

静磁的に結合したナノ磁気円盤における磁気渦ダイナミクスの時間分解観測
Time resolved observation of vortices dynamics in magneto-statically coupled magnetic nano disks

福本恵紀^a, 松下智裕^a, 中村哲也^a, 室隆桂之^a, 木下豊彦^{a,c}, 新井邦明^b, 木村崇^{b,d}, 大谷義近^{b,d}

Keiki Fukumoto^a, Tomohiro Matushita^a, Tetsuya Nakamura^a, Takayuki Muro^a, Toyohiko Kinoshita^{a,c},
 Kuniaki Arai^b, Takashi Kimura^{b,d}, Yoshichika Otani^{b,d}

^a高輝度光科学研究センター, ^b東京大学物性研究所, ^cCREST, ^d理化学研究所
^aJASRI, ^bISSP, The Univ. of Tokyo, ^cCREST, ^dRIKEN

ミクロンまたはサブミクロンサイズの磁性体中のスピンドイナミクスは、磁気記録媒体の高密度化・高速化へ向け、盛んに研究が進められている。高密度化における問題点の一つにドット間磁気的相互作用がある。特に、磁気異方性を持たない円盤型 FeNi は、磁気構造をとるため円盤中心の面直磁化を持つ渦コアからの磁気双極エネルギーがスピンドイナミクスに影響すると考えられている。そこで、本研究は、1 μm の距離を隔てた2つの直径6 μm の磁気円盤に約300ピコ秒幅の磁場パルスを印加し、2つのコアのダイナミクスを時間分解X線光電子顕微鏡により観察した。結果、同じ渦方向のコア間では斥力が働いていることを観察した。

A pump& probe time-resolved photoemission electron microscope (PEEM) method has been applied for the observation of dynamical motion of magnetic domain of mesoscopic dots, which is very useful to obtain basic information towards realizing high-density and high-speed magnetic recoding. We applied about 300ps width magnetic pulse to the dots fabricated by electron lithography method and observed stroboscopic PEEM images combining with soft-x-ray magnetic circular dichroism effect. The speed of magnetic core and the interaction between the two vortex cores were observed.

キーワード：次世代高密度磁気記録媒体、光電子顕微鏡、X線磁気円二色性、時間分解測定

背景と研究目的： 磁気的異方性エネルギーが小さいミクロンサイズに加工された円盤型磁石は、漏れ磁場エネルギーを小さくするために磁気渦スピン構造をとる。しかし、その円盤中央では、スピン交換エネルギーを抑えるために直径約10 nmの面直方向の磁化を持つコアが形成される。

本課題の目的は、ミクロンサイズの磁気円盤を高密度に配列した系において、超短パルス磁場印加後のコアのダイナミクスの相互作用を観察することである。実験方法は、軟X線ビームラインBL25SUに常設されている光電子顕微鏡を用いて磁気円二色性により磁区構造を観察し、フェムト秒レーザーパルスによって発生した磁場パルスと放射光パルスを同期することによりダイナミクス観察を行うことである。

実験方法： 本研究では、BL25SUの光電子顕微鏡装置 (Photoemission Electron Microscope; PEEM)で行ってきた、磁気円二色性を利用した磁区観察をさらに一歩進め、ポンプ&プローブ法と組み合わせた時間分解PEEMによって表記の観察を行う。図1に時間

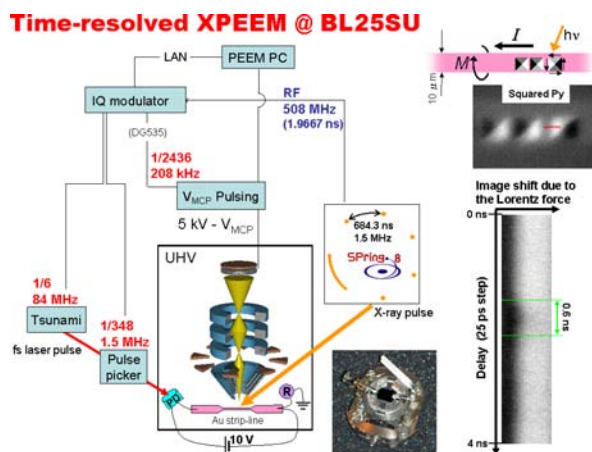


図1 BL25SUにおけるポンプ&プローブ時間分解光電子顕微鏡測定模式図

分解PEEM測定の模式図を示す。

今回、使用した蓄積バンチDモードは図中に示したように5つのシングルバンチと1つのバンチトレインから成っている。フェムト秒パルスレーザーはそのシングルバンチに同期した。バン

