ハードディスクにおける垂直磁気記録

Perpendicular Recording Technology on Rigid Disks

末 永 忠 利
Terutoshi Suenaga

電気化学工業（株）総合研究所

Research Center, DENKI KAGAKU KOGYO CO., LTD.

ABSTRACT--We have studied the flying single-pole head and Co-Cr-Ta/ Ni-Fe double-layered media for the use in high magnetic recording.

The media consisted of electro-plated Ni-Fe under layer and sputtered Co-Cr-Ta recording layer. The head formed a 4-layered 60 turns, just like "PAN-CAKE" type, the pole-width is $7\mu\text{m}$, and the flying height is $3\mu\text{m}$. We have confirmed that a combination of such medium and a head is capable of achieving high recording density of 300 Mb/sq-in. Perpendicular Recording.

Keywords Rigid Disk, Flying Single-Pole Head, Electro-plated Permalloy, 300Mb/in², R/W, Durability

1. はじめに

近年、ハードディスクにおける長手記録の高密度化は目覚ましい進歩で技術革新がなされている。現在、100 Mb/in²強が製品化され、'92~'93にかけて200 Mb/in²の性能を有するハードディスクドライブの開発に凌ぎを削っている。こうした技術的トレンドと平行して垂直記録方式では単磁極型磁気ヘッドとCo-Cr垂直磁気異方性/NiFe系軟磁性二層膜媒体を用いた記録密度として80 KFRPIで充分な出力、C/Nがえられている[1]。

そこで、今後のハードディスクの高密度化（200 Mb/in²以上）を目指し従来技術の延長として特別な技術（MR、PRML等）を導入させることなく達成させるために垂直記録の有効性[2]に着目しその開発を行ってきた。

本報では垂直磁気ディスク、ヘッドの各諸元について述べ、これらの組み合わせによる記録再生特性を検討したので以下に述べる。

2. 垂直磁気ディスク

垂直磁気記録媒体としてこれまで数多くの研究内容

が報告されている。その殆どがPET基板上にNiFe系の軟磁性下地層を敷きその上にCoCr垂直記録層の構造が一般的である。すなわち、フロッピーディスク、テープを基本にした検討が多い。現在検討しているハードディスクとしての垂直ディスクの構成を図1に示した。図から判るように全体の構成としては従来の長手記録のハードディスクとほぼ同じである。異なる点は従来のNiP層に対してNiFe層になっていることである。

図1 CROSS SECTION OF RIGID DISK MEDIA

2.1 下地パーマロイ層

今まで下地パーマロイ層の成膜においてはスパッタ法が主流である。そのときの膜厚は0.5から1.0 μmである。

ハードディスクにパーマロイ層を設けるにあたって硫酸塩浴をベースにした電気めっき法による成膜とした。その理由としては第1に長手記録のNiP膜とスループットがほぼ同じであること（電気めっきは1バッチの処理枚数が少ないが成膜速度が早い）、第2にノイズ特性からスパッタ法に較べて優れているからである。そのときのノイズ特性を図2に示す。どうしてめっき膜が優れているか？めっき、スパッタ膜についてTEMによる結晶サイズの比較を検討した。図3にそ

それぞれのTEM像を示す。成膜初期層は両者とも同じサイズ（平均100Å以下）であるのに対し成膜するに従ってスパッタ膜ではそれが大きく成長していることが判る。こうしたことからスパッタ膜では結晶サイズの不均一性がノイズに影響していると推測できる。また、結晶性についてはX線回折から検討し、その結果を図4に示す。めっき膜は微結晶構造であるに対しスパッタ膜はサイズの大きい結晶膜である。ピーク半値幅の計算結果からめっき膜では50~60Å、スパッタ膜では200~300Å相当することが判り、前述のTEM観察結果とよく一致する。第3に外部磁場に対してパーマロイ層厚が大きい程（およそ5μm以上が良い）効果的であることが判っている[3]。

図2 NOISE SPECTRUM

図3 TEM MICROGRAPHS

また、下地パーマロイ膜は鏡面研磨後にテクスチャーを施してある。これは従来のHDDのコンセプトである垂直ヘッドと言えども高密度化に伴うヘッド浮上量の低下により程度の軽いテクスチャーが要求される。そこで今回ヘッド浮上量が4μm以下を想定したテクスチャーを施した。従来のNiP基板のテクスチャーは30Åに比べて軽いテクスチャーである。このことを検証するために、アスペリティ特性を測定したのが図5である。基板のあらさによって、アスペリティ特性が左右され、今回のパーマロイ基板のテクスチャーは、ヘッドの浮上高さが、~1.5μmとなっている

