

デュアル光コムによる非接触リモート計測技術の開発

研究者 東邦大学理学部物理学科 講師 中嶋善晶

〔研究の概要〕

波長 5 μm 以上の中赤外域では、分子の基本吸収スペクトルが多数存在するため、多種分子の分光による非接触リモート計測技術への利用が期待できる。そこで本研究では、光周波数のものさしといわれる光周波数コムを光源として用いるデュアルコム分光計を中赤外域において開発することで、新たな非接触リモート計測技術の創出を目的とした。本研究期間においては、1 台のレーザー共振器から 2 台の光周波数コム同時発生が可能なデュアルコムレーザー光源を近赤外域において開発した。次に、近赤外域のデュアルコムレーザー光源を基に、非線形波長変換を行うことにより中赤外域と THz 域への展開を目指した。

〔研究経過および成果〕

あらゆる環境下におけるデュアルコム分光の使用を想定して、環境変動による光ファイバ内での偏波揺らぎが小さい全偏波保持光ファイバ構成でのデュアルコムファイバレーザーを開発した。独自技術である機構共有型デュアルコムファイバレーザーを基に、超小型ファイバモジュール (Micro-optic component) を導入し、さらなる小型・堅牢化を目指した。

図 1(a)に示すように、半導体型の可飽和吸収ミラー (SESAM) と偏波保持 Er 添加光ファイバ (PM-EDF)、偏波保持ファイバ (PMF)、および部分反射ミラー (PRM) を用いてモード同期ファイバレーザーを構成した。モード同期機構に用いる SESAM 部と、レーザー共振器を構成するための PRM には自由空間部が存在するため、振動や温度変化に対して敏感である。そこで本研究では、自由空間部を小型・堅牢化するために、Micro-optic component を導入した。この小型かつ簡便な構成のモード同期ファイバレーザーを 2 台作成し、可能な限り密着させた状態で固定し、密閉箱の中に設置することで、機構共有型デュアルコ

ムファイバレーザーを構築した。図 1(b)に示すのは、デュアルコムレーザーの光スペクトルである。光コム 1 は中心波長 1547 nm、光コム 2 は中心波長 1558 nm であり、スペクトルの一部が重なっている。中心波長は、PM-EDF の長さを同程度に調整することで一致させることが可能である。図 1(c)に示すのは高速受光器を用いて検出した電気信号のスペクトル (RF スペクトル) であり、光コム特有の楕状のスペクトルが得られていることがわかる。また、楕状スペクトルの間隔は約 45 MHz であり、間隔周波数 f_r に相当する。図 1(d)に示すのは、周波数カウンタを用いて測定した光コム 1 と 2 の f_r とそれらの差 Δf_r の時間変化である。2 台の光コムはフリーランであるため、 f_r は、実験室の温度変化により測定時間 1000 秒において 60 Hz 程度変化しているが、 Δf_r は平均値 300 Hz において標準偏差 0.1 Hz 程度で安定化されている。これは、2 台のモード同期ファイバレーザーが密着した状態で設置されているために、振動などの環境変動によるレーザー共振器長の変化によって生じる f_r の変化が共通雑音となり、これらの差 Δf_r では相殺されるためである。

