

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246002

研究課題名(和文) L10合金/ホイスラー合金積層電極を用いた高出力・低消費電力磁気抵抗素子の創製

研究課題名(英文) Development of the magneto-resistive devices with high-output and low-power-consumption using L10/Heusler electrodes

研究代表者

大兼 幹彦(OOGANE, MIKIHICO)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50396454

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,100,000円

研究成果の概要(和文)：L10規則構造を有するMn系垂直磁化薄膜を作製し、高磁気異方性と低磁気緩和定数を兼ね備える強磁性体薄膜を得ることに成功した。さらに、得られたMn系垂直磁化薄膜と極薄の強磁性薄膜およびホイスラー合金を積層した電極を用いたトンネル磁気抵抗素子を作製した。その結果、Mn系垂直磁化薄膜を用いたトンネル磁気抵抗素子において世界で初めての磁気抵抗効果の観測に成功した。また、ホイスラー合金を電極としたCPP-GMR素子を作製し、室温で80%の世界最高の磁気抵抗比を観測することに成功した。さらに、スピン注入磁化反転の観測にも成功し、開発した磁気抵抗素子の有用性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have fabricated L10-ordered Mn-based perpendicular magnetized ferromagnetic films with high magnetic anisotropy and low magnetic damping constant. Magnetic tunnel junctions (MTJs) with the multi-layer electrodes of Mn-based alloys and ferromagnetic films or Heusler alloys were fabricated. We have successfully observed tunnel magnetoresistance effect in the fabricated MTJs. In addition, very high MR ratio of 80% was observed at RT and spin-transfer-switching was also observed in CPP-GMR devices with Heusler alloy electrodes. These results indicate that developed devices are very useful in future spintronics field.

研究分野：応用物理

キーワード：スピンエレクトロニクス ハーフメタル ホイスラー合金 トンネル接合 L10合金 トンネル磁気抵抗効果

### 1. 研究開始当初の背景

電子のスピン自由度を利用するスピントロニクスは、国内外においてハードディスクや不揮発性磁気メモリに代表される情報記憶素子の産業化と結びつき、急速な進展を遂げている。申請者は、さらに産業を活性化し、新市場を創出するためには、ハーフメタル材料とそれを用いた革新的デバイスの創製が必要であると考えている。

ハーフメタル材料は、完全にスピン分極した電流を創り出すことが可能な材料として、非常に大きな注目と期待を集めている。しかし、申請者がこれまでに開発に成功しているハーフメタルホイスラー合金は、磁気異方性が小さいために、試料サイズを微小化した際の熱揺らぎ耐性が低いのが欠点である。一方、高い垂直磁気異方性を示す  $L_{10}$  規則構造を有する合金系のいくつかは、10 ナノメートル以下まで試料サイズを小さくしても、熱揺らぎを十分に抑えることが可能な、 $1 \times 10^7$  erg/cc 以上の高磁気異方性定数を有している。本研究では、 $L_{10}$  合金とホイスラー合金を積層させることにより、これら材料の長所を併せ持った材料開発を行い、それを磁気抵抗素子に応用することを目指した。

### 2. 研究の目的

本研究では、10 ナノメートル以下の超微小サイズで利用可能な磁化の熱揺らぎ耐性を有しつつ、かつ、高出力および超低消費電力動作を実現するための、 $L_{10}$  合金/ホイスラー合金積層電極を用いた磁気抵抗素子の創製を目指して研究を行った。そのために、 $L_{10}$  合金/ホイスラー合金積層電極構造において、垂直磁気異方性定数が  $1 \times 10^7$  erg/cc 以上、磁気緩和定数が 0.01 以下となる高性能材料探索、および、高品位な薄膜を得るための作製条件の最適化を行う。さらに、高出力および超低消費電力動作のために、開発する磁気抵抗素子において、室温における磁気抵抗比 100%以上、および、スピン注入磁化反転電流密度  $1 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup> 以下 (10 nm 角サイズの素子で  $1 \mu\text{A}$  以下の電流に対応) を実現する。

