

# 半導体レーザー励起アレキサンドライトレーザーの開発

佐藤 篤<sup>1</sup>, 佐藤 飛翔<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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)

## Development of a diode-pumped alexandrite laser

Atsushi SATO<sup>1</sup> and Tsubasa SATO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tohoku Institute of Technology, 35-1, Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

**Abstract:** An alexandrite laser operating in the 700-nm wavelength region is useful for medical and lidar applications. Recent progress in pump laser diode technology at 600-700 nm allowed us to develop diode-pumped alexandrite lasers as a practical laser source. In this study, the diode-pumping technique of alexandrite lasers was experimentally investigated. Spectroscopic measurements and laser experiments were performed with an end-pumped alexandrite laser. The results show that the laser gain around 750 nm is enhanced at higher temperatures.

**Key Words:** Solid-state laser, visible laser, tunable laser

### 1. はじめに

波長 700nm 帯で発振するアレキサンドライトレーザーは、医療分野で利用されている他<sup>1)</sup>、ライダー分野においてもカリウム原子をターゲットとした共鳴散乱ライダーなどに利用されている<sup>2,3)</sup>。この波長帯は、最も広く用いられている Nd レーザーの基本波 1064nm とその第 2 高調波 532nm のギャップに位置し、かつ 1 回の波長変換 (第 2 高調波発生) で紫外域にアクセスできることから、新しいセンシング技術の開拓への寄与も期待できる。近年、アレキサンドライトレーザーの励起用途として利用可能な波長 600nm 帯半導体レーザー(LD)の高出力化・高効率化が実用レベルで進んできたことから<sup>4)</sup>、筆者らは LD 励起アレキサンドライトレーザー技術の開発に着手した。本研究では、レーザー開発に向けた基礎実験を行ったので、報告する。

### 2. エネルギー遷移過程

Fig.1 にアレキサンドライトレーザーのエネルギー遷移過程を示す。<sup>2</sup>E 準位からの波長 680nm でのレーザー発振は 3 準位動作となるため発振しきい値が高くなるが、波長 700nm 帯でのレーザー発振は 4 準位動作となるため、低しきい値での動作が可能である。また、4 準位動作は振動準位に終端するため波長可変性も有する。<sup>2</sup>E 準位は、4 準位動作におけるレーザー上準位にはなり得ないが寿命が 1.5ms と長く、<sup>4</sup>T<sub>2</sub> 準位と結合することにより <sup>4</sup>T<sub>2</sub> 準位の実効的な寿命を長くしている (~260μs)<sup>5)</sup>。これにより、結晶温度の上昇と共にレーザー上準位のイオン密度が増加することにな

り、波長によっては高温の方がレーザーの効率が高くなるということが起こり得る。

### 3. レーザーの構成

Fig.2 に使用したアレキサンドライト結晶を示す。Cr ドープ率は 0.4 at.% であり、結晶サイズは 2.5mm(a)×5.3mm(b)×5mm(c)となっている。結晶両端面は波長 600-800nm に対し無反射(AR)コーティングされている。励起光及びレーザー光の偏光は、高い吸収係数及び誘導放出断面積を利用す

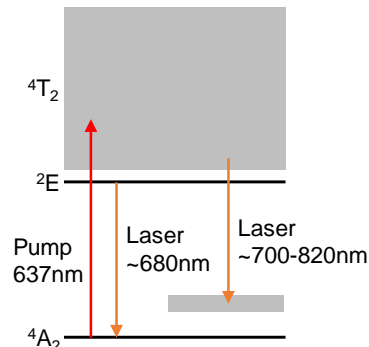


Fig. 1 Energy-level diagram of alexandrite.

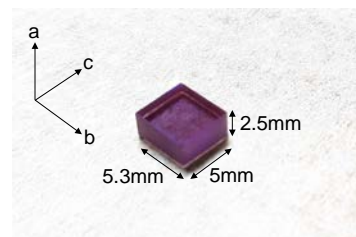


Fig. 2 Alexandrite crystal.

るため b 軸に平行になるように調整した。この結晶を Fig.3 に示される構成のレーザーに導入した。励起用 LD は、最大出力 1.3W のシングルエミッタ型であり、これを波長 637nm に温度同調して使用した。励起光は、2 枚のレンズでコリメートした後、焦点距離 60mm のレンズで結晶内に集光した。結晶側面は、In シートを通じて銅製ヒートシンクで伝導冷却されており、ヒートシンクはペルチェ素子を用いて 20~90°C の範囲で温度制御した。レーザー共振器は、励起用ダイクロイックミラーで折り返された L 字のファブリーペロー型とした。Fig.4 に試作したレーザーの外観を示す。

