

平成 21 年 4 月 14 日現在

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2006 年～2010 年度

課題番号：18101004

研究課題名（和文） 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

研究課題名（英文） Observation of ultra-fast magnetic response by a time-resolved photoemission electron microscope

研究代表者

木下 豊彦（KINOSHITA TOYOHIKO）

財団法人高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・分光物性 II グループ・グループリーダー、主席研究員

研究者番号：60202040

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：メソスコピック物理、放射光光電子顕微鏡、磁気イメージング、時間分解観測

## 1. 研究計画の概要

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測をさらに発展させ、ポンプ&プローブ観測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サブナノ秒の時間分解能で実現する。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。

## 2. 研究の進捗状況

研究の目的を達成するために、放射光パルスとポンプ光である、チタンサファイヤレーザーを同期させるシステムを導入した。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 の放射光バンチパルスと同期した信号は、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）にかける高電圧を、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。6  $\mu$  の直径をもつパーマロイドドットに対して観測した。

外場として、光パルスを利用するためのシステムでは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。時間分解測定効率を上げるため、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。

## 3. 現在までの達成度

本研究課題は、おおむね順調に進展していると考えている。当初の予定通り、2 年間で、放射光とレーザーとの同期、およびそのシステムと光電子顕微鏡を組み合わせ、メソスコピックサイズの磁性ドットの磁場パルスに対する動的観測を行うことに成功した。3 年目には、その測定の高精度化（ビームラインにおける光強度の増加を図り、インピーダンス整合を適切に行うこと

で反射パルスを抑えるなど)を行い、孤立ドットの運動とともに、ほかでは観測例のない、近接した二つのドットの相互作用を観測できるまで、システムは立ち上がっている。また、今後の測定に向けた予備的な実験も進行している。

途中、任期つき研究員の移動でマンパワーに関する心配があったが、それに取って代わる新たなスタッフがプロジェクトに参加してくれることとなった。

今後は、磁性ドットの動的観察をより高精度で行い、定量的な解析を行い、シミュレーションとの比較を行うことで成果発表をする。

また、磁場パルス以外の外場パルスに対する応答現象の観測も目的のひとつであった。すでに再生増幅器からの高出力レーザーパルスを5kHzの繰り返し周波数で、放射光と同期することに成功している。光に対する磁化反転を研究するための系として、反強磁性NiOの磁区観察などの研究が進展しており、強磁性体に関しても予備実験を開始した。残り2年間で成果が出てくるものと期待している。

#### 4. 今後の研究の推進方策

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。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件、査読有)

①“Correlation between exchange bias field and domain size of ferromagnetic layers in Mn-Ir/Co-Fe bilayers”; H. Takahashi, M. Tsunoda, K. Fukumoto, T. Nakamura, K. Arai, T. Kinoshita and M. Takahashi, *Journal of Applied Physics*, 105 (2009), 07D720-1~3.

②“Magnetic-domain structure analysis of Nd-Fe-B sintered magnets using XMCD-PEEM technique”; Y. Yamamoto, K. Fukumoto, T. Nakamura, T. Kinoshita, F.-Z. Guo, et al., *Material Transactions* 49 (2008) 2354-2359.

③ “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.

④ “Surface antiferromagnetic domain structures of NiO(001) studied using UV photoemission electron microscope”, F.-Z. Guo, H. -L. Sun, T. Okuda, K. Kobayashi and T. Kinoshita, *Surface Science*, 601 (2007) 4686-4689.

[学会発表] (計 23 件)

①K. Fukumoto, K. Arai, T. Matsushita, H. Osawa, T. Nakamura, T. Muro, T. Kimura, Y. Otani and T. Kinoshita, “Field Dependence of the vortex core speed in micron sized Fe Ni disks”, 6th international workshop on LEEM-PEEM, Trieste, Italy, 2008年9月(口頭発表)

②新井 邦明, 福本 恵紀, 木下 豊彦ほか「静磁的に結合したミクロンサイズ磁気円盤配列における磁気渦コアダイナミクスの観測」日本物理学会2008年秋季大会, 岩手大学,

③International 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. (招待講演)

[図書] (計 1 件)

①「磁気イメージングハンドブック」日本磁気学会編、共立出版、第2章、2節 [光電子顕微鏡&スピン偏極低エネルギー電子顕微鏡]、木下豊彦2009年秋ごろ出版予定

[その他]

①SPring-8 Redearch Frontier 2008 (2009年5月ごろ出版予定)中、福本が装置の概要を紹介。WEBにも掲載予定。URL:[http://www.spring8.or.jp/ja/support/download/publication/research\\_frontiers/publicfolder\\_view](http://www.spring8.or.jp/ja/support/download/publication/research_frontiers/publicfolder_view)

②SPring-8講習会「高輝度放射光を利用した光電子分光技術－入門から応用例まで－」、2009年03月04日 メルパルク大阪において、参加者約80名にて光電子分光の概論で、成果を紹介。URL:[http://www.spring8.or.jp/ja/users/meeting/2009/sp8\\_lecture\\_haxpes/meeting\\_view](http://www.spring8.or.jp/ja/users/meeting/2009/sp8_lecture_haxpes/meeting_view)