光磁気記録媒体の作製とその特性

田 中 富士雄*

Production Method of Magneto-Optical
Recording Media and its Characteristics

Fujio TANAKA*

光磁気記録媒体の記録・再生・消去の原理、媒体の作製法及び磁気特性について述べる。また、ディスクとした場合の構造、動的記録再生特性及びシステムとしての応用分野についても報告する。

1. まえがき

書き換え可能な光メモリの代表的なものとして光磁気ディスクがあり、現在、実用化を目指した研究が急速に進められている。

光磁気ディスクは光で記録再生する磁気メモリで、記録媒体として磁性薄膜を用いて磁化の方向で情報の記録を行うため、磁気記録と同様に消去・再記録ができることと、光としてレーザー光を用いて直径1 μm 程度のスポット記録を行うため高密度に非接触記録のできるのが特徴である。

本稿では、光磁気メモリの記録・再生の原理、メモリ媒体の作製法及びその特性、さらにシステム応用例について述べる。

2. 歴史的背景

光磁気メモリの研究は、1957年にBell研究所においてWilliamsがMnBi膜上に熱ペンによって記録を行い、その書き込み磁区をファラデー効果によって観察したのが始まりとされている¹⁾。

続いて1958年にMayerがキュリー点記録方法を

提案し、電子ビームを用いて線状の微小磁区を記録して見せた²⁾。1960年にMiyataはカー効果による光再生実験を試みている。これらの実験で使われたMnBiで代表される多結晶磁性材料は、その後も精力的に研究された。

一方、単結晶の磁性ガーネット $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ を用いて、その補償温度付近での保磁力 H_c が小さくなることを利用した補償点記録方法が1965年に提案された³⁾。この磁性ガーネット単結晶の特徴は、可視光に対して透明であるため、光が内部まで入り込み、光再生出力が大きくなることである。ただ、透明であるため光吸収係数が小さくて記録に要するレーザーパワーがMnBiに比べて大きくなるのが欠点であった。

その中で、1973年頃から研究が盛んになったアモルファス磁性材料のGdCoやTbFeなどの材料が見い出された^{4)~7)}。そして、1980年には半導体レーザーを光源としGdTbFeを記録媒体とした光磁気ディスク装置が試作され、高密度の記録再生実験に成功し、デジタルメモリとして実用可能であることがわかった⁸⁾。その後、実用化を目指して急速に進展している^{9)~12)}。

3. 記録・再生の原理

3. 1 記 録

記録(消去)には磁性体の熱磁気効果が利用される。図1に示すように、磁性体に光を照射し、それによる温度上昇と同時に加えられた外部磁界により磁性体の磁化の方向を制御する。代表的な記録法にキュリー点記録方法と補償点記録方法がある。

* 国際電信電話機研究所 材料部品研究部

(〒153 東京都目黒区中目黒 2-1-23, ☎03-794-8275)

* KDD Research and Development Laboratories
(1-23, Nakameguro 2-chome, Meguro-ku,
Tokyo 153)

図1 記録の原理

図2 キュリー点記録と補償点記録

3.1.1 キュリー点記録法……図2 (a)

光ビームにより媒体の温度をキュリー温度以上にして、冷却過程で保磁力 H_c の小さい温度のときに記録を完了する方法である。 H_c が大きく、キュリー温度が適当に低い材料が適しており、 $MnBi$

図3 ファラデー効果とカー効果

や $TbFe$ などがその例である。
3.1.2 補償点記録法……図2 (b)
フェリ磁性体、たとえば $Gd_3Fe_5O_{12}$ ($GdIG$) や $GdCo$ では副格子磁化が逆方向に向いており、ある温度(補償温度)で副格子磁化が互いに打消し合い、保磁力 H_c が急激に大きくなる。この補償温度から数度高い温度で、弱い外部磁界で磁化反転が容易に行える程度の H_c を持つ媒体であると、この補償温度以上で磁化反転が行える。これが、補償点記録法の原理である。

