

解説

光ディスクのマスタリング技術の現状と課題

大木 裕・柏木 俊行

SONY(株)総合研究所 〒141 東京都品川区北品川 6-7-35

(1994年2月2日受理)

Master Recording for Optical Disks

Hiroshi OOKI and Toshiyuki KASHIWAGI

Corporate Research Laboratories, SONY Corporation,
6-7-35, Kitashinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 141

1. はじめに

図1に示すように光ディスクの量産工程は、マスタリング工程によって作られたスタンパーを用いて成形する工程からスタートする。再生専用型では主に成形工程が、また記録型では主に成膜工程が光ディスクの量産コストを支配するのに対し、印刷・包装工程はユーザーとのインターフェイス機能を付与する位置付けである。最も源流に位置するマスタリング工程は、光ディスクがどこまで高密度に記録できるかについて、支配する位置付けと考えられる。実際再生専用型では、成形工程以後は、いかに正確にコピーを作るかという技術であり、書き換え型でも、光記録材料の性能が同じ場合は、マスタリング技術がS/Nを左右する。

このようにマスタリング工程は光ディスクの限界性能に大きく関係する工程であるが、門外不出のノウハウ的な要素が多く含まれ、光ディスクの他の分野に比べて、発表論文の数はかなり少ないのが現状であった¹⁻³⁾。

しかしながら、近年わずかながらではあるが、この分野での優れた発表が表れつつあり⁴⁻⁸⁾、それが各社の関係者に刺激を与えて、今後の発表論文の増加や、情報の交流が活発になることが期待されている。本報では、こうした中で最近の動向を紹介したい。

2. マスタリングプロセスの現状

マスタリングプロセスは、図2に示すようなフローチャートであるが、無電解メッキ工程以後は、現像後にレジスト上に形成されたピットパターンを、いかに複製す

るかという守りの工程であり、最も支配的な工程は、カットティング工程であると言える。この工程を支配する要因は、光源・光学系・メカ系・レジスト・対物レンズ等があり、これらについて現状を紹介する。

2.1 原盤作製用レーザー光源

CDの量産では、Arレーザーの458nmやHe-Cdレーザーの442nmが用いられているが、より高密度なシステムに対してはKrレーザーの413nmが量産にも用いられ始めている。また最先端の技術としてArレーザーの364nmもしくは351nmがUV光カットティングとして、実験レベルで用いられている⁹⁾。光源に要求される性能は、波長が適切であること以外に低ノイズ・十分なパワー・コンパクト性等があり、ガスレーザーから固体の非線形レーザーに置き換えられることが期待される。

2.2 フォトレジスト

各社がどのようなフォトレジストを使用しているかについては明確にされていないが、半導体用のg線もしくはi線レジストを修正して使用しているものと考えられる。

レジストに要求される性能は、ピット形状の安定性、現像による膜減りや表面荒れが少ないこと、感度の良さ、無電解メッキの付着の良さ等が大切とされている。

レジスト側のパラメーターとプレーヤーによる再生信号との間の相関は長年問題であったが、パイオニアの飯田は、A・B・CパラメーターがレーザーディスクのC/Nと相関があることを明らかにした。Aパラメーターが大きいことと分子量分布が揃っていることがC/Nの

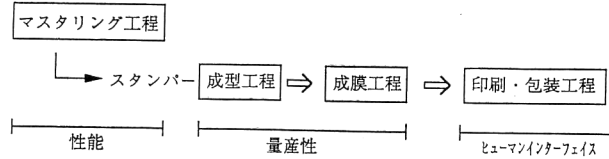


図 1 光ディスクの量産工程

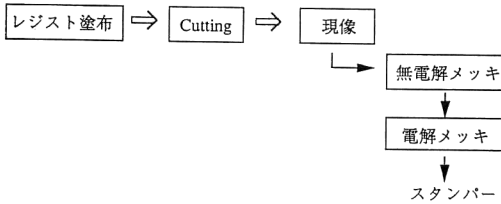


図 2 光ディスクのマスタリングプロセス

向上に寄与することが明らかにされた⁴⁾。今後は、デジタルディスクのジッターとレジストパラメータの相関が明らかになることを期待したい。市村らは、緑色光再生の光磁気ディスクにおいて、レジストの改善によって 5 dB 以上の C/N の改善を報告し、光磁気ディスクにおいてもマスタリングの重要性を示唆したが、その改善の原因については明らかにされていない⁹⁾。

