位相変調器を用いた 8/9 の字型ファイバレーザ

Figure-8/9 Fiber Lasers using Phase Modulator

東大先端研¹, ⁰滝口 耕司¹, 白畑 卓磨¹, 金 磊¹, セット ジ イヨン¹, 山下 真司¹

RCAST, Univ. of Tokyo¹, Koji Takiguchi¹, Takuma Shirahata¹, Lei Jin¹, Sze Y. Set¹, Shinji Yamashita¹

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

非線形増幅ループミラー(NALM)を用いた受動モード同 期レーザとして、8の字型レーザ(Figure-8 Laser: F8L)や9の 字型レーザ(Figure-9 Laser: F9L)がある。これらは、全偏波維 持(PM)構成が可能な高耐久・高環境安定性のフェムト秒級 の超短パルス光源である。F8L はモード同期閾値が高く、 セルフスタートが困難であるという問題があったが、非相 反位相シフタを導入することで、問題は解決され、同時に、 F9L 構成が実現可能となった[1]。我々は、F9L の非相反位 相シフタを光変調器(光位相変調器または光周波数シフタ) に置き換えることを提案している[2,3]。本研究は、光位相 変調器を F8L、F9L に導入し、位相変調器を用いる場合に は、F9L より F8L の方が優れていることを示すものである。

本手法では、位相変調器をNALM内の非対称な位置に配置し、時計回り(CW)光と反時計回り(CCW)光に非対称な位相変化を与えている。CW光の位相変調器までの光路長を L_1 、CCW光の位相変調器までの光路長を L_2 ($L_1 > L_2$)とし、NALM外部の共振器長を L_3 とする。正弦波で位相変調するとき、CWパルスとCCWパルスの位相差が最大となるのは、Fig.1 に示すように、CWパルス列がCCWパルス列の中間に来るときである。このためには

$$L_3 = L_1 - 3L_2 \tag{1}$$

を満たす必要がある。



Fig.1: Phase modulation at different timings between CW and CCW pulses

まず、F8L に位相変調器を導入する場合を考える。実験 系を Fig.2 に示す。系は全て PM ファイバで構成されてい る。NALM とアイソレータでリング型の共振器を構成して いる。NALM は 3dB 光カプラ、Er 添加ファイバ(EDF)0.7m、 シングルモードファイバ(SMF)4m、LiNbO3位相変調器から 成る。EDFのポンプ光源として 980nm の半導体レーザが用 いられている。光位相変調器は任意波形発生器による正弦 波で駆動している。出力として 8:2 のアウトプットカプラ を使用している。ポンプパワー66.16mW、変調周波数 15.77318MHzの正弦波で駆動したとき、モード同期が確認 された。Fig.3(a)は出力パルスの光スペクトル、(b)はオシ ロスコープ波形、(c)は RF スペクトル、(d)は自己相関波 形である。光スペクトル形状はパルスがソリトンである こと示しており、その半値全幅は 6nm である。パルス の繰り返し周波数は15.77313MHz、RF スペクトルの SN 比は 60dB である。平均出力は 0.40mW であった。自己 相関波形よりパルス幅は、sech²型パルスを仮定すると 809fs である。

次に位相変調器をF9Lに導入した場合を考える。全てPM ファイバで構成されており、NALMと反射率70%のファイ バフェルールミラーから成る。ミラーの透過側を出力とし て利用している。共振器長を変化させながら、モード同期 を試みたが、Fig.4 に示すように、2 倍の高調波の発振が見 られた。これは、CW パルスと CCW パルスが同位相の変調 を受けるとき、NALM の反射率が 100%となり、CW 発振し やすくなるためと考えられる。位相変調器を用いた F9L は、 これにより、安定したモード同期が妨げられる。従って、 位相変調器を用いるとき、F9L のパルス発振は困難である。



Fig.2: Experimental setup



Fig.3: (a) Optical spectrum of output pulse. (b) Oscilloscope trace. (c) RF spectrum around 1st order peak. (d) Autocorrelation trace.



[1] N. Kuse, et al, Opt. express 24, 3095-3102 (2016).

[2] T. Honda, et al, in Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2017), paper SM4L.7.

[3] Y. Shirakura, *et al*, in *Conference on Lasers and Electro-Optics*, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2018), paper SF3K.4.