

不同气氛中生长 VPE-GaAs 的深中心

王健强[†] 吴孝慎 李名复

(中国科学技术大学研究生院)

林 耀 望

(中国科学院半导体研究所)

1984 年 12 月 28 日收到

应用 DLIS 方法分别对于在氩气、氮气和氢气气氛下生长的 n 型 VPE-GaAs 材料中形成的深缺陷能级做了研究并进行了比较。由比较结果说明,氩气氛下生长的 VPE-GaAs 材料,较之其它条件相同但在氮气和氢气气氛下生长的 n 型 VPE-GaAs 材料,具有较低浓度的深能级。并且预计 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-Ar}$ 系统^[1]在制做 GaAs 器件方面具有优越性。

一、引 言

在文献[1]中,报道了由于采用 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-N}_2$ 系统生长高纯 GaAs 材料,成功地抑制了由于石英反应器所引起的硅污染,同时获得了外延层厚度为 $29\mu\text{m}$, 以及在 41K 下峰值电子迁移率为 $3.76 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{v.s}$ 的结果。又文献[2]指出:采用 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-Ar}$ 系统在制备高电子迁移率方面具有更大的优越性,即获得了外延层厚度为 $18\mu\text{m}$, 在 35K 下峰值电子迁移率为 $3.78 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V.s}$ 的结果。总之,目前对于 VPE-GaAs 材料,在降低或控制浅能级杂质,提高电子迁移率方面已有了一些成效,然而对于 VPE-GaAs 材料中的深能级缺陷方面却研究得较少,但深能级缺陷对于 GaAs 器件的性能却有着非常重要的影响^[3]本文介绍了采用 C-V 方法以及 DLTS 方法^[4],对于在三种不同系统,即 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-Ar}$ (以下称 Ar 系统), $\text{AsCl}_3\text{-Ga-N}_2$ (以下称 N_2 系统), 以及 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-H}_2$ (以下称 H_2 系统),也就是三种不同气氛中生长的 n 型 VPE-GaAs 材料的载流子浓度和深能级所进行的研究,同时,对于减少深能级浓度的外延生长条件做了一些探索。

二、测量方法和测量系统

C-V 测量用 Boonton 72B 电容电桥和计算机控制的偏压测量系统,如图 1 所示。由计算机通过 HP59313A D/A 转换器控制了 JWY-30E 稳压电源对样品施加不同的偏压,通过 Boonton 72B 电容电桥测得样品的电容值由数字电压表 HP3456A 读出记入计算机,通过计算机处理后,再由打印机 HP2671G 做出图表来。

[†] 本文主要内容为王健强同志在中国科学技术大学研究生院所作硕士论文的部分工作。

由公式 $n = \left(-\frac{C^3}{q\epsilon_0 K_s A^2} \right) \left(\frac{dV}{dC} \right)$ 可求出载流子浓度 n 来。其中, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ 库

仑, 电子电荷的绝对值; $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/M, 是真空介电常数; $K_s = 13.18$, 是 GaAs 材料的相对介电常数; A 是半导体 P+N 结的结面积, C 是结电容值, V 是反向偏压值。

JWY-30E 稳压电源提供样品反向偏压, 用自制的脉冲信号源对样品进行激励, 样品的电容变化由电容电桥 Boonton72B(05A 型) 测出后送入 PAR-186A 外差式锁相放大器。由于激励信号脉冲引起的电容电桥的过载, 需要 $200\mu s$ 以内的恢复时间, 所以在电桥

Boonton 72B 输出之后插入一个自制的模拟开关及取样保持电路从截掉由于激励脉冲引起的起始 $200\mu s$ 过载恢复信号。锁相放大器输出及样品测试温差电偶分别送至 LZ3-104 型记录仪的 Y 端和 X 端。锁相放大器的输出 DLTS 的信号用文献 [5] 的方法进行处理。文献 [5] 忽略了高奇次傅里叶分量对锁相放大器的贡献, 这对结果有些小影响。

