消去可能小型光ディスクシステム

正会員 龍 口 和 雄[†], 糸 長 誠[†]
宮 武 英 明[†], 後 藤 浩 行[†]

あらまし 今回、相変化型の追記および消去可能型媒体で、 $\phi 120$, $\phi 130$ のディスクサイズに対応した小型光ディスク記録再生装置を開発した。消去ビームの作成には非点収差を利用した方法を提案している。プリグループの形状に対する記録再生の諸特性について解析し、CNR, クロストーク, トラッキング信号, アドレス信号の観点から最適の形状を選択し記録再生特性を示した。追記型媒体において 64 dB 以上, 消去可能型媒体では 55 dB 以上の CNR が得られている。消去特性に関してはイニシャライズのパワーが重要な要因であり、記録パワーの変化に対して安定に消去するためには、深めのパワーで初期化することが必要であることが明らかになった。また、この装置による 1125 本高精細度静止画+PCM 音声システムへの応用について述べた。

1. ま え が き

追記型光ディスクメモリーが実用化段階に入った現在、消去可能型に対する研究開発が活発に進められ、日々に新媒体、新しいデータが報告されている。

光磁気媒体においては熱および磁気の 2 つのディメンションを持つゆえに消去、再記録が安定かつ容易である特徴を持ち、技術的問題が解決されつつある。一方、相変化媒体に関しては、over write の優位性を持

ち、媒体の安定性等の点から注目され、研究が促進され急加速で特性が向上している。

今回我々は相変化型消去可能媒体で、ディスクサイズ $\phi 120 \sim \phi 130$ に対応した小型光ディスク記録再生装置を開発し、各種特性に関する解析検討を行い、応用の一例として高精細度映像信号の記録再生システムを開発したので報告する。写真 1 に装置外観を示す。

2. 光 学 系

2.1 光学系構成

消去可能の相変化媒体に対応する光学系の特徴は、長軸・短軸の寸法比が大幅に異なった消去ビームの形状にある。光学系設計に当たってのポイントは、

- (1) 消去ビームの作成方法
 - (2) 録再ビームと消去ビームの盤面上のフォーカス位置を正確に一致させる調整方法
 - (3) 2 つのビームの盤面上の相対位置の調整方法
 - (4) 消去ビームがサーボ系へ影響を与えない構成である。
- 今回開発した光学系ユニットの構成を図 1 に示す。記録再生用レーザ (LD_1) としては 780 nm, 消去用 (LD_2) としては 830 nm を用い、相互の干渉はダイクロイックミラー (DM) によって防止している。フォーカスエラー検出は非点収差法、トラッキングエラー検出はプリグループ方式によるプッシュプル法を採用した。CL はコリメータレンズ, CyL はシリンドリカルレンズである。光検出器 (PD) 側の CyL はフォーカス検出用であり, LD_2 側のものは消去ビーム作成

写真 1 消去可能光ディスク記録再生装置
View of erasable-optical disc recorder/player.

[†] 日本ビクター株式会社 開発研究所

"Erasable Compact Optical Disc System" by Kazuo Tatsuguchi, Makoto Itonaga, Hideaki Miyatake and Hiroyuki Goto (Research & Development Center, Victor Company of Japan, Ltd., Yamato)

図1 光学系構成図
Optical configuration.

用で2.2節にて説明する。PBSは偏光ビームスプリッタ、 $\lambda/2$ および $\lambda/4$ はそれぞれ1/2, 1/4波長板である。 $\lambda/2$ 板はLD₁からのビームが盤面上でしぼられた楕円形がトラック接線方向で狭くなるようにLD₁をセットした時に、LD₁からの光がPBSを通過するように位相を合わせるためのものである。また、集光レンズ(L)とPBS間のDMは消去ビームを反射させ、録再ビームのみを通過させることによりPDによる信号検出光が消去ビームにより影響を受けないようにしている。

