電極オーバーラップ型 GMR ヘッドの記録再生特性

Read-Write Performance of GMR Heads with Lead Overlaid Structure

中本 一広・川戸 良昭・小室 又洋*・濱川 佳弘・川辺 隆

(株)日立製作所・中央研究所, 小田原市国府津 2880 (〒256-8510)

*(株)日立製作所・ストレージシステム事業部, 小田原市国府津 2880 (〒256-8510)

K. Nakamoto, Y. Kawato, M. Komuro*, Y. Hamakawa, and T. Kawabe

Central Research Lab., Hitachi, Ltd., 2880 Kozu, Odawara, Kanagawa 256-8510

*Data Storage & Retrieval Systems Div., Hitachi, Ltd., 2880 Kozu, Odawara, Kanagawa 256-8510

(1999 年 10 月 28 日受理, 2000 年 1 月 25 日採録)

GMR heads with lead overlaid structure were designed and fabricated, and their read-write performance was tested in comparison with that of conventional GMR heads with abutted junctions. Crosstalk was independent of the difference in the head structure, and decreased with a decrease in the magnetic read track width, defined by the half-width of the microtrack profile. Lead overlaid heads were 1.4 times as sensitive as abutted-junction-type heads when the magnetic read track width was $0.4\ \mu\text{m}$, because they were free of dead zones at both ends of the track. They also showed better stability in repeated read-write testing. This may be due to overlapping of the sensor edges by the leads that were deemed to be the most unstable, and sensing of only the stable central area. GMR heads with lead overlaid structure are promising for high-density recording.

Key words: magnetic recording head, GMR head, track width, crosstalk, sensitivity, stability

1. はじめに

巨大磁気抵抗効果(GMR)ヘッドは、高い磁界感度を有するため、年々加速する磁気ディスク装置の大容量化、小型化に対応するための必須のデバイスである。従来の永久磁石隣接配置型(Abutted Junction)GMRヘッドの場合、トラック両端部には永久磁石の影響で片側 $0.1\ \mu\text{m}$ 程度のデッドゾーンがある¹⁾。このため、トラック幅が狭くなるにつれて、感度が大幅に低下することが予想された。これを回避するための一つの手段として、我々は素子端部にあるデッドゾーンを電極でオーバーラップした構造を提案し、特にサブマイクロトラック幅の場合、本構造の方が従来構造に比べて感度的に有利となることを、マイクロマグネティクスに基づく数値計算で示した²⁾。また、オーバーラップ部を持つことで接触抵抗が低減でき、結果として静電破壊(ESD)を引き起こす電圧を高くできることが報告されている³⁾。

本検討では、電極オーバーラップ型GMRヘッドを作製し、そのクロストーク特性、感度、記録再生の繰り返しによる安定性などの記録再生特性を、オーバーラップ無しの従来型GMR

ヘッドと比較した。

2. 実験方法とモデル

記録再生特性を評価するため、素子高さを約 $0.5\ \mu\text{m}$ 、シールド間隔を $0.16\ \mu\text{m}$ とし、電極間隔を 0.4 から $0.7\ \mu\text{m}$ の間で変化させた電極オーバーラップ型GMRヘッドを作製した。GMR膜構成は基板側から NiFe(3.5nm)/Co(0.5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/CrMnPt(30nm)である。片側のオーバーラップ幅は感度を確保するため、数値計算²⁾から $0.5\ \mu\text{m}$ とした。よって、素子長すなわち磁区制御間隔は 1.4 から $1.7\ \mu\text{m}$ である。磁区制御用永久磁石の残留磁化・膜厚積は平坦部で $180\ \text{G}\cdot\mu\text{m}$ とした。Fig.1 には、作製したGMRヘッドの浮上面SEM像を示す。一対の電極間の中心位置と、GMR膜の幅方向中心位置とは多少のずれがあるものの、設計マージン内であり、ほぼ狙い通りのヘッドが得られた。比較のため、オーバーラップが無い他はすべて上記と同じとした、従来型のGMRヘッドも同時に作製した。どちらのタイプのヘッドにも記録ヘッドが積層されており、その上部コア幅はFIBを用いて $0.7\ \mu\text{m}$ 程度に形成されている。媒体は、保磁力 $2.7\ \text{kOe}$ 、残留磁化・膜厚積 $67\ \text{G}\cdot\mu\text{m}$ のものを用い、ヘッドー媒体間の磁氣的スペーシングは $60\ \text{nm}$ とした。

Fig. 1 SEM image of the air-bearing surface of a fabricated head with a lead overlaid structure.

