

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 – Электроника и микроэлектроника

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

СОГЛАСОВАНО

Принято на заседании Ученого совета ИЭИС

Протокол № 41 от 25.05 2017 г.

Директор ИЭИС

С.Эмин С.И.Эминов

Разработал

Зав. каф. ФТТМ

Б.И. Селезнев

« 19 » 05 20 17 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 10 от 22.05 2017 г.

Заведующий кафедрой ФТТМ

Б.И. Селезнев

Паспорт фонда оценочных средств
по модулю «Физика конденсированного состояния»
для направления подготовки 11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника

Таблица 1

Модуль, раздел (в соответствии с РП)	ФОС		Контролируемые компетенции (или их части)
	Вид оценочного средства	Количество вариантов заданий	
УЭМ1 Электронные состояния, кристаллическая решетка, статистика и кинетические явления			
1.1 Предмет и задачи курса. Классификация твердых тел			ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7
1.2 Электронный газ в металлах	разноуровневые задачи	15	
	опрос	10	
1.3 Рассеяние волн в кристаллах, обратная решетка	разноуровневые задачи	15	
	опрос	10	
1.4 Электронные состояния в кристаллах	разноуровневые задачи	15	
	опрос	10	
1.5 Зонная структура полупроводников	разноуровневые задачи	15	
	опрос	10	
1.6 Дефекты в кристаллах	лабораторные работы	1	
	разноуровневые задачи	10	
	опрос	10	
1.7 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	разноуровневые задачи	15	
	опрос	10	
1.8 Кинетические явления в металлах и полупроводниках	лабораторные работы	3	
	разноуровневые задачи	10	
	опрос	10	
1.9 Неравновесные электронные процессы и движение носителей заряда в полупроводниках. Основные уравнения для анализа работы полупроводниковых приборов	разноуровневые задачи	10	
	опрос	10	
Рубежный контроль	контрольная работа	1	

Продолжение таблицы 1

УЭМ2 Оптические свойства твердых тел, свойства кристаллов			
2.1 Оптическое поглощение в кристаллах	лабораторные работы	2	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7
	разноуровневые задачи	10	
	опрос	5	
2.2 Рекомбинация носителей заряда	лабораторные работы	1	
	разноуровневые задачи	10	
	опрос	5	
2.3 Поверхности и границы раздела	лабораторные работы	1	
	опрос	5	
2.4 Упругие свойства, колебания кристаллической решетки	опрос	5	
2.5 Свойства диэлектриков	лабораторные работы	1	
	опрос	5	
2.6 Магнитные свойства кристаллов	опрос	5	
2.7 Сверхпроводимость	опрос	5	
2.8 Некристаллические твердые тела	опрос	5	
Рубежный контроль по УЭМ2	контрольная работа	1	
Курсовая работа			ПК-3
Аттестация - экзамен	Комплект экзаменационных билетов	16	

Характеристики оценочных средств

1 Лабораторные работы

В рамках учебного модуля выполняются и защищаются студентами девять лабораторных работ (ЛР). Описания лабораторных работ содержатся в источниках (1) и (2).

Таблица 1 – Параметры оценочного средства (лабораторные работы)

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам: в 2 Ч. 1: Фотоэлектрические свойства и электропроводность полупроводников / сост. Б.И.Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2012 - 31 с.
Источник (2)	Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам: в 2 Ч. 2: Оптические явления в полупроводниках / сост. Б.И.Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2012 - 31 с.
Предел длительности контроля	3 часа на выполнение и защиту одной лабораторной работы
Предлагаемое количество лабораторных работ из одного контролируемого раздела	раздел 1.6 – одна ЛР; раздел 1.8 – три ЛР; раздел 2.1 – две ЛР; разделы 2.2 – одна ЛР; раздел 2.3 – одна ЛР; раздел 2.5 – одна ЛР
Критерии оценки:	
9-10 баллов, если	ЛР правильно выполнена, на защите демонстрирует полноту и аргументированность ответов
7-8 баллов, если	ЛР правильно выполнена, на защите не все ответы достаточно аргументированы
5-6 баллов, если	ЛР правильно выполнена, на защите испытывает затруднения при ответе на некоторые вопросы

2 Разноуровневые задачи

Варианты разноуровневых задач приведены в приложении А к ФОС.

