

磁気量子ドットが配列した次々世代記録媒体 “パターンドメディア”

"Patterned Media" Nanosize Magnetic Dot Arrays Patterned along Tracks

櫻井 正敏

SAKURAI Masatoshi

鎌田 芳幸

KAMATA Yoshiyuki

稗田 泰之

HIEDA Hiroyuki

磁気ディスク装置(HDD)の面記録密度は年率100%で伸び続けている。このスピードを維持するためには、近い将来に直面することが予想される熱揺らぎの問題を解決しなければならない。当社は、熱揺らぎに強く1平方インチ当たり数百ギガビットから数テラビットの記録密度を実現するための要素技術である“パターンドメディア”を試作した。このメディアではナノ加工技術を用いることにより、光や電子線のリソグラフィー法では作製困難であるサイズ数十nmの磁性ドットをトラック方向に規則正しく配列させた。

Hard disk drives (HDDs) have been showing a 100% annual growth rate in areal recording density. In order to maintain this rate in the future, it is necessary to overcome the thermal instability problem of high-density recording media.

Toshiba has developed "patterned media" offering thermal stability even at a high recording density, with a possible areal recording density of more than a terabit per square inch. In these patterned media, the magnetic dots are arrayed along the track by a self-assembly method.

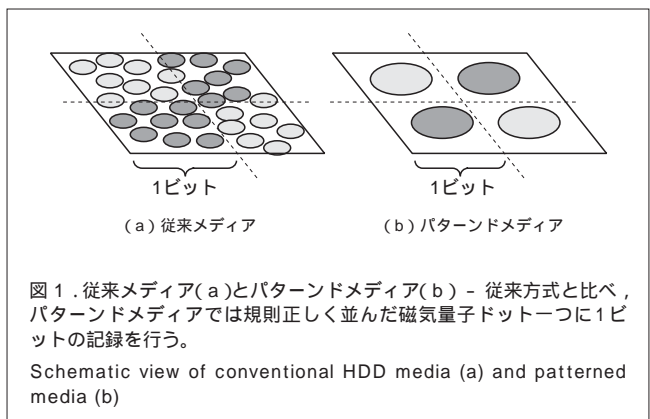
1 まえがき

HDDは、従来のパソコン(PC)用だけでなく車載やAV機器、携帯機器などへ新しい用途を広げつつあり、今後も年率100%の面記録密度増加は続くことが予想される。一方、記録密度増加のために磁性粒子サイズを小さくすると、磁化により記録された情報がある温度で失われてしまう熱揺らぎの問題が無視できなくなる。

この熱揺らぎ現象を克服するために、次世代技術として反強磁性結合メディアや垂直記録メディアの開発が進められている⁽¹⁾が、記録密度が1平方インチ当たり数百ギガから数テラビット級の次々世代磁気記録メディアでは、パターンドメディアの開発がブレークスルーになると考えられている。

図1に示すように、磁性粒子を敷き詰め一定領域中の複数の磁性粒子に記録を書き込む従来方式(図1(a))と比べ、パターンドメディアでは、記録を行う磁気量子ドットを規則正しく並べてある(図1(b))。パターンドメディアでは記録単位が磁性ドット一つで構成されるため、熱揺らぎに耐えうる最小磁性ドットサイズまで記録密度を上げることができることが特長である。

パターンドメディアの課題は、いかに低コストで数十nmレベルの微細構造をディスク全面に構成するかにある。現在半導体微細加工の主流である光リソグラフィーでは、波長以下の数十nmの微細加工は不可能である。次世代技術の電子線やイオンビームリソグラフィーならこのサイズの加工は可能であるが、スループットが著しく悪く、HDDのように数イン



チ径のディスクを大量生産するのは不可能である。

当社の開発したAASA法(Artificially Assisted Self-Assembly method: 誘導自己組織法)は、大面積にわたる数十nm以下の微細構造を高スループットで作製できる技術であり、この技術を用いることでディスク全面のパターンドメディア試作に世界で初めて成功した⁽²⁾。

