



Title	Current-driven domain wall motion in magnetic nanowires
Author(s)	山口, 明啓
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45914">https://hdl.handle.net/11094/45914</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 やま ぐち あき のぶ  
山 口 明 啓

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 19556 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 17 年 3 月 25 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 1 項該当

基礎工学研究科物理系専攻

学 位 論 文 名 Current-driven domain wall motion in magnetic nanowires  
(ナノ磁性細線における電流誘起磁壁移動)

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 那 須 三 郎

(副査)

教 授 菅 滋 正 教 授 鈴木 義 茂 助教授 河野 浩  
京都大学化学研究所教授 小野 輝男

## 論 文 内 容 の 要 旨

電流誘起磁壁駆動は、外部磁場を印加することなく磁気構造を変えることができるため、磁気メモリなどの書き込み技術等への応用上の点から注目されていた。しかし、その物理的機構については、強磁性体中の s-d 相互作用に起因しているだろうということしか分かっていなかった。その理由は、定量性のある実験結果が得られていなかったため理論的研究との詳細な比較・検討が行われていなかった点にある。

本研究では、微細加工技術を用いた試料形状制御によって単一磁壁をナノ磁性細線中に閉じ込めた状態を人為的に作り出し、磁気力顕微鏡を用いて電流による単一磁壁の移動を直接観察することに成功した。線幅 240 nm で厚み 10 nm の  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  細線では、磁壁の内部構造は渦構造であった。磁壁の極性に関わらず、磁壁が電流と逆方向に移動することが分かった。この結果は電流によって誘起された磁場による影響がないことを示している。磁壁の幅が伝導電子のフェルミ波長より十分大きいことからスピントランスファー効果による磁壁駆動現象であることを指摘した。無磁場状態で方形波パルス電流の電流密度ならびにパルス幅に対する磁壁移動の依存性を測定した結果、しきい電流密度  $6.1 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$  以上では移動距離がパルス幅にほぼ比例することがわかった。磁壁の平均移動速度は電流密度増大とともに増加する傾向が観測されたが、電流密度が  $7.5 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$  を越えると多磁区化してしまうことがわかった。パルス電流印加中の試料抵抗測定から、大電流によるジュール発熱があることがわかった。試料抵抗の温度依存性から、多磁区化現象が出現する電流密度における試料温度を評価した結果、キュリー温度付近まで温度上昇していることがわかった。次に線幅を 110 nm として厚みを 44 nm から 113 nm までの変えた  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  細線を作製して、しきい電流密度の厚み依存性を測定した。また、磁気抵抗効果の測定から各試料の磁化困難軸方向の飽和磁場を決定し、しきい電流密度との関係を求めた。実験結果は、しきい電流密度が磁化困難軸方向の異方性エネルギーに比例することを示した多々良・河野理論と定性的な一致を示した。

## 論文審査の結果の要旨

強磁性体は一般に静磁エネルギーを下げるために磁区構造を形成し、磁区の境界には磁気モーメントの方向が徐々に回転している領域すなわち磁壁が存在する。この磁壁の移動すなわち磁気モーメントの回転は外部からの磁場によって行うのが普通である。しかしながら、遷移金属強磁性体ではスピン偏極した  $s$  伝導電子と磁気モーメントの間に強い  $s$ - $d$  相互作用が働いているため、伝導電子が磁壁を通過する前後で伝導電子のもつスピン角運動量が変化し、角運動量保存から、伝導電子のスピン角運動量変化は磁壁内部の磁気モーメントへ移動（スピントランファー効果）し、磁壁中の磁気モーメントを回転させ磁壁が移動する。

本論文は微細加工技術を用いた試料形状制御によって単一磁壁をナノ磁性細線中に閉じ込めた状態を人為的に作り出し、磁気力顕微鏡（MFM）を用いて電流による単一磁壁の移動を無磁場下で直接観察した結果をまとめたものである。MFM 観察像では、明るいコントラストは  $N$  極からの漏れ磁場に対応し、Head-to-Head 磁壁に対応していることを明らかにし、逆に暗いコントラストは  $S$  極からの漏れ磁場に対応し、Tail-to-Tail 磁壁に対応していることを明確に示している。本研究で、Head-to-Head 型の単一磁壁が方形波パルス電流（電流密度  $7.0 \times 10^{11}$  A/m<sup>2</sup>、パルス幅  $5 \mu s$ ）の方向に対して逆方向に移動することを初めて明らかにしている。磁壁の極性を Tail-to-Tail に変えても、磁壁が電流と逆方向に移動することから、電流によって誘起された磁場による影響がないことを明らかにし、磁壁の幅が伝導電子のフェルミ波長より十分大きいことから上述したスピントランスファー効果による磁壁駆動現象であるとしている。線幅  $240$  nm で厚み  $10$  nm の  $Ni_{81}Fe_{19}$  細線では、磁壁の内部構造は渦構造であることを明らかにしている。無磁場状態で方形波パルス電流の電流密度ならびにパルス幅に対する磁壁移動の依存性を測定し、しきい電流密度以上では移動距離がパルス幅にほぼ比例することを明らかにしている。磁壁の平均移動速度は電流密度増大とともに増加する傾向を観測しているが、電流密度が限界値を越えると多磁区化してしまうことも明らかにしている。パルス電流印加中の試料抵抗測定と抵抗の温度依存性の比較から、多磁区化現象はジュール発熱でキュリー温度を越えた後、急激に冷えるために起きると解釈している。次に線幅を一定として厚みを変えた  $Ni_{81}Fe_{19}$  細線を作製して、しきい電流密度の厚み依存性を測定し、しきい電流密度は試料厚が厚くなるに従って小さくなることを明らかにしている。試料厚が厚くなると磁化困難軸方向（細線方向は磁化容易軸、磁化困難軸方向は細線方向に対して垂直な方向）の異方性エネルギー  $K_{\perp}$  が小さくなることから、伝導電子のフェルミ波長が磁壁幅に比べて十分大きなときには、しきい電流密度は  $K_{\perp}$  に比例すると指摘した最近の多々良・河野理論と定性的に一致することも初めて示している。

以上のように本論文は強磁性体中の磁壁は磁場だけではなく電流によっても駆動できることを極めて明確に示し、スピントロニクスの中核研究として大きな成果をあげ、磁性体の示す基礎物性の理解・発展にも大きく寄与しているので博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。