

Семинар №5

Твердотельная электроника

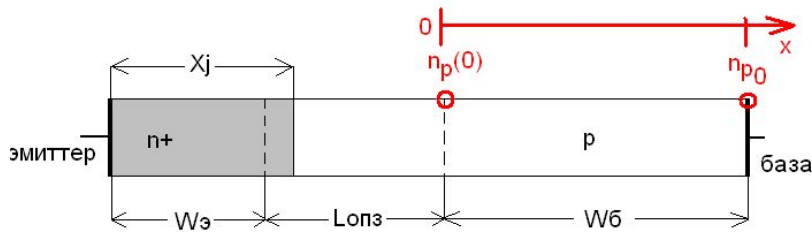
a_kras@org.miet.ru



ВАХ диода

Вывод формулы для ВАХ идеального диода (резкий переход):

1. Записать уравнение непрерывности для неосновных носителей в базе
2. Упрощения: 1D-задача, стационарный случай, ток-диффузионный, $R_b=0$, граничные условия Шокли при НУИ
3. Получаем распределение неосновных носителей в базе, находим ток диода



$$j_n = (E = 0) = eD_n \frac{dn}{dx} = \left[\frac{eD_n n_i^2}{L_b \tanh\left(\frac{W_b}{L_n}\right) N} \right] \left(\exp\left(\frac{U}{\phi_t}\right) - 1 \right)$$

$$j_n = \frac{e \cdot n_i^2}{G_b} \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{\phi_t}\right) - 1 \right) = j_{n0} \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{\phi_t}\right) - 1 \right)$$

Число
Гуммеля

$$G_b = \frac{N_b \cdot W_b}{D_n}, L_{diff} \gg W_b \quad \text{Тонкая база}$$

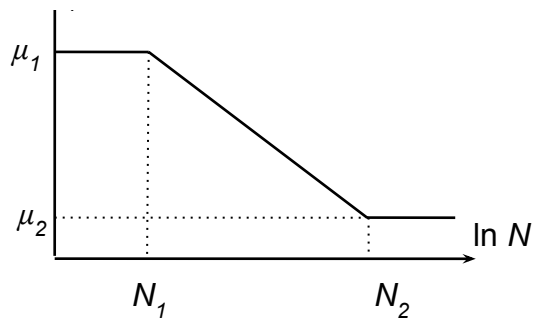
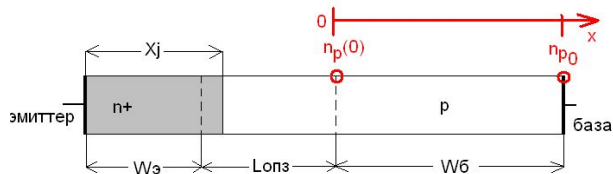
$$G_b = \frac{N_b \cdot L_{diff}}{D_n}, L_{diff} \leq W_b \quad \text{Толстая база}$$



Задача 1

Дано: заданы параметры р-базы: $W=10\text{мкм}$, $N=1\text{e}15\text{см}^{-3}$, $\tau=1\text{e}-5\text{с}$

Определить: толстая база или тонкая, рассчитать G_b



Параметр	Единицы измерения	Значение параметра	
		Электронны	Дырки
μ_1	$\text{см}^2 / \text{В.с}$	1 300	480
μ_2	$\text{см}^2 / \text{В.с}$	85	50
N_1	см^{-3}	$3 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{16}$
N_2	см^{-3}	$1 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{19}$
λ	—	0,115	0,130

1. Неосновные носители в р-области – электроны
2. Находим подвижность электронов в р-базе:
 $\mu_n(N=10^{15}) = 1300 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$

3. Находим диффузионную длину неосновных носителей:

$$\mu(N) = \begin{cases} \mu_1, & N \leq N_1; \\ \mu_1 \left(1 - \lambda \ln \frac{N}{N_1} \right), & N_1 < N < N_2; \\ \mu_2, & N \geq N_2. \end{cases}$$

$$L_{diff} = \sqrt{\tau \cdot \varphi_T \mu_n} = \sqrt{10^{-5} \cdot 0.0258 \cdot 1300} = 183 \text{ мкм}$$

$L_{diff} \gg W$ Значит база тонкая

$$G_b = \frac{N_b \cdot W_b}{D_n} = \frac{10^{15} \cdot 10 \cdot 10^{-4}}{1300 \cdot 0.0258} = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{с}}{\text{см}^4}$$



Задача 2

Используя данные задания 1, найти плотность теплового тока, считая что он определяется только свойствами базы. Найти тепловой ток, если $S=5 \cdot 5 \text{ мкм}^2$

$$j_0 = \frac{e \cdot n_i^2}{G_b} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{20}}{3 \cdot 10^{10}} = 5.3 \cdot 10^{-10} \frac{A}{cm^2}$$

$$I_0 = j_0 \cdot S = 5.3 \cdot 10^{-10} \cdot 25 \cdot 10^{-8} = 1.325 \cdot 10^{-16} A$$

Задача 3

Используя данные заданий 1 и 2, найти сопротивление р-базы

1. Надо найти подвижность основных носителей в р-базе – дырок. Используем график и таблицу из слайда 3.

