

ナノパターンメディア

Nanopatterned Media

櫻井 正敏

■ SAKURAI Masatoshi

木村 香里

■ KIMURA Kaori

稗田 泰之

■ HIEDA Hiroyuki

ハードディスク装置(HDD)に代表される磁気記録装置は、最大記録容量を低コストで提供している。媒体記録密度増大のためには記録サイズ縮小に伴う媒体ノイズ問題の克服が必要であり、隣接ビット間を物理的に分断するナノパターンメディア技術によるブレイクスルーが望まれている。課題は媒体全面の低コストナノ加工とドットの位置制御である。

東芝は、自己組織的に形成される微細周期構造を位置制御する手法により、1平方インチに1T(テラ： 10^{12})ビットの記録容量を可能にするナノ加工技術を提供する。

The areal recording density of hard disk drives (HDDs) has increased over the years and reached a very high level today. In order to maintain this high growth in recording density in the future, it is necessary to overcome the media noise problem.

Toshiba has developed nanopatterned media with uniform magnetic dot size, the areal recording density of which can exceed a terabit (10^{12} bits) per square inch. All magnetic dots in the nanopatterned media are accurately placed in position by an artificially assisted self-assembly method.

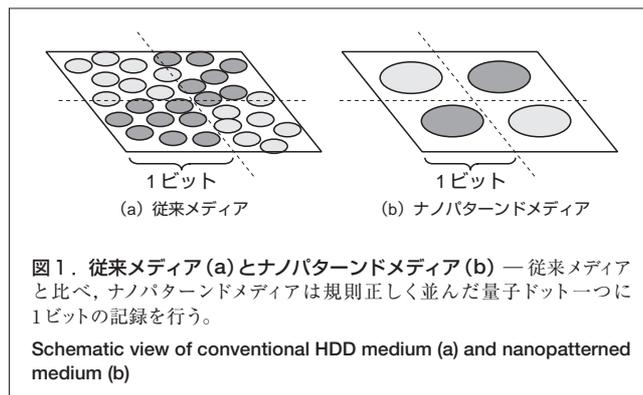
1 まえがき

HDDに代表される磁気記録装置は、AV、パソコン(PC)、車載など様々な分野において、携帯用小型機器から据置用大型機器まで、もっとも大きな記録容量を提供している。情報が磁化として保存される磁気記録媒体の高記録密度化は、常に磁性材料の微細記録限界への挑戦である。HDD高密度化に対する東芝の一つの解が垂直記録方式の開発である⁽¹⁾。しかし、通常のグラニューラ型媒体は、図1(a)に示すように粒子サイズが不ぞろいであり、記録密度が増加すると媒体ノイズが大きくなり、熱擾乱(じょうらん)耐性も下がってしまう。記録密度が1平方インチ当たり1T(テラ： 10^{12})ビット($1\text{Tビット}/\text{in}^2$)級、すなわち1.8インチHDD単板で300Gバイト、0.85インチHDDで50Gバイト級以上の記録密度を実現するためには、図1(b)に示すように、大きさのそろったナノスケールの磁性粒子が整然と配列されたパターンメディア(ナノパターンメディア)の開発がブレイクスルーになると考えられている。

更に、 $1\text{Tビット}/\text{in}^2$ 以上の記録・再生も、熱揺らぎに強いナノパターンメディアの磁気特性と近接場光・磁気ハイブリッド記録と組み合わせることにより実現が可能となる。

また、ナノパターンメディアは媒体が装置内で回転するHDDの形態以外に、マルチプローブヘッドがXY方向に動いて媒体上をスキャンするMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)メモリにも対応することができる。

ナノパターンメディアの課題は、インチサイズの媒体全面



にいかにか低コストでナノサイズの微細構造を構成するかにある。電子線やイオンビームを用いたリソグラフィーはナノサイズの加工が可能であるが、スループットが悪くHDD媒体の量産には適していない。

当社は自己組織材料を溝に沿って配向制御するAASA法(Artificially Assisted Self-Assembly method：誘導自己組織法)により、媒体全面に数十nm以下の微細構造を高スループットで作成する技術を開発した⁽²⁾。以下に、この技術を用いたナノパターンメディアへのアプローチについて述べる。

