

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20246002

研究課題名（和文） 金属系ナノヘテロ接合におけるスピン波励起と高周波デバイスの創製

研究課題名（英文） Spin wave excitation in metallic nano-hetero structures and fabrication of high frequency devices

研究代表者

安藤 康夫（ANDO YASUO）

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60250726

研究成果の概要（和文）：

Si 基板上にボトムフリー層構成の面直通電型磁気抵抗(CPP-GMR)ナノヘテロ構造素子を作製し、スピン注入自励発振の測定を行った。磁場の印加方向を容易軸と 90 度とし、印加電流が 3mA～7mA のときに発振強度が大きくなり、半値幅も減少した。また、下部自由層が連続した擬ポイントコンタクト型 CPP-GMR 素子を設計・作製した。50Ω 整合のとれたコプレーナーウェーブガイドを独自に設計し、高周波伝達損失を 10%まで低減させることに成功した。

研究成果の概要（英文）：

Current-Perpendicular-to-Plane Giant Magnetoresistance (CPP-GMR) nano-hetero devices with bottom free layers were fabricated on Si substrates and the spin-transfer-torque-induced rf oscillation was measured. The intensity of the oscillation became large and the half width reduced when the magnetic field was applied 90° from the easy axis and the current was between 3 mA and 7 mA. Also, a pseudo-point-contact GMR device on a coplanar waveguide with low high-frequency loss was fabricated. The high-frequency loss was reduced by 10%.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	25,500,000	7,650,000	33,150,000
2009年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2010年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	39,800,000	11,940,000	51,740,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物性・結晶工学

キーワード：スピン流、スピン注入、垂直磁気異方性、金属ナノヘテロ構造、CPP-GMR、ダンピング定数、スピントルク、スピン波

1. 研究開始当初の背景

スピン注入によるスピン波発振デバイスの開発に当たって、問題点を整理すると以下ようになる。

(1) 磁性体内に注入されたスピンの緩和現象のメカニズムに関して完全に理解されてい

ないため、スピン角運動量の授受に関わるスピン注入効率向上の指針が得られていない。
(2) 強磁性内に励起されるスピン波のモードは素子のサイズ、材料に大きく依存するにもかかわらず、これらの観点からの系統的な実験が行われていない。

(3) スピン波を利用した高周波デバイスの原理実証はなされているものの、実現に向けての具体的なビジョンがない。

2. 研究の目的

本研究はスピン注入材料、微細加工技術、およびスピン波検出技術を駆使して、スピン注入によるスピン波励起と高周波デバイス創製に関する研究を推進する。

- (1) スピン注入源として垂直磁気異方性を有する強磁性体を用いた金属ナノヘテロ構造を作製し、強磁性内におけるスピン緩和のメカニズム解明を目指す。
- (2) スピン注入によるスピン波励起を効率的に行うための材料探索と微細加工素子の作製を行い、励起スピン波のリアルタイム観測、周波数空間スペクトル観測より金属ナノヘテロ構造の設計指針の提案を行う。
- (3) スピン波を利用した高周波デバイスの高出力 ($> \mu\text{W}$) 化と高周波数 ($> 25 \text{ GHz}$) 化の極限を目指すための金属ナノヘテロ構造の最適化を行う。

3. 研究の方法

(1) 垂直磁気異方性材料からの高効率スピン注入

大きな磁気異方性が期待できる、CoPt に限定せずに、他の $L1_0$ 系規則合金、Co/Ni などの多層膜系と広範囲に探索する。また、スピンの注入効率を上げるために、接合界面に数原子層分挿入する材料探索を行う。

(2) 強磁性体内におけるスピン緩和

強磁性体にスピンを注入するとスピンの角運動量の授受が行われ、注入したスピン自身のスピン緩和がおこる。強磁性金属層 1/非磁性体層/強磁性金属層 2 の積層構造において、強磁性金属層 1 (スピン源) のスピンの才差運動をマイクロ波で励起することによりスピン流を隣接する非磁性対層、強磁性金属層 2 に注入させる。強磁性共鳴の線幅を測定することでスピンの進入長を得ることができる。

(3) 金属ナノヘテロ構造の作製

高速パルスによりスピン注入を行うためには、強磁性トンネル接合の接合面積を $100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$ 程度まで微小に加工するとともに、電極を高周波が透過できるようにコプレーナ形状に加工する必要がある。

