

解説

光ディスクメモリ技術の現状と将来†



田中邦磨^{††} 渡辺勢夫^{††} 菅原 宏^{†††}

1. ま え が き

現代社会の産み出す情報量の増大に対応して、各種情報処理機器・システムにおける記憶装置の大容量化がますます望まれてきている。現在、この分野ではハードディスク、フロッピィ、磁気テープなどを主体とする磁気メモリが主役であるが、近年、光ディスクメモリが将来性のある新しい記憶装置として注目を集め、実用化が進められている。

光ディスクメモリは直径 $1\mu\text{m}$ 程度に絞ったレーザービームを回転ディスク上に照射し、記録面に情報を記録あるいはその再生を行うものである。そのため磁気ディスクと比較して次のような特徴を有する。

- (1) 面記録密度が高い。
- (2) 記録再生ヘッドとディスクとが機械的に非接触で作動するため信頼性が高い。
- (3) ディスクの交換が自由にできる。

このように優れた機能をもつ光ディスクメモリはすでに 1970 年代から原理モデル的な実験は行われていた。しかし本格的な実用化が可能となったのは、光学式ビデオディスク、デジタルオーディオディスクの開発にともなう光メモリ周辺技術の向上、半導体レーザーの特性向上、高性能記録媒体の開発などが進んだ 1980 年代に入ってからであった。我が国でも 1982 年には 30 cm 径ディスクの片面当たり 1GB 以上の記憶容量を有する光ディスクメモリが画像ファイル用として製品化された¹⁾。その後、高精度サーボ技術、誤り訂正信号処理技術、媒体信頼性などの改良により計算機用コードデータファイルとしての応用も可能となってきた。1986 年秋に発表された各社の 13 cm 径追記形（記録はできるが書換えはできない）光ディスクメモリは面当たりユーザ記憶容量が 300~400 MB、

転送速度は 5~12 Mbit/s である。ただし、平均アクセス時間は 100 ms 前後のものが多く、現状では 5.25" 径ハードディスクに比べて遅い。

一方、光磁気方式や相変化方式による書換形光ディスクメモリの開発も急速に進んでいる。

ここでは、コードデータファイル用を中心とした光ディスクメモリの要素技術、関連技術および規格化動向、将来動向について説明する。

2. 光ヘッドとサーボ技術

2.1 光ディスクの記録再生原理

光ディスクはその機能から三つに分類できる。表-1 にその分類を示す。

図-1 は、追記形光ディスクの原理説明図である。レンズで集光したレーザービームは透明基板をとおして媒体面に直径約 $1\mu\text{m}$ の光スポットを形成する。ディスクは $\lambda/8$ (λ はレーザービームの波長) の深さの案内溝が $1.6\mu\text{m}$ ピッチで形成されており、光スポットは面振れに追従するフォーカスサーボ FS と案内溝に挟まれた平坦部（ランド）を追跡するトラッキングサーボ TS によって媒体面のトラック上に焦点を結んでいる。

平坦部には一周を 17 分割したセクタがあり、ヘッド部とデータ部からなっている。ヘッド部にはアドレス情報が深さ $\lambda/4$ の凹凸状のプリピットとして埋めこまれている。このヘッドの再生はプリピット部で光の回折が生じて反射光が減少し、プリピットの無い部分との光量変化として検出できる。この原理は CD と同じである。

データ部での記録は、レーザービームの露光エネルギーから媒体のスレッシュホールドレベルを越えた部分で穴が明き、記録ピットとなる^{2),3)}。再生は、記録ピットの有無による媒体面の反射率変化として検出される。

次に、書換形の光磁気記録再生原理を図-2 に示す。ディスク基板の形状は追記形と同様で、媒体は垂直磁化膜を利用する。図-2(a)のように、外部磁界 H を印加した状態で、変調されたレーザービームを基板を

† The Technical Trend of Optical Disk Storages by Kunimaro TANAKA, Isao WATANABE and Hiroshi SUGAHARA (Products Development Lab., Materials and Electronic Devices Lab., Mitsubishi Electric Corp.).

†† 三菱電機(株)応用機器研究所
††† 三菱電機(株)材料研究所

表-1 光ディスクの分類

	記録	再生	消去	記録方式	再生方式	用途
再生専用形		○		大量転写 フォトレジスト 原盤	位相ビット	ビデオディスク コンパクトディスク CD-ROM
追記形	○	○		穴明け 相変化 染料	反射膜有無 屈折率変化 色反射率変化	文書ファイル 計算機外部メモリ
書換形	○	○	○	光磁気 相変化	Keer 回転角 屈折率変化	計算機外部メモリ 文書ファイル AV 情報