2 AASA法 - 大面積のナノ構造を安く作る方法

2.1 ナノサイズのパチンコ玉を並べるには

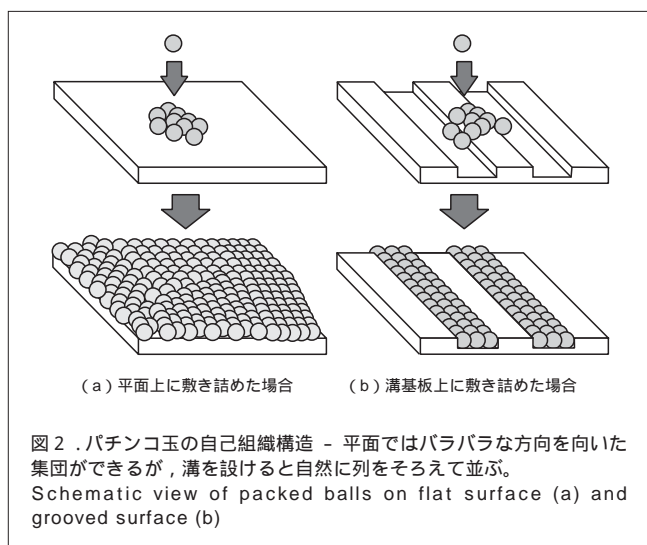
例えば、記録密度が平方インチ当たり1テラビットのパターンドメディアの場合、数インチ径のディスク全面におよそ30nm間隔で磁性粒子の並んだ構造を高スループットで作製しなければならない。

光の波長以下の微細構造を高速に作製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”と書くとカッコがいいが、実はわれわれの身の回りで頻繁に見られる現象である。わかりやすい例としてパチンコ玉の集合を挙げる。たくさんのパチンコ玉を床に敷き詰めると、玉どうしはなるべく密度高く詰まろうとするために、結果としてきれいに六方格子を組んだ周期構造をかってに作る。これが自己組織配列である。自己組織配列とは、材料自身がある一定サイズ(パチンコ玉なら玉の直径)の微細構造を、人為的ではなく自分でかってに作る現象である。

数十 nm の微細構造を自己組織的に作る材料ではブロック共重合体が有効である⁽³⁾。ブロック共重合体とは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。このブロック共重合体から成る膜は、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。ポリマー鎖の長さを制御することで、十数 nm ~ 数百 nm サイズの微細周期構造を作製することができる。

しかし、こうした自己組織配列は材料がかってに作る構造で、このままでは配列の方向は制御されない。パチンコ玉の話に戻ると、床に敷き詰められたパチンコ玉の配列は、部分的にはきれいな六方格子であるが、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床面内でランダムな方向を向いている“多結晶構造”である(図2(a))。

この六方格子をランダムな方向ではなくきちんと軸をそろえて並べるには、溝や壁を利用するとよい。溝や箱の中にパチンコ玉を詰めると、パチンコ玉は壁面に沿って並ぶ。溝の幅をきちんと調整すれば、溝の上にパチンコ玉をばらまくだけで簡単に方向のそろった複数列のパチンコ玉の自己組織構造が得られる(図2(b))。溝の幅を数列分広くしても、一度玉が溝の壁に沿って並んでしまえば、内側の玉もそれに合わせて自己組織的に並ぶ。つまり人間はパチンコ



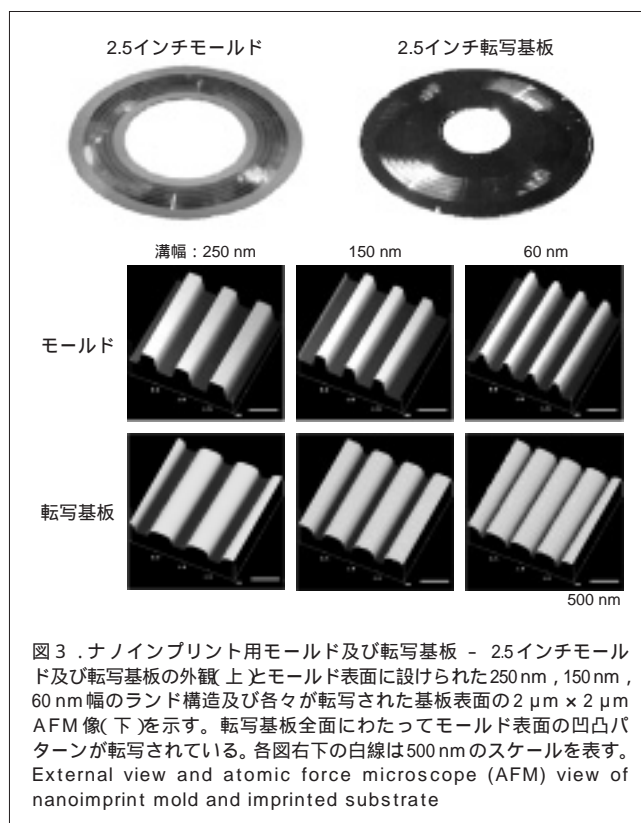
玉のサイズよりもはるかに広い幅の溝を用意するだけでよく、そこにパチンコ玉をばらまくだけで、人間の意図した溝の方向に小さなパチンコ玉を一定周期で並べることができるわけである。この現象をナノスケールで行うのがAASA法である。

