

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870300

研究課題名(和文)反強磁性体に於けるスピン流と磁化の相互作用の解明

研究課題名(英文) Investigation of interactions between spin current and antiferromagnets

研究代表者

森山 貴広 (Moriyama, Takahiro)

京都大学・化学研究所・准教授

研究者番号：50643326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：反強磁性体とは、隣り合う局在スピンが反対方向を向いて整列しているため、全体として自発磁化を持たない物質である。理論的には、スピン流と反強磁性体磁化との相互作用(スピントルク効果)により磁化の制御が可能であることが示されており、実験的評価が期待されている。本研究を通して、反強磁性体に作用するスピントルク効果の定量評価方法を確立し、これを用いて、反強磁性体においてスピントルク効果が発現すること、磁化方向に対応して異方性磁気抵抗効果が発現することを実験的に見出した。これらの成果により、反強磁性体におけるスピン相互作用の理解が深まり、反強磁性体がスピントロニクスにおいて新たな機能材料たることを示した。

研究成果の概要(英文)：Majority of the spintronic researches has so far been dealing with ferromagnetism and much less attention has been paid to antiferromagnets. Although it has no net magnetization, its microscopic magnetic moments can in principle exhibit a similar spintronic effect as seen in ferromagnets. This proposal was particularly aiming at experimentally demonstrating the spin torque effect on antiferromagnets and showing that antiferromagnets can indeed be functional materials for spintronic devices. Throughout the research period, we established the quantitative measurement technique for characterizing the spin torque acting on antiferromagnets. By using this technique, we confirmed that the spin torque effect was indeed valid in antiferromagnet. We also found the magnetoresistance in antiferromagnets associated with the direction of the magnetic moments. These results pave a pathway to "antiferromagnetic spintronics".

研究分野：スピントロニクス

キーワード：反強磁性体 スピントルク

1. 研究開始当初の背景

磁化のダイナミクスとスピン伝導はスピン軌道相互作用とスピン角運動量保存法則を通して密接に関係しており、伝導スピン流により磁化を制御できることが知られている(スピントルク効果)。巨大磁気抵抗効果素子や強磁性トンネル接合素子において、磁化固定層によりスピン分極された電子がスピントルク効果によりフリー層の磁化の反転あるいはマイクロ波域のダイナミクスを誘起することが既に実験的に報告されている(Cornell Univ., *Science*, 285 (1999) 867)。申請者もスピントロニクス素子においてスピントルク効果を効率的に発現させるための研究を、デバイス物理や磁性材料開発を主点において、精力的に行ってきた(申請者ら、*Appl. Phys. Lett.*, 97, 72513 (2010) and *Appl. Phys. Lett.*, 94, 122508 (2009))。スピントルク効果は電流密度に比例するため、磁化反転に必要なエネルギーは素子サイズに対してスケールリング効果をもつため、近年、磁気ランダムアクセスメモリ等のスピントロニクス素子への応用において特に注目を集めている(申請者ら、*Appl. Phys. Exp.*, 5, 93008 (2012))。全体として自発磁化は持たないが、原子スケールで磁気異方性を持った局在スピン(磁化)を有する反強磁性体においても同様のスピントルク効果が期待できることが理論的に示されており、従来の外部磁界による方法では困難である反強磁性体の磁化の制御が期待できる。しかしながら、理論的研究に比べて実験的研究が乏しく、スピン流と反強磁性体磁化の相互作用の物理的理解を進める上で実験的評価が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、スピン流による反強磁性体の磁化方向の制御、磁化ダイナミクスの励起、さらには磁化ダイナミクスを利用したスピン起電力の発生および測定を目指す。本研究により、スピン流と反強磁性体磁化の相互作用の物理的理解を深め、スピントロニクスにおいて反強磁性体が新たな機能材料となりうることを実証する。本研究において、スピン流と反強磁性体磁化の相互作用の理解を進めることで、反強磁性体が新奇な機能(外部磁気擾乱に対する耐性や超高周波数ダイナミクスの励起等)を付与できる新たな主材料となりうることを明らかにできる。

