

文章编号: 0258-7025(2002)06-0489-03

LD 抽运声光调 Q 高重复频率短脉宽 Nd:YVO₄ 激光器

杜晨林, 刘均海, 王正平, 许心光, 邵宗书

(山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东济南 250100)

提要 报道了利用半导体激光器(LD)抽运 Nd:YVO₄晶体,采用声光调 Q 输出 1064 nm 高重复频率短脉冲的固体激光器。在重复频率为 70 kHz 时,获得的最大平均输出功率为 6.45 W,光-光转换效率为 34.9%,斜效率为 37.3%。在相同的重复频率下还获得了最短脉冲宽度 7.9 ns。在重复频率为 10 kHz 时获得最大单脉冲能量为 213 μJ,峰值功率为 11.8 kW。

关键词 半导体激光器抽运 Nd:YVO₄晶体,声光调 Q

中图分类号 NT 248.1 **文献标识码** A

LD-pumped Acousto-optic Q-switched Nd:YVO₄ Laser with High Repetition Rates and Short Pulse Width

DU Chen-lin, LIU Jun-hai, WANG Zheng-ping, XU Xin-guang, SHAO Zong-shu
(National Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract An acousto-optic Q-switched diode-pumped Nd:YVO₄ laser at 1064 nm is reported here. When the repetition rate is 70 kHz, the maximum average output power of 6.45 W is obtained with an optical conversion efficiency of 34.9% and a slope efficiency of 37.3%. And the shortest pulse width of 7.9 ns is also obtained at the same repetition. The highest single pulse energy of 213 μJ with peak power of 11.8 kW is generated at 10 kHz repetition rate.

Key words diode-pumped, Nd:YVO₄, A-O Q-switched

1 引 言

半导体激光器抽运的固体激光器(DPSSL)具有效率高、光束质量好、结构紧凑、寿命长等优点,在军事、医学、信息、工业、科研等领域具有广泛的用途。DPSSL的调 Q 器件具有高重复频率、高平均功率和高光-光转换效率等优点,在激光雷达、激光测距和光电对抗等方面的应用中都显现了较大的优越性。

Nd:YVO₄晶体由于其优良的激光性能而成为 DPSSL 中应用最广泛的激光晶体。与 Nd:YAG 晶体及 Nd:YLF 晶体相比,Nd:YVO₄晶体具有受激发射截面大、吸收系数大、吸收带宽比较宽、线偏振输出等优点。大功率连续运转的 Nd:YVO₄晶体 DPSSL 的研究已经比较成熟^[1,2]。对 Nd:YVO₄晶

体的调 Q 激光器,文献也有一些报道^[3~6]。何京良等^[5]利用 Cr⁴⁺:YAG 晶体被动调 Q,获得了平均功率为 2.1 W,脉冲宽度为 70 ns,重复频率为 40 kHz 的 1064 nm 激光输出。Y. F. Chen 等^[4]利用双端抽运两块 Nd:YVO₄晶体和声光调 Q,分别在 100 kHz 和 10 kHz 的重复频率下,获得了 25 W 的平均输出功率和 0.9 mJ 的单脉冲能量。

本文报道在短腔长平-平腔中利用半导体激光器(LD)单端抽运 Nd:YVO₄晶体,采用声光调 Q,在高重复频率 70 kHz 时,先后获得了最大平均输出功率 6.45 W 和最短脉冲宽度 7.9 ns,光-光转换效率为 34.9%,斜效率为 37.3%。在重复频率为 10 kHz 时获得最大单脉冲能量为 213 μJ,峰值功率为 11.8 kW。

收稿日期 2001-04-20;收到修改稿日期 2001-07-24

作者简介 杜晨林(1976—),男,博士研究生,主要从事全固态激光器和非线性光学研究。E-mail: cldu@icm.sdu.edu.cn

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。谐振腔采用平-平腔,腔长约为 85 mm。平面镜 M_1 一面对 808 nm 增透,另一面对 808 nm 高透,并且对 1064 nm 全反。平面镜 M_2 为对 1064 nm 部分透过的输出耦合镜。抽运源为光纤束耦合输出的大功率半导体激光器系统,输出激光中心波长为 808 nm,输出光束数值孔径 $N.A. = 0.11$,最大输出功率为 25 W。光纤输出光束经聚焦系统后的抽运光斑半径约为 0.3 mm。激光晶体 $Nd:YVO_4$ 的掺杂浓度为 0.5 at.-%,尺寸为 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 5\text{ mm}$,一端镀 808 nm 和 1064 nm 的双波长增透膜,另一端镀 1064 nm 增透膜。晶体侧面用铝箔包裹置于紫铜块内,并用半导体制冷器冷却控温在 20°C 。

