



光磁気記録技術

尾島 正啓・角田 義人

(株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

(1989年7月29日受理)

Magneto-Optical Recording Technologies

Masahiro OJIMA and Yoshito TSUNODA

Central Research Laboratory, Hitachi Ltd., 1-280, Higashikoigakubo, Kokubunji 185

1. はじめに

光磁気記録とは、磁性薄膜にレーザー光を照射することによって情報を記録、読み出す技術である。原理そのものは、レーザーの発明以前から知られていたが、コンパクトディスクを代表とする光ディスク技術を土台にして、光磁気ディスクとして実用に供されつつある¹⁾。光磁気ディスクは、光記録の高密度・非接触記録という特徴と、磁気記録の書換え性を併せもち、コンピュータ用の情報ファイルや記録できるオーディオ・ビデオディスクとしての応用が期待されている。

本稿では、まず光磁気記録の現状技術と応用システムを紹介する。さらに将来技術の発展方向について述べる。

2. 原理と現状技術

2.1 原理

図1に光磁気ディスクの記録・再生原理を示す。記録時には、レーザー光は熱源として用いられる。垂直磁化膜の磁化の向きを、初め一様に上向きにそろえておく。そこへレーザー光パルスを照射し、膜の温度を局所的に上昇させる。キュリー温度近くまで昇温すると、膜の保磁力が減少し、外部の電磁コイルで発生した下向きの磁界によって磁化が反転する。消去は、磁界の向きを逆にしておいて、レーザー光を連続的に照射すれば、記録と同じ原理で磁化が元の向きにもどることで達成される。

磁化の向きを読み出すには、カー効果と呼ばれる磁気光学現象が利用される。カー効果とは、直線偏光のレー

ザー光を垂直磁化膜に入射させると、反射光の偏光面が磁化の向きに従って、左または右にわずかに回転する現象である。この回転を検光子によって光量変化に変換して、情報が再生される。

2.2 現状技術

図2は、光磁気ディスク装置の基本構成を示したものである。ディスクの一部、光ヘッドの基本要素だけを描いたもので、焦点ずれ検出やトラックずれ検出の光学系等は省略してある。ディスク上には TbFeCo 等の垂直磁化膜が形成されており、トラックピッチ 1.6 μm の案内溝に沿って磁化ドメインが記録される。

図3は、記録磁化ドメインを偏光顕微鏡で観察したものである。黒い円形部が、磁化の方向が周囲に対して反転している記録ドメインであり、直径約 1 μm である。

光磁気ディスクを実用化するには、二つの大きな技術課題があった。一つは SN 比 (信号対雑音比) の向上であり、もう一つは記録媒体の長寿命化であった。光磁気ディスクにおける信号量は、カー効果の大きさ、すなわち、反射光偏光面の回転角に比例するが、この角度は 1° 以下できわめて小さい。これは、磁性膜原子の内殻電子と光との高次の相互作用によってカー効果が生じているからである。したがって、信号光量は追記形光ディスクの 100 分の 1 程度しかとれない。信頼性高く情報を再生するためには、SN 比を十分なレベルに確保する技術を開発する必要があった。

