

## ナノ磁気円盤配列における磁気ダイナミクスの時間分解光電子顕微鏡観測～より定量性のある観測を目指して

### Magnetic dynamics of magnetic micro-disk array observed by time-resolved photoelectron emission microscopy

新井邦明<sup>a</sup>、奥田太一<sup>b</sup>、大河内拓雄<sup>c</sup>、小嗣真人<sup>c</sup>、児玉謙司<sup>c</sup>、大沢仁志<sup>c</sup>、中村哲也<sup>c</sup>、  
松下智裕<sup>c</sup>、室隆桂之<sup>c</sup>、大谷義近<sup>a</sup>、木下豊彦<sup>c</sup>

K. Arai<sup>a</sup>, T. Okuda<sup>b</sup>, T. Ohkochi<sup>c</sup>, M. Kotsugi<sup>c</sup>, K. Kodama<sup>c</sup>, H. Osawa<sup>c</sup>, T. Nakamura<sup>c</sup>,  
T. Matsushita<sup>c</sup>, T. Muro<sup>c</sup>, Y. Ohtani<sup>a</sup> and T. Kinoshita<sup>c</sup>

東京大学物性研究所<sup>a</sup>、広島大学放射光科学研究センター<sup>b</sup>、高輝度光科学研究センター<sup>c</sup>  
ISSP<sup>a</sup>, HSRC<sup>b</sup>, JASRI<sup>c</sup>

これまで、微小磁気円盤に磁場印加した際の磁気ドメイン構造の動的変化をとらえることを目標に、磁気ドメイン構造のサブナノ秒スケールでの時間分解測定を行ってきた。磁場に対する磁気渦の変化を定量的に観測するためには、反射電流による磁場の振動が少なく、パルス幅の狭い磁場パルス印加が必要があるが、これまでの実験では良質の磁場パルスを得ることができなかった。今回インピーダンスマッチングを行ったコプラナー導波路上に試料を作製し、パルス電流を発生するためのフォトダイオードとフェムト秒レーザーパルスのパラメータを探索することにより、回路内の電流反射による磁場振動の少ない、パルス幅の狭い磁場パルスを得ることに成功した。これにより孤立円盤、隣接円盤の磁気渦構造の外部磁場による動的変化をより定量的に観測する目途が立った。

In order to observe the magnetic dynamics of magnetic micro-disk, we have attempted to perform the time-resolved magnetic domain imaging by photoelectron emission microscopy combined with the magnetic circular dichroism. Our way of observing the magnetic dynamics is pump-probe method using pulse magnetic field produced by a pulse current passing through the strip-line sample. The pulse current is realized by the irradiation of the femto-second laser pulse onto the photodiode that is connected to the electric circuit involving the strip-line. For the quantitative analysis of the magnetic dynamics, it is necessary to apply a single magnetic pulse with the pulse width as short as possible. However, in the previous measurement the obtained magnetic pulse had some intensity oscillation by the reflection of the current in the electric circuit and the pulse width was quite large (~10 ns). In order to reduce the current reflection we have fabricated the coplanar wave-guide sample. By searching the best parameters (applying voltage of photodiode and the laser power) we have succeeded to obtain quite short magnetic pulse without intensity oscillation by the current reflection. It is expected that the quantitative analysis of magnetic dynamics can be possible by using the good quality magnetic pulse near future.

キーワード：磁気円二色性、光電子顕微鏡、磁気ドメイン、時間分解、磁気ダイナミクス

**背景と研究目的：** 直径数ミクロン、膜厚数 10 nm 程度の磁性体円盤には、磁壁の無い面内磁気渦構造(磁気 vortex 構造)が形成され、円盤中心に垂直方向の磁気モーメントを持つコアを生じる。このような磁気円盤の面内方向に外部磁場を印加すると磁気渦のコアが変位し、その後らせん運動することが知られている<sup>1)</sup>。このような運動におけるコアの変位の大きさや向き、またそのスピード、螺旋運動の周波数などは磁気円盤の大きさや厚さ、外部磁場の大きさ等によって変化することが予想される。また複数の磁気円盤を隣接させ

た系では、磁気双極子相互作用が円盤間に働くため、孤立した系とは異なるコアの固有周波数や変位の大きさなどが現れることが期待される<sup>2)</sup>。本研究ではこれまで明確にとらえられていないこの隣接する磁気円盤同士の相互作用を定量的に観測することを目的としている。そのため、まずは孤立円盤のダイナミクスを詳細に観測し、続いて近接させた磁気円盤間の相互作用による磁気応答の変化を観測することをめざし実験を行った。

**実験：** 実験は、BL25SU で行った。直径

数ミクロンの磁気円盤 ( $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ ) の磁気ドメイン構造は放射光の偏光を利用した磁気円二色性と光電子顕微鏡 (PEEM) を組み合わせた手法を用いて観測した<sup>3)</sup>。図1のように、フェムト秒レーザーパルスをもとにフォトダイオードに照射し、それと繋いであるコプラナー導波路導体にパルス電流を発生させることによりパルス磁場を発生し、導体上に作製された磁気円盤の面内にパルス磁場を印加した。

