

2 段階エネルギー抽出による 2 波長発振 Q スイッチ Nd:YAG レーザの出力安定化

Stabilization of pulse energies of a dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser using a two-step energy extraction technique

佐藤 篤¹, 浅井和弘¹, 石井昌憲², 水谷耕平²
Atsushi Sato¹, Kazuhiro Asai¹, Shoken Ishii², and Kohei Mizutani²

¹ 東北工業大学, ² 情報通信研究機構

¹Tohoku Institute of Technology, ²National Institute of Information and Communications Technology

Abstract

We report on a stabilization of output energies in a dual-wavelength Q-switched laser. A two-step energy extraction technique was used in a Nd:YAG laser operating at 1064 and 1319 nm as a method for achieving Q-switched operations without a line competition between two laser transitions. In comparison with a conventional simultaneous energy extraction that resulted in a pulse-to-pulse fluctuation larger than 14%, an obvious improvement in the stability of the pulse energies was achieved. The pulse-to-pulse fluctuations in the output energies for the 1319- and 1064-nm lasers were 4.7% and 2.6%, respectively, which were almost the same as those at a single emission line.

1. はじめに

2 波長 Q スイッチ固体レーザは、差分吸収ライダーや植生情報観測ライダーの光源として直接利用が可能であることに加え、非線形光学結晶を用いた和周波、差周波発生における基本波光源としても利用できることから、ライダー用光源としての利用価値が高い¹⁻²⁾。特に、1 つのレーザ結晶からの 2 波長パルス発生は、レーザ装置の小型化・簡略化などの利点を有する。しかしながら、これらのレーザでは、2 つの発振線の競合によりレーザ出力が不安定になることが問題となっていた³⁻⁴⁾。本研究では、一方の波長の発振しきい値を高く設定しておくことにより、2 波長 Q スイッチ動作におけるパルスエネルギーの抽出を 1 パルスずつ 2 段階の過程で行い、2 波長 Q スイッチ Nd:YAG レーザの出力安定化を行った。

2. レーザの構成

Fig.1 は、レーザ装置の構成を示す。レーザ結晶は、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共振器は励起ヘッドを共有し、その両側に置かれたセパレータ(HR@1064nm、HR@1319nm)により分けられた光軸上に、各波長に対する出力鏡、EO Q スイッチ、全反射鏡を配置した。励起用半導体レーザ(LD)のパルス幅は 140 μ s、波長 1064nm 用 Q スイッチトリガーのタイミングは、励起パルスの開始から及び 150 μ s の位置で固定した。この状態で、波長 1319nm 用 Q スイッチトリガーを調整することにより、2 波長パルス間のタイミングを制御した。Fig.2 は、後述する実験と同条件の下で行った 2 段階エ

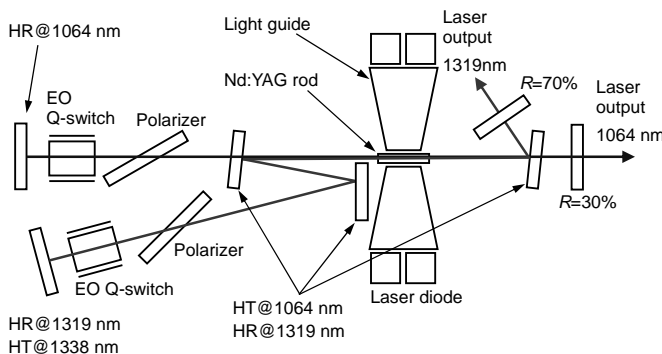


Fig.1 Resonator configuration of a dual-wavelength Q-switched Nd:YAG laser.

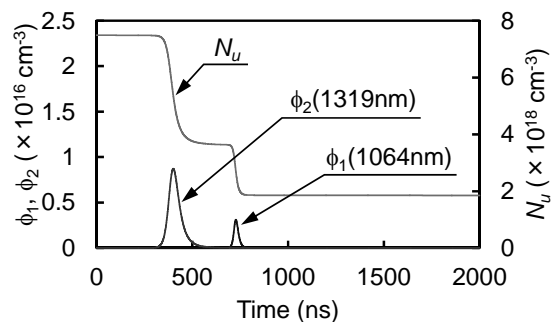


Fig.2 Numerical simulation results for dual-wavelength operation under two-step energy extraction.