SN 比を向上させるために、SN 比を支配する要因を詳細に分析すると、まず信号は、カー回転角に比例するが、ディスク基板や光学部品の光学的異方性によって小

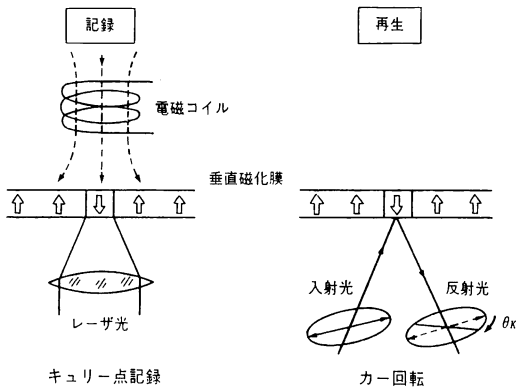


図 1 光磁気ディスクの記録・再生原理

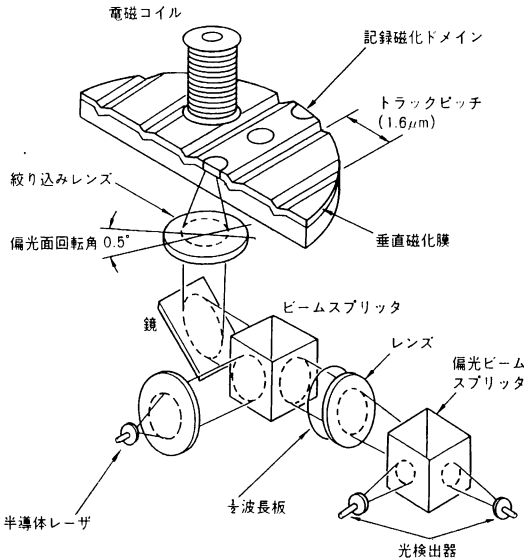


図 2 光磁気ディスク装置の基本構成

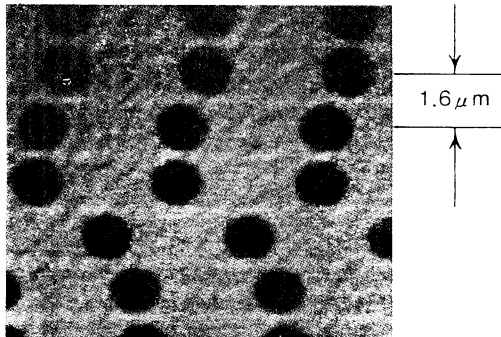
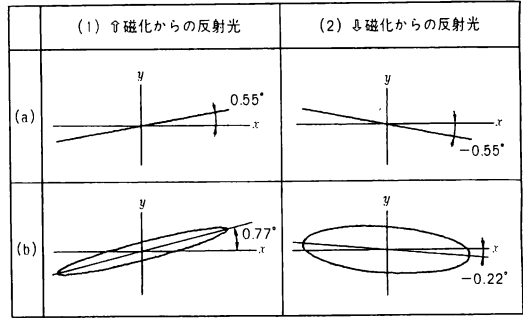


図 3 記録磁化ドメインの偏光顕微鏡写真

さくってしまう²⁾。雑音は、ディスク表面雑音、変調性雑音、レーザー雑音、光検出器ショット雑音等から成る³⁾。図 4 は、光学部品の偏光異方性が信号検出に影響



注: y軸はx軸に対し、20倍に拡大してある。

図 4 光学部品の偏光特性が信号検出に与える影響

する様子を調べたもので、(a)は異方性なし、(b)は絞り込みレンズにわずかな異方性がある場合について反射光の偏光状態を計算で求めた例である。レンズの異方性は位相差 2° 程度のわずかな量であるが、レンズホルダーからの不均一な取付け圧力によって生じているものと思われる。光学部品の異方性は、この例からわかるように SN 比を低下させるので、厳しく管理する必要がある。レーザー雑音やディスク表面雑音は、レーザー光量に比例する雑音なので、図 2 に描かれた差動検出によって抑圧することができる。偏光ビームスプリッターで 2 分割された検出光を、二つの検出器 (det 1, det 2) で受光すると、カー回転による再生信号は互いに逆相、レーザー雑音・ディスク表面雑音は同相で検出される。したがって、それらの差動をとれば、雑音成分だけがキャンセルされる。とくにディスク基板としてポリカーボネートのような二軸異方性の大きなプラスチック基板を用いた場合に差動検出の効果が大きく、図 5 に示したように SN 比は大幅に改善される²⁾。図 5 の横軸は、偏光ビームスプリッターの前に挿入されている 1/2 波長板の回転角である。横軸の 0° は、偏光ビームスプリッターに入射する光の偏光面が 45° になる方向に対応し、光強度がちょうど 2 分割される角度である。

第二の課題である媒体の長寿命化は、記録磁性膜が希土類元素を含んでいるために酸化されやすいことに関係している。耐酸化性を向上させるために、図 6(a) に描いたように窒化物保護膜で磁性膜をサンドイッチしたり、TbFeCo に第四元素を添加したりしている。図 6 (b) は、媒体寿命の加速テストの測定例で、第四元素の添加効果を示している⁴⁾。この結果から、室温環境下での寿命は、10 年以上と推定される。

