

平成21年 5月20日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560307

研究課題名（和文） 強磁性体／半導体ヘテロ構造におけるスピン依存伝導の研究

研究課題名（英文） Study on spin dependent transport in ferromagnet/semiconductor heterostructures

研究代表者

植村 哲也 (UEMURA TETSUYA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20344476

研究成果の概要：

半導体中の伝導電子のスピンを操作し、これまでにはない新しい機能を有する電子/光デバイスの研究が盛んに行われている。その実現の第一歩は、スピン偏極した電子を半導体内に発生させることであり、強磁性電極から半導体にスピン偏極した電子を電気的に注入する方法（スピン注入）が有効である。本研究では、高効率スピン注入の実現に向け、スピン偏極率の高いハーフメタル材料である Co 系ホイスラー合金薄膜を半導体 GaAs 上に高品質に形成するとともに、ホイスラー合金/GaAs ヘテロ接合構造におけるスピン依存伝導特性を明らかにした。このことにより、将来の新しいスピン機能デバイスの創出にむけた基盤技術を確立した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：スピントロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

半導体中の伝導電子のスピンを操作し、これまでにはない新しい機能を有する電子/光デバイスを創出する、いわゆる半導体スピントロニクスの研究が盛んに行われている。その実現の第一歩は、スピン偏極した電子を半導体内に発生させることであり、強磁性電極から半導体にスピン偏極した電子を電気的に注入する方法（スピン注入）が有効

である。高いスピン注入効率を得るには、スピン偏極率の高い強磁性体電極を用いることが必須である。Co 系ホイスラー合金は、スピン偏極率が 100%となるハーフメタル材料であることが理論的に指摘されており、さらにその強磁性転移温度は室温より十分高いため、室温でも高いスピン偏極率が期待できる材料である。しかしながら、これまで GaAs や Si などの半導体基板上に良質なホイスラ

一合金薄膜を形成する手法は十分確立されておらず、高効率なスピン注入の実現には至っていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、高効率スピン注入の実現に向け、1)スピン偏極率の高いハーフメタル材料を半導体上に高品質に形成すること、および、2) ハーフメタル強磁性体と半導体ヘテロ接合におけるスピン依存伝導特性を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

前記目的を達成するため、本研究では、(1)スピン注入源として、Co系ホイスラー合金薄膜とMgOトンネル障壁層、もしくは、Co系ホイスラー合金とGaAsのショットキー障壁層からなるトンネル注入をそれぞれ検討し、それらの良質な単結晶薄膜を化合物半導体のGaAs上にエピタキシャル成長させる技術を開拓するとともに、(2)スピン注入効率を光学的に評価するためのスピンLED構造、および、電気的に評価するための強磁性体/半導体(GaAs)/強磁性体横型接合構造を有した磁気抵抗素子をそれぞれ作製し、そのデバイス特性を評価した。

## 4. 研究成果

本研究で得られた主な成果を以下に項目ごとに示す。

### (1) GaAs 基板上への高品質ホイスラー合金薄膜の形成

Co系ホイスラー合金薄膜とMgOトンネル障壁層を用いた強磁性トンネル接合(MTJ)において世界最高レベルのトンネル磁気抵抗(Tunnel Magnetoresistance: TMR)比の実証に成功した。具体的には、Co<sub>2</sub>MnSi(CMS)/MgO/CMS-MTJにおいて室温で182%、4.2 Kで705%の高いTMR比を達成した(図1)。

この成膜技術を活用し、GaAs基板上に結晶性、磁気特性に優れた良質なCMS薄膜を形成する技術を確立した。また、CMSとGaAsの間に薄いMgO障壁層を挿入したCMS/MgO/GaAs構造においても良質なCMSエピタキシャル層の形成に成功した。このとき、MgO層の挿入により、CMS層の結晶方位が面内で45度回転すること、結晶磁気異方性が変化することも同時に見出した。MgO層の挿入の有無に関わらず、CMS薄膜は原子配置の乱れが少ないL2<sub>1</sub>型の結晶構造を有しており、このことは、本研究で成長したCMS薄膜が高いスピン偏極率を有していることを示唆する重要な成果である。また、スピン注入素子の実現のための基礎検討として、CMS/MgO/n-GaAs構造の電気的特性を調べ、

