

# 808 nm InGaAsP-InP 单量子阱激光器热特性研究\*

张永明<sup>1,2</sup> 钟景昌<sup>1</sup> 路国光<sup>3</sup> 秦 莉<sup>3</sup> 赵英杰<sup>1</sup> 郝永芹<sup>1</sup> 姜晓光<sup>1</sup>

(1 长春理工大学 高功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022)

(2 沈阳化工学院材料科学与工程学院, 沈阳 110142)

(3 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘 要** 从 InGaAsP-InP 单量子阱激光器结构分析入手, 采用自行设计的热封闭系统对 808 nm InGaAsP-InP 单量子阱激光器热特性进行了研究. 实验表明, 在 23-70℃ 的温度范围内, 器件的功率由 1.74 W 降到 0.51 W, 斜率效率由 1.08 W/A 降到 0.51 W/A. 实验测得其特征温度  $T_0$  为 325 K. 激射波长随温度的漂移  $d\lambda/dT$  为 0.44 nm/℃. 其芯片的热阻为 3.33℃/W.

**关键词** 单量子阱激光器; 808 nm; InGaAsP-InP; 热特性; 特征温度

**中图分类号** TN248.4 **文献标识码** A

## 0 引言

808 nm 半导体激光器在固体激光器泵浦、材料加工、医疗、光信息处理等方面有着广泛应用<sup>[1~4]</sup>. 从应用角度出发, 人们不仅期望激光器的功率高, 同时也要求其性能稳定. 半导体激光器在工作时会产生一定的热量, 特别是对大功率的这类器件, 热特性问题就更为突出. 因此, 如何解释产生的机制及工作特性随温度变化的规律, 引起许多研究者的关注. 实践证明: 器件的温度变化将引起阈值电流、斜率效率、最大输出功率、光谱的变化.

热特性参量是半导体激光器的极其重要的指标, 因而, 温度特性的测试尤为重要. 温度特性的测试需要在稳定的热平衡系统中进行, 目前尚没有成型测试装置的产品. 本文采用自行设计的热封闭系统研究了半导体激光器的温度特性, 得到了一系列表明半导体激光器热性能的数据.

## 1 半导体激光器结构分析

### 1.1 影响半导体激光器热特性的主要因素

#### 1) 载流子泄漏

载流子泄漏是影响 InGaAsP-InP 半导体激光器温度特性的主要因素. 就这一问题, Yano 等人曾对 InGaAsP-InP 等双异质结激光器的阈值温度关系进行过较深入的理论研究. 对 808 nm InGaAsP-InP 激光器来说, 由于 InP 价带态密度大于导带态密度, P 型 InP 中受主能级比 N 型 InP 中施主能级深, 电子泄漏电流密度大于空穴泄漏电流密度. 特别是在室温以上时, 电子泄漏成为决定器件温度特

性的主要因素.

#### 2) 俄歇复合

俄歇复合是影响 InGaAsP-InP 半导体激光器阈值温度特性的重要因素. 在双异质结结构器件中, 用非辐射复合过程可以解释阈值-温度关系的实验结果, 其中复合速率正比于注入载流子密度平方<sup>[5]</sup>. 所以一般认为, 载流子密度在  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  量级时, 光输出饱和现象主要是俄歇复合造成的内量子效率下降所致.

在 III~V 族化合物半导体中, 可能产生的俄歇过程主要是两个空穴和一个导带电子相互作用, 在自旋劈裂价带中产生一个空穴的所谓 CHHS 过程, 另外两种过程的跃迁几率在非简并半导体中比 CHHS 过程低约一个数量级. 因此, 一般只考虑这一带-带俄歇复合过程. 然而这里的所有俄歇复合都是超过两个载流子参加的过程, 考虑到载流子的散射作用, CHHS 带-带俄歇复合率为

$$R = 2 \left( \frac{V}{8\pi^3} \right)^4 \iint T_{if} P(1, 1', 2, 2') \cdot dK_1 dK_2 dK'_1 dK'_2 \quad (1)$$

式中  $T_{if}$  是两个载流子散射过程的跃迁几率,  $V$  是体积,  $P$  是统计权重函数.