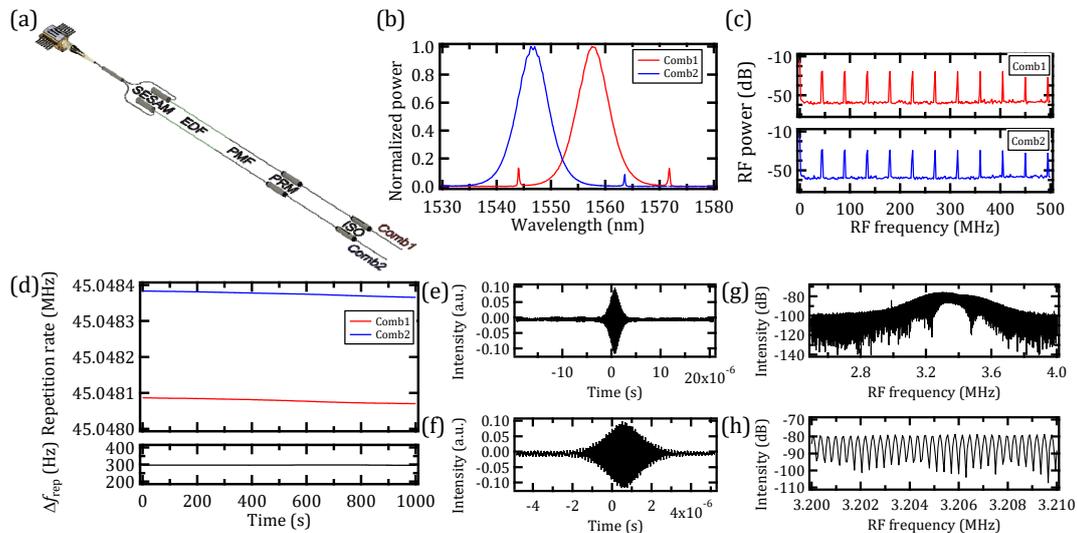


図 1 (a) 機構共有型デュアルコムファイバレーザ、(b) 光スペクトル、(c) RF スペクトル、(d) f_{rep} と Δf_{rep} の時間変化、(e) インターフェログラム、(f) (e) の拡大図、(g) (e) を高速フーリエ変換して得られたスペクトル、(h) (g) の拡大図

次に、2 台の光コムを空間的に重ねた状態で、高速受光器に入射し、電気信号を生成し、オシロスコープを用いて電気信号の波形を取得した。図 1(e)と(f)は、取得した電気信号の波形であり、インターフェログラムという。電気信号からオシロスコープの高速フーリエ変換機能を用いてスペクトル波形を取得した。図 1(g)と(h)は、取得したスペクトル波形であり、波長 1550 nm 帯における光コムのスペクトルに相当する。図 7(h)に示すのは、図 1(g)を拡大したスペクトルであり、 Δf_{rep} の平均値 300 Hz に相当する間隔周波数で分解された光コムのスペクトルが観察できた。これは、2 台の光コムがフリーランでありながらも、高い相対安定性を有していることを示している。さらに、2 台の光コムを重ねた後に、HCN ガスが封入されたガスセルを用いて分光計測を行った。図 2 に示すのは、取得した HCN ガスの吸収スペクトルであり、HCN ガスによる複数の吸収線がみられる。測定に要したデータ取得時間は 10 ms 程度であり、光スペクトラムアナライザを用いた場合に同等のスペクトルを得るには 1 s 以上

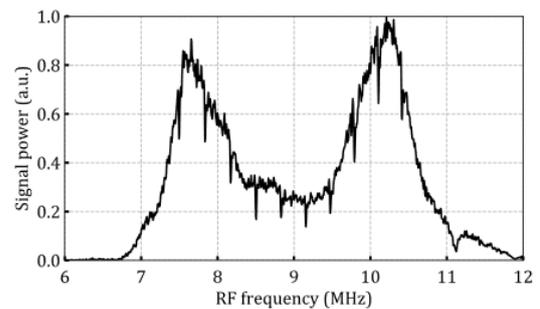


図 2 機構共有型デュアルコムファイバレーザを用いて取得した HCN ガスの吸収スペクトル

要することから、高速化を達成できた。また、開発したデュアルコムレーザ光源を基に中赤外域と THz 域への拡張を行った。中赤外域においては波長 3~4.5 μm 域と 7~10 μm 域、THz 域においては 0.1~1.2 THz 域における光コムの発生を実現した。

[発表論文]

1. T. Yumoto, W. Kokuyama, S. Matsubara, T. Yasui, Y. Nakajima, Optics Continuum, Vol. 2, pp. 1867-1874 (2023).