

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18号

**Research Report No.18
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

2023

施設研究報告書 2023

目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	令和4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	11
5.	研究成果（令和4年度）	34
5-A	ナノ集積基盤技術関連	34
5-B	スピントロニクス基盤技術関連	40
5-C	ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	52
6.	参考資料	55
6-1	施設の代表的装置の概要	56
6-2	施設の利用状況（令和4年度）	62
6-3	ナノ・スピン工学研究会	67

Annual Research Report 2023

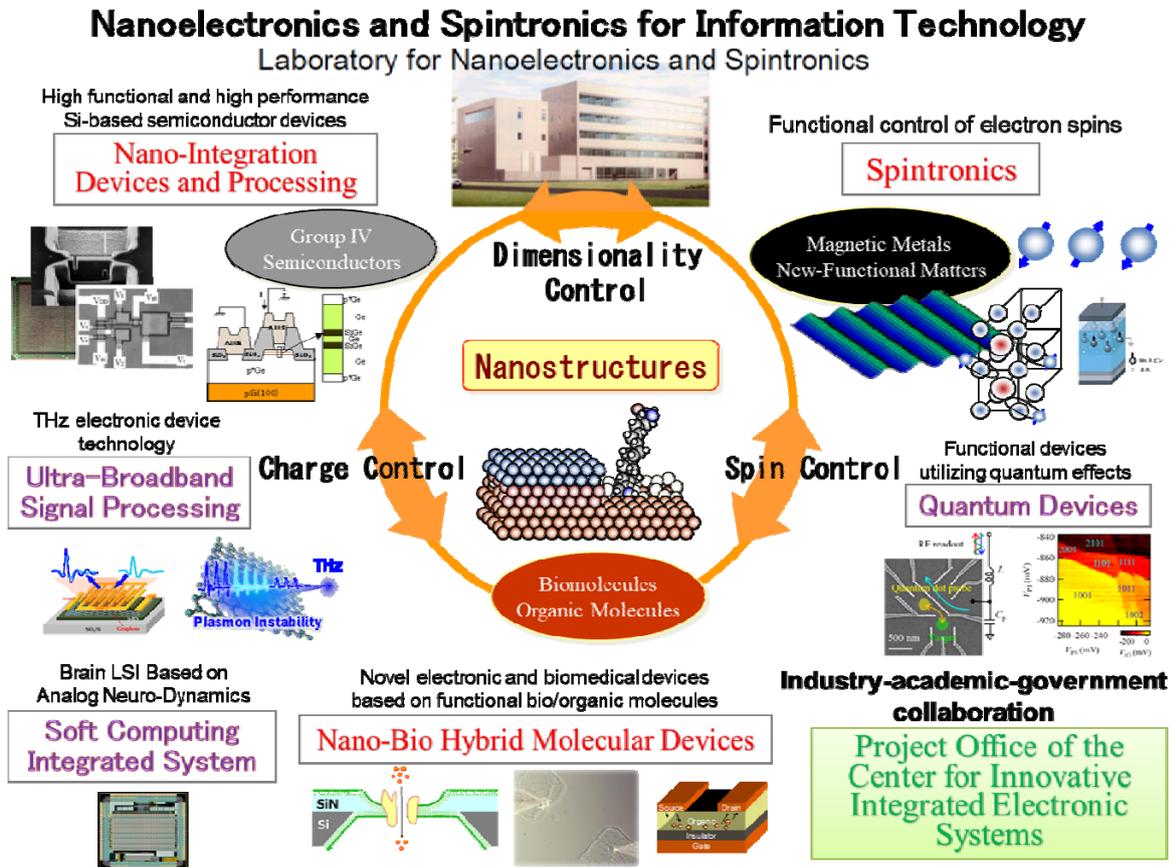
Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2022	3
4.	Global Activities	9
4-1	COE of International Research Collaboration	9
4-2	International Symposium	11
5.	Research Abstracts	34
5-A	Nano Integration	34
5-B	Spintronics and Information Technology	40
5-C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	52
6.	Miscellaneous	55
6-1	Facilities and Equipments	56
6-2	Statistics	62
6-3	Nano-Spin Seminar Series	67

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。

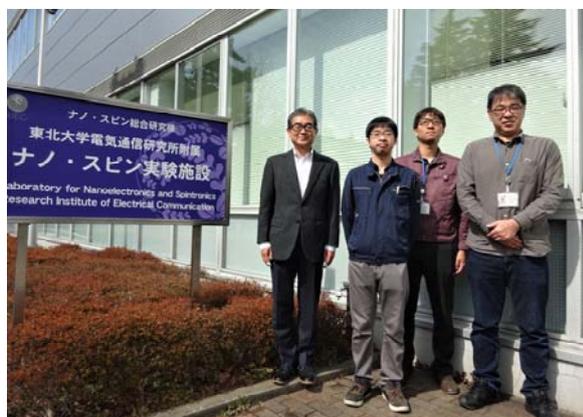
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス（COE）となることを目標としている。

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4年度の研究成果のハイライト *Highlights of Research in FY2022*

施設研究部と利用研究室の令和4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) 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を LSI 上に実装し、これを用いて再帰的ニューラルネットワークを構成しリザーバ計算に応用した。音声等の時系列信号を正しく分類できることを電気測定により確認した。さらに、ジョセフソン伝送線路を用いたリザーバ計算の手法について提案した。超伝導素子であるジョセフソン接合を用いて高速かつ低電力な時系列認識が可能であることを数値実験により明らかにした。

(2) 高耐圧・低損失パワー半導体デバイスの開発を目指し、高温ウェット酸化によって形成したゲート酸化膜を用いた二重イオン注入型 Al ゲート 4H-SiC MOS トランジスタ製作プロセスの構築を進め、ゲート長 5 ミクロンにおいてもゲートリークが抑制された明瞭なトランジスタ動作特性を確認することに成功した。

(3) マイクロ流体デバイスを用いて培養神経細胞を高密度多点電極アレイ上にパターン培養し、生物の脳神経系で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その自発活動を長時間分解能で計測し、これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの活動伝搬に加えて、モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えることに成功した。

(1) A spiking neuron that reproduces various neural pulses and operates at extremely low power was implemented on an LSI, and a recurrent neural network was constructed using it and applied to reservoir computing. It has been confirmed by electrical measurements that time-series signals such as speech signal could be correctly classified.

(2) To develop high-voltage and low-loss power semiconductor devices, double ion-implanted Al-gate 4H-SiC MOS transistors were fabricated utilizing high-temperature wet oxidation, and clear transistor-operation characteristics with low gate leakage were demonstrated even for gate length of 5 micron.

(3) We developed defined neuronal networks with a modular design on high-density microelectrode arrays, using a surface coating protocol involving a cell-permissive hydrogel for secure attachment of a polydimethylsiloxane microfluidic film. The spontaneous neural activity recorded from these engineered networks demonstrated that the modular architecture enhances functional complexity by reducing excessive neural correlation between spatially separated modules.

● 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)

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフイックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度の主な成果を以下にまとめる。

(1) Through Silicon Via と Micro Bump により 3 次元積層実装したカオスニューラルネットワークリ

ザバー(CNNR)LSI を用いて、離散単語音声認識実験を行った。さらに、FORCE 学習を CNNR に適用し、ハイパーカオスを含む様々なダイナミクスを持つ CNNR を用いた時系列生成に成功した。また、出力層ニューロンにカオスニューロンを導入して、時系列予測を行い、非常に高い性能を確認した。

(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より精緻なものとするため、熱回路によるモデリングを行い、物理シミュレータにより詳細な解析を行った。

(3) リザーバーニューラルネットワーク内の局所的な記憶として内部状態の時定数および自己結合の時定数を導入したニューラルネットワークを提案し、これら局所不応性パラメータ、出力関数の最大ゲインパラメータおよびバイアス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詳細に検討した。

(4) 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークをスパイクングニューロン回路として実装するため、連続時間の微分方程式モデルとして記述すると共に、基本的な回路構成を提案し、個別部品回路実験によりその有効性を確認した。

We are working on a novel high-performance, highly-efficient, flexible, and robust brain-inspired brainmorphic computer hardware system, in particular, through physical complex-networked dynamical process using an analog VLSI as a core component. Results of this year are summarized as follows:

(1) Discrete word speech recognition experiments were conducted using a chaotic neural network reserver (CNNR) LSI implemented in 3D stacking by Through Silicon Via and Micro Bump. Furthermore, we applied FORCE learning to CNNRs and successfully generated time series using CNNRs with various dynamics including hyperchaos. In addition, chaotic neurons were introduced in the output layer neurons to perform time series prediction, and very high performance was confirmed.

(2) In order to refine the mathematical models of spin-orbit torque neuron-like and synapse-like devices based on thermal dynamics, we have modeled them using thermal circuits and analyzed them in detail using a physical simulator.

(3) We proposed a neural network that introduces internal state time constants and self-coupling time constants as local memories in the reservoir neural network, and investigated speech recognition performance through simulation experiments.

(4) In order to implement the spatio-temporal context learning and memory network as a spiking neuron circuit, we described it as a continuous-time differential equation model with a basic circuit configuration, and confirmed its effectiveness through circuit experiments.

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・金井駿)

Spintronics (S. Fukami and S. Kanai)

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) 固体中の量子情報の保持時間を記述する一般化スケーリング則を発見した。(2) 従来のファラデーの電磁誘導の法則とは異なり、スピン・軌道相互作用を介した磁化ダイナミクスを利用したインダクタンスの新原理の理論を提案した。(3) ノンコリア反強磁性 Mn_3Sn 薄膜のサブミクロンスケールの磁気構造とその動的性質、及びスピン輸送特性との関係を明らかにした。(4) スピントロニクス素子の磁場や電流印加状態での熱活性磁化ダイナミクスを記述する表式における未解明因子を実験により決定した。(5) 反強磁性・強磁性相転移を起こす FeRh と強磁性 NiFe からなる積層構造において電流印加時に FeRh が NiFe に及ぼすトルクを測定し、FeRh が反強磁性相にあるとき異常に大きなトルクが生成されることを明らかにした。(6) 確率論的コンピューティングへの応用が期待される超常磁性磁気トン

ネル接合の外部磁場に対する脆弱性を克服する人工反強磁性結合を利用した構造を提案し、外部磁場に対する高い耐性を実証した。(7) 超常磁性磁気トンネル素子とプログラマブル半導体回路を組み合わせたスピントロニクス確率論的コンピュータを構築し、優れた計算性能と電力効率を実証した。(8) 反強磁性スピントロニクスにおいて、反強磁性磁気モーメントの集団的なコヒーレントダイナミクスで特徴づけられる新たなパラダイムに関する可能性をまとめた。(9) ノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn ナノドットを形成し、単一ドメイン構造を有した反強磁性磁気秩序の熱安定性を定量評価することに成功した。(10) 垂直磁化容易軸を有する磁気トンネル接合を作製し、入力電圧と流れる電流の間に生ずる非線形性を測定し、2次の成分、3次の成分の起源となる因子について考察した。

Our research activities aim at realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) discovering the generalized scaling law describing the phase coherence time of quantum information in solids, (2) proposing a new principle of inductance that arises from magnetization dynamics caused by the spin-orbit interactions, (3) observing the magnetic domain structure of noncollinear antiferromagnetic Mn₃Sn thin film and clarifying the relation with the transport properties, (4) experimentally determining the unrevealed factor in the mathematical expression of the thermally-activated magnetization reversal under magnetic fields and electric current, (5) quantifying the spin-orbit torque in FeRh/NiFe heterostructure and revealing unexpectedly large spin-orbit torque arising when FeRh is in the antiferromagnetic phase, (6) proposing and demonstrating the external field robust stochastic magnetic tunnel junction utilizing synthetic antiferromagnetic coupling, (7) demonstrating the high computation performance and low power capability using a system with stochastic magnetic tunnel junction and field-programmable-gate-array, (8) summarizing the new paradigm of antiferromagnetic spintronics which is characterized by the coherent dynamics of collective antiferromagnetic spin structures, (9) quantifying the thermal stability factor of noncollinear antiferromagnetic Mn₃Sn nanodots with single domain structure, and (10) measuring the non-linear transport properties of nanoscale magnetic tunnel junction with perpendicular magnetic anisotropy and discussing their origin.

