

## ビット間交換結合を有するビットパターン媒体の磁気特性 Magnetic properties of bit-patterned media with exchange coupling between bits

近藤 祐治<sup>a</sup>, 有明 順<sup>a</sup>, 千葉 隆<sup>a</sup>, 田口 香<sup>a</sup>, 鈴木 基寛<sup>b</sup>, 河村 直己<sup>b</sup>, 本多 直樹<sup>c</sup>  
Yuji Kondo<sup>a</sup>, Jun Ariake<sup>a</sup>, Takashi Chiba<sup>a</sup>, Kaori Taguchi<sup>a</sup>,  
Motohiro Suzuki<sup>b</sup>, Naomi Kawamura<sup>b</sup>, Naoki Honda<sup>c</sup>

<sup>a</sup>秋田県産業技術総合研究センター, <sup>b</sup>高輝度光科学研究センター, <sup>c</sup>東北工業大学  
<sup>a</sup>Akita Research and Development Center, <sup>b</sup>JASRI, <sup>c</sup>Tohoku Institute of Technology

1 Tbit/in<sup>2</sup> 以上で顕著になる静磁気相互作用に起因するスイッチング磁界分散(SFD)を低減する手法としてビット間交換結合を導入することを提案した. ビット間交換結合の導入はビット転写プロセスにおいてエッチング時間を変えることでビット間の残膜厚を制御し交換結合を有する磁性ドットアレイを作製した. このようにして作製したドットアレイの ESMH 測定をした結果, 残膜厚が厚くなるにつれて, SFD が減少することが明らかになり, ビット間交換結合の導入が有効であることがわかった.

Increase in switching field distribution (SFD) deteriorates write-ability significantly of the recording head, especially in an areal density of 1 Tbit/in<sup>2</sup> and beyond. Therefore, the exchange coupled BPM between the dots was proposed as a technique to reduce the SFD. The exchange coupling was controlled with the residual film thickness between the dots. ESMH curves of the dot arrays with various exchange coupling strength were obtained by XMCD. As the residual film thickness became thick, the SFD became small. The exchange coupling could be successfully controlled by the residual film thickness between the dots in the milling process. The introduction of the coupling is effective to reduce the magnetostatic interaction effect in bit-patterned media.

キーワード: ビットパターン媒体, スwitching磁界分散, ビット間交換結合, 顕微磁気円二色性

**背景と研究目的:** ハードディスクに代表される磁気記録装置の次世代方式として, ビットパターン媒体 (BPM) が有力視されている. このパターン媒体では, 人工的に磁性ドットを周期的に配列して, その一つのドットに1ビットを記録することにより, 熱安定性の確保と記録磁界の低減を両立でき, 1 Tbit/in<sup>2</sup> 以上の面記録密度が達成できると期待されている. そこで, 我々はこれまでに 1 Tbit/in<sup>2</sup> 級の面記録密度に相当する磁性ドットを作製する手法として, 低エネルギーイオンによるエッチングを用いることによって, 磁氣的ダメージの少ない磁性ドットアレイの作製が可能であることを示してきた[1]. また, この作製手法を用いて, 1 Tbit/in<sup>2</sup> 級の磁性ドットアレイの作製と磁気特性評価についても世界に先駆けて報告してきた[2]. しかしながら, BPM を使ってとしても, 1 Tbit/in<sup>2</sup> 以上の記録密度においてはドット間の静磁気相互作用のためにスイッチング磁界分散(SFD)が大きくなり, 記録性能と熱安定性の両立が困難になることが問題視されている. SFD を低減する手法の一つとして, ビット間交換結合の導入により 2 Tbit/in<sup>2</sup> の面記録密度が実現できることがシミュレーションにより示されている[3]. 本研究で

は, 交換結合を有する Co-Pt ドットアレイの作製と磁気特性の検討を行った.

**実験:** Co-Pt膜はマグネトロンスパッタ法により成膜し, 記録層はCo<sub>80</sub>-Pt<sub>20</sub>(7 nm)とした. 磁性ドットアレイは電子線描画とArイオンミリングを用いてパターンニングした. 電子線レジストにはカリックスアレンを用いて, 加速電圧50 kV, ビーム電流50 pAの条件で描画を行った. Co-Pt膜へのパターン転写は, 磁氣的ダメージを軽減するために200 eVの低エネルギーArイオンでエッチングを行った. パターンサイズは1 Tbit/in<sup>2</sup> に相当するドット径17 nm, ドットピッチ25 nmとした (Fig. 1). 交換結合の強さは, エッチン

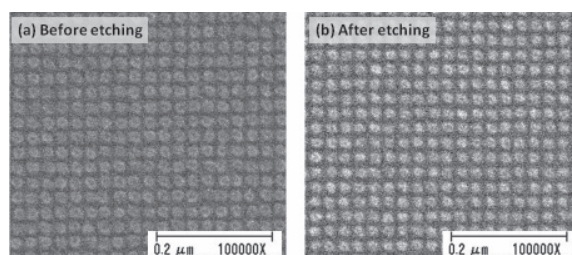


Fig. 1. Scanning electron microscope image of CoPt dot arrays with a dot diameter of 17 nm and periods of 25 nm.

