

# 生长温度对长波长 $\text{InP}/\text{AlGaInAs}/\text{InP}$ 材料 LP-MOCVD 生长的影响\*

陈 博 王 圩

(国家光电子工艺中心 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**摘要** 研究不同生长温度下的  $\text{InP}/\text{AlGaInAs}/\text{InP}$  材料 LP-MOCVD 生长, 用光致发光和 X 射线双晶衍射等测试手段分析了其材料特性, 得到了室温脉冲激射  $1.3\mu\text{m}$   $\text{AlGaInAs}$  有源区 SCH-MQW 结构材料, 为器件制作研究打下了基础

EEACC: 4320J, 0510D, 4250

## 1 引言

长波长 ( $1.3/1.55\mu\text{m}$ ) 半导体激光器在光纤通信技术中有着重要作用, 然而普通的  $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  激光器由于导带偏调量 ( $\Delta E_c = 0.4\Delta E_g$ ) 小, 高温特性较差 (其高温特性参数  $T_0$  只有 60K 左右), 因而在其组合件中需要复杂、昂贵的制冷器、监控器、外周控制电路等设备。高性能、无制冷、价格低廉的  $1.3$  和  $1.55\mu\text{m}$  的半导体激光器是近年来人们研究开发的热点

$\text{AlGaInAs}$  是近年来发展较快的一种替代材料<sup>[1~4]</sup>,  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{(1-x-y)}\text{As}$  与  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$  有着相似的折射率、带隙和载流子的有效质量<sup>[5]</sup>, 然而  $\text{AlGaInAs}/\text{InP}$  的导带偏调量 ( $\Delta E_c = 0.72\Delta E_g$ ) 大, 在高温下阻止电子溢出量子阱的限制能力强,  $\text{AlGaInAs}/\text{InP}$  MQW 激光器高温特性大大优于  $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  MQW 激光器, 目前文献报道的  $\text{AlGaInAs}/\text{InP}$  MQW 激光器的最高 CW 激射温度为  $185^\circ\text{C}$ <sup>[3]</sup>, 特征温度  $T_0$  达  $120\text{K}$ <sup>[4]</sup>。

本文从材料生长的角度出发, 用 PL, X 射线双晶衍射 (DCD) 等常用材料测试手段分析了不同生长温度下用 LP-MOCVD 方法生长的  $\text{InP}/\text{AlGaInAs}/\text{InP}$  的材料特性, 为器件级材料的生长打下了基础

\* 国家“863”高技术计划和国家自然科学基金(批准号: 69896260)资助项目

陈 博 男, 1972 年出生, 博士生, 现从事 MOCVD 材料生长, DFB 激光器及其相关光子集成器件的研究工作

王 圩 男, 1937 年出生, 博士生导师, 中国科学院院士, 从事 LPE MOCVD 材料生长, 光电集成, 光子集成器件的研究工作

1998-07-22 收到, 1998-11-17 定稿

## 2 实验

我们采用LP-MOCVD 生长技术,在A IXTRON /200 型水平式MOCVD 设备上进行材料生长, III族元素有机源为三甲基铟(TM In)、三甲基镓(TM Ga)和三甲基铝(TMA l), 它们的纯度达到 99.999%, V 族元素源为磷烷(PH<sub>3</sub>)和砷烷(A sH<sub>3</sub>), 露点低于- 70 ,载气为经过钯管纯化的氢气,露点可达- 110 . 我们在(100)晶向的国产 n-InP 衬底片上进行外延生长,衬底在外延生长前,分别用无水乙醇、丙酮、三氯乙烯水浴清洗,用去离子水冲洗干净后,再用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O (3 : 1 : 1)溶液在 50 下腐蚀 1~ 2min,用大量去离子水冲洗,甩干. 经过上述清洗的 InP 衬底片装炉后,通氮气抽真空 20mbar 15min 以上,再通入高纯氢气,然后加热至外延生长温度开始外延生长

众所周知, In(GaA s)P 容易在较低的生长温度下得到高质量的材料,而A lGaA s的高质量材料则容易在相对高的温度下得到<sup>[6]</sup>. 因此四元A lGa lna s材料的生长就变得尤其困难,同时生长气氛中的水蒸气和氧气含量对A lGa lna s的生长影响较大<sup>[7]</sup>. 在我们的实验中,样品在低温区(200 附近)烘烤 20min,保持整个MOCVD



