

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Лабораторный практикум по электронике и научному приборостроению
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 3 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 4 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 255 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 255 час.

Самостоятельная работа: 465 час.

Всего часов: 720, всего зач. ед.: 16

Программу составили:

Д.Е. Балабанов, канд. техн. наук

Е.П. Шешин, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.С. Батурин, канд. физ.-мат. наук

А.А. Чуприк, канд. физ.-мат. наук, доцент

С.А. Никитов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры электроники 26.12.2023

Аннотация

Курс "Лабораторный практикум по электронике и научному приборостроению" предназначен дать углубленные специализированные знания, необходимые для выполнения научных исследований в рамках дипломных проектов бакалавров и магистров, направленных на изучение эффектов в приборах вакуумной и твердотельной электроники, для создания новых электронных устройств, разработки новых научных приборов на основе данных явлений, успешному применению передовых методов исследований. Этим основной акцент делается на физику полупроводников и некоторые методы теоретического описания наиболее значимых явлений в твердом теле.

Задачи дисциплины:

- ознакомление студентов с физическими основами работы приборов вакуумной и твердотельной электроники, принципах работы и возможностях научных приборов, использующих указанные явления;
- Дать студентам знания в области наиболее важных практических приложений в науке, технике и технологиях;
- Привить студентам навыки к развитию новых подходов к постановке и решению задач фундаментального и прикладного значения.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать: природу явлений в приборах вакуумной и твердотельной электроники, применение этих приборов в научном приборостроении;

Уметь: самостоятельно ставить и решать задачи по теоретическому исследованию физических принципов электронных явлений в вакууме и твердых телах, решать задачи по применению этих принципов в научных приборах;

Владеть: навыками и методами экспериментального исследования явлений в вакууме и твердом теле, измерять параметры приборов вакуумной и твердотельной электроники.

Темы и разделы курса:

1. Систематика электронных состояний в кристаллах.
2. Электронная зонная структура.
3. Приближение эффективной массы в полупроводниках.
4. Статистическое распределение электронов и дырок в полупроводниках.
5. Кинетическое уравнение Больцмана.
6. Статические кинетические свойства металлов и полупроводников.
7. Диэлектрическая проницаемость твердого тела.
8. Кинетические явления в магнитном поле.
9. Разогрев электронного газа в электрическом поле.
10. Основные эффекты в полупроводниках в сверхсильных электрических полях.
11. Контактные явления. Неоднородные электронные системы.
12. Сверхпроводимость.
13. Рекомбинация неравновесных носителей в полупроводниках.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать углубленные специализированные знания, необходимые для выполнения научных исследований в рамках дипломных проектов бакалавров и магистров, направленных на изучение эффектов в приборах вакуумной и твердотельной электроники, для создания новых электронных устройств, разработки новых научных приборов на основе данных явлений, успешному применению передовых методов исследований. Этим основной акцент делается на физику полупроводников и некоторые методы теоретического описания наиболее значимых явлений в твердом теле.

Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с физическими основами работы приборов вакуумной и твердотельной электроники, принципах работы и возможностях научных приборов, использующих указанные явления;
- дать студентам знания в области наиболее важных практических приложений в науке, технике и технологиях;
- привить студентам навыки к развитию новых подходов к постановке и решению задач фундаментального и прикладного значения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- природу явлений в приборах вакуумной и твердотельной электроники, применение этих приборов в научном приборостроении.

уметь:

- самостоятельно ставить и решать задачи по теоретическому исследованию физических принципов электронных явлений в вакууме и твердых телах, решать задачи по применению этих принципов в научных приборах.

владеть:

- навыками и методами экспериментального исследования явлений в вакууме и твердом теле, измерять параметры приборов вакуумной и твердотельной электроники.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Вакуумная техника (принципы работы вакуумметров и наносов)			30	105
2	Электронно-оптические преобразователи и полупроводниковые фотоприемники			15	30
3	Электронная микроскопия и спектрометрия			15	30
4	Рентгеновские методы исследования (дифракция и флюоресценция)			15	30
5	Масс-спектрометрия			15	30
6	Магнитоэлектрические эффекты и приборы на их основе, магнитооптика, спиновые волны			28	30
7	Измерение электрофизических характеристик полупроводниковых приборов и микроэлектронных устройств			8	30
8	Микроэлектромеханические устройства			8	20
9	Устройства хранения информации на новых физических принципах: мемристоры, сегнетоэлектрическая память			8	20
10	Однофотонные приемники и источники оптического излучения			8	20
11	Систематика электронных состояний в кристаллах.			6	5
12	Электронная зонная структура.			8	5
13	Приближение эффективной массы в полупроводниках.			8	5
14	Статистическое распределение электронов и дырок в полупроводниках.			8	6
15	Кинетическое уравнение Больцмана.			8	10
16	Статические кинетические свойства металлов и полупроводников.			8	9
17	Диэлектрическая проницаемость твердого тела.			8	15

