

# 液晶偏光ホログラムを用いた DVD 光ピックアップ

星野 功・内山 峰春

映像情報時代のマルチメディアパッケージとして、1996年11月にDVD（デジタルバーサタイルディスク）が市場に登場した。外形はCD（コンパクトディスク）と同じディスクサイズでありながら、はるかに高密度（面密度で約7倍）に情報が記録されている。一見同じようなディスクであるが、DVDは0.6mmの基板厚のディスクを2枚張り合わせた構造であり、CDは1.2mm厚の単板のディスクである。DVD用光ピックアップは、現在光ディスクの代表的な存在であるCDを再生できることが要求されるので、ディスク基板厚の異なるDVDとCDの両方のディスクを再生するには光学的な工夫が必要となる。また、高密度、高転送速度のDVDを安定に再生するために、開発の当初から新しい技術を導入して光ピックアップを実現する試みがなされている。

光ピックアップの新しい技術の流れとして、液晶の光学機能素子としての有用性を光ピックアップに応用する試みがある。液晶は、光の強度をコントロールできるだけでなく、光の位相や偏光を制御できる素子であり、アクティブ（光学特性の動的制御が可能）な光学素子としての可能性がある。また、もうひとつの光ピックアップの流れとして、ホログラム素子、光源および検出器などの光学系を1つのパッケージに収納する集積光学ユニット化がある。集積光学ユニットは、一体化によって光源と検出系の相対的な位置ずれを抑制して信頼性が高まるだけでなく、光学系の実装効率の向上を図って、とかく大きくなりがちな光ピックアップの小型化を可能にする。

本稿では、液晶を使った光ピックアップ用素子、集積光学ユニット、その一例として液晶偏光ホログラムを用いた

DVD光ピックアップの技術開発について解説する。

## 1. 液晶を使った光ピックアップ用素子

液晶は、薄型・軽量、低電圧駆動・低消費電力を特徴として、ディスプレイ分野の市場に広く浸透している。このような液晶の特徴を生かして、DVD用光ピックアップに液晶の光学機能素子としての有用性を応用する試みがされている。光ピックアップにおける液晶の機能として、下記の光学素子が研究・開発されている。

- ① 偏光などを利用した光強度の制御機能を使った、対物レンズの開口制御<sup>1-3)</sup>
- ② 光の位相制御機能を使った、ディスク厚さの違いによる球面収差の補正<sup>4,5)</sup>
- ③ 同様に、光の位相制御機能を使った、ディスクティルトで発生するコマ収差の補正<sup>6,7)</sup>
- ④ 複屈折性を利用して、ホログラムと組み合わせた偏光ビームスプリッター<sup>8,9,10)</sup>
- ⑤ 焦点可変素子<sup>10,11)</sup>などのアクティブな機能素子

①と②は、DVD光ピックアップでCDを再生するための互換技術である。これらに関しては、本特集号の解説テーマに独立して取り上げられているので本稿では詳述を省略し、③、④について紹介する。

### 1.1 液晶を使ったディスクティルトによる収差補正

対物レンズの光軸に対してディスクが反りなどで傾くとコマ収差が発生し、集光性能が低下する。大滝らは、液晶を使ってディスクティルトによる収差を補正する技術を開発している<sup>7)</sup>。図1に、ディスクがティルトしたときの波面収差の分布を示す。上は瞳上の波面の等高線図、下はA-Bでの収差の分布である。なお、ディスクはA-B方向にティルトしている。ティルト補正に用いた液晶の分割パターンを図2に示す。図1の波面収差パターンと対比すると、大

(株)東芝記憶情報メディア事業本部 (〒235-0017 横浜市磯子区新磯子町 33)

