

ISSN 1881-3356

**東北大学電気通信研究所
附属ナノ・スピン実験施設
研究報告書 第13号**

**Research Report No.13
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

2018

施設研究報告書 2018

目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	平成 29 年度の研究成果のハイライト	3
4.	施設の活動	8
4-1	国際研究拠点形成	8
4-2	国際シンポジウム	9
5.	研究成果（平成 29 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	99
5-C	ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	181
6.	参考資料	267
6-1	施設のクリーンルームと装置の概要	269
6-2	施設の利用状況（平成 29 年度）	276
6-3	ナノ・スピン工学研究会	281
	国際シンポジウムプログラム	282

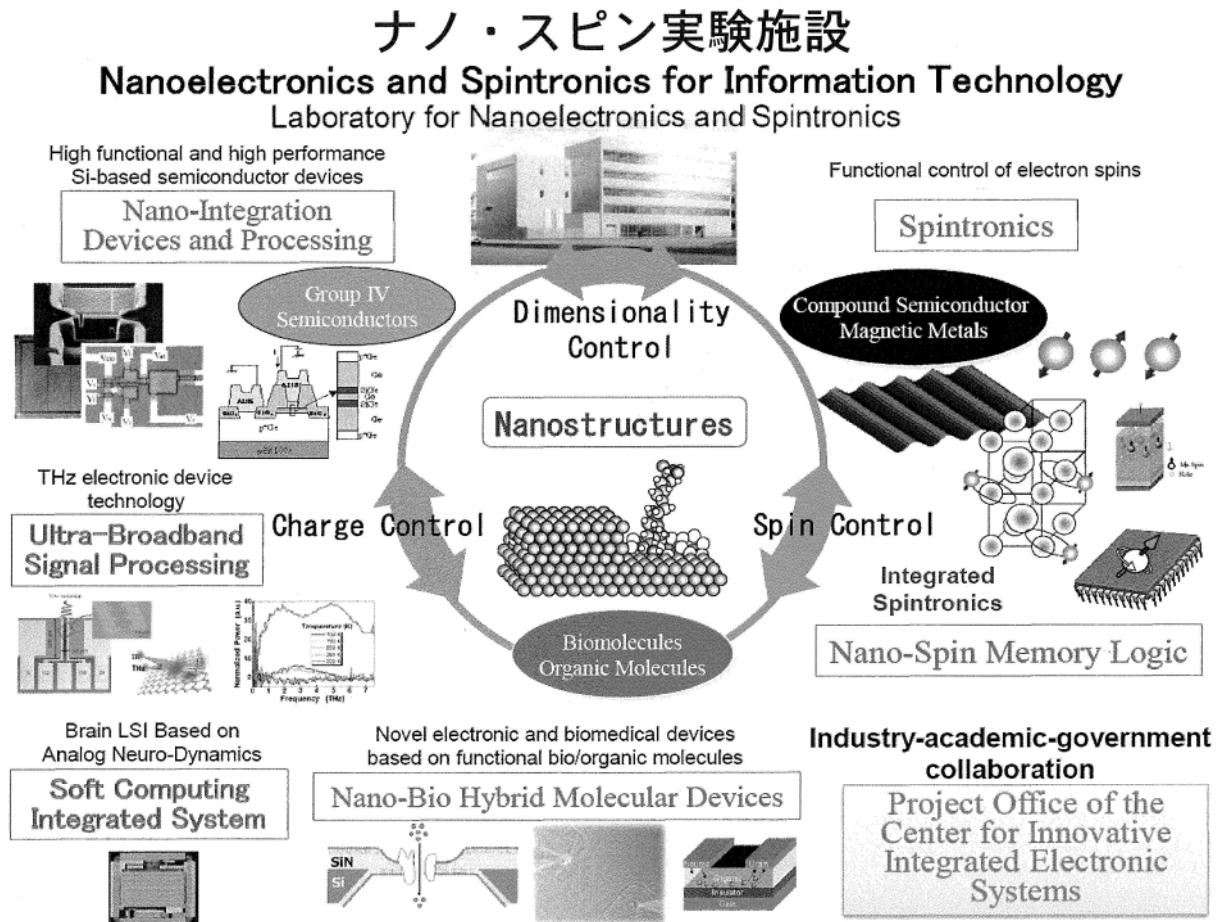
Annual Research Report 2018

Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2017	3
4.	Global Activities	8
4 – 1	COE of International Research Collaboration	8
4 – 2	International Symposium	9
5.	Research Abstracts	13
5 – A	Nano Integration	13
5 – B	Spintronics and Information Technology	99
5 – C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	181
6.	Miscellaneous	267
6 – 1	Facilities and Equipments	269
6 – 2	Statistics	276
6 – 3	Nano-Spin Seminar Series	281
	Program of International Symposium	282

1. 施設の概要

Outline



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

現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室が入居し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。

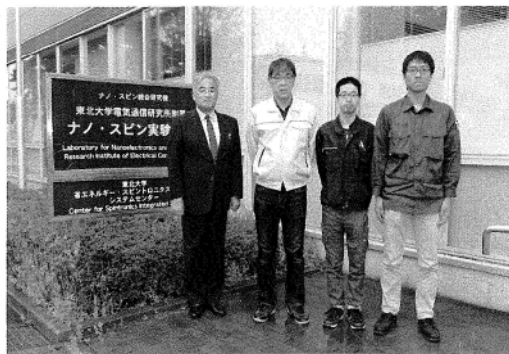
東北大学電気通信研究所附属
ナノ・スピン実験施設長
教授 上原 洋一

2. 施設の組織

Organization

施設長 Director
 教授 上原 洋一 Professor Yoichi Uehara

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



運営委員会 Steering Committee
 教授 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 未松 憲治 Professor Kenji Suematsu

拡大実行委員会 Extended Executive Committee
 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

3. 平成 29 年度の研究成果のハイライト

Highlights of Research in FY2017

施設研究部と利用研究室の平成 29 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) 量子並列性を利用した計算アルゴリズムの開発を目的として、量子ビットネットワークの学習方法を提案した。連想記憶問題を例題として、量子計算用に修正した Hebb 学習則が有効に機能することを確認した。

(2) 基板非加熱プラズマ CVD プロセスの実験研究を進めた結果、高キャリア濃度 ($2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) において高いキャリア移動度 ($46 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) を有する B ドープ Si 薄膜エピタキシャル成長に成功すると同時に、pn 接合の逆方向電流が改善されることを明らかにした。

(3) 脳型視覚情報処理システムの構築を目的として、人の運動視を模倣して局所運動を検出する視覚処理 LSI の動作を検証した。カメラ、FPGA ボード、及び局所運動検出 LSI から構成されるシステムを構成し、ライブ動画像からオプティカルフローをフレームレート 30 fps で検出できることを確認した。

(4) 神経回路の構造と時空間ダイナミクスの関係を明らかにすることを目的として、神経回路網のモジュール構造が発火に及ぼす影響を計算機シミュレーションから調べた。モジュール間を結ぶ結合が中程度の時に、様々な同期状態が混在する複雑なダイナミクスを示すことを明らかにした。

(1) Toward the development of computation algorithms utilizing quantum parallelism, we have proposed a learning method for qubit networks. We applied it to an associative memory problem and confirmed that a modified Hebb rule works efficiently.

(2) By using low-energy ECR plasma CVD without substrate heating, in addition to epitaxial growth of heavily B-doped and high carrier-mobility Si film ($46 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ at $2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$), effective suppression of reverse-bias current in a pn junction with the B-doped Si has been demonstrated.

(3) Toward the development of a neuromorphic vision processing system, we verified the operation of a local motion detection LSI inspired by motion stereo vision in human vision system. We confirmed that a test system, which is composed of a camera, an FPGA board, and the local motion detection LSI, can successfully detect optical flow in a live video at 30 fps.

(4) To study the relation between the structure of neuronal circuitry and its temporal-spatial dynamics, we investigated the effects of the modular structure of neuronal circuitry on its firing property. It has been clarified that complex dynamics, in which various synchronized states are mixed, is realized for the case when the interaction between modules is moderate.

● 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である参照自己システムに適用可能なカオスリザーバネットワークを、カオスニューラルネットワークにより構成する方法を提案した。さらに、その有効性をカオス時系列予測によって確認した。
- (2) 高次元複雑アナログダイナミクスを超並列的な脳の無意識過程に、アルゴリズムによるデジタル演算を逐次的・論理的な意識過程に対応させ、さらにこれらを相互作用させたハイブリッド計算システムを実現するため、2種類のスイッチト・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 プロセスおよび ROHM 180 nm CMOS プロセスにより実装した。
- (3) Reward modulated STDP 学習則を spin orbit torque シナプスデバイスに応用するための基礎的検討を行った。
- (4) リザーバネットワークによるカオス時系列予測のダイナミクスについて、順序付エントロピーによりその複雑さを評価した。

(1) We proposed a chaotic reservoir network composed of chaotic neurons, which is applicable to the reference-self system in the brain-body whole organism computing paradigm. We confirmed feasibility of the proposed chaotic reservoir network through chaotic time-series predictions.

(2) For a dynamics/algorithm sub-conscious/conscious hybrid computer system, we designed and fabricated two switched-current chaotic neural network integrated circuit chips with TSMC 65 nm CMOS and ROHM 180 nm CMOS processes.

(3) We conducted basic a study on the reward modulated STDP learning rule for spin orbit torque synaptic devices.

(4) We used ordered entropy to evaluate the dynamics of a reservoir network through a chaotic time-series prediction.

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 (大野英男・深見俊輔)
Spintronics (H. Ohno and S. Fukami)

固体中の電子のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子への応用を目的として研究を行い、主に以下の成果を得た。(1) Fe-V/MgO 積層構造を有する磁気トンネル接合の磁気特性を調べ、Fe-V/MgO 界面に Fe を挿入することで界面磁気異方性を高く保ちながら磁気ダンピングや磁化を低減できることを明らかにした。(2) CoFeB/MgO 積層構造における交換スティフネスの電界効果をナノスケール磁気トンネル接合におけるスピン波共鳴から調べ、過去の磁区観察で得られた結論と整合する電界効果を観測した。(3) 分子線エピタキシーで作製した Cr ドープ Sb₂Te₃ トポロジカル絶縁体の構造と磁気特性を調べ、Cr 組成が 44at.% までは Sb サイトに置換し、このとき世界最高となる 250 K のキュリー温度を得た。(4) Co/Pt 積層構造が発現するスピン軌道トルク、及び微細細線における熱安定性を調べ、Co/Pt 積層膜の積層回数の増加に伴ってスピン軌道トルク磁化反転の効率が增大することを明らかにした。(5) 2つの方法で作製した直径 20 nm 程度の磁気トンネル接合の磁気特性をアストロイド曲線の測定により調べ、2つの試料ではアストロイド曲線に明確な差が生じ、それがエッジ部における磁気異方性の低下で説明できることを明らかにした。(6) PtMn/[Co/Ni]積層構造におけるスピン軌道トルクとジャロシ

ンスキー・守谷相互作用を定量評価して Pt/[Co/Ni] 積層構造と比較し、スピン軌道トルクは両者とも同じ符合、同等の大きさであるのに対して、ジャロシンスキー・守谷相互作用は符号が逆で大きさは前者の方が著しく小さいことが分かった。(7) 形状磁気異方性を利用した極微細磁気トンネル接合を作製し、未踏の一桁ナノメートル領域における高い熱安定性とスピン移行トルク磁化反転の両立を達成した。(8) W/CoFeB/MgO 構造におけるスピン軌道トルク磁化反転のサイズ依存性、パルス幅依存性を詳細に調べ、磁化反転の時間的な発展、及び空間的な発展の様式を明らかにした。(9) (5)で記した2つの微細磁気トンネル接合の磁気異方性のサイズ依存性を強磁性共鳴で調べ、エッジダメージの小さいサンプルは形状磁気異方性のサイズ依存性を考えることで良く説明できるのに対して、エッジダメージの大きいサンプルはそれとは異なる振る舞いを示すことを明らかにした。(10) ナノスケール磁気トンネル接合の熱安定性を磁場や電流などで加速することなく温度加熱のみの加速によってより直接的な形で評価する手法を確立し、その評価手法で得られた結果から熱安定性の温度依存性の起源を考察した。

