

文章编号: 1001-3806(2009)01-0021-03

V型有源镜构型热容激光器热特性研究

蒋新颖, 徐美健, 蒋东宾, 段文涛, 於海武

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

摘要: 为了提高抽运效率、改善抽运均匀性、克服热退偏的影响, 建立了一套 V 型有源镜构型热容激光器, 采用数值模拟与实验研究相结合的方法, 对激光介质热分布进行了研究。数值模拟充分考虑了内热源分布的不均匀性, 分析了激光介质的 3 维热分布。实验中采用热像仪对激光介质的表面温度进行了无接触测量。数值计算和实验研究结果具有较高的一致性。研究表明, 该激光器构型对于提高热分布均匀性有较大的帮助。

关键词: 激光技术; 热分析; 有限元; 无接触测量

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Study about thermal characteristics of a V-shape active mirror heat capacity laser

JIANG Xin-ying, XU Mei-jian, JIANG Dong-bin, DUAN Wen-tao, YU Hai-wu

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to improve the pumping efficiency and make the temperature distribution more uniformity, a V-shape active mirror heat capacity laser was set up. Heat distribution of the laser medium was studied with numerical simulation and experimental methods. In numerical simulation, asymmetry of inner heat source was sufficiently considered, and in three-dimension heat distribution was analysed. In experiment, the temperature on the surface of the laser medium was measured by a thermal imaging system. The result of numerical simulation and experimental measurement were quite identical. It is demonstrated that the shape of the heat capacity has great advantage on improving thermal distribution.

Key words: laser technique; thermal analysis; finite element; non-touch measurement

引言

20 世纪 90 年代中, 美国利佛莫尔国家实验室提出热容激光器新概念, 即利用固体激光介质热容量大的特性, 一反传统激光器边激励边冷却的做法, 将激励与冷却从时间上分开, 这样使介质工作时承受的是压应力, 提高介质的平均功率上限^[1]。

热容激光器概念的提出, 引发了国内外学术界的研究热潮^[2-6]。近期的研究表明, 无论是二极管抽运还是闪光灯抽运, 热容激光器在实际的工作过程中, 由于抽运光的分布不均匀, 会造成介质内部存在温度梯度进而产生热畸变、热应力等热效应, 影响热容激光器的输出特性, 甚至会使介质发生断裂^[7-9]。因此, 提高热容激光器的抽运均匀性是提高热容激光器稳定运行时间的关键。为了提高抽运效率, 改善抽运均匀性, 克服

热退偏的影响, 作者设计了一套 V 型有源镜构型的激光器, 并对该激光器热特性进行了研究。

用数值计算方法研究热问题, 具有耗时短、费用低和可以单独改变任一变量的特点, 数值计算方法与实验研究相结合, 相辅相成, 正在成为最有效的传热研究的手段。作者正是采用数值计算与实验研究相结合的方法来研究激光介质的传热问题的。通过研究热容激光器介质的热分布, 可以明确热容激光装置的稳定运行时间, 给激光装置的安全提供保障。

1 理论模拟

作者设计的固体热容激光器为双片有源镜构型, 抽运氙灯电极连线与激光介质平行, 抽运耦合腔为圆柱形, 表面镀金。激光介质为 Nd:YAG, 尺寸为 60mm × 30mm × 6mm。构型如图 1 所示。

激光介质片的热传输可用 3 维瞬态热传输方程来描述^[10]:

$$\begin{cases} \rho c_p \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \\ T(x, y, z; 0) = T_0 \\ -\kappa \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Sigma_i} = h_c (T - T_{\text{gas}}) \end{cases} \quad (1)$$

基金项目: 中国工程物理研究院重大基金资助项目 (Z0405)

作者简介: 蒋新颖 (1979-), 女, 硕士, 研究实习员, 主要从事高功率激光技术研究。

E-mail: noveltyym@126.com

收稿日期: 2007-11-29; 收到修改稿日期: 2008-03-05

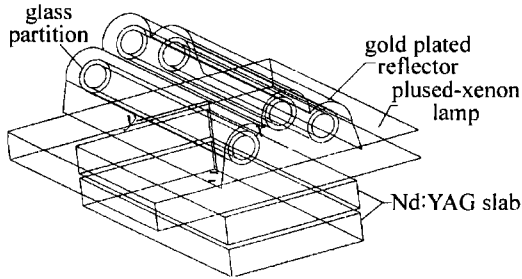


Fig 1 Structure of the pumping cavity

式中, Σ_i 为晶体的外表面, i 表示长方体的 6 个表面, $i=1,2,\dots,6$; n 表示其外表面法向量, κ, ρ, c_p 分别为晶体的热导率、密度和比定压热容, h_c 是晶体同周围空气的自然对流表面传热系数, q_v 为热产生功率密度, T 表示温度分布, T_0 为初始温度场, T_{gas} 为空气温度, t 为时间。表 1 中给出了 YAG 的物理参量。

Table 1 Physical parameters of YAG

density	4560kg/m ³
specific heat capacity at constant pressure @300K	590J/(kg · K)
thermal conductivity@300K	14W/(m · K)
thermal expansion coefficient	7.5 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹
modulus of elasticity	300GPa
Poisson's ratio	0.3
temperature dependence of refractive index	12.6 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹

采用有限元 ANSYS 软件进行热分析,对于该模型,最主要的工作是确定内热源的空间分布,因此,首先对氙灯抽运光在激光介质上的面分布以及纵向分布进行了计算。根据测量的介质吸收系数和氙灯光谱(见图 2),计算了激光介质对抽运光的全光谱吸收系数的加权平均值,得到了介质纵向热源分布,图 3 中给出了介质表面与纵向热源分布的相对值。

对应两张片,抽运源的总功率为 15kW,经校核生热率为 2.88%。将热源的总功率按照前面计算的热沉积比率分配,做成表格,加载到激光介质上,计算出激光介质在工作不同时间后的温度分布。图 4 中给出了计算结果。从模拟结果来看,介质内部温度分布比较均匀工作 4s 时,温差在 4K 以内。

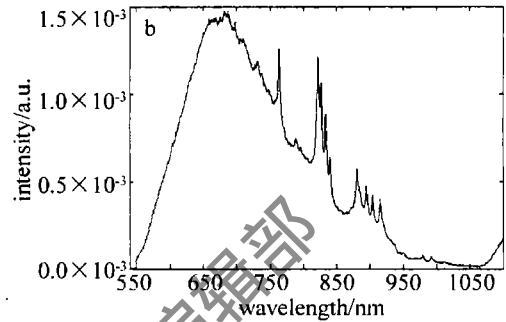
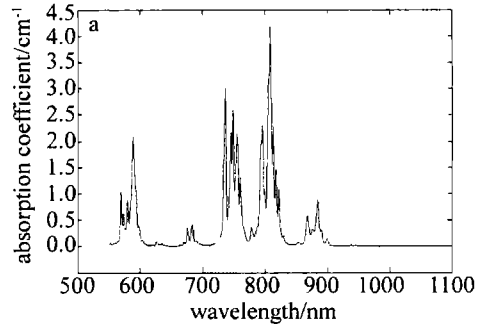


Fig. 2 a—absorption coefficient of the laser medium b—the spectrum of the xenon lamp

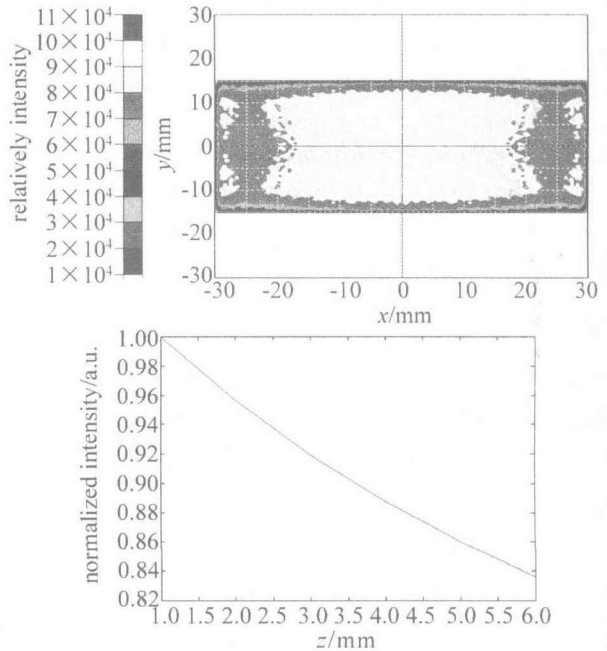


Fig. 3 Relatively value of exterior and interior heat fountain of the laser medium

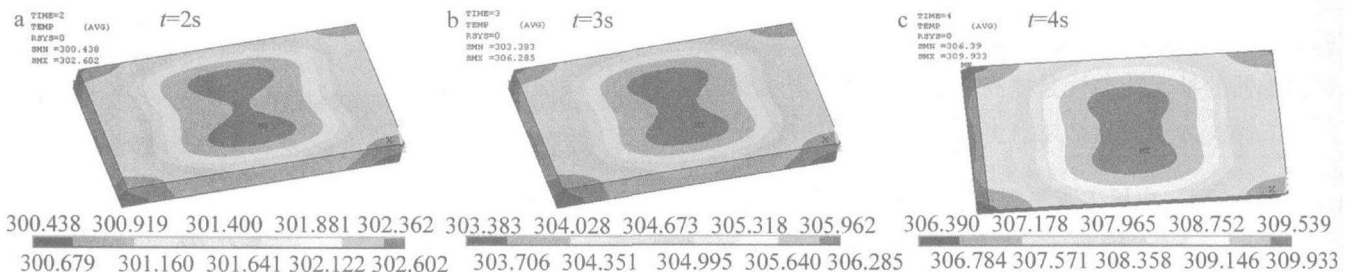


Fig. 4 Simulation result of the temperature distribution at 1ms duration, 20Hz frequency after different lasting time

2 实验研究

作者对 V 型有源镜构型的激光器的激光介质的

温度分布做了实验测量。利用红外热像仪测量了激光器持续工作不同时间后,介质表面温度分布情况,对应两张片,抽运源的总功率为 15kW。红外热像仪根据

介质的辐射测量介质的温度,所以测量时采用的方法是:在抽运结束后马上开始扫描,时间间隔大约0.2s。这里需要说明的是,工作时间内介质的温度变化非常

剧烈,但在抽运结束后,由于没有采用主动冷却,介质温度变化缓慢,在数秒之内温度变化不到1K。图5中给出了测量结果。

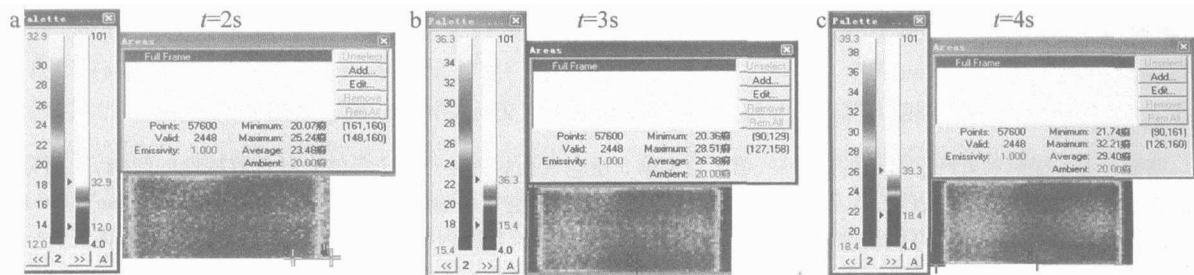


Fig. 5 Measurement result of temperature distribution on the surface at 1ms duration, 20Hz frequency after different lasting time

