

# 单量子阱 GaAs/AlGaAs 半导体激光器

曹三松

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

C. Wüthrich, J.-D. Ganière, F. K. Reinhart

(瑞士联邦洛桑理工学院微光电子学研究所, 1015 洛桑)

**提要** 本文介绍了用分子束外延法制作的梯度折射率分别限制式单量子阱 GaAs/AlGaAs 半导体激光器。该器件具有较低的阈值电流密度和单模运转特性, 连续输出功率可达 55 mW。

**关键词** 单量子阱, 分子束外延, GaAs/AlGaAs

## Single-quantum-well GaAs/AlGaAs lasers

CAO Sansong

(South-West Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

C. Wüthrich, J.-D. Ganière, F. K. Reinhart

(Institute of Micro &amp; Optoelectronic, EPFL, 1015 Lausanne, Switzerland)

**Abstract** Single-quantum-well GaAs/AlGaAs laser with graded-index separate confinement heterostructure (GRIN-SCH-SQW) were fabricated by molecular beam epitaxy. The laser exhibits low threshold current and single mode operation performances. 55 mW/facet CW output power has been obtained

**Key words** single-quantum-well, molecular beam epitaxy, GaAs/AlGaAs

## 1 引言

量子阱半导体激光器不仅在光纤通信、光盘存储以及集成光电子学领域有着很大的应用潜力,而且作为泵浦光源应用于固体激光器也倍受重视。为了满足这些应用领域的要求,近年来在低阈值、高功率量子阱半导体研究工作方面相当活跃并取得了巨大进展<sup>[1]</sup>。我们采用分子束外延方法研制成功了梯度折射率分别限制式单量子阱 GaAs/AlGaAs 半导体激光器,室温阈值电流为 15 mA,最高输出功率为 55 mW,单面量子微分效率约 38%,本文将介绍该激光器的结构特点和输出特性。

## 2 器件结构与制作

在量子阱半导体激光器中,由于量子效应的产生,造成量子阱激光器中载流子的态密度呈阶状分布。对单量子阱半导体异质结来说,激活层中载流子在导带的态密度可表示为<sup>[2]</sup>

$$\rho_c = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_c}{\pi h^2} H(E - E_n)$$

式中  $m_c, h$  和  $E_n$  分别是电子的有效质量、普朗克常数和电子在量子阱中  $n$  阶束缚态能量,  $H(x)$  是汉密顿函数。这样一种阶梯变化的态密度, 导致激活区具有非常窄的光增益带宽, 因而使量子阱半导体激光器具有非常低的阈值电流密度, 对温度变化不敏感, 线宽窄和波长可调谐等特性<sup>[3,4]</sup>。虽然单量子阱结构有利于大幅度降低半导体激光器的阈值电流密度, 但由于激活层非常薄, 对载流子和光波的限制能力变弱, 将会影响器件的性能<sup>[5]</sup>。