Our research activities focus on realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) Revealing the potential of Fe-inserted Fe-V/MgO magnetic tunnel junction to show high interfacial magnetic anisotropy while lowering magnetization and magnetic damping, (2) Observation of electric-field effect on exchange stiffness of CoFeB/MgO magnetic tunnel junction through spin-wave resonance, which is in consistent with previous conclusions drawn from domain-pattern observation, (3) Achievement of world-highest Curie temperature, 250 K, in Cr-doped Sb_2Te_3 topological insulator prepared by molecular beam epitaxy, (4) Clarification of enhancement of spin-orbit torque switching efficiency with increasing stacking number of Co/Pt multilayer that processes high magnetic anisotropy, (5) Showing different asteroid curves in two nanoscale magnetic tunnel junction prepared by different conditions, which can be attributed to a different degradation level of magnetic anisotropy near the pattern edge, (6) Quantification of spin-orbit torque and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] structure and comparison with Pt/[Co/Ni] systems, showing similar sign and magnitude between the samples for spin-orbit torque and different sign and magnitude between the samples for Dzyaloshinskii-Moriya interaction, (7) Achievement of unexplored single-digit-nanometer magnetic tunnel junction with high thermal stability factor and capability of spin-transfer torque switching by revisiting shape anisotropy, (8) Revealing time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO heterostructure by investigating size and pulse width dependence of the switching properties, (9) Showing contrasting size dependence of magnetic anisotropy for two magnetic tunnel junctions describe in (5); one is explained by considering size dependence of shape anisotropy, (10) Establishment of a scheme to evaluate reliable thermal stability factor without acceleration by magnetic field or current, and discussion on the factors governing the temperature dependence of the thermal stability factor of CoFeB/MgO magnetic tunnel junction determined by the established method.

● 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、独自の分布帰還型デュアルゲート構造を有する試作素子により、5.2 THz、100K において世界初の単一モードレーザー発振ならびに広帯域増幅自然放出に成功した。

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-HEMT を用いて、変調周波数 12GHz で ASK あるいは BPSK 変調された光データ信号から、周波数 22.5GHz の IF データ信号へ周波数下方変換できることを実証した。

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 an ultrafast graphene laser-transistor device process technology demonstrating world-first single-mode lasing at 5.2 THz as well as amplified spontaneous broadband emission ranging from 1 to 7.6 THz at 100K by using our original distributed feedback dual-gate device structure.

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 demonstrated the frequency down-conversion of 1.5- μm optical data signal with 12-GHz ASK/BPSK modulation to 22.5-GHz millimeter-wave IF data signal using an InGaAs-HEMT.

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) 半導体微細加工に基づく、個別化医療を指向した薬物副作用センサの開発

細胞膜を模して形成した自立脂質二分子膜は、その機械的強度に課題があり、イオンチャネルセンサ開発のための大きな障壁となっていた。我々はこれまでも、脂質膜の保持体となる微細孔縁部構造が膜安定性を決める主要因となることを報告してきたが、2017年度の詳細な解析により、脂質二分子膜の強度・安定性を高めるための最適なナノ・マイクロ構造を解明した。また、

埼玉大学大学院理工学研究科の戸澤讓教授との共同研究により、無細胞発現系を用いて合成した hERG チャネルタンパク質を脂質二分子膜に包埋し、副作用薬物の反応性を検出することに成功した。本チャネルはその遺伝子型と薬物副作用との関連も示唆されており、今後個別化医療を指向した薬物スクリーニングが加速していくと期待される。

(2) 微細表面パターニングによる神経細胞回路網の構築

神経細胞への親和性が異なる2種類の分子をガラス基板上にマイクロパターニングすることにより、回路の構造を規定した培養神経回路を構築し、その自発的神経活動を蛍光カルシウムイメージング法によって記録した。今年度は、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、複雑な神経活動パターンとの関係を、実細胞を用いて解析する実験系を立ち上げた。さらに数理モデルを用いて、モジュール内部の接続構造とシステム全体の同期性との関係を理論解析した。

(3) 太陽電池のチャージトランスポート機構に関する研究および新構造太陽電池の開発

有機太陽電池のナノ構造は電池の光電変換効率に大きく関与するが、ナノレベルの構造を観察することは難しい。我々は変位電流評価法を提案し、有機太陽電池中のナノ構造を簡便に評価することに成功した。また、ペロブスカイト太陽電池の更なる高効率と低コストを目指し、新たなバックコンタクト構造を提案、シミュレーションで新構造の有用性を検証した。

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. Reconstitution of cell-free synthesized ion channels in microfabricated Si chips

We reported on optimized nano- and micro-structures for mechanically stable bilayer lipid membranes (BLMs) using Si microfabrication techniques. We also succeeded in reconstitution of cell-free synthesized wild type hERG channels into the BLMs and recording their activity at the single-channel level.

2. Reconstitution of artificial neuronal networks

By growing primary neurons on a microfabricated coverslip, we investigate structure-function relationships in neuronal networks. We also use computational models to provide graph theoretical interpretations on experimental data. Our recent work identified the influence of intra-modular connectivity on global synchronizability in modular networks.

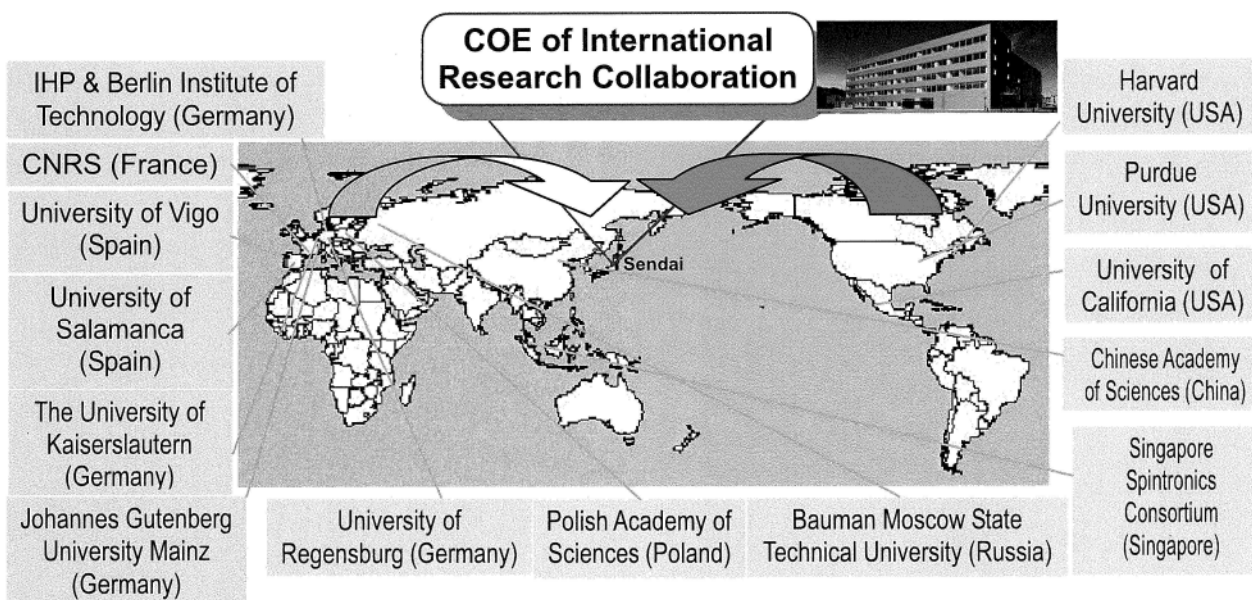
3. Charge transfer in organic solar cells and novel structure for perovskite solar cells

The charge transfer mechanism in organic solar cells has been studied by a simple displacement current technique. To improve the performance and reduce the cost of perovskite solar cells, we proposed a new structure and verified the applicability of the new structure using numerical simulation technique.

4. 施設の活動

4-1 国際共同研究

ナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業（平成 17 年度～21 年度特別教育研究経費として採択）を基盤として、21 世紀に求められる高度な情報通信を実現するため、「ナノ集積化技術の追求と展開」、「スピン制御技術の確立と半導体への応用」、「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

ナノ・スピン実験施設で開催した国際シンポジウム

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31-6月2日	第10回: 2013年1月15-16日
第11回: 2013年1月31-2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	

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	

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

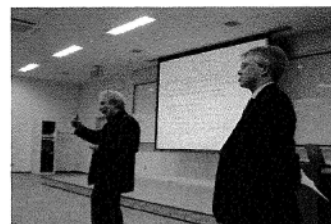
第1回: 2009年10月22-23日

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



2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer



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

4-2 国際シンポジウム開催 (プログラムは「6. 参考資料」に収録)

第84回電気通信研究所国際シンポジウム 第15回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ 15th RIEC International Workshop on Spintronics

深見 俊輔
Shunsuke FUKAMI

開催日: 平成29年12月13日(水曜日)～14日(木曜日)(2日間)

開催場所: 東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

本ワークショップは2005年に第1回が開催されて以来、ほぼ年1回のペースで回を重ね、今回で15回目の開催となった。今回は、我が国をはじめとして、アメリカ、台湾、シンガポール、フランス、ポーランド、韓国、スイス、ドイツ、スウェーデンからの招待講演者による19件の招待講演に加え、22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、スピン軌道トルク、磁性の電界効果、スピントルク磁化反転技術、スピン波、磁気スキルミオン、トポロジ、というように最近のスピントロニクス研究の中で進展が著しい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各国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 85 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 6 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 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開催日：平成 30 年 2 月 1 日 (木) ~ 2 日 (金) (2 日間)

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン総合研究棟

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。今回が六回目であり、平成 30 年 2 月 1 日、2 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、計 10 件の口頭発表、10 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 87 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 9 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 9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

平野 愛弓

Ayumi HIRANO-IWATA

開催日: 平成 30 年 3 月 1 日 (木曜日) ~ 2 日 (金曜日) (2 日間)

開催場所: 東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

第 9 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 30 年 3 月 1 日 (木) ~ 2 日 (金) の 2 日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設において開催された。アメリカ、ドイツ、そして日本からの計 6 件の招待講演が行われ、2 日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め 61 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から多くの意見が交換され、活発な討論が展開された。特に、高精細ナノ・マイクロファブリケーション技術、顕微イメージング技術を用いることによるバイオ分析プラットフォームの開発や、バイオナノ薄膜である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、といった幅広い領域にまたがる内容の発表が多くなされ、こ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 29 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、核スピンの超伝導体を利用した、量子ニューロン素子として働く知能デバイスとその計算アルゴリズムについて研究を行っている。

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

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

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

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

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

4. IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスに関する研究

Large-scale integration process of group IV semiconductor quantum heterostructures

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

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

【査読付論文】

- 1 M. Sakuraba, K. Sugawara, T. Nosaka, H. Akima and S. Sato, "Carrier properties of B atomic-layer-doped Si films grown by ECR Ar plasma-enhanced CVD without substrate heating", Science and Technology of Advanced Materials, vol. 18, pp. 294-306, 2017.
- 2 K. Motegi, N. Ueno, M. Sakuraba, Y. Osakabe, H. Akima and S. Sato, "Electrical Properties and B Depth Profiles of In-Situ B Doped Si Film Grown by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 70, pp. 50-54, 2017.
- 3 N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "Electronic Properties of Si/Si-Ge Alloy/Si(100) Heterostructures Formed by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Materials

Science in Semiconductor Processing, vol. 70, pp. 55-62, 2017.

- 4 S. Sasaki, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "Silicon-Carbon Alloy Film Formation on Si(100) Using SiH₄ and CH₄ Reaction under Low-Energy ECR Ar Plasma Irradiation", Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 70, pp. 188-192, 2017.
- 5 Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, S. Sato, "Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution", IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E100-D, pp. 2683-2689, 2017.

