波長 1.7 um 帯超高分解能フルレンジスペクトルドメイン 0CT

Full-range, ultra-high-resolution spectral-domain optical coherence tomography at 1.7 um wavelength range

O川越 寛之 ¹, 山中 真仁 ¹, 巻田 修一 ², 安野 嘉晃 ², 西澤 典彦 ¹ (1. 名大院工, 2. 筑波大 COG)

"Hiroyuki Kawagoe¹, Masahito Yamanaka¹, Shuichi Makita², Yoshiaki Yasuno²,
and Norihiko Nishizawa¹ (1. Nagoya Univ., 2. Univ. of Tsukuba)

E-mail: kawagoe.hiroyuki@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

光コヒーレンストモグラフィ(OCT)は、高空間分解能(~10 um)かつ非破壊なイメージング技術として、生物学および工業分野において広く用いられている。しかし、現在普及している波長 0.8-1.3 um 帯 OCT システムは、サンプル中で受ける散乱の影響により侵達長が制限されていた。近年、散乱の影響が少ない波長 1.55-1.8 um 帯を用いることで、高散乱サンプルにおける OCT イメージングの侵達長が向上できることが報告されている。特に、波長 1.7 um 帯は水の吸収が比較的小さいことから、高侵達なバイオイメージングへの応用が期待されている[1]. 一方、OCT の空間分解能は光源の中心波長に比例し低下するため、より広帯域な光源および検出器を用いた高空間分解能 1.7 um 帯 OCT の実現が期待されている.

本研究では、広帯域スペクトルを有するスーパーコンティニューム光(SC 光)と、イメージングレンジの向上を可能にするフルレンジ法を用いることで、5 um を切る超高分解能な波長 1.7 um 帯フルレンジSD-OCTシステムを開発した.

2. 波長 1.7 um 帯フルレンジ SD-OCT システム

ファイバレーザベースの波長 1.7 um 帯 SC 光を OCT 光源として 用いた(Fig. 1)[2]. ファイバカプラを用いてマイケルソン型干渉計を 構築した. 高分解能を達成するため, 波長 1.4-2.0 um を検出可能 な分光器を設計・開発し, 高速 InGaAs フォトダイオードアレイ(1024 px, 47k A-lines/s)を用いて干渉スペクトルを検出した. 干渉スペクトルから求められる深さ方向分解能の理論値は空気中で約 4.3 um であった. また, プローブ光をガルバノミラーの中心軸外に照射し, 隣り合う A-scan 間に $\pi/2$ の位相差を与えることでミラーイメージを抑制し, イメージングレンジを通常の 2 倍にした(フルレンジ法)[3].

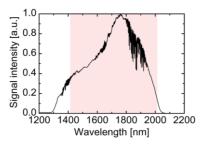


Fig. 1. Optical spectrum of our SC source. The detection range of the spectrometer is filled with red.

取得した干渉スペクトルと DC スペクトルとの差分をとり,等波長間隔から等周波数間隔ヘリサンプリング行った. その後,干渉スペクトルの複素成分を得るため,ガルバノミラーのスキャン方向に対してヒルベルト変換を行った. さらに,得られた複素スペクトルを通常の SD-OCT と同様にフーリエ変換し,干渉信号を生成し OCT 像を取得した.

開発した 1.7 um 帯フルレンジ SD-OCT システムの感度および深さ方向分解能はそれぞれ 100 dB, 約 4.7 um (in air)であった. 深さ方向分解能は、干渉計内に配置した分散補償ガラスを最適化することで、理論値まで向上させることができると期待される. 得られたOCT 像のイメージングレンジは、フルレンジ法を適用することで 1.2 mm から 2.4 mm に向上した.

図 2 に開発した 1.7 um 帯フルレンジ SD-OCT システムを用いて取得した, ホルマリン固定したハムスター頬袋の OCT 像を示す. 深さ 500 um 以上にわたって, 組織中の上皮, 結合組織, および筋層が明瞭かつ高精細に観察できた.

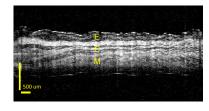


Fig. 2. OCT image of a hamster's cheek pouch. This image consists of 4096 (depth) x 512 (transverse) px. (E: epithelium, C: connective tissue band M: muscular layer.)

参考文献

- [1] H. Kawagoe, et al., Biomed. Opt. Express **5**(3), 932 (2014).
- [2] S. Ishida, et al., Appl. Phys. Express 4, 052501 (2011).
- [3] B. Baumann, et al., Opt. Express **15**(20), 13375 (2007).