

菅谷 寿鴻
T. Sugaya

平 浩三
K. Taira

高須 登
N. Takasu

富田 尚志
T. Tomita

DVD ディスク製造のため東芝と東芝 EMI (株)が連携して主要装置およびプロセスの開発に取り組み、現在、東芝 EMI (株)御殿場工場に 30 万枚/月の製造ラインを確立した。

特に、微小ピット形成のため、紫外光レーザーを用いたディスク原盤記録装置を新たに開発し、また、これにあわせてレジストプロセスも開発した。さらに、0.6 mm の薄基板開発のため、特性が相反する転写性、反り、複屈折を制御しながら、しかも短時間でディスクを成形する成形プロセス、および両面を貼(は)り合わせるプロセスなどを開発した。

Toshiba and Toshiba EMI Ltd. have developed DVD manufacturing processes and equipment, and 300,000 DVD discs are being produced monthly on the line at the Gotemba Plant.

In order to make DVD glass masters, we have developed a new laser beam recorder (LBR) with a UV laser and a photoresist process for making small pits.

Furthermore, in order to realize substrates with a thickness of 0.6 mm, we have developed a molding process and a bonding process featuring a fast cycle time while controlling birefringence and disc tilt.

1 まえがき

東芝は、1992 年からタイムワナー社と連携して DVD の開発に取り組み、翌年には、DVD 用の紫外光を用いた原盤記録装置の試作機を完成させた。そして、東芝 EMI (株)と連携して、直径 120 mm で 0.6 mm の厚さのディスク基板の製作に取り組み、1993 年末までには DVD に使用できるディスク製作の見通しを得た。

その後、量産を旨とした装置の開発およびプロセスの開発に着手し、量産設備用の紫外光レーザーを用いた光ディスク原盤記録装置を完成させ、東芝 EMI (株)御殿場工場に設置して 1995 年秋から稼働している。同時にレジストプロセス、成形プロセス、両面貼合せプロセスなどの開発を進めた結果、今年 10 月から月産 30 万枚の量産可能な製造ラインを確立することができた。特に貼合せについては、レーザーディスクで実績のあるホットメルトで十分できることを確認した。

また、1993 年以來、米国 WAMO (Warner Advanced Media Operations) 社に DVD 原盤、スタンパ、原盤プロセス、ディスク評価機などを提供し、DVD ディスクの開発・製造支援を進めてきた結果、同社では現在 100 万枚/月の量産が可能な製造ラインを整備するに至っている。

以下、DVD ディスク製造のうえで重要な原盤記録装置、マスタリング技術、および製盤技術(スタンパ、成形、両面貼合せ)などの技術開発に関して述べる。

2 原盤記録装置の開発

2.1 装置の概要および構成

DVD ディスクではトラックピッチ $0.74 \mu\text{m}$ 、最小ピット長 $0.40 \mu\text{m}$ と、CD の 4 倍以上のピット密度が要求される。原盤がすべてのディスクの元となるため、このような高密度な原盤を高精度に記録するために、記録ビームスポットの微小化、ピッチムラを低減する正確な位置決め技術の開発が必要である。また、量産時における信頼性・安定性の向上も必須(す)であり、これらを実現する装置を開発した。

装置の構成を図 1 に示す。光源となるクリプトン (Kr) レ

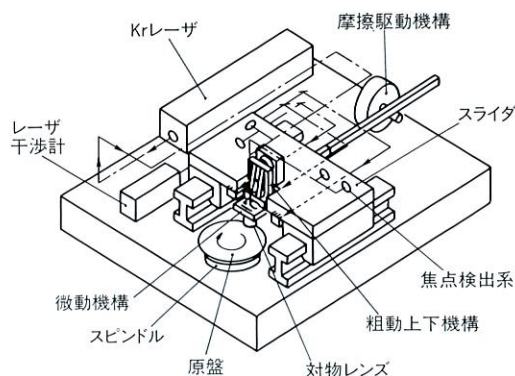


図 1. 原盤露光装置概略 定盤寸法は $1,600 \times 1,300 \text{ mm}$ である。
Schematic diagram of laser beam recorder

