

# Research Report No.6

Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

Research Institute of Electrical Communication

Tohoku University

東北大学電気通信研究所附属  
ナノ・スピン実験施設

研究報告書 第6号

2011

---

**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6号**

**Research Report No. 6  
Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics  
Research Institute of Electrical Communication  
Tohoku University**

**2011**

# 施設研究報告書 2011

## 目次

1.	施設の概要	1
2.	施設の組織	2
3.	平成 22 年度の研究成果のハイライト	3
4.	施設の活動	7
4-1	国際研究拠点形成	7
4-2	国際シンポジウム	8
5.	研究成果（平成 22 年度）	9
5-A	ナノヘテロプロセス基盤技術関連	9
5-B	半導体スピントロニクス基盤技術関連	97
5-C	ナノ分子デバイス基盤技術関連	211
6.	参考資料	255
6-1	施設のクリーンルームと装置の概要	257
6-2	施設の利用状況（平成 22 年度）	263
6-3	ナノ・スピン工学研究会	264
	国際シンポジウムプログラム	267

# Annual Research Report 2011

## Table of Contents

1.	Outline	1
2.	Organization	2
3.	Highlights of Research in FY2010	3
4.	Global Activities	7
4 – 1	COE of International Research Collaboration	7
4 – 2	International Symposium	8
5.	Research Abstracts	9
5 – A	Atomically Controlled Processing and nano integration	9
5 – B	Semiconductor Spintronics and information technology	97
5 – C	Nano-Molecular Devices	211
6.	Miscellaneous	255
6 – 1	Facilities and Equipments	257
6 – 2	Statistics	263
6 – 3	Nano-Spin Seminar Series	264
	Program of International Symposium	267

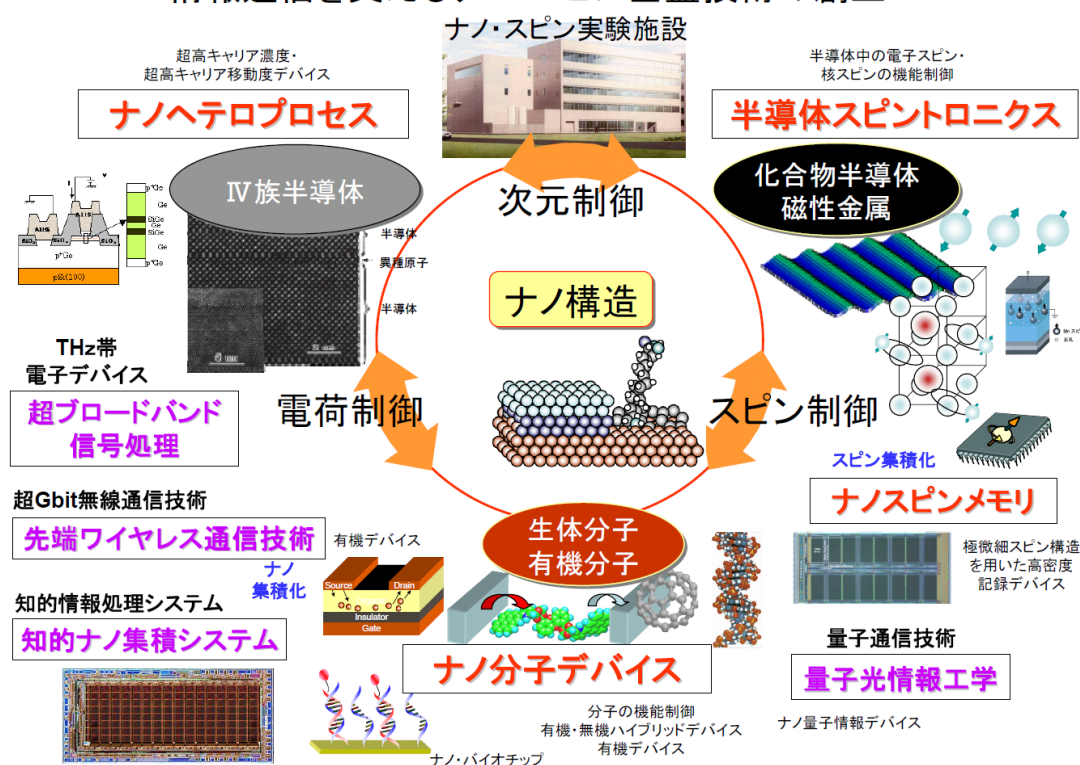


# 1. 施設の概要

## 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～



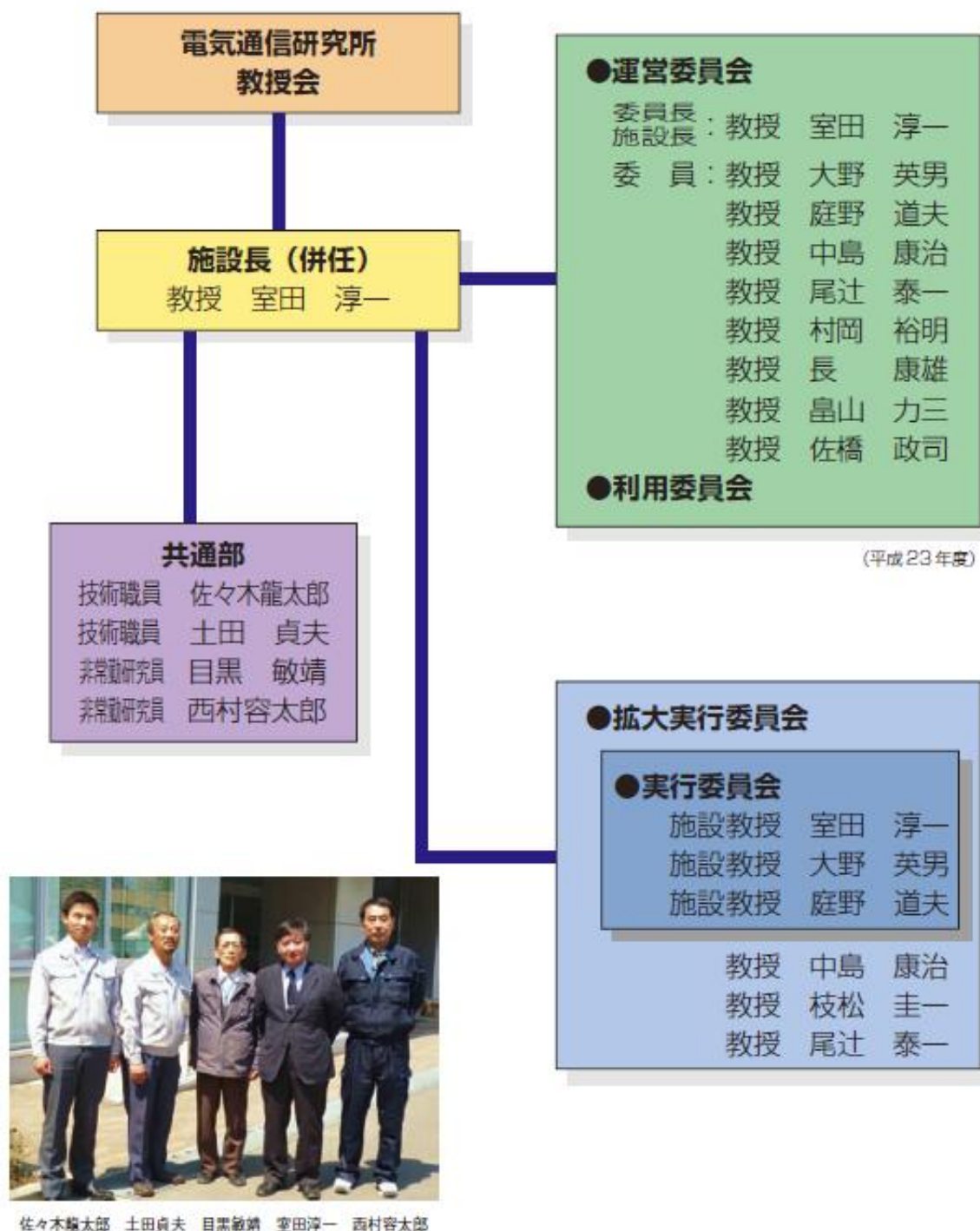
「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を生産することにある。これを実現するため、「ITプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノヘテロプロセス、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、及び知的ナノ集積システム研究室、量子光情報工学研究室、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、上記基盤技術を生産し、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 室田 淳一

## 2. 施設の組織

### Organization



### 3. 平成 22 年度の研究成果のハイライト

#### *Highlights of Research in FY2010*

施設研究部と利用研究室の平成 22 年度の研究成果のハイライトを記します。

#### ナノヘテロプロセス基盤技術関連

##### *Atomically Controlled Processing and nano integration*

##### ● ナノヘテロプロセス（室田淳一・櫻庭政夫）

##### **Atomically Controlled Processing (J. Murota and M. Sakuraba)**

IV 族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め、以下の成果を得た。(1) 熱 CVD プロセスによるヘテロ界面への P 原子層ドーピングにおける表面 P 偏析が、引っ張り歪の場合により顕著になり、ヘテロ界面での固溶限界も下がることを見いだした。(2) IV 族半導体表面の歪が CVD 表面反応速度に影響を与え、無歪に比べ、引っ張り歪 Si(100)上では、 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$  混晶の堆積速度が減少し、圧縮歪 Si(100)上では増加することを明らかにした。また、0.8%のわずかな引っ張り歪でさえ、Si 中の B 原子の電気的活性度が低下することを見いだした。(3) 極薄  $\text{Si}_{0.42}\text{Ge}_{0.58}$  上への Si 成長に高反応性原料ガス ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ) を用いることによりヘテロ界面でのラフネス発生やミキシングを効果的に抑制でき、ナノメートルオーダー Si 障壁を有するホール共鳴トンネルダイオード試作への適用により、明瞭な室温負性コンダクタンスを得ることに成功した。

In order to create atomically controlled processing for nanometer-order artificial heterostructures of group IV semiconductors, following experimental results have been obtained: (1) In P atomic layer doping, P segregation at a Si cap surface becomes more significant in the case with tensile strain in Si than that without strain. Solid solubility of P at the heterointerface becomes smaller with tensile strain. (2) Deposition rate of  $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$  on Si(100) is reduced by tensile strain in Si(100) and increased by compressive strain in Si(100). Moreover, electrical activity of B atoms in Si with tensile strain is reduced. (3) By using  $\text{Si}_2\text{H}_6$  in Si epitaxial growth on nanometer-order  $\text{Si}_{0.42}\text{Ge}_{0.58}$  film, roughness generation and mixing at the heterointerface are suppressed. Additionally by applying the growth condition to resonant tunneling diode, room-temperature negative differential conductance was clearly demonstrated.

##### ● 知的ナノ集積システム（中島康治・佐藤茂雄）

##### **Intelligent Nano-Integration System (K.Nakajima and S.Sato)**

(1) 新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を進めるとともに、人工ブレインシステム実現を目指した結合神経系の試作ハードウェアの設計・測定を行った。また、高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルのストカスティックモデル化を提案・検討し、その実現可能性を明らかにした。(2) 予め特性が分っている Nb/ $\text{AlO}_x$ /Nb ジョセフソン接合列を用いてスイッチング電流分布を測定することにより、スイッチング電流分布から接合間結合を求めるための実験手法の確立を図った。静電結合のある接合列と結合のない接合列とでは大きく異なるスイッチング電流分布が得られること、従来理論に比べ量子領域と古典領域のクロスオーバー領域が広がっていることを確認した。(3) 超伝導デジタル信号処理回路の大規模化を目的とし、8 x 8 ビット並列乗算器の設計を行った。最大動作周波数 40GHz、消費電力 6.33mW での構成が数値解析により確認され、半導体回路に対する優位性を示された。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し、N-Queen 問題が解けることを数値解析により確認した。

(1) We have analyzed behavior of a connected neural system by using a new concept virtual particle dynamics, and we have designed and measured a hardware neuro-system based on this concept. Furthermore, we have proposed a stochastic logic neuron for an inverse function delayed model with high-order synapse connections, and we have discussed the possibilities of it. (2) We measured switching current distributions of stacked Nb/ $\text{AlO}_x$ /Nb Josephson junctions, and studied the experimental technique for evaluating coupling strength between Josephson junctions from switching current distributions. It has been confirmed that large difference is found between samples with and without capacitive couplings, and the crossover temperature region between quantum and classical regions becomes large in comparison with

a conventional theory. (3) We designed an 8-bit parallel multiplier for the large scale superconducting digital signal processor. The operation of the designed multiplier up to 40GHz was confirmed by the numerical simulation. The estimated power dissipation was 6.33mW. A neural network using superconducting quantum interference devices for solving N-Queens problem was designed and numerically demonstrated.

## **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・大野裕三・松倉文礼・池田正二）

##### **Semiconductor Spintronics and Nano-Spin Memory**

**(H. Ohno, Y. Ohno, F. Matsukura, and S. Ikeda)**

電子の電荷とスピンの自由度を利用するスピントロニクスの基盤技術の確立とその工学的応用を目指して研究を行い、以下の成果を得た。(1) Ta/CoFeB/MgO 積層構造において CoFeB を薄層化することで、CoFeB/MgO の界面磁気異方性に起因する垂直磁気異方性が発現することを見出した。また、この磁気異方性の大きさは外部電界を印加することによって変調可能であることを示した。(2) (Ga, Mn)As 薄膜をチャネルとしたメッシュ状のゲート電極を持つ電界効果素子を作製した。ゲート電極に電界を印加することで、ナノ・スケールの強磁性ドットの形成が可能であることを示した。(3) 非磁性半導体量子構造における核四重極相互作用の大きさとスピン位相緩和時間との関係を明確にした。(4) 垂直磁気異方性を有する CoFeB/MgO 積層構造を用いた MTJ が 40 nm 世代の不揮発性 VLSI の実現に必要な主要特性を同時に満足する可能性があることを見出した。(5) 垂直磁気異方性を有する CoFeB/MgO 膜において、電流による磁壁の移動を実証した。

#### ・連携研究

1. 日本学術振興会「最先端研究開発支援プログラム」「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」において、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) Co<sub>2</sub>MnSi/MgO 界面に CoFe を挿入することで、室温で 350% という高い TMR 比を得ることに成功した。(2) MTJ 素子を用いた CAM セルの設計と試作を行った。(3) プロセス起因の閾値ばらつきによる CMOS 論理回路性能の劣化を解決するために、Current Controlled-MOS Current Mode Logic (CC-MCML)/MTJ ハイブリッド回路を提案・試作した。

2. 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「高機能・超低消費電力スピンデバイス・ストレージ基盤技術の開発」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) L1<sub>0</sub>-FePt 垂直磁化ドット(ドット径 15 nm)におけるスイッチング磁界分散の解析により、同薄膜の規則度の分散が小さいことを明らかにした。(2) スタティックテストを用いたナノパターン媒体(ドット径 40 nm)の記録マージンを解析した。

Our research activities focus on the establishment of fundamental technologies for future spintronics devices. The outcomes in the last fiscal year are following. (1) Discovery of CoFeB/MgO interfacial magnetic anisotropy and its control by the application of electric-fields. (2) Fabrication of magnetic nano-dot ensemble from a (Ga,Mn)As thin layer by the application of electric field. (3) Establishment of the relationship between the magnitude of nuclear quadrupole interaction and spin phase relaxation time in nonmagnetic semiconductor quantum structures. (4) Demonstration for high potential of perpendicular anisotropy CoFeB/MgO promising to become an essential building block for future spintronics-based nonvolatile VLSIs. (5) Demonstration of current induced domain wall motion in perpendicular anisotropy CoFeB/MgO structure.

1. Research activities in “Research and Development of Ultra-low Power Spintronics-based VLSIs” program granted by JSPS through the FIRST program. (1) Achievement of high TMR ratio of 350% at RT in Co<sub>2</sub>MnSi/MgO MTJ by inserting CoFe layer. (2) Design and fabrication of MTJ-device-based CAM cells. (3) To overcome performance degradation in CMOS logic circuits, CC-MCML/MTJ hybrid circuits were proposed and fabricated.

2. Research activities in “High-Performance Low-Power Consumption Spin Devices and Storage Systems” program under Research and Development for Next-Generation Information Technology of MEXT. (1) Demonstration of homogeneous formation of a L1<sub>0</sub>-type ordered structure in the FePt layers

from examination of the switching field distribution of  $L1_0$ -FePt dot arrays with the size of 15 nm $\phi$ . (2) We experimentally investigated the write-margin for bit patterned media using a static read/write tester.

