

# LP-MOVPE 生长宽波导有源区无铝单量子阱激光器

李忠辉<sup>1</sup> 王向武<sup>2</sup> 杨进华<sup>1</sup> 张兴德<sup>1</sup>

(1 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)

(2 南京电子器件研究所 新材料中心, 南京 210016)

**摘要:** 介绍了无铝激光器的优点, 利用 LP-MOVPE 生长出宽波导有源区无铝 SCH-SQW 结构激光器。该结构采用宽带隙 InGaAlP 作限制层, 加宽的 InGaP 作波导层, 增加对载流子和光子的限制作用, 以克服有铝激光器易氧化和全无铝激光器载流子易泄漏的缺点。制作的条宽 100μm、腔长 1mm 的激光器(腔面未镀膜), 激射波长为 831nm, 室温连续输出光功率达 1W。

**关键词:** 金属有机化合物气相外延; 宽波导; 分别限制; 单量子阱; 无铝激光器

EEACC: 4320J; 2350C; 0520F; 1310

中图分类号: TN 365

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)12-1557-04

## 1 引言

有铝激光器在高功率(或高温)运行时容易被氧化, 生成的致密氧化物形成深能级缺陷, 增加了非辐射复合, 使腔面温度升高, 易于发生灾变光学损伤(COMD: Catastrophic Optical Mirror Damage), 同时器件工艺的难度增加<sup>[1,2]</sup>; 另外, 由于有铝激光器本身存在暗线缺陷(DLD: Dark Line Defects)的传播和较高的表面复合速率<sup>[3]</sup>, 也容易造成快速失效和老化, 所以, 高功率有铝激光器的腔面必须镀膜保护。针对有铝激光器存在严重的可靠性问题, Garbuzov 等<sup>[2]</sup>用 LPE 技术研制成功全无铝 SCH-SQW 激光器, 期望获得高功率条件下长寿命输出。这种激光器以不同组分的 InGaAsP 作有源层和波导层, InGaP 作载流子限制层, 其结构如图 1 所示。

上述全无铝激光器优点在于<sup>[3]</sup>: (1) 有源层不含 Al 元素, 降低了腔面的氧化速率; (2) 体积较大的 In 原子阻止了点缺陷和位错的生长和移动, 因而制止了暗线缺陷的扩展; (3) InGaAsP 材料的表面复合速率比 AlGaAs 大约低两个数量级, 减小了腔面的温升; (4) 有铝激光器灾变光学损伤的阈值功率密度

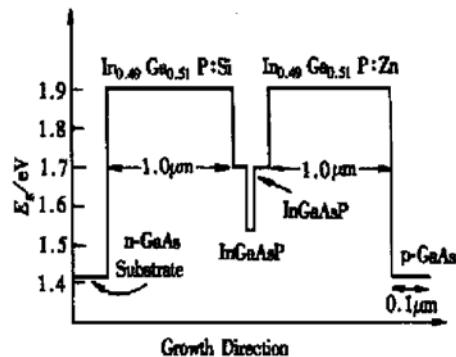


图 1 无铝 SCH-SQW 激光器结构

FIG. 1 Schematic of the Al-Free SCH-SQW Laser

最高为 11M W/cm<sup>2</sup>, 而 InGaAsP 无铝激光器则至少为 18M W/cm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。这些优点都可以增加无铝激光器抵抗灾变性光学损伤的能力, 有助于实现比有铝激光器更高可靠性、更高功率的运转。但是, InGaAsP 波导层和 InGaP 限制层的导带差相对较小, 载流子容易泄漏到 P 型 InGaP 限制层中, 导致相对较高的阈值电流密度, 较低的内效率和特征温度<sup>[5]</sup>。为了解决这个问题, Wade 等<sup>[6]</sup>设计并生长了宽波导有源区无铝激光器, 其设计思想是: 采用宽带隙的 In-

GaAlP 作载流子限制层, 加宽的 InGaP 作波导层的 SCH-SQW 结构, 以增强限制特性, 达到减少载流子泄漏, 降低阈值电流密度和光强远场发散角。实验结果证明, 激光器特性均有预期改善<sup>[2, 4, 7]</sup>。