3. 研究の方法

本研究では、(A)スピントルク効果によ

る反強磁性体の磁化の制御(B)反強磁性体の磁化のダイナミクスの検出の2つの研究を実施した。計画の前半ではスピンホール効果を用いたスピン注入デバイスの設計・作製、およびスピントルク強磁性共鳴法によるスピントルク効果の定量的評価を行った。申請者らが開発したスピンホール効果を利用したスピントルク強磁性共鳴法(ST-FMR)は(申請者ら、*Phys. Rev. Lett.*, 106, 36601 (2011))、スピン流を強磁性体に注入しながら有効ダンピング定数を測定することで、スピン流と磁化の相互作用を定量化することが可能である。一般的に、磁気モーメントをもつ物質において、その系の角運動量(スピン流と磁化の角運動量)のやり取りは、その物質の有効ダンピング定数を測定することで定量化することができる。

中盤以降はスピン流との相互作用による磁化の振る舞いの観測に注力した。それぞれの項目から得られる結果を踏まえ物理的な理解を深め、もう一方の項目にフィードバックさせながら研究を進めた。

4. 研究成果

平成26年度にスピンホール効果を用いた反強磁性体へのスピン注入方法、さらにスピントルク強磁性共鳴法を用いて反強磁性体に作用するスピントルク効果の定量評価方法を確立した。

平成27年度は、これらの測定方法をさらに応用し、スピントルク効果により励起された反強磁性体磁化ダイナミクスが反強磁性体中にスピン流を搬送することを見出した。磁化ダイナミクスがスピン流の伝搬(角運動量の伝搬)を担うことにより、これまで考えられてきた反強磁性体におけるスピン緩和長よりも数十倍長い距離をスピン流が伝搬可能であることを見出した。本結果を、国内外の学会にて(招待講演含む)発表し、国際誌への論文発表を行った(項目5論文[1,2])。

また、反強磁性体(FeRh合金)において反強磁性体の磁化方向に対応して異方性磁気抵抗効果が発現することを実験的に見出した。

本結果は、これまでその磁化方向の簡便な測定方法が十分確立していなかった反強磁性体において、電氣的測定による磁化方向の同定が可能であることを示した重要な結果である。本結果は、国内外の学会にて発表し、国際誌への論文発表を行った(項目5論文[3])。

平成28年度は、当初の研究計画からさらに発展させ、反強磁性体メモリデバイスの動作原理の実証を行った。

これらの成果により、反強磁性体にお

けるスピン相互作用の理解が深まり、さらには反強磁性体がスピントロニクスデバイスにおいて新たな機能材料となることを示した。

5 . 主な発表論文等

[1] T. Moriyama, S. Takei, M. Nagata, Y. Yoshimura, N. Matsuzaki, T. Terashima, Y. Tserkovnyak, and T. Ono, "Anti-damping spin transfer torque through epitaxial nickel oxide", Appl. Phys. Lett. 106, 162406 (2015).

[2] S. Takei, T. Moriyama, T. Ono, Y. Tserkovnyak, "Antiferromagnet-mediated spin transfer between metal and ferromagnet", Phys. Rev. B 92, 020409R (2015).

[3] T. Moriyama, N. Matsuzaki, K.-J. Kim, I. Suzuki, T. Taniyama, and T. Ono, "Sequential write-read operations in FeRh antiferromagnetic memory", Appl. Phys. Lett. 107, 122403 (2015).

〔雑誌論文〕(計 9 件)すべて査読有

K. Tanaka, T. Moriyama, M. Nagata, T. Seki, K. Takahashi, S. Takahashi, and T. Ono, "Linewidth broadening of optical precession mode in synthetic antiferromagnet", Appl. Phys. Exp. 7, 063010 (2014).

M. Nagata, K. Tanabe, T. Moriyama, D. Chiba, J. Ohe, M. Myoka, T. Niizeki, H. Yanagihara, E. Kita, and T. Ono, "Ferromagnetic Resonance in Magnetite Thin Films", IEEE Trans. Magn. 50, 1400203 (2014).

