

氏 名	小 林 和 雄
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 24 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) 応用物理学専攻
学 位 論 文 題 目	リラクタンス法による垂直磁気記録特性の解析に 関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 宮崎 照宣
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 宮崎 照宣 東北大学教授 中村 慶久 東北大学教授 島田 寛

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

電子計算機の外部メモリーとしてのハードディスクは年々小型化の方向に向かっており、その面記録密度は年率 60% の勢いで増加の一途をたどっている。面記録密度の増大には、線記録密度およびトラック密度を増大させねばならず、トラック密度の向上には、再生出力の増大が必要な条件の一つである。この高密度化を達成する技術として本研究では、垂直磁気記録方式を取り上げる。

研究は垂直磁気記録のハードディスクへの応用をめざして行い、ハードディスク用基板上に Co-Cr 垂直媒体を作製し、薄膜プロセスを用い単磁極ヘッドを作製し、記録再生特性を評価することにより、単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせが垂直記録として最適であることを見出した。しかし、得られた線記録密度および再生出力が理論的に見て妥当な値なのか、また、ヘッド媒体の諸元および諸特性を変化させた場合に記録再生特性はどのような依存性を示すべきか、等については明らかとされていなかった。そこで、本研究では、限界記録密度 D_0 および再生出力を理論的に求める手法を開発することを目的とする。また、最近の高記録密度特性のデータを解析し、さらなる高性能化高密度化のための、ヘッド媒体への提言を行う。

第 2 章 Co-Cr 媒体の作製

Co-Cr 媒体のスパッタリングによる作製方法について検討し、成膜条件依存性、基板による相違、

基板温度の影響, Ti 中間層の効果等の調査を行った。スパッタ時の Ar ガス圧が Co-Cr 膜の c 軸配向性に一番大きな影響を与えること, またハードディスク用アルミ基板の上でも, Co-Cr 垂直記録媒体と裏打ち軟磁性層の間に薄い Ti 層を設けることによって, 図 1 に示す様に, 垂直配向性の良い媒体の得られることを明らかとした。さらに, Co 膜への Cr 以外の添加元素として, Ti, W, Mo, Rh, Pd (Co-M 膜) を選び, 結晶配向性および磁気特性を評価し, Co-Cr 膜が一番垂直異方性の強いことを明らかとした。

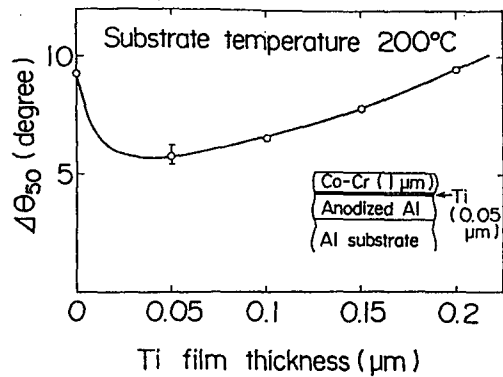


図 1 分散角 $\Delta \theta_{50}$ の下地層 Ti 膜厚依存性

第 3 章 リングヘッドおよび垂直単磁極ヘッドによる記録再生特性比較

ハードディスク用垂直単磁極ヘッドを開発し, Co-Cr 二層膜媒体を用いて, 垂直記録の可能なことを確認した。また, Co-Cr 単層膜媒体と狭ギャップリングヘッドとの組み合わせにおいて, 完全な垂直記録ではないが, 限界記録密度 D_{50} で約 70kFCI なる高密度特性を得ることができた。さらに, リングヘッドと単層膜媒体の組み合わせ, および垂直単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせにおいて, 記録再生波形, 110パターンピークシフト, S/N, ビッター図形による記録状態の深さ依存性等について比較した。単層膜媒体とリングヘッドを組み合わせた場合には, 見掛け上は高い記録密度が得られるものの, ピークシフトが大きく, 水平記録成分の多い媒体表層の記録しかできないが, 単磁極ヘッドと二層膜媒体を組み合わせた場合には, S/N が大きく, 媒体下層まで垂直にシャープな記録が可能であり, 垂直記録としては単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせが理想的であることを明らかにした。