4. 研究成果

(1) 垂直磁気異方性材料からの高効率スピン注入

スピン注入のための垂直磁気異方性材料として、Co/Pd の積層膜の最適化を行った。Co の膜厚を 0.2 nm で固定し、Pd の膜厚を変化させた結果、 $0.2 \sim 1.4 \text{ nm}$ の範囲で良好な垂直磁気異方性薄膜を作製することがで

きた。またこの垂直膜をスピン注入源とする CoFeB/MgO/CoFeB 強磁性トンネル磁気抵抗素子 (MTJ) を作製した。垂直スピン注入層と MTJ の磁気的な分離にはスピン拡散長の長い Cu を用いた。Pd および Cu の拡散を防止するため、Co、Pd の膜厚、および挿入層の種類・膜厚などについて系統的に調べ、①極薄の CoFeB を Cu と Co/Pd 多層膜の間に挿入すること、②Pd 層を 0.4 nm まで薄層化すること、により 300°C の熱処理においても 100% 以上の高い磁気抵抗比が得られることを明らかにした。さらに、CoPt を用いてこの垂直膜自身をスピン注入自励発振させるための低抵抗トンネル接合素子を作製することに成功した。

(2) スピン緩和メカニズムの解明

強磁性体/非磁性体/強磁性体 (F1/Cu/F2) の積層構造試料において、F1 および F2 の材料を $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、Co、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ 、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ と変化させ、種々の組み合わせで横スピン侵入長の測定をおこなった。非磁性体/強磁性体界面の状態、特にミキシングコンダクタンスの値が侵入長に影響を及ぼすことが実験的に示唆された。また、フェムト秒パルスレーザーを用いて、高磁気異方性材料である $L1_0$ -FePt の超薄膜におけるスピンの才差ダイナミクスを観測することに成功した。才差運動の周波数は最大で 60 GHz 程度であり、ギルバートダンピング定数 α は 0.06 程度であることが分かった。

(3) 高周波スピンデバイスの創製、スピン波励起信号の測定

Si 基板上に Ta(5)/Ru(50)/Ta(5)/Cu(5)/CoFe(3)/Cu(3)/CoFe(2)/Ru(0.4)/CoFe(2)/Ir Mn(4)/Ru(5) (単位は nm) のボトムフリー層構成の CPP-GMR ナノヘテロ構造素子を作製し、スピン注入自励発振の測定を行った。印加する電流値と与える磁場の大きさおよび方向を系統的に変化させて、発振特性を比較した。磁場の印加方向を容易軸と 90 度とし、印加電流が $3 \text{ mA} \sim 7 \text{ mA}$ のときに発振強度が大きくなり、半値幅も減少するという特性を得た。また、スピントルクにより励起したスピン波伝搬現象の解明および低消費電力のスピン波通信を目的として、下部自由層が連続した擬ポイントコンタクト型面直通電型磁気抵抗 (CPP-GMR) 素子を設計・作製した。直径 100 nm の接合部分に幅 500 nm のナノ細線をもちいて上部電極を作製した。また、 50Ω 整合のとれたコプレーナウェーブガイドを独自に設計し、高周波伝達損失を 10% まで低減させることに成功した。スペクトラムアナライザーをもちいて高周波特性を評価したところ、接合直下で励起したスピン波は多磁区構造などの影響により磁化が単純に一斉回転運動しているわけではないことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 59 件)

