

大容量片面2層50GBの記録型ブルーレイディスクの開発と量産化  
 Development of mass production technologies  
 for single-sided dual-layer Recordable/Rewritable Blu-ray Disc with 50GB capacity

パナソニック株式会社

1. 研究開発の背景と目標

光ディスクは大記憶容量と可換性を有し、更に磁気ハードディスクや半導体メモリでは実現が困難な低価格の特長を生かして、CD から DVD へと大きな市場創造に貢献してきた。そして近年の放送のハイビジョン化や PC データの情報量増大に伴い、光ディスクの大容量化、転送レートの高高速化が期待されていた。

この度、その要望に応えるべく実現した世界初の大容量片面2層50GBの記録型（追記型 R、書換型 RE）ブルーレイディスク（BD）は、独自技術である高精度の中間樹脂層の形成工法、透過型記録膜のナノ成膜工法および低チルトを実現する基板吸湿制御技術を新たに開発、量産可能とすることで商品化に成功した。この結果、コンテンツ業界やIT業界の信頼を得ることで規格統一に寄与し、AVレコーダーやPCドライブの普及に貢献した。2層記録型BDは、今後も更なる高精細化（4K2K）や3Dコンテンツなどの大容量データの記録にも対応することで飛躍的な市場拡大が見込まれている。

表1に各種光ディスクに記録できるハイビジョンデジタル放送の時間を示す。BSデジタルのHDTV（High Definition Television）映像では、圧縮なしでBD単層25GBに2時間15分、BD2層50GBには4時間30分の録画が可能である。しかし、従来の4.7GB容量のDVDでは25分

表1 各種ディスクに記録できるデジタル放送の時間（hours）

		録画時間（時間）		
		DVD (4.7GB)	ブルーレイディスク (25GB 単層)	ブルーレイディスク (50GB 2層)
BS デジタル放送	HD (24Mbps)	/	2.15	4.3
BS デジタル放送	HD (12Mbps)		4.3	8.6
地上波デジタル	HD (高画質 17Mbps)		3	6
地上波 SD アナログ放送	標準モード	2	10.5	21
	長時間モード	4	21	42
	超長時間モード	6	31.5	63

程度の録画時間である。また、BDはDVDに比べて記録線密度が約3倍になっているため、同じディスクの回転数でも約3倍の転送速度を得ることが可能であり、多くの情報を短時間で記録・再生するには有利である。このようにBDは大容量、高速転速度を実現できるため高品質、高解像度のHDTV映像を記録するのに適したフォーマットである。

なお、記録型光ディスクは用途に合わせたタイプ（追記型R、書換型RE）の実現が重要である。追記型R（Recordable）は、主にレコーダーやPCなどに搭載されたハードディスクに撮り貯めた大容量の情報を高速にバックアップされる用途に用いられる。書換型RE（Rewritable）は、ディスクに保存したデータの編集を複数回行うことが可能なため、ディスクに保存したデータを編集することが必要なアプリケーション（例：低価格なハードディスクレスのレコーダー等）への展開が見込まれる。

BD-50GBを実現するためには、新たに採用した記録再生に用いられる短波長青色レーザー（波長400nm）の光源と、高NA（開口数）対物レンズ（NA0.85）によって信号記録を微小かつ多層に行うことが要求され、レーザー波長、微小信号記録、多層記録の全てに対応可能な新規樹脂材料や記録膜材料の開発、および高精度な厚み形成技術の開発が必要であった。更に、従来のDVD並みのコストに抑えることが光ディスクの低価格の特長から必要不可欠であった。

## 2. 研究開発の経過

表2に各種層変化型光ディスクの商品化の推移を示すが、当社は層変化材料の開発に早期から着手し、1997年にはDVDの商品化に成功した。これまで培ってきた材料技術と光学設計技術を駆使し、2層記録型BDの開発を行い、2004年世界で初めて2層書換型BDレコーダ（LM-BRM50）を商品化した。その後、記録再生速度の高速化を目指し、材料組成・構造の検討を行い、2006年には2倍速記録を実現し、2008年には世界に先駆け6倍速の2層BD-Rを商品化した。

## 3. 研究開発の内容と特徴

2層記録型BDの開発に向けては、要求される特性・特徴を実現するに当たり、克服すべき大きな技術課題があった。

- |               |                        |
|---------------|------------------------|
| ● 透過率バランス     | 半透明記録層の記録未記録での透過率変化抑制  |
| ● コスト低減       | 中間層の高精度、安価な工法          |
| ● 高速記録対応（追記型） | 高速アーカイブ対応の記録膜          |
| ● ディスクチルト     | 非対称構造に起因した吸湿によるチルト変化抑制 |

これら課題を解決すべく、BDの製造プロセスを検討すると共に、材料を個々に見直し、これまでの光ディスク開発の経験と、それに基づいた新たな技術を導入することによって、2層BD50GBディスクの量産にいち早く成功した。

表 2 各所相変化型光ディスクの商品化の推移

年代	片面容量 (サイズ)		転送速度	メディアメーカー	相変化材料
1992	Data recorder ver.2	0.75GB φ130	17.0Mbps	パナソニック	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
1995	PD	0.65GB φ120	13.3Mbps	東レ、帝人、3M、プラズモン、 パナソニック他	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
1996	Digital AV file	12GB φ300	40.0Mbps	パナソニック	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
1997	CD-RW ver.1	0.65GB φ120	0.15Mbps	リコー、三菱化学、CMC、ライ テック他	Sb-Te 系
1998	DVD-RAM ver.1	2.6GB φ120	11.1Mbps	パナソニック、日立マクセル他	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
1999	DVD-RW	4.7GB φ120	11.1Mbps	J V C、ライテック他	Sb-Te 系
	Giga-station	5.2GB φ120	10.6Mbps	N E C	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
2000	DVD-RAM ver.2	4.7GB φ120	22.2Mbps	パナソニック、日立マクセル、ラ イテック他	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
2001	DVD+RW	4.7GB φ120	28.6Mbps	三菱化学、リコー他	Sb-Te 系
2002	Blu-ray Disc (単層)	23.3GB φ120	36.0Mbps (1 倍速)	ソニー	Sb-Te 系
2004	Blu-ray Disc (2 層 RE)	50.0GB φ120	36.0Mbps (1 倍速)	パナソニック	GeTe-Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系
2006	Blu-ray Disc (2 層 RE/R)	50.0GB φ120	72 Mbps (2 倍速)	パナソニック	GeTe-Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> 系 Te-O-Pd 系
2008	Blu-ray Disc (2 層 R)	50.0GB φ120	216Mbps (6 倍速)	パナソニック	Te-O-Pd 系

#### 4. 研究開発の成果

BD50GB 実現に向け、実際に課題を解決すべく取り組んだ内容とその成果について述べる。

##### (1) 2層記録型 BD プロセスの概要

図 1 に 2 層記録型 BD の断面構成を示す。

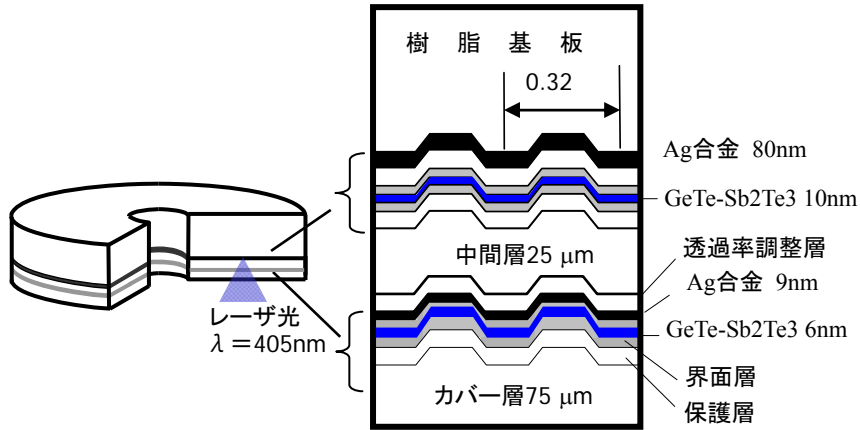


図 1 2層記録型BDの断面構成

2層記録型 BD は、厚さ 1.1mm、直径 120mm で、一方の面にグルーブ（ガイド溝）が形成された樹脂基板と、そのグルーブ上に形成された第 1 記録層などの薄膜層と、グルーブが形成された厚さおよそ 25 $\mu\text{m}$  の紫外線（UV）硬化樹脂からなる中間層、その上に形成された第 2 記録層などの薄膜層、その上に厚さおよそ 75 $\mu\text{m}$  のカバー層から主に構成される。

この 2 層記録型 BD の生産工程について、図 2 に従いながら概要を説明する。

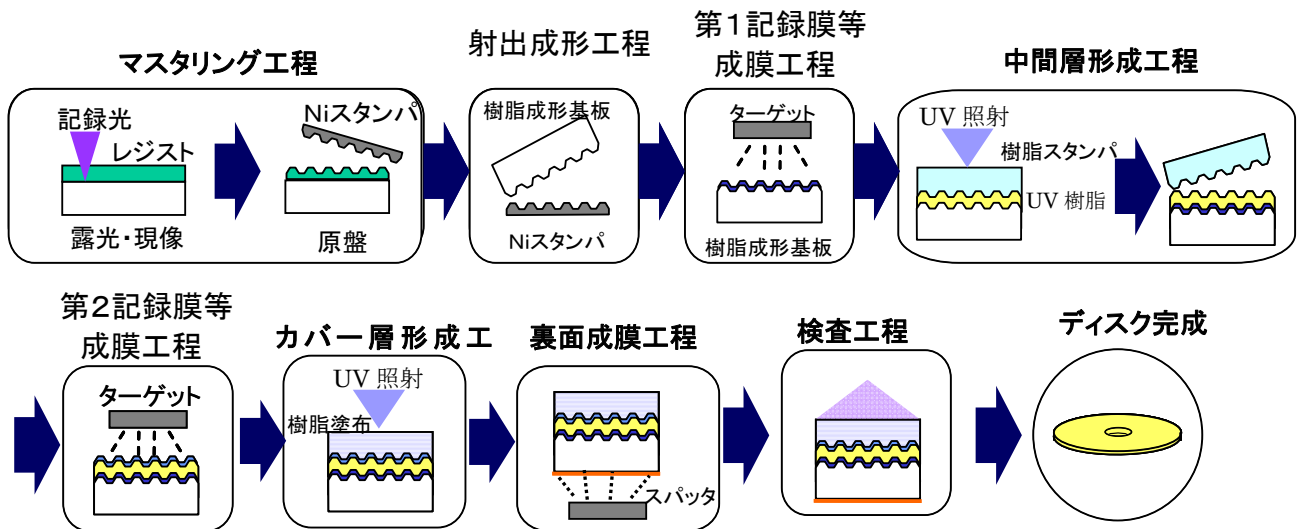


図 2 2層記録型 BD の生産工程

#### ① マスタリング工程

ディスクの記録再生に必要となるグルーブを持つスタンプを作製する工程である。ガラス原盤にレジストを塗布した後、紫外レーザーによってグルーブを記録する。レジストを現像した後、ガラス基板上のグルーブにニッケル (Ni) をスパッタ・めっきすることによって、Ni からなるグルーブを有したスタンプが作製される。

