

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048028

研究課題名（和文） ナノ磁性体におけるスピンの流－電磁場変換

研究課題名（英文） Conversion between spin current and electromagnetic field in nano magnets

研究代表者

齊藤 英治 (SAITOH EIJI)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：80338251

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：スピンの流、スピントロニクス、ナノ磁性、スピンのホール効果

### 1. 研究計画の概要

スピンの流の物理の開拓におけるスピンの流と電磁場との基本相互作用解明の重要性は、現在のエレクトロニクスが電流と電磁場の相互作用を拠り所としていることを省みれば明らかである。本研究は、電流の物理における基本二法則－アンペールの法則・ファラデーの法則－に相当するスピンの流の基本物理を確立し、ナノ構造体中の交差相関物性の開拓を目指すものである。この目的を最も効率的に達成するため、(1)NiFe 細線における磁壁スピンの流・ファラデー効果の開拓、(2)NiFe/PtPbNb 系での純スピンの流による逆スピンのホール効果の究明、(3)スピンの流を用いたナノ系における量子交差相関物性の開拓の三つにターゲットを絞り、理論グループとの緊密な連携を図りながら、世界に先駆けたスピンの流基礎電磁物性の開拓を狙う。

### 2. 研究の進捗状況

これまでに我々のグループでは高感度なスピンの流の電氣的検出技術「逆スピンのホール効果」を用い、磁化ダイナミクスによるスピンの流生成「スピンのポンピング」を系統的に調べてきた。この結果、スピンのポンピングによる逆スピンのホール効果の外部磁場角度依存性を系統的に調べることで、磁化ダイナミクスによるスピンの流生成の現象論的モデルの妥当性を実証した (Phys. Rev. B 78, 014413 (2008).)。さらに磁化ダイナミクスによるスピンの流注入において、磁化歳差運動が歪んだ場合にスピンの流の生成効率が最大化されることを見出し、これを逆スピンのホール効果により実証した (Appl. Phys. Lett. 94, 152509 (2009).)。この結果により磁化ダイナミクスによるスピンの流生成最適化の明確な指針を与えた。またスピンの流ダイナミクスを人工的に変調し、空間的に非一様なスピンの流ダイナミク

スからのスピンの流生成の検出に成功した (Appl. Phys. Lett. 94, 262505 (2009).)。この結果は逆スピンのホール効果及びスピンのポンピングを用いることで、電氣的なスピンの流共鳴の検出が可能となることを示すものである。さらに絶縁体/金属界面でのスピンのホール効果・スピンのポンピング・スピンのトルクを用いることで絶縁体中にスピンの流を注入し、これを検出することに成功した (Nature 464, 262 (2010).)。絶縁体へのスピンの流注入は、スピントロニクス研究における物質選択の幅を格段に広げ、スピントロニクス拡充に極めて重要な役割を果たす。またこの結果はスピンのポンピングによるスピンの流生成が従来の電氣的スピンの流注入とは全く異なる物理原理に基づくことを示しており、これまで困難であった物質群へのスピンの流注入が絶縁体を用いることで可能となることを示唆するものである。

### 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. に挙げた研究計画に沿って順調に結果が得られており、おおむね研究目的を達成できている。

### 4. 今後の研究の推進方策

本年度は絶縁体・半導体・金属を含む広範囲の物質群におけるスピンのポンピングによるスピンの流注入を定量的且つ系統的に調べ上げ、現象論・電子論的視点からスピンのポンピングによるスピンの流生成の物理を構築し、スピンの流注入の基盤技術を確立する。具体的な研究計画は以下の2点である。(1) 遷移金属合金/常磁性金属接合におけるスピンのポンピングの物質依存性。(2) 強磁性金属・絶縁体/半導体接合におけるスピンのポンピングの検出。遷移金属合金では古くからスレーターポ