MOVPE 技术在生长超薄层和保证组分、厚度均匀性方面是 LPE 无法比拟的。近期 MOVPE 生长的宽波导有源区无铝激光器现已达到连续输出 8.8W(4%/95% 镀膜)<sup>[7]</sup>, 准连续输出 14.3W(脉宽 100μs); 灾变光学损伤的阈值功率密度为 22.5MW/cm<sup>2</sup>, 均优于有铝和全无铝激光器<sup>[8]</sup>。

本文给出 LP-MOVPE 生长的宽波导有源区无铝(InGaAsP/InGaP/InGaAlP/GaAs)量子阱材料及激光器特性的研究结果。目前, 国内尚未见有关报道。

## 2 宽波导量子阱结构的设计与外延生长

### 2.1 宽波导分别限制结构的设计思想

分别限制结构(SCH)具有以下特点:(1)载流子和光子被分别限制在有源层和波导层内, 限制特性好, 减少泄漏, 量子效率高;(2)波导层采用本征材料, 进一步减少了载流子泄露和光吸收损耗。

宽带隙的 InGaAlP 作限制层, 使限制层和波导层之间的导带差增大, 提高了对载流子的限制能力及收集效率, 有效地减少载流子向 P 型限制层的泄漏; InGaP 宽波导层的优点在于, 保证了较小的内部损耗系数<sup>[6]</sup>及横向尺寸较大的光斑<sup>[9]</sup>, 从而限制激光器腔面的温升, 增加抵抗灾变光学损伤的能力和输出功率。

### 2.2 InGaAsP/GaAs 材料生长

本文研究 InGaAsP/GaAs 四元系材料的生长特性, 主要包括晶格匹配的调节及发射波长的控制。

有关 InGaAsP/GaAs 量子阱材料的 MOVPE 生长研究远不如 InGaAsP/InP 体系(波长为 1.3μm、1.55μm)成熟、深入。通常生长 AlGaAs、In-GaP 等三元系材料时只需调节一个变量, 而生长 In-GaAsP/GaAs 四元系材料时含有两个调节变量, V 族源 PH<sub>3</sub> 的参与使外延条件变得更加苛刻。在保证结晶质量的前提下, 不仅要满足晶格匹配, 而且(带间跃迁)还要符合特定的波长。

利用 LP-MOVPE 研究了 InGaAsP/GaAs 的晶格匹配生长, 采用双晶 X 射线衍射和光致发光(PL)谱分别测量样品的晶格失配和发射波长。实验中 InGaAsP 四元系材料的最佳生长温度为 650—680°C, 保持 TMIn、PH<sub>3</sub> 的流量分别为 20mL/min 和 100mL/min 不变, 通过改变 AsH<sub>3</sub> 和 TMGa 的流量来改变 InGaAsP/GaAs 的激射波长。图 2 所示为 InGaAsP/GaAs 材料的发射波长与所需 AsH<sub>3</sub> 和 TMGa 流量之间的关系。为了获得良好的器件特性, 需要对生长参数(如生长温度和速度、反应室压力、V/III比、异质结界面的开关顺序等)进行优化。

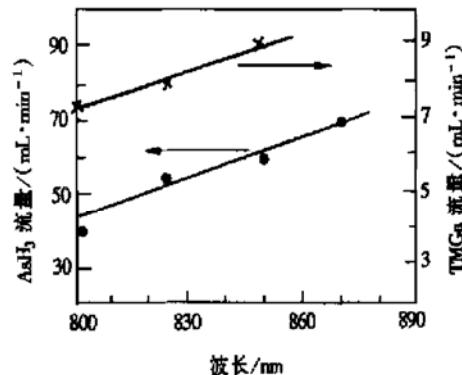


图 2 InGaAsP/GaAs 波长与 AsH<sub>3</sub> 和 TMGa 流量的关系

FIG. 2 Emitting Wavelength of InGaAsP/GaAs Versus AsH<sub>3</sub> and TMGa Flow Rate

