

電子ビーム記録装置における記録位置精度の向上

Improvement of Recording Positional Accuracy in an Electron Beam Recorder

小島 良明, 杉本 達哉, 加園 修

Yoshiaki Kojima, Tatsuya Sugimoto, Osamu Kasono

勝村 昌広, 飯田 哲哉

Masahiro Katsumura, Tetsuya Iida

要 旨 ハイビジョン映像を2時間以上記録するために、次世代光ディスクには23GB以上の記録密度が要求される。このような高密度光ディスクは、狭トラックピッチでより短いマク長で記録しなければならないため、高解像度かつ高精度なマスターリング装置が必要となる。そのために我々は電子ビーム記録装置(Electron Beam Recorder : EBR)を開発した。記録位置精度向上のためのいくつかの改良を行い、トラック真円度およびピッチ精度の向上を確認した。また、スパイラル記録において100nmピッチの記録を実現した。

Summary A next generation optical disk is required to have over 23 GB recording capacity for over 2 hour storage of digital high-definition television data. Because the track pitch becomes narrower for such a large capacity disk, high resolution and a high accuracy mastering system is required. To realize this objective, the authors have developed an electron beam recorder (EBR) and have been studying to fabricate master stampers for the next generation optical disk and for future optical disks. The authors have tried to improve the recording positional accuracy and have confirmed that the EBR has a promising ability for high accuracy recording.

キ - ワ - ド : 光ディスク, マスターリング, 電子ビーム記録装置, トラックピッチ, 記録位置精度

1. まえがき

日本においては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になっている。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20GBを越える容量のディスクが必

要となる。

一方、青色レザを用いる次世代光ディスクは、ここ数年いくつかの方式が提案されてきたが、昨年「Blu-ray Disk」が規格化された。これは $\lambda=405\text{nm}$ 、 $\text{NA}=0.85$ の光学系と薄型カバ層(100 μm)を組合せる方式で、12cmディスク1枚に23GB以上を格納できる。このディスクはDVD

に比べ約5倍以上高密度になっており，高解像度および高精度なマスタリング装置が必要となる。

我々は次世代高密度ディスクを実現するマスタリング装置として，従来のレザビームを用いた記録装置に比べて高い記録分解能を有する電子ビームを露光源とした電子ビーム記録装置 (Electron Beam Recorder : EBR)を開発し，この装置を用いて高密度ディスク実現のための記録再生実験を重ねてきた^{(1),(2)}。ただ電子ビームを用いると磁場によってビーム位置が変動するなど，レザを用いた場合とは違った要因で記録位置精度が劣化するという問題があり，高精度化を行うためには要因調査，および対策が必須となる。本稿では，記録位置精度に注目し，それを向上させるためのいくつかの改良を行った検討結果について報告する。

2. EBR の構成

図1に我々のEBRの構成を示す。箱型の真空室が通常の防振台で支持され，真空室上部に電子カラム，2次電子検出器，ハイトセンサが設置されている。

真空室内には移動および回転機構が設置され，原盤マスタにスパイラル状の記録を行う構成である。移動機構はリニアステジで，クロスロラガイド，送りネジ，DCモータで構成され，レザ測長器で位置制御が行われる。また，この制御システムの残留エラー成分を電子ビームカラム内に組み込まれた偏向コイルに入力し，電子ビームを偏向することで記録位置の補正を行っている。回転機構はリニアステジ上に設置され，磁性流体を用いた真空対応エアスピンドルモータを採用している。

電子光源としては，高輝度が得られる熱電解放射型(TFE : Thermal Field Emission)を採用し，TFEより放出された電子はカラム内の2つのレンズによってディスク面に集束される。加速電圧50kV，集束半角6mradの条件において130nAのビーム電流，55nm(半値幅)のビーム径が得られており，これにより解像度の高い記録が可能となっている。ビームのON/OFFを行うブランキング，ウォブルなどに用いる偏向電極も組み込まれ，さまざまなパターンの記録を行うことが可能である。