第 4 章 垂直単磁極ヘッドと垂直二層膜媒体の組み合わせでの記録再生特性

パーマロイに比較して飽和磁束密度および透磁率の高いアモルファス Co-Zr 膜 (B_s : 16000G, μ : 5000) を用いた単磁極ヘッドを試作し, 図 2 に示す様に, 主磁極厚 T_m が 0.2 μm , Co-Cr 膜厚 δ_{CoCr} が 0.14 μm のヘッド媒体の組み合わせで, 浮上量 h が 0.05 μm において, D_{50} で 70kFCI なる高密度特性を得ることができた。さらに, ヘッドおよび媒体の各

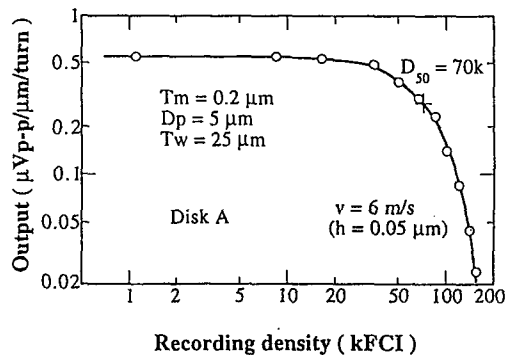


図 2 単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせでの記録密度特性

種パラメータを変え、記録再生特性を測定した結果、高記録密度特性を得るためには、ヘッドとしては主磁極厚を薄くし、媒体としてはCo-Cr層の厚さを薄くし、かつ垂直方向保磁力を高める必要のあることが分かった。

第5章 記録密度 D_{50} の解析

単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせの場合について、限界記録密度 D_{50} を厳密に求める方法を確立した。裏打ち軟磁性層によって生ずるヘッドの鏡像を考慮し、相反定理を適用することによって、再生出力の周波数依存性はヘッドから発生する磁場のフーリエコサイン変換の各高調波成分の和で表される。媒体の磁化遷移がシャープであり、矩形波で表されると仮定し、ヘッド磁場として、等角写像法により解析的に得られた、記録層と裏打ち軟磁性層との境界の磁場分布を用い、計算機により D_{50} を求める手法を確立した。本手法では、ヘッド媒体の幾何学的諸元が与えられれば、 D_{50} を求めることが可能である。 D_{50} のスペーシング依存性、主磁極厚依存性、Co-Cr 記録層厚依存性等を計算し、実験結果との比較を行った。図3に、 D_{50} のスペーシング依存性の実験結果と計算結果の比較を示す。計算と実験は良い一致を示し、 D_{50} の向上には、記録できる範囲で主磁極厚を薄くし、磁化記録層としてのCo-Cr層を薄くし、スペーシングを極めて小さくする必要のあることを理論的に明確にすることができた。

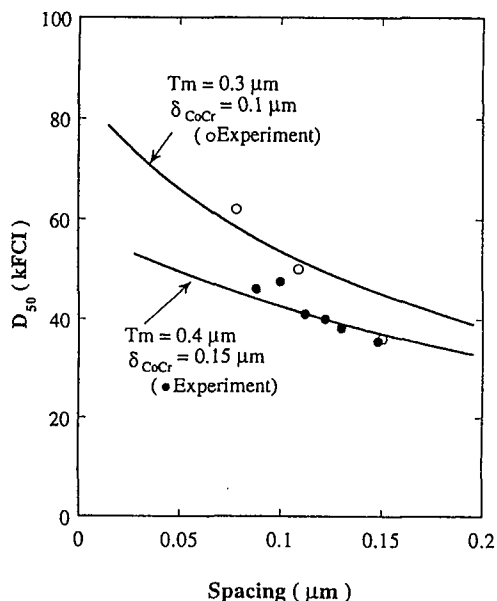


図3 限界記録密度 D_{50} のスペーシング依存性の実験と計算の比較

第6章 リラクタンス法による再生出力の解析

従来磁気回路の解析として知られているリラクタンス法を新たに適用し、再生出力を理論的に導出する手法を確立した。主磁極とCo-Cr二層膜媒体の間の対向のリラクタンスだけでなく、磁束の漏れ部分のリラクタンスを三次元的に考慮し、ヘッド媒体系のパーミアンス係数を求め、媒体の減磁曲線より磁束密度および減磁界を求め、これにもとづいて再生出力を計算する方法

