

HD DVD/DVD/CD 互換対物レンズ

Development of an HD DVD/DVD/CD Compatible Singlet Objective Lens

池 中 清 乃*

Ikenaka, Kiyono

要旨

われわれは次世代高密度光ディスクであるHD DVDとDVD、CDとの互換用ピックアップ装置に使用される単玉対物レンズを開発した。対物レンズは回折効果を利用してHD DVD、DVD、CDに対して無限、無限、有限共役で球面収差が補正される。HD DVDの色補正は回折コリメータにより行い、CDでは開口制限素子が必要となる。本稿ではその詳細について説明し、対物レンズに適したピックアップ光学系に関して簡単に紹介する。

Abstract

We have developed a singlet objective lens for use in future high-density optical disc pick-up apparatus simultaneously compatible with HD DVDs, DVDs, and CDs. Using diffraction effects, the new lens corrects spherical aberrations at the infinite conjugate with HD DVDs and DVDs, and at a finite conjugate with CDs. A diffractive collimator is provided for the correction of residual chromatic aberrations in HD DVDs, and a numerical aperture limiting element is provided for the reading of CDs. In this report, we explain this technology in detail and briefly present a pick-up system utilizing this lens.

1 はじめに

波長405nmのレーザを用いて記録再生を行う次世代高密度光ディスクには、大容量化を重視したNA0.85、保護基板厚0.1mmのBD (Blu-ray Disc) と、NA0.65、保護基板厚0.6mmのHD DVDの2種類がある。HD DVDはDVDと同じ0.6mm基板を2枚張り合わせた構造で、現行のDVD製造設備利用による低コスト化とDVDとの互換性を重視している。このため、線記録密度を高めるPRML (partial response maximum likelihood) 信号処理[1]やランド・グループ記録[1]を導入して光源を短波長化するだけで大容量化を達成している。次世代高密度光ディスクを記録・再生する製品においては、既存ディスクとの互換という観点からDVDのみならずCDとの互換性も必要であり、

* コニカミノルタオプト(株) オプティカルコンポーネント事業部
開発グループ

備考
本稿は応用物理学会日本光学会微小光学研究グループの許可を受けて、「MICROOPTICS NEWS」vol22(2004)より一部変更し転載したものである。

Table 1 Optical disc specifications

Optical disc	HD DVD Read only	HD DVD RW*	DVD+RW	CD RW
Wavelength	405nm	405nm	650nm	770~ 830nm
Numerical aperture	0.65	0.65	0.65	0.51
Cover thickness	0.6mm	0.6mm	0.6mm	1.2mm
Memory capacity for single layer on one side	15GB	20GB	4.7GB	640MB
Beam spot size	0.54 μ m	0.54 μ m	0.82 μ m	1.4 μ m

RW*:Rewritable

HD DVD、DVD、CDの3種類に対するが重要である。ここでは3波長互換用ピックアップ装置に用いる対物レンズの開発について報告する。

2 光ディスクの仕様の違い

HD DVDの仕様を従来の光ディスクと比較してTable 1に示す。DVDとCDの互換に関しては1つの対物レンズで記録・再生可能なDVD/CD互換ピックアップ装置が一般的に普及している。HD DVDにはTable 1に示すように再生専用光ディスクと書き換え可能な光ディスクの2種類の仕様があるが、保護基板厚、対物レンズの開口数といった対物レンズに求められる仕様はどちらも同じであり、波長以外はDVDに近い仕様となっている。

3 光ピックアップの互換方式

HD DVD/DVD/CD互換ピックアップ装置として、1) 1レンズ方式、2) 2レンズ方式が考えられる。

1レンズ方式では3つの波長の光が同じ互換対物レンズを通過して光ディスク上に集光する。このため対物レンズの設計によりピックアップ光学系の構成が決定され、対物レンズがピックアップ光学系の鍵となる。一方、2レンズ方式は1つのピックアップ装置に2つの対物レンズを配置するものであり、対物レンズのチェンジャー機構が必要となる分ピックアップ装置は大きくなりコストアップする要因となる。またアクチュエータがチェンジャーを兼ねる場合には製造が難しくなる。

われわれは対物レンズや対物レンズに入射する光の角度を変換するカップリングレンズ等の開発には困難を伴うが、その他の部品は作りやすく、コンパクト且つ低コストで魅力的なピックアップ装置となる1レンズ方式を目指し、互換対物レンズを開発した。