2.3 標準化状況

光ディスクは交換可能な媒体であるので、どのメーカーの装置でも読み書きできるように標準化されているこ

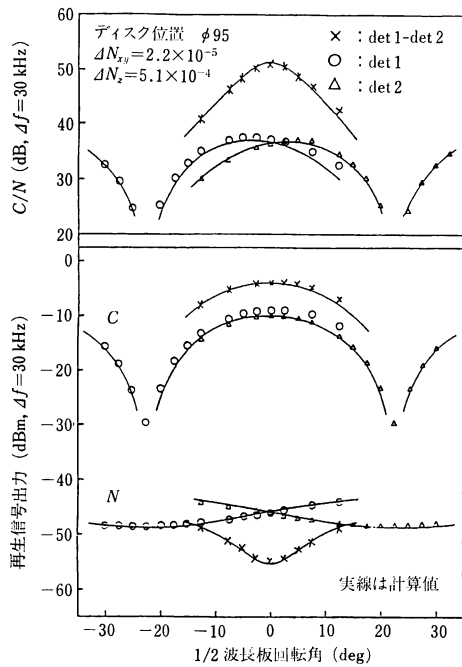
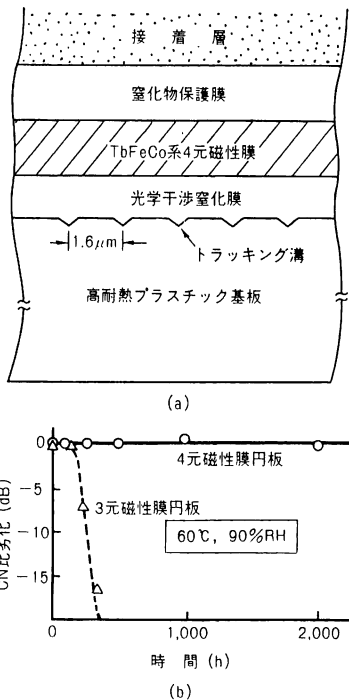


図5 差動検出によるSN比改善効果の測定例



注：略語説明 CN比(キャリア対雑音比)

図6 光磁気ディスクの断面構造と寿命試験結果

とが好ましい。国際標準化作業は ISO (International Organization for Standardization) で進められている⁵⁾。

まず、直径 130 mm の追記形光ディスクについて、ディスクの機械的特性、光学的特性、物理フォーマットの標準化案が 1987 年末に決定された。現在、これに準ずる形で、直径 130 mm の光磁気ディスクの標準化案がまともつつある。これらの標準化案では、トラックフォーマットとして、連続溝方式とサンプル方式の双方が取り上げられている。なお、直径 90 mm の光磁気ディスクについても、標準化案が審議されている。

3. 応用システム

3.1 コンピュータ用情報ファイル

大容量で媒体交換可能という特徴を生かして、ワークステーションやパソコン用のマルチメディアファイルとしての応用が最も大きな期待を集めている。この応用分野では、直径 130 mm または 90 mm の小形光磁気ディスクが用いられる。直径 130 mm の光磁気ディスク装置の典型的仕様は、容量 600 MB (両面)、データ転送速度 900 kB/s (ただし読出し時。記録時はその 1/3)、平均アクセス時間 0.1 s である。フロッピディスクの容量が現在最も普及しているもので 1 MB であるので、600 枚分のフロッピディスクが 1 枚の光磁気ディスクに相当するわけである。イメージスキャナで読み込んだ写真やイラスト等、あるいはコンピュータで作った設計図面やグラフィックス等、フロッピディスクではまかないきれない大量のメモリ容量を必要とするファイルに使われる。

再生専用光ディスクである CD-ROM は、1 枚の原盤から大量複製がとれるので、電子出版として期待されているが、光磁気ディスクの一部に ROM 情報を入れておくという使われ方も注目されている。たとえば、辞書や地図、あるいは OS や各種アプリケーションソフトを ROM 情報として複製提供し、光磁気ディスク上の残りの領域にユーザーのパーソナル情報を記録するという使い方である。磁気ディスクやフロッピディスクを用いずに光磁気ディスクのみを標準装備したマルチメディアパソコンも登場している⁶⁾。

