

クリーン化技術と次世代磁気ハードディスク

東北大学工学部電子工学科 高橋 研

High Coercive Force and Low Intergranular Coupling in Thin Film Media Fabricated Under Ultra Clean Sputtering Process

Migaku Takahashi

Dept. of Electronic Engng.,

Faculty of Engng., Tohoku University

Abstract

Ultra clean sputtering process(UC-process) was newly introduced in the fabrication of $\text{Co}_{62.5}\text{Ni}_{30}\text{Cr}_{7.5}$ and $\text{Co}_{85.5}\text{Cr}_{10.5}\text{Ta}_4$ thin film media to establish the new concept in controlling microstructure. By applying the UC-process, drastically high H_c values up to 3 kOe were realized without the decrement of saturation magnetization in the both kinds of media. Magnetic torque analysis has revealed that magnetocrystalline anisotropy field of grains H_k^{grain} is about 20 ~50% larger than that in the normal processed media, which is one of the dominant factor to realize high H_c . The realization of large H_k^{grain} was found to be mainly caused by the decrease of Cr content in grains. The enhancement of homogeneously segregated grain boundary structure, which corresponds to the decrease of intergranular exchange coupling, was also found to induce high H_c in these media. Realized low intergranular coupling induced the excellently low media noise even in the CoNiCr media. The UC-process is concluded to be a key essential technology to fabricate the high density thin film recording media.

1. はじめに

近年の急速な情報高密度化の進展にともない磁気記憶装置には、ハードウェアとしてのハードディスクおよび信号の読み書きに必要なとされる磁気ヘッド、また、高精度の狭トラッキングとその制御技術、パーシャルレスポンスなどの信号処理技術をも含めた、総合的な基盤技術の確立が要求されている。特に、メモリの根幹をなす磁気ハードディスクは、信号の読み書きに必要な磁気ヘッドとならび記憶装置のハードウ

エアとして非常に重要である。

ハードディスクの歴史的経緯を振り返ると、高密度化への歩みは、ハードディスクに用いる薄膜磁気記録媒体の保持力 H_c 、ならびに磁化曲線の角型性との格闘であったと巨視的には言えるものである。このような観点から、今までの高密度化にともなう典型的な材料とその H_c の変遷を眺めた場合、第1世代($\text{Co}_{62.5}\text{Ni}_{30}\text{Cr}_{7.5}$ 、 $H_c \approx 12000\text{e}$)、第2世代($\text{Co}_{85.5}\text{Cr}_{10.5}\text{Ta}_4$ 、 $H_c \approx 18000\text{e}$)と大きく区分される。しかしながら、その開発の過程は必ずしも正統な物理的視点に立ったものとは言いがたい。すなわち、薄

膜磁気記録媒体を材料物理的視点より眺めた場合、薄膜媒体としての理想的な組織は、古典的な磁区理論より容易に理解でき、その微細組織に関しても、磁氣的な解析によりかなりの程度実験的に推察することができる。筆者等による詳細な磁気トルク解析の結果と古典的な磁区理論を対比して考えてみると、第1世代のCoNiCr合金では、等方性媒体の場合Hcとして約30000e、第2世代を担っている材料としてのCoCrTa合金の場合には、やはり等方性媒体としてはHcは約25000e以上を示し得る能力のある材料であると結論できる。

したがって、現在までの成膜プロセス技術は材料自身の磁氣的なポテンシャル場を保磁力として得るために必要な金属組織を導出する上で最適な条件下にあったとは言いがたい。かかる現在も、記憶容量として10Gbit / inch²の媒体(Hc≒30000e、膜厚・残留磁化積 t Br=100Gauss・μm以下)を目指しつつ、その開発が進められている。今後の磁気ハードディスクの高密度化にあたっては、結晶粒界の制御による粒間相互作用の低減ならびに結晶粒径の低下といった微細組織の制御が、高保持力化と共に、非常に重要であると考えられる。しかし、このような微細組織の制御が必要となるにもかかわらず、成膜プロセスの本質的改善に手を加えることなく、ただ単なる合金材料自身の組成を変化させるだけにとどまる開発となっているのが現状である。そしてそれは、見かけの保持力値を上昇させることはあっても微細組織の不均質性に起因する媒体S/Nの改善にはつながらないことを筆者等は一貫して主張し続けてきた。

そのため、今回薄膜作製の抜本的な改善策の一例としてクリーン化技術を媒体作製プロセスに適用し、現行のプロセス技術により導出される磁気特性と比較・検討した。その結果、次世代の磁気ハードディスクとして十分な素質をもつ極端に高性能の磁気特性が誘導された[1、2]ので、この紙面をもってその一部を紹介させて頂き、今後の媒体開発の一助にして頂きたい。

2. 実験方法

今回のクリーン化技術を用いた薄膜作製プロセス(UCプロセス)では、薄膜の堆積過程の清浄化を図る上で、主に2つの要因を留意した。

一つは、プロセスチャンバーのガス放出量の低減である。今回実験に用いたスパッタリング装置(ILC3013、ANELVA)のチャンバー内壁は、複合電解研磨が施されており、ガス放出量の低減が図られている。全てのチャンバーの到達真空度は 3×10^{-8} Torr以下であり、圧力上昇速度は 5×10^{-7} Torr 1/sec以下である。これらの値は、一般に使用されている成膜装置のチャンバーに比較して2~3桁程度少ない値である。

