

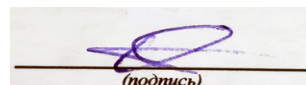
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Физика размерно квантованных планарных структур»**

Направление подготовки  
11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Магистерская программа  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры МЭОФ  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол №5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физика размерно квантованных планарных структур» являются:

- изучение физических процессов в размерно квантованных планарных структурах,
- изучение электрических и оптических свойств низкоразмерных 2D систем,
- формирование навыков экспериментальных исследований и изучение техники измерений характеристик и параметров тонких пленок.

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика размерно квантованных планарных структур» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, и имеет индекс Б1.В.ДВ.01.02.

Данная дисциплина требует для своего изучения знания общего курса физики (раздел «Электричество»), дисциплин «Материалы электронной техники», «Физика конденсированного состояния», «Основы конструирования и технологии производства электронных систем», «Физика диэлектриков».

Дисциплина «Физика размерно квантованных планарных структур» является основой для изучения последующих курсов, таких как «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники», курсов по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК-3 Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения	ИД_ПК-3.1. Демонстрирует знание принципов планирования и автоматизации проведения эксперимента	<b>Знает:</b> - основные принципы планирования и проведения эксперимента; - подходы к автоматизации процесса при проведении экспериментальных исследований. <b>Умеет:</b> - проводить измерения и обработку результатов при помощи информационно-измерительных комплексов.  <b>Владее навыками:</b> - планирования эксперимента при определении параметров и характеристик пленочных систем

<p>точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени</p>	<p>ИД_ПК-3.2. Умеет разрабатывать требования к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные требования к средствам проведения эксперимента в пленочной технологии.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать технические характеристики измерительного оборудования.</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбора измерительного оборудования для оптимального проведения испытаний с заданной точностью.</li> </ul>
	<p>ИД_ПК-3.3. Обладает навыками тестирования и диагностики изделий микро- и нанoeлектроники</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры диагностики изделий микро- и нанoeлектроники на основе пленочных систем .</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать результаты тестирования с применением вычислительных средств.</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- тестирования и диагностики основных рабочих характеристик изделий микро- и нанoeлектроники в рамках тонкопленочной технологии.</li> </ul>
<p>ПК-4 Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов</p>	<p>ИД_ПК-4.1. Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные способы организации и проведения экспериментальных исследований в пленочной технологии.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать технические характеристики измерительного оборудования для контроля и диагностики пленочных систем.</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбора измерительного оборудования для оптимального проведения испытаний..</li> </ul>
	<p>ИД_ПК-4.2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные требования к средствам проведения эксперимента в пленочной технологии и правила безопасной работы.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать результаты экспериментальных исследований параметров тонких пленок с применением современных средств обработки и визуализации данных.</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- графического представления экспериментальных данных.</li> </ul>

	<p>ИД_ПК-4.3. Демонстрирует навыки проведения исследований с применением современных средств и методов</p>	<p><b>Знает:</b> - современные методы и методики определения параметров пленочных структур.</p> <p><b>Владеет навыками:</b> - выбора методики и необходимого оборудования для оптимального проведения тестирования пленочных систем с заданной точностью.</p>
--	--	---

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)  Формы ЭО и ДОТ*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационн	самостоятель ная работа	
1	Зависимость физических свойств от размерности структуры	2	2					6	Дискуссия
2	2D электронный газ и методы его создания	2	2	2				7	Дискуссия
3	Квантовые ямы (КЯ) в планарных пленочных системах	2	2	2				6	Дискуссия
4	Электрические и оптические свойства квантовых ям в планарных системах	2	2	2		2		7	Дискуссия
5	Размерные эффекты	2	2	2	4			6	Дискуссия, отчет по лабораторным работам
6	Полупроводниковые сверхрешетки (СР)	2	2	2	4			6	Дискуссия, отчет по лабораторным работам
7	Квантовый эффект	2	2	2				6	Дискуссия

	Холла								
8	Измерение параметров проводящих, полупроводниковых, резистивных и диэлектрических пленок. Автоматизация измерений.	2	2	2	12	2		10	Дискуссия, отчет по лабораторным работам
	Всего за 2 семестр		16	14	20	4		53,7	
							0,3		Зачет
	<b>Всего</b>		<b>16</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>0,3</b>	<b>53,7</b>	

*\*Примечание. Формы ЭО и ДОТ не предусмотрены. В случае перехода на дистанционное обучение будут использованы возможности LMS Moodle и других ресурсов*

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **РАЗДЕЛ 1. Зависимость физических свойств от размерности структуры.**

Основные определения. Размерные эффекты. Особенности проявления размерных эффектов в 2D-, 1D- и 0D-наноструктурах.