チトレインからのシグナルは、PEEMのマイクロチャンネルプレートの電圧を周期的に降下させることで遮断した。ミクロンサイズのFeNi磁気円盤群は、 $10\ \mu\text{m}$ 幅のAu strip-line上に作製した。strip-lineに接続されたフォトダイオードにフェムト秒レーザーを照射し、strip-lineに流れたパルス電流がline周りに磁場を発生する。これを引き金とした磁区ダイナミクスを観察した。発生した磁場パルスの時間幅は、半値幅で約300ピコ秒であった。これは、ローレンツ力による顕微鏡イメージのシフトから見積もられた。

結果、および、考察： 図2は、今回観察した近接した2つの直径 $6\ \mu\text{m}$ の磁気円盤中磁区のダイナミクスである。ミクロンサイズの磁気円盤は、漏洩磁場を小さくするために、図中右にあるように磁気渦構造をとる。その磁化方向はオレンジの矢印で示されている。左図から遅延時間約1ナノ秒あたりに磁場パルスがあることが分かり、黒矢印は磁場パルスの方向である。図中右に200ピコ秒ステップでポンプ-プローブ法によるストロボ撮影の結果が示されており、磁気渦構造中で磁場パルス方向に平行な成分が拡大され、磁気渦のコア同士が近づいていくのが観察された。

コア間の磁氣的相互作用を観察するに先立ち、磁気エネルギー的に孤立した円盤(直径 $6\ \mu\text{m}$)中のコアダイナミクスの詳細な観察を行い、コアの移動速度の印加磁場強度依存性の興味深い結果が得られた。1次元の磁壁では、磁場の大きさに対する磁壁移動速度の変化は報告されている。小さい磁場領域では、Exponentialに増加していき、次に磁場強度に対しLinearに増加。そして、ある臨界磁場で速度は飽和する。この磁場は、WalkerFieldと呼ばれる。

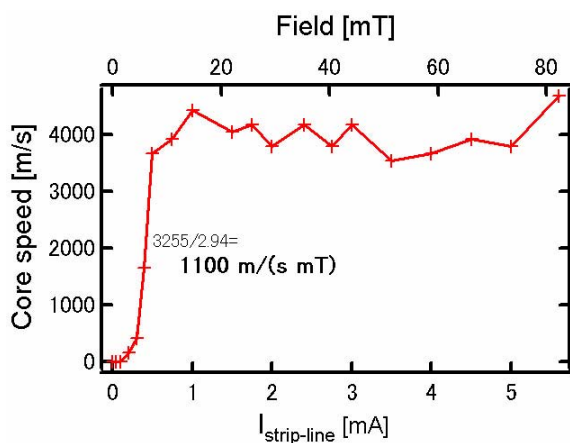


図3 6ミクロンサイズのドットに対して観測されたコアスピードの磁場依存性。

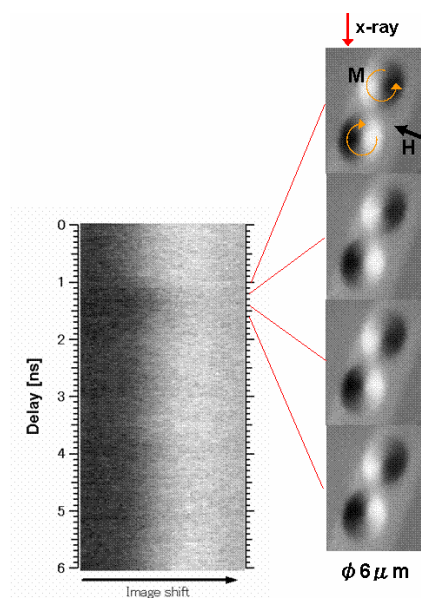


図2 6ミクロンサイズのパーマロイドのストロボ撮影 PEEM イメージ。

ばれている。今回の測定では、コアの移動速度で同様の振る舞いを観測した。コア速度が 4000m/s で飽和することが図3に示されている。縦軸がコア速度で、横軸が磁場強度を示している。コアのダイナミクス特性を理解することにより、コア磁化方向の高速スイッチの実現を今後試みる予定である。さらに、コアが円盤中央で振動運動することも観測できた。その振動周期は 50MHz で、これまでに報告されている理論または実験結果[1]に良く一致している。

今後の課題： 今回は、さらにコア間相互作用、即ち、コアの磁化方向が平行である場合、斥力が働くことを確認した。異なる円盤間距離または円盤直径で測定を行ったので、今後その距離、形状、配置依存性などを確認していく予定である。

参考文献

[1] Shibata et al., J. Magn. Magn. Mater. **310**, 2041 (2007)