

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19号**

**Research Report No.19  
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics  
Research Institute of Electrical Communication  
Tohoku University**

**2024**

# 施設研究報告書 2024

## 目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	令和5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5年度）	27
5-A	ナノ集積基盤技術関連	27
5-B	スピントロニクス基盤技術関連	33
5-C	ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	47
6.	参考資料	51
6-1	施設の代表的装置の概要	52
6-2	施設の利用状況（令和5年度）	58
6-3	ナノ・スピン工学研究会	63

# Annual Research Report 2024

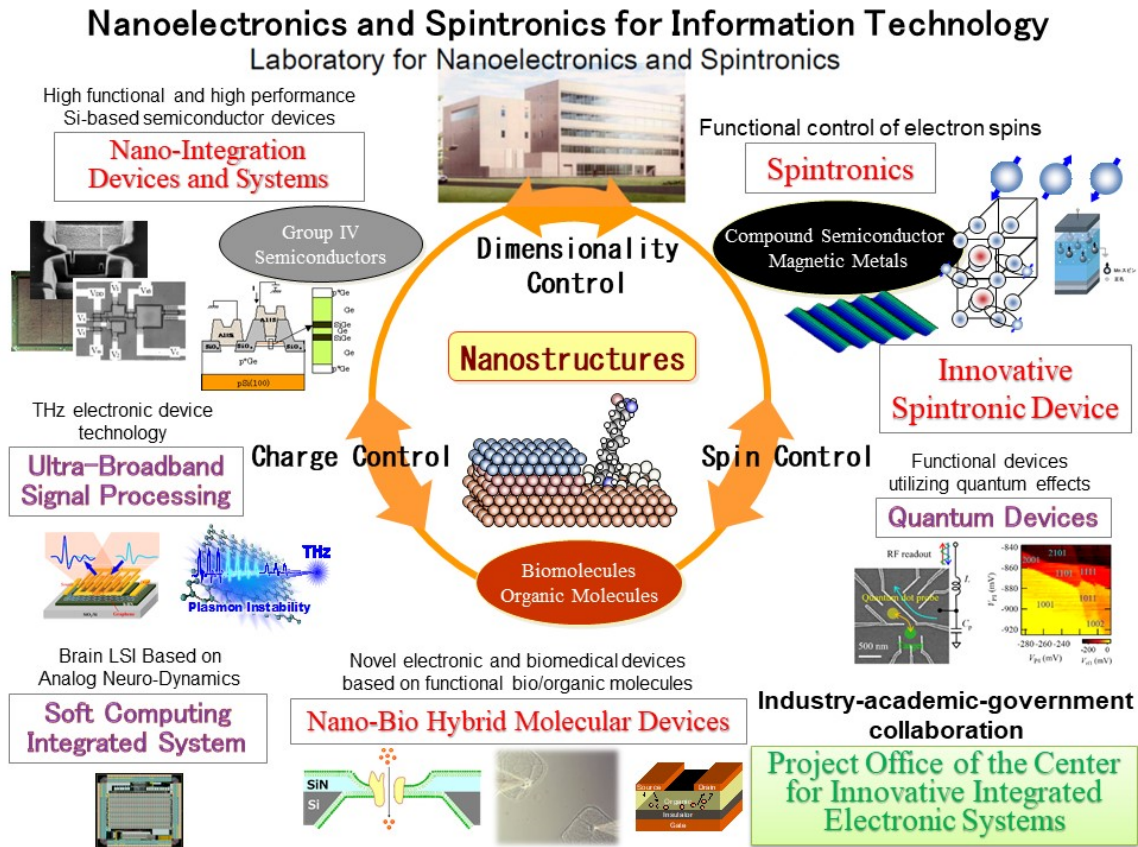
## Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2023	3
4.	Global Activities	9
4-1	COE of International Research Collaboration	9
4-2	International Symposium	11
5.	Research Abstracts	27
5-A	Nano Integration	27
5-B	Spintronics and Information Technology	33
5-C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	47
6.	Miscellaneous	51
6-1	Facilities and Equipment	52
6-2	Statistics	58
6-3	Nano-Spin Seminar Series	63

# 1. 施設の概要

## Outline

### ナノ・スピン実験施設



「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。

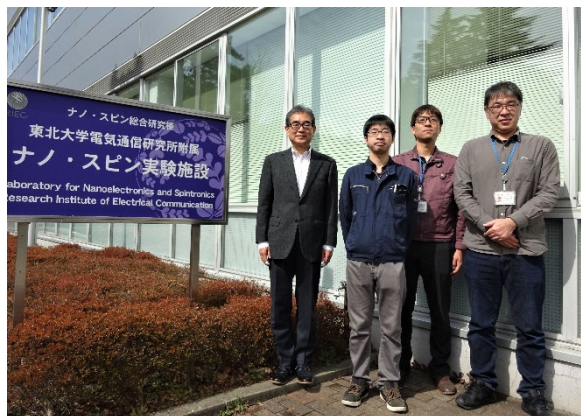
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・システム、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイス、革新的スピントロニクスデバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超広帯域信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス (COE) となることを目標としている。

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5年度の研究成果のハイライト

#### *Highlights of Research in FY2023*

施設研究部と利用研究室の令和5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・システム（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

##### Nano-Integration Devices and Systems (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ラルネットワーク LSI を用いてリザーバー計算システムを構成した。音声や手書き文字などのデータを、低電力で正しく分類できることを電気測定により確認した。

(2) 負性抵抗エサキダイオードの開発を目指し、ECR プラズマ CVD を用いてキャリア濃度が  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  に達する高濃度 P ドープ Si 薄膜形成を実現した。さらに、高濃度 P ドープ Si のウェットエッチングによる pn 接合ダイオード製作プロセスの構築を進め、良好な整流特性を確認した。

(3) 哺乳類大脳皮質に見られるネットワーク構造と神経活動パターンとの相互関係を検証するために、微細加工基板上で神経細胞を培養し、その刺激応答をリアルタイムに計測する新たな実験系を構築した。リザーバーコンピューティングの枠組みを用いて神経活動パターンをデコーディングし、モジュール性が高いネットワークではパターン分類性能が上昇することなどを明らかにした。

(1) A reservoir computing system has been configured using a spiking neural network LSI that reproduces various neural pulses and operates at extremely low power. Electrical measurements confirmed that the system could correctly classify data such as voice and handwritten text at low power.

(2) To develop Esaki diode, heavily P-doped Si film deposition with a carrier concentration of  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  was realized by using ECR plasma CVD. Moreover, we developed a pn junction diode fabrication process using wet etching of the P-doped Si, and confirmed good rectifying characteristics.

(3) We showed that micropatterned neuronal networks can be integrated in the reservoir computing paradigm to study the computational advantages of non-random network organizations.

#### ● 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ィ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。

(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) リザーブ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) マイクロマグネティックシミュレーションを用いてナノスケールジャイロイドネットワークが取り得る磁気構造を解明した。(2) ノンコリア反強磁性体の磁気八極子のスピン軌道トルクに対する応答が強磁性体の磁気双極子の応答とは決定的に異なること（掌性異常）を発見した。(3) パターンを形成した下地の利用による自己組織化ナノスケールネットワーク構造の方位を揃える方法を確立した。(4) 確率動作磁気トンネル接合素子を用いた方向性確率的ニューラルネットワークを実証した。(5) 高密度 STT-MRAM 実現に向けた極微細磁気トンネル接合素子のクロストークに由来した充填限界を解明した。(6) 保持特性、及び動作速度が重要となる応用向け STT-MRAM 実現のための極微細磁気トンネル接合素子の設計し史を体系化してまとめた。(7) CMOS 回路と確率動作磁気トンネル接合からなるヘテロロジーニアス確率論的コンピュータを提案し、その基本動作を実証した。

Our research activities aim at realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last

fiscal year are as follows: (1) elucidating magnetic order in nanoscale gyroid network using micromagnetic simulation, (2) finding fundamental difference in the response of magnetic octupole to the spin-orbit torque from that of magnetic dipole, (3) establishing a method to prepare directed self-assembly of diamond network in triblock terpolymer films, (4) demonstrating the feed-forward stochastic neural network using fast fluctuating stochastic magnetic tunnel junction, (5) identifying the limitation of packing density of ultra-small magnetic tunnel junction for high-density STT-MRAM, (6) summarizing the tips to develop ultrasmall magnetic tunnel junction for retention-critical and speed-critical applications, (7) demonstrating heterogeneous probabilistic computer consisting of a deterministic CMOS circuit and stochastic magnetic tunnel junctions.

## ● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

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

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

#### 1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

我々は、電子・正孔が相対論的 Dirac 粒子として振る舞うグラフェンの電荷振動量子：Dirac プラズモンの物性を応用した新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタを開発し、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得 9% のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功している。今回、グラフェン Dirac プラズモンの Coulomb ドラッグ効果および Zener-Klein トンネル効果に由来する新たな 2 つの不安定性機構を理論発見し、そのテラヘルツ利得帯域特性を明らかにした。（国際学術論文 3 編；国際会議招待講演 10 件）。

#### 2. プラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発

将来の超高速無線通信システム実現に向けて、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ（InGaAs-HEMT）のチャネル内における二次元プラズモンの流体力学的非線形性を活用した、独自の金属回折格子構造を有するプラズモニック・テラヘルツ検出素子の研究を進めている。今年度は、出力信号のゲート端子読み出し方式において、電子トンネリングに起因するダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された”三次元整流効果”を、正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来の負ゲート電圧印加時よりも一桁向上させることに成功した（2023.11. プレスリリース；招待講演 2 件）。

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. 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 2023 FY.

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

We have developed a new principle current-injection terahertz laser transistor based on the properties of Dirac plasmon, a quantum charge oscillation in graphene in which electrons and holes behave as relativistic Dirac particles, and have successfully demonstrated a terahertz laser transistor with a maximum gain of 9% derived from plasmon instability under room temperature using a prototype device with a unique asymmetric double-diffraction grating gate structure. The prototype device has succeeded in terahertz band coherent

amplification with a maximum gain of 9%, originating from plasmon instability, at room temperature. In this year, we theoretically discovered new instability mechanisms originating from the Coulomb drag effect of the Dirac plasmons and the Zener-Klein tunneling effect of Dirac fermions, and clarified its superior terahertz gain bandwidth characteristics. (3 international peer-reviewed papers; 10 invited talks at international conferences).

## 2. Development of plasmonic terahertz detectors

For future ultrahigh-speed wireless communications, we have developed plasmonic terahertz detectors with original metallic diffraction-grating structures, which utilize hydrodynamic nonlinearities of two-dimensional plasmons in the channels of InGaAs high-electron-mobility transistors (InGaAs-HEMTs). This fiscal year, we demonstrated that the "3D rectification effect", where the diode current nonlinearity associated with the electron tunneling is superimposed onto the plasmonic hydrodynamic nonlinearities, can take place by applying a positive gate bias voltage in the gate-readout configuration of the output signal and succeeded in drastic enhancement of the detector responsivity by one order of magnitude (Press-released on November 2023).

### ● 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気的な精密高速測定、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。

(1) 固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法を開発している。測定感度やダイナミックレンジの改良等、手法の改良を進めるとともに、原子層材料等の新しい材料においても技術開発を行った。

(2) 電気的精密高速測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。半導体量子ドットやナノ粒子等の微細構造、新材料における電子状態等についてその詳細の測定、解明を行った。

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

We are exploring interesting properties of solid-state nanostructures utilizing precise and high-speed electric measurement and control techniques. We are also developing materials and devices using nanostructures. Our research activities in FY 2023 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-speed electronics and developed techniques for new materials.

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

(3) We studied semiconductor quantum bits for future quantum information processing. We worked on quantum bit operations and readouts, and developed techniques for scaling up the systems and creating 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) 微小チャンネル電流データに対する適応的自動解析システムの開発

膜タンパク質イオンチャンネルの機能は、チャンネルを透過するイオン電流（チャンネル電流, pA レベル）の計測によって評価される。チャンネル電流の解析では、各測定点における電流値をチャンネルの開状態と閉状態に対応する 2 つのレベルに分類する「理想化」と呼ばれるプロセスから始めるが、計測の S/N が低いことが解析の障壁となっていた。本年度は、この理想化プロセスを低 S/N の単一チャンネル電流に対して行うための自動解析システムを開発した。擬似チャンネル電流データセットを生成して、この解析システムの性能を評価した結果、約 8 割の電流データに対して、本システムの方が従来の 50% 閾値に比べて高い正答率を示した。これらの結果を国際誌 *Biophysical Journal* 誌に発表するとともに、解析プログラムと擬似チャンネル電流データセットを研究データリポジトリ Zenodo にて公開した。

#### (2) 人工神経細胞回路の医工学デバイス応用に関する研究

マイクロ流体デバイスを用いて神経細胞をパターンニングすることで、モジュール構造と呼ばれる脳神経系で見られる結合構造を模した人工神経細胞回路を実現した。そして、COVID-19 患者において血中濃度が最も増加した炎症性サイトカインである IL-6 が神経細胞回路の自発活動パターンに与える影響を調べた。実験の結果、高濃度（10 ng/mL）の IL-6 に 24 時間暴露されると、神経活動の同期性が上昇することや、その効果はモジュール性が高い回路においてより顕著に見られることなどを明らかにし、国際誌 *Biochemical Biophysical Research Communications* 誌にて発表した。

#### (3) 電気化学発光イメージングを用いたスフェロイドの活性評価

3 次元培養環境で作製されるスフェロイドは、生体模倣性の高い培養細胞組織として再生医療や創薬分野での活用が期待される。本研究では電気化学発光イメージングを用いてスフェロイドの呼吸活性および代謝物の計測を行う測定系を構築した。電気化学発光種として酸素濃度に応じて発光輝度が正比例するルミノール誘導体を用いることで、電極基板上の複数のスフェロイドの酸素消費を一斉に評価することができる。まず、乳がん細胞スフェロイドに薬剤を投与したときの呼吸量変化を計測し、本系が薬効評価に有効であることを国際誌 *Electrochimica Acta* 誌にて報告した。また、骨再生医療の移植材料として期待される間葉系幹細胞スフェロイドを作製し、電気化学発光イメージングとマイクロ流体デバイスを用いた評価を行った。本研究により骨分化誘導に伴うスフェロイドの代謝変化や、幹細胞性の維持が組織形成に与える影響について明らかにすることができた (*Electrochimica Acta*, accepted)。

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

(1) We developed an automated analysis system to classify the current values at each time point into two

levels corresponding to the open and closed states of the channel. This system showed a higher accuracy rate than the conventional 50% threshold for about 80% of the pseudo-channel current data sets. The analysis program and the pseudo-channel current data set are available on the research data repository Zenodo.