Fig. 2 Readback waveform of a fabricated head with a lead overlaid structure.

再生ヘッドの磁気的なトラック幅は、マイクロトラックプロファイルの半値幅で代表させた。ここでマイクロトラックの幅は、マイクロトラックに対する出力が、記録幅が広い場合に得られる出力の約 10% になるように設定した。クロストークの測定は、記録ヘッドによる記録幅ばらつきを反映させないため、記録ヘッドを幅 $0.68 \mu\text{m}$ の 1 本に固定し、録再分離で行った。トラックピッチはこれに対応して $0.85 \mu\text{m}$ と仮定し、クロストークは、その 90% である $0.77 \mu\text{m}$ 左右にオフトラックさせたときの出力の和を、オントラックの出力で規格化した値で定義した。

マイクロマグネティクスに基づく数値計算において、記録トラックから発生する媒体磁界は、フーリエ級数を用いた鏡像法⁵⁾で求めた。また電極オーバーラップ構造では、電極と電極下にあるGMR膜との間の分流による影響を考慮した。

3. 結果と考察

Fig.2 には、作製した電極オーバーラップ型ヘッドの再生波形を示す。上下非対称性や歪みの少ない、良好な波形が得られた。ベースラインの高さにわずかな分離が認められるが、これは十分にトラック幅の広いヘッドで記録した場合にはなくなるため、記録の影響と考えられ⁴⁾、再生ヘッド起因のものではない。

Fig.3 には、(a)オーバーラップ有りのヘッドと、(b)無しの従来ヘッドのマイクロトラックプロファイル(実測結果)を比較して示す。電極間隔はともにほぼ $0.5 \mu\text{m}$ で、ヘッド抵抗値はオーバーラップ型 82Ω 、従来型 58Ω であった。前者の抵抗が大きいのは、接触抵抗、電極抵抗などが十分低く抑えられていないからであり、今後改善可能と考えられる。半値幅は、オーバーラップ型の場合、電極間隔よりわずかに広がり、また従来型の場合、電極間隔より狭くなった。形状には、裾野を含めて大きな違いは認められなかった。確認のため、数値計算で検討した結果を Fig.4 に示す。電極間隔はともに $0.50 \mu\text{m}$ とし、マイ

Fig. 3 Measured microtrack profiles for heads with (a) lead overlaid and (b) abutted junction structure.

クロトラック幅はその影響を十分低く抑えるため、 20 nm と狭くした。半値幅は、オーバーラップ有りの場合、電極間隔より 20 nm 広がり、オーバーラップ無しの場合、電極間隔より 60 nm 狭くなった。これは先の実験結果と良く対応しており、オーバーラップ無しではトラック端部にデッドゾーンが存在するが、電極で素子端部をオーバーラップすることでデッドゾーンが無くなることによると考えられる。また出力の最大値、すなわち素子中央部の感度は、オーバーラップ有りが 34% 高い。オーバーラップ無しの場合、永久磁石の影響で素子中央部の感度までも低下しているが、オーバーラップすることでこの影響を低く抑えることができるからである。このように、電極オーバーラップ構造は高感度であると予想されるが、感度分布が変化し、クロストークなど読みにじみが増加することが懸念される。

そこで録再分離で測定したクロストークと、マイクロトラックプロファイルの半値幅で定義した磁気的再生トラック幅との関係を、両構造で検討した。結果を Fig.5 に示す。図中の●は電極オーバーラップ型ヘッドを、○は従来のオーバーラップ無しのヘッドを示す。クロストークは、磁気的再生幅が狭くなるにつれて単調に低くなり、オーバーラップの有無には依存しない。これは、先に示したマイクロトラックプロファイルに大きな違いが無いことと良く対応している。この結果から、クロストークを等しくするためには、磁気的再生トラック幅、すなわちマイクロトラックプロファイルの半値幅を等しくすればよいことがわかる。な

Fig. 4 Calculated microtrack profiles for heads with (a) lead overlaid and (b) abutted junction structure.

Fig. 5 Measured dependence of the crosstalk on the magnetic read track width defined by the half-width of the microtrack profile.

お前段に示したように、同じ磁気的再生トラック幅を得るためには、電極オーバーラップ型の場合、デッドゾーンが無いので、従来型よりも狭い電極間隔を形成することが要求される。

Fig.6 には、両構造における孤立波出力の磁気的再生トラック幅依存性の実測結果を、数値計算結果と合わせて示す。実測結果と計算結果とは良い一致を示した。出力は、磁気的

Fig. 6 Measured and calculated output vs. magnetic read track width.

