Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

ОТКРЫТЫЙ БИЛЕТ

1. Определите плотность тока термоэмиссии (А/м^2), если материал термокатода имеет эффективную работу выхода $\varphi_{\text{эфф}} = 1{,}5$ эВ, температура катода $T_{\text{к}} = 900$ К, проницаемость потенциального барьера $D = 0{,}95$.

Решение

Плотность тока термоэмиссии можно определить, используя уравнение Ричардсона – Дэшмана:

$$j_{\text{Э}} = A_0 \cdot D \cdot T_{\text{к}} \cdot e^{-\frac{e\varphi_{\text{эфф}}}{k \cdot T_{\text{к}}}} = 120 \cdot 10^4 \cdot 0{,}95 \cdot 900^2 \cdot e^{-\frac{1{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 900}} = 3{,}85 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2,$$

где $A_0 = 120 \cdot 10^4 \dfrac{\text{А}}{\text{м}^2\text{град}^2}$ – универсальная постоянная термоэмиссии;

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона;

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Ответ: $3{,}85 \cdot 10^3$ А/м^2.

2. Определите длину волны де Бройля (нм) для электрона с энергией 1,5 эВ.

Решение

Любой частице, обладающей импульсом p, соответствует волна, длина которой вычисляется по формуле де Бройля.

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mV},$$

где h – постоянная Планка;

p – импульс частицы;

V – скорость частицы.

С учетом этого:

$$E = \frac{mV^2}{2} \to V = \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

Ответ: $\lambda_{\text{Д}} = 1$ нм.

3. Определите долю объёма, занятого жесткими сферами, при плотной их упаковке, в простой кубической решетке.

Решение

Долю объема, занятого жесткими сферами, называют коэффициентом компактности. Выражение для определения коэффициента компактности имеет вид:

$$f_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{ш}}}{V_{\text{яч}}}, \tag{1}$$

где $V_{\text{ш}}$ – объем, занимаемый шарами в элементарной ячейке; $V_{\text{яч}}$ – объем элементарной ячейки.

Рассмотрим простую кубическую кристаллическую решетку (рис. 1). В ней элементарная ячейка представляет собой куб с ребром, равным периоду ячейки *a*. Ее объем равен объему куба:

$$V_{\text{яч}} = a^3. \tag{2}$$

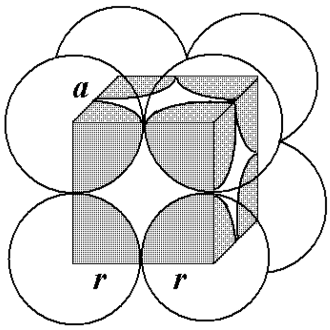


Рис. 1 – Объем, занимаемый атомами
в элементарной ячейке простой кубической решетки

Объем, занимаемый атомами, находим, посчитав число атомов *N*, входящих в ячейку, и умножив на объем одного атома V_0:

$$V_{\text{ш}} = NV_0. \tag{3}$$

Объем одного атома V_0 вычислим как объем шара с радиусом *r*:

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3. \tag{4}$$

Подставим (2)–(4) в (1), получим

$$f_{\text{ш}} = N\frac{4}{3}\pi\frac{r^3}{a^3}. \tag{5}$$

Для простой кубической решетки число атомов, входящих в ячейку (рис. 1), равно 8. Но они входят в ячейку не целиком, а частично, 1/8 частью. Поэтому число целых атомов, входящих в ячейку, будет равно

$$N = 8\cdot\frac{1}{8} = 1. \tag{6}$$

Соотношение между периодом решетки *a* и радиусом атома *r* легко находится при упаковке шаров с центрами по вершинам куба (рис. 1).

$$a = 2r \rightarrow \frac{r}{a} = \frac{1}{2}. \qquad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (5), получим окончательно:

$$f_{ш} = \frac{4}{3} \cdot 1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6} \approx 0,52.$$

Ответ: $f_{ш} = 0,52.$

4. Определите величину поверхностного потенциала φ_S^0 (эВ) на контакте металла с полупроводником, если концентрация электронов на поверхности полупроводника $n = 10^{15}$ см$^{-3}$, а в объеме $n_0 = 10^{17}$ см$^{-3}$. Температура $T = 300$ К.

Решение

Зависимость концентрации носителей в обедненном слое полупроводника от значения потенциала имеет вид:

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{\varphi_S^0}{kT}\right).$$

Откуда

$$\varphi_S^0 = kT \ln \frac{n_0}{n}.$$

$$\varphi_S^0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot \ln \frac{10^{17}}{10^{15}} = 1,9 \cdot 10^{-20} \text{Дж} = 0,12 \text{ эВ}.$$

Ответ: 0,12 эВ.

5. Вычислите сопротивление алюминиевого провода диаметром 3 мм на частоте 80 МГц. Длина провода 250 м, удельное сопротивление алюминия 0,026 мкОм·м.

Решение

При частоте более 1 МГц ток по проводнику протекает в тонком приповерхностном слое глубиной Δ.

$$\Delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu}},$$

где ρ – удельное сопротивление алюминия;

f – частота приложенного напряжения;

μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м);

μ – магнитная проницаемость алюминия ($\mu = 1$).

Сопротивление проводника $R = \rho \frac{L}{S}$,

где L – длина провода;

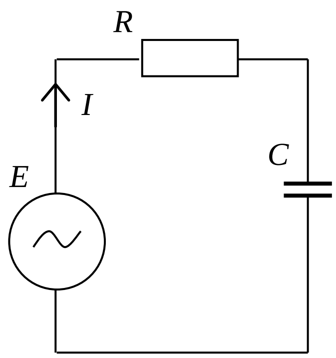
S – площадь кольца, по которому протекает ток.

Если Δ много меньше диаметра провода, то площадь сечения, по которой протекает ток, равна $S = \pi d \Delta$.

$$\Delta = \sqrt{\frac{0,026 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^{6} \cdot 1,26 \cdot 10^{-6}}} = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$R = \frac{0,026 \cdot 10^{-6} \cdot 250}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 \cdot 10^{-6}} = 76 \text{ Ом}.$$

6. *Дано:* Закон изменения э.д.с.: $E(t) = 100 \cdot \sin(628 \cdot t)$ В, $R = 30$ Ом, $C =$ 0.00005 Ф. *Определить* Q – реактивную мощность цепи (вар).



Решение

В этом примере амплитуда э.д.с. $E_m = 100$ В.

Угловая частота колебаний синусоидальной э.д.с. $\omega = 628$ $^{\text{рад}}/_{\text{с}}$.

Реактивное сопротивление конденсатора $X_C = \dfrac{1}{\omega \cdot C} = \dfrac{1}{628 \cdot 0.00005} \approx 31.8$ Ом.

Модуль комплексного сопротивления цепи $|Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{30^2 + 31.8^2} \approx 43.8$ Ом.

Действующее значение тока в цепи $I = \dfrac{E_m}{\sqrt{2} \cdot |Z|} = \dfrac{100}{\sqrt{2} \cdot 43.8} \approx 1.62$ А.

Реактивная мощность цепи $Q = |I|^2 \cdot X_C = 1.62^2 \cdot 31.8 \approx$ 83.5 вар.

Ответ: $Q =$ 83.5 вар.

7. Число $a_1 a_0$, представленное в шестнадцатеричной системе счисления, переведите в десятичную систему счисления.

Решение

$$\sum_{0}^{1} a_i \cdot 16^i = a_1 \cdot 16^1 + a_0 \cdot 16^0.$$

a_i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, где A = 10, B = 11, C = 12, D = 13, E = 14, F = 15.