

スピン流によるナノ磁気構造励起

京大化研・小野 輝男

1. 磁壁の電流駆動 (1)-(3)

これまで、磁石の磁化の向きは電流によって作られる磁場で制御されてきた。例えば、コンピュータで使われるハードディスクドライブは磁化方向で情報を蓄えているが、ここでの情報の書き込みも磁場で行われている。これに対し、ここ数年、磁場ではなく磁石を流れる電流によって磁化状態を制御しようという機運が高まってきた。電流によって直接磁化状態を制御することが可能となれば、磁場を作り出すための導線は不要となり、より単純なデバイス構造が可能となるという大きなメリットがある。

我々は、磁石のN極（あるいはS極）同士が向き合った境目である磁壁を、電流によって動かす研究を行った。この現象は、電流を運ぶ伝導電子のスピン角運動量が磁化を担う磁気モーメントへと受け渡されるスピントランスファー効果に基づいている。図1はスピントランスファー効果による磁壁の電流駆動の説明図である。図1aのピンク色の部分が磁壁（magnetic domain wall, DW）である。赤い矢印で示される磁気モーメントは磁壁中で徐々に回転し、磁壁の左右で逆向きになっている。電流を右から左に流すと、伝導電子が左から右に磁壁を横切って進む。このとき、青い矢印で示される伝導電子のスピンは、磁気モーメントに沿って回転し、スピン方向が変化する（図1b）。これは、伝導電子の角運動量の変化を意味しているが、角運動量保存則により、変化した角運動量は磁気モーメントへと移動するはずである。その結果、図1cのように磁壁中の磁気モーメントが回転し、磁壁が移動することになる。

図1

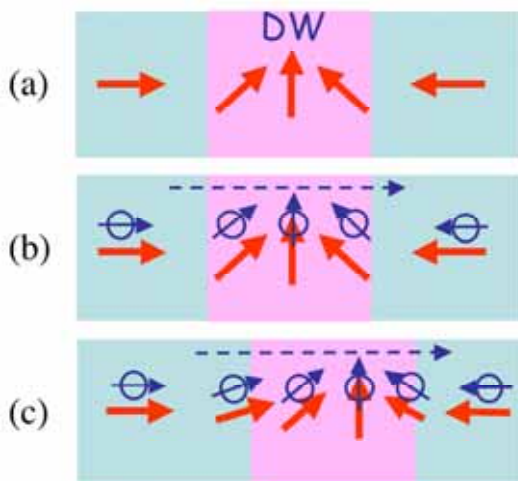
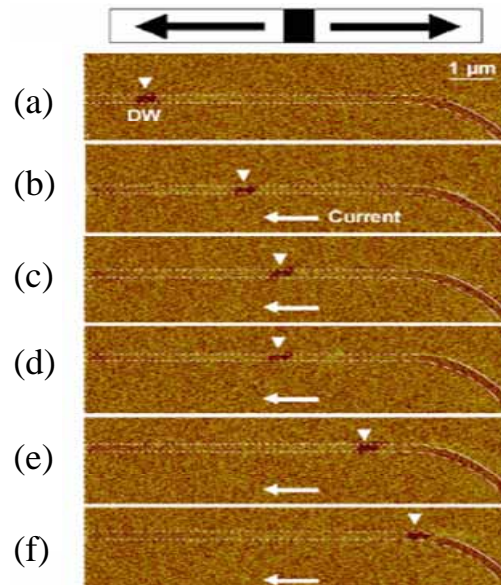


図2



我々は、強磁性細線内に閉じ込めた磁壁を磁気力顕微鏡（MFM）で観察することによって、この効果を初めて定量的に制御する事に成功した。図2aに用いた強磁性細線（幅240 nm、厚さ10 nmのパーマロイ細線）のMFM像を示す。白い破線で囲

まれた細い領域が細線であり、三角形の矢印で示した濃い色の領域が磁壁である。電流をパルス状に右から左へと流すことによって、図 2 b ~ 図 2 f に示すように磁壁が左から右へと移動していく様子が観察された。

この現象の原理は伝導電子と磁気モーメントの相互作用であるスピントランスファー効果に基づいているため、ナノ磁気デバイスの駆動に適しており、将来性が高い。例えば、これまでとは異なる原理で動作する磁気メモリ (MRAM) や磁気ストレージ、磁壁移動を利用した論理演算素子などへの応用が期待される。

2. 磁気ラチェット (4)-(5)

磁壁の電流駆動現象を用いれば、様々な形状の強磁性細線中の磁壁を自在に制御することが可能になると予想される。例えば、電流を印加する事によって磁壁を一方向へと片送りする磁気ラチェットが実現できるはずである。

図 3 a に我々が作製した磁気ラチェット構造の模式図を示す。この図は、非対称なノッチ型の形状を持つサブマイクロメートル幅の強磁性細線に

一つの磁壁が閉じ込められている状態を表している。この非対称ノッチ形状は、磁壁にとって非対称な閉じ込めポテンシャルとして働き、傾きが緩やかな方向に磁壁が動きやすいことが期待される。図 3 b のグラフの赤と青の点は、それぞれ右方向と左方向への磁壁電流駆動に必要な電流密度の磁場依存性を示している。予想通り、磁壁が左方向に動きやすくなっていることが見て取れる。このラチェット効果によって、強磁性細線中の磁壁を狙い通りの位置にピン止めし、かつ電流によって一方向へと動かすことが可能になる。