我们测量了三个样品系列, 即分别在 Ar 气系统, N_2 气系统和 H_2 气系统中生长的 GaAs 外延片系列。系统装置及生长条件详见文献 [1, 2] 的报道。无论是 Ar 气、 N_2 气, 还是 H_2 , 都经过了惰性气体纯化器, 使其氧含量小于 0.1ppm, 露点低于 $-70^\circ C$, 在 Ar 气和 N_2 气系统中掺入 1—2% 的氢气进一步降低氧含量。

样品生长条件如下: Ga 源温度 $816^\circ C$, 衬底温度 $640-670^\circ C$, 在沉积带上的温度梯度 $8.5^\circ C/cm$, 通过 $AsCl_3$ 球体的 N_2 和 Ar 气的流率为 $70-120 cc/min$ (对 H_2 气是 $280 cc/min$) 直到耗尽。衬底采用由水平 Bridgman 方法生长的, 向 (110) 偏离 (100) 6° 的掺铬

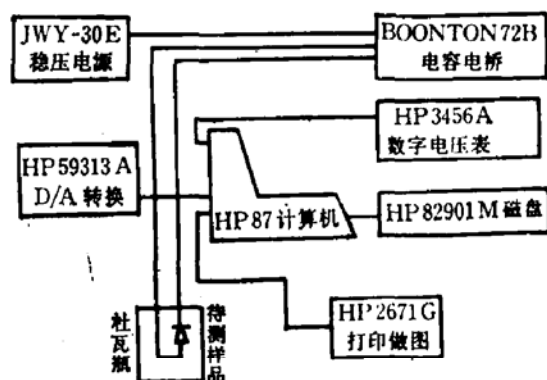


图1 C-V 测试系统

表1 样品生长条件及测量结果

样品序号*	生长温度 ($^\circ C$)	外延层厚度** (μm)	载流子浓度 n (cm^{-3})	$E_1 = E_c - 0.46$ eV 深能级 E_1 的 浓度(cm^{-3})	$E_{11} = E_c - 0.70$ eV 深能级 E_{11} 的 浓度(cm^{-3})	$EL2 = E_c - 0.82$ eV 深能级 EL2 的浓度 (cm^{-3})
H1	720	22.5	3.81×10^{15}	6.31×10^{13}		7.85×10^{13}
H2	680	27	7.15×10^{15}			1.43×10^{14}
H3	653	33	5.1×10^{15}	6.60×10^{13}	1.03×10^{14}	1.69×10^{14}
N1	741	4.5	6.4×10^{16}			4.8×10^{13}
N2	728	8	3.31×10^{16}			6.62×10^{13}
N3	701	13.5	1.36×10^{16}			6.80×10^{13}
N4	677	21	1.24×10^{16}		4.58×10^{13}	2.16×10^{14}
N5	645	35	7.44×10^{15}	2.41×10^{14}	9.94×10^{14}	
A1	728	6	4.3×10^{16}			1.4×10^{13}
A2	711	9	3.6×10^{16}			6.5×10^{13}
A3	701	16.5	7.26×10^{15}	3.90×10^{13}		7.35×10^{13}
A4	652	22.5	4.27×10^{15}	1.35×10^{14}	3.14×10^{14}	9.39×10^{13}
A5	640	25.7	1.59×10^{15}		8.54×10^{14}	

* H_2 , N_2 , A 序号样品分别为在 H_2 , N_2 , Ar 气氛下生长的样品。

** 生长时间 45 分钟。

半绝缘 GaAs 单晶.

样品制作条件如下: 在样品正面蒸金做成 $\phi = 0.8\text{mm}$ 的 GaAs-Au 肖特基结, 样品背面蒸上 AuGeNi 合金形成良好的欧姆接触. 做成的肖特基二极管必须具有很小的反向漏电和正向串联电阻.

三、实验结果和讨论

表 1 列出了三个系列样品的生长条件以及对应的载流子浓度, 深能级浓度和位置.

图 2 中的 a、b、c、d 分别给出了载流子浓度 n , 主要能级 EL2 浓度, E_{II} 浓度, 以及外延生长速度和生长温度之间的关系.

