

Nd : YAG レーザー 励起
Ti : サファイヤレーザー の 開発
Nd:YAG Laser Pumped Ti:Sapphire Laser

水波 徹 前田 三男* 村岡 克紀** 赤崎 正則**

Toru Mizunami, Mitsuo Maeda*, Katsunori Muraoka**,

Masanori Akazaki**

九州工業大学 工学部、*九州大学 工学部、

**九州大学 総合理工学研究科

Kyushu Institute of Technology, Faculty of Engineering

* Kyushu University, Faculty of Engineering

** Kyushu University, Graduate School of Engineering Sciences

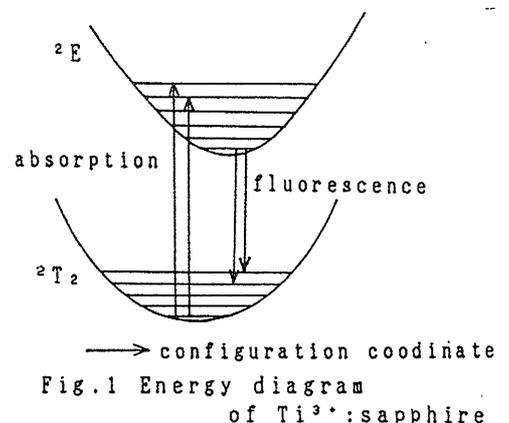
Abstract: Lasing performances of a tunable Ti:sapphire laser are reported. The second harmonic of a Q-switched YAG laser is used as a pumping source. The Ti:sapphire laser consists of a 2-cm-long rod, two quartz prisms and two mirrors. An output energy of 3.9mJ and a tuning range of 740~870nm is obtained with an efficiency of 7 percent. A numerical analysis using rate equations predicted an output 5 times that of the experiment and a tuning range of 700~930nm.

まえがき チタンドープ・サファイヤレーザーは700nmから1000nmにわたる広範囲で同調可能な固体レーザーであり、近年活発に研究が進められている。このレーザーは連続発振もパルス発振も実現しており、第二高調波発生やラマンレーザーと組み合わせれば可視域全域と近赤外域をカバーできると期待される。このため色素レーザーの代替として利用できる可能性があり、色素の劣化や波長の変更に伴う色素の交換が不要になる。著者らはQスイッチNd:YAGレーザーの第二高調波(532nm, ナノ秒パルス)を利用してチタンドープサファイヤレーザーを励起し、高パワー・波長可変のコヒーレント光源として、ライダーやプラズマ計測や分光の光源として用いる計画である。本稿では手始めに発振段の出力特性や同調範囲に関する実験と解析を報告する。

原理 Ti原子はサファイヤ(Al_2O_3)中において3価のイオン(Ti^{3+})となり、結晶場の影響を受け図1のようなエネルギー準位を持つ。基底項 2T_2 と励起項 2E はフォノンのため広がりをもっており、そのうえ励起項の底の位置がシフトしているため、蛍光スペクトルは幅が広く600~1100nmにも渡っている。その中心波長は770nmである。また偏光方向により吸収スペクトル・蛍光スペクトルの強度が異なる。励起項の寿命は3.15 μ sと、固体レーザーとしては短い、ナノ秒パルスで励起する際には十分長く、自然放出による損失は無視できると

考えられる。このようなTi:サファイヤのロッドを共振器に入れ、プリズムなど同調素子を挿入して励起すれば波長可変のレーザー発振が得られる。

実験 実験装置は図2のような構成とした。YAGレーザーはQuantel社のYG682で、第二高調波の出力は750mJ、パルス幅は5~7nsである。この出力の一部を絞りで取り出し、石英プリズムを通してTi:サファイヤロッド(Crystal Systems社、ブリュースターカット 長さ2cm)に入射する。第二高調波の出力の偏光方向が紙面に垂直方向なので、90°回転させるため半波長板を入れた。出力の測定



はGen-Tec ED-200ジュールメーター、波長の測定はニコンG-250分光器（分解能0.2nm）で行なった。

最初にプリズムを用いずに全反射鏡を通して励起光を入射し、共振器長を4cmとしてブロードバンドで発振させた。なお全反射鏡は励起光の波長では87%透過させる。その結果図3のように励起エネルギー40mJ以上で発振が起こり、最高出力は3.4mJ、吸収されたエネルギーに対する効率は7%であった。次にプリズムを挿入し（共振器長20cm）、全反射鏡を回転しながら波長と出力を測定した。その結果図4のように740~870nmで同調ができた。スペクトル幅は0.5nm以下であった。なお正三角形のプリズムを用いたがプリュースタープリズムに交換する予定である。