ことがわかる。

図4 X-RAY DIFFRACTION

図5 ASPERITY CHARACTERISTICS

2.2 記録媒体

垂直記録媒体の諸元を表1に示す。組成は垂直抗磁力(Hc_[1])を増大させるためにCoCrMxとして、V. B. T a. ...等を検討し最も抗磁力が高く得られたT a 5を選定した。このときのHcは2000θe/VSM(~2300/Kerr)である。

表1 : Magnetic Properties of Strage layer

Composition	CoCrTa
Thickness	1100 Å
Hc (perpendicular)	2000 Oe
Hc (parallel)	850 Oe
Ms (perpendicular)	370 emu/cc
S (parallel)	0.33

2.3 保護膜

磁気ディスクの保護膜はカーボンがポピュラーである。しかしながらヘッドの低浮上化にともなう耐久性の面からカーボン改質は数多く検証されている。なかでもDLC膜[4]、水素化カーボンが耐久性に効果があ

と報告されている。しかしながら、そのメカニズムは解明に経っていないのが現状であり、今後の大きな課題である。

垂直磁気ディスクといえども上記の点は従来と同じである。今回Wear Rateの観点から各種カーボンについて検証した。その耐久性のテストとしてはひきずり試験(Al_2O_3 -Ticヘッド 0.3m/s一定)を用い、その後の摩耗量をエリブリメータで測定し、WEAR RATEを算出した。ここでは水素化カーボンに着目して行いその結果を図6に示す。

これらの検証結果からエチレン添加量を最適化した水素化カーボンを採用することにした。そのときの膜厚は250Åとした。

潤滑剤については末端にOH基をもったフッ素系潤滑剤を採用している。これも従来の長手記録媒体と同じであると言ってよい。

図6 RELATION BETWEEN C2H4 CONTENTS AND WEAR RATE

3. 磁気ヘッド

垂直型磁気ヘッドの断面プロファイルおよび諸元を表2、図7に示した。

断面構造から判るようにコイルは4層のパンケーキ状コイルである。また、垂直記録として、外部磁場対策としてバックヨークの回りにフェライトによるシールド構造とした。また、図8に示したようにスライダ面上にはディスクとの接触面積を減らすために微小突起物を設け、耐吸着性を考慮してある。また、ヘッドのボールリセスに関しては100Å以下にするよう加工プロセスでコントロールした。

ヘッドの大きさは70%スライダーとし、Type13のサスペンションを使用した。ヘッド浮上性についてはピッチングローリングとともに良好な結果(図9)が得られ、安定な浮上姿勢といえる。浮上量は 3μ /

8.6m/sとした。また、3.5°ディスクを想定した内外周での浮上量差を小さく押さえるためにスライダーにクロスカットを設けてある。

表2 HEAD PARAMETERS

Pole Material	CoZrNb
Track Width	7 μ m
Pole Thickness	2700 Å
Coil	60 Turns
Flying Height	3.5 μ " at 10m/s

図7 CROSS SECTION OF SINGLE POLE HEAD

図8 OUT-VIEW OF HEAD SLIDER

図9 HEAD FLYING CHARACTERISTICS

薄膜ヘッドはポップコーンノイズが議論される。ポップコーンノイズのメカニズムは未だ明確にはなっていない。

いないが、記録から再生モードに切替わったとき磁壁移動によるものとされている[5]。そこで、本ヘッドについてもポップコーンノイズを従来のTFHと比較しながら評価した。測定条件は図10に示し、その結果を図11に示す。このことから、本ヘッドのポップコーンノイズはTFHと比較するとレベルが小さいことがわかる。このときの代表的なポップコーンノイズ波形を図12に示した。このレベルは再生信号の質に影響しないとおもわれる。

図10 TEST CONDITION OF "POPCORN" NOISE

図11 POPCORN NOISE OF ACTUAL HEAD

図12 REPRODUCED "POPCORN" NOISE FORMS

4. 記録再生特性

今回得られた上記のディスクヘッドを用いて記録再生特性を測定した。測定条件としては200 Mb/in² (80KBPI/60KFCI, 2500TPI)で行いそのときのパラメトリックテスト