大型コンピュータシステムにおけるセンターファイルで、アクセス頻度が少ないファイル、あるいはネットワーク化された分散ワークステーションに対するファイルサーバー等に対しては、光磁気ディスクライブラリ装置が使われる。磁気ディスクと比べるとアクセスは遅いが、省スペース、低ビットコストという特徴が生かされる応用である。

3.2 画像ファイル

放送局用あるいは家庭用の録画装置としては、VTR

が使われてきたが、アクセスが数分もかかるという使いにくさがある。番組編集用に高速ランダムアクセスできる画像ファイルとして、光磁気ディスクを用いたデジタルビデオレコーダが実用化されている⁷⁾。リアルタイムで録画するために、消去用と記録用の2組の光ヘッドを使用している。

4. 将来技術

光磁気ディスクの応用をさらに展開し、今後、固定磁気ディスクを一部代替するものとしていくためには、表1に示したような多くの課題があり、現在それらの課題を実現する技術の研究開発が盛んに行なわれている⁸⁻¹³⁾。ここでは、転送高速化の中心課題であるオーバーライト技術について、研究開発の現状を紹介する。

現在実用化されている光磁気ディスクでは、消去と記録の二つの過程を経て情報の書換えが行なわれるので、一つの光ヘッドしかもたない場合には、消去にディスク1回転、記録に1回転、計2回転を必要とする。一方、磁気ディスクでは、既記録データの上に新データをオーバーライト(重ね書き)すれば、自動的に旧データは消去される。この違いが、光磁気ディスクの実効記録スピードを遅くしている。光磁気ディスクにおいて、一つの光ヘッドだけでオーバーライトする方法としては、磁界変調記録¹⁴⁾、交換結合2層膜を用いた光変調記録¹⁵⁾、あるいは無磁界記録¹⁶⁾等が研究されている。高密度・高速記録の観点から有望な、磁界変調記録について以下詳述する。

図7に、空気浮上形磁気ヘッドを用いた高速磁界変調オーバーライト光磁気ディスク装置の基本構成を示す¹⁷⁾。レーザー光を連続的に照射しながら、磁界の向きを記録すべきデータに対応して反転させる。磁界に従って磁化が反転する領域は、光スポットが当たって温度が

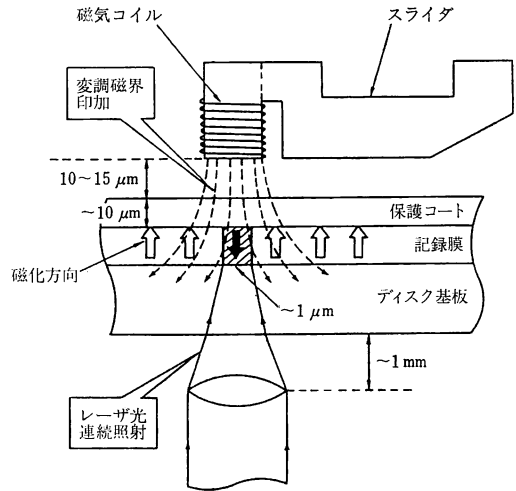


図7 磁界変調オーバーライトの基本構成

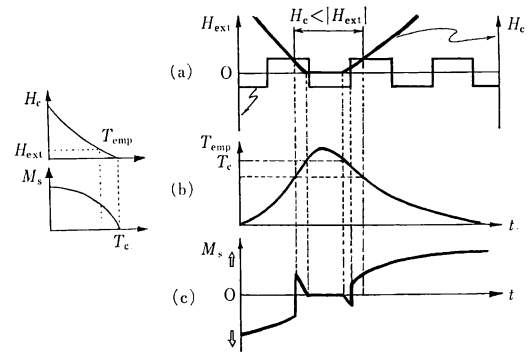


図8 オーバーライト記録過程の説明図

上昇した部分だけであるので、記録密度は光スポット径で決まる。高速記録をするために、インダクタンスの小さなコイルを空気浮上スライダに載せて記録膜に近づけている。磁気ヘッドとディスクとのスペーシングは10~15 μmと、磁気ディスクの場合より2桁広く、かつ記録膜上に厚い保護コートを設けているので、ヘッド衝突等の問題は避けられる。

