原盤露光装置の精密機構*

内田憲男**

Laser Beam Recorder for the Fabrication of DVD Glass Masters /
Norio UCHIDA

Key words: laser beam recorder, CD, DVD, pit, krypton ion laser, objective lens, slider, fine motion table, traveling error, non-repetitive runout

1. はじめに

1981年にCDが開発され、オーディオ分野のデジタル化が急速に進展した。1996年11月には片面で4.7ギガバイトの容量（CDの約7倍）を持ち、130分余りの動画を再生するDVD-Videoが発売され、ソフトの増加とともに急速に普及しつつある。これらの光ディスクには図1に示すような微小なピット（記録信号）が形成され、これをプレーヤの光ピックアップが読みとることにより、音や動画が再生される。

CDとDVDディスクの仕様を表1に示す。DVDではディスクの反りに対する許容値を大きくするために、2枚のディスクを貼り合わせる構造が採用されている。DVDの最短ピット長は $0.4\mu\text{m}$ （CDの0.46倍）、トラックピッチは $0.74\mu\text{m}$ （CDの0.46倍）でその許容誤差が $\pm 0.03\mu\text{m}$ であるために、極めて微細で高精度なピット形成技術が必要となる。

DVDディスクの製造工程を図2に示す。使用済みのガラス基板上のニッケルおよびレジスト膜を除去後、ガラス基板を研磨・洗浄し、所定の厚さのレジストを塗布する。そして原盤露光装置により記録信号（ピット）をレジスト層に露光し、現像してガラス原盤を作製する。次に、無電解ニッケルめっきによりピット面に導電膜を形成後、ニッケル電鍍により厚さ 0.3mm の金属原盤（スタンパ）を作

製する。金属原盤が所定の厚さになるようにその裏面を研磨し、内外径を打ち抜いた後、ディスク成形用金型に組み込み、射出成形によって 0.6mm 厚さのポリカーボネート基板を複製する。複製された基板のピット面にアルミニウム反射膜とこれを保護する保護膜を塗布した後、2枚の基板をピット面が対向するように貼り合わせてディスクが完成する。

ここでは、DVDディスクの製造のキー技術であり、微細なピットを精度良くガラス基板に露光するための原盤露光装置について、筆者らが開発した装置を例にとり記述する^{1)~4)}。

図1 光ディスクのピット

表1 CDとDVDの主な仕様

項 目	CD	DVD
ディスク直径 (mm)	120	120
ディスク厚さ (mm)	1.2	0.6×2
トラックピッチ (μm)	1.6 ± 0.1	0.74 ± 0.03
最短ピット長 (μm)	0.87	0.4
ジッタ (%)	—	8

* 原稿受付 平成9年12月16日
** 正会員 (株)東芝 研究開発センター 機械・エネルギー研究所 (川崎市幸区小向東芝町1)
1970年大阪大学基礎工学研究科博士課程機械工学専攻修了、工学博士。同年(株)東芝に入社。ウラン遠心分離機の開発やSORを線源とするX線ステッパ、光ディスク原盤露光装置などの精密機構技術の開発に従事。日本機械学会、精密工学会の会員

図2 DVD ディスクの製造工程

2. 原盤露光装置の概要と微小ピットの形成

原盤露光装置の概略を図3に示す。音響光学変調器(AOM)で記録用のパルス列に変調された露光用のレーザー光はスライダ上の対物レンズに導かれ、ガラス基板上のフォトリソ層に集光する。ガラス基板はスピンドルにより設計速度で回転し、スライダ上の対物レンズはガラス基板上を所定の速度で移動するので、種々の設計長さのピットが螺旋状に露光される。

最短ピット長 $0.4 \mu\text{m}$ (ピット幅：約 $0.3 \mu\text{m}$) のピットを形成するには露光光の波長を短くし、対物レンズの開口数(NA)を大きくする必要がある。このために、CDの露光装置に使われている青色レーザー(波長 458 nm)に代わり、波長 351 nm のクリプトンイオンレーザーを露光光源として用いるとともに $\text{NA}=0.9$ の対物レンズを採用した。これにより、ビームスポット直径は半値幅で $0.21 \mu\text{m}$ 、 $1/e^2$ 強度で $0.35 \mu\text{m}$ となり、DVDのピットの形成が可能になった。

