

狭線幅、低雑音、高出力 $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 周波数安定化 エルビウムファイバリングレーザー

A $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ Frequency-Stabilized Erbium Fiber Ring Laser with Narrow Linewidth, Low Noise, and High Power Characteristics

東北大通研¹, アドバンテスト研², °葛西恵介¹, 吉田真人¹, 廣岡俊彦¹, 中沢正隆¹, 増田伸²

RIEC, Tohoku Univ.¹, Advantest Lab.², °Keisuke Kasai¹, Masato Yoshida¹, Toshihiko Hirooka¹, Masataka Nakazawa¹, and Shin Masuda², E-mail: kasai@riec.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年急速に進展している多値コヒーレント光伝送の分野では、高い OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) が必要とされ、高出力、狭線幅、低振幅雑音な周波数安定化レーザーが重要な役割を果たす。これまで波長 $1.5\ \mu\text{m}$ 帯では周波数基準として原子[1]や分子[2]の吸収線を用いた周波数安定化レーザーが多く報告されているが、上記の特性をすべて満足する多値コヒーレント伝送用光源は実現されていなかった。今回我々は、安定な CW 動作と高い出力強度を同時に実現できる短共振器構造[3]の Erbium Fiber Ring Laser (EFRL) を作製し、本レーザーの周波数を $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 吸収線へ安定化した。また励起強度をフィードバック制御することで Er イオンの緩和振動による振幅雑音を抑制し、高出力(45 mW)・狭線幅(5 kHz)・低振幅雑音特性(<-110 dB/Hz)を同時に満足する周波数安定化 EFRL を実現したので報告する。

2. $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 周波数安定化 EFRL の構成と発振特性

図 1 は EFRL の構成である。本レーザーは、 $1.48\ \mu\text{m}$ 励起 LD、偏波保持(PM: Polarization-Maintained)EDF、4ポート PM サーキュレータ、帯域 1.5 GHz の PM-FBG、PM アイソレータ及び 2 つのフィードバック回路から成る。EDF、FBG はそれぞれ円筒型、積層型 PZT に設置しており、印加する電圧で共振器長、グレーティング長を可変にしている。また EDF はサーキュレータのポート 2 と 4(P2, P4)の間に接続されており、P1 から入力される励起光によって励起される。本 EDF と P2→P3→FBG→P3→P4→P2 で形成されるリング共振器によって $1.5\ \mu\text{m}$ 帯でのレーザー発振が起こり、その一部を FBG の片端より出力として取り出している。本レーザーの EDF 長は 1 m であり、共振器長は 1.8 m であった。フィードバック回路 1、2 はそれぞれ FBG の反射ピーク周波数、励起強度の負帰還制御を行っており、これらによってモードホップ、緩和振動を抑制している。図 2 は $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 周波数安定化 EFRL の構成である。位相敏感検波回路を用いてレーザー周波数の $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 吸収線からのずれを誤差電圧信号として検出しており、これを円筒型 PZT に負帰還することで発振周波数を P(10)吸収線(1538.8 nm, 線幅 500 MHz)へ安定化している[4]。

図 3(a)~(d)はそれぞれ周波数安定化 EFRL の出力強度特性、Allan 偏差、自己遅延ヘテロダインスペクトル、RIN (Relative Intensity Noise)スペクトルである。本レーザーは励起強度 300 mW 時に 45 mW の出力が得られる。周波数安定度を示す Allan 偏差は 3.6×10^{-11} 以下であった。線幅は 5 kHz であり、安定化制御前後で線幅の広がりは見られなかった。図 3(d)を見ると、励起強度の制御を行うことで緩和振動成分(236 kHz)をおよそ 18

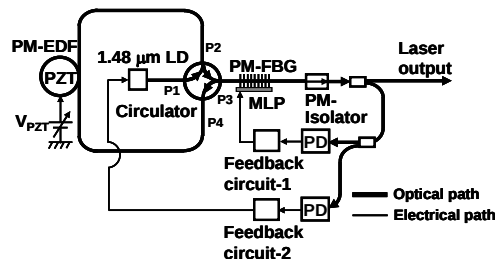


Fig. 1 Configuration of high power single-frequency erbium fiber ring laser.

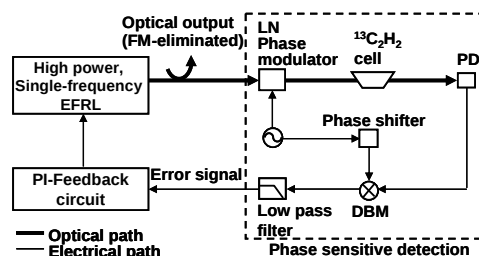


Fig. 2 Configuration of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ frequency-stabilized erbium fiber ring laser.

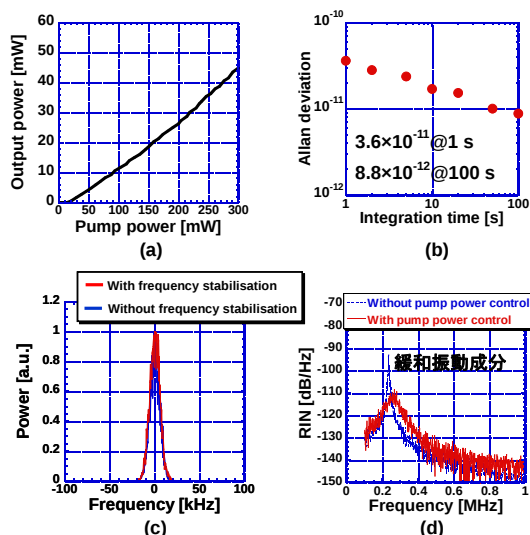


Fig. 3 Output characteristics of frequency-stabilized EFRL, (a)output power characteristics, (b)Allan deviation, (c)delayed self-heterodyne spectrum, (d)RIN spectrum.

dB 抑制することができており、RIN は-110 dB/Hz 以下に低減されていることがわかる。

3. まとめ

短共振器構造と励起強度制御を適用した EFRL の発振周波数を $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ 吸収線に安定化し、出力 45 mW、線幅 5 kHz、-110 dB/Hz 以下の RIN 特性を有する周波数安定化光源を実現した。

参考文献

- [1] M. Ohtsu et al., Electron. Lett., 25, (1989).
- [2] S. Sudo et al., IEEE PTL., 1, (1989).
- [3] S. Masuda et al., Opt. Exp., 17, (2009).
- [4] K. Kasai et al., IEICE Electron. Exp., 3, (2006).