

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12号**

**Research Report No.12
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

2017

施設研究報告書 2017

目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	平成 28 年度の研究成果のハイライト	3
4.	施設の活動	9
4-1	国際研究拠点形成	9
4-2	国際シンポジウム	10
5.	研究成果（平成 28 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	57
5-C	ナノ分子デバイス基盤技術関連	149
6.	参考資料	231
6-1	施設のクリーンルームと装置の概要	233
6-2	施設の利用状況（平成 28 年度）	240
6-3	ナノ・スピン工学研究会	245
	国際シンポジウムプログラム	246

Annual Research Report 2017

Table of Contents

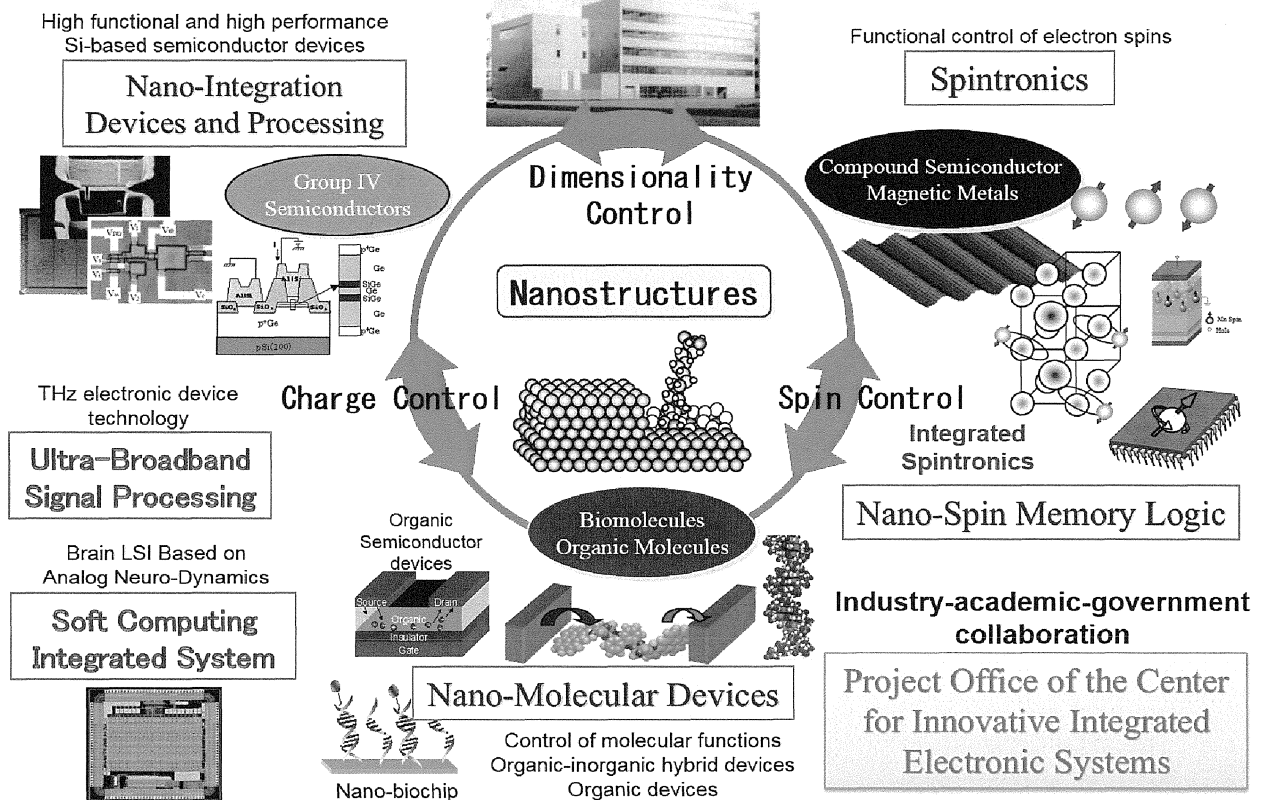
1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2016	3
4.	Global Activities	9
4 – 1	COE of International Research Collaboration	9
4 – 2	International Symposium	10
5.	Research Abstracts	13
5 – A	Nano Integration	13
5 – B	Spintronics and Information Technology	57
5 – C	Nano-Molecular Devices	149
6.	Miscellaneous	231
6 – 1	Facilities and Equipments	233
6 – 2	Statistics	240
6 – 3	Nano-Spin Seminar Series	245
	Program of International Symposium	246

1. 施設の概要

Outline

ナノ・スピンの実験施設

Nanoelectronics and Spintronics for Information Technology Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics



「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 末光 眞希

2. 施設の組織

Organization

施設長 Director

教授 末光 眞希 Maki Suemitsu

共通部 Technical Office

技術職員 森田 伊織 Iori Morita

技術職員 小野 力摩 Rikima Ono

技術職員 武者 倫正 Mictimasa Musya



運営委員会 Steering Committee

教授 末光 眞希 Maki Suemitsu

教授 大野 英男 Hideo Ohno

教授 佐藤 茂雄 Shigeo Sato

教授 平野 愛弓 Ayumi Hirano-Iwata

教授 尾辻 泰一 Taiichi Otsuji

教授 堀尾 喜彦 Yoshihiko Horio

教授 村岡 裕明 Hiroaki Muraoka

教授 長 康雄 Yasuo Cho

教授 鷺尾 勝由 Katsuyoshi Washio

教授 遠藤 哲郎 Tetsuro Endoh

教授 羽生 貴弘 Takahiro Hanyu

教授 上原 洋一 Yoichi Uehara

拡大実行委員会 Extended Executive Committee

施設長 末光 眞希 Maki Suemitsu

施設教授 大野 英男 Hideo Ohno

施設教授 佐藤 茂雄 Shigeo Sato

施設教授 平野 愛弓 Ayumi Hirano-Iwata

教授 尾辻 泰一 Taiichi Otsuji

教授 堀尾 喜彦 Yoshihiko Horio

3. 平成 28 年度の研究成果のハイライト

Highlights of Research in FY2016

施設研究部と利用研究室の平成 28 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、新しい量子連想記憶システムの構成方法を提案した。キー入力を模擬するハミルトニアンの実現方法を示し、連想記憶容量が大幅に増大することを示した。
- (2) 基板非加熱 ECR プラズマ CVD の実験研究を進め、高濃度 C 及び B ドーピング Si 薄膜のエピタキシャル成長に成功した。また、歪 $\text{Si}_{10.5}\text{Ge}_{0.5}$ 混晶エピタキシャル薄膜は n 型の特性を示し、高いキャリア移動度 ($660 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) を有することを確認した。
- (3) 脳型視覚情報処理システムの構築を目的として、運動視により局所運動を検出する神経回路網モデルを LSI に実装した。膨大な神経配線の結線情報をオンチップメモリにテーブルとして保持する代わりに、並列動作する専用回路で計算することで、テーブル方式と比べて回路面積を約 12 分の 1 に削減することに成功した。
- (4) 不揮発性のアナログメモリであるスピン軌道トルクデバイス (SOT デバイス) のシナプス荷重値記憶デバイスとしての可用性を、ホップフィールドネットワークによる連想記憶動作により実証した。SOT デバイスのダイナミックレンジばらつきに起因する想起エラーをヘップ・反ヘップ学習により補正することで、3 つの 3×3 バイナリパターンを正しく記憶・想起することに成功した。
- (5) 神経回路の構造と時空間ダイナミクスの相関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と同期発火周波数の関係を計算機シミュレーションに調べた。モジュール内の結合数の増加に対して同期発火周波数が増加することを定量的に明らかにした。

(1) Toward the development of computation algorithms utilizing quantum parallelism, we have proposed a quantum associative memory system. We discussed a Hamiltonian to simulate key input for the associative memory and confirmed that the memory capacity of the system increases greatly in comparison with a conventional associative memory.

(2) Epitaxial growth of heavily C or B doped Si on Si(100) has been demonstrated by low-energy ECR plasma CVD without substrate heating. Moreover, it has been found that an epitaxial $\text{Si}_{10.5}\text{Ge}_{0.5}$ alloy film grown without substrate heating shows n-type properties with as high carrier mobility as $660 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

(3) A local motion detection LSI inspired by motion stereo vision in human vision system has been developed. A virtual connection scheme, in which connection information is calculated by a dedicated circuit, makes it possible to reduce chip area by 12 times compared with another scheme utilizing a look-up table implementing into an on-chip memory.

(4) The availability of a novel spin-orbit couple device, which works as a non-volatile analog memory for synaptic weights, has been demonstrated in an associative memory operation in a Hopfield network. An effect of learning, Hebb and anti-Hebb learning to compensate associative error due to device mismatch, is successfully confirmed for several 3x3 binary patterns.

(5) The correlation between the structure of neuronal circuitry and its temporal-spatial dynamics has been investigated by using numerical simulation focusing on the relation between the modular structure of neuronal circuitry and the frequency of synchronized network bursts. It has been quantitatively clarified that network bursts frequency increases with increasing of the degree of connection.

● 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を実現するための第一歩として、中核自己システムの構成を提案し、これを実装するための3つのニューラルネットワークモデルについて検討した。

(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、高次元カオスニューロ集積回路を実装し、これを核としてハードウェアシステムを構築することにより、提案手法の有効性を示した。

(3) 蝸牛の伝送線路モデルの設計問題を、キーとなる特性を陽に与える数式を導出して最適化問題へと帰着させることにより、所望の特性が実現できる蝸牛回路の設計手法を与えた。

(4) 複雑系数理モデル学を応用することにより、黄金比を変換基底とする高性能で、デバイス特性や環境変動・ノイズなどに対しロバストなAD変換回路を設計し、これを集積回路化した。

(1) We proposed a brain-body whole organism computing paradigm. As the first step to realize a hardware system based on this paradigm, we investigated three neural network models required for a “core-self” system.

(2) For a dynamics/algorithm sub-conscious/conscious hybrid computer system, we developed a large-scale chaotic neural network integrated circuit. In addition, we built a prototype hybrid computational hardware system using this chaotic neuro-IC as a core element. We also demonstrated the ability and efficiency of the proposed hardware.

(3) We proposed a design method for the reflection-less transmission-line model of Cochlea by applying optimization techniques whose objective function and constraints are explicitly derived as mathematical formulae.

(4) We proposed a switched-current golden ratio analog-to-digital converter circuit, which is robust against fluctuation in device characteristics, environmental parameters and so on, based on complex mathematical modeling technique, and fabricated it as an integrated circuit.

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) 角度分解光電子分光により強磁性半導体(Ga,Mn)Asは金属-絶縁体転移近傍にあり、そのフェルミ準位はスピン-軌道相互作用の強く効いた価電子帯中にあることを示した。(2) 電界印加による磁区構造の変化から、CoFeBの交

換スティフネス定数の電界変調量を評価した。(3) 垂直磁化容易軸を持つ自由層と面内磁化容易軸を持つ参照層を伴うナノ磁気トンネル接合に対する強磁性共鳴測定から、自由層の磁気ダンピング定数の素子サイズ依存性を決定した。(4) トポロジカル絶縁体(BiSb)₂Te₃上に成膜したパーマロイ薄膜の強磁性共鳴スペクトル線幅を決める要因について明らかにした。(5) CoFeBの強磁性共鳴スペクトルの温度依存性と膜厚依存性から、モーショナル・ナローイングが界面磁気異方性を有する磁性薄膜中の磁化ダイナミクスに影響を与えることを明らかにした。(6) PtMn/[Co/Ni]スピン軌道トルク素子の磁化反転様式の素子サイズ依存性を調べ、アナログ的な振る舞いが生ずる要因を明らかにした。

連携研究

1. 文部科学省「未来社会実現のための ICT 基盤技術の研究開発」の委託研究である「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術開発」プロジェクトにおいて、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) 高抵抗磁気トンネル接合素子において世界最小となる 6.3 fJ のエネルギーでの電界誘起磁化反転を実現した。(2) 反強磁性体を用いたアナログ的な動作が可能なスピントロニクス素子をシナプスとして用いた人工神経回路網を構築し、脳型情報処理のモデルを用いて連想記憶の基本動作を実証した。(3) 面内磁界下での微細磁気トンネル接合の磁化反転確率の電流パルス幅依存性を測定し、電界印加による磁気異方性の変調が電流誘起磁化反転に与える影響に関する理解を得た。

2. 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以下の成果を得た。(1) スピン軌道トルクを用いた新構造磁気メモリ素子を開発し、0.5 ナノ秒電流パルスによる磁化反転を実現した。また材料や構造の改良により無磁場動作や閾電流の低減を実現した。(2) アスペクト比の異なる楕円形状磁気トンネル接合の磁界及び電流パルス印加による磁化反転確率測定から熱安定性を評価し、磁化反転モードが磁界と電流の場合で異なることを示唆する結果を得た。(3) タングステンをチャネル材料に用いたスピン軌道トルク素子の磁化反転特性を評価し、タングステンの成膜条件により反転電流密度が大きく変化することを明らかにした。

Our research activities focus on realizing low-power functional spintronic devices. The outcomes in the last fiscal year are as follows: (1) investigation of the electronic structure of (Ga,Mn)As by angle-resolved photoemission spectroscopy, which shows (Ga,Mn)As is in the vicinity of metal-insulator transition and its Fermi level lies in the valence band with spin-orbit interaction, (2) evaluation of electric-field modulation ratio of exchange stiffness constant of CoFeB from magnetic domain structures, (3) evaluation of device size dependence of damping constant in CoFeB free layer from ferromagnetic resonance (FMR) in nanoscale magnetic tunnel junction with perpendicular (in-plane) magnetization in free (reference) layer, (4) investigation of the mechanism of FMR linewidth enhancement of NiFe on topological insulator (BiSb)₂Te₃, (5) clarification of the effect of motional narrowing on the magnetization dynamics in thin films with interfacial anisotropy, (6) clarification of underlying mechanism for analog-like behavior in PtMn/[Co/Ni]-based spin-orbit torque switching device from investigation of the device size dependence of magnetization reversal mode.

In addition, the following outcomes have been obtained through cooperative researches under national projects.

1. Research activities in "Research and Development of Spintronics Material and Device Science and Technology for a Disaster-Resistant Safe and Secure Society" Program under Research and Development Project for ICT Key Technology to Realize Future Societies by MEXT: (1) achievement of the world-smallest magnetization switching energy of 6.3 fJ for a highly resistive magnetic tunnel junction by

electric-field-induced switching, (2) demonstration of associative memory operation by artificial neural network with analog spintronics devices, (3) understanding of effect of electric-field-induced anisotropy modulation on current-induced magnetization switching from current-pulse width dependence of switching probability in nanoscale magnetic tunnel junction under in-plane magnetic field.

