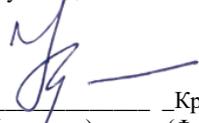




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП


_____ Крайнова Г.С. _____
(подпись) (Ф.И.О. рук.ОП)
« 19 » _____ сентября 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
_____ физики низкоразмерных структур _____
(название кафедры)
_____ Саранин А.А. _____
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)
« 19 » _____ сентября 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников и низкоразмерных систем

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Электроника и нанoeлектроника

Форма подготовки очная

курс 3 семестр 5
лекции 36 час.
практические занятия 0 час.
лабораторные работы 54 час.
в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 0 /лаб. 18 час.
в том числе в электронной форме лек. 0 /пр. 0 /лаб. 0 час.
всего часов аудиторной нагрузки 90 час.
в том числе с использованием МАО 18 час.
в том числе контролируемая самостоятельная работа 0 час.
в том числе в электронной форме 0 час.
самостоятельная работа 54 час.
в том числе на подготовку к экзамену 45 час.
курсовая работа / курсовой проект нет семестр
контрольная работа 5 семестр
зачет нет семестр
экзамен 5 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от « 19 » сентября 2018 г.

Заведующий (ая) кафедрой д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Саранин А.А.
Составитель (ли): к.ф.-м.н. Дитина З.З., к.ф.-м.н. Титов П.Л.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

ABSTRACT

Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics

Coursetitle: Physics of Semiconductors and Low-Dimensional Systems

Variable part of Block, 4 credits

Instructor:

Z.Z. Ditina, Cand. of Phys. and math., associate Professor, associate Professor of the Physics of low-dimensional structures department, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

Learning outcomes:

SPC-2, the ability to reasonably choose and implement in practice an effective technique for the experimental study of the parameters and characteristics of components, devices, circuits of electronics and nanoelectronics of various functional purposes;

SPC-4, the ability to conduct complex studies on various experimental equipment by complementary methods with subsequent analysis and theoretical modeling of the data obtained.

Course description:

The contents of discipline covers the study of the theory of semiconductors, band theory of learning the basics of statistics and electrons in semiconductors, as well as the study of the laws of the most important phenomena in semiconductors: transport phenomena, high-field effects, photoconductivity, contact phenomena and photovoltaic effects.

Main course literature:

1. Semiconductor physics and semiconductor devices: Tutorial / Panyushkin N.N. - Voronezh: VGLTU named by G.F. Morozov, 2015. - 131 p. - Access mode: <http://znanium.com/catalog/product/858616>
2. Shalimova, K.V. Semiconductor physics [Electronic resource]: textbook / K.V. Shalimova. - Electron. Data. - St. Petersburg: Lan', 2010. - 384 p. - Access mode: <https://e.lanbook.com/book/648>

3. Dikareva, P.P. Physics of solids and semiconductors. Study of the temperature dependence of the Fermi energy by the method of thermoEMF [Electronic resource]: teaching aid / R. P. Dikareva, S. P. Khabarov. - Electron. text data. - Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2011. - 20 p. - 978-5-7782-1666-2. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/45185.html>
4. Dikareva, P.P. Physics of solids and semiconductors. Determination of the lifetime of nonbasic charge carriers by modulation of conductivity [Electronic resource]: a teaching aid / R. P. Dikareva, S. P. Khabarov. - Electron. text data. - Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2011. - 24 p. - 978-5-7782-1667-9. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/45186.html>

Form of final knowledge control: exam.

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа предназначена для студентов 3 курса специальности «Электроника и наноэлектроника», общая трудоемкость дисциплины 4 зачетных единицы (144 часа).

Учебным планом предусмотрены лекции (36 часов), лабораторные работы (54 часа), самостоятельная работа студента (54 часа, в том числе 45 часов на подготовку к экзамену). Дисциплина «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» входит в вариативную часть цикла дисциплин образовательной программы, реализуется на 3-м курсе, в 5-м семестре.

Цель – изучение теории полупроводников, изучение основ зонной теории и статистики электронов в полупроводниках, а также изучение закономерностей важнейших явлений в полупроводниках: явлений переноса, эффектов сильного поля, фотопроводимости, контактных явлений и фотовольтаических эффектов.

Задачи:

- ознакомление студентов с понятиями теории полупроводников: электронной и дырочной проводимостью, собственной и примесная проводимость,
- изучение понятий донорной и акцепторной примесей, компенсации примесей;
- знакомство с основными классами полупроводниковых материалов;
- изучение закономерностей поведения неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

«Физика полупроводников и низкоразмерных систем» опирается на квантово-механические представления, является фундаментальным курсом, закладывающим основы для последующих дисциплин направления подготовки «Электроника и наноэлектроника».

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ПК-2, способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	Знает	<p>способы обоснованного выбора методик экспериментальных исследований;</p> <p>способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи;</p> <p>устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов;</p> <p>основные узлы цифровых и аналоговых измерительных приборов;</p> <p>методы обработки результатов измерений.</p>
	Умеет	<p>Выбирать методики и средства измерений для экспериментальных исследований параметров узлов электронной техники;</p> <p>Проводить измерения различных параметров при контроле производственных процессов;</p> <p>Самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами метрологического обеспечения производства изделий электронной техники.</p>
	Владеет	<p>Навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках и их характеристик на основе физических законов;</p> <p>Навыками выбора методики и средств измерений для экспериментальных исследований параметров материалов и приборов при производстве электронной техники;</p> <p>Практическими способами контроля заданных параметров при решении измерительных задач в производстве электронной техники, в зависимости от типа исследуемого материала или прибора</p>
<p>ПК-4, способность проводить комплексные исследования на различных экспериментальных установках взаимодополняющими методами с последующим анализом и теоретическим</p>	Знает	<p>различные методики проведения экспериментальных исследований в зависимости от вида задачи;</p> <p>способы выбора методик экспериментальных исследований;</p> <p>устройство полупроводниковых приборов различного назначения;</p> <p>разновидности устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов;</p> <p>различные установки для измерения параметров элементов и устройств микро-, наноэлектроники;</p> <p>способы статистической обработки полученных данных, методы вычислительной физики и математического</p>

