

# GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 多量子阱掩埋条形激光器\*

李世祖 张敬明 杨国文 徐遵图 何晓曦 徐俊英 肖建伟 陈良惠

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**摘要** 利用 MBE 生长的 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 折射率渐变-分别限制-多量子阱材料(GRIN-SCH-MQW),经液相外延二次掩埋生长,制备了阈值最低达 2.5mA(腔面未镀膜),光功率室温连续输出可达 15mW/面的半导体激光器。经腔面镀膜后,器件已稳定工作 4500 多小时。

PACC: 4280R, 4255P, 8115L

## 1 引言

就 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 掩埋条形激光器而言,有源层(GaAs)完全被四周的 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 所包围。由于这种独特的折射率波导限制,加上有源区可以做得很窄(<2μm),使这种结构的半导体激光器具有阈值低、光模式稳定、远场近似对称等一系列优点。特别是低阈值这一特点,促使掩埋条形这种结构,被近年来众多极低阈值激光器的研制者所广泛采用<sup>[1,2]</sup>。但是,掩埋条形激光器的制作工艺复杂,比较难于掌握。

本文将报道,我们采用 MBE 生长的 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 折射率渐变-分别限制-多量子阱材料,经液相外延二次掩埋生长,制备了阈值最低达 2.5mA(腔面未镀膜),光功率室温连续输出可达 15mW/面的半导体激光器。经腔面镀膜后,器件已稳定工作 4500 多小时(该器件在继续作寿命试验,目前尚未观察到明显退化)。

## 2 器件制作

我们使用的外延材料是本课题组在 Riber MBE32p 系统上生长的多量子阱材料<sup>[3]</sup>。衬底为(100)面的 n<sup>+</sup>-GaAs(掺 Si, 掺杂浓度为  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )。生长时衬底温度是 700°C。外延层采用了折射率渐变-分别限制-多量子阱(GRIN-SCH-MQW)结构。下限制层是 n-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As, 掺 Si, 掺杂浓度达  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  量级; 上限制层是 p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 掺 Be, 掺杂浓度也高达  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  量级。有源区内有三个非故意掺杂的 GaAs 量子阱, 阵宽  $L_x = 100 \text{ \AA}$ , 势垒层由

\* 863 高技术资助项目

李世祖 1968 年出生,从事半导体激光器研制方面的工作

张敬明 1941 年出生,研究领域包括:半导体激光器结构设计,光电特性测试及理论计算

1994 年 11 月 29 日收到初稿,1995 年 2 月 23 日收到修改稿

厚度  $L_b = 80 \text{ \AA}$  的  $\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$  构成。

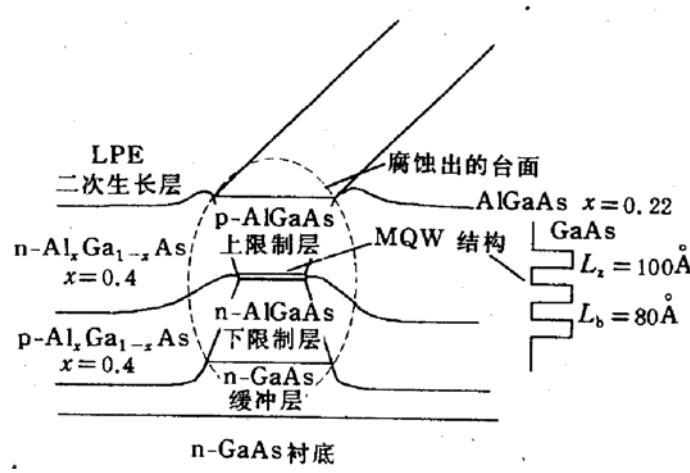


图 1 二次外延后的剖面示意图

后为序)是  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}, x = 0.4$ , 掺  $\text{Ge}, p = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ; 第二层是  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}, x = 0.4$ , 掺  $\text{Sn}, n = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . 由于  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  易在空气中氧化, 为保证成功生长, 湿法腐蚀和二次掩埋生长应紧密衔接, 且在腐蚀后应尽量减短暴露大气的时间. 并采用其它一些措施尽可能保证生长熔液与外延片腐蚀面新鲜表面相接触, 确保良好浸润. 图 1 是二次掩埋生长后的剖面示意图.

二次掩埋生长后的外延片, 用 PECVD 法淀积一层厚度为  $2000 \text{ \AA}$  左右的氮氧化硅 ( $\text{SiO}_x\text{N}_y$ ), 作氧化物隔离层. 套刻、腐蚀出电极窗口, 用砷化锌作扩散源, 在  $650^\circ\text{C}$  下作闭管扩散, 形成一薄层  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  量级的  $p$  型电导层, 以便作电极时在  $p$  面形成良好欧姆接触. 在浅  $\text{Zn}$  扩散时氮氧化硅层兼作掩蔽层. 外延片再经减薄后,  $p$  面蒸  $\text{CrAu}$ ,  $n$  面蒸  $\text{AuGe/Ni}$ , 在  $420^\circ\text{C}$  两面同时合金一分钟.

