

電子ビーム記録装置を用いた高密度パターンニング

High Density Patterning using an Electron Beam Recorder

小島 良明, 佐藤 恵, 加園 修

Yoshiaki Kojima, Megumi Sato, Osamu Kasono

勝村 昌広, 飯田 哲哉

Masahiro Katsumura, Tetsuya Iida

要旨 我々は高密度光ディスク実現のために、電子ビーム記録装置(Electron Beam Recorder:EBR)の開発を行い、サブテラバイトを超える高密度光ディスクの可能性を示した。本装置は、回転ステージを有しているため円を描画することが容易で、さらにブランキングおよび高速偏向器を用いることによりさまざまなパターンも描画することも可能である。EBRが高密度光ディスクのマスタリングのみならず、パターンメディアを実現するための超微細加工装置に応用できる可能性を示した。

Summary We developed an electron beam recorder (EBR) with a rotation stage for optical disk mastering and realized a high-density disk with a capacity of 280GB. By using the rotation stage, circle patterns of large area could be easily recorded compared with the X-Y stage based electron beam exposure system. Furthermore, various patterns could be also recorded by using a beam blanker and a high speed deflector. We confirmed that the EBR has a promising ability not only for high density optical disk mastering but also for fine patterning to realize a patterned hard media.

キーワード : 光ディスク, 磁気ディスク, マスタリング, 電子ビーム記録装置

1. まえがき

2000年末よりBSデジタル放送が開始され、さらに本命である地上波デジタル放送も2003年に部分導入が開始された。Blu-ray Diskは23GB以上とDVDに比べて5倍程度の容量を有し、デジタル放送のハイビジョン信号を2時間以上記録できる光ディスクとして日韓欧9社を中心に技術開発およびフォーマット化が進められた。記録型のBlu-ray Diskシステムは既に市場導入されており、そのシステムと互換性を

有するROM型システムがその後導入される予定になっている。また、ポストBlu-rayを睨んだサブテラバイト級光ディスクの研究も各方面で着々と進められている。

一方、磁気ディスクの分野においては、面記録密度が年率100%の伸びを示し、100Gbit/inch²を達しようという勢いである。さらに、数百Gbit/inch²から1Tbit/inch²に向けた要素技術開発や記録方式の検討が進められており、ハードディスクを搭載したレコーダのような新

しい応用分野への進出も盛んに行われている。

このように、ディスク高密度化は今後も必須の要求になると考えられる。我々は、ディスク高密度化に対応するため、半導体リソグラフィで用いられている電子ビームを用いたパターンニング技術を光ディスクマスタリングに応用した^{(1),(2)}。電子ビームは露光時にレジスト内や基板内の電子散乱があるものの、レーザ記録では不可能な線幅10nm程度の描画が可能であり、このような高い解像力からBlu-rayディスクに留まらず、将来の超高密度ディスクのパターン形成が期待されている。

我々が開発した電子ビーム記録装置(EBR: Electron Beam Recorder)は、XY型電子ビーム描画装置とは異なり、回転機構を有しており、円形状のパターンを広範囲に渡って記録することが容易である。上述したことから分かるように、EBRは光ディスクのみならずハードディスクなど、他分野への応用も期待できる。本稿では、EBRを用いたパターンニング結果および超高密度化の可能性について報告する。

2. EBRの構成

図1に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、Xステージおよびスピンドルモータ(真空対応)が設置されており、原盤マスターに円形状のパターンが描画可能である。また、Xステージ上に電子ビーム調整用試料が取り付けられたY-Zステージが搭載され、フォーカス、非点調整およびビーム位置変動測定などが行えるようになっている。

図2にカラム構成を示す。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)を採用した。電子光源より放出された電子は、引出し電極、コンデンサ電極および接地電極からなる第1レンズによって集束されると同時に所定のエネルギーに加速される。集束された電子は、ブランキング中心でクロスオーバを形成する。クロスオーバーからの電子ビームは、アパーチャにより角度制限された後、対物レンズによってディスク面に集束される。このカラムにおいて加速電圧50kV、集束半角6mradの条件のとき、120nAのビーム電流、55nm(半値幅)のビーム径が得られている。さらに、集束半角を3mradと小さくすることによって、ビーム電流は34nAと減少

