

脉冲激光泵浦的钛宝石激光器

宁继平 姚建铨 生卫东 王兴龙

(天津大学精仪系, 天津 300072)

Titanium doped sapphire laser pumped by pulsed laser

NING Jiping, YAO Jianquan, SHENG Weidong, WANG Xinglong

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjing University, Tianjing 300072)

Abstract Starting from rate equations, output characteristics of titanium doped sapphire laser pumped by pulsed laser are studied by digital calculation. Titanium sapphire laser pumped by quasi-CW frequency doubled Nd : YAG laser is studied experimentally. The experimental results agree with theoretical calculation.

Key words titanium doped sapphire laser, pulsed laser, quasi-continual wave

本文主要从理论和实验上研究了脉冲钛宝石激光器的输出特性

1 理论分析

钛宝石激光器的输出特性主要由脉冲激光器的速率方程组来决定^[1]

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= \left(\Delta n \sigma_i v \frac{l}{L} - \frac{1}{\tau_c} \right) \phi \\ \frac{d\Delta n}{dt} &= nW_p - \frac{\Delta n}{\tau_s} - \Delta n \sigma_i v \frac{l}{L} \phi \end{aligned} \quad (1)$$

式中 ϕ 为腔内光子密度, Δn 为粒子反转密度, σ_i 为受激辐射截面, τ_c 为腔内光子寿命, τ_s 为激光上能级寿命, W_p 为泵浦速率, v 为光在工作介质内的传播速度。假定 $\sigma_i = 3.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\tau_c = 4 \times 10^{-8} \text{ s}$, $\tau_s = 3.8 \times 10^{-6} \text{ s}$, $N_0 = 3.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 并且泵浦脉冲为高斯型, 数值计算结果如图 1 所示。计算中保持泵浦功率不变, 只改变泵浦脉冲的宽度, 从图 2 钛宝石激光器输出的相应脉冲波形可知, 当泵浦光脉冲宽度 $T > 50 \text{ ns}$ 时 (250 ns, 160 ns, 100 ns), 输出光的脉宽比泵浦光窄 (150 ns, 80 ns, 65 ns), 而 $T < 50 \text{ ns}$ (20 ns) 时, 输出光的脉宽比泵浦光宽 (35 ns), 当 $T \approx 50 \text{ ns}$ 时, 它们的脉宽基本相同 (51 ns), 但输出光的波形已不是高斯型, 脉冲前沿较陡, 后沿拖得比较长。

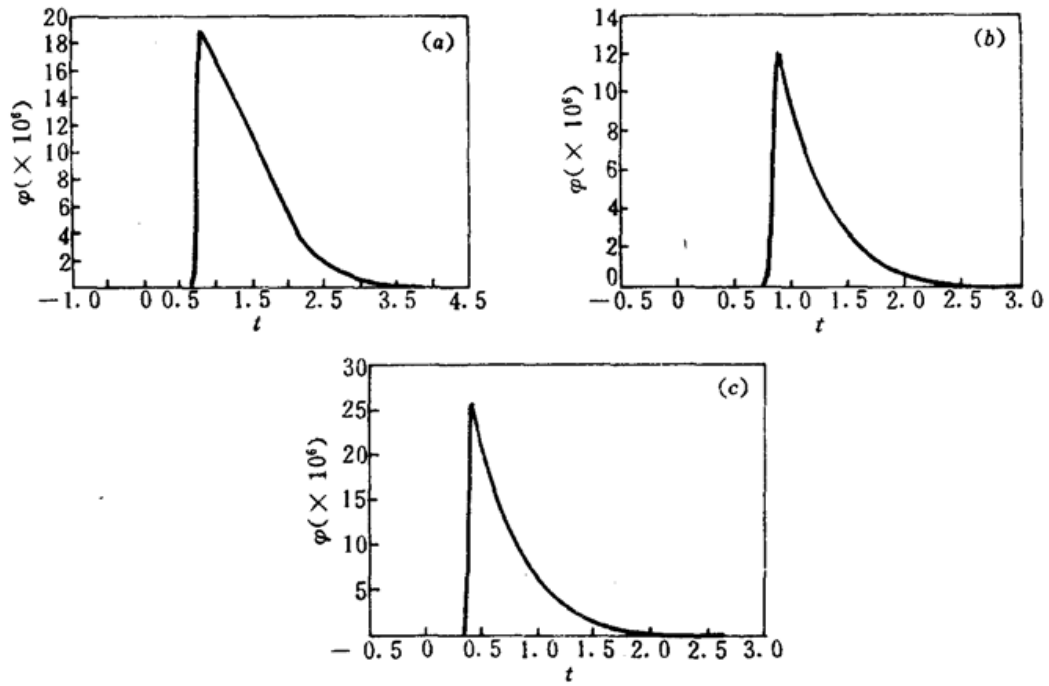


Fig. 1 Pulse shape of titanium doped sapphire laser, pulse width : (a) 80 ns; (b) 51 ns; (c) 35 ns; pumping pulse width : (a) 160 ns; (b) 50 ns; (c) 20 ns

