

HD DVDを支える媒体技術

Recording Media Technologies for HD DVD

芦田 純生

■ ASHIDA Sumio

青紫色の光源を用いるHD DVDは、再生専用型・追記型・書換え型といくつかのタイプが並行して規格化が進んでおり、各タイプ間の互換性に配慮して、それぞれが特長を発揮できるように設計している。いずれのタイプも、高精細画像録画に十分な容量を持ちながら、これまでの製造プロセスを大きく変えることなく製造できるのが特長である。光源波長の変更に対応する膜材料を開発し、高密度化のため光学・熱設計を見直すなど種々の技術開発の結果、このような要求を反映する記録媒体を実現した。

The HD DVD specifications have been authorized for each of the read-only, write-once, and rewritable type media. Each type has sufficient recording capacity to record high-definition moving pictures, while the current production processes can be applied with minimal change.

This paper discusses the new technologies involved in the media to satisfy these requirements. They include the development of material suitable for the blue-violet laser and novel design of optical and thermal properties.

1 まえがき

ここ数年、DVDプレーヤ・レコーダが普及し、市販の映画を楽しむほか、テレビの録画も光ディスクに行くことが一般的になってきた。パソコンでの映像編集やファイルバックアップに用いるなどの使われ方もなされ、光ディスクの良さが一般に認知されつつある。一方、高精細・大画面のディスプレイが急速に普及し、高画質の映像を楽しみたいという需要が強まっている。

HD DVD規格の策定にあたっては、十分な画質と使いやすさが両立するよう、これまでに蓄積したDVDの経験とDVD規格策定以降の技術の進歩を最大限に生かした。例えば、ビデオレコーダについては、DVD規格の策定当時に比べてハードディスクの容量が格段に増したため、ハードディスクにいったん録画し、その後編集して書込み型DVDに移す使われ方が主流となったことが一つのポイントと言える。

ここでは、コンシューマプロダクツとして次世代DVDのあるべき姿を想定し、どのように媒体の技術開発を進め、仕様を決めていったかについて述べる。

2 媒体の製造互換性

前述のようにHD DVDでは、再生専用型(HD DVD-ROM)、追記型(HD DVD-R)、書換え型(HD DVD-Rewritable)をほぼ同時進行で技術開発と規格策定を進めた。現在までに策定された規格をまとめて表1に示す。

表1. HD DVD記録媒体の主な仕様

Main specifications of HD DVD recording media

項目	HD DVD-ROM	HD DVD-Rewritable	HD DVD-R	現行 DVD-ROM
光源波長 (nm)	405			650
単層媒体容量 (Gバイト)	15	20	15	4.7
2層媒体容量 (Gバイト)	30	32*	—	9.5
データ転送速度 (Mbps)	36			11.08
トラックピッチ (μm)	0.4	0.34 (単層)	0.4	0.74
最短マーク長 (μm)	0.204	0.17 (単層)	0.204	0.4

*提案中

HD DVDでは現行DVDとの互換性を重視して、DVDと同じく0.6 mm厚の基板を2枚貼(は)り合わせて構成する。更に大きい容量を得るためには、レーザを短波長化するだけでなく、対物レンズの開口数(NA)を高める方法もある。東芝ではこの方法も検討し、例えば書換え型では30 Gバイトまで十分な特性が得られることがわかった。同時に、この方法を採用するには、基板作製にこれまでに実用化の例が少ない深紫外線の原盤記録装置か、あるいは更に開発要素が大きく高価な電子線露光装置が必要であることが判明した。また、高精度で薄い(0.1 mm)透明シートを基板に貼り合わせる装置を新たに開発・導入する必要もあった。そこで、同時に検討を進めていた、現行DVDタイプの媒体構成で信号処理などに最新の技術を適用して大容量化を図り、高精細映像の記録に適した媒体を作り上げる方向に重点を移した。