### 2.3 Zn 摹杂 InGaAlP 的生长

用高扩散系数的 Zn 对 InGaAlP 进行 p 型掺杂, 是 MOVPE 生长 InGaAlP 材料的难点之一。一般地, InGaAlP 层中(特别是 Al 含量较高时)Zn 的掺杂浓度很低, 难以达到所需要的指标(大于 1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>), 影响了器件性能的提高。实验研究表明: In(Ga<sub>0.4</sub>Al<sub>0.6</sub>)P 中 Zn 的掺杂浓度在 1×10<sup>17</sup>—5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup> 范围内随 DEZn 流量增大呈线性增加关系; 在大于 5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup> 时, Zn 的掺杂浓度逐渐接近饱和, 增加比较缓慢, 如图 3 所示。

### 2.4 宽波导量子阱结构的生长

采用具有水平反应室和石墨基座气浮旋转的 AIXTRON LP-MOVPE 系统, III 源族为 TMGa、TMIn 和 TMAI, V 族源为 AsH<sub>3</sub> 和 PH<sub>3</sub>, n 型掺杂源为 SiH<sub>4</sub>, p 型掺杂源为 DEZn 和 CCl<sub>4</sub>, 载气为经过

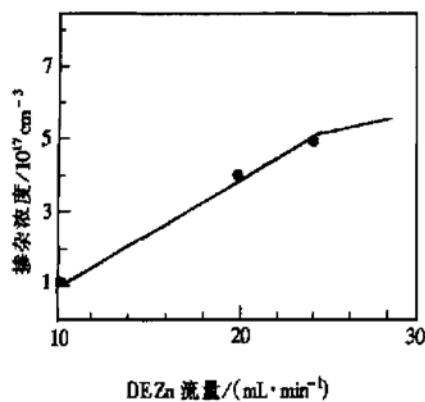


图 3 Zn 的掺杂浓度与 DEZn 流量关系

FIG. 3 Zn-Doping Concentration Versus DEZn Flow

p <sup>+</sup> -GaAs	0.15μm, C: $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
p-AlGaInP	0.7μm, Zn: $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
i-InGaP	0.3μm
i-InGaAsP	10nm
i-InGaP	0.3μm
n-AlGaInP	0.7μm, Si: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
n-GaAs	Buffer Si: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
GaAs	Substrate

钯管纯化的氢气. 在 GaAs 衬底上(掺 Si:  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )沿(100)方向依次生长如下各层: n-GaAs 缓冲层  $1.0\mu\text{m}$ (掺 Si:  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ), AlGaInP 下包层  $0.7\mu\text{m}$ (掺 Si:  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ), 非掺杂 InGaP 下波导层  $0.3\mu\text{m}$ , 非掺杂 InGaAsP 有源层  $10\text{nm}$ , 非掺杂 InGaP 上波导层  $0.3\mu\text{m}$ , AlGaInP 上包层  $0.7\mu\text{m}$ (掺 Zn:  $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), GaAs 欧姆接触层  $0.15\mu\text{m}$ (掺 C:  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ), 宽波导有源区无铝量子阱结构如图 4 所示. 选择外延温度为  $700^\circ\text{C}$  进行连续生长, 主要是为了消除间断生长中温度变化对外延层的晶格质量和表面形貌影响.

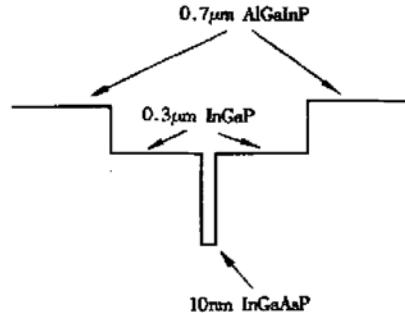


图 4 宽波导有源区无铝激光器结构图

FIG. 4 Schematic of Broad-Waveguide Al-Free Active-Region Laser Structure

### 3 器件工艺及特性测试

外延片的 p 面蒸镀  $\text{SiO}_2$ , 光刻制作成  $100\mu\text{m}$  宽的条形接触, 蒸镀 AuZn, 氢气保护下合金; p 面涂胶保护, n 面化学动力减薄后, 依次蒸镀 AuGe/Ni/Au, 合金; p 面蒸镀 Cr/Au 增加可焊性, 为保证接触良好, n 面电镀 Au 层, 解理成腔长为  $1\text{mm}$  的管芯, p 面向下铟焊在铜热沉上装管测试.