图 3 表示了 E_{II} 峰也即文献 [6] 所说的 B 峰从无到有的情况. 曲线 I 表示生长温度

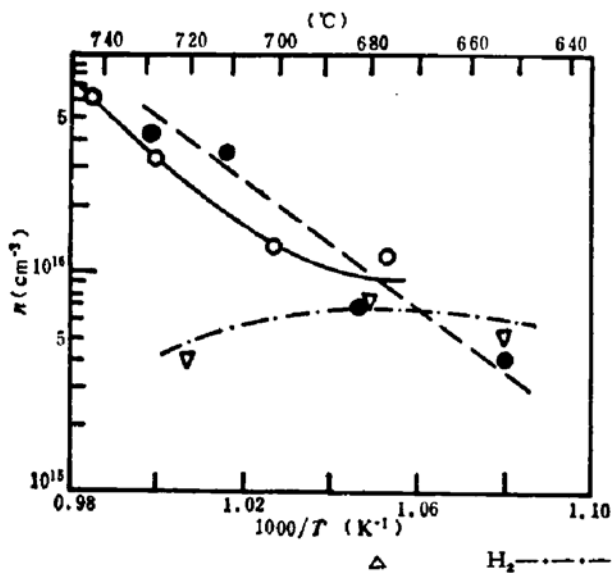


图 2a 载流子浓度 n 与外延生长温度的关系

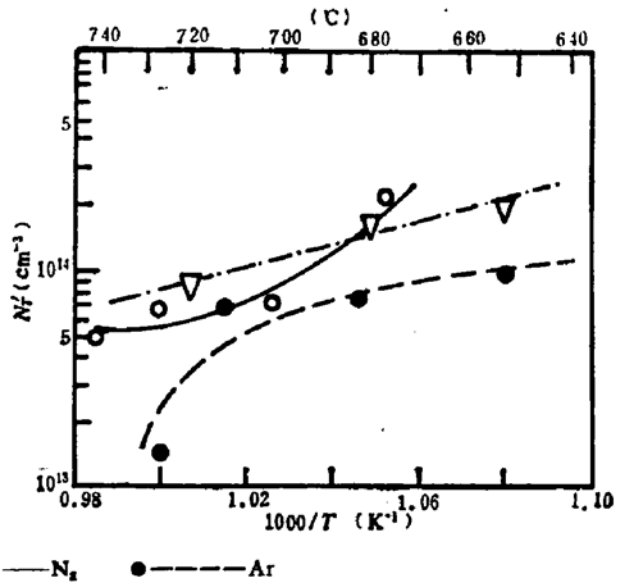


图 2b 深能级 EL2 浓度 N_T 和外延生长温度的关系

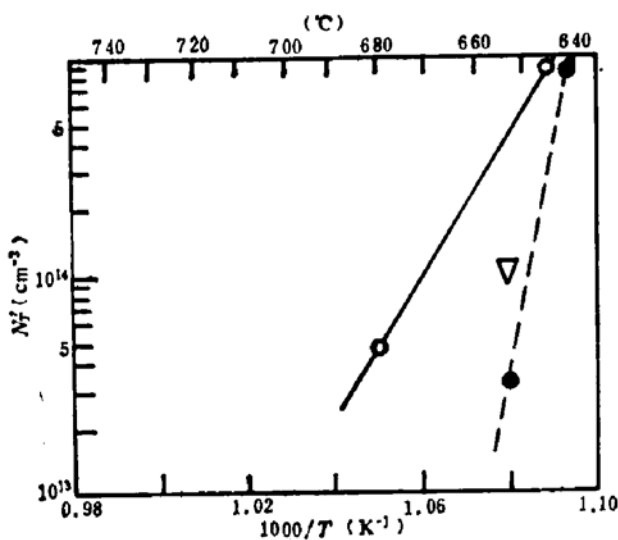


图 2c 深能级 E_{II} 浓度 $N_{T'}$ 和外延生长温度的关系

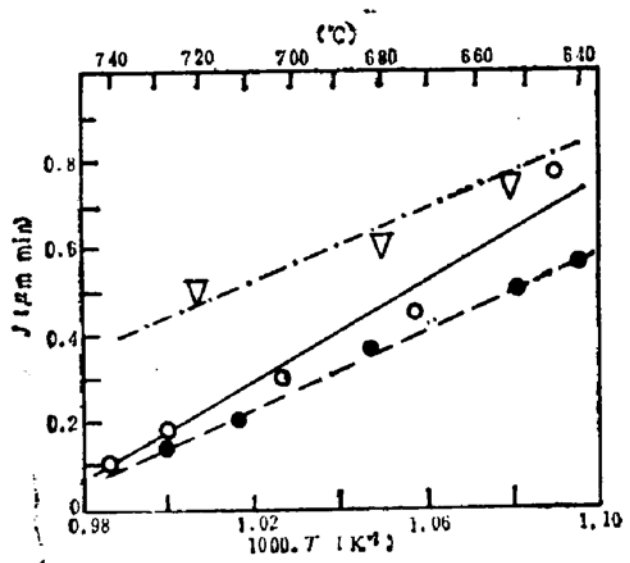


图 2d 外延生长速度 v 和生长温度的关系

高时, E_{II} 峰并未出现, 而曲线 II 则表示了对应低生长温度时 E_{II} 峰出现并迅速高过 EL2 峰的情况。

图 4 表示了测量所得 $\ln \frac{f}{T^2} - \frac{1000}{T}$ 关系曲线, f 是脉冲频率(相当于率窗), T 是扫描温度。由各直线斜率可定出 $E_I, E_{II}, EL2$ 能级。

经分析综合, 归纳以下几点:

