垂直二層膜リジッドディスクの構造と特性

Fabrication and Properties of Double Layer Perpendicular Rigid Disks

堤 和彦・福市朋弘・藪下宏二・梅崎光政・菅原 宏

三菱電機材料研究所, 尼崎市塚口本町 8-1-1 (〒661)

K. Tsutsumi, T. Fukuichi, K. Yabushita, M. Umesaki and H. Sugahara

Materials & Electronic Devices Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.,
1-1, Tsukaguchi-Honmachi 8-chome, Amagasaki, 661

Perpendicular magnetic recording is promising for the achievement of higher recording density. Magnetic and crystal orientational properties of double layer rigid disks for perpendicular magnetic recording were studied. Coercive force distribution of the Mo-Cu-permalloy underlayer was investigated as a function of sputtering gas pressure. At optimum Ar gas pressure, good uniformity of coercive force distribution was obtained. Even in double layer medium, crystal orientation of the Co-Cr layer was influenced by the characteristics and thickness of the substrate surface treatment layer. Higher recording density was obtained with lower flying height and a thinner Co-Cr layer. The D_{50} recording density of 70kFRPI was achieved for a 0.15 μm thick Co-Cr layer and a 0.3 μm thick single pole type head at 0.1 μm flying height.

1. はじめに

高密度記録に本質的に適した方式として垂直磁気記録方式が, 東北大学岩崎教授により提案されて以来¹⁾, 各所においてテープ装置²⁾, フレキシブルディスク装置³⁾, リジッドディスク装置⁴⁾への応用をめざした開発が進められている。

筆者らにおいても, リジッドディスク装置の高密度化のため垂直磁気記録方式の適用をめざして, 垂直リジッドディスク媒体の開発を進めてきた⁵⁾。垂直記録の利点を十分に発揮するためには, 媒体として垂直磁気異方性膜と軟磁性膜とを組み合わせた二層膜構造を用いる必要がある⁶⁾。そこで我々は各種表面処理を施したアルミ合金基板を用いて二層膜媒体の作製を試み, 各層の作製条件と諸特性の関係について検討した。また媒体構成およびヘッド媒体間距離の記録密度特性に及ぼす影響についても検討したので報告する。

2. 実験方法

試作した垂直リジッドディスクの断面構造を Fig. 1 に示す。軟磁性層として Mo-Cu-パーマロイ, 垂直磁気異方性層として Co-Cr (20wt%Cr) を用い, 各々 8 インチ径の合金ターゲットを用いて RF スパッタ法により作製した。スパッタは基板を 15 rpm で回転させながら行った。

Fig. 1 Cross sectional structure of the double layer perpendicular rigid disk

基板として表面性を良好にするため表面処理を施した 5 1/4 インチアルミ合金を用いた。表面処理層としてアルマイト層 2 μm 厚 (アルマイト A), アルマイト層 10 μm 厚 (アルマイト B), Ni-P メッキ層 15 μm 厚, Ni-Cu-P メッキ層 10 μm 厚の 4 種類について検討した。

Mo-Cu-パーマロイ層の膜厚は 0.5 μm 一定とし, 保磁力は, 周波数 60Hz の B-H ループトレーサーにより最大 300e までの磁界を印加して測定した。飽和磁束密度は, 振動試料型磁力計 (VSM) により測定した。Co-Cr 層は, 膜厚 0.3 μm , 0.15 μm について検討し, 飽和磁束密度, 保磁力は VSM を用いて測定し, 結晶配向性については X 線回折装置を用いて評価した。

3. 結果および考察

3.1 軟磁性層の検討

芹川の報告⁷⁾によると製膜時のスパッタアルゴン圧力が、パーマロイ層の保磁力の大きさと分布に依存するとされており、我々もスパッタアルゴン圧力を 30mTorr, 3mTorr の条件で保磁力について検討した。30mTorr の場合は、基板半径方向に保磁力が不均一な分布を呈し、3mTorr の場合には、保磁力は 1Oe 以下と小さく、等方性であり、分布もほぼ基板全面にわたり均一になる。今回検討した 4 種類の基板とも同様な結果を得た。

Fig. 2 に Co-Cr 層を製膜した前後の下地パーマロイ層の保磁力分布を示す。いずれの基板においても Co-Cr 層を形成することで保磁力は増加するが、等方性であり、分布も均一に保たれている。保磁力の増加の原因は現在のところ明らかではなく、杉田ら²⁾の報告によれば、パーマロイの膜厚が 0.5 μm 以上になると、Co-Cr 層はパーマロイ層の磁気特性にほとんど影響を及ぼさなくなるとしており、今後詳細な検討が必要と考えられる。

3.2 Co-Cr 層の特性

Co-Cr 層の作製条件としては、背圧 5×10^{-7} Torr 以下、アルゴン圧力 5 m Torr, 電極間距離 60mm, スパッタパワー 300W とした。Fig. 3 に各種基板を用いた時の Co-Cr 二層膜での層の垂直方向の保磁力 $H_{c\perp}$ に対する基板温度依存性を示す。各基板とも基板温度の上昇とともに $H_{c\perp}$ は増加するが、その増加の割合は基板により異なる。このことから、軟磁性層が存在しても基板表面処理層の違いが Co-Cr 層の微細構造に影響を及ぼしていると考えられる。