(2) By patterning neurons using microfluidic devices, we realized artificial neuronal networks that mimic the modular organization found in the nervous system. We investigated the effect of IL-6 on the spontaneous activity patterns of the neuronal networks and found that exposure to IL-6 increased the synchrony of neuronal activity, and that this effect was more pronounced in networks with high modularity.

(3) Spheroids, produced by self-assembly of cells in a 3D culture environment, are promising *in vitro* models for regenerative medicine and drug discovery. We evaluated the metabolic activity of spheroids using electrochemiluminescence imaging. We reported the effective use of this system to evaluate drug efficacy by measuring changes in the respiratory rate of breast cancer cell spheroids. We also succeeded in monitoring the changes in the metabolic activity associated with osteogenesis induction of mesenchymal stem cell spheroids.

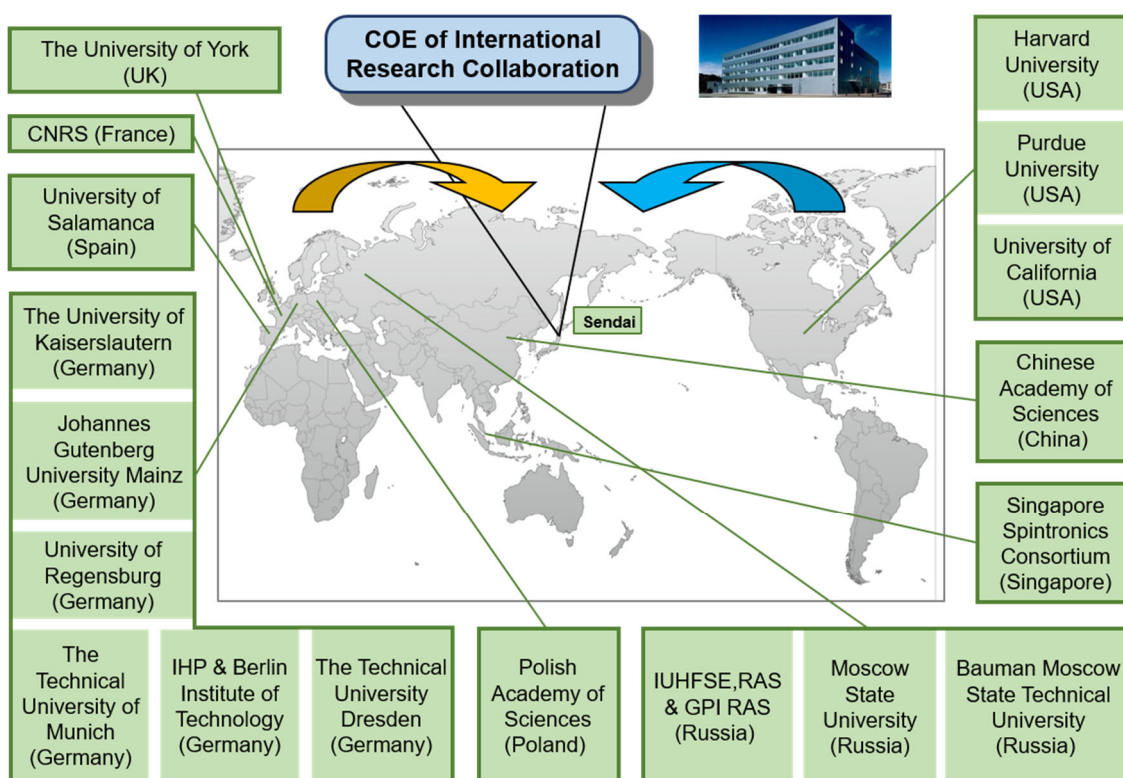
## 4. 施設の活動

### Global Activities

#### 4-1 国際共同研究

##### COE of International Research Collaboration

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



##### Academic Exchange Programs

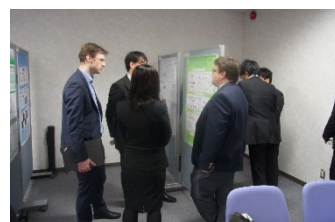
[The University of York, UK](#)  
[The Interdisciplinary Center on Nanoscience of Marseille, CNRS, France](#)  
[University of Salamanca, Spain](#)  
[The University of Kaiserslautern, Germany](#)  
[The Technical University Dresden, Germany](#)  
[Johannes Gutenberg University Mainz, Germany](#)  
[University of Regensburg, Germany](#)  
[The Technical University of Munich, Germany](#)  
[IHP & Berlin Institute of Technology, Germany](#)  
[Polish Academy of Sciences s, 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  | 第20回 : 2024年11月30-12月1日<br>(11ページ) |



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   | 第14回 : 2024年3月5-6日<br>(21ページ) |



#### 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 | 第12回 : 2024年2月27-28日<br>(13ページ) |

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

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

### 第 126 回電気通信研究所国際シンポジウム 第 20 回 RIEC 国際スピントロニクスワークショップ 20<sup>th</sup> RIEC International Workshop on Spintronics

深見 俊輔  
Shunsuke FUKAMI

開催日：令和 5 年 11 月 30 日（木）～12 月 1 日（金）（2 日間）  
開催場所：東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

本ワークショップは 2005 年に第 1 回が開催されて以来、ほぼ年 1 回のペースで回を重ね、今回で 20 回目の開催となった。今回は、本学の材料科学分野とスピントロニクス分野のコアリサーチクラスター（CRC-MS, CRC-Spin）、及び国際共同大学院（GP-MS, GP-Spin）との共催で開催した国際シンポジウムの一環として、主には後半の 2 日間で本ワークショップを実施した。国内に加え、シンガポール、韓国、米国、スウェーデン、中国、ポーランド、ドイツ、フランスからの計 17 件の招待講演で構成した。

今回のワークショップでは、スピントロニクスの材料科学的な側面と電子工学的な側面を融合し、新規材料や物理現象に関する研究と高性能・省エネ情報デバイス応用に関する研究の接点にて深い議論が展開されるようプログラムを編成した。反強磁性体の新奇物性、軌道角運動量の制御とデバイス利用、不揮発性磁気メモリ素子、スピン系の確率的な振る舞いを用いた新原理コンピュータなどに関する最新の研究成果が紹介され、参加した多くの聴講者も交えて熱い議論が繰り広げられた。

また共催した CRC-MS, CRC-Spin, GP-MS, GP-Spin との合同のポスターセッションでは本学の学生や若手研究者も発表を行い、世界の一流研究者に対して自分の研究内容を伝え議論することで、今後の研究を進めていくための良い示唆と大きな刺激が得られたものと思う。

# 20th RIEC International Workshop on Spintronics

(as a part of "The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics)

November 30 Thursday - December 1 Friday, 2023

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

Day	Time		Category	Speaker	Affiliation	Title
11/30 (Thu)	13:25	- 13:30	Opening remarks			
	13:30	- 14:15	Plenary	Satoru Nakatsuji	Univ. Tokyo	Topological Magnetic Materials for Innovative Quantum Electronics
	14:15	- 14:45	Invited	Hang Xie	Nat'l Univ. Singapore	Electrical Control of Magnetic State in Non-collinear Antiferromagnet Mn3Sn
	14:45	- 15:15	Invited	Gyung-Min Choi	Sungkyunkwan Univ.	Optical detection of orbital Hall effect in light metals of Ti, Mn, and Cu
	15:15	- 15:35	Break			
	15:35	- 16:05	Invited	Shan Wang	Stanford Univ.	Unconventional Spin-Orbit Torques in Sputtered Materials for High Density High Speed MRAM
	16:05	- 16:35	Invited	Nihal Singh	UC Santa Barbara	Heterogeneous Probabilistic Computers for Boltzmann Inference and Learning
	16:35	- 17:05	Invited	Advait Madhavan	NIST	CMOS-MTJ Circuits for Alternative Computing
	17:05	- 17:20	Break			
	17:20	- 17:50	Invited	Kohei Fujiwara	Tohoku Univ.	Topological Phenomena in Magnetic Weyl Semimetal Co3Sn2S2 Thin Films
	17:50	- 18:20	Invited	Ping Tang	Tohoku Univ.	Spintronic Analog in Ferroelectric Materials (tentative)
	18:20	- 19:00	Transfer			
	19:00	- 20:30	Banquet			
12/1 (Fri)	9:00	- 9:30	Invited	Johan Åkerman	Gothenburg / Tohoku	10 nm spin Hall nano-oscillators and mutual synchronization of thousands of oscillators
	9:30	- 10:00	Invited	Tomoyuki Yokouchi	Univ. Tokyo	Pattern recognition with reservoir computing using magnetic-field induced dynamics of skyrmions
	10:00	- 10:30	Invited	Zhaochu Luo	Peking Univ.	Electrically Programmable Nanomagnetic Ising Network
	10:30	- 10:50	Break			
	10:50	- 11:20	Invited	Shutaro Karube	Kyoto Univ.	Introduction to altermagnetism and its application
	11:20	- 11:50	Invited	Maciej Sawicki	Polish Acad. Sci.	Experimental Evidences for Relativistic Effects in Altermagnetic Hexagonal MnTe
	11:50	- 13:30	Lunch			
	13:30	- 14:00	Invited	Kazuya Ando	Keio Univ.	Spin and orbital Hall torques
	14:00	- 14:30	Invited	Mathias Klauui	Univ. Mainz	Spin-orbitronics and orbitronics for stochastic computing
	14:30	- 14:50	Break			
	14:50	- 15:20	Invited	Philippe Talatchian	Spintec	Harnessing stochastic properties of spintronic nanodevices for unconventional computing
	15:20	- 15:50	Invited	Shun Kanai	Tohoku Univ.	Probabilistic and quantum spin dynamics for unconventional electronics (tentative)
	15:50	- 15:55	Closing remarks			

第 128 回電気通信研究所国際シンポジウム  
第 12 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 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and  
Brain Computer

佐藤 茂雄  
Shigeo SATO

開催日：令和 6 年 2 月 27 日（火）～28 日（水）（2 日間）  
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの総合研究棟  
4 階カンファレンスルーム（ハイブリッド開催）

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、生体工学、数理工学、神経科学、電気生理学、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 12 回目であり、令和 6 年 2 月 27 日～28 日に開催された。オーストラリア、スペイン、スウェーデン、イタリア、フランスから 6 名の海外招待講演者を迎え、27 件の口頭発表、25 件のポスター発表、1 件の企業展示が行われた。昨年度に引き続き、対面と Zoom ライブ配信を併用したハイブリッド形式で開催し、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。



# The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

February 27-28th, 2024

## Program



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

**The 12th RIEC International Symposium on  
Brain Functions and Brain Computer**

**February 27-28th, 2024**

**Programs**

# Program

## **Feb. 27**

- 9:30 - 9:35 **Greetings**  
A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
- **Special Session 1 (Chair: S. Sato)** ----  
**"Spintronics-Based Edge Computing Hardware Fundamentals"**
- 9:35 - 10:05 **[SS1-1 (Invited)] Analog spiking neural networks with floating gate synapses in CMOS technology**  
M. Baschieri, G. Camisa, E. Polidori, M. Mastella, E. Prati, G. Ferrari (PoliM, Italy)
- 10:05 - 10:25 **[SS1-2] CMOS Spiking Neural Networks for Edge Computing**  
S. Sato, S. Moriya, S. Ono, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)
- 10:25 - 10:45 **[SS1-3] Analysis of learning process in spatio-temporal learning network**  
T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji, M. Furuya (Tohoku Univ., Japan)
- 10:45 - 11:00 Break (15 min)
- 11:00 - 11:30 **[SS1-4 (Invited)] Spin and acoustic wave based Ising machines**  
J. Åkerman, A. Litvinenko, R. Khymyn, A. A. Awad, R. Ovcharov, V. González (Univ. Gothenburg, Sweden, Tohoku Univ., Japan)
- 11:30 - 11:50 **[SS1-5] Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems**  
N. Onizawa, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)
- 11:50 - 13:30 Lunch Break
- **Special Session 2 (Chairs: Y. Masamizu, H. Yamamoto)** ---  
**"The 3rd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing"**
- 13:30 - 14:00 **[SS2-1 (Invited)] Learning and memory in stress circuits**  
T. Füzesi, N. P. Rasiah, D. G. Rosenegger, M. Rojas-Carvajal, T. Chomiak, N. Daviu, L. A. Molina, K. Simone, T. L. Sterley, W. Nicola, J. S. Bains (Univ. Calgary, Canada)
- 14:00 - 14:20 **[SS2-2] Reservoir-based predictive coding model for sensory signal processing**  
Y. Katori, Y. Yonemura (Future Univ. Hakodate, Japan)
- 14:20 - 14:40 **[SS2-3] Stimulus-induced bursts of hippocampal mossy fibers**  
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
- 14:40 - 14:55 Break (15min)
- 14:55 - 15:25 **[SS2-4 (Invited)] Biomimetic spiking neural network and real-time closed-loop bio-hybrid systems**  
T. Levi, R. Beaubois, J. Cheslet, P-M. Faure, G. N'kaoua, F. Poullétier de Gannes, P. Branchereau, A. Tixier-Mita, Y. Ikeuchi (Univ. Bordeaux, France)
- 15:25 - 15:40 **[SS2-5] Neuromorphic spatio-temporal spike pattern detection model with biological plausibility**  
S. Furuichi, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
- 15:40 - 16:10 **[SS2-6 (Invited)] Basic and translational applications for synthetic biological intelligence: past findings and new tools**  
B. J. Kagan A. Azadi, D. Hogan, A. Doherty, A. Loeffler, J. Gritching, H. Forough, C. Souza, F. Doensen, G. Kirilow, J. Churchill, J. Bowkett, K. D. Abu-Bonsrah, B. Watmuff, S. H. Byun, J. Stewart, H.W. Chong (Cortical Labs, Australia)