2.3 対物レンズ

カッティングマシンで、微小ピットが正確に作成されるか否かは、その光学系の性能特に収差に依存しており、特に対物レンズが鍵を握っている。現状では、NA 0.9 以上の高 NA レンズが主流となっているが、高 NA レンズでは性能がばらつくため、何らかの検査手段が必要となってくる。Itonaga らは、トワイマングリーン¹⁰⁾の干渉計とナイフエッジを用いて 413 nm 用の NA 0.93 の対物レンズを評価している⁵⁾。残念ながらこの報告では、検査結果と実際に作られたディスクの良否との関係にまでは触れられていない。高 NA のシステムではアライメント精度が厳しく、検査にはかなりの技術レベルが必要とされる。

3. マスタリング技術の評価の現状

マスタリング技術の評価は最終的には、評価プレーヤーにかけて C/N, S/N, ジッター, クロストーク等の特性を測定することで決定される。しかし評価機でのデータは機器への依存度が強く、マスタリングプロセスのどこを改善すべきかというフィードバックを得るのに適さない。このフィードバックを得るには、図 3 に示すように、中間の物理量としてピットの形状に関するパラメータを測定し、評価機による再生信号のデータピット形状の間の因果関係を確立し、再生信号の評価をまずピッ

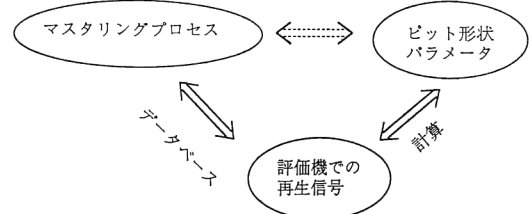


図 3 マスタリングの三角形

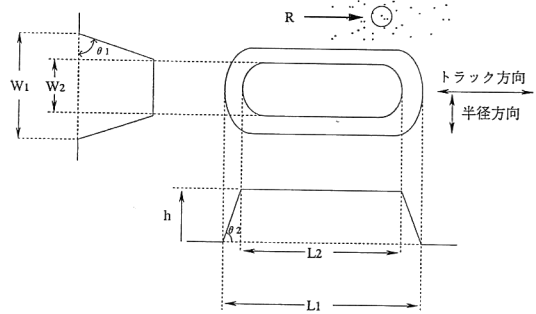


図 4 ピット形状の 5 パラメータ
1. 長さ L , 2. 幅 W , 3. 深さ h ,
4. 傾斜 θ , 5. 面粗れ R .

ト形状へフィードバックし、それを通じてマスタリングプロセスへのフィードバックを行うことが好ましい。ピット形状の測定についても、サブミクロンのピットを nm の精度で測定する技術が必要であり、対物レンズの評価に劣らず高度である。関係するピット形状としては、ピットの長さ L , 幅 W , エッジの斜度 θ , 粗さ R や深さ h とその変動量 ΔL , ΔW , $\Delta \theta$ 等がある (図 4)。深さ h については STM を用いて測定した報告例がある⁶⁾。

最も基本的な量である、 L と W についてもピットの壁の傾斜により、表面と底とで異なってくるが、その区別も意識されていないようである。私見ではあるが、ピットの長さとは幅は L_1 と W_1 のようにピットの表面で定義することが好ましいと考えている。ピットの長さや幅については SEM や STM が用いられているが、STM による測定データについてはどのような方法で校正したものであるか、もしくは他の測定方法による結果との一致を示すことが重要であると考えている。また、

STMは微小な凹凸との相性が悪いため、スタンパーでは精度が良いが、形成されたディスクのピットには今のところ不向きである。成形されたディスクのグループ形状測定までが、信頼できる範囲と考えている。特に、粗さの測定に対しては測定条件に敏感であるため、測定条件の明示が必要である。

Nakanoらは、STMを用いて $\lambda=670\text{ nm}$ の高密度ディスクにおけるC/Nやグループ形状とレジスト条件等のマスタリングプロセス条件の間の関係を明らかにしようという試みを報告している⁹⁾。 ΔL_1 , ΔL_2 や $\Delta\theta$ 等のパラメーターの変動はディスクサイズと大きな相関を持つことが予想されるが、これらの量の測定は、パラメーターそのものの測定よりさらに難易度が高いと考えられる。