2. Research activities in "Achieving Ultimate Green IT Devices with Long Usage Times without Charging" Program under Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program of CSTI: (1) realization of sub-ns, field-free, low-current spin-orbit torque induced magnetization switching by improving configuration and material of a newly-developed device, (2) investigation of magnetization switching modes in elliptic magnetic tunnel junctions from the probability of switching induced by magnetic field or current pulses, (3) clarification of critical role of W deposition condition on spin-orbit torque induced magnetization switching of nanoscale W/CoFeB/MgO.

● 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・末光哲也・ポーバンガトンベットステファン) Ultra-Broadband Signal Processing (T.Otsuji, T.Suemitsu, and S. Boubanga Tombet)

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に成功した。(国際会議 CLEO2016, 74th DRC にて発表)

2. 化合物半導体による超高速・高耐圧トランジスタデバイス・プロセスの開発

InGaAs 系および GaN 系高電子移動度トランジスタ(HEMT)の高速化・高耐圧化技術の研究を進め、独自の傾斜フィールドプレート構造とその作製技術を開発し、GaN 系 HEMT に続き InP 系 HEMT についてもその高速・高耐圧化への有効性を実証した。(Appl. Phys. Exp. 9, 114101 (2016) に公表)

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 2016FSY.

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 at 100K by using our original distributed feedback dual-gate device structure. (presented at CLEO 2017, and 74th DRC.)

2. Development of ultrafast & high-power transistor devices and process technology

We developed high-speed, high-power, high-electron-mobility transistors (HEMTs) based on InGaAs-

and GaN-based quantum-well heterostructures. Improved breakdown-voltage performances were verified in InP- and GaN-based HEMTs by introducing a unique slant field plate structure integrated with the gate electrode. (published in Appl. Phys. Exp. 9, 114101 (2016).)

ナノ分子デバイス基盤技術関連

Nano-Molecular Devices

● ナノ分子デバイス（庭野道夫）

Nano-Molecular Devices (M. Niwano)

(1) 赤外分光を用いたマイクロ流路内DNA泳動の非標識観察法の開発: 多重内部反射型赤外分光法とシリコン半導体を用いて作製したマイクロ流路を組み合わせることにより、マイクロ流路の中を泳動するDNA分子の非標識検出と分離を可能にする新しい方法を提案した。実際に流路内を泳動するDNA分子を赤外吸収スペクトルの時間変化から検知することに成功した。

(2) 酸化チタン (TiO₂) ナノチューブ膜を有する色素増感型太陽電池の開発: 酸化チタン (TiO₂) ナノチューブ薄膜を陰極として用いた色素増感太陽電池を作製し、変換効率を高めるためにナノチューブ薄膜に施した四塩化チタン (TiCl₄) 処理の効果を明らかにした。

(3) ペロブスカイト型太陽電池に活用できる大結晶ペロブスカイト結晶の育成法の開発: 溶液処理が可能な有機金属ペロブスカイト材料は、太陽電池を始め様々な電子デバイスに活用され始めている。これらのデバイスにおいて、ペロブスカイト結晶層の粒界や欠陥は電荷移動や電荷再結合に大きな影響を与えるために、欠陥が少ない大きな結晶の育成が強く求められている。我々は、従来法に比べ結晶のサイズが 20 倍となるペロブスカイト大結晶の育成を可能にする新しい手法を考案し、この大結晶化により電荷の横方向移動度が大幅に向上することを明らかにした。

(1) Label-free detection of DNA molecules moving in micro-fluidic channels by infrared absorption spectroscopy: Infrared absorption spectroscopy (IRAS) in a multiple internal reflection (MIR) geometry is integrated with silicon-based micro-fluidic channels to allow detection and separation of DNA molecules in the micro-channels. The applicability of this approach was demonstrated with a representative test case: transport of single-stranded DNA molecules (oligonucleotides) in the micro-fluidic channels.

(2) Fabrication and characterization of front-illuminated dye-sensitized solar cells with anodic titanium oxide nanotubes: We have fabricated front-side illuminated dye-sensitized solar cells (DSSCs) with a thin film of vertically oriented TiO₂ nanotubes used as the negative electrode. Titanium tetrachloride (TiCl₄) treatment was applied on the TiO₂ nanotube film to improve the performance of the DSSCs. We examined the effects of TiCl₄ treatment on the performance on the basis of the derived cell parameters.

(3) Fabrication and characterization of high-quality perovskite films with large crystal grains: Organometal perovskite materials have been widely used in various kinds of devices. In those devices, grain boundaries and structural disorder in the perovskite layer interfere the charge transport and increase recombination probability. We proposed a novel fabrication method to dramatically increase the crystal size by more than 20 times as compared with previously reported values. Because of reduced grain boundaries and increased crystal order in perovskite layers, the lateral charge transport was significantly improved.

● 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材料や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している。本年度は、人工細胞膜に基づく薬物スクリーニング系の構築を目指し、課題となっていたチャネルタンパク質の高効率包埋について検討し、その作製効率を従

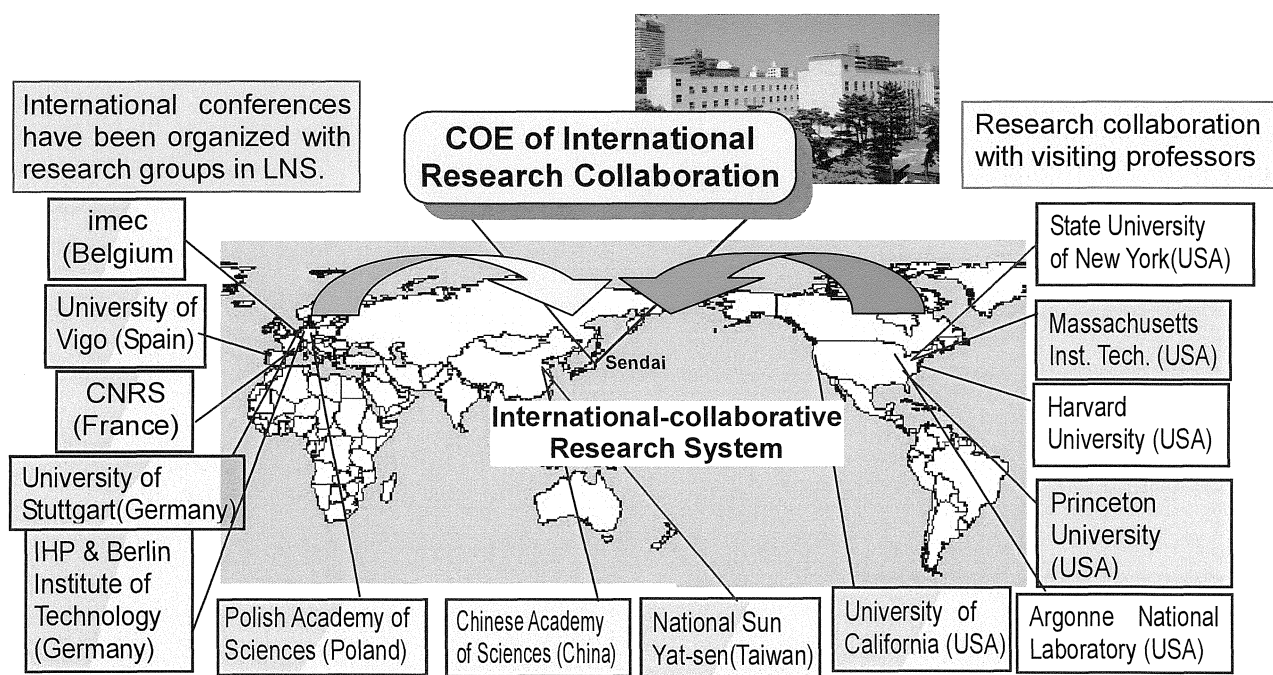
来比約 10 倍（約 6%→ 67%）まで向上させた。また、表面マイクロパターンニングを用いて、培養神経細胞から成る回路を固体基板上に、その信号伝達方向を制御して形成することに成功した。この他、圧電性有機ポリマーの poly(vinylidene fluoride) をパラジウム薄膜で挟んだ膜系を構築し、水素吸蔵に伴うパラジウムの体積膨張を圧電効果によって検出する新しい水素ガスセンサとして提案した。

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. We proposed an efficient method for constructing artificial cell membrane sensors for drug screening systems. The key channel-integration step was accelerated and the probability of sensor construction was improved from ~6% to 67%. We also reconstructed circuits of cultured neurons by using micropatterned glass substrates and succeeded in guiding the direction of neuronal signal transmission to the intended orientation. Another achievement is fabrication of a hydrogen gas sensor using piezoelectric poly(vinylidene fluoride) film sandwiched between thin films of palladium. Simple simulation model was also proposed to explain the basic characteristics of the sensor responses.

4. 施設の活動

4-1 国際共同研究

平成 17 年度～21 年度特別教育研究経費として採択されたナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業を基盤として、21 世紀に求められる高度な情報通信を実現するため、「半導体立体ナノ構造の実現と応用」、「半導体中のスピン制御技術の確立と応用」、「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
Interdisciplinary Center on Nanoscience of Marseille (CINaM)-CNRS
Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, China
WINLAB.Rutgers University, USA
Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Poland
University of California, Santa Barbara (UCSB), USA
Harvard University, USA
University of Vigo, Spain
State University of New York, College of Nanoscale Science and Engineering (CNSA), USA
National Sun Yat-sen University, Taiwan
Research and Educational Center “Photonics and Infrared Technology ” and Institute of Radio Electronics And Laser Technology University (BMSTU) Russia
Research Laboratory of Electronics (RIE) and Microsystems Technology Laboratories (MTL) Massachusetts Institute of Technology (MIT) 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 |

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 |

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

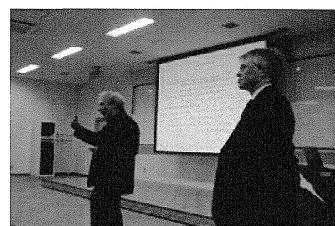
- 第1回: 2009年10月22-23日

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 | |



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76回電気通信研究所国際シンポジウム

第14回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

14th RIEC International Workshop on Spintronics

大野 英男
Hideo OHNO

開催日: 平成28年11月17日(木曜日)～19日(土曜日)(3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14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、フランス、スウェーデン、オランダ、チェコ、韓国、スイス、ポーランドからの招待講演者による22件の招待講演に加え、25件のポスター発表がなされた。また今回は日本学術振興会「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100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、初日は磁気トンネル接合におけるスピントルク磁化反転、二日目はスピン軌道トルク磁化反転、三日目は強磁性半導体、磁性の電界効果、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 78 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 5 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 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開催日：平成 29 年 2 月 27 日（月）～28 日（火）（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。今回が五回目であり、平成 29 年 2 月 27 日、28 日の 2 日間に渡って開催された。ドイツ、イタリア、スペイン、スウェーデンの 4 か国から 5 名の海外招待講演者を迎え、計 13 件の口頭発表、12 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 80 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 8 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 8th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

庭野 道夫
Michio NIWANO

開催日：平成 29 年 3 月 6 日（月曜日）～7 日（火曜日）（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

2017 年 3 月 6 日（月）～7 日（火）に、ナノ・スピン実験施設のカンファレンスルームにて、国

際シンポジウム 8th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics が開催された。アメリカ、イギリス、ドイツ、そして日本からの計 19 件の招待講演がなされ、2 日間でのべ 64 名が参加した。ナノ構造とその応用に関するテーマでは、酸化チタンナノチューブや GaAs ナノ/マイクロアレイ構造体、ナノシリコン、さらには脂質二分子膜に代表されるバイオナノ薄膜などナノ構造体について、その形成、評価、デバイス応用についての講演が行われた。この他にも、走査型トンネル顕微鏡法や超解像蛍光顕微鏡法などのナノ観察技術、さらには室温原子層堆積法などのナノ構造形成技術の新展開についても、それぞれの分野の第一人者から研究の進展に関する報告があった。ナノエレクトロニクスに関する講演では、人工脂質二分子膜を用いた新規電子デバイスの提案や生体分子センシング、そして神経細胞の一細胞分析チップの開発などのナノ・バイオ融合領域の研究、さらには電気化学反応に基づく金属ナノ粒子の高感度センサや単一電子デバイスに関する最先端技術に関する発表がなされた。質疑応答では当初の予定時間を超過して活発な議論が交わされ、今後のこの分野の発展性を強く印象づけた。

5. 研究成果（平成 28 年度）

5 A ナノ集積基盤技術関連

Nano Integration

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

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

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

1. 脳型計算用デバイスの高密度実装技術に関する研究

High-density implementation of devices for brain computing

将来の Si-LSI の微細化限界を見据え、脳型計算機の実用化に向けて、脳型計算用デバイスの開発とその高密度実装技術、及び脳型計算機のプロトタイプについて研究を行っている。

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

2. 脳型計算用量子知能デバイスに関する研究

Intelligent quantum device for brain computing

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

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

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

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

ナノメー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.

【査読付論文】

- 1 H. Akima, Y. Katayama, M. Sakuraba, K. Nakajima, J. Madrenas and S. Sato, "CMOS Majority Circuit with Large Fan-In", IEICE Trans. Electron, vol. E99c, no. 9, pp. 1056-1064, 2016.
- 2 H. Yamamoto, S. Kubota, Y. Chida, M. Morita, S. Moriya, H. Akima, S. Sato, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, and M. Niwano, "Size-dependent regulation of synchronized activity in living neuronal networks", Physical Review E, vol. 94, no. 1, pp. 012407, 2016.
- 3 W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Analogue spin-orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation", Appl. Phys. Express, vol. 10, no. 1, pp. 013007, 2017.

