

InGaAsP/GaAs 单量子阱 SCH 半导体 激光器的液相外延

薄报学 朱宝仁 张宝顺 高欣 任大翠 张兴德

(长春光机学院高功率半导体激光国家重点实验室 长春 130022)

提要 利用一种改进的液相外延技术进行了 GaAs 衬底上 InGaAsP 材料的生长, 10 K 温度下光荧光半宽度(FWHM)为 14 meV, 获得了阈值电流密度为 300 A/cm^2 的 SCH 多层结构外延片, 宽台面激光器最大连续输出功率达到 2.1 W。

关键词 液相外延, 分别限制异质结构, 阈值电流密度

1 引 言

半导体激光器的主要研究问题就是如何降低激光器的阈值电流密度和如何获得大的光学功率输出。随着外延技术的提高, 特别是 MBE, MOCVD, CBE 对外延层组份、厚度的准确控制, 激光器的基本结构已经由早期的双异质结发展到现在的量子阱、超晶格结构, 激光器的阈值电流密度在近十年内下降到 400 A/cm^2 以下, 单条激光器的最大连续输出功率达到 $8 \text{ W}^{[1]}$, 列阵激光器的准连续输出功率高达数百瓦。由于液相外延(LPE)在国内具有比较成熟的技术基础, 而且目前在国外仍有大量的半导体激光器是采用 LPE 设备制作的, 曾经报道过用 LPE 生长厚度仅为数纳米的量子阱结构技术^[2], 所制备的量子阱结构激光器的性能与 MBE, MOCVD 技术制作的器件水平相当, 因此利用常规的 LPE 技术研究制备低阈值的量子阱半导体激光器也是目前的一个很有意义的研究方向。本文报道了用改进的 LPE 技术获得低阈值电流密度的 SCH 结构激光器, 该结构激光器具有较好的光学限制特性^[3]。

2 激光器结构外延生长

我们研究制作的宽条形分别限制双异质结(SCH)激光器的基本结构如图 1 所示。外延基本过程如下: 采用改进的 LPE 技术在 $n\text{-GaAs}$ 衬底(掺 Si, $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $\langle 100 \rangle$ 晶向)上依次生长 $1.5 \mu\text{m}$ $N\text{-InGaP}$ 限制层(掺 Te, $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), $0.15 \mu\text{m}$ 非掺 InGaAsP 波导层, $15\sim 20 \text{ nm}$ 非掺 InGaAsP 有源层, $0.15 \mu\text{m}$ 非掺 InGaAsP 波导层及 $1.5 \mu\text{m}$ $P\text{-InGaP}$ 限制层(掺 Zn, $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 其中有源层的外延采用了狭缝生长技术^[4], 由于生长时熔体与衬底接触面积的减少及表面张力的作用使得熔体滚动效应大大减小, 有效地降低了由熔体滚动引起的过冷生长, 可以获得具有量子尺寸厚度的外延层, 图 2 给出了石墨舟的基本结构。波导层、有源

