

研究

N₂ レーザー励起による短共振器ローダミン 6G 色素レーザーの発振特性

石川 多俊・武藤 真三・松沢 秀典

山梨大学工学部電子情報工学科 〒400 甲府市武田 4-3-11

(1992年6月17日受付, 1992年7月24日受理)

Characteristics of a N₂ Laser Pumped Rhodamine 6 G Dye Laser with a Short Cavity

Kazuhito ISHIKAWA, Shinzo MUTO and Hidenori MATSUZAWA

Faculty of Engineering, Yamanashi University,
4-3-11, Takeda, Kofu 400

(Received June 17, 1992; Accepted July 24, 1992)

N₂-laser pumped short-cavity dye lasers were investigated. The cavity lengths ranged 10 to 900 μm and the dye concentration (rhodamine 6 G) was 1×10⁻³ to 7.5×10⁻² mol/l with solvent of ethanol. Laser powers almost depended on L×N where L is the cavity length (μm) and N is the dye concentration (mol/l). Maximum powers for each dye concentration were obtained for L×N=1 to 2 (μm·mol/l). Single less-than-600 ps pulses were easily generated. Damped relaxation oscillations were also observed over the region of L×N<2 (μm·mol/l).

1. まえがき

色素レーザーは波長可変レーザーの代表的なものであり、また、その幅広い利得帯域を利用するとモードロック発振による超短パルス光も得られるので、種々の物質の時間分解分光用としても有用である。それゆえ、色素レーザーの研究はこれまで非常に多くなされている。その中で、Lin^{1,2)} や Cox³⁾ らは短い共振器内の色素媒質をパルスレーザー光で励起すると緩和発振を生じ、ピコ秒からサブナノ秒の色素レーザー光パルスが得られることを理論的、実験的に示した。また、ごく最近では、波長オーダー、あるいはそれ以下の量子サイズ共振器において、しきい値のないレーザー発振や増幅された自然放出光を生ずることが横山⁴⁾らによって報告され、また、色素ドープのポリマーラテックスによるレーザー発振⁵⁾なども研究されている。このように短い共振器をもつ色素レーザーの研究は古くて新しい問題として興味がもたれる。しかし、その詳細な発振特性についての実験結果の報告は少ない。そこで本研究では、共振器長を 10 μm

から 900 μm までの広い範囲で変えたときの N₂ レーザー励起短共振器色素レーザーにおける発振諸特性を実験的に調べた。その結果、種々の興味ある発振特性が明らかにされたので、それについて報告する。

2. 実験結果

2.1 実験系

実験に使用した短共振器型色素セルの構造を Fig. 1 に示す。レーザー共振器は波長 550~650 nm 帯では反射率 98% 以上の誘電体多層膜ミラー④と透明石英ガラス平板出力ミラー（反射率 10% 以下）②の間に厚さ 10~900 μm のフィルムスペーサ③を挟んで構成され、ホルダー①、⑥に固定されている。その際、色素溶液を注入した状態で平行度を調整した。色素溶液としてはローダミン 6 G を 1×10⁻³~7.5×10⁻² mol/l の濃度範囲でエタノールに溶かして使用し、その励起用光源は自作の TE 型パルス紫外 N₂ レーザー⁶⁻⁸⁾（波長 337 nm、ピーク出力 100 kW、パルス幅 3 ns）を用いた。その実験系を Fig. 2 に示す。ここでは、N₂ レーザーを焦点距離

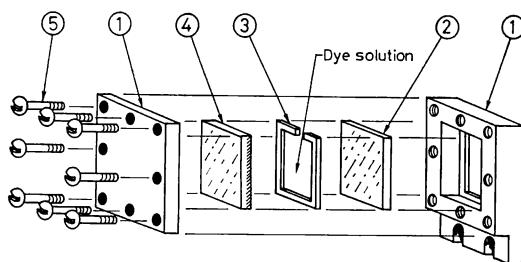


Fig. 1 Structure of short cavity dye laser. ① holder, ② output mirror, ③ film spacer, ④ dielectric mirror and ⑤ screw.

