

強度輸送方程式を用いたシングルショットベクトル光波 イメージング手法の検討

Single-shot vector wavefront imaging method using transport-of-intensity equation

阪大院情, °山本 悠貴, 下村 優, 小倉 裕介

The Univ. of Osaka °Yuki Yamamoto, Suguru Shimomura, Yusuke Ogura

E-mail: y.yamamoto@ist.osaka-u.ac.jp

光強度, 位相, 偏光 (ベクトル光波) の同時イメージングは, 物質の形状や構造特性解析において重要な役割を果たす. 我々はこれまで強度輸送方程式 (TIE) と偏光カメラを組み合わせたベクトル光波イメージング手法を検討してきた[1]. TIE は強度分布の軸方向変化から位相を回復する非干渉位相計測法であり, 光学系の安定性や構成の簡便さに優れる. TIE は単一露光で複数の偏光強度分布を取得できる偏光カメラとの組み合わせにより, ベクトル光波の同時イメージングを効率的に実装できる. しかし従来手法では, 位相, 偏光を得るために必要な画像を逐次的に撮影する必要があり, 動的対象の観察への適用には制限があった. 本研究では, シングルショット偏光 TIE を実現するため, 回折格子を導入した光学系を設計し, 基本機能の一つである位相計測特性をシミュレーションにより調べた.

設計した光学系を Fig. 1 に示す. サンプル出射光は直後に配置された透過型回折格子により 0 次光と±1 次光に分離される. +1 次回折光に対しフーリエ面のレンズ L_c で位相を操作することにより焦点外強度分布を生成する. ここで, 焦点外距離は Fig. 1 中の式(1)に相当する. -1 次光は四分の一波長板 (QWP) を通過させて偏光を変調し, 偏光解析に用いる. 像面上に形成されるこれらの回折像を単一の偏光カメラで同時に撮像することで, 所望の光強度画像を一度に取得する. 0 次光, +1 次光を用いた 2 平面の前方差分により軸方向強度微分値を推定し, TIE で位相分布を回復する. 一方, 0 次光, -1 次光の各偏光成分の強度から, 各位置における偏光状態を求める. 以上の手順により, ベクトル光波イメージングを実行する.

設計した光学系の動作を確認するため, 波動光学に基づくシミュレーションを実施した. Fig. 2(d)の位相分布を持つ光波の光学系通過をモデル化し, 像形成を数値的に再現した. Fig. 2(a)-(c)は像面 (偏光カメラ面) での強度分布を示しており, (a)は全体の強度分布, (b)は 0 次光, (c)は+1 次光の強度分布である. これらの分離された強度分布に TIE を適用することで, Fig. 2(f)に示す位相分布が回復された. 回復された位相分布は自由空間伝搬の計算結果 (Fig. 2(e)) と類似しており, シングルショット化の実現可能性が示された.

本研究は JSP 科研費 (JP20H05886) の助成を受けたものである.

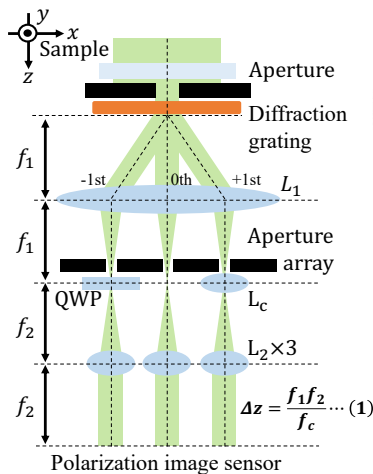


Fig. 1 Designed optical system

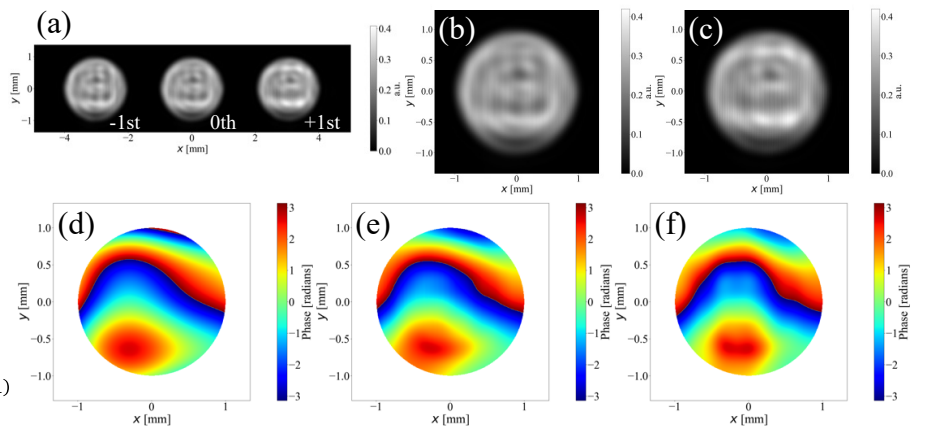


Fig. 2 (a) Overall, (b) 0th-order, (c) +1st-order images. Phase distributions: (d) at sample, (e) by free-space propagation, and (f) retrieved by TIE.

参考文献

- [1] Y. Yamamoto, S. Shimomura, Y. Ogura, "Vector wavefront imaging using transport-of-intensity equation with a polarization camera", Proc. of BISC 2025, JS2-04, April 2025.