3.2 再生

再生には磁気光学効果(ファラデー効果またはカー効果)が利用される。
光を記録媒体に照射し、その透過光によって記録されている磁化の方向を検出する場合をファラデー効果、反射光による場合をカー効果による検出と呼んでいる。(図3)

両効果による検出とも原理的には同じであるので、磁気カー効果による場合を説明する。

図4のように、磁化 M が記録媒体面に垂直に配向しているところに光を真上から照射する。偏光子を通過した光は直線偏光となり、記録媒体の表面で反射する際に磁化の方向によって偏光面が回転する。上向きの磁化に対して偏光面が θ_k 度回転するとすれば、下向きの磁化に対して、 $-\theta_k$ 度回転する。したがって両偏光面の間では $2\theta_k$ だけ光の偏光面が異なることとなる。この反射光はハーフミラーによって入射光と分離されて検光

子を通過する。検光子を偏光子との消光状態から $+\theta k$ だけ回転させておくと、上向きの磁化領域の反射光はカットされ、下向きの磁化領域からの反射光は $\sin 2\theta k$ だけ光が通過するので、目で見ると、上向きの磁化領域は暗く、下向きの磁化領域は明るく見えることになる。この明暗を光検出器で電気信号に変換すれば、磁化の向きに応じた 2 値信号が得られる。

再生の S/N には、このカー回転角 θk と媒体

の反射率がきいてくる。再生光強度のゆらぎや媒体ノイズがない理想的な状態では、

$$S/N \propto \sqrt{R} \cdot \theta k$$

なる関係が成り立つ。

4. 記録媒体

4. 1 記録媒体に要求される条件

要求条件をまとめると次のようになる。

- (1) 微小な記録ビットが安定に存在すること。光メモリと同程度の高密度を要求するとすれば、 $10^7 \sim 10^8 \text{ bits/cm}^2$ の記録密度が要求される。この点から磁化が媒体面に垂直に向く材料でなければならない。
- (2) 記録パワーが小さいこと。比較的低い温度で保磁力 H_c が大きく変化すること、光の吸収係数が大きいこと、さらに熱伝導も小さいほうが望ましい。

図4 カー効果による再生

表1 光磁気記録媒体の種類と特性

材 料	結 晶 状 態	記録・消去		θk degree	$10^{-5} \theta F$ degree / cm	作成方法	備 考
		方式	温度				
MnBi (低温相)	多結晶	Tc	360℃	0.7	7	Evaporation	①作製は比較的難かしい。 ② θk は比較的大きい 媒体ノイズがある。 ③高温相から低温相への 相転移がある。
MnBi (高温相)	多結晶	Tc	180	—	3.5	Evaporation	
MnCuBi	多結晶	Tc	200	0.2	2.5	Evaporation	
PtCo	多結晶	Tc	390	—	4.0	Sputtering	①記録磁界 1.8 kOe
$Y_3Ga_{1.1}Fe_{3.9}O_{12}$	単結晶	Tc	120	—	0.03	LPE	① $\theta k, \theta_F$ が小さいが、透 明体なので膜厚でカバー。 ②大面積の膜を作るのが 難かしい。
TbFeO ₃	単結晶	Tc	400	0.01	0.05	Sputtering	
GdIG	単結晶	Tcomp	30	—	0.02	Flux	③大きな書き込みパワーが必要。
GdCo	非晶質	Tcomp	120	—	1.8	Sputtering	① θk は大きくないが、 媒体ノイズがない。 ②作製が容易で、大面積 のものが得易い。 ③Tcompのものは均一媒 体にしないと使用不可。 ④結晶化温度 350 ~ 500℃
GdFe	非晶質	Tcomp	100 ~ 200	0.35	—	Sputtering Evaporation	
TbFe	非晶質	Tc	140	0.30	1.3	Sputtering Evaporation	
GdTbFe TbFeCo	非晶質	Tc	165 ~ 200	0.40	—	Sputtering Evaporation	

