

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0046-03

二极管侧面抽运条件下工作物质温度分布特性理论研究

赵鸿, 姜东升, 周寿桓, 王建军, 张大勇, 赵书云
(中国电子科技集团公司第十一研究所, 北京 100015)

摘要 对二极管侧面抽运条件下工作物质内温度分布特性进行了理论研究;探讨了工作物质内增益分布特性与温度分布特性之间的内在联系;通过计算机,对不同条件下工作物质内的温度分布情况进行了理论计算和数值模拟,并对其特性进行了详细讨论。

关键词 二极管; 侧面抽运; 增益分布特性; 温度分布特性
中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Theoretical Study on Temperature Distribution Characteristics in Working Medium Side-Pumped by Diode Bars

ZHAO Hong, JIANG Dong-sheng, ZHOU Shou-huan, WANG Jian-jun,
ZHANG Da-yong, ZHAO Shu-yun
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract Temperature distribution characteristics in working medium side-pumped by diode bars are completely theoretical studied. Intra-relationship between gain distribution and temperature distribution is analyzed. With computer, temperature distribution characteristics in different conditions are theoretical calculated and discussed.

Key words diode; side-pumped; gain distribution characteristics; temperature distribution characteristics

1 引言

大功率二极管抽运条件下,固体激光工作物质同样具有很强的热透镜效应^[1]。在某些特定条件下,这种热效应还表现得相当强烈。进一步的研究还发现,影响工作物质热效应的原因不仅与二极管发射的抽运功率有关,还与具体的抽运结构条件下工作物质内增益分布特性密切相关。本文在大功率二极管侧面抽运条件下增益分布特性研究的基础上^[2],对工作物质内温度分布进行了理论研究和计算机模拟,深入讨论了不同抽运条件对工作物质热效应的影响。

2 理论研究

由于二极管发射的抽运光光谱与工作物质的吸收光谱能够实现良好匹配,避免了闪光灯宽光谱抽运时由于工作物质对无用光能的吸收而发热,因此,二极管抽运条件下,工作物质产热的主要原因是能

级间非辐射跃迁造成的量子亏损(quantum defect)发热和激光跃迁过程中量子效率小于1而产生的热。这两种原因产热的多少都与工作物质内反转粒子数密度的大小密切相关。

从文献[2]的讨论知道,二极管侧面抽运条件下,工作物质内部对抽运光的吸收并不均匀,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^[4]。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

作者简介: 赵鸿(1969-),男,中国电子科技集团公司第十一研究所高级工程师,主要从事大功率二极管抽运固体激光技术的研究工作。E-mail: zhaohong_2000@263.net

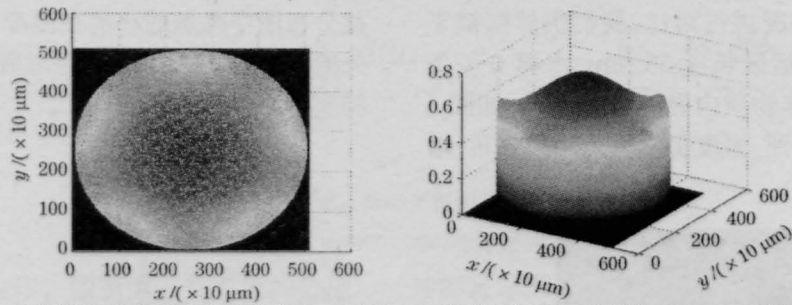


图1 计算机模拟的具有水冷结构的五只激光二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 增益分布

Fig.1 Computer modeling of gain distribution in working medium side-pumped by five diode bars with cooling system