#### 3) 光学吸收损耗

半导体激光器的阈值条件是最大模式增益等于光学腔中的总损耗. 器件中的总损耗为

$$A = (1/L_c) \ln(1/R) + \Gamma \alpha_{ac} + (1-\Gamma) \alpha_{ex} \quad (2)$$

式中  $L_c$  为腔长,  $R$  为镜面反射率,  $\Gamma$  为有源层光限制因子,  $\alpha_{ac}$  为有源层中的损耗,  $\alpha_{ex}$  为有源层外, 包括限制层和波导层中的损耗. 这里的  $\alpha_{ac}$  损耗又包括电子从自旋劈裂带跃迁到重空穴带的吸收损耗  $\alpha_1$  和由劈裂带到局域的空受主能级跃迁的吸收损耗  $\alpha_2$ , 其过程如图 1.

\*兵器工业总公司“十五”支撑项目

Tel: 024-89388092 Email: zymciom@126.com

收稿日期: 2004-10-25

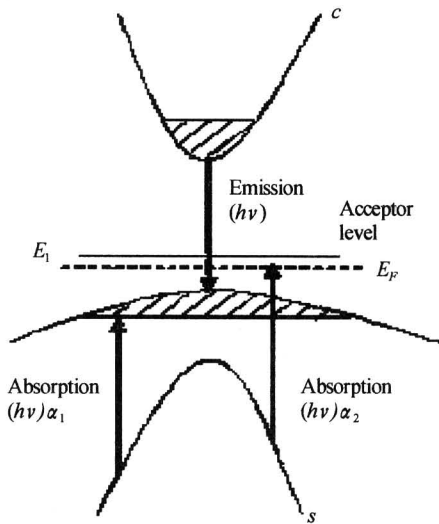


图1 价带内吸收电子跃迁模型  
Fig.1 Electronic transition model for the inter-valence-band absorption

$$\alpha_1 = B_1 / \{1 + \exp [(E_1 - E_{FV}) / kT]\} \approx B_1 \exp [(E_{FV} - E_1) / kT] \quad (3)$$

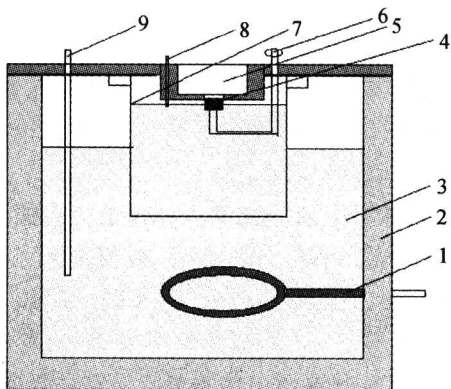
$$\alpha_2 = B_2 / \{1 + \frac{1}{2} \exp [(E_A - E_{FV}) / kT]\} \quad (4)$$

一般来说,  $E_A - E_{FV}$  较小, 而  $E_1 - E_{FV}$  是  $kT$  的很多倍, 因此  $\alpha_1$  比  $\alpha_2$  随温度变化更明显.

## 2 实验装置

本实验装置的设计, 考虑到只有在器件连续工作条件下处于一个稳定的温场中方能得到准确的阈值电流、输出光功率、激光波长等参量对温度的依赖关系, 从而得到准确的  $T_0$  值等数据.

以往的装置多以空气为传热介质, 其热容量较小, 很难使被测器件处于均匀稳定的温场中, 且有源区的热平衡温度总要滞后于温控传感器温度, 从而使被测参量偏离实际值较远. 为解决上述问题, 经过热平衡计算, 确定实验装置结构如图2, 其导热介



1.Heater 2.Heat preservation player 3.Haet exchange medium 4.Device 5.Light output 6.Electrode 7.Overflow 8.Temperature detector 9.Temperature control sensor

图2 实验装置  
Fig.2 The experimental setup

质选择绝缘性好、热容量大的变压器油. 采用 XMT 型数显调节仪配以热电偶控温(准确度达  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ), XMTD 型数显调节仪配以热电阻测温, 多功能参量测试仪测量输出光功率、激光波长.