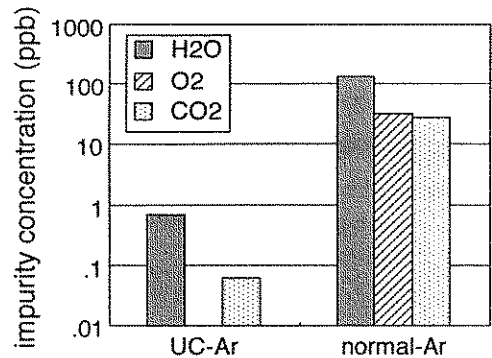


Fig. 1 The impurity concentration of ultra clean Ar gas(UC-Ar) used in this UC-process and that of high grade Ar gas normally used(normal-Ar).

清浄化に関するもう一つの留意点は、超清浄Arガス(UC-Ar)の使用である。Fig. 1には、UC-Arガス中に含まれる不純物濃度を、一般に使用されている高純度Ar(normal-Ar)と合わせて示した。UC-Arの不純物濃度は1ppb程度(H₂O不純物の値)であり、normal-Arの値に比べて2桁程度少ない。UCプロセスでは、Cr₂O₃表面処理を施したガス配管およびオールメタルのバルブを用いることで、ガス配管系を通過することによるプロセスガス中の不純物濃度の増加を防いでいる。これに対して、一般のガス配

管系を通過した normal-Ar中のガス不純物濃度は 1 ppm 程度まで増加することから、今回のUCプロセスにおける、チャンパー内部におけるプロセスガス中の実効的な不純物濃度は、一般のプロセスガス系に比較して 3 桁程度少ないものと考えられる。

今回の実験では、磁性膜として、10.5at%Cr、4at%Ta、bal.Co、および、30at%Ni、7.5at%Cr、bal.Coの、2種類のターゲットを用いて成膜を行なった。下地膜にはCr膜を用いた。基板には表面粗さ $R_a = 5$ nm程度のテクスチャ処理を施したNiP/Al基板、ならびに、テクスチャ処理を施していない R_a が1 nm以下の極めて平滑なNiP/Al基板の2種類を用いた。成膜直前にチャンパー内部でUC-Arを用いた逆スパッタにより基板表面のドライエッチング（エッチング深さに換算して0.2~0.3nm程度に相当）を行い、基板表面の吸着ガスを除去した。スパッタ時の基板温度は、250℃一定に保持した。また、基板バイアスの値は、-300V/-200V (CoNiCr/Cr) および-200V/0V (CoCrTa/Cr)とした。

比較のため、同一のカソード構造をもつ一般の成膜装置（到達真空度 1×10^{-7} Torr程度）により、normal-Arを用いて同組成の薄膜媒体を作製した。

結晶粒の異方性磁界および粒間相互作用の評価は、回転ヒステリシス損失の測定により行なった[3]。微細構造はTEMおよびX線回折法により解析した。記録再生特性の評価は、tBr（膜厚・残留磁化積）が100~120G μ mの媒体に対して、MR磁気ヘッドを用いて行なった。ヘッドとメディア間のスペーシングは0.08~0.10 μ mとした。

3. 結果および考察

1) UCプロセスによる高保磁力化

Fig. 2 には、UCプロセスでテクスチャ基板上に作製したCoNiCr薄膜媒体（磁性層厚40nm）の保磁力 H_c の値を、成膜直前の成膜室の到達真空

度BPに対して示した。今回の実験では、成膜室を一旦大気で開放し、その後の排気時間を制御することで、到達真空度を劣化させた。図中には一般の成膜装置で normal-Arを用いて作製した媒体の結果についても、比較のため示した(n-process)。UCプロセス (BP= 3×10^{-8} Torr) で作製したCoNiCr薄膜媒体では、円周方向の H_c の値は約2.1kOeの非常に高い値が得られている。この値は、一般のプロセスで作製した場合よりも、2倍程度大きいことがわかる。しかし、到達真空度を低下させることで、円周方向および半径方向の H_c の値は、単調に減少していく。

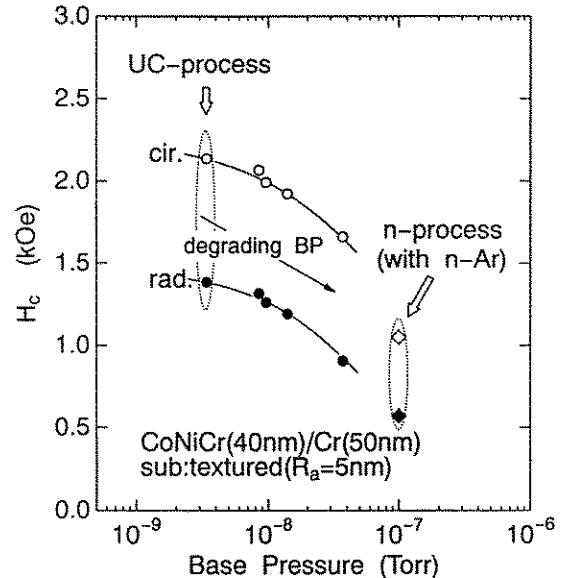


Fig. 2 Coercive force H_c of CoNiCr media fabricated under the UC-process plotted against the base pressure BP. H_c of the media fabricated under normal sputtering process with normal Ar gas(n-process) and also shown in comparison.

