

# 長手磁気記録用磁性層技術

柏倉 良晴(かしわくら よしはる)

松尾 壮太(まつお そうた)

安宍 善史(あじし よしふみ)

## 1 まえがき

現在、富士電機で生産している主要な磁気記録媒体は、記録ビットの磁化の向きが基板面内円周方向を向いている長手記録方式の磁気記録媒体である。富士電機では2000年夏に面記録密度 15 G ビット/in<sup>2</sup> の長手磁気記録媒体を市場にリリースした。その10か月後の2001年6月には、世界に先駆けて面記録密度 30 G ビット/in<sup>2</sup> に対応する磁気記録媒体の生産を開始した。10か月の間に記録密度は倍になり、記録ビットの長さ(ビット長)はおよそ 65 nm から 45 nm と約 30%縮小された。研究レベルでは 100 G ビット/in<sup>2</sup> を超えるものが発表されており、2003年中にも実用化が予想されている。

加速度的に微小化されていく記録ビットを安定して形成するために、富士電機では各製造工程においてさまざまな技術開発を行っている。本稿ではそのうち、磁性記録層成膜工程にかかわる磁性成膜技術について紹介するとともに、現在に至る磁気記録媒体の技術動向の話題を中心に、将来の超 100 G ビット/in<sup>2</sup> に向けた次世代技術を併せて述べる。

## 2 磁気記録媒体の構成

磁気記録媒体の構成は、対象とする記録密度、使用目的に応じて変遷している。その目的は、次の技術課題を解決するためである。

- (1) Co 結晶粒径を微細にする。
- (2) Co 結晶粒の磁氣的孤立を促進する。
- (3) 結晶配向性を向上させる。
- (4) 熱的安定性を確保する。

以下にこれらを解決するための磁性成膜技術を説明する。

### 2.1 磁気記録媒体の基本構成

図1に磁気記録媒体の基本層構成を示す。磁気記録媒体は、非磁性的円盤状基板の上に、磁気記録信号が書き込まれる磁性記録層と、磁気ヘッドとのしゅう動から磁性記録層を保護する保護層とが成膜された積層構造になっている。

これに磁性記録層の結晶方位を制御して磁氣的な配向を基板面内方向に向かせるための下地層や、結晶欠陥を低減するための中間層などを適宜組み合わせることで、より高い記録密度に対応できるように工夫されている。保護層の表面にはさらに潤滑剤が塗布され、磁気ヘッドとのしゅう動特性を高めている。これらの薄膜は、それぞれ数~十数 nm の膜厚に成膜される。成膜方法には、極薄膜で高機能、高品質の薄膜が得られるスパッタ法、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法が採用される。

磁性記録層は強磁性体である Co を主とし、これに Cr が添加された合金磁性薄膜である。磁性薄膜の微細構造は、図2に示すような微小 Co 結晶粒子の集合体である。一つ一つの Co 結晶粒子は、Co を主体とする粒中央部分と、周囲に Cr が偏析した結晶粒界とからなる偏析構造になっている。偏析構造をとることにより、隣り合う Co 結晶粒子同士は互いに磁氣的な影響を受けないようになる(すなわち、磁氣的に孤立している)。安定した記録ビットを形成するためには、Co 粒子間の磁氣的な孤立性を高めることが必要である。また微細な記録ビットを形成するためには、これを形成する Co 磁性粒子の微細化と粒径の均一化が必要である。30 G ビット/in<sup>2</sup> レベルの磁気記録媒体では1ビット長あたりの結晶粒子数は5,6個である。一つ一つの結晶粒子の微細構造を制御しなければ、全体として記録密度を向上させることはできない。微細結晶構造制御技術は、今後ますます重要になっていく。

図1 磁気記録媒体の基本層構成



柏倉 良晴

磁気記録媒体の次世代磁性記録層成膜技術開発に従事。現在、富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部担当課長。



松尾 壮太

磁気記録媒体の設計、磁性層の開発に従事。現在、富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部課長。



安宍 善史

磁気記録媒体の次世代磁性記録層成膜技術開発に従事。現在、富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部。博士(工学)、日本応用磁気学会会員。

