

# 半绝缘砷化镓材料的铍离子注入

周 勉 史 常 忻

(上海交通大学应用物理系)

1984年10月18日收到

本文研究了掺 Cr 半绝缘 GaAs 材料的 Be 离子注入。结果表明,在 600—700℃ 下用无包封退火技术,可以得到高的激活率、近于理想的高斯分布和较高的迁移率。

## 一、引 言

在 GaAs 的 P 型离子注入掺杂剂中, Be 的原子量较轻,具有射程深,注入损伤小和电激活率高的特点。近年来,国际上对于 GaAs 中注入 Be 离子的工作给予较多的关注<sup>[1-3]</sup>。在器件应用方面,已经报道了使用 Be 离子注入 GaAs 制作的低漏电、高击穿 p-n 结二极管<sup>[2]</sup>, p<sup>+</sup> 栅 JFET<sup>[4]</sup> 和埋层 P 型注入的 MESFET<sup>[5]</sup>, 表明这一技术具有广泛的应用前景。但是,国内目前这方面工作开展较少。

本文报告了掺 Cr 半绝缘 GaAs 单晶中 Be 离子注入后的电学性能及离子探针和背散射测量的初步结果。

## 二、实 验 方 法

实验用的试样为掺 Cr 半绝缘 GaAs 单晶,晶向〈100〉。以 60—100keV 的能量,  $1-5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$  的剂量,在室温下注入 Be 离子。注入时偏离〈100〉晶向约 8°, 以避免沟道效应。退火采用无包封法<sup>[6,7]</sup>,但仅在高纯氮气中进行。用电化学 C-V 法测定了注入层的载流子浓度分布;用离子探针考察了退火前后注入原子的分布;用沟道背散射分析了 Be 离子注入引起的辐射损伤的恢复。

## 三、实 验 结 果

1. 注入原子的分布和电学性能 SIMS 测量的退火前后 Be 原子的分布及载流子浓度分布示于图 1。退火前的 Be 原子呈高斯分布,峰值在  $0.21 \mu\text{m}$  处 (60keV,  $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$  注入),与 LSS 理论值相近<sup>[8]</sup>。650℃, 20min 退火后,原子的分布形状基本未变,但整个分布移向表面,峰值位置也移至  $0.15 \mu\text{m}$  处,表明退火过程中发生了 Be 原子向表层的扩散。退火后的原子分布与 C-V 法测量的载流子分布相当一致,由二者分布之比,算得 650℃退火下的激活率为 ~92%,略高于文献[1]的结果。

图 2 给出同一注入条件 ( $80\text{keV}$ ,  $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ), 不同温度退火后的载流子分布. 可以看出, 样品的电激活随着温度的升高而增大.  $550^\circ\text{C}$  下退火 30min, 激活的载流子远低于 LSS 理论值. 温度上升到  $650^\circ\text{C}$ , 大部分载流子都已激活.  $700^\circ\text{C}$  退火后, 激活的载流

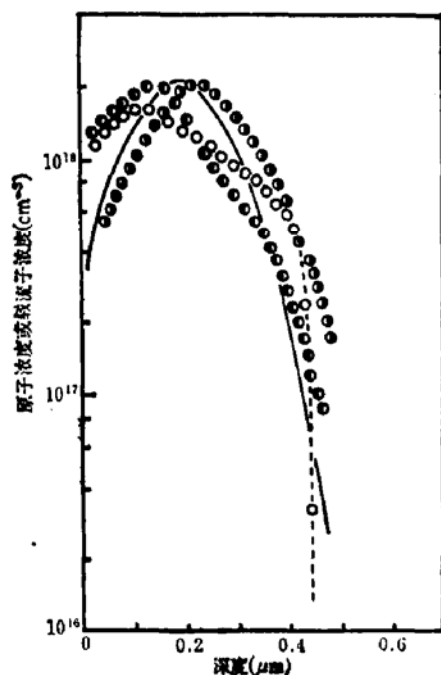


图 1 注入 Be 原子和载流子浓度分布

- Be 原子分布, 退火前
- Be 原子分布,  $650^\circ\text{C}$ , 20min 退火后
- 载流子分布,  $650^\circ\text{C}$ , 20min 退火
- LSS 理论值<sup>[4]</sup>

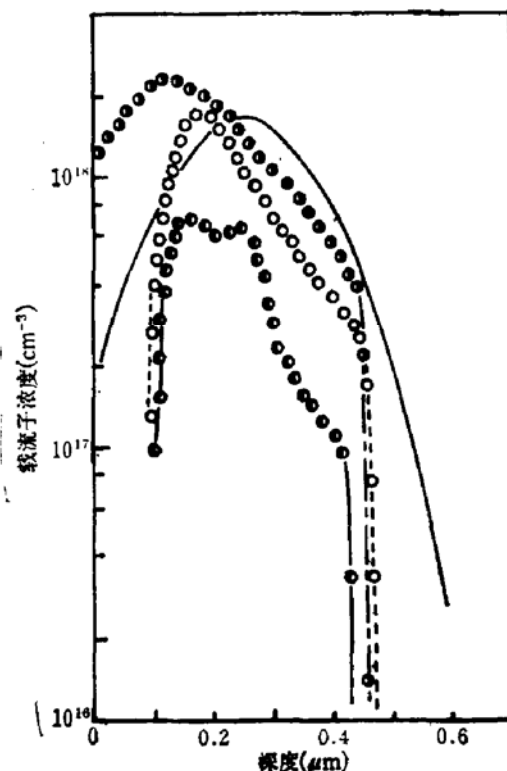


图 2 载流子浓度分布

- $700^\circ\text{C}$ , 15min 退火
- $650^\circ\text{C}$ , 20min 退火
- $550^\circ\text{C}$ , 30min 退火
- LSS 理论值<sup>[4]</sup>

