

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0049-04

# 13.2 W 连续输出 1540 nm 波段半导体 激光阵列模块

尧舜<sup>1,2</sup>, 套格套<sup>1,2</sup>, 王祥鹏<sup>1,2</sup>, 刘云<sup>1</sup>, 姚迪<sup>1</sup>, 王立军<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国科学院长春光学精密机械与物理研究所激发态开放实验室, 吉林 长春 130033  
<sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要** 利用 InGaAsP/InP 应变量子阱外延层材料制作出高功率半导体激光阵列模块。激光芯片宽 1 cm, 腔长 1000  $\mu\text{m}$ , 条宽 100  $\mu\text{m}$ , 填充密度为 20%, 前后腔面光学膜分别为单层  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $3(\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , 特征温度为 68 K, 室温连续输出功率达到 13.2 W, 器件光谱中心波长为 1535.5 nm, 光谱宽度(FWHM)为 6.5 nm。

**关键词** 激光技术; 半导体激光阵列模块; 高功率; 特征温度; 高反膜; 增透膜

**中图分类号** TN248.4 **文献标识码** A

## 13.2 W Continuous Wave Output 1540 nm Semiconductor Laser Array Module

YAO Shun<sup>1,2</sup>, TAO Ge-tao<sup>1,2</sup>, WANG Xiang-peng<sup>1,2</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>,  
YAO Di<sup>1</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China  
<sup>2</sup> Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract** InGaAsP/InP double-step gradient refractive index (GRIN) separated-confinement-heterostructure multi-quantum-well (SCH MQW) structure laser module with an emission wavelength of 1540 nm was grown. Laser bars with a stripe width of 100  $\mu\text{m}$  and a filling factor of 20% was fabricated. The back high-reflection (HR) coating is  $3(\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  and the front anti-reflection (AR) coating is  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . The module's continuous wave (CW) output power reaches to 13.2 W at a current of 50 A. The threshold current is 10 A and the central wavelength is 1535.5 nm with a FWHM of 6.5 nm. Characteristic temperature  $T_0$  of 68 K is obtained when the temperature of the active region is in the range of 20~50  $^\circ\text{C}$ .

**Key words** laser technique; semiconductor laser array module; high power; characteristic temperature; high-reflection coating; anti-reflection coating

## 1 引言

1540 nm 波段激光由于具有对人眼安全和较强的烟雾穿透能力等特性,因此在激光指示、军事测距、激光雷达和作为铷离子激光器抽运源等方面有着巨大的应用前景。同时除非通过复杂的非线性频率转换,现有的晶体固态激光器一般都无法直接输出对人眼安全的 1540 nm 波长激光,因此高功率 1540 nm 半导体激光器作为新一代对人眼安全激光光源越来越受到广大研究者的重视。目前国外

1500 nm 左右高功率半导体激光单元器件输出达到 4.6 W<sup>[1]</sup>,阵列器件已达到连续输出 27 W 水平<sup>[2]</sup>,国内该波段大功率连续输出器件尚少见报道。本文采用 InGaAsP/InP 体系应变量子阱材料制作出高功率输出 1540 nm 波段半导体激光阵列模块,室温连续输出功率达到 13.2 W。

## 2 材料结构

InGaAsP/InP 材料体系半导体激光器由于包

**基金项目:** 中国科学院“十五”重大资助项目。

**作者简介:** 尧舜(1979—),男,重庆人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事大功率半导体激光器的研究工作。E-mail: tomatolj@hotmail.com