これまでの課題で  $\phi 4, 6, 8 \mu\text{m}$  の孤立円盤の磁気渦コアの運動を観測し数十ナノ秒の周期で磁気渦が主に印加磁場に対して垂直方向に振動することを確認し、そのコアの移動速度は通常の磁壁を持つ磁気ドメイン構造の運動よりも速いことなどを観測してきた。しかし、円盤サイズの違いや、孤立円盤と隣接円盤の振動周波数や運動速度の違いの定量的な解析などはこれまで困難であった。その原因の一つとして、磁場パルスを発生させるための上述の回路内で電流の反射が生じ、印加磁場にも振動構造が現れてしまうことがあった。即ち、コアの固有振動なのか、外部磁場の影響なのか区別するのが難しかった。そこで本実験ではインピーダンス整合のなされたコプラナー導波路を用いることや最適なフォトダイオードへの印加電圧やレーザー照射条件を探索することにより反射パルスを大幅に抑制し、これまでに比べ反射が少なくパルス幅の狭い磁場を発生し、より定量的な解析が行えるようなシステム構築を目指した。

**結果、および、考察：** 図2はコプラナー導波路を用いた回路で発生した磁場の時間依存性を示したものである。このデータは磁場パルスと放射光パルスを同期させ、磁場パルスに対する放射光パルスのディレイを変化させながら PEEM 像を観測することにより得られたもので、放射光のパルスによりストロボ撮影のように時間分解 PEEM 像を取得することによりパルス磁場強度の時間依存性を観測したものである。つまり、放射光パルスと磁場パルスのタイミングが一致すると、その磁場により光電子の軌道が大きくゆがめられ PEEM 像に大きなひずみが生じることを利用して発生磁場の大きさの時間変化を観測することができる訳である。このような観測を、フォトダイオードへの印加電圧や照射するレーザー強度などのパラメータを変化させながら行い、そのパルス形状を比較した結果、ダイオードへの印加電圧は定格内で最大なときに回路内の反射が最も少ないことが確認された。続いてレーザーの強度を変化させていくと図のようにレーザー強度が減少する (= 回路内電流が小さい) に従いこれまでパルス形状に見られた反射 (図中矢印) が減少し、パルス電流値が  $145 \mu\text{A}$  以下ではほとんど抑制できることが分かった。その結果パルス幅も  $1.5\text{ns}$  以下と、これまでになく短いパルスが得られた。この反射が少なくパルス幅の狭い磁

場パルスを用いて、 $\phi 4, 5, 8 \mu\text{m}$  の孤立円盤のコアの振動を観測することができた。振動数やコアのスピード、変位などの詳細な解析が現在進行中である。ただし、リソグラフィーで作製した試料の質の問題で隣接円盤のデータは取得することができなかった。

**今後の課題：** 今回の実験で、磁気ダイナミクスの定量測定に必要な、パルス幅が小さくしかも反射の少ない磁場パルスが得られるめどが分かった。今後はこの磁場パルスを利用して隣接円盤間の相互作用について測定を行い、定量的な観測を行ってみたい。

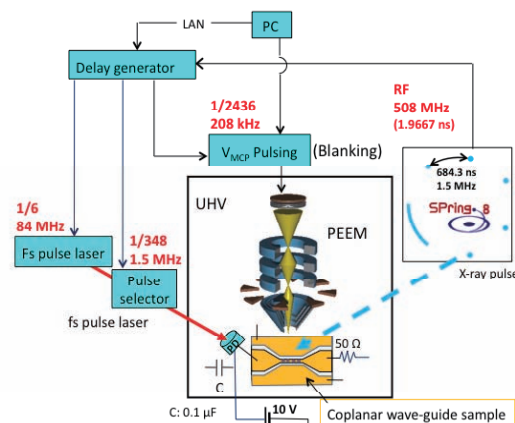


Fig.1 Schematic diagram of the time-resolved magnetic domain imaging by a photoelectron emission microscope combined with pulse laser. The pulse magnetic field is produced by the pulse current passing through the strip-line of the coplanar wave-guide sample.

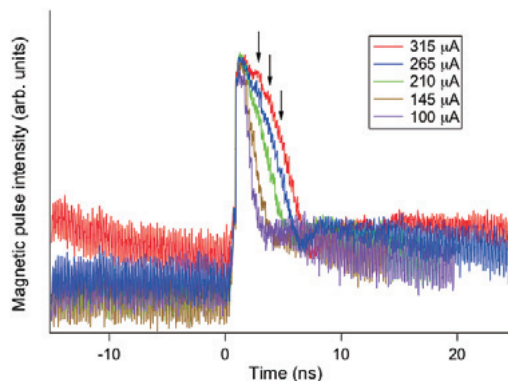


Fig.2 Pulse current dependence of the time structure of the magnetic pulse.

#### 参考文献

- 1) S.-B. Choe *et al.*, Science **304**, 420 (2004), J. Raabe *et al.* Phys. Rev. Lett. **94**, 217204 (2005).
- 2) J. Shibata *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 224404 (2003).
- 3) K. Fukumoto *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **79**, 063903 (2008).