

修士学位論文要約（令和4年3月）

ビットパターンド媒体を用いた 熱アシスト磁気記録による2層多重記録の研究

山根 輝

指導教員：田中 陽一郎, 研究指導教員：サイモン グリーブス

Research on Dual-Structure Heat-Assisted Magnetic Recording on Bit Patterned Media

Hikaru YAMANE

Supervisor: Yoichiro TANAKA, Research Advisor: Simon John GREAVES

Heat-assisted magnetic recording on bit patterned media dots with two magnetic structures was modeled. If the magnetic structures have different Curie temperatures two bits of information can be stored in each dot by writing at high and low temperatures. We investigated the optimal combination of the Curie temperatures to maximize the switching probabilities and calculated the areal densities while taking account of dot position distributions and magnetostatic interactions from surrounding dots. Next, the effect of the dot diameter and the thickness of the recording structures was investigated, with the aim of maximizing the areal density. When the optimal configuration was assumed, the maximum areal density capability of the dual structure media reached 9 Tbit/in².

1. はじめに

現在情報化社会の進展に伴いストレージシステムの更なる発展が求められており、ハードディスクドライブ(HDD)の記録密度を向上させる技術として熱アシスト磁気記録(HAMR)が期待されている。この技術により熱安定性を維持しつつ磁性粒子のサイズを小さくでき、磁気記録のトリレンマの壁を乗り越えて更なる高密度化が期待できる。また保磁力の異なる2つの記録層をもつビットパターンド媒体(BPM)を用いれば、1ドットに2ビットの情報を記録することができ、理論上従来の2倍の記録密度が期待できる。本研究では、キュリー温度(T_c)の異なる2つの記録層をもつBPMを用いたHAMRによる多層記録において、記録密度を向上させるために必要な記録メディアの構成をマイクロ磁気シミュレーションで調査し、 T_c および記録層の形状に関する指針を得ることを目的とした。

2. シミュレーションモデル

異なるキュリー温度 T_{c1} , T_{c2} をもつ2層BPMの記録構造全体像を図1に示す。ドット径は $D = 6 \text{ nm}$ で、ドットは Down-track 上に 10 nm 間隔で置かれているとした。磁性パラメータは、鉄白金 FePt を想定して 0 K において飽和磁化 $M_s = 1138 \text{ emu/cm}^3$ 、磁気異方性エネルギー定数 $K_u = 6.6 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ とし、ダンピング定数は 0.1 と設定した。ヘッドは幅 20 nm 、長さ 40 nm のシングルポールタイプで、RL1 と RL2 にはそれぞれ 5.6 kOe および 8.6 kOe 程度印加された。モデル

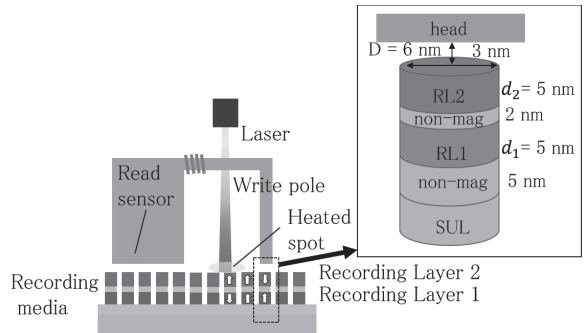


図1 異なるキュリー温度をもつ2層BPMの記録構造

の磁化は、高温下における磁化の挙動を示すのに適した Landau-Lifshitz-Bloch (LLB) 方程式に基づいて計算した。2層多重記録のために高い T_c よりも高くなるよう加熱し両層を反転させる“high”モードと、低い T_c より高く、高い T_c より低くなるように過熱し低い T_c の層のみを反転させる low モードを定義した。最大温度は反転させたい記録層のキュリー温度を 10 K 上回るように設定した。シミュレーションは上向きのドットを下向きに反転させるように磁界印加し、100回中の反転回数割合を反転確率 P_{sw} として、ドットが標準偏差 1.2 nm のガウス分布を示す位置分散をもつとして、これを吸収する領域として 8 nm の Write window を定義した。window 内の P_{sw} の平均が最大となるとき、その平均値を実効反転確率 P として評価した。

3. キュリー温度の組み合わせ最適化

T_{c1} , T_{c2} をそれぞれ 450 ~ 600 K, 450 ~ 750 K の範囲で 10 K ずつ変化させて、各組合せにおける high モードと low モードでの実効反転確率の積 ($P_{\text{joint}} = P_{\text{high}} \times P_{\text{low}}$) を調べた。 T_{c1} , T_{c2} をそれぞれ 460 K としたときのもう一方の T_c と P_{joint} の関係を図 2 に示す。高い反転確率が得られる組み合わせとして、(T_{c1} , T_{c2}) = (460 K, 550 K), (530 K, 460 K) を得た。静磁気相互作用の影響や記録時の隣接トラックへの影響を調査して、周囲のドットからの静磁場を考慮した実効反転確率 P や隣接トラックへ影響を及ぼさないための最小トラックピッチを調べ、有効な記録密度 (User Areal Density, UAD) を計算し 7.6 Tbit/in² を超える結果を得た。磁化の初期状態 (平行、反並行) が記録密度に及ぼす影響は十分に小さかった。

