
IS工法を用いた8倍速DVD+R DLディスクの開発

Development of 8X DVD+R DL Disc Using IS Method

水上 智*

Satoshi MIZUKAMI

中村 有希*

Yuki NAKAMURA

石見 知三*

Tomomi ISHIMI

松本 一平*

Ippei MATSUMOTO

林 昌弘*

Masahiro HAYASHI

八代 徹*

Tohru YASHIRO

要 旨

片面2層DVD+R（DVD+R DL）ディスクの作製には、IS（Inverted Stack）工法と2P（PhotoPolymer）工法がある。IS工法は、プロセス歩留まりが高いという点で生産性に優れており、DVDだけでなく次世代のBlueディスクでの多層化技術として非常に有効な工法である。

しかしながら、IS工法ではL1層（光入射面から奥側）のグルーブ（溝部）とランド（溝間部）の関係が2P工法の2層ディスクに対し反転しているため、記録マークの拡がりをグルーブにより制限できない問題があり、その達成が困難と考えられていた。

本開発では、隣接トラックからのクロストークと記録層の物理特性の関係を明らかにすることで、L1層の色素記録材料の開発に成功し、世界で初めてIS工法での8xDVD+R DLディスクを実現した。

ABSTRACT

There are two manufacturing process for DVD+R DL (Dual Layer/two recording layer on one side) disc, IS (Inverted Stack) method and 2P (Photo Polymer) method. IS method is well known as the superior productivity process based on high process yield, and expected its validity for producing multilayer disc not only for DVD but also for next-generation disc (Blu-ray, HD DVD).

However IS method has been considered difficult process for practical use compared with 2P method. In case of L1 layer (back side from optical incident side) of the disc formed from 2P method, recording marks are formed in groove part and the expansion of the mark is limited by groove edges. On the contrary, in case of L1 layer of the disc from IS method, the recording marks are formed on land part (between groove) without the limitation from groove edges. Therefore the recording mark has the tendency to be spread and this causes serious crosstalk from adjacent track.

To solve this crosstalk problem the relationship between physical characteristics of the recording layer and crosstalk phenomena was investigated. Finally the new recording material without large crosstalk was successfully developed and applied to our world's first 8X DVD+R DL disc manufactured from IS method.

* パーソナルマルチメディアカンパニー RMP事業部

Recording Media Products Division, Personal MultiMedia Products Company

1. 背景・目的

近年、DVD (digital versatile disc) は、映像、音楽、パーソナルコンピュータ用データなど多目的用途に使用されるディスクとして世界的に広く普及してきた。特にDVDビデオレコーダーの普及と共に、映像関係では高画質・大容量という用途からDVD-ROMの2層ディスク (片面2層: 8.5GB) が約60%を占めるようになった。同様に追記型ディスク (DVD+R/DVD-Rディスク) でも1層ディスク (片面1層: 4.7GB) に比べて、2層ディスク (Fig.1) に対する顧客ニーズが強まっている。2層ディスク (DVD+R/DVD-R) 作製には、2P (PhotoPolymer) 工法とリコーが提案するIS (Inverted Stack) 工法がある。IS工法はプロセスの簡便さと材料コストが安いことから究極の作製方法として業界で認知されている。しかし一方でIS工法では記録層設計が難しく従来の記録材料が適用できないという問題がある。今回我々はIS工法でのL1記録層の記録性能を改善する色素材料の開発に成功し、世界で初めて8xDVD+R DLディスクを商品化した。

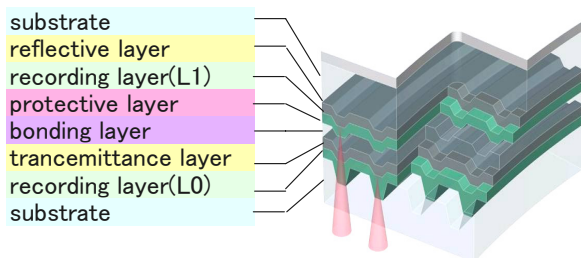


Fig. 1 Structure of DVD+R DL(8.5GB).