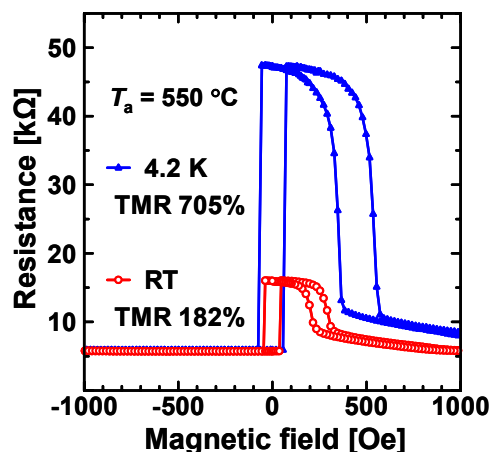


図1 作製したCMS/MgO/CMS-MTJの室温および4.2 KでのTMR特性。比較的高いTMR比を実証した。

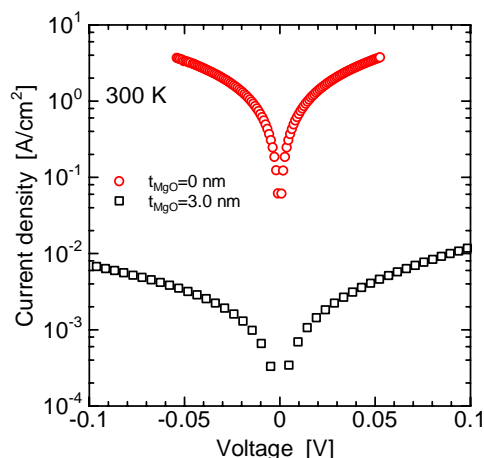


図2 CMS/n-GaAs および CMS/MgO/n-GaAs の室温におけるI-V特性。MgO層の挿入により、抵抗値が約3桁増大し、トンネル接合として機能していることを実証した。

MgO層がトンネル障壁として機能していることを確認した(図2)。

### (2) ホイスラー合金を用いたスピン注入素子の作製と評価

CMSとMgOトンネル障壁を有するスピンLED構造において、室温において明瞭なエレクトロロミネッセンスを観測するとともに、スピン注入を示唆する発光の偏向特性を確認した。このとき、MgOトンネル障壁を介したトンネル伝導が発光の高効率化に有効であることを見出した。

また、ショットキー障壁を有するCMS/n-GaAs/CMS磁気抵抗素子において、スピン偏極電子のトンネル注入によるトンネリング異方性磁気抵抗(TAMR)

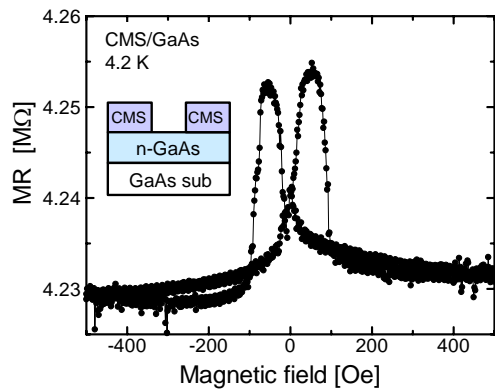


図3 CMSを電極としたスピン注入素子の磁気抵抗特性。チャンネル部分はn-GaAsで、250 K程度まで明瞭な磁気抵抗を観測(図は4.2 Kでのデータ)。

効果を新たに見出した(図3)。さらに、TAMR効果の強磁性電極材料依存性、バイアス電圧依存性、測定温度依存性を評価し、強磁性体/半導体構造におけるスピン依存伝導特性を明らかにした。