2.2 磁気記録層組成

磁気記録層の組成は、一般には Co-Cr に目的に応じて Ta, Pt, B などが添加された多元系合金が使用されている。例えば Co-Cr に Ta が添加された合金では、Co 合金中の Cr がより積極的に粒界偏析を行い、磁氣的孤立化が高められる。結晶粒径を微細化するためにも、元素の添加は有効である。一例として、磁気記録層に B を添加したときの B 添加量と Co 結晶粒径の関係を図 3 に示す。B 添加量の増加に伴い、Co 結晶粒径が微細化されていることが分かる。かつては設計の容易さと技術的障壁がそれほど高くないことから三元系合金が主流であったが、より高い機能が求められる最近の磁気記録層では、さらに多元系化された四元系、五元系合金が使用されている。多元化を行う際には、組成バランスを考慮することが重要である。例えば、互いに反応し金属間化合物を形成する二つの元素を同時に多量に添加すると、元素添加の効果が得られない。また過剰に元素を添加して Co が希釈されると、「熱ゆらぎ」問題が顕在化する。熱ゆらぎとは、一度書き込まれた磁気記録信号が周囲の熱の影響で減衰し消失してしまう現象である。その対策には、Co の含有量をある程度以上に維持して飽和磁化  $M_s$  を高める、Pt 添加量を増やして磁気異方性を高めるなどの手法が採られる。磁気記録層の組成設計は今後ますます複雑かつ重要になっていく。

図 2 磁気記録層の平面 TEM 像

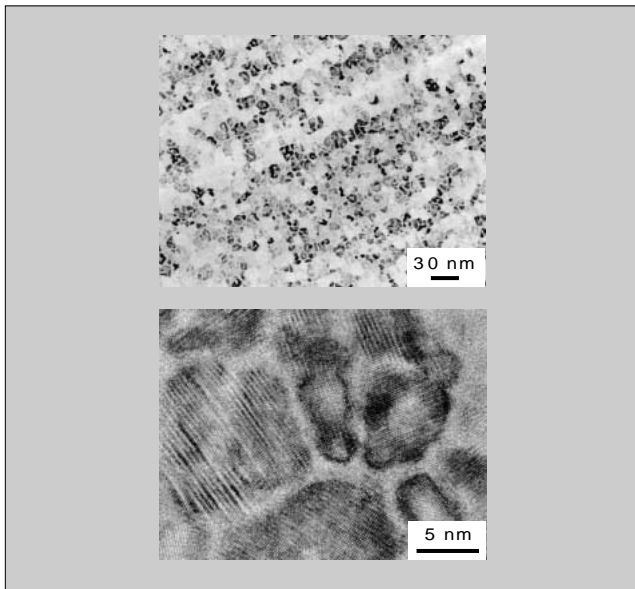
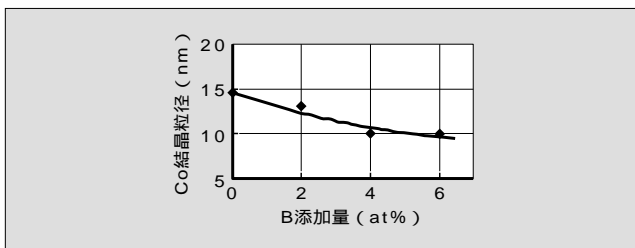


図 3 B 添加量と Co 結晶粒径の関係



2.3 磁気記録媒体層構成

図 4 に磁気記録媒体層構成の変遷の一例を示す。磁気記録層組成が多層化されているのに類似して、高記録密度化に伴い、層構造はより多層化されてきている。その目的は、複数の機能を並立させることにある。

磁気記録層の積層化について、一例を挙げる。磁氣的孤立性は弱いが微細な結晶構造を持ち熱安定性に優れた磁性記録層と、熱安定性に劣るが磁氣的孤立化を高めた磁性記録層を所定の順番で積層する。すると、磁氣的孤立化、微細結晶粒径、熱安定性を併せ持つ磁気記録層が得られる。

図 5 に磁気記録層を適宜積層化したときの磁気特性を示す。積層化された磁性記録層媒体は、両磁性記録層の平均値以上の保磁力を示す。この例のように積層する磁性記録層の組成と積層する順番を適宜選択することにより、より優れた特性のみを選択的に併せ持つ磁性記録層を得ることが可能になる。

結晶配向性を制御して記録密度を向上させるため、下地層に対しても多層化が利用されている。2.1 節で説明したように、Cr 下地層は磁性記録層の磁氣的な配向を基板面内に制御する役割を持っている。これは Cr 下地層の (200) 面上に Co 記録層の (110) 面がエピタキシャル成長することによって Co 記録層の c 軸が基板面内に配向することに起因している (図 6)。下地層が十分に機能を発揮するためには、

- (1) 下地層自身の (200) 結晶配向性が高いこと。
  - (2) 磁性記録層との結晶格子間隔整合性が高いこと。
- が要求される。Cr 系下地層の場合、純 Cr の結晶配向性が高いことが知られている。しかし、純 Cr の結晶格子間隔

