薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの性能とコア磁気特性

Characteristics of an In-Line Dual Gap Thin Film Magnetic Head and Magnetic Cores

三浦義従・斎藤正勝・新井信夫・村守 清・岩間 章*

(株)日立製作所家電研究所, 横浜市戸塚区吉田町 292 (〒244)

*(株)日立製作所東海工場, 茨城県勝田市大字稲田 1410 (〒312)

*現所属: 日立金属(株)真岡工場

Y. Miura, M. Saito, N. Arai, K. Muramori and A. Iwama*

Consumer Products Research Center, Hitachi, Ltd., 292 Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244

*Tokai Works, Hitachi, Ltd., 1410 Inada Katsuta-shi, Ibaraki 312

*Present address: Maoka Works, Hitachi Metals, Ltd.

In order to develop an in-line dual gap thin film head for the video floppy system, magnetic annealing influences on the characteristics of CoNbZr amorphous thin films were investigated. It was revealed that the magnetic anisotropy fields decrease and both the initial permeability parallel to the easy axis and the one perpendicular to it increase as the annealing temperature increases and that the magnetic anisotropy fields change to isotropic and the initial permeabilities perpendicular to the easy axis decrease when the magnetic annealing temperature rises above 460°C. The upper core and the lower one of the head from a closure magnetic domain with the easy axis parallel to the gap width. The output levels of the head are strongly affected by the initial permeability parallel to the easy axis. The thin film in-line dual gap magnetic head having excellent characteristics was developed by means of the magnetic annealing of CoNbZr amorphous films.

Key words: in-line dual gap thin film head, magnetic annealing, CoNbZr amorphous thin film, induced magnetic anisotropy, closure magnetic domain

1. ま え が き

高保磁力メタル媒体対応のビデオフロッピー用磁気ヘッドとして、高飽和磁束密度の金属薄膜磁気コアを用いたバルク型磁気ヘッドおよび薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドが実用化されつつある。^{1)~5)}しかし、前者はフィールド信号のみを記録再生するものであり、画質の面で問題がある。したがって、ビデオフロッピー用磁気ヘッドとして、フレーム信号の記録再生が可能で、かつ高品位の画像が得られる薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドが主流になるものと考えられる。

この2チャンネルの薄膜のインラインデュアルギャップ磁気ヘッドは、高保磁力メタルシート (H_c

1200 Oe) に記録可能、C/N 比の良好な記録再生特性、隣接チャンネル間の低ストローク化およびヘッド摩耗の長寿命化などの性能が必要である。

本報告は、これら薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの必要な性能を満足する磁気コア材料として、熱的安定性に問題があるが、飽和磁束密度、初透磁率が大きくかつ耐摩耗性などが比較的優れる CoNbZr 非晶質磁性薄膜^{6), 7)}に注目し、その磁場中熱処理による磁気特性の改善およびヘッド特性との関係などについて検討したものである。

2. 実験方法

2.1 薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの構成

ビデオフロッピー用薄膜インラインヘッドは計算機用薄膜ヘッドと異なり、摺動面が直接媒体に接触し、画像信号を記録再生するものである。したがって、ヘッド寿命の点からギャップ深さを大きくする必要がある。大きなギャップ深さで良好な電磁変換特性を得るためには、磁気コアの厚さを大きくする必要がある。また、両チャンネル間のクロストークを減少させるために、各々の磁気コアを磁気的に分離する必要がある。それらを考慮して設計された2層で15ターンのコイルから構成される薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの構成概略図および諸元を Fig. 1 および Table 1 に示す。

同図より、薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドは、トラック幅 60 μm の2チャンネルヘッドが 100 μm のトラックピッチで配置される構成である。ヘッド特性の要求と製造プロセスの簡略化より、下部コアはセラミック基板に埋め込まれた構造を採用した。

2.2 磁気コアの形成方法

薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの磁気コ

Table 1 Specification of the head

Channel	2
Track width	60 μ m
Track separation	40 μ m
Gap length	0.3 μ m
Gap depth	$\geq 10\mu$ m
Coil	15turns

Fig. 1 Schematic diagram of the in-line dual gap thin film magnetic head.