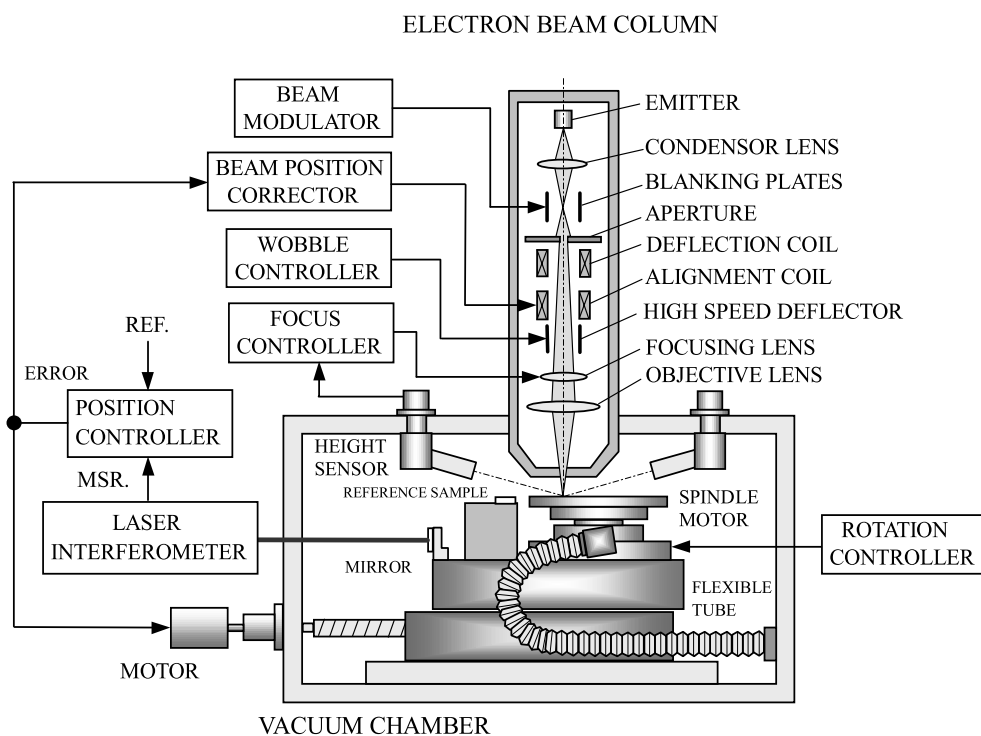


図1 EBRの構成

記録中のディスクの高さ変動は、光学式の高さ測定器(Optical Height Sensor)で測定を行う。そして、ディスク高さ情報信号に応じてフォ - カスレンズの焦点距離を調整することにより、フォ - カス制御を行う。このフォ - カス制御により、 $\pm 20 \mu\text{m}$ 程度までの高さ変動においても安定にパターンを記録することが可能である。

3. 記録位置精度について

スパイラル記録の場合、記録されたトラックの記録位置精度の評価として、トラック真円度とトラックピッチ変動が考えられる。両者の精度が悪いと隣接トラック同士が隣接して、再生時にクロスト - クが生じ、信号劣化の要因とな

る。図2は、トラック真円度とトラックピッチ変動を表した模式図であり、基準スパイラルと記録時に変動があった場合の記録トラックを比較したものである。図2(a)はスピンドル回転数に同期した変動があった場合、図2(b)はスピンドル回転数に同期しない変動があった場合を示す。同期した変動があった場合は、ピッチ変動に影響はないが、トラック真円度に影響が現れる。これに対し、同期しない場合は、ピッチ変動、トラック真円度両方に影響を及ぼすことがわかる。このように記録位置精度を精度向上させるためには、スピンドル同期変動、非同期の変動両者を低減させる必要がある。