【国際会議発表】

- 1 Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, "Neuro-inspired Quantum Associative Memory Using Adiabatic Hamiltonian Evolution", Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2017, Anchorage, Alaska, USA, May 14-19, 2017), pp. 803-807, 2017.
- 2 S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, S. Kubota, S. Sato, "Modularity-dependent Modulation of Synchronized Bursting Activity in Cultured Neuronal Network Models", Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2017, Anchorage, Alaska, USA, May 14-19, 2017), pp. 1163-1168, 2017.
- 3 Y. Osakabe, "Comparison between Ising Hamiltonian and Neuro-inspired Hamiltonian for Quantum Associative Memory", Abs. Adiabatic Quantum Computing Conference 2017 (AQC 2017, Tokyo, Japan, Jun. 26-29, 2017), Poster 17, 2017.
- 4 H. Akima, S. Kawakami, J. Madrenas, S. Moriya, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, "Complexity Reduction of Neural Network Model for Local Motion Detection in Motion Stereo Vision", Proc. Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP 2017, Guangzhou, China, Nov. 14-18, 2017), pp. 830-839, 2017.
- 5 Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, S. Sato, "Neuro-inspired Quantum Associative Memory Model", Abs. The 30th International Symposium on Superconductivity (ISS2017, Tokyo, Japan, Dec. 13-15, 2017), EDP1-1, 2017.
- 6 S. Sato, Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, "Hebbian and anti-Hebbian learning for a quantum associative memory", Abs. The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 1-2, 2018), S1-3, 2018.
- 7 J. Madrenas, M. Zapata, H. Akima, S. Sato, "Design considerations for real-time digital architectures emulating spiking neural models", Abs. The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 1-2, 2018), S1-2, 2018.
- 8 S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, S. Kubota, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, S. Sato, "Synchronization of spontaneous activity in modular neuronal network models", Abs. The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 1-2, 2018), P-4, 2018.
- 9 S. Kurihara, H. Akima, S. Kawakami, J. Madrenas, S. Moriya, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, "Spatial perception system based on motion stereo vision in cortex", Abs. The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Sendai, Japan, Feb. 1-2, 2018), P-5, 2018.
- 10 H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, "Vision LSI for Spatial Perception Based on Motion Stereo Vision", Abs. The 5th International Symposium on Brainware LSI (Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018), p. 5, 2018.
- 11 M. Sakuraba, H. Akima, S. Sato, "Epitaxy and In-Situ Doping of Group-IV Semiconductors by Low-Energy Plasma CVD for Nanoelectronics" (Invited Paper), Abs. 11th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018), Abs.No.I-14, pp.27-28, 2018.
- 12 W. Li, N. Kato, M. Sakuraba, H. Akima, S. Sato, "Crystallinity Improvement in B-Doped Si and Its Influence upon Si-Ge p+-n Junctions Formed by ECR Ar Plasma CVD", Abs. 11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Sendai, Japan, Feb.

23-24, 2018), No.P-14, pp.55-56, 2018.

- 13 N. Kato, W. Li, M. Sakuraba, H. Akima, S. Sato, "Epitaxial Growth of In-Situ P-Doped Si Films by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. 11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018), No.P-15, pp.57-58, 2018.
- 14 Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, S. Sato, "Neuro-inspired Quantum Learning Rule Inspired by Boltzmann Machine", Abs. APS March Meeting 2018 (Los Angeles, USA, March 5-9, 2018), S28.00011, 2018.

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. 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

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である参照自己システムに適用可能なカオスリザーバーネットワークを、カオスニューラルネットワークにより構成する方法を提案し、その有効性をカオス時系列予測によって確認した。

We proposed a chaotic reservoir network composed of chaotic neurons, which is applicable to the reference-self system in the brain-body whole organism computing paradigm. We confirmed feasibility of the proposed chaotic reservoir network through chaotic time-series predictions.

2. ダイナミクス/アルゴリズム 無意識/意識ハイブリッド計算システムに関する研究

Dynamics/algorithm sub-conscious/conscious hybrid computer system

高次元複雑アナログダイナミクスを超並列的な脳の無意識過程に、アルゴリズムによるデジタル演算を逐次的・論理的な意識過程に対応させ、さらにこれらを相互作用させたハイブリッド計算システムを実現するため、2種類のスイッチト・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 プロセスおよび ROHM 180 nm CMOS プロセスにより実装した。

For a dynamics/algorithm sub-conscious/conscious hybrid computer system, we designed and fabricated two switched-current chaotic neural network integrated circuit chips with TSMC 65 nm CMOS and ROHM 180 nm CMOS processes.

3. スピントロニクスシナプス学習に関する研究

Learning algorithm for spintronics synapse devices

Reward modulated STDP 学習則を spin orbit torque デバイスを用いたシナプス回路に応用するための基礎的検討を行った。

We conducted a basic study on the reward modulated STDP learning rule applicable to spin orbit torque synaptic devices.

4. リザーバーネットワークのダイナミクスに関する研究

リザーバーネットワークによるカオス時系列予測のダイナミクスについて、順序付エントロピーによりその複雑さを評価した。

We used ordered entropy to evaluate the dynamics of a reservoir network through a chaotic time-series prediction.

【査読付論文】

- 1 T. Orima and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, vol. 4, no. 1, pp. 49-52, DOI:10.2991/jrnal.2017.4.1.11, June 2017.

【国際会議発表】

- 1 Y. Horio, "Towards a brainmorphic computing paradigm and a brain/body whole organism computation system," in Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 703-192, March 4-7, 2018.
- 2 Y. Horio, "Towards a neuromorphic computing hardware system," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 189-192, Dec. 4-7, 2017.
- 3 T. Orima, and Y. Horio, "An improved formulation of feature values in passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 128-131, Dec. 4-7, 2017.
- 4 Y. Horio and T. Fujino, "IC prototyping of a switched-current A/D converter circuit based on the golden ratio encoder," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 120-123, Dec. 4-7, 2017.
- 5 W.A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Yoshihiko Horio, S. Sato, and H. Ohno "An artificial neural network with an analogue spin-orbit torque device," in Proceedings of the IEEE International Magnetics Conference, INTERMAG Europe 2017, Dublin, Ireland, April 24-28, 2017.
- 6 Yoshihiko Horio, "A brainmorphic hardware paradigm," The 1st NTU-Tohoku U Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies, Taipei, Taiwan, December 23, 2017.
- 7 W.A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "An Artificial Neural Network Built with Analogue Spin-Orbit Torque Devices," 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13, 2017.
- 8 S. Fukami, W.A. Borders, A. Kurenkov, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "An analog spin-orbit torque device for edge artificial intelligence," 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017), Pittsburgh, USA, November 9, 2017.
- 9 S. Fukami, W.A. Borders, A. Kurenkov, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Analogue spin-orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation," SPIE. Optics+Photonics – Spintronics X, San Diego, CA, USA, August 9, 2017.

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 (大野英男・深見俊輔)

Spintronics

(H. Ohno and S. Fukami)

B2 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・佐藤昭)

Ultra-Broadband Signal Processing

(T. Otsuji and A. Satou)

B1 スピントロニクス (大野英男・深見俊輔)

Spintronics

(H. Ohno and S. Fukami)

固体中の電子やスピン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

固体中のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現をめざして、半導体、磁性半導体、金属磁性体におけるスピン現象、及びそれらを利用した新規スピン機能材料、新規スピントロニクス素子の創生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、スピン磁性を用いて実現することを目標として、スピンメモリロジック実現に向けた基盤技術を開発する。

We are working on spin-related phenomena in semiconductors, magnetic semiconductors, and magnetic metals 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

分子線エピタキシーやスパッタリング法を用いたスピントロニクス材料や構造の作製、スピン機能物性の評価と理解。

Development of functional spin materials and structures by using molecular beam epitaxy and 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
面内垂直磁気異方性トンネル磁気抵抗(TMR)素子の高出力化を行っている。
Development of high performance magnetic tunnel junctions (MTJs) consisting of ferromagnetic metal electrodes with in-plane or perpendicular magnetic easy axis and insulating barrier is being carried out.
- 5) 金属系スピントロニクスデバイスの開発
Metal-based spintronics devices
微細な金属系スピントロニクスデバイスの作製とその特性評価、スピンメモリロジック基本回路試作を行っている。
Fabrication of metal-based spintronic devices with small dimension and characterization of their properties and making basic spintronics-based circuits experimentally are carried out.
- 6) スピン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ネルギ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 of CAO.

- 1) エネルギ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
エネルギ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. J. J. Bean, M. Saito, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, Y. Ikuhara, and K. P. McKenna, "Atomic structure and electronic properties of MgO grain boundaries in tunnelling magnetoresistive devices," *Scientific Reports*, vol. 7, 45594 (9 pages), April 2017.
2. K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Annealing temperature dependence of magnetic properties of CoFeB/MgO stacks on different buffer layers," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 56, 0802B2 (4 pages), June 2017.
3. S. Fukami, and H. Ohno, "Magnetization switching schemes for nanoscale three-terminal spintronics devices," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 56, 0802A1 (12 pages), June 2017.

4. S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field-induced magnetization switching in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 58, 0802A3 (7 pages), June 2017.
5. M. Bersweiler, K. Watanabe, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic properties of FeV/MgO-based structures," *Applied Physics Express*, vol. 10, 083001 (3 pages), July 2017.
6. H. Sato, S. Ikeda, and H. Ohno, "Magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis at junction diameter of less than 20nm," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 56, 0802A6 (9 pages), July 2017.
7. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on spin-wave resonance in a nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," *Applied Physics Letters*, vol. 111, 027403 (3 pages), August 2017.
8. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic and transport properties of Sb₂Te₃ doped with high concentration of Cr," *Applied Physics Express*, vol. 10, 103001 (3 pages), September 2017.
9. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching in Co/Pt multilayers," *Applied Physics Letters*, vol. 111, 102402 (3 pages), September 2017.
10. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic-field-angle dependence of coercivity in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Applied Physics Letters*, vol. 111, 132407 (4 pages), September 2017.
11. M. Bersweiler, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetic and Free-Layer Properties of MgO/(Co)FeB/MgO Structures: Dependence on CoFeB Composition," *IEEE Magnetics Letters*, vol. 8, 3109003 (3 pages), October 2017.
12. W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Stack Structure Dependence of Magnetic Properties of PtMn/[Co/Ni] Films for Spin-Orbit Torque Switching Device," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, 6000804 (4 pages), October 2017.
13. S. DuttaGupta, T. Kanemura, C. Zhang, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] heterostructures," *Applied Physics Letters*, vol. 111, 182412 (5 pages), November 2017.
14. H. Honjo, S. Ikeda, H. Sato, K. Nishioka, T. Watanabe, S. Miura, T. Nasuno, Y. Noguchi, M. Yasuhira, T. Tanigawa, H. Koike, H. Inoue, M. Muraguchi, M. Niwa, H. Ohno, and T. Endoh, "Impact of Tungsten Sputtering Condition on Magnetic and Transport Properties of Double-MgO Magnetic Tunneling Junction With CoFeB/W/CoFeB Free Layer," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, 2501604 (4 pages), November 2017.
15. S. Bhatti, R. Sabiaa, A. Hirohota, H. Ohno, S. Fukami, and S.N. Piramanayagam, "Spintronics based random access memory: a review," *Material Today*, vol. 20, 9 (19 pages), November 2017.
16. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of ferromagnetic resonance spectra of permalloy on (Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 57, 020302 (4 pages), January 2018.
17. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Shape anisotropy revisited in single-digit nanometer magnetic tunnel junctions," *Nature Communications*, vol. 9, 663 (6 pages), February 2018.
18. C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, "Time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structures with various sizes," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 57, 04FN02 (5 pages), February 2018.
19. J. Železný, P. Wadley, K. Olejník, A. Hoffmann, and H. Ohno, "Spin transport and spin torque in antiferromagnetic devices," *Nature Physics*, vol. 14, 220-228 (9 pages), March 2018.