通过解理、中测、烧结、键合等工艺, 制成以解理面为腔面的掩埋条形多量子阱半导体激光器. 器件的有源区宽度  $W \leq 2 \mu\text{m}$ , 腔长  $L = 150 \mu\text{m}$  左右.

### 3 器件特性测试

图 2 是我们研制的多量子阱掩埋条形器件的典型直流特性曲线. 这批器件的阈值最低可达  $I_{th} = 2.5 \text{ mA}$ ; 室温连续工作光功率输出可达  $15 \text{ mW}/\text{面}$ . 量子效率最好可达  $37\%$ , 串联电阻在  $10 \Omega$  左右. 图 3 是激光器工作时的远场图. 从同一条芯片

该外延片经宽接触测试, 得知阈值电流密度分布在  $800 \sim 1000 \text{ A/cm}^2$  之间. 经光刻、湿法腐蚀将外延片制成平行于 (017) 的倒台面. 台面顶部宽度  $< 3 \mu\text{m}$ , 腐蚀深度以进入  $\text{GaAs}$  缓冲层为限. 腐蚀液采用  $1\text{H}_3\text{PO}_4 : 1\text{H}_2\text{O}_2 : 3\text{CH}_3\text{OH}$  (体积比), 它对  $\text{GaAs}$  及  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  具有相同的腐蚀速率, 腐蚀深度易于掌握. 接着, 用液相外延单晶生长系统对该外延片进行二次掩埋生长. 生长采用过冷法, 过冷度为  $3^\circ\text{C}$ . 熔液与外延片的接触温度为  $780^\circ\text{C}$ . 二次掩埋生长的第一层(以生长先后为序)是  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}, x = 0.4$ , 掺  $\text{Ge}, p = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ; 第二层是  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}, x = 0.4$ , 掺  $\text{Sn}, n = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .

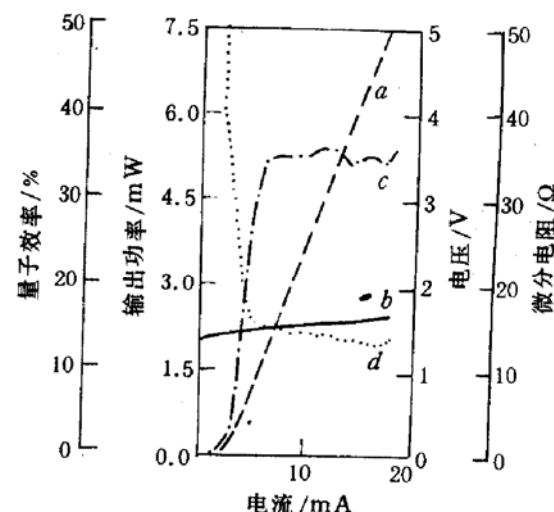


图 2 a. 输出光功率-电流曲线;  
b. 电压-电流曲线;  
c. 微分量子效率-电流曲线;  
d. 微分电阻-电流曲线

管芯编号: BH29, 测试环境温度  $20^\circ\text{C}$ , 阈值  $I_{th} = 2.5 \text{ mA}$ , 微分量子效率  $Q_d = 35.6\%$ , 输出功率  $P_m = 7.9 \text{ mW}$ , 最大驱动电流  $I_m = 18.0 \text{ mA}$ , 最大偏置电压  $V_m = 1.65 \text{ V}$ , 微分电阻  $R_d = 13.3 \Omega$ , 输出光功率-电流曲线的非线性度  $N_d = 0.1\%$ .

上解理下的管子, 阈值近似呈正态分布, 见图 4.

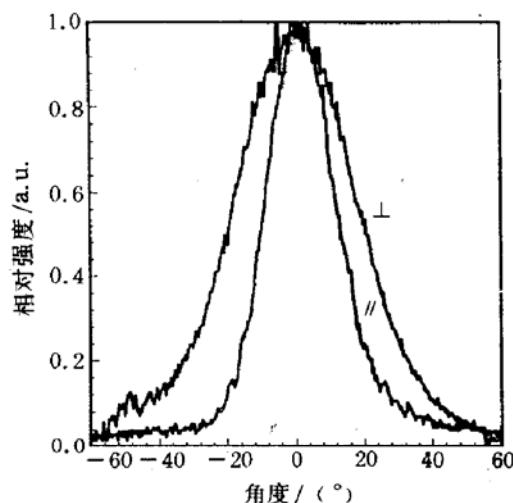


图 3 远场图

管芯编号:BH74, 测试环境温度:20℃,  
驱动电流:18mA. (⊥:沿垂直于结平面方向  
的测量曲线, 发散角为 39.6°, //:沿平行于  
结平面方向的测量曲线, 发散角为 22.8°).

