

Research Report No.16

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

Research Institute of Electrical Communication

Tohoku University

東北大学電気通信研究所附属

ナノ・スピン実験施設

研究報告書 第16号

2021



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 16 号

Research Report No.16
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

2021

施設研究報告書 2021

目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	令和2年度の研究成果のハイライト	3
4.	施設の活動	9
4-1	国際共同研究	9
4-2	国際シンポジウム	10
5.	研究成果（令和2年度）	23
5-A	ナノ集積基盤技術関連	23
5-B	スピントロニクス基盤技術関連	119
5-C	ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連	209
6.	参考資料	307
6-1	施設の代表的装置の概要	309
6-2	施設の利用状況（令和2年度）	315
6-3	ナノ・スピン工学会	320

Annual Research Report 2021

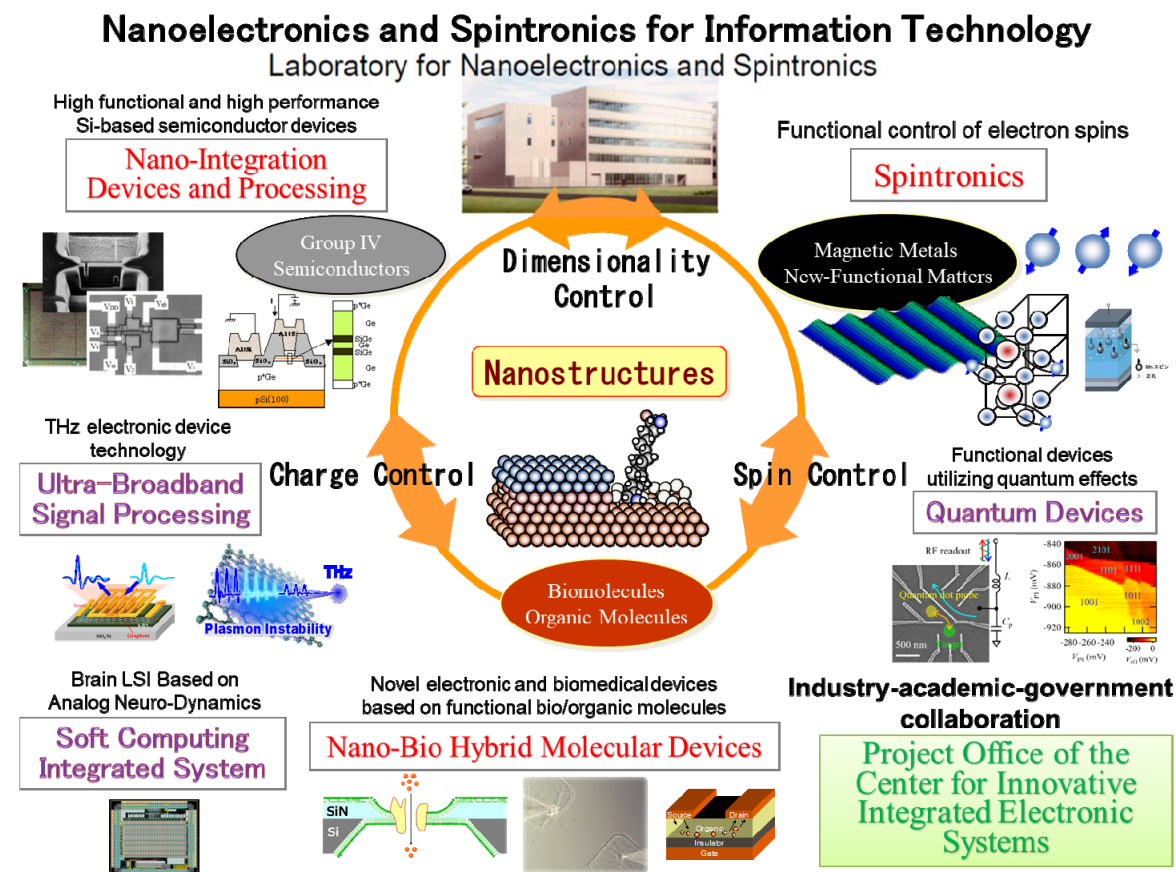
Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2020	3
4.	Global Activities	9
4-1	COE of International Research Collaboration	9
4-2	International Symposium	10
5.	Research Abstracts	23
5-A	Nano Integration	23
5-B	Spintronics and Information Technology	119
5-C	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	209
6.	Miscellaneous	307
6-1	Facilities and Equipments	309
6-2	Statistics	315
6-3	Nano-Spin Seminar Series	320

1. 施設の概要

Outline

ナノ・スピン実験施設



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

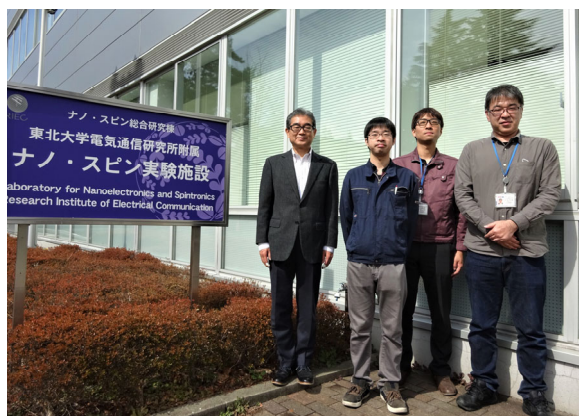
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス（COE）となることを目標としている。

東北大学電気通信研究所附属
ナノ・スピン実験施設長
教授 堀尾 喜彦

2. 施設の組織 Organization

施設長 Director
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio

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



運営委員会 Steering Committee
教授 堀尾 喜彦 Professor Yoshihiko Horio
教授 佐藤 茂雄 Professor Shigeo Sato
教授 深見 俊輔 Professor Shunsuke Fukami
教授 平野 愛弓 Professor Ayumi Hirano-Iwata
教授 尾辻 泰一 Professor Taiichi Otsuji
教授 長 康雄 Professor Yasuo Cho
教授 鷲尾 勝由 Professor Katsuyoshi Washio
教授 遠藤 哲郎 Professor Tetsuro Endoh
教授 羽生 貴弘 Professor Takahiro Hanyu
教授 末松 憲治 Professor Kenji Suematsu

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

3. 令和 2 年度の研究成果のハイライト

Highlights of Research in FY2020

施設研究部と利用研究室の令和元年度の研究成果のハイライトを記します。

ナノ集積基盤技術関連

Nano Integration

● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

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

- (1) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、極低電力で動作するスパイクングニューロン回路の開発を行った。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路の消費電力が 10 nW 以下となることを数値実験により確認した。
 - (2) ペンタシリセンへの Si 結晶構造転換の実現を目的として、5 nm 厚の極薄 Si 層を Ge 層で挟み込んだ Ge/極薄 Si/Ge ヘテロ構造中の Ge 層を選択的に除去する実験を行った。マイクロメートルスケールの大きさの極薄 Si 層が単離できていることを確認し、独立した極薄 Si の架橋構造を形成できる見通しを得た。
 - (3) SiC ショットキーバリアダイオード製作において、Al 電極形成の影響について検討を行った。電子ビーム蒸着法では SiC 基板の結晶性・界面特性の劣化が生じる可能性がある一方、RF スパッタ法では逆方向電流が抑制されたダイオード製作が可能であることを確認した。
 - (4) 生物学的に妥当なニューラルネットワークの学習則として注目されている spike-timing dependent plasticity を再現するアナログ回路を設計した。低消費電力化が重要な課題となるエッジデバイスへの実装を想定して最適化を図ることにより、従来モデルに比べてトランジスタ数を 2 割削減することに成功した。
 - (5) 生物の脳神経系で進化的に保存されているモジュール構造、そして大脳皮質視覚野の情報処理に基づいて提案されたハフ変換を導入することにより、リザーバーコンピューティングの画像認識タスクの計算効率および損傷耐性を向上できることを明らかにした。
- (1) Toward the development of neuromorphic computation hardware, we developed a spiking neuron circuit that can reproduce various neuron pulses with ultra-low power consumption. We confirmed by numerical simulations that the power consumption of our analog MOS circuit is less than 10 nW when it operates in the weak inversion region.
 - (2) Toward the realization of Si crystal structure transformation into penta-silicene, we performed selective etching of Ge in a Ge/ultrathin Si/Ge heterostructure in which a 5 nm-thick Si film was sandwiched by Ge. We confirmed that micrometer-scale isolated Si films were obtained, which indicates that a crosslinked structure of Si can be formed by this method.
 - (3) In the fabrication of SiC Schottky barrier diode, influence of Al electrode deposition method was investigated. We confirmed that, while the electron-beam evaporation method showed a possibility of degradation in crystallinity and interface properties, the RF sputtering method enabled superior diode fabrication with significant suppression of reverse bias current.
 - (4) We designed an analog circuit that recapitulates the function of spike-timing dependent plasticity, a biologically plausible learning rule for artificial neural networks. The number of transistors in a circuit was reduced by 20% for future implementation in ultralow-power edge computing devices.
 - (5) Modular architecture is a network structure that evolutionarily conserved in animals' nervous system,

and Hough transformation is a model consistent with the mechanisms of information processing in the visual cortex. We used computational simulation to show that the two biologically plausible mechanisms help improve the computational efficiency and robustness against system damage in a reservoir computing model for image recognition.

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

Soft Computing Integrated System (Y. Horio)

(1) カオスニューラルネットワークリザーバーの高次元複雑ダイナミクスを、リアプノフスペクトル、順列エントロピー、相互情報量、Kullback-Leibler divergence、Fisher 情報量、Complexity-entropy causality plane などの、情報理論および非線形動力学の指標を組み合わせて評価した。同時に、NARMA タスク、音声認識および時系列予測タスクにより、内部状態の指数的減衰が性能に影響することを明らかにした。さらに、カオスニューラルネットワークリザーバーを、TSV を用いた 3 次元積層集積回路に実装するためのプロトタイプチップを作製し、実験によりその有効性を確認した。

(2) スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスを用いて STDP スパイクングニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。この際、デバイスプロトタイプ実験による測定値を用いて、モデルパラメータのチューニングを行った。

(3) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、カオス同期を用いた鍵交換の手法について検討した。また、提案手法を用いた暗号により長距離通信実験を行うため、立命館大学と共同で通信装置の準備を行った。

(1) We analyzed the dynamics of the chaotic neural network reservoir (CNNR) using combinations of the measures for information theory and nonlinear dynamics such as Lyapunov spectrum, permutation entropy, spatial mutual information, average firing rate, and Kullback-Leibler divergence. We also introduced complexity-entropy causality plane. We found that the exponentially decaying internal state of the neuron greatly affect the performance of speech recognition and nonlinear time-series prediction tasks. We integrated a prototype IC chip for TSV 3D stacked integration of the CNNR; and confirmed the functionality of the prototype chip through experiments.

