40 Fuko Kueda¹, Fumio Hayashi², Kenichi Morigaki^{1,3}
(¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan, ²Graduate School of Science, Kobe University, Kobe, Japan, ³Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan)
- 19:40 ~ 20:10 Control of quenching efficiency in lipid bilayers on graphene oxide
- 10:40 ~ 11:10 Jocelyn Lau Min Yuan¹, Kensaku Kanomata², Fumihiko Hirose², Ryugo Tero¹
(¹Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, ²Yamagata University, Yonezawa, Japan)
- 20:10 ~ 20:40 Nanopore intelligent sensing towards single peptide sequencing
- 11:10 ~ 11:40 Yi-Lun Ying, Xinyi Li, Hongyan Niu, Yi-Tao Long
(State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing, China)

March 15 (Tuesday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: UTC

[Germany: UTC+1, China: UTC+8]

(Chair: Daisuke Tadaki)

- 17:00 ~ 17:45 Shape-changing and conformable electrode arrays for peripheral nerve interfaces
- 8:00 ~ 8:45 Lukas Hiendlmeier¹, Francisco Zurita¹, Tetsuhiko Teshima², Leroy Grob¹, Fulvia Del Duca¹, Bernhard Wolfrum¹
(¹Neuroelectronics, ZEITlab, Munich Institute of Biomedical Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Technical University of Munich, Munich, Germany, ²Medical & Health Informatics Laboratories, NTT Research Incorporated, Sunnyvale, CA, USA)
- 17:45 ~ 18:15 Electrochemical nano-imaging of vascular model and stem cell differentiation
- 8:45 ~ 9:15 Hitoshi Shiku^{1,2}, Yuji Nashimoto^{1,3}, Kosuke Ino^{1,2}
(¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, ²Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan)

18:15 ~ 18:45 Anodic TiO₂ nanotubes for biomedical applications
 9:15 ~ 9:45 Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4}
 (1Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany, 2Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, 3Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Olomouc, Czech Republic, 4Department of Chemistry, Faculty of Science, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia)

18:45 ~ 19:05 Break
 9:45 ~ 10:05

(Chair: Ryugo Tero)

19:05 ~ 19:35 Artificial cell membrane systems for controlling intramembrane voltages
 10:05 ~ 10:35 Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}
 (1Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, 2Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

19:35 ~ 20:05 Breakdown of the Nernst-Einstein relation in carbon nanotube porins
 10:35 ~ 11:05 Zhongwu Li
 (School of Mechatronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, China)

20:05 ~ 20:30 Non-raft membrane domain formation in cholesterol-containing lipids bilayers:
 11:05 ~ 11:30 polyunsaturated lipid domains
Mervin Wei Shern Goh, Ryugo Tero
 (Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)

5. 研究成果（令和3年度）

Research Abstracts

5 A ナノ集積基盤技術関連

Nano Integration

A1 ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

Nano-Integration Devices and Processing
(S. Sato, M. Sakuraba, and H. Yamamoto)

A2 ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

Soft Computing Integrated System
(Y. Horio)

A1 ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）
Nano-Integration Devices and Processing
(S. Sato, M. Sakuraba, and H. Yamamoto)

1. 脳型計算ハードウェアに関する研究

Brain computing hardware

脳型計算機の実用化に向けて、脳型計算用デバイスの開発とその高密度実装技術、及び脳型計算機のプロトタイプについて研究を行っている。

Aiming at the implementation of a practical brain computer, we study devices for brain computing, high-density implementation techniques, and a prototype of a brain computer.

2. 脳型計算用量子知能デバイスに関する研究

Intelligent quantum device for brain computing

脳型計算と量子計算を融合し究極の知能を実現するため、核スピンや超伝導体を利用した、量子ニューロン素子として働く知能デバイスとその計算アルゴリズムについて研究を行っている。

We study intelligent quantum device, which operates as quantum neuron, using nuclear spins or superconductor devices, and its computation algorithms in order to realize ultimate intelligence after the fusion of brain computing and quantum computing.

3. 高度歪 IV 族半導体エピタキシャル成長のための低損傷基板非加熱プラズマ CVD プロセスに関する研究

Low-damage plasma CVD process without substrate heating for epitaxial growth of highly strained group IV semiconductors

ナノメートルオーダー厚さの高品質量子ヘテロ構造を実現するために、原子オーダーで平坦かつ急峻なヘテロ界面を有する高度歪 IV 族半導体薄膜のヘテロエピタキシャル成長について研究している。

In order to realize nanometer-order thick high-quality heterostructure, heteroepitaxial growth of highly strained group-IV semiconductor films with atomically flat and abrupt heterointerfaces is being studied.

4. IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスに関する研究

Large-scale integration process of group IV semiconductor quantum heterostructures

IV 族半導体量子効果デバイスの Si 集積回路への搭載を実現するために、IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスと量子ヘテロナノデバイス製作・高性能化について研究している。

In order to integrate group-IV semiconductor quantum-effect devices into Si LSI, large-scale integration process of group-IV highly strained quantum heterostructures and fabrication of high-performance quantum hetero nanodevices are being studied.

5. 微細加工表面を用いた培養神経回路の機能制御に関する研究

Bioengineering technologies for manipulating neuronal network functions

脳神経回路の実細胞モデル系の創成に向けて、培養神経回路の構造と機能を制御するための表面微細加工技術について研究を行っている。

We leverage surface microfabrication technologies to engineer the structure and function of cultured neuronal networks towards the goal of establishing an in vitro model for neuronal networks in the brain.

6. 神経細胞ネットワークの数理モデルに関する研究

Computational modeling of neuronal networks

多細胞ネットワーク上の情報処理の理解と工学応用を目指し、神経細胞回路の自発活動、

入力応答、情報処理を記述する生物規範的な数理モデルについて研究を行っている。

We study biologically plausible models of spontaneous activity, input response, and information processing in neuronal networks to better understand and promote engineering applications of computation in multicellular networks.

【査読付論文】

1. S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, “Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay”. *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, Vol. 12, pp. 685-694, 2021.
2. K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, “Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes”, *Electrochemistry*, vol.89, pp.348-354, 2021.
3. R. Hasani, G. Ferrari, H. Yamamoto, T. Tanii, E. Prati, “Role of noise in spontaneous activity of networks of neurons on patterned silicon emulated by noise-activated CMOS neural nanoelectronic circuits”, *Nano Express*, Vol. 2, 020025, 2021.

【国際会議発表】

1. J. A. Oltra-Oltra, J. Madrenas, M. Zapata, B. Vallejo, D. Mata-Hernandez and S. Sato, “Hardware-software co-design for efficient and scalable real-time emulation of SNNs on the edge”, *Proc. 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2021)*, 2021.
2. H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Ultrasoft silicone elastomer as a biomimetic scaffold for neuronal cultures”, *European Materials Research Society (E-MRS) 2021 Spring Meeting*, 2021.
3. H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Ultrasoft polydimethylsiloxane as a biomimetic scaffold for neuronal cultures”, *8th Japan-China Nanomedicine Meeting*, 2021.
4. S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model”, *Lecture Notes in Computer Science (ICANN2021)*, Vol. 12895, pp. 177-181, 2021.
5. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel activities”, *The 9th International Symposium on Surface Science*, 2021.
6. H. Yamamoto, T. Takemuro, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of mesoscale neuronal networks”, *14th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2021)*, 2021.
7. S. Sato, S. Moriya, Y. Tamura, T. Kato, Y. Kanke, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, “Spiking neural network hardware for reservoir computing”, *Brain Inspired Computing: Physics, Architectures, Materials and Applications*, 2021.
8. M. Komiya, R. Yokota, M. Sato, D. Tadaki, H. Yamamoto, Y. Tozawa, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Development of a bio-device for the analysis of ion channel activities based on artificial bilayer lipid membranes”, *Pacificchem 2021*, 2021.
9. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel activities”, *2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021)*, 2021.
10. B. Vallejo, C. Nader, J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, “Flexible real-time display of SNN hardware architecture execution”, *The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2022.

11. S. Sato, S. Moriya, S. Ono, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “Spiking neuron circuit and efficient CMOS reservoir computing”, The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2022.
12. H. Yamamoto, Y. Katori, T. Matsui, Y. Masamizu, “The launch of "Multicellular Neurobiocomputing", The 1st Symposium on Multicellular Neurobiocomputing, (The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer), 2022.
13. H. Yamamoto, T. Sumi, T. Takemuro, S. Moriya, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Artificial reconstitution of neuronal network functions with living cells”, The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware, 2022.

A2 ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦） Soft Computing Integrated System (Y. Horio)

1. カオスニューラルネットワークリザーバーの研究

Chaotic neural network reservoir

相互結合型で内部ダイナミクスを持つカオスニューラルネットワークリザーバーをサイクリック状態更新方式により2層ニューラルネットワークだけで実装する方法を提案した。これを、Through Silicon Via と Micro Bump を用いた3次元積層LSIの実証チップとして実装しその特性を実験で確認した。さらに学習ネットワークを構成した時の特性を回路レベルエミュレータにより評価した。

We implemented a proof-of-concept chip for a cyclic-updating chaotic neural network reservoir (CNNR) integrated circuit using TSV/□bump three-dimensional stacked IC technology. The experimental results from the chip confirmed the validity and efficiency of the proposed technique. We also developed a full circuit level emulator based on the measurement results to evaluate learning CNNR networks.

2. スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

Matemathical models of neuron-like and synapse-like spintronics devices

これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルを、集積回路として実装するために必要な回路レベルモデルと、学習ネットワークを設計するために用いるネットワークレベルモデルへと拡張した。

We improved our mathematical model of neuron-like and synapse-like spintronics devices to be applicable to integrated circuit and learning neural network designs. Some novel spintronics-based neural networks were proposed using the improved model.

