

文章编号 :1001-5078(2004)06-0442-03

高重频二极管侧面泵浦固体激光器的热效应研究

赵 伟,赵 鸿,张大勇
(华北光电技术,北京 100015)

摘 要:对高重频二极管侧面泵浦固体激光器中工作物质的热效应进行了理论分析,根据所建立的理论模型,利用计算机模拟了固体工作物质内的温度分布情况,并通过实验说明了热效应对激光器输出性能的影响,在此基础上提出了补偿热效应的方法。

关键词:温度分布;高重复频率;侧面泵浦;热效应

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Study on Thermal Effects of High Repetition LD Side-pumped Solid-state Laser

ZHAO Wei , ZHAO Hong , ZHANG Da-yong
(North China Research Institute of Electrooptics , Beijing 100015 ,China)

Abstract :The thermal effects of high repetition LD side-pumped double-frequency solid-state laser are analyzed theoretically , and a thermal model is established. Based on the simulated model , the temperature distribution in solidstate working medium is stimulated. The effects on the output of laser caused by the thermal effects are indicated , The compensation on thermal effects is also discussed.

Key words :temperature distribution ; high repetition ; side-pumped ; thermal effects

1 引 言

在高重复频率条件下,二极管泵浦固体激光器与灯泵浦固体激光器相比具有效率高、寿命长、可靠性好等优点,因此,高重频二极管泵浦固体激光器在激光探测、激光通信及光电对抗等领域有着广泛的应用前景。

尽管因为二极管泵浦光谱与 NdYAG 晶体吸收光谱匹配良好,使二极管泵浦固体激光器中工作物质的热效应大为降低,但由于量子亏损(Quantum Defect)的存在及激光跃迁过程中量子效率小于 1 的缘故,使得它与灯泵浦固体激光器一样,不可避免的存在着热效应问题^[1]。尤其在重频二极管侧面泵浦固体激光器中,由激光工作物质内的非均匀温度场所引起的热透镜效应和热致退偏效应相当严重,影响了激光器输出性能的提高。因此,为了获得最

佳的激光输出,应充分、深入的了解激光工作物质的热效应,并对其进行有效补偿。

本文利用计算机模拟了固体工作物质内的温度分布情况,并通过实验说明了热效应对高重频二极管侧面泵浦固体激光器输出的影响,最后在此基础上提出了补偿热效应的方法。

2 理论模型

激光工作物质的热效应,包括热透镜效应和热致双折射效应,其产生归根结底是由于工作物质内温度分布不均造成的。因此,确定热效应大小的关键是了解激光工作物质内的温度分布情况^[2]。

根据文献[3]的讨论,二极管侧面泵浦条件下,

作者简介:赵 伟(1982-),男,工学学士、助理工程师,主要从事激光技术研究。

收稿日期:2004-06-01

工作物质内部对泵浦光的吸收并不均匀,导致能够表征反转粒子数密度大小的增益分布也不均匀。产热的不均匀使工作物质内的热流已不仅只沿径向方向传导,沿切向方向也有热传导发生,因此,工作物质内的温度分布已不能通过求解经典的一维热传导微分方程获得。

具有内热源的多维导热问题的数值解法是计算工作物质内温度分布的有效方法。这种方法的原理是:通过区域离散化将工作物质划分为许多小单元;在单位时间内,首先计算各单元内由于产热而产生的温升,然后采用有限差分法计算该单元与相邻单元间由于热交换而产生的温度变化;在下一个单位时间内,重复计算各单元内由于产热而产生的温升和该单元与相邻单元间由于热交换而产生的温度变化,直到工作物质内温度达到动态平衡或完成期望计算的时间段为止。在这种方法中,工作物质内单元划分的越细,单位时间规定的越短,模拟计算的结果就越精确。

3 计算机模拟

为了简化计算,可以假设在二极管侧面泵浦条件下,圆棒状工作物质内的热量延径向传输,在轴向没有热传递。由于侧面泵浦条件下,除两端外,从工作物质各截面上看,产生的热量和热源分布完全相同,所以这种假设是合理的。

根据上述数学模型,我们采用 MATLAB 软件编制了一套二极管侧面脉冲泵浦条件下工作物质内温度分布的计算机仿真程序。并对如下特定泵浦结构条件下工作物质内的温度分布特性进行了计算模拟:

具有水冷结构的 10 只激光二极管等间距环绕泵浦 NdYAG 的尺寸为 $\phi 4 \times 100\text{mm}$,NdYAG 的掺杂浓度为 1.1%at,吸收系数约为 4.0/cm。石英套管外径为 $\phi 8\text{mm}$,二极管输出端与石英外边缘相距 5mm,发散角半宽度为 20°。图 1 是计算机模拟的工作物质内增益分布情况。

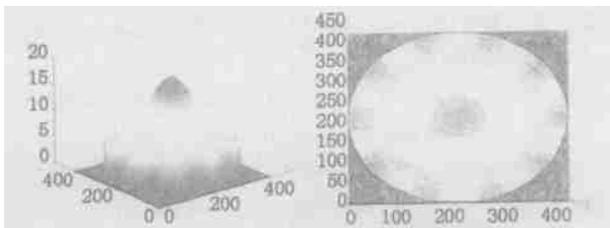


图1 计算机模拟的具有水冷结构的 10 只激光二极管等间距环绕泵浦 NdYAG 增益分布

由图中可以看出,在侧面泵浦条件下,工作物质内的增益分布呈现出中心高,边缘低的情况,这使靠近工作物质中心的低阶模在模式竞争中具有明显的优势,从而使工作物质具有了一定的选模功能。而且,我们可以通过合理的泵浦结构设计,使工作物质中心与边缘的增益之差达到一个合适的值,进而达到更好的选模效果。

在此基础上,我们通过计算机模拟了泵浦功率 1000W,脉冲重复频率 200Hz,占空比 4%,泵浦区长度 20mm,水温 0 条件下,工作 160ms 后工作物质内温度分布情况,如图 2 所示。

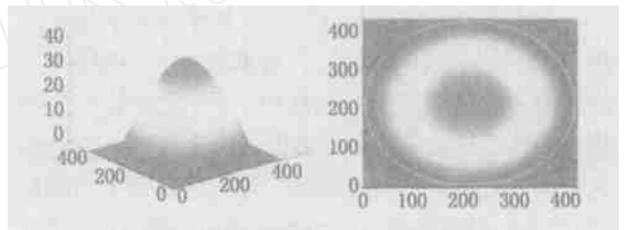


图2 计算机模拟的与图 1 所示增益分布对应的工作物质内温度分布情况

从图中可以看出,工作物质内的温度分布仍然呈径向分布,增益分布图中工作物质边缘由于对泵浦光吸收不均匀而产生的小翼在温度分布图中消失了。

激光器工作的前 160ms,工作物质中心温度随时间变化曲线如图 3 所示。

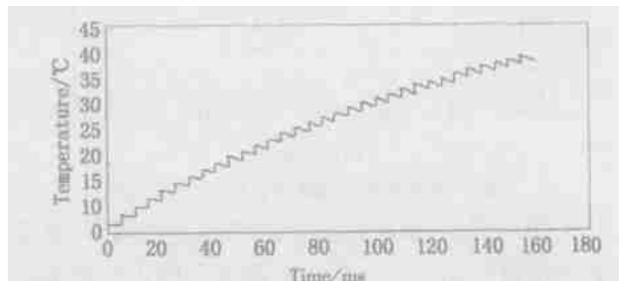


图3 工作物质中心温度随时间变化曲线

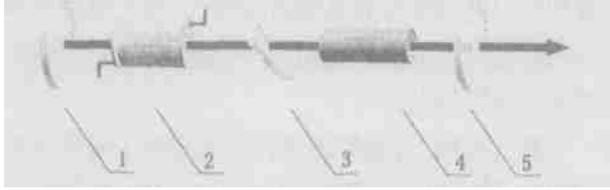
由图中可以得知,在高重频固体激光器中,激光器的运转重复率使得下一个脉冲来临之前,前一个脉冲产生的温度仍有存留,激光材料内的温度随之升高,随着脉冲的不断来临,存留温度的累积量会越来越大,直至达到稳定态。

4 实验测试及分析

为了进一步说明激光工作物质的热效应对激光器输出性能的影响,我们对高重频二极管侧面泵浦固体激光器进行了实验测试,其结构原理图如图 4 所示。

在该激光器中,一方面由激光工作物质的热透镜

效应引起的谐振腔型变化会影响激光器的输出性能;另一方面,由于采用了电光调Q方式,需在谐振腔中插入偏振片,所以由激光工作物质的热致双折射引起的退偏效应也是影响激光器输出性能的重要因素。