(2) We implemented compact mathematical models for neuron-like and synapse-like spintronics devices based on the temperature dynamics. We then tuned the model parameters using experimental data.

(3) We implemented small and high-speed cryptographic hardware based on the augmented Lorenz-map using FPGA. In addition, we investigated a key-exchange method based on chaos synchronization. Furthermore, we prepared for a long-distance communication experiment using the proposed chaotic encryption system.

スピントロニクス基盤技術関連

Spintronics and Information Technology

● スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics (S. Fukami)

固体中の電子のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子への応用を目的として研究を行い、主に以下の成果を得た。(1) 3 次元自己組織化ナノ構造ジャ

イロイドを磁性体で形成することに成功し、かつ電子線ホログラフィーを用いてその磁気構造を解明した。(2) 金属積層膜の膜面内方向を流れる電流の分布をボルツマンの輸送方程式に基づいて解析的、数値的に求め、スピントロニクス諸現象を理解する基礎を構築した。(3) 反強磁性 PtMn と強磁性 CoFeB からなるヘテロ構造のスピントラックトルクの PtMn 組成依存性を調べ、反強磁性体のスピントラックトルク発現機構に関する新しい知見を得た。(4) 人工ニューロン素子としての利用が期待されているスピンホール効果を用いた振動子の特性を電界で可逆的に変調することに成功した。(5) 半導体プロセスと互換性のある多結晶 PtMn のネールベクトルの電流制御に成功し、またその様子を X 線磁気線二色性光電子顕微鏡で可視化した。(6) フェリ磁性体/非磁性体/強磁性体からなる構造における強磁性層の全光学的磁化反転のメカニズムを解明し、効率的な磁化反転を実現できる新手法を考案、実証した。(7) 直径 2.3 ナノメートルまでの世界最小磁気トンネル接合素子を形成し、強磁性積層構造を導入することで一桁ナノメートル領域にて高い性能を実現することに成功した。(8) スピン移行トルクとスピントラックトルクを同時に利用できる素子を開発し、あらゆるスピントロニクス素子で最速となる 200 ps での無磁場磁化反転に成功した。(9) 熱揺らぎを積極利用する確率動作スピントロニクス素子の高速化に向けた理論的な枠組みを構築し、世界最速となる 8 ナノ秒のランダムテレグラフノイズを実現した。

Our research activities focus on realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) Succeeding in fabricating three-dimensional self-assembly nanostructure made of magnetic material and elucidating the magnetic structure by means of electron holography, (2) putting forward an analytical and numerical scheme to derive the current distribution of metallic multilayer based on Boltzmann transport theory, (3) investigating the spin-orbit torque generation efficiency in heterostructures with antiferromagnetic PtMn and ferromagnetic CoFeB, and obtaining a new insight of the spin-orbit torque generated by antiferromagnets, (4) succeeding in electric field modulation of the properties of spin Hall nano oscillator, that is promising as an artificial synapse, (5) successfully demonstrating the current-driven manipulation of Neel vector of polycrystalline PtMn which has a compatibility with semiconductor processes, (6) revealing the mechanism of all optical switching in ferrimagnet/non-magneto/ferromagnet heterostructure, and demonstrating a new energy efficient scheme of all optical switching, (7) developing the world-smallest magnetic tunnel junction down to 2.3 nm with high performance using ferromagnetic multilayer structure and shape anisotropy, (8) developing a new magnetic tunnel junction device operated with both spin-transfer torque and spin-orbit torque and achieving the world fastest magnetization switching of the pulse width of 200 ps, (9) establishing a new theoretical framework to describe the stochastic behavior of superparamagnetic nanomagnet and achieving the world fastest random telegraph noise of 8 ns.

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

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

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

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を

有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得 9 % のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した (2020.07. プレスリリース ; 国際会議招待講演 3 件)。

2. プラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発

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。今年度は、InGaAs-HEMT に単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子の開発を進め、フォトダイオードの能動領域面積を縮小することにより、1.5 μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を 4 桁以上、格段に向上させることに成功した。

The goal of our research is to explore the terahertz frequency range by creating novel integrated electron devices and circuit systems. III-V- and graphene-based active plasmonic heterostructures for creating new types of terahertz lasers and ultrafast transistors are major concerns. By making full use of these world-leading device/circuit technologies, we are developing future ultra-broadband wireless communication systems as well as spectroscopic/imaging systems for safety and security. The followings are the major achievements in 2020FSY.

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

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

2. Development of plasmonic THz detectors

For the realization of photonics-electronics convergence devices, we developed a novel device that introduces a photoabsorption structure of a unitraveling-carrier photodiode into an InGaAs-channel high-electron-mobility transistor and successfully demonstrated the giant gain enhancement of the frequency down-conversion from 1.5- μm optical-wave data signal to millimeter-wave data signal by one-four order of magnitude orders of magnitude by reducing the active area size of the photodiode.

● 量子デバイス (大塚朋廣)

Quantum Device (T. Otsuka)

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

(1) 固体ナノ構造中の電子物性を解明するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるマイクロな電氣的センサを開発している。高周波を活用した高速電気測定や、データ科学手法の活用により、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定する手法について研究を行った。

(2) 高速マイクロセンサ等の精密測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。量子ドットデバイスにおける電荷・スピン状態や、新材料における電子物性についてその詳細を解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態制御・観測技術を活用して、半導体量子ビットデバイス等の量子デバイスの研究を行った。量子ビット操作の研究とともに、量子系のスケールアップに向け

た手法の研究を行った。

We are exploring interesting properties of solid-state nanostructures utilizing precise and high-speed electric measurement and control techniques. We are also developing materials and devices using nanostructures. Our research activities in FY 2020 are the following.

- (1) We developed the local electronic sensors which can directly access local electronic states in nanostructures utilizing semiconductor quantum dots. We improved the performance by high-frequency measurement techniques and data informatics approaches.
- (2) We measured local electronic and spin states in semiconductor nanostructures utilizing sensitive electronic sensors. We revealed the detail of local electronic states in new materials and quantum dot devices.
- (3) We studied semiconductor quantum bits for future quantum information processing. We conducted experiments on quantum bit operations and developed techniques for scale-up of quantum systems.

ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

Nano-Bio Hybrid Molecular Devices

● ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）

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

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

(1) 人工細胞膜アレイに基づく hERG チャンネル電流の並列記録

近年、創薬分野において、膜タンパク質のイオンチャンネルに対する薬物作用を効率良く評価することの重要性が高まっている。特に、心筋の hERG チャンネルは薬物副作用による不整脈の問題から注目を集めており、我々も以前から、Si チップを支持体とする人工細胞膜に基づいて hERG チャンネル電流を測定する機能評価系を提案してきた。2020 年度は、この人工細胞膜を並列させたアレイ系を構築し、hERG チャンネルに対する high-throughput 評価系への展開を試みた。その結果、複数の膜からの hERG チャンネル電流の同時記録と、特異的阻害剤による阻害作用の評価に成功した。これらの結果は、本人工細胞膜アレイが hERG チャンネル高効率スクリーニング系として有望であることを示唆しており、今後の展開が期待される。

(2) 神経細胞パターンニングのためのマイクロ流体デバイスの開発

生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御することで、脳神経において進化的に保存されているモジュール構造を持った神経回路を構成するためのマイクロ流体デバイスを開発した。デバイス上で培養した神経細胞ネットワークの発火パターンを蛍光カルシウムイメージングによって計測し、モジュール間の相互作用を切断間際まで弱めた条件では、培養神経回路の発火パターンが生体条件に近づくことを明らかにした。

(3) 有機強誘電体に基づく圧力センサ／TiO₂ ナノチューブを用いた高感度ガスセンサの開発

有機強誘電体であるポリフッ化ビニリデン (PVDF) 膜に基づく圧力センサを開発した。我々が有する簡便な作製法（溶液法）と、下地 Au 電極の化学修飾表面とを併用することにより、センサの高感度化を実現した。これにより、一般的な電界による分極処理（ポーリング）を必要とし

ない画期的なセンサ作製法を見出すことに成功した。また、Si 基板上に形成した TiO_2 ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した。原子層堆積法を用いて、ナノチューブ薄膜表面だけでなく、チューブ内壁にも Pt 微粒子を触媒として担持することにより、従来型に比べ、感度および反応時間を一桁程度向上させることに成功した。

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

(1) We developed a solvent-free artificial cell membrane array based on microfabricated Si chips. Parallel recordings of the hERG channel activities in the multiple bilayer lipid membranes (BLMs) were demonstrated, showing the potential of the present BLM system as a high-throughput screening platform for ion-channel proteins.

(2) We developed a microfluidic device for controlling modular architecture of living neuronal networks in dissociated culture. We showed that micropatterned neuronal networks exhibit spontaneous activity with higher functional complexity compared to conventional, unpatterned neuronal networks.