应用半导体激光器参数综合测试系统进行器件特性研究. 从输出光功率-电流关系曲线可知, 室温下激光器阈值电流密度为  $350\text{A}/\text{cm}^2$ , 连续输出光功率达  $1\text{W}$ , 外微分量子效率为  $0.57\text{W}/\text{A}$ , 串联电阻为  $0.15\Omega$ . 如图 5 所示, 峰值波长为  $831\text{nm}$ .

从测试结果可以看出: 器件的输出功率还比较低, 一方面因为未镀腔面膜; 另一方面, 可能是由于串联电阻过大造成的. 文献[4, 7]给出的电阻值均小于  $0.08\Omega$ , 本文的测试结果为  $0.15\Omega$ , 说明制作工艺还有待改进. 激光器腔面镀膜、远场特性和寿命测试

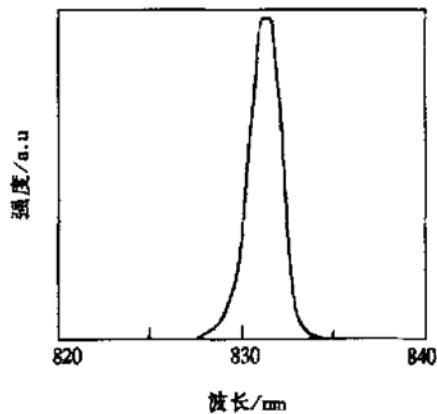


图 5 宽波导有源区无铝激光器的发射光谱

FIG. 5 Emitting Spectrum of Broad-Waveguide Al-Free Active-Region Laser

等研究工作正在进行.

### 参考文献

- [1] W. E. Plano, J. S. Major, D. F. Welch *et al.*, IEEE Photonics

- Technology Letters, 1994, **6**(4): 465.
- [ 2 ] D. Z. Garbuзов, N. Y. Antonishkis, A. D. Bondarev *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1991, **QE-27**: 1531—1536.
- [ 3 ] M. Razeghi, Y. H. Choi, X. He *et al.*, Materials Science and Technology, 1995, **11**: 21.
- [ 4 ] J. K. Wade, L. J. Mawst, D. Botez *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1998, **72**(1): 4—6.
- [ 5 ] J. Diaz, H. J. Yi, M. Erdtmann *et al.*, J. Appl. Phys., 1994, **76**(2): 700.
- [ 6 ] J. K. Wade, L. J. Mawst, D. Botez *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1997, **70**(2): 149—151.
- [ 7 ] J. K. Wade, L. J. Mawst, D. Botez *et al.*, Electronics Letters, 1998, **34**(11): 1100.
- [ 8 ] A. Al-Muhanna, L. J. Mawst, D. Botez *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1997, **71**(9): 1142.
- [ 9 ] L. J. Mawst, A. Bhattacharya, J. Lopez *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1996, **69**(11): 1532—1534.

## LP-MOVPE Grown Broad-Waveguide Al-Free Active-Region SQW Lasers

LI Zhong-hui<sup>1</sup>, WANG Xiang-wu<sup>2</sup>, YANG Jin-hua<sup>1</sup> and ZHANG Xing-de<sup>1</sup>

(1 National Key Laboratory of High Power Semiconductor Laser, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022, China)

(2 Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The advantages of Al-free semiconductor lasers are introduced. Broad-waveguide Al-free active-region SCH-SQW lasers are grown by LP-MOVPE. The lasers with emitting wavelength of 831nm and with the wide stripe of 100μm and the cavitylength of 1mm, the CW output power of 1W is obtained.

**Key words:** MOVPE; broad-waveguide; SCH; single quantum well; Al-free lasers

**EEACC:** 4320J; 2350C; 0520F; 1310

**Article ID:** 0253-4177(2001)12-1557-04