

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：13601
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760280
 研究課題名（和文） 自己組織化下地層を用いたフェライトナノドットの形成と超高密度磁気記録媒体への展開
 研究課題名（英文） Fabrication of Ferrite Nanodots by using Self-Assembled Nanostructural Underlayer and Their Application to Ultrahigh Density Magnetic Recording Media
 研究代表者
 安川 雪子（YASUKAWA YUKIKO）
 信州大学・工学部・特任助教
 研究者番号：10458995

研究成果の概要（和文）：本研究ではリソグラフィ法やパターニングマスクを使用せず、スパッタ法によって Au の自己組織化ナノドットを形成し、これをフェライト($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)薄膜の下地として用いて $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ のナノドットを形成した。その結果ナノドット状の Au の微細構造が $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ のテンプレートとして機能し、自己組織化した $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ナノドット構造を得た。これに伴い $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ の磁区もナノスケールに微細化された。

研究成果の概要（英文）：The fabrication of ferrite nanodots was studied without the use of conventional lithographic techniques and patterning masks. Self-assembled Au nanodots were formed via sputtering and used as the underlayer for the ferrite film. Subsequently, hexagonal ferrite, $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$, was sputtered on the Au nanodots, resulting in an $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Au}$ sample. Self-assembled $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanodots were obtained. The morphology of the Au nanodot underlayer acted as a template for the $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ film, such that the self-assembled $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanodots were formed. In addition, the fabrication of the $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ film on the Au nanodots induced the down-sizing of the magnetic domain structures of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ to the nanoscale. Importantly, although the nanodots showed nanometric magnetic domains, a sufficient magnetization magnitude in the $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanodots was revealed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料(半導体、誘電体、磁性体、超誘電体、有機物、絶縁体、超伝導体など)

1. 研究開始当初の背景

全世界でデジタル情報が爆発的に増加している今日、世界中で生産されるデジタル情報の容量(デジタルユニバース)は、約 2.8 ゼッタ(10^{21})バイトにのぼっており、現状の情報ストレージ(ハードディスクドライブ(HDD))を中心としたデジタル情報を保存する機器では、デジタルユニバースの約半分の容量しか情報を保存できていない。これはデジタルユニバースが大きすぎてストレージでは情報を保存しきれず、デジタル情報の半分が消失

していることを意味する。

さらに 2020 年にはデジタルユニバースは 40 ゼッタバイトにまで達すると予想されている。2020 年に 40 ゼッタバイトの全情報量を保存するには、現行で最大容量の HDD(4 テラ(10^{12})バイト)が約 100 億台も必要となり、1 台の HDD の消費電力を 5 W とすると、全消費電力は 500 億 W にのぼると推計される。

2. 研究の目的

情報ストレージの中核である HDD の磁気記録媒体を、現行の垂直磁気記録媒体ではなく独立したナノサイズの磁気記録媒体 1 つ(1 ドット)に 1 ビット(デジタル信号の 0 か 1。すなわち磁気記録媒体 1 ドットの磁化方向が上向きあるいは下向き)を記録できる垂直磁気パターン媒体の開発を目的として研究を行った。例えばドットサイズ ~ 9 nm、ドットピッチ ~ 10 nm のパターン媒体は、1 平方インチ(1 inch²)当たり約 1.6 テラビット/inch²の情報記録密度となる。これは現状で最も高い記録密度を有する HDD(~ 500 ギガ(10⁹)/inch²)を凌駕できる。

パターン媒体の開発を通して情報記録密度を高めることにより、ストレージが記録できずに消失してしまう情報を無くすることができる。また情報記録密度を高めると HDD の小型化を実現できるため、IT 関連の約 20 % の消費電力を占める HDD の駆動電力の省電力化を期待できる。

そこで本研究では、1 ドットに 1 ビットのデジタル情報の記録が可能な HDD 用のフェライト(鉄酸化物、ここでは SrFe₁₂O₁₉)パターン媒体の開発を目的とした。