### **РАЗДЕЛ 2. 2D электронный газ и методы его создания.**

Общие определения. Гетероструктуры на основе GaAs-AlGaAs. Инверсионные слои на границе Si-SiO<sub>2</sub> в МДП структуре. Энергетический спектр носителей. Физические свойства двумерного электронного газа.

### **РАЗДЕЛ 3. Квантовые ямы (КЯ) в планарных пленочных системах.**

Методики эпитаксиального роста при формировании одиночных квантовых ям. Процессы зародышеобразования и роста тонких пленок. Испарение вещества, явления в пролетном пространстве, процессы конденсации. Образование пленочной структуры. Механизмы роста тонких пленок (ТП). Механические напряжения в тонких пленках: физические причины и экспериментальное наблюдение. Способы уменьшения напряжений. Методы контроля напряжений в ТП.

### **РАЗДЕЛ 4. Электрические и оптические свойства квантовых ям в планарных системах.**

Энергетический спектр носителей в КЯ. Управление энергетическим спектром в реальных структурах. Практические примеры.

### **РАЗДЕЛ 5. Размерные эффекты в 2D системах.**

Классические размерные эффекты. Зависимость удельного сопротивления от толщины. Зависимость ТКС от толщины. Зависимость подвижности от толщины. Нелинейность ВАХ тонких металлических пленок. Квантовые размерные эффекты. Условия наблюдения. Осцилляции кинетических коэффициентов в зависимости от толщины.

### **РАЗДЕЛ 6. Полупроводниковые сверхрешетки (СР)**

Полупроводниковые сверхрешетки. Зонная диаграмма. Минизоны сверхрешетки. Свойства сверхрешеток. Эффект ОДП в различных ориентациях. Применение СР.

### **РАЗДЕЛ 7. Квантовый эффект Холла.**

Квантовый эффект Холла на 2-D электронном газе. Эксперименты по КЭХ и их объяснение. Применение КЭХ. Дробный квантовый эффект Холла. Физическая природа эффекта

### **РАЗДЕЛ 8. Измерение параметров проводящих, полупроводниковых, резистивных и диэлектрических пленок и планарных систем.**

Измерение параметров проводящих, полупроводниковых, резистивных и диэлектрических пленок. Основные методы измерения. Методы измерения полупроводниковых пленок. Традиционные методы. Специальные методы. Автоматизированные системы измерения и обработки экспериментальных данных.

## **Список лабораторных работ по курсу «Физика размерно квантованных планарных структур»**

### **Лабораторная работа № 1**

Методы формирования тонких пленок и низкоразмерных систем

## **Лабораторная работа № 2**

Методы измерения толщин в пленочных системах

## **Лабораторная работа № 3**

Проводимость диспергированных металлических пленок

## **Лабораторная работа № 4**

Классические размерные эффекты в тонких пленках. Зависимость удельного сопротивления тонких пленок от толщины

## **Лабораторная работа № 5**

Сверхрешетки. Анализ химического состава методом ВИМС

## **Лабораторная работа № 6**

Методы определения параметров тонких пленок

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

**Лабораторная работа** – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения (при необходимости) используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Физика размерно квантованных планарных структур» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;

- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
  - представлены материалы по отдельным темам дисциплины;
  - представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
  - представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
  - представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

#### **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

#### **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»

[http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

#### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

##### **а) основная литература**

1. Сергеев Н. А., Рябушкин Д.С. Физика наносистем - Москва : Логос, 2017. - 192 с. - ISBN 978-5-98704-833-7. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048337.html>
2. Бочкарева Л.В., Зимин С.П. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Уч. пособие, ЯрГУ, 1985
3. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Физические процессы в тонких пленках: практикум. Ярославль: ЯрГУ, 2016

##### **б) дополнительная литература**

1. Зимин С.П. Измерение параметров пленочных структур. МУ, ЯрГУ, 2004
2. Тимофеев В. Б. Возбуждения в двумерных сильнокоррелированных электронных и электронно-дырочных системах - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. (Высшая школа физики / ред. коллегия серии: В.П. Смирнов пред. [и др.]; вып. 3) - ISBN 978-5-383-01007-5. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010075.html>

##### **в) ресурсы сети «Интернет»**



1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ  
([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров), лабораторных – списочному составу группы обучающихся.

В лабораторном практикуме в составе измерительных стендов используется оборудование и лабораторные образцы:

измерительный комплекс JG ST2258C;

микроскопы МИИ-4, МИР-12, МБС-2, МБИ-11, ОГМЭ-2П;

источники питания Б5-46, Б5-49, Б5-50, Агат, Электроника;

вольтметры В7-21А, В7-22А, В2-34, В2-36, В7-18, В7-18А, В7-35;

генераторы ГЗ-102, ГЗ-111;

измерители Л2-28, Щ68009, Щ68200, Щ4313;

омметры Е6-17, Щ30, Щ43;

наборы экспериментальных и тестовых образцов тонких пленок и многослойных планарных систем на различных подложках, элементы полупроводниковых и гибридных интегральных схем, тестовых резистивных сборок, наборы измерительных головок и термостабилизирующих устройств.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники  
и общей физики, д.ф.-м.н.