- (3) 再生のS/Nが大きいこと。磁気カー回転角の大きいこと、反射率の大きいこと、媒体雑音の小さいことが望ましい。
- (4) 繰り返しの記録・再生・消去に安定であること。室温で安定であることはもちろん、繰返し記録・消去に対してたとえば 10^5 回以上に対して安定なことが望ましい。
- (5) 大面積の均一な媒体が経済的に得られること。ディスクとして用いることを考えると直径30cm程度の媒体まで得られることが望ましい。これらの要求条件には相反するものがあり、総合的に重みづけを行い選択する必要がある。

4. 2 記録媒体の種類とその特性

記録媒体には大きく分けて表1のごとく多結晶材料、単結晶材料、アモルファス材料があるが、大面積なものに均一に、しかも簡単に作製することなどを考えると、アモルファス材料が一番である。しかも、現在のところTbFeCoが特性的にも優れており、この媒体を中心として実用化が進められている。

4. 3 記録媒体の作製法

4. 3. 1 真空蒸着法

真空蒸着法によるアモルファス膜の作製には、各金属の蒸発温度が高温であるため電子ビームによる蒸着法が用いられる。電子ビーム蒸着は図5に示すように蒸発源の表面を直接電子ビームで加熱するため蒸発源以外の不純物の混入が避けられる。膜は 10^{-6} ~ 10^{-7} Torrの真空中で作製される。

図5 電子銃の断面図

図6 二元蒸着

記録媒体は、表1のごとく2元以上の多元合金であるため、通常少なくとも2元以上の同時蒸着で行う、Gb, Tbなどの希土類金属とFe, Coなどの遷移金属の合金ペレットの作製は難しいため、3元以上の組み合わせの場合は、例えば、Tb金属とFeCo合金を図6のように二元蒸着を行い、TbFeCo膜の作製を行う。2元合金を蒸発させる場合、蒸気圧が異なるため、当然蒸発源ペレットの組成と作製された薄膜の組成は異なるため注意を要する。

また、組成のコントロールは重要で、例えばTbFe膜の場合、 $Tb_{20}Fe_{80}$ (at. %) 付近に補償点があり、Tb rich膜とFe rich膜では特性が異なるため、蒸着中における蒸着レートは一定に保たねばならない¹³⁾。そのためには、膜厚モニターから電子銃電源へのフィードバックをかけ、フィラメントに流す電流を制御することが必要である。

図7 高周波スパッタリング装置

4.3.2 スパッタリング法

スパッタリング法には高周波スパッタリング法と直流スパッタリング法がある。アモルファス磁性膜はいずれの方法でも作製できるが、多くは高周波スパッタリング法が用いられる。

図7に高周波スパッタリング装置の例を示す。真空槽内は、 10^{-6} Torr 台まで排気した後、Arガスを導入し、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Torr にしてスパッタリングを行う。ターゲットの表面を清浄にするために、シャッターを閉じたまま数10分間、ブリスパッタした後、水冷された基板上へ磁性膜の作製を行う。

希土類-遷移金属合金ターゲットの作製は難しく、通常、図8に示すような複合ターゲットを用いる。すなわち、Fe ターゲット上にGd, Tb,

図8 各種複合ターゲット

図10 アモルファス希土類遷移金属合金薄膜において磁化が膜面に垂直に配向する領域

図9 多元同時スパッタリング

Co, Dy のチップを幾何学的に配列し、それぞれの面積比を変えることで膜の組成を制御する。

また、膜厚分布を良くするために、ターゲットー基板間距離の最適化あるいは、膜厚補正板を設けるなどの工夫をしなければならない。

図9は、多元同時スパッタリング法で、例えば Tb, Fe, Co の各ターゲットをすべて同時にスパッタして、ディスク基板を高速に回転させて成膜する方法である。各ターゲットに投入するパワーを変えることによって、膜の組成を制御する方式で、大量生産に向いている方法である。

以上の代表的なスパッタリング法にバイアス電圧を印加して磁気異方性を変化させたり、マグネトロンタイプにして基板温度の上昇を防止、高速

成膜する技術も導入されている。

図10には希土類遷移金属合金薄膜における、磁化が膜面に垂直に配向する組成領域を示した。作製法による差は、成膜法による膜構造、ひずみなどの違いに起因していると思われる。

