

# GaAlAs/GaAs 单量子阱阵列半导体激光器

曲 轶<sup>1,2</sup> 高 欣<sup>2</sup> 张宝顺<sup>2</sup> 薄报学<sup>2</sup> 张兴德<sup>2</sup> 石家纬<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 吉林大学电子工程系 长春 130023;

<sup>2</sup> 长春光学精密机械学院高功率半导体激光国家重点实验室 长春 130022

**提要** 分析了影响阵列半导体激光器输出功率的因素。利用分子束外延生长法生长出 GaAlAs/GaAs 梯度折射率分别限制单量子阱材料(GRIN-SCH-SQW)。利用该材料制作出的阵列半导体激光器输出功率达到 10 W(室温,连续),峰值波长为 806~809 nm。

**关键词** 分子束外延,量子阱,阵列,半导体激光器

808 nm 等特定波长的大功率半导体激光器可作为 Nd:YAG<sup>[1]</sup>、Nd:YAL<sup>[2]</sup> 固体激光器的抽运源。由于半导体激光器体积小、寿命长和抽运效率高,所以由半导体激光器抽运的固体激光器可以有广泛的应用前景。

与传统的双异质结半导体激光器相比,量子阱结构具有极低的阈值电流密度和较高的光-电转换效率,其阈值电流的温度敏感性也比较低,这使量子阱在大功率工作状态下工作电流降低,减少耗散热与结温升,提高了器件大功率状态下的可靠性。现在条宽为 100 μm 的宽条形半导体激光器在 810 nm 波长上连续输出功率可达到 4 W<sup>[3]</sup>。本文用分子束外延(MBE)生长 SQW-SCH 半导体激光器材料,并用宽接触结构制作出 808 nm 波长 cm 条阵列半导体激光器。

## 1 影响阵列半导体激光器输出功率的因素

### 1.1 注入式半导体激光器的效率

注入式激光器总效率<sup>[4]</sup>为

$$\eta_t = \frac{P_{\text{opt}}}{P_{\text{el}}} = \eta_d \frac{(I - I_{\text{th}}) E_g}{I [U_{\text{th}} + R_s (I - I_{\text{th}})]}$$

其中,  $P_{\text{opt}}$  为光输出功率,  $P_{\text{el}}$  为注入到激光器中的电功率,  $I$  为注入电流,  $I_{\text{th}}$  为阈值电流,  $E_g$  为禁带宽度,  $R_s$  为半导体激光器的串联电阻,  $U_{\text{th}}$  为半导体激光器振荡阈值电压。  $\eta_d$  为半导体激光器的外微分量子效率,  $\eta_d$  等于辐射光子数与注入电子数之比, 对于单向输出辐射可写为<sup>[5]</sup>

$$\eta_d = \frac{dP_{\text{opt}}}{dI E_g} = \eta_i \left[ 1 + \frac{2\alpha L}{\ln(R_1 R_2)^{-1}} \right]^{-1} \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2} \frac{1 - R_2}{1 - R_1}} \right]^{-1}$$

其中,  $dP_{\text{opt}}/dI$  为  $P$ - $I$  特性曲线的斜率,  $\eta_i$  为内量子效率,  $\alpha$  为内部光损耗,  $R_1, R_2$  为谐振腔反射镜的反射系数,  $L$  为谐振腔长度。

在注入式半导体激光器中,  $\eta_i \approx 0.95$ , 腔面的增透膜和反射膜的反射系数  $R_1 \approx 5\%$ ,  $R_2 \approx 95\%$ ,  $\eta_d$  的数值在 0.8 和 0.9 之间。参数  $U_{th}$  由实验值确定, 对于  $\lambda = 810 \text{ nm}$  左右的半导体激光器为 1.6 V 左右。