● 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. グラフェンをチャネル材料としたテラヘルツ検出素子の開発

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。今年度は、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有するグラフェンチャネル電界効果トランジスタを試作し、電子のみが関与するユニポーラ型光電熱テラヘルツ検出機構を新たに見出し、高速・高感度なテラヘルツ波検出に初めて成功した。(2022.12. プレスリリース)

2. 光無線融合ミキサの開発

将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタをベースとした光ダブルミキサの研究を進めている。今年度は、デバイスに入力される光信号を低雑音に高強度化する手法に着目し、その手法の同デバイスへの適用可能性を明らかにするとともに、最

大で 10 倍以上の変換利得向上が見込めることを示した。(権威ある国際会議で最優秀ポスター論文受賞)

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 this fiscal year.

1. Development of graphene-channel terahertz detectors

Graphene, a monolayer sheet of honeycomb carbon crystal, is expected to break through the limit on conventional device operating speed/frequency performances. In this fiscal year, we developed a graphene-channel field-effect transistor with our original asymmetric dual-grating gates, discovered a novel unipolar photothermoelectric terahertz detection mechanism that only electrons contribute, and demonstrated its fast response time and high responsivity for the first time. (Press-released on December 2022)

2. Development of photonics-electronics convergence mixers

To realize the carrier frequency down-conversion from optical to wireless data signals, which is one of key technologies in future photonics-electronics convergence networks, we have developed photonic double-mixers based on InGaAs-channel high-electron-mobility transistors. In this fiscal year, we paid attention to a technique of generating low-noise, high-intensity optical signal input to a double-mixer and showed that the linear enhancement of the conversion gain with up to 10-dB enhancement is expected. (Received the Best Poster Paper Award at a prestigious international conference)

● 量子デバイス (大塚朋廣)

Quantum Devices (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氣的な精密高速測定、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。局所電子状態の測定、制御技術の改良を進めるとともに、グラフェン等の新しい材料においてもこれらの精密高速電気測定を実施した。

(2) 電氣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。半導体量子ドットや微細構造デバイス、新材料における電子状態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。量子デバイスの状態推定、制御の研究とともに、新材料量子デバイスに関する研究を行った。

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 2022 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

applied them to new materials.

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

(3) We studied semiconductor quantum bits for future quantum information processing. We worked on state analysis and control of quantum devices to scale up the systems and new material-based devices.

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) イオンチャネル機能解析のための人工細胞膜システムの新たな進展

生体膜上に存在するイオンチャネルは、膜内外におけるイオンの輸送機能を担っており、活動電位の発生や神経伝達など生体維持に不可欠な生理現象に関与していることから、その機能解析は重要視されてきた。イオンチャネルの機能解析手法の一つとして、人工細胞膜システムがある。我々の研究室では、異なる側面から2種類の人工細胞膜システムを構築してきた。一つは、無細胞タンパク質合成技術と組み合わせた薬剤副作用評価のための細胞膜模倣システムであり、将来における個別化医療の発展に寄与すると期待される薬剤スクリーニングシステムの基盤となりうる。もう一つは、従来の膜貫通電圧に加えて、さらに膜平行電圧という新たな入力を導入した4端子人工細胞膜システムであり、イオンチャネル機能解析の革新的技術発展へと繋がりうる新機軸を打ち出している。以上の我々が構築してきた人工細胞膜システムの詳細について国際誌 *Membranes* にて発表し、その展望性についても議論した。

(2) 人工神経細胞回路の高時空間分解能計測とバイオ計算応用

多点電極アレイ (MEA) は基板に埋め込まれた微小電極を用いて活動電位の発生に伴う細胞外電位変化を電氣的に計測するデバイスである。近年、CMOS プロセス技術を用いて作製された高密度(HD) MEA が登場したことで、MEA における空間分解能の課題が解決され、培養神経回路の活動を単一細胞レベルで計測することが可能となった。本年度の研究では、新たに HD-MEA 上に培養神経細胞をパターン培養するためのデバイス表面修飾法を確立し、生体神経回路で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その活動を高時間分解能で計測した結果、これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの同期性の変調に加えて、モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えられることを見いだした。本成果は、国際誌 *Frontiers in Neuroscience* に報告した。さらに、レザバーコンピューティングの枠組みを用いて培養神経回路の刺激応答を、パターン分類などの情報処理に結びつけることにも成功し、培養神経細胞の信号フィルター特性や、回路のモジュール性と情報処理性能との関係を明らかにした。

(3) バイオナノファイバーを用いたフレキシブル刺激電極の作製

バイオポリマーの一種であるキトサンナノファイバーにカーボンナノチューブを配線するプロ

セスを確立し、神経刺激用のフレキシブル電極を作製した。キトサンナノファイバーは生体適合性が高く、作製した電極を用いて、生きたイナゴの末梢神経の刺激に成功した。本成果は、ミュンヘン工科大学との国際共同研究によるものであり、国際誌 *Journal of Nanobiotechnology* に報告した。

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 have constructed two types of artificial cell membrane systems with different aspects. One is a cell membrane mimicry system combined with cell-free protein synthesis technology for the evaluation of drug side effects. The other is a four-terminal artificial cell membrane system that introduces a new input, parallel membrane voltage, in addition to the conventional transmembrane voltage. The details of our artificial cell membrane systems and their prospects are discussed.

(2) We established a new surface modification protocol for patterning cultured neurons on high-density multielectrode array (HD-MEA) devices and reconstituted neuronal networks with a modular structure. Measurement of spontaneous neural activity revealed that a fast, sub-millisecond activity propagation within modules could be captured in the HD-MEA recordings. Furthermore, by using the framework of reservoir computing, the stimulus responses of cultured neural networks were decoded to realize pattern classification, revealing the relationship between network modularity and information processing performance.

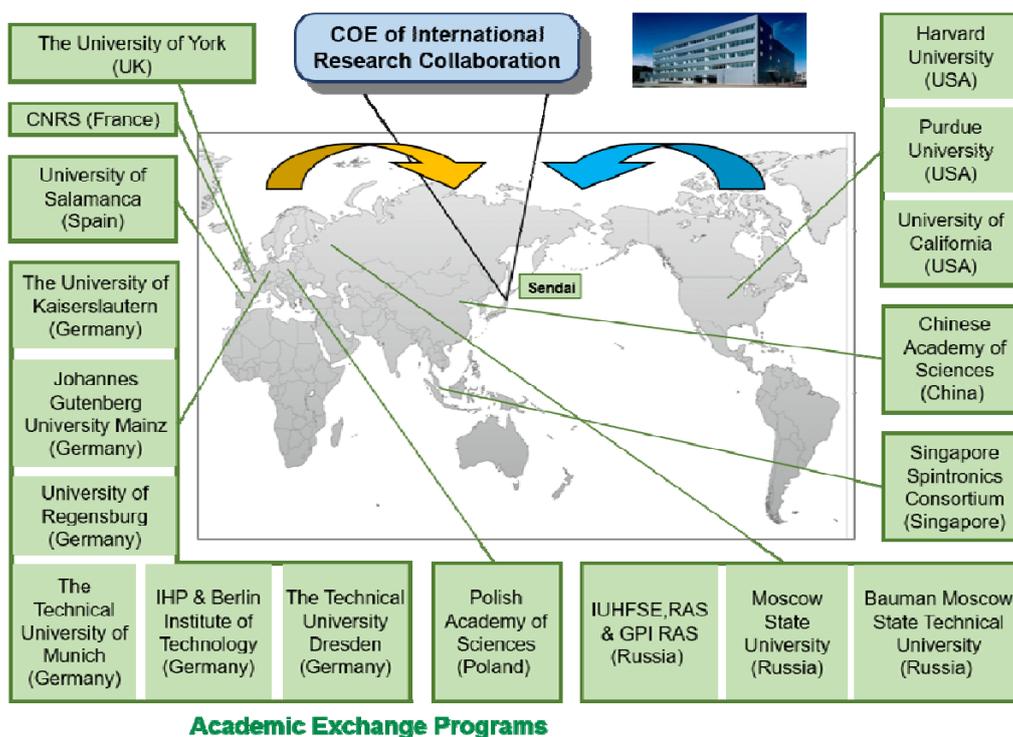
(3) A flexible electrode was fabricated by combining chitosan nanofibers (CSNFs) and carbon nanotubes. The fabricated electrodes were used to stimulate the peripheral nerves of live locusts. This result was achieved through an international collaboration with Technical University of Munich.

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。



- 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・スピントリクス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 |
| 第19回 : 2023年3月20日-4月6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 |
| 第13回 : 2023年3月7-8日 | |



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

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 |
| 第11回 : 2023年2月17-18日 | |

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

第 121 回電気通信研究所国際シンポジウム
第 11 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 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and
Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開催日：令和 5 年 2 月 17 日（金）～18 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、大脳生理学、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 11 回目であり、令和 5 年 2 月 17 日～18 日に開催された。アメリカ、オーストラリア、スペイン、スウェーデンから 6 名の海外招待講演者を迎え、23 件の口頭発表と 21 件のポスター発表が行われた。2 度のオンライン開催を挟んで 3 年ぶりの対面開催となり、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 122 回電気通信研究所国際シンポジウム
第 13 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
13th International Workshop on Nanostructures &
Nanoelectronics

平野 愛弓
Ayumi HIRANO-IWATA

開催日：令和 5 年 3 月 7 日（火）～8 日（水）（2 日間）

開催場所：オンライン開催

第 13 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 5 年 3 月 7 日（火）～8 日（水）の 2 日間にわたり、オンラインにて開催された。ドイツ、イギリス、中国、そして日本から計 6 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 65 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、生命科学、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、光触媒反応に基づく酸化チタンナノチューブ構造体での水素生成の実証、ガスや紫外線センシングのための金属酸化物半導体によるナノ薄膜トランジスタの開発、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規バイオセンシングプラットフォームの創成、走査型電気化学顕微鏡を用いた微小環境下での細胞の生化学的挙動の解明、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、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。

第 124 回電気通信研究所国際シンポジウム
第 2 回 オンライン 国際スピントロニクスワークショップ
(第 19 回国際スピントロニクスワークショップ)
2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics
(19th RIEC International Workshop on Spintronics)

深見 俊輔
Shunsuke FUKAMI

開催日：令和 5 年 3 月 20 日（月）～4 月 6 日（木）（18 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、コロナ禍での対面開催の困難を鑑みて、2021 年度に引き続きオンラインで開催したものである。以前の計 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、2021 年度と同様に以下の開催方法を採用した。

会議は 4 月 6 日に開催したライブセッションと、3 月 20 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。

今回は“Computing with Spintronics”というテーマを設定し、スピントロニクス素子を用いた新原理コンピューティングに関する研究を扱った。コミュニティとして非常に関心の高いテーマであり、活発な議論がなされた。

参加者は合計 322 名を数え、35 の国と地域から非常に多くの方にご参加いただいた。東北大学内からの参加者は 52 名のみであり、学外の多くの研究者、技術者、学生の関心を集めたことがうかがえる。



The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

February 17-18th, 2023

Abstract Book



Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics,
Research Institute of Electrical Communication (RIEC),
Tohoku University

**The 11th RIEC International Symposium on
Brain Functions and Brain Computer**

February 17-18th, 2023

Abstract Book

The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: February 17-18th, 2023

Place: Conference Room, Laboratory for Nanoelectronics and
Spintronics, Research Institute of Electrical Communication
(RIEC), Tohoku University

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.

Secretary

Satoshi Moriya, Tohoku Univ.

Co-organized by

Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

Transformative Research Areas (B) "Multicellular Neurobiocomputing"

Program

Feb. 17

9:00 - 9:10

Greetings

A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

---- Special Session 1 (Chair: S. Moriya) ----

"Spintronics-based edge computing hardware fundamentals"

9:10 - 9:40

[SS1-1 (Invited)] CMOS + stochastic MTJ: Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling

N. A. Aadit, A. Grimaldi, K. Selcuk, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, K. Y. Camsari (UC Santa Barbara, U.S.A.)

