

氏 名	佐 藤 雄 二
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 7 年 6 月 14 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 39 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業
学 位 論 文 題 目	垂直磁気記録用塗布形媒体の磁界配向法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 中村 慶久 東北大学教授 脇山 徳雄 東北大学教授 荒井 賢一 東北大学助教授 村岡 裕明

論 文 内 容 要 旨

要 旨

文明の進展により知識の源である情報の量と質は加速度的に急増し、かつ多様になっている。磁気記録は、このような情報の記録・更新・蓄積を容易かつ安価に実現できる長所から、信頼性の高い技術として成長発展し、その幅広い応用製品は今日の日常生活に不可欠なものとなっている。

現行の長手磁気記録方式は高密度になると原理的に記録が困難になることが東北大学通研の岩崎らによって明らかにされ、この原因である減磁界による限界を克服する新しい発想、高分解能と高出力の両立する方式、すなわち、高密度記録になるほど減磁界が小さくなる垂直磁気記録方式が提案された。大容量・高速転送を実現する超高密度記録の道が開かれ、この実現に向けて、蒸着やスパッタなどの堆積型の薄膜記録媒体および垂直ヘッドの研究開発が、耐久性および量産性も含めて広く強力に行われている。

一方、広く用いられてきた磁性粒子をバインダーで塗布して作製される塗膜媒体は、高速接触走行におけるヘッドとコンタクトの良さに加えて、耐久性および量産性に関する技術の完成度が高く、複合材料としてのポテンシャルが豊かである。これらの長所を生かして垂直記録による高性能な高密度記録媒体とするには、塗膜に垂直磁気異方性を付与しなければならないが、現在最も多く使用されている磁性粒子は形状異方性を利用した針状粒子で、これを垂直に磁界配向して垂直配向塗膜を作製するのは困難とされている。

垂直配向の容易な板状のBaフェライト粒子が高性能な塗膜用の磁性粒子として開発されているが、筆者は、究極の塗膜記録媒体には酸化物の板状Baフェライトよりも高磁気エネルギーのメタル鉄粒子 (MP: Metal Powder) が望ましいと考える。メタル鉄針状粒子はフェライトなどの酸化物粒子より高い飽和磁束密度 (Bs) と高い保磁力 (Hc) による高エネルギー積によって高出力性を持っており、現在最も高密度で実用となっている8mmビデオ用にも用いられており、今後さらに磁性粒子のサイズ分布の一様化により保磁力の分散を狭くすることなどで高性能化が期待できるからである。

塗膜媒体の高性能化には分散・塗布により粒子の高充填化・表面平滑化と共に粒子の磁化容易軸を記録磁化モードに適合した方向に配向する技術の進展が欠かせない。本研究は、塗膜磁気記録媒体の高性能化のため、針状粒子を用いた平滑な垂直配向塗膜の作製を目指して磁界配向を実験的に検討し、新しい配向方を考案し試作して塗膜の高性能化が可能であることを確かめたものである。

本研究の概要

本研究は針状粒子の垂直磁界配向方を確立するため、まず小規模レベルで、磁気塗料の作製条件と針状粒子の垂直配向を実験的に検討し、垂直磁界配向に特有の問題点である表面粗れと配向戻りは塗膜形成過程における溶剤蒸発に伴う塗液の流動と垂直磁化配向による反磁界が原因の主なもので、この解決法として交流磁界配向と配向後の消磁と表面張力による平滑化およびこれらを繰り返す垂直配向装置を試作し（VAST:Vertical orientaing, AC-demagnetizing, and Smoothing Train）、表面粗れと配向戻りのない垂直配向した塗膜磁気記録媒体が作製可能であることを確かめた。さらに、高密度で広帯域特性とするため、塗膜形成過程における表層と深層の粘度勾配を風乾条件で調製し垂直磁界と長手磁界配向の二段配向のタイミングを粘度勾配に合わせて設定することにより一回の塗布工程で表層は垂直に深層は長手に配向する（LIPS:Longitudinally oriented Inside-layer and Perpendicularly oriented Surface-layer）、二層配向テープの作製法を考案しその作製条件を検討して配向塗膜を作製し、高密度・広帯域特性の塗膜媒体が実現できる見通しをたてた。LIPS二層配向における塗膜形成過程の粘度変化と粒子配向の概念を図1に、試作LIPS配向塗膜が高密度・広帯域特性を示し、長波長領域は長手配向塗膜の特性で短波長領域は垂直配向塗膜の特性で両者の長所を合わせ持っていることを図2に示す。