моделированием полученных данных		моделирования структур, приборов или процессов микро- и нанoeлектроники.
	Умеет	<p>анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений в полупроводниках и соответствующих полупроводниковых приборах;</p> <p>выбирать на практике методы исследования параметров и характеристик элементов и устройств микро-, нанoeлектроники на различных установках с целью получения как можно более подробной и детальной информации, характеризующей объект с различных сторон;</p> <p>составлять простейшие модели элементов и устройств микро-, нанoeлектроники различного назначения;</p> <p>читать и анализировать простейшие схемы отдельных узлов приборов и устройств современной электроники;</p> <p>проводить статистическую обработку полученных данных, пользоваться методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и нанoeлектроники.</p>
	Владеет	<p>Способами описания различных механизмов и явлений в полупроводниках, элементах и устройствах микро-, нанoeлектроники;</p> <p>Способами составления и анализа физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках на основе физических законов, а также анализа их характеристик;</p> <p>Навыками составления подробных экспериментальных методик исследований для получения детальной информации об анализируемом объекте;</p> <p>Методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников и схемотехники для исследования характеристик приборов, систем, установок различного назначения;</p> <p>Навыками составления, расчета и испытания электрических схем различного функционального назначения;</p> <p>Навыками проведения статистической обработки полученных экспериментальных результатов,</p> <p>Методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и нанoeлектроники в одном из пакетов математического моделирования.</p>

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

РАЗДЕЛ I. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕХАНИЗМЫ ПРОВОДИМОСТИ (12 / __ ЧАС.)

Тема 1. Электропроводность полупроводников(4 / __ час.)

Основные свойства полупроводников и их применение в современной технике. Влияние температуры, освещения, примесей и других факторов на электропроводность. Собственная проводимость, электронный и дырочный механизмы проводимости в классическом и квантовом представлении. Примесная проводимость. Доноры и акцепторы. Концентрация и подвижность носителей заряда.

Тема 2. Полупроводниковые материалы(4 / __ час.)

Классификация полупроводников по типам химических связей и свойствам. Важнейшие для современной техники полупроводниковые материалы: кремний, германий, соединения элементов III и V группы, соединения элементов II и VI группы, и др.

Тема 3. Неравновесные носители заряда в полупроводниках(4 / __ час.)

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время жизни. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности, частные случаи его применения.

РАЗДЕЛ II. ЗОННАЯ ТЕОРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. СТАТИСТИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ (12/ __ ЧАС.)

Тема 4. Основы зонной теории полупроводников (8 / __ час.)

Приближение сильной связи. Обменное взаимодействие. Обменная энергия. Образование энергетических зон при сближении атомов. Свойства энергетических зон. Приближение слабой связи. Электрон в потенциальном ящике с гладким дном. Модель Кронига-Пенни. Возникновение энергетических зон. Свойства зон (сравнение с «сильной связью»).

Зависимость энергии электрона от волнового вектора в разрешенной зоне. Разрешенные состояния электрона. Теорема Блоха. Условия цикличности Борна-Кармана. Число состояний в зоне. Квазиимпульс электрона. Зоны Бриллюэна.

Заполненность энергетических зон электронами. Различие между металлами. Полупроводниками. Диэлектриками. Примеры (см. табл. Менделеева – 1, 2, 3, 4 группы, а также NaCl). Структура энергетических зон (зависимость энергии от волнового вектора) Ge, Si, GaAs и других полупроводников. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Однодолинные и многодолинные полупроводники.

Эффективная масса электрона в кристалле. Электроны и дырки. Тензор эффективной массы. Элементарная теория примесных состояний в кристалле. Водородоподобная модель примесного центра, ее применимость. Примеры доноров и акцепторов в германии и кремнии, в полупроводниковых соединениях. Примесные зоны.

Тема 5. Статистика электронов в полупроводниках (4 / __ час.)

Основные положения статистики Ферми-Дирака. Понятие об уровне Ферми. Вычисление концентрации носителей заряда в полупроводнике. Вырожденный и невырожденный полупроводник.

Собственная проводимость. Примесная проводимость. Случаи высоких и низких температур.

Раздел III. КИНЕТИЧЕСКИЕ И КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ (12 / __ час.)

Тема 6. Кинетические явления в полупроводниках (6 / __ час.)

Взаимодействие носителей заряда с кристаллической решеткой в полупроводнике. Подвижность. Измерение подвижностей и концентраций. Температурная зависимость подвижности при разных механизмах рассеяния.

Явления переноса в полупроводнике. Электропроводность. Зависимость от температуры. Практическое применение.

Электропроводность при сильном электрическом поле. Ударная ионизация. Туннельный эффект, эффект Ганна.

Тема 7. Контактные явления в полупроводниках (6 / __ час.)

Контактная разность потенциалов (КРП), методы измерения, природа КРП. Контакт металл-полупроводник. Запорные и антизапорные слои. Толщина запирающего слоя. Выпрямление на контакте двух металлов, на контакте металл-полупроводник. Изготовление P-N перехода. Выпрямление на нем. P-N переход в равновесии. Уравнение Пуассона. Характеристики электрического поля в P-N переходе. Инжекция и экстракция носителей заряда через P-N переход.

Теория тонкого P-N перехода. Применение P-N перехода: диод, триод. Полупроводниковый лазер. Гетеропереход.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лабораторные работы (54/ __ час.)

Лабораторная работа №1. Эффект Холла. Определение концентрации, подвижности и знака носителей заряда в полупроводниках (9 / __ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

Лабораторная работа №2. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности (9 /__ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

Лабораторная работа №3. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по спектральной характеристике фотопроводимости (9 /__ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

Лабораторная работа №4. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по кривым релаксации фотопроводимости (9 / __ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

Лабораторная работа №5. Выпрямление на контакте двух полупроводников. Вольт-амперные характеристики р-п переходов (9 / __ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

Лабораторная работа №6. Фотоэлектрические преобразователи: фотодиоды и фотосопротивления (9 / __ час.)

