

ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ

по дисциплинам «Электроника»

1. Вывести дисперсионную характеристику для акустических фононов в полупроводниковых кристаллах. Рассчитать среднюю тепловую скорость электрона в кремнии при комнатной температуре и длину волны электрона.
2. Объяснить общие принципы закона Дебая для теплоемкости и рассчитать теплоемкость кремния и германия при температуре Дебая и при 10 К. Температура Дебая для кремния равна 658 К, для германия – 366 К.
3. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в германии при $T=300$ К. Эффективную массу дырок считать равной $0.36 \cdot m_0$, а электронов – $0.55 \cdot m_0$, где m_0 – масса электрона в вакууме. Ширина запрещенной зоны при комнатной температуре в германии составляет 0.66 эВ.
4. Концентрация электронов в собственном полупроводнике при 400 К оказалась равной $1.38 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Найти произведение эффективных масс электронов и дырок, если ширина запрещенной зоны следующим образом зависит от температуры: $W_g = 0.785 - 4 \cdot 10^{-4} \cdot T$ (эВ).
5. Вывести формулу для зависимости уровня Ферми от температуры в собственном полупроводнике. Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов в собственном германии при температуре 600 К, если известно, что ширина запрещенной зоны при таких температурах меняется по закону $E_g = (0.7 - 3 \cdot 10^{-4} T(K))$ эВ. Использовать значения эффективных масс $m_n = 0.02 m_0$, $m_p = 0.2 m_0$.
6. Найти отношение концентраций электронов в верхних (L) и основной (Г) долинах невырожденного GaAs при $T=300$ К и при $T=1000$ К. Считать, что эффективная масса плотности состояний для электронов в верхних долинах в 15 раз больше, чем в основной. Энергетический зазор между долинами составляет $W_s = 0,35$ эВ.
7. Определить относительное изменение проводимости тонкого полупроводникового образца при стационарном освещении с интенсивностью $I = 5 \cdot 10^{15} \text{ 1/с} \cdot \text{см}^2$. Коэффициент поглощения $\gamma = 100 \text{ см}^{-1}$; равновесная концентрация электронов составляет $n_0 = 10^{15} \text{ см}^{-3}$; время жизни $\tau = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$; отношение подвижностей электронов и дырок $\mu_n / \mu_p \approx 2$.
8. Объяснить распределение концентрации электронов, наличие электрического поля и потенциального барьера на границе $n^+ - n^-$ перехода. Используя условия равновесия в такой системе вывести соотношение Эйнштейна. Найти диффузионную длину электронов в невырожденном германии при температуре $T = 300$ К, если время жизни электронов составляет $\tau_n = 10^{-4} \text{ с}$, а их подвижность - $\mu_n = 3800 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

9. При $T=300$ К удельное сопротивление образца собственного кремния составляет $2.3 \cdot 10^5$ Ом·см. Какова концентрация собственных носителей заряда? Если через образец пропустить ток, то какая его часть будет обусловлена электронами? Считать, что $\mu_n=1900$ см²/В·с; $\mu_p=425$ см²/В·с.
10. Оценить среднюю скорость теплового движения электронов при комнатной температуре и дрейфовую скорость электронов на участке насыщения зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля в Si, если эффективная масса электронов в данном материале составляет $m^* = 0.2m_0$, а энергия оптического фотона $\hbar\omega_0 = 60$ мэВ.
11. Вывести вольт-амперную характеристику $p-n$ перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода.
12. Оценить величину плотности тока тепловой генерации $p-n$ перехода, если концентрации примесей в p и n областях составляют, соответственно, $N_A=2 \cdot 10^{14}$ см⁻³, $N_D=2 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Подвижности дырок и электронов $\mu_p=1900$ см²/Вс, $\mu_n=3500$ см²/Вс. Времена жизни носителей заряда $\tau_p=\tau_n=10^{-3}$ с. Концентрация носителей в собственном полупроводнике $n_i=2 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Найти величину тока в $p-n$ переходе при внешнем напряжении $V=+0,15$ В; $-0,5$ В; -2 В. Площадь перехода составляет 1 мм².
13. Рассчитать контактную разность потенциалов в Ge $p-n$ переходе. Удельное сопротивление p и n областей $\rho=2$ Ом·см. Как изменится высота энергетического барьера при изменении напряжения с $V=+0,15$ В до $V=-5$ В? Нарисовать зонные диаграммы. Концентрация носителей в собственном полупроводнике $n_i=2 \cdot 10^{13}$ см⁻³.
14. Вывести вольт-амперную характеристику диода Шоттки.
15. Найти контактную разность потенциалов в диоде Шоттки $n-Ge/Au$. Нарисовать зонную диаграмму контакта при термодинамическом равновесии. Удельное сопротивление полупроводника $\rho=1$ Ом·см. Работа выхода электронов из золота 4,7 эВ. Электронное сродство Ge 4 эВ, ширина запрещенной зоны $W_g=0,66$ эВ. Концентрация электронов в собственном германии составляет $n_i=2 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Подвижность электронов $\mu_n=3500$ см²/Вс. Определить толщину несмещенного перехода, если диэлектрическая проницаемость составляет $\epsilon=16$.
16. Исходя из времени релаксации импульса (10^{-13} с), эффективной массы электронов (0.067 m_0 для GaAs и 0.2 m_0 для Si) и ширины запрещенной зоны (1.2 эВ в Si и 1.51 эВ в GaAs) оценить напряженность поля при котором возникает лавинный пробой в GaAs и Si.
17. Вычислить КПД GaAs солнечной батареи считая, что интенсивность солнечного излучения распределена по спектру равномерно, а диапазон длин волн излучения от 0.1 до 10 мкм.

18. На практике для уменьшения шумов германиевые фотодиоды помещают в жидкий азот. Определить сдвиг длинноволновой границы рабочего диапазона германиевого фотодиода при его охлаждении от комнатной температуры (300 К) до температуры жидкого азота (78 К). Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры для германия $W_g = 0.742 - 4.8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 / (T + 235)$ (эВ). Почему темновой ток германиевого фотодиода больше, чем кремниевого?
19. Объяснить преимущества дрейфового транзистора с варизонной базой перед биполярным для чего численно оценить амплитуду встроенного поля в варизонной базе толщиной 1 мкм и $\Delta W_g = 0.4$ эВ и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда (аналогично дрейфовому транзистору).
20. Вывести ВАХ ПТ с управляющим *p-n* переходом. Качественно объяснить отличия МДП транзисторов с индуцированным и встроенным каналом.
21. Вывести критерий Крамера для диода Ганна. Объяснить три режима работы диода Ганна в резонаторе (пролетный режим, режим запаздывания домена, режим гашения).