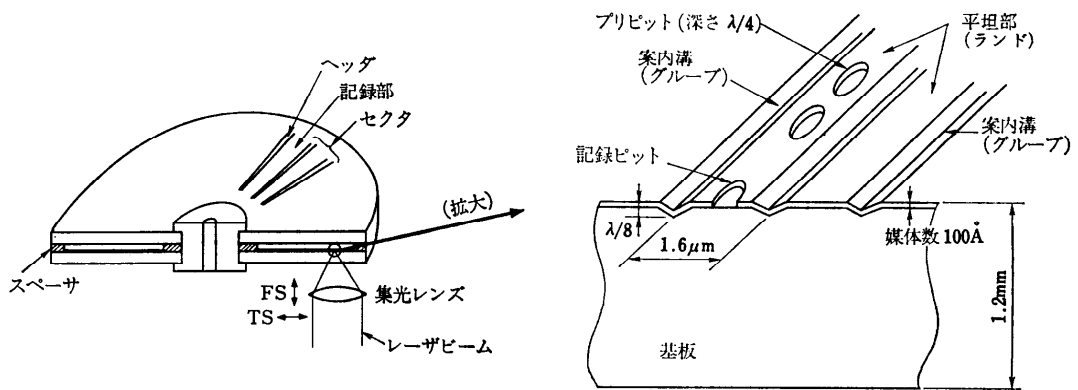


図-1 追記形光ディスクの原理図

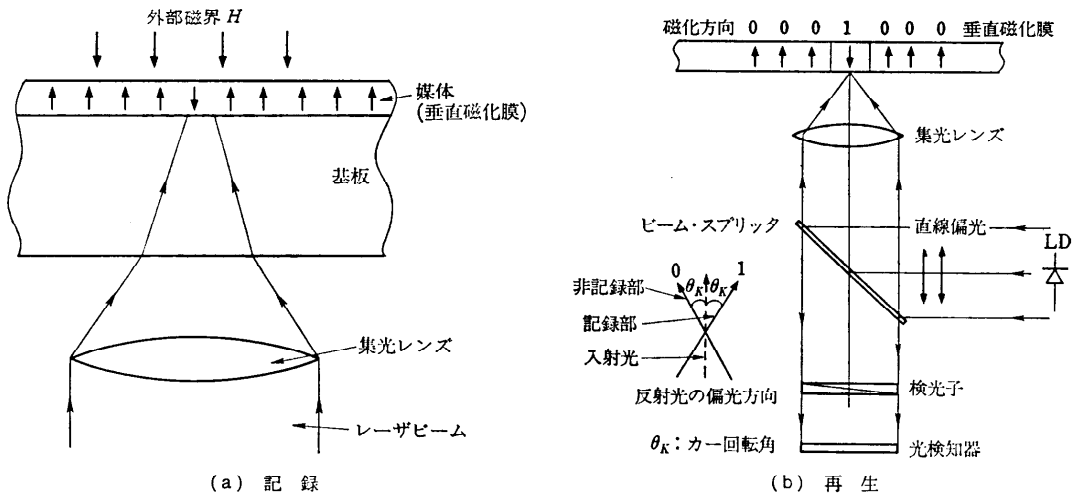


図-2 光磁気記録再生原理図

とおして磁化膜に照射する。高パワーの照射された部分の温度が上昇しキュリー点を越えて、いったん、非磁性となる。再び冷却するときはその部分の磁化の方

向は外部磁界 H の方向にそろう。消去は外部磁界の方向を記録時と反転し、高パワーのレーザービームを連続照射し、磁化の方向を記録前の状態に戻せばよい。

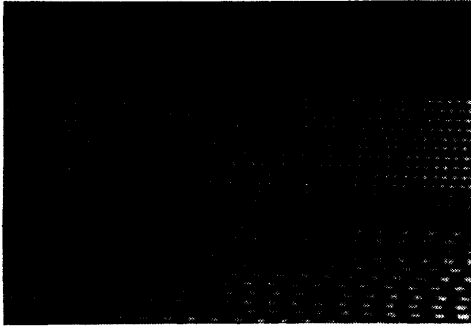


図-3 光磁気ディスクに記録された信号の偏光顕微鏡写真 (トラックピッチ 1.6 μ m)

記録信号を再生するには、図-2(b)のように、垂直磁化膜に直線偏光のレーザービームを照射する。その反射光の偏光の方向は磁化方向によって、微小角 θ K 回転する (カー効果という)。この光を検光子をとおして検知器で受光すれば光量変化として信号を検出できる。図-3 に記録部分の偏光顕微鏡写真を示す。

