

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048029

研究課題名（和文） 高スピン偏極材料のナノ構造解析とスピン偏極率測定

研究課題名（英文） Microstructure analysis of the materials with high spin polarization and spin polarization measurement

研究代表者

高橋有紀子（TAKAHASHI YUKIKO）

独立行政法人物質・材料研究機構 磁性材料センター 主任研究員

研究者番号：50421392

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、無機材料・物性

キーワード：ハーフメタル、スピン偏極率、ホイスラー合金

1. 研究計画の概要

本研究では強磁性電極の物性と素子構造を詳細に解析し、トンネル型磁気抵抗(TMR)、巨大磁気抵抗(GMR)素子で高いMR特性を得るための材料設計指針を提案することを目的とする。具体的には、①MR素子の微細構造解析による特性発現のメカニズムの解明、②MR素子用の強磁性電極薄膜のスピン偏極率を点接触アンドレーエフ反射(PCAR)を用いて直接測定し、同時に膜の微細構造観察を行うことにより、高スピン偏極率を示す強磁性電極材料の探索と製膜法を確立することを目的としている。

2. 研究の進捗状況

MR素子の微細構造解析による特性発現のメカニズムの解明については、我々が作製した Co_2MnSi と Co_2FeAlSi を用いたCPP-GMR素子及び他の研究グループから提供を受けた CoFeB/MgO/CoFeB と $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/Co}_2\text{MnSi}$ の強磁性トンネル接合のTEMによる微細構造解析と伝導特性の相関について検討を行った。ホイスラー合金を用いたMR素子では、ホイスラー電極の規則度が伝導特性に大きく影響を与えており、特にCPP-GMR素子の場合はスペーサ層とホイスラー層との格子ミスフィットもホイスラー層の規則度に影響を与えることが明らかとなった。このことから、ホイスラーを電極として用いる場合は、高規則度の実現と格子ミスフィットの少ないスペーサを選択することが高いMR比を得るために重要である。また CoFeB/MgO/CoFeB の強磁性トンネル接合では、CoFeとMgOの界面での格子整合性と上部電極のCoFeとキャップ層の相関について検討し、CoFeと相互拡散しやすい系では

なく CoFeB のBが拡散しやすいTiなどが適していることが明らかになった。

高スピン偏極率を示す強磁性電極材料薄膜の探索では、理論的にハーフメタルが予測されキュリー点が室温以上であるCo基ホイスラー合金に第4元素を添加することによる電子構造の制御により行っている。その結果、 Co_2MnGeGa 系でPCARで評価したスピン偏極率では最大の値である0.74を見出している。

Co_2FeAlSi を用いたCPP-GMR素子を作製し、その伝導特性を詳細に評価することにより、バルク散乱非対称性係数(β)とスピン拡散長の見積もりを行った。その結果、 β は14Kで0.77、室温で0.7となった。スピン拡散長は14Kで3nmであった。

3. 現在までの達成度

当初の研究計画以上に進展している。

TEMによる微細構造解析では伝導特性を説明できるような解釈が得られており、高い特性を得るための指針が得られている。

Co_2FeAlSi を用いたCPP-GMR素子を作製することによりバルク散乱非対称性係数とスピン拡散長の見積もりに成功しており、高いMR比を得るための材料的な指針を示すためのパラメータが明らかになりつつある。

4. 今後の研究の推進方策

作製するCPP-GMR素子や他の研究グループから提供されるMR素子のTEMによる微細構造解析をさらに進める。必要な場合は3次元アトムプローブを用いた微細構造解析に挑戦する。

Co_2FeAlSi と Co_2MnSi を用いたCPP-GMR素子の作製をさらに進める。バルク散乱非対称性係数の評価をさらに進め、界面散乱非対

称性係数および電極とスペーサのバンドマッチングの観点からもさらに研究を進める。微細構造観察の結果をもとに、高い特性を得るための指針を明らかにする。

5. 代表的な研究成果

(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 5 件)