### 3. 研究の方法

マグネトロンスパッタ法を用いて、 $\text{MgO sub./Cr}(30 \text{ nm})/\text{MnX}(d \text{ nm})/\text{Ta}(5 \text{ nm})$  ( $X = \text{Al, Ga, } d = 2 \sim 50 \text{ nm}$ ) の薄膜を作製した。MnX 作製時の基板温度および成膜後の熱処理温度を系統的に変化させ、X 線、TEM による構造解析、磁気特性評価、表面平坦性評価を行った。

最適化した MnX の作製条件を用い、また、MnX/MgO 界面に極薄強磁性体 (Y) を挿入した MnAl/Y/MgO/CoFe 構造の強磁性トンネル接合素子 (MTJ) を作製した。また、FePd, FePt, CoPt 等の他の  $L_{10}$  規則合金についても同様に検討を行った。

CPP-GMR 素子については、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$ ,  $\text{Co}_2(\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})\text{Si}$ ,  $\text{Co}_2\text{FeSi}$ ,  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{0.5})$

組成の電極を用いた CPP-GMR 素子を作製し、磁気抵抗効果を評価した。また、ホイスラー合金層を薄膜化し、スピン注入磁化反転の観測を行った。

### 4. 研究成果

本研究では、以下の三つの項目について検討を行なった。

- (1)  $L_{10}$ -MnX 合金薄膜の作製条件最適化
- (2)  $L_{10}$  合金/強磁性金属 or ホイスラー合金積層電極強磁性トンネル接合の作製
- (3) ホイスラー合金電極 CPP-GMR 素子の作製とスピン注入磁化反転の観測

(1) については、作製が非常に困難であることが知られている、MnX 合金薄膜の作製条件最適化に関するものであり、目標である高磁気異方性を旨すとともに、素子応用に重要な表面平坦性の改善に取り組んだ。

(2) については、(1) で作製した  $L_{10}$ -MnX 合金に加えて、従来から知られている他の  $L_{10}$  規則合金と、極薄の強磁性金属を積層した電極を用いた強磁性トンネル接合素子の作製を行った。

(3) については、ホイスラー合金を電極に用いた CPP-GMR 素子において、高磁気抵抗比の実現と、スピン注入磁化反転が可能か検討を行った。

以下では、それぞれの研究項目について、その主な成果の概要を説明する。

#### (1) $L_{10}$ -MnX 合金薄膜の作製条件最適化

$L_{10}$ -MnAl 薄膜作製のターゲットとして、焼結、熔融の二種類の方法で作製したものを用いた。焼結ターゲットを用いた場合、基板温度 300 以上において  $1 \times 10^7$  erg/cc 程度の垂直磁気特性を有する MnAl 薄膜を得ることができた。しかし、表面ラフネスは 2 nm 以上と大きかった。一方、熔融ターゲットで作製した場合、基板温度を 200 まで低減しても垂直磁気特性を有する MnAl 薄膜が得られた。基板温度 250 において、当初目標としていた、 $1 \times 10^7$  erg/cc 程度の垂直磁気異方性と 0.2nm 程度の表面ラフネスを兼ね備えた MnAl 薄膜が得られた。また、強磁性共鳴 (FMR) 法を用いて磁気緩和を評価することに成功し、0.006 という小さな磁気緩和定数が得られた。第一原理計算の結果から MnAl 薄膜の磁気緩和定数は 0.005 程度であり、実験結果と良い整合性が得られた。得られた、磁気異方性と磁気緩和の関係を図 1 に示す。

#### (2) $L_{10}$ 合金/強磁性金属 or ホイスラー合金積層電極強磁性トンネル接合の作製

MnX/MgO 界面に極薄強磁性体 (Y) を挿入した MnX/Y/MgO/CoFe 構造の強磁性トンネル接合素子を作製した。最適条件下において、MnAl/CoFeB 積層電極で 16%、MnGa/CoFe 積層電極で 80% の磁気抵抗比が

室温において観測された。Mn系垂直磁化材料を用いた磁気抵抗効果の観測は世界で初めてである。また、当初の目標であった100%の磁気抵抗比には届かなかったが、それに近い値を達成することができ、開発した材料系の有用性が示された。また、MnGa/Heusler合金積層膜については、種々のホイスラー合金を積層させた結果、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$ 組成の合金を積層させた場合に最も優れた垂直磁気特性が得られ、ホイスラー合金層を1 nm程度まで薄膜化してもその特性を維持することができることが分かった。