3. 研究の方法

電気・電子材料の主流な量産法であるスパッタ法により、Au 薄膜成膜時の条件を工夫し、ナノドット状の Au の自己組織化構造を作製した。この微細な Au ナノドットを SrFe₁₂O₁₉ 磁性層の下地として利用した。Au の自己組織化ナノドット構造をテンプレートとして上層の SrFe₁₂O₁₉ 磁性層もナノレベルに微細化することによって、自己組織化したナノドットから形成される SrFe₁₂O₁₉ パターン媒体の作製を試みた。

4. 研究成果

高周波マグネトロンスパッタ法により、広面積基板上に再現性高く、平均粒径が 5 nm 以下、粒径分散が ± 2 nm 以下の Au ナノドット自己組織化構造を作製した(図 1~3)。

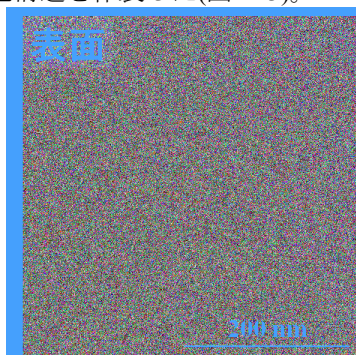


図1 高周波スパッタ法で作製した Au ナノドット

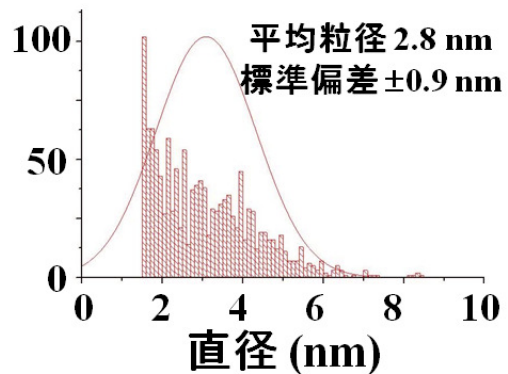


図2 Au ナノドットのヒストグラム

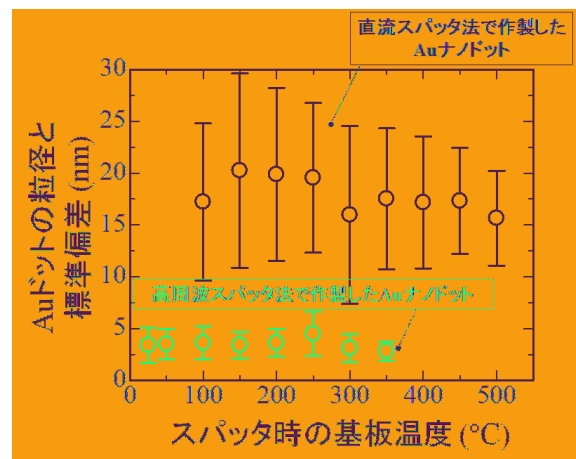


図3 Au ナノドットの粒径と粒径分散

作製した Au ナノドット自己組織化構造の面密度は、作製条件により 6.4 テラ(10¹²)~12 テラドット/inch² の極めて高い密度であることが明らかになった(図 4)。

