

機関番号：10101

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20246054

研究課題名 (和文)

ハーフメタル高品質ヘテロ構造の製作とスピントネル制御デバイスの研究

研究課題名 (英文)

Fabrication of high-quality heterostructures with half-metallic ferromagnets and creation of spin tunneling devices

研究代表者

山本 眞史 (YAMAMOTO MASAFUMI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：10322835

研究成果の概要 (和文)：ハーフメタル特性に由来する潜在的に高いスピン偏極率を有するホイスラー合金薄膜は、スピントロニクスデバイスの強磁性電極材料として有望である。本研究では、ホイスラー合金薄膜のハーフメタル特性を十分に活用するための高品質ヘテロ構造を開発すると共に、優れたデバイス特性を実証した。さらに、ホイスラー合金薄膜を上部・下部両電極に用い、MgO バリアを用いるエピタキシャル強磁性トンネル接合デバイスのスピン依存トンネル抵抗が室温において MgO バリア厚に対し顕著な振動的依存性を示すことを見出した。

研究成果の概要 (英文)：Heusler alloy thin films are promising as ferromagnetic electrode materials because they feature high spin polarization arising from their potentially half-metallic nature. High-quality heterostructures with Heusler alloy thin films were developed for device applications. Given these heterostructures, excellent devices characteristics were demonstrated for magnetic tunnel junctions. Furthermore, giant oscillations in spin-dependent tunneling resistances as a function of barrier thickness were found for fully epitaxial magnetic tunnel junctions with Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  electrodes and a MgO barrier.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	24,100,000	7,230,000	31,330,000
2009 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2010 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
年度			
総計	36,500,000	10,950,000	47,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：ハーフメタル，ホイスラー合金，ヘテロ構造，スピントロニクス，エピタキシャル成長，MgO バリア，スピン依存トンネリング

## 1. 研究開始当初の背景

近年、電子の電荷に加えて、電子のスピン自由度を制御することにより、従来にない新しい概念のエレクトロニクスを創出しようとするスピントロニクスの研究が活発に行われている。スピントロニクスデバイスにおいては、スピン偏極した電流を用いることが基本となる。高いスピン偏極率の電流をデ

バイスの中で発生させるための有力なアプローチの一つとして、フェルミレベルでのスピン偏極率が 100%となるハーフメタル強磁性体を用いる方法がある。従来、理論的にハーフメタル材料と指摘されていた Co 基ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{YZ}$  (Y は遷移金属, Z は主族元素) を用いた強磁性トンネルトンネル接合の研究が、研究開始当初、本研究グループを含

むいくつかの研究グループによって着手され、室温において比較的良好なデバイス特性が報告された。この結果は、ハーフメタル材料のスピン트로ニクスデバイスへの室温での応用の初めての実証として重要な位置づけにあった。特に、本研究グループは、オリジナルな技術として、 $\text{Co}_2\text{YZ}$  と  $\text{MgO}$  からなるヘテロ構造のエピタキシャル成長技術を提案し、実証した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ハーフメタル強磁性体薄膜と異種材料の高品質エピタキシャルヘテロ構造の実現を通して、これらの系に特徴的に現れる、① ハーフメタル特性に伴う高いスピン偏極率と、② コヒーレント輸送特性を併せて活用すると共に、コヒーレントトンネリングおよび量子干渉効果に基づいた新しい概念のスピントンネル制御デバイスを創出することにある。

## 3. 研究の方法

本研究目的を達成するために、以下の課題について、研究代表者と研究分担者がそれぞれ担当し、相互に有機的に連携して研究を推進した。①ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{YZ}$  薄膜を用いたヘテロ構造製作技術の確立: ヘテロ構造として、 $\text{Co}_2\text{YZ}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{YZ}$  強磁性トンネル接合 (MTJ) 層構造、 $\text{Co}_2\text{YZ}/\text{MgO}/\text{GaAs}(001)$  基板からなるヘテロ構造、 $\text{Co}_2\text{YZ}/\text{MgO}/\text{Ge}(001)$  基板からなるヘテロ構造を含む。②  $\text{Co}_2\text{YZ}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{YZ}$  MTJ におけるスピン輸送特性の解明と新しい概念のスピントンネル制御デバイスの創出。③  $\text{Co}_2\text{YZ}/\text{MgO}/\text{GaAs}(001)$  基板からなるヘテロ構造におけるスピン輸送特性の解明とスピン注入デバイスの基盤技術構築。

