ディスクリートトラック型垂直磁気記録媒体の作製方法

Fabrication of discrete track perpendicular media

高井 充, 大川秀一, 諏訪孝裕, 中田勝之, 森谷 誠 (TDK)

TDK 株式会社 情報技術研究所 長野県佐久市小田井 462-1, TDK 第一テクニカルセンター (〒385-0009)

M. Takai, S. Okawa, T. Suwa, K. Nakada, M. Moriya (TDK)

Information Technology Research Center, TDK Corporation, 462-1 Otai, Saku-shi, Nagano, Japan 385-0009

The discrete track technology is promising as the technology that makes high track density. It decreases cross talk from the adjacent track because the track is separated in physically and magnetically by the grooves. However, the magnetic head does not fly stably on the disk with grooves. Therefore, it's necessary to make smooth surface by refilling the grooves with non-magnetic material. We tried to flatten the discrete track media surface by using the bias sputtering method and the etching back method in dry process.

Key words: discrete track media, perpendicular recording, reactive ion etching, sputtering with bias power, etching back by ion beam etching, head flying stability

1. はじめに

近年情報化社会が急激に発展する中で、ストレージ媒体としてハードディスクドライブ (HDD) は年々大容量化が進んでいる。ユビキタスをキーワードに、携帯電話や PDA など小型モバイルにも大容量、高速、超小型 HDD の搭載が盛んに検討されている。

しかし高密度化が進む反面、狭トラック化に伴う隣接トラックからのクロストーク、ヘッド磁界のフリンジ効果による書きにじみ、また媒体磁性膜の結晶微細化に伴う熱ゆらぎ¹⁾ など克服すべき課題がある。記録トラックを物理的に分離加工し²⁾、隣接トラックへの磁気的干渉を低減したディスクリートトラック型垂直磁気記録媒体³⁻⁷⁾ はこれらの技術課題をブレイクスルーするための有力な候補である。

ディスクリートトラック型垂直媒体においては、トラック加工が施された媒体面上でのヘッド浮上状態が不安定になることが懸念され、トラック間を非磁性体などで充填し表面を平坦化することが必要になる。以前、表面平坦化の手法として化学機械研磨法 (Chemical Mechanical Polishing: CMP) を提案⁸⁾ したが、1) 大面積の加工均一性確保が困難、2) 研磨終点検出が困難、3) ウェットプロセスとドライプロセスの混在という課題があった。今回これらを改善するため、新たにバイアススパッタ法⁹⁾ 及びドライエッチング法による平坦化プロセスを試み良好な結果が得られたので報告する。

2. 加工実験

2.1 作製方法

はじめに今回試作したディスクリートトラック型垂直磁気記録媒体の作製方法について Fig. 1 に示す。

Fig. 1 Fabrication of discrete track perpendicular media.

(1) まず初めにガラス基板上に軟磁性層 (Soft Under Layer: SUL), 記録磁性層をそれぞれスパッタ法により形成する。

(2) 続いて記録磁性層をエッチング加工する際に必要な金属マスク層をスパッタ法により形成する。

(3) さらにその金属マスク層上にレジスト材をスピコートによ

り塗布する。塗布されたレジストに電子線描画装置を用いて同心円トラックターンを描画し、現像してレジストパターンを形成する。

(4)レジスト層をマスクとしてイオンビームエッチング法 (Ion Beam Etching: IBE) を用いて金属マスク層に同心円トラックパターンの形状を転写する。

(5)パターンが転写された金属層をマスクとして、記録磁性層を反応性イオンエッチング法(Reactive Ion Etching: RIE)^{10), 11)}にて同心円状の溝部分に相当する部分の磁性体を除去し、ディスクリートトラック加工を施す。RIEに使用する反応ガスはアンモニア (NH_3)と一酸化炭素(CO)の混合ガスである。

(6)この状態ではまだ記録磁性層の上に薄く金属マスク層が残っているため、 SF_6 ガスを用いたRIE処理により残っている金属マスク層を除去する。

(7)磁気ヘッドの浮上安定性を確保する目的で、加工後の凹凸を平坦化する必要がある。そのため二酸化珪素 SiO_2 をバイアスパッタ法にて成膜する。

(8)その後 SiO_2 表面を再びIBE法にて記録磁性層の表面があらわれるまでエッチバックする。上記バイアスパッタ法と組み合わせることで、ディスクリートトラック加工した媒体表面を平坦にする。