- ① T.M. Nakatani, T. Furubayashi, S. Kasai, H. Sukegawa, Y.K. Takahashi and K. Hono, “Bulk and interfacial scatterings in current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance with $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ Heusler alloy layers and Ag spacer”, *Appl. Phys. Lett.*, accepted(2010)
- ② B.S.D.C.S. Varaprasad, A. Rajanikanth, Y.K. Takahashi and K. Hono, ” Enhanced spin polarization of Co_2MnGe Heusler alloy by substitution of Ga of Ge”, *Appl. Phys. Express*, **3**,023002 (2010), 査読有
- ② T.M. Nakatani, Y.K. Takahashi, I. Ishikawa, M. Yamamoto and K. Hono, ” Structural characterizations of $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/Co}_2\text{MnSi}$ magnetic tunnel junctions by transmission electron microscopy”, *J. Magn. Mater.*, **322**, 357 (2010) 査読有
- ③ B. Varaprasad, A. Rajanikanth, Y.K. Takahashi and K. Hono, ” Highly spin polarized $\text{Co}_2\text{MnGa}_{0.5}\text{Sn}_{0.5}$ Heusler compound”, *Acta Mater.* **57**, 2702-2709 (2009). 査読有
- ④ K. Kodama, T. Furubayashi, H. Sukegawa, T.M. Nakatani, K. Inomata and K. Hono, “Current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance of a spin valve using Co_2MnSi Heusler alloy electrode” *J. Appl. Phys.*, **105** 07E905 (2009).
- ⑤ T. Furubayashi, K. Kodama, H. Sukegawa, Y.K. Takahashi, K. Inomata and K. Hono, “Current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance in spin-valve structures using epitaxial $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}/\text{Ag}/\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ trilayers”, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 122507 (2008).

[学会発表] (計 4 件)

- ① T. Furubayashi, K. Kodama, H. Sukegawa, Y.K. Takahashi, K. Inomata and K. Hono, “Current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance of a spin valve using Co_2MnSi Heusler alloy electrodes”, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2008年11月13日, Austin, USA
- ② K. Kodama, T. Furubayashi, H. Sukegawa, T.M. Nakatani, K. Inomata and K. Hono, “Current perpendicular to plane giant

magnetoresistance of multilayered films using Co_2MnSi Heusler alloys”, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2008年11月14日, Austin, USA.

- ③ T.M. Nakatani, Y.K. Takahashi, I. Ishikawa, M. Yamamoto and K. Hono, “Structural characterizations of $\text{Co}_2\text{MnSi/MgO/Co}_2\text{MnSi}$ tunnel junctions”, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, , Austin, USA.
- ④ B. Varaprasad, A. Rajanikanth, Y.K. Takahashi and K. Hono, “High spin polarization of $\text{Co}_2\text{MnGa}_{0.5}\text{Sn}_{0.5}$ Heusler alloy”, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2008年11月13日, Austin, USA.

[図書] (計 1 件)

スピントロニクス基礎と材料。応用技術の最前線 第24章「スピントロニクス材料の微細構造制御」、高橋有紀子・宝野和博、2009年出版、シーエムシー出版

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

①名称: Co 基ホイスラー合金

発明者: 中谷友也/アマナブルラジヤニカンス/高橋有紀子/宝野和博

権利者: 物質・材料研究機構

種類:

番号: 特願 2007-276353

出願年月日: 2007年10月24日

国内外の別: 国内

②名称: Co 基ホイスラー合金とこれを用いた磁性素子

発明者: アマナブルラジヤニカンス/高橋有紀子/宝野和博

権利者: 物質・材料研究機構

種類:

番号: 特願 2008-299551

出願年月日: 平成 20 年 11 月 25 日

国内外の別: 国内

③名称: Co 基ホイスラー合金

発明者: アマナブルラジヤニカンス/高橋有紀子/宝野和博

権利者: 物質・材料研究機構

種類:

番号: 特願 2008-220648

出願年月日: 2008年8月29日

国内外の別: 国内

④ 名称: Co 基ホイスラー合金

発明者: バラブラサッド/アマナブルラジヤニカンス/高橋有紀子/宝野和博

権利者: 物質・材料研究機構

種類:

番号: 特願 2008-199712

出願年月日: 2008年8月1日

国内外の別: 国内