

超短パルスを用いた中赤外ハイパースペクトラルイメージング

Mid-infrared Hyperspectral Imaging using Ultrashort Pulses

豊田大工¹, 趙 越¹, 草間 翔太¹, 藤 貴夫¹

Toyota Tech. Inst.¹, Yue Zhao¹, Shota Kusama¹, Takao Fuji

E-mail: zhaoyue@toyota-ti.ac.jp

中赤外領域の光が分子種を識別できる特性が知られている。それを用いた分析技術がすでに成熟した。一方、従来の中赤外領域光源はインコヒーレント光であり、光強度の不足、且つ中赤外光検出器の感度が低いため、中赤外を用いて分子種を識別しながらの高速のイメージングが困難である。本研究では、独自で開発した高強度の中赤外超短パルス光源（波長バンド 2-30 μm 、パルス幅 13.6 fs）^[1]を用いる。この光源は、近年盛んでいる中赤外の波長が出す量子カスケードレーザー（QCL）よりも瞬間的エネルギーが高く、非常に高効率の非線形応答ができる。そのため、非線形光学効果（和周波発生）を利用して、可視光に変換することができる。その結果、中赤外光検出器の代わりに、感度が良いシリコンベース検出器で中赤外光のスペクトル情報を保ったままの信号が検出できる。また、量子カスケードレーザーの他、光パラメトリック増幅を用いて中赤外を発生する方法が挙げられるが、いずれも一度で連続の波長スペクトルをもつ光が出せず、波長チューニングしなければならない。本研究で用いた中赤外超短パルス光源では、2-30 μm における連続の波長を一度に出す^[1]。上記の方法により、イメージング法を加えることによって、中赤外スペクトルの情報をもつイメージング、いわゆる化学イメージングを実現する。波長変換した後の可視光を分光することにより、中赤外光スペクトルを復元できる。

本研究では、超短パルスを用いるため、パルス幅の広がりを防ぐため、反射する光学素子を使用しなければならない。そのため、従来のレンズの代わりに、凹面鏡などを使用して新たなイメージングシステムを構築した。この新規で設計した光学系は回折限界に近い空間分解能をもつようになっている。また、イメージング方法では、スナップショット法を用いる、すなわち、中赤外ビームを一度にサンプルを照射する。そのため、サンプルに対するスキャンや空間の情報に対する後処理が不要となり、イメージングの速度が大幅に向上した。イメージングに最適な非線形結晶とフィルターを用いて実験検証の結果、利用可能な中赤外波長領域は 2-18 μm となり、指紋領域をカバーしている。波長変換後の 610-766 nm の可視光帯域において、波長測定点が 1068 波長、640×480 画素で 1 画素毎にスペクトル情報を記録し、2-18 μm において波数のサンプリングピッチ約 4 cm^{-1} のハイパースペクトル画像を 5 秒以内で取得できる。

<謝辞> 本研究は、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）JPMJCR17N5 の助成を受けて実施された。

[1] W. Huang, Y. Zhao, S. Kusama, F. Kumaki, C. Luo, and T. Fuji, *Opt. Express* **28**, 36527-36543 (2020).