2.2 消去ビームの作成法

消去ビームの作成方法としてこれまでいくつか報告がなされている¹⁾²⁾。我々は消去光学系にシリンドリカルレンズを挿入し非点収差を作ることによるビーム作成方法を開発した。図2にその原理を示す。Aにトラック接線方向、Bに半径方向の光路の様子を示した。Bにおいて消去用レーザ(LD₂)からの光は、コリメータレンズ(CL)により平行光とされ、シリンドリカルレンズ(CyL)の非集束方向を通り影響を受けず平行光のまま対物レンズ(OL)に入射し、ディスク面上で合焦点となり、回折限界まで絞り込まれる。一方、Aのトラック接線方向では、CLを通った平行光はCyLの集束方向を通り絞られOLに集束光として入射する。このためディスク面上ではアウトフォーカスとなり、 l の長さに広がったビームとなる。この結果、ディスク面上では図右端に示した幅方向に最も絞られ、接線方向に l の長さを持つビーム形状が得られる。OLおよびCyLの焦点距離をそれぞれ f_1 , f_2 とし、CL後のビーム径を D_1 とすると、 l は、

$$l = \frac{f_1}{f_2} D_1 \quad (1)$$

によって表され、CyLの位置には無関係となり、機

図2 消去ビームの作成原理図
Principle of erase beam construction.

構系設計上での自由度は大である特徴を持っている。また l はCyLの焦点距離によって任意に変えることができ、従来困難であった l の大なる形状(たとえば $l/s=10\sim50$)を作るのは非常に容易である。さらに光路が直線であり調整が容易であること、また光束が対物レンズをはみ出すことなく光量損失を少なくすることができる等の特徴を有する。消去ビームの寸法比は、現在1:10を使用している。

録再ビームと消去ビームの盤面上の焦点位置を正確に一致させる調整方法として、我々はさきに開発した周期スリット法³⁾により双方のビームのプロフィールを観測しながら消去ビーム側のCLの位置を微調整することによって行っている。周期スリット法はナイフエッジ法⁴⁾の改良で、ナイフエッジの代りにガラス板上に明暗のパターンを周期的に形成し、ここにビームを走査しながら照射し、透過または反射光を微分することによりビームのプロフィールを得る方法である。

録再ビームと消去ビームの相対位置関係の調整は、消去ビーム系をサブユニット化し、この回転および傾きを調整することで行っている。

3. プリグループ形状による録再諸特性解析

本録再機を用いて、プリグループ形状と録再諸特性の検討を行った。また、あわせてスカラ回折理論に基づく理論的解析を行った。

3.1 解析方法

光再生をスカラ場の回折ととらえ⁵⁾⁶⁾、あるいはベクトル場の回折ととらえ⁷⁾⁸⁾で解析した例が報告されている。我々はスカラ回折理論に基づき、光記録再生をプリグループ断面方向の1次元型でモデル化して、回折積分を高速フーリエ変換法で計算することにより解析した。プリグループ形状は矩形と近似している。また、記録によりプリグループ幅いっぱいに反射率変化部が形成されるものとした。実際の記録ビットにおいてもほぼ同様の結果が得られている。これはプリグループ壁による熱の遮断効果によると考えられ

る。我々の今回の解析では、従来より報告されているピットによる信号変調度、トラッキング信号等に加えて、相変化型記録時の RF 信号の変調度、クロストークおよびアドレス信号のクロストーク等にも検討を加えた。

3.2 RF 信号強度

図3は解析モデルである。ディスク上でのスポット振幅分布 $a(x)$ は、

$$a(x) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \sigma(\xi) e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} x \xi} d\xi \quad (2)$$

$\sigma(\xi)$: 入射光振幅分布 (=1 として解析)

α : レンズ半径, f : レンズ焦点距離

λ : 波長 ($=0.78 \mu\text{m}$ として解析)

で求められる。プリグループ形状により決まるディスクの複素反射率を $E(x)$ とすると、ファーフールド面に置いた受光素子上の振幅分布は、レンズ瞳面での振幅分布 $A(\xi)$ 、

$$A(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} a(x) E(x) e^{i \frac{2\pi}{\lambda} x \xi} dx \quad (3)$$

として考えることができる。電気的な出力となる強度分布 $I(\xi)$ は、 $I(\xi) = A(\xi)^2$ で求められる。ディスクの複素反射率 $E(x)$ は未記録部において、

$$E(x) = \begin{cases} e^{i \frac{4\pi n d}{\lambda}} & mP + \frac{W}{2} > x > mP - \frac{W}{2}, \\ & (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \\ 0 & \text{other cases} \end{cases} \quad (4)$$

P : トラックピッチ, n : 基板屈折率 (実験には $n=1.5$ の基板を使用)

d : プリグループ深さ, W : プリグループ幅
と与えた。 ($P=1.6 \mu\text{m}$, $d=\lambda/8n$ として解析)

記録部において、ディスクの複素反射率を $E'(x)$ とすると受光素子上での振幅分布 $A'(\xi)$ は (3) 式において $E(x)$ を $E'(x)$ と置き換えることにより求まる。また、強度分布 $I'(\xi)$ は、 $I'(\xi) = A'(\xi)^2$ で求められる。いま、

$$E'(x) = \begin{cases} r e^{i \left(\frac{4\pi n d}{\lambda} + \Delta \right)} & \frac{W}{2} > x > -\frac{W}{2} \\ e^{i \frac{4\pi n d}{\lambda}} & mP + \frac{W}{2} > x > mP - \frac{W}{2} \\ & (m=\pm 1, \pm 2, \dots) \\ 0 & \text{other cases} \end{cases} \quad (5)$$

$r e^{i\Delta}$: 記録膜複素反射率 ($r=1.22$, $\Delta=0$ として解析)

で与えられる。このとき RF 信号の出力レベル I_{RF} は、 $I(\xi)$, $I'(\xi)$ の受光素子上での積分値を各々 I ,

図3 解析モデル
Model for analysis.

図4 RF 信号出力のプリグループ幅依存性
RF signal versus pregroove width.

I' として、

$$I_{\text{RF}} = I' - I \quad (6)$$

で求めることができる。

図4に解析結果を示す。プリグループ深さ $\lambda/8n$ の再生を、 $NA=0.6$ のレンズを用いて行うとき、プリグループ幅を $0.6 \mu\text{m}$ から $1.0 \mu\text{m}$ に広げると約 5 dB 信号出力が増加することがわかる。我々の実験によっても約 4 dB 向上する結果が得られており、解析結果と一致する。この結果によると、プリグループ幅を広げることは、 C/N 向上の見地から望ましいといえる。

3.3 クロストーク

次にクロストークに関して検討を加える。記録トラックの隣接トラック上でのスポットの振幅分布 $a'(x)$ は

$$a'(x) = a(x - P) \quad (7)$$

で与えられる。クロストークによる受光素子上での振幅分布 $A_{\text{cross}}(\xi)$ は、

図5 RF信号クロストークのプリグルーブ幅依存性
Crosstalk of RF signal versus pregroove width.

図6 RF信号クロストークの周波数特性
Spatial frequency characteristics of RF crosstalk.

$$A_{\text{cross}}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} a'(x) E'(x) e^{i \frac{2\pi}{\lambda} \xi x} dx \quad (8)$$

で求められる。 $\{A_{\text{cross}}(\xi)\}^2$ の受光素子上での積分値を I_{cross} とすると、クロストークレベル η は、

$$\eta = 20 \log \left(\frac{I_{\text{cross}} - I}{I_{\text{RF}}} \right) \text{ (dB)} \quad (9)$$

で求まる。図5に結果を示す。実験結果はクロストークの周波数依存性が高いことを示している。任意の周波数に着目すると、実験値においてクロストークはプリグルーブ幅に鈍感である。この鈍感さの原因は、本録再機においてLD放射パターンの整形を行っていないため、スポット径が解析モデルに比べてトラック幅方向で大きくなっているためと考えられる。図6にクロストーク空間周波数特性を示す。空間周波数が高くなりピット長が短くなるとクロストークは下がる。これは主に光学系の空間周波数特性に起因している。1800 rpm, 130 φ, 5 MHzにおいて空間周波数は408本となるので、記録帯域を5 MHz以上にとればクロストークは-40 dB以下である。図7にクロストークのトラックピッチ依存性を示す。当然のことながらト

図7 RF信号クロストークのトラックピッチ依存性
Crosstalk of RF signal versus track pitch.

