

ワイヤーグリッド偏光ピンホールを用いた高分解能点回折干渉顕微鏡

High-resolution point-diffraction interference microscope using a wire grid polarization pinhole

大阪府立大学大学院工¹,[○](M2)原田 和真¹, 水谷 彰夫¹, 菊田 久雄¹Graduate school of Engineering, Osaka Pref. Univ.¹, Kazuma Harada¹, Akio Mizutani¹, Hisao Kikuta¹

E-mail: sv101056@edu.osakafu-u.ac.jp

1.はじめに

細胞を非染色で生きたまま透明物体の位相像として観察する顕微鏡として、デジタルホログラフィック顕微鏡に関心が高まっている。デジタルホログラフィー・システムの多くは参照光と物体光が別光路を通るマッハツェンダー干渉計に基づくため、光学系が複雑で振動や空気の揺らぎなどの外乱に弱い欠点がある。

外乱に強い共通光路型の干渉計として、点回折干渉計(PDI)が報告されている。PDIに位相シフト法を導入して位相像を定量的に得るには、点回折板のピンホール(PH)部分を通る参照光(0次光)と残りの部分を通る物体光との間に位相差を与える必要があり、Ramírezらは点回折板に液晶空間フィルタを用いることを提案している¹⁾。しかし、液晶セルの厚さの制限から、PHのサイズは数十 μm と大きくなる。PDIを光学顕微鏡に適用するには、光学系のエアリーディスクと同等のPHが必要になり、液晶で実現することは難しい。

我々は、PH内部と外部で金属細線の間を互いに直交させたワイヤーグリッド偏光ピンホール(WGPPH)を用いて、PDIを光学顕微鏡に適用させることを提案した²⁾。この際作製したWGPPHはPH径がエアリーディスク径と同程度の $10\mu\text{m}$ であったものの、素子面積が 1mm 角の小さなモノであり、顕微鏡対物レンズのNAを制限して高い解像度が得られなかった。

本研究では、PH径がより小さく($5\mu\text{m}$)、素子面積がより大きい(10mm 角)WGPPHを作製し、これをPDI顕微鏡システムに組み込むことで、対物レンズの本来の分解能に近い解像度をもつ顕微鏡を実現した。また、デジタルホログラフィーの手法を用いて、デフォーカスの位相像から、フォーカス像を算出できることも実験により示した。

2.WGPPHを用いた高分解能点回折干渉顕微鏡

Fig.1(a), (b)にWGPPHを用いた高分解能点回折干渉顕微鏡の光学系、WGPPHのPH周辺の走査型電子顕微鏡画像を示す。平行光を透明試料に入射し、無限遠焦点系の顕微鏡対物レンズMO($\times 20$)とレンズL₁により、L₁の後ろ焦点位置に試料拡大像がつけられる。レンズL₂の焦点位置にWGPPHを配置する。

WGPPHは電子線描画、反応性イオンエッチング、アルミニウムの真空蒸着により作製した。PH径はレンズL₂でのエアリーディスク径($4.4\mu\text{m}$)とほぼ等しい $5.0\mu\text{m}$ であり、素子面積は対物レンズ(NA0.4)の有効径 7.9mm より大きい 10mm 角である。

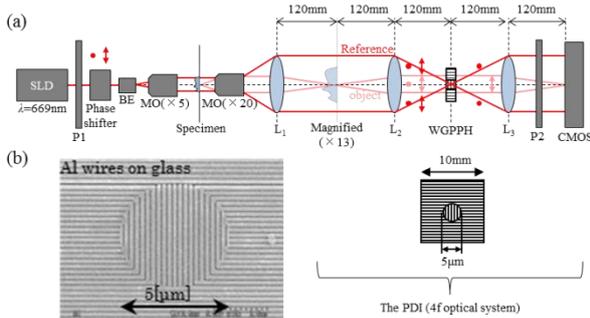


Fig.1 Optical system of the high-resolution point-diffraction interference microscope using a wire grid polarization pinhole: (a) optical system, (b) a magnified view of the central part of the $10 \times 10\text{mm}^2$ WGPPH

