

文章编号: 0258-7025(2004)03-0262-03

氙灯抽运 Nd:GdVO₄ 晶体的脉冲激光性能

潘 雷, 侯学元, 李宇飞, 孙渝明, 张 彪

(山东大学信息学院光学系, 山东 济南 250100)

摘要 利用闪光灯作为抽运源研究了 Nd:GdVO₄ 晶体的脉冲激光性能。激光晶体样品尺寸为 4 mm×4 mm×6 mm。当输出镜透过率 $T=15\%$, 抽运能量为 6.32 J 时, 激光器静态输出能量为 31.7 mJ。对 $T=7\%$ 的输出镜, 抽运阈值为 0.13 J。用厚度为 1.5 mm, 小信号透过率为 54.7% 的 Cr⁴⁺:YAG 晶体片实现了激光器的被动调 Q 运转, 测得动态和静态激光能量输出之比约为 1:3。在 $T=15\%$ 的输出镜透过率下, 当抽运能量为 3.89 J 和 6.32 J 时, 分别得到了脉冲宽度为 48.0 ns 和 39.2 ns 的单脉冲输出。

关键词 激光技术; 脉冲激光; Cr⁴⁺:YAG; Nd:GdVO₄; 闪光灯; 被动调 Q

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Performance of Xenon-Lamp Pumped Nd:GdVO₄ Pulse Laser

PAN Lei, HOU Xue-yuan, LI Yu-fei, SUN Yu-ming, ZHANG Biao

(Information and Technology Department of Shandong University, Ji'nan, Shandong 250100, China)

Abstract Pulse laser performance of Nd:GdVO₄ crystal is investigated by using xenon-flash lamp as pump source. The dimension of the laser crystal sample is 4 mm×4 mm×6 mm. With output coupler transmission of $T=15\%$, static output energy of 31.7 mJ is obtained at the pump energy of 6.32 J. For $T=7\%$ output coupler, the pump threshold of the laser is 0.13 J. The passively Q-switched operation is achieved by using 1.5 mm thickness Cr⁴⁺:YAG wafer with small-signal transmission of 54.7%. The dynamic-static laser output ratio is about 1:3. With $T=15\%$ output coupler, single laser pulses with duration of 48.0 ns and 39.2 ns are acquired at the pump energy of 3.89 J and 6.32 J, respectively.

Key words laser technique; pulse laser; Cr⁴⁺:YAG; Nd:GdVO₄; xenon-lamp; passively Q-switched

1 引言

自 Zagumennyi^[1] 等首次报道 Nd:GdVO₄ 晶体以来, 这种新型激光晶体引起人们的广泛关注^[2,3]。该晶体除了在 1.06 μm 波长处具有大的受激发射截面 (7.6×10^{-19} cm²) 外, 其最大优点是热导率高, 沿 *c* 轴的热导率高达 11.7 W(m·K)^[4]。尽管 Nd:GdVO₄ 晶体具有受激发射截面大和热导率高等优点, 但对于它的研究比起 Nd:YVO₄ 相对较少。相信随着晶体质量的提高和尺寸的加大, 特别是在激光二极管抽运大功率激光器领域, 将获得广泛应用。本文利用闪光灯做抽运源, 研究了 Nd:GdVO₄ 激光器的静态及动态脉冲激光性能。

2 静态激光性能

2.1 实验装置

实验装置如图 1 所示。平面镜 M_1, M_2 构成平-平腔, M_1 镀 1.06 μm 全反膜, M_2 为输出镜。聚光腔为镀银单椭圆柱玻璃腔, 腔长为 70 mm, 氙灯尺寸为 $\phi 6$ mm×70 mm, 谐振腔长度为 225 mm。Nd:GdVO₄ 晶体 [Nd1% (重量百分比)] 尺寸为 4 mm×4 mm×6 mm, 两通光面镀 1.06 μm 增透膜, 脉冲能量由 145A 型能量计检测。

