

氏 名	山 本 節 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 60 年 3 月 26 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 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	高密度垂直磁気記録に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 岩崎 俊一
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 岩崎 俊一    東北大学教授 高橋 実 東北大学教授 池田 拓郎    東北大学教授 藤森 啓安 東北大学助教授 中村 慶久

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

垂直磁気記録は、原理的に高密度記録に適した記録方式である。垂直記録用磁気ヘッドとして用いられている補助磁極励磁形単磁極ヘッドは、記録媒体との組合せによってヘッド磁界の強さや分布が変わり、記録再生特性に大きな影響を与えることが知られている。この現象は、「ヘッド・媒体間磁氣的相互作用」と呼ばれている。

これまでの研究により、記録に関しては極めて高い線密度の記録が実現されており、高密度特性は主として再生時における単磁極ヘッドの分解能で制限されていることが明らかになっている。したがって垂直記録において面記録密度を増すには、単磁極ヘッドの再生分解能を高めて線密度を増すこと、およびトラック密度を増すことが効果的であると考えられる。

本論文ではこのような観点から、単磁極ヘッド・媒体間に強い磁氣的相互作用を導いて単磁極ヘッドの再生感度や分解能を向上させることによる高線密度記録と、狭トラック化による高トラック密度記録の実現の可能性について検討を行なっている。

## 第2章 垂直磁気記録の概要

ヘッド・媒体間磁氣的相互作用は、定性的に次のように説明されている。すなわち、単磁極ヘッドは本来開磁路構造であり、主磁極先端には強い減磁界が作用するため、主磁極の磁化レベルは低く、発生する磁界は弱い。しかし、記録時のように、飽和磁化の大きいCo-Cr層や透磁率の高い軟磁性層が主磁極先端に近接すると、主磁極先端の減磁作用が緩和されるため、外部に強い磁界を発生できるようになるのである。

## 第3章 垂直磁気記録の記録再生機構

本章では、ヘッド・媒体間磁氣的相互作用の基本的性質、相互作用と記録再生機構との関連について検討している。

まず記録時の磁束の流れを有限要素法を用いて解析し、相互作用は ①主磁極・媒体軟磁性層間の磁氣的結合と、②主磁極・媒体Co-Cr層間の磁氣的結合 によることを示した。それらの磁氣的結合の強さは (a)主磁極・媒体間スペーシング、(b)Co-Cr層厚み、(c)Co-Cr層飽和磁化の大きさ などによって変化することが判った。

次にヘッド・媒体の拡大モデルを用いての再生過程のシミュレーション実験により、再生時に主磁極は媒体からの漏れ磁界で記録時とほぼ同様に磁化されることが明らかになった。このことは、主磁極・媒体間に強い磁氣的結合が得られるようにヘッド・媒体の諸因子を選ぶことにより、再生分解能を高められる可能性があることを意味する。

そこで第4章および第5章では、相互作用に関係するヘッド・媒体の諸因子と記録再生特性の関連を、実験的に調べている。

## 第4章 記録再生特性に及ぼすヘッド・媒体間スペーシングの影響

本章では、ヘッド・媒体間スペーシングの影響を検討している。

再生時には、スペーシングが増すとヘッド・媒体間の磁氣的結合が弱まるため図1のように、正弦波状磁化状態に対する再生スペーシング損失係数 $K$ （再生スペーシング損失量を、記録波長で規格化したスペーシング量 $d/\lambda$ に対してプロットしたときの傾斜）は、長波長領域では長手記録の場合の値(54.6)よりも大きいが、記録波長 $\lambda$ が短くなるほど小さくなることが明らかになった。したがって垂直記録で普通用いられているデジタル記録の場合には、低密度でも微小スペーシング領域では高調波成分の寄与が大きいために、再生スペーシングによる記録密度特性の劣化は長手記録の場合よりも小さい。

