



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы микроэлектроники

Кафедра физической электроники

Образовательная программа
11.04.04. – Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки:
Физическая электроника

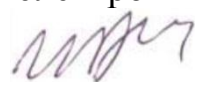
Уровень высшего образования:
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Вариативная

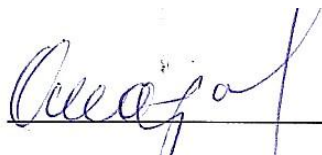
Рабочая программа дисциплины Физические основы микроэлектроники составлена в 2018 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04. –Электроника и наноэлектроника (уровень магистратуры) от 30 октября 2014 г. № 1407.

Разработчик: кафедра физической электроники,

к.ф.-м.н., доцент Исмаилов А.М. 

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «18» июня 2018г., протокол № 11

Зав.кафедрой



Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «29» июня 2018г., протокол № 11.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 30 » июня 2018 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина Физические основы микроэлектроники входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры, по направлению подготовки 11.04.04. – Электроника и нанoeлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с принципами работы, функциональными возможностями электронных приборов, в которых движение электронов или иных носителей заряда, обуславливающих электрический ток, происходит в объёме твёрдого тела. В ней изучаются статистика равновесных и неравновесных носителей заряда в полупроводниках, явления переноса в твердых телах, явления на контактах металл – полупроводник, электронно - дырочный переход, полупроводниковые диоды, полевые транзисторы с управляющим переходом, особенности тонкопленочных приборов и т.д.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: профессиональных - ПК-1, ПК-6, ПК-8, ПК-9, ПК-18.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: *тестирование, контрольные работы, устный опрос, защита рефератов, итоговый контроль в форме зачета.*

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
9	72	30	10	-	20	-	-	42	зачет

1. Цели и задачи дисциплины.

Целью освоения дисциплины Физические основы микроэлектроники является:

- ознакомление магистров с основными представлениями квантовой физики и зонной теории твердых тел необходимыми для успешного освоения дисциплины.
- освоение магистрами физических основ микроэлектроники.
- ознакомление студентов с проблемами и перспективными направлениями в микроэлектронике (переход к нанoeлектронике).

Основными задачами дисциплины являются:

- получение магистрами знаний об основных физических процессах и явлениях, происходящих в полупроводниках и полупроводниковых структурах;
- ознакомление студентов с основами физики полупроводниковых приборов.
- обобщение знаний студентов для целенаправленного их использования при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники.

- формирование знаний студентов в области современных тенденций развития микроэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина Физические основы микроэлектроники входит в вариативную часть образовательной программы *магистратуры* по направлению 11.04.04. –Электроника и наноэлектроника.

Дисциплина Физические основы микроэлектроники относится к профессиональному циклу по магистерской программе «Физическая электроника» и направлена на изучение физических основ работы полупроводниковых приборов, которые являются основой современной микроэлектроники, с целью выработки умений и навыков их использования в профессиональной деятельности.

Дисциплина Физические основы микроэлектроники логически и содержательно взаимосвязана с такими дисциплинами как «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Твердотельная электроника», «Физика твердого тела» и др.

Дисциплина связана с предшествующими ей курсами математики и физики. А именно, требует знания разделов: дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, уравнения математической физики, электричество и магнетизм, основы квантовой механики и статистической физики. К «входным» знаниям можно отнести также вопросы «Кристаллографии», «Основы зонной теории твердого тела», «Статистика носителей заряда в полупроводниках» и др.

Данная дисциплина является основой для изучения последующих дисциплин: физические основы наноэлектроники, опто- и фотоэлектроники, основы микропроцессорной техники и др. Знания, умения и навыки, полученные в результате освоения дисциплины, необходимы и используются при проведении экспериментальных исследований, в том числе при выполнении курсовых и диссертационных работ магистрами 1 и 2 года обучения.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знать: тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники; уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать; владеть: теоретическими и экспериментальными методами решения сформулированных задач.