在总效率达到极大值时的电流为  $I_{max} = I_{th} + J$ , 故注入式半导体激光器的最大输出效率为

$$\eta_i^{max} = \frac{\eta_d J}{I_{max}(U_{th} + R_s J)}$$

其中  $J = [(I_{th} \cdot U_{th})/R_s]^2$ 。

## 1.2 影响列阵半导体激光器输出功率的因素

注入式半导体激光器的极限输出功率一般受到两种因素的影响: 激光器材料的过热和谐振腔反射镜的灾难性光学损伤。激活区温度越高, 反射镜致命性劣化的极限功率越低。通过分析<sup>[5]</sup>表明, 除了增加各外延层(首先是  $p$ -AlGaAs 上限制层、衬底和欧姆接触层)的电导率外, 减少衬底的厚度可以减少串联电阻。增加波导层的掺杂会导致  $\alpha$  的增加, 所以, 使波导层的梯度掺杂为最佳。实验表明<sup>[5]</sup>, 在异质结构效率高时, 由半导体激光材料的热状态和得到的必需寿命条件限制的最大功率可与谐振腔镜面致命性损伤限制的极限输出功率相比。二维列阵半导体激光器的极限功率密度大约为  $10 \text{ kW/cm}^2$ 。

## 2 器件结构、制备及其特性

### 2.1 器件结构

通过以上分析, 我们设计了梯度折射率分别限制单量子阱(GRIN-SCH-SQW)激光器结构, 并利用 MBE 方法生长出该结构材料。采用(100)偏向(111)  $A$  方向  $2^\circ \sim 4^\circ n^+$  GaAs 衬底(掺 Si,  $n = 1 \sim 2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ), 生长温度为  $700^\circ\text{C}$ 。生长的外延层依次为 GaAs 缓冲层(掺 Si,  $n = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ),  $0.5 \mu\text{m}$ ;  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $x = 0.55$  限制层(掺 Si,  $n = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ),  $1.0 \mu\text{m}$ ;  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $x = 0.2$  波导层  $0.15 \mu\text{m}$ ;  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $x = 0 \sim 0.07$  有源区  $10 \text{ nm}$ ;  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $x = 0.2$  波导层  $0.15 \mu\text{m}$ ;  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $x = 0.55$  限制层(掺 Be,  $p = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ),  $1.0 \mu\text{m}$ ; GaAs 盖层(掺 Be,  $p = 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ),  $0.2 \mu\text{m}$ ; GaAs 欧姆接触层(掺 Be,  $p = 2 \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )  $0.02 \mu\text{m}$ 。

### 2.2 列阵半导体激光器的制备

利用 MBE 生长出来的外延材料进行了列阵激光器的后工艺制作。横向增益抑制是 cm 条激光器需要解决的一个基本问题, 特别是对高填充因子的高功率 cm 条器件, 横向的光增益很容易导致侧向激射, 降低激光器的输出功率。最有效的方法就是各列阵激射条之间进行横向光隔离, 其中包括引入极大损耗区的离子注入隔离和蚀刻至激活区的沟槽隔离。采用常规的化学蚀刻法在激射条之间腐蚀出深度约为  $3 \mu\text{m}$  的 V 沟道, 可有效阻断光场的横向传播。器件腔长约  $1 \text{ mm}$ , 激射条宽  $100 \mu\text{m}$ , 间隔为  $400 \mu\text{m}$ , 隔离沟宽  $10 \mu\text{m}$ 。cm 条列阵激光器结构示意图如图 1 所示。在两腔面分别镀高反膜(HR)和增透膜(AR), 反射率分别为  $\geq 95\%$  和  $5\%$ 。器件  $P$  面朝下倒装, 在无氧铜热沉上, 用循环水冷却器件。

