

# GaAs 中 Si 扩散机制的研究

方小华

(南京化工大学基础科学系 南京 210009)

鲍希茂

(南京大学物理系 南京 210008)

**摘要** 本文报道采用选择性掺杂的多晶硅热退火掩膜作扩散源进行的 GaAs 中 Si 扩散机制的研究结果。发现共 P 扩散时, 样品表层的电学性能明显提高。Si 杂质的内扩散小; 共 Al 扩散时, Si 杂质内扩散很深。用 GaAs 中化学配比平衡观点讨论了扩散层中杂质分布与电学性能关系, 认为 Si 杂质在 GaAs 中的热扩散主要由 As 空位浓度决定。

PACC: 6170T, 7280E, 6630J

## 1 引言

目前, 砷化镓器件有源层的制备一般采用离子注入工艺, 但由于大剂量注入情况下, 退火后的注入层损伤未能完全消除, 会严重影响有源层的电学性能。为了满足 GaAs MESFET 高速器件中高浓度超薄浅结的要求, 人们正在寻求更为有效的掺杂方法。

Si 是 GaAs 材料中常用的 N 型掺杂剂, 但 Si 在 GaAs 中的扩散机制至今尚未研究清楚。Vieland 和 Antell 曾分别报道了 As 压对 GaAs 中扩散速率的影响<sup>[1,2]</sup>, Vieland 在 1150℃ 靠固态源产生的 Si 气压作为掺杂剂, Antell 用 300nm 的 Si 溅射层作为扩散层, 退火都在 As 过压下进行。他们认为 As 气体与 GaAs 表面相互作用可以改变 Ga 空位与 As 空位的浓度, 使表面 Ga 空位浓度增加, 导致 Si 扩散速率加大。Gibbons 等人用瞬态退火技术研究了 GaAs 表面薄层中 Si 的扩散<sup>[3]</sup>, 建立了高浓度 Si 情况下, Si 对(pair)扩散模型(施主-受主复合体模型), 他们认为孤立的 Si 原子扩散效率很低, 而近邻的 Si-Si 中性对的扩散是重掺杂 GaAs 中 Si 扩散的主要形式。不难看出, Si 在 GaAs 的扩散机制仍是值得探讨的问题。

本文报道以多晶硅为掩膜, 在其中注入 P 或 Al 杂质后, 再进行硅共 P、硅共 Al 或硅单独热扩散的结果。霍尔测量和二次离子质谱分析表明: 共 P 热扩散和的 GaAs 表面薄层电学性能明显优于硅单独或硅共 Al 热扩散的样品, 而且共 Al 热扩散和时, Si 扩散最快, 共 P 扩散时 Si 扩散速率受到抑制, 表明 Si 在 GaAs 中的扩散主要由 As 空位决定。

方小华 女, 1964 年生, 理学硕士, 讲师, 从事物理学教学和半导体材料研究  
1995 年 9 月 19 日收到

## 2 实验方法

实验采用非掺杂 SI-GaAs, 晶向 $\langle 100 \rangle$ , 电阻率 $\sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ , 厚度 $\sim 490 \mu\text{m}$ . 样品先用四氯化碳, 丙酮, 酒精等有机溶剂超声清洗, 然后用 HCl 浸泡以除去表面的自然氧化层. 清洁处理后的样品用化学汽相淀积方法淀积一层多晶硅(硅扩散源), 厚度为 150 nm. 淀积后的样品分为三组: 一组进行  $P^+$  离子注入, 能量 100 keV, 剂量  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 一组进行  $Al^+$  离子注入, 能量 80 keV, 剂量  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ; 另一组不注入. 为避免沟道效应, 注入偏 $\langle 100 \rangle$ 方向 7° 进行, 靶室真空优于  $666.66 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ , 室温注入. 实验中注入离子能量的选择是为了使注入杂质仅分布在多晶硅区域内, 避免 GaAs 中的注入损伤.

样品热处理采用 GaAs 片贴面方法在卤钨灯快速热退火设备中进行, 样品的温度由热电偶测量, 通氮气进行保护. 实验中退火温度为 1000°C, 时间 30 秒. 退火后的样品用  $CF_4$  等离子刻蚀去除样品表面多晶硅层(退火过程中多晶硅除了作为硅扩散源外, 还作为保护膜防止 As 的挥发), 再进行范德堡霍尔测量和二次离子质谱分析, 分析时一次轰击离子为 $^{32}O^+$ , 一次束流为 0.2 μA, 电压为 12.5 kV, 靶室真空中度为  $5.33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ .

## 3 结果与讨论

### 3.1 霍尔测量

用范德堡霍尔测量在去除多晶硅后的 GaAs 样品上测得的结果列于表 1, 表中给出了经硅或硅共 P 扩散后 GaAs 表面导电型号、薄层载流子浓度、电阻率和迁移率.

