

# 二次歪曲格子によるシングルショットベクトル場計測手法の簡素化

## Simplified single-shot vector optical field measurement method

### with a quadratic distorted grating

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

光と物質の相互作用解析に基づく物質評価において、複素振幅と偏光状態を考慮した光波場、すなわち光のベクトル場の計測技術は、異方的構造を含む様々な物質特性の解明に有用である。我々はこれまで強度輸送方程式 (TIE) と偏光カメラを統合したシステムによるベクトル場計測技術と、そのシングルショット化手法を検討してきた[1, 2]。TIE は軸方向の強度分布変化から位相分布を回復する非干渉位相計測法であり、偏光カメラと組み合わせることで、効率的にベクトル場計測を実装できる。Fig. 1 (a)はこれまでに検討してきた、線形回折格子を用いたシングルショット光学系である。格子での光路分離と焦平面分割撮像により、ベクトル場の再構成に必要な情報を単一露光で取得する。これにより、位相および偏光状態は同一時刻に取得された強度情報に基づいて再構成され、逐次撮像に起因する時間的不整合を回避できる。しかし、本システムは分離した光路ごとにレンズを要するため、光学系の大型化およびアライメントの難度が課題であった。

本研究では二次歪曲格子[3]を導入した新たな光学構成[Fig. 1 (b)]を検討した。格子線に加えた二次歪曲により、回折光はイメージセンサ面において回折次数に比例する距離のデフォーカスを与えられる。各次数の強度分布を適切に利用することにより、シングルショットでのベクトル場再構成が可能となる。本構成は従来構成と比較し、結像レンズの枚数が光路数に依存しないため、光学系規模や各素子の配置難易度について優位である。多光路の利用は TIE における軸方向強度変化の近似精度を向上させ、位相回復の高精度化に寄与する。本構成の動作確認のため、シミュレーションを実施した。異方性を持つ位相物体をサンプルと仮定し、ガウスビーム照明下での光伝播を計算した。Fig. 1(c)はイメージセンサ面での偏光強度分布を示す。水平、垂直方向に分離された9つの回折光が同時撮像された。これらの強度分布から、TIEにより偏光ごとの位相分布[Fig. 1 (d)]が回復された。位相回復の誤差率は約5%であった。回復された位相分布および強度情報からストークスパラメータを計算することにより、各位置での偏光状態[Fig. 1 (e)]を算出した。背景領域と物体領域で異なる偏光状態を示し、その分布はサンプルと良好な一致を示した。この結果より、二次歪曲格子を用いた構成により、光学系を小規模化しつつ、シングルショットでのベクトル的光波場計測が可能であることを確認した。

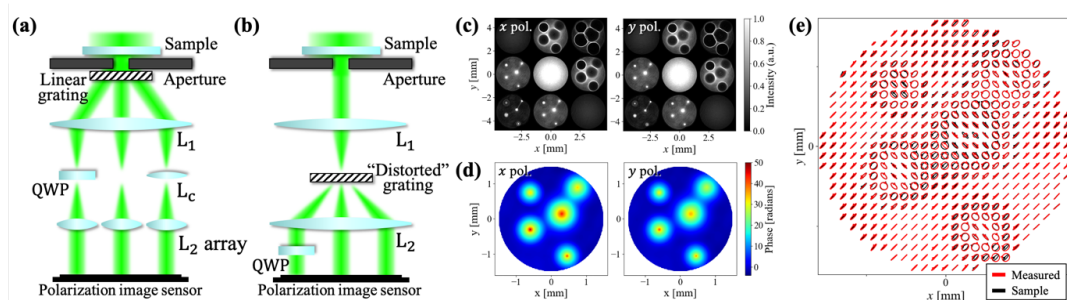


Fig. 1 (a) Previous and (b) novel optical configurations. Simulation results of (c) captured polarization images, (d) retrieval phases by TIE, and (e) calculated polarization states.

## 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 the 11th Biomedical Imaging and Sensing Conference, JS2-04 (2025).
- [2] 山本 悠貴, 下村 優, 小倉 裕介, 「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」, 第86回応用物理学会 秋季学術講演会, 8p-N205-2 (2025).
- [3] P. M. Blanchard, A. H. Greenaway, "Simultaneous multiplane imaging with a distorted diffraction grating," Applied Optics **38**, 6692-6699 (1999).