4 レンズ方式の検討

ピックアップの小型化、低コスト化のためには、対物レンズ以外の光源、コリメータ、センサー等の必要部品もHD DVD、DVD、CDで共通化することが理想である。そのためには、対物レンズの結像倍率がHD DVD、DVD、CDに対して同じとなり且つそれぞれの光ディスクに対して球面収差が補正されていることが望ましい。われわれは、対物レンズの構成として小型で低コストのプラスチック単玉に絞って検討した。その結果、HD DVDとDVDに対して結像倍率が同じで球面収差が補正された対物レンズの設計解を得た。CDに対しては有限光が入射する構成となったが、トラッキング特性は問題ないレベルに抑えている。

HD DVDの光学系全体において必要な色補正機能は、コリメータに設ける構成とした。色補正機能は対物レンズ又はコリメータのような必須の光学素子に併せ持たせることで、ピックアップ装置全体の部品数を削減し低コスト化を図ることができる。

互換に必要な開口制限機能については、HD DVDの開口制限機能を対物レンズに持たせ、CDの開口制限機能をダイクロミックフィルタ等の外部素子に持たせる構成とした。Table 2 に設計した対物レンズの特性を示す。

Table 2 Objective lens specifications

Optical disc	HD DVD	DVD	CD
Wavelength	405nm	655nm	785nm
Numerical aperture	0.65	0.65	0.51
Focal length	3.10mm	3.21mm	3.23mm
Working Distance	1.72mm	1.81mm	1.52mm
Entrance pupil diameter	4.03mm	4.17mm	3.35mm
Magnification	0	0	-1/43
Diffractive efficiency (Theoretical value)	100%	90%	40%
Wavefront aberration at lens shift(0.3mm)	—	—	0.016 λ rms

4.1 球面収差補正

波長や基板厚等の仕様が異なる光ディスクを1つの対物レンズで記録・再生を行うためには、少なくともそれらの違いにより生じる球面収差を補正する必要がある。球面収差補正手段には結像倍率の違いを利用する方法と回折を利用する方法がある。現在広く用いられているプ

ラスチックのDVD/CD互換対物レンズは、回折構造により球面収差を補正している。以下簡単にDVD/CD互換の技術を説明する。

対物レンズは光源側の面に断面が鋸歯形状のブレード型回折構造が設けられている。レンズの光学面上であってDVD、CD両方の記録・再生に用いられる領域（共用領域）ではDVD、CD共に屈折面により対物レンズから離れる方向に球面収差を生じる。CDはDVDに比べて、波長と保護基板厚の差の分だけより離れる方向に球面収差が生じるが、共用領域に形成された負の回折構造により波長比（5：6）に従って逆方向に球面収差が生じるため屈折作用と回折作用でDVD、CD両方において球面収差をキャンセルすることができる。（Fig. 1）

DVD/CD互換回折技術を3波長互換に適用するには次のような課題がある。即ち回折でHD DVD/CDの球面収差補正を行うと、両方とも高い回折効率が得られないこ

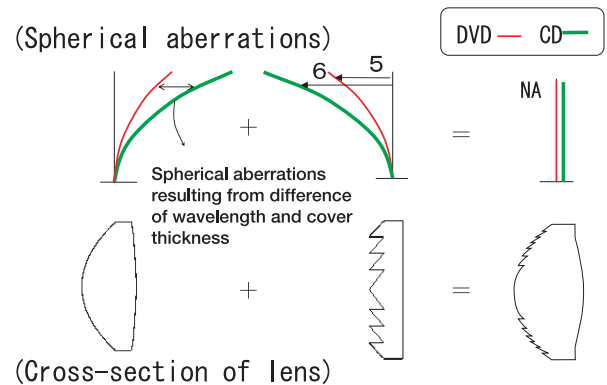


Fig.1 Principle of the DVD/CD compatible diffractive lens

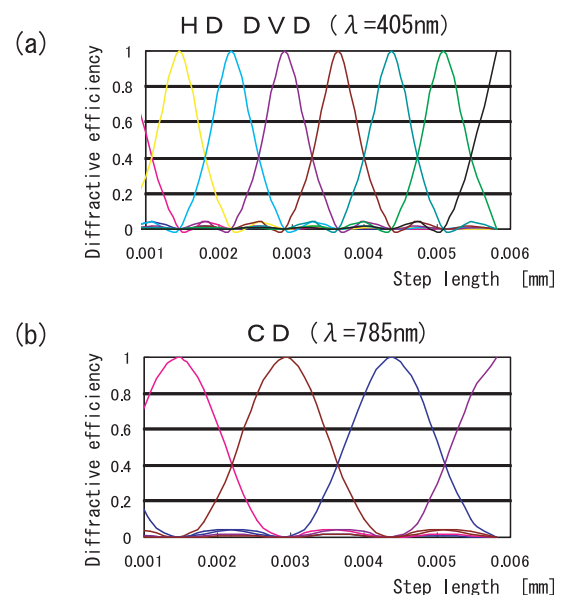


Fig.2 Step length dependency of diffractive efficiency

とである。各波長の光に対するブレイズ型回折構造の回折効率、回折輪帯間の光軸に平行なステップの長さにより決定される。HD DVDの光が回折構造に入射した場合に効率80%以上の回折光が生じるようなステップ長は離散的に存在するが、それらは全て以下の2種類に大別される。発生する複数のCD回折光のうち最大の回折効率が80%以上である場合と約40%の場合である。これはHD DVDとCDとの波長比が1:2に近いことが原因である。