#### 4. 実験結果

Fig. 5 に励起光の集光位置付近でのビーム径の測定結果を示す。ビーム径は、ナイフエッジ法で測定した。水平方向及び垂直方向のビームウェストでのビーム半径は、それぞれ 227 $\mu\text{m}$  及び 57 $\mu\text{m}$  であった。励起用 LD の fast axis 方向では良好な集光度が得られたが、slow axis 方向では十分な集光度が得られなかった。レーザー発振には、さらに励起光学系を最適化することによりビーム半径を 100 $\mu\text{m}$  程度にまでする必要があると考えている。また、蛍光スペクトルの測定結果を Fig.6 に示す。 $^2\text{E}$  準位からの蛍光である 680nm のスペクトルのピークは、結晶ヒートシンク温度の上昇と共に減少した。一方、 $^4\text{T}_2$  準位からの蛍光は、700nm 付近では温度上昇に伴い減少したが、720nm より長波長側では温度上昇と共に蛍光強度が増加した。これらの結果は、波長 750nm 付近

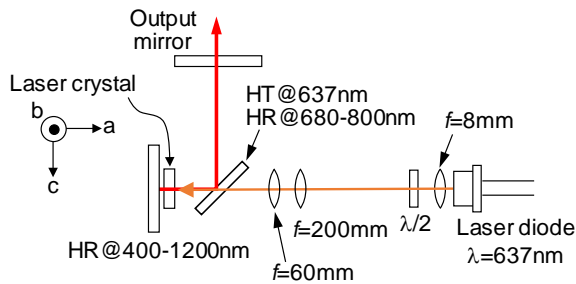


Fig. 3 Resonator configuration of the alexandrite laser.

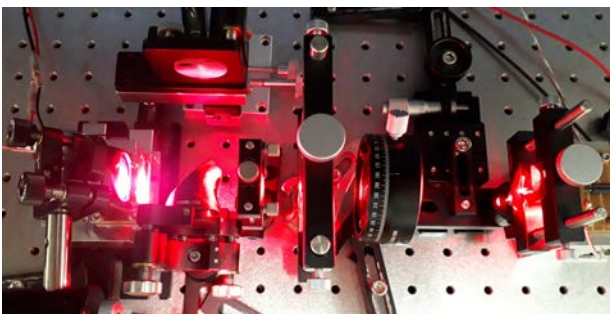


Fig. 4 Photograph of the alexandrite laser.

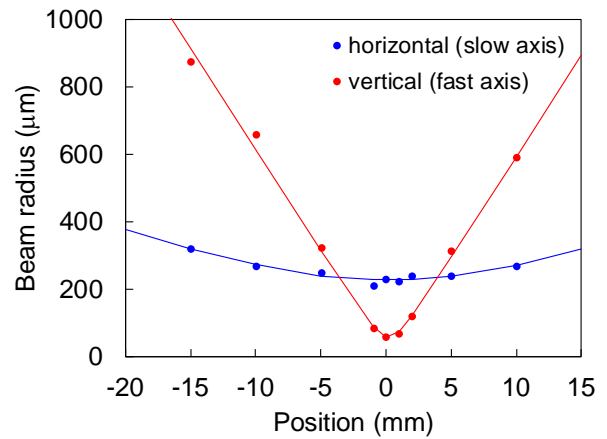


Fig. 5 Measurement of pump beam waists.

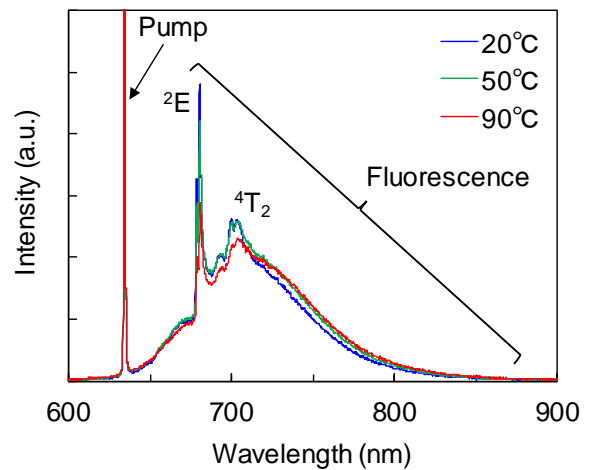


Fig. 6 Temperature dependence of fluorescence spectrum around 700 nm.

での動作では、高温動作を想定したレーザー設計が必要になることを示唆している。

#### 5. まとめ

本研究では、LD 励起アレキサンドライトレーザーを試作し、レーザー設計に必要な基礎実験を行った。分光測定の結果から、高温動作を想定したレーザー設計の必要性が確認された。今後、励起光学系の改良の後、レーザー発振実験に移行する。

#### 参考文献

- 1) H. Wat *et al.* : Lasers Surg. Med. **51** (2019) 8.
- 2) A. Munk *et al.* : Opt. Lett. **43** (2018) 5492.
- 3) A. Munk *et al.* : Opt. Express. **26** (2018) 14928.
- 4) M. Fibrich *et al.*: Opt. Express **27** (2019) 16975.
- 5) W. Koehner: *Solid-State Laser Engineering, 6th ed.* (Springer, New York, 2006) p. 84.