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・末光哲也）

**Ultra-Broadband Signal Processing (T.Otsuji and T.Suemitsu)**

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・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を推進している。今年度は、第一に、光学励起したグラフェンにおけるテラヘルツ帯反転分布・誘導放出に関する理論予測の観測・実証を進め、誘導放出の証拠となるポンピング閾値特性の観測に成功した。第二に、InAlAs/InGaAs/InP ヘテロ接合材料による高電子移動度トランジスタを試作し、試作素子の半導体量子井戸内に励起された二次元電子プラズモンのテラヘルツ帯共鳴によるテラヘルツ放射の室温観測に成功した。

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 be useful for realizing such novel terahertz devices. We have succeeded in observation of amplified stimulated terahertz emission and its threshold gain behavior in a femtosecond-infrared-laser-pumped graphene at room temperature, testifying the theoretical prediction of our original for occurrence of negative terahertz conductivity. We also study emission and detection of terahertz radiation by using two-dimensional plasmons (2DPs) in quantum wells in semiconductor heterostructures. We have succeeded in room-temperature emission of coherent terahertz radiation by collective excitation of 2DPs in InAlAs/IgGaAs/InP high electron mobility transistors which we fabricated at the Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC.

● 量子光情報工学（枝松圭一・小坂英男）

**Quantum-Optical Information Technology (K.Edamatsu and H.Kosaka)**

1. 純粋な伝令付単一光子の発生と、その量子光学、量子情報への応用

光子を用いた量子情報通信において、純粋なスペクトルモードをもつ単一光子の発生はたいへん重要である。本研究分野では、拡張位相整合技術を用いて、高効率かつ純粋なスペクトルモードをもつ伝令付単一光子の発生技術を開発している。本年度は、このようにして発生した単一光子と微弱なコヒーレント光とが、高い量子干渉性を示すことを実証した。（Phys. Rev. A 誌等に発表）

2. 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指し、光子がもつ量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を進めている。本年度は、 $g$  因子を制御した二重量子ドットのゲート操作により、2 電子のコヒーレンスを読み出し、完全ベル測定が可能であることを理論的に示した（Physical Review B 誌に発表）。また、トモグラフィック光学カー回転と呼ぶ独自の手法により、半導体中の電子スピンのコヒーレンス状態が完全に読み出せることを示した。

We are investigating the high-efficiency generation of heralded single photons in a pure spectrotemporal mode using the extended phase matching technique. We have demonstrated that the pure single photons and a weak coherent photons exhibited high-visibility quantum interference.

We are developing a quantum media converter from a photon to an electron spin to realize a quantum repeater, which is expected to extend the transmission distance of quantum info-communication. We have theoretically shown that we can read out two-spin coherence and perform the complete Bell state measurement of two electrons in a  $g$ -factor engineered double quantum dot. We have also shown that the spin coherence of electrons in a semiconductor can be completely read out by the developed Tomographic Kerr rotation method.

## 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・木村康男）

##### Nano-Molecular Devices (M. Niwano and Y. Kimura)

###### ①多孔質チタン膜を用いた色素増感太陽電池用対極の作製

DC マグネトロンスパッタリングの堆積条件を制御することにより、多孔質チタン膜及び緻密なチタン膜をアルミニウム膜上に堆積し、それを色素増感太陽電池の対極として用いた。緻密なチタン膜は、アルミニウム膜の保護膜として機能することを示した。また、多孔質チタン膜の表面のラフネスを溶液プロセスによって増加させ、実効的に大表面積を有する対極を作製できることを示した。

###### ②陽極酸化による酸化チタンナノチューブ膜の導電性透明電極膜上への直接形成

DC マグネトロンをを用いて導電性透明電極膜上に金属チタンを堆積し、フッ化アンモニウム有機電解液中でその金属チタン膜を陽極酸化することにより、酸化チタンナノチューブ膜を導電性透明電極膜上に直接形成することに成功した。これにより、酸化チタンナノチューブの色素増感太陽電池への応用が可能となった。実際に、酸化チタンナノチューブが色素増感太陽電池の陰極材料として働くことを確認した。

###### ③電気化学的手法による酸化チタン膜上への金微粒子の堆積

電気化学的手法によって表面ラフネスの大きな表面上に金微粒子を均一に堆積することは困難であったが、印加電圧を制御することにより、表面ラフネスの大きな酸化チタン膜上へ金ナノ微粒子を均一に堆積することに成功した。

###### ④神経回路における薬物作用のシミュレーションによる検討

TELOS モデルをもちいて脳神経回路に及ぼす薬物作用について検討した。特に眼球運動におけるドーパミンの増減の及ぼす効果について検討した。その結果、眼球運動開始の遅れを定性的に説明することができた。

###### ①Fabrication of a porous titanium counter electrode for dye-sensitized solar cells

The porous and dense titanium films were deposited on an aluminum layer by controlling the condition of the DC magnetron sputtering. The titanium films were used as a counter electrode for dye-sensitized solar cells. The dense titanium film protected an aluminum layer. The solution treatment roughened the surface of the porous Ti film to yield the large surface area.

###### ②Direct formation of anodic titanium oxide nanotube film on a transparent conductive oxide layer

The metallic titanium film was deposited on a transparent conductive oxide layer by the DC magnetron method. The titanium oxide nanotube film was directly formed on a transparent conductive oxide layer by anodizing the metallic titanium film in an ammonium fluoride based organic electrolyte. The anodic titanium oxide nanotube film on a transparent conductive oxide layer was applied to dye-sensitized solar cells.

###### ③Deposition of gold nanoparticles on a titanium oxide layer

We controlled the condition of the electrochemical deposition to homogeneously deposit gold nanoparticles on a rough titanium oxide layer although it had been difficult to homogeneously deposit them on rough surfaces by the electrochemically method.

###### ④Simulation of the influence of medicine on a neuro network

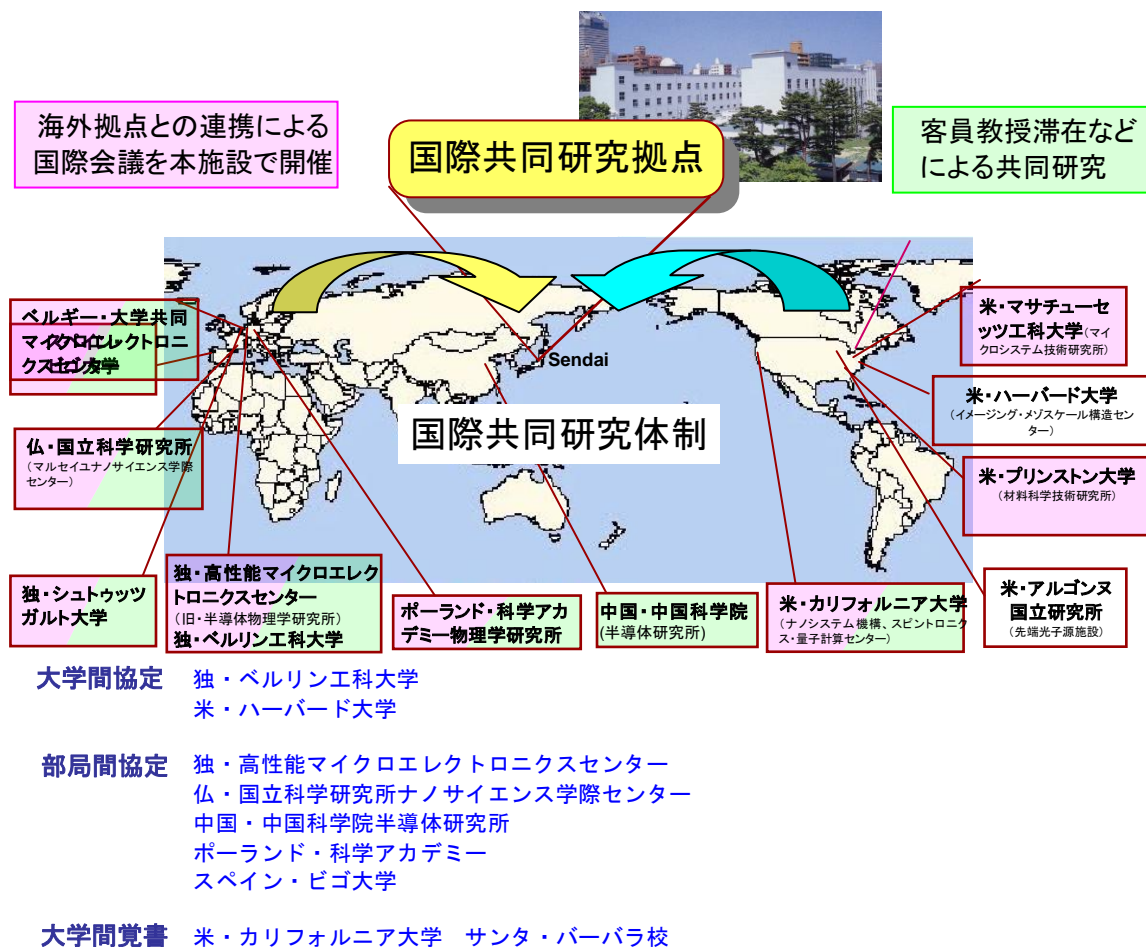
The influence of medicine on a neuro network was simulated using the TELOS model. Especially, the dopamine influence on the ocular movement was investigated. As a result, the simulation qualitatively explained the delay of the ocular movement by doping a medicine.



## 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。



**ナノ・スピン実験施設で開催した国際シンポジウム**  
**International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (RIEC Symp.)**  
 (第1回: 2005年5月27-28日, 第2回: 2006年10月2-3日,  
 第3回: 2007年11月8-9日, 第4回: 2008年9月25-27日,  
 第5回: 2010年1月29-30日)



3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

### 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)

### 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)

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

(第1回: 2009年10月22- 23日)



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

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

### 第41回電気通信研究所国際シンポジウム

## 第7回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

### The 7th RIEC International Workshop on Spintronics

大野 英男

Hideo OHNO

開催日:平成23年2月3日～4日(2日間)

開催場所:東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

2011年2月3,4日の両日に、本学電気通信研究所が主催する標記国際ワークショップが附属ナノ・スピン実験施設において開催された[組織委員長: 通研・大野英男教授、本学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターでの 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs (2月3~4日)とのジョイント開催]。参加者126名の内、国外からの参加者は21名を数えた。アメリカ、フランス、韓国、日本から18名の研究者を招待講演者として迎えた。ポスターセッションでは、ポーランド、モロッコ、韓国、日本から22件の一般講演があった。ワークショップの内容は磁気トンネル接合、磁性細線の材料物性から、それらを利用したスピン注入磁化反転・磁壁移動特性、理論解析、集積回路まで、基礎物理から最新の工学応用を含む幅広い話題をカバーした。活発な議論を通して、スピントロニクス集積回路の研究開発動向・課題および将来の方向性が明らかとなり、非常に有意義なワークショップとなった。学生の参加も多数あり、学生の国際性を育むという観点からも大きな成果を得ることができた。



## 5. 研究成果（平成 22 年度）

### 5 A ナノヘテロプロセス基盤技術関連

*Atomically Controlled Processing and nano integration*

#### A1 ナノヘテロプロセス（室田淳一・櫻庭政夫）

Atomically Controlled Processing  
(J. Murota and M. Sakuraba)

#### A2 知的ナノ集積システム（中島康治・佐藤茂雄）

Intelligent Nano-Integration System  
(K.Nakajima and S.Sato)

## A1 ナノヘテロプロセス (室田淳一・櫻庭政夫)

### *Atomically Controlled Processing (J. Murota and M. Sakuraba)*

1. 原子精度の薄膜成長、エッチング、表面処理に関する研究  
Atomically-Controlled Growth, Etching and Surface Treatment  
高品質な原子制御 IV 族半導体ナノヘテロ構造を形成するために、原子精度の薄膜成長、エッチング、表面処理を研究している。  
In order to form high-quality atomically-controlled nanometer-order heterostructures of group-IV semiconductors, atomically-controlled growth, etching and surface treatment are being developed.
2. プロセスにおける表面吸着と反応の機構とその制御に関する研究  
Mechanism of Surface Adsorption/Reaction at Surface and Its Control in Semiconductor Processing  
半導体材料プロセスの制御性を向上させるために、表面吸着と反応の機構とその制御について研究している。  
In order to enhance controllability of semiconductor material processing, mechanism of surface adsorption/reaction and its control are being studied.
3. 極微細パターンの形成と高精度不純物制御に関する研究  
Ultrafine Pattern Formation and High-Precision Doping Control  
ナノメータオーダ領域における半導体物性を明らかにするために、極微細パターンの形成と高精度不純物制御について研究している。  
In order to clarify properties of nanometer-order patterned semiconductors, control of ultrafine pattern formation and high-precision doping control are being investigated.
4. ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスに関する研究  
Heterostructure Formation and Its Application to Ultrasmall Semiconductor Devices  
極微半導体デバイスの高性能化のために、ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスについて研究している。  
In order to enhance performance of ultrasmall semiconductor devices, heterostructure formation and its application to ultrasmall semiconductor devices are being investigated.
5. ヘテロ界面の物理と化学  
Physics and Chemistry of Heterointerface  
ナノメータオーダのヘテロ構造を実現するために、ヘテロ界面の物理と化学について研究している。  
In order to realize nanometer-order heterostructures, physics and chemistry of heterointerfaces are being studied.

#### 【査読付論文】

1. “Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterostructure Formation”, M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, Key Engineering Materials, Vol.470, pp.98-103, (2011).
2. “Capture/Emission Process of Carriers in Heterointerface Traps Observed in the Transient Charge Pumping Characteristics of SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs”, T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba and J. Murota, Key Engineering Materials, Vol.470, pp.201-206, (2011).
3. “Fabrication of High-Ge-Fraction Strained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  Hole Resonant Tunneling Diode Using Low-Temperature  $\text{Si}_2\text{H}_6$  Reaction for Nanometer-Order Ultrathin Si Barriers”, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, Solid-State Electron., Vol.60, pp.112-115, (2011).

【国際会議発表】

1. "Determination of Valence Band Alignment in  $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{Si}(100)$  Heterostructures", A. Ohta, K. Makihara, S. Miyazaki, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1910265.
2. "Evolution of the Hydrogen Terminated Structure of the  $\text{Si}(100)$  Surface and Its Interaction with  $\text{H}_2$  at 20-800°C", A. Uto, M. Sakuraba, M. Caymax and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918397.
3. "In-Situ Heavy B-Doped Si Epitaxial Growth on Tensile-Strained  $\text{Si}(100)$  by Ultraclean Low-Pressure CVD Using  $\text{SiH}_4$  and  $\text{B}_2\text{H}_6$ ", M. Nagato, M. Sakuraba, J. Murota, B. Tillack, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918419.
4. "Influence of Strain on P Atomic-Layer Doping Characteristics in Strained  $\text{Si}_{0.3}\text{Ge}_{0.7}/\text{Si}(100)$  Heterostructures", Y. Chiba, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918431.
5. "Fabrication of High-Ge-Fraction Strained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  Hole Resonant Tunneling Diode Using Low-Temperature  $\text{Si}_2\text{H}_6$  Reaction for Nanometer-Order Ultrathin Si Barriers", K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918443.
6. "Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterostructure Formation", M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, Int. Symp. on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), Tokyo, Japan, Jun. 3-5, 2010, p.36.
7. "Room-Temperature Resonant Tunneling Diode with Nanometer-Order High-Ge-Fraction Strained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  Heterostructures on  $\text{Si}(100)$ ", M. Sakuraba, K. Takahashi and J. Murota, Int. Symp. on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), Tokyo, Japan, Jun. 3-5, 2010, p.44.
8. "Atomic Control of Doping during Si Based Epitaxial Layer Growth Processes" (**Invited Paper**), B. Tillack, Y. Yamamoto and J. Murota, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1917: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame, J. Boquet, M. Östling, Y. C. Yeo, G. Masini, M. Caymax, T. Krishnamohan, B. Tillack, S. Bedell, S. Miyazaki, A. Reznicek and S. Koester, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.603-614 (2010).
9. "Room-Temperature Resonant Tunneling Diode with High-Ge-Fraction Strained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  and Nanometer-Order Ultrathin Si", M. Sakuraba, K. Takahashi and J. Murota, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1895: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame, J. Boquet, M. Östling, Y. C. Yeo, G. Masini, M. Caymax, T. Krishnamohan, B. Tillack, S. Bedell, S. Miyazaki, A. Reznicek and S. Koester, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.379-387 (2010).
10. "Phosphorus Atomic Layer Doping in Si Using  $\text{PH}_3$ ", Y. Yamamoto, J. Murota and B. Tillack, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1958: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame, J. Boquet, M. Östling, Y. C. Yeo, G. Masini, M. Caymax, T. Krishnamohan, B. Tillack, S. Bedell, S. Miyazaki, A. Reznicek and S. Koester, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.995-1002 (2010).
11. "Atomically Controlled Processing in Strained Si-Based CVD Epitaxial Growth" (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12\_05.

12. “Atomically Controlled Plasma Processing for Epitaxial Growth of Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), M. Sakuraba and J. Murota, 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12\_07.
13. “Atomically Controlled Processing in Strained Si-Based CVD Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), J. Murota and M. Sakuraba, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.55.
14. “Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterointegration”, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.116.
15. “Formation of Room-Temperature Resonant-Tunneling Quantum Heterostructures with High-Ge-Fraction Strained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}(100)$ ”, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.117.