ーザ、光変調器や対物レンズを含む記録光学系、フォーカス検出系、ガラス原盤を回転させるスピンドル、記録スポットを高精度に水平移動させるスライダ系などから成る。

2.2 記録ビーム微小化技術⁽¹⁾

微小ピットを形成するためには記録スポットを小さくする必要があり。このため記録光学系には、CDの原盤記録に使用されている青色光源レーザに代えて、より短波長の紫外光レーザ (Kr レーザ：波長 351 nm) を採用するとともに、高 NA (開口数) 対物レンズ (NA 0.9) を使用した。これにより記録スポット径を従来の 77 % に縮小した。短波長化により記録スポットの焦点深度が浅くなるが、従来の補助ビームによるフォーカスサーボに替えて、記録ビーム反射光を用いたフォーカス制御系の開発により誤差を 0.05 μm 以下に抑え、フォーカス変動の影響のない高精度で安定な制御を実現した。

2.3 高精度位置決め技術⁽²⁾

DVD ではトラックピッチが狭いため従来よりもピッチ変動を小さくする必要があり。ピッチむらの原因としてはスピンドルモータの非同期回転ふれや、光軸のゆらぎなどもあるが、記録スポットの位置決めを行うスライダの送り誤差低減はもっとも重要な課題である。

そこで、図 2 に示すように、スライダの駆動にはバックラッシュなどの非線形性がなく、構造が簡単な摩擦駆動機構を採用した。さらに、対物レンズの位置を補正する微動機構をスライダ上に設け、スライダと対物レンズの位置をレーザ干渉計により測定・制御することでスライダ振動を抑制する、能動制御補償法を開発した。微動機構の共振点を上げるくふうによりサーボゲインを上げることができ、スライダの送り誤差を図 3 に示すように $\pm 10 \text{ nm}$ 以下に抑えることができた。これにより、外乱に強く長時間にわたって安定した記録スポットの位置制御が可能となった。

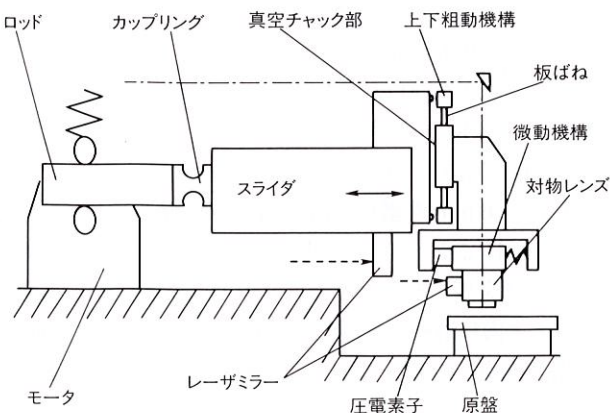


図 2. スライダの構成 圧電素子による微動機構で能動制御補償が可能である。

Structure of slider mechanism

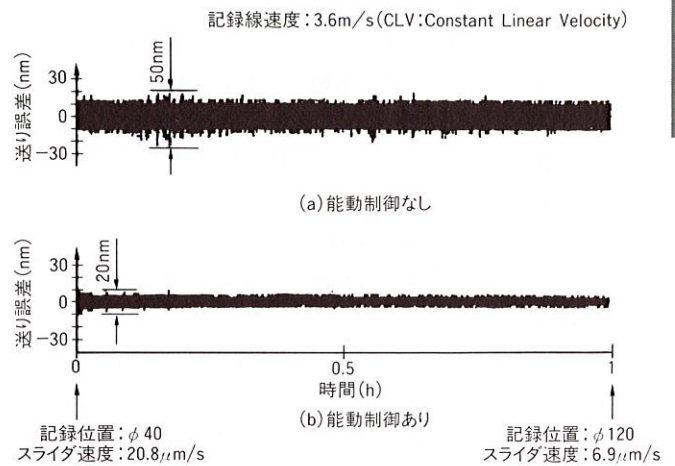


図 3. スライダ送り精度 能動制御により位置決め精度 $\pm 10 \text{ nm}$ 以下を達成した。

Slider positioning accuracy

3 DVD ディスクの製造技術

3.1 マスタリング技術

DVD ディスクの製造は基本的には CD のプロセスと同じであるが、DVD ではより高密度、高精度なピット形成が要求される。図 4 にディスクができ上がるまでのプロセスを