3. リザーバーニューラルネットワークのオンライン学習則に関する研究

Online learning rule for reservoir neural networks

リザーバーニューラルネットワークを実時間で追加学習させるためのオンライン学習則を6種類提案し、その有効性をシミュレーションにより比較・評価した。

We proposed six online learning algorithms for real-time additional learning of reservoir neural networks. Performances of these algorithms were compared through simulations on discrete word recognition tasks.

4. カオスニューラルネットワークリザーバーのパラメータ設計に関する研究

Parameters design of chaotic neural network reservoirs

カオスニューラルネットワークリザーバーの局所的な記憶（不応性）パラメータや出

力関数の最大ゲインパラメータと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により明らかにした。

We clarified the effects of local memory (refractoriness) inside the neuron, and the maximum gain of the neuronal output function in the CNNR on word recognition performance through simulations. As a result, we found that suitable exponential decay of the internal state improves the performance.

【査読付論文】

1. K. Fukuda and Y. Horio, "Analysis of dynamics in chaotic neural network reservoirs: Time-series prediction tasks," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 639-661, DOI: 10.1587/nolta.12.639, October 1, 2021.
2. S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 685-694, DOI: 10.1587/nolta.12.685, October 1, 2021.
3. K. Fukuda, Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Cyclic reservoir neural network circuit for 3D IC implementation," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 309-322, DOI: 10.1587/nolta.12.309, July 1, 2021. (Invited Paper)
4. S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," in *Artificial Neural Networks and Machine Learning*, I. Farkas, P. Masulli, S. Otte, and S. Wermter eds., *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-030-86383-8_14, September 7, 2021.

【国際会議発表】

1. T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of chaotic neural network reservoir using improved cyclic neuron circuit for stacked 3D integrated circuit," in *Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop*, p. NLSW-9, Online, December 6-8, 2021.
2. Y. Horio, K. Naoe, S. Sato, Y. Yamanouchi, Y. Takaura, M. Yamaguchi, M. Morishima, and A. Hirano-Iwata, "Designing the human-centric IoT society: Cooperative industry-academic strategies for creative future connection," in *Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop*, p. NLSW-0, Online, December 6-8, 2021.
3. Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Implementation of a chaotic neural network reservoir on a TSV/ μ bump stacked 3D cyclic neural network integrated circuit," in *Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference*, paper number 5b (4 pages), Online, November 16-19, 2021.
4. K. Kiyoyama, Y. Horio, T. Fukushima, H. Hashimoto, T. Orima, and M. Koyanagi, "Design for 3-D stacked neural network circuit with cyclic analog computing," in *Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference*, paper number 5a (4 pages), Online, November 16-19, 2021.

5 B スピントロニクス基盤技術関連

Spintronics and Information Technology

B1 スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics
(S. Fukami)

B2 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

Ultra-Broadband Signal Processing
(T. Otsuji and A. Satou)

B3 量子デバイス（大塚朋廣）

Quantum Device
(T. Otsuka)

B1 スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics (S. Fukami)

スピントロニクスに関する研究

Spintronics

固体中のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現をめざして、金属磁性体や新機能物質におけるスピン現象、及びそれらを利用した新規スピン機能材料、新規スピントロニクス素子の創製に関する研究を行っている。また、高機能低消費電力のメモリデバイスとそれによって可能となる新しい論理集積回路および情報通信処理システムを、スピン物性を用いて実現することを目標として、その基盤技術を開発する。

We are working on spin-related phenomena in magnetic metals and new-functional materials as well as in novel functional nanostructures, in order to realize low-power functional spintronic devices. To realize high-performance low-power integrated circuit and computing hardware, we are developing technological basis to realize advanced spin memories and unconventional computers based on magnetic nanostructures such as magnetic tunnel junctions.

1) スピントロニクスに関する研究

Spintronics

スパッタリング法などを用いたスピントロニクス材料や構造の作製、スピン機能物性の評価と理解。

Development of functional spin materials and structures using sputtering, understanding and characterization of spin-related phenomena are being carried out.

2) 金属磁性体とその機能素子応用に関する研究

Magnetic metal functional devices and their application

微細なスピントロニクス素子作製および素子加工技術の開発、作製した微細スピントロニクス素子の特性評価、そしてスピントロニクス素子を利用した種々の集積回路試作を進めている。

Development of ultrasmall spintronic devices and their processing technology, characterization of the fabricated spintronic devices, and fabrication of various prototype integrated circuits employing spintronic devices are being carried out.

3) 新規磁性材料及びそのナノヘテロ構造の物性と応用に関する研究

Properties and application of new-class magnetic materials and their nanoheterostructures

強磁性体と半導体や絶縁体などを組み合わせた新しい電子デバイスの基礎的研究を行っている。

Exploration of novel electron devices based on new magnetic structures is being carried out.

4) 高出力トンネル磁気抵抗素子の開発

Magnetic tunnel junctions with high output voltage

磁気トンネル接合(MTJ)素子の高性能化を行っている。

Development of high-performance magnetic tunnel junctions (MTJs) consisting of ferromagnetic metal electrodes is being carried out.

5) 金属系スピントロニクスデバイスの開発

Metal-based spintronics devices

微細な金属系スピントロニクスデバイスの作製とその特性評価、スピンメモリロジ

ック基本回路試作を行っている。

Fabrication of metal-based spintronic devices with small dimension and characterization of their properties and making basic spintronics-based circuits experimentally are carried out.

6) スピントルク磁化反転素子の開発

Spin torque memory and logic devices

低書き込み電力に向けたスピントルク磁化反転に関する研究を行っている。

Characterizing spin torque switching toward reduction of writing power is being carried out.

【査読付論文】

1. G. Wolfowicz, F. J. Heremans, C. P. Anderson, S. Kanai, H. Seo, A. Gali, G. Galli, and D. D. Awschalom, "Quantum guidelines for solid-state spin defects," *Nature Reviews Materials* 6, 906-925 (2021).
2. K. Y. Camsari, M. M. Torunbalci, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Double-Free-Layer Magnetic Tunnel Junctions for Probabilistic Bits," *Physical Review Applied* 15, 044049(1)-(10) (2021).
3. Q. Shao, P. Li, L. Liu, H. Yang, S. Fukami, A. Razavi, H. Wu, F. Freimuth, Y. Mokrousov, M. D. Stiles, S. Emori, A. Hoffmann, J. Åkerman, K. Roy, J. Wang, S. Yang, K. Garellob, and W. Zhang, "Roadmap of spin-orbit torques," *IEEE Transactions on Magnetics* 57, 800439(1)-(39) (2021).
4. Y. Takeuchi, Y. Yamane, J. Yoon, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Chiral-spin rotation of non-collinear antiferromagnet by spin-orbit torque," *Nature Materials* 20, 1364-1370 (2021).
5. R. Sharma, R. Mishra, T. Ngo, Y. Guo, S. Fukami, H. Sato, H. Ohno, and H. Yang, "Electrically connected spin-torque oscillators array for 2.4 GHz WiFi band transmission and energy harvesting," *Nature Communications* 12, 2924(1)-(10) (2021).
6. J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Correlation of anomalous Hall effect with structural parameters and magnetic ordering in $Mn_{3+x}Sn_{1-x}$ thin films," *AIP Advances* 11, 065318(1)-(6) (2021).
7. T. Dohi, S. Fukami, and H. Ohno, "Influence of domain wall anisotropy on the current-induced hysteresis loop shift for quantification of the Dzyaloshinskii-Moriya interaction," *Physical Review B* 103, 214450(1)-(9) (2021).
8. S. Iihama, Q. Remy, J. Igarashi, G. Malinowski, M. Hehn, and S. Mangin, "Spin-transport Mediated Single-shot All-optical Magnetization Switching of Metallic Films," *Journal of the Physical Society of Japan* 90, 081009(1)-(13) (2021).
9. R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta, C. Patra, O. A. Tretiakov, S. Sharma, S. Fukami, H. Ohno & R. P. Singh, "Unconventional Hall effect and its variation with Co-doping in van der Waals Fe_3GeTe_2 ," *Scientific Reports* 11, 14121(1)-(10) (2021).
10. K. Kobayashi, W. A. Borders, S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Sigmoidal curves of stochastic magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Applied Physics Letters* 119, 132406(1)-(5) (2021).
11. M. Zahedinejad, H. Fulara, R. Khymyn, A. Houshang, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Memristive control of mutual spin Hall nano-oscillator synchronization for neuromorphic computing," *Nature Materials* 21, 81-87 (2021).
12. Y. Takeuchi, E. C. I. Enobio, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Temperature dependence of intrinsic critical current in perpendicular easy axis CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," *Applied Physics Letters* 119, 242403(1)-(5) (2021).
13. R. R. Chowdhury, C. Patra, S. DuttaGupta, S. Satheesh, S. Dan, S. Fukami, and R. P. Singh, "Modification of unconventional Hall effect with doping at the nonmagnetic site in a

two-dimensional van der Waals ferromagnet," *Physical Review Materials* 6, 014002(1)-(9) (2022).

14. J. Kaiser, W. A. Borders, K. Y. Camsari, S. Fukami, H. Ohno, and S. Datta, "Hardware-Aware In Situ Learning Based on Stochastic Magnetic Tunnel Junctions," *Physical Review Applied* 17, 014016(1)-(12) (2022).
15. Y. Takeuchi, R. Okuda, J. Igarashi, B. Jinnai, T. Saino, S. Ikeda, S. Fukami and H. Ohno, "Nanometer-thin L10-MnAl film with B2-CoAl underlayer for high-speed and high-density STT-MRAM: Structure and magnetic properties," *Applied Physics Letters* 120, 052404(1)-(5) (2022).
16. D. Kumar, T. Jin, R. Sbiaa, M. Kläui, S. Bedanta, S. Fukami, D. Ravelosona, S. Yang, X. Liu, S.N. Piramanayagam, "Domain wall memory: Physics, materials, and devices," *Physics Reports* 958, 1-35 (2022).

