

2015年7月21日

磁気記録研究会(2015年6月4日～5日)参加報告

IDEMA 協賛会員 小林和雄

電子情報通信学会の磁気記録・情報ストレージ研究会が、2015年6月4日～5日に仙台の東北大学電気通信研究所において開催された。マルチメディアストレージ研究会との共催である。建ったばかりの本館で、まだ工事が終わっていない所もあったが、非常に立派な会議室であった。参加者は色々出入りがあったが40～50名程度。発表は二日にわたって12件であり、内容はマイクロ波アシスト、スピントルク発振素子、磁気異方性の起源、ストレージシステム技術、バリウムフェライトテープ、強誘電体記録媒体、二次元記録(TDMR)、熱アシスト記録、CoPtCr-SiO₂媒体、と多岐にわたっていた。それらの概要を以下に記す。

MR2015-1 「サブナノ秒パルス磁場を重畳印加したマイクロ波アシスト磁化反転実験」

岡野元基・能崎幸雄(慶大)

マイクロ波を印加し磁化反転を起こし易くする MAMR については、磁化反転磁場のマイクロ波周波数依存性やそのマイクロ波強度依存性については良く調べられてきたけれども、その磁化反転のダイナミクスについては実験的に調べられてはこなかった。それは、一般的な信号発生器では、磁化反転の時間スケールであるサブナノ秒の程度にマイクロ波を狭パルス化できないためである。そこで、筆者らはマイクロ波に加えてサブナノ秒である 300 p の幅のパルス磁場を重畳し、実験を行った。実験に用いた素子は厚さ 35 nm 縦 4 μm 幅 200 nm の NiFe 細線であり、コプレーナ線路によって NiFe 細線の幅方向に GHz 帯のマイクロ波(h_{ac})とサブナノ秒のパルス磁場(h_{pulse})を印加する。外部磁場は磁石により、NiFe 細線の縦方向に印加する。

実験は、25 ns 幅のマイクロ波(h_{ac})のみを印加した場合、パルス磁場(h_{pulse})のみを印加した場合、マイクロ波(h_{ac})とパルス磁場(h_{pulse})を重畳して印加した場合の 3 種類について行った。磁化反転磁場は、外部磁場を 10 Oe ずつ増加させ、各外部磁場での FMR スペクトル(周波数依存性)を測定することにより算出した。

マイクロ波(h_{ac})のみを印加した場合、およびパルス磁場(h_{pulse})のみを印加した場合とも磁化反転磁場が減少した。25 ns 幅のマイクロ波(h_{ac})と 300 ps 幅のパルス磁場(h_{pulse})を重畳して印加した場合には、その協同効果により磁化反転磁場が減少するのが観測された。その結果を図 1 に示す。図では、マイクロ波の立ち上がりからパルス磁場の立ち上がりの時間を t_{delay} と定義し、磁化反転磁場の t_{delay} 依存性をプロットしている。マイクロ波とパルス磁場が重なった部分で磁化反転磁場が減少しており、またマイクロ波の振幅が飽和した時点と磁化反転磁場が最小となる点($t_{delay}=5$ ns)が良く一致している。また、マイクロ波が立ち下がった瞬間に協同効果が表れなくなっている($t_{delay}=25$ ns)。これらの結果は、協同効果による磁化反転が 300 ps という短時間で起こることを意味しており、従来実験で行われていた時間的に長いマイクロ波を用いた実験と違って、ダイナミックな領域の MAMR の観測が可能になったことを示している。

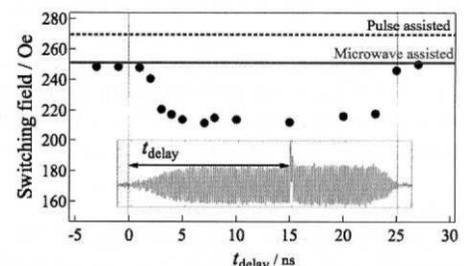


Fig. 10. Switching field as a function of delay time of pulsed field.