20. M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato, and H. Ohno, "Free-layer size dependence of anisotropy field in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," *Applied Physics Express*, vol. 11, 043001 (4 pages), March 2018.
21. E. C. I. Enobio, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Evaluation of energy barrier of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis using retention time measurement," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 57, 04FN08 (4 pages), March 2018.

【国際会議発表】

1. A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque memristive memory operated by pulses down to 1 ns," (oral), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
2. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Switching of Co/Pt multilayer structures by spin-orbit torque," (oral), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
3. W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "An Artificial Neural Network with an Analogue Spin-Orbit Torque Devices," (oral), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
4. S. Duttaguta, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Evaluation of Dzyaloshinskii-Moriya interaction from thermally activated and flow regime domain wall motion," (oral), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
5. A Hirohata, E. Jackson, Y. Yamamoto, B. Murphy, A. Vick, S. Duttagupta, S. Fukami, H. Ohno, T. Kubota, and Takanashi, "Imaging and Analysis of Buried Defects at Interfaces," (*invited*), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
6. M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "An interfacial anisotropy and Gilbert damping constant of double (Co)FeB-MgO interface structure of MgO/(Co)FeB/MgO," (poster), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
7. H. Honjo, H. Sato, S. Ikeda, T. Watanabe, S. Miura, T. Nasuno, Y. Noguchi, M. Yasuhira, T. Tanigawa, H. Koike, M. Muraguchi, M. Niwa, K. Ito, H. Ohno, and T. Endoh, "Impact of sputtering condition for tungsten on magnetic and transport properties of magnetic tunneling junction with CoFeB/W/CoFeB free layer," (poster), International Magnetism Conference (INTERMAG2017), Dublin, Ireland, April 24-27, 2017.
8. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Magnetization switching of high magnetic-anisotropy Co/Pt multilayers induced by spin-orbit torque," (poster), International School and Conference (SpinTech IX), Fukuoka, Japan, June 4-8, 2017.
9. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on spin-wave resonance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," (poster), International School and Conference (SpinTech IX), Fukuoka, Japan, June 4-8, 2017.
10. H. Ohno, "Introduction to Spintronics Devices for VLSI," (*invited*), International School and Conference (SpinTech IX), Fukuoka, Japan, June 4-8, 2017.
11. H. Ohno, "Analog spintronics memory," (*invited*), York-Tohoku-Kaiserslautern Symposium on "New-Concept Spintronics Devices, York, UK, June 21-23, 2017.
12. C. Zhang, S. Fukami, K. Watanabe, A. Ohkawara, S. DuttaGupta, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno "Spin-orbit torque-induced magnetization switching in nanoscale W/CoFeB/MgO," (poster), York-Tohoku-Kaiserslautern Symposium on "New-Concept Spintronics Devices" York, UK, June 21-23, 2017.
13. S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Distinct behavior of Dzyaloshinskii-Moriya domain walls in thermally-activated and flow regime domain wall motion," (poster),

- York-Tohoku-Kaiserslautern Symposium on "New-Concept Spintronics Devices" York, UK, June 21-23, 2017.
14. H. Ohno, "Three-terminal spintronics devices for CMOS integration," (*invited*), 75th Device Research Conference (DRC), University of Notre Dame, U. S. A., June 25-28, 2017.
 15. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of exchange stiffness constant in CoFeB/MgO investigated by spin-wave resonance," (oral), The European Conference Physics of Magnetism 2017 (PM'17), Poznan, Poland, June 26-30, 2017.
 16. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Anisotropy and exchange stiffness in CoFeB," (oral), York-Tohoku Summer School in Spintronics, York, UK, July 26-28, 2017.
 17. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, and H. Ohno "Magnetic field angle dependence of coercivity in a nanoscale CoFeB/MgO Magnetic tunnel junction with perpendicular easy axis," (oral), York-Tohoku Summer School in Spintronics, York, UK, July 26-28, 2017.
 18. M. Shinozaki, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno "Damping in perpendicular MTJs", (oral), York-Tohoku Summer School in Spintronics, York, UK, July 26-28, 2017.
 19. J. Llandro, "Geometrical effects in magnetism," (*invited*), York-Tohoku Summer School in Spintronics, York, UK, July 26-28, 2017.
 20. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic and transport properties of $(\text{Sb}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{Te}_3$," (poster), 22 International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems and 18th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (EP2DS-22/MSS-18), July 31-August 4, 2017.
 21. S. Fukami, C. Zhang, A. Kurenkov, W. A. Borders, S. Duttgupta, and H. Ohno, "Spin-orbit torque memory devices for integrated-circuit applications," (*invited*), 29th International Conference on Defects in Semiconductors, (ICDS), Matsue, Japan, July 31-August 4, 2017.
 22. S. Fukami, C. Zhang, A. Kurenkov, W. A. Borders, S. Duttgupta, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching devices for high-speed memories and artificial synapses," (*invited*), 28th Magnetic Recording Conference (TMRC), Tsukuba, Japan, August 2-4, 2017.
 23. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Analogue spin-orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation," (*invited*), SPIE Optics+Photonics Nanoscience +Engineering, San Diego, U. S. A., August 6-10, 2017.
 24. H. Ohno, "Spintronics research at RIEC, past, present and future," (*invited*), Tohoku-Hanyang Workshop on Electronics and Communications Engineering (WECE), Sendai, Japan, August 8, 2017.
 25. C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, "Device size dependence of spin-orbit torque induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO," (oral), International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Sendai, Japan, September 19-22, 2017.
 26. E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Evaluation of energy barrier of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis using retention time measurement," (oral), International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Sendai, Japan, September 19-22, 2017.
 27. H. Ohno, "Spintronics nanodevices for low-power integrated circuits," (*invited*), 3rd ImPACT International Symposium on Spintroni Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
 28. S. Fukami, "Spin-orbit torque switching for high-speed nonvolatile memory applications," (*invited*), 3rd ImPACT International Symposium on Spintronics Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
 29. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kuvenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque driven magnetization reversal in Co/Pt multilayer," (poster), 3rd ImPACT International Symposium on Spintroni Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.

30. C. Zhang, S. Fukami, K. Watanabe, A. Ohkawara, S. DuttaGupta, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Spin-orbit torque-induced magnetization reversal in nanoscale W/CoFeB/MgO," (poster), 3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
31. M. Bersweiler, H. Sato, and H. Ohno, "Effect of CoFeB composition on magnetic and free-layer properties of MgO/(Co)FeB/MgO structure," (poster), 3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
32. S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Quantifying Dzyaloshinskii-Moriya interaction from thermally-activated and flow regime domain wall dynamics," (poster), 3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
33. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, and H. Ohno, "Coercivity dependent on magnetic-field-angle in a nanoscale CoFeB-MgO magnetic tunnel junction with perpendicular easy axis," (poster), 3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Sendai, Japan, September 23-25, 2017.
34. J. Courtin, S. Fukami, T. Anekawa, C. Zhang, H. Ohno, and T. Devolder, "Magnetization switching in in-plane magnetized SOT-MRAM devices," (poster), Louis Neel Colloquium, Paris, France, September 24-27, 2017.
35. M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Impact de la concentration en atome de Co sur les propriétés magnétiques au sein de jonction magnétique tunnel MgO/CoFeB/MgO," (oral), Louis Neel Colloquium, Paris, France, September 24-27, 2017.
36. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Use of analog spintronics device in performing neuro-morphic computing functions," (*invited*), 5th Berkeley Symposium on Energy Efficient Electronic System & Steep Transistors Workshop, UC Berkeley, U. S. A., October 19-20, 2017.
37. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Analog spin-orbit torque devices with antiferromagnet for artificial neural networks," (*invited*), Workshop on Antiferromagnetic Spintronics, MINATEC, Grenoble, France, October 25-27, 2017.
38. H. Ohno, "Spintronics, a Route to Stand-by Power-free Integrated Circuits," (*Keynote*), Tohoku University-National Chiao Tung University 2nd Technical Workshop 2017, Sendai, Japan, November 3, 2017.
39. H. Ohno, "Spin on integrated circuits," (*invited*), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.
40. M. Bersweiler, H. Sato, E. I. Enobio, and H. Ohno, "Effect of capping layer material on interfacial anisotropy in MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO/capping layer structure," (oral), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.
41. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Out-of-plane field dependence of switching current in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis at low temperature," (oral), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.
42. S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "An analog spin-orbit torque device for edge artificial intelligence," (*invited*), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.
43. C. Zhang, S. DuttaGupta, Y. Takahashi, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Magnetization switching by combining spin-orbit torque and spin-transfer torque in three-terminal magnetic tunnel junctions," (oral), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.

44. S. DuttaGupta, T. Kanemura, A. Kurenkov, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Characterization of spin-orbit torque and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in an antiferromagnet/ferromagnet structure," (oral), 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Pittsburgh, U. S. A., November 6-10, 2017.
45. C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, K. Watanabe, A. Kurenkov, M. Bersweiler, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching of nanoscale devices for high-speed MRAMs," (poster), IEDM MRAM Poster Session, San Francisco, U. S. A., December 2-6, 2017.
46. S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching for ultralow-power VLSI and AI hardware," (*invited*), 9th MRAM Global Innovation Forum, San Francisco, U. S. A., December 7, 2017.
47. W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato and H. Ohno, "An artificial neural network built with analogue spin-orbit torque devices," (*invited*), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017
48. S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno, "Sub-nanosecond field-free spin-orbit torque switching," (*invited*), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
49. K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "High performance single-digit-nanometer perpendicular magnetic tunnel junctions," (*invited*), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
50. S. DuttaGupta, T. Kanemura, A. Kurenkov, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno, "Antiferromagnet layer thickness dependence of spin-orbit torque and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] structure," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
51. N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "CoFeB thickness dependence of electric-field effect on domain structures in Ta/CoFeB/MgO," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
52. M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato, and H. Ohno, "Effect of free layer size on magnetic anisotropy in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
53. E. Jackson, S. DuttaGupta, S. Fukami, H. Ohno, M. Sun, T. Kubota, K. Takanashi, and A. Hirohata, "Imaging interfaces in magnetic multilayers and devices using a decelerated electron beam," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
54. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetic-field-angle dependence of coercivity in nano-scale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
55. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Dependence of switching current on out-of-plane field in nano-scale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions at low temperature," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
56. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Beersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching in Co/Pt multilayers for nanoscale MRAM with high thermal stability," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
57. C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structure of various sizes," (poster), 15th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, December 13-14, 2017.
58. H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans, "Temperature dependence of spontaneous magnetization and magnetic anisotropy in CoFeB/MgO thin films: experiments versus simulations," (*invited*), 6th Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices," Sendai, Japan, December 15-16, 2017.

59. S. Fukami, "Analog spin-orbit torque devices for artificial neural networks," (*invited*), Japan-Korea Spintronics Workshop, Seoul, Korea, December 18-20, 2017.
60. H. Ohno, "Spintronics for information processing –from low-power integrated circuits to artificial intelligence," (*keynote*), Tsinghua-Tohoku Joint Workshop on Materials and Spintronics, Beijing, China, December 21, 2017.
61. S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque switching in ferromagnetic heterostructures and its application," (*invited*), Reimei/GP-Spin/ICC-IMR International Workshop "New Excitations in Spintronics", Sendai, Japan, January 11, 2018.
62. H. Ohno, "Spintronics nanodevice-faster, smaller and more intelligent," (*invited*), Tohoku-Harvard Workshop, Sendai, Japan, January 18-19, 2018.
63. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Investigating the influence on magnetization switching of edge effects in nanoscale CoFeB/MgO perpendicular magnetic-tunnel junctions," (poster), Tohoku-Harvard Workshop, Sendai, Japan, January 18-19, 2018.
64. S. Fukami, C. Zhang, W. A. Borders, A. Kurenkov, S. DuttaGupta, B. Jinnai, H. Sato and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching for integrated circuits and neuromorphic computing," (poster), Tohoku-Harvard Workshop, Sendai, Japan, January 18-19, 2018.
65. S. Fukami, "Analog spin-orbit torque devices for edge AI hardware," (*invited*), Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing, Sendai, Japan, February 18, 2018.
66. H. Ohno, "Nano-spintronics Devices for Integrated Circuits and Artificial Intelligence," (*invited*), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
67. N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno, "Electric-field effect on domain structures in Ta/CoFeB/MgO," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
68. S. DuttaGupta, A. Kurenkov, S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno, "Thickness Dependence of Spin-orbit Torque and Dzyaloshinskii-Moriya Interaction in an Antiferromagnet/Ferromagnet Heterostructure," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
69. B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit-torque-induced magnetization switching in perpendicularly-magnetized Co/Pt multilayers with high thermal stability," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
70. C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, "Magnetization switching induced by spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO devices with various sizes," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
71. S. Fukami and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching and its applications," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
72. J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "An effect of out-of-plane external magnetic field on switching current in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junction with perpendicular easy axis," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
73. M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato and H. Ohno, "Free-layer size dependence of magnetic properties in CoFeB/MgO nanoscale magnetic tunnel junctions," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.

