

高スペクトル分解ライダー用 Nd:YAG レーザーの開発 その 2

青木 誠¹, 神 慶孝²

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

²国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

Development of multimode Nd:YAG laser for high spectral resolution lidar system, Part 2

Makoto AOKI¹ and Yoshitaka JIN²

¹NICT, 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

²NIES, 16-2 Onogawa, Tukuba, Ibaraki 305-8506

Abstract: This study describes a multi-longitudinal-mode, single-transverse-mode Nd:YAG laser with long pulse width for multimode high spectral resolution lidar (MM-HSRL). The laser comprises a master oscillator, a power amplifier, and harmonic generation modules. This paper introduces the development status of the Nd:YAG laser amplifier and harmonic generation modules for the MM-HSRL system.

Key Words: Nd:YAG laser, Nd:YAG MOPA, multimode high spectral resolution lidar, MM-HSRL

1. はじめに

国立環境研究所 (NIES) と情報通信研究機構 (NICT) は, (独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費の委託課題の一つとして, PM_{2.5} などの大気微粒子 (エアロゾル) の濃度を定量的かつ連続的に計測できる次世代型エアロゾルライダーの開発を進めている「研究課題名: 大気モニタリングネットワーク用低コスト高スペクトル分解ライダーの開発, 研究期間: 令和 2 年度~令和 4 年度」。開発しているライダーは, 現在国立環境研究所が東アジアにネットワーク展開している従来型ライダー手法とは異なり, エアロゾルの光学的な濃度 (消散係数) を高精度に測定できる高スペクトル分解ライダー (HSRL) であり¹⁾, 将来的には自動連続観測システムとして多地点に展開することを見据えて, 低コストで簡易的な装置を目指して開発を進めている²⁾。

NICT は HSRL のレーザー光源の開発を担当し, 3 年間の研究開発期間で HSRL 観測に適した小型で安価な LD 励起のマルチ縦モード Nd:YAG 主発振器出力増幅器 (Master Oscillator Power Amplifier: MOPA) を開発する予定である。本発表では令和 3 年度に実施した Nd:YAG MOPA の開発状況を述べる。

2. 増幅器と波長変換部の開発

図 1 に開発予定の 3 波長 Nd:YAG MOPA の概要を示す。開発予定のレーザーは主発振器, 増幅器, 波長変換素子により構成される。令和 2 年度には主発振器の設計及び開発を実施して, 200 mW の励起 (パルスエネルギー 2 mJ, パルス繰り返し周波数 100 Hz) に対して, 30 mW (0.3 mJ, 100 Hz, パルス幅 12 ns, 安定度 ±1 %/day 以下) の計画通りの性能が得られることを確認した³⁾。令和 3 年度以降は Nd:YAG MOPA の完成を目指して, 増幅器及び第二・第三高調波の発生機構の開発を進めている。

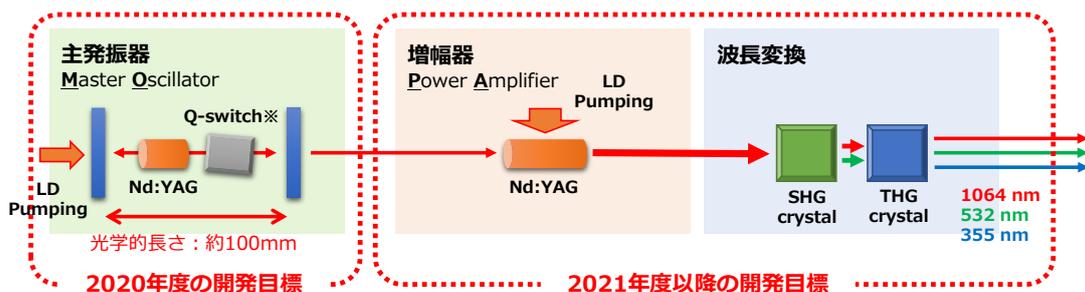


Fig. 1. Schematic diagram of Nd:YAG MOPA for the MM-HSRL.

