

文章编号: 0258-7025(2009)06-1356-04

# 大功率 980 nm InGaAs/InGaAsP/InGaP 激光器热特性

裘利平 郭伟玲 罗丹 崔碧峰 张蕾 沈光地

(北京工业大学北京光电子技术实验室, 北京 100022)

**摘要** 利用低压金属有机化学气相沉积(LP-MOCVD)生长了无铝 980 nm InGaAs/InGaAsP/InGaP 单量子阱(SQW)激光器,测试了含铝的 InGaAs/GaAs/AlGaAs 和无铝的 InGaAs/InGaAsP/InGaP 两种不同材料的 980 nm InGaAs SQW 激光器在 30~70 °C 范围内的 *P-I-V* 特性曲线,对比分析了两种材料系 980 nm 激光器输出光功率、阈值电流、斜率效率和激光波长随温度的变化,并对 InGaAs/InGaAsP/InGaP 激光器进行了可靠性实验。

**关键词** 激光器; 大功率激光器; 热特性; 无铝; 特征温度

中图分类号 TN248.4 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093606.1356

## Thermal Property of High Power 980 nm InGaAs/InGaAsP/InGaP Laser Diodes

Qiu Liping Guo Weiling Luo Dan Cui Bifeng Zhang Lei Shen Guangdi

(Beijing Optoelectronic Technology Laboratory, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract** An aluminum-free InGaAs/InGaAsP/InGaP single quantum well (SQW) laser diode (LD) is grown by low-pressure MOCVD. The *P-I-V* characteristics of Al-free and Al-containing 980-nm InGaAs lasers are tested in temperature range of 30-70 °C. The variations with temperature of the two different LDs' characteristic parameters, including output power, threshold current, slope efficiency, and the wavelength, are analyzed contrastively. The reliability experiments on the InGaAs/InGaAsP/InGaP laser diodes are also carried out.

**Key words** lasers; high power laser; thermal characteristics; Al-free; characteristic temperature

### 1 引 言

作为掺铒光纤放大器的理想抽运源<sup>[1]</sup>,大功率 980 nm 半导体量子阱激光器一直以来都是研究热点。新一代光通信,特别是海底光纤通信系统要求长达 25 年的寿命,这就对大功率 980 nm 半导体量子阱激光器抽运源的可靠性与稳定性提出了更高的要求。传统的 980 nm InGaAs/AlGaAs/GaAs 材料体系容易实现晶格匹配、外延工艺成熟,但是,温度较高时材料中的 Al 组分极易被氧化,严重影响激光器的使用性能,同时也给制作工艺带来一定的难度<sup>[2,3]</sup>。无铝半导体激光器(LD)克服了这些不足,随着研究的深入,已显示出许多

优点<sup>[4]</sup>:1) InGaP 同氧的反应速率、表面复合速率比 AlGaAs 要低得多,因此降低了激光器端面升温,使灾变光学镜面损伤(COMD)阈值增大 2 倍以上,同时 InGaP 较 AlGaAs 有更好的热学、电学传导性,器件的串联电阻和热阻减小;2) InGaAsP 与 InGaP 中 In 原子体积较大,它牵制了位错的移动,有效地阻止了暗点缺陷(DSD)和暗线缺陷(DLD)的积累、扩散<sup>[5]</sup>。上述优点有助提高器件的可靠性,实现更长的使用寿命。本文通过变温测试对 InGaAs/InGaAsP/InGaP 分别限制异质结构(SCH)单量子阱(SQW)激光器的热特性进行研究,并进行了可靠性实验。

收稿日期: 2008-10-14; 收到修改稿日期: 2008-12-04

基金项目: 国家 863 计划(SQ2007AA03Z431230)资助课题。

作者简介: 裘利平(1983-),男,硕士研究生,从事半导体激光器可靠性方面的研究。E-mail: jxlqpl@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 郭伟玲(1966-),女,副教授,从事半导体光电子器件方面的研究。E-mail: guoweiling@bjut.edu.cn