子超过了注入原子. 多余的载流子可能与衬底中的缺陷及不适当的替位原子有关. 尽管如此,  $700^\circ\text{C}$  退火后载流子分布仍为高斯型. 文献上曾报道, 采用  $\text{SiO}_2$  或  $\text{Si}_3\text{N}_4$  包封退火, 当退火温度较高时, Be 原子快速向表面扩散, 导致整个分布完全偏离高斯型<sup>[9]</sup>. 我们采用无包封退火, 尽管也观察到 Be 原子的向外扩散, 但分布始终为高斯型. 由图 2, 我们注意到, 在高温下退火的样品, 分布具有更明显的向表面推移的趋势. 这种 Be 的分布整个向表面移动的现象文献中未见报道过, 有待进一步研究.

用 Hall 法测量了  $100\text{keV}$ ,  $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$  注入,  $600\text{--}650^\circ\text{C}$ , 20min 退火后的载流子面浓度  $p_s$  和迁移率  $\mu_p$ , 二者分别为  $p_s = 1.22\text{--}1.36 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ,  $\mu_p = 210\text{--}220\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . 可见在  $600\text{--}650^\circ\text{C}$  下, 载流子已全部激活.

**2. 辐射损伤及恢复** 图 3 系背散射-沟道效应的测量结果.  $60\text{keV}$ ,  $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$  Be 注入所产生的损伤相当小, 损伤谱略高于单晶定向谱, 损伤主要集中在体内. 经  $650^\circ\text{C}$ , 20min 退火后, 退火定向谱与单晶定向谱重合, 表明注入引起的辐射损伤已基本恢复.

迁移率是对晶格辐射损伤十分敏感的量. 我们由 Hall 法测得迁移率  $\mu_p = 210\text{--}220\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $100\text{keV}$ ,  $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$  注入), 这数值十分接近具有同样浓度的 p-GaAs

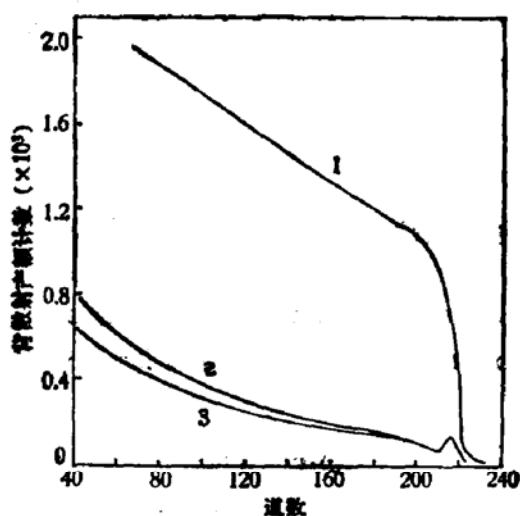


图3 GaAs 注入 Be 离子后的背散射谱  
1 随机谱 2 损伤定向谱 3 单晶定向谱  
(退火后的定向谱基本与单晶定向谱重合,故未画出)

单晶的迁移率<sup>[6]</sup>,进一步证明辐射损伤已大部消除。

#### 四、小 结

1. Be 离子注入 GaAs 的辐射损伤相当小,在 600—700℃ 下退火可以基本消除,较高的空穴迁移率也证实了这一点。

2. 注入的 Be 在 600—700℃ 退火后,绝大部分载流子都已激活,退火后的分布仍然是典型的高斯分布。即使在 700℃ 下,也没有发生文献上报道的“扁平”分布。但是整个分布在退火后移向表面,移动的距离随退火温度升高而增大。对于 Be 原子分布的移动及载流子激活等问题,有待进一步研究。

Be 离子注入和部分测试工作分别得到北京师范大学和上海冶金研究所的协助,特此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] W. V. McLevige M. J. Helix, K. V. Vaidyanathan and B. G. Streetman, *J. Appl. Phys.*, **48**, 3342 (1977).
- [2] K. Tabatabaie-Alavi A. N. M. M. Choudhury, H. Kanbe, C. G. Fonstad and J. C. Gelpey. *Appl. Phys. Lett.*, **43**, 647 (1983).
- [3] C. L. Anderson and H. L. Dunlap, *Appl. Phys. Lett.*, **35**, 178 (1979).
- [4] T. Onuma and T. Sugawa, *GaAs and Related Compounds*, Inst. Phys. Conf. Ser., No. 63, 413 (1981).
- [5] 梅本康成,高橋進,小橋隆裕,電子材料, **22**, 77 (1983).
- [6] R. P. Mandall and W. R. Scoble, *GaAs and Related Compounds*, Inst. Phys. Conf. Ser., No. 43, 462 (1978).
- [7] 王渭源,乔塘,林成鲁,罗潮渭,周永泉,物理学报, **31**, 71 (1982).
- [8] 程兆年,朱文玉,王渭源,物理学报, **31**, 922 (1982).

- [9] J. Comas and L. Plew, *J. Electronic Materials*, **5**, 209 (1976).  
[10] S. M. Sze, *Phys. of Semiconductor Devices*, John Wiley and Sons, Inc. 1981. p. 29.

## Beryllium Ion Implantation in Semi-insulating GaAs Substrates

Zhou Mian and Shi Changxin

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiao Ton University)

### Abstract

Ion implantation of Be into Cr-doped semi-insulating GaAs substrates has been researched. The carrier concentration profiles, residual damage and Be atomic profiles are determined by *C-V* method, back scattering technique and secondary ion mass spectrometry. It is shown that high electrical activation, approximate ideal Gaussian distribution and higher mobility can be obtained by means of capless annealing technique at 600—700°C temperature.