1. Fast magnetization precession observed in $L1_0$ -FePt epitaxial thin film, S. Mizukami, S. Iihama, N. Inami, T. Hiratsuka, G. Kim, H. Naganuma, M. Oogane, and Y. Ando, Appl. Phys. Lett., 98 (2011) 052501-1-3, 査読有.
2. Magnetoresistance Effect in Tunnel Junctions with Perpendicularly Magnetized DO_{22} - $Mn_{3-8}Ga$ Electrode and MgO Barrier, Takahide Kubota, Yoshio Miura, Daisuke Watanabe, Shigemi Mizukami, Feng Wu, Hiroshi Naganuma, Xianmin Zhang, Mikihiko Oogane, Masafumi Shirai, Yasuo Ando, and Terunobu Miyazaki, Appl. Phys. Exp., 4 (2011) 043002-1-3, 査読有.
3. Long-Lived Ultrafast Spin Precession in Manganese Alloys Films with a Large Perpendicular Magnetic Anisotropy S. Mizukami, F. Wu, A. Sakuma, J. Walowski, D. Watanabe, T. Kubota, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, Phys. Rev. Lett., 106 (2011) 117201-1-4, 査読有.
4. Electrical transport properties of perpendicular magnetized Mn-Ga epitaxial films, Feng Wu, E. P. Sajitha, Shigemi Mizukami, Daisuke Watanabe, Terunobu Miyazaki, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando, Appl. Phys. Lett., 96 (2010) 042505-1-3, 査読有.
5. Ultrafast Demagnetization for $Ni_{80}Fe_{20}$ and Half-metallic Co_2MnSi Heusler Alloy Films, S. Mizukami, S. Tsunegi, T. Kubota, M. Oogane, D. Watanabe, H. Naganuma, Y. Ando and T. Miyazaki, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 042017-1-4, 査読有.
6. Structural, Magnetic, and Magnetotransport Properties of FePt/MgO/CoPt Perpendicularly Magnetized Tunnel Junctions, N. Inami, G. Kim, T. Hiratsuka, H. Naganuma, M. Oogane and Y. Ando, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 052008-1-4, 査読有.
7. Magnetoresistance of Perpendicularly Magnetized Tunnel Junction Using $L1_0$ -CoNiPt with Low Saturation Magnetization, G. Kim, T. Hiratsuka, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 052011-1-4, 査読有.
8. Spin-transfer Switching in Magnetic Tunnel Junctions with Synthetic Ferri-magnetic Free Layer, M. Nishimura, M. Oogane, H. Naganuma, N. Inami, S. Ikeda, H. Ohno and Y. Ando, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 052018-1-4, 査読有.
9. Structural and magnetic properties of $Mn_{2.5}Ga$ films, F. Wu, S. Mizukami, D. Watanabe, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 062037-1-4, 査読有.
10. Interlayer exchange coupling in perpendicularly magnetized synthetic ferrimagnet structure using CoCrPt and CoFeB, D. Watanabe, S. Mizukami, F. Wu, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, Journal of Physics: Conference Series, 200 (2010) 072104-1-4, 査読有.
11. Optically induced magnetization dynamics and variation of damping parameter in epitaxial Co_2MnSi Heusler alloy films, Y. Liu, L. R. Shelford, V. V. Kruglyak, R. J. Hicken, Y. Sakuraba, M. Oogane, and Y. Ando, Phys. Rev. B, 81 (2010) 094402-1-12, 査読有.
12. Co-concentration dependence of half-metallic properties in Co-Mn-Si epitaxial films, Y. Sakuraba, N. Hirose, M. Oogane, T. Nakamura, Y. Ando, and K. Takanashi, Appl. Phys. Lett., 96 (2010) 092511-1-3, 査読有.
13. Magnetoresistance and Structure of MgO-Based Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicularly Magnetized $L1_0$ -FePt, N. Inami, H. Naganuma, T. Hiratsuka, G. Kim, T. Miyazaki, K. Sato, T. J. Konno, M. Oogane, Y. Ando, J. Magn. Soc. Jpn., 34 (2010) 293-296, 査読有.
14. Epitaxial growth of Co_2MnSi thin films at the vicinal surface of n-Ge(111) substrate, M. A. I. Nahid, M. Oogane, H. Naganuma, and Y. Ando, Appl. Phys. Lett., 96 (2010) 142501-1-3, 査読有.
15. Reproducible trajectory on