18	Кинетические явления в магнитном поле.			6	20
19	Разогрев электронного газа в электрическом поле.			9	8
20	Основные эффекты в полупроводниках в сверхсильных электрических полях.			9	8
21	Контактные явления. Неоднородные электронные системы.			9	8
22	Сверхпроводимость.			9	8
23	Рекомбинация неравновесных носителей в полупроводниках.			9	13
Итого часов				255	465
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		720 час., 16 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Вакуумная техника (принципы работы вакуумметров и наносов)

Ионизационные вакуумметры

Термоэлектронные вакуумметры

Магниторазрядные вакуумметры

Механические вакуумные насосы

Ионные насосы

Турбомолекулярные насосы

Измерение скорости откачки вакуумных систем, быстродействия насосов, предельное остаточное давление

Термоэлектронная эмиссия, эффект Шоттки, автоэлектронная эмиссия

Семестр: 4 (Весенний)

2. Электронно-оптические преобразователи и полупроводниковые фотоприемники

Фотоэлектронные умножители и цилиндр Фарадея

Микроканальные умножители

Стрик-камеры и электронно-оптические преобразователи

Полупроводниковый лазер

Полупроводниковый фотоприемник

Органические светодиоды

Фотоприемники на квантовых точках

Приемники рентгеновского излучения

КМОП и ПЗС матричные фотоприемники

3. Электронная микроскопия и спектрометрия

Растровый электронный микроскоп

Электронный литограф

Атомно-силовой микроскоп

Сканирующий туннельный микроскоп

Просвечивающий электронный микроскоп

Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр

Пьезоэлектрические системы перемещения
Лазерная интерферометрия для позиционирования

4. Рентгеновские методы исследования (дифракция и флюоресценция)

Рентгеновские трубки и монохроматизация рентгеновского излучения
Рентгеновский микроанализ
Рентгеновский флюоресцентный анализ
Порошковый рентгеновский дифрактометр

5. Масс-спектрометрия

Квадрупольный масс-спектрометр
Время-пролетный масс-спектрометр
Гелиевый течеискатель

Семестр: 5 (Осенний)

6. Магнитоэлектрические эффекты и приборы на их основе, магнитооптика, спиновые волны

Магнито-оптические эффекты в твердом теле
Эффект Холла и измерение магнитных полей
Спиновые магнитные волны
Гигантское магнитосопротивление

7. Измерение электрофизических характеристик полупроводниковых приборов и микроэлектронных устройств

Полупроводниковые и лавинные диоды
МОП-транзистор
Измерение вольтамперных и вольт-фарадных характеристик полупроводниковых приборов
Измерение времени жизни неосновных носителей заряда
Измерение СВЧ свойств полупроводников
Эффект Ганна
Акустоэлектронные фильтры и преобразователи

8. Микроэлектромеханические устройства

Микромеханические датчики

9. Устройства хранения информации на новых физических принципах: мемристоры, сегнетоэлектрическая память

Сегнетоэлектрическая память
Резистивное переключение и мемристоры
Сегнетоэлектрический эффект для устройств хранения информации

10. Однофотонные приемники и источники оптического излучения

Однофотонные приемники и методы их калибровки
Однофотонные источники

Семестр: 6 (Весенний)

11. Систематика электронных состояний в кристаллах.

Квазичастицы. Адиабатическое приближение. Кулоновское взаимодействие и приближение самосогласованного поля. Волновые функции электронов в периодическом потенциале, теорема Блоха. Квазиимпульс, обратная решетка, зона Бриллюэна.

12. Электронная зонная структура.

