

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0056-03

# 808 nm 波长阵列半导体激光器单光纤耦合输出

高 欣, 薄报学, 曲 轶, 李 辉, 张 晶

(长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

**摘要** 设计并研制了 808 nm 波长阵列半导体激光器(LDA), 器件腔长为 1 mm, 总宽度为 10 mm, 发光区宽度为 200  $\mu\text{m}$ , 周期为 400  $\mu\text{m}$ , 发光单元总数为 25, 金属微通道冷却连续输出功率为 40 W。采用折叠镜面方式对阵列激光器的输出光束进行对称化变换, 得到一方形光斑, 在两个正交方向采用柱透镜聚焦后与单根多模光纤进行了阵列耦合, 采用 600  $\mu\text{m}$  芯径、数值孔径 0.22 的光纤, 实现了阵列激光器与单根光纤间的高效率耦合光输出, 耦合后输出功率达到 30 W。

**关键词** 激光技术; 阵列激光器; 光纤耦合; 光束整形

**中图分类号** TN248.4 **文献标识码** A

## 808 nm Output from a Single-Fiber-Coupled Laser Diode Array

GAO Xin, BO Bao-xue, QU Yi, LI Hui, ZHANG Jing

(National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

**Abstract** 808 nm wavelength 25-stripe laser diode arrays (LDAs) have been fabricated with 200  $\mu\text{m}$ -wide emitters whose center-to-center space is 400  $\mu\text{m}$ . 40 W continuous wave (CW) output power is achieved with Cu-microchannel cooler packaged devices. Step-mirror method is adopted to shape the output beam symmetrically and a square beam pattern is obtained. The focused output beam is coupled into a multi-mode fiber. 30 W output power is obtained from the fiber with core diameter of 600  $\mu\text{m}$  and numerical aperture of 0.22, the total coupling efficiency of about 75% is achieved.

**Key words** laser technique; laser diode array; fiber coupling; beam shaping

### 1 引 言

由于大功率半导体激光器波导的非对称性和微小尺寸, 其输出光束具有较大的发散角和严重的非对称性。一般地, 线阵半导体激光器快轴方向(垂直于结平面方向) $M^2$  因子为 1~2, 而慢轴方向(平行于结平面方向) $M^2$  因子可高达 1300 以上。线阵激光器快、慢轴方向光束质量的严重不对称使得几乎所有的高功率半导体激光器应用需要进行光束整形。将半导体激光进行光纤耦合处理是目前器件光束整形的一种高级封装形式, 包含了多种方法的光束对称化变换及耦合输出关键技术<sup>[1]</sup>。目前线阵器件的光纤耦合方法主要有两种。一种简单的方法是采用光纤排进行逐单元耦合, 输出端做成圆形光纤束, 实现激光器的对称光输出。目前主流的耦合封装是采用光学对称化变换方法将线阵(叠层)激光器

的输出光束首先进行对称化变换, 然后耦合输入单芯多模光纤。1996 年英国南安普敦大学光电子研究中心的 W. A. Clarkson 等<sup>[2]</sup>报道了一种基于平行双镜面反射的线光源折叠方法, 将 10 mm 线阵半导体激光器的输出光束进行 24 段分割、折叠, 经会聚后形成直径 100  $\mu\text{m}$ , 快、慢轴光束质量因子为 42/37 的对称光斑, 系统总体的传输效率高达 75%。该方法存在的主要问题是各单元光在传输过程中的不等光程, 损失了线阵激光器原有的光束质量。1995 年日本的 Satoshi Yamaguchi 等<sup>[3]</sup>还报道了一种采用微棱镜阵列进行线阵半导体激光器分段 90° 旋转的对称化变换方法, 经会聚后获得 200  $\mu\text{m}$  直径的对称光斑, 传输效率为 76%。该方法存在装配精度要求高的缺点。

