

複屈折測定器の開発

Development of Birefringence Measurement System

野崎 昭 俊*

Nozaki, Akitoshi

With the ever-increasing density of optical disk, the performance demanded of optical disk lenses grows ever more stringent. One such factor is birefringence, a fast but highly accurate way measuring birefringence is therefore a boon both in research and in production. We have developed just such way of measuring birefringence using an intensity method rather than a heterodyning method. The method is made highly accurate by optimizing the arrangement of the polarized elements, by adopting a high-resolution CCD camera, and by using a simple analytical technique. These advances bring the accuracy of the method on par with the heterodyning method, so that that accuracy can be teamed with the intensity method's speed, ease of use, and facility for measuring 2D birefringence using the actual ray paths of the lenses.

1 はじめに

複屈折は直交方向の光の屈折率が異なる現象で、プラスチック成型では素材・製造条件・形状により複屈折の度合いが変化するとされている。光ディスク用レンズに複屈折がある場合の影響は、偏光方向により屈折率が変化することから結像性能が劣化する事、偏光を利用して信号検出を行なうMOディスク装置ではSN比が悪くなる事、などがあげられる。光ディスクの高密度化・ハイスペック化に伴い、レンズに求められる性能はますます厳しくなり、評価項目のひとつである複屈折測定も更なる高精度化が望まれていた。

2 複屈折測定器の開発

2.1 測定手法

物質内部の複屈折測定には検出方法から大きく分けて、 $\lambda/4$ 板を用いたセナルモン法（偏光補償法）などの強度情報から複屈折を求めるもの、直交する僅かな差周波数を持つ横ゼーマンレーザを光源としたヘテロダイン法¹などの位相差から複屈折を求める方法がある。前者の場合は一般的に測定感度が低く、再現性にも問題があるが、CCDカメラを検出素子として用いた場合は二次

元複屈折分布測定が容易である。一方、後者の場合は高精度な測定が望めるものの点計測であるため、レンズのような二次元計測を行なうには光学系や検出器の走査が必要となり、測定には時間を要し、装置も大掛かりな物となる。

今回開発した装置では、レンズの二次元複屈折分布をレンズの実光線経路で短時間に測定が容易な強度法を採用し、使用する偏光素子の最適配置、解析手法の単純化、検出素子に高分解能のCCDカメラを用いることで、強度法では難しいと言われていた高精度化を達成している。

2.2 装置構成

Fig. 1 に装置レイアウトを示す。光源には直線偏光のHe-Neレーザを用い、その直後に光軸まわりに回転可能な $\lambda/4$ 板を配置する。 $\lambda/4$ 板透過後の光はビームエキスパンダーによりひろげられ、被験レンズに入射する。被験レンズを透過した光は、被験レンズ以上の開口数(NA)を持つ対物レンズにより平行光に戻され、次に光軸まわりに回転可能な偏光子に入射する。偏光子透過後の光は撮像レンズにて14bitの分解能を持つ高精度CCDカメラに結像される。

カメラの画像はRS232Cを通じてパーソナルコンピュータ(PC)に送られる。PCでは各偏光素子の

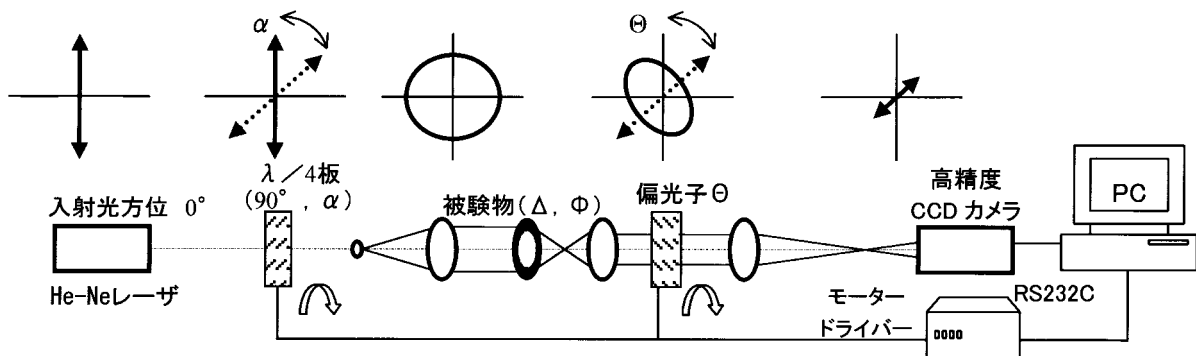


Fig. 1 Optical layout and system diagram

* オプトテクノロジーカンパニー 光学開発センター

回転制御と、カメラ画像からの強度を元に複屈折を算出・表示する。

本装置では、被験物に素材検討に使用する平板や、カメラやビデオで使用する単レンズも考慮に入れている。単レンズを測定する場合は、レンズをレンズと同等の屈折率を持つ溶媒に浸し、ノンパワー化して測定する。Fig. 1では光学系が横向きに表示してあるが、実際の装置では作業性と液浸測定を考慮して縦置き配置となっている。Table 1に本装置の主仕様を示す。