Приближение почти свободных электронов. Приближение сильно связанных электронов. Функции Ваннье. Электронный спектр металлов, полупроводников, диэлектриков. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Плотность состояний. Динамика блоховского электрона. Эффективная масса и k -приближение.

13. Приближение эффективной массы в полупроводниках.

Уравнение Шредингера для электронов в методе эффективной массы. Электронная структура примесных атомов. Экситоны Ваннье-Мотта. Уравнение движения электрона в кристалле. Дырки.

14. Статистическое распределение электронов и дырок в полупроводниках.

Металлы: вырожденный электронный газ. Полупроводники: невырожденный электронный газ. Собственные и примесные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Температурная зависимость концентрации электронов и дырок и уровня Ферми в полупроводниках. Зависимость концентрации электронов и дырок от концентрации глубокой примеси.

15. Кинетическое уравнение Больцмана.

Кинетическое уравнение Больцмана. Условия применимости. Интеграл столкновений. Взаимодействие носителей заряда с точечными дефектами, фононами и между собой. Время упругого рассеяния и длина свободного пробега, τ -приближение.

16. Статические кинетические свойства металлов и полупроводников.

Электропроводность электронного газа в металлах и полупроводниках. Формула Друде для электропроводности. Вклад электронного газа в термоэлектрические эффекты и теплопроводность.

17. Диэлектрическая проницаемость твердого тела.

Диэлектрическая проницаемость твердого тела. Вычисление линейного отклика по теории возмущений. Пространственная и временная дисперсия. Формула Линдхарда для диэлектрической проницаемости. Предельные случаи: экранирование статического поля, плазменные колебания. Коновская аномалия, фриделевские осцилляции.

18. Кинетические явления в магнитном поле.

Эффект Холла и продольное магнетосопротивление. Классически слабые и сильные магнитные поля.

Семестр: 7 (Осенний)

19. Разогрев электронного газа в электрическом поле.

Время рассеяния энергии, длина энергетической релаксации. Горячие электроны, электронная температура.

20. Основные эффекты в полупроводниках в сверхсильных электрических полях.

Основные эффекты в полупроводниках в сверхсильных электрических полях.

Лавинное размножение носителей и его основные характеристики. Межзонное туннелирование.

21. Контактные явления. Неоднородные электронные системы.

Условия равновесия контактирующих проводников. Электронное сродство, работа выхода и контактная разность потенциалов. Распределение концентрации электронов и электрического поля вблизи контактов металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник. Длина экранирования электрического поля. Вольтамперная характеристика p-n перехода и ее физическая интерпретация. Размерное квантование и низкоразмерные электронные системы.

22. Сверхпроводимость.

Сверхпроводимость. Экранирование межэлектронного взаимодействия электронами и ионами и эффективное притяжение между электронами. Спектр элементарных возбуждений в сверхпроводнике. Незатухающий ток.

23. Рекомбинация неравновесных носителей в полупроводниках.

Рекомбинация неравновесных носителей в полупроводниках.

Межзонная излучательная рекомбинация, примесная рекомбинация (рекомбинация Холла-Шокли-Рида), межзонная Оже-рекомбинация. Зависимость скорости рекомбинации Холла-Шокли-Рида от концентрации рекомбинационных центров при слабом отклонении полупроводника от равновесного состояния.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, доска, маркеры, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников. - М.: Наука, 1978.
2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. - Физика полупроводников. - М.: Наука, 1990.
3. Основы вакуумной техники: учеб. пособие для вузов / Е. П. Шешин ; М-во образования Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2001 .— 124 с.

Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Каллуэй Дж. Теория энергетической зонной структуры. - М.: Мир, 1969.
2. Джонс Г. Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристаллах. - М.: Мир, 1968.
3. Вакуумные технологии: учеб. пособие для вузов / Е. П. Шешин .— Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 504 с.
4. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы: учеб. пособие для вузов / Н. В. Егоров, Е. П. Шешин .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 704 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, выполнивший все лабораторные работы, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) выполнения лабораторных работ, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий и журнала лабораторных работ; активное участие в обсуждении лабораторных работ;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лабораторной работе.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 3 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 4 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

Д.Е. Балабанов, канд. техн. наук
Е.П. Шешин, д-р физ.-мат. наук, профессор
А.С. Батурин, канд. физ.-мат. наук
А.А. Чуприк, канд. физ.-мат. наук, доцент
С.А. Никитов, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторный практикум по электронике и научному приборостроению» обучающийся должен:

знать:

- природу явлений в приборах вакуумной и твердотельной электроники, применение этих приборов в научном приборостроении.