(Fig. 2)

以上を踏まえて、結像倍率の違いを利用する方法と回折を利用する方法を組み合わせる対物レンズの設計検討を行った。対物レンズごとに、3つの光ディスクに対する対物レンズの結像倍率を[HD DVD/DVD/CD]と示し、それぞれについて互換方法と課題をまとめる。

4. 1. 1 Type A [0/0/0]

3つの波長の光に対してコリメータ、センサーも共用可能となる最も望ましいタイプである。しかし全ての互換を2種類の回折を用いて行うため、CDでは有限倍率が大きくトラッキング時に生じるコマ収差が問題となる。またDVDでも以下のタイプに比較して2種類の回折構造を設ける点で回折効率が低下する。

4. 1. 2 Type B [0/0/負]

回折によりHD DVD/DVDの互換を行い、結像倍率の違いでHD DVD/CD互換を行うタイプである。このタイプでは、CDの球面収差補正は全て結像倍率変換で達成するため、トラッキング時に生じるコマ収差が問題となる。

4. 1. 3 Type C [0/0/負]

回折によりHD DVD/DVDの互換を行い、回折と結像倍率の違いとの両方を利用してHD DVD/CD互換を行うタイプである。回折構造はCDで約40%の2つの回折光が生じるステップ長に設定し、一方の回折光を記録・再生に使用する。回折光は回折角がHD DVDと異なるため、CDでは回折と結像倍率変換で互換を分担する。従ってCDの結像倍率はType Bに比べて小さくすることができ、トラッキング時に生じるコマ収差を問題ないレベルに低減できる。

4. 1. 4 Type D [0/負1/負2]

3つの光ディスクに対する対物レンズの結像倍率が異なることで全ての互換を行うタイプである。Type Bと同様CDの有限倍率が大きくトラッキング時に生じるコマ収差が問題である。

以上のタイプ別検討結果より、Type C [0/0/負]を選択した。全てのタイプに課題はあるが、CD効率約40%に関してはハイパワーのCD用レーザーが開発されていること、またHD DVD、DVDと同一センサーを用いる場合はセンサー感度を統一するためにCDではHD DVDに比べて受光量が小さいことが望ましいという状況から、実用性があると考えている。

4. 2 HD DVDの色補正

光ピックアップ装置に用いる半導体レーザーには、パワー変化時に瞬間的に発振波長が変化する(モードホップ)現象が存在する。その際フォーカス変化にアクチュエータが追いつかず、フォーカスエラーが発生する。NAが高く波長が短いほど焦点深度は狭いため、HD DVDでは光学系全体での色補正が必要となる。色収差は正の分散を有する屈折効果が原因で生じるが、負の分散を有する回折効果で打ち消すことができる。対物レンズとコリメータを色補正素子として利用することができるが、われわれはそれらのうちコリメータを利用することにした。以下に理由を述べる。

回折構造を光学素子に形成すると、通過する光の効率は低下する。スカラー計算上では効率の低下がなくても、実際には回折構造のステップで光が遮断されるからである。入射又は出射する光の回折構造のステップに対する角度が大きいほど、あるいは回折構造のステップの数が増えるほど、効率低下が大きくなる。(Fig. 3)

コリメータ及び対物レンズのそれぞれの面のうち、回折構造のステップに対する入射、出射角が最も小さいのはコリメータの対物レンズ側の面である。一方どの面にも色補正用の回折構造を設けても、回折構造のステップの数は同じである。これは対物レンズの互換用回折構造で色補正を行った場合でも、色補正を行わない場合のステップ数に色補正のためのステップ数が足し合わされるからである。従って総合して回折効率の低下が最も小さいのはコリメータに形成した場合である。更にその面における有効径は他の面に比べて大きい(光軸に垂直な方向)回折輪帯の幅が広い構造となり、加工性も向上する利点がある。

これまでHD DVDについて述べたが色補正コリメータにDVDやCD波長の光が通過する場合、DVD、CD波長の光においても回折の色補正作用を受ける。しかし、もともと有する単位波長変化時の焦点位置変化量はHD DVD、DVD、CDの順に小さくなるため、色補正用の回折構造を通過したDVD、CDの光は色収差の問題はなく、記録・再生に十分対応可能である。

