面記録密度 2 Gb/in² (3.1 Tb/m²) を実現する 磁気ディスク装置用記録再生 分離型ヘッドの開発

高野 公史^{*1} 鈴木 幹夫^{*2}
由比藤 勇^{*2} 北田 正弘^{*3}

1. 緒 言

磁気ディスク装置の面記録密度は、磁気抵抗効果型(MR)ヘッド、PRML(Partial Response Mostly Likelihood)信号処理方式等の導入により、年率60%以上の割合で飛躍的に増大している。また、記憶容量の増大とともにデータ転送速度の高速化、アクセス時間の短縮も同時に要求されており、高周波領域において高密度記録を実現していくことが、今後益々重要になると考えられる⁽¹⁾⁽²⁾。

筆者らは Gb/in² 時代を拓く面記録密度 2 Gb/in² (3.1 Tb/m²)、転送速度 20 MB/s を有する高速・高密度磁気ディスク装置を実現する磁気ヘッドとして、記録に誘導型素子、再生に磁気抵抗効果素子を用いた記録再生分離型ヘッドを開発したので、以下に概要を述べる。

2. ヘッド構造

面密度 2 Gb/in² を線記録密度 120 kBPI (BPI: Bit Per Inch)、トラック密度 17 kTPI (TPI: Track Per Inch) で実現することを前提として設計を行った。この場合、トラックピッチは 1.5 μ m、トラック幅はサブミクロンと非常に狭くなる。したがって、記録能力に優れた記録ヘッドならびに高感度な再生ヘッドの開発が必須となる。今回開発したヘッドは、サブミクロントラック幅でのデータの記録/再生を実現するため、幾つかの新しい技術を適用した。

まず、記録ヘッド磁極には飽和磁束密度(B_s)が 2 T と、ヘッド材料として従来用いられてきたパーマロイの 2 倍以上 B_s が大きな FeC 膜を開発し、記録能力を高めた⁽³⁾。ま

た、集束イオンビーム(Focused Ion Beam: FIB)を用いた記録トラック幅加工法を開発し、狭トラック化を実現した⁽⁴⁾。一方再生ヘッドには、高密度領域において十分な再生出力を確保でき、かつ、安定動作可能なシャントバイアス型の MR ヘッドを開発し、これを採用した。ヘッドの構造を図 1 に、磁極摺動面の SEM 像を図 2 に示す。記録ヘッドは、コイル巻線数が 17 の誘導型薄膜ヘッドで、磁極には新開発の総膜厚が 2 μ m の FeC/SiO₂ 多層膜を使用した。この多層膜は、480 nm 厚の FeC 膜と 20 nm 厚の SiO₂ 膜とから成る 2 層膜を 4 層重ねた構造となっている。SiO₂ 膜は、磁極内でのうず電流発生を抑えて高周波特性を改善するために用いた。記録トラック幅は、FIB を摺動面側から指定した領域内に入射して一対の溝を形成し、この溝間隔として規定した。FIB のイオン源には、大電流を確保できる Ga を用いており、加

図1 記録再生分離型ヘッドの構造。

* 株式会社日立製作所
中央研究所：1) 研究員 3) 主任研究員
2) ストレージシステム事業部：技師
Development of Inductive/MR Composite Head for Hard Disk Drive Realizing 2 Gb/in² (3.1 Tb/m²) Recording Density;
Hisashi Takano, Mikio Suzuki, Isamu Yuitoo, Masahiro Kitada
(Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd. Data Storage and Retrieval Systems Division, Hitachi, Ltd.)
1996年1月31日受理

図2 ヘッド素子摺動面のSEM像。

工面におけるビーム電流は1.6 nA、スポット径は0.1 μmである⁽⁵⁾。加工溝深さはFIBの走査時間で制御しており、1 μmの深さを掘るのに約30 sを要する。FIBを用いたこの加工法により、0.1 μmの精度で記録トラックを形成する技術確立した。

再生ヘッドはシャントバイアス型のMRヘッドで、磁区制御用にFeMn反強磁性膜を用いた。上下のシールド膜には厚みが1 μmのCoTaZr非晶質膜を用いている。結晶粒界の無い平坦な非晶質膜をシールド材として使用することで、良質なMR膜の作製を可能にした。MR膜は15 nm厚の81/19パーマロイから成り、真空蒸着法により比抵抗30 μΩ・cm、抵抗変化率2%の高性能極薄膜を開発した。シャント膜には耐熱性に優れたNb膜を開発した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。Nbシャント膜の比抵抗は30 μΩ・cmである。MR膜内の磁区発生を抑えるため、MR膜と反強磁性膜FeMnとの磁気結合を利用した。このため、MR膜上にFeMnを安定にエピタキシャル成長させるスパッタ技術を開発した⁽⁸⁾。図2に示す試作ヘッドの記録トラック幅は1.2 μm、再生トラック幅は1 μm以下、FIB加工深さは1.5 μmである。

