

## 多層構造をもつ大容量 ROM 型光ディスク

飯田 哲哉・志田 宜義・樋口 隆信

### Study of Multi-Layer Structure for ROM Type Optical Disk

Tetsuya IIDA, Noriyoshi SHIDA and Takanobu HIGUCHI

Next generation optical disk system aims at in-plane high-density recording with short laser wavelength and high-NA objective lens. Furthermore, it is required a large capacity optical disk which has over 100 GB storage capacity to contain high definition series programs. We investigated multi-layer structure for ROM type optical disk to realize it.

**Key words:** optical disk, DVD, Blu-ray, multi-layer, sheet, photo-polymer, blue laser

情報記録メディアとして期待されている DVD (digital versatile disk) は 1996 年に実用化され、片面 4.7 ギガバイト (GB) の容量を有している。DVD の開発においては、再生用光源として 635 nm または 650 nm の半導体レーザーを採用したことをはじめとして、多くの高密度情報記録再生技術が盛り込まれた。現在、次世代光ディスクの実現に向けて新たな技術開発が続けられている。次世代光ディスクを考えるうえでは、放送および受像機の進展がその鍵になる。放送においては 2000 年末より BS デジタル放送が開始され、さらに 2003 年から地上波デジタル放送も開始される予定となっている。BS デジタル放送、地上波デジタル放送ともハイビジョン番組を放送し、それを 2 時間以上収録するためには 20 GB を超える容量のディスクが必要となる。20 GB を超える映像記録用メディアとしては、テープメディアである D-VHS やハードディスクドライブ (HDD) を用いた製品がすでに市場に登場している。テープメディアは、アクセス性に難点があり、ディスクメディアに慣れたユーザーには課題が多い。一方、HDD は高速アクセス、高転送レートの確保が容易で、記録装置としては良好なパフォーマンスを示す。しかし、多くのデータを記録する場合には、前のデータに上書きされてしまい長期保存メディアとしては難点がある。また、記録されたデ

ータを別のプレーヤーで再生することが難しい (可搬性に乏しい)。これらの理由により、次世代の映像記録装置としては、HDD と大容量光ディスクの組み合わせがよいのではないかと考えられている。

そんな中、次世代 ROM 型ディスクシステムに期待されるアプリケーションソフトは、HDTV (high definition television) 信号として高精細にエンコードされた映像素材であると考えられる。しかしながら、この高精細な映像素材と高画質にエンコードされた DVD の画質の差は、小さなテレビ画面では明確に区別できない。したがって、HDTV 信号を入れた ROM 型光ディスクが普及するためには、各家庭に大画面の HD テレビジョンが普及することが条件になり、その時期は 2003~2005 年以降になると考えられている。次世代光ディスクシステムは、これまでの CD (compact disk) や DVD と異なり、まず記録型ディスクシステムが導入され、その後そのシステムと互換性をもった ROM 型システムが市場導入されると推定される。さらに、シリーズタイトル等に対応するため、記録層の多層化による大容量化が行われると期待される。次章以降、ROM 型光ディスクの多層化技術について述べる。

