

# III 族铟源对 LP-MOVPE 方法生长 $In_{1-x}Ga_xAs$ 材料的影响

祝进田 胡礼中 刘式墉

(集成光电子学国家重点实验室 吉林大学电子科学系 长春 130023)

**摘要** 本文报道了利用低压金属有机物汽相外延 (LP-MOVPE) 技术, 在(001)InP 衬底上生长  $In_{1-x}Ga_xAs$  体材料及  $In_{1-x}Ga_xAs/InP$  量子阱结构材料的结果。对于 TMG/TEIn 源,  $In_{1-x}Ga_xAs$  材料的非故意掺杂载流子浓度为  $7.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , 最窄光致发光峰值半宽为 18.9 meV, 转靶 X 光衍射仪对量子阱结构材料测到 ±2 级卫星峰; 而对于 TMG/TMIn 源, 非故意掺杂载流子浓度为  $3.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , 最窄光致发光峰值半宽为 8.9 meV, 转靶 X 光衍射仪对量子阱结构材料测到 ±5 级卫星峰。

EEACC: 0510D, 0520F, 2520D

## 1 引言

与 InP 晶格匹配的  $In_{0.53}Ga_{0.47}As$  具有很高的电子迁移率, 可以用来制作超高速器件, 比如高速场效应晶体管<sup>[1]</sup>等。由于  $In_{0.53}Ga_{0.47}As$  体材料的禁带宽度为 0.75 eV (1.65 μm), 所以其量子阱结构材料是制作工作在最佳波长范围(即 1.3—1.5 μm) 器件的理想材料。本文研究了分别以 TEIn 和 TMIn 为 In 源, TMG 为 Ga 源, 纯的砷烷和磷烷为 V 族源, 在(001)InP 衬底上生长  $In_{1-x}Ga_xAs$  体材料及相应量子阱结构材料的方法, 并对其形貌及质量分别用扫描电子显微镜, 转靶 X 光衍射仪和光致发光方法进行了表征。

## 2 实验

外延层是在法国 ASM 公司生产的 OMR-12 型 MOVPE 设备上生长的。实验内容分两部分: 一部分是用 TMG 和 TEIn 为 III 族源, 纯  $AsH_3$  和  $PH_3$  为 V 族源, TMG 和 TEIn 鼓泡瓶的温度分别设置在 -10°C 和 30°C, 在(001)InP 衬底上生长  $In_{1-x}Ga_xAs$  体材料和  $In_{1-x}Ga_xAs/InP$  量子阱结构材料。生长过程如下: 首先使 InP 衬底在  $PH_3$  保护下于 680°C 加热 10 分钟, 接着在 630°C 生长大约 0.5 μm 厚的 InP 缓冲层, 然后在 530°C、560°C 和 630°C 下分别生长  $In_{1-x}Ga_xAs$  外延层, 其中在生长温度为 530°C, V/III 比为 130, TMG 和 TEIn 的摩尔流量分别为 4.5 和 22.5 μmol/min 的条件下, 生长了 30

分钟的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  体材料及交替生长阱 ( $\text{InGaAs}$ ) 和垒 ( $\text{InP}$ ) 分别为 25 层的多量子阱结构材料。阱和垒的生长时间分别为 10 秒和 30 秒。在除阱层生长时间外其它条件同上的情况下还生长了一种阱宽不同垒宽相同的量子阱结构材料，阱层生长时间分别为 8 秒、6 秒、4 秒和 2 秒。在量子阱结构的生长过程中，考虑到磷原子比砷原子易挥发，选择了一种开关程序，即由垒层到阱层采用  $\text{PH}_3$  保护下 5 秒钟的间断，由阱层到垒层的生长采用无间断转换。另一部分是以  $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  为 III 族源，利用相同的 V 族源进行  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  外延层和相应的量子阱结构材料生长，生长温度均为  $630^\circ\text{C}$ ， $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  鼓泡瓶的温度分别为  $-10^\circ\text{C}$  和  $40^\circ\text{C}$ ，V/III 比为 110， $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  的摩尔流量分别为 4.5 和  $13.85 \mu\text{mol}/\text{min}$ ，外延层生长结构与用  $\text{TMG}$  和  $\text{TEIn}$  为 III 族源生长的结构类似，采用相同的开关程序。在上述实验中，反应室压力均为  $76\tau$ 。

