

大功率半导体激光器叠阵的光学性能

周旻超 江先锋 张丽芳 孙博书

(中国科学院苏州生物医学工程技术研究所半导体光电子技术研究室, 江苏 苏州 215163)

摘要 半导体激光器由于其光电转换效率高、亮度高、寿命长等特点,是用于抽运固体激光器的最佳选择。作为抽运源,要求半导体激光器具有很好的光学性能,主要包括出射光束的发散角和指向性。半导体激光器的发散角很大,要对其进行光束压缩整形并控制光束的指向性是一项很难的技术,对于多个半导体激光器组成的叠阵要保证其每一个巴条的光学性能良好更是不容易做到。从研究半导体激光器光束质量的控制着手,制作出一个带快轴准直的60个巴条的激光器叠阵,其峰值功率高达18 kW,叠阵整体快轴发散角小于 0.2° (3.5 mrad),每个巴条的指向性在 $\pm 0.15^\circ$ (± 2.6 mrad)以内。

关键词 激光器; 半导体激光器叠阵; 快轴准直; 光学性能

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.1202004

Optical Performance of High Power Laser Diode Stack

Zhou Minchao Jiang Xianfeng Zhang Lifang Sun Boshu

(Department of Semiconductor Optoelectronics Technology, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou, Jiangsu 215163, China)

Abstract With the advantages of high efficiency, high power, long lifetime, etc., laser diode is the best option for pumping of solid state lasers. As for the pumping, good optical performances which include beam divergence and pointing of laser diode are required. Because the divergence of laser diode bar at fast axis is very large, it is a hard work to collimate the beam and control the pointing of a bar, even harder to build a stack with good optical performance. Method of controlling beam quality of laser diode bar is studied, and a laser diode stack with 60 fast axis collimated bars is build up, the peak power of the stack is 18 kW, the total divergence (on fast axis) of the stack is less than 0.2° (3.5 mrad), the pointing of each bar is within $\pm 0.15^\circ$ (± 2.6 mrad).

Key words lasers; laser diode stack; fast axis collimation; optical performance

OCIS codes 140.3290; 140.3300; 140.5960

1 引言

随着半导体激光技术的日趋成熟及其应用领域的不断拓展,大功率半导体激光器已逐渐成为当今光电子技术中的重要器件。半导体激光器由于其体积小、功率大、寿命长等诸多优点,在工业、军事、航空航天等领域有着广泛的应用。

近年来,国外大功率半导体激光器的研究进展非常迅速,单巴条最大连续输出功率已大于600 W^[1],最高电光转换效率高达72%^[2-3],单巴条40~120 W已经商品化。相对而言,国内在大功率半导体激光器研究和应用方面起步较晚,但也取得了很大的进展^[4-5]。

由于半导体激光器的发散角较大,很多应用情况下需要对其出射光进行光束整形^[6]。德国人在2009年制作出了快轴准直透镜自动安装系统^[7],准直后的光束发散角小于10 mrad。国内的许多科研机构也对巴条的快轴准直技术做了研究^[8-9],中国科学院西安光学精密机械研究所于2011年制作出了20个巴条的叠阵,其单个巴条准直后的发散角小于 0.5° (8.7 mrad)^[10]。

将激光器巴条组装成叠阵是实现大功率或超大功率输出的一种重要方式^[11]。当半导体激光器巴条用作固体激光器抽运时,单个巴条的功率一般达不到应用需求,需要将多个巴条组装成叠阵以获得更高的

收稿日期: 2013-06-18; 收到修改稿日期: 2013-07-29

作者简介: 周旻超(1985—),男,硕士,实习研究员,主要从事半导体激光器测试及性能分析等方面的研究。

E-mail: zhoumc@sibet.ac.cn

功率输出。同时,某些应用场合中固体激光器在被抽运时需要抽运光源聚焦成一条细线,因此就要求用作抽运源的半导体激光器叠阵光学性能好,即每个准直后的巴条发散角小,指向性好^[12]。本文以制作光学性能优异的半导体激光器叠阵为目的,研究实现高精度快轴准直的方法,以满足某些特殊应用中对半导体激光器叠阵光学性能方面的高要求。

2 巴条快轴准直方法

微通道制冷方式下的裸巴条在快轴方向的分散角约为 38° ,而慢轴方向的分散角约为 6° ,由于快轴的分散角太大,不利于对出射光束的控制,一般要对快轴方向进行光束准直。