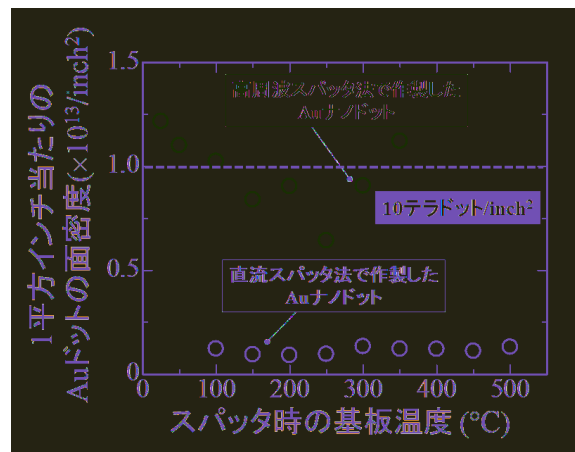


図4 Au ナノドットの面密度

さらに自己組織化 Au ナノドットは(111)面に配向していることがわかった(図 5)。

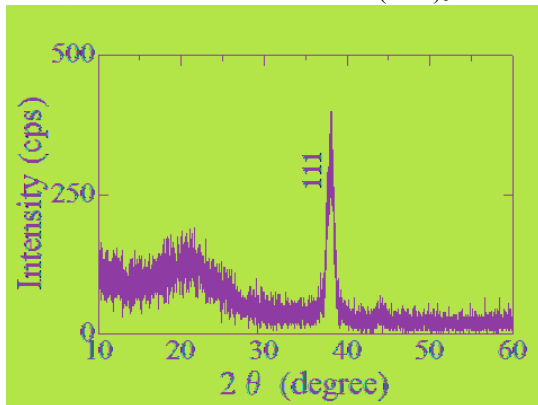


図 5 Au ナノドットの XRD 回折パターン

この Au (111)ナノドット上に $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ をスパッタ法によって堆積し、作製した $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Au}$ 試料の X 線回折パターンを図 6 に示す。

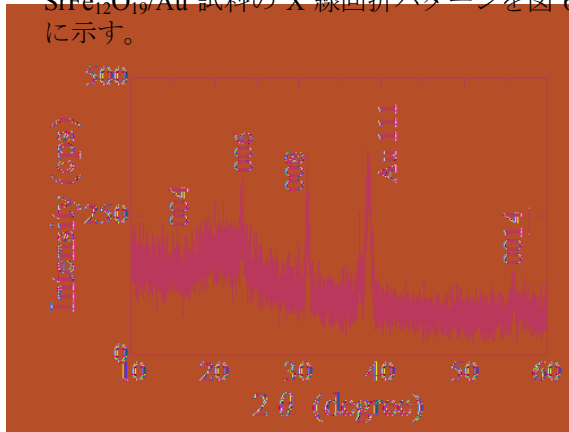


図 6 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Au}$ の XRD 回折パターン

この結果より、Au (111)ナノドット上に $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ の(00l)面がヘテロエピタキシャル成長していることがわかる。HDD 用のパターン媒体として応用するためには、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ の磁化が基板に対して垂直方向に配向するのが必須であり、そのためには $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ の(00l)面が結晶の c 軸方向に配向する必要がある。本研究では下地層として自己組織化 Au (111) ナノドットを用いることで、上層の $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (00l)面を c 軸方向に配向させることができた。

一方、図 7 には基板上に直接 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 薄膜を成膜した場合の表面形態、図 8 には自己組織化 Au (111)ナノドット上に $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (00l)がヘテロエピタキシャル成長した $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Au}$ 試料の表面形態を示す。

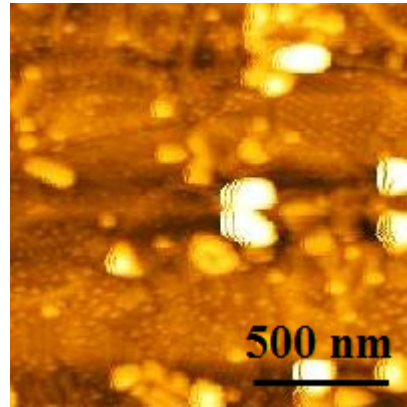


図 7 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 薄膜の表面形態

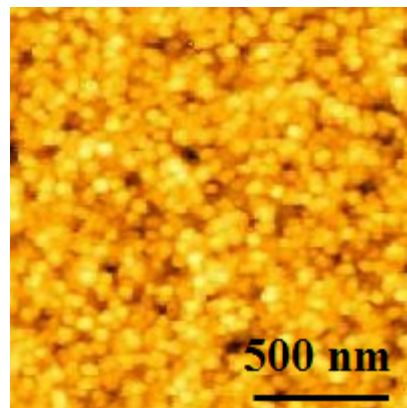


図 8 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Au}$ ナノドットの表面形態

図 8 より、自己組織化 Au ナノドットを $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ の下地テンプレートに用いると、Au が上層の $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 磁性層の構造をナノ微細化することを明らかにした。すなわち Au をテンプレートとして上層の $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ もナノドット自己組織化構造を形成した。

さらに薄膜状の $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ が Au ナノドット下地層によってナノ微細化されたことに伴い、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 磁性層の磁区もナノ微細化されることを明らかにした(図 9, 10)。

