

文章编号: 1001-3806(2008)02-0125-03

部分端面抽运混合腔 Nd:YVO₄板条激光器实验研究

王 宁^{1,2}, 陆雨田², 李晓莉², 焦志勇¹

(1. 中国石油大学(华东) 物理科学与技术学院, 东营 257061; 2 中国科学院 上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 为了获得大功率高光束质量的激光输出, 利用自制的 5bar 激光二极管阵列堆作为抽运源, 抽运光经波导整形系统整形后入射至晶体, 采用柱面镜混合腔结构, 对部分端面抽运的混合腔 Nd:YVO₄ 板条激光器进行了实验研究。在最高抽运功率 134W 时, 得到了 38W 的连续激光输出, 斜效率 44%, 测得的两个方向的 M^2 因子为 1.56 和 1.78。实验结果表明, 该激光器具有极佳的热效应, 能够在高功率运转时保持高光束质量的激光输出, 输入-输出功率曲线没有出现平顶或弯曲的迹象, 该激光器仍有提升潜力, 本结果有助于进一步提升该激光器的性能, 实现更高功率的高光束质量激光输出。

关键词: 激光器; 部分端面抽运; 混合腔; 光束质量; 板条

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

Experimental study of partially end-pumped Nd:YVO₄ slab laser with hybrid resonator operation

WANG Ning^{1,2}, LU Yu-tian², LI Xiao-li², JIAO Zhi-yong¹

(1 College of Physics, China University of Petroleum (Huadong), Dongying 257061, China; 2 Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract To attain high power laser with high beam quality, experiments were performed for partially end-pumped Nd:YVO₄ slab laser with the help of a self-assembly 5bar LD array stack and the waveguide beam reshaping system, the pumped light was coupled into slab crystal. 38W CW laser beam was attained with hybrid resonator operation when pumped power was 134W, and the slope efficiency was 44%. When the output laser power was 38W, M^2 value in unstable resonator direction was 1.56 and M^2 value in stable resonator direction was 1.78. The experimental results indicated that high power laser could be attained with high beam quality concerning with good thermal effect. The input-output power curve was not flat-topping and reflexed. The experiment results indicated that this laser could be improved more.

Key words lasers; partially end-pumped; hybrid resonator; beam quality; slab

引 言

在高功率半导体激光抽运的全固态激光器中, 由于激光晶体的热效应严重影响了激光器的输出特性^[1], 限制了大功率输出时保持高光束质量的能力。1998年, 德国夫琅禾费激光技术所的 DU 等人发明了部分端面抽运的板条激光器^[2], 配合混合腔可以在紧凑的空间内实现大功率下保持高光束质量的激光输出^[3-4], 电光调 Q 运转, 易于得到大功率、高光束质量、高重复率、窄脉冲激光^[5-6], 同时保持系统尺寸的紧凑。针对这种新型固体激光器进行的研究具有重要意义, 文献[7]中已经报道了作者利用自制的激光二极管阵列堆实现了混和腔运转, 得到了高光束质量的激光输

出。为进一步挖掘该激光器的潜能, 进行了更为深入的实验研究。对波导整形系统的调整方法进行了改进, 利用自制的 5bar 激光二极管阵列堆进一步提高了抽运功率, 获得了较大功率的高光束质量激光输出。

1 实验系统

通常的谐振腔设计, 都是采用轴对称的结构, 即从腔的横向来说, 不仅仅腔的稳定性(稳定、非稳、临界)是一致的, 而且各个方向上的腔参数都是一样的。这对于轴向对称的增益介质来说, 是正好可以匹配的。但对于板条激光器来说, 由于增益介质在两个正交方向上的尺寸及抽运的极大差异, 使用传统的轴对称有源腔结构设计, 不利于充分利用其增益体积, 更难以同时在两个方向上实现良好的模式匹配。而使用非轴对称的设计思想, 针对板条状工作物质的长与宽两个方向上的不同抽运、冷却情况, 分别进行考虑及优化设计, 选择不同的腔参数, 从而实现有效的激光振荡输

作者简介: 王 宁(1977-), 男, 博士, 主要从事激光技术方面的研究。

E-mail: qfwangning@163.com

收稿日期: 2007-02-02 收到修改稿日期: 2007-04-02

出,混合腔就是从这一思想出发来设计的。

所谓部分端面抽运是指抽运光被整形成一条横截面为长方形的细线入射至晶体端面,与传统板条激光器相比,抽运光不会充满整个晶体,而只是抽运了晶体的一部分,即晶体的中央,在晶体中央构成了薄片状的增益层,故称之为部分端面抽运。不同于传统板条激光器的 zig-zag 路径,激光束直接通过晶体。部分端面抽运板条激光器实验装置如图 1 所示^[2]。混合腔由

