

ドップラー風ライダー用 Tm,Ho:YLF レーザーの パルス動作方式の比較検討

佐藤 篤^{1,2}, 青木 誠², 石井 昌憲², 中川 勝広²

¹東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

²情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Comparative study of pulsed operations of a Tm,Ho:YLF laser for Doppler wind lidars

Atsushi SATO^{1,2}, Makoto AOKI², Shoken ISHII², and Katsuhiro NAKAGAWA²

¹ Tohoku Institute of Technology, 35-1, Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

² National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1, Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

Abstract: A spaceborne Doppler wind lidar (DWL) using a 2- μm laser transmitter is one of the most promising sensors for global wind profiling. While a Q-switched Tm,Ho:YLF laser has been demonstrated with high pulse energy, average-output-power scaling and a reduction of the power consumption of the cooling system are needed to fulfill the requirement of the DWL system. In this study, Q-switched-mode operations in the high-energy Tm,Ho:YLF laser were demonstrated at high pulse repetition frequencies. Based on the results of laser experiments and numerical simulations, an optimum design for high-average-power pulsed operation at -40°C was investigated.

Key Words: Solid-state laser, pulsed laser, Q-switched laser, MOPA, Doppler wind lidar

1. はじめに

衛星搭載型ドップラー風ライダー(DWL)は、数値予報精度の向上をもたらすアクティブセンサーの一つとして期待されている¹。情報通信研究機構(NICT)では、DWLに必要なライダー技術及びレーザー技術の研究開発を進めてきているが、近年、特にレーザー光源の高出力化技術において大きな進展が得られている²。ライダー観測における Figure of Merit (FOM)を考慮すると、同じ平均出力のレーザーの場合、高エネルギーで低繰り返し動作が有利である。その一方で、高繰り返しレーザーによる観測のニーズもある。このような背景から、本研究では、DWL用 2 μm レーザーのパルス動作方式の最適化について実験的及び理論的な検討を行った。

2. レーザーの構成

Fig. 1 に比較検討を行ったパルスレーザーの構成を示す。レーザーの目標出力として、125mJ \times 30Hz (=3.75W)を -40°C の冷却温度で達成することを目指している。これまでの実験から、開発したレーザーヘッド1台のみを用いた発振器単体では、 -40°C で 100mJ 級出力を得ることは困難であることがわかっており、そこで、2台のレーザーヘッドを使用した発振器(Fig. 1(a))及び発振器と増幅器からなる MOPA(Master Oscillator and Power Amplifier) (Fig. 1(b))について検討することとした。レーザーヘッドは、励起モジュールとレーザ

ーロッド、ヒートシンクからなる。励起モジュールは並べて配置された3個の半導体レーザーとその出射面に取り付けられた石英ライトガイドからなり、これにより $\phi 4 \times 33\text{mm}$ の4%Tm,0.4%Ho:YLF ロッドが3方向から側面励起される。発振器の共振器長は3.86mとし、増幅器は2パス方式とした。

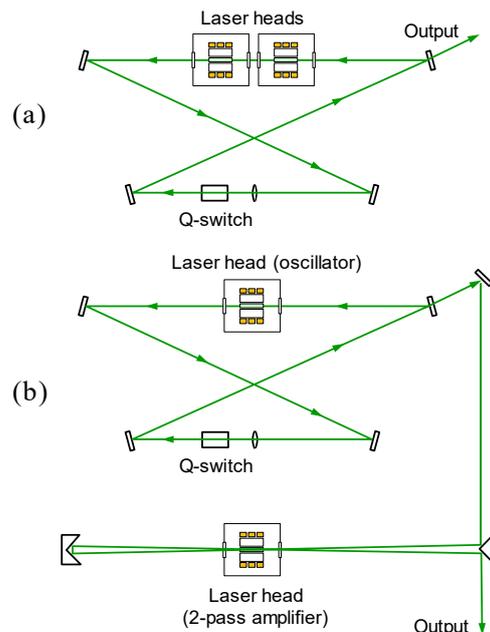


Fig. 1 Configurations of (a) the oscillator with two laser heads and (b) the MOPA.