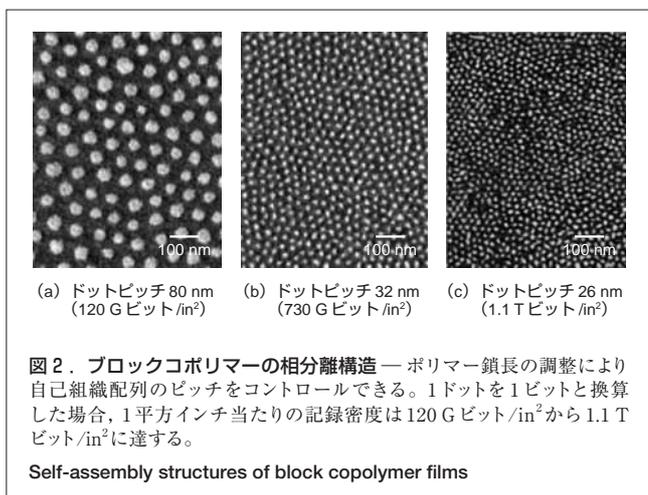
2 自己組織配列を用いたナノ加工

微細構造を大面積で作成する手法の一つとして、自己組織配列を用いる手法がある。自己組織配列とは、材料自身が微細周期構造を自然に作る現象である。 $1\text{Tビット}/\text{in}^2$ 級の

微細周期構造を作成するためには、ブロックコポリマーの自己組織構造が有効である⁽³⁾。ブロックコポリマーとは、2種類以上の異なるポリマー鎖を結合させた複合ポリマーである。このブロックコポリマーからなる膜は、内部でマイクロ相分離を起こすことにより自己組織的に微細周期構造を形成する。微細構造のサイズはポリマー鎖の長さを制御することで、十数nm～数百nmの周期構造を作成することができる。

ポリスチレン(PS)とポリメチルメタクリレート(PMMA)で構成されるブロックコポリマー膜の自己組織構造を図2に示す。相分離によりPSからなるネットワーク上で、PMMAからなるドットが六方格子を組んで配列している。各ポリマーの分子量を調整することにより、六方格子のピッチを80nm(図2(a))から26nm(図2(c))までコントロールできる。

26nmピッチの六方格子構造を用いたナノパターンドメディアは、各ドットを1ビットとして記録できるシステムを想定した場合、1.1Tビット/in²に換算される。



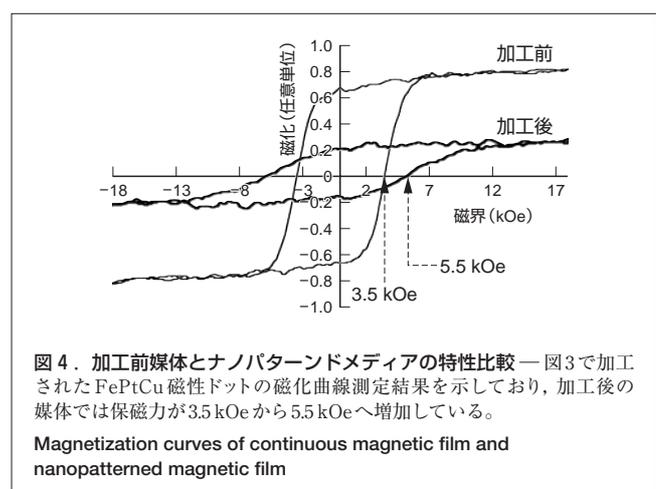
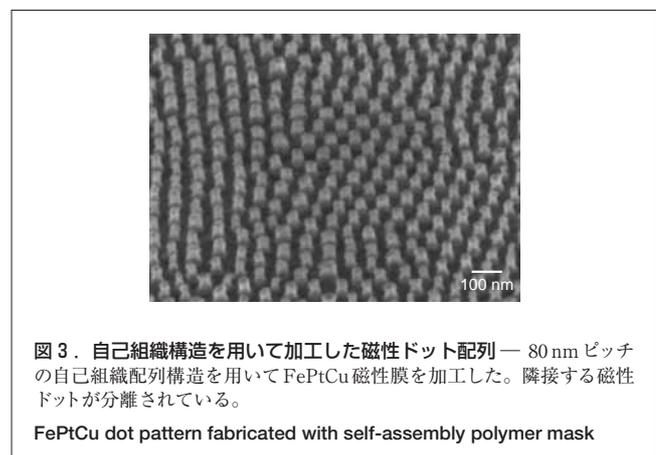
3 磁性体ナノドット加工と磁気分断