図 1 磁化反転磁場の t_{delay} 依存性

(信学技報なし) 「高スピン分極 Co₂(Fe, Mn)Si 合金を用いたゼロ磁場スピントルク発振素子」

山本竜也・関 剛斎・窪田崇秀・矢子ひとみ・高梨弘毅(東北大)

スピントルク発振素子は、チップ間通信用素子、レーダー、あるいは小型マイクロ波発生源などへの応用が検討されている。しかしながら、応用に向けて解決すべき課題としては、発振出力の増大と発振純度(Q 値)の向上が重要である。発振出力は磁気抵抗(MR)比の 2 乗に比例するため、大きな MR 比が得られる MTJ 素子をベースとしたスピントルク発振素子が研究開発の主流となっている。しかしながら、MTJ 素子は高電圧印加によるトンネルバリアにおける絶縁破壊が懸念され、加えて GMR 素子と

比較して Q 値の向上が難しい。そこで、筆者らは GMR 素子をベースとしたスピントルク発振素子において、発振出力の向上などの特性改善を試みた。MR 比を増すために $\text{Co}_2(\text{Fe,Mn})\text{Si}$ ホイスラー合金 (CFMS) を用い、CFMS/Ag/CFMS なる GMR 素子を作製した。100 nm × 170 nm サイズのピラー (Nanopillar)、素子膜の上に 140 nm ϕ のポイントコンタクトを設けた素子 (Point Contact)、さらに上部磁性層を $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ を小さくした素子 (Doubly-constricted) へと微細加工した。それぞれの素子の MR 比、発振出力、発振半値幅は、Nanopillar では 30%, 23.7 nW, 10 MHz、Point Contact では 10%, 25.7 nW, 3 MHz、Doubly-constricted では 30%, 81.7 nW, 3 MHz であり、Doubly-constricted 素子の特性が一番良かった。電流の水平成分が抑制されたためである。

MR2015-2 「磁気記録再生ヘッド応用デュアルフリー層スピントルク発振素子」

永澤鶴美・工藤 究・首藤浩文・山岸道長・水島公一・佐藤利江 (東芝)

東芝が提案している「共鳴読み出し」法を再生ヘッドに用いるスピントルク発振素子 (STO) について検討した結果の発表。「共鳴読み出し」法というのは、図 2 に示す様に STO の発信周波数が媒体からの磁場により変化することを利用して、磁気記録情報を読み出す方法である。発信周波数の変化は磁気緩和に影響されずすぐ起こるため高い転送速度にも対応可能であり、マグノイズにも強い。

高密度読み出しのためには STO には高い分解能が要求される。そのためには、磁気シールドの狭ギャップ化が可能な素子膜厚の薄い STO が必要である。そこで、厚い反強磁性体を用いないため素子膜厚が薄くできる構造である、図 3 に示す CoFeB フリー層 (FL) と CoFe/Ru/CoFeB 人工フェリ磁性体 (SyF) の二つのフリー層で構成される STO (Dual-Free-Layer STO: DFL-STO) を作製し、その発振特性とパルス磁場応答特性の測定を行った。

フリー層の磁化容易軸の方向に外部磁場 H_{ext} をかけた場合に、最も狭い発振スペクトル線幅が得られ、 $H_{\text{ext}}=1400$ Oe、電流 1.0 mA 流した場合、6 nW, 9.91 GHz、線幅 5 MHz 以下の安定性の良い発振が得られた。発振モードを解析することにより、FL 層と SyF 層の磁化が位相同期した結合モードで発振するためであることを明らかとした。また、DFL-STO の発振周波数のパルス磁場応答特性を評価し、これまでに発表した単層フリー層の STO と同じく 1 ns 以下で高速に応答することを確認した。

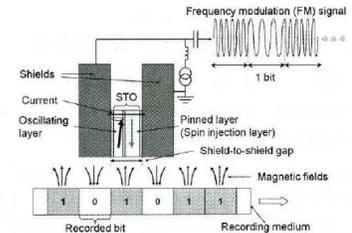


Fig. 1 STO reader. The recorded bits are decoded by detecting the variation of the FM signal emitted from STO.

図 2 共鳴読み出し法

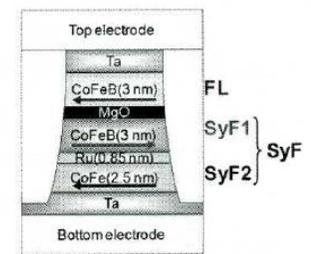


図 3 DFL-STO の構造

MR2015-3 「遷移金属合金の磁気異方性に与えるスピン揺らぎの影響」

小林尚史・兵頭一茂・佐久間昭正 (東北大)