**[P-1] Plasticity and learning in a computational network model of dendritic calcium-evoked bursting neurons**

V. Sekulic, S. Dong, T. J. McHugh (RIKEN, Japan)

**[P-2] Data-driven estimation framework for extracting nonlinear dynamics in biophysical neuron models**

H. Nakano, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

**[P-3] Machine learning algorithm for estimating neuronal network structure with biologically plausible connectivity prior**

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

**[P-4] Data-driven online framework for estimation and feedback control of neuronal dynamics by fully sequential Monte Carlo method**

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

**[P-5] Parameter estimation of neuron-glia interactive dynamics with multiple time scales**

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

**[P-6] Data-driven method for extracting latent neuronal systems from imaging data**

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

**[P-7] Time series prediction in reservoir neural network consists of neurons with local temporal history**

G. Ishii, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

**[P-8] Time-series prediction by neural network reservoir using output layer neuron with temporal-history terms**

T. Sano, Y. Horio, T. Orima, G. Ishii (Tohoku Univ., Japan)

**[P-9] Multistage template matching evaluation technique for spatiotemporal context learning network outputs**

M. Furuya, T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji (Tohoku Univ., Japan)

**[P-10] Pattern recognition through synchronization to oscillatory inputs in chaotic neural networks**

K. Tokuda, N. Fujiwara (Juntendo Univ., Japan)

**[P-11] Generation of Lorenz attractor by reservoir-based predictive coding in cultured neurons with spiking neural network model**

Y. Ishikawa, T. Shinkawa, T. Sumi, H. Kato, H. Yamamoto, Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)

**[P-12] A basic study of hierarchical reservoir computing for modeling Stroop effect**

H. Terakawa, H. Kato, Y. Yonemura, Y. Katori (Oita Univ., Japan)

**[P-13] Contribution of AMPA and NMDA receptors to the synaptic weight of single neurons in an autaptic culture**

R. Onda, M. Yamazoe, S. Kishino, M. Ishida, H. Yamamoto, T. Tanii (Waseda Univ., Japan)

**[P-14] Parameter analysis for biologically plausible learning algorithms for recurrent SNNs: impact of dynamical and anatomical network properties**

D. Noè, H. Yamamoto, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

**[P-15] Simplified hierarchical reservoir computing model for multi-step ahead time series prediction**

Y. Wenkai, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

**[P-16] Sparse binary neural networks: FPGA-based implementation**

T. Okano, T. Saito (Hosei Univ., Japan)

**[P-17] Physical reservoir made of gold-nanoparticle random arrays exhibiting nonlinear characteristics due to the Coulomb blockade**

Y. Hayashi, K. Kobayashi, M. Moriya, H. Shimada, Y. Mizugaki (Electro-Communications, Japan)

**[P-18] Analysis and circuit implementation of spatiotemporal contextual learning and memory neural networks**

T. Tsuji, T. Orima, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

**[P-19] Analog circuit design of multiplicative spike-timing-dependent plasticity in 65-nm CMOS**

S. Moriya, Y. Iida, H. Yamamoto, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

**[P-20] Reservoir computing system with ultra-low power analog CMOS spiking neural network LSIs**

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

**[P-21] A hippocampus-inspired memory model with an accumulation function through place representation planes for digital VLSI implementation**

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

**[P-22] Designing modular neuronal networks with directional connections to enhance dynamical complexity**

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

**[P-23] Modulation of neuronal ensembles by optogenetic stimulation in biological neuronal networks**

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

**[P-24] Chitosan nanofibers as a substrate for neural stimulation**

D. Ando, T. Teshima, F. Zurita, H. Peng, K. Ogura, K. Kondo, L. Weiß, A. Hirano-iwata, M. Bechrer, J. Alexander, B. Wolfrum (Tohoku Univ., Japan)

**[P-25] Recovery of neuronal activity in culture and numerical models through functional connectivity reorganization**

T. Sumi, A. M. Houben, A.-C. Häb, H. Yamamoto, H. Kato, Y. Katori, H. Chiba, J. Soriano, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

**[P-26] Exhibition**

B.J. Kagan (Cortical Labs, Australia)

**Feb. 28**

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

- 9:30 - 10:00 **[GS1-1 (Invited)] From quantum perceptrons to quantum reservoir computing**  
E. Prati (Univ. Milan, Italy)
- 10:00 - 10:30 **[GS1-2 (Invited)] Mapping spiking neural applications on digital custom hardware for efficient real-time execution**  
J. Madrenas, B. Vallejo-Mancero, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
- 10:30 - 10:45 **[GS1-3] Spike pattern learning through STDP mechanisms with competitive dynamics and axonal delays**  
Z. Hao, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
- 10:45 - 11:00 Break (15 min)

--- Special Session 3 (Chair: Y. Katori) ---

"The 3rd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing"

- 11:00 - 11:30 **[SS3-1 (Invited)] Stimulation in engineered neuronal cultures: from plasticity to reservoir computing**  
A.-C. Haeb, A. Houben, M. Olives, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
- 11:30 - 11:50 **[SS3-2] Brain-wide mapping of stimulus induced variability quenching reveals modularity of cortical network**  
T. Matsui (Doshisha Univ., Japan)
- 11:50 - 12:10 **[SS3-3] Development in technology for the production of new neural circuits in the brain**  
Y. Masamizu, H. Osaki, K. Nishimura, M. Kato-Negishi, H. Onoe, S. Takeuchi, M. Matsuzaki (Doshisha Univ., Japan)
- 12:10 - 12:30 **[SS3-4] "Multicellular Neurobiocomputing" and beyond**  
H. Yamamoto, Y. Katori, T. Matsui, Y. Masamizu (Tohoku Univ., Japan)
- 12:30 - 14:00 Lunch (90 min)

--- Special Session 4 (Chair: M. Kimura) ---

"Brain-Mimicking and Inspired Computing: Devices, Architectures, and Algorithms"

- 14:00 - 14:20 **[SS4-1] Thin-film memdevices and neuromorphic systems**  
M. Kimura (NAIST, Ryukoku Univ., Japan)
- 14:20 - 14:40 **[SS4-2] Oxide channel ferroelectric-gate transistors for nonvolatile memory and computing applications**  
E. Tokumitsu (JAIST, Japan)
- 14:40 - 14:55 **[SS4-3] Training efficient stochastic computing neural networks using one-bit unipolar encoding**  
B. Golbabaei, Y. Kan, R. Zhang, Y. Nakashima (NAIST, Japan)
- 14:55 - 15:10 **[SS4-4] A stochastic encoding approach for robust brain-inspired hyperdimensional computing**  
H. Tang, Y. Kan, R. Zhang, Y. Nakashima (NAIST, Japan)
- 15:10 - 15:25 Break (15 min)

--- General Session 2 (Chair: Y. Horio) ---

- 15:25 - 15:55 **[GS2-1] Context-dependent binding effects and retrieval of episodic memories in cortical network models with Hebbian-like plasticity**  
P. Herman, N. Chrysanthidis, A. Lansner, F. Fiebig (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)
- 15:55 - 16:10 **[GS2-2] Parameter fitting approach for the piecewise quadratic neuron model using improved particle swarm optimization framework**  
Z. Yang, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
- 16:10 - 16:25 **[GS2-3] A proposal of fading channel prediction method based on spin-wave reservoir computing**  
J. Chen, H. Chen, R. Nakane, A. Hirose (Univ. Tokyo, Japan)
- 16:25 - 16:40 **[GS2-4] Acquisition of physical kinetics of machines by reservoir computing and its applications to anomaly detection**  
S. Kojima, K. Minagawa, T. Saito, K. Ando, T. Asai (Hokkaido Univ., Japan)
- 16:40 - 17:00 **[GS2-5] Neuromorphic design of cortical visual prosthesis**  
T. Yagi, Y. Hayashida, Y. Takeuchi (Osaka Univ., Japan)
- 17:00 - 17:05 **Closing**  
S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

The 12th RIEC International Symposium on  
Brain Functions and Brain Computer

第 129 回電気通信研究所国際シンポジウム  
第 14 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

14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

平野 愛弓  
Ayumi HIRANO-IWATA

開催日：令和 6 年 3 月 5 日（火）～6 日（水）（2 日間）

開催場所：オンライン開催

第 14 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 6 年 3 月 5 日（火）～6 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 7 件の招待講演が行われ、2 日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め 77 名を数えた。本ワークショップでは、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、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、有機導電性分子を用いたナノコイル構造を足場とする細胞培養の実現、ナノ・マイクロ加工技術と人工脂質二分子膜との融合から成る新規バイオセンシングプラットフォームの創成、ナノインパクト電気化学に基づく新規バイオシグナル検出技術の創成、ガス・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、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、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、ナノ・バイオ融合分野としての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グループ間での交流も日頃より活発に行われており、同分野の今後益々の発展が期待される。

# **14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics**

*Online*

**March 5-6, 2024**

**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**

# 14th 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.

**Daisuke Tadaki**, Tohoku Univ.

**Kaoru Hiramoto**, Tohoku Univ.

# Program

## March 5 (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: Daisuke Tadaki)
- 17:05 ~ 17:50**      Update on single atom co-catalysts in photocatalytic H<sub>2</sub> generation
- 8:05 ~ 8:50**      Patrik Schmuki  
(Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)
- 17:50 ~ 18:20**      Back-contact perovskite solar cells based on self-assembly
- 8:50 ~ 9:20**      Teng Ma<sup>1,2</sup>, Daisuke Tadaki<sup>3</sup>, Michio Niwano<sup>3,4</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>2,3</sup>  
(<sup>1</sup>School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China, <sup>2</sup>WPI-Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>3</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>4</sup>Graduate School of Dentistry, Tohoku University, Sendai, Japan)
- 18:20 ~ 18:45**      Preparation of scaffold with induced electromotive force composed of molecular nanocoils and evaluation of cell proliferation
- 9:20 ~ 9:45**      Yoko Tatewaki<sup>1</sup>, Tsuyoshi Minami<sup>2</sup>, Sadafumi Nishihara<sup>3</sup>, Tomoyuki Akutagawa<sup>4</sup>, Takayoshi Nakamura<sup>5</sup>  
(<sup>1</sup>Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Japan, <sup>2</sup>The University of Tokyo, Tokyo, Japan, <sup>3</sup>Hiroshima University, Hiroshima, Japan, <sup>4</sup>Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>5</sup>Hokkaido University, Sapporo, Japan)
- 18:45 ~ 19:05**      Break
- 9:45 ~ 10:05**

(Chair: Kaoru Hiramoto)

- 19:05 ~ 19:35** Novel strategies in single molecule and single cell screening
- 10:05 ~ 10:35** Ren Ren, Shenglin Cai, Binoy Paulose Nadappuram, Xiaoyi Wang, Yaxian Liu, Zoe Kwan, Caroline Koch, Benedict Reilly-O'Donnell, Joshua Edel, Aleksandar P. Ivanov (Molecular Science Research Hub, Department of Chemistry, Imperial College London, London, United Kingdom)
- 19:35 ~ 20:05** Droplet nanopore microchip for single-molecule sensing
- 10:35 ~ 11:05** Yi-lun Ying  
(State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing, China)

## **March 6 (Wednesday)**

**Red:** Local time in Japan (JST)

**Blue:** GMT

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

(Chair: Daisuke Tadaki)

- 17:00 ~ 17:45** Biosensing concepts using nanoimpact electrochemistry
- 8:00 ~ 8:45** Sebastian Freko, Lennart Weiß, Marta Nikic, Bernhard Wolfrum  
(Neuroelectronics - ZEITlab, Munich Institute of Biomedical Engineering, Department of Electrical Engineering, School of Computation, Information and Technology, Technical University of Munich, Munich, Germany)
- 17:45 ~ 18:10** Microdomain formation in lipid bilayers induced by polyunsaturated lipids and  
**8:45 ~ 9:10** its function for membrane fusion  
Ryugo Tero  
(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)
- 18:10 ~ 18:35** Lipid bilayers as nm-thick platforms for signal transduction  
**9:10 ~ 9:35** Ayumi Hirano-Iwata<sup>1,2,3</sup>, Madoka Sato<sup>1,3</sup>, Teng Ma<sup>2,4</sup>, Maki Komiya<sup>1</sup>, Daisuke Tadaki<sup>1</sup>, Hideaki Yamamoto<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>2</sup>WPI-Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>3</sup>Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University,

Sendai, Japan, <sup>4</sup>School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China.)

