

## 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25年5月15日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760002

研究課題名（和文） 金属ガラス薄膜を用いたパターン記録メディアの開発

研究課題名（英文） Metallic glass thin films for patterned recording media

研究代表者

シャルマ パルマナント（SHARMA PARMANAND）

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：80451623

研究成果の概要（和文）：軟硬二層薄膜磁気記録において、CoFeTaB および FeHfNbYB は下地層に使われる。大過冷却液体領域を示すので、nano-imprinting による Patterning が可能と考えられる。光学/電子ビームリソグラフィによる L10FePt(111)/CoFeTaB 膜に 25 $\mu$ m-100nm パターンが作製できた。ドットサイズは 100nm 以下で lift-off 技術は問題の発生が明らかとなった。MFM により、磁気ドットは単一～マルチドメインへ 300nm 以上の遷移が確認できた。軟硬磁二層薄膜は超高密度パターン記録媒体実現の前景があると結論付けられた。

研究成果の概要（英文）：This project demonstrated the feasibility of exchange-coupled patterned magnetic recording media consisting of metallic glass as a soft magnetic under-layer and FePt as a hard magnetic layer. We found that the CoFeTaB and FeHfNbYB soft magnetic metallic glass thin films can be used as a soft magnetic underlayer. Both CoFeTaB and FeHfNbYB have sufficiently large super-cooled liquid region, therefore they can be patterned using nano-imprinting techniques. These metallic glass underlayers promote growth of L<sub>10</sub> FePt along preferred (111) crystallographic direction. Pattern size ranging from 25  $\mu$ m to 20 nm were made from L<sub>10</sub> FePt (111)/soft magnetic metallic glass by photo/electron beam lithography. Both lift-off and Ar-ion etching techniques were used. It is found that the lift-off technique faces problem when size of the dots reached below 100 nm. Magnetic force microscopy showed a clear transition from single domain to multidomain as the size of the FePt/soft magnetic metallic glass dot increases above 300 nm. It can be concluded that the (111) L<sub>10</sub>FePt/softmagnetic metallic bilayered structure has a large potential in fabrication of ultrahigh density patterned recoding media.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：理工系 工学

科研費の分科・細目：材料工学 構造・機能材料

キーワード：金属ガラス、磁性、L10-FePt、薄膜

## 1. 研究開始当初の背景

金属ガラスを軟磁性下地層とし、FePt を硬磁性層とするパターン記録メディアの可能性を調査することを主目的とする。金属ガラスを下地層とする利点は、金属ガラスが優れた軟磁気特性を有すると同時に、ガラス転移温度以上の温度において過冷却液体状態になるためである。金属ガラスの過冷却液体はインプリント法が利用できるため、低コストで広範囲へのビットナノパターンを形成手法として応用できる可能性がある。さらに、記録媒体の作製には、結晶粒が配向したL10FePt を金属ガラス下地層に作製することが不可欠であるが、原子配置がランダム構造を有する金属ガラス下地に L10FePt 層をエピタキシャル成長させることが本研究の最重要点である。

## 2. 研究の目的

金属ガラスを軟磁性下地層とし、FePt を硬磁性層とするパターン記録メディアの可能性を調査することを主目的とする。金属ガラスを下地層とする利点は、金属ガラスが優れた軟磁気特性を有すると同時に、ガラス転移温度以上の温度において過冷却液体状態になるためである。金属ガラスの過冷却液体はインプリント法が利用できるため、低コストで広範囲へのビットナノパターンを形成手法として応用できる可能性がある。さらに、記録媒体の作製には、結晶粒が配向したL10FePt を金属ガラス下地層に作製することが不可欠であるが、原子配置がランダム構造を有する金属ガラス下地に L10FePt 層をエピタキシャル成長させることが本研究の最重要点である。

本研究では軟磁気金属ガラス層および、L10FePt 層またはその多層膜の成長を調査することを目的とする。また、軟磁気金属ガラス層のナノパターンニングに関する研究を行う。