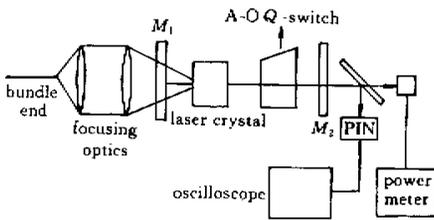


图 1 激光器实验装置图

Fig. 1 Schematic of the experimental setup

声光调 Q 元件的作用长度为 24 mm,两端镀 1064 nm 增透膜,衍射损耗为 88%,调制重复频率在 1~80 kHz 可调,由中心频率为 70 MHz,电功率为 3.5 W 驱动电源驱动,电脉冲上升时间为 13 ns,下降时间为 12 ns。声光调 Q 元件靠近 $Nd:YVO_4$ 晶体放置,并且用半导体制冷器制冷控温。

用 LPE-1C 型激光功率计测量输出脉冲激光的平均功率 P_{av} ,同时用快速光电二极管 (C1083, Hamamatsu Photonics) 和 500 MHz 数字式示波器 (Tektronix TDS3052) 测量激光脉冲信号。

3 实验结果及分析

实验中分别在不同的输出耦合透过率 (10%, 20%, 30% 和 50%) 与不同调 Q 重复频率 F (10 kHz, 30 kHz, 50 kHz 和 70 kHz) 的条件下,对激光输出平均功率和调 Q 脉冲进行测量。由于 $Nd:YVO_4$ 晶体的受激发射截面 ($25 \times 10^{-19}\text{ cm}^2$, 1064 nm) 比较大,荧光寿命 ($90 \sim 100\ \mu\text{s}$) 较短,随着输出耦合率

的增大,激光器能够稳定输出调 Q 脉冲的抽运功率范围也变大。输出耦合透过率越小,谐振腔内振荡光的功率密度越高,激光晶体的热透镜效应就越严重,从而导致谐振腔进入非稳定区。在 10% 的输出耦合透过率下,几乎得不到稳定的激光脉冲。然而,在 50% 的输出耦合透过率下,激光器稳定输出的抽运功率范围最大,平均输出功率和单脉冲能量最高,脉冲宽度也最短。

根据调 Q 理论^[7],在重复频率为 f 时,激光器的平均输出功率 P_{av} ,单脉冲能量 E ,脉冲宽度 t_p 分别为

$$P_{av} = \frac{Tf}{T+L} (n_i - n_f) h\nu V \quad (1)$$

$$E = \left(\frac{1}{\gamma} \right) h\nu (n_i - n_f) \frac{T}{T+L} \quad (2)$$

$$t_p = \frac{2L'}{c(T+L)} \cdot \frac{n_i - n_f}{n_i - n_t [1 + \ln(n_i/n_t)]} \quad (3)$$

其中, T 为输出耦合透过率, L 为谐振腔的其他损耗, n_i , n_t 和 n_f 分别为初始、阈值和最终反转粒子数, ν 为光子的频率, γ 为粒子数反转因子 (对于三能级系统 $\gamma = 2$, 对于四能级系统 $\gamma = 1$), L' 为谐振腔的光学长度, c 为真空中的光速, V 为光束在激光晶体中的体积。从以上三个公式可以看出,对于一定的输入能量或功率,输出耦合透过率 T 越大,则输出能量和功率也越大。但是 T 增大,又会使阈值抽运功率 P_{th} 增大,使输出功率减小。因此,对于一定的输入功率,存在一个最佳输出耦合透过率 T_{opt} ,使得激光器具有最大的输出功率。

图 2 为在 50% 的输出耦合透过率和不同的调 Q 重复频率下,平均输出功率与抽运功率的输入-输出关系。调 Q 重复频率越高,平均输出功率就越大。在重复频率为 70 kHz 下,抽运功率为 18.5 W 时,获得最大平均输出功率 6.45 W,光-光转换效率为 34.9%,斜效率为 37.3%。同时从图中还可以看出,重复频率越低,激光器稳定输出的抽运功率范围最小。

图 3 为 70 kHz 重复频率和 50% 输出耦合透过率下,平均输出功率和脉冲宽度随抽运功率的变化关系。从图中可以看出,起初抽运功率增大时,脉冲宽度急剧下降,平均输出功率线性增大;当抽运功率增大到 17 W 时,脉冲宽度又开始增大,而平均输出功率开始趋于饱和。这是由于抽运功率的增大使 $Nd:YVO_4$ 晶体上能级所积累的粒子数增加,能级受激跃迁速率增大,从而使脉冲宽度减小,平均输出功