## 4. 研究成果

(1) ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  (CCFA) を下部および上部電極に用いたエピタキシャル CCFA/MgO/CCFA MTJ の磁化平行 (P) および反平行 (AP) に対するトンネル抵抗  $R_P$ ,  $R_{AP}$  が  $\text{MgO}$  バリア厚 ( $t_{\text{MgO}}$ ) に対して、低温 4.2 K においても、室温においても、従来にない顕著な周期的振動を示すことを見出した。この振動は、指数関数  $\exp(at_{\text{MgO}}+b)$  と周期関数  $1+C\cos[(2\pi/T)t_{\text{MgO}}+\phi]$  の重ね合わせによって良く近似できることがわかった。また、振幅  $C$  の値が従来 Fe/MgO/Fe MTJ について報告された値の 8 倍程度の非常に大きな値を持つことがわかった。特に重要な事として、周期  $T$  は温度にもバイアス電圧にもほとんど依存しないことを明らかにした。さらに、振幅  $C$  はバイアス電圧に対して 0.2 V の範囲において弱い依存性しか示さないことを明らかにした。この現象は新しい動作原理に基づくスピントンネルデバイスの可能性を与えるものである。

(2) ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  電極を高移動度半導体 Ge チャンネルに対するスピン注入電極として活用するために、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  薄膜の  $\text{MgO}$  トンネルバリアを介した  $\text{Ge}(001)$  基板上へのエピタキシャル成長技術を開発すると共に、以下の知見を明らかにした。

①  $\text{Ge}(001)$  基板上に  $\text{MgO}$  中間層 (3 nm) が (001) 面内で  $45^\circ$  回転した結晶学的な関係でエピタキシャル成長することを明らかにした。この関係は  $\text{Ge}(001)$  と  $\text{MgO}$  との格子ミスマッチの関係から予想される結果と一致している。また、この関係は、 $\text{GaAs}(001)$  基板上の  $\text{MgO}$  および  $\text{Si}(001)$  基板上の  $\text{MgO}$  のエピタキシャル成長が、4:3 の格子点の一致を伴った cube-on-cube の関係となることと対照的であることを明らかにした。さらに、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  は  $\text{MgO}$  中間層 (3 nm) の上に、(001) 面内で  $45^\circ$  回転した関係でエピタキシャル成長することを明らかにした。

②  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Ge}(001)$  ヘテロ構造における  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  薄膜の磁化の値として、ハーフメタルの  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  に対する理論値に極めて近い値が得られた。

以上の結果は、次世代 MOS デバイスの半導体チャンネルとして期待されている、高移動度を特徴とする Ge に対する高効率スピン源として、 $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Ge}(001)$  ヘテロ構造が有望であることを示している。