記録位置精度を劣化させる要因としては図3に示すようにスピンドルモ - タのラジアル方向

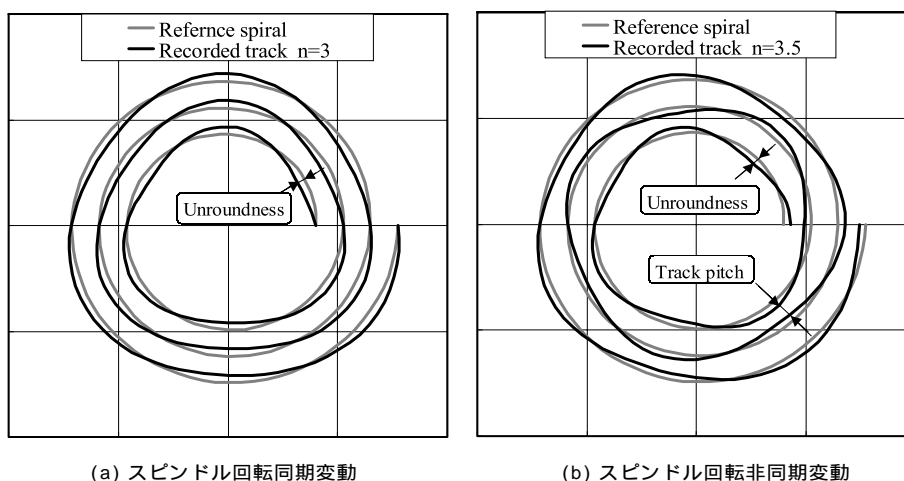


図2 トラック真円度とピッチ変動

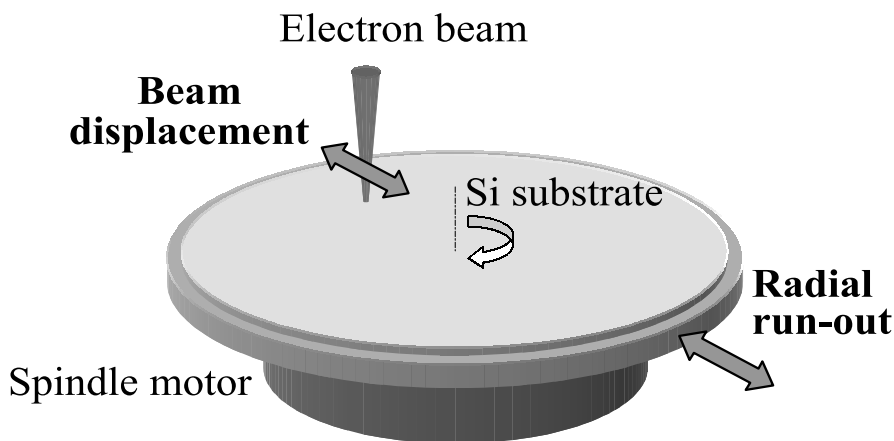


図3 記録位置精度劣化要因

の振動および電子ビーム自体の揺動が考えられる。今回、スピンドルモータのラジアル方向の振動はスピンドル回転に同期した変動に、一方電子ビーム自体の揺動はパワーライン(50Hz)に同期した変動に注目し、この2つの変動要因についてスピンドルモータの改良およびビーム位置補正により低減を図った。

4. 改良ポイント

4.1 スピンドルモータ

図4に真空対応エアスピンドルモータの構成を示す。モータ全体を鉄と高透磁率材料(パーマロイ)でカバーし、磁界のシールドを行う。また、エアベアリングからカバー内に放出されるエアを金属製のフレキシブルチューブにより

真空チャンバ外に逃がす構造である。一次開発品(First trial motor)は、真空シールとして磁性流体シールと差動排気を組合せる構成をとっていたが、回転精度および機械振動の点で問題があった。今回はこれらの性能向上のために、真空シールとして低粘度タイプの磁性流体(粘度:100cps,従来比約1/5)のみを採用し、コギングトルクを減少させる対策を施した新モータ(New motor)を開発した。

図5に回転ジッタの測定結果を示す。新モータは回転ジッタが $3 \times 10^{-6}\%$ 程度で、一次開発品に比べ約1/3に低減している。また、図6に回転に同期したラジアル方向の軸振れの測定結果を示す。これは、実際の軸振れの測定値からターゲットの形状誤差成分を取り除くこと