## 3 实验结果与讨论

图3是器件在  $23 \sim 70^\circ\text{C}$  温度范围内所测的 LIV 特性曲线. 从图中可看出, 随着温度的升高, 在

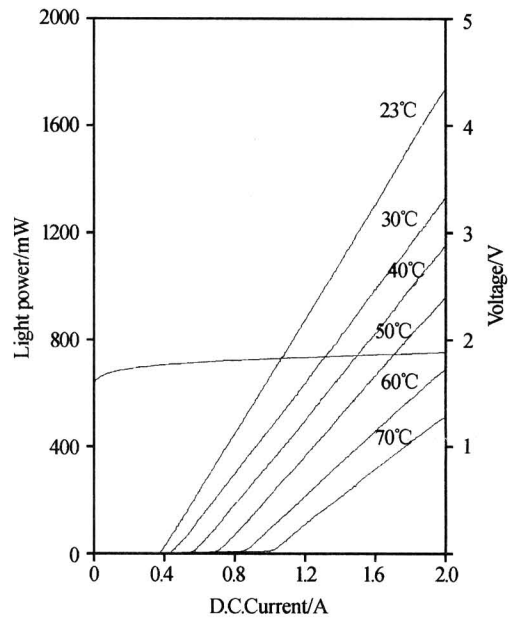


图3  $23 \sim 70^\circ\text{C}$  温度范围内器件的 L-I-V 特性曲线  
Fig.3 L-I-V plot of the device in the temperature range of  $23 \sim 70^\circ\text{C}$

相同的电流下激光器输出功率下降, 在该温度范围内最大输出功率由  $1.74\text{ W}$  降到  $0.51\text{ W}$ . 这是因为激光器在阈值以上的输出功率为

$$P_o = \eta_i \eta_{ex} \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} \frac{h\nu}{q} (I - I_{th}) \quad (5)$$

式中,  $\eta_i$  为内量子效率,  $\eta_{ex}$  为外量子效率,  $\alpha_i$  为内损耗,  $\alpha_m$  为端面损耗. 随着温度的升高, 激光器的内损耗及载流子的泄漏增加, 内量子效率减小, 导致外微分子子效率降低所致. 从图中还可看出, 阈值电流随温度升高而增大, 阈值电流密度也随之增大, 增益减小, 这是因为随温度的升高, 注入的载流子能量分布展宽, 造成透明载流子浓度增加所引起的. 同时, 为达到阈值而增加的载流子密度又增大了内耗, 增益和内损耗的变化以及载流子的泄漏等因素导致了激光器的阈值电流随温度的变化. 温度对最大输出功率的影响比对阈值电流的影响更显著, 导致斜率效率随温度升高而降低. 由  $23 \sim 70^\circ\text{C}$  时, 实验测得器件的斜率效率由  $1.08\text{ W/A}$  降到  $0.51\text{ W/A}$ . 实验还测得阈值电流  $\ln I_{th}$  随温度  $T$  变化曲线如图4. 由  $I_{th} = I_0 \exp (T/T_0)$  知该曲线的斜率的倒数即

为器件的特征温度, 实验测得  $T_0$  值为 325 K.

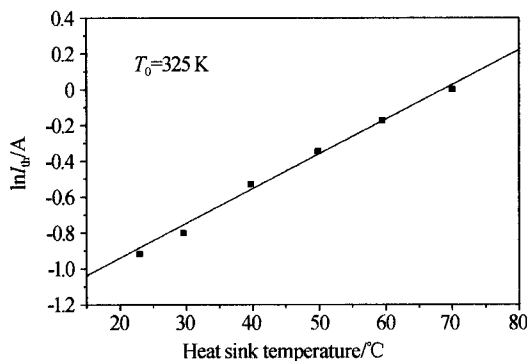


图 4 器件阈值电流随温度的变化  
Fig. 4 Plot of the device threshold current versus temperature

图 5 恒定驱动电流 1.2 A 时, 23~70°C 温度之间器件激光波长随温度的变化关系, 由图可清楚地看到激光波长随温度升高呈线性变化, 且向长波方向移动, 速率为 0.44 nm/°C.

