

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19760225
 研究課題名 (和文) 電子スピン状態検出を目指したホイスラー合金-カーボンナノチューブ
 接合の作製

研究課題名 (英文) Heusler alloy - Carbon nanotube junctions as a probe for detecting
 local spin states

研究代表者

松田 健一 (MATSUDA KENICHI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：80360931

研究成果の概要：本研究の成果は、電極として採用したハーフメタル系強磁性材料 Co_2MnSi 、 Co_2MnGe 、 $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ のエピタキシャル成長に成功したこと、またその高いスピン偏極率を、強磁性トンネル接合の電気伝導特性を通して明らかにしたことである。電子スピン検出を行うには、高い偏極率を有する強磁性材料を単結晶成長することが重要であり、本研究において Co 系ホイスラー合金の潜在的な能力の高さを示すことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：スピントロニクス、ハーフメタル強磁性体、ホイスラー合金、カーボンナノチューブ

1. 研究開始当初の背景

電子スピンを利用した電子デバイスの創出、いわゆるスピントロニクスは、重要なデバイス革新技術として注目されている。特に、(1) スピン偏極電流注入による磁化方向制御をナノメートルサイズの磁性材料に対して行うことや、(2) 微小材料や物質表面の局所的な電子スピン状態の検出を行うこと等は、次世代の超高密度磁気記録媒体等への応用に向けた基盤技術として注目されている。従来の研究では、材料物質の局所的な電子スピン状態検出や磁化方向制御に対して磁気力顕微鏡 (MFM) やスピン偏極走査型トンネル

顕微鏡 (SP-STM) を用いられて来た。特に SP-STM については、鉄などの強磁性体や光励起された GaAs を探針として用いる事によって局所的な電子スピン検出や制御についての一定の成果を得ていた。しかし現状では(1) 磁性物質探針と試料との相互作用による試料側のスピン状態の擾乱、(2) 物質表面の形状情報と電子スピン情報の分離、(3) 探針中での電子輸送におけるスピン散乱の抑制、(4) 高スピン偏極率を持つ強磁性材料の探索などの点を改善することがナノ構造における電子スピン状態の制御と検出に向けての重要な課題となっていた。これらの問題

を解決する一つの方法として、カーボンナノチューブ(以下、CNT)を探針として用いる方法が考えられている。CNTはナノメートルサイズの非磁性探針として機能することはもちろん、構造が化学的・機械的に安定であり、また電子スピンに対するコヒーレント輸送を可能にすると考えられている。実験的には、STM探針として用いられたCNTの電気伝導特性が報告されている。また、強磁性金属-CNT-強磁性金属接合構造が作製され、その磁気抵抗効果から電子スピンのコヒーレント輸送の可能性が指摘された。

2. 研究の目的

本研究の目的は、Co系ホイスラー合金電極とカーボンナノチューブを組み合わせた、高い空間分解能を有するスピン注入、検出プローブの創出を行うことである。具体的には、下記の点について研究を推進する。

(1) 電極材料としてCo系ホイスラー合金の強磁性体を採用し、その薄膜作製と磁気的特性評価を推進する。特に $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ 、 Co_2MnGe 、 Co_2MnSi のエピタキシャル薄膜成長とその結晶構造評価、磁化の磁場依存性、磁化の温度依存性、磁化の薄膜構造依存性、スピン偏極率測定を通じて薄膜の特性を明らかにする。

(2) 接合デバイスに用いるCNTの成長と伝導特性評価。特にY字状の分岐構造をもつCNTの成長方法の探索を熱CVD法を用いて行う。また、多層CNT(以下、MWNT)において、電子のバリスティック伝導が室温付近で報告されていることから、MWNTの選択的な成長条件の探索を行う。

(3) Co系ホイスラー合金電極を持つCNT接合デバイスを試作評価する。特にデバイスの磁気抵抗特性評価を通じ、室温での電子スピン輸送特性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、以下の4点について遂行された。

(1) Co系ホイスラー合金の単結晶成長、物性評価。ハーフメタル強磁性体としてCo系のホイスラー合金を採用し、MgO基板上にマグネトロンスパッタ法を用いて単結晶薄膜の作製を行う。Co系ホイスラー合金はその格子定数が、MgO基板の格子定数と近い事が利点となり、容易に単結晶薄膜を得られる可能性がある。特に厳密な意味でのハーフメタル特性が期待される Co_2MnSi 、 Co_2MnGe などのCo系ホイスラー合金の単結晶成長が必要不可欠である。その実現のために、薄膜成長時の基板加熱温度や成長後の磁場中アニールに対する結晶構造の変化を詳細に調べる。また、作製した薄膜の磁化の温度依存性、磁化の磁場依存性評価をSQUID磁束計にて行う。電気伝導特性は、磁場中で4.2Kまでの低温

