

磁気パターンド媒体単一ドット内における磁気異方性不均一の漏洩磁場強度及び分布に及ぼす影響の計算機検討

Computational investigation of the effect of magnetic anisotropy inhomogeneity within a single dot of bit-patterned media on leakage field strength and distribution

○山田優太<sup>1</sup>, 大家幸太<sup>1</sup>, 吉川大貴<sup>2</sup>, 塚本新<sup>2</sup>

\*Yuta Yamada<sup>1</sup>, Kouta Daike<sup>1</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>2</sup>

Abstract: For bit-patterned media using  $L1_0$ -FePt, mixed (111) orientation is often observed. In this study, we used micromagnetic simulations to analyze how the leakage-field strength and distribution change in a single-dot model with adjacent easy-axis [001] and [111] regions. We show that small changes in the relative fractions of the [001] and [111] regions can induce step-like, substantial variations in the leakage field relevant to readout.

1. 背景

記録密度の向上は同容量をより少ない媒体で実現でき、資源・電力負担の低減に繋がる。この要請に対し、高い磁気異方性定数を有する  $L1_0$ -FePt を用いた  $1.5\text{Tb/in}^2$  級のビットパターンドメディア (BPM: Bit Patterned Media) の研究が進められている。BPM の開発には単一ドットにおいて  $L1_0$ -FePt を (001) 配向させ、反転磁界の分散を抑えるために磁気特性を均一化する事が重要である<sup>[1]</sup>。しかし、 $L1_0$ -FePt は作製過程において (111) 配向が混在して形成されやすい事が報告されている<sup>[2]</sup>。結晶面に伴う磁化容易軸方向に分布が存在する場合、不均一な磁化分布に起因したベクトル量の合成である漏洩磁場分布は予測困難な挙動を引き起こす可能性があるが、これらの実験的検討は困難である。そこで本検討では、 $L1_0$ -FePt の (001) 配向と (111) 配向が混在している BPM 単一ドットにおいて、記録媒体の読み出し時に漏洩磁場の強度及び分布がどのような変化傾向を示すのかを明らかにする事を目的とし、マイクロマグネティクスシミュレーション (mumax3) を用いた計算機検討を行った。

2. 実験方法

2.1. シミュレーションモデル

Fig. 1 にシミュレーションモデルを示す。本モデルは現行の再生ヘッド先端部分<sup>[3]</sup>と BPM1 粒子を想定して作成した。媒体の磁気特性は OK における  $L1_0$ -FePt の物性値<sup>[4]</sup> (磁気異方性定数  $K_u = 7.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ , 飽和磁化  $M_s = 1.14 \times 10^6 \text{ A/m}$ , 交換スティフネス定数  $A = 1.13 \times 10^{-11} \text{ J/m}$ , ダンピング定数  $\alpha = 0.1$ ) を用いた。再生ヘッド先端は、漏洩磁場を集束する基本的挙動を捉える事を目的として軟磁性体ブロックで近似し、物性値はパーマロイ ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) における値<sup>[3]</sup> ( $K_u = 1.0 \times 10^2 \text{ J/m}^3$ ,  $M_s = 7.5 \times 10^5 \text{ A/m}$ ,  $A = 1.3 \times 10^{-11} \text{ J/m}$ ,  $\alpha = 0.01$ ) を用いた。また、ヘッド飛行高さを考慮して媒体から 5nm の距離に配置した。空間分割を示すボクセルサイズは交換長  $l_k = \sqrt{A/K_u} \approx 1.3 \text{ nm}$  に基づき 1nm とし、結晶配向の傾きの影響を適切に表現できるよう設定した。

2.2. 局所的な結晶配向の傾きのモデル化

本検討では2つの配向が混在している状態を、Fig. 2 に示すように  $L1_0$ -FePt の磁化容易軸 [001] 方向の領域と磁化容易軸 [111] 方向の領域を  $xz$  平面で分割し、隣接するモデルを作成した。また、領域の遷移部分については調和平均を導入する事で物理的妥当性を確保したモデル構築を行った (Fig. 3)。