图1 In/A lGa lna s/InP 三明治结构

系统的密闭性,这样可以大大降低生长气氛中的水蒸气和氧气含量,为了考察温度对A lGa lna s外延材料生长的影响,我们生长了如图1所示的 InP/A lGa lna s/InP 三明治(Sandwich)结构的样品,在 InP 衬底片上依次生长 7min InP 缓冲层, 10min A lGa lna s 四元层, 3min InP 盖层,在界面处 TM In 的流量保持不变. 外延生长温度分别是 655 (样品A)、730 (样品B)、750 (样品C)、770 (样品D). 所有样品中, A lGa<sub>y</sub>In<sub>(1-x-y)</sub>A s 的组分基本一样,即 x= 0.28, y= 0.2. 在此结构中, InP 盖层之下的A lGa lna s/InP 界面距表面最近,其界面特性较易反映在材料测试中,我们通过它了解A lGa lna s/InP 界面的中断情况

## 3 实验结果分析

图2为所有样品的室温 PL 谱,光探测器采用液氮冷却的 Ge 探测器. InP 采用富 P 生长, V/III为 300, A lGa lna s 采用富 A s 生长, V/III为 132. 从 PL 谱中可以看到,四个样品中随着生长温度的升高, A lGa lna s PL 峰的强度先增高再降低,样品 C (750 )的 A lGa lna s PL 峰最高,样品 D (770 )的 A lGa lna s PL 峰又下降,其强度甚至要低于样品 B (730 )的. 说明生长温度再高已不利于提高 A lGa lna s 的生长质量. A lGa lna s 短波长侧的 InP 峰强度逐渐降低,说明较高温度下(> 700 )已不利于 InP 材料生长, InP 峰半宽随温度升高不断增大,样品 A 的 InP 峰半宽最窄且是一个光滑的单峰,样品 C、D 的 InP 峰显现出明显的“边峰肩”,我们认为这是高温下 A s、A l 混入 A lGa lna s/InP 界面引起的,引起界面混元,这在下面的 X 射线 DCD 曲线中也得到了印证

为了了解三明治结构中的材料界面情况,对所有样品测试了 X 射线 DCD 曲线,如图3所示. 样品在日本理学(R igaku)SLX-1A 型 X 射线双晶衍射仪上测试,采用非对称衍射(掠入射)的 Ge(004)单色器, θ/2θ 联动方式, X 射线波长 0.154nm. 由图3曲线可以看出随着生

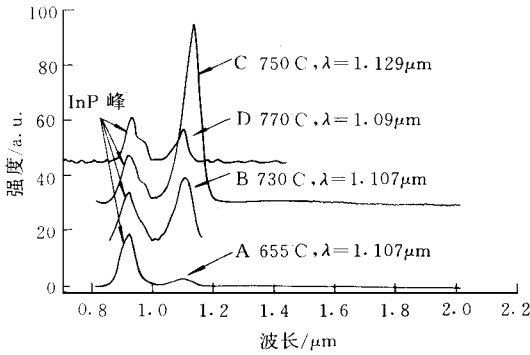


图 2 不同生长温度下的 PL 谱

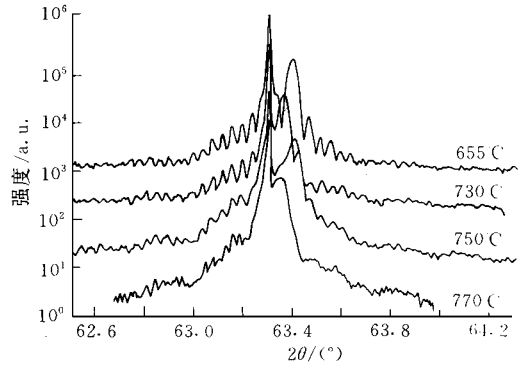


图 3 不同生长温度下的 X 射线 DCD 曲线

长温度的升高, X 射线 DCD 曲线中外延峰半宽变宽, 且外延峰和周围的 Pendellosung 衍射条纹逐渐变得模糊、平缓, 说明 AlGaInAs/InP 界面随着生长温度升高变得越来越模糊, 界面处混元越来越明显。这是由于在较高温度 ( $> 700$  ) 下, 外延层中 In 往表面析出的分凝现象更加明显, 同时富 As 生长的 AlGaInAs 在界面处 As、Al 的混元也影响了 AlGaInAs/InP 界面的均匀性和平整度。

