



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

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Короченцев В.В.

(подпись)

(Ф.И.О. рук.ОП)

«1» сентября 2016 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой теоретической и  
ядерной физики

Ширновский С.Э.

(подпись)

(Ф.И.О. зав. каф.)

«1» сентября 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальный физический практикум  
Направление подготовки 03.03.02 Физика

**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр 6  
лекции 18 (час.)  
практические занятия 0 (час.)  
лабораторные работы 72 час.  
в числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 0 /лаб. 0 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 90 (час.)  
в том числе с использованием МАО 0 час.  
самостоятельная работа 18 (час.)  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен  
зачет 6 семестр  
экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно установленного ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 № 1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики, протокол № 23 от «1» сентября 2016 г.

Заведующий кафедрой: Ширновский С.Э. к.ф.-м. н., доцент

Составитель (ли): к. ф.-м. н., доцент Кучма А.С.

## 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 03.03.02 "Physics".**

**Course title:** Special Physical Workshop

**Variable part of Block 3 credits.**

**Instructor:**

**At the beginning of the course a student should be able to:**

- readiness for self-development, improving their skills and skills;
- mastering the basic methods, methods and means of obtaining, storing, processing information, have the skills to work with a computer as a means of information management;
- ability to operate and maintain modern physical equipment and equipment.

**Learning outcomes:**

- ability to critically rethink accumulated experience, change, if necessary, the direction of its activities
- ability to gain organizational and managerial skills when working in scientific groups and other small groups of performers
- the ability to conduct scientific research in the chosen field of experimental and (or) theoretical physical research using modern instrumentation base (including sophisticated physical equipment) and information technologies taking into account domestic and foreign experience
- the ability to operate and maintain modern physical equipment and equipment

**Course description:**

The content of the discipline covers a range of issues related to technology, which lies at the basis of the element base of modern solid-state electronic devices (diode and MIS structures, thyristors, bipolar and field-effect transistors) and with modern methods for measuring the parameters of semiconductor instrument structures. This physics practice covers the most common methods for obtaining substances in the form of films, layers and structures on various substrates. The most common methods of research and measurement of the main characteristics of semiconductor materials are considered. Much attention is paid to the theory of the method, the general principles of the construction of experimental facilities, the development of methods for processing experimental data. The areas of application of the considered methods, their limiting possibilities and prospects are analyzed.

The purpose of the discipline is to teach students basic experimental methods for producing films, layers of various substances (metals, dielectrics, semiconductors) and measuring the parameters of semiconductors, which form the basis of modern elemental base of microelectronics.

The objectives of the discipline are:

- teach students how to produce thin films, layers and structures of various substances.
- acquaint students with the methods of measuring the basic parameters of semiconductor materials and structures.

- to teach students to use the knowledge and skills gained in the study of the discipline in the process of production activities.

**Main course literature:**

1. Kuzmichiov A.I. Magnetron sputtering systems. Kn.1. Introduction to physics and technology of magnetron sputtering. -K.: Obverse, 2008. -244 with.
  2. Browdy I., Merey J. Physical foundations of microtechnology. -M.: Mir, 1985. - 496 p.
  3. Holland L. Application of thin films in vacuum. -M.: Gosenergoizdat, 1963.
  4. Karapetyants M.Kh. Chemical thermodynamics. -M.: Chemistry, 1975.-584 p.
  5. Batavin, V.V., Kontsevoy, Yu.A., Fedorovich, Yu.V. Measurement of parameters of semi-conductor materials and structures. - M.: Radio and communication, 1985. 264 p.
  6. Pavlov L.P. Methods for measuring the parameters of semiconductor materials: Proc. For universities on special. "Semiconductor and microelectronic devices". - M.: VS, 1987. - 239 p.
  7. Lysov V.F. Workshop on semiconductor physics. Tutorial. M., "Prosv", 1976, 207 p.
  8. Special physical workshop, part 2, edited by A.A. Kharlamov, Article 3. Because of Moscow. University, 1977
- b) additional literature:
1. Berlin E.V., Seidman L.A. Ion-plasma processes in thin-film technology. -M.: Technosphere, 2010. -528 p.
  2. Technology of thin films (reference). T.1 / Ed. L. Mysella, R. Glang. -M.: Owls. Radio, 1977.
  3. Danilin B.S. The use of low-temperature plasma for the deposition of thin films. -M.: Energoatomizdat, 1989.
  4. Labunov V.A., Danilovich N.I., Uksusov A.S., Minaychev V.E. Modern magnetron sputtering devices // Foreign electronic equipment. 1982. Issue. 10 (256). C.3 - 62.
  5. Shelinsky G.I. Fundamentals of the theory of chemical processes: A manual for teachers. - M.: Enlightenment, 1989. -192 p.
  6. Shefer G. Chemical transport reactions. M.: Mir, 1964. -189 p.
  7. Ormont B.F. Introduction to the physical chemistry and crystal chemistry of semiconductors. - M.: VS, - 1982
  8. Kireev P.S. Semiconductor physics. Textbook for technical colleges. M.: VS, 1975.
  9. VVEpifanov, Yu.A.Mom. Physical bases of designing and technology of REA and EVA. - M.: Owls. Radio, 1979. - 352 p.
  10. Pasyukov V.V., Sorokin V.S. Materials electronic technology. Training For stud. Wow. - M.: Higher. Sc., 1986. - 367 p.