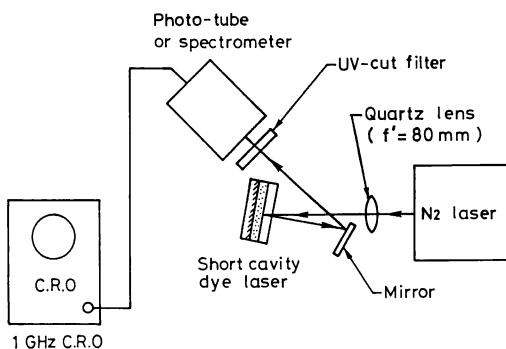


Fig. 2 Experimental setup.

80 mm の石英レンズで集光して、短共振器型色素セルを縦励起する方法をとっている。

色素レーザー出力光は高速応答の光電管 (Instrument technology 社製, TF-1850 型, 立ち上がり時間 100 ps)

で受光し、周波数帯域 1 GHz オシロスコープ (Tektronix 社製, 7104 型) でその発振波形の観測を行った。また、そのスペクトルは分光器 (日本分光工業社製, CT-25C 型) を用いて写真測光した。

2.2 動作特性

実験ではまず、色素濃度をパラメータとして種々の共振器長に対する色素レーザーピーク出力を測定した。その結果を、有効色素分子数を与えるレーザー共振器長 (L) × 色素濃度 (N) を横軸にとって Fig. 3 に示す。同図より、 $1 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 以上の高濃度領域を除くと、どの色素濃度でもほぼ同一の特性を与え、色素レーザーピーク出力の最大は $L \times N = 1 \sim 2 (\mu\text{m} \times \text{mol/l})$ 付近に存在することがわかる。すなわち、色素濃度が高いほどレーザー出力の最大ピークを与える共振器長は短い方に移り、また、その最高出力は共振器長によらずほぼ一定値を示すなどの特徴が得られた。しかし、 $1 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 以上の高い濃度領域になると発振に寄与しないダイマー形成などが顕著となるため、ピーク出力は低下した。

このように、短共振器色素レーザーでは有効色素分子数 ($L \times N$) が意味あるパラメータの一つであるといえる。Fig. 4, Fig. 5 にはこのときの発振スペクトル写真を示したが、共振器長 L を増加したときと色素濃度 N を増加したときは等価であり、よく似た発振スペクトルの長波長側へのシフトを与えることがわかる。Fig. 6, Fig. 7 は共振器長を 150 μm 以下にしたときの発振スペクトル写真とそのホトデンシトメータトレースである。ほぼ共振器の縦モード (モード間隔 $\Delta\lambda = \lambda^2/2nL$)

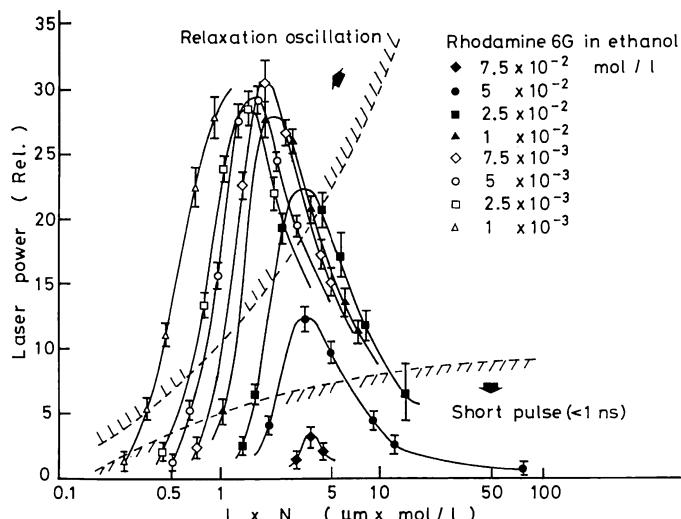


Fig. 3 Dye laser peak power as a function of $L \times N$. $L(\mu\text{m})$ is cavity length and $N(\text{mol/l})$ is concentration.

