

3.5インチMOディスク：GIGAMO 2.3GB

3.5-inch MO Disk: GIGAMO 2.3GB

あらまし

パーソナルユースにおけるデータファイルの大容量化が進む中で、データを信頼性高く保存したり、データを迅速に交換したりするためのリムーバブルメディアの重要性が増大している。リムーバブルメディアとして各種のディスクが製品化されているが、高速性と信頼性の点で光磁気(MO)ディスクに勝るものはない。著者らは1998年に磁気超解像技術を利用して1.3 Gバイト容量の3.5インチMOディスクであるGIGAMOを製品化したが、今回更にランド/グループ併用記録と組合せることによって2.3 Gバイト容量を達成した。ランド/グループ併用記録のために新たなアドレス方式も考案した。

本稿では2.3 Gバイト容量を達成するためのディスク技術とGIGAMO仕様について述べ、また同時に開発した2.3 Gバイト容量対応ドライブによる実用性評価結果についても述べる。最後に信頼性評価の結果から、繰り返し記録・再生に対する耐久性や媒体寿命が従来のMOディスクと同様に優れていることを示す。

Abstract

Removable media for saving data reliably and exchanging data quickly is becoming increasingly important because of the growing size of personal files. Many disks have been commercialized as removable media for this purpose, but no medium is superior to the MO in terms of speed and reliability. In 1998, we developed a 1.3-Gbyte, 3.5-inch MO called GIGAMO through the use of magnetically induced super resolution. By combining this technology and land/groove recording, we achieved a 2.3-Gbyte capacity. We also developed a novel ID system. This paper describes the specifications of the 2.3-Gbyte MO and its performance in a practical drive. This paper also describes the results of a durability test and the reliability of the new GIGAMO.



守部峰生(もりべ みねお)
ストレージシステム研究所 所属
現在、光磁気ディスク媒体の開発に
従事。



庄野敬二(しょうの けいじ)
ストレージシステム研究所光ディス
クメディア研究部 所属
現在、光磁気ディスク媒体の開発に
従事。



前田巳代三(まえだ みよぞう)
光ディスク事業部第二技術部 所属
現在、光磁気ディスクドライブの開
発に従事。

まえがき

通信のブロードバンド化や、デジタルカメラなどのデジタル家電の普及が進み、家庭でも大容量ファイルを扱う機会が増えてきている。このような情報は一次的にはハードディスクに蓄えられるが大切なデータはより安全なメモリに保存すべきであるし、またこれらのデータを持ち運ぶには大容量のリムーバブルメディアが必要になる。これらの要求に対して近年CD-Rが普及しており、DVD-Rも広まりつつある。しかし、これらは映画などの連続的なデータの再生に適しているものの、ランダムアクセス性に劣るため、例えば電子アルバムのように多くのファイルを検索しつつ再生する用途には適していない。多量のデータを短時間で検索して再生するにはやはり光磁気（MO：Magneto-Optical）ディスクが最適である。以上の理由から、高速アクセス可能な3.5インチMOディスクの高密度化に取り組んできたが、2001年10月に2.3 Gバイト容量のMOディスクを製品化するに至った。

本稿では2.3 Gバイト容量のMOディスク技術および実用性評価結果について述べる。

3.5インチMOシリーズ

3.5インチMOディスクはフロッピーディスクとほぼ同サイズ（厚さだけ2倍）のコンパクトなカートリッジに入った書換え可能な光ディスクであり、1991年に初めて市場に投入された。この第1世代のMOディスクは128 Mバイトと、フロッピーディスクの約100倍容量であったので、テキストファイルを中心に扱う当時のパーソナルユースには十分な容量だった。その後、コンピュータの発達により個人の扱うデータが大幅に増加していき、これに伴って3.5インチMOディスクも新しい技術を次々に導入して、230 Mバイト（1994年）、640 Mバイト（1996年）と記録容量を拡大してきた。ここまでのMOディスクは単層の磁性膜を用いて記録・再生していたが、1998年、富士通とソニーは3層の磁性膜を用いた磁気超解像（MSR：Magnetically induced Super Resolution）という技術を世界で初めて実用化して、1.3 Gバイト容量のMOディスクを製品化した。著者らは、1.3 Gバイト容量の媒体規格を作成するとともに、3.5インチで初めて1 Gバイトを超えたこのMOディスクをGIGAMOと名付けた。そして更に2001年、同じく富士通とソニーによってランド/グループ併用記録技

