

# 10 Gbps GMR ヘッド技術

Technologies of GMR Head for 10 Gbps

岩崎 仁志  
IWASAKI Hitoshi

與田 博明  
YODA Hiroaki

佐橋 政司  
SAHASHI Masashi

10 Gbpsの面記録密度をもつ磁気ディスク装置(HDD)を実現するには、より高感度なGMR(Giant MagnetoResistive)再生と1 $\mu$ m以下の狭トラック幅記録をもつGMRヘッドが必要である。

高抵抗のアモルファスCoZrNbとNiFe磁性下地を用いたCoFeフリー層によるGMR再生はNiFe/CoFeに比べて、媒体磁界に対する線形応答マージンが広い比較的厚い磁気膜厚(7~10 nmT)においても高抵抗変化率および大きな抵抗変化を示し、単位トラック幅当たり2 mVppの高出力と良好な上下波形対称性が得られる。一方、セルフアライメント方式によるトレンチに記録磁極を埋め込む記録ヘッド構造により、1 $\mu$ m以下の狭トラック幅記録でも高精度にトラック幅が規定でき、熱擾(じょう)乱回避設計した高保磁力媒体書込みに不可欠な高磁力が発生できる。

A high-output giant magnetoresistive (GMR) reader and narrow trackwidth writer with less than 1  $\mu$ m trackwidth are required for GMR heads used in hard disk drives with 10 Gbps areal density. A GMR reader using a CoFe free layer with amorphous CoZrNb and NiFe magnetic underlayers enables a higher MR ratio and higher resistance change even for a free layer magnetic thickness of 7 to 10 nmT with a wide margin for linear response to media fields, resulting in a high output voltage of more than 2 mVpp/ $\mu$ m with low asymmetry amplitude, compared to NiFe/CoFe. On the other hand, the self-alignment trench-pole writer enables precise control of the pole width at a trackwidth of less than 1  $\mu$ m, and the generation of sufficiently large writing fields to overwrite high-coercivity media designed to overcome signal loss due to thermal agitation.

## 1 まえがき

従来のMRヘッドよりも数倍以上大きな抵抗変化率をもつGMRヘッドは、すでに~4 Gbps(平方インチ当り4 Gビット)の面記録密度のHDDから実用化が始まっており、年率60%以上にも達するHDDの著しい面記録密度・容量アップを牽(けん)引するキー技術の一つである。

しかし、図1に示すように面記録密度の増加に応じた記録トラック幅の縮小、再生出力の増大要求はとどまるところを知らず、~4 Gbpsでは1.5 $\mu$ m程度であった記録トラック幅が~10 Gbpsでは1 $\mu$ m以下に狭まり、これに応じて1 mVpp/ $\mu$ m(pp: peak-to-peak)以下であった再生出力も2 mVpp/ $\mu$ m程度の大きな値が要求される。1 $\mu$ mを切るような狭トラック幅記録において、精度良く記録磁極が作製できることに加えて、記録媒体の保磁力増大に対応できる強い記録磁界を発生させることが記録側の最重要技術課題である。一方、小さな上下再生波形非対称性を保って再生感度を大幅にアップすることが再生側の最重要技術課題である。

ここでは、当社提案の高抵抗アモルファス磁性下地を用いたCoFeフリー層<sup>(1)(2)(3)</sup>によるGMRヘッドが10 Gbpsの実現に必要な高出力特性を示すことを、また、当社提案のセルフアライメント方式によりトレンチに記録磁極を埋め

