

# LD 泵浦 Nd : LuVO<sub>4</sub> / Cr<sup>4+</sup> : YAG 被动调 Q 激光器\*

王正平<sup>1</sup> 杜晨林<sup>2</sup> 张怀金<sup>1</sup> 阮双琛<sup>2</sup> 胡大伟<sup>1</sup> 王 营<sup>1</sup>  
许心光<sup>1</sup> 王继扬<sup>1</sup> 邵宗书<sup>1</sup>

(1 山东大学晶体材料国家重点实验室, 济南 250100)

(2 深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

**摘 要** 采用大功率半导体激光器端面泵浦 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体, 利用 Cr<sup>4+</sup> : YAG 晶体作为可饱和吸收元件, 实现了 1.06 μm 激光的被动调 Q 运转. 在泵浦功率为 19.1 W 时, 获得最高平均输出功率为 4.58 W, 脉冲宽度为 84 ns, 单脉冲能量为 36.6 μJ 以及峰值功率为 436.2 W 的激光脉冲.

**关键词** 半导体激光器泵浦; Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体; Cr<sup>4+</sup> : YAG; 被动调 Q

**中图分类号** TN24 **文献标识码** A

## 0 引言

掺钕钒酸盐是激光二极管(LD)泵浦固体激光器的有效介质, 尤其是在中、小功率方面. 在过去十几年里, Nd : YVO<sub>4</sub>、Nd : GdVO<sub>4</sub> 两种晶体受到国内外激光领域的广泛关注, 被用于制作多种固体激光器, 其工作方式包括连续、主动调 Q、被动调 Q 等<sup>[1~8]</sup>. 最近, 人们又开发出一种新型的钒酸盐激光晶体, Nd : LuVO<sub>4</sub><sup>[9~11]</sup>. 它具有比 Nd : YVO<sub>4</sub>、Nd : GdVO<sub>4</sub> 更大的吸收和发射截面, 很有实用前景<sup>[9]</sup>. 采用传统的提拉法, 已经成功生长出大尺寸、光学级的 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体<sup>[10]</sup>. 此前, 曾报道 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体的连续和主动调 Q 激光性质: 在主动调 Q 运转条件下, 平均输出功率达到 5.42 W, 光-光转换效率为 30.1%<sup>[11]</sup>.

本文采用大功率光纤耦合输出的半导体激光器作为泵浦源, 利用 Cr<sup>4+</sup> : YAG 作为可饱和吸收体, 实现了 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体 1.06 μm 全固态被动调 Q 激光运转, 获得了最高平均输出功率为 4.58 W, 脉冲宽度为 84 ns, 单脉冲能量为 36.6 μJ 以及峰值功率为 436.2 W 的激光脉冲输出.

## 1 实验装置

激光器实验装置如图 1. 谐振腔采用凹-平腔. 腔镜 M<sub>1</sub> 为 1.06 μm 全反镜, 曲率半径为 200 mm, 其前表面(平面)镀 808 nm 增透膜, 后表面(凹面)镀 808 nm 高透膜和 1.06 μm 高反膜(反射率大于 99%). M<sub>2</sub> 为 1.06 μm 平面耦合输出镜, 其内表面