(9)最後に保護膜として DLC(Diamond Like Carbon)膜を形成し、フッ素系潤滑膜をスピコート法により塗布した。

使用したガラスディスク直径は 2.5 インチ、トラックピッチは 150 nm である。なお本実験で用いた記録磁性膜は、膜面の垂直方向に磁化容易軸を有する CoCrPt 合金垂直磁化膜であり、平均粒径は約 15 nm である。

2.2 トラック形成

Fig. 2 に電子線描画装置によって同心円トラックパターンに形成したレジスト断面の走査型電子顕微鏡写真 (Scanning Electron Microscope: SEM) を示す。トラックピッチは 150 nm、レジスト厚 135 nm、使用したレジストは電子線反応型ポジ型レジストZEP-520A (日本ゼオン) である。今回は電子線描画装置による直接描画で作製したが、ナノインプリントリソグラフィ^{12), 13)}などの手法でトラックパターンを一括転写し効率的に作製する方法も検討中である。

Fig. 2 SEM image of resist patterning by EB lithography.

2.3 ディスクリートトラック加工

同心円トラックパターンが形成されたレジスト層をマスクとして Ar ガス雰囲気中で IBE を用いて金属マスクをエッチングしパターンを転写する。その金属層マスクでさらに記録磁性層を RIE 法でエッチングし同心円状のディスクリートトラック加工を施す。

Fig. 3 にRIEを用いてディスクリートトラック加工を施したサンプルのSEM断面写真を示す。RIEの反応ガスには NH_3 と CO の混合ガスを用い、処理圧力は 0.4 Paとした。加工は記録磁性層の厚みに相当する 20 nm の深さまで実施した。 NH_3 と CO を用いたRIE法によって、通常IBEなどで発生するエッチング材料の再付着の発生が抑えられ、非常にきれいな加工トラック断面形状が得られた。

Fig. 3 SEM cross-sectional images of recording layer etched by RIE.

また磁性体加工時のダメージの有無を調べるために試料振動型磁気型(Vibrating Sample Magnetometer: VSM)を用いてディスクリート加工前後の記録磁性層の磁気特性についても測定したが、保磁力 H_c や飽和磁化 M_s に変化は見られなかった。

2.4 表面平坦化 1 (バイアスパッタ)

以前、表面平坦化の手法として提案した CMP 法には、ウェットプロセスとドライプロセスの混在という課題があった。

そこで今回ディスクリートトラック加工後の溝をドライプロセスのみで平坦化する手法として、バイアスパッタ法による溝の埋め戻しプロセスと、IBE を用いたエッチバック法を組み合わせることでディスクリートトラック加工後の媒体表面の平坦化を試みた。

Fig. 4 にディスクリートトラック加工後に非磁性材料をバイアスパッタし平坦化処理を施したサンプルのSEM断面写真を示す。充填材料としては、成膜後の表面性、密着性を考慮し SiO_2 を選択した。スパッタ条件としては、成膜圧力は 0.3 Pa、バイアスパワーは 0 W 及び 250 W である。

Fig. 4 SEM images of refilled SiO₂ by bias sputtering method (a) without bias power, (b) with bias power.

バイアスを印加せずにスパッタ成膜した場合は、記録磁性層のディスクリートトラック形状をそのまま反映しSiO₂表面にも凹凸が形成されているのに対し、バイアスをかけながらスパッタ成膜した場合はSiO₂表面上でほぼ平坦になっていることが分かる。

バイアススパッタにおける平坦化効果は、1)スパッタによるターゲット材料デポジション（堆積）の効果と、2)基板バイアスにより Ar イオンが引き付けられ膜表面がエッチングされる複合効果によるものと考えられる。

一般的に表面のエッチングされる確率は Ar イオンの入射角に依存し特定の角度で最大となる。このため凸部や角が選択的にエッチングされ、結果として平坦化が進む状態となる。Fig. 5 に平坦化メカニズムの模式図を示す。

Fig. 5 Schematic flattening mechanism with bias sputtering.

2.5 表面平坦化 2 (エッチバック)

バイアススパッタによるSiO₂充填後、圧力 5×10^{-2} Pa の Ar ガス雰囲気にて記録磁性層表面が露出するまでIBEを用いてエッチバックし平坦化処理を施した媒体表面及び断面のSEM写真をFig. 6 に示す。この際、記録磁性層上のSiO₂残渣を残さないために、溝加工部に若干リセス層が生じる程度にオーバーエッチングした。写真で白く見える部分がトラック部、やや黒く見える部分が溝部であり、平坦になっていることが見て取れる。

Fig. 6 SEM image of flattened surface with etching back by IBE method.

