

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10号**

**Research Report No.10
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

2015

施設研究報告書 2015

目次

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 1. | 施設の概要 | 1 |
| 2. | 施設の組織 | 2 |
| 3. | 平成 26 年度の研究成果のハイライト | 3 |
| 4. | 施設の活動 | 8 |
| 4-1 | 国際研究拠点形成 | 8 |
| 4-2 | 国際シンポジウム | 9 |
| 5. | 研究成果（平成 26 年度） | 13 |
| 5-A | ナノ集積基盤技術関連 | 13 |
| 5-B | 半導体スピントロニクス基盤技術関連 | 59 |
| 5-C | ナノ分子デバイス基盤技術関連 | 153 |
| 6. | 参考資料 | 201 |
| 6-1 | 施設のクリーンルームと装置の概要 | 203 |
| 6-2 | 施設の利用状況（平成 26 年度） | 211 |
| 6-3 | ナノ・スピン工学研究会 | 216 |
| | 国際シンポジウムプログラム | 219 |

Annual Research Report 2015

Table of Contents

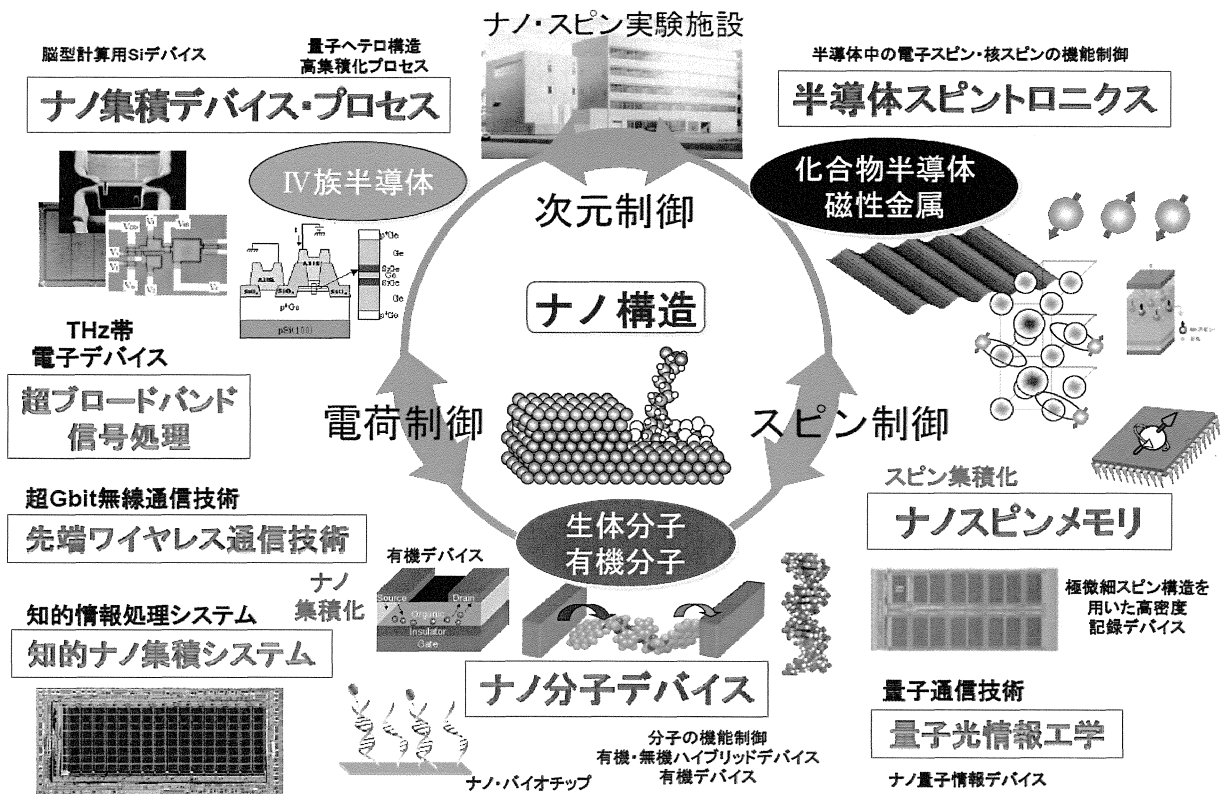
| | | |
|-------|--|-----|
| 1 . | Outline | 1 |
| 2 . | Organization | 2 |
| 3 . | Highlights of Research in FY2014 | 3 |
| 4 . | Global Activities | 8 |
| 4 – 1 | COE of International Research Collaboration | 8 |
| 4 – 2 | International Symposium | 9 |
| 5 . | Research Abstracts | 13 |
| 5 – A | Nano integration | 13 |
| 5 – B | Semiconductor Spintronics and information technology | 59 |
| 5 – C | Nano-Molecular Devices | 153 |
| 6 . | Miscellaneous | 201 |
| 6 – 1 | Facilities and Equipments | 203 |
| 6 – 2 | Statistics | 211 |
| 6 – 3 | Nano-Spin Seminar Series | 216 |
| | Program of International Symposium | 219 |

1. 施設の概要

Outline

ナノ・スピン実験施設

～情報通信を支えるナノ・スピン基盤技術の創生～



「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員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」が推進するナノヘテロプロセス、半導体スピントロニクス、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施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理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 庭野 道夫

2. 施設の組織

Organization

施設長 Director
 教授 庭野 道夫 Michio Niwano

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
 非常勤研究員 西村容太郎 Youtaro Nishimura



運営委員会 Steering Committee
 教授 庭野 道夫 Michio Niwano
 教授 大野 英男 Hideo Ohno
 教授 佐藤 茂雄 Shigeo Sato
 教授 尾辻 泰一 Taiichi Otsuji
 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 末光 眞希 Maki Suemitsu
 教授 羽生 貴弘 Takahiro hanyu

拡大実行委員会 Extended Executive Committee
 施設教授 庭野 道夫 Michio Niwano
 施設教授 大野 英男 Hideo Ohno
 施設教授 佐藤 茂雄 Shigeo Sato
 教授 尾辻 泰一 Taiichi Otsuji

3. 平成 26 年度の研究成果のハイライト

Highlights of Research in FY2014

施設研究部と利用研究室の平成 26 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) 量子ナノデバイスの実現を目的として、単一原子を操作しうる水素レジストを用いた STM リソグラフィに関する研究を行った。溶存酸素濃度を低減した NH₄F 水溶液により水素終端された Si 表面において、STM 探針からの電子注入により水素脱離を確認した。その結果、バイアス電圧 3.1V 以上で水素脱離が引き起こされること、注入電流と脱離面積が比例することなどを明らかにした。

(2) 基板非加熱 ECR プラズマ CVD による Si(100)上への歪 SiGe 混晶のエピタキシャル成長について実験研究を進め、Ge 比率とともに増加する SiH₄ と GeH₄ の反応速度定数は、原料ガス分圧領域によって増加傾向がことなることを見いだした。また、これまでより原料ガス分圧を小さくすることにより、X 線回折ピーク強度の増大とともに明瞭なフリンジ状の干渉模様が観察され、表面・界面の平坦性・急峻性を有する Si/歪 SiGe 混晶/Si ヘテロ構造のエピタキシャル成長が可能なのことがわかった。

(3) 運動立体視による空間認識システムの構築を目的として、その第一ステップである局所運動検出を行う LSI を設計した。スループット向上のために 3 段パイプラインを構築し、動作周波数 100 MHz でフレームレート 70 fps が得られることを RTL (Register Transfer Level) シミュレーションにより確認した。

(1) Toward the integration of quantum nano-devices, we have studied on STM lithography using hydrogen resist for manipulation of a single atom. We confirmed desorption of hydrogen atoms on a hydrogen-terminated Si surface, which was obtained by a treatment in a NH₄F aqueous solution with low dissolved oxygen concentration, by injecting electrons from an STM tip. As a result, we have found that desorption of hydrogen atoms occurs for a bias voltage larger than 3.1V, and also that the area of desorption is proportional to the injection current.

(2) Epitaxial growth of strained SiGe alloy on Si(100) using low-energy ECR plasma CVD without substrate heating has been studied. It is found that increasing tendency of reaction rates for SiH₄ and GeH₄ with increase of Ge fraction is dependent on partial pressure region. Moreover, it is found that epitaxial growth of a Si / strained SiGe alloy / Si heterostructure with superior flatness and abruptness of surface and interface can be realized in the smaller partial pressure region.

(3) As a first step to develop a spatial perception system by using motion-stereo vision, we have designed an LSI in which local-motion is detected. We have confirmed by RTL (Register Transfer Level) simulation that the frame rate of 70 fps in 100 MHz operation can be achieved combined with a 3-stage pipeline.

● 知的ナノ集積システム（中島康治）

Intelligent Nano-Integration System (K.Nakajima)

(1) 提案した高速数値解析を実現する逆関数ゼロ遅延ニューロモデルと DS-Net との組み合わせにより、それを TSP-LIB 中の問題に適用して 51 都市問題までの解析に成功した。また QAP へも

適用しこの問題に対しても 100%の正解率を達成した。(2) 逆関数ゼロ遅延モデルを逆伝搬学習に適用して高い成功率を実現し、それが学習時における極小値からの脱出に相当することを解析的に示した。(3)超伝導量子干渉デバイスによるシュミットトリガーインバーターを構成し、その動作特性を実測により確認した。

(1) We proposed an inverse function delay-less (IDL) model for high speed numerical calculation of artificial neural networks, and we combined the model with a DS-Net and succeeded to apply to some problems in TSP-LIB with up to 51 cities. (2) We applied an IDL model to back propagation (BP) learning with higher success rate and succeeded to analyze the dynamical operation to explain the solving of local minimum problems in the BP learning. (3) We fabricated a superconducting Schmitt trigger inverter and demonstrated successfully a relaxation oscillator using the inverter.

半導体スピントロニクス基盤技術関連

Semiconductor Spintronics and Information Technology

● 半導体スピントロニクス・ナノスピンメモリ (大野英男)

Semiconductor Spintronics and Nano-Spin Memory (H. Ohno)

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への応用を目的として研究を行い、以下の成果を得た。(1) 強磁性半導体(Ga,Mn)As に Li を共添加することにより格子位置 Mn の固溶度を上昇させ、これ迄で最高の磁化の大きさを持つ(Ga,Mn)As を作製した。(2) 強磁性半導体(Ga,Mn)Sb の電気伝導率とホール伝導率の関係は(Ga,Mn)As のものと異なることを明らかにした。(3) 直径 40 nm の垂直磁化容易 CoFeB-MgO 磁気トンネル接合(MTJ)において、2 段パルスによる電界と電流を併用することによる高速・低消費電力・信頼性の高い磁化反転手法を提案・実証した。(4) CoFeB/MgO/CoFeB 構造を有する直径 35 nm から 100 nm の微細 MTJ の磁気特性を強磁性共鳴法により調べ、見かけのダンピング定数が素子の微細化とともに増大することを示した。(5) 世界最小となる直径 11 nm までの 2 重 CoFeB-MgO 界面を有する垂直磁化容易磁気トンネル接合の熱安定性と閾値電流のサイズ依存性を明らかにした。(6) 幅 20 nm までの磁壁移動素子において、素子の不揮発性を維持しながら微細化によって書き込み動作特性を向上させられることを実証した。

連携研究

1. 文部科学省「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」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) MgO-CoFeB-Ta 構造において、CoFeB 膜厚、Ta 膜厚、熱処理条件により、CoFeB 中の B 組成を制御することで、CoFeB 膜の磁気特性を制御できることを明らかにした。(2) Ta/CoFeB/MgO 接合において、エックス線磁気円二色性を用いて Fe と Co それぞれの磁気異方性への寄与を調べ、垂直磁気異方性は接合界面の Fe が担っていることを明らかにした。(3) CoFeB/MgO/CoFeB 構造を有する直径 40 nm の垂直 MTJ の磁気異方性の直流バイアス電圧依存性を電界誘起強磁性共鳴により調べ、電界による磁気異方性変調は界面磁気異方性の変調によるものであることを示し、その変調量を決めた。(4) Ta/CoFeB/MgO を含む電界効果素子のゲート電圧印加下での磁気特性をマイクロ波磁界誘起の強磁性共鳴により調べ、電界による磁気異方性変調は界面磁気異方性の変調によるものであるという(3)と同様の結果を得た。

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を用いた分散型 IT システム」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) CoFeB-MgO 細線における電流および磁界誘起の磁壁クリープを測定し、電流と磁界の場合で異なる Universality class に属することを明らかにした。(2) 2重 CoFeB-MgO 界面構造を有する垂直磁化容易磁気トンネル接合において、半導体標準後工程で必要となる 400 度の熱処理耐性の実証に成功した。

Our research activities focus on the establishment of fundamental technologies for future spintronics devices. The outcomes in the last fiscal year are following. (1) Preparation of (Ga,Mn)As with large magnetization by codoping with Li. (2) Demonstration of different relationship between electrical conductivity and Hall conductivities of (Ga,Mn)Sb from that of (Ga,Mn)As. (3) Demonstration of a scheme for magnetization switching in magnetic tunnel junctions (MTJs) with two successive voltage pulses to utilize both spin-transfer torque and electric field effect. (4) Clarification of the junction size dependence of magnetic properties of a CoFeB free layer in CoFeB-MgO based MTJs from 35 nm to 100 nm in diameter by homodyne-detected ferromagnetic resonance. (5) Clarification of junction size dependence of thermal stability factor and intrinsic critical current in perpendicular-anisotropy MTJs with double CoFeB-MgO interface down to world's smallest junction diameter of 11 nm. (6) Demonstration of enhanced thermal stability and writing properties of domain wall-motion device with decreasing the dimensions down to 20 nm.

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 for Next-Generation Information Technology of MEXT. (1) Demonstration of controlling B composition, and thus magnetic properties of CoFeB film in MgO-CoFeB-Ta stack by changing CoFeB and Ta thicknesses as well as annealing condition. (2) Clarification of origin of magnetic anisotropy in Ta/CoFeB/MgO junction by x-ray magnetic circular dichroism. (3) Determination of electric-field modulation ratio of magnetic anisotropy in CoFeB-MgO MTJ by homodyne-detected ferromagnetic resonance and (4) X-band ferromagnetic resonance.

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 CAO. (1) Determination of universality classes of current- and external magnetic field- induced domain wall motion in CoFeB/MgO wire. (2) Demonstration of perpendicular-anisotropy MTJs with double CoFeB-MgO interfaces having capability to withstand annealing at 400°C required for standard back-end-of-line process.

● 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)

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、新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と、それらを応用した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、単原子層炭素材料: グラフェンを利得媒質とする新原理テラヘルツレーザーを提案し、増幅自然放出ならびに誘導放出の室温観測に成功するとともに、表面プラズモンポラリトンによる巨大利得増強作用を理論的に発見し、実験実証にも成功した。また、プラズモン共鳴を原理とする超高感度・低雑音テラヘルツ波検出デバイスの開発を推進し、自ら達成した室温世界最高感度特性をもとに周波数依存性理論モデルの実験実証に成功した。

The goal of our research is to explore the terahertz frequency range by creating novel electron devices and systems. 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. First, we theoretically discovered and experimentally verified the giant THz gain of the surface plasmon polaritons in population-inverted graphene. We also experimentally verified the amplified-spontaneous and stimulated THz emission in optically pumped graphene at room temperature. Second, we developed plasmon-resonant THz

emitters/detectors, verifying the validity of the physical modeling for the frequency dependence of the detection sensitivity by using experimental results including the record-breaking sensitivity at room temperature.

● 量子光情報工学（枝松圭一・三森康義）

Quantum-Optical Information Technology (K. Edamatsu and Y. Mitsumori)

1. 量子測定における誤差と擾乱の不確定性関係の実験的検証

量子測定における、ある物理量の測定誤差と他の物理量の擾乱との間の不確定性関係は、量子論の本質的性質であるのみならず、量子計測、量子通信への応用上も重要な意味をもつ。本研究室では、光子の偏光の一般化測定における誤差・擾乱の不確定性関係を検証する実験研究を行い、ハイゼンベルクの誤差・擾乱の関係式が破れ、近年新たに提唱された関係式（小澤の不等式およびブランシアードの不等式）が成立していることを明らかにした。また、ハイゼンベルクの不等式の成立条件について検証した。

2. 半導体量子ドットの超高速コヒーレント制御

半導体量子ドット中の電子状態のラビ振動によるコヒーレント制御法の開発は量子情報処理を目指す固体デバイスを実現する上で必要不可欠な技術開発である。本年度は、単一量子ドット中の励起子分極に対して共鳴発光を測定することにより、励起子ラビ振動を観測し、量子ドットの新しい光学効果である局所電場効果を観測した。

1. We are experimentally investigating error-disturbance uncertainty relations in quantum measurements. We have demonstrated in photon polarization measurement that the Heisenberg error-disturbance uncertainty relation (EDR) is violated while the EDRs proposed by Ozawa and Branciard hold. We also have examined the condition in which Heisenberg relation is attained.