### (3) ホイスラー合金電極 CPP-GMR 素子の作製とスピン注入磁化反転の観測

$\text{Co}_2\text{MnSi}$ ,  $\text{Co}_2(\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})\text{Si}$ ,  $\text{Co}_2\text{FeSi}$ ,  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{0.5})$  組成の電極を用いた CPP-GMR 素子を作製し、磁気抵抗比を評価した。その結果、 $\text{Co}_2(\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})\text{Si}$  組成において最大の磁気抵抗比である 80 % が得られた。この組成で磁気抵抗比が大きかった要因は、ハーフメタル特性が優れていることによると考えられる。また、この組成は磁気緩和定数が 0.003 と非常に小さく、スピン注入磁化反転電流の低減に対しても非常にアドバンテージが大きい。さらに、ホイスラー合金薄膜を良好な磁気特性を保持したまま、2 nm まで薄膜化することに成功した。また、 $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Cu}/\text{CoFe}$  素子において、スピン注入磁化反転の観測に成功した。反転電流密度は  $2.1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  であり、当初の目標であった  $1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  に迫る値を得ることに成功した。

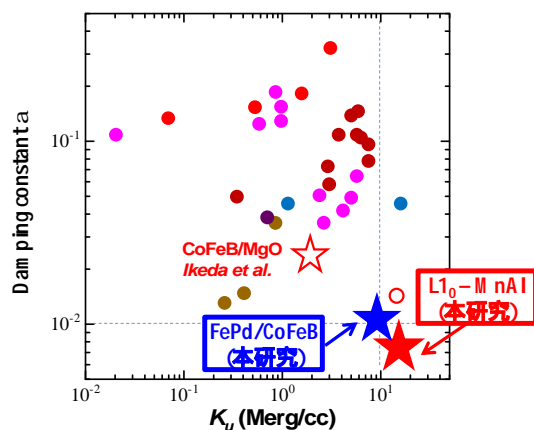


図 1. 得られた成果の位置づけ (磁気異方性 vs 磁気緩和)

### 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 21 件)

1. Augustin L. Kwilu, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, "Gilbert Damping Constant in epitaxial  $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$  Heusler alloys films", J. Appl. Phys., 査読有, 117, (2015)

17D140-1-3. DOI:10.1063/1.4917334

2. M. Oogane, T. Kubota, H. Naganuma, and Y. Ando, "Magnetic Damping Constant in Co-based Full Heusler Alloy Epitaxial Films" J. Phys. D: Appl. Phys. 48 (2015) 164012-1-6.

DOI:10.1088/0022-3727/48/16/164012

3. T. Kubota, S. Mizukami, Q.L. Ma, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, "Tunnel magnetoresistance effect using perpendicularly magnetized tetragonal and cubic Mn-Co-Ga Heusler alloy electrode", J. Appl. Phys, 査読有, 115, (2014) 17C704-1-3.

DOI:10.1063/1.4855016

4. A.S. Demiray, T. Kubota, S. Iihama, S. Mizukami, T. Miyazaki, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, "Static and dynamic magnetic properties of cubic Mn-Co-Ga Heusler films", J. Appl. Phys, 査読有, 115, (2014) 17D133-1-3.

DOI:10.1063/1.4864250

5. S. Iihama, S. Mizukami, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, "Gilbert damping constants of Ta/CoFeB/MgO(Ta) thin films measured by optical detection of precessional magnetization dynamics", Physical Review B, 査読有, 89, (2014) 174416-1-6.

DOI:10.1103/PhysRevB.89.174416

6. D. Steil, O. Schmitt, R. Fetzner, T. Kubota, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, A.K. Suszka, O. Idigoras, G. Wolf, B. Hillebrands, A. Berger, M. Aeschlimann, M. Cinchetti, "Ultrafast magnetization dynamics in Co-based Heusler compounds with tuned chemical ordering", New Journal of Physics, 査読有, 16, (2014) 63068-1-6.

DOI:10.1088/1367-2630/16/6/063068

7. L. Lari, K. Yoshida, P.L. Galindo, J. Sato, J. Szeland, D. Gilks, G.M. Uddin, Z. Nedelkoski, P.J. Hasnip, A. Hirohata, M. Oogane, Y. Ando, V.K. Lazarov, "Correlations between atomic structure and giant magnetoresistance ratio in Co-2(Fe,Mn)Si spin valves", Journal of Physics D- Applied Physics, 査読有, 47, (2014) 322003-1-6.