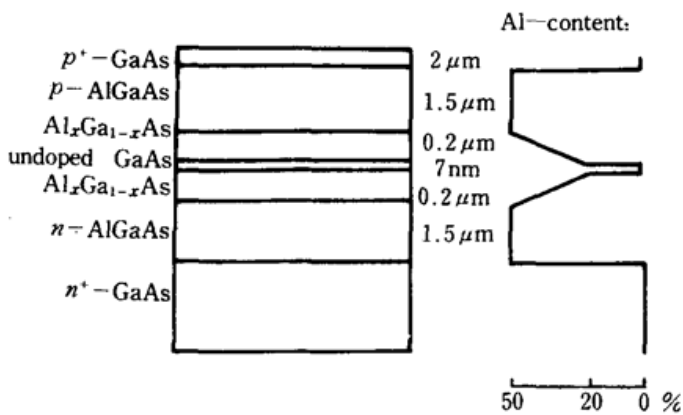


Fig. 1 Schematic GRIN-SCH SQW AlGaAs/GaAs laser layer structure

我们采用梯度折射率分别限制式异质结 (GRIN-SCH) 构成纵向光波导和载流子势垒, 改善 GaAs/AlGaAs 单量子阱半导体激光器的纵向光电限制能力, 以达到降低阈值光流密度和提高输出功率的目的。我们采用分子束外延 (MBE) 设备生长单量子阱梯度折射率分别限制式 GaAs/AlGaAs 激光器的各外延层, 外延过程是, 在  $n$ -GaAs 衬底上先生长一层缓冲层, 然后依次生长:  $1.5 \mu\text{m}$  厚  $n$ - $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$  层,  $0.2 \mu\text{m}$  厚  $n$ - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  层 ( $x = 0.45 \sim 0.15$ ),  $L_z = 7 \text{ nm}$  的 GaAs 量子阱层,  $0.2 \mu\text{m}$  厚  $p$ - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  层 ( $x = 0.45 \sim 0.15$ ),  $1.5 \mu\text{m}$  厚  $p$ - $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$  层和重掺杂的 GaAs 接触层。

在这种结构中, 非常薄的 GaAs 量子阱激活层限制在四层 AlGaAs 层之间, 即在通常的双异质结半导体激光器中, 增加了两层折射率梯度变化的 AlGaAs 层, 从而可以加强对载流子的限制能力而又不会缩小光波导区域。单量子阱梯度折射率分别限制式 GaAs/AlGaAs 激光器外延层结构如图 1 所示。

在外延工艺完成之后, 开始制作横模限制能力较强的台形波导。台形波导制作是采用常规的半导体工艺完成, 即用光刻化学腐蚀的办法形成条宽为  $5 \sim 10 \mu\text{m}$  的台形, 台阶高度控制在满足单模振荡条件范围内。台形波导形成之后, 蒸发  $100 \text{ nm}$  厚  $\text{Si}_3\text{N}_4$  层用于侧向绝缘,  $p$ -接触层采用合金  $\text{Ti/Pt/Au}$ ,  $n$ -接触层是合金  $\text{AuGe/Au}$ 。在完成电极制备之后, 采用常规的解理办法, 形成各种尺寸的谐振腔长, 长度范围在  $300 \sim 1000 \mu\text{m}$  之间。最后将其钎焊于铜热沉之上进行激光特性测量。制作出的台形波导单量子阱 GaAs/AlGaAs 激光器如图 2 所示。

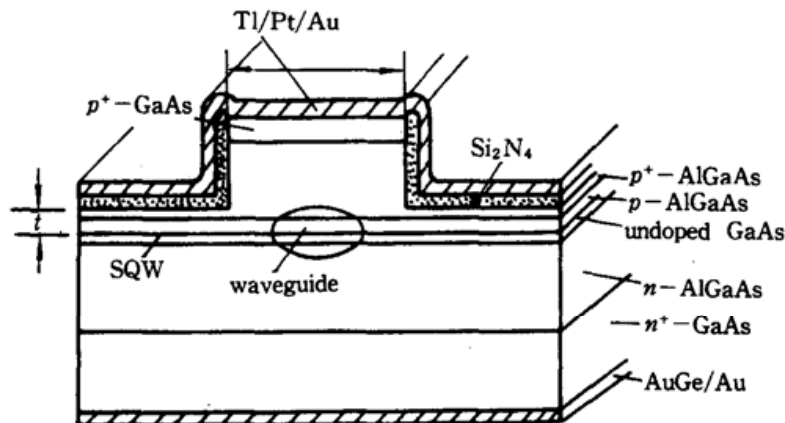


Fig. 2 Schematic GRIN-SCH SQW GaAs/AlGaAs ridge waveguide laser

### 3 激光器特性

研制出的 GaAs/AlGaAs 单量子阱台形波导激光器在室温下能够稳定连续工作。图 3 是激光器在室温下典型的输出光功率与注入电流的关系曲线 ( $P-I$  曲线)。由图 3(a) 可看出,当器件谐振腔长为  $300\ \mu\text{m}$ , 条宽为  $5\ \mu\text{m}$  时,激光阈值电流为  $15\ \text{mA}$ ,单面外微分量子效率约  $38\%$ 。如图 3(b) 所示,当激光器条宽  $10\ \mu\text{m}$ ,谐振腔长  $600\ \mu\text{m}$ ,单端连续输出功率达到  $55\ \text{mW}$ 。