4. 今後の課題

マスタリング技術のめざすべき方向として、次の三つの課題が考えられる。

- (1) 微細加工への挑戦
- (2) 高密度ピットエッジ変調への対応
- (3) ノイズの原因究明

4.1 微細加工への挑戦

より微細なピットを形成することは高密度化への最も直感的なアプローチである。光ディスクのマスタリング技術は、レジストの厚みが一桁薄いことを除けば、半導体のプロセス技術との共通点が多く、半導体プロセス技術の進歩をお手本にしていくことが好ましい。今後も半導体プロセス技術の進歩を取り入れていく可能性は大きい。しかしながら、ピットをあまり微細化しても光ディスクの場合は、再生系のMTFよりも細かいピットは検出できない事情があり、再生系や変調方式に合わせてシステムサイドから要求される最適ピットを実現するのがマスタリングサイドの使命である。

現状のカッティング技術で形成される最小ピットサイズは前述の L_1 で定義して、単一周波数で $0.25\ \mu\text{m}$ 程度、ランダム信号でジッターまで考えると、最短ピットの L_1 で $0.35\sim 0.4\ \mu\text{m}$ と考えられる。

最小のピットサイズに限界がある場合に、高密度記録を実現する変調方式としてVFM(variable five modulation)が提唱されている¹⁰⁾。同じ最短ピットサイズの限界に対して、EFMに比べて4/3倍の高密度化が可能である。逆に再生系のMTFが同一でも、微小な最短ピットが要求される方式としてパーシャルレスポンスやIRISTER(IRIS thermal eclipse reading)の再生専

用版であるPSR(pre-mastered optical disc by super resolution)の超解像ディスク等の方式がある¹¹⁾。

4.2 高密度ピットエッジ変調への対応

再生系のMTFに限界がある時、ピットのサイズを微小化していくよりも、エッジの位置に情報を持たせ、そこそこのサイズのピットを用いて、そのエッジの刻みを細かくしていく方が好ましい手法となる。これは、Windowのマージンを減らす方向であり、ジッターの少ないマスタリングが必要となる。光学系の収差が十分に小さい時のジッターの原因は符号間干渉が主であるが、線形な符号間干渉はイコライザーによってある所まで取り除くことができる。この結果、最終的に残るジッターは記録時に入る非線形性ということになり、線形なマスタリングが要求されてくる。これは種々の長さのピットに対し、再生信号のパルス幅の理想からのずれが、各々の長さのピット間で一定であるということの意味するが、現状のマスタリングではこれは一定ではない。この非線形に対していくつかの原因が考えられるが、これを論じた論文発表はまだないと思われる。記録されたピットのdutyは、アナログの場合は混変調(intermodulation)、デジタルではアシンメトリーとなる。アナログのビデオディスクでは、クロストークと並ぶ重要な量である。デジタル信号のアシンメトリーに関しては、変調や抜き出しのアルゴリズムにより要求の厳しさは大きく変わってくるが、パーシャルレスポンス等のいくつかの場合を除いて、あまり厳しくないと考えて良い。

4.3 ノイズの原因の究明

ディスクノイズの議論は、再生専用ディスクと光磁気ディスクでかなり事情が異なり、別々に議論する必要がある。再生専用ディスクにおいて、単一周波数を記録する時、ノイズレベルは無信号部を再生した時のディスクノイズレベルに比べ、大幅に増加することが知られており(図5)、記録誘起ノイズ、もしくはカッティングノイズ等と呼ばれている。このカッティングノイズ(狭義でのディスクノイズ)については、東芝の本宮による一連の解析があり、いくつかの原因を提唱している。本宮によれば、ディスク表面の粗さ R とピット部との干渉が主因と考えられるが⁷⁾、残念なことにまだ実験的検証の報告はない。図4の各々のパラメーターだけを独立に変化させることができるマスタリングプロセスおよび、これらのパラメーターの測定方式の確立が検証に必要と考えられる。

光磁気ディスクにおけるディスクノイズ究明もまた課題の多い分野である。近年における磁気ディスクの進歩

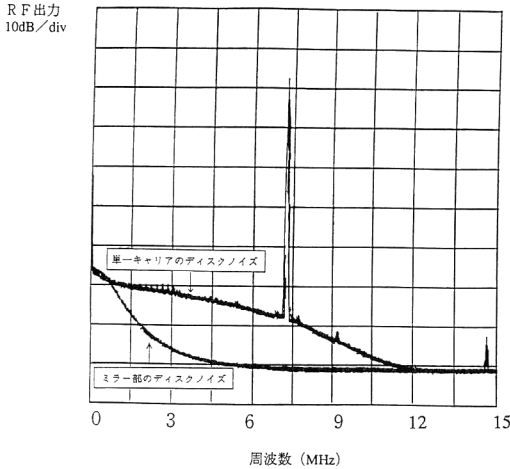


図5 単一キャリアを記録した時のディスクノイズの上昇
再生波長 $\lambda=532$ nm, NA=0.6, 単一キャリア
アピット長=0.42 μ m, 線速=5.8 m/s.

は、記録波長の微小化にともなう信号の劣化に対し、ノイズも一緒に減らすことで S/N 比を改善した点に負うところが大きい。光磁気ディスクでも同じことが期待されて良い。光磁気ディスクは、再生信号に対し差動検出を行うため、再生専用ディスクや相変化型で問題となるディスクノイズは、大幅にキャンセルされる。この意味で光磁気ディスクは、最も進歩した再生方式と言える。

しかし、この差動検出によってもとりきれないディスクノイズ（光磁気のディスクノイズ）が存在し、磁性膜の性質や基板の性質と密接に関係している。またこの光磁気のディスクノイズはグループの構造・形状あるいは、ランドとグループのどちらに記録するのか等によっても異なり、より多くの論文発表が行われ、現象が整理されることが望ましい。

5. ま と め

マスタリングプロセス技術の現状と今後の課題について紹介したが、今後の課題は、光ディスク記録再生シス

テムの最も根幹に関わるテーマと関連している。これらの課題を解決するためには、評価信号とマスタリングのプロセスパラメータの相関関係を一気に関係づけるのではなく、図3の三角形の間の関連データを一つ一つ明確にしていく根気のいるアプローチが必要とされる、と考えている。

文 献

- 1) B. A. J. Jacobs: "Laser beam recording of video master disks," *Appl. Opt.*, **17** (1978) 2001-2006.
- 2) G. Bouwhuis, *et al.*: *Principles of Optical Disk Systems* (Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston, 1985) pp. 189-209.
- 3) J. G. Dill and C. A. Wesdop: "Control of pit geometry on video disks," *Appl. Opt.*, **18** (1979) 3198-3202.
- 4) 飯田哲哉, 樋口隆信, 佐々木宏尚, 尾越国三, 横関伸一: "高密度マスタリング技術の開発", *光学*, **23** (1994) 133-141.
- 5) M. Itonaga and T. Kondo: "Master recording using Kr ion laser," *Jpn. J. Appl. Phys. series 6 Proc. ISOM* (1991) 109-113.
- 6) T. Nakano, K. Taira, M. Matsumaru and T. Murakami: "High-density and high-carrier-to-noise-ratio optical disk mastering," *Jpn. J. Appl. Phys. series 6 Proc. ISOM* (1991) 246-249.
- 7) Y. Honguh: "Analysis of retrieval signal deterioration caused by disk surface roughness," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, Suppl. **28-3** (1989) 115-119.
- 8) S. Katsuda, K. Ishizuka, N. Ohmura, J. Takahashi, H. Yokota and K. Yamada: "Quadrupled CD-ROM fabricated using UV light source," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 12A (1993) 5581-5583.
- 9) I. Ichimura, Y. Sabi, Y. Takeshita, A. Fukumoto, M. Kaneko and H. Owa: "High density magneto-optical recording with a second-harmonic generation green laser," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) Part 1 No. 11B, 1993, 5312-5316.
- 10) 新福吉秀, 秋山義行, 柏木俊行, 井野浩幸, 茶木康行: "新符号化変調方式と Green Laser による高密度光ディスクの記録再生方式", *光メモリーシンポジウム論文集* (1992) pp. 67-68.
- 11) K. Yasuda, M. Ono, K. Aratani, A. Fukumoto and M. Kaneko: "Premastered optical disc by super-resolution," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) Part 1 No. 11B, 1993, 5210-5213.