光ディスク記録の動向

今 村 修 武[†]

1. ま え が き

光ディスクの特徴は、半導体レーザによる非接触記録が可能のため、磁気ディスク以上の高密度・大容量化を実現できるのに加えて、フロッピーディスクと同様にカートリッジとして手軽に使えることである。

また光ディスクは、再生専用型、追加記録型、書換可能型の3タイプが揃っているため、多様化する情報をパーソナルに所有する上で適したメモリーとして期待されているわけである。

再生専用型は、CDやビデオディスクとしてすでに大きな市場を形成しており、最近では音声や画像に加えて、文字データがCD-ROMとして、百科辞典などの情報を提供されるようになっていく。

追加記録型は、ユーザが直接情報を記録できるもので、文書ファイル、ビデオファイルなどのOA機器として市販されている。ただし機能としては、記録情報を消去して再記録ができないため、新しい記録は未記録部分に追加記録することになる。

それに対して、記録情報を消去して再記録できる書換可能型光ディスクの実用化が始まっている。光磁気ディスク（通称MO）や相変化光ディスクがこの書換可能型に相当する。詳細は後述するが、光ディスク開発の中心は現在この書換可能型に移行しており、特に光磁気ディスクは、130 mmの国際標準化が完了し、ワークステーションへの応用を中心に本格的な実用化時期を迎えようとしている。

MOの開発と標準化は86 mmに移行しており、同時に高密度化、高速化、オーバーライト技術も着実に進展している。一方、相変化は繰り返し記録消去特性で

100万回を達成し、実用可能レベルになった。

ここでは、このような最近のトピックスを交えて、光ディスク開発の現状を展望してみる。

2. 記 録 材 料

2.1 光磁気

光磁気ディスクの記録ではレーザ光の照射に併せて磁界が必要である。磁界は磁化の方向を決め、レーザ光は記録範囲を決めるために使われる。すなわち、磁性薄膜にレーザ光を照射して、局所的に温度上昇させると同時に外部磁界を与えて、その局所領域の磁化 M を磁界の方向に向ける。

再生、すなわち記録ビットの磁化方向を光で読出すには、レーザ光を直線偏光にし、ディスク面に照射すると、磁化の方向に依存して偏光面が $+\theta$ と $-\theta$ と逆方向に回転して反射する（カー効果と呼ぶ）。その反射光の偏光面の差を検光子により光の強度に変換して検出する。

光磁気ディスクの記録材料は、これまで数多く開発されてきた。大別すると、多結晶金属膜、酸化物膜、それにアモルファス合金膜である¹⁾。これらのうち、TbFeCoに代表されるアモルファス希土類-遷移金属合金膜が実用化されている。

光磁気記録材料が実用になるには種々の条件を満たす必要があるが、このアモルファス希土類-遷移金属合金膜は、膜が酸化しやすいことによる性能劣化やカー回転角が小さいためSN比が良くないなどの欠点を有していた。そこで様々な改良が行われ、酸化防止の保護膜としてSiN、AlNなどが開発され、SN比の改善では、多層構造にして再生性能を向上させている。

多層構造化の代表的な例を図1に示す。多層化により、カー効果エンハンスメントと呼ばれる効果を採用するとともに、4層膜では反射膜も追加している。構

[†] 東ソー株式会社 新材料研究所
“Recent Progress of Optical Disk Recording Technology” by
Nobutake Imamura (Advanced Materials Research Laboratories,
Tosoh Corporation, Kanagawa)

図 1 記録層の代表的な構造

造としては 3 層の方が簡単であるが、金属反射膜を有する 4 層構造は、記録レーザーパワーの線速度依存性が図 2 に示すように優れている。すなわち、4 層構造の方が低いレーザーパワーで記録可能なため、高速転送記録に適していることを意味する。

耐蝕性能の向上も添加元素による改善と保護膜の開発とがなされた。添加元素による改善では、Ti, Cr, Pt などの添加がピンホール発生を防ぐものとして有望である。保護膜の開発では各種材料が検討されたが、AlN, Y_2O_3 , SiN:H などが有効であることが見出されている²⁾。

130 mm ディスクは、2 枚のディスクを記録面を内側にして張り合わせた構造になっており、中心にフロッピーディスクと同様に金属ハブを取り付けた状態で、カートリッジに納められている。寿命としては、80°C, 85% RH で 2000 時間以上の耐久性試験をパスするため、10 年以上といわれている。ガラス基板などを使うと 50 年以上の寿命になるとの報告もある。容量は 1 枚で約 600 MB である。