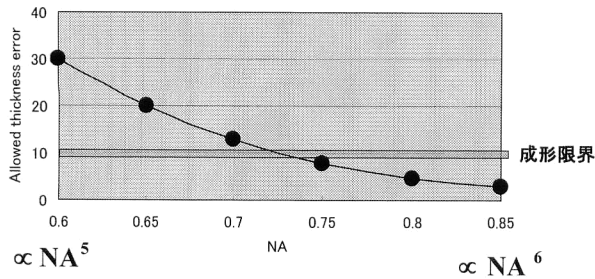


図1 許容厚みとNAの関係。

## 1. 光ディスクの大容量化

### 1.1 光源の短波長化とレンズの高NA化

DVDの現状の容量4.7GBから20GBを超える容量を実現するためには4~5倍の記録密度の向上が必要であり、同時にその光ディスクを再生するためには、これまでより再生時の光ビームを絞る必要がある。DVDの光学システムの基本パラメーターは、光源の波長650nm、対物レンズの開口数(numerical aperture; NA)=0.6である。次世代光ディスクシステムで用いられる青紫色レーザーの波長を405nmとすると、短波長化による記録密度向上は $(650/405)^2=2.58$ 倍となる。さらに対物レンズのNAを0.6から0.85に上げることにより $(0.85/0.6)^2=2$ 倍となり、トータルで5倍以上の高密度化が可能になる。しかし、システムマージンまで考慮した場合、ディスクがティルトした際のコマ収差による信号劣化はNAの4乗に比例する。一方、上記劣化は基板の厚みに逆比例する。したがって、レンズのNAを上げる場合には薄型の基板を使用することが望ましい。図1は、対物レンズのNAと光を透過する基板のシステムマージンとしての厚み誤差の限界値をシミュレーションにより求めたものである。NA=0.6のDVDシステムでは、基板の厚み誤差は $\pm 30\mu\text{m}$ が許容される。これは射出成形により十分実現可能な値である。NAが0.85になった場合には、許容される基板の厚み誤差は $\pm 2\mu\text{m}$ 程度と厳しい値となる(絶対値の $100\mu\text{m}$ からのずれはエキスパンダーにより吸収可能であるが、エキスパンダーが高速に反応できないとの前提で考えた場合のディスク1枚内の誤差は前述の厳しい値となる)。射出成形機で最高の性能を発揮させても厚み誤差の限界値は $\pm 10\mu\text{m}$ 程度であり、また $100\mu\text{m}$ という薄い基板の成形はできていない。そのため、厚み精度のよい樹脂シートや液体の紫外線硬化型樹脂をスピコートで塗布する方法で実現するしかない。

### 1.2 大容量ROM型光ディスクのマスタリング

20GBを超えるディスクのトラックピッチは300nm程度、最短ピット長は200nmを下まわる値となる。これを実現するため、ROMディスクのマスタリングには超高精細

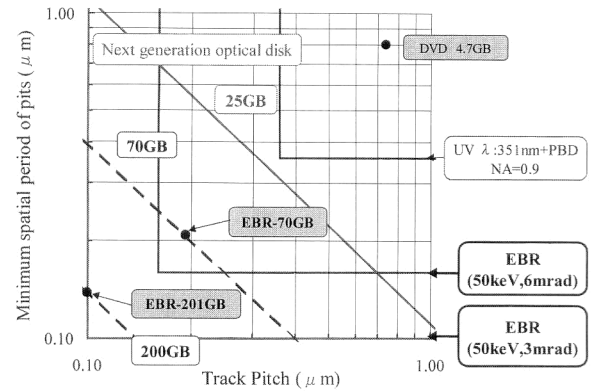


図2 原盤記録装置の解像限界。

のマスタリング装置が必要になる。図2に、原盤記録装置の解像限界と各種ROMディスクの関係を示す。横軸はトラックピッチ、縦軸は記録信号の最短空間周波数(最短ピット長の2倍)をそれぞれ表す。L字型の太い実線は、それぞれの原盤記録装置の解像限界を示している。つまり、L字の右または上方向に位置するパターンはマスタリング可能であり、L字の左または下方向のパターンは解像限界以下のためマスタリングできないことを示している。現行DVDのマスタリングに用いられている波長351nm、NA0.9のレーザービームレコーダー(laser beam recorder; LBR)では、次世代と想定される20GBを超える容量のROMディスクマスタリングが不可能である。そのため、電子線原盤記録装置(electron beam recorder; EBR)<sup>1)</sup>など高い解像度をもった原盤作製装置およびプロセスが必要となる。

### 1.3 記録層の多層化

次世代光ディスク(Blu-ray)では、大容量化のため光源の短波長化および高NA化が図られる。光源の短波長化については、基板(再生光を透過する部分)の材質が樹脂であることを考えると400nmあたりが短波長化の限界となる。また、対物レンズのNAも、リムーバブルが前提の光ディスクシステムにおいてはNA=0.85がほぼ限界と考えてよい。したがって、光源波長405nm、対物レンズのNA=0.85となる次世代光ディスクシステムは面内密度向上の限界と考えられる。この面内記録密度向上の限界を打破する手法として記録層の積層(多層化)が考えられる。すでに、DVDでは2層規格が盛り込まれ、市販の光ディスクとして初めて厚さ方向に情報の多重化がなされた。今後、さらなる大容量化の手法として、面内密度の向上と多層化が並行して取り入れられると予想される。

