

## 高功率固体激光放大器中增益均匀化研究

张永亮<sup>1</sup>, 魏晓峰<sup>1</sup>, 严雄伟<sup>1</sup>, 王明哲<sup>1,2</sup>, 王德恩<sup>1</sup>, 郑建刚<sup>1</sup>, 李明中<sup>1</sup>, 景峰<sup>1</sup>

(1. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;

2. 国防科学技术大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 针对高功率固体激光放大器中增益分布不均匀的现象, 为获得较为均匀的增益分布, 提出了分布式泵浦的方法。相对于均匀泵浦, 分布式泵浦就是通过设计使得泵浦场具有一定的分布。在总体泵浦功率相同的情况下, 分别对均匀泵浦和一定分布的分布式泵浦条件下产生的增益分布进行了模拟计算。结果表明, 与均匀泵浦相比, 使用分布式泵浦方法获得了较为均匀的增益分布。因此, 在高功率固体激光放大器中使用分布式泵浦方法可以提高增益分布的均匀性。

**关键词:** 分布式泵浦; 高功率固体激光放大器; 增益均匀性

**中图分类号:** TN242    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2011)09-1646-03

## Research of gain uniformization in high power solid state laser amplifier

Zhang Yongliang<sup>1</sup>, Wei Xiaofeng<sup>1</sup>, Yan Xiongwei<sup>1</sup>, Wang Mingzhe<sup>1,2</sup>,  
Wang De'en<sup>1</sup>, Zheng Jiangan<sup>1</sup>, Li Mingzhong<sup>1</sup>, Jing Feng<sup>1</sup>

(1. Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;

2. College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Aiming at the phenomenon of gain non-uniformity that presented in high power solid state amplifiers, a method of distributive pump field was put forward in search of uniform gain distribution. Compared with uniform pump field, the distributive pump field had a certain power distribution by special design. Using a program which was wrote to simulate the gain influenced by ASE for the same total pump power, simulation for gain distribution by uniform pump field and distributive pump field were obtained respectively. The simulation results indicate that the uniformity of gain by distributive pump is better than that of gain distribution by uniform pump. Therefore, the uniformity of gain distribution can be increased by the method of distributive pump field in high power solid state amplifiers.

**Key words:** distributive pump; high power solid state laser amplifier; gain uniformity

收稿日期: 2011-01-05; 修订日期: 2011-02-03

基金项目: 国家高技术发展计划项目

作者简介: 张永亮(1985-), 男, 硕士生, 主要从事高功率固体激光放大器研究。Email: click\_liang@163.com

导师简介: 魏晓峰(1960-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事高功率固体激光技术与工程研究。Email: xfwei@caep.ac.cn

## 0 引言

在高功率固体激光放大器中,由于储能受到 ASE 的影响,其增益存在不均匀现象<sup>[1-3]</sup>。当主激光经过增益介质放大时,增益的不均匀性使放大后的主激光在横截面上能量分布不均匀,破坏了主激光的光束质量。而在高功率固体激光器研究中,对主激光的光束质量有较高的要求<sup>[4]</sup>,必须采取措施控制光束质量。实际的工程设计中主要采用两种方法,一是利用一定的手段将放大后的主激光横截面上高能区域能量减弱到与低能区域相同,二是对种子光进行预补偿,使种子光的不均匀性与增益不均匀性互补,传输放大后主激光获得均匀性。两种方法分别对主激光在放大前后做了处理,能够较好地控制光束质量,但都没有从根本上解决增益不均匀问题。法国 LUCIA 小组提出使用梯度掺杂晶体作为增益介质<sup>[5]</sup>,能够使增益介质获得较为均匀的储能和增益,从根本上解决高功率激光放大器的主激光光束质量下降的问题。但是梯度掺杂晶体生长难度较大,难以实现在工程中的应用。为此,文中从泵浦光分布着手,改变均匀泵浦的思想,提出使用具有某种分布的泵浦场的方法,使放大器增益获得较为均匀分布。

