

高速中赤外タイムストレッチ OCT

High-speed mid-infrared time-stretch optical coherence tomography

東大理¹, °八木智子¹, 橋本和樹¹, 中村卓磨¹, 川野将太郎¹, Venkata Ramaiah Badarla¹,
島田紘行¹, 井手口拓郎¹

The University of Tokyo¹, °Satoko Yagi¹, Kazuki Hashimoto¹, Takuma Nakamura¹, Shotaro Kawano¹,
Venkata Ramaiah Badarla¹, Hiroyuki Shimada¹, Takuro Ideguchi¹

E-mail: yagi-satoko@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

光干渉断層撮影(Optical coherence tomography, OCT)は、試料内部の三次元画像を非接触・非破壊で撮影できる技術である。可視・近赤外領域においては、透明・半透明な試料の内部構造を高速にイメージングする用途、例えば眼科での網膜画像撮影技術として普及している。一方で、可視・近赤外 OCT は、散乱(不透明)物質や分散物質のイメージングには不向きである。不透明な物質の内部構造の非破壊イメージングは、品質管理などの産業用途として応用可能であるため、近年、長波長の中赤外光を用いて、散乱を抑えた高深度なイメージングを行う中赤外 OCT の研究が進んでいる[1-3]。しかし、その深さ方向走査 (A スキャン) レートは現状最速で~3 kHz である[3]。

我々は、タイムストレッチ赤外分光[4]の技術を用いた、A スキャンレート 80 MHz での高速中赤外 OCT の原理検証実験を行なった(Fig.1(a))。中赤外タイムストレッチ OCT では、中心波長 3.68 μm 、繰返し周波数 80 MHz の中赤外フェムト秒光パラメトリック発振器を光源とし、回折格子とミラー対から成る Free-space angular-chirp-enhanced delay line (FACED) と呼ばれるシステムが、パルスに波長依存した時間遅延を与え、波長幅 65 nm (FWHM) のパルスを 2.3 ns にストレッチする(Fig.1(b))。ストレッチされた単一パルスは、高速な波長掃引光源としてマイケルソン干渉計に入射し、サンプル光と参照光によるスペクトル干渉を起こすため、従来の中赤外 OCT の 10,000 倍以上の A スキャンレートを達成する。本研究では、サンプル位置に平面ミラーを設置し、マイクロメータの操作により異なる深さ(Z)位置でのスペクトル干渉測定を行った。Fig.1(c)は、測定した干渉波形 80 回平均の FFT を示し、ミラーの Z 位置と信号のピーク位置が良く一致する。信号の FWHM から評価される軸分解能は 47 μm である。また、サンプルアームに設置した 12 kHz で駆動するレゾナントスキヤナと、それと同期して 120 Hz で駆動するガルバノスキヤナによるラスタースキャン機構を用いて、表面に凹凸のあるサンプルの断層画像を取得し(Fig.1(d))、本手法の OCT 性能を評価した。

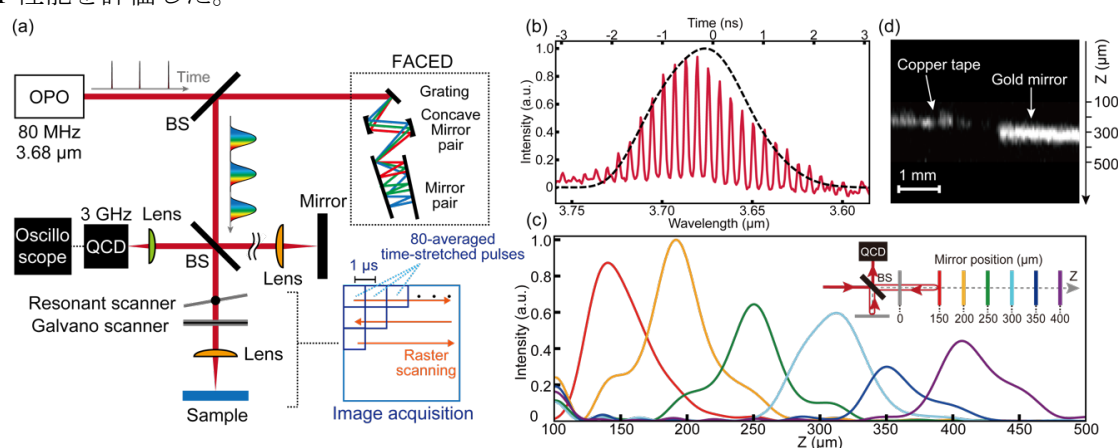


Fig.1 MIR time-stretch OCT (a) Schematic of MIR time-stretch OCT. OPO; Optical parametric oscillator, BS; Beamsplitter, FACED; Free-space angular-chirp-enhanced delay line, QCD; Quantum cascade detector[5]. (b) A waveform of a single time-stretched pulse (solid line) and a FTIR spectrum (dashed line). (c) FFT results of interference waveforms corresponding to each depth (Z) position. (d) Depth-resolved line image of a copper tape on a gold mirror.

[1] C. S. Colley *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **78**, 123108 (2007). [2] N. M. Israelsen *et al.*, Light Sci. Appl. **8**, 11 (2019).

[3] N. M. Israelsen *et al.*, Opt. Lett. **46**, 4558-4561 (2021). [4] A. Kawai *et al.*, Commun. Phys. **3**, 152 (2020). [5] T. Dougakiuchi and N. Akikusa, Sensors **21**, 5706 (2021).