【国際会議発表】

1. B. Jinnai, J. Igarashi, S. Fukami and H. Ohno, "Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions Below 10 nm - Material, Device Engineering, and Performance," (invited) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
2. S. Iihama, Q. Remy, J. Igarashi, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfield, S. Fukami, H. Ohno and S. Mangin, "Engineering Spintronic Devices to Observe Ferromagnetic Layer Switching Induced by a Single- Femto-Second Current Pulse," (invited) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
3. S. Fukami, "SOT-MRAM and emergent applications," (invited) 12th MRAM Global Innovation Forum, part of Intermag 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
4. S. Fukami, "Nanosecond probabilistic bit with stochastic magnetic tunnel junction," (invited) EPSRC International Network for Spintronics Research Symposium "From Material Development to Novel Energy Efficient Technologies," Online, 2021/06/07-2021/06/09.
5. H. Ohno, "Spintronics - a Gateway to Green Society," (invited) 2021 Spintronics Workshop on LSI, Online, 2021/06/13.
6. S. Fukami, "Nanosecond relaxation time in stochastic magnetic tunnel junction – theory and experiment," (invited) Online workshop 2021 - Petaspin/IEEE Magnetics Society (Italy chapter), Online, 2021/06/18.
7. H. Ohno, "Spintronics Gateway to Green Society - For smarter, longer, and less -," (invited) World Materials Forum, Nancy (France) + Online, 2021/06/17-2021/06/19.
8. S. Fukami, "Electrical manipulation of non-collinear antiferromagnet," (invited) On-line SPICE-SPIN+X Seminars, Online, 2021/07/21.
9. S. Fukami, "Electrical manipulation of non-collinear antiferromagnet Mn₃Sn," (invited) Korean Magnetic Society (KMS) Meeting, Online, 2021/07/21-2021/07/23.
10. S. Fukami, "Probabilistic computing with spintronics," (invited) Hybrid Kavli ITS-IOP 2021 Workshop on "Multidisciplinary Spintronics", Hybrid (Beijing, Online), 2021/10/11-2021/10/15.
11. S. Fukami, "Probabilistic computing with superparamagnetic tunnel junctions," (invited) Introductory course on Magnetic Random Access Memory (InMRAM), Online, 2021/10/18-2021/10/20.
12. H. Ohno, "Magnetic tunnel junction: from nonvolatile memory to probabilistic computing," (invited) W2S Seminar (Webinar series on Spintronics), Online, 2021/10/28.
13. Y. Yamane, "Theory of current-driven non-collinear antiferromagnetic dynamics," (invited) 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics, online, 2021/11/18.
14. Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Chiral-spin rotation driven by spin-orbit torque in non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn," (invited) 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics, online, 2021/11/18.

15. S. Fukami, "Non-collinear spintronics," (invited) 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics, online, 2021/11/18.
16. S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, "Scaling of quantum coherence in solid-state spin defects," (invited) 2021 Materials Research Society (MRS) fall meeting, Boston, USA/ online, 2021/11/28-2021/12/03.
17. S. Fukami, "Probabilistic computing with stochastic spintronic devices," (invited) Materials Of The Future, online, 2021/12/03.
18. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic computing," (invited) Brain Inspired Computing: Physics, Architectures, Materials and Applications, online, 2021/12/06-2021/12/10.
19. S. Fukami, "Probabilistic Computing with Spintronics - Device Physics and Technologies," (invited) 12th International Conference on Advanced Materials and Devices, Jeju, Korea + Online, 2021/12/06-2021/12/10.
20. B. Jinnai, J. Igarashi, S. Fukami, and H. Ohno, "Ultra-small magnetic tunnel junction for fast STT switching," (invited) Séminaire organisé dans le cadre du projet IMPACT Nanomaterials for Sensors (N4S), University of Lorraine, France, 2021/12/20.
21. J. Yoon, Y. Takeuchi, Y. Yamane, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Sputter-deposited epitaxial non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn thin films and spin-orbit torque driven chiral-spin rotation," (invited) KAIST spintronics group seminar, KAIST, Korea, 2022/01/07.
22. Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Chiral-spin rotation of non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn by spin-orbit torque," (invited) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
23. Y. Yamane, J. Ieda, "Theory of emergent inductance with spin-orbit effects," (invited) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
24. S. Kanai, K. Hayakawa, K. Kobayashi, T. Funatsu, W.A. Borders, J. Igarashi, B. Jinnai, H. Ohno, and S. Fukami, "Nanosecond Stochastic Magnetic Tunnel Junctions for Probabilistic Computing - Experiment and Theory," (invited) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
25. H. Ohno, "Spintronics-based approaches toward unconventional computing," (invited) Advanced Research Strategy Meetings, online, 2022/02/08-2022/02/24.
26. K. Camsari, J. Kaiser, S. Datta, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Massively parallel probabilistic computing through MRAM," (invited) The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2022), online, 2022/02/18-2022/02/19.
27. S. Fukami, "Chiral-spin rotation in non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn driven by spin-orbit torque," (invited) APS March Meeting 2022, Chicago, USA + Online, 2022/03/14-2022/03/18.
28. T. Nguyen, S. DuttaGupta, Y. Saito, K. V. De Zoysa, S. Fukami, S. Ikeda, T. Endoh and Y. Endo, "Spin-Orbit Torque in Naturally Oxidized Ta-O/Co-Fe-B/Mg-O/Ta Structures," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
29. J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami and H. Ohno, "Crossover of Magnetization Reversal Mode With Thickness and Diameter in Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
30. K. Kobayashi, W.A. Borders, S. Kanai, K. Hayakawa, S. Fukami and H. Ohno, "Physical Mechanism Governing Sigmoid Curves of Stochastic Magnetic Tunnel Junctions," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
31. T. Dohi, S. DuttaGupta, F. Kammerbauer, N. Kerber, B. Seng, Y. Ge, K. Raab, R. Gruber, M. Brems, J. Rothörl, P. Virnau, S. Fukami, M. Klaui and H. Ohno, "Dynamics of Synthetic Antiferromagnetic Skyrmion From Current-Induced Deterministic Motion to

- Thermally-Activated Diffusive Motion," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
32. S. Kanai, K. Hayakawa, T. Funatsu, W.A. Borders, J. Igarashi, B. Jinnai, H. Ohno and S. Fukami, "Superiority of in-Plane Easy-Axis Stochastic Nanomagnet for Shorter Relaxation Time," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
 33. A.K. Dhiman, T. Dohi, W. Dobrogoski, Z. Kurant, I. Sveklo, S. Fukami, H. Ohno and A. Maziewski, "Magnetization Processes and Magnetic Domain Structures in Ta/CoFeB/MgO Stacks,," (oral) INTERMAG 2021, Online, 2021/04/26-2021/04/30.
 34. N. Leo, A.S. Koshikawa, J. Llandro, "Small-angle neutron scattering of nanomagnetic gyroid structures," (poster) WE-Heraeus Seminar on 'Magnetic Small Angle Neutron Scattering - from Nanoscale Magnetism to Long-Range Magnetic Structures, online, 2021/05/31-2021/06/03.
 35. S. DuttaGupta, A. Kurenkov, O. A. Tretiakov, G. Krishnaswamy, G. Sala, V. Krizakova, F. Machherozzi, S. S. Dhesi, P. Gambardella, S. Fukami and H. Ohno, "Electrical switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures," (oral) National Conference on Low Dimensional Materials (LDMAT-2021), Online, 2021/06/02-2021/06/04.
 36. R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta, C. Patra, S. Sharma, S. Fukami, H. Ohno and R. P Singh, "Modification of topological Hall effect with Co-doping in the uniaxial van der Waals ferromagnet (CoFe_{1-x})₃GeTe₂," (oral) National Conference on Low Dimensional Materials (LDMAT-2021), Online, 2021/06/02-2021/06/04.
 37. N. Leo, A.S. Koshikawa, J. Llandro, "Small-angle neutron scattering of nanomagnetic gyroid structures," (poster) WE-Heraeus Seminar on 'Curvilinear Condensed Matter: Fundamentals and Applications', online, 2021/06/24-2021/06/26.
 38. J. Llandro, D. M. Love, A. Kovács, J. Caron, K. N. Vyas, A. Kákay, M. R. J. Scherer, U. Steiner, C. H. W. Barnes, R. E. Dunin-Borkowski, J. Fassbender, S. Fukami and H. Ohno, "Intricate Magnetic Configuration of Self-assembled 3D Gyroid Nanostructures," (oral) Curvilinear Condensed Matter: Fundamentals and Applications (717. WE-Heraeus-Seminar), Online, 2021/06/24-2021/06/26.
 39. D. Karpov, J. Llandro, E. Fohtung, (poster) Burning cups and donuts: what coherent X-rays can reveal about topological defects, Prague, Czech Republic, 2021/08/14-2021/08/22.
 40. R. R. Chowdhury, S. DuttaGupta, O. A. Tretiakov, C. Patra, S. Sharma, S. Fukami, H. Ohno, R. P. Singh, "Unconventional Hall effect in van der Waals ferromagnet Fe₃GeTe₂," (oral) 2021 Around-the-Clock Around-the-Globe Magnetism Conference (AtC-AtG), Online, 2021/08/24.
 41. J. Gibbons, T. Dohi, V. P. Amin, F. Xue, H. Ren, J. Xu, H. Arava, S. Shim, H. Saglam, Y. Liu, J. Pearson, N. Mason, A. K. Petford-Long, P. M. Haney, M. D. Stiles, E. E. Fullerton, A. D. Kent, S. Fukami, A. Hoffmann, "Large Exotic Spin Torques in Antiferromagnetic Iron Rhodium," (oral) 2021 Around-the-Clock Around-the-Globe Magnetism Conference (AtC-AtG), Online, 2021/08/24.
 42. K. Kishi, Y. Takeuchi, Y. Yamame, J.-Y. Yoon, R. Takeuchi, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, S. Fukami, "Effect of spin-orbit torque on non-collinear antiferromagnet Mn₃Sn," (poster) The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, online, 2021/10/25-2021/10/28.
 43. T. V. A. Nguyen, S. DuttaGupta, Y. Saito, K. V. D. Zoysa, S. Fukami, H. Naganuma, S. Ikeda, T. Endoh, Y. Endo, "Current distribution in Ta-O/Co-Fe-B stack films with the presence of interfacial scattering," (poster) The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, online, 2021/10/25-2021/10/28.
 44. J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, Y. Yamane, R. Itoh, S. DuttaGupta, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, S. Fukami, "Properties and Functionalities of Non-Collinear Antiferromagnetic Mn_{3+x}Sn_{1-x} Thin Films," (poster) The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, online, 2021/10/25-2021/10/28.
 45. K. V. D. Zoysa, S. DuttaGupta, R. Itoh, Y. Takeuchi, H. Ohno, S. Fukami, "Evaluation of Spin-Orbit torque in Pt_{1-x}Mn_x/CoFeB Heterostructures Using Extended Harmonic Hall