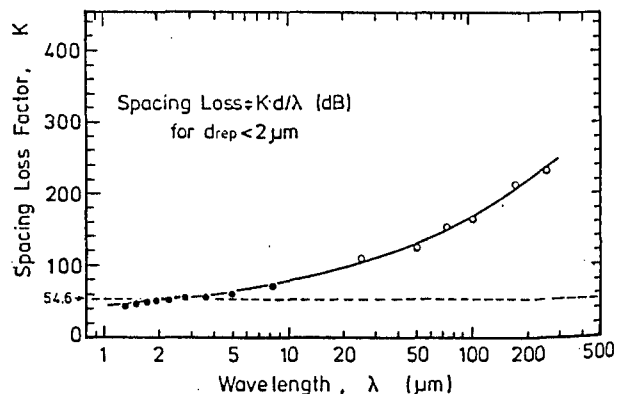


図1 再生スペーシング損失係数の記録波長依存性

一方記録時については、スペーシングが増すとヘッド・媒体間の磁氣的結合が弱まるのでヘッド磁界強度の減衰が大きく、そのため飽和記録が困難になりやすい。しかしヘッド磁界は依然として垂直成分が優勢な分布であるために、垂直磁化モードとして記録できることが判った。

## 第5章 記録再生特性に及ぼすヘッド・媒体諸因子の影響

本章では、ヘッド・媒体の諸因子が記録再生特性に及ぼす影響を実験的に調べ、それらを最適化することにより高い線密度を実現することを試みている。

その結果、(a)Co-Cr層を薄くして主磁極と媒体軟磁性層間の隔たりを縮めること、(b)Co-Cr層の飽和磁化を大きくして主磁極先端の減磁作用を軽減すること、が単磁極ヘッドの再生分解能を高めるのに効果的であることが明らかになった。ただし、aの方法では残留磁気モーメントの減少を伴うために、低密度での再生電圧が低下する。一方bの方法では、残留磁気モーメントが増大するために、図2のように記録密度全域にわたって再生電圧が増加する。

これらの知見をもとにして、ヘッド・媒体間に強い磁氣的相互作用が導けるように諸因子を選んだ結果、 $D_{50}$  値が145kBPIという優れた高密度特性が良好なSN比と共に得られた。

## 第6章 垂直磁気記録における高トラック密度化

前章で述べたような線密度の増加だけでなく、トラック密度も増すことができれば、面記録密度は一層高められる。そこで本章では、高トラック密度化の可能性について検討している。

拡大モデルヘッドにより、ト

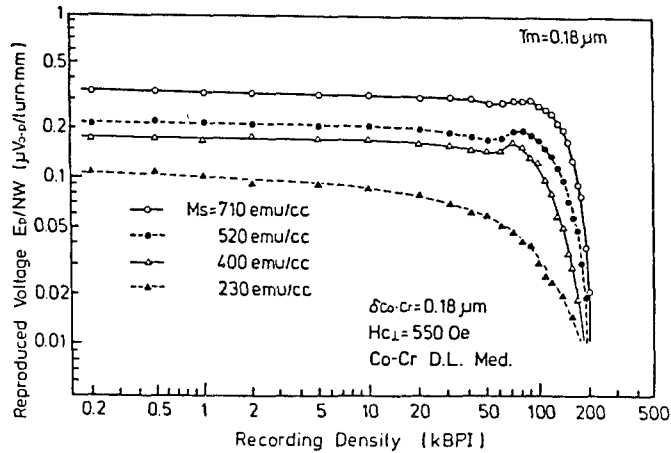


図2 Co-Cr層飽和磁化による記録密度特性の変化

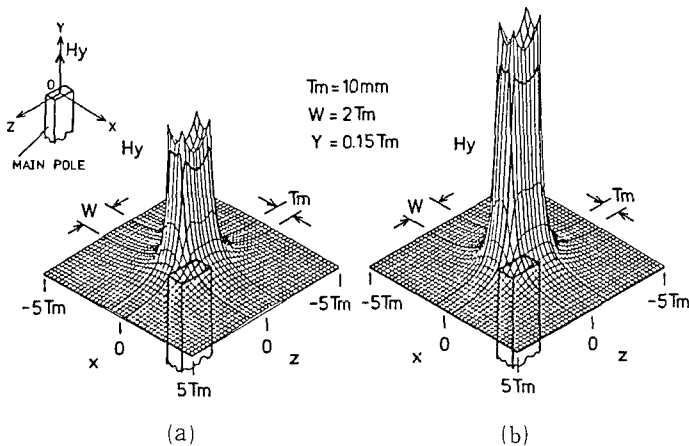


図3 狭トラック単磁極ヘッドの磁界分布

- (a) 記録媒体が無いとき
- (b) 記録媒体が近接したとき

トラック端での磁界分布を測定し、単磁極ヘッドの垂直磁界成分は、リングヘッドの長手磁界成分よりも幅方向への分布が鋭いことが判った。また単磁極ヘッドでは、記録媒体が近接した場合には図3(b)のように、主磁極・媒体間の磁氣的相互作用によって垂直磁界成分は長手方向への分布だけでなくトラック幅方向への分布が一層鋭くなることが明らかになった。