(3)  $\text{MgO}$  バリアを用いるエピタキシャル構造の MTJ に対して、上部側から  $\text{Co}_2\text{MnSi}/$ 極薄  $\text{CoFe}/\text{MgO}$  バリアからなるスピン注入構造を開発するとともに、上部側から  $\text{Co}_2\text{MnSi}/$ 極薄  $\text{CoFe}/\text{MgO}$  バリア/ $\text{CoFe}$  下部電極構造の MTJ において、室温で 443% (4.2 K で 1135%) の高いトンネル磁気抵抗 (TMR) 比を実証した。この TMR 比は、同様に作製された参照試料としての  $\text{CoFe}$  上部電極/ $\text{MgO}/\text{CoFe}$  下部電極の層構造からなる MTJ の室温で 255% (4.2 K で 375%) の TMR 比に比較して顕著に大きな値であり、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  がハーフメタルスピン源として働いていることを示唆している。さらに、別の参照試料  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  上部電極/ $\text{MgO}/\text{CoFe}$  下部電極層構造からなる MTJ の室温で 335% (4.2 K で 1049%) の TMR 比と比較しても、特に室温で TMR 比が増大していることがわかった。これらの結果は、上部側から  $\text{Co}_2\text{MnSi}/$ 極薄  $\text{CoFe}/\text{MgO}$  バリアのヘテロ構造が、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  のハーフメタル性をスピン源として活用する上で、非常に有効であることを示唆している。さらに、スピン依存トンネルスペクトロスコーピーより、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  をエミッタとするスピン偏極電子は極薄 1.1 nm の  $\text{CoFe}$  層をバリスティックに伝導すること、すなわち、ハーフメタル特性を保持して伝導することが示唆された。この結果は、上部側から  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{CoFe}/\text{MgO}/\text{CoFe}$  MTJ の高い TMR 比が、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  電極がスピン源とし

で働き、かつ、ハーフメタルスピソ源として働いていることに由来するという解釈を支持する結果である。

(4) ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{GaAs}$  接合において、トンネル異方性磁気抵抗を見出すと共に、起源は  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{GaAs}$  界面でのスピソ軌道相互作用であることを明らかにした。この結果はホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  から  $\text{GaAs}$  へのスピソ偏極電子の注入を示唆するものである。さらに、 $\text{MgO}$  トンネルバリアを挿入した  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{n-GaAs}$  接合に対して、接合抵抗と接合面積の積が低減することを明らかにした。これは  $\text{MgO}$  バリアの挿入によりフェルミレベルピンニングが解消されたことを示唆している。以上の結果は、ホイスラー合金から  $\text{MgO}$  バリアを介した半導体  $\text{GaAs}$  への高効率スピソ注入の基盤となる知見である。