11. Solid-state electronics and contact phenomena: a teaching aid. Laboratory work (part 1) / comp. Aliyev I.Sh., Ismailov A.M., Hasanova R.N. - Makhachkala: DGU publishing house, 2015. –77c.

**Form of final control:** pass-fail exam.

## АННОТАЦИЯ

Рабочая программа дисциплины «Специальный физический практикум» разработана для студентов 3 курса направления 03.03.02 «Физика», специализации «Физика» в соответствии с требованиями ОС ВО по данному направлению.

Дисциплина «Механика сплошных сред» относится к разделу Б1.В.ДВ.9 дисциплин по выбору учебного плана.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 час.), лабораторные работы (72 час.) самостоятельная работа (18 час.). Дисциплина реализуется в 5 семестре 3 курса.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с технологией, которая лежит в основе элементной базы современных твердотельных электронных приборов (диодных и МДП-структур, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов) и с современными методами измерения параметров полупроводниковых приборных структур. Данный физпрактикум охватывает наиболее распространенные методы получения веществ в виде пленок, слоев и структур на различных подложках. Рассматриваются наиболее распространенные методы исследования и измерения основных характеристик полупроводниковых материалов. Большое внимание уделяется теории метода, общим принципам построения экспериментальных установок, освоению методов обработки экспериментальных данных. Анализируются области применения рассмотренных методов, их предельные возможности и перспективы.

**Целью** дисциплины является научить студентов базовым экспериментальным методам получения пленок, слоев различных веществ (металлы, диэлектрики, полупроводники) и измерения параметров полупроводников, которые составляют основу современной элементной базы микроэлектроники.

**Задачами** дисциплины являются:

- научить студентов методам получения тонких пленок, слоев и структур различных веществ.
- ознакомить студентов с методами измерения основных параметров полупроводниковых материалов и структур.
- научить студентов использовать знания и умения, полученные при изучении дисциплины, в процессе производственной деятельности.

Для успешного изучения дисциплины «Специальный физический практикум» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- готовность к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-6);
- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-10);
- готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов (ПК-3).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные и общепрофессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-8 способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности	Знает	основные современные проблемы и новейшие достижения физики.
	Умеет	применять полученные знания для решения поставленных актуальных задач в своей научно-исследовательской работе.
	Владеет	навыками работы с прикладными аспектами экспериментальной и теоретической физики.
ОПК-9 способностью получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей	Знает	особенности и отличия проектной работы, особенности работы в междисциплинарной команде, стили руководства сотрудниками, методы мотивации и контроля над сотрудниками
	Умеет	работать в команде, в том числе междисциплинарной, работать в проектах
	Владеет	навыками проектной работы, в частности в междисциплинарных командах, навыками организаторской и руководящей работы
ПК-2 способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и	Знает	виды и свойства материалов и технологий электронной техники
	Умеет	- рассчитывать и определять основные параметры и характеристики полупроводниковых структур.
	Владеет	-методиками исследования структурных, электрических и оптических свойств материалов.

зарубежного опыта		
ПК-3 способностью эксплуатировать и обслуживать современную физическую аппаратуру и оборудование	Знает	слушать и конспектировать лекции, а также самостоятельно добывать знания по изучаемой дисциплине; критически анализировать и излагать получаемую на семинарских занятиях информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами;
	Умеет	пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области профессиональной деятельности;
	Владеет	навыками проведения научных исследований в области физики с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Специальный физический практикум» предусмотрены следующие методы активного/интерактивного обучения: лекция-беседа; Лабораторные работы.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

Лекционные занятия (18 час)

1. Термовакuumный метод получения тонких пленок (физ. основы метода, ос-новы вакуумной техники, техника получения и измерения вакуума, вакуумные системы установок). (2 час)
2. Получение тонких пленок алюминия на подложке из стекла методом термовакuumного напыления. (2 час)
3. Получение тонких пленок Те на моно-кристаллических подложках методом термовакuumного напыления. Получение тонких пленок и слоев окси-да цинка методом химических транс-портных реакций (2 час)
4. Получение тонких пленок (металлы, диэлектрики, полупроводники) на раз-личных подложках методом магнетронного распыления. (2 час)

5. Получение тонких пленок диэлектриков и полупроводников на различных под-ложках методом высокочастотного магнетронного распыления. (2 час)
6. Получение нитевидных кристаллов теллура методом термохимической активации. Определение энергии активации примеси и ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности. Зондовые методы измерения удельного сопротивления полупроводников. (2 час)
7. Определение концентрации носителей заряда, холловской подвижности, типа носителей заряда методом Холла. Изучение туннельного эффекта в полупроводниках. (2 час)
8. Определение времени жизни неосновных носителей заряда по кинетике релаксации фото-проводимости. (2 час)
9. Измерение параметров неравновесных носителей заряда (дрейфовой подвижности, коэффициента диффузии, диффузионной длины). Определение ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом. (2 час)

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лабораторные работы (72 час.)**

#### **Модуль 1. (20 час)**

**Лабораторная работа №1.** Температурная зависимость упругости паров различных веществ. Критическая плотность атомного пучка, критическая температура. Типы испарителей. Преимущества и недостатки термовакuumного метода (молекулярно-лучевой метод). Понятие о вакууме, основное уравнение вакуумной техники. Средства получения и измерения вакуума. Вакуумные системы технологических установок.

**Практическая часть:** получение и измерение вакуума на различных ростовых уста-новках.

**Лабораторная работа №2.** Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на под-ложках. Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний.

**Практическая часть:** получение тонкой пленки алюминия на подложке из стекла методом термовакуумного напыления. Измерение ее толщины на микроинтерферометре МИИ-4М. Оценка скорости роста. Определение критической температуры роста пленок для фиксированной температуры тигля.

**Лабораторная работа №3.** Монокристаллические подложки, эпитаксиальный рост, правило Руайе, псевдоморфный слой. Кристаллическая структура, физико-химические свойства теллура. Температурная зависимость упругости паров и парциальный состав паровой фазы теллура.

**Практическая часть:** Получение тонких пленок Те на монокристаллических подложках (слюда, сапфир) методом термовакуумного напыления. Определение температуры эпитаксии. Снятие рентгенограммы и оценка структурного совершенства полученных пленок.

**Лабораторная работа №4.** Основы химической термодинамики. Основные термодинамические функции и соотношения между ними. Условия фазового и химического равновесия, правило фаз Гиббса. Тепловой эффект химической реакции, закон Гесса. Закон действующих масс и константа химического равновесия. Направление протекания химической реакции. Зависимость константы равновесия от температуры и давления. Примеры газотранспортных химических реакций (из технологии полупроводниковых материалов). Понятие о стандартном состоянии вещества.

**Практическая часть:** Получение тонких пленок и слоев оксида цинка методом химических транспортных реакций.

## **Модуль 2. (12 час)**

**Лабораторная работа №5.** Физические основы ионного распыления. Коэффициент распыления и его зависимость от условий распыления. Распределение распыленных частиц по массам, углам, энергиям, зарядовому состоянию. Диодное, триодное, магнетронное распыление. Физика тлеющего разряда, вольт-амперная характеристика, аномальный режим тлеющего разряда. Движение заряженных частиц в магнетронном разряде. Реактивное магнетронное распыление. Преимущества и недостатки магнетронного распыления, современное состояние, перспективы.

