垂直磁気記録媒体の信頼性技術

横澤　照久（よこさわ　てるひさ）　貝沼　研吾（かいぬま　けんご）　磯﨑　誠（いそざき　まこと）

1　まえがき

垂直磁気記録媒体は，低ノイズ・高記録密度の垂直磁性層が基本技術になっているが，実際のハードディスク装置（HDD）製品では信頼性を確保するために，基板，洗浄，軟磁性層，保護膜などを垂直磁気記録媒体用として最適化しなければならない。ここではHDI（Head Disk Interface）技術を含めた，垂直磁気記録媒体用基板と軟磁性層の設計，洗浄技術，保護膜技術について説明する。

2　垂直磁気記録媒体用基板および軟磁性層設計

垂直磁気記録媒体の記録密度を支える技術要素として，垂直磁気記録媒体用基板と軟磁性裏打ち層がある。軟磁性裏打ち層は，磁化ビットの書込み時に記録ヘッドと磁気回路を構成し，磁気記録層に印加されるヘッド磁場の強度と磁場こう配を急峻（きゅうしゅん）にさせ，記録分解能を向上させる役割を担っている。ところが，その軟磁性材料は，結晶磁気異方性が小さいため，形状磁気異方性の作用を受けやすく，基板表面の形状により，磁化の向きがそれぞれ異なる複数の磁区に分割された複雑な構造をとりやすい。磁区と磁区との境界（磁壁）からは大きな漏れ磁場が発生するため，信号の再生時にはスパイクノイズと呼ばれる大きなノイズの原因となっている。

従来の長手磁気記録媒体は，円周方向に異方性を付与するため，円周方向にテクスチャを付けている。このようなテクスチャの付いた基板を垂直磁気記録媒体に適用すると，軟磁性裏打ち層が円周方向に配向するという問題が発生する。これは，軟磁性層が形状磁気異方性に大きく影響されるため，テクスチャの溝に対して，磁化容易軸が並行に向きやすくなることによる。円周方向に配向した軟磁性層は，周方向のある位置で180度磁壁を形成する。磁壁からは大きな漏れ磁場が発生するため，信号の再生時にはスパイクノイズが発生する。再生信号のエンベロープをマップにしたものを**図1**に示す。出力波形で見ると，段差が付いたような波形になり，垂直磁気記録媒体としては適さない。

150 Gbits/in^2 以上の記録密度が必要な垂直磁気記録媒体では，表面の平滑性はいままで以上に必要とされる。また，トライボロジー的には表面粗さが小さくなり平滑になると，摩擦力が増大することと，テークオフ特性が悪くなる。テークオフ特性とは，いったんヘッドが墜落した後，再度ヘッドが媒体面から浮上する特性のことである。

これらの要求を満たすためには，平坦（へいたん）かつランダムで均一性の高い表面であることが必要とされる。富士電機ではこれらを考慮し，超平面でランダムな粗さを

図1　再生信号のエンベロープマップ

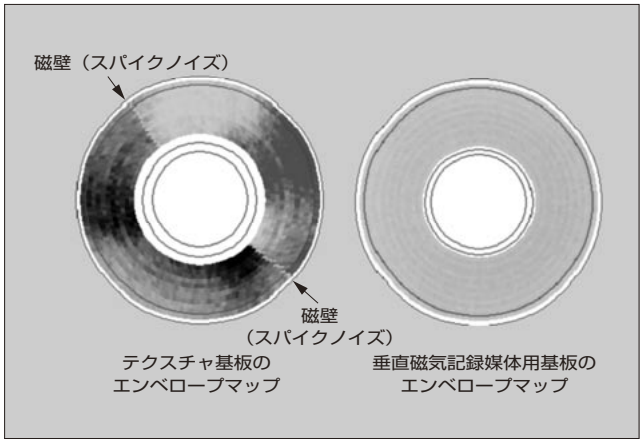
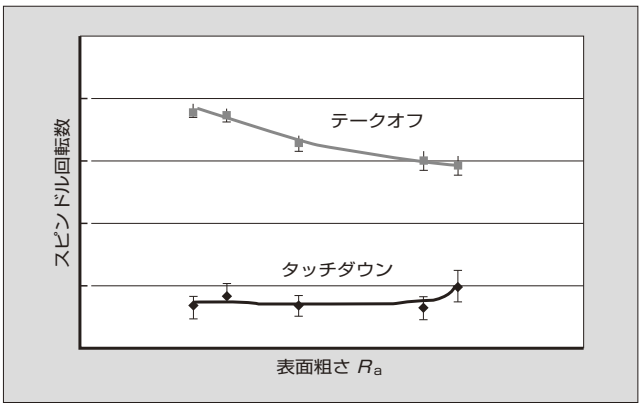