E-mail: ii.hoshino@toshiba.co.jp

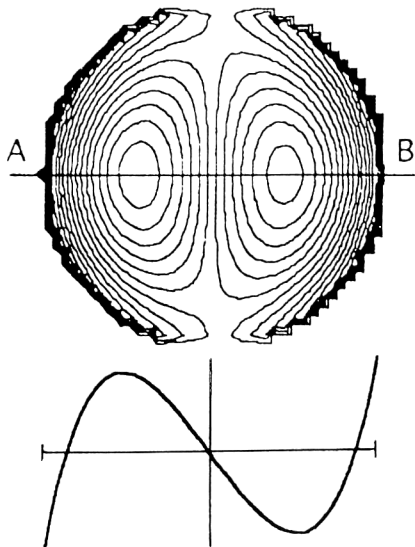


図1 波面収差の分布<sup>7)</sup>.

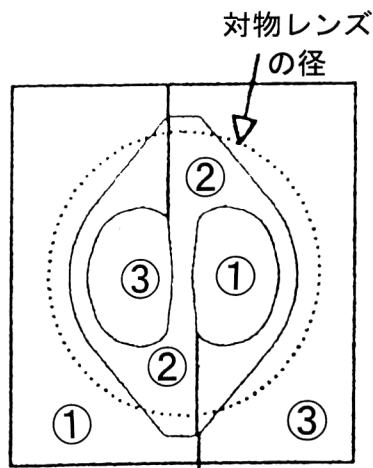


図2 ティルトサーボ用液晶パターン<sup>7)</sup>.

きな収差が発生している部分を効果的に補正するように、最小限の分割数で液晶パターンが構成されていることがわかる。①～③はそれぞれの分割領域を表しており、制御は②の領域を基準にして、①と③の領域に絶対値が等しく逆極性の電圧を印加して行っている。DVDディスクが1°ティルトしたときに収差補正に必要な液晶の位相差量は100 nm程度であり、液晶への印加電圧は2 V以下である。実験結果として、ジッターの許容限界を15%としたとき、液晶を動作させないときはティルトマージン量が $\pm 0.75^\circ$ であるのに対して、液晶を動作させると $\pm 2^\circ$ 以上まで改善されたと報告されている<sup>7)</sup>。ディスクティルトによる収差は対物レンズの開口数(NA)の3乗に比例するので、記録密度を高めるために開口数の大きな対物レンズを使用するといちだんと影響が大きくなるため、今後の高密度化に向け重要になる技術のひとつである。

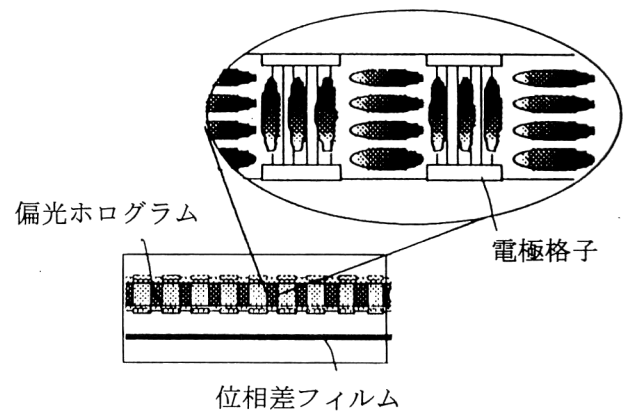


図3 液晶偏光ホログラムの基本構成<sup>16)</sup>.

## 1.2 液晶を用いた偏光ビームスプリッター (偏光ホログラム)

パッシブ (光学特性の動的制御が不可能) な光学機能素子ではあるが、光ピックアップ用の素子として注目されている回折型光学素子のホログラムと組み合わせた複合機能素子である<sup>8)</sup>。これまでの偏光ホログラムは、複屈折性結晶にホログラムをイオン交換で形成する方法<sup>12)</sup>が開発されている。