【国際会議発表】

- 1 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", Abs. Int. SiGe Technol. and Device Meeting (ISTDM2016) & 7th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII), Abs. No. WE-PB-15, Nagoya, Japan, Jun. 7-11, 2016.
- 2 K. Motegi, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "In-Situ B Doping Control in Si Film Deposition Using ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. Int. SiGe Technol. and Device Meeting (ISTDM2016) & 7th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII), Abs. No. WE-PB-13, Nagoya, Japan, Jun. 7-11, 2016.
- 3 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", Abs. Int. SiGe Technol. and Device Meeting (ISTDM2016) & 7th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VII), Abs. No. FE-PB-19, Nagoya, Japan, Jun. 7-11, 2016.
- 4 M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, " Epitaxy and In-Situ Doping of Group-IV Semiconductors by Low-Energy Plasma CVD for Quantum Heterointegration in Nanoelectronics", Proc. Energy Materials Nanotechnology (EMN) Meeting on Epitaxy, pp. 61-63, Budapest, Hungary, Sep. 4-8, 2016.
- 5 Y. Osakabe, S. Sato, M. Kinjo, K. Nakajima, H. Akima, and M. Sakuraba, "Learning Method for a Quantum Bit Network", Proc. 25th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2016), pp. 558, Barcelona, Spain, Sep. 6-9, 2016.
- 6 H. Akima, S. Moriya, S. Kawakami, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba and S. Sato, "VLSI design of a neural network model for detecting planar surface from local image motion", Proc. 25th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2016), p. 556, Barcelona, Spain, Sep. 6-9, 2016.
- 7 M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "Si-Ge Alloy and Si Epitaxy by Low-Energy Plasma CVD for Semiconductor Device Fabrication", Abs. JSPS Meeting 2016: Workshop on "Atomically Controlled Processing for Ultra-large Scale Integration", No.1-4, pp.11-12, Julich, Germany, Nov. 24-25, 2016.
- 8 S. Sato, H. Akima, W. Li and M. Sakuraba, "Saturation Property of Hydrogen Atom Desorption Induced by Electron Bombardment on Si Surface", Abs. JSPS Meeting 2016: Workshop on "Atomically Controlled Processing for Ultra-large Scale Integration", No.6-2, pp.44-45, Julich, Germany, Nov. 24-25, 2016.
- 9 N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "Electrical Characteristics of Epitaxial p-n Junctions of Si and SiGe Formed by Plasma CVD without Substrate Heating", Abs. 10th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration", Feb. 13-14, 2017, Sendai, Japan, Abs.No.O-08, pp.35-36.
- 10 H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, and S. Sato, "Vision processor based on motion-stereo vision implementing huge neural connections by successive Hough transform", Proc. The 4th International Symposium on Brainware LSI, Sendai, p. 7, Japan, Feb. 24-25, 2017.
- 11 M. Zapata, J. Madrenas, H. Akima, and S. Sato, "Flexible spike delay controller for neural processing based on FPGA", Proc. The 4th International Symposium on Brainware LSI, Sendai, p. 5, Japan, Feb. 24-25, 2017.
- 12 S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, S. Kubota, and S. Sato, "Analyzing synchronized bursts in cortical neuronal networks", Proc. The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, pp. P-6, Sendai, Japan, Feb. 27-28, 2017.
- 13 S. Kurihara, H. Akima, W. A. Borders, S. Fukami, S. Moriya, A. Kurenkov, R. Shimohashi, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Autoassociative memory using non-volatile analogue magnetic

- memory device", Proc. The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, pp. P-1, Sendai, Japan, Feb. 27-28, 2017.
- 14 Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, and M. Kinjo, "Hamiltonian change for quantum associative memory", Proc. The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, pp. S1-4, Sendai, Japan, Feb. 27-28, 2017.
- 15 J. Madrenas, M. Zapata, H. Akima, and S. Sato, "An evolvable and configurable SIMD architecture for spiking neural emulation", Proc. The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, pp. S1-2, Sendai, Japan, Feb. 27-28, 2017.

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を実現するための第一歩として、中核自己システムの構成を提案し、これを実装するための3つのニューラルネットワークモデルについて検討した。

We proposed a brain-body whole organism computing paradigm. As the first step to realize a hardware system based on this paradigm, we investigated three neural network models for a "core-self" system.

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、高次元カオスニューロ集積回路を実装し、これを核としてハードウェアシステムを構築することにより、提案手法の有効性を示した。

For a dynamics/algorithm sub-conscious/conscious hybrid computer system, we developed a large-scale chaotic neural network integrated circuit. In addition, we built a prototype hybrid computational hardware system using this chaotic neuro-IC as a core element. We also demonstrated the ability and efficiency of the proposed hardware.

3. 蝸牛伝送線路モデルの設計に関する研究

Circuit design for a reflection-less transmission-line model of Cochlea

蝸牛の伝送線路モデルの設計問題を、鍵となる特性を陽に与える数式を導出して、これらを目的関数や制約条件とする最適化問題へと帰着させることにより、蝸牛回路の設計手法を与えた。

We proposed a design method for the reflection-less transmission-line model of Cochlea by applying optimization techniques whose objective function and constraints are explicitly derived as mathematical formulae.

4. 黄金比エンコーダ集積回路に関する研究

複雑系数理モデル学を応用することにより、黄金比を変換基底とする高性能で、デバイス特性や環境変動・ノイズなどに対しロバストなAD変換回路を設計し、これを180 nm CMOSプロセスにて集積回路化した。

We proposed a switched-current golden ratio analog-to-digital converter circuit based on complex mathematical modeling technique, and fabricated it as an integrated circuit with 180 nm CMOS process.

【査読付論文】

- 1 W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Analogue spin-orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation," *Applied Physics Express*, vol. 10, pp. 013007-1 - 013007-4, 2016.

【国際会議発表】

- 1 T. Orima and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," *Proc. International Conf. on Artificial Life and Robotics*, pp. 136-139, 2017.
- 2 T. Fujino and Y. Horio, "A switched-current golden ratio encoder circuit," *Proc. of International Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 526-529, 2016.
- 3 Y. Horio, "An analog/digital sub-conscious/conscious hybrid hardware prototype for a large-scale partial-update exponential chaotic tabu search," *Abstracts of The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, p. S-1 1, 2017.
- 4 Y. Horio, "Towards a brainmorphic whole organism computing system," *Abstracts of The 4th International Symposium on Brainware LSI*, p. 13, 2017.
- 5 Y. Horio, "Towards a brainmorphic whole organism computing system," *Abstracts of The AIMR International Symposium 2017*, p. 41, 2017.
- 6 S. Fukami, H. Ohno, W. A. Borders, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, and S. Sato, "Analog spintronics device based artificial neural network," *Dagstuhl Seminar 17061*, 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・末光哲也・ポーバンガトンベツトステファン)

Ultra-Broadband Signal Processing
(T. Otsuji, T. Suemitsu and S. Boubanga-Tombet)

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) 磁性半導体及びその量子構造の物性と応用に関する研究 Properties and application of magnetic semiconductors and their quantum structures

強磁性体と半導体を組み合わせた新しい半導体デバイスの基礎的研究を行っている。Exploration of novel spintronic semiconductor devices based on ferromagnet/semiconductor 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. 耐災害性に優れた安心安全社会のためのスピントロニクス材料デバイス基盤技術に関する研究 Research and Development of Spintronics Material and Device Science and Technology for a Disaster-Resistant Safe and Secure Society

文部科学省「未来社会実現のための ICT 基盤技術の研究開発」の委託研究である「耐災害性に優れた安心安全社会のためのスピントロニクス材料デバイス基盤記述開発」プロジェクトにおいて、プロジェクト参画研究室と連携して高機能スピントロニクスワーキングメモリ向け材料デバイスの開発と大容量スピントロニクスワーキングメモリ向け材料デバイスの開発が行われた。

High-speed spintronics working memory and high-density spintronics working memory were studied in "Research and Development of Spintronics Material and Device Science and Technology for a Disaster-Resistant Safe and Secure Society" program under Research and Development for Next- Generation Information Technology of MEXT.

- 1) 高速スピントロニクスワーキングメモリに関する研究
Developments of high-speed spintronics working memory
 磁気トンネル接合を基本構造とする高速二端子スピントロニクス素子、及び高速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。
 High-speed two-terminal and three-terminal devices based on magnetic tunnel junction were fabricated and studied.
- 2) 大容量ワーキングメモリに関する研究
Developments of high-density spintronics working memory
 40 nmφ以下の極微細なトンネル磁気接合を作製し、基礎特性を調べた。
 Magnetic tunnel junctions with a diameter less than 40 nmφ were fabricated and studied.

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

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

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

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

【査読付論文】

1. S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field-induced magnetization switching in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with high junction resistance," *Applied Physics Letters*, vol. 108, 192406 (4 pages), May 2016.
2. S. Souma, L. Chen, R. O. Dowski, T. Sato, F. Matsukura, T. Dietl, H. Ohno, and T. Takahashi, "Fermi level position, Coulomb gap, and Dresselhaus splitting in (Ga,Mn)As," *Scientific Reports*, vol. 6, 27266 (10 pages), June 2016.
3. K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic Properties of CoFeB/MgO Stacks with Different Buffer-Layer Materials (Ta or Mo)," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 52, 3400904 (4 pages), July 2016.
4. H. Honjo, S. Ikeda, H. Sato, S. Sato, 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, "Improvement of Thermal Tolerance of CoFeB/MgO Perpendicular-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions by Controlling Boron Composition," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 52, 3401104 (4 pages), July 2016.
5. S. Ishikawa, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current-Induced Magnetization Switching of CoFeB/Ta/[Co/Pd (Pt)]-Multilayers in Magnetic Tunnel Junctions With Perpendicular Anisotropy," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 52, 3400704 (4 pages), July 2016.
6. T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno, "Effect of electric-field modulation of magnetic parameters on domain structure in MgO/CoFeB," *AIP Advances*, vol. 6, 075017 (4 pages), July 2016.
7. E. Hirayama, H. Sato, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization Reversal by Field and Current Pulses in Elliptic CoFeB/MgO Tunnel Junctions with Perpendicular Easy Axis," *IEEE Magnetics Letters*, vol. 7, 3104004 (4 pages), July 2016.
8. Y. Hibino, T. Koyama, A. Obinata, T. Hirai, S. Ota, K. Miwa, S. Ono, F. Matsukura, H. Ohno, and D. Chiba, "Peculiar temperature dependence of electric-field effect on magnetic anisotropy in Co/Pd/MgO system," *Applied Physics Letters*, vol. 108, 082403 (4 pages), August 2016.
9. H. Mazraati, T. Q. Le, A. A. Awad, S. Chung, E. Hirayama, S. Ikeda, F. Matsukura, H. Ohno, and J. Akerman, "Free- and reference-layer magnetization modes versus in-plane magnetic field in a magnetic tunnel junction with perpendicular magnetic easy axis," *Physical Review B*, vol. 94, 104428 (6 pages), September 2016.
10. C. Zhang, S. Fukami, K. Watanabe, A. Ohkawara, S. DuttaGupta, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Critical role of W deposition condition on spin-orbit torque induced magnetization switching in nanoscale W/CoFeB/MgO," *Applied Physics Letters*, vol. 109, 192405 (5 pages), November 2016.
11. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, H. Ohno, "Damping constant in a free layer in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions investigated by

- homodyne-detected ferromagnetic resonance," *Applied Physics Express*, vol. 10, 013001 (3 pages), January 2017.
12. W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, "Analogue spin orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation," *Applied Physics Express*, vol. 10, 013007 (4 pages), January 2017.
 13. S. DuttaGupta, S. Fukami, B. Kuerbanjiang, H. Sato, F. Matsukura, V. K. Lazarov, and H. Ohno, "Magnetic domain-wall creep driven by field and current in Ta/CoFeB/MgO," *AIP Advances*, vol. 7, 055918 (7 pages), January 2017.
 14. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Ferromagnetic resonance spectra of Py deposited on $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$," *AIP Advances*, vol. 7, 055919 (4 pages), January 2017.
 15. N. Ohshima, H. Sato, S. Kanai, J. Llandro, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current-induced magnetization switching in a nano-scale CoFeB-MgO magnetic tunnel junction under in-plane magnetic field," *AIP Advances*, vol. 7, 055927 (5 pages), February 2017.
 16. A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Device-size dependence of field-free spin-orbit torque induced magnetization switching in antiferromagnet/ferromagnet structures," *Applied Physics Letters*, vol. 110, 092410 (5 pages), March 2017.
 17. A. Okada, S. He, B. Gu, S. Kanai, A. Soumyanarayanan, S. T. Lim, M. Tran, M. Mori, S. Maekawa, F. Matsukura, H. Ohno, and C. Panagopoulos, "Magnetization dynamics and its scattering mechanism in thin CoFeB films with interfacial anisotropy," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 114, 3815 (6 pages), March 2017.

