小型原子時計のためのセシウム D1 線の外部共振器半導体レーザの開発

Development of External Cavity Diode Lasers at the Cesium D1 Line for Compact

Atomic Clocks

産総研計量標準, °高見澤昭文, 柳町真也

NMIJ AIST, °Akifumi Takamizawa, Shinya Yanagimachi

E-mail: akifumi.takamizawa@aist.go.jp

衛星測位などの現代の社会インフラにおいて高い時刻同期精度が必要不可欠であり、時計の高精度化が求められている。そうした中で、我々は小型・低消費電力と高い周波数安定度を合わせ持つセシウム原子時計を開発している。この時計では、重ねられた2つのレーザの周波数差が超微細準位間の遷移周波数(約 9.2 GHz)と等しくなると、原子によるレーザの吸収量が低下する coherent population trapping (CPT) 共鳴と呼ばれる現象を用い、原子の共鳴線にマイクロ波の周波数をロックする[1]。通常はセシウム D1 線に共鳴する波長 894 nm の面発光レーザを光源として注入電流を通じて周波数変調をかけ、約 9.2 GHz の差を持つサイドバンドを発生させるが、高次のサイドバンドの影響や変調指数の経時変化によりレーザ照射によって生じる周波数シフト(光シフト)が変動し、周波数安定度を悪化させてしまう。周波数変調を用いながら光シフト変動を抑制する手法を開発している一方で[2]、周波数変調を用いず、単一周波数レーザ2つを用いた CPT 共鳴も計画している。本研究では、単一周波数レーザとしてセシウム D1 線に共鳴する外部共振器半導体レーザ(ECDL)を作製し、位相雑音等を評価する。

この ECDL では、短期の位相雑音の抑制とともに、長期運転のためにモードホップの頻度を極力抑える必要がある。そのため、レンズ2枚で半導体レーザ素子からの出力光をコリメートおよび集光し、焦点の位置に部分反射ミラーを置くことにより、アライメントのずれに鈍感なキャッツアイ配置を構成する。外部共振器内に配置したバンドパスフィルタにより波長選択する。また、機械的な安定性を向上させるため、ピエゾ素子などの位置微調器具を使わない。こうした ECDL を2台作製し、両者の間でビート信号を取り、位相計測アルゴリズムを FPGA に搭載したデジタル位相計[3]を用いて、個々の ECDL の位相雑音および線幅やオフセットロックした際の位相の残留ノイズなどを評価し、小型原子時計の高性能化に貢献する予定である。

波長 852 nm のセシウム D2 線用 ECDL はすでに作製し[4]、原子泉周波数標準器の数か月にわたる長期間の運転に寄与している[5]。本研究ではこの ECDL を波長 894 nm に拡張する。

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

[1] H. Zhang et al., IEEE J. Solid-State Circuits **54**, 3135 (2019). [2] S. Yanagimachi et al., Appl. Phys. Lett. **116**, 104102 (2020). [3] W. Kokuyama et al., arXiv:2009.01137 (2020). [4] A. Takamizawa et al., Appl. Phys. Express **9**, 032704 (2016). [5] A. Takamizawa et al., IEEE Trans. Instrum. Meas. **64**, 2504 (2015).