

# 熱記録方式による高密度光ディスクマスターリングの開発

## Development of the Thermal Recording for High Density Disc Mastering

村上 重則, 山岡 信樹, 松川 真, 菅原 幸浩  
Shigenori Murakami, Nobuki Yamaoka, Makoto Matsukawa, Yukihiro Sugawara

**要旨** 次世代の光ディスクには100GB/面を超える高密度・大容量化が期待されている。この高密度光ディスク製作において、マスターリングは重要な技術課題である。高密度光ディスクのマスターリング方法として、短波長レーザーを用いたフォトレジスト露光、電子線を用いた露光、熱記録などが提案されているが、我々は熱記録という方式を選択した。この熱記録の方式を用い容量250GB/面の原盤作製、さらにソリッドイマージョンレンズ（SIL）搭載システムを用いて容量100GB/面相当のROM型ディスクの実現可能性を確認した。

**Summary** For the next generation read-only disc of the Blue-ray disc, higher density is expected. We thought that the capacity would be over 100GB/φ120mm disc. A mastering process is main theme of high density read-only disc manufacturing. Several methods, short wave length laser recording, electron beam recording, thermal recording and so on, are proposed for high density disc mastering. We selected the thermal recording mastering. As a result, we confirmed the feasibility of the 250GB data recorded master using this process and 100GB ROM type polycarbonate disc in Solid Immersion Lens (SIL) equipped system.

キーワード：光ディスク, マスターリング, 熱記録, 高密度

### 1. はじめに

Blu-ray ROMディスクは、1層あたり25GB密度/φ12cm（トラックピッチ：320nm, 最短ピット長：149nm）まで規格化されている。このBlu-ray ROMディスクに続く次世代ROMディスクには、更なる高密度化が必須であると考えられる。従来、光ディスクのマスターリングでは短波長レーザーを用いた光リソグラフィー技術を使用し原盤を作製してきたが、これ以上の高密度記録を実現するには光リソグラフィー技術では困難であり、新しいリソグラフィー技術が必要となる。そのひとつが電子線を用いて原盤を作製する方法であるが、電子線リソグラフィー装置は高価であり、光ディスク用マスターリング技術として採用するには課題がある。

そこで我々は電子線リソグラフィー技術を用いる事なく光リソグラフィーよりも微細なピットが記録可能な熱リソグラフィーマスターリングプロセスを開発した。以下本技術の詳細を示す。

### 2. 熱記録

図1に光リソグラフィーと熱リソグラフィー記録方式を比較した概略図を示す。グラフパターンは、各々の記録方式における光強度分布と温度分布を示している。

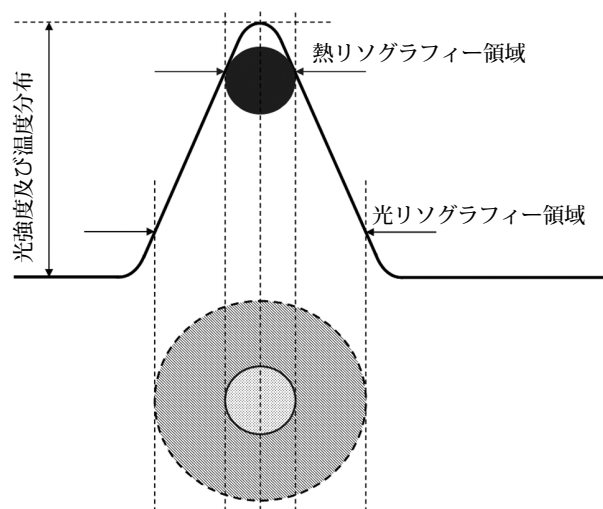


図1 光リソグラフィーと熱リソグラフィー記録方式比較

光リソグラフィー記録方式の場合、レーザー光が照射された領域（点線円）が、記録ピットとして形成される。そのレーザー光スポットの最小径は、使用するレーザー波長と対物レンズのNAによって決定される。従って、記録される最短ピット長は、そのレーザー光スポット最小径により決まるため高密度化には不向きである。

しかし、集光されたレーザー光は強度分布を持っている為、ビーム中心ほどエネルギー強度が高く結果的に温度が高くなる。熱リソグラフィー記録とは、このレーザー光スポットの温度分布を利用し、温度の高い領域（実線円）のみで反応する記録材料を使用することでレーザー光スポット以下の記録ピットを形成する方法である。

従って、熱リソグラフィー記録方式は、光リソグラフィー記録方式より小さな記録ピットを形成することができ、高密度記録に有利である。

### 3. 記録膜

熱リソグラフィー記録に使用する記録材料として、さまざまな材料が提案されている。我々も各種記録材料を検討し、結晶性が低く微小なピット形成に有利と考えられる誘電体（ZnS-SiO<sub>2</sub>）を記録膜として採用した。

この誘電体記録材料は、図2のように酸性現像液（0.5%硫酸水溶液）に対して加熱された部分が溶解しにくくなる特性を有する。その加熱部分と非加熱部分の現像性の差を利用することでピットを形成することが可能となる。このタイプの記録膜は、現像することで非加熱部分が溶解し加熱部分がピットとして残るため、ネガ型レジストと呼ばれている。

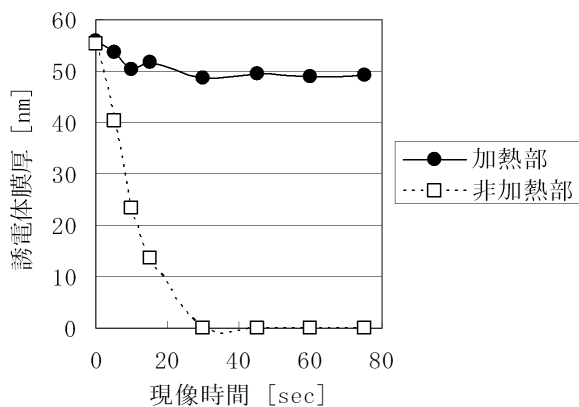


図2 現像時間と膜厚

加熱現像後ピットの断面TEM写真を図3に、ピット部分（図3 Point A）の電子線回折像を図4に示す。

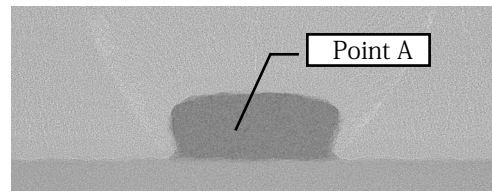


図3 加熱現像後のピット断面TEM写真

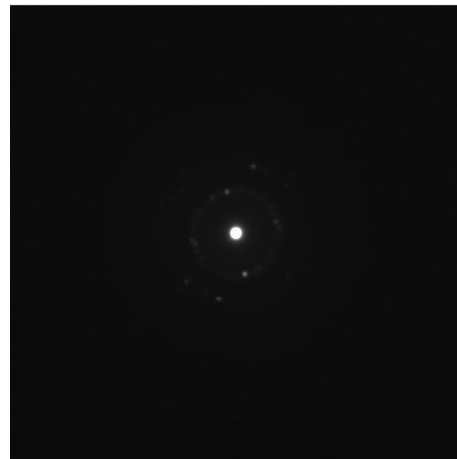


図4 図3 Point Aの電子線回折像

図4の電子線回折像の結果から、加熱現像後の誘電体記録膜ピットは、1nm以下の微結晶とアモルファスの混合物と判断できる。このことは、記録膜である誘電体膜の粒径が非常に小さいことを示しており、高解像度なピット形成が可能と考えられる。

### 4. 原盤構造

原盤の基本構造を図5に示す。誘電体記録膜を積層するベース基板には、レーザー光照射による加熱時の余分な熱を逃すヒートシンクとしての役割と、現像後のリアクティブイオンエッチング（RIE）処理を行うことを考慮し、シリコンウエハーを採用した。

さらに記録膜とシリコンウエハーの間に、熱吸収・発熱層としてアモルファスシリコン（a-Si）膜を挿入している。その理由は、記録膜が記録用半導体レーザーの波長λ（405nm）では光吸収が非常に小さく、尚かつ、ベース基板のシリコンウエハーが単結晶で非常に冷却効率が高いため、熱吸収・発熱層なしでは高い記録パワーが必要になってしまうことによる。そのため、波長405nmレーザー光を吸収し発熱する材料をサンドイッチする構造を採用した。その材料としては、安価でRIE処理が容易なスパッタリング成膜によるアモルファスシリコン（a-Si）膜を採用した。

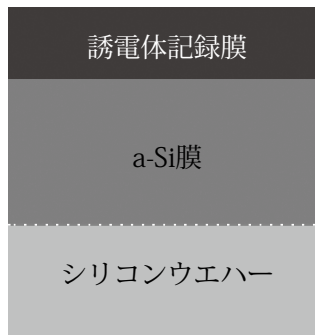


図5 原盤構造

## 5. マスタリングプロセス

### 5.1 記録システム及び記録条件

記録には、熱リソグラフィーによるナノ加工装置 NEO-500（パルステック工業（株）製）を用いた。記録装置の仕様を表1-1に、試作した原盤の記録条件を表1-2に示す。

表1-1 記録装置仕様

Wavelength	405 nm
NA	0.85 + Super Resolution
Max Laser Power	25 mW Pulse
Spot Size	0.34 $\mu$ m

表1-2 記録条件

	75GB	100GB	250GB
Modulation	(1,7)RLL	(1,7)RLL	(1,7)RLL
Liner velocity (m/s)	4.92	4.92	4.92
Track pitch (nm)	185	160	100
Minimum pit length (nm)	86	75	48

### 5.2 プロセスフロー

図6に高密度スタンプ用シリコン原盤作製プロセスを示す。最初の工程a)で、スパッタリング法によってシリコンウエハー上にa-Si膜と誘電体記録層を積層する。次工程b)で、データをレーザー光により熱記録し、c)工程で、酸現像液を用いて未加熱部分の誘電体記録膜を除去する。その後、記録されたピットをマスクとしてa-Si膜及びシリコンウエハーをRIE装置でドライエッチングする。

最後にマスクである誘電体記録膜を酸除去液で除去し原盤が完成する。その後、この原盤から電鍍工程で金属スタンプ作製後、レプリケーション工程を経てポリカーボネート樹脂基板が作製される。

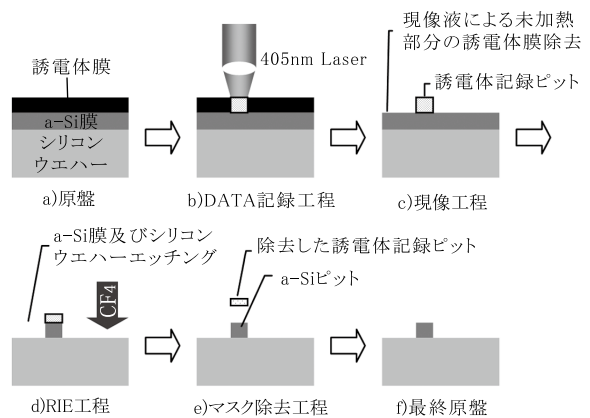
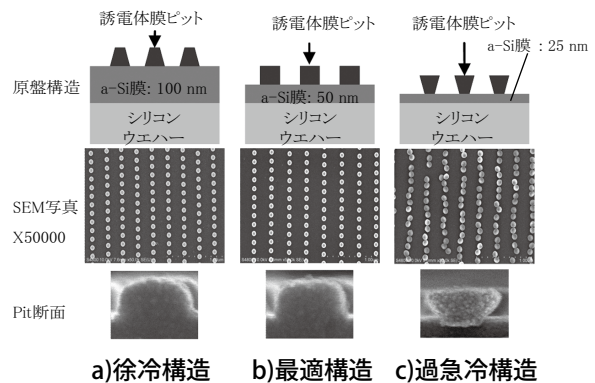


図6 プロセスフロー

## 6. マスタリング原盤構造の最適化

### 6.1 熱吸収・発熱層膜厚

熱記録では原盤の熱設計は必須で、特に高密度記録では極めて重要である。今回我々は熱吸収、及び発熱層として積層したa-Si膜の膜厚を調整することで放熱調整を実現した。



a)徐冷構造 b)最適構造 c)過急冷構造

図7 熱吸収・発熱層膜厚とピット形状  
(2Tピット長:75nm トラックピッチ:320nm)

図7にa-Si膜厚と記録されたピット形状の関係を示す。a-Si膜の膜厚を薄くしていくとa-Si膜自体の熱容量が減少すると共に、ヒートシンク層であるシリコンウエハーとの距離が近づくことで冷却効率が高まり、原盤は徐冷構造から急冷構造に変化していく。それによりピット間の熱干渉が小さくなり、より微細かつ安定的なピット形成が可能となる。しかし、図7-c)のようにa-Si膜を薄くし過ぎると冷却効率が高くなりすぎ、冷却層に近いピット下部の熱反応が不十分になるため現像時にc)の写真のようなピット倒れの現象が発生する。そのため上記微細ピット形成性とピット安定性のバランスが最も良好であるa-Si膜厚50nmを選択した。

## 6.2 熱干渉低減効果

最適化したa-Si膜の熱干渉低減効果を確認する為に、徐冷構造（a-Si膜厚：100nm）と最適構造（a-Si膜厚：50nm）の原盤で熱干渉の比較を行なった。

比較方法は、2Tピット長を48nmとし、2T Mark-2T Space-2T Mark-5T Spaceの固定パターンを記録・現像し、形成されたピット形状をSEM観察で比較した（図8）。図8-b)最適構造原盤に記録した連続した2Tピットは安定的に均一な形状で形成されているが、図8-a)徐冷構造原盤では、その形状は熱干渉により不均一になっている。これらの結果から、最適化した原盤構造は、熱干渉が十分小さく低減され2Tピット長を良好に形成可能である事を確認した。

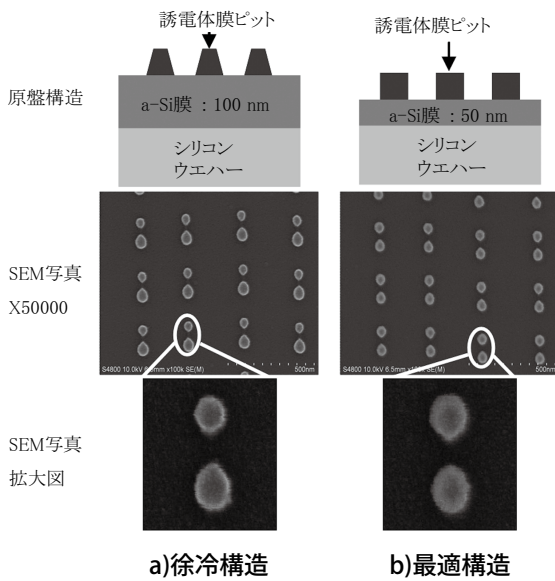


図8 熱干渉低減効果

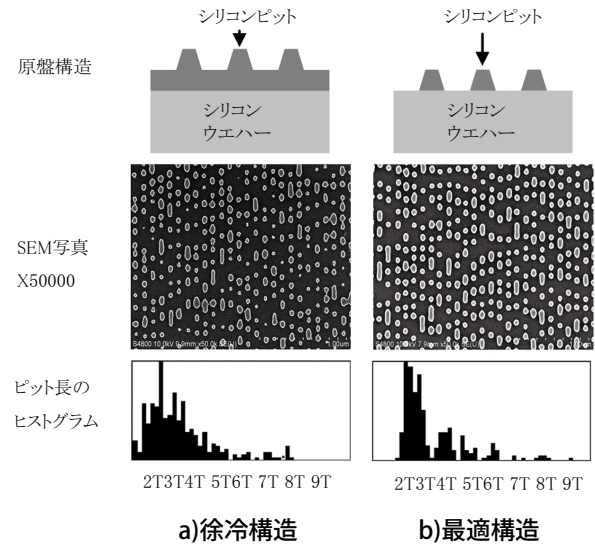
(2Tピット長:48nm トラックピッチ:320nm)

## 7. 250GB密度記録

実際にこのプロセスを用い、250GB密度（1-7変調、トラックピッチ:100nm、2Tピット長：48nm）の原盤作製を試みた。比較のため徐冷構造（a-Si膜厚：100nm）と最適構造（a-Si膜厚：50nm）の2種類の原盤でピットを形成した（図9）。図9 a)徐冷構造とb)最適構造比較すると、最適構造でのピット形状が徐冷構造に比べて明瞭で良好な形状になっている事がわかる。

さらに各SEM写真から各ピット長の分布をヒストグラム化したデータ比較においても、徐冷構造では各ピット長のバラツキが大きくヒストグラム分離が不明瞭だが、最適構造では各ピット長のバラツキが小さくなりヒストグラム分離が明瞭となっている事がわか

る。以上の結果は、原盤構造を最適化することで、本熱記録方式を用い容量250GB/面の原盤作製が可能なることを示している。



a)徐冷構造 b)最適構造

図9 250GB密度記録

(2Tピット長:48nm トラックピッチ:100nm)

## 8. 再生評価

### 8.1 再生ディスク構造と再生光学系

原盤作製検討に続いて、実際に本熱記録方式で作製したROMディスクの再生評価を行った。評価系には、solid immersion lens (SIL)光学系を搭載したシステムを用いた。評価ディスクは、容量75GB/面、及び100GB/面のディスクである。図10に、再生ROMディスク構造とSIL光学系の断面図を示す。SIL光学系は、 $\lambda=405\text{nm}$ 、 $\text{NA}=1.84$ 、ディスク表面とSIL光学系との距離は、10~20nmである。

本検討では、ディスク表面とSIL光学系が非常に接近している為、ディスク表面の欠陥やコンタミをカバーし、ディスクとSILが接触した際のダメージを低減させる目的からディスク表面にUV硬化樹脂を用いたカバー層を形成した。

ROMディスクの構造は、本熱記録方式で作製したSi原盤に電鍍し得られたNiスタンパーから成形したポリカーボネート（PC）基板をベース基板とし、そのベース基板上にAg合金反射膜 25nm、反射率調整用誘電体膜 30nmをスパッタリング法で積層した後、最後に高屈折率（ $n=1.83$  at 405nm）UV硬化樹脂膜厚1 $\mu\text{m}$ をスピコート法により形成した多層構造となっている。

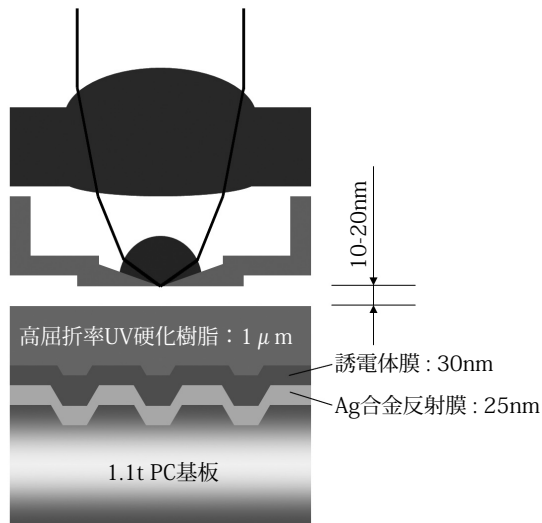
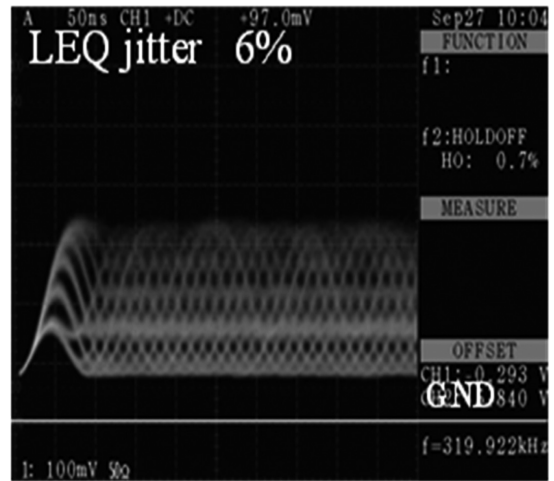


図10 再生ROMディスク構造とSIL光学系の断面図

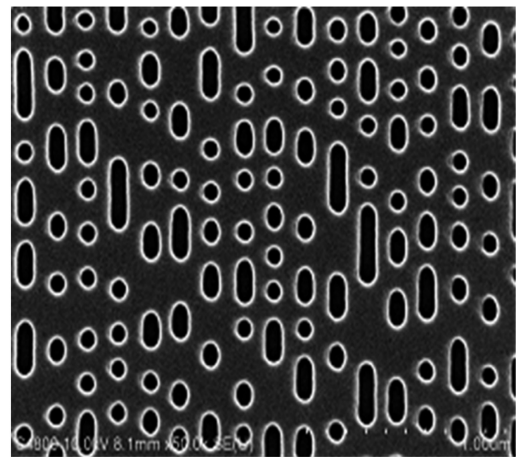


b) 75GB Disc DCRF再生波形写真

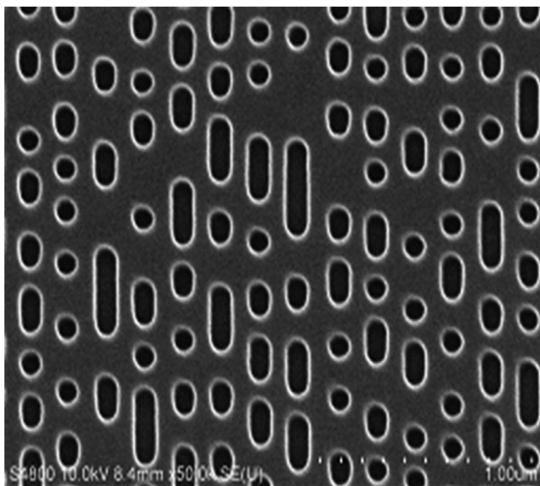
図11 75GB Disc成形基板SEM及びDCRF再生波形写真

## 8.2 再生評価結果

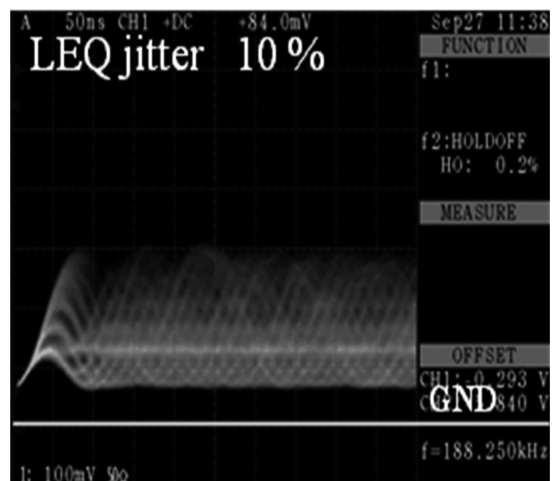
再生評価結果について、図11に容量75GB/面ディスクの成形基板SEM写真とDCRF再生波形写真、図12に容量100GB/面ディスクの成形基板SEM写真とDCRF再生波形写真を示す。容量75GB/面ディスクで再生ジッター6%、容量100GB/面ディスクでジッター10%と良好なデータが得られている。



a) 100GB Disc 成形基板SEM写真



a) 75GB Disc 成形基板SEM写真



b) 100GB Disc DCRF再生波形写真

図12 100GB Disc成形基板SEM及びDCRF再生波形写真



## 9. Near Fieldマスタリング (SILマスタリング)

### 9.1 マスタリング原盤構造と記録光学系

更なる高密度記録の可能性を確認するために、光ビーム径をさらに小さくすることが可能なSIL光学系を使用したマスタリングの検討も行った。記録装置には、前述のディスク再生評価に使用したSIL光学系搭載装置を使用した。ここでは、マスタリング原盤のベース基板には、案内溝（グループ）付PC基板を使用している。この理由は、今回使用した記録装置がマスタリング専用装置ではないため、この案内溝で光ビームの位置制御をするためである。図13にNear Fieldマスタリング原盤構造とSIL光学系の断面図を示す。マスタリング原盤の構造は、グループ付PC基板にヒートシンク層としてAg合金膜、熱吸収・発熱層としてa-Si膜、記録層として誘電体膜（ZnS-SiO<sub>2</sub>）を順次スパッタリング法で積層し、最後に高屈折率UV硬化樹脂膜をスピコート法で形成した構造である。

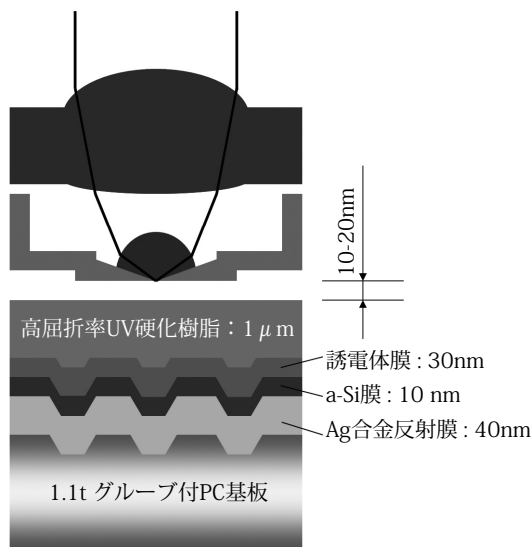


図13 Near Fieldマスタリング原盤構造とSIL光学系の断面図

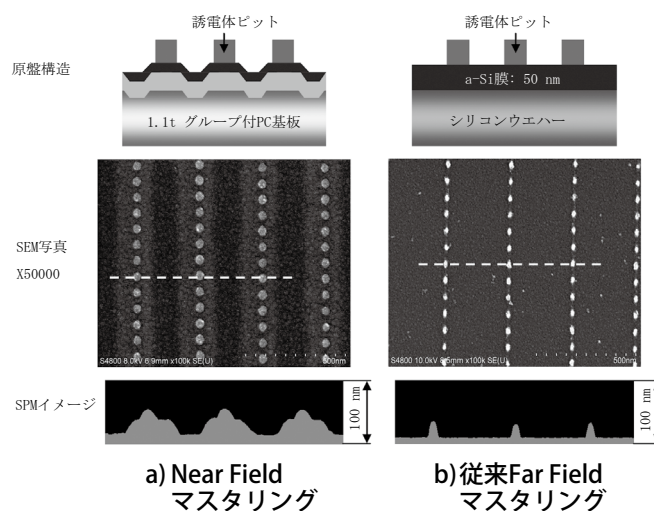


図14 マスタリング方式違いによる37nmピット長記録 (ピット長：37nm トラックピッチ：320nm)

### 9.2 Near Fieldマスタリングプロセスフロー

Near Fieldマスタリングのプロセスフローも前述の図6とほぼ同様である。異なる点は、b)のデータ記録工程の後、高屈折率UV硬化樹脂膜の剥離工程を追加していることである。

### 9.3 単一信号記録結果

Near Fieldマスタリングを用いた微細ピット形成の検証として、ピット長37nmの単一信号記録を試みた。図14 a)に、Near Fieldマスタリングによるピット形成結果を、図14 b)に、比較用の従来記録方式（Far Fieldマスタリング）でのピット形成結果を示す。

従来記録方式とNear Fieldマスタリングを比較すると、従来記録方式では熱反応が不十分、かつ熱干渉の影響でピット形状が不明瞭であるが、Near Fieldマスタリングで形成されたピットは、熱干渉も無く良好な形状のピットが形成できている事がわかる。

## 10. 結論

材料、原盤構造などの最適化を行い、熱リソグラフィ記録プロセスを使ったFar Fieldマスタリングで容量250GB/面密度のピット形成の可能性を確認した。また同じプロセスで作製した再生ディスクにおいて、容量75GB/面でジッター6%、容量100GB/面でジッター10%と実使用に耐える特性も確認した。更にNear Fieldマスタリングによりピット長37nmまでの微細ピット形成が可能なることも確認した。これらの結果から、熱リソグラフィ記録は光ディスクのみならず今後の高密度マスタリングの方法として、有望であると考えられる。

## 参考文献

- (1) M. Takeda, M. Furuki, T. Ishimoto, K. Kondo, M. Yamamoto, and S. Kubota: Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 797[JSAP].
- (2) T. Sakai, I. Nakano, M. Shimo, N. Takamori, and A. Takahashi: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 1407[JSAP].
- (3) H. Kitahara, Y. Kojima, M. Kobayashi, M. Katsumura, Y. Wada, T. Iida, K. Kuriyama, F. Yokogawa: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006), 1401
- (4) H. Miura, N. Toyoshima, Y. Hayashi, S. Sangu, N. Iwata, J. Takahashi: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006), 1410
- (5) E. R. Meinders, R. Rastogi, M. van der Veer, P. Peeters, H. El Majdoubi, H. Bulle, A. Millet, D.Bruls: Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007), 3987
- (6) N. Yamaoka, T. Tagiri, Y. Higashika, K. Ishiguro, S. Ohshima, M. Yamaguchi, T. Takishita, F. Yokogawa: Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008), 5955
- (7) N. Yamaoka, S. Murakami, Y. Sugawara, S. Ohshima, T. Takishita, F. Yokogawa: Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010), 08KG03
- (8) T. Mori: Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 010221
- (9) H. Miura, N. Toyoshima, Y. Hayashi, S. Sangu, N. Iwata, and J. Takahashi: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 1410[JSAP].
- (10) S. Imanishi, T. Ishimoto, Y. Aki, T. Kondo, K. Kishima, K. Yamamoto, M. Yamamoto: Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39 (2000) pp.800-805
- (11) S. Imanishi, M. Takeda, M. Yamamoto, N. Mukai, K. Takagi, T. Kono: Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42 (2003) pp.1105-1109

## 筆者紹介

### 村上 重則 (むらかみ しげのり)

研究開発部 第2研究部 研究1課に所属  
主な経歴は、OMD,CD-R,DVD-R等の光ディスクのプロセス開発,PDPプロセス技術及び生産技術,現ディスクのプロセス開発に従事。

### 山岡 信樹 (やまおか のぶき)

研究開発部 第2研究部 研究2課に所属  
主な経歴は、OMD,LD,CD,DVDのマスターリングプロセス,開発,現BD-R ディスクのプロセス開発に従事。

### 松川 真 (まつかわ まこと)

研究開発部 第2研究部 研究1課に所属  
主な経歴は、CD-R,DVD-R,DVD-RW等の光ディスク成形プロセス開発,DVD-RW記録膜形成プロセス開発,PDPプロセス技術及び生産技術,現ディスクの記録膜形成プロセス開発に従事。

### 菅原 幸浩 (すがわら ゆきひろ)

研究開発部 第2研究部 研究2課に所属  
主な経歴は、OMD,LD,CD,DVDのマスターリング関連生産技術,現ディスク成形プロセス及び電鍍業務に従事。