

1.5 μm コヒーレントライダ用パラメトリック増幅器の開発

Single-frequency optical parametric amplifier for a 1.5 μm Coherent LIDAR

柳澤 隆行, 山本 修平, 平野 嘉仁

Takayuki YANAGISAWA, Syuhei YAMAMOTO and Yoshihito HIRANO

三菱電機(株) 情報技術総合研究所
Mitsubishi Electric Corporation

Abstract: High-power single-frequency optical parametric amplifier was developed suitable for a 1.5 μm high-performance coherent Doppler LIDAR. The amplifier consists of a single-frequency Yb:YAG Q switched laser for a pump source and two MgO:PPLN for nonlinear devices. The average output power of the amplified signal was 3.3W with the repetition rate of 4kHz and the pulse width of 195ns. The signal peak power gain of 26dB was achieved.

1. はじめに

風速測定用コヒーレントライダ(CDL)において、測定距離拡大、高フレームレート化のため、高繰り返しで高平均出力可能なレーザ光源が要求される。これまで、我々は、アイセーフ波長の 1.5 μm 帯で発振する Er,Yb:Glass 単一周波数 Q スイッチレーザ装置[1]を用いた CDL を世界に先駆けて開発し、風速測定の実証を行ってきた[2]。1.5 μm の波長帯では、これまで開発されてきた 10 μm 帯[3]や 2 μm 帯[4]に比べて、1) 単パルスの最大許容露光量が10倍大きく、目に対する安全性が高い、2) 空間分解能 Δx と速度分解能 Δv の積 $\Delta x \cdot \Delta v = c \cdot \lambda / 3.4 \pi$ が小さく高い分解能または速度分解能が得られる、3) 大気の吸収線が少なく波長を選択する必要がほとんど無い、4) 廉価で信頼性の高い光通信用デバイスを利用可能、等の利点を有する。しかし、Er,Yb:Glass では、最大平均出力がレーザ媒質の熱破壊限界で制限され、高平均、高繰り返し動作が困難であった。

現在、我々は、送受信光回路をすべて光ファイバで構成し、高い信頼性と配置自由度の高い、全光ファイバ型 CDL の開発を進めている[5]。今回、全光ファイバ型 CDL のさらなる高性能化を実現[6]するため、単一周波数発振 Yb:YAG Q スイッチレーザ装置を励起光とし、非線形結晶として2段の周期反転分極 MgO 添加 LiNbO₃ (MgO:PPLN) [7]を用いた高出力光パラメトリック増幅器を開発したので報告する。

2. 開発結果

2.1 全体構成

Fig.1 に、開発した光パラメトリック増幅器の全体構成を示す。

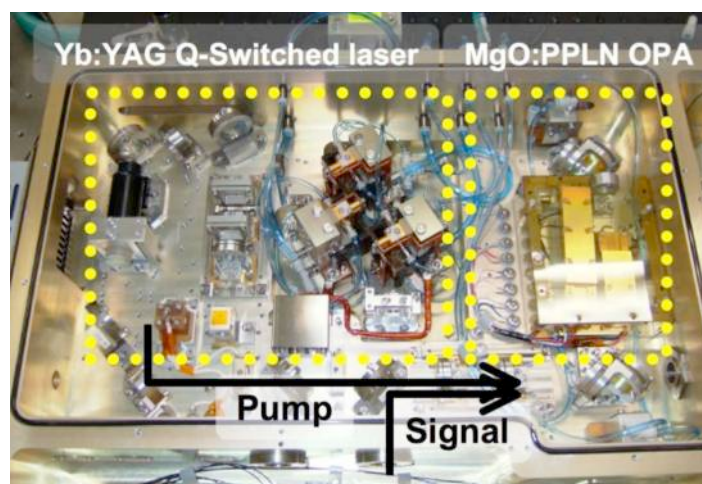


Fig. 1. Inside view of the developed optical parametric amplifier for a 1.5 μm coherent Doppler LIDAR

全光ファイバ型光送受信回路から光ファイバを通して出力される 1.5 μm 送信光 (OPA シグナル光, 波長 1.53 μm) を筐体内で空間に出射し, 単一周波数発振 Yb:YAG Q スイッチレーザの出力 (OPA 励起光, 波長 1.03 μm) と同一光軸上に合波した後, 2段型の MgO:PPLN を用いた光パラメトリック増幅器に入力し, 送信光を増幅する. 増幅された送信光は, 偏光子と $\lambda/4$ 波長板で構成された送受分離部を介して, テレスコプから大気中に出射される. 以下に, 増幅器を構成する単一周波数発振 Yb:YAG Q スイッチレーザ, および, 光パラメトリック増幅器の開発結果について示す.

