

呼吸分析に向けた超高速かつ超高分解能なデュアルコム分光

日大生産工（学部）○竹蓋 大騎 吉澤優心

日大生産工（院） 佐藤優成

日大生産工 野邑寿仁亜 石澤淳

1. まえがき

呼吸分析とは、呼吸中に含まれるアンモニアやアセトンといった病気に相関関係のあるバイオマーカーのガス濃度を測定することで、糖尿病や肝性脳症などの疾患の早期発見や診断時間の短縮が見込める診断方法である。我々は、呼吸分析法の一つであるデュアルコム分光法に着目した。デュアルコム分光は、繰り返し周波数が f_{rep} と $f_{rep} + \Delta f_{rep}$ の様にわずかに異なる2台のモード同期レーザー(ML)を用いた分光法である。しかし、従来のデュアルコム分光は、測定の分解能と測定時間がトレードオフになる。この課題克服に向けて、Fig. 1で示すように、MLベース光コムと電気光学変調(EO)コムの2台の異なる種類の光コムをそれぞれ、分子の吸収を受ける信号コムと、信号コムの各成分を区別して読み出すための局発コムに用いることで、呼吸分析に向けた超高速かつ超高分解能なデュアルコム分光法の実現を目指す。

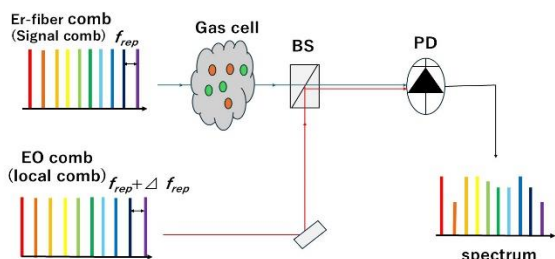


Fig.1 デュアルコム分光

2. 提案手法

本研究の実験配線図をFig. 2に示す。信号コムに高速制御Erファイバーレーザーコムを用いる。Erファイバーレーザーコムの製作には、東邦大学の中島研究室と協力し、線幅7 Hzの狭線幅レーザーを基準に狭線幅化した80 MHzの繰り返し周波数のErファイバーレーザーコムを構築している。一方で局発コムにはキャリアエンベロープオフセット (CEO) 制御した12.5 GHzの繰り返し周波数のEOコムを用いる。これらの繰り返し周波数の大きく異なる光周波数コムを用いて、高周波数分解能と計測時

間の短縮化を両立させたデュアルコム分光の実現を目指す。

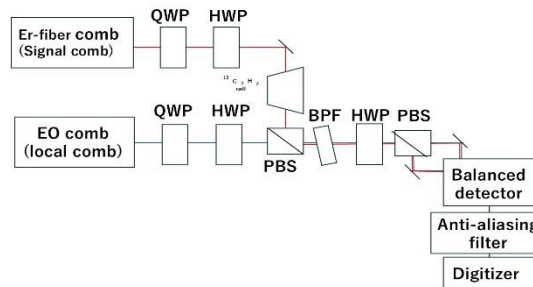


Fig.2 デュアルコム分光の実験系

QWP: Quarter Wavelength Plate., HWP: Half Wavelength Plate. PBS: Polarizing Beam Splitter.

3. 実験方法および測定方法

繰り返し周波数 80 MHz の Er ファイバーレーザーの実験系を Fig. 3 に示す。Er ファイバーレーザーの共振器は主に SMF と PMF 及び LD やカプラ等の光学素子で構成された Figure-8 型 Er ファイバーモード同期レーザーである。この Er ファイバーレーザーに EOM を設置することで、偏光状態の制御が可能となった。さらに、この Er ファイバーレーザーに製作したエルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) を Fig. 4 に示すように組み込んだ。EDFA 内のポンプ LD と偏波コントローラー (PC) を操作することで、共振器のパワーを増幅し、増幅した値を 1/99 カプラの 99% 側から測定した。

