

電子ビーム記録装置を用いた高密度マスタリング

High density mastering using an electron beam recorder

勝村 昌広, 北原 弘昭, 小笠原 昌和, 小島 良明

Masahiro Katsumura, Hiroaki Kitahara, Masakazu Ogasawara, Yoshiaki Kojima

和田 泰光, 飯田 哲哉, 横川 文彦

Yasumitsu Wada, Tetsuya Iida, Fumihiko Yokogawa.

要 旨 次世代DVDシステムの開発において,必要な高密度ディスクを作製することを目的とし,電子ビーム原盤記録装置を開発し以下の項目を確認した。

1. 20Gbytes, 25Gbytesの記録容量ディスクを作製し,対物レンズNA = 0.75の再生システムで, DVDスタンダードイコライザを用いてスタンパ再生を行い, 20Gbytesディスクではジッタ7.7%, 25Gbytesディスクではジッタ14.5%が得られた。
2. 電子ビームの収束半角6mradの条件により80 nm L&Sと50Gbytes記録容量の記録を行った。

電子ビームを用いたマスタリングは,高密度光ディスクにおいて有力なマスタリング技術である。

Summary The purpose to develop an electron beam recorder was to produce a necessary high density optical disk in the next generation DVD system. We have confirmed the following items:

1. We made stampers in which the recording capacity were 20Gbytes, 25Gbytes disks. We reproduced these stampers with the objective lens of NA=0.75 and using DVD standard EQ. As the results, we obtained 7.7% jitter in 20Gbytes disk, and 14.5% jitter in 25Gbytes disk.
2. We recorded 80 nm line and space and 50 Gbytes capacity disk with 6 mrad convergence semi-angle.

The mastering by using an electron beam is a hopeful technique for high-density optical disks.

キーワード: 電子ビーム記録装置, 高密度ディスク, 電子ビームレコーダー (EBR), 高密度記録

1. まえがき

DVDは12cmサイズのディスクに4.7Gbytesの記録容量であり,CDに比べ約7倍の高密度化が実現されている。次世代DVDは再生対物レンズの高NA化と青紫色半導体レーザを用いることにより高密

度化が期待されている。筆者らは次世代DVDとして必要な記録容量は,ディスク1枚にハイビジョン映像を2時間以上記録できること,記録容量としては20Gbytes以上を考えている。

高密度記録を実現させる手法にはレーザービー

ムを用いた試みとしては、光退色性色素プロセスを用いた高密度光ディスクマスタリングの検討⁽¹⁾や、レーザ光源としてディープUVを用いたレーザビームレコーダの検討⁽²⁾、そして、記録時の対物レンズにSIL(Solid Immersion Lens)を用いた検討がなされている⁽³⁾。

筆者らは電子ビームを用いた Electron Beam Recorder (EBR)を開発し、次世代DVDシステム実現への可能性の確認実験を行った。また、さらなる高密度化への可能性を検討するための基本的実験を行ったので、その概要を報告する。