大きな磁気異方性を示す $L1_0$ 構造を持つ FePt, CoPt の磁気異方性定数の温度依存性の起源を理論的に検討した発表。モデルとしては、各格子位置の磁気モーメントがバラバラの方向を向くスピン揺らぎのモデルと、各格子位置の磁気モーメントの大きさが小さくなるストーナーモデルが考えられる。

計算は第一原理バンド計算手法の強結合線型マフィンティン軌道法 (TB-LMTO: Tight Binding -Linear Muffin-tin Orbital) を用いて行い、不規則合金系の計算に有効なコヒーレントポテンシャル近似 (CPA: Coherent Potential Approximation) を用いた。スピン揺らぎのモデルを用いて、FePt, CoPt の磁気異方性定数の飽和磁化依存性を計算したところ、図 4 に示す様に FePt では磁気モーメントの 2.2 乗、CoPt では磁気モーメントの 1.9 乗に比例するという結果が得られた。FePt の場合の実験結果は磁気モーメントの 2.1 乗に比例するという結果が得られており、スピン揺らぎのモデルで説明できる。ストーナーモデルでは 2 乗よりさらに大きい値となり、スピン揺らぎのモデルが実際の実験結果を良く再現する。

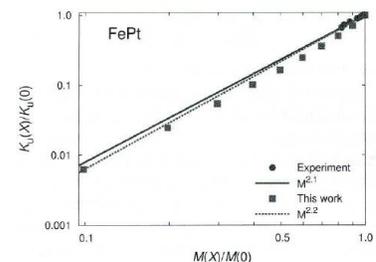


Fig. 8 FePt の $K_u(X)/K_u(0)$ vs $M(X)/M(0)$ の対数プロット。

図 4 磁気異方性定数の飽和磁化依存性

MMS2015-38 「[招待講演] ストレージシステム技術の最新動向

～ 4K/8K 時代に求められるストレージ技術とは ～ 藤原 忍 (日本 IBM)

4K/8K 時代に求められるストレージ技術について、日本 IBM としての考えをまとめたもの。2014 年 9 月に総務省が発表したプランでは、2018 年までには 4K と 8K の商用放送が開始され、2020 年の東京オリンピックには家庭でも 4K と 8K を視聴できる様になるとのこと。あと 5 年である。

画素数だけを考えると、High Definition(HD)に比べて、4K は 4 倍、8K は 16 倍となる。しかし、フレームレートやカラーサンプリング量の増加のために、データ量は HD に比べ 4K では 12 倍の増加となり、8K では 144(=12x12)倍と膨大な量となる。IT 技術のロードマップは基本的に 2 倍ルールをベースに作られており、128 倍になるには 2 の 7 乗、つまり 7 世代後の技術に待たねばならず、発想の転換が必要である。HD のビットレートおよびファイルサイズはそれぞれ 600 Mbps, 25 GB/時であるが、4K では 600 Mbps, 300 GB/時であり、8K では 1/16 圧縮をしても 2.4 Gbps, 1.2 TB/時であり、8K フルスペックの場合では 1/16 圧縮でも 3.6 倍となり、8.6 Gbps, 4.3 TB/時となる。非圧縮での撮影が求められる場合も少なくなく、その場合にはこれらの 16 倍の値となり、1 日 4 時間の撮影をした場合には合計ファイルサイズは 200 TB を越えてしまう。

この様な大容量のファイルを取り扱うには、従来用いられてきた SSD や HDD を用いてネットワークベースで編集等するのではなく、テープを用いて行うべきとの主張である。8K のワークフロー図を図 5 に示す。テープであるならば、そのままアーカイブメディアともすることができる(わざわざ時間をかけてコピーの必要がない)。また、テープメディアは複数チャンネル同時アクセスとすることにより、より高速な R/W が達成できる。テープの管理情報はクラウドに入れ、編集用ストレージとしては Flash Memory を用いたフラッシュ・ストレージを使う。