以上、本研究で得られた成果は、将来の新しいスピン機能デバイスの創出にむけた基盤技術として有用である。

#### 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20件)

以下は全て査読有り。

- ① 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 (in press).
- ② T. Uemura, Y. Imai, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Tunneling anisotropic magnetoresistance in epitaxial CoFe/n-GaAs junctions, Appl. Phys. Lett., vol.94, pp.182502-1 – 182502-3, 2009.
- ③ 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, pp. 0521551-1 - 0521551-4, 2009.
- ④ 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 Co<sub>2</sub>MnGe thin film and a MgO barrier", J. Phys. D., vol. 42, p. 084015 (9pp), 2009.
- ⑤ 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., vol. 42, p. 084010 (7pp), 2009.
- ⑥ 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 in fully epitaxial Co<sub>2</sub>MnSi/MgO/Co<sub>2</sub>MnSi magnetic tunnel junctions proved by tunneling spectroscopy", J. Appl. Phys. vol. 105, pp. 07B110-1 – 07B110-6, 2009.
- ⑦ 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 Co<sub>2</sub>MnSi-based magnetic tunnel junctions investigated by tunneling spectroscopy", Appl. Phys. Lett., vol. 94, pp. 092503-1 – 092503-3, 2009.
- ⑧ 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 Co<sub>2</sub>MnGe/MgO/Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub> magnetic tunnel junctions", Appl. Phys. Lett., vol. 94, pp. 072510-1 - 072510-3, 2009.
- ⑨ T. Uemura and M. Yamamoto, "Three-valued Magnetic Tunnel Junction for Non-volatile Ternary Content Addressable Memory Application", J. Appl. Phys., vol.104, pp.123911-1 - 123911-5, 2008.
- ⑩ M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, "Fabrication and Characterization of Fully Epitaxial Magnetic Tunnel Junction Field Sensors using a Co<sub>2</sub>MnSi Thin Film", IEEE Transactions on Magnetics, vol.44, pp.3996-3998, 2008.
- ⑪ T. Uemura, Y. Imai, S. Kawagishi, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Epitaxial growth and characterization of Co<sub>2</sub>MnSi thin films on GaAs with MgO interlayer", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, vol.40, pp.2025-2027, 2008.
- ⑫ T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Fabrication of fully epitaxial Co<sub>2</sub>MnSi/MgO/Co<sub>2</sub>MnSi magnetic tunnel junctions", J. Appl. Phys. vol. 103, pp.07A919-1 – 07A919-3, 2008.
- ⑬ T. Saito, T. Katayama, A. Emura, N. Sumida, N. Matsuoka, T. Ishikawa, T. Uemura, M. Yamamoto, D. Asakura, and T. Koide,