- subnanosecond spin-torque magnetization switching under a zero-bias field for MgO-based ferromagnetic tunnel junctions, Tatsuya Aoki, Yasuo Ando, Mikihiko Oogane, and Hiroshi Naganuma, *Appl. Phys. Lett.*, 96 (2010) 142502-1-3, 査読有.
16. Gilbert damping in perpendicularly magnetized Pt/Co/Pt films investigated by all-optical pump-probe technique, S. Mizukami, E. P. Sajitha, D. Watanabe, F. Wu, T. Miyazaki, H. Naganuma, M. Oogane, and Y. Ando, *Appl. Phys. Lett.*, 96 (2010) 152502-1-3, 査読有.
 17. Fabrication of perpendicularly magnetized magnetic tunnel junctions with $L1_0$ -CoPt/Co₂MnSi hybrid electrode, T. Hiratsuka, G. Kim, Y. Sakuraba, T. Kubota, K. Kodama, N. Inami, H. Naganuma, M. Oogane, T. Nakamura, K. Takanashi, and Y. Ando, *J. Appl. Phys.*, 107 (2010) 09C714-1-3, 査読有.
 18. Structural and Magnetic Properties of Perpendicular Magnetized Mn_{2.5}Ga Epitaxial Films, F. Wu, S. Mizukami, D. Watanabe, E. P. Sajitha, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, *IEEE Trans. Magn.*, 46 (2010) 1863-1865, 査読有.
 19. Gilbert magnetic damping constant of epitaxially grown Co-based Heusler alloy thin films, M. Oogane, T. Kubota, Y. Kota, S. Mizukami, H. Naganuma, A. Sakuma, and Y. Ando, *Appl. Phys. Lett.*, 96 (2010) 252501-1-3, 査読有.
 20. Band-Structure-Dependent Demagnetization in the Heusler Alloy Co₂Mn_{1-x}Fe_xSi, Daniel Steil, Sabine Alebrand, Tobias Roth, Michael Krauß, Takahide Kubota, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Hans Christian Schneider, Martin Aeschlimann, and Mirko Cinchetti, *Phys. Rev. Lett.*, 105 (2010) 217202-1-4, 査読有.
 21. Low damping constant for Co₂FeAl Heusler alloy films and its correlation with density of states, S. Mizukami, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, Y. Miura, M. Shirai, and T. Miyazaki, *J. Appl. Phys.*, 105 (2009) 07D306-1-3, 査読有.
 22. Half-metallicity and Gilbert damping constant in Co₂Fe_xMn_{1-x}Si Heusler alloys depending on the film composition, Takahide Kubota, Sumito Tsunegi, Mikihiko Oogane, Shigemi Mizukami, Terunobu Miyazaki, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, *Appl. Phys. Lett.*, 94 (2009) 122504-1-3, 査読有.
 23. Determination of Penetration Depth of Transverse Spin Current in Ferromagnetic Metals by Spin Pumping, T. Taniguchi, S. Yakata, H. Imamura, Y. Ando, *Appl. Phys. Exp.*, 1 (2008) 031302-1-3, 査読有.
 24. Tunneling magnetoresistance of magnetic tunnel junctions using perpendicular magnetization $L1_0$ -CoPt electrodes, G. Kim, Y. Sakuraba, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, *Appl. Phys. Lett.*, 92 (2008) 172502-1-3, 査読有.
 25. Gilbert Damping for Various Ni₈₀Fe₂₀ Thin Films Investigated Using All-Optical Pump-Probe Detection and Ferromagnetic Resonance, S. Mizukami, H. Abe, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki, *Appl. Phys. Exp.*, 1 (2008) 121301-1-3, 査読有.
 26. Penetration Depth of Transverse Spin Current in Ferromagnetic Metals, Tomohiro Taniguchi, Satoshi Yakata, Hiroshi Imamura, Yasuo Ando, *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, 44 (2008) 2636-2639, 査読有.
- [学会発表] (計 259 件)
1. S. Mizukami, D. Watanabe, F. Wu, T. Kubota, H. Naganuma, M. Oogane, A. Sakuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, "Magnetization Dynamics and Damping in Magnetic Films with Perpendicular Magnetic Anisotropy", International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS2010), Jeju, Korea, Dec. 7, 2010.
 2. S. Mizukami, F. Wu, D. Watanabe, T. Kubota, X. Zhang, T. Miyazaki, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando and A. Sakuma, "New Heusler alloy films with high-magnetic anisotropy for spintronics devices", International Conference of Nanoscale Magnetism (ICNM2010), Istanbul, Turkey, September 30, 2010.
 3. S. Mizukami, D. Watanabe, F. Wu, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, "All-optical detection of