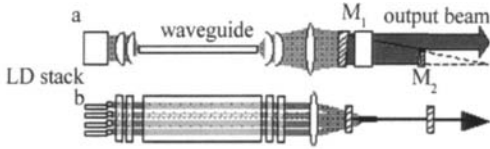


Fig 1 Experimental setup

a— horizontal direction b— vertical direction

两个全反柱面镜组成,在水平方向上构成了一个共焦非稳腔,在竖直方向上为平平腔。混合腔充分利用了板条晶体的结构特点,利用非稳腔有效地抑制高阶模的能力,从大尺寸的增益介质方向上获得接近衍射极限的光束输出;在小尺寸方向上则利用小尺寸范围内的抽运体积与端抽运稳腔的小基模体积的良好匹配,实现高效、高光束质量的激光振荡。板条激光器优异的散热性能使板条晶体运行于高平均功率输出成为可能。由于混合腔只需很短的腔长就能实现大功率高光束质量的输出,有利于缩短脉宽。因此,用部分端面抽运混合腔板条激光器进行电光调 Q 运转,易于得到大功率、高光束质量、高重复率、窄脉冲激光,同时保持系统尺寸的紧凑。抽运光分布对激光振荡光束质量是有影响的^[8],部分端面抽运板条激光器需要的抽运光束为一条细长而均匀的线形光束,慢方向上(板条大尺寸方向)为近似方波的光强分布;快方向光束很细,光强分布为高斯分布。这种抽运光束配合板条晶体大面的良好冷却,可使激光晶体的热分布是准一维的,有利于获得高光束质量的激光输出。

2 实验研究

在借鉴德国夫琅禾费激光所的设计方案基础上,设计了整个波导整形系统。测量了单个激光二极管阵列(laser diode array, LDA)作为抽运源时波导整形系统的效率。最初根据理论计算结果,用机械加工限位槽的方法放置了各个元件,与 LDA 的相对位置进行粗调,光功率传输曲线见图 2。为进一步提高整形效率,在限位槽限定方位的基础上增加光学办法进行了精确调整,得到了效率更高的光功率传输曲线,细调结果见图 2。

LDA 发射的激光光束经波导整形系统整形后得到的抽运光束照片如图 3 所示,可以看出,得到了一条

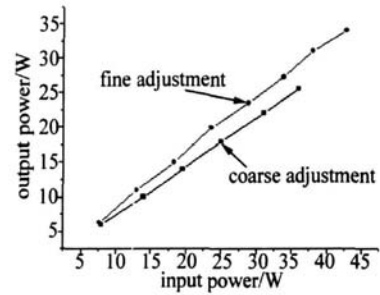


Fig 2 The input output power curve of waveguide reshaping system

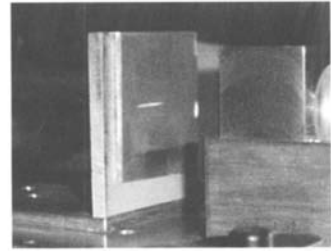


Fig 3 The beam reshaping picture

细长的线状抽运光束,在慢方向上的光强分布比较均匀,快方向上抽运光束的尺寸很小,可以满足部分端面抽运光束的要求。实测结果,整形系统的光功率传输效率达到 84.6%,光束尺寸约 $12\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 。

实验中采用 Nd:YVO_4 板条状晶体,在两个大面上安装水冷热沉以获得最佳的散热效果。只有两个小面需要抛光,并镀有对 808nm 及 $1.06\mu\text{m}$ 的增透膜,大大降低了晶体加工成本和加工难度。非稳腔方向凹面镜的曲率半径为 500mm ,凸面镜的曲率半径为 -350mm ,凹面镜镀有 808nm 的增透膜和 1064nm 的全反膜,凸面镜只需要将凸面抛光,并镀有 1064nm 的全反膜,腔长约 80mm 。由于混合腔运转时抽运功率阈值较高,因此,必须使用大功率的激光二极管阵列堆作为抽运光源,文献[7]中已经报道了作者利用自制的 3bar 激光二极管阵列堆实现了混和腔运转,在最大抽运功率 86W 时,得到了 19.3W 的激光输出,且未出现饱和;测得的非稳腔和稳腔两个方向的 M^2 因子为 1.4 和 1.7。为进一步挖掘该激光器的潜能,得到大功率高光束质量的激光输出,实验中使用自制的 5bar 激光二极管阵列堆作为抽运源,得到了激光输出,如图 4 所

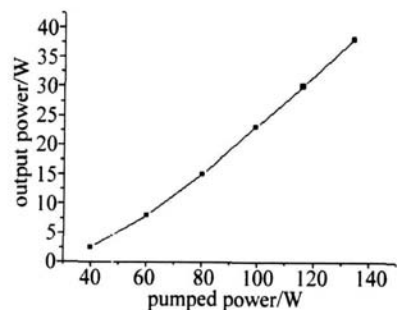


Fig 4 The input output laser power curve

示。可以看出,随着抽运功率的增加,激光输出功率直线上升,输出功率曲线没有出现平顶和下弯的迹象。在最高抽运功率 134W 时,得到了 38W 的输出功率,斜效率 44%。为了达到好的散热效果,实验中采用了自行研制的冷却热沉及其装配工艺,实验结果表明了该激光器有着极佳的热效应。利用 Spiricon 公司生产的 M²-200 型光束传输分析仪对输出光束的 M² 因子进行了测量,图 5 为输出功率 38W 时 M² 值的测量结