を利用して磁気抵抗測定を行う。また強磁性トンネル接合のトンネル磁気抵抗効果からそのスピン依存伝導特性を明らかにする。

(2) カーボンナノチューブの成長。本研究ではCNTを探針と用いるため、CNTの成長実験を行う。特に、高効率でスピン検出を行うためにはY分岐構造を持つCNTを利用するほうが良いと考えられるため、そのような分岐構造をもつCNTの成長条件の探索を行う。本研究では、熱CVD法によるCNTの成長と、プラズマCVD法によるCNTの成長の実験を通じて分岐構造作製の条件を確立する計画である。

(3) ホイスラー合金-カーボンナノチューブ接合の作製技術の確立。CNTを用いた接合作製は、一般に、その電極をどのように作製するのかが技術的なポイントとなる。(a)CNTの成長に際して、電場印加によりその成長場所と成長方向を制御すること、(b)成長したCNTに対し、電子ビームリソグラフィーを用いた微細加工を用いて金属電極を取り付けることを行う。

(4) ホイスラー合金-カーボンナノチューブ接合の磁気抵抗効果の検証。局所的なスピン状態の検出と制御には、ホイスラー合金-カーボンナノチューブ接合を作製し、その磁気抵抗効果について検証しなければならない。従って、特に極低温領域における接合の電気伝導特性から、CNT中の電子状態をスピン輸送解明の立場から実験的に検証する。また、その温度依存性を評価することによって、室温付近でのデバイス動作の可能性やホイスラー合金のスピン注入源としての可能性についても明らかにする。

4. 研究成果

(1) Co系ホイスラー合金の単結晶成長、物性評価について。

本研究ではハーフメタル強磁性体電極として Co_2MnGe 、 Co_2MnSi を用いた。また同じCo系ホイスラー合金として $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ も用いた。上記3種の強磁性金属について、MgO基板上にエピタキシャル成長することを、X線極点図測定、RHEED像、断面TEM像から確認した。エピタキシャル成長は、MgO001基板に対し面内で 45° 回転した関係で進行した。これは基板のMgO格子の対角線長さが、Co系ホイスラー合金の格子定数と近い関係になるためと考えられる。磁気特性についてはSQUIDを用いた磁化測定を行った。その結果、磁化の大きさは、スレーター-ポーリング則とは完全には一致しないものの、それに近い大きな磁化の値を得ることができた。この実験で用いた強磁性薄膜の組成は、化学量論的組成からはずれていたため、今後、成長条件をうまく調整して化学量論的組成に近い薄膜ができれば、さらに大

きな磁化の値が得られると期待される。次にこのエピタキシャル膜を用いて、強磁性トンネル接合を作製し、そのトンネル磁気抵抗効果から、Co系ホイスラー合金の高いスピンの偏極率を実証する実験を行ったところ、3つのCo系ホイスラー合金それぞれで非常に高いトンネル磁気抵抗比(TMR比)を確認することができた。これらのことから、強磁性電極として採用したCo系ホイスラー合金の有用性を示すことができた。

(2) カーボンナノチューブの成長。

探針として用いるCNTの成長を熱CVD法を用いて行った。特に今回のプローブとしてはY字状の分岐構造をもつCNTを得ることが望ましいと考えた。しかしながら、かなり成長条件を変えた場合でも、そのような分岐構造を見出すことはできなかった。もともとY字状分岐構造はエネルギー的に不安定であると考えられるため、偶然にそのような構造が発現したとしても、CNTの成長中に壊れてしまう予想される。CNTの分岐構造を作成することは、応用上、非常に重要だと考えられるため、別の成長方法を検討する必要があることがわかった。

(3) ホイスラー合金-カーボンナノチューブ接合の作製技術の確立。

成長したCNTは、基本的にSWCNTかMWCNTのどちらかであった。これにハーフメタル強磁性体電極をつけるため、電場勾配中におけるCNTの配向成長を行い、それに対して電子ビームリソグラフィを施すことで電極形成を試みた。結果としては、この方法によってCo系ホイスラー合金電極を作製することができなかった。これについてはまだ実験を継続中であり、作成条件のさらなる検討が必要である。

以上の研究成果から、査読付論文誌に17件の論文を発表した。また、国内、国外の学会を合わせて60件あまりの外部発表を行うことができた。

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 17 件)

- ① 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). 査読有。
- ② 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). 査読有。

