

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：若手研究 B
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20760005
 研究課題名（和文） 高磁気異方性を有するハーフメタル薄膜の創製と室温高スピン分極率の実現
 研究課題名（英文） Fabrication of half-metallic thin films with large magnetic anisotropy and realization of room-temperature high spin-polarization
 研究代表者 桜庭 裕弥 (SAKURABA YUYA)
 東北大学・金属材料研究所・助教
 研究者番号：10451618

研究成果の概要（和文）：高いスピン偏極率と大きな磁気異方性を併せ持つ強磁性材料を開発することは、スピントロニクスデバイスの性能向上と高集積化・小型化のための必須課題である。本研究ではハーフメタル材料 Co_2MnSi を L1_0 規則合金 FePt, CoPt 上に積層させた構造を作製することによって、極薄膜化した Co_2MnSi に高い磁気異方性を付加することに成功した。これを用いた強磁性トンネル接合においてトンネル磁気抵抗効果を明瞭に観測した。

研究成果の概要（英文）：It is necessary to develop the ferromagnetic material with high spin-polarization and large magnetic anisotropy in order to improve a performance of spintronics devices. In this project, a large magnetic anisotropy was successfully applied to half-metallic Co_2MnSi from L1_0 -orderd alloys FePt or CoPt in the L1_0 -ordered alloy/thin Co_2MnSi stacking structure. Clear tunneling magnetoresistance was observed in the magnetic tunnel junctions with these electrodes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

電子の有する電荷とスピンの2つの自由度を統括的に取り扱うことにより、新たな物理現象の発見・解明と新機能デバイス創製を目指す"スピントロニクス"分野における研究が世界的に活発化している。スピントロニクスにおいて取り扱われるスピン依存の物理現象において最も重要な要素の1つとして挙げ

られるのが、強磁性材料のもつスピン分極率 P である。 P とは $(D\uparrow - D\downarrow)/(D\uparrow + D\downarrow)$ ($D\uparrow(\downarrow)$: フェルミ準位におけるアップとダウンスピン電子の状態密度) で与えられる物質固有の物理量であり、フェルミ準位における上向きと下向きスピン電子数の割合を示す。 P が大きい強磁性材料ほどその伝導電子スピンの依存した物理現象が顕在化し、伝導と磁

性及び光を媒介とする様々なデバイスの性能を向上させることが可能となる。すなわち、その極限である完全スピン分極状態($P=1$)を室温で実現することは今後のスピントロニクス発展に対し極めて大きな意義を持つ。スピントロニクスデバイスを創製する上で上述のスピン分極率 P と同様に重要な要素となるが磁性体の持つ磁気異方性である。スピントロニクスデバイスの小型化・大容量化が急速に進むにつれ、記録素子となる磁性体の微細化が必要となるため、磁気異方性エネルギー(K_uV)が小さい強磁性材料では熱揺らぎエネルギー($k_B T$)によってその磁化情報を消失してしまう。一般的な指標として一度記録した磁化情報が10年以上保持されるためには $K_uV/k_B T > 60$ が必要とされ、例えばギガビットクラスの大容量磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)を実現するために磁性体には $K_u > 1 \times 10^6 \text{erg/cm}^3$ 以上を有することが必要とされる。CoFe, NiFeなどの3d系強磁性合金、並びに上述した Co_2MnSi などCo基フルホイスラー合金の K_u は $10^4 \sim 10^5 \text{erg/cm}^3$ であるため、このような熱揺らぎ耐性の条件を満たしていない。

2. 研究の目的

1に記載の理由から現在、高い磁気異方性 K_u とスピン分極率 P とを併せ持つ究極的な強磁性材料"高磁気異方性ハーフメタル"の創製が切望されている。本研究は、研究代表者がこれまで培った良質な Co_2MnSi ハーフメタル薄膜の成膜技術を発展させることにより、Co基フルホイスラー合金系ハーフメタルに高い磁気異方性を付加し"高熱揺らぎ耐性"と"室温高スピン分極率"の双方の実現を目指すものである。

