

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048006

研究課題名（和文） 金属系多層膜におけるスピン流と磁気緩和の光学的検出

研究課題名（英文） Optical measurement of spin current and magnetic relaxation in metallic multilayers

研究代表者

安藤 康夫 (ANDO YASUO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60250726

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：トンネル接合, Co_2MnSi , 強磁性共鳴, ポンププローブ法, スピンダイナミクス, スピン流, スピン進入長, 磁気緩和

1. 研究計画の概要

金属系薄膜においてレーザーで励起した電子がスピン系に緩和する際に誘起するスピンのダイナミクス観測を行う。また強磁性共鳴を用いたスピン流の生成と磁気緩和に関する系統的な測定を行う。これらにより金属強磁性体におけるスピン緩和のメカニズムを明らかにすることを目指す。具体的には、

- (1) 高品位薄膜およびトンネル接合の作製
- (2) 高スピン分極率, 低磁気緩和定数ホイスラー薄膜のスピンダイナミクス
- (3) ホットエレクトロンの注入とスピン流
- (4) 強磁性共鳴と磁気緩和, を行う。

2. 研究の進捗状況

(1) 高品位薄膜およびトンネル接合の作製

Co_2MnSi (CMS)/MgO/CoFe 接合の下部界面に CoFe を挿入した CMS/CoFe(0.5)/MgO/ CoFe 接合において、室温で 350%, 2 K で 886% の磁気抵抗比を得た。また、CMS/CoFe(0.5)/MgO/CoFe(0.5)/CMS 接合において、室温で 245%, 2 K で 1275% の磁気抵抗比を得た。さらに、理論的に CMS/MgO 界面準位を消失させると期待される Co_2MnAl (CMA) を挿入したところ、トンネルコンダクタンス特性において、ゼロバイアスアノマリーが減少し、界面準位が減少したことが明らかとなった。

(2) 高スピン分極率, 低磁気緩和定数ホイスラー薄膜のスピンダイナミクス

ポンププローブ法で $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$ ホイスラー合金薄膜の緩和過程を詳細に調べた。ダンピング定数は $x=0.2-0.4$ 付近で 0.006 程度の低い値を得た。この結果は強磁性共鳴による

結果と一致した。一方、ps オーダーにおける減磁時間はいずれの試料においても 0.2 ps 程度であり、スピン分極率との関係は不明な点が残されており、更なる実験が必要である。

(3) ホットエレクトロンの注入とスピン流

本研究内容を行うためのポンププローブ系の測定系を検討した。

(4) 強磁性共鳴と磁気緩和, を行う。

強磁性体/非磁性体/強磁性体 (F1/Cu/F2) の積層構造試料において、F1 および F2 の材料を $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, Co, $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$, $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$, $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ と変化させ、種々の組み合わせで横スピン侵入長の測定をおこなった。非磁性体/強磁性体界面の状態、特にミキシングコンダクタンスの値が侵入長に影響を及ぼすことが実験的に示唆された。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

(1), (4) に関しては当初の計画どおりに材料探索およびスピン拡散長の測定が進んでいる。一方、(2) に関しては、当初の計画よりも実験が早く進み、ギルバートダンピングの定量性および減磁時間 (特に、スピン緩和時間およびスピン分極率との相関) に関しての多くの知見が得られてきている。その反面、同じ装置を用いて行う (3) のテーマに関しては、測定系の検討に留まっている。以上全体としては概ね順調に進んでいると判断される。

4. 今後の研究の推進方策

(1), (4)に関しては順調であるので計画通りに進める。(2)に関しては、昨年の実績より、当初の予定よりも多くの知見が得られる可能性があるため、(3)の研究を縮小に(2)に集中するように変更する。

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11件)

1. T. Miyajima, M. Oogane, Y. Kotaka, T. Yamazaki, M. Tsukada, Y. Kataoka, H. Naganuma, and Y. Ando, “Direct Observation of Atomic Ordering and Interface Structure in $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{Co}_2\text{MnSi}$ Magnetic Tunnel Junctions by High-Angle Annular Dark-Field Scanning Transmission Electron Microscopy”, Appl. Phys. Exp., 2, 093001-1-3 (2009), 査読有り.
2. S. Tsunegi, Y. Sakuraba, M. Oogane, Hiroshi Naganuma, K. Takanashi, and Y. Ando, “Enhancement in tunnel magnetoresistance effect by inserting CoFeB to the tunneling barrier interface in $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}/\text{CoFe}$ magnetic tunnel junctions”, Appl. Phys. Lett., 94, 252503-1-3 (2009), 査読有り.
3. Shigemi Mizukami, Daisuke Watanabe, Hiroshi Naganuma, Mikihiko Oogane, Yasuo Ando, Terunobu Miyazaki, Feng Wu, “Epitaxial $\text{Mn}_{2.5}\text{Ga}$ thin films with giant perpendicular magnetic anisotropy for spintronic devices”, Appl. Phys. Lett. 48, 122503-1-3 (2009), 査読有り.
4. S. Mizukami, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, Y. Miura, M. Shirai, and T. Miyazaki, “Low damping constant for Co_2FeAl Heusler alloy films and its correlation with density of states”, J. Appl. Phys., 105, 07D306-1-3 (2009), 査読有り.
5. Takahide Kubota, Sumito Tsunegi, Mikihiko Oogane, Shigemi Mizukami, Terunobu Miyazaki, Hiroshi Naganuma, and Yasuo Ando, “Half-metallicity and Gilbert damping constant in $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$ Heusler alloys depending on the film composition”, Appl. Phys. Lett., 94, 122504-1-3 (2009), 査読有り.

[学会発表] (計68件)

1. 安藤 康夫, Lixian Jiang, 永沼 博, 大

兼 幹彦, “ MgO 二重障壁強磁性トンネル接合における巨大磁気抵抗効果”, 春季第57回応用物理学関係連合講演会 シンポジウム “スピントロニクスデバイスの新展開”, 東海大学, 平塚, 2010年3月18日.

2. M. Oogane, J. Hamrle, B. Hillebrands, Y. Ando, “Large magneto-resistance effect and magnetic properties in Co_2 -based Heusler compounds”, JST-DFG Workshop on Nanoelectronics, Bonn, Germany, 19 Jan. 2010.
3. S. Mizukami, “Gilbert Damping Mechanisms in Half-metallic Heusler Alloys (invited)”, American Physical Society March Meeting 2010, Portland OR, USA, March 19, 2010.
4. S. Mizukami, J. Walowski, T. Kubota, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Spin dynamics for Heusler alloy films (invited)”, 4th International Workshop on Spin Currents & 2nd International Workshop on Spin caloritronics, Sendai Japan, February 10, 2010.
5. M. Oogane, T. Kubota, S. Tsunegi, J. Sato, H. Naganuma, S. Mizukami, Y. Ando, “Magnetic damping of half-metallic Heusler alloys”, International Workshop and Seminar on Magnonics: From Fundamentals to Applications 2009, Dresden, Germany, August 6, 2009. (Magnonics)

[図書] (計1件)

1. スピンポンピングと磁化ダイナミクス, 安藤康夫, スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線, 第5章 (分担執筆), シーエムシー出版 (2009), 60-74 ページ.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 二重障壁強磁性トンネル接合および磁気デバイス

発明者: 姜麗仙, 永沼博, 大兼幹彦, 安藤康夫

権利者: 姜麗仙, 永沼博, 大兼幹彦, 安藤康夫

種類: 特許

番号: 特願 2009-155359

出願年月日: 平成 21 年 6 月 30 日出願

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.apph.tohoku.ac.jp/spin/>