ナノパターンドメディア実現のための微細加工は、前述の自己組織構造が有効である。一方、加工する磁性材料は、微細ドット加工後も安定な磁気特性を維持することが必要である。FePtCu(鉄白金銅)は大きな結晶磁気異方性定数を持ち、熱揺らぎに強く、高密度を実現する記録媒体材料として期待されているが、高密度化に必要な磁性粒子の微細化が困難であった。そこで当社はブロックコポリマーのマスクを用いたナノ加工により、FePtCu膜のドット微細加工を行った。実際のプロセスは、あらかじめFePtCu膜を設け、この上にポリマー膜をコートし、アニールにより自己組織配列を形成する。得られた自己組織配列は2種類のポリマーからなるドット配列パターンであるが、ドット部を形成するポリマーをエッチング耐性の高い材料と置き換え、これをマスクとして磁性膜を加工した。

図3はブロックコポリマーの相分離膜をマスクとして加工されたFePtCu膜表面の走査型電子顕微鏡像である。加工深度は40nmであり、膜厚10nmのFePtCu層を完全に分断している。図3では、六方格子状に自己組織配列したポリマー膜の構造を保持する、FePtCuのドット配列構造が得られていることがわかる。

次に、加工された磁性体ドット構造の磁気特性について示す。図4は、図3で得られたFePtCuドット構造の磁気特性を示す磁化曲線を、加工前の磁性膜と比較したものである。

磁性体の加工により磁性体の全体量は減少するため、磁化軸の最大値である飽和磁化は減少しているが、磁界軸と交差する磁界すなわち保磁力は、加工前磁性膜の3.5kOeに対し、磁性ドット加工後は5.5kOeと増大した。この結果は、熱擾乱耐性の向上を目的とした磁性膜のナノパターン加工により、各磁性ドットの磁気的スイッチングが確認されたことを示している。



4 自己組織配列の位置制御

前述のように自己組織配列は、材料自身の内部相互作用

により自然に形成される周期パターンである。すなわち、配列の方向やドット位置をあらかじめ予測することは不可能である。図2を見ても明らかなように、自己組織構造は部分的には規則正しい六方格子であるが、大きく見ると複数の六方格子団の集まりであり、それぞれの六方格子団はランダムな方向を向いている。

ナノパターンメディアは、記録・再生ヘッドが媒体上で配列した磁性ドットにアクセスできる構造でなくてはならない。図3のように自己組織構造を用いた磁性体ドット配列を得ているが、ナノパターンメディアにおける各磁性体ドットは、予測可能な位置に配置される必要がある。1ドットレベルの位置制御は、マルチプローブヘッドを用いたMEMSメモリにおいては必須である。

自己組織配列をランダムな方向ではなく位置制御して配置するためには、溝や壁を利用するとよい。わかりやすい例として、床の上にパチンコ玉を敷き詰めることを考える。何も障壁のない床に敷き詰められたパチンコ玉の配列は、図5(a)に示すとおり、複数の六方格子団が床面内でランダムな方向を向いている“多結晶構造”であろう。

一方、溝や箱などのガイド構造が設けられた床の上では、パチンコ玉は凹凸に沿って並ぶ。ガイドの形状をきちんと調整すれば、図5(b)のように床の上にパチンコ玉をばらまくだけで、簡単にドット位置のそろった複数のパチンコ玉の自己組織構造集団が得られるであろう。ガイドサイズをある程度広くしても、いったん玉がガイドの壁に沿って並べば、内側の玉もそれに合わせて自己組織的に並ぶ。つまり、パチンコ玉のサイズよりも大きなガイド構造を用意し、そこにパチンコ玉をばらまくだけで、小さなパチンコ玉を意図した位置に制御して並べることができる。

以前、当社はトラック方向に形成された溝構造をガイドとして用い、2.5インチHDD媒体全面でトラック方向に磁性ドット

を配列したナノパターンメディアを試作した⁽²⁾。ガイド溝を用いた自己組織配列制御では、ガイド内のドット配列は溝の側壁に沿った構造となる。しかしガイド溝の長さは、自己組織的に形成される六方格子のサイズに比べて非常に長いので、実際には各六方格子が溝中の様々な位置で配列する。その結果、ドット配列は各六方格子の境界に周期の乱れを持った構造となる。周期の乱れが発生する位置は予測困難であった。

自己組織的に配列する六方格子を完全に位置制御するためには、図6に示すような正三角形、菱(ひし)形、六角形などのガイド構造が最適である。すなわちこれらのガイド構造は、すべての側壁が六方格子が持つ3本の主軸によって構成されており、ドットがどの側壁に沿って配列しても、結果としてガイド内で常に同一の自己組織構造となる。

