

# 半導体レーザー励起アレキサンドライトレーザーの連続発振特性

平間 圭悟<sup>1</sup>, 佐藤 篤<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)

## Characteristics of a Continuous-Wave, Diode-Pumped Alexandrite Laser

Keigo HIRAMA<sup>1</sup> and Atsushi SATO<sup>1</sup>

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

**Abstract:** A diode-pumped alexandrite laser was developed, and continuous-wave operations were achieved in the temperature range of 25-90°C. An output power of 0.71 W was obtained for a pump power of 3.4 W at a crystal temperature of 90°C. The output power was not saturated at the maximum pump power. At a crystal temperature of 30°C, lasing occurred at a wavelength of 756 nm. The center wavelength of the laser was slightly redshifted at higher temperatures. In this paper, characteristics of the continuous-wave diode-pumped alexandrite laser and its temperature dependence are reported.

**Key Words:** Solid-state laser, Visible laser, Diode-pumped 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、赤色波長帯の可視固体レーザーとして知られているが、その励起光源はフラッシュランプが主流であった。近年、赤色半導体レーザー(LD)の高出力化及び高効率化が進んできたことから<sup>1)</sup>、我々は生体計測及びレーザー加工への応用を目的として LD 励起アレキサンドライトレーザーの開発を進めている<sup>2)</sup>。このレーザーは、センシング分野では、カリウム原子などの中性粒子をターゲットとした共鳴散乱ライダーの光源としても研究が進められている<sup>3-4)</sup>。本研究では、LD 励起下でのアレキサンドライトレーザーの連続発振特性とその温度依存性について実験的に検討したので、報告する。

### 2. レーザー設計

Fig.1 にレーザーの構成を示す。励起光源には、波長 637nm、最大出力 6.8W の LD を用いた。励起用 LD 光には、垂直偏光成分と水平偏光成分が含まれているが、本実験では、偏光ビームスプリッター(PBS)を用いて垂直偏光成分と水平偏光成分に分け、偏光素子なしに直接利用が可能な垂直偏光成分のみを使用した。垂直方向及び水平方向のビーム拡がり角はそれぞれ 3.0mrad 及び 2.3mrad と小さいため、励起光はコリメート光

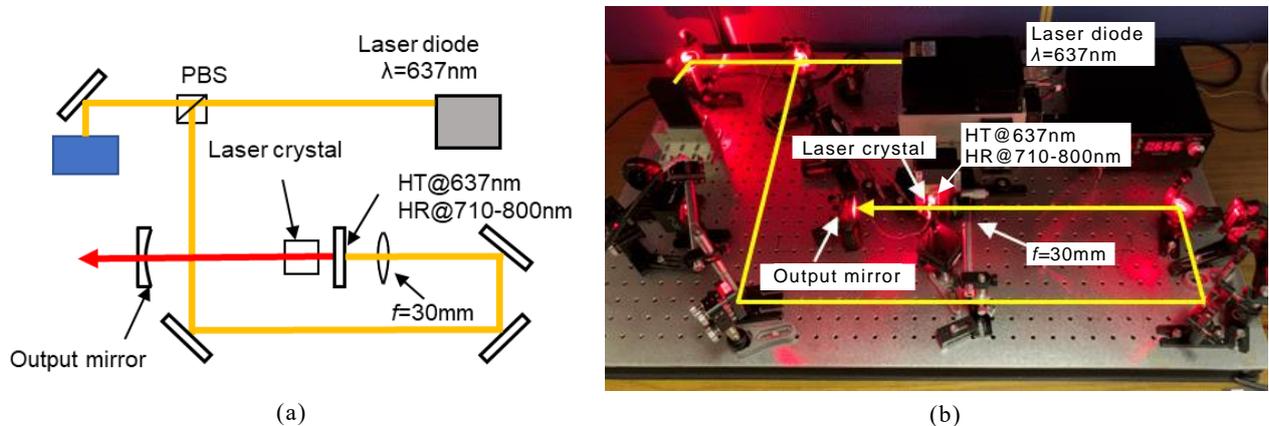


Fig.1 Configuration of the alexandrite laser. (a) Schematic diagram of the laser. (b) Photograph of the laser. HT: High transmission, HR: High reflection.