Fig. 2 Schematic diagram of the dc opposing-targets sputtering equipment (H , vertical magnetic field for covering plasma).

ア材料として採用した CoNbZr 非晶質膜の形成方法として、薄膜の低温高速形成が可能な DC 対向スパッタリング法⁹⁾を用いた。Fig. 2 に用いた装置の構成概略図を示す。排気系はクライオポンプで構成されている。プラズマ収束用磁界はフェライト永久磁石と電磁石とから構成されており、収束磁界を任意の値に設定できる。ターゲットは上下に 1 個ずつ配置され、基板はターゲット周囲上に設置できる構成となっている。

Table 2 に主な CoNbZr 薄膜の形成条件を示す。DC 対向スパッタリング法で形成した CoNbZr 膜は、装置の収束磁界方向を磁化容易軸とする一軸異性を有している。そこで今回の検討では磁場中熱処理条件として、2.4 kOe の直流磁界を所定の時間磁化容易軸方向に印加して熱処理を行い、約 400°C/h で冷却した。

Table 2 Sputtering condition of the film

Substrate	Crystallized glass
Residual gas pressure	$\leq 1 \times 10^{-6}$ torr
Sputtering gas	Ar(99.999%)
Sputtering gas pressure	8×10^{-4} torr
Deposition rate	3~4 μ m/h
Thickness	20 μ m
Substrate temperature	not controlled

Fig. 3 Anisotropy field versus magnetic annealing temperature relation.

Table 3 Characteristics of the as-deposited film

Composition	Co79.5Nb14.8Zr5.7at%
Saturation flux density	0.75T
Anisotropy field	6-80e
Initial permeability(6MHz)	
easy axis	25
hard axis	550
Curie point	485°C
Crystallization temperature	570°C

2.3 CoNbZr 膜の評価方法

CoNbZr 膜の磁気特性の測定については、薄膜試料の B-H 曲線は VSM および交流 B-H カーブトレーサ（測定周波数 1 kHz）で測定し、また試料の局所の B-H 曲線はマイクロカー効果を用いて測定した。複素透磁率は誘導法 (0.01~8 MHz) で、また異方性磁界は磁化容易軸と磁化困難軸の両方向の B-H 曲線より求めた。⁷⁾

非晶質金属の電気抵抗は結晶化とともに減少することが知られている。CoNbZr 膜の熱処理条件と結晶化の関係を電気抵抗の相対変化より求めた。電気抵抗は 4 端子法を用いて、測定電流 25 Hz 10 mA、昇温速度 400°C/h の条件で測定した。

Fig. 4 B-H curve versus magnetic annealing temperature relation.

Fig. 5 Anomalous anisotropy versus thermal condition of magnetic annealing relation (○, anomalous anisotropy induced by the magnetic annealing; ●, crystallization by electric resistivity measurements).

3. 結果および考察

3.1 CoNbZr 非晶質の磁気特性

Table 3 にコア材として用いた CoNbZr 膜の組成および形成直後の特性を示す。前述のとおり、DC 対向スパッタリング法で形成した CoNbZr 膜には、プラズマ収束用磁界の方向を磁化容易軸とする 1 軸異方性が付与されている。形成直後の CoNbZr 膜の磁化容易軸方向の初透磁率は 100 以下であり、困難軸方向の初透磁率 550 に比べて非常に小さい。Fig. 3 に磁化容易軸方向と平行に磁界を印加して 30 分間磁場中熱処理を施した場合の、熱処理温度と異方性磁界との関係を示す。異方性磁

Fig. 6 Initial permeability versus magnetic annealing temperature relation (○, perpendicular to the magnetic annealing field; ●, parallel to the magnetic annealing field).

Fig. 7 Frequency response of initial permeability versus magnetic annealing field direction relation.