各ガイド構造のサイズは、自己組織配列によって形成される各六方格子群のサイズに合わせる必要があり、現状は数ミクロン程度である。したがって、ナノパターンメディアのドット位置制御にガイド構造を用いる場合には、数インチのメディアサイズの全面に、ガイド構造を周期的に配列する必要がある。そこで、前記のガイド中から菱形ガイド構造を選択し、これを媒体面に配列することとした。

ガイド構造の基板表面への転写にはナノインプリント法を用いた。ナノインプリント法とは、1996年S. Y. Chouらの報告⁽⁴⁾により注目された手法で、ナノスケールの凹凸構造を持つモールドマスクをレジスト付き基板へプレスによって物理的に押し付けることで、レジスト膜に凹凸パターンを転写する手法である。大面積へのナノインプリント転写に関して、当社は2.5インチHDD媒体サイズでの溝構造全面転写技術を既に開発しており⁽²⁾、今回のガイド転写においても、同様の手法により基板表面に大面積にわたりガイドが配列した構造を得た。

図7は、ナノインプリント法により菱形ガイド構造が配列したモールドマスクをレジストを塗布した基板表面へ転写し、表面凹凸を観察した顕微鏡像である。ガイド構造は1辺1 μm 、

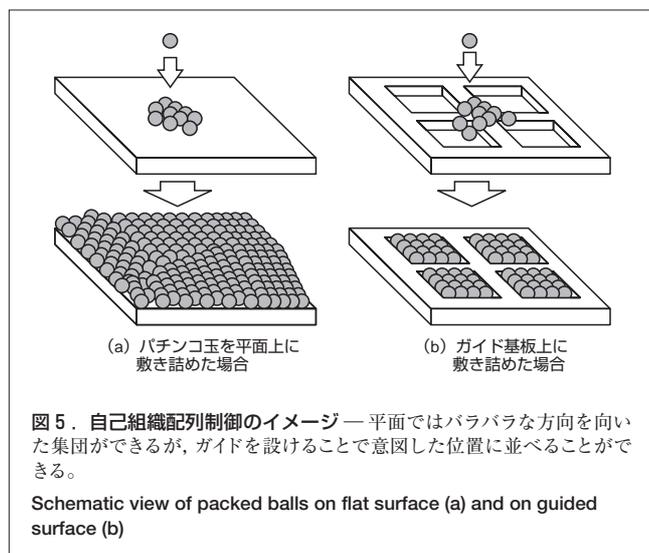


図5. 自己組織配列制御のイメージ — 平面ではバラバラな方向を向いた集団ができるが、ガイドを設けることで意図した位置に並べることができる。

Schematic view of packed balls on flat surface (a) and on guided surface (b)

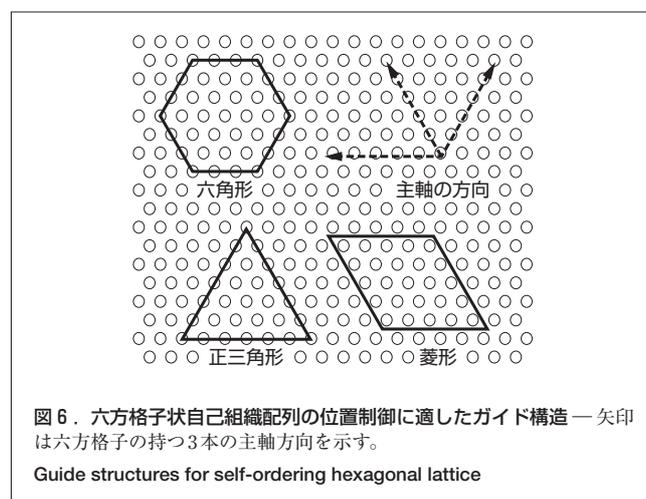


図6. 六方格子状自己組織配列の位置制御に適したガイド構造 — 矢印は六方格子の持つ3本の主軸方向を示す。

Guide structures for self-ordering hexagonal lattice

60°と120°の角で構成される菱形構造で、深さ40nmの凹部を形成している。

この凹部にブロックコポリマーの自己組織膜を埋め込み、自己組織配列の位置制御を試みる。

図8は、一つの菱形ガイド内で自己組織配列したブロックコポリマー膜の相分離構造である。ブロックコポリマーは、45nmピッチの六方格子を形成するPS-PMMAを用いた。