2. 技術

2-1 2層技術紹介

2層ディスク作製は、2P (PhotoPolymer) 工法及びIS (Inverted Stack) 工法のどちらかのプロセスを用いる。Fig.2にプロセス概要を説明する。両者の大きな違いは、前者は全ての層を1枚の基板の上に積み重ねて製造する“積層方式”(L0層の上に樹脂スタンプを用いて中間樹脂層でL1溝形成している)である。これに対して後者は基板～半透明反射層の

ディスク (A) と記録層2～基板のディスク (B) を別々に製造し、これらを貼り合わせて1枚のディスクとする工法である。2P工法と比較したIS工法のメリットは

- 1) 既存の1層ディスク製造設備の転用で生産可能
- 2) 欠陥検査をLayer別の実施できるので、歩留まり管理が容易

であり、リコーは生産性において優位性があるIS工法を採用した。

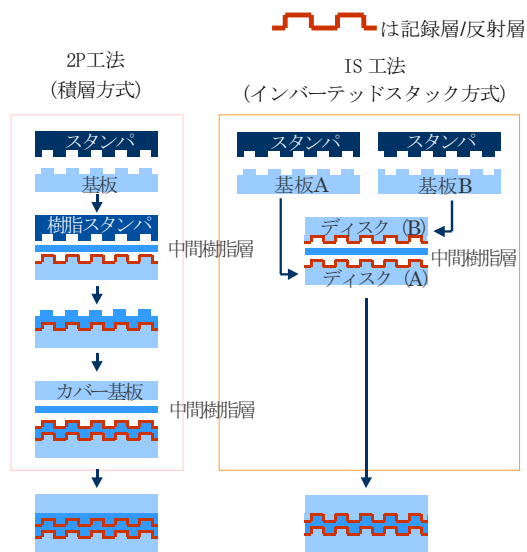


Fig.2 Difference of the process of 2P(PhotoPolymer) and IS(Inverted Stack).

2-2 IS工法の技術課題

IS工法と2P工法を比較すると、L1記録層 (光入射面から奥側) の記録マークの様子が異なる (Fig.3)。2P工法は従来のCD-RやDVD+Rと同様に溝段差を利用し、溝部 (グループ部) にマークを形成する。これに対して、IS工法はL1層の溝は光入射方向の反対側に配置されるため、溝間部 (ランド部) にマークを形成する必要がある。(IS工法でのL0層については、溝部 (グループ部) にマークを形成する。)

Fig.4にIS工法でL1層に記録したときのマークの様子を示す。溝間部 (ランド部) にマーク形成を行うIS工法は、マークの広がり (以下、クロストーク) が大きいことがわかる。このため記録マークが隣接トラックに広がりやすく、記録特性に影響を与える。

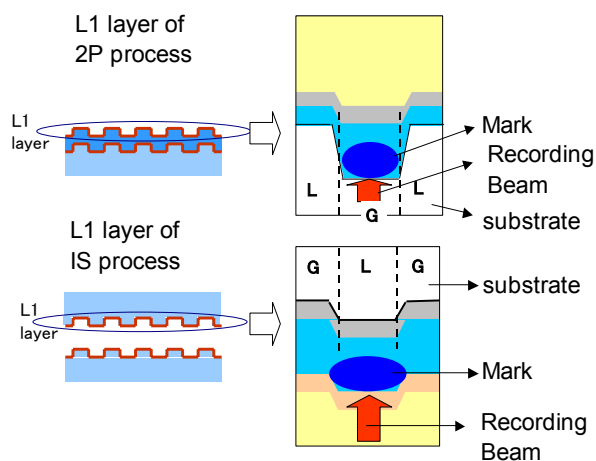


Fig.3 Difference of mark formation on L1 layer by using IS and 2P process.

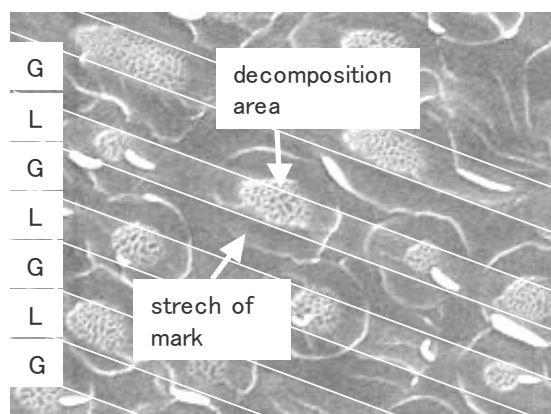


Fig.4 SEM images of L1 layer with IS process.