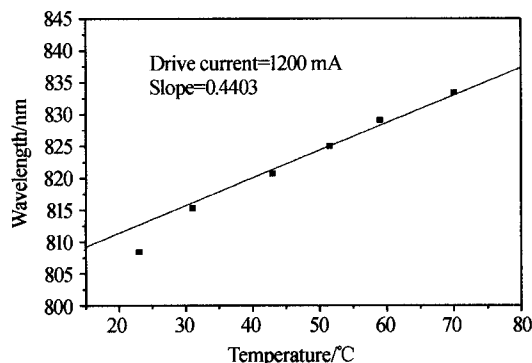


图 5 器件波长随温度的变化  
Fig. 5 Plot of the wavelength of the device versus heat sink temperature

文献[6,7]给出激光波长随温度的变化与特征温度之间的关系

$$\frac{d\lambda}{dT} = a_1 - (a_2/T_0) \quad (6)$$

式中  $a_1$ 、 $a_2$  是由实验确定的参量, 且与器件结构无关.  $a_1$  对应于注入电流恒定时波长随温度的红移, 它包括由于温升引起的带隙收缩导致的带隙波长的温度漂移和由于未满带导致的激光波长红移两部分, 可以在恒定注入电流下测得的增益峰波长的温度依赖性得到. 因为由载流子泄漏、俄歇复合等引起的非辐射复合电流随温度升高而增加, 这就意味着随温度的升高贡献给激光的电流减少, 结果满带填充程度降低. 因此实际激光波长的温漂要比带隙波长的温漂大.  $a_2$  对应于恒温下波长随注入电流的蓝移. 对 InGaAsP 量子阱激光器来说,  $a_1 = 0.8 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ ,  $a_2 = 24 \text{ nm}$ . 实验结果与由上式得到的结果基本一致. 图 6 室温 23°C 时, 器件激光波长随耗散功率的变化,  $\Delta p$  为注入的电功率与发射的光功率之差, 由

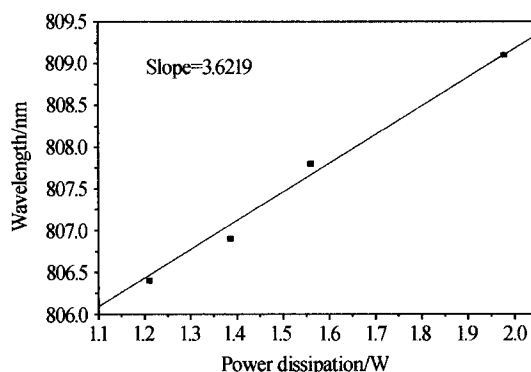


图 6 器件波长随耗散功率的变化  
Fig. 6 Plot of the wavelength of the device versus power dissipation

图中可以看出, 器件激光波长随耗散功率呈线性变化. 将热阻公式改写为

$$R_t = \frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{\Delta T}{\Delta \lambda} \frac{\Delta \lambda}{\Delta p} \quad (7)$$

式中  $R_t$  为热阻,  $\Delta T$  为温升,  $\Delta p$  为耗散功率,  $\Delta \lambda / \Delta p$  表示激光波长随耗散功率的变化;  $\Delta T / \Delta \lambda$  表示激光波长随温度变化的倒数. 由图 5 知  $\Delta \lambda / \Delta T = 0.4403$ , 由图 6 知  $\Delta \lambda / \Delta p = 3.6219$ , 代入式(7)得  $R_t = 8.23 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . 该值是器件的热阻, 器件的热阻等于芯片的热阻加上热沉的热阻. 本器件采用的铜热沉, 其热阻为  $4.9 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . 因此, 芯片的热阻为  $3.33 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . 这与理论估算的热阻一致. 由此证明, 半导体激光器的热阻可以由波长对温度的依赖性的倒数和波长对耗散功率的依赖性之积得到.

