

Research Report No.14  
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics  
Research Institute of Electrical Communication  
Tohoku University

東北大電氣通信研究所附屬  
ナノ・スピニ実験施設  
**研究報告書 第14号**  
2019



ISSN 1881-3356

東北大学電気通信研究所  
附属ナノ・スピニ実験施設  
研究報告書 第14号

**Research Report No.14**  
**Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics**  
**Research Institute of Electrical Communication**  
**Tohoku University**

**2019**



# **Annual Research Report 2019**

## **Table of Contents**

1 .	Outline .....	1
2 .	Organization .....	2
3 .	Highlights of Research in FY2018 .....	3
4 .	Global Activities .....	9
4 – 1	COE of International Research Collaboration .....	9
4 – 2	International Symposium .....	10
5 .	Research Abstracts .....	13
5 – A	Nano Integration .....	13
5 – B	Spintronics and Information Technology .....	63
5 – C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices .....	153
6 .	Miscellaneous .....	239
6 – 1	Facilities and Equipments .....	241
6 – 2	Statistics .....	248
6 – 3	Nano-Spin Seminar Series .....	253
	Program of International Symposium .....	254

# 施設研究報告書 2019

## 目次

1. 施設の概要	1
2. 施設の組織	2
3. 平成 30 年度の研究成果のハイライト	3
4. 施設の活動	9
4-1 国際研究拠点形成	9
4-2 国際シンポジウム	10
5. 研究成果（平成 30 年度）	13
5-A ナノ集積基盤技術関連	13
5-B スピントロニクス基盤技術関連	63
5-C ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	153
6. 参考資料	239
6-1 施設のクリーンルームと装置の概要	241
6-2 施設の利用状況（平成 30 年度）	248
6-3 ナノ・スピニ工学研究会	253
国際シンポジウムプログラム	254

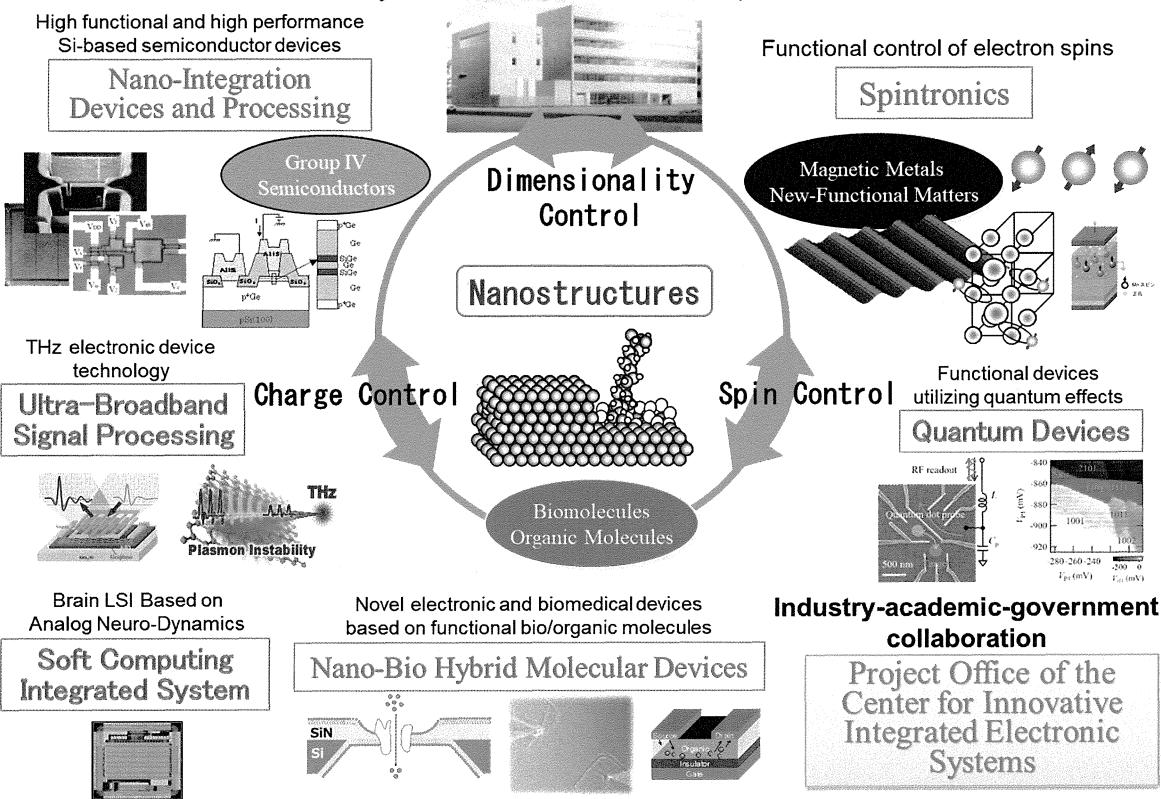
# 1. 施設の概要

## Outline

### ナノ・スピニ実験施設

#### Nanoelectronics and Spintronics for Information Technology

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics



「ナノ・スピニ実験施設」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・スピニ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・スピニ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・スピニ総合研究棟では、「ナノ・スピニ実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界の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・スピニ実験施設長  
教授 上原 洋一

## 2. 施設の組織

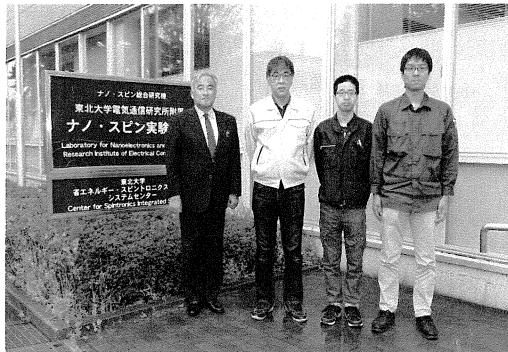
### *Organization*

#### 施設長

教授 上原 洋一 Professor Yoichi Uehara

#### 共通部

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 優正 Technical Staff Michimasa Musya



#### Director

#### 運営委員会

教授 上原 洋一 Professor Yoichi Uehara  
教授 佐藤 茂雄 Professor Shigeo Sato  
教授 平野 愛弓 Professor Ayumi Hirano-Iwata  
教授 尾辻 泰一 Professor Taiichi Otsuji  
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio  
教授 長 康雄 Professor Yasuo Cho  
教授 鷺尾 勝由 Professor Katsuyoshi Washio  
教授 遠藤 哲郎 Professor Tetsuro Endoh  
教授 羽生 貴弘 Professor Takahiro Hanyu  
教授 末松 憲治 Professor Kenji Suematsu

#### Steering Committee

#### 拡大実行委員会

教授 上原 洋一 Professor Yoichi Uehara  
教授 佐藤 茂雄 Professor Shigeo Sato  
教授 平野 愛弓 Professor Ayumi Hirano-Iwata  
教授 尾辻 泰一 Professor Taiichi Otsuji  
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio

#### Extended Executive Committee

### 3. 平成 30 年度の研究成果のハイライト

#### *Highlights of Research in FY2018*

施設研究部と利用研究室の平成 30 年度の研究成果のハイライトを記します。

##### ナノ集積基盤技術関連

###### *Nano Integration*

###### ● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫）

*Nano-Integration Devices and Processing (S. Sato and M. Sakuraba)*

- (1) 脳型計算の手法を模倣した断熱的量子計算用ハードウェアの開発を目的として、ジョセフソン接合により結合される超伝導電荷量子ビットネットワークを用いた実装方法を検証し、学習により連想記憶機能を獲得しうることを数値計算により明らかにした。
  - (2) 基板非加熱プラズマ CVD により形成した P ドープ及び B ドープ Si エピタキシャル薄膜中のキャリア濃度の深さ方向分布を調査した結果、表面に向かって徐々にキャリア濃度が増加する傾向があることを確認した。また、成長を中断して一定時間のプラズマ照射を行うことにより、高濃度領域での B 原子の電気的活性化率が 50% 超まで改善することが可能であることを見いだした。
  - (3) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、電源電圧 1V で動作するニューロン MOS アナログ回路の設計を行った。強反転領域で動作する MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるニューロン回路が  $20 \mu\text{W}$  程度の低消費電力で良好に動作することを SPICE シミュレーションにより確認した。
  - (4) 神経回路の構造や、興奮性結合と抑制性結合のバランスが時空間ダイナミクスに及ぼす影響を明らかにすべく、モジュール構造を有する神経回路網の活動を計算機シミュレーションから調べた。抑制性結合が 20% 程度含まれるモジュラーネットワークにおいて、ダイナミクスの複雑性が最大となることを定量的に明らかにした。
- (1) Toward the development of quantum adiabatic computation hardware inspired by brain computation, we studied implementation using superconducting charge qubits. We successfully confirmed by numerical simulations that associative memory function can be obtained by learning.
- (2) In the depth profiles of P-doped or B-doped Si epitaxial films grown by using low-energy ECR plasma CVD without substrate heating, gradual increasing tendency towards surface was observed. Additionally, improvement for electrical activation of B atoms in the heavily doped film up to above 50% has been demonstrated.
- (3) Toward the development of neuromorphic computation hardware, we designed a neuron MOS analog circuit that can reproduce various neuron pulses. We confirmed by SPICE simulations that the circuit, which is composed of about 40 MOS transistors and operates in the strong inversion region, operates successfully with only about  $20 \mu\text{W}$  power consumption.
- (4) To study influence of the structure of neuronal circuitry and the balance of excitatory and inhibitory connections on spatiotemporal dynamics, we investigated the activity of neuronal circuitry having a modular structure. It has been clarified quantitatively that dynamical complexity is maximized when the modular network contains about 20% inhibitory connections.

● 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) 新しい脳型コンピュータパラダイムである脳・身体総合体コンピューティングの構成要素の一つである参照自己システムに適用可能なカオスリザバーネットワークの性能・性質を、カオス時系列解析により評価した。

(2) 大規模なカオス最適化ハードウェアを実装するために必要な、スイッチト・カレントカオスニューロン集積回路のテストチップを、TSMC 65 nm CMOS プロセスより試作した。

(3) Spin-orbit torque デバイスにより STDP 学習スパイキングニューラルネットワークを構築するための基礎的な考察を行った。

(4) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用したポスト量子計算機ストリーム暗号を構築するため、拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器の高速なハードウェア実装についての検討を行った。

(1) We examined performance and characteristic of the chaotic reservoir network composed of chaotic neurons, which we proposed last year, through chaotic time-series predictions.

(2) For large-scale chaotic optimization hardware, we designed and fabricated a switched-current chaotic neural network integrated circuit chip with TSMC 65 nm CMOS processes.

(3) We conducted basic study on the spiking neural network hardware using spin-orbit torque neuron and STDP synaptic devices.

(4) We investigated fast hardware implementation of a random number generator based on the augmented Lorenz map for post quantum computer stream cryptography.

スピントロニクス基盤技術関連

*Spintronics and Information Technology*

● スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics (S. Fukami)

固体中の電子の спин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) CoFeB/MgO 積層膜において高次磁気異方性項によって出現するイージーコーン状態のコーン角への電界効果を強磁性共鳴で明らかにした。(2) 高抵抗率タンゲステンを有した W/CoFeB/MgO ヘテロ構造の電流誘起スピントルクをハーモニック法で測定しスピントルク生成効率の世界最高値を達成した。(3) CoFeB/MgO 積層膜の磁区周期に及ぼす電界効果をカーペンタミック法で調べ、磁区周期が非線形に変化すること、及びそれが交換スティフェス定数の変化と関連していることを明らかにした。(4) 人工神経回路網向けアナログスピントルク磁化反転素子の動作特性と信頼性を詳細に調べた。(5) MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO 積層構造の界面磁気異方性と熱安定性のキャップ層依存性を調べ、好適なキャップ層材料・構造を明らかにした。(6) 反強磁性 PtMn と非磁性 Pt または W からなる金属積層構造を用い、反強磁性金属の磁気抵抗効果を世界で初めて観測し、それが主にスピントルク磁化反転効果に由来していることを明らかにした。(7) 線幅 20 nm のスピントルク磁化反転素子の磁化反転特性と熱安定性を -50°C から 125°C の範囲で調べ、全温度領域で高い磁気異方性が得られ、かつ電流での磁化反転が可能であることを示した。(8) 面内磁化容易軸を有するスピントルク磁化反転素子のデバイス特性を高いスループットで評価できる素子構造と評価手法を

確立し、デバイス構造依存性などを評価した。(9) W/CoFeB/MgO（またはW/FeB/MgO）積層構造におけるジャロシ NS キー・守谷相互作用の CoFeB（または FeB）膜厚依存性を調べ、ジャロシ NS キー・守谷相互作用の大きさだけでなく符号までもが強磁性層膜厚によって変わることを明らかにした。

Our research activities focus on realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) Revealing electric field effect on the cone angle of easy-cone state that appears as a result of higher-order anisotropy term in CoFeB/MgO stacks by means of ferromagnetic resonance, (2) achievement of world's highest spin-orbit torque generation efficiency in high-resistivity-W/CoFeB/MgO using extended harmonic Hall technique, (3) finding a non-linear variation of domain period with electric-field application in CoFeB/MgO stacks, which is turned out to originate from the change in exchange stiffness, (4) investigation of operation performance and reliability of analog spin-orbit torque devices that are promising for artificial-neural-network applications, (5) revealing the suitable cap-layer structure for MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO stack in terms of interfacial magnetic anisotropy and thermal stability factor, (6) world's first observation of magnetoresistance effect in antiferromagnet/nonmagnetic metallic heterostructure and clarification of underlying dominant mechanism for the magnetoresistance effect, (7) demonstration of high thermal stability factor and current-induced switching in the temperature range from -50 to 125 oC in 20-nm-wide spin-orbit torque device consisting of Co/Pt multilayer, (8) establishment of evaluation scheme for device properties of spin-orbit torque switching devices with in-plane magnetization and clarification of the dependence of device properties on the design of nanomagnet in the device, (9) demonstration of sign change of Dzyaloshinskii-Moriya interaction with ferromagnetic-layer thickness in W/(Co)FeB/MgO heterostructures.

