

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Физика полупроводников

по направлению подготовки / специальности

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки / специализация:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

– задачи;

Примеры задач (ИОПК 2.2):

Задача 1.

Рассчитать эффективную плотность состояний в зоне проводимости и валентной зоне при использовании сферического (параболического) приближения, концентрацию свободных электронов и дырок для собственного (без примесного) полупроводника при температурах 300К и 400К. Определить на сколько увеличится концентрация свободных электронов. При расчете считать, что уровень Ферми располагается по середине запрещенной зоны.

Вариант 1. Кремний и GaAs

Вариант 2. Германий и GaN

Параметры полупроводников:

Si - $m_n = 0.98m_0$, $m_p = 0.49m_0$, $E_g = 1.12\text{eV}$

Ge - $m_n = 1.6m_0$, $m_p = 0.33m_0$, $E_g = 0.66\text{eV}$

GaAs - $m_n = 0.063 m_0$, $m_p = 0.082m_0$, $E_g = 1.42\text{eV}$

GaN - $m_n = 0.20 m_0$, $m_p = 0.8 m_0$, $E_g = 3.2\text{eV}$

Задача 2.

Концентрация электронов в собственном полупроводнике равна $1,38 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при температуре 400°K. Ширина запрещенной зоны полупроводника изменяется по закону $E_g = 0.785 - 4 \cdot 10^{-4} T$ [эВ]. Найти значение собственной концентрации свободных носителей заряда.

Задача 3.

Вычислить удельное сопротивление собственного (без примесного) полупроводника (Si и Ge) при температуре 300°K, если известно, что подвижности электронов и дырок связаны соотношением $\mu_n = b\mu_p$, для расчета использовать следующие параметры:

Ge: $\mu_n = 3.8 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В с})$, $b = 2.1$

Si: $\mu_n = 1.45 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В с})$, $b = 2.9$

Задача 4.

Для собственного полупроводника (в соответствии с вариантом) определить величину изменения энергии Ферми (положения уровня Ферми в эВ) при изменении температуры кристалла с 200°K до 400°K.

Вариант 1. полупроводник - Si, $E_g = 1.170 - 4.73 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 / (T + 636)$ (эВ), $m_n = 0.36m_0$, $m_p = 0.81m_0$

Вариант 2. полупроводник - Ge, $E_g = 0.742 - 4.8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 / (T + 235)$ (эВ), $m_n = 0.12m_0$, $m_p = 0.34m_0$

Вариант 3. полупроводник - GaAs, $E_g = 1.519 - 5.405 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 / (T + 204)$ (эВ), $m_n = 0.036m_0$, $m_p = 0.53m_0$

Ответы:

Задача 1: вариант 1 – $N_c = 3.2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_v = 1.7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $n = 9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$, $p = 6.8 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$

Задача 1: вариант 2 – $N_c = 1.2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_v = 5.3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $p = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$

Задача 2: $n_i = 6.3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$

Задача 3: Si – $3 \cdot 10^5 \text{ Ом см}$; Ge – 45 Ом см

Задача 4: вариант 1 – 0,005 эВ

Задача 4: вариант 2 – 0,01 эВ

Задача 4: вариант 3 – 0,001 эВ

Критерии оценивания:

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка результатов экзамена формируется в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1

Оценка	Результат, продемонстрированный студентом на экзамене
Отлично	Студент, твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
Хорошо	Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе
Удовлетворительно	Студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия.
Неудовлетворительно	Студенту не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Пример

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит вопрос, проверяющий ИОПК-2.2. Ответ на вопрос первой части дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит вопрос, проверяющий ИПК-1.1. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов для первой и второй части:

1. Что называется линейным коэффициентом поглощения? Что такое закон Бугера-Ламберта?

2. Сущность классического и квантовомеханического подходов в теории дисперсии оптических констант.
3. Механизмы поглощения в полупроводниках.
4. Собственное поглощение в прямозонном полупроводнике.
5. Собственное поглощение в не прямозонном полупроводнике.
6. Примесное поглощение в полупроводниках.
7. Неселективное поглощение свободными носителями заряда.
8. Решеточное поглощение.
9. Люминесценция.
10. Самопоглощение.
11. Спектр излучения при донорно-акцепторных переходах.
12. Оже-рекомбинация.
13. Рекомбинации через простые локальные центры.
14. Зависимость времени жизни от положения уровня Ферми для случая малой концентрации ловушек.
15. Зависимость времени жизни от температуры для случая малой концентрации ловушек.
16. Внутренний фотоэффект.
17. Релаксация фотопроводимости при малом уровне возбуждения.
18. Эффект Дембера.
19. Внешний фотоэффект.
20. Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф.
21. Рассеяние свободных носителей заряда на ионизованных атомах примеси.
22. Рассеяние свободных носителей заряда на фононах.
23. Межзонная рекомбинация.
24. Спонтанное и вынужденное излучение.
25. Поверхностная электропроводность.
26. Поверхностная рекомбинация

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка результатов экзамена формируется в соответствии с таблицей 3.1.

Таблица 3.1

Оценка	Результат, продемонстрированный студентом на экзамене
Отлично	Студент, твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
Хорошо	Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе
Удовлетворительно	Студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия.
Неудовлетворительно	Студенту не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Оценочные материалы для проверки остаточных знаний могут быть использованы

Теоретические вопросы (ИПК 1.1):

1. Что такое эффективная масса электрона?

Ответ должен содержать информацию о взаимосвязи строения энергетического спектра полупроводника и массой электрона, находящего в потенциальном поле кристалла.

2. Что такое плотность квантовых состояний?

Ответ должен содержать определение плотности квантовых состояний.

3. Для каких частиц справедливо распределение Ферми-Дирака?

Ответ должен содержать информацию о видах элементарных части, к каким из них применимо распределение Ферми-Дирака.

4. Какая величина определяется интегралом Ферми?

Ответ – вероятность обнаружения электрона в кристалле, обладающего заданной энергией.

5. Что такое невырожденный полупроводник?

Ответ должен содержать определение невырожденного полупроводника и условия при которых, например электронный газ свободных носителей заряда является невырожденным.

6. Как выглядит уравнение электронейтральности для модели полупроводника с двумя уровнями: донорным и акцепторным?

Ответ должен содержать запись уравнение электронейтральности, также необходимо объяснить все компоненты входящие в него.

7. Что такое собственный полупроводник?

Ответ – собственный полупроводник – это полупроводник, не имеющий примесных атомов и дефектов.

8. Чему равна концентрация свободных носителей в области истощения примесных центров?

Ответ – концентрация свободных носителей в области истощения примесных центров равна концентрации примесных атомов плюс собственная концентрация свободных носителей заряда.

9. Что такое кинетические явления?

Ответ должен содержать информацию о том, что при внешнем воздействии наблюдается перенос таких физических величин как масса, энергия, электрический заряд и т.д.

10. В чем сущность эффекта Холла?

Ответ должен содержать информацию о возникновении поперечного электрического поля в полупроводнике при одновременном воздействии скрещенных электрического и магнитном полях.

Информация о разработчиках

Брудный Валентин Натанович, доктор физ.-мат. наук, кафедра физики полупроводников, физического факультета ТГУ, профессор.