2.2 实验结果与讨论

对于透射率分别为 7%, 12%, 15% 和 18% 的输出镜, 图 2 绘出了激光输出能量随抽运能量变化的

收稿日期: 2002-10-09; 收到修改稿日期: 2002-12-09

作者简介: 潘 雷 (1978—), 男, 山东大学信息学院光学工程专业硕士研究生, 主要从事激光技术方面的研究。E-mail:

panlei637@ynjia.cn

万方数据

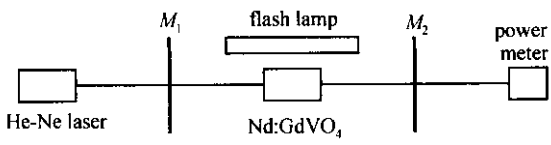


图 1 实验装置图

Fig. 1 Scheme of the experimental setup

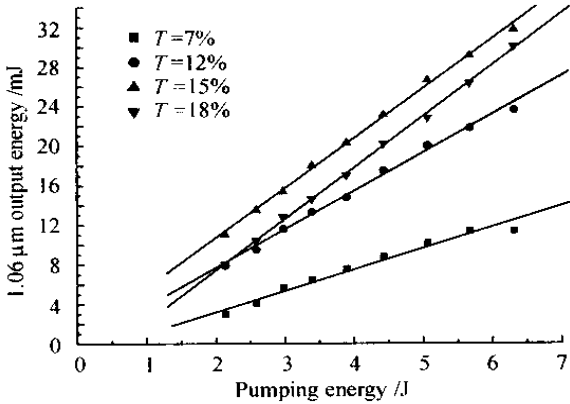


图 2 1.06 μm 输出能量随抽运能量的变化曲线

Fig. 2 1.06 μm output energy as a function of the pumping energy

关系曲线。由图 2 可看出,对不同透射率的输出镜,激光能量随抽运能量基本上都是线性增加的。对 $T = 7\%$ 的输出镜,当抽运能量增加到 6.32 J 时,曲线呈饱和现象。这是因为腔内能量太高,输出镜透过率过小所致。同理, $T = 12\%$ 的曲线斜率效率也比较低。 $T = 18\%$ 时,1.06 μm 激光输出能量小于 $T = 15\%$ 的输出能量,造成的原因是腔内能量密度较低,但其斜率效率较高,说明随着抽运能量的增加,仍可得到较高的能量输出。在现有的实验条件下, $T = 15\%$ 的透过率最佳,既有较高的斜率效率,也未出现饱和现象。当抽运能量为 6.32 J 时,1.06 μm 激光输出能量为 31.7 mJ,对应电-光转换效率为 0.50%。

实验中利用 TEKTDS3032B 存储示波器测量了不同透过率下的抽运阈值,对应 $T = 7\%, 12\%, 15\%$ 和 18% 的抽运阈值分别为 0.13 J, 0.167 J, 0.246 J, 0.276 J。阈值反转密度可用下式表示^[5]

$$n_2 - \frac{g_2}{g_1} n_1 \geq \frac{4\pi^2 \nu_0^2 n^2 \tau_{21} \Delta\nu}{c^2} \times \left[\frac{1}{2l} \ln(R_1 R_2)^{-1} + \alpha \right]$$

式中, n_1, n_2 为对应能级 1 和能级 2 上的粒子数密度; g_1 和 g_2 为相应能级的统计权重; c 为真空中光速; n 为介质折射率; τ_{21} 为激光工作能级间的荧光寿命;

$\Delta\nu$ 为对应半功率点的荧光线宽; ν_0 为荧光中心频率; R_1 和 R_2 为谐振腔两个反射镜的反射率; l 为增益介质的长度; α 为介质内部的损耗系数。Nd:GdVO₄晶体的激光上能级寿命为 90~100 μs(视掺杂浓度而定),不到 Nd:YAG 晶体 ($\tau_{21} = 230 \mu\text{s}$) 的一半,根据阈值反转密度公式, τ_{21} 越小,则阈值反转密度越低。实验中晶体样品的长度 $l = 6 \text{ mm}$,这也导致阈值反转密度的降低。这两方面原因,使测量的阈值很低,说明晶体非常适合激光二极管抽运。令 R_2 表示输出镜反射率,则阈值反转密度随反射率的减小而增大,这与实验结果相吻合。

3 动态激光性能

3.1 实验装置

用 Cr⁴⁺:YAG 晶体片研究 Nd:YAG 和 Nd:YVO₄晶体被动调 Q 的输出特性已有报道^[6,7]。我们用 Cr⁴⁺:YAG 晶体片实现了闪光灯抽运 Nd:GdVO₄晶体的动态运转。Cr⁴⁺:YAG 晶体片厚度为 1.5 mm,两通光面镀 1.06 μm 增透膜,1.06 μm 静态透射率为 54.7%,谐振腔长为 250 mm,输出镜透过率为 15%,输出激光由光电二极管接收,脉冲波形由 TEKTDS3032B 存储示波器显示,并用计算机记录,实验装置如图 3 所示。

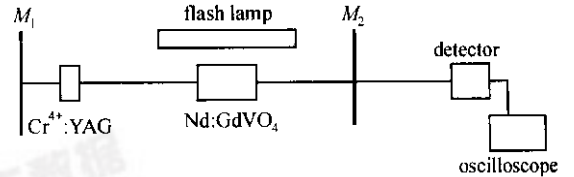


图 3 实验装置图

Fig. 3 Scheme of the experimental setup

3.2 实验结果与讨论

动态输出激光脉冲波形和能量分别示于图 4 和图 5。

图 4(a), (b) 为抽运能量分别为 3.89 J 和 6.32 J 的调 Q 脉冲输出波形,脉冲宽度分别为 48.0 ns 和 39.2 ns,随着谐振腔内光子数密度的增加,输出脉冲宽度变窄,这与理论分析相符^[8]。从图 4 中可看出,脉冲前沿比脉冲后沿明显变化缓慢,说明随着腔内光子数密度的增加,Cr⁴⁺:YAG 调 Q 片被漂白经历一个渐变过程。随着抽运能量的增加,腔内光子密度迅速加强,可得到脉冲前沿更陡的波形。

图 5 中动态脉冲激光能量随抽运能量线性增

加,在现有的抽运能量下,一直呈单脉冲输出,说明实验中用的 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 调 Q 片没有被多次漂白。进一步减少 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体片的厚度,可望在保持单

