

SMR におけるビット信頼度への隣接ビットの影響

鈴藤稜太, 岡本好弘, 仲村泰明, 大沢寿, 金井靖*, 村岡裕明**

(愛媛大学, *新潟工科大学, **東北大学)

Influence of adjacent bits to bit reliability in SMR

R. Suzuto, Y. Okamoto, Y. Nakamura, H. Osawa, Y. Kanai* and H. Muraoka**

(Ehime University, *Niigata Institute of Technology, **Tohoku University)

はじめに

ハードディスク装置(HDD : hard disk drive)の記録方式として採用されている瓦磁気記録(SMR : shingled magnetic recording)¹⁾において、各ビットの記録状態はその隣接ビットの影響を大きく受ける。本稿では、離散 Voronoi 図に基づくグラニュラ媒体モデルを用いた SMR シミュレーションによって、記録系列パターンごとにビット信頼度を算出し、隣接ビットの影響について検討する。

ビット信頼度の算出

離散 Voronoi 図に基づくグラニュラ媒体モデル²⁾に対して、二等辺三角形の主磁極を持つ記録ヘッド³⁾を用いて SMR する。ここで、ビット長 $l_c = 7.3 \text{ nm}$, トラックピッチ $l_{tp} = 22.1 \text{ nm}$ と設定した 4 Tbit/inch^2 の面記録密度を想定する。また、記録系列には 40950 ビットの PRBS(pseudo-random bit sequence)を用いる。次に、検査対象トラックにおいて、記録系列と等しく磁化されている磁性粒子を構成するピクセルを注目する範囲内でカウントする。ただし、その範囲を注目するビットの前後 2 ビットと両側隣接トラックの 5 ビットで、計 15 ビットとする。ピクセル数に基づいてビット信頼度マップを作図する。また、ビット信頼度マップをパターン数で平均したのち、注目するビット内の信頼度を積分し、 $N_{pM} \times r_p$ で除算することで注目ビットの信頼度を算出する。ただし、 N_{pM} は 1 ビットセルを構成する全ピクセル数、 r_p は磁性粒子の充填率である。

隣接ビットの影響

Fig.1 に、記録系列パターン(注目ビットとその両側のビットの記録系列)が“101”的場合のビット信頼度マップを示す。図において、縦軸はクロストラック方向、横軸はダウントラック方向をそれぞれ表し、注目するビットの中心を原点としている。また、カラーバーは、カウントしたピクセル数を表している。Fig.1 を見ると、ビット上側が右に傾いて記録され、注目するビット内に前のビットの情報が記録されて滲んでいることがわかる。Fig.2 に、記録系列パターンが“000”, “100”, “001”, “101”的場合のビット信頼度をそれぞれ示す。図から、注目するビットの両側に反転がない“000”的場合の信頼度が最も高く、両側に反転のある“101”的場合が最も低いことがわかる。また、前に反転のある“100”と後に反転のある“001”的場合を比較すると、ビット上側への前ビットの滲みのため“100”的方が信頼度が低くなることから、前のビットの影響が大となることがわかる。

参考文献

- 1) R. Wood et al., IEEE Trans. Magn., **45**, 917 (2009).
- 2) M. Yamashita et al., IEEE Trans. Magn., **E96-C**, 1504 (2013).
- 3) Y. Kanai et al., IEEE Trans. Magn., **46**, 715 (2010).

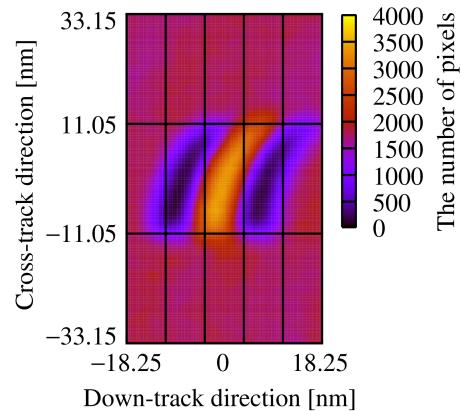


Fig.1 Bit reliability map for recording sequence pattern “101”.