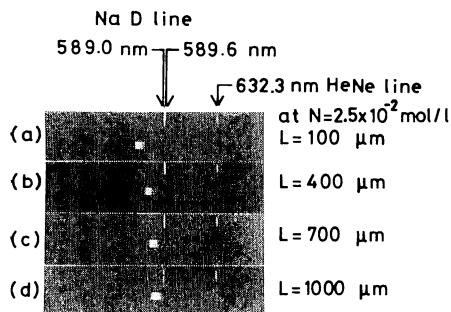


Fig. 4 Dye laser spectra observed for different cavity length. Dye concentration was fixed at $N=2.5\times 10^{-2}$ mol/l.

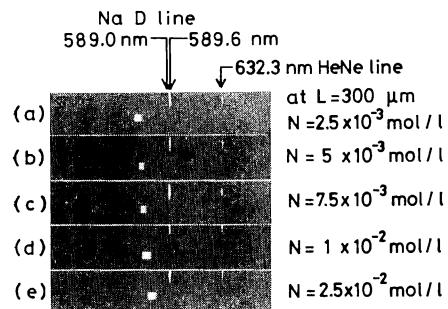


Fig. 5 Dye laser spectra observed for different dye concentration. The cavity length was fixed at $300\text{ }\mu\text{m}$.

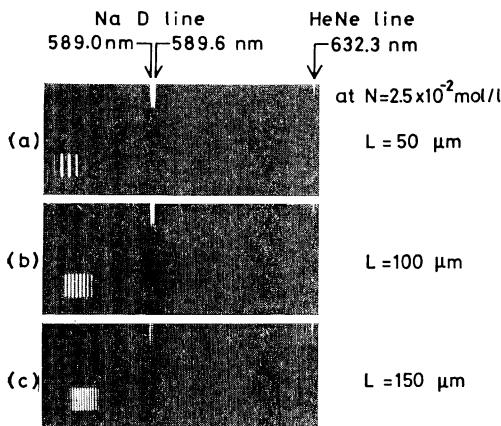


Fig. 6 Dye laser spectra for short laser cavity below $150\text{ }\mu\text{m}$.

λ は中心波長、 n は媒質の屈折率) に一致する発振スペクトルとなっている。さらに短い共振器長とダイマー化を防いだ高濃度色素溶液を用いれば、単一モード発振も簡単に得られると考えられる。

一方、この実験での共振器寿命 $\tau \approx 2nL/c(1-R)$ (ただし、 c は光速、 R は共振器の反射率) は 9 ps 以下と

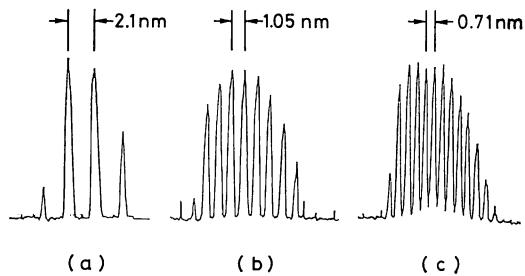


Fig. 7 Photo-densitometer traces of dye laser spectra shown in Fig. 6.

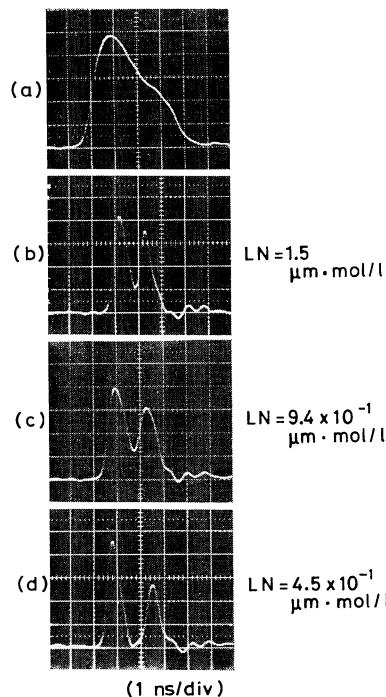


Fig. 8 Waveforms of dye laser pulse showing the damped relaxation oscillation. (a) N_2 laser pulse used as a pumping light. (b)-(d) Damped relaxation oscillations observed for R6G dye laser.