【国際会議発表】

1. H. Ohno, "Spintronics nano-devices for VLSIs," (*plenary*), 5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM), Fethiye, Turkey, April 24-30, 2016
2. S. Fukami, "Three-terminal spintronic devices for integrated circuits," (*invited*), 7th IEEE International Nanoelectronic Conference (IEEE INEC216), Chengdu, China, May 9-11, 2016
3. H. Ohno, "Nano spintronics devices for CMOS integration," (*invited*), 5th International Conference Smart and Multifunctional Materials, Structures and Systems (CIMTEC), Perugia, Italy, June 5-9, 2016
4. H. Ohno, "Material Efficiency: The case of devices for IoT," (*invited*), World Materials Forum, Nancy, France, June 9-10, 2016
5. S. Fukami, C. Zhang, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, T. Anekawa, and H. Ohno, "Current status and future outlook of three-terminal spintronics devices," 2016 Spintronics Workshop on LSI, Honolulu, U. S. A., June 13, 2016
6. S. Fukami, T. Anekawa, A. Ohkawara, C. Zhang, and H. Ohno, (oral), "A sub-ns three-terminal spin-orbit torque induced switching devices," Honolulu, U. S. A., June 14-17, 2016
7. S. Fukami, C. Zhang, T. Anekawa, A. Ohkawara, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, and H. Ohno, (oral), "Spin-orbit torque induced switching for high-speed and reliable memory devices," 3rd Workshop of the Core-to-core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, New concepts for future spintronic devices, Kaiserslautern, Germany, June 22-24, 2016
8. S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "How low energy the electric-field induced magnetization switching can be made? –A case of CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junction," 3rd Workshop of the Core-to-core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, New concepts for future spintronic devices, Kaiserslautern, Germany, June 22-24, 2016
9. T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura and H. Ohno, "Electric-field effect on magnetic domain structures in MgO/CoFeB/Ta through the modulations of magnetic anisotropy and exchange stiffness," (poster), 3rd Workshop of the Core-to-core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, New concepts for future spintronic devices, Kaiserslautern, Germany, June 22-24, 2016

10. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura and H. Ohno, "Evaluation of damping constant in a nanoscale magnetic tunnel junction by homodyne-detected ferromagnetic resonance," (poster), 3rd Workshop of the Core-to-core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, New concepts for future spintronic devices, Kaiserslautern, Germany, June 22-24, 2016
11. Y. Y. Kim, A. Okada, S. Miyakozawa, S. Kanai, F. Matsukura, J. Aldous, H. E. Beere, D. A. Ritchie, H. Ohno and A. Hirohata, "Development of spin-polarised transistor," (oral) 3rd Workshop of the Core-to-core Project Tohoku-York-Kaiserslautern, New concepts for future spintronic devices, Kaiserslautern, Germany, June 22-24, 2016
12. H. Ohno, "Spin-orbit torque switching of magnetization," (*invited*), University of Chicago IME Seminar, Chicago, USA, June 28, 2016
13. H. Ohno, "Spintronics nano-devices for VLSIs," (*invited*), Northwestern University Materials Science and Engineering Seminar, Evanston, USA, June 30, 2016
14. H. Ohno, "Three-Terminal Spintronics Devices for VLSI," (*invited*), International Union of Materials Research Societies-International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2016), Singapore, July 4-8, 2016
15. H. Ohno, "Spintronics I", IEEE Magnetic Society Summer School, Sendai, Japan, July 10-16, 2016
16. H. Ohno, "Spintronics II", IEEE Magnetic Society Summer School, Sendai, Japan, July 10-16, 2016
17. S. Gupta, "Temperature dependence of ferromagnetic resonance of Py on (Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃" (poster), 33rd International Conference on the Physics of Semiconductors, (ICPS), Beijing, China, July 31-August 5, 2016
18. H. Ohno, "Three-Terminal Spintronics Devices for CMOS Integration (*invited*)," The 4th International Conference of Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS 2016), Tainan, Taiwan, August 1-5, 2016
19. M. Bersweiler, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "High interfacial anisotropy and low Gilbert damping in MgO/Fe/Fe-V/Fe/MgO structure," (poster), 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9), Kobe, Japan, August 8-11, 2016
20. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Damping constant of free layer in nanoscale magnetic tunnel junction," (poster), 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9), Kobe, Japan, August 8-11, 2016
21. T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of stiffness constant in MgO/CoFeB/Ta observed through domain structures, (poster), 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9), Kobe, Japan, August 8-11, 2016
22. A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Field-free switching of antiferromagnet/ferromagnet dots by spin-orbit torque, (oral), 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9), Kobe, Japan, August 8-11, 2016
23. H. Ohno, "Spintronics Nano-Devices for VLSI Integration," (*Plenary*), 8th Joint European Magnetism Symposium (JEMS2016), Glasgow, UK, August 21-26, 2016
24. C. Zhang, "Sputtering condition dependence of spin-orbit torque induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO, (oral), 8th Joint European Magnetism Symposium (JEMS2016), Glasgow, UK, August 21-26, 2016
25. H. Ohno, "Nanoscale Spintronics Devices," (*Plenary*), 16th International Conference on Nanotechnology (IEEE NANO), Sendai, Japan, August 22-25, 2016
26. H. Ohno, "Spintronics Nano-Devices for VLSIs Applications," (*Plenary*), 20th Int. Vacuum Congress (IVC-20), Busan, Korea, August 21-26, 2016

27. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Damping constant of nanoscale CoFeB determined from magnetic tunnel junction with orthogonal magnetization directions," (poster), 2016 Tohoku University and University of York Joint Seminar: Prospect of Future Spintronics –from physics to devices –, Sendai, Japan, August 29-30, 2016
28. K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Dependence of magnetic properties of CoFeB-MgO stacks on the buffer layer nature," (poster), 2016 Tohoku University and University of York Joint Seminar: Prospect of Future Spintronics –from physics to devices –, Sendai, Japan, August 29-30, 2016
29. S. Fukami, C. Zhang, T. Anekawa, A. Ohkawra, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, and H. Ohno, "Three-terminal spin-orbit torque switching devices," (*invited*), SPIE Optics+Photonics, August 28-September 1, 2016
30. H. Ohno, "Spin-orbit switching of magnetization," (*invited*) 2nd Marie Curie School on Domain Walls and Spintronics, Spetses, Greece, September 12-16, 2016
31. H. Ohno, "Two-and three terminal spintronics devices for VLSI-progress in spin-orbit-torque devices," (*invited*) Nanomaterials 2016, International Workshop and School on Spin Transfer, Nancy, France, September 23-26, 2016
32. S. Fukami, A. Kurenkov, W. A. Borders, T. Kanemura, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno, "Field-free spin-orbit torque induced switching in an antiferromagnet-ferromagnet bilayer system," (*invited*), SPICE Workshop on Antiferromagnetic Spintronics, Mainz, Germany, September 26-30, 2016
33. M. Natsui, A. Tamakoshi, T. Endoh, H. Ohno, T. Hanyu, "Highly reliable MTJ-based nonvolatile logic-in-memory LSI with content-aware write error masking scheme," (oral), International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 26-29, 2016
34. Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno and T. Endoh, "A compact and ultra-low-power STT-MRAM-based associative memory for nearest neighbor search with full adaptivity of template data format employing current-mode similarity evaluation and time-domain minimum searching," (oral), International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 26-29, 2016
35. J. Igarashi, E. Enobio, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura and H. Ohno, "Magnetic field angle dependence of switching field in CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis at low temperature," (oral), International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 26-29, 2016
36. H. Ohno, "Nanoscale two-and three terminal spintronics devices for VLSI," 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
37. C. Zhang, S. Fukami, H. Sato, F. Matukura, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching in nanoscale Ta/CoFeB/MgO dots," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
38. M. Bersweiler, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic propertis of MgO/FeV/MgO and MgO/Fe/FeV/Fe/MgO structures for spintronics intergrated circuits," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
39. H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, and H. Ohno, "Two-and three-terminal devices for spintronics based integrated circuits," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
40. H. Ohno, T. Endoh, T. Hanyu, and S. Ikeda, "Overview of spintronic integrated circuit project," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016

41. M. Natsui, A Tamakoshi, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of an MTJ-based nonvolatile LSI for energy-efficient microcontroller unit," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
42. Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "A 600- μ W ultra-low-power associative processor based on MTJ nonvolatile memories with autonomic intelligent power-gating scheme," (poster), 2nd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Tsukuba, Japan, September 30, 2016
43. S. Fukami and H. Ohno, "Nonvolatile spintronics devices for integrated-circuit applications," MAINZ Summer School New Direction in Spintronics Research, Shanghai, China, October 12, 2016
44. H. Ohno, "High-speed & external-magnetic-field free spin-orbit switching devices for VLSI," (*invited*), 8th MRAM Global Innovation Forum, Seoul, Korea, October 26, 2016
45. S. Fukami, A. Kurenkov, W. A. Borders, T. Kanemura, C. Zhang, S. Duttagupta, and H. Ohno, "Magnetization switching by spin-orbit torque in an antiferromagnet-ferromagnet bilayer system," (*invited*), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
46. H. Honjo, S. Sato, S. Ikeda, H. Sato, 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, "Origin of variation of shift field via annealing at 400°C in a perpendicular-anisotropy magnetic tunnel junction with [Co/Pt]-multilayers based synthetic ferromagnetic reference layer," (oral), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
47. N. Ohshima, J. Llandro, H. Sato, S. Kanai, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrical magnetization switching in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions in nanosecond regime," (oral), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
48. S. DuttaGupta, S. Fukami, M. Yamanouchi, C. Zhang, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Adiabatic spin transfer torque induced domain wall creep in a magnetic metal", (*invited*), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
49. E. Jackson, S. Duttagupta, S. Fukami, H. Ohno and A. Hirohata, "Imaging defects in magnetic multilayers using scanning electron microscopy," (oral), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
50. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of ferromagnetic resonance spectra of Py deposited on (Bi_{1-x}Sbx)₂Te₃," (oral), 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), New Orleans, U. S. A., October 31-November 4, 2016
51. S. Fukami, "Spin-orbit torque switching for integrated circuit –from sub-ns memory to artificial intelligence," (*invited*), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
52. S. Kanai, "Thermal agitation and speed of switching in electric-field induced magnetization reversal of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," (*invited*), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
53. A. Okada, Y. Hashimoto, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of damping constant in Ta/CoFeB/MgO as a function of magnetic anisotropy," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
54. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of spin-wave resonance spectra in a nanoscale magnetic tunnel junction," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016

55. S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature and magnetic field direction dependence of transport properties of (Ga,Mn)As codoped with Li, (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
56. S. DuttaGupta, S. Fukami, B. Kuerbanjiang, H. Sato, F. Matsukura, V. K. Lazarov, and H. Ohno, "Universality classes for domain wall creep motion in magnetic metal Ta/CoFeB/MgO," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
57. N. Ichikawa, T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno, "CoFeB thickness dependence of exchange stiffness constants in Ta/CoFeB/MgO," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
58. M. Bersweiler, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Interfacial anisotropy and Gilbert damping in MgO/Fe/Fe-V/Fe/MgO structure," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
59. S. Ishikawa, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current induced magnetization switching of magnetic tunnel junctions with Co-based recording layers," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
60. K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Effect of buffer layer material and its crystal structure on magnetic properties of CoFeB/MgO stacks," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
61. N. Ohshima, H. Sato, S. Kanai, J. Llandro, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on current-induced magnetization switching in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
62. J. Y. Kim, A. Okada, S. Miyakozawa, S. Kanai, F. Matsukura, I. Farrer, H. E. Beere, D. A. Ritchie, H. Ohno, and A. Hirohata, "Development of spin-polarised transistor," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
63. A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced switching of antiferromagnet/ferromagnet dots with various sizes," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
64. 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-effect of sputtering condition of W," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
65. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Homodyne-detected ferromagnetic resonance spectra of CoFeB with perpendicular easy axis under perpendicular magnetic fields," (poster), 14th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, Nov. 17-19, 2016
66. A. Okada, S. He, B. Gu, S. Kanai, A. Soumyanarayanan, S. T. Lim, M. Tran, M. Mori, S. Maekawa, F. Matsukura, H. Ohno, and C. Panagopoulos, "Temperature and thickness dependencies of ferromagnetic resonance spectra of MgO/CoFeB/MgO," (oral), Tohoku/York/Kaiserslautern 4th JSPS Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronics Devices," Sendai, Japan, November 19-20, 2016
67. Y. Nakatani, M. Hayashi, S. Kanai, S. Fukami, and H. Ohno, "Electric field control of Skyrmions in magnetic nanodisks," (oral), Tohoku/York/Kaiserslautern 4th JSPS Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronics Devices," Sendai, Japan, November 19-20, 2016
68. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependent spin pumping in Py/(Bi_{1-x}Sb_x)₂," (oral), MRS Fall Meeting, Boston, U. S. A., November 27-December 2, 2016
69. J. Igarashi, E. C. I. Enobio, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic field angle dependence of switching field in perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions at various temperatures," (poster), International School on Spintronics and Spin-Orbitronics, Fukuoka, Japan, December 16-17, 2016

70. M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Junction size dependence of damping constants of CoFeB in magnetic tunnel junctions," (poster), International School on Spintronics and Spin-Orbitronics, Fukuoka, Japan, December 16-17, 2016
71. T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on spin-wave resonance in a nanoscale magnetic tunnel junction," (poster), International School on Spintronics and Spin-Orbitronics, Fukuoka, Japan, December 16-17, 2016
72. N. Ichikawa, T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno, "CoFeB thickness dependence of domain structures in Ta/CoFeB/MgO," (poster), International School on Spintronics and Spin-Orbitronics, Fukuoka, Japan, December 16-17, 2016
73. H. Ohno, "Spin on Integrated Circuits: An Emerging Field of Spintronics," (*invited*), Conference on 90 Years of Quantum Mechanics, Singapore, January 23-26, 2017
74. H. Ohno, "Nano Spintronics Devices for Integrated Circuit Applications," (*Plenary*), International Conference on Magnetic Materials and Applications (IOCMAGMA-2917), Hyderabad, India, February 1-3, 2017
75. S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of ferromagnetic resonance spectra of Py deposited on (Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃," (poster), International Conference on Magnetic Materials and Applications (IOCMAGMA-2917), Hyderabad, India, February 1-3, 2017
76. H. Ohno, "Nano Spintronics Devices –From Digital to Bio-inspired Computing-," (*Plenary*), International Symposium for Bio-Convergence Spin System, Daegu, Korea, February 9-11, 2017

B2 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・末光哲也・ポーバンガトンベツトステファン）

Ultra-Broadband Signal Processing (T. Otsuji, T. Suemitsu and S. Boubanga-Tombet)

新原理ミリ波・テラヘルツ波帯集積電子デバイスの研究

Novel millimeter-wave and terahertz-wave integrated microelectronic devices

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

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

【査読付論文】

1. V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, V. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Nonlinear response of infrared photodetectors based on van der Waals heterostructures with graphene layers," *Opt. Exp.*, vol. 25, no. 5, pp. 5536-5549, 2017. DOI: 10.1364/OE.25.005536
2. F. Hemmi, C. Thomas, Y.-C. Lai, A. Higo, A. Guo, S. Warnock, J.A. del Alamo, S. Samukawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Neutral beam etching for device isolation in AlGaIn/GaN HEMTs," *Phys. Stat. Solidi A*, vol. 214, no. 3, pp. 1600617-1-5, 2017. DOI: 10.1002/pssa.201600617
3. A.A. Dubinov, A. Bylinkin, V. Ya Aleshkin, V. Ryzhii, T. Otsuji, and D. Svintsov, "Ultra-compact injection terahertz laser using the resonant inter-layer radiative transitions in multi-graphene-layer structure," *Opt. Exp.*, vol. 24, iss. 26, pp. 29603-29612, 2016. DOI:10.1364/OE.24.029603
4. K. Wakita, E. Sano, M. Ikebe, S. Arnold, T. Otsuji, Y. Takida, and H. Minamide, "Design and fabrication of terahertz detectors based on 180-nm CMOS process technology," *Int. J. High Speed Electron. Sys.*, vol. 25, no. 03n04, pp. 1640014-1-9, Dec. 2016. DOI: 10.1142/S0129156416400140
5. V. Mitin, V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Plasmonic enhancement of terahertz devices efficiency," *Int. J. High Speed Electron. Sys.*, vol. 25, no. 03n04, pp. 1640019-1-7, Dec. 2016. DOI: 10.1142/S012915641640019X
6. D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, T. Watanabe, S. Arnold, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz wave generation and detection in double-graphene layered van der Waals heterostructures," *2D Mater.*, vol. 3, pp. 045009-1-8, 2016. DOI: 10.1088/2053-1583/3/4/045009
7. T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Achievement of balanced high frequency and high