层材料与有源区材料导带不连续性非常小<sup>[3]</sup>,电子势垒很低,导致有源区对载流子限制能力较差<sup>[4,5]</sup>。加大包层掺杂浓度在一定程度上可以克服这一问题,但同时也增大了腔内光吸收。长波长 InP 衬底半导体激光器还有禁带宽度窄、有源区内俄歇复合强<sup>[6]</sup>的特点,导致内量子效率下降,直接影响激光器的光电转换效率和大功率输出。本文激光器阵列采用 InGaAsP/InP 折射率跃变双步分别限制多量子阱(SCH MQW)结构。通过采用多量子阱结构提高模式增益,减小每个量子阱中载流子密度,降低有源区俄歇复合率(俄歇复合率与载流子密度的三次方成正比)<sup>[7]</sup>,同时利用 p 型包层内部渐变型掺杂减小光吸收。

图 1 为 InGaAsP/InP 多量子阱双步分别限制激光器材料结构示意图。其中量子阱区包括 3 个 8 nm  $\text{In}_{0.73}\text{Ga}_{0.27}\text{As}_{0.82}\text{P}_{0.18}$  应变量子阱(1% 压应变)和 2 个 10 nm  $\text{In}_{0.73}\text{Ga}_{0.27}\text{As}_{0.57}\text{P}_{0.43}$  垒层。p 型包层内部掺杂浓度由靠近有源区处向外逐渐增大,平均掺杂浓度为  $n=5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。

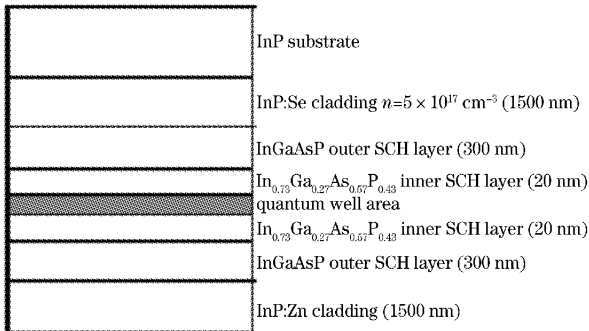


图 1 InGaAs/InP 多量子阱双步分别限制激光器材料结构示意图

Fig. 1 Schematic structure of InGaAs/InP double-step SCH MQW lasers

### 3 腔面膜的结构与测试

针对 InGaAsP/InP 外延结构,设计并制备了前、后腔面膜系,前腔面为单层  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,后腔面为 3 ( $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ )。在实际膜系测试中由于 InGaAsP 衬底不易得到,因此采用 GaAs 片作为高反(HR)膜和增透(AR)膜的实验衬底片。

图 2 为后腔面高反膜系的理论计算和实验测试结果,图 3 为前腔面增透膜测量曲线和理论曲线。

由图 2,3 可以看出实验衬底片上的理论计算曲线和实际测试曲线吻合得很好,这表明实际膜系制备是成功的。从理论曲线可以看出制备膜系的高反

膜、增透膜在 1540 nm 波段的反射率分别约为 98.5% 和 10.7%。

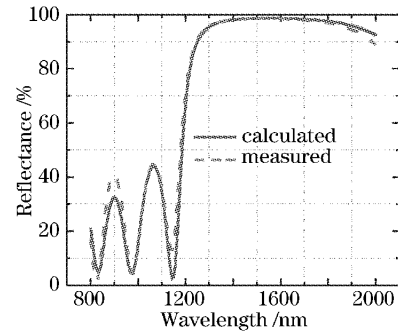


图 2 高反膜系反射率的理论计算曲线和实验曲线  
Fig. 2 Calculated and measured reflectance versus wavelength for HR film

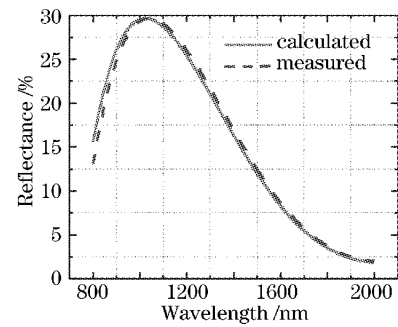


图 3 增透膜系反射率的理论计算曲线和实验曲线  
Fig. 3 Calculated and measured reflectance versus wavelength for AR film