1. Подбор и изучение теоретического материала (в т.ч. лекционного) по теме лабораторной работы.

2. Постановка задач, определение порядка проведения лабораторной работы, выполнение заданий практической части лабораторной работы.

3. Обработка результатов эксперимента, построение графиков.

4. Формулировка описательной части, формулировка выводов, составление отчета.

5. Защита лабораторной работы: сдача краткой теории по теме работы, объяснение экспериментальных результатов, их возможного расхождения с теорией.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Тема 1. Электропроводность полупроводников	ПК-2	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 1-5
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
2	Тема 2. Полупроводниковые материалы	ПК-2	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 6-10
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
3	Тема 3. Неравновесные носители заряда в полупроводниках	ПК-2	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 11-15
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
4	Тема 4. Основы зонной теории полупроводников	ПК-2, ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 16-20
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
5	Тема 5. Статистика электронов в полупроводниках	ПК-2, ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 21-25
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3
6	Тема 6. Кинетические явления в полупроводниках	ПК-2, ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 25-30
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4

			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4
7	Тема 7. Контактные явления в полупроводниках	ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 30-35
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Физика полупроводников и полупроводниковые приборы: Учебное пособие / Панюшкин Н.Н. - Воронеж:ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2015. - 131 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/858616>
2. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учебник / К.В. Шалимова. — Электрон.дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>
3. Дикарева, Р. П. Физика твердого тела и полупроводников. Исследование температурной зависимости энергии Ферми методом термоЭДС [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 20 с. — 978-5-7782-1666-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45185.html>
4. Дикарева, Р. П. Физика твердого тела и полупроводников. Определение времени жизни неосновных носителей заряда методом модуляции проводимости [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 24 с. — 978-5-7782-1667-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45186.html>

Дополнительная литература (печатные и электронные издания)

1. Дитина З.З. «Лабораторные работы по физике полупроводников и низкоразмерных систем», учебно-методические пособие, изд-во ДВГУ, 2006.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:307927&theme=FEFU>
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1990. – 688 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:30032&theme=FEFU>
3. Киреев П.С. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:411006&theme=FEFU>
4. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. Под ред. Шалимовой К.В. М.: Энергоатомиздат, 1967, 483с.
5. Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла. М.: Советское радио, 1974, 328с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:669245&theme=FEFU>
6. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1987, 239с.\ <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:412667&theme=FEFU>
7. Бормонтов Е.Н., Быкадорова Г.В., Гаврилов А.Е. Моделирование зонной структуры полупроводников: Учебное пособие по лекционному курсу «Физика полупроводников». - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. - 33 с.
<http://window.edu.ru/resource/241/40241>
8. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. – М.: Высшая школа, 1984. – 352 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:669724&theme=FEFU>

Перечень ресурсов сети «Интернет»

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fepo.ru)
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. www.biblioclub.ru – Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
6. www.iqlib.ru – Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
7. www.affp.mics.msu.su

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, MicrosoftOffice и др.).

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

В процессе обучения студент должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы обычно составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины или на кафедре.

Главное в период обучения своей специальности – это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на следующий день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием как успешной учебы, так и последующей работы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Организация деятельности студента на лекции

Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения;

помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий производится с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Необходимо обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Только если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.

Материал лекций необходимо закреплять самостоятельно. В первую очередь, на следующий день необходимо еще раз проработать материал лекции. Практика показывает, что если не сделать этого в течение двух-трех дней, то большая часть материала забудется. В дальнейшем процесс забывания идет по экспоненте. При изучении материала обязательно использование учебников и других материалов по дисциплине. Необходимо найти контрольные вопросы по соответствующей теме, ответить на них. В случае, если по теме есть задачи, то их необходимо решить и сверить с правильными вариантами ответов (при наличии). В случае затруднений необходимо проконсультироваться у преподавателя.

Во всех различных ситуациях, приводящих к ошибочным действиям, некорректным выводам и/или ответам необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков, а следовательно, успешной учебы и работы.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия проводятся в стандартных лекционных аудиториях лабораторного корпуса (корпус L). Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории (корпус L), оснащенной лабораторными стендами, состоящими из стандартного оборудования (осциллографы,

амперметры, вольтметры, магазины сопротивлений и пр.), позволяющими производить лабораторные работы в полном объеме.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**
по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем»
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль Электроника и наноэлектроника

Форма подготовки очная

**Владивосток
2018**

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе №1, Подготовка к контрольной работе №1	1,5 час.	Защита отчета, написание контрольной работы
2	4-6 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе 2	1,5 час.	Защита отчета
3	7-9 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе 3, Подготовка к контрольной работе №2	1,5 час.	Защита отчета, написание контрольной работы
4	10-12 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе 4, Подготовка к контрольной работе №3	1,5 час.	Защита отчета, написание контрольной работы
5	13-15 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе 5, Подготовка к контрольной работе №4	1,5 час.	Защита отчета, написание контрольной работы
6	16-18 недели	Подготовка отчета по лабораторной работе 6, Подготовка к контрольной работе №5 Подготовка к экзамену	46,5 час	Защита отчета, написание контрольной работы
Итого			54 час.	

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Задания и методические рекомендации для самостоятельной работы обеспечивают подготовку отчетов к лабораторным работам. Их полное содержание приведено в программе и методических указаниях. Методические указания к лабораторным работам в электронном виде и печатном виде берутся у ведущего преподавателя.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Результаты самостоятельной работы отражаются в письменных работах (отчетах по лабораторным работам).

К представлению и оформлению отчетов по лабораторным работам предъявляются следующие требования.

Структура отчета по лабораторной работе

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и/или расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т.д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, состоит из следующих частей:

- Титульный лист– обязательная компонента отчета, первая страница отчета, оформляется по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться не отдельно, а в общем файле, где представлен текст отчета);
- Исходные данные к выполнению заданий– обязательная компонента отчета, начинается с новой страницы, содержат указание варианта, тему, план работы и т.д.);
- Основная часть– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т.д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать, исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

- Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);

- Приложения – необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета. Здесь могут находиться, например, справочные данные по используемым приборам, элементам, материалам. Приложения могут приводиться с целью упростить сверку экспериментально полученных результатов со справочными или с целью сравнения.