18:35 ~ 18:55 Break

9:35 ~ 9:55

(Chair: Ryugo Tero)

18:55 ~ 19:25 Anodic TiO<sub>2</sub> nanostructures: nanotopography matters in cell interactions

9:55 ~ 10:25 Anca Mazare<sup>1</sup>, Patrik Schmuki<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany, <sup>2</sup>Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Olomouc, Czech Republic)

19:25 ~ 19:50 Nanothick thin film transistors for gas and UV sensing

10:25 ~ 10:50 Fumihiko Hirose

(Yamagata University, Yonezawa, Japan)

19:50 ~ 20:10 Coulomb-blockade-based nonlinear signal conversion in gold-nanoparticle random arrays

10:50 ~ 11:10

Yoshinao Mizugaki, Kenta Fujikura, Hiroshi Shimada

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

## 5. 研究成果（令和5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・システム（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）  
Nano-Integration Devices and Systems  
(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・システム (佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明)**  
**Nano-Integration Devices and Systems**  
**(S. Sato, M. Sakuraba, and H. Yamamoto)**

1. 脳型計算ハードウェアに関する研究

Brain computing hardware

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

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

2. 脳型計算用量子知能デバイスに関する研究

Intelligent quantum device for brain computing

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

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

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

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

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

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

4. IV族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスに関する研究

Large-scale integration process of group IV semiconductor quantum heterostructures

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

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

5. 微細加工表面を用いた培養神経回路の機能制御に関する研究

Bioengineering technologies for manipulating neuronal network functions

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

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

6. 神経細胞ネットワークの数理モデルに関する研究

Computational modeling of neuronal networks

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

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

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

#### 【査読付論文】

1. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **120**, e2217008120 (2023). DOI: 10.1073/pnas.2217008120
2. H. Yamamoto, F.P. Spitzner, T. Takemuro, V. Buendía, H. Murota, C. Morante, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, A. Levina, V. Priesemann, M.A. Muñoz, J. Zierenberg, J. Soriano, “Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks”, *Sci. Adv.*, **9**, eade1755 (2023). DOI: 10.1126/sciadv.ade1755
3. K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, T. Yamashita, S. Sato, “Numerical Study on Physical Reservoir Computing with Josephson Junctions”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **34**, 1700204 (2024). DOI: 10.1109/TASC.2024.3350576
4. M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons”, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **695**, 149379 (2024). DOI: 10.1016/j.bbrc.2023.149379

#### 【国際会議発表】

1. H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “In vitro neuroengineering technologies for reconstituting and decoding neuronal network dynamics”, Tohoku NeuroTech Symposium (TNS) 2023, Tohoku University, Sendai, Japan, July 31, 2023.
2. H. Nagasawa, Y. Cho, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, Y. Sato, S. Sato, “SNDM study of MOS interface state densities on 3C-SiC and 4H-SiC stacked structure”, International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM), Sorrento, Italy, September 17-22, 2023.
3. H. Yamamoto, T. Sumi, Y. Sato, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Bottom-up investigation of multicellular computing within biological neuronal networks”, 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2023), Catania, Italy, September 25-29, 2023.
4. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, “Analog Hardware Implementation of Spiking Neural Networks for Edge Computing”, 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2023), Catania, Italy, September 25-29, 2023.
5. S. Sato, S. Moriya, S. Ono, H. Yamamoto, “Analog CMOS implementation of neuromorphic hardware”, The 2023 International Meeting for Future Electron Devices, Kansai (IMFEDK 2023), Kyoto, Japan, November 16-17, 2023.
6. H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Optogenetic perturbation of engineered neuronal networks grown in vitro”, 16th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2023), Osaka Metropolitan University, Osaka, Japan, November 21, 2023.
7. Y. Cho, H. Nagasawa, M. Sakuraba, S. Sato, “SNDM Study on Cubic and Hexagonal Epitaxially Stacked SiC MOS Interfaces”, Symposium: CH01: Advanced Characterization Methods of Energy Material Applications, 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, USA, November 26-December 1, 2023.
8. H. Nagasawa, Y. Cho, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, Y. Sato, S. Sato, “SNDM study of MOS interface state densities on 3C-SiC and 4H-SiC stacked structure”, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, December 14-15, 2023.

9. S. Sato, S. Moriya, S. Ono, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “CMOS spiking neural networks for edge computing”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
10. D. Noè, H. Yamamoto, S. Sato, “Parameter analysis for biologically plausible learning algorithms for recurrent SNNs: impact of dynamical and anatomical network properties”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
11. W. Yu, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, “Simplified hierarchical reservoir computing model for multi-step ahead time series prediction”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
12. S. Moriya, Y. Iida, H. Yamamoto, S. Sato, “Analog circuit design of multiplicative spike-timing-dependent plasticity in 65-nm CMOS”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
13. S. Ono, S. Moriya, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, Y. Horio, S. Sato, “Reservoir computing system with ultra-low power analog CMOS spiking neural network LSIs”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
14. N. Monma, H. Yamamoto, H. Murota, S. Moriya, N. Fujiwara, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Designing modular neuronal networks with directional connections to enhance dynamical complexity”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.
15. J. Madrenas, B. Vallejo-Mancero, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, “Mapping spiking neural applications on digital custom hardware for efficient real-time execution”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Tohoku Universtiy, Sendai, Japan, February 27-28, 2024.

## 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. 拡張カオスニューラルネットワークリザーバーの研究 Extended chaotic neural network reservoir

カオスニューロンモデルに含まれる内部状態と出力を自身にフィードバックする項 (不応性項) の取りうる範囲を拡張した、拡張カオスニューロンモデルを提案した。これにより、ニューロン自身に予測的なダイナミクスを導入することができた。この拡張カオスニューロンモデルを、カオスニューラルネットワークリザーバー(CNNR)中のリザーバー層のニューロンとして用いた拡張 CNNR(eCNNR)を提案した。さらに、eCNNR を設計するため、エコーステートプロパティの十分条件を導出した。この eCNNR を周期的ランダム時系列の閉ループ予測に適用した結果、予測性能が従来法と比べ 3 倍以上向上することを明らかにした。また、性能向上の原因が記憶容量の時間遅れに対する指数的減衰特性に起因することを発見した。次に、拡張カオスニューロンを出力層に用いた新しいリザーバーニューラルネットワークを提案した。これをカオス時系列の 1 ステップ予測に用いた結果、小規模なリザーバー層ネットワークで良い予測性能を持つことを明らかにした。これは、ハードウェアコストを大幅に改善できる画期的な成果である。

We proposed an extended chaotic neuron model that extends the range of refractriness terms in the chaotic neuron model that feed back internal states and outputs to itself. This allows us to introduce local predictive dynamics into the neuron itself. We also proposed an extended chaotic neural network reservoir (eCNNR) in which the extended chaotic neurons are used as reservoir neurons. In order to design the eCNNR, we derived sufficient conditions for the echo state property. Furthermore, we applied the eCNNR to closed-loop prediction of periodic random time series and found that the prediction performance is improved by a factor of three or more compared to the conventional method. We also found that the performance improvement is due to the exponential decay property of the memoery capacity with respect to the time delay. Next, we proposed a new reservoir neural network using the extended chaotic neurons in the output layer. We used it for one-step prediction of chaotic time series and found that a small reservoir layer network has good prediction performance. This is a breakthrough achievement that can significantly improve hardware cost.

### 2. 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・記憶ネットワークモデルをイベント駆動スパイクングニューラルネットワーク学習回路システムとして実装するため、連続時間・連続値の微分・差分方程式として記述した。さらに、アナログ/デジタル混成回路によるプロトタイプを個別部品により実装し、提案回路の有効性を確認した。また、集積回路実装では各シナプス結合値を取り出して学習性能を評価することが困難であるため、観測可能なネットワークの出力から学習性能を評価する方法として、ハミング距離ヒストグラムとその階層的 2 次元マップ法を提案した。これらにより、集積回路設計時の回路パラメータの事前決定が可能となった。

We described the spatio-temporal context learning and memory network model as continuous-time, continuous-valued differential and difference equations to implement it as an event-driven spiking neural network learning circuit system. urthermore, a prototype of the proposed circuit was implemented using a mixed analog/digital circuit with individual components, and the effectiveness of the proposed circuit was confirmed. Because it is difficult to evaluate the learning performance by extracting each synaptic weight value in the integrated circuit

implementation, we proposed the Hamming distance histogram and its hierarchical 2-D map method to evaluate the learning performance from the observable network outputs. These methods enable us to pre-determine circuit parameters when designing integrated circuits.

#### 【査読付論文】

1. T. Orima, T. Tsuji, and Y. Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," *Procedia Computer Science*, vol. 222, pp. 478-487, August 31, 2023. DOI: 10.1016/j.procs.2023.08.186

#### 【国際会議発表】

1. T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji, and M. Furuya, "Analysis of hippocampal spatiotemporal contextual learning memory model for hardware implementation," in *Proc. 5th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware*, p. 22, Kita-Kyushu, Japan, March 1-2, 2024.
2. G. Ishii, Y. Horio, and T. Orima, "Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction in reservoir neural network consisting of neurons with local temporal history," in *Proc. The 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences*, BP-6 (3 pages), Beppu, Ohita, Japan, January 29-31, 2024. (Best Student Paper Award 受賞)
3. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Analog hardware implementation of spiking neural networks for edge computing," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 317-318, Catania, Italy, September 26-29, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B3L-32
4. T. Orima, T. Tsuji, Y. Horio, S. Moriya, and S. Sato, "Memory state evaluation of spatiotemporal contextual learning memory network based on output spike rate," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 378-381, Catania, Italy, September 26-29, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B4L-35
5. T. Tsuji, T. Orima, and Y. Horio, "Detailed evaluation of spatiotemporal learning rule based on Hamming distances among output vectors," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 415-418, Catania, Italy, September 26-29, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C1L-31
6. T. Orima, T. Tsuji, and Y. Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," in *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Special INNS Workshop: International Neural Network Society Workshop on Deep Learning Innovations and Applications*, paper no. 1570883985 (10 pages), Gold Coast, Queensland, Australia, June 18-23, 2023

## 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. H. Masuda, Y. Yamane, T. Seki, K. Raab, T. Dohi, R. Modak, K. Uchida, J. Ieda, M. Kläui, K. Takanashi, "Magnetization switching process by dual spin-orbit torque in interlayer exchange-coupled systems," *Applied Physics Letters* 122, 162402 (1)-(8) (2023). doi:10.1063/5.0140328
2. A-S. Koshikawa, J. Llandro, M. Ohzeki, S. Fukami, H. Ohno, and N. Leo, "Magnetic order in nanoscale gyroid networks," *Physical Review B* 108, 024414 (1)-(10) (2023). doi:10.1103/PhysRevB.108.024414
3. J.-Y. Yoon, P. Zhang, C.-T. Chou, Y. Takeuchi, T. Uchimura, J. T. Hou, J. Han, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and L. Liu, "Handedness anomaly in a non-collinear antiferromagnet under spin-orbit torque," *Nature Materials* 22, 1106–1113 (2023). doi:10.1038/s41563-023-01620-2
4. Y. Marui, M. Kawaguchi, S. Sumi, H. Awano, K. Nakamura, and M. Hayashi, "Spin and orbital Hall currents detected via current-induced magneto-optical Kerr effect in V and Pt" *Physical Review B* 108, 144436(1)-(11) (2023). doi:10.1103/PhysRevB.108.144436
5. B. Chen, M. Zeng, K. H. Khoo, D. Das, X. Fong, S. Fukami, S. Li, W. Zhao, S. S.P. Parkin, S.N. Piramanayagam, and S. T. Lim, "Spintronic devices for high-density memory and neuromorphic computing – A review," *Materials Today* 70, 193-217 (2023). doi:10.1016/j.mattod.2023.10.004
6. D. Abdelrahman, R. Iseli, M. Musya, B. Jinnai, S. Fukami, T. Yuasa, H. Sai, U. B. Wiesner, M. Saba, B. D. Wilts, U. Steiner, J. Llandro, and I. Gunkel, "Directed Self-Assembly of Diamond Networks in Triblock Terpolymer Films on Patterned Substrates," *ACS Applied Materials and Interfaces* 15, 57981–57991 (2023). doi:10.1021/acsami.3c10619
7. T. Shinoda, J. Igarashi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Pitch Scaling Prospect of Ultra-Small Magnetic Tunnel Junctions for High-Density STT-MRAM: Effects of Magnetostatic Interference from Neighboring Bits," *IEEE Electron Device Letters* 45, 184-187 (2023). doi:10.1109/LED.2023.3345743
8. J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, T. Shinoda, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Single-nanometer CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with high-retention and high-speed capabilities," *npj Spintronics* 2, 1(1)-(9) (2024). doi:10.1038/s44306-023-00003-2
9. M.J. Grzybowski, C. Autieri, J. Domagala, C. Krasucki, A. Kaleta, S. Kret, K. Gas, M. Sawicki, R. Bożek, J. Suffczyński, and W. Pacuski, "Wurtzite vs. rock-salt MnSe epitaxy: electronic and altermagnetic properties," *Nanoscale* 16, 6259–6267 (2024). doi:10.1039/D3NR04798A
10. N. S. Singh, K. Kobayashi, Q. Cao, K. Selcuk, T. Hu, S. Niazi, N. A. Aadit, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "CMOS plus stochastic nanomagnets enabling heterogeneous computers for probabilistic inference and learning," *Nature Communications* 15, 2685(1)-(9) (2024). doi:10.1038/s41467-024-46645-6

#### 【国際会議発表】

1. S. Fukami, "Probabilistic Computing with Spintronics," (invited) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, 2023/04/06.
2. S. Fukami, "Functional spintronics," (invited) Online Workshop for Joint Research between NTU and Tohoku University, Online, 2023/04/14.
3. S. Fukami, "Current-Induced Control of Noncollinear Antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn," (invited) International Conference on Superconductivity and Magnetism (icsm2023) , Fethiye-Oludeniz, Turkey / Online, 2023/05/04-2023/05/11.