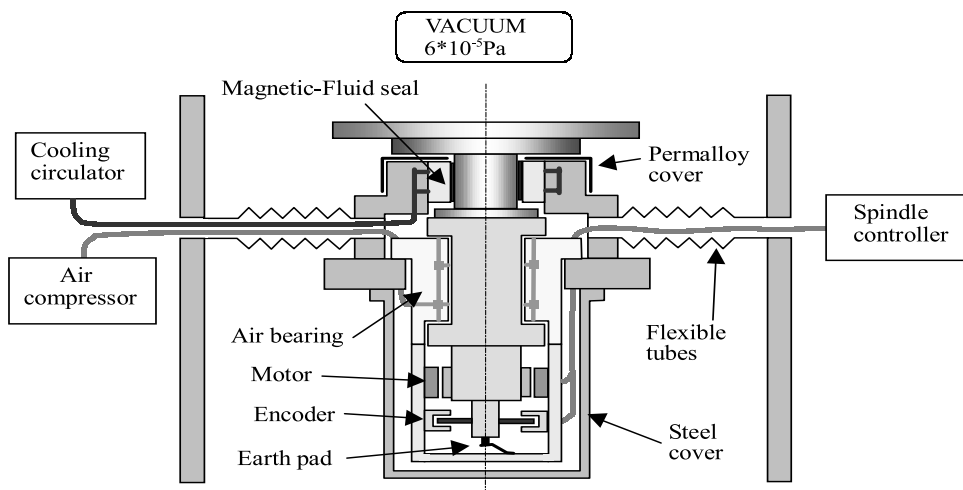


図4 スピンドルモータ構成

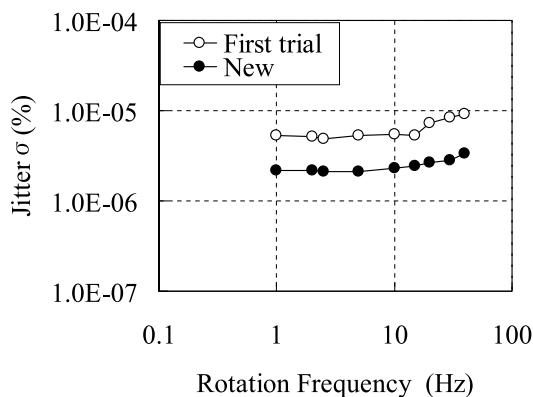


図5 回転ジッタ

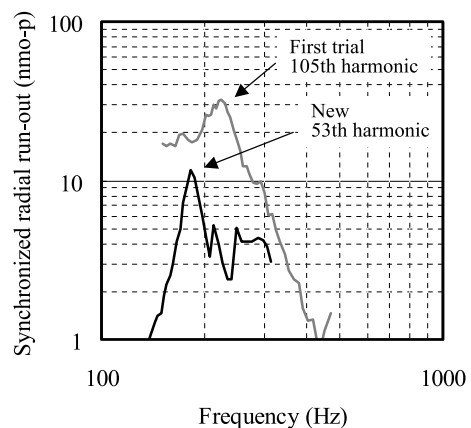


図6 回転同期軸振れ

によって求めた。両モータとも回転周波数の高次成分に共振が見られるが、共振のピークは新モータの方が低減しており、高精度記録に対して良い性能を有していることが確認できた。特に、同期軸振れの低減によりトラック真円度の精度向上が期待できる。

4.2 ビーム位置補正

送り制御の残留エラーは、偏向器でビームを偏向することで補正しているが、その他の記録位置精度を劣化させる要因としてパワラインの誘導磁場によるビーム位置変動がある。電子ビームは磁場によって軌道が曲げられ、その結果ビーム位置が変動するからである。そこで、送り制御残留エラーのフィードフォワード補正に加え、パワラインの誘導磁場によるビーム位置変動の補正を試みた⁽³⁾。

補正方法を図7に示す。補正信号を得るためにまずビーム位置変動を測定する。ビームをNiメッシュ試料を横切るように走査し、2次電子信号の立ち上がりエッジでサンプリングを行う。その結果、ビーム位置変動は、走査信号のサンプリング電圧の変動として測定される。ビ