### 4 器件结构

采用标准激光器阵列(1 cm 条),条由 19 个发光单元组成,激射区单元宽度  $100 \mu\text{m}$ ,周期  $500 \mu\text{m}$ 。利用标准光刻技术和湿化学腐蚀方法在激光器激射单元条之间形成隔离区以限制光场横向震荡,同时以  $\text{SiO}_2$  为绝缘层制备出电极条形窗口。p 面和 n 面分别蒸镀 TiPtAu, AuGeNi 合金化形成电极后解理成  $1000 \mu\text{m}$  腔长的条。条前后腔面分别镀上设计好的膜系,用 In 焊料将条在氮气保护下 p 面朝下烧结在无氧铜有源小通道热沉上,n 面与上电极用铜箔相连,上下电极用绝缘膜隔开,完成激光模块的制作。激光模块通过循环水冷系统散热。

### 5 器件特性测试

长波长 InP 衬底半导体激光器由于其载流子限制能力较弱且禁带宽度窄,俄歇复合较强,因此输出特性受温度影响较大<sup>[6]</sup>。图 4 为激光阵列模块阈值电流、光谱分布随器件有源区温度变化的特性曲线。

实验中通过改变热沉温度控制模块有源区温度在 20~50 °C 之间变化,利用低占空比脉冲电流(脉宽 1 μs,重复频率为 1 kHz)得到器件特征温度为 68 K,温飘系数为 0.56 nm/°C。该波段器件由于有源区材料带隙随温度变化幅度较大,因此温漂系数大于常见的 808 nm,980 nm 器件<sup>[8]</sup>。

图 5 是半导体激光阵列模块在直流供电,冷却

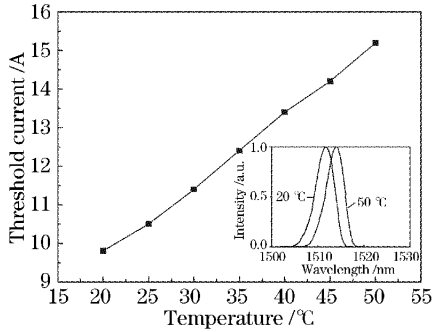


图 4 模块阈值电流、光谱分布随温度变化曲线

Fig. 4 Threshold current and spectrum of the module at different temperature

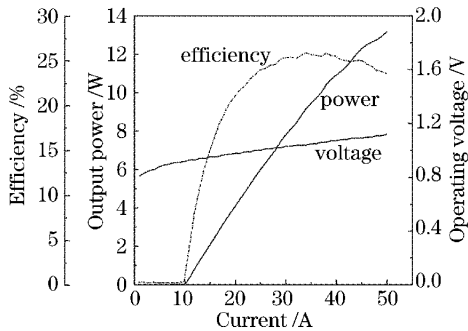


图 5 输出功率、电压和光电转换效率与电流关系曲线  
Fig. 5 Output power, operating voltage and E-O efficiency versus current

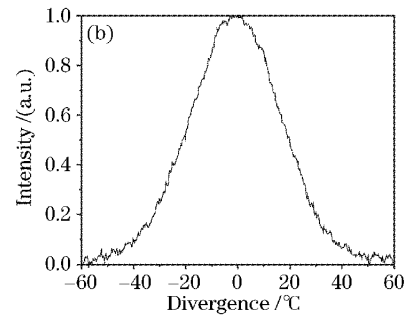
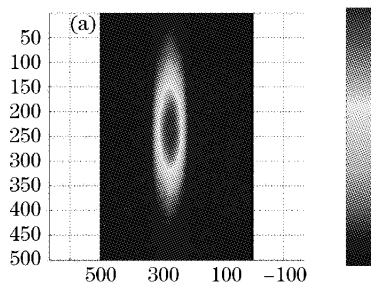