解析 このレーザーの発振特性を求めるためレート方程式による解析を行なった。レーザー媒質は四準位系とし、上準位・下準位の緩和は十分速いとし、自然放出は無視した。また励起光がナノ秒パルスであり、発振は10ns以上遅れて立ち上がるので、²⁾ 励起と発振の時間的重なりを無視した。その場合、ロッドに吸収された励起光のエネルギー（単位面積当り）はFrantz-Nodvikの式よりパルスの形状によらず、

$$E_{abs} = E_{in} - E_{out} = E_{in} - E_s \ln \{ 1 + \exp(-\sigma_a N_0 L) [\exp(E_{in}/E_s) - 1] \} \quad (1)$$

となる。ここで E_{in} は励起光のエネルギー密度、 σ_a は吸収断面積、 $E_s = h\nu_p / \sigma_a$ （飽和エネルギー） L はロッド長である。これから反転分布の平均密度は $N_2 = E_{abs} / (h\nu_p L)$ で求められる。レーザー発振時は光子密度を ρ (m^{-3})、反転分布密度を N_2 として、次の連立微分方程式が成り立つ。

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{L}{L_0} \sigma_e c \rho N_2 - \frac{\rho}{\tau_c} - \frac{L}{L_0} \sigma_a c \rho N_1 \quad (2) \quad \frac{dN_2}{dt} = -\sigma_e c \rho N_2 \quad (3)$$

ここで σ_e は誘導放出断面積、 τ_c は共振器寿命、 L_0 は共振器長、 σ_a は自己吸収断面積である。

(2)(3)式の数値解析により出力の波形やエネルギーを求めた。最初に図3と同じ条件で解析を行なうと同図一点鎖線のようになった。出力の絶対値は5倍ほど大きいが発振のしきい値はほぼ一致している。また図4と同条件で波長特性を求めると700~930nmに渡って発振が得られることになる。実験結果はまだ同調範囲が狭い。

あとがき Ti:サファイヤレーザーの発振を行い、同調可能なことを確かめた。今後出力や同調範囲を改善し、発振・増幅システムなどへ拡張する予定である。

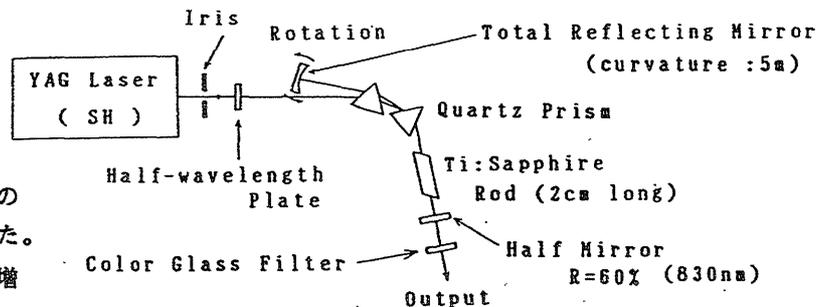


Fig.2 Experimental Setup

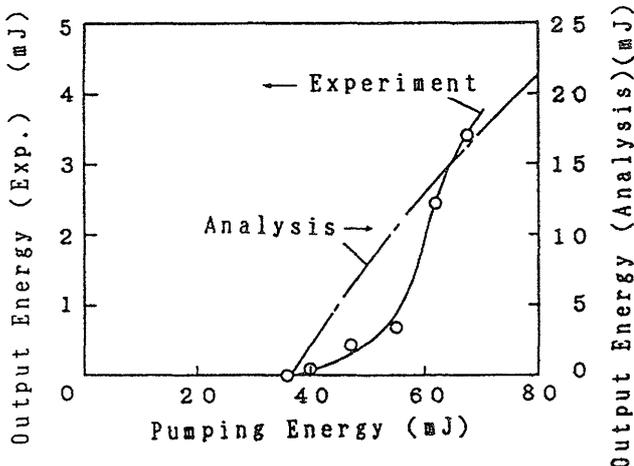


Fig.3 Pumping Energy Dependence

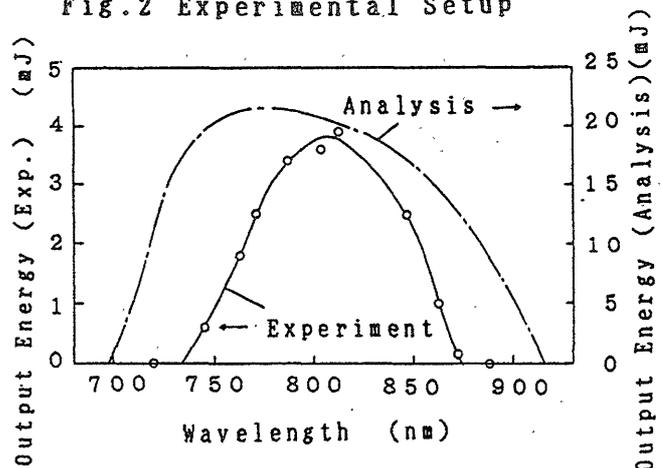


Fig.4 Tuning Characteristics

文献 1)山岸他: レーザー学会講演会予稿集p.15,27a19 (1989).

2) P.Moulton: J.Opt.Soc.Amer.B 3 125 (1986).