**Практическая часть:** Получение тонких пленок (металлы, диэлектрики, полупроводники) на различных подложках методом магнетронного распыления.

**Лабораторная работа №6.** Движение электрона в переменном ВЧ поле. Постоянный потенциал ВЧ плазмы. Магнитное поле в устройствах ВЧ распыления. Согласование и стабилизация ВЧ мощности. Преимущества и недостатки ВЧ магнетронного распыления по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ- распылением без магнитного поля.

**Практическая часть:** Получение тонких пленок диэлектриков и полупроводников на различных подложках методом высокочастотного магнетронного распыления.

**Лабораторная работа №7.** Определение одномерных структур (нитевидные структуры, вискеры, ленты и др.). Особенности структуры и свойств одномерных структур с объемными образцами. Суть метода термохимической активации, роль водорода.

**Практическая часть:** Получение нитевидных кристаллов теллура методом термохимической активации.

### **Модуль 3. (20 час)**

**Лабораторная работа №8.** Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников, определение энергии активации примеси и ширины запрещенной зоны. Понятие о зонной структуре твердых тел. Статистика электронов и дырок в полупроводниках, собственные и примесные полупроводники.

**Практическая часть:** Определение энергии активации примеси и ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности.

**Лабораторная работа №9.** Особенности зондовых методов измерения электрических параметров полупроводников. Теория четырехзондового метода. Измерение удельного сопротивления объемных кристаллов, тонких пластин, диффузионных слоев. Влияние границ на поправочные функции.

**Практическая часть:** Измерение удельного сопротивления полупроводниковых слитков и полупроводниковых пленок четырехзондовым методом и методом Ван-дер-Пау.

**Лабораторная работа №10.** Гальваномагнитные явления, теория эффекта Холла. Определение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла. Источники систематических погрешностей в холловских измерениях. Влияние геометрии холловских контактов на измерение ЭДС.

**Практическая часть:** Определение концентрации носителей заряда, холловской подвижности, типа носителей заряда методом Холла.

**Лабораторная работа №11.** Прохождение микрочастицы сквозь одномерный прямо-угольный потенциальный барьер, туннельный эффект. Энергетическая диаграмма р-п- пере-хода на базе вырожденных полупроводников. ВАХ туннельного диода и его анализ.

**Практическая часть:** Снятие и изучение ВАХ туннельного диода.

#### **Модуль 4. (20 час)**

**Лабораторная работа №12.** Явление фотопроводимости полупроводников, неравновесные носители заряда, красная граница фотопроводимости. Кинетика релаксации фотопроводимости, время жизни неосновных носителей заряда

**Практическая часть:** Определение среднего времени жизни неосновных носителей

заряда в полупроводнике по кинетике релаксации фотопроводимости.

**Лабораторная работа №13.** Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Диф-фузия, дрейф и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Измерение дрейфовой подвижности. Определение диффузионной длины, коэффициента диффузии.

**Практическая часть:** Измерение параметров неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

**Лабораторная работа №14.** Виды оптических переходов и оптического поглощения фотонов в полупроводниках. Коэффициенты пропускания и отражения света и зависимость их от длины световой волны и температуры. Определение параметров полупроводниковых материалов методом оптического поглощения.

**Практическая часть:** Определение ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Специальный физический практикум» представлено в Приложении 1.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Модуль 1	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Модуль 2	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Модуль 3	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Раздел 4.	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита

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**

- Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн.1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. -К.: Аверс, 2008. -244 с.
- Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. -М.: Мир, 1985. -496 с.
- Холлэнд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. -М.: Госэнергоиздат, 1963.
- Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. -М.:Химия, 1975.-584 с.
- Батавин В.В., Концевой Ю.А., Федорович Ю.В. Измерение параметров полу-проводниковых материалов и структур. – М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
- Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учеб. Для вузов по спец."Полупроводниковые и микроэлектронные приборы". – М.: ВШ, 1987. – 239 с.
- Лысов В.Ф. Практикум по физике полупроводников. Учебное пособие. М., «Просв», 1976, 207 с.
- Специальный физический практикум, ч.2, под редакцией А.А. Харламова, из-дание 3. Из-во Моск. ун-та, 1977 г.