2. We have investigated the excitonic Rabi oscillations in semiconductor quantum dots using a single dot spectroscopy for the development of the optical coherent manipulation of the electric states in the quantum dots. We have observed the interesting behavior of the Rabi oscillations arising from the longitudinal electric field effect of the excitonic polarization in a quantum dot.

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. 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

新しく開発した溶剤蒸気雰囲気下塗布法により、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することに成功した。この構造体を太陽電池に応用することにより短絡電流とシリーズ抵抗を大幅に改善できた。(Mater. Res. Express 誌に発表)。

この有機・無機ハイブリッドナノ構造形成法は、今後、太陽電池ばかりでなく大容量コンデンサやガスセンサにも応用可能である。

2. 電気化学有機トランジスタ (OECT) の特性向上に関する研究

有機ポリマーP3HT とイオン液体からなる電気化学有機トランジスタを作製し、P3HT 薄膜形成時のアニーリング温度とアニーリング履歴が薄膜の結晶性とトランジスタの特性に与える影響を詳細に調べた。アニーリング温度を P3HT のガラス点付近まで上げ、更に冷却速度を下げることで、P3HT 薄膜の結晶性が良くなり、P3HT OECT の特性も向上することが分かった。(ECS 226th meeting で発表)。

3. 視覚野神経回路におけるシナプス組織化に関する研究

フィードフォワード、フィードバック結合を含んだ視覚系神経回路のモデルを構築し、臨界期の開始と終了がどちらもフィードフォワード結合の発達によりもたらされることを示した。フィードバック結合は臨界期の開始や終了に関わらない細胞に関連があることを示した。単眼遮蔽のシミュレーションによりフィードフォワード結合が大きくなるほど結合強度の大小関係の逆転が起こらなくなることでその原因を発火統計から示し、臨界期の終了の原因がフィードフォワード結合の発達によることを示した。これらの成果は一次視覚野のみならず神経回路の発達の研究を考える上で有用な考えとなり、神経科学の発展に大いに寄与するものと期待される。(Neurocomputing 誌等に発表)。

1. Fabrication of polymer/TiO₂-nanotube-based hybrid structures: The incomplete infiltration and non-uniform coating of polymer material in inorganic nanostructures have hindered the applications of hybrid nanostructure. In this work, a novel solvent-vapor-assisted coating (SVAC) method is proposed for uniform coating of polymers in inorganic nanostructure. Hybrid solar cells, made by filling the tube-in-tube structure with hole transporting material, produced drastically improved short circuit current and serial resistance. (Mater. Res. Express)

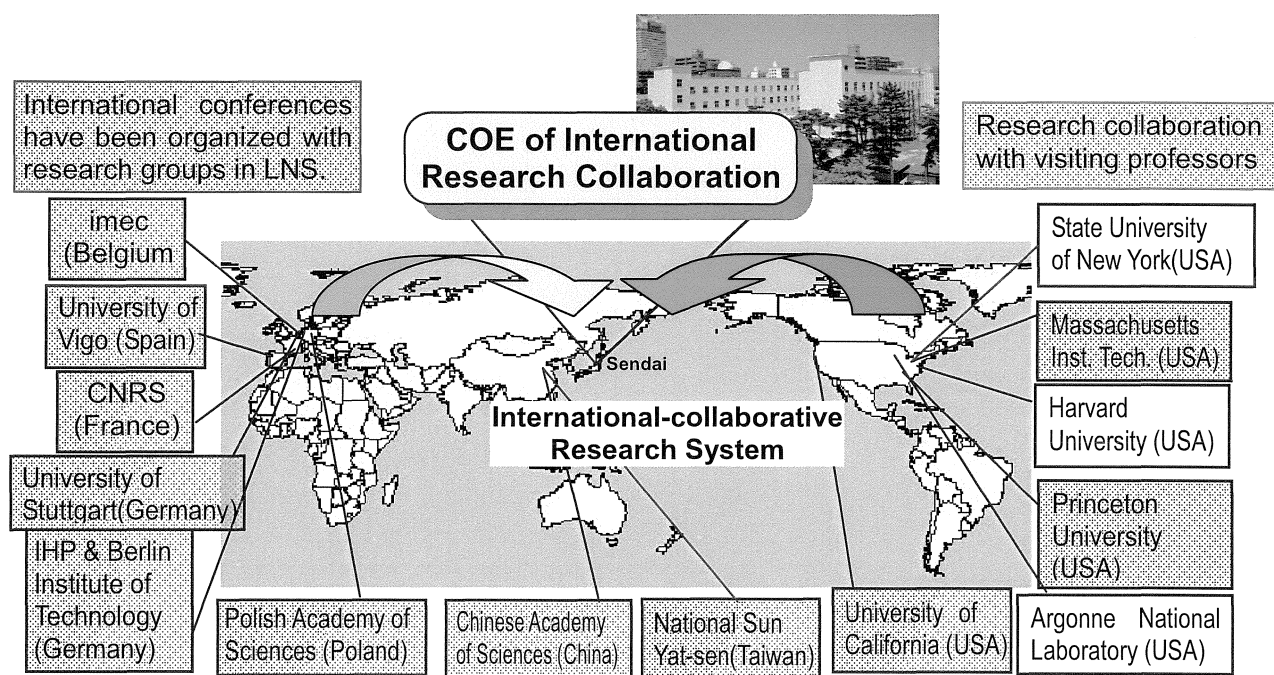
2. Improvement of Electrical Characteristic of P3HT Organic Electrochemical Transistors (OECTs) with Ionic Liquid: We fabricated P3HT OECTs with an ionic liquid by varying conditions of annealing, and investigated effects of annealing temperature and process on the P3HT crystallinity and the characteristics of P3HT OECTs. We found that increasing a crystallinity of an organic active layer by slow cooling in annealing process is crucial to improving electrical characteristic of OECTs.

3. The onset and closure of critical period plasticity regulated by feedforward inhibition: Synaptic circuits are highly sensitive to sensory experience during a critical period in early development. The maturation of GABA inhibition in the visual cortex is suggested to be required for both the onset and closure of the critical period for ocular dominance (OD) plasticity, although the underlying mechanism is unclear. This study examines a model of a visual cortical cell to investigate the mechanism by which inhibitory pathway regulates OD plasticity, through the competition between the groups of correlated inputs from two eyes. (Neurocomputing 143, 261 (2014))

4. 施設の活動

4-1 ナノエレクトロニクス国際共同研究拠点の創出

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)

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)

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

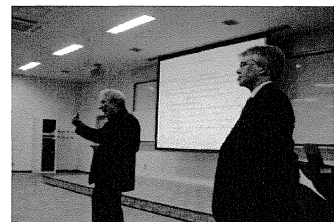
(第1回: 2009年10月22-23日)

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)



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57回電気通信研究所国際シンポジウム

第12回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

12th RIEC International Workshop on Spintronics

大野 英男
Hideo OHNO

開催日: 平成26年6月25日(水曜日)~27日(金曜日)(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12回目の開催である。毎回、国内外からスピントロニクス分野の第一線で活躍する研究者が最新の研究成果を発表した。我が国を始め、アメリカ、フランス、イギリス、スイス、チェコ、スウェーデン、カナダ、韓国、シンガポールから17件の招待講演と27件のポスター発表がなされた。

今回開催されたワークショップでは、スピン軌道相互作用を介した諸現象が一つの大きなテーマであった。スピン軌道相互作用が強い系では、電気伝導によって特徴的なスピンの流れや蓄積が生じる。10年程前は主に半導体において低温で観測される微小な効果であったが、室温でのナノ磁性金属の磁化の制御までここ数年で急激に進展した。講演は、深い物理と同時に応用の可能性を強く感じさせるものとなった。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 61 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 3 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 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

佐藤 茂雄
Shigeo SATO

開催日：平成 27 年 2 月 18 日（水）～19 日（木）（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。今回が三回目であり、平成 27 年 2 月 18 日、19 日の 2 日間に渡って開催された。アメリカ、スペイン、スウェーデンの 3 か国から 4 名の海外招待講演者を迎え、計 19 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 64 回電気通信研究所国際シンポジウム

第 9 回バイオ・医療・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム、 第 6 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 The Joint Symposium of 7th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, 4th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

庭野 道夫
Michio NIWANO

開催日：平成 27 年 3 月 2 日（月曜日）～4 日（水曜日）（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

ナノ構造とその応用に関するセッションでは、ナノチューブやナノカーボンなどのナノ構造体について、その形成技術や構築した構造体の評価、太陽電池やガスセンサーなどへのデバイス応用についての講演が行われ、活発な討論が繰り広げられた。バイオメディカルセッションでは、微細加工技術のバイオ応用やメディカル応用に関する最新の研究成果が発表された。脂質二分子膜に包埋したチャンネルタンパクを用いたセンサーや、固体基板上への細胞ネットワークの構築技術、

超音波を用いたイメージング技術や新規ケミカルバイオロジー等、幅広い分野にまたがる発表がなされ、この分野の発展性と将来性を強く感じさせるセッションとなった。また、本シンポジウムではナノエレクトロニクスとバイオのような異分野の研究者間の交流も活発に行われた。このような異分野交流により、今後のブレークスルーが生み出されるものと期待される。

アメリカ、カナダ、ドイツ、イギリス、台湾、韓国、そして日本からの計21件の招待講演が行われ、3日間ののべ参加人数は136名であった。この合同シンポジウムは次年度も開催予定である。

5. 研究成果（平成 26 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 知的ナノ集積システム（中島康治）
Intelligent Nano-Integration System
(K.Nakajima)

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, T. Yoshida, "Measurement of large low-order aberrations by using a series of through-focus Ronchigrams", *Microscopy*, 63, 4, 325-332, 2014.
2. S. Sato, H. Akima, K. Nakajima, M. Sakuraba, "Izhikevich neuron circuit using stochastic logic", *Electronics Letters*, Vol.50, 1795-1797, 2014.

【国際会議発表】

1. H. Akima, Y. Katayama, K. Nakajima, M. Sakuraba and S. Sato, "Majority neuron circuit having large fan-in with non-volatile synaptic weight", Proc. 2014 Int. Joint Conf. on Neural Networks

(IJCNN 2014), pp.4266-4271, Beijing, China, Jul. 6-11, 2014.

2. N. Ueno, M. Sakuraba and S. Sato, "Epitaxial Growth of Si/Strained Si_{1-x}Ge_x Heterostructure on Si(100) by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating", 15th Int. Union of Mat. Res. Soc.- Int Conf. in Asia 2014 (IUMRS-ICA 2014), Fukuoka, Japan, Aug. 24-30, 2014, Abs.No.D5-O26-003.
3. N. Ueno, M. Sakuraba and S. Sato, "Surface Reaction in Thin Film Formation of Si_{1-x}Ge_x Alloys on Si(100) by Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition without Substrate Heating", Proc. Symp. P7: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 6, Cancun, Mexico, Oct. 6-9, 2014 (ECS Trans., Vol.64, No.6, Edited by D. L. Harame, M. Caymax, M. Heyns, G. Masini, S. Miyazaki, G. Niu, A. Reznicek, K. C. Saraswat, B. Tillack, B. Vincent, Y. C. Yeo, A. Ogura, J. Murota, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2014), pp.99-105: Abs. 226th Electrochem. Soc. Meeting, Abs.No.1768.
4. N. Ueno, M. Sakuraba and S. Sato, "Influence of Partial Pressures upon Rate Coefficients of SiH₄ and GeH₄ in ECR Ar Plasma CVD of Si_{1-x}Ge_x on Si(100) without Substrate Heating", 8th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration", Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 29-30, 2015, Abs.No.P-10.
5. M. Sakuraba and S. Sato, "Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition for Group-IV Semiconductor Quantum-Heterostructure" (Invited Paper), Energy Materials Nanotechnology (EMN) Meeting on Photovoltaics, Abs.No.A13, Orlando, Florida, Jan. 12-15, 2015.
6. S. Sato, M. Kinjo, K. Nakajima, H. Akima, M. Sakuraba, "Quantum neural network and its application to optimization problems", The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, S6-3, Sendai, Japan, Feb. 18-19, 2015.
7. H. Akima, S. Moriya, S. Kawakami, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, "VLSI implementation of neural network model in local motion detection in motion stereo vision", The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, P-12, Sendai, Japan, Mar. 2-3, 2015.
8. N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, "Study on Surface Reaction in ECR Ar Plasma CVD of SiGe Alloy on Si(100) without Substrate Heating", Joint Symp. of 9th Int. Symp on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 6th Int. Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Mar. 2-4, 2015, Abs.No.P-1.

A2 知的ナノ集積システム (中島康治)

Intelligent Nano-Integration System (K. Nakajima)

1. 集積化ニューラルネットワークの基本構成と学習性能に関する研究
Research for basic architectures of LSI neural networks and their learning efficiency
集積化ニューラルネットワークを用いた知的情報処理システムの構成法を追究し、その学習性能を評価・解析して性能向上を図る。
This research is concerned with the design of intelligent information processing systems constructed of LSI neural networks. The fabricated LSI neural networks are analyzed and evaluated to improve the learning efficiency.
2. 逆関数遅延ネットワークモデルに関する研究
Research for inverse function delayed network models
アクティブニューロンモデルである ID モデルを用いて、知的情報処理システムを目指す。
This research is concerned with the development of the intelligent processing system by using ID models which are active neuron models.
3. ニューロ的手法を利用した量子計算機に関する研究
Research for neuromorphic quantum computer
ニューロ的手法を利用した量子計算アルゴリズムの開発と、その固体素子への実装を図る。
This research is concerned both with the development of a new neuromorphic quantum computation algorithm and its implementation with solid state devices.
4. 超伝導位相モード集積回路に関する研究
Research for superconducting phase-mode LSI
磁束量子を情報担体とする超伝導集積回路で構成した新しい計算機システムを開発する。
This research is concerned with the development of new computer systems constructed of superconducting LSI circuits where single flux quanta are used as information bit carriers.

【国際会議発表】

1. Yuta Horiuchi, Yoshihiro Hayakawa, Takeshi Onomi, and Koji Nakajima, "Back Propagation Learning Based on an IDL Model", Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Luzern, Switzerland, Sep. 17, 2014.
2. Chunyu Bao, Takeshi Onomi, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato, and Koji Nakajima, "Performance Analysis of Bidirectional Associative Memories by Using the Inverse Function Delay-less Model", Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Luzern, Switzerland, Sep. 17, 2014.
3. Takeshi Onomi, "Relaxation Oscillator Using Superconducting Schmitt Trigger Inverter", Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Luzern, Switzerland, Sep. 17, 2014.
4. Koji Nakajima, "Family of Inverse-function Delayed Model as an Active Neural Network and Its Implementation on FPGA", CNSE and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing/Nanotechnology for Ultralarge Scale Integration," at imec in Leuven, Belgium, November 13-14 2014.
5. K. Nakajima, "Over View from Josephson Transmission Line to SFQ Logic Circuit and Inverse Function Delay-Less Model", Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2014,

pp.8-9, Ookubo Sannomiya Japan, Dec. 2014.

6. K. Nakajima, “Inverse-function Delay-Less Model as an Active Neural Network, The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer”, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, February 18-19, 2015.
7. S. Shinagawa, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, “Mitigation of degrading with weight quantization in deep neural networks”, The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, February 18-19, 2015.
8. Y. Horiuchi, Y. Hayakawa, K. Nakajima, “Neural network learning using velocity amplitude function”, The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, February 18-19, 2015.
9. Yuta Horiuchi, “Removal of Local Minima from Back Propagation Learning in IDL Model”, The 2nd International Symposium on Brainware LSI, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, March 2-3, 2015.