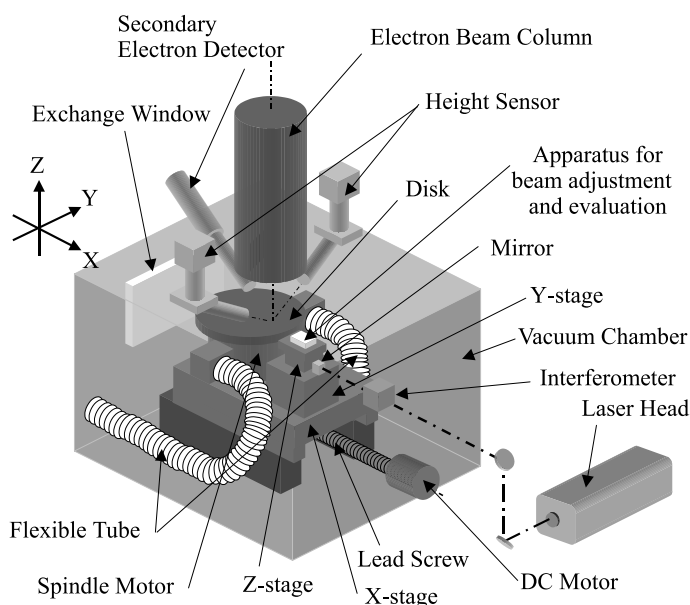


図1 EBRの構成

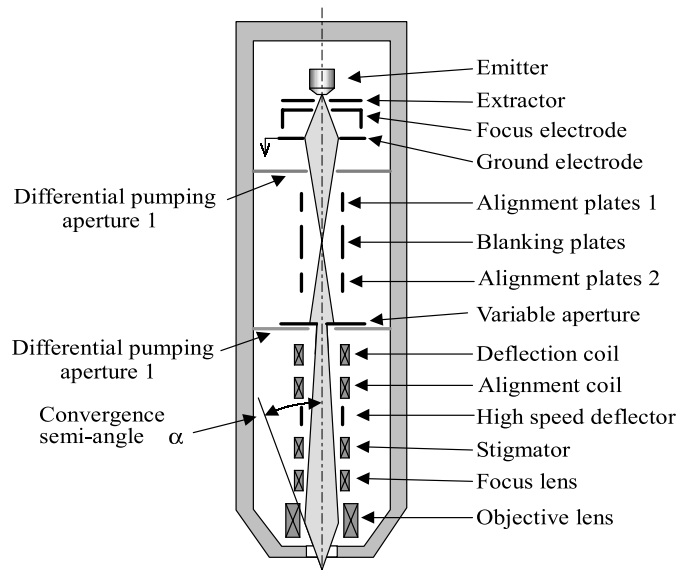


図2 EB カラムの構成

するものの、36nm(半値幅)のビーム径が得られ、これにより解像度の高い記録が可能となる。さらに、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高速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。

3. 光ディスクへの応用

3.1 ROM 型

Blu-ray タイプ 25GB 容量の ROM ディスクを考えた場合、トラックピッチは 320nm、最短ピット長は 149nm となる。図 3 に、4.7GB 容量

の DVD、25GB 容量の Blu-ray タイプ ROM、0.1TB および 1TB 容量におけるそれぞれのトラックピッチと最短ピット周期(最短ピット長の 2 倍)の関係を示した。また、図 3 には波長 244nm の遠紫外レーザと NA0.9 の対物レンズを組み合わせたレーザビーム記録装置(LBR: Laser Beam Recorder)の記録解像度も示した。図 3 から明らかのように LBR では、25GB 容量のディスクの記録マージンがかなり小さいことがわかる。一方、EBR は LBR に比べて解像度が高く、25GB のみならずサブテラバイト以上の容量も記録可能であると推察できる。