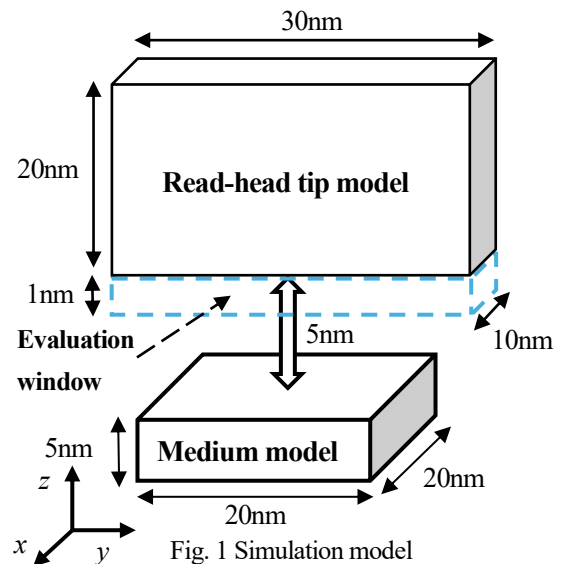


Fig. 1 Simulation model

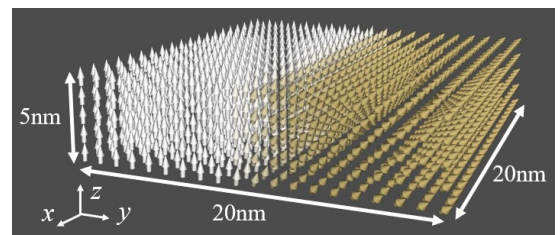


Fig. 2 Example of magnetic microstructure model

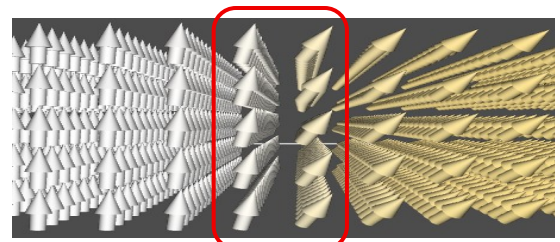


Fig. 3 Transition area

1: 日大理工・院 (前)・電子 2: 日大理工・教員・電子

### 2.3. 計算条件

媒体モデルに対して磁化容易軸 [001] の領域と磁化容易軸 [111] の領域の割合を操作した後、初期磁化状態を+z方向に設定した後、静的緩和計算を行った。その後評価領域に入る漏洩磁場の各ボクセルにおけるz方向成分を出力し漏洩磁場分布を評価するため、平均磁束密度  $B_{z,ave}$  を次式で算出した。

$$B_{z,ave} \equiv \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=x_0}^{x_0+N_x-1} \sum_{y=y_0}^{y_0+N_y-1} B_z[x, y, z]$$

ここで  $x_0, y_0$  は評価領域の始点セル,  $N_x, N_y$  は評価領域の各方向のセル数である。

### 3. 実験結果

#### 3.1. 磁化容易軸 [111] 領域割合変化による $B_{z,ave}$ の変化

Fig. 4 に磁化容易軸 [001] 領域と磁化容易軸 [111] 領域の割合を変化させた際の  $B_{z,ave}$  を示す。予想される磁化容易軸 [111] 領域割合の増加による磁気モーメント z 方向成分の減少を伴った  $B_{z,ave}$  の減少傾向は確認できたが、その変化を大きく上回る、断続的な  $B_{z,ave}$  の減少が磁化容易軸 [111] 領域割合 30~35%時に確認できた。この断続的に減少した割合の前後において、媒体モデルの磁気モーメント z 方向成分の量は 2.53% 程度の減少であったのに対して、 $B_{z,ave}$  は 53.7% と大きく減少した。

#### 3.2. 漏洩磁場分布による評価

断続的な  $B_{z,ave}$  の変化を解析するため、Fig. 5 に磁化容易軸 [001] : [111] = 70 : 30 及び 65 : 35 における漏洩磁場  $B_z$  の分布を示す。これより、磁化容易軸 [111] 領域の割合が 30% から 35% へと増加するだけで  $B_z$  が全体的に大きく減少し、その分布にも大きな変化を生じた。特に磁化容易軸 [001] 領域からの漏洩磁場の減少が顕著に表れる事を確認した。