9:40 - 10:00

[SS1-2] Analog CMOS implementation of spiking neural networks for edge computing

S. Sato, S. Moriya, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)

10:00 - 10:15

[SS1-3] High-speed stochastic simulated annealing for large-scale combinatorial optimization problems

D. Shin, N. Onizawa, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)

10:15 - 10:30

Break (15 min)

---- Special Session 2 (Chair: H. Yamamoto) ----

"The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing"

10:30 - 11:00

[SS2-1 (Invited)] In vitro neural systems as intelligent devices: Previous progress and current challenges

B. J. Kagan (Cortical Labs, Australia)

11:00 - 11:20

[SS2-2] Reservoir computing models for integrating sensory processing and motor control

Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)

11:20 - 11:50

[SS2-3 (Invited)] The advantages of neuroengineering and perturbations to explore collective behavior in living neuronal networks

M. Montalà, C. F. López-Leon, S. Ayasreh, I. Jurado, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)

11:50 - 13:30

Lunch Break

--- Special Session 3 (Chair: T. Matsui) ---

"The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing"

13:30 - 14:00

[SS3-1 (Invited)] Machine learning approaches to optimizing neuromodulation therapies in a clinical setting

T. Netoff, Z. Sanger, H. Farooqi, A. Ramadan, A. Lamperski, S. Cooper, E. Krook-Magnuson, R. McGovern, D. Darrow (Univ. Minnesota, U.S.A.)

14:00 - 14:20

[SS3-2 (Invited)] Modular strategy for development of the hierarchical visual network in mice

T. Murakami, T. Matsui, M. Uemura, K. Ohki (Univ. Tokyo, Japan)

- 14:20 - 14:40 **[SS3-3] Technical development to construct novel neural circuits in the brain**
Y. Masamizu, H. Osaki, K. Nishimura, M. Negishi-Kato, H. Onoe, S. Takeuchi, M. Matsuzaki
 (Doshisha Univ., Japan)
- 14:40 - 15:00 **[SS3-4] LFP Theta dynamics contribute to retrieving motor plans after interruptions in the primate premotor area**
R. Hosaka, H. Watanabe, T. Nakajima, H. Mushiake (Shibaura Inst. Tech., Japan)
- 15:00 - 15:15 Break
 --- Special Session 4 (Chair: Y. Katori) ---
 "The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing"
- 15:15 - 15:35 **[SS4-1] Computational test for the roles of potassium channel inactivation in short-term plasticity**
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
- 15:35 - 15:55 **[SS4-2] An adaptive automatic system for analyzing single channel currents**
A. Hirano-Iwata, M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, H. Yamamoto (Tohoku Univ., Japan)
- 15:55 - 16:15 **[SS4-3] Principle for synaptic transmission during excitatory synapse development**
S. Katsurabayashi, K. Uchino, S. Kondo, T. Matsui, K. Kubota, T. Watanabe, K. Iwasaki (Fukuoka Univ., Japan)
- 16:15 - 16:35 **[SS4-4] Stimulus responses of modular neuronal networks grown on engineered substrates**
H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, J. Soriano, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
- 16:35 - 16:50 Break
 ---- Special Session 5 (Chair: M. Kimura) ----
 "Sustainable computing systems: effective integration of digital and analog elements"
- 16:50 - 17:10 **[SS5-1] Memdevice-based accelerator for beyond-neuromorphic systems**
M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)
- 17:10 - 17:30 **[SS5-2] IMAX3: Amazing dataflow-centric CGRA and its applications**
Y. Nakashima (NAIST, Japan)
- 17:30 - 17:45 **[SS5-3] Combination of memristor and capacitor for synapse device in neuromorphic spiking computing**
T. Kuwahara, R. Oshio, M. Kimura, R. Zhang, Y. Nakashima (Ryukoku Univ., Japan)
- 17:45 - 18:00 **[SS5-4] A memcapacitive spiking neural network with circuit nonlinearity-aware training**
R. Oshio, T. Sugahara, A. Sawada, M. Kimura, R. Zhang, Y. Nakashima (NAIST, Japan)

Feb. 18

--- General Session 1 (Chair: S. Sato) ---

- 9:00 - 9:30 **[GS1-1 (Invited)] Interfacing considerations for digital neuromorphic spiking neural hardware**
J. Madrenas, B. Vallejo-Mancero, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

- 9:30 - 9:50 **[GS1-2] Towards hardware implementation of hippocampal spatiotemporal learning network model**
T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji (Tohoku Univ., Japan)
- 9:50 - 10:05 **[GS1-3] Film-penetrating transducers for spin-wave reservoir computing: Basic characteristics**
J. Chen, R. Nakane, G. Tanaka, A. Hirose (Univ. Tokyo, Japan)
- 10:05 - 10:20 **[GS1-4] Reconstructive reservoir computing for edge-computing use to detect anomaly in time-series signals**
J. Kato, G. Tanaka, R. Nakane, A. Hirose (Univ. Tokyo, Japan)
- 10:20 - 10:50 **[GS1-5 (Invited)] Spatial computing offers a new perspective on the control of working memory**
P. Herman, M. Lundqvist, E.K. Miller (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)
- 10:50 - 11:00 Break (10 min)
- 11:00 - 12:30 --- Poster Session ---
- [P-1] Spatiotemporal characteristics of resting-brain activity investigated using statistical null models**
T. Matsui, Y. Hosaka, T. Hieda, K. Jimura (Okayama Univ., Japan)
- [P-2] Learning non-stationary nonlinear dynamics by extracting slow parameter change by a reservoir**
K. Tokuda, Y. Katori (Univ. Tsukuba, Japan)
- [P-3] Optimization of reservoir neural network structure for sensorimotor control**
A. Fujimoto, H. Yamamoto, S. Moriya, K. Tokuda, Y. Katori, S. Sato (Tohoku Univ, Japan)
- [P-4] Information representations obtained by reward-modulated reservoir computing with short-term synaptic plasticity**
J. Nakamura, Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
- [P-5] Mental simulation using reservoir computing for solving control tasks of deterministic systems**
Y. Yonemura, Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
- [P-6] Exploring influences of modular structure on time series generation performance in reservoir computing**
Y. Ishikawa, Y. Katori, H. Yamamoto, H. Kato, T. Sumi, T. Shinkawa (Future Univ. Hakodate, Japan)
- [P-7] Effects of synaptic scaling and network size on spontaneous firing activity in spiking neural network**
T. Shinkawa, H. Kato, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori (Oita Univ., Japan)
- [P-8] Sparse estimation of nonlinear dynamics using generalized dynamical constraints**
Y. Note, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[P-9] Data-driven approach for image reconstruction using neural ordinary differential equation models

K. Inaba, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[P-10] Learning super-resolution of X-ray CT images of rocks based on sparse representation

S. Suzuki, A. Okamoto, K. Michibayashi, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[P-11] Machine learning algorithm for estimating nonlinear neurodynamics by sequential Monte Carlo method and sparse modeling

T. Ihara, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[P-12] Physical reservoir computing with biological neuronal network with modular organization

T. Sumi, H. Yamamoto, K. Ito, Y. Katori, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[P-13] In vitro modeling of neural activity modulation induced by interleukin-6

M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[P-14] State transition of spontaneously firing single neurons in autaptic culture upon electric stimulation

S. Kishino, N. Mochizuki, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, T. Tanii (Waseda Univ., Japan)

[P-15] In vitro reconstruction of artificial neuronal networks with oriented inter-modular connections

N. Monma, H. Yamamoto, H. Murota, S. Moriya, A. Hirano-Iwata, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

[P-16] Analysis of structure-function relationship of micropatterned modular neuronal networks on high-density multi-electrode arrays

Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[P-17] Stimulus responses of micropatterned neuronal networks with modular structure grown on high-density multielectrode arrays

Y. Sono, H. Yamamoto, Y. Sato, T. Tanii, A. Hirano-Iwata, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

[P-18] Multiple memory accumulation and recall by a hippocampus model reflecting emotional values

A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, K. Tateno, O. Nomura, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)

[P-19] Analog LSI implementation of spiking neural network for energy efficient computing

S. Moriya, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, S. Sato, Y. Horio, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)

[P-20] Analog CMOS implementation of majority circuit with large fan-in for neural network applications

S. Ono, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

[P-21] Correlation analysis of junction voltages in the physical reservoir composed of two-dimensionally connected Josephson junctions

K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

Online

March 7-8, 2023

Organized by

**Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

Co-Organized by

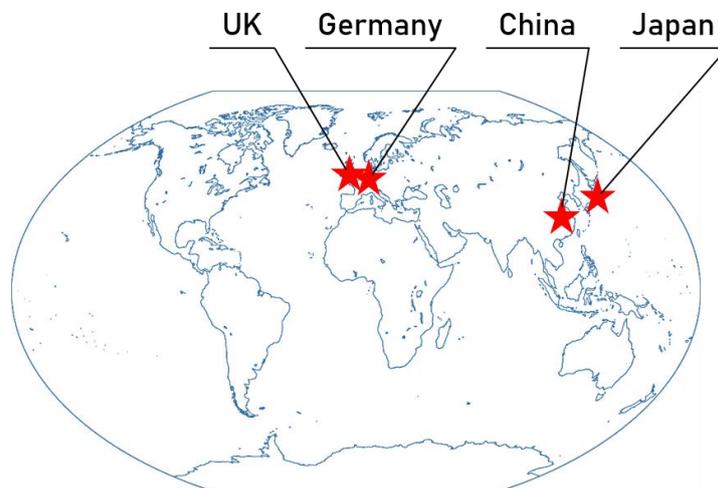
**Nano-Spin Engineering Seminar
Cooperative Research Projects
Information Biotronics Seminar**

Cooperative Society

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

13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

【Online】



Scope:

The objective of the symposium is to provide a good opportunity to present latest topics related to fabrication of nanostructures and their application to fields of nanoelectronics and bioelectronics, and to discuss key aspects of them.

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 7 (Tuesday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: GMT

[UK: GMT+0, Germany: GMT+1, China: GMT+8]

17:00 ~ 17:05 Opening Remarks

8:00 ~ 8:05 Ayumi Hirano-Iwata

(Research Institute of Electrical Communication / WPI-Advanced Institute for Materials Research / Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan)

(Chair: Ayumi Hirano-Iwata)

17:05 ~ 17:50 Single atom co-catalysts 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 ~ 18:15 Nanothick metal oxide channel thin film transistors and their application as gas and UV sensing

8:50 ~ 9:15

Fumihiko Hirose

(Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Yonezawa, Yamagata, Japan)

18:15 ~ 18:35 Break

9:15 ~ 9:35

(Chair: Daisuke Tadaki)

18:35 ~ 19:05 Substrate-supported photosynthetic model thylakoid membrane

9:35 ~ 10:05 Yuka Kusunoki¹, Daisuke Takagi², Seiji Akimoto³, Sophie A. Meredith⁴, Ashley M. Hancock⁴, Stephen D. Evans⁴, Peter G. Adams⁴, Kenichi Morigaki^{1,5}

(¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan, ²Faculty of Agriculture, Setsunan University, Hirakata, Osaka, Japan, ³Graduate School of Science, Kobe University, Kobe, Japan, ⁴School of Physics and Astronomy, University of Leeds, Leeds, UK, ⁵Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan)

- 19:05 ~ 19:30** Fluorescence single molecule tracking for molecular behaviors at interfaces
10:05 ~ 10:30 between solid surfaces and organic solvents
 Yui Matsushita¹, Satoki Kubota², Takuya Matsumoto², Ken-ichi Amano³,
 Tomoko Hirayama⁴, Hiroshi Onishi^{2,5}, Ryugo Tero¹
 (¹Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, ²Kobe University, Kobe,
 Japan, ³Meijo University, Nagoya, Japan, ⁴Kyoto University, Kyoto, Japan,
⁵Institute for Molecular Science, Okazaki, Japan)
- 19:30 ~ 19:55** An adaptive automatic method for idealization of single-channel currents
10:30 ~ 10:55 Ayumi Hirano-Iwata^{1,2,3}, Madoka Sato^{1,3}, Masanori Hariyama⁴, Maki Komiya¹,
 Hideaki Yamamoto¹
 (¹Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan,
²WPI-Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan,
³Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan,
⁴Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan)

March 8 (Wednesday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: GMT

[UK: GMT+0, Germany: GMT+1, China: GMT+8]

(Chair: Ryugo Tero)