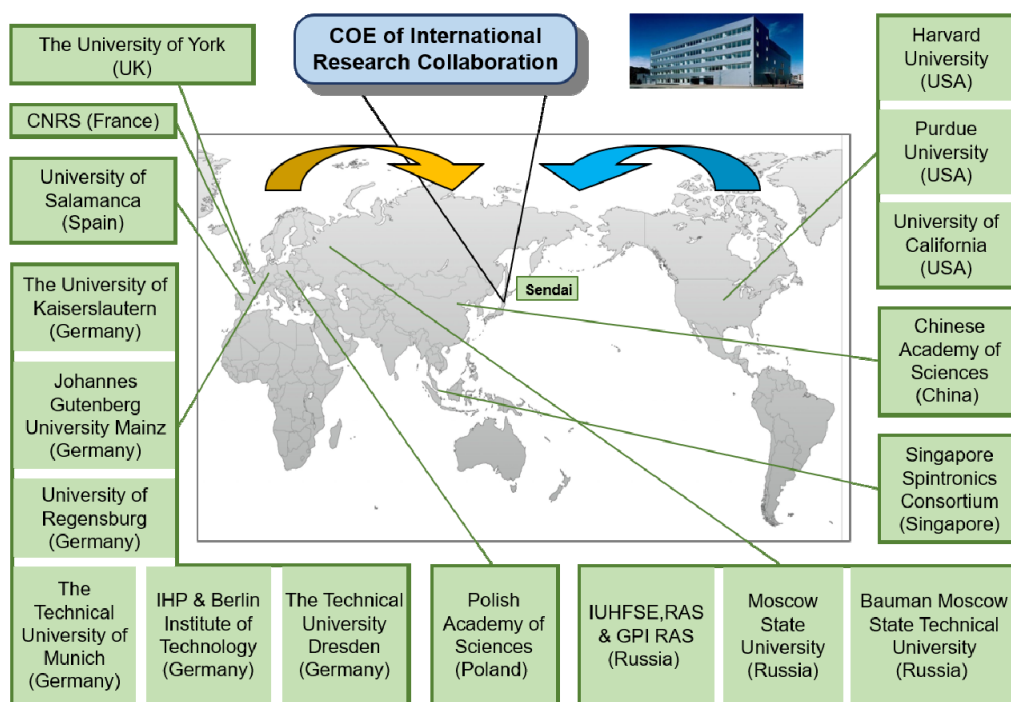
(3) We developed piezoelectric PVDF-based pressure sensors fabricated by using a novel poling method. We also proposed highly sensitive gas sensors using a TiO_2 nanotube film decorated with Pt nanoparticles as catalysts.

4. 施設の活動

Global Activities

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

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



Academic Exchange Programs

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

ナノ・スピン実験施設で開催した国際シンポジウム

International Symposium Held in LNS,RIEC

RIEC Symposium on Spintronics

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



7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

International Workshop on Nanostructure & Nanoelectronics

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



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

第1回 : 2009年10月22-23日

RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

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

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

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

第104回電気通信研究所国際シンポジウム

第9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 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開催日 : 令和2年12月5日(土)(1日間)

開催場所 : オンライン開催

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大腦生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が9回目であり、令和2年12月5日にオンライン会議の形で開催された。スペイン、スウェーデン、カナダから4名の海外招待講演者を迎え、16件の口頭発表と12件のポスター発表が行われた。前回のシンポジウムに引き続き、今回も東北大学知のフォーラムとの共催で開催し、神経科学、数理モデル、ハードウェア等の理系研究者だけでなく、哲学の文系研究者、さらには企業の方にもご講演をいただき、IoT社会や人工知能のあり方についても総合的に議論した。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106回電気通信研究所国際シンポジウム
**第11回 ナノ構造・ナノエレクトロニクスに関する国際ワーク
ショップ**
**11th International Workshop on Nanostructures &
Nanoelectronics**

平野 愛弓
Ayumi HIRANO-IWATA

開催日：令和3年3月1日（月）～2日（火）（2日間）

開催場所：オンライン開催

第11回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップが令和3年3月1日（月）～2日（火）の2日間にわたり、オンラインにて開催された。イギリス、ドイツ、中国、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62名を数えた。初のオンライン形式での開催となったが、ナノ・バイオ融合分野の発展を目指すため、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、グラフェンFETを用いたウィルス検出法の開発、ナノポアセンサーにおける安定な人工膜系の構築、光化学電池や光触媒への応用を志向した酸化チタンナノチューブアレイの開発、分子性電磁ナノコイルの作製と評価、ナノ加工技術と脂質二分子膜との融合から成るバイオセンシングプラットフォームの創成、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、高効率薬物スクリーニング系構築のための人工細胞膜アレイの開発、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、本ワークショップに係る研究者間での交流も日頃より活発に行われており、ナノ・バイオ融合分野の今後益々の発展が期待される。

国際シンポジウムプログラム
Program of International Symposium

The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: December 5th, 2020

Place: Virtual Symposium

Organizers:

Symposium Chair

Shigeo Sato, Tohoku Univ.

Program Committee

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

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

Secretary

Satoshi Moriya, Tohoku Univ.

Co-organized by

Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

Tohoku Forum for Creativity Program 2020 "Designing the Human-Centric IoT Society
-Cooperative Industry-Academic Strategies for Creative Future Connection"

In cooperation with

WISE Program for AI Electronics, Tohoku University

Program

Dec. 5

- 9:00-9:05 Opening Remarks (On-demand Video)
A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
- 9:05-12:00 --- General Session (Invited Talks, On-demand Video) ---
- [GS-1] Towards holistic brain-like neural network approach to pattern recognition: unsupervised representation learning
P. Herman, N. B. Ravichandran, A. Lansner (KTH Royal Institute of Technology, Sweden)
- [GS-2] The error scaling of spike-timing/sequence codes
W. Nicola, C. Clopath (Univ. Calgary, Canada)
- [GS-3] Spiking neural signal processing with real-time hardware execution
J. Madrenas, M. Zapata, C. Bonfanti, A. Caruso, J. Á. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
- [GS-4] CMOS analog neural circuit for edge computing
S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas (RIEC, Tohoku Univ., Japan)
- [GS-5] Physical reservoir computing in neural-network hardware history: Dynamics features of spin-wave and optical reservoirs
A. Hirose, R. Nakane, J. B. Héroux, T. Yamane, H. Numata, D. Nakano, G. Tanaka (Univ. Tokyo, Japan)
- [GS-6] Reservoir computing based on pseudo-billiard dynamics in hypercube and its applications
Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
- [GS-7] A performance evaluation of deep neural networks training with noisy labels under the limit of the cost increases by group-teaching algorithm
T. Samura, K. Tadamura (Yamaguchi Univ., Japan)
- [GS-8] Dynamic tuning of axonal excitability in the hippocampus
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
- [GS-9] Artificial cell membrane as a drug screening platform for ion channel proteins
A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[GS-10] Two-photon calcium imaging in the motor cortex of non-human primates during movement tasks

Y. Masamizu, T. Ebina, M. Matsuzaki (RIKEN, Japan)

[GS-11] Tuning the richness of spontaneous activity patterns in neuronal cultures through engineering

M. Montalá, E. Estévez-Priego, S. Faci-Lázaro, J. Gómez-Gardeñes, A.-A. Ludl, J. Soriano-Fradera (Univ. Barcelona, Spain)

[GS-12] Ultrasoft silicone gel as a biomimetic scaffold for culturing neuronal networks in vitro

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

10:00-12:00 --- Q & A Session for Invited Talks (Chat) ---

12:00-13:00 Lunch Break

--- Special Session (Invited Talks, Zoom Meeting, Chair: Y. Horio) ---

"The 2nd International Symposium on Designing the Human-Centric IoT Society"

13:00- 13:05 [TS-1] Introduction

Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

13:05- 13:30 [TS-2] Incorporating cognitive process into computational motor control models
---Towards an understanding of cognitive factors in executing motor skills ---

Y. Sakaguchi (Univ. Electro-Commun., Japan)

13:30- 13:55 [TS-3] Nanoelectronics technology for the Sustainable Planet

M. Yamaguchi (Tokyo Electron Ltd., Japan)

13:55- 14:20 [TS-4] Design-centered AI Governance

Y.-H. Weng (Tohoku Univ., Japan)

14:20- 14:45 [TS-5] Externalism of mind: integrated system of human and machine

Y. Murakami (Rikkyo Univ., Japan)

Break (15 min)

15:00- 17:00 --- Poster Session (Interactive Discussion) ---

[ID-1] Brain-like unsupervised feature pooling using spatially jittered samples

T. Shinozaki (NICT, Japan)

[ID-2] Digital implement of 3-layered neural networks with stochastic activation, shunting inhibition, and a dual-rail backpropagation

Y. Sasaki, K. Nishida, M. Akai-Kasaya, T. Asai (Hokkaido Univ., Japan)

[ID-3] Application analysis to a reservoir computing scheme by assisting nonlinear response with simple external control

S. Kan, K. Nakajima, T. Asai, M. Akai-Kasaya (Hokkaido Univ., Japan)

[ID-4] Reservoir computing properties in spiking neural network models with modular topology

T. Sumi, H. Yamamoto, S. Moriya, T. Takemuro, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[ID-5] (retracted)

[ID-6] Estimation of neural dynamics with particle Markov chain Monte Carlo

H. Inoue, K. Hukushima, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[ID-7] Influence of extracellular electric fields on network model of neocortical neural circuits

N. Matsumoto, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

[ID-8] Extracellular stimulation of a target neuron in a micropatterned neuronal circuit using a pair of needle electrodes

K. Hattori, M. Ishida, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani (Waseda Univ., Japan)

[ID-9] Microcontact printing of extracellular matrix proteins for neuronal patterning on high-density multielectrode arrays

Y. Sato, H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

[ID-10] Beyond the division~to reach our new steps

Y. Kikuchi, T. Takemuro, M. Ono, G. Takamim, S. Otomo, Z. Ni (Tohoku Univ., Japan)

[ID-11] The state of the design of a human-centered information terminal

D. Oguchi, Y. Kanke, M. Chiba, A. Saita, K. Kudou, Y. Sakamoto (Tohoku Univ., Japan)

[ID-12] Proposals for new AI and human concepts

A. Fujimoto, D. Choi, M. Inoue, R. Takahashi, S. Moribe, Y. Asakawa (Tohoku Univ., Japan)

[ID-13] A new normal lifestyle with mobile housing

T. Nara, S. Tanaka, S. Kumagai, Y. Sato, K. Fukuda (Tohoku Univ., Japan)

17:00 - 17:10 Closing Remarks

Y. Horio, S. Sato (Tohoku Univ.)



RIEC
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

Online

March 1-2, 2021

Organized by

**Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

Co-Organized by

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

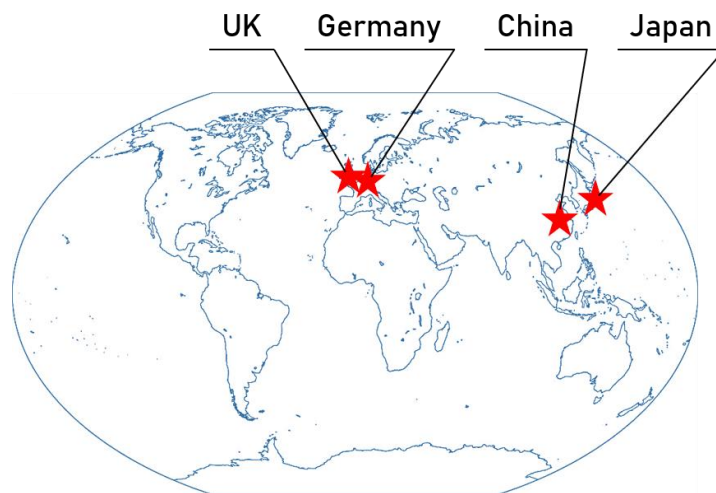
Cooperative Society

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

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

11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

【Online】



Organizer:

Symposium Chairs

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Ryugo Tero, Toyohashi Univ. of Tech.