Fig.5にはIS工法で作製したDVD+R DLのL0/L1層の記録層部の断面TEM観察結果を示す。色素記録層形成には、スピコートプロセスを用いて成膜する。L0層ではマーク形成を行う溝部（グループ部）に選択的に色素膜が形成され、溝間部（ランド部）には形成されていない。これに対してL1層ではマーク形成を行う溝間部（ランド部）に選択的に色素を形成できない。このため、前者に比べて後者はクロストークの影響を受けやすい。

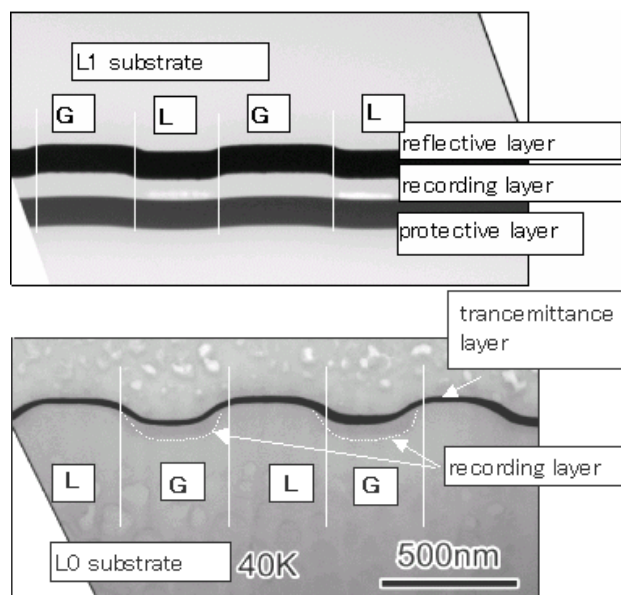


Fig.5 TEM images of L0 layer and L1 layer with IS process.

Table 1にIS工法での課題，原因，そしてそれに対する検討内容を整理する。

Table 1 Technical item.

課題	原因	検討内容
L1記録層でのクロストーク低減	ランド部に選択的に色素膜を形成できない	L1色素材料の熱物性解析とその最適化

2-3 IS工法でのクロストークによる影響

2-3-1 IS工法でのL1記録特性

Fig.6に3T pulseで記録したときのIS工法でのL0層とL1層の3T mark Jitterを示す。ここで3T mark Jitterとは、記録マークの中で最も短いマーク（最も長いマークは14T mark）のみの時間軸上の変動を意味する。3T mark JitterはL0層とL1層を比較し、Bottom Jitterに大きな差はない。

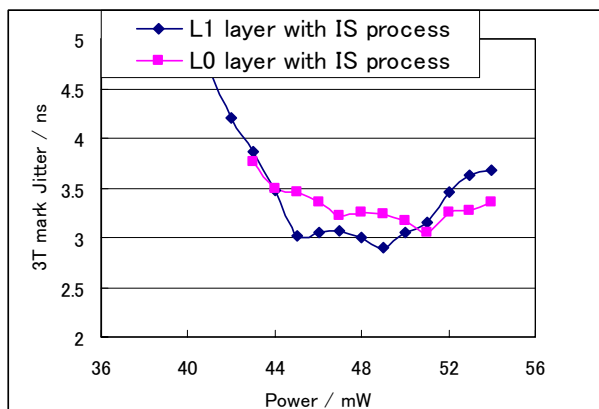


Fig.6 Dependence of Power on 3T mark Jitter of L0 layer and L1 layer with IS process.