4. 4 記録媒体の磁気及び磁気光学特性

代表的な記録媒体のキュリー温度 T_c ，補償温度 T_{comp} の組成依存性を図11に示す。また，図12にはTbFeの磁気特性を示す。再生S/Nに依存するカー回転角 θ_k はTb 20%程度のところで0.2度程度であるが図13に示すようにCoを添加すると増大する¹⁴⁾。

また，図14には各種媒体のカー回転角の波長依存性を示す¹⁵⁾。一般に波長が長くなる程，カー回

図13 Coの添加によるTbFeのカー回転角の増大¹⁴⁾

図14 各種媒体のカー回転角の波長依存性¹⁵⁾

図11 記録の動作温度， T_c 及び T_{comp} の組成依存性

図12 TbFeの磁気特性と安定に存在する最小磁区径dc

図15 TbCo膜の基板バイアス効果
(スパッタ膜におけるカールアップ)

図16 TbCoスパッタ膜の垂直異方性のバイアス依存性

転角が大きくなる。

図15, 図16はスパッタ時における基板バイアス電圧によってTbCo膜の特性が変化する例である。このような垂直磁気異方性の変化は、Co系の媒体のみならずFe系の媒体についてみられる^{16), 18)}。

5. ディスクの構造と特性

図17に示すようなレーザ光をガイドするためのグループ付きのディスク板 (PMMA, PC, エポキシなど) 上に記録媒体が蒸着される。酸化防止のための保護膜 (SiO₂, Si₃N₄, AlNなど) でサンドする構造, あるいは, 反射膜などで θ_k を大きくする構造などがある。S/Nを増大させるための代表的な膜構造を図18に示す。

- (a) 誘電体層で多重反射を起こさせ θ_k を増大させる^{19), 20)}。
- (b) θ_k の大きなGdFeを再生層にして, 記録は

図17 溝付ディスクの基本構造

図18 S/Nを増大させるための構造

キュリー点の低いTbFe に行う²¹⁾。

- (c) 反射膜を利用してファラデー効果もあわせて θ_k を増大させる²²⁾。
- (d) (a)と(c)の複合効果により θ_k を増大させる^{23), 24)}。

表2には各社が開発中の記録媒体及び評価システムの諸元を示した。各社ともデジタルコードメモリとして充分実用できるC/Nを得ていることがわかる。

6. 光磁気ディスクのシステム応用例

6. 1 デジタルオーディオ

写真1に示す線速度一定型プレーヤーは, CDフォーマットエンコーダーと組み合わせることによってデジタルオーディオ記録再生の機能をもっている。また, 本体に内蔵されたデコーダから得られるエラーフラグの情報をもとに,

写真1 デジタルオーディオプレーヤー

表2 各社が開発中の光磁気ディスクの諸元

	A 社	B 社	C 社	D 社	E 社	F 社	G 社
Materials	TbFe Gd TbFe	TbDyFe Gd TbFe	Gd TbFeGe	Gd TbCo	TbFeCo	TbFeCo	TbFeCo
Substrate	PMMA	Glass	Glass	Glass	PMMA, PC	Glass	エポキシ
Pre-groove	—	Yes	Yes	—	Yes	—	Yes
Disk Diameter (mm)	200	140	130	200	90~300	120	120
Disk Rotation (rpm)	900, 1800	720	400	1,800	900, 1800		1,200
Laser	CaAlAs	GaAlAs	GaAlAs	He-Ne	CaAlAs	CaAlAs	GaAlAs
Rec. Power (mW)	6~10	4.5	9	6	3~6		7~8
P.B. Power (mW)	1~3	2	2	2	1	0.3	1~2
Era. Power (mW)	10	4.5	8	8	4~7		
Track Pitch (μm)	2.5	2.5	1.6, 2.5	3~6	1.6		1.6
C/N (dB)	50	50	49	40	56	45	57
Hc (Oe)	≥5k		1.2k		~3k		
Tc (℃)			155		190	200	200

