

氏名	きくち あきら 菊池 暁		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成9年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻		
学位論文題目	超清浄プロセスを用いて作製したCo基薄膜記録媒体の記録再生特性と磁氣的微細構造に関する研究		
指導教官	東北大学教授 高橋 研		
論文審査委員	主査 東北大学教授 高橋 研	東北大学教授 荒井賢一	
	東北大学教授 中村慶久	東北大学助教授 荘司弘樹	

論文内容要旨

第1章 序論

本章では、本研究の背景および目的について述べている。磁気ディスク装置の小型化、大容量化にともない、薄膜磁気記録媒体の高記録密度化が強く望まれている。薄膜媒体の高記録密度化を達成するためには、記録再生特性の向上が必要であり、記録再生特性を決定づけている物理的因子を明らかにすることが重要である。このためには、微細構造の制御された薄膜媒体において、記録再生特性と磁気特性および微細構造との相関を明確にする必要がある。

本研究では、超清浄プロセスの下で作製したCoNiCrおよびCoCrTa薄膜媒体を用いた系統的な実験を通して、記録再生特性と磁気特性および微細構造との相関、記録再生特性と静磁氣的相互作用との相関、ならびに、記録再生特性と磁氣的微細構造との相関を明確にすることを目的とした。さらに、これらの知見を基に、物理的観点から、高密度記録媒体を具現化するための開発指針を明らかにすることを目的とした。

第2章 実験方法

本章では、薄膜媒体の作製方法と超清浄プロセス、また、各種の測定方法について述べている。

成膜は、内壁面に複合電解研磨処理を施したDCマグネトロンスパッタ装置(到達真空度： 3×10^{-9} Torr)を用いて、 H_2O 濃度が1ppb以下の超高純度Arガス雰囲気中で行った。基板には平滑なNiP/Al基板を用い、下地Cr膜、磁性膜、カーボン保護膜を順次形成した。磁性膜には、 $Co_{62.5}Ni_{30}Cr_{7.5}$ 、 $Co_{85.5}Cr_{10.5}Ta_4$ 、 $Co_{78}Cr_{17}Ta_5$ の3種類のターゲットを用いた。

また、比較のため、同一のカソード構造を有する一般の成膜装置(到達真空度： 1×10^{-7} Torr)および一般に使用されている H_2O 濃度が1ppm程度の高純度Arを用いて、同一の成膜条件下でCo基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った。微細構造は、透過電子顕微鏡およびX線回折法により解析した。記録磁化状態および磁気クラスタ構造などの磁

氣的微細構造は、磁気力顕微鏡により評価した。記録再生特性は、Inductive/MR複合型ヘッドを用いて測定した。磁気ヘッドと媒体間のスペーシングは、0.07~0.11 μm とした。

第3章 超清浄雰囲気中で作製したCo基薄膜媒体の磁気特性と微細構造

本章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の磁気特性および微細構造について述べている。特に、Co基薄膜媒体の下地Cr膜厚および磁性膜厚を変化させて、その磁気特性および微細構造について詳細な実験を展開した。

超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体では、結晶粒の異方性磁界の増加と粒間相互作用の低減により、2kOe以上の高い保磁力が得られることを示した。低温の磁化測定より、この結晶粒の異方性磁界の増加は、結晶粒内のCr濃度の減少が主因であることを明らかにした。また、粒間相互作用の低減は、30at%以上のCrを含む均質な粒界相の形成による交換相互作用の低減に起因していることを明らかにした。

さらに、超清浄プロセスで作製した $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{17}\text{Ta}_5$ 媒体では、粒間相互作用を低く維持したまま、下地Cr膜厚および磁性膜厚の低減が可能であることを明らかにした。この下地Cr膜厚および磁性膜厚の低減は、結晶配向を変化させることなく、磁性膜の結晶粒径の低減に寄与することを示した。これらのことより、超清浄プロセスを用いることで、粒間相互作用が小さく、結晶粒径が微細且つ均質な薄膜媒体が実現できることを明らかにした。

第4章 超清浄雰囲気中で作製したCo基薄膜媒体の記録再生特性

本章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の記録再生特性を調べ、記録再生特性と磁気特性および微細構造との相関について述べている。

超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体では、一般のプロセスで作製した媒体に比較して、媒体ノイズが低く、高い媒体S/Nが得られることを示した。さらに、超清浄プロセスで作製したCoCrTa媒体では、下地Cr膜厚の低減が記録再生特性の向上に有効であり、特に、20nm以下の薄い下地Cr膜厚において記録再生特性が大きく向上することを明らかにした。