- 17:00 ~ 17:30** Multiplexed detection of biomarkers in unprocessed clinical samples
8:00 ~ 8:30 Shenglin Cai, Thomas Pataillot-Meakin, Akifumi Shibakawa, Ren Ren,
 Charlotte L. Bevan, Sylvain Ladame, Aleksandar P. Ivanov, Joshua B. Edel
 (Department of Chemistry, Molecular Science Research Hub, Imperial College
 London, London, UK)
- 17:30 ~ 18:00** Investigation of cell biochemical behavior under physical microenvironment using
8:30 ~ 9:00 scanning electrochemical microscopy
Fei Li, Shuake Kuermanbayi, Junjie Zhang, Zhaoyang Ye
 (School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China)

18:00 ~ 18:30 The Electrostatically asymmetric nanopore for single peptide sensing and
9:00 ~ 9:30 sequencing

Yi-lun Ying, Fan Gao, 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)

18:30 ~ 18:50 Break

9:30 ~ 9:50

(Chair: Teng Ma)

18:50 ~ 19:20 Anodic TiO₂ nanotubes with defined intertube spacing in biomedical applications

9:50 ~ 10:20 Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4}

(¹Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany, ²WPI-Advanced 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)

19:20 ~ 19:45 Nonlinear responses observed in random arrays of gold nanoparticles assembled by
10:20 ~ 10:45 dielectrophoresis

Yoshinao Mizugaki, Tetsuya Urae, Hiroshi Shimada

(Department of Engineering Science, The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Chofu, Tokyo, Japan)

19:45 ~ 20:05 Development of a highly sensitive gas sensor using TiO₂-nanotube film

10:45 ~ 11:05 Daisuke Tadaki¹, Kazuki Iwata², Hiroyuki Abe³, Teng Ma¹, Ayumi Hirano-Iwata¹, Yasuo Kimura⁴, Shigeaki Suda⁵, Michio Niwano¹

(¹Tohoku University, Sendai, Japan, ²Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan, ³Industrial Technology Institute, Miyagi Prefectural Government, Sendai, Japan, ⁴Tokyo University of Technology, Hachioji, Tokyo, Japan, ⁵Miyagi Factory, CHEST M.I., Inc., Japan)

2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics

DESCRIPTION

SCHEDULE

SPEAKERS

REGISTRATION



2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics

Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

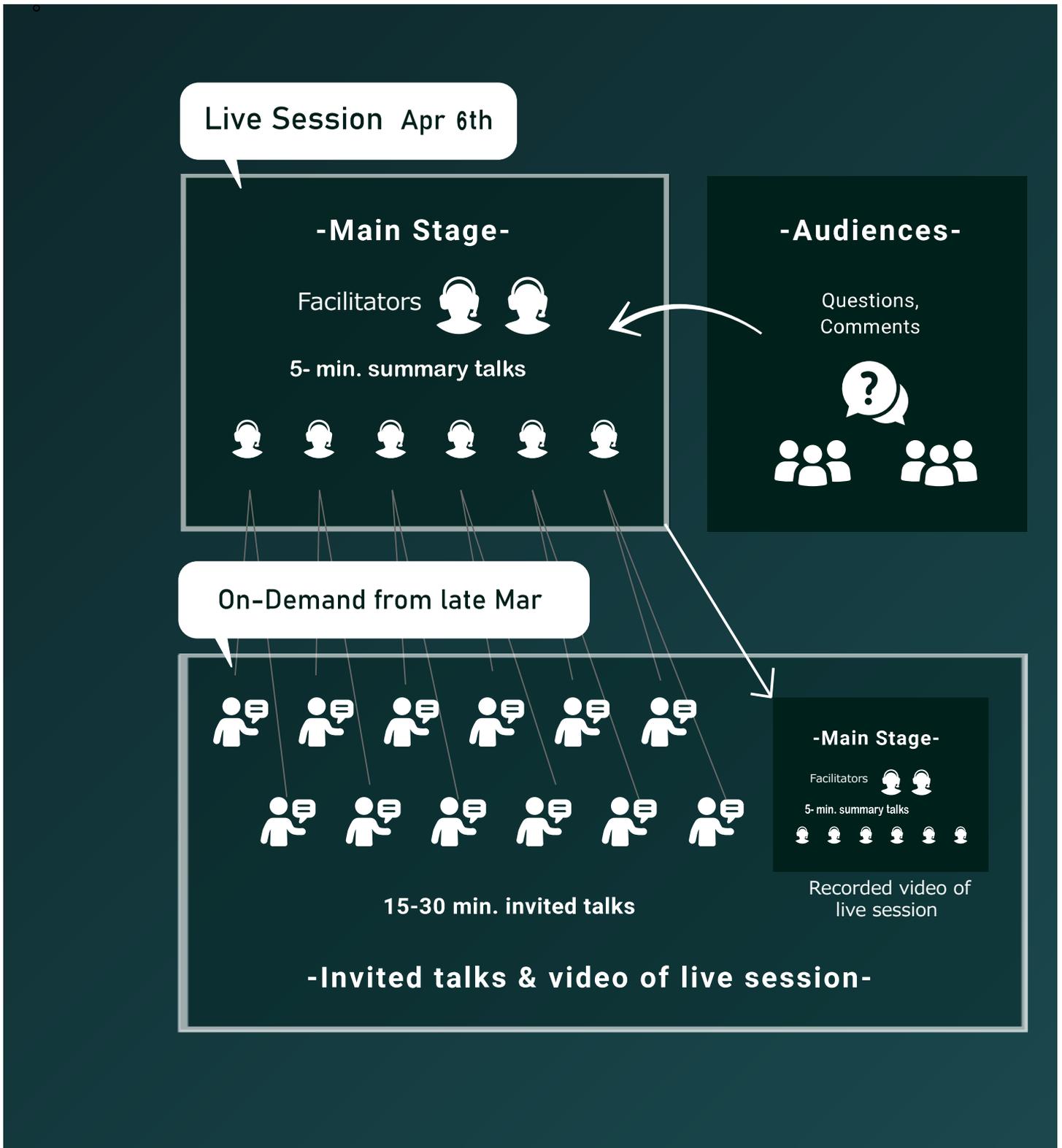
Description

The Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University will hold the 2nd online RIEC International Workshop on Spintronics in this April. Organized almost every year since 2005, the RIEC International Workshops offer an opportunity to discuss the latest progress in topics spanning the field of spintronics. Following the [1st Online RIEC International Workshop on Spintronics](#) held in 2020, the 2nd workshop will be held with the same format that is designed to

maximize the exchange of information on recent trends and important achievements among the spintronics community. The 2nd workshop will focus on ***"Computing with Spintronics"***

The workshop consists of two parts: live and on-demand (as shown in the schematic below). In the live session, PIs of world-leading research groups (topic providers) will gather in a Zoom session and give an about 5 minute summary talk on their chosen topic. Each topic provider has assigned 2-3 invited speakers from their team or collaborators, whose talks, typically 15-30 minutes, are available at the website on demand. The live session will be recorded and posted on the website as well after the event.

The workshop is free of charge, but registration is necessary from the link below. Registered participants can access the on-demand talks anytime, both before and after the live session. The participants can also attend the live session and ask questions or give comments from the chat box, contributing to a lively discussion. The list of topics and invited speakers are found below. We hope for your active participation in our workshop.



Date & Time of Live Session

April 6(Thu), 2023

17:30-19:00 (JST), 10:30-12:00 (CEST)

▶ REGISTRATION

Invited speakers & titles

Topic 1

Spintronic Ising Machines

provided by Johan Åkerman (Univ. Gothenburg and Tohoku Univ.)

SPEAKER Artem Litvinenko (University of Gothenburg)

TITLE SWIM - A spin wave-based Ising Machine

SPEAKER Akash Kumar (University of Gothenburg)

TITLE Chains and arrays of spin Hall nano-oscillators for neuromorphic computing and Ising Machines

Topic 2

Domain Wall based spintronics for Neuromorphic computing

provided by Jingsheng Chen (National University of Singapore)

SPEAKER Jing Zhou (A*STAR)

TITLE Current-induced domain nucleation for neuromorphic computing

SPEAKER Durgesh Kumar (Nanyang Technological University)

TITLE Spin-based Neuromorphic Computing

Topic 3

RF spintronic neural network

provided by Julie Grollier (CNRS/Thales, Univ. Paris Saclay)

SPEAKER Alice Mizrahi (CNRS/Thales, Univ. Paris Saclay)

TITLE Multilayer spintronic neural network with RF connections

SPEAKER Pankaj Sethi (CNRS/Thales, Univ. Paris Saclay)

TITLE Compensation of anisotropy in spin-Hall devices for neuromorphic applications

SPEAKER Erwan Plouet (CNRS/Thales, Univ. Paris Saclay)

TITLE Fully Parallel Spintronic Convolutional Layer with Frequency Interconnectivity

Topic 4

Artificial Spin Ice Devices

provided by Laura Heyderman (Paul Scherrer Institute - ETH Zurich)

SPEAKER Johannes H. Jensen (Norwegian University of Science and Technology)

TITLE Computation in magnetic metamaterials

SPEAKER Will R. Branford (Imperial College London)

TITLE Neuromorphic Computing in Artificial Spin Ice: Reservoir Computing and beyond

SPEAKER Zhaochu Luo (Peking University)

TITLE Electrically programmable nanomagnetic Ising network

Topic 5

Spintronics for In-Memory Computing

provided by Qiming Shao (Hong Kong University of Science and Technology)

SPEAKER Albert Lee (Inston Tech/University of California, Los Angeles)

TITLE Cryogenic in-memory computing using tunable chiral edge states

SPEAKER Zihua Xiao (Hong Kong University of Science and Technology)

TITLE Accurate in-memory computing with MRAM device variation-aware adaptive quantization

Topic 6

Probabilistic Computing with Spintronics

provided by Shunsuke Fukami (Tohoku University)

SPEAKER Shun Kanai (Tohoku University)

TITLE Device physics of stochastic magnetic tunnel junction

SPEAKER Navid A. Aadit (University of California, Santa Barbara)

TITLE Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling

Organizers

Shunsuke Fukami **Chair**

Atsufumi Hirohata

Shun Kanai

Hideo Ohno **Advisor**

Contact

riec-spin-ws@grp.tohoku.ac.jp

Sponsors



Laboratory for
Nanoelectronics
and Spintronics,
Research Institute
of Electrical
Communication,
Tohoku University



Center for
Science and
Innovation in
Spintronics,
Tohoku University



Graduate Program
in Spintronics,
Tohoku University

© 2023 Online RIEC International Workshop on Spintronics

5. 研究成果（令和4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

ナノメータ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. D. Oguchi, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, “An investigation of the relationship between numerical precision and performance of Q-learning for hardware implementation”, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, Vol. 13, pp. 427-433, DOI: 10.1587/nolta.13.427, 2022.
2. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, “A Fully Analog CMOS Implementation of a Two-variable Spiking Neuron in the Subthreshold Region and its Network Operation”, *2022 International Joint Conference on Neural Networks*, 9891920 (pp. 1-7), DOI: 10.1109/IJCNN55064.2022.9891920, 2022.
3. Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks”, *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 16, 943310, DOI: 10.3389/fnins.2022.943310, 2023.

【国際会議発表】

1. K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, “Optimization of circuit parameters for JTL-based reservoir computing”, *15th Superconducting SFQ VLSI Workshop (SSV 2022)*, 2022.
2. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, “Ultra-low power analog CMOS implementation of spiking neural networks for reservoir computing applications”, *2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022)*, 2022.
3. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Time-series classification in micropatterned neuronal network reservoirs”, *2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022)*, 2022.
4. B. Vallejo, J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, “Multi-model spiking neural network hardware execution”, *2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022)*, 2022.
5. T. Shinkawa, H. Kato, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, “Effects of synaptic scaling on spontaneous firing activity in spiking neural networks with modular structure”, *2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'23)*, 2023.
6. S. Sato, S. Moriya, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “Analog CMOS implementation of spiking neural networks for edge computing”, *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2023.
7. H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, J. Soriano, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Stimulus responses of modular neuronal networks grown on engineered substrates”, *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2023.
8. A. Fujimoto, H. Yamamoto, S. Moriya, K. Tokuda, Y. Katori, S. Sato, “Optimization of reservoir neural network structure for sensorimotor control”, *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2023.
9. T. Shinkawa, H. Kato, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, “Effects of synaptic scaling and network size on spontaneous firing activity in spiking neural network”, *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2023.
10. T. Sumi, H. Yamamoto, K. Ito, Y. Katori, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Physical reservoir computing with biological neuronal network with modular organization”, *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2023.