Co-Cr 層の結晶配向性を検討するため、X 線回折装置により h.c.p. 構造の (002) 面のロッギング曲線の半値幅 $\Delta\theta_{50}$ を測定した。アルマイト A を用いた場合、基板温度室温で下地軟磁性層上に直接 Co-Cr 層を形成した時は $\Delta\theta_{50}$ は約 9° と大きく、垂直配向性は悪い。そこで、垂直配向性を改良するため、各所で試みられている^{2), 4), 8)} Ti 膜を非磁性中間層として検討した。Ti 層は RF スパッタ法により製膜した。X 線回折図形より (002) 面のピークが観察され、Ti 膜は C 軸配向していると考えられる。Fig. 4 にアルマイト A を用いた時の Co-Cr 層の $\Delta\theta_{50}$ の Ti 膜厚依存性を示す。Co-Cr 層製膜時の基板温度を室温とした時は、Ti 層が 50~100 Å の時に $\Delta\theta_{50}$ は最小値を示し、Ti 層が Co-Cr 層の垂直配向性改善の効果を示す。しかし Co-Cr 層製膜時の基板温度を 90°C とした時は、Ti 層がなくとも $\Delta\theta_{50}$ は 4.8° と小さくなっており、Ti 層厚が 50 Å の場合では

Fig. 2 Change of distributions of coercive force on the substrate in the case of single layer and double layer

Fig. 3 Substrate temperature dependence of coercive force $H_{c\perp}$

Fig. 4 Ti thickness dependence of $\Delta\theta_{50}$

4.3° と改善の効果を示すが、基板温度室温の場合と比べ、その改善度は小さい。Ti 層を設けることによりヘッドと媒体の軟磁性層の距離が Ti 層厚だけ離れること

をふまえて、Ti 膜非磁性中間層を設けることの得失を考えなければならないと思われる。

次に各種基板において、 H_{c1} が約 600Oe になる様に基板温度を設定して Co-Cr 層を形成した時の Ti 層の効果を検討した。結果を Fig. 5 に示す。各基板とも Ti 層が 50~100Å で $\Delta\theta_{50}$ は最小値を示すが、その値は基板により異なり、Ti 層を設けない場合と同じであり、今回の実験範囲では、Ti 層を設けても基板の表面処理層の影響を受けていると考えられる。用いた基板の表面処理層の種類と厚みが異なっているが、その表面粗度についても異なっている。この表面粗度の違いと $\Delta\theta_{50}$ の関係を検討するため、ガラス基板の表面粗度を変えて二層膜を形成し $\Delta\theta_{50}$ の比較を行った。結果を Table 1 に示す。ガラス基板の結果から R_{max} が 1 μm 以上でも $\Delta\theta_{50}$ は約 2.5° しか悪くならず、今回実験に用いた基板は R_{max} で 0.02 μm 以下であり、その範囲においては表面粗度は $\Delta\theta_{50}$ にはほとんど関係しないことがわかった。 $\Delta\theta_{50}$ の基板による違いは、表面処理層の材質とその厚みによるものと考えられる。これらの結果から二層膜媒体においても Co-Cr 層の特性は基板の表面処理層に影響されることが考えられ、今回検討した基板の中ではアルマイト A が最も良好な特性を得ることができた。

3.3 記録密度特性

以上の検討をもとに試作した二層膜リジッドディスクと垂直ヘッド⁹⁾を組み合わせ記録密度特性を検討した。ディスクはアルマイト A 基板を用いた。軟磁性層は膜厚 0.5 μm 、飽和磁束密度 5500G であり、Co-Cr 層は $H_{c||}$ 約 200Oe、 $H_{c\perp}$ 約 600Oe、飽和磁束密度 5000G である。ヘッドは主磁極に Co-Zr-Nb 膜を用い、飽和磁束密度 14000G、比透磁率 3000、主磁極厚 0.3 μm 、主磁極深さ 10 μm 、トラック幅 45 μm 、コイルはスパイラル状で 19 ターンとし、浮上スライダに搭載したものである。

Fig. 6 に Ti 層を 100Å 設けたディスクと Ti 層を設けていないディスクを作製し比較した結果を示す。再生出力は Ti 層を設けていない方がわずかに大きく、再生出力の値が低域での半分になる記録密度 D_{50} についても Ti 層を設けていない方が若干大きい。今回の実験条件では、Ti 層を設けることで Co-Cr 層の結晶配向性 $\Delta\theta_{50}$ の若干の改善があったが、再生出力、 D_{50} とも Ti 層を設けていない方が良好な結果が得られた。この原因は小林¹⁰⁾により報告されている様に、ヘッドの主磁極と下地軟磁性層の距離が Ti 層の厚み分だけ近づき、ヘッド磁界分布が急峻になるためと予想される。