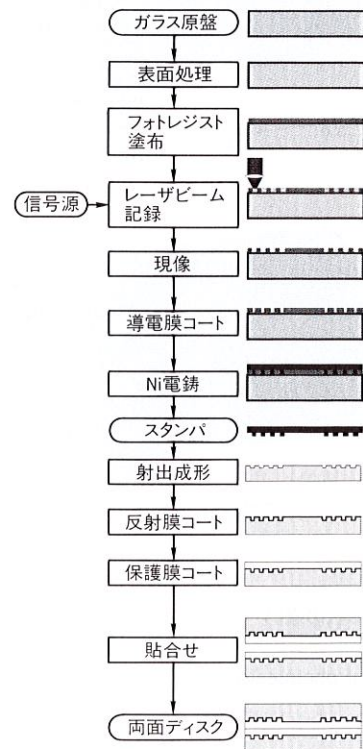


図 4. DVD ディスク製造プロセス 貼合せ以外は基本的に CD と同じであるが、より高密度、高精度が要求される。

DVD manufacturing process

示す。ガラス基板の表面を洗浄・乾燥後、密着性向上のための表面処理を行い、フォトリソを所定の厚さにスピンコートする。このガラス基板に、新たに開発した原盤記録装置でDVD記録信号に応じて変調された光を記録する。これを現像することによってDVD原盤（ガラスマスタ）ができ上がる。

DVDマスタリングでは紫外光により微小ピットを安定に形成するレジストプロセスが重要であり、特に次の点に考慮して開発した。

- (1) フォトリソの選定 一般的には市販のポジ型半導体用レジストを用いるが、種類によって記録感度はもちろん現像後のピットの形状や表面の粗さの状態が変わる。図5は2種類のレジストに溝を記録した表面形状を走査型トンネル顕微鏡で観察した像である。レジストの種類により表面の粗さ、形状のだれが異なり、これがそのままディスクに転写されるためノイズや再生信号振幅に影響を与える。(a)のほうが表面あれや形状変動が少なく高密度記録に適していることがわかる。