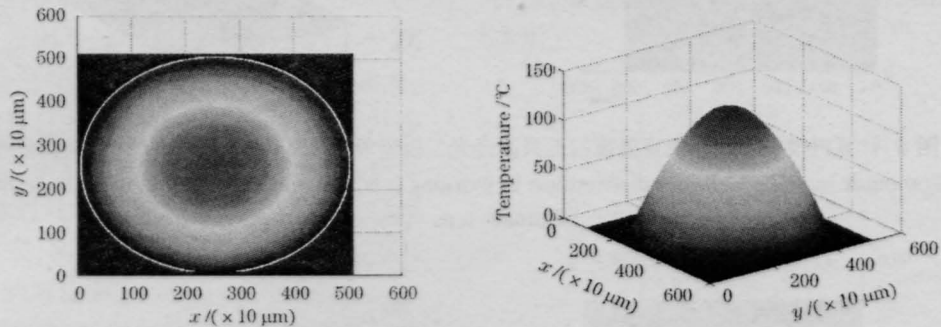


图2 计算机模拟的与图1所示增益分布对应的工作物质内温度分布情况

Fig.2 Computer modeling of temperature distribution in working medium with the gain distribution of Fig.1

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 计算机仿真

为了使计算简化,采用了与文献[2]相似的假设条件:假设二极管侧面抽运条件下,圆棒状工作物质内的热量沿径向传输,在轴向没有热传递。由于侧面抽运条件下,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,因此,这种假设是合理的。

根据以上的数学模型,采用 Matlab 软件编制了一套二极管侧面抽运条件下工作物质温度分布的计算机仿真程序。并对两种特定抽运结构条件下工作物质内的温度分布特性进行了计算模拟。

1)具有水冷结构的五只激光二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 结构。Nd:YAG 的尺寸为 $\phi 5 \times 125$ mm, Nd:YAG 的掺杂浓度为 1.1at.-%, 吸收系数约为 4.0 cm^{-1} 。石英套管外径为 $\phi 12$ mm, 内径为 $\phi 10$ mm, 二极管输出端与石英外边缘相距 4 mm, 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。

在此基础上,通过计算机模拟了抽运功率 500 W,

抽运区长度 55 mm,水温 0°C 条件下,工作物质内达到热平衡时的温度分布情况,如图 2 所示。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抽运光吸收不均匀而产生小翼在温度分布图中消失了。模拟的结果显示,平衡时工作物质中心区的最高温度达 140°C ,达到温度平衡的时间约为 2 s,如图 3 所示。

2) 带有准直透镜的五只二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 结构。其抽运结构的参量与图 1 的情况相同,但与图 1 情况不同的是,在这种情况下,五只二极管发射端装有准直透镜,将二极管发射的发散角为 40° 的抽运光束压缩至 4° 。图 4 是计算机模拟的工作物质内增益分布情况。由图可以看出,此时的增益分布极不均匀。

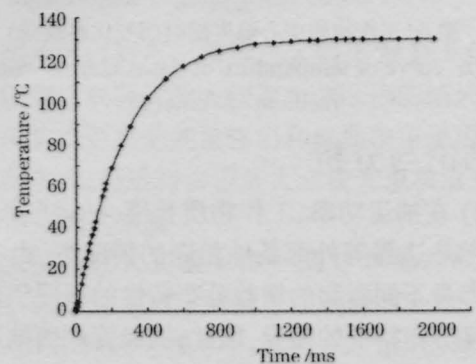


图3 工作物质中心温度随时间变化曲线

Fig.3 curve of temperature at the center of working medium vs. time

为了与前一种情况进行对比,我们仍然模拟了抽运功率 500 W,抽运区长度 55 mm,水温 0 °C 条件下,工作 1 s 后工作物质内温度分布情况,如图 5 所示。从图中可以看到,温度仍然呈准径向分布,增

益分布图中强烈的小翼在温度分布图中仍然几乎消失的看不见了。由图 6 可以看出,抽运 1 s 后,工作物质中心温度达到 204 °C。

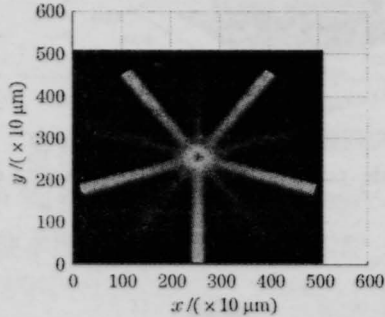


图 4 计算机模拟的带有准直透镜的五只激光二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 的增益分布

