

- ・実施課題番号：2005B0785
- ・実施課題名：Micro-XMCD による磁気ドットの磁化反転に関する研究
- ・実験責任者 近藤祐治（秋田県産業技術総合研究センター）
- ・共同実験者 鈴木基寛（高輝度光科学研究センター），有明順，千葉隆（秋田県産業技術総合研究センター），高垣昌史，河村直己（高輝度光科学研究センター）
- ・使用ビームライン：BL39XU
- ・実験結果：

1. はじめに

2005 年には垂直磁気記録方式のハードディスクドライブ（HDD）が市販化されたのを始め，その後も各メーカーから同方式の HDD が発売されようとしており，いよいよ HDD 業界では面内磁気記録方式から垂直磁気記録方式への移行が現実になってきた．しかし，垂直磁気記録といえども，グラニューラー型連続媒体では記録ビットの熱磁気緩和による記録密度の上限は 600 Gbit/in² と言われている[1]．1 Tbit/in² 以上の面記録密度を達成する方式として，いくつかの新たなものが提案されているが，その中でも単磁区構造を持つ磁気ドットを周期的に 2 次元配列したパターンドメディアが最も有力視されている．我々は集束イオンビーム（FIB）を用いて磁気ドットアレイの作製を行い，ドット間隔と静磁相互作用の関係からパターンドメディアの設計指針について研究を行ってきた[2]．しかし，FIB 加工は大面積の加工には向いていないため，汎用の磁気測定装置（VSM や SQUID）では感度が足りず，磁気測定が困難であった．そこで，マイクロビーム X 線による X 線磁気円二色性（micro-XMCD）を用いて，FIB で作製した磁気ドットアレイの基礎的な磁気特性を評価した．

2. CoPt 磁気ドットアレイ

磁気ドットアレイ試料は，予めガラスディスク基板に成膜した磁性膜を FIB によりパターニングすることで作製した．磁性膜の膜構成は Co₈₀Pt₂₀(at.%) (15 nm)/Au(6 nm)/Ti(5 nm)/glass でマグネトロンスパッタ法により室温で成膜した．パターニングは FIB 装置（SII ナノテクノロジー社製，SMI2050MS）で行った．加工には加速電圧 30 keV，試料電流 1 pA の Ga イオンを用いた．全体の試料サイズはディスク基板から切り出した 5 mm 角基板であるが，ドットアレイはその中央部分の 8 μm² 領域のみに配置した．ドットの大きさは 1 辺 70，100，150 nm の正方ドットでドット間隔は 100 nm で固定とした．

3. XMCD 実験

磁気ドットアレイおよび加工する前の CoPt 連続膜の磁気特性の評価は Pt L₃ 吸収端 (hν=11.6 keV) で蛍光法を用いた XMCD 測定により行った．ビームラインは BL39XU を使用した．8 μm² 領域内の磁気ドットのための XMCD 測定をするために，二結晶分光器で単色化された X 線を Kirkpatrick-Baez(K-B)ミラーで 2.4(H)×2.5(V) μm² に集光した[3]．また，φ20 μm のピンホールを K-B ミラーと試料の間に配置することで，散乱光や迷光を抑制した．XMCD ヒステリシス測定は，2005 年夏に新たに導入したマイクロビーム X 線用の小型電磁石（ポールピースギャップ 10 mm）と試料回転ステージを用い，最大 8 kOe の磁場中で行った[4]．