11. M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "In vitro modeling of neural activity modulation induced by interleukin-6", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
12. S. Kishino, N. Mochizuki, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, T. Tanii, "State transition of spontaneously firing single neurons in autaptic culture upon electric stimulation", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
13. N. Monma, H. Murota, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, "In vitro reconstruction of artificial neuronal networks with oriented inter-modular connections", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
14. Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Analysis of structure-function relationship of micropatterned modular neuronal networks on high-density multi-electrode arrays", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
15. Y. Sono, H. Yamamoto, Y. Sato, T. Tanii, A. Hirano-Iwata, S. Sato, "Stimulus responses of micropatterned neuronal networks with modular structure grown on high-density multielectrode arrays", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
16. S. Moriya, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, S. Sato, Y. Horio, J. Madrenas, "Analog LSI implementation of spiking neural network for energy efficient computing", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
17. S. Ono, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, S. Sato, "Analog CMOS implementation of majority circuit with large fan-in for neural network applications", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
18. K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, "Correlation analysis of junction voltages in the physical reservoir composed of two-dimensionally connected Josephson junctions", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
19. J. Madrenas, B. Vallejo, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, "Interfacing considerations for digital neuromorphic spiking neural hardware", The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2023.
20. Y. Sato, S. Watanabe, M. Sakuraba, S. Sato, "Fabrication Process of Double-Implanted Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor of 4H-SiC Utilizing Wet Oxidation", 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, 2023.
21. S. Sato, "Analog CMOS Implementation of Spiking Neural Networks for Edge Computing", The 4th International Symposium on AI and Electronics, 2023.

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

Through Silicon Via と Micro Bump により 3 次元積層実装したカオスニューラルネットワークリザーバー(CNNR)LSI を用いて、離散単語音声認識実験を行った。さらに、FORCE 学習を CNNR に適用し、ハイパーカオスを含む様々なダイナミクスを持つ CNNR を用いた時系列生成に成功した。また、出力層ニューロンにカオスニューロンを導入して、時系列予測を行い、非常に高い性能を確認した。

Discrete word speech recognition experiments were conducted using a chaotic neural network reserver (CNNR) LSI implemented in 3D stacking by Through Silicon Via and Micro Bump. Furthermore, we applied FORCE learning to CNNRs and successfully generated time series using CNNRs with various dynamics including hyperchaos. In addition, chaotic neurons were introduced in the output layer neurons to perform time series prediction, and very high performance was confirmed.

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

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より精緻なものとするため、熱回路によるモデリングを行い、物理シミュレータにより詳細な解析を行った。

In order to refine the mathematical models of spin-orbit torque neuron-like and synapse-like devices based on thermal dynamics that we have proposed, we have modeled them using thermal circuits and analyzed them in detail using a physical simulator.

3. 指数減衰する内部状態と自己結合を持つニューロンを用いたリザーバーに関する研究

Reservoir networks using neurons with exponentially decaying internal states and self-feedback-couplings

リザーバーニューラルネットワーク内の局所的な記憶として内部状態の時定数および自己結合の時定数を導入したニューラルネットワークを提案し、これら局所不応性パラメータ、出力関数の最大ゲインパラメータおよびバイアス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詳細に検討した。

We proposed a neural network that introduces neurons whoes internal state time constants and self-coupling time constants as local memories in the reservoir neural network, and investigated in detail the relationship between these local refractoriness parameters, the maximum gain parameter of the output function and bias, and speech recognition performance through simulation experiments.

4. 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークに関する研究

Spatiotemporal Sequence Context Learning and Memory Network

時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークをスパイクニューロン回路として実装するため、連続時間の微分方程式モデルとして記述すると共に、基本的な回路構成を提案し、個別部品回路実験によりその有効性を確認した。

In order to implement the spatio-temporal context learning and memory network as a spiking neuron circuit, we described it as a continuous-time differential equation model. We also proposed a basic circuit configuration of the model, and confirmed its effectiveness through individual component circuit experiments.

【査読付論文】

1. K. Onuki, K. Cho, Y. Horio, and T. Miyano, "Secret-key exchange through synchronization of randomized chaotic oscillators aided by logistic hash function," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 69, no. 4, pp. 1655-1667, DOI: 10.1109/TCSI.2022.3140762, 2022.
2. T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of a stacked 3D cyclic chaotic neural network reservoir integrated circuit," *NOLTA, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 306-311, DOI: 10.1587/nolta.13.306, .2022
3. 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," *NOLTA, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 197-202, DOI: 10.1587/nolta.13.197, 2022.

【国際会議発表】

1. Y. Kikuchi, Y. Horio, S. Fukami, and H. Ando, "Tunnel conductance modeling of spintronic devices based on device temperature dynamics," in *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 139-142, online, December 12-15, 2022. DOI:10.34385/proc.71.A4L-D-04
2. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Ultra-low power analog CMOS implementation of spiking neural networks for reservoir computing applications," in *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 171-172, online, December 12-15, 2022. DOI:10.34385/proc.71.A5L-D-01
3. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "A fully analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation," in *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, #792 (7 pages), July 19-23, 2022. DOI: 10.1109/IJCNN55064.2022.9891920
4. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "Analog CMOS implementation of spiking neural networks for edge computing," in *Abstract Book of The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, February 17-18, 2023.
5. T. Orima, Y. Horio and T. Tsuji, "Towards hardware implementation of hippocampal spatiotemporal learning memory network model," in *Abstract Book of The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, p. 28, February 17-18, 2023.
6. Y. Horio, "Brainmorphic computing paradigm and hardware," *IEICE, English Webinar*, Online, November 22, 2022. <https://youtu.be/XOmYtag4tG0>
7. Y. Horio, "Brain computational paradigm and its hardware implementation: Brainmorphic computation," *Assistive Autonomous Robotics Seminar*, Kyushu Institute of Technology, Online, October 25, 2022.

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・金井駿)

Spintronics
(S. Fukami and S. Kanai)

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 Devices
(T. Otsuka)

B1 スピントロニクス (深見俊輔・金井駿)

Spintronics (S. Fukami and S. Kanai)

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. 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, "Generalized scaling of spin qubit coherence in over 12,000 host materials," *Proceedings of National Academy of Science of United States of America* 119, e2121808119(1)-(8) (2022). doi:10.1073/pnas.2121808119
2. Y. Yamane, S. Fukami, and J. Ieda, "Theory of Emergent Inductance with Spin-Orbit Coupling Effects," *Physical Review Letters* 128, 147201(1)-(6) (2022). doi:10.1103/PhysRevLett.128.147201
3. T. Uchimura, J. Yoon, Y. Sato, Y. Takeuchi, S. Kanai, R. Takechi, K. Kishi, Y. Yamane, S. DuttaGupta, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Observation of domain structure in non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn thin films by magneto-optical Kerr effect," *Applied Physics Letters* 120, 172405(1)-(5) (2022). doi:10.1063/5.0089355
4. H. Masuda, T. Seki, Y. Yamane, R. Modak, K. Uchida, J. Ieda, Y.-C. Lau, S. Fukami, and K. Takanashi, "Large Antisymmetric Interlayer Exchange Coupling Enabling Perpendicular Magnetization Switching by an In-Plane Magnetic Field," *Physical Review Applied* 17, 054036(1)-(9) (2022). doi:10.1103/PhysRevApplied.17.054036
5. T. Funatsu, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Local bifurcation with spin-transfer torque in superparamagnetic tunnel junctions," *Nature Communications* 13, 4079(1)-(8) (2022). doi:10.1038/s41467-022-31788-1
6. R. R. Chowdhury, S. DuttaGupta, C. Patra, A. Kataria, S. Fukami, and R. P. Singh, "Anisotropic magnetotransport in the layered antiferromagnet TaFe_{1.25}Te₃," *Physical Review Materials* 6, 084408(1)-(8) (2022). doi:10.1103/PhysRevMaterials.6.084408
7. J. Gibbons, T. Dohi, V. P. Amin, F. Xue, H. Ren, J.-W. Xu, H. Arava, S. Shim, H. Saglam, Y. Liu, J. E. Pearson, N. Mason, A. K. Petford-Long, P. M. Haney, M. D. Stiles, E. E. Fullerton, A. D. Kent, S. Fukami, and A. Hoffmann, "Large Exotic Spin Torques in Antiferromagnetic Iron Rhodium," *Physical Review Applied* 18, 024075(1)-(12) (2022). doi:10.1103/PhysRevApplied.18.024075
8. K. Kobayashi, K. Hayakawa, J. Igarashi, W. A. Borders, S. Kanai, H. Ohno and S. Fukami, "External-Field-Robust Stochastic Magnetic Tunnel Junctions Using a Free Layer with Synthetic Antiferromagnetic Coupling," *Physical Review Applied* 18, 054085(1)-(9) (2022). doi:10.1103/PhysRevApplied.18.054085
9. S. Chowdhury, A. Grimaldi, N. A. Aadit, S. Niazi, M. Mohseni, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, L. Theogarajan, G. Finocchio, S. Datta and K. Y. Camsari, "A full-stack view of probabilistic computing with p-bits: devices, architectures and algorithms," *IEEE Journal on Exploratory Solid-State Computational Devices and Circuits*, (2023). doi:10.1109/JXCDC.2023.3256981
10. J. Han, R. Cheng, L. Liu, H. Ohno and S. Fukami, "Coherent antiferromagnetic spintronics," *Nature Materials*, 22, 684-695 (2023). doi:10.1038/s41563-023-01492-6
11. Y. Sato, Y. Takeuchi, Y. Yamane, J. -Y. Yoon, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno and S. Fukami, "Thermal stability of non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn nanodot," *Applied Physics Letters* 122, 122404(1)-(6) (2023). doi:10.1063/5.0135709

12. M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno, "Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Physical Review B* 107, 094436(1)-(8) (2023). doi:10.1103/PhysRevB.107.094436

【国際会議発表】

1. J. Kaiser, W. A. Borders, K. Y. Camsari, S. Fukami, H. Ohno, and S. Datta, "Machine Learning Based on Stochastic Magnetic Tunnel Junctions," (invited) *Physical Review Journal Club*, Online, 2022/04/19.
2. S. Fukami, "Probabilistic spintronics nanodevices for unconventional computing," (invited) *Workshop on Energy Efficient Functional Nanodevices*, Online, 2022/04/20-2022/04/21.
3. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction: from device physics to computing," (invited) *W2S Seminar*, Online, 2022/04/21.
4. S. Fukami, "MTJ device technologies: for single-digit nm, for sub-ns, and for p-bit," (invited) *2022 Spintronics Workshop on LSI*, Online, 2022/06/13.
5. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic bit and circuit," (invited) *20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022)*, Juju, Korea + Online, 2022/07/17-2022/07/21.
6. H. Ohno, "Spintronics for Green Society," (plenary) *2022 Joint European Magnetic Symposia (JEMS)*, Warsaw, Poland + Online, 2022/07/24-2022/07/29.
7. S. Fukami, "Material/Device Technologies and Demonstration of SOT-MRAM on 300-nm process," (invited) *Workshop on Spin Orbit Torque (SOT) Materials and Devices*, Online, 2022/07/28.
8. S. Fukami and H. Ohno, "Nonvolatile, Neuromorphic and Probabilistic Spintronics," (plenary) *SPIE Optics + Photonics 2022*, San Diego, CA, USA, 2022/08/21-2022/08/25.
9. B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, T. Shinoda, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "X-nm CoFeB/MgO Magnetic Tunnel Junction for High-Speed to High-Retention Applications," (invited) *The 33rd Magnetic Recording Conference (TMRC)*, Milpitas, CA, USA + Online, 2022/08/29-2022/08/31.
10. S. Fukami, "Probabilistic spintronics – from device physics to computing," (invited) *Trends in MAGnetism 2022*, Venice, Italy, 2022/09/04-2022/09/09.
11. H. Ohno, "Volatile Spintronics," (invited) *Spin Dynamics at the Nanoscale and its Applications*, New York University + Online, 2022/09/23-2022/09/24.
12. S. Fukami, "Spintronics technology for quasi-quantum computing," (invited) *SUMKEN Seminar*, Online, 2022/10/13.
13. S. Fukami, "Spintronics devices for ultralow-power semiconductors and unconventional computers," (plenary) *IEEE Region 10 Conference*, Hong Kong + Online, 2022/11/01-2022/11/04.
14. S. Fukami, "MTJ device physics and technologies toward deeply scaled STT-MRAM and probabilistic-computing applications," (invited) *The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials*, Minneapolis, USA + Online, 2022/10/31-2022/11/04.
15. Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, R. Itoh, R. Takeuchi, K. Kishi, S. DuttaGupta, S. Kanai, B. Jinnai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Chiral-spin rotation of antiferromagnetic Weyl semimetal Mn₃Sn by spin-orbit torque," (invited) *Advanced Technology Institute (ATI), 2022 2nd spintronics workshop, Hibikoku Conference Square*, Tokyo, 2022/11/16.
16. S. Kanai, "Experiment and theory of superparamagnetic tunnel junction," (invited) *IMEC academy symposium*, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.
17. J. Llandro, "Morphology and properties of self-organized 3D gyroid nanostructures," (invited) *IMEC academy symposium*, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.

