

## 時間分解光電子顕微鏡による超高速磁気応答現象の観測

Observation of ultra-fast magnetic response by a time-resolved photoemission electron microscope



木下 豊彦 (KINOSHITA TOYOHICO)  
財団法人高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・主席研究員

### 研究の概要

放射光光電子顕微鏡において現在実現している磁気イメージング観察をさらに発展させ、ポンプ&プローブ観察手法と組み合わせる。磁場パルス、電場パルス、光パルスなどの外場を与えたときの応答ダイナミクスの可視化を実現する。エネルギー&空間&時間を分解した究極の顕微鏡となる手法を開発し、磁気ダイナミクスの研究を進展させる。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、ナノ構造科学

キーワード：メゾスコピック物理

### 1. 研究開始当初の背景

放射光を励起光源とする光電子顕微鏡は、元素選択性を持ち、電子状態や磁気状態を観測できる非常に有力な顕微法である。研究代表者の所属する SPring-8 でも装置が導入され、共同利用研究が開始された。しかし、エネルギー&空間分解のほかにもうひとつ重要な時間軸の能力を生かした実験は、諸外国で発展しつつあるものの、国内ではまったく手をつけられていない状況にあった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、SPring-8 の光電子顕微鏡をさらに発展させ、ポンプ&プローブ観察法と組み合わせることで、時間分解光電子顕微鏡を実現し、特に磁気ダイナミクスの研究を発展させることである。諸外国で実現している、磁場パルスに対する磁性ドットの磁区ダイナミクスの観測ばかりでなく、まだ手のつけられていない、光子場、電場など、そのほかの外場を、ポンプとして用い、それに対する応答特性を観察する。これにより、新たな磁気記録方式開発の基礎的な情報を得たり、磁性そのものに対する基礎的な知識が深まったりすることが期待される。また、同様の方式を光電子顕微鏡以外の分光法へ応用を視野に入れることで、放射光分光の発展を目指す。

### 3. 研究の方法

研究の目的を達成するために、放射光パ

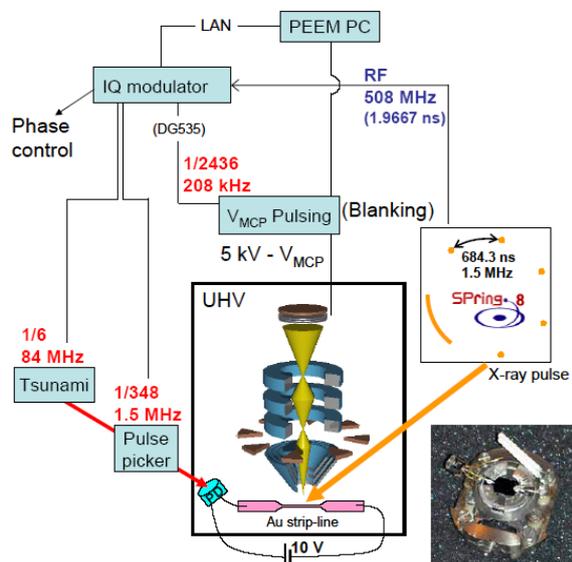
ルス（蓄積リングのバンチに対応する。）とポンプ光である、レーザーを同期させるシステムを導入することにした。レーザーによってフォトダイオードの高速スイッチングを実現し、そこに接続したマイクロストリップラインに電流を流すことで、磁場や電場パルスの高速スイッチングを実現する。あるいは再生増幅器を利用し、そこからの高強度パルスレーザーをポンプ光とする。これらのポンプ役を果たす外場と、放射光パルスとのタイミングを制御し、高速応答現象を顕微鏡画像としてストロボ写真のように撮影する。

SPring-8 の時間分解測定用の運転モードは他の放射光施設よりも複雑なので、その影響を避けるようなデータ蓄積システムを構築する。

### 4. これまでの成果

次ページの図に示すような放射光とレーザーの同期システムを構築した。放射光バンチパルスと同期した、508MHzの高周波信号は、チタンサファイヤレーザーの基本周波数の6倍に相当する。レーザーパルスのタイミングは、遅延トリガクロック回路（IQモジュレーター）で制御されており、パルスピッカーで放射光の孤立バンチとだけ同期を取ったレーザーパルスを取り出す。このパルスは放射光パルスと任意のタイミングで、サンプル、あるいはフォトダイオードに照射できる。一方、SPring-8 の時間分解測定用の運転モード、セベラルバンチモードでは、時間分解測定に有効な孤立バンチだけでなく、ほか

