

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0013-03

激光二极管抽运 Nd:YAG 双棒的提取效率

高清松^{1,2}, 童立新², 涂 波², 陈晓琳², 唐 淳², 冯国英¹

¹ 四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064

² 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900

摘要 介绍了激光二极管抽运电光调 Q 绿光激光器中的 Nd:YAG 双棒能量提取效率的模拟和实验研究结果。分析了激光放大器的预放大级和主放大级并实验研究了不同输入能量时的输出能量和提取效率。激光放大器重复频率为 400 Hz 时, 获得了单脉冲能量 1.27 J 激光输出, 提取效率大于 63%, 光-光转换效率为 16%。

关键词 激光技术; 激光放大器; 提取效率

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Energy Extract Efficiency of the Nd:YAG Two Rods Pumped by Diode Laser

GAO Qing-song^{1,2}, TONG Li-xin², TU Bo², CHEN Xiao-ling²,

TANG Chun², FENG Guo-ying¹

¹ College of Electronic Information, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China

² Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China

Abstract Diode laser pumped Q-switch green laser is described. The energy extract efficiency of two Nd:YAG rods pumped by diode laser is experimentally investigated and simulated. The output energy and extract efficiency of the pre- and master amplification in different input energy are analyzed by theory and experiment. Single pulse energy 1.27 J is output at the frequency of 400 Hz, and energy extract efficiency is 63%, and optical-optical efficiency is 16%.

Key words laser technique; laser amplifier; energy extract efficiency

1 引 言

随着大功率二极管激光器的发展, 激光二极管抽运固体激光器以其体积小、效率高、寿命长和全固态等优点成为新型激光器的发展热点^[1]。激光二极管抽运的高功率绿光激光器在激光测距、海洋勘探、水下通信及光电对抗等领域具有广阔的应用前景和发展潜力。高功率绿光激光器采用谐振腔技术, 在腔内声光调 Q 及内腔倍频技术获得几十瓦到数百瓦绿光输出^[2~4]; 另一种技术是主振荡功率放大器(MOPA)获得高重复频率基频光, 用 KTP 或 LBO 晶体倍频获得绿光输出^[5]。

本文讨论的激光放大器采用 MOPA 结构, 由预放大级和主放大级两部分组成。预放大级为振荡级输出激光脉冲提供较大的增益, 采用双程放大器结

构设计, 与单程放大器相比可在同样输出要求下, 大大降低输入能量; 主放大级通常在高通量下能获得较大的放大器储能提取效率, 所以激光器输出能量大部分从主放大级提取。对影响 Nd:YAG 双棒放大器提取效率的几个因素进行模拟计算和实验研究, 采取相应措施进行优化设计, 获得了大于 63% 的提取效率。

2 理论模型

建立理论模型时假设反转粒子数密度在有效增益介质长度中是均匀的, 放大过程以输入信号到达之前能量就储存在激光上能级。由于激光二极管抽运 Nd:YAG 双棒激光放大器采用调 Q 窄脉冲输出, 激光上能级的弛豫时间远大于调 Q 脉冲与放大

基金项目: 国家 863 计划资助课题。

作者简介: 高清松(1972—), 男, 助理研究员, 主要从事激光二极管抽运固体激光器技术的研究。

E-mail: gaoqs123@tom.com

器相互作用时间;激光下能级寿命为纳秒量级,国内尚缺乏 Nd:YAG 晶体材料下能级寿命的准确参量,美国利弗莫尔实验室相关人员报道其寿命为 1 ns。基于上面的假设,根据速率方程得到激光放大器输入输出能量的精简公式

$$E_1 = E_s \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{E_0}{E_s} \right) - 1 \right] \exp [(g_0 - a)l] \right\}, \quad (1)$$

$$g_0 = \frac{h\nu}{E_s} \left[N_{10} - N_{20} \exp \left(-\frac{\Delta t}{T} \right) \right], \quad (2)$$

可计算出放大器的输出能量^[6]。式中 E_1 为输出能量密度, E_s 为饱和能量密度, E_0 为输入能量密度, g_0 为小信号增益系数, a 为增益介质吸收系数, l 为增益介质长度, $h\nu$ 为光子能量, N_{10} 为激光上能级粒子数密度, N_{20} 为激光下能级粒子数密度, Δt 为脉冲时间间隔, T 为激光下能级寿命。提取效率 η 为从放大器提取的能量与激光上能级储存的能量之比。

从公式(1)可看出,输入能量密度在一定范围内与输出能量密度是线性关系,当输入能量密度大于饱和能量密度以后,增益下降较为缓慢,但提取效率仍在提高。

3 激光放大器实验装置

激光二极管抽运 Nd:YAG 双棒激光放大器的光路布局如图1所示。激光放大器由预放大级和主放大级两部分组成。每个放大级由两个激光二极管抽运激光模块, $4f$ 像传递系统和空间滤波器等光学元件组成。预放大级的激光二极管抽运激光模块由 81 个 80 W 的激光二极管棒组成,为了获得均匀的激光增益分布,采用 9 边对称抽运结构,每边包含 9 个激光二极管棒。Nd:YAG棒直径 6 mm,有效增益长度 90 mm, Nd 掺杂原子数分数 1%。主放大级的激光二极管抽运激光模块由 144 个 80 W 的激光二极管棒组成,采用 12 边对称抽运结构,每边包含 12 个激光二极管棒。Nd:YAG棒直径 8 mm,有效增益长度 120 mm, Nd 掺杂原子数分数 0.6%。 $4f$ 成像透镜的焦距为 200 mm,将两个激光二极管抽运模块的主平面相互成像,一方面获得最小的衍射调

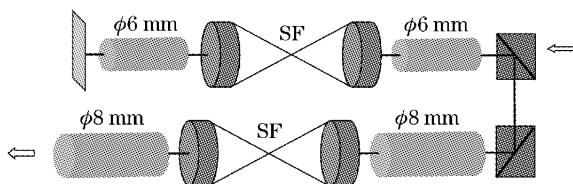


图 1 激光放大器实验装置示意图

Fig. 1 Experimental set-up of amplifying system

制,另一方面满足热退偏补偿光路的需要。

经放大器输出的激光用 KTP 晶体倍频,以获得需要的绿光输出,理论和实验均表明激光二极管抽运模块的退偏光不能参与倍频获得绿光输出,即退偏光对整个绿光输出无贡献,所以采用双棒结构, $4f$ 成像及 90° 石英旋转器对激光二极管抽运模块补偿高重复频率带来的热退偏。对利用双棒结构补偿退偏和改善光束质量进行了细致的实验研究,双棒总的退偏率降低为 8% 左右,模拟计算时将退偏损耗引入到计算中。

空间滤波器的小孔滤出入射光束中的高频分量,提高激光器的光束质量。空间滤波器的小孔也具有一定的光隔离能力,这有利于抑制自发辐射放大和隔离反向激光,提高激光放大器的提取效率。

4 模拟计算和实验结果

激光放大器输入能量在时间上采用脉冲分割;在增益介质截面上进行网格细分。模拟计算输入参量: E_s 为 590 mJ/cm^2 ; 预放大级和主放大级的激光二极管抽运激光模块储能分别为 370 mJ 和 650 mJ; 增益介质吸收系数 a 为 0.007 cm^{-1} ; $4f$ 成像系统和空间滤波器的透过率为 90%。

在理论计算时考虑到一般镀膜件的激光损伤阈值为 300 MW/cm^2 ,但考虑安全在设计时光学元件上的最大峰值功率密度不大于 200 MW/cm^2 。

激光放大器实验和模拟得到输入能量与输出能量的关系如图 2 所示,提取效率如图 3 所示。从图中可以看出随着输入能量的增大,激光器输出能量增大,提取效率提高,但输出能量和提取效率增大的趋势逐渐变缓。激光放大器在输入能量 1.13 mJ 时,输出能量 1.27 J,输出能量密度是饱和能量密度的 4.28 倍,峰值功率密度达 168 MW/cm^2 。激光放

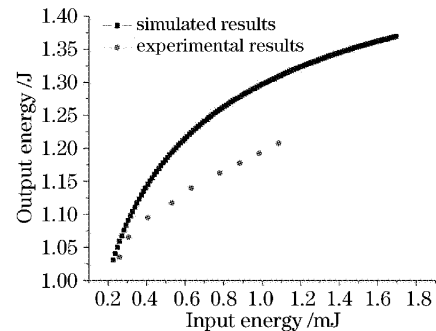


图 2 激光放大器输出能量模拟和实验结果

Fig. 2 Simulated and experimental results of output energy for amplifying system

大器预放大级输出能量密度是输入能量密度的 480 倍, 双程放大结构设计大大提高了激光器的通量。激光放大器主放大级由于处于饱和放大, 输出能量密度仅是输入能量密度的 4 倍, 但提取效率达到 77%。

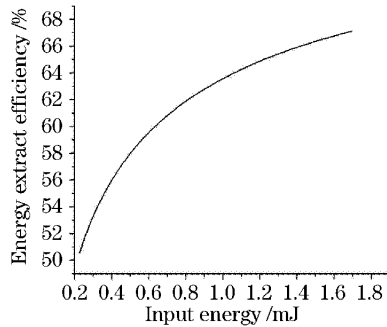


图 3 激光放大器提取效率模拟结果

Fig. 3 Simulated results of energy extract efficiency for amplifying system

5 结 论

对激光主放大器提取效率进行了模拟计算分析和实验研究, 实验与模拟计算结果基本吻合。激光放大器采用预放大级和主放大级放大设计, 由于两级激光放大器的作用不一样, 导致其提取效率相差较大。激光放大器对振荡级输出能量要求低, 仅

1 mJ 左右。激光器在 400 Hz 重复频率时得到单脉冲能量 1.27 J 激光输出, 光束质量小于 2.5 倍衍射极限, 提取效率大于 63%。

参 考 文 献

- 1 Liu Jinghai, Xu Rongfu. Laser Device and Technology [M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press, 1995
刘敬海, 徐荣甫. 激光器件与技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995
- 2 Xu Degang, Yao Jianquan, Guo Li *et al.*. 10^4 W laser diode-pumped intracavity frequency-doubled Nd:YAG green light laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(7): 925~928
徐德刚, 姚建铨, 郭丽等. 10^4 W 内腔倍频全固态 Nd:YAG 绿光激光器 [J]. 光学学报, 2004, **24**(7): 925~928
- 3 Jiang Dongsheng, Zhou Shouhuan, Zhao Hong *et al.*. High average power double frequency operation of Nd:YAG rod lasers side pumped by diode arrays [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(4): 301~303
姜东升, 周寿桓, 赵鸿等. 二极管侧面抽运的高平均功率倍频 Nd:YAG 激光器 [J]. 中国激光, 2001, **A28**(4): 301~303
- 4 Jiang Dongsheng, Zhao Hong, Wang Jianjun *et al.*. 68 W green-beam operation of a diode-pumped Nd:YAG rod laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(suppl.): 102~104
姜东升, 赵鸿, 王建军等. 平均功率达 68 W 的 LD 抽运倍频 Nd:YAG 激光器 [J]. 中国激光, 2002, **A29**(增刊): 102~104
- 5 Wang Weiming, Yao Zhenyu, Pang Yu *et al.*. Study on DPL technology of hectowatt green laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(suppl.): 5~7
王卫民, 姚震宇, 庞毓等. 百瓦级绿光 DPL 激光器技术研究 [J]. 中国激光, 2004, **31**(增刊): 5~7
- 6 Koehn W. Solid-State Laser Engineering [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002