全偏波保持偏波多重モード同期ファイバレーザ

Polarization-Multiplexed Mode-Locked Fiber Laser by All Polarization Maintaining

東大先端研 [1]　○(M1)宇山 康太 [1]，白畑 卓磨 [1]，金 磊 [1]，セット ジイヨン [1]，山下 真司 [1]

RCAST, The Univ. of Tokyo [1]

°Kota Uyama[1], Takuma Shirahata[1], Lei Jin[1], Sze Yun Set[1] and Shinji Yamashita[1]

E-mail: uyama@cntp.t.u-tokyo.ac.jp

二つの周波数コムを利用したデュアルコム分光法は，高速で高分解能な分光法として注目されている[1]．安定したパルス出力を得られるモード同期ファイバレーザを利用して，伝搬方向や偏波を多重化したデュアルコム光源が報告されている[2, 3]．光源には高い安定性が必要であるため，偏波保持（PM）構成の単一共振器が求められるが，未だ報告されていない．

そこで本研究では，受動モード同期ファイバレーザ[4]を PM 素子のみで構成し（図 1），二つの偏波状態でのモード同期動作を実現した．利得媒質と可飽和吸収体には，それぞれ偏波保持エルビウム添加ファイバ（PM-EDF）とフェルール端面にスプレーした CNT を用いた．LD から出力された波長 976 nm の光により PM-EDF を励起する．パルス光は光アイソレータ（ISO）によって単一方向に伝搬し，分岐比が 50:50 の PM カプラにより取り出される．取り出されたパルス光は二つの偏波状態を持つため，偏波ビームスプリッタ（PBS）によって分離することで，それぞれの偏波状態を観測する．共振器内に 90 度回転融着点を二箇所設けることにより伝搬する光の遅軸と速軸が切り替わり，偏波モード間における偏波依存ロスが減少するため，二つの偏波状態でのモード同期が実現する．また，90 度回転融着点間の長さを調整することで，二つのモード同期パルスの繰り返し周波数差（Δf_{rep}）を調整することが可能である．繰り返し周波数 f_{rep}，複屈折率 B，コアの屈折率 n，共振器長 L および 90 度回転融着点間の長さの差ΔL を用いることで，Δf_{rep} は

$$\Delta f_{\mathrm{rep}} = f_{\mathrm{rep}} B \frac{\Delta L}{nL} \tag{1}$$

と表される．

励起光のパワーが 97 mW で偏波多重モード同期動作を観測した．Pol. 1 と Pol. 2 の平均出力パワーは，それぞれ 2.4 mW と 3.1 mW であった．図 2(a)は分解能帯域幅を 0.1 nm に設定した光スペクトラムアナライザを用いて測定した光スペクトルである．Pol. 1 と Pol. 2 の中心波長は 1566.5 nm と 1568.4 nm，3dB 帯域幅は 4.6 nm と 4.4 nm であった．分解能帯域幅 10Hz の RF スペクトラムアナライザを用いて測定したスペクトルを図 2(b)に示す．このとき，帯域幅 1GHz の光検出器を用いた．Pol. 1 と Pol. 2 の繰り返し周波数はそれぞれ 21.768416 MHz と 21.768847 MHz，繰り返し周波数差は 431 Hz である．この値は，式(1)において複屈折率の典型値 $B = 3.88\times10^{-4}$ を用いて計算した値とおよそ一致している．図 2(b)には帯域 100 MHz のオシロスコープで測定したパルス列も示している．両偏波出力では二種類のパルス列が伝搬しているが，PBS によって分離した出力を観測すると一種類のパルスのみが伝搬している．本結果は，共振器中に軸反転区間を設けることで，二つの独立したモード同期が可能であることを意味している．

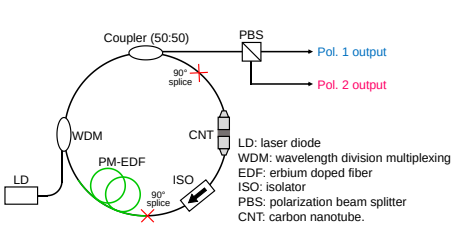

Fig. 1 Configuration of all-PM dual-comb fiber ring laser using CNT-SA.

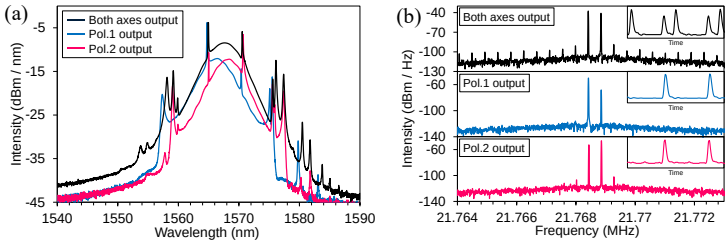

Fig. 2 Output spectra and pulse train of both axes, Pol. 1 and Pol. 2 from dual-comb fiber laser. (a) Optical spectra, (b) RF spectra and pulse train.

[1] I. Coddington *et al.*, Optica **3**, 414 (2011). [2] S. Mehravar *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 231104 (2016). [3] X. Zhao *et al.*, Photon. Res. **6**, 853 (2018). [4] S. Yamashita, APL Photonics **4**, 034301 (2018).

© 2020年 応用物理学会