1. 随生长温度的升高, 生长速度降低, 载流子浓度升高。这与文献 [6] 报道的结果相符合。

2. 在相同温度下, Ar 气系统的外延生长速度较低, N_2 次之, H_2 气系统最高。

3. 在各种生长条件下, 均测到导带下 0.82eV 左右的深能级, 对应文献 [7, 8] 中的 EL2 深能级。它在大多数情况下是最主要的一种深能级, 其浓度随生长温度的升高而降低, 这与文献 [6] 所报道的在 N_2, H_2 气系统中

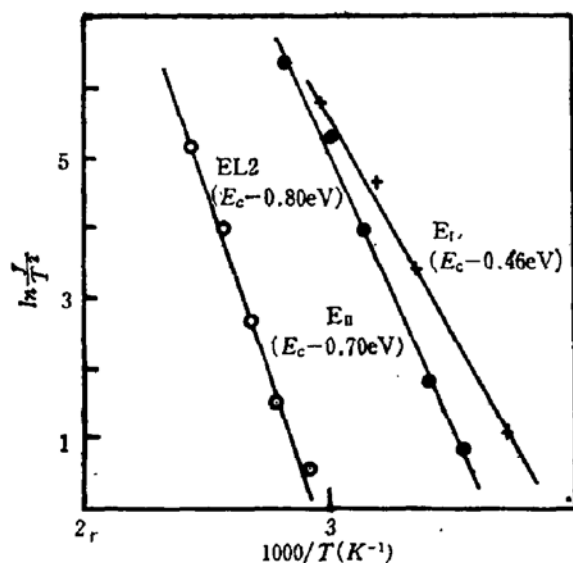


图 4 n 型 VPE-GaAs 材料中测得的三个深能级和温度的关系。

且也随生长温度的降低而升高。由此知, 在测量中共测到三个深能级 EL2、 E_{II} 和 E_I (见图 4)。

综上所述, $AsCl_3$ -Ga-Ar 系统生长的 VPE-GaAs 的深能级缺陷浓度比 $AsCl_3$ -Ga- N_2 系统和 $AsCl_3$ -Ga- H_2 系统生长的 VPE-GaAs 之深能级缺陷浓度低些, 结合迁移率的比较^[10] 说明若采用 Ar 气系统生长的 GaAs 材料来制做半导体器件, 将比采用其它系统生长的 GaAs 材料来制做半导体器件具有更大的优越性, 这点已在霍尔器件的应用方面得到了证实。