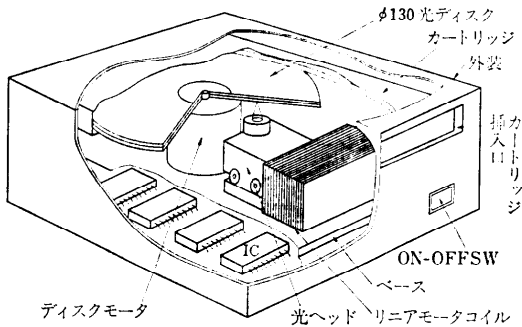


図-4 光ディスク装置構造図

2.2 光ディスク装置の構成

図-4 に光ディスク装置 (ODD) の構造を、図-5 に回路図を示す。ODD はディスク回転系、光ヘッド、光ヘッドを高速移動するリニアモータなどの機構系、各種サーボ系、プリアンプ出力を波形整形デジタル信号に変換する信号処理系、装置内コントローラからなっている。再生信号はコントローラ (ODC、後述) をとおしてホストコンピュータへ送られる。

2.3 光ヘッドの構造

図-6 に追記形光ヘッドの構成例を示す。光ヘッドは LD-コリメート系、集光系、光路分離系、センサ系、信号検出系、フォーカス・トラック追跡アクチュエー

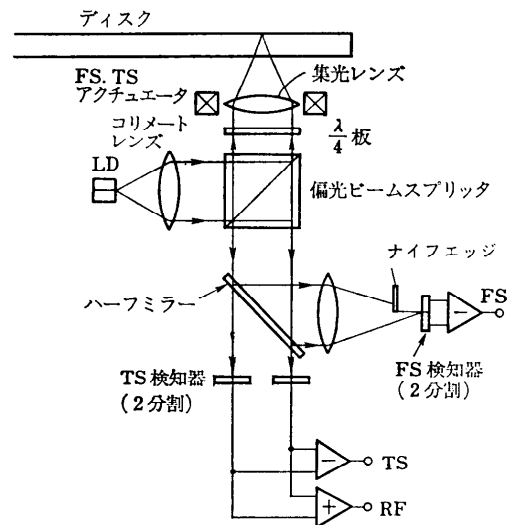


図-6 追記形光ヘッドの構造

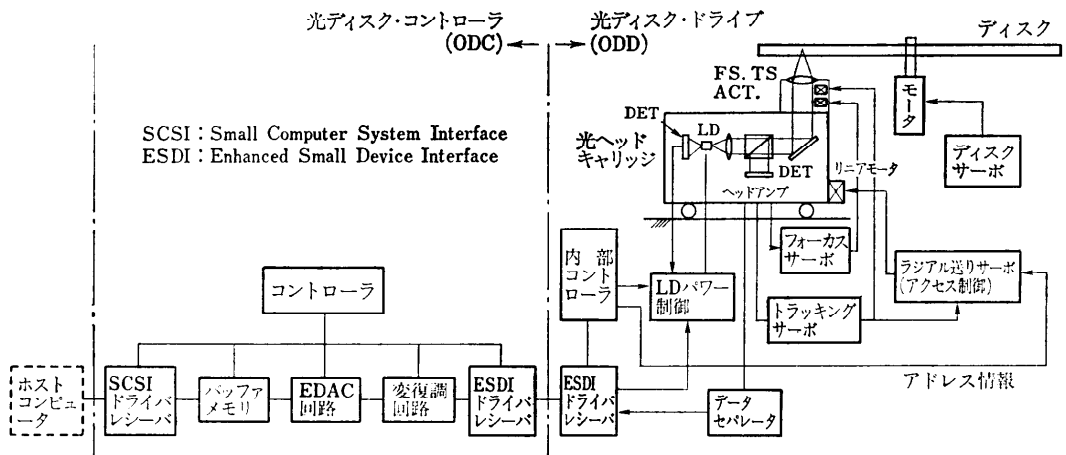


図-5 光ディスク装置回路構成図

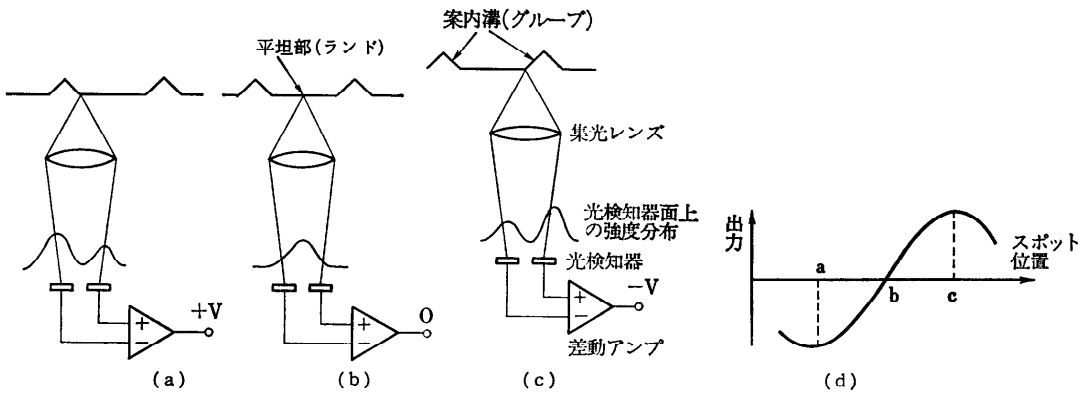


図-7 フェーフィールド (遠視野) 法

タから構成される。レーザビームは開口数 $NA=0.5$ の集光レンズ (顕微鏡の対物レンズ 20 倍相当) で光の回折限界 λ/NA (λ はレーザの波長) まで絞ることができる。光路分離系では、偏光ビームスプリッタと $\lambda/4$ 板の働きでディスクには円偏光が照射され、反射光はもう一度 $\lambda/4$ 板を通過して偏光の方向が 90 度変わり偏光ビームスプリッタで光路を変えられ検出系に入る。図のハーフミラーから右側はフォーカスセンサ系で、ナイフエッジで収束光の一部を遮断するとディスクの面振れによって 2 分割検知器上の光が移動するため検知器出力の差動をとるとフォーカス信号になる。下方は後述するフェーフィールド TS センサ (差) で、情報信号の検知器 (和) と共用している。アクチュエータはボイスコイル状でレンズを 2 軸に駆動できる。

2.4 サーボ技術

高速回転している光ディスクには面振れと偏心によるトラック振れがある。この面振れの大きさは数 100 μm あるため焦点合わせのフォーカスサーボが必要である。焦点ずれは光学センサで検知され、ヘッドアクチュエータにフィードバックされ、レンズを焦点深度 (1 μm) 以内に制御する。トラックの偏心は約 60 μm

である。一方、トラックピッチは 1.6 μm と小さいので、トラッキングサーボ技術を使って、高精度 (0.1 μm) にトラックを追跡している。トラックずれを検知するセンサはフェーフィールド法がもっともよく用いられている。この方法を図-7 に示す。これは光スポットの焦点位置からずれた位置 (遠視野) に 2 分割検知器を配置し、光スポットが案内溝に近づくとき、検知器上の強度分布が変化するため、検知器の差出力からセンサ特性がえられる。