2.2 単一周波数発振 Yb:YAG Q スイッチレーザ

Fig.2 に単一周波数発振 Yb:YAG Q スイッチレーザの構成を示す. テレスコピック型共振器を採用し, 小型で安定したレーザ発振器を実現した. また, エアギャップエタロン (FSR 7.5GHz, Finesse 4.3) を出力鏡として用い, 発振光の単一周波数化をはかっている.

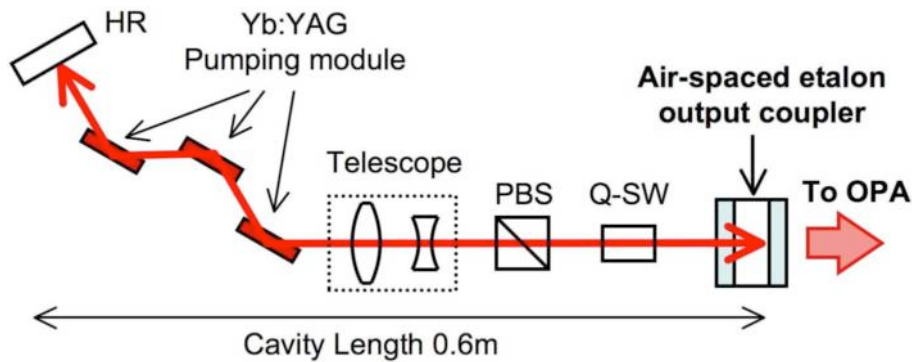
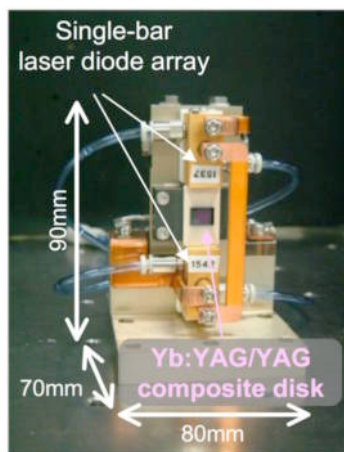
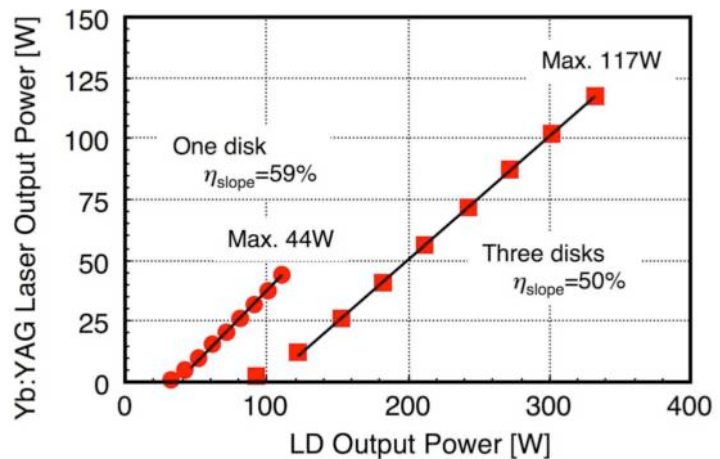


Fig. 2. Cavity configuration of a single-frequency Yb:YAG Q-switched laser for the pump source of the optical parametric amplifier.

