

波長可変 QCL を用いた中赤外光音響分光法による生体組織測定

Biological tissue measurement by mid-infrared photoacoustic spectroscopy
using wavelength tunable QCL

東北大 工, ○(M1)前野雅信, 松浦祐司

Tohoku Univ., Graduate School of Engineering, ○Masanobu Maeno, Yuji Matsuura

E-mail: masanobu.maeno.r6@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

光音響分光法は試料表面に光を照射し、光吸収の際に生じる音響波をマイクロフォンで検出する。生体組織を構成する分子の指紋領域である中赤外光を用いれば、非侵襲的な生体測定が可能となるとともに、一般的な ATR 分光法と比較して、光の侵入長を大きくとれるため、より深部の分析が可能となる。筆者らのグループではこれまで、発振波長の異なる複数の固定波長量子カスケードレーザ (QCL) を用いた生体組織測定について基礎的検討を行ってきた^[1]。本研究では、より詳細な分析を行うことを目的として、波長可変 QCL を用いた測定系を構築し、その測定条件などについて検討を行った。

2. 測定方法およびグルコーススペクトルの取得

測定系の概要図を図 1 に示す。光源として波長可変 QCL (発振波長 8.3-10.8 μm , 出力 140 mW) を用いた。チョッパーによる変調のち、ビームエキスパンダーと軸外しミラーにより光音響セルの下部からサンプルに光を照射した。セルとなる空洞部の下端は ZnSe 窓で封じ、上部はサンプルを密着させることにより、密閉した空間 (直径 2 mm, 厚さ 2 mm) で発生した音響波をコンデンサマイクロフォンで検出した。

図 2 に濃度 1 %~5 % のグルコースを含んだゼラチンサンプルの光音響分光スペクトルを示す。なお、グルコースを含まないゼラチンで正規化している。濃度に線形に対応する光音響信号強度が得られており、比較的高い濃度のサンプルにおいてはグルコース特有の吸収ピーク (1120 cm^{-1} , 1080 cm^{-1} , 1035 cm^{-1} など) が確認できる。

3. 変調周波数による SN 比の評価および生体測定

最適な変調周波数を選定するために、5 %グルコースジェルに対して、周波数を変化させてスペクトルを取得し、得られたスペクトルから SN 比を求めた。その結果、図 3 に示すように周波数 60 Hz において最も高い SNR が得られた。光音響法では周波数が低いほど熱拡散長が大きくなり、これが中赤外光の進達長(水分量を 60 %とすれば 25 μm 程度)に一致した場合に最も感度が高くなると思われる。

また、変調周波数を 60 Hz として、人差し指の掌側、および手首の掌側に対して得られた光音響信号スペクトルを図 4 に示す。なお、ここで信号は照射光の光パワーで正規化している。指先のスペクトルでは、外部からの付着物を含むさまざまな物質に起因すると思われる、多くの吸収ピークが見られるのに対して、手首のスペクトルでは角質中に含まれる遊離脂肪酸に起因すると思われる 1120 cm^{-1} など、明瞭な複数のピークが確認でき、組織液中に含まれる成分の分析にはより適していると考えられる。今後はより生体組織を対象にした場合の測定条件の最適化を行い、詳細なスペクトル測定および解析を行っていく。

<参考文献> [1]前野ほか, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 13p-N202-5(2021)

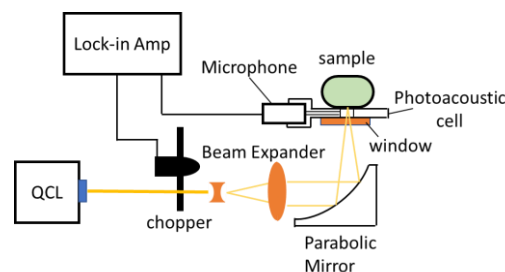


Fig. 1 Experimental Setup

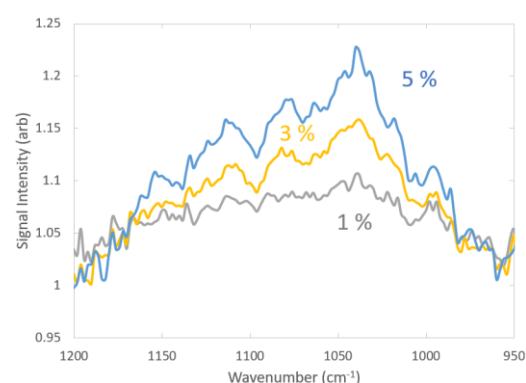


Fig. 2 Absorption spectra of Glucose

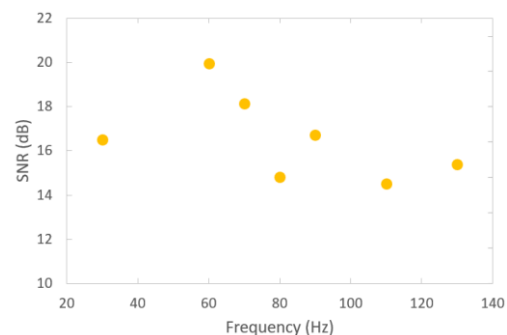


Fig. 3 Comparison of signal-to-noise ratio by frequency

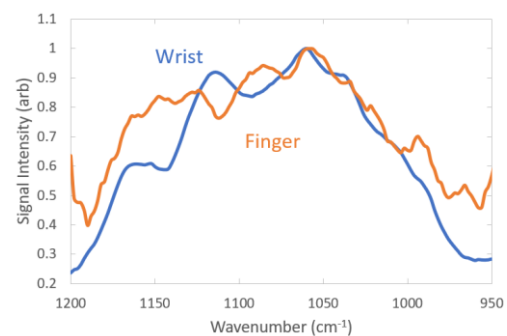


Fig. 4 Spectrum of Wrist and Finger