DOI:10.1088/0022-3727/47/32/322003

8. A.L. Kwilu, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, "Penetration depth of transverse spin current in (001)-oriented

- epitaxial ferromagnetic films”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 査読有, 368, (2014) 333-337. DOI:10.1016/j.jmmm.2014.05.043
9. Yuki Kawada, Hiroshi Naganuma, Ahmet Serdar Demiray, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando, “Mode change of vortex core oscillation induced by large direct current in 120 nm sized current perpendicular-to-plane giant magnetoresistance devices with a perpendicular polarizer”, *Applied Physics Letters*, 査読有, 105, (2014) 052407-1-4. DOI:10.1063/1.4892077
  10. Hiroshi Naganuma, G. Kim, Yuki Kawada, Nobuhito Inami, Kenzo Hatakeyama, Satoshi Iihama, Khan Mohammed Nazrul Islam, Mikihiko Oogane, Shigemi Mizukami, and Yasuo Ando, “Electrical Detection of Millimeter-Waves by Magnetic Tunnel Junctions Using Perpendicular Magnetized L10-FePd Free Layer”, *Nano Letters*, 査読有, 15, (2015) 623-628. DOI:10.1021/nl504114v
  11. Z. Diao, M. Chapline, Y. Zheng, C. Kaiser, A. GhoshRoy, C. J. Chien, C. Shang, Y. Ding, C. Yang, D. Mauri, Q. Leng, M. Pakala, M. Oogane, Y. Ando, “Half-metal CPP GMR sensor for magnetic recording”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 査読有, 356 (2014) 73-81. DOI:10.1016/j.jmmm.2013.12.050
  12. N. Tal, D. Mogilyanski, A. Kovács, H. Naganuma, S. Tsunegi, M. Oogane, Y. Ando and A. Kohn, “The role of structure on magneto-transport properties of Heusler Co<sub>2</sub>MnSi films deposited on MgO(001)”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, 114, (2013) 163904-1-3. DOI:10.1063/1.4826908
  13. Qinli Ma, Shigemi Mizukami, Takahide Kubota, Xianmin Zhang, Atsushi Sugihara, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando and Terunobu Miyazaki, “Tunneling magnetoresistance effect in MnGa based perpendicular magnetic tunnel junction with Fe/Co interlayer”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, 114, (2013) 163913-1-3. DOI:10.1063/1.4828483
  14. T. Kubota, S. Mizukami, Q. L. Ma, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando and T. Miyazaki, “Tunnel magnetoresistance effect using perpendicularly magnetized tetragonal and cubic Mn-Co-Ga Heusler alloy electrode”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, 115, (2014) 17C704-1-3. DOI:10.1063/1.4855016
  15. A. S. Demiray, T. Kubota, S. Iihama, S. Mizukami, T. Miyazaki, H. Naganuma, M. Oogane and Y. Ando, “Static and dynamic magnetic properties of cubic Mn-Co-Ga Heusler films”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, 115, (2014) 17D133-1-3. DOI:10.1063/1.4864250
  16. Shinji Isogami, Masakiyo Tsunoda, Mikihiko Oogane, Akimasa Sakuma, and Migaku Takahashi, “Enhancement of Spin Pumping Efficiency in Fe<sub>4</sub>N/Pt Bilayer Films”, *Applied Physics Express*, 査読有, 6 (2013) 063004-1-3. DOI:10.7567/APEX.6.063004
  17. Daiki Kato, Mikihiko Oogane, Kosuke Fujiwara, Takuo Nishikawa, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, “Fabrication of Magnetic Tunnel Junctions with Amorphous CoFeSiB Ferromagnetic Electrode for Magnetic Field Sensor Devices”, *Applied Physics Express*, 査読有, 6 (2013) 103004-1-3. DOI:10.7567/APEX.6.103004
  18. Kosuke Fujiwara, Mikihiko Oogane, Takuo Nishikawa, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, “Detection of Sub-Nano-Tesla Magnetic Field by Integrated Magnetic Tunnel Junctions with Bottom Synthetic Antiferro-Coupled Free Layer”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 52 (2013) 04CM07-1-3. DOI:10.7567/JJAP.52.04CM07
  19. Shinji Isogami, Masakiyo Tsunoda, Mikihiko Oogane, Akimasa Sakuma, and Migaku Takahashi, “The Enhancement of Magnetic Damping in Fe<sub>4</sub>N Films with Increasing Thickness”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 52 (2013) 073001-1-3. DOI:10.7567/JJAP.52.073001
  20. S. Iihama, S. Mizukami, N. Inami, T. Hiratsuka, G. Kim, H. Naganuma, M. Oogane, T. Miyazaki, and Y. Ando, “Observation of Precessional Magnetization Dynamics in L10-FePt Thin Films with Different L10 Order Parameter Values”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 52 (2013) 073002-1-4. DOI:10.7567/JJAP.52.073002
  21. H. Saruyama, M. Oogane, Y. Kurimoto, H. Naganuma, Y. Ando, “Fabrication of L10-ordered MnAl films for observation