BD では DVD の 5 倍以上の密度を実現するため、320nm ピッチのグルーブの形成が必要となり、これには DVD の 740nm ピッチの溝と比べて 2 倍以上の精度が必要となる。波長 248nm の遠紫外レーザーと高 NA レンズ、ならびにレジスト材料開発、現像プロセスの高精度化によってスタンプ作製技術を確立した。

#### ② 射出成形工程

工程①で作製された Ni スタンプから、ポリカーボネート樹脂を用い、射出成形によって溝付き基板を作製する。BD は DVD と比較してグルーブの密度が高くなっているうえに、基板の厚みが 0.6mm から 1.1mm と厚くなったことで射出成形時に基板の冷却が遅くなるため、生産タクトを短くすることが困難であったが、成形プロセスを新規開発することによって、高タクトの射出成形技術を確立した。

#### ③ 第 1 記録膜等成膜工程

基板のグルーブ上に第 1 記録膜を成膜する。第 1 記録膜は複数の層から成っており、それぞれの層をスパッタリングによって同一チャンバー内で連続成膜することによって作製される。

#### ④ 中間層形成工程

第 1 記録層上に UV 硬化性樹脂からなる中間層を形成する工程で、中間層には後の工程の第 2 記録層用のグルーブを形成する必要がある、また高い厚み精度が要求される。中間層は 2 種類の特性の異なる UV 硬化性樹脂をそれぞれ基板上、樹脂製スタンプ上に塗布し、貼り合わせした後、硬化させることで樹脂製スタンプのグルーブが複製される。(第 5. 2 項で詳述)

#### ⑤ 第 2 記録膜等成膜工程

中間層のグルーブ上に第 2 記録膜を成膜する。第 2 記録膜も第 1 記録膜と同様に複数の層から成っており、それぞれの層をスパッタリングによって作製する。第 1 記録層は第 2 記録層を透過した光によって記録再生するため、第 2 記録層には光の透過性といった機能も要求される。(第 5. 3 項で詳述)

#### ⑥ カバー層形成工程

第 2 記録層上に UV 硬化性樹脂からなる 75 $\mu$ m の厚みのカバー層 (保護層) を形成する。カバー層にも高い厚み精度が要求される。本工程においては、カバー層表面の傷つきを防止する役割を有するハードコート層も同時に形成している。カバー層には前述したように高い厚み精度が要求されるため、センターキャップを用いたスピコートと UV 硬化性樹脂の硬化プロセス開発によって、高精度カバー層形成技術を確立した。

#### ⑦ 裏面成膜工程

基板のグルーブが形成されているのと反対の面に水分の出入りを制限する膜をスパッタリングで形成する。2 層記録型 BD ディスクを構成する基板、中間層およびカバー層はすべてプラスチックであるため水分の放出・吸収により収縮・膨張が起りやすい。それに加えて、厚さ方向 (断面) に対して非対称な構造になっており、ディスクの周囲環境の湿度が変化するとディスクに反り (チルト) が発生してしまう。そこで樹脂基板表面に水分の出入

りを制限する膜をスパッタリングで形成することにより、反りの発生を抑制することができ  
る技術を確立した（第5. 4項で詳述）。

#### ⑧ 検査工程

工程⑦で完成した BD ディスクの欠陥・チルト・厚みを検査する。ディスク全面でおよそ3  
秒での高速検査が可能である。

これら工程を経て2層記録型 BD は生産される。

以下では上記した2層記録型 BD 製造工程のうち、今回開発した独自技術である

- 2液樹脂スピコート工法による高精度中間層の量産製造技術
- 記録型相変化記録材料と高精度積層成膜の開発
- 裏面成膜構造による低チルト2層ディスクの量産製造技術

について詳述する。

#### (2) 2液樹脂スピコート工法による中間層の量産製造技術

ここでは2層 BD を実現した当社独自の技術である2液樹脂スピコート工法による高精度中  
間層の量産製造技術について詳述する。

##### 1) 実現すべき性能と開発思想

中間層に求められる性能には大きく3つある。

- ①第2記録層用のグルーブの複製
- ②平均厚さが約25 $\mu\text{m}$ で、カバー層と中間層を合わせた厚みムラが $\pm 2\mu\text{m}$ 以下
- ③第1記録層の記録再生のための透明性

この3つの性能を実現するため、従来は膜厚25 $\mu\text{m}$ のUV硬化性のシート状材料（以下、  
UV-PSA）を用いて中間層が形成されてきた。しかし、この工法は、厚みの精度は高いが、材料  
を一度シート状に加工する必要があり、その費用が原価に大きく影響してしまっていた。その結  
果、原価の点で、2層ディスクは単層のディスクに対して、その容量差を加味しても許容できな  
いレベルにならざるを得なかった。

そこで、低コストな中間層工程の実現に向け下記開発指針を立てた。

- ・材料に対する余分な加工費がかからない液体のUV硬化性樹脂で中間層を形成する。ただ  
し生産設備はスピコートをベースとした簡便なものとし、かつUV-PSAを用いた場合と  
同等の厚み精度と生産性（タクト）を実現する。
- ・第2記録層用のグルーブを転写する透明スタンプも中間層形成のコストとなるため、ガラ  
スなどの高価な材料は使わず、樹脂などの低価格な材料を使う。特に樹脂材料の中でも基板  
と同じ材料であるポリカーボネートを透明スタンプとして使用できれば、元々の材料費が安  
いうえに基板と同一材料であるために購入が一元化でき、スケールメリットでのさらなる低  
コスト化も期待できる。

## 2) 中間層工程の開発

### (i) 機能分離した 2 種類 (2 液) の UV 硬化性樹脂による低コスト化の実現

本指針に沿った中間層工程開発にあたり、本工程に使用する UV 硬化性樹脂に求められる性能を図 3 に示す。

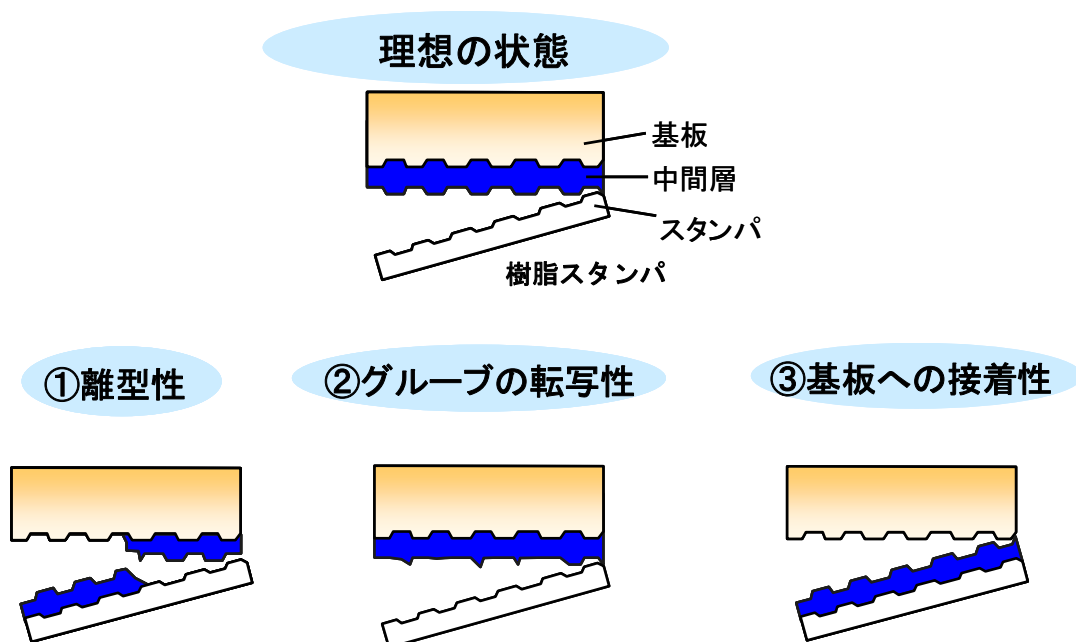


図 3 UV 硬化性樹脂に求められる性能

#### ① 離型性

樹脂スタンプを剥離する際に中間層に負荷が加わると、中間層が切断されることがあるため、樹脂スタンプと中間層は無理なく剥離できる必要がある。

#### ② グループの転写性

中間層には樹脂スタンプから第 2 記録層用のグループが良好に転写されなければならない。

#### ③ 基板への接着性

樹脂スタンプを剥離するとき、また剥離した後も、中間層は基板に接着していなければならない。

これら 3 つの機能を 1 種類の UV 硬化性樹脂で実現することは困難である。特に低コスト化のためには基板と同じポリカーボネートをスタンプにも使用することが必要で、ポリカーボネートスタンプからの離型性と基板への密着性という 2 つの相反する機能を両立することは困難であった。そこで我々はこれら 3 つの機能を併せ持つ中間層形成に対する課題解決方法として、3 つの機能を図 4 に示すように 2 種類の UV 硬化性樹脂に分離して中間層を形成する技術を開発した。

