

時間分解コヒーレント軟 X 線散乱の開発とレーザー励起磁化反転への応用 Development of time-resolved coherent soft x-ray scattering and its application to laser-induced magnetization reversal

兵庫県立大学 和達大樹

省電力デバイスへの応用が期待されているスピントロニクスデバイスでは、光照射を使った超高速の磁化反転が活用できると考えられている。そして、磁気励起のダイナミクスを微視的な観点から理解することが、スピントロニクスデバイスの材料開発や性能向上にとって必要不可欠となっている。スピンのダイナミクスを計測する有力な手法として、光照射などの外場印加に伴う磁気構造の過渡変化を時間分解測定する手法がある。このような手法をさらに進め、磁性元素を選択的に時間空間分解して測定することは多磁性元素を含む磁性材料のスピンダイナミクスを理解する上で重要である。本研究では、コヒーレント共鳴軟 X 線小角散乱によって磁気テクスチャの超高速イメージングを元素選択的に行える計測システムの構築を行うことを試みた。

まず、放射光施設 SPring-8 や XFEL 施設 SACLA において、コヒーレント共鳴軟 X 線小角散乱による磁気テクスチャの超高速ダイナミクスを元素選択的に観測することを目指した。Si₃N₄ メンブレン上に設置した試料に軟 X 線を照射し、透過した軟 X 線を下流に設置した 2 次元検出器 CCD で計測している。試料と CCD の間には直接光をブロックするためのダイレクトビームキャッチャも設置している。試料と CCD 検出器の距離は、測定対象に応じて 81~586mm 間で変えている。

SACLA の文字とその隣に、参照波を作り出す横方向のスリットをテストパターンとして用いた。スリットを通り抜けた軟 X 線は参照波として、試料の画像を再構成できる。スリットを参照光として用いるこの手法は HERALDO (holography with extended reference by autocorrelation linear differential operator) と呼ばれ、位相回復計算などなしに実空間像が得られるホログラフイーの一種である。このパターンに軟 X 線 XFEL を照射して得られた小角散乱の回折図形を観測し、その図形から再構成した試料の画像を得た。元の図形とよく一致していることから、XFEL を用いたナノメートルスケールの空間分解測定が成功していることが分かった。

さらに、実験室光源においても、磁区観察ユニットを用いた磁区観察のためのカー顕微鏡のセットアップを完成させた。そして、参照資料としてガーネット薄膜の観察を行い、迷路状の磁区構造を見ることができた。その後、レーザー照射下での時間分解カー顕微鏡を確立し、実験室での時空間分解を可能とした。時間分解能はレーザーのパルス幅である 200 fs の自己相関である 300 fs 程度となる。円偏光のレーザーを試料に照射した際に、時間分解測定も行い磁区の形成過程を画像のコントラストから定量的に解析した。レーザー照射後の GdFeCo 薄膜の磁区を見ると、レーザーの偏光に依存して磁区の違いが見られており、磁化反転のダイナミクスの解釈のための実空間における重要な情報が得られている。また、NiCo₂O₄ 薄膜においては、予想されたハーフメタル的なふるまいとは異なり、1 ps 以内の超高速消磁が見られた。

磁気イメージングのような難しい研究課題については、大型施設のビームタイムに制約を受けない必要もあると考えられる。そこで、実験室レーザーの高次高調波発生により、軟 X 線領域までカバーし、強度が弱くても SACLA のような測定が可能となることを目指したいと考えている。

【参考文献】

・ Ryunosuke Takahashi, Yoshiki Tani, Hirotaka Abe, Minato Yamasaki, Ikumi Suzuki, Daisuke Kan, Yuichi Shimakawa, Hiroki Wadati: "Ultrafast demagnetization in NiCo₂O₄ thin films probed by time-resolved microscopy", arXiv:2106.01026.