of tunnel magnetoresistance effect”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 52 (2013) 063003-1-4. DOI:10.7567/JJAP.52.063003

[学会発表](計 42 件)

1. Takafumi Nakano, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, Toshifumi Yano, Kenichi Ao, and Yasuo Ando, Al-Doping effect on Annealing Stability in MgO-Based Magnetic Tunnel Junctions for Magnetic Sensor with Perpendicularly Magnetized CoFeB Sensing Layer, The 59th Annual MMM Conference, Honolulu, Nov. 3-7, 2014
2. Y. Kurimoto, H. Saruyama, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, Structural and magnetic properties of L10-MnAl/Co multilayer, The 75th JSAP Autumn Meeting, Hokkaido, Sep. 17-20, 2014, Hokkaido Univ.
3. Atsuo Ono, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, Fabrication of Magnetic Tunnel Junctions with Co<sub>2</sub>Fe<sub>0.4</sub>Mn<sub>0.6</sub>Si Heusler Alloy for Magnetic Field Sensor Devices, The 75th JSAP Autumn Meeting, Hokkaido, Sep. 17-20, 2014, Hokkaido Univ.
4. K. Mukaiyama, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, Tunnel Magnetoresistance Effect in Magnetic Tunnel Junctions using Perpendicularly Magnetized [Co<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub>/Pd] Multilayer, The 75th JSAP Autumn Meeting, Hokkaido, Sep. 17-20, 2014, Hokkaido Univ.
5. S. Iihama, S. Mizukami, H. Naganuma, T. Miyazaki, M. Oogane, and Y. Ando, Magnetization Precession with Low Damping for Perpendicularly Magnetized L10-FePd Films Grown on SrTiO<sub>3</sub> Substrate, The 75th JSAP Autumn Meeting, Hokkaido, Sep. 17-20, 2014 Hokkaido Univ.
6. Takafumi Nakano, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, Toshifumi Yano, Kenichi Ao, and Yasuo Ando, Magnetic Sensors Based on MgO-Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicularly Magnetized CoFeB-Sensing Layers, 2014SSDM, Tsukuba, September 8-11, 2014, International center
7. M. Oogane, H. Saruyama, Y. Kurimoto, H. Naganuma, and Y. Ando, Fabrication of Magnetic Tunnel Junctions Using L10-ordered MnAl Films, EMS32, 2014年7月10日, 滋賀, ラフォーレ琵琶湖
8. Thomas Meyer, Thomas Braecher, Thomas Sebastian, Philipp Pirro, Tobias Fischer, Alexander A. Serga, Hiroshi Naganuma, Koki Mukaiyama, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Burkard Hillebrands, Control of the Effective Damping in Heusler/Pt Microstructures via Spin-Transfer Torque, 2014 IEEE ICMM, Sendai, Japan, June 29 - July 2, 2014, International Center
9. Ahmet Serdar Demiray, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Optimization of broad band frequency domain wall oscillations in perpendicular magnetic anisotropy nanowires, 2014 IEEE ICMM, Sendai, Japan, June 29 - July 2, 2014, International Center
10. Satoshi Iihama, Shigemi Mizukami, Hiroshi Naganuma, Terunobu Miyazaki, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Fast magnetization precession and damping of L10-FePd epitaxial thin films grown on SrTiO<sub>3</sub> substrate, 2014 IEEE ICMM, Sendai, Japan, June 29 - July 2, 2014, International Center
11. Alexander A. Serga, Philipp Pirro, Thomas Sebastian, Thomas Brächer, Takahide Kubota, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Burkard Hillebrands, Nonlinear Dynamics of Micro-Sized Heusler Structures, 2014 IEEE ICMM, Sendai, Japan, June 29 - July 2, 2014, Invited, International Center
12. Tian Yu, H. Naganuma, N. Inami, Y. Kawada, M. Oogane, and Y. Ando, Effect of microwave on magnetization switching in magnetic tunnel junction, 2014 IEEE ICMM, Sendai, Japan, June 29 - July 2, 2014, International Center
13. Thomas Meyer, T. Brächer, T. Sebastian, P. Pirro, T. Fischer, A. A. Serga, H. Naganuma, K. Mukaiyama, M. Oogane, Y. Ando, and B.