4. M. Elyasi, T. Hioki, T. Makiuchi, S. Kanai, L. Sheng, K. Yamamoto, H. Kurebayashi, T. van der Sar, H. Yu, Y. Blanter, S. Fukami, E. Saitoh, G. Bauer, "Many-body magnonic open quantum systems," (invited) IEEE International Magnetism Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, 2023/05/15-2023/05/19.
5. J.-Y. Yoon, P. Zhang, C.-T. Chou, Y. Takeuchi, T. Uchimura, J. T. Hou, J. Han, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, L. Liu, "Unconventional octupole dynamics of a non-collinear antiferromagnet driven by spin-orbit torque," (invited) IEEE International Magnetism Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, 2023/05/15-2023/05/19.
6. S. Fukami, "Magnetic Tunnel Junction for Nonvolatile Memory and More," (invited) The 2023 Spintronics Workshop on LSI, Kyoto, Japan, 2023/06/12.
7. S. Fukami, "SOT-MRAM - Physics, Material/Device Engineering and Integration," (invited) SUMKEN Seminar, Online, 2023/06/16.
8. S. Fukami, "Noncollinear Antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn - Physics and Functionalities," (invited) International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2023), Singapore, 2023/06/26-2023/06/30.
9. S. Fukami, "Spintronic Probabilistic Computing," (invited) International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2023), Singapore, 2023/06/26-2023/06/30.
10. S. Fukami, "Physics and engineering of Stochastic Magnetic Tunnel Junction for Probabilistic Computing," (invited) Gordon Research Conference "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/09-2023/07/14.
11. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic computing," (invited) 13th Joint European Magnetic Symposia (JEMS2023), Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain, 2023/08/27-2023/09/01.
12. S. Fukami, "Probabilistic computing with spintronics," (plenary) IEEE Magnetism Society Singapore Chapter - The 13th Annual Symposium on Magnetism 2023, Nanyang Link, Singapore + Online, 2023/10/02-2023/10/03.
13. S. Fukami, "Stochastic magnetic tunnel junction for probabilistic computing," (invited) 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/10/05-2023/10/06.
14. S. Kanai, "Solid-state spin defect with oxides," (invited) 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/10/05-2023/10/06.
15. S. Fukami, "Current-induced dynamics in noncollinear antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn," (invited) SPICE Workshop - Terahertz spintronics: toward terahertz spin-based devices, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/10/10-2023/10/12.
16. S. Fukami, "Magnetic tunnel junction for nonvolatile memory and probabilistic computing," (invited) Spintec seminar - magnetoresistive sensors and magnetic tunnel junctions, CEA, Grenoble, France, 2023/10/13.
17. J. Han, J.-Y. Yoon, P. Zhang, C.-T. Chou, Y. Takeuchi, T. Uchimura, J. T. Hou, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and L. Liu, "Handedness anomaly in a non-collinear antiferromagnet under spin-orbit torque," (invited) 5th International Workshop on Spintronics Memory and Logic (SML), Beihang University, Beijing, China, 2023/10/18-2023/10/21.
18. J. Han, R. Cheng, L. Liu, H. Ohno, and S. Fukami, "Coherent Antiferromagnetic Spintronics," (invited) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
19. S. Fukami, "Stochastic dynamics of nanomagnet and its application to unconventional computing," (invited) 5th Polish – Japanese Workshop on Spintronics, Pałac Staszica, Nowy Świat 72, Warsaw, Poland, 2023/11/13-2023/11/14.
20. J.-Y. Yoon, P. Zhang, C.-T. Chou, Y. Takeuchi, T. Uchimura, J. T. Hou, J. Han, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and L. Liu, "Electrical control of noncollinear antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn thin film,"

- (invited) 5th Polish – Japanese Workshop on Spintronics, Pałac Staszica, Nowy Świat 72, Warsaw, Poland, 2023/11/13-2023/11/14.
21. S. Kanai, "Solid-state spin qubit in oxides," (invited) International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices, Sendai, Japan, 2023/11/16-2023/11/17.
  22. S. Kanai, "Probabilistic and quantum spin dynamics for unconventional electronics," (invited) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28.
  23. N. Singh, K. Kobayashi, Q. Cao, K. Selcuk, T. Hu, S. Niazi, N. A. Aadit, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "Heterogeneous probabilistic computers for Boltzmann inference and learning," (invited) 20th RIEC International Workshop on Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/30.
  24. S. Kanai, "Investigation of probabilistic and quantum spin dynamics for unconventional electronics," (invited) 20th RIEC International Workshop on Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/12/01.
  25. S. Kanai, "Probabilistic spin dynamics in nanomagnetic tunnel junctions for unconventional computing," (invited) GP-Spin/AIMR Mini Workshop on (Quantum) Magnonics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2024/02/05.
  26. J. Han, "Coherent antiferromagnetic spintronics: new opportunities for controlling the magnetic states of antiferromagnets," (invited) GP-Spin/AIMR Mini Workshop on (Quantum) Magnonics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2024/02/05.
  27. S. Fukami, "Electrical control of noncollinear antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn," (plenary) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
  28. S. Fukami, "Probabilistic spintronics - computing and device physics," (invited) Iwate Spintronics School, 2024 Winter, Iwate University and Amihari-onsen Kyukamura, Iwate, Japan, 2024/02/20-2024/02/22.
  29. S. Fukami, "Probabilistic computing with stochastic spintronics device," (plenary) ASPIRE 2024 HIROSHIMA, Hiroshima University, Hiroshima, Japan, 2024/03/05.
  30. R. R. Chowdhury, C. Patra, S. Duttagupta, S. Fukami, R. P. Singh, "Unconventional Emergent Hall Effect Phenomena and its Modification in a van der Waals Ferromagnet Fe<sub>3</sub>GeTe<sub>2</sub>," (poster) IEEE International Magnetism Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, 2023/05/15-2023/05/19.
  31. 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, "Exploring qubit materials with generalized scaling of electron spin coherence," (poster) International Workshop on the Quantum Spinoptics, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/06/13-2023/06/15.
  32. Yuichiro Abe, Shun Kanai, Manato Kawahara, Jun Ishihara, Yusuke Aoki, Makoto Kohda, Shunsuke Fukami, "Polarization dependence of optical properties of Ce doped SiO<sub>2</sub>," (poster) International Workshop on the Quantum Spinoptics, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/06/13-2023/06/15.
  33. Manato Kawahara, Yuichiro Abe, Shun Kanai, Jun Ishihara, Yusuke Aoki, Makoto Kohda, and Shunsuke Fukami, "Optical properties of Ce implanted MgO," (poster) International Workshop on the Quantum Spinoptics, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/06/13-2023/06/15.
  34. K.V. De Zoysa, S. DuttaGupta, B. Jinnai, H. Ohno, S. Fukami, "Memristive Spin-Orbit Torque Switching in Nanocomposite CoPtCrB," (poster) Gordon Research Seminar "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/08-2023/07/09.
  35. S. Chiba, Y. Takeuchi, K. Vihanga De Zoysa, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO deposited on different oxide materials," (poster) Gordon Research Seminar "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/08-2023/07/09.

36. T. Uchimura, J.-Y. Yoon, Y. Sato, Y. Takeuchi, S. Kanai, H. Ohno, and S. Fukami, "Domain imaging in non-collinear antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn thin film by magneto-optical Kerr effect," (poster) Gordon Research Seminar "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/08-2023/07/09.
37. K.V. De Zoysa, S. DuttaGupta, B. Jinnai, H. Ohno, S. Fukami, "Memristive Spin-Orbit Torque Switching in Nanocomposite CoPtCrB," (poster) Gordon Research Conference "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/09-2023/07/14.
38. S. Chiba, Y. Takeuchi, K. Vihanga De Zoysa, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO deposited on different oxide materials," (poster) Gordon Research Conference "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/09-2023/07/14.
39. T. Uchimura, J.-Y. Yoon, Y. Sato, Y. Takeuchi, S. Kanai, H. Ohno, and S. Fukami, "Domain imaging in non-collinear antiferromagnetic Mn<sub>3</sub>Sn thin film by magneto-optical Kerr effect," (poster) Gordon Research Conference "Spin Dynamics in Nanostructures", Les Diablerets, VD, Switzerland, 2023/07/09-2023/07/14.
40. H. Kaneko, R. Ota, K. Kobayashi, S. Kanai, H. Ohno, and S. Fukami, "Relaxation Time of Superparamagnetic Tunnel Junction at Various Temperatures," (poster) 13th Joint European Magnetic Symposia (JEMS2023), Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain, 2023/08/27-2023/09/01.
41. K. Gas, S. Wakabayashi, T. Uchimura, J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. Kanai, S. Fukami, H. Ohno, M. Sawicki, "Experimental Methods of Quantifying Magnetism of Thin Antiferromagnetic Layers Deposited on MgO Substrates," (poster) 13th Joint European Magnetic Symposia (JEMS2023), Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain, 2023/08/27-2023/09/01.
42. K. Gas, K.P. Kluczyk, P. Skupiński, M.J. Grzybowski, T. Faş, J. Suffczyński, M. Baj, J.Z. Domagala, W. Wołkanowicz, E. Łusakowska, K. Graszka, A. Mycielski, M.A. Borysiewicz, K. Wyborny, U. Zülicke, R. Winkler, M. Sawicki, M. Gryglas-Borysiewicz, "Experimental Methods of Quantifying Magnetism of Thin Antiferromagnetic Layers Deposited on MgO Substrates," (oral) 13th Joint European Magnetic Symposia (JEMS2023), Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain, 2023/08/27-2023/09/01.
43. M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, J. Ishihara, M. Kohda, S. Kanai, and S. Fukami, "Circularly polarized photoluminescence spectroscopy of solid-states spin defects in oxides," (poster) 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/10/05-2023/10/06.
44. S. Chiba, Y. Takeuchi, K. Vihanga De Zoysa, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO deposited on different oxide materials," (poster) 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/10/05-2023/10/06.
45. S. Kanai, M. Elyasi, G. E. W. Bauer, H. Ohno, and S. Fukami, "Validation of the Néel-Arrhenius law in nanomagnetic tunnel junctions," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
46. H. Kaneko, R. Ota, K. Kobayashi, S. Kanai, M. Elyasi, G. E. W. Bauer, H. Ohno, and S. Fukami, "Switching Attempt Times of Superparamagnetic Tunnel Junctions as a Function of Diameter and Temperature," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
47. S. Chiba, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Orbital torque in Cr/CoFeB/MgO stack compatible with SOT-MRAM application," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
48. R. Ota, K. Kobayashi, K. Hayakawa, S. Kanai, K.Y. Camsari, H. Ohno, and S. Fukami, "Bias voltage robustness in double-free-layer stochastic magnetic tunnel junction," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
49. S. Wakabayashi, J.-Y. Yoon, K. Gas, Y. Takeuchi, Y. Yamane, T. Uchimura, Y. Sato, K. Kishi, S. Kanai, M. Sawicki, H. Ohno, and S. Fukami, "Comprehensive study of crystalline structure,

- magnetic and magnetotransport properties of Mn<sub>3</sub>Sn thin films with various thicknesses," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
50. T. Uchimura, Y. Yamane, T. Dohi, J. Han, J.-Y. Yoon, Y. Sato, S. Wakabayashi, Y. Takeuchi, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in a non-collinear antiferromagnet/heavy metal heterostructure," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
  51. T. Shinoda, Y. Takeuchi, B. Jinnai, J. Igarashi, Y. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Thermal Stability Factor of L10-MnAl nanodot for STT-MRAM Applications," (oral) 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2023), Hyatt Regency Dallas, Dallas, TX, USA, 2023/10/30-2023/11/03.
  52. Y. Kurihara, Y. Marui, S. Chiba, Y. Takeuchi, S. Kanai, H. Ohno, and S. Fukami, "Spin-orbit torque generated by W-Ta alloys with various compositions," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  53. H. Kubota, Y. Sato, Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, T. Uchimura, S. Wakabayashi, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Dot size dependence of thermal stability factor in polycrystalline Mn<sub>3</sub>Sn," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  54. K. Takano, Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, S. Kanai, and S. Fukami, "Spin-dependent optical properties of Eu implanted SiO<sub>2</sub>," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  55. M. Kawahara, S. Kanai, Y. Abe, K. Takano, J. Ishihara, M. Kohda, and S. Fukami, "Polarization and magnetic-field dependent photoluminescence of (MgO)<sub>x</sub>(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>:Ce," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  56. H. Kaneko, R. Ota, K. Kobayashi, S. Kanai, M. Elyasi, G.E. W. Bauer, H. Ohno, and S. Fukami, "Temperature and diameter dependence of the stochastic switching of superparamagnetic tunnel junctions," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  57. K. Gas, S. Wakabayashi, T. Uchimura, J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. Kanai, M. Sawicki, H. Ohno, and S. Fukami, "Studies of magnetic properties of epitaxial thin films of noncollinear Weyl antiferromagnet Mn<sub>3</sub>Sn," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  58. S. Chiba, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Orbital torque in Cr/CoFeB/MgO stack compatible with SOT-MRAM application," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
  59. Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, S. Fukami, and S. Kanai, "Polarization-Dependent Optical Properties of Ce-Implanted Quartz," (oral) 2023 MRS Fall Meeting, Boston, U.S.A./Online, 2023/12/07.