1- 全反镜 2- 电光Q开关 3- 偏振片
4- NdYAG晶体 5- 输出耦合镜

图4 高重频二极管侧面泵浦固体激光器原理图

激光器静态输出能量与重复频率的关系曲线如图5所示,由图中可以看出,当重频小于200Hz时,静态输出能量随重频的提高而上升,这是激光工作物质的热透镜效应和由二极管的温度漂移引起的泵浦效率变化共同作用的结果;而当重频大于200Hz时,静态输出能量却随重频的提高而下降,这主要是因为激光工作物质在高重频下产生的热透镜效应比较严重,使得激光器的腔型发生了较大变化,从而使输出能量降低。

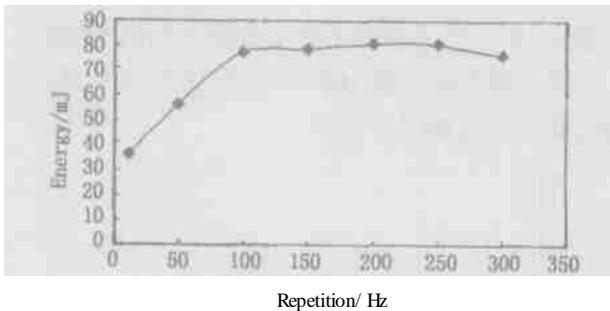


图5 激光器输出能量随重复频率变化曲线

如图6所示,横坐标表示激光器重复频率,纵坐标表示偏振片插入后与插入前激光器输出能量的比值。由图中可知,随着重频的提高,工作物质的热致退偏效应越来越严重,激光器的输出性能就下降的越厉害。

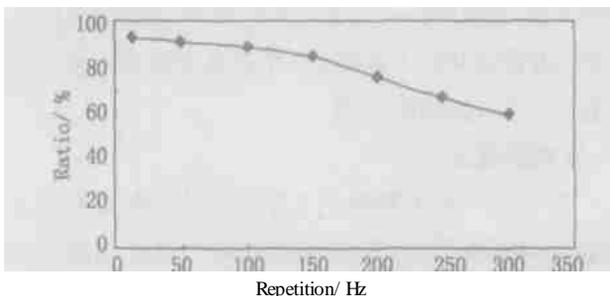


图6 偏振片插入前后激光器输出能量的比值随重复频率变化曲线

由上可知,激光工作物质的热效应降低了激光器的输出性能,必须采取措施进行补偿。在实际工作中,工作物质的热透镜效应可通过改变激光谐振腔的设计腔型等措施来进行有效补偿。而热致退偏效应则可通过以下方法进行补偿^[4]:

(1)在两块完全相同的激光晶体之间放一个 90° 的石英旋转器,当第一块晶体发射的激光通过 90° 的旋转器后,激光的偏振面就要旋转 90° ,这样本来X向偏振的光就旋成了Y向偏振,而原来Y向偏振的光就变成了X向偏振。旋转后的两个偏振方向的光,再通过第二块晶体后,由于两个偏振方向的光线经历了同光程,发生的相位畸变和扭曲也完全一致,这样前一块晶体诱发的双折射就可被另一块晶体抵消掉,从而热致退偏效应就可降至最小。

(2)在单块工作物质的激光谐振腔中,也可在工作物质和反射镜之间,放一个 45° 旋转器,同样可获得热致退偏效应的补偿。

5 结论

由以上计算机模拟和实验测试分析可以得到以下结论:

1.在高重频二极管侧面泵浦固体激光器中,即使由于泵浦不均匀导致工作物质内增益分布不均,经过一段时间后,工作物质内的温度分布仍旧呈现中心高,边缘低的准径向对称分布。这说明在某些二极管侧面泵浦不均匀的情况下,输出激光光束质量变坏的最大原因是增益分布的不均匀,而不是热效应造成光束畸变的。

2.在高重频二极管侧面泵浦固体激光器中,随着重复频率的提高,激光工作物质的热致退偏效应会越来越严重,对激光器输出性能的影响也越来越大。

参考文献:

- [1] Zhao Haixia, Jiang Dongsheng, Zhao Hong. Study on Thermal Effects of Diode Side-pumped Solid State laser[J]. Laser & Infrared, 2001, 31(4): 210 - 211.
- [2] Koehler W. Solid-State Laser Engineering [M]. Science Press, 2000.
- [3] Zhao H, Jiang D S, Wang J J. Gain Distribution Characteristics in Working Medium Side-pumped by Diode Bars[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2003, 23(1): 57 - 62.
- [4] Jiang Dongsheng, Zhou Shouhuan. Simulation Study on Thermal Effects of LD Side-pumped Solid State Laser[J]. Journal of UEST of China, 1999, 28(4): 428 - 431.