

氏 名	杉 田 龍 二
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 3 年 12 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 51 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 前期 2 年の課程修了
学 位 論 文 題 目	真空蒸着法による Co-Cr 垂直磁気テープの作製法に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 中村 慶久 東北大学教授 荒井 賢一 東北大学教授 脇山 徳雄

論 文 内 容 要 旨

家庭用 VTR 技術は 8 ミリ VTR の出現で装置の小型化が一応達成された。しかし、より高画質で、ダビングによる特性劣化もない理想的な録画方式を採用する VTR として、デジタル VTR の実現が次世代家庭用 VTR の目標になっている。このようなデジタル VTR を開発するには、原理的には、現在の 2 倍以上の記録密度の向上が必要であり、垂直磁化方式による飛躍的な高密度化が望まれている。垂直磁化方式がデジタル VTR に適用できるためには、所望の垂直磁気記録特性をもった Co-Cr 金属磁性膜からなる垂直磁気テープの量産を実現することが必須の条件である。本論文は、以上の状況を踏まえ、次世代の家庭用デジタル VTR を実現するために、1 ビットを 1 平方 μm 以下に記録できる Co-Cr 垂直磁気テープの量産法を確立し、高密度化の可能性を確認して、実用化の見通しを得ることを目的として行った研究の成果をとりまとめたものである。

本研究では、具体的目的として、第 1 に、金属膜磁気テープの大量生産を実現できる真空蒸着法を用いて、Co-Cr 垂直磁気記録媒体の作製法上の種々の物理的条件を調べ、膜堆積速度 $0.1 \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上の高堆積速度の作製条件を明らかにすることを目指した。第 2 には、これらの条件を長尺テープの連続作製に適用し、作製技術の確立をはかった。これには、ベースフィルムを円筒状キャンに沿って走行されながら、電子ビーム蒸着を行う連続蒸着法を採用した。さらに第 3 には、試作した垂直磁気異方性をもつ Co-Cr 蒸着テープを媒体としてデジタル VTR に用いる場合の性能評価を行い、その上で最終的な設計指針を得ることとした。

本論文の概要を各章ごとにまとめると次のようになる。

第1章 緒 論

本研究の動機、意義、目的を述べた。

第2章 Co-Cr スパッタ膜の磁気特性と構造

本章では、垂直磁気記録媒体として磁気特性的に最も優れたものがこれまで得られていた、スパッタ法で作製された Co-Cr 膜の磁気特性、結晶構造および微視的膜構造について、詳細に結果を述べている。

スパッタ法で作製された Co-Cr 垂直磁気異方性膜は、磁気特性的には、極めて強い垂直磁気異方性および膜面に垂直な方向での高い保磁力をもっており、hcp 構造の柱状結晶粒からなっている。その c 軸は膜面の垂直方向に強く配向しており、磁化反転機構は磁化回転型に近い。この結晶構造による結晶磁気異方性が、膜面の垂直方向を磁化容易軸とする強い垂直磁気異方性を誘起している。

第3章 真空蒸着法による Co-Cr 垂直磁気異方膜の高速作製

本章では、先ず、連続蒸着法による Co-Cr 垂直磁気異方性膜の主要作製因子として不純物ガス圧、基板温度、膜堆積速度に着目し、これらと磁気特性との関連を論じている。蒸着装置の真空槽内の不純物ガス圧が 1×10^{-4} Torr 以下であれば、Co-Cr 膜の磁気特性にほとんど変化は見られず、したがって、連続蒸着装置では 10^{-5} Torr 台の真空槽内の残留ガス圧が確保できれば十分であるとの結論を得た。また、作製因子の中で、垂直方向保磁力におよぼす影響は基板温度が最も顕著で、基板温度の上昇とともに垂直方向保磁力は急激に高くなった。さらに、膜堆積速度に関しては、 $0.03 \sim 1.2 \mu\text{m}/\text{sec}$ の範囲では磁気特性にほとんど差がみられず、 $1 \mu\text{m}/\text{sec}$ を越える膜堆積速度で作製しても垂直磁気テープとして使用可能であることが確認された。

次に、蒸気圧の異なる 2 元素から成る Co-Cr 蒸着膜を連続的に作製する際の組成変動について述べ、その制御法を明らかにした。Co と Cr を同一の蒸発源から蒸発させて連続的に膜を作製すると、長尺媒体の始端に比べ終端では膜の Cr 濃度が大幅に減少し、長尺にわたって一定組成の媒体が得られない。これを改善するため、二源蒸着法あるいは Cr 連続供給法を新たに採用して、この問題が解決できることを明らかにした。