- ③ T. Taira, T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Spin-dependent tunneling characteristics of fully epitaxial magnetic tunnel junctions with a Heusler alloy Co_2MnGe thin film and a MgO barrier", J. Phys. D: Applied Phys., vol. 42, pp. 084015-1 - 084015-9 (2009). 査読有。
- ④ T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Half-metallic electronic structure of Co_2MnSi electrodes in fully epitaxial $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$ magnetic tunnel junctions proved by tunneling spectroscopy", J. Appl. Phys., vol. 105, pp. 07B110-1 - 07B110-6, (2009). 査読有。
- ⑤ 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_2MnSi -based magnetic tunnel junctions investigated by tunneling spectroscopy", Appl. Phys. Lett., vol. 94, pp. 092503-1 - 092503-3 (2009). 査読有。
- ⑥ 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, pp. 072510-1 - 072510-3, (2009). 査読有。
- ⑦ M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, "Fabrication and Characterization of Fully Epitaxial Magnetic Tunnel Junction Field Sensors using a Co_2MnSi Thin Film", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, pp. 3996 - 3998 (2008). 査読有。
- ⑧ T. Uemura, Y. Imai, S. Kawagishi, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Epitaxial growth and characterization of Co_2MnSi thin films on GaAs with MgO interlayer", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, vol. 40, pp. 2025 - 2027 (2008). 査読有。
- ⑨ T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Fabrication of fully epitaxial

- Co₂MnSi/MgO/Co₂MnSi magnetic tunnel junctions”, J. Appl. Phys. vol. 103, pp. 07A919-1 - 07A919-3 (2008). 査読有.
- ⑩ 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), and selected for the February 15, 2008 issue of Virtual Journal of Applications of Superconductivity. 査読有.
- ⑪ S. Kawagishi, T. Uemura, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Structural, magnetic and electrical properties of Co₂MnSi / MgO / n-GaAs tunnel junction”, J. Appl. Phys., vol. 103, pp. 07A703-1 - 07A703-3 (2008). 査読有.
- ⑫ T. Uemura, T. Yano, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, “Structural and magnetic properties of Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al thin films epitaxially grown on GaAs substrate with MgO interlayer”, Thin Solid Films, vol. 515, pp. 8013-8016 (2007). 査読有.
- ⑬ T. Marukame, T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Fabrication of Epitaxial Magnetic Tunnel Junctions with a Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al Thin Film and Their Tunnel Magnetoresistance Characteristics”, J. Magn. Soc. Jpn., vol. 31, pp. 344-350 (2007). 査読有.
- ⑭ T. Marukame, T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, “Fabrication of Fully Epitaxial Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al / MgO / Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al Magnetic Tunnel Junctions”, IEEE Trans. on Magn., vol. 43, pp. 2782-2784 (2007). 査読有.
- ⑮ 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). 査読有.
- ⑯ 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). 査読有.
- ⑰ 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 Co₂MnGe and a MgO tunnel barrier”, J. Appl. Phys., vol. 101, pp. 09J513-1 - 09J513-3 (2007). 査読有.
- [学会発表] (計 60 件)
- ① 今井洋介, 原田雅亘, 植村哲也, 松田健二, 山本眞史, 「エピタキシャル CoFe/n-GaAs 接合における磁気抵抗特性」, 2009 年 (平成 21 年) 春季第 56 回応用物理学会関係連合講演会, 31a-L-7, つくば市, 筑波大学, 2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日 (2009 年 4 月 1 日発表).
- ② 澤田圭佑, 植村哲也, 増田昌洋, 松田健二, 山本眞史, 「強磁性細線中を伝搬する磁壁の構造および運動の TMR 検出のシミュレーション」, 2009 年 (平成 21 年) 春季第 56 回応用物理学会関係連合講演会, 31a-L-7, つくば市, 筑波大学, 2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日 (2009 年 3 月 31 日発表).
- ③ 今井洋介, 原田雅亘, 植村哲也, 松田健二, 山本眞史, 「エピタキシャル CoFe/n-GaAs 接合における磁気抵抗特性」, The 13th Symposium on the Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS13), 仙台市, 東北大学, 2009 年 1 月 27 日-28 日 (2009 年 1 月 28 日発表).
- ④ 米村和希, 板橋直樹, 松田健一, 植村哲也, 山本眞史, 「Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al / MgO / Co₅₀Fe₅₀ 強磁性トンネル接合のコンダクタンス特性に対するアニールの影響」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 講演予稿集 B-16, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表).
- ⑤ 板橋直樹, 石川貴之, 米村和希, 松田健二, 植村哲也, 山本眞史, 「Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al/MgO/Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al 強磁性トンネル接合のスピンの依存コンダクタンス特性」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 講演予稿集 B-17, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表).
- ⑥ 増田昌洋, 澤田圭佑, 植村哲也, 松田健二, 山本眞史, 「ホイスラー合金薄膜を上部フリー層に用いた微細 MTJ の作製と評価」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 B-21, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表).
- ⑦ 今井洋介, 原田雅亘, 植村哲也, 松田健

