

氏名（本籍）	いせ かずゆき 伊勢 和幸（秋田県）
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	情博第311号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）システム情報科学専攻
学位論文題目	垂直磁気記録システム用単磁極記録ヘッドの高性能化の研究
論文審査委員	（主査）東北大学教授 沼澤 潤二 東北大学教授 鈴木 陽一 東北大学教授 村岡 裕明 東北大学客員教授 中村 慶久 (工学研究科)

## 論文内容要旨

### 第1章 序論

情報ストレージ技術は、情報処理技術、情報伝達技術と共に、今日の高度情報化社会を支える基板技術の一つである。その中でも磁気記録を用いたハードディスク装置は、大容量性、高速性、低廉性、ランダムアクセス性などに優れることから、コンピュータのみならず、ビデオレコーダやカーナビゲーション、更にはその小型化にもよって各種モバイル機器等にも幅広く用いられている。

これまで磁気記録に用いられてきた長手記録方式は、記録密度の増大に伴って記録磁化の状態が熱的に不安定になり、高密度化の限界が指摘されている。これに替わると期待される垂直記録方式は、高密度ほど隣接する記録ビット間での静磁気的な相互作用により磁化が安定し、原理的に高密度記録に適した方式である。この垂直磁気記録方式を実現するヘッド・媒体の組み合わせとして、単磁極ヘッドと二層膜垂直媒体との組み合わせがある。しかしながら、その実用化のためには、単磁極ヘッドにおいて浮遊磁界耐性など解決しなければならない問題点がある。

そこで、本研究は効率の良い励磁が可能であることはもとより、浮遊磁界にも強く、且つ、生産性にも優れた記録ヘッド構造を提案することを目的とした。

### 第2章 垂直磁気記録用単磁極ヘッド

本章では、垂直磁気記録に用いられる単磁極ヘッドの歴史的な変遷とともに、実用化に向けての課題を明示した。単磁極ヘッドの構造は、補助磁極励磁型から主磁極励磁型へ、バルク型から薄膜型へと推移することによって、記録媒体の片側からアクセスしやすくなり、且つ、生産性に優れ小型化したことによってハードディスク装置に搭載しやすい構造となった。しかしながら、その実用化のためには、いくつかの問題点が指摘されていた。すなわち、①媒体の磁気緩和の抑制、②主磁極と軟磁性裏打ち層とのスペーシングによる記録分解能の制限、③主磁極の残留磁化による記録磁化の消去、④外部の浮遊磁界の影響、などである。特に後者の2つの課題は単磁極ヘッドに依存する課題である。その他にも、将来の高密度化を見据えた場合、狭

トラックでも強い磁界が発生できること、記録磁界分布が急峻であること、等が必要であることを示した。

### 第3章 カスプコイル励磁型単磁極記録ヘッド

本章では、第2章で明示した単磁極ヘッドの課題を鑑みて、新規構造の単磁極ヘッドについて述べた。すなわち、始めに3次元有限要素法による計算により、浮遊磁界に強く、記録感度の高いヘッド構造として、主磁極を2つの補助磁極で挟む構造が浮遊磁界耐性の向上に有効で、更に主磁極の両側にスパイラルコイルを配置し、そのコイルをバイファイラー (bifilar) に接続したカスプコイルで励磁する構造が記録効率の観点で有効であることがわかった。この計算結果を基に図1に示すような新規構造の単磁極ヘッド、カスプコイル励磁型単磁極ヘッドを提案し、実際に一般的な薄膜微細加工技術を用いて試作した事を示した。