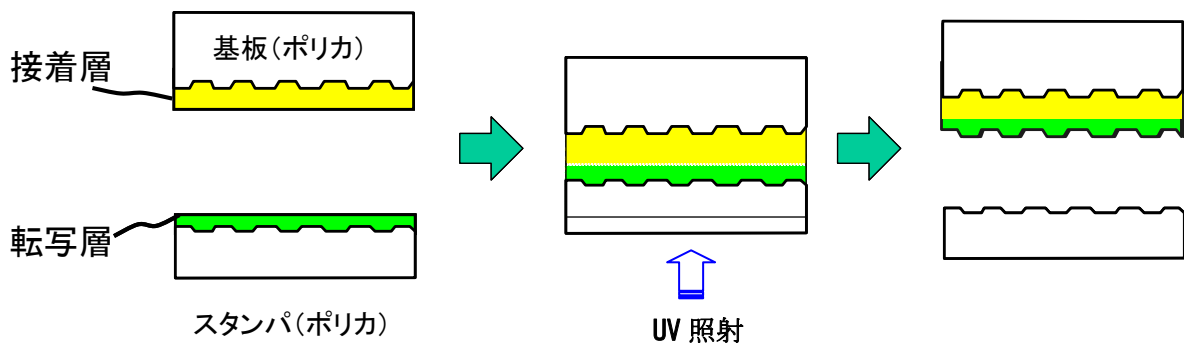


図4 樹脂スピコート工法による中間層形成工程

我々が開発した2種類のUV硬化性樹脂の有する機能について説明する。

転写層・・・透明スタンプからの離型性とグループの複製（転写性）

接着層・・・基板（ポリカーボネート）との接着性

これら機能の異なる2種類のUV硬化性樹脂を用いた中間層形成工程は以下のとおりである。

- ①透明スタンプに転写層を塗布
- ②基板に接着層を塗布
- ③透明スタンプと基板をそれぞれに塗布した転写層と接着層が対向するように一体化
- ④透明スタンプ側からUV光を照射して硬化
- ⑤透明スタンプと基板を保持し、それぞれ逆方向に引っ張る

透明スタンプと基板を逆方向に引っ張ることで、離型性を有する転写層と透明スタンプの界面で剥離が起こり、透明スタンプのみが剥離され、転写層に透明スタンプのグループが転写される。一方接着層により転写層が基板と強固に接着し、転写層と接着層が一体化された中間層が形成される。

これにより低コスト化に有利な基板と同じ材料であるポリカーボネートを透明スタンプとしながらも、中間層に必要とされた、スタンプからの離型性、グループの転写性、基板への接着性の3つの機能を実現した。

(ii) キャップを用いたスピコートによる厚みの均一化

先の開発によってポリカーボネートスタンプで低コスト中間層形成が可能となったが、その工程を図5に示す。

2種類のUV硬化性樹脂を利用し、ポリカーボネートの透明スタンプを用いることで低コスト化の可能性が示されたが、液体のUV硬化性樹脂でも、UV-PSAを用いた中間層と同程度の厚み精度（ $25\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ ）を実現しなければならない。UV硬化性樹脂はスピコート法によって塗布されるのが一般的であり、設備コストの面から考えても

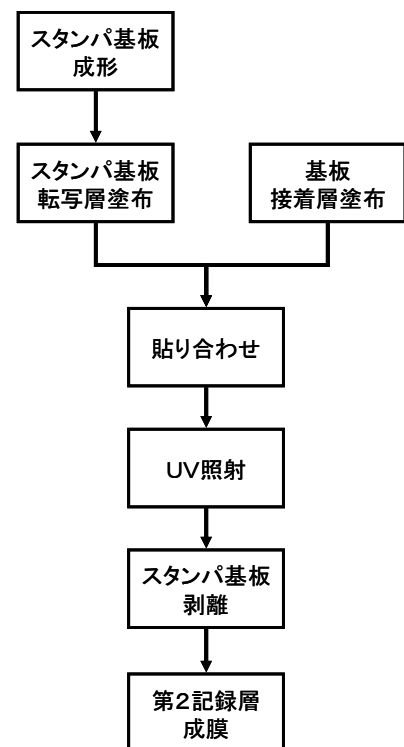


図5 中間層形成工程



世の中で広く使われているスピコート設備によって実現されることが望まれる。しかしスピコート法は基板を回転させた遠心力によって樹脂を外周側に移動させるため、樹脂が内周から外周に流れて、樹脂の厚みが基板の内周側で薄く外周側で厚い、という径方向に厚みの分布を持つという課題があった。

この径方向の厚み精度の課題を解決した技術について以下に述べる。

従来のスピコート法を図6に示す。従来のスピコート法では、まず基板を回転テーブルに保持した後に、基板の内周部分にドーナツ状にUV硬化性樹脂を滴下、その後基板を回転させることで基板全面に樹脂を延伸する。前述したように、この方法においては遠心力によってUV硬化性樹脂を外周側に延伸するため樹脂が外周側に移動してしまい、内周側で薄く外周側で厚い分布を持ってしまう。

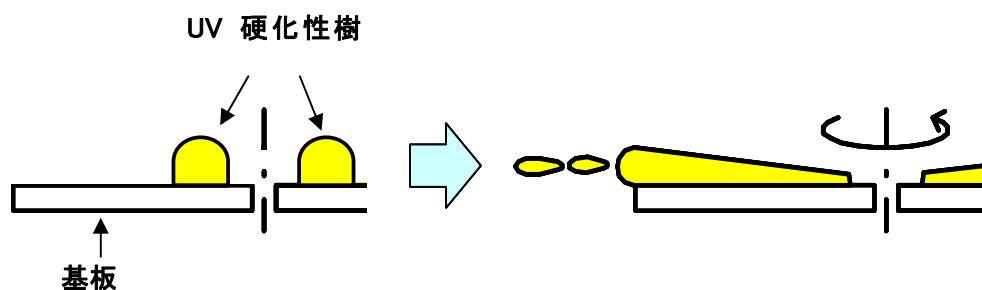


図6 従来のスピコート

この現象は、内周部分に滴下したUV硬化性樹脂が外周に移動し、内周部分の樹脂量が不足してしまうことで発生する。そこで遠心力で外周へ移動する樹脂量と内周部分に供給され続ける樹脂量の関係を一定とし、径方向の厚み分布を均一に維持するように、スピコート中にも内周部分に安定した量の受信を供給し続けるスピコート方法開発を目指した。

しかしながらBDの基板は中心部分に直径およそ15mmの孔を有するため、回転中心に安定した樹脂供給を行うことはできない。そこで図7のように基板の中心孔を特殊な形状のキャップで塞ぎ、そのキャップ上に樹脂を供給することで径方向厚み分布を制御する方法を開発した。

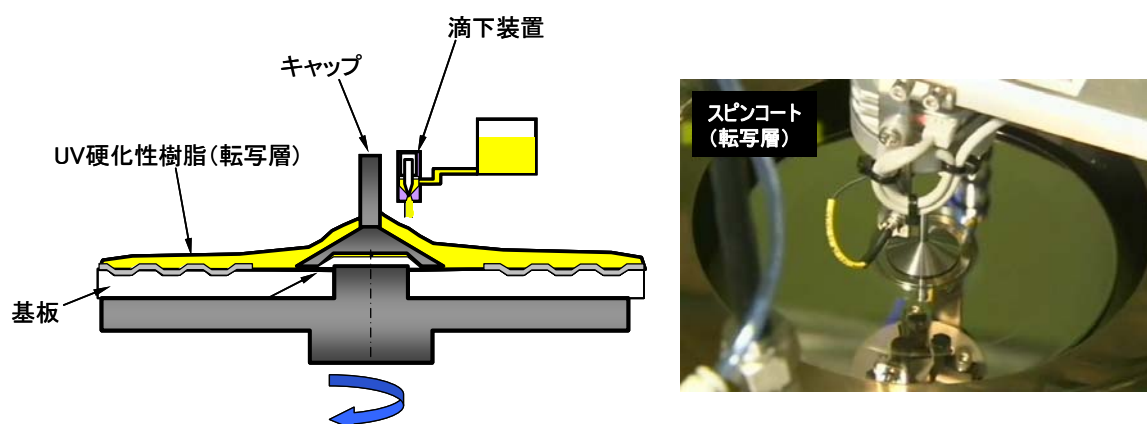


図7 キャップを用いた新開発のスピコート法

この新スピコート法において、UV 硬化性樹脂の滴下量および滴下のタイミング、UV 硬化性樹脂の粘度、および基板の回転プロファイルを変えることにより、従来のスピコート法では内周から外周にかけて厚くなるだけの径方向の厚み分布を、内周から外周まで均一にするだけでなく、逆に内周から外周にかけて厚くなる径方向分布にまで自在にコントロールできるようになった。

この方法によって、転写層および接着層の 2 種類の UV 硬化性樹脂をそれぞれ透明スタンプおよび基板にスピコートで均一に塗布することが可能となった。それぞれを均一に塗布し、図 4 のように重ね合わせて硬化することで均一な厚みを持つ中間層を得ることができる。

しかしながら、新開発のスピコート法では、従来と比べキャップおよびキャップのハンドリングという設備が新たに必要でコスト増となる。そこで新開発のスピコート法が径方向の厚み分布を自在に制御可能であることを活用し、設備面でのコスト増を最小限に抑える新しい工法を開発した。すなわち新開発したスピコート法を透明スタンプへの転写層の塗布に適応し、基板への接着層の塗布は従来のスピコート法で行うこととした。従来のスピコートにより接着層に発生する内周から外周にかけて厚くなる径方向分布を打ち消すように、新開発のスピコート法によって転写層に内周から外周にかけて薄くなる径方向分布を形成した。図 8 に径方向分布を逆勾配にして中間層としての厚みを均一化する方法を、図 9 に接着層および転写層の厚み分布を示す。

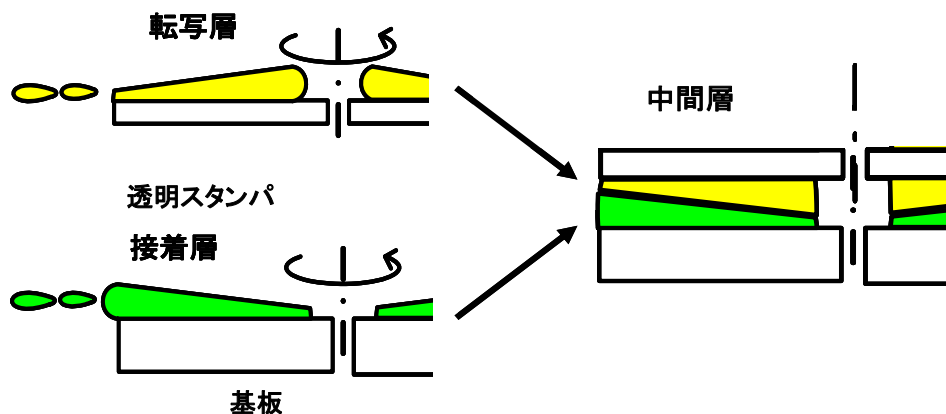


図 8 径方向を逆勾配にすることによる中間層厚みの均一化

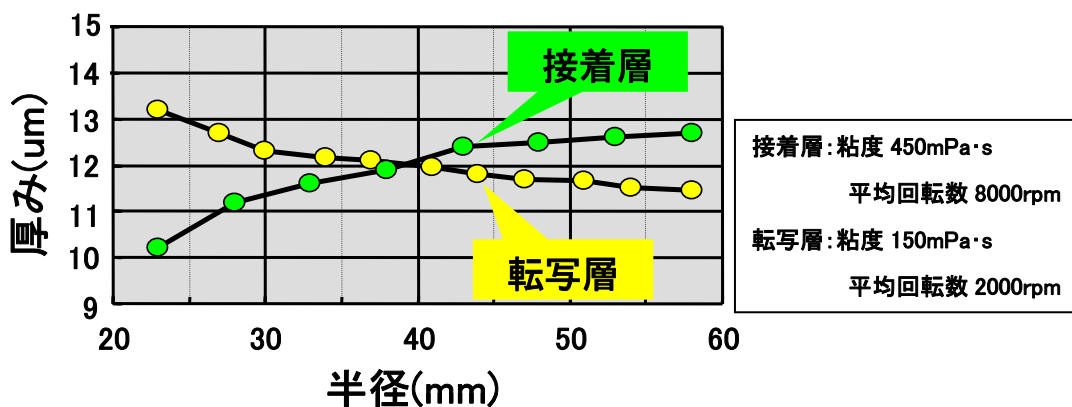


図 9 接着層および転写層の径方向厚み分布

こように、キャップを用いた新開発スピコート法は転写層にのみに適応することで、キャップおよびキャップのハンドリングといった設備面でのコスト増を最小限に抑えることができた。本工法によって作製した中間層の厚み分布を図 10 に示す。

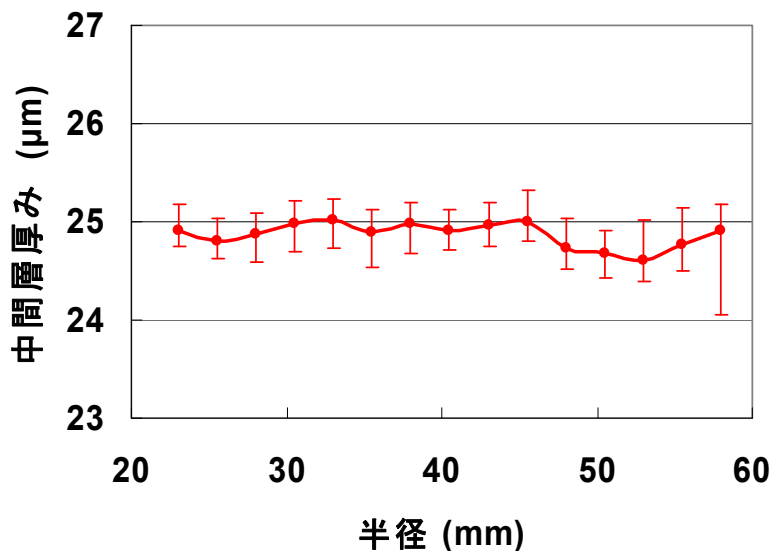


図 10 新開発スピコート法で作製した中間層の厚み分布

BD の信号領域である半径 23mm から 58mm の範囲で 2.5mm おきに 15 半径、各半径においては 1 周 60 点の測定を行っている。グラフ中の丸点は各半径での平均値、エラーバーは各半径での最大値と最小値を示している。グラフから、新開発のスピコート法によって平均厚み 25 $\mu$ m に対して $\pm 1\mu$ m 以下の非常に均一な厚み分布を持つ中間層形成が可能となったことがわかる。

これら技術の開発によって、スタンプの材料コストおよび中間層材料コストが 1/10 以下となり、DVD 並みの材料コストで BD-RE および BD-R の中間層を形成する量産製造技術を実現した。

### 3) 記録型相変化材料の開発

#### (i) 2 層書換型 (BD-RE) 相変化材料の開発

DVD においては片面 2 層の再生専用 (ROM) ディスクが当初から実用化されたが、書換型で片面 2 層光ディスクを実用化したのは BD-RE が最初である。

相変化記録は、レーザ光の照射条件を変えて、無機薄膜上の集光スポットの加熱、冷却を制御することによって相状態を変化させ、非晶質 (アモルファス) と結晶の相で情報を記録する。書き換え型の原理を、図 11 に示す。記録パワーを照射すると、集光部分は融点以上に加熱された後、急冷されて非晶質になり、情報が記録される。一方、消去時は結晶化温度以上、融点以下の温度まで加熱され、ゆっくりと冷されることによって結晶状態になり、記録部分が消去される。再生は、結晶化温度以下のレーザを照射し、非晶質部と結晶部の反射率の変化を検出することによって行うものである。

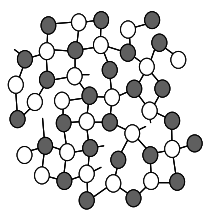
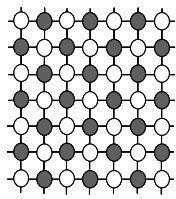
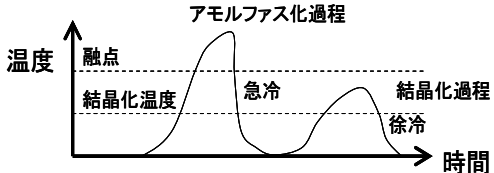
	非晶質(アモルファス)	結晶
分子構造		
反射率	小さい	大きい
温度変化によるアモルファス化と結晶化		

図11 相変化記録のしくみ

2層書換型(BD-RE)相変化材料を実現する上での大きな課題となったのは以下の2つである。

- ① 単層ディスクの場合は、透過光はロスになるので無駄な透過光がないように設計するが、片面2層ディスクでは、レーザー光入射側の層(第2記録層、以下L1層と呼ぶ)と奥の層(第1記録層、以下L0層と呼ぶ)がレーザー光のパワーを半分ずつ使うように、手前のL1層は約半分の光量を透過するように設計することが必要になる。L0層の場合は、透過率を考慮する必要が無いため、光吸収のある反射膜、相変化膜でも厚膜化が可能である。しかし、高い透過率が求められるL1層の場合、反射膜、相変化膜の厚膜化には限界があり、可能な限り薄くしなければならない。すなわち、薄くしても相変化が高速に生じ、十分大きい光学的变化がとれる材料の実現が必要である。
- ② L1層は記録部と未記録部が混在するが、両部分の透過率が異なると、L1層を透過するレーザー光の強さが変化し、L0層の記録・再生に影響を及ぼす。このため記録によって、記録部の反射率が未記録部に対して変化しても両部分の透過率が一定である記録膜の実現が必要である。

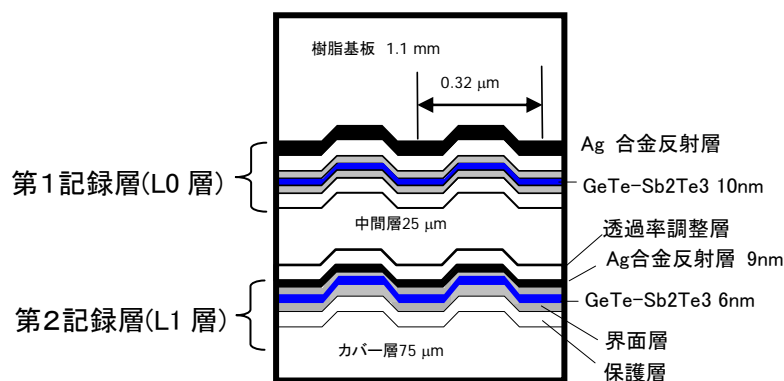


図12 2層記録型BDの断面構成

この2つの課題を解決すべく、以下に記載するような記録層材料の開発を行った。

a. 透過層調整層の適用と高速記録材料の開発による記録層の超薄層化

図12に2層記録型BDの断面構成図を示す。記録膜  $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$  の両側界面には5nm程度の界面層が形成されている。この界面層の働きは相変化記録膜である  $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$  系薄膜と保護層 ( $\text{ZnS-SiO}_2$  層) 間で発生する原子の相互拡散を抑制するものである。界面層はDVD-RAMで実績のある  $\text{GeN}$  膜の利用が望まれるが、青紫色波長域で若干の吸収があることから、エネルギーの大きい青紫色レーザーを用いて記録するBDには、繰り返し特性等に不適であることが判明した。

そのため、新たにこの波長域で透明度の高い材料層を用いることが必要となった。そこで、界面層としての適性を有する材料を探索した結果、 $\text{ZrO}_2$  をベースとする材料系で優れた特性を得る膜を見出すことができた。

しかし、新たな界面層を用いた場合においてもL1層の透過率が低いという課題が残った。L1層の透過率を上げるために、記録膜あるいは反射膜の膜厚で調整を図った。図13に反射膜を10nmとし、相変化膜を変化させた場合、記録膜を6nmとし反射膜の膜厚を変化させた場合の透過率とコントラストのシミュレーション結果を示す。横軸は膜厚、左の縦軸が透過率、右の縦軸がコントラストを示している。コントラストとは記録部分と未記録部分の反射率の差を表したものである。ここで、目標とする透過率は50%、記録再生に必要なコントラストは0.8である。

図に示したシミュレーションの結果、記録膜、反射膜を薄くすると当然ながら透過率を向上できるが、逆にコントラストが低下することがわかる。したがって、記録膜や反射膜の膜厚を調整するだけのアプローチでは、透過率50%、コントラスト0.8の両立が不可能であった。

そこで、我々は新たな誘電体膜を設置することによりこの課題を解決することを考えた。この誘電体膜を、透過率調整膜と呼び、反射膜との境界面の反射を抑制しつつ、光干渉によってコントラストを上