ここで、UCプロセスで作製した薄膜媒体では750emu/cc程度の高い飽和磁化 M_s の値を示しており、到達真空度の違いによる M_s の大きな差は観測されなかった。これらのことから、UCプロ

セスによる成膜雰囲気純化により、高保磁力が困難であるとされた第1世代のCoNiCr薄膜媒体においても、飽和磁化の値を低下させることなく、一般のプロセスで作製した場合に比較して2倍程度大きなHcが得られることが分かる。

Fig. 3には、UCプロセスで作製したCoNiCrおよびCoCrTa薄膜媒体(UC-CoNiCrおよびUC-CoCrTa)の円周方向の保磁力 H_c^{ci} の値を、磁性層厚に対して示した。図には、一般の成膜プロセスで作製したCoNiCr媒体(n-CoNiCr)の結果に

n-CoNiCr薄膜媒体に比較して、UC-CoNiCrの H_c^{ci} の値は非常に大きく、特に薄い磁性層厚において差が大きいことがわかる。UC-CoNiCrおよびUC-CoCrTaの両薄膜媒体において、2.7~3kOe(半径方向で2.4~2.7kOe)の非常に大きな H_c^{ci} が、約15nm程度の磁性層厚において得られている。ここで、 M_s の値は、UC-CoNiCrで約750emu/cc程度、UC-CoCrTaで約700emu/cc程度のほぼ一定値を示した。

一方、参考を示した基板表面が平滑なガラス

が極めて平滑なガラス基板上にUCプロセスで作製した場合の結果についても合わせて示した(ガラス基板上に作製)と媒体では、膜厚中の

面へのTi膜の作製等の適切な成膜条件を選ぶことで、UCプロセスにより2.3kOe程度の保磁力が得られている。このことは、ガラス基板上に作

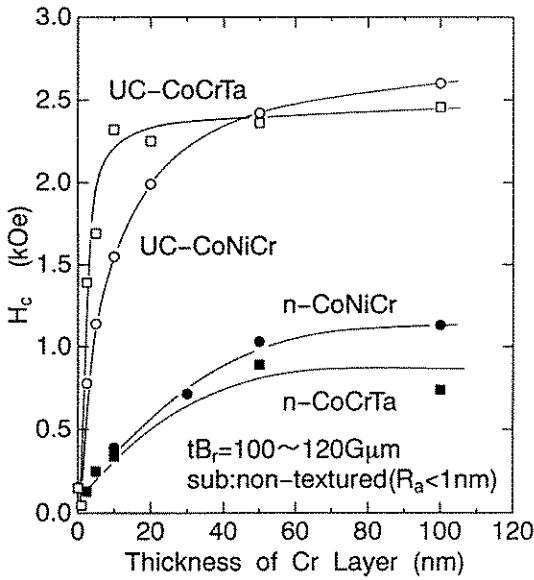


Fig. 4 H_c in UC-CoNiCr and UC-CoCrTa (on non-textured substrates) plotted against the thickness of Cr underlayer. The results from n-CoNiCr and n-CoCrTa are also shown in comparison.

る。さらにCr膜厚を低減することで H_c は急激に低下しているが、2.5nmの非常に薄いCr膜厚上であっても、1.5kOe程度の高い H_c を維持している。一方、UC-CoNiCrでは、Cr膜厚を100nmから2.5nmへと低下させることで、 H_c は2.6kOeから0.8kOeまで単調に低下しており材料により依存性が大きく異なっている。

これらの結果より、成膜雰囲気清浄化が、Co基の磁性材料を用いた薄膜媒体の高保磁力化に非常に有効であることがわかる。特に、一般のプロセスでは高保磁力の導出が困難である、非常に薄いCr層厚あるいは磁性層厚を有する薄膜媒体では、UCプロセスが高保磁力の実現に非常に有効である。

さらに、UCプロセスを用いることで表面が極めて平滑なNiP/Al基板上あるいはガラス基板

上においても高保磁力が容易に得られている。このことは、磁気ヘッドの低浮上化に対応した薄膜媒体を作製する上でも、UCプロセスが極めて有効であることを示している。

2) 高保磁力導出の物理的要因

UCプロセスによる、このような高保磁力の導出には、結晶粒の異方性磁界 H_k^{cryst} の増加、ならびに、結晶粒間の磁気的相互作用の低下の2つの要因が寄与している。

① 結晶粒の異方性磁界

Fig. 5には、UCプロセスで作製したCoNiCrおよびCoCrTa薄膜媒体の H_k^{cryst} の値を、磁性層の厚みに対して示した。ここで、 H_k^{cryst} は結晶粒の異方性磁界の値を示しており、その値は回転ヒステリシス損失が正に消失する印加磁界から求めた。図には、一般の成膜プ

