

A4

半導体レーザー励起波長可変 Tm:YAG レーザ Diode-Laser Pumped Tunable Tm:YAG Laser

大山 真敏, 小川 卯人*, 板部 敏和**, 浅井 和弘
Masatoshi Ooyama, Shigeto Ogawa*, Toshikazu Itabe**, Kazuhiro Asai

東北工業大学 (現在* : 総合警備保障株式会社)
Tohoku Institute of Technology (The Present* : Sogo Security Services Co.,Ltd)

郵政省通信総合研究所**
Communications Research Laboratory**
Ministry of Posts and Telecommunications

Abstract : Diode-Laser pumped Tm,(Ho):YAG lasers are very useful for laser transmitter of coherent lidar because of "eye-safe" and "tunability". We have been investigating DL pumped 2 μ m solid-state lasers using Tm:YAG crystal with a single-longitudinal-mode.

In this report, characteristics of Tm:YAG laser including wavelength tuning, single-frequency are described.

1. はじめに

波長 2 μ m 近傍で発振可能な、希土類イオン(Tm³⁺, Ho³⁺)添加固体レーザーは、“eye-safe”や“大気の窓と呼ばれる波長帯域へ同調可能”などの点で、近年、注目を浴びてきている。

筆者等は以前より、これら 2 μ m 固体レーザーをコヒーレント・ライダー用の光源として用いるために研究・開発を進めている。^{1)・2)}

本文では、その研究の一環として行った、Tm:YAG レーザの基本的動作特性及び、発振波長同調、単一周波数化などについて報告する。

2. 実験方法

Fig.1 に Tm:YAG レーザの共振器構成図を示す。半導体レーザー(以下 DL)からの光は、Collimating Lens によってコリメートされ、Anamorphic Prism Pairs によりほぼ円形に整形の後、Focusing Lens によりロッド中に焦点

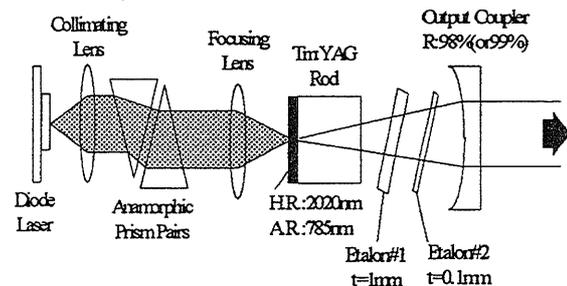


Fig.1 Resonator Configuration

を結ばれる。ロッドの DL 側端面は、波長 785nm で A.R コーティングが、2020nm で H.R コーティングが施されており、出力鏡は、反射率 98% (または 99%) のものを用いた。このロッドの DL 側端面と出力鏡とで光共振器が構成されており、2 μ m のレーザー出力は Power Meter で測定される。

今回使用したレーザーロッドは、Tm(4.00%):YAG で、形状は 2mm(high) × 3mm(length) × 4mm(wide)であり、一段ペルチェ素子の上に置かれ、+10℃~+30℃まで温度を設定できる。

