

用离子集团束技术在 Si 上 外延生长 GaAs

余怀之 吕玉林 刘建平 冯德伸

(北京有色金属研究总院 北京 100088)

摘要 本文描述了用一种新的离子集团束技术在较低的温度下在 Si 衬底上外延生长 GaAs 的初步实验结果。实验表明: As⁺ 离子束轰击对于去除 Si 上自然氧化层是有效的, 在衬底温度为 550°C 得到 GaAs 单晶。

PACC: 6855, 0720M, 8160

1 序 言

离子团束技术^[1,2]有其独特的优点, 离子团带有能量, 折合到每个原子上的能量仅为几个到几十个电子伏, 因此, 提高了沉积原子的表面迁移率, 增强了粘附系数。因而, 提高了表面质量, 降低了外延生长温度。由于沉积束中电荷的存在, 一个奇妙的特性是能自动调整介面晶格失配, Al 和 Si 的晶格失配为 24%, 用原子分辨的 TEM (分辨率为 0.16 nm) 检查表明, Al(111)//Si(111) 界面是突变而没有过渡层, Al 层单晶结构完整。

离子集团束技术是一种很有前途的薄膜生长技术。本文描述了用离子集团束沉积技术在较低的 Si 衬底温度下外延生长 GaAs 的一些实验结果。

2 实验装置和实验程序

本实验装置是由一台 DM-450 型镀膜机改装而成。图 1 表示了装置结构示意图。原材料 Ga 和 As 分别装入两个石墨坩埚中, 采用石墨加热器, 在两个坩埚盖中心有 1 × 1 mm 的小孔 (喷射咀)。在 As 坩埚上方放置离化器, 电子束流强度 0—120mA, 阳极电压 0—500V, 离化器阳极和石墨托间偏置 0—10kV 高压, 为便于操作, 石墨托上为负高压, 石墨托用钨灯加热, 温度为 500—600°C, Si 样品固定在石墨托上。钟罩及底盘均通水冷却, 系统采用带有液氮冷阱的油扩散泵, 防止油分子进入系统。

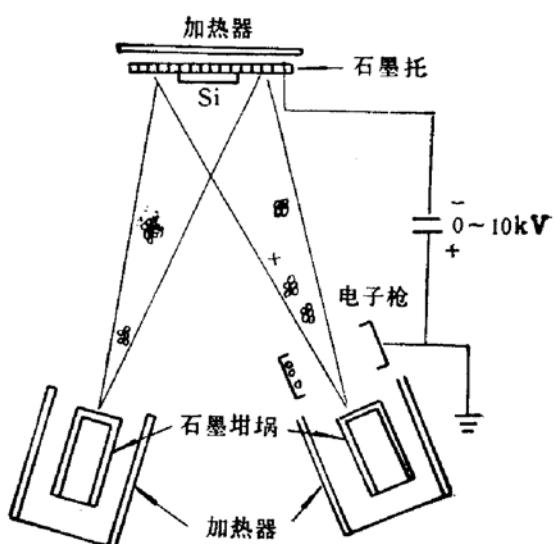


图 1 ICB 沉积装置结构示意图

实验程序: Si(111) 抛光片先用 $H_2O_2:NH_4OH:H_2O = 2:1:6$, 溶液在 70—80℃ 腐蚀 10', 去离子水冲洗, 再用 $H_2O_2:HCl:H_2O = 2:1:6$ 溶液在 70—80℃ 腐蚀 7', 去离子水冲洗, 装炉前用 HF 漂洗 20''. 由于拆装样品过程中石墨构件和其他部件吸附了大量空气和水汽, 在沉积实验开始前, 系统必须经过反复加热烘烤, 直到烘烤过程中系统压力基本不变。烘烤时 Si 样品用挡板密封遮盖, 防止有害杂质蒸发到 Si 表面。沉积实验分两步: 先用 As^+ 离子集团束对 Si 表面进行溅射腐蚀 0.5 小时, 再加热 Ga 坩埚开始沉积。

3 实验结果和讨论

系统本底压力为 1.5×10^{-4} Pa, 沉积过程中压力为 $3-4 \times 10^{-4}$ Pa. 仅 As 束通过离化器电离。实验条件是: As 坩埚温度为 310℃, 离化器电子束流 80—100 mA, 阳极电压 500 V, 加速电压 3 kV, 衬底保持 550℃, As^+ 束轰击半小时后, Ga 坩埚升温到 1250℃, 开始沉积, 沉积时间 2 小时。