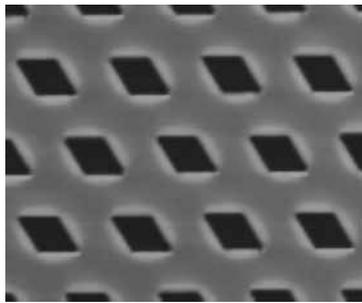


図7. ナノインプリントにより得られた菱形ガイド配列構造—60°と120°の角度で構成される菱形ガイド配列構造で、菱形の1辺は900nmである。
Diamond-shaped guide structures prepared by nanoimprint process

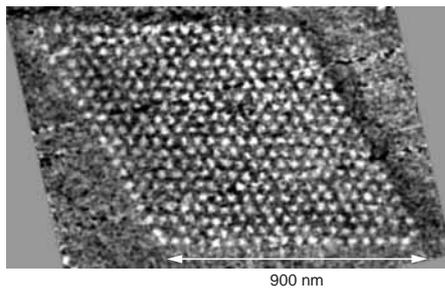


図8. 菱形ガイドを用いて得られた無欠陥自己組織配列—1辺900nmの菱形ガイド内に45nmピッチで配列する自己組織ドットが、20×20構造を形成している。
Completely arranged self-assembly dot structures in a diamond-shaped guide

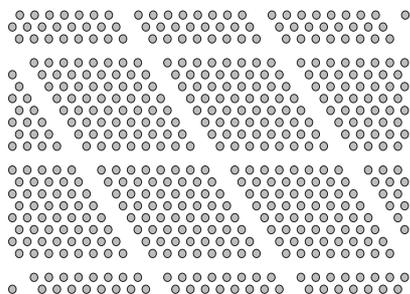


図9. 無欠陥自己組織配列ナノパターンメディアのドット配列概念—最適条件により、無欠陥自己組織配列構造を得ることが可能である。
Schematic view of defectless self-assembled structure on nanopatterned medium

自己組織的に形成された六方格子のドット配列が60°と120°からなる菱形のガイド構造に沿って形成されていることがわかる。ドット配列は20×20個で、1辺900nmの菱形ガイドに対し、45nmピッチで配列するすべての自己組織ドットが乱れなく配置されていることがわかる。

現在は、図7に示したすべてのガイドで無欠陥配列を得るための最適条件を模索しているが、最終的には、図9に示すような無欠陥自己組織配列を持った菱形ガイドが、媒体表面に配列した構造を得ることが可能である。

5 あとがき

ナノパターンメディアの実現に向け、1Tビット/in²級の記録密度を可能とする自己組織材料の開発と、自己組織配列をマスクとした磁性体ドット配列の獲得及び磁気分断を確認し、更に人工ガイドを用いて大面積無欠陥自己組織配列の可能性を示した。これらの技術アイテムを統合し、磁気記録媒体の高密度化へのブレークスルーに向けて開発を進めていく。

なお、この研究の一部は、経済産業省による2002年度(財)光産業技術振興協会受託プロジェクト“大容量光ストレージ技術の開発事業”(2003年度からNEDO技術開発機構(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)プロジェクト)、及び文部科学省による2005年度科学技術試験研究、RR2002“超小型・大容量ハードディスクの開発”の支援を受けて行われたものである。

文 献

- (1) 田中陽一郎, 次世代ストレージを切り開く垂直磁気記録HDD技術, 東芝レビュー, 60, 2, 2005, p.82-83.
- (2) 櫻井正敏, ほか, 磁気量子ドットが配列した次々世代記録媒体“パターンメディア”, 東芝レビュー, 57, 12, 2002, p.52-55.
- (3) 平岡俊郎, ほか, テラビット磁気記録媒体を実現する新しいナノ加工技術, 東芝レビュー, 57, 1, 2002, p.13-16.
- (4) Stephen Y. Chou, et al. “Nanoimprint lithography”. J. Vac. Sci. Technol. B14, 1996, p.4129-4133.



櫻井 正敏 SAKURAI Masatoshi, D.Sci.

研究開発センター 記憶材料・デバイスラボラトリー主任研究員, 理博。磁気記録媒体の研究・開発に従事。応用物理学会会員。

Storage Materials & Devices Lab.



木村 香里 KIMURA Kaori

研究開発センター 記録材料・デバイスラボラトリー。磁気記録媒体の研究・開発に従事。日本セラミックス協会会員。

Storage Materials & Devices Lab.



稗田 泰之 HIEDA Hiroyuki

研究開発センター 記憶材料・デバイスラボラトリー研究主務。磁気記録媒体の研究・開発に従事。応用物理学会会員。

Storage Materials & Devices Lab.