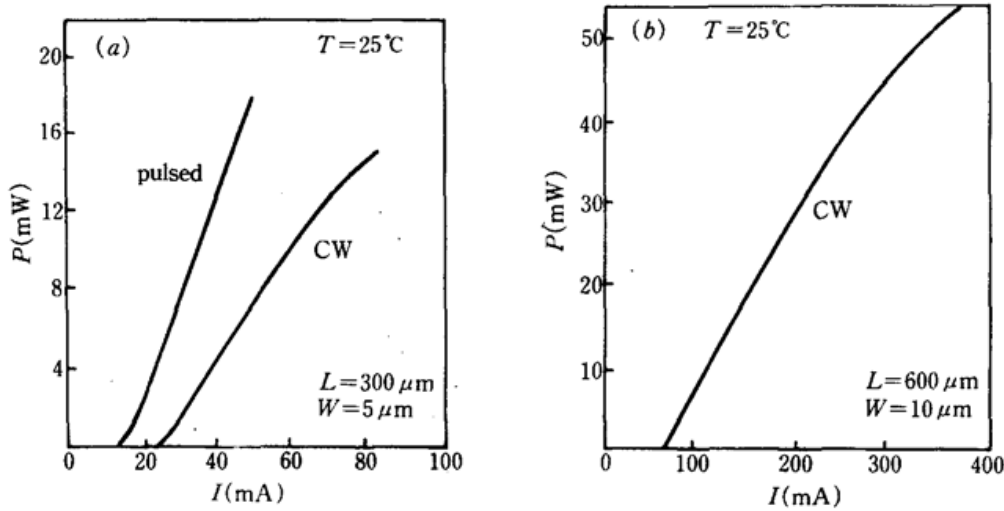


Fig. 3 Optical output from one facet versus injected current under CW and pulse operation of laser

(a) ridge width  $W = 5\ \mu\text{m}$ , cavity length  $L = 300\ \mu\text{m}$ ; (b) ridge width  $W = 10\ \mu\text{m}$ , cavity length  $L = 600\ \mu\text{m}$

测试激光器的近场光斑和远场光斑,表明器件工作在基模状态。远场光强呈高斯分布,如图 4 所示。光强分布的半宽度 (FWHM) 在平行于结平面方向约为  $18^\circ$ 。另外,我们还测量了激光器的纵模特性。图 5 示出了一个连续阈值电流为  $23\ \text{mA}$  的激光器在不同注入电流下的纵模光谱。由图可见,从  $30\ \text{mA}$  注入电流 ( $1.5$  倍  $I_{th}$ ) 开始,激光器工作在单纵模,此时对应的输出激光波长为  $856.4\ \text{nm}$ ,随着注入电流增加,激活层温度上升,激光波长向长波移动。

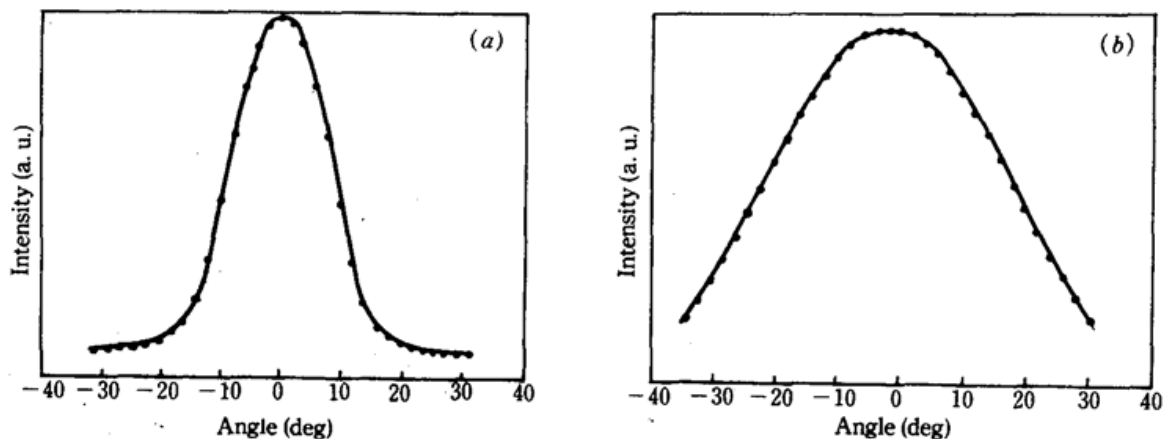


Fig. 4 Far-field pattern of a ridge waveguide laser with  $W = 5\ \mu\text{m}$

(a) Intensity distribution in direction parallel to the junction plane;

