

光退色性色素を用いた光ディスクマスタリング

樋口 隆信・奥村 陽一・飯田 哲哉

1996年に実用化されたDVDは、4.7GB（ギガバイト、単層片面仕様）とCDの7倍以上の記録容量をもち画像情報を扱うにふさわしい記録メディアである。

一方、さらに大容量の記録メディアの実現のために新たな技術開発が続けられている。次世代DVDの目標は、13~15GBの記録容量をもち、HDTV相当のデジタル動画像を2時間以上、記録可能とすることである。次なる目標を実現するためには、再生用光源にさらに短波長の、例えば、400nm程度の波長をもつレーザーが必要となる。このとき、最短ピット長は0.20~0.25μm、トラックピッチは0.40~0.45μmとなるので、より小さなピットからなる原盤を作製するために新たな原盤記録装置やプロセス技術を開発する必要がある。

1. 原盤記録装置の解像限界を改善する方法

一般に、原盤記録装置の解像限界を R とすると以下の式で規定される。

$$R = k \times \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

ここで、 λ は記録用レーザーの波長、 NA は対物レンズの開口数、 k はフォトレジストやプロセスで決まる定数である。

式(1)から原盤記録装置の解像限界を改善するためには、記録用光源を短波長化する。対物レンズの開口数を大きくする。フォトレジストやプロセスを改良して定数 k を小さくする。以上のいずれかの方法をとればよいことがわかる。

記録用光源を短波長化することは大きな効果が期待できるが、次のような解決しなければならない問題がある。まず、現在の最も短い記録用レーザーの波長(351nm)よりも短波長になると、一部の材質を除いてガラスであっても吸収が生じるため使用できる光学材料が限られ、開口数が大きく収差の少ないレンズを作製することが困難になる。さらに、フォトレジスト材料について

も、短波長になると樹脂成分の吸収が大きくなるため解像度が低下し新たな材料の開発が必要になってくる。

また、現行の原盤記録装置の対物レンズの開口数は0.9であり開口数の上限が1であることから、対物レンズの開口数を大きくしても改善効果はそれほど期待できない。

そこで筆者らは、光退色性を示す色素とフォトレジストを積層することにより式(1)における定数 k を小さくすることを試みた。この方法は光源の短波長化に比較すると、既存の製造設備を使用できることから新規投資の負担が少なくすむという利点がある。

2. 原理

光退色性とは初期状態で透過率が低く露光によって透過率が上昇する性質を示す。このような性質をもつ色素をフォトレジストの上に積層し記録を行うと、集光されたレーザー光の周辺部の微弱な光は吸収され中心部の光強度の強い部分のみ透過することになるため、スポット径が縮小され解像度を改善することができる。この方法は、光学系の解像限界の拡大という点で超解像に類似しており、超解像においても光退色性色素を用いた研究が報告されている¹⁾。

効率よくスポット径を縮小するためには、以下に述べる2つの条件を満たすことが必要となる。

まず、光退色性色素は初期状態で透過率が低く退色後は透過率が高いことが必要である。これを ABC パラメーター²⁾ で表現すると大きな A 値と小さな B 値を併せもつことになる。次に、光退色性色素の退色が完了するまでの露光量の範囲でパターン形成が可能であるような感度をもつフォトレジストを選んで組み合わせる必要がある。フォトレジストの感度が低すぎると色素層は単なるフィルターとしてしか作用しないからである。

参考のため ABC パラメーターを表す式を以下に示す。

$$A = \frac{1}{d} \ln [T_{(\infty)} / T_{(0)}] \quad (2)$$

$$B = -\frac{1}{d} \ln [T_{(\infty)}] \quad (3)$$

バイオニア(株)総合研究所 (〒350-02 鶴ヶ島市富士見 6-1-1)

E-mail: higuchi@crdl.pioneer.co.jp

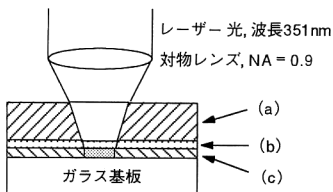


図1 新規プロセスの構成。(a) 光退色性色素層, 厚さ 90 nm (スピコート), (b) 混合防止層, 厚さ 50 nm (スピコート, ソフトベーク 85°C-10 min), (c) フォトレジスト層, 厚さ 80 nm (スピコート, ソフトベーク 85°C-30 min)。

表1 光退色性色素の光学特性 (351 nm)。

透過率変化量 (%)	79
A 値	11.8
B 値	0.7

$$C = \frac{A+B}{Al_0 T_{(0)} [1 - T_{(0)}]} \frac{dT_{(0)}}{dt} \quad (4)$$

ここで, d はフォトレジストや光退色性色素の膜厚, $T_{(0)}$ は未露光時の透過率, $T_{(\infty)}$ は露光量無限大時の透過率, I_0 はフォトレジストや光退色性色素表面での光強度である。なお, ABC パラメーターの詳細については文献を参照されたい。

3. 実験と結果

従来プロセス (フォトレジスト単層プロセス) と新規プロセス (光退色性色素を用いた多層プロセス) を比較するため, 様々なピット長の記録を行い, 解像限界を調べる実験を行った。

実験は図1に示す構成で行った。原盤記録装置の光源は波長 351 nm のアルゴンガスレーザーを用い, 対物レンズの開口数は 0.9 である。また, 各層の膜厚は, 十分な再生信号強度が得られること, 光退色性色素とフォトレジストの混合を防止するために十分であること, 合計膜厚が原盤記録装置の焦点深度内に収まること等を考慮し決定した。対象となる従来プロセスは図1において (a), (b) の層をなくした構成である。

また, 実験に用いた光退色性色素の光学特性を表1に示す。

ピット長 (μm) (トラックピッチ = $0.4 \mu\text{m}$)

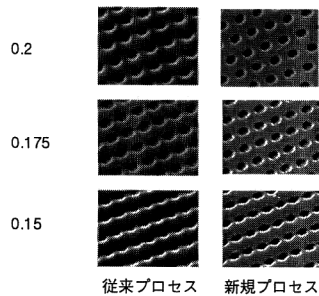


図2 記録ピットの走査型電子顕微鏡像。

結果を図2に示す。図2は記録ピットの走査型電子顕微鏡像である。

図2において, 従来プロセスでは $0.2 \mu\text{m}$ ピット長が解像限界であるのに対して, 新規プロセスでは $0.175 \mu\text{m}$ ピット長においても個々のピットがはっきり分離されて記録されている。これを線記録密度で考えると約 20% の改善効果となる。冒頭に述べたように次世代 DVD の最短ピット長は $0.20 \sim 0.25 \mu\text{m}$, トラックピッチは $0.40 \sim 0.45 \mu\text{m}$ となる。したがって, 新規プロセスを用いることにより次世代 DVD の原盤が作製可能となることがわかる。

光退色性色素とフォトレジストを積層する多層プロセスにより, レーザー光のスポット径を縮小し原盤記録装置の解像限界を改善する方法を検討した。

検討の結果, 線記録方向に約 20% の改善効果が得られ, 次世代 DVD の原盤が作製可能であることがわかった。しかしながら, 製造工程上のばらつき等を考慮すると, さらに解像度の向上が必要であり, 光退色性色素の性能向上, 記録の最適化等の課題に取り組む必要がある。

文 献

- 1) M. Kuroda, H. Eguchi and T. Ueno: *Ext. Abstr. 55th Autumn Meeting 1994 of the Japan Society of Applied Physics*, 19a-S-7.
- 2) F. H. Dill, A. R. Neureuther, J. A. Tuttle and E. J. Walker: *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **22** (1975) 445.

(1997年2月26日受理)