## A2 知的ナノ集積システム（中島康治・佐藤茂雄） Intelligent Nano-Integration System (K.Nakajima and S.Sato)

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 theirs 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.

【査読付論文】

1. R. Nakamoto, S. Sakuraba, A. Martins, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, High Throughput Parallel Arithmetic Circuits for Fast Fourier Transform, IEICE Trans. Electron., vol.E94-C, no.3, pp.280-287, Mar. 2011.
2. T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, An application of higher order connection to inverse function delayed network, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.2, no.2, pp.180-197, April 2011.
3. S. Sato, A. Ono, M. Kinjo and K. Nakajima, Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnections, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.2, no.2, pp.198-204, April 2011.

【会議議事録、アブストラクト】

1. T. Onomi, Y. Maenami, and K. Nakajima, Superconducting Neural Network Solving a Combinatorial Optimization Problem, 2010 Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
2. R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, 4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder, 2010 Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
3. S. Sato, A. Ono, M. Kinjo, and K. Nakajima, Performance of Adiabatic Quantum Computation using Neuron-like Interconnections, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.39-42, Krakow, Poland, Sep. 2010.
4. T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, Discrete Higher Order Inverse Function Delayed Network, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.615-618, Krakow, Poland, Sep. 2010.
5. K. Kurose, T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, Analyses of Coupled Hindmarsh-Rose Type Bursting Oscillators, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.619-622, Krakow, Poland, Sep. 2010.
6. T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, Discrete Higher Order Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems, Proceedings of the 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, pp.143-144, Sendai, Japan, Oct. 2010.
7. R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, High Throughput Parallel Multiplier of SFQ Circuits based on the Booth Encoder, Proceedings of the 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, p.172, Sendai, Japan, Oct. 2010.

## **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、ナノスピンメモリ**  
(大野英男・大野裕三・松倉文礼・池田正二)  
Semiconductor Spintronics and Nano-Spin Memory  
(H.Ohno, Y.Ohno, F. Matsukura, and S.Ikeda)
- B2 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・末光哲也)**  
Ultra-Broadband Signal Processing  
(T.Otsuji and T.Suemitsu)
- B3 量子光情報工学 (枝松圭一・小坂英男)**  
Quantum-Optical Information Technology  
(K.Edamatsu and H.Kosaka)

**B1 半導体スピントロニクス、ナノスピンメモリ**  
**(大野英男・大野裕三・松倉文礼・池田正二)**  
**Semiconductor Spintronics and Nano-Spin Memory**  
**(H. Ohno, Y. Ohno, F. Matsukura, and S. Ikeda)**

半導体の量子状態を制御し工学的に応用するための研究を進めている。特に、スピンと電荷の自由度を使う半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を行っている。また、スピントロニクスを応用したスピンデバイス・ストレージ基盤技術の研究を行っている。

We are working on the nanoscience and nanotechnology to control the quantum states in semiconductors, especially the spin-states and optical transitions in the mid-infrared to THz. We are also developing technologies to realize advanced spin memory and logic devices using magnetic tunnel junctions (MTJs) consisting of ferromagnetic metal electrodes and insulating barriers.

**1. 半導体スピントロニクスに関する研究**

**Semiconductor Spintronics**

半導体において電子の持つ電荷のみならず、スピンの自由度を利用する新しいエレクトロニクス、半導体スピントロニクスに関する研究を行っている。

A new form of semiconductor electronics, semiconductor spintronics, where both charge and spin degrees of freedom are used, is being studied.

**1) 強磁性半導体およびその量子構造の物性と応用**

**Properties and Application of III-V Based Ferromagnetic Semiconductors**

新しい III-V 族ベースの希薄磁性半導体の分子線エピタキシ(MBE)による結晶成長と、物質中の電子スピンに関連した新たな自由度を加えることによる半導体量子構造の研究を行っている。

Study of a new class of semiconductor, III-V based diluted magnetic semiconductors (DMS), is being carried out to expand the horizon of application of quantum structures by the addition of a new degree of freedom associated with electron spin in the materials.

**2) 半導体スピンデバイスの研究**

**Semiconductor Spin Devices**

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.

**3) 半導体量子構造中のスピンコヒーレンスの研究と量子情報技術への応用**

**Properties and Application to Quantum Information Technology of Spin Coherence in III-V Semiconductor Nanostructures**

III-V 族化合物半導体超構造中におけるキャリアや原子核のスピンに注目し、フェムト秒オーダーの磁化分解測定を行ってそのコヒーレンスを理解するとともに、量子情報処理等への応用を研究している。

Study of ultrafast processes, especially spin dynamics of carriers in III-V semiconductor nanostructures is being carried out by femto-second time resolved measurements to the application for such as ultrafast optical switches and quantum information processing.

**2. 量子構造による THz～遠赤外光発生の研究**

**Population Inversion of Subbands Using Resonant Tunneling Structures and Its Application to THz Optical Devices**

ブロークンギャップヘテロ構造(InAs/(Ga,Al)Sb)超格子や共鳴トンネル構造(GaAs/(Ga,Al)As)におけるサブバンド間光学遷移を用いた新しい光デバイスの設計・試作



を行っている。

We design and develop novel optical devices for THz~far-infrared operation based on the optical intersubband transition in InAs/(Ga,Al)Sb broken-gap systems and in the GaAs/(Ga,Al)As resonant tunneling structures.

### 3. 量子構造における量子輸送現象の研究

#### Quantum Transport Properties of Double Quantum Well Heterostructures

低温・強磁場における2次元電子間の量子輸送現象を明らかにするため、MBEによる高品質 GaAs/(Ga,Al)As 2 重量子井戸構造の形成と、2 層 2 次元電子間のトンネルデバイスの試作、評価を行っている。

Quantum transport phenomena of interacting two-dimensional (2D) electron systems under high magnetic field at low temperature are being studied. A new 2D-2D tunnel-device structure has been developed to investigate the quantum transport properties.

### 4. 半導体量子構造に関する研究

#### Growth and Characterization of Semiconductor Quantum Nano Structures

MBE による半導体量子細線(1次元)・量子箱(0次元)構造の作製とそれらの構造特有の電子物性とその応用について研究している。

Formation and properties of one-dimensional (1D) and zero-dimensional (0D) systems and their application to novel electronic devices are being studied. Development of fabrication techniques for achieving 1D quantum wire or 0D quantum dot structures using molecular-beam epitaxy and e-beam lithography is also being investigated.

### 5. ナノスピndeデバイス・メモリの研究

#### Nano-spin device and memory

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。

Technologies to realize advanced spin memory and logic devices using magnetic tunnel junctions (MTJs) consisting of ferromagnetic metal electrodes and insulating barriers are developing.

### 6. 省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発

#### Research and Development of Ultra-low Power Spintronics-based VLSIs

日本学術振興会「最先端研究開発支援プログラム」「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」において、参画研究室と連携してスピントロニクス論理集積回路基盤技術に関する研究が行われた。

Technologies based on spintronics that makes VLSIs high performance and ultra low power were studied under “Research and Development of Ultra-low Power Spintronics-based VLSIs” program granted by JSPS through the FIRST program.

#### 1) スピントロニクス材料に関する研究

##### Spintronics materials

スピントロニクス論理集積回路試作用の世界最高水準のデバイス材料に関する研究が行われた。

Advanced spintronics device materials for VLSI were studied.

#### 2) スピントロニクスデバイスに関する研究

##### Spintronics devices

論理集積回路用スピントロニクスデバイスの高性能化に関する研究が行われた。

Spintronics devices with low write current, high thermal stability, high TMR and high reliability were studied.

#### 3) 革新的スピントロニクス材料・デバイスに関する研究

##### New Spintronics materials and devices

電界効果型磁化制御・デバイス、半導体スピントロニクス材料・デバイス技術に関する研究が行われた。



Magnetic materials and devices for electric-field control, and semiconductor spintronic materials and devices were studied.

4) スピントロニクス論理集積回路に関する研究

Spintronics based logic circuits

専用ならびに汎用スピントロニクス論理集積回路向けアプリケーションの設計・原理検証に関する研究が行われた。

Design and verification of spintronics logic integrated circuits, and design for high-speed and stable operation of spintronics VLSI were studied.

7. 高機能・超低消費電力スピndeバイス・ストレージ基盤技術に関する研究

High-performance low-power consumption spin devices and super high-speed mass storage HDD systems

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「高機能・超低消費電力スピndeバイス・ストレージ基盤技術の開発」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超高速大容量ストレージシステムの開発が行われた。

Super high-speed mass storage HDD systems were studied in “High-Performance Low-Power Consumption Spin Devices and Storage Systems” program under Research and Development for Next-Generation Information Technology of MEXT.

1) テラビット級次世代ナノパターン媒体ならびに超高感度リーダ技術の研究

Developments of high density patterned media and high sensitivity sensor

微細なドットアレイやスピン蓄積素子を作製し、これらの基礎特性の解析が行われた。

Fine dot arrays of Co based alloy films and spin accumulation devices were fabricated and their fundamental properties were studied.

【査読付論文】

1. S. R. Dunsiger, J. P. Carlo, T. Goko, G. Nieuwenhuys, T. Prokscha, A. Suter, E. Morenzoni, D. Chiba, Y. Nishitani, T. Tanikawa, F. Matsukura, H. Ohno, J. Ohe, S. Maekawa, and Y. J. Uemura, "Spatially homogeneous ferromagnetism of (Ga, Mn)As", *Nature Materials*, Vol. 9, pp. 299, April 2010.
2. R. Takemura, T. Kawahara, K. Miura, H. Yamamoto, J. Hayakawa, N. Matsuzaki, K. Ono, M. Yamanouchi, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, H. Hasegawa, H. Matsuoka, and H. Ohno, "A 32-Mb SPRAM With 2T1R Memory Cell, Localized Bi-Directional Write Driver and '1'/'0' Dual-Array Equalized Reference Scheme", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 45, pp. 869, April 2010.
3. K. Mizunuma, S. Ikeda, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, K. Ito, F. Matsukura, H. Ohno, "CoFeB inserted perpendicular magnetic tunnel junctions with CoFe/Pd multilayers for high tunnel magnetoresistance ratio", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 49, pp. 04DM04, April 2010.
4. D. Chiba, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Simulation of magnetization switching by electric-field manipulation of magnetic anisotropy", *Applied Physics Letters*, Vol. 96, pp. 192506, May 2010.
5. H. D. Gan, S. Ikeda, W. Shiga, J. Hayakawa, K. Miura, H. Yamamoto, H. Hasegawa, F. Matsukura, T. Ohkubo, K. Hono, and H. Ohno, "Tunnel magnetoresistance properties and film structures of double MgO barrier magnetic tunnel junctions", *Applied Physics Letters*, Vol. 96, pp. 192507, May 2010.
6. M. Endo, S. Kanai, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effects on thickness dependent magnetic anisotropy of sputtered MgO/Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>/Ta structures", *Applied Physics Letters*, Vol. 96, pp. 212503, May 2010.

7. A.Kanda, A. Suzuki, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain wall creep in (Ga,Mn)As," *Applied Physics Letters*, Vol. 97, pp. 032504, July 2010.
8. S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "A perpendicular-anisotropy CoFeB–MgO magnetic tunnel junction," *Nature Materials*, Vol. 9, pp. 721, August 2010.
9. J. Misuraca, J. Trbovic, J. Lu, J. Zhao, Y. Ohno, H. Ohno, P. Xiong, and S. V. Molnár, "Band-tail shape and transport near the metal-insulator transition in Si-doped Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As," *Physical Review B*, Vol. 81, pp. 045208, September 2010.
10. M. Kohda, J. Ogawa, J. Shiogai, F. Matsukura, Y. Ohno, H. Ohno, J. Nitta, "Width and temperature dependence of lithography-induced magnetic anisotropy in (Ga,Mn)As wires," *Physica E*, Vol. 42, pp. 2685, October 2010.
11. Y. Nishitani, M. Endo, F. Matsukura, H. Ohno, "Magnetic anisotropy in a ferromagnetic (Ga,Mn)Sb thin film," *Physica E*, Vol. 42, pp. 2681, October 2010.
12. A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, "Observation of the fractional quantum Hall effect in an oxide," *Nature Materials*, Vol. 9, pp. 889, November 2010.
13. D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrically Defined Ferromagnetic Nanodots," *Nano Letters*, Vol. 10, pp. 4505, November 2010.
14. H. Ohno, "A window on the future of spintronics", *Nature Materials*, Vol. 9, pp. 952-954, November 2010.
15. M. Endo, F. Matsukura, H. Ohno, "Current induced effective magnetic field and magnetization reversal in uniaxial anisotropy (Ga,Mn)As," *Applied Physics Letters*, Vol. 97, pp. 222501 (3 pages), November 2010.
16. K. Mizunuma, M. Yamanouchi, S. Ikeda, H. Sato, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Pd Layer Thickness Dependence of Tunnel Magnetoresistance Properties in CoFeB/MgO-Based Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicular Anisotropy CoFe/Pd Multilayers," *Applied Physics Express*, Vol. 4, 023002 (3 pages), February 2011.
17. S. Fukami, T. Suzuki, Y. Nakatani, N. Ishiwata, M. Yamanouchi, S. Ikeda, N. Kasai, and H. Ohno, "Current-induced domain wall motion in perpendicularly magnetized CoFeB nanowire," *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 082504, February 2011.
18. K. Mizunuma, S. Ikeda, H. Sato, M. Yamanouchi, H. D. Gan, K. Miura, H. Yamamoto, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Tunnel magnetoresistance properties and annealing stability in perpendicular anisotropy MgO-based magnetic tunnel junctions with different stack structures," *Journal of Applied Physics*, Vol. 109, 07C711, March 2011.
19. M. Yamanouchi, R. Koizumi, S. Ikeda, H. Sato, K. Mizunuma, K. Miura, H. D. Gan, F. Matsukura, and H. Ohno, "Dependence of magnetic anisotropy on MgO thickness and buffer layer in Co<sub>20</sub>Fe<sub>60</sub>B<sub>20</sub>-MgO structure," *Journal of Applied Physics*, Vol. 109, 07C712, March 2011.

【査読付論文】(連携研究)

1. T. Endoh, F. Iga, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, M. Kamiyanagi, H. Hasegawa, T. Hanyu, and H. Ohno, "The Performance of Magnetic Tunnel Junction Integrated on the Back-End Metal Line of Complimentary Metal–Oxide–Semiconductor Circuits", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 49, 04DM06, April 2010.
2. S. Matsunaga, M. Natsui, K. Hiyama, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fine-Grained Power-Gating Scheme of a Metal–Oxide–Semiconductor and Magnetic-Tunnel-Junction-Hybrid Bit-Serial Ternary Content-Addressable Memory", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 49, 04DM05, April 2010.

3. M. Kamiyanagi, F. Iga, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh, "Transient characteristic of fabricated Magnetic Tunnel Junction (MTJ) programmed with CMOS circuit", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.602, May 2010
4. F. Iga, M. Kamiyanagi, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh, "Study of the DC Performance of Fabricated Magnetic Tunnel Junction Integrated on Back-end Metal Line of CMOS Circuits", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.608, May 2010
5. H. Saga, K. Shirahata, K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, H. Aoi and H. Muraoka, "Experimental write margin analysis of bit patterned media", Journal of Applied Physics, vol. 109, 07B721, March 2011.
6. T. Shimatsu, Y. Inaba, H. Kataoka, J. Sayama, H. Aoi, S. Okamoto and O. Kitakami, "Dot arrays of  $L1_0$ -FePt ordered alloy perpendicular films fabricated using low-temperature sputter film deposition", Journal of Applied Physics, vol. 109, 07B726, March 2011.
7. 白幡一樹, 嵯峨秀樹, 三浦健司, 島津武仁, 青井基, 村岡裕明, "スタティックテストによるパターン媒体の記録マージンの測定", Journal of the Magnetics Society of Japan, vol. 35, pp. 171, March 2011.

#### 【国際会議発表】

1. H. Ohno, "Spintronics Meets CMOS VLSI (*Invited*)", Tohoku University, Japan-National Chiao Tung University & National Nano Device Laboratories, Taiwan Joint Workshop on Nano-Process and Nano-Device, Apr.23-24, 2010.
2. H. Ohno, "Spintronics: Nanoscience and Nanoelectronics (*Invited*)", IEEE Magnetics Society Distinguished Lecture for 2009, May 19, 2010.
3. H. Ohno, "Magnetic Semiconductors (*Invited*)", Progress in Spintronics and Graphene Research, May 20, 2010.
4. H. Ohno, "Magnetic Random Access Memories + Discussion (*Invited*)", Progress in Spintronics and Graphene Research, May 20, 2010.
5. H. Ohno, "Electrical Gating of Magnetism in (Ga,Mn)As and Beyond (*Invited*)", Huangkun Semiconductor Science and Technology Forum, May 21, 2010.
6. H. Ohno, "Exploring Magnetism with Ferromagnetic III-V Semiconductors (*Tutorial*)", International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials (Global COE Program) & 3rd International Conference on Nanospintronics Design and Realization (3rd-ICNDR), May 30-June 5, 2010.
7. H. Ohno, "Gating Magnetism of Ferromagnetic Semiconductors (*Plenary*)", International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials (Global COE Program) & 3rd International Conference on Nanospintronics Design and Realization (3rd-ICNDR), May 30-June 5, 2010.
8. M. Ono, H. Kobayashi, S. Matsuzaka, Y. Ohno and H. Ohno, "Nuclear spin relaxation in a Schottky gated n-GaAs quantum well, " The 37th International Symposium on Compound Semiconductors, 31 May-4 June 2010.
9. M. Endo, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization manipulation in (Ga,Mn)As by SOI induced effective magnetic field", The 37th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2010), June 1, 2010.
10. H. Ohno, "Spintronics for Nonvolatile Silicon Nanoelectronics (*Invited*)", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), June 3-5, 2010.
11. H. Ohno, "Spintronics: Physics, Materials Science and Applications (*Tutorial*)", 29th Electronic Materials Symposium (EMS29), July 14-16, 2010.