Оформление отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа относится к категории «письменная работа», оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);

- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – TimesNewRoman;
- размер шрифта – 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы – левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т.д.).
- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экрана («скриншотов»)

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

Рекомендации по подготовке к контрольной работе

Для успешного написания контрольных работ необходимо глубокое понимание основ рассматриваемых процессов, явлений, что обеспечивается систематической работой как на лекциях, так и самостоятельно. Самостоятельная работа не менее важна, чем аудиторная. После лекции в тот же день желательно еще раз проработать лекционный материал для более полного усвоения. А через день еще раз повторить. Если студент считает, что материал не был им понят в достаточной мере, то ему необходимо обратиться на консультации за разъяснениями к преподавателю или задать вопрос на занятии.

Также в процессе подготовки к контрольным работам, кроме лекционных записей, рекомендуется пользоваться литературой из списка основной и дополнительной литературы, Интернет-источниками, а также решать задачи и выполнять самостоятельные практические задания.

Кроме того, некоторый теоретический материал можно узнать и/или тщательнее проработать, пользуясь методическими указаниями в процессе выполнения лабораторных работ.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценивание лабораторных работ проводится по критериям:

- полнота и качество выполненных заданий;
- владение методами и приемами компьютерного моделирования в исследуемых вопросах, применение специализированных программных средств;
- качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов;
- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников сети Интернет, информации нормативно-правового характера и передовой практики;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

Оценивание контрольных работ проводится по критериям:

- полнота и качество ответов на теоретические вопросы;
- отсутствие логических ошибок, связанных с пониманием материала;
- отсутствие ошибок в формулах, выражениях, характеризующих рассматриваемый процесс, явление;
- отсутствие значительных ошибок в приводимых количественных характеристиках приборов и материалов.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине **«Физика полупроводников и низкоразмерных систем»**
Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Профиль **Электроника и наноэлектроника**

Форма подготовки очная

Владивосток
2018

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ПК-2, способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	Знает	<p>способы обоснованного выбора методик экспериментальных исследований;</p> <p>способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи;</p> <p>устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов;</p> <p>основные узлы цифровых и аналоговых измерительных приборов;</p> <p>методы обработки результатов измерений.</p>
	Умеет	<p>Выбирать методики и средства измерений для экспериментальных исследований параметров узлов электронной техники;</p> <p>Проводить измерения различных параметров при контроле производственных процессов;</p> <p>Самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами метрологического обеспечения производства изделий электронной техники.</p>
	Владеет	<p>Навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках и их характеристик на основе физических законов;</p> <p>Навыками выбора методики и средств измерений для экспериментальных исследований параметров материалов и приборов при производстве электронной техники;</p> <p>Практическими способами контроля заданных параметров при решении измерительных задач в производстве электронной техники, в зависимости от типа исследуемого материала или прибора</p>
ПК-4, способностью проводить комплексные	Знает	<p>различные методики проведения экспериментальных исследований в зависимости от вида задачи;</p> <p>способы выбора методик экспериментальных исследований;</p>

<p>исследования на различных экспериментальных установках взаимодействующими методами с последующим анализом и теоретическим моделированием полученных данных</p>		<p>устройство полупроводниковых приборов различного назначения;</p> <p>разновидности устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов;</p> <p>различные установки для измерения параметров элементов и устройств микро-, наноэлектроники;</p> <p>способы статистической обработки полученных данных, методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и наноэлектроники.</p>
	<p>Умеет</p>	<p>анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений в полупроводниках и соответствующих полупроводниковых приборов;</p> <p>выбирать на практике методы исследования параметров и характеристик элементов и устройств микро-, наноэлектроники на различных установках с целью получения как можно более подробной и детальной информации, характеризующей объект с различных сторон;</p> <p>составлять простейшие модели элементов и устройств микро-, наноэлектроники различного назначения;</p> <p>читать и анализировать простейшие схемы отдельных узлов приборов и устройств современной электроники;</p> <p>проводить статистическую обработку полученных данных, пользоваться методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и наноэлектроники.</p>
	<p>Владеет</p>	<p>Способами описания различных механизмов и явлений в полупроводниках, элементах и устройствах микро-, наноэлектроники;</p> <p>Способами составления и анализа физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках на основе физических законов, а также анализа их характеристик;</p> <p>Навыками составления подробных экспериментальных методик исследований для получения детальной информации об анализируемом объекте;</p> <p>Методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников и</p>

		<p>схемотехники для исследования характеристик приборов, систем, установок различного назначения;</p> <p>Навыками составления, расчета и испытания электрических схем различного функционального назначения;</p> <p>Навыками проведения статистической обработки полученных экспериментальных результатов,</p> <p>Методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и нанoeлектроники в одном из пакетов математического моделирования.</p>
--	--	--

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Тема 1. Электропроводность полупроводников	ПК-2	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 1-5
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
2	Тема 2. Полупроводниковые материалы	ПК-2	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 6-10
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1
3	Тема 3. Неравновесные носители заряда в полупроводниках	ПК-2	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 11-15
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
4	Тема 4. Основы зонной теории полупроводников	ПК-2, ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 16-20
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2

5	Тема 5. Статистика электронов в полупроводниках	ПК-2, ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 21-25
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3
6	Тема 6. Кинетические явления в полупроводниках	ПК-2, ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 25-30
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4
7	Тема 7. Контактные явления в полупроводниках	ПК-4	знает	Контрольная работа (ПР-2)	экзамен, вопросы 30-35
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ПК-2, способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	знает (пороговый уровень)	способы обоснованного выбора методик экспериментальных исследований; способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи; устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и наноэлектроники; практические методики исследования параметров полупроводниковых	пересказать и объяснить учебный лекционный материал достаточной степенью научной точности и полноты, с приведением примеров	Наличие общего представления о природе физических явлениях в полупроводниках, Знание способов выбора методик экспериментальных исследований; Владение базовыми навыками применения физико-математического аппарата для решения задач, возникающих при исследовании процессов и материалов в метрологических задачах обеспечения производства.	60-74

