

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 1日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360159

研究課題名（和文） 1テラビット／平方インチ超ハードディスクへのサーボ信号記録用新磁気転写技術の開発

研究課題名（英文） Development of novel magnetic printing technology for servo signal writing on hard disks over 1 Tbit/square inch

研究代表者

杉田 龍二（SUGITA Ryuji）

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：20292477

研究成果の概要（和文）：本研究は、1テラビット／平方インチを超える記録密度の次世代ハードディスクへのサーボ信号記録を、磁気転写法によって高精度、高速、かつ低コストで実現することを目的として推進し、その実現可能性を示した。垂直磁気転写用パターンドマスター媒体に、高垂直磁気異方性及び高飽和磁化を有するCoPt磁性膜を使用することにより、転写特性を大幅に向上させることができた。さらに、CoPt/Ta/FeCoB/基板なる積層構造マスター媒体により、なお一層の転写特性改善が達成できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This research was pursued to realize servo signal recording by using magnetic printing technology onto next generation hard disks with recording density over 1 Tbit/inch² with high accuracy, high speed and low cost, showing that the realization is possible. CoPt patterned master media with perpendicular magnetic anisotropy and high magnetization made the printing performance considerably improve. Moreover, it was clarified that the printing performance was still more improved by using CoPt/Ta/FeCoB/Substrate stacked structure master media.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：記憶・記録，ハードディスク，磁気転写，サーボ信号，CoPt膜

1. 研究開始当初の背景

垂直磁気記録方式ハードディスク（垂直HD）が実用化され、HDの高記録密度化が進展するに伴い、ディスク上の位置情報を担うサーボ信号の記録精度の悪化、及び記録時間とコストの増大が大きな問題になっている。本研究者が提案した垂直磁気転写法は、垂直HDにサーボ信号を高精度、高速、かつ低コストで書き込む方法として注目されて

いる。これによれば、垂直HDに所望のサーボ信号を一括して記録することができるため、従来方法では1時間以上を要するサーボ信号記録を、数秒で行うことが可能であり、転写法が300 Gbit/inch²以上の記録密度に対応できることを示した。

転写特性を向上させるためには、マスター媒体におけるパターン凸部と凹部における記録磁場の差を出来るだけ大きくする必要があり、しかし、マスター磁性膜として、従来の

FeCo軟磁性膜を用いた場合、FeCoの高い飽和磁化が転写時に十分に生かされず、転写特性を向上させるためには、高飽和磁化を有するマスター磁性膜が、反磁場に打ち勝って、磁化しやすい特性を持つ必要がある。CoPt膜は高飽和磁化、高垂直磁気異方性を有しているため、FeCo膜に比べて飽和磁場 H_s が著しく小さいという特徴がある。それゆえ、CoPt膜は垂直磁気転写のためのマスター磁性膜として望ましいものと推測され、これを使えば、1 Tbit/inch²以上の記録密度に対応可能な磁気転写技術を確認できるものと期待される。

2. 研究の目的

本研究は、高垂直磁気異方性及び高飽和磁化を有する磁性膜から成るパターンドマスター媒体を作製し、転写特性を飛躍的に向上させ、1 Tbit/inch²超のHDに対応可能なサーボ信号転写技術を開発することを目的とする。

本研究の特徴は、従来、応用が検討されてこなかったCoPt高垂直磁気異方性連続膜を利用することにある。従来のFeCo膜では10 kOe以上の磁場を印加しなければ飽和しないのに対し、CoPt膜は5 kOe程度の磁場で飽和する。このため、CoPt膜をマスター磁性膜として用いることで、転写特性が大幅に向上することが期待できる。また、高垂直磁気異方性CoPt膜と高飽和磁化FeCo膜を積層することにより、低い飽和磁場と大きな記録磁場勾配が実現できれば、さらなる特性向上が期待できる。