本工作得到中国科学院半导体所林兰英先生及梁俊吾同志的大力支持。半导体所张进昌同志在样品的肖特基结制做方面给予了许多帮助和指导。科大研究生院的白光同志

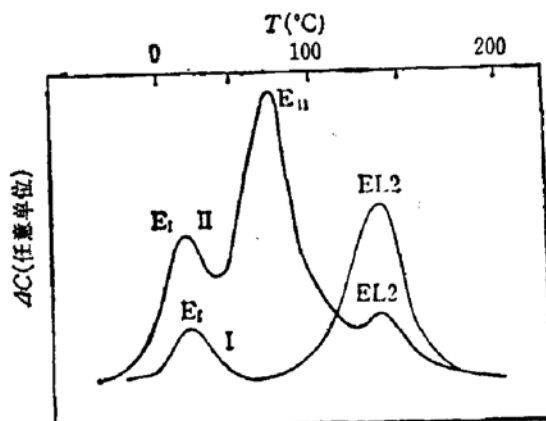


图 3 E_{II} 峰从无到有的情况

曲线 I: n-VPE GaAs, 样品号 A₃, 生长温度 682°C

曲线 II: n-VPE GaAs, 样品号 A₄, 生长温度 652°C

生长的样品规律一样。比较之系统的结果可知, 在其它条件相同的情况下, Ar 气系统生长的 GaAs 中 EL2 缺陷能级浓度比 N_2 气系统和 H_2 气系统要低。

4. 在三个系列的样品中, 当生长温度低于 650—670°C 时, 均开始出现导带以下 0.70 eV 的另一深能级 E_{II} , 对应文献 [6] 所报道的 B 能级, 它的温度随生长温度降低而急剧增大, 很快超过 EL2 能级而成为主要能级 (见图 3)。

5. 除发现 EL2、 E_{II} 能级外, 还在三个系列中均测到导带以下 0.45—0.48 eV 的另一深能级 E_I , 对应文献 [6, 7] 中的 EL5 (0.42 eV) 和 EIL (0.43 eV) 能级, 它们的浓度一般较低, 而

提供了 C-V 测量所用的计算机程序。在此谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Lin Lanying, Lin Yaowang, Zhong Xingru, Zhang Yanyun and Li Hsiulan, *J. Crystal Growth*, 56, 344 (1982).
- [2] 林耀望, 张彦云, 李秀兰, 林兰英《半导体学报》5, 548(1984).
- [3] Zylbersztejn *et al.*, *Physica*, 44, 117 (1983).
- [4] D. V. Lang, *J. Appl. Phys.*, 45, 3023 (1979).
- [5] D. S. Day, M. Y. Tsai, B. G. Streetman and D. V. Lang, *J. Appl. Phys.*, 50, 5093 (1979).
- [6] M. Ozeki, J. Komeno, A. Shibatomi and S. Ohkawn, *J. Appl. Phys.*, 50, 4808 (1979).
- [7] G. M. Martin, A. Mitonneau and A. Mircea, *Electronics Lett.*, 13, 191 (1977).
- [8] A. G. Milnes, "Impurities and Defects Levels in GaAs", in *Advance in Electronics and Electron Physics*, 61, 63 (1983).
- [9] 林耀望, 张彦云, 李秀兰, 《半导体所工作报告》, (1984).
- [10] Lin Yaowang, Zhang Yanyun, Li Hsiulan, Liang Junwu and Lin Lanying, *J. Crystal Growth*, (will be published soon)

Deep Centers in VPE-GaAs Grown in Different Atmospheres

Wang Jianqiang, Wu Xiaoshen, Li Mingfu

(Graduate School, University of Science and Technology of China)

and Lin Yiaowang

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

By DLTS measurements, deep levels in n type VPE-GaAs are investigated systematically for epitaxial layers grown in different atmospheres. By comparing the results of our experiments, it is found that the n type VPE-GaAs grown in Ar atmosphere has lower concentration of deep levels than those grown in N₂ atmosphere or H₂ atmosphere. Comparing the mobility measurements reported in our previous work, it is suggested that the AsCl₃-Ga-Ar system is a possible candidate for the production of high quality devices.