

平成 20 年度

博士論文

高分解能磁気力顕微鏡による
微細磁気構造解析

指導教員 宮島 英紀 教授

山岡 武博

慶應義塾大学大学院 理工学研究科

基礎理工学専攻

論文要旨

情報ストレージ分野においては、高密度垂直磁気記録技術が近年、製品として立ち上がり、更なる高密度化が進められている一方、パターンドメディアや熱アシスト記録、MRAM(Magnetic Random Access Memory) など将来の高密度化を睨んだ研究が精力的に行われている。これらの研究においては、ナノスケールの磁気構造解明が不可欠である。

走査型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscopy; SPM)の一種である磁気力顕微鏡(Magnetic Force Microscopy; MFM)は、他の磁気構造観察手段と比較し、簡便性、汎用性において有利である。しかし、現状の MFM は感度を得るために磁性体を厚くコートした探針を用いており、そのため分解能が不足していた。また、厚い磁性被覆探針では漏れ磁場が大きく、試料の磁気構造を乱すという課題もあった。

本研究では、ナノスケールの磁気構造解明の手段として MFM の高分解能化を達成し、微細磁気構造の解析に応用することが目的である。従来 MFM の課題を解決するため、磁性被覆を薄膜化して、高分解能化と探針漏れ磁場の低減を図った。MFM では磁性探針と試料間に作用する磁気力を検出しているため、磁性被覆を薄くすると感度が低下する。この感度低下の課題は真空中 Q 値制御法で解決した。更に磁性体試料を加熱・冷却状態にして、あるいは外部から磁場を印加した状態での微細磁気構造に関する知見も得られるよう、温度制御 MFM、磁場印加 MFM の研究を行った。これらの高分解能 MFM システムを利用し、高密度垂直磁気記録媒体をはじめ、ナノ細線やドット、それらの組み合わせからなる典型的なナノ磁性体の系へ適用した。

第 1 章は序論であり、強磁性体の磁気構造と MFM について概説し、本研究の目的を示す。

第 2 章は標準的な MFM と新たに開発した要素技術である MFM 探針と Q 値制御の評価結果を示し、これらの技術を組み込んだ高分解能 MFM をはじめ、温度制御 MFM、磁場印加 MFM などのシステム構築について記述する。

第3章は高分解能 MFM システムの性能評価について示す。感度と分解能については、高密度垂直磁気記録媒体のテストパターンなどを用いて評価し、20nm 以下の分解能を達成した。温度制御 MFM の性能評価には、N 型フェリ磁性の性質を持つ熱アシスト記録マークを試料として用い、補償温度を境に磁束が反転する様子を観察した。磁場印加 MFM の性能評価には磁気記録媒体の消磁過程の観察や、パーマロイ薄膜の磁壁移動の観察などを行った。

第4章では高分解能 MFM システムを微細磁気構造の解析に適用した実例を示す。六角格子ネットワークの磁化状態に現れるアイスルール則の存在を高分解能 MFM により実証することができた。Y 字型ドットの配列の仕方と磁化状態との相関について高分解能 MFM を用いて解析した。また高分解能 MFM により偏芯磁気ナノリングの磁束回旋の様子を捉えることができた。パーマロイ半円細線に導入した無束縛単一磁壁を用い、探針漏れ磁場とそれによる磁壁操作現象の関わりを定量的に調べた。

第5章はカーボンナノチューブ MFM 探針などによる MFM の更なる高分解能化に関する試みについて述べる。この試みで MFM の分解能を 10nm 以下まで向上させることができた。また MFM 技術の将来展望についても記述する。

第6章は結論である。