#### 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 24 件)
- [1] T. Uemura, M. Harada, T. Akiho, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Influence of GaAs surface structure on tunneling anisotropic magnetoresistance and magnetocrystalline anisotropy in epitaxial  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}/\text{n-GaAs}$  junctions”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, 102503 (3pp), 2011, 査読有。
- [2] D. Asakura, T. Koide, S. Yamamoto, K. Tsuchiya, T. Shioya, K. Amemiya, V. R. Singh, T. Kataoka, Y. Yamazaki, Y. Sakamoto, A. Fujimori, T. Taira, and M. Yamamoto, “Magnetic states of Mn and Co atoms at  $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}$  interfaces seen via soft x-ray magnetic circular dichroism”, *Phys. Rev. B*, vol. 82, 184419 (8pp), 2010, 査読有。
- [3] T. Uemura, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Internal electric field influence on tunneling anisotropic magnetoresistance in epitaxial ferromagnet/n-GaAs junctions”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, 252106 (3pp), 2010, 査読有。
- [4] T. Marukame, T. Ishikawa, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Giant Oscillations in Spin-Dependent Tunneling Resistances as a Function of Barrier Thickness in Fully Epitaxial Magnetic Tunnel Junctions with a MgO Barrier”, *Phys. Rev. B*, vol. 81, 134432 (5pp), 2010, 査読有。
- [5] T. Saito, T. Katayama, T. Ishikawa, M. Yamamoto, D. Asakura, T. Koide, M. Miura, and M. Shirai, “Interface Structure of Half-Metallic Heusler Alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  Thin Films Facing an MgO Tunnel Barrier Determined by X-ray Magnetic Circular Dichroism”, *Phys. Rev. B*, vol. 81, 144417 (6pp), 2010, 査読有。
- [6] M. Yamamoto, T. Ishikawa, T. Taira, G.-f. Li, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, “Effect of defects in Heusler alloy thin films on spin-dependent tunnelling characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  and  $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnGe}$  magnetic tunnel junctions”, *J. Phys.: Condens. Matter*, vol. 22, 164212 (9pp), 2010, 査読有。
- [7] S. Trudel, J. Hamrle, B. Hillebrands, T. Taira, and M. Yamamoto, “Magneto-optical investigation of epitaxial nonstoichiometric  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  thin films”, *J. Appl. Phys.*, vol. 107, 043912 (7pp), 2010, 査読有。
- [8] T. M. Nakatani, Y. K. Takahashi, T. Ishikawa, M. Yamamoto, and K. Hono, “Structural characterizations of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions by transmission electron microscopy”, *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 322, pp. 357-361, 2010, 査読有。
- [9] 植村哲也, 山本眞史, “Co 系フルホイスラー合金を用いたスピソ流の創出と制御”, *まてりあ*, vol. 49, pp. 566-569, 2010.
- [10] T. Ishikawa, H.-x. Liu, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Influence of film composition in  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  electrodes on tunnel magnetoresistance characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junction”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 95, 232512 (3pp), 2009, 査読有。
- [11] K. Sawada, T. Uemura, M. Masuda, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Tunneling Magnetoresistance Simulation Used to Detect Domain-wall Structures and Their Motion in a Ferromagnetic Wire”, *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 45, no. 10, pp. 3780 – 3783, 2009, 査読有。
- [12] T. Uemura, K. Sawada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Double magnetic tunnel junctions with cross-magnetization configurations for electrical detection of domain-wall structures”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 95, 012502 (3pp), 2009, 査読有。
- [13] T. Uemura, Y. Imai, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Tunneling anisotropic magnetoresistance in epitaxial  $\text{CoFe}/\text{n-GaAs}$  junctions”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, 182502 (3pp), 2009, 査読有。
- [14] K.-i. Matsuda, Y. Akimoto, T. Uemura and M. Yamamoto, “Transport properties of Nb/PdNi bilayers and Nb/PdNi/Nb Josephson junctions”, *J. Physics: Conference Series*, vol. 150, 052155 (4pp), 2009, 査読有。
- [15] T. Taira, T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunnelling characteristics of fully epitaxial magnetic tunnel junctions with a Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  thin film and a MgO barrier”, *J. Phys. D: Applied Phys.*, vol. 42, 084015 (9 pp), 2009, 査読有。