液晶偏光ホログラムの構成としては、下記の構成のものが提案されている。

- ① 一方のガラス基板の表面にフォトリソグラフィ技術でレリーフ型のホログラムを形成し、この面を内側にして2枚のガラス基板を一定間隔離して対向させ、その空間に液晶を注入した構造
- ② 平らな2枚のガラス基板を一定間隔離して対向させた空間に液晶を注入し、その液晶を電界によって周期的に配向させた状態で高分子化し固定化した構造

②の場合の液晶偏光ホログラムの基本構成を図3に示す<sup>16)</sup>。ある偏光方向の入射光 (図では紙面に直交した偏光方向) に対しては、ホログラムが一樣な屈折率に見え完全に透過するが、別の偏光方向の入射光 (図では紙面に平行な偏光方向) に対しては周期的な格子として働き、光を回折させるという点で上記2つの素子は同等である。実際の素子には図3に示されている位相差フィルムが積層されており、光ピックアップには上方にレーザー光源が位置するように配置される。紙面に直交した偏光をもつレーザー光が上方から入射し、偏光ホログラムを全透過して位相差フィルムによって例えば右回りの円偏光に変化する。その後ディスク面で反射することで左回りの円偏光になり、再び下方から素子に入射する。位相差フィルムで紙面に平行な偏光方向をもつ直線偏光になり、偏光ホログラムで回折して斜め上方にある光検出素子に入射することになる。光ピ

表1 HOEの違いによる光利用率の比較.

HOEの種類	DVD用		CD用
	偏光型	2値位相型	2値位相型
往路HOE効率	0.95	0.3	0.3
カップリング効率 (結像倍率)	0.19 (1/8)	0.19 (1/8)	0.27 (1/4.5)
復路HOE効率	0.35	0.3	0.3
総合効率*	0.063	0.017	0.024
開口数	NA 0.6	NA 0.6	NA 0.45
レーザーの広がり 角(deg.)	8/28	8/28	11/26

\*対物レンズなどの損失は含まれていない

ピックアップの光学系に偏光光学素子を使うときは、レーザーの偏光特性が良くないと光ディスクに向かうレーザー光が回折し迷光となるなど、液晶偏光ホログラムの所望の特性を生かすことができないので、偏光比の大きいレーザーを使うことが重要である。また、発振波長が短い(635nmなど)赤色レーザーには発振がTMモードのものがあ、活性層を基準にするとレーザー出射光の偏光面がTEモードのものに対して90°異なってしまうので、注意が必要である。

ホログラムの違いによる光ピックアップの光利用率の比較を表1に示す。偏光ホログラムを使うと、従来からCDなどに使われている2値位相ホログラムに比べて光利用率が約4倍向上する。受光光量が大きくなり、迷光などの影響を低減できる。また、ディスクに効率よくレーザー光を伝達できるので、情報を書き込む光ピックアップへの応用が期待される。

## 2. 集積光学ユニット化

集積光学ユニットは、ホログラム素子、レーザー、光検出器からなる光学系を1つのパッケージに収納したものである。CDでは、集積光学ユニットを使うことによって、基本的な光学系是集積光学ユニットと有限系対物レンズの2つの素子で構成され、これに対物レンズを2軸に移動制御するアクチュエーターを含めるとピックアップが構成でき、光ピックアップの構成が著しく簡素化された。また、光ピックアップの組み立てに際しては集積光学ユニットの取り付け位置を調整する必要はなく、集積光学ユニットそのものを組み立てるときにそれぞれの素子の位置関係を規定値以下に機械的に取り付けることで達成できる。集積光学ユニットは、ピックアップの小型化・薄型化そして組み立て工数の低減などの大きな効果をもたらした。これらの特徴をDVDのピックアップへ適用する技術開発が図られている<sup>9,15,17,18)</sup>。

集積光学ユニットの構成例を図4に示す<sup>15)</sup>。赤色レーザー

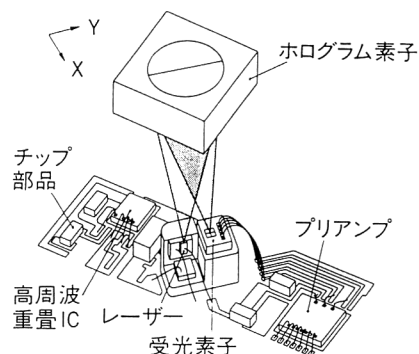


図4 集積光学ユニットの構成.