3. 研究の方法

(1) CoPt垂直磁気異方性膜及びCoPt積層膜の作製と評価

電子線描画装置によってあらかじめパターンの描かれた基板上に、垂直磁気異方性を有するCoPt膜を作製するための成膜条件について検討する。CoPt膜の垂直磁気異方性を引き出し、マスター用磁性膜としての所望の特性を付与するためには、シード層の組成と構成、及び成膜時のスパッタガス圧制御が重要である。従って、シード層材料の検討、及びスパッタ条件の検討を行い、マスター媒体用として所望の特性を有するCoPt垂直磁気異方性膜を得るための条件を確立する。

一般に垂直磁気異方性を有する連続膜には縞状の複雑な磁区が現れることが知られている。また、パターンングすることで磁区構造が変化することが予想される。この磁区構造は、ナノスケールビットの転写特性に悪影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、磁区構造、磁気特性、及びパターンングの関連を明確にすることで、磁気転写に最適な磁性膜を探索する。

単純なCoPt膜だけではなく、転写特性をさらに改善するために、積層膜について検討する。CoPt膜/Fe基軟磁性膜なる基本構成を有する積層膜を作製し、磁気転写のさらなる向上を図る。

(2) シミュレーションによる垂直マスターの

磁化状態及び転写特性解析

マイクロマグネティックシミュレーションを用いて、垂直磁気異方性を有するマスター磁性膜の磁化状態を明らかにし、垂直磁気転写に適した磁性膜の設計及び実験へのフィードバックを行う。CoPt単層膜だけではなく、CoPt膜/Fe基軟磁性膜なる基本構成を有する積層膜の最適化も行う。

(3) 垂直磁気異方性マスター媒体を用いた転写実験

上記(1)及び(2)の研究を通じて作製された垂直磁気異方性マスター媒体を用いて、HDへの転写実験を行い、転写特性を明らかにする。なお、転写特性の評価は、転写されたHDの磁化状態を、磁気力顕微鏡(MFM)を使用して観察することにより行う。従来マスター媒体及び垂直磁気異方性マスター媒体を用いて転写されたHDからのMFM出力の解析を行い、転写特性向上を実証するとともに、本研究の垂直磁気異方性マスター媒体が、1 Tbit/inch²を超える次世代垂直HDに対応できるポテンシャルを有することを明らかにする。

4. 研究成果

(1) CoPt垂直磁気異方性マスター媒体による転写シミュレーション及び転写実験結果

CoPt垂直磁気異方性マスター媒体による転写特性を明らかにすべく、マイクロマグネティックシミュレーションを行った。ビットサイズを100 nm×100 nmとした。従来のFeCo膜及び本研究のCoPt垂直磁気異方性膜を用いたマスター媒体を想定して転写されたスレーブ媒体の磁化を計算した結果を図1に示す。図1から、CoPt垂直磁気異方性マスター媒体を用いることにより、FeCoマスター媒体に比べて約2倍の磁化をスレーブ媒体に残すことができ、また、最適転写磁場を1 kOe程度低減可能であることがわかる。

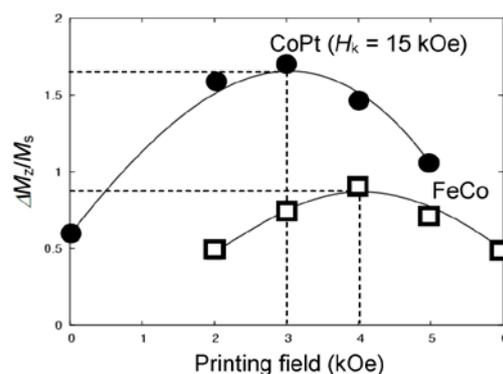
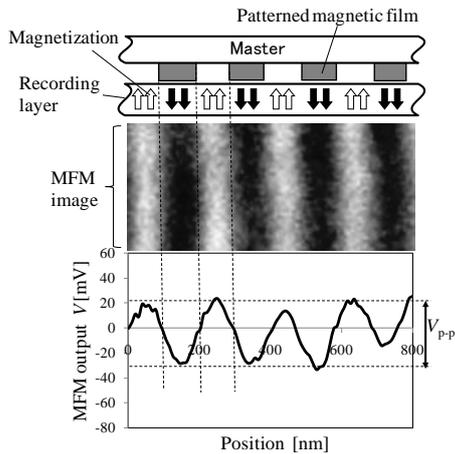