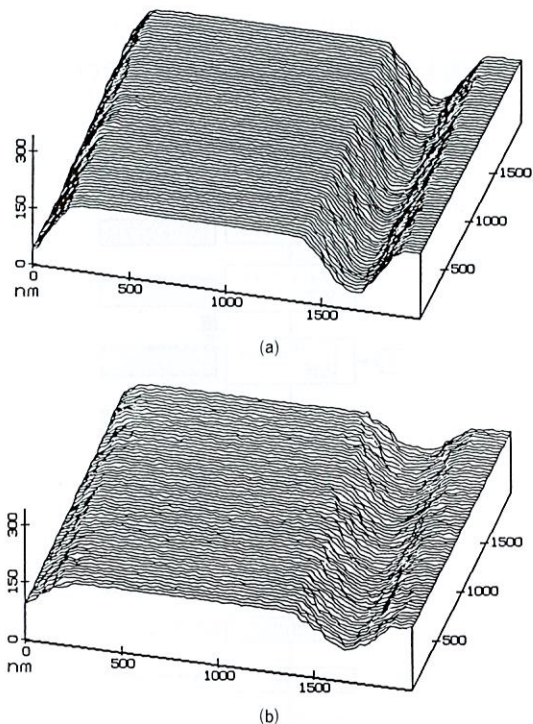


図5. 原盤表面形状の違い レジストにより表面粗さや溝形状の変動が異なり、(a)のレジストのほうが高密度記録に適している。

Surface profile of photoresists

- (2) マスタリング条件の設定 記録パワー、変調信号のパルス幅、現像条件などを最終的なディスクでのジッタ値が最小になるように最適化条件を求める。その

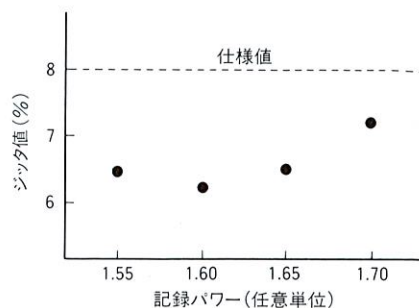


図6. 原盤記録パワーとジッタ値の関係 記録パワーの最適値があり、仕様値の8%に対しパワーマージンも広い。

Recording power vs. jitter

一例として記録パワーとジッタ値との関係を図6に示す。記録パワーの最適値が存在し、仕様値の8%に対しパワーマージンも広いことがわかる。

- (3) 原盤評価 ピット面上に直径1mm程度のレーザービームを照射しその回折光強度を測定することで非接触でピットの幅・深さを推定できる。これをディスクでの再生信号波形と対応づけることで、原盤としての品質を管理し、プロセスが安定しているか確認できる。

3.2 金属原盤製造技術

マスタリングで完成したガラスマスタでは直接ディスクの成形はできない。そこで電気めっきによって成形に必要な金属原盤であるスタンプを作製する。ガラス原盤は非電導のため表面に電導化処理を施し、その上に約0.3mmの厚さにニッケル電鍍をした後、金属原盤をガラス原盤からはく離、裏面研磨、センタ穴と外形を打抜き加工してスタンプが完成する。ニッケル電鍍はCDと同じ装置・プロセスを使って行うが、成形ディスクの厚さむら、平坦性に影響するのでスタンプの厚さ分布は均一性が要求され、現在±7μmの範囲で作っている。

3.3 製盤技術

完成したスタンプは射出成形装置の金型内に取付け、厚さ0.6mmの基板を成形複製する。

成形した基板にAl反射膜とそれを保護する保護膜を塗布した後、ホットメルト接着材を使って2枚の基板を貼合わせてDVDディスクが完成する。

3.3.1 0.6mm厚基板の成形技術 厚さ0.6mmの薄い基板はCDで使っている射出成形装置で成形する。成形のプロセスは金型に取り付けたスタンプの中心穴部から金型キャビティ内に溶融したポリカーボネート樹脂(CDと同じ)を射出、充填、冷却後、金型から取り出して終了する。

成形した0.6mm厚基板は次の項目を満足させることが要求される。

- (1) 複屈折をダブルパスで100nm以下に確保
- (2) 反りが少なくディスク厚みの規格確保

(3) ピットの転写性の確保

基板の厚さがCDに比べ1/2であることからキャビティ容積も1/2にした金型を使うことになる。そのため、金型内の材料の流路が狭いので材料の流動抵抗が増加することになる。その結果、内部応力が発生し、複屈折、反りおよびピットの転写性を悪化させる要因となる。

以上の観点から次のことを行い上述の課題を解決した。

(1) 金型の温度と材料の温度を限界まで上げて材料の流動性を改善

(2) 成形条件(冷却時間など)の最適化

基板の複屈折特性を図7に示す。さらに転写性を表す再生振幅信号(アイパターン)を図8に示す。ともに規格を満たしていることが確認できる。また、ディスクの厚みの規格は±0.03 mmであるが、金型の高精度化とスタンプの厚さ分布を均一化することで達成できている。基板の厚み分布を図9に示す。ディスク内の厚み分布は0.01 mm以内であり規格を十分満たしている。

