

# A3

## 希土類(Tm,Ho)添加、フラッシュランプ励起・パルス YAG レーザの発振特性の比較

相墨 鑑一, 佐藤 篤\*, 板部 敏和\*\*, 浅井 和弘

Kanichi Sousumi, Atusi Sato\*, Tosikazu Itabe\*\*, Kazuhiro Asai

東北工業大学 (\*現在、日本電気 (株) )

Tohoku Institute of Technology

\*\*郵政省通信総合研究所

Communication Reserch Laboratory,

Ministry of Posts and Telecommunications

**Abstract :** We report a flashlamp pumped Cr,Tm,Ho:YAG and Cr,Tm:YAG laser that are lasing at near  $2\mu\text{m}$ . The highest slope efficiency have been achieved 2.2% from Cr,Tm,Ho:YAG laser and 1.9% from Cr,Tm:YAG laser. The wavelength of Cr,Tm:YAG laser can be tuning between  $2.005\text{-}2.130\mu\text{m}$ , it have using birefringent filter. We operation acousto-optic Q-switches at Tm:YAG laser and Q-switch pulse width have achieved 275ns.

### 1. はじめに

Tm<sup>3+</sup>,Ho<sup>3+</sup>などの希土類イオン添加 YAG レーザは、眼に安全な波長領域  $2\mu\text{m}$  で発振するために、アイ・セイフ・レーザ(eye-safe laser)と呼ばれ、大気中での伝搬特性にも優れておりレーザ・レーダ用の光源として、また、水の吸収特性を利用した医療分野などへの応用が期待されている。

本報告では、フラッシュランプ励起 Cr,Tm,Ho:YAG 及び Cr,Tm:YAG レーザの基本動作特性と複屈折プレートを用いた波長同調特性、音響光学効果(以後 AO と記す) を利用した Q スイッチング動作特性、などの比較検討結果について述べる。

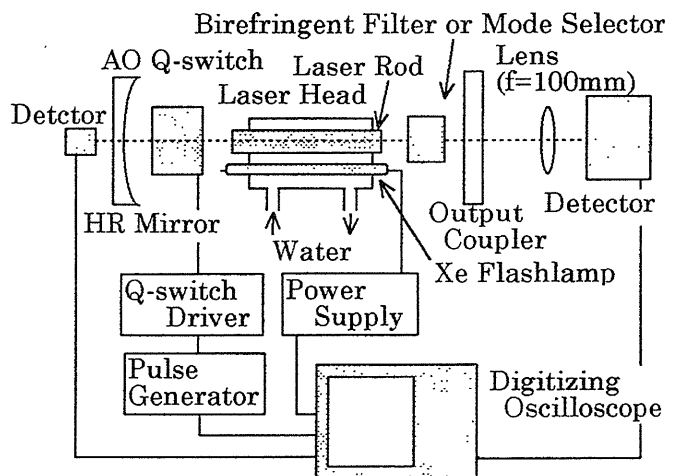
### 2. 実験方法

Fig.1 に実験配置図を示す。レーザ・ヘッドは、平行に配置されたレーザ・ロッドとキノセン・フラッシュランプからなり、その周囲に冷

Table .1 Specification of Laser Head

	Cr,Tm,Ho:YAG	Cr,Tm:YAG
Dopant concentration (%)	Cr :0.85 Tm:5.9 Ho :0.36	Cr :0.6 Tm:6.0
Size	6.40 $\phi$ $\times$ 76.2mm	6.35 $\phi$ $\times$ 6.2mm

Fig.1 Experimental Setup



却水を循環させた。そのレーザ・ロッドの仕様を Table.1 に示す。レーザ共振器は、共振器長 540mm で、凹面鏡(HR、曲率半径 5m)と平面出力鏡により構成されている。入力部は、最大で 216J の電気エネルギーをフラッシュランプに供給でき、繰り返し周波数は 1.3~10.0pps の範囲で任意に設定できる。ただし、主に繰り返し周波数 1.3pps で実験を行った。また、冷却水の温度は、+5°Cまで冷却可能であるが、温度特性の実験を除いて常に 15°Cに設定した。

波長同調実験においては、出力鏡とレーザ・ヘッドの間に厚み 1mm と 2mm の複屈折プレートをブリュウスター角度で挿入し、回転させることにより波長を同調させた。