- 二, 山本眞史, 「CoFe/n-GaAs/CoFe 横型接合における磁気抵抗特性」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 B-22, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表).
- ⑧ 澤田圭佑, 増田昌洋, 植村哲也, 松田健二, 山本眞史, 「Co₂MnSi 細線電極における磁壁構造に依存したトンネル磁気抵抗のシミュレーション」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 B-23, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表). 発表奨励賞受賞
- ⑨ 今井悟嗣, 石川貴之, 松田健一, 植村哲也, 山本眞史, 「ハーフメタル系強磁性体 (Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al) / 超伝導体 (NbN) 二層薄膜のエピタキシャル成長」, 2009 年 (平成 21 年) 第 44 回応用物理学会北海道支部学術講演会 講演予稿集 B-24, 函館市, サン・リフレ函館, 2009 年 1 月 8 日-9 日 (2009 年 1 月 9 日発表).
- ⑩ T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Tunneling spectroscopy of fully epitaxial Co₂MnSi/MgO/Co₂MnSi magnetic tunnel junctions", 2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting, L5.1, Boston, MA, USA, Dec. 1 - 5, 2008. (presented on Dec. 3, 2008)
- ⑪ N. Itabashi, T. Ishikawa, K. Yonemura, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Tunneling conductance characteristics for Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al / MgO / Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}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)
- ⑫ 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. (presented on Dec. 2, 2008) (招待講演)
- ⑬ T. Taira, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Tunnel magnetoresistance characteristics of post-deposition-annealed Co₂MnGe / MgO / CoFe tunnel junctions", 2008 Material Research Society (MRS) Fall Meeting, Boston, L2.1, MA, USA, Dec. 1 - 5, 2008. (presented on Dec. 2, 2008)
- ⑭ N. Itabashi, T. Ishikawa, K. Yonemura, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Spin-dependent electronic structures of Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al electrodes investigated through tunneling spectroscopy", 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, GT-03, Austin, TX, USA, Nov. 10 - 15, 2008. (Presented on Nov. 14, 2008)
- ⑮ K. Yonemura, T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Tunneling spectroscopy of Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al/MgO/CoFe magnetic tunnel junctions", 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, ED-07, Austin, TX, USA, Nov. 10 - 15, 2008. (Presented on Nov. 13, 2008)
- ⑯ T. Taira, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Spin-dependent tunneling characteristics of Co₂MnGe/MgO/CoFe tunnel junctions", 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, DD-02, Austin, TX, USA, Nov. 10 - 15, 2008. (Presented on Nov. 12, 2008)
- ⑰ T. Ishikawa, N. Itabashi, T. Taira, K.-i. Matsuda, T. Uemura and M. Yamamoto, "Half-metallic electronic structure of Co₂MnSi electrodes proved by tunneling spectroscopy", 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference, DD-07, Austin, TX, USA, Nov. 10 - 15, 2008. (Presented on Nov. 12) (招待講演)
- ⑱ 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) (招待講演)
- ⑲ 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 Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}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)
- ⑳ 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, p. 25, PB-Th118, Amsterdam, The Netherlands, Aug. 6-13, 2008. (Presented on Aug. 7, 2008)
- 21 T. Ishikawa, N. Itabashi, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Spin-dependent tunneling conductance in fully epitaxial Co₂MnSi/MgO/Co₂MnSi tunnel junctions", Technical Digests of IEEE Int'l Magnetism Conf. Europe 2008, AC-07, Madrid, Spain, May 4-8, 2008. (Presented on May 5, 2008)
- 22 M. Masuda, T. Uemura, K.-i. Matsuda and M. Yamamoto, "Fabrication and characterization of magnetic tunnel junction field sensors with a Co₂MnSi thin film, Technical Digests of IEEE Int'l Magnetism Conf. Europe 2008, BD-04, Madrid, Spain, May 4-8, 2008. (Presented on May 5, 2008)
- 23 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) (招待講演)
- 24 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)
- 25 M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, K.-i. 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) (招待講演)
- 26 M. Yamamoto, T. Marukame, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, and T. Uemura, "Oscillations in tunneling resistance as a function of MgO barrier thickness in fully epitaxial magnetic tunnel junctions of Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al / MgO / Co₅₀Fe₅₀", 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, AB-11, Nov. 5-9,

- 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- 27 T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Spin-dependent tunneling in fully epitaxial Co₂MnSi / MgO / Co₂MnSi magnetic tunnel junctions", 52nd Magnetism and Magnetic Materials Conference, AB-07, Nov. 5-9, 2007, Tampa, Florida, USA. (Presented on Nov. 6, 2007)
- 28 S. Kawagishi, T. Uemura, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Electrical characterization of epitaxial Co₂MnSi / 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)
- 29 T. Uemura, T. Yano, Y. Imai, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Epitaxial growth and characterization of Co₂MnSi 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)

他、国内外会議 31 件。

[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, Jan. 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 健一 (MATSUDA KENICHI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：80360931

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし