

在 700 °C 下液相外延生长的 GaAs、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中镁的掺杂特性

刘宏勋 章 蓓 王舒民 虞丽生

王维义 逄明雪 赵 阳

(北京大学物理系)

1986年1月3日收到

本文报告在 700°C 下液相外延生长的 GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的镁掺杂特性。测量了母液中不同镁的原子比与外延生长的 GaAs, $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 的空穴浓度的关系, 掺镁 GaAs 的空穴浓度与其迁移率的关系以及在 77—300K 温度范围内空穴浓度、迁移率与温度的关系。估算了 700°C 下镁在 GaAs 中的分配系数。

一、引言

在 GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的液相外延生长中最常用的 P 型掺杂材料是锗和锌。但是随着 GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光电器件研究的日益深入, 锗和锌暴露出一些缺点。例如, 锗在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中随 Al 的含量增加, 激活能显著的变大, 难以在室温下得到较高的空穴浓度。锌的高蒸气压使它在液相外延生长中的掺杂不易控制, 它的反常扩散特性使器件性能变坏等。尤其是在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 可见光激光器的制备中, 锗和锌不是理想的 P 型掺杂剂。镁是一种日益为人们重视的 P 型掺杂剂。但是镁在液相外延生长 GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的掺杂特性及其电学性质的研究远不如锗和锌的多。特别是在低温液相外延中的镁掺杂特性研究的更少。我们对 700°C 下液相外延 GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的镁掺杂特性及电学性质做了初步的探索。

二、实验

1. 样品制备

实验采用程序控制卧式液相外延炉和由光谱纯石墨制成的常规水平滑动石墨舟。衬底是掺铬 (Cr) 的半绝缘 GaAs, 晶向为 (100)。用 6 个 9 的高纯 Ga 在 900°C 下烘烤 8 个小时, 本底浓度 $< 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 的 GaAs 单晶作为砷源, 4 个 9 的铝丝、4 个 9 的镁片配制了生长母液。在 770°C 下配源 1 个小时, 然后分别用 1°C/分钟、0.5°C/分钟、0.2°C/分钟的降温速率降到 700°C。用过冷方式生长了不同掺镁量的外延层。生长层的厚度范围为 1.5—3.9 微米。

外延层解理后经过化学染色用扫描电子显微镜测出生长层的实际厚度。

对外延生长的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 样品用光荧光方法测定了 x 值，测量用光源为氩离子激光器，其功率为 1 瓦。

用光刻技术在外延片上刻成霍耳桥形状。然后进行掩蔽蒸镀，合金等工艺制成欧姆接触层。最后通过保护腐蚀作成供测量用的霍耳桥。

2. 电学测量

用典型的霍耳法测量了样品的电学性质。测量条件是：磁场强度为 3300 高斯、测量电流为 0.3—0.8 毫安。在室温(约 302K)下测量了全部含有不同掺镁量样品的空穴浓度和迁移率，并对其中二个样品的空穴浓度和迁移率做了 77—300K 温度范围的测量。

三、结果和讨论

图 1 是 GaAs 的室温空穴浓度和生长母液中的镁原子比的关系。说明用镁掺杂可以容易地获得 10^{19}cm^{-3} 以上的空穴浓度。

表 1 是 $\text{Al}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 的空穴浓度与生长母液中镁的原子比的对照表。证明在 x 值高达 0.53 时也能容易地得到 10^{18}cm^{-3} 以上的室温空穴浓度。