図8は、オーバーライトの記録過程を説明するもので、 H_c は保磁力、 M_s は飽和磁化、 T_c はキュリー温度である。記録膜の光照射部温度は、 T_c 近傍まで上昇するために、既記録磁化は全く残らない。すなわち、消し残りはない。ただし、オーバーライト光パワーが小さかったり、トラックずれしたりすると、消残りが生じる。図8から記録磁気ドメインのエッジ位置精度を高めるためには、磁化が反転する近傍での記録膜温度変化が急峻であるように媒体構造を工夫する、 H_c の T_c 近傍での温度変化が大きい記録膜組成にする、等を予見すること

表1 光磁気ディスクの将来技術課題

課題	アプローチ
①高密度化	短波長レーザードメインエッジ記録 ⁸⁾
②転送高速化	オーバーライト 2ビーム RAW ⁹⁾ 多ビーム平行記録 ¹⁰⁾
③アクセス高速化	分離光ヘッド ¹¹⁾ 導波路光ヘッド ¹²⁾
④小形低コスト化	非球面単レンズ ⁹⁾ グレーティング素子 ¹³⁾

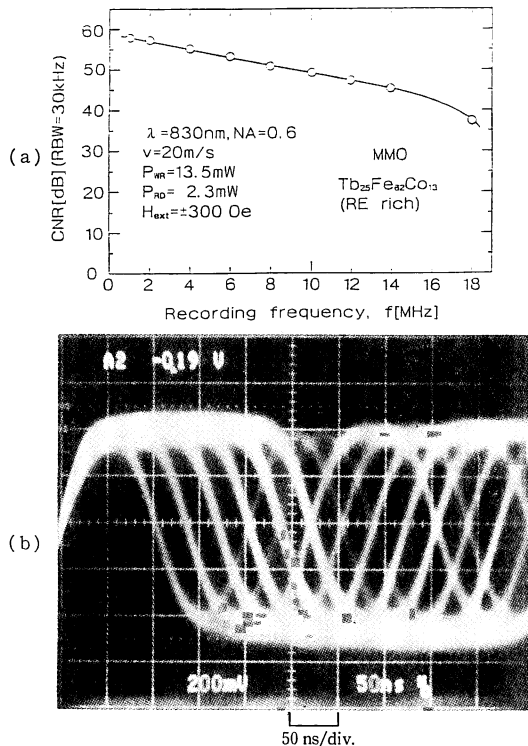


図9 CN比の記録周波数依存性(a)と15Mbpsの再生信号(b)

ができる。

オーバーライトの高速化は、磁気コイルの小形化によって達成されるが、磁気ヘッドと光スポットとの位置合せは難しくなる。すなわち、高速性と位置合せの容易さは相反する関係にある。位置合わせが比較的容易に行なえる、コイル先端部の大きさが0.2mm角の磁気ヘッドを用いた場合の測定例を図9に示す。(a)はCN比の周波数特性であり、15MHzで45dB確保されている。(b)は2-7変調パターンで記録した場合の再生信号で、小形磁気ディスクと同等の15Mbpsの転送速度を達成している¹⁸⁾。ただし、記録磁化ドメインの前縁と後縁に情報を対応させるエッジ記録方式を採用している。ビット長は0.7 μ mであり、現在実用化されている光磁気ディスクの記録密度と比べると約1.5倍になっている。オーバーライトのさらなる高速化は、磁気コイルのさらなる小形化によって可能であるが、その場合には光スポットとの位置合せに工夫を要する。

磁界変調方式の欠点は、両面記録が難しいことである。厚さ1mmのディスク基板ごとに、記録に必要な変調磁界強度を得ることが困難だからである。しかし、高速・高密度性に優れ、各種のオーバーライト方式のなか

で、きわめて有望な方式といえよう。

5. 結 び

平成元年は、光磁気ディスク元年となるべく、光磁気記録技術が情報化社会にインパクトを与えつつある。国際的規格化が進む一方、将来に向けていっそうの高密度・高速化技術も活発に研究されている。だれもが光磁気ディスクを個人用のマルチメディアファイルとして、ノート・手帳代わりに使う時代がすぐそこまで来ている。