2.2 相変化

相変化タイプの記録消去の基本原理は以下のようである。記録では強い光を短時間照射して膜を融点以上にし、その後急冷すると、原子配列が液体状態のまま固定されて非晶質状態になる。消去は結晶化温度以上に加熱し、長時間かけて徐冷することにより結晶状態に戻すことになる。再生は結晶状態と非晶質状態とで反射率が異なることを利用する。

TeO-SnGe 系では、Sn は結晶化による消去時間を短くし、Ge は結晶化温度を高くして記録寿命を長くするために添加されている。TeGeSn 系も可逆性があるが、結晶化速度が遅いという欠点がある。これに Au を添加すると、いったん結晶化温度は減少するが、10% 付近から増加し、25% あたりでは結晶化温度が高く、結晶化速度も早いものが得られている。

(a) 干渉型 3 層構造、(b) 反射干渉型 4 層構造

図 2 最高記録レーザーパワーの線速度依存性

この相変化でのオーバーライトでは、記録ビームに先立ち消去ビームを設けていたが、光学系が複雑になる。最近では 1 ビームで行う方法が開発されている³⁾。

すなわち、1 ビームで記録も消去も行うのだが、消去前の状態によらず、レーザービームの強度を変えて、1 も 0 も記録していく方式である。

記録材料としては、InSeTl 系で、消去時間が 0.2 μ s と短い。これに Co を加えると、さらに消去時間が 0.06 μ s と短くなることも報告されている。

この他では、SbTeSe 系の消去時間が 1 μ s, Sb (TeSe)-GeTe 系で 50 ns, InSbTeSe 系では 0.1 μ s などが報告されている。

相変化タイプは、光磁気タイプに比較して遜色ない特性を示しているが、まだ本格的には実用化していない。今後は各動作マージンの拡大を中心に実用化への着実な開発を進める必要がある。特に、1 ビームオーバーライトでは、記録にハイパワーを必要とするため、高速記録に課題があると考えられている。

プロトタイプの発表はすでになされており、反射膜をもうけた 4 層構造において、1 ビームオーバーライトを実現し、100 万回以上の繰り返し記録が可能で、寿命も 50 年以上あるとされてる⁴⁾。光磁気がない特徴としては、光学系が簡単であるため、将来集積化が容易であり、また、信号の検出を光の反射率の差で行うため、ディスクの再生を市販の CD プレーヤーでも行えることになり、CD-ROM などとの多機能使用が可能となる点である。

3. 装置開発の現状

光磁気ディスクは標準化が進展しており、すでに 130 mm が決まり、最近では 86 mm の標準化が進めら

表 1 代表的なデータメモリー用光ディスク装置の諸元

種 類	光磁気	光磁気	光磁気	光磁気	光磁気	相変化
記録媒体	TbFeCo	TbFeCo	TbFeCo	TbFeCo	TbFeCo	TeGeSb
基板材料	ガラス	ポリカーボ	ガラス 2P	ガラス 2P	ポリカーボ	ポリカーボ
ディスク直径(mm)	130	130	200	130	86	86
記録容量	524 MB /両面 13 GB/ ジュークボックス	650 MB /両面	8.89 GB /16 面	600 MB 片面仕様	>200 片面仕様	140 /片面
回転数(rpm)	2400	2400	1800	3000	3600	2400
ビットレート(Mb/s)	7.4	7.4	7.84	18	8	6
アクセスタイム(ms)	65	95	面内 200 面間 3 sec	60	<30	55
インタフェース	SCSI	SCSI	BMC	SCSI	SCSI	SCSI
開発機関	NTT	ソニー	富士通	日立/KDD	ソニー	松下電器
備 考	1987 年	1988 年	1988 年	1989 年 磁界変調	1990 年 DBF	1989 年

図 3 光磁気ディスクの CN 値の周波数依存性と適応可能分野

れている．図 3 には，光磁気ディスクの代表的な性能と用途によって必要な性能を示すが，デジタルデータメモリーや静止画像ファイルのみならず，アナログ画像ファイルやデジタル動画ファイルとしても実用化が可能になっている．記録密度は最短ビット長としては $0.75 \mu\text{m}$ 程度であり，トラックピッチが $1.6 \mu\text{m}$ であるため約 $10^8 \text{b}/\text{cm}^2$ となっている．繰り返し記録消去特性としては 100 万回以上，データ誤り率も 10^{-12} 以下が実現している．

