

電流誘起スピンドイナミクスとスピン能動素子への展開
Current-induced spin dynamics and its application
to spintronic devices

小野 輝男 (ONO TERUO)
京都大学・化学研究所・教授



研究の概要

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ド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エレクトロニクス素子創製を目指します。

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

1. 研究開始当初の背景

磁壁の電流駆動 (Phys. Rev. Lett., 92 (2004) 077205)、電流による磁気コアの共鳴励起 (Phys. Rev. Lett., 97 (2006) 107204)、磁気コア反転 (Nat. Mater., 6 (2007) 269) などの研究から、磁壁や磁気コアのようなナノスピン構造をもつ強磁性体に電流を流すだけで、固有のスピンドイナミクスを誘起することが可能であることが明らかとなっていた。

2. 研究の目的

本研究では、以下について明らかにすることを目標とする。

- (1) 磁気コアの電流誘起共鳴現象を定量的に研究することで電流誘起スピンドイナミクスの物理を明らかにする。
- (2) これらの電流誘起スピンドイナミクスの知見に基づき、磁壁や磁気渦の電流誘起スピンドイナミクス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。

3. 研究の方法

微細加工によって提案するデバイスを作製し、その動作実証を行う。

4. これまでの成果

ナノ秒電流パルスによる磁気コア反転 (Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 152502)
交流電流励起によって磁気コアの向きを反転することに成功していた (Nature

Materials, 6 (2007) 269) が、反転に数十ナノ秒の時間がかかる、磁気コアの向きの制御性が悪いなどの問題があった。今回、ナノ秒の電流パルスを印加するだけで磁気コアの向きを反転することが可能であることを示した。短時間で完全に磁気コアの向きを制御することが可能であり、磁気コアメモリーの書き込み手法の確立に相当する。

電流誘起磁気コア共鳴運動の実時間実空間観察 (Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 237203)
磁気円二色性を利用した X 線顕微鏡を用いることで、電流誘起磁気コア共鳴運動の様子を実時間実空間観察することに成功した。シミュレーションの予測通り、磁気コアは磁気円盤中で円運動をしていることが観察された。実験結果を解析することで、電流のスピンドイナミクス分極率を求めることに成功した。本手法は多くの強磁性材料に適用可能であり、スピントロニクスで重要な材料定数である電流のスピンドイナミクス分極率の測定法を確立したといえる。

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。

磁気コアメモリー (Appl. Phys. Express, 印刷中)

磁気渦トランジスタ構造は、磁気コアメモリーとしても動作することを示した。出力振幅の大きさを磁気コアの向き (ビット情報) を読み出すことが可能であることを見出した。今後、入力によって磁気コアの向きを制御し

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このこれまでの発振器にない特徴を持つ。

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。

5. 今後の計画

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。

6. これまでの発表論文等

論文発表

(1)“Electrical Detection of Vortex Core Polarity in Ferromagnetic Disk”, K. Nakano, D. Chiba, K. Sekiguchi, S. Kasai, N. Ohshima, K. Kobayashi, and T. Ono, Appl. Phys. Express, in press.

(2)“Shape and thickness effects on the

magnetization reversal of Py/Cu/Co nanostructures”, V. Bonanni, D. Bisero, P. Vavassori, G. Gubbiotti, M. Madami, A. O. Adeyeye, S. Goolaup, N. Singh, T. Ono, C. Spezzani, J. Magn. Magn. Mater. 21(2009)3038.

(3)“Current-Induced Control of Spin-Wave Attenuation”, Soo-Man Seo, Kyung-Jin Lee, Hyunsoo Yang, and Teruo Ono, Phys. Rev. Lett. 102, (2009) 147202.

(4)“Probing the Spin Polarization of Current by Soft X-Ray Imaging of Current-Induced Magnetic Vortex Dynamics”, S. Kasai, P. Fischer, M-Y. Im, K. Yamada, Y. Nakatani, K. Kobayashi, H. Kohno, and T. Ono, Phys. Rev. Lett. 101, (2008) 237203.

(5)“Dynamical Pinning of a Domain Wall in a Magnetic Nanowire Induced by Walker Breakdown”, H. Tanigawa, T. Koyama, M. Bartkowiak, S. Kasai, K. Kobayashi, T. Ono, Y. Nakatani, Phys. Rev. Lett. 101, (2008) 207203.

(6)“Switching magnetic vortex core by a single nanosecond current pulse”, K. Yamada, S. Kasai, Y. Nakatani, K. Kobayashi, and T. Ono, Appl. Phys. Lett. 93, (2008) 152502.

(7)“Three-Terminal Device Based on the Current-Induced Magnetic Vortex Dynamics with the Magnetic Tunnel Junction”, S. Kasai, K. Nakano, K. Kondou, N. Ohshima, K. Kobayashi, and T. Ono, Appl. Phys. Express 1 (2008) 091302.

(8)“Single Shot Detection of the Magnetic Domain Wall Motion by Using Tunnel Magnetoresistance Effect”, K. Kondou, N. Ohshima, S. Kasai, Y. Nakatani, and T. Ono, Appl. Phys. Express 1 (2008) 061302.

(9)“Magnetic Domain Wall Oscillator”, T. Ono and Y. Nakatani, Appl. Phys. Express 1 (2008) 061301.

受賞

平成 19 年・市村学術貢献賞

平成 19 年・日本応用磁気学会論文賞

平成 19 年・日本応用磁気学会優秀研究賞

平成 20 年・船井情報科学振興賞

平成 20 年・サー・マーティン・ウッド賞

平成 20 年・日本 IBM 科学賞

平成 21 年・大阪科学賞

ホームページ等

<http://ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp/indexj.html>