## 1 利用分布式泵浦使增益均匀化

使用均匀的泵浦光抽运增益介质时,由于 ASE 的作用,高功率固体激光放大器中增益在横向上产生了不均匀性<sup>[6-7]</sup>。其直接原因就是储能分布的不均匀。在泵浦强度与浓度厚度积一定的情况下,掺杂浓度较低的增益介质其增益在横截面上表现为中间低边缘高,而对于掺杂浓度高的增益介质其增益表现为中间高边缘低<sup>[1,8]</sup>。

文中应用光线追迹法建立了一套模拟计算程序,在设计的泵浦分布下对增益分布做了模拟计算,并与均匀泵浦情况做了比较。模拟计算中,使用 Yb:YAG 作为增益介质,浓度厚度积为 15 at.%mm,总泵浦功率为 51.2 kW,增益介质尺寸为 1.6 cm×1.6 cm,并假设泵浦光斑与增益介质匹配,温度为 300K,泵浦时间为 1ms。

考察计算了掺杂浓度为 3 at.%的增益介质的增益分布情况。由于浓度厚度积为 15 at.%mm,其厚度为 0.5 cm。

所设计的泵浦分布如图 1 所示,将增益介质在横截面上划分为 96×96 个网格,每个网格的泵浦功率密度由所编程序计算得到,其单位为 W/cm<sup>2</sup>,所有网格的总体泵浦功率为 51.2kW,与均匀泵浦功率相同。

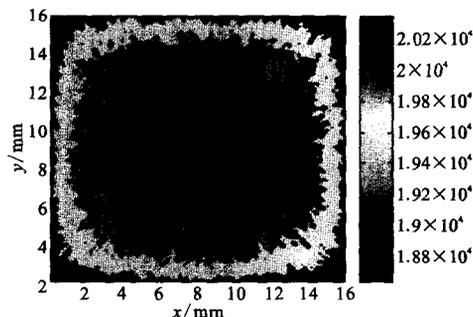


图 1 对于掺杂浓度为 3 at.%的增益介质设计的泵浦分布  
Fig.1 Designed pump distribution for the 3 at.% concentration crystal

利用图 1 所示的泵浦分布模拟计算得到的增益分布如图 2(a)所示,图 2(b)示出了均匀泵浦条件下的增益分布情况,图 2(a)和图 2(b)的上方为 y=8mm 处增益在 x 方向上的分布情况,下方为增益在 xy 平面上的分布。均匀泵浦获得的增益分布呈现边缘高中心低的特点,而使用文中设计的泵浦方式增益比较均匀。

对比两幅图可以看出,在相同的泵浦功率情况下,使用所设计的分布式泵浦使增益变得较为均匀。其中的局部起伏是由于程序计算精度引起的,通过划分更多的时间和空间网格,其局部起伏将得到改善,当网格足够多时,可以消除局部起伏,使分布变得较为平滑。

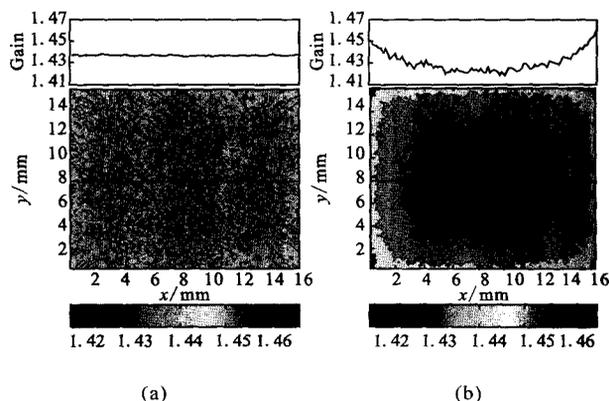


图 2 低掺杂浓度时使用两种泵浦分布获得的增益分布  
Fig.2 In the low concentration case, the gain distribution obtained by two different distributive pump

使用设计的泵浦分布所获得的增益与均匀泵浦

时获得的增益在数值上几乎没有发生变化。计算数据表明其平均增益为 1.44, 与平均泵浦产生的平均增益相同。因此, 使用分布式泵浦在能够获得很好的增益均匀性的同时, 并不会降低系统的效率。