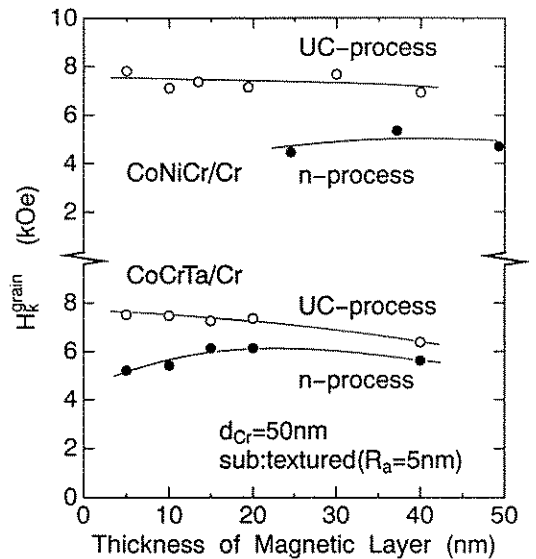


Fig. 5 The value of magnetocrystalline anisotropy field of grains H_k^{cryst} of the UC-processed CoNiCr and CoCrTa plotted against the thickness of magnetic layer. The results from n-processed media are also shown in comparison.

ロセスで作製した結果についても合わせて示してある。

CoCrTaおよびCoNiCrのいずれの媒体においても、UCプロセスで作製した薄膜媒体の $H_k^{critical}$ の値は、一般の成膜のプロセスで作製した媒体の $H_k^{critical}$ よりも、極めて大きいことがわかる。特に、UC-CoNiCrの $H_k^{critical}$ の値は、n-CoNiCrと比較して50%程度大きく、磁性層厚に対してほぼ一定の7.5kOeの値を示している。

一方、UC-CoCrTaの $H_k^{critical}$ の値は、磁性層厚の低下にともない、6kOeから7.5kOeまで単調に減少している。UC-CoCrTaとn-CoCrTaの $H_k^{critical}$ 差は、磁性層厚の低下にともない徐々に増加し、5nmの磁性層厚におけるUC-CoCrTaの $H_k^{critical}$ は、n-CoCrTaよりも50%程度大きな値を示している。

これらの結果から、UCプロセスを用いることで大きな結晶磁気異方性を有する結晶粒が形成されていることがわかる。特に、CoNiCrと比較してCr濃度が多いCoCrTaでも、UCプロセスで作製することで、CoNiCrと同程度の $H_k^{critical}$ が得られている。また、UCプロセスで作製することで、5nmの薄い磁性層厚においても $H_k^{critical}$ の値は高い値を維持している。

これらのことから、UCプロセスの導入により $H_k^{critical}$ の値が増加したことが、Fig. 3に示したような高い保磁力の導出に大きく寄与していることがわかる。

このような大きな $H_k^{critical}$ が実現される原因を明らかにするため、飽和磁化の温度変化の計測により、形成された磁性結晶粒に関して磁気的な解析を行なった。Fig. 6には、UC-CoNiCrおよびUC-CoCrTaにおける、飽和磁化 M_s の値を0Kにおける飽和磁化 M_{s0} で規格化した(ここで M_{s0} は外挿により求めた)値を、 $T^{3/2}$ に対して示した。ここではTは77~300Kの範囲の測定温度を示す。図中には、一般の成膜プロセスで作製した媒体の結果に

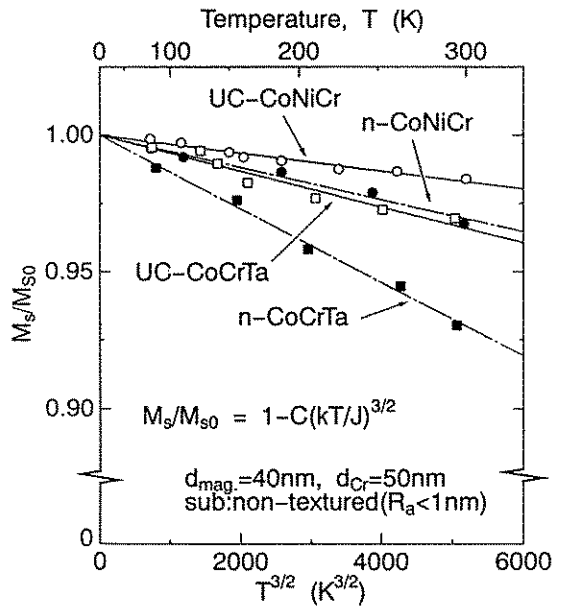


Fig. 6 Normalized saturation magnetization M_s/M_{s0} in the UC-CoNiCr and the UC-CoCrTa plotted as a function of $T^{3/2}$. Here, T corresponds to the measuring temperature ranged from 77K to 300K. The results from n-processed media are also shown in comparison.

