

As⁺、Si⁺ 双注入 GaAs 瞬态退火的行为

范伟栋 王渭源

(中国科学院上海冶金研究所, 上海)

1987年12月5日收到

研究了不同能量、剂量 As⁺、Si⁺ 双注入于 SI GaAs 中, As⁺ 注入对注 Si⁺ 有源层的影响. 首次给出了双注入样品瞬态退火后有源层的激活率和载流子迁移率, 退火前后材料的沟道谱. 实验表明, As⁺、Si⁺ 双注入样品比 Si⁺ 单注入样品在较低退火温度下就能激活 Si⁺, 在适当高温下能得到性能良好的有源层.

主题词 As⁺、Si⁺ 双注入, SI GaAs、瞬态退火, 激活率, 迁移率

一、引言

GaAs MESFET 普遍采用 Si⁺ 注入作为有源层的掺杂. 离子注入后用常规热退火会引起衬底中杂质和注入离子再分布, 并且往往发生载流子分布尾和降低注入离子的激活率. 为此近年来广泛研究了高温瞬态退火^[1]. 采用瞬态退火, 有源层的特性有较大改善, 但仍发现有源层的迁移率较低^[2]. 因此开展了本文的研究工作.

二、实验和结果

实验所用样品、注入偏离角度和退火条件请参考[2]. 样品注 Si⁺ 的能量 $E_{Si} = 150$ KeV、剂量 $\phi_{Si} = 2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$, 注 As⁺ 选取不同能量和剂量. 退火时间均为 6S. 用台面工艺做成范德堡图形, 测量有源层激活率 η 及迁移率 μ , 用背散射沟道谱测量最小沟道产额 χ_{min} .

图 1 为 As⁺、Si⁺ 双注入样品 (As⁺ 注入 $E_{As} = 100 \text{KeV}$, $\phi_{As} = 1 \times 10^{13}$ 、 1×10^{14} 或 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$) 和 Si⁺ 单注入样品, 退火后 Si⁺ 激活率 η , 有源层迁移率 μ 与退火温度关系. 对 $\phi_{As} = 1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 的样品, 当退火温度为 1050 和 1100℃ 时, η 分别为 60 和 75%, 相应的 μ 为 3500 和 2700 $\text{cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$, 均高于 Si⁺ 单注入样品. 进一步提高 ϕ_{As} , η 有所下降.

图 2 比较了两种能量的双注入样品, 可见 η 与 E_{As} 有关. E_{As} 较低, η 较高, 当温度为 1010℃~1050℃ 时, $\eta > 80\%$, $\mu \sim 1700 \text{cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$. 对 Si⁺ 单注入样品, 退火温度为 1010、1050 和 1100℃ 时, η 只有 15、40 和 70%, 明显低于双注入样品 (μ 为 1900、2020 和 2400 $\text{cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$). 综合图 1 和图 2, As⁺、Si⁺ 双注入样品与 Si⁺ 单注入相比, 在较低退火温度

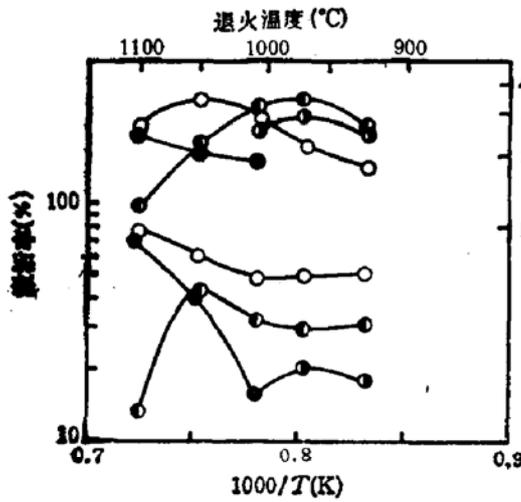


图1 As^+ 、 Si^+ 双注入和 Si^+ 单注入样品 Si^+ 激活率、有源层迁移率与瞬态退火温度关系 (退火时间 6s). $E_{As} = 100\text{KeV}$

○ $\phi_{As} = 1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$, ● $\phi_{As} = 1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$,
 ◻ $\phi_{As} = 1 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$, ◼ $\phi_{As} = 0$

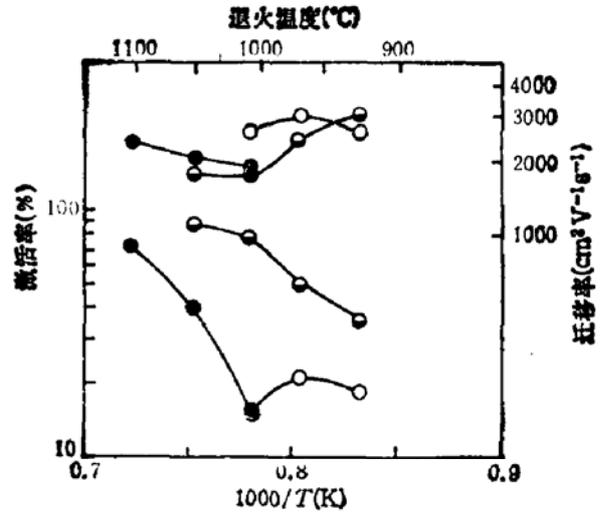


图2 As^+ 、 Si^+ 双注入和 Si^+ 单注入样品 Si^+ 激活率、有源层迁移率与瞬态退火温度关系 (退火时间 6s).