短波長化と高NA化で対物レンズの焦点深度が浅くなる。このために記録光の反射光を用いて焦点ずれを検出し、検出信号を板ばね支持・ボイスコイルモータ駆動の対物レンズフォーカス機構⁵⁾にフィードバックすることにより、対物レンズは $\pm 0.05 \mu\text{m}$ の誤差でガラス基板の上下

の振れに追従する。

3. 原盤露光装置の機構

DVD ディスクではトラックピッチを $0.74 \pm 0.03 \mu\text{m}$ に制御する必要がある。トラックピッチの誤差要因としては、

- (1) スライダの送り誤差
- (2) スピンドルの非同期振れ
- (3) 空気の揺らぎによる露光レーザー光の変動
- (4) その他

などが考えられる。トラックピッチ誤差を $\pm 0.03 \mu\text{m}$ 以内にするには、それぞれの誤差を $0.015 \mu\text{m}$ 以下にする必要がある。このうち(3)については、除振台で支持された露光装置を恒温室内に入れ、露光ビームの光路をパイプなどで覆うなどの対策が取られる。ここでは、(1)と(2)について述べる。

3.1 スライダの送り精度

原盤露光装置では、スライダは静圧空気軸受で支持され、リニアモータやねじ・モータなどで駆動される⁵⁾。ここでは、筆者らが開発したスライダ(図4)について説明する^{1)~3)}。空気軸受支持のスライダ(粗動テーブル)は構造が簡単でバックラッシュのない摩擦駆動機構で駆動される⁴⁾。粗動テーブル上には、ガラス基板の厚さのばらつきに対応するための上下機構が設けられ、上下機構には板ばね支持で圧電素子駆動の微動機構と対物レンズを駆動するフォーカス機構が取り付けられる。粗動テーブルと微動機構の位置はそれぞれ独立にレーザー干渉計(分解能 2.5 nm)で測定され、それぞれのPID制御系にフィードバックされる。時間の関数である目標位置を粗動テーブルと微動機構の制御系に同時に与えると、粗動テーブルは微動機構とは独立に走行し、微動機構は粗動テーブルの送り誤差(レーザー干渉計で測定した目標位置からのずれ)を補償する。

図4を簡略化した実験装置により、微動機構の特性を測定した。振幅を一定(100 nm)にして、種々の周波数で粗動テーブルを加振し、微動機構がこの振動を補償するよ

図3 原盤露光装置の概略図

図4 スライダ断面図

図5 微動機構の制御特性

図6 スライダの送り精度

うに制御した。図5に示すように、微動機構の両振幅は振動数が160 Hzの場合に25 nmに、80 Hzの場合には20 nmに減少する。これにより、スライダに外乱が作用しても対物レンズはその影響をほとんど受けずに走行できることがわかる。

線速度3.6 m/sのCLV (Constant Linear Velocity) 記録の場合の粗動テーブルと微動機構の送り精度(誤差)を図6に示す。露光時の線速度が一定になるように、スライダの速度を20.8 μm/s(ガラス基板半径20 mm)から6.9 μm/s(同60 mm)に変化させ、スピンドルの回転数を1719 rpmから573 rpmに変化させた。

スライダと同じ除振台上に設置されているクリプトンイオンレーザの冷却水の振動で、粗動テーブルには約65 Hzの振動が発生し、送り誤差は±25 nmになるが、対物レンズを取り付けた微動機構の送り誤差は±10 nm以下に制御されている。このように、微動機構を設けることで外乱に強いスライダが実現した。