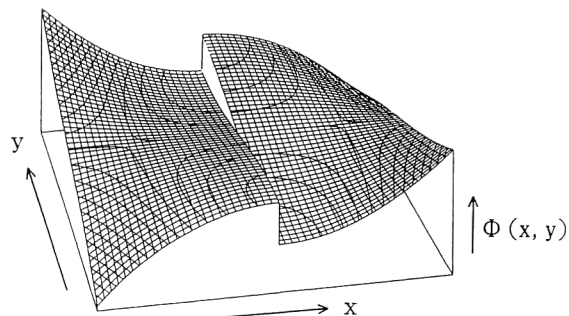


図5 ホログラムの位相伝達関数(収差成分のみ).

と受光素子および液晶偏光ホログラムのそれぞれの素子の位置関係が、フォーカスエラー信号とトラッキングエラー信号の検出精度に大きな影響を与える。ホログラムは単純な直線状の回折格子でなく、フォーカスエラー検出に必要なビームの変形を回折光に与える格子形状になっている。フォーカスエラー検出法として、筆者らが開発した混合収差法<sup>13,14)</sup>を使用した。この方式は、ホログラムに任意の波面変換機能をもたせられるという特徴を利用して、フォーカスエラー検出に必要な検出器面上のビーム形状からホログラムパターンを導出する方法で開発されたものである。ホログラムの位相伝達関数の収差成分を図5に示す。この検出方式は、検出器などのずれに対して差動的に働く2組の検出系で構成するとともに、合焦点状態の検出器面上の受光スポットのサイズが大きくできる特徴がある。検出器面上の受光スポットが大きく、検出器の位置ずれ許容値が大きいという特徴を生かして、それぞれの素子を機械的な位置精度での実装でDVDの再生に必要な精度が得られた。また、集積光学ユニットに実装した高周波重畳ICの低消費電力化を図るなどの関連技術とあいまって、信頼性が高く、効率よく生産ができる集積光学ユニットを実現している。

表2 DVD用光ピックアップの仕様.

項目	DVD	CD
再生ディスク	DVD, DVD-R	CD, CD-R CD-RW
再生速度	2倍速 (CAV)	20倍速 (CAV)
開口数	0.6	0.45
作動距離 (mm)	1.60	1.41
半導体レーザー	InGaAlP LD	GaAlAs LD
フォーカスエラー	混合収差法	フーコー法
検出方式		
トラッキングエラー	DPD法	3ビーム法
検出方式		
質量 (g)	約 28	
外形寸法 (mm)	59.2 (W) × 49.4 (D) × 10.9 (H)	
アクチュエーター		
動作距離		
フォーカス方向 (mm)	±0.7	
トラッキング方向 (mm)	±0.4	

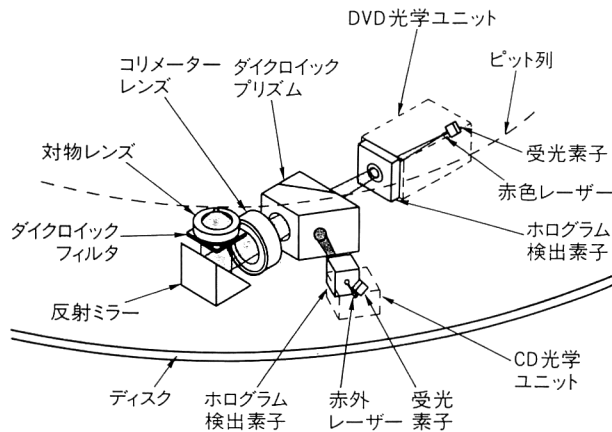


図6 DVD光ピックアップ光学系.

