

顕微磁気円二色性を用いたパターン媒体作製における イオン打ち込みの効果に関する研究

Study on Effects of Ion Implantation in Fabrication Process of Patterned Media by Micro-X-ray Magnetic Circular Dichroism Measurement

近藤 祐治^a, 千葉 隆^a, B. M. Zulfakri^b, 有明 順^a, 田口 香^a,
鈴木 基寛^c, 河村 直己^c, 保坂 純夫^b, 本多 直樹^a
Yuji Kondo^a, Takashi Chiba^a, B. M. Zulfakri^b, Jun Ariake^a, Kaori Taguchi^a,
Motohiro Suzuki^c, Naomi Kawamura^c, Sumio Hosaka^b, Naoki Honda^a

^a秋田県産業技術総合研究センター, ^b群馬大学, ^c高輝度光科学研究センター

^aAkita Pref. R&D center, ^bGunma Univ., ^cJASRI

1 Tbit/in²以上の記録密度を実現するパターン媒体の作製プロセスとして、低エネルギーかつ軽元素イオンを用いた低ダメージプロセスが有効であることを顕微磁気円二色性を用いて検証した。CoPt 垂直磁化膜上に電子線描画によりパターンニングした電子線レジストパターンをマスクとして、200 eV の Ar イオンによりエッチングすることで CoPt 磁性ドットアレイを作製した。磁性ドットアレイの Pt L₃ 吸収端における元素選択磁化測定の結果、ドットサイズに関係なく磁気円二色性強度にほとんど変化がなく、低エネルギー Ar イオンエッチングを用いることで、エッチングによる磁氣的ダメージを軽減する効果があることがわかった。

We have proposed an etching process by ions with lower energy and smaller atomic number in order to reduce magnetic damage by ion etching. An effectiveness of this process was examined by micro-XMCD measurement of CoPt dot arrays which were patterned by Ar ions with energy of as low as 200 eV using an electron beam resist mask. Saturated XMCD intensities of CoPt dot arrays were not decrease compared to one of the original film. It was concluded that the etching process using ions with lower energy and smaller atomic number is effective for realization of bit patterned media with an areal density of 1 Tbit/in² and beyond.

キーワード：垂直磁気記録、パターン媒体、イオン打ち込み、micro-XMCD

背景と研究目的： 現在、市販されているハードディスクドライブにはグラニュー型媒体が用いられているが、記録ビットの熱磁気緩和により 1 Tbit/in² 以上の面記録密度は不可能であると言われて¹⁾。1 Tbit/in² 以上の記録密度では、単磁区構造を持つ磁性ドットを周期的に 2 次元配列したパターン媒体が最も有力視されている。そこで、我々はこれまでに集束イオンビーム (FIB) を用いて作製した磁性ドットアレイの磁気特性評価を、micro-XMCD (顕微磁気円二色性)³⁾を用いて行ってきた (課題番号：2005B0785, 2006B0123)²⁾。これまでの実験で、ドットサイズが小さくなるにつれて Pt L₃ 端における XMCD (磁気円二色性) 強度が減少することがわかり、これは Ga イオンがドット外周部 13 nm の領域に打ち込まれることによりその領域の磁化が失われるためであると結論付けた。また、我々はこの磁氣的ダメージを軽減する手法として、低エネルギーかつ軽元素イオンを用いたエッチングが有効であることをモンテカルロシミュレーションの結果から得ている。そこ

で、本実験では、磁氣的ダメージを低減するための低エネルギーかつ軽元素イオンを用いたエッチングプロセスの有効性を実験的に検証する目的で、イオンエネルギー 200 eV の Ar イオンを用いたエッチングにより作製した磁性ドットアレイの磁気特性評価を行った。

実験： 磁性ドットの作製は、最初にガラス基板にスパッタ成膜された CoPt 垂直磁化膜上に電子線描画によりレジストをパターンニングして、

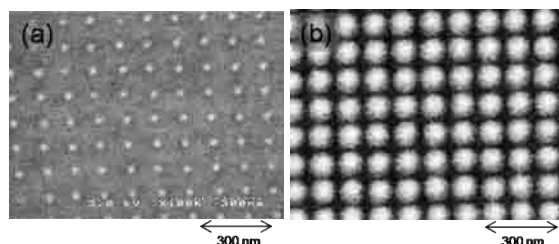


Fig. 1. Scanning electron microscope image (a) and magnetic force microscope image (b) of a magnetic dot array with dot size of 20 nm.