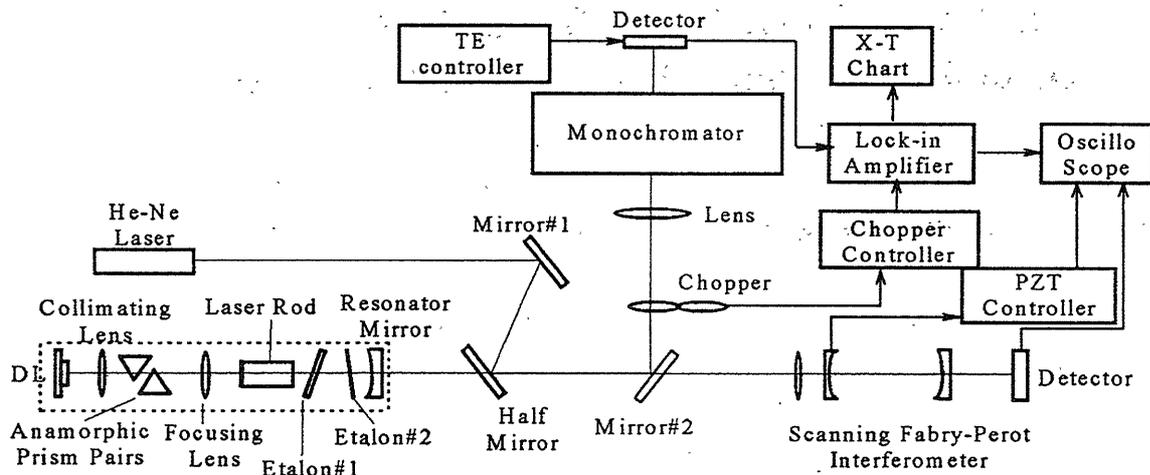


Fig.2 Experimental Blockdiagram

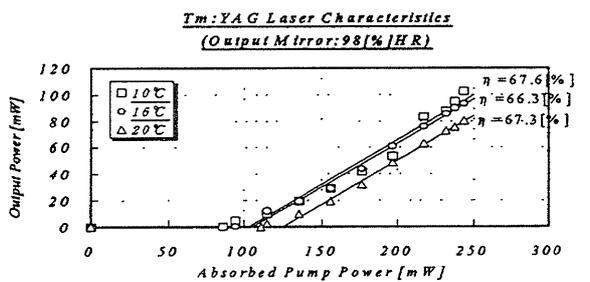
Fig.2に波長測定用ブロックダイアグラムを示す。光共振器からのレーザ光は Mirror#2 を介して Monochromator へ入射され、その後 Detector で検出される。さらに、単一波長化を行う実験で精密な周波数解析を行うために、掃引型ファブリー・ペロー干渉計で周波数測定が行える構成とした。

この動作特性において、Fig.3(a)より、Rod Temp 10℃, 反射率 98% の出力鏡のとき、最大出力 102mW、発振しきい値 102.7mW、スロープ効率 67.6% が得られた。

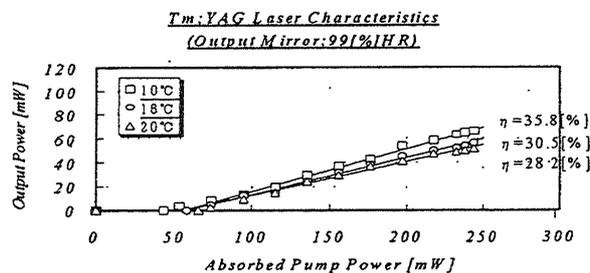
この実験結果より、発振しきい値は 99% 出力鏡の方が低いものの、最大出力・スロープ効率ともに、98% 出力鏡の方が高い値であることが判った。また、このときの発振スペクトル図を Fig.4 に示す。

3. 測定結果

Tm:YAG レーザの入出力特性を Fig.3 に示す。



(a) Output Mirror : 98% H.R.



(b) Output Mirror : 99% H.R.

Fig.3 Input Power vs Output Power

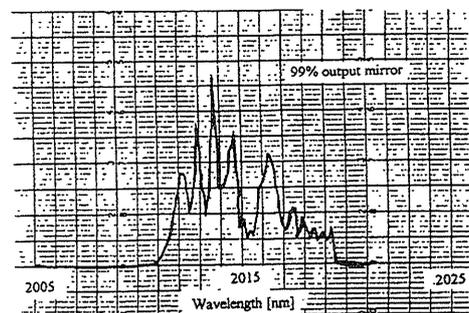
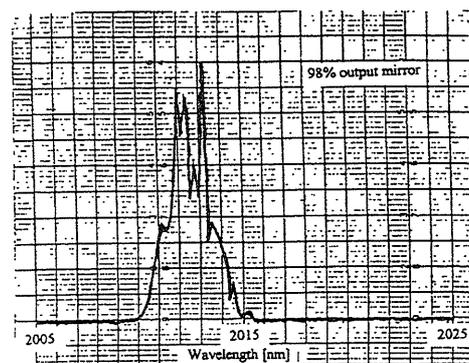