Fig.4 Computer modeling of gain distribution in working medium side-pumped by five diode bars with collimate lens system

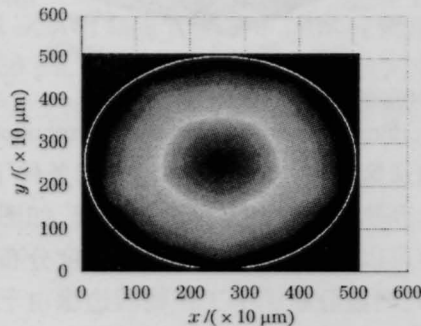
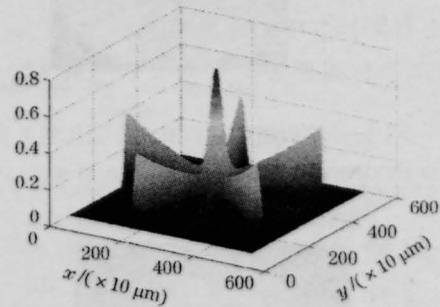


图 5 计算机模拟的与图 4 所示增益分布对应的工作物质内温度分布情况

Fig.5 Computer modeling of temperature distribution in working medium with the gain distribution of Fig.4

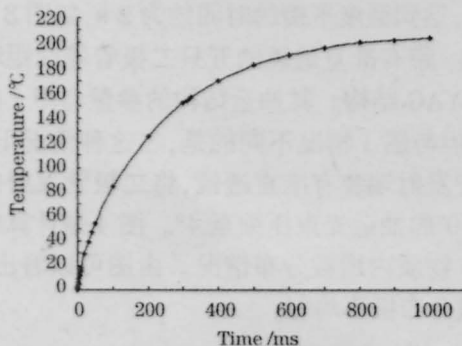
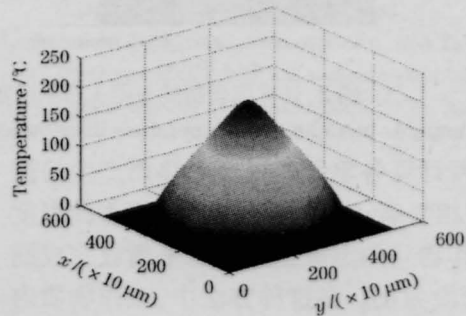


图 6 工作物质中心温度随时间变化曲线(2)

Fig.6 curve of temperature at the center of working medium vs. time(2)

4 结论与分析

1) 在抽运功率、工作物质长度、抽运区长度、水温及散热边界等外部条件相同的情况下,由于抽运结构参量不同引起的增益分布特性的不同仍然会导致温度分布特性的差异,因此,二极管侧面抽运条件下工作物质的热效应问题要比传统灯抽运条件下的情况复杂的多,不可能用一个形式统一的公式描述。

2) 二极管侧面抽运条件下,即使由于抽运不均匀导致工作物质内增益分布和热源分布不均,经过一段时间后,达到热平衡时,工作物质内温度分布仍呈中心高,边缘低的准径向分布,这说明在某些二极管侧面抽运不均匀的情况下,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。

参考文献

- 1 Zhao Haixia, Jiang Dongsheng, Zhao Hong. Study on thermal effect of high power laser side pumped by diode arrays [J]. *Laser & Infrared*, 2001, **31**(4): 210-211
赵海霞,姜东升,赵鸿. 二极管侧面泵浦固体激光器热效应研究[J]. *激光与红外*, 2001, **31**(4), 210-211
- 2 H. Zhao, D. S. Jiang, J. J. Wang. Gain distribution characteristics in working medium side-pumped by diode Bars[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(1): 57-62
赵鸿,姜东升,王建军等. 二极管侧面抽运条件下工作物质增益分布特性研究[J]. *光学学报*, 2003, **23**(1): 57-62
- 3 Yang Shiming, Tao Wenquan. Heat Transfer [M]. Higher Education Press
杨世铭,陶文铨. 传热学[M].北京:高等教育出版社,1998