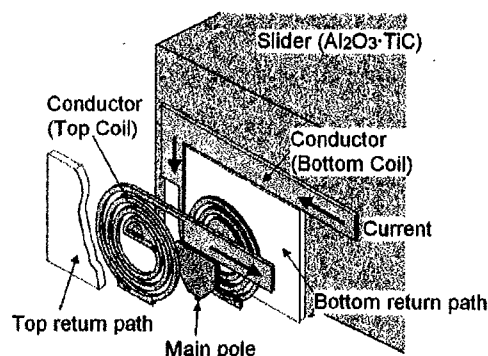


図1. カスプコイル励磁型単磁極記録ヘッド

### 第4章 カスプコイル励磁型単磁極ヘッドの記録再生特性

本章では、第3章で提案・試作したカスプコイル励磁型単磁極ヘッドの記録再生特性について述べた。ここでは始めに従来型の薄膜単磁極ヘッドと比較し、本磁気ヘッドが励磁効率の向上と素子の小型化に伴い、1桁近く記録効率が良いことを示した。続いて、高密度化に向けて狭トラック幅に作製したヘッドで記録を行い、 $0.2 \mu\text{m}$ のトラック幅で実用的な特性が得られ、更に、 $80 \text{ nm}$ のトラック幅でも記録可能であることが磁気力顕微鏡 (MFM) 観察により示した。更に、主磁極材料に近年報告されている飽和磁束密度が $2.4 \text{ T}$ 級の高飽和磁束密度材料を用いることによって、それに見合った記録特性の改善も得られることを示した。

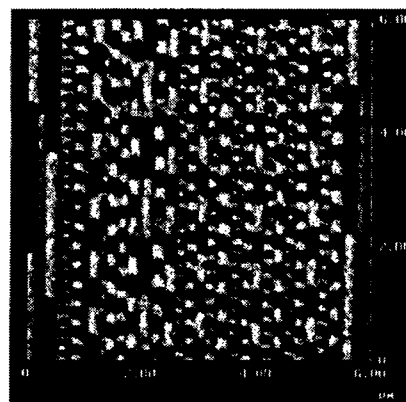


図2. トラック幅  $0.2 \mu\text{m}$ での記録

### 第5章 カスプコイル励磁型単磁極ヘッドの高分解能化

本章では、高密度化に不可欠な記録分解能の向上について述べた。ここでは始めに3次元の有限要素法による計算により、ヘッド記録磁界を急峻にするには、主磁極側面から漏れ出て磁界の急峻化に余分な磁束を吸収するように主磁極の近傍に磁気ヨークを配置する構造が有効であることを示した。この設計指針を実現する単磁極ヘッド構造として2つのヘッド構造の提案を行った。

1つは主磁極と補助磁極との間隔を狭くしたもの、もう1つはヘッド表面に薄い磁気ヨークを設けたものである。これらのヘッドを実際に試作し、どちらのヘッドにおいても記録磁界の急峻化に伴うと考えられる線記録密度の向上が確認出来たことを示した。

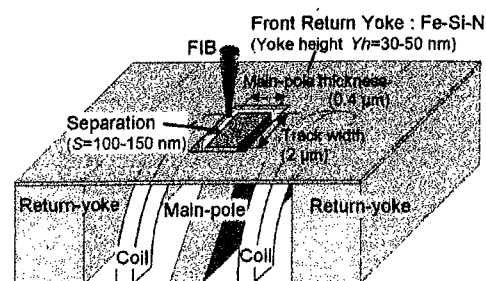


図3. 高分解能単磁極ヘッド

## 第6章 カスプコイル励磁型単磁極ヘッドの実用特性

本章では、提案したカスプコイル励磁型単磁極ヘッドの実用上の諸特性について述べた。始めに高速転送レートの実現に必要な不可欠な低インダクタンス性の周波特性を調べたところ、 $1.8 \text{ nH}$  と小さく、周波数  $500 \text{ MHz}$  まで動作が可能であることを示した。また、実用上かねてから問題として指摘されていた浮遊磁界耐性については、少なくとも  $20 \text{ Oe}$  まではほとんど影響を受けず、実用上問題ないことを示した。更に、ストレージシステムとしてその量産化を考慮した場合に、記録媒体の軟磁性裏打ち層の薄層化も重要な課題の一つであると考えられる。この課題に対しても、本提案のカスプコイル励磁型単磁極ヘッドでは、ヘッド主磁極から発生した磁束が軟磁性裏打ち層内で2つある補助磁極の方向に分流することによって、軟磁性裏打ち層の飽和が緩和され、従来型のヘッドに比べて薄い軟磁性裏打ち層の媒体と組み合わせても良好な記録特性が得られることを示した。

