

**Методические указания к домашней работе
по дисциплине «Физико-химические основы электронных средств»**

Моделирование процессов диффузии

Цель работы

1. Изучение закономерностей процесса диффузии
2. Изучение влияния различных факторов на скорость диффузии.
3. Расчет профиля распределения примеси и глубины залегания *p-n* перехода при различных технологических режимах.

Задание

1. Построить профиль распределения примеси и определить глубину залегания *p-n* перехода в случае двухстадийной диффузии.
 $T_1 = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. В случае диффузии из ограниченного источника рассчитать глубину залегания *p-n* – перехода и сравнить это значение с полученным из графика.

Примечание. 1. Исходная концентрация примеси в объеме кристалла
 $C_{исх} = 10^{14}\text{ см}^{-3}$

Контрольные вопросы

1. Закономерности процесса диффузии (Законы Фика).
2. Механизмы диффузии в полупроводниках. Объяснить зависимость коэффициента диффузии от температуры.
3. Диффузия из ограниченного и неограниченного источников.
4. Влияние примеси и структурных дефектов на скорость диффузии.
5. Что называется диффузией?
6. Коэффициент диффузии и энергия активации.
7. Параметры, влияющие на скорость диффузии.
8. Диффузия из постоянного источника.
9. Диффузия из бесконечно тонкого слоя.
- 10 Применение диффузии для создания *p-n* – переходов

Литература

- 1.Томилин В.И. Физико–химические основы технологии электронных средств. М.:Академия, 2010.-410с
2. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник. – М.,: Радио и связь, 1991. – С. 149-172.

Таблица П.1

t_1 , мин	20	30	40	50	60
t_2 , мин	80	100	120	140	160
T_2 , мин	1250	1200	1150	1100	1050

t_1 - время загонки примеси,
 t_2 - время разгонки примеси,

T_2 - температура разгонки примеси.

Таблица П.2

Параметры диффузии примесей в кремнии

Элемент	$D_0, \text{м}^2/\text{с}$	$E_a, \text{эВ}$	$C_n, \text{при}$ $T = 1000^\circ$
As	$3,2 \cdot 10^{-5}$	3,6	$2 \cdot 10^{21}$
B	$8,2 \cdot 10^{-4}$	3,7	$4 \cdot 10^{20}$
P	$1,1 \cdot 10^{-3}$	3,7	$1 \cdot 10^{21}$
Ga	$3,6 \cdot 10^{-4}$	4,1	$3 \cdot 10^{19}$
Sb	$5,6 \cdot 10^{-4}$	3,9	$4 \cdot 10^{19}$
Al	$6,2 \cdot 10^{-4}$	3,3	$8 \cdot 10^{19}$

Примечание:

$E_a, \text{эВ}$ - энергия активации, C_n - предельная растворимость примесей в кремнии, см^{-3} .
 k - постоянная Больцмана, T - температура процесса в Кельвинах.

$$K=8,617\ 343(15) \times 10^{-5} \text{ (эВ} \cdot \text{K}^{-1})$$

«Построение профиля распределения примеси и определить глубину залегания р-п-перехода в случае двухстадийной диффузии»

Цель работы:

1. Изучить закономерности процесса диффузии
2. Изучить влияние различных факторов на скорость диффузии.
3. Построить профиль распределения примеси и определить глубину залегания р-п-перехода в случае двухстадийной диффузии Аллюминия (Al) в кремний с электропроводностью р-п типа с удельным сопротивлением 10 Ом•см проводимой в режиме:

$$T_1 = 1000^\circ\text{C}, t_1 = 60 \text{ мин}, T_2=1050^\circ\text{C}, t_2 = 160 \text{ мин}$$

Где t_1 - время загонки примеси, t_2 - время разгонки примеси, T_2 - температура разгонки примеси.

1)Определим C_{01} -поверхностная концентрация примеси в стадии загонки. Для $T=1000^\circ\text{C}$ предельная растворимость аллюминия в кремнии составляет $8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Принимаем $C_{01} = 8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

2) Определим коэффициент диффузии D_1 при помощи формулы

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$$

Где $D_0=1.385$ – постоянная диффузии, $E_a = 3.7$ – энергия активации, k – постоянная Больцмана, T – температура процесса диффузии.

$$\text{Получим: } D_1 = 1.385 \cdot \exp\left(-\frac{3,7}{k \cdot 1273}\right) = 3.15 \cdot 10^{-15}, \text{ см}^2/\text{с}$$

С помощью графика «Зависимости коэффициента диффузии фосфора в кремний от температуры», сделаем проверку полученного результата для $T=1000^{\circ}\text{C}$. Найдем, что $D_1 = 3,1 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2/\text{с}$.

3) Вычислим дозу легирования N :

$$N = 2C_{01} \sqrt{\frac{D_1 \cdot t_1}{\pi}} = 2 \cdot 8 \cdot 10^{19} \sqrt{\frac{3,1 \cdot 10^{-15} \cdot 60 \cdot 60}{3,14}} = 3 \cdot 10^{14}$$

4) Определим коэффициент диффузии D_2 при помощи формулы

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

Где $D_0 = 1,385$ – постоянная диффузии, $\Delta E = 3,7$ – энергия активации, k – постоянная Больцмана, T – температура процесса диффузии.