- [16] S. Ouardi, B. Balke, A. Gloskovskii, G. H. Fecher, C. Felser, G. Schoenhense, T. Ishikawa, T. Uemura, M. Yamamoto, H. Sukegawa, W.-H. Wang, K. Inomata, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, S. Ueda and K. Kobayashi, “Hard X-ray photoelectron spectroscopy of buried Heusler compounds”, *J. Phys. D: Applied Phys.*, vol. 42, 084010 (7 pp), 2009, 査読有.
- [17] T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Half-metallic electronic structure of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  electrodes in fully epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions investigated by tunneling spectroscopy (invited)”, *J. Appl. Phys.*, vol. 105, 07B110 (6pp), 2009, 査読有.
- [18] T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Critical role of interface states for spin-dependent tunneling in half-metallic  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ -based magnetic tunnel junctions investigated by tunneling spectroscopy”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, 092503 (3pp), 2009, 査読有.
- [19] T. Taira, T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Influence of annealing on spin-dependent tunneling characteristics of fully epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}/\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$  magnetic tunnel junctions”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, 072510 (3pp), 2009, 査読有.
- [20] T. Uemura and M. Yamamoto, “Three-valued Magnetic Tunnel Junction for Non-volatile Ternary Content Addressable Memory Application”, *J. Appl. Phys.*, vol. 104, 123911 (5pp), 2008, 査読有.
- [21] M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, “Fabrication and Characterization of Fully Epitaxial Magnetic Tunnel Junction Field Sensors using a  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  Thin Film”, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 44, no.11, pp. 3996 – 3998, 2008, 査読有.
- [22] G. H. Fecher, B. Balke, A. Gloskovskii, S. Ouardi, C. Felser, T. Ishikawa, M. Yamamoto, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, S. Ueda, and K. Kobayashi, “Detection of the valence band in buried  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$  tunnel junctions by means of photoemission spectroscopy”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, 193513 (3pp), 2008, 査読有.
- [23] T. Uemura, Y. Imai, S. Kawagishi, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Epitaxial growth and characterization of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  thin films on GaAs with MgO interlayer”, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 40, no. 6, pp. 2025 – 2027, 2008, 査読有.
- and M. Yamamoto, “Epitaxial growth of Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$  heterostructure on Ge(001) substrate”, 2011 Int’l Magnetism Conf., HC-06, Taipei, Taiwan, April 29, 2011.
- [2] T. Uemura, M. Harada, T. Akiho, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Electrical injection and detection of spin-polarized electrons in an epitaxial  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}/\text{n-GaAs}$  junction”, 2011 Int’l Magnetism Conf., BP-08, Taipei, Taiwan, April 26, 2011.
- [3] T. Akiho, M. Harada, T. Uemura, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Spin-dependent transport properties of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{n-GaAs}$  tunnel junctions”, 2011 Int’l Magnetism Conf., BP-03, Taipei, Taiwan, April 26, 2011.
- [4] K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Superconducting proximity effect of spin-triplet pairs in  $\text{NbN}/\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}/\text{NbN}$  junctions”, 55th Annual Conf. on Magnetism & Magnetic Materials, Abstracts (CD-ROM), p. 28, AE-10, Atlanta, Georgia, USA, November 15, 2010.
- [5] T. Taira, H.-x. Liu, S. Hirata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Giant tunnel magnetoresistance in half-metallic  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ -based fully epitaxial magnetic tunnel junctions”, 55th Annual Conf. on Magnetism & Magnetic Materials, Abstracts (CD-ROM), pp. 118-119, BH-10, Atlanta, Georgia, USA, Nov. 15, 2010.
- [6] M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, T. Taira, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, “Giant oscillations of spin-dependent tunneling resistances as a function of MgO barrier thickness in fully epitaxial magnetic tunnel junctions of  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ ”, 55th Annual Conf. on Magnetism & Magnetic Materials, Abstracts (CD-ROM), p. 165, CB-01, Atlanta, Georgia, USA, November 16, 2010.
- [7] Y. Miura, M. Shirai, T. Saito, T. Katayama, T. Ishikawa, M. Yamamoto, D. Asakura and T. Koide, “Structural and magnetic properties at  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}(001)$  interfaces studied by x-ray magnetic circular dichroism and first-principles calculations”, 55th Annual Conf. on Magnetism & Magnetic Materials, Abstracts (CD-ROM), p. 165, CB-02, Atlanta, Georgia, USA, November 16, 2010.
- [8] H.-x. Liu, T. Taira, Y. Honda, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Highly spin-polarized tunneling characteristics at room temperature in magnetic tunnel junctions with a half-metallic Heusler-alloy spin source and a MgO barrier”, 55th Annual Conf. on Magnetism & Magnetic Materials, Abstracts (CD-ROM), pp. 370-371, ET-11, Atlanta, Georgia, USA, November 17, 2010.