表 1 と表 2 には代表的な装置の諸元を示す．これらの装置化において得られた光ディスクの技術的な進展が CN 比，データ転送速度，アクセス時間などについて調べられているので⁵⁾，それにごく最近のデータを付けて紹介する⁶⁾．

(1) CN 比は開発当初から数年の間は毎年 5 dB

表 2 代表的な録画用光磁気ディスク装置の諸元

記録材料	GdFeCo/ TbFe	GdTbFeCo	TbFeCo/ GdFeCo	TbFeCo
基 板	ガラス 2P	ガラス 2P	ポリカーボ	ガラス 2P
ディスク直径(mm)	300	300	200	300
回転数(rpm)	2250	1800	3600	1800
記録方式	ディジタル	アナログ	ディジタル	アナログ
ビデオ帯域	>4 MHz	6.7 MHz	6 MHz	7.6 MHz
SN 比(dB)	>55	>45	55	>45
記録時間(min)	10/2 面	30	2.6	30
チャンネル数	4	1	2	1
インタフェース	NTSC	NTSC	NTSC	RS 232 C
開発機関	NHK シバソク	松下電器	NEC	KDD パイオニア
備 考	1986 年	1987 年	1990 年 基本は 1987 年発表	1990 年

向上し，図 4 に示すとおり 60 dB を越えている．最近では上昇率は低下しているものの，条件によっては 67 dB の報告もみられるようになった．CN 比がこのように改善された主な理由は，先にも述べた，カー回転角の大きな材料の開発や多層構造化による性能指数の改善の他に，膜組成制御による媒体雑音の低減，複屈折が小さく光学的に良好なグループを有する基板の成型技術，光学ヘッドの低雑音化，さらには，高精度サーボ技術の実現などによっている．

図 4 CN 比の年次推移

図 5 1 ビームでのデータ転送速度の年次推移

図 6 アクセス時間の年次推移

- (2) データ転送速度も図 5 に示すとおり CN 比とともに向上している。1 ビームでの記録再生速度は最短ビット長とディスク回転速度で決まるが、CN 比の向上により最短ビット長が短く

なり、このような改善が実現されているということになる。誤り訂正を付け加えるとその分、実行転送速度は落ちるが、画像関係ではデータメモリーほど誤り率を低くする必要がないため、実行転送速度は早くでき、1 ビームでも 30 Mb/s を越える転送速度を実現している。また、後述するが、マルチビームの採用で 4～8 倍の高速化を実現する試みもなされている。

- (3) アクセス時間は回転待ち時間とシーク時間の和で表わされるが、これも次第に短縮化が進み、図 6 に示すとおり最近では 20 ms に近い値も報告されるようになった。高速アクセスは光学ヘッドの小型化によるが、光学系から対物レンズだけを分離したヘッドの採用でここまでこぎつけている。

4. 技術課題と展望

ところで、光磁気ディスクが今後さらに発展するためには、次のような課題を解決することが望ましい。すなわち、データメモリーとしてみると磁気ディスクに性能を近づけるのが理想であるが、磁気ディスクも 10 年 1 桁の割合で性能向上を果たしているため、光磁気ディスクについてもオーバーライトの実現、アクセス時間の短縮、記録再生速度の向上などが今後とも必要である。画像ファイルとしては、静止画と動画があるが、静止画は大容量でランダムアクセス可能な利点を生かして光磁気としての用途が考えられる。また動画の用途では、アナログ画像では CN 比の向上、デジタルでは転送速度の向上が必要である。それらを実現するには、記録密度の向上もまた重要な課題となる。

オーバーライトは可能になるか

この質問は数年前に必ず聞かれたものである。以来種々の方式が提案され、現在では 6 種類もの方式が存在する。そのため現在の質問は、光磁気ディスクのオーバーライトは、どの方式が主流になるかというものである。

オーバーライトは、大きく分けて 2 種類の方式、すなわち、磁界変調方式と光強度変調方式が開発されている。磁界変調方式では、磁気記録と同様に磁気ヘッドで記録し、レーザビームは記録領域を限定するために使われる。つまり、全く磁気記録そのものを行っているわけであるから、オーバーライトは当然可能となる。もっとも、再生の時はレーザビームによって行うのが従来の光磁気と同じである。

