

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな)	こんどう こうた
氏 名	近藤 浩太
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 化学専攻
(学位論文題目)	
強磁性細線中における磁壁ダイナミクス	
論 文 調 査 委 員	(主査) 小野 輝男 教授 島川 祐一 教授 小林 研介 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理 学）	氏名	近藤 浩太
論文題目	強磁性細線中における磁壁ダイナミクス		
(論文内容の要旨)			
微細加工技術の発展によって、強磁性体をサブミクロンサイズの細線や円盤などへ加工することが可能となった。このような微小磁性体の磁化過程を理解することは、基礎物理として興味深いだけでなく、磁気ランダムアクセスメモリ(Magnetoresistive Random Access Memory: MRAM)や、その他のスピントロニクスデバイスへの応用においても重要である。強磁性細線の磁化過程では、異なる磁化方向をもつ磁区と磁区の境界領域である磁壁の移動が重要となる。磁壁を用いたスピントロニクスデバイスにおいては磁壁の移動速度がデバイスの動作速度を決定するため、その起源を知り定量的な評価を行うことは応用面においても重要である。そこで本研究では、高い感度で磁壁移動を検出するために、大きなトンネル磁気抵抗効果(TMR 効果)を利用して磁壁移動の実時間測定を行った。 磁壁移動現象は Walker らの提唱した理論モデルによって定性的に理解されてきた。この理論モデルでは磁壁の移動速度は、あるしきい磁場(Walker 磁場)で極大値をとり、直後の磁場領域で急激に減少することが示唆されている。この現象は Walker breakdown と呼ばれている。理論モデルでは、磁壁が振動しながら移動するため、速度の急降下が起こるとされている。 本研究では、まず Walker 磁場前後における磁壁移動の実時間測定を行った。その結果、Walker 磁場前後で磁壁移動の振舞いが異なることがわかった。この違いをより明確にするため、速度の急降下が観測される Walker breakdown が起こる磁場領域で、詳細な実時間測定を行った。実時間測定結果と磁壁速度を対応させることで、振動周波数の増加と磁壁速度の低下が直接関係あることを実験的に明らかにした。 さらに、磁場を増加させると磁壁速度が再び上昇するが、実験で報告されている速度は理論モデルで予測される速度よりも数桁大きな値である。本研究では細線幅を変化させたときに磁壁移動速度測定が変化することを実験的に示し、2 次元数値シミュレーションと比較することで、磁壁内部のスピン構造まで考慮した磁壁移動メカニズムの解明を行った。このようなスピン構造まで考慮した磁壁移動メカニズムの解明は、磁化反転現象の解明というだけでなく、磁壁を用いた新規の物理現象(磁壁の電流駆動現象や磁壁移動によるスピン起電力発生など)の本質的な理解につながるものである。 また本研究では、上述した磁壁移動メカニズムの解明以外に、磁壁を利用したマイクロ波デバイスの開発も試みた。磁壁は電流によるスピントルクを用いることで移動させることができる。この磁壁移動は、磁壁内部の磁化構造を回転させることで誘起される現象である。そこでノッチ構造に閉じ込めた磁壁に直流電流を流すことで、磁壁が伝搬せずにノッチ部で回転する磁壁回転素子の開発を試みた。垂直磁化膜では Bloch 磁壁と Néel 磁壁の 2 種類の磁壁構造を取りうる。磁壁が回転する際この 2 種類の磁壁が交互に現れるため、磁壁抵抗の違いから試料抵抗が周期的に振動し出力を得ることができる。実験ではまず、磁壁回転素子の開発に必要な磁壁構造の特定を目的に、磁壁抵抗のノッチ幅依存性を調べた。その結果、約 45 nm 以下では Néel 磁壁、それ以上では Bloch 磁壁が安定になることが分かった。磁壁構造の線幅依存性は、それぞれの磁壁のエネルギーを知ることになるため、磁壁回転素子の開発にとって最も重要な知見である。 本研究では、強磁性細線中における磁壁移動について TMR 効果を利用した高感度磁化測定手法を用いることで磁壁移動ダイナミクスを明らかにした。また、磁壁を用いた新規デバイスとして磁壁回転素子の開発を試みた。これらの知見によって、基礎的な磁性物理の理解と応用的発展に貢献した。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は「強磁性細線中における磁壁ダイナミクス」および「磁壁回転素子の開発」という二つの部分から構成されている。

まず、「強磁性細線中における磁壁ダイナミクス」に関しては高速磁壁移動を高感度に検出するために、トンネル磁気抵抗効果(TMR 効果)を利用した実時間磁壁移動検出装置を開発し実験を行った。これまで理論モデルで示唆された描像の実験的検討は、十分になされていなかった。そこで本研究では、速度の急降下が観測される Walker breakdown 領域での磁壁の振舞いに注目し、磁壁移動の実時間測定を行った。その結果、理論モデルで示唆された振動を伴う磁壁移動の観測に成功した。実験結果を解析することで、振動周波数が高くなるほど磁壁速度が減少していることがわかった。これらの結果は、理論モデルで示唆された描像を実証する重要な結果である。

さらに理論モデルでは説明できない高磁場領域での高速磁壁移動について調べた。実験では磁壁速度と磁壁のスピン構造の関係に着目し、線幅を系統的に変化させることで磁壁のスピン構造の変形しやすさを変化させた。磁壁の移動速度を測定した結果、線幅が太いほど移動速度が速いことがわかった。これらの結果を2次元数値シミュレーションと比較することで、高磁場領域では磁壁の内部で新たなスピン構造(磁気渦・反磁気渦)を形成するために移動速度が上昇していることがわかった。またこの新たな磁気渦・反磁気渦を形成する頻度が高くなれば、磁壁速度も上昇することを明らかにした。

以上の結果は、強磁性体の磁化反転という基礎的な物理現象における未解明であったメカニズムを解明したという意義があるだけでなく、磁壁の電流駆動現象などの新規の物理現象を理解するうえで重要な知見となっている。また、本研究で確立した TMR 効果を利用した高速かつ高感度な磁化検出法が、従来までの磁気力顕微鏡などを用いた静的磁化状態の観察では得られない知見を得るための優れた手法であることを示した。

さらに本研究では、磁壁を用いた新規デバイスの開発として、「磁壁回転素子の開発」を試みた。現在までにスピントルクオシレータなどのスピントルクを用いたマイクロ波デバイスが報告されている。この素子の特性向上に関する研究は近年、最も盛んに研究されている分野の一つである。しかし、スピントルクオシレータ素子は複雑な多層膜を用いる必要があるため、磁化ダイナミクスとスピントルクの関係性を正確に議論することができない。そこで強磁性細線中の磁壁を用いたデバイス(磁壁回転素子)に着目している。このデバイスは、スピントルクオシレータに比べ簡単な素子構造をしているため、明確にスピントルクに関する知見が得られると期待される。本研究では垂直磁気異方性を有する Co/Ni 多層膜を用いて磁壁回転素子の開発を試みた。そして磁壁回転素子の開発に必須な磁壁構造の特定には、磁壁抵抗測定を用いた。その結果、ノッチ幅が 45 nm において、Bloch 磁壁と Néel 磁壁のエネルギーがほぼ等しくなり、磁壁の回転が最も容易になることが期待されることを示した。この結果は新規デバイスが実現可能であるということを示唆する重要な実験結果である。

以上のように、本研究の成果は学術的、技術的に大きな意味を持っており、スピントロニクスの研究分野において大きく貢献したものである。したがって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行ない、その結果合格と認めた。