利用电化学 C/V 浓度剖面仪、扫描电子显微镜、转靶 X 光衍射仪和光致发光设备对上述方法生长的材料进行了载流子浓度、形貌和质量检测。

### 3 结果和讨论

图 1 给出了以  $\text{TMG}$  和  $\text{TEIn}$  为 III 族源在  $530^\circ\text{C}$ ， $560^\circ\text{C}$  和  $600^\circ\text{C}$  及以  $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  为 III 族源在  $630^\circ\text{C}$  下生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  外延层表面的扫描电子显微镜照片(见图版 I)。显然，以  $\text{TMG}$  和  $\text{TEIn}$  为 III 族源，以  $\text{AsH}_3$  为 V 族源，在生长温度高于  $560^\circ\text{C}$  时，生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  外延层表面开始有斑点，且随着生长温度的升高，斑点迅速增多。这是由于随着温度的升高， $\text{TEIn}$  与氢化物生成加合物的速度迅速增大，结果一方面导致铟源的大量耗尽，造成正常的晶体生长速率减慢，另一方面生成的加合物以整体的形式落到衬底表面的几率大大增加，最后致使外延层成为一些微粒的沉积物，而不是靠有规律的原子间的键合作用而生成的高质量外延层。但是当温度低于  $530^\circ\text{C}$  时，利用这种配比源，如果 V/III 比选择得合适，可以长出表面似镜的  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  外延层，如图 1(c) 所示。其结果从形貌上看，与以  $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  为 III 族源，在  $630^\circ\text{C}$  生长的结果[如图 1(d)] 相似。

由英国 Bio-Rad 公司生产的 PN4200 型电化学 C/V 浓度剖面仪测得以  $\text{TMG}$  和  $\text{TEIn}$  为 III 族源，生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  外延层的非故意掺杂载流子浓度为  $7.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ；以  $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  为 III 族源，生长的外延层的非故意掺杂载流子浓度为  $3.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。

图 2(a) 和 (b) 给出的是转靶 X 光衍射仪对用  $\text{TMG/TEIn}$  组合及  $\text{TMG/TMIn}$  组合生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  多量子阱结构材料的测试结果。从图中可以看出，对由  $\text{TMG/TEIn}$  组合生长的量子阱结构材料，测到了  $\pm 2$  级卫星峰；而对由  $\text{TMG}$  和  $\text{TMIn}$  组合生长的量子阱材料测到了  $\pm 5$  级卫星峰，且所有卫星峰都对称地分布在零级卫星峰的两侧，这说明生长的外延层与  $\text{InP}$  晶格失配很小 ( $\Delta a/a = 8.4 \times 10^{-4}$ )，卫星峰的测量结果还说明由  $\text{TMG/TMIn}$  组合生长的外延层质量较高。

图 3 示出的是对由  $\text{TMG/TEIn}$  组合和  $\text{TMG/TMIn}$  组合生长的不同阱宽的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  量子阱结构材料的光致发光谱图。对两种配比源生长的量子阱结构材料均测量出了由于量子尺寸效应而导致的波长随阱宽度的减小而蓝移。但由  $\text{TMG/TMIn}$

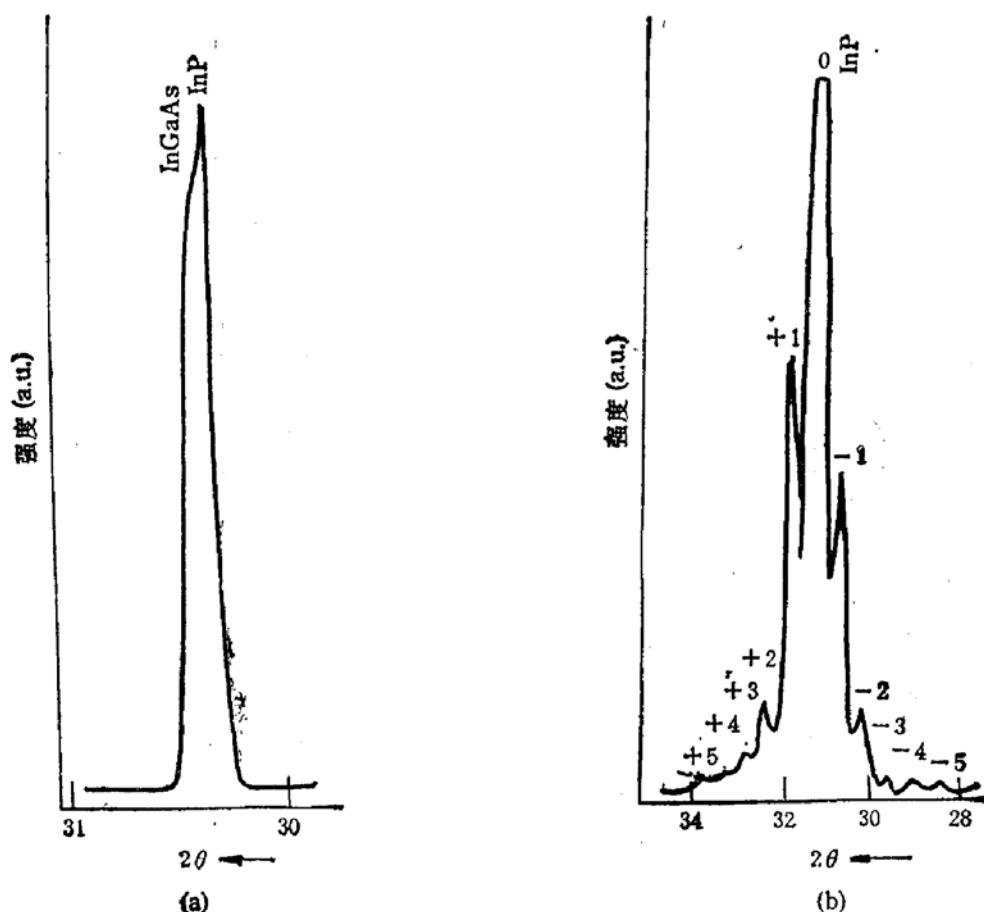


图2 转靶X光衍射仪对用 TMG/TEIn 组合及 TMG/TMIn 组合生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  多量子阱结构材料的测试结果  
(a) TMG/TEIn (b) TMG/TMIn