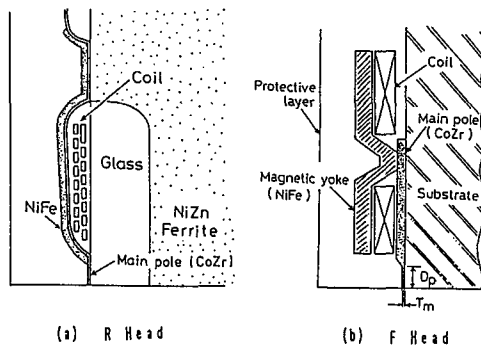


図4 単磁極ヘッドの断面構造

である。主磁極先端と二層膜媒体の間の磁束の漏れとして、パラメータ n を導入し、磁束が nc (c はスペーシング) にわたって均一に分布していると仮定し、 n 値を実験データより決定した ($n=1$)。本手法では、ヘッド媒体の諸元が与えられれば、等角写像法により計算した D_{50} を用いて、再生出力の絶対値を計算することが可能である。図 4 に示す二種類のヘッドについて計算を行い、実験との比較を行った結果を図 5 に示す。裏打ち Ni-Fe 膜が薄いため、R ヘッドについては計算と実験のギャップがあるものの、計算は実験と良い一致を示す。また、再生感度の向上には、Co-Cr 媒体の保磁力を増大させること、およびスペーシングを極めて小さくする必要のあること、等を理論的に明らかにした。

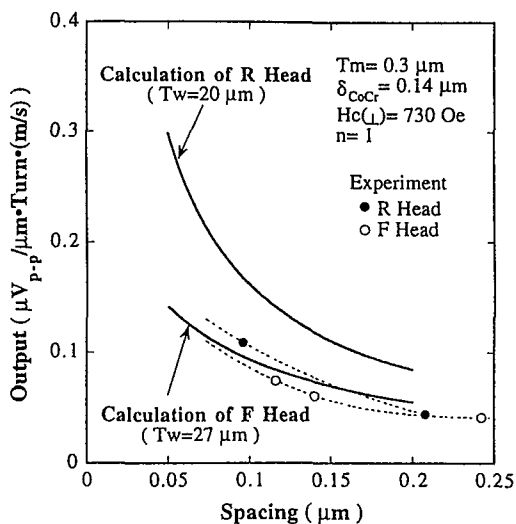


図 5 再生出力のスペーシング依存性の実験と計算結果の比較

第 7 章 等角写像法およびリラクタンズ法によるデータ解析

これまでに各研究機関において発表された高記録密度特性のデータを、等角写像法による D_{50} の解析手法、およびリラクタンズ法による再生出力の解析手法を用いて解析を行った。解析の結果、一般に実験での D_{50} は計算より高めの値となるが、再生出力は計算より低めの値となった。この原因として、裏打ち Ni-Fe 層と Co-Cr 層の境界付近の Co-Cr 層の保磁力が小さくなり、実効的に Co-Cr 層が薄くなっているためであると予想できた。また、Co-Cr 層が薄いほど再生出力が得られにくい傾向を示した。高密度特性を得るためには、媒体としては、Co-Cr 層を薄くし、薄くとも垂直配向性が良く角形性が劣化せず、かつ飽和磁束密度の高い媒体開発が必要なこと、ヘッドとしては、スペーシングを極めて小さくしコンタクトに近い状態の実現、主磁極厚さが薄くとも記録できる高飽和磁束密度を持ったソフト材料の開発、ヘッド全体の磁気抵抗を下げるためのヘッドの小型化等が必要である、等の提言を行った。