図2　表面粗さと浮上特性



横澤　照久

磁気記録媒体の表面保護・潤滑技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。日本物理学会会員。

貝沼　研吾

磁気記録媒体用基板の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社ストレージメディア研究所。電気学会会員。

磯﨑　誠

磁気記録媒体の開発・製品設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。日本トライボロジー学会会員。

図3　減圧環境下での LUL 耐久性

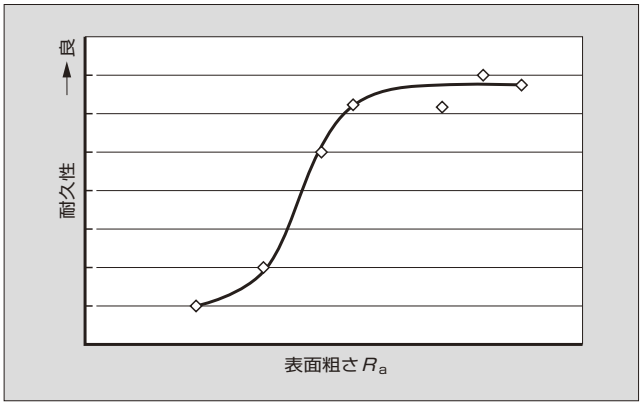
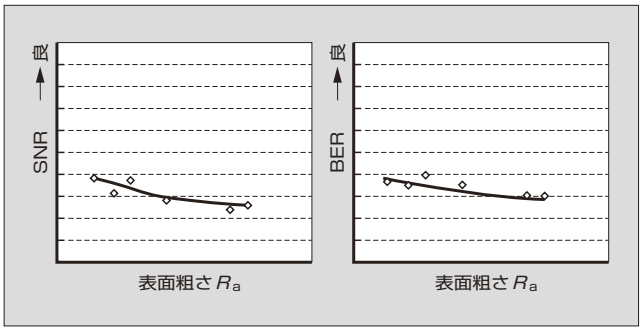


図4　表面粗さと電磁変換特性



コントロールする技術を開発した。

この技術を使い，媒体表面の粗さをコントロールしたときの各種特性を測定した。

浮上性については，磁気ヘッドが浮上している状態からスピンドルの回転数を下げていき，ヘッドが磁気記録媒体に接触しタッチダウンする回転数と，ヘッドが接触した状態からスピンドルの回転数を上げていきヘッドが浮上を開始しテークオフする回転数の 2 種類の評価を行った。結果は**図 2** に示すように，表面の粗さを粗くすると，テークオフしやすく浮上特性がよくなってくることが分かる。タッチダウンする速度には粗さ依存性はみえないが，表面が粗くなりすぎると悪くなるようである。

耐久性については，2.5 インチサイズ HDD で一般的に行われている LUL（Load/Unload）テストを行った。LUL テストとは，磁気ヘッドが待機している状態のランプロード位置から，媒体面に進入および退避を繰り返すことで耐久性を評価する試験である。この評価で通常の大気圧では優位差はみつからないが，減圧環境下では，**図 3** のような傾向がみられる。表面粗さを粗くすることで，減圧環境下での LUL 特性は改善が見られる。