- breakdown by InGaAs-based high-electron-mobility transistors with slant field plates," *Appl Phys. Exp.*, vol. 9, pp. 114101-1-3, Oct. 2016. DOI: 10.7567/APEX.9.114101
8. D. Svintsov, Zh. Devizorova, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Plasmons in tunnel-coupled graphene layers: Backward waves with quantum cascade gain," *Phys. Rev. B*, vol. 94, pp. 115301-1-12, 2016. DOI: 10.1103/PhysRevB.94.115301
 9. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.G. Leiman, G. Fedorov, G. Goltsman, I. Gayduchenko, N. Titova, D. Coquillat, D. But, W. Knap, V. Mitin, and M.S. Shur, "Two-dimensional plasmons in lateral carbon nanotube network structures and their effect on the terahertz radiation detection," *J. Appl. Phys.*, Vol. 120, pp. 044501-1-13, July 2016. DOI: 10.1063/1.4959215
 10. A. Satou, G. Tamamushi, K. Sugawara, J. Mitsushio, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "A fitting model for asymmetric I-V characteristics of graphene field-effect transistors for extraction of intrinsic mobilities," *IEEE Trans. Electron Dev.*, Vol. 63, Iss. 8, pp. 3300-3306, 2016. DOI: 10.1109/TED.2016.2578325
 11. V. Ryzhii, M. Ryzhii, M.S. Shur, V. Mitin, A. Satou, and T. Otsuji, "Resonant plasmonic terahertz detection in graphene aplit-gate field-effect transistor with lateral p-n junctions," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 49, pp. 315103-1-14, July 2016. DOI: 10.1088/0022-3727/49/31/315103
 12. Y. Koseki, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. V. Popov, and A. Satou, "Giant plasmon instability in dual-grating-gate graphene field-effect transistor," *Phys. Rev. B*, vol. 93, no. 24, pp. 245408-1-5, Jun. 2016. DOI: 10.1103/PhysRevB.93.245408
 13. G.-H. Park, K.-S. Kim, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, W.-J. Cho, and M. Suemitsu, "High-performance self-aligned graphene transistors fabricated using contamination- and defect-free process," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 55, no. 6S1, pp. 06GF11-1-4, June 2016. DOI: 10.7567/JJAP.55.06GF11
 14. K. Sugawara, T. Kawasaki, G. Tamamushi, H. Mastura, A. Dobroiu, T. Yoshida, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, K. Iwatsuki, S. Kuwano, J.-I. Kani, J. Terada, and T. Otsuji, "Photonic frequency double-mixing conversion over the 120 GHz band using InP- and graphene-based transistors," *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol. 34, pp. 2011-2019, 2016. DOI: 10.1109/JLT.2015.2505146 (Top Scored)

【国際会議発表】

1. D. Yadav, J. Mitsushio, Y. Tobah, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "A graphene-channel terahertz light-emitting transistor," *Graphene 2017: 7th Edition of the European Conference & Exhibition in Graphene and 2D Materials*, Barcelona, Spain, March 28-31, 2017.
2. T. Otsuji, "Current-injection terahertz lasing in a distributed-feedback dual-gate graphene-channel transistor," *SPIE OPTO: Conference on "Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XIV"*, 10111-77, San Fransisco, CA, USA, Jan. 28 - Feb. 2, 2016. (invited)
3. Fuyumi Hemmi, Cedric Thomas, Yi-Chun Lai, Akio Higo, Seiji Samukawa, Taiichi Otsuji, and Tetsuya Suemitsu, "Neutral beam process in AlGaIn/GaN HEMTs: impact on current collapse," *ISDRS: Int. Semiconductor Device Research Symposium*, FP1-03, Hyatt Regency Hotel, Bethesda, Maryland, USA, 7-9 Dec. 2016.
4. V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, D. Svintsov, V. Leiman, V. Mitin, and M.S. Shur, "Infrared and terahertz detectors based on graphene-van der Waals heterostructures," *WINDS16: 2016 International Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts*, p. 38, Big Island Hawaii, USA, 4-9 Dec. 2016. (invited)
5. G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dubinov, T. Suemitsu, A. Satou, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Current-injection terahertz lasing in graphene-channel field effect transistors,"

- WINDS16: 2016 International Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts, p. 18, Big Island Hawaii, USA, 4-9 Dec. 2016. (invited)
6. T. Otsuji, "Single-mode terahertz lasing in current-injection graphene-channel transistor," 5th International Conference and Exhibition on Lasers, Optics & Photonics, Hilton Atlanta Airport, Atlanta, GA, USA, 28-30 Nov. 2016 (invited)
 7. F. Kasuya, H. Taniguchi, T. Watanabe, T. Suemitsu, T. Otsuji, T. Ishibashi, M. Shimizu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Array configuration and silicon-lens integration of asymmetric dual-grating-gate HEMT for improvement of light coupling efficiency," RJUSE: 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., pp. 118-121, Sendai, Miyagi, 31 Oct. -4 Nov. 2016.
 8. A. Satou and K. Narahara, "Numerical characterization of Dyakonov-Shur instability in gated two-dimensional electron systems," RJUSE: 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., pp. 186-189, Sendai, Miyagi, 31 Oct. -4 Nov. 2016.
 9. A. Satou, K. Sugawara, G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dobroiu, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, K. Iwatsuki, S. Kuwano, J. Kani, J. Terada, and T. Otsuji, "InP HEMT and graphene FET for optical to sub-THz carrier frequency conversion," RJUSE: 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., pp. 182-185, Sendai, Miyagi, 31 Oct. -4 Nov. 2016.
 10. K. Wakita, M. Ikebe, S. Arnold, T. Otsuji, Y. Takida, H. Minamide, and E. Sano, "Design and fabrication of terahertz detectors based on 180-nm CMOS process technology," RJUSE: 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., pp. 30-33, Sendai, Miyagi, 31 Oct. -4 Nov. 2016.
 11. T. Komatsu, T. Otsuji, V. Ryzhii, D. Svintsov, V. Vyurkov, and A. Satou, "A numerical model for finite-temperature self-energy in doped graphene with electron-electron interaction," Graphene Canada: Graphene & 2D Materials International Conference and Exhibition, Montreal, Canada, 18-20 Oct. 2016.
 12. I. Semenikhin, V. Vyurkov, A. Bugayev, R. Khabibullin, D. Ponomarev, A. Yachmenev, P. Maltsev, M. Ryzhii, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Terahertz bolometer based on Sn nanowires in GaAs," ICMNE: Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, The "Ershovo" resort, Zvenigorod, O3-08, Moscow Region, Russia, 3-7 Oct. 2016.
 13. T. Watanabe, G. Tamamushi, A.A. Dubinov, A. Satou, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Current injection terahertz lasing in graphene-channel field-effect transistors under population inversion," ICMNE: Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, The "Ershovo" resort, Zvenigorod, L2-01, Moscow Region, Russia, 3-7 Oct. 2016. (invited, keynote)
 14. S. Boubanga Tombet, D. Yadav, T. Watanabe, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Emission and detection of terahertz radiation in graphene/hBN heterostructures," ICMNE: Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, The "Ershovo" resort, Zvenigorod, L2-02, Moscow Region, Russia, 3-7 Oct. 2016. (invited)
 15. V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Leiman, D. Svintsov, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Detectors of infrared and terahertz radiation based on graphene-van der Waals heterostructures," ICMNE: Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, The "Ershovo" resort, Zvenigorod, L2-03, Moscow Region, Russia, 3-7 Oct. 2016. (invited)
 16. T. Otsuji, "Graphene-based 2D heterostructures for current-injection terahertz lasing," TERA NANO VII: the 7th Int. Symp. on Terahertz Nanoscience, S8-2, IGESA Center, Porquerolles, France, 2-8 Oct. 2016. (invited)
 17. I. Semenikhin, V. Vyurkov, A. Bugaev, R. Khabibullin, D. Ponomarev, A. Yachmenev, P. Maltsev, M. Ryzhii, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Sn nanowires in GaAs: experiment and simulation," Proc. SPIE, vol. 10224, pp. 102240R-1-10, Dec. 2016.; International Conference on Micro- and Nano-Electronics 2016, 102240R, Zvenigorod, Russian Federation, October 3, 2016. DOI:10.1117/12.2267241

18. G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dubinov, H. Wako, A. Satou, T. Suemitsu, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "5.2-THz single-mode lasing in current injection distributed-feedback dual-gate graphene-channel field-effect transistor," IRMMW-THz: 41st International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., F2C.5, Bella Center, Copenhagen, Denmark, 25-30 Sept. 2016.
19. F. Kasuya, H. Taniguchi, T. Watanabe, T. Suemitsu, T. Otsuji, T. Ishibashi, M. Shimizu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Array configuration and silicon-lens integration of asymmetric dual-grating-gate plasmonic THz detectors," IRMMW-THz: 41st International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., T4C.6, Bella Center, Copenhagen, Denmark, 25-30 Sept. 2016.
20. T. Otsuji, S.A. Boubanga Tombet, D. Yadav, and V. Ryzhii, "Graphene-based van der Waals heterostructures for terahertz device applications," IEEE NANO 2016: the 2016 IEEE 16th International Conference on Nanotechnology, Sendai International Conference Center, Sendai, Japan, 22-25 Aug. 2016. (invited)
21. F. Kasuya, H. Taniguchi, T. Watanabe, T. Suemitsu, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Ishibashi, M. Shimizu, and A. Sato, "Nanostructured asymmetric dual-grating-gate plasmonic THz detectors: enhancement of external coupling efficiency by array configuration and silicon-lens integration," IEEE NANO 2016: the 2016 IEEE 16th International Conference on Nanotechnology Proc., pp. 116-118, Sendai International Conference Center, Sendai, Japan, 23 Aug. 2016.
22. S. Boubanga Tombet, D. Yadav, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, A. Satou, T. Suemitsu, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz emission and detection in graphene-based heterostructures," Global Graphene Forum 2016, Mariella, Viking Line, Stockholm, Sweden, 23-26 Aug. 2016. (Invited)
23. T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Cross sectional observation of slant field plates integrated to InAlAs/InGaAs HEMTs," IEEE 2016 Lester Eastman Conference on High Performance Devices Dig., P4, Lehigh Univ., Bethlehem, PA, USA, 2-4 Aug. 2016.
24. T. Otsuji, D. Svintsov, A. Dubinov, D. Yadav, S. Boubanga Tombet, T. Watanabe, A. Satou, V. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene-based van der Waals heterostructure plasmonic metamaterials for terahertz device applications," META 2016: 7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, Torremolinos Congress Center, Malaga, Spain, 25-28 July 2016. (invited)
25. J. Mitsushio, G. Tamamushi, K. Sugawara, A. Satou, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "A fitting model for extraction of intrinsic transistor parameters in graphene FETs," AWAD 2016: Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, A7-5, Hakodake, Hokkaido, Japan, 4-6 July 2016.
26. A. Satou, K. Sugawara, G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dobroui, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, K. Iwatsuki, S. Kuwano, J. Kani, J. Terada, and T. Otsuji, "Sub-THz Photonic Double-Mixing Conversion Using Transistors," AWAD 2016: Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, A5-5, Hakodake, Hokkaido, Japan, 4-6 July 2016.
27. T. Watanabe, H. Wako, A. Satou, A.A. Dubinov, K. Kawahara, H. Ago, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Observation of spontaneous terahertz emission from optically pumped monolayer intrinsic graphene," CSW: Compound Semiconductor Week 2016, a joint venue for the 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) and the 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM), ThC2-2, Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, 26-30 June 2016.
28. F. Hemmi, C. Thomas, Y.-C. Lai, A. Higo, A. Guo, S. Warnock, J.A. del Alamo, S. Samukawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "The effect of neutral beam etching on device isolation in AlGaN/GaN HEMTs," CSW: Compound Semiconductor Week 2016, a joint venue for the 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) and the 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM), WeB2-4, Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, 26-30 June 2016.

