

音響光学変調器を用いた9の字型ファイバレーザの最適化

Optimization of a Figure-9 Fiber Laser using an Acousto-Optic Modulator

東大工¹, [○](M2)白倉 勇紀¹, (B4)滝口 耕司¹, セット ジイヨン¹, 山下 真司¹

The Univ. of Tokyo¹, [○]Yuki Shirakura¹, Koji Takiguchi¹, Sze Y. Set¹, Shinji Yamashita¹

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

8の字型ファイバレーザは、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であり、全体を偏波維持(PM)ファイバで構成して偏波安定なレーザを実現可能であるが、自発的なパルス発振が難しいという欠点がある。近年 NALM 内に非相反位相シフタを導入することでこの問題を解決し、同時に9の字型レーザが実現可能となった[1]。我々は以前、非相反位相シフタの代わりに位相変調器を用いる構成[2]、さらに音響光学変調器(AOM)を用いる構成を提案し、容易なモード同期を実現した[3]。本研究では[3]の構成において、さらに音響光学変調器の駆動周波数を変化させて NALM 内の非相反位相シフトを調整することで、より安定なモード同期レーザを実現した。

周波数シフタを NALM 内の非対称な位置に導入すると、時計回り(CW)のパルスと反時計回り(CCW)のパルスは Fig.1.のようにそれぞれ異なる位相シフトを受ける。この位相差 $\Delta\phi$ は、次の式(1)で表される。

$$\Delta\phi = \frac{2\pi n(L_1 - L_2)}{c} \Delta f \quad (1)$$

c は光速、 n はファイバの屈折率、 L_1 はカブラから周波数シフタまでの時計回りの距離、 L_2 は同じく反時計回りの距離、 Δf は周波数シフタのシフト量である。 Δf を変化させることで任意の位相差を実現できる。

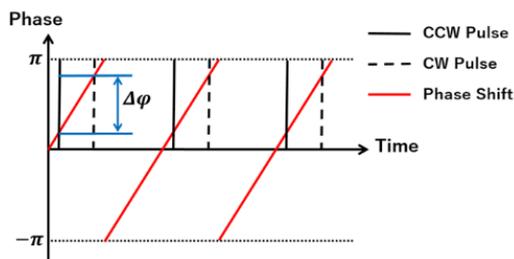


Fig.1. Phase bias by frequency shifter.

実験系を Fig.2. に示す。9の字型レーザは全て PM ファイバで構成されており、NALM と反射率 99%のファイバフェルミラーからなる。NALM は 3dB 光カブラ、Er 添加ファイバ(EDF) 1.5m、シングルモードファイバ(SMF) 36m と周波数シフタ(AOM)からなり、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。AOM は CW パルスと CCW パルスの位相差を発生させるためにカブラの近くに配置し、任意波形発生器と電気アンプによって駆動した。出力として 8:2 カブラをミラーと NALM の間に配置した。

AOM の駆動周波数 38.58MHz、ポンプパワー41mW でモード同期発振したパルスを計測した。Fig.3.(a)は出力パルスの光スペクトル、Fig.3.(b)はオシロスコープ波形、Fig.3.(c)は RF スペクトル、Fig.3.(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 1.3nm である。パルスの繰り返し周波数は 3.73MHz、RF スペクトルの SN 比は 70dB である。出力光の平均パワーは 0.13mW であった。自己相関波形から計算されるパルス幅は sech^2 型パルスを仮定すると 3.9ps であるが、その波形は非対称になっている。これは出力強度が弱くオートコリレータの感度を高くするため

時定数が長くなり、正確な測定ができなかったためと考えられる。フーリエ限界パルスを仮定するとスペクトル幅よりパルス幅は 1.9ps と計算される。

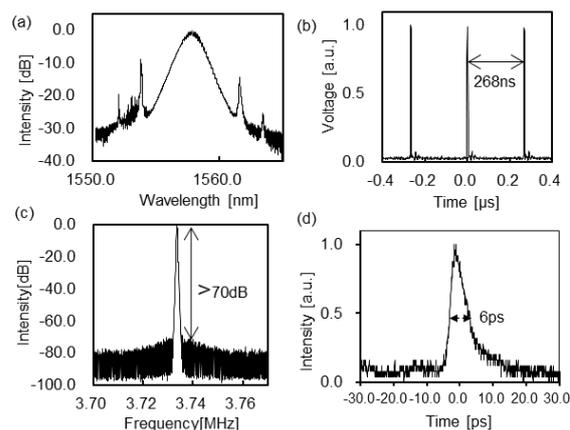


Fig2. (a) Optical spectrum of output pulse. (b) Oscilloscope trace. (c) RF spectrum around 1st order peak. (d) Autocorrelation trace.

AOM の駆動周波数を 36MHz から 44MHz まで変化させてモード同期閾値の変化を計測した結果を Fig.4. に示す。グレーの領域はパルス発振せず、緑色の領域では Q スイッチで動作した。また赤色の領域では不安定なモード同期が観測された。この系における(1)式の Δf の係数は $L_1=44\text{m}$ 、 $L_2=2\text{m}$ として 1.32rad/MHz であるので、 2π の位相差は 4.76MHz のシフト量変化に相当する。これは閾値変化の周期とよく一致しており、(1)式にしたがって NALM における CW パルスと CCW パルスの位相差が変化していることがわかる。

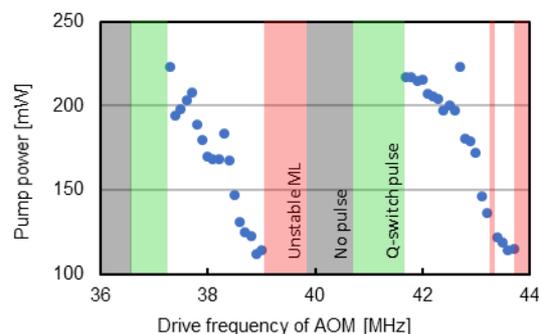


Fig.3. Mode locking threshold pump power vs. AOM drive frequency. (Gray region: no pulse operation. Green region: Q-switch pulse operation. Red region: unstable mode-locking.)

参考文献

- [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] T. Fukazu, *et al*, The 78th JSAP Autumn meeting, 5a-C14-5 (2017).