5 B 半導体スピントロニクス基盤技術関連

Semiconductor Spintronics and Information Technology

B1 半導体スピントロニクス (大野英男)

Semiconductor Spintronics
(H. Ohno)

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)

B3 量子光情報工学 (枝松圭一・三森康義)

Quantum-Optical Information Technology
(K. Edamatsu and Y. Mitsumori)

B1 半導体スピントロニクス (大野英男)

Semiconductor Spintronics

(H. Ohno)

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. 半導体スピントロニクスに関する研究

Semiconductor 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「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」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を用いた分散型 IT システムに関する研究

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を用いた分散型 IT システム」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. D. Kobayashi, Y. Kakehashi, K. Hirose, S. Onoda, T. Makino, T. Ohshima, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Sato, E.C. Enobio, T. Endoh, and H. Ohno, "Influence of Heavy Ion Irradiation on Perpendicular-Anisotropy CoFeB-MgO Magnetic Tunnel Junctions," IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 61, pp. 1710-1716, April 2014.
2. Y. Yoshimura, T. Koyama, D. Chiba, Y. Nakatani, S. Fukami, M. Yamanouchi, H. Ohno, K. Kim, T. Moriyama, and T. Ono, "Effect of spin Hall torque on current-induced precessional domain wall motion," Applied Physics Express, Vol. 7, pp. 033005, May 2014.
3. H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure with low intrinsic critical current and high thermal stability," Journal of the Magnetism Society of Japan, Vol. 38, pp. 56-60, May 2014.
4. M. Hayashi, J. Kim, M. Yamanouchi, and H. Ohno, "Quantitative characterization of the spin-orbit torque using harmonic Hall voltage measurements," Physical Review B, Vol. 89, pp. 144425, May 2014.
5. J. Kim, J. Sinha, S. Mitani, M. Hayashi, S. Takahashi, S. Maekawa, M. Yamanouchi, and H. Ohno, "Anomalous temperature dependence of current-induced torques in CoFeB/MgO heterostructures with Ta-based underlayers," Physical Review B, Vol. 89, pp. 174424, May 2014.
6. S. Kanai, Y. Nakatani, M. Yamanouchi, S. Ikeda, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization switching in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction by combining spintransfer torque and electric field-effect," Applied Physics Letters, Vol. 104, pp. 212406, May 2014.
7. S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Properties of (Ga,Mn)As codoped with Li," Applied Physics Letters, Vol. 104, pp. 222408, June 2014.
8. H.W. Chang, S. Akita, F. Matsukura, H. Ohno, "Electric-field effects on magnetic properties of molecular beam epitaxially grown thin (Ga,Mn)Sb layers," Journal of Crystal Growth, Vol. 401, pp. 633-635, July 2014.
9. A. Okada, S. Kanai, M. Yamanouchi, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effects on magnetic anisotropy and damping constant in Ta/CoFeB/MgO investigated by ferromagnetic resonance," Applied Physics Letters, Vol. 105, pp. 052415, August 2014.
10. H. Sato, E.C.I. Enobio, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Properties of magnetic tunnel junctions with a MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure down to junction diameter of 11 nm," Applied Physics Letters, Vol. 105, pp. 062403, August 2014.
11. J. Torrejon, J. Kim, J. Sinha, S. Mitani, M. Hayashi, M. Yamanouchi, H. Ohno, "Interface control of the magnetic chirality in CoFeB/MgO heterostructures with heavy-metal underlayers," Nature Communications, Vol. 5, pp. 4655, August 2014.

12. K. Kinoshita, H. Honjo, S. Fukami, H. Sato, K. Mizunuma, K. Tokutome, M. Murahata, S. Ikeda, S. Miura, N. Kasai, and H. Ohno, "Process-induced damage and its recovery for a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction with perpendicular magnetic easy axis," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 53, pp. 103001, September 2014.
13. S. Kanai, M. Gajek, D. C. Worledge, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric field-induced ferromagnetic resonance in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction under dc bias voltages," *Applied Physics Letters*, Vol. 105, pp. 242409, December 2014.
14. S. Fukami, M. Yamanouchi, S. Ikeda, and H. Ohno, "Domain Wall Motion Device for Nonvolatile Memory and Logic . Size Dependence of Device Properties," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 50, pp. 3401006, November 2014.
15. H. Honjo, S. Fukami, K. Ishihara, K. Kinoshita, Y. Tsuji, A. Morioka, R. Nebashi, K. Tokutome, N. Sakimura, M. Murahata, S. Miura, T. Sugibayashi, N. Kasai, and H. Ohno, "Material Stack Design With High Tolerance to Process-Induced Damage in Domain Wall Motion Device," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 50, pp. 1401904, November 2014.
16. S. Kanai, M. Tsujikawa, Y. Miura, M. Shirai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic anisotropy in Ta/CoFeB/MgO investigated by x-ray magnetic circular dichroism and first-principles calculation," *Applied Physics Letters*, Vol. 105, pp. 222409, December 2014.
17. H. Jarollahi, N. Onizawa, V. Gripon, N. Sakimura, T. Sugibayashi, T. Endoh, H. Ohno, T. Hanyu, and W.J. Gross, "A Nonvolatile Associative Memory-Based Context-Driven Search Engine Using 90 nm CMOS/MTJ-Hybrid Logic-in-Memory Architecture," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Vol. 4, pp. 460-474, December 2014.
18. R. Hiramatsu, K. Kim, T. Taniguchi, T. Tono, T. Moriyama, S. Fukami, M. Yamanouchi, H. Ohno, Y. Nakatani, and T. Ono, "Localized precessional mode of domain wall controlled by magnetic field and dc current," *Applied Physics Express*, Vol. 8, pp. 023003, January 2015.
19. E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Ferromagnetic resonance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," *Journal of Applied Physics*, Vol. 117, pp. 17B708, February 2015.
20. E. Hirayama, S. Kanai, K. Sato, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-plane anisotropy of a nano-scaled magnetic tunnel junction with perpendicular magnetic easy axis," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 54, pp. 04EM03, February 2015.
21. K. Watanabe, S. Ishikawa, H. Sato, S. Ikeda, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Dependence of magnetic properties of MgO/CoFeB/Ta stacks on CoFeB and Ta thicknesses," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 54, pp. 04EM04, March 2015.
22. F. Matsukura, Yoshinori Tokura and H. Ohno, "Control of magnetism by electric fields," *Nature Nanotechnology*, Vol. 10, pp. 209-220, March 2015.

【査読付論文】(連携研究)

1. N. Onizawa and T. Hanyu, "Soft-error tolerant transistor/magnetic-tunnel-junction hybrid non-volatile C-element," *IEICE Electronics Express*, Vol. 11, pp. 20141017 December 2014.
2. J. Shinha, M. Gruber, M. Kodzuka, T. Ohkubo, S. Mitani, K. Hono, and M. Hayashi, "Influence of boron diffusion on the perpendicular magnetic anisotropy in Ta|CoFeB|MgO ultrathin films," *Journal of Applied Physics*, Vol. 117, pp. 043913 January 2015.
3. K. Ueda, K. Kim, T. Taniguchi, T. Tono, T. Moriyama, and T. Ohno, "In-plane field-driven crossover in the spin-torque mechanism acting on magnetic domain walls in Co/Ni," *Physical Review B*, Vol. 91, pp. 06040 February, 2015.

【国際会議発表】

1. H. Honjo, S. Fukami, K. Ishihara, K. Kinoshita, A. Morioka, R. Nebashi, K. Tokutome, N. Sakimura, Y. Tsuji, S. Miura, T. Sugibayashi, N. Kasai, and H. Ohno, "Material stack design with high tolerance to process induced damage in domain wall motion device," IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Dresden, Germany, May 4-8, 2014.
2. J. Kim, J. Sinha, S. Mitani, M. Hayashi, S. Takahashi, S. Maekawa, M. Yamanouchi, and H. Ohno, "Temperature dependence of current induced spin-orbit torques," IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Dresden, Germany, May 4-8, 2014.
3. S. Fukami, M. Yamanouchi, S. Ikeda, and H. Ohno, "Thermal stability and critical current for domain wall motion in nanowires with reduced dimensions (*invited*)," IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Dresden, Germany, May 4-8, 2014.
4. J. Torrejon, J. Kim, J. Sinha, S. Mitani, M. Hayashi, M. Yamanouchi, and H. Ohno, "Control of domain wall chirality in ultrathin CoFeB/MgO heterostructures by using different heavy metal underlayers," IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Dresden, Germany, May 4-8, 2014.
5. N. Sakimura, R. Nebashi, H. Honjo, S. Fukami, Y. Tsuji, A. Morioka, N. Kasai, H. Ohno, T. Hanyu, T. Sugibayashi, "Three-terminal spintronics cells for high-speed and nonvolatile VLSIs (*invited*)," IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), Dresden, Germany, May 4-8, 2014.
6. S. Ikeda, H. Sato, E. C. I. Enobio, Y. Horikawa, S. Ishikawa, M. Yamanouchi, S. Fukami, S. Kanai, F. Matsukura, T. Endoh and H. Ohno, "Magnetic tunnel junctions with (Co)FeB-MgO double-interface recording structure for nonvolatile VLSIs (*invited*)," 2014 Spintronics Workshop on LSI, Hawaii, U. S. A., June 13, 2014.
7. H. Ohno, "Current status and prospects of magnetoresistive random access memory technology (*invited*)," 6th Forum on New Materials (CIMTEC 2014), Montecatini, Italy, June 15-19, 2014.
8. S. Fukami and H. Ohno, "Current induced domain wall motion in Co/Ni wires for nonvolatile memories and logic circuits (*invited*)," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
9. M. Hayashi, J. Torrejon, J. Kim, J. Sinha, S. Mitani, S. Takahashi, S. Maekawa, M. Yamanouchi, and H. Ohno, "Current induced spin orbit torques and chiral magnetic texture in magnetic heterostructures (*invited*)," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
10. L. Chen, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Electrical detection and control of magnetization dynamics in (Ga,Mn)As," (*invited*) 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
11. S. Kanai, Y. Nakatani, M. Yamanouchi, S. Ikeda, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization switching induced by electric field (*invited*)," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
12. C. Zhang, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-plane current-induced effective fields and magnetization switching in Ta/CoFeB/MgO structures," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
13. S. DuttaGupta, S. Fukami, M. Yamanouchi, C. Zhang, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current and field induced domain wall creep in Ta/CoFeB/MgO wire," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
14. Y. Takeuchi, S. Ishikawa, H. Sato, S. Ikeda, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of thermal stability factor in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
15. Y. Horikawa, S. Ishikawa, S. Ikeda, H. Sato, S. Fukami, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "MgO cap thickness dependence of interfacial anisotropy of MgO/FeB/MgO structure," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
16. S. Ishikawa, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "High thermal stability of magnetic tunnel junction with CoFeB/Ta/[Co/Pt] multilayer ferromagnetic electrode," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
17. E. Hirayama, S. Kanai, K. Sato, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-plane anisotropy in CoFeB magnetic tunnel junction," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.
18. S. D'Ambrosio, L. Chen, H. Nakayama, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "dc voltage measured in Py/ZnO bilayer under ferromagnetic resonance," 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25-27, 2014.

19. H. Sato, "Switching probability of spintronics devices", 10th American Institute of Mathematical Sciences Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (AMIS14), Madrid, Spain, July 7-11, 2014.
20. H. Ohno, "Spintronics for nonvolatile VLSIs (*invited*)", Tsukuba Nanotechnology Symposium (TNS'14), Tsukuba, Japan, July 25-26, 2014.
21. S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno, "Magnetic domain wall motion and spin-orbit torque induced magnetization switching for three-terminal spintronics devices (*invited*)", IEEE International Nanoelectronics Conference (INEC), Sapporo, Japan, July 28-31, 2014.
22. H. Ohno, "Spintronics for VLSI (*invited*)", 8th International Conference on the Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 8), Washington D.C., U. S. A., July 28-31, 2014.
23. S. Kanai, "Magnetization switching in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction by the application of two successive voltage pulses", 8th International Conference on the Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 8), Washington D.C., U. S. A., July 28-31, 2014.
24. H. Ohno, "From compound semiconductors to spintronics (*invited*)", Lester Eastman Conference on High Performance Devices, Ithaca, U. S. A., August 5-7, 2014.
25. L. Chen, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "The effect of electric-field on damping constant of ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As", 32nd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS), Austin, U. S. A., August 10-15, 2014.
26. H. Ohno, "Properties of CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions down to 11nm", (Keynote), SPIE NanoScience +Engineering, San Diego, U. S. A., August 19-21, 2014.
27. H. Ohno, "Thermal stability and threshold current of nanoscale magnetic tunnel junctions (*invited*)", International Workshop on Nanomaterials (M-SNOWS), Nancy, France, September 8-11, 2014.
28. E. Hirayama, S. Kanai, K. Sato, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-Plane Anisotropy of a CoFeB-MgO Magnetic Tunnel Junction with Perpendicular Magnetic Easy Axis", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014.
29. K. Watanabe, S. Ishikawa, H. Sato, S. Ikeda, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Dependence of Magnetic Properties of MgO/CoFeB/Ta Stacks on CoFeB and Ta Thicknesses", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014 .
30. S. Miura, H. Honjo, K. Kinoshita, K. Tokutome, H. Koike, S. Ikeda, T. Endoh and H. Ohno, "Properties of Perpendicular-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions Fabricated over The Cu Via", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014.
31. H. Koike, T. Ohsawa, S. Miura, H. Honjo, K. Kinoshita, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "A Power-Gated 32bit MPU with a Power Controller Circuit Activated by Deep-Sleep-Mode Instruction Achieving Ultra-Low-Power Operation, " International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014.
32. H. Sato, T. Yamamoto, E. C. I. Enobio, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, K. Kinoshita, F. Matsukura, N. Kasai, and H. Ohno, "Switching Current and Thermal Stability of Perpendicular Magnetic Tunnel Junction with MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO Recording Structure Scaling Down to IX nm (*invited*)", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014.
33. T. Ohsawa, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "A 500ps/8.5ns Array Read/Write Latency 1MB Twin ITIMTJ STT-MRAM designed in 90 nm CMOS/40 nm MTJ Process with Novel Positive Feedback S/A Circuit," International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, September 8-10, 2014.
34. H. Ohno, "Spintronic Nano-Devices for Nonvolatile VLSIs (*invited*)", 1st University of Chicago/AIMR Joint Research Center Workshop, Sendai, Japan, September 18-19, 2014.
35. S. Fukami, S. DuttaGupta, C. Zhang, and H. Ohno, "Three-Terminal Spintronics Devices for Nonvolatile Memory and Logic (*invited*)", 11th International Conference on Flow Dynamics (ICFD), Sendai, Japan, October 8-10, 2014.
36. H. Ohno, "Spintronics – recent advances (*invited*)", 4th imec-Stanford International Workshop on Resistive Memories, Stanford, U. S. A., October 27-28, 2014.