- magnetization dynamics in perpendicularly magnetized CoCrPt alloy films”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 16, 2010.
4. F. Wu, S. Mizukami, D. Watanabe, E. P. Sajitha, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, “Influence of Composition on Structure and Magnetic Properties of Mn-Ga Alloy Films”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 14, 2010.
 5. T. Tamagawa, T. Taniguchi, S. Yakata, H. Imamura, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, “Measurement of spin penetration depth in various ferromagnetic materials by spin-pumping effect”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 14, 2010.
 6. J. Sato, T. Kubota, M. Oogane, H. Naganuma, and Y. Ando, “CPP-GMR devices using $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$ Heusler alloy”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 13, 2010.
 7. G. Kim, H. Naganuma, N. Inami, M. Oogane and Y. Ando, “Fabrication of Magnetic Tunnel Junction with Out-of-plane free Layer”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 13, 2010.
 8. Y. Kawada, H. Naganuma, M. Oogane, S. Mizukami, T. Miyazaki, Y. Ando, “RF emission properties of CPP-GMR devices with a bottom free layer and a top pin layer”, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, July 13, 2010.
 9. S. Mizukami, “Gilbert Damping Mechanisms in Half-metallic Heusler Alloys (invited)”, American Physical Society March Meeting 2010, Portland OR, USA, March 19, 2010.
 10. S. Mizukami, J. Walowski, T. Kubota, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Spin dynamics for Heusler alloy films (invited)”, 4th International Workshop on Spin Currents & 2nd International Workshop on Spincaloritronics, Sendai Japan, February 10, 2010.
 11. S. Mizukami, M. Oogane, T. Kubota, S. Tsunegi, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Gilbert damping and its mechanism for Co-based full Heusler alloy thin films (invited)”, 11th Joint MMM-Intermag conference, Washington DC, USA, January 21, 2010.
 12. E. P. Sajitha, J. Walowski, D. Watanabe, F. Wu, S. Mizukami, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, “Magnetization Dynamics in CoFeB Buffered Perpendicularly Magnetized Co/Pd Multilayer”, 11th Joint MMM-Intermag conference, Washington DC, USA, January 21, 2010.
 13. S. Mizukami, E. P. Sajitha, D. Watanabe, F. Wu, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Optical Study on Fast Magnetization Dynamics in Perpendicularly Magnetized Pt/Co/Pt Trilayer Films, 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, October 9, 2009.
 14. S. Mizukami, S. Tsunegi, T. Kubota, M. Oogane, D. Watanabe, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Ultrafast Demagnetization for $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ and Half-metallic Co_2MnSi Heusler Alloy Films”, International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 28, 2009.
 15. G. Kim, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, “Fabrication of Thin L_{10} -CoNiPt Film with Low Saturation Magnetization”, International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 27, 2009.
 16. G. Kim, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, “Tunneling magnetoresistance of magnetic tunnel junctions using perpendicular magnetization L_{10} -CoNiPt electrodes”, Joint Workshop of DFG Research Unit 559 and JST Strategic Japanese-German Cooperative Programme, Diemerstein, Germany, July 26, 2009.
 17. S. Mizukami, “Gilbert damping in Heusler alloy”, Joint Workshop of DFG Research Unit 559 and JST Strategic Japanese-German Cooperative Programme, Diemerstein, Germany,

- July 26, 2009.
18. G. Kim, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, "Fabrication of magnetic tunnel junction using $1L_{10}$ CoNiPt, with low saturation magnetization", 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Berlin, Germany, July 22, 2009.
 19. S. Mizukami, D. Watanabe, F. Wu, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, T. Miyazaki, "Fast magnetization dynamics in perpendicularly magnetized Pt/Co/Pt films measured by all-optical pump-probe technique", 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Berlin, Germany, July 20, 2009.
 20. Y. Ando, S. Tsunegi, T. Kubota, G. Kim, T. Hiratsuka, Y. Sakuraba, M. Oogane, K. Takanashi, S. Mizukami, T. Miyazaki, "Perspective of High Tunnel Magnetoresistance in Magnetic Tunnel Junctions with Heusler Alloy Electrodes and MgO Barrier", Tohoku-York Research Seminar, Sendai, January 20 2009.
 21. S. Mizukami, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, Y. Miura, M. Shirai, and T. Miyazaki, "Low damping constant for Co_2FeAl Heusler alloy films and its correlation with density of states", 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Austin, November 10-14, 2008.

[図書] (計 1 件)

1. 安藤康夫, スピンポンピングと磁化ダイナミクス, スピントロニクス基礎と材料・応用技術の最前線, 第 5 章 (分担執筆), シーエムシー出版 (2009) 60-74.

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称: ホイスラー合金電極磁気抵抗素子
 発明者: 大兼幹彦, 永沼博, 安藤康夫, 佐藤丈
 権利者: 大兼幹彦, 永沼博, 安藤康夫, 佐藤丈
 種類: 特許
 番号: 特願 2011-051678
 出願年月日: 平成 23 年 3 月 9 日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.apph.tohoku.ac.jp/spin/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安藤 康夫 (ANDO YASUO)
 東北大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 60250726

(2) 研究分担者

大兼 幹彦 (OOGANE MIKIHICO)
 東北大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号: 50396454

水上 成美 (MIZUKAMI SHIGEMI)
 東北大学・原子分子材料科学高等研究
 機構・助教
 研究者番号: 00339369

永沼 博 (NAGANUMA HIROSHI)
 東北大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号: 60434023

(3) 連携研究者

(なし)