このように，基板表面をランダムな粗さにすることにより，浮上特性，耐久特性ともに改善することが確認できた。しかし，表面粗さを粗くすることにより，垂直磁性層を形成している結晶性の c 軸（磁化容易軸）が，粗さによる影響で異方性分散が起こることで，磁気特性が劣化する。これにより磁気ヘッドで測定したときの電磁変換特性も劣化する。具体的には電磁変換特性の SNR（Signal-to-Noise Ratio）と BER（Bit Error Rate）がわずかに劣化する。これを**図 4** に示す。

図5　垂直磁気記録媒体用基板表面プロファイル

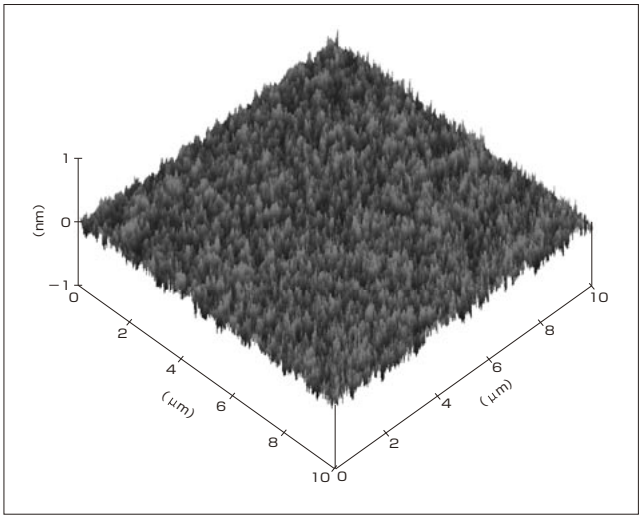
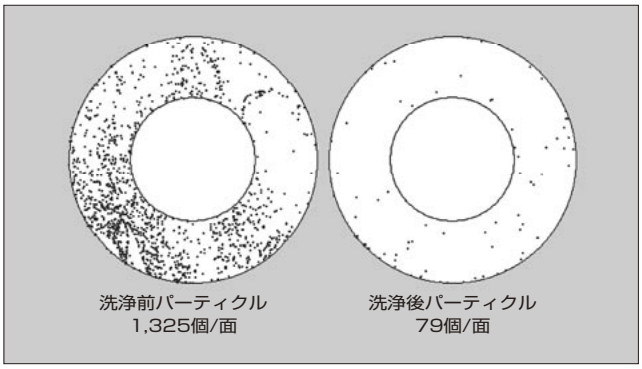


図6　精密洗浄前後のパーティクル



最終的に最適な粗さをコントロールすることで，浮上安定性，耐久性，電磁変換特性，低欠陥の垂直磁気記録媒体用基板を設計した。表面プロファイルを**図 5** に示す。なだらかでランダムな粗さにすることで，c 軸分散が少なく，耐久性・浮上性の優れた垂直磁気記録媒体を生産することが可能になった。

3　垂直磁気記録媒体用洗浄技術

垂直磁気記録媒体用基板は，多層構造となっており，基板に付着している異物があると大きな欠陥になってしまう。

垂直磁気記録媒体用基板の洗浄に関しては，長手磁気記録媒体用基板よりも強力な洗浄が必要となってくる。長手磁気記録媒体用基板の場合は強力な洗浄を行うと，テクスチャのスクラッチがエッチングの作用を受け，OR（Orientation Ratio）が下がってしまう，という問題がある。しかし垂直磁気記録媒体用基板は，軟磁性層を配向させないことが必要であり，エッチングをかけるような強力な洗浄が可能である。ガラス基板表面をエッチングさせながら，異物除去を行った洗浄前後の基板パーティクルデータを**図 6** に示す。垂直磁気記録媒体対応の洗浄において，パー

ティクルが激減していることが分かる。

4　保護膜技術

垂直磁気記録媒体は，軟磁性層が厚いためコロージョン特性が悪くなることが予想されていた。そのため，保護膜を高密度層と安定化層の2層構造とし，さらに高密度層の成膜条件を最適化することにより，コロージョン特性の改善を実施した。

具体的には，CVD（Chemical Vapor Deposition）をSP^3性の高い膜とすることで，疎水性で潤滑特性の高い膜質を選択した。実際の膜質のラマン分光による測定結果を**図7**に示す。成膜条件とガス成分をコントロールすることで，従来のSP^2リッチな膜からSP^3リッチな膜へと変更した。これにより，コバルトコロージョンを抑え，なおかつ耐久性の高い保護膜を形成することが可能となった。