アクセス時間はシーク時間と回転待ち時間の和である。高速化を目指したアクセス方式として、図-8 に完全トラックカウント速度制御方式のラジアルサーボの構成を示す⁴⁾。この方式は外部検出器を用いずトラッキング誤差信号とリニアモータの駆動電流とから、光スポットのトラック横断位置と速度を検出し、目的トラックへダイレクトにアクセスすることができる。

この方式の利点は外部検出器が不要なので可動部重量を軽減できることと、速度制御中に光スポットとトラックとの相対速度を検出しているため、ディスクの温度変化による熱膨張やトラック偏心があっても、アクセス時間が伸びないことである。この方式で平均アクセス時間 70 ms を達成している。また、パンパン制御でアクセス時間の短縮を実現したものもある⁵⁾。

3. 変調方式と誤り制御

図-5 に示す光ディスクメモリ装置の回路図において、ホスト計算機から送られたデータはインタフェース回路をとおして入力される。インタフェースには SCSI や IEEE バスのような方式が用いられる。入力データには EDAC 回路 (Error Correction and Detection) で誤り訂正符号を構成し、コードデータ

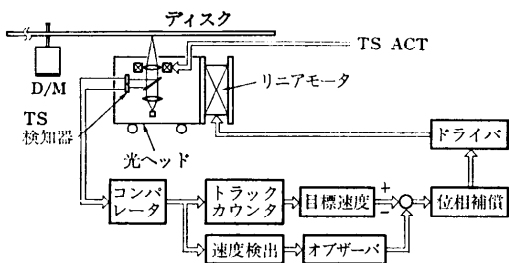


図-8 トラックカウント速度制御方式ラジアルサーボの構成

記録に必要な 10^{-12} 以下の誤り率を確保している。EDAC 回路の出力にはコントロールデータなどを付加して1セクタ内のデータフォーマットを行い、さらに変調を行って記録する。再生時はその逆の操作を行い得られたデータをホスト計算機へ送出する。

3.1 記録方式と変調方式

データは NRZ 信号であるが、それをそのまま記録したのでは記録/再生系の特性との整合性が悪いので、記録しやすい変調符号に変換をして記録を行っている。

変調符号の記録は記録膜の性質に合わせて選択されており、ビット長記録またはビット位置記録が行われている^{6),7)}。ビット長記録とは変調ビットの“1”に対応する部分で光ビームを照射して記録ビットを形成する方式で、穴の長さが“1”の数に対応している。ビット位置記録とは“1”のビットの中央に小さな記録ビットを形成する方式で記録ビットの位置が情報を表している。変調方式は記録方式に対応して選択されており^{8),9)}、ビット長記録の場合は 8/10 変調¹⁰⁾、M² 変調が¹¹⁾、ビット位置記録の場合は (2, 7) 変調¹²⁾、4/15 変調¹³⁾ が採用されている。