12. F. Matsukura and H. Ohno, "Gating ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As (*Invited*)", Shanghai Workshop on Spintronics and Low Dimensional Magnetism, June 17, 2010.
13. J. Ishihara, M. Ono, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno and H. Ohno, "Magnetic field dependence of nuclear spin coherence in a GaAs quantum well," 29th Electronic Materials Symposium, June 29-July 1, 2010.
14. K. Mizunuma, S. Ikeda, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, J. Hayakawa, K. Ito, F. Matsukura and H. Ohno, "TMR Properties of Perpendicular MTJs with Thin Pd Based Multilayers", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA 2010), July 14, 2010.
15. S. Kanai, M. Endo, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic anisotropy modulation in Ta/CoFeB/MgO structure by electric fields", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, (ISAMMA2010), July 14, 2010.
16. M. Endo, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization reversal in (Ga,Mn)As by using spin-orbit interaction effective field", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA 2010), July 16, 2010.
17. F. Matsukura, "Effect of electric field on magnetism on thin ferromagnetic layers (*Invited*)", International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices (ICSNN2010), July 18, 2010
18. M. Endo, F. Matsukura, and H. Ohno, "Characterization of spin-orbit interaction induced effective magnetic fields in (Ga,Mn)As by resistance polar plot", 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2010), July 27, 2010.
19. M. Ono, G. Sato, J. Ishihara, S. Matsuzaka, Y. Ohno, H. Ohno, "Nuclear spin coherence time in a strained GaAs quantum well," the 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2010), Seoul, Korea July 25 - 30, 2010.
20. G. Sato, M. Ono, J. Ishihara, S. Matsuzaka, Y. Ohno, H. Ohno, "Strain dependence of nuclear spin coherent time in a GaAs quantum well," The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors", Aug.1-4, 2010.
21. J. Ishihara, M. Ono, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno, H. Ohno, "Magnetic field dependence of nuclear quadrupole interaction in a (110) GaAs quantum well," The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors", Aug.1-4, 2010.
22. S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, S. Tarucha, "Spin resonance and spin-orbit coupling effects in two dimensional hole systems in GaAs/AlGaAs(311)A heterostructures," The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors", Aug.1-4, 2010.
23. D. Chiba, K. Kobayashi, T. Ono, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric field induced magnetization switching in a (Ga,Mn)As field effect structure", The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS – VI), Aug 1-4, 2010.
24. F. Matsukura, A. Fukunaga, S. Koike, M. Endo, S. Ikeda, and H. Ohno, "Inverse spin Hall effect in a (Ga,Mn)As/p-GaAs bilayer structure", The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS – VI), Aug 1-4, 2010.
25. H. Ohno, "Ferromagnetic III-V Semiconductor Spintronics (*Plenary*)", 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Aug.22 -27, 2010.
26. F. Matsukura, "Electric field effect on properties in thin ferromagnetic layers (*Invited*)", AMIT2010, Sep.10, 2010.
27. H. Ohno, "Physics and material science of MgO-CoFeB structures (*Invited*)", 2010 IEEE 7th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2010), Sep.19-24, 2010.
28. H. D. Gan, S. Ikeda, W. Shiga, J. Hayakawa, K. Miura, H. Yamamoto, F. Matsukura, T. Ohkubo, K. Hono, H. Ohno, "Tunnel magnetoresistance properties of double MgO-barrier magnetic

- tunnel junctions with different free-layer alloy compositions and structures", 2010 IEEE 7th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2010), Sep.19-24, 2010
29. J. Ishihara, M. Ono, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno and H. Ohno, "Magnetic Field Dependence of Quadrupole Splitting and Nuclear Spin Coherence in a (110) GaAs/AlGaAs Quantum Well," 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, September 22-24, 2010.
  30. H. Ohno, "MgO-based Magnetic Tunnel Junction for CMOS VLSI Integration (*Invited*)", International Conference on Nanoscale Magnetism(ICNM), Sep.28, 2010.
  31. H. Ohno, "Recent progress on MgO-barrier magnetic tunnel junction (*Invited*)", Seminar at National Taiwan University, Oct.1, 2010.
  32. H. Ohno, "Nonvolatile CMOS VLSI with Spintronics (*Invited*)", 8th International Workshop on Future Information Processing Technologies (IWFIT), Oct.19, 2010.
  33. K. Mizunuma, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, R. Koizumi, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "TMR properties and annealing stability in MgO barrier MTJs with CoFe/Pd perpendicular anisotropy multilayer electrodes", The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, Oct.20, 2010.
  34. H. Ohno, "MgO-based Magnetic Tunnel Junctions for Integrated Circuit Applications (*Invited*)", International Conference on Magnetic Materials (ICMM), Oct.28, 2010.
  35. D. Chiba, K. Kobayashi, T. Ono, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization switching and nan-dot formation by electric field in (Ga,Mn)As structure (*Invited*)", Super-PIRE kickoff meeting, Oct.29, 2010.
  36. L. R. Fleet, H. Kobayashi, Y. Ohno, J. -Y. Kim, C. H. W. Barnes, and A. Hirohata, "Interfacial structure and transport properties of Fe/GaAs(001)," The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.14-18, 2010.
  37. H. Kobayashi, S. Ikeda, L. Fleet, A. Hirohata, Y. Ohno, and H. Ohno, "Electrical detection of spin polarized electrons in n-GaAs/MgO/CoFe junctions" The 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.14-18, 2010.
  38. H. Ohno, "Magnetic Tunnel Junction for Integrated Circuits: Scaling and Beyond (*Tutorial*)", 55th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials (MMM2010), Nov.15, 2010.
  39. F. Matsukura, "Electric field effects on magnetic semiconductors and metals (*Invited*)", 55th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials (MMM2010), Nov.15, 2010.
  40. K. Miura, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, J. Hayakawa, R. Koizumi, M. Endo, S. Kanai, F. Matsukura and H. Ohno, "Large tunnel magnetoresistance, low current switching and high thermal stability in CoFeB/MgO based magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy of 40-nm scale", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.15, 2010.
  41. M. Yamanouchi, R. Koizumi, S. Ikeda, K. Mizunuma, K. Miura, H. D. Gan, F. Matsukura, and H. Ohno, "The dependence of the magnetic anisotropy on buffer layer and MgO thickness in  $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ /MgO structures for magnetic tunnel junction", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.16, 2010.
  42. K. Mizunuma, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, R. Koizumi, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Stack structures for realization of high annealing stability in perpendicular magnetic tunnel junctions with CoFe/Pd multilayer electrodes", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.18, 2010.
  43. H. Ohno, "Perpendicular MgO-CoFeB Magnetic Tunnel Junction (*Invited*)", 6th Taiwan International Conference on Spintronics (TICSpin), Dec.3, 2010.
  44. H. Ohno, T. Endoh, T. Hanyu, N. Kasai and S. Ikeda, "Magnetic Tunnel Junction for Nonvolatile CMOS Logic (*Invited*)", 2010 International Electron Devices Meeting(IEDM), Dec.6, 2010.
  45. K. Miura, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, J. Hayakawa, R. Koizumi, M. Endo, S. Kanai, F. Matsukura and H. Ohno, "CoFeB/MgO-based magnetic tunnel



junctions with perpendicular anisotropy for CMOS logic integration (*Invited*)", ICAUMS 2010, Dec.6, 2010.

46. F. Matsukura, "Electric-field control of magnetism in semiconductors and metals (*Invited*)", FNST2011, Jan.6, 2011
47. H. Ohno, "Perpendicular Magnetic Anisotropy at the Interface of MgO-CoFeB (*Invited*)", 38th Conference on the Physics & Chemistry of Surfaces & Interfaces, Jan.19, 2011.
48. Yuzo OHNO, "Optical detection of nuclear spin coherence in a GaAs/AlGaAs quantum well (*Invited*)", Tohoku-York Joint Seminar, Sendai, Jan.19-20, 2009.
49. M. Yamanouchi, A. Jander, P. Dhagat, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain patterns under demagnetization states in CoFeB/MgO structures with perpendicular anisotropy (*Invited*)", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
50. S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Sato, K. Miura, K. Mizunuma, H. Yamamoto, R. Koizumi, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Materials design and science of magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy electrodes for VLSIs (*Invited*)", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
51. K. Mizunuma, M. Yamanouchi, S. Ikeda, H. Sato, H. Yamamoto, H..D. Gan, K. Miura, J. Hayakawa, F. Matsukura, and Hideo Ohno, "Annealing stability for tunnel magnetoresistance in MgO-CoFeB based magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy CoFe/Pd multilayers", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
52. H. D. Gan, S. Ikeda, M. Yamanouchi, K. Mizunuma, K. Miura, F. Matsukura, and H. Ohno, "Influence of Boron composition on tunnel magnetoresistance properties of double-MgO-barrier magnetic tunnel junctions", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
53. H. Sato, R. Koizumi, M. Yamanouchi, S. Ikeda, K. Miura, K. Mizunuma, H. D. Gan, F. Matsukura, and H. Ohno, "Annealing effect on perpendicular magnetic anisotropy of CoFeB/MgO structure", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
54. H. D. Gan, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Sato, K. Miura, K. Mizunuma, H. Yamamoto, R. Koizumi, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "High performance magnetic tunnel junctions with 40 nm $\phi$ ", International Symposium on Innovative Nanoelectronics and Systems, Feb.16, 2011.
55. H. Sato, K. Mizunuma, S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, J. Hayakawa, H. D. Gan, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Materials design of MgO barrier magnetic tunnel junctions", International Symposium on Innovative Nanoelectronics and Systems, Feb.16, 2011
56. H. Ohno, "Spintronics Meets VLSI - toward nonvolatile electronics – (*Invited*)", International Symposium on Innovative Nanoelectronics and Systems, Feb.16, 2011.
57. H. Ohno, "Toward new paradigm for semiconductor LSI of the "Post-Moore" era (*Invited*)", 8th ITEC International Conference on Overcoming Two "Ends", Mar.4, 2011.

#### 【国際会議発表】(連携研究)

1. Tetsuo Endoh, "Spin Transfer Torque MRAM (SPRAM) and its applications (*Invited*)", The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), Apr.6, 2010.
2. T. Hanyu, "MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture and Its Impact (*Invited*)", 2010 28th IEEE VLSI Test Symposium, Apr.21, 2010.

3. T. Shimatsu, K. Mitsuzuka, N. Kikuchi, O. Kitakami and H. Aoi, "Nucleation Size of hcp-CoPt Dot Arrays", The Ninth Perpendicular Magnetic Recording Conference (PMRC), May 17-19, 2010.
4. H. Aoi, H. Saga, R. Tatsuno, K. Shirahata, K. Mitsuzuka, K. Miura, T. Shimatsu and H. Muraoka, "Basic read/write characteristic measurements of BPM with static tester", The Ninth Perpendicular Magnetic Recording Conference, Sendai, Japan, May 17-19, 2010.
5. T. Ishigaki, T. Kawahara, R. Takemura, K. Ono, K. Ito, H. Matsuoka and H. Ohno, "A Multi-Level-Cell Spin-Transfer Torque Memory with Series-Stacked Magnetotunnel Junctions", 2010 Symposia on VLSI Technology and Circuits, June 15, 2010.
6. Tetsuo Endoh (Moderator), "Rump Session: The future of Embedded Memory (*Invited*)", 2010 Symposia on VLSI Technology and Circuits, June 15, 2010.
7. M. Oogane, S. Tsunegi, E. Ozawa, H. Naganuma, and Y. Ando, "Tunnel magnetoresistance effect in magnetic tunnel junctions with very thin insertion layer", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 14, 2010.
8. E. Ozawa, S. Tsunegi, M. Oogane and Y. Ando, "The effect of inserting thin Co<sub>2</sub>MnAl layer into the Co<sub>2</sub>MnSi/MgO interface on TMR effect", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 14, 2010.
9. T. Aoki, Y. Ando, M. Oogane, and H. Naganuma, "Thermal effect on sub-ns spintransfer switching for MgO-based magnetic tunnel junctions", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 14, 2010.
10. T. Aoki, Y. Ando, M. Oogane, and H. Naganuma, "Dynamic intermediate state during ns spin-transfer switching for MgO-based magnetic tunnel junctions", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 14, 2010.
11. T. Shimatsu, K. Mitsuzuka, N. Kikuchi, O. Kitakami and H. Aoi, "Nucleation Size of hcp-CoPt Nano-Dot Arrays", International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA2010), July 16, 2010.
12. M. Oogane, L. Jiang, Y. Ohdaira, H. Naganuma, Y. Ando, "Tunnel magnetoresistance effect in double barrier magnetic tunnel junctions (*Invited*)", 2010 Gordon research conference, Aug.11, 2010.
13. S. Matsunaga, M. Natsui, H. Ohno, and T. Hanyu, "Power-Aware Bit-Serial Binary Content-Addressable Memory Using Magnetic-Tunnel-Junction-Based Fine-Grained Power-Gating Scheme", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010), Sep.23, 2010.
14. D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a Process-Variation-Aware Nonvolatile MTJ-Based Lookup-Table Circuit", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010), Sep.24, 2010.
15. N. Kasai, S. Ikeda, T. Hanyu, T. Endoh and H. Ohno, "MRAM Technology for Embedded Application in Logic Integrated Circuits (*Invited*)", New Non-Volatile Memory Workshop 2010, Nov.11, 2010.
16. H. Aoi, H. Saga, K. Shirahata, K. Miura, T. Shimatsu and H. Muraoka, "Experimental write margin analysis of bit patterned media", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.15, 2010.
17. H. Yamamoto, J. Hayakawa, K. Ito, K. Miura, H. Matsuoka, S. Ikeda and H. Ohno, "Control of magnetic anisotropy in CoFeB by capping layer for current induced magnetization switching", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.15, 2010.
18. N. Inami, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, S. Ikeda, H. Ohno, "Spin-torque diode effect in magnetic tunnel junctions with synthetic ferrimagnetic layers", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.16, 2010.
19. T. Aoki, Y. Ando, T. Oka, M. Oogane, H. Naganuma, "Single shot measurement of inhomogeneous magnetization behavior in the ns spin-transfer switching for MgO-based

- magnetic tunnel junctions", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.17, 2010.
20. H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, "Exchange biases of Co, Py,  $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ ,  $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ , and  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$  on epitaxial  $\text{BiFeO}_3$  films prepared by chemical solution deposition", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.18, 2010.
  21. T. Shimatsu, Y. Inaba, H. Kataoka, J. Sayama, H. Aoi, O. Kitakami and S. Okamoto, "Dot arrays of  $L1_0$  type FePt ordered alloy perpendicular films fabricated by low-temperature sputter film deposition", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.18, 2010.
  22. H. Kataoka, T. Shimatsu, K. Mitsuzuka, H. Aoi, N. Kikuchi and O. Kitakami, "Nucleation size for dot arrays of Co-Pt based perpendicular films characterized by time dependence of coercivity", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov.18, 2010.
  23. Tetsuo Endoh, S. Ikeda, T. Hanyu, N.Kasai and H.Ohno, "Scalable STT RAM Technology (*Invited*)", ITRS ERD, Nov.30, 2010.
  24. Nobuhito Inami, Hiroshi Naganuma, Mikihiro Oogane, Yasuo Ando, Shoji Ikeda, Hideo Ohno, "Influence of magnetic field on spin torque diode effect in magnetic tunnel junctions with  $\text{CoFeB}/\text{Ru}/\text{CoFeB}$  synthetic ferrimagnetic layer", ICAUMS2010, Dec.8, 2010.
  25. Tetsuo Endoh, S. Ikeda, T. Hanyu, N.Kasai and H.Ohno, "Nonvolatile computer systems and memory hierarchy transformation with STT RAM technology", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
  26. Nobuhito Inami, Hiroshi Naganuma, Mikihiro Oogane, Yasuo Ando, Shoji Ikeda, and Hideo Ohno, "Spin torque diode effect of magnetic tunnel junction with synthetic ferrimagnetic free layer", IEEE International Magnetism Conference, Feb.3, 2011.
  27. Hiroshi Naganuma, Mikihiro Oogane, and Yasuo Ando, "Exchange bias of multiferroic  $\text{BiFeO}_3$  epitaxial films", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
  28. M. Oogane, T. Kubota, Y. Kota, S. Mizukami, H. Naganuma, A. Sakuma and Y. Ando, "Gilbert magnetic damping constant of Co-based Heusler alloy thin films", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.
  29. H. Yamamoto, K. Ono, T. Morita, S. Ikeda and H. Ohno, "A post oxidation process of Mg layer for  $\text{MgO}$  barrier magnetic tunnel junctions", 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs and 7th RIEC International Workshop on Spintronics, Feb.3, 2011.