### **б) дополнительная литература:**

- Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. -М.: Техносфера, 2010. -528 с.
- Технология тонких пленок (справочник). Т.1 / Под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга. -М.: Сов. Радио, 1977.
- Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. -М.: Энергоатомиздат, 1989.
- Лабунов В.А., Данилович Н.И., Уксусов А.С., Минайчев В.Е. Современные магнетронные распылительные устройства//Зарубежная электронная техника. 1982. Вып. 10(256). С.3 - 62.
- Шелинский Г.И. Основы теории химических процессов: Пособие для учителя.- М.: Просвещение, 1989. -192 с.
- Шефер Г. Химические транспортные реакции. М.: Мир, 1964. -189 с.
- Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: ВШ, – 1982
- Киреев П.С. Физика полупроводников. Учебное пособие для вузов. М.: ВШ, 1975.
- В.В.Епифанов, Ю.А.Мома Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. – М.: Сов. Радио, 1979. – 352 с.
- Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учеб. Для студ. Ву-зов. – М.: Высш. Шк., 1986. – 367 с.

11. Твердотельная электроника и контактные явления: учебно-методическое пособие. Лабораторный практикум (часть 1) / сост. Алиев И.Ш., Исмаилов А.М., Гасанова Р.Н. – Махачкала: Изд-во ДГУ, 2015. –77с.

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лабораторные работы по «Технологии получения полупроводниковых материалов и структур» (1 и 2 модули) выполняются одновременно всей группой. Это связано с тем, что для выполнения этих работ требуется значительное время (5-6 часов). Лабораторные работы по «Методам измерения параметров полупроводников» (3 и 4 модули) выполняются индивидуально подгруппами в составе не более двух магистров.

На первом, вводном занятии до студентов доводится содержание и календарный план проведения практикума, Указывается число баллов, которое может набрать студент при выполнении лабораторного практикума в соответствии с действующей в вузе рейтинговой системой со 100-балльной шкалой оценок. Проводится инструктаж по технике безопасности при выполнении работ с оформлением в соответствующем журнале. На этом же занятии преподаватель выдает задания по лабораторным работам.

Перед каждой лабораторной работой студент сдаёт краткий коллоквиум, отражающий уровень предварительной подготовки к выполнению работы. Коллоквиум проводится в виде устного собеседования с преподавателем.

Все данные, полученные в ходе работы, записываются в отдельной тетради, которая является рабочим журналом по лабораторному практикуму.

По каждой лабораторной работе в журнал заносятся:

- название работы;
- задание на выполнение работы;
- план работы (упражнения);
- схема установки;
- первичные экспериментальные данные в виде таблиц без каких-либо пересчетов или преобразований;
- результаты предварительной обработки данных в объеме, необходимом для определения их полноты и надежности.

По окончании работы лабораторный журнал подписывается преподавателем.

По итогам каждой лабораторной работы оформляется отчет, который сдается преподавателю на следующем после выполнения данной работы занятии.

Отчет должен включать:

- краткое теоретическое введение, отражающее устройство, принцип действия и назначение исследуемого прибора;

- задание на выполнение работы;
- план проведения эксперимента (упражнений);
- схему установки и ее краткое описание;
- результаты и их обсуждение, в том числе анализ погрешности эксперимента, методику обработки результатов,
- теоретические расчеты, анализ полученных данных и сравнение их с литературными;
- выводы;
- список использованной литературы.

По итогам каждой лабораторной работы преподаватель выставляет оценку, учитывающую предварительную подготовку, объем и качество экспериментальной части работы, глубину обсуждения результатов и качество отчета.



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

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Специальный физический практикум»  
Направление подготовки **03.03.02 Физика**  
Форма подготовки очная

**Владивосток  
2016**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**  
**«Специальный физический практикум»**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-10 неделя	Подготовка к лабораторным занятиям.	9	Устный опрос, сдача отчета по лабораторной работе
2	11-17 неделя	Подготовка к лабораторным занятиям.	9	Устный опрос, сдача отчета по лабораторной работе
3	18 неделя	Подготовка к зачету	36	Зачет

**Учебно-методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при подготовке к лабораторным занятиям состоит в тщательном и внимательном изучении лекций, материалов прошедшего занятия, подготовке к теории следующей лабораторной работе. Самостоятельная работа студентов при подготовке к зачету состоит в углубленном изучении теоретического материала, повторении практического материала семестра (курса), рассмотрении в литературе рекомендованных на лекциях тем.