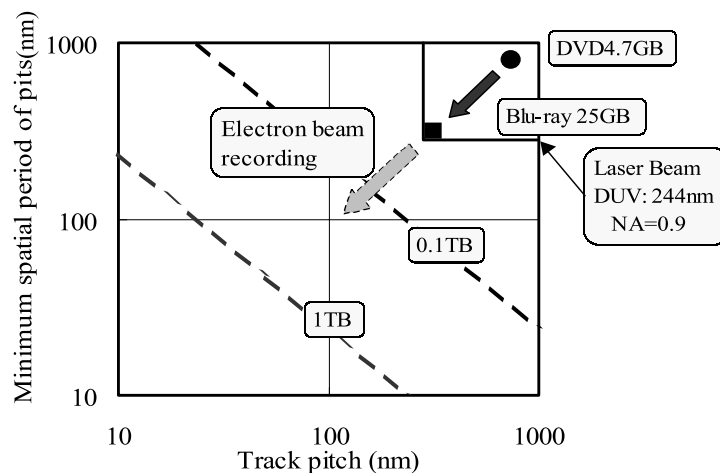


図3 記録容量

図4は、EBRを用いて記録した25GB容量Blu-rayタイプROMディスクのSEM(Scanning Electron Microscope)写真である。ジッタ性能をDVDと同等のイコライザ(Conventional equalizer)に加え、Limit equalizer⁽³⁾を使用して評価したところ、5.2%と十分な性能が得られている。さらにプロセスの改良、記録補償を行うことにより、性能改善が可能である⁽⁴⁾。

また、大容量化の可能性について実験も行った。図5は、トラックピッチ100nm、ピット周期100nmのピットパターンであり、集束半角を3mradとし解像度を向上させて記録を行っている。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できる。

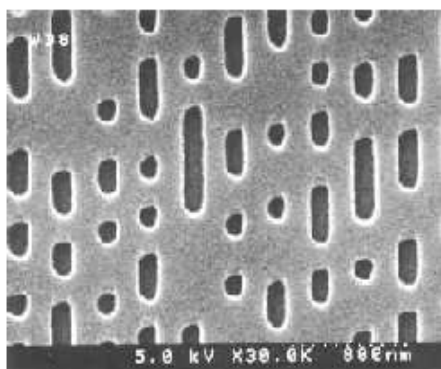
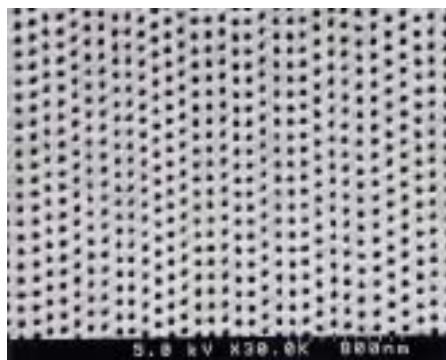


図4 25GB Blu-ray type ROM



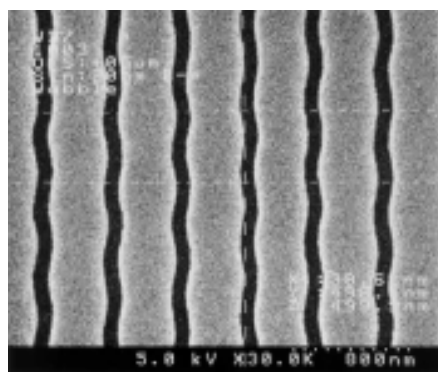
(トラックピッチ:100nm,ピット長:45nm)

図5 ピットパターン

3.2 記録型

DVDファミリーの記録型ディスクは、グループ形状でグループウォブルと呼ばれる微小なうねりを持つ構造になっており、またランド上の所定の位置にランドプリピットと呼ばれるアドレスピットが設けられている。これらは、記録中のディスク回転制御や記録クロックの生成、また、記録アドレスなどのデータ記録のために必要な情報を得るために使用される⁽⁵⁾。Blu-rayディスクにおいてもMSK(MSK:Minimum Shift Keying)と呼ばれる信号で微小なうねりを設けており、同様の情報を得られるようにしている。

このような微小なうねりは、ビームを高速に偏向させて記録される。図6は、カラム内の高速偏向器を用いて記録したウォブル振幅40nm、ウォブル周波数800kHzのグループSEM写真である。EBRに組み込まれた高速偏向器は立ち上がり時間が約10nsであるため、30MHz程度までの周波数で偏向することが可能である。



(トラックピッチ:500nm,振幅:40nm)

図6 ウォブルパターン

また、DVDで採用されているランドプリピットを記録する場合、LBRにおいては2ビームで行われている。レーザから出射したビームを2つに分け、一つのビームでグループを、もう片方のビームでランドプリピットを記録している。EBRにおいては高速偏向器を用いることに

より、1 ビームでランドプリピットを描画することが可能である。図7に描画方法を示す。まずX方向にトラックピッチの半分だけ偏向してランドプリピットを描画する。この時ビームは記録速度と同じ速度で記録方向と同方向に偏向しながら記録する。ランドプリピットの描画を終えた時点でビームX,Y両方向に偏向し、最初偏向する前の位置に戻り、グループを繋ぎ合わせる。図8にランドプリピットのSEM写真を示す。トラックピッチ320nmでプリピットがランド中心にきれいに並んでいることが分かる。