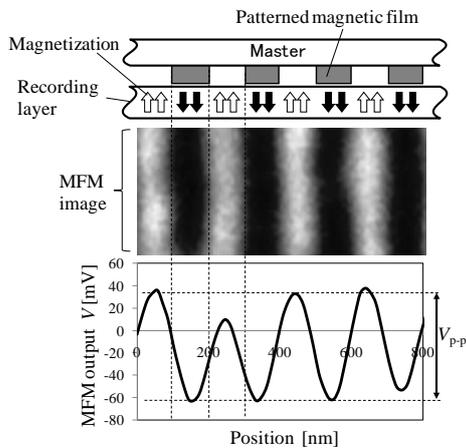
図1 転写された磁化の転写磁場依存性

ビット長100 nmのライン&スペース形状にパターンングされたSi基板上に、従来のFeCo膜及び本研究のCoPt垂直磁気異方性膜を形成してマスター媒体を作製し、これと市販のハードディスクを用いて転写実験を行った。

転写されたスレーブ媒体のMFM像を図2に示す. 図2(a), (b)は, それぞれ FeCo 及び CoPt マスター媒体により転写されたスレーブ媒体のMFM像である. この実験結果より, CoPt 垂直磁気異方性マスター媒体は, FeCo マスター媒体に比べて約2倍の出力を有していることがわかる. また, CoPt 垂直磁気異方性マスター媒体の最適転写磁場が, FeCo マスター媒体よりも約1 kOe 低いことも確認できた. この結果は, 図1のシミュレーション結果とほぼ一致している.



(a) FeCo マスター媒体



(b) CoPt マスター媒体

図2 CoPt 及び FeCo マスター媒体により転写されたHDのMFM像

(2) 1 Tbit/inch² 以上のHDへの磁気転写

1 Tbit/inch² 以上のHDに対する磁気転写特性をマイクロマグネティックシミュレーションにより検討した. 25 nm のトラックピッチを想定し, サーボ信号のビット長を, 25, 15 及び 10 nm とした. これらのサイズのサーボ信号の密度は, それぞれ 1.0, 1.7 及び 2.5 Tbit/inch² となる. なお, 一般に, サーボ信号のビット長はデータ信号のビット長の3倍程度なので, 上記サーボ信号の密度に対応す

るデータ信号の記録密度は, それぞれ 3.0, 5.1 及び 7.5 Tbit/inch² となる. 図3に, 転写されたスレーブ媒体の磁化状態を示す. 図3(a), (b)から, サーボ信号の密度が 1.0 及び 1.7 Tbit/inch² の場合には, マスター磁性膜との接触領域において磁化が明瞭に反転し, 非接触部では初期磁化のまま残っていることがわかる. この結果から, 磁気転写は 1 Tbit/inch² 以上のHDにも対応可能であるものと予想される. しかし, 図3(c)に示されるように, 2.5 Tbit/inch² になると, 転写が不十分になる.

