

c 軸カット Nd:YLF 結晶による波長 1.3 μ m 帯固体レーザーの高出力化

High-energy operation of a 1.3- μ m solid-state laser using a c-cut Nd:YLF crystal

阿部巧¹, 三宅良宜¹, 佐藤篤², 浅井和弘²

Takumi Abe¹, Yoshiki Miyake¹, Atsushi Sato², Kazuhiro Asai²

¹東北工業大学大学院, ²東北工業大学

¹Graduate School, Tohoku Institute of Technology, ²Tohoku Institute of Technology

Abstract

High-energy red light sources operating at 0.66 μ m are useful for lidar observations of vegetation. Second-harmonic generation of 1.3- μ m solid-state lasers is a promising method of achieving high-energy operations at 0.66 μ m. In this study, a Q-switched solid-state laser using a c-cut Nd:YLF crystal was developed. An output energy of 106 mJ was obtained at 1.313 μ m in normal-mode operation. In addition, a Q-switched output energy of 42 mJ was achieved for a pump energy of 700 mJ.

1. はじめに

波長 0.66 μ m 帯の赤色レーザーは、クロロフィルによる吸収を利用した植生観測ライダーへの応用が可能である^[1]。しかしながら、固体レーザーにおいて高出力の波長 0.66 μ m 帯レーザー光を直接発振させることは難しい。そこで、波長 1.3 μ m 帯レーザーの第 2 高調波発生(SHG)が、波長 0.66 μ m 帯の高出力パルス光を発生させる方法として有効であると考えられる。予備実験として、波長 1.3 μ m 帯での発振が可能な Nd:YAG 及び a 軸カット Nd:YLF を用いて動作比較実験を行った結果、Nd:YLF の方がより高エネルギーでの動作が達成され、SHG 光の波長もクロロフィルの吸収帯とよく一致することが判明した^{[2], [3]}。一方、Nd:YLF には a 軸カットと c 軸カットの二種類があり、a 軸カット Nd:YLF で発生しやすい波長 1.05 μ m 帯での寄生発振や自然放出光増幅(ASE)を、 π 偏光での発振を起こさない c 軸カット Nd:YLF では抑制することができると考えられる。そこで、本研究ではより高出力化が期待できる c 軸カットの Nd:YLF を使用した波長 1.3 μ m 帯高出力レーザーの試作と動作実験を行ったので報告する。

2. 結晶の選定

Table 1 は Nd:YAG、Nd:YLF 結晶の光学パラメータを示す^{[4], [5]}。Nd:YLF は、Nd:YAG に比べ、レーザー上準位寿命が長いこと高エネルギーの蓄積に適しており、高エネルギー動作に有利である。しかしながら、Nd:YLF 結晶の波長 1.313 μ m 及び 1.321 μ m における光学パラメータを比較すると、誘導放出断面積に違いがないため、偏光を正確に制御しなければ単一の発振線での動作が難しいことが分かる。そこで、 π 偏光発振が起こらない c 軸カット Nd:YLF を用いることにより、波長 1.321 μ m での発振を抑え波長 1.313 μ m での発振が可能であると考えられる。

Table 1 Optical parameters of Nd-doped crystals^{[4], [5]}

	Upper-state lifetime (μ s)	Lasing wavelength (μ m)	Cross section ($\times 10^{-20}$ cm ²)
Nd:YAG	230	1.064	28
		1.319	9.5
		1.338	10
Nd:YLF	430	1.053(σ)	12
		1.047(π)	18
		1.313(σ)	3
		1.321(π)	3

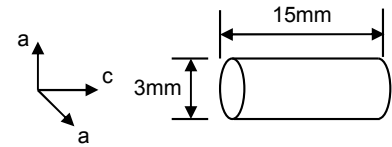
3. 実験結果

Fig.1(a)は使用したレーザー結晶の仕様を示す。結晶は、Nd ドープ率 2% の c 軸カット Nd:YLF 結晶であり、その形状は、直径 3mm × 長さ 15mm のロッド型である。また、両端面には、波長 1.05 μm 及び 1.313 μm に対し、無反射(AR)コーティングが施されている。Fig.1(b)は試作したレーザーの構成図を示す。レーザー結晶は、水冷型の銅製ヒートシンクによって伝導冷却されている。励起光源には中心波長 0.806 μm の 10 段スタック型擬似 CW 半導体レーザー(LD)を 6 個使用した。レーザー共振器は、2 枚のダイクロイックミラーと反射率 70% の平面出力鏡からなるファブリペロー型とし、共振器長は 450mm とした。ダイクロイックミラーには、波長 1.05 μm に対して高透過(HT)コーティング、波長 1.313 μm に対して全反射(HR)コーティングが施されている。Q スイッチには、ブリュースターカットの熔融石英 AO Q スイッチを使用し、24MHz の RF 信号により、Q スイッチ動作させた。