图 3 为小信号增益不均匀性随时间的变化情况。其不均匀度定义为小信号增益最大值与平均值之比。其中图 3(a) 为使用设计的分布式泵浦时不均匀度随时间的变化情况, 图 3(b) 为均匀泵浦时的不均匀度随时间的变化情况。由图可知, 使用分布式泵浦小信号增益不均匀度起初较大, 但在后半段泵浦时间内很快下降, 在泵浦结束时降低到非常低的水平, 使增益获得非常好的均匀性。而使用均匀泵浦时, 小信号增益不均匀度一直在不断增大, 尤其泵浦时间后半段增大速度很快, 到泵浦结束时增益具有较大的不均匀性。

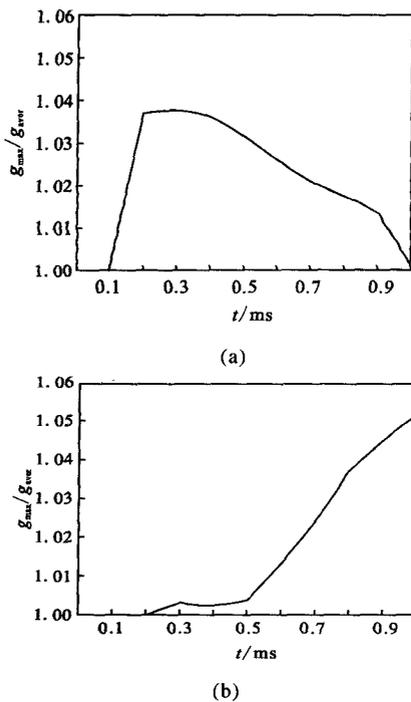


图 3 低掺杂浓度时, 小信号增益不均匀度随时间变化情况

Fig.3 Temporal evolution of ununiformity of small gain coefficient in the low concentration case

## 2 结论

在设计的泵浦分布下, 增益介质的初始储能和

ASE 对储能的消耗在横向分布上发生了变化, 使得最终储能分布比较均匀, 从而也使增益分布较为均匀。当种子光经过增益介质传输放大时, 不会因为增益不均匀而使光束质量受到破坏。与均匀泵浦相比, 没有因为增益的均匀化和种子光的均匀放大而损失能量, 降低放大系统效率。

文中设计的泵浦场分布是由所编写的程序计算得到的, 使得均匀增益泵浦场的分布较为精确。实际工程中可以利用反射镜、耦合镜以及附加泵浦源等手段获得较为接近的泵浦场分布, 从而获得较为均匀的增益分布。

文中所述的使用分布式泵浦获得均匀增益的方法, 对由于 ASE 作用而使增益发生不均匀变化的放大器都可以应用, 不受增益介质等的限制。

## 参考文献:

- [1] Albach D, Chanteloup J-C, le Touzé G. Influence of ASE on the gain distribution in large size, high gain  $\text{Yb}^{3+}:\text{YAG}$  slabs[J]. *Optics Express*, 2009, 17(5): 3792-3801.
- [2] Yan Xiongwei, Yu Haiwu, Cao Dingxiang, et al. ASE effect in pulsed energy-storage reprinted  $\text{Yb}:\text{YAG}$  disk laser amplifier[J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, 56(76): 4230-4238.
- [3] Wang Chengcheng, Yu Haiwu, He Shaobo, et al. Test of gain coefficient in full aperture of a new multi-segment-amplifier[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(5): 802-805.
- [4] Ji Xiaoling, Tao Xiangyang, Lv Baida. The influence of thermal effects in a beam control system and spherical aberration on the laser beam quality[J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(3): 952-960.
- [5] Albach D. Doping engineering for high average power ASE sensitive gain media[R]. Dresden, 2009.
- [6] Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu, et al. Research of gain uniformity in large aperture slab amplifier [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, 28(4): 68-71.
- [7] He Shaobo, Yu Haiwu, Zheng Wanguo, et al. Research of amplified spontaneous emission in high power slab laser amplifier [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, 16(5): 603-606.
- [8] Albach D. ASE management on Lucia[R]. Dresden, 2009.