- Measurements," (poster) The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, online, 2021/10/25-2021/10/28.
46. K. Kobayashi, W. A. Borders, S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, S. Fukami, "Physical mechanism governing sigmoid curves of superparamagnetic tunnel junctions," (poster) The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, online, 2021/10/25-2021/10/28.
 47. J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Anomalous Hall Effect of Non-collinear Antiferromagnetic Weyl Semimetal $\text{Mn}_{3+x}\text{Sn}_{1-x}$ Thin Films: Correlation with Crystalline, Magnetic, and Electronic Structures," (oral) 24th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems 20th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (EP2DS-24/MSS-20) meeting, Toyama, (virtual), 2021/10/31-2021/11/05.
 48. S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, "Scaling Electron Spin Coherence in Solid-state Spin Defects," (oral) 24th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems 20th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (EP2DS-24/MSS-20) meeting, Toyama, (virtual), 2021/10/31-2021/11/05.
 49. B. Jinnai, J. Igarashi, T. Shinoda, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno, "Fast Switching Down to 3.5 ns in Sub-5-nm Magnetic Tunnel Junctions Achieved by Engineering Relaxation Time," (oral) 67th Annual IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM2021), San Francisco, USA + Online, 2021/12/11-2021/12/15.
 50. K. Kishi, Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, R. Takechi, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Determination of spin-orbit torque efficiency in non-collinear antiferromagnet / heavy metal heterostructures," (oral) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
 51. K. Hayakawa, S. Kanai, K. Kobayashi, W.A. Borders, J. Igarashi, B. Jinnai, H. Ohno, and S. Fukami, "Determination of attempt time using stochastic magnetic tunnel junctions," (oral) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
 52. K. Kobayashi, K. Hayakawa, W.A. Borders, S. Kanai, J. Igarashi, H. Ohno, and S. Fukami, "Superparamagnetic tunnel junctions with a synthetic antiferromagnetic free layer," (oral) 15th Joint MMM-INTERMAG Conference, New Orleans, USA/ Virtual, 2022/01/10-2022/01/14.
 53. S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, "Scaling Spin Coherence in Solid-state Defect Qubit," (oral) American Physics Society (APS) March Meeting 2022, Chicago, 2022/03/14-2022/03/18.
 54. S. Kanai, K. Hayakawa, T. Funatsu, J. Igarashi, B. Jinnai, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Superparamagnetic Tunnel Junctions with Nanosecond Relaxation Time for Probabilistic Computing," (oral) American Physics Society (APS) March Meeting 2022, Chicago, 2022/03/14-2022/03/18.

B2 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭） Ultra-Broadband Signal Processing (T. Otsuji and A. Satou)

新原理ミリ波・テラヘルツ波帯集積電子デバイスの研究

Novel millimeter-wave and terahertz-wave integrated microelectronic devices

いまだ未踏の電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波（サブミリ波）帯の技術を開拓、実用化するために、本領域で動作する新しい電子デバイスおよび回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究開発を行っている。第一に、半導体ヘテロ接合構造に発現する二次元プラズモン共鳴という新しい動作原理に立脚した集積型のコヒーレントテラヘルツ電磁波発生・信号処理デバイスの研究開発を進めている。電子デバイス・光子デバイス双方の動作限界を同時に克服するブレークスルーとして注目している。第二に、サブ波長領域に局在した低次元プラズモンの分散特性を光電子的に制御することによって、高次の信号処理機能を果たす新たなテラヘルツ帯メタマテリアル・回路システムの創出に取り組んでいる。第三に、新材料：グラフェン（単層グラファイト）を用いた新原理テラヘルツレーザーならびに極限高速トランジスタの開発を推進している。さらに、これら世界最先端の超ブロードバンドデバイス・回路を応用して、超高速無線通信や安心・安全のための新たな計測技術の開発を進めている。

We are developing novel, integrated electron devices and circuit systems operating in the millimeter-wave and terahertz regions. One example is the frequency-tunable plasmon-resonant terahertz emitters, detectors, and modulators. Another example is unique electromagnetic metamaterial circuit systems based on optoelectronic dispersion control of low-dimensional plasmons. We are also pursuing graphene-based new materials to create new types of terahertz lasers and ultrafast transistors, breaking through the limit on conventional transistor/laser operation. By making full use of these world-leading device/circuit technologies, we are exploring future ultra-broadband wireless communication systems as well as spectroscopic/imaging systems for safety and security.

【査読付論文】

1. Y. Takida, K. Nawata, T. Notake, T. Otsuji, and H. Minamide, "Optical up-conversion-based cross-correlation for characterization of sub-nanosecond terahertz-wave pulses," *Opt. Express*, vol. 30, no. 7, pp. 11217-11224, March 2022. DOI: 10.1364/OE.452310
2. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Coulomb drag and plasmonic effects in graphene field-effect transistors enable resonant terahertz detection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 120, iss. 11, pp. 111102-1-6, March 2022. DOI: 10.1063/5.0087678
3. D.S. Ponomarev, D.V. Kavrukhin, N.V. Zenchenko, T.V. Frolov, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, G.M. Katyba, V.N. Kurllov, T. Otsuji, and K.I. Zaytsev, "Boosting photoconductive large-area THz emitter via optical light confinement behind a high refractive sapphire-fiber lens," *Opt. Lett.*, vol. 47, no. 7, pp. 1899-1902, Apr. 2022. DOI: 10.1364/OL.452192
4. T. Otsuji, S.A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A.A. Dubinov, V.V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors," *Nanophoton.*, vol. 11, iss. 9, pp. 1677-1696, Feb. 2022. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0651 (invited, review)
5. J.A. Delgado-Notario, W. Knap, V. Clericò, J. Salvador-Sánchez, J. Calvo-Gallego, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, V.V. Popov, D.V. Fateev, E. Diez, J.E. Velázquez-Pérez and Y.M. Meziani, "Enhanced terahertz detection of multigate graphene nanostructures," *Nanophoton.*, vol. 11, no. 3, pp. 519-529, Jan. 2022. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0573
6. V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Ballistic Injection Terahertz Plasma Instability in Graphene $n + -i-n +$ Field-Effect Transistors and Lateral Diodes," *Physica Status Solidi A: Appl. and Mat. Sci.*, vol. 219, iss. 1, pp. 2100694-1-8, Jan. 2022. DOI:

7. V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Effect of Coulomb carrier drag and terahertz plasma instability in p⁺-p-i-n-n⁺ graphene tunneling transistor structures, *Phys. Rev. Appl.*, vol. 16, pp. 064054-1-10, Dec. 2021. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.064054
8. M. Shur, G. Aizin, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Plasmonic field-effect transistors (TeraFETs) for 6G communications," *Sensors*, vol. 21, pp. 7907-1-16, Nov. 2021. (invited, review) DOI: 10.3390/s21237907
9. S.A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, D. B. But, W. Knap, V. V Popov, I. V. Gorbenko, V. Kachorovskii and T. Otsuji, "Paving the way for tunable graphene plasmonic THz amplifiers," *Frontiers in Physics*, vol. 9, pp. 726806-1-10, Oct. 2021. (invited, review) DOI: 10.3389/fphy.2021.726806
10. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Coulomb drag by injected ballistic carriers in graphene n⁺-i-n-n⁺ structures: doping and temperature effects," *Physica Status Solidi A: Appl. and Mat. Sci.*, vol. 218, pp. 2100535-1-7, Sept. 2021. DOI: 10.1002/pssa.202100535
11. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Coulomb electron drag mechanism of terahertz plasma instability in n⁺-i-n-n⁺ graphene FETs with ballistic injection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 119, iss. 9, pp. 093501-1-5, Aug. 2021. DOI:10.1063/5.0061722
12. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "S-shaped current-voltage characteristics of n⁺-i-n-n⁺ graphene field-effect transistors due the Coulomb drag of quasi-equilibrium electrons by ballistic electrons," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 16, iss. 1, pp. 014001-1-12, July 2021. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.014001
13. V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M. Shur, "Heat capacity of quasi-nonequilibrium electron-hole plasma in graphene layers and graphene bilayers," *Phys. Rev. B*, vol. 103, pp. 245414-1-6, June 2021. DOI: 10.1103/PhysRevB.103.245414
14. V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V.G. Leiman, V. Mitin, and M. Shur, "Modulation characteristics of uncooled graphene photodetectors," *J. Appl. Phys.*, vol. 129, pp. 214503-1-10, June 2021. DOI: 10.1063/5.0046215
15. T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission in an InGaAs-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor plasmonic photomixer," *Appl. Phys. Exp.*, vol. 14(5), pp. 14 051001-1-5, April 2021. DOI: 10.35848/1882-0786/abf02a

【国際会議発表】

1. T. Otsuji, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, V. Ryzhii, M. Ryzhii, A.A. Dubinov, V.V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors," XXVI International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics, Nizhny Novgorod, Russia, Hybrid, March 14-17, 2022. (invited)
2. T. Otsuji, V. Ryzhii, and M. Shur, "Graphene-based plasma-wave devices for terahertz applications," SPIE Photonics OnDemand 2022, Conference on Advances in Terahertz Biomedical Imaging and Spectroscopy, Online, Feb. 21-27, 2022; *Proc. SPIE*, vol. 11975, pp. 1197503-1-8, Feb. 2022. DOI: 10.1117/12.2604818
3. T. Otsuji, "Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers," A3 Foresight Meeting on 2D Materials, Invite J1, Online, Feb. 17-18, 2022. (invited)
4. T. Otsuji, A. Satou, H. Fukidome, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and K. Narahara, "Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers," WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts Booklet, vol. 1, pp. 43-44, Waikoloa Beach Marriott Spa&Resort, Hawaii, USA, Nov. 29-Dec. 3, 2021.

5. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Current driven plasma instability in graphene-FETs with Coulomb electron drag," COMCAS2021: International Conference on Microwaves, Communications, Antennas, Biomedical Engineering & Electronic Systems, RF3-4, Tel Aviv, Israel, Hybrid, Nov. 1-3, 2021. DOI: 10.1109/COMCAS52219.2021.9628999
6. D. Nakajima, K. Nishimura, Y. Omori, T. Hosotani, T. Suemitsu, K. Iwatsuki, T. Otsuji, and A. Satou, "Scaling rule of double-mixing conversion gain of UTC-PD-integrated HEMT on UTC-PD mesa size," RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 136-138, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021.
7. Y. Sasaki, T. Otsuji, and A. Satou, "Model analysis of 2D plasmon-polariton in plasmonic THz detectors with 2D diffraction grating structure," RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 108-110, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021.
8. T. Negoro, T. Hosotani, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Otsuji, and A. Satou, "Giant enhancement of photovoltage from InP-based dual-grating-gate HEMT plasmonic THz detector due to 3D rectification effect," RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 104-106, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021.
9. J.A. Delgado-Notario, V. Clerico, J. Calvo-Gallego, E. Diez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, J.E. Velazquez-Perez, and Y.M. Meziani, "Encapsulated graphene devices for terahertz technology," RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 16-18, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021. (invited)
10. K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji, "High Speed Terahertz Detection by an Asymmetric Dual-Grating-Gate Graphene FET," RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 12-13, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021.
11. D. Ogiura, A. Satou, H. Fukidome, and T. Otsuji, "Fast terahertz detection in an asymmetric dual-grating-gate epitaxial graphene-channel FET," RPGR: Recent Progress on Graphene and 2D materials Research Conference 2021 Proceedings, C-TS3-0083, p. 398, Seoul, South Korea (Hybrid), Oct. 7, 2021.
12. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Coulomb drag in graphene FETs with the ballistic electron injection," RPGR: Recent Progress on Graphene and 2D materials Research Conference 2021 Proceedings, C-TS3-0279, p. 473, Seoul, South Korea (Hybrid), Oct. 7, 2021.
13. T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, M. Ryzhii, and K. Narahara, "Controlling the PT symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz laser transistors," O2-01, ICMNE: the 14th International Conference on Micro- and Nanoelectronics 2021, Zvenigorod, Moscow Region, Russia, Oct. 4-8, 2021. (invited)
14. T. Otsuji, "Controlling the parity and time-reversal symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz current-injection lasers," Graphene Week 2021, online, Sept. 20-24, 2021. (invited)
15. K. Liu, H. Yamada, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "A study for stable operation of battery loaded DC bus based on autonomous cooperative control," ICPRE: the 6th International Conference on Power and Renewable Energy, Shanghai Univ. of Electric Power, Shanghai, China, and Online, Sept. 17-20, 2021.
16. Y. Sasaki, T. Otsuji, and A. Satou, "Modal Analysis Of Plasmon-Polaritons In Plasmonic THz Detector Integrated With Two-Dimensional Nano-Antennas," IRMMW-THz: the 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Proc., vol. 1, WE-PO-76,

- pp. 5103130-1-2, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sept. 3, 2021. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567237
17. K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji, "THz detection by an asymmetric dual-grating-gate graphene FET," IRMMW-THz: the 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Proc., vol. 1, Tu-AM-3-6, pp. 5103129-1-2, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sept. 3, 2021. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567489
 18. T. Negoro, T. Hosotani, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Otsuji, and A. Satou, "3D rectification effect on plasmonic THz detection by InP-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor," IRMMW-THz: the 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Proc., vol. 1, WE-AM-1-5, pp. 5103159-1-2, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sept. 3, 2021. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567650
 19. T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "THz emission in a dual-grating-gate HEMT promoted by the plasmonic boom instability," IRMMW-THz: the 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Proc., vol. 1, Mo-AM-6-4, pp. 5102383-1-2, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sept. 3, 2021. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567205
 20. A. Satou, T. Hosotani, T. Negoro, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and T. Otsuji, "3D rectification effect in InP-HEMT-based grating-gate plasmonic THz detector," URSI-GASS: the XXXIV General Assembly and Scientific Symposium (GASS) of the International Union of Radio Science, Mo-D08-AM1-3, Rome, Italy, and Online, Aug. 28-Sept. 4, 2021.
 21. T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, and K. Narahara, "Controlling the parity and time-reversal symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers," AAAFM-UCLA2021: International Conference on Advances in Functional Materials Abstract Book, Paper ID: 718, vol. 1, p. 1, UCLA, Los Angeles, CA, USA and Online, Aug. 18-20, 2021. (invited)
 22. T. Otsuji, "A new type of terahertz quantum cascade laser using graphene-based van der Waals heterostructures," META: the 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals, and Plasmonics Proc., vol. 1, pp. 240-241, Univ. of Warsaw, Warsaw, Poland, Online, July 20-23, 2021. (invited)
 23. T. Hosotani, A. Satou, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and T. Otsuji, "1-THz plasmonic double-mixing in a dual-grating-gate high-electron mobility transistor," CLEO-EU: International Conference on Lasers and Electro-Optics Europe Tech. Dig., CC-6.2, vol. 1, pp. 1-2, Web-Online, June 25, 2021. DOI: 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9541826
 24. Kazuki Nishimura, Tomotaka Hosotani, Dai Nakajima, Tetsuya Suemitsu, Katsumi Iwatsuki, Taiichi Otsuji, and Akira Satou, "Optical-to-Wireless Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT: Dependence of Conversion Gain on UTC-PD Mesa Size," CLEO-EU: International Conference on Lasers and Electro-Optics Europe Tech. Dig., CI-3.5, vol. 1, pp. 1-2, Web-Online, June 24, 2021. DOI: 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542735
 25. Koichi Tamura, Daichi Ogiura, Kento Suwa, Hirokazu Fukidome, Akira Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji, "Fast terahertz detection in asymmetric dual-grating-gate graphene-channel FETs," DRC: 79th Annual Device Research Conference Dig., PS1.G, vol. 1, pp. 1-2, Web-Online, June 21, 2021. DOI: 10.1109/DRC52342.2021.9467191
 26. Y. Sasaki, T. Otsuji, and A. Satou, "2D plasmon-polariton excitation in plasmonic THz detector with 2D diffraction grating structure," IWCN: the International Workshop on Computational Nanotechnology Book of Abstracts, pp. 85-86, Online, May 24-June 6, 2021.
 27. A. Satou, T. Hosotani, T. Negoro, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and T. Otsuji, "Giant Enhancement of Photovoltage from InGaAs-Channel Dual-Grating-Gate HEMT THz Detector due to Nonlinear Rectification Effect at InGaAs/InAlAs Heterobarrier," CLEO: International Conference on Lasers and Electro-Optics Tech. Dig., STh2C.1, vol. 1, pp. 1-2, Web-Online, May 13, 2021. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2021.STh2C.1

28. T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Bias voltage dependency of plasmonic instability and terahertz radiation in a dual-grating-gate high-electron-mobility transistor," CLEO: International Conference on Lasers and Electro-Optics Tech. Dig., AM3R.6, vol. 1, pp. 1-2, Web-Online, May 10, 2021. DOI: 10.1364/CLEO_AT.2021.AM3R.6

B3 量子デバイス（大塚朋廣） Quantum Device (T. Otsuka)

固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用の研究

Electronic properties of nanostructures and device applications

新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。ナノメートルスケールの微小な固体ナノ構造では量子効果等の特異な物理現象が生じ、これらを活用することにより新しい機能性デバイスを創製することができる。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速観測、制御技術を駆使しながら固体ナノ構造における物理現象を解明し、また固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。これにより量子エレクトロニクスやナノエレクトロニクス等を通して、新しい情報処理、通信技術に貢献することを目指す。

We are working on probing electronic properties of solid-state nanostructures and device applications. In solid-state nanostructures, exotic phenomena like quantum effects occur. We are exploring interesting properties of artificial nanostructures utilizing precise and high-speed electric measurement and control techniques. We are also developing materials and devices using nanostructures. We will contribute to new information processing and communication technologies through quantum and nanoelectronics.

【査読付論文】

1. Y. Kojima, T. Nakajima, A. Noiri, J. Yoneda, T. Otsuka, K. Takeda, S. Li, S. D. Bartlett, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Probabilistic teleportation of a quantum dot spin qubit”, npj Quantum Information 7, 68 (2021).

【国際会議発表】

1. T. Otsuka, M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Noise analysis of radio-frequency reflectometry for single spin and charge detection in quantum dots”, 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, Nov. 18, 2021.
2. T. Abe, T. Kitada, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, “Quantum dots formed in GaN/AlGaIn FETs and channel length dependence”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Online, Nov. 2, 2021.
3. M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Error rate analysis of charge sensing in quantum dots by Bayesian approach”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 27, 2021.
4. T. Abe, T. Kitada, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, “Channel length dependence of the formation of quantum dots in GaN FETs”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 27, 2021.
5. A. Sharma, T. Otsuka, and Y. P. Chen, “Improving low temperature contact resistance of 2D semiconductors using semimetal”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 25, 2021.

