

氏名	おくのたくや 奥野拓也
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2777号
学位授与の日付	平成16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	強磁性体ドットにおける磁気渦中心の磁氣的性質

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やコバルトニオブジルコニウム合金などの軟磁性薄膜を微細加工することによってナノメートルサイズの磁性体ドットを作製し、そこに誘起される「磁気渦構造(ボルテックススピン構造)」と「吹き出し磁化(渦中心の垂直磁化スポット)」の磁氣的挙動を磁気力顕微鏡およびマイクロマグネティックスシミュレーションを用いて明らかにしたものである。

磁気異方性が無視できるいわゆる磁氣的にソフトな磁性体(軟磁性体)で直径1000nm程度以下の円盤状ドットを作製すると、円の縁での静磁エネルギーの増大を抑えようとして、磁気モーメントの方向が円周に沿って渦を巻いた「磁気渦構造」が安定化される。この磁気構造では、中心部分を除いては隣り合う原子の磁気モーメントがほぼ並行に揃って交換エネルギーを低くしているが、中心部分では交換エネルギーの損失を避けるために磁気モーメントが垂直方向に立ち上がり、「吹き出し磁化」といわれる微小磁気スポットが形成されている。吹き出し磁化は直径10nm程度の非常に小さい磁気構造であるため、通常の磁化測定手段では観測が難しい。著者は、磁気力顕微鏡を用いて様々な形状の磁性体ドットに誘起される吹き出し磁化の観察を行ない、マイクロマグネティックスシミュレーションを併用して印加磁場中での磁氣的挙動を詳細に検討した。

まず円盤状ドットにおいては、磁場を円盤面と垂直に印加した場合、円盤の全磁化を飽和させるのに要する約半分の磁場で吹き出し磁化の磁化方向を反転させることができることがわかった。一方、磁場を面内に印加した場合には、磁気渦中心が磁場と垂直な方向に移動し、最終的には円盤の縁から外に押し出されて磁気モーメントが磁場方向に揃った飽和状態に達する。垂直方向と面内方向の中間のある角度で、上記2つの磁化機構のクロスオーバーが起こることが明らかになった。垂直方向の印加磁場に対する吹き出し磁化の反転磁場の温度依存性や物質依存性を詳細に検討すると、その磁化反転過程はプロホポイントと呼ばれる原子スケールの特異点的な磁気構造が生成・移動することによって進行しているものと考えられることが明らかになった。

軟磁性材料で作製した楕円状(トラック型)ドットにおいては、その長軸上に「正の磁気渦(circular vortex)」と「負の磁気渦(antivortex)」が交互に配列する磁気構造が安定化されることを見出し、それぞれの磁気渦中心に誘起される吹き出し磁化の反転磁場が異なることを示した。また、面内に磁場を印加することによって二つの磁気渦中心を接近させ衝突・消滅させることができることを示し、磁場の増減による吹き出し磁化の消滅・再生成過程を通してそれらの磁化方向すなわち磁気記録ビットが制御できることを示した。

以上のように、形状とサイズが制御されたナノスケールの軟磁性体ドットに誘起される磁気渦構造と吹き出し磁化の磁化過程や磁氣的挙動を明らかにし、特異点的な垂直磁化スポットの磁化方向の制御に成功した。

## 論文審査の結果の要旨

強磁性体を1000nm程度以下のスケールで微細加工した場合、バルクの強磁性体では見られない磁氣的挙動が往々にして現れる。最近、磁気記録媒体における記録密度の著しい向上に伴い、また磁性と電気伝導が絡んだ物理現象およびその工学的応用（スピンエレクトロニクス）の分野の発展に伴い、このようなナノスケールで加工された強磁性体の磁氣的挙動の研究の重要性が増している。本論文は、その一例として、ナノスケールで加工された強磁性ドットに誘起される「磁気渦構造（ボルテックススピン構造）」と「吹き出し磁化（渦中心の垂直磁化スポット）」の磁氣的挙動を研究した成果を纏めたものである。

磁気異方性が無視できるいわゆる磁氣的にソフトな磁性体（軟磁性体）で直径1000nm程度以下の円盤状ドットを作製すると、円の縁での静磁エネルギーの増大を抑えようとして、磁気モーメントの方向が円周に沿って渦を巻いた「磁気渦構造」が安定化される。この磁気構造では、中心部分を除いては隣り合う原子の磁気モーメントがほぼ並行に揃って交換エネルギーを低くしているが、中心部分では交換エネルギーの損失を避けるために磁気モーメントが垂直方向に立ち上がり、「吹き出し磁化」といわれる特異点的な微小磁気スポットが形成されている。このような磁気構造の存在は、理論的には古くから予測されていたが、通常の磁化測定手段では観測が困難であった。

学位申請者は、電子ビームリソグラフィーを用いてニッケル鉄合金やコバルトニオブジルコニウム合金などの軟磁性薄膜を微細加工することによりナノメートルサイズの磁性体ドットを作製し、そこに誘起される磁気渦構造と吹き出し磁化の存在を磁気力顕微鏡観察によって世界で初めて実験的に明らかにし、さらにマイクロマグネティックシミュレーションを併用して磁氣的挙動を詳細に検討した。

特筆すべき点としては、1つまたは複数の磁気構造ができる試料サイズや形状を独自に設計し、それを電子ビーム描画・リフトオフ法を用いて忠実に作製する技術とノウハウを体得し、磁気力顕微鏡の観測条件や探針条件を試行錯誤することによって、これまで他のグループで成功していなかった吹き出し磁化の存在の証明に成功し、磁氣的挙動の解明を行ったことが挙げられる。さらに、磁気渦構造の新概念である「負の磁気渦（antivortex）構造」の生成を見出した点や、1つの磁性体ドット中に複数の磁気渦構造を誘起させ、印加磁場の増減によって2つの渦中心を衝突・消滅・再生させることによって、その磁化方向すなわち磁気記録ビットを制御することが可能であることを示した点も評価に値する。

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。