Таблица 2 – Параметры оценочного средства (разноуровневые задачи)

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.
Предел длительности контроля	20-30 мин на одну задачу
Предлагаемое количество задач из одного контролируемого раздела	2-3
Последовательность выборки задач из каждого раздела	случайная
Критерии оценки:	
9-10 баллов, если	способен правильно подобрать нужную формулу и правильно ее применить
7-8 баллов, если	способен правильно подобрать нужную формулу, но допускает некритические ошибки в ее использовании
5-6 баллов, если	не всегда адекватно подбирает формулы для решения задачи и (или) использует их с ошибками

3 Опрос

Опрос студентов проводится на каждом занятии.

Комплект вопросов приведен в приложении Б к фонду оценочных средств.

Таблица 3 – Параметры оценочного средства (опрос)

Предел длительности контроля	10-15 мин.
Предлагаемое количество вопросов из одного контролируемого раздела	5-10
Критерии оценки:	
5 баллов, если	90-100% правильных ответов
4 балла, если	70-89% правильных ответов
3 балла, если	50-69% правильных ответов

4 Контрольная работа

Контрольные работы проводятся в рамках рубежного контроля после изучения каждого учебного элемента. Состоят из трех задач. Решение аналогичных задач разбирается на аудиторных занятиях. Комплект всех контрольных задач дается в приложении В к фонду оценочных средств. Полный комплект всех контрольных задач дается в источнике (1).

Таблица 4 – Параметры оценочного средства (контрольная работа)

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.»
Предел длительности контроля	2 ч.
Предлагаемое количество задач	3
Последовательность выборки задач из каждого варианта	случайная
Критерии оценки:	
14-15 баллов, если	все три задачи решены правильно. Минимальное количество баллов (14) – при условии не критичных ошибок в расчетах
11-13 баллов, если	правильно решены две задачи. Минимальное количество баллов (11) – при условии не критичных ошибок в расчетах
7-10 баллов, если	правильно решена одна задача. Минимальное количество баллов (7) – при условии не критичных ошибок в расчетах

5 Курсовая работа

Таблица 5 – Параметры оценочного средства (курсовая работа (проект))

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: метод. указания к курсовым работам / сост. Б. И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 40 с.
Критерии оценки:	
«5», если 45-50 баллов, если	Работа выполнена безукоризненно и в срок
«4», если 35-44 балла, если	Работа оформлена правильно, выдержаны сроки сдачи КР, но имеются небольшие погрешности в расчетах
«3», если 25-34 балла, если	Работа выполнена, но имеются существенные недочеты в оформлении КР и ошибки при вычислении

5 Экзамен

Каждый экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу.

Пример вопросов экзаменационного билета приведен в приложении А к рабочей программе модуля. Полный комплект всех экзаменационных билетов дается в Приложении Г к фонду оценочных средств, находится в закрытом для студентов доступе и хранится на кафедре.

Критерии оценивания экзамена:

- уверенное владение терминологией – 10 баллов максимум;
- глубина знаний по теме вопроса – 10 баллов максимум;
- полнота ответа – 10 баллов максимум;
- аргументированный выбор метода решения задачи – 10 баллов максимум;
- правильные расчеты – 10 балла максимум.

Таблица 5 – Параметры оценочного средства (экзамен)

Предел длительности контроля	50 минут – подготовка; 20 минут – ответы на вопросы
Предлагаемое количество вопросов и задач	2 вопроса + 1 задача
Критерии оценки:	
«5», если 45-50 баллов, если	демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала и задача решена правильно
«4», если 35-44 балла, если	допускает неточности при ответе на теоретические вопросы и (или) допущены неточности в решении задачи
«3», если 25-34 балла, если	испытывает трудности при ответе на теоретические вопросы или задача решена неправильно

Приложение А (справочное)

Разноуровневые задачи

1 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.1.

Для решения на практических занятиях студентам предлагается следующая задача.

Вычислить длины волн «красной» границы для полупроводников, приведенных в таблице 1.

Оценить, в каком диапазоне длин волн лежит «красная» граница фотоэффекта.