уметь:

- самостоятельно ставить и решать задачи по теоретическому исследованию физических принципов электронных явлений в вакууме и твердых телах, решать задачи по применению этих принципов в научных приборах.

владеть:

- навыками и методами экспериментального исследования явлений в вакууме и твердом теле, измерять параметры приборов вакуумной и твердотельной электроники.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль успеваемости предусматривает проведение коллоквиумов по теме каждой лабораторной работы.

Темы коллоквиумов:

1. Представления о квантовых свойствах электрона.
2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
3. Задача об электроне, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.
4. Неразличимость элементарных частиц и принцип запрета Паули.
5. Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.
6. Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.
7. Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.
8. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.
9. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии.
10. Основные типы термоэлектронных катодов и их характеристики.
11. Фотоэлектронная эмиссия.
12. Автоэлектронная эмиссия.
13. Приборы, предназначенные для исследований поверхности твердых тел.
14. Поверхностная ионизация.
15. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ).
16. Квазичастицы. Адиабатическое приближение. Кулоновское взаимодействие и приближение самосогласованного поля. Волновые функции электронов в периодическом потенциале, теорема Блоха. Квазиимпульс, обратная решетка, зона Бриллюэна.
17. Приближение почти свободных электронов. Приближение сильно связанных электронов. Функции Ванье. Электронный спектр металлов, полупроводников, диэлектриков. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Плотность состояний. Динамика блоховского электрона. Эффективная масса и k -приближение.
18. Уравнение Шредингера для электронов в методе эффективной массы. Электронная структура примесных атомов. Экситоны Ванье-Мотта. Уравнение движения электрона в кристалле. Дырки.
19. Металлы: вырожденный электронный газ. Полупроводники: невырожденный электронный газ. Собственные и примесные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Температурная зависимость концентрации электронов и дырок и уровня Ферми в полупроводниках. Зависимость концентрации электронов и дырок от концентрации глубокой примеси.
20. Кинетическое уравнение Больцмана. Условия применимости. Интеграл столкновений. Взаимодействие носителей заряда с точечными дефектами, фононами и между собой. Время упругого рассеяния и длина свободного пробега, τ -приближение.
21. Электропроводность электронного газа в металлах и полупроводниках. Формула Друде для электропроводности. Вклад электронного газа в термоэлектрические эффекты и теплопроводность.
22. Диэлектрическая проницаемость твердого тела. Вычисление линейного отклика по теории возмущений. Пространственная и временная дисперсия. Формула Линдхарда для диэлектрической проницаемости. Предельные случаи: экранирование статического поля, плазменные колебания. Коновская аномалия, фриделевские осцилляции.
23. Эффект Холла и продольное магнетосопротивление. Классически слабые и сильные магнитные поля.
24. Время рассеяния энергии, длина энергетической релаксации. Горячие электроны, электронная температура.
25. Основные эффекты в полупроводниках в сверхсильных электрических полях.

26. Условия равновесия контактирующих проводников. Электронное сродство, работа выхода и контактная разность потенциалов. Распределение концентрации электронов и электрического поля вблизи контактов металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник. Длина экранирования электрического поля. Вольтамперная характеристика p-n перехода и ее физическая интерпретация.

27. Размерное квантование и низкоразмерные электронные системы.

28. Сверхпроводимость. Экранирование межэлектронного взаимодействия электронами и ионами и эффективное притяжение между электронами. Спектр элементарных возбуждений в сверхпроводнике. Незатухающий ток.

29. Рекомбинация неравновесных носителей в полупроводниках.

Межзонная излучательная рекомбинация, примесная рекомбинация (рекомбинация Холла-Шокли-Рида), межзонная Оже-рекомбинация. Зависимость скорости рекомбинации Холла-Шокли-Рида от концентрации рекомбинационных центров при слабом отклонении полупроводника от равновесного состояния.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация проводится по результатам текущего контроля успеваемости. Необходимо выполнить все лабораторные работы и сдать все коллоквиумы.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;

- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Студент, выполнивший все лабораторные работы и все коллоквиумы получает за дифференцированный зачет среднюю арифметическую оценку по всем коллоквиумам.