		материалов и приборов; основные узлы цифровых и аналоговых измерительных приборов; методы обработки результатов измерений.			
умеет (продвинутой)		Выбирать методики и средства измерений для экспериментальных исследований параметров узлов электронной техники; Проводить измерения различных параметров при контроле производственных процессов; Самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами метрологического обеспечения производства изделий электронной техники.	уметь систематизировать научную информацию, выполнять типовые задачи по измерениям характеристик полупроводниковых материалов, приборов и их последующей обработке	Наличие знаний в области физики полупроводников для решения возникающих проблем при планировании метрологического эксперимента по исследованию свойств, характеристик полупроводников; Умение самостоятельно находить необходимую научно-техническую и справочную литературу, относящуюся к планированию и проведению эксперимента по метрологическому исследованию технологических процессов.	75-89
владеет (высокий)		Навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках и их характеристик на основе физических законов; Навыками выбора методики и средств измерений для экспериментальных параметров материалов и приборов при	Уметь решать различные задачи в области метрологического исследования, контроля свойств и характеристик полупроводниковых приборов, материалов, последующей обработки результатов измерений с использованием практических навыков, приобретенных в ходе учебного процесса.	Способность четко и грамотно ставить метрологическую задачу, составлять методику экспериментального исследования; Умение выбирать соответствующие измерительной задаче методики измерений и средства измерений; умение самостоятельно находить методы решения типовых и нетипичных задач в области экспериментального метрологического исследования параметров и характеристик	90-100

		производстве электронной техники; Практическими способами контроля заданных параметров при решении измерительных задач в производстве электронной техники, в зависимости от типа исследуемого материала или прибора		полупроводниковых приборов, материалов, устройств, применяемых в электронике и наноэлектронике.	
ПК-4, способность проводить комплексные исследования на различных экспериментальных установках взаимодополняющими методами с последующим анализом и теоретическим моделированием полученных данных	Знает	различные методики проведения экспериментальных исследований в зависимости от вида задачи; способы выбора методик экспериментальных исследований; устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и наноэлектроники; практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов; различные установки для измерения параметров элементов и устройств микро-, наноэлектроники; способы статистической обработки полученных данных, методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и наноэлектроники.	пересказать и объяснить учебный лекционный материал с достаточной степенью научной точности и полноты, с приведением примеров	Наличие общего представления о природе физических явлениях в полупроводниках, Знание способов выбора методик экспериментальных исследований; Основные схемотехнические решения, применяемые для решения типовых задач; Базовые навыки применения физико-математического аппарата для решения задач, возникающих при исследовании различных процессах в полупроводниковых материалах и электрических схемах.	60-74
	Умеет	анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных	уметь систематизировать научную информацию, выполнять типовые задачи по	Применять знания в области физики полупроводников и схемотехники для решения возникающих задач	75-89

		<p>явлений в полупроводниках и соответствующих полупроводниковых приборов;</p> <p>выбирать на практике методы исследования параметров и характеристик элементов и устройств микро-, наноэлектроники на различных установках с целью получения как можно более подробной и детальной информации, характеризующей объект с различных сторон;</p> <p>составлять простейшие модели элементов и устройств микро-, наноэлектроники различного назначения;</p> <p>читать и анализировать простейшие схемы отдельных узлов приборов и устройств современной электроники;</p> <p>проводить статистическую обработку полученных данных, пользоваться методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и наноэлектроники.</p>	<p>измерению характеристик элементов и устройств микро-, наноэлектроники анализу и интерпретации полученных результатов</p>	<p>при определении характеристик элементов и устройств микро-, наноэлектроники, учет при этом свойств, характеристик полупроводниковых приборов;</p> <p>Самостоятельно находить необходимую научно-техническую и справочную литературу, относящуюся к выбору готового измерительного прибора или построению самостоятельного схмотехнического решения для реализации конкретной задачи;</p> <p>Составлять и рассчитывать простейшие узлы электронных схем.</p>	
	Владеет	<p>Способами описания различных механизмов и явлений в полупроводниках, элементах и устройствах микро-, наноэлектроники;</p> <p>Способами составления и анализа физико-математических моделей полупроводниковых</p>	<p>Уметь решать различные задачи в области исследования характеристик различных элементов и устройств микро-, наноэлектроники, синтеза простейших измерительных электрических цепей, устройств</p>	<p>Способностью четко и грамотно ставить задачу, составлять план эксперимента по определению характеристик элемента или устройства микро-, наноэлектроники;</p> <p>Умением выбирать соответствующие полупроводниковые</p>	90-100

		<p>приборов, явлений в полупроводниках на основе физических законов, а также анализа их характеристик;</p> <p>Навыками составления подробных экспериментальных методик исследований для получения детальной информации об анализируемом объекте;</p> <p>Методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников и схемотехники для исследования характеристик приборов, систем, установок различного назначения;</p> <p>Навыками составления, расчета и испытания электрических схем различного функционального назначения;</p> <p>Навыками проведения статистической обработки полученных экспериментальных результатов,</p> <p>Методами вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или процессов микро- и нанoeлектроники в одном из пакетов математического моделирования.</p>	<p>усиления и генерации сигналов с заданными характеристиками с использованием практических навыков, приобретенных в ходе учебного процесса.</p>	<p>приборы, схемотехнические решения, средства измерений для контроля;</p> <p>Умением самостоятельно находить методы решения типовых и нетипичных задач в области расчета, построения и последующего анализа параметров и характеристик электрических схем, а также в области описания и анализа характеристик полупроводниковых приборов, материалов, устройств, применяемых в электронике и нанoeлектронике.</p>	
--	--	--	--	--	--

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» проводится в форме защиты лабораторных работ по оцениванию фактических результатов обучения студентов. Осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

- результаты самостоятельной работы.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами и критериями.