Таблица 1 – Полупроводниковые материалы и их параметры

№ варианта	1	2	3	4	5
Полупроводниковый материал	Карбид кремния	Фосфид галлия	Арсенид галлия	кремний	германий
Ширина запрещенной зоны, эВ	3.0	2.25	1.43	1.12	0.66

2 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.2.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 2, задачи 1.4, 2.4, 3.4, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7.

*Источник (1): Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.

3 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.3.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1):

Задание № 8, задача 6.2; контрольное задание № 6, задача 2.1.

4 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.4.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 5, задача 1.4; задача 3.4.

5 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.5.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 5, задача 4.4; контрольное задание № 8, задача 1.2.

6 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.6.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 5, задача 5.2; 4.2; контрольное задание № 6, задача 5.1.

7 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.7.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 5, задачи 1.1, 2.1, 3.2, 5.1; контрольное задание № 7, задачи 7.1, 7.2.

8 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.8.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1):

Контрольное задание № 8, задача 6.1; контрольное задание № 10.

9 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.9.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 14, задачи 14.1, 14.2, 14.3.

10 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.1.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 5, задача 2.4; задача 4.4 .

11 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.2.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются задачи из источника (1): контрольное задание № 13, задачи 13.1, 13.2.

Приложение Б

(справочное)

Вопросы для опроса

1. Электронные состояния, кристаллическая решетка

1. Типы химических связей.
2. Энергия связи кристаллической решетки.
3. Классификация твердых тел.
4. Качественные особенности твердых тел.
5. Полупроводники как класс веществ.
6. Квантовая теория свободных электронов.
7. Граничные условия для волновой функции электрона в кристалле.
8. Плотность энергетических состояний.
9. Распределение Ферми-Дирака, вырожденный электронный газ.
10. Уровень Ферми, сфера Ферми.
11. Теплоемкость электронного газа.
12. Рассеяние волн в кристаллической решетке.
13. Обратная решетка и ее свойства.
14. Условие дифракции Лауэ, закон Вульфа-Брэгга.
15. Структурный и атомный факторы рассеяния.
16. Электрон в периодическом потенциальном поле.
17. Одноэлектронное приближение.
18. Модель Кронига-Пенни.
19. Энергетический спектр электронов в модели Кронига-Пенни, энергетические зоны.
20. Зоны Бриллюэна.
21. Волновой вектор электрона, импульс и скорость. Физический смысл понятия эффективной массы.
22. Поведение энергетического спектра вблизи границы зоны Бриллюэна.
23. Приближение сильно связанных электронов. Понятие о методе псевдопотенциала.
24. Характер заполнения энергетических зон. Электроны и дырки. Диэлектрики, полупроводники, металлы.
25. Зоны Бриллюэна в кубических полупроводниках.
26. Энергетический спектр вблизи экстремумов зон.
27. Эффективная масса электронов и дырок в полупроводниках.
28. Классификация дефектов.
29. Влияние точечных дефектов на электронный и колебательный спектры кристалла. Мелкие и глубокие уровни в запрещенной зоне.
30. Акцепторная природа вакансий.
31. Стехиометрические дефекты.
32. Радиационные дефекты.
33. Кремний: процессы дефектообразования.
34. Примеси в полупроводниках. Водородоподобная модель примесных центров.

35. Изображение примесей в $\vec{k}$ -пространстве.
36. Кремний: легирующие примеси, переходные металлы, кислород, углерод.
37. Арсенид галлия: мелкие и глубокие примесные центры.
38. Основные электрические свойства дислокаций.