HD DVD記録媒体構造では、CDやDVDとの互換性がある

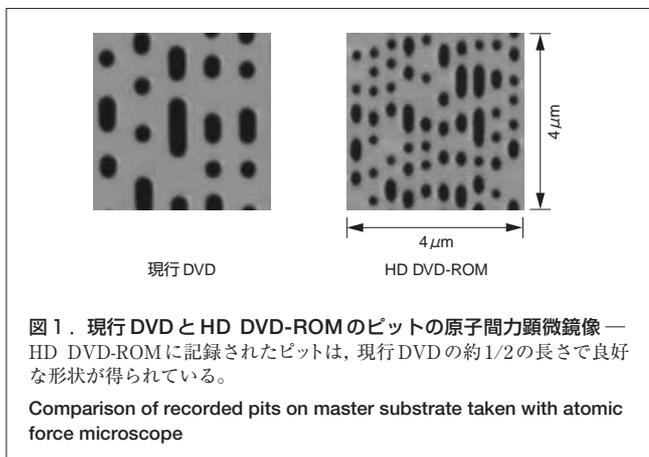
ドライブが設計しやすい、媒体表面のごみやキズの影響を受けにくいので現行DVDで主流となっているカートリッジなしのベアディスク(裸のディスク)が使える、ピックアップヘッドの小型化が可能、などのメリットがある。

これらに加え、媒体製造面においては、現行DVDの製造に使用されている製造装置がそのまま使用できる可能性があった。これは、コストアップの要因が少なく、将来的に安価な媒体を提供できる可能性が高い点で好ましい。そこでわれわれは、現在、現行DVDに使われている製造装置で各種媒体が製造可能であることを前提に開発を進めた。

HD DVDディスクは、原盤のマスタリング・基板成形・記録膜(HD DVD-ROMの場合は反射膜、HD DVD-RとHD DVD-Rewritableでは多層膜)成膜・貼合せ、という工程を経て製造される(トレンド記事に掲載した図を参照されたい)。現行DVDタイプであれば、例えば、マスタリングでもっとも重要な原盤記録には、現行DVDでも使われている近紫外光(波長351 nm)の原盤記録装置が使用できる。更に、基板成形・貼合せ工程においても、現行DVD用の製造装置をわずかに改良するだけで使い続けることができる。これは特に、DVD-videoの製造にかかわっている企業においては、必要に応じてスタンプ(ディスク複製用の“型”)を交換するだけで、現行DVDとHD DVDのどちらにも対応できることを意味する。現行DVDの市場は飽和どころか、まだ着実に成長を続けている。したがって、次世代版の製造に際して大規模な設備投資が不要なことは、媒体メーカーにとって大きなメリットである。

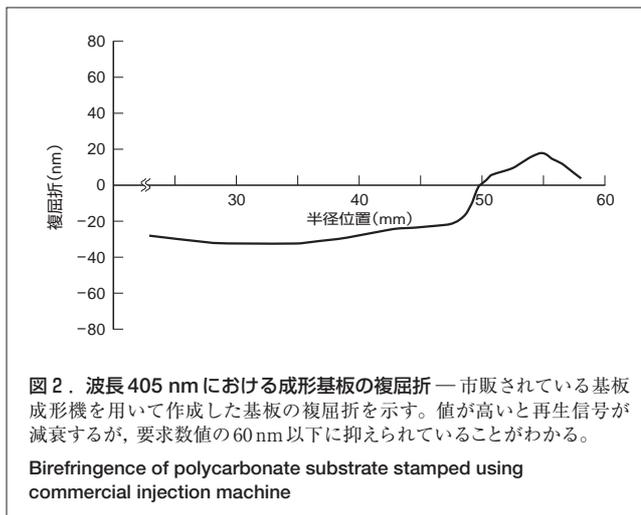
HD DVD-ROMは、微小なピットを形成し、それを樹脂基板に転写する点で、HD DVD-Rなどよりも困難が予想される。そこでHD DVD-ROMを例にとり、これら一連のプロセスの現行DVDとの互換性を示す。

図1は、波長351 nmの原盤記録機を用いて記録した現行DVDとHD DVD-ROMの原盤上のピットの原子間力顕微鏡像である。HD DVD-ROM(15 Gバイト/面)の写真で、もっ



