

研究简报

# 硼、砷双注入载流子浓度分布的 测量及计算机模拟

马 谊 李国辉 张通和

(北京师范大学低能核物理研究所)

黄 敞

(骊山微电子公司)

1985年2月8日收到

本文研究了双极型器件中硼、砷双注入载流子浓度分布的规律,考察了双注入情况下两者的相互作用。为了模拟基区载流子的浓度分布,用一个指数衰变场来模拟基区载流子在 E-B 结处的下陷,用有效扩散系数模拟尾部的增强扩散效应。并调试了计算双注入的载流子浓度分布的程序。

## 一、前 言

随着 LSI, VLSI 的发展,离子注入技术也越来越受到人们的重视。在双极型器件中,人们需要了解硼、砷双注入并热退火后的载流子分布的规律,供电路设计者参考。

## 二、硼砷双注入载流子浓度分布的实验、结果和分析

### 1. 实验方法

实验材料为 P(111),电阻率为  $8\sim 13\Omega\cdot\text{cm}$  的衬底上生长  $5\sim 6\mu\text{m}$  厚、电阻率为  $0.35\sim 0.40\Omega\cdot\text{cm}$  的 n 型外延层。以硼、砷分别作为基区、发射区掺杂剂。为避免沟道注入时样品偏  $7^\circ$  角。部分样品注硼后,在注砷时用铝箔挡去一部分。样品制备完毕后,用微分电导法测量了载流子浓度分布。用 DT-830 数字万用表测电流,精度为(读数+两位浮点数) $\times 1.0\%$ ,用 DME-1400 测电压,精度为  $0.04\% \times \text{读数} + 0.02\% \times \text{量程}$ ,量程为 200 mV,用 TP-77 型椭圆仪测  $\text{SiO}_2$  膜厚,精度为  $\pm 20\text{\AA}$ ,数据处理用计算机进行。

### 2. 实验结果和分析

#### ① 硼单注入和硼、砷双注入的比较

在图 1 中可以看出基区载流子浓度在 E-B 结附近有下陷,可以认为这是内建电场作

用的结果。在高温热退火过程中,注入离子激活以后,施主离子带正电,因为离子的质量比载流子大许多倍,载流子总是比离子扩散快。但由于局域电中性的要求,离子的存在又抑制了载流子的扩散,这样在浓度分布的前沿就形成了一个内建电场。这个电场加速施主向硅中扩散而抑制受主的扩散,因为受主电离后是带负电的。在图2中,由于硼注入能量高,峰值位置距 E-B 结较远,下陷就不严重。

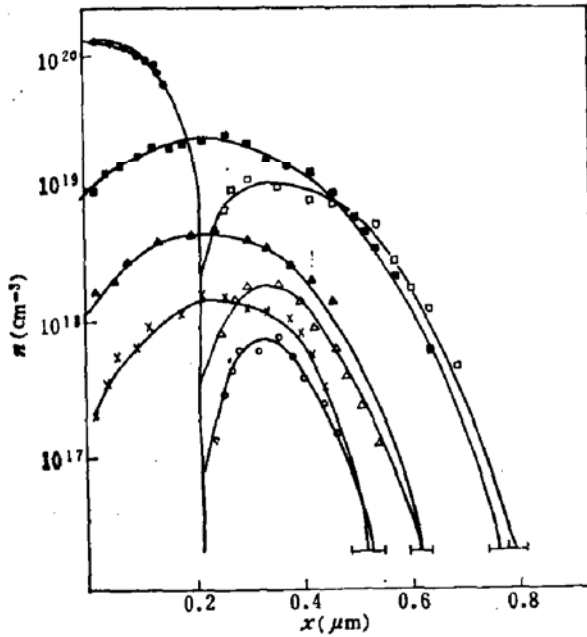


图1 硼单注入和硼砷双注入  
载流子浓度分布的比较  
硼单注入 70keV 1000°C, 30' 退火, ■  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , ▲  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ , ×  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 砷注入 80keV  $2 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 硼双注入 □  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , △  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  ○  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 。

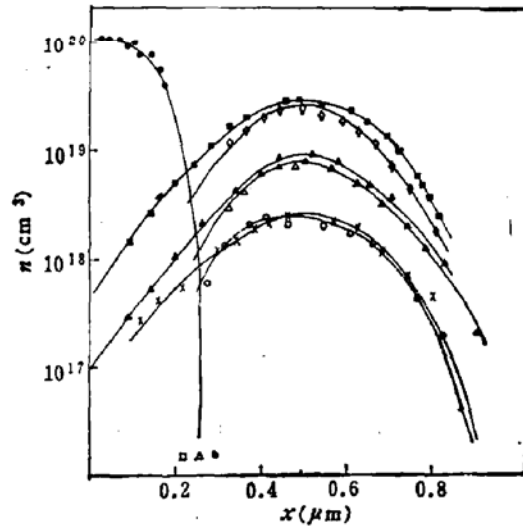


图2 硼不同注入剂量的影响  
硼单注入, 160keV, 950°C, 30' 退火, ■  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , ▲  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  ×  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 双注入: ● 砷注入 80keV,  $2 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 硼: □  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , △  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ , ○  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 。

### ② 硼不同注入剂量的影响

在图2中还可以发现,随着硼注入剂量的增加,基区整个分布向上平移,同时由于施主、受主补偿量增加,使发射区浓度下陷,且 E-B 结偏浅。

### ③ 不同注入次序的影响

图3中看到950°C+1000°C两次退火和1000°C一次退火的差别不大,两条曲线基本重合,但比950°C一次退火有更宽的基区。对于先注 As 后注 B 的样品,由于注 As 后已有1000°C, 30'退火, E-B 结已处于较深位置,更多的硼处在发射区下,再加上退火温度也低,导致较薄的基区。

### ④ 双注入对 B-C 结深度的影响

图4是磨角染色放大800倍的显微照片。可以看出双注入区与硼单注入区交界处的底部是平的。可以认为,在一般器件所需要的工艺条件下,双注入对 B-C 结的影响是可以忽略的。

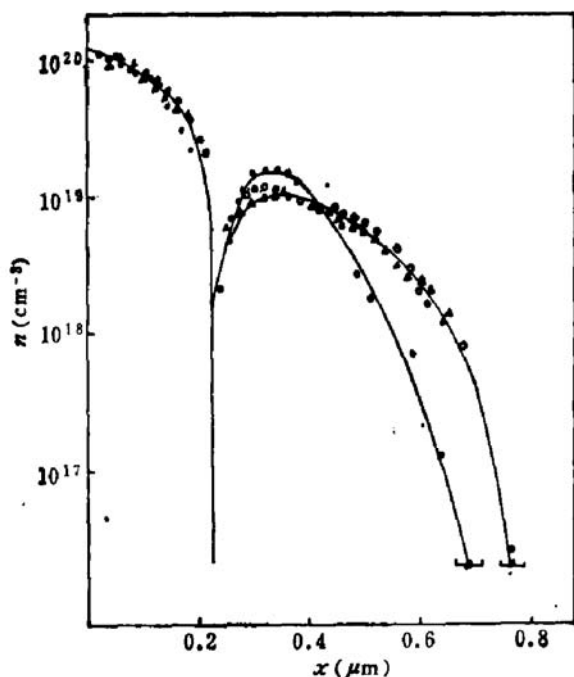


图3 不同注入次序的比较

- ▲ B<sup>+</sup>950°C, 30' + As<sup>+</sup>1000°C, 30'
  - B<sup>+</sup> + As<sup>+</sup>1000°C, 30'
  - As<sup>+</sup>1000°C, 30' + B<sup>+</sup>950°C, 30'
- B<sup>+</sup> 注入70 keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$   
As<sup>+</sup> 注入80 keV,  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$

图4 双注入对 B-C 结的影响。  
硼 70keV,  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  + As<sup>+</sup>80keV,  
 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 1000°C, 30'.

### 三、计算机模拟

#### 1. 发射区载流子分布的模拟

我们采用 Fair<sup>[2]</sup> 的方法, 砷注入后的杂质浓度可用切比雪夫多项式表示:

$$N/N_0 = 1.00 - 0.87Y - 0.45Y^2. \quad (1)$$

对于离子注入的样品,  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  剂量以下的注入的条件, 只要 1000°C, 20' 的退火, 就可达到 100% 的激活率<sup>[2,3]</sup>, 所以(1)式可近似看作发射区载流子浓度分布。

#### 2. 基区载流子分布的模拟

可用一个指数衰变场模拟 E-B 结处的内建电场。有外力场存在时的粒子流为:

$$J = -D \frac{\partial N}{\partial x} - z\mu N \epsilon_x. \quad (2)$$

我们设

$$\epsilon_x = \epsilon_{\max} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\lambda}\right)}. \quad (3)$$

根据实验曲线模拟出  $\epsilon_{\max}$ ,  $\lambda$  和工艺条件的关系, 可以推广到更大范围。

## 四、电路应用

### 1. 高速 ECL 电路(与中科院计算所协作)

B<sup>+</sup> 注入 10keV,  $2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ , 20keV,  $6 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ , 40keV,  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 60 keV,  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 850°C, 30' 退火, As<sup>+</sup> 注入 80keV,  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 1000°C, 25',  $\beta = 20 \sim 40$ ,  $V_{CE} = 14\text{V}$ ,  $V_{EB} = 4 \sim 6\text{V}$ .

### 2. TTL 电路(与骊山微电子有限公司协作)

B<sup>+</sup> 注入 60keV,  $6 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ , 960°C, 30', As<sup>+</sup> 注入, 80keV,  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 1000°C 20',  $\beta = 100$ ,  $V_{CE} = 10\text{V}$ .

3. LS-TTL 电路及 L-TTL 电路(与中科院 109 厂协作) B<sup>+</sup> 60keV,  $8 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ , 950°C, 30', As<sup>+</sup> 80keV,  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 1050°C, 30',  $\beta = 10$ ,  $V_{CE} = 25\text{V}$ ,  $V_{BC} = 35\text{V}$ ,  $V_{EB} = 6\text{V}$ .

对田淑芸老师, 骊山微电子有限公司, 科学院 109 厂, 科学院计算所. 本所加速器室、计算机室及吕贤淑、王琦、李晓明等同志的大力协助, 作者表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] R. B. Fair, *J. Appl. Phys.*, **43**, 1278 (1972).
- [2] R. BFair, and J. C. C. Tsai, *J. Electrochem. Soc.*, **122**, 1689 (1975).
- [3] R. O. Schwenker, E. S. Pan and R. F. Lever, *J. Appl. Phys.*, **42**, 3195 (1971).

## Measurement of the Carrier Profile of Boron and Arsenic Double Implantation in Silicon and Its Simulation

Ma Yi, Li Guohui, Zhang Tonghe

(Low-energy Nuclear Physics Institute, Beijing Normal U.)

and Huang Chang

(Li Shan Macroelectronic Company)

### Abstract

The characteristics of boron and arsenic double implantation in silicon are studied and the interaction between these two elements are discussed. An exponential decreased electrical field is used to simulate the dip of base carrier profile near E-B junction and an effective diffusivity is used to simulate the effect of enhanced diffusion in the tail region. A computer programme is made to calculate the carrier profile of boron and arsenic double implantation in silicon.