レンズL₃でイメージセンサ上に物体像が形成されるが、偏光板P₂によって物体光と参照光が干渉した強度画像が得られる。偏光位相シフターによって物体光と参照光の間に $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ の位相差を付けたときの強度画像 $I_0, I_{90}, I_{180}, I_{270}$ から、試料の位相分布と強度分布が算出できる。

このシステムでは、試料が対物レンズに対してデフォーカス位置にあっても、得られた複素振幅分布からフォーカス位置での複素振幅を計算で求められる。

3.微小位相物体の観察

ガラス基板上に約 200nm (0.17π rad)の段差をもつ直径 $10\mu\text{m}$ の丸、一辺 $10\mu\text{m}$ と $20\mu\text{m}$ の四角の透明試料を観察した。Fig.2に観察された位相像及び位相分布の断面を示す。Fig.2(b)から透明試料の段差を算出できていることがわかる。横方向分解能をFig.2(b)に示すように $10\mu\text{m}$ 角パターンの段差 0.17π radに相当する側壁部分より求めると、本顕微鏡は約 $1.7\mu\text{m}$ の横方向分解能をもつ。この値はMO($\times 20$)のもつ理論分解能約 $1.0\mu\text{m}$ と同程度である。

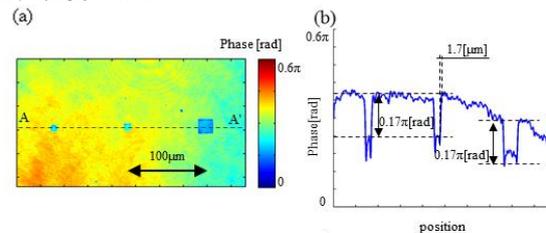


Fig.2 Measurement results of 10 and $20\mu\text{m}$ -size phase objects: (a) phase distribution, (b) Cross section (A-A') of the phase distribution

Fig.3は試料を対物レンズの焦点位置から 0.5mm ずれたデフォーカス位置に配置した場合に算出された位相分布とその断面である。平面波展開法によって、フォーカス位置で位相分布とその断面を計算で求めた結果をFig.4に示す。デフォーカスされた像からデジタルフォーカスによって鮮明なエッジをもつ位相像が得られていることがわかる。

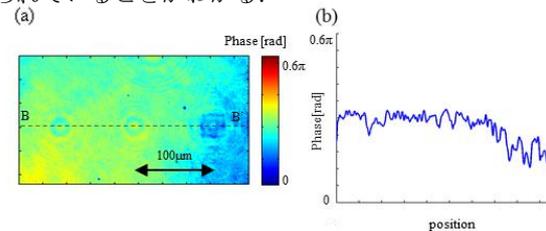


Fig.3 Measurement results of 0.5mm defocused 10 and $20\mu\text{m}$ -size phase objects: (a) phase distribution, (b) Cross section (B-B') of the phase distribution

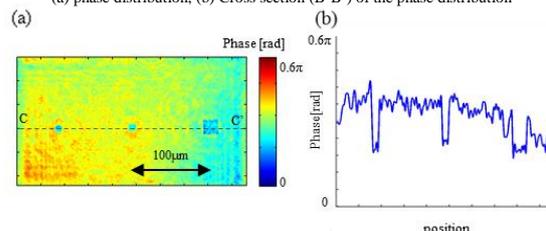


Fig.4 Measurement results of digital-focused 10 and $20\mu\text{m}$ -size phase objects: (a) phase distribution, (b) Cross section (C-C') of the phase distribution

参考文献

- Claudio Ramírez et al., "Point diffraction interferometer with a liquid crystal monapixel", 8116-8125, Vol. 21, No. 7 OPTICS EXPRESS(2013)
- 野上 敦ら, "ワイヤーグリッド型偏光ピンホールを用いた点回折干渉顕微鏡", 14pP11, OPJ (2013)