表 1 霍尔测量结果

样品种类	型号	薄层载流子浓度/ $\text{cm}^{-2}$	薄层电阻/( $\Omega/\square$ )	迁移率/( $\text{cm}^2 \cdot \text{V} \cdot \text{s}^{-1}$ )
未注入多晶硅/GaAs	N	$2.40 \times 10^{12}$	$1.09 \times 10^3$	2390
注 $P^+$ 多晶硅/GaAs	N	$3.28 \times 10^{12}$	$5.32 \times 10^2$	3580

由表 1 可见, 两种方法扩散后的 GaAs 表面均呈 N 型导电, 但共 P 扩散的 GaAs 中薄层载流子浓度与迁移率均高于无 P 扩散的样品, 这是因为 V 族元素 P 扩散进入 GaAs 后, 优先占据 As 空位, 使 As 空位浓度  $[V_{As}]$  减少. 根据 Ambridge 的假设<sup>[4]</sup>, 为了保持  $[V_{As}]$  与 Ga 空位浓度  $[V_{Ga}]$  的乘积为常数, 这时  $[V_{Ga}]$  必定增加. 这样, Si 占据 Ga 晶格位置的几率就大大提高, 从而使薄层中电子浓度增加. 另一方面, P 扩散进入 GaAs 后占据 As 位, 补充了热退火时 As 的损失, 使 GaAs 的晶体质量保持较好, 减少了散射中心, 从而迁移率上升. 必须指出, 注  $Al^+$  多晶硅/GaAs 热退火后样品表面亦呈 N 型导电, 但薄层载流子浓度很低, 测试系统无法测出. 这种 P 杂质使 Si 激活率提高, 而 Al 杂质使 Si 激活率减小的现象与 Farley 等人报道的结果相同<sup>[5]</sup>. 采用  $Si^+$  和  $P^+$  通过掩膜注入方法最近亦有过类似的结果报道<sup>[6]</sup>.

### 3.2 二次离子质谱分析

图 1 是注  $P^+$  多晶硅/GaAs 和未注入样品经退火后在 GaAs 中测得的二次离子质谱, 图中示出了 P 和 Si 元素的强度与轰击时间的关系. 在多晶硅掩膜单独热扩散的样品中, Si 杂质的强度下降很慢, 即使是经 8 分钟轰击后, 其强度仍有  $10^3$  计数/秒, 表明 Si 杂质扩散很深; 而在注  $P^+$  多晶硅掩膜热扩散的样品中, Si 杂质的计数下降很快, 在不到 1 分钟的轰击时

间内,其强度下降了三个多数量级,表明 Si 杂质分布较浅。值得一提的是,Si 杂质的分布与同一样品中测得的 P 杂质的分布非常接近,说明这种情况下 Si 杂质的扩散受到 P 杂质的强烈影响。图 2 是在注  $\text{Al}^+$  多晶硅/GaAs 经退火后在 GaAs 中测得的结果,为了便于比较,也同时示出了未注入样品中的 Si 杂质的分布。可以看到,共 Al 扩散时,Si 的分布更为平缓、扩散更深,经 18 分钟轰击后,Si 的强度下降不到一个数量级。同样地,Si 杂质的分布与 Al 杂质的分布也非常相似,说明 Si 杂质热扩散时受到了 Al 杂质的制约。

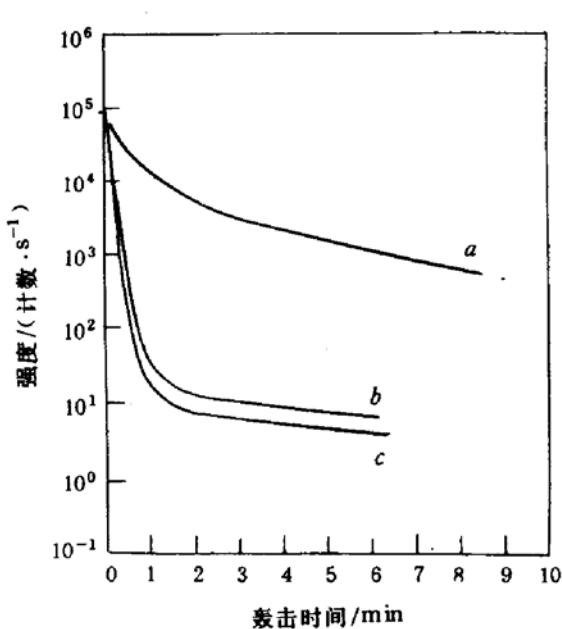


图 1 注  $\text{p}^+$  多晶硅/GaAs 和未注入多晶硅/GaAs 样品经  $1000^\circ\text{C}$ 、30 秒退火后在 GaAs 中测得的二次离子质谱