3. 研究の方法

(1)垂直磁化 Co_2MnSi 電極の作製

Co_2MnSi 薄膜を垂直磁化膜化させるために、高い一軸磁気異方性を有することで知られる $L1_0$ 型規則合金を利用する。まず酸化マグネシウムの単結晶基板上に下地層としてCr及びPtを成膜し、その後基板加熱状態でFePt及びCoPt等の $L1_0$ 規則合金を成膜する。これにより(001)配向が得られ、磁化容易軸が面直方向に向くために、垂直磁化膜が得られる。その後、 $L1_0$ 規則合金上に Co_2MnSi を堆積させる。FePt, CoPtと Co_2MnSi は格子不整合が5%未満と良好であるため(001)配向した Co_2MnSi を作製することができる。これにより、FePt, CoPtから高い磁気異方性を Co_2MnSi への付加を試みる。 Co_2MnSi を成膜する際のアニール温度や、 Co_2MnSi の膜厚等を最適化

することにより、より高い結晶性・サイト規則性と高い磁気異方性を両立できる条件の最適化を目指す。磁気異方性を付加させ維持させるには Co_2MnSi を極薄膜化させる必要があるため、結晶性は主に面内入射のXRD、磁気特性に関してはSpring-8の放射光を利用し、XMCD(X線磁気円二色性)による元素選択的な評価を行った。

(2)垂直磁化 Co_2MnSi 電極を用いた強磁性トンネル接合の作製と評価

(1)にて作製した $L1_0$ 合金/ Co_2MnSi 電極を下部電極として強磁性トンネル接合を作製する。トンネル障壁層としては結晶性のMgOを利用することにより上部強磁性電極まで配向させた全単結晶の強磁性トンネル接合を作製する。上部強磁性電極としては下部と同様の $L1_0$ 規則合金か、もしくはTbCoFe等希土類元素を用いた電極を利用する。作製した積層膜は、リソグラフィとArイオンミリングによって4端子構造に加工し、直流4端子法によって磁気抵抗効果を評価する。

4. 研究成果

(1)垂直磁化 Co_2MnSi 電極の作製結果
酸化マグネシウム基板上に(001)配向したCoPt膜及びFePt膜を作製した。これらの上に Co_2MnSi 薄膜を1nmから5nmまで膜厚変化させて成膜をおこなった。これら Co_2MnSi 膜の結晶構造をXRDで評価した結果、 Co_2MnSi が1nmと非常に極薄の状態においても、 Co_2MnSi が(001)配向し、さらにB2構造(Co原子が規則配列した構造、Mn, Siはランダム)以上の規則状態を有していることが分かった。理論計算によれば、 Co_2MnSi が高いスピン偏極度を持つには、B2以上の規則状態が必要とされており、高いスピン偏極度を期待できる構造を有していることが分かった。さらに、これらの試料をSpring-8 BL25SUにてXMCDによる磁気特性の評価を行った。その結果、CoPt上では4nm以上、FePtでは2nm以上で Co_2MnSi は明瞭なXMCDシグナルを示すことが分かった。また、Fe, Co, MnのXMCDシグナルの磁場依存性を測定し、元素選択的磁気ヒステリシス曲線を測定したところ、 Co_2MnSi が4nm以下ではCoとMnが磁化容易軸が薄膜面直方向を向いていることが確認された。これは下部のCoPtやFePtの磁気異方性が界面を介し、 Co_2MnSi に付加されていることを示すものである。以上の実験より、良質な結晶性と高い規則状態と垂直磁気異方性を併せ持つ Co_2MnSi 下部電極を作製することに成功した。

(2)垂直磁化 Co₂MnSi 電極を用いた強磁性トンネル接合の作製と評価

作製した Co₂MnSi 下部電極を用い、強磁性トンネル接合を作製した。トンネル障壁層には MgO を用い、上部強磁性層としては FePt や希土類元素添加の CoFe 等を用いた。作製した積層膜の磁化曲線を測定したところ、上下強磁性膜の磁化が反平行になる状態が確認できた。これらの膜を微細加工によって4端子形状にし、面直方向への磁場印加によって磁気抵抗効果の評価した結果、室温で最大15%程度の磁気抵抗効果を確認することができた。

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7件)