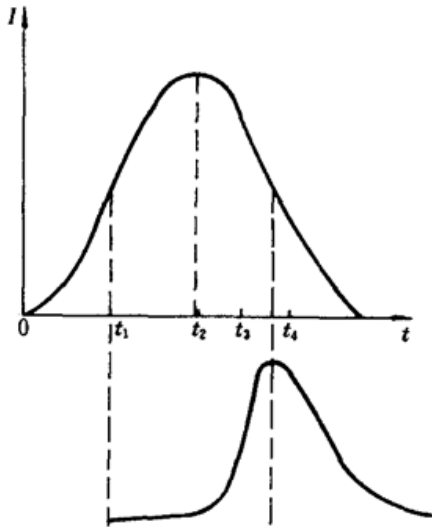


Fig. 2 Schematic of forming laser pulse

分析方程组(1),可定性解释钛宝石激光器产生脉冲的过程。当用脉宽小于钛宝石激光上能级寿命($\tau_s = 3.8 \mu\text{s}$)的脉冲作为泵浦光时,如果泵浦光的波长在钛宝石的吸收峰附近,这时钛宝石对泵浦光会产生强烈的吸收。由于泵浦脉宽较窄,并且峰值功率很高(一般在 MW 量级以上),因而泵浦速率很高,介质的粒子反转数很快达到并超过阈值,产生受激辐射。脉冲激光泵浦钛宝石产生激光的过程犹如 Q 开关激光器产生脉冲的过程,因而能产生一巨脉冲而不是弛豫振荡。但与 Q 开关激光器有区别。Q 开关产生脉冲过程分为两个阶段:储能阶段和受激辐射阶段。虽有泵浦光存在,但因脉冲形成时间短并且泵浦速率低,所以对脉冲形成的影响小。钛宝石激光器形成的过程只存在一个阶段,泵浦作用和受激辐射同时存在。

在泵浦的初始阶段,由于泵浦速率极高,使工作物质产生粒子数反转,经过一段延迟时间后,产生受激辐射剧烈,因而输出一巨脉冲如图 2 所示。由于与 Q 开关的差别,所以产生的脉冲后沿不陡,脉宽比快 Q 开关产生的脉冲宽,但比慢 Q 开关产生脉冲窄。泵浦功率对钛宝石激光器输出的功率和脉宽也有影响。当泵浦功率提高时,输出功率增加,脉宽压缩,但上述变化规律不会改变。

2 实验结果

实验中采用两种腔型,一是像散补偿的四镜折迭腔,如图 3 所示。 M_2, M_3 的曲率半径为 66.4 mm,泵浦透镜的焦距 $f = 103 \text{ mm}$, θ_2 和 θ_3 均为 15° ;二是两镜直腔,如图 4 所示,输出镜 M_2

的透过率为 $T = 6\%$ (750~1000 nm)。泵浦源为准连续内腔倍频 YAG 激光器。钛宝石晶体端面切成布儒斯特角, 通光方向长 21 mm。

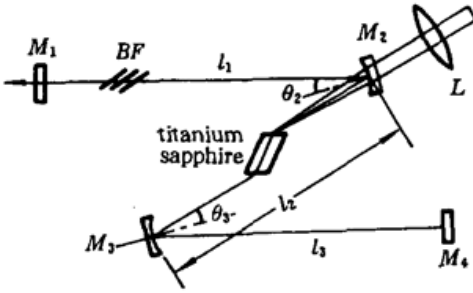


Fig. 3 Diagram of four-mirror cavity for titanium doped sapphire laser

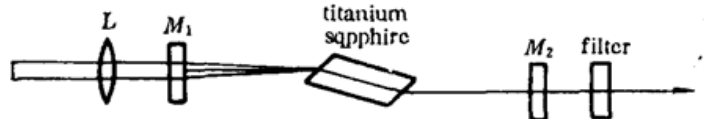


Fig. 4 Diagram of two-mirror cavity for titanium doped sapphire laser

采用四镜腔泵浦功率为 8.9 W 时, 钛宝石激光输出功率为 350 mW, 转换效率为 4%, 导致激光运转效率低的主要原因是泵浦光的光束质量较差, 从而使泵浦光与振荡光在增益介质内匹配不好。利用光束的传输理论及像散腔的数值分析方法算出介质内部振荡光的束腰半径约 20 μm , 泵浦光斑半径约 100 μm , 晶体两端处振荡光的光斑半径约 50 μm , 泵浦光光斑半径约 200 μm 。这样差的模式匹配, 使得泵浦光的能量利用率大大降低。改用二镜直腔腔型, 可以克服上述缺点。

在二镜直腔中, 当泵浦光的输入功率为 12.3 W 时, 钛宝石激光器输出功率达到 2.58 W, 斜率效率为 21%。当泵浦光的重复频率为 6.6 kHz, 脉冲宽度为 160 ns 时, 钛宝石激光器输出的脉宽为 77 ns, 与理论分析基本相符。

参 考 文 献

- 1 P. F. Moulton, *IEEE J. Quant. Elect.*, QE-21(10), 1582(1985)

(收稿日期: 1992 年 8 月 11 日; 收到修改稿日期: 1992 年 11 月 12 日)