我々は、以前ポッケルセル<sup>1)</sup>と AO セル<sup>2)</sup>を用いて 2 $\mu$ m 領域での Q スイッチ動作の比較実験を行い、AO セルの方が優れていることを見いだした。したがって、本稿では AO セルによる Cr,Tm:YAG レーザの Q スイッチ特性について述べる。Q スイッチ動作は、レーザ・ヘッドと全反射鏡の間に Q スイッチ素子、出力鏡とレーザ・ヘッドの間に 3mm のモードセクターを挿入し、27.12MHz の高周波信号によって行った。

### 3. ノーマル発振動作特性

#### 1) 入出力特性

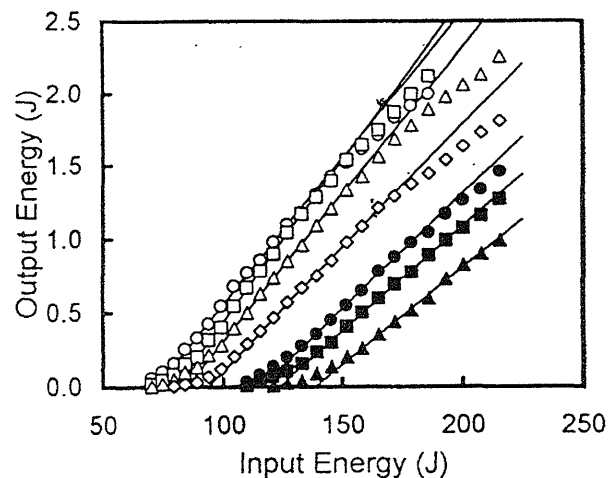
Fig.2 は出力鏡の反射率をパラメータ ((a)を参照) とした時に得られた入出力特性である。(b)は、Cr,Tm,Ho:YAG レーザ(c)は Cr,Tm:YAG レーザに各々対応している。実験の結果、最大スロープ効率はそれぞれのレーザ・ロッドに対し、2.2%と 1.9%で、Cr,Tm Ho:YAG レーザの方が、Cr,Tm:YAG レーザに比べ効率が良いことが判明した。また、発振しき値、出力エネルギーも同様に Cr,Tm,Ho:YAG レーザの方が優れている事が明らかになった。

Fig.2 Output Energy versus Input Energy  
(a) Specifications of Slope Efficiency  
from (b) and (c)

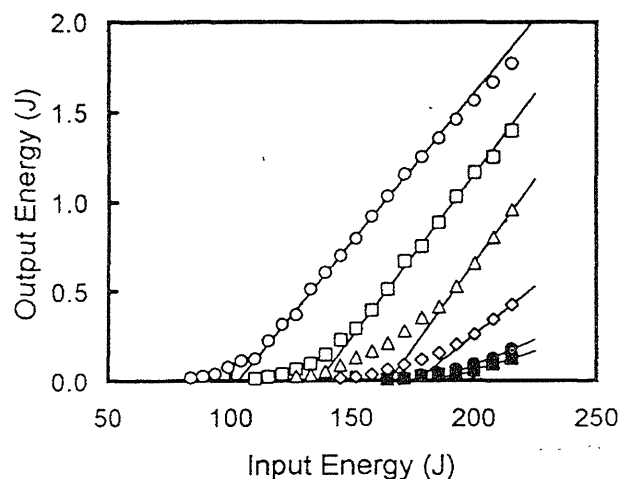
	Cr,Tm,Ho:YAG Laser		Cr,Tm:YAG Laser	
	Output Coupler	Slope Efficiency	Output Coupler	Slope Efficiency
○	93	2.0	96	1.7
□	86	2.2	89	1.8
△	84	2.0	83	1.9
◇	77	1.7	73	1.1
●	63	1.6	65	0.6
■	61	1.4	61	0.5
▲	55	1.3	--	--

Unit (%)

(b) Cr,Tm,Ho:YAG Laser



(c) Cr,Tm,:YAG Laser



## 2) 温度特性

Fig.3. に温度特性に対する測定結果を示す。図が示すように、準3準位レーザーである Cr,Tm, Ho:YAG 及び Cr,Tm:YAG レーザの出力は、温度に強く依存している。

## 3) 繰り返し周波数特性

次に入力エネルギーを一定とした時の繰り返し周波数に対するレーザ出力への影響を調べた。結果を Fig.4 に示す。図より、両レーザとも 5pps を超えると急激に出力が低下することがわかる。この時の横モードを観測してみると、TEM<sub>00</sub> モードからマルチモードに変化していた。

この現象をさらに詳しく調べるために、グリーン He-Ne レーザをプローブ光として、繰り返し周波数を変化させた時のプローブ光の焦点距離を計測した。(Fig.5 参照)

Fig.4, Fig.5 より 5~6pps での出力エネルギーの減少は、繰り返し周波数を上げると共に、ロッドに照射される光エネルギーが大きくなり、その結果引き起こされたロッド内での熱レンズ効果<sup>9)</sup>が原因であると考えられる。

## 4. 波長同調特性

複屈折フィルターをもちいた波長同調実験<sup>9)</sup>の結果を Fig.6 に示す。なお、この時の繰り返し周波数は 2.0pps、入力エネルギー172J である。

反射率 96%の出力鏡使用時では、2.009~2.084 $\mu\text{m}$  の範囲で連続的に波長同調範囲を行う事ができ、複屈折プレートの回転角 1° に対し約 0.01 $\mu\text{m}$  の波長のシフトが確認された。最大出力の波長は発振波長 2.064 $\mu\text{m}$  近辺で得られ、この時のレーザ出力は 95mJ であった。しかし、入力エネルギーの増加とともにレーザ出力は増したが、波長同調範囲の拡大は見られなかった。一方、反射率 98%の出力鏡を用いた場合 2.064 $\mu\text{m}$  で 145mJ が得られ、同調範囲は 2.005~2.130 $\mu\text{m}$  と長波長側に拡大した。これは

Fig.3 Function of Temperature

	Cr,Tm,Ho:YAG	Cr,Tm:YAG
Threshold (J)	□	■
Slope Efficiency (%)	△	▲
Output Coupler (%)	84	89

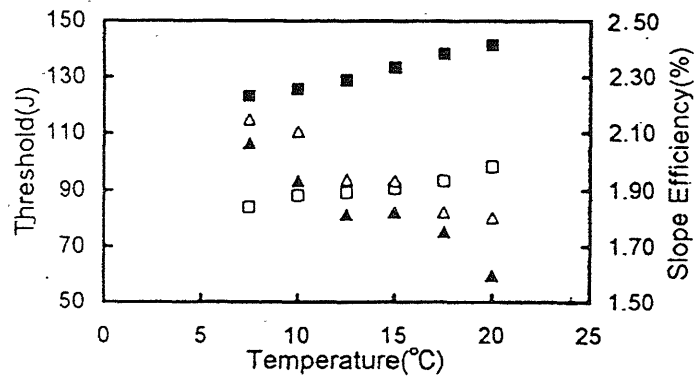


Fig.4 Characteristic of Repetition Rate

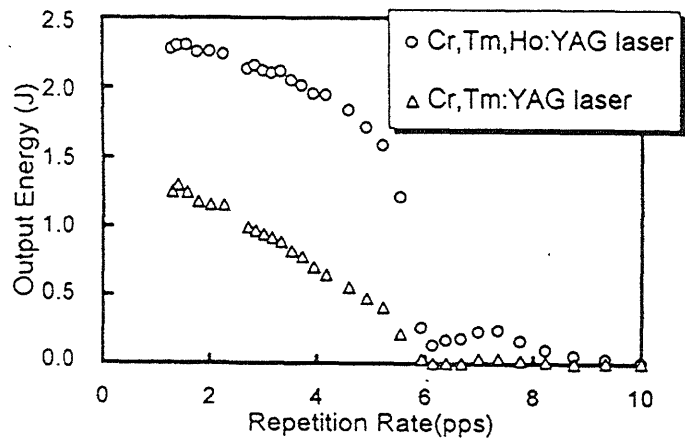
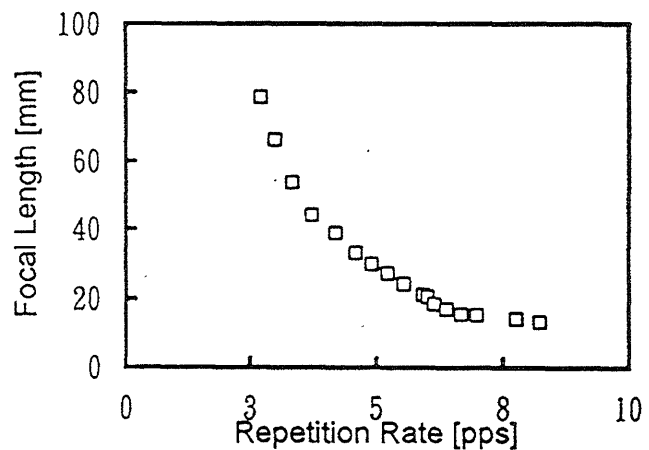