$\Delta\theta_{50}$ と D_{50} の関係については本多ら¹¹⁾の報告によると

Fig. 5 Ti thickness dependence of $\Delta\theta_{50}$ at $H_{c\perp} = 600$ Oe

Table 1 Dependence of $\Delta\theta_{50}$ on several kinds of substrates

Substrate	Roughness R_{max} (μm)	$\Delta\theta_{50}$ (deg.)
Glass A	<0.005	6.0
Glass B	0.005~0.01	6.2
Glass C	>1.0	8.5
Alumite A	0.005~0.01	4.8
Alumite B	0.015~0.02	7.3
Ni-P	0.01~0.015	5.8

Fig. 6 Recording density dependence of output voltage

$\Delta\theta_{50}$ が 6° 以下のとき安定して高記録密度が得られるとしており、今回の実験結果ではアルマイト A 基板を用いて基板温度 90°C で Co-Cr 層を形成した時には、Ti 層を設けなくとも $\Delta\theta_{50}$ は 5° 以下であり、非磁性中間層は必要ないと思われる。

ヘッド媒体間距離が D_{50} に及ぼす影響を Fig. 7 に示す。ヘッド媒体間距離はディスク回転数を変化させることにより変えた。ディスク速度 15m/s の時、ヘッド媒

Fig. 7 Flying height dependence of recording density

体間距離は $0.15\mu\text{m}$ である。Co-Cr 層の厚さが $0.3\mu\text{m}$ と $0.15\mu\text{m}$ のディスクを用い、Ti 層は設けていない。ヘッド媒体間距離が小さくなると D_{50} は向上し、特にヘッド媒体間距離が $0.15\mu\text{m}$ 以下になると、Co-Cr 層厚が $0.3\mu\text{m}$ よりも $0.15\mu\text{m}$ の方が向上している。この結果は戸田⁴⁾により示された結果と一致しているが、ヘッド媒体間距離が $0.15\mu\text{m}$ 以下である場合に、より顕著であることがわかった。この結果より高記録密度を達成するためには、Co-Cr 層の膜厚を薄くするばかりでなく、安定にヘッドを浮動させることが可能な範囲でヘッド媒体間距離を小さくする必要があると考えられる。Fig. 9 にヘッド媒体間距離 $0.1\mu\text{m}$ 、Co-Cr 層厚 $0.15\mu\text{m}$ のディスクでの記録密度特性を示す。 D_{50} として 70kFRPI という優れた値が得られた。

4. ま と め

リジッドディスク装置への垂直磁気記録方式の適用をめざして垂直二層膜リジッドディスクの試作検討を行い以下の結果を得た。

- (1) 軟磁性層としての Mo-Cu-パーマロイ層の保磁力分布は、スパッタアルゴン圧力を選ぶことにより均一となる。
- (2) Co-Cr 層の垂直配向性は二層膜構造においても、基板の表面処理層の材質とその厚みに影響される。
- (3) 今回の実験範囲では Ti 中間層を設けない方が良好な記録密度特性が得られた。
- (4) 高記録密度を達成するためには Co-Cr 層の膜厚を薄くするとともに、ヘッド媒体間距離をできる限り小

Fig. 8 Recording density dependence of output voltage

さくすることが必要である。Co-Cr 層厚 $0.15\mu\text{m}$ のディスクと主磁極厚 $0.3\mu\text{m}$ のヘッドを用いて、ヘッド媒体間距離 $0.1\mu\text{m}$ とした時、 D_{50} として 70kFRPI の高い記録密度が得られた。

最後に本研究を遂行することにあたり、ご協力いただいた当社関係各位に感謝いたします。

文 献

- 1) S. Iwasaki and Y. Nakamura: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-13**, 1272 (1977).
- 2) 杉田, 東間, 本田, 南部, 坂本: 信学技報MR84-51, 31 (1985).
- 3) 松田, 古谷, 中山: 昭 58 信学会半導体, 材料部門全大 57 (1983).
- 4) 戸田, 山本, 高木, 岩間, 小林: 日本応用磁気学会誌, **9**(2), 87 (1985).
- 5) 福市, 堤, 藪下, 梅崎, 菅原: 第 32 回応用物理学関係連合講演会概要集, 358 (1985).
- 6) S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-20**, 657 (1984).
- 7) 芹川: 応用物理 第 45 巻, 第 5 号, 397(15), (1976).
- 8) 田中: 第 7 回日本応用磁気学会学術講演 概要集, 8 (1983).
- 9) 坂田, 田辺, 尾関: 第 9 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 278 (1985).
- 10) 小林: 応用磁気セミナー「垂直磁気記録方式」95 (1985).
- 11) 本多, 二本, 吉田, 上坂, 城石, 柿林: 電子通信学会論文誌 **J69-C**, No. 1, 85 (1986).

1985 年 12 月 25 日受理, 1986 年 2 月 27 日採録