快轴的准直方法是在巴条前端安装快轴准直(FAC)透镜。本实验选用的FAC透镜是ingeneric公司生产的商用型微透镜,焦距为 0.91 mm ,尺寸为 $12\text{ mm}\times 1.3\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$ 。由于FAC透镜尺寸很小,透镜位置的轻微变化都会对出射光束的分散角和指向性产生较大影响,因此要保证出射光束发散角小且指向性好,FAC透镜的安装是一项难度较大的工作。

一种安装FAC透镜的方法是,先在巴条两侧安装两片薄薄的支架,称之为“tab”,FAC透镜再粘到这两片tab上从而与巴条相连。FAC透镜的安装要借助一组高精度的线性位移平台和旋转位移平台组合而成的精密机械结构来完成。这组精密机械结构相当于一个五维调整台,可以精确地调整FAC透镜与巴条之间的相对位置。调整FAC透镜的步骤是,给巴条加一个小电流使其发光,当巴条被准直后的光斑在光束质量分析仪(nanoscan)上测量的发散角最小并且光强分布的中心也位于nanoscan探头中心位置附近时,认为FAC透镜已调整至最佳位置,然后运用紫外点胶技术将FAC透镜与“tab”粘牢。为了让FAC透镜固定得更牢,在使用过程中不易松动,还需要两个步骤使其加固。首先将安装好FAC透镜的巴条放入温度控制箱中进行高温烘烤和温度循环,加速胶水凝固并释放透镜应力;然后在巴条两边的“tab”上再涂上一层胶水,使“tab”和巴条结合地更加牢固。

3 叠阵快轴光学性能实验结果

本实验挑选了60个安装了FAC透镜的巴条,组装成一个60层的叠阵,如图1所示。该叠阵以准

连续(QCW)方式工作,在温度为 $22\text{ }^\circ\text{C}$,冷却水流量为 9 L/min ,电流驱动为 $270\text{ A}(400\text{ Hz}, 200\text{ }\mu\text{s})$ 的条件下,叠阵的平均功率约为 1440 W ,峰值功率高达 18 kW 。图2是该叠阵点亮之后在 120 mm 处的光斑分布。从图2可以看出,每个巴条的光斑粗细均匀,间距也比较匀称,说明60个巴条的分散角和指向性都控制得较好。当然,像图2这样光学性能较好的叠阵并不是一次就能组装成功的。该叠阵的制作过程通过其光斑分布图作为判断依据,将光学性能不好的巴条换掉,例如某根巴条的光斑太粗说明其发散角大,光斑的位置向上或向下偏移甚至与其他巴条光斑重合说明其指向性差,找出光学性能差的巴条并用性能好的巴条更换之,经过几次反复的组装才能获得类似图2显示的整体光学性能良好的激光器叠阵。

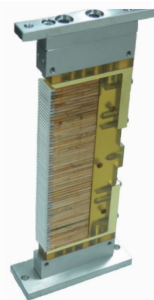


图1 60层半导体激光器叠阵实物图

Fig. 1 Picture of 60 layer laser diode bars stack



图2 60层叠阵远场光斑分布图

Fig. 2 Laser spot image of 60 layer bars stack

对这个叠阵中每一个巴条及其整体在快轴方向的光学性能进行测试,测试叠阵整体发散角及每个巴条的分散角和指向性。测试系统主要由一块狭缝板、一个聚焦透镜和光束质量分析仪组成。叠阵点亮时发出的光经过透镜聚焦到光束质量分析仪的扫描头上,光束质量分析仪对其光强分布进行扫描,而狭缝板的作用是让被测巴条的光透过,挡住其余59个巴条的光束。图3是每个巴条快轴方向的分散角分布图,其中横轴为巴条编号,叠阵中最下层的巴条为

1号,最上层的巴条为60号,叠阵中所有巴条的发散角均小于 0.2° (3.5 mrad),平均发散角为 0.1° (1.7 mrad)。图4是光束质量分析仪测出的叠阵整体在快轴方向的光强分布图,其中坐标横轴是叠阵快轴方向经透镜聚焦后在光束质量分析仪上的光斑尺寸,单位为 μm 。此光强分布波形的半峰全宽(FWHM)为 $928\ \mu\text{m}$,计算其对应发散角为 $928/375\approx 2.5\text{ mrad}\approx 0.14^\circ$ 。因此,该叠阵整体在快轴方向的分散角为 0.14° (2.5 mrad)。