Fig.5 Focal Length vs. Repetition Rate



共振器の損失が低くなることにより、長波長側の弱いスペクトル成分が発振に寄与したものと推測される。

### 5. Qスイッチ動作特性

典型的なQスイッチ・パルス波形をFig.7に示す。このときのパルス幅は275nsであった。Fig.8は、ディレイタイムに対するパルス幅の測定結果である。

ディレイタイムは、フラッシュランプトリガーからQスイッチトリガーまでの時間であり、図からCr,Tm:YAGレーザでは、ディレイタイムとして540~620 $\mu$ sで安定なQスイッチング動作が見られた。一方、Cr,Tm,Ho:YAGレーザの場合、Cr,Tm:YAGレーザよりも広い範囲(480~680 $\mu$ s)で、安定なQスイッチ・パルスが得られた。この原因として、Cr,Tm:YAGレーザの上準位寿命よりもCr,Tm,Ho:YAGレーザの上準位寿命の方が長い<sup>6)</sup>ために生じたものと考えられる。

### 6. おわりに

以上、フラッシュランプ励起固体レーザに関する基本的動作特性<sup>6)</sup>の比較実験を行った結果について述べた。

今後は、励起源の寿命が長く、高効率期待出来るレーザダイオードを励起源としたパルスTm:YAGレーザの発振特性について研究を進めていく。

### 参考文献

- 1) 佐藤 他 第54回応用物理学関係連合講演会予稿集 30a-3、1993(秋)
- 2) 佐藤 他 第41回応用物理学関係連合講演会予稿集 30p-F-13、1994(春)
- 3) W.Koehler, Solid-State Laser Engineering, 3rd ed. (Springer-Verlag, New York, 1992)
- 4) 佐藤 他 平成6年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集 1118, P316
- 5) 佐藤 他 第42回応用物理学関係連合講演会予稿集 29p-PA-26、1995(春)
- 6) 佐藤 篤 東北工業大学大学院工学科修士論文、1995

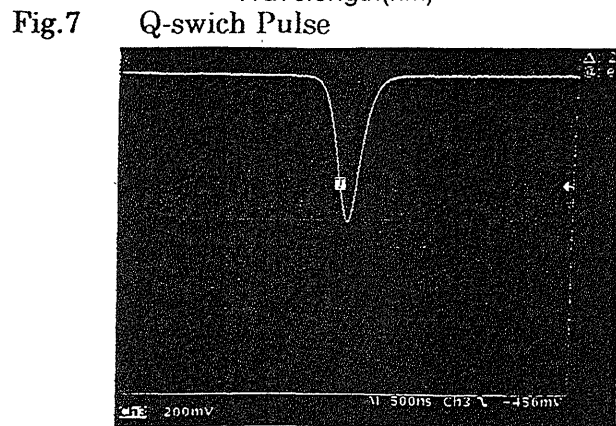
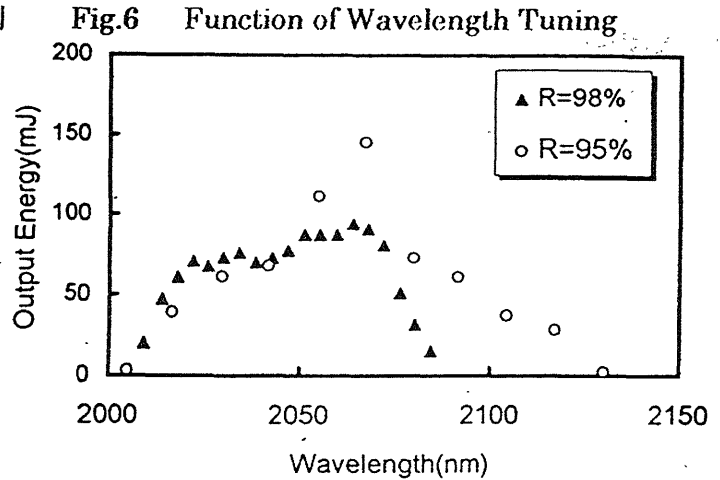


Fig.8 Characteristic of Q-switching

	Input Energy	Output Coupler
△ Cr,Tm,Ho:YAG	158 J	61 %
■ Cr,Tm:YAG	200 J	65 %