Fig.4 Lasing spectrum of Tm:YAG Laser

この図より、98%出力鏡のとき波長 2010nm～2016nm で、99%出力鏡のとき波長 2011nm～2020nm の範囲で発振していることを確認した。以上のことより、出力鏡の反射率を上げると発振波長領域が広がることが判った。

波長同調実験の結果を Fig.5 に示す。

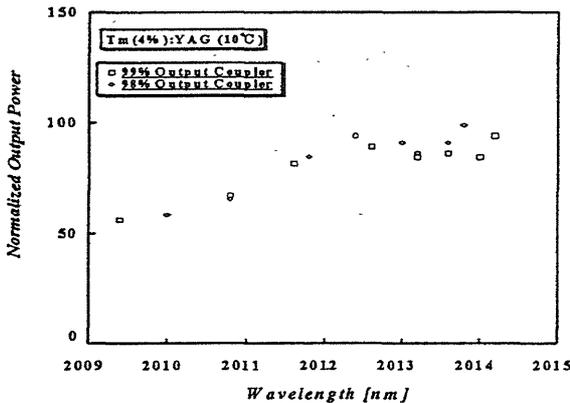
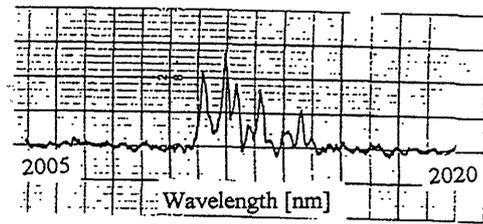


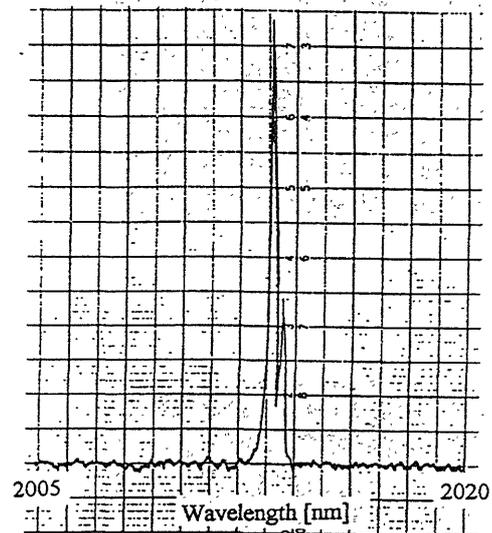
Fig.5 Wavelength Tuning Characteristics

この実験においては、薄いエタロン E#2($t=0.1\text{mm}$)を共振器内に挿入し、そのエタロンを傾けることで行われる。出力鏡は反射率 98%と反射率 99%の 2 枚を使用した。図より、99%出力鏡は波長 2009.5nm～2014.2nm、98%出力鏡は 2010nm～2013.8nm まで同調可能であることが判った。また、99%出力鏡の方が 98%出力鏡より同調範囲が広いことが確かめられた。³⁾

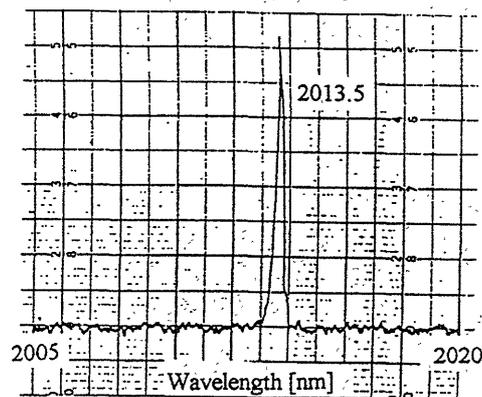
Tm:YAG レーザの単一波長特性を Fig.6 に示す。横軸は波長、縦軸は相対的強度である。(a)はマルチ縦モード発振時の発振波長で、(b)はエタロン 1 枚($t=0.1\text{mm}$)を挿入時、(c)はエタロン 2 枚($t=0.1\text{mm}+1\text{mm}$)を共振器内に挿入時のスペクトルである。マルチモード発振時で出力 65.9mW が得られ、発振波長は 2011nm～2015nm で確認された。(c)より、エタロンを 2 枚挿入することにより、単一波長が得られることが判った。単一縦モード発振時における出力として、最大 12.2mW (波長 2013.5nm) が得られた。