镀 1.06 μm 部分反射膜. 实验所用 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体的尺寸为 3 mm × 3 mm × 6 mm, 沿 a 轴方向切割, Nd<sup>3+</sup> 浓度为 0.9 at. %, 两个通光面均镀 808 nm 和 1.06 μm 增透膜(透过率大于 99%). 为了去除激光晶体在大功率泵浦下产生的大量的热量, 减小激光晶体的热效应, Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体侧面用铝箔包裹置于紫铜块内, 并用半导体制冷器和循环水冷却, 实验过程中温度控制在 20℃ 左右. 作为饱和吸收体的 Cr<sup>4+</sup> : YAG 晶体, 对 1.06 μm 的初始透过率 T<sub>0</sub> ≈ 73%. Cr<sup>4+</sup> : YAG 晶体尽量靠近腔镜 M<sub>2</sub>, 即靠近谐振腔的束腰位置, 以获得较高激光功率密度. 腔外的 M<sub>3</sub> 是一分束器, 大部分激光输出被反射到功率计(EPM2000, Molectron Corp.), 剩余的透过光入射到与 500 M 示波器(Tektronix TDS 3052)相连的快速光二极管探头(C1083, Hamamatsu Photonics), 用于同步监测激光脉冲参量. 泵浦源为光纤耦合输出的大功率半导体激光器(OPC-D030-FCHS, Opto Power Corporation), 光纤输出口径为 1.55 mm, 室温下的峰值波长在 808 nm 附近. 从光纤输出的泵浦光经过特定的光学聚焦系统, 在激光晶体中心附近被聚焦成半径约为 260 μm 的泵浦光斑. 由 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 所构成的激光谐振腔的腔长约为 40 mm.

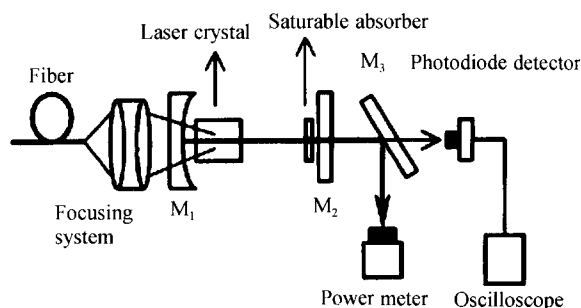


图 1 激光器实验装置  
Fig. 1 Schematic of the experimental laser setup

\*教育部优秀青年教师资助计划、教育部留学回国人员科研启动基金(2004.527)和山东省自然科学基金资助(Y2004F01)

### 2 实验结果及讨论

测量了被动调 Q 平均输出功率随入射泵浦功率的变化关系,如图 2. 实验中使用了两种输出镜,对 1.06 μm 的透过率分别为 T=30%,50%. 当使用 T=30% 的输出镜时,阈值泵浦功率为 2.6 W,在 19.1 W 的泵浦功率下获得了 4.15 W 的最大平均输出,斜效率为 25.2%,光-光转换效率为 21.7%. 相应地,当使用 T=50% 的输出镜时,阈值泵浦功率为 3.3 W,在 19.1 W 的泵浦功率下获得了 4.58 W 的最大平均输出,斜效率为 29%,光-光转换效率为 24%. 上述结果与传统的激光谐振腔理论相符,即耦合输出镜的透过率越大,则阈值泵浦功率越高,激光输出斜效率越大. 由图 2 可知,无论 T=30% 还是 T=50%,随着泵浦功率的增大,激光平均输出功率均线性增加. 图 3 是 19.1 W 泵浦功率下用示波器记录的单脉冲波形,相应的脉冲宽度为 84 ns. 图 4 是对于两种不同透过率的输出镜,脉冲宽度随泵浦功率的变化关系. 当泵浦功率从阈值增加到 19.1 W 时,对于 T=30% 的输出镜脉冲宽度从 150 ns 缩短到 108 ns,脉冲重复频率从 30 kHz 增加到 125 kHz;对于 T=50% 的输出镜脉宽从 152 ns 缩短到 84 ns,脉冲重复频率从 50 kHz 增加到 125 kHz. 根据上

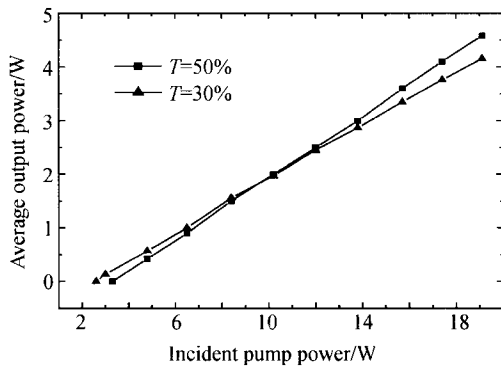


图 2 1.06 μm 激光平均输出功率与泵浦功率的关系  
Fig. 2 1.06 μm average output power as a function of pump power

