

光ディスク用収束有限共役プラスチック対物レンズ開発

Development of Quasi-finite conjugate plastic objective for optical disk use.

山崎 敬之* 小林 雅也**
Yamazaki, Hiroyuki Kobayashi, Masaya

At present, the plastic bi-aspherical singlet objectives are widely used for almost all types of optical disk system, because of the merits of high quality and low price.

On the other hand, the plastic objectives have a characteristic that a certain amount of wavefront aberration changes according to temperature. The amount of the wavefront aberration change becomes larger when the numerical aperture (NA) becomes higher.

In this report, a new optical system for optical disk use is explained. Using this optical system, the amount of wavefront aberration change caused by temperature change is reduced compared with the conventional optical system, and the plastic objectives can be applied for much higher density optical disk.

1 はじめに

CD (コンパクトディスク) に代表される光ディスクは高密度化が進んでいる。1996 年末には CD の約 7 倍の記録容量を有する DVD (デジタルヴァーサタイルディスク) が商品化された。

高密度情報を読み取るためには、ピックアップ装置に使われる対物レンズの NA (開口数) を大きくすることが必要となる。例えば CD 用途の対物レンズが NA 0.45 であるのに対し、DVD 用途には NA 0.6 のレンズが用いられている。

光ディスク用対物レンズがプラスチック化されて久しいが、高性能、高品質、低コストの非球面プラスチック対物レンズは今では CD、CD-ROM に留まらず、CD-R、MD、VD、DVD 等、あらゆる光ディスクに幅広く利用されている。ところで非球面プラスチック対物レンズは NA が大きくなるに従い温度変化による性能 (球面収差) 変化が顕著になる。高密度化が進むにつれて、この球面収差変化の改善が重要な開発課題となっている。

今回、この性能変化を小さく抑さえ、高密度光ディスク用途にも十分に対応可能な開口数の大きな非球面プラスチック対物レンズを開発したので報告する。

2 温度特性

一般にプラスチック対物レンズは温度が変化すると、焦点位置、及び波面収差 (球面収差成分) が変化する。光ディスク用対物レンズの場合は、フォーカサーボ機構が備わったピックアップ装置に用いられるため、焦点位置変化に関しては考慮しなくてもよい。

温度変化に伴うプラスチック対物レンズの波面収差変

* オプト事業部 オプト開発グループ
** オプト事業部 オプト技術グループ

化の要因としては、レンズを構成する素材の膨張収縮、及び屈折率の変化が考えられる。波面収差を W 、温度を T 、素材の屈折率を n 、素材の膨張、収縮を δL とすると、以下の式で表現できる。

$$\delta W / \delta T = (\delta W / \delta n) \cdot (\delta n / \delta T) + (\delta W / \delta L) \cdot (\delta L / \delta T) \dots\dots\dots(1)$$

素材の膨張収縮による対物レンズ光学面の膨張収縮は波面収差にはほとんど影響を及ぼさないので、

$$\delta W / \delta T = (\delta W / \delta n) \cdot (\delta n / \delta T) \dots\dots\dots(2)$$

となる。この式から NA 0.6、焦点距離 3.36 mm の無限共役プラスチック対物レンズの波面収差変化を計算した結果を Fig. 1 に表す。ここでは $n = 1.5$ 、温度変化に伴う屈折率変化 $\delta n / \delta T = -0.00012$ とする。

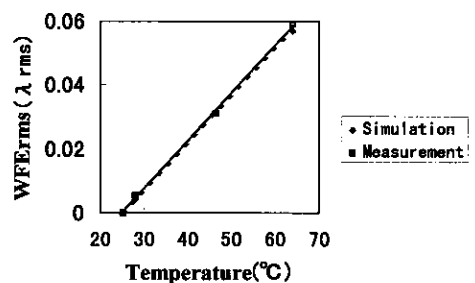


Fig. 1 Wavefront error vs. temperature

Fig. 1 において点線は計算結果、実線は実測結果である。計算値と実測値は良く一致している。

屈折率変化で変化する収差成分は球面収差である。この収差変化量は対物レンズの焦点距離 f に比例し、また無限換算開口数 $NA(\infty)$ の 4 乗に比例する。すなわち、 $\delta W / \delta n = \beta \cdot NA(\infty)^4 \cdot f$ となる。対物レンズの横倍率を m 、ディスク側開口数を NA とすると、

$NA(\infty) = (1-m) \cdot NA$ となるので、従って、

$$\delta W / \delta T = \beta \cdot (1-m)^4 \cdot NA^4 \cdot f \cdot \alpha \dots\dots\dots(3)$$