ディスクリートトラック加工プロセスにおける媒体表面粗さの変化を Fig. 7 に示す。上から順に(a)未加工連続膜媒体、(b)ディスクリートトラック加工後、(c)バイアススパッタ平坦化処理後、(d)エッチバック平坦化処理後である。測定は原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope: AFM)を用いトラックと直交方向に走査した。

Fig. 7 Surface roughness comparison.(AFM Images)

未加工連続膜媒体(a)の表面粗さ(Ra)が0.65 nm であるのに対し、ディスクリート加工後(b)の溝部分を含む Ra は 4.78 nm まで悪化する。しかしバイアススパッタによる平坦化処理が施された場合(c)では Ra が 1.04 nm、エッチバックによる平坦化処理が完了した(d)時点では Ra が 0.66 nm と加工前と同等の表面粗さが得られた。

エッチバックによって非磁性層SiO₂を削って平坦化する際に、記録磁性層表面でエッチングを止める終点管理が必要である。

今回の試作では、安定したエッチングレートが得られたため、エッチング時間管理で平坦化終点管理をおこなったが、より正確な方法としては質量分析装置用いる方法も検討している。

3. 浮上特性評価

3.1 評価システム

ディスクリットトラック加工及び表面平坦化を施した媒体サンプルを用い、スピンドルにて磁気ヘッド浮上試験を行い浮上安定性を評価した。浮上変動量の測定にはレーザードップラー振動計 (Laser Doppler Vibrometer: LDV)を用い、ヘッドスライダ背面の変動量を測定した。LDVのフィルター条件としては、HPFは5 kHz、LPFは200 kHzに設定した。

またヘッド出力変動による浮上安定性の評価は、信号出力のエンベロープ形状を比較することにより行なった。Table. 1に出力信号評価の装置緒元を示す。測定はスピンドルで行い、ディスク半径位置16 mm、ディスク回転数4200 rpm、記録周波数21.3 MHz、測定ヘッド浮上量は約11 nmである。

Table. 1 Measurement conditions.

Items	Type / Value
Media	Perpendicular
H_c	3.6 kOe
M_t	0.7 memu/cm ²
Media diameter	2.5 inch
Rotation	4200 rpm
Flying height	11 nm (typical)
Head	Perpendicular
Writer	Single-pole-type
Pole B_s	20 kG
Coil	6 turns
Reader	GMR

3.2 浮上安定性

ディスクリットトラック加工後（溝有り）サンプルと、平坦化処理後サンプルの外観をFig. 8に示す。試作したサンプルはトラックピッチ200 nm、トラック幅150 nm、加工した溝の深さが20 nmである。ヘッドスライダ幅が約1 mmであることから、スライダ全幅が加工領域に入ること考慮してトラック本数は10,000本、加工領域幅2 mmとした。

Fig. 8に示すように平坦化処理後のサンプルでは、加工したエリアがほとんど確認できないレベルに表面平坦性が改善されていることがわかる。

Fig. 8 Sample disk after surface flattening.

Fig. 9 Fluctuation of flying height.

3.3 出力測定

Fig. 10 Amplitude envelope.

Fig. 9にLDVによるヘッド浮上変動量の測定結果を示す。リファレンスとしてディスクリット加工を施していない連続膜媒体上での浮上変動を測定した結果を示す(a)。

ディスクリットトラック加工後のサンプルではヘッド浮上量は非常に不安定で10 nm_{pp}程度変動する(b)のに対して、平坦化処理後サンプルでは変動量として1~2 nmとなり浮上安定性が改善されていることがわかる(c)。

Fig. 10に測定した出力信号の出力エンベロープを示す。リファレンスとしてディスクリット加工を施していない連続膜媒体における出力エンベロープを示す(a)。

ディスクリットトラック加工後のサンプルでは浮上変動が激しく出力エンベロープが大きく変化する(b)のに対して、平坦化後サンプルは安定したエンベロープ形状が得られた(c)。