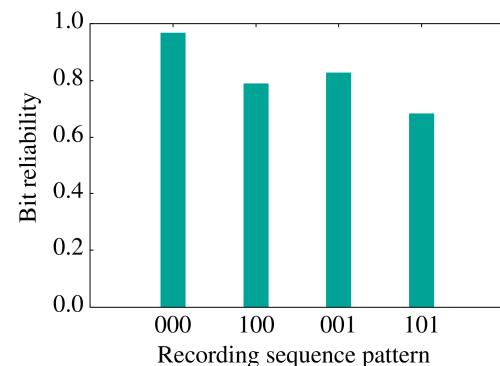


Fig.2 Bit reliability for recording sequence

DWDD を用いた瓦書記録読出し方法の検討

林田洋喜、山田啓介、仲谷栄伸

(電気通信大学)

A study of shingled write recording reading method using the DWDD

Hiroki Hayashida, Keisuke Yamada, and Yoshinobu Nakatani

(Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications)

はじめに

ハードディスクの高密度記録化を実現する次世代の記録方式として、瓦書記録方式(SWR : Shingled Write Recording)が期待されている[1]。瓦書記録方式では高密度記録化のために、データトラックを重ねて記録し、狭いトラック幅を実現する。しかし、トラック幅の縮小によりデータトラック内の磁区が小さくなり漏れ磁界強度が低下するため、再生信号の読み出しが困難になる。そこで、微小な磁区の情報を容易に読み出す技術として光磁気記録に利用された磁壁移動検出(DWDD : Domain Wall Displacement Detection)方式を応用する方法が考えられる[2]。DWDD では記録媒体は、移動層、スイッチング層、記録層の 3 層で構成される。ここでスイッチング層は熱によって磁気特性を失いややい材質で構成する(Fig. 1(a))。読み出しの際には、読み出したい情報を持つ記録層の媒体上部に熱を与えることでスイッチング層の交換磁界を切断し、移動層の磁区を拡大する(Fig. 1(b))。この方式を磁気記録に応用することで、磁区拡大によって漏れ磁界強度が上昇し、記録層の情報の読み出しを容易にできることが期待される。そこで、本研究ではシミュレーションを行い、瓦書記録された記録媒体において、DWDD 方式を用いて磁区拡大した場合の漏れ磁界の計算を行った。磁区拡大の有無によって、媒体の漏れ磁界強度と再生信号の SNR(Signal-to-Noise Ratio)の変化を調べることで、磁区拡大の優位性について検討した。

計算モデル・条件

記録媒体のモデルとして Fig. 1 に示すように 3 層の磁性層を有する $10 \text{ nm} \times 10 \text{ nm} \times 12 \text{ nm}$ の磁性粒子が 2 次元的に配置されている領域を用いた。計算領域のサイズは $130 \text{ nm} \times 130 \text{ nm} \times 12 \text{ nm}$ とし、この領域に $10 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$ の磁区が市松模様状に記録されているとした。計算セルは $1 \text{ nm} \times 1 \text{ nm} \times 1 \text{ nm}$ として計算を行った。磁区拡大による漏れ磁界強度上昇の効果を高めるため、移動層の飽和磁化を 1600 emu/cm^3 、スイッチング層と記録層の飽和磁化を 1000 emu/cm^3 とし、再生ヘッドの位置は媒体上部から 4 nm 上方として媒体からの漏れ磁界を求めた。

結果

磁界強度の指標として磁界面積(磁界の漏れ幅 × 強度)を調べ、磁区拡大有無の比較を行った。Fig. 2 は拡大磁区の直径 d と磁界面積の関係を示す。磁区拡大を行うことによって磁界面積は拡大し(実線)、 $d=30 \text{ nm}$ で最大 2.5 倍になることがわかった。これらの結果より、磁区拡大によって磁界強度が向上することがわかった。講演では媒体 SNR の計算結果について報告する予定である。

参考文献

- [1] S.Greaves *et al.*, IEEE Trans.Magn., **45**, 3823-3829 (2009).
- [2] T.Shiratori, *et al.*, J.Magn. Soc. Jpn **22** pp.47-50 (1998).