Fig.7にIS工法でのL0, L1記録層の記録パワーに対する信号振幅 (I14modulation) の様子を示す。L1層は、L0層に比べ、記録パワーに対して信号振幅の変動が大きい。

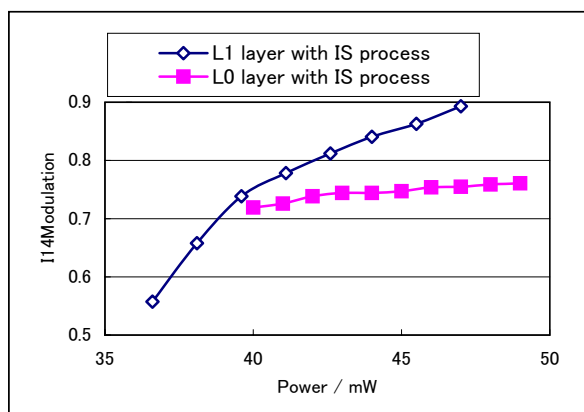


Fig.7 Dependence of Power on I14 modulation of L0 layer and L1 layer with IS process.

Fig.8には記録パワーに対するJitterの関係を示す。ここで記載しているDC Jitter ⁽¹⁾ 規格値: <9%) とは, random pulseで記録したときの再生信号のクロック信号に対する時間軸上の変動を意味する。Jitterマージンが大きいL0層の方が記録特性は良い。

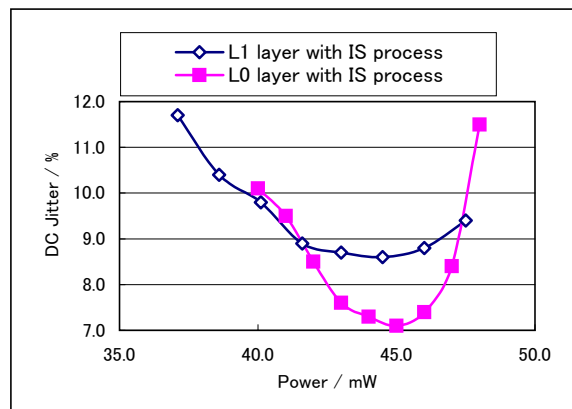


Fig.8 Dependence of Power on DC Jitter of L0 layer and L1 layer with IS process.

Fig.6-8の結果を整理すると、3T pulseで記録した場合、隣接トラックに記録したときのクロストークの影響がほとんどない。そのためL0層とL1層で記録特性に大きな差はない。しかしrandom pulseで記録した場合、L1層はクロストークの影響で信号振幅が大きくなり記録特性 (Jitter) が影響を受ける。このため、3Tmark Jitterの特性と、14Tマークの変調抑制の両立が重要になる。

2-3-2 クロストークと記録特性の関係

クロストークとJitterの関係をFig.9に示す。クロストークが大きくなるとJitter (再生信号のクロック信号に対する時間軸上の変動) が大きくなり、記録特性が悪化する。

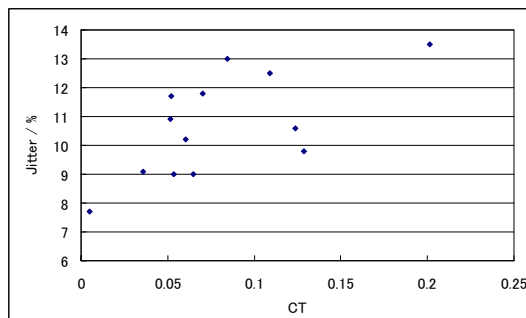


Fig.9 Relationship between CT and Jitter.

ここでクロストーク量 (CT) はrandom pulse記録したときの14TマークのHigh levelと3TマークのLow levelから定量化した。Fig.10に示すようにクロストーク量が大きくなるとSingle Track (1回記録) に比べMulti Track (連続記録) では、隣接トラックに記録したマークの影響で、3T Low levelが下がる。

$(14H - 3L) / 14H$ 量をI3Rと定義して、クロストーク量(CT) = $(I3R(\text{Multi Track}) - I3R(\text{Single Track})) / I3R(\text{Single Track})$ として評価を行った。

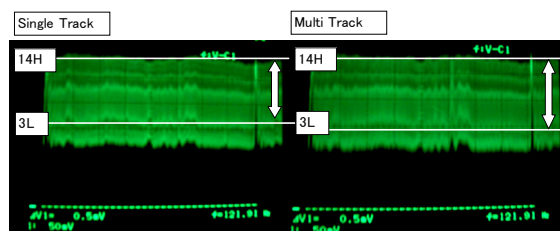


Fig.10 RF signal comparison between Single Track and Multi Track.

