

研究简报

# 一种汽相生长多层外延 InP 的方法

黄善祥

(南京固体器件研究所)

1984年2月18日收到

描述了一种汽相生长  $n^+-n-n^+$  多层外延 InP 的简便方法及其生长程序。用本方法生长的具有特殊掺杂分布的  $n^+-n-n^+$  外延 InP, 制得了高效率 InP 耿氏二极管。在 49.2 GHz 下, 连续波输出功率为 232mW 效率高达 7.52%。

用单室单支路法进行多层生长的缺点是难以克服杂质存储效应。采用双室法又使得生长系统复杂化; 源的消耗增加一倍, 而衬底的工作室还减小了一半, 因而使衬底的尺寸也受到限制。

本文描述一种生长多层 InP 的简便方法。它是在主路  $PCl_3$  与掺杂支路之间插入一纯  $H_2$  支路, 其中包含供汽相腐蚀用的  $PCl_3$ 。利用纯  $H_2$  对反应管内残留杂质的稀释与清洗作用, 能方便的生长  $n^+-n-n^+$  多层 InP, 其生长程序包含下列六个步骤。汽相腐蚀、生长缓冲层、清洗反应管、回腐蚀、生长有源层及具有特殊掺杂分布的接触层。

缓冲层与接触层的生长都是采用硫掺杂: 即以 35ml/min 的  $H_2$  流量通过处于 180°C 的液态硫源, 所不同的是在生长接触层时, 通过硫源的  $H_2$  流量在生长 5 分钟后调整为 25ml/min。这样调整的目的是为了在靠近有源层界面附近形成一高浓度区, 而使外延层的表面浓度控制在  $(5-7) \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。

清洗反应管是在缓冲层生长结束时, 将衬底向源的方向推移 4cm, 即衬底处在不生长的高温区 (700°C 左右), 停留数分钟, 以 30ml/min 的纯  $H_2$  清洗反应管内的残留杂质。这与文献 [1] 的报道不同。

回腐蚀是为了防止反应管清洗过程中可能存在的淀积, 将衬底拉回原生长位置汽相腐蚀 3 分钟。

上述六个步骤都是按文献 [2] 中的工艺条件进行。纯  $H_2$  支路始终保持 15—30ml/min 的  $H_2$  流量。这样生长的  $n^+-n-n^+$  多层 InP 的掺杂分布如图 1 所示。

$\Delta t$  是缓冲层生长结束后, 衬底在  $\sim 700^\circ\text{C}$  位置的停留时间。

按上述工艺生长的  $n^+-n-n^+$  多层 InP 有如下特点

1. 由图, 可见,  $\Delta t$  的大小对有源层的载流子浓度有明显的影响。  $\Delta t$  愈大意味着对反应管内剩余杂质的清洗愈彻底, 则有源层的载流子浓度愈低, 这与我们设想的结果一致。我们用控制  $\Delta t$  的办法多次重复的控制了有源层的载流子浓度。

2. 有源层的载流子浓度分布是很平坦的, 过渡区的载流子浓度分布是很陡峭的。接触层与有源层之间的过渡区宽度小于  $0.1\mu\text{m}$ ; 缓冲层与有源层之间的过渡区宽度小于