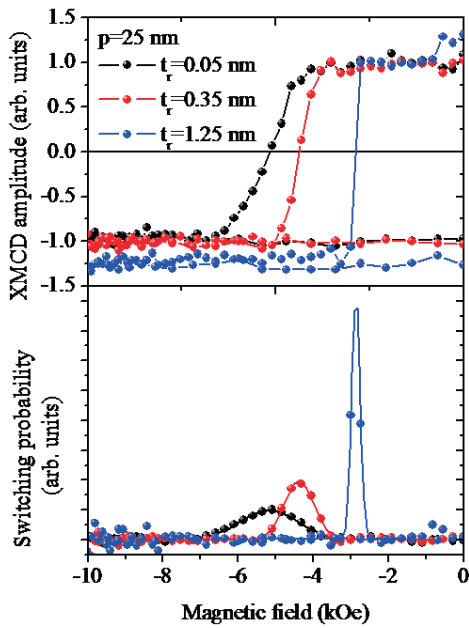


Fig. 2. ESMH curves of 25 nm-period CoPt dot arrays with various residual film thickness (upper) and switching probability evaluated by differentiating the ESMH curves (bottom).

グ時間を変えてドット間のCo-Pt残膜厚を変化させることで制御し、本研究では残膜厚を0.05, 0.35, 1.25 nmと変化させた3種類の試料を作製した。XMCD測定はBL39XUのKirkpatrick-Baezミラーを備えたmicro-XMCDシステム[4]を用い、Pt  $L_3$ 端での蛍光法により行った。X線ビーム径は $2.6 (H) \times 3.3 (V) \mu\text{m}^2$ であった。磁場はマイクロビーム用電磁石により、試料面に対して垂直方向に最大12 kOe（ポールピースギャップ6 mm）を印加した。

**結果と考察：** Fig. 2 上図に 25 nm ピッチ Co-Pt ドットアレイの Pt  $L_3$  吸収端における ESMH 曲線を示す。図中の黒丸、赤丸、青丸はそれぞれ残膜厚 0.05, 0.35, 1.25 nm のドットアレイに対応する。残膜厚が厚くなるにつれて ESMH 曲線の保磁力( $H_c$ )付近の傾きが大きくなっているのがわかる。これは残膜厚を厚くしたことによって、ビット間の交換結合が増加したためと考えられる。次に ESMH 曲線から SFD を求めるために、ESMH 曲線を微分し、ガウス関数フィッティングした結果を Fig. 2 の下図に示す。このフィッティング結果から標準偏差  $\sigma H_{sw}$  を求め、 $H_c$  で規格化したものを  $SFD(\sigma H_{sw}/H_c)$  と定義した。Fig. 3 に SFD の残膜厚依存性を示す。残膜なしの場合には 15 %程度の SFD が残膜厚を厚くしてドット間交換結合を導入することによって、5 %程度の SFD まで減少できることがわかった。また、交換結合磁界( $H_c$ )を変えたドット

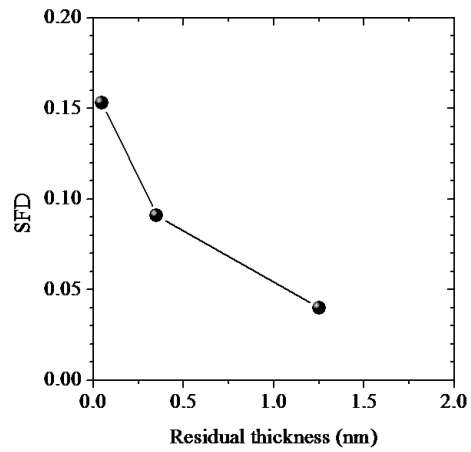


Fig. 3. Switching field distributions of CoPt dot arrays as a function of residual film thickness.

アレイに対する磁化曲線をマイクロマグネティック計算により求めた結果、交換結合が強いほど SFD は小さくなり、Fig. 3 の実験結果と同様な結果が得られた。以上の結果より、ビット間交換結合はミリング時間により制御でき、それにより SFD を減少できるため、ビット間交換結合の導入は  $1 \text{ Tbit/in}^2$  以上の記録密度において熱安定性と記録性能を両立する手段として有効であることがわかった。

**今後の課題：** 今回の実験から、ドットの反転磁界分散(SFD)を低減する手法として、ビット間交換結合の導入が有効であることが明らかになったため、今後はより実際の実用媒体の系に近い構造のビットパターン媒体作製を行い、その磁気特性評価からビット間交換結合導入の有効性を示していく予定である。

**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）および NEDO グリーン IT プロジェクト（富士通株式会社からの再委託）の補助を受けて実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) 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.*, **320** (2008) 3157.
- 2) Y. Kondo, J. Ariake, T. Chiba, K. Taguchi, M. Suzuki, N. Kawamura, N. Honda, Digests of Intermag 2009 (Sacramento), CP-03, 2009.
- 3) N. Honda, K. Yamakawa, K. Ouchi, *IEEE Trans. Magn.*, **43**, 2142 (2007).
- 4) M. Suzuki, M. Takagaki, Y. Kondo, N. Kawamura, J. Ariake, T. Chiba, H. Mimura, T. Ishikawa, *AIP Conference Series*, **879** (2007) 1699.