### 2 结构设计和样品制备

实验采用的 980 nm 无铝激光器结构如图 1 所示。在(100)偏(111)晶向 2°的 n 型 GaAs 衬底上,利用金属有机化学气相沉积(MOCVD)系统依次生长 0.2 μm n<sup>+</sup>-GaAs 缓冲层,2 μm n-GaInP 下限制层,70 nm In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub> 线性折射率渐变下波导层,8 nm In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>A 单量子阱层,70 nm In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub> 线性折射率渐变上波导层,2 μm p-GaInAsP 上限制层,0.2 μm p<sup>+</sup>-GaAs 层。外延片 p 面蒸镀 SiO<sub>2</sub>,光刻、腐蚀成 50 μm 的条宽,深度 520 nm,淀积 Ti/ Au 合金; n 面化学动力减薄后蒸镀 AuGe/Ni/ Au 合金,解理成腔长 800 μm 的管芯,用电子束蒸发镀膜方法为激光器蒸镀 Si/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 高反膜及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 增透膜,镀膜环境的真空度为 9×10<sup>-5</sup> Pa,温度为 120~170 °C。为了减小器件的热阻,提高器件的热特性,用 AuSn 焊料将解理后的管芯倒装焊接在铜热沉上。图 2 为实验所用腔长 800 μm,条宽 50 μm 无铝样品 LD 的 P-I-V 及远场特性,器件在 1000 mA 直流工作下输出光功率 812 mW,阈值电流 132 mA,斜率效率 0.97 W/A,激光波长 976.6 nm,垂直和水平远场发散角分别为 34.2°和 6.6°。

### 3 变温测试

对含铝的 InGaAs/GaAs/AlGaAs 和无铝的 InGaAs/InGaAsP/InGaP 两种不同材料的 980 nm InGaAs SQW 激光器在 30~70 °C 范围内进行了 P-I-V 特性测试。为了减小器件本身发热对结温的贡献,影响后续特征温度 T<sub>0</sub> 及 Δλ/ΔT 的计算,变

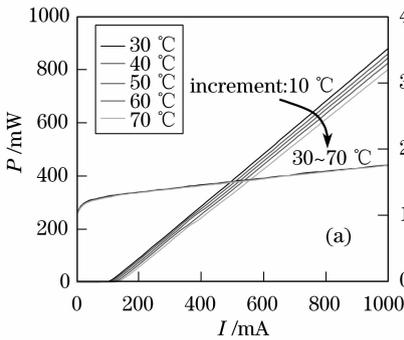


图 3 (a) InGaAs/InGaAsP/InGaP 激光器和 (b) InGaAs/GaAs/AlGaAs 激光器在 30~70 °C 范围内的 P-I-V 特性曲线

Fig. 3 P-I-V characteristics of InGaAs/InGaAsP/InGaP LD (a) and InGaAs/GaAs/AlGaAs

LD (b) with temperature from 30 °C to 70 °C

从图 3 中可看出,随着温度的升高,在相同的激励电流下激光器输出功率,在该温度范围内,有铝和无铝器件的最大输出功率分别由 880.4 mW 和 936.5 mW 下降到 802.7 mW 和 852.2 mW,下降幅

度分别为 8.8% 和 9%。

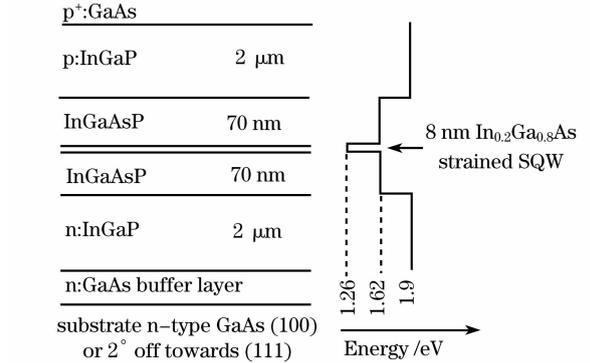


图 1 InGaAs/InGaAsP/InGaP 980-nm InGaAs 应变单量子阱激光器结构示意图

Fig. 1 Schematic structure of InGaAs/InGaAsP/InGaP 980-nm InGaAs strained SQW laser diode

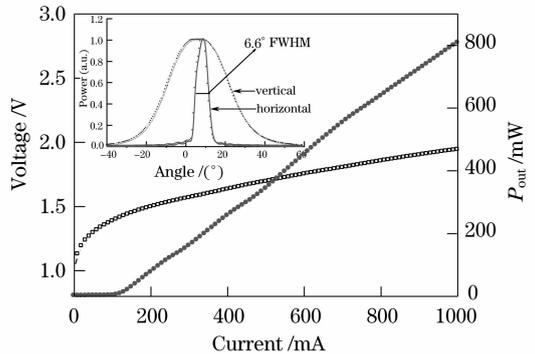
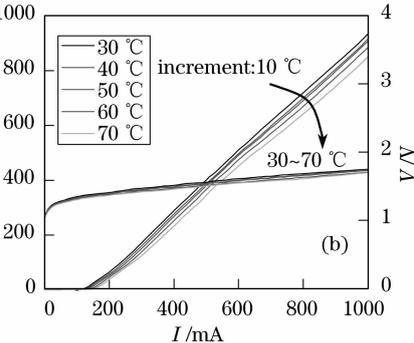