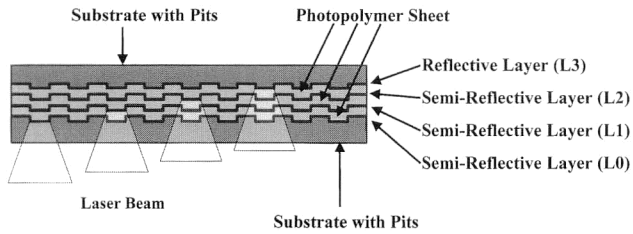


図3 4層ディスクの構造。

## 2. NA=0.6, 0.6 mm 基板ディスクにおける多層化検討

### 2.1 0.6 mm 基板4層ディスクの構造

予備実験としての多層化検討を波長 405 nm, NA=0.6 のシステムで行った。試作を試みた4層ディスクの構造を図3に示す。ディスク両外側面にピットが形成された0.6 mmのサブストレートがあり、その間にスペーサー層で区切られた信号層が2層形成され、トータルで4層の構造となる。各層には8/16変調された信号が13.7 GB (トラックピッチ 370 nm, 最短ピット長 275 nm) の容量で記録され、トータルで54.8 GBの容量をもつ。スペーサー層の厚さは、それぞれ35 μmになるよう調整を行った。また、中間反射膜は、ピックアップからみて各層の反射率のバランスがとれるよう材質、厚さをそれぞれ調整した。

### 2.2 スペーサー層の厚みばらつき

多層ディスクの場合、各層間(スペーサー層)の厚さの制御が重要となる。スペーサー層厚さの誤差は光学的な収差を生じ、結果として再生信号を劣化させるためである。液体のフォトポリマーをスペーサー層として用いた場合、厚みバランスは約±5 μmになる。そのため、液体フォトポリマーを4層ディスクのスペーサーとして用いると、トータルでの厚み変動が大きくなってしまふ。一方、フォトポリマーシートを用いた場合、面内での厚み誤差は±2 μm以下であり、4層化を行う場合有利であることがわかる<sup>2)</sup>(図4参照)。しかし、現状ではフォトポリマーシートの透

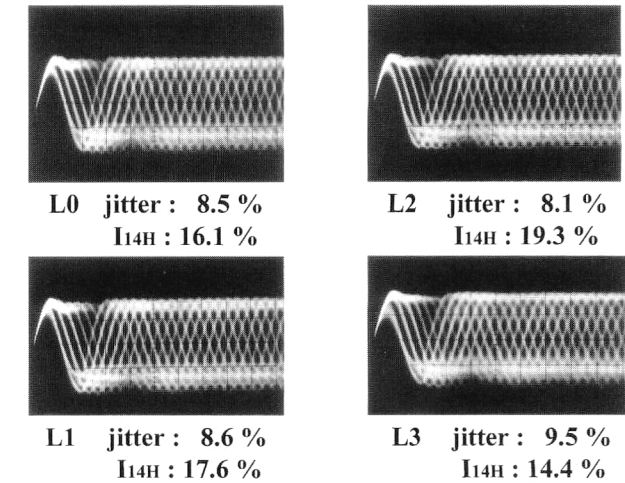
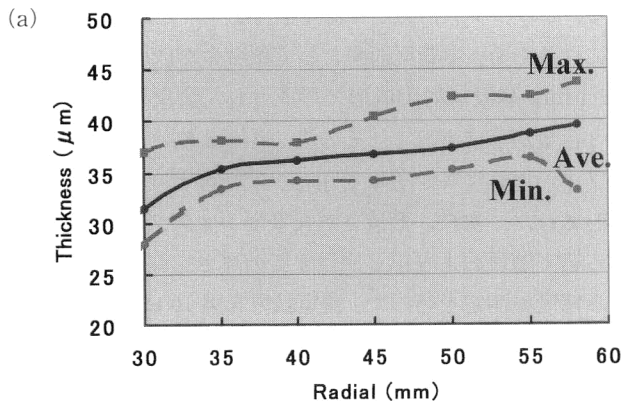