術を組み合わせて“GIGAMO 2.3GB”ディスクを実現した。MSRとランド/グループ併用記録の組合せによる大容量化の可能性は以前に報告している⁽¹⁾が、今回製品として完成させた（図-1）。3.5インチMOディスクで特筆すべきことは、この20倍に及ぶ容量拡大の中で下位互換性を一貫して維持してきたことである。すなわち、最上位の2.3 Gバイト容量対応ドライブでも初代の128 Mバイト容量のMOディスクを記録・再生することができる。このことによって、ユーザは従来のMOディスクを新しいMOディスクに変換することなく、そのまま新しいドライブで使うことができるのである。GIGAMOにおける互換性は、レーザビーム径より小さい記録マークの検出を可能とするMSR技術によって、640 Mバイト容量対応のMOドライブから光学系を大きく変えることなく高密度化することで維持されている。

GIGAMO 2.3GBディスク技術

ここでは、GIGAMO 2.3GBを実現させたMSR技術とランド/グループ併用記録技術について述べる。

(1) MSR

MSRはレーザビーム径よりも小さな記録マークを高い分解能で検出する超解像技術であるが、この技術についてはこれまでも紹介してきた^{(1),(2)}ので、ここでは簡単に説明する。MSRメディア構造は図-2に示すように3層の磁性膜から構成される。情報の記録は、従来のMOディスクと同様に外部磁界をかけながらレーザ光で記録層を加熱し、その磁化を外部磁界方向にそろえることで行う。単層の記録層から成る従来MOディスクではこの記録層の磁化の向きを磁気カー（Kerr）効果で直接検出していたが、MSR膜では再生層の磁化を一方向にそ

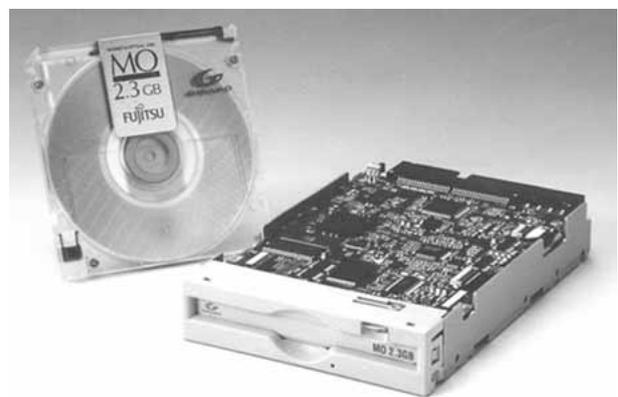


図-1 GIGAMO 2.3GB ディスクとドライブ
Fig.1-GIGAMO 2.3GB disk and drive.

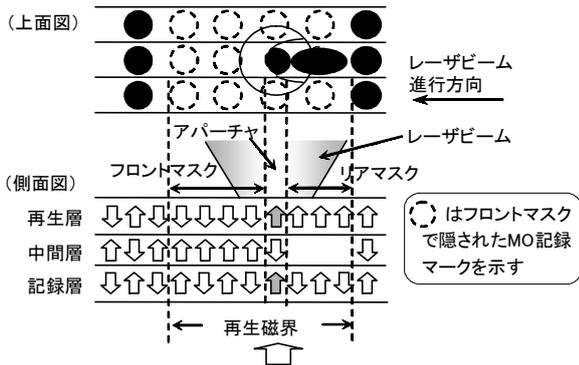
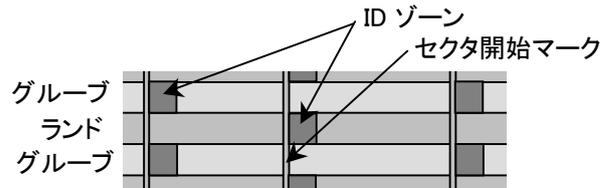
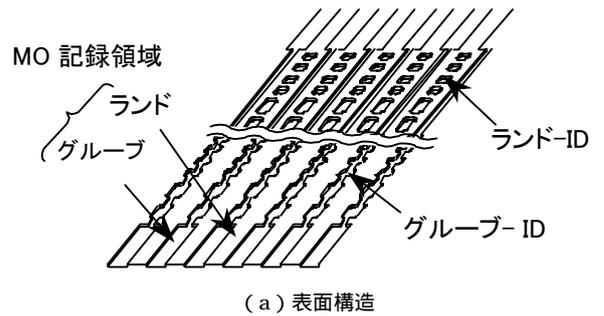


図-2 MSRメディア構造
Fig.2-Structure of MSR media.