(a) Multiple-Mode



(b) Multiple-Mode



(c) Single-Mode

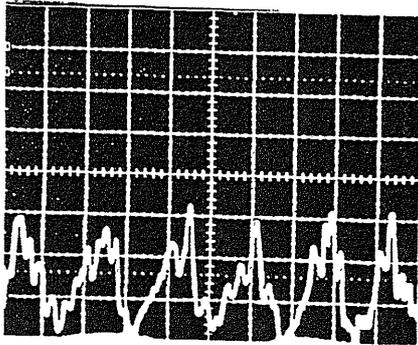
Fig.6 Single-Mode lasing characteristics

なお図中の FWHM=0.25nm は monochromator の分解能である。

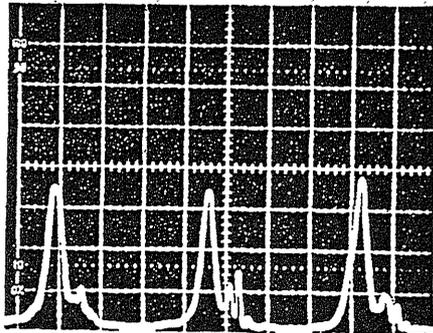
より精密なスペクトル分析を行うために、掃引型ファブリー・ペロー干渉計 (FSR=2GHz) を使用し、周波数を Oscillo-

Scopeで確認した。その測定結果を Fig.7 に示す。

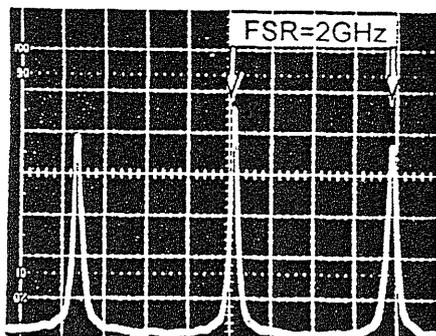
図は、それぞれ(a)マルチ縦モード発振時、(b)エタロン1枚挿入時、(c)エタロン2枚挿入時の発振スペクトルを示しており、横軸は周波数で約0.5GHz/divである。



(a) Multiple-Mode



(b) Multiple-Mode



(c) Single-Mode

Fig.7 Single-Frequency characteristics

この図より、エタロン1枚(b)ではマルチ縦モードで発振しているが、2枚(c)挿入した時

に単一縦モードで発振していることが確認された。

4.おわりに

本実験では、シングルモード発振時において、最大出力が12mW程度であったが、目下レーザ出力の高出力化（シングル縦モード発振時最大出力 $>100\text{mW}$ ）を図り、狭FWHM化（ $<500\text{kHz}$ ）を実現するために、励起側のDLの高出力化（出力2W、ファイバーカップリング）や出力鏡にPZTを取り付ける（縦モードの安定化）等、さらに改良を加えたレーザ共振器の設計に取り組んでおり、今後はそのレーザ共振器を用いて実験を進めていく予定である。⁴⁾⁷⁾

参考文献

- 1) 浅井和弘, 応用物理, vol.63, No.5, p478, (1994).
- 2) 佐藤篤, 小川卯人, 大山真敏, 板部敏和, 浅井和弘, 信学技報, vol.94, No.60, LQE.94-11, p61, (1994).
- 3) 小川卯人, 大山真敏, 板部敏和, 浅井和弘, 第55回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 21a-E-4, p892, 1994(秋).
- 4) 小川卯人, 大山真敏, 菅野学, 板部敏和, 浅井和弘, 第42回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 28p-PA-4, p974, 1995(春).
- 5) 大山真敏, 小川卯人, 佐藤篤, 板部敏和, 浅井和弘, 第2回大気ライダー観測研究会講演集, p56-p63.
- 6) Brendan T.McGuckin, Robert T.Menzies, and Carlos Esproles, APPLIED OPTICS, Vol.32, No.12, 20 April 1993, TECHNICAL NOTE, p2082-p2084.
- 7) 小川卯人, 東北工業大学大学院工学研究科, 修士論文, 1995.