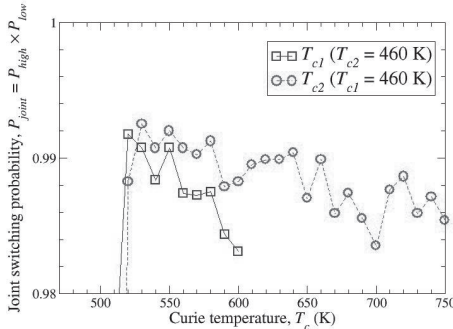


図 2 T_{c1} , T_{c2} を 460 K としたときのもう一方の T_c と P_{joint} の関係

4. 記録層の体積変化が記録密度に及ぼす影響

熱安定性 (K_uV) の影響を調べるため、記録層のドット径および層厚を変化させ記録密度を求めた (表 1)。ドット径を大きくするとトラックピッチおよび反転確率が改善し高い記録密度が得られた。RL1 の層厚 d_1 を大きくすると記録密度が高くなる傾向がみられた。ただし、(T_{c1} , T_{c2}) = (530 K, 460 K), (d_1 , d_2) = (7 nm, 3 nm) の場合では RL2 の体積が小さく熱擾乱による隣接トラックへの影響で記録密度は (6 nm, 4 nm) の場合よりも低くなった。これらの結果を鑑みて、(T_{c1} , T_{c2}) = (460 K, 550 K), $D = 7$ nm, (d_1 , d_2) = (7 nm, 3 nm) の場合に、記録密度は 9.00 Tbit/in² が得られた。

図 3, 4 に各条件における記録層の体積と、その記録層を注目したときの最小トラックピッチおよびその記録層をターゲットとするモードでの実効反転確率の関係を示す。記録層の体積を大きくすることでトラックピッチは小さくなり、同時に反転確率は大きくなる傾向がみられた。ただし RL2 の反転確率は常に高い値であるのに対し、RL1 の反転確率は RL1 の体積が小さくすると急

激に下がる事が確認できた。最小トラックピッチを小さく、反転確率を大きくするには RL1 の体積を大きくとりつつ、 $T_{c1} > T_{c2}$ の場合には RL2 の体積もある程度大きくとる必要がある。

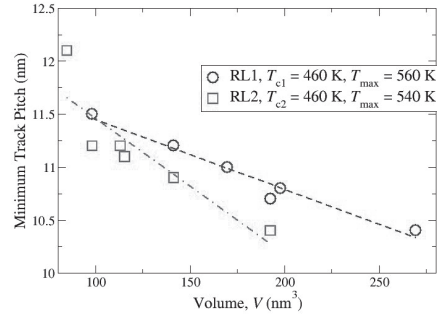


図 3 記録層の体積と最小トラックピッチの関係

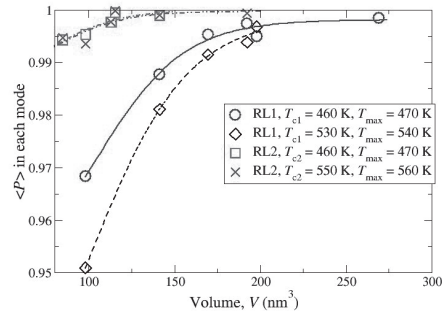


図 4 記録層の体積とそれをターゲットとするモードにおける実効反転確率の関係

表 1 ドット径および記録層厚を変化させた場合の

		記録密度		
T_{c1} , T_{c2} (K)	D (nm)	d_1 , d_2 (nm)	UAD(Tbit/in ²)	
460, 550	5	5, 5	6.55	
	6		7.83	
	7		8.59	
530, 460	5	5, 5	6.09	
	6		7.64	
	7		8.68	
460, 550	6	6, 4	8.21	
		7, 3	8.34	
530, 460	6	6, 4	7.97	
		7, 3	7.73	
460, 530	7	7, 3	9.00	

5. まとめ

キュリー温度の異なる 2 層構造の BPM に HAMR による多層記録を行う方式において、BPM ドット径と記録層厚の最適条件を調査した結果、9 Tbit/in² の非常に高い記録密度を達成できる可能性を確認した。今後の垂直磁気ストレージの高密度化に関する指針となる事が明らかになった。