- “Electronic and magnetic properties of Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  epitaxial ultrathin films facing a MgO barrier studied by X-ray magnetic circular dichroism”, *J. Appl. Phys.*, vol. 103, pp.07D712-1 – 07D712-3, 2008.
- ⑭ K.-i. Matsuda, Y. Akimoto, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Magnetic and transport properties of superconductor/ferromagnetic bilayer microbridges”, *J. Appl. Phys.*, vol. 103, pp.07C711-1 – 07C711-3, 2008.
- ⑮ S. Kawagishi, T. Uemura, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Structural, magnetic and electrical properties of  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{n-GaAs}$  tunnel junction”, *J. Appl. Phys.*, vol. 103, pp.07A703-1 – 07A703-3, 2008.
- ⑯ T. Uemura, T. Yano, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Structural and magnetic properties of  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  thin films epitaxially grown on GaAs substrate with MgO interlayer”, *Thin Solid Films*, vol. 515, pp. 8013-8016, 2007.
- ⑰ T. Marukame, T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Fabrication of Epitaxial Magnetic Tunnel Junctions with a  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  Thin Film and Their Tunnel Magnetoresistance Characteristics”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, vol. 31, pp. 344-350, 2007.
- ⑱ T. Uemura, T. Marukame, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Four-state Magnetoresistance in Epitaxial CoFe-based Magnetic Tunnel Junction”, *IEEE Trans. on Magn.*, vol. 43, pp. 2791-2793, 2007.
- ⑲ K.-i. Matsuda, H. Niwa, Y. Akimoto, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Magnetic and Transport Properties of Nb/PdNi Bilayers”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 17, pp. 3529-3532, 2007.
- ⑳ S. Hakamata, T. Ishikawa, T. Marukame, K.-i. Matsuda, T. Uemura, M. Arita, and M. Yamamoto, “Improved tunnel magnetoresistance characteristics of magnetic tunnel junctions with a Heusler alloy thin film of  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  and a MgO tunnel barrier”, *J. Appl. Phys.*, vol. 101, pp. 09J513-1 – 09J513-3, 2007.
- [学会発表] (計 24件)
- ① T. Uemura, Y. Imai, M. Harada, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Tunneling Anisotropic Magneto-resistance in an Epitaxial CoFe/n-GaAs Junction”, *IEEE International Magnetism Conference 2009*, BQ-13, Sacramento, CA, USA, May 4 – 8, 2009. (Presented on May 5, 2009)
- ② 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 International Magnetism Conference 2009*, BD-07, Sacramento, CA, USA, May 4 – 8, 2009. (Presented on May 5, 2009)
- ③ 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*, L5.1, Boston, MA, USA, Dec. 1 – 5, 2008. (Presented on Dec. 3, 2008)
- ④ N. Itabashi, T. Ishikawa, K. Yonemura, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Tunneling conductance characteristics for  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  magnetic tunnel junctions”, *2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting*, L2.10, Boston, MA, USA, Dec. 1 – 5, 2008. (Presented on Dec. 2, 2008)
- ⑤ 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*, L2.6, Boston, MA, USA, Dec. 1 – 5, 2008. [Invited Talk] (Presented on Dec. 2, 2008)
- ⑥ 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*, Boston, L2.1, MA, USA, Dec. 1 – 5, 2008. (Presented on Dec. 2, 2008)
- ⑦ N. Itabashi, T. Ishikawa, K. Yonemura, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Spin-dependent electronic structures of  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$  electrodes investigated through tunneling spectroscopy”, *53<sup>rd</sup> Magnetism and Magnetic Materials Conference*, GT-03, Austin, TX, USA, Nov. 10 – 15, 2008. (Presented on Nov. 14, 2008)
- ⑧ K. Yonemura, T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, “Tunneling spectroscopy of  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}/\text{MgO}/\text{CoFe}$  magnetic tunnel junctions”, *53<sup>rd</sup> Magnetism and Magnetic Materials Conference*, ED-07, Austin, TX, USA, Nov. 10 – 15, 2008. (Presented on Nov. 13, 2008)
- ⑨ T. Taira, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto,