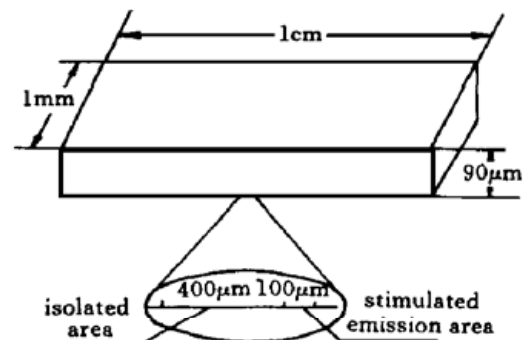


图 1 cm 条列阵激光器结构示意图  
Fig. 1 Schematic of cm bar array laser

### 2.3 器件特性

连续列阵器件的  $P-I$  曲线如图 2 所示。器件的连续输出功率达 10 W。发射光谱如图 3 所示, 峰值波长为 806~ 809 nm。

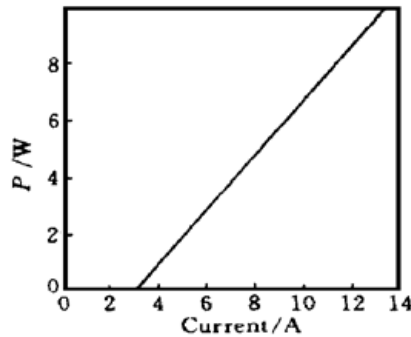


图 2 器件的连续  $P-I$  曲线

Fig. 2  $P-I$  curve of CW array laser

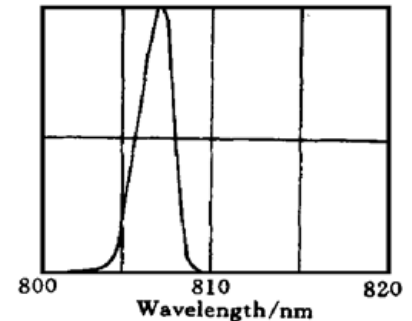


图 3 器件的典型光谱

Fig. 3 Typical spectrum of the array laser

## 3 结 论

本文分析了影响列阵半导体激光器输出功率的因素, 得出注入式半导体激光器的极限输出功率一般受到两种因素的影响, 即激光器材料的过热和谐振腔反射镜的灾难性光学损伤。考虑到各种影响因素之后, 设计出 GaAlAs/GaAs 梯度折射率分别限制单量子阱激光器结构, 并利用分子束外延生长出材料。利用该材料制作的 cm 条列阵半导体激光器输出功率达到 10 W (室温, 连续), 峰值波长为 806~ 809 nm。

### 参 考 文 献

- 1 David C. Brown. Ultrahigh-average-power diode-pumped Nd:YAG and Yb:YAG lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(6): 861~ 873
- 2 R. Beach, J. Davin, S. Mitchell *et al.*. Passively Q-switched transverse-diode-pumped Nd<sup>3+</sup>:YLF laser oscillator. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(2): 124~ 126
- 3 D. Z. Garbuzov, J. H. Abeles, N. A. Morris *et al.*. 4 watt, high efficiency, 0.81  $\mu$ m SQW-SCH AlGaAs/GaAs laser diode with broadened waveguides. in IEEE/OSA Conf. Lasers Optics, Anaheim, CA, June 1996. 79~ 80
- 4 L. J. Mawst, A. Bhattacharya, J. Lopez *et al.*. 8 W continuous wave front-facet power from broad waveguide Al-free 980 nm diode lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(11): 1532~ 1534
- 5 V. V. Bezotosnyi, Kh. Kh. Komykov, N. V. Markova. Ultimate output parameters of laser-diode bars and arrays. *Quantum Electron.*, 1997, **27**(6): 481~ 484 (in Russia)

## GaAlAs/GaAs Single Quantum Well Array Semiconductor Lasers

Qu Yi<sup>1,2</sup> Gao Xin<sup>2</sup> Zhang Baoshun<sup>2</sup> Bo Baoxue<sup>2</sup> Zhang Xingde<sup>2</sup> Shi Jiawei<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Jilin University, Changchun 130023  
<sup>2</sup>National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022

**Abstract** In this paper, the factors influencing the ultimate output power of laser diodes are analyzed. The GaAlAs/GaAs material with gradient refraction index, separate confinement single quantum well structure has been grown by MBE. The CW output power of the array diode laser is 10 W. The peak wavelength is 806~ 809 nm.

**Key words** MBE, quantum well, array, semiconductor lasers