このようにEBRを用いて記録型ディスクに適したパターンの描画も可能であり、光ディスクマスタリング装置として十分活用できる。

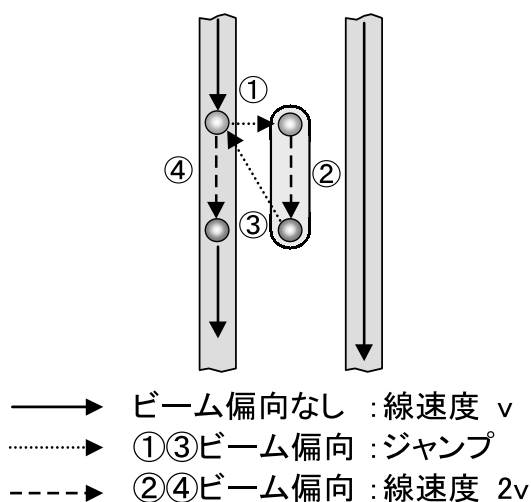
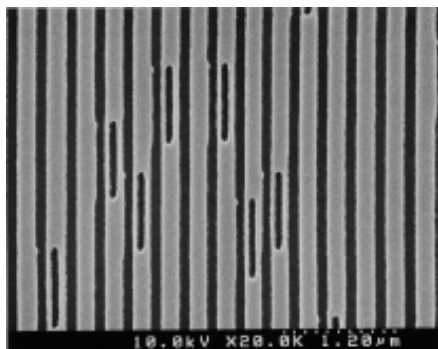


図7 疑似2ビーム記録



(トラックピッチ:320nm,プリピット長:900nm)

図8 ランドプリピットパターン

4. ハードディスクへの応用

4.1 ハードディスクに適したパターン描画

現状のハードディスクは、光ディスクで採用されているようなスパイラルパターンではなく、同心円パターンである。そのため、サーボパターンもこれに合わせて同心円状に配置され、パターンの円周方向の長さが半径位置に比例して大きくなる放射状のパターンが採用されている。

EBRは、送りモータにDCモータを採用しており、リニアな送り動作になっている。そのため、スピンドルモータを回転させながらステージをある送り速度で移動させれば容易にスパイラルパターンを描画が可能である。これに対し同心円パターン描画を行う場合は、ステップ状にステージを移動させる方法が一般的と考えられる。スピンドルモータを回転させながら1回転分記録し、ピッチ分だけステップ送りを行えばよいからである。EBRでこの描画を行う場合は、リニアな送り動作に電子ビームの偏向を組み合わせる必要がある。図9に同心円パターンの描画方法を示す。リニア送り動作および回転動作を行いながら、電子ビームをモータの回転に同期させて半径方向に偏向させる。偏向信号はランプ波を用い、その振幅をトラックピッチ相当の偏向量に合わせておく。図9は内周から外周への描画を示しており、1回転分描画を行なって円の始点と終点を繋ぎ合わせた後、電子ビームは高速偏向され、外側の円の描画に移る。図10に同心円パターンのSEM写真を示す。トラックピッチは320nmであり、ラインは精度良く繋がっていることがわかる。ランド部がわずかに露光されていたり、繋ぎ部の形状が多少乱れているが、これらはブランキングおよびライン描画方向のビーム偏向を組み合わせることにより低減できるのではないかと考える。

放射状パターンについてもEBRを用いて描画を行った。描画方法を図11に示す。モータ回転に同期したブランキング信号を用い、ビーム径と同程度のトラックピッチで記録を行う。こ

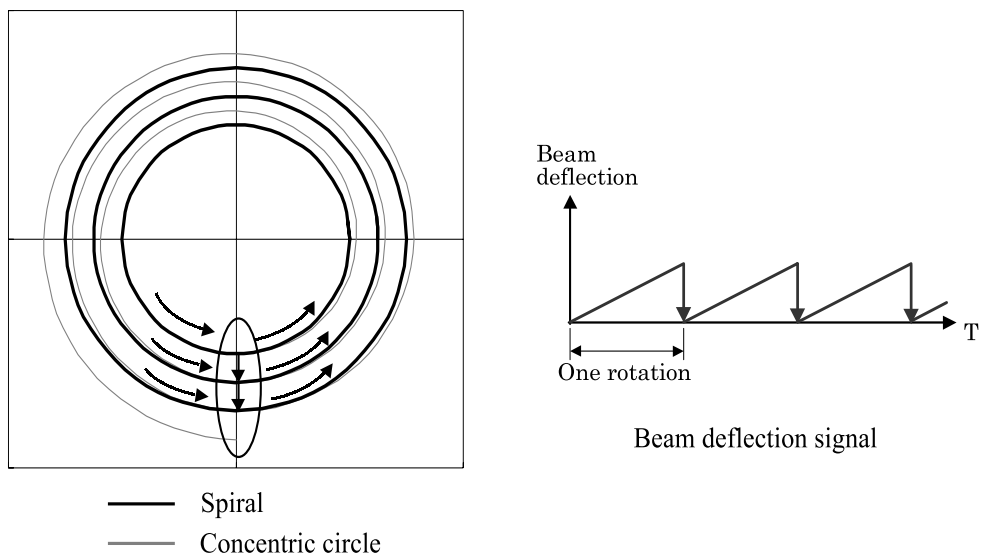
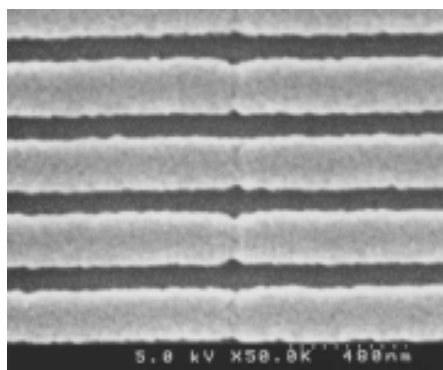


図9 同心円パターン描画方法



(トラックピッチ: 320nm)

図10 同心円パターン

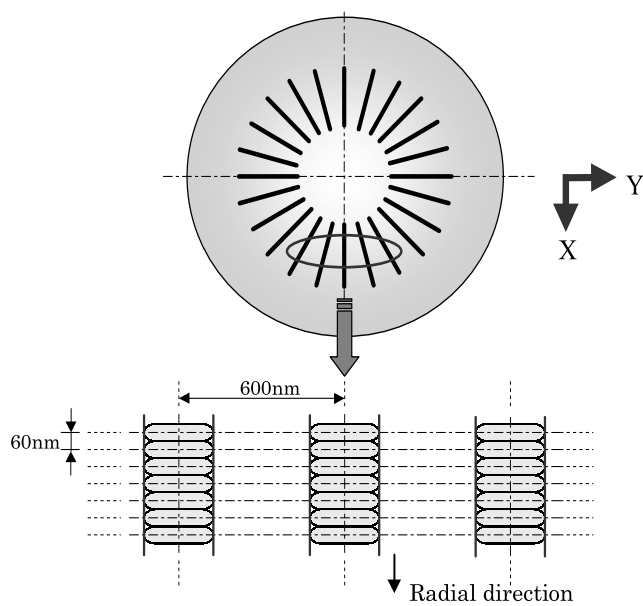
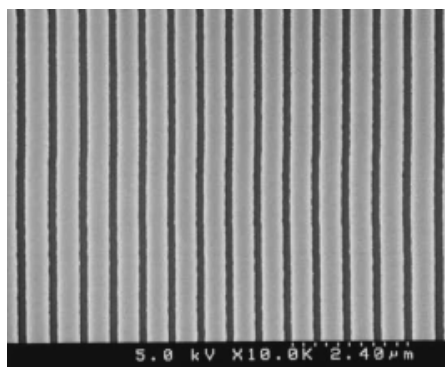


図11 放射状パターン描画

のようにすることでラジアル方向に放射状のラインが形成される。図12にライン周期600nmの放射状パターンのSEM写真を示す。この観察エリアにおいて、タンジェンシャル方向のラインエッジ変動は20nm程度であり、精度良く描画されていることが分かる。



(ライン周期:600nm)

図12 放射状パターン

4.2 高密度化

§4.1で述べたように、EBRを用いて磁気ディスクの適応したパターニングも可能であるが、今後はどこまで密度を上げられるかがポイントとなる。近年、ハードディスクの面記録密度はDRAMの伸びを超え、100Gbit/inch²に達し

ようとしている。熱揺らぎに強いと言われる垂直磁気記録方式、さらには磁性粒子の形状、大きさおよび位置を揃え、この磁性粒子を1ビットとして記録を行うパターンドメディアが将来の記録媒体として注目されている。

