

デュアルコム分光法における干渉位相制御による高感度化の検討

Investigation of sensitivity improvement with phase-controlled interference signals in dual-comb spectroscopy

電通大¹ ○(B) 朱 瑞宸¹, 足立 拓斗¹, 浅原 彰文¹, 美濃島 薫^{1,*}

¹Univ. of Electro-Communications (UEC)

¹Ruichen Zhu, ¹Takuto Adachi, ¹Akifumi Asahara, ^{1,*}Kaoru Minoshima

*E-mail: k.minoshima@uec.ac.jp

デュアルコム分光法 (DCS) は、2つの光コムを用いた新しいフーリエ分光法で、高速・広帯域・高分解能・高精度測定が可能なることから注目が集まっている。微量ガス分析、固体材料特性評価、イメージングなど広範な対象への応用可能性が期待されているが、適用性拡大には、計測感度の向上が必要である。本研究では、光コムの周波数制御を用いた干渉位相制御による高感度化の検討を行った。

デュアルコム分光において、2つの光コムの4つの周波数パラメータ、 f_{rep} , f_{ceo} , Δf_{rep} , Δf_{ceo} の制御が重要である。中でも f_{ceo} は光コムパルスのキャリアエンベロープ位相(Carrier-Envelope Phase : CEP)に関連している。ゆえに、 Δf_{ceo} を適切に調整することで、2つ光コム間の相対 CEP が制御可能となり、DCS におけるインターフェログラム(IGM)の位相制御を行うことができる[1]。本研究では、 $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$ または $\Delta f_{\text{rep}}/2$ に周波数制御することで、位相制御した IGM を取得して積算を行い、信号雑音比(SNR)に対する効果を調べた。

実験では、非線形偏波回転モード同期 Er ファイバレーザ(中心波長 1560 nm)を光源とし、ファイバ増幅後にバンドパスフィルタによって切り出して用いた(スペクトル半値全幅 18 nm)。デュアルコムの位相同期は、波長 ~1560 nm の連続発振レーザを介したフィードバック制御によって実現した。2つのコムはファイバカプラで合波されたあと、空間に出されて、ディテクターで IGM が検出される。このとき、 Δf_{rep} は 120.6 Hz に設定され、各々、 $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$ または $\Delta f_{\text{rep}}/2$ (~60.3 Hz) に設定して測定を行った。 $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$ の場合、得られる IGM は常に同じ波形に保たれる。一方、 $\Delta f_{\text{ceo}} = \Delta f_{\text{rep}}/2$ の場合、IGM ごとに位相は反転し、波形も符号反転する(Figure. 1)。

従来は、同じ波形を積算する手法が取られているが、ここでは、位相反転する IGM の差の平均を取る手法を検討した。これにより、IGM 間に存在するスペクトル変動がキャンセルされ、得られるスペクトル信号の積算による SNR 向上効果が期待される。

実験では、異なる積算時間(約 8~250 秒)において、各々、 $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$ および $\Delta f_{\text{rep}}/2$ について IGM を取得し、SNR の比較を行った。Figure. 2 に結果を示すが、 $\Delta f_{\text{ceo}} = \Delta f_{\text{rep}}/2$ の場合において SNR の向上が見られた。このことから、位相シフトした IGM による DCS の高感度化効果が示唆される。

[1] A. Asahara, K. Minoshima, Applied Physics Express 12, 072014 (2019).

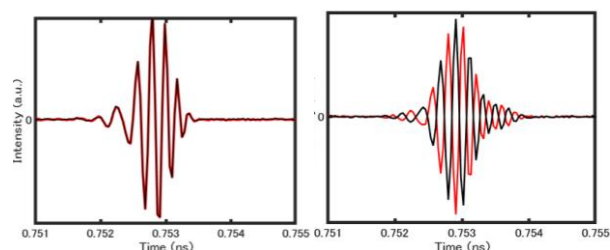


Figure. 1 Phase-modulated IGM. Black and red show the continuous two IGMs. Left: $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$, right: $\Delta f_{\text{rep}}/2$

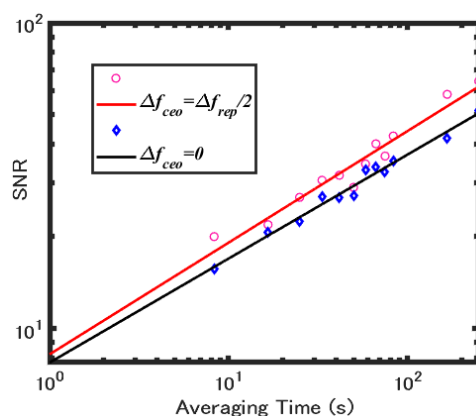


Figure. 2 Averaging time dependence of SNR at $\Delta f_{\text{ceo}} = 0$ and $\Delta f_{\text{rep}}/2$