図-9 に (2, 7) 変換の変換表を示す。情報ビット 1 ビットを変調ビット 2 ビットの割合で変換するが、“1”と“1”の間には最小で2個の“0”が入るようになっているので、情報ビット 1 ビットの長さを T とすると最短ビット間隔は 1.5 T である。また、最

情報ビット	変調ビット
10	0100
010	100100
0010	00100100
11	1000
011	001000
0011	00001000
000	000100

図-9 (2,7) 変調変換表

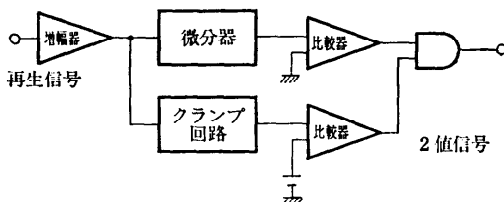
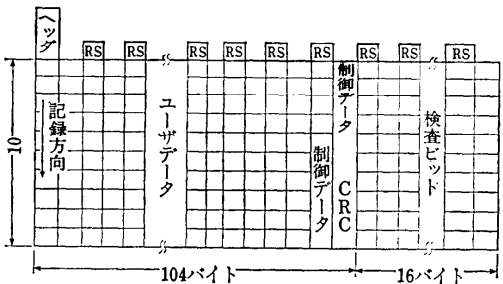


図-10 データセパレータ

長ビット間隔は 4 T、検出窓の幅は 0.5 T である。図-10 は再生信号を 2 値信号に変換する検出回路で、再生した信号を微分してそのゼロクロスを取りビットの位置を検出している。微分により発生する疑似パルスの影響を減らすために、再生信号をレベル検出して作成した窓信号でゲートを掛けて雑音により発生するにせのゼロクロス信号を除去している。

3.2 誤り制御

光ディスクに使用されている誤り訂正符号はリードソロモン符号である¹⁴⁾。しかしリードソロモン符号の適用法に積符号と LDC (Long Distance Code) とがある¹⁵⁾。図-11 は LDC の場合の 1 セクタ中のデータフォーマットを示す。図中一つの四角は 1 バイトのデータを示しており、最小距離 17 のリードソロモン符号が深さ 10 のインタリーブで使用されている。データは左上から縦方向に上下しながら順次左から右に記録していく。図-12 は積符号の場合のセクタフォーマットでリードソロモン符号が縦横に組み合わせてある。誤り訂正には横方向のリードソロモン符号をまず復号し、次に縦方向、さらに横、縦と順次繰り返していくことにより誤り訂正能力を向上させていく¹⁶⁾。



RS: 再同期マーク
CRC: 短縮化巡回符号 (誤り検出用)
図-11 LDC のデータフォーマット

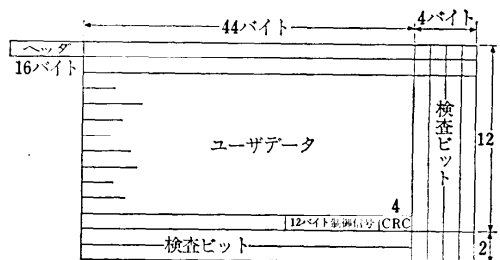


図-12 積符号のセクタフォーマット

分かったら、交替セクタに同一の内容を再記録している¹⁷⁾。

4. 光ディスク媒体

光ディスク媒体の基本構成は図-1 に示したように、案内溝やプリピットの形成された透明基板上に記録膜が積層されたものである。以下、このような光ディスク媒体の各要素についてその製造法と材料などについて説明する。

4.1 マスタリング

光ディスク基板に案内溝やプリピットを形成するためのスタンプの製造工程をマスタリングと呼んでいる。その代表的な工程例を図-13 に示す。図中、フォトレジストへの露光はガラス円盤を回転させながら、収束レーザービームを変調照射することによって行い、溝やピットの深さと形状はフォトレジスト膜厚、レーザービーム強度などによって制御される。でき上がったスタンプは厚さ 0.3mm 程度の Ni 板である。露光機の機械的精度、化学的プロセスの再現性、作業環境の清浄度などが最終的なディスク媒体に影響するため、マスタリングは光ディスク媒体技術の中でも重要な位置を占めている。

4.2 基板材料と成形法

光ディスクの透明基板材料としてはプラスチックやガラスが使用される。基板成形時の量産性を考慮すると、スタンプを用いたプラスチックの射出成形が有利であり、1枚当たり秒オーダーでの大量複製が可能である。そのため、光ビデオディスクでは光学特性の優れた PMMA 樹脂の射出成形基板が使われている¹⁸⁾。コードデータファイル用光ディスクでは耐環境信頼性