脉冲输出的情况下,得到更大的动态脉冲激光能量输出。与静态脉冲激光能量比较,可得动静比为 1:3。

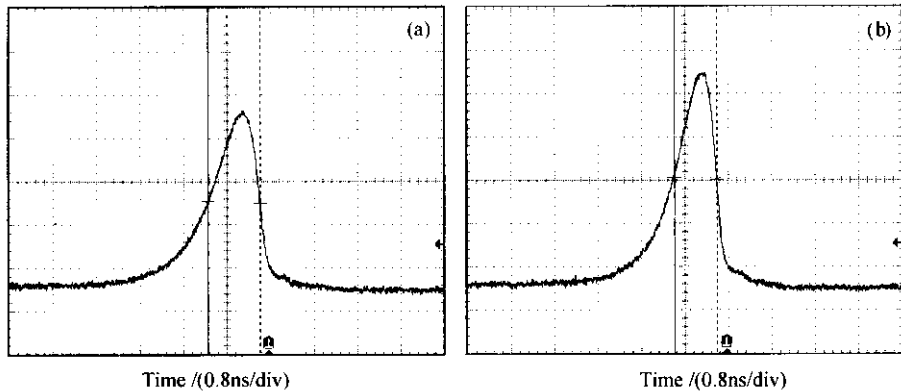


图 4 动态脉冲

Fig. 4 Dynamic pulse

(a) $\Delta = 48.0$ ns; (b) $\Delta = 39.2$ ns

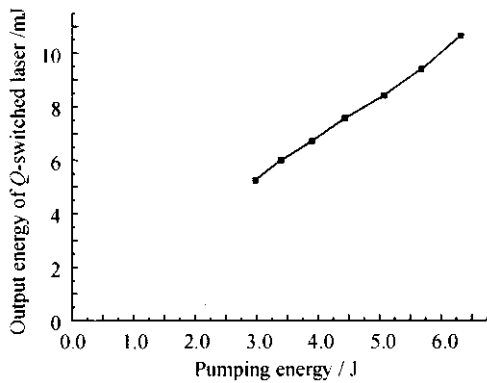


图 5 动态激光能量随抽运能量的变化

Fig. 5 Dependence of dynamic laser energy on pumping energy

4 结 论

利用闪光灯做抽运源,研究了 $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ 晶体脉冲激光性能。对于 $4\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 晶体样品,采用平-平腔,当抽运能量为 6.32 J 时,获得 31.7 mJ 的静态脉冲能量输出,电-光转换效率为 0.50% 。对应 $T = 7\%, 12\%, 15\%$ 和 18% 的抽运阈值分别为 $0.13\text{ J}, 0.167\text{ J}, 0.246\text{ J}, 0.276\text{ J}$,说明该晶体的抽运阈值较低。利用厚度为 1.5 mm 的 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶片实现了调 Q 运转,动静比为 1:3。该晶体的热导率可与 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 相比拟,随着该晶体质量的提高和晶体尺寸的加大,可望在闪光灯抽运中小功率和 LD 抽运的高功率激光器中得到广泛应用。

参 考 文 献

- 1 A. I. Zagumennyi, V. G. Ostroumov, I. A. Shcherbakov *et al.*. The $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ crystal: A new material for diode-pumped lasers [J]. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1992, **22**(12):1071~1072
- 2 T. Jensen, V. G. Ostroumov, J.-P. Meyen *et al.*. Spectroscopic characterization and laser performance of diode-laser-pumped $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ [J]. *Appl. Phys. B*, 1994, **58**(5):373~379
- 3 H. J. Zhang, X. L. Meng, L. Zhu *et al.*. Investigations on the growth and laser properties of $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ single crystal [J]. *Cryst. Res. Technol.*, 1998, **33**(5):801~806
- 4 Yin Zhao, Shen Deyuan, Ueda Ken-Ichi. A laser-diode pumped $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(10):1374~1377
- 5 尹 钊,沈德元,植田宪一. 激光二极管抽运的 $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ 激光器[J]. 光学学报, 2000, **20**(10):1374~1377
- 6 Hou Xueyuan, Qian Huanwen. Laser Apparatus and Its Application [M]. Ji'nan: Shandong University Publishing House, 1997. 110~111
- 7 侯学元,钱焕文. 激光器件及其应用[M]. 济南:山东大学出版社, 1997. 110~111
- 8 T. Dascalu, G. Philipps, H. Weber. Investigation of a $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ passive Q-switch in CW pumped $\text{Nd}:\text{YAG}$ lasers [J]. *Opt. Laser Technol.*, 1997, **29**(3):145~149
- 9 Zheng Quan, Qian Longsheng. All-solid-state passively Q-switched and single-frequency Green laser [J]. *Chinese J. Quantum Electron.*, 2001, **18**(Suppl):50~52
- 10 郑 权,钱龙生. 全固态被动调 Q 单频绿光激光器[J]. 量子电子学报, 2001, **18**(增刊):50~52
- 11 Xingyu Zhang, Shengzhi Zhao, Qingpu Wang *et al.*. Modeling of passively Q-switched lasers [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2000, **17**(7):1166~1175