Program Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Organizing Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Ryugo Tero, Toyohashi Univ. of Tech.

Teng Ma, Tohoku Univ.

Daisuke Tadaki, Tohoku Univ.

Program

March 1 (Monday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: UTC

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

17:00 ~ 17:05 Opening Remarks
8:00 ~ 8:05 Ayumi Hirano-Iwata
(Advanced Institute for Materials Research / Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan)

(Chair: Teng Ma)

17:05 ~ 17:50 Virus detection using graphene FET
8:05 ~ 8:50 Kazuhiko Matsumoto
(Institute of Scientific & Industrial Research, Osaka University, Ibaraki, Osaka, Japan)

17:50 ~ 18:20 RT atomic layer deposition of aluminum silicate and its application to ion sorption
8:50 ~ 9:20 Fumihiko Hirose
(Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Yonezawa, Yamagata, Japan)

18:20 ~ 18:50 Composition of supported lipid bilayers including ionic lipids on charged substrates
9:20 ~ 9:50 Ryugo Tero, Natsumi Kobayashi, Yuu Nakagawa
(Department of applied chemistry and life sciences, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)

18:50 ~ 19:10 Break
9:50 ~ 10:10

(Chair: Ryugo Tero)

19:10 ~ 19:55 Electrolyte stabilization of aperture-suspended bilayers for nanopore sensing
10:10 ~ 10:55 Maurits de Planque
(School of Electronics and Computer Science & Institute for Life Sciences, University of Southampton, Southampton, United Kingdom)

- 19:55 ~ 20:25 Reconstituting photosynthetic model thylakoid membrane in the polymerized
10:55 ~ 11:25 lipid bilayer scaffold
Takuro Yoneda¹, Yuka Kusunoki¹, Daisuke Takagi^{1,2}, Sophie A. Meredith³, Ashley M. Hancock³, Stephen D. Evans³, Peter G. Adams³, Kenichi Morigaki^{1,4}
(¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan, ²Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Japan, School of Physics and Astronomy, University of Leeds, ⁴Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan)
- 20:25 ~ 20:45 Observation of cell-free synthesized Human ether-a-go-go related gene channels in
11:25 ~ 11:45 artificial lipid bilayer
Mervin Wei Shern Goh¹, Haruka Inoue², Yuzuru Tozawa², Ryugo Tero¹
(¹Department of applied chemistry and life sciences, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, ²Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Saitama, Japan)

March 2 (Tuesday)

Red: Local time in Japan (JST)

Blue: UTC

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

(Chair: Daisuke Tadaki)

- 17:00 ~ 17:45 Perfect hexagonal anodizing: (Titania)Nanotubes and Porous Alumina
8:00 ~ 8:45 Patrik Schmuki
(Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)
- 17:45 ~ 18:15 Electromagnetic properties and structures of molecular nanocoils composed of
8:45 ~ 9:15 organic charge transfer complexes
Yoko Tatewaki¹, Sadafumi Nishihara², Tomoyuki Akutagawa³, Takayoshi Nakamura⁴
(¹Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo, Japan, ²Hiroshima University, Hiroshima, Japan, ³Tohoku University, Sendai, Japan, ⁴Hokkaido University, Sapporo, Japan)

18:15 ~ 18:45 Artificial cell membrane as a novel platform for biosensing
9:15 ~ 9:45 Ayumi Hirano-Iwata
(Advanced Institute for Materials Research / Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan)

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

(Chair: Ayumi Hirano-Iwata)

19:05 ~ 19:35 Nanopore dynamic chemistry for single-molecule sensing
10:05 ~ 10:35 Yi-lun Ying, Xinyi Li, Mengying Li, Yi-Tao Long
(State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing, China)

19:35 ~ 20:05 AC impedance of a free-standing bilayer lipid membrane formed over an aperture
10:35 ~ 11:05 in a nanofabricated silicon chip
Yasutaka Tomioka¹, Haruka Hirata¹, Shogo Takashima¹, Masataka Moriya¹, Hiroshi Shimada¹, Ayumi Hirano-Iwata², Fumihiko Hirose³, Yoshinao Mizugaki¹
(¹The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo, Japan, ²Tohoku University, Sendai, Japan, ³Yamagata University, Yonezawa, Yamagata, Japan,)

20:05 ~ 20:25 Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of
11:05 ~ 11:25 transmembrane hERG channel currents
Daisuke Tadaki¹, Ryusuke Miyata¹, Daichi Yamaura¹, Shun Araki¹, Madoka Sato¹, Maki Komiya¹, Teng Ma², Hideaki Yamamoto¹, Michio Niwano³, Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}
(¹Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, ²Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan.)

5. 研究成果（令和2年度）

Research Abstracts

5 A ナノ集積基盤技術関連

Nano Integration

A1 ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

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

A2 ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

Soft Computing Integrated System
(Y. Horio)

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

1. 脳型計算ハードウェアに関する研究

Brain computing hardware

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

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

2. 脳型計算用量子知能デバイスに関する研究

Intelligent quantum device for brain computing

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

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

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

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

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

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

4. IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスに関する研究

Large-scale integration process of group IV semiconductor quantum heterostructures

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

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

5. 微細加工表面を用いた培養神経回路の機能制御に関する研究

Bioengineering technologies for manipulating neuronal network functions

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

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

6. 神経細胞ネットワークの数値モデルに関する研究

Computational modeling of neuronal networks

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

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

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

【査読付論文】

1. S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Modular networks of spiking neurons for applications in time-series information processing”, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, 11, 590–600, 2020.
2. T. Ma, Y. Kimura, H. Yamamoto, X. Feng, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Characterization of bulk nanobubbles formed by using a porous alumina film with ordered nanopores”, *J. Phys. Chem. B*, 124, 5067–5072, 2020.
3. T. Takemuro, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of small-scale neuronal networks”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 59, 117001 2020.
4. K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, “Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture”, *BioSystems*, 198, 104278, 2020.
5. Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Kinjo, M. Sakuraba, “Learning rule for a quantum neural network inspired by Hebbian learning”, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, E104-D, 237–245, 2020.
6. Y. Dai, H. Yamamoto, M. Sakuraba, S. Sato, “Computational efficiency of a modular reservoir network for image recognition.”, *Front. Comput. Neurosci.* 15, 594337, 2021.
7. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Parallel recordings of transmembrane hERG channel currents based on solvent-free lipid bilayer microarray”, *Micromachines*, 12, 98, 2021.
8. K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, “Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes”, *Electrochemistry*, in press.

【国際会議発表】

1. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas, “Analog CMOS implementation of a spiking neuron circuit for edge computing”, in *Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2020, Virtual, Nov. 16-19, 2020)*, p. 76, 2020.
2. J. Madrenas, M. Zapata, J. A. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato, “Efficient digital spike processing of frequency-encoded sensor signals for edge computing”, in *Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2020, Virtual, Nov. 16-19, 2020)*, pp. 93-96, 2020.
3. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas, “CMOS analog neural circuit for edge computing”, *The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020)*, GS-4, 2020.
4. H. Yamamoto, T. Sumi, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Ultrasoft silicone gel as a biomimetic scaffold for culturing neuronal networks in vitro”, *The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020)*, GS-12, 2020.
5. J. Madrenas, M. Zapata, C. Bonfanti, A. Caruso, J. Á. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato, “Spiking neural signal processing with real-time hardware execution”, *The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020)*, GS-2, 2020.
6. T. Sumi, H. Yamamoto, S. Moriya, T. Takemuro, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Reservoir computing properties in spiking neural network models with modular topology”, *The 9th RIEC*

- International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020), ID-4, 2020.
7. Y. Sato, H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Microcontact printing of extracellular matrix proteins for neuronal patterning on high-density multielectrode arrays”, The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020), ID-9, 2020.
 8. K. Hattori, M. Ishida, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, “Extracellular stimulation of a target neuron in a micropatterned neuronal circuit using a pair of needle electrodes”, The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (Virtual, Dec. 5, 2020), ID-8, 2020.
 9. H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Designing functional neuronal networks with living cells”, 26th Asia South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2021, Virtual, Jan. 18-21, 2021), 5A-4, 2021.
 10. S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, “Modeling of cultured neuronal networks for analog hardware”, The 4th Tohoku-NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies (Virtual, Mar. 12-13, 2021), 2021.
 11. D. Tadaki, R. Miyata, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel currents”, 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (Virtual, Mar. 2, 2021), 2021.
 12. S. Sato, S. Moriya, Y. Tamura, T. Kato, Y. Kanke, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “Analog CMOS neural network for edge computing”, The 7th International Symposium on Brainware LSI (Virtual, Mar. 31, 2021), 2021.

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

1. カオスニューラルネットワークリザーバーの研究

Chaotic neural network reservoir

我々が提案したカオスニューラルネットワークリザーバーを、時系列予測、音声認識などに応用し、その有効性を確認すると共に、ネットワークダイナミクスをリアプノフスペクトル、順列エントロピー、相互情報量、Kullback–Leibler divergence、Fisher 情報量、Complexity-entropy causality plane などの、情報理論および非線形動力学の指標を組み合わせて評価した。さらに、カオスニューラルネットワークリザーバーを、TSV を用いた 3 次元積層集積回路に実装するためのプロトタイプチップを作製し、実験によりその有効性を確認した。

We analyzed the dynamics of the chaotic neural network reservoir (CNNR) using combinations of the measures for information theory and nonlinear dynamics such as Lyapunov spectrum, permutation entropy, spatial mutual information, average firing rate, and Kullback-Leibler divergence. We also introduced complexity-entropy causality plane. We found that the exponentially decaying internal state of the neuron greatly affect the performance of speech recognition and nonlinear time-series prediction tasks. We integrated a prototype IC chip for TSV 3D stacked integration of the CNNR; and confirmed the functionality of the prototype chip through experiments.

2. スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

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

スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスを用いて

STDP スパイクニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。この際、デバイスプロトタイプ実験による測定値を用いて、モデルパラメータのチューニングを行った。

We implemented compact mathematical models for neuron-like and synapse-like spintronics devices based on the temperature dynamics. We then tuned the model parameters using experimental data.

3. 高次元カオスストリーム暗号に関する研究

High-dimensional chaotic stream cryptography

高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、カオス同期を用いた鍵交換の手法について検討した。また、提案手法を用いた暗号により長距離通信実験を行うため、立命館大学と共同で通信装置の準備を行った。

We implemented small and high-speed cryptographic hardware based on the augmented Lorenz-map using FPGA. In addition, we investigated a key-exchange method based on chaos synchronization. Furthermore, we prepared for a long-distance communication experiment using the proposed chaotic encryption system.

【査読付論文】

1. T. Orima and Y. Horio, "A design method for a passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea through parameter optimization techniques," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 624-635, DOI: 10.1587/nolta.11.624, 2020.
2. K. Miyauchi, Y. Horio, T. Miyano, K. Cho, "Design of the nonlinear look-up table in the chaotic pseudorandom number generator based on augmented Lorenz map," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 571-579, DOI: 10.1587/nolta.11.571, 2020.
3. A. Shinozaki, T. Miyano, and Y. Horio, "Chaotic time series prediction by noisy echo state network," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 466-479, DOI: 10.1587/nolta.11.466, 2020.
4. M. Inoue, K. Fukuda, and Y. Horio, "Switched-capacitor circuit implementation of the chaotic neural network reservoir," *Journal of Signal Processing*, vol. 24, no. 4, pp. 133-136, DOI: 10.2299/jsp.24.133, 2020.

【国際会議発表】

1. D. Hoang and Y. Horio, "FPGA implementation of echo state network with time-switched multi-frame layer for discrete speech recognition," in *Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing*, pp. 365-368, online, 2021.
2. K. Fukuda, Y. Horio, T. Orima, and K. Kiyoyama, "Cyclic reservoir neural network circuit for 3D IC implementation," in *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 81-84, online, 2020.
3. Y. Kikuchi, Y. Horio, A. Krenkov, and S. Fukami, "Mathematical modeling of neuron/synapse-like spintronics devices," in *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 77-80, online, 2020.
4. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, and J. Madrenas, "Analog CMOS implementation of a spiking neuron circuit for edge computing," in *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, p. 76, online, 2020.

5. T. Orima and Y. Horio, "Pre-filtering using reflectionless transmission-line model for speech recognition in noise environment," in Abstract Book of The 7th RIEC International Symposium on on Brainware LSI, p. 11, 2020.
6. S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, and J. Madrenas, "CMOS analog neural circuit for edge computing," in Abstract Book of The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, p. 12, 2020.
7. T. Orima and Y. Horio, "Pre-filtering using reflectionless transmission-line model for speech recognition in noise environment," in Abstract Book of The 7th RIEC International Symposium on on Brainware LSI, p. 4, 2020.

5 B スピントロニクス基盤技術関連

Spintronics and Information Technology

B1 スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics
(S. Fukami)

B2 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

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

B3 量子デバイス（大塚朋廣）

Quantum Device
(T. Otsuka)

B1 スピントロニクス（深見俊輔）

Spintronics (S. Fukami)

スピントロニクスに関する研究

Spintronics

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

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

1) スピントロニクスに関する研究

Spintronics

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

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

2) 金属磁性体とその機能素子応用に関する研究

Magnetic metal functional devices and their application

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

Development of spintronic devices with the size of less than 20 nm and their processing technology, characterization of the fabricated spintronic devices, and fabrication of various prototype integrated circuits employing spintronic devices are being carried out.

3) 新規磁性材料及びそのナノヘテロ構造の物性と応用に関する研究

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

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

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

4) 高出力トンネル磁気抵抗素子の開発

Magnetic tunnel junctions with high output voltage

磁気トンネル接合(MTJ)素子の高性能化を行っている。

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

5) 金属系スピントロニクスデバイスの開発

Metal-based spintronics devices

微細な金属系スピントロニクスデバイスの作製とその特性評価、スピンメモリロジ

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.

【査読付論文】

1. J. Llandro, D. M. Love, A. Kovacs, Jan, J. Caron, K. N. Vyas, A. Kakay, R. Salikhov, K. Lenz, J. Fassbender, M. R. J. Scherer, C. Cimorra, U. Steiner, C. H. W. Barnes, R. E. Dunin-Borkowski, S. Fukami, and H. Ohno, "Visualizing Magnetic Structure in 3D Nanoscale Ni-Fe Gyroid Networks," *Nano Letters*, vol. 20, 3642-3650 (2020).
2. B. Jinnai, K. Watanabe S. Fukami, and H. Ohno, "Scaling magnetic tunnel junction down to single-digit nanometers – Challenges and prospects," *Applied Physics Letters*, vol. 116, 160501 (2020).
3. S. Sugimoto, Y. Nakatani, Y. Yamane, M. Ikhlas, K. Kondou, M. Kimata, T. Tomita, S. Nakatsuji, and Y. Otani, "Electrical nucleation, displacement, and detection of antiferromagnetic domain walls in the chiral antiferromagnet Mn₃Sn," *Communications Physics*, vol. 3, 111 (2020).
4. O. Stejskal, A. Thiaville, J. Hamrle, S. Fukami, and H. Ohno, "Current distribution in metallic multilayers from resistance measurements," *Physical Review B*, vol. 101, 235437 (2020).
5. A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, "Neuromorphic computing with antiferromagnetic spintronics," *Journal of Applied Physics*, vol. 128, 10902 (2020).
6. K. V. De Zoysa, S. DuttaGupta, R. Itoh, Y. Takeuchi, H. Ohno, and S. Fukami, "Composition dependence of spin-orbit torque in Pt_{1-x}Mnx/CoFeB heterostructures," *Applied Physics Letters*, vol. 117, 12402 (2020).
7. S. A. Obadero, Y. Yamane, C. A. Akosa, and G. Tatara, "Current-driven nucleation and propagation of antiferromagnetic skyrmionium," *Physical Review B*, vol. 102, 14458 (2020).
8. H. Fulara, M. Zahedinejad, R. Khymyn, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Giant voltage-controlled modulation of spin Hall nano-oscillator damping," *Nature Communications*, vol. 11, 4006 (2020).
9. S. Fukami, V. O. Lorenz, and O. Gomonay, "Antiferromagnetic spintronics," *Journal of Applied Physics*, vol. 128, 70401 (2020).
10. K. Ishibashi, S. Iihama, Y. Takeuchi, K. Furuya, S. Kanai, S. Fukami, and S. Mizukami, "All-optical probe of magnetization precession modulated by spin-orbit torque," *Applied Physics Letters*, vol. 117, 122403 (2020).
11. Q. Remy, J. Igarashi, S. Iihama, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfield, S. Fukami, H. Ohno, and S. Mangin, "Energy Efficient Control of Ultrafast Spin Current to Induce Single Femtosecond Pulse Switching of a Ferromagnet," *Advanced Science*, vol. 7, 2001996 (2020).
12. G. K. Krishnaswamy, A. Kurenkov, G. Sala, M. Baumgartner, V. Krizakova, C. Nistor, F. Maccherozzi, S. S. Dhesi, S. Fukami, H. Ohno, and P. Gambardella, "Multidomain Memristive Switching of Pt₃₈Mn₆₂/[Co/Ni]_n Multilayers," *Physical Review Applied*, vol. 14, 44036 (2020).
13. S. DuttaGupta, A. Kurenkov, O. A. Tretiakov, G. Krishnaswamy, G. Sala, V. Krizakova, F. Maccherozzi, S. S. Dhesi, P. Gambardella, S. Fukami & H. Ohno, "Spin-orbit torque switching of an antiferromagnetic metallic heterostructure," *Nature Communications*, vol. 11, 5715 (2020).

14. M. Shinozaki, T. Dohi, J. Igarashi, J. Llandro, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Probing edge condition of nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions by spin-wave resonance," *Applied Physics Letters*, vol. 117, 202404 (2020).
15. J. Igarashi, Q. Remy, S. Iihama, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfield, S. Fukami, H. Ohno, and S. Mangin, "Engineering Single-Shot All-Optical Switching of Ferromagnetic Materials," *Nano Letters*, vol. 20, 8654 (2020).
16. M. Natsui, A. Tamakoshi, H. Honjo, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, Y. Ma, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "Dual-Port SOT-MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations Under Field-Assistance-Free Condition," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 56, 1116-1128 (2020).
17. J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, and H. Ohno, "Temperature dependence of the energy barrier in X/1X nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions," *Applied Physics Letters*, vol. 118, 12409 (2021).
18. A. K. Dhiman, T. Dohi, W. Dobrogowski, Z. Kurant, I. Sveklo, S. Fukami, H. Ohno, A. Maziewski, "Magnetization processes and magnetic domain structures in Ta/CoFeB/MgO stacks," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 529, 167699 (2021).
19. B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, S. Fukami, and H. Ohno, "Coherent magnetization reversal of a cylindrical nanomagnet in shape-anisotropy magnetic tunnel junctions," *Applied Physics Letters*, vol. 118, 82404 (2021).
20. C. Zhang, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno, "Field-free and sub-ns magnetization switching of magnetic tunnel junctions by combining spin-transfer torque and spin-orbit torque," *Applied Physics Letters*, vol. 118, 92406 (2021).
21. J. Ieda and Y. Yamane, "Intrinsic and extrinsic tunability of Rashba spin-orbit coupled emergent inductors," *Physical Review B*, vol. 103, L100402 (2021).
22. K. Hayakawa, S. Kanai, T. Funatsu, J. Igarashi, B. Jinnai, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Nanosecond Random Telegraph Noise in In-Plane Magnetic Tunnel Junctions," *Physical Review Letters*, vol. 126, 117202 (2021).
23. S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Theory of relaxation time of stochastic nanomagnets," *Physical Review B*, vol. 103, 94423 (2021).