37. S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno, "Three-Terminal Nonvolatile Spintronics Memory Device using Spin-Transfer Torque and Spin-Orbit Torque (*invited*)," 14th Non-Volatile Memory Technology Symposium (NVMTS 2014), Jeju, Korea, October 27-29, 2014.
38. S. Duttagupta, S. Fukami, M. Yamanouchi, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain wall creep in Ta/CoFeB/MgO wire induced by current field," 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM), Honolulu, Hawaii, U. S. A., November 3-7, 2014.
39. E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-plane magnetic field angle dependence of ferromagnetic resonance frequency in a nanoscale CoFeB-MgO magnetic tunnel junction," 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM), Honolulu, Hawaii, U. S. A., November 3-7, 2014.
40. C. Zhang, S. Fukami, H. Sato, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Device size dependence of magnetization reversal by spin-orbit torque in Ta/CoFeB/MgO structure down to sub 100 nm," 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM), Honolulu, Hawaii, U. S. A., November 3-7, 2014.
41. H. Sato, E. C. I. Enobio, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Intrinsic critical current and thermal stability factor of MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure scaling down to 11 nm," 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM), Honolulu, Hawaii, U. S. A., November 3-7, 2014.
42. H. Ohno, "Spintronics materials and devices for nonvolatile VLSIs," (Plenary), 1st International Symposium on Interactive Materials Science Cadet Program (iSIMSC), Osaka, Japan, November 16-19, 2014.
43. H. Ohno, "Nano-scale magnetic tunnel junction for nonvolatile VLSIs (*invited*)," 2nd International Symposium on Functionality of Organized Nanostructures 2014 (FON14), Tokyo, Japan, November 26-28, 2014.
44. H. Ohno, "Korea University Special Seminar (*invited*)," Korea University Special Seminar, Seoul, Korea, Dec. 4, 2014.
45. E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, H. Ohno, "Properties of Nanoscale Magnets Investigated by Homodyne-Detected Ferromagnetic Resonance," 8th High-Tech Research Center Symposium, "New Frontiers in Functional Materials", Toho University, Funabashi, Dec. 6, 2014.
46. E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, H. Ohno, "Properties of Nanoscale Magnets Investigated by Homodyne-Detected Ferromagnetic Resonance," 8th High-Tech Research Center Symposium, "New Frontiers in Functional Materials", Toho University, Funabashi, Dec. 6, 2014.
47. S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of in-plane magnetic anisotropy in (Ga,Mn)As codoped with Li," 19th Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-19), Tokyo, Japan, December 15-16, 2014.
48. H. Nakayama, L. Chen, H. W. Chang, F. Matsukura, and H. Ohno, "DC voltages in Pt/(Ga,Mn)As under ferromagnetic resonance," 19th Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-19), Tokyo, Japan, December 15-16, 2014.
49. T. Hanyu, D. Suzuki, A. Mochizuki, M. Natsui, N. Onizawa, T. Sugibayashi, S. Ikeda, T. Endoh, and H. Ohno, "Challenge of MOS/MTJ-Hybrid Nonvolatile Logic-in Memory Architecture in Dark-Silicon Era (*invited*)," 2014 International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, U. S. A., December 15-17, 2014.
50. S. Ikeda, H. Sato, E. C. I. Enobio, S. Ishikawa, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura, T. Endoh, and H. Ohno, "Perpendicular-Anisotropy CoFeB-MgO Based Magnetic Tunnel Junctions Scaling Down to 1X nm (*invited*)," 2014 International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, U. S. A., December 15-17, 2014.
51. H. Ohno, "Nanoscale Magnetic Tunnel Junction (*invited*)," Nanyang Technological University Seminar, Singapore, Dec. 18, 2014.
52. H. Ohno, "Spintronics Devices for Integrated Circuits – An Overview (*invited*)," 1st CIES Technology Forum, Tokyo, Japan, March 19, 2015.

【国際会議発表】(連携研究)

1. N. Onizawa, S. Matsunaga, and T. Hanyu, "A Compact Soft-Error Tolerant Asynchronous TCAM Based on a Transistor/Magnetic-Tunnel-Junction Hybrid Dual-Rail Word Structure," 20th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC), Potsdam,

Germany, May 12, 2014.

2. N. Onizawa, S. Matsunaga, N. Sakimura, R. Nebashi, T. Sugibayashi, and T. Hanyu, "Soft-Delay-Error Evaluation in Content-Addressable Memory," IEEE 44th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2014), Bremen, Germany, May 21, 2014.
3. N. Onizawa, S. Matsunaga, and T. Hanyu, "Design of a Soft-Error Tolerant 9-Transistor/6-Magnetic-Tunnel-Junction Hybrid Cell Based Nonvolatile TCAM," 12th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS 2014), Trois-Rivieres, Canada, June 24, 2014.
4. T. Yu, H. Naganuma, N. Inami, Y. Kawada, M. Oogane, and Y. Ando, "Effect of microwave on magnetization switching in magnetic tunnel junction," IEEE International Conference on Microwave Magnetics 2014, Sendai, Japan, July 1, 2014.
5. M. Hayashi, "Spin orbit torques and chiral magnetism in ultrathin magnetic heterostructures (*invited*)," 59th Annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2014), Hawaii, USA, November 4, 2014.
6. T. Yu, H. Naganuma, M. Oogane, and Y. Ando, "Modulation of magnetoresistance in magnetic tunneling junction by microwave," 59th Annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2014), Hawaii, USA, November 6, 2014.
7. Kab-Jin Kim, T. Moriyam, H. Tanigawa, E. Kariyada, T. Ono, "Negligible transient effect for current-induced domain-wall motion in ferromagnetic Co/Ni nanowires," 59th Annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2014), Hawaii, USA, November 7, 2014.
8. T. Ono, "Current-induced magnetic domain wall motion (*invited*)," Yukawa International Seminar (YKIS) 2014, Kyoto, Japan, December 4, 2014.
9. T. Hanyu, "Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture for Ultra-Low Power VLSI Systems (*invited*)," 2015 International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, USA, February 26, 2015.
10. T. Hanyu, D. Suzuki, N. Onizawa, S. Matsunaga, M. Natsui and A. Mochizuki, "Spintronics-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture Towards an Ultra-Low-Power and Highly Reliable VLSI Computing Paradigm (*invited*)," Design, Automation, and Test in Europe (DATE 2015), Grenoble, France, March 11, 2015.

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イクスルーとして注目している。第二に、サブ波長領域に局在した低次元プラズモンの分散特性を光電子的に制御することによって、高次の信号処理機能を果たす新たなテラヘルツ帯メタマテリアル・回路システムの創出に取り組んでいる。第三に、新材料：グラフェン（単層グラファイト）を用いた新原理テラヘルツレーザーならびに極限高速トランジスタの開発を推進している。さらに、これら世界最先端の超ブロードバンドデバイス・回路を応用して、超高速無線通信や安心・安全のための新たな計測技術の開発を進めている。

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

【査読付論文】

1. D. Svintsov, T. Otsuji, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Negative terahertz conductivity in disordered graphene bilayers with population inversion," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 106, Iss. 11, pp. 113501-1-5, March 2015. DOI: 10.1063/1.4915314
2. S. Takabayashi, M. Yang, T. Eto, H. Hayashi, S. Ogawa, T. Otsuji, and Y. Takakuwa, "Controlled oxygen-doped diamond-like carbon film synthesized by photoemission-assisted plasma," *Diamond and Related Materials*, Vol. 53, pp. 11-17, March 2015. DOI: 10.1016/j.diamond.2015.01.001
3. M.Y. Morozov, A.R. Davoyan, I.M. Moiseenko, A. Satou, T. Otsuji, and V.V. Popov, "Active guiding of Dirac Plasmons in graphene," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 106, pp. 061105-1-5, Feb. 2015. DOI: 10.1063/1.4907644
4. T. Kawasaki, K. Sugawara, A. Dobroiu, T. Eto, Y. Kurita, K. Kojima, Y. Yabe, H. Sugiyama, T. Watanabe, T. Suemitsu, V. Ryzhii, K. Iwatsuki, Y. Fukada, J. Kani, J. Terada, N. Yoshimoto, K. Kawahara, H. Ago, and T. Otsuji, "Graphene-channel FETs for photonic frequency double-mixing conversion over the sub-THz band," *Solid State Electron.*, Vol. 103, pp. 216-221, Jan. 2015. DOI: 10.1016/j.sse.2014.07.009
5. D. Svintsov, V.G. Leiman, V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Graphene nanoelectromechanical resonators for detection of modulated terahertz radiation," *J. Phys. D*, Vol. 47, Iss. 50, pp. 505105-1-7, Nov. 2014. DOI: 10.1088/0022-3727/47/50/505105
6. T. Otsuji and M.S. Shur, "Terahertz plasmonics: good results and great expectations," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 15, Iss. 7, pp. 43-50, Nov-Dec. 2014. DOI: 10.1109/MMM.2014.2355712

7. D. Svintsov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Negative dynamic Drude conductivity in pumped graphene," *Appl. Phys. Express*, Vol. 7, Iss. 11, pp. 115101-1-4, Nov. 2014. DOI: 10.7567/APEX.7.115101
8. V. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin and M. S. Shur, "Graphene vertical hot-electron terahertz detectors," *J. Appl. Phys.*, Vol. 116, Iss. 11, pp. 114504-1-9, 2014. DOI: 10.1063/1.4895738
9. S. Takabayashi, M. Yang, S. Ogawa, H. Hayashi, R. Jesko, T. Otsuji, Y. Takakuwa, "Relationship between the structure and electrical characteristics of diamond-like carbon films," *J. Appl. Phys.*, Vol. 116, Iss. 09, pp. 093507-1-11, Sept. 2014. doi: 10.1063/1.4894626
10. D. Svintsov, V. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and V. Vyurkov, "Carrier-carrier-scattering and negative dynamic conductivity in pumped graphene," *Opt. Express*, Vol. 22, No. 17, pp. 19873-19886, Aug. 2014. DOI: 10.1364/OE.22.019873
11. Kengo Kobayashi, Shinya Hatakeyama, Tomohiro Yoshida, Yuhei Yabe, Daniel Piedra, Tomás Palacios, Taiichi Otsuji, Tetsuya Suemitsu, "Improved breakdown voltage and RF characteristics in AlGa_N/Ga_N high electron mobility transistors achieved by slant field plates," *Appl. Phys. Express*, Vol. 7, No. 09, pp. 096501-1-4, Aug. 2014. DOI: 10.7567/APEX.7.096501
12. Kengo Kobayashi, Shinya Hatakeyama, Tomohiro Yoshida, Daniel Piedra, Tomás Palacios, Taiichi Otsuji, Tetsuya Suemitsu, "Current collapse suppression in AlGa_N/Ga_N HEMTs by means of slant field plates fabricated by multi-layer SiCN," *Solid State Electron.*, Vol. 101, pp. 63-69, Nov. 2014. DOI: 10.1016/j.sse.2014.06.022
13. S.A. Boubanga Tombet, Y. Tanimoto, A. Satou, T. Suemitsu, Y. Wang, H. Minamide, H. Ito, D. V. Fateev, V.V. Popov, and T. Otsuji, "Current driven detection of terahertz radiation in dual-grating-gate plasmonic detector," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 104, Iss. 26, pp. 262104-1-4, June 2014. DOI: 10.1063/1.4886763
14. Y. Kurita, G. Ducournau, D. Coquillat, A. Satou, K. Kobayashi, S.A. Boubanga-Tombet, Y.M. Meziani, V.V. Popov, W. Knap, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Ultrahigh sensitive sub-terahertz detection by InP-based asymmetric dual-grating-gate high-electron-mobility transistors and their broadband characteristics," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 104, Iss. 25, pp. 251114-1-4, June 2014. DOI: 10.1063/1.4885499
15. T. Yoshida, K. Kobayashi, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Impact of T-gate stem height on parasitic gate delay time in InGaAs-HEMTs," *Solid State Electron.*, Vol. 102, pp. 93-97, Dec. 2014. DOI: 10.1016/j.sse.2014.06.005
16. V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Voltage-tunable terahertz and infrared photodetectors based on double-graphene-layer structures," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 104, pp. 163505-1-4, April 2014. DOI: 10.1063/1.4873114

【国際会議発表】

1. T. Suemitsu, K. Kobayashi, S. Hatakeyama, N. Yasukawa, T. Yoshida, T. Otsuji, D. Piedra, and T. Palacios, "A New Process Approach for Slant Field Plates in Ga_N-Based HEMTs," 7th Int. Symp. On Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides and Nanomaterials, 14a-D7-2, Nagoya, Japan, B2-I-02, 29 March 2015. (invited)
2. T. Otsuji, S. Boubanga Tombet, and V. Ryzhii, "Recent advances in graphene heterostructures toward the creation of terahertz lasers," Graphene 2015: 5th Edition of the European Conference in Graphene and 2D Materials, Bilbao, Spain, 10-13 March 2015. (invited)
3. V.V. Popov, D.V. Fateev, A. Satou, S.A. Boubanga-Tombet, Y. Kurita, T. Watanabe, and T. Otsuji, "Terahertz photocurrents generated in two-dimensional electron systems by non-centrosymmetric plasmon modes," OTST: Int. Conf. on Optical Terahertz Science and Technology, PS3-1, San Diego, CA, USA, 8-13 March 2015.

4. A. Satou, T. Kawasaki, S. Hatakeyama, S. Boubanga Tombet, T. Suemitsu, G. Ducournau, D. Coquillat, D.V. Fateev, V.V. Popov, Y.M. Meziati, and T. Otsuji, "Geometrical dependence of ultrahigh responsivity and its broadband characteristics of InP-based asymmetric dual-grating-gate high-electron-mobility transistors," OTST: Int. Conf. on Optical Terahertz Science and Technology, PS2-9, San Diego, CA, USA, 8-13 March 2015.
5. S. Boubanga Tombet, D. Yadav, T. Watanabe, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz emission in a double-graphene-layer heterostructure," OTST: Int. Conf. on Optical Terahertz Sci. and Technol. Dig., p. 56, San Diego, CA, USA, 8-13 March 2015.
6. Taiichi Otsuji, Akira Satou, Takayuki Watanabe, Stephane Albon Boubanga-Tombet, Alexander Dubinov, Vyacheslav V. Popov, Michael Shur, and Victor Ryzhii, "Recent advances in the research toward graphene-based terahertz lasers," SPIE Photonics West, 9382-43, San Francisco, CA, USA, 7-12 Feb. 2015. (invited); Proc. SPIE Vol. 9382, pp. 938219-1-10, March 2015. DOI: 10.1117/12.2079411
7. T. Watanabe, T. Kawasaki, A. Satou, S.A. Boubanga Tombet, T. Suemitsu, G. Ducournau, D. Coquillat, W. Knap, H. Minamide, H. Ito, Y.M. Meziani, V.V. Popov, and T. Otsuji, "Room-temperature zero-bias plasmonic THz detection by asymmetric dual-grating-gate HEMT," SPIE Photonics West, Paper No. 9362-13, San Francisco, CA, USA, 11 Feb. 2015; Proc. SPIE Vol. 9362, pp. 93620F-1-7, March 2015. DOI: 10.1117/12.2079411
8. S.A. Boubanga Tombet, A. Satou, V.V. Popov, and T. Otsuji, "THz detection using a dual-grating-gate plasmonic detector," TeraNano-V: The Fifth International Symposium on Terahertz Nanoscience, Martinique, Fort de France, 1-5 Dec. 2014.
9. T. Otsuji, V. Ryzhii, A. Dubinov, V. Popov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene heterostructures for current-injection terahertz lasing," TeraNano-V: The Fifth International Symposium on Terahertz Nanoscience, S12, 1530-1610, Martinique, Fort de France, 1-5 Dec. 2014. (invited)
10. T. Otsuji, "Recent advances in the research toward graphenebased terahertz lasers," Indo-Japan Program on "Graphene and Related Materials," JNCASR, Bangalore, India, 5-6 Nov. 2014. (invited)
11. S. Boubanga Tombet, T. Otsuji, V. Popov, and W. Knap, "Plasmon-resonant terahertz emitters and detectors and their system applications," ICMNE: Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, L2-04, Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 6-10 Oct. 2014. (invited)
12. V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene terahertz electronics and optoelectronics," ICMNE: Int. Conf. on Micro and Nano-Electronics, L2-03, Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 6-10 Oct. 2014. (invited)
13. T. Otsuji, T. Watanabe, A. Satou, S. A. Boubanga-Tombet, A. Dubinov, V. V. Popov, V. Mitin, V. Ryzhii, "Giant Terahertz Gain by Excitation of Surface Plasmon Polaritons in Optically Pumped Graphene," ISGD: 4th International Symposium on Graphene Devices, A4.05, Seattle, USA, 25 Sept. 2014. (invited)
14. V. Ryzhii and T. Otsuji, "Concepts of double-graphene-layer terahertz plasmonic devices," ISGD: 4th International Symposium on Graphene Devices, A1.06, Seattle, USA, 22 Sept. 2014. (invited)
15. M.B. Hussin, K. Sugawara, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Improving Graphene Field-Effect Transistor Performance by Self-Aligned Source/Drain Process with Aluminum Sacrificial Layer," RPGR 2014: the 6th Int. Conf. on Recent Progress on Graphene Research, PH-06, Taipei, 21-25 Sept. 2014.
16. T. Itatsu, E. Sano, Y. Yabe, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Increased terahertz emission from monolayer graphene with field enhancement effect," RPGR 2014: the 6th Int. Conf. on Recent Progress on Graphene Research, PH-13, Taipei, 21-25 Sept. 2014.
17. D. Coquillat, P. Zagrajek, N. Dyakonova, K. Chrzanowski, J. Marczewski, Y. Kurita, A. Satou, K. Kobayashi, S. Boubanga Tombet, V. V. Popov, T. Suemitsu, T. Otsuji, W. Knap, "Detection of terahertz and mid-infrared radiations by InP-based asymmetric dual-grating-gate HEMTs,"