18. Y. Yamane, "Theory of emergent inductance with spin-orbit coupling effects," (invited) IMEC academy symposium, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.
19. S. Fukami, "Dynamics of a stochastic nanomagnet for probabilistic computing," (invited) SPIN CAVITRONICS IV, MAX PLANCK INSTITUTE FOR THE SCIENCE OF LIGHT – ERLANGEN, 2022/12/07-2022/12/09.
20. S. Kanai, T. Funatsu, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Stochasticity and Bifurcation in Spintronics Device for Probabilistic Computing," (invited) 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022), Online, 2022/12/12-2022/12/15.
21. N. A. Aadit, A. Grimaldi, K. Selcuk, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "CMOS + stochastic MTJ: Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling," (invited) The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Tohoku University, Sendai, Japan + Online, 2023/02/17-2023/02/18.
22. S. Kanai, "Exploring qubit host materials based on generalized scaling of spin coherence," (invited) International Workshop of Spin and Quantum Devices and Materials, Sendai, Japan, 2023/02/23-2023/02/24.
23. S. Fukami, "Probabilistic Spintronics for Beyond CMOS," (invited) SPEAR Workshop Spintronics for beyond CMOS, University of Gothenburg + Online, 2023/03/20-2023/03/22.
24. N. A. Aadit, A. Grimaldi, K. Selcuk, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling," (invited) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, 2023/03/14-2023/04/06.
25. S. Fukami, "Probabilistic Spintronics - Computing and Device Physics," (invited) SPICE-Spin+X Seminars, Online, 2023/03/29.
26. S. Kanai, "Device physics of stochastic magnetic tunnel junction," (invited) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, 2023/03/14-2023/04/06.
27. J. Kaiser, W. A. Borders, K. Y. Camsari, S. Fukami, H. Ohno, and S. Datta, "Machine Learning Based on Stochastic Magnetic Tunnel Junctions," (invited) Physical Review Journal Club, Online, 2022/04/19.
28. S. Fukami, "Probabilistic spintronics nanodevices for unconventional computing," (invited) Workshop on Energy Efficient Functional Nanodevices, Online, 2022/04/20-2022/04/21.
29. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction: from device physics to computing," (invited) W2S Seminar, Online, 2022/04/21.
30. S. Fukami, "MTJ device technologies: for single-digit nm, for sub-ns, and for p-bit," (invited) 2022 Spintronics Workshop on LSI, Online, 2022/06/13.
31. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic bit and circuit," (invited) 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022), Juju, Korea + Online, 2022/07/17-2022/07/21.
32. H. Ohno, "Spintronics for Green Society," (plenary) 2022 Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Warsaw, Poland + Online, 2022/07/24-2022/07/29.
33. S. Fukami, "Material/Device Technologies and Demonstration of SOT-MRAM on 300-mm process," (invited) Workshop on Spin Orbit Torque (SOT) Materials and Devices, Online, 2022/07/28.
34. S. Fukami and H. Ohno, "Nonvolatile, Neuromorphic and Probabilistic Spintronics," (plenary) SPIE Optics + Photonics 2022, San Diego, CA, USA, 2022/08/21-2022/08/25.
35. B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, T. Shinoda, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "X-nm CoFeB/MgO Magnetic Tunnel Junction for High-Speed to High-Retention Applications," (invited) The 33rd Magnetic Recording Conference (TMRC), Milpitas, CA, USA + Online, 2022/08/29-2022/08/31.

36. S. Fukami, "Probabilistic spintronics – from device physics to computing," (invited) Trends in MAGnetism 2022, Venice, Italy, 2022/09/04-2022/09/09.
37. H. Ohno, "Volatile Spintronics," (invited) Spin Dynamics at the Nanoscale and its Applications, New York University + Online, 2022/09/23-2022/09/24.
38. S. Fukami, "Spintronics technology for quasi-quantum computing," (invited) SUMKEN Seminar, Online, 2022/10/13.
39. S. Fukami, "Spintronics devices for ultralow-power semiconductors and unconventional computers," (plenary) IEEE Region 10 Conference, Hong Kong + Online, 2022/11/01-2022/11/04.
40. S. Fukami, "MTJ device physics and technologies toward deeply scaled STT-MRAM and probabilistic-computing applications," (invited) The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Minneapolis, USA + Online, 2022/10/31-2022/11/04.
41. Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, R. Itoh, R. Takechi, K. Kishi, S. DuttaGupta, S. Kanai, B. Jinnai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Chiral-spin rotation of antiferromagnetic Weyl semimetal Mn₃Sn by spin-orbit torque," (invited) Advanced Technology Institute (ATI), 2022 2nd spintronics workshop, Hibikoku Conference Square, Tokyo, 2022/11/16.
42. S. Kanai, "Experiment and theory of superparamagnetic tunnel junction," (invited) IMEC academy symposium, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.
43. J. Llandro, "Morphology and properties of self-organized 3D gyroid nanostructures," (invited) IMEC academy symposium, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.
44. Y. Yamane, "Theory of emergent inductance with spin-orbit coupling effects," (invited) IMEC academy symposium, Leuven, Belgium + Online, 2022/12/05-2022/12/06.
45. S. Fukami, "Dynamics of a stochastic nanomagnet for probabilistic computing," (invited) SPIN CAVITRONICS IV, MAX PLANCK INSTITUTE FOR THE SCIENCE OF LIGHT – ERLANGEN, 2022/12/07-2022/12/09.
46. S. Kanai, T. Funatsu, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Stochasticity and Bifurcation in Spintronics Device for Probabilistic Computing," (invited) 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022), Online, 2022/12/12-2022/12/15.
47. N. A. Aadit, A. Grimaldi, K. Selcuk, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "CMOS + stochastic MTJ: Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling," (invited) The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Tohoku University, Sendai, Japan + Online, 2023/02/17-2023/02/18.
48. S. Kanai, "Exploring qubit host materials based on generalized scaling of spin coherence," (invited) International Workshop of Spin and Quantum Devices and Materials, Sendai, Japan, 2023/02/23-2023/02/24.
49. S. Fukami, "Probabilistic Spintronics for Beyond CMOS," (invited) SPEAR Workshop Spintronics for beyond CMOS, University of Gothenburg + Online, 2023/03/20-2023/03/22.
50. N. A. Aadit, A. Grimaldi, K. Selcuk, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling," (invited) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, 2023/03/14-2023/04/06.
51. S. Fukami, "Probabilistic Spintronics - Computing and Device Physics," (invited) SPICE-Spin+X Seminars, Online, 2023/03/29.
52. S. Kanai, "Device physics of stochastic magnetic tunnel junction," (invited) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, 2023/03/14-2023/04/06.

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. Dmitry Ponomarev, Denis Lavrukhin, Igor Glinskiy, Alexander Yachmenev, Nikolay Zenchenko, Rustam Khabibullin, Yurii Goncharov, Taiichi Otsuji, and Kirill Zaytsev, "Enhanced THz radiation through thick plasmonic electrode grating photoconductive antenna with tight photocarrier confinement," *Opt. Lett.*, vol. 48, no. 5, pp. 1220-1223, Feb. 2023. DOI: 10.1364/OL.486431
2. K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Fast and sensitive terahertz detection in a current-driven epitaxial-graphene asymmetric dual-grating-gate FET structure," *APL Photonics*, vol. 7, iss. 7, pp. 16101-1-10, Dec. 2022. DOI: 10.1063/5.0122305 (Featured article)
3. Taiichi Otsuji, "Trends and future prospects in the research of graphene plasmonic THz devices," *IEICE Transactions on Electronics*, vol. J105-C, no. 12, pp. 358-366, Dec. 2022. DOI: 10.14923/transelej.2022JCI0007 (invited, in Japanese)
4. Lan Wang, Ning An, Sen Gong, Xuan Sheng, Yiwei Li, Baicheng Yao, Cui Yu, Zezhao He, Qingbin Liu, Zhihong Feng, Taiichi Otsuji, and Yaxin Zhang, "Ultrafast terahertz transparency boosting in graphene meta-cavities," *Nanophoton.*, vol. 11, issue 21, pp. 4899-4907, Nov. 2022. DOI: 10.1515/nanoph-2022-0511
5. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Transit-time resonances enabling amplification and generation of terahertz radiation in periodic graphene p-i-n structures with the Zener-Klein interband tunneling," *J. Appl. Phys.*, vol. 132, pp. 184504-1-13, Nov. 2022. DOI: 10.1063/5.0124086
6. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Resonant plasmonic terahertz detection in gated graphene p-i-n field-effect structures enabled by nonlinearity from

Zener-Klein tunneling," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 18, no. 3, pp. 034022-1-12, Sept. 2022. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.18.034022

【国際会議発表】

1. Dai Nakajima, Kazuki Nishimura, Mitsuki Watanabe, Tsung-Tse Lin, Keisuke Kasai, Masato Yoshida, Tetsuya Suemitsu, Taiichi Otsuji, Akira Satou, "Conversion Gain Enhancement of a UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer by High-Intensity Optical Subcarrier Signal," OFC: Optical Fiber Communication Conference 2023, San Diego Convention Center, San Diego, California, USA, March 5-9, 2023. DOI: 10.1364/OFC.2023.M3D.7
2. Akira Satou, "Fast and sensitive THz detection by an asymmetric-dual-grating-gate epitaxial-graphene-channel FET," A3 Foresight Workshop on 2D Materials, President Hotel, Seoul, Korea, Feb. 17-18, 2023.
3. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin and M. S. Shur, "Self-excitation of Terahertz Plasmons in Graphene FETs Enabled by Transit-time Negative Dynamic Conductance," 2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), vol. 1, pp. 1-5, Goa, India, Jan. 24-26, 2023. DOI: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080743.
4. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Zener-Klein tunneling and transit-time effects in cascade periodic graphene p-i-n structures: amplification and emission of terahertz radiation," WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts Booklet, Th-AM1-7, vol. 1, pp. 1-2, Royal Sonesta Kaua(I Resort Lifue, Hawaii, USA, Dec. 4-9, 2022.
5. K. Narita, D. Nakajima, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Minamide, T. Otsuji, and A. Satou, "Drastic Improvement on Pulse Response of Grating-Gate Plasmonic THz Detector by Introduction of Inverted-HEMT Structure," FTT: the 3rd International Symposium on Frontiers in THz Technology, Fukui, Japan, Nov. 16-18, 2022.
6. K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Unipolar photothermoelectric THz detection assisted by Coulomb drift/diffusion of Dirac fermions in asymmetric dual-grating-gate graphene FETs," RPGR: Recent Progress on Graphene and related 2D materials Research International Conference, Taipei, Taiwan, Nov. 13-17, 2022.
7. C. Tang, K. Tamura, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "A distributed model of the asymmetric-gated graphene Coulomb-drag-effect transistor for terahertz applications," RPGR: Recent Progress on Graphene and related 2D materials Research International Conference, Taipei, Taiwan, Nov. 13-17, 2022.
8. Chao Tang, Koichi Tamura, Akira Satou, Victor Ryzhii, Taiichi Otsuji, "Single-asymmetric-gated graphene field-effect transistor for terahertz applications," SSDM: International Conference on Solid State Devices and Materials, J-3-03, Makuhari, Tokyo, Sept. 26-29, Japan
9. D. Nakajima, K. Nishimura, T. Hosotani, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT: the Scaling Rule of Conversion Gain on UTC-PD Mesa Size," SSDM: International Conference on Solid State Devices and Materials, A-6-06, Makuhari, Tokyo, Sept. 26-29, Japan
10. Kenichi Narita, Takumi Negoro, Yuma Takida, Hiromasa Ito, Hiroaki Minamide, Tetsuya Suemitsu, Taiichi Otsuji, Akira Satou, "Pulse Response of Asymmetric Dual-Grating-Gate HEMT Plasmonic THz Detector," IRMMW-THz: the 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Th-PM1-2-2, Delft, Netherland, Aug. 28-Sept. 2, 2022. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895931
11. Victor Ryzhii, Maxim Ryzhii, Akira Satou, Vladimir Mitin, Michael Shur, and Taiichi Otsuji, "Discovery of Coulomb-Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons," IRMMW-THz: the 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, We-PM2-1, Delft, Netherland, Aug. 28-Sept. 2, 2022. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9966853