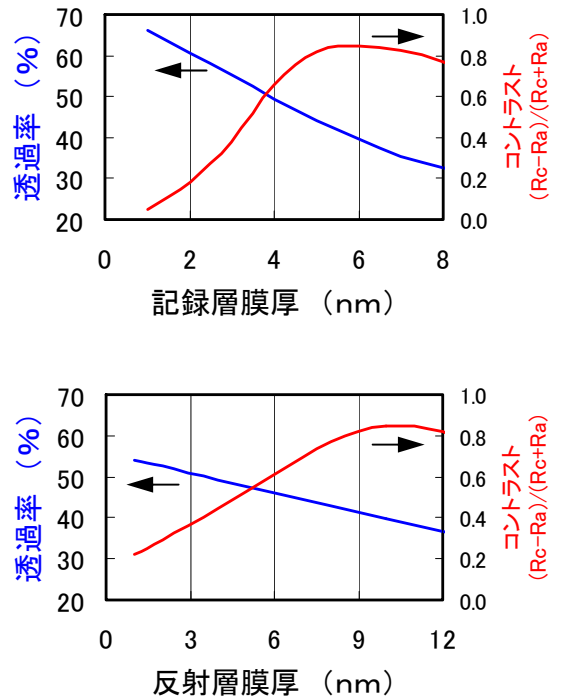


図13 記録膜、反射層の膜厚と透過率及びコントラスト比の関係

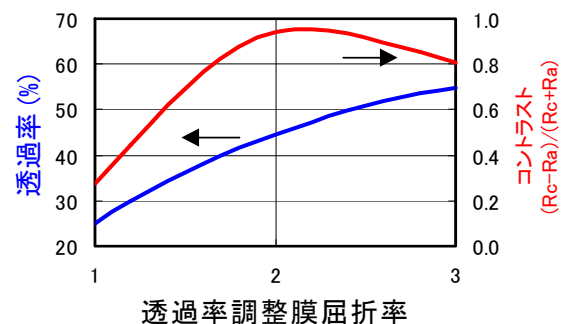


図14 透過率調整膜の屈折率と透過率及びコントラスト比の関係

げる役目を果たす。

図 14 に透過率調整膜の屈折率と透過率、コントラストのシミュレーションの結果を示す。シミュレーションにより透過率調整膜の屈折率を大きくとることができれば、透過率とコントラストの両立が可能であることがわかった。

次に、この高屈折率材料の選定に当たっては、下記の要素が必要である。

- ① 熱的安定性のため、融点が高いこと
- ② 反射膜 (Ag 系材料) を腐食しないこと
- ③ 耐候性を持たせるため、水に不溶なこと

屈折率が  $n=2.6$  以上であり、上記の要件を満たす材料を模索した結果、融点が高く ( $1800^{\circ}\text{C}$  以上)、反射膜材料、湿度に対して安定である  $\text{TiO}_2$  膜が最適であった。この透過率調整層を開発した結果、相変化膜の膜厚が  $6\text{nm}$  で、 $50\%$  以上の高い透過率とコントラストを実現した。

次に、記録膜が薄層化しても、高速記録に適するように改良した  $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$  系材料について説明する。今回、 $\text{Ge}_4\text{Sb}_2\text{Te}_7$  という記録膜で構成元素の  $\text{Ge}$  を一部  $\text{Sn}$  に置き換えることで高速化を達成した。図 15 は記録膜の各種厚さに対して、結晶化が確認できたレーザー照射時間を示す。Sn の濃度が大きくなるほど薄い膜厚でも短いレーザー加熱に対応して結晶化が生じることがわかる。

以上のことから、レーザー波長に応じた界面層と透過層調整層及び高速記録材料の開発により、記録層の超薄層化に成功した。

#### b. 反射率が変化しても透過率が一定の記録膜の実現

相変化が生じれば、一般的に相変化膜の透過率は変化し、通常結晶化が起こるため光は透過しにくくなる。したがって、2層ディスクでは  $L_0$  層へ記録を行う場合  $L_1$  層の状態によって記録感度の低下、再生信号の減少という課題が生じる。さらに、この現象が局所的におきる場合には、記録信号が歪み、再生信号にはノイズが乗るといった課題があった。

このことは、光学定数の変化から説明が可能である。記録膜の複素光学定数を  $n + ik$  ( $n$ : 屈折率、 $k$ : 消衰係数) と表した場合、結晶部の光学定数からアモルファス部の光学定数を引いた変化量  $\Delta n + i\Delta k$  において、 $\Delta n > 0$  は表面反射の増大 ( $\Delta n < 0$  は表面反射の減少)、 $\Delta k > 0$  は吸収の増大 ( $\Delta k < 0$  は吸収の減少) を意味する。例えば、 $\Delta n > 0$  かつ  $\Delta k > 0$  であれば結晶化によって表面反射及び吸収が増えるため透過率は膜厚とともに一方的に減少する。

ここで、我々が想定した  $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$  系の記録膜では、 $\Delta n < 0$  かつ  $\Delta k > 0$  であるため、表面反射は減るが吸収は増える。そのため、透過率は記録膜が薄い間は  $\Delta n$  の項が効いて、透過率は増大し、やがて  $\Delta k$  の項が支配的になって透過率は減少に転じる。このとき  $|\Delta n| = |\Delta k|$  という条件が整えば、透過率が変化しない膜厚条件が得られる。すなわち、 $L_1$  膜の吸収量と表面反射

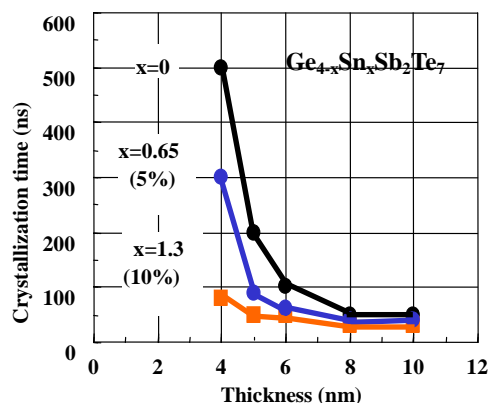


図15 結晶化に必要なレーザー加熱時間の組成依存性 (GeのSn置換効果)

量をコントロールすれば透過率の変化しない記録媒体を作ることが可能であることが推定される。

図 16 に相変化材料層を誘電体材料でサンドイッチした状態で透過率 ( $\lambda=405\text{nm}$ ) を測定した結果を示す。左図が GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 系、右図は別の材料系で DVD-RW 等に用いられ、BD-RE にも使用されている Sb-Te 系材料である。GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 系では記録膜の厚さが 10nm 程度までの間は、膜厚によらず結晶部とアモルファス部の透過率にほとんど差のないことがわかる。一方、従来、書換型相変化材料として用いられていた Sb-Te 系では膜厚 12nm 以上のところで結晶部とアモルファス部の透過率に差がなくなってくる。これは、Sb-Te 系では  $\Delta n < 0$  かつ  $\Delta k > 0$  であるが、 $|\Delta n|$  が  $|\Delta k|$  よりも、かなり大きいいため透過率が交差する膜厚領域が厚い方向にシフトするからである。したがって、L1 層の条件である透過率 50%以上を満たす膜厚ではアモルファスと結晶部で差がでてしまい、L0 層の記録再生に影響を及ぼすという課題を解決できない。

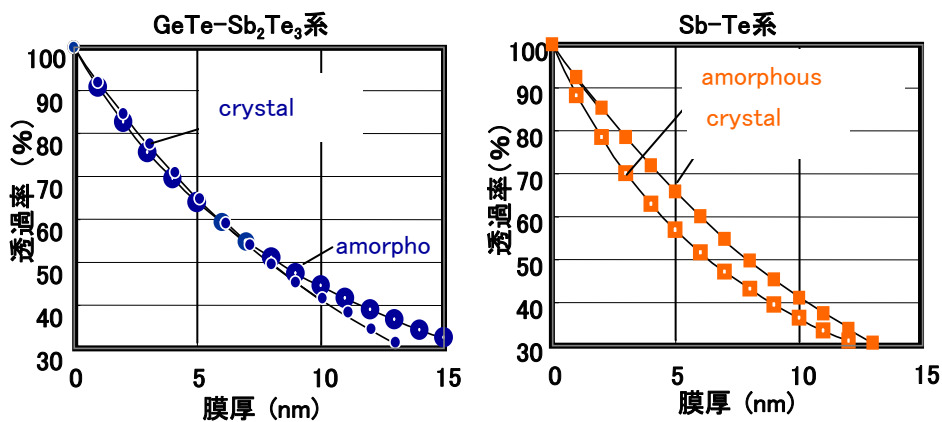


図16 アモルファス部と結晶部との透過率比較

図 17 に GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 系材料の記録膜を膜厚 6nm で作製した 2 層ディスクの再生結果を示す。図は L1 層を記録した場合と未記録の状態での L0 層に記録再生した場合の再生信号の波形を現している。図から L1 層の記録、未記録に関わらず、L0 層は影響を全く受けていないことがわかる。

以上より、課題であった、レーザ光入射側の記録層を透明に近く（薄く）し、且つ相変化が高速に生じて、十分大きい光学的变化がとれる青紫色レーザに適合した相変化材料の実現と、反射率が変化しても透過率が一定の記録層の実現の両方を達成した。この記録層により、2 層書換型 (BD-RE) ディスクの商品化に世界で初めて成功した。

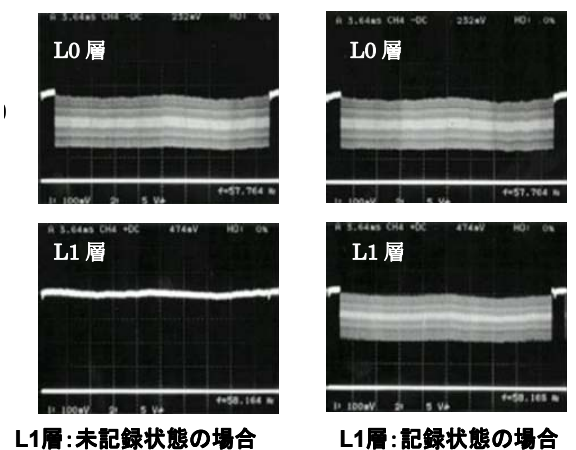


図17 L1層の記録・未記録状態でのL0層の再生信号

(ii) 高倍速対応の2層追記型 (BD-R) 相変化材料の開発

従来から追記型ディスクは、市場から3つの要望がある。

- ① 高速にデータをバックアップできること
- ② データの保存信頼性が高いこと
- ③ 一度記録したデータは書き換えができないこと

当社では、高倍速対応の2層追記型 (BD-R) 記録材料として、REと同様な相変化材料の記録膜を用いた。相変化材料で構成することにより、REと似た特性が得られるため、L1層の開発が比較的容易であると想定し、開発を始めた。相変化材料であるため記録再生原理はBD-REと似ているが、記録前の状態がアモルファスで、記録マークが結晶である点が正反対である。図18に今回開発したテルル (Te) とパラジウム (Pd) と酸素 (O) からなる記録膜への記録原理を示す。追記型のため、一度記録した上に記録ができないこと、長期保存時に安定であることなどから本組成を選択した。記録層は記録膜を誘電体膜でサンドイッチし、そこに反射膜を積層した構成となっている。構成自体は書換型に非常に近いが界面層、透過率調整層を必要としない。記録は、元々TeO<sub>2</sub>のアモルファス膜中にTeやPdの微粒子が分散されたアモルファスの状態から、レーザーによって融点以上に加熱し冷却することで、TeやTe-Pd粒子が大きくなって結晶化することを利用している。結晶化された常態では、nとkがアモルファスよりも大きくなり反射率が大きくなるため、この変化を判別することによって読み出しを行う。ただし、記録マーク部分の反射率が低いBD-REと同じ極性の反射率変化に揃えた方が再生機的设计が容易になるため、誘電体膜の厚みを調整して記録後の反射率が下がるように光学設計を行っている。この物理的な変化を利用しているため、本材料はレーザー光で融点以上に再度加熱してもアモルファス化することが困難であるため、追記型記録膜に適している。