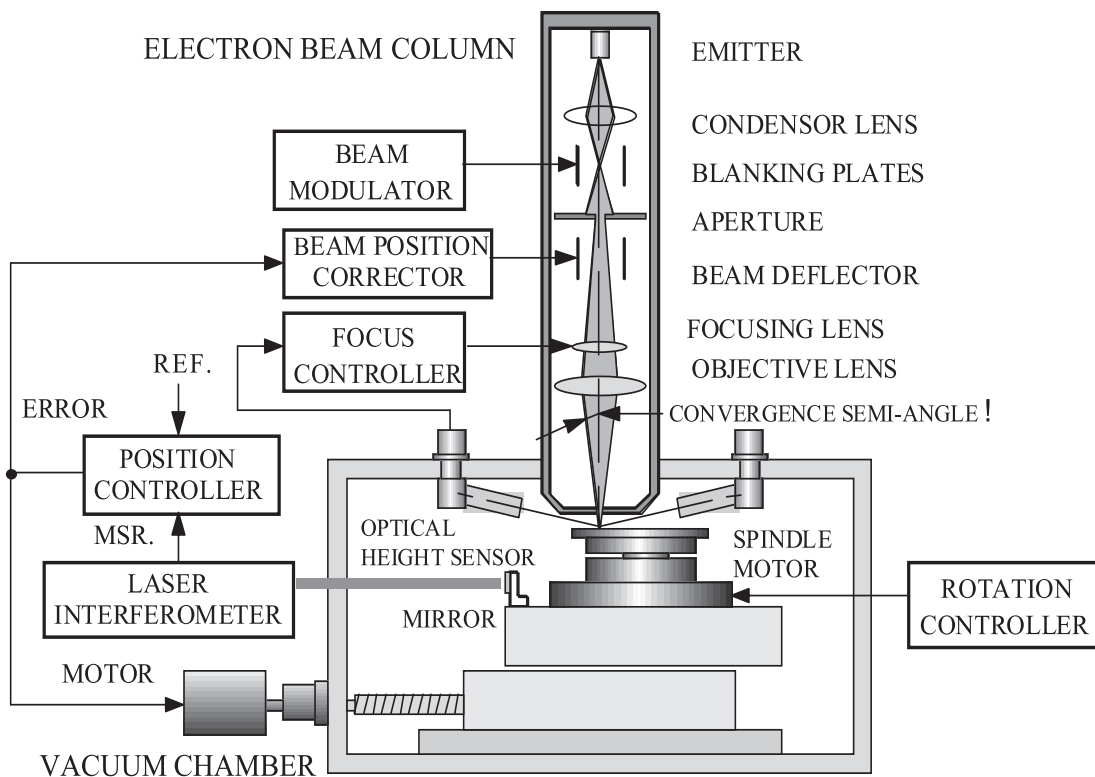
2. 電子ビームレコーダー (EBR) の構成

電子ビームレコーダー(EBR)の構成を図1に示す。電子ビーム記録は真空中で行う必要があるために、原盤を回転するスピンドルモータと移動ステージは真空チャンバー内に設置されている。また、真空チャンバー上部に設置された電子カラム

より電子ビームを原盤面へ集束させる構成となっている。以下に各部の詳細について述べる。

2.1 電子ビームカラム

電子ビームカラムは電子銃、コンデンサレンズ、対物レンズ、偏向器、ブランキング電極などの部分から構成されており、最高加速電圧は100kVである。エミッタは熱電界放射型(TFE - Thermal Field Emission)を採用し、角電流密度は1mA/srで使用している。エミッタから放射された電子をコンデンサレンズによってブランキング電極中心に集束させ、クロスオーバーポイントを作る。その後、電子はアパーチャを通り、対物レンズを用いて原盤面に集束させる。電子ビームの変調は、ブランキング電極によって電子ビームを偏向させ、アパーチャで遮断することによって行われる。この際にブランキングは10nsで行うことができ、ビーム変調の周波数限界は約20 MHzである。図2に集束半角に対するビーム電流、ビー



Schematic diagram of Electron Beam Recorder

図1 電子ビームレコーダー(EBR)の構成

μ径の計算値，および実験測定値を示す。計算においてビーム電流は，集束半角の2乗に比例して大きくなり，色収差と球面収差のために，ビーム径も集束半角とともに大きくなる。加速電圧50kV，集束半角6 mradの状態において，ビーム電流は約120 nAであり，クロスワイヤーを用いたナイフエッジビーム径測定において，ビーム径は60 nm(半値幅)であった。また，加速電圧50kV，集束半角3 mradの状態において，ビーム電流は約34 nA，ビーム径は37 nm(半値幅)であった。これらの測定値は，図2に示すように計算値に近い値であった。