パターンドメディアでは、磁性ドット一つ一つに記録を書き込むため、磁性ドットの場所を記録再生ヘッドが予測できなければならない。このためには多結晶構造ではなく、トラック方向に磁性ドットの並んだ構造が必要である。パチンコ玉を並べるには溝や箱を用意したが、パターンドメディアの微細構造作製にあたり、当社はナノインプリント法によるグループ(溝)構造形成を行った。

2.2 ナノインプリント法による大面積溝一括形成

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。プレスにかかる時間は10秒~1分なので、一度モールドにナノスケール構造を作製すれば、電子線描画法と比較して圧倒的に高スループットのナノスケール構造作製が可能となる。

図3は幅60 nm から250 nm までのグループ構造を作製するモールドの表面と、そのモールドをレジスト基板表面にインプリントして表面構造を転写した後の転写基板表面の外



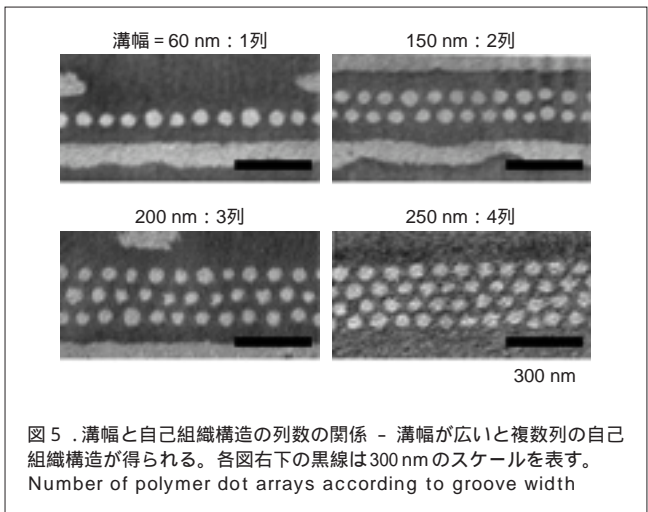
観及び原子間力顕微鏡 (AFM) 像である。転写基板全面にわたってモールド表面の凹凸パターンが転写されているのがわかる。

2.3 ナノインプリント溝による AASA 配列

ナノインプリント法により得られた凹凸構造転写基板表面に前述のブロック共重合体ポリマー膜を塗布し、熱処理により自己組織構造形成を行った。凹凸構造のない平面上のブロック共重合体自己組織配列は図4(a)のように多結晶構造を示すが、凹凸転写基板上では図4(b)のようにドット列が図の上下に走る凹凸溝に沿って並んだ構造が得られる。



また、インプリント溝幅と得られるポリマー列の数は関係しており、溝幅が広ければ複数列のポリマードットが自己組織的に配列する(図5)。スループットや記録密度を考えるならば、なるべく広い幅の溝構造を持つモールドを作製し、多数列のポリマードットを一つのインプリント溝中に作製することが好ましい。溝幅が光の波長以上であれば、光リソグラフィーを用いてモールド表面に高速に溝構造を作製することが可能になる。AASA 法ではこのモールドからナノインプリ



ント法で構造を基板に転写し、その後この基板表面に自己組織材料の膜を塗布させる。すなわち“光リソグラフィ + ナノインプリント + 膜塗布”という高スループットの手法のみで、希望する方向にナノ構造の配列した大面積基板を作製することができる。

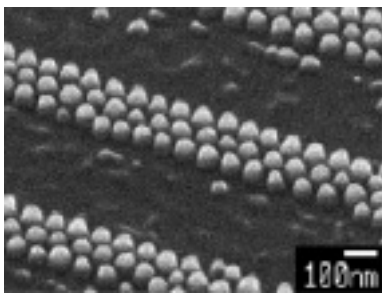
図4と図5で用いられているブロック共重合体は、ポリスチレン(PS)とポリメチルメタクリレート(PMMA)で構成されるジブロックポリマーである。今回用いたポリマーは、ドット径 40 nm、周期 80 nm の微細構造を自己組織的に形成する材料である。これは記録密度にして平方インチ当たり 120 ギガビットに相当する。この PS-PMMA 系ではポリマー鎖の長さを最適化することで、ドット径 15 nm、ドット周期 30 nm、平方インチ当たり 830 ギガビットまでが実験的に確認できている。また、将来的にはポリマー材料を改良することでドット周期 15 nm、記録密度で平方インチ当たり 3.3 テラビットまで達成できると考えられている。それ以上の記録密度を実現するためには、自己組織材料として微粒子(まさしくナノパチンコ玉)や酸化物微細孔構造など、ブロック共重合体とは異なる系を選択することになるだろう。しかしその場合でも、“人為的な誘導”と“自己組織配列”の組合せである AASA 法が有効であると予想される。