60. S. Kanai, Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, and S. Fukami, "Optical Control of Spin in Amorphous SiO<sub>2</sub>:Ce<sup>3+</sup>," (oral) 2023 MRS Fall Meeting, Boston, U.S.A./Online, 2023/12/07.
61. N. S. Singh, S. Niazi, S. Chowdhury, K. Selcuk, H. Kaneko, K. Kobayashi, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, K. Camsari, "Hardware Demonstration of Feedforward Stochastic Neural Networks with Fast MTJ-based pbits," (oral) 69th Annual IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2023), San Francisco, CA, USA, 2023/12/09-2023/12/13.
62. Y. Marui, M. Kawaguchi, M. Hayashi, "The accuracy of the harmonic Hall measurements on spin orbit torques in W/CoFeB," (poster) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
63. A. Sud, T. Dohi, M. Cubukcu, K. V. De Zoysa, Y. Yamane, S. Kanai and S. Fukami, "Spin-pumping driven by non-linear harmonic generation," (poster) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
64. S. Chiba, Y. Marui, H. Ohno, and S. Fukami, "Spin-orbit and orbital torque in (W or Cr)/CoFeB/MgO stacks for SOT-MRAM application," (poster) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
65. K. Gas, S. Wakabayashi, T. Uchimura, J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. Kanai, M. Sawicki, H. Ohno, and S. Fukami, "Magnetic studies of epitaxial thin films of noncollinear Weyl antiferromagnet Mn<sub>3</sub>Sn," (poster) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
66. A. Kumar, T. Dohi, M. Zahedinejad, R. Khymyn, S. Kanai, S. Fukami and J. Åkerman, "Magnetic tunnel junction-based readout for spin Hall nano-oscillators," (oral) International Symposium on Quantum Electronics, Ito International Research Center, The University of Tokyo, Japan, 2024/02/13-2024/02/16.
67. A. Kumar, T. Dohi, M. Zahedinejad, R. Khymyn, S. Kanai, S. Fukami, and J. Åkerman, "Magnetic tunnel junction-based readout for spin Hall nano-oscillators," (oral) Iwate Spintronics School, 2024 Winter, Iwate University and Amihari-onsen Kyukamura, Iwate, Japan, 2024/02/20-2024/02/22.
68. T. Uchimura, J. Han, P. Tang, J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, Y. Yamane, S. Kanai, G. E. W. Bauer, H. Ohno, and S. Fukami, "Unconventional spin Hall magnetoresistance in a non-collinear antiferromagnet/heavy metal stack," (poster) Iwate Spintronics School, 2024 Winter, Iwate University and Amihari-onsen Kyukamura, Iwate, Japan, 2024/02/20-2024/02/22.
69. Y. Sato, Y. Takeuchi, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Size dependence of thermal stability factor in non-collinear antiferromagnet Mn<sub>3</sub>Sn nanodot," (poster) Iwate Spintronics School, 2024 Winter, Iwate University and Amihari-onsen Kyukamura, Iwate, Japan, 2024/02/20-2024/02/22.
70. M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, F. J. Heremans, J. Ishihara, E. Sullivan, C. Vorwerk, V. Somjit, C. P. Anderson, G. Wolfowicz, M. Kohda, S. Fukami, G. Galli, D. D. Awschalom, H. Ohno, and S. Kanai, "Spin-dependent optical properties of Ce-implanted MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>," (oral) APS March Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA, 2024/03/03-2024/03/08.

## 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. Nikolay Zenchenko, Denis Lavrukhin, Rinat Galiev, Alexander Yachmenev, Rustam Khabibullin, Yurii Goncharov, Irina Dolganova, Vladimir Kurlov, Taiichi Otsuji, Kirill Zaytsev, Dmitry Ponomarev, "Enhanced terahertz emission in a large-area photoconductive antenna through an array of tightly-packed sapphire fibers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 124, pp. 121107-1-5, March 2024. DOI: 10.1063/5.0194236
2. Victor Ryzhii, Chao Tang, Taiichi Otsuji, Maxim Ryzhii, and Michael S. Shur, "Terahertz plasmonic resonances in coplanar graphene nanoribbon structures," *J. Appl. Phys.*, vol. 135, pp. 114503-1-8, March 2024. DOI:10.1063/5.0202637
3. El Hadj Abidi, Atif Alam Khan, Juan Antonio Delgado-Notario, Vito Clericó, Jaime Calvo-Gallego, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Taiichi Otsuji, Jesus Enrique Velázquez Perez, Yahya Moubarak Meziani, "Terahertz detection by asymmetric dual grating gate bilayer graphene FETs with integrated bowtie antenna," *Nanomaterials*, vol. 14, no. 4, pp. 383-1-12, Feb. 2024. DOI: 10.3390/nano14040383
4. Akira Satou, Takumi Negoro, Kenichi Narita, Tomotaka Hosotani, Koichi Tamura, Chao Tang, Tsung-Tse Lin, Paul-Etienne Retaux, Yuma Takida, Hiroaki Minamide, Tetsuya Suemitsu, and Taiichi Otsuji, "Gate-readout and a 3D rectification effect for giant responsivity enhancement of asymmetric dual-grating-gate plasmonic terahertz detectors," *Nanophotonics*, vol. 12, no. 23, pp. 4283-4295, Nov. 2023. DOI: 10.1515/nanoph-2023-0256
5. Ke Liu, Hirohito Yamada, Katsumi Iwatsuki, and Taiichi Otsuji, "Experimental verification and simulation analysis of a battery directly connected DC-microgrid system," *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, vol. 12, No. 5, pp. 326-333, Sept. 2023. DOI: 10.18178/ijeetc.12.5.326-333

6. M. Ryzhii, V. Ryzhii, M.S. Shur, V. Mitin, C. Tang, and T. Otsuji, "Terahertz bolometric detectors based on graphene field-effect transistors with the composite h-BN/black-P/h-BN gate layers using plasmonic resonances," *J. Appl. Phys.*, vol. 134, pp. 084501-1-9, Aug. 2023. DOI: 10.1063/5.0160899
7. V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, S.G. Kalenkov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Micromechanical field-effect transistor terahertz detectors with optical interferometric readout," *AIP Advances*, vol. 13, pp. 085301-1-7, Aug. 2023. DOI: 10.1063/5.0159610
8. "V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, ""Resonant plasmonic detection of terahertz radiation in field-effect transistors with the graphene channel and the black-AsP1-x gate layer,"" *Sci. Rep.*, vol. 13, pp. 9665-1-10, June 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-36802-0"
9. V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M. S. Shur, "Effect of electron thermal conductivity on resonant plasmonic detection in terahertz hot-electron bolometers based on metal/black-AsP/graphene FETs," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 19, pp. 064033-1-10, June 2023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.19.064033
10. Omnia Samy, Mohamed Belmoubarik, Taiichi Otsuji, and Amine El Moutaouakil, "A Voltage-Tuned Terahertz Absorber based on MoS2/Graphene Nanoribbon Structure," *Nanomaterials*, vol. 13, pp. 1716-1-14, May 2023. DOI: 10.3390/nano13111716
11. V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Hot-electron resonant terahertz bolometric detection in the graphene/black-AsP field-effect transistors with a floating gate," *J. Appl. Phys.*, vol. 133, pp. 174501-1-8, May 2023. DOI: 10.1063/5.0150711

#### 【国際会議発表】

1. T. Otsuji, "R&D for converged network based on resilient energy and information communication technology (R-EICT)," Tohoku University-ITRI-YRP R&D Workshop, ICL/ITRI Bldg. 51, Room 3A, Chutung, Hsinchu, Taiwan, March 19, 2024. (invited)
2. H. Kudo, H. Seki, S. Uchigasaki, K. Tamura, C. Tang, A. Satou, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji, "THz Detection based on a Novel 3D Rectification Effect in a Single Gate Graphene Transistor," TeraTech 2024: the 11th International Workshop on Terahertz Technology and Applications, Fraunhofer Center, Kaiserslautern, Germany, March 12-13, 2024.
3. S. Uchigasaki, K. Tamura, C. Tang, A. Satou, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji, "Photon-electron Double Mixing at 1 THz Range Implemented With a Graphene Field Effect Transistor," TeraTech 2024: the 11th International Workshop on Terahertz Technology and Applications, Fraunhofer Center, Kaiserslautern, Germany, March 12-13, 2024.
4. T. Otsuji, "Terahertz plasmonic sources and detectors using graphene-based van der Waals 2D heterostructures," Mat4QE: UK-JP Workshop on Materials for Quantum Electronics, Univ. of Manchester, Manchester, UK, Feb. 28-March 1, 2024. (invited)
5. T. Otsuji, "Graphene-based van der Waals 2D heterostructures for plasmonic terahertz device applications," NMDC: IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2023, Paestum, Italy, Oct. 22-25, 2023. (invited)
6. K. Narita, T. Negoro, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Introduction of Inverted-HEMT Structure in a Grating-Gate Plasmonic THz Detector for Drastic Improvement of the Pulse Response," IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023.
7. Koichi Tamura, Shinnosuke Uchigasaki, Hironobu Seki, Chao Tang, Daichi Ogiura, Kento Suwa, Hirokazu Fukidome, Yuma Takida, Hiroaki Minamide, Tetsuya Suemitsu, Taiichi Otsuji and Akira Satou, "Fast THz Detection by an Asymmetric-Dual-Grating-Gate Graphene-Channel FET Based on Plasmonic and Photothermoelectric Effects," IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023.

8. Taiichi Otsuji, Victor Ryzhii, Chao Tang, Maxim Ryzhii, Vladimir Mitin, and Michael S. Shur, "Terahertz Hot-Electron Bolometric Detectors Based on Metal/Black-AsP/Graphene FETs: Proposal and Evaluation," IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023.
9. Samy, O., Otsuji, T., Moutaouakil, A.E., "Near-Perfect THz Absorber with Wide Range Tunability," IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023. DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10298957
10. T.-T. Lin, D. Nakajima, K. Nishimura, M. Watanabe, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Utilizing high-intensity optical subcarrier signal for conversion gain enhancement of a UTC-PD-integrated HEMT photonic double-mixer," IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023. (keynote, invited) DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299383
11. R. Kohama, K. Yonekubo, H. Sugino, K. Suwa, K. Sugawara, C. Tang, T. Otsuji, and H. Fukidome, "Heteroepitaxy of graphene on h-BN using SiC as a substrate," TeraTech 2023: the 10 International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technology Tech. Dig., vol. 1, pp. 104-105, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sept. 4-8, 2023.
12. H. Seki, C. Tang, K. Tamura, S. Uchigasaki, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, A. Satou, and T. Otsuji, "Room temperature fast THz detection based on plasmonic rectification in an asymmetric periodic gated graphene field effect transistor," TeraTech 2023: the 10 International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technology Tech. Dig., vol. 1, pp. 122-123, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sept. 4-8, 2023.
13. M. Watanabe, D. Nakajima, T.-T. Lin, K. Nishimura, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT: Optimization of UTC-PD Mesa Shape and Size," TeraTech 2023: the 10 International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technology Tech. Dig., vol. 1, pp. 12-13, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sept. 4-8, 2023.
14. K. Narita, T. Negoro, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Highly sensitive and fast grating-gate plasmonic THz detector based on an inverted-HEMT structure," TeraTech 2023: the 10 International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technology Tech. Dig., vol. 1, pp. 130-131, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sept. 4-8, 2024.
15. R. Kojima, T. Otsuji, and A. Satou, "Introduction of a Guided-Mode-Resonance Structure in the Uni-Travelling-Carrier Photodiode for Enhancement of Photoabsorption Efficiency," TeraTech 2023: the 10 International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technology Tech. Dig., vol. 1, pp. 132-133, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sept. 4-8, 2023.
16. T. Otsuji, "Two-dimensional plasmonic terahertz devices using graphene-based 2D materials," IEEE-EDS Distinguished Lecturers Mini-Coloquium collocated with TeraTech 2023 Tech. Dig., vol. 1, pp. 34-35, Aizuwakamatsu, Fukushima, Japan, Sep. 6, 2023. [invited]
17. T. Otsuji, "Recent advances in the research of graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors," SPIE Optics+Photonics, Conference on Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XIV (OP412), Paper 16283-39, San Diego, CA, USA, Aug. 20-24, 2023. (invited)
18. A. Satou, "Photonic double-mixing by UTC-PD-integrated HEMT for optical-to-sub-THz/THz carrier frequency down-conversion," SPIE Optics+Photonics, Conference on Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XIV (OP412), Paper 12683-34, San Diego, CA, USA, Aug. 20-24, 2023. (invited)
19. K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Fast and sensitive THz detection by an asymmetric-dual-grating-gate epitaxial-graphene-channel FET based on plasmonic and photothermoelectric rectification effects," SPIE Optics+Photonics, Conference on Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XIV (OP412), Paper 12683-41, San Diego, CA, USA, Aug. 20-24, 2023. (invited)

20. A. Satou, K. Narita, T. Negoro, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Grating-Gate Plasmonic THz Detector Based on InGaAs-Channel Inverted-HEMT," URSI GASS: the 35th Union Radio-Scientifique Internationale General Assembly and Scientific Symposium, D04: Microwave/millimeter-wave/THz and photonic systems for Beyond 5G/6G communications (Isao Morohashi, Hwang-Seok Chung), Paper REC-D04-02, Sapporo Convention Center, Sapporo, Hokkaido, Japan, Aug. 19-26, 2023.
21. T. Otsuji, S. Boubanga-Tombet, C. Tang, A. Satou, V. Ryzhii, W. Knap, D. Yadav, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene-based 2D Plasmonic Metamaterials for Terahertz Laser Transistors," META: the 13th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics Proc. [Symposium II: New trends in nanophotonics and advanced materials], pp. 299-300, Paris, France, July 18-21, 2023. (invited)
22. T. Otsuji, "Physics of graphene Dirac plasmons and their terahertz device applications," AWAD: the 30th Asia-Pacific Workshop on Advanced Semiconductor Devices Dig., pp. 27-28, Tokyo Tech, Yokohama, Japan, July 10-11, 2023. (invited)
23. O. Samy, T. Otsuji, and A. Moutaouakil, "Terahertz Absorptance in MoS<sub>2</sub>/Graphene Nanoribbon Heterostructures," PIERS: the 44th Photonics & Electromagnetics Research Symposium 2023, Prague, Czech, July 3-6, 2023.
24. T. Otsuji, "Graphene-based van der Waals 2D heterostructures for plasmonic terahertz laser transistors and detectors," QUEST: International Conference on Quantum Engineered Sensing and Information Technology, Paris, France, June 27-30, 2023. (invited)
25. T. Otsuji, "Graphene-based van der Waals 2D heterostructure materials and devices for terahertz wireless communications," AES 2023: the 9th International Conference on Antennas and Electromagnetic Systems will be held in the fascinating Spanish Costa del Sol, in the city of Torremolinos, Spain, June 5-8, 2023. (invited, keynote)
26. K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Fast and Sensitive THz Detection by an Asymmetric-Dual-Grating-Gate Epitaxial-Graphene-Channel FET Due to Plasmonic and Photothermoelectric Rectification Effects," CLEO: Conference on Lasers and Electro-Optics 2023, SF11.3, San Jose McEnery Convention Center, San Jose, CA, USA, May 7-12, 2023. DOI: 10.1364/CLEO\_SI.2023.SF11.3
27. T. Otsuji, "Graphene plasmonic terahertz laser transistors," 2023 Korea-Japan Workshop on Terahertz Science and Technology, International Science Innovation Bld., Kyoto Univ., Kyoto, Japan, April 3, 2023. (invited)