[学会発表] (計 94 件)

- [1] G.-f. Li, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura,

- [9] H.-x. Liu, T. Taira, Y. Honda, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Highly spin-polarized tunneling in Heusler-alloy-based magnetic tunnel junctions with a  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  upper electrode and a MgO barrier”, 2010 Int’l Conf. on Solid State Devices and Materials, Extended Abstract (USB-MEMORY), p. 1122 – 1123, F-6-4, Tokyo, Japan, September 24, 2010.
- [10] M. Harada, T. Uemura, T. Akiho, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Electrical detection of a non-local signal in  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{n-GaAs}$  tunnel junctions”, 6<sup>th</sup> Int’l Conf. on the Physics and Application of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), Abstracts, pp. 259-260, P2-46, Tokyo, Japan, August 3, 2010.
- [11] 植村哲也, 石川貴之, 原田雅亘, 平智幸, 松田健一, 山本眞史, 「ホイスラー合金によるスピン流の創出と制御」, 2010年(平成22年)春期第146回日本金属学会講演会 講演概要 p. 156 (S6.17), つくば市, 筑波大学, 2010年3月30日(基調講演).
- [12] T. Taira, S. Hirata, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnGe}$  magnetic tunnel junctions”, 11<sup>th</sup> Joint MMM-Intermag Conf., Digest (CD-ROM), p.1192, ET-03, Washington DC, USA, January 21, 2010.
- [13] T. Uemura, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Strong bias-voltage dependence of tunneling anisotropic magneto-resistance in epitaxial ferromagnet/n-GaAs junctions”, 11<sup>th</sup> Joint MMM-Intermag Conf., Digest (CD-ROM), p.1225, EU-17, Washington DC, USA, January 21, 2010.
- [14] T. Ishikawa, H.-x. Liu, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, M. Yamamoto, “Effect of the Mn composition in  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  electrodes on tunnel magnetoresistance characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions”, 11<sup>th</sup> Joint MMM-Intermag Conf., Digest (CD-ROM), p.1888, HH-04, Washington DC, USA, January 22, 2010.
- [15] M. Yamamoto, T. Ishikawa, T. Taira, T. Marukame, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, “Spin-dependent tunneling in half-metallic Heusler alloy-based magnetic tunnel junctions with a MgO barrier”, Int’l Conf. on Magnetism (ICM2009), Abstract, p.155, Tu-JPH6-01, Karlsruhe, Germany, July 28, 2009. [Invited Talk]
- [16] K.-i. Matsuda, S. Imai, T. Ishikawa, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Transport properties of a junction consisting of two NbN electrodes coupled by a Co-based Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  channel”, Int’l Conf. on Magnetism (ICM2009), Abstract, p.55, Mo-A-5.4-13, Karlsruhe, Germany, July 27, 2009.
- [17] T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent electronic structure of Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  upper electrodes in magnetic tunnel junctions”, Int’l Conf. on Magnetism (ICM2009), Abstract, p.54, Mo-A-5.4-05, Karlsruhe, Germany, July 27, 2009.
- [18] M. Harada, T. Uemura, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Tunneling anisotropic magneto-resistance in an epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{n-GaAs}$  junction”, The 14th Int’l Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-14), Abstract, p. 195, M5e, Kobe, July 22, 2009.
- [19] T. Uemura, Y. Imai, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Tunneling Anisotropic Magneto-resistance in an Epitaxial  $\text{CoFe}/\text{n-GaAs}$  Junction”, IEEE Int’l Magnetism Conf. 2009, Digests (CD-ROM), BQ-13, Sacramento, CA, USA, May 5, 2009.
- [20] K. Sawada, T. Uemura, M. Masuda, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Simulation of tunneling magnetoresistance used to detect domain-wall structure and motion in a ferromagnetic wire”, IEEE Int’l Magnetism Conf. 2009, Digests (CD-ROM), BD-07, Sacramento, CA, USA, May 5, 2009.
- [21] 山本眞史「ホイスラー合金を用いた強磁性トンネル接合のスピン依存トンネル特性」, 日本金属学会第3分科会シンポジウム予稿 pp. 5-8, 仙台市, 東北大学, 2009年1月6日(依頼講演).
- [22] T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Tunneling spectroscopy of fully epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions”, 2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting, Abstracts (CD-ROM), L5.1, Boston, MA, USA, Dec. 3, 2008.
- [23] M. Yamamoto, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, “Spin-polarized tunneling in fully epitaxial magnetic tunnel junctions with Heusler alloy thin films and a MgO barrier”, 2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting, Abstracts (CD-ROM), L2.6, Boston, MA, USA, Dec. 2, 2008. [Invited Talk]
- [24] T. Taira, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Tunnel magnetoresistance characteristics of post-deposition-annealed  $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}/\text{CoFe}$  tunnel junctions”, 2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting, Abstracts (CD-ROM), L2.1, Boston, MA, USA, Dec. 2, 2008.
- [25] T. Nakatani, Y. Takahashi, K. Hono, T. Ishikawa, and M. Yamamoto, “Structural characterizations of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions”, 53<sup>rd</sup>