## 3. 研究の方法

FeHfNbYB 金属ガラス合金が非常に広い過冷却液体領域を発現することにも着目し、ナノプリンティングの初期実験においてはマイクロメートルオーダーの磁気ビットをパターンニングすることが可能であった。しかしながら、インプリントを行った薄膜とダイが焼きついてしまうという問題に直面した。そこで異なる材質のダイを用いてインプリントを試みる予定にしている。また、代わりの方法として電子線リソグラフィにより L10FePt/FeHfNbYB の二層構造の磁気ビットを作製する方法も調査する予定にしている。高密度磁気記録媒体を実現するためにビットの磁気特性評価および構造評価を行

う予定にしている。

より高い飽和磁化を有し、かつ、配向したL10FePt の成長を促進する鉄基軟磁気金属ガラス下地層の探査を行った。特に、軟磁気金属ガラス下地層が面内磁化し、L10FePt が傾斜した異方性を持つ二層磁気構造の磁化挙動の解明を重点的に行った。ナノインプリント法による鉄基金属ガラスのマイクロ/ナノパターンニングの可能性についても研究を行った。

## 4. 研究成果

CoFeTaB 金属ガラス薄膜が軟磁気下地層として利用でき、かつ、この下地層が L10FePt 相の(111)方位の優先成長を促進することを明らかにした。また、L10 FePt (111)/CoFeTaB 金属ガラス膜に光学または電子ビームリソグラフィを利用して 25 $\mu\text{m}$  から 100nm の範囲のパターンサイズを作製した。この結果を文献発表した (Sharma et al. J. Appl. Phys., 109, 07B908 (2011)、Kaushik, Sharma et al. Appl. Phys. Letts. Vol. 97, 072510 (2010))。

マグネトロン同時スパッタリング法により MgO (100) 表面に 400~600 $^{\circ}\text{C}$ までの異なる温度でエピタキシャル成長させ複数の種類の L10FePt 薄膜を作製した。(002) もしくは (002) と (200) 面の混合結晶構造となるように作製条件を最適化した。(200) と (002) の 2 つの異なる結晶面方位の L10FePt の磁気特性についても調査を行った。Fe71Nb4Hf3Y2B20 ガラス相の薄膜を蒸着させその構造および磁気特性について研究を行った。DSC 測定の結果 Tg、Tx および  $\Delta T_x$  はそれぞれ 858 K (585  $^{\circ}\text{C}$ )、921 K (648  $^{\circ}\text{C}$ ) and 63 K であった。FeNbHfYB 薄膜のナノプリンティングにも挑戦し成功したが、型と薄膜が拡散してしまうといった問題に直面した。FeNbHfYB 薄膜は 740 emu/cm<sup>3</sup> もの高い飽和磁化をもつ軟磁性特性を示し、下地層の CoFeTaB (287 emu/cm<sup>3</sup>) よりも大きい値であった。

従来の CoFeTaB 層と比較して 3 倍の飽和磁化を有する FeHfNbYB 金属ガラス層を新たなアンダーレイヤー組成として見出した。またこれにより FePt の L10 構造の(111)方向へ優先成長を促進させることに成功した。これらの結果は学術論文としてすでに投稿した。

我々は Si 基板上に FePt 相を堆積させる際に小さな花が咲いたようなナノ構造を形成するを見出した。このナノ構造の存在により FePt 薄膜の磁気特性は低下することが明らかとなった。このナノ構造の形成メカニズムは Si 基板上で FePt が容易に拡散することに起因しているものと考察された。したがっ