と表せる。 $\alpha = \delta n / \delta T$ 、 β は軸上厚、屈折率等で決定されるレンズ形状係数を表す。この式から分かる通り $\delta W / \delta T$ は NA の 4 乗に比例するため DVD 用の $NA 0.6$ の対物レンズは CD 用の $NA 0.45$ の対物レンズより 3 倍強の波面収差変化が生じることになる。ここで $(1-m)$ に着目すると、同じ NA の時に $m > 0$ であれば $(1-m)$ の値が小さくなり $\delta W / \delta T$ をより小さく押さえることができる。 $m > 0$ とは、対物レンズに収束光が入射される光学系であるため、対物レンズを収束有限共役対物レンズ、光学系を収束有限共役光学系と称している。

Fig. 2 に $NA 0.6$ で $m = -1/20, 0, +1/15, +1/12, +1/10$ のプラスチック対物レンズの温度変化による波面収差変化を示す。この結果、 $m > 0$ とすることにより、温度変化に対する収差変化の小さい光学系を実現することが可能となる。

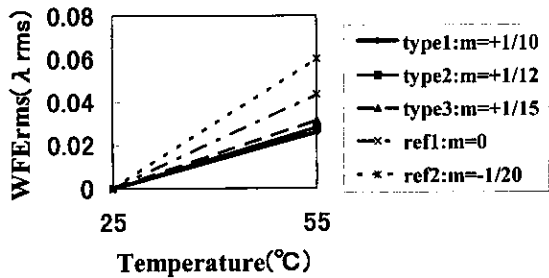


Fig. 2 Temperature dependency of the objectives

3 収束有限共役光学系全系における温度特性

収束有限共役光学系は、 $m > 0$ の対物レンズの他に光源からの発散光束を収束光に変換するカップリングレンズで構成される。その光学系の一例を Fig. 3 に示す。

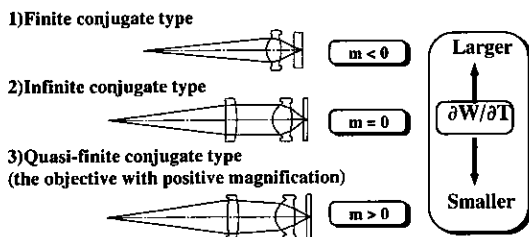


Fig. 3 Layout of optical system

従来から用いられてきた無限共役対物レンズ ($m = 0$) の場合も光学系中に光源の発散光束を平行光にするコリメートレンズが存在する。Fig. 1 に示した波面収差変化は無限共役対物レンズのみがプラスチックである場合を示

したが、コリメートレンズも対物レンズ同様にプラスチック製である場合には、温度変化による波面収差変化量は、対物レンズのみがプラスチックである場合よりも更になくなる。この原理は次の通りである。コリメートレンズは、平行光が出射するように光源との距離が調整、固定されているので温度が変化しコリメートレンズの焦点距離が変化してしまうと、コリメートレンズから出射される光束は、発散光束、或いは収束光束となる。従って、本来 0 であった対物レンズの倍率が変化してしまう。このような倍率変化が生じると球面収差が発生するが、2 で述べた対物レンズ自体の屈折率変化により発生する球面収差とは符号が異なる。従って、これらが相殺する結果となり、光学系全系においては変化量が更になくなることになる。

収束有限共役光学系においても、カップリングレンズをプラスチック製とすることで、無限共役光学系におけるプラスチックコリメートレンズと同様の効果が生じ、更に波面収差変化量を小さくすることができる。Fig. 4 に Fig. 3 の光学系において対物レンズのみがプラスチック製である場合と更にカップリングレンズもプラスチック製である場合のそれぞれの温度特性を示す。プラスチック対物レンズを収束有限共役タイプとし、更にカップリングレンズをプラスチック製とすることにより、高 NA のプラスチック対物レンズにおいても、温度変化による波面収差変化を無限共役プラスチック対物レンズの約三分の一にまで小さく押さえることが可能となる。

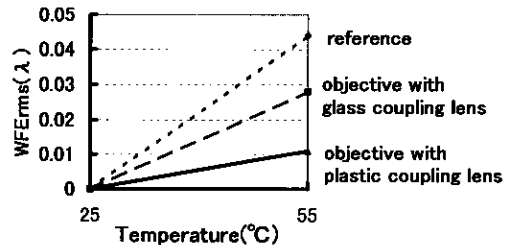


Fig. 4 Temperature dependency of optical system with coupling lens

4 まとめ

高 NA 対物レンズが必要となる DVD においては、収束有限共役光学系を採用することにより、対物レンズがプラスチック製であっても、温度変化による波面収差変化を十分に小さく押さえることができた。

またカップリングレンズをプラスチック製にすることで温度変化による波面収差変化を更に押さえることが可能であり、今後出現する更に高密度化された光ディスク用ピックアップ光学系をプラスチックレンズだけで構成することができると思われる。