

受付番号
外98-64

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

高密度磁気記録媒体の
ノイズ低減の研究

申請者

氏名	池田圭宏
	Yoshihiro Ikeda

専攻・研究指導

1999年3月

現代の高度情報化社会を支える基盤技術として、磁気記録は欠くことのできない技術である。市場の要求に伴い、磁気記録の記録密度は近年、急速に高まっている。この高密度化により、磁気記録媒体に求められる条件は、より厳しくなってきており、媒体ノイズは装置全体の信頼性を左右する、重要な要素になっている。従来、媒体ノイズの低減のために、媒体内の磁性粒子径を減少させ、単位体積あたりの粒子数を増加させる方法が用いられている。しかし、この方法では磁性粒子の体積が記録密度の向上とともに減少し、近い将来、常温における熱エネルギーによって、粒子の磁化反転が容易に起こる現象により、記録の信頼性を損なう危険性が指摘されている。このような背景をもとに、本研究では、磁気記録媒体のノイズ低減手法を検証し、将来の記録密度の限界点を超えるためには、どのような手段があるかを検討した。その中で、長手記録媒体への SiO_2 添加の有効性を示し、垂直記録媒体の Cr 量を増加させることによるノイズ低減効果を示した。また、長手媒体より 10 倍の厚みを持つ垂直媒体が、同等の S/N 比を示すことを提示し、垂直媒体の採用が、将来の熱安定性に寄与することを示した。

本論文の第 1 章では本研究の背景となる、磁気記録技術の原理、ハードディスクドライブの構造に触れ、媒体ノイズの考え方、および、磁化の熱安定性、粒子間相互作用について言及した。

第 2 章の目的および概要に引きつづき、本論文の主題に入る。本論文の主題は大きく二つに分かれ、第 3 章では、長手記録媒体の低ノイズ化の手法として、非磁性体 SiO_2 添加による低ノイズ化を提唱した。本研究では、長手記録媒体のノイズ低減方法として、1) Cr 下地層を用いないことによる微粒子化、2) それに伴う、面内異方性の低下の非磁性体添加による補償、3) 非磁性体の粒子間析出による、粒子の孤立化の 3 点を目的として、様々な非磁性体を、Cr 下地層を用いない CoCrPt 媒体に添加し、その磁気特性の変化を検討した。この結果、 SiO_2 を添加した媒体が、 SiN , ZrO_2 , SiC を添加した媒体より、保磁力増大の効果が大きいことがわかった。この保磁力の増大の原因是、膜面に垂直方向に磁化容易軸を配向していた結晶粒が、非磁性体添加によって、面内方向に傾きを持つようになったためと考えられる。また、結晶粒の大きさは、Cr 下地を用いないことにより、約 10 分の 1 の大きさまで微小化した。これらにより、媒体ノイズは非磁性体を添加していないものに比べて約 20% 低下した。また、 SiO_2 を添加する媒体の組成を CoCrPt, CoCrTa, CoCrW の 3 種類で比較検討した。CoCrTa と CoCrW は CoCrPt ほど、非磁性体添加の効果が現れず、保磁力の増加は小さかった。Co の (002) 面の面間隔と保磁力の相関関係から、大きな保磁力実現のためには、媒体が大きな結晶磁気異方性を持ち、かつ、磁化容易軸が面内方向に傾く必要があると考えられる。このように、長

手媒体は、微細な結晶粒と高い保磁力を確保することにより、ノイズ低減と熱安定性を両立している。しかしこの手法にも限界があり、粒径の減少とともに、保磁力を増大させて行くと、ヘッドによる書き込みができなくなる恐れがある。