図5 4層ディスク再生結果。

過率、転写性が十分ではないため、システムが成立するかどうかを検証するため、まず液体フォトポリマーを用いて図3と同じ構造の4層ディスクを試作し信号評価を行った。

### 2.3 信号再生結果

液体フォトポリマーを用いて作製した4層ディスクの再生結果を図5に示す。再生は、波長 405 nm, NA=0.6 のピックアップで行い、フォーカスは非点収差法、トラッキングは位相差法を用いて行った。さらに、リミットイコライザー<sup>3)</sup>、クロストークキャンセラー<sup>4)</sup>および液晶球面収差補正<sup>5)</sup>を用いることにより、4層のジッターを測定することができた。その結果、各層のジッターはピックアップから近い順に、8.5%、8.1%、8.6%、9.5%とそれぞれ良好な値をもつことを確認した。4層以上の多層化の検討において、スペーサー層の厚みばらつきに起因する再生信号の劣化を低減するために、厚み精度の高いフォトポリマーシートを用いることが必須と考えられる。しかし、検討当初のフォトポリマーシートは、透過率、転写性能などが十分とはいえず、改善が必要であることが明らかになった。

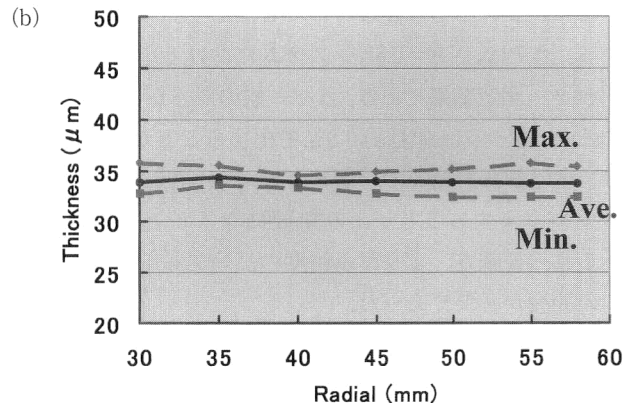


図4 (a) 液体フォトポリマーと (b) フォトポリマーシートの厚み分布。

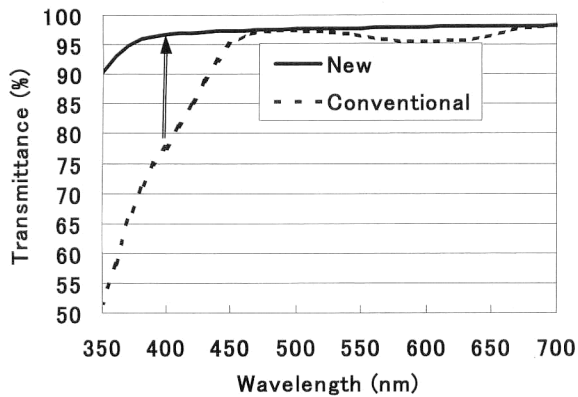


図6 フォトポリマーシートの改善結果.

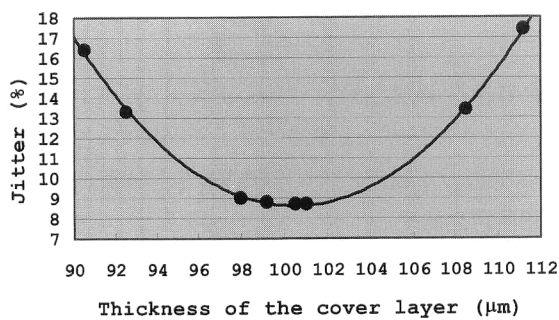


図7 カバー層の厚みとジッター.

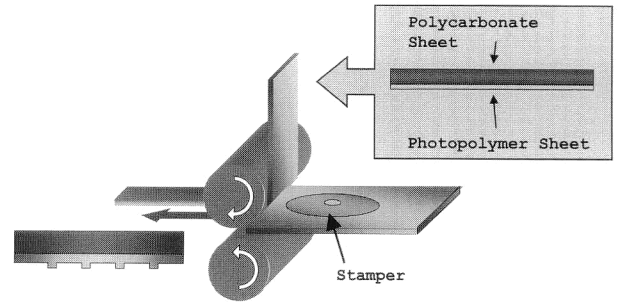


図8 シートへの信号転写方法.