が重視されるので、耐熱、耐湿性に優れた PC 樹脂の採用が検討されている。しかし PC 樹脂は複屈折が大きいという問題がある。追記型ディスクでは複屈折により往復レーザービームの分離が不完全となり、レーザー戻り光雑音の原因となるし、光磁気方式の書換形ディスクでは読み出し原理に偏光の方向の回転を利用しているため、複屈折は再生信号特性に直接影響を与えることになる^{19),20)}。そのため、PC 樹脂成形基板の複屈折低減にむけての改良が進められている。一方、2P 法といわれる別の基板成形法もある。これは平板状の透明基板に光硬化性樹脂を薄く塗布し、その上にスタンプを重ねて紫外線照射により樹脂を硬化させるというものである。2P 法は射出成形法に比べ量産性では劣るが、エポキシやガラスという光学特性および耐環境性の良い基板材料を使用できるという利点がある。

4.3 追記型光ディスク記録膜

画像ファイル用も含めた追記型光ディスクの記録膜は多種多様であるが、代表的なものを記録原理別にあげると次のようになる。

- (1) 記録膜の溶解、蒸発などにより穴をあける。記録膜材料としては Te 合金^{21),22)}、有機染料²³⁾などが用いられる。
- (2) 記録膜の原子集合レベルでの構造変化により光学特性を変える。記録膜材料としては TeO_x²⁴⁾、低融点合金多層膜²⁵⁾などがある。
- (3) 記録膜にバブルを形成させる²⁶⁾。
- (4) 記録膜の表面粗さを変化させる²⁷⁾。

これらはいずれも情報信号を、レーザー光の熱による記録膜の状態変化として記録するものであり、その読み出しは反射光量変化として行われる。

4.4 書換形光ディスク記録膜

書換形の記録原理には多くの種類があるが、本格的な実用化に向けて、現在、最短距離にあるのが光磁気方式である。その記録再生原理は 2. で説明した。

光磁気ディスク媒体の垂直磁化膜としては遷移金属と希土類金属の非晶質合金薄膜が使用される²⁸⁾。垂直磁化膜自体のカー回転角の大きさは 0.5° 以下の微小なものであるが、記録膜構成や光ヘッドの改良により、最近では PC 基板ディスクにおいても C/N 60 db 以上の再生特性が得られている²⁹⁾。

光磁気方式は消去プロセスなしで旧情報の上に新情報を直接記録するオーバライトには制約があり、磁気ディスクと比べて不利な点とされている。これに対し

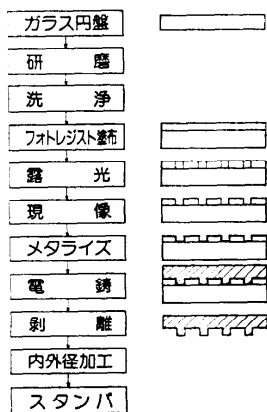


図-13 マスタリング工程図

カルコゲナイド系薄膜の相変化方式の書換形ディスクでは、2ビームヘッドを用いるとオーバーライトの可能なことが示された³⁰⁾。この記録原理は記録膜へのレーザービーム照射時の冷却速度の違いにより、原子集合レベルでの構造変化が生じ、反射率が変わるというものである。さらに最近では材料改良により、単一ビームでもオーバーライトのできることを示されている³¹⁾。今後、再生 C/N や安定性が改良されれば書換形光ディスクとして有望な媒体になると思われる。

5. 規格化動向

媒体を交換できる光ディスクの場合、記録媒体、記録フォーマットの標準化は必須である。光ディスクの国際規格化は ISO の TC 97, SC 23 委員会で幹事国を日本として行われており、130 mm 径追記形の規格化から着手した。

ISO は国単位で意見の交換を行う場で、各国の中にその国の意見を集約する委員会を結成している。日本は JISC が ISO の窓口となるのであるが、実作業は情報処理学会の中に SC 23 専門委員会を設置し審議を行っている。米国は ANSI が窓口であるが、実作業は X 3 B 11 が担当している。欧州の場合は欧州全体の計算機業界団体である ECMA (European Computer Manufacturers Association) で審議が行われ、各委員はその結果を国単位で ISO に反映させている。

ISO 規格は4部に分かれており、Part 1 (環境条件)、Part 2 (カーリッジ、クランプなどの機械的特性)、Part 3 (複屈折、基板屈折率などの光学的特性)、Part 4 (フォーマット) からなる。1985年5月に第1回目の東京会議を開催して以来、審議を重ね Part 1 ~ Part 3 はほぼ合意を得、Part 4 が主な審議対象となっている。表-2 は合意された主な仕様を示す。