3. 記録特性

計算機シミュレーションにより本構造ヘッドの記録磁界を解析し、狭トラック記録の可能性を検証した。図3は、記録磁界のトラック幅方向プロファイルがFIB加工溝深さによりどのように変化するかを計算した結果である。この結果から、トラック幅が1 μmの場合、加工溝深さを1.5 μmとすることでピーク磁界強度を低下させることなくトラック方向(Z方向)に対して鋭い磁界強度分布が得られる。次に実際に試作したヘッドの記録磁界を、電子線トモグラフィー法⁽⁹⁾により評価した結果を図4に示す。漏洩磁界の測定は、走査電子ビームとヘッド摺動面との間隔が1 μmとなるように設定して行った。すなわち、ヘッド摺動面から1 μm離れた面

内(Y=1 μm)における磁界分布を測定した。図4は、記録周波数を30 MHzに設定し、コイルに40 mAopの記録電流を印加して測定した記録磁界の面内分布を等高線で表示した結果である。等高線の間隔は100 Oe(8 kA/m)で、磁極ならびにシールド位置は斜線で示している。この結果から、強い磁界が記録磁極に集中していることがわかる。また、ヘッドの走行方向(X方向)に対しても磁場勾配が急峻であり、高線記録密度記録に適した磁界分布である。さらに、磁界強度の周波数依存性を電子線トモグラフィー法により測定した結果、100 MHzまでほとんど減衰しないことも確認している。よって、この記録ヘッドは転送速度20 MB/sの装置に十分適用できる。

図3 磁界強度と加工溝深さとの関係(シミュレーション結果)。

図4 電子線トモグラフィー法により測定した記録磁界プロファイル。

(a) 反強磁性膜無し

(b) 反強磁性膜有り(感磁部以外)

(c) 反強磁性膜有り(全面)

図5 MRヘッド構造と孤立波形との関係.

4. 再生特性

再生特性の評価は、保磁力 2500 Oe (200 kA/m) の Co 系スパッタ媒体を用い、ヘッド媒体間スペーシング 50 nm で行った。はじめに、反強磁性膜を用いることによる再生特性安定化の効果を検討した結果について述べる。本開発では 3 種類の構造、(a)：反強磁性膜を用いない場合、(b)：感磁部以外の MR 膜領域に FeMn 反強磁性膜を適用した場合、(c)：MR 膜上全面に FeMn 反強磁性膜を適用した場合、より成る MR ヘッドを試作し、再生特性を評価した。図 5 は、それぞれの構造の MR ヘッドで再生される孤立波形を比較した結果である。記録密度は 1 kFCI (FCI: Flux Change per Inch)，センス電流はそれぞれの構造で上下パルスの振幅値が等しくなる値に設定している。この結果から、(a) に示す反強磁性膜を用いない場合には非常にノイズが大きく、ベースラインがスプリットしていることがわかる。さらにこの再生波形は、記録動作を行うたびに形が変わってしまうといった問題がある。これに対し (b) の場合には、やはりベースラインがスプリットしているが、この波形は記録動作を繰り返して行っても変化しなかった。これに対し、(c) の場合にはノイズの全く無いきれいな再生波形が得られた。図 6 は、MR

図6 再生出力の線記録密度依存性.

膜の電流密度を 3×10^7 A/cm² に設定し、再生出力の線記録密度依存性を測定した結果である。この結果から、低密度出力は 420 μVpp と通常の誘導型ヘッドの 3 倍以上に達した。また、ヘッド動作時における MR 膜の温度上昇を、直流抵抗の変化分として見積もった結果、電流密度を 3.3×10^7 A/cm² まで高めても 30°C (303 K) 前後で、MR 膜の発熱に起因するノイズの増大や MR 膜の劣化は認められなかった。

5. 結 言

記録にトラック幅 1.2 μm の誘導型素子、再生にトラック幅 1 μm 以下の MR 素子を用いた記録再生分離型ヘッドを開発し、電子線トモグラフィー法による記録磁界解析、ならびに記録再生特性測定を通して性能を評価した。この結果、今回開発したヘッドは 100 MHz まで狭トラック記録が可能であり、かつ、420 μVpp を超える高い再生出力が安定に得られることを確認した。本ヘッドを用いることにより、面記録密度 2 Gb/in²、転送速度 20 MB/s を有する高速・高密度磁気ディスク装置の実現が可能となる。

6. 特 許

米国登録特許 USP528737 (94. 02. 15), USP5325244 (94. 06. 28) 他外国出願件数 20 件、国内出願件数 30 件。

文 献

- (1) 北田正弘：まてりあ，**34**(1995)，942.
- (2) H. Takano, *et al.*: IEEE Trans. on Magn., **31**, No. 6(1995), 2651.
- (3) T. Kobayashi, *et al.*: JAP, **63**(8), (1988), 3203.
- (4) H. Takano, *et al.*: 1990 Digest of the INTERMAG conf. CA04.
- (5) T. Ishitani, *et al.*: JJAP Series 4 Proc. of 1990 Intern MicroProcess Conference, p. 232-236.
- (6) M. Kitada and N. Shimizu: JMMM, **98**(1991), 215.
- (7) M. Kitada: Thin Solid Films, **250**(1994), 111.
- (8) 由比藤 勇，北田正弘：日本金属学会誌，**57**(1993)，549.
- (9) H. Shinada, *et al.*: IEEE Trans. on Magn., **28**, No. 2(1992), 1017.