

# GaAs-Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As 双异质结激光器的 分子束外延生长

钟 景 昌  
(长春光学精密机械学院)

## 提 要

本文报道分子束外延生长 GaAs-Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As 双异质结激光器的生长条件。其中包括低温生长的温度-时间循环, 欧姆接触电极层的原位生长以及生长后的退火等程序。实验表明, 生长过程中采用高纯度的源材料, 氮化硼的泻流盒以及生长系统中的低温泵等对降低器件的阈电流密度, 改善激光器的光电性能起到重要作用。

分子束外延(MBE)是一项新的薄膜生长技术。其最重要的特点是能够生长非常薄、大面积均匀的膜层, 而且其厚度和化学组分严格可控。因此, 分子束外延技术已经在制备光电子学器件等方面, 获得了越来越多的应用。GaAs-(GaAl)As 双异质结半导体激光器就是其中的一例。然而用通常的分子束外延方法所生长的双异质结激光器, 其阈电流密度往往高于液相外延法(LPE)制备的相似器件<sup>[1]</sup>。经过 Cho, Tsang 等人的研究, 激光器的阈值特性已经得到很大的改善<sup>[2~5]</sup>。但是分子束外延在这方面的应用仍处于研究阶段。

本文报道一项新的分子束外延生长程序。其中建立起一套稳定、重复性良好的温度-时间循环, 并且采用了较低的生长温度, 原位生长欧姆接触层和电极层以及生长后的退火等, 从而使阈电流密度降低到和液相外延制得的相似器件相接近的水平, 而且器件的光电性能均匀稳定。

## 一、激光器结构与生长系统

激光器的结构和各层的掺杂浓度如图 1 所示。即在 N-GaAs 衬底的(100)面上, 依次生长缓冲层 N-GaAs, 限制层 N-Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As, 有源层 P-GaAs, 限制层 P-Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As, 欧姆接触层 P-GaAs 和电极层-纯金属 Be 层, 共六层结构。实验中选用 m6N 块状高纯砷, t6N 锭状高纯镓, m4N8 丝状高纯铝做源材料。另外选用 m3N5 片状高纯铍和 m5N5 块状高纯硅分别做 P 型和 N 型材料的掺杂剂源。所有的泻流盒均由热解氮化硼制成, 以便把污染程度降低到最低水平。

本实验采用具有联锁装置的 Perkin-Elmer PHI-400 型分子束外延系统。其生长室结构示意图如图 2 所示。室内有做剩余气体分析用的四极质谱计和观察晶体表面形态用的高能电子衍射装置。并有抽速为 2000l/sec 的低温泵保持室内的本底压强在  $1 \times 10^{-10}$  Torr 以

	铍金属外延层
	P-GaAs (Be/1 × 10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup> )
	P-Ga <sub>0.7</sub> Al <sub>0.3</sub> As (Be/5 × 10 <sup>17</sup> cm <sup>-3</sup> )
P-GaAs	(Be/4 × 10 <sup>17</sup> cm <sup>-3</sup> )
	N-Ga <sub>0.7</sub> Al <sub>0.3</sub> As (Si/3 × 10 <sup>17</sup> cm <sup>-3</sup> )
	N-GaAs (Si/3 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup> )
	衬底 (Si/3 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup> )