**Самостоятельная работа студента включает:**

- Проработка материала по учебной и научной литературе (теоретическая часть по лабораторной работе);
- Составление отчета по лабораторной работе.

**Вопросы для самостоятельного изучения.**

**Модуль 1.**

**Лабораторная работа № 1.**

1. Понятие о паре и газе.
2. Температурная зависимость упругости паров различных веществ.
3. Температура испарения вещества как критерий ее пригодности для получения тонких пленок термовакuumным методом.
4. Критическая плотность атомного пучка, критическая температура.
5. Типы испарителей. Преимущества и недостатки термовакuumного метода (молекулярно-лучевой метод).
6. Понятие о вакууме, степени вакуума (критерии Кнудсена).
7. Основное уравнение вакуумной техники.

8. Получения вакуума. Типы вакуумных насосов (форвакуумные: масляные, сухие; высоковакуумные: диффузионные, криогенные).
9. Измерения вакуума, вакуумметры и датчики (механические, тепловые, ионизацион-ные).
10. Начертить схемы вакуумных систем технологических установок (с использованием принятого стандарта обозначений элементов вакуумных систем).

### **Лабораторная работа № 2.**

1. Стадии формирования тонких пленок на поверхности подложек.
2. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования.
3. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста *Фольмера-Фебера*; послойный механизм роста *Франка- ван-дер-Мерве*; смешанный механизм роста *Странского-Кростанова*).
4. Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты.
5. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний.
6. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины.

### **Лабораторная работа №3.**

1. Монокристаллические подложки Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaAs, слюда (структура, свойства, при-менение).
2. Эпитаксиальный рост, правило Руайе, псевдоморфный слой.
3. Кристаллическая структура, физико-химические свойства теллура.
4. Температурная зависимость упругости паров.
5. Парциальный молекулярный состав паровой фазы теллура.

### **Лабораторная работа №4.**

1. Основы химической термодинамики. Основные термодинамические функции и соотношения между ними.
2. Условия фазового и химического равновесия, правило фаз Гиббса.
3. Тепловой эффект химической реакции, закон Гесса.
4. Закон действующих масс и константа химического равновесия.
5. Направление протекания химической реакции.
6. Зависимость константы равновесия от температуры и давления.

7. Примеры газотранспортных химических реакций (из технологии полупроводниково-вых материалов). Понятие о стандартном состоянии вещества.

## **Модуль 2.**

### **Лабораторная работа №5.**

1. Характеристика процесса ионного распыления.
2. Коэффициент распыления и его зависимость от условий распыления.
3. Распределение распыленных частиц по массам, углам, энергиям, зарядовому состоянию. Диодное, триодное, магнетронное распыление.
4. Физика тлеющего разряда, вольт-амперная характеристика, аномальный режим тлеющего разряда.
5. Движение заряженных частиц в магнетронном разряде.
6. Реактивное магнетронное распыление. Преимущества и недостатки магнетронного распыления, современное состояние, перспективы.

### **Лабораторная работа №6.**

1. Принцип действия ВЧ магнетронного распыления. Движение электрона в переменном ВЧ поле.
2. Рассчитать амплитуду движения иона в переменном ВЧ поле.
3. Постоянный потенциал ВЧ плазмы. Магнитное поле в устройствах ВЧ распыления.
4. Согласование и стабилизация ВЧ мощности в распылительных устройствах.
5. Преимущества и недостатки ВЧ магнетронного распыления по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ-распылением без магнитного поля.

### **Лабораторная работа №7.**

1. Определение одномерных структур (нитевидные структуры, вис커еры, ленты и др.). Аспектное отношение.
2. Отличия структуры и свойств одномерных структур от объемных образцов.
3. Суть метода термохимической активации, роль водорода (изучить статью Исмаилов А.М., Шапиев И.М., Рабаданов М.Х., Алиев И.Ш. Синтез эпитаксиальных пленок теллура методом термохимической активации // Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 2, с. 64-69).