当 Ga 坩埚温度高于 1340℃ 时, GaAs 表面颜色呈现灰色, 且粗糙不平。当温度为 1000℃ 时, Si 表面上基本没有 GaAs 沉积层。在 1340℃ 的高温下, Ga 坩埚中的饱和蒸汽压约为 1.5Pa, 几乎和 As 坩埚中 As 的蒸汽压相同, 沉积层中 Ga 量过多, 扫描电镜的分析证明了这点, 特别是 Ga 坩埚中存在轴向温度梯度, 且底部温度高于顶部时, 则从喷射口出来的不只是 Ga 原子气体, 而且混有 Ga 液滴, 因而造成了 GaAs 层表面粗糙不平。图 2 (见图版 I) 是该样品的显微照像, 可以看出有很多小丘。当 Ga 坩埚温度为 1000℃ 时, 坩埚中的饱和蒸汽压约为 1.5×10^{-4} Pa, Ga 原子蒸汽密度仅为 $6 \times 10^{14} cm^3$, 因此提供的 Ga 原子数太少。

去掉 Si 表面自然氧化层是 Si 上生长 GaAs 首先要解决的问题, 在 MBE 中则是在超高真空($10^{-7}-10^{-8}$ Pa)下高温热解吸去掉 SiO_2 的, 而在较低真空 $10^{-5}-10^{-6}$ Pa 热解吸是无效的, 我们用 As^+ 离子集团束, 对 Si 表面进行溅射腐蚀半小时后再进行 GaAs 沉积。图 3 表示在不同 As^+ 束轰击电压所得样品的 X 射线衍射谱。从图 3(a) 可看出整个 GaAs 沉积层是单晶结构, 和 Si 衬底有相同的结晶取向。这表明, $V_a = 3kV$ 对于去掉自然氧化层是非常有效的。图 3(b) 是在 $V_a = 5kV$ 进行溅射腐蚀的结果, 沉积层大部分为(111)取向。这表明, 在清洁 Si 表面过程中, 由于 As^+ 束能量过高造成了新的辐射损伤, 影响了结晶学质量, 造成了某些局部地区的多晶结构。图 3(c) 表示了轰击电压 $V_a = 2.5kV$ 其他沉积参数相同的结果。可以看出也是多晶结构, 这是由于在沉积过程中真空度仅为 $1.5-3 \times 10^{-3}$ Pa, 真空条件太差, 其它杂质的影响造成的。

图 4 表示图 3(a) 样品的表面形貌显微照像 (见图版 I), 从图 4 可以明显看出, 表面致密且非常平整。GaAs-22# 虽是单晶结构, 但表面略有浅蓝色, 这极可能是由于在这样的真空条件下表面氧化引起的。

4 结 论

根据上述初步实验结果可得出如下结论:

- 1) 用 ICB 技术在 Si 衬底上可以在较低温度 (550℃) 下生长完全单晶结构的 GaAs 外延层。
- 2) $V_a = 3kV$ 的 As^+ 离子集团束轰击能有效的去除 Si 表面自然氧化层。