### 3. 液晶偏光ホログラムを用いたDVD光ピックアップ

液晶光学素子を使ったDVD用光ピックアップの例として、偏光ビームスプリッター機能をもった液晶偏光ホログラムを使い、レーザーと検出系を1つのパッケージにまとめた集積光学ユニットを用いたDVD光ピックアップの一例を紹介する<sup>15)</sup>。本DVD光ピックアップでは下記の課題をそれぞれクリアする技術を採用している。

- ① CD互換： ディスクの厚さによる収差補正，異なる開口数に対応する技術，CD用レーザーの光軸方向位置の最適化による収差補正技術
- ② CD-R対応： 反射膜の波長特性から780nmのレーザーが必要，2波長方式の採用
- ③ 薄型ドライブへの対応(投影面積)： DVD，CDとも光学系を集積化した集積光学ユニットの採用
- ④ 薄型ドライブへの対応(厚み方向)： 高屈折率ガラス

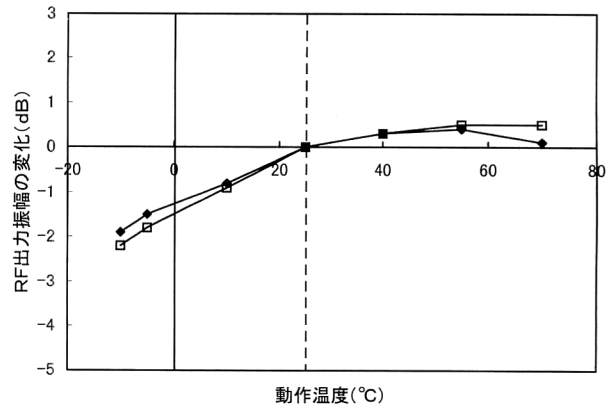


図7 RF出力信号の温度依存性.

による薄肉対物レンズの採用

開発したDVD用光ピックアップの仕様を表2に示す。高さ17mmのDVD-ROMドライブに搭載できるように、光ピックアップの厚さは10.9mm(作動距離を含む)である。また、光ピックアップの平面形状がディスクジャケットサイズに収まるように、光ピックアップが半径方向へ移動する軸に対して光軸を45°に配置し、この光軸上に光路が長くなるDVD光学系を配置した。光学系の構成を図6に示す。

液晶を使った素子を組み込んでいるときには、とかく温度特性が気になるところである。光ピックアップの温度特性を図7に示す。DVD-ROMドライブに要求されている最高動作温度の70°Cでも再生信号振幅の変化はわずかであり、液晶を含む光ピックアップの信頼性が高いといえる。量産性に適した液晶偏光ホログラムは、DVD-ROMドライブのように動作条件の厳しいシステムにも適用できる十分な信頼性をもった素子である。

液晶を使った光ピックアップについての技術の話題、液晶を使った素子の一例として液晶偏光ホログラムおよびこの素子を搭載する光ピックアップの観点から、素子への要求・使う上での問題点を述べた。光学素子は、ホログラムなどの回折型素子、今回紹介した液晶などの光機能素子などの新しい素子の研究開発が活発に行われ、一部では実用化されている。光ピックアップにおいては、いっそうの高密度に対応するためのレーザーの短波長化とともに、液晶などのアクティブな光学素子による特性向上が期待されている。

### 文 献

- 1) M.-H. Lee, H.-J. Kim, J.-B. Kim, W.-E. Chung, S.-C. Park, I.-H. Choi, S.-Y. Jeong, I.-S. Song, E.-S. Ko, D.-Y. Kim and