についても合わせて示した。

いずれの媒体の M_s/M_{s0} の値も、 $T^{3/2}$ の増加に対して単調に減少し、Bloch則に添っており、結晶粒内部の構造が磁气的に均一であることを示唆している。CoCrTaおよびCoNiCrのいずれの媒体でも、UCプロセスで作製した薄膜媒体における M_s/M_{s0} の $T^{3/2}$ に対する減少率は、一般の成膜プロセスで作製した薄膜媒体よりも小さくなっている。このことは、UCプロセスで作製した薄膜媒体の結晶粒の交換積分Jの値が一般の成膜プロセスで作製した薄膜媒体よりも大きいことを示している。ここで、CoCr二元合金では、交換積分Jの値は、Crの減少にともない徐々に増加する [4]

ことが報告されている。また、Cr量の減少は、結晶磁気異方性による結晶粒の異方性磁界を増加させることが明らかになっている [4]。これらのことから、CoCrを基礎とするCoNiCrおよびCoCrTaの薄膜媒体において、UCプロセスの導入により大きな H_k^{grain} が出現する原因は、主に、磁性結晶粒内部のCr濃度の低減によるものであると考えられる。このことは、清浄な雰囲気中でCr膜上に磁性膜が堆積する過程で、磁性結晶粒内部のCrが粒界へと吐き出されていることを意味している。

② 粒界構造と粒間相互作用

一方、UCプロセスの導入による高保磁力の出現には、上述した結晶粒の異方性磁界の増加と共に、Cr粒界偏析構造の促進による結晶粒間の磁化結合の低減が非常に大きな役割を果たしている。

Fig. 7 には、UCプロセスで作製した両薄膜

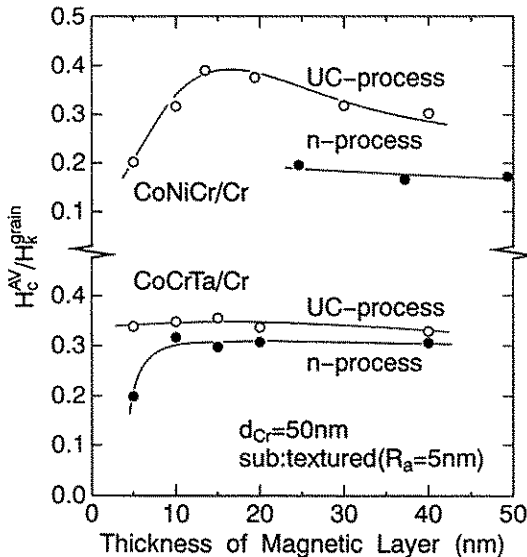


Fig. 7 The value of H_c^{AV} normalized by H_k^{grain} in the UC-processed media plotted against the thickness of magnetic layer. H_c^{AV} is the averaged value of Hc along circumferential and radial axes.

媒体の、 H_c^{AV} を H_k^{grain} で規格化した値を、磁性層厚に対して示した。ここで H_c^{AV} は、基板の半径方向と円周方向の保磁力の平均値である。 H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は、粒間相互作用の度合いを示し、粒間相互作用が全く存在しない等方性の媒体では、最大値 0.5を示す。

UC-CoNiCrの H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は、磁性層厚の減少にともない徐々に増加し、約15nmの磁性層厚において約 0.4の非常に大きな値を示している。さらに磁性層厚を低減することで、 H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は徐々に低下している。ここで、UC-CoNiCrの H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は、n-CoNiCrに比較して2倍程度大きく、このことは、UC-CoNiCrにおける粒間相互作用の強さがn-CoNiCrに比較して非常に小さいことを示している。

これに対して、UC-CoCrTaの H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は、0.35程度の大きな一定値を5nmの非常に薄い磁性層厚まで保持している。また、UC-CoCrTaの H_c^{AV}/H_k^{grain} の値は、n-CoCrTaよりも大きく、特に5nmの磁性層厚におけるUC-CoCrTaの H_c^{AV}/H_k^{grain} の値はn-CoCrTaよりも50%程度大きくなっている。このことは、5nmといった非常に薄い磁性層厚においても、粒間相互作用が非常に小さな薄膜媒体が形成されていることを示している。しかし、磁性層厚が比較的厚い場合には、UC-CoCrTaとn-CoCrTaの H_c^{AV}/H_k^{grain} の差は、CoNiCr薄膜媒体の場合に比較して小さい。

このようなUCプロセスの導入による粒間相互作用の急激な低減は、平滑な基板上に作製した場合でも同様である。Fig. 8には、Fig. 4に示したUC-CoNiCrおよびUC-CoCrTa薄膜媒体の H_c/H_k^{grain} の値を、下地Cr膜厚に対して示した。図中には、一般の成膜プロセスで作製した場合について比較のため示してある。UCプロセスで作製したいずれの薄膜媒体においても、一般の成膜プロセスで作製した媒体よりも2倍程度大きな H_c/H_k^{grain} の値が、非常に薄いCr膜厚の媒体でも実現されている