## 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. Y. Fujiwara, M. Shinozaki, K. Matsumura, K. Noro, R. Tataka, S. Sato, T. Kumasaka, and T. Otsuka “Wide dynamic range charge sensor operation by high-speed feedback control of radio-frequency reflectometry”, *Applied Physics Letters* 123, 213502 (2023), DOI: 10.1063/5.0167212
2. K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka, S. Z. Bisri, and Y. Iwasa, “Single PbS colloidal quantum dot transistors”, *Nature Communications* 14, 7486 (2023), DOI: 10.6084/m9.figshare.24311608
3. T. Johmen, M. Shinozaki, Y. Fujiwara, T. Aizawa, and T. Otsuka, “Radio-frequency reflectometry in bilayer graphene devices utilizing micro graphite back-gates”, *Physical Review Applied* 20, 014035 (2023), DOI: 10.1103/PhysRevApplied.20.014035
4. K. Matsumura\*, T. Abe\*, T. Kitada, T. Kumasaka, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, (\*equal contribution). Channel length dependence of the formation of quantum dots in GaN/AlGaN FETs”, *Applied Physics Express* 16, 075003 (2023), DOI: 10.35848/1882-0786/ace415

#### 【国際会議発表】

1. T. Otsuka, “Semiconductor Qubits and New Materials”, UK-Japan-Swiss Workshop ‘Materials for Quantum Electronics’, Manchester, Feb. 28, 2024 (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, “Improvement of Charge State Estimation in Quantum Dots by Machine Learning and Visualization of the Model by Grad-CAM”, The 5th International Symposium on AI and Electronics, Sendai, Feb. 20, 2024 (poster presentation).
3. M. Shinozaki, Y. Fujiwara, K. Matsumura, K. Noro, R. Tataka, S. Sato, T. Kumasaka, and T. Otsuka, “Wide dynamic range charge sensing utilizing fast feedback control of radio-frequency reflectometry” Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Sendai, Nov. 28, 2023 (poster).

4. Y. Muto, T. Nakaso, T. Aizawa, Mo. 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, “Improving the generalization performance of the machine learning model estimating charge states in quantum dots”, Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Sendai, Nov. 28, 2023 (poster).
5. K. Matsumura, T. Abe, T. Kitada, T. Kumasaka, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, “Transport Property of a Few Quantum Dots Formed in Short Channel GaN FETs”, Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Sendai, Nov. 28, 2023 (poster).
6. T. Kato, M. Seo, T. Kitada, T. Otsuka, and T. Kato, “Controllable fabrication of graphene nanoribbon-based quantum dot devices”, Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Sendai, Nov. 28, 2023 (poster).
7. T. Johmen, M. Shinozaki, Y. Fujiwara, T. Aizawa, and T. Otsuka, “High-frequency measurement in graphene nanostructures for quantum devices”, Workshop on Quantum and Classical Cryogenic Devices, Circuits, and Systems, Superconducting SFQ VLSI Workshop, and International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices, Sendai, Nov. 17, 2023 (Oral).
8. 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, “Automatic state recognition of quantum dot hardware utilizing machine learning”, International Conference on Machine Learning Physics, Kyoto, Nov. 15, 2023 (poster).
9. T. Johmen, . Shinozaki, Y. Fujiwara, R. Tataka, T. Aizawa, T. Kumasaka, and T. Otsuka, “Radio-frequency reflectometry measurement in bilayer graphene microdevices”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Grenoble, Jul. 11, 2023 (poster).
10. 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, “Automatic charge state estimation in quantum dots by machine learning and visual explanation of the model with Grad-CAM”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Grenoble, Jul. 11, 2023 (poster).
11. K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka. S. Z. Bisri, and Y. Iwasa, “Gate-tunable carrier transport through single PbS colloidal quantum dots”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Grenoble, Jul. 11, 2023 (poster).
12. T. Otsuka, “Semiconductor spin qubits and new materials”, Workshop: Emerging Platforms for Quantum Computing, Sendai, Apr. 11, 2023 (invited).

**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. K. Hiramoto, K. Komatsu, R. Shikuwa, A. Konno, Y. Sato, A. Hirano-Iwata, K. Ino, H. Shiku, “Evaluation of respiratory and secretory activities of multicellular spheroids via electrochemiluminescence imaging”, *Electrochim. Acta*, **458**, 142507 (2023). DOI: 10.1016/j.electacta.2023.142507
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”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **120**, e2217008120 (2023). DOI: 10.1073/pnas.2217008120
3. H. Yamamoto, F.P. Spitzner, T. Takemuro, V. Buendía, H. Murota, C. Morante, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, A. Levina, V. Priesemann, M.A. Muñoz, J. Zierenberg, J. Soriano, “Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks”, *Sci. Adv.*, **9**, eade1755 (2023). DOI: 10.1126/sciadv.ade1755
4. M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, K. Suzuki, Y. Tozawa, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, “Model-free idealization: Adaptive integrated approach for idealization of ion-channel currents”, *Biophys. J.*, **122**, 3959–3975 (2023). DOI: 10.1016/j.bpj.2023.08.019
5. M. Niwano, T. Ma, K. Iwata, D. Tadaki, H. Yamamoto, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, “Two-dimensional water-molecule-cluster layers at nanobubble interfaces”, *J. Colloid Interface Sci.*, **652**, 1175–1183 (2023). DOI: 10.1016/j.jcis.2023.08.173
6. M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons”, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **695**, 149379 (2024). DOI: 10.1016/j.bbrc.2023.149379

## 【国際会議発表】

1. H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “In vitro neuroengineering technologies for reconstituting and decoding neuronal network dynamics”, Tohoku NeuroTech Symposium (TNS) 2023, Tohoku University, Sendai, Japan, July 31, 2023.
2. H. Kageyama, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, A. Hirano-Iwata, “Construction of a novel evaluation system for specific capacitance of artificial bilayer lipid membranes”, ACS Fall 2023, Online / San Francisco, U.S.A., August 14, 2023.
3. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Physical reservoir computing using dynamics of biological neuronal network with modular structure”, 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2023), Waseda University, Tokyo, Japan, August 24, 2023.
4. K. Hiramoto, K. Ino, A. Hirano-Iwata, and H. Shiku, “Developing electrochemiluminescence imaging method for the study of supported lipid bilayers”, International Society of Electrochemistry 74th Annual Meeting, Lyon, France, September 5, 2023.
5. H. Yamamoto, T. Sumi, Y. Sato, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Bottom-up investigation of multicellular computing within biological neuronal networks”, 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2023), Online / Catania, Italy, September 28, 2023.
6. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Modular topology enhances reservoir computing performance in biological neuronal networks”, 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2023), Online / Catania, Italy, September 29, 2023.
7. A. Hirano-Iwata, “New tools for the functional analysis of membrane proteins based on lipid bilayer systems”, MNC 2023, Keio Plaza Hotel Sapporo, Sapporo, Japan, November 16, 2023.
8. K. Hiramoto, “On the use of Electrochemiluminescence Microscopy: keys to visualizing biological phenomena”, International Virtual Nanopore Weekly Meeting, Online, November 20, 2023.
9. M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Enhanced modulation of spontaneous neural activity by interleukin-6 in micropatterned neuronal networks”, 16th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2023), Osaka Metropolitan University, Osaka, Japan, November 20, 2023.
10. H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Optogenetic perturbation of engineered neuronal networks grown in vitro”, 16th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2023), Osaka Metropolitan University, Osaka, Japan, November 21, 2023.
11. N. Monma, H. Yamamoto, H. Murota, S. Moriya, N. Fujiwara, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Designing modular neuronal networks with directional connections to enhance dynamical complexity”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Online / Tohoku University, Sendai, Japan, February 27, 2024.
12. H. Murota, H. Yamamoto, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Modulation of neuronal ensembles by optogenetic stimulation in biological neuronal networks”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Online / Tohoku University, Sendai, Japan, February 27, 2024.
13. D. Ando, T. Teshima, F. Zurita, H. Peng, K. Ogura, K. Kondo, L. Weiß, A. Hirano-Iwata, M. Bechrer, J. Alexander, B. Wolfrum, “Chitosan nanofibers as a substrate for neural stimulation”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Online / Tohoku University, Sendai, Japan, February 27, 2024.
14. T. Sumi, A. M. Houben, A.-C. Hüb, H. Yamamoto, H. Kato, Y. Katori, H. Chiba, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, “Recovery of neuronal activity in culture and numerical models through functional connectivity reorganization”, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC 2024), Online / Tohoku University, Sendai, Japan, February 27, 2024.

15. A. Hirano-Iwata, M. Sato, T. Ma, M. Komiya, D. Tadaki, H. Yamamoto, “Lipid bilayers as nm-thick platforms for signal transduction”, 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-14), Online, March 6, 2024.

## 6. 参考資料

*Miscellaneous*

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

6-2 施設の利用状況（令和5年度）  
*Statistics*

6-3 ナノ・スピニング研究会  
*Nano-Spin Seminar Series*

## 6-1 施設の代表的装置の概要

### Facilities and Equipment

#### a-1) ナノ・スピネ電子ビーム・リソグラフィ関連

##### □ 電子ビーム描画装置

日本電子 JBX-8100FS

- 用途 ナノスケールのパターン描画
- 性能 加速電圧：100 kV  
フィールド接合精度：±20nm  
重ね合わせ精度：±20nm  
最小線幅：12 nm(スポットビームタイプ 最小ビーム径 2nm)  
ウェハサイズ：5 mm 角～8inch φ

##### □ ナノ・スピネ電子描画システム

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

##### □ スピネ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 DWL66+

- 用途 ウェハへの直接描画、フォトマスク作製
- 性能 最小描画線幅：HiRes Mode:300nmL&S, Mode II:800nmL&S  
重ね合わせ描画精度:500nm  
ウェハサイズ：5mm□～8 インチ φ  
マスクサイズ：2.5～6 インチ角

##### □ スピネ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

##### □ 電界放出形走査電子顕微鏡

日立 SU8600

- 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：0.6 nm  
1kV リターディングモード：0.7 nm  
倍率：×20～2,000,000  
加速電圧：0.5～30 kV  
検出器：Upper 検出器(ExB フィルター：SE/BSE 信号可変方式)、Lower 検出器、Top 検出器、半導体型反射電子検出器  
試料搭載サイズ：最大 φ150mm

□ 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,SiO<sub>2</sub>  
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

□ 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  $10^{-13} \sim 2 \times 10^{-9}$  A

□ 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  
紫外線露光照度：25 mW/cm<sup>2</sup>  
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)

□ 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：8 mV 4 fA
    - ・最大電圧・電流：200 V 100 mA
    - ・カーブトレーサモード可
- **高機能マイクロカー測定装置** ネオアーク
- 用途 約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 650 nm
    - レーザースポットサイズ：約2 μmφ
    - 最大印加磁場：1.0 T
    - 温度：1.5 K～400 K(室温以下は液体He 使用)
    - ステージ空間分解能 1 μm
- **多機能薄膜材料評価 X線回折装置(2次元検出器付 XRD)** Bruker
- 用途 強力X線源と2次元検出器を用いた高速なX線回折測定
  - 性能
    - X線源：Cu
    - 検出器：シンチレーション検出器、2次元検出器
    - 試料ステージ：5軸試料ステージ
- **接触段差計 (Dektak150)** アルバック
- 用途 試料方面に形成された段差、上面形状、表面粗さなどの評価
  - 性能
    - 試料サイズ：15 mmφ以下
    - 高さ方向分解能：0.1 nm (@6.55 μm range)
- **マイクロプローブ式低温ホール効果測定装置** 理工貿易
- 用途 半導体材料・ヘテロ構造におけるキャリア移動度・キャリア密度の評価
  - 性能
    - 測定方法：Van der Pauw 法
    - ステージ温度範囲：20 K～400 K
    - 最大印加磁界強度：0.4 T

### a-3) シリコンプロセス装置関係

#### □ ナノヘテロ界面処理加工システム

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

#### □ ナノヘテロ分析システム

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

#### □ Si 系 RIE

- 用途 シリコン加工用ドライエッチング装置（アネルバ EMR510 特）  
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングを行う。  
SiO<sub>2</sub>加工用ドライエッチング装置（アネルバ DEM-451 特）  
Si 基板上の Si および SiO<sub>2</sub> のエッチングを行う。  
メタル加工用ドライエッチング装置（アネルバ L-451DA-L）  
Si 基板上の金属のエッチングを行う。
- 性能 シリコン加工用ドライエッチング装置  
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングが可能（ECR 型）。最大 6 インチウエハ。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： Cl<sub>2</sub>、SiCl<sub>4</sub>、BCl<sub>3</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar  
SiO<sub>2</sub>加工用ドライエッチング装置  
Si および Si 基板上の SiO<sub>2</sub> のエッチングが可能（RF 励起平行平板型）。  
導入ガス： CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar  
メタル加工用ドライエッチング装置  
Si 基板上の金属のエッチングが可能（RF 励起平行平板型）。  
エッチング室用ガス： N<sub>2</sub>、Ar、H<sub>2</sub>、BCl<sub>3</sub>、SiCl<sub>4</sub>、Cl<sub>2</sub>、CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>  
アッシング室用ガス： O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>

#### □ 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 $\alpha$ ）  
最少分析領域 150  $\mu$ m  
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 $\alpha$ ）  
スペクトルモード：最少分析領域 15  $\mu$ m  
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  $\mu$ m

