

ホログラムの最適化によるラゲールガウスビーム発生の高精度化 Improvement of the mode purity of the Laguerre-Gaussian beams by optimization of hologram

北大院工¹, JST-CREST² ○(M2) 本田亜沙美¹, 山根啓作^{1,2}, 鈴木雅人¹, 戸田泰則^{1,2}, 森田隆二^{1,2}
Hokkaido Univ.¹, JST-CREST² ○A. Honda¹, K. Yamane^{1,2}, M. Suzuki¹, Y. Toda^{1,2}, R. Morita^{1,2}
E-mail: asami-h@eng.hokudai.ac.jp

光渦は、ビーム断面の位相が方位角に依存して変化する事から軌道角運動量を有する光として知られている。近年これらの特徴に注目した研究が盛んに行われており、様々な分野への応用が期待されている。光渦の発生方法には螺旋位相板を用いる方法や、液晶空間光変調器 (SLM) を用いたコンピューター生成ホログラム (CGH) による変換など様々な手法が存在するが、多くの場合こうした素子を用いた場合、ガウシアンビームに単純に螺旋状の位相分布を付与することのみによって発生が行われてきた。

ところが、ガウシアンビームに螺旋状の位相分布のみを付与された状態の光波は、単一横モード (単一の径方向次数 p , 方位方向次数 m) のラゲールガウス (LG) モードで記述することはできず、実際には自由空間中の固有モードにはなっていない。特にグイ位相の変化が起こる焦点付近においては、重ね合わされた複数のモード間の干渉によって強度分布の激しい変化が起こる。これは光渦の増幅 [1], 粒子トラッピング [2] など、焦点付近におけるビームの振る舞いが重要な実験において悪影響を及ぼしうる。このため、発生させる光渦に、自由空間の固有伝播モードである単一次数 LG モードで記述できる断面強度分布を高精度に持たせる事は、非常に有用であると言える。

今回我々は、単一次数 LG モードで記述可能な光渦を発生させるために、ホログラムの最適化を行った。このような光渦を発生させるためには、位相だけでなく強度の変調を行う必要があるが、強度変調はホログラムの回折効率を空間的に変調する事で達成した。このホログラムの有効性を確認する比較実験として、位相変調と強度変調を施したホログラムと、位相変調のみを施したホログラムとでそれぞれ光渦を発生させ、断面強度分布の違いを確かめた。光渦の発生には、前回の報告 [1] と同様に Ti:sapphire 再生増幅器から得たガウシアンビームを CGH により変換する方法を取っている。この CGH は Fig. 1 に示したような 4- f 配置を取っているため広帯域光の変換が可能であるが、焦点付近での振る舞いは波長に依存してしまうため、観測のために中心波長 800 nm のバンドパスフィルター (半値幅 10 nm) を透過させた光を CCD カメラで撮影した。Fig. 2 は伝播距離に伴うビーム半径 $w(z)$ の変化を、Fig. 3 は各伝播距離ごとのビーム断面強度分布を示している。CGH によって発生した光波の結像面の位置を $z = 0$ とした。どちらの結果からも最適化を行ったホログラムで発生させた光渦が $m = 1, p = 0$ の LG モードと良く一致している事がわかる。これに対し、最適化を行う前の従来型ホログラムで発生させた光渦のビームサイズ、断面強度分布は共に LG モードと一致しておらず、特に焦点付近における断面強度分布が伝播距離に依存して顕著に変化している事がわかる。

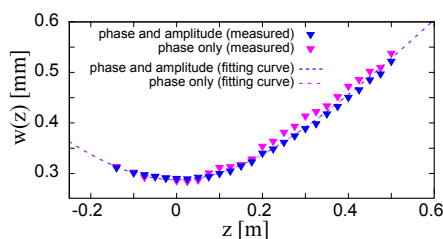


Fig. 2: Measured beam radius $w(z)$ as a function of the propagation distance.

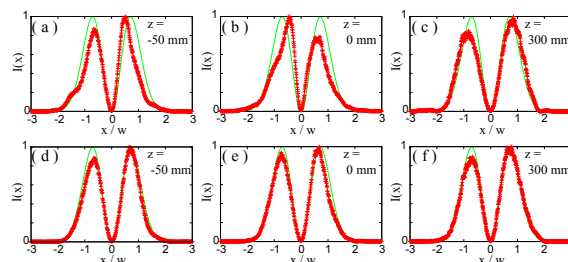


Fig. 3: Cross-sectional intensity profiles of the beams obtained by (a)-(c) phase-only modulations and (d)-(f) phase and amplitude modulations.

Reference: [1] 山根 他, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集 18a-F7-1(2014).
[2] T. Otsu et al., Scientific Reports **4**, 4579(2014).