

## LD 励起 Nd:YAG の和周波による 589nm パルスレーザーの製作

Generation of 589nm pluse laser by sum-frequency mixing of diode end-pumped Nd:YAG

月花智博<sup>1</sup>, 小泉俊郎<sup>1</sup>, 和田智之<sup>2</sup>, 斎藤徳人<sup>2</sup>, 川原琢也<sup>3</sup>, 野澤悟徳<sup>4</sup>Tomohiro Tsukihana<sup>1</sup>, Toshiro Koizumi<sup>1</sup>, Satoshi Wada<sup>2</sup>, Norihito Saito<sup>2</sup>, Takuya Kawahara<sup>3</sup>, Satonori Nozawa<sup>4</sup><sup>1</sup>メガオプト, <sup>2</sup>理化学研究所, <sup>3</sup>信州大学(工学部), <sup>4</sup>名古屋大学(STE 研)<sup>1</sup>Megaopto Co., Ltd., <sup>2</sup>RIKEN, <sup>3</sup>Shinshu University, <sup>4</sup>Nagoya University

## Abstract

We constructed high-average power 589 nm coherent light source based on quasi-CW diode-pumped 1064 nm and 1319 nm Nd:YAG lasers. Highly stable, high-beam quality fundamental lasers were established by end pumping scheme and careful design of laser cavity. The maximum output power of 2W was generated by sum-frequency mixing with 1064nm and 1319nm.

## 1. はじめに

589nm はナトリウム(Na)の吸収線に一致する波長であり、この波長で発振するレーザーが大気中の Na 層温度計測や、レーザーガイドスター生成用として用いられている。589nm レーザーの発振方法は様々あるが、固体レーザーで 589nm 光を発生させるには、Nd:YAG のよく知られた 2 つの発振線、1064nm と 1319nm の和周波混合(SFM)を用いるのが実用的な選択肢の一つである。メガオプトでは既にこの方式によるレーザーガイドスター用 589nm レーザーを開発しており、ハワイ島マウナケア山頂、国立天文台ハワイ観測所「すばる」に搭載されている[1]。一方、従来 Na 温度計測ライダーに使用されてきたフラッシュランプ励起 Nd:YAG パルスレーザーを基本波とする 589nm 光は、パルスエネルギーは高いものの、繰り返し周波数が低く、平均出力は高々 0.5W 程度であった。早い時間変化を伴う現象を観察するためには、高繰り返し、高平均出力のレーザーが求められるが、ランプ励起レーザーはシステムの放熱の観点から繰り返し周波数は必然的に数 Hz~数 10Hz が限界となっていた。また結晶内の発熱により横モードの品質維持が容易ではなく、高出力時には高い安定度を得ることが難しかった。固体レーザーの励起光源を半導体レーザー(LD)にする事で、無駄な熱発生が抑えられ、高い繰り返し周波数と良好なビーム品質が得られる。また、空冷化が可能でレーザー装置の小型化も実現する。

我々は高精度 Na 温度計測に向けた、高い繰り返し周波数と平均出力に加え、ビーム品質と安定性を兼ね備えた QCW-LD 励起エンドポンプ方式 589nm レーザーの開発を行ったので報告する。

## 2. 共振器構造

Fig.1 に 1064nm レーザー(La1)及び 1319nm レーザー(La2)の構成を示す。今後インジェクションシーディングを行うため、以降これら共振器をスレーブ共振器と呼ぶ。La1、La2 とも共振器の小型化を図るため共振器構造をコの字型にした。また、Nd:YAG 結晶を並列に共振器に挿入し、それぞれファイバーカップル LD で励起した。エンドポンプ方式のため一般に横モードの品質は維持しやすいが、モードマッチングの効率を上げるため共振器モードと励起プロファイルに関するシミュレーションと実験的な検証を行い、共振器設計を実施した。