徹底的に HDD(SDD を含む)を使わない内容となっており、興味深く聴講した。IDEMA の QS でも講演して貰ったらどうかと思う。

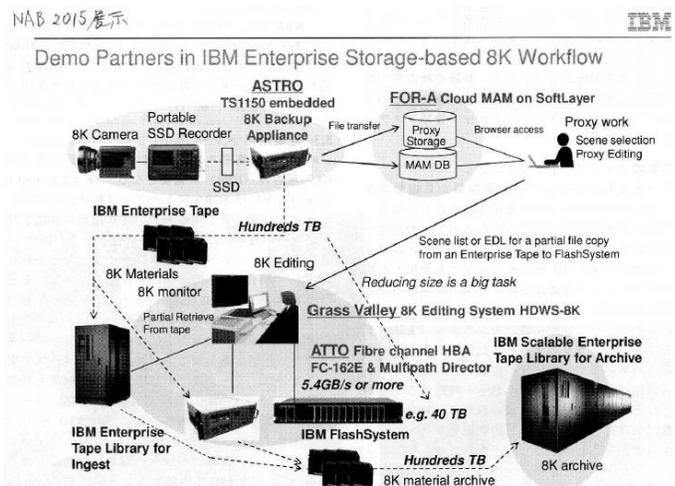


図 1 NAB2015 で発表したワークフロー図

図 5 8K のワークフロー

MR2015-4 「バリウムフェライト磁気テープのスペーシングに関する研究」

小沢栄貴・栗橋悠一・清水 治 (富士フイルム)

バリウムフェライト磁性体(BaFe)を用いたテープは、従来用いられてきたメタル磁性体(MP)を用いたテープの高密度化の壁を破るものとして登場し、現在では 8.5 T および 10 T の容量のカートリッジが市販されている。BaFe を用いた塗布型テープ媒体は、従来用いられてきた MP を用いたテープ媒体と比較して、ヘッドとテープのしゅう動摩擦は変わらないのに、実効的スペーシング(磁氣的スペーシングと遷移幅パラメータの和)が小さく、良好な磁気記録再生特性が得られる。このメカニズムについて調査した。

Table 2 MP と BaFe 粒子の比較

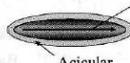
	Metal particle	Barium ferrite particle
Shape	 Acicular	 Hexagonal-disc-shaped
Origin of magnetic energy	Shape anisotropy	Magnetocrystalline anisotropy
Material	Fe-Co alloy	BaO(Fe ₂ O ₃) ₆ oxide
Passivation layer	Required	Not required

図 6 MP と BaFe 粒子の比較

MP 粒子と BaFe 粒子の比較を図 6 に示す。この粒子を用いたテープの記録再生特性を測定し、遷移幅パラメータ、磁気的スペーシングについては Pierre-Olivier 等の理論式により評価し、物理的スペーシングについては Tape Spacing Analyzer により評価した。MP 粒子については 3 種類測定した。遷移幅パラメータの結果を図 7 に、磁気的スペーシングの結果を図 8 にそれぞれ示す。BaFe テープは MP テープに比べ、磁化遷移幅および磁気的スペーシングが小さい。また、物理的スペーシングについてはどのテープも同じ 15 nm であった。磁化遷移幅が小さい理由としては、BaFe 粒子の径が 20 nm と小さく(MP 粒子は 35 nm)、かつ形状が六角柱で垂直に配向しているためである。磁気的スペーシングが小さい理由としては、BaFe 粒子は酸化物であり不動態化層を必要としないため、および磁気的均一性に優れているためである。

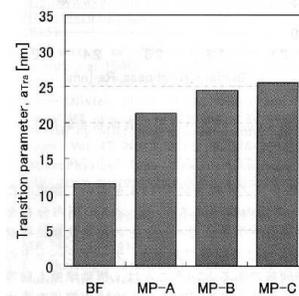


図 7 各サンプルの遷移幅パラメータ

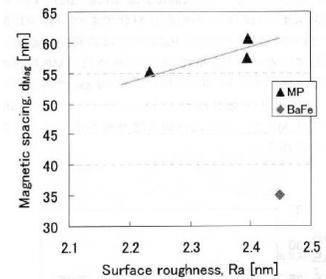


図 8 磁気的スペーシングのテープ平均表面荒さ依存性

MR2015-5 「イオンビーム照射による薄膜強誘電体記録媒体の表面層の除去」

平永良臣・陳 一桐・長 康雄 (東北大)

強誘電体を用いたメモリーの話。これまで単結晶の LiTaO_3 を用いて 4 Tbit/in² の書き込みに成功しているが、実用化のためには単結晶ではなく高品質な薄膜媒体を作る必要があった。そこで、再生速度の向上のために必要である大きな非線形誘電率の大きな $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT) を選び、マグネトロンスパッタ法により基板温度 550~710 °C で成膜した。成膜した膜は強誘電性を示したが、プローブ電極による分極反転を確認できなかった。その原因として表面層が悪さをしているのではないかと考え、イオンビームによる表面層除去を試みた。その結果、プローブ電極による分極反転を起こすことに成功した。さらにプローブ電極によりパルス電圧を印加し、微小分極反転ドメインを書き込む実験を行った。これを走査型非線形誘電率顕微鏡により観察した結果を図 9 に示す。印加パルス電圧の振幅および時間幅を 8 V~20 V および 10 μs ~1 ms の範囲で変化させた。ドットサイズの一番小さいもので 100 nm(この時の膜厚は 120 nm)であった。もう少し薄い PZT 膜を用いればドットサイズの大幅な減少が可能であるという結果であった。

