スピバルブヘッド用 CrMnPt 反強磁性膜の開発

濱川佳弘^{*1)} 星屋裕之^{*2)} 添谷 進^{*2)}
田所 茂^{*3)} 福井 宏^{**}

1. 開発の背景

1991年 Dieny らによって報告されたスピバルブヘッドは、磁気ディスク装置の高記録密度化を実現するためのキーデバイスとして精力的な研究開発が行われ、すでに磁気ディスク装置への搭載が始まっている⁽¹⁾。スピバルブ膜は、非磁性導電膜を2つの強磁性膜で挟んだサンドイッチ構造をしており、2つの強磁性膜の磁化のなす角度が変化することによって抵抗変化が生じるものである。したがって、基準となる磁化を固定する必要がある。そのために、強磁性膜の一方に反強磁性膜を接して形成し、その時に生じる反強磁性膜からの交換結合磁界を利用している。この磁化の固定が不十分であると、ヘッドの安定動作が保証できなくなることから、スピバルブヘッドの実用化にあたっては、反強磁性膜の開発が最重要課題であった。スピバルブヘッド用反強磁性膜として要求される諸特性は以下の通りである。

- (1) 動作温度における交換結合磁界 H_{UA} が大きいこと
  - (2) ブロッキング温度 (H_{UA} が消失する温度) が高いこと
  - (3) 高い電気抵抗を有していること
  - (4) 耐食性に優れていること
  - (5) 薄膜でも上記特性が得られること
  - (6) 上記特性を得るために必要な熱処理時間が低いこと
- スピバルブヘッドの開発当初、反強磁性膜としては、FeMn, NiO, NiMn などが知られていた。しかし、それら

は、それぞれ一長一短があり、すべての条件を満足する反強磁性膜は存在しなかった⁽²⁾。

我々は、耐食性の観点から Cr 系合金に着目して探索を進め、CrMnPt 反強磁性膜を開発した。さらに、CrMnPt 反強磁性膜をスピバルブ膜に適用し、そのヘッド化に成功したので、以下に概要を報告する。

2. 開発の経緯

(1) 添加元素の検討

CrMn 合金は、体心立方構造を有する不規則系の反強磁性体として知られており、耐食性に優れていること、高いネール温度を有することから、スピバルブヘッド用反強磁性膜としてのポテンシャルがあるものと考えられる。そこで我々は、Cr₅₀Mn₅₀ 合金膜を選定し、第3添加元素による H_{UA} 増大の検討を行った。図1に、CrMnMx/Ni₈₁Fe₁₉ 膜 (Mx: 添加元素) の H_{UA} の添加元素依存性を示す。膜は高周波マグネトロンスパッタ装置で形成した。添加元素が Pt, Pd, Rh,

図1 CrMnMx/Ni₈₁Fe₁₉ 膜の交換結合磁界 H_{UA} の添加元素依存性。

* 株式会社日立製作所
中央研究室: 1)主任研究員 2)研究員
3)ストレージシステム事業部: 技師

** 株式会社日立金属磁性材料研究所主管研究員
Yoshihiro Hamakawa*, Hiroyuki Hoshiya*, Susumu Soeya*,
Shigeru Tadokoro*, Hiroshi Fukui** (*Hitachi, Ltd. **Hitachi
Metal, Ltd)
1998年11月11日受理

Cu の場合、 H_{UA} は数 at% の添加で最大値をとり、無添加の場合の約 2.0～2.8 倍に増大した。一方、Ir 添加の場合、添加とともに急激に H_{UA} は減少した。これは、常磁性を示す σ 相が混在したためである。このように、CrMn 系合金膜は、Pt, Pd, Rh, Cu の添加により H_{UA} が増大できることがわかった⁽³⁾。