图 1 激光器的结构和各层的掺杂浓度

Fig. 1 Structure of the laser and doping concentrations of various layers

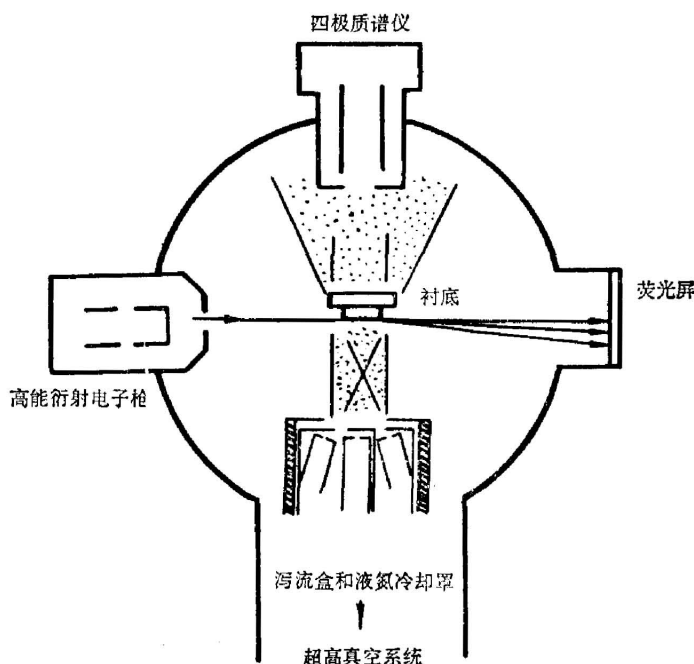


图 2 生长室结构示意图

Fig. 2 The schematic diagram of the growth chamber

下。整个系统除了重装源材料时以外,总是维持在超高真空的条件下。值得指出的是,生长前对全系统进行 12 小时以上的烘烤,对确保超高真空有重要作用。另外,器件结构生长之前,用比泻流盒工作温度稍高的温度,分别对所有源材料进行出气处理也是重要的。系统中的水蒸汽,CO 和 O<sub>2</sub> 等残余气体严重影响激光器的光电性能,因此必须确保生长室内低真空泵的有效运转来加以消除。此外,影响器件阈值电流密度的衬底生长温度要作最佳选择。

## 二、外延生长

在 PHI-400 型分子束外延系统中,衬底温度是通过热电偶来测定的。然而衬底座与热电偶接触状态受安装衬底座时人为的影响。因此本实验采用红外高温计透过装在束源法兰盘上的蓝宝石窗口来直接观测衬底表面的温度,以确保在 650°C 左右。

图 3 表示生长六层双异质结激光器结构时的温度-时间循环。其中实线表示泻流盒的快门是开着的,而虚线代表关着但泻流盒的电源是接通着的。作为准备工作,实验开始以前要分别标定出生长速率

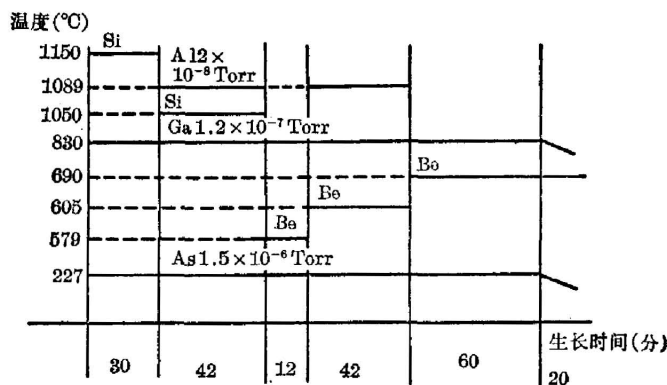


图 3 温度-时间循环

Fig. 3 The temperature-time cycles

和 Ga 通量的关系; Ga, Al 通量和它们的压强的关系<sup>[6]</sup>, 然后确定 Ga 通量以使生长速度大约在  $1\mu\text{m}/\text{h}$ 。为使 Al 的原子百分数  $x$  值接近 0.3, 确定 Al 的压强为 Ga 的  $1/6$ <sup>[6]</sup>。生长过程中始终维持着 As 的通量大约为 Ga 的 10 倍。由图 3 可见, Ga, Al, As 的压强分别为  $1.2 \times 10^{-7}\text{Torr}$ ,  $2.0 \times 10^{-8}\text{Torr}$  和  $1.5 \times 10^{-6}\text{Torr}$ 。实验中采用相同的施主硅做 N-GaAs 和 N-Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As 层的掺杂剂, 而做为两个 P-GaAs 层和 P-Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As 层的掺杂剂和电极层的材料, 采用高纯金属铍, 既保证了掺杂和电极层的原位生长又简化了泻流盒的配置。

### 三、实验结果

图 4 是用上述程序生长出外延片后, 用 SEM 拍摄的一张解理面照片。器件就是由该外延片制得的。从照片可以清楚地看出六层结构和平滑的界面。照片是在 25,000 放大倍率下摄得的。各层的厚度和所需的数值大致符合。用 SEM-EDS 测得的 Al 原子百分数  $x$  在 0.3 左右, 而用电子探针测得的各层掺杂浓度也和图 1 所示的基本相同。

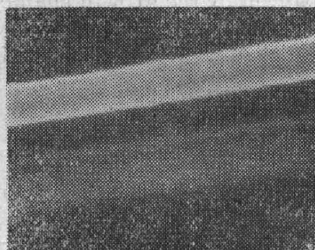


图 4 外延片解理面的 SEM 照片  
Fig. 4 A cross section SEM view

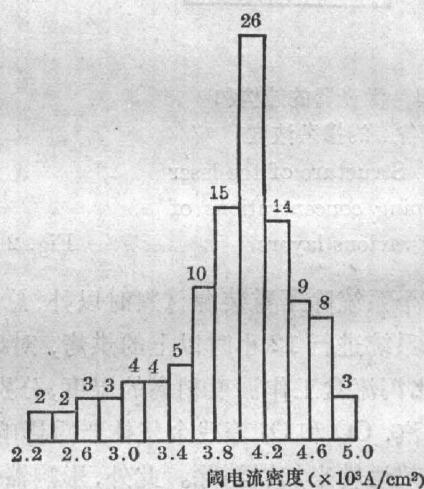


图 5 108 个激光器阈电流密度分布的直方图  
Fig. 5 The histogram of the threshold current density distribution of the 108 lasers