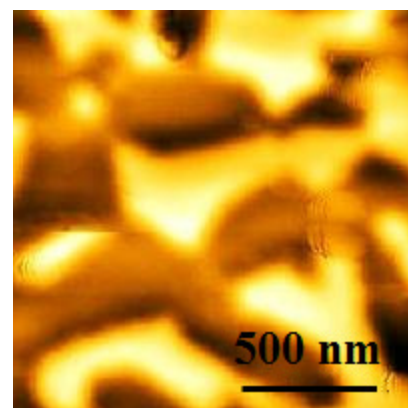


図 9 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 薄膜の磁区

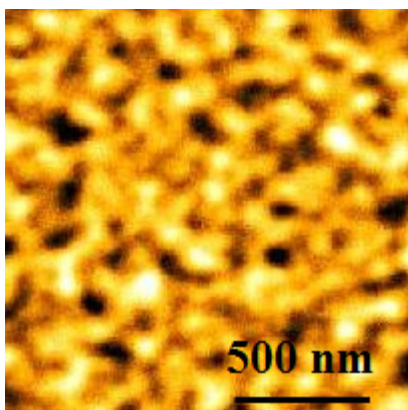


図 10 SrFe₁₂O₁₉/Au ナノドットの磁区

また透過型電子顕微鏡で SrFe₁₂O₁₉/Au 試料の断面を観察したところ、Au ナノドット上の SrFe₁₂O₁₉ は選択的に結晶化して磁性体となったが、Au ナノドット間隙部の基板上では、非磁性の非晶質 Sr-Fe-O となった(図 11)。

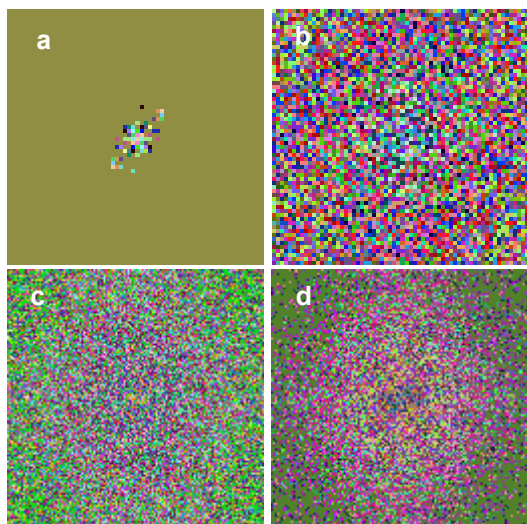
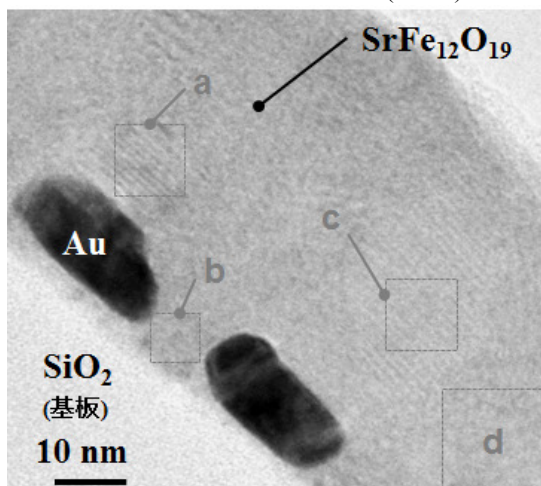


図 11 SrFe₁₂O₁₉/Au ナノドットの断面微細構造と各点におけるフーリエ変換イメージ

従って Au の自己組織化ナノ構造を下地に利用し、ナノサイズの磁性 SrFe₁₂O₁₉ ドットとナノ領域の非磁性・非晶質 Sr-Fe-O が規則的に配列したパターン媒体の基盤構造を確立した(図 12)。