Table 1 System specification

光源	He-Ne レーザ 632.8nm
測定項目	被験物透過後の複屈折大きさ、進相軸方位
測定精度	分解能 0.5°(0.88nm) 再現性 1°(1.76nm)
測定範囲	・有効径 10mm ・物像間距離 50mm 以下 ・被験物 NA0.65 以下
測定対象	・有限・無限共役型光ディスクレンズ ・単レンズ、平板
その他	・測定時間 約1分(自動測定) ・ソフトウェア Windows 対応

2.3 測定・解析手法

まず偏光子の方位 (Fig. 1 参照) を 0° に固定し、 $\lambda/4$ 板を回転させて方位 を 45°, 315° にした時の画像強度 $I_{(45,0)}$, $I_{(315,0)}$ を各々取得する。次に偏光子の方位 を 45° に固定し、同様に $\lambda/4$ 板の方位 を 45°, 315° にした時の $I_{(45,45)}$, $I_{(315,45)}$ を各々取得する。なお、 $\lambda/4$ 板の方位 が 45°, 315° の時、被験物に入射する光の状態は、各々右回り円偏光、左回り円偏光となる。被験物に複屈折がある場合、被験物を透過した光は楕円偏光に変化する。4枚の画像の対応する画素間で後述する演算を行い、被験物のある1点の複屈折を求める。これを被験物面内に展開し二次元複屈折分布を得る。

ここで、各光学素子に対するミューラ²行列を入射光 S, $\lambda/4$ 板 Q, 被験物 X, 検光子 P とすると、ある1点の検出光のミューラ行列 S' は次式のように表せる。

$$S = P \cdot X \cdot Q \cdot S \dots\dots\dots (1)$$

ここで、S の第1行が画像強度 I に相当する。4つの画像強度を利用し、被験物の複屈折大きさ、進相軸方位に関連した次式 A, B を (1) 式から導出した。

$$A = (I_{(45,0)} - I_{(315,0)}) / (I_{(45,0)} + I_{(315,0)}) = \sin \delta \cdot \sin 2\theta$$

$$B = (I_{(45,45)} - I_{(315,45)}) / (I_{(45,45)} + I_{(315,45)}) = -\sin \delta \cdot \cos 2\theta$$

A, B から複屈折は次式のように求められる。

$$\delta = \sin^{-1} (\sqrt{A^2 + B^2})$$

$$\theta = 1/2 \cdot \tan^{-1} (-A/B)$$

以上のように、4つの強度情報から容易に複屈折が算出されることがわかる。

本装置では、各画像の対応する画素強度から微小な複屈折を算出しているため、回転を伴う光学素子の傷・汚れは画素の強度を変化させ、測定結果に大きな影響を与える。そこで、 $\lambda/4$ 板はビームをひろげる前に配置して、その影響を最小限に留めている。また、ビームのひろがった所で使用する偏光子は、式 A, B を求める際には方位固定で使用し、さらに式 A, B は強度情報で規格化されていることから傷・汚れは測定結果に影響しないことが判る。

2.4 測定例

Fig. 2 に成型条件を変化させた時の、光ディスク用対物レンズの複屈折測定結果を示す。大きさは10等分に色分け表示し、白い線は進相軸方位を表している。右側の結果から、樹脂が流れ込むゲート近傍(紙面上)に約 30° (53nm) の複屈折がある事が判る。成型条件を変えた左側のレンズは、このゲート近傍の複屈折が約半分まで低減し、さらに中心部の低複屈折領域(紫色)が広がっていることが確認できる。

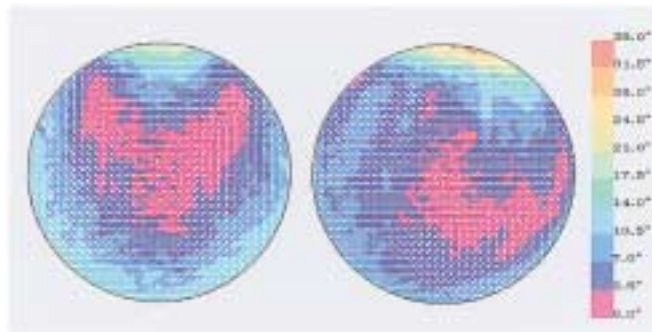


Fig. 2 Typical 2D birefringence comparing a lens under differing mold conditions

3 まとめ

レンズの実光線経路で測定可能な高精度で操作性の良い複屈折測定器を開発した。この測定器では、従来手法では測定ができなかった複屈折量や複屈折変化を捉えることが可能となり、微小複屈折の評価・定量化に役立っている。今後は、この測定器に短波長化と高 NA 対応を盛り込み、光ディスクの最新動向に対応していきたい。

参考資料

- 1) Nobuhiro Umeda, Sho Wakayama, Shinsuke Arakawa, "Fast birefringence measurement using right and left hand circularly polarized laser", SPIE vol.2873, p119, (1996)
- 2) 応用物理学会光学懇親会編, "結晶光学", 森北出版