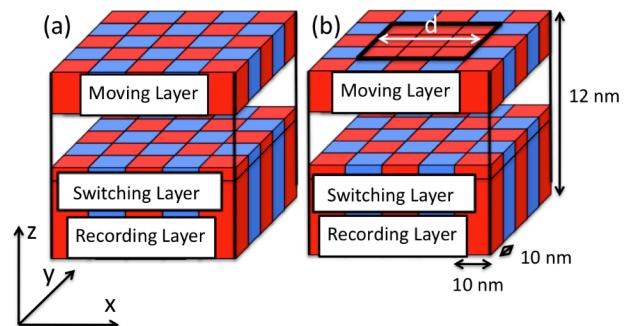


Fig. 1 : Simulation model of (a) without, (b) with domain expansion.

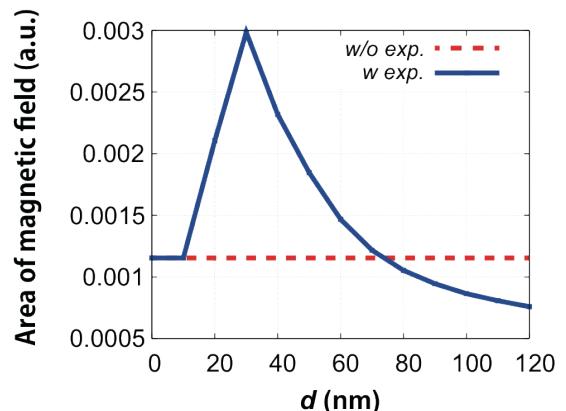


Fig. 2 : Relationships of the domain expansion with diameter and the area of magnetic field.

表面平滑 L1₀ FeMnPt ドットパターンの磁気特性と磁化過程

長谷川崇, 佐々木香(院生), 小野凌(学生), T. Thomson*, 石尾俊二

(秋田大工資, *University of Manchester)

Magnetization process of L1₀ FeMnPt dot pattern

Takashi Hasegawa, Kaori Sasaki, Ryo Ono, Thomas Thomson*, Shunji Ishio

(Akita Univ., *Univ. of Manchester)

はじめに

ビットパターンドメディアにおける表面平滑性の保持は重要な課題の一つである。イオン照射は磁性薄膜を削ることなく磁気特性のみを変化させることができる。これまでに我々は L1₀ FePt の Fe サイトを Mn で置換することで、L1₀ - A1 結晶構造変態に伴う強磁性-常磁性相変化を得て、さらに微細加工マスクを併用したイオン照射によりナノドットパターンの作製を行った¹⁾。本研究では、L1₀ FeMnPt パターンの磁区観察と磁化反転磁場の角度依存性の評価を行った。

実験方法

マグнетロンスパッタリング法により MgO 基板上に Fe, Mn, Pt を室温で同時成膜し、急速熱処理(300 K/s, 973 K, 20 min)を行った。次いで微細加工マスクを併用したイオン照射 (Mn⁺, 4 keV, 3.0 × 10¹⁵ ions/cm²)を行った。磁気特性評価では、磁気力顕微鏡 (MFM) による磁区観察と、Pt-L3 吸収端における X 線磁気円二色性 (XMCD) の磁気ヒステリシス測定を室温で行った。

実験結果

Fig.1(a)は、イオン照射直後の L1₀ FeMnPt パターンの垂直残留磁化状態の MFM 像である。ここには示していないが AFM 像より得られた表面凹凸は最大で約 1.2 nm であった。MFM 像よりドット径は約 100 nm と見積もられ、スペーシング領域は非磁性であることがわかる。Fig.1(b)は、120 μm 角のパターン領域におけるマクロな XMCD 磁気ヒステリシス曲線である。磁化容易軸と困難軸の磁化曲線の高磁場側への外挿から求めた磁気異方性定数 (Ku) は 7.6 × 10⁶ emu/cm³ であり、連続膜の Ku と同程度の値が得られた。Fig.1(c)は、XMCD 磁気ヒステリシス曲線から得られた反転磁場 (H_r) の角度依存性である。連続膜は 1/cosθ に近い関数でフィットされるのに対し、ドットパターンでは Stoner-Wohlfarth (SW) モデルに類似する傾向がある。これより磁化過程は、連続膜では磁壁移動型、ドットパターンでは一斉磁化回転による反転磁区のニュークリエーションが支配的であることが示唆される。(参考文献 :¹⁾T. Hasegawa et al., Abstracts of 58th MMM (2013), p.p.287-288 (CT-06). 謝辞: 本研究は NEDO 若手グランド(11B0700d)の助成を受けて行われた。また本研究の一部は大型放射光施設 SPring-8(BL39XU)(課題番号 2014B1826)で行われた。)