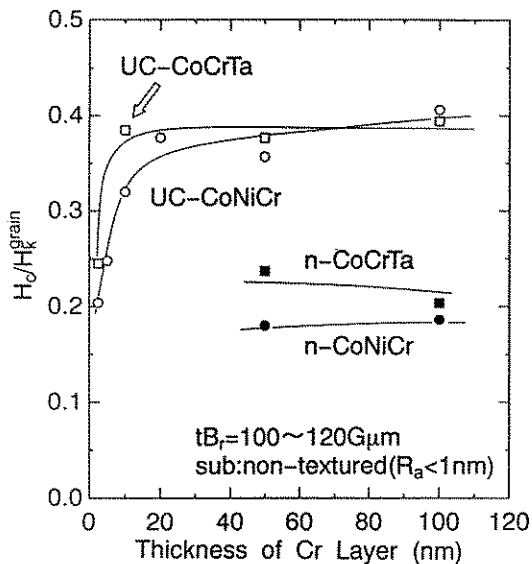
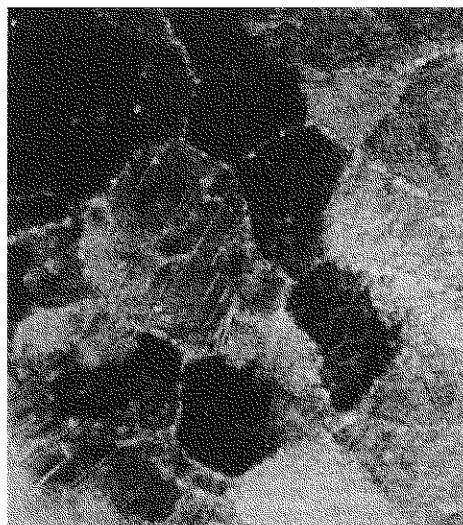


Fig. 8 H_c/H_k^{grain} in the UC-CoNiCr and the UC-CoCrTa (on non-textured substrates) plotted against the thickness of Cr underlayer. The result from the n-processed media are also shown in comparison.

ことがわかる。UCプロセスで作製した両薄膜媒体を比較すると、UC-CoCrTaでは、10nm程度の膜厚まで0.35程度の大きな H_c/H_k^{grain} の値が保持されている。さらにCr厚を低下させることで H_c/H_k^{grain} の値は低下しているが、2.5nmの極端に薄いCr膜厚においても、0.25程度の大きな H_c/H_k^{grain} の値を維持している。このことはUCプロセスを用いることで非常に薄いCr膜上に磁性層を作製した場合でも、粒間相互作用が非常に小さな薄膜媒体が実現されていることを示している。一方、UC-CoNiCrにおいても、非常に薄いCr膜厚まで大きな H_c/H_k^{grain} の値が維持されている。しかし、Cr膜厚が薄い領域では、UC-CoNiCrの H_c/H_k^{grain} の値は、UC-CoCrTaに比較して小さくなっている。

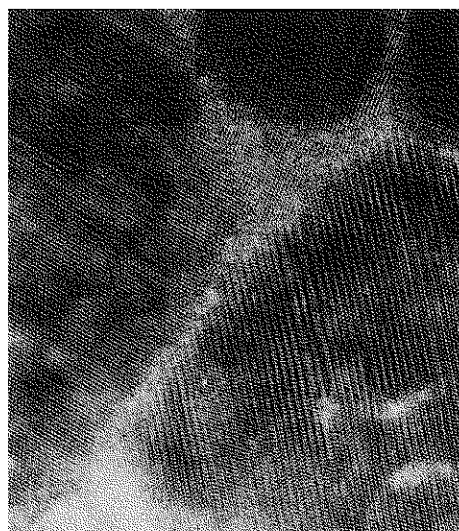
粒間相互作用に関する上述の磁気的な解析を裏付けるため、UC-CoNiCrおよびUC-CoCr

Taにおける高分解能のTEM像（いずれも下地Cr層厚50nm）をFig. 9 およびFig. 10に示した。



(CoNiCr/Cr=13nm/50nm) 10nm

Fig. 9 HR-TEM images of the UC-CoNiCr with underlayered Cr thickness of 50nm.

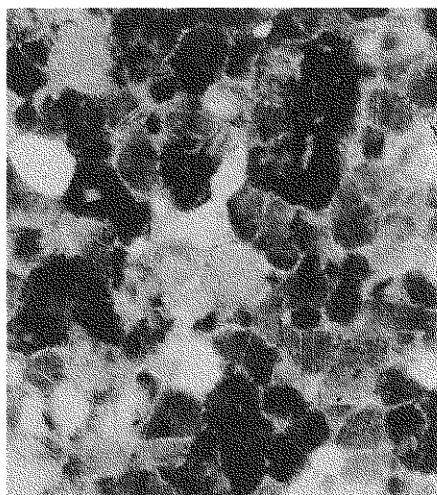


(CoCrTa/Cr=40nm/50nm) 3nm

Fig. 10 HR-TEM images of the UC-CoCrTa with underlayered Cr thickness of 50nm.

