

記録密度5 Tビット/in²の ビットパターンメディア作製技術

微細加工メディアでHDDの 高密度化限界を超える

HDD（ハードディスクドライブ）の大容量化を実現するため、自己組織化ナノパターンニング技術を用いたビットパターンメディア（BPM）の作製に取り組んでいます。5 T（テラ：10¹²）ビット/in²の記録密度では、1ビットの直径が8 nm以下という超微細ビットをディスク上に12 nmピッチで作製することになります。

今回、BPMの記録エラーを防止するため、ガイド溝内に目印を付けることで微細ビットを精度良く配置する技術を開発しました。また、記録ビットがあまりにも小さいために記録が室温で揺らいで消えてしまう現象を克服できる高磁気異方性エネルギー材料を開発しました。

これまでのBPM

ビットパターンメディア（BPM）は、1ビットの大きさに切り取った磁性ドットを配列させた記録媒体で、HDDの記録密度を向上させる技術として注目されています。5 Tビット/in²の記録密度では、12 nmピッチで1ビットの直径が8 nm以下という、最先端の半導体プロセスを用いても作製することが極めて困難な大きさになります。このような超微細パターンを作製する技術として、自然現象を利用した自己組織化ナノパターンニング技術がありますが、HDDを動作させるためのサーボパターンと呼ぶ複雑な形状の作製が課題となっていました。

東芝はこれまでに、磁性体上にガイド溝を構築して自己組織化ドットの配列制御を行うことで、データ領域に加えてサーボパターンも備えた、17 nm

ピッチで2.5 Tビット/in²の記録密度相当のBPMを作製し、試作した媒体を用いて記録再生ヘッドの動作検証に世界で初めて^(注1)成功しました⁽¹⁾（図1）。

高精度ビット配列技術

BPMを搭載したHDDは、ビット位置に狙いを定めて記録を行う必要があります。ビットの位置がばらついていると、ビットとビットの隙間の何もない空間に情報を記録してしまい、記録エラーとなってしまいます。そこで、自己組織化ドットを正確な位置に配置する必要があります。同心円状のガイド溝を用いれば自己組織化ドットを円周方向に配列できますが⁽²⁾、その位置を決めることができません。

そこで、ガイド溝の内部に更に目印

(注1) 2010年8月時点、当社調べ。

（ポスト）を設けることで、自己組織化ドットの位置を固定する技術を開発しました。ガイド溝とポストによって自己組織化ドットを配列させた走査型電子顕微鏡（SEM）像を図2に示します。白い丸がポストです。ガイド溝は図の縦方向に作製されています。自己組織化ドットが欠陥なく配置できています。ビット配置精度を反映するピッチ分散指標は、この技術によって15%から8.9%に改善されました。BPMを搭載したHDDでエラーなく記録再生を行うには、ピッチ分散を5.0%以下にする必要があります。ガイド溝幅やポスト直径を更に最適化しなければなりません。