74. H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans, "Dependence of spontaneous magnetization and magnetic anisotropy in CoFeB/MgO structure on temperature: experiments versus simulations," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
75. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Ferromagnetic Resonance Spectra of Permalloy Deposited on $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sbx})_2\text{Te}_3$," (poster), Kick-off Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics-, Sendai, Japan, February 19-20, 2018.
76. H. Sato, K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Development of (Co)FeB/MgO-based magnetic tunnel junctions down to X nm," (*invited*), Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, February 20-21, 2018.
77. H. Ohno, "Spintronics Nanoelectronics –Faster, smaller, and smaller-,," (*invited*), 4th CIES Technology Forum, Tokyo, Japan, March 22, 2018.

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イ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. D. Ponomarev, D. Lavrukhin, A. Yachmenev, R. Khabibullin, I. Semenikhin, V. Vyurkov, M. Ryzhii, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Lateral terahertz hot-electron bolometer based on an array of Sn nanowires in GaAs," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 51, no. 13, pp. 135101-1-8, 2018. DOI: 10.1088/1361-6463/aab11d
2. D. Yadav, G. Tamamushi, T. Watanabe, J. Mitsushio, Y. Tobah, K. Sugawara, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light-emitting graphene-channel transistor toward single-mode lasing," *Nanophotonics*, vol. 7, iss. 4, pp. 741-752, 2018. DOI: 10.1515/nanoph-2017-0106
3. V. Ryzhii, T. Otsuji, V.E. Karasik, M. Ryzhii, V.G. Leiman, V. Mitin, and M.S. Shur, "Comparison of intersubband quantum-well and interband graphene-layer infrared photodetectors," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 54, ss. 2, pp. 1558-1713, 2018. DOI: 10.1109/JQE.2018.2797912
4. V. Ryzhii, M.S. Shur, M. Ryzhii, V.E. Karasik, and T. Otsuji, "Device model for pixelless infrared image up-converters based on polycrystalline graphene heterostructures," *J. Appl. Phys.*, vol. 123, pp. 014503-1-9, Jan. 2018. DOI: 10.1063/1.5011712
5. O.V. Polischuk, D. V. Fateev, T. Otsuji, and V.V. Popov, "Plasmonic amplification of terahertz radiation in a preperiodic graphene structure with the carrier injection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 111, iss. 8, pp. 081110-1-4, Aug. 2017. DOI: 10.1063/1.4990620
6. V. Ryzhii, M. Ryzhii, S. Svintsov, V. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Effect of doping on the characteristics of infrared photodetectors based on van der Waals heterostructures with multiple graphene layers," *J. Appl. Phys.*, vol. 122, pp. 054505-1-8, Aug. 2017. DOI: 10.1063/1.4997459

7. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.E. Karasik, and M.S. Shur, "Infrared detection and photon energy up-conversion in graphene layer infrared photodetectors integrated with LEDs based on van der Waals heterostructures: concept, device model, and characteristics," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 85, pp. 307-314, July 2017. DOI: 10.1016/j.infrared.2017.07.018
8. K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, W.-J. Cho, and M. Suemitsu, "Solution-based formation of high-quality gate dielectrics on epitaxial graphene by microwave-assisted annealing," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 56, pp. 06GF09-1-5, May 2017. DOI: 10.7567/JJAP.56.06GF09

【国際会議発表】

1. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene-based van der Waals 2D heterostructures, XXII International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics," Nizhny Novgorod, Russia, March 12-16, 2018.
2. T. Otsuji, "Emission and detection of terahertz radiation using graphene-based atomically-thin 2D heterostructures," MANA Int. Symp., S2-2I, Tsukuba, Japan, March 2018,
3. T. Otsuji, "Graphene-based 2D materials -their physics and technology to create terahertz lasers, Energy Colloquium," SKOLTECH, Skolkovo, Moscow Region, Russia, Feb. 2018.
4. V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Concepts of infrared and terahertz photodetectors based on van der Waals heterostructures with graphene layers," WINDS17: 16: 2017 International Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts, p. ??, Big Island Hawaii, USA, Nov 26 - Dec. 1, 2017. (invited)
5. D. Yadav, T. Watanabe, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene-based van der Waals 2D heterostructures," WINDS17: 16: 2017 International Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts, p. ??, Big Island Hawaii, USA, Nov 26 - Dec. 1, 2017. (invited)
6. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Detection and up-conversion of infrared radiation using van der Waals heterostructures with graphene layers," IEEE COMCAS: International Conference on Microwave, Communications, Antennas and Electronic systems, David Intercontinental Hotel, Tel Aviv, Israel, Nov. 13-15, 2017.
7. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene transistors under current-injection pumping, MTSA2017-CTOXMAND-TeraNano-8, Singapore, Singapore, Nov. 19-23, 2017. (invited)
8. T. Hosotani, F. Kasuya, M. Suzuki, T. Suemitsu, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Ishibashi, M. Shimizu, and A. Satou, "Response speed of asymmetric-dual-grating-gate high-electron-mobility-transistor for terahertz detection, RJUSE TeraTech 2017: Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies," Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, Oct. 1-5, 2017.
9. K. Sugawara, T. Watanabe, T. Komiyama, T. Fuse, M. Ryzhii, V. Ryzhii, H. Fukidome, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Temperature dependence of the conductivity in dual gate graphene field effect transistors," RJUSE TeraTech 2017: Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, Oct. 1-5, 2017.
10. V. Mitin, V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Infrared and terahertz detectors on graphene van der Waals heterostructures and effect of doping," RJUSE TeraTech 2017: Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, Oct. 1-5, 2017. (invited)
11. T. Otsuji, D. Yadav, T. Watanabe, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, T. Suemitsu, V. Ryzhii, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Terahertz light emission and lasing in graphene transistors under current-injection pumping," RJUSE TeraTech 2017:

- Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, Oct. 1-5, 2017. (invited, plenary)
12. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene-based vdW 2D heterostructures, RPGR2017: Int. Conf. Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research, Singapore, Sept. 19-22, 2017. (invited)
 13. O. Polischuk, D. Fateev, T. Otsuji, and V. Popov, "Terahertz amplification by plasmons in periodic graphene structure with the carrier injection," NANOP 2017: International Conference on Nanophotonics and Micro/Nano Optics, Barcelona, Spain, Sept. 13-15, 2017.
 14. T. Otsuji, "Terahertz light emission and lasing in graphene-based heterostructure 2D material systems -theory and experiments," NANOP 2017: International Conference on Nanophotonics and Micro/Nano Optics, Barcelona, Spain, Sept. 13-15, 2017. (invited)
 15. D. Yadav, Y. Tobah, K. Sugawara, J. Mitsushio, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light emitting transistor based on current injection dual-gate graphene-channel FET," IRMMW-THz: 42nd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., WB3.5, Cancun, Quintana Roo, Mexico, Aug. 30, 2017.
 16. J.A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, "Asymmetric dual grating gate bilayer graphene FET for detection of terahertz radiation," IRMMW-THz: 42nd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., WB3.2, Cancun, Quintana Roo, Mexico, Aug. 30, 2017.
 17. T. Hosotani, F. Kasuya, M. Suzuki, T. Suemitsu, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Ishibashi, M. Shimizu, and A. Satou, "High-speed pulse response of asymmetric-dual-grating-gate high-electron-mobility-transistors for plasmonic THz detection," IRMMW-THz: 42nd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., MD.30, Cancun, Quintana Roo, Mexico, Aug. 28, 2017.
 18. K. Sugawara, D. Yadav, Y. Tobah, J. Mitsushio, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light emitting graphene-channel transistor operating under current-injection pumping," TWHM: Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, Kagoshima, Japan, Aug. 28-31, 2017.
 19. Y. Omori, T. Hosotani, T. Suemitsu, K. Iwatsuki, T. Otsuji, and A. Satou, "Frequency down-conversion from optical data signal to MMW IF data signal using InP-HEMT," The 24th Congress of the International Commissions for Optics, Paper No. Tu2G-05, Keio-Plaza Hotel, Tokyo, 21-25 Aug. 2017.
 20. T. Otsuji, D. Yadav, T. Watanabe, S.A. Boubanga-Tombet, V. Ryzhii, A.A. Dubinov, D. Svintsov, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Broadband terahertz light emission and lasing in graphene-based van der Waals heterostructures," EMN: Energy Materials Nanotechnology Lyon Meeting on 2D Materials Dig., pp. 42-44, Lyon, France, Aug. 9-11, 2017. (invited)
 21. A. Satou and T. Otsuji, "Millimeter-wave/terahertz detection and photonic double-mixing by transistors," SPIE OPTO+ Photonics, Conference on Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXV, 104003-27, San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA, 6-10 Aug. 2017; Proc. SPIE, vol. 10403, pp. , 2017. DOI:
 22. K.-T. Lin, Q. Weng, H. Nema, S. Kim, K. Sugawara, T. Otsuji, S. Komiyama, and Y. Kajiwara, "Near-field nanoscopy of shot noise in bilayer graphene," EP2DS: 22nd International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems, Penn State Univ., PA, USA, July 31-August 4, 2017.
 23. T. Otsuji, T. Watanabe, A. Satou, D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, T. Suemitsu, and V. Ryzhii, "Terahertz light emission in graphene-based active plasmonic metamaterial heterostructures," META'17: the 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics Abstract Book, Paper ID: SP22.I2, Incheon, Korea, 25-28 July 2017. (invited)
 24. D. Yadav, Y. Tobah, K. Sugawara, J. Mitsushio, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz LED based on current-injection dual-gate

- graphene-channel field effect transistors," DRC: 75th Annual Device Research Conference Dig., pp. 273-274, 2017.
25. V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Graphene-based heterostructures: Device concepts and prospects," the 25th International Symposium "Nanostructures: Physics and Technology", GRN.02i, St. Petersburg, Russia, June 26-30, 2017. (invited)
 26. A. Satou, and T. Otsuji, "MMW Photonic Double-Mixing and THz Plasmonic Detection Using InP HEMTs," Global Symposium on Lasers, Optics, and Photonics, Valencia, Spain, June 19-21, 2017. (invited)
 27. T. Hosotani, F. Kasuya, H. Taniguchi, T. Watanabe, T. Suemitsu, T. Otsuji, T. Ishibashi, M. Shimizu, and A. Satou, "Lens-integrated asymmetric-dual-grating-gate high-electron-mobility-transistor for plasmonic terahertz detection," IEEE IMS: 2017 IEEE Int. Microwave Symposium, TUIF2, Honolulu, Hawaii, USA, June 4-9, 2017.
 28. T. Otsuji, "Current-injection terahertz lasing in graphene-based transistor lasers," ETCMOS: Int. Conf. on Emerging Technology on CMOS and Related Devices, B3-1, Hotel Sofitel Warsaw Victoria, Warsaw, Poland, May 28-30, 2017. (invited)
 29. A. Bylinkin, D. Svintsov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Resonance tunneling of photons and surface plasmons in graphene-based heterostructures," The 38th PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium Abstracts, p. 1A_12a-1, St. Petersburg, Russia, 22-25 May, 2017.
 30. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. G. Leiman, D. Svintsov, V. Mitin, and M. S. Shur, "Effect of selective doping on characteristics of graphene-van der Waals heterostructure terahertz and infrared detectors," The 38th PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium Abstracts, p. 1P_10-12, St. Petersburg, Russia, 22-25 May, 2017.
 31. D. Yadav, Y. Tobah, J. Mitsushio, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Broadband terahertz-light emission by current-injection distributed-feedback dual-gate graphene-channel field-effect transistor," CLEO: Int. Conf. on Lasers and Electro-Optics, AM2B.7, 2017.
 32. T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Effective electron velocity in InGaAs-HEMTs with slant field plates," CSW: Compound Semiconductor Week, Berlin, Brandenburg, Germany, May 14-18, 2017.
 33. D. Yadav, Y. Tobah, G. Tamamushi, J. Mitsushio, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Current-injection terahertz emission in distributed-feedback dual-gate graphene-channel field-effect transistor," OTST'17: Int. Conf. Optical Terahertz Science and Technology Abstract Book, p. 66, London, UK, April 2-7, 2017.