### ● 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

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

#### 2. 光無線融合ミキサの開発

将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ (InGaAs-HEMT) の光ダブルミキシング機能の研究を進めている。本年度は、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに单一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子を試作し、 $1.5\mu\text{m}$  帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を 3 枠以上向上させることに成功した。

The goal of our research is to explore the terahertz frequency range by creating novel integrated electron devices and circuit systems. III-V- and graphene-based active plasmonic heterostructures for creating new types of terahertz lasers and ultrafast transistors are major concerns. By making full use of these world-leading device/circuit technologies, we are developing future ultra-broadband wireless communication systems as well as spectroscopic/imaging systems for safety and security. The followings are the major achievements in 2017FSY.

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

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

## 2. Development of photonics-electronics convergence mixers

To realize the carrier frequency down-conversion from optical to wireless data signals, which is one of key technologies in future photonics-electronics convergence networks, we study the photonic double-mixing functionality of InGaAs-channel high-electron mobility transistors (InGaAs-HEMTs). This fiscal year, we introduced a unitraveling-carrier photodiode structure into an InGaAs-channel high-electron-mobility transistor and successfully demonstrated the enhancement of the gain of the frequency down-conversion from 1.5- $\mu\text{m}$  optical signal to millimeter-wave signal by more than three orders of magnitude.

## ● 量子デバイス（大塚朋廣）

### Quantum Device (T. Otsuka)

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速観測、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) 固体ナノ構造中の電子物性を担う局所電子状態を解明するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるミクロな電気的プローブを実現した。高周波測定技術、データ科学手法の活用により、局所的な電子状態を高速に測定できる高速ミクロプローブを改良した。
- (2) 高速ミクロプローブを活用することにより、半導体量子ドットと電極が結合した複合系等の固体ナノ構造中における局所電荷・スピニン状態ダイナミクスを測定した。この結果、単一電子レベルでの電荷・スピニン状態変化を観測し、その詳細をミクロな観点から解明した。
- (3) 半導体量子ドット中の電子スピニンは、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。局所電子状態観測技術を活用することにより、量子ビットデバイスの研究を行った。量子ビット操作の高精度化や、異種量子ビット間変換、多重量子ドットを活用した素子数の改善等を行った。

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 utilizing nanostructures. Our research activities in FY 2018 are the following.

- (1) We improved the operation of the local electronic probes which can directly access local electronic

states in nanostructures utilizing high-frequency measurement techniques and data informatics approaches.

(2) We measured real-time changes of local electronic and spin states in a hybrid system which consists of a semiconductor quantum dot and an electronic reservoir. We revealed the detail of local dynamics induced by movement of a single electron.

(3) We applied the local measurement techniques to quantum bit experiments. We realized precise quantum bit operations, conversion between different qubits and multiple quantum dot operations.

## **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) 薬物副作用センサ開発のための自立型脂質二分子膜の安定性の向上

細胞膜を模して形成した自立型脂質二分子膜は、その安定性に課題があり、センサ開発のための大きな障壁となってきた。我々は、脂質二分子膜が周りの脂質単分子膜とシームレスに繋がっていること、また、その単分子膜は表面修飾した基板上に保持されていることに着目し、基板表面の化学修飾により、自立した部分の脂質二分子膜の安定性の向上を試みた。その結果、基板表面が両疎媒性になるように化学修飾することにより、基板中の脂質二分子膜の安定性、特に機械的強度が向上することを見出した。両疎媒性表面では、その上に形成した脂質単分子膜の流動性が高くなり、脂質膜の流動性により機械的な衝撃が緩和されやすくなつたためと考えられる。さらに、薬物副作用リスクの評価で最も重要なタンパク質である hERG チャネルを対象に、この安定化脂質二分子膜に包埋し、薬物副作用の検出に成功した。

#### (2) モジュール構造型培養神経回路の人工再構成

生体大脳皮質を特徴づけるネットワーク構造であるモジュール性に着目し、神経回路網における構造機能相関を実験・数理モデルの両面から系統的に解析した。その結果、同期と非同期状態が混在した複雑な時空間ダイナミクスを安定に保持するうえで、神経回路におけるモジュール構造が果たす役割などを明らかにすることができた。加えて、神経細胞の膜インピーダンスの細胞形態依存性の解析、さらには培養細胞と神経細胞モデルを機能的に結合したハイブリッド神経回路システムの構築も進めた。

#### (3) 脂質二分子膜－有機半導体ハイブリッドに基づく光応答デバイスの開発

半導体微細加工技術により作製したシリコンチップ上で、有機半導体共存下での脂質分子の自己組織化を行い、有機半導体分子－脂質二分子膜ハイブリッドを形成し、水中で動作する光センシングデバイスを構築した。厚さ数 nm の超薄膜である脂質二分子膜中では、有機分子周辺の電場が極めて大きく、デバイス中の有機半導体分子数が少ないにも拘らず、本デバイスは固体デバイスと同等の光感受性を示した。

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

1. Stable lipid bilayers in microfabricated chips having amphiphobic surfaces

Mechanically stable lipid bilayers were formed on microfabricated silicon chips that had amphiphobic surfaces through surface modification. We also succeeded in reconstitution of cardiac hERG channel proteins into the lipid bilayers and recording their activities at the single-channel level.

2. Reconstitution of artificial neuronal networks

Surface engineering offers an effective solution to bridge the in vivo-in vitro gap in neuroscience. Our recent work showed that by implementing modular organization to cultured cortical neurons, their network can be tuned to generate much richer in dynamics both spatially and temporally.

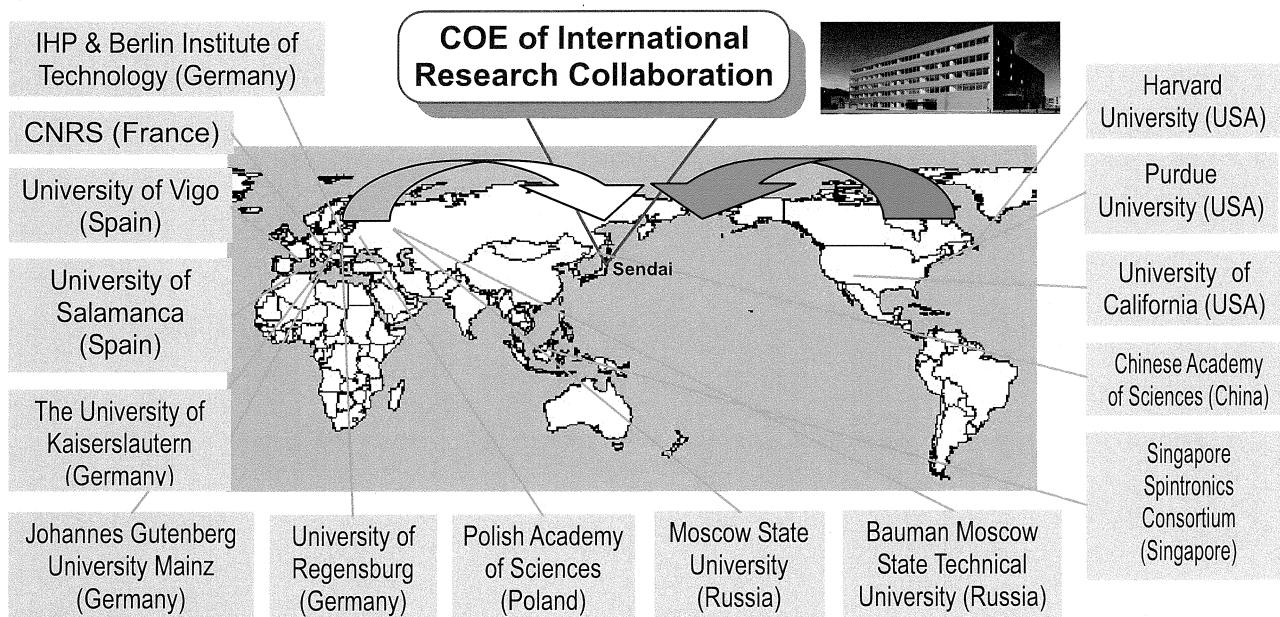
3. Novel devices based on a hybrid of a phospholipid bilayer and organic semiconductor molecules

A hybrid membrane was formed by doping a lipid bilayer with organic semiconductor molecules. Using these hybrid membranes, a photo-sensing device was formed on micro-fabricated silicon chips. It was demonstrated that the device shows high performances owing to the ultra-thin thickness of the lipid bilayer structure.

## 4. 施設の活動

### 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」、「スピニ制御技術の確立と半導体への応用」、「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センター・オブ・エクセレンスの確立を目指している。



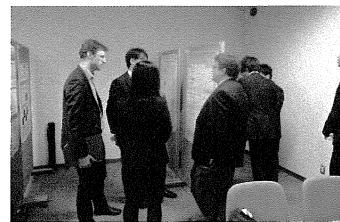
#### Academic Exchange Programs

- IHP-Innovations for High Performance Microelectronics, Germany
- Berlin Institute of Technology, Germany
- The Interdisciplinary Center on Nanoscience of Marseille, CNRS, France
- University of Vigo, Spain
- University of Salamanca, Spain
- The University of Kaiserslautern, Germany
- Johannes Gutenberg University Mainz, Germany
- University of Regensburg, Germany
- Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Poland
- Bauman Moscow State Technical University, Russia
- Singapore Spintronics Consortium, Singapore
- Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, China
- University of California, Santa Barbara (UCSB), USA
- Purdue University, USA
- Harvard University, USA
- Moscow State University, Russia

## ナノ・スピニ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

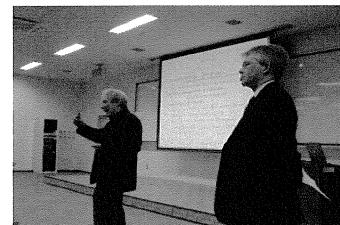
第1回：2005年2月8-9日	第2回：2006年2月15-16日
第3回：2007年10月31日-11月1日	第4回：2008年10月9-10日
第5回：2009年10月22-23日	第6回：2010年2月5-6日
第7回：2011年2月3-4日	第8回：2012年2月2-3日
第9回：2012年5月31日-6月2日	第10回：2013年1月15-16日
第11回：2013年1月31日-2月1日	第12回：2014年6月25-27日
第13回：2015年11月18-20日	第14回：2016年11月17-19日
第15回：2017年12月13-14日	第16回：2019年1月9-10日



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



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

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

第1回：2009年10月22-23日

### RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

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

## 4-2 国際シンポジウム開催 (プログラムは「6. 参考資料」に収録)

### 第95回電気通信研究所国際シンポジウム

#### 第16回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

#### 16th RIEC International Workshop on Spintronics

深見 俊輔  
Shunsuke FUKAMI

開催日：平成31年1月9日（水曜日）～10日（木曜日）（2日間）

開催場所：東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピニ実験施設

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16回目の開催となった。今回は、我が国をはじめとして、チェコ、中国、ドイツ、スイス、ス

ウェーデン、スペイン、アメリカ、フランス、韓国からの招待講演者による 16 件の招待講演に加え、25 件のポスター発表がなされた。また今回も前年に引き続き日本学術振興会「研究拠点形成事業（Core-to-Core Program）」のワークショップと連続での開催とした。RIEC スピントロニクス国際ワークショップの合計参加者は 113 名を数え、スピントロニクス分野における最新のトピックスに関して活発な議論がなされた。

今回のワークショップでは、主に反強磁性スピントロニクス、スピノービトロニクス、スピントロニクスの脳型情報処理応用というここ進展のスピントロニクス分野で注目度が高い 3 つのトピックスに焦点を当て、最先端の研究を行っている世界格好の研究者を招待講演者として招いた。いずれのトピックも聴衆との間で活発な議論がなされ、今後のスピントロニクス研究の更なる発展の可能性を感じることができた。ポスター発表では本学の学生も発表を行い、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。

## 第 96 回電気通信研究所国際シンポジウム

### 第 7 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 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

佐藤 茂雄  
Shigeo SATO

開催日：平成 31 年 2 月 22 日（金曜日）～23 日（土曜日）（2 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・ спин実験施設

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大脳生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が 7 回目であり、平成 31 年 2 月 22 日、23 日の 2 日間に渡って開催された。アメリカ、スペイン、スウェーデンの 3 か国から 4 名の海外招待講演者を迎える、計 13 件の口頭発表、16 件のポスター発表が行われた。今回も講演内容は、神経科学、培養神経回路、集積回路など多岐にわたるものであった。分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。

## 第 98 回電気通信研究所国際シンポジウム

### 第 10 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<sup>†</sup> 10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

平野 愛弓  
Ayumi HIRANO-IWATA

開催日: 平成 31 年 3 月 6 日 (水曜日) ~7 日 (木曜日) (2 日間)

開催場所: 東北大学電気通信研究所 ナノ・スピニ実験施設

第 10 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平成 31 年 3 月 6 日 (水) ~7 日 (木) の 2 日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピニ実験施設において開催された。イギリス、ドイツ、そして日本からの計 5 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 56 名を数えた。本ワークショップでは、ナノ・バイオ融合分野の発展を目指すため、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、microRNA センシングのための新たな検出法の開発及び検出感度の最適化技術や、ナノ加工技術とバイオナノ薄膜である脂質膜の特性制御技術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開発、光化学電池や光触媒への応用を志向した酸化チタンナノチューブアレイの開発、脂質二分子膜を用いたバイオセンサーの作製・評価、金属ナノ微粒子を用いた新規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、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、ナノエレクトロニクスとバイオエレクトロニクス分野それぞれの研究者間での交流も活発に行われており、今後のブレークスルーへと発展していくことが期待される。

## 5. 研究成果（平成 30 年度）

### 5 A ナノ集積基盤技術関連

*Nano Integration*

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

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



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

### 1. 脳型計算用デバイスの高密度実装技術に関する研究 High-density implementation of devices for brain computing

将来の Si-LSI の微細化限界を見据え、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。

Foreseeing the miniaturization limit of Si-LSI in future and aiming at the implementation of a practical brain computer, we study devices for brain computing, high-density implementation techniques, and a prototype of a brain computer.

### 2. 脳型計算用量子知能デバイスに関する研究 Intelligent quantum device for brain computing

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

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

### 3. 高度歪 IV 族半導体エピタキシャル成長のための低損傷基板非加熱プラズマ CVD プロセスに関する研究 Low-damage plasma CVD process without substrate heating for epitaxial growth of highly strained group IV semiconductors

ナノメータオーダ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 nanodevices are being studied.

#### 【査読付論文】

1. H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, “Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks,” *Science Advances*, vol. 4, eaau4914, 2018.
2. S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Mean-field analysis of directed modular networks,” *Chaos*, vol. 29, 013142, 2019.