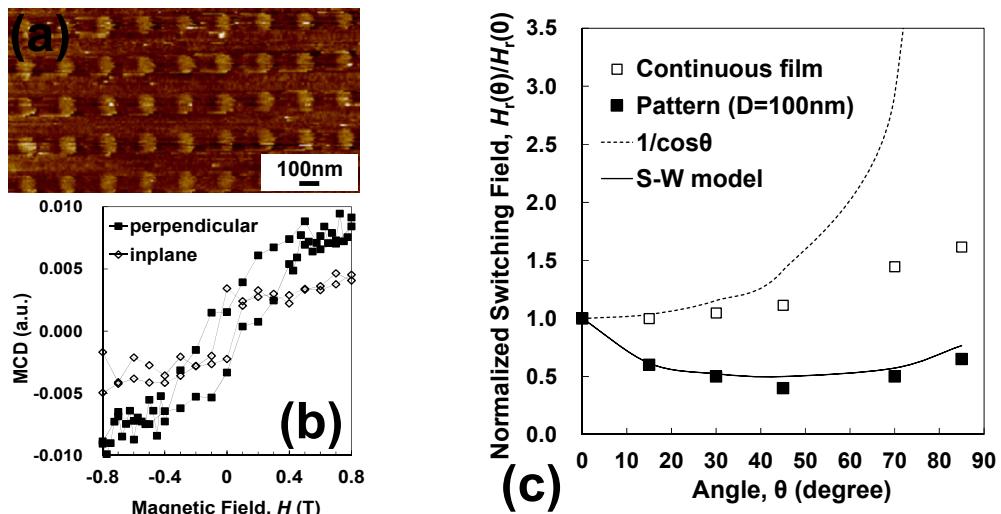


Fig. 1. (a) MFM image and (b) XMCD hysteresis curves of the dot pattern with 100 nm in diameter. (c) Angular dependence of normalized switching fields.

熱処理およびイオン照射による CrPt₃ 膜の構造および磁性制御

福田憲吾, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聰, 綱島滋*
 (名古屋大学, *名古屋産業科学研究所)

Control of structure and magnetic properties of CrPt₃ films by heat treatment or ion irradiation
 K. Fukuta, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, S. Tsunashima*
 (Nagoya Univ, *NISRI)

はじめに

局所的にイオンを照射することで磁気的なパターン構造を作成する手法は、表面形状にほとんど影響を与えないため、物理エッチングなどのプロセスと比べて低コストでビットパターン媒体(BPM)を作製する技術として期待されている。我々はこれまでこの手法で作成した BPM に関する報告を行ってきたが¹⁾、イオン照射による非磁性化において、どのような構造変化が起きているかについての議論は不十分であった。そこで、熱処理温度を変えて生成した CrPt₃ 膜とイオン照射された CrPt₃ 規則合金膜の磁気特性および結晶構造を比較することで、イオン照射によって生じる構造変化について議論した。

実験方法

超高真空蒸着法を用いて 20nm の CrPt₃ 膜を成膜した。規則度の見積もる場合には、基板として(001)配向させやすい MgO(001) 単結晶基板を使用した。一方、垂直磁気異方性を見積もる場合には、垂直磁化膜が得られる石英ガラス基板を用いた。超高真空チャンバー内で基板を 600°C に保ち、CrPt₃ を 20nm 成膜した後、別の真空チャンバーに移し、L1₂ 規則化促進のため 700~850°C で 15 分間熱処理をした。結晶構造は X 線回折法、磁気特性は交番磁界勾配磁力計を用いて評価した。