5 C ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連 *Nano-Bio Hybrid Molecular Devices*

- C1 ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）
Nano-Bio Hybrid Molecular Devices (A. Hirano-Iwata)

C1 ナノ・バイオ融合分子デバイス (平野愛弓) Nano-Bio Hybrid Molecular Devices (A. Hirano-Iwata)

1. 人工細胞膜に基づくデバイスの開発と応用に関する研究
Development of artificial cell membrane sensors and their medical applications
人工的に細胞膜構造を構築し、新薬候補化合物などの高効率スクリーニング法としての応用を目指している。
We are aiming to reconstitute artificial cell membrane structures as a platform for high-throughput screening of new drug candidates.
2. バイオ・有機材料に基づく電子・イオンデバイスの創成に関する研究
Construction of electronic and ionic devices based on bio and organic materials
有機・バイオ材料を用いた新規機構を有するデバイスの作製やその動作機構の評価を通して、新規な電子・イオンデバイスの創成を目指している。
We are developing bio and organic devices with novel functions. Through the evaluation of their working principles, we are aiming to create new electronic and ionic devices.
3. 培養神経細胞を用いた人工神経回路網に関する研究
Construction of artificial neuronal networks based on cultured neurons
基板加工技術を脳研究に応用し、生きた神経細胞を原理的素子とした脳のモデルシステムの創成を目指している。
We are investigating construction of a brain model system by utilizing living neuronal cells as fundamental elements.

【査読付論文】

1. T. Ma, M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Watanabe, X. Feng, R. Miyata, D. Tadaki, F. Hirose, Y. Tozawa, A. Hirano-Iwata, "Lateral voltage as a new input for artificial lipid bilayer systems", *Faraday Discuss.*, **233**, 244–256 (2022).
2. K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, "Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes", *Electrochemistry*, **89**, 348–354 (2021).
3. M. Yamaguchi, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, Y. Watanabe, H. Kanetaka, H. Fujimori, E. Takemoto, M. Niwano, "Bactericidal activity of bulk nanobubbles through active oxygen species generation", *Langmuir*, **37**, 9883–9891 (2021).
4. K. Iwata, H. Abe, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, S. Suda, M. Niwano, "Application of neural network based regression model to gas concentration analysis of TiO₂ nanotube-type gas sensors", *Sens. Act. B: Chemical*, **361**, 131732 (2022).

【国際会議発表】

1. M. Sadgrove, A. Suda, R. Matsuyama, M. Komiya, T. Yoshino, D. Yamaura, M. Sugawara, M. Niwano, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, A. Hirano-Iwata, "Liposome manipulation using the evanescent field of an optical nanofiber", OSA Biophotonics Congress 2021, Online, April 14, 2021.
2. H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Ultrasoft silicone elastomer as a biomimetic scaffold for neuronal cultures", European Materials Research Society (E-MRS) 2021 Spring Meeting, Online, June 3, 2021.

3. H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Ultrasoft polydimethylsiloxane as a biomimetic scaffold for neuronal cultures", 8th Japan-China Nanomedicine Meeting, Online, June 11, 2021.
4. M. Montalà-Flaquer, K. Ide, C. Fernández-López, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, J. Soriano, "Tuning synchrony in living neuronal networks through neuroengineering", DynamicsDays 2021, Nice, France (Hybrid), August 26, 2021.
5. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel activities", 2021 International Conference on Solid State devices and materials (SSDM2021), Online, September 8, 2021.
6. T. Urae, T. Yagai, K. Sekine, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, Y. Mizugaki, "Electrical characteristics of single-electron transistors made by dielectrophoresis of gold nanoparticles with different diameters", 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021), Online, October 26, 2021.
7. M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Ma, D. Tadaki, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, "Development of a novel artificial lipid bilayer system that enables applying a lateral voltage as a new input for ion channel analysis", The 4th International Workshop on Symbiosis of Biology and Nanodevices (The 4th IWSBN) (The 174th Committee JSPS), Online, November 4, 2021.
8. H. Yamamoto, T. Takemuro, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of mesoscale neuronal networks", 14th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2021), Online, November 18, 2021.
9. A. Hirano-Iwata, "Lateral voltage as a new input for artificial lipid bilayer systems", Next Generation Nanoelectrochemistry Faraday Discussion 2021, Online, November 30, 2021.
10. T. Ma, X. Feng, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, "Photoresponse Mechanism of a free-standing lipid bilayer membrane doped with fullerene derivatives", The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS9), Online, November 30, 2021.
11. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel activities", The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS9), December 1, 2021.
12. A. Suda, R. Matsuyama, M. Komiya, A. Hirano-Iwata, M. Sadgrove, "Optical manipulation of low index contrast nanoparticles with a nanofiber", The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021), December 18, 2021.
13. M. Komiya, R. Yokota, M. Sato, D. Tadaki, H. Yamamoto, Y. Tozawa, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Development of a bio-device for the analysis of ion channel activities based on artificial bilayer lipid membranes", The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021), December 20, 2021.
14. M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Ma, D. Tadaki, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, "Construction of novel ion channel analytical system using artificial lipid bilayer based on intramembrane electric fields", The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021), December 20, 2021.
15. A. Hirano-Iwata, "A new lipid bilayer platform for analyzing ion channel functions", The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2022), Online, February 18, 2022.
16. A. Hirano-Iwata, "Artificial cell membrane systems for controlling intramembrane voltages", 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-12), Online, March 15, 2022.
17. H. Yamamoto, T. Sumi, T. Takemuro, S. Moriya, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Artificial reconstitution of neuronal network functions with living cells", The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware, Fukuoka, Japan (Hybrid), March 19, 2022.

6. 参考資料

Miscellaneous

6-1 施設の代表的装置の概要

Facilities and Equipments

6-2 施設の利用状況（令和3年度）

Statistics

6-3 ナノ・スピニング学会

Nano-Spin Seminar Series

6-1 施設の代表的装置の概要 Facilities and Equipments

a-1) ナノ・スピンド電子ビーム・リソグラフィ関連

□ ナノ・スピンド電子描画システム

日本電子 JBX-9300SA

- 用途 ナノスケールのパターン描画
- 性能 加速電圧：100 kV
最小線幅：20 nm
ウェハサイズ：5 mm 角～300 mmφ

□ スピンドデバイス用リソグラフィ装置

ハイデルベルグ・インストルメンツ DWL200

- 用途 フォトマスク作製、ウェハへの直接描画
- 性能 最小描画線幅：2 μm ライン/スペース
マスクサイズ：2.5～6 インチ角
ウェハサイズ：3～6 インチφ

□ イオンビーム加工解析装置 (FIB-SEM)

ZEISS NVision40 (A)

- 用途 集束イオンビームによる微細加工と SEM 観察
- 性能 Ga イオンビーム最大加速電圧：30 kV
電子ビーム最大加速電圧：30 kV
Ar イオンビーム最大加速電圧：1 kV
堆積可能膜：Pt, C, SiO₂
二次イオン質量分析器 (SIMS)
エネルギー分散型 X 線分光器 (EDS)
走査透過型電子顕微鏡 (STEM) 機能
TEM 試料作製用マニピュレータ
最大サンプルサイズ：4 インチφ

□ マスクアライナー

SUSS MJB4

- 用途 集積回路試作用フォトレジストパターンの形成
- 性能 基板サイズ：5 mm 角から最大 4 インチ角
マスクサイズ：2 インチ角から 5 インチ角
紫外線露光照射度：25 mW/cm²
露光分解能：0.8 μm ライン/スペース (バキュームコンタクト時)

□ 走査型電子顕微鏡 (SEM)

日本電子 JSM7401-FT

- 用途 薄膜表面極微細構造解析
- 性能 ・2 次電子像分解能
加速電圧 15 kV : 1.0 nm 保証
1kV GB モード : 1.5 nm 保証
・像種
二次電子像、反射電子像、二次電子+反射電子像、エネルギーフィルタ像
・倍率
LM モード：×25～19,000、SEM モード：×100～1,000,000
自動倍率補正機能、倍率瞬時切替機能、像回転補正機能付き
・加速電圧
LM、SEM モード：0.5～30 kV、GB モード：0.1～4 kV
・プローブ電流 10⁻¹³～2×10⁻⁹ A

□ プラズマアッシャー

ヤマト科学

- 用途 試料表面のクリーニングやアッシング
- 性能 プラズマモード：DP/RIE
最大出力：1000W
ガス：酸素
カーブトレーサモード可

a-2) 化合物半導体プロセス装置関連

□ 化合物 MBE (VG)

VG V80H

- 用途 化合物半導体薄膜 (GaAs/AlAs, InAs/GaSb) のエピタキシャル成長
- 性能
 - ・ウェハサイズ 2 インチ (最大 3 インチ) 任意形状 (In 半田付け)
2 インチあるいは 2 インチウェハの 1/4 (In Free)
 - ・蒸着源 成膜室 1 Ga, In, Al ×2, As×2, Sb, Si, Be, (Te)
成膜室 2 Ga, Al×2, As, Si

□ 多目的電子ビーム蒸着装置 (n 型蒸着器)

日本真空

- 用途 化合物半導体に p 型及び n 型電極材料を電子ビーム・抵抗加熱で蒸着し、熱処理を行う。
- 性能
 - ・n 型金属蒸着用電子ビーム蒸着装置
ウェハサイズ 不定形 (最大 2 インチ)
電子ビーム蒸着源数 1
抵抗加熱蒸着源数 2
 - ・p 型金属蒸着装置
ウェハサイズ 不定形 (最大 2 インチ)
蒸着源数 3
 - ・n/p 型用赤外線熱処理装置
ウェハサイズ 不定形 (最大 2 インチ)
加熱温度 900 °C±5 °C 以内
雰囲気ガス 窒素、アルゴン、水素