图 2 LD 远场及 L-I-V 特性

Fig. 2 Far-field and L-I-V characteristics of the Al-free LDs



### 4 实验结果与讨论

图 4 为 30~70 °C 温度范围内测得的有铝和无

铝器件的斜率效率随温度的变化曲线。

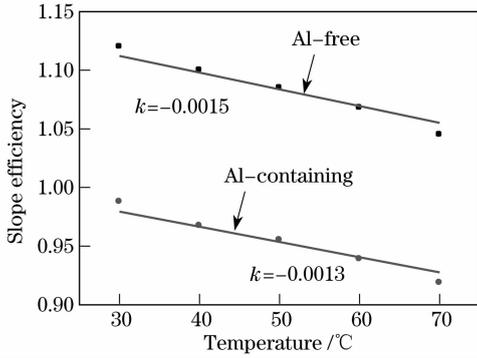


图4 无铝和有铝激光器斜率效率与温度的关系

Fig. 4 Slope efficiency of Al-free and Al-containing laser diodes at different temperatures

从图4中可看出,随着温度的升高,激光器斜率效率下降,在该温度范围内,有铝、无铝器件的斜率效率分别由1.12和0.99下降到1.05和0.91,下降速率分别为 $-0.0015/^\circ\text{C}$ ,  $-0.0013/^\circ\text{C}$ 。激光器的输出光功率可以表示为

$$p_0 = \eta_i \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} \frac{h\nu}{q} (I - I_{th}), \quad (1)$$

式中 $\eta_i$ 为内量子效率, $\alpha_i$ 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露增加,内量子效率减小,导致外微分量子效率降低所致。

图5是无铝和有铝激光器阈值电流与温度的关系曲线,从图中可以看出,阈值电流随温度升高而增加,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损耗,增益和内损耗的变化以及载流子的泄露等因素导致了激光器的阈值电流随温度的变化。

当腔长 $L$ 为确定值时,半导体激光器的阈值电流 $I_{th}$ 与温度 $T$ 之间的关系符合<sup>[7]</sup>

$$I_{th}(T) = I_{th}(T_1) \exp\left(\frac{T - T_1}{T_0}\right), \quad (2)$$

式中 $T_1$ 为室温, $I_{th}(T_1)$ 为室温下的阈值电流, $T_0$ 为激光器的特征温度。特征温度 $T_0$ 通常表示阈值电流 $I_{th}$ 对温度 $T$ 的敏感程度,是衡量激光器特性的重要参数之一。 $T_0$ 值越大,表明阈值电流对温度的敏感程度越小,即激光器的热特性越好。由(2)式可以确定激光器的特征温度 $T_0$ 。通过实验数据拟合得到两种器件阈值电流 $\ln I_{th}$ 随温度 $T$ 变化曲线如图5示。

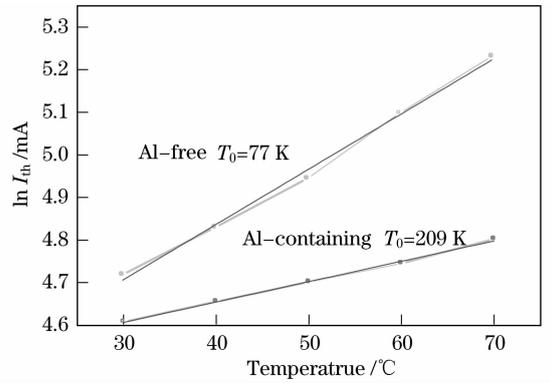


图5 无铝和有铝激光器阈值电流( $\ln I_{th}$ )与温度的关系

Fig. 5 Threshold current ( $\ln I_{th}$ ) of Al-free and Al-containing laser diodes at different temperatures

