

LPE-GaAs 中残留杂质的研究*

林兰英 方兆强 周伯骏 朱贻珍 向贤碧 吴让元

(中国科学院半导体研究所)

众所周知,在氢气氛中进行 LPE-GaAs 生长时,对镓溶液作长时间的热处理,以便排除氧沾污是提高外延层纯度的重要工艺措施^[1]. 但是我们发现^[2],随着镓溶液处理温度的提高,外延层的电子浓度会逐渐下降,然后转为 P 型材料(见图 1),存在着一个型号转变的温度. 在比转变温度稍低一些的温度下处理溶液,所得到外延层的迁移率(77K) 较好. 对于所得的 N 型和 P 型样品做了 77K 下的光荧光谱测量^[3]以及 4.2K 至 400K 下的变温霍尔测量^[4]. 光荧光谱测量的结果表明:无论是 N 型还是 P 型样品的光谱,在主峰(与浅施主有关的跃迁所引起)附近都存在着与 Si_{As} 和 C_{As} 浅受主有关的荧光峰. 而且随着处理温度的提高,这些峰的相对强度会增加, P 型样品中这些峰最强(见图 2). 变温霍尔测

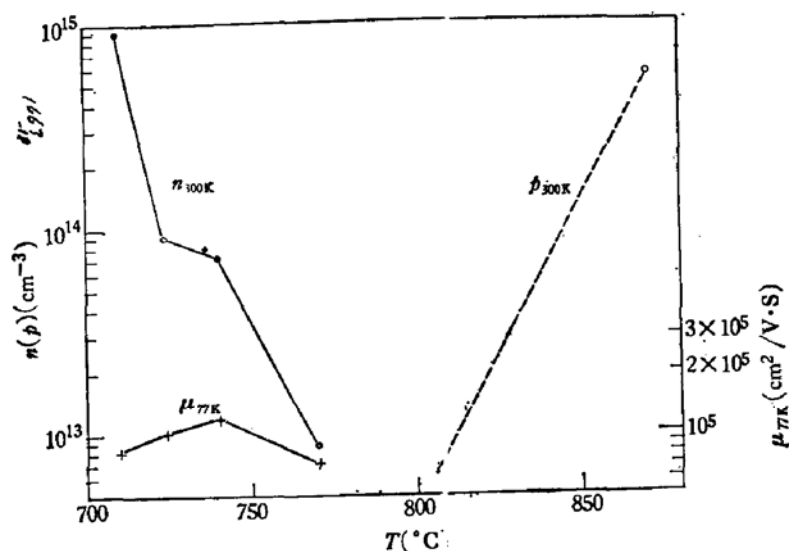


图1 生长层性质与溶液处理温度的关系

量的结果表明,采用石英舟生长的 P 型样品的受主激活能为 30meV, 可以认为受主是 Si_{As} 的贡献. 根据上述结果,我们认为 LPE-GaAs 中的氧沾污可以通过对镓溶液作长时间的热处理加以排除,但同时会由于系统内各组元 (H₂、SiO₂、Ga 及 C 等) 之间的热化学反应引入 Si、C 等受主的沾污. 两种沾污的排除或防止存在着一定的矛盾.

根据实验结果,我们考虑在 LPE-GaAs 中的主要残留杂质是氧和硅. 为了获得纯度和迁移率更高的 GaAs 外延层,有必要探索一种改进的溶液处理方式,它应能有效地排除

* 1980 年 6 月 27 日收到.

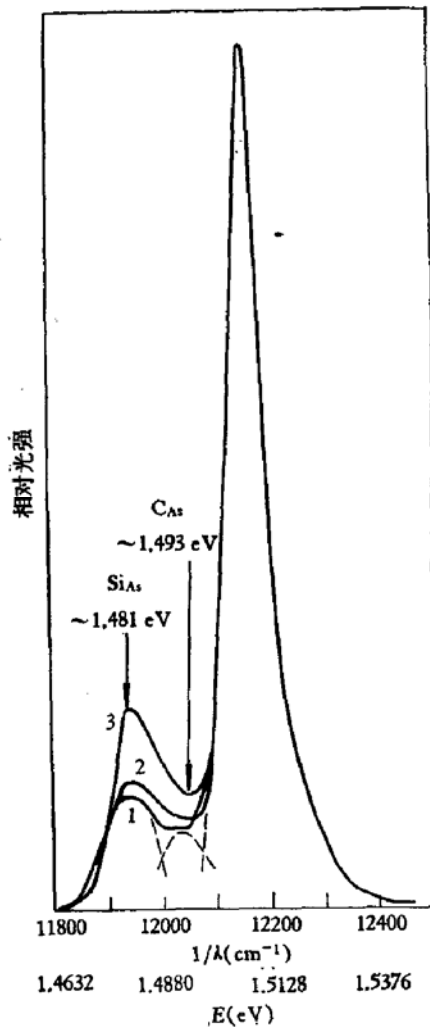


图2 溶液处理温度不同的三个样品的光荧光谱 (77K) 的比较

样品号	处理温度℃	载流子浓度 cm^{-3}
①	710	$n = 9.2 \times 10^{14}$
②	770	$n = 8.74 \times 10^{14}$
③	870	$p = 5.44 \times 10^{14}$

