

次元変換光コムを用いたスキャンレス・フルフィールド共焦点顕微鏡の開発 (4) ~ 2次元共焦点位相イメージング~

Scanless, Full-field, Confocal Microscopy Based on Dimension Conversion in Optical Frequency Comb (4) ~ 2 D confocal phase imaging ~

水野孝彦^{1,2}, 長谷栄治^{1,2}, 南川丈夫^{1,2}, 山本裕紹^{2,3}, 安井武史^{1,2}

¹徳島大学, ²JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザ, ³宇都宮大学

Takahiko Mizuno^{1,2}, Eiji Hase^{1,2}, Takeo Minamikawa^{1,2}, Hirotsugu Yamamoto^{2,3}, and Takeshi Yasui^{1,2}

¹Tokushima Univ., ²JST, ERATO MINOSHIMA Intelligent Optical Synthesizer, ³Utsunomiya Univ.

E-mail: mizuno@femto.me.tokushima-u.ac.jp http://femto.me.tokushima-u.ac.jp

我々はレーザスポットの機械的走査を排除した共焦点顕微鏡を実現する手段として、光コムを用いたスキャンレス共焦点顕微鏡を提案している[1-3]。光コムは、櫛の歯状に立ち並んだ多数の離散的な狭線幅光周波数モード列を有する。このような光コムの各モードを、多数の独立した情報を重畳できるキャリアとして利用したイメージング手法を提案している。具体的には、光コムが有する膨大な数の光周波数モードに対して2次元波長分散素子による波長/2次元平面変換を用いて、イメージ情報を光コムスペクトルにエンコードする。その結果、光コムモードと画素を1対1対応させることが可能になり、2次元イメージ情報をモード分解光コムスペクトルからデコードできる。ここで、デュアル光コム分光法[4]を用いると振幅及び位相のモード分解光コムスペクトルを取得できることを利用すると、共焦点ボリュームの振幅情報と位相情報を同時取得できる(図1)。振幅スペクトルから再構成された振幅イメージは一般的な共焦点イメージに対応しているのに対し、位相スペクトルから再構成された位相イメージは、共焦点性が付与された位相イメージとなる。更に、共焦点深さ分解能と位相折り返し周期(いずれも波長オーダー)が一致するように光学系を最適化すると、共焦点イメージと位相イメージをシームレスにリンクすることが可能になる。すなわち、 λ オーダーの共焦点性と $\lambda/100$ オーダーの深さ分解能の両立が可能になる。本報告では、共焦点位相イメージの取得に成功したのでこれについて報告する。

光源には、自作のErファイバー・デュアル光コム光源(中心波長 1550 nm, $f_{\text{ceo1}} = f_{\text{ceo2}} = 21,400,000$ Hz, $f_{\text{rep1}} = 100,387,960$ Hz, $f_{\text{rep2}} = 100,389,194$ Hz, $\Delta f_{\text{rep}} = 1,234$ Hz)を用いた。計測コム光源からの光をVIPA(FSR = 15 GHz, フィネス = 100)と回折格子(1200 本/mm)から構成される2次元波長分散素子によって2次元空間に展開した後、対物レンズによりサンプル上に投影した。サンプルには、テストチャート(ネガタイプ)を用いた。サンプル上で反射する際に、反射率および反射奥行き位置に対応した強度変化と位相変化が光コムのスペクトルに重畳される。サンプルからの反射光は、2次元波長分散素子を逆伝播させ、各波長成分を再び空間的に重ね合わせる。共焦点ピンホールを通過させた後、局部発振器(ローカル)コム光源と干渉させ、取得したインターフェログラムのフーリエ変換により、振幅及び位相のモード分解スペクトルを得た。

図2(a)及び(b)は、振幅及び位相のモード分解スペクトルから再構成した振幅イメージおよび位相イメージを示す(いずれも $600\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, 60 pixel $\times$ 60 pixel)。また図2(c)は、サンプル背面に配置した赤外カメラで取得し

た同一部分の透過イメージである。図2(a)および図2(c)から、テストチャートの反射率を反映した振幅イメージが得られていることが分かる。一方、図2(b)の位相イメージでは、位相差によって、コントラストが生成されている。テストチャートでは、ガラス基板の反射クロム膜の有無によりパターンを生成しているので、クロム膜の有無が光路差すなわち位相差の原因になっていると考えられる。図2(b)で観測された位相差は 0.94 ± 0.06 rad であり、これは 116 ± 7.4 nm の膜厚に対応している。この値は、AFMを用いた表面形状測定結果と良く一致しており、位相イメージから正確に表面形状が計測していると言える。

本研究は、JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクトの助成を受けた。

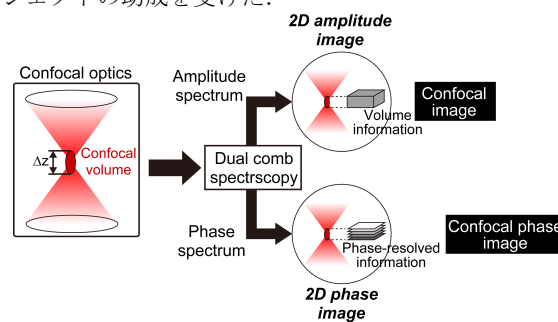


Fig. 1. Confocal amplitude imaging and confocal phase imaging of confocal volume.

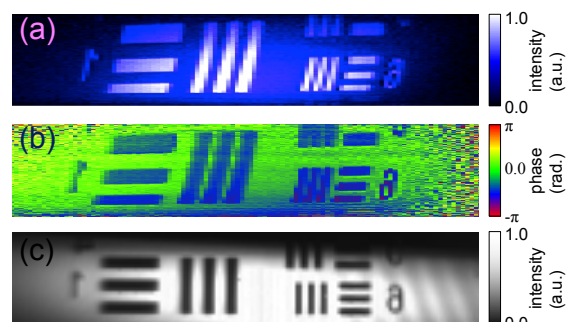


Fig. 2. (a) Confocal amplitude image, (b) confocal phase image, and (c) infrared-camera image of 2D images of a test chart (negative type).

- [1] 長谷他, 2015 年秋季応物学会, 13p-2G-14 (2016).
- [2] 長谷他, 2016 年春季応物学会, 21a-H116-11 (2016).
- [3] 長谷他, 2016 年秋季応物学会, 15a-C42-6 (2016).
- [4] I. Coddington *et al.*, *Optica* 3, 414 (2016).