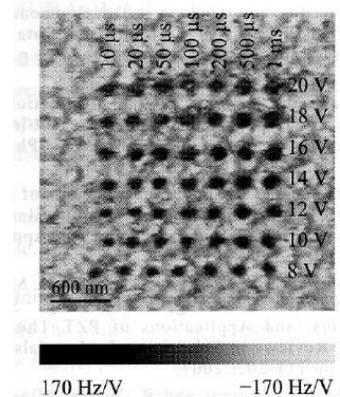


図 9 微小分極反転ドメイン

しかし、単結晶でないため粒径がゴロゴロと見られ、実用化はかなり難しいのではないかと感想を持った。

MR2015-6 「TDMR のためのマルチ入出力ビタビ復号器の性能評価」

近藤幸吉・仲村泰明・大沢 寿・岡本好弘 (愛媛大)・金井 靖 (新潟工科大)・村岡裕明 (東北大)

シングル磁気記録(SMR: singled magnetic recording)と二次元信号処理を組み合わせた二次元磁気記録(TDMR: two-dimensional magnetic recording)が提案されている。ここでは、2つのリーダーを備えたアレイヘッドを用い、マルチ入出力ビタビ復号器(MI-MO-VD: multi-input multi-output Viterbi detector)を用いて 2トラック再生し、ビット誤り率(BER: bit error rate)を評価した。媒体モデルとしては、図 10 に示す離散 Voronoi 図によるグラニューラ媒体を用い、すべて計算機シミュレーションにより評価している。離散グラニューラ媒体モデルにシングル記録し、面記録密度 4 Tbit/in² を想定し、トラックピッチ 22.1 nm、チャネルビット長 7.3 nm とした。記録再生系ブロック図を図 11 に、リーダーの走査位置を図 12 に示す。再生波形は LPF(low-pass filter)と各トラックに

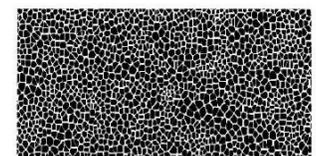


図 10 離散グラニューラ媒体

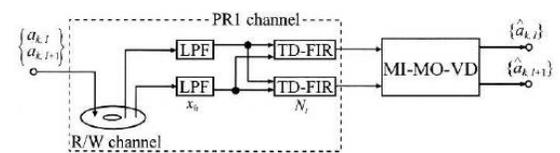


図 11 記録再生系ブロック図

対してタップ数 N_t が 15 のタップを持つ TD-FIR フィルター(two-dimensional finite response filter)を通り、記録ヘッドから TD-FIR フィルターまでが PR1 特性となるように波形等化され、その後 MI-MO-VD に入力され最尤復号が行われ出力系列が得られる。

リーダーの位置と BER の関係を図 13 に示す。2 つのリーダーが隣接したトラックの中央あたりに位置するのが一番 BER が小さいことを示している。また、2 つのトラックを別の一次元有限インパルス応答フィルター(OD-FIR: one-dimensional finite response filter)を用いて従来のビタビ復号器(VD)で復号した場合、OD-FIR を用いて MI-MO-VD で複合化した場合、TD-FIR を用いて VD で復号した場合、それぞれについて BER の測定結果を図 14 に示す。VD で復号した場合に比べ、MI-MO-VD で複合化した場合に良好な特性が得られた。これは、MI-MO-VD を用いることで隣接トラックの記録状態を考慮できたためである。