図7 非同期振れ測定装置

図8 非同期振れの測定結果

3.2 スピンドルの非同期振れ

スピンドルはガラス基板取り付け時の微小な偏心のために半径方向にわずかに振れ回りながら回転する。この不釣り合い質量により生じる振れ回りは回転数に同期し、振幅が一定であるのでトラックピッチ誤差の原因にはならない。しかしながら、何らかの原因で振幅が変動したり、振動数が回転数あるいはその整数倍と異なる振動が生じるとトラックピッチ誤差が生じる。そこで、筆者らは回転部の振れの測定値から、1回転前の同じ回転角度の振れ測定値を差し引いた値を非同期振れとし、図7に示す方法でこれを測定した⁶⁾。すなわち、スピンドルの回転部の振れを静電容量式変位計で測定し、エンコーダパルス(2000 P/R)をトリガにしてメモリに取り込むとともに1回転前に記憶した同じ角度の振れとの偏差を出力した。

600 rpmで回転させたエアスピンドルの非同期振れを図8に示す。回転部側面の振れは側面の形状誤差や偏心などにより350 nm_{P-P}の振幅を持つが、非同期振れは±3 nm程度で十分小さいことが明らかになった。

4. マスタリング

半導体のリソグラフィで開発されたg線またはi線のフォトリソを所定の厚さになるようガラス基板にスピンドコートし、原盤露光装置によりピットを露光する。現像後のCDとDVDのディスクのピットパターンを原子間力顕微鏡(AFM)で測定した結果を図9に示す。DVDのピット長やピット幅がCDの半分以下になっていることがわかる。

作製されたピットの良否はジッタ値で評価される。した

(a) CD

(b) DVD

図9 CDとDVDのビット形状

がって、成形されたディスクのジッタ値が最小になるように露光光の強度、変調信号のパルス幅、現像時間などの露光条件を最適化する。一例として露光光の強度とジッタ値の関係を図10に示す。レーザ光の強度には最適値が存在し、仕様値8%に対して十分な露光光の強度マージンがあることがわかる。

5. おわりに

DVD ディスクの製造のキー技術である原盤露光装置について記述した。DVD は最初にDVD-Video, 引き続きDVD-ROM が実用化され、多くの人にこれまでにない情報をもたらした。まもなくDVD-RAM が登場する。このように一方ではDVD ファミリーが充実し、他方では、光

図10 露光光の強度とジッタ値

ディスクの高密度化が急速に進み、近い将来片面15ギガバイトの容量(トラックピッチが約 $0.4\mu\text{m}$)の高精細DVDが開発されるものと考えられる。この場合には、 $10\sim 20\text{nm}$ のトラックピッチ誤差で、 $0.2\mu\text{m}$ 程度の微細なピットが形成できる原盤露光装置が必要となるが、現行の露光装置の改良とレジストプロセスの改良⁷⁾などで実現できると考えられる。さらに、片面50ギガバイトクラスの超高精細ディスクになると、電子ビーム露光装置⁸⁾などの新しい技術が必要になる。

参考文献

- 1) 菊入信孝ほか：微動機構を用いたスライダの超精密定速送り技術，1995年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(1995) 815.
- 2) J. Nishida, N. Kikuri, N. Uchida and N. Takasu: Ultra-precise Traveling Slider for Fabrication of DVD Glass Master, Proc. ASPE, 14, (1996) 74.
- 3) N. Uchida: DVD as an Example of Optical Pattern Fabrication and Replication Techniques Applied to Information Equipment, Proc. MIPE '97, (1997) 291.
- 4) 佐久田 茂ほか：摩擦駆動を応用した光ディスク原盤露光装置用テーブル送り機構の開発，精密工学会誌，62, 10 (1996) 1444.
- 5) 精密工学会編：精密工学シリーズ，精密機構，オーム社，(1987) 81.
- 6) 西田 純，菊入信孝，内田憲男：光ディスク原盤記録用スピンドルの非同期回転振れの計測，1997年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(1997) 407.
- 7) T. Higuchi, Y. Okumura and T. Iida: High Density Optical Disc Mastering Using Photobleachable Dye, Tech. Digest, Joint MORIS/ISOM '97, (1997) 298.
- 8) Y. Kojima et al.: High Density Mastering Using Electron Beam, Tech. Digest, Joint MORIS/ISOM '97, (1997) 190.