a 未注入扩散时 Si 分布; b 共 P 扩散时 P 分布;  
c 共 P 扩散时 Si 分布。

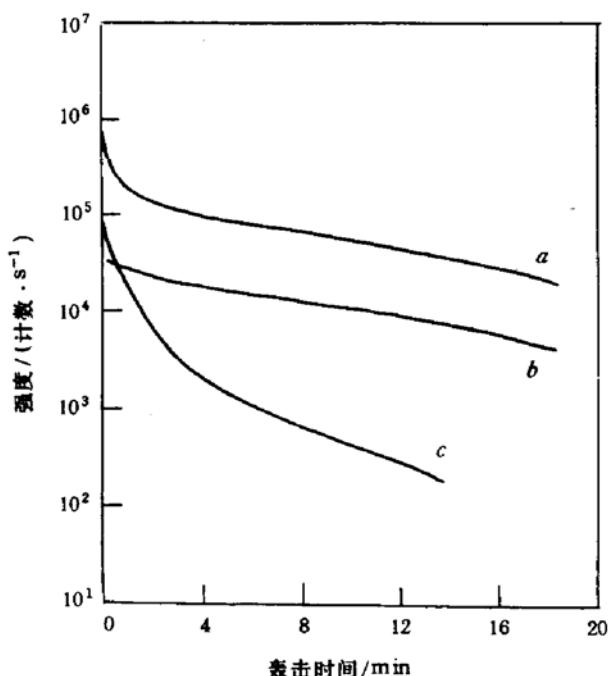


图 2 注  $\text{p}^+$  多晶硅/GaAs 和未注入多晶硅/GaAs 样品经  $1000^\circ\text{C}$ 、30 秒退火后在 GaAs 中测得的二次离子质谱

a 共 Al 扩散时 Al 分布; b 共 Al 扩散时 Si 分布;  
c 未注入扩散时 Si 分布。

综合分析图 1 和图 2 的结果后可以知道:在 GaAs 中,共 P 热扩散时,Si 的扩散速率减小;共 Al 热扩散时,Si 的扩散速率增加。由于 V 族元素 P 扩散进入 GaAs 后优先占据 As 晶格位置而使  $[V_{\text{As}}]$  下降,而 III 族元素 Al 扩散进入 GaAs 后优先占据 Ga 晶格位置而使  $[V_{\text{Ga}}]$  下降,由化学配比平衡原理,  $[V_{\text{Ga}}]$  的下降必将导致  $[V_{\text{As}}]$  增加<sup>[4]</sup>。这时 Si 占 As 晶格位置的几率大大增加,这可能是导致 Si 深扩散的主要原因。因此可以认为:Si 杂质在 GaAs 中的热扩散主要由 As 空位浓度决定。

## 4 结语

1. 掺 P 多晶硅作掩膜进行热扩散和时,在 GaAs 中可获得电学性能优良的薄有源层,这主要是 P 扩散进入 GaAs 后,减小了 As 空位浓度,增加了 Si 占据 Ga 晶格位置的几率,从而提高了 Si 杂质的电激活率;

2. 共 Al 热扩散样品中 Si 的扩散深度比共 P 热扩散样品中深得多,表明 Si 杂质在

GaAs 中的热扩散主要由 As 空位浓度决定;

3. 采用选择性掺杂的多晶硅作掩膜进行快速热扩散是一种获得高浓度薄有源层的有效方法.

**致谢** 上海冶金研究所沈鸿烈副研究员对本论文工作提出了许多宝贵意见,特此致谢.

### 参 考 文 献

- [1] L. J. Vieland, J. Phys. Chem. Solids, 1961, 21 :318.
- [2] G. R. Antell, solid-State Electron, 1965, 8:943.
- [3] M. E. Greiner and J. F. Gibbons, J. Appl. Phys., 1985, 57(12):5181.
- [4] T. Ambridge, *et al.*, Electron. Lett., 1975, 11(15):314.
- [5] C. W. Farley, *et al.*, J. Electronic Materials, 1987, 16(1):79.
- [6] H. L. Shen, *et al.*, Nucl. Instr. and Meth., 1993, B80/81:687.

## Study on Mechanism of Si Diffusion in GaAs

Fang Xiaohua

(Basic Science Department, Nanjing University of Chemical Technology, Nanjing 210009)

Bao Ximao

(Physics Department, Nanjing University, Nanjing 210008)

Received 19 September 1995

**Abstract** This paper reports the results on the mechanism of Si diffusion in GaAs using selectively doped poly-silicon film as the diffusion source. It is found that with P co-diffusion, the in-diffusion of Si is very small and the electrical property in the diffused layer is much improved; and that with Al co-diffusion, the in-diffusion of Si is very large. The relationship between impurity distribution and the electrical property in the diffused layer is also discussed from the point of view of stoichiometry balance in the material. It is concluded that the diffusion of Si in GaAs is dominated by the concentration of As vacancy.

PACC: 6170T, 7280E, 6630J