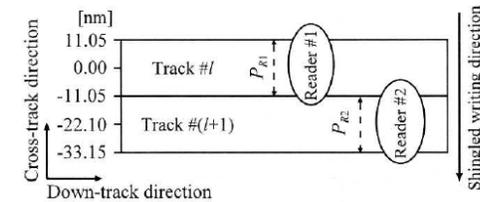


図 12 リーダーの走査位置

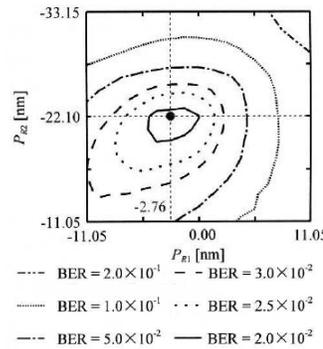


図 13 リーダーの走査位置に対する BER 特性

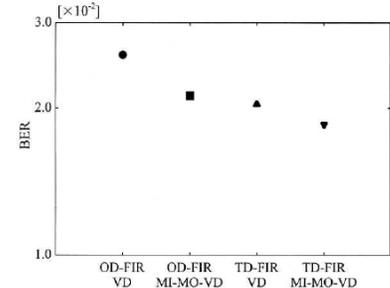


図 14 BER の比較

MR2015-7 「TDMR におけるアレイヘッド再生のヘッドスキューに対する性能評価」

鈴藤 太・仲村 泰明・大沢 寿・岡本 好弘 (愛媛大)・金井 靖 (新潟工科大)・村岡 裕明 (東北大)

二次元磁気記録 (TDMR: two-dimensional magnetic recording)においては、データトラックに対するリーダーの走査位置がヘッドスキュー角によって変化し、誤り率特性が大きく劣化する可能性がある。そこで、LDPC(low-density parity check)符号を SP(sum-product)復号のような繰り返し復号と組み合わせ、ヘッドスキューに対するビット誤り率 (BER: bit error rate)特性を計算機シミュレーションにより評価した。ヘッド・媒体系のモデルは前述の MR2015-6 と同

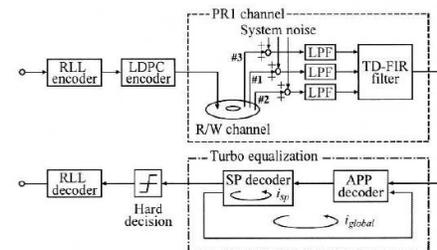


図 15 記録再生系ブロック図

じであり、離散グラニューラ媒体モデルにシングル記録し、面記録密度 4 Tbit/in² を想定し、トラックピッチ 22.1 nm、チャンネルビット長 7.3 nm としている。記録再生系ブロック図を図 15 に、最良の誤り率特性の得られるトリプルリーダーの走査位置を図 16 に示す。#1 と #2 ヘッドの配置から出力が向上しノイズが減少する効果、#3 ヘッドの配置からクロストークを押さえる効果、があったため最良の誤り率特性が得られたものと考えられる。また、シングルリーダー、デュアルリーダーの場合も検討し、それぞれの場合の最適走査位置の関係を表 1 に示す。

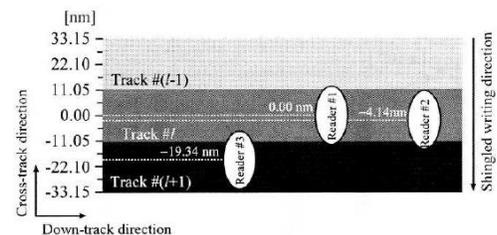


図 16 最良の誤り率特性の得られるトリプルリーダーの走査位置

表 1 アレイヘッドと走査位置の関係

リーダー名	走査位置		
	P_{R1} [nm]	P_{R2} [nm]	P_{R3} [nm]
シングルリーダー	0.00		
デュアルリーダー 1	0.00	-4.14	
デュアルリーダー 2	0.00		-19.34
デュアルリーダー 3		-4.14	-19.34
トリプルリーダー	0.00	-4.14	-19.34

ヘッドスキューに対する誤り率特性についても調査した。ヘッドスキューに対する3つのリーダーのトラックに対する概念図を図17に示す。

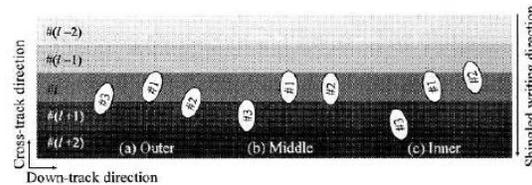


図17 アレイヘッドにおけるヘッドスキューの概念図

図18には、ヘッドスキュー角に対するBER特性の測定結果を示す。シングルリーダーおよびデュアルリーダーに比べて、トリプルリーダーの場合に一番BER特性が低くなるが、効果が大きくなるのはスキュー角6~6度であり、実際のロータリーアクチュエータのヘッドスキュー角15~15に対応しきれていない。リニアアクチュエータも考えねばならないのではないかと強く感じた。