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. Naotoshi Sakaguchi, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Toshio Ogino, "Fabrication of Au-nanoparticle-embedded lipid bilayer membranes supported on solid substrates", *J. Phys. Chem. B*, **121**, 4474-4481 (2017).
2. Tran Thi Thu Huong, Kazuhiko Matsumoto, Masataka Moriya, Hiroshi Shimada, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Yoshinao Mizugaki, "Fabrication of resistively-coupled single-electron device using an array of gold nanoparticles" *Appl. Phys. A*, **123**, 557 (2017).
3. Teng Ma, Jinyu Zhang, Daisuke Tadaki, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, "Charge transport properties of bulk-heterojunction organic solar cells investigated by displacement current measurement technique" *Org. Electron.*, **51**, 269-276 (2017).
4. Hiroyuki Kawano, Kohei Oyabu, Hideaki Yamamoto, Kei Eto, Yuna Adaniya, Kaori Kubota, Takuya Watanabe, Ayumi Hirano-Iwata, Junichi Nabekura, Shutaro Katsurabayashi, Katsunori Iwasaki, "Astrocytes with previous chronic exposure to amyloid β -peptide fragment 1-40 suppress excitatory synaptic transmission", *J. Neurochem.*, **143**, 624-634 (2017).
5. Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Yuzuru Tozawa, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Mechanically stable solvent-free lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstruction of cell-free synthesized hERG channels", *Sci. Rep.*, **7**, 17736 (2017).
6. Ryugo Tero, Kohei Fukumoto, Toshinori Motegi, Miyu Yoshida, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Formation of cell membrane component domains in artificial lipid bilayer", *Sci. Rep.*, **7**, 17905 (2017).
7. Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Micro- and nano-fabrication methods for ion-channel reconstitution in bilayer lipid membranes", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 03EA01 (2018).
8. Sho Kono, Kohei Furusawa, Atsushi Kurotobi, Kohei Hattori, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani, "In situ modification of cell-culture scaffolds by photocatalysis of visible-light-responsive TiO₂ film", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 027001 (2018).
9. Teng Ma, Qingwen Song, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Unveil the full

- potential of integrated-back-contact perovskite solar cells using numerical simulation”, *ACS Appl. Energy Mater.*, **1**, 970–975 (2018).
10. Hideaki Yamamoto, Shigeru Kubota, Fabio A. Shimizu, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, “Effective subnetwork topology for synchronizing interconnected networks of coupled phase oscillators”, *Front. Comput. Neurosci.*, **12**, 17 (2018).

【国際会議発表】

1. Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Hisanao Akima, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, Shigeru Kubota, Shigeo Sato, “Modularity-dependent modulation of synchronized bursting activity in cultured neuronal network models”, *IJCNN 2017*, Anchorage, USA, May 14-19, 2017.
2. Hideaki Yamamoto, Sho Kono, S. Fujishiro, Kohei Furusawa, Takashi Tanii, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “TiO₂-assisted photocatalytic lithography: Applications in patterning neuronal cells and networks”, *E-MRS 2017 Spring*, Strasbourg, France, May 22-26, 2017.
3. Ayumi Hirano-Iwata, “Reconstitution and recording ion channel activities in artificially formed cell membranes”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
4. Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Shutaro Katsurabayashi, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Frequency characteristics of morphology controlled neurons on microcontact printed protein patterns”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
5. Takeshi Ohori, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Fabrication of multidirectional electrical characteristics evaluation system of BLM based on microfabrication”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
6. Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Lipophobic surfaces enhance the stability of suspended lipid bilayers”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
7. Kohei Arata, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Yuzuru Tozawa, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Recording activities of cell-free synthesized ion-channels at artificial lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
8. Teng Ma, Jinyu Zhang, Daisuke Tadaki, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Probing the optimal structure of organic solar cells using displacement current measurement”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
9. Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Richard A. Rosenberg, Michio Niwano, “Fabrication and characterization of polymer-based organic thin film transistors with S/D electrodes of highly doped polymer”, *M&BE9*, Kanazawa, Japan, June 26-28, 2017.
10. Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Shutaro Katsurabayashi, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Frequency-response curves of micropatterned hippocampal neurons: Effect of cell morphology on membrane impedance”, *SSDM2017*, Sendai, Japan, September 19-22, 2017.
11. Hideaki Yamamoto, Katsuya Ide, Kei Wakimura, Takashi Tanii, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Engineering modular organization of living neuronal networks by microcontact printed proteins”, *ISSS-8*, Tsukuba, Japan, October 22-26, 2017.
12. Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, “Generation of nanobubbles by a porous alumina thin film with ordered straight nanoholes”, *ISSS-8*, Tsukuba, Japan, October 22-26, 2017.
13. Kohei Arata, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Yuzuru Tozawa, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Functional reconstruction of cell-free synthesized human ion channels in artificial bilayer lipid membranes”, *ISSS-8*, Tsukuba, Japan, October 22-26, 2017.
14. Takeshi Ohori, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Microfabricated silicon chips for evaluation of multidirectional electrical properties of BLMs”, *ISSS-8*, Tsukuba, Japan, October 22-26, 2017.

15. Daisuke Tadaki, Ryohei Abe, Shin Yamamiya, Teng Ma, Yuji Imai, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, "Microwire-embedded flexible pressure sensor with β -phase poly(vinylidene fluoride) thin films", ISSS-8, Tsukuba, Japan, October 22-26, 2017.
16. Ayumi Hirano-Iwata, "Reconstitution of Ion Channel Functions in Artificially Formed Cell Membranes", IIRC5, Tokyo, Japan, November 20-23, 2017.
17. Hideaki Yamamoto, Katsuya Ide, Ryosuke Matsumura, Kei Wakimura, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Microcontact printing for patterning neurons and neuronal networks", ISNM2017, Sendai, Japan, December 13-15, 2017.
18. Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Modified aperture surface with self-assembled monolayer enhanced stability of suspended lipid membrane", ISNM2017, Sendai, Japan, December 13-15, 2017.
19. Katsuya Ide, Hideaki Yamamoto, Kei Wakimura, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Spontaneous activity patterns of micropatterned cortical neurons: Dependence on the number of modules", ISNM2017, Sendai, Japan, December 13-15, 2017.

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 29 年度）
- 6-3 ナノ・スピニング研究会
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・スピ電子ビーム・リソグラフィ関連

- ナノ・スピ電子描画システム 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 φ
- ナノ・スピ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 φ、2 インチ φ
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リソ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 25mW/cm²
露光分解能 0.8μm 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、エネルギーフィルタ像
・倍率
LM モード : ×25~19,000、SEM モード : ×100~1,000,000
自動倍率補正機能、倍率瞬時切替機能、像回転補正機能付き
・加速電圧
LM、SEM モード : 0.5~30kV、GB モード : 0.1~4kV
・プローブ電流 10⁻¹³~2×10⁻⁹ 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/cm²
図形精度: 0.02 μm
最小寸法: 0.1 μm
マスクサイズ: 2.5, 6 インチ φ
ウェハ径: 2, 3 インチ φ, 33mm φ

□ 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 ・ウエハサイズ 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インチウエハの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測定装置

ネオアーク

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

□ 多機能薄膜材料評価 X 線回折装置 (2 次元検出器付 XRD) Bruker

- 用途 強力 X 線源と 2 次元検出器を用いた高速な X 線回折測定
- 性能 X 線源: Cu
検出器: シンチレーション検出器、2 次元検出器
試料ステージ: 5 軸試料ステージ

□ 接触段差計 (Dektak150) アルバック

- 用途 試料方面に形成された段差、上面形状、表面粗さなどの評価
- 性能 試料サイズ: 150 mm φ 以下
高さ方向分解能: 0.1nm (@6.55 μ m 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での熱処理が可能。

□ ナノヘテロ分析システム

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

□ 半導体電気磁気複合特性測定システム HP 他組上システム

- 用途 直流ホール効果測定用
- 性能 磁場強度 6.9kOe(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 熱 CVD 法により SiO₂、PSG、BSG の薄膜形成を行う。
- 性能 200~400°C での熱 CVD 法 により、SiO₂、PSG、BSG を形成可能。
バッチ内膜厚分布 ±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 基板上的 Si 系半導体のエッチングを行う。
SiO₂加工用ドライエッチング装置(アネルバ DEM-451 特)
Si 基板上的 Si および SiO₂のエッチングを行う。
メタル加工用ドライエッチング装置(アネルバ L-451DA-L)
Si 基板上的金属のエッチングを行う。
- 性能 シリコン加工用ドライエッチング装置
Si 基板上的 Si 系半導体のエッチングが可能(ECR型)。最大6インチウェハ。試料皿にのる不定形ウェハ可能。補助磁場印加、RFバイアス印可可能。
導入ガス: Cl₂、SiCl₄、BCl₃、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
SiO₂加工用ドライエッチング装置
Si および Si 基板上的 SiO₂のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。
導入ガス: CF₄、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
メタル加工用ドライエッチング装置
Si 基板上的金属のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。
エッチング室用ガス: N₂、Ar、H₂、BCl₃、SiCl₄、Cl₂、CF₄、SF₆、O₂
アッシング室用ガス: O₂、N₂

□ X線光電子分光装置 (ESCA)

SSI SSX-100、Kratos
AXIS-NOVA

- 用途 SSI SSX-100 表面元素分析用
Kratos AXIS-NOVA 表面元素分析用、表面元素分布イメージング用
- 性能 SSI SSX-100
単色化 X 線源(ALK α)
最少分析領域 150 μ 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 α)
スペクトルモード: 最少分析領域 15 μ 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 μ 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 21~560 μ m 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 μ m \times 30 μ m \times (高さ) 4 μ m
最高制御分解能(水平) 0.45 μ m \times (高さ) 0.06 μ m

a-4) 配線プロセス関係

- ナノ・スピニングメタルスパッタリングシステム アネルバ EVP-38877
- 用途 半導体集積プロセスにおける配線用 Al/Ti 薄膜の成膜
 - 性能 ターゲット材 Al-Si(1%)、Ti
基板ホルダ 33 ミリφ、2 インチφ、4cm 角以下のカットウエハ等
処理枚数 33 ミリφウエハ 25 枚/ロット
膜厚分布 φ200 ミリ内±5%以内
到達真空度 3×10^{-6} Pa(スパッタ室)
- アナライザ アジレント HP-4156C
- 用途 トランジスタの電圧-電流特性等各種電子デバイスの電気特性の測定
 - 性能 高分解能電圧電流ソース・モニタ・ユニット(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
紫外線露光照射度 25mW/cm²
露光分解能 0.8μm ライン/スペース(バキュームコンタクト時)
- スパッタ装置 アネルバ
- 用途 高密度金属配線形成、金属電極形成、シリサイド用高融点金属薄膜形成
 - 性能 φ4"カソード×3 基
最大搬送基板サイズ: φ4"
基板加熱: MAX350°C
到達真空度: 3×10^{-6} Pa 以下
- 熱処理炉 東栄科学産業
- 用途 ゲート酸化膜、フィールド酸化膜の形成、SiO₂、PSG などの熱処理、イオン注入後の熱処理、シンタリング、アロイング
 - 性能 O₂、N₂、Ar、H₂、H₂+O₂ 雰囲気中での熱処理が可能。
ヒータ加熱方式
300°C~1050°C:3 体