Критерии оценки отчетов по лабораторным работам

Оценивание защиты лабораторной работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он представляет к защите отчет по лабораторной работе, удовлетворяющий требованиям по поставленным заданиям, по оформлению, демонстрирует владение методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он не владеет методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы,

допускает существенные ошибки в работе, представляет отчет с существенными отклонениями от правил оформления письменных работ.

Промежуточная аттестация студентов

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» проводится в виде экзамена, форма экзамена - «устный опрос в форме ответов на вопросы», «практические задания по типам». Допуск к экзамену возможен только после защиты отчетов по всем лабораторным работам курса.

Критерии выставления оценки студенту экзамене по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем»:

Баллы(рейтинговой оценки)	Оценказачета(стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«зачтено»/ «отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	«зачтено»/ «хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61 -75	«зачтено»/ «удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала,

		испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«не зачтено»/ «не удовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Электронная и дырочная проводимость в полупроводниках.
 - А) Классическое представление.
 - Б) Квантово-механическое представление.
2. Примеси донорные и акцепторные. Определения, примеры, задачи.
 - А) Как создать проводимость р или n-типа в Si, Ge.
 - Б) Как создать проводимость р или n-типа в соединении элементов третьей и пятой группы.
 - В) Как создать проводимость р или n-типа в соединении элементов второй и шестой группы.
 - Г) Роль примеси Si (Ge) в соединении элементов третьей и пятой группы.
 - Д) Примесные уровни. Общие свойства донорных и акцепторных уровней. Отличие донорных и акцепторных уровней при $T=0K$.
 - Е) Компенсация примесей, полная и частичная компенсация примесей.
 - Ж) Произведение концентраций основных и неосновных носителей (закон действующих масс).
3. Что такое подвижность носителей заряда? Определение. Размерность. Величина подвижности в собственном, примесном, компенсированном полупроводнике (у кого подвижность больше и почему). Сравнить подвижность электронов и дырок.

4. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры в собственном полупроводнике. Формула, график, объяснение. Зависимость концентрации электронов от температуры в полупроводнике n-типа. Формула, график, объяснение.
5. Назвать основные классы полупроводников. Примеры, назвать 3-4 материала в каждом классе (моноатомные, бинарные соединения).
6. Типы химической связи в полупроводниках. Примеры (3-4 материала) на каждый тип связи.
7. Зависимость ширины запрещенной зоны от типа химической связи. Примеры изоэлектронного ряда полупроводников (строка в таблице Менделеева). Задачи.
8. Зависимость ширины запрещенной зоны от порядкового номера Z элемента, входящего в состав полупроводников (столбец в таблице Менделеева). Задачи.
9. Диффузия носителей заряда в полупроводнике. Определение. Диффузионный ток дырок, одномерный и трехмерный случай. Диффузионный ток электронов. Диффузионная длина. Время жизни.
10. Дрейф носителей заряда. Определение. Подвижность. Дрейфовый ток дырок, электронов.
11. Полный ток в полупроводнике (формула).
12. Уравнение непрерывности для дырок, для электронов. Одномерный и трехмерный случаи. Стационарное состояние.
13. Волновые свойства микрочастиц. Гипотеза де Бройля. Экспериментальные доказательства волновых свойств частиц.
14. Состояния электрона в кристалле. Волновой вектор. Правила его квантования. Условие Борна-Кармана.
15. Приближение сильной связи. Образование энергетических зон в кристалле. Число уровней. Ширина зоны. Вырожденные и гибридные зоны.
16. Зависимость $E(k)$ для простой кубической решетки. Общие свойства функции $E(k)$. Период функции $E(k)$. Зоны Бриллюэна.

17. Эффективная масса электронов и дырок. Зависимость энергии электрона от квазиимпульса вблизи краев зон.
18. Водородоподобная модель примесного центра.
19. Функции Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
20. Плотность состояний в свободной и валентной зонах.
21. Концентрация электронов и дырок в полупроводнике, общий случай (вывод формулы).
22. Невырожденный полупроводник. Вырожденный полупроводник. Положение уровня Ферми, формулы для Концентрации носителей заряда.
23. Собственный невырожденный полупроводник. Зависимость уровня Ферми и концентрации носителей от температуры. Собственный вырожденный полупроводник.
24. Невырожденный полупроводник N-типа. Случай низких температур.
25. Невырожденный полупроводник N-типа. Случай высоких температур.
26. Зависимость концентрации электронов и уровня Ферми от температуры в полупроводнике N-типа в широком диапазоне температур.
27. Зависимость концентрации дырок и уровня Ферми от температуры в полупроводнике P-типа в широком диапазоне температур.
28. Концентрация неосновных носителей в полупроводнике. Закон «действующих масс» для невырожденного полупроводника.
29. Контактная разность потенциалов. Ее происхождение, величина, способ измерения.
30. Двойной заряженный слой на контакте двух кристаллов. Толщина заряженных слоев в металле и в полупроводнике (оценка).
31. Контакт металла и полупроводника N-типа, два случая. Проводимость приконтактного слоя полупроводника.
32. Контакт металла и полупроводника P-типа, два случая. Запорный и антизапорный слой.

33. Электрическое поле в P-N переходе. Зависимость напряженности и потенциала от координаты. Изгиб энергетических уровней свободной и валентной зон.

34. Толщина заряженных слоев в P-N переходе. Толщина P-N перехода.

35. Гетеропереход. Зонная диаграмма. Основное отличие гетероперехода от гомоперехода.

Типы экзаменационных заданий

Тип 1. Определите ширину запрещенной зоны полупроводника по заданной температурной зависимости электропроводности.

Тип 2. Определите вольтамперные и световые характеристики фотоэлектрических преобразователей: фотосопротивления и фотодиода при помощи лабораторного оборудования.

Тип 3. Определите ширину запрещенной зоны по заданной спектральной характеристике фотопроводимости.