由(2)式可知图5中曲线的斜率的倒数即为器件的特征温度,实验测得无铝与含铝激光器特征温度 $T_0$ 分别为77 K和209 K。对比两者的特征温度大小可知,InGaAs/InGaAsP/InGaP激光器的热特性比InGaAs/GaAs/AlGaAs激光器的要差<sup>[8]</sup>,这是因为,无铝激光器波导层InGaAsP( $E_g \approx 1.62$  eV)和限制层InGaP( $E_g \approx 1.9$  eV)禁带宽度差约为0.28 eV,而InGaAs/GaAs/AlGaAs激光器中波导层与限制层的禁带宽度差约为0.4 eV,较小的导带差<sup>[9,10]</sup>造成了载流子泄露,当温度升高时,热载流子泄露也趋于严重<sup>[11]</sup>,从而导致了InGaAs/InGaAsP/InGaP激光器较高的阈值电流密度,较低的特征温度 $T_0$ 。

图6是在30~70 $^\circ\text{C}$ 之间两种激光器发射波长随温度的变化关系,从图中可清楚地看到发射波长随温度升高呈线性变化,且向长波方向移动,红移速率都为0.29 nm/ $^\circ\text{C}$ ,这与文献<sup>[12~14]</sup>提到的0.3 nm/ $^\circ\text{C}$ 吻合,也说明芯片结温与环境温度相等,脉冲测试条件没有引入芯片自升温。

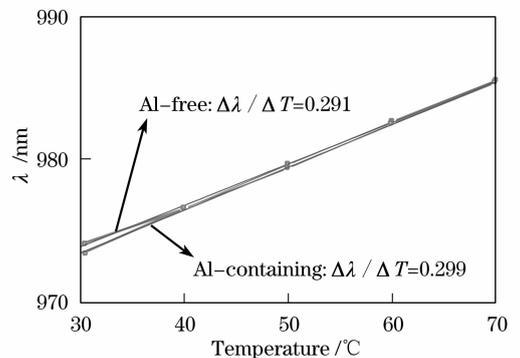


图6 30~70 $^\circ\text{C}$ 范围内两种器件波长随温度的变化

Fig. 6 Wavelength of the two different LDs at different temperatures in the range of 30-70 $^\circ\text{C}$

## 5 加速寿命老化实验

采用在位老化监测系统对 5 支无铝激光器进行加速寿命老化实验,老化时热沉温度为 50 ℃,老化电流为恒流 1000 mA,老化时间为 3000 h,老化过程中每间隔 5 min 在位监测包括阈值电流、光谱波长、光功率、正向压降等器件参数。其中当 LD 输出光功率  $P_{out}$  下降为老化前的 50% 时,判断为失效。图 7 为 5 支无铝激光器在对应老化时间  $t$  的输出光功率  $P_{out}$ ,由图中可以看出,在长达 3000 h 的高温大电流加速老化后,5 支无铝激光器除 1 号 LD 输出光功率下降了 16% 以外,其他 LD 输出光功率几乎没有下降,表明器件具有较高的可靠性。

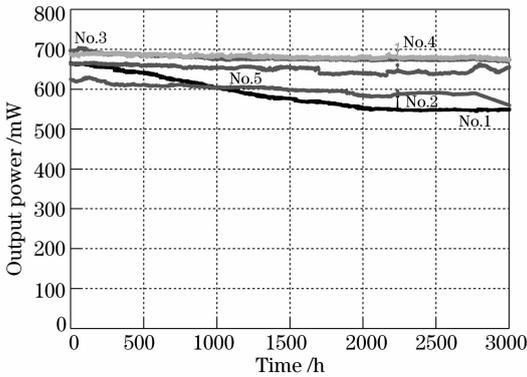


图 7 加速老化过程中不同时间下的输出光功率

Fig. 7 Output power of the LDs at different time during the accelerated aging test

## 6 结 论

对含铝的 InGaAs/GaAs/AlGaAs 和无铝的 InGaAs/InGaAsP/InGaP 两种不同材料的 980 nm 单量子阱激光器进行了变温测试实验。并对无铝激光器进行了加速寿命老化实验,实验结果表明,与 InGaAs/GaAs/AlGaAs 材料的 980 nm 激光器相比,无铝材料的 980 nm 激光器有较高的可靠性,但由于 InGaP 材料对载流子限制能力较弱导致其热特性较差,有更高的阈值电流和更低的特征温度。可以采用多量子阱结构<sup>[15~18]</sup>来提高器件对载流子的限制能力,改善器件的温度特性。