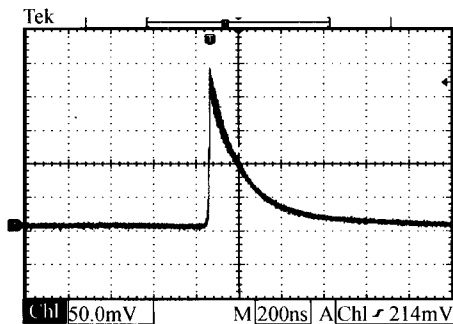


图 3 最大泵浦功率为 19.1 W,脉冲宽度为 84 ns 时的单脉冲示波器波形  
Fig. 3 Oscilloscope trace of a 84 ns pulse at the maximum incident pump power of 19.1 W

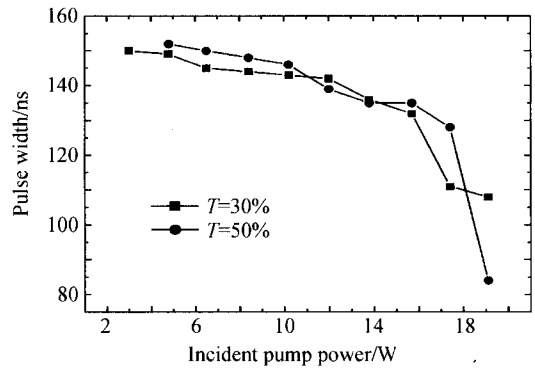


图 4 对于两种输出镜,调 Q 脉冲宽度随泵浦功率的变化关系  
Fig. 4 Q-switched pulse width versus incident pump power for the two output couplers

述结果,可以确定在 19.1 W 的最高泵浦功率下,调 Q 脉冲的单脉冲能量和峰值功率:对于 T=30% 的输出镜分别为 33.2 μJ 和 307.4 W,对于 T=50% 的输出镜分别为 36.6 μJ,436.2 W.

造成实验中单脉冲能量和峰值功率偏低的原因主要有两方面:1)Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体的受激发射截面(14.6 × 10<sup>-19</sup> cm<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>大,上能级寿命(95 μs)<sup>[11]</sup>短,不利于能量储存;2)实验条件未经优化,尤其是 Cr<sup>4+</sup> : YAG 可饱和吸收体的掺杂浓度和厚度. 如果采用掺杂浓度更低的 c 切 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体,或者参照 Nd : Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub> 晶体的例子<sup>[12]</sup>,采用 Nd : Lu<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub> 或 Nd : Lu<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub> 混晶,都有望在保持上能级寿命基本不变的情况下降低受激发射截面,从而使其被动调 Q 激光性能得到明显改善.

### 3 结论

利用 Cr<sup>4+</sup> : YAG 晶体作为可饱和吸收体,采用大功率半导体激光器作为泵浦源,在平-凹型直腔中实现了 Nd : LuVO<sub>4</sub> 晶体的 1.06 μm 被动调 Q 脉冲激光输出. 当耦合输出镜的透过率 T=50% 时,在 19.1 W 的泵浦功率下获得了 4.58 W 的最高平均输出功率,相应单脉冲能量为 36.6 μJ,峰值功率为 436.2 W.