29. T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Gate delay analysis in two-step recess gate InGaAs-HEMTs with slant field plates," CSW: Compound Semiconductor Week 2016; a joint venue for the 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) and the 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM), TuD4-5, Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, 26-30 June 2016.
30. Akira Satou, Gen Tamamushi, Kenta Sugawara, Junki Mitsushio, Victor Ryzhii, and Taiichi Otsuji, "Extraction of intrinsic and extrinsic parameters of graphene field-effect transistor from its asymmetric I-V characteristic," CSW: Compound Semiconductor Week 2016; a joint venue for the 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) and the 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM), MoP-ISCS-117, Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, 26-30 June 2016.
31. G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dubinov, J. Mitsushio, H. Wako, A. Satou, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Single-mode terahertz emission from current-injection graphene-channel transistor under population inversion," DRC: 2016 74th Annual Device Research Conference Digest, pp. 225-226, Univ. Delaware, DL, USA, 21 June 2016. DOI: 10.1109/DRC.2016.7548491
32. V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Plasmonic terahertz detector based on graphene split-gate FET with nanoconstrictions in lateral p-n junction depletion region," QSIP 2016: Quantum Structured Photodetector International Conference, Ter Aviv, Israel, 12-17 June 2016.
33. T. Otsuji, "Emission and detection of terahertz radiation in double-graphene-layered van der Waals heterostructures via photon-assisted plasmonic resonant tunneling," CIMTEC: International Conferences on Modern Materials & Technologies; General physical and chemical properties of Symposium F "Graphene and Other Emerging 2D-layered Nanomaterials: Synthesis, Properties and Potential Applications" Centro Congressi Hotel Quattrotorri at Best Western, Perugia, Italy, 5-9 June 2016. (invited)
34. G. Tamamushi, T. Watanabe, A. Dubinov, H. Wako, A. Satou, T. Suemitsu, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Current-injection terahertz lasing in distributed-feedback dual-gate graphene-channel field-effect transistor," CLEO: the 36th Conference on Lasers and Electro-Optics, SM3L.7, San Jose Convention Center, San Jose, CA, USA, 6 June 2016. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2016.SM3L.7
35. T. Otsuji, "Emission and detection of terahertz radiation using double-graphene-layered van der Waals heterostructures," CMOS-ETR: Int. Symp. On CMOS Emerging Technologies Research, C2-1, Hotel Bonaventure Montréal, Montreal, Canada, 25-27 May 2016. (invited)
36. T. Otsuji, S.A. Boubanga-Tombet, T. Watanabe, D. Yadav, A. Satou, A.A. Dubinov, D. Svintsov, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Emission and detection of terahertz radiation in graphene-based van der Waals heterostructures," EMN Meeting on Terahertz, Donostia, San Sebastian, Spain, 14-18, May 2016. (invited)
37. Y.M. Mezini, ... and T. Otsuji, "Terahertz detection using strained silicon MODFET and application for imaging," EMN Meeting on Terahertz, Donostia, San Sebastian, Spain, 14-18, May 2016. (invited)
38. A. Satou, T. Watanabe, T. Suemitsu, V. Ryzhii, D. Fateev, V. V. Popov, and T. Otsuji, "Plasmonic THz devices based on InP HEMTs and Graphene FETs," EMN Meeting on Terahertz, Donostia, San Sebastian, Spain, 14-18, May 2016. (invited)
39. K. Wakita, E. Sano, M. Ikebe, S. Arnold, T. Otsuji, Y. Takida, and H. Minamide, "Design and fabrication of a terahertz imaging array in 180-nm CMOS process technology," MIKON 2016 - 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications, M4.3, QUBUS HOTEL Krakow, Poland, May 9-11, 2016.
40. P. Faltermeier, J. Unverzagt, W. Probst, P. Olbrich, L. Schell, T. Watanabe, S.A. Boubanga Tombet, T. Otsuji, and S.D. Ganichev, "Terahertz ratchet- and magnetic ratchet-effects in InAlAs/InGaAs/InAlAs and (Cd,Mn)Te/(Cd,Mg)Te heterostructures with a lateral periodic

potential," 5th EOS Topical Meeting on Terahertz Science & Technology, Pecs, Hungary, 8-12 May 2016.

41. A. Satou, Y. Koseki, T. Watanabe, V.V. Popov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Cooperative promotion of plasma instabilities for emission of terahertz radiation in an asymmetric dual-grating gate graphene-channel FET," SPIE DCS: Int. Conf. on Defense + Commercial Sensing, Conference 9856 on Terahertz Physics, Devices, and Systems X: Advanced Applications in Industry and Defense, Paper No. 9856-11, Baltimore Convention Center, Baltimore, MD, USA, April 17, 2016.; Prof. SPIE, vol. 9856, pp. 98560F-1-7, 2016. DOI: 10.1117/12.2227438
42. T. Otsuji, "Graphene-based van der Waals heterostructures for emission and detection of terahertz radiation," SPIE DCS: Int. Conf. on Defense + Commercial Sensing, Conference 9856 on Terahertz Physics, Devices, and Systems X: Advanced Applications in Industry and Defense, Paper No. 9856-5, Baltimore Convention Center, Baltimore, MD, USA, April 17, 2016. (Invited); Prof. SPIE, vol. 9856, pp. 985603-1-8, 2016. DOI: 10.1117/12.2225257

5.C ナノ分子デバイス基盤技術関連 *Nano-Molecular Devices*

C1 ナノ分子デバイス（庭野道夫）
Nano-Molecular Devices (M. Niwano)

C2 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 ナノ分子デバイス (庭野道夫) Nano-Molecular Devices (M. Niwano)

1. 有機分子デバイスの表面・界面のナノスケール解析・制御
Nanometer-scale analysis and control of surfaces and interfaces of organic molecular devices
有機デバイスの表面・界面での現象をナノスケールで解析し、その動作原理を解明することにより、それらを制御し、有機デバイスの特性を向上させるための研究を行っている。
We have analyzed phenomena on surface and interface of organic devices and have elucidated the principle of their operation on a nanometer scale to improve their performance.
2. 半導体表面用いた生体機能解析
Biodynamic analysis on a semiconductor surface
Si や GaAs 半導体表面上において、細胞やたんぱく質、DNA などの生体物質を赤外吸収法を用いて高感度に検出し、生体機能の解析を行っている。
We have sensitively detected biological materials such as cells, proteins, and DNA molecules on a semiconductor surface such as Si or GaAs and we have analyzed biodynamics
3. 高感度バイオセンシング・システムの研究開発
Research and development of a high-sensitive bio-sensing system
赤外分光法を用いて溶液中で標識を用いずに生体物質を高感度に観測するためのバイオセンシング・システムの開発を行っている。
We have investigated development of a label-free bio-sensing system for high-sensitive detection of biological materials in a solution using infrared absorption spectroscopy.
4. 陽極酸化過程を用いたナノデバイスの開発研究
Research and development of fabricating nanodevices using anodization processes
トップダウンプロセスと陽極酸化過程を組み合わせることによるナノデバイスの作製に関する研究を行っている。
We have investigated fabrication of nanodevices by using both top-down processes and anodization processes.
5. 有機・無機ハイブリッド型ナノ構造体の形成と太陽電池への応用
Fabrication of organic-inorganic hybrid structures and their application to solar cells
酸化チタンナノチューブ構造体の中に多層有機薄膜構造を形成し、そのハイブリッド構造体を太陽電池に応用する研究を行っている。
We have fabricated organic-inorganic hybrid nanostructures and applied those nanostructures to hybrid solar cells.

【査読付論文】

1. Tomoyuki Miyoshi, Ken-ichi Ishibashi, Koichiro Miyamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Michio Niwano, "Label-free detection of DNA molecules moving in micro -fluidic channels by infrared absorption spectroscopy." *Sens. Actuator B-Chem.*, **238**, 917-922 (2017).
2. Ryota Kojima, Yasuo Kimura, Teng Ma, Kenichi Ishibashi, Daisuke Tadaki, Richard A. Rosenberg, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, "Fabrication and characterization of front-illuminated dye-sensitized solar cells with anodic titanium oxide nanotubes." *J. Electrochem. Soc.*, **164**, H78-H84 (2017).
3. Teng Ma, Qiwu Zhang, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, "Fabrication and characterization of high-quality perovskite films with large crystal grains." *J. Phys. Chem. Lett.*, **8**, 720-726 (2017).

4. Yuji Imai, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, "Response characteristics of hydrogen gas sensor with porous piezoelectric poly(vinylidene fluoride) film." *Sens. Actuator B-Chem.*, **247**, 479-489 (2017).
5. Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Miyu Yoshida, Shun Araki, Daisuke Tadaki, Ryusuke Miyata, Kenichi Ishibashi, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, Michio Niwano, "Reconstitution of Human Ion Channels into Solvent-free Lipid Bilayers Enhanced by Centrifugal Forces." *Biophys. J.*, **110** (10), 2207-2215 (2016).
6. Hideaki Yamamoto, Shigeru Kubota, Yudai Chida, Mayu Morita, Satoshi Moriya, Hisanao Akima, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii and Michio Niwano, "Size-dependent regulation of synchronized activity in living neuronal networks," *Phys. Rev.* **E94** (1), 012407 (2016).
7. Hideaki Yamamoto, Ryosuke Matsumura, Hidesato Takaoki, S. Katsurabayashi, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, "Unidirectional signal propagation in primary neurons micropatterned at a single-cell resolution." *Appl. Phys. Lett.*, **109** (4), 043703 (2016).

【国際会議発表】

1. Teng Ma, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, "Pinhole-free perovskite layers composed of large single-crystal grains for photovoltaic applications", International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics (HOPV16), Swansea, UK, June 28-July 1, 2016.
2. Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano "Formation of high quality perovskite layers for perovskite solar cells", 2016 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF 2016), Fukuoka, Japan, September 4-7, 2016.
3. Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano, "Toward highly efficient integrated-back-contacted perovskite solar cells", 2016 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, USA, November 27-December 2, 2016.
4. Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano, "Fabrication of high-quality perovskite thin films and its application in photovoltaic", 10th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar, Sendai, Japan, February 13-14, 2017.
5. Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Richard A. Rosenberg, and Michio Niwano, "Fabrication and characterization of P3HT polymer-based organic thin film transistors with electrodes of highly doped P3HT", 10th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar, Sendai, Japan, February 13-14, 2017.
6. Ryohei Abe, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yuji Imai, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano, "Microwire-embedded flexible pressure sensor with β -phase poly(vinylidene fluoride) thin film", KJF-ICOMEF 2016, Fukuoka, Japan, September 4-7, 2016.
7. Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Richard A. Rosenberg, and Michio Niwano, "Fabrication and characterization of organic thin film transistors with electrodes of highly doped polymer", 2016 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2016), Hakodate, Japan, July 4-6, 2016.

C2 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. Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Miyu Yoshida, Shun Araki, Daisuke Tadaki, Ryusuke Miyata, Kenichi Ishibashi, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, Michio Niwano, "Reconstitution of Human Ion Channels into Solvent-free Lipid Bilayers Enhanced by Centrifugal Forces." *Biophys. J.*, **110** (10), 2207-2215 (2016).
2. Hideaki Yamamoto, Shigeru Kubota, Yudai Chida, Mayu Morita, Satoshi Moriya, Hisanao Akima, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii and Michio Niwano, "Size-dependent regulation of synchronized activity in living neuronal networks," *Phys. Rev. E***94** (1), 012407 (2016).
3. Hideaki Yamamoto, Ryosuke Matsumura, Hidesato Takaoki, S. Katsurabayashi, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, "Unidirectional signal propagation in primary neurons micropatterned at a single-cell resolution." *Appl. Phys. Lett.*, **109** (4), 043703 (2016).
4. Sho Kono, Hideaki Yamamoto, Takatoshi Kushida, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, and Takashi Tanii, "Live-cell, label-free identification of GABAergic and non-GABAergic neurons in primary cortical cultures using micropatterned surface", *PLOS ONE*, **11**(8), e0160987 (2016).
5. Yuji Imai, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, "Response characteristics of hydrogen gas sensor with porous piezoelectric poly(vinylidene fluoride) film." *Sens. Actuator B-Chem.*, **247**, 479-489 (2017).
6. Masataka Moriya, Tran Thi Thu Huong, Kazuhiko Matsumoto, Hiroshi Shimada, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata and Yoshinao Mizugaki, "Fabrication of single-electron devices using dispersed nanoparticles and fitting experimental results to values calculated based on percolation model", *Applied Physics A*, **122**:756 (2016).
7. Tran Thi Thu Huong, Kazuhiko Matsumoto, Masataka Moriya, Hiroshi Shimada, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Yoshinao Mizugaki, "Gate-tuned negative differential resistance observed at room temperature in an array of gold nanoparticles", *Appl. Physics A*, **123**, 268 (2017).

【国際会議発表】

1. Daichi Yamaura, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano, Toshio Ogino, “Reinforcement of lipid layers by substrate surface modification with self-assembled monolayers”, IVC-20, Busan/South Korea, Cancun, Mexico, August 21-26, 2016.
2. Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, Kenichi Ishibashi, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano “Improved Process for Fabrication of Silicon Chips with Micro-Apertures for Formation of Stable Artificial Bilayer Lipid Membranes”, 2016 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF 2016), Fukuoka, Japan, September 4-7, 2016.
3. H. Yamamoto, Y. Chida, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, S. Kubota, M. Niwano, “Spontaneous activity of cultured neuronal networks with defined numbers of neurons: a computational study”, 10th FENS Forum for Neuroscience, Copenhagen, Denmark, July 2-6, 2016.
4. R. Matsumura, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Amplifying neuronal signals in extracellular recordings using electrical resistance of a glial cell sheet”, 10th FENS Forum for Neuroscience, Copenhagen, Denmark, July 2-6, 2016.
5. A. Hirano-Iwata, M. Yoshida, S. Araki, D. Tadaki, R. Miyata, K. Ishibashi, H. Yamamoto, M. Niwano, “Integration of human ion channels into solvent-free lipid bilayers in microfabricated apertures: accelerated vesicle fusion via centrifugation”, 10th FENS Forum for Neuroscience, Copenhagen, Denmark, July 2-6, 2016.
6. M. Yoshida, A. Hirano-Iwata, S. Araki, H. Yamamoto, M. Niwano, “Reconstruction of human ion-channels in solvent-free bilayer lipid membranes based on microfabricated silicon chips”, 10th FENS Forum for Neuroscience, Copenhagen, Denmark, July 2-6, 2016.
7. D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, K. Ishibashi, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, H. Yamamoto, M. Niwano, “Fabrication method of silicon chips with micro-apertures for formation of artificial bilayer lipid membranes”, 20th International Vacuum Congress (IVC-20), Busan, Korea, August 21-26, 2016.
8. R. Matsumura, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Directed polarization and signal propagation in neuronal networks on microcontact printed protein patterns”, 20th International Vacuum Congress (IVC-20), Busan, Korea, August 21-26, 2016.
9. A. Hirano-Iwata, M. Yoshida, S. Araki, D. Tadaki, R. Miyata, K. Ishibashi, H. Yamamoto, M. Niwano, “Reconstitution of human ion channels into solvent-free lipid bilayers in microfabricated silicon chips: accelerated vesicle fusion via centrifugation”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2016, Tsukuba, Japan, September 27-29, 2016.
10. R. Matsumura, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Equivalent circuit simulation of a neuron-electrode interface: mechanism of signal amplification by resistive covering”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2016, Tsukuba, Japan, September 27-29, 2016.
11. H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, M. Niwano, “Structure-function relationships in living neuronal networks: a surface engineering approach”, 10th Anniversary International Symposium on Nanomedicine (ISNM2016), Tsukuba, Japan, November 24-26, 2016.