- IRMMW-THz: Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves Dig., pp. 1-2, Tucson, AZ, USA, 15-19 Sept. 2014. DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2014.6956522
18. T. Itatsu, E. Sano, Y. Yabe, V. Ryzhii, T. Otsuji, "Enhanced terahertz emission from monolayer graphene with metal mesh structure," International Conference on Diamond and Carbon Materials, P2.108, Madrid, Spain, 7-11 Sept. 2014.
 19. V.V. Popov, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Amplification of terahertz radiation by graphene metasurfaces," *Metamaterials 2014: The 8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics Proc.*, pp. 244-246, Tech. Univ. Denmark, Denmark, 27 Aug. 2014. DOI: 10.1109/MetaMaterials.2014.6948662
 20. D. Coquillat, Y. Kurita, K. Kobayashi, N. Dyakonova, F. Teppe, C. Consejo, D. But, T. Otsuji, and W. Knap, "Contribution of ideality factor, gate leakage current, and loading effect to terahertz detection by asymmetric dual-grating gate HEMTs," *Condensed Matter in Paris, TU-71, Paris, France* 25 Aug. 2014.
 21. S. Boubanga Tombet, T. Otsuji, A. Satou, A.A. Dubinov, V.V. Popov, and V. Ryzhii, "Graphene active plasmonics for new types of terahertz laser," *Condensed Matter in Paris, TU-70, Paris, France* 25 Aug. 2014.
 22. T. Otsuji, V. Ryzhii, S. Boubanga Tombet, T. Watanabe, A. Satou, M. Ryzhii, A. Dubinov, V. Ya Aleshkin, V. Popov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene plasmonic heterostructures for new type of terahertz lasers," *SPIE Optics + Photonics 2014, Conf. 9199, Terahertz Emission, Detection and Applications V, 9199-14, San Diego, CA, USA, 17 Aug. 2014. (invited); Proc. SPIE, Vol. 9199, pp. 91990F-1-10 DOI: 10.1117/12.2061510*
 23. Y. Koseki, A. Satou, V. Ryzhii, V. Vyurkov, and T. Otsuji, "Damping mechanism of terahertz plasmons in graphene on a heavily-doped substrate," *ICPS: 32nd Int. Conf. on the Physics of Semiconductors, Carbon: Nanotube & Graphene II, 1205-1220, Austin, TX, USA, 13 Aug. 2014.*
 24. T. Yoshida, M. Oyama, K. Watanabe, Y. Umeda, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Impact of drain conductance in InGaAs-HEMTs operated in a class-F amplifier," *LEC: 2014 Lester Eastman Conference on High Performance Devices Proc., S3-P4, pp. 36-37, Cornell Univ., NY, USA, 7 Aug. 2014.*
 25. T. Otsuji, V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Terahertz lasing and detection in double-graphene-layer structures," *LEC: 2014 Lester Eastman Conference on High Performance Devices Proc., S7-N2, pp. 103-104, Cornell Univ., NY, USA, 7 Aug. 2014.*
 26. T. Otsuji, A. Satou, S. Boubanga Tombet, V. Ryzhii, V.V. Popov, and M.S. Shur, "Graphene plasmonic heterostructures for terahertz device applications," *16th Int. Conf. on Laser Optics 2014, Th-RB-36, St. Petersburg, Russia, 3 July 2014. (invited)*
 27. T. Otsuji, V.Y. Aleshkin, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Terahertz emission and detection in double-graphene-layer structure," *DRC: The 72nd Device Research Conference Dig., pp. 159-160, Santa Barbara, CA, USA, 23 June 2014. DOI: 10.1109/DRC.2014.6872346*
 28. T. Watanabe, A. Satou, T. Suemitsu, W. Knap, V.V. Popov, V. Ryzhii, M. Shur, and T. Otsuji, "Plasmonic terahertz monochromatic coherent emission from an asymmetric chirped dual-grating-gate InP-HEMT with highly asymmetric resonant cavities," *RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., S4-IT3, pp. 39-40, Buffalo, NY, USA, 20 June 2014. (invited)*
 29. Y. Koseki, A. Satou, V. Ryzhii, V. Vyurkov, and T. Otsuji, "Damping mechanism of terahertz plasmons in graphene on heavily-doped substrate," *RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., P7, pp. 48-50, Buffalo, NY, USA, 20 June 2014.*
 30. A. Satou, Y. Kurita, G. Ducournau, D. Coquillat, K. Kobayashi, S. Boubanga Tombet, Y.M. Meziani, V.V. Popov, W. Knap, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Ultrahigh sensitive sub-terahertz

- plasmonic detector based on asymmetrical-grating-gate HEMT," RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., S3-IT1, pp. 21-23, Buffalo, NY, USA, 20 June 2014. (invited)
31. D. Svintsov, V. Leiman, V. Vyurkov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Demodulation of terahertz signals using plasma and mechanical resonances in double graphene layer structures," RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., S2-IT2, pp. 18-19, Buffalo, NY, USA, 18 June 2014. (invited)
 32. T. Otsuji, A. Satou, M. Ryzhii, V. Popov, V. Mitin, and V. Ryzhii, "Challenges to create graphene terahertz lasers," 2nd Russia-Japan-USA Symposium on the Fundamental and Applied Problems of Terahertz Devices and Technologies, RJUS TeraTech 2013; Moscow; Russian Federation, 3-6 June 2013. (invited) ; J. Phys. Conf. Ser., Vol. 486, Iss. 1, pp. 012007-1-3, 2014. DOI: 10.1088/1742-6596/486/1/012007
 33. T. Otsuji, "Recent advances in 2D electronic and plasmonic terahertz devices," RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., (IEEE EDS Distinguished Lecture), PL-1, pp. 11-12, Buffalo, NY, USA, 18 June 2014. (invited, public lecture)
 34. V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene plasmonic heterostructures for lasing and detection of terahertz radiation," RJUS TeraTech-2014: The 3rd Russia-Japan-USA Symp. on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Proc., S1-PT1, pp. 8-9, Buffalo, NY, USA, 18 June 2014. (plenary, invited)
 35. T. Kawasaki, T. Watanabe, T. Fukushima, Y. Yabe, S.A. Boubanga Tombet, A. Satou, A.A. Dubinov, V.Y. Aleshkin, V. Mitin, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Gain enhancement effect of surface plasmon polaritons in optically pumped monolayer graphene," in CLEO: 2014, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2014), paper SF2F.4, San Jose, CA, USA, 13 June 2014. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2014.SF2F.4
 36. Shinya Hatakeyama, Kengo Kobayashi, Tomohiro Yoshida, Taiichi Otsuji, Tetsuya Suemitsu, "RF characteristics of AlGaN/GaN HEMTs with slant field plates," ISCS: the 41st Int. Symp. On Compound Semiconductors, Th-C1-6, Montpellier, France, 11-15 May 2015.
 37. V. Mitin, V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, and M. Shur, "Double graphene-layer structures for adaptive devices," SPIE DSS: 2014 Defense + Security, Conference on "Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications VI," Baltimore, MD, USA, May 5-9, 2014. (invited); Proc. SPIE, Vol. 9083, pp. 90830A-1-12, June, 2014. doi:10.1117/12.2050218
 38. T. Otsuji, T. Watanabe, S. Boubanga Tombet, A. Satou, A.A. Dubinov, V. Ya Aleshkin, V. Mitin, and V. Ryzhii, "Giant terahertz gain by excitation of surface plasmon polarities in optically pumped graphene," SPIE DSS: 2014 Sensing Technology + Applications, Conference ST105 on Terahertz Physics, Devices, and Systems VIII: Advanced Applications in Industry and Defense, Baltimore, MD, 5 - 9 May 2014. (invited); Proc. SPIE, Vol. 9102, pp. 91020I-1-5, June 2014. doi: 10.1117/12.2055376

B3 量子光情報工学 (枝松圭一・三森康義)
Quantum-Optical Information Technology
(K.Edamatsu and Y. Mitsumori)

1. 光子を用いた量子情報通信技術の開発

Quantum info-communication technology using photons

半導体や擬似位相整合非線形光学結晶を用いた量子もつれ光子の発生・検出方法を開発している。また、導波路媒質における単一光子レベルでの光学非線形性、光子の偏光の量子測定における誤差-擾乱の不確定性関係について研究している。

We investigate the generation and detection technique of entangled photon pairs using semiconductor and quasi-phase-matched (QPM) nonlinear optical materials. Also investigated are the optical nonlinearity of waveguide media at a single-photon level and the error-disturbance uncertainty relation in quantum measurement of photon polarization.

2. 半導体量子ドットを用いた量子情報通信

Semiconductor quantum dots for quantum info-communication

量子情報通信への応用を目指した、半導体量子ドットの光物性および量子光学的な性質を研究している。

We investigate the spectroscopic and quantum optical properties of semiconductor quantum dots in view of quantum info-communication technology.

【査読付論文】

1. 枝松圭一, シャイな量子の不確定性関係, 応用物理 **83**, No.5, 390-393 (2014).
2. 枝松圭一, 金田文寛, So-Young Baek, 小澤正直, 量子測定における誤差・擾乱の計測と不確定性関係, 日本物理学会誌 **70**, No. 3, 188-193 (2015).

【国際会議発表】

1. K. Edamatsu, S.-Y. Baek, F. Kaneda, and M. Ozawa, "Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement," 23th International Laser Physics Workshop (LPHYS'14), Sofia, Bulgaria, July 14-18, 2014, **(Invited)**.
2. K. Edamatsu, S.-Y. Baek, F. Kaneda, and M. Ozawa, "Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement," SPIE Optics and Photonics 2014, San Diego, USA, Augst 17-21 2014, **(Invited)**.
3. K. Edamatsu, S.-Y. Baek, F. Kaneda, and M. Ozawa, "Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement," Discussion Meeting on Quantum Measurements 2014, Bangalore, India, October 22-24 2014, **(Invited)**.
4. K. Edamatsu, S.-Y. Baek, F. Kaneda, and M. Ozawa, "Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement," International Workshop on Weak Value and Weak Measurement, Tokyo, Japan, March 19-20, 2015, **(Invited)**.

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)

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. Ayumi Hirano-Iwata, Ryosuke Matsumura, Ryuta Tezuka, Michio Niwano, Tim V.P. Bliss, Masao Sugawara, "Interference between field excitatory postsynaptic potentials and simulatenously recorded chronoamperometric L-glutamate currents in mouse hippocampal slices", *Electrochemistry Communications* 45 (2014) 1-4.
2. Ichiro Sakurai, Shigeru Kubota, Michio Niwano, "A model for ocular dominance plasticity controlled by feedforward and feedback inhibition", *IEICE Transactions on Funtamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences* E97 (2014) 1780-1786.
3. Ichiro Sakurai, Shigeru Kubota, Michio Niwano, "The onset and closure of critical period

plasticity regulated by feedforward inhibition”, *Neurocomputing* 143 (2014) 261-268.

4. 平野愛弓, 石成 裕, 木村康男, 庭野道夫, “シリコン微細加工で創るイオンチャネルチップ”, *表面科学* 35 (2014) 438-442.
5. Teng Ma, Ryota Kojima, Daisuke Tadaki, Jinyu Zhang, Yasuo Kimura and Michio Niwano, “Fabrication of polymer/TiO₂-nanotube-based hybrid structures using a solvent-vapor-assisted coating method”, *Materials Research Express*, 1 (2014) 045048.
6. Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, “Micro- and nano-technologies for lipid bilayer-based ion-channel functional assays”, *Chemistry-An Asian Journal* (in press).
7. Hideaki Yamamoto, Takanori Demura, Kohei Sekine, Sho Kono, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii “Photopatterning proteins and cells in aqueous environment using TiO₂ photocatalysis”, *Journal of Visualized Experiments* (in press).

【国際会議発表】

1. Daisuke Tadaki, Shohei Iino, Teng Ma, Jinyu Zhang, Yasuo Kimura, Michio Niwano, “Improvement of electrical characteristic of P3HT organic electrochemical transistors with ionic liquid by slow cooling in annealing process”, 226th Meeting of the Electrochemical Society, Cancun, Mexico, 2014, Oct. 5-9.
2. Ryosuke Matsumura, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, Tim V.P. Bliss, Masao Sugawara, “Simultaneous recording of chronoamperometric L-glutamate current and field excitatory postsynaptic potentials in mouse hippocampal slice”, 226th Meeting of the Electrochemical Society, Cancun, Mexico, 2014, Oct. 5-9.
3. Teng Ma, Yasuo Kimura, Michio Niwano, “Formation of an ultrathin layer of P3HT in TiO₂ nanotubes and its application to hybrid solar cells”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology 2014, Jeju, Korea, 2014, Oct. 26-29.
4. Ryosuke Matsumura, Ayumi Hirano-Iwata, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, “Interference between Chronoamperometric L-Glutamate Currents and Simultaneously Recorded Field Excitatory Postsynaptic Potentials”, 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane Prefectural Convention Center, Shimane, 2014, Nov. 2-6.
5. Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, Michio Niwano, “Microfabricated Si Chips for Reconstitution of Ion Channel Proteins”, 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane Prefectural Convention Center, Shimane, 2014, Nov. 2-6.
6. Teng Ma, Matteo Cagnoni, Michio Niwano, “Interfacial engineering for high efficiency perovskite solar cells”, 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane Prefectural Convention Center, Shimane, 2014, Nov. 2-6.
7. Takahiro Nakayama, Yuji Imai, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, “Infrared absorption spectroscopic study of surface chemical reactions on Pd exposed to hydrogen and oxygen”, 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane Prefectural Convention Center, Shimane, 2014, Nov. 2-6.
8. D. Tadaki, T. Ma, Y. Kimura, Michio Niwano, “Conductivity of F4-TCNQ-doped organic thin films of P3HT”, 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane Prefectural Convention Center, Shimane, 2014, Nov. 2-6.
9. Hideaki Yamamoto, Sho Kono, Takatoshi Kushida, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, Takashi Tanii, “Optimization of micropattern geometry for long-term culture of isolated neurons and identification of excitatory-inhibitory cell types”, Neuroscience 2014, Washington, DC, USA, 2014, Nov. 15-19.
10. Teng Ma, Natsuki Yamada, Daisuke Tadaki, Yasuo Kimura, Michio Niwano, “A highly ordered triple-tube-framed nanostructure formed in TiO₂ nanotubes for hybrid solar cells”, The 6th World

Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Kyoto International Conference Center, Kyoto, 2014, Nov. 23-27.

11. Hideaki Yamamoto, Takashi Tanii, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, "Spontaneous activity patterns of micropatterned neuronal networks in culture", 8th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2014), Ehime University, Ehime, 2014, Dec. 4-6.