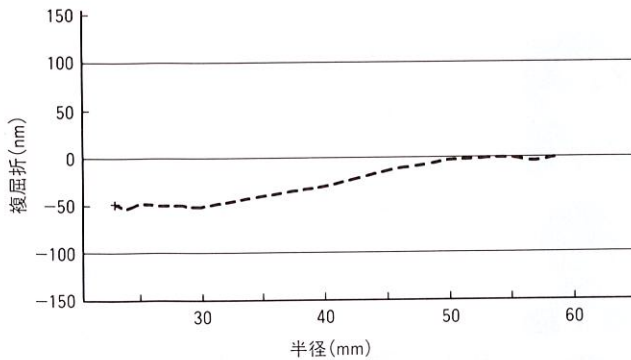


図7. 基板の複屈折特性 ディスクの内外周にわたり100 nm以内におさまっている。
Birefringence of DVD

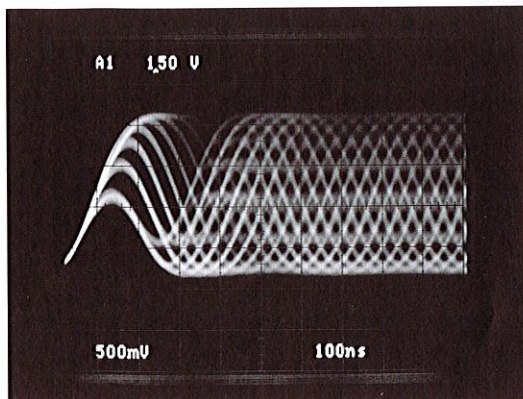


図8. 再生振幅信号(アイパターン) 波長650 nm, NA0.6のピックアップによる再生結果で再生信号はすべて規格内におさまっている。
Eye pattern

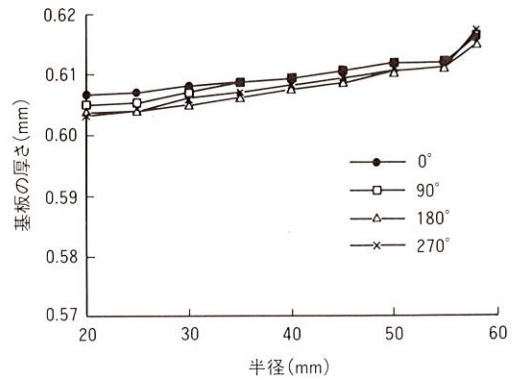


図9. 基板の厚み分布 半径方向, 円周方向ともに厚み分布は0.01 mm以内である。

Substrate thickness distribution

3.3.2 ホットメルト貼合せ技術 厚さ0.6 mm基板の貼合せは、量産性とレーザーディスクで実績のあるホットメルト接着方式を使った貼合せを中心に開発を進めてきた。図10に貼合せ方法を示す。

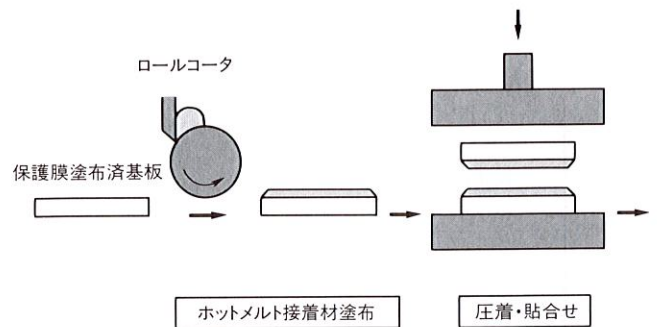


図10. ホットメルト貼合せ方法 ホットメルト接着材を用いた両面貼合せ方式を採用している。

Hot-melt bonding method

貼合せは0.6 mm厚基板の保護膜コーティング面に加熱溶解したホットメルト接着材をローラを使って均一にかつ異物を巻き込まないように塗布した後、2枚重ね、圧着して行う(片面ダミーディスクの場合も同じ)。貼り合わせた後のDVDディスクの反り量を表わすチルト角の規格値が0.8度(R方向)と厳しく、高温保存時にもこれを満足させることが要求されている。

0.6 mm厚基板を貼り合わせる場合、レーザーディスクと同じホットメルト接着材、および貼合せ条件では上述の課題は達成できない。そこで専用の設備、材料、および条件を選定した。