本文在以上研究的基础上, 采用了一种新的折

**基金项目:** 国家自然科学基金(60476026, 60477010)资助课题。

**作者简介:** 高 欣(1965—), 女, 主要从事大功率半导体激光器的研究。E-mail: gaixin@cust.edu.cn

叠反射镜方法用于线阵半导体激光器的光束对称化整形,并获得了良好的实验效果。

## 2 结构设计与耦合实验

### 2.1 线阵半导体激光器的制备

为了最大程度地提高激光器的光纤耦合效率,耦合系统首先应该考虑采用具有较小的快轴方向(垂直于结平面方向)光束发散角。激光器的快轴光束发散角由激光器外延材料的波导结构决定。为此设计并制作了具有宽波导结构的双量子阱大功率激光器,线阵激光器设计为 25 发光单元,发光区宽度为 200  $\mu\text{m}$ ,周期 400  $\mu\text{m}$ ,腔长 1000  $\mu\text{m}$ ,并采用了非注入区窗口技术以有效增加激光器腔面的光学灾变(COD)功率密度。

对于连续波(CW)大功率半导体激光器,芯片封装技术的好坏直接影响器件的总体性能,包括功率水平、光谱特性及可靠性。为此,在实验中采用具有良好散热能力的铜微通道热沉技术,将器件的封装热阻有效地控制在 0.4  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$  以下,保证了器件的可靠工作。图 1 为一微通道封装线阵半导体激光器的功率-电流特性曲线,40 A 驱动电流条件下其连续输出功率为 40 W。测试的远场光强分布表明,其光束快轴发散角为 34.5 $^{\circ}$ ,与器件的波导结构设计基本一致。

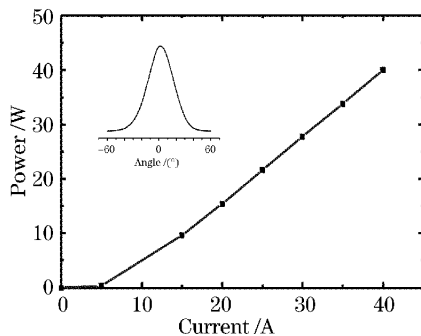


图 1 微通道封装线阵半导体激光器功率-电流特性。插图为远场光强分布

Fig.1 Power-current curve of a microchannel packaged linear LDA. The inset shows the far-field intensity distribution

### 2.2 线阵半导体激光器的光束准直

微通道封装的线阵半导体激光器在光束的对称化变换之前先进行输出光束的准直与评价。实验中采用了两种方法:一是采用普通的光纤柱透镜,仅对线阵激光器快轴方向进行光束压缩;二是采用德国

LIMO 的标准微透镜分别进行快、慢轴的光束压缩。对于光纤柱透镜方法,选用了芯径 600  $\mu\text{m}$  的石英光纤,根据近轴近似,圆柱微透镜的焦距  $F$  与光纤半径  $R$  的关系为

$$F = \frac{n}{2(n-1)}R,$$

式中  $n$  为柱透镜材料折射率。由上式可以看出, $n$  越大, $R$  越小,透镜的会聚能力越强。石英光纤的折射率约为 1.5, $R = 300 \mu\text{m}$ ,则光纤柱透镜的焦距  $F = 450 \mu\text{m}$ ,焦点距光纤表面的距离为 150  $\mu\text{m}$ 。经过精密光学调整,可以将线阵激光器的输出光压缩为一准平行线光源,快轴发散角小于 1.5 $^{\circ}$ ,慢轴发散角仍保持 6 $^{\circ}$ ~8 $^{\circ}$ ,透镜的功率传输效率约为 90%。对于 LIMO 标准微透镜方法,由于其采用了非球面光学镜面,输出光束的快轴发散角可以控制在 1 $^{\circ}$  以内,慢轴发散角约为 3 $^{\circ}$ ~4 $^{\circ}$ 。

快轴准直特性的质量除了需要正确的光学调整步骤以外,与线阵激光器芯片的封装质量也有很大关系,能准确反映芯片焊装导致的发光面不平整缺陷。以成像光学的原理,可以定量评价线阵芯片的弯曲程度。通过实验验证,该微通道冷却线阵激光器,封装后表面不平整度一般不超过 2  $\mu\text{m}$ 。

### 2.3 准直光束的对称化变换

光束对称化变换的原理是利用光学方法将非对称光束在水平及垂直方向的光束质量因子平均化,实现方式有多种。本文采用的光束对称化变换的实验原理如图 2 所示。一线光源经过错位的 45 $^{\circ}$  倾斜阵列反射镜后被等间距地分割成梯级排列的较窄宽度的线光源,然后再经过一组错位的 45 $^{\circ}$  倾斜阵列反射镜实现 90 $^{\circ}$  旋转,从而使光束的对称性得到改善。