また、Co基薄膜媒体の記録再生特性は、粒間相互作用、結晶粒径、結晶配向、および磁性膜厚と強い相関を示し、これらの物理的因子により主に決定づけられていることを実験的に明らかにした。さらに、記録再生特性とこれらの物理的因子との相関を定量的に検討して、高密度記録媒体の開発に必要とされる指針を示した。ここでは、Co基薄膜媒体の高記録密度化において、粒間相互作用の低減（規格化保磁力0.35以上）、結晶粒径の低減（結晶粒径10nm以下）、結晶配向の制御（hcp(110)面配向）、磁性膜の薄膜化（磁性膜厚14nm以下）が必要であることを明らかにした。

第5章 超清浄雰囲気中で作製したCo基薄膜媒体の静磁氣的相互作用

本章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の静磁氣的相互作用と微細構造との相関について理論および実験の両面から述べている。さらに、Co基薄膜媒体の記録再生特性と静磁氣的相互作用との対応関係を検討し、静磁氣的相互作用の観点から、高密度記録媒体に必要とされる指針を述べている。

Co基薄膜媒体の静磁氣的相互作用は、結晶粒径に強く依存し、結晶粒径の低減にともない増加することを示した。また、Co基薄膜媒体の記録再生特性は、結晶粒径の低減とともに静磁氣的相互作用の低減にともない大きく向上することを明らかにした。これらのことより、Co基薄膜媒体の記録再生特性の向上には、

結晶粒径の低減による静磁氣的相互作用の増加を抑制することが重要であることがわかった。さらに、この結晶粒径の低減による静磁氣的相互作用の増加は、媒体の飽和磁束密度と異方性磁界との比 $4\pi M_s/H_k^{\text{min}}$ の値を1.0以下にすることにより抑制されることを明らかにした。このことは、 $4\pi M_s/H_k^{\text{min}}$ が1.0以下の薄膜媒体では、静磁氣的相互作用を低く維持し、結晶粒径の低減が可能であることを示している。

第6章 超清浄雰囲気中で作製したCo基薄膜媒体の記録磁化状態と記録再生特性

本章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の記録磁化状態および磁気クラスタ構造などの磁氣的微細構造を検討し、記録再生特性と磁氣的微細構造との相関について述べている。

超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の記録再生特性は、記録磁化状態に強く依存することを定量的に明らかにした。Co基薄膜媒体の記録再生分解能は、磁化遷移幅と強い相関を示し、磁化遷移幅の減少とともに向上する。また、媒体ノイズは、磁化遷移領域の磁化変動に依存し、磁化変動の低減とともに大きく減少する。さらに、Co基薄膜媒体の記録磁化状態は、磁気クラスタ径と強く相関し、磁気クラスタ径の低減により改善されることを明らかにした。これらのことより、Co基薄膜媒体の記録再生特性の向上には、記録磁化状態の改善が必要であり、磁気クラスタ径の低減が有効であることがわかった。また、Co基薄膜媒体の磁気クラスタ径は、粒間相互作用および結晶粒径によって決定づけられ、粒間相互作用と結晶粒径の低減とともに減少することを明らかにした。

第7章 Co基薄膜媒体における高記録密度化への媒体設計

本章では、第3章から第7章までの結果を基に、Co基薄膜媒体の高記録密度化に向けた開発指針について述べている。さらに、高記録密度化の開発指針を基に、高密度記録媒体を具現化するために必要な媒体設計について検討を加えた。

Co基薄膜媒体の高記録密度化を具現化するためには、以下に記述した、(1)粒間相互作用の低減、(2)結晶粒径の低減、(3)結晶配向の制御、および、(4)磁性膜の薄膜化が重要であることを示した。

(1) Co基薄膜媒体の記録再生特性を向上させるためには、磁性薄膜の粒間相互作用を低減することが最も重要である。交換相互作用を低減するためには、非磁性の粒界構造を均質に形成すること、また、交換定数の小さな磁性材料を選択することが有効である。静磁氣的相互作用を低減するためには、磁性薄膜の $4\pi M_s/H_k^{\text{min}}$ の値を1.0以下にすることが有効であり、磁性薄膜の飽和磁化、異方性磁界などの磁気物理量の最適設計（磁性材料の選択）が重要である。