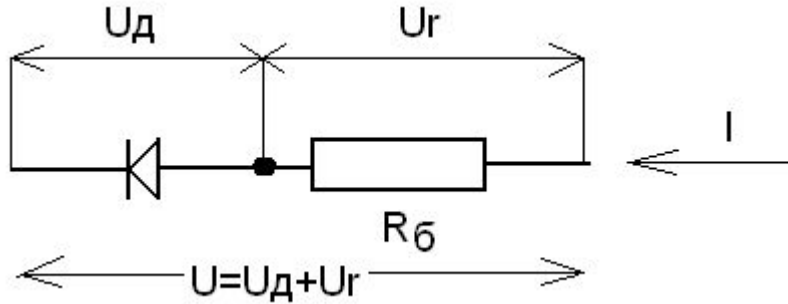
$$\mu_p(N = 10^{15}) = 480 \frac{cm^2}{B \cdot c}$$

$$R = \rho \cdot \frac{W}{S} = \frac{1}{e \cdot N \cdot \mu_p(N)} \cdot \frac{W}{S} = \frac{10 \cdot 10^{-4}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \cdot 480 \cdot 25 \cdot 10^{-8}} = 5.2 \cdot 10^4 [Om]$$



Задача 4

Через диод протекает ток $I=10\text{мА}$. Найти падение напряжения на диоде, на базе и на всем приборе. Недостающие данные взять из предыдущих задач.



1. Закон Ома:

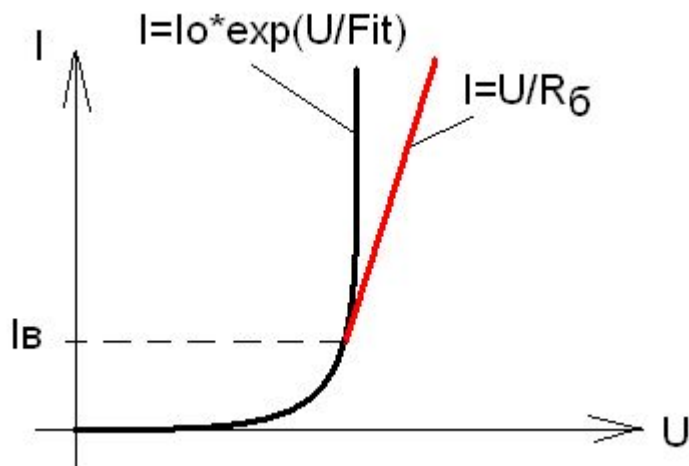
$$U_r = I \cdot R_b = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 5.2 \cdot 10^4 = 520 \text{ В}$$

2. Из формулы ВАХ идеального диода при $U > 0$:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(\frac{U_d}{\varphi_t}\right); \rightarrow U_d = \varphi_t \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = 0.0258 \cdot \ln\left(\frac{10^{-2}}{1.325 \cdot 10^{-16}}\right) \approx 0.0258 \cdot 14 \cdot 2.3 = 0.83 \text{ В}$$

Задача 5

Найти ток омического вырождения



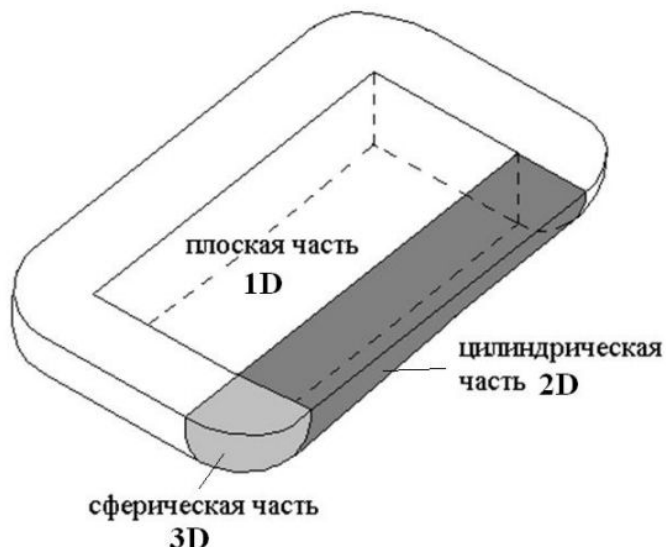
Дифференциальное сопротивление диода $r = \frac{dU_d}{dI} = \frac{\varphi_t}{I + I_0}$

$I = I_B$ когда $r = R_b$. То есть:

$$I_B = \frac{\varphi_t}{R_b} = \frac{0.0258}{5.2 \cdot 10^4} \approx 5 \cdot 10^{-7} \text{ А}$$



Дополнительные задания в к семинару 5



1. Дополнительные задания выполняются по желанию
2. Нужно сформировать модель р-n-перехода в программе Sim1D (она лежит в ОРИОКС) и рассчитать пробивное напряжение р-n-перехода разной формы
3. Для выполнения этого задания рекомендуется ознакомиться с лабораторной работой №6 в программе Sim1D дисциплины МЭТТЭ (работа выложена в ОРИОКС в соответствующей дисциплине)