て、安定した優れた特性を有する L10FePt 薄膜や Fe 系軟磁性下地層を作製するためには Si 基板上に非常に薄い SiO<sub>2</sub> 層の形成が必要であることが明らかとなった。FePt/FeHfNbYB<sub>2</sub> 層構造の磁気特性の調査の後にビットパターンの作製を試みた。まず初めに、FeHfNbYB のナノインプリンティングによりパターンの形成を試みた。その結果パターンを形成させることには成功したが、ダイと金属ガラス薄膜の拡散という問題が発生した。そこで次にリソグラフィ法を用いてパターンを形成させた。マイクロメートルサイズのパターン形成にはオプティカルリソグラフィを用い、ナノメートルサイズのパターン形成には電子ビームリソグラフィを用いた。ともにリフトオフ技術と Ar イオンエッチング技術を使用した。リフトオフ技術はドットサイズが 100nm 以下に到達した際には問題が発生することが明らかとなった。測定により得られたパターンドットの高さは堆積速度から予測される値よりも著しく減少していた。しかしながら、Ar イオンエッチングを用いた場合には FePt/FeHfNbYB の 2 層構造のドットパターンの作製が可能であった。電子ビームリソグラフィを用いて作製できた最小のドットパターンサイズは約 20 nm であった。磁気力顕微鏡を使った研究により FePt/FeHfNbYB ドットサイズが 300nm 以上にまで増加した場合にシングルドメインからマルチドメインに変化することが明らかとなった。300nm までのパターンにおいては微小部 X 線回折測定により FePt の L10 に起因する (111) 面のみであることが明らかとなった。本研究により (111) 面の L10FePt および軟磁性金属 2 層構造は超高密度パターン記録媒体の作製技術として非常に大きな可能性を有していると結論付けられた。磁気力顕微鏡を用いた静的な測定においては作製したドットははっきりとした磁氣的なスイッチング特性を示したが、実際の動的な記録特性の (実際の記憶媒体としての同条件での) 調査のためにさらなる研究が必要である。

#### 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 4 件)

- ① P. Sharma, N. Kaushik, M. Esashi, M. Nishijima and A. Makino, "On the growth and magnetic properties of flower like nanostructures formed on diffusion of FePt with Si substrate", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* Vol. 337 - 338, 38 (2013), DOI: 10.1016/j.jmmm.2013.02.029
- ② Y. Wang, P. Sharma and A. Makino, "

Magnetization reversal in a preferred oriented (111) L10 FePt grown on a soft magnetic metallic glass for tilted magnetic recording" *Journal of Physics: Condensed Matter* Vol. 24, 076004 (2012), DOI: 10.1088/0953-8984/24/7/076004

③ P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, M. Esashi and A. Inoue, "L10 FePt(111)/glassy CoFeTaB bilayered structure for patterned media", *Journal of Applied Physics* Vol. 109, 07B908 (2011), DOI: 10.1063/1.3561803

④ P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino and A. Inoue, " Anomalous temperature dependence of coercivity at low temperature in L10 FePt thin films" *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47 (10), 4394 (2011), DOI: 10.1109/TMAG.2011.2159366

[学会発表] (計 4 件)

① P. Sharma, Y. Wang, A. Makino, "Fabrication and magnetic properties of L10 FePt thin films for tilted magnetic recording media" *JIM 2011 Autumn Meeting*, Ginowan, Okinawa, 7th Nov. 2011, Japan.

② P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, M. Esashi and A. Inoue, "L10 FePt(111)/glassy CoFeTaB bilayered structure for patterned media", *55th Magnetism and Magnetic Materials (MMM) conference*, 15-18th Nov. 2010, Atlanta, USA.

③ P. Sharma, A. Makino and A. Inoue, "Study of magnetic easy axis in L10 FePt (111)/CoFeTaB/SiO<sub>2</sub>/Si tilted system for perpendicular recording", *JIM Autumn Meeting*, 25-27th Sep. 2010, Sapporo, Japan.

④ P. Sharma, N. Kaushik, K. Yubuta, A. Makino and A. Inoue, "Application of metallic glass thin films in development of patterned magnetic recording media", *ISMAM*, 4-9th Jul. 2010, Zurich, Switzerland.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

シャルマ パルマナント (SHARMA PARMANAND)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号: 80451623

##### (2) 研究協力者

コーシク ニーラム (KAUSHIK NEELAM)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・助手

研究者番号：なし

(3)研究協力者

汪 姚岑 (WANG YAOCEN)  
東北大学・超低損失ナノ結晶軟磁性材料  
研究開発センター・研究支援者  
研究者番号：なし