表3 デジタルオーディオの諸元

ディスク回転速度		線速度一定 1.2~4.0 m/s: 0.1 m/s ステップ可変
光学ヘッド 駆動機構	駆動方式	リニアモータ
	駆動範囲	ディスク中心から半径53~97 mm
	アクセス	0.1 mmステップで設定位置へアクセス
レーザーパワー制御		記録, 消去, 再生独立設定: 0.1 mW ステップ
サーボ制御		サーボループ利得自動設定
記録信号系		TTLレベルの任意信号または, 2チャンネルの低周波信号を符号化器ユニットによりCDフォーマットEFM信号として記録
再生信号系		高周波再生信号およびCDフォーマットEFM信号, 再生時には復号器により2チャンネルの低周波出力
寸法および重量	本体	450 (W) × 165 (H) × 350 (D) mm, 23 kg
	符号化器ユニット	430 (W) × 80 (H) × 330 (D) mm, 6 kg

写真2 静止画ファイルシステム

シンボルエラー率を測定することもできる。表3にその諸元を示す。

6. 2 カラー静止画ファイル²⁶⁾

写真2に示す装置は、NTSCのカラービデオ信号をA/D変換器で符号化し、フレームメモリに記憶した後、1フレームずつ光磁気ディスクに記録するデジタル静止画ファイルシステムである。ディスクから再生した画像は各種モードでテレビ

画面に表示できる。ブロック図と諸元をそれぞれ図19、表4に示す。

6. 3 デジタルコードメモリ²⁶⁾

写真3は、直径12cmのディスクを使用する小型のデジタルコードメモリの試作例である。その諸元を表5に示すが、セクター単位で記録・再生・消去が行われ、1セクターの記録容量が512バイト、片面有効記憶容量550Mバイトとなつて

図19 静止画ファイルシステムブロック図

写真3 小型デジタルレコードメモリー装置

表5 デジタルコードメモリ装置の諸元

主 仕 様	ディスク直径	12cm (約5インチ)
	記憶容量	550 MB / 両面
	データ転送速度	440 KB / 秒
	平均アクセス時間	100ミリ秒
	C/N比 (測定帯域幅30 kHz)	57 dB
デ ィ ス ク 仕 様	エラーレート (補正なし)	~ 10 ⁻⁶
	エラーレート (補正あり)	~ 10 ⁻¹²
	トラック数/面	17,000
	トラックピッチ	1.6 μm
	セクタ数	32 / トラック
装 置 仕 様	総容量/セクタ	690 バイト / セクタ
	ユーザ容量/セクタ	512 バイト / セクタ
	記録媒体	TbFeCo
	キュリー温度 (T _c)	200℃以上
	カー回転角 (θ _k)	0.35°
装 置 仕 様	基板材料	エポキシ系樹脂
	ディスク回転数	1,200 rpm
	誤り訂正符号	BCH符号
	レーザ出力	20m W
	記録レーザ出力 (膜面)	7 ~ 8 mW
	再生レーザ出力 (膜面)	1 ~ 2 mW

表4 カラー静止画ファイルの諸元

〔光磁気ディスク〕	
記録媒体……………TbFeCo	トラックピッチ… 1.6 ミクロン
ディスク基板 ……P MMA(アクリル)	トラック数…………… 43750 トラック / 面
ディスク外径 …… 300 mm	セクタ数…………… 20 セクタ / トラック
記録部内径…………… 140 mm	セクタ容量…………… 1024 バイト / セクタ
記録部外径…………… 285 mm	有効総記憶容量… 0.9 ギガバイト / 面
(カラー静止画約 2300 枚相当)	
〔光磁気ディスク装置〕	
ディスク回転数……………900 回転 / 分	
平均アクセス時間…120 ミリ秒以下	
変調方式……………8 - 10 変換変調	
データ転送速度……………300 キロバイト / 秒	
誤り訂正方式……………CIRC(クロス・インターリーブ・リードソロモン・符号)	
訂正後誤り率……………10 ⁻¹² 以下	

