

平野 嘉仁* 辰巳 賢二* 橋本 勉* 伊東 尚**

Yoshihito Hirano*, Kenji Tatsumi*, Tsutomu Hashimoto*, Syo Ito**

三菱電機株式会社 *情報電子研究所 **鎌倉製作所

Mitsubishi Electric Corp.*Info.Sys.& Electro.Dev.Lab.**Kamakura Works

SYNOPSIS: We describe the performance of Q-switched Nd:YLF laser operating 1.047 μ m, end-pumped by two 1.0W laser diodes. This laser provided 102 μ J/8.2ns pulses at 1.0kpps in TEM₀₀ mode.

1. まえがき

半導体レーザー (LD) の高出力化にともない、LD 励起固体レーザーが実用化され始めている。¹⁾ LD 励起固体レーザーは、従来の希ガスランプ励起固体レーザーに比べ、高励起効率、良好なビーム品質、Q スイッチ動作時の高繰返し等の特長をもつ。LD 励起方式としては端面励起方式と側面励起方式があるが、我々には上に述べた LD 励起固体レーザーの特長をいかすことのできる端面励起方式を採用し、励起用 LD としてブロードエリア型 LD²⁾ を使用した Q スイッチ固体レーザーの試作を行った。レーザー媒質としては蛍光寿命が長く、蓄積エネルギーが大きい Nd : YLF を用いた。レーザーの設計は、発振モードに対する励起光の結合、及び出力鏡反射率を、レーザー出力が最大となるように設定した。設計結果とレーザーの特性について述べる。

2. レーザ装置の設計

Fig.1 にエンドポンプ型 Nd : YLF Q スイッチレーザーの構成を示す。偏光方向の直交した2個の LD 出射光を PBS により結合してレーザーロッド内に集光する。LD 光が入射する側の端面にダイクロイックコートを施し平面鏡として凹面出力鏡との間でレーザー共振器を構成した。Q スイッチは LiNbO₃ ポッケルスセルと偏光子により構成した。偏光子を Nd : YLF の π 偏光成分透過となるように設置することで2波長同時発振を抑制できる。

2.1 集光光学系

総合効率を上げるためには、閾値を下げ、励起効率を上げることが重要である。そこで閾値、励起効率を決定する次の2つのパラメータの計算を行った。³⁾

1) モードボリューム V_{eff}

$$V_{eff} = [\int r_0(x, y, z) so(x, y, z) dv]^{-1} \quad (1)$$

2) モードフィルファクタ η_p

$$\eta_p = V_{eff}^{-2} / [\int r_0(x, y, z) so^2(x, y, z) dv] \quad (2)$$

$r_0(x, y, z)$: ロッド内で規格化した励起光密度

$so(x, y, z)$: ロッド内で規格化したレーザー光子密度

Fig.2 はレーザースポットサイズを 200 μ m としたときの V_{eff} 、 η_p の集光系倍率依存性である。倍率 1.8 倍が最適値となる。このときの V_{eff} 、 η_p の値は次式となる。

$$V_{eff} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\eta_p = 0.52$$

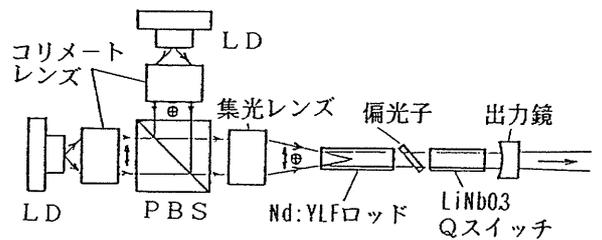


Fig.1 Experimental arrangement of Q-switched Nd:YLF laser.