図 4 磁気記録媒体層構成の変遷

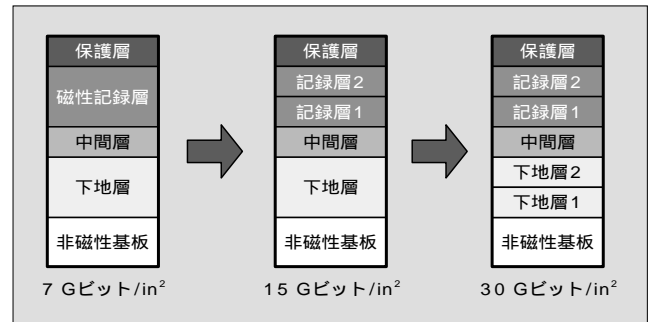
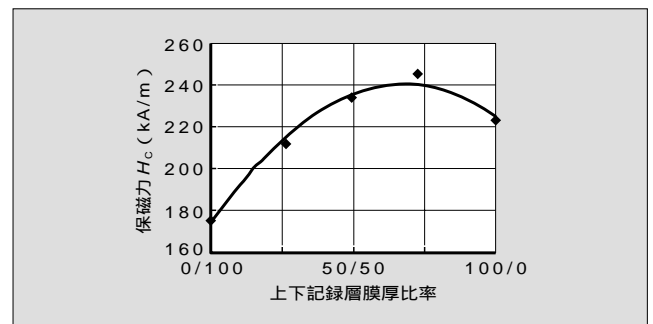


図 5 記録層の二層化による磁気特性変化



は現在主流の多元化された磁性記録層には狭すぎるため、磁性記録層とのエピタキシャル成長性が著しく悪い。これに対して、CrにCrよりも金属結合半径が大きいMo、<sup>(1)</sup>W、Tiなどを添加したCr合金では、結晶格子間隔が広がり、エピタキシャル成長性が良好になる。そこで純Crの結晶配向性とCr合金の格子整合性を両立させるため、両下地層の積層構造が採用されている。純CrとCr合金を適宜積層成膜することにより、配向性とエピタキシャル成長性の両立が可能となる。

2.4 次世代媒体構成

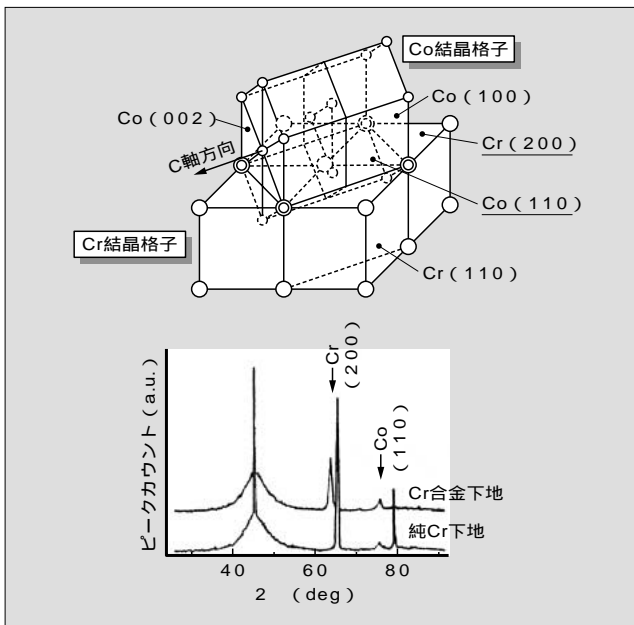
現行の30Gビット/in<sup>2</sup>を超え、100Gビット/in<sup>2</sup>以上を実現するためには、熱ゆらぎ問題の解決が必要不可欠である。これは媒体磁性成膜技術最大の課題である。

熱ゆらぎに対する強さ(熱安定性)を示す指標として、 $K_u \times V_{act} / (k_B \times T)$  が用いられる。ここで、 $K_u$  は一軸異方性定数、 $V_{act}$  は活性化体積と呼ばれ近似的にはCo磁性粒子の体積、 $k_B$  はボルツマン定数、 $T$  は温度である。高記録密度化にはCo磁性粒子の粒径微細化が必要であり、そのため  $V_{act}$  はより小さな値が望ましい。しかし、 $V_{act}$  が低下すると、熱安定性が劣化してしまう。また、記録ビットの微小化自体も熱ゆらぎを助長する方向であり、高記録密度化を進めると熱安定性が劣化することになる。

