

ハイビジョンテレビの普及に伴って、ハイビジョンテレビの映像を2時間録画することが可能な媒体として、Blu-Ray ディスクやHD DVDなどが期待されています。これら光ディスクは、記録密度向上のためにレーザー光源の短波長化・対物レンズの高NA化、さらなる微少な記録ピットの記録再生を実現しています。また、これら read only memory (ROM) ディスクの作製においても、記録ピットのサイズが小さくなるために、より微細なピットをいかに形成するかが課題になっており、高度なマスタリング技術が必要とされています。今回の光学工房では、微細な記録ピットを描画するための次世代光ディスクのマスタリング技術と、そのマスタリング技術を用いた新産業展開について紹介します。

1. 光ディスクマスタリング技術

DVD では、 Kr^+ レーザー (413 nm) や 351 nm などの Ar^+ レーザーを使用した LBR (laser beam recorder) が一般に用いられてきました。しかしながら、表1に示すようにHD DVDやBlu-Rayディスクになると、最短ピット長はHD DVDでは約 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ であり、Blu-Rayでは約 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ になり、DVDの $0.4\text{ }\mu\text{m}$ に比べて半分以下となります。そのため、HD DVDやBlu-Rayディスクを実現するために、さらに微細な描画が可能な描画技術が要求されています。微細な描画を実現する手法として、光源にDeep UVとよばれる波長248~266 nmの波長をもつLBR¹⁾や、電子線を用いたelectron beam recorder (EBR)²⁾などが開発されています。しかしながら、Deep UVを用いたLBRの場合は、ガスレーザーを光源として用いるために、EOM (electro-optic modulator) またはAOM (acousto-optic modulator) とよばれる光変調器が必要となり、また、光変調器の変調速度は10 ns程度と遅いことから、記録密度の増大に伴って露光時間が長くなるという問題が生じます。また、レーザー光源・

変調器のランニングコストが高価になり、量産化する際の障害となります。一方、電子線を用いたEBRにおいては、直径50 nm程度の超微細なピットを精密に描画できる利点がありますが、電子線の低照射電流特性のために、電子線レジストへ露光するために比較的長時間を要し、描画速度はおおよそ0.2 m/s程度であり、ROMの量産としては低描画速度であることが課題として残ります。これら描画速度の問題を解決し微細な記録ピットを作製する描画法として、レーザー光から発熱する温度分布を用いた描画法^{3,4)}などが開発されています。この「温度分布」を利用した方法は、2002年にソニーから相変化材料を用いたphase transition mastering (PTM) 技術として、BD-ROMディスクの量産に用いられています。

このいわゆる「温度分布」を用いた描画法は、光ディスクと同様に高速描画可能な半導体レーザーを用いた描画に、温度に対して非線形応答するレジストを組み合わせた描画法であり、図1に示すようにレーザー光の集光スポット内から発熱する温度分布を利用する方法であります。光を物体に照射した場合、その物体が光を吸収すると、光のエネルギーは熱エネルギーに変換されます。レンズによって集光された光強度分布はガウス分布となるため、物体が光を吸収した発熱で生じる温度分布も同様となります。ここで、レジスト材料として、温度に対して熱非線形応答する材料を用いると、光の集光スポット径以下の微細な描画が可能になります。この手法は、温度に対して非線形応答する材料の選定がもっとも重要であり、現在ではさまざまな材料が報告されています。たとえば、①相変化作用を用いたもの^{4,5)}、②熱分解材料を用いたもの^{6,7)}、③熱橋架反応³⁾を用いたものなどがあります。たとえば、材料の相変化作用を用いたものは、GeSbTeやMoOなどの相変化材料の加熱状態による結晶・非結晶の構造状態によるアルカリ性の現像液に対する可溶性の違いを利用し、微細なピットを形成しています。また、溶液に対する可溶性の違いを利用する手法とは、ZnS-SiO₂材料を用いた報告などもあります。この材料は、熱が加わることによりSiO₂の周りにZnSが覆

表1 光ディスク媒体の性能比較.

	DVD	HD DVD	Blu-Ray
容量 (GB/面)	4.7 GB	25 GB	25 GB
トラックピッチ (μm)	0.704	0.4	0.32
最短ピット長 (μm)	0.4	0.204	0.149

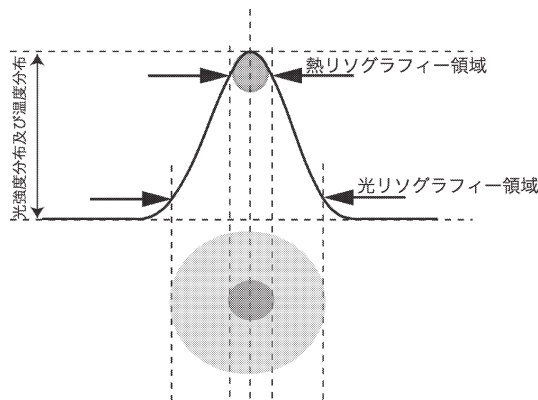


図1 「温度分布」を利用した高密度・高速描画法の原理。

い被さるような構造になることから、 SiO_2 を溶かすフッ酸に対して不溶になる性質があります。また、熱分解作用を用いた手法としては、有機レジストを用いた手法や PtO を用いた手法などがあります。この手法は温度に対して急激に分解し、微細なピットが形成されるために、溶液による現像プロセスを必要としない利点があります。この「温度分布」を利用した描画方法は、レーザー光源の波長を変えてきた従来の光反応方式と異なり、画期的な新しいマスタリング技術であり、今後の次世代の光ディスクマスタリングにとって重要な手法になりつつあります。

2. 光ディスクマスタリング技術の産業展開

光ディスクの高密度化によって開発された次世代マスタリング技術は、微細な構造物を高速・大面積に描画することができることから、光ディスク以外の産業に適用することにより、これまでと違った多くの利点を得ることが可能です。例えば、次世代ハードディスクへの適用が期待されているパターンドメディアやサブ波長光学素子、その他ナノ構造物応用製品、ナノインプリント用の金型などへの適用が可能です。一例として、筆者らのグループでは、次世代光ディスクマスタリング技術を利用して、図2に示すような大面積の反射防止素子の開発を行っています。本素子の開発において、次世代マスタリング技術の高速でかつ大面積の微細加工特性を用いることで、大面積化したナノ構造付の光学デバイスが

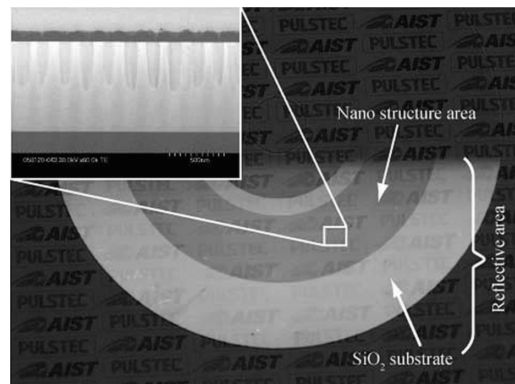


図2 次世代光ディスクマスタリング技術を利用した反射防止素子の開発例。

容易に実現できる利点があります。また、LEDやディスプレイ表面に加工し、これら反射防止機能を加工することにより、高輝度化したデバイスなどが実現できます。そのため、高密度化した光ディスクを作製するために開発されたマスタリング技術は、今後、ナノ構造を利用する産業の発展に寄与していくと思われ、今後の展開が楽しみな技術といえます。

(産業技術総合研究所 栗原一真)

文 献

- 1) S. Abem *et al.*: "Master recording for high-density disk using 248 nm laser beam recorder," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41** (2002) 1704-1708.
- 2) M. Tsukuda *et al.*: "50 GB read only memory disc with dual layer structure," *Proc. ISOM/ODS 2002*, No. PD4 (2002) pp. 10-12.
- 3) M. Kuwahara *et al.*: "Thermal lithography for 100-nm dimensions using a nano-heat spot of a visible laser beam," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41** (2002) L1022-L1024.
- 4) A. Kouchiyama *et al.*: "High resolution blue laser mastering with inorganic photoresist," *Tech. Dig. ISOM/ODS*, MB6 (2002) pp. 27-29.
- 5) T. Shintani *et al.*: "Nanosize fabrication using etching of phase-change recording films," *Appl. Phys. Lett.*, **85** (2004) 639-641.
- 6) K. Kurihara *et al.*: "High-speed fabrication of super-resolution near-field structure read-only memory master disc using PtO_x thermal decomposition lithography," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45** (2006) 1379-1382.
- 7) T. Sakai *et al.*: "Thermal direct mastering using deep UV laser," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45** (2006) 1407-1409.