界は熱処理温度の増加とともに減少し 460°C 近傍で最小となる。この異方性磁界の減少は磁性原子の方向性規則配列モデル⁷⁾によって説明される。

460°C 以上で熱処理した場合の磁気異方性の挙動については次のように考えられる。

Fig. 4 に示すように 370°C で熱処理を施した場合には、印加磁界方向を磁化容易軸とする 1 軸異方性が付与されているのに対して、500°C の場合には印加磁界方向に関係なく膜面内で等方的な B-H 特性を示している。この特異（等方的）な磁気異方性を示す磁場中熱処理条件の範囲は、Fig. 5 に示すように電気抵抗より求めた結晶化が始まる直前の熱処理条件の範囲にある。

この等方的な B-H 特性を示す領域は、その X 線回折像が非晶質特有のブロードなパターンを示していることから、非晶質状態である。

Fig. 6 に磁場中熱処理温度と 6 MHz の初透磁率との

Fig. 8 Kerr-effect observation of the magnetic domain structure.

Fig. 9 Estimated closure domain structure.

Fig. 10 Schematic diagram of the lower core of the head.

関係を示す。磁化困難軸方向の初透磁率は Fig. 3 の異方性磁界の変化に対応して、熱処理温度の増加とともに増大し 460°C 近傍で最大となる。一方、磁化容易軸方向の初透磁率は熱処理温度の増加とともに急激に増大し、500°C で磁化困難軸方向の初透磁率と一致する。Fig. 7 に両方向の初透磁率の周波数特性を示すが類似した特性を示す。

Fig. 11 B-H loop of the lower core by micro Kerr-effect.

Fig. 12 Magnetic domain pattern of the upper core of the head.

Fig. 13 Output level and inductance of the head *versus* magnetic annealing temperature relation.

熱処理温度の上昇による磁化容易軸方向の初透磁率の増大は、磁壁移動が容易になったことによるものと考えられる。Fig. 8 に 400°C および 450°C で磁場中熱処理した 150 μm 幅のストライプ形状の試料について、カー効果を用いて測定した磁区構造の観察結果を示す。図中、黒い部分が磁化が変化した領域に対応し、磁化変化量は黒色濃度に比例する。同図の観察結果は、Fig. 9 に示す還流磁区構造をなすものと考えられる。すなわち、中心部分は 180° 磁壁の移動を示し、周辺部分は 90° 磁壁の移動によるため黒色濃度が異なるものと考えられ

Fig. 14 Output level *versus* initial permeability relation (○, easy axis; ●, hard axis).

Fig. 15 Output level *versus* recording current relation.

る。また、黒色部分の幅は磁壁の移動範囲を示す。400℃で熱処理した試料では、ドライブ磁界 0.2 Oe で磁壁の移動領域が限定されているが、450℃で熱処理した試料では、0.2 Oe のドライブ磁界では全領域で磁壁移動が起こり、0.06 Oe で限定された範囲で磁壁移動が行われている。

これらの結果は、450℃で熱処理した試料の磁壁移動度は、400℃の試料に比べて大きいことを示すものであり、前述の初透磁率の測定磁界レベル（数 mOe）でも同様のことが考えられる。

3.2 薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの特性

薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの構成は、前述の Fig. 1 および Table 1 に示すとおりセラミック基板上の溝に形成される CoNbZr 膜の下部コアとそこにギャップ用スペーサおよびコイルをはさんで対向する上部コアが形成されている。膜厚は 20 μm である。

Fig. 10 に下部コアの磁気特性を評価した試料の概略図を示す。試料は溝が形成された基板に CoNbZr 膜を形

Fig. 16 Frequency dependence of output level.

Fig. 17 Output level *versus* cross-talk relation.

成し、その後平坦部の膜をラップ除去することによって作成した。ラップ後の初透磁率は 6 MHz で約 400 であるが、460℃の磁場中熱処理により 900 となり、前述の平坦部に形成した場合と同様の特性が得られる。Fig. 11 にマイクロカー効果を用いて測定した磁場中熱処理後の溝内の膜の B-H 曲線を示す。溝側壁部近傍では磁化容易軸方向の特性を示し、また中心部では磁化困難軸方向の特性を示すことは、前述の平坦形状試料と同様の磁区構造が形成されているものと考えられる。

Fig. 12 に上部コアのビッター法によって得られた磁区構造を示す。磁場中熱処理およびスパッタリング時の磁化印加方向は下部コアと同様トラック幅方向である。前述のストライプ形状試料と同様にトラック幅方向が磁化容易軸の磁区構造を形成している。磁場中熱処理温度が高くなると磁壁数が減少し、前述の異方性磁界および初透磁率の挙動と対応している。