以上の検討をふまえて、長尺で高度のカレンダー処理可能なテープの作製を目指したミニライン配向装置を試作し、

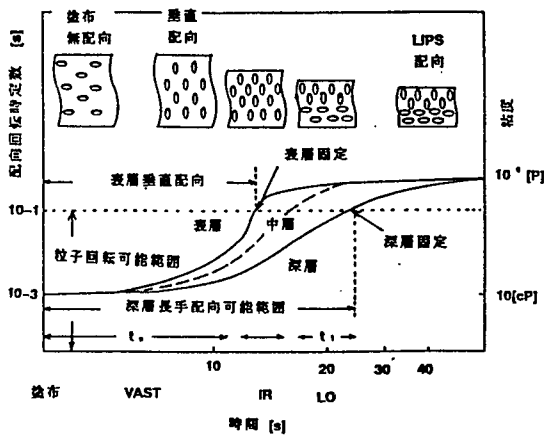


図1 LIPS配向原理
塗布後の粘度変化と垂直（VAST）
と長手（LO）の二段配向

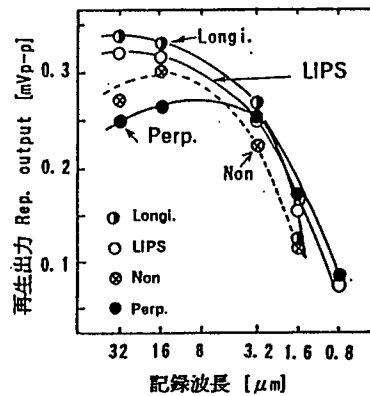


図2 LIPS配向塗膜の高密度広帯域特性
LIPS配向、Perp:垂直配向、
Longi:長手配向、Non:無配向
 $v=1.6$ [m/s]、Ferrite head $g=0.4$ [μ m]

表1 試作メタル鉄テープの磁気特性と表面性
Tape-AからTape-Dの順に配向磁界中の乾燥条件を強くしたもの。
厚み: 約: 2-3 [μ m]、Gloss: 表面光沢度、Re: 表面粗さ、
T.A.: SEM断面観察写真より評価した膜面から垂直方向の粒子配向角度。

Sample	SQR			Hc[kOe]			Gloss MD	Ra [nm]	T. A. [deg]
	X	Y	Z*	X	Y	Z			
Tape-A	0.83	0.35	0.16	1.48	1.17	0.99	135	22	0
Tape-B	0.74	0.41	0.21	1.47	1.30	1.25	160	18	30
Tape-C	0.73	0.41	0.23	1.47	1.28	1.22	145	17	45
Tape-D	0.63	0.47	0.28	1.43	1.34	1.43	160	24	60
DAT (規準テープ)	0.81	0.38	0.16	1.49		0.99	160	10	0

DAT: 市販Digital Audio Tape

* not compensated

まずライン配向における作製因子を実験的に検討した。ついでこのラインプロセスで試作したテープの配向性、磁気特性、カレンダー処理による効果と問題点などを検討した。また、二層配向テープの作製において、乾燥と配向のタイミングの設定に粒子配向度や塗膜物性などの非接触計測法が望まれる。そのため、メタル鉄針粒子の配向で生じる異方性を偏光反射で計測することを試み、メタル鉄粒子を用いた塗料で配向度が計測できることを磁気測定で配向度SQRと比較して確かめ、この方法は製造工程のモニターにも有用との見通しをえた。最後に、比較的厚い塗膜の二層配向テープと、薄い塗膜で垂直配向性を向上させた一様斜め配向テープを試作し、それらの磁気特性、電磁変換特性から性能を評価検討し、高密度・広帯域特性の媒体として針状のメタル鉄粒子による塗膜垂直媒体が有望であることを明らかにした(表1.)。

今後の課題と将来の展望

メタル鉄粒子による表層垂直・深層長手の二層配向(MP-LIPS)テープの研究現状は、2~3 [μm] 塗膜厚みで、一様に揃った斜め配向角度は最大約60 [deg] まで得られ、高密度のための最適な配向角度(電磁変換特性の実測から)は約45 [deg] のものが得られている。一方、ハイバンド8mmビデオ用(周波数分割多重方式)として、最近実用化されたメタル鉄粒子による斜め配向のNew Hi-8-MPテープは、輝度信号のハイバンド化とクロマ(低域)信号出力の維持との妥協として斜め角度約10 [deg] に設定している。しかし将来のより高密度でかつ広帯域特性の記録方式を考えると、相補的な垂直記録と長手記録によって短波長と長波長領域におけるそれぞれの高出力を共に十分生かすMP-LIPS媒体と、狭ギャップと広ギャップで層別に専用リングヘッドを使う層別分割多重化方式(例: VHS-HiFi)との組み合わせが最適のシステムと思われる。

従って、MP-LIPSテープの今後の課題は、まずやや厚めの膜(3~4 [μm])で、よりLIPS二層配向的な膜構造(理想的には表層は自己減磁と記録減磁に関して最適な斜め角度、深層は長手配向のもの)のテープを偏光反射方を利用した表層配向モニターも取り入れて最適条件を見だし実現することである。