次いでそのレジストパターンをマスクとして Ar イオンミリングにより CoPt 膜へのパターン転写を行った。電子線描画に用いた電子線エネルギーは 30 keV、ビーム電流は 500 pA とした。また、Ar イオンミリングに用いるイオンエネルギーについては、モンテカルロシミュレーションを行い、イオン打ち込み幅が 1 nm 以下になるようにエネルギー 200 eV と決定した。そのときのビーム電流は 60 mA とした。作製したパターンサイズはドット径 100, 70, 20 nm でドット間隔は全て 100 nm、パターンニング領域は $8 \times 8 \mu\text{m}^2$ 角である。Fig. 1 に、例としてドット径 20 nm の磁性ドットアレイの SEM (走査型電子顕微鏡) 像と MFM (磁気力顕微鏡) 像を示す。MFM 像は残留磁化状態で観察されたものである。

XMCD 測定は BL39XU の Kirkpatrick-Baez ミラーを備えた micro-XMCD システムを用い、Pt L_3 吸収端での蛍光法により行った。X 線ビーム径は $2.5 \times 2.3 \mu\text{m}^2$ であった。磁場はマイクロビーム用電磁石により、最大 12 kOe (ポールピースギャップ 6 mm) を印加した。

結果、および、考察： Fig. 2 にパターンニング前の CoPt 連続膜と Ar イオンエッチングにより作製した 100, 70, 20 nm ドット径の CoPt 磁性ドットアレイについて、Pt L_3 端における ESMH (元素選択磁化) 曲線を示す。また、ドットサイズ 70 nm の Fig. 2 (c) には 30 keV の Ga イオンを用いた FIB により作製した CoPt 磁性ドットアレイの ESMH 曲線も示す (白丸)。印加磁場方向は膜面に対して垂直方向とした。Fig. 2 の縦軸は Pt の蛍光強度で規格化しているために、Pt 1 原子あたりの磁気モーメントに比例する値となっている。本実験で用いた磁性ドットでは、前回の結果と異なり、飽和した状態での規格化 XMCD 強度はドットサイズに依存せず一定であり、20 nm 径のドットアレイでも磁気モーメントの減少がほとんどなかった。このことから、Ar イオンが打ち込まれる領域が Ga イオンに比べて極端に狭いことから、磁氣的ダメージを受ける領域が狭いことを示唆している。また、ドット径 70 nm において、Ga イオンを用いた FIB エッチングによる磁性ドットアレイに対して行った XMCD 実験結果と比較して、今回の Ar イオンエッチングによる磁性ドットアレイでは抗磁力 (H_c) が大きいことがわかる。これはイオンエネルギーが大きいこと、イオンが打ち込まれたドット外周部で結晶性の劣化や非晶質化が起これ、磁性ドットの反転磁界の低下が起きたと考えられる。これらの結果から、より低エネルギー、軽元素イオンを用いることにより、エッチング時の磁氣的ダメージの軽減効果がある

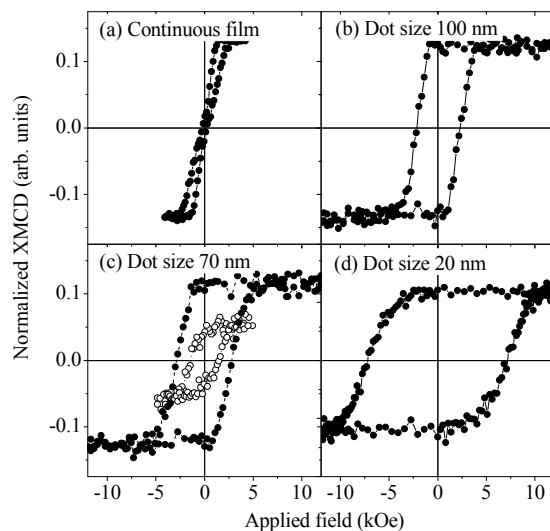


Fig. 2. ESMH curves at Pt L_3 edge of original film (a) and magnetic dot arrays with various dot size (b-d) by 200 eV Ar ions. ESMH curve with 70 nm dot by Ga ions with energy of 30 keV are also shown in (c).

ことがわかった。

本実験で、低エネルギー、軽元素イオンを用いることにより磁氣的ダメージの少ない 20 nm 径磁性ドットを作製可能なことが明らかになり、25 nm ピッチの磁性ドットアレイが必要なパターン媒体による 1 Tbit/in² の実現に向けて大きな期待が持てる結果が得られた。

今後の課題： 本研究で得られた XMCD 強度は磁性ドットアレイ全体の平均的な磁化の大きさに比例するが、今後は個々の磁性ドットが持つ磁化の大きさとそのばらつきについての情報を得ることが重要であると考えられる。

謝辞： 本研究は文部科学省科学研究費補助金 (若手研究 (B) 課題番号 19760243) の補助を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 本多直樹, 電子情報通信学会技術研究報告, **MR2004-31** (2004) 31.
- 2) M. Suzuki, M. Takagaki, Y. Kondo, N. Kawamura, J. Ariake, T. Chiba, H. Mimura, T. Ishikawa, *Proceedings of the International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, AIP Conference Series*, **879** (2007) 1699.
- 3) Y. Kondo, T. Chiba, J. Ariake, K. Taguchi, M. Suzuki, M. Takagaki, N. Kawamura, B. M. Zulfakri, S. Hosaka, N. Honda, *J. Magn. Magn. Mater.*, to be published.