

光線追跡法による屈折率分布を有する液晶マイクロレンズの解析 Ray-tracing method for a liquid-crystal micro-lens with refractive-index-distributions

秋田高専¹, 秋田大院工², 液晶レンズ研究所³ ○手塚 大貴¹, 田中 将樹¹, 中村 剣登², 河村 希典², 佐藤 進³

Akita NCT¹, Akita Univ.², LC-Lens Institute³

○Daiki Tezuka¹, Masaki Tanaka¹, Kento Nakamura², Marenori Kawamura², Susumu Sato³

E-mail: tanaka@akita-nct.ac.jp

1. はじめに

液晶マイクロレンズは、微小な穴形電極のエッジ部における不均一電界による液晶分子配向効果を利用することで、液晶層に空間的な二乗分布状の屈折率分布を与えてレンズ効果を得るものである。¹⁾ この液晶マイクロレンズは、電極に印加する外部電圧によって屈折率分布を精密に制御できるため光偏向制御機能を有している。本研究では、屈折率分布特性から液晶層を Radial GRIN(Gradient index)レンズとして扱うことで、光線追跡法の適用を試み、二分割四角形状電極パターンを有する液晶マイクロレンズ²⁾の解析を行った。

2. 計算方法

パターン電極構造によって生じる不均一電界によって誘起される屈折率分布を有する液晶マイクロレンズの計算モデルを図 1 に示す。液晶層の厚さを 110 μm 、屈折率分布特性を示す開口部の大きさを 300 μm とし、厚みが 1mm のガラス基板で挟んだセル構造とした。

y 軸方向に屈折率が変化する系では光線は屈折率の高い方向に屈折する。光線の進行方向に距離 d の移動をするとき総屈折角 θ は以下の式で与えられる。³⁾

$$\theta = \int_0^d \frac{1}{n(y)} \frac{\partial n(y)}{\partial y} dx$$

そこで、試作した液晶マイクロレンズアレイの一素子の干渉縞観察から得られた光学位相差より液晶層の実効屈折率 $n_{\text{eff}}(y)$ を求め、平行光線を 10 μm 間隔で入射した場合の屈折角を計算することで光線追跡を行った。

3. 結果

二分割四角形状電極パターンを有する液晶マイクロレンズ²⁾の各電極に $V_L = V_R = 4.0\text{V}$ または $V_L = 4.0\text{V}$, $V_R = 0\text{V}$ を印加した場合の光学位相差より求めた光線追跡結果を図 2(a) および(b)に示す。印加電圧を $V_L = V_R$ とした場合では、開口電極パターン中央部に対して左右対称の屈折率分布を示すため、ガラス基板の外側で焦点を結んでいることが確認できた[図 2(a)]。さらに、異なる電圧 $V_L = 4.0\text{V}$, $V_R = 0\text{V}$ を印加した場合、屈折率分布は非対称となるため、光線はその大部分が大きく $+y$ 方向に偏向している様子が見られた[図 2(b)]。図 3 に液晶マイクロレンズの出射面におけるそれぞれの光線の屈折角の変化を示す。ここで、横軸はマイクロレンズ入射時の光線の高さを示している。液晶マイクロレンズの左右の電極に異なる電圧を印加した場合、 $+5^\circ \sim +10^\circ$ 方向または $-5^\circ \sim -10^\circ$ 方向の屈折角となっていることが分かった。

1) T. Nose and S. Sato: Liquid-Crystal Microlens obtained with a Nonuniform Electric Field, Liquid Crystals, Vol.5, p.1425 (1989).

2) 中村, 河村, 佐藤: 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (2014).

3) 高山, 川橋, 平原, 前田, 新美: 「光学的可視化法」(朝倉書店, 2001).

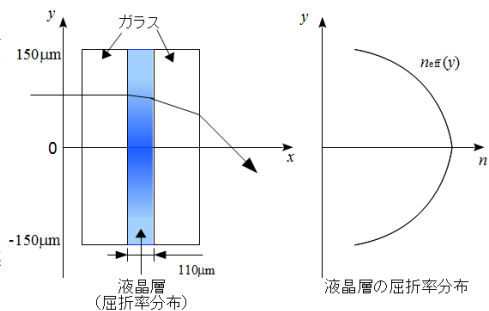
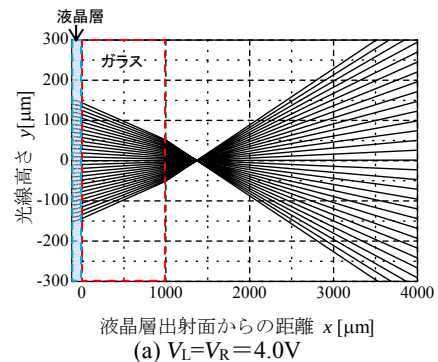
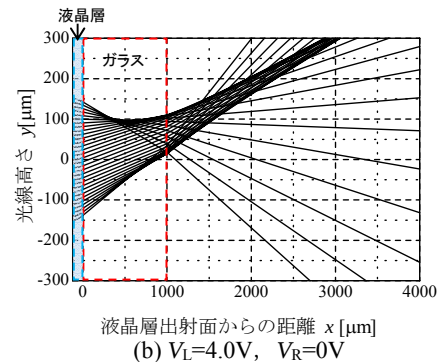


図 1 計算モデル



(a) $V_L = V_R = 4.0\text{V}$



(b) $V_L = 4.0\text{V}$, $V_R = 0\text{V}$

図 2 液晶マイクロレンズの光線追跡結果

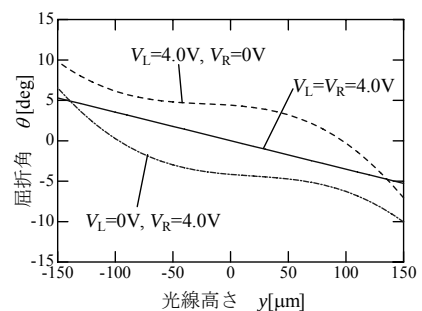


図 3 出射面における屈折角特性