【国際会議発表】

1. S. Fukami, W. A. Borders, A. Z. Pervaiz, K. Y. Camsari, S. Datta, and H. Ohno, "Probabilistic Computing Based on Spintronics Technology (invited)" *IEEE SILICON NANOELECTRONICS WORKSHOP 2020*, Online, 2020/6/13-2020/6/14.
2. M. Natsui, A. Tamakoshi, H. Honjo, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, Y. Ma, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "Dual-Port Field-Free SOT-MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations under 55-nm CMOS Technology and 1.2-V Supply Voltage (contributed)" *Symposia on VLSI Technology and Circuits*, Online, 2020/6/14-2020/6/19.
3. S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Spintronics with metallic antiferromagnets (invited)" *Advanced Materials and Characterization*, Online, 2020/6/15-2020/6/19.
4. H. Ohno, "Spintronics Device – Scaling to Single Digit nm and More (plenary)" *78th Device Research Conference (DRC)*, Online, 2020/6/21-2020/6/24.
5. H. Ohno, "Spintronics Nanodevice - How small can we make it and what else can we use it for (invited)" *On-line SPICE-SPIN+X Seminars*, Online, 2020/9/23-2020/9/23.
6. S. Fukami, "Spin-orbit torque-induced magnetization switching for high-speed embedded memory (invited)" *6th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment (ENGE 2020)*, Jedu, Korea + Online, 2020/11/1-2020/11/4.

7. S. Fukami, "Brain-inspired computing using unconventional spintronic devices (invited)" 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), Online, 2020/11/2-2020/11/6.
8. K. Ishibashi, S. Iihama, Y. Takeuchi, K. Furuya, S. Kanai, S. Fukami, S. Mizukami, "All-optical probe of magnetization precession frequency modulated by spin-orbit torque (contributed)" 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), Online, 2020/11/2-2020/11/6.
9. J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Anomalous Hall effect in Mn-Sn thin films – correlation with crystal structure (contributed)" 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), Online, 2020/11/2-2020/11/6.
10. J. Gibbons, T. Dohi, H. Saglam, J. Pearson, S. Fukami, and A. Hoffmann, "Temperature-Dependent Exotic Spin Torques in Antiferromagnetic FeRh (contributed)" 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), Online, 2020/11/2-2020/11/6.
11. J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, and H. Ohno, "Variation of energy barrier with temperature in X/1X-nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions (contributed)" 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), Online, 2020/11/2-2020/11/6.
12. Q. Remy, J. Igarashi, S. Iihama, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfeld, S. Fukami, H. Ohno and S. Mangin, "Control of Single Pulse All Optical Magnetization Switching of Ferromagnets (contributed)" SPICE Workshop on "Coherent order and transport in spin-active systems: Interplay between magnetism and superconductivity", Mainz, Germany, 2020/11/17-2020/11/19.
13. S. Fukami, "Spintronics for unconventional computing (invited)" Tohoku Quantum Alliance x OIST Quantum Meeting, Online, 2020/11/24-2020/11/25.
14. S. Fukami, "Artificial neural networks with analog or probabilistic spintronics devices (plenary)" The Joint European Magnetic Symposia (JEMS2020), Online, 2020/12/7-2020/12/11.
15. B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "High-Performance Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions down to 2.3 nm (contributed)" IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM2020), Online, 2020/12/12-2020/12/18.
16. S. DuttaGupta, "Metallic Antiferromagnetic Spintronics (invited)" Condensed Matter Physics Webinar, Online, 2021/1/22-2021/1/22.
17. H. Ohno, "Spintronics Nanodevice -From SMALL to SMART- (plenary)" International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Online, 2021/2/1-2021/2/3.
18. Rajeswari Roy Chowdhury, S. DuttaGupta, C. Patra, S. Sharma, S. Fukami, H. Ohno and R. P. Singh, "Modification of topological Hall effect with Co-doping in the uniaxial van der Waals ferromagnet (Co_xFe_{1-x})₃GeTe₂ (contributed)" International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Online, 2021/2/1-2021/2/3.
19. H. Fulara, M. Zahedinejad, R. Khymyn, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Voltage-Controlled Spin Hall Nano-Oscillators for Neuromorphic Computing (invited)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
20. J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Anomalous Hall effect in Mn-Sn thin film – correlation with structural parameters and magnetic ordering (contributed)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
21. T. V. A. Nguyen, S. DuttaGupta, Y. Saito, K. V. De Zoysa, S. Fukami, S. Ikeda, T. Endoh, Y. Endo, "Study on current-induced magnetization switching by spin-orbit torque in Ta-O/Co-Fe-B/Mg-O/Ta stacks (contributed)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.

22. K. Ishibashi, S. Iihama, Y. Takeuchi, K. Furuya, S. Kanai, S. Fukami, S. Mizukami, "All-optical detection of magnetization precession frequency modulated by spin-orbit torque (contributed)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
23. J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno, "Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions: Physics and Device Engineering (contributed)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
24. S. Kanai, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization Dynamics under Thermal Agitation Induced by Electric-field Effect on Magnetic Anisotropy (contributed)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
25. J. Llandro, D. M. Love, A. Kovacs, J. Caron, K. N. Vyas, A. Kakay, M. R. J. Scherer, U. Steiner, C. H. W. Barnes, R. E. Dunin-Borkowski, J. Fassbender, S. Fukami, and H. Ohno, "Intricate Magnetic Configuration of 3D Nanoscale Gyroid Networks (invited)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
26. J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno, "Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions: Physics and Device Engineering (invited)" The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, Online, 2021/2/24-2021/2/25.
27. S. Fukami, "Spin-orbit torque-induced sub-nanosecond magnetization switching in in-plane magnetic tunnel junctions (invited)" Tohoku-Lorraine Joint Conference 2021 "Spintronic", Online, 2021/3/3-2021/3/3.
28. J. Igarashi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Shape-anisotropy magnetic tunnel junctions with multilayered ferromagnets (contributed)" Tohoku-Lorraine Joint Conference 2021 "Spintronic", Online, 2021/3/3-2021/3/3.
29. K. Ishibashi, S. Iihama, Y. Takeuchi, K. Furuya, S. Kanai, S. Fukami, S. Mizukami, "All-optical probe of magnetization precession frequency shift due to spin-orbit torque (contributed)" Tohoku-Lorraine Joint Conference 2021 "Spintronic", Online, 2021/3/3-2021/3/3.
30. Q. Remy, J. Igarashi, S. Iihama, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfield, S. Fukami, H. Ohno and S. Mangin, "Control of Single Pulse All Optical Magnetization Switching of Ferromagnets (invited)" Tohoku-Lorraine Joint Conference 2021 "Spintronic", Online, 2021/3/3-2021/3/3.
31. S. Mangin and S. Fukami, "Ultra-fast and energy efficient spintronic based on electrical/optical control of magnetisation (invited)" Tohoku University - Universit? de Lorraine Joint Conference 2021, Online, 2021/3/4-2021/3/4.
32. J. Gibbons, T. Dohi, V. P. Amin, F. Xue, H. Arava, H. Saglam, Y. Liu, J. Pearson, A. K. Petford-Long, P. M. Haney, M. D. Stiles, S. Fukami, and A. Hoffmann, "Novel Spin Torques in Antiferromagnetic FeRh (contributed)" APS March Meeting 2021, Online, 2021/3/15-2021/3/19.
33. G. K. Krishnaswamy, A. Kurenkov, G. Sala, M. Baumgartner, V. Krizakova, C. Nistor, F. Maccherozzi, S. Dhesi, S. Fukami, H. Ohno, and P. Gambardella, "Multi-domain memristive magnetization switching in [Co/Ni]_x/PtMn heterostructures (contributed)" APS March Meeting 2021, Online, 2021/3/15-2021/3/19.

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

新原理ミリ波・テラヘルツ波帯集積電子デバイスの研究

Novel millimeter-wave and terahertz-wave integrated microelectronic devices

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

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

【査読付論文】

1. A. Satou, Y. Omori, K. Nishimura, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "Unitraveling-carrier-photodiode-integrated high-electron-mobility transistor for photonic double-mixing," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 39 (10), pp. 3341-3349, May. 2021 (published online on Feb. 2021). DOI: 10.1109/JLT.2021.3060795
2. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.G. Leiman, P.P. Maltsev, V.E. Karasik, V. Mitin, and M.S. Shur, "Theoretical analysis of injection driven thermal light emitters based on graphene encapsulated by hexagonal boron nitride," *Opt. Mat. Exp.*, vol. 11, iss. 2, pp. 468-486, Feb. 2021. DOI: 10.1364/OME.412973
3. M. Ryzhii, V. Ryzhii, P.P. Maltsev, D.S. Ponomarev, V.G. Leiman, V.E. Karasik, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Far-infrared photodetection in graphene nanoribbon heterostructures with black-phosphorus base layers," *Opt. Eng. SPIE*, vol. 60, no. 8, pp. 082002-1-14, Oct. 2020. DOI: 10.1117/1.OE.60.8.082002
4. Kuan-Ting Lin, Hirofumi Nema, Qianchun Weng, Sunmi Kim, Kenta Sugawara, Taiichi Otsuji, Susumu Komiyama, and Yusuke Kajihara, "Nanoscale probing of thermally excited evanescent fields in an electrically biased graphene by near-field optical microscopy," *Appl. Phys. Exp.*, vol. s 13, iss. 9, pp. 096501-1-5, Aug. 2020. DOI: 10.35848/1882-0786/abae0a
5. V. Ryzhii, M. Ryzhii, P.P. Maltsev, V.E. Karasik, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Far-infrared and terahertz emitting diodes based on graphene/black-P and graphene/MoS2 heterostructures," *Opt. Exp.*, vol. 28, no. 16, pp. 24136-1-16, July 2020. DOI: 10.1364/OE.394662
6. V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M. Shur, "Multiple heterostructures with van der Waals barrier layers for terahertz superluminescent and laser diodes with lateral/vertical current injection," *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 35, pp. 085023-1-9,

