

# 時間分解 XMCD-PEEM による磁気渦構造のダイナミクス測定

福本恵紀<sup>1,2,4,\*</sup>, 松下智裕<sup>1</sup>, 大沢仁志<sup>1</sup>, 中村哲也<sup>1</sup>, 室隆桂之<sup>1</sup>, 新井邦明<sup>4</sup>, 木下豊彦<sup>1</sup>,  
恩田健<sup>3,4</sup>, 腰原伸也<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>(財)輝度光科学研究センター, JASRI

<sup>2</sup>東京工業大学 大学院理工学研究科 物質科学専攻

<sup>3</sup>東京工業大学 大学院総合理工学研究科 化学環境学専攻

<sup>4</sup>JST-CREST

<sup>5</sup>東京大学 物性研究所

\*fukumoto.k.ab@m.titech.ac.jp

## 1. はじめに

強磁性体中の磁区は、磁気双極エネルギー、磁気異方性エネルギー、または、磁気交換エネルギーの競合によって形成される。磁気異方性エネルギーが小さく、ミクロンサイズに加工された円盤型磁性薄膜は、磁気双極エネルギーを低減するために磁気渦スピン構造を持つ。円盤中心では直径約 10 nm の面外方向の磁化を持つ領域(磁気渦コア)をつくり、磁気交換エネルギーを抑制している。このような微小磁性体のスピン構造の外部磁場に対する高速の応答は、磁気スピンの歳差運動を記述する Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式により表され、磁性を理解する上で興味深い系といえる。さらに、磁気記録デバイスなどの応用への観点からも注目されている。

本講演では、磁気円二色性と光電子顕微鏡を組み合わせた XMCD-PEEM 法において、円偏光軟 X 線パルスを探るプローブ、フェムト秒パルスレーザーにより誘起されたサブナノ秒幅の磁場パルスをポンプとした、スピンドイナミクスイメージング法について解説し、磁場パルスの強度、または、円盤サイズに依存した磁気渦コアの振動周波数・移動速度に関する結果を紹介する。

## 2. 実験方法

実験は、SPring-8 の軟 X 線ビームライン BL25SU に設置されている光電子顕微鏡(PEEM)を用いて行った。磁場パルス発生に用いたフェムト秒パルスレーザー(中心波長 800 nm, 2~3 nJ/pulse, 120 fs)の発振周波数は、パルスセレクターにより SPring-8 蓄積リング内のシングルバンチの周波数に同期している(図 1)。時間分解能は軟 X 線のパルス幅の約 100 ps である。

ミクロンサイズの円盤型磁性薄膜は、10  $\mu\text{m}$  幅の Au 細線上にリソグラフィーにより作成した。Au 細線に接続された高速フォトダイオードにパルスレーザーを照射し、細線に流れるパルス電流により磁場パルスを発生した。半値幅 300 ps という高速で立ち上がる磁場パルスはフォトダイオードを Au 細線から約 10 mm の箇所に設置することにより可能となった。磁場パルスの形状は図 2 左上のオレンジの曲線で示してある。300 ps 幅のメインパルスに続く回路内の反射などによる磁場パルスは完全には除去されていない。印加磁場は、レーザー強度に依存し、最大で約 100 Oe であった。

### 3. 結果

図 2 に、直径が  $6\mu\text{m}$  の円盤型磁性体(厚さ $=40\text{nm}$ )に磁場パルスを印加した後の磁気渦スピン構造のダイナミクスを示す。(a)は、磁場パルス印加前のスピン構造で、コアは円盤中心に位置している。コアの磁化方向は、この装置の空間分解能(約  $100\text{ nm}$ )では確認できない。磁場印加が始まる  $0.4\text{ ns}$  においても、コアは、まだ、円盤中央に位置しているが、その後、磁場方向に対して垂直方向に移動していくのが分かる。 $1.0\text{ ns}$  では、円盤半径の約  $2/3$  まで大きく変移している。右上図には、磁場に対して垂直また水平方向のコアの変移をプロットした。垂直方向に約  $20\text{ ns}$  周期で単振動しており、水平方向には、ほとんど変移していないことが分かる。その周期は、LLG 方程式から発展した Thiele 方程式により導出された値に一致している。

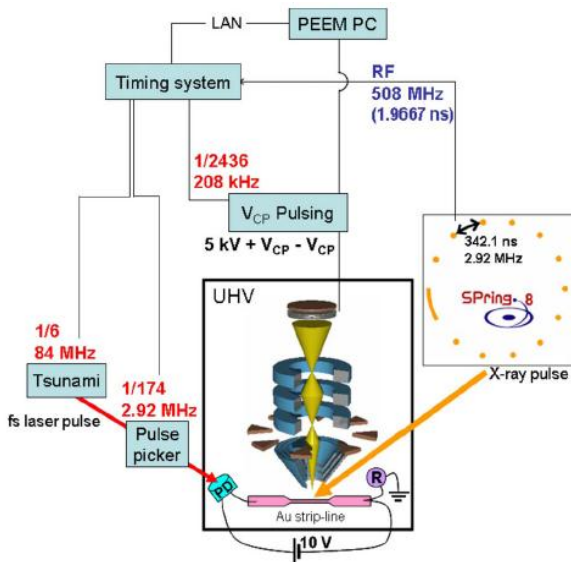


図 1

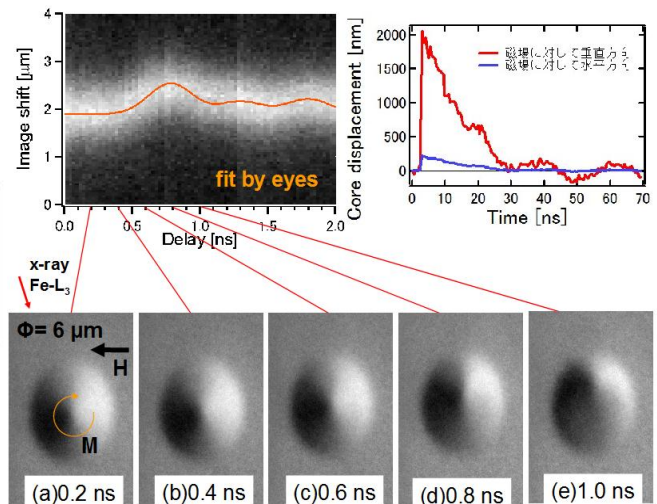


図 2

[1] Fukumoto et.al., Rev. Sci. Instrum., 79, 063903 (2008).

### 4. 最後に

現在、東京工業大学・腰原研究室において取り組んでいる、フェムト秒パルスレーザーを利用した時間分解 Laser-PEEM 測定について紹介する。空間分解能は、約  $30\text{ nm}$  で、時間分解能はレーザーパルス幅の約  $150\text{ fs}$  である。さらに、試料温度が PEEM 測定時に  $20\text{ K}$  から  $600\text{ K}$  まで可変であることから、光誘起による絶縁体-金属相転移材料や低温で磁性を示す希薄磁性半導体の空間的なダイナミクス研究への応用を考えている。