エネルギー抽出による 2 波長 Q スイッチパルス発生のシミュレーション結果を示す。 ϕ_1 及び ϕ_2 はそれぞれ波長 1064nm 及び 1319nm レーザの光子密度、 N_u はレーザ上準位イオン密度を表す。Fig.2 より、この条件下では、波長 1319nm レーザの発振しきい値が高いために、これを第 1 パルスとして取り出すことによりパルス発振終了後にレーザ上準位にイオンを残すことができ、さらにこの残ったレーザ上準位イオンを使って第 2 パルスとして波長 1064nm の Q スイッチパルスが取り出せることがわかった。

3. 実験結果

前節でのシミュレーションに基づき、レーザ動作実験を行った。Fig.3 は、波長 1319nm レーザの Q スイッチディレイタイムを 149.86 μ s としたときの 2 波長 Q スイッチパルスの波形を示す。2 つのパルスの時間間隔は、Q スイッチトリガータイミングを変えることにより任意の値に設定が可能であり、このとき 2 つのパルス出力の比は変化しないことが確かめられた。波長 1319nm 及び 1064nm レーザの Q スイッチパルスエネルギーはそれぞれ 12.6mJ 及び 6.7mJ に達し、パルス幅はそれぞれ 96ns 及び 44ns であった。また、2 波長パルス間の大小関係が Fig.2 と逆になっているのは、Fig.2 では共振器内部の光子密度を示しているのに対し、Fig.3 では出力結合を乗じた共振器外部でのレーザ光強度をモニタしているためである。Fig.4 は、Fig.3 の実験条件における、パルスごとの出力エネルギーの変動を示す。予備実験として、2 波長パルスが時間的に重なりをもつ同時発振を行ったとき、2 波長出力の変動は両波長共に約 14%(RMS)であったのに対し、Fig.4 に示される 2 段階エネルギー抽出での出力変動は、波長 1319nm 及び 1064nm レーザにおいてそれぞれ 4.7%(RMS) 及び 2.6%(RMS) であった。2 段階エネルギー抽出での出力変動の値は、各波長を単独で発振させたときの出力変動にほぼ等しく、このことから、2 段階エネルギー抽出により発振線の競合のない安定な 2 波長 Q スイッチ発振が可能であることがわかった。また、数値計算から予測された通り、第 1 パルスの発振しきい値を高めておくことにより、第 1 パルスの発生後も第 2 パルスの発振に必要な反転分布を保持できることが確かめられた。なお、2 段階エネルギー抽出の下での 2 波長出力の比率は、出力鏡反射率などで発振しきい値を操作することにより選択が可能であり、他の出力鏡反射率の組み合わせにおいて、Fig.3 とは異なる出力比での動作も確認している。本研究では、数十 ns オーダーのパルス動作において本手法の原理的な実証を行ったが、数 ns オーダーの Q スイッチパルスが得られる条件では、2 波長パルスの時間間隔を数 ns 程度に近付けられるため、遅延光路を利用したパルスの重ね合わせにより、和周波発生や差周波発生への応用も可能である。

4. おわりに

本研究では、2 波長 Q スイッチ Nd:YAG レーザにおいて、各波長の発振しきい値の差を利用し 2 段階の過程でパルスエネルギーの抽出を行うことにより、発振線の競合のない安定な 2 波長発振が可能であることを明らかにした。

参考文献

- 1) B. M. Walsh, *Laser Phys.* **20**, 622 (2010).
- 2) K. Asai *et al.*, *Proc. SPIE* **7860**, 78600G-1 (2010).
- 3) A. Sato *et al.*, *Proc. SPIE* **8526**, 852606-1 (2012).
- 4) 佐藤他, 第 30 回レーザセンシングシンポジウム, D-2 (2012).

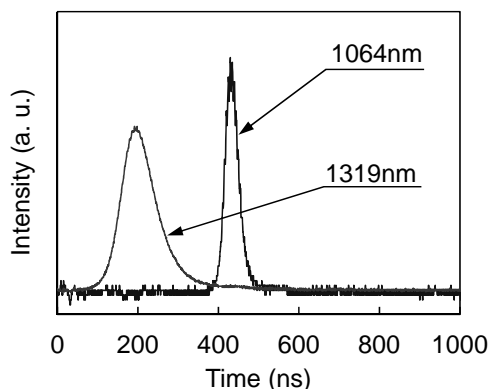


Fig. 3 Typical pulse shapes.

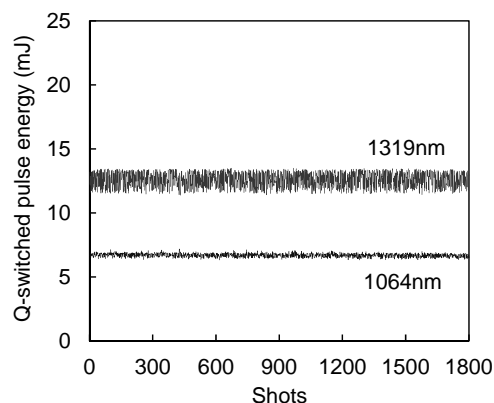


Fig. 4 Pulse-to-pulse stability in pulse energies for two lasers.