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26年度）
- 6-3 ナノ・スピン工学研究会
国際シンポジウムプログラム

6-1 施設の代表的装置の概要

a-1) ナノ・スピ電子ビーム・リソグラフィ関連

- ナノ・スピ電子描画システム 日本電子 JBX-9300SA
 - 用途 ナノスケールのパターン描画
 - 性能 加速電圧: 100 kV
最小線幅: 20 nm
ウェハサイズ: 5mm 角~300mm φ

- ナノ・スピ縮小投影露光システム ニコン NSR-2005i10C
 - 用途 縮小投影露光による微細レジストパターンの形成
 - 性能 露光光源: i線
投影倍率: 1/5
ウェハサイズ: 33mm φ、2 インチ φ
レチクルサイズ: 6インチ角

- マスクアライナー カールズス MJB4
 - 用途 集積回路試作用フォトリソレジストパターンの形成
 - 性能 基板サイズ 5 mm角から最大4 インチ角
マスクサイズ 2 インチ角から5 インチ角
紫外線露光強度 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, 33mm φ

■ プラズマアッシャー ヤマト科学

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

a-2) 化合物半導体プロセス装置関連

■ 化合物 MBE (VG) VG V80H

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

■ SiO₂ 堆積用プラズマCVD装置 日本真空

- 用途 SiO₂ の成膜
- 性能
 - ・到達真空度:
反応室: 3×10^{-7} Torr 以下。
準備室: 2×10^{-6} Torr 以下
 - ・基板加熱 最高 400°C
 - ・反応ガス種 SiH₄、N₂O
 - ・膜厚分布 2インチウエハ内で±4%以下

■ Si₃N₄ 堆積用プラズマCVD装置 日本真空

- 用途 化合物半導体基板への絶縁膜 (シリコン窒化膜) の形成
- 性能
 - ・処理能力
φ2インチ基板 1枚/バッチ
φ33基板 1枚/バッチ
不定形試料には、基板用ホルダを変えることで対応
 - ・基板加熱温度 反応室 最高 400°C
準備室 最高 300°C
 - ・RF電力 発振周波数 13.56MHz
最高 200W
 - ・導入ガス SiH₄、NH₃、Ar、N₂、O₂

■ 絶縁膜用ドライエッチング装置 (RIE) 日本真空

- 用途 化合物半導体ウエハー上のシリコン窒化膜、シリコン酸化膜のエッチング
- 性能
 - ガス種 CF₄ O₂ H₂
 - 到達圧力 1.3×10^{-5} Pa 以下。
 - プロセス圧力 0.67~13.3Pa 以下
 - 基板冷却機構 -30°C~25°C
 - 基板処理枚数 φ2インチ基板×1枚/バッチ

■ 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

■ イオン発生システム(ECR-RIE)

日本真空

- 用途 Cl_2 ガスを用いた化合物半導体等の異方性エッチング
- 性能
 - ・チャンバ構成 エッチング室、ロードロック室
 - ・到達真空度 10^{-8} Torr 台
 - ・動作圧力 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Torr
 - ・基板サイズ 2インチ、及び不定形
 - ・エッチング速度 $\sim 2000 \text{ \AA} / \text{min}$ (GaAs)
 - ・エッチング分布 2インチ基板内±10%以下
 - ・基板冷却 基板ホルダー水冷式
 - ・イオン源 ECRパケット型
 - ・イオンエネルギー 200~1000V
 - ・プロセスガス Cl_2 、Ar、 O_2

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

■ 多機能薄膜材料評価 X線回折装置(2次元検出器付 XRD)

Bruker

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

■ 接触段差計 (Dektak150)

アルバック

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

■ マイクロプローブ式低温ホール効果測定装置

理工貿易

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

a-3) シリコンプロセス装置関係

■ ナノヘテロ界面処理加工システム

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

■ ナノヘテロ分析システム

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

■ 半導体電気磁気複合特性測定システム

HP 他組上システム

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

■ 常圧 CVD 装置

- 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 (2チャンバー)。
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 基板上の 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 基板上の 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 基板上の金属のエッチングを行う。
- 性能 シリコン加工用ドライエッチング装置
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングが可能(ECR型)。最大6インチウエハ。試料皿にのる不定形ウエハ可能。補助磁場印加、RFバイアス印可可能。
導入ガス: Cl₂、SiCl₄、BCl₃、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
SiO₂加工用ドライエッチング装置
Si および Si 基板上の SiO₂のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。
導入ガス: CF₄、SF₆、O₂、H₂、N₂、Ar
メタル加工用ドライエッチング装置
Si 基板上の金属のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。
エッチング室用ガス: N₂、Ar、H₂、BCl₃、SiCl₄、Cl₂、CF₄、SF₆、O₂
アッシング室用ガス: O₂、N₂

■ X線光電子分光装置 (ESCA)

SSI SSX - 100、Kratos
AXIS-NOVA

- 用途 SSI SSX-100 表面元素分析用
Kratos AXIS-NOVA 表面元素分析用、表面元素分布イメージング用
- 性能 SSI SSX-100
単色化 X 線源 (ALK α)
最少分析領域 150 μm
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 μm
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 μm

■ ワイドレンジナノ形状測定システム

島津製作所 FT-3500

- 用途 表面ナノ形状測定用
- 性能 レーザ顕微鏡部
408nm 紫外半導体レーザスキャン方式
最大光学ズーム倍率 6 倍
観察視野 21~560μm 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 μm × 30 μm × (高さ) 4 μm
最高制御分解能(水平) 0.45 μm × (高さ) 0.06 μm

a-4) 配線プロセス関係

- ナノ・スピン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 東京エレクトロン
 - 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
600°C~1050°C: 4体
200°C~800°C: 2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26年度)

平成26年度 ナノ・スピンの実験施設 利用登録状況

(平成27年3月31日まで)

ナノ・スピン実験施設

| | A/B | 研究室名 | 利用責任者 | 登録者名 | 人数 |
|--------|-----|-------|---------------|--|----|
| 常駐研究室 | A | 大野研 | 金井 駿 | 大野教授 松倉教授 池田教授 山ノ内助教 金井助教 佐藤(英)助教 深見助教 (助手)陳 ソフィー (研究員)イバオエライ 中山 (技術補佐員)五十嵐 (研究支援員)平田 岩沼 川戸 後藤 (D1)張 石川 サミック (M2)岡田 都澤 竹内 久保田 堀川 (M1)平山 渡部 姉川 (B4)岩渕 佐藤(由) 大島 橋本 篠原 (研究留学生)楊 張 Alecsandr Bersweiler SachinGupta(研究員) | 37 |
| | A | 庭野研 | 庭野道夫 | 庭野教授 馬助教 (D3)但木 (M2)齋藤 中山 高沖 松村 Matteo (M1)山田 (B4)吉田(真) 室田教授※B登録 南※B登録 | 19 |
| | | | 平野愛弓 | 平野准教授 山本助教 (M2)石成 茂住 (B4)吉田(美) 荒木 (研究員)石橋 | |
| | A | 佐藤研 | 秋間 学尚 | 佐藤教授 櫻庭准教授 秋間助教 (D1)上野 (M2)李 刑部 (M1)岩橋 茂木(B4)佐々木 守谷 吉田 | 11 |
| | A | 中島研 | 小野美 武 | 中島教授 小野美助教 (M2) 辻 | 3 |
| | A | 尾辻研 | 末光哲也 | 尾辻教授 末光准教授 佐藤助教 (D3)吉田 (D2)畠山 (M2)フシン (M1)菅原 玉虫 (B4)安川 | 9 |
| | B | 枝松研 | 三森康義 | 枝松教授 三森准教授 | 2 |
| A | 共通部 | 森田伊織 | 森田技術職員 小野技術職員 | 2 | |
| 非常駐研究室 | A | 末光研 | 吹留博一 | 吹留准教授 長澤客員教授 (研究員)館野 (D3)朴 (D1)Kim (M2)須藤 (M1)田島 長谷川 (B4)鎌田 大谷 Sai JIAO 教育研究支援者 (研究支援員)佐々木 (研究員)GUNASEKARAN 吉本 三橋 | 15 |
| | B | 新田研 | 新田淳作 | 新田教授 好田准教授 (D3)ヤン (D2)大杉 長澤 (M2)小野 小又 岡安 柳 (M1)高砂 青木 吉住 (B4)蒲生 武田 MINSIK 今野 有賀 佐藤 | 18 |
| | B | 安藤研 | 大兼幹彦 | 大兼准教授 佐藤技術職員 (D2)飯浜 向山 小野 (M2)大和田 (B4)栗本 | 7 |
| | B | 遠藤研 | 大野研 | 遠藤教授 (研究支援員)東 | 2 |
| | B | 鷺尾研 | 川島 和之 | 川島助教 (M2)千葉 伊藤 | 3 |
| | B | 石山研 | 栢修一郎 | 栢准教授 (D2)申 (M1)三輪 (B4)横井 林 | 5 |
| | B | 北上研 | 菊池伸明 | 菊池助教 後藤技術職員 (D3)古田 (M2)草薙 | 4 |
| | B | 高桑研 | 小川修一 | 小川助教 (D2)尾白 (D1)阿加 (M2)林 西本 川田 (M1)小谷川 (B4)大野 杉本 | 9 |
| | B | 松岡研 | 谷川 智之 | 松岡教授 谷川助教 Christian Wetezl 客員教授 木村研究員 | 4 |
| | B | 山田研 | 北 智洋 | 北助教 平野 | 2 |
| B | 長研 | 平永 良臣 | 平永助教 (M2)陳 | 2 | |

合計

154

共通利用対応装置 利用時間

平成26年3月1日から平成27年2月28日まで

| 装置名 (aは共通利用対応、bはプロシキト対応) | 平成26年3月1日から平成27年2月28日まで | | | | | | | | | | | | | 合計 | | |
|-----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|----------------------|
| | A/P | A/P | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | 小計 | 共通利用対応装置利用時間 | プロシキト用、研究費持込装置利用時間小計 |
| 佐藤・櫻庭研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 大野研(松倉研、池田研を含む) | 318 | 204 | 166 | 13 | 445 | 26 | 41 | 25 | 2 | 48 | 12 | 1833 | 15 | 18 | 80 | 2387 |
| 鹿野研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 中島研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 桜松・三森研 | 140 | | 54 | 10 | 9 | 151 | | | 9 | | | | | | | 1014 |
| 尾辻・末光研 | 35 | 8 | 32 | 4 | 1 | 138 | 110 | | | | | | | | | 731 |
| 施設共通部 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 羽生研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 榎藤研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 末光・吹程研 | 91 | | | | 8 | 3 | 31 | | 2 | | | | | | | 106 |
| 蟹尾・小会研(固体電子研究室) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 安藤研(応用物理学専攻) | | | | | 4 | | | | | | | | | | | |
| 新田研(応用化学ハイマテリア科学専攻) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 北上研(多元物質科学研究所) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 高島研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 石山・梶研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 松岡研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 山田・大寺研 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長研 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 窪田G | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 田中(徹)研 | 586 | 212 | 252 | 76 | 445 | 56 | 521 | 275 | 15 | 48 | 12 | 1865 | 15 | 18 | 109 | 3491 |
| 計 | 2537 | 1643 | 1710 | 1033 | 3505 | 6528 | 10033 | 2387 | 2443 | 4770 | 2387 | 2443 | 4770 | 2387 | 2443 | 4770 |

※佐藤・櫻庭研の利用時間に含まれる。

※佐藤・櫻庭研の利用時間に含まれる。

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26年度は以下のように計6回の講演会を実施した。

- 第71回 平成26年5月15日 14:00-17:00
「Introduction to numerical methods for the solution of Maxwell's equations」
Dr.Igor ESMENIKHIN,RIEC Visiting of Associate Professor
"Tunneling in semiconductors and graphene"
Dr.Dmiry SVINTSOV,JSPS Postdoctoral Fellow
- 第72回 平成26年7月30日 15:00-17:00
「Plasma wave transistor for terahertz imaging」
「Terahertz time domain spectroscopy」
Prof.Dr.Yahya M.MEZIANI,Dept.of Applied Physics&Electronics,University at Salamanca,Spain
- 第73回 平成26年10月10日 13:00~
「TSpin torque and spin Hall effect nano-oscillators」"
Prof. Johan Akerman (KTH, Sweden)
- 第74回 平成26年12月22日
13:05-13:45
[招待講演]「テラヘルツ無線の最近の進展」
○ソンホジン・田島卓郎・矢板 信(NTT)
13:45-14:10
「トンネルデバイスを用いた簡易構成テラヘルツ超広帯域通信のための送信器側モデルの特性解析」
○浅川澄人・山倉裕和・加藤優斗・伊森香織・斉藤光史・須原理彦(首都大東京)
14:10-14:35
「InGaAs チャネル HEMT 及びグラフェンチャネル FET を用いたミリ波帯フォトミキシング」
○川崎鉄哉・吉田智洋・菅原健太・Adrian Dobroiu・渡辺隆之・杉山弘樹・若生洋由紀(東北大)・可児淳一・寺田 純・桑野 茂(NTT)・吾郷浩樹・河原憲次(九大)・岩月勝美・末光哲也・尾辻泰一(東北大)
14:35-15:00
「90GHz帯における InGaAs/InAlAs HEMT の出力特性」
○渡邊一世(NICT)・遠藤 聡(NICT/Fujitsu Lab)・笠松章史(NICT)・三村高志(NICT/Fujitsu Lab)
15:00-15:25
「種々の形状の埋め込みゲートを有する InAlAs/ InGaAs HEMT のモンテカルロ計算」
○遠藤 聡(NICT/Fujitsu Lab)・渡邊一世(NICT)・笠松章史(NICT)・三村高志(NICT/Fujitsu Lab)
15:45-16:10
「Development of Frequency-Tunable Narrowband Time-Domani Terahertz Wave

Generation System

○Roy Sourav·Zhang Caihong(Osaka.Unv.)・Yuri Avetisyan(Yerevan State Univ.)・
Iwako Kawayama-Hironaru Murakami-Masayoshi tonouchi(Osaka Unv.)

16:10-16:35

「高出力テラヘルツ波パラメトリック光源を用いたパイロ検出器の感度較正法の確立に向けて

○瀧田佑馬(理研)・柴 直孝(静大)・野竹孝志・縄田耕二・時実 悠・林 伸一郎(理研)・
廣本宣久(静大)・南出泰重(理研)

16:35-17:00

「テラヘルツ波反射イメージングによる銅板表面亀裂の定量的検出」

○高橋星也・田邊匡生・前田健作・浜野知行・中嶋かおり・小出 裕(東北大)

17:00-17:25

「テラヘルツ分光によるナイロン6の物性評価」

○鈴木 晴・石井伸弥・大谷知行・保科宏道(理研)

平成26年12月23日

9:00-9:40

[招待講演]「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計用超伝導受信機の開発」

○鵜澤佳徳(NICT)

9:40-10:05

「GaAsSb トンネルダイオードのドーピング制御による170GHzミリ波感度の向上」

○高橋 剛・佐藤 優・芝 祥一・原 直紀・岩井大介(富士通研)

10:05-10:30

「非対称二重格子ゲート高電子移動度トランジスタを用いたプラズモニックテラヘルツ検出の広帯域特性」

○佐藤 昭・ステファン ポーバンガトムベット・渡辺隆之・川崎鉄哉(東北大)・デニス
ファティエフ・ヴァチェスラフポポフ(コテルニコフ無線電子工学研(サラトフ支
部))・南出泰重・伊藤弘昌(理研)・ドミニクコキラ・ヴォイチェッククナップ(モンペリ
エ第二大)・ギロームデュコーナ(マイクロエレクトロニクス研)・尾辻泰一(東北大)

10:30-11:10

[招待講演]「純粋3準位レーザ構造を用いたGaN系テラヘルツ量子カスケードレーザの実現」

○寺嶋 亘・平山秀樹(理研)

11:10-11:35

「Modulation barrier AlGaAs/GaAs quantum Cascade laser operating at 3.7THz

○Tsung-Tse Lin・Hideki Hirayama(RIKEN)

11:35-12:00

「スロット結合パッチアンテナを集積した超小型共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振器」

○笠木浩平・大島直到・鈴木左文・浅田雅洋(東工大)

13:30-14:10

[招待講演]「グラフェン/半導体接合からのテラヘルツ波放射特性」

○川山 巖(阪大)

14:10-14:35

「金属メッシュ付単層グラフェンからの増幅されたテラヘルツ波放射

○板津太朗・佐野栄一(北大)・矢部裕平・Victor Ryzhii・尾辻泰一(東北大)

14:35-15:00

「蒸気圧制御温度差液相成長法によるTHz発生用GaSe結晶の成長とその評価

○鈴木康平・長井悠輝・山本邦彦・佐藤陽平・前田健作・齊藤恭介・小山 裕(東北大)

15:00-15:25

「ゲルマニウム結晶のアニール処理によるテラヘルツ波光源の出力向上

○中里祐輔・バーラセカラン スンダララジャン・前田健作・小山 裕(東北大)

第 75 回 平成 27 年 1 月 29 日 15 : 00~16 : 30

「Potential profile engineered nanomaterials with charged quantum dots for advanced sensing applications」

Dr. Vladimir MITIN, Distinguished Professor, Buffalo Univ., SUNY, NW, USA

第 76 回 平成 27 年 3 月 19 日 11 : 00~12 : 00

「Some applications of the transverse-electric mode of terahertz parallel-plate waveguides」