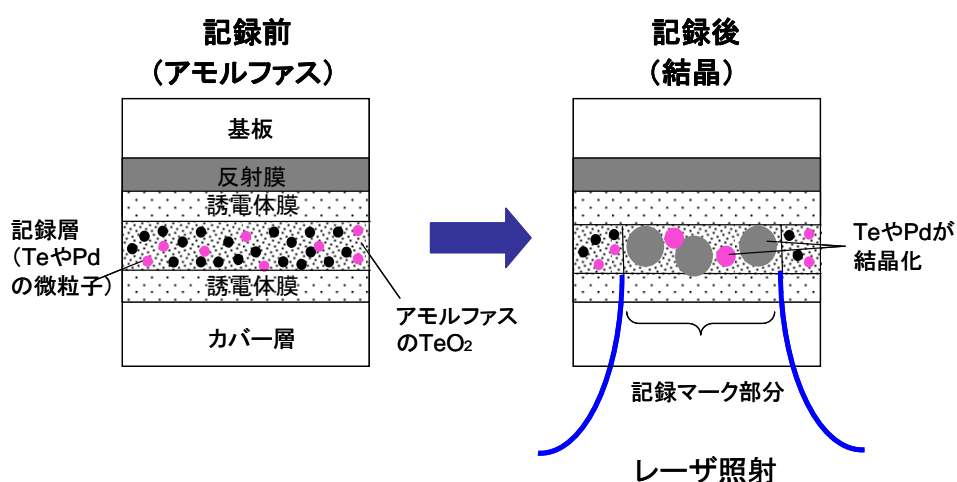


図18 相変化タイプBD-Rの原理



図 19 に高倍速対応の 2 層追記型 (BD-R) の断面構造を示す。

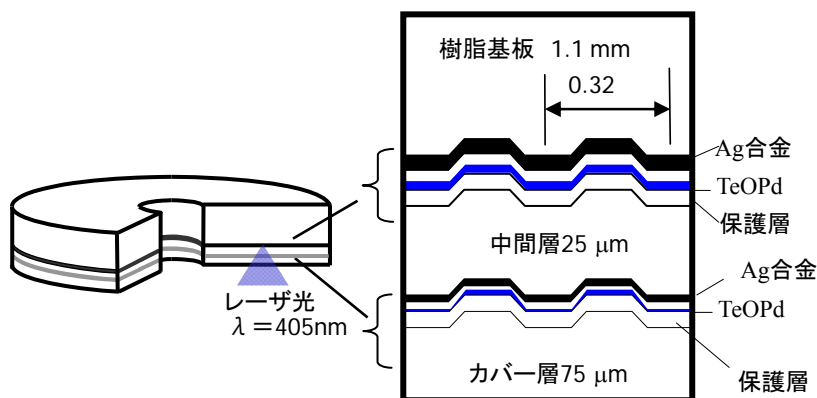


図19 2層追記型 (BD-R) の断面構成

ここで、高倍速記録を行うことによる新たな課題が発生した。開発した記録膜を高倍速で記録した場合、レーザー照射された温度分布が広がるため、記録マークのエッジ部分が不鮮明になり、記録信号の品質が劣化してしまうことがわかった。この原因を追究したところ、記録膜を形成するスパッタリングに用いるターゲットの組成によって、TeOPd の形成にばらつきが発生し、結果 TeOPd 膜中に融点の低い成分が多く発生していることが明らかになった。そこで、ターゲット材料の組成、スパッタリング条件を変更し、より TeO<sub>2</sub> の酸化物を安定して成膜することによってこの問題を解決した。また、この同組成、条件ではターゲット材料の耐熱性が増し、高い成膜パワーを投入しても安定にスパッタリングできることが想定されたため、タクト短縮やターゲット交換頻度の長期化のメリットが同時に得られた。図 20 に改善前、改善後の記録膜を各々昇温させた場合の透過率変化を示す。ここで、昇温とともに透過率が低下するのは記録膜が結晶化してマークが形成されることを示している。図 20 によると、新組成の方が記録マーク形成過程の温度勾配が急峻（2 倍程度）でスレッシュホールドがより鮮明である。これにより、高速・高密度記録において微小なマークを形成する際にエッジ部分が鮮明化し、信号品質を向上させるとともに、

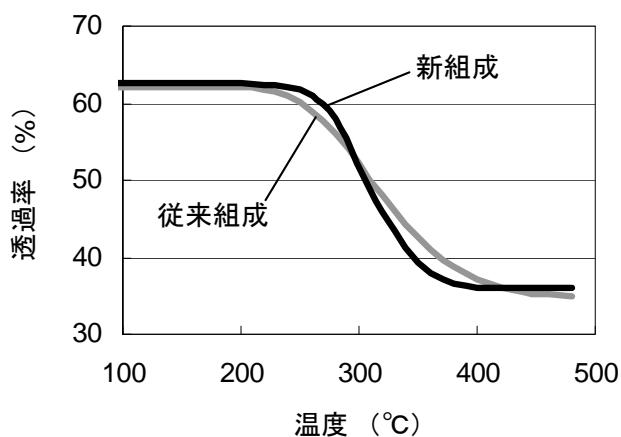


図 20 記録膜の温度－透過率特性

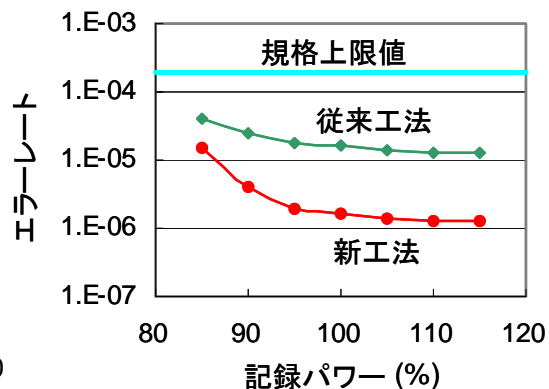


図 21 6 倍速記録時の再生特性

高温の悪条件に対しても膜の組織・状態が変化しにくくなり、データの保存信頼性を高めることができる。図 21 に 6 速で記録再生を行ったときの、記録パワーと信号の誤り率であるエラーレートの関係を示す。横軸は記録パワーを表しており、100%が最適記録パワーを表す。図より、従来工法に比べ新工法では、どの記録パワーにおいてもエラーレートが低く、良好な記録特性が得られていることが判る。また、記録パワーマージンが広く、記録安定性に優れていると共に、記録パワーの増加によっても十分な特性が認められることから更なる高倍速化に十分に対応できるようになっている。

また保護膜としては、記録特性・信頼性等の面を考慮して新しい誘電体材料を用いている。表 3 に今回検討した主な候補材料の比較結果を示す。表に示す各条件を満足するためには以下の特性が必要と考えて候補材料の探索を行った。

- ①高温でも安定な非晶質状態を保持可能
- ②ターゲットの組織が微細かつ均一
- ③適度な熱伝導性を有する事
- ④隣接層との間で拡散・反応せず、密着性を有する事
- ⑤大量生産されているターゲットと同じ安価な製法で作製可能。

保護膜のベース材料は、工業的によく用いられる酸化物のうち、成膜レート、融点、熱伝導率、Ag や Te との反応性・密着性の観点から選んだ。このベース材料への添加物として、ベース材料と高温でも固溶せず、経験則から記録膜との密着性改善効果がある材料を選んだ。こうして抽出した候補の中から保護膜に最適な複合酸化物誘電体を見出すことができた。これにより従来材料の優れた点を維持しながら成膜レートとコストダウンが達成できた。

表 3 誘電体材料の試験結果比較

誘電体材料	従来	候補A	候補B	候補C	候補D
材料価格(相対値)	1.00	0.69	0.54	0.54	0.65
成膜レート	△	×	○	○	○
放電安定性	○	○	○	○	○
パーティクル発生	○	△	×	×	○
記録感度	○	○	△	△	○
記録信号品質	○	○	△	△	○
耐湿性	○	○	△	△	○
隣接層との密着性	○	○	○	○	○

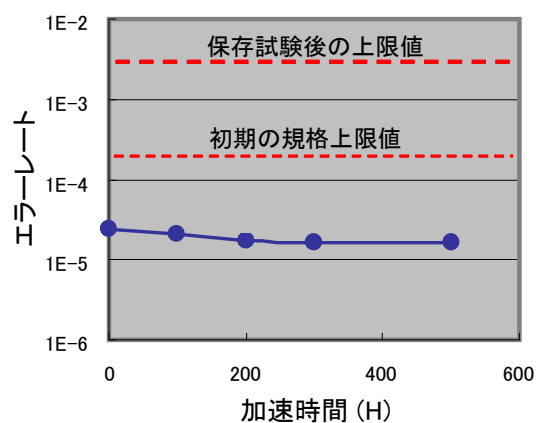


図 22 記録膜の保存試験結果

次に、信頼性試験の結果を示す。6 倍速で記録したディスクを 80°C80%RH の高温高湿度条件下で保存した後に再生を行った結果を図 22 に示す。縦軸はエラーレート、横軸は加速試験時間である。開発したディスクは、初期から 2E-5 程度の良好なエラーレートを示し、500 時間まで加速してもほとんど劣化がみられない。