氧沾污,而又能减少硅沾污,使两者都处在较低的水平。

我们知道,在氢气纯度足够高的情况下,液相外延过程中的氧沾污主要来自镓中的氧化物和开管时系统内吸附的水份。我们摸索了能有效的去除镓中的氧化物,并排除系统内水份的溶液处理条件,它可以兼顾达到降低氧沾污和减少硅沾污的目的。一般认为,进入 LPE-GaAs 中的杂质通常分为两步,杂质首先通过物理和化学沾污的途径进入溶液,然后再通过固液界面处的分凝作用进入外延层。杂质的分凝系数除受晶向和生长速度影响之外,还会受氢气中砷分压的影响^[5],因此为提高外延过程中氢气内的砷分压,我们在生长溶液的上游放置了 GaAs 源片(其温度与生长溶液温度相同)。

采用改进后的工艺,我们可以较重复地获得电子浓度为 $10^{13} - 10^{14} \text{cm}^{-3}$, 室温迁移率为 $8500 - 9100 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$, 液氮温度迁移率为 $1.5 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 的高纯 LPE-GaAs。最好的结果是:

$n_{285\text{K}} = 3.97 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$, $\mu_{285\text{K}} = 11500 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 以及 $\mu_{77\text{K}} = 1.95 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ (见表1)。而以往工艺生长的 LPE-GaAs, 其电子浓度在 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 以上,较好的液氮温度迁移率为 $(1.2 - 1.3) \times 10^3 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 。从而说明改进的工艺对提高 LPE-GaAs 的纯度是有效的。

影响 LPE-GaAs 纯度的因素可以考虑很多,诸如石英、镓、砷化镓以及氢气等原材料的纯度,

表1 高纯 LPE-GaAs 的电学性质

样 品 号	电子浓度 $n(\text{cm}^{-3})$		迁移率 $\mu(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	
	室 温*	77K	室 温*	77K
106	2.05×10^{13}	3.48×10^{13}	8200	1.54×10^3
211	9.28×10^{13}	1.08×10^{14}	8440	1.47×10^3
213	5.64×10^{13}	6.67×10^{13}	8900	1.56×10^3
317	7.8×10^{13}	8.5×10^{13}	8560	1.50×10^3
320	1.67×10^{14}	1.87×10^{14}	9100	1.48×10^3
326	4.15×10^{13}	6.42×10^{13}	9100	1.53×10^3
439	4.14×10^{13}	5.26×10^{13}	9130	1.60×10^3
325	3.92×10^{13}	5.16×10^{13}	11300	1.74×10^3
318	—	2.8×10^{13}	—	1.80×10^3
321	—	5.5×10^{13}	—	1.87×10^3
322	2.33×10^{13}	3.43×10^{13}	10700	1.90×10^3
324	3.97×10^{13}	5.17×10^{13}	11500	1.95×10^3

* 测量时室温在 285K 至 290K 之间

外延系统的气密性以及清洁处理时的各种沾污,对于这些因素我们在实验中给予了足够的重视。但是通过以上的结果我们可以认为,在原料纯度、设备性能以及清洁处理等条件固定的情况下,外延工艺过程中引入的氧和硅沾污的多少,是影响 LPE-GaAs 纯度的主要因素。此外,由表 1 看出,一些样品的室温电子迁移率已经接近理论值(理论上 $\mu_{300K} = 10400\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$),说明在这些样品中除了晶格散射和离化杂质散射之外,其它诸如空间电荷散射或迁移率量子手等影响迁移率的因素是可以忽略的。

参 考 文 献

- [1] Otsubo, M. et al., *Japanese. J. A. P.* **12**, 797 (1973).
- [2] 中国科学院半导体所纯度液相外延小组,工作报告(1979).
- [3] 陈廷杰和孙伯康,半导体所工作报告(1979).
- [4] 徐寿定,半导体所工作报告(1979).
- [5] Otsubo, M. and Miki, H., *Jap. J. A. P.*, **14**, 621 (1975).

A STUDY OF THE RESIDUAL IMPURITIES IN LPE-GaAs

Lin Lanying, Fang Zhaoxiang, Zhou Bojun

Zhu Suzhen, Xiang Xianbi and Wu Rangyuan

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences)