

Заєць Дар'я ДМ-81  
Варіант №4  
Практична робота №1

**Завдання:**

Розрахувати провідність кремнію. Парні варіанти (номер за списком) концентрація донорної домішки = №варіанту\* $10^{14}\text{см}^{-3}$ .

**Вихідні дані:**

Концентрація донорної домішки:  $N_d^+ = 4 \cdot 10^{14}(\text{см}^{-3})$ ,

рухливість носіїв заряду (в кремнії):  $\mu_n = 1500 \left( \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \right)$ ,  $\mu_p = 450 \left( \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \right)$

одиничний заряд:  $q = 1.6 \cdot 10^{-19}(\text{Кл})$

Спочатку виведемо рівняння електронейтральності, використовуючи умову електронейтральності, яка полягає в тому, що сумарний заряд у напівпровіднику має дорівнювати нулю:

$$\sum_{i=1}^n q_i^- + \sum_{j=1}^m q_j^+ = 0 \quad (1)$$

Запишемо (1) вираз через об'ємний заряд  $Q$  :

$$Q^- + Q^+ = 0 \quad (2)$$

Також об'ємний заряд  $Q$  можна визначити наступним чином:

$$Q^+ = V \cdot \rho^+, \quad (3)$$

$$Q^- = V \cdot \rho^-, \quad (4)$$

де  $V$  — об'єм, що займають носії заряду;  $\rho$  — об'ємна густина заряду.

Підставимо (3) і (4) у (2) та отримаємо:

$$V \cdot \rho^- + V \cdot \rho^+ = 0 \Rightarrow \rho^- + \rho^+ = 0 \quad (5)$$

Об'ємну густину заряду  $\rho$  можна визначити наступним чином:

$$\rho^- = -q \cdot N^- \quad (6)$$

$$\rho^+ = q \cdot N^+ \quad (7)$$

Підставляючи (6) і (7) у (5) вираз отримаємо наступне:

$$q \cdot N^- = q \cdot N^+ \quad (8)$$

Оскільки в умові дано напівпровідник n-типу, тоді концентрація від'ємних носіїв заряду визначається основними носіями заряду – електронами, а концентрація додатніх носіїв заряду визначається неосновними носіями заряду – дірками та позитивно зарядженими іонами домішок, тому:

$$N^- = n \quad (9)$$

$$N^+ = p + N_D^+, \quad (10)$$

де  $N_D$  - концентрація позитивно заряджених іонів донорних домішок.

Підставляючи (9) і (10) у (8) отримаємо:

$$n = p + N_D, \quad (11)$$

Для того щоб вивести формулу для знаходження провідності кремнію легованого донорними домішкою необхідно врахувати саму електронейтральність речовини при легуванні, а також закон діючих мас:

$$q \cdot n = q \cdot p, \quad (12)$$

а закон діючих мас має такий вигляд:

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (13)$$

Повний заряд основних носіїв (електронів) дорівнює сумі заряду неосновних носіїв (дірок) і заряду іонів донорів тому можна записати такий вираз:

$$q \cdot n = q \cdot p + q \cdot N_D^+ \Rightarrow n = p + N_D^+ \quad (14)$$

Підставивши рівність (14) в (13) маємо:

$$n_i^2 = p^2 + p \cdot N_D^+ \quad (15)$$

Маємо квадратне рівняння, отримаємо його корені, обчисливши дискримінант, **але** знаючи що концентрація не може бути від'ємнимною, тоді від'ємним коренем одразу ж нехтуємо та отримуємо:

$$p^2 + p \cdot N_D^+ - n_i^2 = 0 \quad (16)$$

$$D = (N_D^+)^2 + 4 \cdot n_i^2$$

$$p = \frac{-N_D^+ \sqrt{(N_D^+)^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2}$$

Підставляємо у (3) вираз та отримуємо:

$$p = \frac{N_D^+ \sqrt{(N_D^+)^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} \quad (17)$$

Отримали формулу для розрахунку електропровідності провідника з донорними домішками:

$$\sigma = q \cdot \frac{-N_D^+ + \sqrt{(N_D^+)^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} \cdot \mu_n + q \cdot \frac{N_D^+ + \sqrt{(N_D^+)^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} \cdot \mu_p, \quad (18)$$

де  $N_D^+ = 6 \cdot 10^{14} \text{см}^{-3}$  — концентрація донорної домішки;  $n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{см}^{-3}$  — концентрація власних носіїв;  $\mu_n = 1500 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$  — рухливість електронів;  $\mu_p = 450 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$  — рухливість дірок;  $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$  — заряд електрона.

Також додатково я проаналізувала розмірність отриманого виразу, тому з впевненістю можу констатувати той факт що аналітичний вираз для провідності кремнію вірний:

$$\text{Кл} \cdot \left( \text{см}^{-3} + \sqrt{(\text{см}^{-3})^2 + (\text{см}^{-3})^2} \right) \cdot \left( \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \right) \Rightarrow \text{Кл} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} = \frac{\text{См}}{\text{см}} \quad (19)$$

Підставляючи вихідні дані у вираз (7), отримаємо:

$$\begin{aligned} \sigma &= 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{-4 \cdot 10^{14} + \sqrt{(4 \cdot 10^{14})^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} \cdot 1500 + \\ &+ 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{4 \cdot 10^{14} + \sqrt{(4 \cdot 10^{14})^2 + 4 \cdot n_i^2}}{2} \cdot 450 = 0.096 \end{aligned}$$

**Відповідь:**  $\sigma = 0.096 \frac{\text{См}}{\text{см}}$