## 4 寿命测试

GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 类半导体激光器在空气中老化, 由于 O<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等原因, 很快就会退化. 通常采用镀光学膜的办法将腔面保护起来. 具体作法是: 在解理腔的一个端面上镀增透膜或保护膜, 作为出光面; 在另一端镀高反膜. 镀膜材料用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>.

寿命试验采用恒功率室温老化. 在这批管子中, 随机各取一只已镀膜和未镀膜的管子作对比试验. 图 5 是试验曲线.

未镀膜的管子在恒定 5mW 下老化, 只工作了 42 天(1000 小时). 工作电流已由原来的 16.3mA 增加到 58.6mA. 在曲线上只有很短的一段稳定期(350 小时左右). 镀过膜的管子从 94 年 6 月 1 日开始, 到 11 月 20 日已工作近 4500 多小时, 工作电流由 9.5mA 增加到 16.6mA. 从曲线上可以看到: 老化 200 多小时以后, 器件就进入了一段相对稳定期, 电流增加非常缓慢. 曲线上有一次跳变, 这是由于供电电源突然断电造成的.

## 5 结论

我们采用本科研组生长的 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 多量子阱 MBE 外延片, 经液相外延

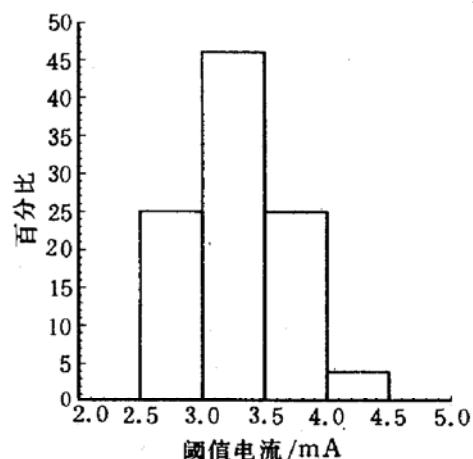


图 4 从同一条上解理下来的管芯阈值分布

阈值分布在: 2.5-3.0mA 之间, 占 25%; 3.1-3.5mA 之间, 占 46%; 3.6-4.0mA 之间, 占 25%; 大于 4.0mA 的, 占 4% (共有 24 个管芯).

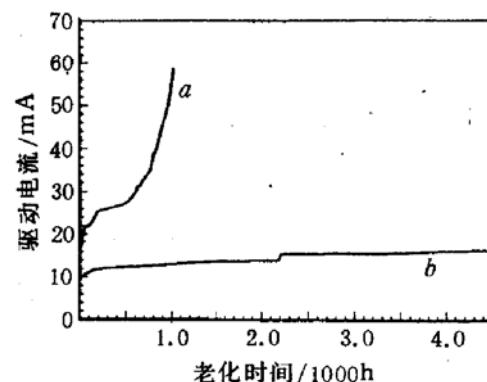


图 5 对比老化试验曲线

a. 未镀膜的管子, 管芯编号 BH64,  
老化恒定功率 5mW, 起始驱动电流 16.3mA;  
b. 管芯编号 BHDM02, 老化恒定功率 2mW, 起始  
驱动电流 9.5mA.

(LPE)二次掩埋生长,制备了性能优良,并具有一定寿命的掩埋条形多量子阱激光器.经恒功率室温老化,稳定工作时间已超过4500小时,目前尚未观察到工作电流明显增加.

### 参 考 文 献

- [1] J. W Xiao, Guowen Yang, et al., Electron. Lett., 1992, **28**:154~156.
- [2] 杨国文,肖建伟,徐遵图,等,半导体学报,1993,**14**(11):670~675.
- [3] 杨国文,肖建伟,徐俊英,等,半导体学报,1994,**15**(9):650~654.

## GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As MQWs BH Laser Diodes

Li Shizhu, Zhang Jingming, Yang Guowen, Xu Zuntu  
He Xiaoxi, Xu Junying, Xiao Jianwei and Chen Lianghui

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 29 November 1994, revised manuscript received 23 February 1995

**Abstract** Using MBE grown GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As MQWs materials, we fabricated the MQWs BH(Buried Heterostructure) laser diodes by LPE growth. The lowest threshold current is 2.5mA(uncoated), the output power is up to 15mW/facet. In our aging test (constant output power), we used two laser diodes (one was coated; the other was uncoated), the coated lasers have worked for 4500 hours without obvious increase in driving current.

**PACC:** 4280R, 4255P, 8115L