(平成 13 年度 技術賞 受賞技術)

薄膜磁気ヘッドにおける表面技術

篠浦 治*, 小柳 勤*, 中川善朗*, 木村富士巳*, 上島聡史*, 井上 聡*

*TDK (株) (〒272-8558 千葉県市川市東大和田 2-15-7)

Surface Finishing Technologies for Thin Film Magnetic Recording Head

Osamu SHINOURA*, Tsutomu KOYANAGI*, Yoshiaki NAKAGAWA*, Fujimi KIMURA*,
Akifumi KAMIJIMA* and Satoshi INOUE*

*TDK Corporation (2-15-7, Higasi-Ohwada, Ichikawa-shi, Chiba 272-8558)

Key Words : Magnetic Recording Head, Thin Film, Electrodeposition, NiFe, Cu

1. はじめに

ハードディスクドライブ装置(HDD)は高速回転するドーナツ形状ディスク媒体を用いた磁気記録装置である。データ転送速度、容量、コストのバランスが良く、マルチメディア化の進むパソコンの大容量化、低価格化ニーズに良く対応して広く使用されるに至っている。

この HDD の重要電子部品が、図 1 に示す表面技術を駆使して製造される薄膜磁気ヘッドである。紙に文字を書くことにたとえれば紙に当たるものがディスク媒体であり、筆に当たるものが薄膜磁気ヘッドの記録ヘッド機能である。さらに薄膜磁気ヘッドは、記録された情報を読み出す再生ヘッド機能を備えている。記録過程では軟磁性材料である磁気コアに巻かれたコイルに、記録する信号を電流として流し、磁気コアのギャップ(空隙)部から漏れ磁界を発生する。この漏れ磁界により磁気ディスク媒体を磁化することで情報を保存する。

磁気コアに電気めっき磁性薄膜、平面コイルを用いる薄膜

磁気ヘッドは 1961 年に Gregg らにより基本的な考えを示した特許出願¹⁾が行われ、1970 年にフランスの Lazzari らにより初めての試作が報告²⁾され、1979 年に IBM の Roman-kiw らにより 3370 型磁気ディスク装置として実用化された³⁾。むろん磁気ヘッド技術は極めて広い分野の複合技術であるが、特に表面処理技術が最重要技術の 1 つとなっている^{4),5)}。これは、磁気コア層、コイル層、電極パッド層などの主機能層が、めっき法により成膜されているためである。

2. 薄膜磁気ヘッドにおける表面技術

2. 1 有限要素法による電流密度分布解析による装置設計

めっき膜厚、組成の均一性は、通常製品でも歩留まりを左右する重要な因子である。特に薄膜磁気ヘッドの磁気コア層(Ni-Fe 合金など)においては、ウエハー内で分布 0.5% 以下という厳しい条件をクリアしなくては高特性、高歩留まりが得られない。このため 10 年以上前から有限要素法による電流密度分布解析を生産装置の設計に取り入れている⁶⁾。その一例として、図 2 に円形ウエハー外周部に設けるドーナツ型補助陰極形状(補助陰極径、ウエハーとの接触部の傾斜角度)の最適化の例を示す。NiFe 電気めっきにおいては、ウエハー内 1 次電流密度分布と実際のめっき膜厚、組成分布は良い相関を示す。このような解析の結果、4 μm の Ni-20 wt% Fe 合金膜において、ウエハー内組成分布 0.3% 以下、膜厚分布 0.5% 以下という極めて高い均一化が実現している。

2. 2 組成分布を利用した低ノイズ再生ヘッド

磁気コア層となる NiFe 電気めっき膜の合金組成は電流密度が増加するに従い鉄含有量が増加する。この電流密度に起因する組成変化は凹凸面上に成膜しなくてはならない上部磁気コア層において顕著に見られる⁷⁾。その結果、磁気コア層の磁気異方性(磁区構造)の乱れを招き、再生波形にノイズが生じることがあった。このため、この電流密度に起因する磁気コア組成分布は電気めっき成膜法を用いた薄膜磁気ヘッドにおける最大の欠点の 1 つとされていた。この欠点とされた

図 1 HDD と薄膜磁気ヘッド (IHDD 全体、サスペンション付薄膜ヘッド、薄膜ヘッド構造部)