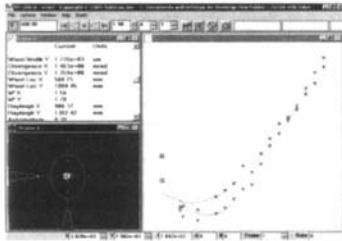


Fig 5 M² value measurement of 38W laser output

果,图中左下角为远场光斑及其光强分布情况。在输出功率为 38W 时,测得两方向的 M² 因子为 1.56 和 1.78。实验结果表明,该激光器在高功率运转时,仍然保持高光束质量的激光输出。图 5 左下角远场光斑图显示,两方向的光强分布都为高斯型。

3 结 论

对部分端面抽运的混合腔板条激光器进行了实验研究,对波导整形系统的调整方法进行了改进,利用自制的 5bar 激光二极管阵列堆进一步提高了抽运功率,在最高抽运功率 134W 时,得到了 38W 的输出功率,斜效率 44%,且未出现饱和迹象,测得非稳腔和稳腔两方向的 M² 因子为 1.56 和 1.78。实验结果表明,该激光器具有极佳的热效应,能够在高功率运转时保持高功率高光束质量的激光输出;随着抽运功率增大,输入输出功率曲线没有出现平顶或者弯曲的迹象。由此可见,该激光器的仍然有很大的提升余地。

单纯用 M² 因子来评价非稳腔光束质量是有失公平的^[9],对于非稳腔的光束质量评价问题尚值得深入研究。除 M² 因子,也可用桶中功率 (power in the

bucket PIB)^[9]、衍射极限倍数 β 因子^[10]等方法来表征非稳腔的光束质量。对于高能激光器来说更注重能量的集中度问题^[11],使用桶中功率作为远场光束质量评价参数是比较方便的。由于目前还没有合适的仪器来测量 PIB 曲线,本文中并没有给出测量数据,仅从 M² 因子方面对光束质量进行了实验研究。

衷心感谢陆雨田研究员的悉心指导与帮助,感谢石鹏博士、朱晓磊研究员、周国强老师、李晓莉博士、郭名秀博士、王春雨博士和李劲东在实验中给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] ZOU J ZHAO Sh Zh, YANG K J *et al* Determining the thermal lens focus of LD end-pumped Nd:GdVO₄ solid state laser with CCD detecting method [J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 422-428(in Chinese).
- [2] DU K M, WU N L, XU J D, *et al* Partially end-pumped Nd:YAG slab laser with a hybrid resonator [J]. Opt Lett 1998 23(5): 370-372
- [3] SHI P, LI D J, ZHANG H L, *et al* An 110W Nd:YVO₄ slab laser with high beam quality output [J]. Opt Commun, 2004, 229 349-354
- [4] SHI P, LI D J, ZHANG H L, *et al* High power partially end-pumped slab laser with hybrid resonator [J]. Acta Optica Sinica 2004 24(4): 491-494(in Chinese).
- [5] DU K M, LI D J, ZHANG H L, *et al* Robust diode electro-optically Q-switched Nd:YVO₄ slab laser with a high repetition rate and a short pulse width [J]. Opt Lett 2003 28(2): 87-89.
- [6] ZHANG H L, SHI P, LI D J *et al* Diode end-pumped, electro-optically Q-switched Nd:YVO₄ slab laser and its second-harmonic generation [J]. Appl Opt 2003 42(9): 1681-1684.
- [7] WANG N, LU Y T. Partially end-pumped Nd:YVO₄ slab solid state laser [J]. Chinese Journal of Lasers 2006, 33(10): 1319-1323(in Chinese).
- [8] WANG Sh Y, GUO Zh FU JM, *et al* Effect of the pump light on the beam quality of the diode pumped laser [J]. Acta Physica Sinica 2004 53(9): 2995-3003(in Chinese).
- [9] LIU Sh R, LÜ B D, HUANG L, *et al* The far-field intensity distribution and beam quality of unstable resonators [J]. Laser Technology 1999 23(5): 281-284(in Chinese).
- [10] GAO W. Definition of laser beam quality M² factor [J]. Acta Photonica Sinica 2003, 32(9): 1038-1040(in Chinese).
- [11] DU X W. Factors for evaluating beam quality of a real high power laser on the target surface in far field [J]. Chinese Journal of Lasers 1997 24(4): 327-332(in Chinese).