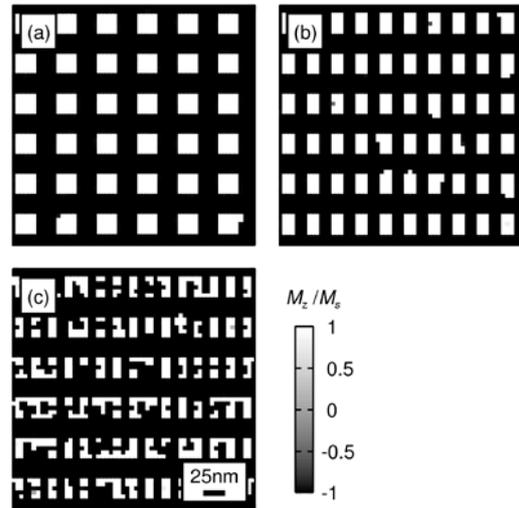


図3 1 Tbit/inch² 以上の密度で転写されたスレーブ媒体の磁化状態

(3) 積層構造垂直磁気異方性マスター媒体による磁気転写

CoPt 垂直磁気異方性マスター媒体の転写特性をさらに向上すべく, CoPt (Pt 20 at. %, 膜厚 10 nm) / Ta (3 nm) / FeCoB (30 nm) / Ni 基板なる構成の積層構造垂直磁気異方性マスター媒体 (以下, 積層マスター媒体と称する) を作製し, 転写実験を行った. 比較のために, CoPt (10 nm) / Ru (15 nm) / Pt (35 nm) / Ni 基板, 及び CoPt (40 nm) / Ta (3 nm) / Ni 基板なる構造の単層マスター媒体も作製した. Ni 基板はストライプ状にパターンニングされており, ビット長は 100 nm, パターン高さは 100 nm である.

転写されたHDにおけるMFM出力波形の最大値から最小値を差し引いた値を V_{PP} として, その転写磁場依存性を図4に示す. 図4から, 積層マスター媒体を用いた場合に, 最も優れた磁気転写特性が得られることがわかる. 転写磁場が 4 kOe のとき, CoPt 膜厚が 10 nm 及び 40 nm の単層マスター媒体が共に V_{PP} は 106 mV であるのに対し, 積層マスター媒体では 128 mV と, 約 20% 増加している. これは, FeCoB 膜を付与したことにより, FeCoB 膜表面の磁荷が CoPt 膜裏面の磁荷を打ち消し, 積層膜の表面及び裏面に現れる正負の磁荷間の距離が長くなるので, 裏面磁荷の影響が小さくなり, 記録磁場が増加したためと推察される.

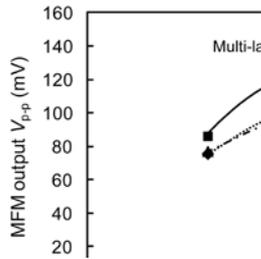


図4 積層マスター媒体の転写特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ①川崎龍太, 田中康貴, 小峰啓史, 杉田龍二, 「マスター媒体の初期磁化が磁気転写特性に及ぼす影響」, 日本磁気学会誌, Vol. 35, No. 6, pp. 425-430, 2011, 査読有
- ② T. Murakoshi, T. Komine, R. Sugita, “Magnetization distribution of Tb/in² class hard disks recorded with bit printing and edge printing”, IEEE Trans. Magn., Vol. 47, No. 10, pp. 3574-3577, 2011, 査読有
- ③ N. Fujiwara, Y. Nishida, T. Ishioka, R. Sugita, T. Yasunaga, “Magnetic printing characteristics using master disk with perpendicular magnetic anisotropy”, Physics Procedia, Vol. 16, pp. 24-27, 2011, 査読有
- ④ T. Murakoshi, T. Komine, R. Sugita, “Numerical analysis of perpendicular magnetic printing for hard disks beyond 2 Tb/in²”, Physics Procedia, Vol. 16, pp. 15-18, 2011, 査読有
- ⑤小野瀬勝, 川崎龍太, 田中康貴, 川田裕介, 小峰啓史, 杉田龍二, 「マスター媒体のパターン形状がビット転写特性に及ぼす影響」, 日本磁気学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 356-359, 2011, 査読有
- ⑥村越拓治, 小峰啓史, 杉田龍二, 「磁気転写及び磁気ヘッドで記録されたハードディスクの磁化状態」, 日本磁気学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 341-344, 2011, 査読有
- ⑦田中康貴, 小峰啓史, 杉田龍二, 「垂直磁気異方性マスター媒体の磁区が磁気転写特性に及ぼす影響」, 日本磁気学会誌, Vol. 35, No. 2, pp. 34-38, 2011, 査読有
- ⑧村越拓治, 小峰啓史, 杉田龍二, 「ECC媒体への垂直磁気転写シミュレーション」, 日本磁気学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 200-204, 2010, 査読有
- ⑨小西弘孝, 川崎龍太, 田中康貴, 小峰啓史,