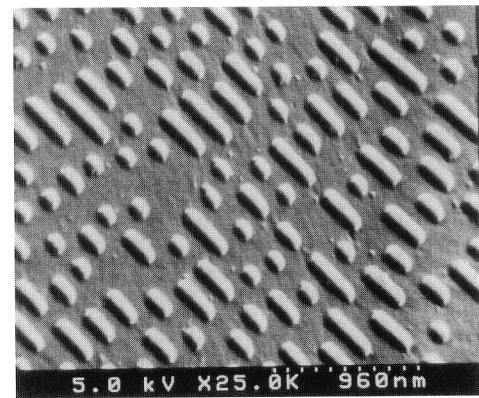


図9 転写ピットの電子顕微鏡写真.

### 3. NA=0.85, 0.1 mmカバー層ディスクにおける多層化

#### 3.1 フォトポリマーシートの改善

次に、NA=0.85, 405 nmの青色再生光源に対応した4層ディスクを作製するため、フォトポリマーシートの改善を行った。従来のフォトポリマーシートは400 nmでの透過率が低かったため、まずは透過率の向上を検討した。図6に改善前後のシートの透過率を示す。従来のシートが460 nmより短い波長域で透過率が低下しているのに対して、新規シートでは400 nm以下まで透過率の劣化が起こらず、400 nmで透過率97%が得られている。また、NAが大きいシステムでは、シートの厚みについても、より高い精度が求められる。図7は、NA=0.85システムにおける単層ディスクのジッター測定結果である。カバー層の厚さが±2.5 μm変動すると、ジッター値は約0.5%劣化することがわかる。これは、高いNAではカバー層およびスペーサー層の厚さをコントロールすることがより重要になることを示している。これらに鑑み、より厚み精度の高いフォトポリマーシートの開発が必要であった。

#### 3.2 ディスク作製

筆者らはまず、新規開発したシートの厚み精度を調べるため2層ディスクを作製した。信号ピットの転写方法を図

8に示す。最初に15 μmのフォトポリマーシートを70 μmのポリカーボネートシートにラミネートし、次にスタンパーに密着させローラーで圧力をかける。その結果、スタンパー上のピットパターンがフォトポリマーシートに転写される。その後、紫外線照射することによりピットパターンは硬化され安定化する。用いたスタンパーは、トラックピッチ320 nm、最短ピット長149 nm、17PP変調でマスターリングされた25 GB容量のものである。図9に、転写されたピットの電子顕微鏡写真を示す。転写されたピットはconvex (凸)形状であり、ポリカーボネートシート側から再生するため、ピックアップからみてconcave (凹)形状となる。このピット情報層は第1層 (ピックアップから近い層)になるため、中間反射膜として銀合金が成膜される。一方、1.1 mm基板は射出成形で形成され、全反射膜としてアルミ合金が形成される。その後これら2枚は、厚さ15 μmのフォトポリマーシートを用い上記転写と同じ方法で貼り合わされた。次に、形成された2層ディスクを用い、表面から第1層目および第2層目までの厚さを測定することで厚み精度の測定を行った。測定結果を図10に示す。表面から第1層目までの厚さは約85 μmで、表面から第2層目までの厚さは約100 μmであった。また、それぞれの厚みむらは±0.6 μm, ±0.7 μmと良好な値であった。基材であるポ

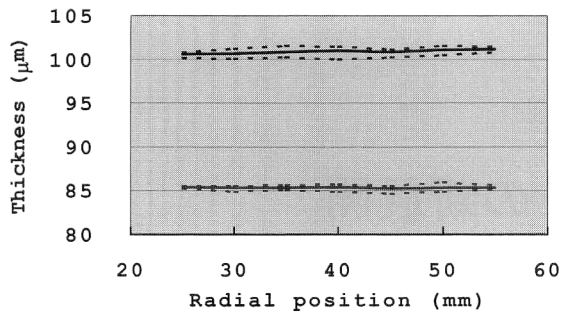


図10 厚み測定結果.

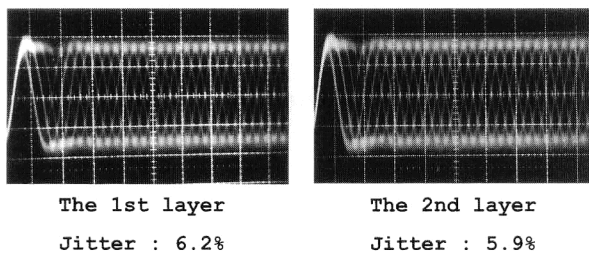


図11 再生信号波形.