ПК-6	Способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников.	Знать: конкретные цели и задачи научных исследований в соответствии с требованиями, все литературные, патентные источники информации; уметь: сформулировать цели и задачи собственных научных исследований в соответствии с тенденциями развития микроэлектроники; владеть: способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
ПК-8	Способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований.	Знать: конструктивные особенности и методы расчета электронных приборов; уметь: конструировать электронную компонентную базу; владеть: современными методами САПР электронных приборов
ПК-9	Способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями.	Знать: нормативные требования к изделиям электронной техники; уметь: разрабатывать технологические процессы изготовления элементной базы; владеть: автоматизированными методами оформления конструкторской и технологической документации.
ПК-18	Способность проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров.	Знать: ФГОС, учебный план и иметь представление о содержании и планировании учебной работы; уметь: Организовывать и контролировать ход учебного процесса; владеть: Навыками проведения лабораторных и практических занятий со студентами, руководства курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1									
1	Основные понятия квантовой механики и основы зонной теории твердых тел.	11		2	4			9	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
2	Основы физики полупроводников.	11		2	4			9	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
3	Кинетические явления в полупроводниках.	11		1	2			3	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
Итого по модулю 1				5	10			21	Зачет по 1 модулю
Модуль 2									
4	Кинетические явления в полупроводниках (продолжение).	11		1	2			3	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
5	Основы физики полупроводниковых приборов.	11		2	4			9	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
6	Основы физики тонких пленок и пленочных структур.	11		2	4			9	Устный опрос, письменный опрос, контрольные работы, тесты.
Итого по модулю 2				5	10			21	Зачет по 1 модулю
Всего за 11 семестр 72 часа				10	20			42	Зачет

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1.

Тема 1. Основные понятия квантовой механики и основы зонной теории твердых

тел. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновое уравнение Шредингера, волновая функция, стационарное уравнение Шредингера. Принцип неопределенности Гейзенберга. Момент импульса и спин частицы. Квантовые статистики. Плотность состояний. Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное уравнение (волновая функция электрона в кристалле, теорема Блоха). Зоны Бриллюэна, эффективная масса электрона. Законы дисперсии. Изоэнергетические поверхности. Плотность состояний в разрешенных зонах. Функция распределения Ферми- Дирака. Концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел (прямозонные непрямоzonные полупроводники) и упрощенные зонные диаграммы наиболее распространенных полупроводников (Si, Ge, GaAs, GaN, ZnO). Заполнение зон электронами и деление твердых тел на металлы, диэлектрики и полупроводники.

Тема 2. Основы физики полупроводников. Статистика носителей заряда в собственных полупроводниках. Электроны и дырки. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми, закон действующих масс. Зависимость концентрации носителей от температуры. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Примесные уровни и примесная проводимость полупроводников, энергия активации. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках, положение уровня Ферми и температурная зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках. Компенсированные полупроводники.

Тема 3. Кинетические явления в полупроводниках. Классическая теория электропроводности твердых тел, ее недостатки. Кинетическое уравнение Больцмана, влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Электропроводность полупроводников. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Механизмы рассеяния носителей заряда, электрон-фононное рассеяние, рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Процессы переноса носителей заряда в полукристаллическом полупроводнике.

Модуль 2.

Тема 4. Кинетические явления в полупроводниках (продолжение).

Гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников. Термомагнитные эффекты. Гальваномагнитные эффекты. Полупроводники в сильном электрическом поле, электрические домены, эффект Ганна.

Тема 5. Основы физики полупроводниковых приборов. Равновесное состояние р-п- перехода. Природа токов через р-п- переход в равновесном состоянии. Энергетическая диаграмма р-п перехода в равновесном состоянии. Прямое и обратное включение р-п- перехода. Омические переходы $n-p^+$, $p-p^+$. Классификация приборов на р-п- переходе. Явления с участием неравновесных носителей заряда. Квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда, время жизни неравновесных носителей. Механизмы рекомбинации, излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов, поверхностная рекомбинация. Оже-рекомбинация. Диффузия неравновесных носителей заряда, диффузионная длина. Полупроводниковые излучатели: светодиоды и полупроводниковые лазеры. Внутренний фотоэффект, фотопроводимость, фото-ЭДС. Полупроводниковые фотоприёмники: фотосопротивления и фотодиоды. Солнечные элементы.

Тема 6. Основы физики тонких пленок и пленочных структур. Особенности структуры тонких пленок. Основные методы получения тонких пленок. Эпитаксиальные пленки. Основные параметры пленок. Система «Кремний На Изоляторе» КНИ («Кремний

На Сапфире» КНС), современное состояние, перспективы. Полупроводниковые гетеропереходы, сверхрешетки, приборные структуры. Квантовые ямы, приборные структуры.

