

Цель работы: определить энергию ионов и дозу облучения, необходимые для создания р- n-перехода.

Исходные данные:

1. Тип подложки КЭФ – 4,5;
2. Примесь – бор;
3. Поверхностное сопротивление $R_s=40 \text{ Ом}/\square$
4. Глубина имплантации $X_j=0,13 \text{ мкм}$.

Ход работы.

1. Рассчитаем средний полный пробег ионов бора в кремнии $R(E)$:

Для расчета необходимо определить радиус экранирования a , коэффициент передачи максимальной энергии γ , параметры электронного торможения k и β , нормирующие множители L и F .

С помощью справочника находим атомные номера и массы бора и кремния и собственную концентрацию атомов в кремнии: $Z_1=5$, $Z_2=14$, $M_1=11$, $M_2=28,09$, $N_2=4,98 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-2}$.

Радиус экранирования

$$a = \frac{4,7 \cdot 10^{-9}}{\left(Z_1^{\frac{2}{3}} + Z_2^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{4,7 \cdot 10^{-9}}{\left(5^{\frac{2}{3}} + 14^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{1}{2}}} = 1,59 \cdot 10^{-9} \text{ см}.$$

Коэффициент передачи максимальной энергии

$$\gamma = \frac{4M_1M_2}{(M_1 + M_2)^2} = \frac{4 \cdot 11 \cdot 28,09}{(11 + 28,09)^2} = 0,809.$$

Коэффициент электронного торможения

$$k = 2,47 \cdot 10^{11} \cdot Z_1^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{Z_2}{M_2}} \cdot [a \cdot (1 + \mu)]^{\frac{3}{2}} = 2,47 \cdot 10^{11} \cdot 5^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{14}{28,09}} \cdot \left[1,59 \cdot 10^{-9} \cdot \left(1 + \frac{28,09}{11}\right)\right]^{\frac{3}{2}} = 0,217.$$

Нормирующие множители для энергии и пробега

$$F = \frac{6,9 \cdot 10^6 a M_2}{Z_1 Z_2 (M_1 + M_2)} = \frac{6,9 \cdot 10^6 \cdot 1,59 \cdot 10^{-9} \cdot 28,09}{5 \cdot 14 (11 + 28,09)} = 1,127 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}^{-1}.$$

$$L = \pi \cdot a^2 \cdot \gamma \cdot N_2 = 3,14 (1,59 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 0,809 \cdot 4,98 \cdot 10^{22} = 3,201 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$$

Безразмерные энергии

$$\varepsilon(E) = E \cdot F.$$

$$\beta = 6,16 \cdot 10^3 Z_2 M_1 F = 6,16 \cdot 10^3 \cdot 14 \cdot 11 \cdot 1,127 \cdot 10^{-4} = 106,871.$$

Рассчитаем полный пробег в безразмерных единицах:

$$\rho(E) = \frac{2}{k} \cdot (\varepsilon(E))^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{k \cdot \varepsilon(E)}{3 \cdot \beta}\right) - \frac{2 \cdot \frac{c}{k}}{k \cdot \sqrt{\frac{c}{k} + d}} \cdot \arctan \left(\sqrt{\frac{\varepsilon(E)}{\frac{c}{k} + d}} \right).$$

$$c = 0,45; d = 0,3.$$

Выразим пробег в размерных единицах:

$$R(E) = \frac{\rho(E)}{L}.$$

2. Рассчитаем средний нормальный пробег и стандартное отклонение пробега. $R_p(E)$ и $\Delta R_p(E)$.

Используя расчеты пункта 1, найдем потери энергии на ядерное торможение:

$$\varepsilon_n(E) = \frac{c}{k} \cdot \ln \left(1 + \frac{\varepsilon(E)}{\frac{c}{k} + d} \right).$$

Рассчитаем поправку:

$$f(E) = \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_2}{M_1} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_n(E)}{\varepsilon(E)}} \right)^{-1}.$$

Для $\varepsilon > 10$ определим тормозную способность:

$$S_n(E) = (2\varepsilon(E))^{-1} \cdot \ln(1,29\varepsilon(E)).$$

Отношение масс сталкивающихся частиц

$$\mu = \frac{M_2}{M_1} = 2,554.$$

Средний нормальный пробег $R_p(E)$:

$$R_p(E) = f(E) \cdot R(E).$$

Среднеквадратичное отклонение пробега $\Delta R_p(E)$:

$$\Delta R_p(E) = R_p(E) \cdot \sqrt{\frac{\rho(E) \cdot (\gamma + \mu) \cdot S_n(E)}{9 \cdot \varepsilon(E)}}.$$

3. Определим энергию ионов и дозу облучения.

Согласно уравнению,

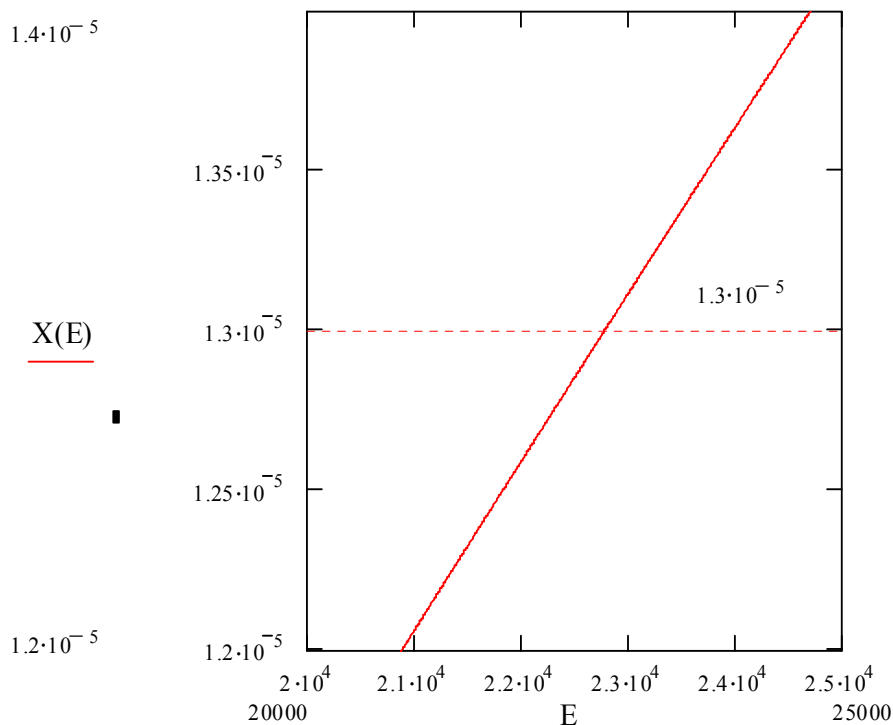
$$X_j(E) = R_p(E) + \Delta R_p(E) \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{C_{\max}}{C_b}\right)}, \text{ где}$$

$$C_{\max} = \frac{1}{q \cdot \mu_p \cdot R_s} = 3,125 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}. \quad C_b = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot \rho} = 9,921 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}.$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; \mu_n = 1400 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}; \mu_p = 500 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}; \rho = 45 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Построим зависимость $R_p(E) + \Delta R_p(E) \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{C_{\max}}{C_b}\right)}$ от энергии в диапазоне

20 – 25 кэВ. На этом же рисунке проведем линию $X_j = 0,13 \text{ мкм}$ и по точке пересечения определим $E = 22,8 \text{ кэВ}$.



Найдем дозу облучения:

$$N = 2,5 R_p(E) \cdot C_{\max} = 5,611 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}.$$