С.П.Зимин

\_\_\_\_\_  
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Физика размерно квантованных планарных структур»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Темы для дискуссии**

**Задания по теме № 1 «Зависимость физических свойств от размерности структуры»:**

1. Поясните физическую причину зависимости физических свойств объектов от размера и размерности
2. Рассмотрите на конкретных примерах соотношение числа внешних и внутренних атомов в нанобъектах

**Задания по теме № 2 «2D электронный газ и методы его создания»:**

1. Чем примечательна гетеропара GaAs-AlGaAs с точки зрения параметра кристаллической решетки?
2. Поясните причину аномально высокой подвижности электронов в 2D электронном газе в гетероструктуре GaAs-AlGaAs

**Задания по теме № 3 «Квантовые ямы (КЯ) в планарных пленочных системах»**

1. Сформулируйте требования к применяемым полупроводникам для создания одиночных квантовых ям
2. Чем определяется положение уровней для электронов и дырок в квантовых ямах?
3. Рассмотрите пример одиночной квантовой ямы в системе PbTe/PbEuTe

**Задания по теме № 4 «Электрические и оптические свойства квантовых ям в планарных системах»:**

1. Как влияет однородное электрическое поле на энергетический спектр носителей в квантовых ямах?

**Задания по теме № 5 «Размерные эффекты в 2D системах»:**

1. Каковы критерии разбиения размерных эффектов на классические и квантовые?
2. Почему подвижность носителей заряда в полупроводниковых пленках зависит от толщины?
3. Почему для ультратонких пленок наблюдается резкий рост удельного сопротивления, не объясняемый теорией Фукса?

**Задания по теме № 6 «Полупроводниковые сверхрешетки»:**

1. Сформулируйте определение сверхрешетки
2. Почему композиционная сверхрешетка подходит под классическое определение сверхрешетки?
3. Почему для сверхрешеток говорят не об уровнях энергии, а о минизонах?

### **Задания по теме № 7 «Квантовый эффект Холла»:**

1. При каких условиях наблюдается квантовый эффект Холла? Опровергает ли он классический эффект Холла?
2. Предложите гипотезы - почему через 5 лет после открытия эффекта Фон Клитцингу присуждена Нобелевская премия?

### **Задания по теме № 8 «Измерение параметров проводящих, полупроводниковых, резистивных и диэлектрических пленок»:**

1. Когда производится измерение параметров полупроводниковых пленок традиционными способами?
2. Плюсы и минусы зондовых методов тестирования тонких пленок и планарных структур?

### **Правила выставления оценки по результатам индивидуального собеседования и дискуссии**

Оценка по результатам индивидуального собеседования и дискуссии считается в баллах по каждому заданию по следующему принципу:

- задание выполнено в полном объеме без замечаний преподавателя – 3 балла;
- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются неточности в изложении материала – 2 балла;
- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются значительные физические и/или математические ошибки – 1 балл;
- при выполнении задания применены ошибочные подходы, отсутствует понимание обсуждаемого материала – 0 баллов.

Количество баллов 3 соответствует оценке «отлично», 2 баллов – оценке «хорошо», 1 балл – оценке «удовлетворительно», 0 баллов – оценке «неудовлетворительно» (умения и навыки на данном этапе освоения дисциплины не сформированы).

### **Правила защиты лабораторных работ**

При выполнении лабораторного цикла студент обязан представить для защиты отчеты по лабораторным работам в соответствии с утвержденными рекомендациями кафедры и ГОСТовскими требованиями по составлению научных отчетов. Отчеты должны содержать название работы, применяемое оборудование и стенды, краткий литературный обзор, экспериментальный материал в виде таблиц и графических зависимостей, выводы по работе. В процессе защиты лабораторной работы студент должен показать уверенное владение теоретическим материалом, методикой проведения каждого эксперимента, умение и навыки проведения экспериментальных измерений на автоматизированных стендах, владение приемами машинной обработки экспериментальных данных при изучении пленочных систем. Преподаватель считает работу сданной, если у него в ходе индивидуального обсуждения нет претензий к студенту по теоретическому блоку, блоку экспериментальных исследований и сделанными обучающимся выводами по работе. В случае наличия претензий отчет направляется на доработку.