図 7 に光強度変調方式の概念図を示す⁷⁾。磁性層は

図 7 MO の 1 ビームオーバライト方式

2 層構造になっており、レーザビームの当たる側の層 (メモリー層) は保持力 H_c が大きく、キュリー温度 T_c は低くなっており、もう一方の磁性層 (補助層) は H_c が小さく T_c が高くなっている。まず、外部の永久磁石の強い磁界 H_{e1} で H_c の小さい補助層の磁化を磁界方向に配向させる。その際、メモリー層の磁化は保持力が外部磁界 H_{e1} より大きい磁界方向には反転しない。その状態でレーザビームの当たる位置までくると (ここでは常時磁界 H_{e1} と逆方向の弱い磁界 H_{e2} がかけられている)、レーザパワーが弱い時は、キュリー温度の高い補助層の磁化はそのまま保存され、メモリー層のみがキュリー温度以上になる。そのため冷却過程でメモリー層の磁化は補助層の磁化方向に配向する。一方、レーザパワーが強かった時は、補助層もキュリー温度に達するためメモリー層と共に外部磁界 H_{e2} の方向に向くことになる。すなわち、レーザパワーの強度の違いのみで磁化方向が決まるので古い記録内容を消去する過程が不要となり、オーバライトを実現している。

光強度変調によるオーバライトでは、この他に TbFeCo の 2 層膜を使うものや、バイアス膜と記録膜の 2 層構造や 3～4 層構造などが提案されている。さらには、光強度変調と磁界変調を組み合わせた方式なども提案されている。

ところで、どの方式が主流になるかということであるが、今使われているディスクがそのまま使用できる磁界変調が当面は使われると考えられる。ただ、マルチビームで並列記録をしたり、両面張り合わせのディスクには、光変調方式が有利である。したがって、長期的には光変調になることが望ましい。ただ現実には磁界変調である程度進むことになろうから、将来は用途に応じて両者が使い分けられるようになると予測している。

記録密度はどこまで上がるか

記録密度が今後どこまで上げられるかは、半導体レーザの短波長化、信号変調方式、トラック溝間の利用などによって決まる。短波長化では、対物レンズによって絞られるレーザビームの直径 d が、

$$d = K\lambda/NA$$

で表わされるので、波長 λ を短くすればその分記録ビットを小さくできる。対物レンズの NA をいまの 0.50 から 0.75 程度まで上げ、波長を 800 nm から 400 nm 程度にすると、今の約 8 倍の記録密度を実現できる。

信号変調方式では、記録ビットのあるなしで 1,0 を区別しているのを、ビットの端を 1,0 に対応させるビットエッジ記録にする (磁界変調に適した記録方式) と約 2 倍の密度向上になるため、先の 8 倍と併せて、16 倍程度の向上は期待できそうである。

また、トラック溝間にも記録すると 2 倍になるので、総合で 32 倍までは可能である。これらの工夫が徐々に取り入れられれば 10 年 1 桁の記録密度向上は可能である。

したがって 10 年後、3.5 インチの光磁気ディスク 1 枚の記録容量は、片面で 1 GB 以上 4 GB 位になる可能性がある。

レーザ光のスポット径を小さくしても、安定に存在するビット径が小さくなくては高密度化は実現しない。光磁気ディスクの場合、アモルファス合金膜を使うが、安定に存在するビット径は、 $M_s H_c$ 積に反比例する。実験により TbFeCo では、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下のビットが安定に存在することがわかっている。したがって、当面記録密度を決めるのは、レーザ光のスポット径と波長ということになろう。

波長が短くなった場合、光磁気記録材料は今の TbFeCo などがそのまま使えるだろうか。答えはイエスである。ただし、多少性能が落ちる可能性はあ

図 8 各種材料のカー回転角の波長依存性

る。なぜなら、性能を左右するカー回転角が TbFeCo などでは短波長になると小さくなるからである。波長が短くなってもカー回転角が小さくならず、むしろ大きくなる材料として種々の材料が提案されている。すなわち、図 8 に示すとおり、アモルファス NdFeCo 膜と Pt/Co の人工格子膜である。