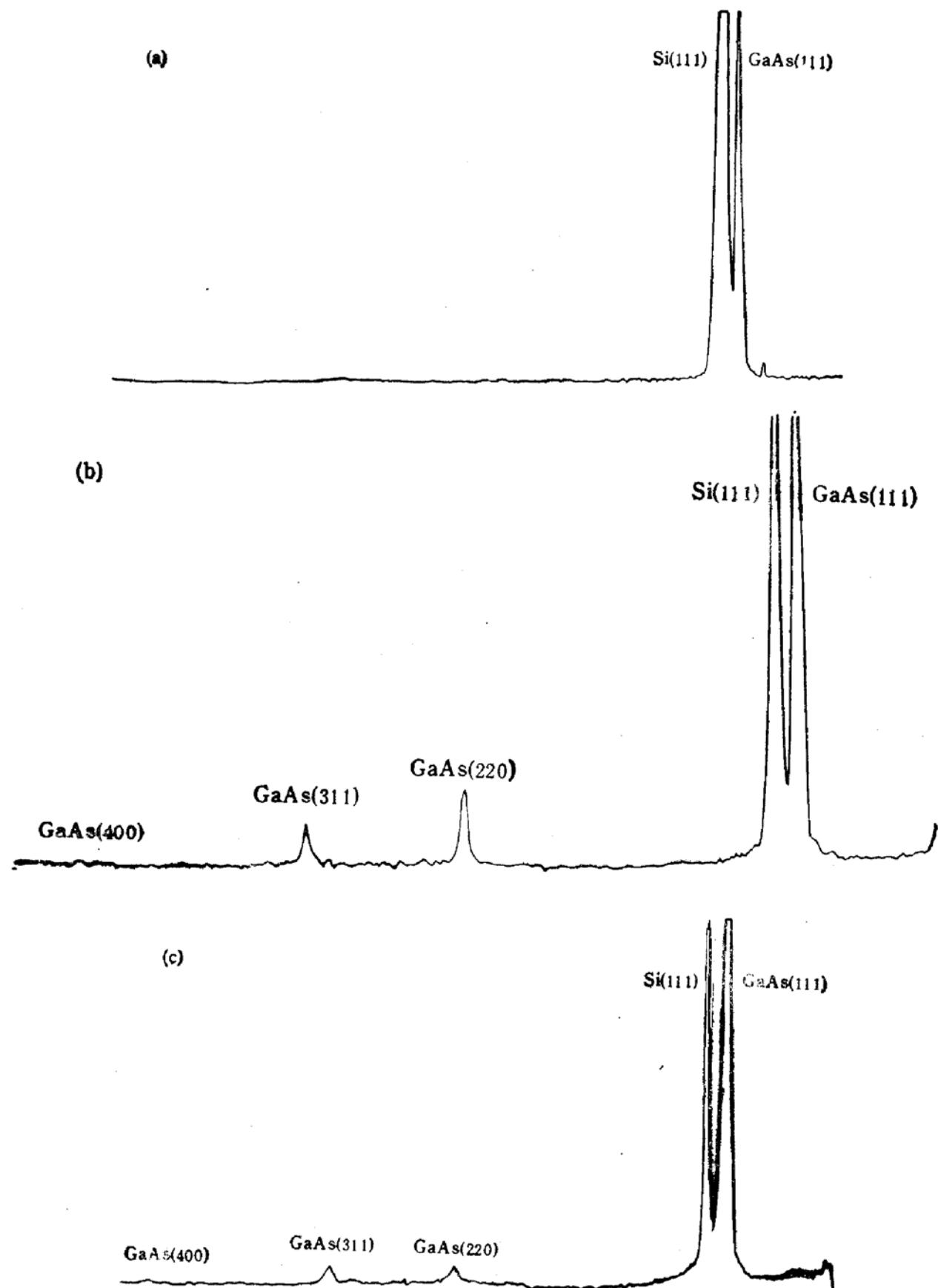


图3 不同能量的 As^+ 离子集团束轰击 Si 片表面后沉积的 GaAs 薄膜的 X 射线衍射谱

- 3) GaAs 外延层表面致密平整。
- 4) 要防止氧化, 改进 GaAs 外延层质量应该进一步提高真空度。

参 考 文 献

- [1] T. Takagi, *Vacuum*, 1986, **36**:27.
- [2] T. Takagi, I. Yamada, K. Matsubara, M. Kodama and M. Ozawa, *J. Crystal Growth.*, 1978, **45**:326.
- [3] I. Yamada, H. Inokawa and T. Takagi, *J. Appl. phys.*, 1984, **56**:2746.
- [4] I. Yamada, *Vacuum*, 1990, **41**:889.
- [5] M. Sosnowski, S. Krommenhoek, Jyh. Sheen and R. H. Cornely, *J. Vac. Sci. Technol.*, 1990, **A8**(3):1458.

Epitaxial Growth of GaAs on Si by Ionized Cluster Beam

Yu Huaizhi, Lü Yulin, Liu Jianping and Feng Deshen
(General Research Institute for Non-Ferrous Metals, Beijing 100088)

Abstract Preliminary experimental results of epitaxial growth of GaAs on Si at a lower temperature by ionized cluster beam technique are presented. The experimental results show that the bombardment of As⁺ ion to remove the oxide layer on Si surface is efficient, and single crystal of GaAs on Si at the temperature of 550°C has been obtained.

PACC: 6855, 6720M, 8160