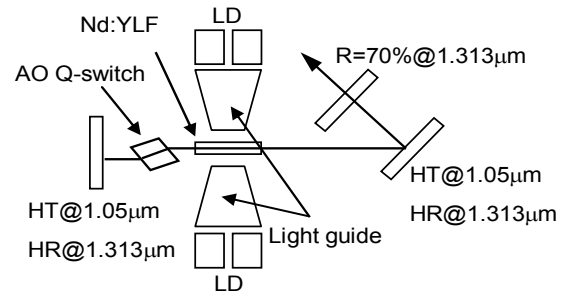
Fig.2 は波長 1.313 μm での入出力特性を示す。動作条件として、繰り返し周波数 5Hz、励起パルス幅を 240 μs 、LD の冷却水温度 38 $^{\circ}\text{C}$ 、レーザー結晶および Q スイッチの冷却水温度 18 $^{\circ}\text{C}$ とした。励起エネルギー 1201mJ のときノーマル発振出力 106mJ が得られた。このときのスロープ効率は 12.4%、光対光変換効率は 8.8% であった。Q スイッチ発振では、ノーマル発振時に比べ出力の低下が見られたが、励起エネルギー 700mJ で出力エネルギー 42mJ を達成した。Fig.3 は出力エネルギー 42mJ における Q スイッチパルス波形を示す。パルス幅は、半値全幅で 51ns であることがわかった。また、ダブルパルスは見られず、単一のパルスで発振していることが確かめられた。

4. おわりに

本研究では、レーザー結晶に c 軸カット Nd:YLF を使用した波長 1.3 μm 帯固体レーザーを試作し、Q スイッチ出力 42mJ を達成した。今後、更に改良を重ね、高効率化、高出力化と共に SHG 実験を進めていく。



(a) Crystal orientation for a Nd:YLF rod



(b) Resonator configuration

Fig.1 Schematic diagram of the c-cut Nd:YLF laser

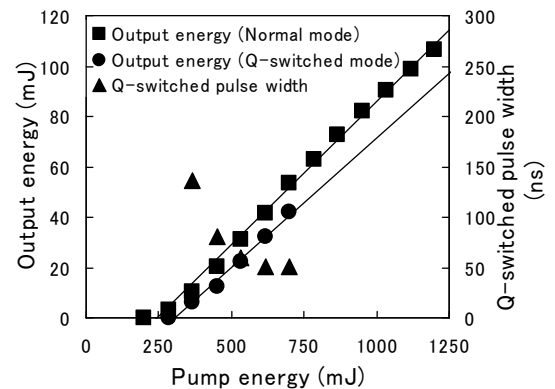


Fig.2 Output energy versus pump energy for the Nd:YLF laser

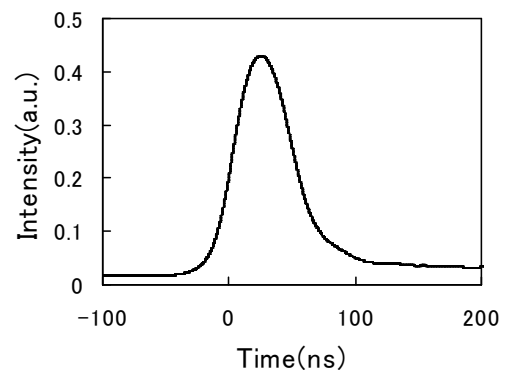


Fig.3 Typical pulse shape of the Q-switched Nd:YLF laser

参考文献

- [1] 浅井, JAXA 地球観測衛星・将来ミッション検討委員会資料 (2009).
- [2] 寺崎他, 第 27 回レーザーセンシングシンポジウム, E-2, p.44-45 (2009).
- [3] 寺崎他, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 18p-F-14 (2010).
- [4] Mark A. Linn, *Appl. Opt.* **31**, 36 (1992).
- [5] W. Koechner, *Solid-State Laser Engineering*. 6th ed.