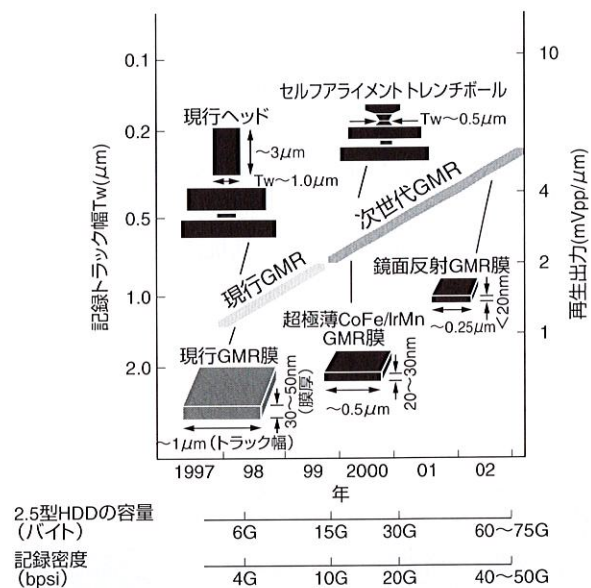


図1. 面記録密度の増加に伴う記録トラック幅と要求再生出力の推移。面記録密度の増加により、トラック幅は狭まり必要な再生出力は増大する。

Change in trackwidth and required output with increasing areal density

込んだ記録ヘッド構造<sup>(1)(4)</sup>が優れた狭トラック幅制御性および強い記録磁界発生能力をもつことを述べる。

## 2 高感度 GMR 再生

現在実用化されている GMR ヘッドの素子構造を図 2 に示す。反強磁性膜により磁化固着されたピン層, Cu スペース, 媒体磁界により磁化の向きが変化するフリー層からなるスピバルブ GMR 膜<sup>(注1)</sup>の両サイドに, バルクハウゼンノイズ<sup>(注2)</sup>を除去するためのハード膜, 電極が形成される。ここで, GMR ヘッドの再生出力  $\Delta V$  は下式により表現される。

$$\Delta V \propto i \times \Delta R_s \times (W/h) \times \Delta\phi_M$$

$i$  はセンス電流,  $\Delta R_s$  は GMR 膜の面抵抗変化分(抵抗変化率×面抵抗),  $W$  は実効再生トラック幅(両サイドのハード膜磁界により電極間隔よりも若干狭い),  $h$  は GMR 素子幅(ハイト),  $\Delta\phi_M$  は媒体磁界によるフリー層磁化の変化分を表す。 $\Delta\phi_M$  はフリー層の磁気膜厚におおむね反比例する。10 Gbps に向けて再生感度を上げるには, ハイトを狭めることに加えて(センス電流の増大はエレクトロマイグレーション<sup>(注3)</sup>などの信頼性の観点から好ましくない), GMR 膜の  $\Delta R_s$  を増やし, フリー層の膜厚を低減することが有効である。しかし, フリー層の膜厚を低減すると特にハイトを狭めた場合, 線形応答動作点(バイアス点)を設定することが困難になることが知られており, フリー層の磁気膜厚として 6~7 nmT<sup>(注4)</sup>が限界とされている<sup>(5)</sup>。

図 3 に, (Ta)/NiFe/CoFe と, アモルファス CoZrNb/NiFe/CoFe における, 抵抗変化率  $MR$ ,  $\Delta R_s$  のフリー層膜厚依存性をボルツマン方程式により計算した結果を示す<sup>(6)</sup>。CoZrNb/NiFe/CoFe では CoZrNb 厚みにより, NiFe/CoFe では NiFe 厚みにより磁気膜厚を変化させた。Cu スペース厚は 2.5 nm とした。高抵抗磁性下地のコンセプト

