

研究简报

# 氩气氛中高纯 GaAs 的外延生长

林耀望 张彦云 李秀兰 林兰英

(中国科学院半导体研究所)

1983年11月9日收到

采用  $AsCl_3$ -Ga-Ar 系统外延生长 GaAs, 获得了 77K 电子迁移率为  $2.05 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  和峰值迁移率高达  $3.78 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  (在 35K) 的结果。为了比较, 用同一批源材料分别在 Ar 气和  $N_2$  气系统中外延生长 GaAs, 并作了霍尔测量。结果表明, Ar 气系统较有利于制备高纯 GaAs, 尤其是生长厚度较薄的外延层。光致发光研究结果揭示了 Ar 气系统中生长未掺杂外延层的主要残留受主杂质是碳。

首先由 Taylor<sup>[1]</sup> 提出的  $AsCl_3$ -Ga-Ar 外延生长系统, 从原理上来看, 是一个比较理想的气相外延系统, 它有如下优点: (1) 化学热力学分析表明<sup>[2]</sup>, Ar 气系统与  $N_2$  气系统一样, 可以减少来自石英管的硅沾污; (2) 由于 Ar 的原子量比  $H_2$ 、 $N_2$  重, 有利于与反应气体(诸如 GaCl、 $As_4$  和  $As_2$  等)混合均匀, 从而可以改善外延层厚度及电学性质的均匀性; (3) 由于 Ar 气的导热系数比  $H_2$ 、 $N_2$  低, 因而在 Ar 气氛中可以在更低的温度下进行外延生长。C. Hurtes 等人<sup>[3]</sup> 采用 Ar 气系统外延生长 GaAs, 与  $H_2$  气系统相比, 外延层与衬底之间的过渡层显著减薄了, 获得了  $\mu_{77K} = 1.41 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  的结果。

在  $N_2$  气系统生长高纯 GaAs 研究<sup>[4]</sup> 的基础上, 我们开展了 Ar 气系统生长 GaAs 的研究。为了进一步抑制氧沾污, 在  $N_2$  气与 Ar 气中都注入了 1—2% 的  $H_2$  气,  $H_2$  气注入量必须严格控制, 否则将引入硅沾污。为了对 Ar 气系统与  $N_2$  气系统进行比较, 采用相同厂家与相同批量的源材料。反复进行了外延生长实验。Pauw 法电学测量表明, 在 Ar 气系统中生长的 GaAs, 比在  $N_2$  气系统中制备的 GaAs, 电学性质有显著的改善, 典型结果如表 1 所示。在 Ar 气系统中外延生长高纯 GaAs 的重复性是相当好的。在 Ga 源

表 1 在  $N_2$  气系统与 Ar 气系统中, 外延生长 VPE-GaAs 电学性质的比较

系 统	样品号	厚度 ( $\mu\text{m}$ )	$n(\text{cm}^{-3}) \times 10^{16}$		$\mu(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	
			300K	77K	300K	77K
$N_2$	80142	15.0	0.334	0.497	8071	$1.73 \times 10^5$
	81083	15.0	0.780	0.910	8389	$1.78 \times 10^5$
	82041	28.0	0.469	0.500	6853	$1.75 \times 10^5$
Ar	5222(A)	18.0	0.041	0.074	8691	$2.05 \times 10^5$
	5221(A)	16.5	0.152	0.211	8277	$1.97 \times 10^5$
	5214(A)	16.5	0.124	0.293	8865	$1.85 \times 10^5$
	5223(B)	18.0	0.073	0.081	6230	$1.90 \times 10^5$

饱和后,一系列纯度 GaAs 外延生长实验中,  $n_{77K} = 10^{12} - 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ,  $\mu_{77K} = (1.4 - 2.0) \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  的范围内的重现性为 50%。用于进行生长 VPE-GaAs 的高气密性,抗强腐蚀的外延生长装置是高纯的而且十分稳定可靠。用此装置在长达三年多时间的外延生长实验中,可以重复制备  $\mu_{77K} = (1.7 - 2.1) \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  的外延片。