2-3-3 無機保護層膜厚とクロストークの関係

IS工法で作製したL1記録層の記録マークのクロストークは無機保護層膜厚の変形にも依存する。

Fig.11に無機保護層膜厚とクロストークの関係を示す。これより無機保護層膜厚が厚い方が、クロストークは低減できる。

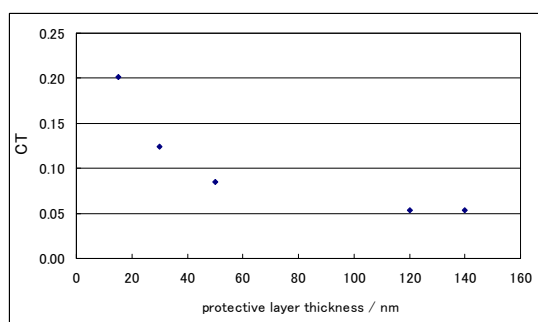


Fig.11 Dependence of protective layer thickness on CT.

AFMを用いて記録後の無機保護層（15nmと140nm）の変形量を確認した（Fig.12）。AFM評価についてはL1層の記録層と無機保護層の界面で、ディスクを剥がし、記録層をエタノールで洗い流した状態で無機保護層表面を観察した。AFM像を見ると縞模様が確認でき、これは溝形状（グループ／ランド）を示している。薄膜では点状のものが確認できるが、これはマーク形成個所で無機保護層が変形していることを示す。厚膜では点状のものは確認できず、無機保護層の変形は見られない。

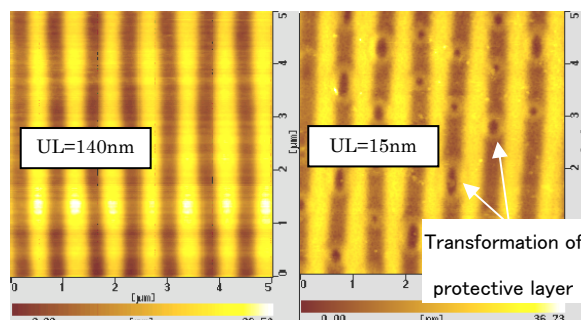


Fig.12 AFM images of UL=140nm and UL=15nm.

無機保護層膜厚は、厚膜構成（140nm）にした方がクロストークの影響は低減できるが、生産効率の点から薄膜（15nm）でも特性が見込めるディスク検討が必要である。この技術課題を解決するためには、IS工法に適した記録材料の開発、すなわちL1記録層のクロストークが小さい色素材料の開発が重要になる。

2-4 色素材料の熱物性解析と最適化検討

2-4-1 色素材料熱物性とクロストークの関係

記録材料として用いる色素の特性には光学特性、熱分解特性、溶解性、耐久性などが挙げられ^{2), 3)}、これらの特性を考慮して材料設計を行うことが重要である。特に無機保護層の変形を考慮してクロストークを低減させるには熱分解特性が重要である。Fig.13に熱分解特性（TG-DTA）のデータを示す。

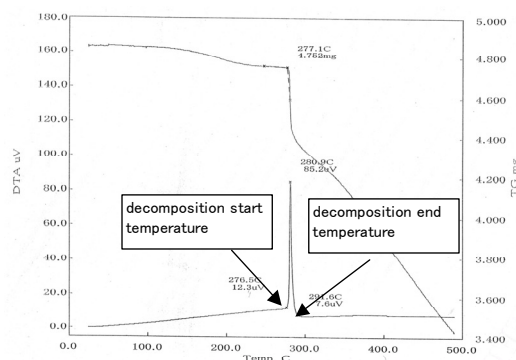


Fig.13 Characteristics of TG-DTA.