July 2020. DOI: 10.1088/1361-6641/ab9398

7. S. Boubanga-Tombet, W. Knap, D. Yadav, A. Satou, D.B. But, V.V. Popov, I.V. Gorbenko, V. Kachorovskii, and T. Otsuji, "Room temperature amplification of terahertz radiation by grating-gate graphene structures," *Phys. Rev. X*, vol. 10, iss. 3, pp. 031004-1-19, July 2020. DOI: 10.1103/PhysRevX.10.031004
8. J.A. Delgado-Notario, V. Clericò, E. Diez, J.E. Vel'azquez-P'erez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, and Y.M. Meziani, "Asymmetric dual grating gates graphene FET for detection of terahertz radiations," *APL Photon.*, vol. 5, pp. 066102-1-8, June 2020. DOI: 10.1063/5.0007249
9. P. Padmanabhan, S. Boubanga-Tombet, H. Fukidome, T. Otsuji, and R. P. Prasankumar, "A graphene-based magnetoplasmonic metasurface for actively tunable transmission and polarization rotation at terahertz frequencies," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 116, pp. 221107-1-6, June 2020. DOI: 10.1063/5.0006448
10. K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji, and T. Uchino, "Electrical Transport Properties of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 59, pp. SIID03-1-6, Apr. 2020. DOI: 10.35848/1347-4065/ab83de
11. V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Graphene based plasma-wave devices for terahertz applications," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 116, pp. 140501-1-6, Apr. 2020. (invited) DOI: 10.1063/1.5140712

【国際会議発表】

1. T. Otsuji, "Graphene plasmonic terahertz laser transistors -concepts, physics, and experiments," *Proceedings of XXV Int. Symp. on Nanophysics and Nanoelectronics*, vol. 2, pp. 538-539, Nizhny Novgorod, Russia, WEB Online, March 9-12, 2021. (invited)
2. D. Ogiura, "Fast terahertz detection in asymmetric dual-grating-gate graphene-channel FETs," *The 7th International Workshop on 2D Materials A3-Foresight Program Abstract Book*, YR30 (1 page), Online Web, Feb. 18-19, 2021.
3. T. Otsuji, K. Iwatsuki, H. Yamada, and M. Yashima, "Concept of resilient electric power and information communication technology (R-EICT) converged network systems based on overall optimization of autonomous decentralized cooperative control of DC microgrids," *ISGT-NA: IEEE PES (Power & Energy Society) Innovative Smart Grid Technologies Conference North America*, Washington D.C., USA, online web, Feb. 15-18, 2021.
4. T. Otsuji, "Terahertz current-driven lasing and amplification in graphene-based vdW heterostructures," *IEEE ICOPS 2020: 47th IEEE International Conference on Plasma Sciences*, Singapore, Singapore, Dec. 6-10, 2020. (invited)
5. T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission with plasmonic photomixer in and InGaAs-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor," *MRS Fall Meeting 2020*, Nov. 28, 2020. (Virtual, online)
6. T. Otsuji, "Room temperature amplification of terahertz radiation by grating-gate monolayer graphene-channel transistor structure," *IRMMW-THz: 45th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, Buffalo, NY, USA, Nov. 8-13, 2020. (Virtual) (invited) DOI: 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370394
7. T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission in an asymmetric dual-grating-gate high-electron mobility transistor plasmonic photomixer under dc current flow," *IRMMW-THz: 45th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, Buffalo, NY, USA, Nov. 8-13, 2020. (Virtual) DOI: 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370536
8. T. Negoro, T. Saito, T. Hosotani, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Gate-readout of photovoltage from a grating-gate plasmonic THz detector," *IRMMW-THz: 45th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, Buffalo, NY, USA, Nov. 8-13, 2020. (Virtual) DOI: 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370627

9. T. Uchino, K. Shiga, K. Imai, M. Kusano, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, "Improved sensitivity of surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) substrates using monolayer graphene," MNC2020: 33rd Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference Dig., 2020-21-13 (2 page), Online, Nov. 9-12, 2020.
10. T. Otsuji, "Creation of R-EIC (resilient-energy-information-communication) converged network infrastructure based on overall optimization of autonomous distributed decentralized cooperative DC microgrids," The 1st International Symposium on AI Electronics, Westin Sendai, Sendai, Japan, Sept. 28., 2020. (invited)
11. H. Sugawara, K. Suwa, H. Fukidome, J. A. Delgado-Notario, A. Satou, and T. Otsuji, "Process development and crystal quality evaluation of van der Waals nanocapacitors using graphene/h-BN heterostructures stacked by a transfer/stacking method," The 6th International Workshop on 2D Materials A3-Foresight Program Abstract Book, Poster-J3, Online WEB, Sep. 24-25, 2020.
12. T. Otsuji, "Graphene Flagship Japan-EU International Exchange & Collaborations: Workshop Organizations since 2015 on Graphene and Related 2D Materials," Graphene Flagship Workshop on Graphene for Research, Innovation and Collaboration Digital Event, Around the World with Graphene Session, Sept. 24, 2020. (invited)
13. T. Negoro, T. Saito, T. Hosotani, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "A novel grating-gate plasmonic THz detector with photovoltage gate-readout for use in high-speed wireless communications," DRC: 78th Annual Device Research Conference Dig., paper #1J, Ohio State Univ., Columbus, OH, USA, June 22, 2020. DOI:
14. A. Satou, K. Nishimura, Y. Omori, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "UTC-PD-integrated HEMT for optical-to-sub-terahertz carrier frequency down-conversion," SPIE DCS: Defense + Commercial Sensing, Anaheim, CA, USA, April 26-30, 2020. (changed to digital forum) (invited); A. Satou, K. Nishimura, Y. Omori, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "UTC-PD-integrated HEMT for optical-to-sub-terahertz carrier frequency down-conversion," Proc. SPIE, vol. 11390, pp. 113900M-1-6, Apr. 2020. DOI: 10.1117/12.2557170
15. T. Otsuji, "Terahertz gain and amplification in current-driven metasurfaces of graphene Dirac plasmons," SPIE Photonics Europe, Conf. on Terahertz Photonics, Strasbourg, France, April 1, 2020. (changed to online conference) (invited); S. A. Boubanga-Tombet, D. Yadav, A. Satou, W. Knap, V. V. Popov, and T. Otsuji, "Terahertz gain and amplification in current-driven metasurfaces of graphene Dirac plasmons," Proc. SPIE, vol. 11348, Terahertz Photonics, pp. 113480P-1-6, March 30, 2020. DOI: 10.1117/12.2559504

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

固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用の研究

Electronic properties of nanostructures and device applications

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

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

【査読付論文】

1. M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Gate voltage dependence of noise distribution in radio-frequency reflectometry in gallium arsenide quantum dots”, *Applied Physics Express* 14, 035002 (2021).
2. T. Otsuka, T. Abe, T. Kitada, N. Ito, T. Tanaka, & K. Nakahara, “Formation of quantum dots in GaN/AlGaIn FETs”, *Scientific Reports*, 10, 15421(2020).

【国際会議発表】

1. M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha and T. Otsuka, “Readout noise in radio-frequency reflectometry in gallium arsenide quantum dots”, *International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics*, Online, Feb. 24, 2021.
2. Y. Muto, M. Shinozaki, T. Kitada, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha and T. Otsuka, “Charge state estimation in quantum dots by Bayesian approach”, *International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics*, Online, Feb. 24, 2021.
3. T. Abe, Kitada, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, “Quantum Dots in plasma CVD Graphene Nanoribbons”, *International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics*, Online, Feb. 24, 2021.

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

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

C1 ナノ・バイオ融合分子デバイス (平野愛弓)

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

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

【査読付論文】

1. X. Feng, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, “Self-assembly of hybrid lipid membranes doped with hydrophobic organic molecules at the water/air interface”, *J. Vis. Exp.*, **e60957**, 1–5 (2020).
2. T. Ma, Y. Kimura, H. Yamamoto, X. Feng, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Characterization of bulk nanobubbles formed by using a porous alumina film with ordered nanopores”, *J. Phys. Chem. B*, **124**, 5067–5072 (2020).
3. H. Abe, Y. Kimura, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Response characteristics of a highly sensitive gas sensor using a titanium oxide nanotube film decorated with platinum nanoparticles”, *Sens. Act. B*, **321**, 128525 (2020).
4. S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Modular networks of spiking neurons for applications in time-series information processing”, *Nonlinear Theory and Its Applications*, *IEICE*, **11**, 590–600 (2020).
5. K. Suzuki, H. Inoue, S. Matsuoka, R. Tero, A. Hirano-Iwata, Y. Tozawa, “Establishment of a cell-free translation system from rice callus extracts”, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **84**, 2028–2036 (2020).
6. M. Yamaguchi, H. Abe, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, H. Kanetaka, Y. Watanabe, M. Niwano “Bactericidal activity of TiO₂ nanotube thin films on Si by photocatalytic generation of active oxygen species”, *Langmuir*, **36**, 12668–12677 (2020).
7. K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, “Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture”, *BioSystems*, **198**, 104278 (2020).
8. T. Takemuro, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of small-scale neuronal networks”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, 117001 (2020).

9. D. Tadaki, T. Ma, S. Yamamiya, S. Matsumoto, Y. Imai, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, "Piezoelectric PVDF-based sensors with high pressure sensitivity induced by chemical modification of electrode surfaces", *Sens. Act. A*, **316**, 112424 (2020).
10. T. Yoshino, D. Yamaura, M. Komiya, M. Sugawara, Y. Mitsumori, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, K. Edamatsu, M. Sadgrove, "Optical transport of sub-micron lipid vesicles along a nanofiber", *Opt. Express*, **28**, 38527–38538 (2020).
11. R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Parallel recordings of transmembrane hERG channel currents based on solvent-free lipid bilayer microarray", *Micromachines*, **12**, 98 (2021).
12. T. Ma, M. Sato, M. Komiya, X. Feng, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, "Advances in artificial bilayer lipid membranes as a novel biosensing platform: from drug-screening to self-assembled devices", *Chem. Lett.* **50**, 418–425 (2021).
13. K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, "Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes", *Electrochemistry*, in press (2021).