Fig. 7 Comparison of the coefficient of variation in the output amplitude.

再生トラック幅を狭くするにつれて、およそ直線的に減少し、その傾きはどちらの構造もほぼ等しい。しかしデッドゾーンの影響により、出力が無くなる磁気的再生トラック幅の外挿値は、オーバーラップ無しの従来型の方がより広い。このため、同じ磁気的再生トラック幅で比較すると、オーバーラップ型の方が高出力で、その比率は磁気的再生トラック幅が狭くなるにつれて、益々大きくなる。例えば磁気的再生トラック幅が $0.4 \mu\text{m}$ の場合、従来型に比べて約 40% 高い出力を得ることができ、電極オーバーラップ型が高感度狭トラックヘッドとして有望であることが確認できた。

最後に、記録再生動作の繰り返しによる再生波形の安定性を比較検討した。Fig.7 には、記録再生動作を 200 回繰り返すことで得られた、出力の変動率 (COV) を比較して示す。出力変動率は、出力の標準偏差値を平均値で規格化して求め

Fig. 8 Calculated waveforms of heads with insufficient longitudinal bias (ratio = 0.8) for (a) lead-overlaid and (b) abutted-junction structures, and (c), (d) magnetization configurations of the free layer of the abutted-junction-type head.

た。従来型のCOVは約2%であったが、電極オーバーラップ型では約1%とより安定した動作を示した。この理由としては、電極オーバーラップ型では素子がより横長なので形状異方性の効果で安定すること、磁化の挙動が最も不安定と考えられる永久磁石の接合部を電極で被うことでその影響を抑制できること、が考えられる。後者のモデルについて、数値計算で検討した結果を以下に示す。Fig.8(a), (b)には、磁区制御のための長手バイアスを弱くした場合の、再生波形の計算結果を

両構造で比較して示す。ここでは永久磁石接合部の磁化挙動を不安定にするため、永久磁石の残留磁化・膜厚積を自由層の飽和磁束密度・膜厚積で規格化した長手バイアス比を、0.8と低い値にした。電極オーバーラップ型では弱い磁区制御にもかかわらず、歪みの無い波形が得られた。一方、従来型では波形のベースライン付近にジャンプなど歪みが見られた。例えば、図中(c)–(d)間に見られる波形のジャンプの原因は、Fig.8(c)と(d)の自由層磁化状態の比較から明らかのように、素子左側磁化のスイッチング動作にある。このようにオーバーラップが無い場合には、素子端部の不安定性を直接再生波形に反映してしまうが、たとえこのような場合にも、素子端部を電極でオーバーラップすることで不安定性を抑えることができる。このように、電極オーバーラップ型ヘッドは、記録再生の繰り返しによる安定性に関しても有利であることが分かった。

4. まとめ

電極オーバーラップ型GMRヘッドを作製し、その記録再生特性を評価した。その結果、1)クロストークはオーバーラップの有無には依存せず、磁氣的再生トラック幅で整理できる、2)磁氣的再生トラック幅が $0.4 \mu\text{m}$ の場合、オーバーラップの無い従来構造よりも出力を約40%高くできる、3)記録再生動作の繰り返しによる不安定性は少なく、より安定した動作を示す、という利点があることが分かった。不利と思われる点は、より狭い電極間隔の形成を要求されることであるが、文献³⁾にある接触抵抗の低減効果と、それに伴うESD耐性の向上という利点も考え併せると、本構造は高記録密度化に対する有望な候補であると考えられる。

謝 辞 本研究の推進に当たり、有益なご討論を頂いた、(株)日立製作所・中央研究所の府山盛明氏、渡辺克郎氏、星屋裕之氏、岡田智弘氏、木村久志氏に深謝致します。本研究の一部は、通産省プロジェクト「超先端電子技術促進事業」の一環としてASETがNEDOより委託された研究として実施されました。

文 献

- 1) K. Nakamoto, Y. Kawato, Y. Suzuki, Y. Hamakawa, T. Kawabe, K. Fujimoto, M. Fuyama, and Y. Sugita: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3374 (1996).
- 2) 中本一広, 川戸良昭: 日本応用磁気学会誌, **21**, 261 (1997).
- 3) 大沢裕一, 船山知巳, 坂田浩実, 奥田博明, 佐橋政司: 電子情報通信学会技術研究報告, MR98-17 (1998).
- 4) T. Chang, M. Salo, H. Fang, M. Madison, J-G. Zhu, and T. Arnoldussen: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3395 (1996).
- 5) Y. Suzuki and C. Ishikawa: *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 1513 (1998).