熱分解温度のピーク幅（DTA終了温度－DTA開始温度）が狭いほど、発熱しているときの熱量変化時間が短くなり、クロストークを低減できると考えた。特に高速記録対応用材料としては、記録パワーが高くなるため有効である。

Fig.14にクロストーク量（CT）と熱分解温度のピーク幅（DTA終了温度 - DTA開始温度）の関係を示す。また検討した色素材料の光学物性、熱物性データをTable 2に示す。これより2層ディスクのL1記録層に関しては熱分解温度のピーク幅が狭い方がクロストークの影響を低減できることが分かった。また2層ディスクのL0記録層では熱分解温度ピーク幅に依存せずクロストークの影響は小さい。

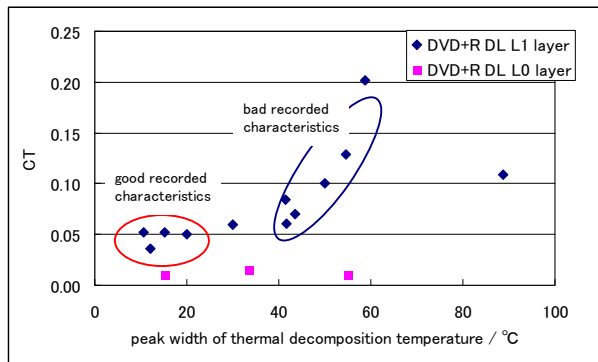


Fig.14 Dependence of peak width of thermal decomposition temperature on CT.

Table 2 Optical constant and thermal constant of Dye materials.

sample	λ (max) / nm (film)	λ (max) / nm (sol)	decomposition temperature / °C	DTA / μ V	DTA start temp / °C	DTA end temp / °C
A	607	535	289.1	75.9	274.8	290.0
B	601	528	300.0	75.2	298.1	308.5
C	619	595	229.1	12.4	220.7	232.3
D	605	537	327.4	8.6	294.2	348.7
E	600	527	321.8	76.2	317.6	328.8
F	604	566	279.7	15.3	254.2	295.7
G	610	541	312.0	7.5	234.9	323.7
H	599	574	235.7	10.0	229.5	316.5

2-4-2 色素材料検討結果

Fig.14の結果より、熱分解温度のピーク幅が狭い色素材料を中心にL1記録層材料検討を行った。Table 3に信号特性（※最適Pwで記録した2.4x, 8xのJitter特性・変調度）を示す。Sample1の記録層材料はAとBを組み合わせており、Sample2の記録層材料はBとCを組み合わせている。また無機保護層（UL）の膜厚は15nm（薄膜）と140nm（厚膜）に設定して信号特性を確認した。上記膜厚を選択した理由は、片面2層DVD-ROMとの反射率互換性を確保（L0/L1層ともに反射率16-30%を得る）するためである。Sample1は無機保護層膜厚140nmの条件では記録特性を確保できているが、無機保護層膜厚15nmではNGとなった。これは2-3-3で説明したように

薄膜にしたことで、無機保護層の変形が大きくなるため信号特性が悪化したと考えられる。これに対し、Sample2は無機保護層膜厚15nm, 140nmともに良好な記録特性を確保できた。

Table 3 Characteristic of signal.

sample	sample1	sample2	spec
Table1 dye material	A and B	B and C	
UL=15nm	2.4x Jitter	7.2%	<9%
	8x Jitter	7.1%	<9%
	変調度(8x)	0.69	>0.60
UL=140nm	2.4x Jitter	7.1%	<9%
	8x Jitter	7.0%	<9%
	変調度(8x)	0.65	>0.60

2-4-3 記録マーク観察結果

上記結果からは、Sample2の色素材料が8x DVD+R DLにより適合する。

ここではさらに記録パワーに対する信号振幅（I14modulation）の変動データにより、記録パワーに対するクロストークの影響を確認することで、安定性を確認する。

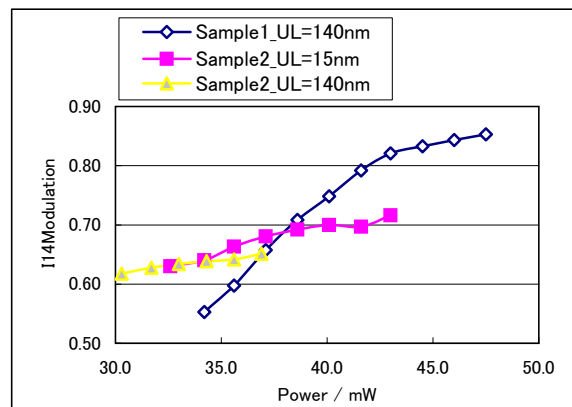


Fig.15 Dependence of Power on I14modulation for Sample1 and Sample2.