以上のように相変化タイプの追記型記録膜の開発を行った。この記録膜は高倍速化での信号品質が高く、保存環境試験においても劣化の小さい優れた環境信頼性を実現している。またコスト・

生産性の面でも優れており、2層 50GB の記録容量を有し、6 倍速記録が可能な BD-R メディアの商品化を他社に先がけて成功させた。

#### 4) 裏面成膜構造による低チルト 2 層ディスクの量産製造技術

ここではディスクの反り（チルト）の発生を抑え、信頼性を向上させた技術について述べる。

##### (i) チルト

2 層 BD と DVD の断面の比較を図 23 に示す。

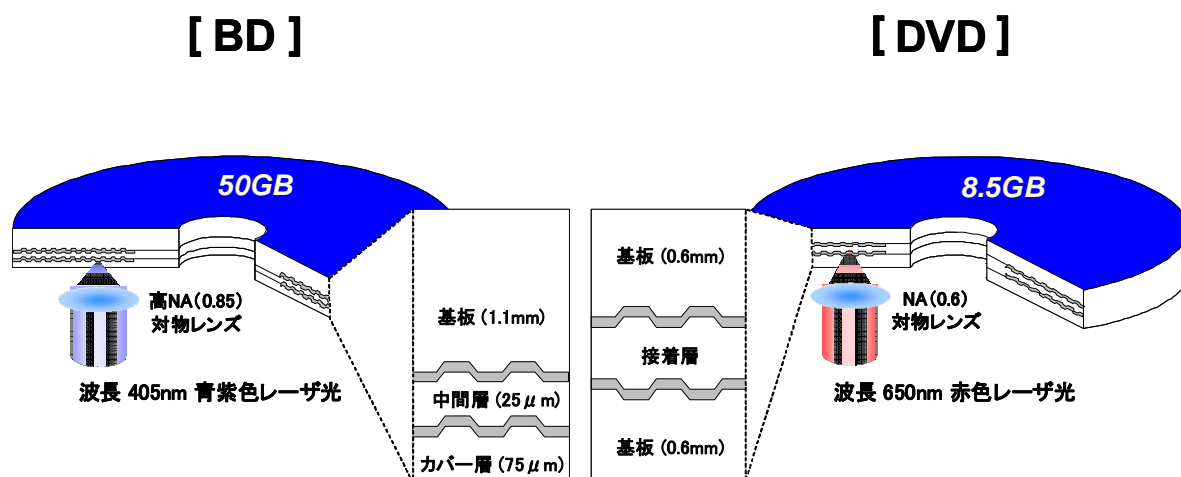


図 23 2 層 BD と DVD の断面の比較

DVD が 0.6mm の基板を接着層で貼り合わせた厚み方向に対称な構造を有しているのに対し、BD は基板の一方の面に中間層、記録層、カバー層を形成するという非対称な構造である。また BD を構成する材料は、基板がポリカーボネートであり、中間層およびカバー層はアクリルを主成分とする UV 硬化性樹脂であり、ポリカーボネートやアクリルといったプラスチック材料は水分を吸収しやすく、吸湿・放湿によって大きく膨張・収縮する。また同じプラスチック材料であってもポリカーボネートとアクリルでは吸湿速度や膨張率が異なるため、BD は周囲環境、特に湿度が変化した場合において、吸湿・放湿による膨張・収縮によって大きな反り（チルト）を発生しやすい。

ここでチルトの定義を図 24 に示す。チルトはカバー層を下方にして保持した BD に鉛直下方から入射したレーザーの反射する角度で定義し、ディスクが上方に沿った場合を+、下方に沿った場合を-としている（つまり、鉛直下方から入射したレーザーがディスクの外周側に反射するのが+、内周側に反射するのが-であり、図中の絵は-にチルトしているディスクである）。

BD でもは、使用環境下においてこのチルトが規定値を満たすことが求められる。

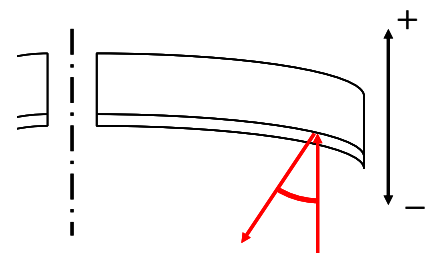


図 24 チルトの説明図

ここで、実使用環境に即した実験条件について考察する。ディスクの周囲環境、特に湿度が最も大きく変化する条件として、日本の梅雨のような湿度の高い季節にディスクを外部環境から空調管理された環境に持ち込む（外出先から持ち帰ったディスクをエアコンの効いた部屋で使用する）場合を想定した。このような場合、ディスクの周囲環境は 30℃ 90%の高温多湿な状態から、25℃ 45%の状態に急激に変化する。

このような湿度の急激な変化が起こった場合の BD のチルト変化を図 25 に示す。ここではディスクを 30℃ 90%の環境に 1 週間放置し、そのディスクを 25℃ 45%の環境に持ち込んだ瞬間から発生するチルトの経時変化を測定した。

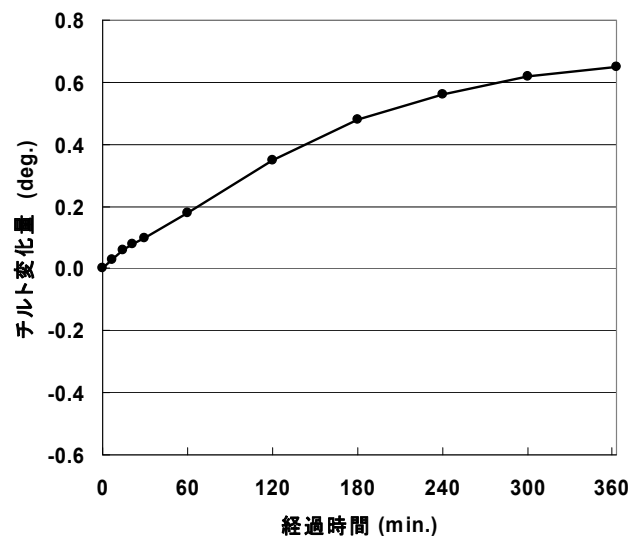


図 25 湿度変化に対するチルトの時間変化

グラフより、湿度が急激に下がったことによってディスクには+方向（図 24 で上方）に大きなチルトが発生することがわかる。この現象を詳細に分析し、以下の原因を究明した。

- ・カバー層と比較して、基板からの放湿速度が速い
- ・基板がカバー層や中間層よりも 10 倍以上厚く、また弾性率が高いため、基板の小さな膨張や収縮であってもディスク全体のチルトに与える影響が大きい

#### (ii) 吸湿制御膜による低チルト 2 層ディスクの開発

上記した原因を元に、基板の吸湿・放湿の速度を下げることで、そして膨張・収縮がディスクのチルトに与える影響を基板とカバー層でバランスさせる技術を開発した。これは基板の記録層形成面とは逆の面に、基板の吸湿をコントロールする吸湿制御膜を形成することでチルトの発生を抑える技術であり、カバー層と基板の吸湿・放湿速度と膨張・収縮率、弾性率を測定し、それらに合わせて形成する面積・形状・材料を最適に選択することでチルトの発生を抑える技術である。吸湿制御膜の開発における開発指針は以下である。

- ・形成が容易である
- ・安価な材料から形成できる
- ・ディスクのレーベル印刷のデザインに影響を与えない

この3つの指針から、吸湿制御膜の材料・形成範囲・形状を検討し、安価で簡単な設備でスパッタリングできる、Alを主成分とする材料を開発した。形成する厚みは30nm程度である。また形成する形状については、ディスク形状が円形のため円形以外にするとディスクとの相性が悪くなり変形が生じやすいこと、また円形のほうがスパッタリング装置のマスク加工が容易であること、レーベルのデザインとのマッチングが取りやすいことから、ドーナツ形状とした。前述のようにチルトはディスクの外周部で最大となるため、吸湿制御膜はできるだけ基板の外周に形成することによりチルトを最小限に抑えることに成功した。図25に、基板の外周部にドーナツ状に形成する吸湿制御膜の内径を変える（形成する面積を変える）ことでチルトがどのように変化するかを示す。

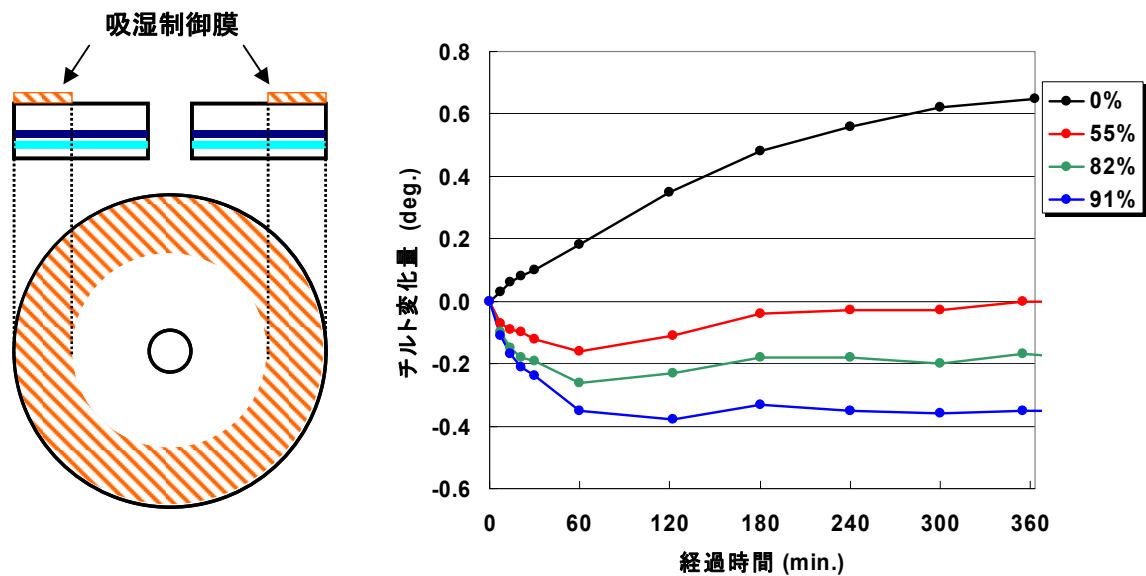


図25 吸湿制御膜の形成面積とチルト変化

図より、30°C 90%から25°C 45%に急激に湿度が変化した場合においても、吸湿制御膜なしで0.7度化していたチルトが0.2度以下に抑えられること、また形成領域を調整することでチルト変化量も制御できることがわかる。これは、吸湿制御膜によって基板の吸湿・放湿の速さが制御可能であり、結果として基板とカバー層および中間層の膨張・収縮の速さの関係が制御されて、日本のような多湿な環境下においてもチルト変化が少ない信頼性の高いディスクが実現できることを示している。