□ 半導体パラメータアナライザ

ソニーエレクトロニクス

- 用途 半導体電子デバイス等の電気的特性の評価
- 性能
 - ・ソースモニタユニット数 6
 - ・分解能：8 mV 4 fA
 - ・最大電圧・電流：200 V 100 mA
 - ・カーブトレーサモード可

□ 高機能マイクロカー測定装置

ネオアーク

- 用途 約 2 μmφ の領域における面内および極 kerr 効果の測定
- 性能 光源：半導体レーザー 波長 650 nm
レーザースポットサイズ：約 2 μmφ
最大印加磁場：1.0 T
温度：1.5 K～400 K (室温以下は液体 He 使用)
ステージ空間分解能 1 μm

□ 多機能薄膜材料評価 X 線回折装置 (2 次元検出器付 XRD)

Bruker

- 用途 強力 X 線源と 2 次元検出器を用いた高速な X 線回折測定
- 性能 X 線源：Cu
検出器：シンチレーション検出器、2 次元検出器

試料ステージ：5 軸試料ステージ

□ 接触段差計 (Dektak150)

アルバック

- 用途 試料方面に形成された段差、上面形状、表面粗さなどの評価
- 性能 試料サイズ：15 mmφ 以下
高さ方向分解能：0.1 nm (@6.55 μm range)

□ マイクロプローブ式低温ホール効果測定装置

理工貿易

- 用途 半導体材料・ヘテロ構造におけるキャリア移動度・キャリア密度の評価
- 性能 測定方法：Van der Pauw 法
ステージ温度範囲：20 K～400 K
最大印加磁界強度：0.4 T

a-3) シリコンプロセス装置関係

□ ナノヘテロ界面処理加工システム

- 用途 Si-Ge-C 系半導体ナノヘテロ構造形成及びその界面処理などの加工を行う。
- 性能 Si-Ge 系薄膜のエピタキシャル成長や不純物ドーピングが可能。
300-1100 °C での各種ガス雰囲気中での熱処理が可能。

□ ナノヘテロ分析システム

- 用途 Si-Ge-C 系半導体ナノヘテロ構造の高精度分析を行う。
- 性能 Si-Ge-C 系半導体ナノヘテロ構造の原子結合・歪状態（レーザラマン分光システム）、
薄膜積層構造(分光エリプソメータ)、電気抵抗（4 探針法抵抗率測定器）の評価分析
が可能。

□ 半導体電気磁気複合特性測定システム

HP 他組上システム

- 用途 直流ホール効果測定用
- 性能 磁場強度 6.9 kOe（ギャップ 60 mm 時）。クライオスタットにより試料台温度を 10 K
まで冷却可能。

□ Si 系 RIE

- 用途 シリコン加工用ドライエッチング装置（アネルバ EMR510 特）
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングを行う。
SiO₂加工用ドライエッチング装置（アネルバ DEM-451 特）
Si 基板上の Si および SiO₂ のエッチングを行う。
メタル加工用ドライエッチング装置（アネルバ L-451DA-L）
Si 基板上の金属のエッチングを行う。
- 性能 シリコン加工用ドライエッチング装置
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングが可能（ECR 型）。最大 6 インチウェハ。試料皿に
のる不定形ウェハ可能。補助磁場印加、RF バイアス印可可能。
導入ガス： Cl₂、SiCl₄、BCl₃、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
SiO₂加工用ドライエッチング装置
Si および Si 基板上の SiO₂ のエッチングが可能（RF 励起平行平板型）。
導入ガス： CF₄、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
メタル加工用ドライエッチング装置
Si 基板上の金属のエッチングが可能（RF 励起平行平板型）。
エッチング室用ガス： N₂、Ar、H₂、BCl₃、SiCl₄、Cl₂、CF₄、SF₆、O₂
アッシング室用ガス： O₂、N₂

□ X線光電子分光装置 (ESCA)

SSI SSX-100、Kratos
AXIS-NOVA

- 用途 SSI SSX-100 表面元素分析用
Kratos AXIS-NOVA 表面元素分析用、表面元素分布イメージング用
- 性能 SSI SSX-100
単色化 X 線源 (AlK α)
最少分析領域 150 μm
最少パスエネルギー 25 eV
最高エネルギー分解能 0.58 eV (Ag 3d 5/2)
Kratos AXIS-NOVA
単色化 X 線源 (AlK α)
スペクトルモード：最少分析領域 15 μm
最少パスエネルギー 5 eV
最高エネルギー分解能 0.48 eV (Ag 3d 5/2)
イメージングモード：最高空間能 3 μm

□ ワイドレンジナノ形状測定システム

島津製作所 FT-3500

- 用途 表面ナノ形状測定用
- 性能 レーザー顕微鏡部
408 nm 紫外半導体レーザスキャン方式
最大光学ズーム倍率 6 倍
観察視野 21 ~ 560 μm 最高ピクセル分解能 21 nm
プローブ顕微鏡部
AFM (コンタクト、ダイナミック、位相) モード
表面電位モード
電流モード
磁気力モード
最大走査範囲 (水) 30 μm $\times$ 30 μm $\times$ (高さ) 4 μm
最高制御分解能 (水平) 0.45 μm $\times$ (高さ) 0.06 μm

a-4) 配線プロセス関係

□ ナノ・スピニングメタルスパッタリングシステム

アネルバ EVP-38877

- 用途 半導体集積プロセスにおける配線用 Al/Ti 薄膜の成膜
- 性能 ターゲット材：Al-Si(1%)、Ti
基板ホルダ：33 ミリ ϕ 、2 インチ ϕ 、4cm 角以下のカットウェハ等
処理枚数：33 ミリ ϕ ウェハ 25 枚/ロット
膜厚分布： ϕ 200 ミリ内 $\pm$ 5%以内
到達真空度： 3×10^{-6} Pa (スパッタ室)

□ アナライザー

アジレント HP-4156C

- 用途 トランジスタの電圧・電流特性等各種電子デバイスの電気特性の測定
- 性能 高分解能電圧電流ソース・モニタ・ユニット(1 fA/2 μV –100 mA/100 V) $\times$ 4
電圧測定ユニット $\times$ 2
電圧源ユニット $\times$ 2

□ ボンダー

ウェストボンド 7476D

- 用途 集積化チップとパッケージ間の信号線配線
- 性能 ワイヤー：Al、Au
最大倍率 60 倍の可変ズーム顕微鏡

始点・終点の超音波出力／発生時間の独立設定が可能
パッケージの加熱可能

□ マスクアライナー

ズース・マイクロテック
MJB4

- 用途 集積回路試作用フォトリソパターン形成
- 性能 基板サイズ 5 mm 角から最大4 インチ角
マスクサイズ：2 インチ角から5 インチ角
紫外線露光照射度：80 mW/cm²
露光分解能：0.8 μm ライン／スペース（バキュームコンタクト時）

□ スパッタ装置

アネルバ

- 用途 高密度金属配線形成、金属電極形成、
シリサイド用高融点金属薄膜形成
- 性能 φ4”カソード×3 基
最大搬送基板サイズ：φ4”
基板加熱：MAX350 °C
到達真空度：3×10⁻⁶ Pa 以下

□ 熱処理炉

東栄科学産業

- 用途 ゲート酸化膜、フィールド酸化膜の形成、
SiO₂、PSG などの熱処理、イオン注入後の熱処理、シンタリング、アロイング
- 性能 O₂、N₂、Ar、H₂、H₂+O₂ 雰囲気中での熱処理が可能。
ヒータ加熱方式 300 °C～1050 °C：3 体

□ 金属蒸着装置

日本シード研究所 M95-
0019

- 用途 金属薄膜（アルミニウム）の蒸着（抵抗加熱型）
- 性能 蒸着源ポート数：2
対応ウェハサイズ：33 mmφ、2”、6”、8”
膜厚コントローラによる蒸着レートの制御が可能日本シード研究所 M95-0019
基板回転機構付き

□ 原子間力顕微鏡（AFM）

日本ビーコ

- 用途 走査型プローブ顕微鏡の探針によるナノメートルスケールの加工機能及びマニピュレーション及び走査型プローブ顕微鏡による各種プローブ顕微鏡像の観察
- 性能 最大試料サイズ：210 mm
ステージ可動範囲：180 mm×150 mm
最大走査範囲：XY：80 μm、Z：9 μm
ナノマニピュレーション機能：スクラッチ、陽極酸化
プローブ顕微鏡：STM、AFM（コンタクト、タッピング、摩擦力、電流）、FEM、
SPoM、SCM、MFM

□ レーザー共焦点顕微鏡

レーザーテック

- 用途 試料表面のマイクロメートルからナノメートルスケールの段差や粗さを非接触にて測定する
- 性能 ピクセル数：2048×2048
階調：16 ビット
共焦点顕微鏡機能による高さ測定機能（測定精度（σ）：0.02 μm）
ミラウ型干渉による微細形状計測機能（測定精度（σ）：0.0007 μm）