图 1 表示 Ar 气系统与 N<sub>2</sub> 气系统生长的 GaAs 外延层, 77K 电子迁移率与生长温度的关系。由图可见, Ar 气系统所得的  $\mu_{77K}$  比 N<sub>2</sub> 气系统在相应的温度下所得到的结果高。这个结果可能是 Ar 气的纯度比 N<sub>2</sub> 气高, 以及 Ar 气改进了外延层电学均匀性所作的贡献。此外, Ar 气系统可以在比 N<sub>2</sub> 气系统更低的温度下进行外延生长。两者适合于生长高质量的 GaAs 的温度相差大约 15—20℃。显然, 在减少来自反应系统的沾污与衬底的自掺杂、自扩散的影响方面, Ar 气系统比 N<sub>2</sub> 气系统更为有利。

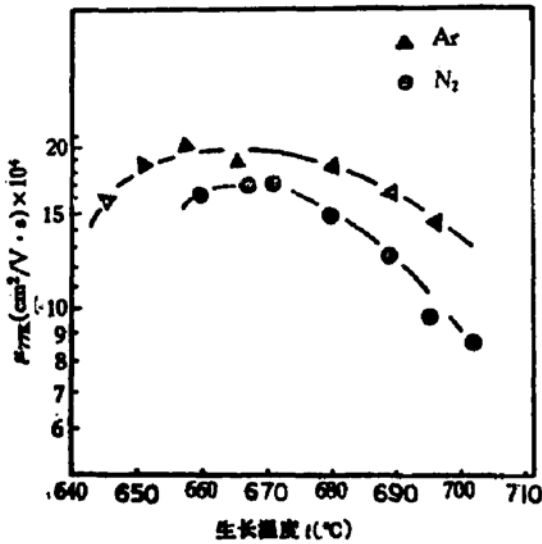


图 1 在 N<sub>2</sub> 气与 Ar 气系统中, VPE-GaAs 的电子迁移率  $\mu_{77K}$  与生长温度的关系

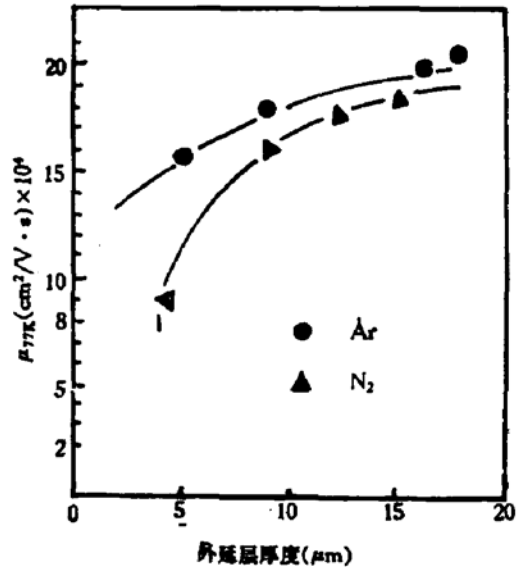


图 2 在 N<sub>2</sub> 气与 Ar 气系统中生长的 GaAs, 电子迁移率  $\mu_{77K}$  随外延层厚度的变化

图 2 表示两种不同的外延系统中生长的高纯 GaAs, 77K 电子迁移率与外延层厚度的关系。由图可见, Ar 气系统中生长的 GaAs 的电子迁移率  $\mu_{77K}$  随外延层厚度变化的曲线较为平缓, 而 N<sub>2</sub> 气系统则较为陡峭。显然, 对于制备厚度较薄的外延层, Ar 气系统比 N<sub>2</sub> 气系统具有明显的优越性。在 Ar 气系统中生长的外延层厚度  $d \leq 10 \mu\text{m}$  的电学性质如表 2 所示。

对 Ar 气系统生长的 GaAs 作了变温霍尔测量。结果表明, 样品 5222(A) 在 35K 下,

表 2 在 Ar 气系统中, 外延生长厚度  $d < 10 \mu\text{m}$  的 GaAs 电学性质

样品号	厚度 (μm)	$n(\text{cm}^{-3}) \times 10^{14}$		$\mu(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	
		300K	77K	300K	77K
4914(A)	3.0	3.620	3.540	8156	$7.94 \times 10^4$
5614(A)	5.0	—	0.533	—	$1.57 \times 10^5$
5613(A)	9.0	0.281	0.622	8731	$1.70 \times 10^5$
5613(B)	9.0	0.672	0.949	8182	$1.69 \times 10^5$

