

CO₂ DIAL 用 1.6μm レーザの高出力化

Development of 1.6μm high power laser for CO₂ DIAL

柴田泰邦、長澤親生、阿保 真

Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa and Makoto Abo

首都大学東京システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract

We developed the OPO laser system with the 10mJ at 200Hz (2.0W) output for 1.6μm CO₂ DIAL in 2007. The development of the higher power laser system for the next generation 1.6μm CO₂DIAL has been conducted. The new laser system consists of the OPO with the QPM crystal and the high repetition LD excited Nd:YAG laser oscillator and amplifier. The state of the art of the high power laser development is reported.

1. はじめに

大気中の CO₂ 濃度の空間分布を測定するため、1.6μm 帯の波長を利用した差分吸収ライダー(DIAL)の送信レーザの高出力化を進めている。高高度まで気体濃度を測定する DIAL では、高感度の光検出器と1パルス当たりのエネルギーの大きなレーザを用いることが効果的である。我々は、擬似位相整合(QPM: Quasi Phase Matching)デバイスを用いた光パラメトリック発振器(OPO: Optical Parametric Oscillator)により、1.6μm 帯 CO₂ 吸収線に波長同調可能なレーザ光を実現し、10mJ@200Hz (2W) を得た¹。現在、CO₂ 測定精度向上のために OPO の高出力化を行っており、講演では、本レーザの開発状況について報告する。

2. 高出力・高繰り返しNd:YAG励起OPOシステム

光パラメトリック発振は、自発分極を持つ光学結晶に波長 λ_p の励起光が入射した場合に、 λ_p より長波長を発生させる技術であり、シグナル光とアイドラー光が発生する。 λ_p に Nd:YAG レーザの基本波長 1064nm を用い、 λ_s が 1572nm の場合、アイドラー光の波長 λ_i は、3292nm となる。

励起光からシグナル光への変換効率 η_s は、位相不整合がない理想条件での値として、以下の式で与えられる。

$$\eta_s = \frac{\lambda_i}{\lambda_s + \lambda_i} \tanh^2(gL) \quad (2)$$

ここで、 L は結晶長[mm]、 g はパラメトリック効果の小信号利得で $g = \sqrt{\kappa I_p}$ で表せる。ここで、 κ は結合係数、 I_p は励起光密度[MW/cm²]である。 $\kappa = 2.6 \times 10^{-5}$ 、 $L = 35\text{mm}$ 、励起光ビーム径 2.5mm とした場合の励起出力に対するシグナル光変換効率 η_s とシグナル光出力を Fig.1 に示す。この結果から、シグナル光出力 20mJ を得るためにには、励起出力 36mJ ($\eta_s = 56\%$) が必要となる。しかしながら、先行研究では励起出力 40mJ でシグナル光 10mJ ($\eta_s = 25\%$) しか得られていない。理由として、結晶が位相不整合であることと、励起用 Nd:YAG レーザが高次モードを含む状態で、ビームクオリティ(M2)が約 1.3 であったため、理想的な波長変換が行われなかった。

そこで、Nd:YAG レーザの M2 を改善することで η_s を向上させ、励起出力の高出力化によって、シグナル光出力の高出力化を図る。また、気温・気圧の同時測定を行うため、500Hz の高繰り返しを目指す。最終的な 1.57μm の出力は 20mJ@500Hz (10W) を目標とする。

Fig.2 に開発中の高出力・高品質 Nd:YAG レーザ励起 OPO システムのブロック図を示す。TEM00 モードの高繰り返し LD 励起 Nd:YAG レーザ(OSC)を LD 励起 Nd:YAG のアンプで增幅し、OPO を励起する。

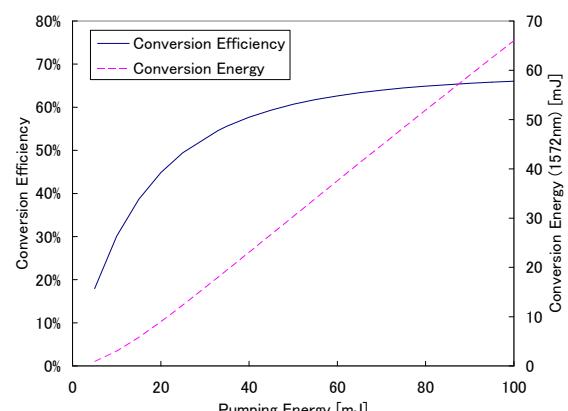


Fig.1 Theoretical calculation of the wavelength conversion efficiency and conversion energy.