Professor Daniel MITTLEMAN, Department of Electrical and Computer Engineering, Rice University, TX, USA

(国際シンポジウムプログラム)

12th RIEC International Workshop on Spintronics

June 25 (Wednesday) - 27 (Friday), 2014
 Conference Room, Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC, Tohoku University

Time table

| June 25 (Wednesday) | | June 26 (Thursday) | | June 27 (Friday) | | | | |
|---------------------|--------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------------|---------|----------------|--|
| | | 9:00 - 9:40 | T-1 | Lee | 9:00 - 9:40 | F-1 | Iwasa | |
| | | 9:40 - 10:20 | T-2 | Xiao | 9:40 - 10:10 | F-2 | Kanai | |
| | | Break | | Break | | | | |
| | | 10:40 - 11:20 | T-3 | Garello | 10:30 - 11:10 | F-3 | Hu | |
| | | 11:20 - 12:00 | T-4 | Ferguson | 11:10 - 11:50 | F-4 | Akerman | |
| | | | | 11:50 - | | Closing | | |
| 12:30 - 13:30 | Registration | Lunch | | | | | | |
| 13:30 - | Opening | | | | | | | |
| 13:40 - 14:20 | W-1 | Fukami | 13:40 - 14:20 | T-5 | Coey | | | |
| 14:20 - 15:00 | W-2 | Marrows | 14:20 - 15:00 | T-6 | Jungwirth | | | |
| 15:00 - 15:40 | W-3 | Beach | 15:00 - 15:30 | T-7 | Chen | | | |
| Break | | | | | | | | |
| 16:00 - 16:40 | W-4 | Hayashi | 15:30 - 17:20 | P-1 ~ P-27 | Poster session | | | |
| 16:40 - 17:20 | W-5 | Thiaville | | | | | | |
| 17:20 - 18:00 | W-6 | Yang | Transfer | | | | | |
| | | 18:00 - 19:30 | Banquet | | | | | |

June 25th (Wednesday)

| | | | page |
|-------------|-----|---|------|
| 12:30-13:30 | | Registration | |
| 13:30-13:40 | | Opening Hideo Ohno (<i>Organizer, Tohoku University</i>) | |
| 13:40-14:20 | W-1 | Shunsuke Fukami and Hideo Ohno (<i>Tohoku University</i>) Current induced domain wall motion in Co/Ni wires for nonvolatile memories and logic circuits | 1 |
| 14:20-15:00 | W-2 | Aleš Hrabec,¹ Serban Lepadatu,¹ Nicholas A. Porter,¹ Adam Wells,¹ Maria Jose Benitez Romero,² Robert Beacham,² Damien McGrouther,² Stephen McVitie,² Henri Saarikoski,³ Gen Tatara,³ Gavin Burnell,¹ Thomas A. Moore,¹ and <u>Christopher H. Marrows¹</u>, (¹<i>University of Leeds</i>, ²<i>University of Glasgow</i>, ³<i>RIKEN</i>) Domain wall motion in multilayer films | 2 |
| 15:00-15:40 | W-3 | Geoffrey S. D. Beach (<i>MIT</i>) Current driven dynamics of chiral domain walls | 3 |
| 15:40-16:00 | | Break | |
| 16:00-16:40 | W-4 | Masamitsu Hayashi,¹ Jacob Torrejon,¹ Junyeon Kim,¹ Jaivardhan Sinha,¹ Seiji Mitani,¹ Saburo Takahashi,² Sadamichi Maekawa³, Michihiko Yamanouchi,² and Hideo Ohno² (¹ <i>National Institute for Materials Science</i> , ² <i>Tohoku University</i> , ³ <i>Japan Atomic Energy Agency</i>) Current induced spin orbit torques and chiral magnetic texture in magnetic heterostructures | 4 |
| 16:40-17:20 | W-5 | André Thiaville (<i>Université Paris-Sud</i>) Role of chiral micromagnetic structures in ultrathin films | 5 |
| 17:20-18:00 | W-6 | Hyunsoo Yang (<i>National University of Singapore</i>) Spin-orbit torque engineering in magnetic multilayers | 6 |

June 26th (Thursday)

| | | | page |
|-------------|-----|---|------|
| 9:00-9:40 | T-1 | Kyung-Jin Lee (<i>Korea University</i>) Theoretical studies on magnetic interfaces subject to spin-orbit coupling | 7 |
| 9:40-10:20 | T-2 | X. Fan,¹ H. Celik,¹ K.-J Lee,² J. Wu,¹ T. V. O. Lorenz,¹ and John Q. Xiao¹ (¹ <i>University of Delaware, </i> ² <i>Korea University</i>) Quantifying interface and bulk contributions to spin-orbit torque in magnetic bilayers | 8 |
| 10:20-10:40 | | Break | |
| 10:40-11:20 | T-3 | Kevin Garello,¹ Can Onur Avci,¹ Ioan Mihai Miron,² Olivier Boulle,² Stéphane Auffret,² Abhijit Ghosh,¹ Manuel Baumgartner,¹ Gilles Gaudin², and Pietro Gambardella¹ (¹ <i>ETH Zurich, </i> ² <i>SPINTEC</i>) Ultrafast magnetization switching by spin-orbit torques | 9 |
| 11:20-12:00 | T-4 | Andrew J. Ferguson (<i>University of Cambridge</i>) An Anti-damping spin-orbit torque originating from the Berry curvature | 10 |
| 12:00-13:40 | | Lunch | |
| 13:40-14:20 | T-5 | J. M. D. Coey (<i>Trinity College, Dublin</i>) Progress with d^0 magnetism; collective magnetic response of CeO₂ nanoparticles | 11 |
| 14:20-15:00 | T-6 | Tomas Jungwirth (<i>ASCR and University of Nottingham</i>) Current induced spin-orbit torques in ferromagnets and antiferromagnets | 12 |
| 15:00-15:30 | T-7 | Lin Chen,¹ Fumihiko Matsukura,¹ Tomasz Dietl,^{1,2} and Hideo Ohno¹ (¹ <i>Tohoku University, </i> ² <i>Polish Academy of Sciences and University of Warsaw</i>) Electrical detection and control of magnetization dynamics in (Ga,Mn)As | 13 |
| 15:30-17:20 | | Poster session (Room A401) | |

June 27th (Friday)

| | | | page |
|-------------|-----|--|------|
| 9:00-9:40 | F-1 | Yoshihiro Iwasa (<i>University of Tokyo, RIKEN</i>) Two-dimensional crystals for spin-valley functions | 14 |
| 9:40-10:10 | F-2 | Shun Kanai,¹ Y. Nakatani,² M. Yamanouchi,¹ S. Ikeda,¹ H. Sato,¹ F. Matsukura,¹ and H. Ohno¹ (¹ <i>Tohoku University, </i> ² <i>University of Electro-comminucations</i>) Magnetization switching induced by electric field | 15 |
| 10:10-10:30 | | Break | |
| 10:30-11:10 | F-3 | P. Hyde,¹ Lihui Bai,¹ D. M. J. Kumar,¹ B. W. Southern,¹ S. Y. Huang,² B. F. Miao,² C. L. Chien,² and <u>Can-Ming Hu</u>¹ (¹ <i>University of Manitoba, </i> ² <i>Johns Hopkins University</i>) Electrical detection of dynamically generated dc and ac spin currents | 16 |
| 11:10-11:50 | F-4 | Johan Åkerman (<i>University of Gothenburg</i>) Recent advances in nano-contact spin torque oscillators | 17 |
| 11:50- | | Closing | |

Poster Session, June 26th (Thursday) 15:30-17:20 (Room A401)

| | page |
|---|------|
| P-1 Chaoliang Zhang, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno <i>(Tohoku University)</i> In-plane current-induced effective fields and magnetization switching in Ta/CoFeB/MgO structures | 18 |
| P-2 Samik DuttaGupta, S. Fukami, M. Yamanouchi, C. Zhang, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno <i>(Tohoku University)</i> Current and field induced domain wall creep in Ta/CoFeB/MgO wire | 19 |
| P-3 Aya Obinata,¹ Yuki Hibino,¹ Tomohiro Koyama,¹ Kazumoto Miwa,² Shimpei Ono,² and Daichi Chiba¹ <i>(¹The University of Tokyo, ²Central Research Institute of Electric Power Industry)</i> Co thickness dependence of magnetic properties and electric field control of magnetism in a Pd(Pt)/Co/Pt system | 20 |
| P-4 Yuki Hibino,¹ Aya Obinata,¹ Tomohiro Koyama,¹ Kazumoto Miwa,² Shimpei Ono,² and Daichi Chiba¹ <i>(¹The University of Tokyo, ²Central Research Institute of Electric Power Industry)</i> Pd thickness dependence of magnetic properties and electric field control of magnetism in a Pd/Co/Pt system | 21 |
| P-5 Tomohiro Koyama, Aya Obinata, Yuki Hibino, and Daichi Chiba <i>(The University of Tokyo)</i> Sign reversal of electric field modulation of coercivity in Co ultra-thin films | 22 |
| P-6 Muftah Al-Mahdawi, Yohei Shiokawa, and Masashi Sahashi <i>(Tohoku University)</i> Bias dependence of anomaly temperature in Co/Pt nano-contacts through AlO_x barrier | 23 |
| P-7 Yutaro Takeuchi, S. Ishikawa, H. Sato, S. Ikeda, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno <i>(Tohoku University)</i> Temperature dependence of thermal stability factor in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction | 24 |
| P-8 Yoshihisa Horikawa, S. Ishikawa, S. Ikeda, H. Sato, S. Fukami, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno <i>(Tohoku University)</i> MgO cap thickness dependence of interfacial anisotropy of MgO/FeB/MgO structure | 25 |
| P-9 Takafumi Nakano, Mikihiro Oogane, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando <i>(Tohoku University)</i> Magnetic sensor properties with various CoFeB sensing layer thicknesses and annealing temperatures in MgO-based magnetic tunnel junctions | 26 |

- P-10 **Koki Mukaiyama, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando** 27
(Tohoku University)
Fabrication of magnetic tunnel junctions using perpendicularly magnetized [Co₇₅Fe₂₅/Pd] multilayer
- P-11 **Shinya Ishikawa, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno** 28
(Tohoku University)
High thermal stability of magnetic tunnel junction with CoFeB/Ta/[Co/Pt] multilayer ferromagnetic electrode
- P-12 **Atsuo Ono, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando** 29
(Tohoku University)
Fabrication of magnetic tunnel junctions with Heusler alloy electrode for TMR sensor devices
- P-13 **Y. Sasaki, S. Mizukami, S. Iihama, H. Naganuma, M. Oogane, and Y. Ando** 30
(Tohoku University)
Laser-induced ultrafast demagnetization in L1₀-FePt films
- P-14 **Satoshi Iihama, Shigemi Mizukami, Hiroshi Naganuma, Terunobu Miyazaki, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando** 31
(Tohoku University)
Low Gilbert damping observed in L1₀-FePd thin films with large perpendicular magnetic anisotropy
- P-15 **Takahiro Chiba,¹ G. E. W. Bauer,^{1,2} and S. Takahashi¹** 32
(¹Tohoku University, ²Delft University of Technology)
Current-driven effective damping modulation of magnetic insulators
- P-16 **Eriko Hirayama, S. Kanai, K. Sato, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno** 33
(Tohoku University)
In-plane anisotropy in a CoFeB magnetic tunnel junction
- P-17 **Jun-ichiro Ohe,¹ Ryuichi Shindou,² Ryo Matsumoto,³ and Shuichi Murakami³** 34
(¹Toho University, ²Peking University, ³Tokyo Institute of Technology)
Topologically protected chiral edge spin-wave in a magnonic crystal
- P-18 **Thomas Meyer,¹ T. Brächer,^{1,2} T. Sebastian,^{1,3} P. Pirro,¹ T. Fischer,¹ A. A. Serga,¹ H. Naganuma,⁴ K. Mukaiyama,⁴ M. Oogane,⁴ Y. Ando,⁴ and B. Hillebrands¹** 35
(¹Technische Universität Kaiserslautern, ²Graduate School Materials Science in Mainz, ³Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, ⁴Tohoku University)
Control of parametric amplification via spin-transfer torque of a pure spin current in Heusler/Pt bilayers
- P-19 **Motoki Endo,¹ S. Mizukami,¹ K. Fujiwara,¹ T. Nishikawa,² M. Oogane,¹ H. Naganuma,¹ and Y. Ando¹** 36
(¹Tohoku University, ²Konica Minolta, Inc.)
Detectivity of weak magnetic field with magnetic tunnel junctions for observing ultra-low-field nuclear magnetic resonance

- P-20 **Shota Shirai,¹ T. Tomimatsu,^{1,2} K. Hashimoto,^{1,2} K. Sato,¹ K. Nagase,^{1,2} and Y. Hirayama^{1,2}** 37
(¹Tohoku University, ²ERATO-JST)
Nuclear spin resonance mediated by oscillating electric field in a wide range of filling factors
- P-21 **Akashdeep Kamra,^{1,2} Friedrich Witek,¹ Sibylle Meyer,¹ Hans Huebl,^{1,3} Stephan Geprägs,¹ Rudolf Gross,^{1,3,4} Gerrit E. W. Bauer,^{5,2} and Sebastian T. B. Goennenwein^{1,3}** 38
(¹Bayerische Akademie der Wissenschaften, ²Delft University of Technology, ³Nanosystems Initiative Munich, ⁴Technische Universität München, ⁵Tohoku University)
Thermal voltage noise in ferromagnetic insulator|normal metal hybrids
- P-22 **Adam B. Cahaya,¹ O. A. Tretiakov,¹ and G. E. W. Bauer^{1,2}** 39
(¹Tohoku University, ²Delft University of Technology)
Spin Seebeck power conversion
- P-23 **Hayato Yoshizawa, T. Kato, H. Toyota, and N. Uchitomi** 40
(Nagaoka University of Technology)
Room-temperature ferromagnetic InMnAs thin films grown by molecular beam epitaxy on InP substrates
- P-24 **Sophie D'Ambrosio,¹ Lin Chen,¹ Hiroyasu Nakayama,¹ Fumihiko Matsukura,¹ Tomasz Dietl,^{1,2} and Hideo Ohno¹** 41
(¹Tohoku University, ²Polish Academy of Sciences and University of Warsaw)
dc voltage measured in Py/ZnO bilayer under ferromagnetic resonance
- P-25 **Chang-Feng Yu¹ and Shih-Jye Sun²** 42
(¹National Chiayi University, ²National University of Kaohsiung)
UV irradiations enhance ferromagnetism in anisotropic crystal growth ZnO nanorods
- P-26 **Reinier van Mourik,^{1,2} Charles Rettner,¹ Brian Hughes,¹ Bert Koopmans,² and Stuart Parkin¹** 43
(¹IBM Almaden Research Center, ²Eindhoven University of Technology)
Domain wall pinning dependent on nanomagnet state
- P-27 **Ashna Bajpai,^{1,2} Z. Aslam,² S. Hampel,³ R. Kingeler,^{3,4} and N. Grobert²** 44
(¹Indian Institute of Science Education and Research, ²University of Oxford, ³Leibniz Institute for Solid State and Material Research, ⁴University of Heidelberg)
Novel interface effects in binary chrome oxides and their encapsulation in carbon nanotubes

The 3rd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

Date: February 18 - 19, 2015

Place: Conference Room (L) M601, Main Building,
Research Institute of Electrical Communication,
Tohoku University

Organizers:

Symposium Co-Chairs

Koji Nakajima, Tohoku Univ., Michio Niwano, Tohoku Univ.