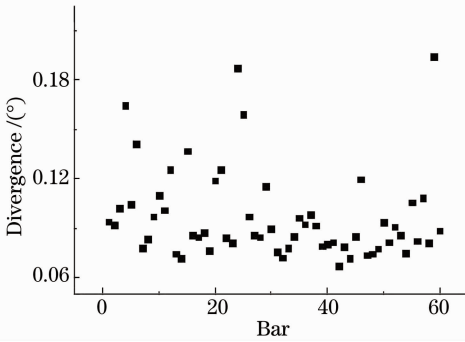


图3 叠阵快轴发散角分布图

Fig. 3 Divergence distribution of each bar in stack at fast axis

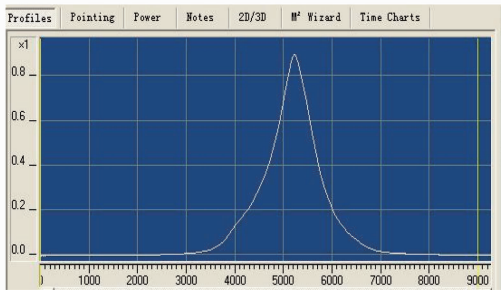


图4 叠阵快轴光强分布图

Fig. 4 Intensity distribution of stack at fast axis

叠阵在快轴方向的整体发散角不仅仅是由巴条的快轴发散角决定的,每个巴条的指向性也对其有重要的影响。图5是由光束质量分析仪测得的每个巴条在快轴方向的指向性分布图,叠阵是通过一个口径 125 mm ,焦距 375 mm 的透镜聚焦到光束质量分析仪上的,存在一定的球差,球差分布如图6所示。经过球差校正后的巴条快轴指向性分布图如图7所示。所有巴条的快轴指向性都在 $\pm 0.15^\circ$ ($\pm 2.6\text{ mrad}$)以内。

影响叠阵中巴条快轴指向性的因素主要有两方面:1) 巴条安装FAC透镜造成的指向性偏差,FAC透镜安装时位置调整的轻微变化会影响出射光束的指向性,粘透镜的胶水在固化的过程中也会使透镜位置发生轻微变化;2) 安装叠阵时对指向性造成的

影响,装配叠阵过程中巴条热沉表面的平整度,巴条热沉定位的准确度,巴条热沉受到压力的不均等都会造成指向性的偏差。

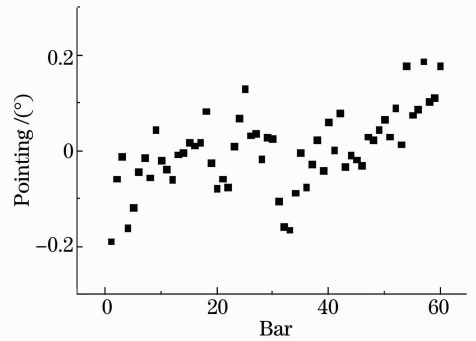


图5 叠阵快轴指向性分布

Fig. 5 Pointing distribution of each bar in stack at fast axis

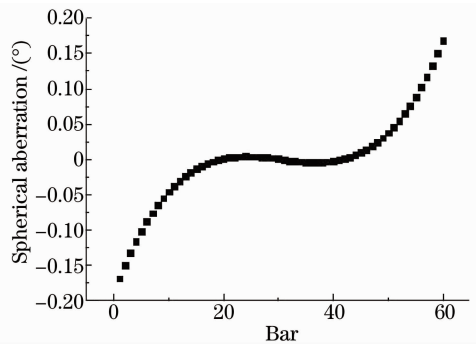


图6 指向性测试中系统引入球差

Fig. 6 Spherical aberration distribution of each bar in stack resulted from pointing testing system