ーム位置変動信号をA/D変換後、ACパワラインの50Hzに同期させて複数周期に渡って平均化し、1周期分のデータをメモリにストアしておく。平均化を行うことにより、繰り返し成分である50Hzおよびその高調波成分のみを抽出することが可能となる。これまでの一連の動作は予め記録前に行っておく必要がある。記録時には、ストアされた信号をD/A変換後、周期的に繰り返し反転させた信号を補正信号として偏向コイルに入力し、ビームを偏向することによってビーム位置変動を補正する。

図8, 9に補正を行わなかった場合と行った場合のビーム位置変動のスペクトルを示す。我々の設置環境においては、パワライン誘導磁場によるビーム位置変動が50Hz, 150Hz, 250Hzに主に現れており、変動量は5~12nmp-p程度である。これに対して補正を行った場合は、それらの成分が全て1nmp-p程度まで低減しており、補正効果を確認することができた。特にこれらの変動成分は、スピンドルモータの回転に同期しないため、ピッチ精度の向上が期待できる。

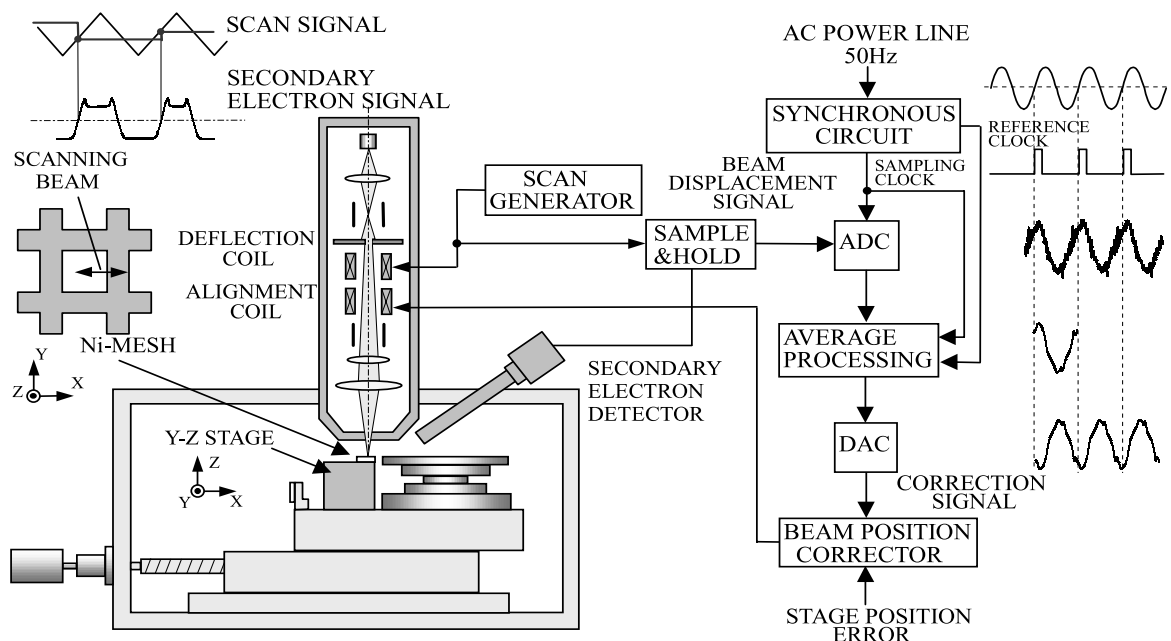


図7 ビーム位置補正方法

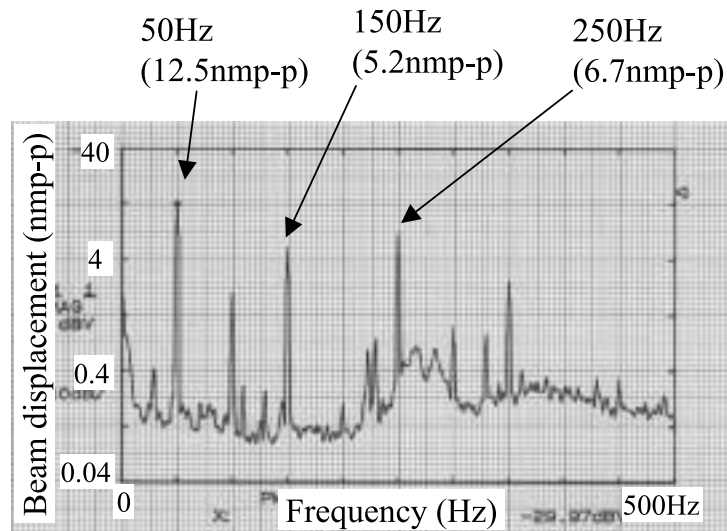


図 8 ビーム位置変動のスペクトル(補正なし)