実験結果

Fig.1 は熱処理温度と 001, 002 ピークの積分強度および飽和磁化の関係を示している。図からわかるように、熱処理温度の上昇に伴い 001 ピーク、002 ピークの積分強度が増加しているが、001 ピークと 002 ピークの積分強度比はほぼ一定となった。これより見積もられる規則度もほぼ一定で、その値は約 0.8 であった。一方、飽和磁化 M_s は熱処理温度の上昇に伴い単調に増加していることがわかる。次に Fig.2 に石英ガラス基板上に成膜した CrPt₃ 膜の飽和磁化とトルク曲線から求めた K_u の関係を示す。一般に強磁性体では $K_u \propto M_s^{2-3}$ の関係があるが²⁾、ここでは $K_u \propto M_s$ に近い傾向が得られている。イオン照射をした場合も同様の関係を示すことが報告されており³⁾、熱処理温度による構造変化とイオン照射による構造変化は似た傾向を示すことが分かった。Fig.1 および Fig.2 から、CrPt₃ 膜は、微視的には強磁性の L1₂ 規則相と非晶質のような非磁性の相に分離した構造となっており、その体積の割合の変化が、 M_s および K_u の変化につながっている可能性がある。

参考文献

- 1) D. Oshima et al., IEEE Trans., Magn., vol. 49, 3608 (2013)
- 2) W. J. Carr, Jr., Phys., Rev., vol. 109, p.1971 (1958)
- 3) T. Kato et al., J. Appl. Phys., **106**, 053908 (2009)

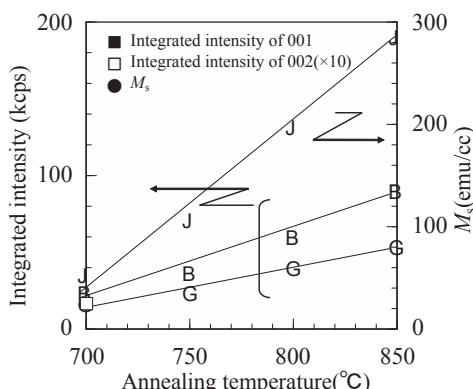


Fig. 1 Annealing temperature dependences of 001 and 002 peak intensities and M_s of CrPt₃ films fabricated on MgO(001) sub.

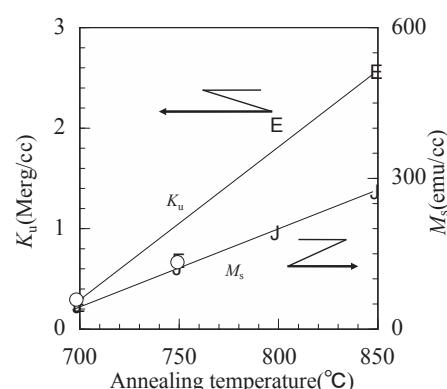


Fig. 2 Annealing temperature dependences of K_u and M_s of CrPt₃ films fabricated on SiO₂ sub.

L₁₀-MnGa (001) 配向膜への低エネルギーイオン照射による非磁性化

松永隆雅, 根来翼, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聰, 綱島滋

(名古屋大学, 名古屋産業科学研究所)

Control of magnetism of L₁₀-MnGa(001) films by low energy ion irradiation

T. Matsunaga, T. Negoro, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, S. Tsunashima

(Nagoya Univ., Nagoya Industrial Science Research Institute)

はじめに

イオン照射によって垂直磁化膜を局所的に非磁性化させることでビットパターン媒体を作製する手法により、表面平坦性が良く、高い記録面密度の媒体を低成本で作製することができるものと期待される。これまで我々はL₁₀規則相で大きな垂直磁化を持つMnGa膜に30keVのKr⁺イオンを照射することで非磁性化できることを示すとともに、これを利用した高密度ビットパターン膜の作製を報告してきた¹⁾。しかし、更なる高密度化のためには、イオンの低エネルギー化およびMnGa膜の薄膜化が必須である。本研究では、MnGa膜厚を15 nmから5 nmに薄膜化し、MnGaの飽和磁化、保磁力、磁気異方性を検討するとともに、低エネルギーイオンでの非磁性化を行った。