いる。

参考文献

- 1) H. J. Williams, R. C. Sherwood, F. G. Foster and E. M. Kelley : J. Appl. Phys., **28**, 1181(1957)
- 2) L. Mayer : J. Appl. Phys., **29**, 1008(1958)
- 3) J. T. Chag, J. F. Djillon. Jr and U. F. Gianola : J. Appl. Phys., **36**, 1100(1965)
- 4) P. Chaudhari, J. Cuomo and R. J. Gambino : Appl. Phys. Lett., **22**, 337 (1973)
- 5) N. Imamura, Y. Mimura and T. Kobayashi : Jpn. J. Appl. Phys., **15**, 179(1976)
- 6) S. Matsushita, K. Sunago and Y. Sakurai : Jpn. J. Appl. Phys., **15**, 713(1976)
- 7) Y. Mimura, N. Imamura and T. Kobayashi : Jpn. J. Appl. Phys., **15**, 933(1976)
- 8) N. Imamura and C. Ohta : Jpn. J. Appl. Phys., **19**, L731(1980)
- 9) 太田, 高橋, 山岡 : 第42回応用物理学会学術講演予稿集, 9p P-8(1981)
- 10) 武藤, 尾留川, 川端 : 第5回応用磁気学会学術講演予稿集, 20a A-6(1981)
- 11) Y. Togami, K. Kobayashi, M. Kajiura, K. Sato and T. Teranishi : J. Appl. Phys., **53**, 2334(1982)
- 12) Y. Nagao, S. Tanaka, F. Tanaka and N. Imamura : Jpn. J. Appl. Phys., **21**, L509 (1982)
- 13) 田中, 長尾, 今村 : 電気学会マグネティックス研

究会資料, MAG-83-43, 59(1983)

- 14) H. Tsujimoto, M. Shouji, A. Saito, S. Matsushita and Y. Sakurai : JMMM, **35**, 199 (1983)
- 15) 樹井, 遠藤, 小林, 綱島, 内山 : 信学技報, MR 83-21, 25(1983)
- 16) T. Kusuda and S. Ohkoshi : 第8回イオン源とイオンを基礎とした応用技術シンポジウム, 289 (1984)
- 17) 新原, 高山, 金子, 杉田 : 第7回応用磁気学会学術講演概要集, 214(1983)
- 18) M. Nawate, M. Ohkoshi, S. Honda and T. Kusuda : Jpn. J. Appl. Phys., **22**, L447 (1983)
- 19) 嵯峨崎, 小林, 綱島, 内山 : 学振 薄膜第131委員会第125回研究会資料, 49(1984)
- 20) F. Tanaka, Y. Nagao and N. Imamura : IEEE Trans. on Magn., Vol. MAG-20, No 5, 1033(1984)
- 21) S. Tsunashima, H. Tsuji, T. Kobayashi and S. Utiyama : IEEE Trans. on Magn., Vol. MAG-17, 2840(1981)
- 22) 太田他 : 昭和56年秋季応用物理学会学術講演予稿集, 9p-P-8(1981)
- 23) 小林, 太田, 日向, 出口, 山岡 : 信学技報, MR 81-34, 9(1981)
- 24) 田中, 長尾, 今村 : 応用磁気学会誌, **7**, No. 2, 111(1983)
- 25) 高橋他 : 信学技報, MR84-37, 1(1984)
- 26) 角田他 : 第45回応用物理学会学術講演会予稿集 : 13a E-1(1984)

叩 * 6,000台突破 *
めっき厚の品質管理に!!

金めっきまで測れます。

● **電解式めっき
厚さ測定器**

株式会社 **中央製作所**

本社・工場
営業所

NEW MODEL

(カタログ参照)

名古屋市瑞穂区内浜町2丁目75番地
〒467 ☎ <052> 821-6111(大代表)
東京 <03> 432-1571
大阪 <06> 762-1901
福岡 <092> 522-1785
新潟 <02563> 4-8394