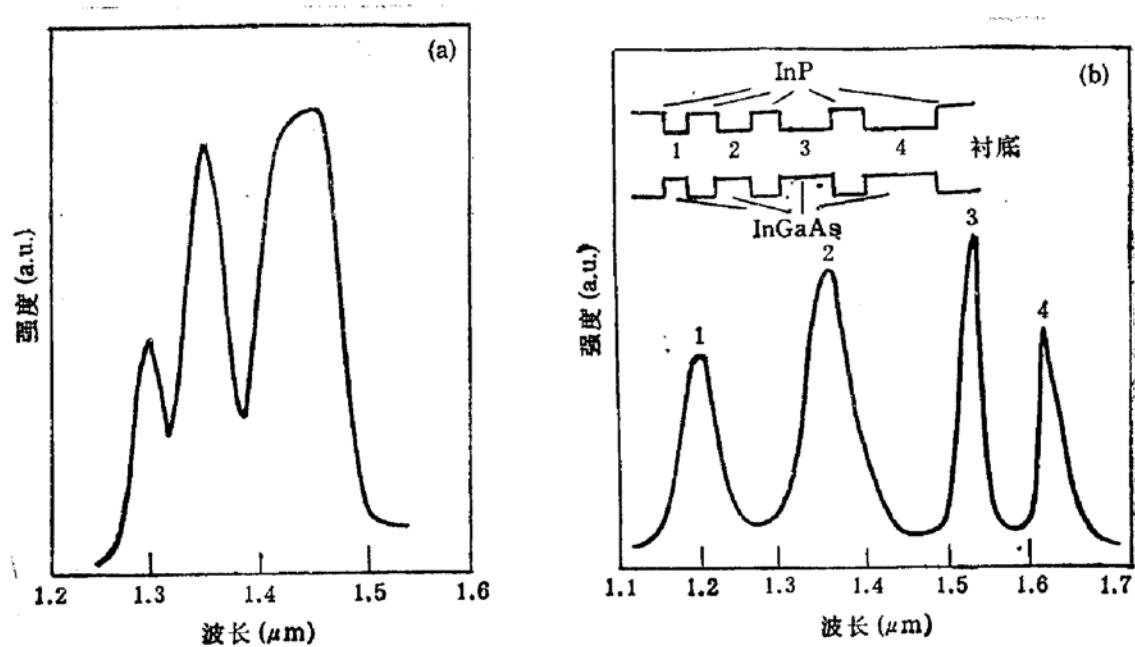


图3 TMG/TEIn 组合与 TMG/TMIn 组合生长的不同阱宽的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  量子阱结构材料的光致发光谱图  
(a) TMG/TEIn (b) TMG/TMIn

组合生长的  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  量子阱结构材料的 PL 谱峰值半宽(8.9meV)比用 TMG/TEIn 组合生长的材料的 PL 谱峰值半宽 (18.9meV) 窄得多。

## 4 结 论

我们用低压金属有机气相外延技术,在 InP 衬底上生长了  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  和  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  量子阱结构材料。实验证明,用 TMG/TMIn 为 III 族源生长的外延层质量较高,非故意掺杂情况下,对于 TMG/TEIn 源,  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  的载流子浓度为  $7.2 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ ,最窄光致发光峰值半宽为 18.9meV,转靶 X 光衍射仪测到了量子阱结构的±2 级卫星峰,而对于 TMG/TMIn 源,  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  的载流子浓度为  $3.1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ ,最窄光致发光峰值半宽为 8.9meV,转靶 X 光衍射仪测到了量子阱结构的 ±5 级卫星峰,光致发光测到了由于量子效应使波长随着阱宽的减小而蓝移的现象。

## 参 考 文 献

- [1] I. Suemune, L. A. Coldren, et al., Appl. Phys. Lett., 1988, 53: 1378.

## LP-MOVPE Growth of $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$ Multiquantum Well Structure

Zhu Jintian, Hu Lizhong and Liu Shiyong

(Department of Electronic Science, Jilin University, Chang chun 130023)

**Abstract** The  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  bulk material and  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$  multiquantum well structure materials taking trimethylgallium (TMG)/triethylindium (TEI), TMG/triethylindium (TMIn) and  $\text{AsH}_3$  (100%),  $\text{PH}_3$  (100%) as group III and group V souces were grown by organometallic vapor epitaxy (MOVPE) growth technique at low pressure. The periodicity of the multiquantum well structure has been characterized by X-ray diffractometer, The photoluminescence spectrum is observed at 77K.

EEACC: 0510D, 0520F, 2520D