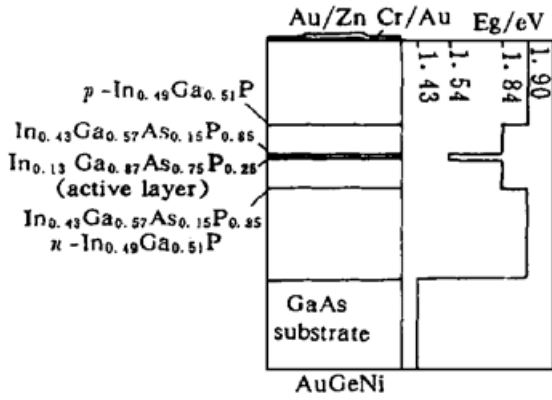


图 1 SCH SQW 激光器基本结构

Fig. 1 Schematic diagram of SCH SQW lasers

层的禁带宽度之差设计为 0.3 eV, 可以较好地满足载流子限制对势垒高度的要求。为了制备具有良好特性的激光器件, 外延层与 GaAs 衬底之间的晶格失配 ($\Delta a/a$) 应严格控制在 5.0×10^{-4} 以下, 较小的失配度可以减少失配位错的产生, 降低器件内异质结界面的非辐射复合, 提高激光器的输出效率。另外高温下由于熔体中 P 组份的挥发和其对邻近熔体的污染, 使得外延过程中对晶格失配的控制十分困难, 适当降低生长温度而又不增加称量精度对组份的影响是进行可靠的结构外延生长的首选措施, 进行外延生长的温度为 750℃。同时对石墨舟的特殊设计也是

减少 P 蒸气污染的重要措施。

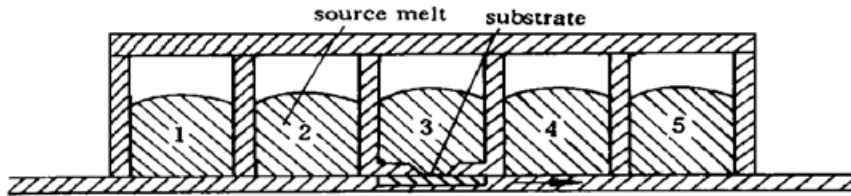


图 2 滑动石墨舟生长槽结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the growth cells of the sliding graphite boat

对于五层结构激光器的外延生长, 全部 InGaAsP 熔体均为富 In 配比, 源材料采用经过化学清洗(甲苯→丙酮→乙醇)的高纯 In, InP, InAs, Ga 及 GaAs 材料(纯度为 99.999%), 掺杂材料为 Te 和 ZnP₂。外延生长前需要将按比例称量好的源材料混合均匀(匀源), 此过程是将每一组份源材料在 770℃ 温度下、在高纯氢气(露点优于 -65℃)气氛中混合 40 min 完成的。为了避免混源过程中易挥发组份对熔体的相互污染, 各个组份熔体的混源过程都是分别进行的。全部熔体的制备完成以后, 用 5H₂SO₄ · 1H₂O₂ · 1H₂O 溶液轻微腐蚀 GaAs 衬底 30 s, 去离子水冲洗干净后放入石墨舟通氢升温即可开始外延生长。熔源温度为 760℃, 熔源时间为 30 min, 然后系统以 0.5℃/min 的速率开始降温, 依次生长 5 层激光器结构, 第一层 (N-InGaP) 的生长温度为 752℃。匀源及生长过程温度曲线如图 3 所示。考虑到外延生长过程中 P 组份具有较高的蒸气压, 为了避免邻近熔体可能有的相互污染, 熔体上面均加有石墨盖板。同样 GaAs 衬底上面也盖有石墨块或高纯 GaAs 片以防止 P 蒸气的污染, 否则很难获得表面光亮的外延层。

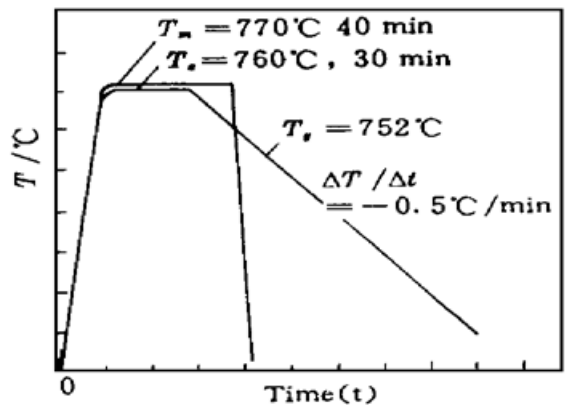


图 3 匀源过程 ($T_m = 770^\circ\text{C}$) 及外延生长过程 ($T_s = 760^\circ\text{C}$) 的温度曲线

Fig. 3 Temperature curves of source materials mixing ($T_m = 770^\circ\text{C}$) and growth process ($T_s = 760^\circ\text{C}$)