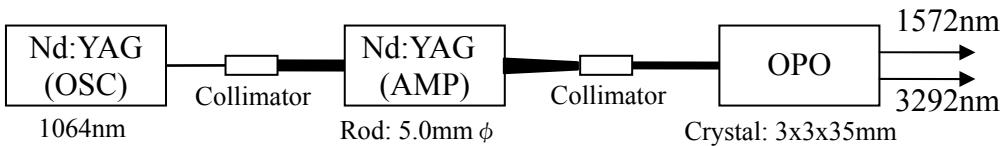


Fig.2 Schematic of Nd:YAG laser pumped OPO system.

Nd:YAG レーザ(OSC)の出力は 12mJ@400Hz(4.8W)、パルス幅 10ns、ビーム径 1.2mm、TEM00 モードで M2 は約 1.2 である。先行研究で用いた Nd:YAG レーザと比較して、ビーム品質が改善された。次に、コリメータでビーム径を 5.0mm に広げ、ロッド径 5.0mm の LD 励起 Nd:YAG(AMP) で増幅したところ、1064nm 出力は約 3 倍の 35mJ@400Hz(14W) を得た。Fig.3 に示すように横モードは TEM00 を維持しているが、熱レンズ効果によりビーム径が絞れていることが確認された。AMP 段の出力をコリメータでビーム径 2.5mm に整形し、OPO(結晶サイズ 3×3×35mm)を励起した。Fig.4 に OPO 入出力特性を示す。35mJ 励起で 1572nm において 12mJ@400Hz (4.8W)を得た。 η_s は先行研究の 25%から 34%に、スロープ効率は先行研究の 31.3%から 43.7%とそれぞれ改善し、横モードの改善効果が出ている。

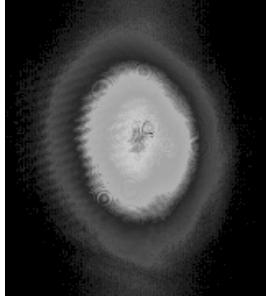


Fig.3 Beam profile of Nd:YAG laser (AMP).

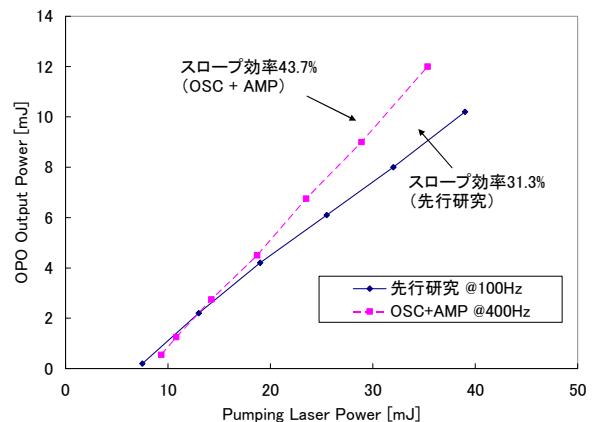


Fig.4 OPO output energy as a function of pumping laser energy.

3.まとめ

本研究では DIAL により CO₂ の鉛直分布の観測を行うために、1.6μm 高出力 OPO レーザの開発を行っている。先行研究では励起用 Nd:YAG レーザの高次横モードが問題となっていたが、今回開発中の LD 励起 Nd:YAG レーザによって、30mJ@400Hz(12W)において TEM00 を維持していることを確認した。この励起光源を用いて OPO を発振させたところ、12mJ@400Hz(4.8W)を得た。先行研究にくらべ、出力で 2.5 倍、 η_s は 34%と先行研究の 25%から改善し、スロープ効率も 43.7%と先行研究から 12.4%改善し、横モードの改善効果が出ている。

最終目標である 1.57μm で 20mJ@500Hz (10W) を実現するには、1064nm で 70mJ 必要であると推測できる。今後、Nd:YAG レーザを 2 段アンプにすることで最終目標の実現を目指す。

<謝辞>

本研究は科学技術振興機構「先端計測分析技術・機器開発事業」により行われている。

参考文献

1. D. Sakaizawa, C. Nagasawa, T. Nagai, M. Abo, Y. Shibata, M. Nakazato, T. Sakai, Development of a 1.6μm differential absorption lidar with a quasi phase matching OPO and photon-counting detector for the vertical CO₂ profile, Applied Optics, 48(4), 748, 2009.