3. 実験及び動作解析結果

パルス動作方式の検討に必要な基礎データとして、レーザーヘッド1台で発振器を構成した場合の Q スイッチパルスエネルギーを測定した。Fig.2 のプロットは、 -80°C 及び -40°C での実験結果を示している。また、グラフ中の実線は、レート方程式モデル³⁾を用いて計算したパルスエネルギーを示している。計算結果において、高繰り返し動作時のパルスエネルギーが増加する原因は、 Tm 及び Ho イオンのレーザー上準位($^3\text{F}_4$ 準位及び $^5\text{I}_7$ 準位)寿命が約15msと長いこと、パルス発振終了後にこれらの準位に残留したエネルギーの一部が次の励起エネルギーに上乘せされ、その寄与が繰り返し周波数が高いほど大きいためである。 -80°C での実験において、繰り返し周波数30~70Hzでパルスエネルギーの増減が見られないことは、高繰り返し動作での残留エネルギーの利用が熱的効果の相殺に有効であることを示している。それと同時に、50Hz以上の高い繰り返し周波数では、30Hzのシステムに比べ高いFOMのライダーシステムの構築やパルスエネルギーを抑えた送信機への負荷が少ないシステム構築が可能であることも示唆している。

4. レーザーの最適構成の検討

Fig.2の実験及び動作解析において、目標とする -40°C 動作では、レーザーヘッドが2台必要であることが明らかとなったため、Fig.1に示した構成におけるレーザー出力の比較検討を行った。Fig.3及びFig.4に、繰り返し周波数30Hzでの発振器及びMOPAの動作解析結果を示す。目標とする125mJのパルスエネルギーは、いずれの構成でも約3Jの励起エネルギーで得られることがわかった。しかしながら、発振器では、Qスイッチパルスのパルス幅が100ns以下になってしまい、狭

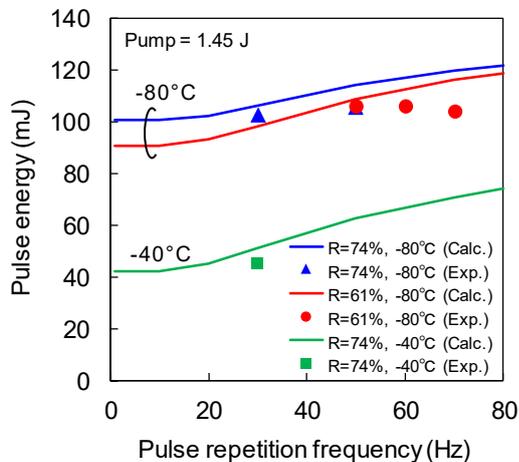


Fig. 2 Comparison of the observed and calculated pulse energies for the Tm,Ho:YLF laser oscillator with the single laser head.

線幅動作に必要なロングパルス(150~200ns)が得られないことがわかった。以上の結果から、MOPA構成が要求仕様を実現する上で最も有望であることが明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、DWL用 Tm,Ho:YLF レーザーのパルス動作方式について実験的及び理論的に検討を行い、MOPA構成の有効性を示した。発表では、さらにダブルパルス発振の検討結果についても言及する。

参考文献

- 1) S. Ishii *et al.*: J. Meteor. Soc. Japan **95** (2017) 301.
- 2) A. Sato *et al.*: IEEE Photon. Technol. Lett. **29** (2017) 134.
- 3) A. Sato *et al.*: Proc. SPIE **9262** (2014) 926215.

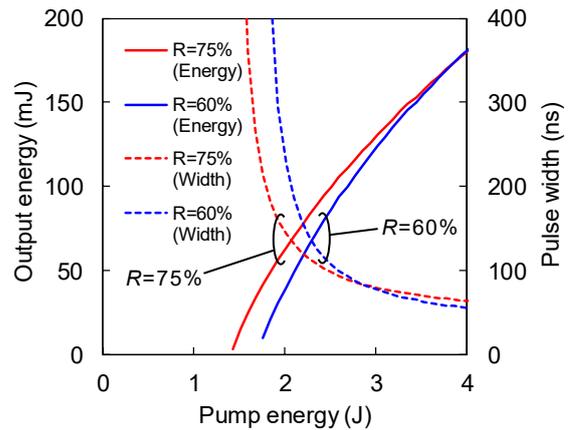


Fig. 3 Results of numerical simulations for output energies of the laser oscillator with two laser heads.

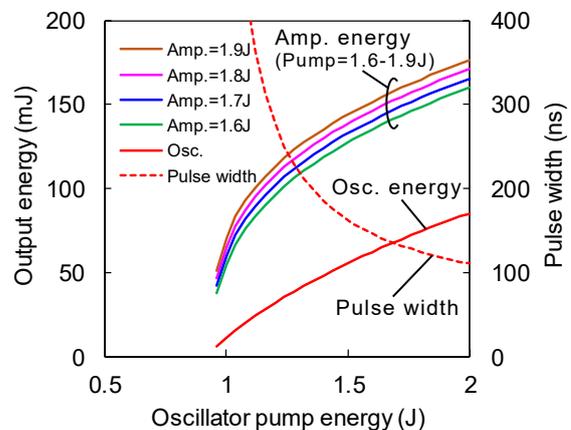


Fig. 4 Results of numerical simulations for output energies of the MOPA.