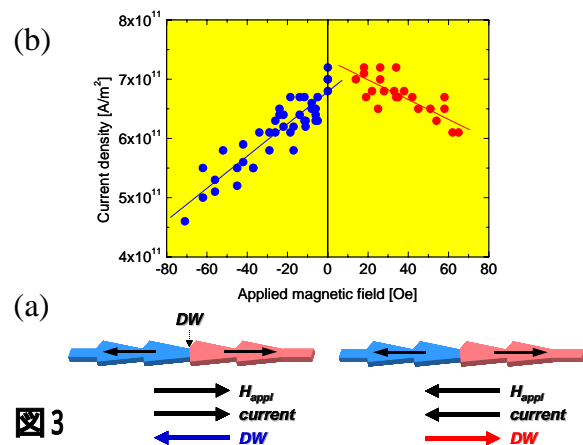


図 3

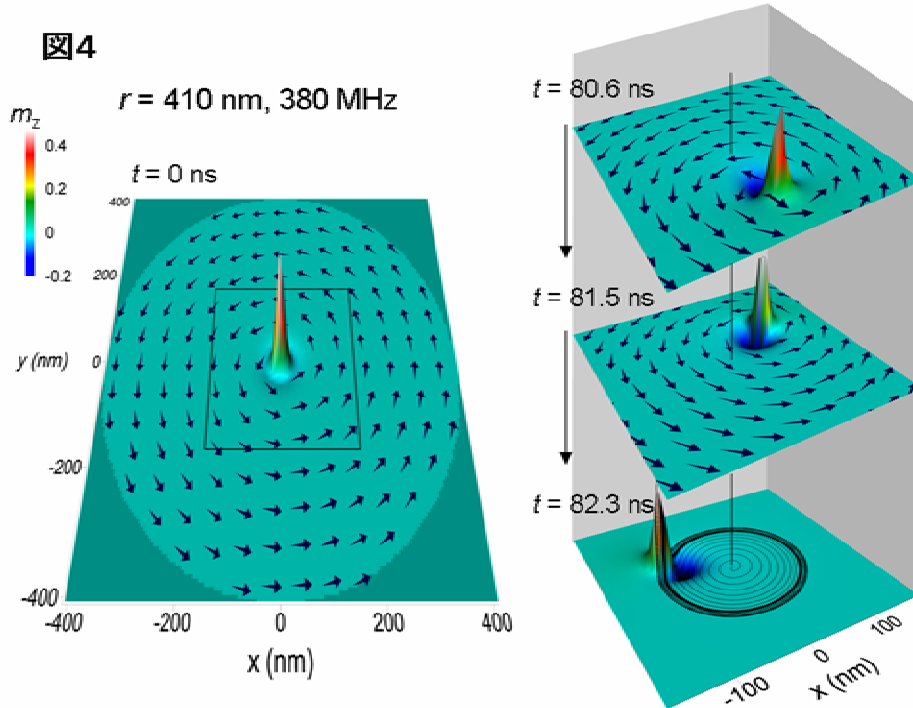
3. 磁気渦の共鳴励起 (6)-(7)

これまで主に磁壁の電流制御に注目してきたが、その背景にあるスピントランスファー効果は非常に一般的なものであるため、磁壁以外の様々なスピン構造も電流で制御できると予想される。我々は、磁壁と並んで典型的なスピン構造である磁気渦構造を電流で制御することを試みた。

直径が数マイクロメートル程度の強磁性ナノドットでは、磁気モーメントが面内で渦を巻いたような構造をとり、ナノドットの中心で磁化が面直に噴き出すような構造をとる。図 4 左に典型的な例を示す。これが磁気渦構造と呼ばれるものであり、この渦状態に適切な周波数を持つ交流電流を印加すると、スピントランスファー効果によって渦がドットの中で回り始める。図 4 右にシミュレーションの結果を示す。我々は、ナノドットの電気抵抗の測定を行うことで、この磁気渦の共鳴励起現象を捉える事に

成功した。

磁壁とは異なるスピン構造である磁気渦の電流制御の成功により、スピントランスファ効果による広範なスピン構造制御への道が開けてきたと言える。磁性細線の細かな試料形状の影響を受けやすい磁壁とは違い、磁気渦はナノドットの中心にある安定した構造であるため、定量性・再現性に優れており、スピントランスファ効果を定量的に研究するためのモデル系となると期待される。



参考文献

- (1) A. Yamaguchi, T. Ono, S. Nasu, K. Miyake, K. Mibu, T. Shinjo, “Real-space observation of current-driven domain wall motion in submicron magnetic wires”, *Phys. Rev. Lett.*, **92** (2004) 077205.
- (2) A. Yamaguchi, S. Nasu, H. Tanigawa, T. Ono, K. Miyake, K. Mibu, and T. Shinjo, “Effect of Joule heating in current-driven domain wall motion”, *Appl. Phys. Lett.* **86**, (2005) 012511.
- (3) A. Yamaguchi, K. Yano, H. Tanigawa, S. Kasai, T. Ono, “Reduction of threshold current density for current-driven domain wall motion using shape control”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45** (2006) 3850-3853.
- (4) A. Himeno, T. Okuno, S. Kasai, T. Ono, S. Nasu, K. Mibu, T. Shinjo, “Propagation of a magnetic domain wall in magnetic wires with asymmetric notches”, *J. Appl. Phys.*, **97** (2005) 066101.
- (5) A. Himeno, S. Kasai, and T. Ono, “Current-driven domain wall motion in magnetic wires with asymmetric notches”, *Appl. Phys. Lett.* **87**, (2005) 243108.
- (6) T. Shinjo, T. Okuno, R. Hassdorf, K. Shigeto, T. Ono, “Magnetic Vortex Core Observation in Circular Dots of Permalloy”, *Science*, **289** (2000) 930-932.
- (7) S. Kasai, Y. Nakatani, K. Kobayashi, H. Kohno, T. Ono, “Current-driven resonant excitation of magnetic vortex”, *Phys. Rev. Lett.* **97**, (2006) 107204.