図8に80℃ 80%RHの高温高湿環境下での96時間後のICP-MS（Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry）によるコロージョン評価結果を示す。Co，Liともに社内仕様の10分の1以下の値に抑えることが可能となった。

5　HDI特性評価

最終的に決定した垂直磁気記録媒体について，HDI評価を実施した。評価項目を以下に示す。

①　各環境下でのLULテスト

○ホット・ウェット 70℃ 80%RH

○常温常湿

○クール・ドライ

②　高速シークテスト

③　ヘッドスラップテスト

④　減圧環境下でのLULテスト

⑤　テークオフ・タッチダウンテスト

①の各環境下でのLULテスト結果では，特に条件の厳しい70℃ 80%RH環境下で200時間 40万回での結果を**図9**に示す。高温高湿環境下においても，媒体表面のOSA（Optical Surface Analyser）観察の結果，カーボンのウェアや潤滑剤のモーグルや減量がないことが確認された。また，磁気ヘッドの観察でもスライダ部やポールチップ部に汚れなどが付着していないことを確認した。

②の高速シークテスト結果を**図10**に示す。10 Hzの速度で磁気ヘッドを高速にシークし50万回までのAE（Acoustic Emission）シグナルを測定した。AEシグナル的に長手磁気記録媒体と比較して問題ない波形が観測され，さらに磁気記録媒体にも磁気ヘッド側にもダメージのないこと

