

ナノスケール磁化ダイナミクス of 直接観察

Direct observation of a nanoscale magnetization dynamics

小野寛太
Kanta Ono

*Photon Factory, Institute of Materials Structure Science,
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan.*

*e-mail: kanta.ono@kek.jp

近年のスピントロニクスや超高密度磁気記録の進展は著しく、これらの磁気デバイスの実用化に向けて高集積化とともに高速化が望まれている。この分野の最近の進展と社会に及ぼしたインパクトの大きさは、今年ノーベル物理学賞がスピントロニクス分野の開拓者の Grunberg 博士と Fert 博士に贈られたことからお分かりいただけると思う。

このように進展著しいスピントロニクス分野において、新しいブレークスルーを開くには磁性体のダイナミクスを理解することが必要不可欠である。スピントロニクスデバイスや磁気記録媒体のサイズはすでにナノスケールに達しており、また動作速度も GHz、すなわちナノ秒以下が要求される現状では、高い空間分解能かつ高い時間分解能を併せ持った観察手法の開発が求められている。このような状況の中、ナノ磁性体のダイナミクスを直接観察する手法として、放射光パルスと磁場パルスを同期させ、磁場パルスと放射光パルスとの遅延時間を変化させて磁気イメージング観察を行う実験手法が注目を集めている。この手法では、ナノ磁性体の磁区構造や磁化反転過程などの磁性体のダイナミクスを放射光パルス程度の時間分解能で実空間観察することが可能になる。

磁気イメージング手法の中でもとりわけ放射光光電子顕微鏡を用いた磁気イメージングには以下のような利点がある。

1. 結像を電子レンズで行っているため、比較的簡単に高い空間分解能 (数 10 nm 程度) が得られる。
2. 吸収端を選ぶことにより元素選択的なイメージング (化学イメージング) が可能。エネルギースキャンをすることにより、視野の中の任意の場所で 10 nm 程度の分解能で X 線吸収スペクトルを測定することが出来る (nano-XAFS)。
3. 磁性体では円偏光と磁気光学総和則を用いて、磁気モーメントのスピ成分と軌道成分の寄与を分離し、かつ定量的に実空間上にマップすることが出来る。

また、直線偏光を用いることにより、反強磁性体の磁区構造や軌道秩序の様子などについて直接観察することができる。

4. 放射光パルスと外部からのパルスを同期させることにより、時分割測定を行うことが出来る。完全に同期させることが出来れば、通常の測定と全く同じ強度で時分割測定を行うことが出来る。

このような利点があるため、世界の放射光施設では光電子顕微鏡を用いた時分割実験が盛んに行われている。ALS ではサブナノ秒の時間分解能で既にメゾスコピック磁性体のダイナミクスについて報告されている。また、BESSY II では low- α mode と呼ばれる特殊な運転モードにより、10 ピコ秒程度の時間分解能での測定が行われている。また、最近では SPring-8 においても時分割光電子顕微鏡実験が試みられている。

通常の実験では磁場パルスの発生はフェムト秒レーザをフォトダイオードに照射し電場パルスを発生し、マイクロストリップラインと呼ばれる電気回路上にパルス電流を流すことにより行われている。しかしながら、この方法では放射光と同期したレーザのシステムなどかなり大がかりなセットアップが必要である上、早い繰り返し周波数には対応できない。また、近年では電極から注入したスピン電流により磁性体の磁化反転を引き起こす試みがなされているが、このような実験には電流パルスをスピントロニクスデバイスに流す必要がある。

このような背景の下、我々のグループでは数年前より電流パルスと放射光パルスの同期を試みている。予備実験として、SPring-8 BL39XU において時間幅 40 ps、繰り返し周期 23.6 ns (= 42.3 MHz) の放射光パルスと、マイクロストリップラインへのパルス電流で生じた磁場パルス (時間幅 400 ps、ピーク磁場 140 Oe) とを 50 ps のジッタで同期させることに成功している。

また、昨年からは放射光パルスと電場パルスとを同期させるシステムの開発

に取り組み、光電子顕微鏡と組み合わせることにより、PF のシングルバンチのみならずマルチバンチにおいても、時分割でナノ磁性体のダイナミクスを測定する実験装置の構築を進めている。

本研究会では、国内外におけるナノ磁性体の磁化ダイナミクス観察の現状について報告した後、われわれが進めているPF シングルバンチを利用した研究計画について議論したい。