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 28 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・スピン電子ビーム・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: 5mm 角~300mm φ
- ナノ・スピン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パターンの形成
 - 性能 基板サイズ 5 mm角から最大4 インチ角
マスクサイズ 2 インチ角から5 インチ角
紫外線露光照度 25mW/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 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, 33m 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 μm range)

□ マイクロプローブ式低温ホール効果測定装置 理工貿易

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

a-3) シリコンプロセス装置関係

□ ナノヘテロ界面処理加工システム

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

□ 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(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
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 × 30 μ m × (高さ)4 μ m
最高制御分解能(水平)0.45 μ m × (高さ)0.06 μ m

a-4) 配線プロセス関係

- ナノ・スピン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

□ LSI テスタ

HP9494

- 用途 アナログ及びデジタル LSI チップの動作測定・検証
- 性能 HP9494A ミックスドシグナル LSI テストシステム
30MHz 12Bit 任意波形発生器
1MHz 16Bit デジタイザ

□ 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 μ m
最大描画範囲:50 mm × 50 mm

□ ナノ立体加工装置(AFM)

エスアイアイ・ナノテクノロジー(株) SPA400

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

6-2 施設の利用状況(平成28年度)

平成28年度 ナノ・スピニング実験施設 利用登録状況

平成29年3月31日まで
ナノ・スピニング実験施設

	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 金井助教 (助手) Gupta LLANDRO (PD) BELSWEILER (研究員)陣内 (研究支援員)平田 岩沼 川戸 後藤 (技術支援員)五十嵐 (D3)張 石川 DUTTAGUPTA (D2)Aleksandr 岡田 (D1)渡部 (M2)土肥 大島 岩渕 都澤 (M1)Borders 大河原 篠崎 五十嵐 市川 (B4)齋野 高橋 王 金村 藤井	35
	A	庭野研	庭野道夫		庭野教授 馬助教 (B4) 出口 菅野 (研究員)宮澤	14
			平野愛弓		平野准教授 山本助教 (研究員)但木 石橋 (D2)松村 (D1)山浦 (M2)荒木 (M1)荒田 (B4)井出 阿部	
	A	佐藤・櫻庭研	秋間学尚		佐藤教授 櫻庭准教授 秋間助教 (D3)上野 (D2)李 刑部 (M2)守谷 (M1)栗原 手塚 (B4)下橋 仲地 安部(庭野研) 大堀(庭野研)	13
	A	尾辻・末光研	末光哲也		尾辻教授 末光准教授 佐藤助教 (D2)DEEPA (M2)満塩 邊見 (M1)細谷 渡村 (B4)菅原 大森 鈴木	11
	B	堀尾研	堀尾喜彦		(D1) 織間	1
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	末光・吹留研	吹留博一		吹留准教授 長澤客員教授 (研究員)GUNASEKARAN (PD)朴 (D2)金 (D1)齋藤 (M2)大美賀 (M1)岩田 高橋 遠藤 (B4)太田 (研究支援員)佐々木	12
	B	新田・好田研(工)	好田 誠	大野研	好田准教授 (D2)中川原 (D1)齋藤 (M2)蒲生 王 (M1)飯笹 (B4)山田 鈴木 ユン 山脇 石原 榎	12
	B	安藤・大兼研(工)	大兼幹彦	大野研	大兼准教授 佐藤技術職員 (M2)福田 (M1)堀内 (B4)我妻	5
	B	松岡研(金研)	谷川智之	尾辻研	谷川助教 片山准教授 窪谷助教 木村(研究員) (D2)プラスチック (M1)三浦 (M1)田中 萩原	8
	B	高桑研(多元)	小川修一	尾辻研	小川助教 (D3)阿加 (M2)門脇 杉本 (M1)多賀 (B4)橋本 堰端	7
	B	石山・栢研	栢修一郎	佐藤研	栢准教授 (研究生)本多 (M2)横井 (M1)松本 久保 楠 (B4)庄司 (研究員)荒井 (研究支援者)林	9
	B	鷲尾研(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	枝松・Mark研	MarkSadrove	佐藤研	Mark准教授 (M1)菅原	2
	B	藤掛・石鍋研(工)	柴田陽生	庭野研	柴田助教 (M1)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)仮屋崎 上條 (D1)福田	4	

合計

142

※プロジェクト対応・持込み装置 67台

プロジェクト対応装置・研究室持込み装置保守時間

平成28年3月1日から平成29年2月28日まで

装置名	プロジェクト対応装置	研究室持込み装置	小計
佐藤・櫻庭研	スピン半導体成膜装置 (CELEL)		50
大野・深見研 (松倉研・池田研を含む)	スピンエポキシ用スバクタ装置 (ARAMSバクタ)		48
廣野研	スピン材料成膜加工装置 (AMELVAMエリクタ)		32
持松・三養研	スピン材料成膜加工装置 (金線膜装置)		39
鷹辻・栄光研	スピン材料成膜加工装置 (ICB)		9
施設共通部	スピン材料成膜加工装置 (マスク用)		20
清藤研	高機能合金積層押出成形用スバクタ装置		80
末光・吹置研	スピンチハイス用リノグラフィック装置 (アライナ)		4
齋藤・小谷研 (固体電子研究室)	スピンチハイス用リノグラフィック装置 (マスク用)		80
安藤研 (応用物理学専攻)			285
新田研 (知能マテリアル専攻)			
北上研 (多元素物質科学研究所)			
菅森研			
石山・拓研			
松岡研			
長研			
藤掛・石綿研			
計			50
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32
			39
			9
			20
			80
			4
			80
			285
			48
			32

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28年度は以下のように計6回の講演会を実施した。

- 第88回 平成28年8月19日 15:00-16:30
「科学技術の知識と研究を社会に生かす意識-科学技術ジャーナリストからの願い-」
黒川 卓 (日本経済新聞社 編集局科学技術部 記者、東北大学多元物質科学研究所 客員教授、中部大学 客員教授)
- 第89回 平成28年8月24日 15:45-16:45
“Spintronics with 2D materials heterostructures”, Saroj Prasad Dash (Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden)
- 第90回 平成28年12月12日 14:30-17:30
「W. Knap 通研客員教授によるテラヘルツ半導体プラズモニクスに関する特別講義」、
KNAP Wojciech (通研客員教授)
- 第91回 平成28年12月19日 14:00 ~平成28年12月19日 14:00
テーマ:「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」
“Evaluation of transistor performance in single and double δ -doping in InP-based high-electron-mobility transistors with MOVPE-grown InAs/In_{0.8}Ga_{0.2}As quantum-well”,
○Amine El Moutaouakil, Hiroki Sugiyama, Hideaki Matsuzaki (NTT), 外16件
- 第92回 平成29年1月19日 15:30~17:00
「クルマの智能化を実現するニューロコンピューティングの研究」、Irina Kataeva (株式会社デンソー 基礎研究所)
- 第93回 平成29年3月7日 15:00:16:30
「Micromagnetic Simulation」、仲谷栄伸 (電気通信大学、通研客員教授)

14th RIEC International Workshop on Spintronics

- **Sponsors**

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

- **Organizing Committee**

H. Ohno (Tohoku University)

F. Matsukura (Tohoku University)

K. Ito (Tohoku University)

M. Kohda (Tohoku University)

S. Fukami (Tohoku University)

- **Secretariat**

N. Sato (Tohoku University)

The workshop is organized in close collaboration with the following meetings;

*JSPS-EPSCRC Tohoku-Cambridge-CNRS Core to Core program Symposium
"Two dimensional electronics/spintronics devices", November 16 - 17, 2016*

*4th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices",
November 19 - 20, 2016*

For more information:

<http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/CCPGRIEC/CCPGRIEHP/index.html>

**Tentative Timetable for
JSPS-EPSRC Tohoku-Cambridge-CNRS Core to Core Program Symposium "Two dimensional electronics/spintronics devices"
14th RIEC International Workshop on Spintronics
4th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"**

November 16 (Wednesday) - 20 (Sunday), 2016
Conference Room, Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC, Tohoku University

Nov. 16 (Wed)		Nov. 17 (Thu)			Nov. 18 (Fri)			Nov. 19 (Sat)			Nov. 20 (Sun)						
Tohoku-Cambridge-CNRS Core to Core	9:00-9:30	Th-1	J. Shiogai		9:00-9:30	Fr-1	P. Kelly		9:00-9:30	Sa-1	P. Gambardella		9:00-9:30	Su-1	E. Saitoh		
	9:30-10:00	Th-2	M. Shiraishi		9:30-10:00	Fr-2	V. Amin		9:30-10:00	Sa-2	S. Souma		9:30-10:00	Su-2	M. Mizuguchi		
	10:00-10:20	Break			10:00-10:30	Fr-3	J. C. Rojas-Sanchez		10:00-10:30	Sa-3	A. Fujimori		10:00-10:30	Su-3	S. Mitani		
	10:20-10:50	Th-3	J. Robertson		10:30-10:50	Break			10:30-10:50	Break			10:30-10:50	Break			
	10:50-11:20	Th-4	M. Martin		10:50-11:20	Fr-4	M. Kohda		10:50-11:20	Sa-4	D. Chiba		10:50-11:20	Su-4	B. Hillebrands		
	11:20-11:50	Th-5	B. Dlubak		11:20-11:50	Fr-5	K. Olejnik		11:20-11:50	Sa-5	D. Ravelosona		11:20-11:50	Su-5	S. Mizukami		
	Lunch			Lunch			Lunch			Lunch, Registration			Lunch				
	13:15-14:00	Registration		Registration		14:00-14:30	Fr-7	W. Zhang		14:20-14:30	Opening (M. Shirai)		14:00-14:30	Su-7	Y. Ando		
	14:00-14:10	Opening (T. Endoh)		Opening (H. Ohno)		14:30-15:00	Fr-8	S. Fukami		14:30-15:00	Sa-8	K. O'Grady		14:30-15:00	Su-8	A. Conca Parra	
	14:10-14:40	We-1	K. Nagashio		14:10-14:40	Th-6	A. Kent		14:30-15:00	Sa-9	H. Muraoka		15:00-15:20	Su-9	A. Okada		
	14:40-15:10	We-2	Y. Hatsugai		14:40-15:10	Th-7	F. Matsukura		15:00-15:30	Sa-10	K. Takanashi		15:20-15:40	Break			
15:10-15:40	We-3	K. Shiraishi		15:10-15:40	Th-8	R. Sousa		15:30-16:00	Poster			15:40-16:10	Su-10	A. Hirohata			
15:40-16:00	Break		Photo		15:50-16:10	Break			16:00-17:30	Poster			16:10-16:40	Su-11	Y. Nakatani		
16:00-16:30	We-4	S. Ikeda		16:10-16:40	Th-9	J. Shaw		16:40-17:10	Th-10	J. Akerman		16:40-17:10	Su-12	J. Nitta			
16:30-17:00	We-5	M. Oogane		16:40-17:10	Th-10	J. Akerman		17:10-17:40	Th-11	J. Bokor		17:10-17:20	Closing (H. Ohno)				
Transfer			Transfer			Transfer			Transfer			Transfer					
Banquet			Banquet			Banquet			Banquet			Banquet					

14th RIEC International Workshop on Spintronics

Oral Presentation Program

● November 17 (Thursday)

14:10-14:40

Th-6 **A. Kent (New York University)**

Pulsed Spin-Torque Switching in Perpendicularly Magnetized Magnetic Tunnel Junction Devices

14:40-15:10

Th-7 **F. Matsukura (Tohoku University)**

Magnetization Switching in Elliptic CoFeB/MgO Magnetic Tunnel Junctions

15:10-15:40

Th-8 **R. Sousa (SPINTEC)**

Second order anisotropy and easy cone regime in perpendicular magnetic tunnel junctions

16:10-16:40

Th-9 **J. Shaw (NIST)**

New insights into achieving ultra-low magnetic damping in metallic and half-metallic materials

16:40-17:10

Th-10 **J. Åkerman (University of Gothenburg)**

Mutually Synchronized Spin Hall Nano-Oscillators

17:10-17:40

Th-11 **J. Bokor (Lawrence Berkeley National Laboratory)**

Ultrafast charge current induced magnetization reversal in only 10 psec

● November 18 (Friday)

9:00-9:30

Fr-1 **P. Kelly (University of Twente)**

Giant room temperature interface spin Hall and inverse SH effects

9:30-10:00

Fr-2 **V. Amin (NIST)**

Spin Transport at Interfaces with Spin-Orbit Coupling

10:00-10:30

Fr-3 **J. C. Rojas-Sanchez (CNRS-Université de Lorraine)**

Tuning the Spin Orbit Torque-critical current density to reverse perpendicular magnetization in $\text{Co}_x\text{Tb}_{1-x}$ ferrimagnetic based alloys

10:50-11:20

Fr-4 **M. Kohda (Tohoku University)**

Spin relaxation mechanism in single and poly crystalline Pt thin films

11:20-11:50

Fr-5 **K. Olejnik (Academy of Sciences of the Czech Republic)**

Fast electrical switching of a multi-state antiferromagnetic memory

11:50-12:20

Fr-6 **B.-G. Park (KAIST)**

Spin-orbit torque-induced in antiferromagnet/ferromagnet structures

14:00-14:30

Fr-7 **W. Zhang (Oakland University)**

Some aspects of spin-orbit torques and using antiferromagnets for spin current

14:30-15:00

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

Spin-orbit torque switching for integrated circuits – from sub-ns memory to artificial intelligence

15:00-15:30

Fr-9 **K.-J. Lee (Korea University)**

Ferrimagnetic Spintronics: Prospects and Perspectives

● **November 19 (Saturday)**

9:00-9:30

Sa-1 **P. Gambardella (ETH Zurich)**

Spin-Orbit Torques and Magnetoresistance in Ferromagnet/Normal Metal Bilayers

9:30-10:00

Sa-2 **S. Souma (Tohoku University)**

Electronic band structure near the Fermi level of (Ga,Mn)As: High-resolution in-situ ARPES

10:00-10:30

Sa-3 **A. Fujimori (University of Tokyo)**

Electronic Structure of Dilute Ferromagnetic Semiconductors Revealed by ARPES

10:50-11:20

Sa-4 **D. Chiba (University of Tokyo)**

Electric field effect on magnetic properties in Co/Pt system

11:20-11:50

Sa-5 **D. Ravelosona (CNRS, Univ. Paris-Sud)**

Controlling domain wall dynamics by interface engineering in films with perpendicular magnetic anisotropy

11:50-12:10

Sa-6 **S. Kanai (Tohoku University)**

Thermal Agitation and Speed of Switching in Electric-field Induced Magnetization Reversal of CoFeB/MgO Magnetic Tunnel Junctions

12:10-12:40

Sa-7 **T. Dietl (Polish Academy of Sciences)**

Electric-field control of magnetic anisotropy in wz-(Ga,Mn)N by inverse piezoelectric effect

14th RIEC International Workshop on Spintronics
4th JSPS Core-to-Core Workshop on “New-Concept Spintronic Devices”