### 4. まとめ

本研究では、磁化容易軸 [001] 領域と磁化容易軸 [111] 領域が混在する  $L1_0$ -FePt を想定した BPM 単一ドットをモデル化し、漏洩磁場強度・分布の変化傾向について mumax3 を用いて計算機検討を行った。磁化容易軸 [001] 領域と磁化容易軸 [111] 領域を隣接した際、交換結合による磁化分布緩和も考慮した上で割合変化に対して、媒体モデル垂直軸における平均磁束密度  $B_{z,ave}$  が断続的に大きく変化する割合を確認した。また漏洩磁場の分布を確認した所、この  $B_{z,ave}$  の断続的な変化は磁化容易軸 [001] 領域からの漏洩磁場の減少が顕著に表れた結果である事が明らかとなった。即ち、読み出し信号は漏洩磁場の強度そのままに大きく依存する事から、磁化容易軸 [001] 領域と磁化容易軸 [111] 領域の微小な割合変化により、読み出しの信号が大きく変化する事を明らかにした。

### 5. 参考文献

- [1] Albrecht, T. R. *et al.*: “Bit-Patterned Magnetic Recording: Nanoscale Magnetic Islands for Data Storage,” in *Nanoscale Magnetic Materials and Applications*, Springer, pp237-274, 2009.
- [2] Sun, A.-C. *et al.*: “Onset of hard magnetic  $L1_0$ -FePt phase with (001) texture,” *Thin Solid Films*, Vol. 516, No.6, pp1155-1159, 2008.
- [3] Im, M.-Y. *et al.*: “Dynamics of the Bloch point in an asymmetric permalloy disk,” *Nat Commun*, Vol. 10, Article 593, 2019.
- [4] George, T. A.: “Magnetic Anisotropy and Exchange in (001) Textured FePt-based Nanostructures,” Ph.D. diss., 2013.

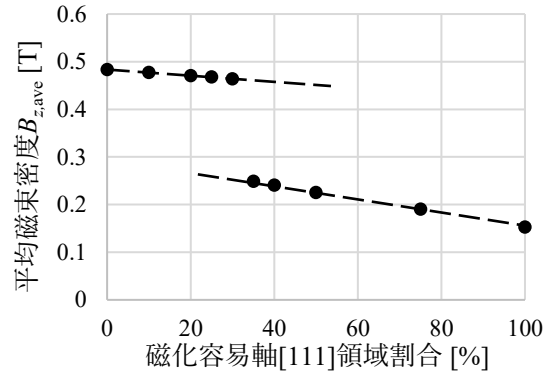


Fig. 4 Change in average flux density  $B_{z,ave}$  vs [111] fraction

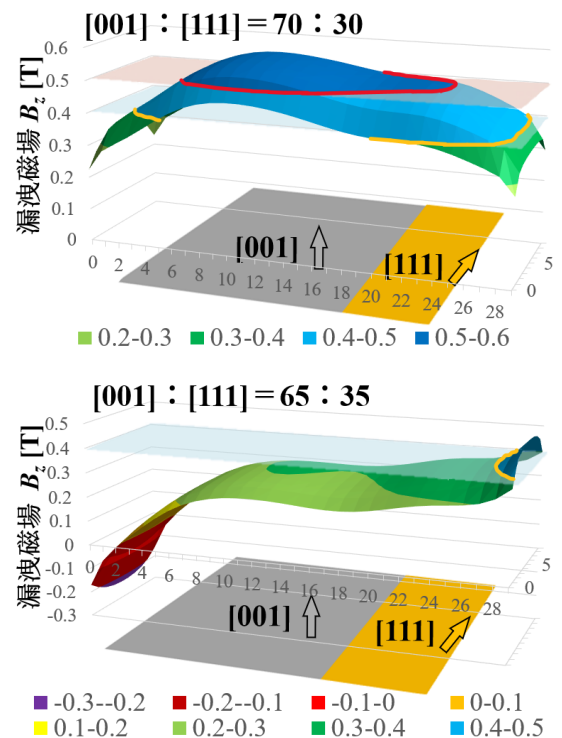


Fig. 5 Leakage magnetic field distribution