

放射光光電子顕微鏡を用いた磁区観察

高エネルギー加速器研究機構 小野寛太

メソスコピック磁性体の磁区構造や磁化反転過程などの振る舞いは、いわゆるバルクの磁性とは全く異なっており、材料の特性の他に磁性体のサイズ・形状が重要な役割を果たしている。例えば、メソスコピック磁性ディスクでは中心部に vortex を持つような磁区構造を取ることが知られている。また、磁化反転過程も磁壁の移動により説明されるのではなく、vortex の生成・移動・消滅により説明される。このようなメソスコピック磁性体の磁区構造を直接観察することは、基礎研究の観点のみならず、超高密度記録媒体などへの応用という観点からもきわめて重要である。われわれはこのような観点から、放射光光電子顕微鏡の開発を行い、メソスコピック磁性体、酸化物磁性体薄膜などの磁区観察を行っている。

放射光光電子顕微鏡は放射光の持つ輝度、偏光性、エネルギー可変性を最大限に利用することによって、ナノスケールでの磁気イメージングを定量的に行うことが出来る手法である。放射光を用いた光電子顕微鏡による磁区構造観察の利点をまとめると以下のようになる。

1. 元素選択的な磁気モーメントのイメージングが可能。このことにより、多層膜などにおいて、界面の磁区構造を観察することが可能になる。
2. 磁気光学総和則を用いることにより、磁気モーメントにおけるスピン成分と軌道成分の寄与を分離し、かつ定量的に求めることが出来る。
3. 直線偏光を用いることにより、反強磁性体の磁区構造を直接観察することができる。
4. 時分割測定によりピコ秒オーダーで磁区の動きを観察することができる。

メソスコピック磁性体では、ディスク構造において vortex と呼ばれる磁気渦構造を持つことが知られており、vortex のトポロジーであるカイラリティ(磁気渦の時計回り・反時計回り)およびポラリゼーション(磁気渦中心からの吹き出し磁化の上下の方向)を直接観察することが重要である。ポラリゼーションについては観察・制御が可能であることが MFM 観察により示されている。しかしながらカイラリティについては、外部への漏れ磁束が無い場合 MFM による観察は困難であり、ローレンツ電子顕微鏡などにより観察した例があるもののほとんど研究が行われていないのが現状である。われわれはこのようなメソスコピック磁性体の vortex のカイラリティの直接観察およびカイラリティ制御を目指し研究を行った。

シリコン基板上の 50 nm のパーマロイ薄膜について、直径 20 μm から 100 nm までのサイズの異なるカイラリティ制御素子の作製を行った。メソスコピック磁性体の作製は、直径 20 μm の素子については電子ビームリソグラフィとリフトオフによる加工により行い、10 μm 以下の素子については集束イオンビームを用いた加工により行った。放射光光電子顕微鏡による観察は Ni の L 吸収端で行った。3d 遷移金属の L 吸収端では、2p 軌道の大きなスピン・軌道分裂と 3d バンドの大きな交換分裂により大きな X 線磁気

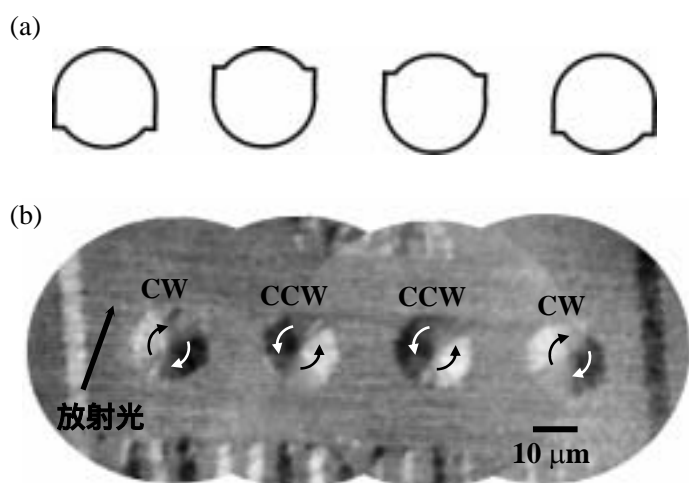


図 1 (a)作製したカイラリティ制御素子の模式図、(b)放射光光電子顕微鏡を用いて得られた直径 20 μm の素子の磁気イメージ

させることにより、磁化反転モードを制御し vortex カイラリティ制御が可能になることが分かった。本研究で用いたカイラリティ制御素子の模式図を図 1 (a)に示す。図 1 (b)に光電子顕微鏡を用いて得られた磁気イメージを示す。素子の向きとカイラリティの関係から、4 つの素子のカイラリティがすべて制御されていることが分かる。磁気イメージングを直径 20 μm ~ 1 μm の範囲でそれぞれ複数の素子について行った結果、すべての素子が制御されていることが分かった。

講演ではその他に直線偏光および硬 X 線を利用した NiO の反強磁性磁区観察、およびステップ基板上に作製した LaSrMnO₃ 薄膜における一軸異方性磁区の観察についても触れる

本研究は、谷内敏之、尾嶋正治（東大工）、秋永広幸（産総研）各氏との共同研究によるものである。本研究の一部は、ナノテクノロジープログラムの一環として、NEDO の委託により実施された。また、研究の一部は、文部科学省のナノテクノロジー総合支援プロジェクトの支援を受けて、（独）産業技術総合研究所ナノプロセッシング施設において実施された。

円二色性が観測される。磁気コントラストは L 吸収端で左右円偏光それぞれの光電子顕微鏡像を取り込み、2 つの画像の差分を取ることで得た。この手法で装置の誤差や表面モフォロジーの情報を除去することも出来る。このようにして得られた磁気コントラスト像の強度は、光の入射方向への磁気モーメントの射影成分に比例したものと考えることが出来る。

マイクロ磁気シミュレーションを用いた検討の結果、ディスク形状をわずかに変化させ、対称性を低下