非常に短いので、Lin らの示した緩和発振条件²⁾を容易に満足し、それによるパルス幅の短い色素レーザー光が得られることになる。実際に観測したその波形の数例を Fig. 8, Fig. 9 に示した。Fig. 8(a) は N_2 レーザーの光パルス励起光で、(b)～(d) は減衰緩和発振波形であり、全体的傾向として、緩和発振波形は 1×10^{-2} mol/l 以下の色素濃度かつ $L\times N < 2(\mu\text{m}\times\text{mol/l})$ のときによく見られた。Fig. 3 中にもこのような動作領域を示した。また、Fig. 9 は 1×10^{-2} mol/l 以上の高濃度領域や発振しきい値に近い条件のときに得られた 0.6 ns 以下

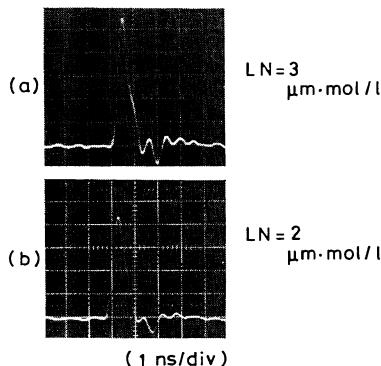


Fig. 9 Typical waveforms of less-than-600 ps R 6G dye laser pulses.

の単一パルス波形である。いずれにしても、パルス幅 1 ns 以下の色素レーザー発振は非常に簡単に得られることがわかった。

3. む す び

本研究では、Lin や Cox らの研究した 1 mm~1 cm 程度の短共振器色素レーザーと横山らの波長オーダー以下の無しきい値短共振器色素レーザーの中間の領域である共振器長が 10~900 μm で、かつ、その共振器寿命も非常に短い短共振器色素レーザーの動作特性を研究した。その結果、ダイマー形成がそれほど顕著ではない $1 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 以下の色素濃度領域では、有効色素分子数を与える共振器長×色素濃度 ($L \times N$) がその特性を決める重要なパラメータであり、最大ピーク出力は $L \times N$

$=1 \sim 2 (\mu\text{m} \times \text{mol/l})$ 付近で得られること、 $L \times N < 2 \mu\text{m} \times \text{mol/l}$ の領域で緩和発振が生じやすいこと、などが明らかにされた。また、この短共振器色素レーザーを用いると、非常に簡単に 1 ns 以下の色素レーザーパルスが得られることもわかった。これらの結果は、本色素レーザーが種々の物質時間分解分光などに有用であることを示すものと考えられる。

文 献

- 1) C. Lin and C. V. Shank : "Subnanosecond tunable dye laser pulse generation by controlled resonator transients," Appl. Phys. Lett., **26** (1975) 389-391.
- 2) C. Lin : "Studies of relaxation oscillations in organic dye lasers," IEEE J. Quantum Electron., **QE-11** (1975) 602-609.
- 3) A. J. Cox and G. W. Scott : "Short-cavity picosecond dye laser design," Appl. Opt., **18** (1979) 532-535.
- 4) 横山弘之 : "しきい値のないレーザーの発振", O plus E, 4月号 (1991) 56-62.
- 5) M. Kuwata-Gonokami, K. Takeda, H. Yasuda and K. Ema : "Laser emission from dye-doped polystyrene microsphere," Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) L99-L101.
- 6) K. Ishikawa, S. Muto and H. Matsuzawa : "1-ns pulse-generating, compact, low-pressure N₂ lasers," Appl. Phys. Lett., **50** (1987) 889-890.
- 7) 石川多俊, 武藤真三, 松沢秀典, 菅ノ又伸治 : "N₂ レーザー用ギャップスイッチにおける電界放出とその出力特性への影響", 応用物理, **56** (1987) 929-936.
- 8) K. Ishikawa, S. Muto, H. Matsuzawa and S. Suganomata : "Field emission effect on the rise time of small spark-gap switches for N₂ lasers," J. Appl. Phys., **62** (1987) 1132-1134.