

平成 22 年 4 月 16 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048004

研究課題名（和文） ナノ構造制御による高効率スピンの探索と創製

研究課題名（英文） Fabrication of highly efficient spin source materials by nanostructure control

研究代表者

高梨 弘毅 (TAKANASHI KOKI)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：00187981

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：磁性、スピントロニクス 3、ナノ材料、スピン流、物性機能

## 1. 研究計画の概要

スピン流の創出と制御の鍵となる高偏極・高効率スピンの創製において、ナノ構造制御は有効な手段となる。本研究では、高偏極・高効率スピンの創製を目的とし、以下の研究課題に取り組んでいる。

- (1) 磁性ナノ粒子や磁性超薄膜を用いた最適ナノ構造を探索することにより、高効率スピンの創製を行う。サイズ効果によって高効率にスピン流を取り出せることが理論予測されている磁性ナノ粒子や磁性超薄膜を用いて磁性ナノ構造を作製し、磁気伝導特性を評価することにより、ナノ構造の探索および最適化を行い、高効率スピンの創製を行う。
- (2) ハーフメタルホイスラー合金を用いた高効率スピンの創製を行う。ホイスラー合金は、理論計算より完全スピン偏極した物質であり、半導体への高効率なスピン注入を行うためのスピン源としても期待されている。ホイスラー規則合金薄膜を用いたナノ構造体を作製し、磁気伝導特性を評価することにより、高効率スピンの実現を目指す。
- (3) 高効率なスピン注入を可能にする垂直磁化スピンの創製を行う。垂直磁化スピン源は、無磁場下でも膜面垂直にスピン偏極したスピン流を注入できるという面内磁化スピン源には無い特徴を有している。本研究では、垂直磁化を示し且つ高効率にスピン注入が可能なスピン源の探索および創製を行う。

## 2. 研究の進捗状況

- (1) 磁性ナノ粒子を用いた高効率スピンの創製に関して、ナノ粒子および超薄膜の合成を行い、蒸着量とナノ粒子系の関係が、Cr、Fe等の遷移金属とAu等の貴金属では大きく異

なることを見いだした。また、MgO 基板上にCoのナノ粒子を蒸着することにより作製したグラニューラー薄膜の磁気輸送特性を測定した結果、Co膜厚1nmの試料において室温でトンネル磁気抵抗効果を観測することに成功した。さらに、Auナノ粒子を中間層として有する2重トンネル接合を作製し、Auナノ粒子におけるスピン蓄積効果とスピン緩和時間の増大を観測した。理論計算によって、ナノ粒子の帯電効果がスピン蓄積を増大させ、スピン源としての性能改善に有益であることを明らかにした。

- (2) ハーフメタルホイスラー合金を用いた高効率スピンの創製に関して、ホイスラー合金を電極に用いた面直通電型巨大磁気抵抗素子(CPP-GMR)を作製し、その磁気抵抗効果を測定したところ、室温で高いGMRの観測に成功した。これにより、ホイスラー合金のスピン源としての有用性が確認された。

- (3) 垂直磁化スピンの創製に関しては、L1<sub>0</sub>-FePt合金を用いたナノ構造体において室温で巨大なスピンホール効果の観測に成功し、垂直磁化L1<sub>0</sub>-FePt合金が高効率スピンの創製に有用であることを見出した。またAuに不純物を添加した際のスピンホール角の変化や、スピンホール角のAu膜厚依存性についても系統的な実験を実施した。

## 3. 現在までの達成度

- ①当初の計画以上に進展している。

磁性ナノ粒子および超薄膜の合成や成長に関しては、相当の基礎的な知見を得ており、研究は順調に進んでいる。スピン源としての特性評価に関しては、Auナノ粒子を介した磁気抵抗効果が観測されており、進展がみら