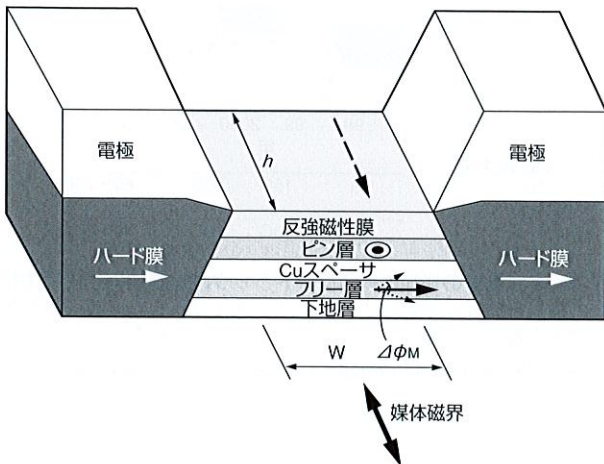


図 2. GMR 素子の模式図 太線の矢印は磁化の方向を表す。 $\Delta\phi_M$  は媒体磁界によるフリー層磁化の変化分を表す。

Schematic diagram of GMR element

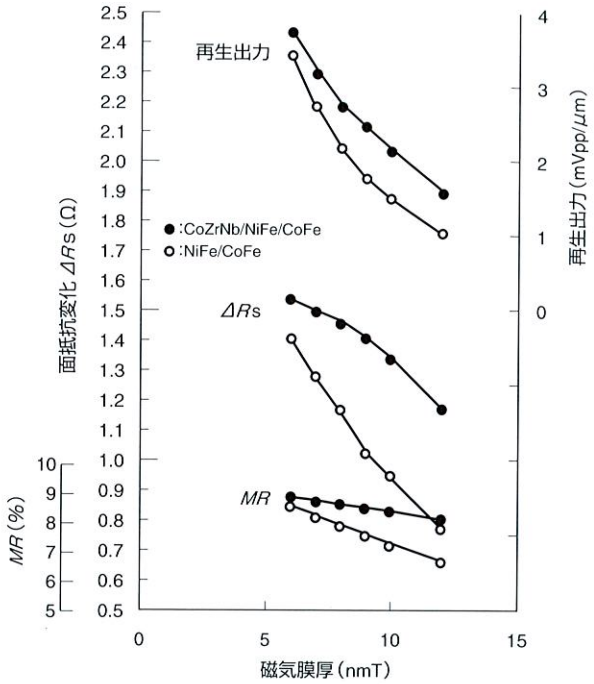


図 3. MR 比, 面抵抗変化, 再生出力のフリー層厚依存性 CoZrNb/NiFe/CoFe と NiFe/CoFe の GMR 特性をシミュレーションにより比較。良好な波形対称性が得られやすい磁気膜が 7~10 nm の領域では, CoZrNb/NiFe/CoFe にて高出力が得られる。

Dependence of MR ratio, change in sheet resistance, and output on free layer thickness

トは, 電気的には余分な高抵抗 CoZrNb 層へのセンス電流分流が少なく, GMR 発現に寄与する薄い NiFe/CoFe 積層部(3~5 nm)だけに有効にセンス電流を流し,  $MR$  と  $\Delta R_s$  を大きくすることである。線形応答領域が広くマージンの広いバイアス点(すなわち良好な波形非対称性)が得やすい厚い磁気膜厚領域でも, NiFe/CoFe では  $MR$  および  $\Delta R_s$  が低下するのに対して, 高抵抗磁性下地を用いたフリー層では高  $MR$ , 高  $\Delta R_s$  を維持できる。図 3 には, おおむね 10 Gbps に相当するスペック ( $i: 5$  mA,  $h: 0.5$  μm, 媒体の磁気膜厚: 0.5 memu/cm<sup>2</sup>, 再生ギャップ長: 0.14 μm, 磁気スペーシング: 35 nm) で計算<sup>(6)</sup>した単位トラック幅当たりの再生出力を併せて示す。なお, この計算ではハード膜からの磁界は考慮していないので, 実際の再生出力はこの計算値よりも低下する。CoZrNb を用いた場合には, フリー層の磁気膜厚が ~9 nmT でも約 2.5 mVpp/μm の再生出力が得られる。同じ磁気膜厚の NiFe/CoFe で

- (注 1) 媒体磁界により磁化が変化するフリー層, 非磁性スペース, 媒体磁化では磁化が動かないピン層から成る積層 GMR 膜。  
 (注 2) 媒体磁界により, フリー層の磁化が不連続に動くことに起因する磁気的ノイズ。このノイズの抑制には, 磁区のないフリー層の実現が不可欠。  
 (注 3) 高温, 大電流密度にて発生する原子移動に起因した素子の故障モード。  
 (注 4) T は強磁性体の飽和磁化の単位で, 膜厚 (nm) と飽和磁界 (T) の積が磁気的な膜厚を表す。

は、 $\Delta R_s$  が約 25% 程度小さいので 1.8 mVpp/ $\mu\text{m}$  程度の再生出力しか得られない。NiFe/CoFe で出力を増大するにはさらに磁気膜厚を薄くすることが必要となり、小さな波形非対称性を得るには別のくふうが必要となる。

### 3 狭トラック幅記録

#### 3.1 ヘッドの狭トラック化と高磁力化が 10 Gbps を実現

面記録密度が 10 Gbps になると媒体の熱擾乱問題が顕在化してくる。すると、これまでのように線記録密度を上げていくことが困難となり、高密度化のためにはトラック密度を急速に上げていかざるを得なくなる。よって、記録ヘッドには急速な狭トラック化が要求されることになる。しかし、ヘッドデバイスには LSI に比べて 10 倍程度の高段差があるため、この狭トラック化自体が大きなブレイクスルーポイントである。ヘッドメーカー各社も i 線 (365 nm) ステップを導入し開発を進めているが、サブマイクロレベルのヘッドの量産プロセスに対してはまだ明確な解を見いだせない状況である。