とも短いピットの長さは約0.2 μmと小さいが、現行DVDで用いられる原盤記録装置で十分記録できることがわかる。

基板作製プロセスでは、射出成形プロセスで微細なピットが転写できるかどうか検討課題である。HD DVD-ROMは、前述のように約0.2 μmと微細なピットを転写する必要がある。特に、微細なピット形成に適した条件にすると、基板に複屈折(偏光の向きによって透過率が変化する現象、これが大きいと信号強度が劣化する)が起きやすくなる。しかし、最近の成形機を用いて、成形パラメータ(例えば、最近の成形機で主流の多段シーケンス、金型温度と型締めタイミング)を最適化すれば、微細ピット転写と複屈折特性などの両立が可能であることがわかった。図2は、成形した基板の複屈折(波長405 nm, ダブルパス)である。HD DVD-ROMでは、DVD-ROM規格に対する波長換算で、±60 nm程度に抑えることが必要となるが、現在の成形機レベルで実現可能な値であることを示している。



基板の材料も、現行DVDで基板として用いられているポリカーボネート樹脂が使用可能である。HD DVDで用いる波長405 nmにおいてもポリカーボネートは90%以上の透過率を持っているので、現在用いている樹脂をそのまま用いることができる。

光ディスクは、ハードディスク装置のように媒体1枚が装置1台に永久に取り付けられている記録方式と異なり、1枚のディスクを異なるプレーヤ、異なるドライブで使用することが前提である。そこで、ディスクごとに異なる反り(チルト)があっても、問題なく記録・再生できることが重要である。HD DVDでは、同一のチルト量を仮定した場合の収差量が現行DVDの2倍となることがシミュレーションからわかった。

現行DVDでは、チルトが比較的大きなディスクにも対応するため、ディスクに合わせてピックアップヘッドの傾きを変える“チルトサーボ”の搭載が主流になっている。このため

HD DVDでもチルトサーボの使用を前提とすると、ラジアルチルト(半径方向の傾き)で±0.8°(ただし1周内でのチルト変動は0.5°以下)まで許容できる。チルトに大きく影響するのが2枚の0.6 mm厚基板の貼合せ工程であるが、現行DVD用貼合せ装置に若干の改良を加えて試作した結果、前記の範囲を十分に満たす結果を得た。

以上のように、原盤記録から貼合せに至るまで現行DVDと同じ工程でHD DVD-ROMが製造可能であることを示した。この工程は、成膜以外はHD DVD-R及びHD DVD-Rewritableともほぼ同一であり、それぞれに対して逐一試作・評価を行っているが、いずれも満足できる結果を得ている。

3 HD DVD-R・HD DVD-Rewritable媒体

DVDレコーダが普及期に入り、急速に販売が拡張している。なかでも当社製のDVDレコーダRD-style™を先駆けとするハードディスク内蔵型が人気を集めており、DVDに直接録画するよりも、一時的にハードディスクに取りためておき、保存するかどうか見極めてから、むだのないようDVDに記録するという使い方が一般的になりつつある。この際には、改めてDVDにダビングするコンテンツは長期にわたって保存することが前提で、書き換えることはあまり考えない。したがって、使う媒体も書き換え可能なDVD-RWではなく、追記型のDVD-Rとなる場合が多い。そこでHD DVDにおいても、このような使い方を想定してHD DVD-Rを規格化しておくことが重要である。

HD DVD-Rにおいては、表1のようにHD DVD-ROMと同じ記録容量を確保するとともに、記録後はHD DVD-ROM同様の使い勝手を実現する必要がある。

HD DVD-Rの容量は、HD DVD-ROMと同じ15 Gバイトとしている。既に、記録膜として青紫色用に開発した有機色素と、銀合金反射膜を用いた媒体を試作し、良い特性を得

た。この試作にも、現行DVD-R用の製造ラインを用い、良好な特性が得られることを確認した。この結果を基に、DVDフォーラム^(注1)にHD DVD-R規格を提案し、2004年9月に暫定規格承認を得ている。

