

氏名	なが はま た ろう 長 濱 太 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2199 号
学位授与の日付	平成 12 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	交換スプリング多層膜の磁性と伝導性

論文調査委員 (主査) 教授 新庄輝也 教授 小菅皓二 教授 佐藤直樹

### 論 文 内 容 の 要 旨

金属人工格子において巨大磁気抵抗効果 (GMR) が発見されて以来、磁性と伝導性の絡んだ現象な注目が集まっている。GMR は、非磁性層を挟む磁性層の磁化方向が平行に揃った時の電気抵抗は反平行の時に比べると著しく小さいという現象をいう。伝導電子の散乱はスピン方向に依存するというスピン依存散乱がその理由であり、磁化方向に乱れがあると電気抵抗が増加すると理解される。強磁性体内に存在する磁壁はスピン方向が少しづつ回転する領域であるが、この磁気構造的乱れが電気抵抗にはどのように影響するのかが明らかではなかった。いくつかの先駆的研究はあるものの、磁壁は抵抗を増加させるという説と、逆に減少させるという説が提出されており、論争的となっているのが現状である。実験的には、磁化の抵抗は極めて小さいのに対し、異方性磁気抵抗 (AMR) の寄与はかなり大きいため、決定的な結果をえることが困難となっていた。

この問題を検討するために、本研究では交換スプリング磁石と呼ばれる物質を利用している。交換スプリングとは異方性が強く、磁氣的にハードな物質と、異方性が小さいソフトな物質を結合させたものであり、新しい永久磁石材料としての観点から研究されてきたシステムである。本研究ではソフト物質としてパーマロイ (NiFe 合金)、ハード物質として CoSm 合金 (非晶質) を採用し、真空蒸着法により二層膜を作成している。磁気ヒステリシスカーブの測定からかなり広い磁場領域において磁化方向が可逆的に変化する、いわゆる交換スプリングの振る舞いが観測された。磁性層内で磁化の向きが少しづつ変化するとし、原子面ごとに一定角度変化すると仮定したシミュレーションによって磁気ヒステリシスカーブの実験結果はよく説明できることから、磁気構造が期待どおりに制御されていることが確認された。スプリング磁石に磁場を加えた状態はブロッホ磁壁に対応するが、単純にその電気抵抗測定を行なった場合は磁化の方向の変化による AMR 効果が支配的となり、磁化方向の乱れに基づくスピン依存散乱の効果の評価は困難である。そこで磁場方向と電流方向が垂直と平行の二種類の配置について測定を行い、その平均値を求める手法が考案された。この方法によって AMR 効果は相殺され、スピン依存散乱による GMR 型 MR のみが観測できた。その結果、スピン方向が徐々に変化する磁壁構造が存在する時、0.08% 程度のスピン依存散乱に基づく MR 効果が観測されることが結論された。

さらに、微細加工技術を利用して磁気細線を作成し、人工的に磁壁を作成してその抵抗測定を試みている。幅 1 ミクロン厚さ 0.1 ミクロンのパーマロイの細線を作成し、その表面にハード磁性物質 CoSm のパッドを付着させた。スプリング磁石の場合と同様、CoSm は磁性とピン止めする効果があり、外部磁場を与えてもパッド部分だけは磁化を保存した状態ができる。すなわち人工的に磁壁の生成を制御できる。このような試料を用いて電気抵抗の測定を行い、磁壁の抵抗を評価している、この場合は磁壁生成によって抵抗が減少することが観測されるが、それは AMR の効果として妥当な値である。スピン依存散乱による効果は AMR 効果に隠されるので評価はできなかった。なお磁壁の数に対して抵抗はリニアに増加していることが確認された。また、その磁壁による抵抗変化が温度に対して殆ど変化しないことから AMR に起因するものと説明することが妥当であると裏付けられた。

## 論文審査の結果の要旨

強磁性体内に磁区が存在することは古くから知られており、磁区と磁区の境界は磁壁と呼ばれ、スピン方向が徐々に変化している領域とする概念は昔から存在する。しかし磁壁が電気伝導にどのように寄与するかは最近まで不明であった。GMR効果の発見以後、スピンに依存する散乱が注目され始めたが、磁壁においてスピン依存散乱がどの程度の寄与を与えるのかについて決定的な情報となる実験は行なわれていない。理論的には磁壁の抵抗を正とする説と負とする両説があるのが現状である。さらに最近、サイズの小さな磁壁の挙動には巨視的量子効果の影響が観測できる可能性があるとして唆され関心を集めるようになった。

本研究では磁壁の伝導性の寄与を明らかにするための新奇な実験を行なっている。すなわちスプリング磁石システムを採用して磁気結合した二層膜を作成し、二方向の抵抗測定によって巧みにAMR効果を相殺する手法を考案し、スピン依存散乱による抵抗を求めることに成功している。交換スプリング磁石はより性能の良い永久磁石を開発する目的での研究が行なわれてきたが、基礎研究はまだ極く僅かしか行なわれていない。本研究では、蒸着法で作成した磁性二層膜においてスプリング磁石型の振る舞いを実現させ、スプリング磁石が基礎研究のモデル物質として有用であることを明らかにしたものである。その磁気構造の磁場依存性は理論的予測と極めてよく一致し、磁気構造が高度に制御されたシステムであることが証明された。さらにスプリング状態が開始される臨界磁場の存在に注目し、磁気結合の強さを表すパラメーターとして利用することに成功した。すなわち磁性層の間に超薄Cu層を挿入した試料を作成し、Cu層の厚さと臨界磁場の関係を求め、その結果から磁性層間に働く長距離相互作用についての考察を行なっている。次にスプリング二層膜に磁場を加えてブロッホ磁壁と同等のスピン構造を生成し、磁場に関して二方向の電流について抵抗を測定し、その結果を平均するという巧みな手法によってAMR効果の寄与を除去し、スピン依存散乱による抵抗の導出に成功した。この結果はスプリング磁石システムを利用して磁壁の抵抗を考察するという新しい試みであり、国際的にも注目される成果となった。

磁性細線における磁壁の生成とその電気抵抗の測定は上の研究と関連があるが、実験手法は異なっている。微細加工技術は半導体の分野では普及しているが磁性体についての利用はまだ遅れている。本研究は電子ビームリソグラフィーを利用して細線を作り、その上にハード磁性物質のパッドを付けることにより人工的に磁壁を生成したり消滅したりできるシステムを作成している。微細磁性細線における磁壁の挙動は巨視的量子効果の可能性にアプローチするためにも興味深い。本実験では線幅は1ミクロン、パッドは3×3ミクロン、パッド間は20ミクロンに設定しており、この新しいタイプのワイヤシステムを利用する研究が方法論的に正しいことを証明しており、更なる微細化も可能であることを示した。外部磁場によって磁壁を生成した状態と消滅させた状態をいずれもゼロ磁場で実現させ、その抵抗の差から磁壁の電気抵抗を評価した。この実験ではAMR効果を除外できないため、それ以外の寄与の有無は判別できなかったが、磁壁を人工的に生成してその抵抗を観測するという意味でまったく新しい手法を導入することに成功した。微細加工技術を利用した磁性細線の研究はまだ世界的にも少ない現状であり、磁気構造の制御に成功しているという点で高く評価できる成果である。

主論文の基礎となる論文3報は共著であるが、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5報は関連する内容の報告であり本研究の予備的報告などが含まれている。

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。