れている。加えて、数値計算による現象の理解の進展も得られている。一方で、ホイスラー合金を用いたナノ構造において室温で現在の報告値で最高の磁気抵抗効果が得られたこと、また  $L1_0$ -FePt 合金ナノ構造を用いて巨大スピンホール効果を観測し垂直スピン源の有用性を見出したことは、予想以上の成果であった。当初の研究目的・研究計画に加え、新しい研究の方向性を与える成果が多数得られていることを考慮すると、当初の計画以上に進展していると言える。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) 磁性ナノ粒子を用いた高効率スピン源の創製に関しては、金属ナノ粒子あるいは金属超薄膜を有する2重トンネル接合を引き続き作製する。現在行っている Cr や Au 粒子に加え、Mo、Pd などのナノ粒子、超薄膜を用いた系統的な研究も行う。

(2) ハーフメタルホイスラー合金を用いた高効率スピン源の創製に関しては、CPP-GMR 素子の更なる特性向上に加えて、面内素子におけるスピン注入特性についても詳細に調べる。また、応用展開を図る。

(3) 垂直磁化スピン源の創製に関しては、巨大スピンホール効果のメカニズムを明らかにするとともに、高効率スピン源として確立するために、物質やナノ構造を変化させた系統的な研究を行う。

#### 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 27 件)

1. S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Saito, H. Wang, S. Mitani, and K. Takanashi, *Physics Review B*, 査読有、81 巻、2009 年、054426-1-8 頁

2. T. Iwase, Y. Sakuraba, S. Bosu, K. Saito, S. Mitani and K. Takanashi, *Large interface spin-asymmetry and magnetoresistance in fully epitaxial  $Co_2MnSi / Ag / Co_2MnSi$  current-perpendicular-to-plane magnetoresistive devices*, *Applied Physics Express*, 査読有、2 巻、2009 年、063003-1-3 頁

3. T. Seki, S. Mitani, and K. Takanashi, *Nucleation-type magnetization reversal by spin-polarized current in perpendicularly magnetized FePt layers*, *Physics Review B*, 査読有、77 巻、2008 年、214414-1-8 頁

4. S. Mitani, Y. Nogi, H. Wang, K. Yakushiji, F. Ernult and K. Takanashi, *Current-induced tunnel magnetoresistance due to spin accumulation in Au nanoparticles*, *Applied Physics Letters*, 査読

有、92 巻、2008 年、152509-1-3 頁

5. T. Seki, Y. Hasegawa, S. Mitani, S. Takahashi, H. Imamura, S. Maekawa, J. Nitta, and K. Takanashi, *Giant spin Hall effect in perpendicularly spin-polarized FePt/Au devices*, *Nature Materials*, 査読有、7 巻、2008 年、125-129 頁

[学会発表] (計 45 件)

1. T. Koda, S. Mitani, M. Mizuguchi, and K. Takanashi, *Spin Accumulation in Cr Nanoparticles in Single Electron Tunneling Regime*, 11th Joint MMM-Intermag Conference, 2010 年 1 月 20 日、Washington D.C., USA

2. 高梨弘毅、菅井勇、三谷誠司、Au の室温巨大スピンホール効果 (招待講演)、2009 年秋季第 70 回応用物理学会学術講演会シンポジウム、2009 年 9 月 10 日、富山大学

3. M. Mizuguchi, and K. Takanashi, *Growth and characterization of epitaxial Co nano-dots on insulating layers*, *International Conference on Magnetism*, 2009 年 7 月 28 日、Karlsruhe, Germany

4. K. Takanashi, I. Sugai, and S. Mitani, *Influence of Fe and Pt impurities on spin Hall effect in Au*, *International Conference on Magnetism*, 2009 年 7 月 27 日、Karlsruhe, Germany

5. Takanashi, T. Seki, Y. Hasegawa, S. Mitani, S. Takahashi, H. Imamura, S. Maekawa and J. Nitta, *Giant spin Hall effect in perpendicularly spin-polarized FePt/Au systems (invited)*, *Moscow International Symposium on Magnetism*, 2008 年 6 月 21 日、Moscow, Russia

6. T. Seki, Y. Hasegawa, S. Mitani, K. Takanashi, S. Takahashi, S. Maekawa, H. Imamura, and J. Nitta, *Giant spin Hall effect in perpendicularly spin-polarized FePt/Au devices (invited)*, *Intermag 2008*, Madrid, 2008 年 5 月 7 日 Spain