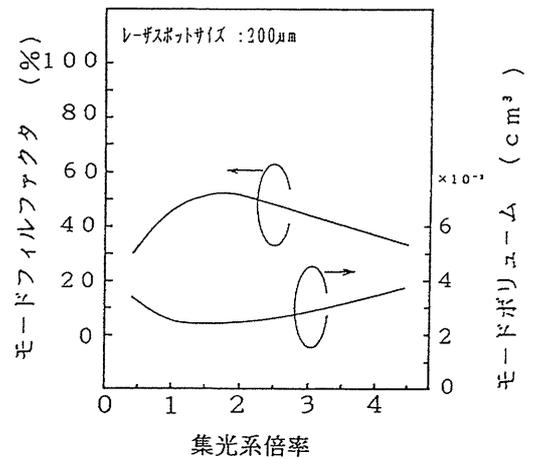


Fig.2 Mode fill factor and mode volume as a function of multiple of coupling optics.

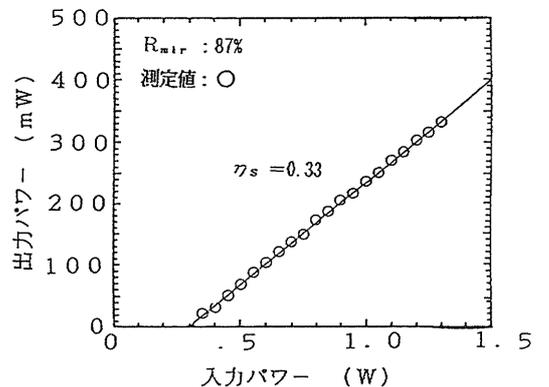


Fig.3 Output power at CW operation.

2.2 モードボリュームとモードフィルファクタ

Fig.1の構成でCW発振特性の測定を行った。Fig.3に入力パワーに対するレーザ出力パワーの関係を示す。閾値入力パワー300mW, スロープ効率33.3%である。これより V_{eff} , η_p は次式となる。

$$V_{eff} = 1.52 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\eta_p = 0.535$$

η_p は計算値とほぼ等しいが V_{eff} がかなり小さい値を示す。これは誘導散乱断面積 σ の見積もりが小さいためと考えられる。そこで今後の計算では $V_{eff}/\sigma = 4.11 \times 10^{15} \text{ cm}$ とした。

2.3 出力鏡反射率

レート方程式を解析的に処理することにより最大エネルギーをとりだす場合の最適出力鏡反射率が次式のように求まる。

$$R_{opt} = \exp\left(-\text{Loss} \cdot \frac{Z-1-\ln Z}{\ln Z}\right) \quad (5)$$

$$Z = \frac{2g_0 L_{rod}}{\text{Loss}} \quad (6)$$

$$g_0 = \frac{P_{in}}{P_{th}} \cdot g_{0th} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{fr \cdot \tau_f}\right)\right) \quad (7)$$

τ_f : 蛍光寿命 fr : 繰り返し周波数
 g_{0th} : 閾値小信号利得 L_{rod} : レーザロッド長さ
 Loss : ラウンドトリップロス (出力鏡損を含まない)

Fig.4に入力パワーと小信号利得 g_0 の関係を示す。またFig.5に小信号利得と最適反射率の関係を示す。入力パワー1.5W, 繰り返し1kpps, Loss 2%での最適出力鏡反射率は87%となる。

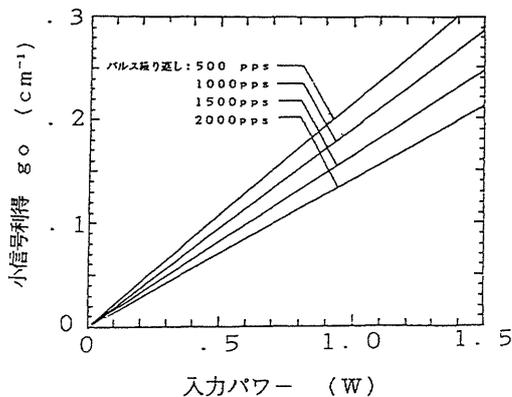


Fig.4 Small signal gain as a function of pump power.