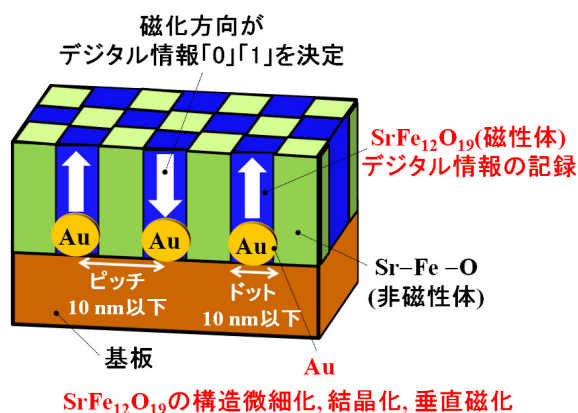


図 12 HDD 用の SrFe₁₂O₁₉/Au パターン媒体の基盤構造

また室温において作製した SrFe₁₂O₁₉/Au 試料の磁気特性を測定した。結晶構造の観点からは図 6 で SrFe₁₂O₁₉ の(00 l)面が c 軸方向に配向していることが明らかとなったが、磁化曲線からは SrFe₁₂O₁₉ の垂直磁気異方性を結論できず、課題として残った。

今後の展開のための課題は、下地の Au ナノドットのピッチをより精密に制御することと、上層の SrFe₁₂O₁₉ 磁性層の磁化の垂直配向を改善するために、下地 Au ナノドットの(111)配向分散をできる限り低くすること、ならびに Au ナノドットの形状制御が挙げられる。

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 2 件)

① Yukiko Yasukawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Self-Assembled Ferrite Nanodots on Multifunctional Au Nanoparticles”, Gold Bulletin, 印刷中, 2013, 査読有
DOI:10.1007/s13404-013-0092-y

② Yukiko Yasukawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Observation of Magnetic/Electric Domains and Control of Electric Polarization by Magnetic Field in BiFeO₃/SrFe₁₂O₁₉ Bilayers”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 327 巻, 95–102, 2013, 査読有
DOI:10.1016/j.jmmm.2012.09.049

[学会発表] (計 9 件)

① Yukiko Yasukawa, Yukinobu Ogawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Nanoscope

Physical Behaviors of Self-Assembled $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Nanoparticles Fabricated from Sputtered Film”, 12th Joint Magnetism and Magnetic Materials/ International Magnetic Conference, 2013.1.17, アメリカ, シカゴ

②小川幸伸,白石聡,安川雪子,劉小晰,森迫昭光, “Au 下地層を用いた Sr-Ferrite スパッタ薄膜の粒子サイズの微細化及び自己組織化”,平成 24 年度電子情報通信学会信越支部大会, 2012.10.13, 新潟

③Yukiko Yasukawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Discussion on Microscopic Physical Domains and Macroscopic Physical Properties in BiFeO_3 Films Prepared on Hexaferrite”, International Magnetic Conference 2012, 2012.5.10, カナダ, バンクーバー

④Yukiko Yasukawa, Yukinobu Ogawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Strong Correlation between Crystallography and Magnetic Properties of Perpendicular $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Films on Self-Assembled Au Underlayer”, International Magnetic Conference 2012, 2012.5.9, カナダ, バンクーバー

⑤安川雪子,小川幸伸,劉小晰,森迫昭光, “Au 凝集下地層上に作製した六方晶フェライトの構造微細化と磁気特性”,第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012.3.16, 東京

⑥安川雪子,劉小晰,森迫昭光, “ $\text{BiFeO}_3/\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}(00l)$ 二層膜における磁区および分極ドメインの直接観察”,第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012.3.16, 東京

⑦Yukiko Yasukawa, Xiaoxi Liu, and Akimitsu Morisako, “Indication of Magnetoelectric Properties in $\text{BiFeO}_3/(00l)\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Bilayers”, 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2011.10.31, アメリカ, スコッツデール

⑧小川幸伸,中村肇,安川雪子,劉小晰,森迫昭光, “Au 下地層を用いた Sr-Ferrite (SrM) 薄膜の形成および磁気特性”,平成 23 年度電子情報通信学会信越支部大会, 2011.10.8, 新潟

⑨金子正太郎,安川雪子,劉小晰,森迫昭光, “ $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}-\text{BiFeO}_3$ 薄膜の形成及びその評価”,第 35 回日本磁気学会学術講演会, 2011.9.29, 新潟

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安川 雪子 (YASUKAWA YUKIKO)

信州大学・工学部・特任助教

研究者番号：10458995