

氏 名	み やけ こう さく 三 宅 耕 作
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2724 号
学位授与の日付	平成 16 年 1 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	微細加工により作製したナノ接点を有する磁性体の磁性と磁気抵抗効果

論文調査委員 (主査) 教授 壬 生 攻 教授 高野幹夫 教授 吉村一良

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電子ビームリソグラフィーを用いてニッケル鉄合金薄膜を微細加工することによって、細線やドット間にナノメートルサイズの接合部分を有する磁性体試料を作製し、ナノ接合に起因する特異な磁化過程や磁気抵抗効果を系統的に調べた結果を報告したものである。とりわけナノ接合部分に閉じこめられた磁壁の磁気構造と磁気抵抗効果への寄与に焦点が当てられている。

磁性体中の磁壁の電気伝導への寄与は、巨大磁気抵抗効果などスピントロニクスに関連する研究の発展に伴い、最近再び活発な議論の対象となっている。例えば、微小接点で接合された2本の強磁性体ワイヤーにおいて巨大な磁気抵抗効果の出現が報告され、接点に閉じ込められた微小な磁壁によって電子が散乱されるために起きる現象であるとの主張がなされている。しかしながら、このような接点試料においてどのような内部磁気構造をもった磁壁が生じ、さらに磁壁と電気抵抗変化にどのような相関関係があるかといった点については実験的に明らかにされていない。本論文は、サイズや形状が制御された試料を作製し、接点にできる磁壁の磁気構造や磁気的な性質をきちんと制御かつ評価した上で、磁壁と電気伝導の相関を調べることを目的としたものである。

著者は、試行錯誤の結果、電子ビームリソグラフィーを用いて2本のニッケル鉄合金細線をナノメートルサイズで接合した試料を作製することに成功した。さらに一方の細線の端部にとり付けた正方形パッド部分で磁壁を生成させ、その磁壁を細線部分を経由して接点部分に注入することに成功した。磁気構造を磁気力顕微鏡観察で確認し、磁壁の磁気構造と磁壁の注入による抵抗変化の相関を調べた。また、観測された磁気構造は、マイクロマグネティックシミュレーションの結果と比較され、磁壁の磁気構造や接点構造に起因する磁化過程が詳細に調べられた。その結果、一つの試料の接点に生成する磁壁には磁気構造が異なる2種類のもが存在し、それぞれの磁壁を接点から外すのに要する「デピンニング磁場 (depinning field)」が異なっていることがわかった。シミュレーション計算の結果を合わせて、接点部分にはいわゆるネール型の磁壁が形成されていることが明らかになった。ネール磁壁内部には磁化方向が異なる2つの自由度が存在し、その違いがデピンニング磁場の差となって現れていることがわかった。ナノ構造体の磁気構造や磁化過程は、交換エネルギーと磁気異方性エネルギーと静磁エネルギーの競合によって決まる。磁壁が外れる磁場の違いは、交換相互作用の働きによって、接点部分の磁化の2種類の回転方向に依存して、接点部分から細線部分への磁壁の移動が助長あるいは抑制されるために現れることがわかった (交換バイアス効果)。一方、これらの試料においては、磁壁の存在により電気抵抗が低下することが示された。この抵抗変化は異方性磁気抵抗効果に起因するものであると考えられる。また、磁壁の種類すなわち接点部分の磁化の方向に依存して抵抗変化の絶対値が変化することも明らかになった。

以上のように、形状とサイズが制御されたナノ接点構造を作製し、磁気構造が明確に同定された磁壁を用いて、ナノスケールの磁壁の存在による磁化過程や電気抵抗の変化を明らかにすることに成功した。

## 論文審査の結果の要旨

磁性体における磁壁の電気伝導への寄与は、70年代に理論・実験の両面から研究が行われていたが、巨大磁気抵抗効果を始めとする最近のスピン트로ニクスに関連する研究の進展に伴い、磁性と伝導が絡む問題として再び脚光を浴びている。実験的には磁性薄膜・多層膜や微細加工された磁性細線などを用いた研究が行われているが、100%を超えるような大きな磁気抵抗比や新奇的な磁気抵抗効果が発現するには10nm以下の非常に薄い磁壁を実現する必要があるとされている。一方、磁性体ワイヤーのポイントコンタクトにおいて、300%にも達する磁気抵抗比の発現が報告され、コンタクト部分に形成された磁壁の寄与によるものと解釈されている。このように、幅が非常に狭い磁壁は、金属多層膜の巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果とは異なった新奇的な磁気抵抗効果を示す可能性を持つものとして期待されている。

バルクの磁性体ワイヤーを用いて作製されたポイントコンタクトの報告においては、接点の形状や接点周辺の磁化配置が不明瞭で、真に磁壁がコンタクト部に存在して伝導に影響を及ぼしているかは実験的には明らかになっていない。申請者は、薄膜を微細加工することによってサイズや形状が制御された試料を作製し、接点部分に形成される磁壁の磁気構造や磁気的な性質についてきちんと制御かつ評価した上で磁壁と電気伝導の相関を研究するという戦略で研究を進め、磁壁の関与する電気伝導現象に関して系統的な情報を得ることに成功した。申請者は、電子ビーム描画・超高真空蒸着・リフトオフ法を用いて強磁性細線やドット間にナノ接合を作製し、接合部分の形状と磁気構造を走査型電子顕微鏡と磁気力顕微鏡を用いて正確に同定し、接合部分に閉じ込められた磁壁の磁気構造や磁壁による電気抵抗の関係を探った。このような接点に形成される磁壁の磁気構造や印加磁場下での運動など磁気的な性質の研究は、ナノ磁性体の基礎的な問題として重要なものであるが、申請者は実験とシミュレーションの結果を組み合わせることによってこれらに関する新しい知見を得ることに成功した。

特筆すべき点としては、電子ビーム描画・リフトオフ法による一般的加工精度限界である数100nmよりも遥かに小さい15nmの微小接点を作製する技術とノウハウを開発し、その接点部分にこれまで実験的に確認された中では世界最小の磁壁を閉じ込めることに成功し、電流による試料破壊の可能性を克服して、ナノ接点の電気抵抗の系統的な測定に成功した点が挙げられる。

以上のことから、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと判定される。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試問し、その結果合格と認めた。