文 献

- 1) 角田義人: "消去可能光ディスクの現状と将来展望", 応用物理, **57** (1988) 1151-1162.
- 2) 戸田 剛, 重松和男, 尾島正啓, 吉弘昌史: "偏光解析シミュレータによる光磁気ディスクのSN解析", 電子情報通信学会誌論文誌C, **J71-C**, 2 (1988) 273-280.
- 3) M. Ojima, A. Saito, T. Kaku, M. Ito, Y. Tsunoda, S. Takayama and Y. Sugita: "Compact magneto-optical disk for coded data storage," *Appl. Opt.*, **25** (1986) 483-489.
- 4) 尾島正啓, 重松和男, 太田憲雄, 寺尾元康: "消去可能光ディスク技術", 日立評論, **69**, 11 (1987) 47-54.
- 5) 光産業技術振興協会: 光ディスク標準化動向説明会 '89 テキスト (1989).
- 6) T. Thompson and N. Baran: "The NeXT computer," *Byte*, Nov. (1988) 158-175.
- 7) 荒木 茂, 油井修治, 関口 通, 佐々木良弘, 稲田博司, 岡田満哉: "光磁気方式によるデジタルビデオディスクレコーダ", テレビジョン学会技術報告, **13**, 18 (1989) 19-22.
- 8) H. Sukeda, M. Ojima, M. Takahashi and T. Maeda: "High-density magneto-optic disk using highly controlled pit-edge recording," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**, Suppl. 26-4 (1987) 243-248.
- 9) S. Nakamura, M. Ojima, T. Nakao, T. Kato and K. Mizuishi: "Compact two-beam head with a hybrid two-wavelength laser array for magneto-optic recording," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**, Suppl. 26-4 (1987) 117-120.
- 10) R. Katayama, K. Yoshihara, Y. Yamanaka, M. Tsunekane, K. Yoshida and K. Kubota: "Multi-beam magneto-optical drive for parallel read/write operation," *Proc. SPIE*, **1078**, Optical Data Storage Topical Meeting (1989) 98-104.
- 11) K. Koumura, F. Takizawa, T. Iwanaga, H. Inada, Y. Yamanaka and K. Yoshida: "High speed accessing using split optical head," *ibid.*, 239-243.
- 12) 有本 昭, 村岡幸治, 島野 健, 仙田和人, 石川幸子: "表面弾性波(SAW)偏向素子を用いた光ディスク高速トラッキング", 光メモリンポジウム '88 論文集 (1988) pp. 67-68.
- 13) A. Ohba, Y. Kimura, S. Sugama, R. Katayama, M. Okada, Y. Ono and N. Nishida: "Compact magneto-optical disk head using reflection polarizing holographic optical element," *Proc. SPIE*, **1078**, Optical Data Storage Topical Meeting (1989) 127-130.
- 14) F. Tanaka, S. Tanaka and N. Imamura: "Magneto-

- optical recording characteristics of TbFeCo media by magnetic field modulation method," Jpn. J. Appl. Phys., **26**, 2 (1987) 231-235.
- 15) J. Saito, M. Sato, H. Matsumoto and H. Akasaka: "Direct overwrite by light power modulation on magneto-optical multi-layered media," Jpn. J. Appl. Phys., **26**, Suppl. 26-4 (1987) 155-159.
- 16) H. Shieh and M. Kryder: "Magneto-optic recording materials with direct overwrite capability," Appl. Phys. Lett., **46**, 8 (1986) 473-474.
- 17) T. Nakao, M. Ojima, Y. Miyamura, S. Okamine, H. Sakeda, N. Ohta and Y. Takeuchi: "High speed overwritable magneto-optic recording," Jpn. J. Appl. Phys., **26**, Suppl. 26-4 (1987) 149-154.
- 18) 助田裕史, 仲尾武司, 尾島正啓: "光磁気ディスクにおける高速磁界変調ビットエッジ記録", 信学技報, **MR 87-61** (1988) 19-25.