光ファイバ遅延線干渉計を用いたモード同期レーザの周波数雑音測定

Frequency noise measurement of a mode-locked laser using a fiber-optic delay-line interferometer

産総研 [1]，横国大院理工 [2]，JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザ [3]
○和田 雅人 [1,2,3]，大久保 章 [1,3]，柏木 謙 [1,3]，穀山 渉 [1]，(P)中村 圭佑 [1,3]，洪 鋒雷 [2,3]，稲場 肇 [1,3]
AIST, NMIJ [1], Dep. Phys. YNU [2], JST, ERATO MINOSHIMA Intelligent Optical Synthesizer (IOS) [3],
○Masato Wada[1,2,3], Sho Okubo[1,3], Ken Kashiwagi[1,3], Wataru Kokuyama[1], Keisuke Nakamura[1,3],
Feng-Lei Hong[2,3], Hajime Inaba[1,3]
E-mail: masato.wada@aist.go.jp

光周波数測定、精密分光、及びレーザの周波数安定化などのために光コムを開発する際、光コムの光源であるモード同期レーザの位相／周波数雑音の測定が必要である。モード同期レーザを含むレーザの周波数は非常に高く、そのままでは雑音を検出できないので、被測定レーザよりも十分周波数雑音の小さい基準レーザと合波してそれらの差周波数の雑音を解析する。この手法の課題として、①被測定レーザより低雑音な基準レーザが必要、②被測定レーザの周波数ドリフトが大きい場合には差周波数が検出可能な範囲から外れてしまう、ということがある。そこで、①,②の課題を同時に克服する周波数雑音測定方法として、遅延自己干渉法がある。この手法では、Fig. 1 のように被測定レーザ光を二分割し、レーザのコヒーレンス長よりも短い遅延が付与された被測定レーザ光自身とのビートを検出する。ビート信号の周波数雑音には被測定レーザの周波数雑音が反映されるが、遅延量がコヒーレンス長以下の自己干渉なのでその程度は大きく低減されており、遅延線干渉計の伝達関数を乗算することで本来の周波数雑音に換算できる。遅延量を増やすと測定感度が向上し、遅延時間の逆数が周波数雑音のうち検出可能な雑音成分の上限周波数に相当する。しかしながら、これまで遅延自己干渉法ではモード同期レーザの周波数雑音が測定されたことはなかった。

本研究では、遅延自己干渉法を用いてモード同期レーザの周波数雑音を測定できることを実証するため、波長 1550 nm 帯のモード同期ファイバレーザが持つ多数のコムモードを全て周波数シフトかつ遅延させ、ビート信号を検出・解析した。一方で、このモード同期ファイバレーザの一つのコムモードが持つ周波数雑音を、光時計で使われるような超狭線幅レーザ[1]とのビート信号から文献[2]の技術を用いて解析した。これらの測定結果を Fig. 2 に示す。遅延自己干渉法、及び超狭線幅レーザとのビート信号から測定したモード同期レーザの周波数雑音は良く一致し、遅延自己干渉法がモード同期レーザの周波数雑音測定として有効であることが確認できた。

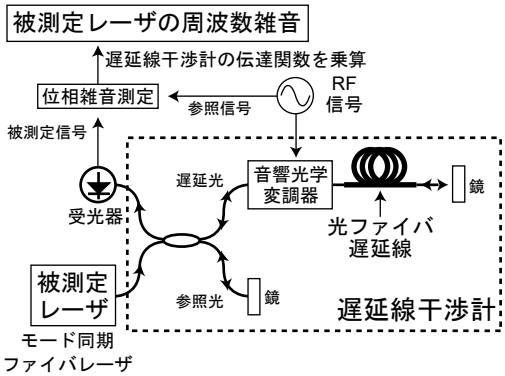

Fig. 1. Delayed self-interference method.

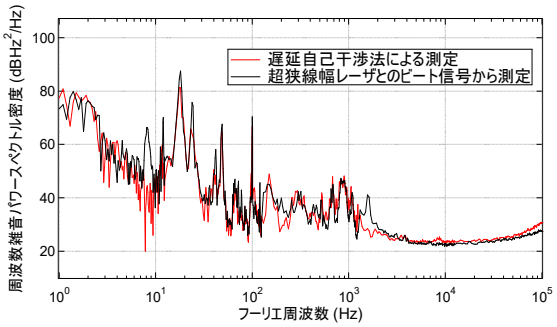

Fig. 2. Frequency noise PSD of the free-running mode-locked fiber laser at 1.5 μm.

参考文献

[1] K. Hosaka *et al.*, “Evaluation of the clock laser for an Yb lattice clock using an optic fiber comb,” IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control, vol. 57, no. 3, pp. 606–612, (2010).

[2] W. Kokuyama *et al.*, “Simple digital phase-measuring algorithm for low-noise heterodyne interferometry,” Measurement Science and Technology, vol. 27, no. 8, p. 085001, (2016).