図8 トラッキング信号のプリグルーブ幅依存性
Tracking error signal versus pregroove width.

ラックピッチが広がるとクロストークは下がる。

以上の結果よりクロストークを下げる方法がいくつかわかる。我々は、画像情報の記録に必要なクロストークの最大値を-40 dBと考え、記録周波数帯域、トラックピッチ等を総合的に勘案して、トラックピッチ1.6 μm、プリグルーブ幅0.96 μmのディスクを用いている。また、今後LD放射パターン整形を施すことによりスポット径(トラック方向の)を小さくすること等で、よりいっそうクロストークを改善する予定である。

3.4 トラッキング

次にトラッキング信号の検討を行う。トラッキング信号はプッシュプル法による2分割デテクタの差信号出力である。図8に結果を示す。曲線Aはエラー信号の振幅を2分割デテクタ和信号で割り規格化した値である。実験値と理論値はほぼ一致している。曲線Bはオフトラック0.1 μm時のトラッキングエラー出力

(Magnitude)である。曲線 A は、プリグループ幅 $0.8 \mu\text{m}$ をピークとして対称形であるが、曲線 B は非対称である。通常実験により観測されるのは曲線 A に相当する値であるが、サーボ構成に直接関係するのは曲線 B である。この結果より、プッシュプル法において、プリグループ幅 $0.6 \sim 1.0 \mu\text{m}$ を考えると、実用上十分なトラッキングエラー信号を得ることができる。

3.5 アドレス信号

アドレス部にはグループがなく鏡面部にピットとして刻まれている。本節ではアドレス信号の変調度およびクロストークについて計算シミュレーションにより理論的に検討を加えた。図 9 に結果を示す。アドレス信号変調度はピット幅 $0.45 \mu\text{m}$ において最大となる。また、クロストークはピット幅 $0.35 \mu\text{m}$ のとき最小となる。一方、ピット幅をプリグループ同様に、 $1 \mu\text{m}$ 程度とした場合、クロストークが大きく読出しが困難となることが予想される。

図9 アドレス信号の変調度、クロストークのピット幅依存性

Modulation and crosstalk of address signal versus pit width.

写真2 追記型媒体による 1 MHz 再生スペクトラム
Reproduction of 1 MHz in write-once disc. (RBW: 30 kHz, 10 dB/div.)

3.6 ディスク仕様

以上の検討を基にディスク仕様を次のようにした。

トラックピッチ	: $1.6 \mu\text{m}$
プリグループおよび アドレスピット深さ	: $0.075 \mu\text{m}$
プリグループ幅	: $0.9 \mu\text{m}$
アドレスピット幅	: $0.45 \mu\text{m}$