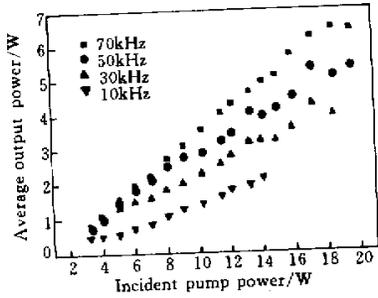


图2 不同重复频率下平均输出功率 P_{av} 与抽运功率 P_{in} 的输入-输出关系, 输出耦合透过率为 50%

Fig. 2 Average output power at different repetition rates as a function of pump power, the output coupler is 50%

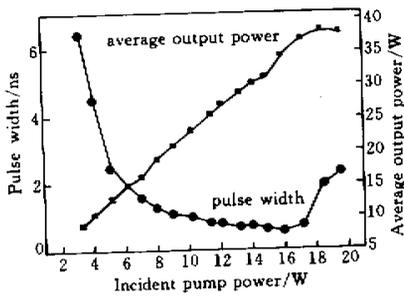


图3 平均输出功率和脉冲宽度与抽运功率的关系, 重复频率为 70 kHz, 输出耦合透过率为 50%

Fig. 3 Average output power and pulse width as a function of pump power

the repetition rate is 70 kHz, the output coupler is 50%

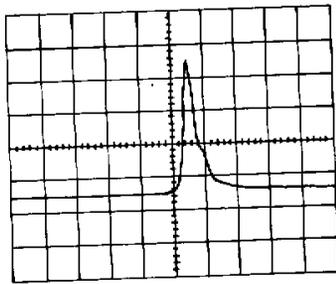


图4 调Q脉冲的示波器波形, 脉宽为 7.9 ns

Fig. 4 Oscilloscope trace of a Q-switched pulse, the pulse width is 7.9 ns

率增大。当上能级粒子数增加到最大值时再增大抽运功率, 就会使自发跃迁速率增大, 反而增大脉冲宽度, 而平均输出功率则不会再增大了。在输入功率为 15.9 W 时获得 7.9 ns 的最短脉冲, 图 4 为该脉冲的示波器记录波形。

Nd:YVO₄晶体的上能级寿命(90~100 μs)比较

短, 虽然不利于储存能量, 获得高能量单脉冲, 但是, 这使它即使在高重复频率下仍然能够获得短脉冲^[4]。这也是 Nd:YVO₄晶体的一个主要优点。另外, 实验中的短腔长谐振腔也为获得短脉冲提供了有利条件。

利用公式 $E = P_{av}/f$ 和 $P_{peak} = E/t_p$ 便可计算得到脉冲能量 E 和峰值功率 P_{peak} 。图 5 为在 50% 输出耦合透过率下, 不同重复频率的单脉冲能量与抽运功率的关系。从图中可以看出, 重复频率越低, 单脉冲能量越高。在重复频率为 10 kHz 时, 获得最大单脉冲能量 213 μJ, 峰值功率为 11.8 kW。

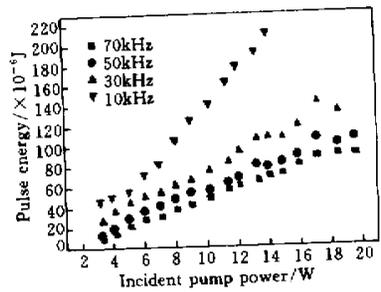


图5 不同重复频率下单脉冲能量与抽运功率的关系

Fig. 5 Pulse energy at various repetition rate as a function of pump power

参 考 文 献

- 1 Liu Junhai, Wang Changqing, Lü Junhua *et al.*. Diode-laser-array single-end-pumped 5 W Nd:YVO₄/KTP continuous-wave solid-state green laser [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 1999, **16**(7): 508~509
- 2 He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli *et al.*. 8.8 W green laser by intracavity frequency doubling of a LD pumped Nd:YVO₄ laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(6): 481~484 (in Chinese)
- 3 Henry Plaessmann, Kevin S. Yamada, Charles E. Rich *et al.*. Subnanosecond pulse generation from diode-pumped acousto-optically Q-switched solid-state lasers. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(33): 6616~6619
- 4 Yungfu Chen, Y. P. Lan, S. C. Wang. Efficient high-power diode-end-pumped TEM₀₀ Nd:YVO₄ laser with a planar cavity [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(14): 1016~1018
- 5 He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli *et al.*. Cr⁴⁺:YAG as a passive Q-switch in a diode-pumped cw Nd:YVO₄ laser [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 1998, **15**(12): 883~885
- 6 Li Jian, Lu Xingqiang, Hou Wei *et al.*. High-power diode-pumped high repetitive acousto-optic Q-switched intracavity frequency-doubled Nd:YVO₄/KTP green laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(12): 1063~1066 (in Chinese)
- 7 W. Koechner. *Solid-state Laser Engineering* [M]. Beijing: Science Press, 1983. 424~434 (in Chinese)