□ 金属蒸着装置

日本シード研究所 M95-0019

- 用途 金属薄膜(アルミニウム)の蒸着(抵抗加熱型)
- 性能 蒸着源ポート数:2
対応ウェハサイズ:33mmφ、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 μm、Z:9 μm
ナノマニピュレーション機能:スクラッチ、陽極酸化
プローブ顕微鏡:STM、AFM(コンタクト、タッピング、摩擦力、電流)、FEM、SPoM、SCM、MFM

□ 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(σ):0.02 μm)
ミラウ型干渉による微細形状計測機能(測定精度(σ):0.0007 μm)

□ 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,SiO₂
二次イオン質量分析器(SIMS)
エネルギー分散型 X 線分光器(EDS)
走査透過型電子顕微鏡(STEM)機能
TEM 試料作製用マニピュレータ
最大サンプルサイズ:3 インチφ

□ 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 μm
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 mmφ
走査範囲:20 μm、150 μm

6-2 施設の利用状況(平成29年度)

平成29年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況

平成30年3月31日まで
ナノ・スピン実験施設

	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	大野・深見研	深見俊輔		大野教授 松倉教授 池田教授 佐藤(英)准教授 深見准教授 LLANDRO助教 陣内助教 (PD) Bersweiler 張 DUTTAGUPTA Sachin Enobio (研究支援)五十嵐 (研究支援員)岩沼 後藤 平田 川戸 (D3) Aleksandr 岡田 (D2) 渡部 (D1)土肥 竹内 (M2) BORDERS 篠崎 五十嵐 市川 (M1)齊野 高橋 王 伊藤 (B4)宮坂 古屋 安達 古賀 船津	35
	A	平野研	但木大介		平野教授 山本助教 但木助教 馬助教 阿部研究員 (D3) 松村 (D2) 山浦 (D1)Feng (M2) 大堀 荒田 (M1) 出口 山宮 井出 早川 (B4) 脇村 常田	16
	A	佐藤・櫻庭研	秋間学尚		佐藤教授 櫻庭准教授 秋間助教 (D3) 李 刑部 (D1) 守谷 (M2) 栗原 手塚 (M1) 加藤 (B4) 達増 田村	11
	A	尾辻・末光研	佐藤 昭		尾辻教授 末光准教授 佐藤助教 (PD)渡辺 (D3)DEEPKA (M2) 細谷 渡村 (M1)菅原 大森 太田 鈴木 (B4) 布施 真鍋 込山 (短期留学生)Ludvig	14
	B	堀尾研	堀尾喜彦		堀尾教授 (D2) 織間 (M1)奈良 (B4)佐藤 野村 畠山	6
	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		末光教授 吹留准教授 (PD) 朴 (D3) 金 (M2) 齋藤 岩田 高橋 遠藤 (B4) 相澤 水崎 神前 (技術補佐員)佐々木	12
	B	新田・好田研(工)	好田 誠	大野研	好田准教授 軽部助教 (研究支援者) 杜 (DC3) 柳 (D1) 蒲生 中川原 (M2) Kong (M2) 飯笹 齋藤 (M1) 山田 鈴木 榎 (B4) 朝倉 上野 佐藤大 佐藤匠 高野 増田	18
	B	安藤・大兼研(工)	藤原耕輔	大野研	大兼准教授 佐藤技術職員 藤原研究員 (D1)福田 (M2)堀内 我妻 (M1) 小笠原 若狭	8
	B	松岡研(金研)	谷川智之	尾辻研	谷川講師 窪谷助教 木村研究員 (M2) 田中 (B4) 藤田 (D3) PRASERTSUK	6
	B	高桑研(多元)	小川修一	尾辻研	小川助教 (D3)阿加 (M1)橋本 (B4) 蒲田	4
	B	石山・栢研	栢修一郎	佐藤研	栢准教授 林助教 (M2) 久保 楠 (M1) 横山 (B4) 立岡 曾良	7
	B	鷺尾研(工)	川島和之	佐藤研	川島助教 (D2)千葉 伊藤	3
	B	室田Gr	室田淳一	佐藤研	室田(研究員)	1
	B	藤掛・石鍋研(工)	柴田陽生	平野研	柴田助教 (M2) 武田	2
	B	遠藤・村口研(工)	村口正和	大野研	村口准教授 (研究員) 飯屋崎 葉 (D1)福田	4
	B	吉信研(工)	宮本浩一郎	共通部(マスキ作成)	宮本准教授 (D2)チューンホアンアン	2
B	大塚准教授研	大塚朋廣	佐藤研	大塚朋廣准教授	1	

合計

155

共通利用対応装置 保守時間

平成29年3月1日から平成30年2月28日まで

装置名 (Aは共通利用対応、Pはプロジェクト対応)	装置保守項目																																																小計	小計	合計					
	A洗浄ベンチ(EB室)	A洗浄ベンチ(3FUCR)	Aイオンビーム加工解析装置	A非接触段差・粗さ計測装置	A表面ナノ加工装置	Aレーザー直接描画装置	Aマスコアライナ	Aナノ立体加工装置(AFM)	Aスパッタ装置	A熱処理炉	A金属蒸着装置	A原子スケール評価分析システム(AFM/STEM)	Aメタル加工ドライエッチング	ASiO2加工ドライエッチング	ASi加工ドライエッチング	A常圧CVD装置	A半導体電気磁気複合特性測定システム	AX線光電子分光装置(SSX)	A4探針抵抗率測定器	Aワイドレンジナノ形状測定システム	AX線電子分光装置(NUVA)	A/P分光エリブソ	A/Pレーザラマン分光(可視光)	A/Pナノ・スピント熱処理装置(TFRS1室)	A半導体パラメータアナライザ	Aマイクログロブ式低温ホール効果測定装置	A接触段差計	A多機能薄膜材料評価X線回折装置	A高機能マイクログリ測定装置	A洗浄ベンチ(化合物室)	A赤外線熱処理炉(n型・p型)	A抵抗加熱蒸着装置(D型蒸着器)	A多目的電子ビーム蒸着装置(n型蒸着器)	A化合物MBE	Aサブミクロンマスコアライメント(旧SSIコンタクトアライナ)	Aマスコ電子ビーム描画システム	A測長SEM	A洗浄ベンチ(EB室)	Aリソグラフィ関連	Aマスコアライナ	Aブラズマアッシュャー	Aアツシングシステム	A走査型電子顕微鏡SEM	A/Pナノ・スピント小投影露光システム	A/Pナノ・スピント電子描画システム											
佐藤・櫻庭研														2										3		36																						49	6	55						
大野・深見研(松倉研,池田研を含む)			3										9	9	9	9	20	9	20	9			2																												99	510	609			
庭野研																																																			9	120	129			
尾辻・佐藤研															2																																			2	127	129				
施設共通部	180	59	29		1	3	6	1		205	1																																							555	3	558				
末光・吹留研																																																				144	144			
安藤研(応用物理学専攻)																																																			300	300				
新田研(知能デバイス材料学専攻)																																																								
鷺尾・小谷研(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・伊研																																																								
藤掛・石鍋研																																																								
遠藤・村口研																																																								
吉信研																																																								
計	180	59	32		1	3	6	1		205	1	9	9	9	9	20	9	20	9		2	2	3			36																											714	1210	1924	

6-3 ナノ・スピ工学研究会

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・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。平成29年度は以下のように計10回の研究会を実施した。

- 第94回 平成29年11月17日 13:30 - 15:00
「グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造とそのテラヘルツ応用」、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95回 平成29年12月4日 15:30 - 17:00
“THz Studies of Dirac-Like Fermions in Graphene-Like HgCdTe Structures”、クナ ヴォイチェック教授 (フランス国立科学中央研究所モンペリエ第2大学)
- 第96回 平成29年12月7日 16:00 - 17:30
“An experimentalist view of the Gilbert damping in FeCoB/MgO systems”、Professor Thibaut Devolder (Universite Paris-Sud, France)
- 第97回 平成29年12月11日 10:00 - 11:30
“Nanosecond-scale STT switching in perpendicularly magnetized STT-MRAM cells”、Professor Thibaut Devolder (Universite Paris-Sud, France)
- 第98回 平成29年12月18日 12:55 - 17:35, 12月19日 09:00 - 16:05
「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」、「コヒーレントテラヘルツ波発生に向けた半導体光集積デバイス技術」、加藤和利 (九大)、外20件
- 第99回 平成30年1月15日 15:00 - 16:00
「ダイヤモンドライクカーボン薄膜への他元素添加と特性評価」、中澤日出樹 (弘前大学、准教授)
- 第100回 平成30年2月27日 13:30 - 15:00
「先輩が語るIoTの時代に向けたメモリ技術の挑戦」、早坂 伸夫 (東芝メモリ(株)、技術統括)
- 第101回 平成30年3月15日 13:30 - 15:00
“Reconfigurable Materials and Adaptive Sensors Based on Nanostructures”、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102回 平成30年3月15日 15:00 - 16:30
「放射光で磁性を観る—X線磁気円二色性による磁気解析」、鈴木 基寛 (高輝度光科学研究センター主幹研究員、東北大学電気通信研究所客員教授)
- 第103回 平成30年3月26日 10:30 - 11:30
「半導体量子ドットを用いた固体ナノ構造中局所電子状態の精密高速観測と制御」、大塚 朋廣 (東北大学電気通信研究所、准教授)



15th RIEC International Workshop on Spintronics

December 13 (Wed) – 14 (Thu), 2017

Conference Room, Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
<http://www.ohno.riec.tohoku.ac.jp/riecworkshop15.pdf>

Organized by

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University
Center for Spintronics Integrated Systems (CSIS), Tohoku University
Center for Spintronics Research Network (CSRN), Tohoku University
WPI-Advanced Institute for Materials Research (WPI-AIMR), Tohoku University
Graduate Program in Spintronics (GP-Spin), Tohoku University

Confirmed Invited Speakers

Johan Åkerman
(University of Gothenburg)

William Borders
(Tohoku University)

Thibaut Devolder
(Université Paris-Sud)

Claire Donnelly
(ETH Zürich)

Masamitsu Hayashi
(University of Tokyo)

Sug-Bong Choe
(Seoul National University)

Mathias Kläui
(University of Mainz)

Ilya Krivorotov
(University of California, Irvine)

Chih-Huang Lai
(National Tsing Hua University)

Wen Siang Lew
(Nanyang Technological
University)

Luqiao Liu
(Massachusetts Institute of
Technology)

Andrzej Maziewski
(University of Bialystok)

Shinji Miwa
(Osaka University)

Shigemi Mizukami
(Tohoku University)

Satoru Nakatsuji
(University of Tokyo)

Christos Panagopoulos
(Nanyang Technological
University)

Sayeeef Salahuddin
(University of California, Berkeley)

Bruce Terris
(Western Digital Corporation)

Kenji Yasuda
(University of Tokyo)

Kyota Watanabe
(Tohoku University)

Registration

The workshop is free of charge, but registration is required. E-mail to ws2017@riec.tohoku.ac.jp with your name and affiliation by November 30 (Thu.). Subject of the e-mail should start with [Registration].

Banquet

A banquet will be held in the evening on December 13 (Wed). Fee is 5,000JPY.
Please indicate your attendance in the above registration e-mail.

Poster Session

Poster session will be held in the afternoon on December 14 (Thu.). Prepare one page abstract and submit it to ws2017@riec.tohoku.ac.jp by November 30 (Thu.). Subject of the e-mail should start with [Abstract].
You can download the template from [here](#).