4.3.1. Наименование тем и содержание лекционных занятий

Название темы	Содержание темы	Объем в часах
Модуль 1		
Тема 1. Основные понятия квантовой механики и основы зонной теории твердых тел.	Лекция 1. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновое уравнение Шредингера, волновая функция, стационарное уравнение Шредингера. Принцип неопределенности Гейзенберга. Момент импульса и спин частицы. Квантовые статистики. Плотность состояний. Уравнение Шредингера для твердого тела.	2
Тема 2. Основы физики полупроводников.	Лекция 2. Статистика носителей заряда в собственных полупроводниках. Электроны и дырки. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми, закон действующих масс. Зависимость концентрации носителей от температуры. Вырожденные и невырожденные полупроводники.	2
Темы 3. Кинетические явления в полупроводниках.	Лекция 3. Классическая теория электропроводности твердых тел, ее недостатки. Кинетическое уравнение Больцмана, влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Электропроводность полупроводников. Дрейфовая скорость.	1
Модуль 2		
Темы 4. Кинетические явления в полупроводниках (продолжение).	Лекция 3 (продолжение). Подвижность носителей заряда. Механизмы рассеяния носителей заряда, электрон-фононное рассеяние, рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках.	1
Тема 5. Основы физики полупроводниковых приборов.	Лекция 4. Равновесное состояние р-п-перехода. Природа токов через р-п-переход в равновесном состоянии. Энергетическая диаграмма р-п-перехода в равновесном состоянии. Прямое и обратное включение р-п-перехода. Омические переходы $n-p^+$, $p-p^+$. Классификация приборов на р-п-переходе.	2
Тема 6. Основы физики тонких пленок и пленочных структур.	Лекция 5. Особенности структуры тонких пленок. Основные методы получения тонких пленок. Эпитаксиальные пленки. Основные параметры пленок.	2

4.3.2. Наименование тем и содержание практических занятий

Название темы	Содержание темы	Объем в часах
Модуль 1		
Тема 1. Основные понятия квантовой механики и основы зонной теории твердых тел.	Занятие 1. Одноэлектронное уравнение (волновая функция электрона в кристалле, теорема Блоха). Зоны Бриллюэна, эффективная масса электрона. Законы дисперсии. Занятие 2. Изоэнергетические поверхности. Плотность состояний в разрешенных зонах. Функция распределения Ферми- Дирака. Концентрация носителей заряда в зонах.	4
Тема 2. Основы физики полупроводников.	Занятие 3. Примесные уровни и примесная проводимость полупроводников, энергия активации. Занятие 4. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках, положение уровня Ферми и температурная зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках.	4
Темы 3 и 4. Кинетические явления в полупроводниках.	Занятие 5. Процессы переноса носителей заряда в полукристаллическом полупроводнике. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников.	2
Модуль 2		
Темы 4. Кинетические явления в полупроводниках (продолжение).	Занятие 6. Термомагнитные эффекты. Гальваномагнитные эффекты.	2
Тема 5. Основы физики полупроводниковых приборов.	Занятие 7. Явления с участием неравновесных носителей заряда. Квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда, время жизни неравновесных носителей. Механизмы рекомбинации, излучательная и безызлучательная рекомбинация. Занятие 8. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов, поверхностная рекомбинация. Оже-рекомбинация. Диффузия неравновесных носителей заряда, диффузионная длина.	4
Тема 6. Основы физики тонких пленок и пленочных структур.	Занятие 9. Система «Кремний На Изоляторе» КНИ («Кремний На Сапфире» КНС), современное состояние, перспективы. Занятие 10. Полупроводниковые гетеропереходы, сверхрешетки, приборные структуры.	4

5. Образовательные технологии

1. Формы проведения занятий: лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены.

2. Предусмотрено проведение проблемной лекции с приглашением сотрудников и специалистов Дагестанского научного центра РАН, занимающихся исследованиями в области полупроводниковой электроники, имеющих большой опыт работы в данном направлении.

3. По заранее согласованному графику (расписанию) во внеаудиторное время предусмотрено:

- посещение лаборатории «Физики полупроводников» Дагестанского научного центра РАН (лекция-беседа);
- посещение «Научно-исследовательской лаборатории физики тонких пленок» (физический факультет ДГУ) с целью ознакомления магистров с технологией получения тонких пленок и полупроводниковых структур (метод термовакuumного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций).