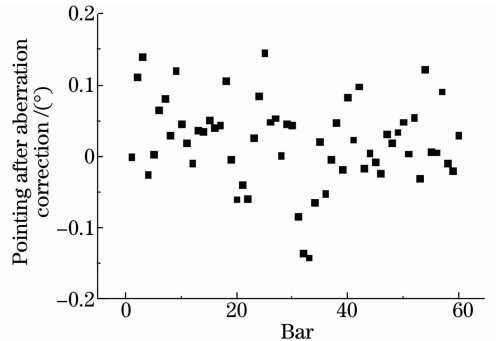


图7 修正后的叠阵快轴指向性分布

Fig. 7 Pointing distribution of each bar in stack at fast axis after aberration correction

4 结 论

通过对半导体激光器叠阵光学性能的研究,设计了快轴准直透镜的安装方法,并制作出了一个带快轴准直的60层半导体激光器巴条叠阵。对此叠阵进行了光学性能测试,每个巴条的发散角均小于

0.2°(3.5 mrad),指向性均在±0.15°(±2.6 mrad)以内,叠阵整体发散角为0.14°(2.5 mrad)。制造拥有良好光学性能的大功率半导体激光器叠阵不仅能满足抽运固体激光器对光学性能的要求,而且将推动大功率半导体激光器应用的发展。

参 考 文 献

- 1 H X Li, I Chyr, X Jin, *et al.*. >700 W continuous-wave output power from single laser diode bar[J]. *Electronics Letters*, 2007, 43(1): 27–28.
- 2 M Kanskar, T Earles, T J Goodnough, *et al.*. 73% CW power conversion efficiency at 50 W from 970 nm diode laser bars[J]. *Electronics Letters*, 2005, 41(5): 226–227.
- 3 A Knigge, G Erbert, J Jönsson, *et al.*. Passively cooled 940 nm laser bars with 73% wall-plug efficiency at 70 W and 25 °C[J]. *Electronics Letters*, 2005, 41(5): 246–247.
- 4 Wang Qiming. Breakthroughs and developments of semiconductor laser in China[J]. *Chinese J Lasers*, 2010, 37(9): 2190–2197.
王启明. 中国半导体激光器的历次突破与发展[J]. *中国激光*, 2010, 37(9): 2190–2197.
- 5 Xin Guofeng, Qu Ronghui, Fang Zujie, *et al.*. New development of high power semiconductor laser[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, 43(2): 3–8.
辛国锋, 瞿荣辉, 方祖捷, 等. 大功率半导体激光器的最新进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2006, 43(2): 3–8.
- 6 P Y Wang, A Gheen, Z Wang. Beam shaping technology for laser diode arrays[C]. *SPIE*, 2002, 4770: 131–135.
- 7 Jörn Miesner, Andre Timmermann, Jens Meinschien, *et al.*. Automated assembly of fast axis collimation lenses for diode laser bar modules[C]. *SPIE*, 2009, 7198: 71980G.
- 8 Peng Hangyu, Gu Yuanyuan, Shan Xiaonan, *et al.*. Study on beam shaping of high power diode lasers[J]. *Chinese J Lasers*, 2011, 38(2): 0202010.
彭航宇, 顾媛媛, 单肖楠, 等. 大功率半导体激光光源光束整形技术研究[J]. *中国激光*, 2011, 38(2): 0202010.
- 9 Dong Hongzhou, Shi Shunxiang, Li Jiali, *et al.*. Study on collimation properties of semiconductor laser off-axis beams[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(6): 851–853.
董洪舟, 石顺祥, 李家立, 等. 半导体激光器远轴光束的准直特性研究[J]. *光学学报*, 2006, 26(6): 851–853.
- 10 Zhang Entao, Zhang Yanxin, Xiong Lingling, *et al.*. 808 nm CW 2000 W semiconductor laser vertical stack[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(6): 1075–1080.
张恩涛, 张彦鑫, 熊玲玲, 等. 808 nm 连续波 2000 W 半导体激光器垂直叠阵[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(6): 1075–1080.
- 11 Bo Baoxue, Gao Xin, Wang Ling, *et al.*. 808 nm wavelength high power semiconductor laser arrays[J]. *Chinese J Lasers*, 2001, A28(6): 494–496.
薄报学, 高欣, 王玲, 等. 808 nm 波长高功率阵列半导体激光器[J]. *中国激光*, 2001, A28(6): 494–496.
- 12 Liu Yuanyuan, Fang Gaozhan, Ma Xiaoyu, *et al.*. High power collimated diode laser stack[J]. *Optoelectronics Letters*, 2006, 2(3): 179–181.

栏目编辑:张 腾