ガーネット材料も、短波長になるほどカー回転角が大きくなり、かつ光吸収係数も大きくなるため、短波長向きの材料といえよう。この酸化物系光磁気記録材料は、耐食性が良い点を期待されて研究が進められており、スパッタ法で得られたガーネットは CN 比 45 dB 以上が得られている。ただ、600°C 以上で熱処理が必要なため、プラスチックの基板が使えないのが欠点である。

既存の TbFeCo や DyFeCo など、Tb-FeCo、Dy-FeCo の人工格子多層膜にした場合には、アモルファス合金より感度が向上し、同等の CN 比が得られたとの報告がある。最近、注目されているのは Pt/Co 人工格子膜である⁸⁾。PtCo 合金膜は古くから光磁気記録膜として知られていたが、キュリー点が高いため記録に高磁界ないしは高レーザパワーを必要とされていた。これを、人工格子膜にするとキュリー点が格子周期に応じて変化し、200°C 程度でも記録できるようになるというものである。カー回転角も TbFeCo よりも大きく、短波長になっても低下しないのが特徴となっている。実際、ディスクが試作され、CN 比も 50 dB が得られている。

記録速度はどこまで速くなるか

記録速度は、単純には、ディスク回転速度を速くすれば線速度が速くなるので上がる。線速度が速くなるとレーザパワーを高くするか、媒体感度を上げる必要がある。また、ディスクの面振れ芯振れの要求条件や、トラッキングサーボ技術のレベルアップも必要になる。現在はすでに 1800 rpm から 3600 rpm 用ドライブに開発が移行している。

先に、記録密度の向上が 32 倍位までは実現可能としたが、密度が高くなると同じディスク回転数でも記録再生速度は速くなる。高速記録では、レーザビームをマルチビームにして、複数のトラックを同時に記録してその和で記録速度の向上を図る方法も開発されており、データ転送速度として 150 Mb/s が実証されている。この位になると、デジタル動画記録が可能となる。マルチビームの記録では、いかに光学系を簡単にするかが課題である。

アクセス時間はどこまで短くなるか

磁気ヘッドなみに小型・軽量の光ヘッドの実現が期

待されている。光学系の単純化、集積化などが進められている。実用化までには多少時間は必要であるが、将来充分可能性があるとみている。

5. む す び

光磁気ディスクに代表される書換可能型光ディスクの実用化は今始まったばかりである。すでに第 2 世代の装置開発が進められており、今後ますます進展することが期待される。

メモリーはこれまで記録速度、密度（容量）が年々向上し、10 年で 1 桁といわれる。これからこのテンポでいくかどうかはわからないが、光磁気ディスクは当分はこのテンポでの性能向上が可能であることを紹介した。時代はますますパーソナル化の傾向にあり、手軽に使える大容量メモリーとして光磁気ディスクは期待される。

ここでは触れなかったが、光ディスクの用途として CD-ROM、CD-I、などの CD 関連技術もまた重要になっている。特に、追記型の光ディスクでは録音可能な装置が製品化されているが、記録したディスクの再生が市販の CD プレーヤーでできるのが特徴となっている。このようなマルチファンクションの機能をもった装置の開発が、大きな市場を形成すると期待されている。光磁気ディスクの装置が普及すれば、マルチファンクションドライブとして利用可能である。1 枚のディスク上に ROM 領域と記録領域を有する光磁気ディスクが O-ROM と呼ばれて開発されつつある。

(1990 年 9 月 18 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 今村監修：光磁気ディスク、トリケップス
- 2) H. Misaki et al.: IEEE Trans. Magnetics, **25**, 5, p. 4030 (1989)
- 3) M. Terao et al.: Proc. SPIE, 695 p.105 (1986)
- 4) T. Ohta et al.: Digest of Topical Meeting on Optical Data Storage (TMODS'89)
- 5) 野村：電気情報関連学会連合大会講演論文集、分冊 3、p. 3-133 (1989)
- 6) TMODS '90
- 7) 佐藤、他：応用物理、昭 62 春期予稿集、p. 721 (1987)
- 8) Y. Ochiai et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **28**, p. L659 (1989)

いちむら のぶたけ
今村 修武 昭和 45 年、学習院大学大学院博士課程修了。同年、国際電信電話(株)に入社。磁性薄膜メモリー、光磁気メモリーの研究開発に従事。主任研究員を経て、材料部品研究室長。61 年、東ソー(株)に転移。新材料研究所副所長を経て、現在、同所所長。光磁気記録国際会議実行委員長、光データ記録国際会議 co-Chairmen。理学博士。