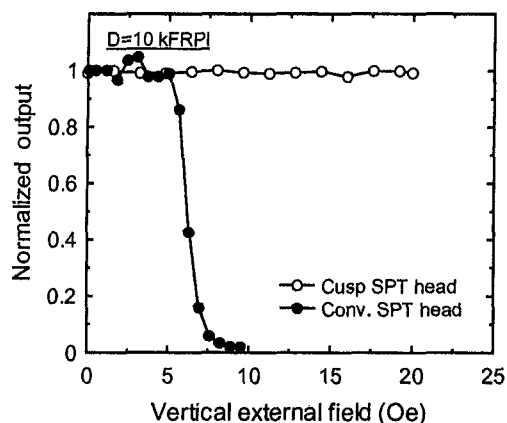


図 4. 外部浮遊磁界耐性

## 第7章 結論

以上から、新規単磁極ヘッド構造としてカスプコイル励磁型単磁極ヘッドを提案・試作し、種々の点で従来の単磁極ヘッドよりも優れていることを実証し、本研究の目的を十分に達成したといえる。

実用に至るために解決しなければならない課題もあるが、カスプコイル励磁型単磁極ヘッドで新たな可能性を示したことは、今後の磁気ヘッドの開発研究に一石を投じたものと考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

垂直磁気記録方式は、従来の長手磁気記録方式と比較して原理的に高密度記録に適した方式であることが認められ、その実用化に向けてキーデバイスである記録ヘッド・記録媒体に関して世界的な研究開発努力がなされてきた。記録ヘッドでは、記録磁束を効率よくしかもシャープに記録媒体に導く構造・材料設計技術が必要となる。著者は、垂直磁気記録システム用単磁極記録ヘッド構造としてカスプコイル励磁型薄膜単磁極記録ヘッドを考案し、シミュレーションにより優れた記録性能を証明するとともに、本ヘッドの試作に取り組み、その記録性能と生産性に優れていることを実証した。本論文は、この研究成果についてまとめたもので、全文7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では、これまで研究開発されてきた単磁極記録ヘッドについて分析し、現時点における課題について述べている。

第3章では、3次元有限要素法によるシミュレーションを用いてカスプコイル励磁型薄膜単磁極記録ヘッドの構造設計と試作を行い、本ヘッドが生産性に優れていることを実証している。これは垂直磁気記録方式実用化へ向けての大きな成果である。

第4章では、試作されたカスプコイル励磁型単磁極記録ヘッドを用いて記録再生実験を行い、従来型の単磁極記録ヘッドと比較して1桁近く記録感度が優れていることを実証した。

第5章では、カスプコイル励磁型単磁極ヘッドの優れた記録感度特性を活用するための狭トラック化について3次元有限要素法を用いたシミュレーションを行い狭トラック化に適したカスプコイル励磁型単磁極ヘッド構造を提案し、試作ヘッドによる記録再生実験によってその有用性を実証した。

第6章では、記録感度とともに実用上重要な広帯域特性・外部磁場擾乱に対する耐性についても実験的に検証し、従来型ヘッドより本カスプコイル励磁型単磁極記録ヘッドが優れていることを実証した。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、カスプコイル励磁型単磁極記録ヘッドを新たに考案し、シミュレーションによる構造設計、試作、特性評価によってその優れた実用性と生産性の実証に成功したものであり、情報ストレージ工学及びシステム情報科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（情報科学）の学位論文として合格と認める。