るえて記録層の情報を部分的に再生層に転写することで分解能を上げている。すなわち、レーザ光を照射することで3層の磁性層を加熱し、その際生じる温度分布を用いて記録層の信号を再生層に写し取る。レーザビーム前方の低温領域では記録層と中間層との磁氣的結合が弱くなるようにしておき、中間層および中間層と強く結合した再生層の磁化を外部磁界方向にそろえるようにしておく(フロントマスク)。高温になるにつれて記録層と中間層との結合が強くなり、中間層の磁化は外部磁界の向きに逆らって記録層の磁化にそろうように磁気特性を設定しておく。この結果、中間層と強く結合した再生層の磁化も記録層の磁化にそろい、記録層の情報が再生層に転写される。さらに高温になると中間層がキュリー温度に達し、再生層と中間層の結合が切れるため、再生層は再び外部磁界の向きにそろう(リアマスク)ように設計している。以上のようにフロントマスクとリアマスクの間の狭い領域(アパーチャ)でだけ記録層の情報が再生層に転写されるので、あたかもレーザビームが小さくなったかのような高分解能が実現されるのである。フロントマスクは隣のトラックにもかかるため、MSRはクロストークの低減にも有効である。

(2) ランド/グループ併用記録

光ディスクではレーザビームを案内するための溝(グループ)が必要であるが、従来のMOディスクでは断面がV字形をしたグループに挟まれたランドと呼ばれる部分にだけ情報を記録して、グループ部分を有効に活用していなかった。そこで断面がV字型だったグループをU字型に広げ、ここにも情報を記録することにした。これをランド/グループ併用記録方式と言う。グループ形状は次のようにして決めた。グループは浅いほどトラック



(b) IDゾーン配置

図-3 スタガID構造
Fig.3-Structure of stagger ID.

からの反射光量を大きくとれるので、MO記録信号のSNR (Signal to Noise Ratio) は良くなる。しかしグループが浅いと、隣のトラックに信号がはみ出すクロストークが発生しやすくなる。クロストークはトラックピッチを大きくすれば抑制できるが、それでは記録容量を大きくできない。これらの要因を考慮して、トラックピッチや溝の形状を次章に述べるように最適化した。

MOディスクで情報を迅速に記録・再生するには、情報単位であるセクタを素早く認識する必要がある。このため従来のMOディスクでは、ランド上のすべてのセクタの先頭にそのトラック番号とセクタ番号を示すヘッダ情報(ID)をくぼみ(ビット)配列で記録していた。ランド/グループ併用記録を採用すると従来のランドセクタだけでなく、グループセクタにもIDが必要になる。ところがビット配列で情報を記録しているIDは反射率の変化で情報を読み出すため、磁氣的な超解像であるMSRの再生技術が使えない。つまりMO記録マークのように小さなビットを正しく読み出すことができないので、IDのビットの長さはMO記録マークの整数倍長く設定した。また半径方向に効いていたMSR効果もなくなるので、隣のトラックのビットまで見えてしまう。そこでランドトラックのIDとグループトラックのIDを円周方向にずらして配置した{図-3(a)}。この構造をスタガIDと名付けた。ただし単にずらすだけではID領域が2

倍に長くなってしまいデータ効率が悪くなるので、ランドトラックにIDがあるセクタとグループトラックにIDがあるセクタを交互に配置してデータ効率を向上させた{ 図-3 (b) }。IDのないセクタでは前後のセクタからID情報を内挿する。

富士通のMOドライブでは、光学ヘッドが高速でトラック間を移動するために、移動中に横切ったトラック数をカウントし、移動量と移動速度を割り出している。IDゾーンにグループのない領域があるとトラックカウントを間違え、誤動作する恐れがあるので、グループのID領域にも浅い溝を形成している。この溝を深くするとID信号の振幅が小さくなるので、ID信号とトラック信号とがバランス良く得られるようにピットと浅溝の形状を最適化した。