## B2 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・末光哲也)

### Ultra-Broadband Signal Processing (T.Otsuji and T.Suemitsu)

#### 1. 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. A.A. Dubinov, Y.V. Aleshkin, V. Mitin, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Terahertz surface plasmons in optically pumped graphene structures," *J. Phys.: Condens. Matter*, Vol. 23, pp. 145302-1-8, 2011.
2. V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and V. Mitin, "Analytical Device Model for Graphene Bilayer Field-Effect Transistors Using Weak Nonlocality Approximation," *J. Appl. Phys.* Vol. 109, Iss. 6, pp. 064508-1-10, 2011.
3. A. El Moutaouakil, T. Suemitsu, T. Otsuji, H. Videlier, S.e-A.n Boubanga-Tombet, D. Coquillat, and W. Knap, "Device loading effect on nonresonant detection of terahertz radiation in dual grating gate plasmon-resonant structure using InGaP/InGaAs/GaAs material systems," *Phys. Stat. Solidi.*, Vol. 8, No. 2, pp. 346–348, 2011.
4. S. Boubanga-Tombet, F. Teppe, J. Torres, A. El Moutaouakil, D. Coquillat, N. Dyakonova, C. Consejo, P. Arcade, P. Nouvel, H. Marinchio, T. Laurent, C. Palermo, A. Penarier, T. Otsuji, L. Varani, and W. Knap, "Room temperature coherent and voltage tunable terahertz emission from nanometer-sized field effect transistors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 97, Iss. 26, 262108 (3 pages), 2010.
5. V. Ryzhii, M. Ryzhii, N. Ryabova, V. Mitin and T. Otsuji, "Terahertz and infrared detectors based on graphene structures," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 54, Iss. 3, pp. 302-305, May 2011. online Dec. 27, 2010.
6. K. Akagawa, S. Fukuda, T. Suemitsu, T. Otsuji, H. Yokohama, G. Araki, "Impact of T-gate electrode on gate capacitance in In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As HEMTs," *Phys. Status Solidi.(c)*, Vol. 8, Iss. 2, pp. 300-302, 2011.
7. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Electrically-induced n-i-p junctions in multiple graphene layer structures," *Phys. Rev. B*, Vol. 82, pp. 075419-1-6, 2010.
8. A. El Moutaouakil, T. Komori, K. Horiike, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Room Temperature Intense Terahertz Emission from a Dual Grating Gate Plasmon-Resonant Emitter using InAlAs/InGaAs/InP Material Systems," *IEICE Trans. Electron.*, Vol. E93C, No. 8, pp. 1286-1289, 2010.
9. T. Otsuji, H. Karasawa, T. Watanabe, T. Suemitsu, M. Suemitsu, E. Sano, W. Knap, and V. Ryzhii, "Emission of terahertz radiation from two-dimensional electron systems in semiconductor nano-heterostructures," *Comptes Rendus Physique*, Vol. 11, Iss. 7-8, pp. 421-432, 2010.
10. Hyun-Chul Kang, Hiromi Karasawa, Yu Miyamoto, Hiroyuki Handa, Hirokazu Fukidome, Tetsuya Suemitsu, Maki Suemitsu, and Taiichi Otsuji, "Epitaxial graphene top-gate FETs on silicon substrates," *Solid State Electron.*, Vol. 54, issue 10, pp. 1071-1075, 2010.
11. Hyun-Chul Kang, Hiromi Karasawa, Yu Miyamoto, Hiroyuki Handa, Tetsuya Suemitsu, Maki Suemitsu, and Taiichi Otsuji, "Epitaxial graphene field effect transistors on silicon substrates," *Solid State Electron.*, Vol. 54, issue 9, pp. 1010-1014, 2010.

12. R. Olac-vaw, H.-C. Kang, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, H. Fukidome, T. Suemitsu, M. Suemitsu and T. Otsuji, "Ambipolar behavior in epitaxial graphene based field-effect transistors on Si substrate," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, No. 6, 06GG01 (5pages), 2010.
13. T. Nishimura, N. Magome, and T. Otsuji, "An intensity modulator for terahertz electromagnetic waves utilizing two-dimensional plasmons in dual-grating-gate high-electron-mobility transistors," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 5, pp. 054301-1-7, 2010.
14. H.-C. Kang, R. Olac-vaw, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Extraction of drain current and effective mobility in epitaxial graphene channel FETs on silicon substrate," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 4, 04DF17 (5 pages), 2010.

【国際会議発表】

1. S. Boubanga Tombet, T. Watanabe, S. Chan, A. Satou, and T. Otsuji, "Amplified stimulated terahertz emission at room temperature from optically pumped graphene," GDR-I Workshop, Tignes, France, March 29-April 1, 2011.
2. A. El Moutaouakil, D. Coquillat, W. Knap, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Gate fingers and device loading effect on terahertz detection from dual grating gate plasmon-resonant structure using InGaP/InGaAs/GaAs material systems," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 3P2-8, Marrakesh, Morocco, March 20-23, 2011. (*invited*)
3. T. Otsuji, "Terahertz emission, detection and modulation using two-dimensional plasmons in high-electron-mobility transistors featured by a dual-grating-gate structure," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 3P2-7, pp. 1266-1271, Marrakesh, Morocco, March 20-23, 2011. (*invited*)
4. M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, and V. Mitin, "Terahertz and infrared detectors based on multiple graphene layers with p-i-n junctions: device model and characteristics," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 3P2-5, Marrakesh, Morocco, March 20-23, 2011. (*invited*)
5. Y. M. Meziani, E. Velazquez; E. Diez, N. Dyakonova, W. Knap. A. El Moutaouakil, K. Fobelets, T. Otsuji, "Detection of terahertz radiation from strained silicon modulation field effect transistor," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 3P2-4, Marrakesh, Morocco, March 20-23, 2011. (*invited*)
6. T. Otsuji, S.A. Boubanga Tombet, S. Chan, T. Watanabe, A. Satou, and V. Ryzhii, "Amplified stimulated terahertz emission from optically pumped graphene," PIERS: Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 2A3-1, pp. 517-519, Marrakesh, Morocco, March 20-23, 2011. (*invited*)
7. S Boubanga-Tombet, F. Teppe, J. Torres, W.Knap and T. Otsuji, "Coherent and tunable terahertz emission from nano-metric field effect transistor at room temperature," OTST: Int. Conf. on Optical Terahertz Science and Technology, MF41, Santa Barbara, CA, USA, March 13-17, 2011.
8. A. Satou, S. A. Boubanga Tombet, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Study of threshold behavior of stimulated terahertz emission from optically pumped graphene," OTST: Int. Conf. on Optical Terahertz Science and Technology, TuA3, Santa Barbara, CA, USA, March 13-17, 2011.
9. V.V. Popov, D.V. Fateev, T. Otsuji, Y.M. Meziani, D. Coquillat, and W. Knap, "Plasmonic detection of terahertz radiation in a double-grating-gate transistor structure with an asymmetric unit cell," Proc. International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics, pp. 121-122, Avtomobilist resort, Nizhny Novgorod, Russia, March 14-18, 2011.
10. V.Ryzhii, M.Ryzhii, N.Ryabova, A.A.Dubinov, V.Ya.Aleshkin, V.Mitin, A.Satou, and T.Otsuji, "Concepts of graphene-based terahertz and infrared devices," FNST: in Nanoscale Science and Technology Workshop, P-14, RIKEN Wako Campus, Saitama, Japan, Jan. 5-7, 2011.

11. T. Otsuji, S. Chan, S.-A. Boubanga-Tombet, H. Karasawa, T. Watanabe, A. Satou, H. Fukidome, M. Suemitsu, and V. Ryzhii, "Observation of amplified stimulated terahertz emission from heteroepitaxial graphene-on-silicon materials," WINDS: Workshop on Innovative Devices and Systems, Hawaii, Dec. 5-10, 2010. *(invited)*
12. A. El Moutaouakil, H.-C. Kang, H. Handa, F. Fukidome, T. Suemitsu, E. Sano, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Room temperature complimentary logic inverter on epitaxial graphene-on-silicon device," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, F2-03, pp. 92-93, Sendai, Japan, Oct. 29, 2010.
13. Y. Takatsuka, E. Sano, V.I. Ryzhii, and T. Otsuji, "THz amplifiers based on multilayer graphene and field-enhancement structures," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, F3-02, pp. 100-101, Sendai, Japan, Oct. 29, 2010.
14. M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and V. Ryzhii, "Characteristics of p-i-n terahertz and infrared photodiodes based on multiple graphene layer structures," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, T3-04, pp. 50-51, Sendai, Japan, Oct. 28, 2010.
15. S. Boubanga-Tombet, S. Chan, A. Satou, T. Watanabe, and T. Otsuji, "Terahertz stimulated emission from optically pumped graphene," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, T3-05, pp. 52-53, Sendai, Japan, Oct. 28, 2010.
16. M. Kubo, S. Takabayashi, R. Takahashi, S. Abe, T. Suemitsu, F. Fukidome, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Chemical bonds at interfaces between graphene and group-10 metals," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, T4-10, pp. 72-73, Sendai, Japan, Oct. 28, 2010.
17. A. Satou, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Theoretical study of population inversion in graphene under pulse excitation," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, T4-14, pp. 80-81, Sendai, Japan, Oct. 28, 2010.
18. H.-C. Kang, S. Takabayashi, K. Akagawa, T. Yoshida, S. Abe, R. Takahashi, F. Fukidome, T. Suemitsu, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "DC and RF characteristics of graphene FETs formed by thermal decomposition of SiC grown on silicon substrates," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, W4-04, pp. 26-27, Sendai, Japan, Oct. 27, 2010.
19. D. Svintsov, V. Vyurkov, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Effect of "mexican hat" on graphene bilayer field-effect transistor characteristics," ISGD: Int. Symp. Graphene Devices, W4-05, pp. 28-29, Sendai, Japan, Oct. 27, 2010.
20. S. Boubanga Tombet, S. Chan, A. Satou, T. Watanabe, V. Ryzhii, T. Otsuji, "Amplified stimulated terahertz emission at room temperature from optically pumped graphene," EOS Annual Meeting, TOM2\_4011\_10, Paris, France, Oct. 27, 2010.
21. S. Boubanga Tombet, F. Teppe, W. Knap, and T. Otsuji, "Terahertz detection by field effect transistors: from non resonant to resonant detection," EOS Annual Meeting, TOM2\_3645\_02, Paris, France, Oct. 27, 2010.
22. T. Otsuji and W. Knap. "Wireless communication using terahertz plasmonic-nano ICT devices," GDR-I Workshop on Terahertz Science and Technology, Paris, France, Sept. 27-28, 2010. *(invited)*
23. A. El Moutaouakil, H.-C. Kang, H.i Handa, H. Fukidome, T. Suemitsu, E. Sano, M. Suemitsu and T. Otsuji, "Epitaxial graphene-on-silicon logic inverter," SSDM: International Conference on Solide State Devices and Materials, J3-4, Tokyo, Japan, Sept. 22-24, 2010.
24. M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Field-effect in multiple graphene layer structures," SSDM: International Conference on Solide State Devices and Materials, F1-3, Tokyo, Japan, Sept. 22-24, 2010.
25. A. Satou, T. Otsuji, and . Ryzhii, "Study of hot carriers in optically pumped graphene," SSDM: International Conference on Solide State Devices and Materials, J3-5, pp. 882-883, Tokyo, Japan, Sept. 22-24, 2010.

26. Y.M. Meziani, E. Diez, E. Velazquez, K. Fobelets, A. El Moutaouakil and T. Otsuji, "Strained Silicon Modulation FET as New Sensor for Terahertz Radiation," ANM2010: 3rd Int. Conf. on Advanced Nano Materials, ANMM269, Agadir, Morocco, September 12-15, 2010.
27. A. El Moutaouakil, T. Suemitsu, T. Otsuji, D. Coquillat, and W. Knap, "Nonresonant detection of terahertz radiation in high-electron mobility transistor structure using InAlAs/InGaAs/InP material systems at room temperature," ANM2010: 3rd Int. Conf. on Advanced Nano Materials, ANMM169, Agadir, Morocco, September 12-15, 2010.
28. T. Otsuji, "Emission of terahertz radiation from two-dimensional electron systems in semiconductor nano-heterostructures," 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves, Th-D1.1, Rome, Italy, Sept. 6-11, 2010. *(invited)*
29. S. Boubanga Tombet, W. Knap, and T. Otsuji, "Field effect transistors for fast terahertz detection and imaging," 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves, Tu-P.25, Rome, Italy, Sept. 6-11, 2010.
30. A. El Moutaouakil, T. Suemitsu, T. Otsuji, D. Coquillat, and W. Knap, "Room temperature terahertz detection in high-electron-mobility transistor structure using InAlAs/InGaAs/InP material systems," 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves, Tu-D3.5, Rome, Italy, Sept. 6-11, 2010.
31. Nina Dyakonova, A. El Fatimy, Y. Meziani, T. Otsuji, D. Coquillat, W. Knap, F. Teppe, S. Vandenbrouk, K. Madjour, D. Theron, C. Gaquiere, M.A. Poisson, S. Delage, "Tunable room temperature THz emission from AlGaIn/GaN high electron mobility transistors," 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves, Tu-C1.4, Rome, Italy, Sept. 6-11, 2010.
32. Y. Meziani, A. El Moutaouakil, E. Velazquez, E. Diez, K. Fobelets, T. Otsuji, "Terahertz photomixing in Strained Silicon MODFET," 35th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves, Mo-P.53, Rome, Italy, Sept. 6-11, 2010.
33. T. Otsuji, "Observation of amplified stimulated terahertz emission from optically pumped graphene," ICOOPMA: Int. Conf. on Optical, Optoelectronic Photonic Materials and Applications Abstracts, p. 60, Budapest, Hungary, Aug. 15-20, 2010. *(invited)*
34. A. El Moutaouakil, H.-C. Kang, H. Handa, H. Fukidome, T. Suemitsu, E. Sano, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Epitaxial Graphene-On-Silicon Logic Inverter," Int. Conf. on Recent Advances in Graphene and Related Materials, Singapore, Aug. 1-6, 2010.
35. T. Suemitsu, "Graphene channel FET: A new candidate for high-speed devices," AWAD 2010: Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, 2B2, Tokyo, Japan, June 30-July 2, 2010. *(invited)*
36. V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. A. Dubinov, T. Otsuji, M. S. Shur, and V. Mitin, "Novel terahertz and infrared devices on multiple graphene structures: concepts and characteristics," VCIAN: Villa Conference on Interactions Among Nanostructures Abstracts, p. 31, Santorini, Greece, June 21-25, 2010. *(invited)*
37. T. Otsuji, M. Suemitsu, E. Sano, and V. Ryzhii, "Emission of Terahertz Radiation from Two-Dimensional Electron Systems in Semiconductor Nano-Heterostructures," VCIAN: Villa Conference on Interactions Among Nanostructures Abstracts, p. 22, Santorini, Greece, June 21-25, 2010. *(invited)*
38. Tatsuya Tanigawa, Toshikazu Onishi, Shinichi Takigawa and Taiichi Otsuji, "Enhanced responsivity in a novel AlGaIn / GaN plasmon-resonant terahertz detector using gate-dipole antenna with parasitic elements," DRC: Device Research Conf. Dig., IV.A-9, pp. 167-168, Notre Dame, IN, USA, June 21-25, 2010.
39. T. Otsuji, "Trends and future for graphene-based terahertz nano-photonics," ISTESNE: Int. Symp. on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics Extended Abstracts, p. 16, Tokyo, Japan, June 3-5, 2010. *(invited)*
40. Amine El Moutaouakil, Tetsuya Suemitsu, Taiichi Otsuji, Hadley Videlier, Dominique Coquillat, Wojciech Knap, "Device loading effect on nonresonant detection of terahertz

radiation in dual grating gate plasmon-resonant structure using InGaP/InGaAs/GaAs material systems," ISCS: Int. Symp. Compound Semicond. Dig., WED3-5, p. 274, Takamatsu, Japan, May 31-June 4, 2010.