## 参 考 文 献

- 1 Ma Yan, He Jun, Xie Fuzeng. 980 nm non-anti-reflection-coated fiber grating laser for single-longitudinal mode operation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(6):821~824
- 2 W. E. Plano, J. S. Major, D. F. Welch *et al.*. High power 875 nm Al-free laser diode[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*,

- 1994, **6**(4): 465~467
- 3 J. Diaz, K. Mobarhan, E. Kolev *et al.*. InGaP/InGaAsP/GaAs 0.808  $\mu\text{m}$  separate confinement laser diodes grown by MOCVD [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(2): 132~134
- 4 Li Zhonghui, Wang Yuxia, Wang Ling *et al.*. 850 nm Al-free active-region high power SCH-SQW laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(1): 5~6
- 李忠辉,王玉霞,王玲等. 850 nm 有源区无铝高功率 SCH-SQW 激光器[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(1):5~6
- 5 Yang Jinhua, Ren Dacui, Zhang Jianjia *et al.*. Study on optical characteristics of InGaAsP/GaAs SQW lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(8):687~690
- 杨进华,任大翠,张剑家等. InGaAsP/GaAs 单量子阱半导体激光器光学特性的研究[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(8):687~690
- 6 Song Haipeng, Wen Jimin, Zeng Xiongwen *et al.*. Research of pulse injection method for measuring LD chip temperature [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3): 407~410
- 宋海鹏,温继敏,曾雄文等. 测量激光器结温的脉冲注入法研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3): 407~410
- 7 Zhong Li, Wang Jun, Feng Xiaoming *et al.*. 808 nm high-power lasers with Al-free active region with asymmetric waveguide structure [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8):1037~1042
- 仲莉,王俊,冯小明等. 808 nm 大功率无铝有源区非对称波导结构激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(8): 1037~1042
- 8 A. Bhattacharya, L. J. Maws, S. Nayak *et al.*. Interface structures of InGaAs/InGaAsP/InGaP quantum well laser diodes grown by metalorganic chemical vapor deposition on GaAs substrates [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(16):2240~2242
- 9 G. Zhang, A. Ovtchinnikov, J. Nappi *et al.*. Far-field, efficiency and loss of 980 nm InGaAs/GaInAsP/GaInP SCH quantum well [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(6):489~491
- 10 E. C. Vail, R. F. Nabiev, C. J. Chang-Hasnain. Temperature dependence of light-current characteristics of 0.98- $\mu\text{m}$  Al-free strained-quantum-well lasers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(11):1303~1305
- 11 Markus Pessa, Jari Nappi, Pekka Savolainen *et al.*. State-of-the-art aluminum-free 980-nm laser diodes [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(10):2356~2361
- 12 Yongkun Sin, Brendan Foran, Nathan Presser *et al.*. Reliability and failure mode investigation of high power multi-mode InGaAs strained quantum well single emitters [C]. *SPIE*, 2007, **6456**: 645605
- 13 Luo Dan, Guo Weiling, Xu Chen *et al.*. Junction temperature measurement of semiconductor laser diode [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2007, **28**(2):183~190
- 罗丹,郭伟玲,徐晨等. 半导体激光器结温测试研究[J]. *半导体光电*, 2007, **28**(2):183~190
- 14 Bo Baoxue, Gao Xin, Qiao Zhongliang *et al.*. Characteristics of high power volume-Bragg-grating external cavity semiconductor lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4):501~504
- 薄报学,高欣,乔忠良等. 大功率体光栅外腔半导体激光器的输出特性[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4):501~504
- 15 M. Sagawa, T. Toyonaka, K. Hiramoto *et al.*. High-power highly-reliable operation of 0.98- $\mu\text{m}$  InGaAs-InGaP strain-compensated single-quantum-well lasers with tensile-strained InGaAsP barriers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**(2):189~195
- 16 H. Asonen, A. Ovtchinnikov, G. Zhang *et al.*. Aluminum-free 980-nm GaInAs/GaInAsP/GaInP pump lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(2):415~425
- 17 M. Ohkubo, T. Ijichi, A. Iketani *et al.*. 980-nm aluminum-free InGaAs/InGaAsP/InGaP GRIN-SCH SL-QW lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(2):408~414
- 18 L. J. Mawst, A. Bhattacharya, M. Nesnidal *et al.*. High CW output power and 'wallplug' efficiency Al-free InGaAs/InGaAsP/InGaP double quantum well diode lasers [J]. *Electron. Lett.*, 1995, **37**(14):1153~1154