

ЗАДАЧИ К ЗАЧЕТУ

по дисциплине «полупроводниковая электроника»

1. Вывести дисперсионную характеристику для акустических фононов в полупроводниковых кристаллах. Качественно объяснить причины возникновения оптических фононов в сложных кристаллических решетках.
2. Вывести закон Дебая и рассчитать теплоемкость кремния и германия при температуре большей, чем температура Дебая и при 0 К. Температура Дебая для кремния равна 658 К, для германия – 366 К. Оценить температуру поверхности кремниевого кристалла мощного полупроводникового прибора если известны: рассеиваемая прибором мощность - 150 Вт, толщина кристалла - 50 мкм. Считать, что кристалл припаян к идеальному теплоотводу. Паразитным тепловым сопротивлением припоя пренебречь.
3. Рассчитать скорость электрона в кремнии.
4. Рассчитать длину волны электрона в германии исходя из тепловой энергии W_T и эффективной массы m^* .
5. 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 $m_n = 0.02 m_0$, $m_p = 0.2 m_0$. Оценить температуру, при которой достигается экстремальное значение уровня Ферми, считая $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $m_n^* \approx m_0$.
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. Будут ли отличаться значения проводимости материала при данных температурах?
7. Объяснить распределение концентрации электронов, наличие электрического поля и потенциального барьера на границе $n^+ - n$ перехода. Используя условия равновесия в такой системе вывести соотношение Эйнштейна. Объяснить физический смысл теплового потенциала как коэффициента пропорциональности между подвижностью и коэффициентом диффузии. Найти диффузионную длину электронов в невырожденном германии при температуре $T = 300$ К, если время жизни электронов составляет $\tau_n = 10^{-4}$ с, а их подвижность - $\mu_n = 3800 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
8. При $T=300$ К удельное сопротивление образца собственного кремния составляет $2.3 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Какова концентрация собственных носителей заряда?

Если через образец пропустить ток, то какая его часть будет обусловлена электронами? Считать, что $\mu_n=1900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$; $\mu_p=425 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

9. 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 $m^* = 0.5m_0$, а энергия оптического фонона $\hbar\omega_0 = 60 \text{ мэВ}$.
10. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики p - n перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?
11. Оценить величину плотности тока тепловой генерации p - n перехода, если концентрации примесей в p и n областях составляют, соответственно, $N_A=2\cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $N_D=2\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Подвижности дырок и электронов $\mu_p=1900 \text{ см}^2/\text{Вс}$, $\mu_n=3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$. Времена жизни носителей заряда $\tau_p=\tau_n=10^{-3} \text{ с}$. Концентрация носителей в собственном полупроводнике $n_i=2\cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Найти величину тока в p - n переходе при внешнем напряжении $V=+0,15 \text{ В}$; $-0,5 \text{ В}$; -2 В . Площадь перехода составляет 1 мм^2 .
12. Рассчитать контактную разность потенциалов в Ge p - n переходе. Удельное сопротивление p и n областей $\rho=2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Как изменится высота энергетического барьера при изменении напряжения с $V=+0,15 \text{ В}$ до $V=-5 \text{ В}$? Нарисовать зонные диаграммы. Концентрация носителей в собственном полупроводнике $n_i=2\cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Изменится ли (и если изменится, то как) контактная разность потенциалов при нагреве полупроводниковой структуры?
13. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристику диода Шоттки.
14. Найти контактную разность потенциалов в диоде Шоттки n - Ge/Au . Нарисовать зонную диаграмму контакта при термодинамическом равновесии. Удельное сопротивление полупроводника $\rho=1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Работа выхода электронов из золота $4,7 \text{ эВ}$. Электронное сродство Ge 4 эВ , ширина запрещенной зоны $W_g=0,66 \text{ эВ}$. Концентрация электронов в собственном германии составляет $n_i=2\cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Подвижность электронов $\mu_n=3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$. Определить толщину несмещенного перехода, если диэлектрическая проницаемость составляет $\epsilon=16$.
15. 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 .
16. Могут ли одни и те же $GaAs$ и Si p - n переходы (или гетеропереходы) работать в роли как свето- так и фотодиода? Ответ обосновать с помощью зонной диаграммы, законов сохранения энергии и импульса.

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 K) до температуры жидкого азота (78 K). 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. Вывести ВАХ биполярного транзистора. Объяснить причины наличия небольшого наклона на выходных ВАХ транзистора (эффект Эрли). Для ответа использовать зонную диаграмму, график распределения концентраций электронов и дырок от продольной координаты в структуре транзистора, а также объяснить с помощью какого элемента эквивалентной схемы учитывается подобный эффект.
20. Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора 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).
21. Вывести ВАХ ПТ с управляющим р-п переходом. Качественно объяснить отличия МДП транзисторов с индуцированным и встроенным каналом.