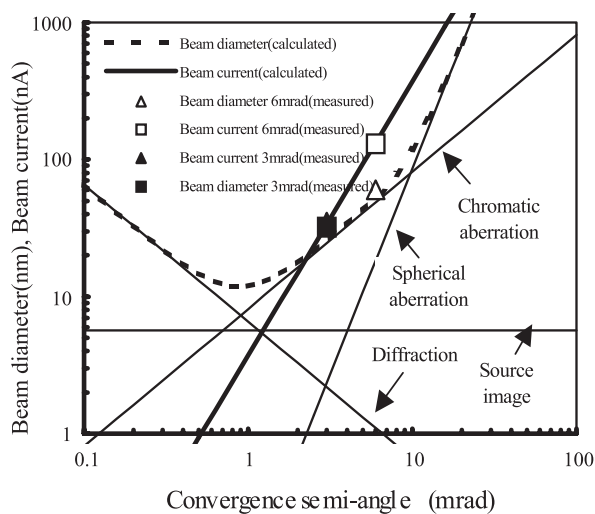


図2 電子ビーム収束特性

2.2 真空対応エアースピンドル

図3に真空対応エアースピンドルの構造を示す。空気軸受から漏れる空気を防ぐことと，モータが回転することにより生じる磁界変動が電子ビームの軌道を変化させ，記録位置精度を悪化させる問題点を解決する一つの手法として，筆者らはモータ全体を，鉄と高透磁材料で覆い磁界のシールドを行うと同時に，空気軸受からカバー内に放出される空気をステンレス製のフレキシブルチューブにより真空室外に逃がす構造を採用した。回転部は差動排気で減圧した後，磁性流体でシールすることにより真空室内の真空度を保つことが出来た。真空室の圧力は，2700rpmの高回転時に 1×10^{-6} Torr以下が得られ，回転ジッタも300rpm時に $3.4 \times 10^{-5}\%$ と通常のスピンドルモータと同等である。

2.3 送り制御

送り制御はスピンドルモータが搭載されたステージをDCモータによってネジ送りする方式で，分解能2.5nmのレーザ測長器を用いて位置を検出している。ステージの位置は，ステージ上のミラーから得られる位置情報よりフィードバック制御する。これによって生じる記録位置の誤差を改善するため，残留誤差成分をカラム内の偏向器を用いて補正している。なお，送り制御誤差は，ス

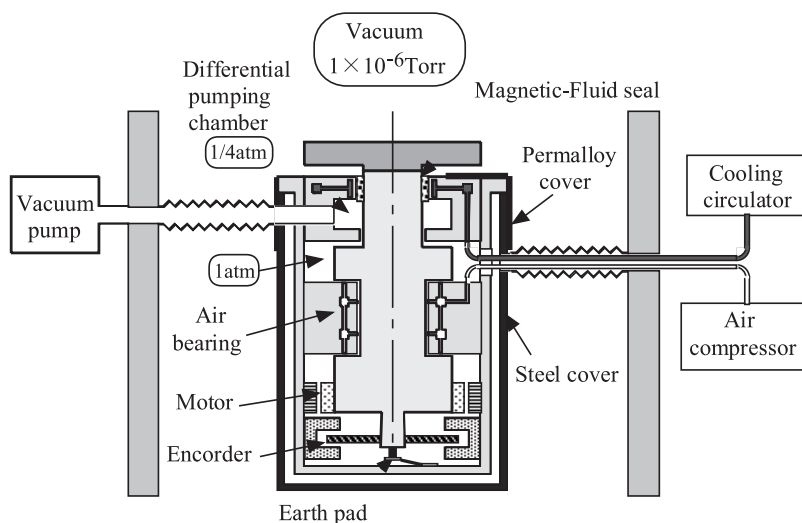


図3 真空対応エアースピンドル構成

ピンドル回転周波数が10Hz以下の時約40nmp-p
($\lambda = 4 \sim 6\text{nm}$)である

2.4 フォーカス制御

原盤記録面はモータの回転にともない上下に揺れるため、焦点が常に原盤面に合うようにフォーカス制御を行う必要がある。そこでEBRにおいては、記録面の高さを光学的に測定し、高さの変動に応じフォーカシングレンズの焦点距離を変えて制御を行っている。フォーカス制御を行わない場合には、記録面の高さが $\pm 5 \sim 10 \mu\text{m}$ 変化すると記録ピット形状に明らかな変化を生じるが、フォーカス制御により $\pm 30 \mu\text{m}$ の変動があってもピット形状にほとんど変化が見られないことを確認した。