結晶粒径と記録ビットを微細化しながら  $V_{act}$  を維持するためには、磁性記録層膜厚を厚くする方法が考えられる。しかし、磁性記録層は媒体ノイズ源でもあり、また厚い磁性記録層では磁気ヘッドからの記録信号の書込みが不完全になる。よってR/W(Read/Write)特性を考えると磁性記録層膜厚はより薄いことが好ましい。

R/W特性を維持しながら熱ゆらぎを対策し次世代の高記録密度化に対応する新技術として、反強磁性結合(AFC: Anti-Ferromagnetic Coupling)を利用した磁気記

図6 エピタキシャル成長膜式図とXRDパターン



録媒体が有望視されている。富士電機においてもこれを「AFC媒体」と呼称し、60Gビット/in<sup>2</sup>以降の磁気記録媒体として研究開発を行っている。

図7にAFC媒体の層構成を示す。AFC媒体の特徴は、安定化層と呼ばれる磁性薄膜層と1nm以下のごく薄いスペーシング層が設けられている点である。このような層構造を持つAFC媒体の磁化の様子を図8に示す。外部磁場が印加され磁氣的に飽和した状態では、磁性記録層、安定化層ともに外部磁場と同じ方向に磁化されている。この状態から外部磁場を減少させていくと、AFC媒体では、外部磁場  $H_{ex}$  が0になる手前で反強磁性結合状態が生じる。このとき磁気記録層の磁化は外部磁場と同じ方向を向いているが、安定化層の磁化はそれと反対の方向を向く。そのためB-Hループ上に段差が生じる。磁気記録信号が書き込まれた状態に相当する  $H_{ex} = 0$  のときも、反強磁性結合状態が維持されている。AFC媒体では、R/Wに寄与する磁性記録層膜厚は、磁性記録層膜厚全体から安定化層によって磁化がキャンセルされた膜厚を差し引いたものに等しい。一方、熱安定性は磁性記録層膜厚全体として確保される。このことからAFC媒体は熱安定性の向上とR/W特性の確保を両立することが可能となる。

AFC媒体は、熱ゆらぎを改善するための重要な技術である。その一方でAFC媒体の効果を十分に発揮させるためには、書込み能力に優れた磁気ヘッドとの組合せが必要

図7 AFC媒体の層構成例

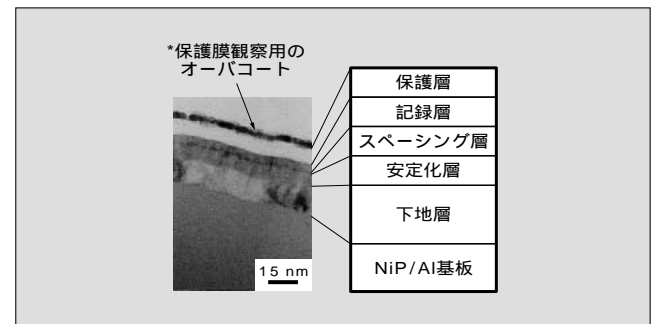
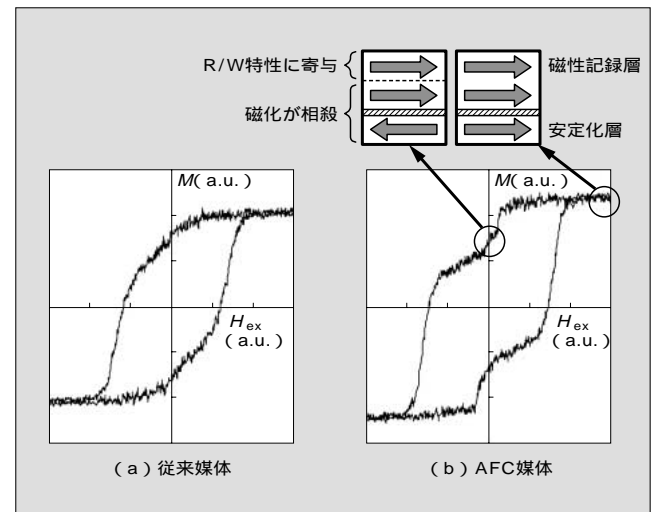


図8 AFC媒体のM-Hループ



であり、今後の AFC 媒体開発課題の一つである。

### ③ 成膜プロセス技術

媒体層構成設計とともに、成膜プロセス技術の高度化もまた、高記録密度媒体製造において重要である。

微細結晶構造中の欠陥を極力減少させるため、真空技術の高度化が重要である。真空排気系の強化により高い真空度を獲得するとともに、真空の質を上げるために水分を除去するためのコールドトラップやゲッタポンプが真空装置内適所に配置されている。また成膜される材料やプロセスに応じて、真空ポンプ種が適宜選択されている。