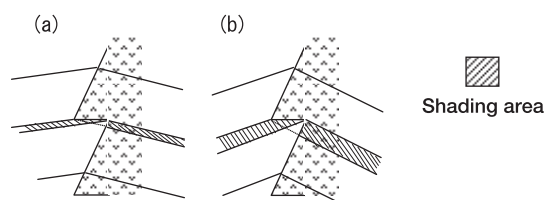


Fig.3 Shading area of diffractive structure with light transmission at a smaller angle(a) and a larger angle(b)

4.3 開口制限

互換のためには各光ディスクに対して対物レンズの必要な有効径が異なることに応じて集光に寄与するレンズ面の領域を変える必要がある。HD DVDとDVDを比較すると仕様上対物レンズの開口数は同じであるが、3波長互換対物レンズではDVDの方が焦点距離が長いので約0.1mmだけ有効径も大きくなる。従って正確に光ディスクの仕様に合わせるには、有効径が最も大きいDVD以外のHD DVDとCDの開口制限機能が必要となる。HD DVD開口制限機能は対物レンズ自体に持たせているが、CDの開口制限は外部素子に依存することで、誤動作なくフォーカシングができるようにした。

HD DVDの開口制限はDVD/CD互換対物レンズと同じ技術を用いて行う。DVD/CD互換レンズの回折面における、共用領域より外側のDVDのみに利用する領域では、DVDで球面収差を補正し、CDでは主に保護基板厚の差によって球面収差が生じることを利用して開口制限を行っている。同様に3波長互換対物レンズではHD DVD有効径外のDVDのみに利用する領域において、DVDでは球面収差を補正しHD DVDの光に対しては球面収差を残留させることでHD DVDの開口制限を行うことができる。

CDの開口制限については、CDの有効径の内側（3波長共用領域）と外側（2波長共用領域）とで、異なる回折構造を設けることが必要となる。しかしその場合、HD DVDの色補正が不可能となるか、又はフォーカスエラー信号のS字特性に光量の高い擬似信号が生じてしまい、どちらにしても性能上問題となる。以上の理由から、CDの有効径の内側と外側とで同じ回折構造であるがCDでは外部素子により対物レンズに入る有効径外の光を完全にカットする構成とした。

5 ピックアップ光学系

対物レンズを用いた光ピックアップ装置の光学系一例を紹介する。HD DVDとDVDの対物レンズの結像倍率は同じであるため、コリメータとセンサーを共通化することができる。コリメータは回折レンズであり、HD DVDの色補正素子の役割も果たす。CDの結像倍率は異なるが、同じコリメータとCDホローザを使用することで、部品点数の少ない光学系が可能となる。(Fig. 4)

6 まとめ

1 レンズ方式に用いるプラスチックの単玉互換対物レンズを開発した。対物レンズは、HD DVD、DVD、CDの光は対物レンズに無限、無限、発散有限光として入射し球面収差が補正される。CDでは対物レンズのトラッキング時に生じるコマ収差は問題とならないレベルを達成した。CDの開口制限はHD DVDの色補正とS字特性の観点から外部素子によって行うものとした。CDの回折効率は約40%であるが、ピックアップ装置全体で補うことが可能である。

今後、更なるピックアップのコンパクト化に向けてより部品点数の削減を可能とし、CDの高倍速記録を可能とする高効率対物レンズの実現を目標としたい。

参考文献

- [1] 日経エレクトロニクス ブックス、次世代光ディスク解体新書、日経BP社、2003、p90-98

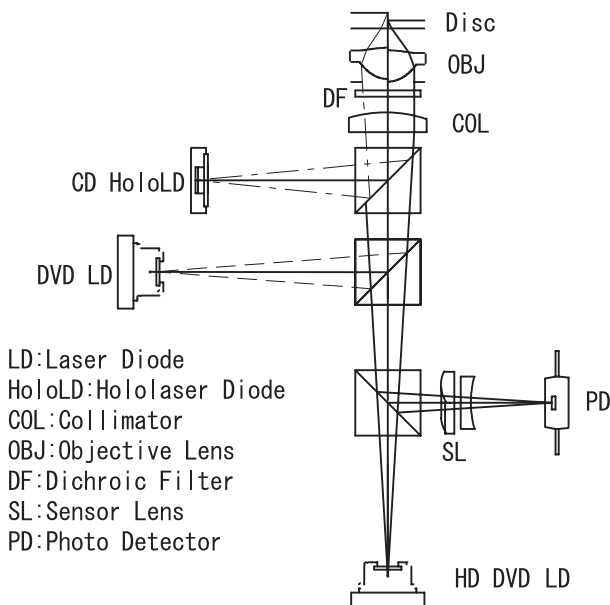


Fig.4 Pick-up optical system