C-2

規則配列金属ナノドット作製に向けた電子線描画形成パターンのビーム電流 /ドーズ時間依存性

Dose time and beam current dependence of patterning for patterned metal nanodot fabrication by Electron Beam Lithography

〇苗木俊樹¹, 田中万裕², 塚本新³ Toshiki Naeki¹, Masahiro Tanaka², and Arata Tsukamoto³

Abstract: To achieve high density magnetic recording media, we need for reduction of the bit size and ordered array of isolated magnetic patterns. We focused on the process to fabricate isolated L_{10} -FePt dots by using an Electron Beam Lithography technique. In order to fabricate nanodot pattern, it is necessary to investigate the dose condition with consideration of electron scattering effect. In this report, we found that reduction of dose time and beam current is important factor for fabricating nanodot pattern. 1. はじめに

4 Tbit/inch² 以上の高密度磁気記録媒体の作製に向けて、1つの磁性体に1ビットを記録するビットパターンドメディ ア(Bit Patterned Media: BPM)に着目した. BPM は均質な磁性体群を磁気ヘッドの走査方向に対して,規則的に配列す ることが求められる. これまでに我々は熱酸化 Si 基板上に成膜した Pt / Fe 薄膜に対し, 急速昇降温熱処理 (Rapid Thermal Annealing: RTA および Rapid Cooling Process: RCP)を施すことによる L10-FePt 孤立ナノ微粒子の作製を報告し ている^{[1][2]}. RTA, RCP のみによって孤立微粒子を作製する場合, 依然として粒子の規則配列化や粒子群の均質化等の課 題がある.これまでに規則的な下地層を用いることで、粒子の規則配列化に期待が持てることを報告しているが¹³、広 範囲での規則配列化には至っていない. そこで, 電子線リソグラフィ(Electron Beam Lithography: EBL) により, 均質な L10-FePt連続膜に対してパターン加工を施すことにより規則配列かつ均質な磁性ドットパターンを作製する手法を検討 している. また, EBL は前述の課題に対しドットパターンの直接描画によるパターン作製や, 自己組織化現象を活用し たナノパターニング技術において周期的なガイド構造の作製といった種々の微細パターン作製への応用も可能である. 描画においてドーズ量を制御することで数十 nm ~ 数 nm で任意の微細構造やパターンの描画自体は可能であるが, 隣接したパターンに照射した電子の散乱を考慮する必要があり,数 nm のパターン作製は一般に困難であると考えられ ている. 本報告では微細なパターン作製に向けて, 電子線描画におけるドーズ量を決定するパラメータであるビーム電 流値およびドーズ時間変化による金属ドット形状への寄与を検討したのでこれを報告する.

2. 実験方法

EBL を利用した Figure 1 に示すリフトオフ法でドットパターンを作製する. 基板洗浄として熱酸化 Si 基板をアセトンで 5 分, IPA で 1 分超音波洗浄し、 170 ℃のオーブンで 10 分乾燥させた. ポジ型電子線レジスト ZEP-520A を 基板上に滴下し, 300 rpm で 3 秒, 6000 rpm で 120 秒スピンコートを行い 170 ℃のオーブンで 10 分熱処理を施し、溶媒を蒸発させレジスト膜を形成し た. レジスト上でのチャージアップ防止のため、帯電防止剤であるエスペイサ ーをレジスト上に滴下し,300 rpm で 3 秒,2000 rpm で 60 秒スピンコートを 行った. 描画は電子線描画装置 ELS-7500EX を用い, 加速電圧 50 kV, フィー ルドサイズ 600 µm × 600 µm を 60000 × 60000 ドットに分割しアドレス サイズを 10 nm 角に設定した. ビーム電流値 0.1 nA, 1 nA の場合において、ド ーズ量(1ドット辺りの面積に対するビーム電流値とドーズ時間の積)を90 μC/cm² から 150 μC/cm² まで, 20 μC/cm² ずつ変化させた. パターン形状は Figure 2 に示し, L を任意に設定した. 描画した試料を現像液 ZED-N50 に 5 秒浸し、描画した部分のレジストを溶解させパターンを形成した. 作製した試 料上に, DC マグネトロンスパッタ法により Fe を 30 nm 成膜した. リフトオフ の剥離液はZDMACを用い約 10 秒浸し、現像後に残ったレジスト部分の剥離 を行い Fe のパターンを作製した. 作製したパターンの形状評価は走査型電子 顕微鏡 (Scanning Electron Microscope: SEM)を用いて行った.