(1) 材料の選定 ホットメルト接着材の軟化温度とディスクのチルト角の関係を図11に示す。軟化温度が高

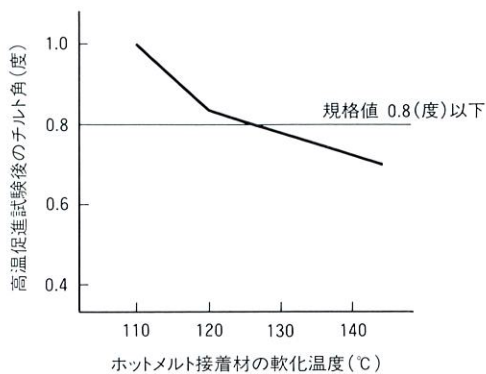


図 11. ホットメルト接着材の軟化温度とチルト角の関係
軟化温度の高い接着材がチルト角に有利である。

Melting temperature of hot-melt vs. tilt angle

い接着材がチルト角に対して有利であることがわかる。
 (2) 貼合せ条件 ホットメルト塗布厚分布、圧着方法、
 圧着力、圧着時間などの条件を最適化した。
 その結果、ディスクのチルト角は規格の0.8度を満たし、
 同時に DVD Book で規定している 70°C 50 % 96 h の高温保
 存試験を満足させる貼合せ方法が実現できている。

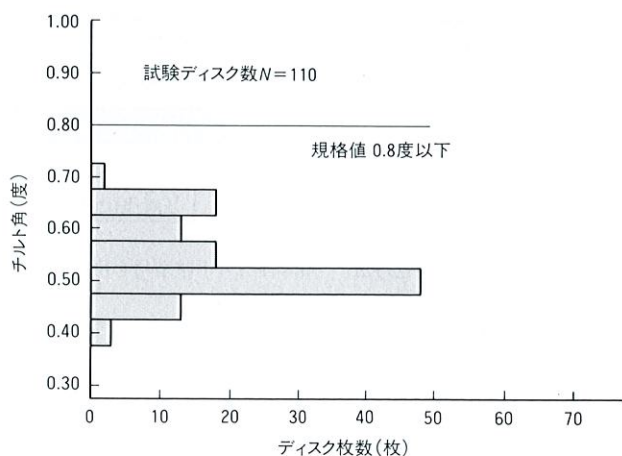


図 12. 高温保存加速試験後のチルト角
加速試験後もディスクのチルト角は規格値である 0.8 度以下である。

Tilt angle after environment test

110 枚のディスクを使って行った高温保存加速試験後のチルト角の測定結果を図 12 に示す。試験後もチルト角は規格の 0.8 度以下であることが確認できる。また、ホットメルト方式にはない特長 (接着材の塗布法と脱泡、均一膜厚と硬化、温湿度に強いなど) をもつ紫外線硬化型接着材を使った貼合せ方式の開発も並行して進めている。

4 あとがき

東芝グループで確立した DVD ディスク製造技術について紹介した。すでに月産 30 万枚の製造ラインを確立したが、来年以降は、急増する DVD ディスク製造に対応するため、さらなる設備拡充と生産性向上などに取り組む。

文 献

- (1) K. Taira, et al: High Density Optical Disk Mastering Machine, Symposium on Optical Memory Technical Digest, pp.115-116 (1994)
- (2) 菊入信孝, 他: 微動機構を用いたスライダの超精密定速送り技術, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.815-816 (1995)



菅谷 寿鴻 Toshihiro Sugaya

研究開発センター 情報・通信システム研究所研究主幹。
 光ディスクおよび DVD 技術開発に従事。電子情報通信学
 会、テレビジョン学会会員。
 Communication & Information Systems Research Labs.



平 浩三 Kozo Taira

研究開発センター 情報・通信システム研究所主任研究員。
 光ディスクマスタリングの研究開発に従事。応用物理学学
 会会員。
 Communication & Information Systems Research Labs.



高須 登 Noboru Takasu

生産技術研究所プロジェクト担当主任研究員。
 精密機器の研究開発に従事。日本機械学会、精密工学会
 会員。
 Manufacturing Engineering Research Center



富田 尚志 Takashi Tomita

東芝イーエムアイ(株)開発技術部参与。
 光ディスクおよび DVD ディスクの製造技術開発に従事。
 Toshiba EMI Ltd.