41. K. Akagawa, S. Fukuda, T. Suemitsu, T. Otsuji, H. Yokohama, G. Araki, "Impact of T-gate electrode on gate capacitance in In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As HEMTs," ISCS: Int. Symp. Compound Semicond. Dig., WED3-4, p. 273, Takamatsu, Japan, May 31-June 4, 2010.
42. Hiromi Karasawa, Takayuki Watanabe, Taiichi Otsuji, Maxim Ryzhii, Akira Satou, Victor Ryzhii, "Observation of amplified stimulated terahertz emission in optically pumped epitaxial graphene heterostructures," CLEO: Conf. on Lasers and Electrooptics Dig., CMP3, San Jose, CA, USA, May 17-21, 2010.
43. T. Otsuji, "Plasmon-resonant microchip emitters and detectors for terahertz sensing and spectroscopic applications," SPIE Defense Security and Sensing 2010, Conf. 7671: Terahertz Physics, Devices, and Systems IV: Advanced Applications in Industry and Defense, Proc. SPIE, vol. 7671, 767102 (12 pages), Orlando, FL, USA, April 5-6, 2010. (*invited*)

### B3 量子光情報工学 (枝松圭一・小坂英男)

#### Quantum-Optical Information Technology (K.Edamatsu and H.Kosaka)

##### 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、光子間の量子ゲート動作を目指し、導波路媒質における単一光子レベルでの光学非線形性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 nonlinearities of waveguide media at a single-photon level, aiming at photonic quantum gate operation.

##### 2. 量子中継のための量子メディア変換

Quantum state transfer for quantum repeaters

量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指した光子・電子スピン間の量子メディア変換を行う基礎デバイスの開発を行っている。

We investigate quantum media conversion from a photon to an electron spin for quantum repeaters to extend the transmission distance of quantum info-communication.

##### 3. 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. M. Kuwahara, T. Kutsuwa, K. Ono, H. Kosaka, "Single charge detection of an electron created by a photon in a g-factor engineered quantum dot", Appl. Phys. Lett. 96, 163107/1-3 (2010).
2. Nobuhiko Yokoshi, Hiroshi Imamura and Hideo Kosaka, "Proposal of a full Bell



state analyzer for spin qubits in a double quantum dot", *Phys. Rev. B, Rapid Comm.* 81, 161305(R) (2010).

3. Takahiro Inagaki, Hideo Kosaka, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Measurement of Electron Spin States in a Semiconductor Quantum Well Using Tomographic Kerr Rotation", *Jap. J. Appl. Phys.* 49, 04DJ09 (2010).
4. 枝松圭一, 量子もつれ (エンタングルメント) って何?, *応用物理* 79, 935-939 (2010).
5. H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, Y. Rikitake, N. Yokoshi, H. Imamura, "Coherent spin preparation, manipulation and read-out with light and microwaves in a quantum well and dot", *J. Phys.: Conf. Ser.* 245, 012001 (2010).
6. K. Edamatsu, R. Shimizu, W. Ueno, R.-B. Jin, F. Kaneda, M. Yabuno, H. Suzuki, S. Nagano, A. Syouji, and K. Suizu, "Photon pair sources with controlled frequency correlation", *Progress in Informatics* 8, 19-26 (2011).
7. F. Kaneda, R. Shimizu, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, "Generation and characterization of bound entanglement in optical qubits", *Progress in Informatics* 8, 27-31 (2011).
8. R.-B. Jin, J. Zhang, R. Shimizu, N. Matsuda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, "High-visibility nonclassical interference between intrinsically pure heralded single photons and photons from a weak coherent field", *Phys. Rev. A* 83, 031805(R)/1-4 (2011).

#### 【国際会議発表】

1. H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Rikitake, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, Keiji Ono, N. Yokoshi, H. Imamura, "Quantum information exchange between photons and electrons in solids (Invited talk)" International Symposium on Physics of Quantum Technology (ISPQT), Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan, Apr. 6-9, 2010.
2. Takahiro Inagaki, Hideo Kosaka, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Spin state tomography of electrons in full Bloch bases", International Symposium on Physics of Quantum Technology (ISPQT), 7W-01, Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan, Apr. 6-9, 2010.
3. H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, Y. Rikitake, H. Imamura, "Quantum Information Exchange between Photons and Electrons in Solids (Invited talk)" International conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials, Osaka university convention center, Japan, May 30-Jun. 4, 2010.
4. K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, N. Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in semiconductor quantum dots observed by photon echo", The 9th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed and Nano Materials, 2P01, Brisbane, Australia, July 11-16, 2010.
5. Ruibo Jin, Jun Zhang, Ryosuke Shimizu, Nobuyuki Matsuda, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka and Keiichi Edamatsu, "Nonclassical interference between a heralded pure single photon state and a weak coherent state", The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computation (QCMC2010), P1-12, Brisbane, Queensland, Australia, July 19-23, 2010.
6. Fumihiro Kaneda, Hirofumi Suzuki, Ryosuke Shimizu, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, and Keiichi Edamatsu, "Frequency entanglement of photons generated by two-period quasi-phase matched parametric down-conversion", The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computation (QCMC2010), P1-55, Brisbane, Queensland, Australia, July 19-23, 2010.

7. Masahiro Yabuno, Ryosuke Shimizu, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, Keiichi Edamatsu, "High-flux photon pair source for multi-photon interference", The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computation (QCMC2010), P1-42, Brisbane, Queensland, Australia, July 19-23, 2010.
8. H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, Y. Rikitake, N. Yokoshi, H. Imamura, "Spin coherent read, write, manipulation of electrons with light in solids", The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2010), P3-54, Brisbane, Queensland, Australia, July 19-23, 2010.
9. K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, N. Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in semiconductor quantum dots observed by photon echo spectroscopy", The 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS30), P2-118, Seoul, Korea, July 26-30, 2010.
10. H. Kosaka, "Photon to electron quantum information transfer (Invited talk)", The 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS30), Seoul, Korea, July 25-30, 2010.
11. H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, Y. Rikitake, N. Yokoshi, H. Imamura, "Quantum media conversion from a photon to an electron spin (Invited talk)" International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010), University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.
12. Takahiro Inagaki, Hideo Kosaka, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Full-dimensional analysis of coherent spin dynamics in a semiconductor", Solid State Devices and Materials (SSDM2010), P-9-1, University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.
13. H. Kosaka, "QUANTUM MEDIA CONVERSION BETWEEN PHOTONS AND ELECTRONS IN SOLIDS FOR QUANTUM REPEATERS (Invited talk)", Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC 2010), Tokyo, Japan, October 18-20, 2010.
14. Masahiro Yabuno, Ryosuke Shimizu, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, Keiichi Edamatsu, "DIRECT GENERATION OF FREQUENCY-UNCORRELATED PHOTONS FOR MULTI-PHOTON INTERFERENCE", Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC 2010), P-74, ANA InterContinental Tokyo, Tokyo, Japan, October 18-20, 2010.
15. Takahiro Inagaki, Hideo Kosaka, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Optical Spin State Tomography of Electrons in Full Bloch Bases for Quantum Storage", Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC2010), P-15, ANA InterContinental Tokyo, Tokyo, Japan, October 18-20, 2010.
16. K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, N. Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in self-assembled semiconductor quantum dots", The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, F3J-2, Sendai Excel Hotel Tokyu, Sendai, Japan, October 19-20, 2010.
17. Fumihiro Kaneda, Ryosuke Shimizu, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, and Keiichi Edamatsu, "Experimental demonstration of bound entanglement in optical qubits", The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, F3J-3, Sendai Excel Hotel Tokyu, Sendai, Japan, October 19-20, 2010.
18. Wakana Ueno, Fumihiro Kaneda, Hirofumi Suzuki, Shigehiro Nagano, Atsushi Syouji, Ryosuke Shimizu, Koji Suizu, and Keiichi Edamatsu, "Generation and Characterization of Entangled Photon Pairs Using Two-Period Quasi-Pase Matched LiNbO<sub>3</sub>", The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, F2J-2, Sendai Excel Hotel Tokyu, Sendai, Japan, October 19-20, 2010.

19. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, D. Kim, M. Nakayama, G. Ohata, H. Oka, H. Ajiki, H. Ishihara, "Biexcitonic Effect in semiconductor Microcavities", The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, F3J-1, Sendai Excel Hotel Tokyu, Sendai, Japan, October 19-20, 2010.
20. Fumihiro Kaneda, Ryosuke Shimizu, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, and Keiichi Edamatsu, "Generation and Characterization of Bound Entanglement in Optical Qubits", The Second International Conference on Quantum Information and Technology, National Institute of Informatics, Tokyo, Japan, October 21-22, 2010.
21. H. Kosaka, "Quantum interface between photons and electron spins in a semiconductor (Invited talk)", Advances in Photonics of Quantum Computing, Memory, and Communication (SPIE-OPTO), PAPER NUMBER: 7948-44, San Francisco, USA, Jan. 27, 2011.



## **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・木村康男）**

Nano-Molecular Devices (M. Niwano and Y.Kimura)

## C1 ナノ分子デバイス (庭野道夫・木村康男) Nano-Molecular Devices(M. Niwano and Y.Kimura)

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. 色素増感太陽電池の開発研究  
Research and development of dye-sensitized solar cells  
陽極酸化等の電気化学的手法による作製したナノ構造の作製およびその応用を行っている。特に、陽極酸化により作製した  $\text{TiO}_2$  ナノチューブの色素増感太陽電池(DSSC)へ応用について研究している。  
We have investigated fabrication and application of nanostructures using electrochemical processes such as anodization. Especially, we have applied  $\text{TiO}_2$  nanotubes fabricated by anodization to dye-sensitized solar cells (DSSC).

### 【査読付論文】

1. Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, Mehdi El Fassy Fihry, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Formation of Porous Titanium Film and Its Application to Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cell", Jpn. J. Appl. Phys. **49**(12) (2010) 122302.
2. Takeshi Nagahiro, Kenichi Ishibashi, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Tomohiro Hayashi, Yasuhiro Ikezoe, Masahiko Hara, Tetsu Tatsuma and Kaoru Tamada, "Ag nanoparticle sheet as a marker of lateral remote photocatalytic reactions", Nanoscale **2**(1) (2010) 107-113.

3. F. Hirose, Kinoshita, Y. Kinoshita, S. Shibuya, Y. Narita, Y. Takahashi, H. Miya, K. Hirahara, Y. Kimura, and M. Niwano, "Atomic layer deposition of SiO<sub>2</sub> from Tris(dimethylamino)silane and ozone by using temperature-controlled water vapor treatment", *Thin Solid Films* **519** (1) (2010) 270-275.
4. Ayumi Hirano-Iwata, Tasuku Taira, Azusa Oshima, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films", *Appl. Phys. Lett.* **96**(21) (2010) 213706.
5. Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Nasu, omohiro Nasu, Tasuku Taira, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Stable lipid bilayers based on micro- and nano-fabrication", *Supramol. Chem.* **22**(7-8) (2010) 406-412.
6. F. Hirose, M. Shikaku, Y. Kimura, and M. Niwano, "IR Study on N719 Dye Adsorption with High Temperature Dye Solution for Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells", *J. Electrochem. Soc.* **157**(11) (2010) B1578-B1581.
7. 木村 康男, 大場 朋央, 島倉 尚子, 庭野 道夫, "有機電界効果トランジスタの特性に及ぼすキャリア注入の影響", *表面科学* **32**(1) (2011) 21-26.

【国際会議発表】

1. Ayumi Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Taira, K. Aoto, Y. Kimura, and M. Niwano, "Planar Lipid Bilayers for L-Glutamate Sensing", International Symposium "Innovative Nanoscience of Supramolecular Motor Proteins Working in Biomembranes", Kyoto, Japan, Sep. 8-10, 2009.
2. Ayumi Hirano-Iwata, Ryo-taro Yamaguchi, Yuki Aonuma, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "In situ real-time monitoring of cell responses by using surface infrared spectroscopy", The 23rd Annual and International Meeting of the Japanese Association for Animal Cell Technology, Hokkaido University, Sep. 1-4, 2010. (Invited)
3. Ayumi Hirano-Iwata, Tasuku Taira, Azusa Oshima, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "Free-Standing Lipid Bilayers Based on Nanoporous Alumina Films", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, University of Tokyo, Sep 22-24, 2010.
4. Yuki Aonuma, Ryo-taro Yamaguchi, Maho Abe, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Yasuo Shinohara and Michio Niwano, "Surface Infrared Spectroscopic Study of ATP Synthesis in Mitochondria", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, University of Tokyo, Sep 22-24, 2010.
5. Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, Mehdi El Fassy Fihry, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Application of a Fabricated Porous Titanium Film as a Counter Electrode of a Dye-sensitized Solar Cell", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, University of Tokyo, Sep 22-24, 2010.
6. Yasuo Kimura, Satoshi Fukase, and Michio Niwano, "Fabrication of a P3HT Transistor Using Ionic Liquid and Investigation of the Operation Mechanism", 218th Electrochemical Society Meeting Meeting, Las Vegas, Nevada, Oct. 10-15, 2010.
7. Michio Niwano, "Applications of porous nanostructures to electronic devices", JSPS-DST Asian Academic Seminar 2010, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata, India, Nov. 29-Dec. 4, 2010. (Invited)
8. Yasuo Kimura, Shota Kimura, Norio Mizuno, Takami Muto, and Michio Niwano, "Fabrication of a Room-temperature Operation Single Electron Transistor through Self-alignmnet Process Based on Anodization", 2010 Materials Research Society Fall Meeting, Boston, Nov. 29 - Dec. 3, 2010.
9. Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, Mehdi El Fassy Fihry, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Fabrication and Characterization of a Porous Ti Film and Its Application to a Counter Electrode of a Dye-sensitized Solar Cell", JSPS-DST Asian Academic Seminar 2010, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata, India, Nov 29-Dec. 4, 2010.

10. Ryota Kojima, Ken-ichi Ishibashi, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "Influence of water in an ammonium-fluoride-based electrolyte on growth of anodic titanium oxide nanotubes", 218th Electrochemical Society Meeting Meeting, Las Vegas, Nevada, Oct. 10-15, 2010.

## 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 22 年度）
- 6－3 ナノ・スピン工学会  
国際シンポジウムプログラム

## 6-1 施設の代表的装置の概要

### a-1) ナノ・スピン電子ビーム・リソグラフィ関連

#### ■ ナノ・スピン電子描画システム

日本電子 JBX-9300SA

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

#### ■ ナノ・スピン縮小投影露光システム

ニコン NSR-2005i10C

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

#### ■ マスク電子ビーム描画装置(マスク EB)

日本電子 JBX-7000MV(A)

- 用途 マスク作製及びウェーハ直描用 可変面積型電子ビーム露光装置
- 性能 加速電圧: 20 kV  
ビーム電流密度: 0.6 A/cm<sup>2</sup>  
ビーム径: Max 4 μm<sup>2</sup>  
図形精度: 0.05 μm  
最小寸法: 0.5 μm  
マスクサイズ: 2.5、5、6 インチ  
ウェハ径: 2、3 インチ

#### ■ 大規模回路検査用顕微鏡

オリンパス BH3-MJL

- 用途 ウェハ表面の観察、写真撮影 マスク検査
- 性能 ・光学顕微鏡部(オリンパス BH3-MJL)  
キセノン光源  
対物レンズ 5×、10×、20×、50×、100×、250×  
分解能 0.20mm  
・写真撮影装置部(オリンパス PM-10AK)  
・テレビカメラシステム(オリンパス U-VPT)  
・計測システム(オリンパス UM-40)  
・除振台(TC-56)

#### ■ サブミクロンマスクアライメント

カールズス MJB 3

- 用途 リソグラフィ技術を用いて半導体基板等に微細パターンを高い重ね合わせ精度で加工する。
- 性能 ・ウェハーサイズ 最大 3インチ  
・露光光源 高圧水銀350Wランプ  
・IRアライメント IR透過光を用いた裏面アライメントが可能。  
・解像度 0.4μm



## ■ 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 :  $\times 25 \sim 19,000$ 、SEM モード :  $\times 100 \sim 1,000,000$
    - 自動倍率補正機能、倍率瞬時切替機能、像回転補正機能付き
  - ・加速電圧
    - LM、SEM モード : 0.5~30kV、GB モード : 0.1~4kV
  - ・プローブ電流  $10^{-13} \sim 2 \times 10^{-9}$  A

## ■ 接触表面段差計

ULVAC Dektak 6m

- 用途 半導体微細構造などの表面形状観察
- 性能
  - ・スキャン方式 リニアスキャン
  - ・垂直方向分解能 5 Å
  - ・走査距離 50mm~30mm
  - ・触針圧 10~50mgf(調整可)

## a-2) 化合物半導体プロセス装置関連

### ■ 化合物 MBE

VG V80H

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

### ■ SiO<sub>2</sub> 堆積用プラズマCVD装置

日本真空

- 用途 SiO<sub>2</sub> の成膜
- 性能
  - ・到達真空度:
    - 反応室:  $3 \times 10^{-7}$  Torr 以下。
    - 準備室:  $2 \times 10^{-6}$  Torr 以下
  - ・基板加熱 最高 400°C
  - ・反応ガス種 SiH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O
  - ・膜厚分布 2インチウェハ内で $\pm 4\%$ 以下