表 1 是四个样品由 PL 谱和 X 射线 DCD 曲线所得 AlGaInAs 四元层的波长、PL 峰半高宽 (HMFW)、厚度、生长速率和失配度等。四个样品 AlGaInAs 的 V/III 比和生长时间都相同, 分别为 132、10 min。样品 B 的生长速率稍大一些, 失配度都在 0.1% 附近。总之, 温度对生长速率和失配度的影响较小。

表 1 AlGaInAs 四元层 PL、X 射线 DCD 测试数据

| 样品                                       | A      | B      | C      | D      |
|--|--------|--------|--------|--------|
| V/III 比                                  | 132    | 132    | 132    | 132    |
| 生长温度/°C                                  | 655    | 730    | 750    | 770    |
| PL 波长/ $\mu\text{m}$                     | 1.107  | 1.107  | 1.129  | 1.09   |
| PL 峰 HMFW /meV                           | 52     | 48     | 40     | 46     |
| 厚度/nm                                    | 259    | 261.7  | 250    | 248.5  |
| 生长速率/( $\text{nm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 0.4317 | 0.4362 | 0.4167 | 0.4142 |
| 失配度 ( $\times 10^{-4}$ )                 | - 13.6 | - 8.77 | - 14.7 | - 8.77 |
| X 射线外延峰 FWHM /( $^{\circ}$ )             | 70     | 76     | 82     | 103    |

## 4 应用

从材料生长质量与生长温度的关系来看, 含 Al 材料易于较高温度 (800 ) 下成核生长, 而含 In 材料易于较低温度 (650 ) 下成核生长, 因而 AlGaInAs 需要采用一个折衷的合适温度生长。样品 C (生长温度 750 ) 的 AlGaInAs PL 峰最强, X 射线 DCD 曲线虽不是太规则, 但还可以清晰地看到外延峰和 Pendellosung 条纹。综合考虑, 在现有设备上, 选取在 750 下进行 AlGaInAs 材料生长。我们生长了下述  $1.3\mu\text{m}$  SCH-MQW 结构, 如图 4 所示。

在掺 S(100) 晶向的 n-InP 衬底上, 用 LP-MOCVD 方法依次生长了 n-InP 缓冲层 ( $1.5\mu\text{m}$ ,  $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ), n-A l<sub>0.48</sub>In<sub>0.52</sub>A s 下限制层 ( $50\text{nm}$ ,  $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ), 非掺杂的 A l<sub>0.316</sub>Ga<sub>0.164</sub>In<sub>0.52</sub>A s 下波导层 ( $100\text{nm}$ ), 非掺杂的 6QW, 阱区为 0.8% 压应变 A l<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.264</sub>In<sub>0.596</sub>A s ( $5\text{nm}$ ), 垒区为匹配的 A l<sub>0.316</sub>Ga<sub>0.164</sub>In<sub>0.52</sub>A s ( $10\text{nm}$ ), 再接着对称的 A l<sub>0.316</sub>Ga<sub>0.164</sub>In<sub>0.52</sub>A s 上波导层 ( $100\text{nm}$ ), p-InP 上限制层 ( $50\text{nm}$ ,  $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ), p-InP 盖层 ( $1.5\mu\text{m}$ ,  $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ) 和 p<sup>+</sup>-InGaA s ( $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ) 欧姆接触层 其中 InP 与 A l(Ga) InA s 的生长温度分别为 655 和 750 . 上述结构蒸镀金属电极后, 解理成  $300\mu\text{m}$  腔长的宽接触管芯, 管芯的激射率在 75% 以上 图 5 是其  $L/I/V$  特性曲线, 阈值电流密度为  $1.5\text{kA}/\text{cm}^2$ , 室温脉冲功率可达 200mW 以上, 单面斜率效率  $0.18\text{mW}/\text{mA}$ . 实际上我们曾经生长过和图 4 相同的结构, 不过 InP 与 A l(Ga) InA s 的生长温度都是 655 , 蒸镀电极、解理成  $300\mu\text{m}$  腔长的宽接触管芯, 激射率低于 20%, 室温脉冲功率在 30mW 就饱和了, 阈值电流密度  $2.8\text{kA}/\text{cm}^2$ , 单面斜率效率低于  $0.9\text{mW}/\text{mA}$ . 可见改变 A lGa l nA s 层生长温度后, 对器件的性能改善非常明显