Fig. 9 に示したように、今まで明瞭な結晶粒界を観測することが困難であったCoNiCr薄膜媒体においても、UCプロセスで作製した場合には結晶粒界が明瞭に観測されており、個々の磁性結晶粒が分離されていることがわかる。また、Fig. 10に UC-CoCrTaの結果を一例として示すように、UCプロセスで作製した薄膜媒体では、アモルファス状の粒界構造が結晶粒を均質に取り囲んでおり、この粒界構造はCrに富む非磁性相であるものと考えられる[5]。

さらに、UC-CoCrTaの場合には、極端に薄い下地Cr膜上に作製した薄膜媒体においても、均質な粒界偏析構造が形成されている。Fig. 11には、2.5nmの極めて薄いCr下地膜上に作製したUC-CoCrTaのTEM像を示す。Cr濃度が10at%程度と比較的少ないにもかかわらず、個々のCoCrTaの結晶粒は結晶粒界により明瞭に孤立している。このことは、薄いCr膜上に作製された場合でも、交換相互作用による粒



(CoCrTa/Cr=16nm/2.5nm) 20nm

Fig. 11 TEM images of the UC-CoCrTa media fabricated on non-textured substrate with thin Cr underlayer of 2.5nm in thickness.

間相互作用が大きく低下していることを示している。

これらの結果より、UCプロセスを用いることで、粒界における均質なCrの偏析構造の形成が促進されており、このことが粒間相互作用を低減し、高い保磁力の導出に結びついていることが結論付けられる。このような偏析構造の促進に関しては、薄膜堆積中の粒内からのCrの吐き出しの他に、清浄な下地Cr表面に磁性層が形成される過程で下地Crの磁性層粒界への固相拡散が生じている可能性が、他の実験の結果から示唆されている。

③ 結晶粒径と粒間相互作用

一方、Fig. 11から明らかなように、2.5nmの極めて薄いCr下地膜上に作製したUC-CoCrTaの結晶粒径は7nmと非常に小さく且つ均質であることがわかる。TEMによる観察の結果、UC-CoCrTaの結晶粒径はCr下地膜の厚みと非常に強い相関を示し、50nmから2.5nmまでのCr下地膜厚の低減により、CoCrTaの結晶粒径は30nmから7nmまで単調に低下することが明らかとなっている。このことから、UCプロセスを用いて作製したCoCrTa薄膜媒体では、下地Cr膜厚の低減により、粒間の交換相互作用を極端に増加させることなく、結晶粒径を低減することが可能であることがわかる。

ここで、粒界の偏析構造により結晶粒が十分に孤立した媒体においても、結晶粒径の低減は磁氣的に結合する結晶粒数を増加させ、静磁氣的な相互作用を増加させることは十分に推察される。したがって、UC-CoCrTaにおける、10nmからのCr膜厚の低減による H_c/H_k の低下は、主に、静磁氣的相互作用の増加によるものであると推察される。

3) 記録再生特性

Fig. 12には、表面が極めて平滑な基板上にUCプロセスで作製した薄膜媒体の、69.7kFCIにおける媒体ノイズと信号強度の比S/Nmを、下地Crの膜厚に対して示した。図中には、n-CoNiCrにおける結果も合わせて示してある。

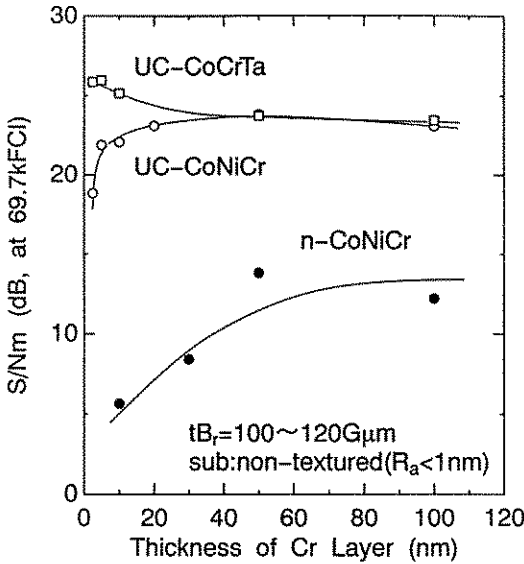


Fig. 12 The values of readback signal to media noise ratio S/Nm at 69.7kFCI of the UC-processed media (on non-textured substrate) plotted against the thickness of Cr underlayer. S/Nm of the n-CoNiCr are also shown in comparison.

UC-CoNiCr の S/Nm は、いずれの Cr 膜厚においても n-CoNiCr に比較して極めて大きく、これは主に媒体ノイズの低減によるものである。このことから、UC プロセスにより結晶粒間の交換相互作用を低減することで、低ノイズ化が困難であると考えられてきた CoNiCr においても、非常に低い媒体ノイズを実現出来ることがわかる。

一方、UC プロセスで作製した両媒体を比較すると、UC-CoNiCr では、50nm からの Cr 下地膜厚の低減により S/Nm は徐々に低下している。これに対し UC-CoCrTa では、Cr 膜厚の低減により S/Nm は徐々に増加しており、Cr 膜厚が極端に薄い 2.5~5 nm の膜厚において最も高い S/Nm 値が得られている。この結果を Fig. 8 に示した結果と比較すると、UC-CoNiCr では、Cr 膜厚の低下による S/Nm の低下が、 H_c/H_k^{grain} の低下（粒間の交換相互作用の増加）と定性的に対応してい

ることがわかる。しかし、UC-CoCrTa では、Cr 膜厚の低減により H_c/H_k^{grain} が低下しているにもかかわらず、 S/Nm の値は徐々に増加しており、CoNiCr の場合と大きく異なっている。