高磁気異方性エネルギー技術

BPMの高密度化を目指すには、ビットの大きさを小さくすればよいのですが、ビットを小さくすると、室温で磁性

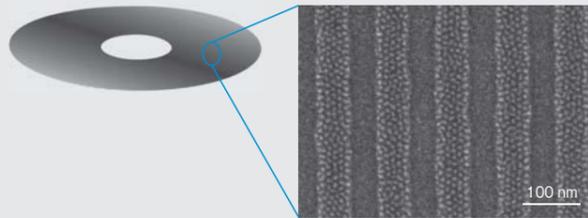


図1. 5 Tビット/in² BPMの概念図 — 自己組織化ドットをディスク円周方向に12 nmピッチの5 Tビット/in²の記録密度で並べました。

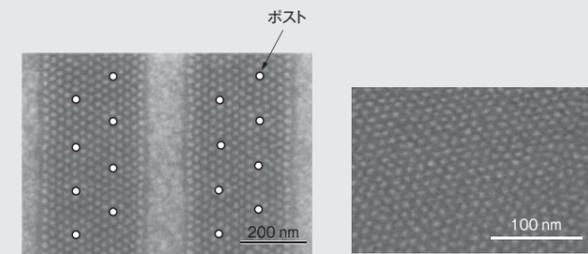


図2. 自己組織化BPMのSEM像 — ガイド溝とポストを組み合わせて、ビットを高精度に配置しました。



図3. 5 Tビット/in² BPMの自己組織化ドットパターン（SEM像） — 自己組織化ドットの低分子量化で11.8 nmピッチを実現しました。

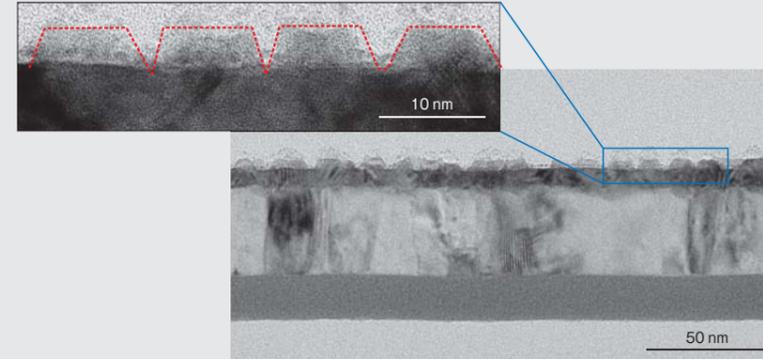


図4. 5 Tビット/in² BPMの断面TEM像 — ビットの高さが4 nmで直径が8 nmのFePtドットを作製しました。

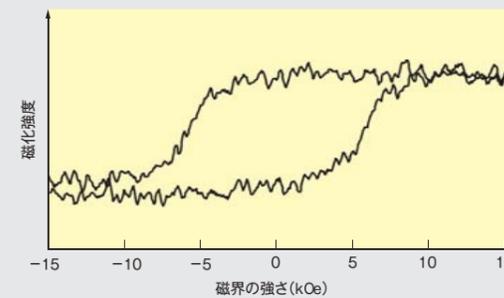


図5. 5 Tビット/in² BPMの磁気特性 — ビットの直径が8 nm以下にもかかわらず、保磁力5.9 kOeと良好な磁気記録性が得られています。

が消失してしまう熱揺らぎ現象に直面します。情報の“1”と“0”に相当する方向にビットの磁化を保持するのに必要なエネルギーは、磁気異方性エネルギー密度（Ku）と記録ビットの体積（V）と熱エネルギー（k_BT）を用いてKuV/k_BTで表されます。この値が40以下になると、熱揺らぎで情報が消えてしまいます。5 Tビット/in²の記録密度ではビットのVが非常に小さくなり、Kuの大きな磁性材料を用いる必要があります。そこで、現行のHDD製品で使用されている磁性材料のコバルト白金（CoPt）系合金の10倍以上のKuを持つ鉄白金（FePt）規則合金薄膜を開発しました。

次に自己組織化パターンを5 Tビット/in²の記録密度（12 nmピッチ）にする材料を開発しました。自己組織化パターンは2種のポリマーから構成されるので、ポリマーの長さを短くすることで、ドット

ピッチを小さくできます。ポリマーの長さは分子量に比例するので、低分子量化の開発を行いました。低分子量化した自己組織化材料のドットパターンを図3に示します。ピッチ11.8 nm、平均直径8.1 nmのパターンが得られました。

5 Tビット/in² BPMの特性評価

このドットパターンをエッチングマスクとしてFePt規則合金薄膜をエッチングし、5 Tビット/in²の記録密度のBPMを作製しました。作製したBPMの断面透過型電子顕微鏡（TEM）像を図4に示します。ビットの高さが4 nm、直径が8 nmのFePtドットが作製できています。

BPMの磁気特性を図5に示します。縦軸はビットの信号強度に相当する磁化強度を、横軸はビットを磁化反転（記録）するのに必要な磁界の強さを表します。

保磁力（ビット反転磁界）が5.9 kOe、熱揺らぎ指標のKuV/k_BTが73という、高密度記録媒体に適した磁気特性が得られました。作製したBPMは、ビット直径が8 nm程度と非常に小さいにもかかわらず、熱揺らぎによる記録の消失を防ぐことができます。

今後の展望

記録エラーを防ぐためのガイド溝及びポストを用いた高精度ビット配列技術と、超微細ビットが熱揺らぎで記録消失しないための高磁気異方性エネルギー材料を開発しました。

今後は、これら要素技術を統合し、HDDとしてどの程度の性能向上が見込めるかを検証していきます。更なる低ピッチ分散の実現や、媒体ノイズの原因となるビット反転磁界分散の抑制、低ダメージエッチング加工の開発などを進める必要があります。そのために、他分野の技術を積極的に導入し、大容量HDD媒体実現に向けチャレンジしていきます。

なお、この研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーンIT）プロジェクト」の支援を受けて実施しました。

文献

- (1) Kamata, Y. et al. Fabrication of Ridge-and-Groove Servo Pattern Consisting of Self-Assembled Dots for 2.5 Tb/in² Bit Patterned Media. IEEE Trans. Magn. **38**, 5, 2002, p.1949 - 1951.
- (2) 櫻井正敏 他. 磁気量子ドットが配列した次世代記録媒体“パターンメディア”. 東芝レビュー. **57**, 12, 2002, p.52 - 55.

鎌田 芳幸

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