

波長 1064nm 及び 1319nm 同時発振 Q スイッチ Nd:YAG レーザ におけるパルスタイミングジッターの影響

Effects of pulse timing jitters on Q-switched performance of a simultaneous dual-wavelength Nd:YAG laser operating at 1064 and 1319 nm

佐藤 篤¹, 大久保心平¹, 今 拓陵¹, 那須祥彦¹, 浅井和弘¹,
杉本伸夫², 石井昌憲³, 水谷耕平³

Atsushi Sato¹, Simpei Okubo¹, Takuryo Kon¹, Yoshihiko Nasu¹, Kazuhiro Asai¹,
Nobuo Sugimoto², Shoken Ishii³, and Kohei Mizutani³

¹ 東北工業大学, ² 国立環境研究所, ³ 情報通信研究機構

¹Tohoku Institute of Technology, ²National Institute for Environmental Research,

³National Institute of Information and Communications Technology

Abstract

We have developed a dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser operating at 1064 and 1319 nm. A simultaneous dual-wavelength lasing was achieved by adjusting the time interval between both Q-switch trigger pulses. Pulse-to-pulse fluctuations in output energy at 1064 and 1319 nm were measured to be 16% and 8%, respectively, and were related to a relative timing jitter of both Q-switched laser pulses.

1. はじめに

Nd:YAG レーザは、高出力かつ高効率発振が可能な近赤外固体レーザーとして従来よりライダー用光源として広く使われてきているが、近年、波長 1064nm に加え、波長 1319nm の発振線も同時に利用した 2 波長 Q スイッチ Nd:YAG レーザが植生情報観測を目的としたライダー(i-LOVE)用光源として注目されている¹⁾。Nd:YAG レーザにおける波長 1064nm 及び 1319nm での 2 波長同時発振は、共振器ミラーの反射率や共振器構成を工夫することにより比較的容易に得られるが、単独波長での発振に比べ出力安定性が低下することが課題の一つとなっている^{2,3)}。本研究では、2 波長 Q スイッチ Nd:YAG レーザの出力安定性とパルスタイミングジッターとの関係について、実験的に検討を行った。

2. レーザの構成

Fig.1 は、レーザー装置の構成を示す。レーザー結晶は、直径 3mm、長さ 15mm の 0.6%Nd:YAG であり、その両端面は波長 1064nm 及び 1319nm に対し無反射(AR)コーティングされている。励起方式は、3 方向からの側面励起型とし、レーザー結晶の側面は、3 個の銅製ヒートシンクにより伝導冷却されている。2 つの波長に対するレーザー共振器は、励起ヘッドと出力鏡を共有しており、出力鏡には波長 1064nm に対して 8%、波長 1319nm に対して 70%の反射率をもつ、ダイクロイックミラーを使用した。Q スイッチ及び全反射鏡は、セパレータ(AR@1064nm, HR@1319nm)により分けられた共振器の光路上に波長ごとに配置した。励起用半導体レーザー(LD)の励起トリガーパルス、各波長の EO Q スイッチのトリガーパルスは、1 台のパルスジェネレータにより制御されており、Fig.2 に示されるように励起用 LD のトリガー及び波長 1064nm 用 Q スイッチト

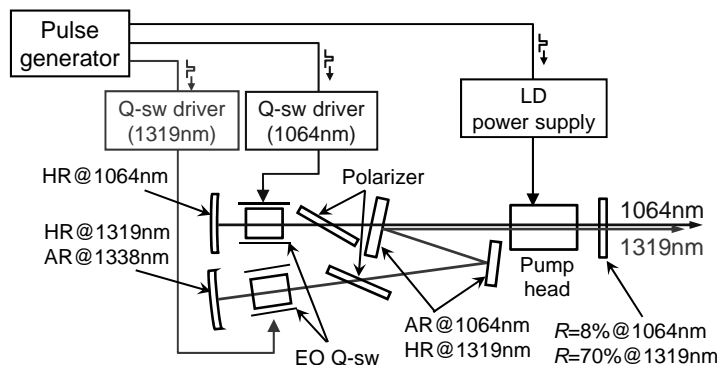


Fig.1 Resonator configuration of a dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser.

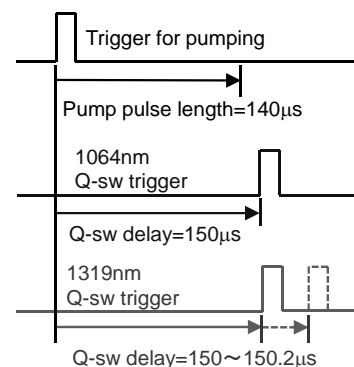


Fig.2 Timing chart of pumping and two Q-switch trigger pulses.

