

平面導波路型デジタルホログラフィック顕微鏡

PLC-integrated digital holographic microscope

○池田 佳奈美¹, 門屋 春奈¹, 岡本 勝就¹, 渡邊 恵理子¹ (1. 電通大)

○Kanami Ikeda¹, Haruna Kadoya¹, Katsunori Okamoto¹ and Eriko Watanabe¹ (1. UEC Tokyo)

E-mail: phase@fourier.ghrdp.uec.ac.jp

1. はじめに

Digital Holographic Microscopy(DHM)^[1]は、非接触・非染色で微小物体の厚みや屈折率の情報である定量位相を高速・広視野で計測可能であり、また奥行き情報を基本的には一枚のホログラムにより取得できる。そのため、広視野に渡る定量位相計測や、液中にばら撒かれた細胞の3次元における位置特定などに利点がある。しかし、二光束干渉系による DHM は厳密なアライメントが必要であり、装置が大型化するなどの課題がある。球面参照波を利用する手法を用いるとサンプルと撮像素子の間に物体を拡大する対物レンズが不要であり、光学系が簡素化できる^{[2][3]}。従来は球面参照波をレンズを用いた空間光学系で生成していたため、装置の小型化に制限があった。

本稿では、平面導波路を利用した DHM を提案し試作したので報告する。

2. 球面参照波利用の DHM の結像原理

光源から発せられる光を物体へ照明する物体波と、物体を介さずに基準となる光である参照波に分け、物体波と参照波の2波を合波し干渉させることで干渉縞を形成し、撮像素子を用いて干渉縞の電気信号を画像として記録する。物体から撮像面までの距離を z_o 、撮像面から参照点までの距離を z_r とすると、コンピュータで再生する再生距離 Z との関係式は(1)式となる。

$$Z = -\left(\frac{1}{z_o} - \frac{1}{z_r}\right)^{-1} \quad (1)$$

この関係により、 $z_o = z_r$ のとき、無限遠結像となる。

像の再生は、複素振幅のフレネル変換で行える。開口面の複素振幅のフレネル領域における回折像は、簡単化のため1次元で記述し、定数項は省略すると、(2)式で表せる。

$$\begin{aligned} U_i(X, Z) &= \iint U(x) \exp\left[\frac{j\pi(x-X)^2}{\lambda Z}\right] dx \\ &= \exp\left(\frac{j\pi}{\lambda Z} X^2\right) \mathcal{F}\left[U(x) \exp\left(\frac{j\pi}{\lambda Z} x^2\right)\right] \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 λ は光波の波長、 \mathcal{F} は Fourier 変換演算を表しており、位相因子の周波数は伝搬距離に依存して変化する。元の複素振幅分布に位相因

子を掛け Fourier 変換し、その後再び位相因子を掛けることで、離れた面での複素振幅分布が得られる。位相因子の最高周波数に対してサンプリング定理を満足する伝搬距離の条件で設計することによって正確な回折像を得ることができる。

3. 平面導波路型小型 DHM

図1に提案システムの平面導波路型小型 DHM の実験光学系を示す。今回の平面導波路には、試作品として、比屈折率差 $\Delta=0.3\%$ 、コアサイズ $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、曲げ半径 $R=4\text{mm}$ のものを用いることとした。光源は He-Ne レーザー(波長: 632.8 nm)とし、光源からの光は、偏波面保持ファイバを通して光導波路に入射させる。光導波路内で物体光と参照光に光を2つに分岐する。その後、両ビームは端面から出射して球面参照波となる。サンプルを透過する物体光ともう一方の参照波がビームスプリッタを介して干渉し、CCD カメラに干渉縞が記録される。従来の DHM^[4]と異なり、球面波出射までに必要な素子が光源と光導波路のみであり、光学系の簡易化、アライメントの容易化、装置の小型化に有効である。

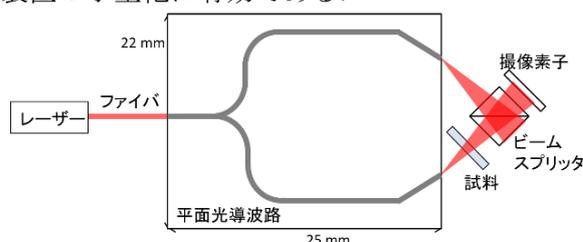


図1 平面導波路型 DHM システムの構成。

4. まとめ

本研究では、球面参照波を用いたホログラフィック光学系に平面光導波路を導入することにより、レンズレスな平面導波路型 DHM を提案し試作した。

謝辞: 本研究の一部は自転車等機械工業振興補助事業(JKA)の研究助成を受けたものである。

参考文献

- [1] F. Dubois, et al. Appl. Opt. 41, 4108 (2002).
- [2] K. Sato, IC-MED. 4, 77 (2011).
- [3] P. Memmolo, et.al. Opt. Lett. 36, 1945 (2011).
- [4] E. Watanabe, et.al. Opt. Rev. 22, 342 (2015).