

デュアルコム干渉信号を利用した周波数コムのモード番号決定 Mode number determination of optical frequency comb using dual-comb interferogram

慶大理工¹, 福田 達博¹, 岡野 真人¹, [○]渡邊紳一¹

Keio Univ.¹, Tatsuhiko Fukuda¹, Makoto Okano¹, [○]Shinichi Watanabe¹

E-mail: watanabe@phys.keio.ac.jp

はじめに

光周波数コム光源の発明によって精密分光学は著しい発展を遂げている。特に二台の周波数コム光源を位相同期してそれらの干渉信号を計測するデュアルコム分光法の開発によって、比較的簡便な分光計測が可能となった[1]。さて、デュアルコム分光計測の実現には正確な周波数校正が欠かせない。そのためには、計測に用いる二台の光周波数コム光源の各モード番号を正確に知る必要がある。その結果、デュアルコム干渉信号（電気信号）の周波数と、対応する光周波数との関係を正確に紐付けすることができる。今回我々は、デュアルコム干渉信号を用いた簡便で高速なモード番号決定法を提案・実現したので報告する[2]。この方法は高精度波長計を必要とせず、二台の位相同期された周波数コム光源さえあれば、わずか0.1～1秒程度で周波数コムのモード番号決定と周波数校正が完了する方法である。

方法・結果

本手法では、キャリアエンベロープオフセット周波数(f_{ceo1} および f_{ceo2})をロックした二台の周波数コム光源を用いる。二台のコムは周波数 f_{cw} の狭線幅レーザーを介してお互いの光周波数を位相同期している。 f_{cw} は、二台のコムの繰り返し周波数(f_{rep1} , f_{rep2})と狭線幅レーザーとの間の最も低いビート周波数(f_{beat1} , f_{beat2})を用いて以下のように表すことができる。

$$f_{\text{cw}} = f_{\text{ceo1}} + n_{\text{cw}}f_{\text{rep1}} + f_{\text{beat1}} \cdots (1)$$

$$f_{\text{cw}} = f_{\text{ceo2}} + (n_{\text{cw}} + \Delta n)f_{\text{rep2}} + f_{\text{beat2}} \cdots (2)$$

ここで、整数値 n_{cw} と $(n_{\text{cw}} + \Delta n)$ は、 f_{cw} 近傍の光コム成分のモード番号であり、 n_{cw} と Δn の二つの値を決定すれば、二台の周波数コム光源の周波数校正は完了する。

ここで、二台の周波数コム光源を位相同期するために f_{rep1} , f_{ceo1} , f_{ceo2} , f_{beat1} , f_{beat2} を周波数発振源に位相同期したときを考える。このとき原理的には、 f_{rep2} を計測することで、式(1),(2)を用いて n_{cw} と Δn の値を一意に決定できる。しかし、 n_{cw} の値は極めて大きいため、 f_{rep2} を非常に長い時間計測して、その不確かさを μHz 程度まで小さくしなければその値を一意に決定することができない。

そこで我々は、二台のコムの干渉信号のセンターバースト・ピークの出現時間間隔を直接計測すれば、短時間で $f_{\text{rep1}}/(f_{\text{rep2}} - f_{\text{rep1}})$ の値を正確に決定できることを利用し、0.1～1秒程度で n_{cw} の値を一意に決定することに成功した[2]。 n_{cw} の決定時間は $|f_{\text{rep2}} - f_{\text{rep1}}| = 5.6 \text{ Hz}$, $f_{\text{rep1}} \sim f_{\text{rep2}} \sim 60 \text{ MHz}$ の条件で約1秒であり、 $|f_{\text{rep2}} - f_{\text{rep1}}|$ の値が大きくなるほど短くなることを実験的に示した。さらに、繰り返し計測されるデュアルコム干渉信号をコヒーレントに重ね合わせるための条件（コヒーレント・アベレーシング条件）を満たすような f_{beat2} の設定周波数を計算して周波数ロックすることで、長期間のデュアルコム分光計測を可能とした。

謝辞

本研究は、JST、CREST、JPMJCR19J4 の支援を受けたものである。

[1] I. Coddington, W. C. Swann and N. R. Newbury, Phys. Rev. Lett. **100**, 013902 (2008).

[2] T. Fukuda, M. Okano and S. Watanabe, Opt. Express, *in press*.