H_c/H_k^{grain} （粒間相互作用）と S/Nm との関連について、詳細な検討を進めるためには、 H_c/H_k^{grain} の絶対値を議論する上で、結晶粒界における結晶粒の孤立性（交換相互作用の強さ）のみならず、結晶粒径について考慮する必要がある。先に述べたように、特に、粒界の偏折構造により粒間の交換相互作用が低減されており、且つ、結晶粒径が小さな媒体では、 H_c/H_k^{grain} の値は、結晶粒径の大きさ（即ち静磁気的な相互作用の強さ）と強い相関を示す点を考慮しなければならない。

Fig. 13 には、種々の条件下で作製した UC-CoCrTa の S/Nm の値を、 H_c/H_k^{grain} と結晶粒径に対して示した。 S/Nm 値は、 H_c/H_k^{grain} が増加するにしたがい増大するが、結晶粒径が低減することで、さらに大きく増加している。この結果は、粒界における偏折構造の促進により粒間の交換相互作用を低減させた薄膜媒体では、結晶粒径の低減が、 S/Nm の改善に非常に重要であ

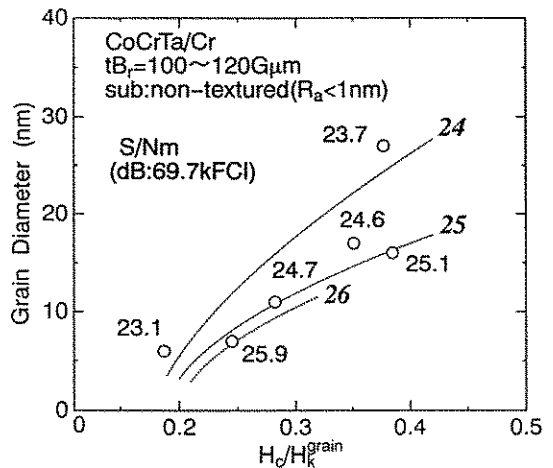


Fig. 13 The value of S/Nm in UC-CoCrTa plotted as functions of H_c/H_k^{grain} and grain diameter.

ることを意味している。また、この結果は、将来の高密度薄膜媒体を設計する上での非常に有用な知見を与えている。

以上、述べてきたように、清浄雰囲気中のスパッタプロセス (UCプロセス) は、今まで不可能であった微細構造の制御を可能とし、全く新しい磁気特性の導出を可能とさせる。UCプロセスは、将来の高密度薄膜媒体のみならず、種々の磁性金属薄膜を用いたデバイスの作製プロセスとして、非常に重要であると考えられる。

4. 謝 辞

KOBE STEEL USAの桑原真砂氏には、高分解のTEM観察の御協力を得ました。紙面を借用し、深く感謝申し上げます。

なお、この研究は、東北大学の我々のグループと、日電アネルバ(株)、旭コマグ(株)、(株)富士電機総合研究所、富士通(株)、(株)神戸製鋼所、(株)ジャパンエナジー、HOYA(株)、アルプス電気(株)、日立金属(株)、花王(株)、日本板硝子(株)、帝人(株)、三菱マテリアル(株)の、全13社との共同研究で行なわれているものです。

5. 参考文献

- 1) T. Shimatsu, M. Imakawa, S. Ishibashi and M. Takahashi : The proceedings of 14th ICMFS and E-MRS Joint Colloquium, Germany, 1994, pp.213-214.
- 2) M. Imakawa, S. Ishibashi, A. Hatashita, T. Shimatsu and M. Takahashi : The proceedings of 14th ICMFS and E-MRS Joint Colloquium, Germany, 1994, pp.247-248.
- 3) M. Takahashi, T. Shimatsu, M. Suekane, M. Miyamura, K. Yamaguchi and H. Yamasaki : IEEE Trans. Magn., Vol.28, No.5, 3285 (1992).
- 4) F. Bolzoni, F. Leccabue, R. Panizzieri and L. Pareti : J. Magn. Magn. Mater., Vol.31-34, 845 (1983).
- 5) J. Nakai, E. kusumoto, T. Miyamoto, K. Yoshikawa and K. Itayama : IEEE Trans. Magn., Vol.30, No.6, 3969 (1994).

(3頁からの続き)

研究が何時どの分野で役に立つかのアセスメントは難しい。多成分ガラスに関しては未だに真空紫外の応用は少ない。従って多成分ガラスを主製品とする前述のP社が不必要と判断したのは正しかった。

企業の発表にも優れた基礎研究がある。企業内では異端、異能に見える場合もあるかもしれないが、その何割かは標準的優等生とは異なった形で企業を支えることがあることを研究担当の責任者の方々が承認されているのであろう。

現在、私達の研究室は大学院生が働き手の中心になってガラス融液中の吸蔵ガスの高性能分析装置を立上げている。産学共同研究であり、企業からの恩恵を多分に受けているが、高温で無機材料から発生するガス成分の研究は最近の材料科学の進歩に深く関わり、アカデミックな研究に進展すると信じている。欲深く、実用研究と基礎研究の両立をねらっている。