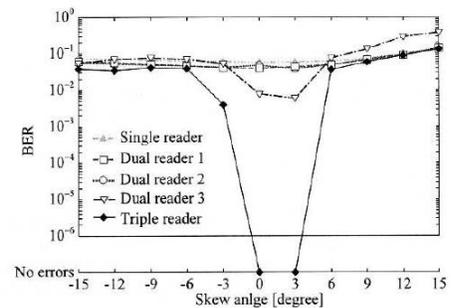


図18 ヘッドスキュー角に対するBER特性

MR2015-8「BPMを用いた熱アシスト磁気記録方式において、熱分布とヘッド磁界強度の立ち上がり時間がビットエラーレートに及ぼす影響」 田村尚也・赤城文子（工学院大）

BPMを用いた熱アシスト磁気記録方式において、2.5 Tb/in²の記録密度をターゲットとして、熱分布とヘッド磁界強度の立ち上がり時間がビットエラーレートに及ぼす影響について計算機シミュレーションにより検討した。熱分布の広がり、およびヘッド磁界の立ち上がり時間はビットエラーレートを大きく左右すると考えられるためである。磁化挙動の計算にはLLG方程式を用い、熱分布は最大上昇温度250 Kのガウス分布を仮定した。周速10 m/s、ビット長16.07 nm、ビットアスペクト比1とし、1ビットを記録するための時間は1.67 nsである。

熱分布の半値幅FWHMをパラメータとしたときの、ビットエラーレートのヘッド磁界強度依存性を図19に示す。FWHMが10~50 nmと小さい場合は、ヘッド磁界強度の増大とともにビットエラーレートは減少し0となり、さらにヘッド磁界を増大させるとビットエラーレートは増大した。高いヘッド磁界強度でビットエラーレートが増大したのは、記録されたドットが隣接ドットを記録する際のヘッド磁界で再書き込みされるためである。FWHMが60 nm以上では、ビットエラーレートが0となるヘッド磁界強度は得られなかった。したがって、熱分布の最大半値幅は50 nm(ビット長の3倍)である。

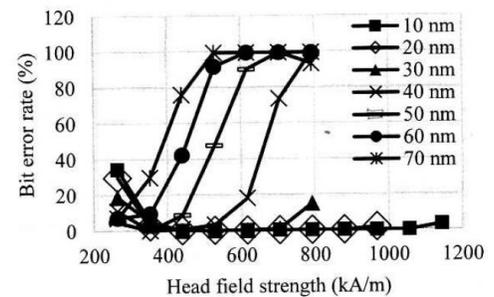


図19 BERのヘッド磁界強度依存性

ヘッド磁界の立ち上がり時間をパラメータとしたときの、ヘッド磁界616 kA/m(7737 Oe)におけるビットエラーレートのFWHM依存性を図20に示す。FWHMが10~30 nmの時には、ヘッド磁界の立ち上がり時間はビットエラーレートに影響を及ぼさないが、FWHMが30 nmを超える場合は、ヘッド磁界の立ち上がり時間が長いほどビットエラーレートは低下する。その理由としては、ヘッド磁界の立ち上がり時間が短い場合には、記録されたドットの温度が十分に低下する前に、隣接ビットを記録するための磁界が急激に大きくなり、ドットが再書き込みされてエラーを起こすためである。

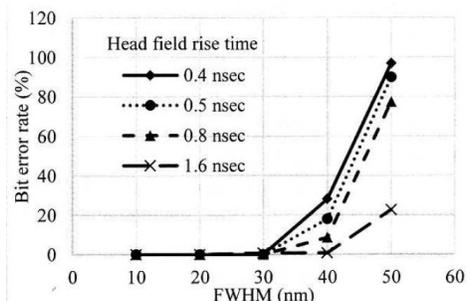


図20 BERのFWHM依存性

FWHMが大きい場合の隣接ビットへの影響について検討を行っているが、この場合には隣接トラックへの影響が大きくなり、そちらへの影響を先ず検討せねばならないのではないかと感じた。

MR2015-9「基板加熱成膜により作製したCoPtCr-SiO₂グラニューラ媒体の成長組織および磁気特性」 日向慎太郎（東北大）・タム キムコング（TKK）・齊藤 伸（東北大）