もう一つの主題である、第 4 章では、結晶の体積を膜厚方向に大きくすることができる、垂直媒体を取り上げ、低ノイズ化の方法を検討し、厚い垂直媒体の低ノイズ化の手法として CoCr の Cr 組成比を 6 % ほど高めた、Cr-rich 媒体を提案した。まず 4-1 で背景を述べた後、4-2, 4-3 で MR ヘッドを従来の二層膜および单層膜の垂直媒体に用いた場合の特性について触れ、垂直媒体のノイズ研究に MR ヘッドは欠かすことのできない部品であることを述べた。ここで、いかにこれまでの垂直媒体が、高いノイズを持っているかを示し、それが、長手媒体のノイズと異なり、記録密度に依存しないことから、ノイズが磁化遷移点以外の個所で発生していることを指摘した。この従来の垂直媒体のノイズを低減するためには、反磁界による粒子の磁化反転を少なくする必要がある。4-4 で CoCr の Cr 量を増加させ、反磁界を減らすことでのノイズを低減する効果を検証した。その結果、CoCr 合金の Cr 組成比を 6 % 増加させることによりノイズが 12 dB 低下し S/N 比を 6 dB 向上させることができることを示した。この原因を探るために、垂直媒体における ΔM 測定法を用いて、垂直媒体の粒子間相互作用を測定した。この結果、媒体ノイズは ΔM の値が大きいほど、減少する傾向を示し、従来、長手媒体で報告されている結果とは逆の傾向を示した。この結果から、Cr-rich 媒体は媒体膜厚方向の相互作用が大きい媒体であると考えることができる。このため、反磁界が大きい、媒体表面で磁化反転が起こり始めても、媒体内部の磁化がそれをもとに戻す働きをするため、反転磁区を作りにくく、ノイズが低減されていると考えられる。この結果を検証するため、4-5において、従来の $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ 媒体と Cr-rich 媒体である $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ 媒体の両者について、静磁気特性、結晶粒径、結晶配向度、マイナーループの傾き、磁気力顕微鏡(MFM)像などの測定を行った。飽和磁化が Cr-rich 媒体で、約半分になるのに伴い、再生出力も約半分になっている。しかし、ノイズは 1/4 になるため、結果として S/N 比が 6 dB 向上している。また結晶の粒子径、および配向度に大きな違いは見られなかった。 ΔM 測定時におけるマイナーループの傾きが Cr-rich 媒体の方が大きいことから、磁化が垂直方向に前進した、DC 消磁状態に復帰しようとする力が強いことを示唆している。MFM 像で観測された磁化反転粒子の大きさは、ノイズスペクトルから計算される、ノイズ源の平均サイズと一致し、磁化反転粒子が、垂直媒体の主たるノイズ源であることを示した。これらの結果は、4-4 の考察を裏付けるものである。

この Cr-rich 媒体は長手媒体に比較して、2 dB 程度 S/N 比が劣るため、この向上を目指し、4-6において Cr-rich CoCr 媒体への Pt の添加効果を検討

した。Pt を添加することにより、保磁力 H_c および異方性磁界 H_k は大幅に向上し、Pt を 22% 添加したときに H_c 2000 Oe, H_k 10 kOe が得られた。これは Pt が Co hcp 結晶の内部に入り込み、容易軸方向に結晶を歪ませることによる磁歪効果が原因と考えられる。これらの媒体の記録再生特性を測定すると、再生出力は Pt 6% 付近で急激に増大し、添加前に比べて 150 kFCI の高密度で、約 5 倍になった。また、記録の分解能を示す、D₅₀ の値も 100 kFCI から 150 kFCI に向上した。一方、S/N 比は Pt を 6-10% 程度添加した媒体が最も高い値である、37 dB を示した。この値は同じ MR ヘッドを用いて測定した長手記録媒体より、2 dB 改善されており、10 倍の膜厚を持つ垂直媒体が、長手媒体より優れた S/N 比を示すことができるこことを示した。

このように厚い垂直媒体でも高い S/N 比を示すことができるが、将来の 100 Gbit/in² の超高密度を目指すためには、この垂直媒体の膜厚を線密度に比例して、薄膜化させる必要がある。そこで、4-7 ではこれまで検討してきた、Cr-rich CoCr 媒体と、高い H_k を持つ、Co₅₆Cr₂₂Pt₂₂ 媒体の 2 種類について、膜厚の減少による、S/N 比の変化を調べた。またこの際、将来の狭ギャップヘッドの影響を調べるために、記録ギャップ幅が 0.3 μm と 0.6 μm の 2 種類のヘッドについて、記録再生特性を測定した。両媒体は 50 nm 以下の膜厚で、 H_k の値が減少し、垂直異方性が低下した。記録電流に対する、再生出力の依存性では、記録ギャップの狭いヘッドほど、高い記録電流での出力低下が大きい。これは、ギャップ長の減少により、ヘッド磁界の到達深さが、低下したためと考えられる。また出力の膜厚依存性では、Pt を添加した媒体の、表面部分による出力の寄与が大きいことが示された。S/N 比の膜厚依存性は Cr-rich 媒体が 50 nm-300 nm の広い範囲で 30 dB 以上の高い値を示したのに対し、Pt を添加した媒体は、媒体膜厚に強く依存し、薄い膜厚ほど S/N 比が向上した。また、100 Gbit/in² 付近で用いられると考えられる、厚さ 25 nm 付近では、Pt 添加の媒体の S/N 比が、Cr-rich 媒体の S/N 比を上回った。この結果から、将来の薄膜化に伴って、高い H_k 及び、 H_c を持つ媒体が S/N 比を達成する上でも必要になってくると考えられる。

以上の結果をまとめた、第 5 章においては、100 Gbit/in² 実現のための課題を提起した。第 3 章で触れた、長手媒体は、より微粒子化を推進すると考えられる。この方法による低ノイズ化は、約 40 Gbit/in² でほぼ限界に達し、それ以上の微粒子化は、媒体材料やヘッド材料を大きく変化させる必要性が求められる。この段階で、第 4 章で検討した垂直媒体への転換の機会があるが、その場合には、100 Gbit/in² まで耐えられる、S/N 比、および、熱安定性を示す必要がある。現在、垂直磁気記録の研究に最も求められていることは、高い垂直磁気異方性を持つ垂直媒体の熱安定性と、ノイズ特性を検討することである。