とみなすことができる。そのため、励起光の集光は、 $f=30\text{mm}$  のレンズ 1 枚で行った。集光スポットでのビーム径は、ナイフエッジ法を用いて測定したところ、 $74\mu\text{m}$ (垂直) $\times 70\mu\text{m}$ (水平)であった。使用したアレキサンドライト結晶は Cr ドープ率 0.4 at.%、結晶サイズは  $5.0\text{mm(H)}\times 5.3\text{mm(W)}\times 2.5\text{mm(L)}$  である。また、結晶温度はペルチェ温度コントローラーを用いて  $20\sim 90^\circ\text{C}$  の間で調整した。共振器はファブリーペロー型となっており、ダイクロイックミラーと反射率 97% の出力鏡により構成した。共振器長は  $103\text{mm}$  とした。

### 3. 実験結果

Fig.2 に試作したアレキサンドライトレーザーの結晶温度  $30\sim 90^\circ\text{C}$  における入出力特性を示す。発振スペクトルは光ファイバ結合型の光スペクトラムアナライザ(Spectral Products 社製 SM442-USB)を用いて測定した。波長分解能は  $0.6\text{nm}$  以下となっている。結晶温度が  $90^\circ\text{C}$  のとき、励起パワー  $3.4\text{W}$  に対し、最大出力パワー  $0.71\text{W}$  を得た。最大出力パワーは結晶温度の低下とともに減少し、 $30^\circ\text{C}$  では  $0.58\text{W}$  となった。発振しきい値は、結晶温度の上昇に伴い低下する傾向が見られたが、結晶温度範囲  $30\sim 90^\circ\text{C}$  での変化は小さく、約  $0.8\text{W}$  であった。一方、スロープ効率もまた結晶温度の上昇と共に増加し、結晶温度  $30^\circ\text{C}$  で 22% であったスロープ効率は、 $90^\circ\text{C}$  では 27% に達した。最大励起パワーにおいても、出力の飽和は見られなかった。本実験は励起光の垂直偏光成分のみを用いて行ったため、今後、水平偏光成分も利用することにより、さらなる高出力化が期待できる。

Fig.3 に結晶温度  $30^\circ\text{C}$  及び  $90^\circ\text{C}$  における最大励起パワーでの発振スペクトルを示す。測定は、波長選択素子を用いず、フリーランニングの状態で行った。結晶温度  $25\sim 35^\circ\text{C}$  では、発振スペクトルの中心波長が  $756\text{nm}$  であったのに対し、 $75\sim 90^\circ\text{C}$  では中心波長が  $757\text{nm}$  となり、アライメント調整によって  $765\text{nm}$  での発振も確認された。このことから、レーザー利得の中心波長は結晶温度を上昇させることにより長波長側にシフトする傾向が確かめられた。