励起モジュールには, 薄ディスク型 Yb:YAG/YAG コンポジットディスクを用いた. ディスク型固体レーザは, その構造から高出力時のビーム品質劣化が少なく, 高輝度固体レーザとして有望である. しかし, 薄いディスク型レーザ媒質に効率よく高出力の励起光を吸収させる励起方式の開発が課題であった. そこで, ディスク型レーザ媒質の側面に光学的に接合した Undoped YAG スラブ導波路を用いて高出力の励起光を集光し, ディスク型レーザ媒質に高効率に吸収させる側面励起方式を新たに開発した[8]. また, コヒーレントライダに要求される長いパルス幅を効率よく出力するため, 小さな利得に対して大きな蓄積エネルギーが得られる Yb:YAG をレーザ媒質として採用した. Fig.3 に励起モジュール外観 (a) と, フルマルチモード入出



(a)



(b)

Fig. 3. Yb:YAG/YAG composite disk pumping module (a) and laser output results of full-multimode operation (b).

力特性を示す。励起光集光用の光学系が不要で、小型で高い信頼性を実現している。1ディスクからの最大出力44W(スロープ効率59%, 光-光効率 39%), 3ディスクからの最大出力117W(スロープ効率 50%, 光-光効率 35%)の高効率動作を実証した。

Fig.4 に単一周波数発振動作時の入出力特性を示す。励起 LD 平均出力パワー290W において、平均レーザ出力 13.2W, パルスエネルギー 3.3mJ, パルス幅 228ns が得られた。

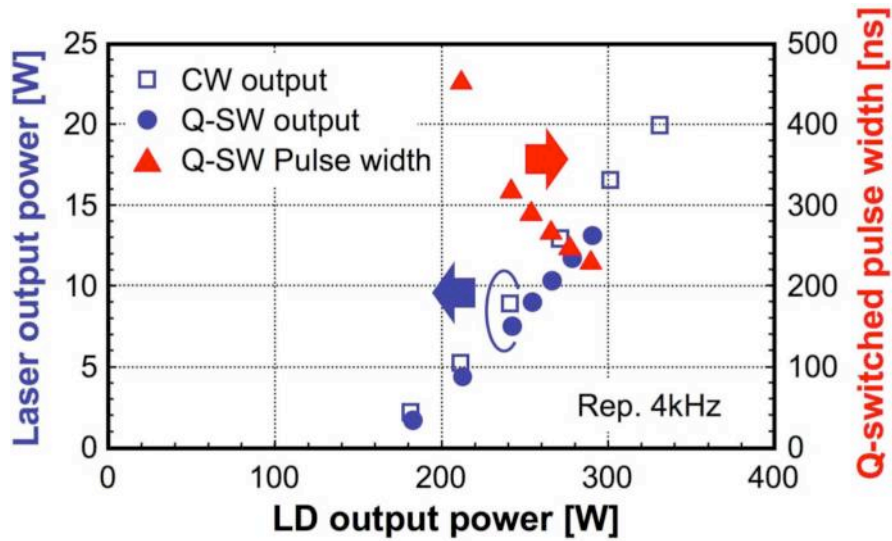


Fig. 4. Output results of the single-frequency Yb:YAG Q-switched laser.

2.3 光パラメトリック増幅器

Fig. 5 に光パラメトリック増幅器の構成を示す。

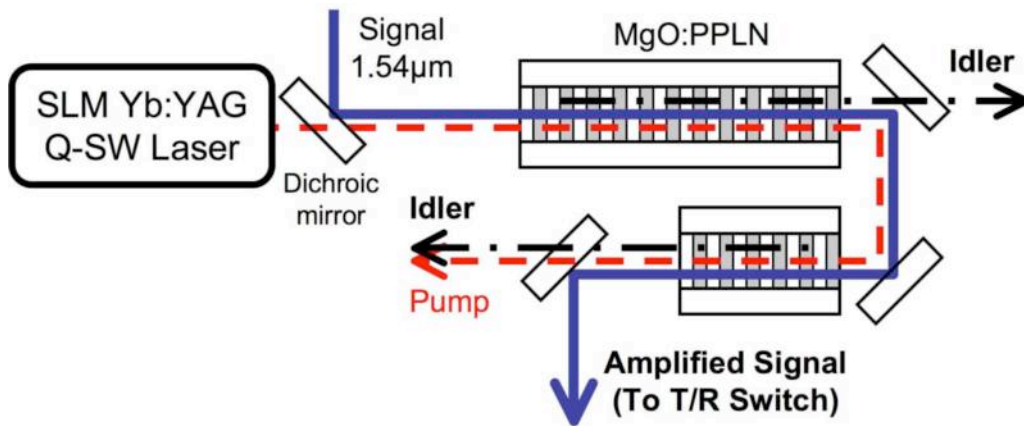


Fig. 5. Configuration of a dual-stage optical parametric amplifier.