Program Committee

Takahiro Hanyuu, Tohoku Univ., Shigeo Sato, Tohoku Univ., Ayumi Hirano, 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 18 (Wednesday)

13:00 -13:05 Opening Remarks

A. Hirano-Iwata, Tohoku Univ., Japan

--- Session 1 (Chair: A. Hirano-Iwata) ---

13:05 -13:35 [S1-1] On the nature and transmission of information among cell-assemblies in engineered neuronal topologies

T. DeMarse, A. Sankarleengam, L. Pan, E. Franca, S. Leondopulos, G. Brewer, B. Wheeler, Univ. Florida, USA

13:35 -13:55 [S1-2] Long-term electrophysiological measurements in cultured human iPSC derived neurons

I. Suzuki, Tohoku Institute of Technology, Japan

13:55 -14:15 [S1-3] Single-cell micropatterning techniques for engineering neuronal networks in vitro

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

14:15 -14:30 Break (15 min)

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

14:30 -14:50 [S2-1] Functional reconstitution of ion channels in artificially formed bilayer lipid membranes

A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, H. Yamamoto, Y. Kimura, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

14:50 -15:10 [S2-2] Integrated circuit for multi-channel pattern stimulation to neuronal network

T. Yagi, S. Kameda, Y. Hayashida, T. Kamata, Y. Takeuchi, A. U. Khan, J. Yu, M. Imai, Osaka Univ., Japan

15:10 -15:30 [S2-3] Real-time artificial cerebellum to study neuronal mechanisms of motor learning

R.D. Pinzon-Morales, Y. Hirata, Chubu Univ., Japan

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

--- Session 3 (Chair: H.-F. Yanai) ---

15:45 -16:05 [S3-1] Neural implementation of shape-invariant touch counter based on Euler calculus
K. Miura, K. Nakada, Tohoku Univ., Japan

16:05 -16:25 [S3-2] Collective dynamics of bird flocks
Y. Hayakawa, Tohoku Univ., Japan

16:30 -17:30 --- Poster Session ---

[P-1] Behavior and brain activity of a mouse in the virtual environment

N. Katayama, T. Araya, Y. Yoshida, D. Nakagawa, A. Karashima, M. Nakao, Tohoku Univ., Japan

[P-2] A neural network model of self-contained feeling of knowing

H.-F. Yanai, Ibaraki Univ., Japan

[P-3] Mitigation of degrading with weight quantization in deep neural networks

S. Shinagawa, Y. Hayakawa, K. Nakajima, Tohoku Univ., Japan

[P-4] Neural network learning using velocity amplitude function

Y. Horiuchi, Y. Hayakawa, K. Nakajima, Tohoku Univ., Japan

[P-5] Size-dependent modulation of spontaneous activity in micropatterned neuronal networks

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

[P-6] Computational modeling of the spontaneous activity in micropatterned neuronal networks

Y. Chida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, K. Ishihara, S. Fujimori, T. Tanii, S. Kubota, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

[P-7] Recording activities of cardiomyocyte channels in microfabricated silicon chips

Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, Y. Kimura, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

[P-8] Immunocytochemical analysis of synaptogenesis in micropatterned hippocampal neurons

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

[P-9] Chronoamperometric recording of increased glutamate release after induction of long-term potentiation in mouse hippocampal slices

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

[P-10] A statistical evaluation of a device-mismatch compensation circuit for brain-inspired LSIs

S. Uenohara, D. Atuti, K. Matsuzaka, H. Tamukoh, T. Morie, K. Aihara, Kyushu Institute of Technology, Japan

[P-11] Time-domain multiply-and-accumulation calculation using Si nanodisk array structures for brain-like computing

T. Tohara, Y. Kuramitsu, K. Endo, S. Samukawa, M. Masahara, T. Morie, Kyushu Institute of Technology, Japan

[P-12] VLSI implementation of neural network model in local motion detection in motion stereo vision

H. Akima, S. Moriya, S. Kawakami, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, Tohoku Univ., Japan

18:00 -20:00 Banquet

February 19 (Thursday)

--- Session 4 (Chair: N. Katayama) ---

9:00 - 9:20 [S4-1] Fine control of axonal spikes by neural activity

H. Kamiya, Hokkaido Univ., Japan

9:20 - 9:40 [S4-2] Locality and connectivity of anisotropic inhibition for directional traveling waves in the hippocampal CA3

T. Samura, Y. Sakai, H. Hayashi, T. Aihara, Yamaguchi Univ., Japan

9:40 -10:10 [S4-3] Optimizing stimulation to control normal and pathological oscillations in the brain

T. Netoff, Univ. Minnesota, USA

10:10 -10:25 Break (15 min)

--- Session 5 (Chair: Y. Hirata) ---

10:25 -10:45 [S5-1] Bursting oscillation in subthalamic nucleus induced by hyperdirect pathway

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

- 10:45 -11:15 [S5-2] Synchronization effects in a cortical attractor network model
P. Herman, P. Krishnamurthy, A. Lansner, Royal Institute of Technology, Sweden
- 11:15 -11:35 [S5-3] Temporal modulation of irregularities on macaque visual neurons
K. Fujiwara, T. Ikeguchi, Tokyo Univ. Sci., Japan
- 11:35 -11:55 [S5-4] Swarm robot as self-propelled granular particles and its application
K. Sugawara, Tohoku Gakuin Univ., Japan
- 11:55 -13:25 Break (90 min)
- Session 6 (Chair: T. Morie) ---
- 13:25 -13:55 [S6-1] Advances on SIMD architectures for spiking neural emulators
J. Madrenas, M. Zapata, G. Sánchez, Technical University of Catalunya, Spain
- 13:55 -14:15 [S6-2] A hardware complexity reduction scheme exploiting complex networked dynamics
Y. Horio, Tokyo Denki Univ., Japan
- 14:15 -14:35 [S6-3] Quantum neural network and its application to optimization problems
S. Sato, M. Kinjo, K. Nakajima, H. Akima, M. Sakuraba, Tohoku Univ., Japan
- 14:35 -14:50 Break (15 min)
- Session 7 (Chair: S. Sato) ---
- 14:50 -15:20 [S7-1] Inverse-function delay-less model as an active neural network
K. Nakajima, Tohoku Univ., Japan
- 15:20 -15:25 Closing Remarks
S. Sato, Tohoku Univ., Japan



RIEC
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

The Joint Symposium of 9th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 6th 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

Information Bionics Seminar

Sendai Plasma Forum

Cooperative Society

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

March 2-4, 2015

Sendai, Japan

Program

March 2 (Monday)

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

- 10:00 ~ 10:05 Opening Remarks
Michio Niwano (Tohoku University, Japan)
(Chair: Teng Ma)
- 10:05 ~ 10:50 Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications
Patric Schmuki (Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Germany)
- 10:50 ~ 11:30 Probing ultrafast spin dynamics by laser-combined STM
Hidemi Shigekawa (Faculty of Pure and Applied Science, University of Tsukuba, Japan)
- 11:30 ~ 12:00 Polarity Reversal of Tunnel Magnetoresistance Observed in Lateral Ferromagnet-Superconductor-Ferromagnet Single-Electron Transistor
Yoshinao Mizugaki^{1,2}, Masashi Takiguchi¹, and Hiroshi Shimada^{1,2} (¹The Univ. of Electro-Communications (UEC Tokyo), ²CREST, JST)
- 12:00 ~ 13:30 Lunch

(Chair: Toshiro Kaneko)
- 13:30 ~ 14:15 Incorporation of Surface Biofunctionalities by Chemical Plasma Techniques
Chun-Chieh Fan, Sze-Jinn Chen, and Meng-Jiy Wang (Department of Chemical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan)
- 14:15 ~ 14:45 Quantum-dot-based Nanometrological Analysis of Intracellular Trafficking Activities in Living Cell
Makoto Kanzaki (Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Japan)
- 14:45 ~ 15:15 Cell Membrane Permeabilization inside Irradiation Region Using Atmospheric-Pressure Plasma
Shota Sasaki¹, Yutaro Hokari¹, Makoto Kanzaki², and Toshiro Kaneko¹ (¹Department of Electronic Engineering, Tohoku University, ²Department of Biomedical Engineering, Tohoku University, Japan)
- 15:15 ~ 15:30 Coffee break

(Chair: Hideaki Yamamoto)

- 15:30 ~ 16:00 Type Classification of Exosome Adsorption to Solid Surfaces by Atomic Force Microscopy in Aqueous Environment
Toshio Ogin^{1,2} and Keiji Yokota^{1,2} (¹Yokohama National University, ²CREST/JST, Japan)
- 16:00 ~ 16:30 Micro-/ nano-compartments between substrate-supported model membrane and silicone elastomer
Kenichi Morigaki^{1,2} (¹Research Center for Environmental Genomics, Kobe University, Japan, ²Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Japan)
- 16:30 ~ 17:00 A simple method for lipid bilayer formation using a fine gold electrode
Daichi Okuno¹, Minako Hirano², Hiroaki Yokota², Tomotaka Komori¹, Yukiko Onishi¹, Toshio Yanagida¹, and Toru Ide³ (¹Laboratory for Cell Dynamics Observation, Quantitative Biology Center, Riken, ² The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries, ³Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University)

March 3 (Tuesday)

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

(Chair: Yuji Matsuura)

9:00 ~ 9:30 Mid-infrared Laser Tissue Interactions for Less-invasive and Selective Laser Treatments
Katsunori Ishii, Keisuke Hashimura, and Kunio Awazu (Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan)

9:30 ~ 10:00 High-speed endoscopic Raman imaging by using hollow fiber bundle
T. Katagiri¹, S. Inoue², and Y. Matsuura^{1,2} (¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University)

10:00 ~ 10:15 Coffee break

(Chair: Masashi Sahashi)

10:15 ~ 11:00 Incorporating magnetoelectric switching and metal-insulator transitions into next generations of non-volatile memory
Pavel Borisov, Toyannath Joshi, and David Lederman (West Virginia University, USA)

11:00 ~ 11:30 Magnetic oxides: applications of bulk and nanostructured forms
Eiji Kita and Hideto Yanagihara (Institute of Applied Physics, University of Tsukuba, Japan)

11:30 ~ 12:00 Magnetoelectric switching of perpendicular exchange bias in Pt/Co/Cr₂O₃/Pt stacked films
Yuu Shiratsuchi (Department of Materials Science and Engineering, Osaka University, Japan)

12:00 ~ 13:00 Lunch

13:00 ~ 14:45 Poster session

(Chair: Takashi Watanabe)

14:45 ~ 15:30 Brain Machine Interface Controlled Functional Electrical Stimulation Therapy
Milos R. Popovic^{1,2} (¹Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering, University of Toronto, Canada and ²Toronto Rehabilitation Institute, University Health Network, Toronto, Canada)

15:30 ~ 16:00 Robot-aided Rehabilitation Task Design Based on Musculoskeletal
Yangling Pei (Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University,

Japan)

16:00 ~ 16:15 Coffee break

(Chair: Keisuke Takashima)

16:15 ~ 17:00 Plasma Applications to Agriculture: Plasma Farming
SukJae Yoo (Plasma Technology Research Center, National Fusion Research Institute, Korea)

17:00 ~ 17:30 Plasma and pulsed power applications for agriculture
Koichi Takaki (Iwate University, Department of Electrical and Electronics Eng., Iwate University, Japan)

17:30 ~ 18:00 Suppression Effect on Germination of Strawberry Pathogen by Atmospheric Pressure Air and N₂ Plasma Irradiation
Hideaki Konishi¹, Keisuke Shimada¹, Keisuke Takashima¹, Toshiro Kaneko¹, Syota Inawashiro², Masaaki Osaka², and Naomi Seo² (¹Department of Electronic Engineering, Tohoku University, ²Miyagi Prefectural Agriculture and Horticulture Research Center, Japan)

March 4 (Wednesday)

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

(Chair: Michio Niwano and Ayumi Hirano-Iwata)

9:00 ~ 9:45 Developing microscale apertures for ion channel recordings with ultra-stable lipid bilayer membranes

Maurits de Planque (Electronics and Computer Science & Institute for Life Sciences, University of Southampton, United Kingdom)

9:45 ~ 10:25 Cell LEGO – Recent advances -

Hiroo Iwata (Institute for Frontier Medical Sciences, Kyoto University, Japan)

10:25 ~ 10:55 Fusion of channel-incorporated proteoliposomes into solid-supported lipid bilayer
Ryugo Tero (Department of Environmental and Life Sciences, and Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute, Toyohashi University of Technology, Japan)

10:55 ~ 11:10 Coffee break

(Chair: Michio Niwano and Ayumi Hirano-Iwata)

11:10 ~ 11:40 RT atomic layer deposition of hafnium oxide by using plasma excited oxygen and water vapor

F. Hirose^{1,2}, K. Kanomata^{1,3}, B. Ahmmad^{1,2}, and S. Kubota^{1,2} (¹Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, ²CREST, Japan Science and Technology Agency, ³Japan Society for the Promotion of Science, Japan)

11:40 ~ 12:10 Anodization process for Nanofabrication

Yasuo Kimura^{1,2} (School of Computer Science, Tokyo University of Technology, CREST JST, Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Japan)

12:10 ~ 12:40 Recording activities of ion channel proteins in microfabricated silicon chips
Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}, Yutaka Ishinari^{1,2}, Hideaki Yamamoto^{2,3}, Yasuo Kimura^{2,4}, and Michio Niwano^{1,2,5} (¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²CREST, JST, ³Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, ⁴School of Computer Science, Tokyo University of Technology, ⁵Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

12:40 Closing

Poster Presentation

- [P-1] Study on Surface Reaction in ECR Ar Plasma CVD of SiGe Alloy on Si(100) without Substrate Heating
N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima, and S. Sato
- [P-2] Shape Control of a Single Ag Nanoparticle by Scanning Tunneling Microscope Tip
Masaki Hotsuki, Satoshi Katano, and Yoichi Uehara
- [P-3] Nano-scale Observation of Graphene Oxide using Scanning Tunneling Microscopy
Tao Wei, Satoshi Katano, and Yoichi Uehara
- [P-4] Fabrication of all-organic transistors with patterned electrodes of molecularly doped polymer thin films
Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yasuo Kimura, and Michio Niwano
- [P-5] Generation of nano-bubbles by a porous film with ordered nanoholes
Hideyuki Saito, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano
- [P-6] Infrared spectroscopic study on mechanism of hydrogen adsorption and desorption on Pd surface
Takahiro Nakayama, Yuji Imai, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano
- [P-7] In-situ infrared spectroscopic monitoring of adsorption of dye molecules on the inner walls of TiO₂ nanotubes
Natsuki Yamada, Daisuke Tadaki, Teng Ma, and Michio Niwano
- [P-8] Chronoamperometric Recording of Increased Presynaptic Glutamate Release After Induction of Long-Term Potentiation
Ryosuke Matsumura, Ayumi Hirano-Iwata, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano
- [P-9] A Basic Study on Measurement of 3-dimensional Foot Movements during Gait Using an Inertial Sensor
M. Shiotani and T. Watanabe
- [P-10] In situ pH Imaging of Metal Surface Under Electrolysis
S. Sakakita, K. Miyamoto, T. Yoshinobu
- [P-11] In Vitro Apatite Formation and Drug Releasing of Porous TiO₂ Microspheres Prepared by Sol-Gel Processing
M. Kawashita, Y. Tanaka, S. Uneno, G. Liu, Z. Li, and T. Miyazaki
- [P-12] Enhancement of Operation Temperature of Magnetoelectric Cr₂O₃/Co Exchange Coupling System
Tomohiro Nozaki, Naoki Shimomura, Satya Prakash Pati, and Masashi Sahashi
- [P-13] Effect of Ir doping on Morin transition temperature of -Fe₂O₃ (0001) thinfilm
Satya Prakash Pati, Naoki Shimomura, Hironori Hoshino, Tomohiro Nozaki, Ko Mibu, and Masashi Sahashi
- [P-14] Photo-acoustic Signal Detection from Dental Pulp for Pulp Vitality Test
Azusa Yamada, Satoko Kakino, and Yuji Matsuura
- [P-15] Photoacoustic imaging probe using ultra-thin hollow optical fibers
Atsushi Seki, Katsumasa Iwai, and Yuji Matsuura

- [P-16] High Purity Small Diameter Single-Walled Carbon Nanotube Synthesized by Precisely-Controlled Pulse Plasma CVD
Bin Xu, Toshiaki Kato, and Toshiro Kaneko
- [P-17] Improvement of Growth Yield for Graphene Nanoribbons by Plasma Chemical Vapor Deposition
Hiroo Suzuki, Toshiaki Kato, and Toshiro Kaneko
- [P-18] Lymphatic Administration and Sorption Enhanced Antitumor Effects against Tumor-bearing Lymph Node
Shigeki Kato, Yuko Shirai, Shiro Mori, and Tetsuya Kodama
- [P-19] Evaluation of chemotherapy for cancer by interstitial fluid pressure
Kazu Takeda, Shiro Mori, and Tetsuya Kodama