4. 結果および考察

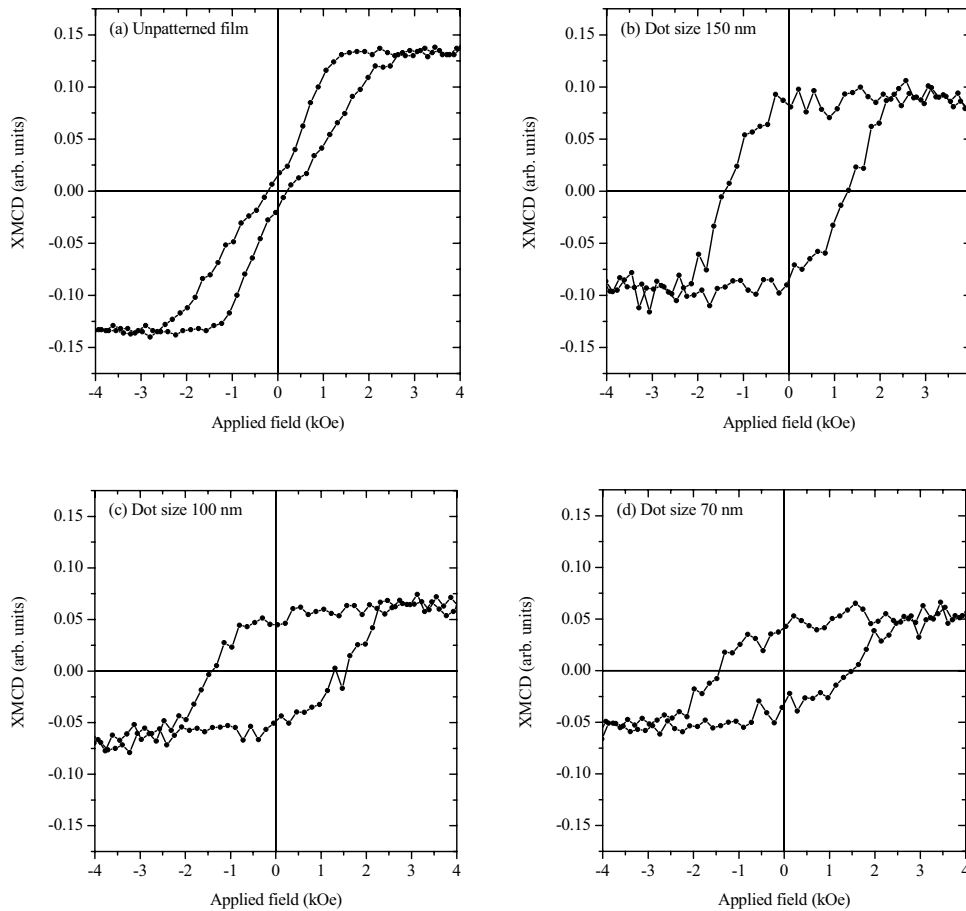


Fig.1 加工前の CoPt 連続膜(a)と CoPt 磁気ドットアレイ(b~d)の Pt L₃ 吸収端での XMCD ヒステリシス曲線. ドットサイズは(b) 150 nm, (c) 100 nm, (d) 70 nm.

Fig.1 に加工前の CoPt 連続膜(a)と磁気ドットアレイ(b~d)の XMCD ヒステリシス曲線を示す. ここで, 印加磁場方向は膜面に対して垂直方向($\theta=0^\circ$)である. また, Fig.1 の縦軸は Co の蛍光強度で規格化しているために, 磁性体の単位体積あたりの磁気モーメントに比例した値を示している. 連続膜と磁気ドットアレイの飽和した状態 (3 kOe 以上) での XMCD 強度を比較すると, 磁気ドットアレイでは連続膜より減少している. また, ドットサイズが小さくなるにつれて XMCD 強度が減少していることがわかる. 以前, IBM から FIB 加工によって Ga イオンが進行方向に 25 nm 程度侵入し, 磁化や一軸磁気異方性を減少させることが報告されたが[5], 今回の結果はイオンの進行方向だけでなく, それと垂直方向にも打ち込まれることによって, ドットの外周部で磁化の減少を引き起こしたと考えられる. ドットの外周部に Ga イオンの打ち込みによって磁化を失った領域 (幅 W_d) が生成されたと仮定すると, Fig.1 に示した XMCD 強度の変化から W_d は 13 nm 程度と見積もることができる. 次に試料面垂直方向の抗磁力(H_c)および残留磁化(M_r/M_s)は, 連続膜では 100 Oe, 0.1 と低く, 面内方向に強い交換結合した磁壁移動型の磁化反転機構を持つことが推察される. 一方, CoPt 磁気ドットアレイでは H_c および M_r/M_s は 1.5 kOe, 0.7 以上に増加して角型性の良いヒステリシス曲線に変化した. これは, ドット化することにより, 磁壁移動型から磁化反転機構が変化したためと言える. しかし, 今回のドットサイズはコヒーレント長よりも十分大きく, 一斉磁化回転モードを有しているとは考えにく

い。今後、 H_c の角度依存性からどのような磁化反転機構を有しているかの検討が必要である。また、今回の結果から、micro-XMCDを用いると、微小領域のナノ構造磁性体の磁気測定に耐えるだけ十分な感度を有することがわかった。よって、1 Tbit/in²を達成するパターンドメディアにおいても強力な評価ツールになると思われる。

5. まとめ

micro-XMCDを用いて、8 μm^2 領域に作製したドットサイズ70~150 nmのCoPt磁気ドットアレイの磁気測定を行った。磁気ドットアレイの垂直抗磁力(H_c)は加工前のCoPt連続膜の H_c と比べ、10倍以上も増加し、連続膜の磁壁移動型の磁化反転機構から変化したことが推察された。ドットサイズが小さくなるほどXMCD強度が減少しており、FIB加工により、ドット外周部が磁氣的にダメージを受け、磁化を失っていることが考えられる。また、micro-XMCDは微小領域のナノ構造磁性体の強力な磁気評価法であると言える。

謝辞

日頃ご指導を賜ります岩崎俊一東北工業大学長ならびに大内一弘秋田県高度技術研究所名誉所長に感謝いたします。本研究を遂行するに当たり、本多直樹副所長ならびに高橋慎吾上席研究員にはご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。本研究の一部は科学技術振興機構、秋田県地域結集型共同研究事業「次世代磁気記録技術と脳医療応用技術開発」の一環として行われた。

参考文献

- [1] 本多直樹, 信学技法, MR2004-31 (2004).
- [2] 近藤祐治, 経徳敏明, 高橋慎吾, 本多直樹, 大内一弘, 日本応用磁気学会誌, 掲載予定 (2006).
- [3] M. Takagaki, M. Suzuki, N. Kawamura, H. Mimura and T. Ishikawa, The 8th International Conference on X-ray Microscopy, 26-30, July 2005, Himeji, Japan.
- [4] M. Takagaki, M. Suzuki, N. Kawamura, Y. Kondo, J. Ariake, T. Chiba, H. Mimura, T. Ishikawa, The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instrument, 28 May-2 June, 2006, Daegu, Korea.
- [5] T. Rettner, S. Anders, T. Thomson, M. Albrecht, Y. Ikeda, M. E. Best, B. D. Terris, IEEE Trans. Magn., 38, 1725 (2002).