● $E_{As} = 50\text{KeV}$, $\phi_{As} = 1 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$,
 ○ $E_{As} = 100\text{KeV}$, $\phi_{As} = 1 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$,
 ◼ $E_{As} = 0$, $\phi_{As} = 0$

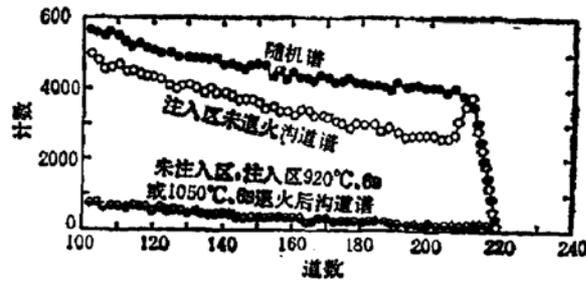


图3 As^+ 、 Si^+ 双注入样品 ($E_{As} = 100\text{KeV}$, $\phi_{As} = 1 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$) 瞬态退火前后的背散射谱 (He^+ , 2MeV)

下有较大的 η 和 μ , 并且其性能与 E_{As} 和 ϕ_{As} 有关。

图3为双注入样品瞬态退火前后的背散射谱。未注入区的沟道谱与注入区退火后的沟道谱几乎重合。由实验算得 χ_{\min} , 未注入区、注入区退火前及 920°C (或 1050°C) 退火后分别为 6.0、77.4 和 5.3% (5.4%)。

三、讨 论

离子注入损伤恢复的固相外延有两种机构^[3], 一种是从表面向注入层外延, 另一种是从衬底完美区向注入层外延。已有研究表明^[3]: 小剂量注入、未在表面造成损伤时, 将发生第二种固相外延; 如注入造成表面损伤, 将发生第一种固相外延。本实验 As^+ 、 Si^+ 双注入样品, 由于 As^+ 注入造成表面损伤, 退火时将发生第一种固相外延, 而 Si^+ 单注入样品将发生第二种固相外延。由于表面层原子具有较高的能量, 在一定外界能量激活下, 表面损伤首先恢复或消除, 其放出的淀积能使内层损伤进一步恢复。因此第一种机构将

在较低温度下发生,即双注入样品可在较低瞬态退火温度下达到消除损伤,表现为有源层有一定的注入离子激活和迁移率。

Si^+ 单注入比 As^+ 、 Si^+ 双注入样品有源层迁移率较低或质量较低,推测是由于退火时表面 As 挥发造成扩散散射源^[4],导致表面层迁移率降低。而双注入样品,由于 As^+ 注入使表面较为稳定,减弱了上述影响。双注入样品的 χ_{min} 较小,也是表面质量较高的一个证明。

为了得到质量较高的有源层,应综合考虑 As^+ 注入的能量和剂量、从本实验看,较佳的 $E_{\text{As}} < 100\text{KeV}$, $\phi_{\text{As}} < 1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 。

参 考 文 献

- [1] H. Kanber *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **57**, 4732(1985).
- [2] Wei Dong Fan, Xin Yuan Jiang, Guan Qun Xia and Wei Yuan Wan, *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **83**, P. 277 (1987).
- [3] T. Nakamura *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **53**, 5870 (1982).
- [4] 熊欣等,表面物理,516,辽宁科学技术出版社,(1985).

Transient Annealing of As^+ and Si^+ Dually Implanted SI GaAs

Fan Weidong and Wang Weiyuan

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract

The effects of As^+ implantation on Si^+ -implanted SiGaAs have been investigated by using As^+ and Si^+ dual implantation and transient annealing. The results for Si implant activation efficiency, carrier mobility and channeling spectrum of dually implanted samples are given, indicating that it is easier to activate the Si implants at low temperature in As^+ and Si^+ dually implanted samples than in Si^+ singly implanted ones. And better properties of dually implanted samples can be obtained after annealing at a definite high temperature.

KEY WORDS: As^+ and Si^+ dual implantation, SI GaAs, Transient annealing, Activation efficiency, Mobility