3 自己組織構造からパターンドメディアの作製

AASA 法により得られた微細ドットパターンは多層レジストの手法を応用して磁性体層へ転写され、最終的にはディスク全面においてトラック方向に磁性体ドットの並んだパターンドメディア試作品を得る。パターンドメディア試作品の外観と表面の走査型電子顕微鏡(SEM)像を図6に示す。図6(a)ではディスク全面にパターンが形成されていることがわかる。また図6(b)では基板表面に得られた自己組織配列パターンと同じ構造で磁性ドットが配列していることがわかる。



(a) 試作パターンドメディアの外観



(b) 表面のSEM像

図6 . 試作パターンドメディアの外観(a)及び表面のSEM像(b) - 自己組織構造を反映して磁性ドットが2.5インチディスク全面のトラック方向に80 nm間隔で並んでいる。
External view (a) and scanning electron microscope (SEM) view (b) of patterned media

得られた磁性ドットのサイズは40 nm ,高さは50 nmで ,アスペクト比は1を超えていることが確認された。

パターンドメディア表面の磁気力顕微鏡(MFM)像を図7に示す。MFM像では画面垂直方向に磁化が向いているときに白又は黒い像となる。図7中で白と黒のドットが混ざり合いながら3列を形成している帯が複数観測されるが ,これが図6(b)で観測された磁性ドットの磁化である。図7の

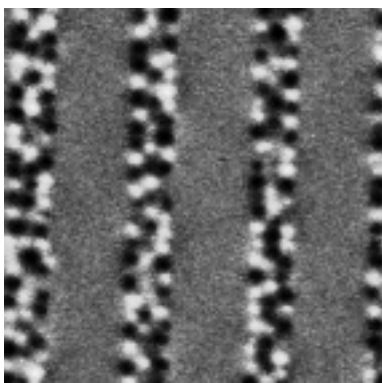


図7 . パターンドメディア表面の2 μm × 2 μm MFM像 - MFM観察では , 磁性体に記録された“1, 0”が“白, 黒”で現れる。図はパターンドメディア表面で3列に並んだ磁性ドットに“1”, “0”が記録されているようすを示す。
Magnetic force microscope (MFM) view of patterned media

MFM像から磁性ドットは白か黒 ,すなわち基板垂直方向に上向きか下向きのいずれかの磁化しか持っていないことがわかる。これは ,作製した磁性ドットが単一の磁区構造であり ,一つの磁性ドットに1ビットの記録を書き込むことが可能であるパターンドメディアの特長を示している。

4 あとがき

記録密度が平方インチ当たり数百ギガビットから数テラビットのHDDメディアを作製するための技術として ,当社の開発したAASA法によるパターンドメディア作製方法について述べた。パターンドメディアの研究開発はメディア作製が先行したが ,今後は記録再生やヘッドディスクインタフェース ,サーボなどの課題に取り組む。

パターンドメディアの研究は ,米国ではIBM社 ,Imation社が中心となって国家プロジェクトがスタートしており ,2年以内に平方インチ当たり200ギガビットの達成が目標として上げられている。またマサチューセッツ工科大学(MIT)でも ,自己組織化を利用したパターンドメディア作製の研究が始まっている。次々世代の技術開発といっても既に競争は始まっており ,当社もAASA法によるパターンドメディアの高スループット作製技術を起点として開発を加速していく。

文献

- (1) 田中陽一郎,ほか,磁気記録技術及び光ディスク技術の現状と動向 . 東芝レビュー . 57 ,7 ,2002 ,p.2 - 7.
- (2) 内藤勝之,ほか . “2.5-Inch Disk Patterned Media Prepared by an Artificially Assisted Self-Assembling Method” . 2002 Intermag Proceedings , AB10.
- (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, Ph.D.
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, 理博。磁気記録媒体の研究・開発に従事。応用物理学会, 日本化学会会員。
Storage Materials & Devices Lab.



鎌田 芳幸 KAMATA Yoshiyuki, Ph.D.
研究開発センター 記憶材料・デバイスラボラトリー, 理博。磁気記録媒体の研究・開発に従事。日本応用磁気学会, 日本化学会会員。
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.