#### 参考文献

- Fields R A, Birnbaum M, Fincher C L. Highly efficient Nd : YVO<sub>4</sub> diode-laser end-pumped laser. *Appl Phys Lett*, 1987, **51**(23): 1885~1886
- Taira T, Mukai A, Nozawa Y, et al. Single-mode oscillation of laser-diode pumped Nd : YVO<sub>4</sub> microchip lasers. *Opt Lett*, 1991, **16**(24): 1955~1957
- Damzen M J, Trew M, Rosas E, et al. Continuous-wave Nd : YVO<sub>4</sub> grazing-incidence laser with 22.5 W output power and 64% conversion efficiency. *Opt Commun*, 2001, **196**(1-6): 237~241

- 4 Liu J, Ozygus B, Yang S, *et al.* Efficient passive Q-switching operation of a diode-pumped Nd : GdVO<sub>4</sub> laser with a Cr<sup>4+</sup> : YAG saturable absorber. *J Opt Soc Am B*, 2003, **20**(4): 652~661
- 5 Lupei V, Pavel N, Sato Y, *et al.* Highly efficient 1063 nm continuous-wave laser emission in Nd : GdVO<sub>4</sub>. *Opt Lett*, 2003, **28**(23): 2366~2368
- 6 杨克建, 赵圣之, 赵宏明, 等. LD泵浦 Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体 GaAs 被动调 Q 激光理论和实验研究. 光子学报, 2005, **34**(2): 169~172  
Yang K J, Zhao S Z, Zhao H M, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2): 169~172
- 7 孙渝明, 侯学元, 李宇飞. LD 泵浦的声光调 Q 高重复率 Nd : GdVO<sub>4</sub> 激光器. 光子学报, 2004, **33**(6): 645~647  
Sun Y M, Hou X Y, Li Y F. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 645~647
- 8 杜晨林, 阮双琛, 于永芹, 等. LD 泵浦 Nd : GdVO<sub>4</sub> / GaAs 被动调 Q 激光器研究. 光子学报, 2004, **33**(7): 774~776
- 9 Maunier C, Doualan J L, Moncorge R, *et al.* Growth, spectroscopic characterization, and laser performance of Nd : LuVO<sub>4</sub>, a new infrared laser material that is suitable for diode pumping. *J Opt Soc Am B*, 2002, **19**(8): 1794~1800
- 10 Zhang Huaijin, Kong Haikuan, Zhao Shouren, *et al.* Growth of new laser crystal Nd : LuVO<sub>4</sub> by the Czochralski method. *J Crystal Growth*, 2003, **256**(3-4): 292~297
- 11 Liu Junhai, Zhang Huaijin, Wang Zhengping, *et al.* Continuous-wave and pulsed laser performance of Nd : LuVO<sub>4</sub> crystal. *Opt Lett*, 2004, **29**(2): 168~170
- 12 Liu Junhai, Meng Xianlin, Shao Zongshu, *et al.* Pulse energy enhancement in passive Q-switching operation with a class of Nd : Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub> crystals. *Appl Phys Lett*, 2003, **83**(7): 1289~1291

## LD-pumped Nd : LuVO<sub>4</sub>/Cr<sup>4+</sup> : YAG Passively Q-switched Laser

Wang Zhengping<sup>1</sup>, Du Chenlin<sup>2</sup>, Zhang Huaijin<sup>1</sup>, Ruan Shuangchen<sup>2</sup>, Hu Dawei<sup>1</sup>, Wang Ying<sup>1</sup>,  
Xu Xinguang<sup>1</sup>, Wang Jiyang<sup>1</sup>, Shao Zongshu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Key Lab of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100

<sup>2</sup> School of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060

Received date: 2005-03-15

**Abstract** A high-power LD-end-pumped passively Q-switched Nd : LuVO<sub>4</sub> laser at 1.06 μm is reported, with a Cr<sup>4+</sup> : YAG crystal as the passively Q-switched component. At the incident pump power of 19.1 W, the maximum average output power of 4.58 W, the shortest pulse width of 84 ns, the highest single pulse energy of 36.6 μJ and the highest peak power of 436.2 W are achieved, respectively.

**Keywords** Diode-end-pumped; Nd : LuVO<sub>4</sub>; Cr<sup>4+</sup> : YAG; Passively Q-switched



**Wang Zhengping** was born in 1973. He acquired the Ph. D. degree from Shandong University in 2002. Now he is working in the Institute of Crystal Materials, Shandong University. His research interests include crystal physics, solid state laser, and nonlinear optics.