§3.1で示したピット周期100nm、トラックピッチ100nmのパターンでも一つのピットを1bitとして換算すると約65Gbit/inch²であり、0.1Tbit/inch²にも満たない。さらなる超高密度化を考えた場合、当然のことながら描画するピットのサイズをなるべく小さくすることが必要で、そのためにはビームを小さく絞り込む必要がある。このEBRでは、どの程度まで小さなピットを描画することが可能であろうか？図13はEB(EB:Electron Beam)カラムの収束半角とビーム径、ビーム電流の関係を示したものである。このカラムの場合、収束半角がおおよそ1mrad時、計算上12nmと最もビームを絞ることができる。このビーム径が実現でき、かつ24nmピッチでパターンが描画できたとすると面記録密度は1Tbit/inch²以上となり、超高密度ディスクが実現できる可能性がある。このような超高密度を達成するためには解像度の向上に加え、記録位置精度の向上も同時に求められることになる。

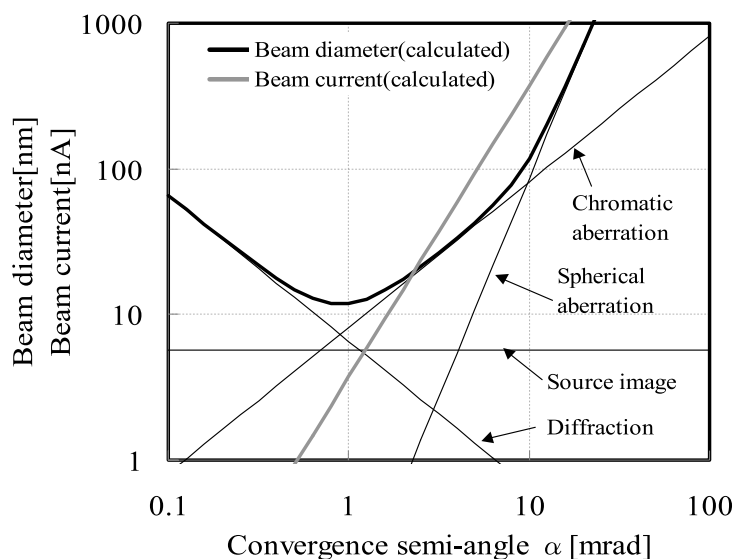


図13 EBカラムの収束性

5. まとめ

電子ビーム記録装置(EBR)を用いて高密度光ディスクの記録再生実験を重ね、良好なディスク性能が得られることを確認し、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記録することにより、電子ビーム解像度のポテンシャルの高さを示した。さらに、ブランキングと高速偏向器を用いてウォブル、ブリピット、同心円、放射状といったさまざまなパターンの記録ができ、光ディスクのみならず磁気ディスクへの応用展開が図れることが確認された。

EBRは、今後予想される超高密度ディスクのキーテクノロジーとなり得る存在であり、高解像度および高精度化に向けての進化が求められている。

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] S. Miyanabe, H. Kuribayashi, K. Yamamoto: "New Equalizer to Improve Signal to Noise Ratio", Jpn. J. Appl. Phys. , vol.38, pp. 1715-1719, March 1999
- [4] O. Kasono, M. Sato, T. Sugimoto, Y. Kojima and M. Katsumura: "Improvement of Electron Beam Mastering using Dry Etching Process", ISOM2003 Tech. Dig. 260
- [5] 映像情報メディア学会誌 vol.56, No4, pp529-531(2002)

筆者

小島 良明 (こじま よしあき)

所属: 研究開発本部 総合研究所
ナノプロセス研究部
入社年月: 1981年4月
主な経歴: 光ピックアップの開発、紫外線レーザービーム記録装置の開発を経て、現在電子ビーム記録装置の開発に従事。

佐藤 恵 (さとう めぐみ)

所属: 研究開発本部 総合研究所
ナノプロセス研究部
入社年月: 2002年4月
主な経歴: 相変化光ディスクの開発を経て、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。

加園 修 (かその おさむ)

所属: 研究開発本部 総合研究所
ナノプロセス研究部
入社年月: 1991年4月
主な経歴: 紫外線レーザービー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)

所属: 研究開発本部 総合研究所
ナノプロセス研究部
入社年月: 1990年4月
主な経歴: 電子ビー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)

所属: 研究開発本部 総合研究所
ナノプロセス研究部
入社年月: 1981年4月
主な経歴: 光ディスクマスタリングプロセスの開発に従事