以上のことにより、新開発した吸湿制御膜の技術によって、環境が急激に変化した場合でもチルトの発生が抑えられ、様々な使用環境下においても信頼性の高いディスクを実現した。

#### (4) 成果

上記の取組によって、ハイビジョン放送の録画やPCデータバックアップなどの情報保存媒体として低コストな大容量2層BD-R/RE(50GB)を実現し、中間樹脂層の形成工法、透過型記録膜、

低チルトを実現する裏面スパッタ成膜工法などの技術に関する学術的な成果を収めた。

また低コストな大容量 2 層 BD-R/RE (50GB) を実現し市場拡大することで、光ディスク関連産業（設備・材料など）の発展・拡大に貢献した。更に、コンテンツ業界や IT 業界の信頼を得ることで規格統一を果たし、その結果、AV レコーダーや PC ドライブの普及に貢献している。

## 5. 学会発表

以下に本研究開発を通して行なってきた学会発表の実績を列挙する。

1. Eiji Ohno, Kazuya Hisada, Eiichi Ito, Yuko Tomekawa, Keiji Nishikiori, Kazuhiro Hayashi, and Shinya Abe : Manufacturing Process for Low Cost Dual Layer Blu-ray Disc Read-Only Memory Media Based on the “All Spin Method”, Japanese Journal of Applied Physics 47 (2008) pp. 5509-5515 : (E03,H01)
2. Kazuya Hisada, Kazuhiro Hayashi and Eiji Ohno : Dual-layer Blu-ray disc ROM fabricated by all-spin method, SPIE. 5380,p456(2004)
3. S. Abe : Master Recording for High-Density Disk Using 248nm Laser Beam Recorder, Jpn. J. Appl. Phys. 41, pp.1704 (2002)
4. Rie Kojima, Takashi Nishihara, Kenji Narumi, and Noboru Yamada : ZrO<sub>2</sub>-Based Interface Films Realizing a Dual-Layer Phase-Change Optical Disk Utilizing a Blue-Violet Laser , Japanese Journal of Applied Physics 46 (2007) pp. 612-620 : (D07,G02)
5. Takashi Nishihara, Rie Kojima, Naoyasu Miyagawa and Noboru Yamada : High-Transmittance Phase-Change Media with TiO<sub>2</sub> Film for Rewritable Dual-Layer Blu-ray Discs, Japanese Journal of Applied Physics 44 (2005) pp. 3037-3041 : (D07,G02)
6. Kenji Narumi, Tetsuya Akiyama, Naoyasu Miyagawa, Takashi Nishihara, Hideki Kitaura, Rie Kojima, Kenichi Nishiuchi and Noboru Yamada : Rewritable Dual-Layer Phase-Change Optical Disk with a Balanced Transmittance Structure, Japanese Journal of Applied Physics 41 (2002) pp. 2925-2930 : (D09,0000)
7. Tetsuya Akiyama, Mayumi Uno, Hideki Kitaura, Kenji Narumi, Rie Kojima, Kenichi Nishiuchi and Noboru Yamada : Rewritable Dual-Layer Phase-Change Optical Disk Utilizing a Blue-Violet Laser, Japanese Journal of Applied Physics 40 (2001) pp. 1598-1603 : (D09,0000)
8. Rie Kojima : Acceleration of Crystallization Speed by Sn Addition to Ge-Sb-Te Phase-Change Recording Material, Jpn. J. Appl. Phys. 40 (2001) pp.5930-
9. T. Matsunaga : Structures of stable and metastable Ge<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, an intermetallic compound in a GeTe-Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> pseudobinary system, Acta. Cryst. B63, pp.346 (2007)
10. N. Yamada : phase change material for use in a rewritable dual-layer optical disk, SPIE. 4342, pp.55 (2001)
11. K. Nishiuchi : Dual-layer optical disk with Te-O-Pd phase-change film, Jpn. J. Appl. Phys. 37, pp.2163 (1998)

12. K. Kitaura : Multi-layer write-once media with Te-O-Pd films utilizing a violet laser, Proc. SPIE 4342, pp.340 (2001)
13. M. Uno : Dual-layer write-once disk for 1x-4x speed recording based on Blu-ray Disc format, Proc. SPIE 5069, pp.82 (2003)
14. Naoyasu Miyagawa, Hideki Kitaura, Katsuyuki Takahashi, Yukako Doi, Haruhiko Habuta, Shigeru Furumiya, Ken'ishi Nishiuchi, and Noboru Yamada : Over 500 years lifetime dual-layer Blu-ray disc recordable based on Te-O-Pd recording material, Proc. SPIE 6282, 62822F (2007)
15. Isao Satoh and Noboru Yamada : Advanced dual-layer phase-change optical disc, Proc. SPIE 5060, 138 (2003)
16. Noboru Yamada, Rie Kojima, Mayumi Uno, Tetsuya Akiyama, Hideki Kitaura, Kenji Narumi, and Kenichi Nishiuchi : Phase-change material for use in rewritable dual-layer optical disk, Proc. SPIE 4342, 55 (2002)
17. Matsunaga T, Kojima R, Yamada N, et al. : Structures of stable and metastable Ge<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, an intermetallic compound in a GeTe-BiTe<sub>3</sub> pseudobinary system, ACTA CRYSTALLOGRAPHICA SECTION B-STRUCTURAL SCIENCE Volume: 63 Pages: 346-352 Part3 (2007)
18. Matsunaga T, Kojima R, Yamada N, et al. : Structural investigation of Ge<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>6</sub>, an intermetallic compound in the GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> homologous series, APPLIED PHYSICS LETTERS Volume 90 Issue: 16 Article Number: 161919 (2007)
19. Matsunaga T, Yamada N : Crystallographic studies on high-speed phase-change materials used for rewritable optical recording disks, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS Volume: 43 Issue: 7B Pages: 4704-4712 (2004)
20. Matsunaga T, Yamada N : Structural investigation of GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>: A high-speed phase-change material, PHYSICAL REVIEW B Volume: 69 Issue: 10 Article Number: 104111 (2004)
21. Matsunaga T, Kojima R, Yamada N, et al. : Single structure widely distributed in a GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> pseudobinary system: A rock salt structure is retained by intrinsically containing an enormous number of vacancies within its crystal, INORGANIC CHEMISTRY Volume: 45 Issue: 5 Pages: 2235-2241(2006)
22. Matsunaga T, Morita H, Kojima R, et al. : Structural characteristics of GeTe-rich GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> pseudobinary metastable crystals, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS Volume: 103 Issue: 9 Article Number: 093511 (2008)
23. Nagata K, Yamada N, Nishiuchi K, et al. : Rewritable dual-layer phase-change optical disk, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS, 38 p.1679-1686 (1999)
24. Furumiya S, Kitaura H, Narumi K, et al. : Ten-times-speed recording on dual layer Blu-ray disc recordable media, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 47 5878-5880 (2008)

## 6. 今後の展望

ブルーレイディスク（BD）市場は急速に拡大しているが、今後は、放送の高精細化（4K2K）や3D立体映像コンテンツなどの大容量データの記録に対応するため、BDの更なる高倍速化と高容量化を目指して開発、規格化を進めている。高倍速化は、10倍速以上の転送速度を目指しており、開発した高速対応の記録膜によりすでに達成の見通しが得られている。大容量化は多層化により4層で100GBの容量を目指している。

図26に例として4層BD-Rの構成図を示す。一番奥に位置するL0層は、L3、L2、L1を通しての記録再生となり、2層以上に各層の透過率の均一性、あるいは各中間層の厚みの均一性が求められる、あわせてチルトの制御精度も求められることが容易に分かる。しかしながら、2層記録型BD開発で培った技術と経験を活かし、その実現に向けて取り組みを進めていく。

最後に、図27に現時点で得られている4層BD-Rの信号特性を示す。信号品質を示すジッタとしては、実用可能な値が実験室レベルではあるが得られていることを確認できている。

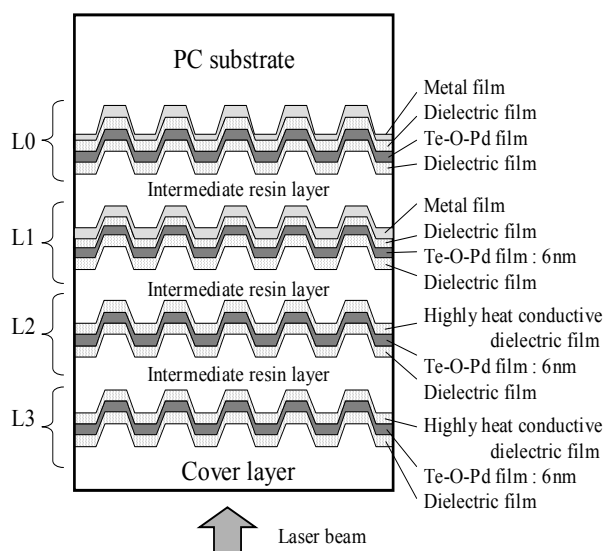


図26 4層BD-Rの構造

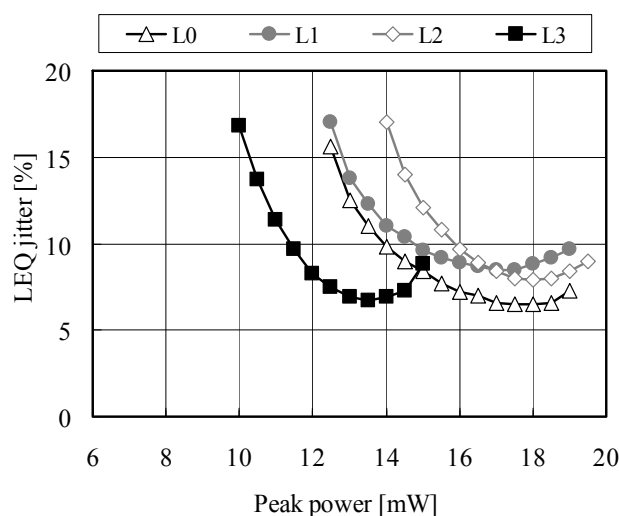


図27 4層BD-Rの信号特性