一方、HD DVD-Rewritableは、ROMタイプとの互換性を損なわない範囲で、できるだけ容量を増やすため、20 Gバイトの容量実現を目標とした。このため、トラックピッチと線密度を共に変更する必要があった(表1)。HD DVD-Rewritableは、相変化記録(記録膜の結晶-非晶質間の変化を用いて記録すること)を用いるので、トラックピッチを狭くすると記録時の熱の影響で隣接するトラックの記録が劣化する、いわゆるクロスイレース(困み記事参照)という現象が起こりやすい。そこで次に、これを解決し、高密度化を実現した方法を述べる。

クロスイレースの原因は、隣接トラックに記録するレーザービームの裾(すそ)が前に記録したトラックにはみ出していることによる直接的な加熱と、隣接トラックの記録膜で発生した熱が基板面内方向に拡散することで加熱される二種類が考えられる。両者の解決のため、記録層の膜構成を大幅に見直した。

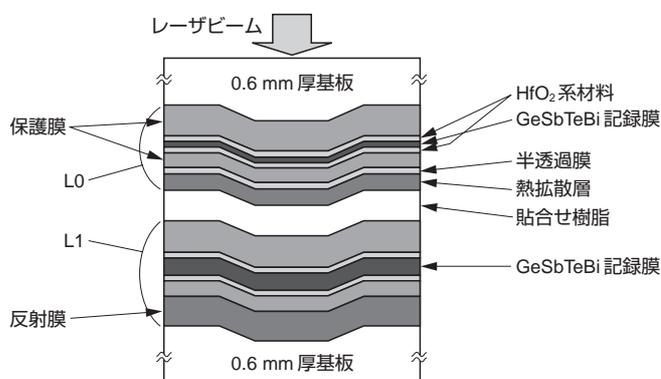
そのポイントは主に二つある。一つは、結晶部の反射率(Rc)が非晶質部の反射率(Ra)よりも低い、いわゆるLow-to-High極性の採用である。これは、前記の二つのクロスイレースの原因のうち、レーザービームの裾による直接加熱の低減に効果的である。もう一つは、後者の理由に起因するクロスイレースを低減するため、高熱伝導率材料による熱伝導制御層(TCL: Thermal Control Layer)の採用である。

相変化媒体の記録には記録膜の溶融を伴うが、Low-to-High極性では、結晶部の吸収率(Ac)が非晶質部の吸収率(Aa)よりも高い。したがって、隣接するトラックに既に存在す

(注1) DVD規格の推進・普及を目的とする団体で、活動がDVDに関連すればどの業種でも参加できる。2004年12月現在、国内外235のメンバー会社を擁している。

書換え型片面2層媒体の構成

書換え型のHD DVDでは、光源の短波長化に対応するため、記録膜材料を見直した。クロスイレースを最小限に抑えられるGeTe-Sb₂Te₃(Ge:ゲルマニウム, Te:テルル, Sb:アンチモン)擬二元合金を用いたのはDVD-RAM系と同様だが、短波長に対応するためGeTeの比を大幅に増やし、更にクロスイレースとオーバーライトによる劣化を抑えるため、Sbの一部をBi(ピスマス)で置換した。Biによる置換で結晶化が高速になる。片面2層媒体では、L0の記録膜を7 nmと極めて薄くし、HfO₂系界面層材料と組み合わせて用いている。



る非晶質マークに吸収される光量はその周囲よりも小さく、隣接トラックに漏れこんだビームの裾による加熱で劣化する可能性が少なく、クロスイレースを低減できる。

次にTCLは、記録膜で発生した熱を速やかに基板と垂直方向に逃がし、隣接トラックに拡散しないようにする効果がある。現行の書換え型DVDでも、記録膜で発生した熱を比較的厚い金属反射膜で冷却している。今回のTCLでは、冷却を更に進めるため、反射膜とは反対側(記録膜に対して、光が入射する側)にも高熱伝導率の窒化アルミニウム(AIN)膜を設けたものである。これらの相乗効果により、クロスイレースを大幅に低減することができた。