3. 記録，再生実験

3.1 スタンパ再生ディスク作製方法

今回実験したディスク作製プロセスを次に示す。

1. 8インチ - シリコンウェハ上に電子ビームレジストZEP520(日本ゼオン社製)をスピコートにより成膜する。

2. 電子ビームによりシリコンウェハ上に信号を記録し、現像を行う。この際の電子ビーム条件としては加速電圧50kV,ビーム電流120nA,ビーム径60nm(半値幅),収束半角6mradを採用した。

3. 電極膜形成を行い、電鍍を行うことによりスタンパを作製する。

4. フォトポリマを用いてスタンパに板厚0.6 mmのガラス原盤を貼り付け、スタンパ再生ディスクを作製する。

5. ガラス基板側から波長405 nmのレーザと対物レンズNA=0.75を用いて、再生を行う。

3.2 再生・結果

記録容量を一定とするためにトラックピッチと最短ピット長を変更し、8/16変調信号にて記録容量が20Gbytes, 25Gbytesとなるように表1に示すパラメータを採用し、記録実験を行った。また、再生機の仕様を表2に示す。スタンパ再生実験結果のグラフを図4, および図5に示す。

20Gbytes ディスクにおいては、再生した結果トラックピッチ310nm, 最短ピット長223nmのバ

表1 ディスクパラメータ

20Gbytes - variation disk parameters 8/16 modulation

Track pitch [nm]	310	320	330	340	350	360
Minimum pit length [nm]	223	216	210	204	198	190

25Gbytes - variation disk parameters 8/16 modulation

Track pitch [nm]	260	270	280	290	300	310	320
Minimum pit length [nm]	213	205	198	191	185	179	173

表2 再生機の仕様

Item	Specification
Laser wavelength	405 nm (Nichia Chemical Industries, Ltd.)
Numerical aperture (NA)	0.75
Tracking method	Differential phase detection method
Focusing method	Astigmatic method
Equalize	DVD standard equalizer
Signal processing	Limit equalizer

ラメータにおいてジッタ7.7%が得られた。また、25Gbytesディスクにおいては、再生した結果、トラックピッチ300nm、最短ピット長185nmのパラメータにおいてジッタ14.5%が得られた。

さらに信号処理としてLimit EQ⁽⁴⁾を使うことによりジッタは改善された。

4. 高密度記録の可能性

EBRのスパイラル記録においてさらなる高密

度化の可能性確認実験として、集束半角6mradおよび3mradにおける記録実験を行った。集束半角6mradの条件においての高密度記録の可能性を示す写真を図6に示す。図6はトラックピッチ230nm、最短ピット長120nmのピットパターンである。これはDVDから換算すると50GBの記録容量に相当する。また、図7は、集束半角6mradでの実験的な解像限界としての80nmL&Sを示す写真である。さらに集束半角を小さくすることによりさ