偏波保持光ファイバより出力された送信光(シグナル光)をコリメートレンズで平行光にした後、ダイクロイックミラーを用いて、Yb:YAG Q スイッチレーザ出力(励起光)と同一光軸となるように合波する。合波したシグナル光と励起光は、高出力時のフォトリフラクティブダメージに強い非線形材料である MgO:PPLN に入射して、光パラメトリック効果によりシグナル光を増幅する。1段目の MgO:PPLN による増幅後、光パラメトリック増幅に付随して発生するアイドラ光を除去し、シグナル光、および、残留励起光を、再度、MgO:PPLN に入射することにより、高い変換効率を実現している。

Fig. 6 に、励起光パワーに対する増幅後のシグナル光出力特性を示す。入射シグナル光は、平均パワー80mW, ピークパワー10W, パルス幅 2 μ s である。平均パワー11.1W, 繰り返し 4000Hz, パルス幅 228ns の励起光入力に対し、シグナル光の1段目 MgO:PPLN 出力 1.6W(変換効率 14%), 2段目 MgO:PPLN 出力 3.3W(変換効率 30%)が、パルス幅 195ns で得られた。増幅後シグナル光のピークパワー4.2kW(ピーク

パワー増幅率 26dB) が得られ, 単一周波数のシグナル光に対する高利得増幅器を実現した.

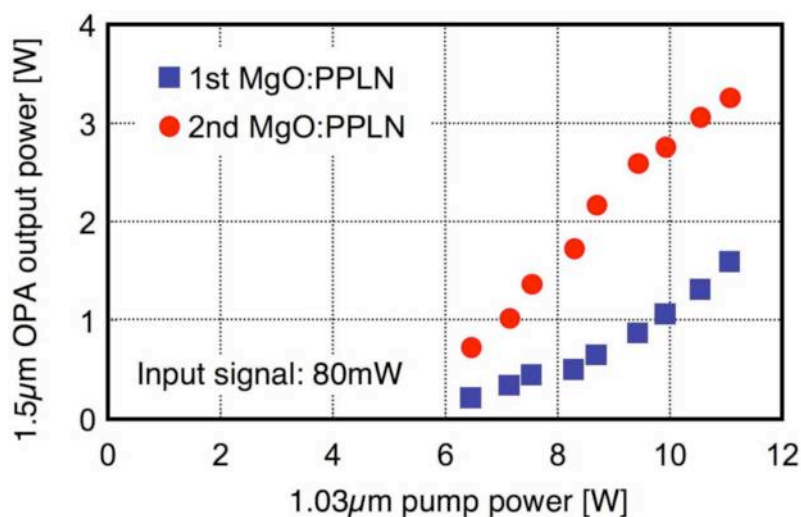


Fig. 6. Output results of the 1.5μm single-frequency optical parametric amplifier.

3. まとめ

全光ファイバ型 CDL の高性能化を実現するため, 単一周波数の 1.5μm パルス光を増幅する, 高利得光パラメトリック増幅器の開発を行った. その結果, 1.5μm 送信光として, 平均出力 3.3W, 繰り返し 4kHz, パルス幅 195ns が得られ, コヒーレントライダの光源として適した特性を達成した.

<参考文献>

- [1] T. Yanagisawa, et al., Opt. Lett., **26**, 1262 (2001).
- [2] K. Asaka, et al., Proc. of 11th CLRC, 147 (2001).
- [3] R. M. Huffaker, et al., Proc. of IEEE, **58**, 322 (1970)
- [4] S. W. Henderson et al., Opt. Lett., **16**, 773 (1991).
- [5] K. Asaka, et al., The Review of Laser Engineering, **29**, 371 (2001).
- [6] 平野他, “1.5μm 高性能ドップラーライダの開発”, 第22回レーザセンシングシンポジウム予稿集, 61 (2003).
- [7] Y. Hirano, et al., in post-deadline papers of CLEO2000, CPD7-1 (2000).
- [8] T. Yanagisawa, et al., in CLEO2004, paper CWO2 (2004).