## 【国際会議発表】

1. Y. Osakabe, H. Akima, M. Kinjo, M. Sakuraba, S. Sato, "Hebbian and anti-Hebbian Learning of Qubit Networks for Quantum Associative Memory", Abs. Energy Materials and Nanotechnology (EMN) Greece Meeting 2018, 2018. (invited)
2. S. Moriya, H. Yamamoto, K. Ide, H. Akima, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, "Modular and global synchronization in modular neuronal network models", Abs. 11th FENS Forum of Neuroscience (Berlin, Germany, July 7-11, 2018), G011, 2018.
3. K. Wakimura, H. Yamamoto, K. Ide, S. Moriya, S. Sato, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, "Spontaneous activity patterns in micropatterned cortical cultures: Influence of modular organization," Abs. 11th FENS Forum of Neuroscience (Berlin, Germany, July 7-11, 2018), B096, 2018.
4. H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, "Motion Stereo Vision LSI for Spatial Perception," Proc. 2018 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018), p. 663, 2018.
5. W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, "Carrier Concentration Profile of In-Situ B-Doped Si Epitaxially Grown by Low-Energy ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. 14th Int. Conf. on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (AC SIN-14, Sendai, Japan, Oct. 22-25, 2018), 22P015, 2018.
6. N. Kato, W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, "Epitaxial Growth of In-Situ P-Doped Si Films by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. 14th Int. Conf. on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (AC SIN-14, Sendai, Japan, Oct. 22-25, 2018), No.23E27, 2018.
7. W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, "Ar Plasma Irradiation Effect upon Electrical Activation of B Atoms Doped in Epitaxial Si Thin Film Grown by ECR Ar Plasma CVD", Abs. 12th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, December 6-7, 2018, Sendai, Japan, O-01, 2018.
8. N. Kato, M. Sakuraba and S. Sato, "Depth Profile of Carrier Concentration in In-Situ P-Doped Si Thin Films Epitaxially Grown by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. 12th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, December 6-7, 2018, Sendai, Japan, P-04, 2018.
9. J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, "Recent developments on the state of the art in spiking neural hardware", Abs. The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 22-23, 2019), S1-3, 2019.
10. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, "Design of an analog MOS circuit of the Izhikevich neuron model", Abs. The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 22-23, 2019), S1-4, 2019.
11. Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, S. Sato, "A numerical study on an Izhikevich neuron model analog MOS Circuit", Abs. The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 22-23, 2019), P-2, 2019.
12. S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, "Analysis of dynamical complexity in modular neuronal network model", Abs. The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 22-23, 2019), P-8, 2019.
13. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, "An Analog MOS Circuit of the Izhikevich Neuron Model", Abs. The 6th International Symposium on Brainware LSI (Sendai, Japan, Mar. 1-2, 2019), p. 6, 2019.
14. M. Sakuraba and S. Sato, "Epitaxy and In-Situ Doping in Low-Energy Plasma CVD Processing for Group-IV Semiconductor Nanoelectronics" (**Invited Lecture**), Abs. 11th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Application for Nitrides and Nanomaterials / 12th Int. Conf. on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma/IC-PLANTS, Nagoya, Japan, Mar. 17-21, 2019), No.19aC06I, 2019.

## 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. ブレインモルフィックコンピューティングに関する研究 Brainmorphic computing

デバイスの物理的ダイナミクスを直接的に利用して、脳に特有な構造や情報処理様式を、高次元複雑ネットワーク全体のプロセスとして構築する、ブレインモルフィックコンピューティングハードウェアシステムを実現するための様々な考察を行った。

We examined several aspects for hardware implementation of the brainmorphic computing systems. The brainmorphic hardware processes information through emerged brain-specific functions as a whole “process” of a high-dimensional complex network dynamics. The “process” and dynamics are directly realized through physical characteristics and dynamics of the constituent devices.

### 2. 脳・身体総合体コンピューティングに関する研究 Brain-body whole organism computing

我々が提案している脳・身体総合体コンピューティングの重要な構成要素の一つである「参照自己」システムを実現するのに適当なカオスニューラルネットワーカクリザバーを提案し、その有効性をカオス時系列や複合正弦波時系列の予測によって確認した。

We proposed a chaotic neural network reservoir, which is suitable for the “reference-self” system in the brain-body whole organism computing paradigm, which we proposed. We confirmed consistency in the responses of the proposed chaotic reservoir network through chaotic time-series and composed sinusoidal time-series predictions.

### 3. スピン軌道トルクデバイスによるニューロンおよびシナプス素子に関する研究 Spin orbit-truque neuron and synaptic devices

ブレインモルフィックコンピューティングハードウェアを実装するための基本構成素子として、スピン軌道トルクデバイスの不揮発性スイッチング特性と熱ダイナミクスを活用した、積分発火型ニューロンとスパイクタイミング依存可塑性(STDP)を有するシナプス素子の実装に成功した。

We fabricated novel integrated-and-fire neuron and synapse with spike timing dependent plasticity (STDP), which are good candidates for the basic constructing devices of the brainmorphic computing hardware, using nonvolatile spin orbit-torque (SOT) switching and thermal dynamics of semiconductor substrate.

### 4. 拡張 Lorenz 写像に基づく疑似暗号生成ハードウェアに関する研究

高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用したポスト量子計算機ストリーム暗号を構築するため、拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器の高速なデジタルハードウェア実装についての検討を行った。特に非線形性の実装方法について、引数の値の分布に着目して Look-up Table を作成する手法を提案した。

We researched on fast digital circuit implementation of the quasi-random number generator based on the augmented Lorenz map to contribute to post-quantum computer cryptography. In particular, we proposed a design method of look-up tables for the nonlinearities in the map by employing the distribution characteristics of argument variables of the nonlinear functions.

### 【査読付論文】

- 1 Y. Horio, N. Ichinose and M. Ogawa, "Experimental verification of quasi-periodic-orbit stabilization using a switched-capacitor chaotic neural network circuit," J Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 218-230, DOI: 10.1587/nolta.9.218, 2018.
- 2 N. Ichinose, Y. Horio and M. Ogawa, "Statistical test of quasiperiodicity in the presence of

dynamical noise," J Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 231-242, DOI: 10.1587/nolta.9.231, 2018.

【国際会議発表】

1. Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in Proceedings of The 5th International Conference on Applications in Nonlinear Dynamics, August 5-9, 2018; in Understanding Complex Systems, V. In, P. Longhini, and A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, 2019.
2. Y. Horio, "Brainmorphic computing hardware through gigh-dimensional complex dynamics," in Abstract Book of The 6th RIEC International Symposium on Brainware LSI, p. 16, March 1-2, 2019.
3. Y. Horio, "Chaotic neural network reservoir and its application to brainmorphic computing hardware," in Abstract Book of The 7th RIEC International Symposium on Brain Fucntions and Brain Computer, p. S-1 2, Feb. 22-23, 2019.
4. Y. Horio, "ION brainmorphic computng hardware," presented at FY 2017 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Poster no. 47, Feb. 22, 2018.

## 5 B スピントロニクス基盤技術関連

*Spintronics and Information Technology*

### B1 スピントロニクス (深見俊輔)

Spintronics  
(S. Fukami)

### B2 超プロードバンド信号処理 (尾辻泰一・佐藤昭)

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

### B3 量子デバイス (大塚朋廣)

Quantum Device  
(T. Otsuka)



## B1 スピントロニクス (深見俊輔) Spintronics (S. Fukami)

固体中の電子や спинの状態を制御し工学的に応用するために、新しい材料の開発、量子構造の作製と性質の理解、及びそれらのスピントロニクス素子高機能素子への応用に関する研究を行っている。さらに、不揮発性により、高機能かつ低消費電力化が期待されるスピントロニクス素子、及びスピントロニクス集積回路技術の研究開発を行っている。

Our research activities cover the areas of preparation, characterization, and application of new classes of solid-state materials as well as their quantum structures, in which electronic and spin states can be controlled. Furthermore, we are working on research and development of advanced technology for spintronics-based devices and integrated circuits, which are expected to realize high performance and low power consumption owing to their nonvolatility.

### 1. スピントロニクスに関する研究

#### Spintronics

固体中のスピントロニクスの実現をめざして、金属磁性体や新機能物質におけるスピントロニクス現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス材料、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、スピントロニクスを用いて実現することを目標として、スピントロニクス実現に向けた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 novel functional spin materials and devices, in order to realize low-power functional spintronic devices. To realize high-performance low-power consumption spin memory and logic devices, we are developing technologies to realize advanced spin memory and logic devices using magnetic tunnel junctions (MTJs) consisting of ferromagnetic metal electrodes and insulating barriers.

#### 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、スピントロニクス現象の評価と理解。

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

20 nm 以下の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 spintronic devices with the size of less than 20 nm 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、スピニ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) スピン注入磁化反転素子の開発

Spin transfer torque memory and logic devices

低書き込み電力に向けたスピン注入磁化反転に関する研究を行っている。

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

## 2. スピントロニクス集積回路に関する研究

Research and Development of distributed IT system using Spintronics based integrated circuits

内閣府「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現」の委託研究である「スピントロニクス集積回路」プロジェクトにおいて、参画研究室と連携してエナジーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子の開発が行われた。Spintronics materials and devices for spintronics based integrated circuits that can be driven by energy-harvesting were studied in Research activities in "Achieving ultimate Green IT Devices with long usage times without charging" program under Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program.

1) エナジーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子に関する研究

Developments of spintronics materials and devices for spintronics based integrated circuits that can be driven by energy-harvesting

エナジーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向けの磁気トンネル接合を基本構造とする二端子スピントロニクス素子、及び三端子スピントロニクス素子を作製し、基礎特性を調べた。

Two terminal and three terminal devices based on magnetic tunnel junction for spintronics based integrated circuits that can be driven by energy-harvesting were fabricated and studied.

### 【査読付論文】

1. A. Okada, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Electric-field effect on the easy cone angle of the easy-cone state in CoFeB/MgO investigated by ferromagnetic resonance," *Applied Physics Letters* 111, 172402 (2018).
2. Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO," *Applied Physics Letters* 112, 192408 (2018).
3. N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Non-linear variation of domain period under electric field in demagnetized CoFeB/MgO stacks with perpendicular easy axis," *Applied Physics Letters* 112, 202402 (2018).
4. M. Pohlitz, S. Rößler, Y. Ohno, H. Ohno, S. Molnár, Z. Fisk, J. Müller, and S. Wirth, "Evidence for Ferromagnetic Clusters in the Colossal-Magnetoresistance Material EuB<sub>6</sub>," *Physical Review Letters* 120, 257201 (2018).

5. W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Characterization of spin-orbit torque-controlled synapse device for artificial neural network applications," *Japanese Journal of Applied Physics* 57, 1002B2 (2018).
6. S. Fukami, and H. Ohno, "Perspective: Spintronic synapse for artificial neural network," *Journal of Applied Physics* 124, 151904 (2018).
7. M. Bersweiler, E. C. I. Enobio, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "An effect of capping-layer material on interfacial anisotropy and thermal stability factor of MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO/capping-layer structure," *Applied Physics Letters* 113, 172401 (2018).
8. S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, "Angle dependent magnetoresistance in heterostructures with antiferromagnetic and non-magnetic metals," *Applied Physics Letters* 113, 202404 (2018).
9. B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Scalability and wide temperature range operation of spin-orbit torque switching devices using Co/Pt multilayer nanowires," *Applied Physics Letters* 113, 212403 (2018).
10. H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans, "Temperature-dependent properties of CoFeB/MgO thin films: Experiments versus simulations," *Physical Review B* 98, 214428 (2018).
11. Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque-induced switching of inplane magnetized elliptic nanodot arrays with various easy-axis directions measured by differential planar Hall resistance," *Applied Physics Letters* 114, 012410 (2019).
12. T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Reversal of domain wall chirality with ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems," *Applied Physics Letters* 114, 042405 (2019).

#### 【国際会議発表】

1. S. Fukami and H. Ohno, "Nonvolatile memory devices with magnetic nanowires controlled by spin-transfer and spin-orbit torques (Invited)," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
2. H. Ohno, "Spintronics Nanodevices (Plenary)," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
3. S. Fukami, "Potential and challenges of nonvolatile spintronics devices for integrated circuits applications (Invited Lecture)," 7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku-York-Kaiserslautern "New concepts for future spintronic devices", Kaiserslautern, Germany, 2018/05/28-2018/05/30.
4. S. Fukami, C. Zhang, W. A. Borders, A. Kurenkov, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching and its applications – from high-speed memory to artificial neural network – (Invited)," 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018), Jedo, Korea, 2018/06/03-2018/06/07.
5. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Spintronic analog memory for neuromorphic computing (Invited)," 14th International Conference on Modern Materials and Technologies (CIMTEC2018), Perugia, Italy, 2018/06/04-2018/06/14.
6. H. Sato, K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Honjo, S. Ikeda, T. Endoh, and H. Ohno, "High-performance (Co)FeB/MgO-based magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis down to single-digit nanometer scale (Invited)," 2018 Spintronics Workshop on LSI, Honolulu, Hawaii, USA, 2018/06/17.
7. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Neuromorphic computing with analog spin-orbit torque device (Invited)," Workshop on Spintronics and Nanomagnetism for Neuromorphic Computing, Leeds, UK, 2018/06/26-2018/06/27.

8. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Analog spin-orbit torque devices for artificial neural networks (Invited)," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
9. S. Fukami, C. Zhang, B. Jinnai, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching device for high-performance and low-power integrated circuits (Invited)," The 23rd International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2018), UC Santa Cruz, USA, 2018/07/22-2018/07/27.
10. S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, "Angular dependence of magnetoresistance in nonmagnet/antiferromagnet bilayer structure (Invited)," Tohoku-Tsinghua Joint Workshop on Materials and Spintronics Sciences, Sendai, Japan, 2018/07/26.
11. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Neuromorphic computing with analog spin-orbit torque devices (Invited)," The 10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids – PASPS10, Linz, Austria, 2018/08/05-2018/08/09.
12. H. Ohno, "Opening - from PASPS-1 to PASPS-10 (Invited)," The 10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids – PASPS10, Linz, Austria, 2018/08/05-2018/08/09.
13. W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Antiferromagnet/Ferromagnet Based Spin-Orbit Torque Devices for Hopfield Network Applications (Invited)," Explorative Workshop: Spintronic Perspectives on Neuromorphic Computing, Jülich, Germany, 2018/08/13-2018/08/15.
14. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Analog spintronics device for artificial neural networks (Invited)," The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018), Tarragona, Spain, 2018/09/02-2018/09/06.
15. C. Zhang, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching in nanoscale devices – physics and material engineering (Invited)," KITS Workshop 2018, Beijing, China, 2018/10/01-2018/10/19.
16. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Associative memory operation using analog spin-orbit torque device (Invited)," SPICE Workshop - Spintronics meets Neuromorphics, Mainz, Germany, 2018/10/08-2018/10/12.
17. H. Ohno, "Spintronics Nanodevices (Plenary Lecture)," 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures & 26th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ACSIN-14 & ICSPM26), Sendai, Japan, 2018/10/21-2018/10/25.
18. S. Fukami and H. Ohno, "Spin-Orbit Torque Switching in Nanoscale Devices: Material and Device Engineering (Invited)," 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on “New-Concept Spintronic Devices”, Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
19. M. Shinozaki, J. Igashiki, J. Llandro (\*Speaker), S. Fukami, H. Sato and H. Ohno, "Size Dependence of the Influence of Edge Effects in Nanoscale Perpendicular-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions (Invited)," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
20. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato and H. Ohno, "1X and X nm Perpendicular-easy-axis Magnetic Tunnel Junctions utilizing Shape Anisotropy (Invited)," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
21. S. Fukami and H. Ohno, "Spin orbitronics for high-speed memory and artificial neural network (Invited)," 2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics, National University of Singapore, Singapore, 2019/02/22-2019/02/23.
22. S. Fukami, "Spintronic Devices for Neural Networks (Invited)," APS March Meeting 2019, Boston, Massachusetts, USA, 2019/03/03-2019/03/07.

23. B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Nanoscale spin-orbit torque devices with Co/Pt multilayers for wide-temperature range applications," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
24. Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Harmonic measurement of current induced spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
25. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "X nm Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicular Anisotropy," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
26. N. Ichikawa, T. Dohi (\*Speaker), A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Electric-field effect on the exchange stiffness in CoFeB/MgO stacks," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
27. M. Shinozaki, J. Igarashi (\*Speaker), H. Sato, and H. Ohno, "Effect of free-layer size on magnetic properties in nanoscale magnetic tunnel junctions," IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2018), Singapore, 2018/04/23-2018/04/28.
28. K. Watanabe, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Shape-anisotropy magnetic tunnel junctions," 7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, 2018/05/28-2018/05/30.
29. Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Extended harmonic Hall measurement of spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO," 7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, 2018/05/28-2018/05/30.
30. J. Igarashi, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, and H. Ohno, "Dependence of magnetic anisotropy on free-layer size in nanoscale magnetic tunnel junctions," 7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, 2018/05/28-2018/05/30.
31. E. Jackson, J. Kim, S. DuttaGupta, S. Fukami, H. Ohno, M. Sun, T. Kubota, K. Takanashi, and A. Hirohata, "Non-Destructive Imaging of Buried Junctions Using Scanning Electron Microscopy," The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018), Jeju, Korea, 2018/06/03-2018/06/07.
32. Y. Takeuchi, K. Furuya, Y. Takahashi, C Zhang, A. Okada, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO heterostructures – Wide-range W resistivity dependence," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
33. A. Kurenkov, M. Baumgartner, G. Sala, G. Krishnaswamy, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella and H. Ohno, "Observation of domains during spin-orbit torque induced memristive switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
34. S. DuttaGupta, A. Kurenkov, R. Itoh, A. Okada, S. Fukami, and H. Ohno, "Angular dependence of magnetoresistance in asymmetric and symmetric nonmagnet/antiferromagnet metallic heterostructures," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
35. R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque of PtMn/CoFeB evaluated by extended harmonic Hall measurement," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
36. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetization reversal mechanism of shape-anisotropy magnetic tunnel junctions," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.
37. Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C Zhang, B. Jinnai, S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced switching of in-plane nanomagnet arrays evaluated through differential planar Hall

effect," The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), San Francisco, CA, USA, 2018/07/16-2018/07/20.

38. K. Watanabe, B. Jinnai (\*Speaker), S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetic tunnel junction scaling into the single-digit nanometer regime," 10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10), Linz, Austria, 2018/08/05-2018/08/09.
39. J. Igarashi, J. Llandro (\*Presenter), M. Shinozaki, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Influence on magnetization switching of edge effects in nano-scale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," 10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10), Linz, Austria, 2018/08/05-2018/08/09.
40. G. Krishnaswamy, A. Kurenkov, G. Sala, M. Baumgartner, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced domain switching in antiferromagnet / ferromagnet heterostructures," Annual Meeting of the Swiss Physical Society (SPS), Lausanne, Switzerland, 2018/08/28-2018/08/31.
41. G. Krishnaswamy, A. Kurenkov, G. Sala, M. Baumgartner, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced domain switching in antiferromagnet / ferromagnet heterostructures," Joint European Magnetic Symposia, Mainz, Germany, 2018/09/03-2018/09/07.
42. S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, "Angle dependent magnetoresistance in nonmagnet/antiferromagnet metallic heterostructures," Joint European Magnetic Symposia, Mainz, Germany, 2018/09/03-2018/09/07.
43. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching in perpendicular-magnetized Co/Pt multilayers," NIMS Academic Symposium, Tokyo, Japan, 2018/10/15.
44. Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai (\*Presenter), S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching in in-plane nanomagnets characterized by planar Hall effect," NIMS Academic Symposium, Tokyo, Japan, 2018/10/15.
45. S. Kanai, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Thermal effect in magnetization dynamics induced by electric-field in a magnetic tunnel junction," CSRN-Osaka Annual Workshop 2018, Nambu Yoichiro Hall, Osaka University, 2018/12/13-2018/12/15.
46. B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno , "Wide-temperature spin-orbit torque switching operation in high-thermal-stability Co/Pt-multilayer nanowire device , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
47. S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami and H. Ohno, "Angular dependence of longitudinal and transverse magnetoresistance in antiferromagnet/nonmagnet metallic heterostructures , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
48. C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato and H. Ohno , "Time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced switching in W/CoFeB/MgO , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
49. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato and H. Ohno, "Magnetization Reversal of a 1X/X nm Perpendicular Shape-Anisotropy MTJ , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.

50. T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Ferromagnet thickness dependence of effective Dzyaloshinskii-Moriya field in W/(Co)FeB/MgO systems," 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices", Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
51. J. Igarashi, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno, "Effects of free layer size on magnetic properties and current induced magnetization switching in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
52. W. A. Borders, S. Fukami and H. Ohno, "Analogue Spin-Orbit Torque Devices for Artificial Neural Network Applications , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
53. Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque-induced switching of in-plane magnetized elliptic nanodots detected using planar Hall effect , " 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" , Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
54. R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Antiferromagnet layer thickness dependence of spin-orbit torque in PtMn/CoFeB structures," 16th RIEC International Workshop on Spintronics and 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices", Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2019/01/09-2019/01/12.
55. M. Shinozaki, T. Dohi, J. Igarashi, J. Llandro, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Edge state of nanoscale magnetic tunnel junctions proved by spin-wave resonance," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
56. C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukami and H. Ohno, "Sub-ns and low-power magnetization switching by combination of spin-orbit torque and spin-transfer torque," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
57. K. Furuya, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Relationship between spin-orbit torque switching efficiency and W resistivity in W/CoFeB/MgO," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
58. T. Dohi, S. Duttagupta, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno, "Sign reversal of Dzyaloshinskii-Moriya effective field with ferromagnetic layer thickness in W/(Co)FeB/MgO heterostructures," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
59. M. Bersweiler, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetic and free-layer properties of MgO/(Co)FeB/MgO structure: Dependence on CoFeB composition," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
60. J. Igarashi, S. Kanai, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Asymmetric distortion of astroid curve with current bias in nanoscale magnetic tunnel junction," 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, DC, USA, 2019/01/14-2019/01/18.
61. S. Kanai, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization Dynamics Induced by Electric-field in a Nanoscale Magnetic Tunnel Junction," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
62. S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami and H. Ohno, "Spin Hall Magnetoresistance in antiferromagnet/non-magnet metallic heterostructures," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.

63. B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Magnetization switching induced by spin-orbit torques in Co/Pt multilayer nanowire device over a wide range of temperatures," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
64. A. Kurenkov, M. Baumgartner, G. Sala, G. Krishnaswamy, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella and H. Ohno, "Observation of domains during spin-orbit torque induced memristive switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
65. C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukami, and H. Ohno, "Sub-ns switching by combining SOT and STT in MTJ devices," The 2nd Symposium for World Leading Research Centers, Sendai International Center, Sendai, 2019/02/15-2019/02/17.
66. T. Dohi, S. Duttagupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Sign change of effective Dyaloshinskii-Moriya field with varying ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems," 2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics, National University of Singapore, Singapore, 2019/02/22-2019/02/23.
67. Y. Takeuchi, K. Furuya, Y. Takahashi, B. Jinnai, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Engineering of spin-orbit torques in W/CoFeB/MgO heterostructures for efficient control of magnetization," 2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics, National University of Singapore, Singapore, 2019/02/22-2019/02/23.

**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. V. Ryzhii, D.S. Ponomarev, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Negative and positive terahertz and infrared photoconductivity in uncooled graphene," *Opt. Mat. Exp.*, vol. 9, no. 2, pp. 585-597, 2019. DOI: 10.1364/OME.9.000585
2. D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenov, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, Y.G. Goncharov, M. Ryzhii, T. Otsuji, I.E. Spector, M. Shur, M. Skorobogatiy, K.I. Zaytsev, and D. Ponomarev, "Terahertz photoconductive emitter with dielectric-embedded high-aspect-ratio plasmonic grating for operation with low-power optical pumps," *AIP Advances*, vol. 9, pp. 015112-1-5, 2019. DOI: 10.1063/1.5081119
3. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, D.S. Ponomarev, V.E. Karasik, V. G .Leiman, V. Mitin and M.S. Shur, "Electrical modulation of terahertz radiation using graphene-phosphorene heterostructures," *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 33, pp. 124010-1-8, Nov. 2018. DOI:10.1088/1361-6641/aae9b2
4. V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, V.G. Leiman, P.P. Maltsev, D.S. Ponomarev, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Real-space-transfer mechanism of negative differential conductivity in gated graphene-phosphorene hybrid structures: Phenomenological heating model," *J. Appl. Phys.*, vol. 124, iss. 114501, pp. 114501-1-9, Sept. 2018. DOI: 10.1063/1.5046135
5. V. Aleshkin, A. Dubinov, S. Morozov, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, M. Shur, and V. Ryzhii, "Interband infrared photodetectors based on HgTe-CdHgTe quantum-well heterostructures," *Opt. Mat. Exp.*, vol. 8, no. 5, pp. 1349-1358, Apr. 2018. DOI: 10.1364/OME.8.001349
6. I. Gayduchenko, G. Fedorov, M. Moskotin, D. Yagodkin, S. Seliverstov, G. Gol'tsman, A. Kuntsevich, M. Rybin, E. Obraztsova, V. Leiman, M. Shur, T. Otsuji, V. Ryzhii, "Manifestation of plasmonic response in the detection of sub-terahertz radiation by graphene based devices,"

Nanotechnology, vol. 29, no. 24, pp. 245204-1-8, April 2018. DOI: 10.1088/1361-6528/aab7a5

7. M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Karasik, V. Leiman, M.S. Shur, V. Ryzhii, and V. Mitin, "Characteristics of vertically stacked graphene-layer infrared photodetectors," Solid State Electron., vol. 155, pp. 123–128, 2019. DOI: 10.1016/j.sse.2019.03.021

【国際会議発表】

1. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in current-driven graphenebased 2D nano-structures," ISPlasma2019: 11th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, 18pC04I (2 pages), Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan, March 18, 2019. (Invited)
2. A. Satou, Y. Omori, S. Manabe, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "Millimeter-wave photonic double-mixing by InGaAs-HEMTs for optical to wireless carrier frequency down-conversion," The 23rd International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics, Nizhny Novgorod, Russia, March 11-14, 2019. (Invited)
3. P. Padmanabhan, S. Boubanga-Tombet, T. Otsuji, and R. Prasankumar, "Magnetoplasmonic manipulation of THz transmission and Faraday rotation using graphene micro-ribbon arrays," OTST: Optical Terahertz Science and Technology Dig., Tu-P-27 (1 page), Eldorado Hotel&Spa, Santa Fe, NM, USA, March 12, 2019.
4. M. Suzuki, T. Hosotani, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Otsuji, and A. Satou, "Introduction of 2D nanoantennas to grating-gate plasmonic THz detector for controlling Its polarization characteristics," OTST: Optical Terahertz Science and Technology Dig., Tu-P-13 (1 page), Eldorado Hotel&Spa, Santa Fe, NM, USA, March 12, 2019.
5. Y. Omori, T. Hosotani, T. Otsuji, K. Iwatsuki, and A. Satou, "UTC-PD-integrated HEMT for optical-to-millimeter-wave carrier frequency down-conversion," OFC: Optical Fiber Conference Dig., Th3B.5, pp. Th3B.5-1-3, San Diego, CA, USA, March 6, 2019.
6. D.V. Lavrukhan, A.E. Yachmenev, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, Y.G. Goncharov, M. Ryzhii, T. Otsuji, I.E. Spector, M. Shur, M. Skorobogatiy, K.I. Zaytsev, a and D.S. Ponomarev, "Terahertz photoconductive emitter with dielectricembedded high-aspect-ratio plasmonic grating for operation with low-power optical pumps," iWAT: the International Workshop on Antenna Technology 2019, Florida International University (FIU) at the Graham Center, Miami, FL, USA, March 3, 2019.
7. V. Ryzhii and T. Otsuji, "Vertical Injection in black phosphorus-graphene heterostructures for terahertz lasing," 1&2DM Conference and Exhibition, Tokyo Big-Site, Tokyo, Japan, Feb. 28, 2019.
8. Deepika Yadav, Stephane Boubanga-Tombet, Alexander Dubinov, Victor Ryzhii, and Taiichi Otsuji, "Graphene-based van der Waals heterostructures towards a new type of quantum-cascade terahertz lasers," 1&2DM Conference and Exhibition, Tokyo Big-Site, Tokyo, Japan, Feb. 28, 2019. (Invited, Keynote)
9. T. Watanabe, "Terahertz light emitting and lasing operation in graphene-based heterostructure 2D material systems," The 2nd Internatioal Workshop on 2D Materials A3 Foresight Program Abstracts Book, P-1, Nanjing University, Nanging, China, Feb. 21-23, 2019.
10. T. Otsuji, "Graphene optoelectronics and plasmonics for terahertz device applications," The 2nd Internatioal Workshop on 2D Materials A3 Foresight Program Abstracts Book, PL-1, Nanjing University, Nanging, China, Feb. 21-23, 2019. (Invited, Lecture)
11. T. Otsuji, "Graphene-based 2D-heterostructures for terahertz lasers and amplifiers," SPIE Photonics West, Conference 10917: Terahertz, RF, Millimeter, and Submillimeter-Wave Technology and Applications XII, 10917-15, San Fransisco, CA, USA, Feb. 5, 2019. (Invited): [D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, T. Tamamushi, T. Watanabe, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, A. A. Dubinov, V. V. Popov, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, V. Ryzhii, T. Otsuji, Proc. SPIE, vol. 10917, pp. 109170G-1-10, 2019. DOI: 10.1117/12.2516494]

12. D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Satou, A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz current-driven plasmonic lasing and amplification," WINDS 18: International Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Book of Abstracts, p. 72, Westin Hapuna Beach Resort, Hawaii, USA, Nov. 25-29, 2018. (Invited)
13. T. Uchino, K. Shiga, K. Sugawara, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, "Fabrication of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes," 2018 MRS Fall Meeting Dig., NM01.07.16, Hynes Convention Center, Boston, MA, USA, Nov. 27, 2018.
14. T. Otsuji, "Emission and detection of terahertz radiation in graphene-based 2D electron devices," 12th Spanish Conference on Electron Devices Abstracts, pp. 69-70, Hospederia Fonseca, Univ. Salamanca, Salamanca, Spain, Nov. 14-16, 2018. (Invited, Plenary)
15. T. Otsuji, "Recent advances in 2D electronic and plasmonic terahertz devices utilizing graphenebased 2D materials," IEEE EDS Mini-Colloquium, Distinguished Lecture, IEEE Electron Device Society Spain Chapter, Hospederia Fonseca, Univ. Salamanca, Salamanca, Spain, Nov. 13, 2018. (Invited)
16. T. Otsuji, "Plasmon resonances in 2DEG and their applications to high-speed electron devices," IEEE EDS DL Public Lecture, IEEE EDS Japan Council Chapter, Ito Campus, Kyushu University, Fukuoka, Nov. 8, 2018. (Invited)
17. T. Otsuji, "Recent advances in 2D electronic terahertz devices based on graphene-based 2D materials," IEEE Distinguished Lecturer Programme, UniMAP, Perlis, Malaysia, Oct. 11, 2018. (Invited)
18. T. Otsuji, "Recent advances in 2D electronic and plasmonic terahertz devices based on graphene-based 2D materials," IMESS: IEEE International Microwave, Electron Devices, & Solid-State Circuit Symposium 2018, PSDC, Penang, Malaysia, Oct. 9-10, 2018. (Invited)
19. A. Yachmenev, D. Lavrukhan, L. Glinsky, R. Khabibullin, R. Galiev, A. Pavlov, Yu. Goncharov, I. Spektor, M. Ryzhii, T. Otsuji, K. Zaytsev, and D. Ponomarev, "Plasmonic terahertz emitters with high-aspect ratio metal gratings," ICMNE-2018: International Conference on Nano- and Micro-Electronics Book of Abstracts, O2-16, p. 61, the Park-Hotel "Ershovo" in Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 1-5 Oct. 2018. (Invited)
20. A. Satou, Y. Omori, S. Manabe, T. Hosotani, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Photonic double-mixing by InGas-HEMTs for optical to MMW-THz carrier frequency down-conversion," ICMNE-2018: International Conference on Nano- and Micro-Electronics Book of Abstracts, L2-03, p. 44, the Park-Hotel "Ershovo" in Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 1-5 Oct. 2018. (Invited)
21. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Leiman, D. Ponomarev, P.P. Maltsev, D. Svitsov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene-phosphorene hybrid structures and their applications," ICMNE-2018: International Conference on Nano- and Micro-Electronics Book of Abstracts, L2-02, p. 43, the Park-Hotel "Ershovo" in Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 1-5 Oct. 2018. (Invited)
22. D. Yadav, T. Watanabe, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, V. Ryzhii, M. Ryzhii, A.A. Dubinov, W. Knap, V.V. Popov, T. Otsuji, "Graphene-based 2D heterostructures for terahertz photonic and plasmonic light-sources applications," ICMNE-2018: International Conference on Nano- and Micro-Electronics Book of Abstracts, L2-01, p. 42, the Park-Hotel "Ershovo" in Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 1-5 Oct. 2018. (Invited)
23. D.V. Lavrukhan, A.E. Yachmenev, I.A. Glinsky, R.A. Khavibullin, Yu G. Goncharov, M. Ryzhii, T. Otsuji, K.I. Zaytsev, and D.S. Ponomarev, "Terahertz photoconductive emitters with plasmonic gratings: modeling and experiment," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Fri-3-2, p. 136, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018. (Invited)
24. M. Suzuki, T. Hosotani, T. Otsuji, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "2D diffraction grating for controlling polarization characteristics of grating-gate plasmonic THz detector," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental &

Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Fri-2-4, pp. 130-131, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018.

25. T. Otsuji, D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, T. Watanabe, A. Satou, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V.V. Popov, W. Knap, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Emission and amplification of terahertz radiation using Dirac fermions and plasmons in graphene," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Fri-2-3, pp. 128-129, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018. (Invited)
26. J.A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. velazquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, "Terahertz detection by bilayer graphene multifinger field effect transistor," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Fri-2-1, pp. 124-125, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018. (Invited)
27. A.A. Dubinov, V.Ya. Aleshkin, S.V. Morozov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz plasmon-emitting graphene-channel transistor," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Fri-1-4, pp. 122-123, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018.
28. A. Satou, Y. Ohmori, S. Manabe, T. Hosotani, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Carrier frequency down-conversion from optical to MMW/THz data signal using InGaAs-HEMT," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Wed-2-2, pp. 70-72, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018. (Invited)
29. M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ryzhii, V. Aleshkin, A. Dubinov, V.E. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M.S. Shur, "Concepts of infrared and terahertz photodetectors based on vertical graphene and HgTe-CdHgTe heterostructures," RJUSE: the 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Book of Abstracts, Tue-4-3, pp. 51-53, CBF Nowy Swiat, Warsaw, Poland, 17-21 Sept. 2018. (Invited)
30. S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, W. Knap, V. Popov, and T. Otsuji, "Terahertz light amplification by instability-driven stimulated emission of graphene plasmon polaritons," IRMMW-THz: the 43rd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., Tu-A2-R2-5, Nagoya, Aichi, Japan, 9-14 Sept. 2018. DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2018.8510241
31. M. Suzuki, T. Hosotani, T. Otsuji, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Coupling of 2D plasmons in grating-gate plasmonic THz detector to THz wave with lateral polarization," IRMMW-THz: the 43rd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., Tu-A2-1a-2, Nagoya, Aichi, Japan, 9-14 Sept. 2018. DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2018.8510281
32. A. Satou, M. Suzuki, T. hosotani, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "THz devices based on transistors incorporated with 2D plasmonic metamaterial structures," A3 Metamaterials Forum 2018, I18, POSTECH, Korea, 12-15 Aug. 2018. (Invited)
33. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.E. Karasik, V.G. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, V. Ya. Aleshkin, A.A. Dubinov, and S.V. Morozov, "Comparison of infrared and terahertz photodetectors based on graphene, CdHgTe, and A3B5 quantumwell heterostructures," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 4P14a-2I, Toyama, japan, 1-4 Aug. 2018. (Invited)
34. Juan Antonio Delgado Notario, Vito Cleric, Yahya Moubarak Meziani, Enrique Diez, Jesus Enrique Velazquez-Perez, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Deepika Yadav, Taiichi Otsuji, "Terahertz detection with asymmetric dual grating gate bilayer graphene field-effect-transistor," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 4A14-5I, Toyama, japan, 1-4 Aug. 2018. (Invited)
35. W. Knap, S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, V. Popov, T. Otsuji, "Frequency-tunable terahertz light amplification by current-driven plasmon instabilities in graphene metamaterials," ICPS:

34th International Conference on the Physics of Semiconductors Dig., P1\_114, Le Corum Palais des Congrès, Montpellier, France, 29 July - 3 Aug., 2018.

36. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene under current-injection pumping," European Conf. on Lasers, Optics and Photonics, Dig., p. 18, Prague, Czech Republic, July 16-17, 2018. DOI: 10.21767/2349-3917-C1-001
37. M. Suzuki, T. Hosotani, T. Otsuji1, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Introduction of 2D Diffraction Grating into Grating-Gate Plasmonic THz Detector for Controlling Its Polarization Characteristics," AWAD 2018: the 26th Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices Dig., Kitakyushu, Japan, Jul. 2-4, 2018.
38. S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, W. Knap, V.V. Popov, and T. Otsuji, "Graphene-channel-transistor terahertz amplifier," DRC: the 76th Annual Device Research Conference Dig., pp. 1-2, UCSB, CA, USA, June 24-27, 2018. DOI: 10.1109/DRC.2018.8442272
39. J.A. Delgado-Notario, V. Clerico, E. Diez, J.E. Velazquez-Perez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, T. Otsuji, and Y.M. Meziani, "Grating-gated graphene-based heterostructures for detection of Terahertz radiation," Graphene2018 Dig., p. 197, Dresden, Germany, June 27, 2018.
40. Kenta Sugawara, Norifumi Endo, Takayuki Watanabe, Takahiro Komiyama, Yoshiki Fuse, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, and Taiichi Otsuji, "Improved crystallographic high quality of thermally decomposed epitaxial graphene on 6H-SiC," Graphene 2018 Dig., P01, Dresden, Germany, June 27, 2018.
41. T. Otsuji, "Graphene-based 2D heterostructure materials for terahertz photonics and plasmonics light-sources applications," 2nd Global Summit & Expo on Laser Optics & Photonics 2018 Dig., pp. 1-2, Rome, Italy, June 14-16, 2018. (Invited)
42. S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, W. Knap, V.V. Papov, and T. Otsuji, "Terahertz light amplification by current-driven plasmon instabilities in graphene," CLEO: Int. Conf. on Lasers and Electro-Optics Dig., SW4D.4, San Jose, CA, USA, May 13-18, 2017. DOI: 10.1364/CLEO\_SI.2018.SW4D.4
43. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene-based vdW 2D heterostructures," Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology [Proc. of the 24th World Nano Conference, Black Hotel Rome, Rome, Italy, May 7-8, 2018.], vol. 7, pp. 59-60, May 2018. (Invited) DOI: 10.4172/2324-8777-C2-023
44. D. Yadav, T. Watanabe, A. Satou, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in current-injection graphene-channel transistors," 2nd Edition of Graphene & Semiconductors | Diamond, Graphite & Carbon Materials Conference Abstracts, p. 43, Las Vegas, NV, USA, April 16-17, 2018. (Invited) DOI: 10.4172/2169-0022-C3-097

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

#### 固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用の研究 Electronic properties of nanostructures and device applications

新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。ナノメートルスケールの微小な固体ナノ構造では量子効果等の特異な物理現象が生じ、これらを活用することにより新しい機能性デバイスを創製することができる。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速観測、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、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 utilizing nanostructures. We will contribute to new information processing and communication technologies through quantum and nanoelectronics.

#### 【査読付論文】

1. M. Marx, J. Yoneda, T. Otsuka, K. Takeda, Y. Yamaoka, T. Nakajima, S. Li, A. Noiri, T. Kodera, and S. Tarucha, “Spin-orbit assisted spin funnels in DC transport through a physically defined pMOS double quantum dot”, Japanese Journal of Applied Physics 58, SBBI07 (2019).
2. T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Difference in charge and spin dynamics in a quantum dot-lead coupled system”, Physical Review B 99, 085402 (2019).
3. A. Noiri, T. Nakajima, J. Yoneda, M. R. Delbecq, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Amaha, G. Allison, K. Kawasaki, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “A fast quantum interface between different spin qubit encodings”, Nature Communications 9, 5066 (2018).
4. K. Takeda, J. Yoneda, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, G. Allison, Y. Hoshi, N. Usami, K. M. Itoh, S. Oda, T. Kodera, and S. Tarucha, “Optimized electrical control of a Si/SiGe spin qubit in the presence of an induced frequency shift”, npj Quantum Information 4, 54 (2018).
5. T. Ito, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Four single-spin Rabi oscillations in a quadruple quantum dot”, Applied Physics Letters 113, 093102 (2018).
6. T. Nakajima, M. R. Delbecq, T. Otsuka, S. Amaha, J. Yoneda, A. Noiri, K. Takeda, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, X. Hu, F. Nori, and S. Tarucha, “Coherent transfer of electron spin correlations assisted by dephasing noise”, Nature Communications 9, 2133 (2018).

#### 【国際会議発表】

1. T. Otsuka, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha, “Speed up of quantum dot sensors utilizing Bayesian estimation”, International Symposium on Materials Informatics, Tokyo, Japan, February 10, 2019.
2. T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Probing Spin Dynamics in Nanostructures Utilizing Quantum Dot Sensors”, One-Day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials, Kashiwa, Japan, Nov. 22, 2018.

3. M. Marx, J. Yoneda, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Li, Y. Yamaoka, T. Nakajima, A. Noiri, D. Loss, T. Kodera, and S. Tarucha, “Determination of the direction of the spin-orbit field in a physically-defined p-type MOS silicon double quantum dot”, Silicon Quantum Electronics Workshop 2018, Sydney, Australia, Nov. 13, 2018.
4. T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Charge and Spin Dynamics in a Quantum Dot-Lead Hybrid System”, International Symposium on Frontiers of Quantum Transport in Nano Science, Kashiwa, Japan, Nov. 9, 2018.
5. M. Marx, J. Yoneda, T. Otsuka, K. Takeda, Y. Yamaoka, T. Nakajima, S. Li, A. Noiri, T. Kodera, and S. Tarucha, “Angle dependent spin-orbit interaction in a physically defined silicon double quantum dot”, International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, Sep. 13, 2018.
6. K. Takeda, J. Yoneda, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, G. Allison, A. Noiri, Y. Hoshi, N. Usami, K. M. Itoh, S. Oda, T. Kodera, and S. Tarucha, “Control fidelities in isotopically natural and enriched silicon quantum dot qubits”, International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, Sep. 13, 2018.
7. T. Nakajima, A. Noiri, J. Yoneda, M. R. Delbecq, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Amaha, G. Allison, K. Kawasaki, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Quantum control of spin qubits in different encodings in a triple quantum dot”, QTech2018 workshop, Hefei, China, Aug. 23-26, 2018.
8. T. Otsuka, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha, “Speed up of quantum dot charge sensing utilizing Bayesian estimation”, International Conference on the Physics of Semiconductors, Montpellier, France, Jul. 30, 2018.
9. A. Noiri, T. Nakajima, J. Yoneda, M. R. Delbecq, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Amaha, G. Allison, K. Kawasaki, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Coherent coupling between spin qubits of different codes”, International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices, Madrid, Spain, Jul. 23, 2018.
10. T. Nakajima, K. Kawasaki, A. Noiri, J. Yoneda, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, M. R. Delbecq, S. Amaha, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Coherent control of a spin qubit in a frequency-locked loop”, International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices, Madrid, Spain, Jul. 23, 2018.

## 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. 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.

### 3. 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製を目指している。

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.

### 【査読付論文】

1. D. Yamaura, D. Tadaki, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, R. Miyata, H. Yamamoto, R. Tero, T. Ogino, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, "Amphiphobic septa enhance the mechanical stability of free-standing bilayer lipid membranes", *Langmuir*, **34**, 5615-5622 (2018).
2. K. Ito, Y. Ogawa, K. Yokota, S. Matsumura, T. Minamisawa, K. Suga, K. Shiba, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, Y. Takamura, and T. Ogino, "68. Host Cell Prediction of Exosomes Using Morphological Features on Solid Surfaces Analyzed by Machine Learning", *J. Phys. Chem. B*, **122**, 6224-6235 (2018).
3. R. Matsumura, H. Yamamoto, T. Hayakawa, S. Katsurabayashi, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, "Dependence and homeostasis of membrane impedance on cell morphology in cultured hippocampal neurons", *Sci. Rep.*, **8**, 9905 (2018).
4. H. Yamamoto, T. Hayakawa, T. I. Netoff, and A. Hirano-Iwata, "A single-cell based hybrid neuronal network configured by integration of cell micropatterning and dynamic patch-clamp", *Appl. Phys. Lett.*, **113**, 133703 (2018).
5. Y. Mizugaki, K. Matsumoto, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, "One-dimensional array of small tunnel junctions fabricated using 30-nm-diameter gold nanoparticles placed in a 140-nm-wide resist groove", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 098006 (2018).
6. Y. Mizugaki, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, "Numerical simulation of single-electron tunneling in random arrays of small tunnel junctions formed by percolation of conductive nanoparticles", *IEICE Trans. Electron.*, **E101-C**, 836-839 (2018).
7. H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, and A. Hirano-Iwata, "Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks", *Sci. Adv.*, **4**, eaau4914 (2018).
8. K. Kanomata, T. Deguchi, T. Ma, T. Haseyama, M. Miura, D. Yamaura, D. Tadaki, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, "Photomodulation of electrical conductivity of a PCBM-doped free-standing lipid bilayer in buffer solution", *J. Electroanal. Chem.*, **832**, 55-58 (2019).
9. M. Moribayashi, T. Yagai, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, and Y. Mizugaki, "Single-electron charging effects observed in arrays of gold nanoparticles formed by dielectrophoresis

- between SAM-coated electrodes”, AIP Conference Proceedings, **2067**, 020019 (2019).
10. S. Takashima, M. Moriya, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, and Y. Mizugaki, “Temporal change of AC impedance measured across a free-standing bilayer lipid membrane”, AIP Conference Proceedings, **2067**, 020015 (2019).
  11. S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, and S. Sato, “Mean-field analysis of directed modular networks”, Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, **29**, 013142 (2019).

### 【国際会議発表】

1. Teng Ma, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, “The full potential of integrated-back-contacted perovskite solar cells unveiled by numerical simulation technique”, MRS 2018 Spring Meeting, Phoenix, USA, April 6, 2018.
2. Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, and Ayumi Hirano-Iwata, “Chemically modified apertures enhanced stability of free-standing bilayer lipid membranes”, ISOME 2018, Tosa, Japan, June 1, 2018.
3. Ryusuke Miyata, Daichi Yamaura, Shun Araki, Daisuke Tadaki, and Ayumi Hirano-Iwata, “Ion channel array based on silicon (Si) microfabrication”, ISOME 2018, Tosa, Japan, June 1, 2018.
4. Teng Ma and Ayumi Hirano-Iwata, “Boosting the performance of the perovskite solar cells by structural optimization”, E-MRS 2018 Spring Meeting, Strasbourg, France, June 18, 2018.
5. Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, and Ayumi Hirano-Iwata, “Functionalized aperture surface with enhanced stability of free-standing phospholipid membrane”, E-MRS 2018 Spring Meeting, Strasbourg, France, June 20, 2018.
6. Ayumi Hirano-Iwata, Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Miki Kato, Teng Ma, Ken-ichi Ishibashi, Hideaki Yamamoto, Yuzuru Tozawa, and Michio Niwano, “Mechanically stable solvent-free lipid bilayers for reconstitution of cell-free synthesized hERG channels”, 11th FENS Forum of Neuroscience, Berlin, Germany, July 9, 2018.
7. Hideaki Yamamoto, Ryosuke Matsumura, Takeshi Hayakawa, Shutaro Katsurabayashi, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, “Dependence of membrane impedance on cell morphology in cultured hippocampal neurons”, 11th FENS Forum of Neuroscience, Berlin, Germany, July 10, 2018.
8. Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Teng Ma, and Ayumi Hirano-Iwata, “Amphiphobic Septa Enhance the Mechanical Stability of Bilayer Lipid Membranes”, SSDM2018, Tokyo, Japan, September 13, 2018.
9. Hideaki Yamamoto, Katsuya Ide, Kei Wakimura, and Ayumi Hirano-Iwata, “Bottom-up engineering of neuronal network function using microfabricated surfaces”, E-MRS 2018 Fall Meeting, Warsaw, Poland, September 19, 2018.
10. Hideaki Yamamoto and Ayumi Hirano-Iwata, “Surface micropatterning techniques for reconstituting functional neuronal networks in culture”, PacSurf 2018, Hawaii, USA, December 5, 2018.
11. Ayumi Hirano-Iwata, “Microfabricated drug screening platforms for ion channel proteins”, The 19th RIES-HOKUDAI International Symposium, Sapporo, Japan, December 11, 2018.
12. Ayumi Hirano-Iwata, “Stable Lipid Bilayers in Microfabricated Silicon Chips as a Platform for Ion Channel Proteins”, Taiwan-Japan-Korea Trilateral Conference on Nanomedicine, Tainan, Taiwan, December 13, 2018.
13. Teng Ma and Ayumi Hirano-Iwata, “Structural evolution for highly efficient perovskite solar cells”, International Conference on Perovskite and Organic Photovoltaics and Optoelectronics, Kyoto, Japan, January 28, 2019.

14. Teng Ma and Ayumi Hirano-Iwata, "Bio-Hybrid Materials and Devices Formed by Self-Assembly Process", The 2nd Symposium for World Leading Research Centers - Materials Science and Spintronics, Sendai, Japan, February 16, 2019.
15. Ayumi Hirano-Iwata, Daichi Yamaura, Miki Kato, Takafumi Deguchi, Xingyao Feng, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano, "Stable lipid bilayers as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 22, 2019.
16. Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Shigeru Kubota, and Shigeo Sato, "Analysis of dynamical complexity in modular neuronal network models", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 22, 2019.
17. Takeshi Hayakawa, Hideaki Yamamoto, Katsuya Ide, and Ayumi Hirano-Iwata, "Structure-dependence of stimulus responses in micropatterned neuronal networks", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 22, 2019.
18. Kei Wakimura, Hideaki Yamamoto, Katsuya Ide, and Ayumi Hirano-Iwata, "High-speed imaging of spontaneous activity in micropatterned cortical cultures: Impact of modular organization", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 22, 2019.
19. Takuma Sumi, Hideaki Yamamoto, and Ayumi Hirano-Iwata, "Functional characterization of cultured neuronal networks on ultrasoft gels", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 22, 2019.
20. Hideaki Yamamoto, Satoshi Moriya, Katsuya Ide, Takeshi Hayakawa, Hisanao Akima, Shigeo Sato, Shigeru Kubota, Takashi Tanii, Michio Niwano, Sara Teller, Jordi Soriano, and Ayumi Hirano-Iwata, "Dynamical richness in modular cortical networks emerges as trade-off between functional integrability and spatial segregation", 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, February 23, 2019.
21. Teng Ma, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, "Back-contact structure for highly efficient perovskite solar cells", 10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Sendai, Japan, March 6, 2019.
22. Ayumi Hirano-Iwata, Daichi Yamaura, Takafumi Deguchi, Miki Kato, Xingyao Feng, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano, "Stable lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips as a platform for novel biosensors", 10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Sendai, Japan, March 6, 2019.
23. Xingyao Feng, Teng Ma, Takafumi Deguchi, and Ayumi Hirano Iwata, "Self-assembly of lipid membranes doped with organic molecules", 10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Sendai, Japan, March 7, 2019.
24. Hideaki Yamamoto, "Engineering neuronal network functions in culture using microfabricated surfaces", KTH Royal Institute of Technology: CST Seminar, Stockholm, Sweden, March 7, 2019.

## 6. 参考資料

- 6-1 施設のクリーンルームと装置の概要
- 6-2 施設の利用状況（平成30年度）
- 6-3 ナノ・スピニ工学研究会  
国際シンポジウムプログラム



## 6-1 施設の代表的装置の概要

### a-1) ナノ・スピニ電子ビーム・リソグラフィ関連

- ナノ・スピニ電子描画システム 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: 5mm 角～300mm  $\phi$
- ナノ・スピニ縮小投影露光システム ニコン NSR-2005i10C
- 用途 縮小投影露光による微細レジストパターンの形成
  - 性能 露光光源: i線  
投影倍率: 1/5  
ウェハサイズ: 33mm  $\phi$ 、2 インチ  $\phi$   
レチクルサイズ: 6インチ角
- マスクアライナー カールズス 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 25mW/cm<sup>2</sup>  
露光分解能 0.8  $\mu$ m ライン／スペース(バキュームコンタクト時)
- 走査型電子顕微鏡(SEM) 日本電子 JSM7401-FT
- 用途 薄膜表面極微細構造解析
  - 性能 ·2次電子像分解能
    - 加速電圧 15kV : 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filtr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 : 0.5～30kV、GB モード : 0.1～4kV
  - プローブ電流  $10^{-13} \sim 2 \times 10^{-9}$  A
- マスク電子ビーム描画装置システム 日本電子 JBX-9000ZB(A)
- 用途 電子ビームを用いたマスク作製及びウェーハへの直接描画
  - 性能 最大加速電圧: 50 kV  
ビーム電流密度: 10 A/cm<sup>2</sup>  
图形精度: 0.02  $\mu$ m  
最小寸法: 0.1  $\mu$ m  
マスクサイズ: 2.5, 6 インチ  $\phi$   
ウェハ径: 2, 3 インチ  $\phi$ , 33mm  $\phi$

□ 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 ウエハサイズ 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 ウエハサイズ 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 ウエハサイズ 不定形(最大2インチ) 加熱温度 900°C ± 5°C 以内 雰囲気ガス 窒素、アルゴン、水素	
□ 半導体パラメータアナライザ	ソニーテクトロニクス
●用途 半導体電子デバイス等の電気的特性の評価	
●性能 ・ソースモニタユニット数 6 ・分解能 8mV 4fA ・最大電圧・電流 200V 100 mA ・カーブトレーサモード可	
□ 高機能マイクロカーティン装置	ネオアーク
●用途 約 2 μm 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 波長 650 nm レーザスポットサイズ:約 2 μm 最大印加磁場:1.0T 温度:1.5K ~ 400K(室温以下は液体 He 使用) ステージ空間分解能 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: 150 mm φ 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: 20K~400K  
最大印加磁界強度: 0.4T

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の熱処理が可能。

□ ナノヘテロ分析システム

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

□ 半導体電気磁気複合特性測定システム HP 他組上システム

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

□ 常圧 CVD 装置 光洋サーモシステム

- 用途 热 CVD 法により SiO<sub>2</sub>、PSG、BSG の薄膜形成を行う。
- 性能 200~400°C での热 CVD 法 により、SiO<sub>2</sub>、PSG、BSG を形成可能。  
バッチ内膜厚分布士 5% 以内。

□ 原子スケール評価分析システム (AFM/STM) オミクロン

- 用途 半導体プロセスの原子スケール評価分析等用。
- 性能 超高真空 STM、コンタクトモード AFM、ノンコンタクトモード AFM。  
LEED、オージェ、XPS 等可能。試料通電加熱可能。  
装置接続延長管付

## □ 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 インチウェハ。試料皿にのる不定形ウェハ可能。補助磁場印加、RF バイアス印可可能。  
導入ガス: 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  $\mu\text{m}$   
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(AIK  $\alpha$ )  
スペクトルモード: 最少分析領域 15  $\mu\text{m}$   
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  $\mu\text{m}$

## □ 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  
408nm 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 21~560m 最高ピクセル分解能 21nm  
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  $\mu\text{m} \times 30 \mu\text{m} \times$ (高さ) 4  $\mu\text{m}$   
最高制御分解能(水平) 0.45  $\mu\text{m} \times$ (高さ) 0.06  $\mu\text{m}$