(2) 粒間相互作用の低減したCo基薄膜媒体において、さらに記録再生特性を向上させるためには、磁性薄膜の結晶粒径の低減が必要である。Co基薄膜媒体では、下地Cr膜の薄膜化が磁性膜の結晶粒径の低減に有効である。また、高密度記録媒体の開発を行う上では、結晶粒径の低減とともに、結晶粒径の均質性を高めることも重要である。

(3) Co基薄膜媒体の記録再生特性の向上には、磁性膜の結晶配向の制御が重要であり、hcp(110)面を膜面と平行に優先配向させることが必要である。このことは、磁性結晶粒の磁化容易軸を膜面内に拘束することに対応する。このため、下地Cr膜の結晶配向の制御が必要であり、媒体を形成する基板の表面状態の制御が重要である。

(4) Co基薄膜媒体では、磁性膜の薄膜化とともに結晶粒が微細化し、媒体ノイズが低減する。さらに、磁性膜の薄膜化は、記録再生分解能の向上に寄与する。このため、磁性膜の薄膜化は、Co基薄膜媒体の記

録再生特性の向上に有効である。一方、Co基薄膜媒体において、結晶粒径の低減と磁性膜の薄膜化を図る上では、熱ゆらぎ磁気余効の影響を考慮する必要がある、磁気異方性の大きな磁性材料の選択とともに結晶粒径の均質性を高めることが重要である。

これらの高記録密度化の開発指針に基づき、高密度記録媒体を具現化するためには、以下の媒体設計が有用であることを明らかにした。

- 1) 規格化保磁力 : 0.40~0.45
- 2) $4\pi M_s/H_k^{\text{grain}}$: 0.65~0.83
- 3) 磁性膜の結晶粒径 : 8nm
- 4) 磁性膜厚 : 12nm
- 5) 磁性膜の結晶配向 : hcp(110)面配向
- 6) 磁気異方性 : 2.6×10^6 erg/cc

第8章 結 論

本章では、本研究で得られた成果を要約し、結論とした。

審査結果の要旨

薄膜磁気記録媒体の高密度化を達成するためには、記録再生特性の向上が必要であり、記録再生特性を決定づけている物理的因子を明らかにすることが重要である。著者は、超清浄プロセスを用いて作製したCo基薄膜媒体の磁気特性、微細構造、および記録再生特性について明らかにし、それらの知見を基に高密度記録媒体の開発指針を示した。本論文は、その成果を纏めたもので、全文8章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、薄膜媒体の作製方法と超清浄プロセス、また、各種の測定方法について記述している。

第3章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の磁気特性と微細構造について明らかにしている。超清浄な雰囲気中で薄膜を作製することにより、粒間相互作用が小さく、さらに、結晶粒径が9nm程度の微細且つ均質な薄膜媒体が実現できることを述べている。これは有用な知見である。

第4章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の記録再生特性と磁気特性および微細構造との相関について述べている。Co基薄膜媒体の記録再生特性の向上には、粒間相互作用の低減、結晶粒径の低減、結晶配向の制御、および磁性膜の薄膜化が有用であることを定量的に明らかにしている。この成果は、薄膜媒体の記録再生特性を決定づける因子を物理的に明らかにしたものととして高く評価される。

第5章では、薄膜媒体の静磁氣的相互作用と微細構造との相関について理論および実験の両面から述べている。薄膜媒体の結晶粒径の低減は、静磁氣的相互作用を増加させることを明らかにし、さらに、この結晶粒径の低減による静磁氣的相互作用の増加は、媒体の飽和磁束密度と異方性磁界との比 $4\pi M_s/H_k^{\text{grain}}$ を1以下にすることにより抑制されることを明らかにしている。これは有用な知見である。

第6章では、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜媒体の記録再生特性と磁氣的微細構造との相関について述べている。Co基薄膜媒体の粒間相互作用および結晶粒径の低減は、磁気クラスタを微細化させ、記録磁化状態の磁化変動を抑制させることを明らかにしている。さらに、記録磁化状態の磁化変動の低減が記録再生特性の向上に寄与することを実験的に明らかにしている。これは重要な成果である。

第7章では、薄膜媒体の高密度化に必要な物理的指針を述べている。薄膜媒体の粒間相互作用の指標である規格化保磁力を0.40~0.45にし、結晶粒径を8nm、さらに磁性膜厚を12nmにすることにより220kFCIまでの高密度化が可能であることを明らかにしている。これは有用な知見である。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、超清浄プロセスで作製したCo基薄膜磁気記録媒体の記録再生特性と磁気特性および微細構造との相関を明らかにし、薄膜媒体の高密度化の物理的指針を示したもので電子工学および磁気物性工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。