SCH 结构外延结束后, 用标准的光刻技术在外延片上面形成 100~150 μm 宽的条形窗口, 1HF · 2HNO₃ · 10H₂O 溶液略微腐蚀后, 采用热蒸发方法在条形区内蒸镀 Au/Zn/Au P-面

欧姆接触层。然后化学或机械减薄衬底面至 $80\sim 90\ \mu\text{m}$ 厚, 在衬底面蒸镀 AuGeNi 合金形成 N -面欧姆接触层。用去胶剂溶掉条形区以外的光刻胶, 清洗后 420°C 温度下合金 3 min, 然后在条形接触面上蒸镀 Cr/Au 以增加 P -面的可焊性。

3 外延材料激射特性分析

我们成功地生长出表面光亮平整、界面平直的分别限制单量子阱结构外延片。由特意制备的三明治结构测得的双晶 X 射线回摆曲线上的衍射峰估计, 有源层的厚度为 20 nm 左右。对非掺杂的 5 层分别限制结构进行了光荧光测量(PL9000 型荧光光谱仪), 其低温(10 K) 荧光峰为 798 nm, 光谱半宽度(FWHM) 为 14 meV。器件工艺中 Au/Zn 欧姆接触条以外的 Cr/Au 与 P 型 InGaP 存在着较大的肖特基接触势垒, 从而有效地限制了 P -面上 Au/Zn 欧姆接触条以外区域的电流。图 4 给出了肖特基接触区和 Au/Zn 接触条区的电流-电压特性。另外条形区外的肖特基接触也会有效改善激光器管芯的散热特性, 因为通常采用的 SiO_2 的电流阻挡层中 SiO_2 的热传导特性较差。最后器件被解理成腔长为 $700\sim 1400\ \mu\text{m}$ 的管芯, P 面朝下 In 焊在铜热沉上以供测试。

大功率激光器要求器件具有尽可能小的串联微分电阻, 较大的串联电阻使得器件内在较大驱动电流下产生大量热量, 降低激光器的发光效率, 缩短器件的工作寿命。经测试, 我们制作的器件的微分串联面电阻率一般都在 $10^{-4}\ \Omega\text{cm}^2$ 左右(电流密度为 $1000\ \text{A}/\text{cm}^2$ 时)。如果在激光器结构上再生长一层欧姆接触层(具有较窄禁带宽度的 InGaAsP), 器件的欧姆接触电阻还可以下降一个量级左右。

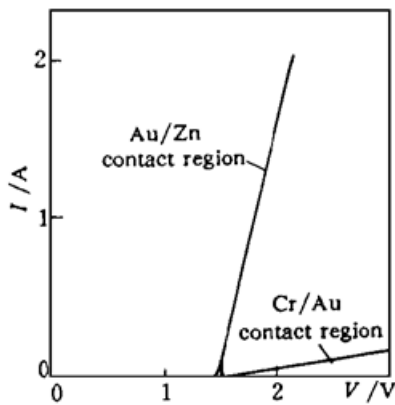


图 4 Au/Zn 接触区与 Cr/Au 肖特基接触区
电流电压曲线

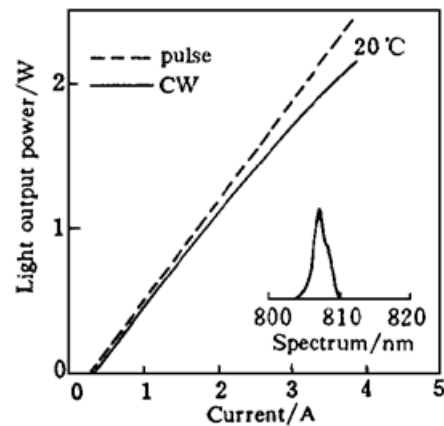


图 5 脉冲、连续 $P-I$ 特性曲线
(腔长 $800\ \mu\text{m}$, 条宽 $100\ \mu\text{m}$)