#### a-4) 配線プロセス関係

□ ナノ・スピニメタルスパッタリングシステム	アネルバ EVP-38877
●用途 半導体集積プロセスにおける配線用 Al/Ti 薄膜の成膜	
●性能 ターゲット材 Al-Si(1%)、Ti 基板ホルダ 33ミリφ、2インチφ、4cm 角以下のカットウェハ等 処理枚数 33ミリφウェハ 25枚/ロット 膜厚分布 φ200ミリ内±5%以内 到達真空度 $3 \times 10^{-6}$ Pa(スパッタ室)	
□ アナライザー	アジレント HP-4156C
●用途 ワンジスタの電圧-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(1fA/2μV-100mA/100V) × 4 電圧測定ユニット × 2 電圧源ユニット × 2	
□ ボンダー	ウェストボンド 7476D
●用途 集積化チップとパッケージ間の信号線配線	
●性能 ワイヤー Al、Au 最大倍率 60倍の可変ズーム顕微鏡 始点・終点の超音波出力／発生時間の独立設定が可能 パッケージの加熱可能	
□ マスクアライナー	カールズス 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 5mm 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 $25\text{mW/cm}^2$ 露光分解能 $0.8\mu\text{m}$ ライン／スペース(バキュームコンタクト時)	
□ スパッタ装置	アネルバ
●用途 高密度金属配線形成、金属電極形成、シリサイド用高融点金属薄膜形成	
●性能 φ4"カソード × 3基 最大搬送基板サイズ: φ4" 基板加熱: MAX350°C 到達真空度: $3 \times 10^{-6}$ Pa 以下	
□ 热処理炉	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°C～1050°C: 3体	

## □ 金属蒸着装置

日本シード研究所 M95-0019

- 用途 金属薄膜(アルミニウム)の蒸着(抵抗加熱型)
- 性能 蒸着源ポート数:2  
対応ウェハサイズ: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  
基板回転機構付き

## □ CAD システム

セイコー電子 SX-9000

- 用途 集積回路パターン作製用 CAD
- 性能 ·SX9000 による CAD パターン作製  
·JEOL52 フォーマットへの CAD データコンバート機能

## □ 表面ナノ加工装置

日本ビーコ

- 用途 走査型プローブ顕微鏡の探針によるナノメートルスケールの加工機能及びマニピュレーション及び走査型プローブ顕微鏡による各種プローブ顕微鏡像の観察
- 性能 最大試料サイズ:210 mm  
ステージ可動範囲:180 mm × 150 mm  
最大走査範囲:XY:80  $\mu$ 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

## □ 非接触段差・粗さ計測装置

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( $\sigma$ ):00007  $\mu$ m)

## □ イオンビーム加工解析装置(FIB-SEM)

SII-NT 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:30kV  
電子ビーム最大加速電圧:30kV  
Ar イオンビーム最大加速電圧::1kV  
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:3 インチ  $\phi$

## □ 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:50 mm × 50 mm

□ ナノ立体加工装置(AFM)

エスアイアイ・ナノテクノ  
ロジー(株) SPA400

- 用途 原子間力顕微鏡像の取得及びその解析
- 性能 AFM(コンタクトモード)、DFM(ノンコンタクトモード・サイクリックコンタクトモード・フェーズモード)  
最大試料サイズ: 35 mm  $\phi$   
走査範囲: 20  $\mu\text{m}$ 、150  $\mu\text{m}$

## 6-2 施設の利用状況(平成30年度)

平成31年3月31日

A/B	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	A 深見准教授研	深見俊輔		池田教授 松倉教授 深見准教授 Aidong客員教授 (助教)金井 Justin 隣内 (助教)張 Samic (PD) Aleksandr (研究支援員)五十嵐 岩沼 後藤 平田 (D2)竹内 土肥 (D1) William 五十嵐 篠崎 (M2)齊野 高橋 王 伊藤 (M1)宮坂 古賀 船津 (B4) 古屋 Vihanga 奥田 田中(松倉研)	30
	A 平野研	但木大介		平野教授 但木助教 馬助教 (研究員)阿部 (D3) 山浦 (D1) Feng (M2) 出口 山宮 井出 (M1) 常田 (B4) 小西	11
	A 佐藤・櫻庭研	櫻庭政夫		佐藤教授 櫻庭准教授 (D4)李 (D2) 守谷 (M2) 加藤 (M2) 達増 (M1) 田村 (研究員)窪内 岩佐 西村 北川 (研究生)戴 (B4) 加藤 半澤	14
	A 尾辻・佐藤研	佐藤 昭		尾辻教授 佐藤昭准教授 渡辺助教 (D1) 細谷 斎藤 (M2) 菅原 大森 鈴木 (M1) 布施 辺山 (特別研究学生)Ludvig (B4) 西村 菅原 荻浦	14
	B 堀尾研	堀尾喜彦		堀尾教授 (M2) 奈良 (M1) 佐藤 野村 宮内 (B4) 篠田 高橋 キム	8
	A 共通部	森田伊織		森田技術職員 小野技術職員 武者技術職員	3
非常駐研究室	A' 基盤センター評価部	阿部真帆		阿部技術職員、丹野技術職員	2
	A' 末光・吹留研	吹留博一		吹留准教授 (学術研究員) 佐々木 (PD) 金 (研究員) 渡邊 (M) 鴨川 (B4) 諏訪	6
	B 藤掛・石鍋研(工)	柴田陽生	平野研	柴田助教 (M1) 福永	2
	B 大塚准教授研	大塚朋廣	深見研	大塚准教授	1
	B 遠藤研/CIES	佐藤英夫	深見研	遠藤教授/センター長 佐藤英夫教授 (研究員) 仮屋崎 Shujun (葉)	4
	B 安藤・大兼研(工)	大兼幹彦	深見研	大兼准教授 佐藤技術職員 (D2) 福田 (M2) 若狭 (M1) 工藤 劉 (B4) 山村 赤松	8
	B 新田・好田研(工)	好田 誠	深見研	好田准教授 軽部助教 (PD) 杜野 (D2) 中川原 蒲生 (D1) 飯笛 斎藤 Ryan (M2) 榎 (M1) 朝倉 佐藤大 (B4) 川浦 北村 安藤 菅原 西村 藤田 Lee	18
	B 石山・枠研	枠修一郎		枠准教授 林助教 (M2) 横山 (M1) 曽良 長内 (B4) 佐野 斎藤 日高	8
	B 鶯尾研(工)	川島知之	佐藤研	川島講師 岡田助教 (M2) 木村 (M1) 岡本	4
	B 高桑研(多元)	小川修一	尾辻研	小川助教 (D3) 阿加 (M2) 橋本 (M1) 蒲田	4
	B CIES/末光研	末光哲也	尾辻研	末光哲也教授	1
	B 松岡研(金研)	谷川智之	尾辻研	谷川講師 窪谷助教 (M2) 大西 (B4) 藤田	4
	B 内野研(東北工大)	内野 俊	尾辻研	内野教授 (M1) 志賀	2
	B 北上研(多元)	菊地伸明	共通部(マスク作成)	菊地助教	1

合計

145

※共通利用装置 48台

共通利用対応装置 利用時間

装置分類 (A, P, B, C)	平成30年3月1日から平成31年2月28日まで												合計							
	実験装置利用時間			プロジェクト用・研究室専用装置利用時間			小計			実験装置利用時間			プロジェクト用・研究室専用装置利用時間			小計			合計	
佐藤・櫻庭研 深見准教授(松倉研・池田研を含む)	A/P	423	112	46	245	110	49	7	10	30	1500	32	1040	43	27				925	
平野研 尾辻・佐藤研	A/P	74	1	34	2	19	13	55	4	181					4			52	38	
施設共通部 (佐藤茂)・吹留研	A/P	138	88	21	4	58	224	98							72			30	132	
安藤・大妻研 新田・好田研(知識デバイス科学専攻)	A/P	3	13	1	1										1			44	16	
警屋・川島研 高桑研(多元物質科学研究所)	A/P																	7	433	
松岡研(金属材料研究所) 石山・柳研	A/P																	192	225	
大塚研 藤井・石鍋研	A/P																		201	
遠藤教授(CIES) 末光教授(CIES)	A/P																		39	
内野研(東北工大) 北上研(多元物質科学研究所)	A/P	665	200	83	305	112	493	229	16	189	10	30	1599	32	1040	63	77	278	376	
計	A/P																	156	266	28
																	15	357	521	
																	117	205	455	
																	7	8208	11030	
																	7	13238		

→ Aは共通利用対応  
Pはプロジェクト対応

※プロジェクト対応・持込み装置 53台

プロジェクト対応装置・研究室持込装置利用時間

プロジェクト対応装置		研究室持込装置										実験接続利用時間											
装置名	装置分類(A,P,B,C)	設置場所	担当者	佐藤一慶研	深見准教授(松倉研,池田研を含む)	平野研	尾辻・佐藤研	施設共通部	(佐藤一慶)	・吹留研	安藤・大森研(応用物理学専攻)	新田・好田研(無機デバイス材料科学専攻)	鶴尾・川島研(固体電子工学)	高橋研(多元物質科学研究所)	松岡研(金属材料研究所)	石山・松井研	大森研	藤掛・石鍋研	遠藤教授(CIES)	末光教授(CIES)	内野研(東北工大)	北・研(多元物質科学研究所)	計
スピンテバイス用リソグラフィ装置(アライナ)	P	化合物室	松倉	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
高機能金剛薄膜形成用スパッタ装置(マスク法)	P	化合物室	佐藤	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
スピノル材料微細加工装置(絶縁膜堆積)	P	化合物室	佐藤	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
スピノル材料成長装置(HEFIB)	P	化合物室	佐藤	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
スピノルメモリ用スパッタ装置(MRAMスパッタ)	P	化合物室	佐藤	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
スピノル半導体成長装置(GEII)	P	化合物室	佐藤	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	化	
佐藤一慶研				29	3120	425		30	1340		40	40	96	252	211	1		60	20	12	8	8	
深見准教授(松倉研,池田研を含む)					2													85	66	292			
平野研						21												21		123	336	223	126
尾辻・佐藤研							246													70		70	
施設共通部								246															
(佐藤一慶)									57														
・吹留研										33													
安藤・大森研(応用物理学専攻)											40												
新田・好田研(無機デバイス材料科学専攻)												2											
鶴尾・川島研(固体電子工学)												2											
高橋研(多元物質科学研究所)													35	12									
松岡研(金属材料研究所)																							
石山・松井研																							
大森研																							
藤掛・石鍋研																							
遠藤教授(CIES)																							
末光教授(CIES)																							
内野研(東北工大)																							
北・研(多元物質科学研究所)																							
計																							

## 48台

※共通利用装置

装置分類 (A, P, B, C)	装置名 (「A」は共通利用対応、「P」はプロジェクト対応)	装置・機器名	保守時間	共通利用対応装置	プロジェクト用・研究室持込装置	保守時間	小計	実験装置保守時間	
								合計	小計
佐藤・櫻庭研	深見准教授(松倉研, 池田研を含む)			A/P	A	A	A	A	A
平野研									
尾辻・佐藤研									
施設共同部									
(佐藤(茂))・吹留研									
安藤・大塚研 (応用物理学専攻)									
新田・好田研 (知能デバイス科学専攻)									
鷲尾・川島研 (固体電子工学)									
高桑研 (多元物質科学研究所)									
松岡研 (金属材料研究所)									
石山・柄研									
大塚研									
藤掛・石鍋研									
遠藤教授(CIES)									
末光教授(CIES)									
内野研 (東北工大)									
北上研 (多元物質科学研究所)									
計								376	969
								43	1345
								2	8

プロジェクト対応装置・研究室持込み装置保証時間

※プロジェクト対応・持込み装置 53台

プロジェクト対応装置		研究室持込み装置		持込室	
装置名	装置分類(A, P, B, C)	装置名	装置分類(A, P, B, C)	設置場所	保証時間
佐藤・櫻庭研 深見准教授(松倉研・池田研を含む)	P	高橋能会 スピンデバイス用リングラフィ装置	P	1号機 2号機	20
平野研	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	3号機	20
尾辻・佐藤研 施設共通部	P	スピン材料微細加工装置 (純膜堆積)	P	4号機	20
(佐藤准)・吹留研 新田・大津研(応用物理学専攻) 新田・好田研(知能デバイス材料科学専攻)	P	ナノスピン材料成長装置 (MBE法)	P	5号機	20
鷲尾・川島研(固体電子工学)	P	スピンメモリ用スピンタ接続 (GEMII)	P	6号機	20
高桑研(多元物質科学研究所)	P	スピン半導体成長装置 (GEMII)	P	7号機	20
松岡研(金属材料研究所)	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	8号機	20
石山・柄研 大塚研 藤井・石鍋研 遠藤教授(CIES)	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	9号機	20
内野研(東北工大)	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	10号機	20
北上研(多元物質科学研究所)	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	11号機	20
計	P	スピンデバイス用リングラフィ装置 (マスク堆積)	P	12号機	20
					38
					12
					2
					3
					5
					3
					5
					15
					16
					30
					5
					35
					30
					5
					694
					120
					65
					55
					30
					5

## 6-3 ナノ・スピニ学研究会

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・スピニ実験施設」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・スピニ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。平成30年度は以下のように計5回の研究会を実施した。

第104回 平成30年6月6日 15:00-17:50

“Strong terahertz plasmonic resonances in Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>: a 3D topological Dirac semimetal”

“HgCdTe-based heterostructures for THz emitters”

SENSALE RODRIGUEZ, Berardi (The University of Utah, Assist. Prof.)