因测量时对边界的选取比较大,选到了装配介质的边框,故最低温度所示的点不在介质上。从大面分布来看,介质的温度分布比较均匀,工作4s后最大温差在6K以内。相对于以前的布儒斯特角构型热容激光器^[2],均匀性有了很大的提高。对工作4s后的测量结果与计算结果进行了比较,分别选取介质表面过中心的长度和宽度方向,温度测量值和计算值绘图,结果见图6。

匀性,对热容激光器激光介质的热分布问题进行了数值模拟,并对激光介质的表面温度做了非接触测量,模拟与实验结果符合较好,本文中的研究方法对研究激光器的热分布问题具有一定的参考价值。从结果来看,V型有源镜构型对于提高激光介质的热分布均匀性有较大的帮助,这为继续提高装置的稳定、安全运行时间提供了可靠的保障。

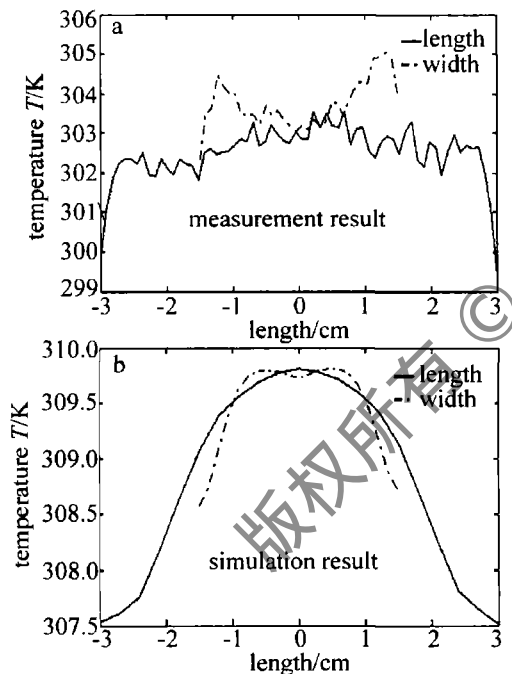


Fig. 6 Temperature distribution in the length and width direction on the surface

从比较结果来看,计算结果和测量结果非常接近,温度升高幅度基本相同,总体分布类似。由于热像仪扫描一个面需要3s,在测量期间温度发生了改变,测量结果有一些不对称的情况。

3 小结

同时考虑热源在介质上的面分布与纵向分布不均

参考文献

- [1] ALBRECHT G F, SUTTON S B, GEORGE E V, *et al.* Solid-state heat capacity lasers [J]. *Laser and Particle Beams*, 1998, 16(4): 605-625.
- [2] STAPPAERTS E A. Hybrid Heat capacity-moving slab laser concept [R]. Washington D C: U. S. Department of Energy, 2002: 1-20.
- [3] JIN F, ZHOU D F. High power solid-state heat capacity laser development [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(5): 534-538 (in Chinese).
- [4] CAI Zh, HU H, JIANG J F, *et al.* 300W diode-pumped solid state heat capacity laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(s0): 49-52 (in Chinese).
- [5] CAI Zh, CAO D X, JIANG J F, *et al.* Dynamic optical distortion of laser medium in heat-capacity laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(10): 1610-1614 (in Chinese).
- [6] CHEN H M, ZHONG M, YE D H. Nd:glass laser energy characteristic in heat capacity operation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(3): 314-317 (in Chinese).
- [7] YUAN X D, JIANG X Y, CAO D X, *et al.* Theoretical research on output performance of laser resonator at heat capacity model [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, 33(s0): 91-97 (in Chinese).
- [8] JIANG X Y, YUAN X D, YU H W, *et al.* Influence of the thermal effect on stability of the output in a heat capacity laser [J]. *Chinese Optics Letters*, 2007, 5(s1): 19-20.
- [9] HU H, TU B, JIANG J F, *et al.* Numerical simulation of thermodynamics in laser medium for heat capacity laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(s1): 180-184 (in Chinese).
- [10] YU H W, ZHENG W G, HE Sh B, *et al.* Modeling of residual thermo-optical distortions of the media amplifier of SG-III prototype [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, A28(5): 385-390 (in Chinese).