Утверждено решением Ученого Совета
Физического факультета МГУ от 22.02.2024 г.
И.о. декана физического факультета
профессор В.В. Белокуров

Государственный экзамен по физике
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Магистерская программа
«Физика полупроводников»

Билет № 1

1. Зонная структура электронного энергетического спектра идеального полупроводника. Электронные состояния примесей и дефектов.
2. Явление амбиполярной диффузии. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.
3. При отражении света с $\lambda = 100$ мкм толстым полупроводниковым образцом коэффициент отражения равен $R = 0.36$. Коэффициент пропускания пленки из того же материала толщиной $d = 1$ мм равен $T = 0.17$. Найти коэффициент поглощения α.

Билет № 2

1. Теория теплоемкости твердых тел по Эйнштейну и Дебаю.
2. Невырожденный и вырожденный газ носителей заряда. Их свойства.
3. По образцу германия с поперечным сечением $b \times d$ =1мм × 2мм протекает ток 0.6 А. Образец помещен в поперечное магнитное поле с индукцией 0.6 Тл. Оценить холловское напряжение, если известно, что концентрация носителей заряда равна 10^{17} см$^{-3}$. Холловский фактор считать равным единице.

Билет № 3

1. Межзонное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
2. Инжекция неосновных носителей заряда в *p-n* переходе.
3. Вычислить плотность тока в прямоугольном образце германия, к которому приложена разность потенциалов 1 В (размер образца вдоль приложенного поля равен 10^{-2} см. Принять, что концентрации электронов и дырок одинаковы и равны $n_i = 2{,}4 \cdot 10^{13}$ см$^{-3}$, а их подвижности равны $\mu_n = 3900$ см^2/(В·с) и $\mu_p = 1900$ см^2/(В·с).

Билет № 4

1. Модуляционно-легированные низкоразмерные структуры.
2. Энергетическая диаграмма *p–n*-перехода в состоянии термодинамического равновесия.
3. К полупроводнику *n*-типа приложено электрическое поле напряженности 10 В/см и проходит электрический ток. Оценить дрейфовую скорость электронов v_d и найти отношение дрейфовой скорости к тепловой скорости v_t при комнатной температуре, если известно, что подвижность электронов равна 1350 см^2/(В·с) (для оценки v_t положить эффективную массу электронов в кристалле равной массе свободного электрона в вакууме m_0). При какой напряженности поля отношение v_d/v_t становится равным единице?

Билет № 5

1. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Рассеяние на заряженной примеси. Рассеяние на колебаниях решетки по методу потенциала деформации.
2. Колебания атомов одно- и двухатомной цепочки. Акустические и оптические фононы.
3. Плотность железа (атомный вес 56 г) равна 7,9 г/см^3, структура – ОЦК. Найти постоянную решетки и расстояние между ближайшими соседями.

Билет № 6

1. Фермионы и бозоны, их примеры из физики твердого тела. Функция распределения соответствующих частиц по энергии.
2. Неравновесные процессы в полупроводниках: генерация и рекомбинация, времена жизни.
3. В собственном полупроводнике по данным измерений эффекта Холла концентрация электронов составляла $1{,}3\cdot10^{16}$ см$^{-3}$ при 400 K и $6{,}2\cdot10^{15}$ см$^{-3}$ при 350 K. Найти ширину запрещенной зоны полупроводника полагая, что она линейно зависит от температуры.

Билет № 7

1. Природа химической связи в кристаллах, примеры кристаллов с разными типами химической связи.
2. Плотность электронных состояний в объемном, двумерном, одномерном и нульмерном кристаллических полупроводниках.
3. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в квантовой яме толщиной 10^{-6} см. Считать величину эффективной массы $0.1m_0$, а высоту потенциальных барьеров – бесконечной.

Билет № 8

1. Экситоны. Экситонное поглощение в полупроводниках.
2. Вид волновой функции электрона в кристалле. Теорема Блоха. Основные результаты зонной теории.
3. В наиболее чистых образцах кремния время жизни носителей достигает 1 мс. Рассчитать амбиполярную длину диффузии носителей полагая отношение подвижностей равным $b = \mu_n/\mu_p = 2.9$, а $\mu_n = 1450$ см^2/В·с.

Билет № 9

1. Композиционные сверхрешетки: классификация, свойства и примеры применения.
2. Представление об электронах и дырках в полупроводниках.
3. Вычислить коэффициент амбиполярной диффузии для собственного германия при комнатной температуре. Считать отношение подвижностей $b = \mu_n/\mu_p = 2{,}1$, а $\mu_n = 3900$ см^2/В·с.

Билет № 10

1. Гетеропереходы и приборы на их основе.
2. Основные представления физики некристаллических полупроводников.
3. Вычислить относительное изменение проводимости $\Delta\sigma/\sigma_0$ образца при его стационарном освещении с интенсивностью $I = 5\cdot10^{15}$ квантов/(см^2·с). Коэффициент поглощения света $\alpha = 100$ см$^{-1}$; толщина образца мала по сравнению с α^{-1}; рекомбинация происходит на простых дефектах; $n_0 = 10^{15}$ см$^{-3}$, $\tau = 5\cdot10^{-4}$ с. Поверхностной рекомбинацией пренебречь.

Билет № 11

1. Квантовый размерный эффект в полупроводниках.
2. Симметрия элементарной ячейки и кристаллические системы. Структуры алмаза, сфалерита, вюрцита и каменной соли.
3. Рассчитать длину свободного пробега электронов в GaAs, приняв подвижность электронов равной 9000 см^2/В·с. Эффективная масса электронов $m = 0.06m_0$, $T = 300$ K.