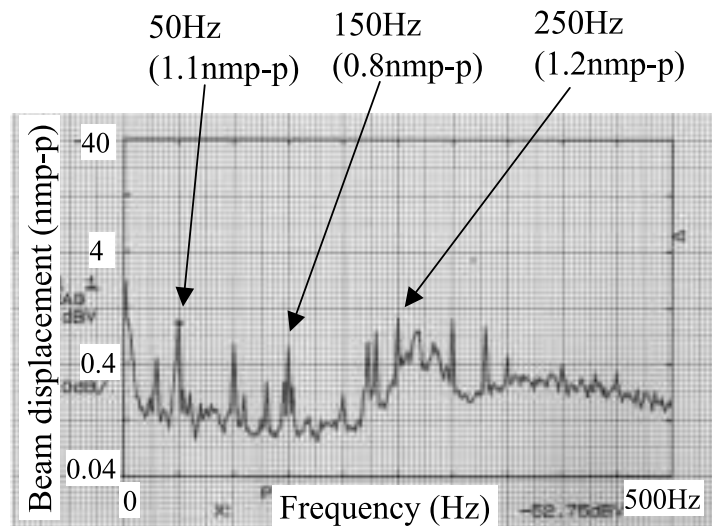


図 9 ビーム位置変動のスペクトル(補正あり)

5. 記録位置精度の評価

5.1 トラック真円度

トラック真円度を評価するために、17PP 変調信号をトラックピッチ $0.32 \mu\text{m}$ 、線速度 0.7m/s で記録したディスクの、トラッキングエラーを測定した。記録に際しては、4.1 章で述べた 2 種類の本モータを使用し、ビーム位置補正を施した状態で行った。再生評価システムには波長 405nm の青色半導体レーザと $\text{NA}0.85$ の対物レンズを使用し、トラッキング制御帯域

3.4kHz 、再生線速度 4.92m/s で再生した。図 10 に一次試作品、図 11 に新モータのトラッキングエラーの時間波形を、また表 1 に両者の測定結果の比較を示す。

新モータで記録したディスクの残留トラッキングエラーは 18nmp-p ($\sim 1.2\text{kHz}$ 、記録半径位置 $25 \sim 58\text{mm}$ での最大値)であった。これは、一次試作品で記録したディスクの約 $1/2$ に低減しており、スピンドルモータの改良により高精度な記録が実現された。

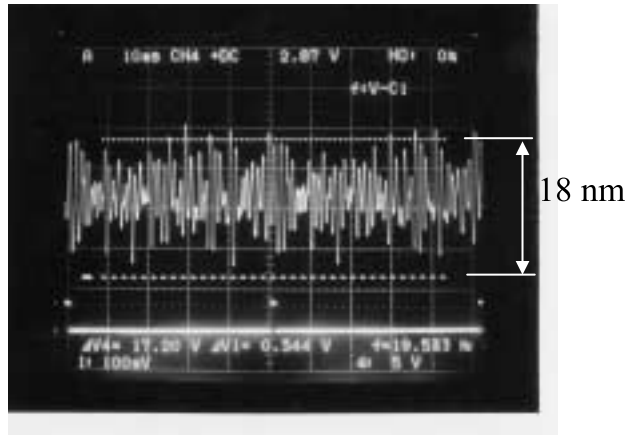


図 10 トラッキングエラー(1次試作)