Fig. 13 に薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの磁場中熱処理温度と再生出力 (7 MHz) およびインダクタンス (6 MHz) の関係を示す。再生出力、インダクタンスとも熱処理温度の増加とともに増大し、460℃で最大となる。Fig. 14 に磁化容易軸および困難軸方向の

初透磁率と再生出力との関係を示す。同図より磁化容易軸方向の初透磁率がよりヘッドの再生出力に反映されていることが分かる。

記録媒体として2"のメタル塗布型フロッピーディスク (H_0 , 1300 G; B_0 , 1800 G) を用いた場合の記録再生特性を Fig. 15 に示す。記録媒体-ヘッド速度は5.65 m/s である。4 MHz 以上の周波数において再生出力のピークが観察され、ギャップ深さが10 μ m で十分に記録されていることが分かる。再生出力のピークに対応する記録電流値(最適記録電流値)は、一般的には、周波数の増加に伴い減少する傾向にあるが、³⁾本ヘッドの場合、約30 mA とほぼ一定になっている。

Fig. 16 に各周波数の最適記録電流値で記録した場合の再生出力の周波数依存性を示す。3 MHz と10 MHz の再生出力比(C3/C10)は約10 dB で、本ヘッドは良好な周波数特性を有することが分かる。また、7 MHz の出力(C)と6 MHz のノイズ(N)で定義されるC/N比は約56 dB であり、良好なC/N比が得られている。

薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドのクロストークについては、すでに、形状を単純化した磁気回路モデルについて解析され、ヘッドコア長およびコアの透磁率に対する依存性が大きいことが明らかにされている。⁹⁾

Fig. 17 にコア形状が同一の試作ヘッドの7 MHz の再生出力とクロストークの関係を示す。再生出力の大きいヘッドがクロストークが小さく、前述の解析結果と同様の傾向を示している。

4. ま と め

ビデオフロッピー用磁気ヘッドとして良好な特性を有する薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドの開発を目的に、CoNbZr 非晶質磁性膜の磁場中熱処理による磁気特性の挙動について検討した。

磁場中熱処理温度の上昇に従い、異方性磁界は減少し、磁化容易軸および磁化困難軸方向の初透磁率は共に増大する。460°C 以上で磁気異方性が等方的に変化し、磁化困難軸方向の初透磁率は減少する。磁気ヘッドの上部コアおよび下部コアは共に、平坦な薄膜試料と同様に、磁場中熱処理により印加磁界方向(トラック幅方向)を磁化容易軸とする還流磁区構造を形成する。

磁気ヘッドの再生出力は磁化容易軸方向の初透磁率の影響をより強く受ける。

CoNbZr 非晶質磁性薄膜の磁場中熱処理(460°C)によって、良好な記録再生特性、クロストーク特性などを有する薄膜インラインデュアルギャップ磁気ヘッドが得られた。

本研究を遂行するに当たり、終始、御指導御鞭撻をいただいた、鍋山家電研究所所長、林主管研究長、野呂主管研究員に深謝致します。

文 献

- 1) 宮入, 若林, 池田, 布施, 梶田: 信学技報, MR84-12 (1984).
- 2) 山田, 斎藤, 岡田, 小西, 林: 信学技報, MR84-31 (1984).
- 3) 植村, 内藤, 渡辺, 金井: 信学技報, MR84-45 (1984).
- 4) 斎藤, 組沢, 田中, 林: 信学技報, US86-13 (1986).
- 5) 三浦, 斎藤, 新井, 田中, 小西, 岩間: 信学技報, MR86-30 (1986).
- 6) 三浦, 松原, 片橋, 小西, 岩間: 信学技報, MR87-23 (1987).
- 7) M. Miura, H. Katahashi, K. Muramori and M. Kajiyama: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-24**, 2215 (1988).
- 8) M. Miura, K. Tanaka and H. Itegami: *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 901 (1986).
- 9) M. Yamada, M. Saito, M. Miura, K. Tanaka, K. Konishi and S. Okada: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-22**, 698 (1986).

1989年10月30日受理, 1990年3月13日採録