超高密度の実現には以下に列挙する項目に関連した多くのその他の要素技術の向上が必要である。

- 1) メタル粒子自身: 媒体ノイズを下げるための微小化、粒子自体の異方性分散を向上させるためのボイドフリー、サイズと軸比の均一化、収縮およびカレンダー配向戻りを減らすために軸比を下げて針状から米粒化。
- 2) 粒子の分散性向上媒体ノイズ改善、粗れないで垂直配向化。
- 3) 研磨材のサイズの微小化: 表面平滑さ(Re)の向上と安定テープ走行のためのテクスチャリングとによりスペーシング損失の改善、針状粒子配向角度の研磨粒子周囲での乱れを減らして配向角度分散の向上。
- 4) 乱れた極く表層部の除去: カレンダーリング配向戻りの起きている極く表層による実効的スペーシング損失にマスクされずに、垂直表層の高密度性が直接あらわれるようにする。

これらの素材と要素技術の不断の改良努力により複合材料としての塗膜媒体のポテンシャル向上には限界がない。塗膜の本質的なコンタクトの良さと耐久性および量産性を考えるとMP-LIPSテープは究極の高密度・広帯域テープの候補の一つであると信ずる。

審査結果の要旨

情報処理システムの性能向上に伴って、データストレージサブシステムにおける磁気記録メディア（媒体）の飛躍的な高記録密度・大容量化が益々求められている。これには、原理的に高記録密度化が可能である垂直磁化方式の実現が期待されているが、強磁性微粒子をベースフィルム上の塗布する磁気テープで、従来からのリング形ヘッドを用いて、低密度から高密度までの広帯域で高出力な記録再生を行うには、磁性微粒子の磁化容易軸を表面層では膜面に垂直に、内部ではヘッド走行（長手）方向に配向させることが望ましい。本論文は、垂直配向させる際の表面あれや配向戻りを抑えて所望の配向状態を得るための磁界配向法を、針状磁性微粒子を分散させた磁性塗料の性質や乾燥過程などに関連付けながら詳細に検討し、配向装置を試作して、記録特性の改善効果を確認したもので、全編7章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、記録再生時の電磁変換特性と接触安定性や表面平滑性、耐久性などとの両立が図られる塗布形磁気テープの高密度記録メディアとしての高いポテンシャルや、磁界配向を伴い塗膜形成過程の基本的な考え方を明らかにして、本研究に用いた塗料と塗膜の作製法と評価法について述べている。

第3章では、垂直磁界配向における塗膜形成過程を検討し、針状磁性粒子の垂直配向で問題となる表面あれと配向戻りは、分散の良好な磁性塗料を用いて粘度に応じた配向条件を設定すると防げること、さらに、垂直磁界配向後の消磁と塗膜の表面張力による平滑化を配向工程に取り入れると有効であることを明らかにしている。これは実用上有用な知見である。

第4章では、垂直配向と交流消磁および平滑化の過程を数回繰り返す新たな磁界配向法を提案し、短片の塗膜試料を作製する装置を試作して、表面あれと配向戻りのない垂直配向塗膜が作製できることを実証している。さらに塗膜形成過程で溶剤蒸発により厚み方向に粘度勾配が生じることを利用すると、一回で塗布で表層が垂直、深層が長手の二層配向が可能で、高密度・広帯域な電磁変換特性が得られることを明らかにしている。

第5章では、第4章で述べたことを長尺テープに適用するためのライン配向装置について述べている。ずり応力で粘度が変わるチキソ性のバインダーを用いて鉄系メタル微粒子塗布テープを試作し、磁性塗料の粘度、塗膜の移動速度、風乾条件などで塗膜中の溶剤の蒸発速度を制御すると、垂直配向や二層配向構造のものが一回の走行で作製でき、市販品と同等の良好な表面性が得られることを確かめている。これは極めて有用な成果である。

第6章では、ミニライン配向装置で塗布厚みと配向条件を変えて試作した磁気テープの電磁変換特性を、市販品と比較している。Co- γ -Fe₂O₃粒子を塗布したものは、表層が垂直配向され、短波長で記録減磁の少ない垂直配向テープの特徴を示し、長波長から短波長まで出力の大きな広帯域特性が得られること、鉄系メタル粒子を薄く塗布したものは一様に斜め配向され、膜面に対し約45度まで垂直配向度を高めたものが最も良好な高密度記録性を示すこと、などを明らかにしている。また鉄系微粒子塗膜には、配向度と表面性の非破壊測定に偏光反射計測法が有効であることも見出している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、高密度で情報をストレージできる塗布型磁気テープを作製するための磁性粒子の磁界配向法を詳細に検討し、表面あれと配向戻りのない垂直配向法を提案して配向装置を試作するとともに、表層垂直深層長手あるいは斜め配向などにより垂直磁化方式を活用することが高密度特性を改善する上で有効であることを明らかにしたもので、磁気工学および情報記録デバイス工学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。