

# 分子束外延高性能 P 型 GaAs 单晶薄膜

梁基本 孙殿照 陈宗圭 黄运衡 孔梅影

(中国科学院半导体研究所)

1985年7月12日收到

用国产分子束外延设备生长出性能优良、表面平整光洁的 GaAs。不掺杂的 P 型 GaAs 空穴浓度为  $2-8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ，室温迁移率为  $360-400 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。使用国产材料，纯度为 2N5 并经我们“提纯”的 Be 作为 P 型掺杂剂。掺 Be 的 P 型 GaAs 空穴浓度范围从  $1.0 \times 10^{15}$  至  $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。其室温迁移率与空穴浓度的关系曲线与国外文献的经验曲线相符。当空穴浓度为  $1-2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  时，室温迁移率达  $400 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。低温 (77K) 迁移率为  $3500-7000 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。在 4.2K 下对不同空穴浓度的 P 型 GaAs 样品进行了光荧光测量和分析。

## 一、引言

分子束外延生长高纯 GaAs 单晶薄膜及其掺杂是研制 GaAs-AlGaAs 体系的新材料、新器件及物理研究的基础。1979 年 Morkoc 和 A. Y. Cho 报道了不掺杂 P 型 GaAs 的性能有了新的突破，室温空穴浓度和空穴迁移率分别为  $7.8 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  和  $450 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ <sup>[1]</sup>。至今仍为最高水平。Ilegems<sup>[2]</sup> (1977) Ploog<sup>[3]</sup> (1981) 等人报道 MBE GaAs 掺 Be 的电学性质和光学性质的研究工作，其空穴浓度范围为  $10^{16}-10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，使 MBE P 型掺杂工作有了新的进展。1980 年我们在调试协作研制的分子束外延设备过程中生长出 P 型 GaAs 单晶膜，但迁移率低，约为  $100 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ <sup>[4]</sup>。随后对 MBE 设备作了一系列的改进，并完善生长技术和工艺<sup>[5]</sup>，于 1984 年生长出高性能的 P 型 GaAs 单晶膜。

## 二、实验、测量结果及讨论

选择晶角为 (100) 的掺 Cr 半绝缘 GaAs 片作衬底。分子束源材料为高纯的元素 Ga(6N)，As(6N) 和纯度差的 Be(2N5)，分别放在热解氮化硼坩埚内。生长速率约 1 微米/小时，外延层厚度 2—3 微米。

用范德堡法测量 GaAs 样品的载流子浓度和霍尔迁移率。图 1 表示在室温下 P 型 GaAs 薄膜的空穴迁移率与空穴浓度的关系曲线。图中实线为 Wiley 经验曲线<sup>[6]</sup>。将我们生长的 MBE P 型 GaAs 样品所测得的数据与该曲线进行比较：带△号为不掺杂 P 型 GaAs 膜，空穴浓度为  $2-8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ，空穴迁移率  $360-400 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。带○号为掺 Be 的 P 型 GaAs 膜，掺杂浓度范围在  $1 \times 10^{15}-6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，室温迁移率与空穴浓度关系曲线与 Wiley 提出的经验曲线基本相符。当空穴浓度为  $1-2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  时，室温迁移率达  $400 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，低温 (77K) 迁移率为  $3500-7000 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。图 2 表示在不同

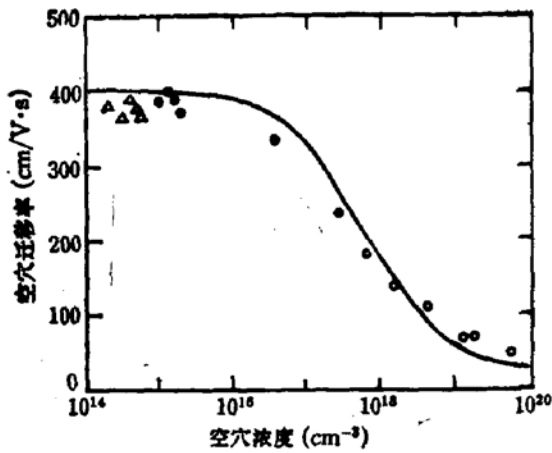


图1 在室温下(300K), P 型 GaAs 的空穴迁移率与空穴浓度的关系曲线.