実験方法

RFマグネットロンスパッタリング装置によりCr(2 nm)/MnGa(5~15 nm)/Cr(20 nm)/MgO(001)を以下のように成膜した。まず、MgO基板にArイオンエッチングを行い、600℃で10分間、真空中で熱処理を行った。その後、400℃まで徐冷して、Cr(20 nm)をスパッタ成膜した。成膜後600℃で60分加熱処理し、200℃まで徐冷後、MnGaをスパッタ成膜した。MnGa層のL₁₀規則化のため400℃で30分の熱処理を行った。最後にこれを100℃以下に徐冷して、Cr保護膜をスパッタ成膜した。

実験結果

Fig. 1は、MgO基板上に作成したMnGa膜(5, 10, 15 nm)の膜面垂直方向の磁化曲線である。全ての膜で角形比1の垂直磁化膜となっているが、飽和磁化は膜厚10 nmまでは400 emu/cc程度であるのに対し、5 nmでは300 emu/cc程度へ減少している。膜厚の減少に伴う飽和磁化の減少は、MnGaの初期成長層の磁化がバルク値に比べて小さいためと考えられる。

Fig. 2は、膜厚の異なるMnGa膜に10 keVのKr⁺イオンを照射した際の磁化の照射量依存性を示している。なお、磁化の値は照射前の値を1として規格化した。これまで報告してきた30 keVのイオン照射と異なり、10 keVのKr⁺イオンをMnGa(15 nm)に照射した場合、 1×10^{15} ion/cm²でも完全に非磁性化できないことがわかる。一方、膜厚を10 nm、5 nmとした場合、両者とも 3×10^{14} ion/cm²で完全に非磁性化できることが分かる。すなわち、MnGa膜の薄膜化により、低いイオンエネルギーで非磁性化が可能となることが分かった。

参考文献

- 1) D. Oshima et al., IEEE Trans.Magn., **49**, pp. 3608-3611 (2013)

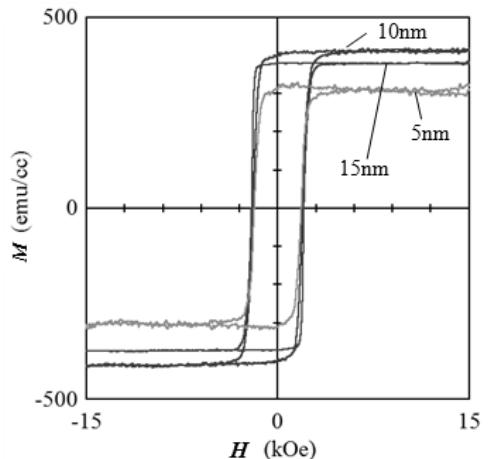


Fig. 1 Hysteresis loops of MnGa films with thicknesses of 5, 10, and 15 nm. The loops were taken applying a field along the film normal direction.

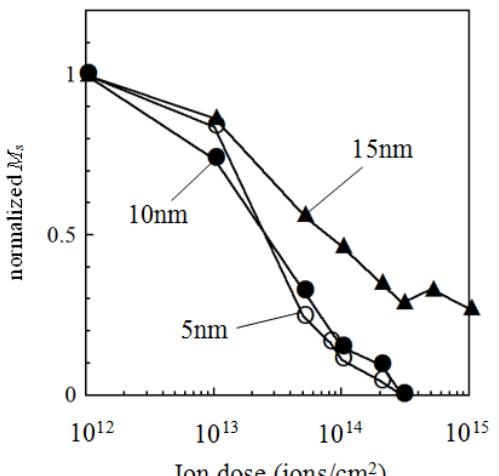


Fig. 2 Ion dose dependence of magnetization of MnGa films with thicknesses of 5, 10, and 15 nm irradiated by 10 keV Kr⁺ ions.