Part 4 の場合大きな技術項目はサーボ方式で、現在コンティニューアサーボが提案されている。この両方式はそれぞれ利害得失があり、しかもその方式を提案

表-2 合意された主な仕様

項目	仕様
ディスク外径	130 mm 直径
カセット	有り, 135×153×11 mm
トラックの形状	スパイラル
クランプ方式	マグネティッククランプ ハブ外径 25 mm 中心穴径 4 mm

表-3 コンティニューアサーボとサンプルサーボの案

項目	コンティニューアサーボ	サンプルサーボ
変調方式	2,7 変調	4/15 変調
誤り訂正	リードソロモン符号 LDC	リードソロモン符号 積符号

する会社の事情も絡んでなかなか1案に絞ることが難しい。したがって、取り敢えずコンティニューアサーボとサンプルサーボのおおのの2方式の案をそれぞれ詰めることが決定されている。現在検討されている2案とは表-3 に示すようなものである。

6. 将来動向

光ディスクメモリの重要な性能である高転送化、高速アクセス化、高密度記録化について、技術的な将来動向について述べる。

転送速度の向上には、回転数向上とマルチヘッド、マルチビームによる並列処理がある。回転数を向上するには、LD の高出力化、FS・TS アクチュエータの性能向上などが必要である。マルチビームの方向としては、LD アレーを用いて転送速度を上げる方法³²⁾がある。

アクセス時間の短縮化は光ヘッドの小型・軽量化が最も重要で、現在数 10 グラム前後のものを数グラム以下にする必要がある。当面、分離ヘッドにして可動部重量を軽減しているが、最終的には、LD からレンズまでを光集積回路化した光ヘッド³³⁾に近づくであろう。その中間段階として、LD とセンサ検出器の一体化、プラスチックレンズ³⁴⁾やホログラムレンズ³⁵⁾の搭載、電歪素子などアクチュエータの固体化などとともに光ディスクメモリに適した新しい制御方式が開発されるであろう。

高密度記録化の動向として、V 溝の両斜面に記録して面密度を向上する方法³⁶⁾、深さ方向に焦点位置をかえる多層記録³⁷⁾などの現行の延長上のほかに光化学ホールバーニング³⁸⁾ (PHB) という桁違いの記憶容量をもつ記録方式が検討されている。PHB は波長次元で多重化記録を行い、現行方式の 10³ 倍が理論上可能と考えられている。

7. まとめ

コードファイル用を中心とした光ディスクメモリ装置とその技術の動向について概説した。その主な技術要件は、光記録媒体としては高密度記録膜技術、光学特性の良好な基板材料技術がある。ドライブ装置とし

ては高速アクセス技術, 高安定性サーボ技術, 高効率誤り制御技術, 高密度記録用変調技術があげられる。

現在は主として開発されているのは追記形の光ディスクメモリ装置であり, その用途も限定されている。しかし書換形の開発も進んでおり, 光記録技術自体まだまだ進歩する可能性をもっている。将来は光ディスクメモリ装置の記憶容量もさらに増大するとともに性能も向上し, 磁気記録装置と並んで大容量記録装置の中核をなすものと確信する。その時の早期実現を祈念しつつ稿を終える。