スパッタ成膜、CVD 成膜ともにプラズマ制御技術が必要不可欠である。プラズマ制御用マグネットの形状、漏れ磁束強度などを最適化することにより、プラズマの密度・分布を制御し、磁気記録媒体面内の特性品質均一化が図られている。また、基板を保持するホルダには、基板周囲のプラズマ分布がより均一化されるような形状が適用されている。

そのほか成膜ガス圧、成膜時基板温度、基板へのバイアス印加などさまざまな成膜プロセス技術を駆使することにより、微細構造を制御し、優れた特性を有する磁気記録媒体の生産が可能となる。

### ④ 基板表面加工技術

磁気記録媒体の基板表面の性質は、磁気記録媒体の特性に大きな影響を与える。

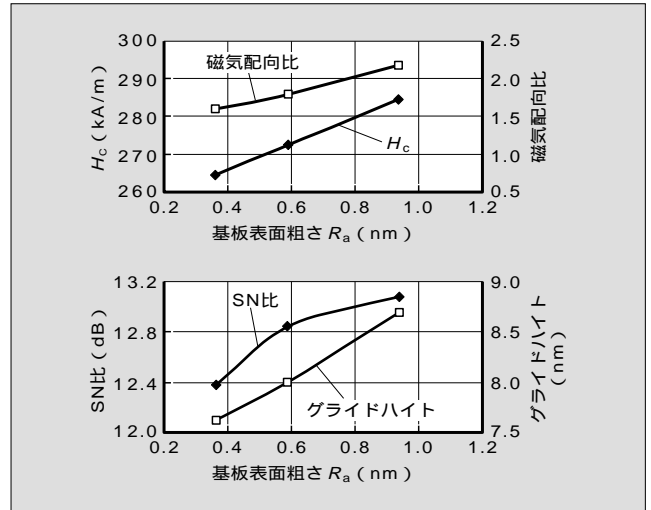
現在主流の長手記録方式媒体用基板は、Al 母材に NiP めっきが施されたものである。その表面には、テクスチャと呼ばれる基板円周方向の微小凹凸が形成されている。テクスチャを形成する主な目的は、次の二つである。

- (1) 磁気記録媒体と磁気ヘッドの吸着を抑制する。
- (2) 基板円周方向に磁化の方向を配向させる。

このうち後者の機能は、磁性層技術に大きくかわるものである。

長手記録方式の磁気記録媒体では、磁化の方位（磁化がそりやすい方向）が基板円周方向に配向していることが好ましい。テクスチャの存在は薄膜結晶中にテクスチャにそった膜応力を発生させるため、磁化の方位が基板円周方向に配向する。配向の度合いは、テクスチャの形状に大きく左右される。その一例として、基板表面の平均粗さ ( $R_a$ ) と各種媒体特性の関係を図 9 に示す。すべて同一の成膜条件で同一の層構成を成膜しているにもかかわらず、 $R_a$  が変わることによって各種特性値が変動している。 $R_a$  が大きくなるほど、保磁力が大きくなり、磁気配向比 OR (基板円

図 9 基板表面粗さによる諸特性変化



周方向と半径方向の磁化の比率)が高く、SN 比特性（出力信号とノイズの比）に優れることから、磁性技術の立場から見れば  $R_a$  はより大きいことが好ましい。しかし、磁気記録媒体表面と磁気ヘッドとの空けきを表す指標であるガイドハイトは  $R_a$  が大きくなるに従ってより大きな値となっている。記録密度向上のためにはガイドハイトをより小さな値にする必要があるため、 $R_a$  はより小さな値が望まれることになる。

このように表面品質技術は、磁性技術と密接に関係している。将来の高記録密度化に対応するため、富士電機では基板表面加工技術の高度化、基板表面洗浄技術の高度化に取り組んでいる。

### ⑤ あとがき

以上、長手記録方式の磁気記録媒体について、磁性層成膜技術の開発状況を紹介した。長手記録方式は、その技術的な限界が議論されている。一方、次世代記録方式として期待されている垂直記録方式はまだ開発途上にあり、市場投入には今しばらく時間を要する。AV (Audio-Visual) 用途などストレージ技術利用分野が拡大する中、ハードディスク装置 (HDD) 業界発展のためには長手記録媒体の技術開発は、むしろ重要度を増しているといえる。富士電機においても、長手記録媒体の技術改善に貢献すべく、努力を継続していく所存である。

#### 参考文献

- (1) 久保木孔之ほか、CrW 下地構造の CoCrTaPt 膜成長へ与える影響。日本応用磁気学会誌。vol.24, no.4-2, 2000, p.295-298.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。