

# InGaAsP/InP 双异质结的混合外延生长

方志烈 许建中 朱 萍

(复旦大学物理系)

**摘要**——本文描述以液相外延和汽相外延相结合的混合外延生长法研制 1.5 μm 波长 InGaAsP/InP 双异质结材料的实验,并分析其测试结果。

## 一、引 言

石英光纤研究表明,在光通信中,在 1.5 μm 波长处具有最低损耗值 (0.18 dB/km)。当用液相外延法制备该波长器件的双异质结材料时,发现若磷砷镓液相外延层上继续生长磷化铟顶层,会发生四元层的回熔。为克服这一困难,国外曾采用过低温外延、增加抗回熔层和提高过冷度等方法。我们试验成功以液、汽相混合外延生长法制备 1.5 μm 波长 InGaAsP/InP 双异质结材料,并对其进行了测试和分析。

## 二、实 验

液相外延设备已进行过报道<sup>[1]</sup>,外延炉为三点控温式,恒温区长度约 30 cm,控温精度 ±0.25°C,由 GW-29 型高稳定度变温仪控制降温速率。汽相外延反应管用直径 42 mm 的气炼石英管制成,反应管入口有氮气支管,用其在外延前后通氮,以充分除氧,避免磷的燃烧和氧的沾污。磷源置于恒温炉内,用以提供适量的磷蒸汽压,以防磷化铟衬底表面之分解,以及防止外延前铟源表面磷化铟壳的破裂。采用高压液封直拉掺锡低阻磷化铟单晶衬底,载流子浓度为  $0.5 \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,位错密度为  $10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-2}$ ,晶向为(100)。外延前用  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 3:1:1$  溶液腐蚀二分钟,并以热去离子水冲洗干净。经铟回熔十秒钟后,液相外延生长掺锡磷化铟和磷砷镓铟未掺杂的有源层。

将生长好四元层的外延片置于铟源已被磷饱和的汽相反应管的淀积区。当外延炉升温至衬底温度达 400°C 左右时,磷炉开始升温;待衬底温度达到 500°C 左右时,磷炉控制在 320°C 温度下,继续升温使铟源和衬底温度到达并恒定在 710°C 和 600°C,开始外延。磷化铟外延层厚度控制在 2~3 μm。外延结束时先关闭三氯化磷分路,保温三分钟,在继续保持磷温的情况下,打开外延炉,再打开磷炉。反应管出炉并冷至室温,关闭氢气,通氮气以除氢气,在通氮条件下取出套管中的外延片。每次外延均需调换套管。

本文 1982 年 11 月 11 日收到。

用解理法测外延层厚度,并拍摄剖面照片。用 X-射线衍射仪测量晶格失配值。以光电电压光谱法测量 InGaAsP 的室温禁带宽度<sup>[2]</sup>,并由此估算  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  的  $x$  值和  $y$  值。用俄歇电子能谱仪分析汽相外延 InP 与液相外延 InGaAsP 界面过渡区的组成分布。

### 三、结果和讨论

#### 1. 晶格匹配与表面形貌

磷化铟的晶格常数  $a=5.8685 \text{ \AA}$ , 当磷砷铟与其晶格失配值小于  $\pm 0.2\%$  时, 才能不粘钢而获得平整的界面和表面。特别是汽相外延, 要获得好的表面, 必须在光亮平整的液相外延表面上进行汽相外延。根据以磷化铟为内标的 X-射线衍射法测得的 InGaAsP 外延层与衬底或顶层的 InP 之间的晶格失配结果, 以准平衡法生长的 InGaAsP 与 InP 的失配值可达  $0.1\%$ , 其表面形貌光亮平整, 如图 1 所示。InP 生长厚度控制在  $2\sim 3 \mu\text{m}$ , 四元层控制在  $1\sim 2 \mu\text{m}$ 。

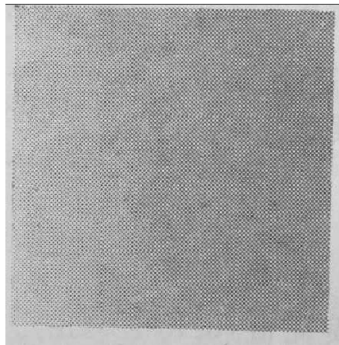


图 1 外延片表面形貌  
( $\times 400$ )

#### 2. 禁带宽度与组成

以光电电压光谱法测得 InGaAsP 室温禁带宽度为  $0.81 \text{ eV}$  左右, 相应的发射波长约为  $1.53 \mu\text{m}$ , 其组成为  $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{0.89}\text{P}_{0.11}$ 。

#### 3. 汽相外延和液相外延层界面的观察和分析

以光学显微镜观察外延片内各层之间的界面情况, 可得到清晰的界面, 见图 2。汽相外延和液相外延层界面的过渡区组份分布分析是用俄歇能谱仪进行的。以  $3 \text{ keV}$  能量的氙离子束进行刻蚀, 电子束能量为  $3 \text{ keV}$ 。测量俄歇峰-峰高度随氙离子刻蚀时间的变化, 得如图 3 的组成相对分布曲线。根据刻蚀速率与时间的估算, 过渡区厚度约为  $200 \text{ \AA}$ 。

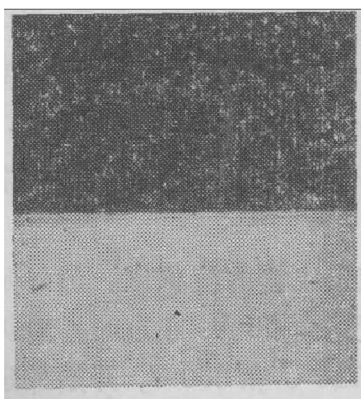


图 2 外延片剖面( $\times 800$ )

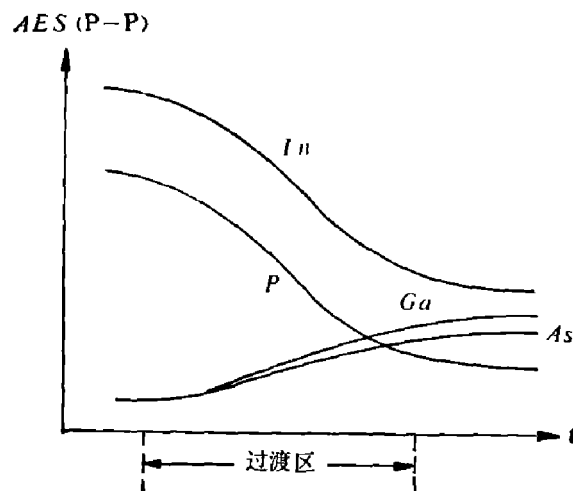


图 3 汽液相外延层过渡区的俄歇分析

#### 参 考 文 献

[1] 方志烈、朱萍, 光纤通信, (1980), 1.  
[2] 方志烈、杨恒青, 红外研究, 1 (1982), 155.

# GROWTH OF InGaAsP/InP DOUBLE-HETEROSTRUCTURE BY MIXED EPITAXY

FANG ZHILIE, XU JIANZHONG, ZHU PING

*(Department of Physics, Fudan University)*

## ABSTRACT

The experiment and the properties of InGaAsP/InP double-heterostructure grown by the combined vapor-phase and liquid-phase epitaxial method are reported.