4. Лекционные демонстрации:

- лабораторные образцы: фоторезистор на основе ZnO, полевой транзистор на основе нитевидного кристалла (вискера) теллура, тонкопленочный p-n- переход n-ZnO/p-Si. По каждому образцу дается краткое описание технологии изготовления и основные его характеристики;

- оптоволоконный спектрофотометрический комплекс AvaSpec-ULS2048x64-USB2 (дифракционная решетка - 300 мм^{-1} , диапазон - 250-1160 нм, входная оптическая щель - 50 мкм, разрешение - 2,4 нм, 2048x64 пиксельный CCD детектор). Компактность данного комплекса позволяет прямо на столе размещать его в комплекте с измерительными ячейками и через мультимедийный проектор демонстрировать снятия спектров излучения светодиодов и полупроводниковых лазеров (коммерческих образцов, излучающих в разных спектральных областях – красной, синей, зеленой), спектров пропускания и поглощения (лабораторный образец ZnO/Al₂O₃). В качестве источника излучения используется AvaLight-DH-S-BAL - сбалансированный дейтериево-галогеновый источник света (200-2500 нм).

5. Электронограф ЭГ-75 («Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок»). Демонстрация явления катодolumинесценции (образец: структура ZnO/Al₂O₃). Снятие спектров катодolumинесценции идет через смотровое окошко электронографа на спектрофотометр AvaSpec-ULS2048x64-USB2 по оптоволоконному кабелю.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистров.

Тему и объем самостоятельной работы магистрам определяется после проведения лекции и практического занятия по соответствующей теме. На самостоятельную работу выносятся часть лекционного материала для более полного освоения. Например, вывод формул целесообразно перенести на самостоятельную работу, сэкономив время лекции для охвата вопросов общего характера. На самостоятельную работу также выносятся и материал, которого не успели охватить на практических занятиях. В связи с этим и не сформулированы заранее темы для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа магистров включает:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе) и подготовка докладов на практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- итоговую контрольную работу по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Зачет в конце семестра, включающий проверку теоретических знаний и умений решения задач по всему пройденному материалу, защита реферата.

Наименование тем и их содержание для самостоятельного изучения.

Тема	Содержание темы
Тема 1. Основные понятия квантовой механики и основы зонной теории твердых тел.	Зонные диаграммы твердых тел (прямозонные непрямо-зонные полупроводники) и упрощенные зонные диаграммы наиболее распространенных полупроводников (Si, Ge, GaAs, GaN, ZnO). Заполнение зон электронами и деление твердых тел на металлы, диэлектрики и полупроводники.
Тема 2. Основы физики полупроводников.	Компенсированные полупроводники.
Темы 3 и 4. Кинетические явления в полупроводниках.	Полупроводники в сильном электрическом поле, электрические домены, эффект Ганна.
Тема 5. Основы физики полупроводниковых приборов.	Полупроводниковые излучатели: светодиоды и полупроводниковые лазеры. Внутренний фотоэффект, фотопроводимость, фото-ЭДС. Полупроводниковые фотоприёмники: фотосопротивления и фотодиоды. Солнечные элементы.
Тема 6. Основы физики тонких пленок и пленочных структур.	Квантовые ямы, приборные структуры.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ПК-1	Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных	Магистр должен: знать: тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники. уметь: формулировать цели и задачи	Устный и письменный опрос

	областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать владеть: теоретическими и экспериментальными методами решения сформулированных задач.	
ПК-6	Способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников.	знать: конкретные цели и задачи научных исследований в соответствии с требованиями, все литературные, патентные источники информации; уметь: сформулировать цели и задачи собственных научных исследований в соответствии с тенденциями развития микроэлектроники; владеть: способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	Устный и письменный опрос
ПК-8	Способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	Знать: конструктивные особенности и методы расчета электронных приборов; уметь: конструировать электронную компонентную базу; владеть: современными методами САПР электронных приборов	Устный и письменный опрос
ПК-9	Способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями	Знать: нормативные требования к изделиям электронной техники; уметь: разрабатывать технологические процессы изготовления элементной базы; владеть: автоматизированными методами оформления конструкторской и технологической	Устный и письменный опрос

		документации.	
ПК-18	Способность проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров.	Знать: ФГОС, учебный план и иметь представление о содержании и планировании учебной работы; уметь: организовывать и контролировать ход учебного процесса; владеть: навыками проведения лабораторных и практических занятий со студентами, руководства курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров.	Устный и письменный опрос

7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов;
- участие на практических занятиях - 10 баллов;
- выполнение самостоятельных заданий - 15 баллов;
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 15 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 20 баллов;
- письменная контрольная работа - 15 баллов;
- тестирование - 15 баллов.

1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Основная литература:

1. Гуртов, В. А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие/ В. А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с.
2. Епифанов Г. И., Мома Ю. А. "Твердотельная электроника". – М. Высшая школа, 1986.- 304 с.
3. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. М.: Высшая школа, 1991.