最後に、飛来原子の基板への入射角と結晶配向性との関連および膜堆積速度などについて調べ、Co-Cr 垂直磁気テープの作製速度についての見通しを得た。連続蒸着法においては、基板走行方向で蒸着露出長を長くすることが課題であるが、これにより結晶配向が損なわれないための条件を明らかにした。特に蒸発原子の基板への入射角については、膜形成初期の入射角を 40° 以下に設定すれば、極めて高い蒸着効率が容易に達成できることを見いだした。また、 $1 \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上の膜堆積速度も可能であることを確かめ、量産機では、高分子フィルムを $100\text{m}/\text{min}$ 以上の速度で走行させても Co-Cr 膜を付着させられる見通しを得た。その結果、4 時間デジタル録画が可能な垂直磁気テープを月 100 万巻の割合で生産できると結論付けられた。

第4章 Co-Cr 蒸着膜の磁気特性と構造

本章では、連続蒸着法で $0.1\ \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上の高い膜堆積速度で作製した Co-Cr 膜について、磁気特性や結晶構造、微視的膜構造および微視的偏析構造などを、スパッタ法により作製されたものと比較しながら、詳細に調べた。その結果、蒸着膜はスパッタ膜に比べ、垂直異方性磁界および垂直方向保磁力は低いものの、垂直磁気記録媒体として十分な垂直磁気異方性を基本的に備え、垂直磁気テープとして使用可能な性質を有していることを確認した。

Co-Cr 蒸着膜は Co-Cr スパッタ膜と同様に柱状構造をしていることが透過電子顕微鏡観察により確認され、さらに、オージェ電子分光分析による膜破断面方向での組成分布分析から、柱状結晶粒界面には Cr が偏析していることを初めて見いだした。さらに、蒸着時の基板温度が高くなると、この偏析量が増加して柱状結晶粒界面が常磁性体となり、柱状結晶粒は単磁区粒子的にふるまうようになることも認められた。この柱状構造および Cr 偏析構造は、作製方法によらず、Co-Cr 垂直磁気異方性膜に特徴的なものである。

このように、これまでスパッタ法でしか実現していなかった Co-Cr 垂直磁気異方性膜が、連続蒸着法によっても実現可能で、かつ $0.1\ \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上の高い膜堆積速度で得られることを明らかにしたことは、実用化の見通しを与える重要な結果である。

第5章 Co-Cr 蒸着膜における結晶整長制御

本章では、連続蒸着法による Co-Cr 膜の結晶成長の改善法を見だし、また軟磁性膜を裏打ち層とする二層膜媒体において、結晶配向性のみならず、軟磁性裏打ち層の薄い領域で良好な軟磁気特性を確保するための新しい手法を見いだした。

まず、下地の結晶配向性と Co-Cr 膜の結晶配向性との関連を調べ、膜堆積速度を $0.1\ \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上に高めて作製する場合でも、下地の結晶配向性が Co-Cr 膜の hcp 微結晶粒の c 軸配向性に大きな影響をおよぼすことを見いだした。すなわち、高分子フィルム上に直接 Co-Cr 膜を形成する場合に比較して、c 軸が垂直方向に鋭く配向した Ti 膜下地を用いると、Co-Cr 膜の c 軸の垂直配向性も鋭くでき、垂直磁気異方性の高い膜を形成できる。軟磁性膜を裏打ち層とする二層膜媒体を連続蒸着法で作製する場合にも、パーマロイ裏打ち層上に直接 Co-Cr 膜を形成すると、単層状態と比べ結晶配向性は著しく劣化するが、膜表面から順に、Co-Cr/Ti/パーマロイ、あるいは Co-Cr/パーマロイ/Ti の各層からなる構成にすると、Co-Cr 膜の結晶性、結晶配向性ともに改善される。

次に、二層膜媒体を作製する場合の軟磁性裏打ち層として、パーマロイ膜の磁気特性の検討を行った。その結果、膜厚が $0.2\ \mu\text{m}$ 以下のパーマロイ膜は一軸磁気異方性を有し、基板幅方向が磁化容易軸、基板走行方向が磁化困難軸であることや、柔軟なテープ媒体を得るためにパーマロイ軸の膜厚を $0.2\ \mu\text{m}$ 以下にすると、Co-Cr 膜との磁気的な相互作用により、パーマロイ膜の軟磁気特性が、見かけ上劣化することなどが明らかになった。このため、Co-Cr 膜との間に膜厚 $0.01\ \mu\text{m}$ 程度の薄い Ti 膜を挿入し、磁気絶縁層を形成させると膜間の磁気的相互作用が大幅に減少し磁気特性が改善されることを見いだした。

第6章 垂直磁気記録媒体としての性能

本章では、Co-Cr 蒸着駆を垂直磁気記録媒体として用いた場合の性能を評価し、家庭用デジタル VTR テープとしての可能性を検討した。

ビデオテープには、磁気特性や記録特性ばかりでなく、VTR 装置で十分長時間走行が可能な耐久性が要求される。このため、先ず、Co-Cr 蒸着膜の表面に大気中で酸化処理を施すことにより耐久性が確保できることを実験的に明らかにした。