リガーのタイミングを固定し、波長 1319nm 用 Q スイッチトリガーを調整することにより、2 波長パルスのタイミング及び出力比を制御した。本研究では強励起時に ASE(Amplified Spontaneous Emission)が確認されたため、励起パルス幅を Nd:YAG レーザにおいて一般的に使用される 200~240 μ s よりも短い 140 μ s に設定することにより励起強度を抑え、ASE の影響のない条件下で実験を行った。

3. 実験結果

Fig.3 は、2 波長の Q スイッチトリガーパルス間隔に対する出力特性の変化を示す。横軸は、波長 1064nm 用 Q スイッチのトリガーパルスから波長 1319nm 用 Q スイッチトリガーパルスまでの遅延時間を表している。ただし、Q スイッチドライバー内部での信号遅延時間は考慮されていないため、このパルス間隔は実際の Q スイッチングのタイミング差とは一致していない。パルスジェネレータから出力される各トリガーパルスのタイミングジッターは 1ns 以下である。縦軸の出力エネルギーとパルス幅は、50 ショットの平均値を表しており、pulse-to-pulse での出力変動は波長 1064nm で 8%(RMS)、波長 1319nm で 16%(RMS)であった。測定結果より、パルス出力がほぼ同等となるトリガーパルス間隔 130ns 付近では、波長 1319nm 及び 1064nm の出力は、それぞれ -0.29mJ/ns 及び $+0.36\text{mJ/ns}$ の割合で変化していることがわかった。この条件下での 30 ショットの出力変動を Fig.4 に示す。各波長での出力変動は、お互いの増減を補うように同期して変動していることがわかった。これらの出力変動は、パルスの発振タイミングとも相関が見られた。Fig.5 は、各波長の出力エネルギーと両 Q スイッチパルスのピーク位置の間隔との関係を示す。この結果から、2 波長の相対的なパルス間隔のジッターが出力の安定性に大きく影響していることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、2 波長 Q スイッチ Nd:YAG レーザにおける出力安定性について実験的検討を行い、2 波長間の相対的なパルス発振タイミングの差が出力を不安定にする大きな要因の一つであることを示した。今後、これらの結果を考慮し、安定な 2 波長 Q スイッチ発振を目指す。

参考文献

- 1) 浅井他, 第 29 回レーザーセンシングシンポジウム, A-1 (2011).
- 2) 大久保他, レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会, B901pI04 (2012).
- 3) 阿部他, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 16p-E9-8 (2012).

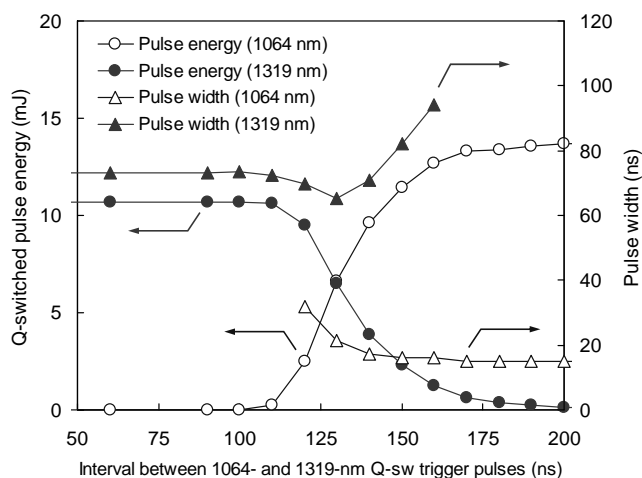


Fig.3 Q-switched pulse energies and pulse widths as a function of the time interval between 1064- and 1319-nm Q-switch trigger pulses.

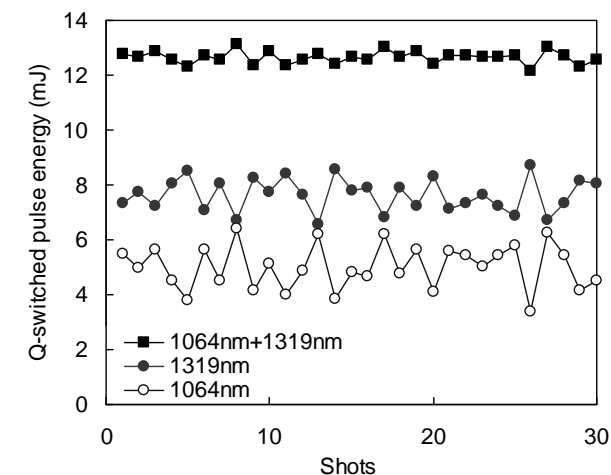


Fig.4 Pulse-to-pulse fluctuations in output energy.

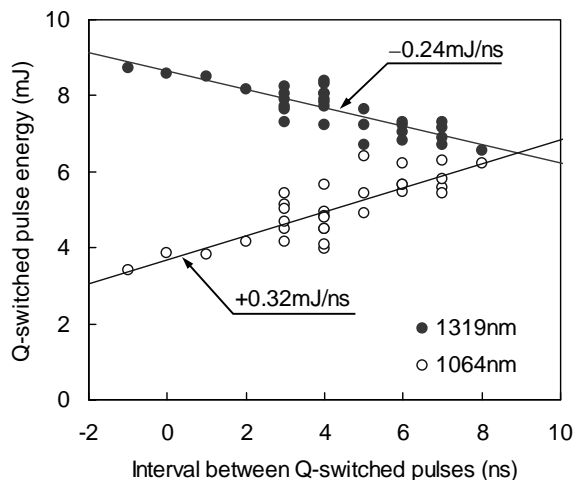


Fig.5 Q-switched pulse energies as a function of the interval between two Q-switched pulses.