Resist 3. Developing Resist Fe 1. Resist coating Resist E-Beam Sub. 4. Fe deposition **Dots Pattern** Resist 2. E-beam exposure 5. Lift off

Figure 1. Lift off process of dot pattern by using an EBL.



Figure 2. Pattern design for EBL.

1:日大理工・学部・電子 2:日大理工・院・電子 3:日大理工・教員・電子

<u>3. 結果と考察</u>

3.1 電流値およびドーズ時間変化に対するドット形状の変化

ドーズ量を 150 μ C / cm² で一定とし、ビーム電流値、ドーズ時間が (a) 1 nA, 0.15 μ s (b) 0.1 nA, 1.5 μ s において *L*=5 μ m, 2 μ m で作製したパタ ーンの SEM 像および平均寸法 *L_a* を Figure 3 に示す. これよりドーズ 量が等しい場合においてもビーム電流値およびドーズ時間が異なるこ とで作製したパターン形状が大きく異なることを明らかとした. (b)の 場合 5 μ m パターンの *L_a* は設計値に対して 4 %減少したが, (a)の場合は 5 μ m ドットの *L_a* は設計値に対して 36 %増大した. 2 μ m においても(b)の 場合 *L_a* は減少した. (a)の場合,電子の照射時間は短いがビーム電流値が 大きいため電子線のビーム径が大きくなり、露光面積も広くなる. 電子 の散乱が等方的に遠くまで広がることで *L_a* が増大し、角に丸みを帯び た形状になったと考えられる.よって、ドーズ量が等しい場合において 低いビーム電流値で照射時間が長いときに微細なパターンの作製の可 能性を示した.また,*L* の減少によりパターン形状に及ぼす影響が大き くなることから低電流値での描画を行うことが微細なパターンの作製 に必要となることが考えられる.

3.2 ドーズ時間に対するドット形状の変化

3.1 において高解像度なパターンを作製した電流値である 0.1 nA に 設定し、ドーズ時間が(c) 0.9 µs, (d) 1.1 µs, (e) 1.3 µs, (f)1.5 µs におけるパ ターン形状を観察した. Figure 4 に L=1 µm の描画にて作製したパターン の SEM 像と平均寸法 L_aを示す. Figure 5 に種々のドーズ時間で作製し たパターンの L_aを示す. ドーズ時間が短い場合にて L_aの減少を示した. よって,短時間での電子線照射により設計値に対し微細なドットパタ ーンの形成を確認した. 短時間の電子線照射では注入する電子の量が 少ないため,設計パターンのサイズまで電子の散乱が広がらなかった と考えられる. これらより低いビーム電流値で短時間の電子線照射に よって設計値 1 µmに対して 0.5 µm以下のパターンを作製可能であるこ とを示した.

<u>4. まとめ</u>

微細なパターン作製に向けて, 描画時におけるビーム電流値および ドーズ時間変化による金属ドットパターンの形状変化を観察した. ド ーズ量が等しい場合においてもビーム電流値およびドーズ時間が異な ると, 作製したドット形状が大きく異なることを明らかとした. また, 低いビーム電流値におけるドーズ時間の短縮が電子線描画時において 微細なパターンの作製に必要な要素になると考えられる.

5. 謝辞

本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構の助成および文部科学 省私立大学戦略的研究基盤支援事業(S1311020)の助成により行った ものである.

6. 参考文献

[1] Y. Itoh, T. Aoyagi, A. Tsukamoto, K. Nakagawa, A. Itoh and T. Katayama : Jpn. J Appl. Phys 43 12, 8040 (2004)

[2] A. Itoh, A. Tsukamoto, S. Okame and K. Mizusawa, "J. Magn. Soc. Jpn.", 36, 62-65 (2012).

[3] A. Itoh, A. Tsukamoto: Hybrid magnetic recording media on FePt grains and self-assembled nano-structured layers. J. Magn. Soc. Jpn., 33, 507 (2009).



Figure 3. SEM images of the pattern shapes with various dose time and beam currents.



Figure 4. SEM image of the pattern shapes with various dose time for $L=1 \mu m$.



size for 0.1 nA.