参 考 文 献

- 1) Mori, M. et al.: High Performance Optical Disk Memory System, Proc. SPIE, Vol. 490, pp. 6-11 (1984).
- 2) 中山他: 加工限界パワー密度と材料特性, 精密機械, Vol. 37, No. 8, p. 578 (1971).
- 3) 渡辺他: レーザによる情報の高密度記録, 応用物理学会春季大会 1978 (27 PF 9).
- 4) 小川他: 光ディスクメモリの高速アクセス方式, 光ディスクメモリシンポジウム '86 論文集, pp. 191-196 (Dec. 1986).
- 5) 中西他: 追記書換互換性をめざした高速光ディスク装置, 磁気記録研究会資料 (Oct. 1985).
- 6) 尾崎, 古川, 田中, 久保: 光ディスクにおける再生データ処理方式, 光メモリシンポジウム '85, 情報処理学会他, pp. 221-226.
- 7) 杉山他: 光ディスクのビットポジション記録, 光メモリシンポジウム '86, 情報処理学会他, pp. 185-189.
- 8) Paul, H. Siegel: Code Design for Optical Storage- a Comparison to Magnetic Storage, Proc. Optical Mass Data Storage II, Vol. 695, ThAA 1-1, 18-22 (Aug. 1986 San Diego).
- 9) Jordan I: Codes for Optical Recording, SPIE Vol. 529, Optical Mass Data Storage, pp. 161-168 (1985).
- 10) Sony: Modulation method for MO disk, X3 B11/86-057, X3 B11, Format Ad Hoc meeting (Apr. 7, 1986).
- 11) Mallinson, J.C. and Miller, J.W.: Optimal Code for Digital Magnetic Recording, The Radio and Electronic Engineer, Vol. 47, No. 4, pp. 172-176 (Apr. 1977).
- 12) Eggenbuger, Hodges: Sequential Encoding and Decoding of Variable Word Length Fixed Rate Data Codes, US Pat. 4, 115, 768 (Sep. 19, 1978).
- 13) Chris Steenbergen: Format for 5-1/4" optical disk systems, 69535.
- 14) 宮川, 岩垂, 今井: 符号理論, 昭晃堂, pp. 267-269 (昭和 53 年).
- 15) 松田, 尾崎, 井上, 田中: 光ディスク用誤り訂正符号フォーマットの検討, 光メモリシンポジウム '87, 情報処理学会他, pp. 139-144 (昭和 61 年 12 月).
- 16) Sony: ECMA Ad hoc meeting on Error Correction Code, ECC ad hoc meeting of ECMA TC 31, Ref. 6, Geneva (June 5, 1986).
- 17) 角田, 宮崎, 阿部: コード情報の記録が可能になった大容量光ディスクファイル装置, 日経エレクトロニクス 11. 21, pp. 189-213 (1983).
- 18) 山本: 光ビデオディスク, テレビジョン学会誌, Vol. 36, No. 3, pp. 183-188 (1982).
- 19) 三枝, 村上, 高橋, 太田, 山岡: プラスチック基板の複屈折と再生信号, 第 33 応用物理学関係連合講演会予稿集, 2p-H-5 (1986).
- 20) 吉沢: 光磁気記録用 PC 基板の光学的異方性の解析, 光学, Vol. 15, No. 5, pp. 414-418 (1986).
- 21) Mashita, M. et al.: Amorphous Te-C Film for An Optical Disk, Proc. SPIE, Vol. 329, pp. 190-194 (1982).
- 22) 浅野, 山崎, 藤森: Te 含有 CS₂ プラズマ重合膜を用いた光ディスク, 信学技報, CPM 82-56 (1982).
- 23) Gupta, M.C.: An Improved Organic Dye Binder Optical Disk Recording Medium, Topical Meeting on Optical Data Storage, The-A 3-1 (1984).
- 24) 山下, 太田, 竹永, 赤平, 山田, 永島, 馬場, 沖野: Te 低酸化物薄膜による光ディスク, 信学技報, CPM 81-67 (1981).
- 25) Nakane, Y. et al.: Principle of Laser Recording Mechanism by Forming An Alloy in the Multi Layer of Thin Metallic Films, Proc. SPIE, Vol. 529, pp. 76-82 (1985).
- 26) Freese, R.P. et al.: Characteristics of Bubble-forming Optical Direct-read-after-write (DR AW) Media, Proc. SPIE, Vol. 329, pp. 174-180 (1982).
- 27) Croighead, H.G. et al.: Textured Optical Storage Media, Proc. SPIE, Vol. 329, pp. 202-205 (1982).
- 28) 今村: 新しい光磁気メモリ, 電子通信学会誌, Vol. 64, No. 5, pp. 494-499 (1981).
- 29) 堤, 藤井, 羽鳥, 都出, 徳永, 菅原: TbFeCo 二層膜光磁気記録媒体, 光メモリシンポジウム '86 論文集, pp. 45-50 (1986).
- 30) Takenaga, M. et al.: New Optical Erasable Medium using Tellurium Suboxide Thin Film, Proc. SPIE, Vol. 420, pp. 173-177 (1983).
- 31) 寺尾, 西田, 賀来, 安岡, 堀籠, 尾島, 太田: 相変化型光ディスクの単一ビームオーバーライト特性, 光メモリシンポジウム '86 論文集, pp. 81-86 (1986).
- 32) Gerald M. Clifflie: SPIE Vol. 490, pp. 98-101 (1984).

- 33) 裏地：光ディスクピックアップの光集積回路化，光ディスクメモリシンポジウム '85 論文集，pp. 113-120 (Dec. 1985).
- 34) 鹿間他：オールプラスチックレンズ化 CD 用ピックアップ，光ディスクメモリシンポジウム '86 論文集，pp. 105-112 (Dec. 1985).
- 35) 木村他：複数機能ホログラムレンズを用いた小型ヘッド，光ディスクメモリシンポジウム '86 論文集，pp. 93-98 (Dec. 1986).
- 36) 竹村他：V 溝による光ディスクの高密度・高転送レート録再方式，電子通信学会全国大会 1984 (S6-8) 1-455-456.
- 37) 及川他：多層光記録媒体の記録特性の解析，電子通信学会全国大会 1984 (S6-6) 1-451-452.
- 38) 谷 俊郎：ホトケミカルホールバーニング，化学と工業，Vol. 38, No. 10, pp. 127-130.

(昭和 62 年 3 月 18 日受付)