2. Статистика и кинетические явления

1. Невырожденные полупроводники.
2. Вычисление концентраций электронов и дырок в разрешенных зонах.
3. Эффективная масса плотности состояний.
4. Закон действующих масс для концентраций носителей заряда в полупроводниках.
5. Температурные зависимости концентрации носителей заряда и положения уровня Ферми в собственных полупроводниках.
6. Полупроводники, легированные одним типом примесей.
7. Уравнение электронейтральности.
8. Компенсированные полупроводники.
9. Температурные зависимости положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда в компенсированных полупроводниках.
10. Вырожденные полупроводники.
11. Интеграл Ферми половинного индекса
12. Критерии вырождения электронного газа.
13. Расчет концентраций носителей заряда при различных уровнях легирования.
14. Кинетическое уравнение.
15. Рассеяние носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рассеяния.
16. Температурная зависимость подвижности носителей заряда при одновременном действии нескольких механизмов рассеяния.
17. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников в случае смешанного рассеяния при наличии компенсирующих примесей.
18. Угол Холла в электронном и дырочном полупроводниках.
19. Температурная зависимость постоянной Холла.
20. Термоэлектрические эффекты.
21. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время жизни.
22. Уравнение непрерывности.
23. Движение основных неравновесных носителей заряда.
24. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда.

3. Оптические свойства твердых тел

1. Оптические константы вещества.
2. Комплексный показатель преломления, коэффициент поглощения.
3. Оптический диапазон длин волн.
4. Квантовые переходы в полупроводниках.
5. Правило отбора по волновому вектору.

6. Собственное поглощение.
7. Край собственного поглощения при прямых межзонных переходах.
8. Край собственного поглощения при непрямах межзонных переходах.
9. Спектры собственного поглощения германия, арсенида галлия.
10. Экситонное поглощение.
11. Влияние легирования и внешних воздействий на край собственного поглощения.
12. Краевое поглощение полупроводниковых твердых растворов: $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$, $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$.
13. Оптические свойства, связанные с колебаниями кристаллической решетки.
14. Примесное оптическое поглощение.
15. Оптические свойства свободных носителей заряда, плазменные эффекты.
16. Фотопроводимость.
17. Основные определения и понятия.
18. Излучательная и безызлучательная рекомбинация.
19. Люминесценция.
20. Механизмы рекомбинации.
21. Общая схема электронных переходов при излучательной рекомбинации.
22. Безызлучательные механизмы рекомбинации.
23. Методы возбуждения излучательной рекомбинации в полупроводниках.
24. Краевая излучательная рекомбинация.
25. Излучательная рекомбинация зона - зона.
26. Прямые и не прямые излучательные переходы.
27. Спектр излучения при рекомбинации зона - зона.
28. Экситонная рекомбинация.
29. Излучательная рекомбинация свободного и связанного заряда.
30. Межпримесная излучательная рекомбинация.
31. Спектры излучения.
32. Полупроводниковые источники излучения.
33. Рекомбинация носителей заряда через одновалентные дефекты. Модель Шокли-Рида.

4. Свойства кристаллов

1. Роль границ раздела.
2. Физико-химические свойства границ раздела, как факторы, определяющие использование полупроводниковых материалов в приборах микроэлектроники.
3. Энергетические диаграммы полупроводника при наличии поверхностного заряда.
4. Расчет области пространственного заряда.
5. Поверхностный заряд и поверхностная рекомбинация.
6. Поверхностная проводимость.
7. Поверхностные состояния.
8. Границы раздела металл - полупроводник.
9. Эффект Шотки.

10. Омический контакт.
11. Омические контакты к кремнию и полупроводникам A^3B^5 .
12. Барьеры Шотки к кремнию и арсениду галлия
13. Граница раздела полупроводник - диэлектрик.
14. Эквивалентная схема МДП - системы и ее вольт-фарадная характеристика.
15. Зарядовые явления на границе кремний - диоксид кремния.
16. Напряжения и деформации, их тензорный характер.
17. Энергия деформированного кристалла, сжимаемость.
18. Гармонические колебания кристаллической решетки.
19. Акустические, оптические колебания.
20. Фононы.
21. Теплоемкость кристаллической решетки, температура Дебая.
22. Тепловое расширение твердых тел.
23. Поляризация диэлектриков.
24. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.
25. Электронная, ионная, дипольная поляризация.
26. Сегнетоэлектрики.
27. Диэлектрические свойства кристаллов.
28. Тензор диэлектрической проницаемости. Пьезоэлектрический эффект.
29. Механизмы электропроводности диэлектриков.
30. Магнитные свойства кристаллов
31. Ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики.
32. Сверхпроводимость
33. Электронная структура некристаллических веществ. Локализация Андерсена.
34. Механизмы электропроводности.
35. Полупроводниковые твердые растворы.