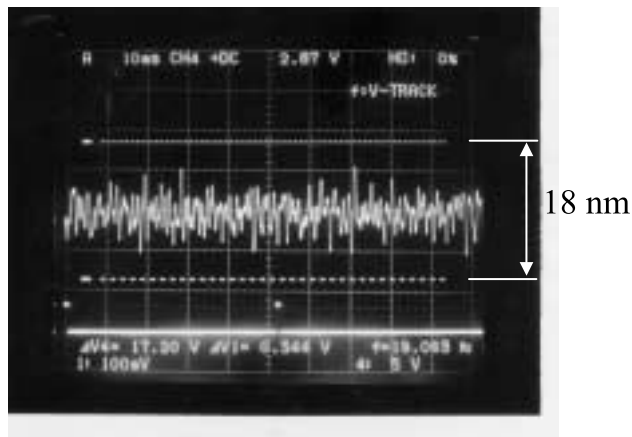


図 11 トラッキングエラー(新モータ)

表 1 再生時の残留トラッキングエラー

| | ~ 1.2kHz | 1.2kHz ~ 10kHz |
|-------------------|----------|----------------|
| First trial motor | 33nmp-p | 5.5nm rms |
| New motor | 18nmp-p | 3.7nm rms |

5.2 トラックピッチ精度

ピッチ精度評価のために、トラックピッチ $0.5 \mu\text{m}$ 、線速度 1m/s でグルーブ記録を行った。この記録に際しては、新モータを使用し、ビーム位置補正有無の比較を行った。それぞれの条件で記録したマスターディスクよりスタンパを作製し、レザ走査型顕微鏡を用いて記録エリア全域(記録半径位置 $25 \sim 58\text{mm}$)のトラック

ピッチを測定した。図 12 にビーム位置補正なし、図 13 に補正を行った場合の測定結果を示す。パワーラインの誘導磁場によるビーム位置変動を補正しない場合は、 44nmp-p 、 4.7nm であるのに対し、補正を行うことにより 22nmp-p 、 2.4nm と大幅に低減している。これはパワーラインの誘導磁場によるビーム位置変動がピッチむらに大きく影響していることを

示しており、ビーム位置補正を行うことにより高い記録ピッチ精度が実現されたことになる。

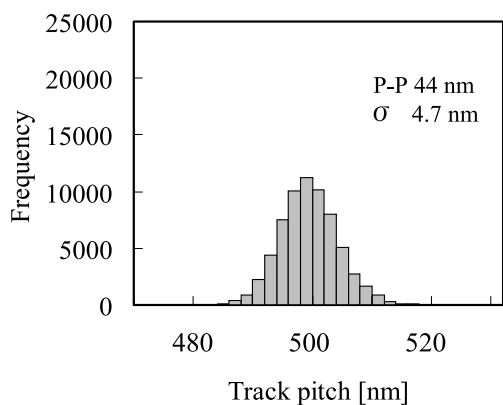
6. 狭トラックピッチ記録

記録精度に関して改良を行った結果、記録精度向上が確認された。そこで、記録限界を確かめるために記録実験を行った。図14にトラックピッチ140nmのグループのSEM(Scanning Electron Microscope)写真を示す。これは集束半角6mradで記録したものである。さらに微小スポットを得るために、集束半角を3mradとしてトラックピッチ100nm、ピット長45nmのピットパターンを記録した。そのSEM写真を図15に示す。これはDVDから換算するとおよそ280GBの容量に相当し、EBRが将来の超高密度ディスクに対しても十分な性能を有していることが確認された。

7. まとめ

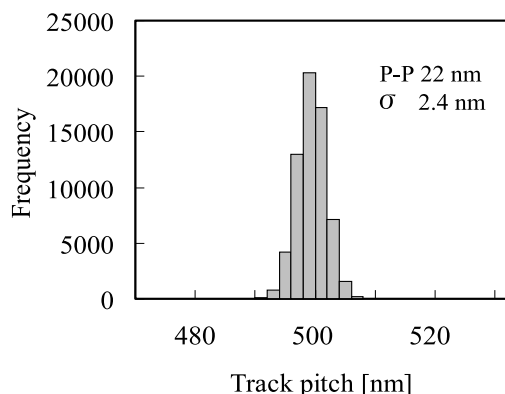
次世代光ディスクのマスタリング装置として電子ビームを露光源としたEBRの開発を行なった。電子ビーム源としてTFEを用いることによって、50kVの加速電圧でビーム電流130nA、ビーム径55nmが得られ、分解能の高い記録が可能となっている。さらに、スピンドルモータの改良およびビーム位置補正を行うことにより、トラック真円度、ピッチ精度の向上が確認され、高精度記録が達成された。実際に100nmピッチでピット長45nmのドットといった微細なパターンをスパイラル状に記録することによりEBR解像度のポテンシャルの高さを示した。