以上の結果にもとづいて試作した Co-Cr 単層膜媒体について、狭ギャップ長の Mn-Zn フェライトリングヘッドを用いて記録再生特性を測定した。その結果、短波長記録にとって垂直磁気異方性をもつ記録媒体を用いることが必須の条件であること、および保磁力は記録密度を制限しないことを確認した。また、高い再生出力および CN 比の得られる媒体条件を見だし、130kFRPI の高記録密度において、トラック幅 $5\ \mu\text{m}$ 、媒体・ヘッド相対速度 $3\ \text{m}/\text{sec}$ なる条件で、45dB 以上の CN 比を得た。これは、1 ビットを $1\ \mu\text{m}^2$ に記録し、十分な SN 比で再生できることを実証したものである。この CN 値から、判断して、現在市販されている 8 ミリ VTR と同程度のカセットの大きさで 4 時間以上録画でき、家庭用デジタル VTR の実現が十分可能であることが確かめられた。

さらに、将来の一層の高密度化を実現するには、単磁極形磁気ヘッドと軟磁性膜を裏打ち層とする二層膜媒体との組み合わせが必要であるが、磁気テープの構成を、Co-Cr/Ti/パーマロイからなる二層膜媒体とすると、磁性層総膜厚が $0.3\ \mu\text{m}$ 以下であっても高い再生出力が得られることを確かめた。これは、磁性層の総膜厚を $0.3\ \mu\text{m}$ 以下にして柔軟性を確保した二層膜構造の垂直磁気テープが実現可能であることを示したもので、将来の一層の高密度化の可能性を約束するものである。

第7章 結 論

本章では、次世代家庭用デジタル VTR に適した Co-Cr 垂直磁気テープを開発した成果をまとめ、現用の塗布型磁気テープに匹敵する生産性が確保でき、面記録密度 $1\ \mu\text{m}^2/\text{ビット}$ の小型家庭用デジタル VTR が実現できることと、さらに今後の展望を述べている。

審査結果の要旨

デジタルVTRは高画質でダビングによる特性劣化もない理想的な磁気録画方式である。しかしこれを実現するには、現在の2倍以上の記録密度の向上が必要である。このため垂直磁化方式による飛躍的な高記録密度化が期待されているが、これには記録媒体の量産技術の開発が必須の条件である。筆者は1ビット当たりの占有面積が $1\ \mu\text{m}^2$ 以下の高記録密度を実現することを目標に、Co-Cr垂直磁気テープを電子ビーム蒸着法を用いて秒速 $1\ \mu\text{m}$ 以上の高膜堆積速度で量産する技術を確立した。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全編7章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、スパッタ法で作製し、垂直磁気記録媒体として最も優れた記録特性が得られているCo-Cr膜の特質を詳細に調べ、蒸着法で目標とすべき磁気特性、微細膜構造などを明らかにしている。

第3章では、連続蒸着法でCo-Cr垂直磁気異方性膜を高速作製する条件、とくに不純物ガス圧、基板温度、膜堆積速度などと磁気特性との関連を詳細に調べ、真空槽内の不純物ガス圧を 1×10^{-4} Torr以下、膜形成初期の蒸発原子の基板入射角を 40° 以下に設定し、新たに開発したCr連続供給法を用いて、膜堆積速度秒速 $1\ \mu\text{m}$ 以上で長尺Co-Cr垂直磁気テープが作製できることを明らかにしている。これは実用上極めて有用な成果である。

第4章では、連続蒸着法により高速作製したCo-Cr膜の磁気特性、微視的膜構造などを詳細に調べ、蒸着膜もスパッタ膜と同様にc軸が膜面に垂直配向した柱状hcp結晶粒からなり、垂直記録媒体に必要な垂直磁気異方性と高い保磁力を実現していることを明らかにしている。とくに結晶粒界にCrが偏析し結晶粒が単磁区的に振る舞うことを初めて明らかにしたのは、特筆すべき成果である。

第5章では、c軸が垂直配向したTi膜などを下地槽にすると、連続蒸着法でも、Co-Cr単槽膜、あるいはFe-Ni/Co-Cr二槽膜にかかわらず、Co-Cr槽を構成するhcp微結晶粒の結晶性、c軸配向性とも向上し、良好な垂直磁気テープが作製できることを述べている。

第6章では、表面を酸化処理したCo-Cr垂直磁気テープは、耐久性もあり、 $1\ \mu\text{m}^2$ 以内に1ビットが記録できるだけでなく、市販の高性能テープよりS/Nも高く、デジタルVTRを実現するのに十分な性能をもっていることを実証している。

第7章は、結論である。

以上要するに本論文は、高性能デジタルVTRを実現するCo-Cr垂直磁気テープの蒸着法による量産技術を開発するとともに、高密度垂直磁気記録媒体に必要な微視的磁気物性を明らかにしたもので、磁気工学、記録工学の発展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。