Тип 4. Определите вольтамперные характеристики селенового и кремниевого выпрямителей. По ним определите статическое и дифференциальное сопротивления.

Тип 5. Определите зависимости тока и напряжения при подаче на селеновый и кремниевый выпрямители синусоидального напряжения. Получить на экране осциллографа ВАХ каждого из выпрямителей.

Оценочные средства для текущей аттестации

Типовые задания к лабораторным работам

Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности.

В работе в качестве исследуемых образцов используются два термосопротивления. Они изготовлены из материалов с большим температурным коэффициентом сопротивления. Размеры образцов: $l=10$ мм, $d=2$ мм.

Образцы помещены в ультратермостат, который автоматически поддерживает заданную температуру с точностью $\pm 0,5$ град. Сопротивление R измеряется мостом постоянного тока МО-62 по схеме моста Уитсона.

1. Измерить температуру t воды в термостате и при этой температуре измерить сопротивления обоих образцов R_1 и R_2 .

2. С помощью контактного термометра задать температуру $\approx 20^\circ\text{C}$ (или выше), включить нагреватель и мотор (мешалку) термостата. Когда стабильно установится заданная температура, снова измерить R_1 и R_2 . Температуру увеличивать через $5-10^\circ\text{C}$. ($15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80^\circ\text{C}$) и при каждой температуре измерять оба образца. Результаты измерений занести в таблицу.

3. Определить по соответствующим формулам ширину запрещенной зоны.

В полупроводнике $R(T) = Ae^{B/T}$ и $\alpha = dR/R * 1/dT = dR/dT * 1/R = -B/T^2$; в металле $R(t) = R_0(1 + \alpha t)$. $R = \rho l/S$, отсюда $\rho = RS/l$, $\sigma = 1/\rho = l/(RS) = l/(SA) * e^{-B/T} = \sigma_0 e^{-B/T}$

$$\sigma_{\text{собств.}} = en\mu_n + er\mu_p = e(\mu_n + \mu_p)n = e(\mu_n + \mu_p)n_0 e^{-\Delta E/2kT} = \sigma_0 e^{-\Delta E/2kT}$$

Сравнивая формулы, получим $\Delta E = 2kB$. Так можно найти ΔE , если известна B . Чтобы найти B , надо измерить R при двух разных температурах $R_1 = Ae^{B/T_1}$, $R_2 = Ae^{B/T_2}$; $R_1/R_2 = e^{B(T_2 - T_1)/(T_1 T_2)}$, $B = (T_1 T_2)/(T_2 - T_1) \ln(R_1/R_2)$.

$\sigma = \sigma_0 e^{-\Delta E/2kT}$. Находим $\ln \sigma = \ln \sigma_0 - (\Delta E/2k) * (1/T)$. Сравниваем это выражение с уравнением прямой линии $y = a - bx$ и видим следующее: если зависимость $\sigma(T)$ построить в координатах $y = \ln \sigma$, $x = 1/T$, то получим прямую, у которой тангенс угла наклона связан с ΔE : $\text{tg} \varphi = -\Delta E/2k$

Отсюда следует второй способ определения ΔE : $\Delta E = -2k * \text{tg} \varphi$.

Вольтамперные и световые характеристики фотоэлектрических преобразователей: фотосопротивления и фотодиода.

1. Фотосопротивление (ФС)

1. Снять вольтамперную характеристику $I = I(U)$ фотосопротивления типа ФСК-6 в темноте и при трех различных освещенностях. Освещенность устанавливать светофильтрами. Напряжение на ФС изменять от 0 до 30 вольт.

2. Построить график $I=I(U)$ при трех различных освещенностях и в темноте.
3. Построить световую характеристику, т.е. зависимость тока от освещенности Φ . Освещенность откладывать в относительных единицах.

2. Фотодиод (ФД) в фотодиодном режиме

Снять зависимость $I=I(U)$ при трех различных освещенностях и в темноте. Напряжение питания изменять от 0 до 20 В. Построить графики $I=I(U)$ и $I=I(\Phi)$. Сравнить их с графиками для фотосопротивления, объяснить различия.

3. Фотодиод в вентильном режиме (без внешнего источника тока)

1. Снять зависимость фототока от сопротивления нагрузки R при максимальной освещенности (фильтр 0). В качестве нагрузки использовать магазин сопротивлений МСР-63. Построить график зависимости фототока от сопротивления нагрузки $I_{\phi}=I_{\phi}(R)$. Прodelать то же самое при меньших освещенностях (фильтры 1 и 2).

2. Измерить ЭДС холостого хода U_{xx} (разность потенциалов на фотодиоде при разомкнутой цепи, т.е. при $R=\infty$) при трех значениях освещенности (фильтры 0, 1, 2). Для измерения использовать вольтметр с большим внутренним сопротивлением.

3. Измерить ток короткого замыкания $I_{кз}$ (ток в цепи, когда $R=0$) при трех значениях освещенностях (фильтры 0, 1, 2).

4. Измеренные значения U_{xx} и $I_{кз}$ занести в таблицу и проанализировать.

Задания к контрольным работам

Задания к контрольной работе №1

1. Почему при сближении атомов разрешенных энергетических уровень электрона в атоме (атомных уровень) расщепляется в зону?
2. На сколько уровней расщепляется простой (невырожденный) атомных уровень?
3. Какое максимальное количество электронов может разместиться на уровнях простой разрешенной зоны кристалла?

4. Когда возникает обменное взаимодействие между атомами? Почему оно называется обменным?
5. Что называется обменной энергией A ? Как связана ширина разрешенной зоны с обменной энергией? (Например, в простой кубической решетке).
6. Какая зона называется вырожденной зоной? Чему равно число состояний в вырожденной зоне?
7. Какая зона называется гибридной? Чему равно число состояний в ней?
8. Набор квантовых чисел, которые задают состояние электрона в атоме?
9. Набор квантовых чисел, которые задают состояние электрона в кристалле.
10. Правила квантования компонент вектора k в кристалле.
11. Свойства функции $E(k)$ в кристалле (4).
12. Какие из этих свойств функция $E(k)$ сохранит, если электрон выйдет из кристалла (т.е. станет свободным)?
13. Что такое первая зона Бриллюэна? (дать определение)
14. Первая зона Бриллюэна в простой кубической решетке. Пределы изменения компонент волнового вектора k (или p).
15. Гипотеза де Бройля. Длина волны частицы.
16. Чему равен вектор импульса частицы?
17. Чему равен волновой вектор волны?
18. Связь векторов p и k ?
19. Задача: Расщепление атомных уровней в энергетические зоны в кристаллах алмаза (рис. 227, стр. 50 Шалимова) кремния, германия (рис. на лекции, см. тетрадь).