杉田龍二, 「CoPt 垂直マスターの転写特性における組成依存性」, 日本磁気学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 191-194, 2010, 査読有

- ⑩ T. Komine, T. Murakoshi, Y. Tanaka, Y. Sakaguchi, R. Sugita, “Micromagnetic study of magnetic printing onto various slave media”, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 200, paper No. 102004/pp. 1-4, 2010, 査読有
- ⑪ N. Sheeda, M. Nakazawa, H. Konishi, T. Komine, R. Sugita, “Perpendicular anisotropy master medium in magnetic printing for writing high-density servo signal”, IEEE Trans. Magn., Vol. 45, No. 10, pp. 3676-3678, 2009, 査読有
- ⑫ N. Sheeda, 岡見智史, 坂口雄一, 小峰啓史, 杉田龍二, 「Analysis of waveform from magnetic printed perpendicular hard disk」, 日本磁気学会誌, Vol. 33, No. 3, pp. 159-162, 2009, 査読有

[学会発表] (計 28 件)

- ①川前武士, 小峰啓史, 杉田龍二, 「クロストラック方向における磁気転写特性」, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, p. 208, 2011. 9. 29, 新潟
- ②川崎龍太, 小野瀬勝, 小峰啓史, 杉田龍二, 「積層構造垂直磁気異方性マスター媒体による垂直磁気転写」, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, p. 207, 2011. 9. 29, 新潟
- ③ Y. Kawada, Y. Yamaguchi, Y. Tanaka, T. Kawamae, T. Komine, R. Sugita, “Micromagnetic study for effect of applied magnetic field direction on magnetic cluster size of perpendicular recording media”, 2011 IEEE International Magnetism Conference, FW-01, 2011. 4. 28, 台湾
- ④ T. Murakoshi, T. Komine, R. Sugita, “Magnetization distribution of Tb/in² class hard disks recorded with bit printing and edge printing”, 2011 IEEE International Magnetism Conference, EU-06, 2011. 4. 28, 台湾
- ⑤田中康貴, 小峰啓史, 杉田龍二, 「垂直磁気異方性マスター媒体の磁区が磁気転写特性に及ぼす影響」, 第 34 回日本磁気学会学術講演会, p. 196, 2010. 9. 6, つくば
- ⑥杉田龍二, 小峰啓史, 「垂直磁気転写によるサーボ信号記録」, 電子情報通信学会技術研究報告 MR2010-7, pp. 45-52, 2010. 6. 11, 仙台
- ⑦ N. Fujiwara, Y. Nishida, T. Ishioka, R. Sugita, T. Yasunaga, “Magnetic printing characteristics using master disk with perpendicular magnetic anisotropy”, Perpendicular Magnetic Recording Conference 2010, pp. 76-77, 2010. 5. 18, 仙台
- ⑧ Y. Tanaka, H. Konishi, T. Komine, R. Sugita, “Influence of domain of perpendicular anisotropy master medium on

perpendicular magnetic printing”,
Perpendicular Magnetic Recording
Conference 2010, pp.74-75, 2010.5.18, 仙
台

⑨ 村越拓治, 小峰啓史, 杉田龍二, 「ECC 媒体
への垂直磁気転写シミュレーション」, 第 33
回日本磁気学会学術講演会, p.156,
2009.9.13, 長崎

⑩ T. Komine, T. Murakoshi, Y. Tanaka,
Y. Sakaguchi, R. Sugita, “Micromagnetic
study of magnetic printing onto various
slave media”, International Conference
on Magnetism 2009, Th-C-10-14, 2009.7.30,
ドイツ

⑪ N. Sheeda, M. Nakazawa, H. Konishi,
T. Komine, R. Sugita, “Perpendicular
anisotropy master medium in magnetic
printing for writing high density servo
signal”, 2009 IEEE International
Magnetics Conference, BP-01, 2009.5.5, 米
国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉田 龍二 (SUGITA RYUJI)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：20292477

(2) 研究分担者

小峰 啓史 (KOMINE TAKASHI)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：90361287

大貫 仁 (ONUJI JIN)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：70315612