- 1) 著者名: S. Bosu, Y.Sakuraba, K. Saito, H. Wang, and K. Takanashi
論文標題: Interlayer exchange coupling in Full Heusler Co₂FeSi/Cr/Co₂FeSi epitaxial trilayer structures
雑誌名: IEEE Transactions on magnetics 掲載決定(2010). 査読有
- 2) 著者名: Y. Sakuraba, Y. Kota, T. Kubota, M. Oogane, A. Sakuma, Y. Ando and K. Takanashi
論文標題: Evidence of Fermi level control in a half-metallic Heusler compound Co₂MnSi by Al-doping: Comparison of measurements with first-principles calculations
雑誌名: Physical Review B, 81, 144422 (2010) 査読有
- 3) 著者名: Y. Sakuraba, N. Hirose, M. Oogane, T. Nakamura, Y. Ando and K. Takanashi
論文標題: Co-concentration dependence of half-metallic properties in Co-Mn-Si epitaxial films
雑誌名: Applied Physics Letters, 96, 092511 (2010) 査読有
- 4) 著者名: T. Hiratsuka, G. Kim, Y. Sakuraba, T. Kubota, K. Kodama, N. Inami, H. Naganuma, M. Oogane, T. Nakamura, K. Takanashi and Y. Ando
論文標題: Fabrication of perpendicular magnetized magnetic tunnel junctions with L1₀-CoPt/Co₂MnSi hybrid electrode
雑誌名: Journal of Applied Physics, 107, 09C714 (2010). 査読有

- 5) 著者名: S. Bosu, Y.Sakuraba, K. Saito, H. Wang, S. Mitani and K. Takanashi
論文標題: Chemical ordering dependence of interlayer exchange coupling in Co-Mn-Si/Cr/Co-Mn-Si trilayer structures
雑誌名: Physical Review B 81, 054426 (2010). 査読有
- 6) 著者名: Y. Sakuraba, T. Iwase, K. Saito, S. Mitani and K. Takanashi
論文標題: Enhancement of spin-asymmetry by L₂₁-ordering in Co₂MnSi/Cr/Co₂MnSi current-perpendicular-to-plane magnetoresistance devices
雑誌名: Applied Physics Letters, 94, 012511 (2009). 査読有
- 7) 著者名: S. Bosu, Y.Sakuraba, K. Saito, H. Wang, S. Mitani and K. Takanashi
論文標題: Interlayer thickness dependence of 90 degree exchange coupling in Co₂MnAl/Cr/Co₂MnAl epitaxial trilayer structures.”
雑誌名: Journal of Applied Physics 105, 07C710 (2009). 査読有

[学会発表] (計6件)

- 1) 発表者: 桜庭裕弥
発表標題: Fabrication and characterization of magnetic tunnel junctions with perpendicularly magnetized Co₂MnSi half-metal electrode
Intermag-MMM Joing conference, 2010年1月14日 (ワシントン)
- 2) 発表者: 桜庭 裕弥
発表標題: Giant magneto-resistance in Co₂MnSi/NM/Co₂MnSi (NM = Cr, Ag) fully-epitaxial CPP-GMR devices
20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, 2009年7月23日 (ドイツ)
- 3) 発表者: 桜庭裕弥
発表標題: Quantitative investigation of spin-asymmetry in Co₂MnSi-based CPP-GMR devices
International Conference on magnetism, 2009年7月17日(ドイツ)
- 4) 発表者: 桜庭裕弥
発表標題: Co₂MnSi /NM/ Co₂MnSi (NM =

Cr, Ag) CPP-GMR 素子の磁気伝導特性
第 144 回日本金属学会, 2009 年 3 月 30
日(東京)

5) 発表者: 桜庭裕弥
発表標題: Co-Mn-Si/Cr/Co-Mn-Si 三層膜に
おける層間交換結合の Co 組成依存性
第 143 回日本金属学会, 2008 年 9 月 24
日(熊本)

6) 発表者: 桜庭裕弥
発表標題: Co₂MnSi /NM/ Co₂MnSi (NM
= Cr, Ag)構造 CPP-GMR 素子の作製と
評価
第 32 回日本磁気学会, 2008 年 9 月 13 日
(宮城)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桜庭 裕弥 (YUYA SAKURABA)
東北大学・金属材料研究所・助教
研究者番号: 10451618