### **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

## Список заданий к зачету

На зачете проверяется сформированность компетенций ПК-3 и ПК-4 в части, касающейся диагностики и экспериментального определения параметров пленочных электронных устройств с учетом понимания физических процессов в тонких пленках и низкоразмерных 2D-системах. Зачет выставляется по результатам выполнения лабораторных работ и итогов финального собеседования. Для получения зачета необходимы выполнение и защита 5 лабораторных работ и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов.

### Правила выставления оценки по результатам финального собеседования:

Оценка по результатам индивидуального финального собеседования определяется в баллах по следующему принципу: обучающемуся выдается 5 вопросов из Списка вопросов к зачету. За каждый правильно раскрытый вопрос дается 1 балл, неправильное раскрытие материала - 0 баллов. Общее число баллов за каждый вопрос суммируется. Для получения зачета по результатам собеседования необходимо набрать не менее 3 баллов.

Студент освобождается от прохождения индивидуального финального собеседования и автоматически получает 5 баллов при условии, что при прохождении текущей аттестации у него имелась оценка «отлично» не менее чем по 5 темам из 8.

### Список вопросов к зачету:

1. Зависимость физических свойств от размерности структуры. Основные определения.
2. Размерные эффекты.
3. Особенности проявления размерных эффектов в 2D-, 1D- и 0D-наноструктурах
4. 2D электронный газ и методы его создания. Общие определения.
5. Гетероструктуры на основе GaAs-AlGaAs.
6. Инверсионные слои на границе Si-SiO<sub>2</sub> в МДП структуре.
7. Энергетический спектр носителей. Физические свойства двумерного электронного газа.
8. Квантовые ямы (КЯ) в планарных пленочных системах.
9. Методики эпитаксиального роста при формировании одиночных квантовых ям.
10. Процессы зародышеобразования и роста тонких пленок. Испарение вещества, явления в пролетном пространстве, процессы конденсации. Образование пленочной структуры.
11. Механизмы роста тонких пленок (ТП).
12. Механические напряжения в тонких пленках: физические причины и экспериментальное наблюдение. Способы уменьшения напряжений. Методы контроля напряжений в ТП.
13. Электрические и оптические свойства квантовых ям в планарных системах. Энергетический спектр носителей в КЯ.
14. Управление энергетическим спектром в реальных структурах. Практические примеры.
15. Размерные эффекты в 2D системах. Классические размерные эффекты. Зависимость удельного сопротивления от толщины. Зависимость ТКС от толщины. Зависимость подвижности от толщины. Нелинейность ВАХ тонких металлических пленок.
16. Квантовые размерные эффекты. Условия наблюдения. Осцилляции кинетических коэффициентов в зависимости от толщины.
17. Сверхрешетки (СР). Виды СР.
18. Композиционные СР. Минизоны СР.
19. Физические явления в СР и приборы на их основе.
20. Квантовый эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла

21. Применение квантового эффекта Холла в науке и технике
22. Дробный квантовый эффект Холла
23. Измерение параметров ТП и планарных систем. Измерение параметров полупроводниковых пленок традиционными способами
24. Специальные методы измерения. Четырехзондовый метод
25. Пятизондовый метод
26. Трехзондовый метод
27. Четырехзондовый метод магнитосопротивления
28. Методы исследования профиля концентрации носителей в планарных системах.
29. Автоматизированные системы измерения и обработки экспериментальных данных.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Физика размерно квантованных планарных структур»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине **«Физика размерно квантованных планарных структур»** являются лекции с использованием элементов научной дискуссии. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом.

Для успешного освоения дисциплины очень важным является выполнение лабораторных работ, которые имеют как классический, так и поисковый характер. Выполнение лабораторного практикума решает задачи приобретения умений и навыков использования современной приборной и аналитической базы. При защите лабораторных работ особое внимание уделяется логически правильной методике проведения эксперимента, умению планировать различные его составные части. Отчеты по лабораторным работам выполняются в полном соответствии с правилами составления отчетов в лабораториях физического факультета ЯрГУ. Важным элементом является комплексный анализ полученных результатов с указанием ошибок в определении физических величин.

Контроль усвоения студентами изучаемого материала проходит в форме текущей аттестации и промежуточной аттестации в форме зачета. Для получения зачета необходимы выполнение и защита 5 лабораторных работ и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов. Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины **«Физика размерно квантованных планарных структур»** самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого предмета, большим объемом нового материала, включающим самые передовые достижения науки. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для самостоятельной работы и для подготовки к выполнению лабораторных работ рекомендуется использовать учебную литературу, имеющуюся в полном объеме в библиотеке ЯрГУ. К таким пособиям можно отнести следующие издания:

1. Бочкарева Л.В., Зимин С.П. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Уч. пособие, ЯрГУ, 1985
2. Зимин С.П. Измерение параметров пленочных структур. МУ, ЯрГУ, 2004
3. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Физические процессы в тонких пленках: практикум. Ярославль: ЯрГУ, 2016