- “Spin-dependent tunneling characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnGe/MgO/CoFe}$  tunnel junctions”, 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, DD-02, Austin, TX, USA, Nov. 10 – 15, 2008. (Presented on Nov. 12, 2008)
- ⑩ 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 probed by tunneling spectroscopy”, 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, DD-07, Austin, TX, USA, Nov. 10 – 15, 2008. (Presented on Nov. 12) [Invited Talk]
- ⑪ 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 10th Int’l Joint Symposium between Hokkaido University and Chungnam National University, Sapporo, Oct. 22-24, 2008. (Presented on Oct. 23, 2008) [Invited Talk]
- ⑫ N. Itabashi, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling spectroscopy of 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”, 25th Int’l Conf. on Low Temp. Physics, PD-Mo244, Amsterdam, The Netherlands, Aug. 6-13, 2008. (Presented on Aug. 11, 2008)
- ⑬ K.-i. Matsuda, Y. Akimoto, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Transport Properties of Nb/PdNi bilayers and Nb/PdNi/Nb Josephson junctions”, 25th Int’l Conf. on Low Temp. Physics, PB-Th118, Amsterdam, The Netherlands, Aug. 6-13, 2008. (Presented on Aug. 7, 2008)
- ⑭ T. Ishikawa, N. Itabashi, K. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling conductance in fully epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/Co}_2\text{MnSi}$  tunnel junctions”, IEEE Int’l Magnetism Conf. Europe 2008, AC-07, Madrid, Spain, May 4-8, 2008. (Presented on May 5, 2008)
- ⑮ M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, “Fabrication and characterization of magnetic tunnel junction field sensors with a  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  thin film, IEEE Int’l Magnetism Conf. Europe 2008, BD-04, Madrid, Spain, May 4-8, 2008. (Presented on May 5, 2008)
- ⑯ M. Yamamoto, T. Uemura, and K.-i. Matsuda, “Heusler alloy-based fully epitaxial magnetic tunnel junctions with a MgO barrier”, 2008 RCIQE Int’l Seminar on “Advanced Semiconductor Materials and Devices”, March 3-4, 2008, Sapporo, Japan. (Presented on March 4, 2008) [Invited Talk]
- ⑰ M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, K. Matsuda, and T. Uemura, “Highly spin-polarized tunneling in Heusler alloy-based fully epitaxial magnetic tunnel junctions with a MgO tunnel barrier,” 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, DB-01, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 7, 2007) [Invited Talk]
- ⑱ M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, K. Matsuda, and T. Uemura, “Oscillations in tunneling resistance as a function of MgO barrier thickness in fully epitaxial magnetic tunnel junctions of  $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al/MgO/Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ ,” 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, AB-11, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- ⑲ T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Spin-dependent tunneling in fully epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/Co}_2\text{MnSi}$  magnetic tunnel junctions”, 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, AB-07, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- ⑳ T. Saito, T. Katayama, A. Emura, N. Sumida, N. Matsuoka, T. Ishikawa, T. Uemura, M. Yamamoto, D. Asakura, and T. Koide, “Electronic and magnetic properties of Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  epitaxial ultrathin films facing a MgO barrier investigated by X-ray magnetic circular dichroism”, 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, BQ-06, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- 21 S. Kawagishi, T. Uemura, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Electrical characterization of epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/n-GaAs}$  tunnel junctions”, 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, AG-09, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- 22 K.-i. Matsuda, Y. Akimoto, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Magnetic and transport properties of superconductor/ferromagnet bilayer microbridges”, 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, HQ-10, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 9, 2007)
- 23 T. Uemura, T. Yano, Y. Imai, K. Matsuda, and M. Yamamoto, “Epitaxial growth and characterization of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  thin films on GaAs with MgO interlayer”, The 13th Int’l Conf. on Modulated Semiconductor

Structures, Genova, Italy, July 15-20, 2007.  
(Presented on July 17, 2007)

- 24 T. Uemura, T. Marukame, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Four-state Magnetic Random Access Memory and Ternary Content Addressable Memory using CoFe-based Magnetic Tunnel Junctions”, 37<sup>th</sup> Int'l Symposium on Multiple-Valued Logic, Oslo, Norway, May 13-16, 2007. (Presented on May 15, 2007)

[図書] (計 1 件)

- ① M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, “Highly Spin-Polarized Tunneling in Fully Epitaxial Magnetic Tunnel Junctions with a Co-Based Full-Heusler Alloy Thin Film and a MgO Barrier”, Advances in Solid State Physics 47, R. Haug (Ed.), Springer Berlin/Heidelberg, pp. 105-116, 2008.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

植村 哲也 (UEMURA TETSUYA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20344476

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし