

放射光先端利用による応用磁性材料の磁気計測技術の展望

Strategies for Magnetic Measurement for Applied Magnetic Materials using Advanced Synchrotron X-ray Techniques

ナノ・デバイス磁性研究会

Nano Device Magneto-Spectroscopy Research Group

木村昭夫, 広島大学

中村哲也, 高輝度光科学研究センター/SPring-8

Akio Kimura, Hiroshima University

Tetsuya Nakamura, JASRI/SPring-8

はじめに

物質サイズをナノ・メートルオーダーまでスケールダウンすると、電子の局在化やスピンの交換相互作用の変化に関連して、通常のサイズでは得られない興味深い磁性が得られる。バルク状態では反磁性や常磁性である金やパラジウムが、ナノ粒子では超常磁性や強磁性を示すのもその一例である。また、表面に一原子層以下で積層された磁性超薄膜では、基板や下地層となる物質の電子状態や原子配列の影響を受けつつ、その反対側は真空に開放されており磁気相互作用が非対称な状態であるため、磁気相転移温度や磁気異方性がバルクと異なる結果となることが期待される。このようなナノ磁性体は基礎的な磁性研究の観点から非常に興味深いものである。一方、最近では磁気記録をはじめ新規スピントロニクス材料においても、一原子層以下の磁性物質による磁気結合制御がナノスケールでの創成技術によって達成されており、磁性層やその界面の磁気状態、さらに、微量に含まれる不純物磁性元素の役割を解明することが材料開発と並行して重要になっている。

近年におけるナノ粒子やデバイス磁性材料の創成、開発が急速に進展するに伴い、従来には無い高度な磁気プローブの必要性が高くなっている。特に、従来の磁気測定が適用できない場合や従来の手法の他に新規性の高い磁気プローブを加えた多角的な分析が不可欠な場合が多い。このようなナノ・デバイス磁性の発展と新しい磁気プローブに対する必要性を背景に、放射光の優れた偏光特性を活かしたX線磁気光学効果は極めて強力な直接的な磁気プローブとして活用されている。特に、X線磁気円二色性(XMCD: X-ray Magnetic Circular Dichroism)は元素選択的に磁気情報を取得できる上に、微量の磁性元素を非破壊で分析できる利点を有する。現在、SPring-8にはBL25SU、BL39XUにおいて、それぞれ、高精度の軟X線MCDと硬X線MCD実験が行える装置が整備されており、SPring-8は本研究会分野の拠点として最も相応しくその役割を担うものと期待される。このような状況を踏まえて、本研究会ではより高度な計測技術の提案と、その実現に向けた提言、さらに、関連する研究情報の共有と意見交換を通し、ナノ物質の磁性研究およびデバイス磁性研究をSPring-8の放射光をもって推進することを目的としている。

計測技術の現状

BL25SUでは、1.9T電磁石式MCD装置、光電子顕微鏡による磁性材料研究が行われている。研究会メンバーからの個別の高度化提案に基づき、JASRI スタッフによって BL25SU の MCD 装置の試料温度が最低到達温度 6K、最高到達温度 700K に拡張された。また、BL39XUにおいては、10T超伝導マグネットを備えたMCD測定装置、および、ビーム径1 μm の集光X線による走査型顕微MCD装置による研究が行われている。特に、マイクロビームによる微小領域のMCD測定とそのマッピング計測、および時分割計測技術については2006年～2008年の間に大きく進歩した[1-5]。さらに、四素子のSDD(Silicon Drift Detector)の導入により蛍光XAFSの測定効率が上がり、結果として精度の高いデータを取得できるようになっている。また、BL25SUとBL39XUにおいては本研究会メンバーのグループが磁気反射率測定に取り組んでおり、三次元磁気構造の可視化が可能な強力なツールとしての開発を進めている。

一方、これらの研究を更に高度に発展させるためには、次のような問題がある。BL25SUにおいては、特にナノ磁性材料と永久磁石材料のMCD測定においては試料に5～10Tの磁場印加が必要であるが、現状では最大1.9Tとなっており十分な実験ができないケースが目立つ。また、BL39XUにおいては試料ゴニオメーターの χ サークルサイズと強度の制限から、電磁石や冷凍機など試料に対する外場アタッチメントの拡張が困難である。

提言

近年のナノ磁性材料研究の拡がり、および、磁気デバイスの激しい国際競争と急速な開発を背景に、計測技術面における放射光の貢献は今後とも必要不可欠なものである。本研究会では、これまでX線吸収MCDを軸足とした放射光利用を行っており、X線吸収MCDが一般的な磁化情報に元素選択的な情報を付加するという磁性材料研究に普遍的な重要性を有することから、設備の高度化を進めつつ今後とも継続して活用していく必要がある。したがって現状で顕わになっている問題に関し、BL25SUでは10T級超伝導マグネットを備えたMCD装置の導入、BL39XUでは特大型の χ サークルの設置が重要かつ緊急の課題である。

さらに、デバイス単素子の開発サイズが標準的に100nm以下になっている現状を勘案すると、微細加工により孤立加工した素子を選択的かつ効率よくX線照射するために必要な直径100nm以下の集光ビーム生成技術開発が望まれる。さらに、磁気デバイスの動作クロックに同期した計測技術の開発も重要である。これらの計測技術の基礎となる要素（ナノビーム、時分割計測技術）については、SPring-8の共通基盤技術としてのユーザー利用支援が望まれ、今後5年以内の整備を希望する。また、測定対象が最先端材料であれば現有装置による実験で十分に新知見を得ることができるケースも多いが、新装置を導入しなければ評価技術が陳腐化する危険もある。したがって、今後十年を歩む中ではナノ磁性および磁気デバイス磁性研究関連で、一～二億円規模の新装置を導入していくことが必要である。さらに、新装置開発と運用を円滑に行うためには十分な開発スペースが必要であり、そのため、実験ホールの倍面積化、または、実験ホールとステップレスでつながる大規模な実験装置ドック建屋の建設を期待する。支援体制としては、利用者が現有計測技術の利用支

援を享受しつつ、そこで得た成果を更に新しい計測技術をもって発展させることを無理なく実現するためにも、熟練した研究スタッフと若手研究スタッフのバランスある増員が不可欠である。

以上のように、現有設備の高度化、新装置開発、基盤技術利用、研究開発スタッフの充実などの将来像を実現していくことによって、今後とも、本研究会が開発し利用する計測技術は最先端磁性材料開発上の知見を効果的に与え続ける点で直接的な社会貢献を担うものである。

[1] M. Takagaki *et al.*, "Development of Scanning Hard X-ray Microprobe for Element-specific Magnetic Imaging at SPring-8 BL39XU", IRAP Conference Series **7**, 267-269 (2006).

[2] M. Suzuki *et al.*, "Element-Specific Hard X-ray Micro-Magnetometry to Probe Anisotropy in Patterned Magnetic Films", AIP Conference Proceedings **879**, 1699-1702 (2007).

[3] Y. Kondo *et al.*, "Element-specific hard X-ray micro-magnetometry of magnetic modifications in Co-Pt dots fabricated by ion etching", J. Mag. Mag. Matt **320**, 3157 (2008).

[4] 鈴木基寛ほか, "SPring-8 BL39XU における時分割・顕微硬X線磁気円二色性測定法の開発", 日本物理学会 2007年春, 18aZA-5.

[5] 鈴木基寛ほか, "BL39XU における時分割・顕微硬X線磁気円二色性実験の開発", 第21回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2E001.