結果を表3に示し、図13に飽和特性、図14に周波数特性を示した。また、図15に各記録密度での信号波形をしめす。

表3 PARAMETRIC RESULTS

A.D. (Mb/in ²)	R/W Performance					
	LF (μVp-p)	HF (μVp-p)	Res. (%)	SNR (dB)	O/W (dB)	PW50 (μs)
200	699	484	69.2	29.4	-28.5	20.2

80 KBPI (60kfcI) 2500 TPI (Tw:7 μm)

図13 SATURATION CURVE

図14 ROLL-OFF CURVE

ISOLATED SIGNAL

図15 REPRODUCED WAVE FORMS

これらの結果から60KFCIでのヘッド出力が480 μVと大きく、これは80KFCIでも390 μVが得られSNRとしても27 dBが得られている。また、再生波形から判るように従来の長手記録で得られる再生波形と同等と言ってよい。

今回使用した単磁極型垂直ヘッドはポール幅が7 μmである。この時のTPIを見積もってみる。図

16にオフトラック特性を従来のTFHと比較してみたものである。垂直ヘッドはガードバンドが $1.5\mu\text{m}$ あれば十分であるのに対し従来品は $3\mu\text{m}$ 位必要である。このことから垂直ヘッドのポール幅 $7\mu\text{m}$ は3000TPIに相当する。

図16 OFF-TRACK CHARACTERISTICS

すなわち、今回得られた垂直ディスク、ヘッドを現在使用されている長手記録媒体とリングヘッドのHDDにそのままメディア/ヘッドを置き換えれば300Mb/in² (100KBPI/80KFCI, 3000TPI) の性能を有したドライブとなり、たとえば、300MB/3.5"1枚、150MB/2.5"1枚、75MB/1.8"1枚の容量が得られると見積もれ、更にZBR、PRMLといった方式を採用すればさらに20~30%以上アップすると思われる。

5. CSS特性

今回検討した垂直記録はそのヘッドが浮上型を根底に開発を進めてきた。一方米国CENSTOR社では接触型のヘッド(MICRO-FLEX HEAD^{TM})を開発しているしかしながら、HDDにおけるディスク面へのヘッドロード、アンロードはCSS方式が今でも主流である。

浮上型垂直ヘッドといえどもやはりCSS特性および吸着性が懸念される。図17はこれらの特性を示した。

CSS特性はCSS回数が数十万回と要求されるのが現状であるがここでは3万回までを確認した。従来の長手ディスク、ヘッドと遜色ない。また、吸着特性については低速ひきずり試験後でその特性を確認したが吸着している様子がない。これは前述した水素かカーボンとスライダー上の突起の効果がでていていると思われる。

図17 CSS TEST RESULTS

6. 今後の展望

現状得られたヘッドの浮上量を更に低下させた場合(NEAR CONTACT AREA)どの程度の性能がでるのか? 図18に浮上量に対するD50と規格化出力を表した。 $2\mu\text{m}$ 弱でおよそ400Mb/in²が達成できる。特に今回使用した基板はアルミ基板であり前述のアスペリティー特性からもこの程度までは使用可能と思われる。ただし、基板板厚が極端に薄くなった場合は別である。

図18 FLYING HEIGHT DEPENDENCY

以上の結果および従来の長手記録の実績から、更に今後の高密度化を計算による予測を行った。図19はその結果である。ここで図中の●印は計算の妥当性を示した結果であり実際の技術レベルの推移とよく一致している。現時点において、長手／垂直記録方式で製品レベルに近い技術達成度は長手の 200Mb/in^2 に対して垂直では 300Mb/in^2 であるといっよういだろう。また、今後の技術予測では図に示したように垂直記録が益々技術の有効性が発揮され、2000年以前には現状の回路技術のままで $1\sim 2\text{Gb/in}^2$ の性能を持った垂直記録を用いたHDDが登場すると思われる。

図19 ESTIMATE OF AREAL RECORDING DENSITY

参考文献

- [1] Y. Nakamura and K. Ise: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 15 Supplement, No. S2, pp. 185-190 (1991).
- [2] Y. Nakamura: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 15 Supplement, No. S2, pp. 497-506 (1991)
- [3] 霜越 他: 第15回日本応用磁気学会学術講演概要集, 31pA-14. 1991.
- [4] Hsiao-chu Tsai and D. B. Bogy: J. Vac. Sci. Technol. A5(6), Nov/Dec 1987.
- [5] K. B. Kiassen et al: IEEE Trans. Magn., Vol. 25, pp. 3212-3214, September 1989.