図2に開発したレーザーダイオード (LD) 端面励起レーザー増幅器の概要を示す。レーザー増幅器の媒質には、S1: 1064 nm AR コート, S2: 1064 nm HR コート及び808 nm AR コートの Nd:YAG レーザーロッドを用いており、S2側から808 nmのLDと励起用の光学系を用いて端面励起する構造となっている。S1側から入射した主発振器出力は、S2面で反射されることにより、レーザーロッド内を往復して増幅される。増幅後のレーザー光は、増幅器の前に置かれたPBSと $\lambda/4$ 板により増幅前のレーザー光と分離される。装置の簡略化と長期安定動作化の観点から、レーザー媒質とLDの冷却及び温度調整には、ペルチェ素子と空冷を組み合わせたシステムを採用した。

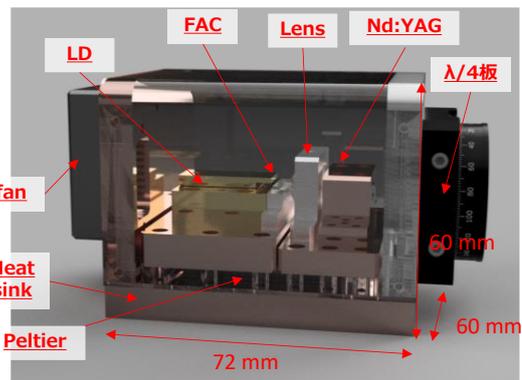


Fig. 2. Prototype of Nd:YAG amplifier.

増幅されたレーザー光は、波長変換部 (第二高調波発生及び第三高調波発生) によって、532 nmと355 nmのレーザー光に波長変換される。様々な非線形光学結晶の中からトレードオフを考慮して、第2高調波発生にはType-II KTP結晶を、第3高調波発生にはType-II LBO結晶を選択した。これらの非線形光学結晶は温度調節機能を備えた専用の気密管体に設置されている。波長変換効率の調整は、レーザー光の非線形光学結晶への偏光、入射角度と温調を組み合わせで行っている。図3にNd:YAG MOPAの基本波と第二高調波出力の増幅器の励起用LD電流の依存性を示す。増幅器への入力は0.03 W (0.3 mJ, 100 Hz) とし、1つのレーザー増幅器を2往復させた後、第2高調波発生用の非線形結晶を通して波長変換を行い、ハーモニックビームスプリッターで基本波と第2高調波を分離して測定を行った。また、最大の励起電流は、LDドライバの最大電流である150 Aとした(励起用のLD自体の最大電流値は250 Aである)。最大励起時には、0.22 Wの基本波出力、0.20 Wの第二高調波出力、47%の波長変換効率を得られた。また、増幅後のレーザーパルス幅は、HH-HSRLの観測に適した長パルス幅(狭スペクトル幅)を保ったままのレーザー増幅が実現した。増幅器励起用のLDの光学調整によっては、ビームの横モードがマルチモードになり、さらに高い出力を得ることも可能だが、今回はビームの横モード品質や広がり角を抑えることを優先して調整を行った。

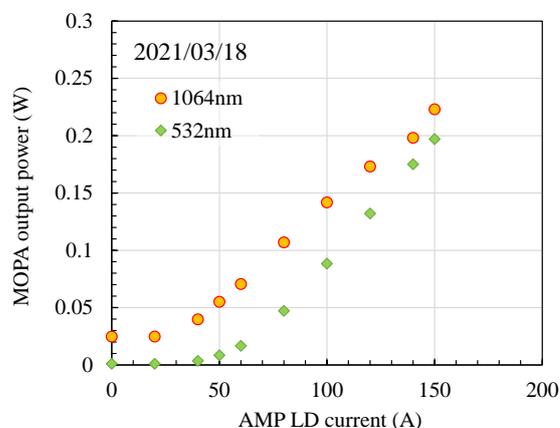


Fig. 3. Output power of Nd:YAG MOPA.

3. まとめ

MM-HSRLに適したマルチ縦モードNd:YAG MOPAの増幅器や波長変換部の開発状況を述べた。現在では、基本波出力の増加のためのレーザー増幅器の改良や、第三高調波発生部の整備やその波長変換効率の最大化を進めている。今後はNIESに設置され試験観測を始めているMM-HSRL⁴⁾に現在開発を進めている内容を反映させて、MM-HSRLの長期観測試験を進める予定である。

謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20205R01)により実施した。また、本研究の実施にあたりご支援及びご助言をいただいた、同研究課題のプログラムオフィサーである環境再生保全機構の西川雅高氏、アドバイザーである東京都立大学の阿保真氏、東北工業大学の佐藤篤氏、気象研究所の酒井哲氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) Y. Jin et al.: Appl. Opt. 56 (2017) 5990.
- 2) 神慶孝, 青木誠: 第39回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2021) p. 25.
- 3) 青木誠, 神慶孝: 第39回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2021) p. 29.
- 4) 神慶孝, 青木誠: 第40回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2022).