图 2 为从两个含有不同镁原子比生长母液中生长的 GaAs 样品的空穴浓度与温度的

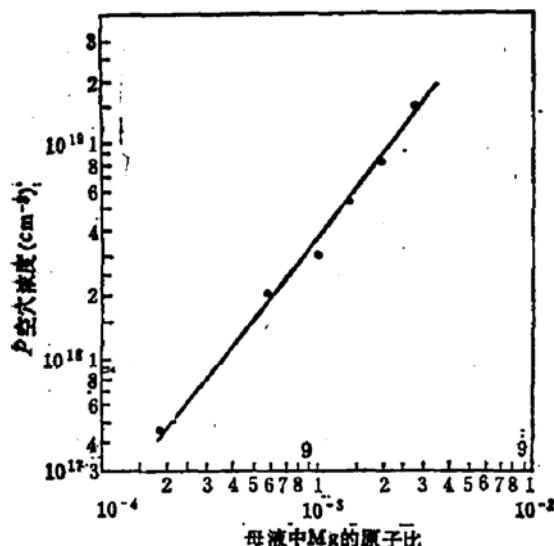


图 1 室温下液相外延生长的掺镁 GaAs 的空穴浓度与生长母液中镁的原子比的关系
GaAs 生长温度为 700℃ 测量温度为 302K

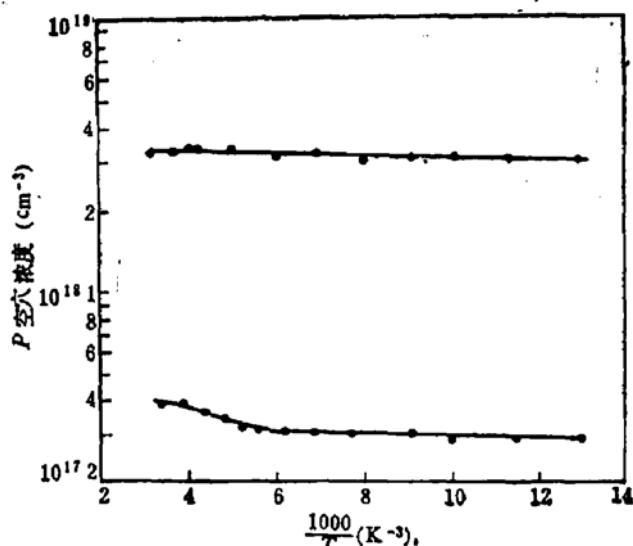


图 2 掺镁 GaAs 空穴浓度与温度的关系
上面的曲线为从含有 1.01×10^{-3} 原子比镁的母液中生长的 GaAs，下面的曲线为从含有 1.9×10^{-4} 原子比镁的母液中生长的 GaAs

表 1 $\text{Al}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 的空穴浓度与母液中镁的原子比的对照表

样 品	母液中镁原子比	$\text{Al}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 中空穴浓度
85-58	5.7×10^{-4}	$6.5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$
85-43	1.6×10^{-3}	$9.0 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$
85-40	2.0×10^{-3}	$1.3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$

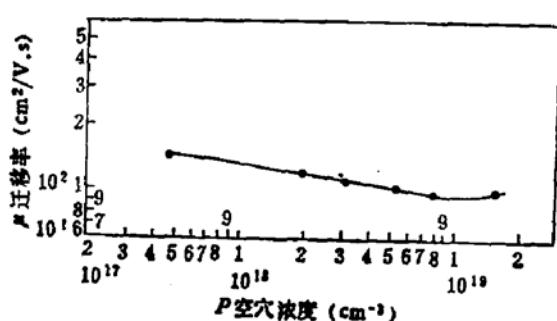


图 3 掺镁 GaAs 迁移率与空穴浓度的关系
掺镁 GaAs 生长温度为 700°C, 测试温度为 302K

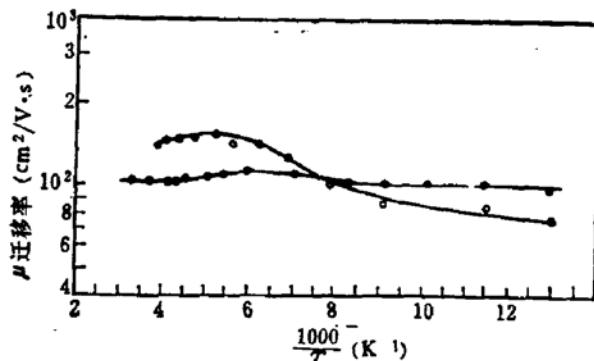


图 4 从具有不同镁原子比的母液中生长的 GaAs 的空穴迁移率与温度的关系.
● 表示掺镁量为 1.01×10^{-3} 原子比的母液生长的 GaAs 的数据. ○ 表示掺镁量为 1.91×10^{-4} 原子比母液生长的 GaAs 的数据.

关系. 表明, 掺杂量较高的样品的空穴浓度基本上不随温度变化. 掺杂量较低的样品在一定的温度下空穴浓度也只有极小的变化说明二个掺杂量不同的样品在室温下空穴浓度都达到饱和, 杂质已处于全电离状态. 因此我们可以用室温下的空穴浓度代替 GaAs 中镁的掺杂浓度, 从而可以估算出在 700°C 下镁在 GaAs 中的分配系数, 约 0.2.

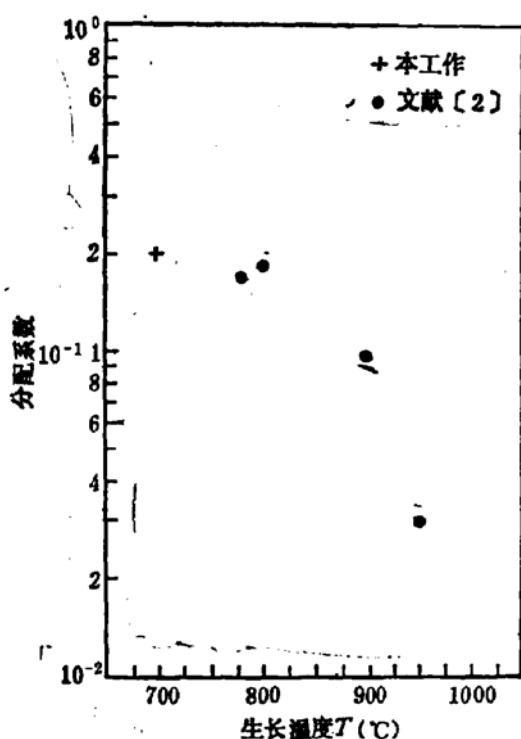


图 5 镁在 GaAs 中的分配系数与液相外延生长温度的关系
● 文献 [2] + 本工作

图 3 表示室温下空穴迁移率与空穴浓度的关系. 空穴迁移率随空穴浓度的增大只有很缓慢的降低. 说明在室温下晶格散射决定了载流子的迁移率. 虽然空穴浓度的增大增加了电离杂质的散射. 但在室温下对迁移率的影响较小.

图 4 表示从具有不同镁原子比的母液中生长的 GaAs 的空穴迁移率与温度的关系对于掺杂浓度较高的样品迁移率的变化不显著. 说明样品中载流子处于简并化状态. 而对于掺杂较低的样品空穴移率在低温下随温度增高而增大, 达到一极值后而下降. 说明在温度较低时以杂质散射为主, 随着温度的升高逐步转化为晶格散射为主的情形. 极值的出现表明了散射机构的转化.

图 6 是我们计算的在 700°C 下镁在 GaAs 中的分配系数与文献 [2] 报道的其它温度下分配系数的比较, 它显示出, 除个别实验点外, 镁在 GaAs 中的分配系数随温度降低而增大.

四、结 论

全部的结果表明镁在 GaAs 中的杂质能级位置较浅. 文献 [3]、[4] 报道小于 30 毫

电子伏。因而室温下镁杂质在 GaAs 中处于全电离状态。

700℃生长时镁在 GaAs 中的分配系数较高于700℃的生长温度有更大的值。这同文献[2]报道的镁在 GaAs 中的分配系数随生长温度降低而增大是一致的。

对于高 x 值的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 掺镁也容易获得较高的室温空穴浓度。

本文在总结中郭长志老师给予了多方面的指导。在工作中得到贾丽敏，赵书来、李惠兰等同志的帮助，在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] S. Mukai, Y. Nakita and S. Gonda, *J. Appl. Phys.*, **50**, 1304(1979).
- [2] 余金中, 岩井莊八, 青柳克信, 半导体学报, **6**, 123(1985).
- [3] D. J. Ashem, P. J. Deam, D. T. J. Hurle, J. B. Mullin and A. M. White, *J. Phys. Chem. Solids*, **36**, 1041(1975).
- [4] R. J. Bennett, *Phys. Chem. Solids*, **23**, 1679(1962).

Properties of Mg Doped GaAs and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Grown by LPE at 700°C

Liu Hongxun, Zhang Pei, Wang Shumin, Yu Lisheng, Wang Weiyi,

Pang Mingxue and Zhao Yang

(Department of Physics, Peking University)

Abstract

Properties of Mg doped GaAs, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ grown by LPE at 700°C are investigated. The hole concentration and mobility of Mg doped GaAs, $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$ have been measured in the temperature range of 77—300 K. The dependence of hole concentration on the composition of Mg in liquid is obtained and the distribution coefficient of Mg in GaAs at 700°C is estimated.