(2) 熱処理による特性改善

さらに H_{UA} を増大させるために、磁界中での熱処理を試みた。図 2 に、 $Cr_{45}Mn_{45}Pt_{10}$ (以下 CrMnPt) 反強磁性膜と強磁性膜に $Ni_{81}Fe_{19}$ (以下 NiFe), Co 膜を用いた 2 層膜の交換異方性エネルギー J_K の熱処理温度依存性を示す。熱処理時間は 3 h である。ここで、 J_K は、強磁性膜の飽和磁化 M_S 、膜厚 t と交換結合磁界 H_{UA} の積であり、 H_{UA} に比例する量である。CrMnPt/NiFe 膜の J_K は、熱処理温度が 453 K 以上での増大はわずかであるが、CrMnPt/Co 膜の場合は、453 K 以上の熱処理で急激に J_K が増大し、503 K で飽和に達している。熱処理による CrMnPt/Co 膜の J_K の増大は、その熱処理温度が NiMn 合金よりも低いことから、規則相の形成によるものではないものと考えられる。

そこで、熱処理による CrMnPt/Co 膜の J_K の増大の原因を調べる目的で、CrMnPt(NiFe, Co) 膜の J_K と CrMnPt の歪み ε の関係について調べた(図 3)⁽⁴⁾。ここで、CrMnPt 反強磁性膜の歪み ε は、式(1)により計算して求めた。

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{H_{101}^2 - (H_{110}/2)^2}}{H_{110} \cos 30^\circ} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで H_{110} , H_{101} は、それぞれ CrMnPt 膜の(110)面の面間隔 d_{110} , (101)面の面間隔 d_{101} の逆数である。 d_{110} , d_{101} は X 線回折により測定した。簡単な幾何学的考察より、歪み ε は、体心立方構造からのずれをあらわすパラメータと考えられる⁽⁵⁾。図 3 に見られるように、製膜後の CrMnPt 膜の ε は、0% ではない。これは、製膜後の CrMnPt 膜でさえ、体心立方構造から少し歪んでいることを意味している。また、熱処理後の ε は増大しており、CrMnPt/NiFe 膜よりも、

図 2 CrMnPt/(NiFe, Co)膜の交換異方性エネルギー J_K の熱処理温度依存性。

図 3 CrMnPt/(NiFe, Co)膜の交換異方性エネルギー J_K と CrMnPt 膜の歪み ε との関係。

CrMnPt/Co 膜の ε の方が大きい。さらに J_K は、強磁性膜の種類に関わらず、 ε に比例して増大している。以上のことから、CrMnPt 反強磁性膜の H_{UA} の増大は、熱処理による結晶格子の歪みによって格子の対称性が崩れ、反強磁性膜の結晶磁気異方性が大きくなったためであると考えている。このように、CrMnPt 反強磁性膜では、Co 膜を接して形成し、473～523 K の比較的低い温度の熱処理を施すことによって J_K (従って H_{UA}) が増大することを明らかにした。

(3) CrMnPt 反強磁性膜の諸特性

表 1 に、CrMnPt 反強磁性膜の諸特性を FeMn, NiO, NiMn と比較して示す。表中には、スピバルブ用反強磁性膜として要求される仕様値を示す。表に示すように、CrMnPt 反強磁性膜は、スピバルブヘッド用反強磁性膜として要求されるすべての条件を満足していることがわかる。

(4) スピバルブ膜への適用

次に CrMnPt 反強磁性膜を用いたスピバルブ膜の検討を行った。図 4 に、503 K, 1 h の熱処理を施した CrMnPt スピバルブ膜の磁気抵抗曲線を示す。膜構成は、Ta(5)/NiFe(5)/Co(1)/Cu(2)/Co(3)/CrMnPt(30)/Ta(5) (膜厚 :

表 1 反強磁性膜の諸特性。

項目	目標仕様	CrMnPt	FeMn	NiO	NiMn
結合磁界 H_{UA}^* (at 373 K) (kA/m)	≥ 16	23.2	8	12	32
ブロッキング温度 (K)	≥ 523	593	423	503	673
電気抵抗率 $\mu\Omega m$	≥ 2	3.2	1.5	10^3	1.7
最小膜厚 (nm)	≤ 20	20	7	20	20
必要熱処理温度 (K)	≤ 503	473	無	無	523
耐食性	NiFe 並	◎	×	◎	○