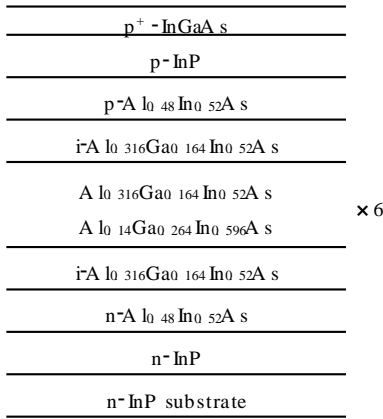


图 4 A lGa l nA s SCH-MQW 结构示意图

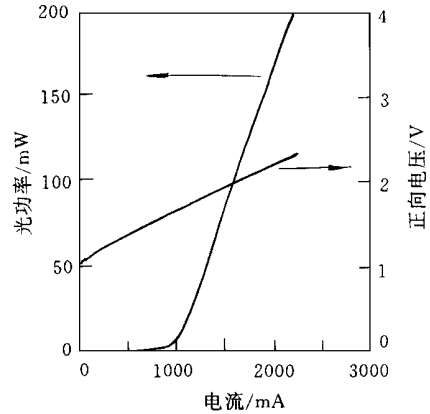


图 5 A lGa l nA s MQW 宽接触激光器  $L/I/V$  特性曲线

### 5 结论

我们通过改变 A lGa l nA s 的生长温度, 用 PL 和 X 射线 DCD 手段对材料的生长特性进行了详细的分析、比较, 选取了在 750 的生长温度下生长了  $1.3\mu\text{m}$  SCH-MQW A lGa l nA s 有源区结构材料 器件室温脉冲激射 这为器件的研究和性能提高奠定了基础

致谢 感谢王玉田教授在 X 射线双晶衍射测试上给予的大力帮助和郑联喜工程师的富有建设和启发性的有益讨论

## 参 考 文 献

- [ 1 ] C. E. Zah, R. B. Bhat, B. Pathak *et al* , IEEE J. Quantum Electron , 1994, **30**(2): 511~ 523
- [ 2 ] M. C. Wang, W. L. in, T. T. Shi and Y. K. Tu, Electron Lett , 1995, **31**(18): 1584~ 1585
- [ 3 ] C. E. Zah, R. B. Bhat and T. P. Lee, "High temperature operation of AlGaInAs/InP lasers" in 7th Int Conf Indium Phosphide and Related Materials, Sapporo, Japan, pp. 14~ 17, paper WA 1. 1, 1995.
- [ 4 ] T. R. Chen, P. C. Chen, J. Ungar *et al* , IEEE Photon Technol Lett , 1997, **9**(1): 17~ 18
- [ 5 ] M. P. C. M. Krijn, Semicond Sci Technol , 1991, **6**: 27~ 31.
- [ 6 ] H. Matsueda, K. Hara, Appl Phys Lett , 1989, **55**(4): 362
- [ 7 ] R. B. Bhat, C. E. Zah, M. A. Koza *et al* , J. Cryst Growth, 1994, **145**: 858~ 865.

## Temperature Effect on Long Wavelength InP/AlGaInAs/InP Growth by LP-MOCVD

Chen Bo, Wang Wei

*National Research Center for Optoelectronic Technology, Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*

Received 22 July 1998, revised manuscript received 17 November 1998

**Abstract** The InP/AlGaInAs/InP material was grown under different temperature by Low Pressure Metalorganic Chemical Vapor Deposition is investigated. The material characteristics were studied by photoluminescence (PL) and X-ray double crystal diffraction rocking curve. The 1.3 $\mu$ m room temperature pulsed operation is achieved in the AlGaInAs/InP strained layer SCH MQW lasers.

**EEACC:** 4230J, 0510D, 4250