12. C. Tang, K. Tamura, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Asymmetric FET structure on graphene for terahertz applications," TWHM: Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, Hiroshima, Aug. 29-30, 2022.
13. Dai Nakajima, Kazuki Nishimura, Tomotaka Hosotani, Keisuke Kasai, Masato Yoshida, Tetsuya Suemitsu, Otsuji Taiichi, Akira Satou, "UTC-PD-Integrated HEMT For Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion: Scaling Rule Of Conversion Gain On UTC-PD Mesa Size," IRMMW-THz: the 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Mo-P-1, Delft, Netherland, Aug. 28-Sept. 2, 2022. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895988
14. A. Satou, and T. Otsuji, "Recent progress in the development of grating-gate InGaAs-channel HEMTs for fast and sensitive THz detection," SPIE Optics+Photonics 2022, Conference 12230 Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XIII, Paper 12230-18, San Diego, CA, USA, Aug. 21-25, 2022. (invited); A. Satou, T. Otsuji, "Recent progress in the development of grating-gate InGaAs-channel HEMTs for fast and sensitive THz detection," Proc. SPIE, vol. 12230, pp. 122300I-1-6, Sept. 2022. DOI: 10.1117/12.2633618
15. T. Otsuji, "Controlling the non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz laser transistors," CLEO-PR: the 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electrooptics, CMP3B-01, Sapporo, Japan, July 31 - Aug. 5, 2022. (invited)
16. Dmitry Ponomarev, Kirill Zaytsev, Maksim Skorobogatiy, Rustam Khabibullin, Igor Glinskiy, and Taiichi Otsuji, "Optical-to-THz switches for pulse THz generation and detection," SUM: 2022 IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series, WF3.2, Cabo San Lucas, Mexico, July 11-17, 2022. (invited) DOI: 0.1109/SUM53465.2022.9858202
17. A. Satou, and T. Otsuji, "Recent Advances of Grating-Gate Transistors for Fast, Sensitive, Room-Temperature Plasmonic Terahertz Detection," SUM: 2022 IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series, WF3.1, Cabo San Lucas, Mexico, July 11-17, 2022. (invited) DOI: 10.1109/SUM53465.2022.9858286
18. T. Otsuji, "Controlling the parity and time-reversal symmetry of metasurfaces in current-driven graphene Dirac plasmons," CIMTEC: 15th International Ceramics Congress & 9th Forum on New Materials, Conference FF: Electromagnetic Metamaterials and Metasurfaces: Recent Research Achievements and New Paradigms, paper # FF-6:IL02, Perugia, Italy, June 28-30, 2022 (invited)
19. Y. Sasaki, T. Otsuji, and A. Satou, "Plasmon-polariton excitation and hydrodynamic rectification effects in plasmonic terahertz detector with two-dimensional diffraction grating structure," OTST 2022: The 9th International Conference on Optical Terahertz Science and Technology, Budapest, Hungary, June 19-24, 2022.
20. T. Otsuji, A. Satou, S.A. Boubanga-Tombet, H. Fukidome, M. Ryzhii, K. Narahara, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Recent advances in the research of graphene plasmonic terahertz laser transistors," the 241st ECS Meeting Proc., paper # B04-0779, Vancouver, BC, Canada, May 29 - June 2, 2022. (invited)
21. T. Otsuji, "Controlling the PT symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers," AES2022: the 8th Int. Conf. on Antennas and EM Systems Proc., vol. 1, p. 278, Marrakesh, Morocco, Hybrid, May 24-27, 2022. (invited)
22. Yuma Takida, Kouji Nawata, Takashi Notak, Taiichi Otsuji, Hiroaki Minamide, "Optical up-conversion-based cross-correlation of terahertz-wave pulses," CLEO: Conference on Lasers and Electro-Optics 2022, the San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California, USA, May 15-20, 2022. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2022.STu5L.4
23. Taiichi Otsuji, Akira Satou, Hirokazu Fukidome, Maxim Ryzhii, Victor Ryzhii, and Koichi Narahara, "Controlling the PT symmetry of Dirac plasmons in dual-grating-gate graphene THz laser transistors for ultrafast gain switching," CLEO: Conference on Lasers and Electro-Optics 2022, the San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California, USA, May 15-20, 2022. DOI: 10.1364/CLEO_AT.2022.JTh3B.10

24. El Hadj Abidi, Juanan Delgado Notario, Vito Cleric, Juan Salvador-Sánchez, Jose Caridad, J. Enrique Velazquez-Perez, Jaime Calvo-Gallego, Enrique Diez, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Taiichi Otsuji, Yahya M. Meziani, "Enhancement of terahertz detection using asymmetric dual grating antenna coupled FET," WOCSDICE EXMATEC 2022: the 45th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits held in Europe & the 16th Expert Evaluation and Control of Compound Semiconductor Materials and Technologies, Paper #51, Ponta Delgada (São Miguel island – Azores), Portuguese, May 3-6, 2022.

B3 量子デバイス (大塚朋廣) Quantum Devices (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. T. Kato*, T. Kitada*, M. Seo, W. Okita, N. Sato, M. Shinozaki, T. Abe, T. Kumasaka, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, and T. Otsuka* (*equal contribution), "Scalable fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with stable orbital-level spacing", *Communications Materials* 3, 103 (2022), DOI: 10.1038/s43246-022-00326-3
2. M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno, "Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis", *Physical Review B* 107, 094436 (2023), DOI: 10.1103/PhysRevB.107.094436

【国際会議発表】

1. T. Otsuka, "Quantum dots in new materials for quantum devices", International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices, Sendai, Feb. 24, 2023 (invited).
2. Y. Muto, T. Nakaso, T. Aizawa, M. Shinozaki, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, A. Kanemura, M. Shiga, and T. Otsuka, "Noise Robust Automatic Recognition Method of Charge States in Quantum Dots by Machine Learning", The 4th International Symposium on AI and Electronics, Sendai, Feb. 13, 2023.
3. R. Tataka, A. Sharma, T. Johmen, M. Shinozaki, T. Kumasaka, Y. P. Chen and T. Otsuka, "Formation of quantum dots in MoS₂ utilizing intrinsic Schottky barriers", Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 25, 2022.
4. T. Johmen, M. Shinozaki, Y. Fujiwara, R. Tataka, T. Aizawa, T. Kumasaka and T. Otsuka, "High-frequency measurement in bilayer graphene nanodevices", Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 25, 2022.
5. K. Noro, T. Kumasaka, Y. Fujiwara, Y. Kozuka, A. Tsukazaki, M. Kawasaki and T. Otsuka, "Kondo Effects in ZnO Quantum Dots", Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials

Science, Online, Oct. 25, 2022.

6. Y. Muto, T. Nakaso, T. Aizawa, M. Shinozaki, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, A. Kanemura and T. Otsuka, “Charge state recognition in double quantum dot devices by machine learning”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 25, 2022.
7. Y. Moto, T. Nakaso, T. Aizawa, M. Shinozaki, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, A. Kanemura and T. Otsuka, Noise robust recognition of charge states in quantum dots by machine learning and reprocessing”, International Conference on the Physics of Semiconductors 2022, Jun. 27-30, 2022.

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. H. Kageyama, T. Ma, M. Sato, M. Komiya, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, “New aspects of bilayer lipid membranes for the analysis of ion channel functions”, *Membranes*, **12**, 863 (2022). DOI: 10.3390/membranes12090863
2. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing”, *ArXiv*. DOI: 10.48550/arXiv.2210.02913
3. D. Ando, T.F. Teshima, F. Zurita, H. Peng, K. Ogura, K. Kondo, L. Weiß, A. Hirano-Iwata, M. Becherer, J. Alexander, B. Wolfrum, “Filtration-processed biomass nanofiber electrodes for flexible bioelectronics”, *J. Nanobiotechnol.*, **20**, 491 (2022). DOI: 10.1186/s12951-022-01684-3
4. Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks”, *Front. Neurosci.*, **16**, 943310 (2023). DOI: 10.3389/fnins.2022.943310

【国際会議発表】

1. M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Ma, D. Tadaki, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, “Development of a novel planar lipid bilayer system that enables application of a lateral voltage as a new input for the functional analysis of ion channels”, ACS Fall 2022, Online, August 23, 2022.
2. T. Ma, K. Watabe, A. Hirano-Iwata, “Extraordinary optical properties of 2D bio-hybrid membranes”, The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, September 14, 2022.
3. M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Ma, D. Tadaki, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, “Fabrication of a novel Teflon film that enables the application of the lateral voltage as a new input for the

functional analysis of ion channels based on planar lipid bilayers”, The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, September 14, 2022.

4. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Time-series classification in micropatterned neuronal network reservoirs”, 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022), Online, December 12, 2022.
5. A. Hirano-Iwata, M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, H. Yamamoto, “An adaptive automatic system for analyzing single channel currents”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 17, 2023.
6. H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, J. Soriano, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Stimulus responses of modular neuronal networks grown on engineered substrates”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 17, 2023.
7. T. Sumi, H. Yamamoto, K. Ito, Y. Katori, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Physical reservoir computing with biological neuronal network with modular organization”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
8. M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “In vitro modeling of neural activity modulation induced by interleukin-6”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
9. S. Kishino, N. Mochizuki, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, T. Tanii, “State transition of spontaneously firing single neurons in autaptic culture upon electric stimulation”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
10. N. Monma, H. Murota, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “In vitro reconstruction of artificial neuronal networks with oriented inter-modular connections”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
11. Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Analysis of structure-function relationship of micropatterned modular neuronal networks on high-density multi-electrode arrays”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
12. Y. Sono, H. Yamamoto, Y. Sato, T. Tanii, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Stimulus responses of micropatterned neuronal networks with modular structure grown on high-density multielectrode arrays”, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023), Online / Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 18, 2023.
13. A. Hirano-Iwata, M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, H. Yamamoto, “An adaptive automatic method for idealization of single-channel currents”, 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-13), Online, March 7, 2023.
14. D. Tadaki, K. Iwata, H. Abe, T. Ma, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, S. Suda, M. Niwano, “Development of a highly sensitive gas sensor using TiO₂-nanotube film”, 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-13), Online, March 8, 2023.

