

学位論文の要約

題目 垂直磁気異方性を有した強磁性細線における磁壁移動現象の研究

谷口卓也

第1章 緒言

強磁性体中で磁化が同じ向きにそろった領域を磁区と呼び、磁区の境界にある磁化方向の遷移領域を磁壁と呼ぶ。磁場駆動磁壁移動現象が長年研究される中で、電流によって磁壁を駆動できることが発見され、電流駆動磁壁移動現象を利用した磁壁移動型メモリーが大容量な次世代磁気記録素子として提案された。そのため、基礎物理的にも応用的にも魅力的な研究対象として電流駆動磁壁移動現象は注目を集め、近年盛んに研究されている。

このように、磁場駆動および電流駆動による磁壁移動現象は精力的に研究されているが、面内磁気異方性を有した強磁性細線における研究が多く、垂直磁気異方性を有した強磁性細線における磁壁移動現象に関する研究は未だ不十分であった。そこで本研究では、①熱活性が主駆動力となるクリープ領域、および②電流や磁場といった外力が主駆動力となるフロー領域の2つの磁壁移動機構に焦点を当て、垂直磁気異方性を有した強磁性細線において磁場駆動および電流駆動による磁壁移動現象の調査に取り組んだ。

第2章 ナノ細線における磁壁クリープ現象

近年、強いスピン軌道相互作用を有する非磁性体と強磁性体の接合系で Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用により Néel 磁壁が安定化されることが明らかになった。加えて、同系において、非磁性層におけるスピンホール効果を利用した電流駆動磁壁移動現象が発現することが報告され注目を集めている。このときスピンホール効果が磁化に与えるトルクはスピンホールトルク(SHT)と呼ばれる。著者は修士課程で、垂直磁気異方性を有した幅が $1\ \mu\text{m}$ の Pt/Co/Ni/Co 細線を用いて、クリープ領域での SHT 駆動および磁場駆動による磁壁移動速度の分布を調査した。その結果、磁場駆動に比べ SHT 駆動による磁壁移動速度の分布の方が広がった。同結果は、細線内に点在するピニングサイトによって粗さをもった磁壁に対して、磁場が一様な駆動力を与える一方で SHT が非一様な駆動力を与え、磁壁粗さに違いが生じることを示唆した。そこで、本研究では $100\ \text{nm}\sim 3\ \mu\text{m}$ の範囲で細線幅を変化させて磁壁粗さと細線幅の相関関係の調査に取り組んだ。その結果、駆動方法を問わずに細線幅が細くなるにつれて分布は広がり、 $500\ \text{nm}$ 以下において一定の分布の広がり大きさになることがわかった。また、広い幅の細線では分布の広がりが駆動方法に依存するのに対し、細くなるにつれて等しい分布の広がりとなるように遷移することも明らかになった。本結果はクリープ領域における磁壁セグメントの存在と2種類のピニングポテンシャルを考えることで以下のように説明される。クリープ領域の磁壁移動現象は複数の磁壁セグメ

ントが独立して移動する描像で理解されるが、磁壁移動速度を決定するセグメントは特徴的な長さを持っており、細線幅の減少に伴ってセグメントの数も減少する。従って、熱活性による磁壁移動が確率的であることを考慮すると、細線幅の減少に伴って磁壁移動の試行回数が減少し磁壁移動速度の分布の広がりが大きくなる。そしてセグメント数が 1 つになる細線幅で分布の広がりは飽和する。また、SHT と磁場駆動とで磁壁粗さに違いが生じる原因は細線内部に点在する欠陥が生む磁壁粗さにあるが、細線幅の減少に伴い細線端のピンギングポテンシャルの寄与が大きくなるため、駆動方法による磁壁粗さの違いが現れなくなる。以上の結果は、細線幅に依存して”粗さ”と”移動方向”の自由度を持った 2 次元的な磁壁移動が”移動方向”の自由度のみを持った 1 次元的な磁壁移動へと遷移することを示す。

第 3 章 熱活性領域における磁壁セグメントの観測

上述した通り、クリープ領域の磁壁は多様な長さをもった複数の磁壁セグメントが独立に移動する描像で説明される。磁壁セグメントのモデルから導かれた磁壁移動速度式が実験結果をよく説明することから、これまで磁壁セグメントの存在が信じられてきた。しかし、磁壁セグメントの長さは一般的に $\leq 1 \mu\text{m}$ と非常に小さく検出が難しいことから、磁壁セグメントの存在は確認されていなかった。本研究では、雑音に対して 150 倍の大きさの異常ホール抵抗変化が得られる Pt/Co/MgO 細線において、7 Oe の磁場印加下での磁壁位置を電気的に 10^4 秒間測定した。そして磁壁移動面積の分布を調査した結果、特定の磁壁移動面積($\sim 8300, 16600 \text{ nm}^2$)にピークが現れることを見出した。ピーク位置の磁壁移動面積がデバイス形状に依存せず膜の性質で決定されることから、微小領域の磁壁移動すなわち磁壁セグメントの移動の観測に成功したことが示唆される。また、提唱されている理論によると各磁壁セグメントは長さに依存して異なるエネルギー障壁を越えて移動し、最もエネルギー障壁が大きく律速となる磁壁セグメント(長さが L_{col})が磁壁移動速度を決定する。磁壁移動速度を調査したところ $L_{\text{col}} \sim 1.1 \mu\text{m}$ となることがわかり、観測した磁壁セグメント長さ($\sim 100 \text{ nm}$)が L_{col} と大きく異なっていることが明らかになった。以上の調査により、理論による予言通りに様々な長さの磁壁セグメントがクリープ領域において存在することも実証された。

第 4 章 面直磁化膜における磁壁の過渡効果

電流駆動磁壁移動現象の機構として、SHT の他に磁性体内部を流れる自由電子のスピンが磁壁に駆動力を与えるスピントランスファートルク(STT)機構が挙げられる。STT 駆動磁壁移動の際に磁壁が慣性をもって動く過渡効果の発現がこれまで面内磁化膜で報告されてきた。そこで、本研究では面直磁化膜における STT および SHT による過渡効果をマイクロマグネティックシミュレーションと実験を用いて調査した。SHT 駆動の場合には過渡効果が現れず STT 駆動の場合には過渡効果が現れることが理論から期待されたが、実験結果は

両駆動に対して過渡効果がほとんど発現しないことを示した。細線内部に欠陥によるピンニングを導入してシミュレーションした結果が実験結果をよく再現したことから、外的ピンニングによって STT 駆動磁壁移動現象の過渡効果が抑制されることが明らかになった。

磁壁移動型メモリーへの応用を見据えた上でも、基礎物理的な面でも、熱活性による磁壁移動現象や外部駆動力による磁壁移動現象の機構解明は重要な研究課題である。以上の 3 つの研究は、未だ完全な理解に至っていない垂直磁気異方性を有した強磁性細線における磁壁移動現象に関して広い知見を与えるものである。