【国際会議発表】

1. Y. Yamaki, D. Ishikawa, K. Kanomata, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, "Electrical Conductivity Modulation in PCBM-doped lipid bilayer by parallel electric field in the BLM surface", The 8th International Conference on Smart Systems Engineering 2020 (SmaSys 2020), Online, September 29, 2020.
2. A. Hirano-Iwata, "Artificial lipid membranes for functional analysis of ion channel nanopores", 2020 Nanopore Electrochemistry Meeting, Online, October 19, 2020.
3. A. Hirano-Iwata, "Artificial cell membrane platform for reconstituting ion channel functions", Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD 2020), Online, October 29, 2020.
4. H. Hirata, Y. Tomioka, M. Moriya, H. Shimada, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, Y. Mizugaki, "PCBM-embedded bilayer lipid membranes electrically evaluated using sequential measurements of photo-induced current and electrochemical impedance spectroscopy", 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020), Online, November 9, 2020.
5. T. Ma, A. Hirano-Iwata, "Two dimensional bio-hybrid membranes based on self-assembly", The 4th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and the 3rd Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science, Sendai, Japan, November 17, 2020.
6. A. Hirano-Iwata, "Artificial cell membrane as a drug screening platform for ion channel proteins", 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December 5, 2020.
7. H. Yamamoto, T. Sumi, A. Hirano-Iwata, S. Sato, "Ultrasoft silicone gel as a biomimetic scaffold for culturing neuronal networks in vitro", 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December 5, 2020.
8. T. Sumi, H. Yamamoto, S. Moriya, T. Takemuro, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Reservoir computing properties in spiking neural network models with modular topology", 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December 5, 2020.
9. K. Hattori, M. Ishida, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, "Extracellular stimulation of a target neuron in a micropatterned neuronal circuit using a pair of needle electrodes", 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December 5, 2020.
10. Y. Sato, H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, "Microcontact printing of extracellular matrix proteins for neuronal patterning on high-density multielectrode arrays", 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December 5, 2020.

11. H. Hirata, Y. Tomioka, M. Moriya, H. Shimada, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, Y. Mizugaki, "Electrical characteristics of PCBM-embedded bilayer lipid membranes under light irradiation", The Irago Conference 2020 (Interdisciplinary Research And Global Outlook), December 11, 2020.
12. H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Sato, "Designing functional neuronal networks with living cells", 26th Asia South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2021), Online, January 20, 2021.
13. A. Hirano-Iwata, "Artificial cell membrane as a novel platform for biosensing", 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Online, March 2, 2021.
14. Y. Tomioka, H. Hirata, S. Takashima, M. Moriya, H. Shimada, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, Y. Mizugaki, "AC impedance of a free-standing bilayer lipid membrane formed over an aperture in a nanofabricated silicon chip", 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Online, March 2, 2021.
15. D. Tadaki, R. Miyata, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel currents", 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Online, March 2, 2021.

6. 参考資料

Miscellaneous

6ー1 施設の代表的装置の概要

Facilities and Equipments

6ー2 施設の利用状況（令和2年度）

Statistics

6ー3 ナノ・スピニング工学研究会

Nano-Spin Seminar Series

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

a-1) ナノ・スピンの電子ビーム・リソグラフィ関連

□ ナノ・スピン電子描画システム

日本電子 JBX-9300SA

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

□ スピンドバイス用リソグラフィ装置

ハイデルベルグ・インストルメンツ DWL200

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

□ イオンビーム加工解析装置 (FIB-SEM)

ZEISS NVision40 (A)

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

□ マスクアライナー

SUSS MJB4

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

□ 走査型電子顕微鏡 (SEM)

日本電子 JSM7401-FT

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

□ プラズマアッシャー

ヤマト科学

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

a-2) 化合物半導体プロセス装置関連

□ 化合物 MBE (VG)

VG V80H

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

□ 多目的電子ビーム蒸着装置 (n 型蒸着器)

日本真空

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

□ 半導体パラメータアナライザ

ソニーエレクトロニクス

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

□ 高機能マイクロカー測定装置

ネオアーク

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

□ 多機能薄膜材料評価 X 線回折装置 (2 次元検出器付 XRD)

Bruker

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

試料ステージ：5 軸試料ステージ

□ 接触段差計 (Dektak150)

アルバック

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

□ マイクロプローブ式低温ホール効果測定装置

理工貿易

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

a-3) シリコンプロセス装置関係

□ ナノヘテロ界面処理加工システム

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

□ ナノヘテロ分析システム

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

□ 半導体電気磁気複合特性測定システム

HP 他組上システム

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

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

□ X 線光電子分光装置 (ESCA)

SSI SSX-100、Kratos
AXIS-NOVA

- 用途 SSI SSX-100 表面元素分析用
Kratos AXIS-NOVA 表面元素分析用、表面元素分布イメージング用
- 性能 SSI SSX-100
単色化 X 線源 (AlK α)
最少分析領域 150 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 (AlK 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 レーザー顕微鏡部
408 nm 紫外半導体レーザスキャン方式
最大光学ズーム倍率 6 倍
観察視野 21~560 μ m 最高ピクセル分解能 21 nm
- プローブ顕微鏡部
AFM (コンタクト、ダイナミック、位相) モード
表面電位モード
電流モード
磁気力モード
最大走査範囲 (水) 30 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 角以下のカットウェハ等
処理枚数：33 ミリ ϕ ウェハ 25 枚/ロット

膜厚分布：φ200 ミリ内±5%以内
到達真空度： 3×10^{-6} Pa（スパッタ室）

□ アナライザー

アジレント HP-4156C

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

□ ボンダー

ウェストボンド 7476D

- 用途 集積化チップとパッケージ間の信号線配線
- 性能 ワイヤー：Al、Au
最大倍率 60 倍の可変ズーム顕微鏡
始点・終点の超音波出力／発生時間の独立設定が可能
パッケージの加熱可能

□ マスクアライナー

ズース・マイクロテック
MJB4

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

□ スパッタ装置

アネルバ

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

□ 熱処理炉

東栄科学産業

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

□ 金属蒸着装置

日本シード研究所 M95-
0019

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

□ 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 (AFM)

日本ビーコ

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

□ レーザー共焦点顕微鏡

レーザーテック

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

□ レーザー直接描画装置

ネオアーク

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

6-2 施設の利用状況(令和2年度) Statistics

令和2年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況

2021/3/31

	研究室名	利用責任者	取り纏め 研究室	登録者名	人数
常 駐 研 究 室	佐藤・ 櫻庭・山本研	櫻庭 政夫		佐藤教授 櫻庭准教授 山本准教授(特任助教)金(学術研究員)守谷 (M2)戴 加藤 半澤 (M1)小口 渋谷 菅家 佐々木 (B4)熊谷 藤本 (B3)小野 門間 佐藤	17
	深見研	深見 俊輔		深見教授 松倉教授 (助教)金井 Justin 陣内 Samik 張 山根 (研究員)Aleksandr 土肥 竹内 渡部 (研究支援者)五十嵐 (D3)五十嵐 William (M2)高松 ユン 来住 奥田 De Zoysa (M1)早川 武智 安部 (B4)岸 小林	24
	平野研	但木 大介		平野教授(助教)但木 馬 小宮 (研究員)阿部 (D3)Feng (M2)佐藤 住 (M1)河野 佐藤 竹室 渡辺 (B4)安藤 陰山	14
	尾辻・佐藤研	佐藤 昭		尾辻教授 佐藤昭准教授 (D3)細谷 唐超 (M2)菅原 西村 荻浦 露訪 (M1)根来 (B4)田村 中嶋	11
	堀尾研	堀尾 喜彦		堀尾教授(受託研究員) Dien Hoang (D3)織間 (M2)福田 (M1)菊地 (B4)田中 工藤	7
	共通部	森田 伊織		森田技術職員 小野技術職員 武者技術職員	3
非 常 駐 研 究 室	基盤ミタ-評価部	阿部 真帆		阿部技術職員 丹野技術職員	2
	吹留 准教授研	吹留 博一		吹留准教授(学術研究員)佐々木 (M1)小濱 (B4)佐藤(NICT)渡邊	5
	石山・伊研	伊 修一郎	佐藤研	伊准教授 (M2)齊藤 佐野 石田 (M1)高野 小澤 (B4)豊田 渡邊	8
	大塚 准教授研	大塚 朋廣	深見研	大塚准教授(技術補佐員)熊坂 (D2)篠崎 (M1)北田 相澤 (B4)武藤 (AIMR)AlkaSharma	7
	八坂研	横田 信英	共通部	横田助教	1
	安藤・大兼研 (工)	大兼幹彦	深見研	大兼准教授 中野助教 (D1)劉 (M2)山村 (B4)谷口	5
	新田・ 好田研(工)	好田 誠	深見研	好田准教授 軽部助教 (D3)齋藤 飯笹 (M2)西村 菅原 北村 (M1)曾根原 (B4)穴戸 門口 小田川 大池 渋谷 丁浩	14
	鷺尾・岡田研 (工)	岡田 健	佐藤研	岡田准教授 (M2)星野 宮崎 栗谷 松澤 (M1)落合 田山 横山	8
	藤掛・ 石鍋研(工)	柴田 陽生	平野研	柴田助教 (M2)綱木 (M1)佐藤 山本	4
	吉信・ 宮本研 (工)	宮本 浩一郎	佐藤研	宮本准教授 王助教	2
	齊藤・ 小川研 (工)	小川 智之	佐藤研	小川准教授 笠間 河地	3
	ソフトマター・ 生物物理(理)	芳賀 健也	共通部	芳賀技術職員 千葉(M2)	2
	CIES	池田 正二	深見研	池田教授 永沼准教授 Anh助教 葉助教 (研究支援員)平田 岩沼	6
	末光研 (CIES)	末光 哲也	尾辻研	末光哲也教授	1
	CSIS	LUSTIKOVA	深見研	Lustikova助教	1
	宇田研 (金)	新家 寛正	共通部	新家助教	1
	中川研 (多元)	伊東 駿也	共通部	伊東助教	1
	内野研 (東北工大)	内野 俊	尾辻研	内野教授 (B4)今野	2
	柴田准教授研 (東北工大)	柴田 憲治	深見研	柴田准教授	1

合計

150

※共通利用装置 53台

共通利用対応装置 利用時間

令和2年3月1日から令和3年2月28日まで

[illegible]

令和2年3月1日から令和3年2月28日まで

[illegible][illegible]

共通利用対応装置 保守時間

令和2年3月1日から令和3年2月28日まで

[illegible]

研究室持込み装置保守時間

令和2年3月1日から令和3年2月28日まで

[illegible]

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

21 世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成 16 年 4 月 1 日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。令和 2 年度は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響を鑑みて開催が中止となった研究会もあり、以下 1 回の研究会のみが実施された。

第 112 回 令和 2 年 12 月 11 日 13:30 -15:00

「ナノ磁気構造に創発するスピン起電力とその応用」

家田 淳一（日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター 研究主幹）

東北大学電気通信研究所附属
ナノ・スピン実験施設

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