Получим: $D_1 = 1,385 \cdot \exp\left(-\frac{3,7}{k \cdot 1323}\right) = 1,13 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2/\text{с}$

С помощью графика «Зависимости коэффициента диффузии фосфора в кремний от температуры», сделаем проверку полученного результата для $T=1050^{\circ}\text{C}$. Найдем, что $D_1 = 1,1 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2/\text{с}$.

$$C(x, t) = C_{01} \operatorname{erfc} \frac{x}{2 \sqrt{D_1 t_1}}$$

5) Построим кривую распределения примеси после загонки:

Где erfc – дополнительная функция ошибок и находится по таблице, так как она протабулирована, или с помощью встроенной функции erfc в программе MathCAD.

Заполняем расчетную таблицу, меняя расстояние x от поверхности с шагом $2 \cdot 10^{-6}$.

Таблица: Результаты расчета распределения алюминия в кремнии в результате загонки.

Заполняем расчетную таблицу, меняя расстояние x от поверхности с необходимой частотой, до значения при котором значение $C_1(x)$ имеет порядок не более 10^{14} . (см^{-3})

б) Рассчитаем значения кривой распределения фосфора после разгонки:

$$c(x, t) = \frac{N}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t}\right) \text{ см}^{-3}$$

Таблица - Результаты расчета распределения алюминия в кремнии при диффузии из приповерхностного слоя.

Заполняем расчетную таблицу, меняя расстояние x от поверхности с шагом $6 \cdot 10^{-6}$.

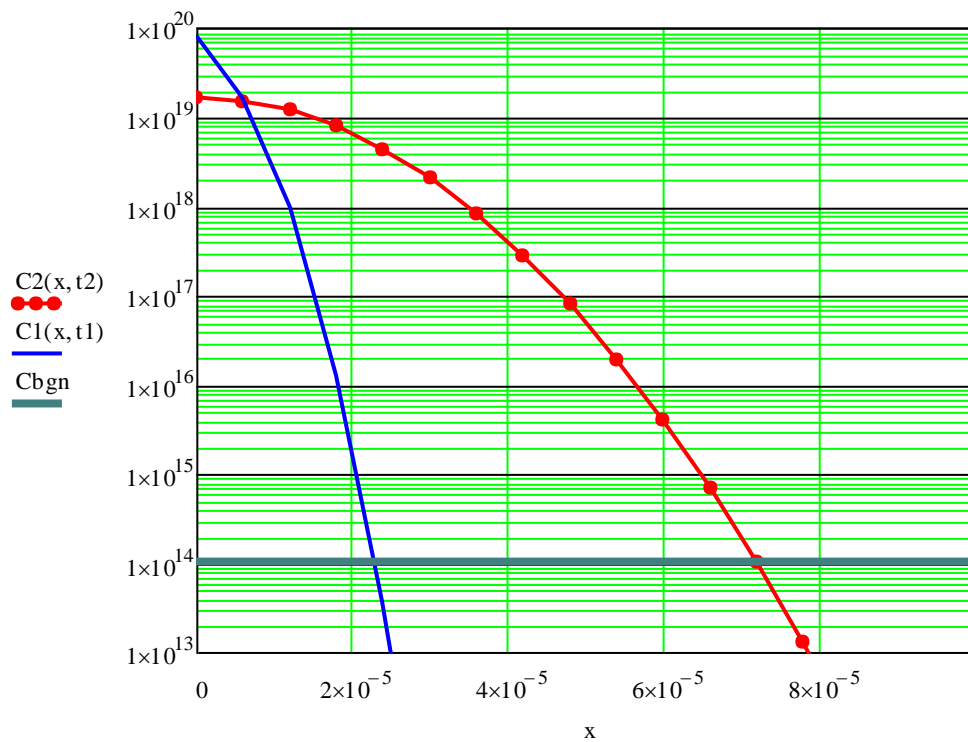
Заполняем расчетную таблицу, меняя расстояние x от поверхности с необходимой частотой, до значения при котором значение $C(x)$ имеет порядок не более 10^{14} .

7) Определим глубину залегания p-n перехода по следующей формуле:

$$x_{p-n} = 2\sqrt{D \cdot t} \cdot \sqrt{\ln \frac{N}{c_{\text{исх}} \sqrt{\pi \cdot D \cdot t}}} \quad (\text{см})$$

Получаем:

$$x_{p-n} = 2 * \sqrt{1,1 * 10^{-14} * 9600} * \sqrt{\ln \frac{3 * 10^{14}}{10^{14} \sqrt{3,14 * 1,1 * 10^{-14} * 9600}}} = 7.2 * 10^{-5} \text{ (cm)}$$



8) Построим график на основании выполненных

Профиль распределения примеси в случае двухстадийной диффузии

Вывод: Мы можем видеть, что данные полученные с помощью расчетов совпадают с показаниями графика.