- Magnetism and Magnetic Materials Conf., Abstracts (CD-ROM), p. 300, ED-05, Austin, TX, USA, Nov. 13, 2008.
- [26] T. Taira, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling characteristics of Co<sub>2</sub>MnGe/MgO/CoFe tunnel junctions”, 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conf., Abstracts (CD-ROM), p. 230, DD-02, Austin, TX, USA, Nov. 12, 2008.
- [27] T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Half-metallic electronic structure of Co<sub>2</sub>MnSi electrodes proved by tunneling spectroscopy”, 53<sup>rd</sup> Magnetism and Magnetic Materials Conf., Abstracts (CD-ROM), p. 232, DD-07, Austin, TX, USA, Nov. 12, 2008. [Invited Talk]
- [28] M. Yamamoto, T. Uemura, and K.-i. Matsuda, “Fabrication of fully epitaxial magnetic tunnel junctions with half-metallic Heusler alloy thin films and a MgO tunnel barrier”, The 10<sup>th</sup> Int'l Joint Symposium between Hokkaido University and Chungnam National University, Sapporo, Oct. 23, 2008. [Invited Talk]
- [29] 石川 貴之, 板橋 直樹, 平 智幸, 松田 健一, 植村 哲也, 山本 眞史, 「Co<sub>2</sub>MnSi 電極を用いた強磁性トンネル接合におけるスピン依存コンダクタンス特性」, 第32回日本磁気学会学術講演会概要集, 13pB-10, 宮城県多賀城市 (東北学院大学), 2008年9月13日. 学生講演賞 (桜井講演賞) 受賞.
- [30] K.-i. Matsuda, Y. Akimoto, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Transport Properties of Nb/PdNi bilayers and Nb/PdNi/Nb Josephson junctions”, 25<sup>th</sup> Int'l Conf. on Low Temp. Physics, Official Conf. Book, p. 25, PB-Th118, Amsterdam, The Netherlands, Aug. 7, 2008.
- [31] 山本眞史, 植村哲也, 松田健一, 「ハーフメタル系ホイスラー合金を用いた強磁性トンネル接合デバイス」, 日本学術振興会 薄膜第131委員会 第241回研究会資料, 北海道釧路市, 2008年6月27日 (依頼講演)
- [32] T. Ishikawa, N. Itabashi, K. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling conductance in fully epitaxial Co<sub>2</sub>MnSi/MgO/Co<sub>2</sub>MnSi tunnel junctions”, IEEE Int'l Magnetism Conf. Europe 2008, Technical Digests (CD-ROM), p. 33, AC-07, Madrid, Spain, May 5, 2008.
- [33] M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, “Fabrication and characterization of magnetic tunnel junction field sensors with a Co<sub>2</sub>MnSi thin film”, IEEE Int'l Magnetism Conf. Europe 2008, Technical Digests (CD-ROM), p. 269, BD-04, Madrid, Spain, May 5, 2008.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://nsed.ist.hokudai.ac.jp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 眞史 (YAMAMOTO MASAFUMI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：10322825

### (2) 研究分担者

植村 哲也 (TETSUYA UEMURA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20344476

松田 健一 (MATSUDA KEN-ICHI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：80360931

### (3) 連携研究者

なし