ーリング曲線とよばれる組成に対する電子構造の系統性が知られており、近年では第一原理バンド計算からもこの系統性が高度に理解されている。従って、電子構造とスピンポンピングの関連の調査に適した物質群であり、研究計画(1)の遂行によりスピンポンピングの電子論的議論が可能となる。さらにスピンポンピングは従来のスピン流注入現象とは全く異なる界面の条件によりスピン流注入効率が決定されるため、スピントロニクスデバイス構築の鍵となる半導体への高効率なスピン流注入を可能にする。研究計画(2)ではこれを定量的且つ体系的に評価する。金属/半導体界面でのショットキー障壁の影響も定量的に評価するため、ドーパ濃度を制御したSi及びGaAsに関して物質依存性の系統的データを収集する。強磁性体として遷移金属合金を足掛りに、既に金属との接合におけるミキシングコンダクタンスの存在を確認したモット絶縁体イットリウム鉄ガーネットをはじめとする磁性酸化物まで対象物質を広範囲且つ系統的に広げること、磁化ダイナミクスによるスピン流注入の物理を開拓し、半導体へのスピン流注入の基盤技術を確立する。

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 25 件)

1. Y. Kajiwara, K. Harii, S. Takahashi, J. Ohe, K. Uchida, M. Mizuguchi, H. Umezawa, H. Kawai, K. Ando, K. Takanashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator”, *Nature* 464 (2010) 262-266 査読あり
2. K. Ando, M. Morikawa, T. Trypiniotis, Y. Fujikawa, C.H.W. Barnes, and E. Saitoh, “Photo-induced inverse spin-Hall effect: conversion of light-polarization information into electric voltage”, *Applied Physics Letters* 96 (2010) 082502\_1-082502\_4 査読あり
3. K. Uchida, S. Takahashi, K. Harii, J. Ieda, W. Koshibae, K. Ando, S. Maekawa, E. Saitoh, “Observation of the spin-Seebeck effect”, *Nature* 455 (2008) 778-781 査読あり
4. K. Ando, S. Takahashi, K. Harii, K. Sasage, J. Ieda, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Electric manipulation of spin relaxation using spin-Hall effect”, *Physical Review Letters* 98 (2008) 036601\_1-036601\_4 査読あり

[学会発表] (計 22 件)

1. E. Saitoh, “Electric detection of magnetization dynamics through inverse spin Hall effects”, American Physical Society March Meeting 2010, 2010年3月18日, Portland (米国)
2. E. Saitoh, “Spin Hall and spin Seebeck effects”, International Workshop on Spin Currents, 2010年2月9日, 仙台
3. E. Saitoh, “Spin Hall effects and spin Seebeck effect in metallic films”, International Conference on Magnetism (ICM 2009), 2009年7月27日, Karlsruhe (ドイツ)
4. E. Saitoh, “Spin Hall Effects and spin Seebeck effect in NiFe/Pt films”, INTERMAG 2009 Conference, 2009年5月6日, Sacramento (米国)

[産業財産権]

○出願状況 (計 6 件)

1. 名称: マイクロ波発振素子及びマイクロ波発振装置  
発明者: 梶原瑛祐、齊藤英治  
権利者: 学校法人慶應義塾  
種類: 特願  
番号: 2009-094681  
出願年月日: 2009年4月9日  
国内外の別: 国内
2. 名称: 磁気センサ及び磁気記憶装置  
発明者: 中山裕康、針井一哉、齊藤英治  
権利者: 学校法人慶應義塾  
種類: 特願  
番号: 2009-073088  
出願年月日: 2009年3月25日  
国内外の別: 国内
3. 名称: 熱電変換素子  
発明者: 内田健一、梶原瑛祐、中山裕康、齊藤英治  
権利者: 学校法人慶應義塾  
種類: 特願  
番号: 2008-153781  
出願年月日: 2008年6月12日  
国内外の別: 国内
4. 名称: スピントロニクスデバイス及び情報伝達方法  
発明者: 梶原瑛祐、内田健一、安藤和也、齊藤英治  
権利者: 学校法人慶應義塾  
種類: 特願  
番号: 2008-148556  
出願年月日: 2008年6月5日  
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]