リカーボネートシート自体の厚みむらが  $\pm 0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$  程度であることが確認されているため、フォトポリマーシートを用いた転写層、貼り合わせ層の厚みむらは十分小さい値と考えられる。次に、パルステック製 DDU-1000 を用いて再生信号評価を行った。リミットイコライザ後の再生信号波形を図11に示す。ジッター値は第1層目が6.2%、第2層目が5.9%であった。これは、同じスタンパーから作製した単層ディスクのジッター値5.3%と比較すると0.6~0.9%悪い。他の層からのクロストークと、ラミネート過程でのピット形状の若干の劣化が原因であると考えられる。

### 3.3 4層ディスク

最後に、4層形態の擬似ディスク作製を試みた。作製は上記2層ディスクの形成方法を繰り返すことにより行った。作製した4層ディスクの断面の電子顕微鏡写真を図12に示す。厚み精度よく各層が形成されていることがわかる。信号再生は今後の課題であるが、2層ディスクでも問題となったジッター劣化を解決する必要がある、そのためには転写方法など作製プロセス全般を最適化することが必要である。

CD から DVD へと発展してきた光ディスクは、その取り扱いの簡便さと記録容量のさらなる拡大により、デジタルマルチメディア時代の記録媒体として発展していくもの

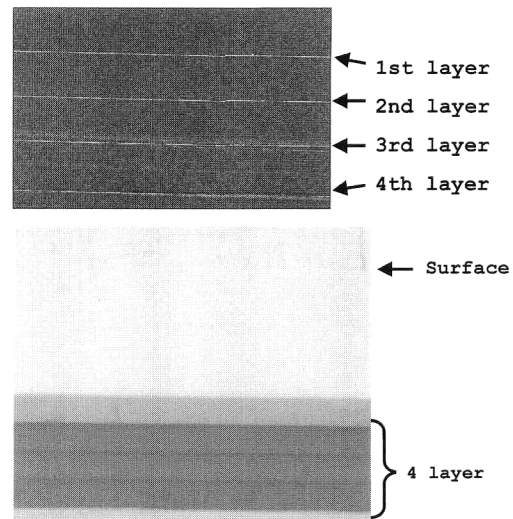


図12 4層ディスク断面写真.

と予想される。次世代のブルーレーザーを用いた光ディスクシステムは、マスタリング、成形、光学、信号処理に新しい技術を持ち込んでハイビジョン放送を2時間以上記録するという目的を果たそうとしている。さらに、大容量を目指した多層化の取り組みは始まったばかりであるが、新規フォトポリマーシートの開発等により  $25 \text{ GB} \times 4 \text{ 層} = 100 \text{ GB}$  の容量をもつ ROM 型光ディスクが実現可能な状況になりつつある。今後は、転写方法の改善など作製プロセス全体の最適化が必要である。

### 文 献

- 1) Y. Kojima, H. Kitahara, O. Kasono, M. Katsumura and Y. Wada: "High density mastering using electron beam," Jpn. J. Appl. Phys., **37** (1998) 2137-2143.
- 2) N. Shida, K. Suga, T. Higuchi and T. Iida: "Super high density optical disc by using multi-layer structure," *Conference Digest Optical Data Storage* (2000) pp. 27-29.
- 3) S. Miyanabe, H. Kuribayashi and K. Yamamoto: "New equalizer to improve signal-to-noise ratio," Jpn. J. Appl. Phys., **38** (1999) 1715-1719.
- 4) F. Yokogawa, S. Miyanabe, M. Ogasawara, H. Kuribayashi, Y. Tomita and K. Yamamoto: "Signal processing for 15/27 GB read-only disk system," Jpn. J. Appl. Phys., **39** (2000) 819-823.
- 5) S. Ohtaki, N. Murao, M. Ogasawara and M. Iwasaki: "The applications of a liquid crystal panel for the 15 Gbyte optical disk systems," Jpn. J. Appl. Phys., **38** (1999) 1744-1749.

(2003年3月11日受理)