Fig. 4 $I-V$ characteristics of the Au/Zn contact region and the Cr/Au Schottky contact region Fig. 5 $P-I$ characteristics (pulse and CW) with a cavity length of $800\ \mu\text{m}$ and stripe width of $100\ \mu\text{m}$

光功率是用经过绝对功率计定标的 PIN 硅光二极管测量的。首先在脉冲条件(脉冲宽度: $1.0\ \mu\text{s}$, 重复频率: $5.0\ \text{kHz}$) 下测试器件的阈值 (I_{th}) 和微分量子效率, 然后选择性能较好的器件进行连续电流下的测试。器件在脉冲条件下测得的最低阈值电流密度 (J_{th}) 为 $300\ \text{A}/\text{cm}^2$, 测得的最高微分量子效率为 80% (包括前后腔面光输出, 器件腔面均为自然解理面, 无镀膜)。图 5 为一典型激光器的光功率-电流曲线以及连续输出功率为 1.0 W 时的光谱分布, 其最大连续功率输出超过 2.0 W, 而且在较大的电流范围内保持良好的功率电流线性关系。激光器的

光谱分布为多纵模,这是因为一般宽条(50~100 μm)半导体激光器的侧向模式很复杂,纵模数量较多的缘故。我们所测器件的光谱半宽度(FWHM)大致为2~3 nm,略宽于MBE或MOCVD生长的同类器件的光谱半宽度,这是由液相外延的生长特点决定的(生长面积小,较难获得良好的均匀性)。室温下激光器激励的中心波长为 808 ± 4 nm。

通过大量的实验研究我们获得了InGaAsP/GaAs晶格匹配材料的LPE外延参数,制备了SCH SQW结构激光器,激光器的腔面镀膜(AR/HR)研究正在进行。对器件的前后腔面分别蒸镀增透(AR)、增反膜(HR)可以有效地增加激光器前腔面的功率输出,延长器件的工作寿命。另外我们对器件进行的1000 h定电流条件下的初步老化没有发现较明显的退化现象,这大概与该材料系激光器的波导层内不含Al有关。因为Al是一种化学活性较强的元素,如果波导层内含有Al,暴露在空气中的激光器腔面极易退化,所以通常AlGaAs/GaAs材料激光器需要良好的腔面保护(镀膜)。

参 考 文 献

- 1 J. G. Endriz, M. Vakili, G. S. Browder *et al.*. High power diode laser arrays. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1992, **28**(4): 952~ 965
- 2 S. Mukai, Y. Tsunekawa, Y. Takabe *et al.*. Very low-threshold separate-confinement-heterostructure lasers prepared by liquid phase epitaxy. *J. Appl. Phys.*, 1985, **58**(2): 1052~ 1053
- 3 Bo Baoxue, Ren Dacui, Zhang Xingde. Optical confinement characteristics of SCH quantum well laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(3): 268~ 271 (in Chinese)
- 4 Ren Dacui, Li Hanxuan, Bo Baoxue *et al.*. LPE growth of SCH LD with ultra-thin active layer. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(10): 1288~ 1291 (in Chinese)

LPE of InGaAsP/GaAs Semiconductor Lasers

Bo Baoxue Zhu Baoren Zhang Baoshun

Gao Xin Ren Dacui Zhang Xingde

(High-power Semiconductor Laser Lab, Changchun Institute and
Optical of Fine Mechanics, Changchun 130022)

Abstract A modified liquid phase epitaxy method was used to grow InGaAsP materials on the GaAs substrate. The FWHM of photoluminescence at 10 K was 14 meV, wafers of SCH multilayer epitaxial structures were obtained with a threshold current density of 300 A/cm^2 , and the highest CW output power obtained from wide stripe lasers was 2.1 W.

Key words LPE, SCH, threshold current density