第 8 章 結 言

垂直単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせにおいて、得られた高記録密度特性が理論的に見て妥当な値であるのかを明らかにするため、等角写像法を用いたヘッド磁場分布より厳密に D_{50} を求める解析手法、およびリラクタンズ法による再生出力の絶対値を求める解析手法を開発した。計算結果は実験結果を良く説明でき、各研究機関において発表されている最近のデータも解析することによって、本解析法の有用性が実証されるとともに、今後の高密度化に向けてヘッド媒体への提言を行った。本手法は、比較的簡単な計算で三次元的に取り扱え、物理的性質も把握しやすく、垂直記録のヘッド媒体の解析および設計法として非常に有用である。

審査結果の要旨

垂直磁気記録は、磁化遷移領域が広がらず急峻であり、本質的に高密度記録に向けた方式である。これまでに、垂直単磁極ヘッドと Co-Cr 二層膜媒体の組み合わせに於いて、高密度特性が得られている。しかし、実験で得られた記録密度および再生出力が理論的に見て妥当な値が否か、ヘッド媒体の諸元及び諸特性を変えた場合に記録再生特性が如何に変化するのか、等についてはほとんど明らかではなかった。本論文は、限界記録密度 D_{50} および再生出力を理論的に求める手法を開発した成果をまとめたものであり、全 8 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、スパッタリングによる Co-Cr 垂直記録媒体の作製条件の検討結果、およびハードディスクへ適用した場合の磁気的および構造的特性について述べている。Co-Cr 層の下地として薄い Ti 層をもうけることによって、C 軸が膜面に垂直に良く配向したディスクの作製を可能とした。

第 3 章では、リングヘッドと Co-Cr 単層膜媒体の組み合わせ、および垂直単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせによる記録再生特性を比較した結果について述べている。記録再生波形、110 パターンのピークシフト、S/N、ビッター図形による記録状態の観察等により、垂直単磁極ヘッドと Co-Cr 二層膜媒体の組み合わせが垂直磁気記録に最適な組み合わせであることを明らかとした。

第 4 章では、単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせに於いて、ヘッドおよび媒体のパラメータが記録再生特性に与える影響について述べている。飽和磁束密度が高く、透磁率の大きい Co-Zr アモルファス主磁極材料を用いて単磁極ヘッドを試作し、主磁極厚を薄くし、Co-Cr 厚を薄くすることによって、限界記録密度 D_{50} として 70kFCI が得られる。

第 5 章では、等角写像法によるヘッド磁場分布を用いて、限界記録密度 D_{50} を厳密に求める手法および解析結果について述べている。ヘッド媒体の幾何学的諸元が与えられれば、 D_{50} を求めることが可能である。高記録密度の達成には、主磁極厚を薄くし、ヘッドと媒体のスペーシングを下げ、さらに Co-Cr 層を薄くせねばならないことを理論的に明らかとした。

第 6 章では、リラクタンス法によって再生出力を求める手法を確立し、それを用いた解析結果について述べている。本手法では、ヘッド媒体の諸元が与えられれば、再生出力の計算が可能である。再生出力は、動作点が媒体の減磁曲線の保磁力一定の線上にある場合には、Co-Cr 媒体の垂直方向の保磁力に比例すること、再生感度の向上にはスペーシングを極めて小さくする必要のあること等を明らかにした。本手法は、ヘッド媒体の設計指針を得るのに非常に有用であり、主磁極からの磁束の漏れのみを変数として三次元的に扱うことができ、物理的性質も把握しやすいという特徴を有している。

第 7 章では、第 5、第 6 章で記述した手法の有用性を更に確認するため、既に報告されている限界記録密度および再生出力の実験データと等角写像法およびリラクタンス法による計算結果との比較検討を行っている。一般に D_{50} の実験値は計算より高めであり、再生出力の値は実験より低めの値を示した。この原因として裏打ち Ni-Fe 層と Co-Cr 層の境界付近の Co-Cr 層の保磁力が小さ

くなり、実効的に Co-Cr 層厚が薄くなっているためと指摘している。また、今後の高密度化に向けて、ヘッドおよび媒体への提言も行っている。

第 8 章は、結論である。

以上要するに、本研究は単磁極ヘッドと Co-Cr 二層膜媒体の組み合わせでの垂直磁気記録において、限界記録密度 D_0 および再生出力を理論的に求める手法を開発したものであり、応用物理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。