Дополнительная литература:

1. Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников. – М.: Изд. «Наука», 1977. – 672 с.
2. Бонч-Бруевич В.Л., и др. Сборник задач по физике полупроводников: Учеб. пособие для вузов.- М.: Наука. 1987. – 144 с.
3. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов: Учеб. руководство. - М., Наука, 2000 г.
4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учеб. руководство.- М., ВШ., 1990г.

5. Гаман В.Н. Физика полупроводниковых приборов Учеб. руководство.- Томск, Из-во НТЛ, 2000, - 426 с.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учеб. руководство.- М., Сов.радио, 1980г.
7. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. –М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
8. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. Под. ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. –М.: Физматлит, 2008, - 496 с.
9. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: Учеб. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 494 с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
2. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
3. www.affp.mics.msu.su.
4. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- наглядные пособия;
- словарь терминов по твердотельной электронике;
- презентации лекций;
- образовательные интернет-ресурсы.

Самостоятельная работа студента:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций, учебной литературе);
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- написание рефератов;

Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в книгах списка основной литературы. Дополнительная литература рекомендуется с целью более глубокой проработки отдельных разделов программы для лучшего усвоения материала.

Большинство применяемых полупроводниковых материалов имеют кристаллическую структуру, поэтому необходимо уделить внимание изучению типов кристаллических решеток, особенно таких распространенных материалов микроэлектроники, как кремний, германий, арсенид галлия.

Структура реальных кристаллов характеризуется наличием равновесной концентрации различного рода дефектов. Примесные дефекты в полупроводниковых кристаллах оказывают значительное влияние на конструкцию и электрические характеристики пассивных и активных элементов полупроводниковых структур. Количество примесей может регулироваться в технологическом процессе формирования кристалла.

Изучение основ зонной теории твердых тел позволяет судить об энергетическом состоянии носителей зарядов в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Зонная структура и энергетический спектр электронов в кристалле описывается одноэлектронным уравнением

Шредингера. Для лучшего усвоения этой темы рекомендуется повторить из раздела квантовой механики описание движения частиц волновым уравнением Шредингера. Рекомендуется сопоставлять движение свободного электрона в вакууме и в кристалле.

Поведение носителей заряда в твердом теле описывается статистической функцией распределения. Необходимо усвоить, какими функциями распределения описываются различные состояния электронного газа в кристалле.

Электропроводность кристаллической структуры представляет собой явление, связанное с переносом свободных носителей заряда под действием электрического поля. Перенос свободных носителей заряда характеризуется такими основными понятиями, как дрейф и диффузия.

Обогащение полупроводника носителями зарядов может происходить за счет введения их через контакт, генерации светом, потоком заряженных частиц и т.д. Все это приводит к появлению избыточных, неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Здесь следует обратить внимание на уравнение непрерывности, описывающее поведение избыточных носителей в полупроводниках, и такие явления, как генерация и различные виды рекомбинации, которые влияют на свойства полупроводниковых приборов.

При изучении физических принципов работы полупроводниковых приборов следует обратить внимание на связь их параметров с параметрами материалов, используемых для их изготовления.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Компьютерные и мультимедийное оборудование в ходе изложения лекционного материала (лекции в виде презентаций).
2. Конспекты лекций и справочной литературы.
3. Тематические видеоролики из интернета.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

1. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием.
1. «Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок». Возможность ознакомления магистров с тонкопленочной технологией получения твердотельных структур (метод термовакuumного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций) и демонстрация образцов при прохождении соответствующей темы (фоторезистор на основе ZnO , полевой транзистор на основе нитридного кристалла (вискера) теллура, тонкопленочный p-n- переход n-ZnO/p-Si).
2. Электронограф ЭГ-75. Демонстрация явления катодolumинесценции (образец: структура $\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$).
3. Оптоволоконный спектрофотометрический комплекс AvaSpec-ULS2048x64-USB2 (дифракционная решетка - 300 nm^{-1} , диапазон - 250-1160 нм, входная оптическая щель - 50 мкм, разрешение - 2,4 нм, 2048x64 пиксельный CCD детектор). Используется в качестве лекционной демонстрации для снятия спектров излучения светодиодов и полупроводниковых лазеров, пропускания и поглощения пленок на прозрачных подложках ($\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$).

Составитель:

кандидат физ.-мат. наук,

доцент кафедры
физической электроники ДГУ

Исмаилов А.М.