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4年度）
Statistics
- 6-3 ナノ・スピン工学研究会
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℃±5℃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

ソニーテクトロニクス

- 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：8mV 4fA
 - ・最大電圧・電流：200V 100mA
 - ・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2μmφ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 650nm
レーザースポットサイズ：約2μmφ
最大印加磁場：1.0T
温度：1.5K~400K(室温以下は液体He使用)
ステージ空間分解能 1μm

□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。

□ 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 基板上的 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 基板上的 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 基板上的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 基板上的 Si 系半導体のエッチングが可能 (ECR 型)。最大 6 インチウエハ。試料皿に
のる不定形ウエハ可能。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 基板上的 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 基板上的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

□ 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。

□ 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 25eV
最高エネルギー分解能 0.58eV (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 5eV
最高エネルギー分解能 0.48eV (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 m 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 × 30 μm × (高さ) 4 μm
最高制御分解能 (水平) 0.45 μm × (高さ) 0.06 μm

a-4) 配線プロセス関係

□ ナノ・スピンド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) ×4
電圧測定ユニット×2
電圧源ユニット×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：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4年度) Statistics

令和4年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況					2023/3/16
	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 (特任助教)守谷 (研究員)佐久間 (技術補佐員)渡辺 (M2)藤本 渡邊 (M1)佐藤 門間 小野 (B4)飯田 茜	13
	深見研	深見 俊輔		深見教授 金井准教授 (助教)Justin 陣内 Samik 山根 (特任助教)竹内 (学術研究員)小原 (研究員)五十嵐 Sumith 丸井 (技術補佐員)柴田 古平 (Research Fellow)Akash Han (D2)ユン De Zoysa (M2)内村 菅野 岸 小林 千葉 (M1)安部 大田 佐藤 篠田 若林 (B4)金子 河原 栗原	30
	平野研	但木 大介		平野教授 (助教)但木 馬 小宮 平本 (研究員)庭野 (受託研究員)阿部 (技術補佐員)川田 (D2)住 佐藤(ま) (D1)佐藤(有) (M2)陰山 酒井原 渡部 (M1)島田 野村 室田 野本 (B4)伊藤 齋藤	20
	尾辻・佐藤研	佐藤 昭		尾辻教授 佐藤昭准教授 (学術研究員)唐 (研究員)林 (M2)田村 中嶋 (M1)関 成田 渡邊 (B4)齋藤 住村 内ヶ崎 小島	13
	堀尾研	堀尾 喜彦		堀尾教授 (D3)織間 (D1)菊地 (M2)熊谷 (M1)石井 辻 (B4)藤井 モームクンフォア	8
	Åkerman研	深見 俊輔		(助教)土肥	1
	共通部			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	基盤センター評価部			丹野技術職員	1
	大塚准教授研	大塚 朋廣	深見研	大塚准教授 (特任助教)篠崎 (技術補佐員)熊坂 出崎 佐藤(彰) 多田 佐藤(仁) (M2)藤原 武藤 (M1)松村 田高 上面 吉田 (B4)野呂 (B4)白地	15
	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 石田 山本 (M1)米窪 山口 (B4)杉野 (NICT)渡邊	9
	石山研	後藤 太一	佐藤研	後藤准教授 (D2)吉原 高口 (D1)森 (M2)宮下 豊田 (M1)千田	7
	松松研	金田 文寛	共通部	金田准教授	1
	大兼研(工)	大兼 幹彦	深見研	大兼教授 (D3)Wang (M2)豊壽	3
	好田研(工)	輕部修太郎	深見研	輕部助教 張助教 (M2)小田川 (M1)菊池 北川 小山 (B4)中島 東澤 青山 細野 川野 篠原 福地	13
	藤掛・石鍋研(工)	柴田 陽生	平野研	柴田助教	1
	山田・松田研(工)	山田 博仁	共通部	山田教授 (助手)内山	2
	齊藤・小川研(工)	小川 智之	共通部	小川准教授	1
	CIES	池田 正二	深見研	池田教授 永沼准教授 Anh助教 (研究補助員)平田 岩沼	5
	NICHe	末光 哲也	尾辻研	末光哲也教授	1
	CSIS	LUSTIKOVA	共通部	Lustikova助教	1
	森下研 (CSIS)	森下弘樹	深見研	森下准教授	1
	AIMR	Alka	深見研	Alka助教	1
	内野研 (東北工大)	内野 俊	尾辻研	内野教授 (B4)衛	2
	柴田研 (東北工大)	柴田 憲治	深見研	柴田教授	1
	中川研 (多元)	新家 寛正	共通部	新家助教	1
	岡本研 (多元)	岡本 聡	共通部	岡本教授 (D1)諏訪	2
西原研 (AIMR)	Zhengze Pan	共通部	Zhengze Pan助教 (研究生)WANG (D2)Liu (M1)佐山	4	
企業		共通部	相川	1	
合計				161	

研究室持込み装置利用時間

令和4年3月1日から令和5年2月28日まで

装置名	スピ ン半 導 体 成 長 装 置 (G E N I I)	スピ ン メ モ リ 用 ス パ ツ タ 装 置 (M R A M ス パ ツ タ)	ナ ノ ス ピ ン 材 料 成 長 装 置 (M B E F I B)	スピ ン 材 料 微 細 加 工 装 置 (I C P)	高 機 能 合 金 積 層 薄 膜 形 成 用 ス パ ツ タ 装 置	小 型 ス パ ツ タ	M B E # 1 、 # 2	5 T 磁 場 ア ニ ール 炉	メ タ ル ス パ ツ タ (1)	メ タ ル ス パ ツ タ (2)	メ タ ル ス パ ツ タ (3)	酸 化 物 M B E	M B E # 3 + 真 空 S T M	3 元 ス パ ツ タ (廃 棄 検 討)	A L D (ア ル ミ ナ ・ ハ フ ニ ウ ム)	汎 用 A F M	大 型 ス テ ー ジ A F M	赤 外 線 ラ ン プ 加 熱 装 置	高 速 デ バ イ ス 加 工 用 C V D 装 置	高 速 デ バ イ ス 加 工 用 R I E 装 置	高 速 デ バ イ ス 電 極 蒸 着 装 置	小 型 熱 処 理 炉 (I F C R S i 室)	小 型 E C R プ ラ ズ マ 処 理 装 置	U V ラ マ ン 分 光 シ ス テ ム	高 感 度 E S C A	有 機 デ バ イ ス 一 貫 作 製 装 置	金 属 蒸 着 装 置	電 気 炉	電 気 炉 (3 ゾ ーン)	マ ル チ チ ャ ン パ ー	R F ス パ ツ タ 装 置	金 属 蒸 着 ・ マ グ ネ ト ロ ン ス パ ツ タ 装 置	A u ・ I n 蒸 着	S T M ・ M B E	X R D (室 温 + 低 温)	グ ラ フ エ ン 化 反 応 炉 一 号 機	グ ラ フ エ ン 化 反 応 炉 二 号 機	レ ー ザ ー 共 焦 点 顕 微 鏡 (K e y e n c e)	プ ラ ズ マ ド ラ イ 洗 浄 装 置	実 験 装 置 利 用 時 間	小 計
装置分類(A,P,B,C)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B					
佐藤・櫻庭・山本研																																					1	1			
深見研(松倉研,池田研を含む)	1500				5500			3000									10	10	250																				10270		
平野研																										234						16	17					25	40	332	
尾辻・佐藤研															15				55	87	152																		309		
施設共通部																																									
大塚研																																									
(佐藤(茂))・吹留研																																							57		
石山・後藤研																																									
大兼研(工学研究科)																																									
好田研(工学研究科)																																									
藤掛・石鍋研(工学研究科)																																									
齊藤・小川研(工学研究科)																																									
CIES																																									
末光研(NICHe)																																							7		
CSIS																																									
AIMR																																									
中川研(多元)																																									
岡本研(多元)																																									
西原研(多元)																																									
内野研(東北工大)																																							10		
柴田研(東北工大)																																									
ソフトマター・生物物理研(理学部)																																									
その他(企業)																																									
計	1500				5500			3000							15	10	10	250	55	153	160					234					16	17					26	40	10986		

※研究室持込み装置 39台

研究室持込み装置保守時間

令和4年3月1日から令和5年2月28日まで

装置名	スピ ン半 導体 成長 装置 (G E N I I)	スピ ンメ モリ 用ス パツ タ装 置(M R A M ス パツ タ)	ナノ スピ ン材 料成 長装 置(M B E F I B)	スピ ン材 料微 細加 工装 置(I C P)	高機 能合 金積 層薄 膜形 成用 スバ ツタ 装置	小型 スバ ツタ	M B E # 1、 # 2	5T 磁場 アニ ール 炉	メタ ルス パツ タ(1)	メタ ルス パツ タ(2)	メタ ルス パツ タ(3)	酸化 物M B E	M B E # 3+ 真空 S T M	3元 スバ ツタ (廃棄 検討)	A L D (アル ミナ ・ハ フニ ウム)	汎用 A F M	大型 ステ ー ジA F M	赤外 線ラ ンプ 加熱 装置	高速 デバ イス 加工 用C V D装 置	高速 デバ イス 加工 用R I E装 置	高速 デバ イス 電極 蒸着 装置	小型 熱処 理炉 (1 F C R S i 室)	小型 E C R プ ラズ マ処 理装 置	U Vラ マン 分光 シス テム	高感 度E S C A	有機 デバ イス 一貫 作製 装置	金属 蒸着 装置	電気 炉	電気 炉(3 ゾー ン)	マル チチ ヤン パ イ	R Fス バツ タ装 置	金属 蒸着 ・マ グネ トロ ンス パツ タ装 置	A u・ I n蒸 着	S T M ・ M B E	X R D (室 温+ 低 温)	グラ フェ ン化 反応 炉一 号機	グラ フェ ン化 反応 炉二 号機	レイ ザ ー共 焦点 顕微 鏡(K e y e n c e)	ブラ ズマ ドラ イ洗 浄装 置	プロ ジェ クト 用・ 研究 室持 込装 置保 守時 間 小 計				
装置分類(A,P,B,C)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B	B	C	B	C	C	B	B	B	C	C	B	B					
佐藤・櫻庭・山本研																																												
深見研(松倉研,池田研を含む)	3	100	3	3	200		3	50	3	3	3	3	3	3	10	3	3	10																									404	
平野研																										45			1	3	7	8	6										70	
尾辻・佐藤研																			20	7	27																						54	
施設共通部																																												
大塚研																																												
(佐藤(茂))・吹留研																																												
石山・後藤研																																												
大兼研(工学研究科)																																												
好田研(工学研究科)																																												
藤掛・石鍋研(工学研究科)																																												
齊藤・小川研(工学研究科)																																												
CIES																																												
末光研(NICHe)																																												
CSIS																																												
AIMR																																												
中川研(多元)																																												
岡本研(多元)																																												
西原研(多元)																																												
内野研(東北工大)																																												
柴田研(東北工大)																																												
ソフトマター・生物物理研(理学部)																																												
その他(企業)																																												
計	3	100	3	3	200		3	50	3	3	3	3	3	3	10	3	3	10	20	7	27					45		1	3	7	8	6											528	

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4年度は、以下7回の研究会が実施された。

第117回 令和4年6月6日、”Ultrastrong Light-Matter Coupling～物質と光との極限的強相互作用”、河野淳一郎（米ライス大学教授）

第118回 令和4年10月13日、ナノ・スピン実験施設、「磁気スキルミオンのブラウン運動」、土肥昂堯（Akerman 研、助教）、「ノンコリニア反強磁性薄膜の作製と物性・機能性評価」、Ju-Young Yoon（深見・金井研、D3）、「機械学習と前処理による量子ドット状態推定」武藤由依（大塚研、M2）、「酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発」、但木大介（平野研、助教）、「高密度多点電極アレイ上への神経細胞回路のパターニングと構造機能相関の解析」佐藤 有弥（平野研、D1）、「グラフェンチャネルFETのゲートスタックプロセス高度化とその高速・高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究」、田村紘一（尾辻・佐藤研、M2）、「InP系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高変換利得化に関する研究」中嶋大（尾辻・佐藤研、M2）、「物性の画像情報解析を活用した Beyond 5G デバイスの動作機構解明」、山本うらん（吹留研、M2）、「SiC上に形成したグラフェンおよびAu/Tiから成るコプレーナ導波路の特性インピーダンス」、石田智也（吹留研、M2）、「温度ダイナミクスを基としたスピントロニクスデバイスの数理モデルの研究」、菊地優志（堀尾研、D1）、「時系列予測におけるリザバーニューロンの減衰特性の調査」、石井豪（堀尾研、M1）、「感覚運動制御を担うリザバーニューラルネットワークの構造最適化に関する研究」、藤本ありさ（佐藤・櫻庭・山本研、M2）、「ジョセフソン伝送線路を用いた物理リザバーに関する基礎的研究」、渡邊紘基（佐藤・櫻庭・山本研、M2）

第119回 令和4年12月19日-20日、「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」、電子情報通信学会電子デバイス研究会との併催

第120回 令和4年11月18日、”Synergistic development of brain models and brain-like computing algorithms for applications,” Pawel Herman（スウェーデン王立工科大学准教授・東北大学電気通信研究所客員准教授）

第121回 令和5年2月17日、”Graphene Plasmons and their importance for THz emitters and detectors,” Vladimir MITIN (University at Buffalo, SUNY, USA, Distinguished Professor)

第122回 令和5年3月7日-8日、13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics との併催

第123回 令和5年3月2日、”Mutually synchronized spin Hall nano-oscillators for neuromorphic computing and Ising machines,” Johan Åkerman (University of Gothenburg & Tohoku University, Professor)