一方、熱擾乱問題を回避すべく媒体の高抗磁力化が進められているが、記録ヘッドにはさらなる高磁力化の要求が投げかけられている。当然、より強い磁界を発生できる磁極材料の採用が考えられるが、現行ヘッド構造では磁極材料ポテンシャルを引き出せないため、狭トラック化と高磁力化をねらった高効率なヘッド構造の開発が最優先開発事項となっている。

#### 3.2 セルフアライメント トレンチポールライター

狭トラック化と高磁力化を両立させる究極のライター構造が図 4 に示すセルフアライメント トレンチポールライター

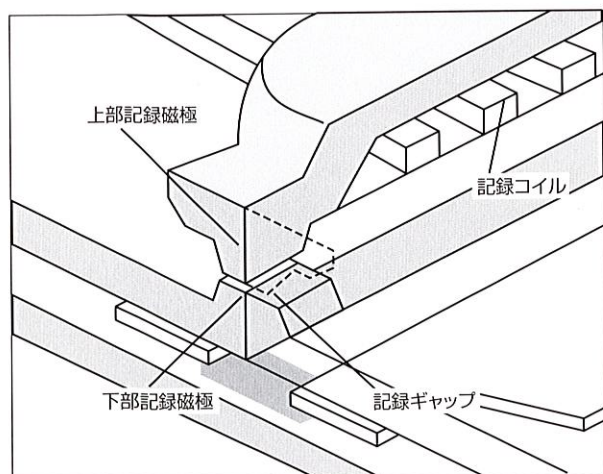


図 4. セルフアライメント トレンチポールライターの斜視断面  
上部記録磁極は記録コイルによる高段差発生前に下部記録磁極に対してセルフアライメントして形成されたトレンチに埋め込み形成される。

Schematic diagram of self-alignment trench-pole writer

ターである。

この構造では、トラック幅を決めるリソグラフィーは記録コイルの段差発生前の下部記録磁極形成工程で行うため、ステップの解像度限界のトラック加工が可能となり、i 線ステップを使用すれば  $0.3 \pm 0.03 \mu\text{m}$  までの超狭トラック記録ヘッドが製造できる。上部記録磁極は、下部記録磁極にセルフアライメントされたトレンチ内に埋め込み形成される。このため、記録磁極形状を図 5 に示すように記録ギャップに向かって両側から収束する理想的な形とすることができ、磁速収束効率を高められる。ひいては磁極材料ポテンシャルを最大限に利用できるため、高磁力の発生が可能となる。

図 6 には、 $1 \mu\text{m}$  トラック幅の該記録ヘッドで記録した

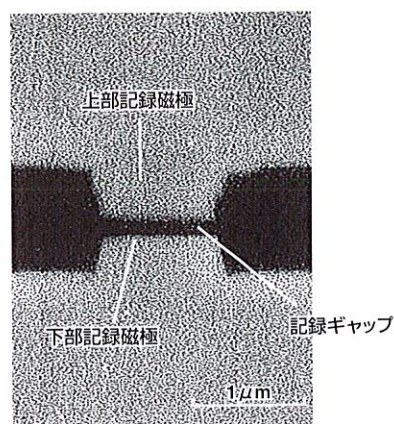


図 5. セルフアライメント トレンチポールライターの媒体対向面の SEM (査定型電子顕微鏡) 像  
記録ギャップに対して、位置ずれなく上下記録磁極がセルフアライメントされている。なおかつ上下記録磁極は、記録ギャップに向かって収束する理想的な形状となっている。

SEM image of self-alignment trench-pole writer at air bearing surface

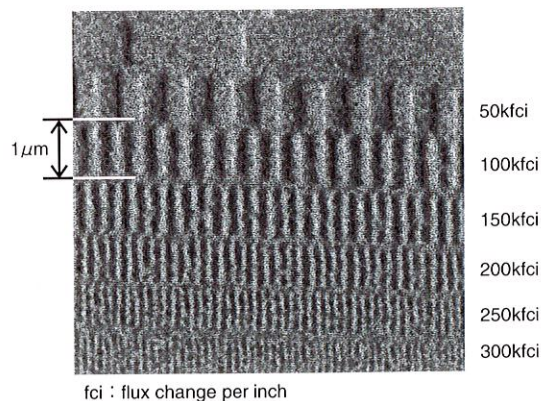


図 6. セルフアライメント トレンチポールライターで記録した媒体の MFM 像  
高抗磁力媒体に、セルフアライメント トレンチポールライターで記録された直線性の良いビットが観察される。