写真 2 にこの仕様で追記型媒体に 1 MHz の信号を記録再生した時のスペクトラム波形を示す。64 dB の CNR が得られている。

4. 消去可能媒体に対する特性

図 10 に消去可能型媒体を線速度 3.5 m/sec で消去ビームにより 15.1 mW のパワーでイニシャライズし、その後録再ビームでパワーを 2.3 mW から 3.6 mW まで変化させて記録し、これを消去ビームでパワー 10.1 mW から 16 mW まで変えて消去したときに、各消去パワーに対して消し残ったキャリアレベルの値をプロットしたものを示す。3 本の線は各々同図表中のイニシャライズパワー 15.1 mW における記録パワーの値のものである。グラフにより約 12 mW 以下の消去パワーではパワー不足であり、パワー減少と共に残留キャリアレベルは増加する。 $2.5 \sim 3.2 \text{ mW}$ のパワーで記録された信号は 12.6 mW 以上の消去パワーで消去し残りなく消去することができるが、 3.4 mW にて記録された信号は、 12.6 mW 以上の消去パワーでも 3 dB の消し残りが生じ、それ以上のパワーで記録されたものは 3 dB 以上の消し残りが生ずる。また 2.3 mW の記録パワーは、飽和記録パワーの下限の記録であり、これで記録された信号は 12.1 mW 以上であれば消し残りなく消去できる。 2.3 mW 以下

図10 イニシャライズパワー変化時の消去特性
Residual carrier versus initializing power in erase process. ($v = 3.5 \text{ m/sec}$)

のパワーでの記録は、パワー不足であり C/N が悪く使用範囲外であるが、12 mW 以下のパワーで消去は可能である。次にイニシャライズパワーを、14.3 mW および 16 mW にて同様の特性をとると、表中のそれぞれのパワーの値で、15.1 mW の軌跡とほぼ一致した。したがって表およびグラフより、3.1 mW で記録された信号は (14.3 mW にてイニシャライズされた媒体では) 消去パワーを増加しても消し残りが生ずるが、16 mW にてイニシャライズした媒体では、消し残りなく消去ができる。すなわち不飽和記録パワー (2.3 mW 以下) を除けば、14.3 mW でイニシャライズされた媒体では、消し残りなく消去される記録パワーの範囲は 2.5~3 mW であり、16 mW でイニシャライズされた媒体では 2.5~3.5 mW である。つまりイニシャライズパワーが大であるほど消し残りなく消去できる記録パワーの範囲が広がることがわかる。一方、16 mW 以上では膜変形領域に入りノイズレベルも上がる。また、少ないパワーでイニシャライズした媒体に記録した信号を、イニシャライズパワー以上に上げて消去しても、初めに高いパワーでイニシャライズしたものと等しくはならない。

イニシャライズも消去も装置上では同じ動作で、共に結晶化として作用するが、結晶相の中でも結晶化度に差があり、結晶化パワーの増加と共に結晶化度が高くなる。しかしながら結晶化度は結晶化パワーで一義的に決定されるわけではなく、結晶化させる前の相状態も結晶化度を決定する要因となっている。これは、同図において 16 mW イニシャライズで 3.1 mW 記録の信号は 12.6 mW 以上の消去パワーで消去できるが 14.3 mW イニシャライズ 3.1 mW 記録パワーの信号は、16 mW まで消去パワーを増加させても消去できないことから明らかである。

図 11 に、線速度 3.5 m/sec で、イニシャライズパワーを変化させたとき、消し残りなく消去される記録パワーの範囲を示した。記録パワーが 2.5 mW 以下に対しては当然ながら問題なく消去されるが、記録が完全でなく C/N が悪い場合範囲からはずしてある。図 10 によれば、消去に必要なパワーは 12.6 mW からであるが、初期化にはそれを少し上まわる 13.4 mW が安定消去のためには必要である。膜変形領域直前の高いパワーでイニシャライズすることが、消去範囲を広げ、記録パワーの変動に対しても安定に消去させることができる。線速度を変えて同様な特性を測定した結果、線速度が速くなるにつれて消去パワーの許容範囲が狭くなることがわかった。現在我々の媒体では、6.5 m/sec の線速度まで消し残りなく、くり返

図 11 記録パワーに対する消去可能なイニシャライズパワー範囲
Erased region in initializing power—recording power plane. ($v=3.5$ m/sec)

写真 3 消去可能媒体による 1 MHz 再生スペクトラム
Reproduction of 1 MHz in erasable disc. (RBW : 30 kHz, 10 dB/div.)

