

研究種目：若手研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19671002

研究課題名（和文） 電流誘起スピンダイナミクスとスピン能動素子への展開

研究課題名（英文）Current-induced spin dynamics and its application to spintronic devices

研究代表者

小野 輝男（ONO TERUO）

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：90296749

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノマイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：ナノ構造物性・スピントロニクス

1. 研究計画の概要

私たちは、強磁性体中のナノスピン構造である磁壁や磁気コアを電流によって励起することが可能であることを示してきました。本研究では、これらの電流誘起スピンダイナミクスの物理を明らかにするとともに、電流によるスピンの動的制御を利用したスピントロニクス素子創製を目指します。

2. 研究の進捗状況

(1) 磁気渦トランジスタ (Appl. Phys. Express 1 (2008) 091302)

磁気円盤中の磁気コアを交流電流で励起すると磁気コアが回転運動を行い、磁気円盤の中心の磁化方向が回転する。この磁化の回転運動をトンネル磁気抵抗素子によって検出することで動作する3端子素子を作製し基本動作を確認した。磁気渦の共鳴周波数において電圧を増幅するトランジスタとして働くことを示した。この素子は新しいタイプのスピントランジスタといえる。

(2) 磁壁発振器 (Appl. Phys. Express 1 (2008) 061301)

電流によって磁壁が移動することが知られているが、磁壁を強制的に止めて電流を流すシミュレーションを行ったところ、磁壁が移動する場合に比べて桁違いに速い回転運動（電流密度 10^{11}A/m^2 で 10GHz 程度の周波数）を誘起できることがわかった。この磁壁の回転運動をトンネル磁気抵抗素子によって検出することで動作するマイクロ波発振器を提案した。この素子は、(1) 外部磁場印加不要で周波数を電流密度で制御できる (2) 3端子化されているため出力がトンネル磁気抵抗素子の印加電圧で制御できる (3) ナノ

細線素子であるため微少電流で動作可能などのこれまでの発振器にない特徴を持つ。

(3) 電流によるスピン波の制御 (Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 147202)

電流との相互作用によってスピン波の速度・振幅を制御できることを示した。電子の流れとスピン波の進行方向が平行（反平行）な場合は、スピン波の速度が増大（減少）し振幅が増大（減少）することがわかった。さらに重要な点は、速度変化は電流のスピン分極率に依存し、振幅変化はベータ項に依存することを明らかにしたことである。すなわち、電流印加下のスピン波の速度・振幅測定から、スピントロニクスで重要な材料定数であるスピン分極率とベータ項の大きさを定量的に評価することが可能であることを示した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

本研究では、電流誘起スピンダイナミクスの物理を明らかにするとともに、電流によるスピンの動的制御を利用したスピントロニクス素子創製を目指している。研究は進捗状況に記したように順調に進んでいる。

(3) 電流によるスピン波の制御の研究は、磁壁・磁気渦以外の非一様磁気構造と考えられるスピン波と電流の相互作用を検討する過程で生まれた当初提案になかった課題であるが、理論のみならず実験的検証も進んでいる。スピン波による情報伝達や演算への展開も考えられ、当初目標を超える研究成果と位置づけられる。

4. 今後の研究の推進方策

これまで研究で得られた知見と技術を基

に、電流誘起スピンドYNAMIKSの物理を明らかにし、磁壁や磁気渦の電流誘起スピンドYNAMIKSを利用したスピン能動素子を作製し基本動作を確認する。

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 8 件)

- (1) Kunihiro Nakano, Daichi Chiba, Koji Sekiguchi, Shinya Kasai, Norikazu Ohshima, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, “Electrical detection of vortex core polarity in ferromagnetic disk”, Appl. Phys. Express 3, 053001 (2010).
- (2) Soo-Man Seo, Kyung-Jin Lee, Hyunsoo Yang, and Teruo Ono, “Current-Induced Control of Spin-Wave Attenuation”, Phys. Rev. Lett. 102, 147202 (2009).
- (3) Shinya Kasai, Peter Fischer, Mi-Young Im, Keisuke Yamada, Yoshinobu Nakatani, Kensuke Kobayashi, Hiroshi Kohno, and Teruo Ono, “Probing the Spin Polarization of Current by Soft X-Ray Imaging of Current-Induced Magnetic Vortex Dynamics”, Phys. Rev. Lett. 101, 237203 (2008).
- (4) Hironobu Tanigawa, Tomohiro Koyama, Maciej Bartkowiak, Shinya Kasai, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Yoshinobu Nakatani, “Dynamical Pinning of a Domain Wall in a Magnetic Nanowire Induced by Walker Breakdown”, Phys. Rev. Lett. 101, (2008) 207203.
- (5) A. Himeno, K. Kondo, H. Tanigawa, S. Kasai, and T. Ono, “Domain wall ratchet effect in a magnetic wire with asymmetric notches”, J. Appl. Phys. 103, 07E703 (2008).
- (6) T. Ono and Y. Nakatani, “Magnetic Domain Wall Oscillator”, Appl. Phys. Express 1 (2008) 061301.
- (7) Shinya Kasai, Kunihiro Nakano, Kouta Kondou, Norikazu Ohshima, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, “Three-Terminal Device Based on the Current-Induced Magnetic Vortex Dynamics with the Magnetic Tunnel Junction”, Appl. Phys. Express 1 (2008) 091302.
- (8) Keisuke Yamada, Shinya Kasai, Yoshinobu Nakatani, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, “Switching magnetic vortex core by a single nanosecond current pulse”, Appl. Phys. Lett. 93, (2008) 152502.

[学会発表] (計 9 件)

- (1) Teruo Ono, “Modification of Spin Wave Propagation by Current Injection”, American Physical Society March Meeting, March 17, 2010, Portland, USA
- (2) Teruo Ono, “Excitation of nano-spin-structure by electric current”, International Conference on Nanospintronics Design and Realization, May 21-25, 2007, Dresden, Germany
- (3) Teruo Ono, “Current-induced Domain Wall Motion in Perpendicularly Magnetized Co/Ni Wires”, 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, June 23, 2009, Berlin, Germany
- (4) Teruo Ono, “Current-induced vortex core motion in magnetic disk”, Moscow International Symposium on Magnetism, June 20-25, 2008, Moscow, Russia
- (5) Teruo Ono, “Current-induced magnetization dynamics in nanomagnet”, The 5th International Workshop on Surface, Interface, and Thin Film Physics, June 17-19, 2008, Shanghai, China
- (6) Teruo Ono, “Current-induced spin dynamics in nanomagnet”, Joint EUROCORES FONE “SpiCo-SPINCURRENT-Spintra” Workshop, Quantum Transport, Magnetic Nanodevices and Spintronics, December 11, 2007, Napoli, Italy
- (7) Teruo Ono, “Switching a vortex core in a ferromagnetic disk by electric current”, Material Research Society Fall Meeting, November 26, 2007, Boston, USA
- (8) Teruo Ono, “Switching a vortex core in a ferromagnetic disk by electric current”, 4th Asian Forum on Magnetism, July 29 - August 1, 2007, Douliou, Taiwan
- (9) Teruo Ono, “Electrical Manipulation of Magnetization in Nanomagnet”, The 5th International Conference on Advanced Materials and Devices, December 14, 2007, Jeju, Korea

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)