Fig.15はI14modulationの記録パワー依存性であるが、Sample2（UL=15/140nm）は比較的、記録パワーに対するI14modulationの変動が小さく（L0と同等レベル）、クロストークの影響が十分低減できていることを確認した。またSample1（UL=140nm）については、Sample2と比較してI14modulationの変動また最適記録Pwでの変調度が大きいいためクロストークの影響が大きい。そのためSample2に比べて記録特性（Jitter）で約0.5-1.0%程度悪化している。Sample1（UL=140nm）とSample2（UL=15nm）の記録マークの微構造差をSEMにて確認した（Fig.16）。

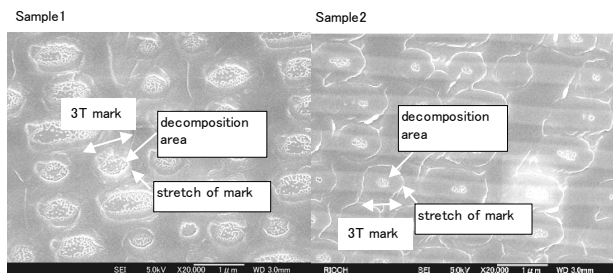


Fig.16 SEM images of Sample1 and Sample2.

記録マークは最適なJitterが得られるパワーで記録した。SEM観察は、L1層の記録層/無機保護層の界面をサンプルとした。両者のSEM像ではマーク形成部とともにその周囲に一回り大きな色素分解領域が確認できる。最も小さいマーク（3Tマーク）にて大きさを確認すると、Sample1はSample2に比べて分解領域が3～4倍大きいことがわかった。これは、構成材料の発熱量（ $DTA \times (DTA終了温度 - DTA開始温度)$ ）が、Sample2に比べてSample1が大きいためと考えられる（(Sample1 : A=1150, B=800), (Sample2 : B=800, C=150)）。発熱量の小さい方が色素分解領域は小さくなり、クロストークが抑制され、Fig.15そしてFig.16の結果が得られたものと考えられる。

さらにここで得られた色素材料の最適化指針に基づいて材料検討を進め、16xDVD+R DLにおいても良好なL1記録特性が得られた (Fig.17)。

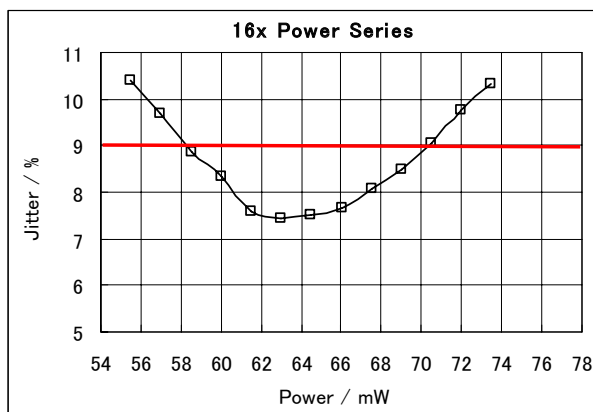


Fig.17 Recorded characteristics at 16x on L1 layer.

3. まとめ

色素記録層を用いたIS工法のDVD+R2層ディスクでは、IS工法では従来技術が適用できず、L1層の記録層設計が困難であ

ると考えられていた。しかし熱分解温度ピーク幅が小さい色素材料開発及びディスク最適化検討により、8xDVD+R DLディスクの開発に成功した。さらにこの技術を次世代の高速（16x）DVD+R DLにも展開し、十分な性能が得られる可能性を得た。

4. 今後の展開

今回の開発で得た技術を応用し、高速（16x）DVD+R DLディスクの製品を開発中である。Blueディスクでもこの技術を展開することでIS工法の高層ディスクの開発を行っていく予定である。

参考文献

- 1) DVD+R 8.5 Gbytes Basic Format Specifications version 1.1
- 2) 次世代光ディスクの高密度・高精度・高速化 技術情報協会
- 3) 光ディスク用有機記録材料 (株)リコー 安倍通治著