第105回 平成30年12月3日 13:30-15:00

“Real Space Transfer in Graphene-Phosphorene Heterostructures”

ミティン ウラジミール（ニューヨーク州立大学バッファロー校、Distinguished Professor）

第106回 平成30年12月17日 12:55-17:50、 12月18日 9:00-12:30

「高速テラヘルツカラーイメージング装置の開発」他8件

坪内雅明・永島圭介（量研）ほか

平成30年12月18日 9:00-12:30

「InP系、Sb系及びGaN系HEMTの高速化とそのテラヘルツ無線応用」他6件

遠藤聰・渡邊一世・山下良美・笠松章史（NICT）・藤代博記（東京理科大）・三村高志（NICT）ほか

第107回 平成31年2月13日 15:30-17:00

“New Graphene like HgTe Quantum Wells for Quantum Hall Metrology”

クナップ ヴォイチェック（ポーランド・テラヘルツ研究応用センター、ポーランド科学アカデミー／フランス・国立科学中央研究所、モンペリエ第2大学、教授）

第108回 平成31年3月27日 11:00-12:00

「スマートセンシングとエッジAI技術の動向」

高浦 則克 氏（日立製作所）

# 16th RIEC International Workshop on Spintronics

## Program

### ● January 9 (Wednesday)

9:10-9:15

**Opening**

9:15-10:00

**We-1** **T. Jungwirth (ASCR)**

[Invited Lecture] *Crystal symmetries and transport phenomena in antiferromagnets*

10:00-10:30

**We-2** **T. Moriyama (Kyoto University)**

*Spin torque control of antiferromagnetic NiO*

10:30-10:50

**Break**

10:50-11:20

**We-3** **C. Song (Tsinghua University)**

*Electrical switching of antiferromagnetic moments*

11:20-11:50

**We-4** **M. Meinert (Bielefeld University)**

*Key role of thermal activation in the electrical switching of antiferromagnetic Mn<sub>2</sub>Au and CuMnAs*

11:50-13:50

**Lunch**

13:50-14:00

**Group Photo**

14:00-14:45

**We-5 P. Gambardella (ETH Zürich)**

[Invited Lecture] *Spatially-resolved magnetization dynamics induced by spin-orbit torques*

14:45-15:15

**We-6 K. Ando (Keio University)**

*Spin-orbit torques in metal-oxide heterostructures*

15:15-15:40

**Break**

15:40-16:10

**We-7 J. Åkerman (University of Gothenburg)**

*Spin transfer torque driven higher-order propagating spin waves in nano-contact magnetic tunnel junctions*

16:10-16:40

**We-8 E. Sagasta (CIC nanoGUNE)**

*Tuning the spin Hall effect in heavy metals*

16:40-17:10

**We-9 J. Nitta (Tohoku University)**

*Spin-orbit torque efficiency in epitaxial Pt/Co bilayer systems*

## ● January 10 (Thursday)

9:10-9:55

**Th-1                    G. S. D. Beach (MIT)**

[Invited Lecture] *Magnetic Skyrmions: From Topology to Technology*

9:55-10:25

**Th-2                    J. Matsuno (Osaka University)**

*Spin-orbitronics at transition-metal oxide interfaces*

10:25-10:45

**Break**

10:45-11:15

**Th-4                    D. Querlioz (Univ. Paris-Sud)**

*Bioinspired Computing Leveraging the Physics of Magnetic Nano-Oscillators*

11:15-11:45

**Th-5                    K. Camsari (Purdue University)**

*p-bits for Probabilistic Spin Logic*

11:45-14:00

**Lunch**

14:00-15:30

**Poster Session: Room A401 (4F)**

15:30-16:00

**Th-3                    C. Back (Technische Universität München)**

*Magnetization dynamics driven by spin-orbit torques*

16:00-16:30

**Th -7 H.-W. Lee (POSTECH)**

*Intrinsic spin and orbital Hall effects from orbital texture*

16:30-17:00

**Th -8 S. Fukami (Tohoku University)**

*Spin-Orbit Torque Switching in Nanoscale Devices: Material and Device Engineering*

17:00-17:05

**Closing**

17:05-18:00

**Free time**

18:00-19:30

**Banquet (Joint RIEC/Core to Core)**

# **The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer**

**Date:** February 22 - 23, 2019

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

## **Organizers:**

Symposium Chair

Shigeo Sato, Tohoku Univ.

Program Committee

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

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

Secretary

Shigeo Sato, Tohoku Univ.

## **Sponsored by**

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

# Program

## February 22 (Friday)

13:30 -13:35 Opening Remarks

A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

--- Session 1 (Chair: Y. Horio) ---

13:35 -14:05 [S1-1] Exploiting temporal codes in spiking neural networks

L. Theogarajan, UC Santa Barbara, U.S.A.

14:05 -14:25 [S1-2] Chaotic neural network reservoir and its application to  
brainmorphic computing hardware

Y. Horio, Tohoku Univ., Japan

14:25 -14:55 [S1-3] Recent developments on the state of the art in spiking neural  
hardware

J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato, Technical Univ.  
Catalunya, Spain

14:55 -15:15 [S1-4] Design of an analog MOS circuit of the Izhikevich neuron model

S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio,  
Tohoku Univ., Japan

15:15 -15:30 Break (15 min)

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

15:30 -15:50 [S2-1] Temporal integration of axonal spike signaling in the hippocampus

H. Kamiya, Hokaido Univ., Japan

15:50 -16:20 [S2-2] Three-dimensional neuronal cultures: challenges and opportunities

J. Soriano, Univ. Barcelona, Spain

16:20 -16:40 [S2-3] Stable lipid bilayers as a platform for cell-free synthesized ion  
channel proteins

A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, M. Kato, T. Deguchi, F. Xingyao, D.  
Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

16:40 -16:55 Break (15 min)

[P-1] Ternarized Backpropagation: a hardware-oriented optimization algorithm for edge-oriented AI devices

T. Kaneko, M. Ikebe, S. Takamaeda-Yamazaki, M. Motomura, T. Asai, Hokkaido Univ., Japan

[P-2] A numerical study on an Izhikevich neuron model analog MOS circuit

Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, S. Sato, Tohoku Univ., Japan

[P-3] Encoding and retrieval of object-in-place memory in a computational model of entorhinal-hippocampal neural network

K. Takada, K. Tateno, M. Kawauchi, T. Morie, Kyushu Inst. Technol., Japan

[P-4] Simulation based on neuronal cable theory for structures within an olfactory sensory unit for nestmate and non-nestmate discrimination in the Japanese carpenter ant

J. Takano, T. Omori, H. Kubo, T. Uebi, Y. Takeichi, N. Miyazaki, K. Murata, K. Yasuyama, K. Inoue, N. Kajimura, M. K. Hojo, E. Takaya, S. Kurihara, M. Ozaki, Kobe Univ., Japan

[P-5] Data-driven approach for extracting neuronal nonlinear dynamics

J. Yamasaki, S. Otsuka, T. Omori, Kobe Univ., Japan

[P-6] Computational modeling of spontaneous firing patterns generated by single autaptic neurons

K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

[P-7] Roles of brain-inspired initial constraint on structure of recurrent neural network for its performance and robustness

T. Fusauchi, T. Samura, Yamaguchi Univ., Japan

[P-8] Analysis of dynamical complexity in modular neuronal network models

S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, Tohoku Univ., Japan

[P-9] Functional complexity in neuronal network models with hierarchically modular organization

Z. Chen, H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, S. Kubota, S. Sato, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

[P-10] Raft-like domain in freestanding membrane suspended over microwells

Y. Nakatani, K. Kawahara, K. Harada, A. Oshima, H. Nakashima, K. Sumitomo, Univ. Hyogo, Japan

[P-11] Pharmacological response of TRP channel in human iPS cell-derived sensory neurons using MEA system

A. Odawara, N. Matsuda, I. Suzuki, Tohoku Inst. Technol., Japan

[P-12] An experimental study on spontaneous firing of a single neuron on micropatterned substrates

K. Sato, T. Nakane, H. Takahashi, K. Hattori, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

[P-13] Structure-dependence of stimulus responses in micropatterned neuronal networks

T. Hayakawa, H. Yamamoto, K. Ide, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

[P-14] High-speed imaging of spontaneous activity in micropatterned cortical cultures: Impact of modular organization

K. Wakimura, H. Yamamoto, K. Ide, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

[P-15] Surface modification with visible-light-responsive TiO<sub>2</sub> thin film

A. Kurotobi, S. Kono, T. Ichikawa, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

[P-16] Functional characterization of cultured neuronal networks on ultrasoft gels

T. Sumi, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

19:00 -21:00 Banquet

**February 23 (Saturday)**

--- Session 3 (Chair: S. Sato) ---

9:30 - 9:50 [S3-1] Optimized stimuli for neuronal desynchronization and their application to module networks

S. Kubota, J. E. Rubin, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, Yamagata Univ. Japan

9:50 - 10:20 [S3-2] Robust sequence learning in attractor memory networks with fast Hebbian plasticity

P. Herman, Royal Inst. Technology, Sweden

10:20 - 10:40 [S3-3] STDP in SNN implementation on FPGA

Y. Xia, T. Levi, T. Kohno, Univ. Tokyo, Japan

10:40 - 10:55 Break (15 min)

--- Session 4 (Chair: P. Herman) ---

10:55 - 11:25 [S4-1] Detecting neuron-glia communication through optic flow and synaptic stabilization in neuronal cultures

J. Orlandi, Y. Hernandez, J. Davidsen, M. A. Colicos, Univ. Calgary, Canada

11:25 - 11:45 [S4-2] Excitatory synaptic transmission is modulated by the density of surrounding astrocytes

K. Oyabu, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki, Fukuoka Univ., Japan

11:45 - 12:05 [S4-3] Dynamical richness in modular cortical networks emerges as trade-off between functional integrability and spatial segregation

H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

12:05 - 12:10 Closing Remarks

S. Sato, Tohoku Univ., Japan

# **10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics**

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

**Organized by**  
**Research Institute of Electrical Communication  
Tohoku University**

**Co-Organized by**  
**Nano-Spin Engineering Seminar  
Cooperative Research Projects  
Information Biotronics Seminar**

**Cooperative Society**  
**CREST “Construction of ion and electron nano-channels  
in super-resistive lipid bilayers”, JST**

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

**March 6-7, 2019  
Sendai, Japan**

# **10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics**

**March 6-7, 2019**

**Site: Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan**



## **Organizer:**

### **Symposium Chairs**

**Ayumi Hirano-Iwata**, Tohoku Univ.

**Ryugo Tero**, Toyohashi Univ. of Tech.



## **Program Committee**

**Ayumi Hirano-Iwata**, Tohoku Univ.

## **Organizing Committee**

**Ayumi Hirano-Iwata**, Tohoku Univ.

**Ryugo Tero**, Toyohashi Univ. of Tech.

**Teng Ma**, Tohoku Univ.

**Daisuke Tadaki**, Tohoku Univ.

# Program

## March 6 (Wednesday)

Room: 4F, Conference Room, *Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics*

- 13:00 ~ 13:05     Opening Remarks  
Ayumi Hirano-Iwata  
(Advanced Institute for Materials Research / Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan)
- (Chair: Daisuke Tadaki)
- 13:05 ~ 13:50     Multi-pore resistive pulse sensing of microRNA  
Maurits de Planque  
(School of Electronics and Computer Science & Institute for Life Sciences, University of Southampton, Southampton, United Kingdom)
- 13:50 ~ 14:20     Patterned lipid bilayer combined with a nanometric gap structure as a versatile model of the biological membrane  
Kenichi Morigaki<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan, <sup>2</sup>Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan)
- 14:20 ~ 14:50     Impedance mapping of a cultured cell layer for spatiotemporal analysis of its barrier function  
Ko-ichiro Miyamoto<sup>1</sup>, Daisuke Suzuki<sup>2</sup>, Carl Frederik Werner<sup>1</sup>, and Tatsuo Yoshinobu<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan,  
<sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan)
- 14:50 ~ 15:20     Stable lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips as a platform for novel biosensors  
Ayumi Hirano-Iwata<sup>1,2</sup>, Daichi Yamaura<sup>2</sup>, Takafumi Deguchi<sup>2</sup>, Miki Kato<sup>2</sup>, Xingyao Feng<sup>2</sup>, Daisuke Tadaki<sup>2</sup>, Teng Ma<sup>1</sup>, Hideaki Yamamoto<sup>1</sup>, and Michio Niwano<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan,  
<sup>2</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan,  
<sup>3</sup>Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)
- 15:20 ~ 15:40     Coffee Break

(Chair: Patrik Schmuki)

- 15:40 ~ 16:10 Less-defect colloidal quantum dots: synthesis, optical properties and application in optoelectronic devices  
F. Liu<sup>1</sup>, Y. Zhang<sup>1</sup>, C. Ding<sup>1</sup>, S. Hayase<sup>2</sup>, T. Toyoda<sup>1</sup>, and Qing Shen<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo, Japan, <sup>2</sup>Faculty of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan)
- 16:10 ~ 16:40 Dewetting of metal thin films on semiconductor surfaces: steering dewetting phenomena to design nanoscaled platforms for photocatalysis  
Marco Altomare  
(Department of Materials Science and Engineering, University of Erlangen-Nuremberg, Martensstraße 7, D-91058 Erlangen, Germany)
- 16:40 ~ 17:00 Back-contact structure for highly efficient perovskite solar cells  
Teng Ma<sup>1</sup>, Daisuke Tadaki<sup>2</sup>, Michio Niwano<sup>3</sup>, and Ayumi Hirano-Iwata<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan,  
<sup>2</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan,  
<sup>3</sup>Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)
- 18:00 ~ Banquet

## **March 7 (Thursday)**

**Room: 4F, Conference Room, Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics**

(Chair: Ryugo Tero)

9:00 ~ 9:45      Self-organized TiO<sub>2</sub> nanotube arrays : photoelectrochemical and photocatalytic applications

Patrik Schmuki

(Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Martensstraße 7, 91058 Erlangen, Germany)

9:45 ~ 10:05      Room temperature atomic layer deposition and its application to gas barrier coating

Fumihiko Hirose, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota

(Yamagata University, Yonezawa, Japan)

10:05 ~ 10:35      Single-electron devices fabricated using percolative connections of gold nanoparticles

Yoshinao Mizugaki<sup>1</sup>, Masataka Moriya<sup>1</sup>, Hiroshi Shimada<sup>1</sup>, Kazuhiko Matsumoto<sup>1</sup>,

Makoto Moribayashi<sup>1</sup>, Tomoki Yagai<sup>1</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>2</sup>, and Fumihiko Hirose<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>The University of Electro-Communications, Chofu, Japan, <sup>2</sup>Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>3</sup>Yamagata University, Yonezawa, Japan)

10:35 ~ 10:50      Coffee Break

(Chair: Maurits de Planque)

10:50 ~ 11:20      Cell-free translation system: a tool for producing proteinous nanomachines

Yuzuru Tozawa and Haruka Inoue

(Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Saitama, Japan)

11:20 ~ 11:50      Domain formation and lateral diffusion in lipid bilayer membranes on graphene oxide

Ryugo Tero, Yoshi Hagiwara, Kiyoshi Tsuzumi

(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)

11:50 ~ 12:10      Microdomain formation in bilayer membrane consisting of completely miscible lipids

Melvin Wei Shern Goh<sup>1</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>2</sup>, Michio Niwano<sup>3</sup>, Ryugo Tero<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, <sup>2</sup>Tohoku University, Sendai, Japan, <sup>3</sup>Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

12:10 ~ 12:30 Self-assembly of lipid membranes doped with organic molecules

Xingyao Feng<sup>1</sup>, Teng Ma<sup>2</sup>, Takafumi Deguchi<sup>1</sup>, Ayumi Hirano Iwata<sup>1,2</sup>

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

**東北大学電気通信研究所附属  
ナノ・スピニ実験施設**

---

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