EBRは次世代光ディスクだけではなく、将来の超高密度ディスクにもつながる有力な装置である。それに適応させるためには、さらなる高



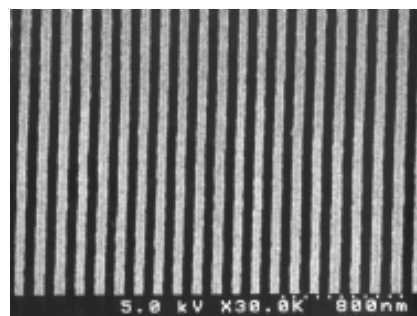
(ビーム位置補正なし)

図12 トラックピッチ測定結果



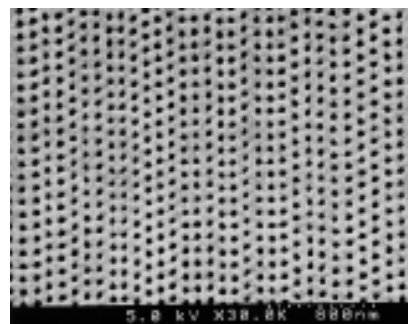
(ビーム位置補正あり)

図13 トラックピッチ測定結果



(トラックピッチ140nm)

図14 グループパターン



(トラックピッチ100nm,ピット長45nm)

図15 ピットパターン

精度化が必要であると考えられる。

8. 謝辞

本開発にあたり協力して頂いた研究開発本部，総合研究所，光技術システム研究部の関係各位に感謝します。

参 考 文 献

- (1)Y. Kojima, H. Kitahara, M. Katsumura and Y. Wada, "High Density Mastering Using Electron Beam", Jpn.J.Appl.Phys. , vol.37,pp. 2137-2143, April 1998
- (2)Y. Wada, M. Katsumura, Y. Kojima, H. Kitahara and T. Iida, "High-Density Recording Using an Electron Beam Recorder", Jpn.J.Appl.Phys. , vol.40,pp. 1653-1660, March 2001
- (3)K. Nagata, H. Ohta, T. Morimura, M. Okumura and N. Saitou, "Active Vibration Correction in Electron Beam Lithography System", Jpn.J.Appl.Phys. , vol.34,pp.6639-6643, December 1995

筆 者

小 島 良 明 (こじま よしあき)

- a . 研究開発本部 総合研究所ナノプロセス研究部
- b . 1981年4月
- c . 光ピックアップの開発，紫外線レ - ザビ - ム記録装置の開発を経て，現在電子ビ - ム記録装置の開発に従事。

杉 本 達 哉 (すぎもとたつや)

- a . 研究開発本部 PDP 開発センタ -
- b . 1998年4月
- c . 光ディスクマスタリングプロセスの開発を経て，現在PDP 駆動回路の開発に従事。

加 園 修 (かその おさむ)

- a . 研究開発本部 総合研究所ナノプロセス研究部
- b . 1991年4月
- c . 紫外線レ - ザビ - ム記録装置およびその高密度化技術の開発を経て，現在電子ビーム記録装置を用いたプロセス技術の開発に従事

勝 村 昌 広 (かつむらまさひろ)

- a . 研究開発本部 総合研究所ナノプロセス研究部
- b . 1990年4月
- c . 電子ビ - ム記録装置およびプロセス技術の開発に従事。

飯 田 哲 哉 (いいだ てつや)

- a . 研究開発本部 総合研究所ナノプロセス研究部
- b . 1981年4月
- c . 光ディスクマスタリングプロセスの開発に従事