4 片面2層型媒体

再生専用型のDVDでは、片面から2層にアクセスするタイプが当初から規格化され、8.5 Gバイトの大容量を実現して長編映画やボーナスコンテンツを添付するために広く使用されている。DVDで片面2層型が策定された理由の一つは、作製が容易であることにある。すなわち、それぞれ異なった記録を行った2枚の基板を用意し、片方の反射膜を半透明にするだけで片面2層媒体が作製できる。HD DVDでもこの点を生かして、HD DVD-ROMとHD DVD-Rewritableで2層媒体の開発を行った。HD DVD-ROMでは、片面2層HD DVD-ROMとして既にDVDフォーラムにおいて規格承認を得ている。

DVD同様、光源から遠い側の層をLayer 1(L1)、近い側の層をLayer 0(L0)とする。L1読出しの際、レーザビームはL0層の半透明反射膜を往復で2回透過する。したがってL0層の透過率を50%とすると、光強度は入射光の1/4となる。このロスを減らすためにL0層の透過率を上げると、L0からの信号強度が減ってしまう。この制約のため、L0の反射層に用いる材料を検討する必要がある。現行の再生専用片面2層DVDでは、L0層の反射膜に金(Au)を用いる例が多い。しかし青紫色の波長ではAuの光学特性が赤色と異なるため、銀(Ag)あるいはアルミニウム(Al)合金が使えるが、Al合金は膜厚がわずかに変動すると透過率が大幅に変化し、製造上のマージンが少ないためAg合金が適している。また、L1層用の反射膜はAgあるいはAl合金のどちらも使用可能だが、HD DVDでは、現行DVDに比べて最短ピット長が約半分、ピット幅も半分程度になるため、反射膜を厚く成膜すると短いピットが埋まり再生信号強度を下げる可能性がある。そのため、比較的薄い膜厚でも全反射に近い反射率が得られるAl合金膜が適している。

書換え型の片面2層媒体も前記と同様に比較的容易に作製できる。しかし、HD DVD-ROM同様、L0層の透過率を十分に小さくしないと、L1読出し光強度が極端に小さくなるためL0層の光学設計が重要である。一方、L0層からのアドレス信号は、結晶部からの反射光なので、その品質を犠牲にせずデータ部の再生信号品質を高めるには、片面単層とは逆に、結晶部のほうが非晶質部よりも反射率が高められるHigh-to-Low極性($R_c > R_a$)が有利である。

L0の記録膜は、透過率を高めるため約7 nmと極薄膜にする必要があった。この膜厚領域では、薄膜化とともに結晶化速度が低下するためGeSbTeBi記録膜(囲み記事参照)を用い、かつ結晶化速度を高めるため酸化ハフニウム(HfO_2)系の極薄膜を記録膜上下に用いた。

L1は、0.6 mm厚の基板の上に、反射膜・保護膜・記録膜・保護膜の順に、すなわちDVD-RAMなどの書換え型のDVD媒体とは逆順に成膜することになる。このように作製したL0とL1を、互いの膜面を内側にして紫外線硬化樹脂で接着することで、総厚1.2 mmの片面2層媒体を作製した。なおこのプロセスは、マスタリング・基板成形・成膜・貼合せとも、現行DVDに使用されるのと同じ装置を用いている。その結果、記録層1層当たり16 Gバイト、合わせて32 Gバイトの容量で実用的な読取り誤り率を得た。

5 あとがき

HD DVDでは、現行DVD開発の経験を生かし、かつ現行DVDとの関係を第一に考えて規格を提案してきた。HD DVD-ROMは現行DVD生産ラインとの両立が可能で、高精細の映画が安価に消費者に届けられる。HD DVD-RewritableとHD DVD-RもHD DVD-ROMと同時進行で規格を策定し、現行DVDと同じ製造装置で、高精細動画記録に十分な容量が実現できることを示した。これらの結果を踏まえ、各規格をDVDフォーラムに提案しており、HD DVD-ROMとHD DVD-Rewritableについては既に規格書が発行されている。HD DVD-RもDVDフォーラム会員各社との議論を重ね、規格化作業が進んでいるので、青紫色レーザの特長を生かした、優れた製品が近日中に提供できるものと確信している。



芦田 純生 ASHIDA Sumio

研究開発センター 記憶材料・デバイスラボラトリー主任研究員。
HD DVD記録媒体の開発に従事。
Storage Materials & Devices Lab.