实验中,为了减少偏振反射的影响,采用了微金属面反射镜精密组合的反射镜阵列。由于光学加工及装配精度的限制,对线阵光源进行了 10 等分等间

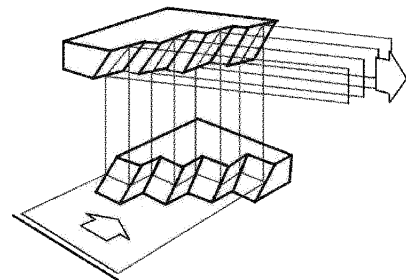


图 2 线阵光束对称化变换原理

Fig.2 Principle of symmetrical beam shaping of linear light sources

距(1 mm)分割,并用于线阵激光器的耦合实验。10等分变换后慢轴方向的光束质量因子提高了10倍,对于慢轴发散角 $8^\circ$ 的线阵激光器其光束质量因子由原来的1360提高到136,已可较好地满足 $600\ \mu\text{m}$ 芯径、数值孔径0.22光纤的耦合需要( $M^2 \approx 180$ )。

#### 2.4 线阵半导体激光器的光纤耦合

线阵激光器的输出光束经过准直、对称化变换后,需要设计合理的光束压缩会聚系统将光束聚焦至小于光纤芯径尺寸的光斑。实验中采用了3片柱透镜会聚系统,其中1片柱透镜对变换后的快轴方向光束进行压缩,另外2片柱透镜对变换后的慢轴方向光束进行压缩。整个光束会聚系统需要分别对两个方向进行精密轴向位置调整以达到良好的会聚效果。金属化石英光纤经端面抛光后装入SMA905光纤连接器,并以高温焊料(Au/Sn)固定使之具有较强的散热能力,99%透过率的端面透膜有助于减少光纤的反射损失。最后,将准备好的光纤连接

器固定到金属管壳上,在检测输出功率的条件下调整会聚系统的三维方向实现最佳器件耦合效率。经测试,整个系统总的传输效率约为75%,耦合激光器在40 A驱动电流条件下的光纤输出功率达到30 W(如图3所示)。

为了进一步提高器件的功率输出密度,需要对线阵激光器的输出光进行更多数量的等分分割,其制备工艺研究尚在进行中。

### 3 结 论

设计并研制了低发散角808 nm波长线阵半导体激光器,器件腔长1 mm,总宽度10 mm,发光区宽度为 $200\ \mu\text{m}$ ,周期 $400\ \mu\text{m}$ ,发光单元总数为25,采用微通道冷却方式实现连续输出功率40 W。在线阵激光器的耦合实验中,采用折叠镜面方式对阵列激光器的输出光束进行了对称化变换实验,采用柱透镜聚焦后与单根多模光纤进行了耦合,采用 $600\ \mu\text{m}$ 芯径、数值孔径0.22的光纤,实现了阵列激光器与单根光纤间的高效率耦合光输出,耦合后输出功率达到30 W,耦合效率达到75%。

#### 参 考 文 献

- 1 Hans-Georg Treusch, Keming Du, Markus Baumann *et al.*. Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays [C]. *SPIE*, 1998, **3267**: 98~106
- 2 W. A. Clarkson, D. C. Hanna. Two-mirror beam-shaping technique for high-power diode bars [J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(6): 375~377
- 3 Satoshi Yamaguchi, Tetsuro Kobayashi, Yoshimasa Saito *et al.*. Collimation of emissions from a high-power multistripe laser-diode bar with multiprism array coupling and focusing to a small spot [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(8): 898~900

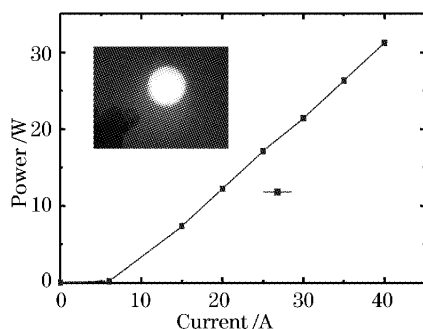


图3 阵列半导体激光器光纤耦合后连续输出功率-电流特性。插图显示了输出光束良好的对称性  
Fig. 3 Power-current curve of the fiber-coupled CW LDA. The inset shows the symmetric output beam