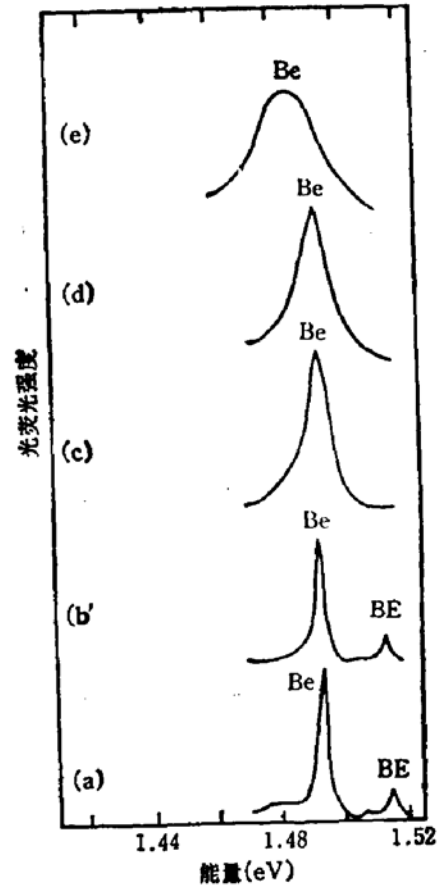


图2 在不同空穴浓度下 MBE 掺 Be P 型 GaAs 的光荧光谱图 (a)  $p = 1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  (b)  $p = 3.3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  (c)  $p = 5.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  (d)  $p = 1.7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  (e)  $p = 6.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$

空穴浓度下 ( $10^{15} - 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ), P 型 GaAs 样品的光荧光谱图. 当空穴浓度分别为  $1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 、 $3.3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $1.7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  和  $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  时, 其相应掺杂能级的荧光谱的半峰宽分别为 5meV、6meV、10meV、12meV 和 30meV. 这表明在重掺杂情况下, 受主能级已不是单独的能级而开始变为能带了.

选择 Be 作为 GaAs 的 P 型掺杂剂, 主要是因 Be 的性质比其他掺杂剂如 Zn、Mg、Ge、Mn 等较为理想, 在掺杂过程中没有反常扩散, 粘附系数为 1, 受主能级较浅 (约 29 meV), 且掺杂范围广 (在我们的实验中约为  $1 \times 10^{15} - 6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , 近五个数量级). 然而选用 Be 也有缺点, 主要是 Be 的蒸汽剧毒, 材料纯度差. 目前国外市场卖的 Be 的纯度为 3N, 主要杂质有 Fe、Al、Cr、Cu 和 Ni. 但实验室用的 Be 纯度较高, 约 3N5 至 5N<sup>[3]</sup>. 我们用的 Be 为上海第二冶炼厂产品, 纯度 2N5, 主要杂质除上述几种元素外, 还有 Mn、Zn 和 Si. 因此掺杂前需经合适的温度下长时间除气, 使有害杂质挥发掉, 否则不但外延层性能差, 而且在重掺杂情况下表面发乌.

本工作得到黄昆、林兰英教授的关心和指导, 李歧旺、曾一平、常永萍参加了实验工作; 王万年、何广平作霍尔测量、陈廷杰作光荧光测量、朱素珍协助衬底材料抛光、在此一并致谢.

## 参 考 文 献

- [1] M. Morkoc and A. Y. Cho, *J. Appl. Phys.*, **50**, 6413(1979).  
[2] M. Ilegems, *J. Appl. Phys.*, **48**, 1279(1977).  
[3] K. Ploog, A. Fischer and H. Kunzel, *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 400(1981).  
[4] 孔梅影执笔, 半导体学报, **2**, 164(1981).  
[5] 孔梅影, 孙殿照, 黄运衡, 梁基本, 陈宗圭, 李歧旺, 半导体学报, **5**, 226(1984).  
[6] J. D. Wiley, *Semiconductors and Semimetals*, **10**, 91(1975).

**MBE Growth of High Quality P Type GaAs Films**

Liang Jiben, Sun Dianzhao, Chen Zonggui, Huang Yunheng and Kong Meiyong

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

**Abstract**

High quality P-type GaAs films have been grown by a home made molecular beam epitaxy system. Undoped GaAs films are found to be P type with free hole concentration  $(2-8) \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  and mobility  $360-400 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  at room temperature. P type GaAs films are doped with Be of 99.5% purity which has been "purified" by the authors. The mobilities as a function of free hole concentrations ranging from  $1.0 \times 10^{15}$  to  $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  are in agreement with the empirical curve at room temperature. P type GaAs films have been measured and studied with photoluminescence at 4.2 K.