

氏 名	しげ とう くん じ 重 藤 訓 志
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2258 号
学位授与の日付	平 成 12 年 9 月 25 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	巨大磁気抵抗効果を利用した磁化反転検出法によるサブミクロン単一磁性細線の磁化反転現象

論文調査委員 (主 査) 教 授 新 庄 輝 也 教 授 高 野 幹 夫 教 授 西 嶋 光 昭

論 文 内 容 の 要 旨

サブミクロン以下のメソスコピック磁性体の性質の解明は、基礎と応用の両面から多大な興味をもたれている。磁性体の形状に微細加工を付加することができれば、磁性体中の磁区構造および磁化反転過程を制御することが可能になり、さらに新しい現象の発現が期待される。メソスコピックな系での磁気揺らぎは基礎物性の問題として重要であるばかりでなく、磁気記録媒体や磁気デバイスなどの実用面にも密接に関係する問題である。本研究では電子ビーム描画装置を利用したリソグラフィ技術によってサブミクロンサイズの磁性体（ここではとくに微細ワイヤ）を作製し、磁気抵抗特性を測定している。強磁性体のワイヤでは形状異方性のために磁化は線の長軸方向に平行になり、その結果磁化反転は180度磁壁の移動として進行すると予想される。

微細加工した微小な個々の試料は非常に小さいため、通常の磁気測定は応用できない。そこで、単一細線内の磁化反転現象を電気抵抗測定から観測するためにここでは巨大磁気抵抗効果を利用した。試料の構造は[磁性/非磁性/磁性]の3層からなり、保磁力が異なった磁性層によって非磁性層（ここではCu）がサンドイッチされている。外部磁場を変化させることにより、磁性層の磁化は平行あるいは反平行の配置をとる。その時電気抵抗は巨大磁気抵抗（GMR）効果の原理により大きく変化し、磁化平行では抵抗最小、反平行では最大値を示す。この原理を利用すれば電気抵抗の測定から磁性層の磁化の反転現象が精度よく観測できることになる。

測定した試料は線幅0.5 μm 、電圧端子間20 μm で[NiFe20nm/Cu10nm/NiFe5nm]の構造を持ち、磁壁の移動をトラップするための「くびれ」が端子間の3分の1の場所に設定されている。外部磁場により一旦二つの磁性層を平行に向け、次に次第に磁場を逆方向にスイープする。磁化の反転は薄い磁性層、厚い磁性層で逐次的に起こり、二つのHcの間の磁場では磁化反平行状態が作られ、抵抗は増加する。抵抗の増加または減少は急峻なカーブとして観測されるが、その過程は二段階に起り、ステップの高さは2対1であることがわかった。この結果は細線の磁化の反転が一個の磁壁の移動として起こり、その磁壁はくびれの部分で予定どおり一旦トラップされていることがわかった。

電気抵抗の変化は磁壁の移動に対応しており、その変化を時間分解能を高めて観測すれば磁壁の移動速度が算出できる。この目的のために電圧端子間の距離を2mmとした試料を作り、40n秒の時間分割能をもつデジタルオシロスコープによる時間変化測定を行なった。その結果磁壁の移動に要する時間は約11マイクロ秒で、速度は約180m/秒と求められた。この測定時間内での外部磁場変化は無視できる程度に小さく、121Oe一定とみなせる。

初期に作製した試料では電気抵抗測定端子を加えて試料全体で一様の磁性体からできており、磁性反転の核生成に関して複雑な状況となっていた。その結果反転磁場の絶対値はかなり分布を示していた。この点を改善するために研究の後半では測定端子部分に非磁性体（Cu）を用いた試料を作製した。この結果反転磁場などの値にかなりの再現性が見られ、測定値のばらつきは減少した。磁性部分の構造は[NiFe20nm/Cu20nm/Co20nm]とし、線幅は150nmまで減少させることに成功した。細線の磁化反転は結局核生成がカギとなっているが、細線の方の端に面積の広いパッド部分を付けることにより

核生成が低磁場で起こり、続いて線内を磁壁が移動する方向を規定できることが示された。このような試料について、磁化反転磁場の温度依存性を測定し、その結果の吟味を行なっている。すなわち、磁性細線の磁化反転現象を GMR 効果を利用した新しい手法によって観察し、系統的な測定結果をえたという内容が本研究の要旨である。

論文審査の結果の要旨

近年微小領域の磁性および磁性と伝導性が絡む現象の研究の重要性が認識され、微細加工した試料の研究が始まっているが、磁性体への微細加工技術の応用はまだ普及しているとはいえない。本研究は電子ビームリソグラフィーを利用して磁性体の細線を作製し、その磁化反転現象の観測を行なったものである。実験技術的に、体積の非常に小さい単一細線試料の磁性を測定することは極めて困難であるが、ここでは巨大磁気抵抗 (GMR) 効果を巧みに利用し、電気抵抗の変化から磁気的挙動を考察する手法を考案している。その結果、抵抗変化から磁壁の移動を敏感に観測することに成功し、さらに磁壁の移動速度の評価が可能であることを示している。本研究結果によれば、細線における磁化反転は一個の磁壁が移動することによって起こり、しかもその移動は超高速で等速運動とみなせることが明らかにされており、極めて有意義な結果が明瞭に示されたといえる。

線幅が細くなると磁壁のサイズも減少するが、体積の小さい磁壁の挙動には巨視的量子効果が関与するのではないかとの予測がある。本研究はそのようなメソスコピック磁性の問題に実験的に迫るひとつの新しい可能性を示したものとして評価できる。

前半の時期に作製された測定試料では全体が同一の磁氣的構造からなり、測定端子部分の影響が複雑で、再現性の乏しい結果しか得られなかった。しかし後半では細線部分のみを磁性体とし、測定端子部分是非磁性の物質 (Cu) で作製している。さらに線幅を 150nm まで減少させ、磁氣的 3 層構造の試料の作製に成功している。この結果、磁壁の生成と移動に関しての制御の度合いが大いに改善された。反転磁場の測定値はばらつきがなくなり、絶対値を求めることができるようになったため、その結果を理論と対照するなどの吟味が可能になった。細線の一端に面積の広いパッド部分を付けると磁化反転の核はパッドで生成される。このような試料の磁壁移動に必要な外部磁場を測定し、その磁場を線方向から傾けて角度依存性を測定すると、パッド部分で生じた磁壁が細線の入口でしばらくトラップされ、一定の磁場に達すると線に侵入を始めるというモデルが正しいことが示された。このように単一の磁壁の生成とその運動に関して人為的な制御にすることに成功している。これらの研究結果は微小磁性体の挙動を新しい手法によって観察したものとして国内外から注目され、高い評価を受けている。すなわち本研究結果は微細加工技術を用いて微小な磁性体を作製し、その挙動の解明に成功したという点で国際的に見ても先進的な成果である。

主論文の基礎となる論文 5 報はいずれも国際的に高く評価されているジャーナルに発表されたものである。共著論文ではあるが、いずれも本人の寄与が中心となっていることが認められる。参考論文 2 報は関連した内容の報告であるが、内容に重複するところがあるために参考論文として扱われている。

以上のように、本申請論文は当該分野に重要な寄与をなすものであり、博士 (理学) の学位論文として十分価値あるもので判定される。なお申請論文に報告されている研究業績を中心として、これに関する研究分野について口頭試問を行なった結果、合格と認めた。