- Hillebrands, Control of parametric amplification via spin-transfer torque of a pure spin current in Heusler/Pt bilayers, 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25 - 27, 2014, Tohoku Univ.
14. Satoshi Iihama, Shigemi Mizukami, Hiroshi Naganuma, Terunobu Miyazaki, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando, Low Gilbert damping observed in L10-FePd thin films with large perpendicular magnetic anisotropy, 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25 - 27, 2014, Tohoku Univ.
15. Y. Sasaki, S. Mizukami, S. Iihama, H. Naganuma, M. Oogane, and Y. Ando, Laser-induced ultrafast demagnetization in L10-FePt films, 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25 - 27, 2014, Tohoku Univ.
16. Atsuo Ono, Mikihiko Oogane, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, Fabrication of magnetic tunnel junctions with Heusler alloy electrode for TMR sensor devices, 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25 - 27, 2014, Tohoku Univ.
17. Koki Mukaiyama, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, and Yasuo Ando, Fabrication of magnetic tunnel junctions using perpendicularly magnetized [Co75Fe25/Pd] multilayer, 12th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan, June 25 - 27, 2014, Tohoku Univ.
18. A. S. Demiray, Y. Tian, S. Mizukami, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, Tuning the Domain Wall Oscillations in Perpendicular Magnetic Anisotropy Nanowires, ICSM-2014, Antalya, Turkey, April 27- May 2, 2014
19. M. Oogane, H. Saruyama, Y. Kurimoto, H. Naganuma and Y. Ando, Magnetic tunnel junctions with perpendicularly magnetized L10-ordered MnAl electrode, JSPS York-Tohoku Research Symposium on "Magnetic Materials and Spintronic devices", 2013年6月10日, ヨーク イギリス
20. M. Oogane, H. Saruyama, Y. Kurimoto, H. Naganuma, Y. Ando, Perpendicularly magnetized L10-ordered MnAl thin films, MML2013, 2013年5月20日, 京都, 国際センター
21. M. Oogane, Tunnel Magnetoresistance Effect in Magnetic Tunnel Junctions with L10-ordered MnAl electrode, 第60回応用物理学会学術講演会, 2013年03月30日, 厚木, 神奈川工科大学
22. M. Oogane, Magnetic tunnel junctions using L10-ordered MnAl electrode The 3rd CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs, 2013年01月31日, 仙台, 東北大学
23. M. Oogane, L10-ordered MnAl alloy thin film with perpendicular magnetic anisotropy, Intermag/MMM joint conference, 2013年01月18日, シカゴ アメリカ
24. M. Oogane, Large Giant Magnetoresistance Effect Using Half Metallic Heusler Alloys, ICAUMS2012, 2012年08月03日, 奈良, コンgressセンター
25. M. Oogane, L10-MnAl films with high perpendicular magnetic anisotropy and low magnetic damping, Intermag2012, 2012年05月08日, バンクーバー カナダ
- その他17件
- 〔図書〕(計1件)
1. 毛利佳年雄, 安藤康夫, 本蔵義信, 大兼幹彦, 内山剛, 野々村裕, 新しい磁気センサとその応用, トリケップス, 2013年, 99-120
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
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
- (2)研究分担者  
なし
- (3)連携研究者  
なし