傾斜異方性 2 層交換結合複合(ECC) ドットの磁化反転

本多 直樹, 山川 清志*

(東北工業大学, *秋田県産業技術センター)

Magnetization reversal of 2-layer exchange coupled composite (ECC) dots with inclined anisotropy

Naoki Honda, Kiyoshi Yamakawa*

(Tohoku Institute of Technology, *Akita Industrial Technology Center)

はじめに

交換結合複合ドット(ECC dot)は熱磁気安定性を保ちながら磁化反転磁界を低減できる¹⁾。我々は単純なスピニモデルを用いて4層構造まで解析し、3層構造が反転磁界低減効果と反転磁界の印加磁界角度依存性低減効果に有効とし²⁾、最適化した3層ECCドットのビットパターン媒体では4 Tdot/in²のシングル記録でも十分な記録シフトマージンを示すことをシミュレーションで示した³⁾。ここでは傾斜異方性を導入することで、2層構造でも3層構造に近い磁化反転特性が得られる可能性を報告する。

解析モデル

ECCドットの反転磁界をFig. 1中に示すようなスピニモデルで解析した²⁾。ハード層(第1層)とソフト層(第2層)の飽和磁化 M_s 、異方性磁界 H_k 、体積 V 及び層間交換結合エネルギー J をハード層のパラメータで規格化して用いた。反転磁界は平均した異方性エネルギーに対応するSW粒子の反転磁界で規格化した h^* を求めた。反転磁界は最少エネルギーパスで磁化が反転する磁界として求めた。

規格化反転磁界

Fig. 1にハード層の異方性角度を0°(垂直)から20°まで変えた場合の規格化反転磁界 h^* の層間交換結合依存性を示す。 M_s と V は両層で同じとした。異方性の角度が傾くに従いより小さな規格化反転磁界を示すことが分かる。ECCドットの反転磁界低減効果は磁化傾斜によるため、異方性の傾斜でより大きな効果が得られたと考えられる。次に、Fig. 2に異方性角度垂直と10°の場合について規格化反転磁界 h^* のソフト層の規格化異方性磁界依存性を示す。 h^* は傾斜異方性の場合に小さいが、ソフト層の異方性磁界を大きくするとより大きく低減できることを示している。ソフト層に異方性がある場合も、異方性の傾斜により印加磁界による磁化傾斜が効果的に働くためと考えられる。応用上もソフト層の磁化揺らぎを低減できる効果が期待できる。Fig. 2で矢印で示したドットに対して、Fig. 3に h^* の印加磁界角度依存性を垂直方向での値で規格化して示す。傾斜異方性を用いることで、90°近辺での角度依存性も小さくなり、最適化した3層ECCに近い特性となつた²⁾、2層膜ECCでも高密度記録の可能性が期待される。

参考文献

- 1) R. H. Victora, X. Shen, IEEE Trans. Magn., vol. 41, pp. 537-542, 2005. 2) N. Honda, J. Magn. Soc. Jpn., vol. 37, pp. 126-131, 2013. 3) N. Honda, K. Yamakawa, IEEE Trans. Magn., vol. 50, p. 3002504, 2014.

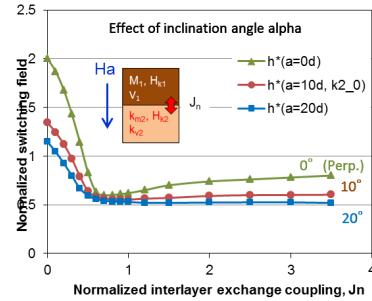


Fig. 1 Interlayer exchange coupling dependence of normalized switching field, h^* , for 2-layer ECC dots with various inclined anisotropy angles.

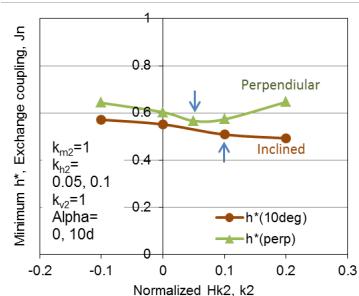


Fig. 2 Normalized soft layer anisotropy field, H_{k2} , dependence of normalized switching field for ECC dots with perpendicular and inclined anisotropy.

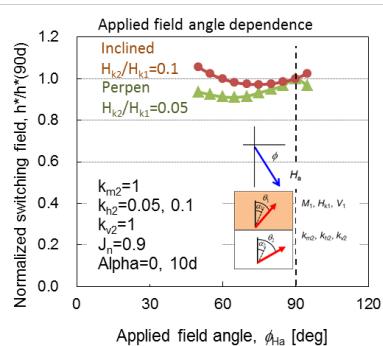


Fig. 3 Applied field angle dependence of normalized switching field for ECC dots with perpendicular and inclined anisotropy.