文章编号: 1001-5078(2006)增刊-0804-03

LD侧面泵浦 Nd:$GdVO_4$电光调 Q激光器研究

李久喜,金煜坚,王鹏飞,冯 江,李 强
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:通过理论分析和实验研究,从泵浦效率、调 Q性能、温度特性等几个方面比较了脉冲二极管泵浦 Nd:$GdVO_4$激光器和 Nd:YAG激光器的差异;对 Nd:$GdVO_4$激光器采用侧面泵浦的方式,电光调 Q得到了输出能量 27.5mJ,脉冲宽度为 6.4ns,泵浦效率远高于 Nd:YAG激光器。

关键词: Nd:$GdVO_4$;侧面泵浦;电光调 Q
中图分类号: TN248.1 **文献标识码**: A

Study on E-O Q-switched Nd:$GdVO_4$ Laser Side-pumped by Laser Diode

LI Jiu-xi, JIN Yu-jian, WANG Peng-fei, FENG Jiang, LI Qiang
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: An E-O Q-switched Nd:$GdVO_4$ laser side-pumped by a diode-laser-array has been demonstrated. The characteristic difference between E-O Q-switched Nd:$GdVO_4$ and Nd:YAG laser is analyzed in pump efficiency, Q-switched performance and temperature characteristics. An output energy of 27.5mJ and a pulse width of 6.4ns are obtained. The pump efficiency is higher than Nd:YAG lasers.

Key words: Nd:$GdVO_4$; side pumped; E-O Q-switch

1 引 言

中小功率的脉冲二极管泵浦固体激光器具有体积小、重量轻、泵浦效率高、可靠性高等特点,广泛应用于激光测距、目标指示、激光雷达等领域。适合二极管泵浦的晶体有很多,如 Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:YVO_4等。Nd:$GdVO_4$晶体于 1992年问世,具有低的激光阈值、高的激光输出斜率效率、高热导率等优点。从报道的文献来看,国内外对 Nd:$GdVO_4$固体激光器的研究主要集中在二极管端面抽运的连续固体激光器,在许多地方已得到应用。本文对侧面泵浦的电光调 Q的 Nd:$GdVO_4$固体激光器的输出特性进行了探索性研究。

2 Nd:$GdVO_4$的晶体参数特点

为了比较,表 1列出了 Nd:$GdVO_4$和 Nd:YAG晶体的主要参数。可以看出,Nd:$GdVO_4$晶体的泵浦光吸收系数达到 74cm^{-1},而 Nd:YAG晶体的吸收系数只有 11cm^{-1},一般认为 Nd:YAG的吸收线宽为 2～3nm,Nd:$GdVO_4$的吸收线宽达到 5～6nm[1]。同时,该晶体具有与 Nd:YAG晶体相当的导热率,适合作为较高功率 LD泵浦的激光材料。

表 1 Nd:$GdVO_4$与 Nd:YVO_4在晶体参数对比

	Nd:$GdVO_4$	Nd:YAG[2]
热导率 (W/mK)	11.7	10.7
热膨胀系数 (1/K)	$\alpha_a = 1.5\times10^{-6}$ $\alpha_c = 7.3\times10^{-6}$	[100] 8.2×10^{-6} [110] 7.7×10^{-6} [111] 7.8×10^{-6}
吸收波长 (nm)	808.5	808
发射波长 (nm)	1062.9	1064.1
折射率 (at 1.06μm)	$n_0 = 1.972$ $n_e = 2.192$	1.82
吸收系数 (810nm)	74	11
受激发射截面 (cm^2)	7.6×10^{-19}	6.5×10^{-19} (R_2 - Y_3) 2.8×10^{-19} ($^4F_{3/2}$ - $^4I_{11/2}$)
荧光寿命 (μs)	100	230

作者简介:李久喜(1979-),男,硕士,助工,2005年毕业于西安电子科技大学技术物理学院,现从事二极管泵浦固体激光器技术研究。

收稿日期: 2006-04-03

3 试验装置与结果

Nd:GdVO$_4$电光调 Q的实验装置采用简单的平凹腔结构[3],如图 1所示。采用两组半环形 LD侧面泵浦升压式电光调 Q方法。实验中 Nd:GdVO$_4$的尺寸为 Φ5 ×38mm,晶体的两上端面均镀 1064nm的增透膜,LD阵列采用 TEC制冷器控制温度,同时为减小温度对晶体的影响,晶体半侧面用铟片包裹,并放置于具有 Φ5mm半圆凹槽的大型散热片上,通过散热片导热。

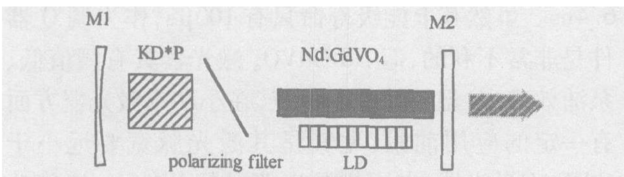


图 1 调 Q实验装置示意图

下面讨论晶体参量对激光器输出特性的影响。Q开关脉冲的宽度 Δt_p 与初始、最终、以及阈值反转粒子数密度 n_i, n_f, n_t的关系:

$$\Delta t_p = \tau_c \frac{n_i - n_f}{n_i - n_t[1 + \ln(n_i/n_t)]} \tag{1}$$

重新推导 Degnan[4] (我们发现其推导的公式存在错误),对于优化 Q开关激光器运转的解析解,把脉宽等参量用单一的无量纲变量函数 $z = 2g_0 l/L$来表示,式中:$2g_0 l$为对数小信号增益;L为往返损耗;τ_c为腔的时间常数。由

$$z = 2g_0 l/L = 2\sigma n_i l/L, \tag{2}$$

$$n_t = \frac{1}{2\sigma l}\left[\ln\left(\frac{1}{R}\right) + L\right] \tag{3}$$

$$\ln\left(\frac{1}{R}\right) = L\left[\frac{z - 1 - \ln z}{\ln z}\right] \tag{4}$$

计算推导得到:

$$\Delta t_p = \frac{t_r}{L} \cdot \frac{\ln z}{z - 1} \cdot \frac{1}{\frac{z}{z-1} - \frac{1}{\ln z}\left[1 + \ln\left(\frac{z \cdot \ln z}{z - 1}\right)\right]} \tag{5}$$

其中,t_r为往返时间。设激光器设计输出能量为 E_{max},有:

$$E_{max} = \frac{Ah\nu L}{2\sigma\gamma}[z - 1 - \ln z] \tag{6}$$

其中,A为光束截面面积;hν为光子能量,对于 1.06μm, $h\nu = 1.87 \times 10^{-19}$ J;σ为受激发射截面;γ为光子简并度因子,一般 $1 < \gamma < 2$。对于一定的设计输出能量 E_{max},通过(6)式计算得到 z值,代入(5)式即可得到相应的调 Q脉冲宽度。

模拟计算了在设计输出能量为 30mJ时,受激发射截面与脉冲宽度的关系如图 2所示。同时,作为对实际情况的模拟,分别计算了在实际脉冲输出能量情况下,Nd:GdVO$_4$与 Nd:YAG调 Q脉冲宽度的理论值。对于 Nd:GdVO$_4$激光器,受激发射截面为 7.6×10^{-19} cm^2,设计输出能量为 28mJ,设往返损耗为 8%,激光器腔长为 20cm,光子简并度因子 $\gamma = 1.3$时,代入(2)~(5)式,计算得到输出脉宽为 6.55ns。对于 Nd:YAG激光器,取受激发射截面为 2.8×10^{-19} cm^2,当设计输出能量为 33mJ,腔长为 18cm,其他条件相同时,模拟计算得到调 Q脉冲宽度为 12.18ns。

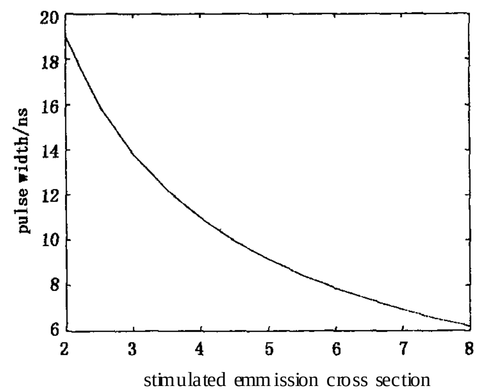


图 2 受激发射截面与脉冲宽度的关系

4 实验结果

4.1 Nd:GdVO$_4$激光器的输出特性

试验装置如图 1所示,由于 Nd:GdVO$_4$的上能级寿命约 100μs,因此泵浦电流的脉宽设置为 100μs。在保持其它条件相同的情况下,分别对 Nd:GdVO$_4$电光调 Q激光器与 Nd:YAG电光调 Q激光器,两者的输出能量与二极管输入电流的关系做了对比,如图 3所示。可见,在 60A的泵浦电流情况下,由于Nd:YAG的阈值较高,其并没有激光输出。并且,在 60~100A的电流范围内,Nd:GdVO$_4$激光器始终有着比 Nd:YAG高的输出能量。

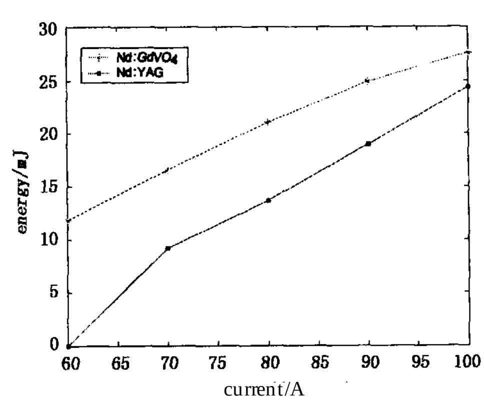


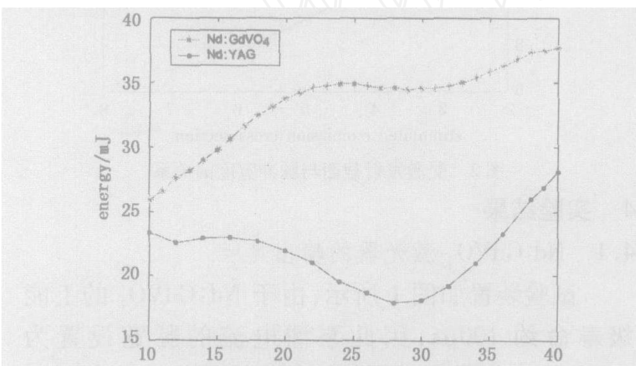
图 3 两种激光器在相同条件下动态输出能量的对比

用 TEK公司 TDS3054型示波器观测 Nd:GdVO$_4$电光调 Q脉冲输出波形,在 100A时脉冲宽度为 6.4ns,用 JD2000型能量计测得输出能量为 27.5mJ。

同时,按照以上模拟条件进行 Nd∶YAG电光调 Q,当 Q脉冲输出能量达到 33mJ时,用示波器测得脉冲宽度为 11.3ns。可以看出,两种激光器电光调 Q脉冲宽度测量结果与理论计算结果均符合良好。同时测量静态输出能量和直接测量 LD的输出能量,得到 Nd∶GdVO$_4$ 激光器光 -光转换效率为 35.5%。

4.2 Nd∶GdVO$_4$ 激光器的温度特性

激光器工作时的热稳定性[5]是衡量激光器质量的重要指标之一。二极管的发射波长随着温度会产生漂移,峰值发射随温度的变化量为 0.3nm/℃[2]。当二极管的发射波长漂移过大,以至于超过晶体的最佳吸收谱线宽度范围,则会引起激光器输出能量下降,测量了在其他条件相同情况下,激光二极管在 10~40℃工作时 Nd∶GdVO$_4$ 激光器与 Nd∶YAG激光器静态输出能量的变化情况,如图 4所示。



temperature/℃

图 4 LD在不同温度条件下泵浦时两种激光器输出能量的对比

可以看出,Nd∶GdVO$_4$ 始终保持着较高的能量输出,同时,在 20~34℃的温度变化范围内,Nd∶GdVO$_4$激光器的能量曲线十分平坦,能量变化小于 4.8%,而 Nd∶YAG激光器的能量输出则有较大的变化。根据试验结果可以看出,Nd∶GdVO$_4$ 的吸收线宽确实要比 Nd∶YAG晶体宽;Nd∶GdVO$_4$ 激光器在保证稳定的输出能量条件下,有着较宽的温度适应范围,极大地减轻了对激光器温度控制的压力。

5 结 论

通过对激光二极管侧面泵浦 Nd∶GdVO$_4$ 激光器电光调 Q的实验研究,实现了调 Q输出 27mJ,脉宽 6.4ns。虽然其上能级寿命只有 100μs,作为调 Q器件是非常不利的,但 Nd∶GdVO$_4$ 激光器具有阈值低、泵浦效率高、温控简单的优点,在小功率激光器方面有一定的应用前景,尤其是其激光脉宽要远小于 Nd∶YAG激光器,在同样输出能量的条件下,峰值功率要高很多,更加适合中小功率的 OPO器件。

参考文献:

[1] Jensen T, Ostroumov V G, Meyjn J P. Spectroscope characterization and laser performance of diode-laser-pumped Nd∶GdVO$_4$ [J]. Appl Phys B, 1994, 58(5): 373 - 379.

[2] W克希耐尔.固体激光工程 [M].北京:科学出版社, 2002.

[3] 李适民.激光器件原理与设计 [M].北京:国防工业出版社, 1998.7.

[4] John J Degnan. Theory of the Optimally Coupled Q - Switched Laser [J]. 1989, IEEE J. Quant Electron., 1989, 25: 214.

[5] 金煜坚,王鹏飞,李久喜,等.二极管泵浦固体激光器的热管理研究 [J].激光与红外, 2006, 36(3): 187 - 189.

所庆花絮

在迎所庆促生产高潮中,十一所广大职工夜以继日、全力投入科研生产,为国家光电技术发展付出了辛勤劳动。为活跃职工生活,营造所庆的热烈氛围,工会组织开展了丰富多彩的职工文化体育活动。在纪念“三八”国际妇女劳动节之际,举办了“庆祝建所 50周年女职工征文演讲比赛和才艺展示”,精心制作的集锦片《魅力巾帼》充分展示出十一所女职工的风采以及在我所建设中所做的贡献。从 3月下旬至 7月初,“所庆杯”篮球和足球联赛相继拉开了帷幕,比赛中各参赛队赛出了水平,赛出了风格,展示出十一所人的精神风貌,“参赛队全家福”、“赛事论坛”、“最佳啦啦队”等亮点更体现出所庆主题活动的深刻意义。离退休职工活动中心也结合实际,先后举办了庆祝建所 50周年“老照片展”、“手工艺比赛”、“征文书画展”、“离退休职工座谈会”等系列活动。通过各项活动,把离退休职工对生活的热爱、对十一所的热爱和再创辉煌的美好祝愿充分展现出来。9月 15日,将举行建所 50周年庆典,必将把所庆的活动推向高潮,为向庆典日献上一台精彩的文艺演出,各部门的节目正在紧张的排练中。

(党群工作部供稿)