* Co 3 nm 相当

図4 CrMnPt 反強磁性膜を用いたスピバルブ膜の磁気抵抗曲線。

nm)である。スピバルブ膜の固定層には、前述したように H_{UA} 増大，ならびに磁気抵抗変化率増大の観点から，Co 膜を用いている。 H_{UA} の値は 25.6 kA/m (320 Oe) と大きく，抵抗変化率は 6.7% と高かった。これは，CrMnPt 反強磁性膜が，503 K, 1 h という比較的低温短時間の熱処理によって大きな H_{UA} が得られるため，GMR (Giant Magnetoresistive) 効果の劣化を起こすことなくスピバルブ特性が得られるためである⁽⁶⁾。

3. 開発の成果

我々は，今回開発した CrMnPt 反強磁性膜を用いたスピバルブヘッドを試作し，再生特性の評価を行った。図 5 には，試作したスピバルブヘッドの構造と，摺動面側から見た試作ヘッドの SEM 像を示す。スピバルブ膜構成は，Ta (5) / NiFe (5) / Co (1) / Cu (2.5) / Co (3) / CrMnPt (30) / Ta (3) (膜厚：nm) である。再生ヘッドのトラック幅は 1.0 μm ，素子高さは 0.9 μm ，記録ヘッドのトラック幅は 1.3 μm である。CoCrPt-ZrO₂ 永久磁石により，スピバルブ膜の磁区制御を行っている。また，下部シールドには CoNbZr 非晶質膜，上部シールドにはパーマロイ膜を使用し，再生ギャップ長は，0.18 μm である。

図 6 に，本試作ヘッドで測定した再生波形を示している。再生特性の測定は，保磁力 168 kA/m (2100 Oe)， $4\pi M_f \cdot t$: 77 G μm (M_f は残留磁化， t は膜厚) の Co 系スパッタ媒体を用い，ヘッド媒体間の磁気スペーシングは 62 nm，センス電流は 7 mA，線記録密度は 135 kFCI で行った。単位トラックあたりの感度は，800~1000 $\mu\text{V}/\mu\text{m}$ であった。この感度は，現在の商用 MR (Magnetoresistive) ヘッドの 2 倍から 3 倍の感度を示した。また，再生波形には，バルクハウゼンノイズは認められず，バイアス状態も良好なものであった⁽⁴⁾。なお，CrMnPt 反強磁性膜を用いたスピバルブヘッドは，現在 4 Gb/in² 磁気ディスク装置に搭載され，すでに製品化されている。

図5 試作したスピバルブヘッド。

図6 試作ヘッドの再生波形。

4. 特 許

本開発に直接関わる特許としては，特開平8-102417，特開平9-231525，特開平10-222815などを出願中である。

5. 謝 辞

本反強磁性膜を用いたスピバルブヘッドの試作にあたっては，日立製作所中央研究所ストレージ研究部ならびに日立製作所ストレージシステム事業部の皆様方の御協力に，感謝致します。

文 献

- (1) B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, D. R. Wilholt and D. Marui: Phys. Rev. B, **43** (1991), 1297.
- (2) 日本応用磁気学会編：第99回研究会資料，(1997)。
- (3) S. Soeya, H. Hoshiya, R. Arai and M. Fuyama: J. Appl. Phys., **81** (1997), No. 9, 6488.
- (4) Y. Hamakawa, M. Komuro, K. Watanabe, H. Hoshiya, T. Okada, K. Nakamoto, Y. Suzuki, M. Fuyama and H. Fukui: IEEE Trans. Mag., to be published, (1999).
- (5) S. Soeya, H. Hoshiya, K. Meguro and H. Fuyama: Appl. Phys. Lett., **71** (1997), No. 23, 3424.
- (6) 小室又洋，星屋裕之，川戸良昭，中本一広，目黒賢一，岡田智弘，濱川佳弘，府山盛明，福井 宏，杉田 愼：日本応用磁気学会誌，**22** (1998)，509。