GIGAMO仕様

前章では、MSRの採用によって微小記録マークの再生が可能になりクロストークも小さくできると述べたが、もちろん限界はある。フロントマスク・リアマスクは3層の磁性層の温度分布を利用して作るため、温度の変化によってこの二つのマスクの間に見えるアパーチャ（ここから信号を読み出す）の位置と大きさが変わり、ついには隣のトラックの信号が見えるようになってしまう。図-4はこの様子を示したもので、再生パワーを上げていくと（温度を上げることに対応する）、クロストークが増えていく様子が見える。同図の (a) と (b) はそれぞれ再生層の組成が異なる二つのディスクについての結果を示している。実験では連続する3トラックに信号を記録して中央のトラックを再生し、両隣のトラックからの漏れこみ信号強度を測定した。各図中の3本のプロットは両隣のトラックに信号を記録したパワーが最適値 (Pw opt), 4%増 (Pw +4%), 8%増 (Pw +8%) である場合の結果を示している。ここでPw +8%は実際のドライブで記録され得る最大のパワーに相当する。クロストークの再生パワー依存性は再生層の組成によって変わり（ディスクBが最適）、また隣のトラックに信号を記録するパワーが大きいほどクロストークが大きくなる。このクロストークを、様々なトラックピッチで、様々な条件で（ディスクを傾けたり、レーザビームの位置をトラックの中心からずらしたりして）測定し、実用に耐えるトラックピッチとして0.67 μm を決定した。

カートリッジサイズとディスク厚さは従来ディスクと同じにして互換を容易にした。MSRの再生技術とラン

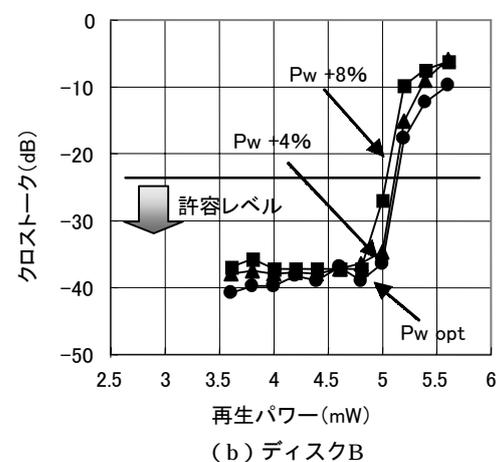
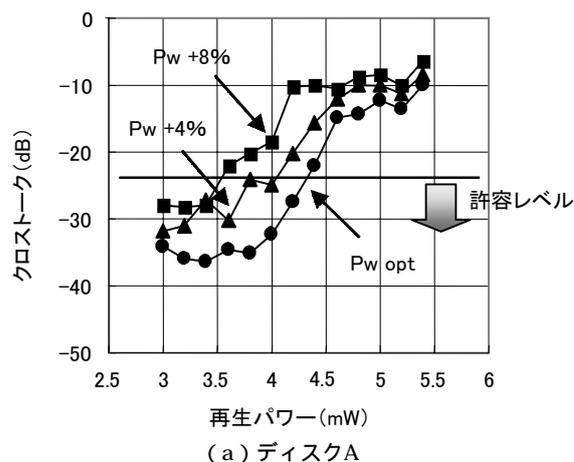


図-4 異なる記録層組成のディスクにおけるクロストークの再生パワー依存性

Fig.4-Crosstalk dependence on readout power for two disks with different composition of readout layer.

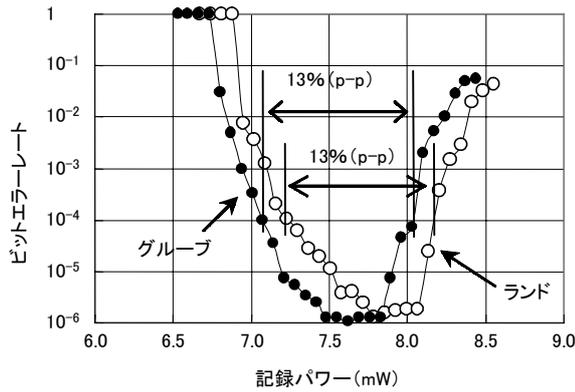
ド/グループ併用記録によってビット長とトラックピッチを短くして2.3 Gバイト容量を達成している。この容量は4.2 Gbit/in²に相当し、記録密度としては4.7 Gバイト (3.7 Gbit/in²) のDVD-RAM (直径120 mm) にも勝るものである。