図7　カーボン膜質コントロール

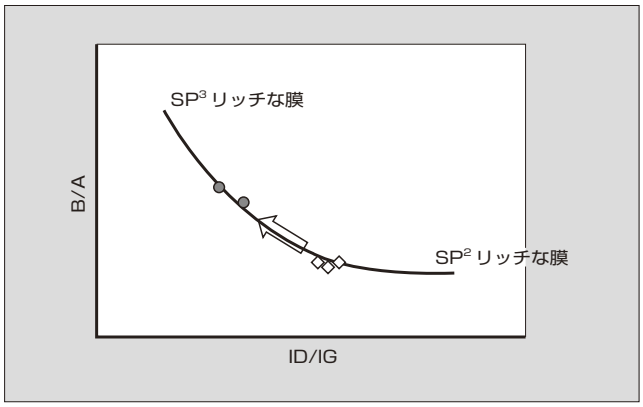


図8　高温高湿放置媒体のコロージョン評価結果

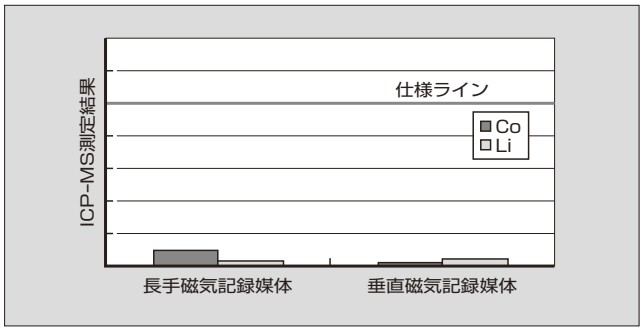


図9　LULテスト結果

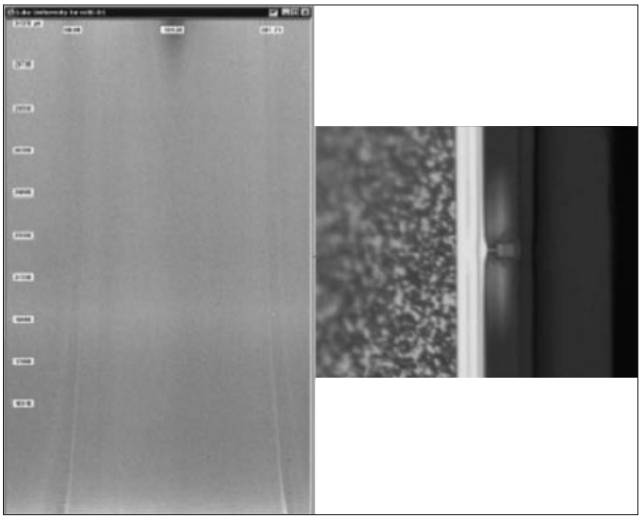


図10　高速シークテスト評価結果

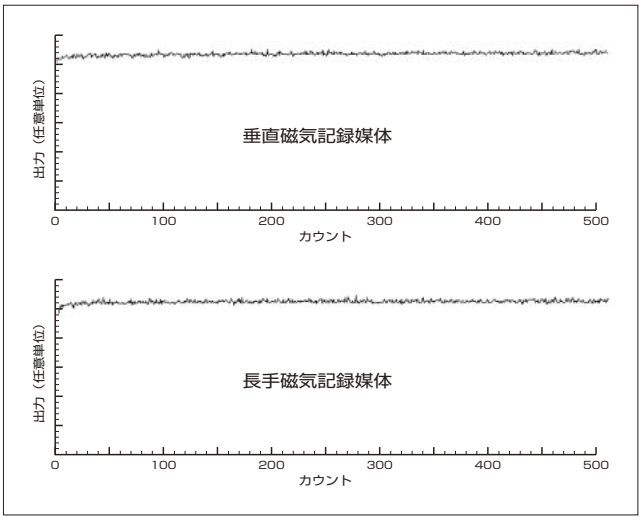
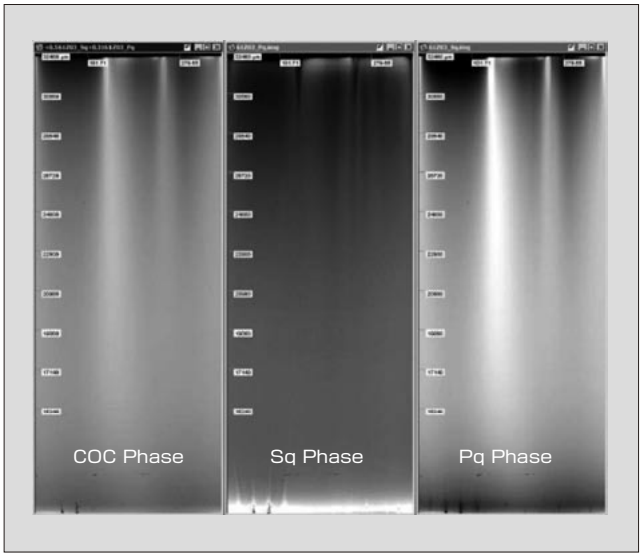


図11　ヘッドスラップテスト評価結果



が確認された。

③のヘッドスラップテストとは，磁気記録媒体を高速で回転させている状態に磁気ヘッドを急速にランプロードから落とすことで，磁気ヘッドLUL時の耐久性を加速評価する手法である。この評価でも**図11**に示すとおり，媒体側のカーボンにウェアの発生がなく，潤滑剤の減少も確認されずに，問題のない結果となった。

④・⑤の項目については表面の粗さ依存があり，これは既に報告したように，表面粗さをコントロールすることで最適化を行った。

このように，垂直磁気記録媒体の信頼性は，長手磁気記録媒体と同等以上にまで改善してきた。

6　あとがき

垂直磁気記録媒体は，まずガラス磁気記録媒体からHDDへの適用が開始され，アルミ磁気記録媒体へも展開されていく予定である。最終的には今までの長手磁気記録媒体に代わり，すべて垂直磁気記録媒体へと変わっていくと予測されている。そのためには，垂直磁気記録媒体の高記録密度化とともに，信頼性の確保が非常に重要であり，今後とも技術革新，改良に取り組んでいく所存である。

参考文献

(1)　上住洋之ほか．垂直磁気記録用磁性層技術．富士時報．vol.75, no.3, 2002, p.169–172.

(2)　小林光男ほか．磁気ディスク媒体の次世代HDI技術．富士時報．vol.72, no.11, 1999, p.590–593.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。