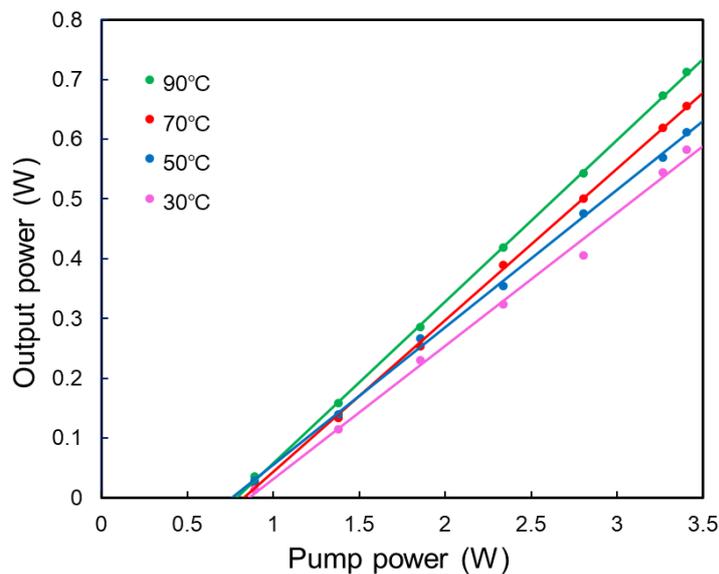


Fig.2 Output power versus incident pump power at crystal temperatures of 30, 50, 70, and  $90^\circ\text{C}$ .

### 4. まとめ

本研究では、LD 励起アレキサンドライトレーザーの試作を行った。連続発振実験において、結晶温度  $90^\circ\text{C}$  で最大出力パワー  $0.71\text{W}$  を得た。今後、本実験の結果をもとにレーザー設計の改良を行った後、パルス発振を目指す。

### 謝 辞

本研究は、令和 3 年度東北工業大学研究支援センター学内公募研究(実用化型)及び令和 3 年度 KC みやぎ産学共同研究会の助成を受け、実施されたものである。

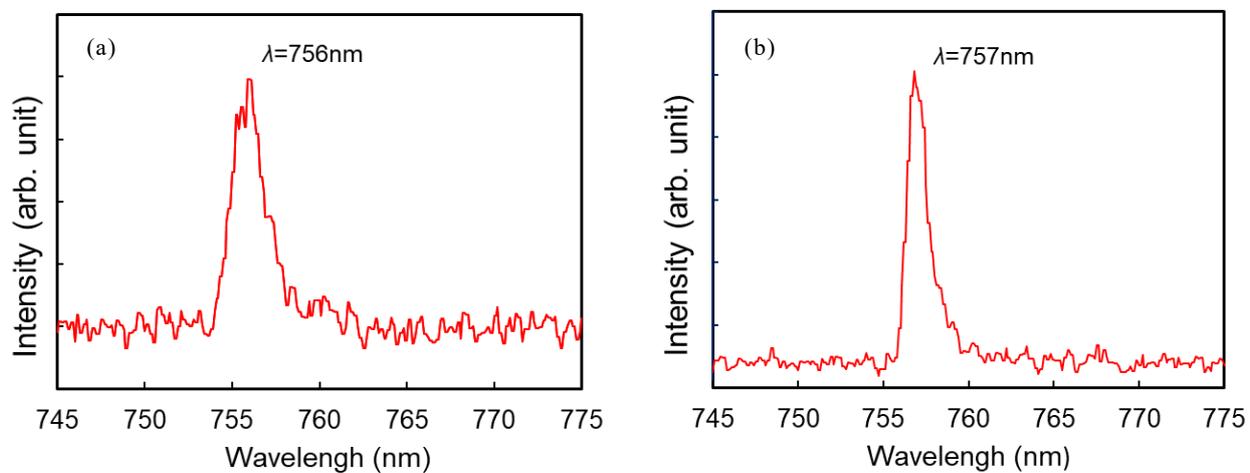


Fig.3 Lasing spectra in continuous-wave operations at crystal temperatures of (a) 30°C and (b) 90°C.

#### 参考文献

- 1) A. Munk, B. Jungbluth, M. Strotkamp, H. -D. Hoffmann, R. Poprawe, J. Hoffner, and F.-J. Lubken: *Opt. Express* **26** (2018) 14928.
- 2) 佐藤 篤, 佐藤飛翔: レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B-22P-01, (2020).
- 3) A. Munk, M. Strotkamp, M. Walochnik, B. Jungbluth, M. Traub, H. -D. Hoffmann, R. Poprawe, J. Hoffner, and F.-J. Lubken: *Opt. Lett.* **42** (2018) 5492.
- 4) M. Strotkamp A. Munk, B. Jungbluth, H. -D. Hoffmann, and J. Hoffner: *CEAS Space Journal* **11** (2019) 413.