ディスクリットトラック媒体においては、サンプル媒体取り付け時に発生する偏心のため、同心円トラック及び溝とヘッドが交差することに起因する出力変動が発生する。

平坦化を施したサンプル(c)のエンベロープには、その現象が観察されるが、出力信号のピーク値がリファレンスと同じでかつ一定であることから、ディスク全面の平坦均一

性が確保できていること、ヘッド浮上量が一定で安定に記録再生可能であることがわかる。

4. まとめ

電子線描画によってトラックピッチ 150 nmの同心円トラックレジストパターン形成し、RIE法を用いて磁気記録層のディスクリートトラック加工を行った。さらにディスクリートトラック加工した溝をバイアススパッタ法およびエッチバック法などのドライー貫プロセスを用いて非磁性材料SiO₂で充填し、媒体表面が平坦化されたディスクリートトラック型垂直磁気記録媒体を試作した。試作したディスクリートトラック媒体の媒体表面平坦性、ヘッド浮上安定性および出力信号エンベロープを、未加工連続膜媒体との比較により評価した。

ディスクリートトラック加工した媒体表面粗さ(Ra)は 4.78 nmと非常に荒れているのに対し、平坦化処理後の Ra は0.66 nmと改善され、未加工連続膜媒体の Ra = 0.65 nm と同等の表面性が得られた。

LDVによるヘッド浮上変動量の測定では、平坦化処理を施していないサンプルにおいて、浮上変動量が10 nm_{pp}程度発生して非常に不安定であるのに対し、平坦化処理を施したサンプルでは変動量が1~2 nmに改善されて安定したヘッド浮上特性が得られた。

また出力信号エンベロープ測定において、平坦化処理を施さないサンプルでは出力信号が大きく変動し安定したエンベロープを得ることが出来なかった。これに対し、平坦化処理を施したサンプルでは浮上安定性が改善された結果、出力信号のピーク値がほぼ一定で安定したエンベロープ波形が観測できた。このように平坦化処理を施したディスクリートトラック媒体では、安定な浮上特性と記録再生の評価が可能であることが確認できた。

謝辞

最後に、本報告の機会を頂いた TDK (株) 情報技術研究所長の野村武史取締役常務執行役員、有益な助言を頂いた

佐藤勇武副所長、松崎幹男主幹に深謝する。また試料作成、評価に協力頂いた情報技術研究所の添野佳一、伊藤邦恭、服部一博、藤田実、海津明政、日比幹晴諸氏に感謝する。

文献

- 1) Pu-Ling Lu, Stanley H. Charap: *IEEE Trans. Magn.*, **30**, No.6 (1994).
- 2) M.Takahashi: *OYO BUTURI*, **68**, No.2, 185 (1999)(in Japanese).
- 3) H.Nishio, K.Hattori, S.Okawa, M.Fujita, T.Aoyama, I.Sato: *J.Magn.Soc.Jpn.*, 119 (2001)(in Japanese).
- 4) Robert L.White: *IEEE Trans. Magn.*, **33**, No.1 (1997).
- 5) S.E.Lambert, I.L.Sanders, A.M.Patlach, M.T.Krounbi and S.R.Hetzler: *J.Appl.Phys.*, **69**, 4274 (1991).
- 6) N.Honda, K.Oouchi: *J.Magn.Soc.Jpn.*, **24**, No.5 (2000)(in Japanese).
- 7) Y.Soeno, M.Moriya, K.Ito, K.Hattori, A.Kaizu, T.Aoyama, M.Matsuzaki and H.Sakai: *IEEE Trans. Magn.*, **39**, No.4 (2003).
- 8) T.Aoyama, I.Sato, S.Ishio: *OYO BUTURI*, **72**, No.3, 298 (2003)(in Japanese).
- 9) T.Kawashima, Y.Ohtera, S.Kawakami: *J.SSSJ*, **22**, No.11, 723 (2001)(in Japanese).
- 10) I.Nakaya: *J.IEE.Jpn*, MAG-99-88 (1999)(in Japanese).
- 11) T.Aoyama, S.Okawa, K.Hattori, H.Hatate, Y.Wada, K.Uchiyama, T.Kagotani, H.Nishio and I.Sato: *J.Magn. & Magn. Mater.*, **235**, 174 (2001).
- 12) Stephen Y.Chou: *Proceedings of The IEEE*, **85**, No.4 (1997).
- 13) M.Nakao: *J.IEICE*, **85**, No.9, 793 (2002)(in Japanese).

2003 年 10 月 22 日受理, 2003 年 12 月 19 日採録