Задания к контрольным работам №2,3

1. Функция Ферми-Дирака (формула, график, физический смысл).
2. Функция Максвелла – Больцмана (формула, график, физический смысл).
3. Условие, при котором функция Ферми-Дирака переходит в функцию Максвелла- Больцмана.

4. Что такое уровень Ферми? Дать определение (их несколько).
5. Положение уровня Ферми в невырожденном собственном полупроводнике при $T=0$ К.
6. Положение уровня Ферми в невырожденном полупроводнике n- типа при $T=0$ К.
7. Положение уровня Ферми в невырожденном полупроводнике p- типа при $T=0$ К.
8. Положение уровня Ферми в полностью вырожденном полупроводнике n- типа.
9. Положение уровня Ферми в полностью вырожденном полупроводнике p- типа.
10. Положение уровня Ферми в частично вырожденном полупроводнике а) n- типа, б) p- типа.
11. Значение параметра η в случаях 8, 9, 10, а также в невырожденном полупроводнике.
12. Куда сдвигается уровень Ферми при нагревании полупроводника в случае 5, 6, 7? Формула и график зависимости уровня Ферми от температуры для каждого случая 5, 6, 7.
13. Концентрации электронов и дырок в полупроводнике, общий случай (через интегралы Ферми).
14. Концентрации электронов и дырок в невырожденном полупроводнике через параметр η .
15. Концентрации электронов и дырок в невырожденном полупроводнике через уровень Ферми (F).
16. Уравнение электронейтральности для а) собственного полупроводника, б) полупроводника n- типа, в) полупроводника p- типа.
17. Концентрация электронов и дырок (формулы и графики $n(T)$, $\ln n(1/T)$)
18. а) в собственном полупроводнике,
19. б) в полупроводнике n-типа (случай низких и высоких температур),
20. в) в полупроводнике p- типа (случай низких и высоких температур).

21. График $\ln n = f(1/T)$ для полупроводника n-типа в широком диапазоне температур. Рассмотреть три области температур. Каждую область охарактеризовать с помощью формул из п.17.
22. График $\ln p = f(1/T)$ для полупроводника p-типа в широком диапазоне температур. Рассмотреть три области температур. Каждую область охарактеризовать с помощью формул из п.17.
23. Что такое истощение примесных уровней? Чему равна концентрация основных и неосновных носителей при этом явлении?

Вопросы к контрольным работам №4,5

1. Работа выхода. Определение.
2. Связь работы выхода и уровня Ферми.
3. Величина контактной разности потенциалов (КРП) через работы выхода.
4. Величина КРП через уровни Ферми.
5. Почему возникает КРП?
6. Почему КРП не дает тока?
7. Что такое обедненный слой?
8. Изменение удельной электропроводности в обедненном слое по сравнению с объемом полупроводника а) увеличивается, б) уменьшается, в) не изменяется.
9. Что такое обогащенный слой?
10. Изменение удельной электропроводности в обогащенном слое по сравнению с объемом полупроводника а) увеличивается, б) уменьшается, в) не изменяется.
11. При каком соотношении работы выхода на контакте металла и полупроводника n-типа возникает обедненный слой.
12. При каком соотношении работы выхода на контакте металла и полупроводника p-типа возникает обедненный слой.
13. На каких слоях происходит выпрямление тока: обедненных или обогащенных?

14. Как изменяется концентрация неосновных носителей в обедненных слоях: а) увеличивается, б) уменьшается, в) не изменяется.
15. Высота потенциального барьера на P-N переходе в отсутствие внешнего напряжения через уровни Ферми.
16. Высота потенциального барьера на P-N переходе в отсутствие внешнего напряжения через концентрации примесей при полной ионизации примесей (два варианта).
17. Высота потенциального барьера при прямом и обратном включении P-N перехода.
18. Толщина P-N перехода через концентрации основных носителей (общий случай).
19. Толщина P-N перехода через концентрации примесей при полной их ионизации.
20. Толщина P-N перехода при прямом и обратном включении.
21. Упрощение формул № 18, 19, 20 для несимметричного P-N перехода. Пояснить, что такое «несимметричный P-N переход».
22. Толщины заряженных слоев в P- и N-областях через концентрации основных носителей и через концентрации примесей при их полной ионизации. Отношение толщин.
23. Зависимость напряженности электрического поля P-N перехода от координаты. График и формулы для P- и N-областей.
24. В какой точке напряженность поля максимальна? Чему равно это максимальное значение?
25. Чему равно среднее значение напряженности поля? Выразить его через максимальное значение и через КРП.
26. Зависимость потенциала электрического поля P-N перехода от координаты. Формулы для P- и N-областей и график с указанием начала отсчета потенциала.
27. Распределение КРП между заряженными слоями P- и N-областей, связь с толщинами слоев.

28. Контакт металла с полупроводником как частный случай несимметричного PN перехода. Рассмотреть толщины заряженных слоев, графики напряженности и потенциала.
29. Уравнение Шокли, формула и график.
30. Ток насыщения через концентрации неосновных носителей, через концентрации основных носителей, через концентрации примесей при их полной ионизации.
31. Коэффициент инжекции электронов, определение и формулы через концентрации носителей неосновных и основных, и через концентрации примесей.
32. Коэффициент инжекции дырок определение и формулы через концентрации носителей неосновных и основных, и через концентрации примесей.
33. Зонная диаграмма гетероперехода. Основное отличие гетероперехода от гомоперехода.