し記録-消去ができる。

写真 3 に、線速度 3.5 m/sec、16 mW でイニシャライズした媒体に、1 MHz を記録した時の再生スペクトラム波形を示す。バンド幅 30 kHz にて 55 dB の C/N 比が得られている。この信号は、消去パワー 14 mW にて消し残りなく消去することができる。

5. システム応用

3 章で検討の結果得られたディスク仕様を採用し、また高周波記録がクロストークの点では有利であることを考慮して、今回我々は応用の一例として 5.8 MHz~7.8 MHz FM 変調方式による高精細度静止画+2 チャンネル音声の記録再生システムを開発した。信号フォーマットについては“ハイビジョン用 AHD システム”⁹⁾と同じである。映像に関しては、Y および C_w , C_n 信号を帯域圧縮せずにそれぞれ 51.8 MHz (1536 f_H), 25.9 MHz (768 f_H) でサンプリングし、量子化ビット数 8 ビットでデジタル信号に変換している。有効画素数は、1280 (水平方向)×1024 (垂

直方向) = 1,310,720 ピクセルと、従来の NTSC 信号の 5 倍以上の高精細度の画質となっている。音声に関しては、サンプリング周波数 44.1 kHz、量子化 16 ビットリニア 2 チャンネルである。デジタル化された映像信号を時間変換し、音声信号と多重化して 5.733 Mb/s のデジタル信号とし、さらにこれを 5.8~7.8 MHz で FM 変調してディスクに記録している。再生時には、ディスクから再生された信号のうち、映像信号はフレームメモリーに低速書込み高速読出しを行い、D-A 変換器を通して高精細度の静止画を得ている。映像、音声共に帯域圧縮することなくデジタル信号で処理を行っていること、およびクロストーク、CNR の点でも検討された通り十分な値が得られているため、安定な高品位の画像および音声を得られた。

6. む す び

相変化型消去可能媒体は、CNR、線速度消去特性、経時変化等の点でまだまだ完成されたものではなく、日々特性が向上しつつある。これに対する実験過程で、今回開発した非点収差を利用した消去ビーム作成法は非常に有効であることが確認された。ブリグルーブ仕様に関しては、今後ピックアップ、記録膜の研究とあわせて、さらにつめる必要がある。消去特性には、イニシャライズが重要な要因のひとつであること

が明らかとなり、相状態の解析、特性向上に一步前進したと考えられる。また、今回応用の一例として高精細度映像信号の記録再生システムについて述べたが、この他、カラー動画、データファイリング等を試み、良好な結果が得られている。

(昭和 60 年 11 月 29 日受付、昭和 61 年 2 月 13 日最終受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 竹永睦生ほか：“書換え可能大容量光ディスク”，National Technical Report, **29**, 5, pp. 82-87 (Oct., 1983)
- 2) 賀来敏光ほか：“A/O 変調器を用いた相変化型可逆光ディスク用光ヘッド (I)”，応物学会学術講演会, 13p-E-4, p. 54 (1984)
- 3) 宿波拾一, 上野一郎：“レンズ集光特性測定装置”，特開昭 57-7536 (1982)
- 4) A. H. Firester, et al: “Knife-Edge Scanning Measurements of Subwavelength Focused Light Beams”, App. Opt., **16**, 7, pp. 1971-1974 (July, 1977)
- 5) H. H. Hopkins: “Diffraction Theory of Laser Read-out Systems for Optical Video Disk”, J. Opt. Soc. Am., **69**, 1, pp. 4-24 (Jan., 1979)
- 6) 村上：“回折光解析による光ディスク上の案内溝形状の検討”，信学論誌, **67-C**, 2, pp. 219-226 (Feb., 1984)
- 7) P. Sheng: “Theoretical Consideration of Optical Diffractions from RCA Video Disc Signals”, RCA Rev., **39**, 3, pp. 512-555 (1978)
- 8) G. Bouwhuis, et al: “Principles of Optical Disc Systems”, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston, pp. 88-124 (1985)
- 9) 嶋田徹三：“ハイビジョン静止画ディスク”，NHK 技研月報, **12**, pp. 24-26 (Dec., 1985)