MAMR 用媒体等将来媒体としては高 Ku 媒体が必要とされる。CoPt, FePt 媒体が検討されているが、ここでは、これまで用いられてきた CoPtCr-SiO₂ を改良することを試み、CoPtCr-SiO₂ を基板加熱成膜により作製することを検討した。

各種基板成膜温度と M-H ループを図 21 に、垂直磁気異方性の磁性層膜厚依存性を図 22 (傾きが垂直磁気異方性定数 $K_u \perp$ を現す)に示す。基板温度の上昇に従って、 H_c および $K_u \perp$ とともに小さくなってしまった。したがって、この方法では将来媒体は作れないことが判明した。その原因について調査した結果、基板成膜温度の上昇によって Ru 下地層の表面から酸素が脱離し Ru の再結晶化が起こり、CoPtCr が球状に析出するためであることを明らかとした。

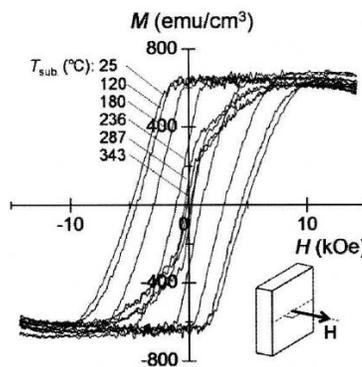


図 21 各種基板成膜温度と M-H ループ

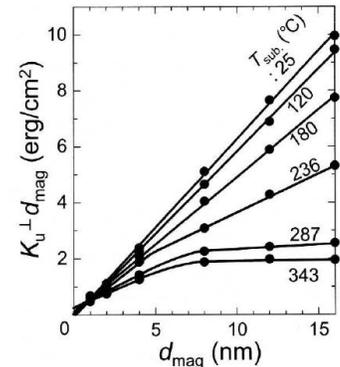


図 22 垂直磁気異方性の磁性層膜厚依存性

MR2015-10 「CoPt 基グラニューラ媒体の磁気特性及び微細組織へのポストアニールの効果」

タム キムコング (TKK)・日向慎太郎・齋藤 伸 (東北大)

この論文では、前記とは異なり Co₈₀Pt₂₀-30vol%(Al₂O₃, TiO₂, WO₃)および Co_{82.4}Pt_{17.6}-27.7vol%SiO₂ グラニューラ媒体を熱処理炉を用いてポストアニール処理を行った。

前記の発表の結果とは異なり、図 23 に示すように、ポストアニール処理により H_c は増大した。MH カーブの一例を図 24 に示す。 H_c が増大した理由について調べたところ、 K_u^{grain} の増大によってもたらされた H_k^{grain} の増大であることが分かった。 H_k^{grain} のポストアニール処理温度依存性を図 25 に示す。さらに、 K_u^{grain} の増大の起源について調べた。磁性結晶中の積層欠陥(hcp 積層内にある fcc 積層による欠陥)が低減したためであることが分かった。

しかし、ポストアニールにより H_c が増大したが、結晶粒径も増大しており(室温成膜時の平均結晶粒径 6.4 nm から 500°Cポストアニールした場合の 8.0 nm に)、これでは媒体ノイズが増えてしまうことが予想され、さらなる検討が必要であると感じた。

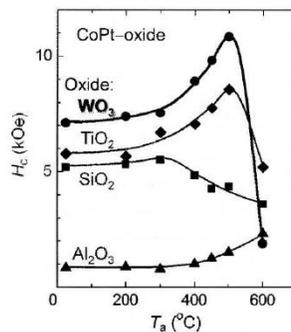


図 23 H_c のポストアニール温度依存性

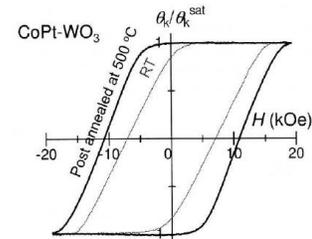


図 24 MH カーブの一例

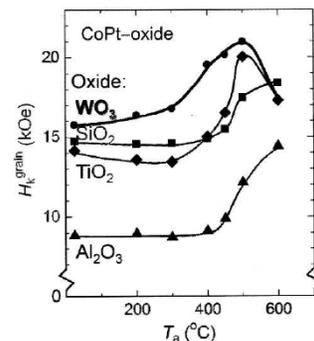


図 25 H_k^{grain} のポストアニール温度依存性

以上