(b) Intensity distribution in direction perpendicular to the junction plane

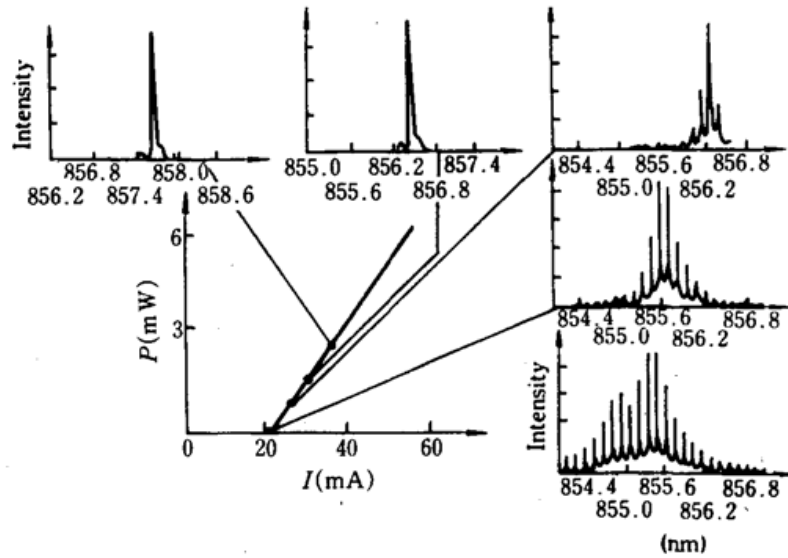


Fig. 5 The longitudinal-mode laser spectra recorded at different output power levels

## 4 讨 论

1. 在量子阱半导体激光器中各外延层的质量对激光性能影响甚大。为了满足光学泵浦铯原子频率标准具的要求<sup>[6]</sup>,我们将量子阱层厚度设计为  $L_z = 7$  nm,以期获得 850 nm 附近波长的半导体激光输出。为了证实外延样品的量子阱特性,我们首先用扫描电镜拍摄各外延层的外形,用透射电镜方法估计各外延层的厚度及观察生长面平整度,均获得满意的结果。为了定量估计实际的量子阱 GaAs 层厚度大小,在制作激光器之前,我们还测试了样品的光致发光谱。由发光谱可以看出其光谱结构具有量子阱分立能级光跃迁特性,光谱峰值位于 841 nm,对应于光子能量  $h\nu = 1.474$  eV。由能量本征值方程,这一能量值与阱宽  $L_z = 7$  nm 的单量子阱中第一价电子态到第一重空穴能级跃迁相对应 ( $E_{1c} - E_{1v}$ ),与设计要求吻合。这也说明采用分子束外延技术能够较好地控制各外延层厚,特别是控制激活层超薄层(厚度),以满足实际应用对激光输出波长的要求。

2. 改进激光器的热沉结构,可以进一步降低目前器件连续运转的阈值电流。实验中发现我们器件的散热效果不好,激活层温升快,导致激光阈值电流升高,这可以由图 3 (a) 看出,脉冲激光阈值电流远低于连续激光阈值电流。

3. 由于量子阱结构具有非常薄的激活层,而 GRIN-SCH 结构使光波导区域扩大,这有利于提高输出功率而又不致产生光损伤。我们目前的器件主要是由于散热差、输出功率因热而饱和(图 4 (b))。改善散热条件,可望进一步提高输出功率。

在研究工作中,得到了 C. -A. Berseth, D. Martin 和 F. Morrier-Genond 的协助,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 A. Yariv, *Circuit and Devices*, 5(6), 25(1989)
- 2 Y. Arakawa, A. Yariv, *IEEE J. Quant. Elect.*, QE-21, 1666(1985)
- 3 Pamela L. Derry, Amnon Yariv, *Appl. Phys. Lett.*, 50(25), 1773(1987)
- 4 K. Hess, B. A. Vojak et al., *Solid-State Electronics*, 23(6), 585(1980)
- 5 W. T. Tsang, *Appl. Phys. Lett.*, 39(2), 134(1981)
- 6 S. Cao, C. Wüthrich et al., *Helv. Phys. Acta*, 63(5), 837(1990)