制备了宽接触型双异质结激光器。实验结果是由退火(在砷压下  $750^\circ\text{C}$ , 120 分钟)的外延片取得的。但是退火过程对降低阈电流值并非都有作用。有源层厚为  $0.2\mu\text{m}$  的激光器被切成几乎相同的尺寸, 即腔长为  $380\mu\text{m}$ , 宽为  $200\mu\text{m}$ , 并有锯开的侧面。在制得的器件中, 随机抽样取出 108 个, 用来鉴定阈电流密度。图 5 为该 108 个激光器阈电流密度分布的直方图。器件所用的脉冲电源, 其重复效率为 2000 pps, 脉冲宽度为 100 ns。从图中可以看出, 室温下典型的阈电流密度为  $4.0 \times 10^3 \text{A}/\text{cm}^2$ , 最佳值为  $2.2 \times 10^3 \text{A}/\text{cm}^2$ , 趋近于通常液相外延制备的相似结构的器件<sup>[3,4]</sup>。测量是单个进行的。阈值的临界状态是用红外-可见变像管观察其受激作用开始点来判断的。

图 6 所示是一个尺寸为  $200 \times 380\mu\text{m}$  的激光器, 在脉冲工作时的电流-出光特性。测量表明, 这一特性在所有情况下都有良好的线性关系。微分量子效率约为 40%。图 7 为分子束外延生长的掺硅 GaAs 的室温光荧光强度随掺杂浓度的变化, 并与液相外延生长的 GaAs 做了比较<sup>[7]</sup>。图中的  $650^\circ\text{C}$  为分子束外延生长时衬底的温度。

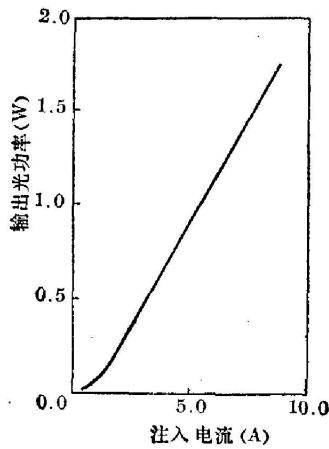
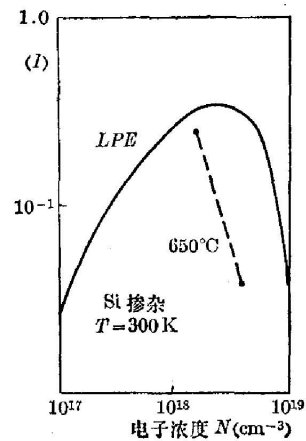


图 6 激光器的电流-出光特性

Fig. 6 An output vs current curve

图 7 分子束外延生长的掺硅 GaAs 的室温光  
荧光强度随掺杂浓度的变化Fig. 7 The dependence of the photo-luminescence  
intensity at room temperature of the MBE-grown  
Si-doped GaAs on the doping concentrations

#### 四、结 语

用分子束外延制备具有原位生长电极层的 GaAs-Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As 激光器, 通过生长条件的选择, 可获得良好的光电特性。

作者感谢 M. Gershenson 博士在此项研究期间所做的有益的建议。感谢 L. Frank 先生、J. Worrall 先生在制做和检测激光器过程中所给予的技术帮助。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] W. T. Tsang; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, No. 12 (15 Dec), 1022.
- [ 2 ] A. Y. Cho *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**, No. 9 (1 May), 501.
- [ 3 ] W. T. Tsang; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, No. 7 (1 Apr), 473.
- [ 4 ] W. T. Tsang; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, No. 1 (1 Jan), 11.
- [ 5 ] W. T. Tsang; *Collected Papers of 2nd International Symposium on Molecular Beam Epitaxy and Related Clean Surface Techniques*, (Tokyo, 1982), A-5-1, 75.
- [ 6 ] 钟景昌; *光学学报*, 1984, No. 3 (Mar), 257.
- [ 7 ] H. C. Casey *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1975, **QE-11**, No. 7 (Jul), 467.

## The MBE growth of GaAs-Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As DH lasers

ZHONG JINGCHANG

*(Changchun College of Optics and Fine Mechanics)*

(Received 21 March 1983; revised 12 January 1984)

### Abstract

The growth conditions for MBE-grown GaAs-Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As DH lasers are reported which include the temperature-time cycles with a lower growth temperature, in-situ growth of ohmic contact electrode layer, and an annealing process after growth. The experiments indicate that the use of source materials with high purity, BN effusion cells, and the cryopump in the system play important roles in reducing the threshold current density of the lasers and improving their optical and electrical performance.