Ultra-fast and ultra-high resolution dual comb spectroscopy
for breath analysis

Daiki TAKEFUTA, Yusin YOSIZAWA, Yusei SATO,
Junia NOMURA, and Atsushi ISHIZAWA

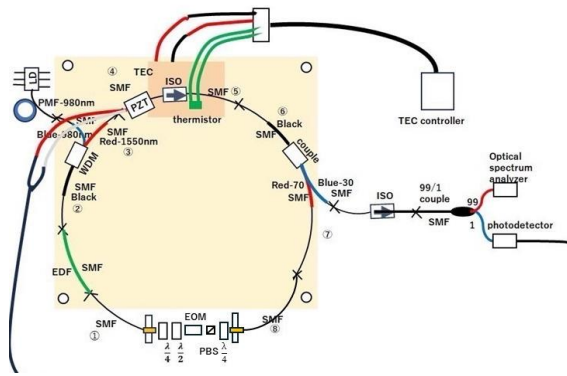


Fig. 3 Er ファイバーレーザの実験配線図
TEC: ThermoElectric Cooler, ISO: Isolater, PZL: Piezoelectric Transducer, SMF: Single Mode Fiber, EDF: Erbium-Doped Fiber, WDM: Wavelength Division Multiplexing.

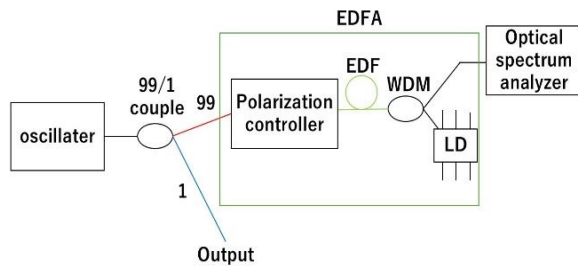


Fig. 4 EDFA、PC 導入後の実験配線図

4. 実験結果および検討

Fig. 5やTable 1で示すように、EDFAによるスペクトルのパワーの増幅を確認できた。また、EDFAのポンプLDの電流値が最大の時、70.22 mWの出力を確認できた。

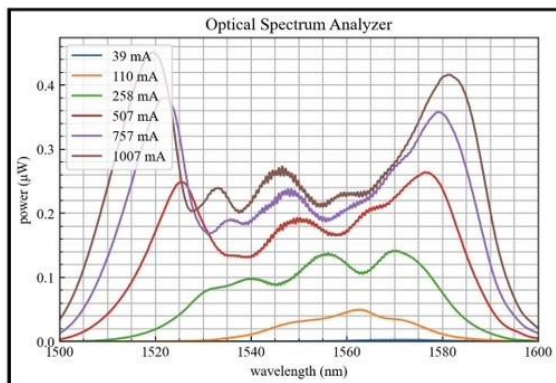


Fig.5 ポンプLDの電流値ごとのスペクトルの比較

Table 1 LD の電流値に対するスペクトルのパワー

EDFA のポンプ LD の電流値[mA]	Power[mW]
0	0.168
109	3.986
258	18.24
507	40.23
757	57.69
1007	70.22

5. まとめ

本研究では、デュアルコム分光に用いる高速制御Erファイバーレーザコムの基礎となるErファイバーレーザにEDFAを組み込むことで、スペクトルのパワーを増幅させることに成功した。

今後は、 f_{2f} 自己参照干渉計や、 f_{ceo} と f_{beat} の制御回路を製作し導入していくことで、高周波数分解能かつ高速分光計測の実現を目指す。

参考文献

- (1) 大久保章, 長さの国家標準「光コム」を用いた高精度・高速ガス分析, SATテクノロジー・ショーケース, (2021), T-4, https://www.science-academy.jp/showcase/20/pdf/T-004_showcase2021.pdf, (参照 2024-10-10)
- (2) B. Bernhardt, et al: “Cavity-enhanced dual-comb spectroscopy,” Nat. Photon. vol. 4 (1), (2010), pp. 55-57.
- (3) 大久保章, 稲場肇
超広帯域デュアルコム分光法の開発, (2016)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/oubutsu/85/12/85_1028/pdf
(参照 2024-10-10)
- (4) 柏木謙, 大久保章, 稲場肇 2 種類の光コムを組み合わせたデュアルコム分光の測定スペクトル範囲の拡大, 応用物理学会秋季学術講演会, (2024), 19a-A37-6.
- (5) 佐々田博之
光周波数コム技術の現状と展開, (2012)
<https://annex.jsap.or.jp/photonics/kogaku/public/41-09-sougouhoukoku.pdf>
(参照 2024-10-10)