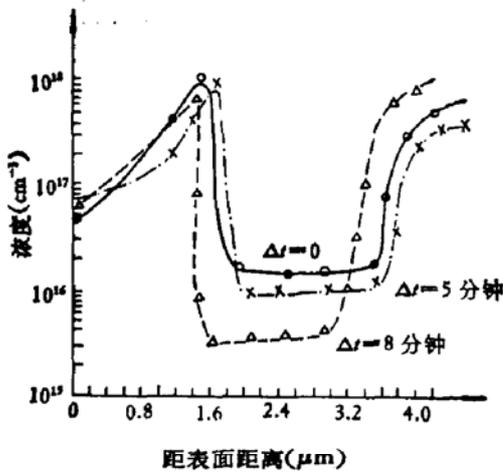


图1 掺 Sn-InP 上生长的 n<sup>+</sup>-n-n<sup>+</sup> 多层 InP 的纵向掺杂分布

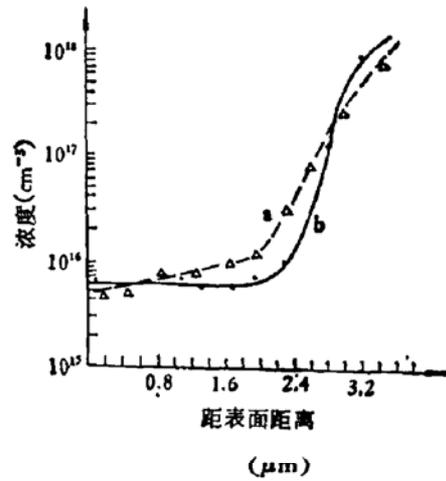


图2 有源层的纵向掺杂分布  
a 未经汽相腐蚀、未生长缓冲层的有源层  
b 经汽相腐蚀并生长有缓冲层的有源层

0.3 μm。这主要是由于采用汽相腐蚀并生长缓冲层工艺，消除了外延生长初期的过渡过程，如图 2 所示。并提高了有源层的电子迁移率，见表 1。

表 1 工艺过程对有源层迁移率的影响

样品对号	1	2	3	4	5
迁移率 ( $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ )	2240	2450	2380	2610	2070
$\mu_m$ ( $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ )	3940	3980	3770	3940	4080

表 1 中所列数据是选用有源层载流子浓度  $n = (8-10) \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ，有源层厚度  $d = 1.5-2.0 \mu\text{m}$  范围内的几对样品所测得的磁阻迁移率。

其中： $\mu'_m$  是未经汽相腐蚀、未生长缓冲层的有源层的磁阻迁移率； $\mu_m$  是经汽相腐蚀并生长有缓冲层的有源层的磁阻迁移率。

3. 图 1 所示掺杂分布的特点是：在靠近有源层界面的接触层内有一高浓度区，而外延层的表面载流子浓度低于文献上报道的 n<sup>+</sup>-n-n<sup>+</sup> 多层 InP 的表面载流子浓度。采用这种特殊掺杂分布的 n<sup>+</sup>-n-n<sup>+</sup> 多层 InP 研制 InP 耿氏二极管，明显的改善了器件的性能，见表 2。得到的最佳结果是在 49.2 GHz，连续波输出功率 232mw，效率高达 7.52%。这是目前 InP 耿氏二极管在连续波工作条件下，在该频率下报道的最高值。

表 2 掺杂分布对 InP 耿氏二极管性能的影响

掺杂分布	样品编号	正反向低场电阻之比	阈值电压 (V)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	频率 (GHz)	输出功率 (mW)	效率 (%)
文献 [2] 中的掺杂分布	V <sub>26-4</sub>	1	3.3	5.0	1.00	53.4	154	3.08
	V <sub>26-6</sub>	1	3.5	6.0	1.07	58.5	173	2.7
本文中图 1 所示的掺杂分布	V <sub>31-3</sub>	3.2	5.4	6.85	0.45	49.2	232	7.52
	V <sub>28-2</sub>	2.6	5.3	7.2	0.24	57.8	83	4.80
	V <sub>29-1</sub>	2.5	4.0	5.5	0.40	68.4	100	4.55
	V <sub>25-1</sub>	2.9	4.2	5.0	0.38	85.3	32	1.68

王宝林、朱明菊参加了实验工作。朱经济、朱顺才、杨德嘉、王翠莲、邓衍茂等提供了材料与器件测试结果,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] L. L. Taylor and N. Apsley, *J. Crystal Growth*, 60, 203(1982).  
[2] 黄善祥, *半导体学报*, 4, 197(1983).

## A Method for Vapor Phase Epitaxial Growth of Multilayer InP

Huang Shanxiang

(*Nanjing Solid State Devices Research Institute*)

### Abstract

A simple method and growth procedure are described for the vapor phase epitaxial growth of multilayer InP. High efficiency InP Gunn diodes are fabricated using  $n^+n-n^+$  structure with specified doping profile. The CW output power of 232 mW at 49.2 GHz is obtained with an efficiency as high as 7.52%.