したがって実際に狭トラック単磁極ヘッドで記録した場合、図4のようにトラ

ック端で幅方向への記録磁化分布が鋭く、磁化領域の余分な広がりがほとんど無い記録が可能であることが示された。

さらに、再生時においてもトラック幅方向に鋭いヘッド磁界分布が保たれるため、高トラック密度に記録された場合でも再生クロストークが長手記録の場合よりも小さいことが明らかになった。

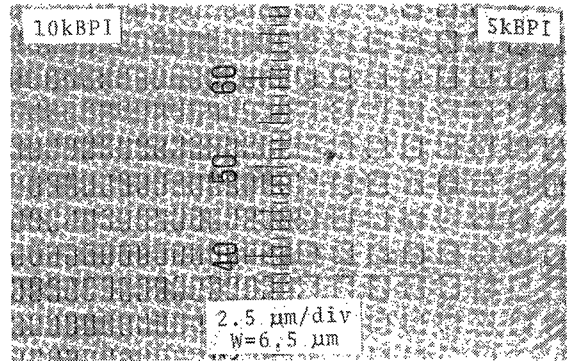


図4 狭トラック記録を行なった媒体表面のビットパターン図形

## 第7章 結 論

本研究ではヘッド・媒体間相互作用を強める方法を明らかにし、その結果を踏まえてヘッド・媒体諸因子の最適化を行なうことにより、高い線密度での記録再生が可能であることを実証した。また高トラック密度化についても検討し、垂直記録では長手記録よりもトラック密度を増すのが原理的に容易であるという結論を得た。

なお本研究で得られた最高の線密度 ( $D_{50}$  値 145 kBPI) とトラック密度 (2.5 kTPI) を同時に実現できれば、面記録密度は  $4 \times 10^8$  bits/inch<sup>2</sup> にもなり、垂直磁気記録で光メモリと同等の高い記録密度が達成される可能性があることが示された。

## 審 査 結 果 の 要 旨

垂直磁気記録は、磁気ディスクなどの記録媒体面に対し、垂直な微小磁石の配列として情報を記録する方式である。この方法では、隣接している磁石間に減磁作用がないため、今までの長手記録に比べて遥かに高い密度の信号が記録できる。著者は、垂直磁気記録の記録再生機構を詳細に調べ、高密度記録を実現する条件を明らかにするとともに、光ディスクに匹敵する面密度で記録できることを実証した。本論文はその成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の目的と背景を述べている。

第2章では、垂直磁気記録の原理と記録媒体、磁気ヘッドなどの概要を述べ、従来の長手記録方式に比べて、ヘッド・媒体間に働く磁氣的相互作用が、記録再生特性を向上させる重要な因子となることを指摘している。

第3章では、有限要素法を用いた計算機シミュレーションおよび拡大モデル実験により垂直磁化による記録と再生の基本動作を調べ、垂直磁化膜を軟磁性層で裏打ちすることによって、記録時のヘッド磁界分布および再生時の感度関数を著しく改善させることを明らかにしている。これは、高性能な磁気ヘッドと記録媒体を設計するための有用な知見である。

第4章では、記録・再生時にヘッド・媒体間に生ずる微小なスペーシングと記録特性との関係を詳細に検討し、単磁極形垂直磁気ヘッドでは、従来のリング形ヘッドに比べて記録媒体に対するスペーシングの影響が少ないことを見いだした。これは、磁気ディスク装置などに対する垂直磁気記録方式の実用性を立証した重要な結果である。

第5章では、磁気ヘッドと記録媒体の諸定数と記録再生特性との関係を系統的に調べ、Co-CrとNi-Feとからなる二層膜媒体と垂直ヘッドとの組合せによって、従来の10倍以上の線記録密度が実用的なSN比で達成できること、さらに第6章では線密度と同様にトラック密度も高くでき、トラックピッチ10ミクロン以下で、1ビット当たり2平方ミクロン程度の面密度で記録ができ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、垂直磁気記録方式の記録再生機構の研究を行い、高記録密度を達成するための条件と可能性を明らかにしたもので、磁気工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。