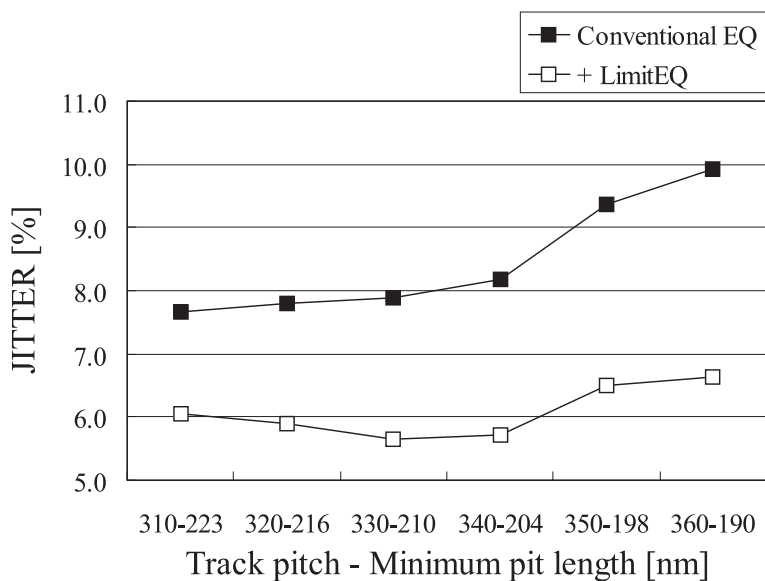


図4 20Gbytes-disk再生結果

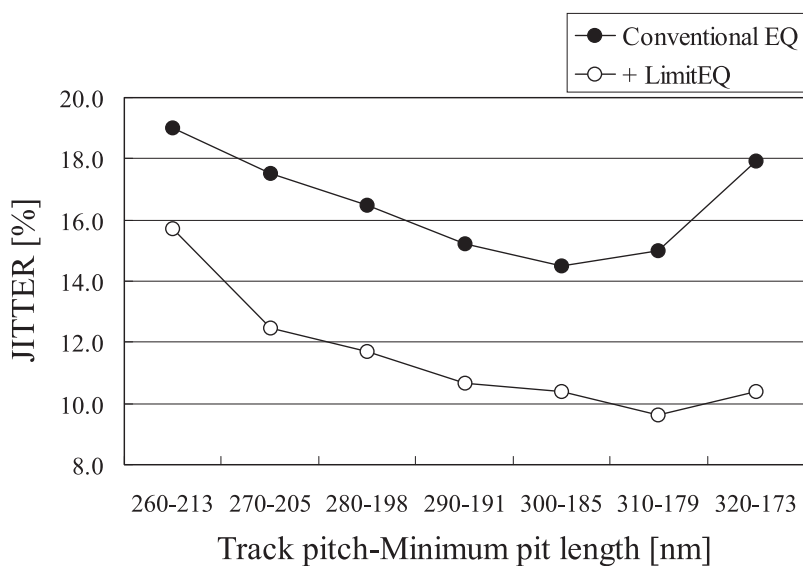


図5 25Gbytes-disk再生結果

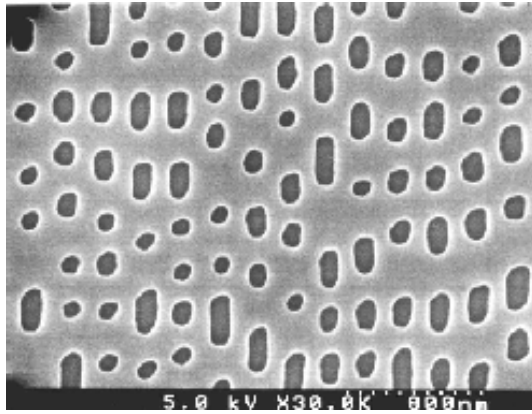


図7 50Gbytes の写真

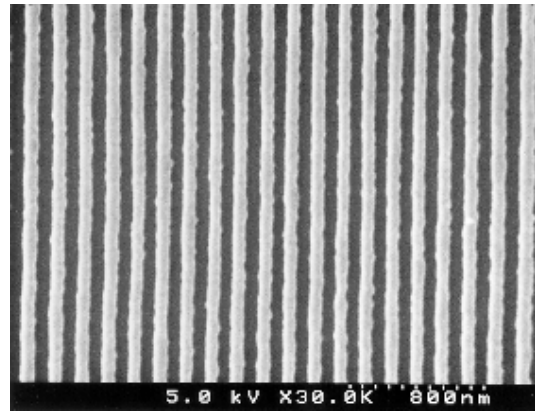


図8 80nm L&S 写真

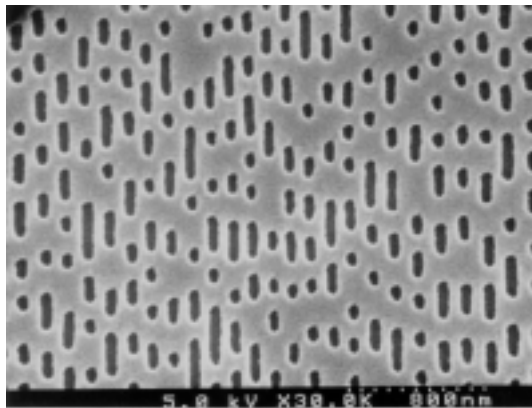


図9 100Gbytes の写真

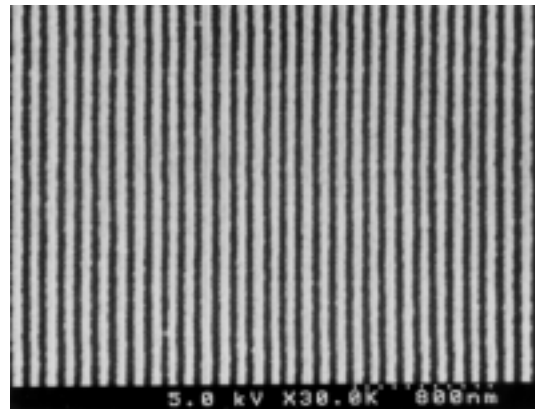


図10 50nm L&S の写真

らなる高密度化の可能性が期待できるために集束半角を3mradにおいて同様に高密度記録の可能性および実験的な解像限界を検討した結果の写真を図9, 10に示す。図9はトラックピッチ $0.13\ \mu\text{m}$ 、最短ピット長 $0.10\ \mu\text{m}$ のピットパターンであり、これはDVDから換算すると100GBの記録容量に相当する。また図10は50nmL&Sである。このようにEBRはその解像限界からもさらなる高密度記録の可能性があることがわかる。

5. まとめ

高密度光ディスクのマスタリングを目的とした電子ビーム記録装置 (EBR) の開発を行った。そしてEBRを用い記録容量20Gbytes, 25Gbytesの光ディ

スクをマスタリングしスタンプ再生を行うことにより、EBRの記録精度が良好であることを確認した。また、EBRは次世代高密度光ディスクのマスタリングマシンとして有望であることが確認できた。今回、記録容量50Gbytesの記録実験を行うことにより、さらに高密度記録の可能性を確認できた。EBRを次世代高密度光ディスク用マスタリングマシンとして使用するためには、電子線レジストの感度向上や輝度の高い電子源などが必要である。

6. 謝辞