成膜面凹凸形状に起因する磁気コア組成分布を、逆に積極的に利用することを考案した⁹⁾。すなわち図3(2)に示すように電流密度分布の影響を利用して上部磁気コア部は正磁歪組成(鉄含有量大)、それ以外は負磁歪組成(鉄含有量小)という組成分布を形成する。一方、図3(1)に示すように上部磁気コア成膜後に熱処理を行うことで、上部磁気コアと下部磁気コアの間の熱硬化フォトリソ絶縁層と、磁気コア層の熱膨張係数差に起因した磁気コアのクリープ変形により磁気コアに局所的な圧縮応力が生じさせる。すると磁気コア内において引張応力作用領域は負磁歪組成、圧縮応力作用領域は正磁歪組成となるために、磁気弾性効果異方性を利用した磁気コアの磁区構造制御が可能となるのである。本手法による薄膜磁気ヘッドは、通常の誘導磁気異方性(成膜時の磁場印加)に加えて磁気弾性効果異方性が付与されたことで安定した磁区構造磁気コアとなるために、低ノイズ特性が得られた。

2. 3 高飽和磁束密度磁性膜

磁性合金の基本組成であるCoNiFe 3元合金電気めっき膜の全組成範囲に及ぶ磁気特性マップ化を行ったところ、従来公知のバルク材料⁹⁾とは異なる傾向が見られた。すなわち

図4に示すように、バルク材料では軟磁気特性が得られないとされていた高飽和磁束密度組成領域において優れた軟磁気特性(低保磁力： $H_c < 1$ Oe)が広い組成領域にわたって得られている¹⁰⁾。この組成は、fcc相とbcc相の境界とされた組成近傍であり、解析の結果、fcc相にbcc相が共析している混合相状態であり、この構造のため結晶粒径が微細化し保磁力が低下していることが明らかとなった。この構造は、電気めっき膜独特のもので、スパッタ法などの真空成膜法による同組成の磁性薄膜では報告が見られない。CoNiFe 3元合金混合相膜に関するこの研究は、 $B_s = 2.1$ T以上の軟磁性めっき膜の開発へとつながっている¹¹⁾。記録密度の向上のために、高飽和磁束密度膜に対する要望は極めて強いものがあり、磁気ヘッド磁気コア材料としてすでに使用され始めている。

2. 4 その他の各種の表面技術

磁気コアに巻回されている銅めっき平面コイルや、外部との接続パッド部に成膜される金めっきバンプ層も、薄膜磁気ヘッドの重要な構造体である。薄膜磁気ヘッドウエハの超高付加価値性から、ウエハ工程後半に行われるこれらの工程に対する歩留まり要求は高く、それに応える高技術水準の

図2 電流密度分布解析例：
(1) 補助電極端部傾斜角度による1次電流密度分布の変化
(a) $\theta = 10^\circ$, (b) $\theta = 20^\circ$, (3) $\theta = 45^\circ$
(2) 最適設計によるNiFeめっきウエハ内組成分布、膜厚分布例

図3 磁気弾性効果異方性による磁区構造制御：
(1) 熱処理後の磁気コアの変形(100倍ディフォルメ処理)、応力計算結果
(2) 組成分布を形成した磁気コア

めっき技術が絶えず開発され、実施されている。図5は、銅めっき平面コイル層の例であるが、 $2.0\mu\text{m}$ ピッチ(コイル $1.2\mu\text{m}$ /スペース $0.8\mu\text{m}$)、 $1.3\mu\text{m}$ ピッチ(コイル $0.8\mu\text{m}$ /スペース $0.5\mu\text{m}$)の形成が可能となっている¹²⁾。また、磁気コアの超小型化にともない、図6 (a)に示すようにCMP(ケミカルメカニカルポリッシング)やFIB(集束イオンビーム)、電子線露光などによる超微細加工が、めっき成膜後に使用さ

れ所望の形状を形成している。図6 (2)は、めっき磁気コア層を浮上面側から見た写真であるが、その幅(PW)は、めっき後のトリミング加工により、 $0.3\mu\text{m}$ にまで極細化され、さらに、そのばらつきは、標準偏差 $\sigma=0.02\mu\text{m}$ を達成している。このPWは、記録の際のトラック幅であり、磁気記録密度向上に直接、寄与する。