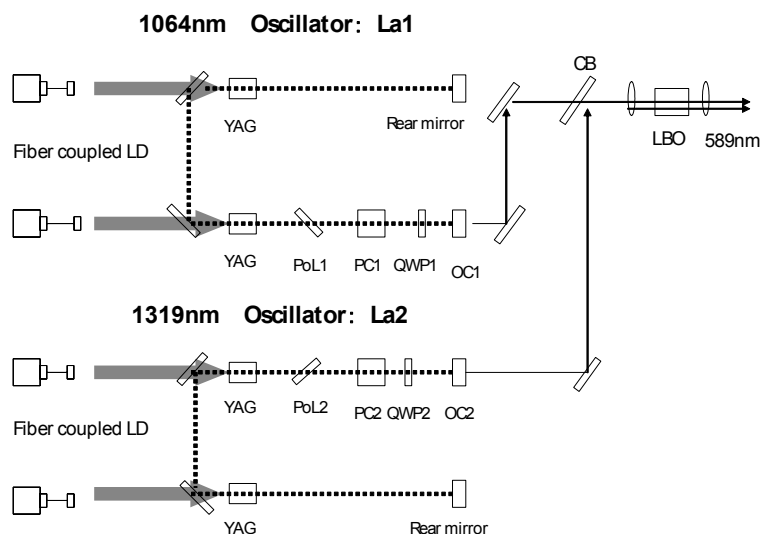


Fig.1. Layout of slave oscillators and wave converter for generating 589nm light.

### 3. ノーマル発振

OC1、OC2(Fig.1)から80cm先でレーザー出力と横モードの測定を行った。La1、La2の励起LDをそれぞれ70W×2、パルス幅0.23ms、繰り返し周波数1kHzで駆動したとき、最大出力エネルギーとしてそれぞれ7.0mJ、4.7mJが得られた。光-光変換効率(レーザー出力/励起レーザー出力の比)はLa1が31%、La2が19%であった。従来のフラッシュランプ励起YAGレーザーの光-光変換効率5%~10%に比較して、格段に高効率で発振したことがわかる。Fig.2及びFig.3はそれぞれLa1、La2の横モードである。いずれもTEM00の横モードで発振した。

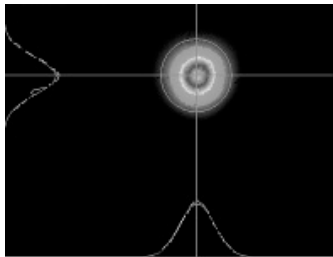


Fig.2. Beam profile of 1064nm

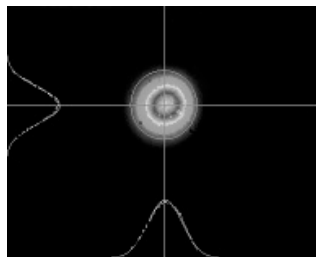


Fig.3. Beam profile of 1319nm

### 4. Q-SW 発振特性

パルス幅はスペクトル幅に影響するため、発振線幅に関する要求仕様を満たすために30ns~50nsの時間幅が要求される。この数値を基準として共振器調整を行ったところ、La1でパルス幅30ns、エネルギー6.0mJ、La2でパルス幅65ns、エネルギー3.6mJがいずれもTEM00モードで得られ、モード不安定性を回避しながら高出力化が達成された。

また、Q-SW発振の出力に関して、ノーマル発振とQ-SW発振では約14%の損失が生じた。原因は定かでないが、消光比の問題が挙げられる。Table1.にQ-SW発振のデータをまとめた。

Table 1. Data of slave oscillators

Wavelength	1064nm	1319nm
Repetition Rate	1kHz	1kHz
Average power	6.0W	3.6W
Pulse width	30ns	65ns
Mode	TEM00	TEM00
Beam Diameter(1/e <sup>2</sup> )	2.3mm	2.6mm

Table 2. Required specifications of 589nm light

Wavelength	589nm
Repetition Rate	1kHz
Average power	4W
Pulse width	30ns
Mode	TEM00

### 5. 589nm 光発生

La1、La2からのパルスはFig.1に示すように結合ミラーを用いて空間的に合波されてSFMステージに導入された。La1、La2のパルスの時間的合波はディレイジェネレータを介したQスイッチトリガーにて行った。ノンクリティカル位相整合のLBOを用いたシングルパスの波長変換により、現状でTable 1のレーザーパラメータにおいて589nmにおける最大平均出力2Wを達成している。

### 6. 今後の予定

Q-SW発振での出力損失の原因、及びLBO結晶内でのビーム集光強度の最適化、La2のパルス幅の調整により、最終的にTable2.で示すように589nm出力、4Wを目標とした開発を実施中である。また、シードレーザーによる注入同期を行い、スレーブ共振器エンドミラーのPZT(ピエゾ)で共振器長を電気的コントロールすることで単一縦モード高出力レーザーを実現する予定である。

### Reference

- [1] S.Wada et al., "High Power Yellow Light Generation for Laser Guide Star," Advanced Solid-State Photonics MB5