

# 10 GHz, 1.55 $\mu\text{m}$ HCN 周波数安定化モード同期ファイバーレーザー

## 10 GHz, 1.55 $\mu\text{m}$ HCN frequency-stabilized mode-locked fiber laser

吉田 一貴<sup>1</sup>、葛西 恵介<sup>1</sup>、吉田 真人<sup>1</sup>、中沢 正隆<sup>1</sup> (1.東北大学電気通信研究所)

°Kazuki Yoshida<sup>1</sup>, Keisuke Kasai<sup>1</sup>, Masato Yoshida<sup>1</sup>, and Masataka Nakazawa<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

E-mail: kyoshida@riec.tohoku.ac.jp

我々は今まで再生モード同期ファイバーレーザー[1]の研究に取り組んできており、近年、その光周波数を  $\text{C}_2\text{H}_2$  分子の吸収線へ、繰り返し周波数を Cs 原子の共鳴線へ同時に安定化した Cs 光時計を実現している[2]。このような光周波数と繰り返し周波数を同時に制御した高安定な光パルス信号は、光標準信号としての応用のみならず、光の位相を用いたコヒーレントパルス伝送用光源としても大変有用である。今回、コヒーレント伝送用光源として周波数安定化モード同期ファイバーレーザーの最適化を図ったので、その出力特性について報告する。

本研究で開発した周波数安定化モード同期ファイバーレーザーの構成を図 1 に示す。図中の太線が光回路、細線が電気回路である。共振器内は全て偏波保持ファイバーを用いており、共振器長は 11 m である。利得媒質として、長さ 3 m のエルビウム添加ファイバー(EDF:濃度 3500 ppm)を使用し、その励起光源として 1.48  $\mu\text{m}$  InGaAsP 半導体レーザーを用いている。この EDF は PZT に巻きつけられ、電圧信号により共振器長を変えることが出来る。レーザー発振の中心波長は、帯域 8 nm の光フィルターにより 1.55  $\mu\text{m}$  に設定している。また、エタロンを挿入しモードホップフリーを実現している。モードロッカーとしては広域に渡りサイドバンドを生成可能な位相変調器を使用し、また、分散補償ファイバーを用いて共振器内の平均分散を零に調整することにより、発振スペクトルを広げ短パルス化を図っている。本レーザーの周波数安定化は次のように実現している。まず、繰り返し周波数の制御には、再生モードループ内のマイクロ波の位相を利用し、これにより光周波数とは独立な周波数制御を行う[3]。一方、光周波数の安定化は、出力光の縦モードの一本をファイバブラッググレーティング(FBG)を用いた狭帯域光フィルターにより抽出し、HCN 分子吸収線(1549.73 nm)との周波数差を誤差信号として共振器長へ負帰還することで実現している。

本レーザーの出力特性を図 2 に示す。図 2(a)は励起光電力に対する出力光電力の関係を示している。双方向励起を採用し、さらに EDF の利得を最大限利用できる 1.55  $\mu\text{m}$  で発振させることで 500 mW 励起時に 60 mW の高出力を実現した。図 2(b)及び 2(c)は 300 mW 励起時の自己相関波形と光スペクトル波形である。出力パルス幅は 0.95 ps、スペクトル幅は 3.8 nm (470 GHz)であった。これらの時間バンド幅積が 0.45 であることより、トランスフォームリミットなガウス型パルスが得られていることがわかる。図 2(d)は光周波数安定度の評価結果である。積分時間 1 秒にて  $4 \times 10^{-11}$  という高い安定度を実現した。

[1]M. Nakazawa et al., Electron. Lett., **30**, 1603 (1994). [2]K. Tokuhira et al., ELEX., **9**, 1496 (2012).

[3]M. Nakazawa et al., Opt. Lett., **33**, 1059 (2008).

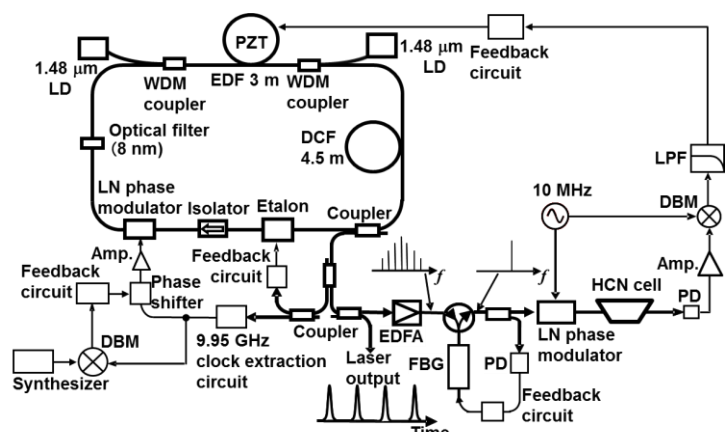


図 1 HCN 周波数安定化モード同期ファイバーレーザーの構成

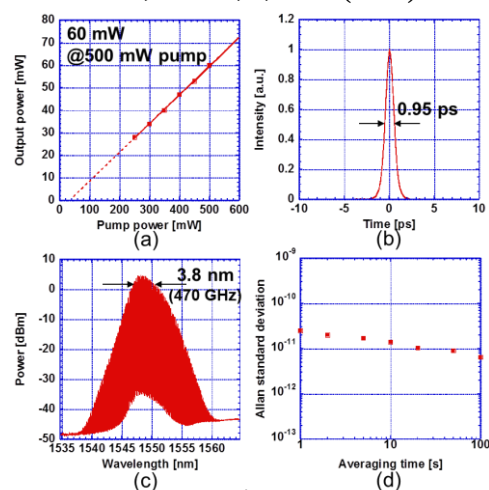


図 2 レーザー出力特性