峰值迁移率为  $3.78 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ , 而厚度为  $18 \mu\text{m}$ . 在  $\text{N}_2$  气系统中<sup>[4]</sup>, 最好的数据是样品 1310(B), 外延层厚度为  $29 \mu\text{m}$ , 在 41K 下, 峰值迁移率为  $3.76 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ .

用离子探针质谱分析仪测量了  $\text{H}_2$  气,  $\text{N}_2$  气和 Ar 气系统中外延生长的 GaAs. 结果表明,  $\text{H}_2$  系统中生长的 GaAs 的硅含量相当高, 而在 Ar 气系统中制备的 GaAs, 与  $\text{N}_2$  气系统一样, 硅沾污显著地减少. 对 Ar 气系统生长的未掺杂外延层作了光致发光测量 (在 4.2K). 结果表明, 外延层中主要残留受主杂质是碳, 典型结果如图 3 所示.

本工作所用的源材料, 得到北京有色金属研究总院黎宝良的支持与帮助; 电学测量方面得到徐寿定, 李瑞云的帮助; 光学测量方面得到陈廷杰、吴灵犀等的帮助. 梁骏吾对本工作提出了宝贵意见, 作者在此表示深切感谢.

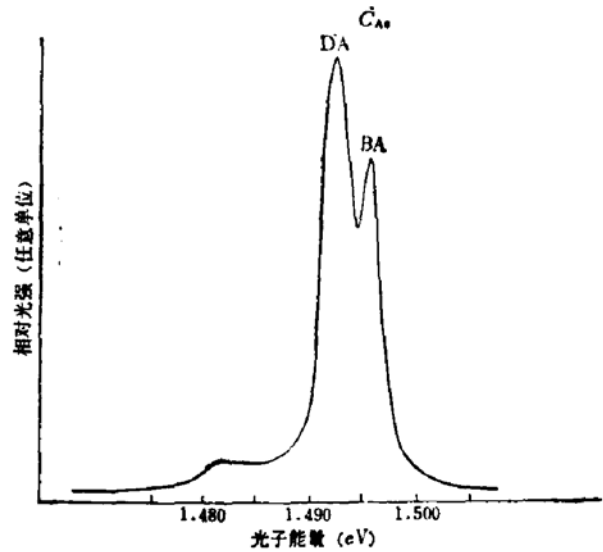


图3 在 4.2K 下, Ar 气系统生长的 GaAs 光致发光谱线

### 参 考 文 献

- [1] R. C. Taylor, *J. Electrochem. Soc.*, 114, 410 (1967).
- [2] O. Mizuno and H. Watanabe, *J. of Crystal Growth*, 30, 240 (1975).
- [3] Ch. Hurtes, L. Hollan and M. Boulou, *Inst. Phys. Conf. Ser.*, No. 45, 342 (1979).
- [4] Lin Lanying, Lin Yaowang, Zhong Xingru, Zhang Yanyun and Li Hsiulan, *J. of Crystal Growth*, 56, 344 (1982).
- [5] 林耀望、钟兴儒、张治平,《仪表材料》, No. 2, 55(1980).

## Epitaxial Growth of High Purity GaAs in An Argon Atmosphere

Lin Yaowang, Zhang Yanyun, Li Xiulan and Lin Lanying  
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

### Abstract

High purity VPE-GaAs was prepared with the  $\text{AsCl}_3$ -Ga-Ar system. The epilayer with  $\mu_{77\text{K}} = 2.05 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  was obtained and the peak mobility was as high as  $3.78 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  at 35 K. For the sake of comparison GaAs was grown in Ar system and also in  $\text{N}_2$  system with the same batch of start material. Hall measurements showed that Ar system is more suitable for the preparation of high purity GaAs, especially for the growth of thinner epilayers. Photoluminescence measurements showed that the dominant residual acceptor impurity is carbon.