多重化計算機合成ホログラムによる線形シフト型点像分布関数の実現

Realization of Linear-Shift Point-Spread Function by Multiplexed Computer-Generated Hologram

東北大多元研 [1]，東工大工 [2]　°小澤 祐市 [1]，中村 友哉 [2]，土屋 裕祐 [1]，佐藤 俊一 [1]

IMRAM Tohoku Univ. [1], Tokyo Tech. [2], °Yuichi Kozawa[1], Tomoya Nakamura[2], Yusuke Tsuchiya[1], Shunichi Sato[1]

E-mail: y.kozawa@tohoku.ac.jp

はじめに：レーザー走査型顕微鏡法において 3 次元像を得るためには、観察面を移動しながら 2 次元走査を繰り返す必要があり、この事が 3 次元イメージング速度を制限する要因となっている。これに対して我々は、長焦点深度のベッセルビーム（ニードル状スポット）を走査励起光とした 2 光子イメージングにおいて、試料からの蛍光をエアリービームに変換する新しい 3 次元イメージング法の開発を進めている[1]。エアリービームは伝搬に伴いビームの中心位置が面内方向にシフトする自己湾曲性を持ち、本原理によって発光点の深さ情報が検出面（結像面）では面内方向の情報へと変換される。よって、検出面でアレイ型検出器を用いることで、励起光の 1 回の 2 次元走査のみから試料の深さ情報を一度に取得でき、3 次元像を高速に取得できる。

一方で、エアリービームの自己湾曲性を用いると、ビーム中心位置が伝搬に対して放物線状にシフトするため、この非線形に起因して本イメージング法での深さ分解能がその深さ位置に依存するという課題が残されている。今回は、蛍光に対する波面制御について、多重化された計算機合成ホログラム(CGH)の原理に基づき、深さ位置に対して線形に面内シフトする点像分布関数(PSF)の設計および 3 次元イメージング法への適用に成功したので、その詳細を報告する。

結果：試料位置での発光点の深さ位置(z)に対応して、検出面(HV 面)での点像の中心位置が $H = \alpha z$ の関係(αは係数)で線形にシフトする PSF を、多重化 CGH の原理[2]に基づいて設計した。本研究では、NA = 1.15 の水浸対物レンズを用いた観察において 20 μm の深さ範囲が、検出面では水平方向(H 方向)に約 1.1 mm シフトしながら結像するように最適化した。設計したホログラムは検出側光路に配置した液晶空間光変調器に投影され、発光像を高感度 2 次元検出器により記録した。波長 1 μm のフェムト秒パルスレーザーを用いた 2 光子励起ニードルスポットをカバーガラス下に固定した蛍光ビーズ試料の 1 点に固定照射したときの発光像を Fig. 1(a)に示す(z = 0.5 μm)。次に線形シフト性を検証するため、カバーガラス試料の z 位置を±10 μm で変化させながら点像を記録した。各 z 位置に対する検出面での点像の中心を通る H 方向の強度分布について 2 次元的に表示した結果を Fig. 1(b)に示す。図より、試料の z に対して設計通り 20 μm の範囲で線形に H 方向にシフトした。本原理を用いて実際に 3 次元像を形成した結果については当日詳細に報告する。

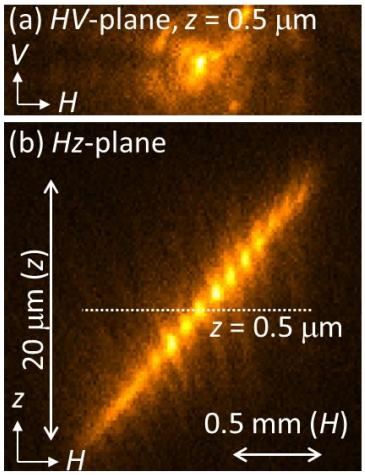

Fig. 1. (a) The measured point image at z = 0.5 μm on the detector. (b) variation with z position plotted as Hz-plane.

参考文献：[1] Y. Kozawa and S. Sato, Sci. Rep. **9**, 11687 (2019).

[2] T. Nakamura, S. Igarashi, Y. Kozawa, and M. Yamaguchi, Opt. Lett. **43**, 5949 (2018).

© 2020年 応用物理学会