### ■ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 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
    - $\phi 2$ インチ基板 1枚/バッチ
    - $\phi 33$  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 SiH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、Ar、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>

## ■ 多目的電子ビーム蒸着装置

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  $900^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  以内
    - 雰囲気ガス 窒素、アルゴン、水素

## ■ 化合物半導体用ドライエッチング装置 (ECR エッチャ)

日本真空

- 用途  $\text{Cl}_2$  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  $10^{-8}\text{Torr}$  台
  - ・動作圧力  $10^{-3} \sim 10^{-5}\text{Torr}$
  - ・基板サイズ 2インチ、及び不定形
  - ・エッチング速度  $\sim 2000\text{\AA}/\text{min}(\text{GaAs})$
  - ・エッチング分布 2インチ基板内 $\pm 10\%$ 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  $\text{Cl}_2$ 、Ar、 $\text{O}_2$

## ■ 化合物半導体用ドライエッチング装置 (ECR)

日本真空

- 用途 化合物半導体ウェ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  $\text{CF}_4$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$
  - ・到達圧力  $1.3 \times 10^{-5}\text{Pa}$  以下
  - ・プロセス圧力 0.67~13.3Pa 以下
  - ・基板冷却機構  $-30^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$
  - ・基板処理枚数  $\phi 2$ インチ基板 $\times 1$ 枚/バッチ

## ■ 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

## 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。  
 $300 \sim 1100^{\circ}\text{C}$  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。

## ■ X線光電子分光装置 (ESCA)

SST SSX - 100

- 用途 表面元素分析用
- 性能 最高エネルギー分解能 0.69eV (Au<sub>4f7/2</sub>)、最小分析領域 270 ミクロン以下、感度 10 万カウント/秒以上。

## ■ 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。

## ■ 減圧 CVD 装置

日立国際電気

- 用途 Si、Ge、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 等の成膜用
- 性能 拡散炉タイプの減圧 CVD 装置 2 チューブタイプ。  
550°Cでの Si-Ge 系の選択エピタキシャル成長可能。

## ■ 常圧 CVD 装置

- 用途 熱 CVD 法により SiO<sub>2</sub>、PSG、BSG の薄膜形成を行う。
- 性能 200~400°Cでの熱 CVD 法により、SiO<sub>2</sub>、PSG、BSG を形成可能 (2チャンバー)。  
バッチ内膜厚分布±5%以内。

## ■ Si 系 RIE

- 用途 シリコン加工用ドライエッチング装置(アネルバ EMR510 特)  
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングを行う。  
SiO<sub>2</sub>加工用ドライエッチング装置(アネルバ DEM-451 特)  
Si 基板上の Si および SiO<sub>2</sub> のエッチングを行う。  
メタル加工用ドライエッチング装置(アネルバ L-451DA-L)  
Si 基板上の金属のエッチングを行う。
- 性能 シリコン加工用ドライエッチング装置  
Si 基板上の Si 系半導体のエッチングが可能(ECR 型)。最大 6 インチウエハ。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: Cl<sub>2</sub>、SiCl<sub>4</sub>、BCl<sub>3</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar  
SiO<sub>2</sub>加工用ドライエッチング装置  
Si および Si 基板上の SiO<sub>2</sub> のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。  
導入ガス: CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar  
メタル加工用ドライエッチング装置  
Si 基板上の金属のエッチングが可能 (RF 励起平行平板型)。  
エッチング室用ガス: N<sub>2</sub>、Ar、H<sub>2</sub>、BCl<sub>3</sub>、SiCl<sub>4</sub>、Cl<sub>2</sub>、CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>  
アッシング室用ガス: O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>

## ■ 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

#### 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 角以下のカットウェハ等  
処理枚数 33 ミリφウェハ 25 枚/ロット  
膜厚分布 φ200 ミリ内±5%以内  
到達真空度  $3 \times 10^{-6}$  Pa (スパッタ室)
- アナライザー アジレント HP-4156C
- 用途 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/2 μV-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リソパターン形成
  - 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  
紫外線露光強度 25mW/cm<sup>2</sup>  
露光分解能 0.8 μm ライン/スペース (バキュームコンタクト時)
- スパッタ装置 アネルバ
- 用途 高密度金属配線形成、金属電極形成、  
シリサイド用高融点金属薄膜形成
  - 性能 φ4"カソード × 3 基  
最大搬送基板サイズ: φ4"  
基板加熱: MAX350°C  
到達真空度:  $3 \times 10^{-6}$  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、  
SiO<sub>2</sub>、PSG などの熱処理、イオン注入後の熱処理、  
シンタリング、アロイング
  - 性能 O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> 雰囲気中での熱処理が可能。  
ヒータ加熱方式  
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

## 6-2 施設の利用状況 (平成 22 年度)

### 平成 22 年度 ナノ・スピニング実験施設 利用登録状況

(平成 23 年 3 月 31 日まで)

#### ナノ・スピニング実験施設

利用登録	研究室名	利用責任者		人数
施設常駐 研究室	室田研	櫻庭政夫	室田教授 櫻庭准教授 (研究支援者) 菅原 (研究員) 永戸 村上 (D6) 千葉 (D2) 川島 (M2) 神原 吉野 長谷川 (研究員) Karmous Alim (M1) 金澤 菊地 田丸 (B4) 阿部 佐藤 Chiussi Stefano 客員教授	17
	大野研	大野裕三	大野裕三准教授 松倉准教授 池田准教授 廣畑客員准教授 木下教授 山ノ内助教 佐藤助教 (研究員) 松坂 三浦 甘 (PD) モーセンカール (研究補助員) 岩沼 平田 森田 (D2) 小野 遠藤 (D1) イビオエライ (M2) 小林 小池 水沼 佐藤(源) 南山 (留学生) LUKE FLEET (M1) 石原 鈴木 佐藤(啓) 金井 熊沢 小泉 (B4) 秋田 金子 後藤 (助教) 深見 (技術専門職) 村畑	34
	庭野研	木村康男 平野愛弓	木村准教授 青沼助教 (D3) モハト・M・ラマン (M2) 小島 エルファシリマディ 水野 桜井 (M1) 木村 但木 岡田 (B4) モハト・ハフィジ 小山内 遠藤 (D1) 大嶋 (M1) 那須 (B4) 手塚 松本	17
	中島研	佐藤茂雄	佐藤茂雄准教授 小野美助教 (M2) 前波 中本 (M1) 片山 (B4) 高橋	6
	枝松研	小坂英男	枝松教授 小坂准教授 三森助教 (D5) 上野 (D2) 稲垣	5
	尾辻研	末光哲也	尾辻教授 末光哲也准教授 (研究員) 鷹林 (D3) 姜 (D2) エルマチョーキルミン (M2) 赤川 久保 (M1) 吉田 鹿野 (B4) 福嶋	10
	共通部	佐々木龍太郎	目黒教育支援者 佐々木技術職員 伊藤 (研究補助員)	3
	安藤研	大兼幹彦	永沼助教 窪田 WPI 助手 (研究員) 井波 (D3) 金 (D2) 大平 (M2) 佐藤 (M1) 三浦 (技術一般職) 佐藤	8
連携 研究室	川崎研	上野和紀	上野助教 小塚助教 Maryenko 助手 (D2) 山田	4
	新田研	好田誠	好田助教 (D2) 国橋 (M2) 塩貝	3
	藤本研	島津武仁	島津准教授 (研究員) 山田 片岡 嵯峨 三浦	5
	高橋研	小川智之	(D1) 高橋 (B4) 鹿原 稲葉	3
	高橋・小谷研	黒木伸一郎	黒木助教 田主助教 (D3) 藤井 (M2) 杉本 (M1) 川崎 佐々木	6
	山口研	遠藤恭	(M2) 三束 (M1) 佐藤 古田 (B4) 大川 佐々木	5
	佐橋研	土井正晶	三宅助教 (研究員) 遠藤 (D3) 蘆	3
	石山研	柁 修一郎	柁助教 (B4) 北澤	2
	(多元研) 北上研	菊池伸明	菊池助教 (M1) 巢山	2
	(理) 石原研	大野誠吾	大野助教	1
	末光研	吹留博一	吹留助教 (D2) 鄭 (M1) 斎藤 植澤	4
	田中研	田中 徹	(D2) 木野 (M2) 開 (M1) 中澤 (研究補助員) 北村	4
	羽生研	夏井雅典	羽生教授 夏井助教 松本助教 (研究員) 高子 松永 鈴木	6
	遠藤研	村口正和	(教育研究支援者) 村口 (研究支援者) 東 渡辺 (M2) 伊賀 (M1) 佐々木 今本	6
	寒川研	大竹浩人	大竹准教授 黄助教 (M1) 五十嵐	3
	畠山研	金子俊郎	金子准教授 李助教 加藤助教 (M2) 原田 永井 小山内 馬越 (M1) 佐藤 兒玉 安久津	10

計 167



## 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、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論議することを目的としている。平成22年度は、以下の講演会を実施した。

第45回 平成22年7月2日 13:30 - 14:30

「Silicon Photonics for Optical Fiber Communication」

Prof. Klaus Petermann (Technische Universität Berlin, Germany)

第46回 平成22年8月6日 16:00 - 17:30

「The Magnetism of  $x \leq 0.03$  (Ga,Mn)N」

Dr. M. Sawicki (Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland)

第47回 平成22年9月8日

15:00 - 16:00

「A microfluidic immunosensor based on ferromagnetic resonance induced in magnetic bead labels」

Prof. Pallavi Dhagat (Oregon State University, Corvallis, USA)

16:00 - 17:00

「Design and Simulation of Magnetic Logic Circuits」

Prof. Albrecht Jander (Oregon State University, Corvallis, USA)

第48回 平成22年10月29日 15:00 - 16:00

「阪大産研の遠赤外自由電子レーザー開発と利用の現状」

磯山悟朗教授（大阪大学産業科学研究所）

第49回 平成22年11月4日

13:30 - 14:15

「Carrier transport in nanoelectronic and optoelectronic graphene-based devices」

Dr. Vladimir Vyurkov (Visiting Prof. RIEC on leave from the Russian Academy of Science (RAS), Russia)

14:15 - 15:30

「Stimulated terahertz emission from optically pumped graphene」

Dr. Stephane Albon Boubanga Tombet (JSPS Research Fellow on leave from the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), France)

第50回 平成22年12月16日

13:30 - 14:10

「招待講演」共鳴トンネルダイオードの室温テラヘルツ発振

○鈴木左文・浅田雅洋（東工大）

14:10 - 14:35

「グレーデッドエミッタによる共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振素子の走行時間短縮」

○寺西豊志・鈴木左文・静野 薫・浅田雅洋（東工大）・杉山弘樹・横山春喜（NTT）

14:35 - 15:15

〔招待講演〕「テラヘルツ無線通信の現状と将来展望」

○永妻忠夫（阪大）

15:35 - 16:00

「局部発振器用 THz-QCL の開発」

○入交芳久（NICT）・芝 祥一（東大）・関根徳彦・寶迫 巖（NICT）・小山知記・前澤裕之（名大）・山本 智（東大）

16:00 - 16:25

「利得媒質と電場増強効果を用いたテラヘルツ増幅器」

○高塚裕也・佐野栄一（北大）・リズィー ヴィクトール（会津大）・尾辻泰一（東北大）

16:25 - 16:50

「光学励起グラフェンの非平衡キャリア緩和過程とテラヘルツ帯における反転分布」

○佐藤 昭（東北大）・ヴィクトール リズィー（会津大）・ステファン ポウバンガ-トムベット・尾辻泰一（東北大）

16:50 - 17:15

「Coherent and Voltage Tunable Terahertz Emission from Nano-metric Field Effect Transistor at Room Temperature」

○Stephane Boubanga-Tombet・Akira Satou (Tohoku Univ.)・Victor Ryzhii (Univ. of Aizu)・Taiichi Otsuji (Tohoku Univ.)

平成 22 年 12 月 17 日

09:30 - 10:10

〔招待講演〕「InP-HEMT MMIC を用いたミリ波インパルス無線の検討」

○原 直紀・中舎安宏・牧山剛三・高橋 剛（富士通/富士通研）

10:10 - 10:35

「近傍界イメージング用 77GHz 帯モノスタティックレーダモジュール」

○望月章志・都甲浩芳・久々津直哉（NTT）

10:35 - 11:15

〔招待講演〕「準ミリ波長距離伝送に向けた低コスト基板上 GaN デバイス」

○酒井啓之・黒田正行・根来 昇・村田智洋・永井秀一・西嶋将明・按田義治・上田哲三・田中 毅（パナソニック）

11:15 - 11:40

「ナノゲート  $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}/\text{InAs}/\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  コンポジットチャネル HEMT に関するモンテカルロ計算」

○遠藤 聡（NICT/富士通研）・渡邊一世（NICT）・三村高志（富士通研/NICT）

13:00 - 13:25

「層状半導体 GaSe 結晶による  $1.2\mu\text{m}$  励起超広帯域連続周波数掃引テラヘルツ波発生」

○出崎 光・田邊匡生・小山 裕（東北大）

13:25 - 13:50

「テラヘルツ偏光分光の一軸変形高分子材料その場評価への応用」

○渡邊健太・田邊匡生・小山 裕（東北大）

13:50 - 14:15

「有機物分子性伝導体 TTF-TCNQ 錯体結晶のテラヘルツ物性」

○大橋隆宏・田邊匡生・小山 裕（東北大）

14:35 - 15:15

〔招待講演〕「Key components of terahertz remote sensing system」

○Juraj Darmo・Michael Martl・Daniel Dietze・Karl Unterrainer (TU Vienna)

15:15 - 15:40

「超平坦光コム発生器を用いたミリ波帯ビート信号の生成」

○諸橋 功・坂本高秀（NICT）・外林秀之（青学大）・川西哲也・寶迫 巖（NICT）

15:40 - 16:05

「ポンプ-プローブ・テラヘルツ放射顕微鏡による低温成長 GaAs 光伝導スイッチのキャリアダイナミクスに関する研究」

○藤原昌悟・川山 巖・村上博成・斗内政吉（阪大）

第 51 回 平成 23 年 3 月 3 日 15:00 - 16:30

【通研講演会】

「量子情報通信ネットワークの最近の進展」

佐々木雅英博士（独立行政法人情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター量子 ICT グループリーダー，東北大学電気通信研究所客員教授）

(国際シンポジウムプログラム)



TOHOKU  
UNIVERSITY



CSIS



RIEC



Cabinet Office



MEXT

MINISTRY OF EDUCATION,  
CULTURE, SPORTS,  
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



# **The 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs**

**and**

# **The 7th RIEC International Workshop on Spintronics**

Date: February 3rd and 4th, 2011

Venue: Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics,  
4<sup>th</sup> Floor, Conference Room, Tohoku University,  
Sendai, Japan

<http://www.csis.tohoku.ac.jp/>

## Symposium Registration

Registration: E-mail to CSIS Support Office ([sien@csis.tohoku.ac.jp](mailto:sien@csis.tohoku.ac.jp)) by January 17<sup>th</sup>, 2011.

Symposium Fee: Free

## Banquet Registration

Advance Registration: E-mail to CSIS Support Office ([sien@csis.tohoku.ac.jp](mailto:sien@csis.tohoku.ac.jp)) by January 17<sup>th</sup>, 2011.