□ 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。

□ ワイドレンジナノ形状測定システム

島津製作所 FT-3500

- 用途 表面ナノ形状測定用
- 性能 レーザー顕微鏡部  
408 nm 紫外半導体レーザスキャン方式  
最大光学ズーム倍率 6 倍  
観察視野 21~560 μm 最高ピクセル分解能 21 nm  
プローブ顕微鏡部  
AFM (コンタクト、ダイナミック、位相) モード  
表面電位モード  
電流モード  
磁気力モード  
最大走査範囲 (水) 30 μm × 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 : φ200 ミリ内 ±5% 以内  
到達真空度 :  $3 \times 10^{-6}$  Pa (スパッタ室)

□ アナライザ

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 : 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  
紫外線露光強度 : 80 mW/cm<sup>2</sup>  
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  $\phi 4''$ カソード×3基  
最大搬送基板サイズ： $\phi 4''$   
基板加熱：MAX350℃  
到達真空度： $3 \times 10^{-6}$  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、SiO<sub>2</sub>、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 O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> 雰囲気中での熱処理が可能。  
ヒータ加熱方式 300℃～1050℃：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：33mm $\phi$ 、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：210mm  
ステージ可動範囲：180mm×150mm  
最大走査範囲：XY：80 $\mu$ m、Z：9 $\mu$ m  
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（ $\sigma$ ）：0.02 $\mu$ m）  
ミラウ型干渉による微細形状計測機能（測定精度（ $\sigma$ ）：0.0007 $\mu$ m）
- **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：375nm  
最少描画線幅：1 $\mu$ m  
最大描画範囲：50mm × 50mm

## 6-2 施設の利用状況(令和5年度)

### Statistics

令和5年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況

2024/3/31

	研究室名	利用責任者	取り纏め 研究室	登録者名	人数
常 駐 研 究 室	佐藤・ 櫻庭・山本研	櫻庭 政夫		佐藤茂雄教授 櫻庭准教授 山本准教授 (特任助教)守谷 (技術補佐員)渡辺 石川 (民間共同研究員)長澤 (D1)Davide Noe (M2)佐藤(勇)・小野・門間 (M1)函・沖・飯田・遠藤・YU WENKAI (B4)佐藤(盛)・酒井	18
	深見・金井研	金井 駿		深見教授 金井准教授 (助教)山根 Katarzyna Gas (研究員)小原・古平・柴田・丸井・Jiahao Han・野村・Yoon (博士研究員)Aurélien Lagarrigue (民間共同研究員)山田・小村・米村 (研究生)Tietgen (D3)de Zoysa Karunathilaka Vihanga (D2)内村 (D1)千葉・佐藤 (M2)若林・篠田・安部・大田・Sumith Varaganti (M1)久保田・河原・高野・栗原・金子 (B4)木野・望月・片岡・西條	34
	平野研	但木 大介		平野教授 (助教)但木・小宮・平本 (研究員)庭野・阿部 (技術補佐員)川田 (D3)住・佐藤(ま) (D2)佐藤(有) (D1)陰山・酒井原 (M2)野村・島田・室田・野本・安藤 (M1)渡邊・伊藤 (B4)高島・楯・辻口	22
	尾辻・佐藤研	佐藤 昭		尾辻教授 佐藤昭准教授 林特任准教授 (助教)唐 (D1)田村 (M2)成田・関・渡邊 (M1)内ヶ崎・堀内 (B4)永津・工藤・濱田	13
	堀尾研	堀尾 喜彦		堀尾教授 (特任助教)織間 (D2)菊地 (M2)石井・辻 (B4)古谷・佐野	7
	Åkerman研	土肥 昂亮		(助教)土肥	1
	共通部	小野 力摩		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ETA-評価部	丹野 健徳		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・佐藤(彰)・多田・佐藤(仁) (D1)武藤 (M2)上面・吉田・松村・田高・Ludvik Cigna (M1)瀬尾・野呂・馬場・Louis (B4)白地 (B3)八島	18
	吹留 准教授研	吹留 博一	佐藤研 尾辻研	吹留准教授 (研究員)佐々木 (M2)米窪 (M1)杉野 (B4)志賀 (東京大学)松田教授・山口	7
	石山・後藤研	後藤 太一	佐藤研	後藤准教授 (D3)吉原・高口 (D2)森 (D1)宮下 (M2)阿部	6
	大兼研(工)	大兼 幹彦	深見研	大兼教授 窪田特任准教授 張助教 中野助教 (研究員)杉山・牛田 (D3)北條 (M2)濱崎 (M1)流田	9
	好田研(工)	石原 淳	深見研	石原助教 (D1)小田川・丁 (M2)菊池・小山・北川 (M1)菅原・森・大坪 (B4)檜山・北上・赤木・古籟・加藤	14
	藤掛研(工)	中谷 誠和	平野研	中谷助教	1
	山田・松田研(工)	山田 博仁	共通部	山田教授 (D1)内山	2
	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
	末光研(NICHe)	末光 哲也	尾辻研	末光教授	1
	CSIS	LUSTIKOVA	共通部	Lustikova助教	1
	千葉研(SRIS)	野村 光	深見研	野村准教授 河野助教	2
	水上研 (AIMR)	水上 成美	深見研	水上教授 (派遣職員)今野 (D1)中村 (M2)鈴木	4
	廣畑研 (CSIS)	小泉 洗生	深見研	小泉助教	1
	森下研 (CSIS)	森下 弘樹	深見研	森下准教授 Luding Wang助教	2
	光物性物理研究室 (理学研究科)	松原 正和	共通部	松原准教授 (M2)小柳 (M1)竹谷 (B4)Cavanna Gabriele	4
	内野研 (東北工大)	内野 俊	尾辻研	内野教授 (M1)衛	2
	柴田研 (東北工大)	柴田 憲治	深見研	柴田教授	1
	素粒子実験(加速器)	中村 輝石	共通部	中村助教 (D2)秋山 (M1)浦野・矢野・駒場 (B4)小林	6
	中川研(多元)	新家 寛正	共通部	新家助教 (M1)高野	2
橋塚研(NICHe)	橋塚 知典	共通部	(学術研究員)橋塚	1	
西原研 (AIMR)	中辻 博貴	共通部	中辻助教 (D3)Liu (D1)Wang Peng (M2)佐山 (B4)湯澤	5	
企業		共通部		4	

合計

197



研究室持込み装置利用時間

令和5年3月1日から令和6年2月28日まで

装置名	実験装置利用時間																												小計																							
	スピン半導体成長装置 (GENII)	スピンメモリ用スパッタ装置 (MRAMスパッタ)	ナノスピン材料成長装置 (MBE FIB)	スピン材料微細加工装置 (ICP)	高機能合金積層薄膜形成用スパッタ装置	小型スパッタ	MBE #1、#2	5T磁場アニール炉	メタルスパッタ (1)	メタルスパッタ (2)	メタルスパッタ (3)	酸化物MBE	MBE #3 + 真空STM	3元スパッタ (廃棄検討)	ALD (アルミナ・ハフニウム)	汎用AFM	大型ステージAFM	赤外線ランプ加熱装置	高速デバイス加工用CVD装置	高速デバイス加工用RIE装置	高速デバイス電極蒸着装置	小型熱処理炉 (1FCRSi室)	小型ECRプラズマ処理装置	UVラマン分光システム	高感度ESCA	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)	マルチチャンネル	RFスパッタ装置	金属蒸着・マグネトロンスパッタ装置	Au-In蒸着	STM-MBE	XRD (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	レーザー共焦点顕微鏡 (Keyence)	ブラズマドライ洗浄装置												
装置分類(A,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	C	C	C	C	B	B	B	C	C	B	B											
佐藤・櫻庭・山本研																																										9	9									
深見・金井研					5,000			3,000									10	10	250																											8,270						
平野研																											162																		138	119	419					
尾辻・佐藤研															10					50	90	168																									358					
施設共通部																																																				
Akerman研																																																				
大塚研																																																				
(佐藤(茂))・吹留研																																																	291			
石山・後藤研																																																				
大兼研(工学研究科)		1,500																																															1,500			
好田研(工学研究科)																																																				
藤掛・石鍋研(工学研究科)																																																				
藤掛研(工学研究科)																																																				
山田・松田研(工学研究科)																																																				
松原研(理学研究科)																																																				
末光研(NICHe)																																																		3		
CIES																																																				
CSIS																																																				
千葉研(SRIS)																																																				
水上研(AIMR)																																																				
廣畑研(CSIS)																																																				
森下研(CSIS)																																																				
柴田研(東北工大)																																																				
ソフトマター・生物物理研 (理学部)																																																				
西原研究室(多元物質科学研究所)																																																				
中川研究室(多元物質科学研究所)																																																				
物理学専攻 素粒子実験(加速器)研究室(理学研究科)																																																				
橋田研究室(未来科学技術共同研究センター)																																																				
非平衡材料グループ(AIMR)																																																				
その他(企業)																																																				
計		1,500			5,000			3,000							10	10	10	250	55	159	168						162																					240	20	147	119	10,850



研究室持ち込み装置保守時間

令和5年3月1日から令和6年2月28日まで

装置名	スピ ン半 導体 成長 装置 (G E N II)	スピ ンメ モリ 用ス パツ タ装 置(M R A M スバ 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	5 T 磁場アニール炉	メタルスバツタ(1)	メタルスバツタ(2)	メタルスバツタ(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)	マルチチャンバー	R F スバツタ装置	金属蒸着・マグネトロンスバツタ装置	A u・I n 蒸着	S T M・M B E	X R D (室温+低温)	グラフエニ化反応炉一号機	グラフエニ化反応炉二号機	レーザー共焦点顕微鏡(Keyence)	ブラズマドライ洗浄装置	プロジェクト用・研究室持ち込み装置保守時間 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	C	C	B	B	B	B	C	C	B	B					
佐藤・櫻庭・山本研																																												
深見・金井研					150			100							2	1	1	2																									257	
平野研																									22				1	1														26
尾辻・佐藤研																			10	5	30																						45	
施設共通部																																												
Akerman研																																												
大塚研																																												
(佐藤(茂))・吹留研																																											25	
石山・後藤研																																												
大兼研(工学研究科)		100																																									100	
好田研(工学研究科)																																												
藤掛・石鍋研(工学研究科)																																												
藤掛研(工学研究科)																																												
山田・松田研(工学研究科)																																												
松原研(理学研究科)																																												
末光研(NICHe)																																												
CIES																																												
CSIS																																												
千葉研(SRIS)																																												
水上研(AIMR)																																												
廣畑研(CSIS)																																												
森下研(CSIS)																																												
柴田研(東北工大)																																												
ソフトマター・生物物理研(理学部)																																												
西原研究室(多元物質科学研究所)																																												
中川研究室(多元物質科学研究所)																																												
物理学専攻 素粒子実験(加速器)研究室(理学研究科)																																												
橋田研究室(未来科学技術共同研究センター)																																												
非平衡材料グループ(AIMR)																																												
その他(企業)																																												
計		100			150			100							2	1	1	2	10	5	30					22		1	1					2			1	20	5			453		

## 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5年度は、以下10回の研究会が実施された。

第124回令和5年5月22日 「Kick-off Meeting of the Akerman lab」

第125回令和5年5月24日 「Seminar by Prof. Maciej Sawicki」(ポーランド科学アカデミー Maciej Sawicki 教授)

第126回令和5年6月1日 「Workshop on Interdisciplinary Spin Physics」

第127回令和5年8月28日 「AIによる物体認識のための電圧可変赤外線/テラヘルツ波制御技術の新展開」(米国ニューヨーク州立大学バッファロー校 MITIN Vladimir 教授)

第128回 令和5年10月5日、ナノ・スピン実験施設研究発表会 「Quantum metric-induced nonlinear transport in a chiral topological antiferromagnet,」 Jiahao Han (深見・金井研、助教)、「常磁性金属におけるスピン輸送現象の光学および電気的な観測とデバイス応用」、丸井幸博(深見・金井研、研究員)、「グラフェンチャネルトランジスタのデバイスプロセス高度化とその高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究」、関宏信(尾辻・佐藤研、M2)、「プラズモニック・テラヘルツ電磁波検出素子の高性能化とその高速テラヘルツ無線通信への応用に関する研究」、成田健一(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周波動作化とその光-テラヘルツ周波数下方変換への応用に関する研究」、渡邊光貴(尾辻・佐藤研、M2)、「二層グラフェン微細構造における高周波反射測定手法の開発」、上面友也(大塚准教授研、M2)、「単原子長ゲートを有するトランジスタの開発 (I) 単原子長ゲート構造の試作」、杉野秀明(吹留准教授研、M1)、「単一イオンチャネル電流のための適応的自動解析システムの開発」、佐藤まどか(平野研、D3)、「人工神経細胞回路を用いた炎症性サイトカインによる神経活動変調効果の評価」、酒井原一守(平野研、D1)、「アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク回路を用いた超低消費電力リザバー計算システムの設計」小野哲史(佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「高キャリア移動度の実現に向けたSiC パワートランジスタ製作プロセスに関する研究」佐藤勇介(佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「マイクロ流体デバイスを用いた培養神経回路の指向性制御技術の開発」、門間信明(佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「2種類の不応性がカオスニューラルネットワークリザバーの時系列予測性能に与える影響」、石井豪(堀尾研、M2)、「出力ベクトル間ハミング距離による時空間学習則の詳細な評価」、辻孟(堀尾研、M2)」

第129回令和5年11月20日 「1st Seminar of Chicago – Tohoku Quantum Alliance」

第130回令和5年12月20日-22日 「テラヘルツ科学の最前線」

第131回令和5年12月21日-21日 「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」

第132回令和6年2月16日「プラズモニック光導電効果によるテラヘルツ電磁波放射に関する最近の研究動向について」(ロシア超高周波半導体電子工学研究所 PONOMAREV Dmitry 博士)、(ロシア超高周波半導体電子工学研究所 KHABIBULLIN Rustam 博士)

第 133 回 令和 6 年 3 月 5 日-6 日 「14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics」  
との併催