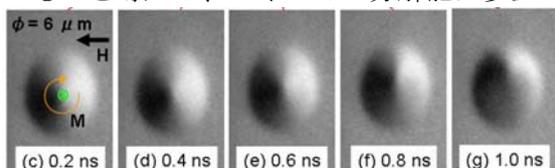
の多くのユーザーの要望を満たすために、蓄積電流を確保するための連続バンチトレインを含んでいる。この部分は時間分解とは関係ない信号になるので、光電子顕微鏡の検出器 (MCP) にかかる高電圧を、そのタイミングで高速に降下させることで、孤立バンチに由来する信号のみのイメージングを行うことに成功した。



上図に示すストリップラインには、約 300 p s 幅の電流が流れ、その間磁場パルスが生じていることを確認した。磁場パルスに対応する磁区運動の様子を、6 μ の直径をもつパーマロイドドットに対して観測した。下図に示すような運動がサブナノ秒の分解能スケールで観測できた。

現在はこのような孤立ドットだけでなく、互いに近接し、相互作用があると考えられるドット (配列) の磁区ダイナミクスの観測が進行中である。

外場として、光パルスを利用するためのシステムも構築した。チタンサファイヤレーザーの基本波を種光とした再生増幅器を導入し、5 kHz の繰り返し周波数で、放射光との同期を取ることに成功している。このような光誘起による磁化反転現象も研究の視野に入れており、その準備を進めている。反強磁性体 NiO の磁区の詳細を観測したり、その他の系の磁区観察を行ったりしている。5 kHz の繰り返し周波数では、イメージングの効率が相当落ちることが予想される。そのため、放射光ビームラインの回折格子として、新たに低刻線密度のものを導入し、エネルギー分解能は多少



犠牲にしつつも、光束密度で、これまでの 10 倍の強度を達成することができた。

## 5. 今後の計画

完成したシステムを用い、相互作用のあるメゾスコピック磁性ドットの磁場パルス応答を、詳細に観測し、シミュレーションとの比較を行う。そのために、測定装置の高精度化を行う。また、反強磁性体 NiO や、強磁性薄膜 GdFeCo 合金に対する光による磁化反転現象や振動現象などの観測を目指す。

磁場、光パルスだけでなく、電場に対する応答現象の光電子顕微鏡による観測も目指す。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

“Construction and development of a time-resolved XMCD-PEEM system using femtosecond laser pulses at BL-25SU SPring-8”; K. Fukumoto, K. Arai, T. Matsushita, H. Osawa, T. Nakamura, T. Muro, T. Kimura, Y. Otani, and T. Kinoshita, Review of Scientific Instruments, 79 (2008) 063903-1~5.

“Characterization of spectroscopic photoemission and low energy electron microscope using multi-polarized soft x-rays at BL17SU/SPring-8”, F.-Z. Guo, T. Muro, T. Matsushita, T. Wakita, H. Ohashi, Y. Senba, T. Kinoshita, K. Kobayashi, Y. Saitoh, T. Koshikawa, T. Yasue, M. Oura, T. Takeuchi and S. Shin, Review of Scientific Instrumentation, 78 (2007) 066107-1~3.

## 招待講演

International workshop on Synchrotron Facilities for the development of Science and Technology in the Central and Eastern Europe, Bruno, チェコ共和国, 2007 年 11 月 20 日、21 日, “Recent Activities and Status of the Spectroscopy Beamlines at SPring-8”, **Toyohiko Kinoshita**.

## 国際会議発表

”Development of time-resolved Photoelectron Emission Microscope for pump & probe measurements using fs-laser and SR light at SPring-8”, T. Kinoshita, K. Fukumoto, K. Arai, T. Matsushita, H. Osawa, T. Nakamura, T. Muro, T. Kimura, Y. Otani, VUV 15, Berlin Germany, 2007 年 7 月 30 日.

<http://www.spring8.or.jp>