実用性評価結果

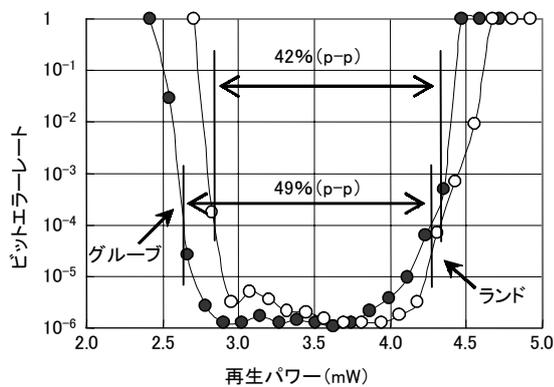
GIGAMO 2.3GBディスクの互換性、信頼性を保証するため、実用性評価試験を行った。ここでは、パワーマージンの評価結果と信頼性試験結果を紹介する。

(1) パワーマージン

開発した2.3 Gバイト容量ディスクに対し、同時に開発されたドライブで様々な角度から実用レベルの試験を行った。ドライブのレーザ波長は665 nmで、開口数0.55の対物レンズを用いている。MO記録される最短マーク長は0.30 μm である。図-5は、記録パワーマージ



(a) 記録パワーマージン



(b) 再生パワーマージン

図-5 パワーマージン
Fig.5-Power margins.

ン(a)と、再生パワーマージン(b)に関する評価結果を示す。記録容量を上げたため記録パワーマージンは従来機種に比べてやや狭めであるが、ドライブのパワー制御ファームを高性能化することで実用上問題ないレベルとなっている。

(2) 信頼性試験

MOディスクはほかの記録メディアと比べて信頼性の高いことが大きな特長の一つである。GIGAMO 2.3GBディスクも従来のMOディスクと同様の材料を使っているので同等の信頼性が得られる。図-6は、ドライブで用いられる上限のパワーでの記録・再生・消去を10⁶回繰り返した前後でのエラー特性の比較を示す。ビットエラーレートは変化しておらず、記録感度の変化もわずかであり、10⁶回以上の繰り返し記録に十分耐えられることが確認できた。

このほか、温度80℃、相対湿度85%の環境にGIGAMO 2.3GBディスクを置いて特性劣化の有無も調べた。2,000時間の高温高湿保存に対して、ランドトラック、グループトラックともエラーが増加しなかった。

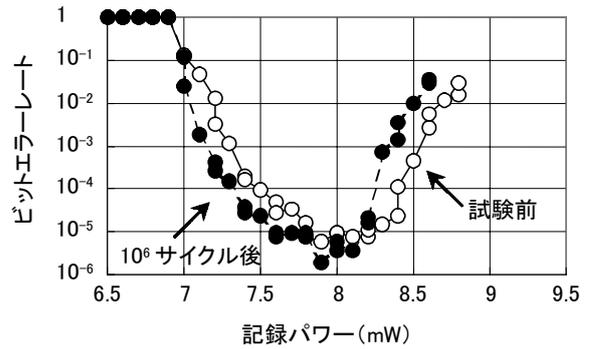


図-6 繰り返し耐久性
Fig.6-Cyclic erase/write/read test.

この試験条件は25℃に換算すると50年以上の保存年数に相当するので、50年間はGIGAMO 2.3GBディスクが劣化しないものと推測できる。この値は従来のMOディスクと同じ長寿命を示すものである。

む す び

本稿では、2.3 Gバイトの容量を実現させたMOディスク技術と、GIGAMO 2.3GBディスクが従来MOディスクと同等な信頼性、耐久性を持っていることを紹介した。

1991年に登場した3.5インチMOディスクはその後10年の情報の高度化に合わせて高密度化を続け、ついに2.3 Gバイトの情報を記録できるようになった。この間、従来MOディスクとの互換や高い信頼性を維持し続けている。扱いやすいコンパクトサイズとデータアクセスの高速性は、今後も増大する情報ファイルを高速に処理して持ち運ぶのに最適である。MSRはMOディスクだけに適用可能な技術であるが、さらに最近盛んに研究されている磁区拡大再生技術を適用すれば、より短いビットの再生が可能になる。著者らは今後も新しい技術開発に取り組み、便利で信頼性の高いリムーバブルディスクを開発していく。

参考文献

- (1) 玉野井健ほか：超大容量光磁気ディスク . *FUJITSU* , Vol.48, No.3, p.279-283 (1997).
- (2) K. Tamanoi et al. : Relationship between Crosstalk and Readout Magnetic Field Direction on Trilayer Magnetically-induced Super Resolution Media . *Jpn. J. Appl. Phys.* , Vol.36, No.8B, p.L1104-L1106 (1997).