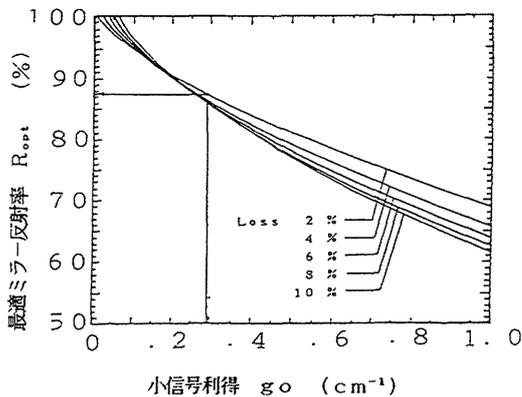


Fig.5 Optimum output mirror reflectivity vs small signal gain.

3. 測定結果

Fig.6に繰り返し1kppsにおける、入力パワーと出力パルスエネルギーの関係を示す。1.3W入力で100μJの出力が得られた。入力光-出力光エネルギー変換効率は7.7%である。Fig.7に102μJ出力時のパルス波形を示す。パルス幅は8.2nsでピークパワーは12.5kWである。このときのピークパワーの変動は5%以下である。また、出力光のパターンは広がり全角3mradのTEM₀₀モードである。出力パルスエネルギーがレーザ内部損失2%としたときの計算値の半分程度となった理由としてパルス発振時間内に生じるダイナミックな損失が考えられる。いまこの損失の値を12.8%とするとFig.6の測定値は計算値と良い一致を示す。ダイナミックな損失としてはQスイッチの損失が支配的であるとと考えられQスイッチの低損失化が今後の課題である。

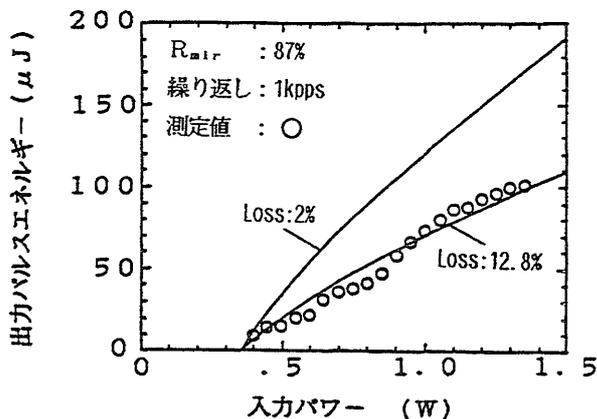


Fig.6 Q-switched pulse energy

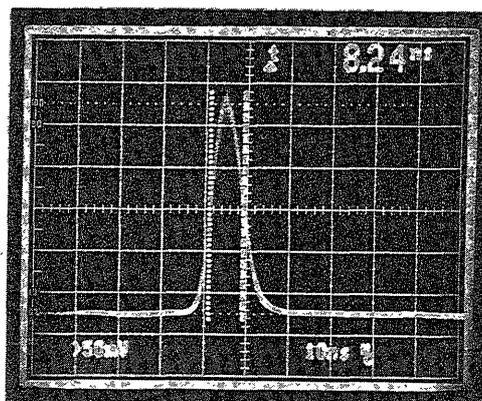


Fig.7 Temporal profile of the Q-switched pulse.

4. むすび

LD端面励起QスイッチNd:YLFレーザを設計、試作しその特性を明らかにした。今後の課題はQスイッチおよび励起方式の改善による高出力化と、発振スペクトルの高純度化である。

参考文献

- 1) AMOCO 社カタログ ALC Series
- 2) 嶋原他 レーザ学会研究会報告 RTH-88-27, 1988
- 3) K. Kubodera et al., J. Appl. Phys., 50, p. 635, 1979
- 4) T.Y. Fan et al., IEEE J. Quantum Electron., QE-24, p. 895, 1988