- J.-Y. Kim: "Liquid crystal shutter-optical head for DVD player with CD compatibility," *ISOM & ODS Technical Digest* (1996) pp. 317-319.
- 2) S. Kajiyama, Y. Kano, Y. Matsumura, Y. Tsuchiya and S. Ichiura: "DVD/CD compatible pick-up using liquid crystal shutter," *ISOM & ODS Technical Digest* (1996) pp. 320-322.
  - 3) 土屋洋一, 市浦秀一: "液晶シャッター方式光ピックアップ", *光学*, **26** (1997) 27-28.
  - 4) 垣内利昌, 野村琢治, 黒沢みつる, 保高弘樹, 丸山 勉, 郡島友紀, 田辺 譲: "DVD/CD 互換用アクティブ取差補正素子", 第 58 回応用物理学学会学術講演会予稿集, No. 3 (1997) 4p-ZE-1.
  - 5) 村尾則明, 柳沢琢磨, 小笠原昌和, 岩崎正之, 大滝 賢: "取差補正機能を持つ DVD/CD コンパチブルピックアップ", 第 58 回応用物理学学会学術講演会予稿集, No. 3 (1997) 4p-ZE-2.
  - 6) N. Murao, M. Iwasaki and S. Ohtaki: "Tilt servo using a liquid crystal device," *ISOM & ODS Technical Digest* (1996) pp. 351-353.
  - 7) 大滝 賢, 村尾則明, 小笠原昌和, 岩崎正之: "光ディスク用ヘッドへの液晶の応用", *映像情報メディア学会技術報告*, VIR '97-51 (1997), pp. 1-6.
  - 8) H. Sato, H. Hotaka, T. Gunjima, Y. Tanabe and M. Hirano: "Grating polarizing beam-splitter using polymerized liquid crystal," *ISOM & ODS Technical Digest* (1996) opdp3.
  - 9) 入江 満, 平井伸明, 佐藤拓磨, 田中芳和, 山下光二, 中村 聡, 藤田輝雄, 朝倉直樹, 木目健治郎: "DVD 用高効率 HOE ユニット (2)", 第 45 回応用物理学関連連合講演会予稿集, No. 3 (1998) 29a-ZK-10.
  - 10) 上原伸一, 土屋昌弘, 神谷武志: "液晶を用いた補償光学用焦点可変素子の作製・特性評価", 第 57 回応用物理学学会学術講演会予稿集, No. 3 (1996) 8a-ZQ-9.
  - 11) L. L. Wang, M. Hain and T. Tschudi: "Bifocal and autofocal image systems for optical pickup," *MOC/GRIN '97 Technical Digest* (1997) pp. 426-428.
  - 12) Y. Urino, H. Nishimoto and Y. Ohta: "Birefringent grating polarizer," *Tech. Digest of Second Optoelectronics Conference* (1988) pp. 166-169.
  - 13) Y. Honguh and I. Hoshino: "Focusing-error detection using a mixed-aberration-generating holographic optical element," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31** (1992) 544-547.
  - 14) 星野 功, 本宮佳典, 田中政彦, 村上照夫: "HOE を用いた赤色レーザ搭載光ヘッド", 第 47 回微小光学研究会, **11** (1993) 69-75.
  - 15) 内山峰春, 福田勝司, 高村康久: "10.9 mmH DVD 用光ピックアップ TPU1010", *東芝レビュー*, **53**, No. 2 (1998) 27-30.
  - 16) 佐藤宏昌, 村田浩一, 郡島友紀: "高分子液晶を用いた偏光性回折素子", *電子情報通信学会技術研究報告*, **CMP98-107** (1998) 7-14.
  - 17) T. Nagano, H. Shirakawa, R. Katayama and Y. Yamana: "Optical module using double-sided polarizing diffractive optical element for digital versatile disc drives," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37** (1998) 3739-3743.
  - 18) 高須賀祥一, 井島新一, 河内泰之, 中西秀行, 吉川昭男: "高速・高密度ディスク用超薄型ホログラムユニット", *電子情報通信学会技術研究報告*, **CMP98-92** (1998) 7-12.

(1998 年 10 月 8 日受理)