3. 本技術の今後の展開

情報通信技術の驚異的進化は、ドッグイヤーと表現される。人間と犬の平均寿命を比較すると、人間の1年は犬の7年に相当し、犬の方が7倍早い時間で生きることからそういわれている。磁気記録の開発ペースは、それ以上であり、図7に示すように記録密度上昇のペースは年率60%、10年で100倍にもなる。すでに現在のパソコン用HDDは、テキストや静止画像のデータ記録には十分すぎる程の大容量化が実現している。しかし、まもなくブロードバンドによる高速大容量通信により、デジタル動画データが手軽に入手可能となる。その大量のデータを保存可能な記録装置はHDDである。すでに、ビデオテープレコーダーに替わるTV番組の録画再

図5 狭ピッチ化Cuめっきコイル上面図

図4 NiFeCo 3 元合金めっき膜の磁気特性の熱処理温度依存性
(単位: Oe) : (A) 成膜時, (B) 300°C, (C) 400°C

図6 プラナーヨーク型めっき磁気コア
(1) 断面, (2) 浮上面

図7 HDDの記録密度推移

生装置としての HDD の製品化も進んでいる。

これらの要求に応えるために、薄膜磁気ヘッド自体の基本構造も、次々に変化している。すなわち、数年前の主流だった、1つの磁気コアにより、書き込みと再生を兼用するインダクティブ録再兼用ヘッドは、姿を消し、現在の主流は、磁気抵抗効果(Magneto-Resistive Effects)膜を用いた再生専用ヘッド部を有するインダクティブ・MR 複合ヘッドに移行した。さらに磁気抵抗効果膜も、異方性磁気抵抗効果(AMR)から、巨大磁気抵抗効果(GMR)、さらにはトンネル型磁気抵抗効果(TMR)へと変化していく傾向にある^{13),14)}。このように、再生ヘッド部は次々に世代交代しているが、記録ヘッド部のめっき機能層の重要性に変わりはない。そして、めっき膜に要求される特性も益々、厳しくなっており、さらなる技術開発が続いている。

また、薄膜磁気ヘッド開発において確立した各種の表面処理技術は、新規な小型電子部品(薄膜インダクタ、薄膜トランス、各種センサ)の開発にも応用され、商品化研究が進んでいる。さらには、LIGA に代表されるマイクロマシンやナ

ノマシン分野への展開も期待されている。

(2001-11-13 受理)

本解説中における非 SI 単位 の SI 単位 への換算表

量	単位記号	SI 単位による値
磁場の強さ	Oe	1 Oe = 79.6 Am ⁻¹
長さ	μm	1 μm = 1 × 10 ⁻⁶ m

文 献

1) D. P. Gregg ; US Pat. 3344237 (1967)
2) J. P. Lazzari and I. Melnick ; IEEE Trans. Magn., MAG-6, 601 (1970)
3) L. T. Romankiw ; *Plating and Surface Finishing*, (1), 10 (1997)
4) 篠浦 治, 小柳 勤 ; 表面技術, **46**, 798 (1995)
5) 篠浦 治 ; 表面技術便覧, 第 4 章, 10-2-4 (日刊工業新聞社, 1998)
6) O. Shinoura ; *Electrochemical Technology*, p. 219 (Kodansha and Gordon and Breach, 1996)
7) S. H. Liao ; IEEE Trans. Magn., MAG-26, 328 (1990)
8) O. Shinoura and T. Koyanagi ; *Electrochem. Acta.*, **42**, 3361 (1997)
9) R. M. Bozorth ; *Ferromagnetism*, (D. Van Nostrand Company Inc., 1951)
10) 篠浦 治, 上島聡史, 成宮義和 ; 日本応用磁気学会誌, **18**, 277 (1994)
11) T. Osaka, M. Takai, K. Hayashi, K. Ohashi, M. saito and K. Yamada ; *Nature*, **387**, 796 (1998)
12) 大山信也, 桑島哲哉, 上島聡史, 佐々木芳高 ; 日本応用磁気学会誌, **24**, 1349 (2000)
13) 宮崎照宜 ; 固体物理, **32**, 221 (1997)
14) K. Shimazawa, O. Redon, N. Kasahara, J. J. Sun, K. Sato, T. Kagami, S. Saruki, T. Umehara, Y. Fujira, S. Yarumizu, S. Araki, H. Morita and M. Matsuzaki ; *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 2542 (2000)