□ レーザー直接描画装置

ネオアーク

- 用途 フォトリソグラフィ用レジストに直接描画する
- 性能 レーザー光源波長：375 nm
最少描画線幅：1 μm
最大描画範囲：50 mm × 50 mm

6-2 施設の利用状況(令和3年度) Statistics

令和3年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況					2022/3/31
	研究室名	利用責任者	取り纏め研究室	登録者名	人数
常駐研究室	佐藤・櫻庭・山本研	櫻庭 政夫		佐藤教授 櫻庭准教授 山本准教授 (学術研究員)守谷 (M2)小口 渋谷 菅家 佐々木 (M1)藤本 渡邊 (B4)小野 門間 佐藤 (B3)蘭	14
	深見研	深見 俊輔		深見教授 松倉教授 (助教)金井 Justin 陣内 Samik 山根 (特任助教)竹内 (博士研究員)五十嵐(純) (技術補佐員)William 五十嵐(忠) 柴田 (D1)ユン De Zoysa (M2)来住 安部(直) 武智 早川 (M1)内村 菅野 岸 小林 千葉 (B4)安部(佑) 大田 佐藤 篠田 (JAXA)渡部	28
	平野研	但木 大介		平野教授 (助教)但木 馬 小宮 (受託研究員)阿部 (D1)住 佐藤 (M2)河野 佐藤(有) 竹室 渡辺 (M1)安藤 陰山 酒井原 渡部 (B4)島田 野村 室田	18
	尾辻・佐藤研	佐藤 昭		尾辻教授 佐藤昭准教授 (研究員)唐 (M2)根来 (M1)田村 中嶋 (B4)関 成田 渡邊 (その他)藤原 田中 吉武	12
	堀尾研	堀尾 喜彦		堀尾教授 (D3)織間 (M2)菊地 (M1)熊谷 (B4)石井 辻	6
	共通部	森田 伊織		森田技術職員 小野技術職員 武者技術職員	3
非常駐研究室	基盤セクター評価部	阿部 真帆		阿部技術職員 丹野技術職員	2
	大塚准教授研	大塚 朋廣	深見研	大塚准教授 (技術補佐員)熊坂 佐久間 佐藤 出崎 (D3)篠崎 (M2)阿部 相澤 (M1)藤原 武藤 吉田 (B4)上面 (B3)田高 野呂	13
	吹留准教授研	吹留 博一		吹留准教授 (技術補佐員)佐々木 (M2)小濱 (M1)石田 山本 (B4)佐藤 米窪 (NICT)渡邊	8
	石山研	石山 和志	佐藤研	石山教授 (M2)高野 (M1)豊田 (B4)上倉 千田	5
	羽生研	羽生 貴弘	共通部	羽生教授 (研究員)高子	2
	枝松研	枝松 圭一	共通部	枝松教授 金田助教	2
	片野研	片野 諭	共通部	片野准教授 (M2)青柳 許 (B4)森田	4
	安藤・大兼研(工)	大兼 幹彦	深見研	大兼准教授 中野助教 アルマダウイ助教 (D2)劉 王 (M1)谷口 豊壽	7
	新田・好田研(工)	好田 誠	深見研	好田准教授 軽部助教 張助教 (研究員)Ye (D1)Liao (M2)Zihao 木村 曾根原 (M1)小田川 (B4)菊池 北川 小山 田中 星加 松浦	15
	藤掛・石鍋研(工)	柴田 陽生	平野研	柴田助教 (M1)小野 (B4)神田	3
	ソフトマター・生物物理(理)	芳賀 健也	共通部	芳賀技術職員 (D1)千葉 (B4)遠藤	3
	CIES	池田 正二	深見研	池田教授 永沼准教授 Anh助教 葉助教 (研究支援員)平田 岩沼	6
	末光研 (CIES)	末光 哲也	尾辻研	末光哲也教授	1
	CSIS	LUSTIKOVA	深見研	Lustikova助教	1
	AIMR	Alka	深見研	Alka助教	1
	西原研 (AIMR)	Zhengze Pan	共通部	Zhengze Pan助教 (D1)Hongyu Liu	2
	内野研 (東北工大)	内野 俊	尾辻研	内野教授 (B4)但野 (B3)衝	3
	柴田研 (東北工大)	柴田 憲治	深見研	柴田教授 (M1)小野	2
	堀切川・山口研(工)	山口 健	共通部	山口 健准教授 (M2)石谷 (B4)平垣内	2
	吉川研 (未来科学技術共同研究センター)	鎌田 圭	共通部	鎌田准教授 (助手)石川	2
合 計					165

令和3年3月1日から令和4年2月28日まで

[illegible]

令和3年3月1日から令和4年2月28日まで

[illegible]

令和3年3月1日から令和4年2月28日まで

装置名 (Aは共通利用対応、Pはプロジェクト対応)	装置A										装置B										装置C										装置D										装置E										装置F										装置G										装置H										装置I										装置J										装置K										装置L										装置M										装置N										装置O										装置P										装置Q										装置R										装置S										装置T										装置U										装置V										装置W										装置X										装置Y										装置Z										装置AA										装置AB										装置AC										装置AD										装置AE										装置AF										装置AG										装置AH										装置AI										装置AJ										装置AK										装置AL										装置AM										装置AN										装置AO										装置AP										装置AQ										装置AR										装置AS										装置AT										装置AU										装置AV										装置AW										装置AX										装置AY										装置AZ										装置BA										装置BB										装置BC										装置BD										装置BE										装置BF										装置BG										装置BH										装置BI										装置BJ										装置BK										装置BL										装置BM										装置BN										装置BO										装置BP										装置BQ										装置BR										装置BS										装置BT										装置BU										装置BV										装置BW										装置BX										装置BY										装置BZ										装置CA										装置CB										装置CC										装置CD										装置CE										装置CF										装置CG										装置CH										装置CI										装置CJ										装置CK										装置CL										装置CM										装置CN										装置CO										装置CP										装置CQ										装置CR										装置CS										装置CT										装置CU										装置CV										装置CW										装置CX										装置CY										装置CZ										装置DA										装置DB										装置DC										装置DD										装置DE										装置DF										装置DG										装置DH										装置DI										装置DJ										装置DK										装置DL										装置DM										装置DN										装置DO										装置DP										装置DQ										装置DR										装置DS										装置DT										装置DU										装置DV										装置DW										装置DX										装置DY										装置DZ										装置EA										装置EB										装置EC										装置ED										装置EE										装置EF										装置EG										装置EH										装置EI										装置EJ										装置EK										装置EL										装置EM										装置EN										装置EO										装置EP										装置EQ										装置ER										装置ES										装置ET										装置EU										装置EV										装置EW										装置EX										装置EY										装置EZ										装置FA										装置FB										装置FC										装置FD										装置FE										装置FF										装置FG										装置FH										装置FI										装置FJ										装置FK										装置FL										装置FM										装置FN										装置FO										装置FP										装置FQ										装置FR										装置FS										装置FT										装置FU										装置FV										装置FW										装置FX										装置FY										装置FZ										装置GA										装置GB										装置GC										装置GD										装置GE										装置GF										装置GG										装置GH										装置GI										装置GJ										装置GK										装置GL										装置GM										装置GN										装置GO										装置GP										装置GQ										装置GR										装置GS										装置GT										装置GU										装置GV										装置GW										装置GX										装置GY										装置GZ										装置HA										装置HB										装置HC										装置HD										装置HE										装置HF										装置HG										装置HH										装置HI										装置HJ										装置HK										装置HL										装置HM										装置HN										装置HO										装置HP										装置HQ										装置HR										装置HS										装置HT										装置HU										装置HV										装置HW										装置HX										装置HY										装置HZ										装置IA										装置IB										装置IC										装置ID										装置IE										装置IF										装置IG										装置IH										装置II										装置IJ										装置IK										装置IL										装置IM										装置IN										装置IO										装置IP										装置IQ										装置IR										装置IS										装置IT										装置IU										装置IV										装置IW										装置IX										装置IY										装置IZ										装置JA										装置JB										装置JC										装置JD										装置JE										装置JF										装置JG										装置JH										装置JI										装置JJ										装置JK										装置JL										装置JM										装置JN										装置JO										装置JP										装置JQ										装置JR										装置JS										装置JT										装置JU										装置JV										装置JW										装置JX										装置JY										装置JZ										装置KA										装置KB										装置KC										装置KD										装置KE										装置KF										装置KG										装置KH										装置KI										装置KJ										装置KK										装置KL										装置KM										装置KN										装置KO										装置KP										装置KQ										装置KR										装置KS										装置KT										装置KU										装置KV										装置KW										装置KX										装置KY										装置KZ										装置LA										装置LB										装置LC										装置LD										装置LE										装置LF										装置LG										装置LH										装置LI										装置LJ										装置LK										装置LL										装置LM										装置LN										装置LO										装置LP										装置LQ										装置LR										装置LS										装置LT										装置LU										装置LV										装置LW										装置LX										装置LY										装置LZ										装置MA										装置MB										装置MC										装置MD										装置ME										装置MF										装置MG										装置MH										装置MI										装置MJ										装置MK										装置ML										装置MM										装置MN										装置MO										装置MP										装置MQ										装置MR										装置MS										装置MT										装置MU										装置MV										装置MW										装置MX										装置MY										装置MZ										装置NA										装置NB									
------------------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

研究室持込み装置保守時間

令和3年3月1日から令和4年2月28日まで

[illegible]

6-3 ナノ・スピ工学研究会 Nano-Spin Seminar Series

21 世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成 16 年 4 月 1 日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。令和 3 年度は、以下 4 回の研究会が実施された。

第 113 回 令和 3 年 4 月 30 日 10:30-12:00 「超強結合凝縮系物質における Dicke の協調性～多体効果が助長する光と物質の相互作用～」 河野淳一郎（ライス大学 教授）

第 114 回 令和 3 年 11 月 16 日 10:30-11:30 「超伝導量子ビットの基礎」 猪股邦弘（産業技術総合研究所、主任研究員）

第 115 回 令和 3 年 12 月 20 日 12:55-17:40, 12 月 21 日 9:00-15:00 「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」 伊藤弘（北里大）、石橋忠夫（NEL テクノ）ほか

第 116 回 令和 4 年 1 月 6 日 13:30-14:30 「SiC パワー半導体デバイスの現状と課題」 長澤弘幸（株式会社 CUSIC）

東北大学電気通信研究所附属
ナノ・スピン実験施設

〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1-1 phone (022)217-5563 fax (022)217-5565
(<http://www.riec.tohoku.ac.jp/>)