スタンプ作製に協力をいただいたパイオニアビデオ(株)装置グループ橋田氏、小坂氏をはじめ、関係各位に感謝します。

参考文献

- (1) T. Higuchi et .al., Joint MORIS/ISOM 1997 Technical Digest
- (2) M. Takeda et .al., Joint MORIS/ISOM 1997 Technical Digest
- (3) S. Imanishi et .al., Joint MORIS/ISOM 1997 Technical Digest
- (4) S.Miyanabe et .al., ISOM 1998 Technical Digest

筆者

勝村 昌広(かつむら まさひろ)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1990年4月
- c. 光ディスクの開発に従事。

北原 弘昭(きたはら ひろあき)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1993年4月
- c. 光ディスクの開発に従事。

小笠原 昌和(おがさわら まさかず)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1989年4月
- c. 光ピックアップの開発に従事。

小島 良明(こじま よしあき),

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1981年4月
- c. 光ディスクの開発に従事。

和田 泰光(わだ やすみつ)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1977年4月
- c. 光ディスクの開発に従事。

飯田 哲哉(いいだ てつや)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1981年4月
- c. 光ディスクの開発に従事。

横川 文彦(よこがわ ふみひこ)

- a. 総合研究所 ディスクシステム研究部
- b. 1975年4月
- c. 光ディスクシステムの開発に従事。