Magnetic force microscopy (MFM) image of bits recorded by self-alignment trench-pole writer

抗磁力 2,800 Oe の媒体の磁力情報を磁気力顕微鏡 (Magnetic Force Microscopy) で観察した結果を示す。直線性の良い磁化パターンを得ることができる。

#### 4 あとがき

CoZrNb のような高抵抗磁性下地を用いることにより、良好な波形非対称性が得やすい 7~10 nm の磁気膜厚でも 10 Gbps の高出力 ~2 mVpp/ $\mu$ m が得られる。しかし、この構造でも ~15 Gbps が限界と予想され、20 Gbps 以上の記録密度には、さらなる高 MR、高  $\Delta R_s$  化に加えて新たな構造を盛り込んだ次世代 GMR ヘッドを開発しなければならない。今後は、この限界を打破して現行シールド型 GMR ヘッドの構造限界の ~100 Gbps を目指し、さらなる改良を加えていく必要がある。薄い磁気膜厚でも安定した波形対称性が得られるスピントラップ GMR<sup>2)</sup>、抵抗変化率の大幅アップを可能にするナノレーヤ極薄絶縁層を用いた新コンセプトのスペキュラスピントラップ GMR<sup>3)</sup> が有力候補と考えている。一方、セルフアライメント・磁極埋込み記録により、1  $\mu$ m 以下の狭トラック幅で強い記録磁界を発生できる。この狭トラック幅限界はリソグラフィの限界と考えてよく、例えば、半導体で実績のある i 線のステッパを使うと 0.3  $\mu$ m 程度の記録トラック幅、すなわち 40 Gbps 級の記録トラック幅にも対応できる。

#### 文献

(1) H.Yoda, et al. DUAL ELEMENT GMR/INDUCTIVE HEADS FOR GIGABITS DENSITY RECORDING USING CoFe SPIN-VALVES. IEEE

Trans. Magn. **32**, 5, 1996, p.3363-3367.

- (2) Y.Kamiguchi, et al. Giant magnetoresistance and soft magnetic properties of Co90Fe10/Cu spin valve structures. J.Appl.Phys. **79**, 8, 1996, p.6399-6401.
- (3) H.Iwasaki, et al. EXCELLENT RELIABILITY OF CoFe-IrMn SPIN VALVES. IEEE Trans. Magn. **33**, 5, 1997, p.2875-2877.
- (4) H.Yoda, et al. NARROW TRACK SELF-ALIGNED TRENCH-POLE WRITER HAVING HIGH WRITING EFFICIENCY. INTERMG'99 Digest, FB-04.
- (5) 川戸良昭, 他. 積層フェリ (Co/Ru/Co) 固定層を用いたスピントラップ膜. 日本応用磁気学会第 103 回研究会資料, 1998, p.113-118.
- (6) H.N.Bertram. Linear Signal Analysis of Shielded AMR and Spin Valve Heads. IEEE Trans. Magn. **31**, 1995, p.2573-2578
- (7) H.Iwasaki, et al. SPIN FILTER SPIN VALVE HEADS WITH ULTRATHIN CoFe FREE LAYERS. INTERMG'99 Digest, BA-04.
- (8) Y.Kamiguchi et al. CoFe SPECULAR SPIN VALVES WITH A NANO OXIDE LAYER. INTERMG'99 Digest, DB-01.



岩崎 仁志 IWASAKI Hitoshi

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。HDD 用磁気ヘッドの研究・開発に従事。日本  
応用磁気学会会員。

Storage Materials and Devices Lab.



與田 博明 YODA Hiroaki

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。

HDD 用磁気ヘッドの研究・開発に従事。

Storage Materials and Devices Lab.



佐橋 政司 SAHASHI Masashi

研究開発センター 記憶材料・デバイスラボラトリー技  
監。HDD 用磁気ヘッドの研究・開発に従事。日本応用磁  
気学会, 日本金属学会会員。

Storage Materials and Devices Lab.