Series Workshop

The workshop will be followed by the 6th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices" to be held on December 15–16 at the same venue. This is also free of charge.
The details will be announced soon.

Committee and Secretariat

Committee: H. Ohno, F. Matsukura, H. Sato, S. Fukami
Secretariat: N. Sato, Y. Jidai, M. Abe, Y. Takahashi

Sponsors

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



**Tentative Timetable for
15th RIEC International Workshop on Spintronics
and
6th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"**

Date: December 13 (Wed.) – 16 (Sat.), 2017
Venue: Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Conference Room (4F),
Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

Dec. 13 (Wed)		Dec. 14 (Thu)		Dec. 15 (Fri)		Dec. 16 (Sat)								
9:00-9:10	Opening (H. Ohno)		9:00-9:30	Th-1	T. Devolder		9:00-9:30	Sa-1	K. O'Grady					
9:10-9:40	We-1	L. Liu		9:30-9:50	Th-2	K. Watanabe		9:30-10:00	Sa-2	H. Sato				
9:40-10:10	We-2	M. Hayashi		9:50-10:20	Th-3	A. Maziewski		10:00-10:30	Sa-3	A. Pratt				
10:10-10:30	We-3	W. A. Borders		10:20-10:40	Break		10:15-10:45	Fr-3	B. Stadtmüller					
10:30-10:50	Break		10:40-11:10	Th-4	C. Panagopoulos		10:45-11:00	Break		10:30-10:45	Break			
10:50-11:20	We-4	C. Lai		11:10-11:40	Th-5	S.-B. Choe		11:00-11:30	Fr-4	J. Nitta				
11:20-11:50	We-5	K. Yasuda		11:40-12:10	Th-6	C. Donnelly		11:30-12:00	Fr-5	A. Ferreira				
11:50-12:00	Photo		12:10-14:00	Lunch		12:00-12:20	Fr-6	T. Fischer		11:45-12:15	Sa-5	G. Vallejo-Fernandez		
12:00-13:50	Lunch		14:00-15:30	Poster		12:20-14:00	Lunch		11:45-12:15	Sa-6	A. Hirohata			
13:50-14:20	We-6	S. Salahuddin		15:30-16:00	Th-7	M. Kläui		14:00-14:30	Fr-7	S. Maekawa				
14:20-14:50	We-7	W. S. Lew		16:00-16:30	Th-8	S. Nakatsuji		14:30-15:00	Fr-8	T. Kimura				
14:50-15:20	We-8	S. Mizukami		16:30-17:00	Th-9	J. Åkerman		15:00-15:30	Fr-9	Y. Sakuraba				
15:20-15:40	Break		17:00-17:10	Closing (H. Ohno)		15:30-16:00	Fr-10	T. Seki		18:00-17:30	Poster			
15:40-16:10	We-9	S. Miwa		17:10-18:00	Transfer									
16:10-16:40	We-10	I. Krivorotov												
16:40-17:10	We-11	B. Terris												
17:10-18:00	Transfer													
18:00-20:00	Banquet (Joint RIEC/C-t-C)													

The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: February 1 - 2, 2018

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

Organizers:

Symposium Chair

Shigeo Sato, Tohoku Univ.

Program Committee

Takahiro Hanyuu, Tohoku Univ., Yoshihiko Horio, Tohoku Univ., Ayumi Hirano-Iwata,
Tohoku Univ., Hideaki Yamamoto, Tohoku Univ.

Secretary

Hisanao Akima, Tohoku Univ.

Sponsored by

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

Program

February 1 (Thursday)

13:30 -13:35 Opening Remarks

A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

--- Session 1 (Chair: H. Akima) ---

13:35 -13:55 [S1-1] On a brainmorphic hardware paradigm

Y. Horio, Tohoku Univ., Japan

13:55 -14:25 [S1-2] Design considerations for real-time digital architectures emulating spiking neural models

J. Madrenas, M. Zapata, H. Akima, S. Sato, Technical Univ. of Catalunya, Spain

14:25 -14:45 [S1-3] Hebbian and anti-Hebbian learning for a quantum associative memory

S. Sato, Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, Tohoku Univ., Japan

14:45 -15:00 Break (15 min)

--- Session 2 (Chair: S. Sato) ---

15:00 -15:20 [S2-1] Stable lipid bilayers in microfabricated silicon chips as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins

A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, T. Ohori, K. Arata, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

15:20 -15:50 [S2-2] Dynamics and effective connectivity in neuronal cultures: from experiments to medical applications

J. Soriano, Univ. Barcelona, Spain

15:50 -16:10 [S2-3] Single-cell manipulation of neuronal morphology and function using microfabricated substrates

H. Yamamoto, R. Matsumura, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

16:10 -16:20 Break (10 min)

- [P-1] Immature excitatory synaptic transmission caused by astrocytes with previous chronic exposure to amyloid β -peptide fragment 1-40
K. Oyabu, H. Kawano, H. Yamamoto, K. Eto, Y. Adaniya, K. Kubota, T. Watanabe, A. Hirano-Iwata, J. Nabekura, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki, Fukuoka Univ., Japan
- [P-2] An experimental and computational study on spontaneous firing pattern of a single neuron
K. Hattori, S. Kono, T. Yoneyama, A. Nakanishi, H. Yamamoto, T. Tanii, Waseda Univ., Japan
- [P-3] Top-down influence on V1 responses in perceptual behavior produced by reinforcement learning
R. Tani, S. Yano, Y. Kashimori, Univ. Electro-Communications, Japan
- [P-4] Synchronization of spontaneous activity in modular neuronal network models
S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, S. Kubota, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, S. Sato, Tohoku Univ., Japan
- [P-5] Spatial perception system based on motion stereo vision in cortex
S. Kurihara, H. Akima, S. Kawakami, J. Madrenas, S. Moriya, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, Tohoku Univ., Japan
- [P-6] Pain responses in human iPSC-derived sensory neurons using MEA system
A. Odawara, N. Matsuda, I. Suzuki, Tohoku Inst. Technol., Japan
- [P-7] Effect of cell morphology on membrane impedance of micropatterned neurons
R. Matsumura, H. Yamamoto, T. Hayakawa, S. Katsurabayashi, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan
- [P-8] Dynamic-clamp analysis of a convergent neuronal network unit
T. Hayakawa, H. Yamamoto, R. Matsumura, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan
- [P-9] Spontaneous activity patterns of micropatterned cortical neurons with 4, 16, and 36 modules
K. Ide, H. Yamamoto, K. Wakimura, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan
- [P-10] High-speed calcium imaging of spontaneous neural activity in micropatterned cortical cultures
K. Wakimura, H. Yamamoto, K. Ide, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

18:00 -20:00 Banquet

February 2 (Friday)

--- Session 3 (Chair: H. Yamamoto) ---

10:00 - 10:20 [S3-1] Local control of axonal excitability in the hippocampus

H. Kamiya, Hokaido Univ., Japan

10:20 - 10:50 [S3-2] Dynamic neural correlates of working memory phenomena in prefrontal cortex - new experimental findings and theoretical insights

P. Herman, M. Lundqvist, E. K. Miller, Royal Inst. Technology, Sweden

10:50 - 11:20 [S3-3] Optimizing deep brain stimulation for treatment of Epilepsy and Parkinson's disease

T. Netoff, Univ. Minnesota, USA

11:20 - 11:40 [S3-4] Posture estimation from electromyography signals using a multi-layered neural network

F. Ishida, National Institute of Technology, Toyama College, Japan

11:40 -11:45 Closing Remarks

S. Sato, Tohoku Univ., Japan



RIEC

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

9th 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 Bionics Seminar

Cooperative Society

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

Division of Soft-Nanotechnology, The Surface Science Society of Japan

March 1-2, 2018

Sendai, Japan

9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

March 1-2, 2018

**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 1 (Thursday)

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

13:00 ~ 13:05 Opening Remarks
Ayumi Hirano-Iwata (Research Institute of Electrical Communication / Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

(Chair: Craig Aspinwall)

13:05 ~ 13:45 Modulation of signal propagation in connected cell networks by localized heat stimulation

Philipp Rinklin¹, Kamy Dang¹, Nouran Adly¹, Korkut Terkan¹, Leroy Grob¹, Sabine Zips¹, and Bernhard Wolfrum^{1,2}

(¹Neuroelectronics - Munich School of Bioengineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Technical University of Munich (TUM), Boltzmannstr. 11, 85748 Garching, Germany, ²Institute of Bioelectronics (PGI-8/ICS-8), Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany)

13:45 ~ 14:15 Development of bioanalytical platforms for extracellular vesicles

Takanori Ichiki^{1,2}

(¹Department of Materials Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo, Japan, ²Innovation Center of Nanomedicine (iCONM), Kawasaki Institute of Industry Promotion, Kawasaki, Japan)

14:15 ~ 14:45 Mechanically stable solvent-free lipid bilayers for ion channel proteins

Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}, Daisuke Tadaki², Daichi Yamaura², Takeshi Ohori², Kohei Arara², Miki Kato², Takafumi Deguchi², Teng Ma¹, Hideaki Yamamoto³, and Michio Niwano⁴

(¹Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, ²Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan, ⁴Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

14:45 ~ 15:00 Coffee Break

(Chair: Ayumi Hirano-Iwata)

- 15:00 ~ 15:20 Photomodulation of electrical conductivity across a PCBM doped free-standing lipid bilayer
Kensaku Kanomata¹, Takumi Haseyama¹, Masanori Miura¹, Takafumi Deguchi², Daichi Yamaura^{2,3}, Daisuke Tadaki², Teng Ma⁴, Ayumi Hirano-Iwata^{2,4}, and Fumihiko Hirose¹
(¹Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Yonezawa, Japan, ²Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan, ⁴Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)
- 15:20 ~ 15:40 Microscopic morphology of polyethylene-glycol-modified lipids and its effects on macroscopic physical properties in supported lipid bilayers
Yasuhiro Kakimoto and Tero Ryugo
(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)
- 15:40 ~ 16:10 Substrate-induced asymmetric and anisotropic diffusion in supported lipid bilayers
Ryugo Tero¹, Toshinori Motegi¹, Kenji Yamazaki², and Toshio Ogino³
(¹Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, ²Hokkaido University, Sapporo, Japan, ³Yokohama National University, Yokohama, Japan)
- 16:10 ~ 17:40 Poster Session

March 2 (Friday)

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

(Chair: Ryugo Tero)

9:00 ~ 9:40 Membrane Functionalized Sensor Architectures
Craig A. Aspinwall, Isen A. C. Calderon, Diem Nguyen, and Xuemin Wang
(University of Arizona, Departments of Chemistry and Biochemistry and Biomedical Engineering, Tucson, Arizona, USA)

9:40 ~ 10:10 Artificial bilayers on a substrate for channel recordings
Toru Ide¹ and Minako Hirano²
(¹Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Okayama, Japan, ²The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries, Hamamatsu, Japan)

10:10 ~ 10:40 Noninvasive electrochemical characterization of multicellular spheroids and embryoid bodies
Hitoshi Shiku¹, Kosuke Ino¹, and Tomokazu Matsue²
(¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, ²Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan)

10:40 ~ 10:50 Coffee Break

(Chair: Daisuke Tadaki)

10:50 ~ 11:20 Patterned model biological membrane on the solid substrate
Kenichi Morigaki^{1,2}
(¹Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan, ²Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan)

11:20 ~ 11:50 Numerical simulation for single-electron charging effects in random arrays of small tunnel junctions
Yoshinao Mizugaki¹, Masataka Moriya¹, Hiroshi Shimada¹, Kazuhiko Matsumoto¹, Makoto Moribayashi¹, Tomoki Yagai¹, Yasuo Kimura², Ayumi Hirano-Iwata³, and Fumihiko Hirose⁴
(¹The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Chofu, Japan, ²Tokyo University of Technology, Hachioji, Japan, ³Tohoku University, Sendai, Japan, ⁴Yamagata University, Yonezawa, Japan)