マイクロ・ソリトンコムの高速・広範囲周波数掃引と周波数変化測定

Rapid and large scanning of a microresonator soliton comb with the tracking of the frequency shift

Naoya Kuse[1,2†], Takeshi Yasui[1], and Kaoru Minoshima[1,3]

Institute of Post LED Photonics, Tokushima University[1], PRESTO, Japan Science and Technology Agency[2], Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications[3]

E-mail: kuse.naoya@tokushima-u.ac.jp

マイクロ光周波数コム（マイクロコム）は小型で量産可能なチップスケールの光周波数コムとして注目されている。中でもモード同期状態であるソリトンコムは低雑音、高コヒーレンス、超短パルスであり、原子時計、周波数シンセサイザー、低位相雑音 THz 発生などに応用されている。多くの応用ではフリーランニング、あるいは周波数安定化したソリトンコムを用いているが、最近では光を用いた距離測定(LIDAR)や高周波数分解能分光に周波数掃引されたソリトンコムが使われている。これらの応用では高速・広範囲な周波数掃引、コムモードの 1 本 1 本の分離、周波数変化の測定が重要である。コムモード分離はアレイ導波路回折格子(AWG)を用いて既に可能である一方、周波数掃引の高速・広範囲化や全コムモードの周波数変化計測技術の開発が望まれている。

本研究では高速・広範囲のソリトンコムの周波数掃引のための制御技術の開発と、全コムモードの周波数掃引量測定技術の開発を行った。ソリトンコムの周波数掃引のためにはソリトンコム発生に使う微小共振器の共鳴周波数と励起 CW レーザーの発振周波数の両方を同量掃引する必要がある。従来法では微小共振器の共鳴周波数をマイクロヒーターで変化させ、その変化に励起 CW レーザーの周波数が追従するようなフィードバックループを用いていた[1]が、掃引範囲・速度はフィードバックゲインで制限されてしまう。本研究ではその問題を解決するために、マイクロヒーターに加える制御信号と同等の信号をフィードフォワード信号としてフィードバック信号に加えることで、フィードバックゲインによる限界を克服する。また、全コムモードの周波数変化測定のためには、2 つのコムモードの周波数変化を測定する。光周波数コムのモード周波数が 2 自由度で記述されることから、2 つのコムモードの周波数変化測定から全コムモードの周波数変化が算出できる。実験的には、2 波長の出力からなるアンバランスマッハツェンダー干渉計(i-MZI)を構成し、干渉信号の位相情報から周波数変化を計測する。

実験では FSR が約 190 GHz の Si_3N_4 の微小共振器から発生するソリトンコムを用いた。前述の方法を用いて、周波数掃引した結果を図 1(a)に示す。本実験ではマイクロヒーターの掃引限界である 50 ms で 25 GHz (500 THz/s)の掃引に成功した。これは従来の報告(0.62 THz/s)の約 1000 倍の掃引速度である[2]。今後、熱耐性の強いマイクロヒーターを用いることで、さらなる高速・広範囲の掃引が期待できる。周波数変化測定では±12 次のコムモードの周波数変化測定を行った（図 2(b)）。マイクロヒーターによる周波数掃引では主に共振器長が変化するため、+12 次のコムモードの方が周波数変化量が大きい。2 つのコムモードの測定から算出した-6 次のコムモードの周波数変化と、同一の MZI で計測した-6 次のコムモードの周波数差を図 1(c)に示す。この結果から 50 GHz の周波数掃引にわたって、周波数エラーが 10 MHz 以内で予測できていることが分かる。

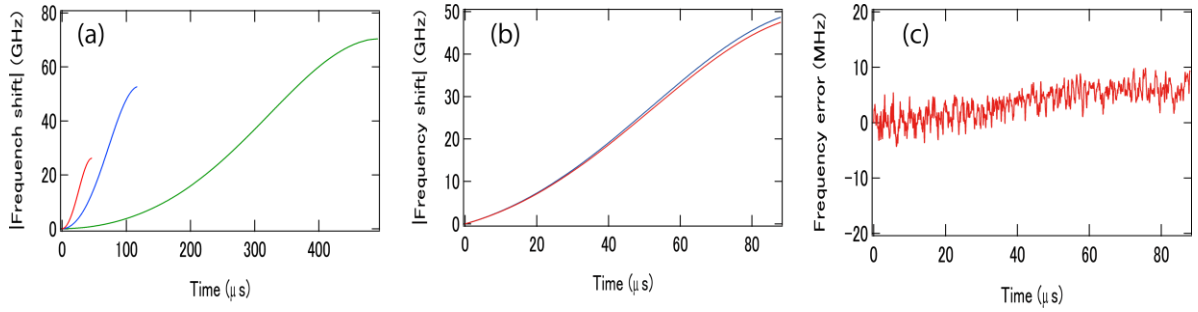

Figure 1. (a) Frequency shift of a comb mode at 1 kHz (green), 4 kHz (blue), and 10 kHz (red). (b) Frequency shift of the +12th (blue) and -12th (red). (c) Frequency error of the two-wavelength i-MZI estimated from (b).

[1] N. Kuse et. al., Opt. Lett. 45, 927 (2020). [2] T. Lin et. al., arXiv:2001. 00869 (2020).

© 2021年 応用物理学会