Poster Presentation Program

- P1** **T. Chiba, S. Takahashi, and G. E. W. Bauer (Tohoku University)**
Magnetic-proximity-induced magnetoresistance on the surface of three-dimensional topological insulators
- P2** **T. Chiba and A. Sekine (Tohoku University)**
Electric-field-driven magnetization dynamics of antiferromagnetic insulators with spin-orbit coupling
- P3** **A. Okada, Y. Hashimoto, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Electric-field modulation of damping constant in Ta/CoFeB/MgO as a function of magnetic anisotropy
- P4** **V. Novák, Š. Svoboda, V. Hills, and R. Campion (Academy of Sciences of the Czech Republic)**
Molecular beam epitaxy of I-Mn-V antiferromagnets
- P5** **T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Electric-field modulation of spin-wave resonance spectra in a nanoscale magnetic tunnel junction
- P6** **T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Evaluation of exchange stiffness constant and its electric-field effect from domain structure of CoFeB/MgO
- P7** **D. Iizasa, A. Aoki, M. Kohda, and J. Nitta (Tohoku University)**
Evaluation of spin-orbit coefficients by spin diffusion in a (001)-oriented GaAs/AlGaAs quantum well by time-resolved Kerr rotation microscopy
- P8** **S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Temperature and magnetic field direction dependence of transport properties of (Ga,Mn)As codoped with Li

- P9** **S. DuttaGupta, S. Fukami, B. Kuerbanjiang, H. Sato, F. Matsukura, V. K. Lazarov, and H. Ohno (Tohoku University)**
Universality classes for domain wall creep motion in magnetic metal Ta/CoFeB/MgO
- P10** **Z. Wen, T. Kubota, Y. Ina, and K. Takanashi (Tohoku University)**
Large current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance in nanojunctions using half-metallic $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$ electrodes and dual Ag-Mg spacers
- P11** **N. Ichikawa, T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
CoFeB thickness dependence of exchange stiffness constants in Ta/CoFeB/MgO
- P12** **A. Ono, K. Z. Suzuki, R. Ranjbar and S. Mizukami (Tohoku University)**
Polycrystalline MnGa ultrathin films with perpendicular anisotropy
- P13** **M. Bersweiler, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Interfacial anisotropy and Gilbert damping in MgO/Fe/Fe-V/Fe/MgO structure
- P14** **S. Ishikawa, E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Current induced magnetization switching of magnetic tunnel junctions with Co-based recording layers
- P15** **J. Lu, X. Zhao, S. Mao, and J. Zhao (Chinese Academy of Science)**
MnGa-based perpendicularly magnetic tunnel junction
- P16** **K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Effect of Buffer Layer Material and its Crystal Structure on Magnetic Properties of CoFeB/MgO Stacks
- P17** **N. Ohshima, H. Sato, S. Kanai, J. Llandro, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)**
Electric-field effect on current-induced magnetization switching in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction

- P18** V. Lauer, M. Schneider, T. Meyer, P. Pirro, F. Heussner, C. Dubs, B. Lagel, V. Vasyuchka, A. A. Serga, B. Hillebrands, and A. V. Chumak (Technische Universitat Kaiserslautern)
Auto-oscillations in YIG/Pt nanostructures driven by the spin Seebeck effect
- P19** J. Y. Kim, A. Okada, S. Miyakozawa, S. Kanai, F. Matsukura, I. Farrer, H. E. Beere, D. A. Ritchie, H. Ohno and A. Hirohata (University of York)
Development of Spin-Polarised Transistor
- P20** K. Ito, F. Takata, K. Kabara, M. Tsunoda, and T. Suemasu (Tohoku University)
Minority spin transport in epitaxially grown NiFe₃N and Ni₃FeN films
- P21** A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno (Tohoku University)
Spin-orbit torque induced switching of antiferromagnet/ferromagnet dots with various sizes
- P22** H. Gamou, M. Kohda, and J. Nitta (Tohoku University)
Current induced effective magnetic field in Ta/CoFeB/MgO structure with epitaxial Ta under layer
- P23** R. Ranjbar, K. Z. Suzuki, Y. Sasaki, L. Bainsla, and S. Mizukami (Tohoku University)
Perpendicular magnetization switching of MnGa/Pt film by spin-orbit torque
- P24** C. Zhang, S. Fukami, K. Watanabe, A. Ohkawara, S. DuttaGupta, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)
Spin-orbit torque induced magnetization switching in nanoscale W/CoFeB/MgO – Effect of sputtering condition of W
- P25** M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno (Tohoku University)
Homodyne-detected ferromagnetic resonance spectra of CoFeB with perpendicular easy axis under perpendicular magnetic fields

The 5th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: February 27 - 28, 2017

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

Organizers:

Symposium Chair

Michio Niwano, Tohoku Univ.

Program Committee

Takahiro Hanyuu, Tohoku Univ., Shigeo Sato, 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 27 (Monday)

13:30 -13:35 Opening Remarks

A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

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

13:35 -13:55 [S1-1] An analog/digital sub-conscious/conscious hybrid hardware prototype for a large-scale partial-update exponential chaotic tabu search

Y. Horio, T. Shinozaki, and M. Arai, Tohoku Univ., Japan

13:55 -14:25 [S1-2] An Evolvable and Configurable SIMD Architecture for Spiking Neural Emulation

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

14:25 -14:55 [S1-3] Nanoelectronics for brain emulation at the edge between noise and quantum information processing

E. Prati, National Research Council, Italy

14:55 -15:15 [S1-4] Hamiltonian change for quantum associative memory

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

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

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

15:30 -16:00 [S2-1] Specialisation and integration in the human brain - results from loudness related brain activation maps

S. Uppenkamp, O. Behler, Universität Oldenburg, Germany

16:00 -16:30 [S2-2] Modulatory effects of cortical oscillations on perception - a modelling study

P. Herman, Royal Institute of Technology, Sweden

16:30 -16:50 [S2-3] Regulation of neuronal synchrony by optimal deep brain stimulation

S. Kubota, J. Rubin, Yamagata Univ. Japan

16:50 -17:00 Break (10 min)

[P-1] Autoassociative Memory Using Non-volatile Analogue Magnetic Memory Device

S. Kurihara, H. Akima, W. A. Borders, S. Fukami, S. Moriya, A. Kurenkov, R. Shimohashi, Y. Horio, S. Sato, H. Ohno, Tohoku Univ., Japan

[P-2] Analog CMOS VLSI Implementation of Chaotic Boltzmann Machines

M. Yamaguchi, H. Tamukoh, H. Suzuki, T. Morie, Kyushu Institute of Technology, Japan

[P-3] Stacked Autoencoders with Shared Synapse Architecture for Digital Hardware Implementation

A. Suzuki, T. Morie, H. Tamukoh, Kyushu Institute of Technology, Japan

[P-4] Hardware Oriented Random Number Generation Method for Restricted Boltzmann Machines

S. Hori, T. Morie, H. Tamukoh, Kyushu Institute of Technology, Japan

[P-5] Throughput Analysis of a Data-Flow Reconfigurable Array Architecture for Convolutional Neural Networks

K. Ando, K. Ueyoshi, K. Orimo, M. Ikebe, S. Takamaeda-Yamazaki, T. Asai, M. Motomura, Hokkaido Univ., Japan

[P-6] Analyzing synchronized bursts in cortical neuronal networks

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

[P-7] An experimental study on spontaneous activity of a single neuron

K. Hattori, S. Kono, H. Yamamoto, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

[P-8] Unidirectional signal propagation in primary neurons micropatterned at a single-cell resolution

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

[P-9] In situ modification of cell-culture scaffolds by photocatalysis of visible-light-responsible TiO₂ film

S. Kono, K. Furusawa, S. Fujishiro, H. Yamamoto, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

[P-10] Toxicological responses in hiPS derived neuronal networks using MEA system

A. Odawara, N. Matsuda, I. Suzuki, Tohoku Univ., Japan

[P-11] Controlling modularity of cortical neuronal networks using micropatterned surfaces

K. Ide, H. Yamamoto, R. Matsumura, T. Tanii, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

[P-12] Functional connectivity in the mouse cortex estimated by partial correlation analysis of optical intrinsic signals

Y. Yoshida, M. Nakao, N. Katayama, Tohoku Univ., Japan

18:30 -20:30 Banquet

February 28 (Tuesday)

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

9:30 - 9:50 [S3-1] Microfabrication methods for neuroscience - from ion channels to synapses

A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

9:50 - 10:10 [S3-2] Noncanonnical mode of burst firing originated from distal axon

H. Kamiya, Hokaido Univ., Japan

10:10 -10:30 [S3-3] Microglia disrupt synapse E/I balance in epilepsy

R. Koyama, Univ. Tokyo, Japan

10:30 -10:45 Break (15 min)

--- Session 4 (Chair: A. Hirano-Iwata) ---

10:45 -11:05 [S4-1] Intra-cortical neural stimulator for sensory prostheses

Y. Hayashida, Y. Umehira, H. Ymazaki, T. Yagi, Osaka Univ., Japan

11:05 -11:35 [S4-2] Collective dynamics in neuronal cultures: Activity patterns, propagation, and resilience

J. Soriano, Univ. Barcelona, Spain

11:35 -11:55 [S4-3] Synchronization in neuronal networks with modular geometry

H. Yamamoto, T. Tanii, S. Kubota, S. Sato, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

11:55 -12:00 Closing Remarks

S. Sato, Tohoku Univ., Japan



RIEC
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

8th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

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

Organized by

**Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

Co-Organized by

Nano-Spin Engineering Seminar

Cooperative Research Projects

Information Biotronics Seminar

Cooperative Society

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

March 6-7, 2017

Sendai, Japan

8th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

March 6-7, 2017

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

Organizer:

Symposium Chairs

Michio Niwano, Tohoku Univ.

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Program Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Organizing Committee

Ayumi Hirano-Iwata, Tohoku Univ.

Teng Ma, Tohoku Univ.

Daisuke Tadaki, Tohoku Univ.

Program

March 6 (Monday)

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

9:00 ~ 9:05 Opening Remarks
Michio Niwano (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan)

(Chair: Ayumi Hirano-Iwata)

9:05 ~ 9:20 History of the workshop
Michio Niwano (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan)

9:20 ~ 10:00 Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications
Patrik Schmuki (Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Martensstrasse 7, 91058 Erlangen, Germany)

10:00 ~ 10:30 A Novel Structure for Membrane Devices Consisting of Atomic and Molecular Sheets and Two-Dimensional Nanoparticle-Arrays
Toshio Ogino, Naotoshi Sakaguchi, Ryosuke Kimura, Akiko Isobe, Daisuke Mashiyama, Yasuo Kimura and Ayumi Hirano-Iwata (¹Yokohama National University, ²Tokyo University of Technology, ³Tohoku University)

10:30 ~ 10:40 Coffee break

(Chair: Patrik Schmuki)

10:40 ~ 11:20 The impact of electrolyte composition on electrochemical detection of nanoparticles
Kay Krause¹, Pedro G. Figueiredo², Leroy Grob², Philipp Rinklin², and Bernhard Wolfrum^{1,2} (¹Institute of Bioelectronics (PGI-8/ICS-8), Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany. ²Neuroelectronics, Munich School of Bioengineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Technical University of Munich (TUM), Germany)

11:20 ~ 11:50 Optical pump-probe STM for nanoscale science
Hidemi Shigekawa (Faculty of pure and applied sciences, University of Tsukuba, Japan)

11:50 ~ 13:00 Lunch

(Chair: Bernhard Wolfrum)

- 13:00 ~ 13:40 Nanoporous Lipid Membranes: Optical and Electrochemical Sensing Platforms
Craig A. Aspinwall (Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arizona, Tucson, USA)
- 13:40 ~ 14:10 Microfabrication techniques for ion-channel studies (tentative)
Ayumi Hirano-Iwata (Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan)
- 14:10 ~ 14:20 Coffee break
- (Chair: Teng Ma)
- 14:20 ~ 14:50 Fabrication of self-organized microstructures of GaAs using sphere lithography and wet etching
Sachiko Ono and Hidetaka Asoh (Department of Applied Chemistry, Faculty of Advanced Engineering, Kogakuin University, Japan)
- 14:50 ~ 15:20 Emerging Functions of Nanostructured Silicon
Nobuyoshi Koshida (Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agri. & Tech., Japan)
- 15:20 ~ 15:40 Noble-Metal-Free Photocatalytic Hydrogen Evolution Activity: Defect Engineering in TiO₂ Nanotubes
Xuemei Zhou (Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Germany)
- 15:40 ~ 15:50 Coffee break
- (Chair: Daisuke Tadaki)
- 15:50 ~ 16:20 Numerical Study on Stochastic Resonance in a Single-Electron Hysteretic Inverter
Yoshinao Mizugaki and Tran Thi Thu Huong (The University of Electro-Communications, Japan)
- 16:20 ~ 17:10 Development of the Nerve Cell Network High Throughput Screening Devices
Tsuneo Urisu (Nagoya University, Japan)
- 17:10 ~ 17:30 Room-temperature atomic layer deposition for anticorrosion coatings
K. Kanomata, M. Ishikawa, M. Miura, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

March 7 (Tuesday)

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

(Chair: Craig A. Aspinwall)

- 9:00 ~ 9:40 Sub-cellular imaging of arrayed stem cells
Maurits de Planque (Electronics and Computer Science & Institute for Life Sciences, University of Southampton, United Kingdom)
- 9:40 ~ 10:10 The design of bilayer lipid membranes as a platform for channel-based biosensing
Masao Sugawara (College of Humanities and Sciences, Nihon University, Japan)
- 10:10 ~ 10:40 Nanogap-junction with a fluid lipid bilayer for selective biosensing
Kenichi Morigaki (Kobe University, Japan)
- 10:40 ~ 10:50 Coffee break

(Chair: Maurits de Planque)

- 10:50 ~ 11:20 Room-temperature atomic layer deposition for nano particles and their applications to electronic devices
F. Hirose, K. Kikuchi, K. Kanomata, M. Miura, B. Ahmmad, S. Kubota (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)
- 11:20 ~ 11:50 Effect of chemical stimulation to morphology of artificial cell membrane systems
Ryugo Tero (Department of Environmental and Life Sciences, Toyohashi University of Technology, Japan)
- 11:50 ~ 12:20 Artificial lipid bilayers: from single molecule imaging to drug screening
Saki Nomura¹, Minako Hirano², Hiroaki Yokota², Junya Ichinose¹ and Toru Ide¹
(¹Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, ²The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries, Japan)