## 4 结论

采用自行设计的热封闭系统对 808 nm InGaAsP 单量子阱激光器的温度特性进行研究. 在 23~70°C 的温度范围内, 器件的功率由 1.74 W 降到 0.51 W, 斜率效率由 1.08 W/A 降到 0.51 W/A. 实验测得其特征温度  $T_0$  为 325 K. 激光波长随温度的漂移为 0.44 nm/°C. 其芯片的热阻为  $3.33 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . 实验证明, 半导体激光器的热阻可以由波长对温度的依赖性的倒数和波长对耗散功率的依赖性之积得到. 这种方法方便可靠, 容易实现, 并将为后续的热沉设计提供可靠的数据.

## 参考文献

- 1 Dias J, Elishevich I, Mobarban K, et al. InGaP/InGaAsP/GaAs 0.808  $\mu\text{m}$  separate confinement laser diodes grown by metal organic chemical vapor deposition. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1994, 6(2):132
- 2 Dias J, Elishevich I, He X, et al. High-power InGaAsP/GaAs 0.8  $\mu\text{m}$  laser diodes and peculiarities of operational characteristics. *Appl Phys Lett*, 1994, 65(8):1004
- 3 吴翔, 陆祖康, 王攸. InGaAsP SBH 激光器光束质量的

- 非傍轴分析. 光子学报, 2003, **32**(11):1308~1311
- Wu X, Lu Z K, Wang Y. *Acta Photonics Sinica*, 2003, **32**(11):1308~1311
- 4 王志杰, 陈博, 王圩. LP-MOVPE 生长的低阈值 1.3  $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP 压、张应变交替 MQW 激光器特性. 光子学报 1997, **26**(5):418-421
- Wang Z J, Chen B, Wang W. *Acta Photonics Sinica*, 1997, **26**(5):418-421
- 5 Bernd Witzigmann, Mark S Hybertsen. A theoretical investigation of the characteristic temperature  $T_0$  for semiconductor laser. *IEEE J on Selected Topics in Quantum Electronics*, 2003, **9**(3):807~815
- 6 Masahiko Kondow, Takeshi Kitatani, Kouji Nakahara, *et al.* Temperature dependence of lasing wavelength in a GaInNAs laser diode. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2000, **12**(7):777~779
- 7 Toshio Higashi, Tsuyoshi Yamamoto, Shouichi Ogita, *et al.* Experimental analysis of temperature dependence of oscillation wavelength in quantum-well FP semiconductor lasers. *IEEE J Q E*, 1998, **34**(9):1680~1688

## Study of Thermal Characteristics of 808 nm InGaAsP-InP SQW Lasers

Zhang Yongming<sup>1</sup>, Zhong Jingchang<sup>1</sup>, Lu Guoguang<sup>2</sup>, Qin Li<sup>2</sup>, Zhao Yingjie<sup>1</sup>,  
Hao Yongqin<sup>1</sup>, Jiang Xiaoguang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Key Lab on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022

<sup>2</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033

Received date: 2004-10-25

**Abstract** The temperature characteristics of 808 nm InGaAsP-InP SQW lasers have been investigated in a heat-tight system by analyzing their structure. It is shown that the power and the slope efficiency of the devices decreases from 1.74 mW to 0.51 mW and 1.08 mW/mA to 0.51 mW/mA in the temperature range of 23~70°C, respectively. Lasing wavelength shift coefficient  $d\lambda/dT$  is 0.44 nm/(°C). The characteristic temperature  $T_0$  of 325 K is experimentally obtained. The thermal resistance of the chip, determined experimentally, is 3.33°C/W.

**Keywords** SQW Laser; 808 nm; InGaAsP-InP; Thermal characteristics; Characteristic temperature



**Zhang Yongming** was born in Jan. 1964, in Hei Longjiang, China. He received B. S. degree in inorganic nonmetallic material from Qiqihar University in 1985, and M. S. degree in optics materials from Changchun institute of Optics and Fine mechanics, Chinese Academy of Sciences, in 1988. He is presently working towards his Ph. D. focusing on the semiconductor lasers.