### **Модуль 3.**

#### **Лабораторная работа №1.**

1. Зонная теория твердого тела. Особенности зонной структуры полупроводников.
2. Ширина запрещенной зоны. Собственные и примесных полупроводники, энергия активации примеси.
3. Механизмы электропроводности собственных и примесных полупроводников.
4. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
5. Методика определения ширины запрещенной зоны и энергия активации примеси по температурной зависимости удельной электропроводности.

#### **Лабораторная работа №2.**

1. Четырехзондовый метод измерения электросопротивления полупроводников, область применения, его преимущества и недостатки.
2. Задача о распределении потенциала электрического поля вблизи зонда. Вывод расчетных формул.
3. Схема и принцип работы экспериментальной установки.
4. Методика определения удельного электросопротивления объемного образца и тонкой пленки.
5. Особенности измерения удельного сопротивления полупроводников методом Ван-дер-Пау.

#### **Лабораторная работа №3.**

1. Гальваномагнитные явления, эффект Холла.
2. Вывод выражения для поперечной э.д.с, параметры, определяющие величину э.д.с. Холла.
3. Зависимость эффекта Холла от температуры.
4. Физическая информация, получаемая при исследовании эффекта Холла.
5. Схема измерительной установки.
6. Источники систематических погрешностей в холловских измерениях и влияние геометрии контактов на результаты измерений.

#### **Лабораторная работа № 4.**

1. Прохождение микрочастицы сквозь одномерный прямоугольный потенциальный барьер, туннельный эффект и квантово-механическое его толкование.
2. Выражения для коэффициентов прозрачности потенциальных барьеров разной формы.

3. Энергетическая диаграмма p-n- перехода на базе вырожденных полупроводников.
4. ВАХ туннельного диода и его анализ.
5. Примеры явлений, в основе которых лежит явление туннелирования микрочастиц.

### ***Модуль 3.***

#### **Лабораторная работа № 5.**

1. Явление фотопроводимости полупроводников, генерация и рекомбинация электро-нов и дырок в полупроводниках.
2. Красная граница фотопроводимости собственного и примесного полупроводника.
3. Кинетика релаксации фотопроводимости и вывод выражения, описывающего её.
4. Методика определения времени жизни неосновных носителей заряда по наблюдению процесса релаксации фотопроводимости при освещении полупроводника прямоугольными импульсами света.

#### **Лабораторная работа № 6.**

1. Уравнения непрерывности в полупроводниках.
2. Неравновесные процессы и законы их протекания во времени (кинетика), неравно-весные носители заряда.
3. Диффузия, дрейф и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
4. Измерение дрейфовой подвижности.
5. Определение диффузионной длины, коэффициента диффузии.

#### **Лабораторная работа № 7.**

1. Виды оптических переходов и оптического поглощения фотонов в полупроводниках.
2. Коэффициенты пропускания и отражения света и зависимость их от длины свето-вой волны и температуры.
3. Определение параметров полупроводниковых материалов методом оптического поглощения.



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

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
«Специальный физический практикум»  
Направление подготовки - 03.03.02 Физика  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2016**

## Паспорт ОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ОПК-8 способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности</p>	Знает	основные современные проблемы и новейшие достижения физики.
	Умеет	применять полученные знания для решения поставленных актуальных задач в своей научно-исследовательской работе.
	Владеет	навыками работы с прикладными аспектами экспериментальной и теоретической физики.
<p>ОПК-9 способностью получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей</p>	Знает	особенности и отличия проектной работы, особенности работы в междисциплинарной команде, стили руководства сотрудниками, методы мотивации и контроля над сотрудниками
	Умеет	работать в команде, в том числе междисциплинарной, работать в проектах
	Владеет	навыками проектной работы, в частности в междисциплинарных командах, навыками организаторской и руководящей работы
<p>ПК-2 способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	Знает	виды и свойства материалов и технологий электронной техники
	Умеет	- рассчитывать и определять основные параметры и характеристики полупроводниковых структур.
	Владеет	-методиками исследования структурных, электрических и оптических свойств материалов.
<p>ПК-3 способностью эксплуатировать и обслуживать современную физическую аппаратуру и оборудование</p>	Знает	слушать и конспектировать лекции, а также самостоятельно добывать знания по изучаемой дисциплине; критически анализировать и излагать получаемую на семинарских занятиях информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами;
	Умеет	пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических

		исследований в области профессиональной деятельности;
	Владеет	навыками проведения научных исследований в области физики с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Модуль 1	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умеет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Модуль 2	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умеет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Модуль 3	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умеет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита
1	Раздел 4.	ПК-3 ПК-2 ОПК-9 ОПК-8	знает умеет владеет	Устный опрос	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и её защита

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ОПК-8 способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности	знает (пороговый уровень)	знает о возможности использования основных естественнонаучных законов для понимания окружающего мира и явлений природы	понимание окружающего мира и явлений природы с точки зрения основных естественнонаучных законов	умение объяснять не все различные природные явления на основании знания законов естественнонаучных дисциплин	61-75
	умеет (продвинутый)	умеет использовать основные естественнонаучные законы для понимания окружающего мира и явлений природы	понимание окружающего мира и явлений природы с точки зрения основных естественнонаучных законов	умение объяснять большинство различных явлений природы на основании знания законов естественнонаучных дисциплин	76-85
	владеет (высокий)	использует основные естественнонаучные законы для понимания окружающего мира и явлений природы	понимание окружающего мира и явлений природы с точки зрения основных естественнонаучных законов	умение объяснять явления природы на основании знания законов естественнонаучных дисциплин	86-100
ОПК-9 способностью получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей	знает (пороговый уровень)	анализировать и излагать получаемую на семинарских занятиях информацию, пользоваться учебной литературой	особенности и отличия проектной работы, особенности работы в междисциплинарной команде, стили руководства сотрудниками	Умение работать в научной группе	61-75
	умеет (продвинутый)	работать в команде, в том числе междисциплинарной, работать в проектах	особенности и отличия проектной работы, особенности работы в междисциплинарной команде, стили руководства сотрудниками	Умение работать в научной группе	76-85
	владеет (высокий)	навыками проектной работы, в частности в междисциплинарной	особенности и отличия проектной работы,	Умение работать в научной группе	86-100

		ых командах, навыками организаторской и руководящей работы	особенности работы в междисциплинарной команде, стили руководства сотрудниками		
ПК-2 способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	знает (пороговый уровень)	как организовать экспериментальные исследования и получить результат	получает результаты, самостоятельно организовав экспериментальные исследования	количество самостоятельно организованных экспериментальных исследований	61-75
	умеет (продвинутый)	организовать экспериментальные исследования, получить и обработать результаты	самостоятельно организует исследования, получает результаты и обрабатывает их	самостоятельно полученные и обработанные результаты исследования, представленные руководителю	76-85
	владеет (высокий)	способность организовать исследование, получить, обработать и проанализировать полученные результаты	способность проанализировать полученные и обработанные результаты собственных исследований	самостоятельно полученные и обработанные результаты исследований, которые можно представить в виде доклада или иной публикации	86-100
ПК-3 способностью эксплуатировать и обслуживать современную физическую аппаратуру оборудование	знает (пороговый уровень)	как организовать экспериментальные исследования и получить результат	получает результаты, самостоятельно организовав экспериментальные исследования	количество самостоятельно организованных экспериментальных исследований	61-75
	умеет (продвинутый)	организовать экспериментальные исследования, получить и обработать результаты	самостоятельно организует исследования, получает результаты и обрабатывает их	самостоятельно полученные и обработанные результаты исследования, представленные руководителю	76-85
	владеет (высокий)	способность организовать исследование, получить, обработать и проанализировать полученные результаты	способность проанализировать полученные и обработанные результаты собственных исследований	самостоятельно полученные и обработанные результаты исследований, которые можно представить в виде доклада или иной публикации	86-100

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Специальный физический практикум» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Промежуточная аттестация по дисциплине «Специальный физический практикум» проводится в форме зачета, который выставляется при сдаче всех отчетных мероприятий по текущей аттестации.

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Специальный физический практикум» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

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

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- получение допусков к лабораторным работам – 20 баллов
- выполнение лабораторных заданий – 20 баллов,

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- ведение лабораторного журнала – 10 баллов,
- составление отчетов по выполненным работам – 20 баллов,
- защита лабораторных работ - 20 баллов.