T. Moriyama, N. Matsuzaki, K.-J. Kim, I. Suzuki, T. Taniyama, and T. Ono, "Sequential write-read operations in FeRh antiferromagnetic memory", Appl. Phys. Lett. 107, 122403 (2015).

M. Nagata, T. Moriyama, et al.(以下 9 名), "Spin motive force induced in Fe₃O₄ thin films with negative spin polarization", Appl. Phys. Exp. 8, 123001 (2015).

S. Takei, T. Moriyama, T. Ono, Y. Tserkovnyak, "Antiferromagnet-mediated spin transfer between metal and ferromagnet", Phys. Rev. B 92, 020409R (2015).

N. Matsuzaki, T. Moriyama, M. Nagata, K.-J. Kim, I. Suzuki, T. Taniyama, T. Ono,

"Current induced antiferro-ferromagnetic transition in FeRh nanowires", Jpn. J. of Appl. Phys. 54, 073002 (2015).

T. Moriyama, S. Takei, M. Nagata, Y. Yoshimura, N. Matsuzaki, T. Terashima, Y. Tserkovnyak, and T. Ono, "Anti-damping spin transfer torque through epitaxial nickel oxide", Appl. Phys. Lett. 106, 162406 (2015).

T. Moriyama, S. Yoon, and R.D. McMichael, "Ferromagnetic resonance measurement using stroboscopic magneto-optical Kerr effect", J. of Appl. Phys. 117, 213908 (2015).
22.

K. Oda, T. Moriyama, M. Kawaguchi, M. Kamiya, K. Tanaka, K.-J. Kim, and T. Ono, "Exchange bias controlled by electric current: Interplay of Joule heating and the induced field", Jpn. J. of Appl. Phys. 55, 070304 (2016).

〔学会発表〕(計 13 件)

T. Moriyama, "Spin torque ferromagnetic resonance measurements in antiferromagnetic multilayers", Condensed matter physics seminar at University of Delaware, Delaware, USA, November 5, 2014

T. Moriyama, "Spin torque ferromagnetic resonance measurements in antiferromagnetic multilayers", *Electron physics seminar at NIST*, Gaithersburg, USA, September 5, 2014

T. Moriyama, "Anti-damping spin transfer torque through antiferromagnet", 32nd Reimei Workshop on Frontiers of Condensed Matter Physics, Sendai, Japan, November 17, 2016

T. Moriyama, "Spin torque ferromagnetic resonance measurements in antiferromagnetic multilayers", New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015), Kashiwa, Japan, June 10, 2016

T. Moriyama, "Antiferromagnetic spintronics and recent results", International workshop on Nano-Spin Conversion Science and Quantum Spin Dynamics, Tsukuba, Japan, Septemeber 27, 2016

T. Moriyama, "Spin transfer in

antiferromagnet", SPIE. Optics+Photonics
Nanoscience+Engineering, San Diego, USA,
August 28, 2016

森山貴広, "スピントルク強磁性共鳴を
用いた反強磁性体へのスピン注入の研究",
日本磁気学会スピントロニクス
専門会, 金属材料研究所, 2015年1月28
日

森山貴広, "反強磁性スピントロニクス
とデバイスへの展開", 日本磁気学会第
209回研究会, 中央大学, 2016年10月21
日

その他 5件

〔図書〕(計 0 件)
該当なし

〔産業財産権〕
該当なし

〔その他〕

解説記事：

森山貴広, 小野輝男, "反強磁性体への
スピン注入およびスピントルク効果",
新学術領域研究ナノスピン変換科学「ニ
ュースレター」 1, 14 (2015)

森山貴広, 小野輝男, "反強磁性体スピ
ントロニクスとデバイスへの展望", 日
本磁気学会誌「まぐね」 11, 143 (2016).

V. Baltz, A. Manchon, M. Tsoi, T.
Moriyama, T. Ono, Y. Tserkovnyak,
"Antiferromagnetism: the next flagship
magnetic order for spintronics ?",
arXiv:1606.04284 (2016).

6 . 研究組織

(1)研究代表者

森山 貴広 (MORIYAMA, Takahiro)
京都大学・化学研究所・准教授
研究者番号： 5 0 6 4 3 3 2 6

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

該当なし