Banquet Fee: 5,000 JPY  
Banquet Fee will be collected on site at the Symposium

## Sponsors

The symposium and the workshop are sponsored and supported by:

- Cabinet Office, Government of Japan
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology, Japan
- Japan Society for Promotion of Science (JSPS) through the "Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology (the FIRST Program)"
- Tsukuba Innovation Arena for Nanotechnology
- Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University

## Organizers

Hideo Ohno (CSIS and RIEC, Tohoku University)

Tetsuo Endoh (CSIS and Center for Interdisciplinary Research, Tohoku University)

Naoki Kasai (CSIS, Tohoku University)

Takahiro Hanyu (CSIS and RIEC, Tohoku University)

Yasuo Ando (CSIS and Graduate School of Engineering, Tohoku University)

Shoji Ikeda (CSIS and RIEC, Tohoku University)

Michihiko Yamanouchi (CSIS, Tohoku University)

Hideo Sato (CSIS, Tohoku University)

## Local Staff

Yutaka Kadowaki (CSIS, Tohoku University)

Noriko Sato (CSIS, Tohoku University)

Manami Abe (CSIS, Tohoku University)

Osamu Sugasawa (CSIS, Tohoku University)

Atsuko Yonezawa (CSIS, Tohoku University)

# PROGRAM

<b>Thursday February 3<sup>rd</sup>, 2011</b> <b>- Materials and Devices -</b>		
Opening 9:00 -9:15		Opening Remarks and Announcements
Invited talk 9:15-9:50	T1	<b>Magnetic tunnel junction based orthogonal spin transfer devices</b> <u>Andrew D. Kent</u> <sup>1</sup> , Huanlong Liu <sup>1</sup> , Daniel Bedau <sup>1</sup> , Jordan Katine <sup>2</sup> and Juergen Langer <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> New York University, <sup>2</sup> Hitachi-GST, <sup>3</sup> Singulus Technologies)
Invited talk 9:50-10:25	T2	<b>Materials design and science of magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy electrodes for VLSIs</b> <u>Shoji Ikeda</u> <sup>1,2</sup> , M. Yamanouchi <sup>2</sup> , H. Sato <sup>2</sup> , K. Miura <sup>3,2,1</sup> , K. Mizunuma <sup>1</sup> , H. Yamamoto <sup>3</sup> , R. Koizumi <sup>1</sup> , H. D. Gan <sup>2</sup> , M. Endo <sup>1</sup> , S. Kanai <sup>1</sup> , J. Hayakawa <sup>3</sup> , F. Matsukura <sup>1,2</sup> , H. Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> Hitachi)
10:25-10:45	Coffee Break	
Invited talk 10:45-11:20	T3	<b>Multiscale modeling for spintronics</b> <u>Claudia K. A. Mewes</u> , William H. Butler, Tim Mewes (University of Alabama)
Invited talk 11:20-11:55	T4	<b>Self-consistent calculations of spin transport and magnetization dynamics</b> <u>Kyung-Jin Lee</u> <sup>1</sup> , Hyun-Woo Lee <sup>2</sup> , Jung-Hwan Moon <sup>1</sup> , Seo-Won Lee <sup>1</sup> , Kyoung-Whan Kim <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Korea University, <sup>2</sup> Pohang University of Science and Technology)
11:55-13:30	Lunch	
Invited talk 13:30-14:05	T5	<b>Observation of intrinsic pinning mechanism in current-induced domain wall motion</b> T. Koyama <sup>1</sup> , D. Chiba <sup>1</sup> , K. Ueda <sup>1</sup> , H. Tanigawa <sup>2</sup> , S. Fukami <sup>2</sup> , T. Suzuki <sup>2</sup> , N. Ohshima <sup>2</sup> , N. Ishiwata <sup>2</sup> , Y. Nakatani <sup>3</sup> , and <u>Teruo Ono</u> <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> NEC, <sup>3</sup> University of Electro-communications)
Invited talk 14:05-14:40	T6	<b>Rashba Spin-Orbit torques in ferromagnetic thin films</b> <u>Gilles Gaudin</u> <sup>1</sup> , I. M. Miron <sup>1,2</sup> , T. Moore <sup>1,3</sup> , H. Szabolcs <sup>1</sup> , S. Auffret <sup>1</sup> , B. Rodmacq <sup>1</sup> , L. D. Buda-Prejbeanu <sup>1</sup> , A. Schuhl <sup>1</sup> , S. Pizzini <sup>3</sup> , J. Vogel <sup>3</sup> , M. Bonfim <sup>4</sup> , P. Gambardella <sup>2,5</sup> ( <sup>1</sup> SPINTEC, <sup>2</sup> ICN-CSIC, <sup>3</sup> CNRS/UJF, <sup>4</sup> Universidade Federal do Paraná, <sup>5</sup> ICREA)
Invited talk 14:40-15:15	T7	<b>Universality between current- and field-driven domain wall motion in ferromagnetic metallic nanowires</b> Jae-Chul Lee <sup>1,2</sup> , Kab-Jin Kim <sup>1</sup> , Jisu Ryu <sup>3</sup> , Kyoung-Woong Moon <sup>1</sup> , Sang-Jun Yun <sup>1</sup> , Gi-Hong Gim <sup>1</sup> , Kang-Soo Lee <sup>1</sup> , Kyung-Ho Shin <sup>2</sup> , <u>Hyun-Woo Lee</u> <sup>3</sup> , and Sug-Bong Choe <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Seoul National University, <sup>2</sup> KIST, <sup>3</sup> Pohang University of Science and Technology)
15:15-15:35	Coffee Break	



Invited talk 15:35-15:55	T8	<b>Domain wall motion cell with perpendicularly magnetized Co/Ni wire for high-speed memory and logic</b> <u>Shunsuke Fukami</u> and N. Ishiwata (NEC)
Invited talk 15:55-16:15	T9	<b>Temperature dependence of domain patterns observed in demagnetized CoFeB/MgO films with perpendicular anisotropy</b> <u>Michihiko Yamanouchi</u> <sup>1</sup> , A. Jander <sup>2,3</sup> , P. Dhagat <sup>2,3</sup> , S. Ikeda <sup>1,3</sup> , F. Matsukura <sup>1,3</sup> , and H. Ohno <sup>1,3</sup> ( <sup>1</sup> Tohoku University, <sup>2</sup> Oregon State University)
Invited talk 16:15-16:50	T10	<b>NRI Spintronics Research for Beyond CMOS Technology</b> <u>Dejan Markovic</u> (UCLA)
16:55-18:25	<b>POSTER SESSION</b> See pages 5 and 6	
Banquet 18:30-20:30	<i>Katahira Sakura Hall, Tohoku University</i>	

<b>Friday February 4<sup>th</sup>, 2011</b> <b>Spintronics-based LSIs</b>		
Invited talk 9:00-9:35	F1	<b>Nonvolatile computer systems and memory hierarchy transformation with STT RAM technology</b> <u>Tetsuo Endoh</u> <sup>1,2</sup> , S. Ikeda <sup>1,3</sup> , T. Hanyu <sup>1,4</sup> , N.Kasai <sup>1</sup> and H.Ohno <sup>1,3</sup> (1,2,3,4Tohoku University.)
Invited talk 9:35-10:10	F2	<b>How spintronics and STT-RAM can benefit future mobile applications</b> <u>Nick Yu</u> (Qualcomm)
Invited talk 10:10-10:45	F3	<b>Design considerations and challenges of STT MRAM products</b> R. Beach <sup>1</sup> , G. Jan <sup>1</sup> , <u>Po Kang Wang</u> <sup>1</sup> , D. Tang <sup>1</sup> , C. Horng <sup>1</sup> , W. Kula <sup>1</sup> , T. Torng <sup>1</sup> , D.C. Worledge <sup>2</sup> , J.Z. Sun <sup>2</sup> , G. Hu <sup>2</sup> , M. C. Gaidis <sup>2</sup> , and W. J. Gallagher <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> MagIC Technologies, <sup>2</sup> IBM)
10:45-11:05	Coffee Break	
Invited talk 11:05-11:40	F4	<b>Advances in materials and structures for STT-RAM</b> <u>Vladimir Nikitin</u> , Dmytro Apalkov, Steven Watts, Alexey Khvalkovskiy, Xueti Tang, Alexander Driskill-Smith, Kiseok Moon, Adrian Ong, Daniel Lottis, Eugene Chen, Mohamad Krounbi (Grandis)
Invited talk 11:40-12:15	F5	<b>High efficient and back hopping free STT writing on perpendicular MTJs</b> <u>Hiroaki Yoda</u> <sup>1</sup> , N. Shimomura <sup>1</sup> , T. Kai <sup>1</sup> , T. Kishi <sup>1</sup> , H. Aikawa <sup>1</sup> , M. Yoshikawa <sup>1</sup> , T. Nagase <sup>1</sup> , K. Nishiyama <sup>1</sup> , E. Kitagawa <sup>1</sup> , T. Daibou <sup>1</sup> , M. Amano <sup>1</sup> , S. Takahashi <sup>1</sup> , M. Nakayama <sup>1</sup> , S. Ikegawa <sup>1</sup> , M. Nagamine <sup>1</sup> , J. Ozeki <sup>1</sup> , S. Yuasa <sup>2</sup> , S. Mizukami <sup>6</sup> , Y. Ando <sup>3</sup> , Y. Suzuki <sup>4</sup> , Y. Nakatani <sup>5</sup> , T. Miyazaki <sup>6</sup> , and K. Ando <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Toshiba, <sup>2</sup> AIST, <sup>3,6</sup> Tohoku University, <sup>4</sup> Osaka University, <sup>5</sup> University of Electro-Communications)
12:15-14:00	Lunch	
Invited talk 14:00-14:35	F6	<b>Can the STT-MRAM replace a DRAM ?</b> <u>Kijoon H. P. Kim</u> (Samsung Electronics)
Invited talk 14:35-15:10	F7	<b>Status and outlook of MRAM technology</b> <u>Brad N. Engel</u> , J.M. Slaughter, N.D. Rizzo, F.B. Mancoff, R. Whig, J.J. Sun, K. Smith, K. Nagel, and D. Houssameddine (Everspin Technologies)
Invited talk 15:10-15:45	F8	<b>MTJ-based nonvolatile logic-in-memory architecture and its applications</b> <u>Takahiro Hanyu</u> <sup>1,2</sup> , S. Matsunaga <sup>1</sup> , D. Suzuki <sup>1</sup> , M. Natsui <sup>1,2</sup> , S. Ikeda <sup>1,3</sup> , T. Endoh <sup>1,4</sup> , and H. Ohno <sup>1,3</sup> ( <sup>1,2,3,4</sup> Tohoku University)
Closing 15:45-15:50		Closing Remarks

Thursday February 3<sup>rd</sup>, 2011

POSTER SESSION 16:55-18:25

P1	<b>Band structure and magneto- transport properties in II-VI nanostructures semiconductors. Application to infrared detector superlattices</b> Abdelhakim Nafidi (University Ibn Zohr)
P2	<b>Dependence of the exchange bias direction on the cooling-field strength</b> Jangyup Son, Soogil Lee, Sanghoon Kim, and Jongill Hong (Yonsei University)
P3	<b>Spin-transfer-torque dependence on MgO tunnel barrier thickness in MTJs</b> W. Skowroński <sup>1</sup> , T. Stobiecki <sup>1</sup> , J. Wrona <sup>1</sup> , G. Reiss <sup>2</sup> , K. Chalapat <sup>3</sup> , G. S. Paraoanu <sup>3</sup> , and S. van Dijken <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> AGH University of Science and Technology, <sup>2</sup> Bielefeld University, <sup>3,4</sup> Aalto University)
P4	<b>Development of reconfigurable spin logic block based on SpRAM for 3D-stacked reconfigurable spin processor</b> R. Nakazawa, H. Kino, K. Kiyoyama, T. Tanaka, and M. Koyanagi (Tohoku University)
P5	<b>A post oxidation process of Mg layer for MgO barrier magnetic tunnel junctions</b> H. Yamamoto <sup>1</sup> , K. Ono <sup>1</sup> , T. Morita <sup>1</sup> , S. Ikeda <sup>2</sup> , and H. Ohno <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> ULVAC, <sup>2</sup> Tohoku University)
P6	<b>Structural and magnetic properties of Fe- and Mn-doped Si thin films</b> Jooyoung Suh <sup>1</sup> , Sang Woo Pak <sup>1</sup> , Kyung Su Lee <sup>1</sup> , Eun Kyu Kim <sup>1*</sup> , and Yoon Shon <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Hanyang University, <sup>2</sup> Dongguk University)
P7	<b>Well-width dependence of spin relaxation in InGaAs quantum wells</b> Y. Kunihashi <sup>1</sup> , M. Kohda <sup>1,2</sup> , and J. Nitta <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Tohoku University, <sup>2</sup> PRESTO JST)
P8	<b>Fabrication of PbPd<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>2</sub> spin gapless semiconductor films and investigation of their magnetic and transport properties</b> Y. F. Chiang <sup>2</sup> , H. L. Su <sup>1,3</sup> , S. Y. Huang <sup>1</sup> , and J. C. A. Huang <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> National Cheng Kung University, <sup>3</sup> Hefei University of Technology)
P9	<b>Electron wave packet dynamics in the spin torque transfer</b> Mitsuhiro Arikawa <sup>1,2</sup> , Yasuhiro Hatsugai <sup>3</sup> , and Kenji Shiraishi <sup>3</sup> ( <sup>1,3</sup> University of Tsukuba, <sup>2</sup> CREST)
P10	<b>Exchange biased magnetic tunnel junctions with thin CoFeB electrodes for in-plane and out-of-plane magnetic field sensing</b> P. Wiśniowski <sup>1</sup> , J. Wrona <sup>1</sup> , W. Skowroński <sup>1</sup> , T. Stobiecki <sup>1</sup> , S. Cardoso <sup>2</sup> , and P. Freitas <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> AGH University of Science and Technology, <sup>2</sup> INESC-MN and IN-Institute of Nanoscience and Nanotechnology)

P11	<b>Gilbert magnetic damping constant of Co-based Heusler alloy thin films</b> M. Oogane <sup>1</sup> , T. Kubota <sup>1</sup> , Y. Kota <sup>1</sup> , S. Mizukami <sup>2</sup> , H. Naganuma <sup>1</sup> , A. Sakuma <sup>1</sup> and Y. Ando <sup>1</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University)
P12	<b>MgO magnetic tunnel junctions with a synthetic free layer consisting of CoFeB/Ru/ perpendicular magnet</b> Yeon Sub Lee <sup>1,3</sup> , <u>Byoung-Chul Min</u> <sup>*1</sup> , Gyung Min Choi <sup>1</sup> , Jürgen Langer <sup>2</sup> , Berthold Ocker <sup>2</sup> , Wolfram Maass <sup>2</sup> , Young Keun Kim <sup>3</sup> , and Kyung-Ho Shin <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> KIST, <sup>2</sup> Singulus Technologies, <sup>3</sup> Korea University)
P13	<b>Exchange bias of multiferroic BiFeO<sub>3</sub> epitaxial films</b> Hiroshi Naganuma, Mikihiro Oogane, and Yasuo Ando (Tohoku University)
P14	<b>Spin torque diode effect of magnetic tunnel junction with synthetic ferrimagnetic free layer</b> Nobuhito Inami <sup>1</sup> , Hiroshi Naganuma <sup>1</sup> , Mikihiro Oogane <sup>1</sup> , Yasuo Ando <sup>1</sup> , Shoji Ikeda <sup>2,3</sup> , and Hideo Ohno <sup>2,3</sup> ( <sup>1,2,3</sup> Tohoku University)
P15	<b>Current driven domain wall dynamics in perpendicularly magnetized ultrathin CoFeB nanowires</b> Masamitsu Hayashi <sup>1</sup> , Jaivardhan Sinha <sup>1</sup> , Carsen Kline <sup>1</sup> and Seiji Mitani <sup>1</sup> Shunsuke Fukami <sup>2</sup> , and Nobuyuki Ishiwata <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> NIMS, <sup>2</sup> NEC)
P16	<b>Influences of Boron composition on tunnel magnetoresistance properties of double-MgO-barrier magnetic tunnel junctions</b> H. D. Gan <sup>1</sup> , S. Ikeda <sup>1,2</sup> , M. Yamanochi <sup>1</sup> , K. Mizunuma <sup>2</sup> , K. Miura <sup>3,1,2</sup> , F. Matsukura <sup>1,2</sup> , and H. Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University)
P17	<b>Annealing effect on perpendicular magnetic anisotropy of CoFeB/MgO structure</b> <u>H. Sato</u> <sup>1</sup> , R. Koizumi <sup>2</sup> , M. Yamanouchi <sup>1</sup> , S. Ikeda <sup>1,2</sup> , K. Miura <sup>1,2,3</sup> , K. Mizunuma <sup>2</sup> , H. D. Gan <sup>1</sup> , F. Matsukura <sup>1,2</sup> and H. Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> Hitachi)
P18	<b>Annealing stability for tunnel magnetoresistance in MgO-CoFeB based magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy CoFe/Pd multilayers</b> Kotaro Mizunuma <sup>1</sup> , Michihiko Yamanouchi <sup>2</sup> , Shoji Ikeda <sup>1,2</sup> , Hideo Sato <sup>2</sup> , Hiroyuki Yamamoto <sup>3</sup> , Hua-Dong Gan <sup>2</sup> , Katsuya Miura <sup>3,1,2</sup> , Jun Hayakawa <sup>3</sup> , Fumihiro Matsukura <sup>1,2</sup> , and Hideo Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> Hitachi)
P19	<b>Modulation of magnetic anisotropy in Ta/Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>/MgO by electric fields: thickness and annealing temperature dependences</b> S. Kanai <sup>1</sup> , M. Endo <sup>1</sup> , S. Ikeda <sup>1,2</sup> , F. Matsukura <sup>1,2</sup> , H. Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University)
P20	<b>Buffer layer dependence of magnetic domain wall creep in (Ga,Mn)As</b> A. Suzuki <sup>1</sup> , A.Kanda <sup>1</sup> , F. Matsukura <sup>1,2</sup> , H. Ohno <sup>1,2</sup> ( <sup>1,2</sup> Tohoku University)
P21	<b>MTJ edge deformation influence on switching current distribution for a shaped-varying MTJ switched with magnetic field</b>

	H. Honjo S. Saito , R. Nebashi, N. Sakimura, S. Miura*, and T. Sugibayashi (NEC)
P22	<b>Chemical modification of magnetic thin film during alcohol-based plasma etching</b> Keizo Kinoshita, K. Suemitsu, N. Ohshima, N. Ishiwata, T. Sugibayashi (NEC)