图 7 模块远场光斑及快轴发散角

Fig. 7 Measured far field distribution and fast axis divergence

水水温 15 °C 的测试条件下输出功率、电压以及光电转换效率与工作电流的关系曲线。激光阵列模块的驱动电源是一个最大输出电流为 80 A 的连续可变恒流电源。从图 5 可以看出,激光阵列模块阈值电流 10 A;在工作电流为 50 A,电压 1.12 V 时,输出功率最大值为 13.2 W,斜率效率 0.33 W/A,此时器件的光电转换效率呈明显下降趋势,发热量进一步增大,因此终止测试。阵列模块在驱动电流为 34 A 时光电转换效率最大(26%),此时输出功率为 9.17 W。

图 6 为半导体激光阵列模块在工作电流为 50 A 时,将芯径为 62.5 μm 的光谱仪光纤探头放入收集光功率的积分球内测得的光谱分布。由图 6 可见,中心波长为 1535.5 nm,光谱宽(FWHM)6.5 nm 左右。该器件光谱宽度较宽,主要是由于外延材料不均匀性引起,需进一步提高材料生长水平以减小光谱宽度。

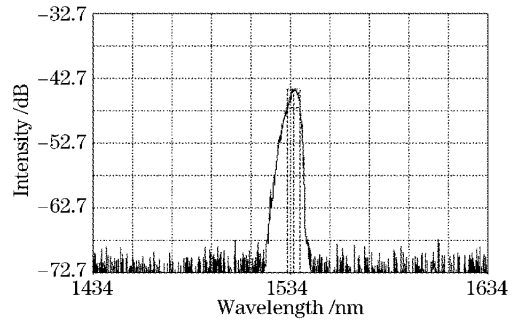


图 6 激光阵列模块的光谱分布

Fig. 6 Spectrum distribution of the module

图 7 为模块在工作电流为 50A 时的远场光斑及垂直结平面方向光场分布图。由该图可以看到,模块光束质量与普通阵列器件相差不大,快轴发散角约为 36°(功率半高处)。

## 6 结 论

采用 InGaAsP/InP 折射率跃变双步分别限制

多量子阱体系材料制作出 1540 nm 波段高功率连续工作半导体激光阵列条,并在此基础上组装出激

光阵列模块,获得了连续输出 13.2 W 的光功率输出,为下一步进行 1540 nm 半导体激光器应用的研究提供了理想的高功率光源。

### 参 考 文 献

- 1 D. Garbuzov, L. Xu, S. R. Forrest *et al.*. 1.5  $\mu\text{m}$  wavelength, SCH-MQW InGaAsP/InP broadened-waveguide laser diodes with low internal loss and high output power [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(18): 1717~1719
- 2 A. Gourevitch, B. Laikhtman, D. Westerfeld *et al.*. Transient thermal analysis of InGaAsP-InP high-power diode laser arrays with different fill factors [J]. *J Appl. Phys.*, 2005, **97**: 084503-1~084503-6
- 3 Mark S. Hybertsen. Band offset transitivity at the InGaAs/InAlAs/InP(001) heterointerfaces [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(16): 1759~1761
- 4 R. F. Kazarinov, M. R. Pinto. Carrier transport in laser heterostructures [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(1): 49~54
- 5 G. L. Belenky, R. F. Kazarinov, J. Lopata *et al.*. Direct measurement of the carrier leakage out of the active region in InGaAsP/InP laser heterostructures [J]. *IEEE, Trans. Electron. Devices*, 1995, **42**(2): 215~218
- 6 N. K. Dutta. Calculation of Auger rates in a quantum well structure and its application to InGaAsP quantum well lasers [J]. *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**(3): 1236~1245
- 7 J. A. Skidmore, B. L. Freitas, C. E. Reinhardt *et al.*. High-power operation of InGaAsP-InP laser diode array at 1.73  $\mu\text{m}$  [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(10): 1334~1336
- 8 A. Gourevitch, G. Belenky, D. Donetsky *et al.*. 1.47-1.49- $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP diode laser arrays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **83**(4): 617~619