

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»**

Физический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана  
физического факультета \_\_\_\_\_

Малышев А.И.

« 30 » августа 2017г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Экспериментальные методы исследования

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 «Физика»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очно-заочная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2017

год набора 2016

## **1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 Физика и изучается в 8 семестре. Дисциплина «Экспериментальные методы исследования» требует знаний по общей физике и высшей математике, а также специальных знаний по физике твердого тела, физике диэлектриков и полупроводников и должен быть прочитан после этих курсов.

### **Целями освоения дисциплины являются:**

Целями освоения дисциплины “Экспериментальные методы исследования” являются изучение основных методов контроля полупроводниковых, диэлектрических и металлических материалов в виде тонких микро и нано слоев: электрофизических характеристик, химического состава и кристаллографической структуры, а также методов исследования основных приборных структур, применяемых в планарно-эпитаксиальном производстве полупроводниковых интегральных схем микроэлектроники и нанoeлектроники.

## **2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК 3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
- ПК 1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
- ПК 4 способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: методы исследования основных электрофизических характеристик, химического состава и кристаллографической структуре слоев полупроводниковых, диэлектрических и металлических материалов, способы послойного контроля и определения основных параметров приборных структур, являющихся элементной базой микроэлектроники и нанoeлектроники.

Уметь: Использовать приобретенные знания при выполнении курсовых проектов, курсовых и дипломных работ и в последующей трудовой деятельности.

## **3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 182 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

### **Содержание дисциплины**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное
Тема 1. Определение параметров полупроводниковых материалов.	89	8	8		16	73
Тема 2. Контроль полупроводниковых приборов и интегральных схем.	89	8	8		16	73
В т.ч.текущий контроль	2		2		2	
Промежуточная аттестация - Экзамен						

### Содержание разделов дисциплины

1) Введение. Объекты контроля в производстве изделий микроэлектроники: окружающая среда, вспомогательные материалы, основные материалы (полупроводники, диэлектрики и металлы), приборы и интегральные схемы, корпуса. Общие требования к методам исследования и контроля: оптимизация методов измерений и числа испытаний, возможность автоматизации, низкая стоимость, возможность применения неразрушающих и незагрязняющих способов. Современные требования к методам измерения в научных исследованиях: применение максимально информативных методов; использование независимых нескольких методов для определения одного параметра; комплексный характер исследований; автоматизация измерений и интерпретации результатов с применением цифроаналоговых преобразователей и персонального компьютера.

2) Способы измерения удельного сопротивления ( $\rho$ ) полупроводника. Метод амперметра и вольтметра. Однозондовый метод измерения  $\rho$ . Четырехзондовый метод измерения  $\rho$  для образцов полубесконечных и ограниченных размеров. Бесконтактные способы определения удельного сопротивления полупроводника.

3) Эффект Холла и его применение для определения типа проводимости полупроводника, подвижности и концентрации носителей заряда. Применение температурных измерений эффекта Холла и удельного сопротивления для определения механизма рассеяния носителей заряда, ширины запрещенной зоны полупроводника, глубины залегания, концентрации примеси и фактора ее вырождения. Эффект Холла в неоднородном полупроводнике и его использование для определения профиля легирования. Контактные и бесконтактные способы измерения эффекта Холла.

4) Методы определения ширины запрещенной зоны полупроводника из температурных, оптических и фотоэлектрических измерений. Установление эмпирической зависимости ширины

запрещенной зоны полупроводника от температуры. Причины расхождения оптической и термической величины запрещенной зоны полупроводника.

5) Методы определения эффективной массы носителей заряда в полупроводнике из измерений циклотронного резонанса и температурной зависимости термоэдс.

6) Применение явления люминесценции для определения ряда параметров прямозонных полупроводниковых материалов. Определение концентрации равновесных носителей, степени компенсации и параметров глубоких центров в полупроводнике.

7) Уравнения непрерывности и Пуассона как теоретическая база для определения пространственного и временного распределения неравновесных носителей заряда в полупроводнике. Понятие о биполярных величинах дрейфовой подвижности  $\mu_d$ , диффузионной длине  $L$  и коэффициенте диффузии  $D$ . Упрощение уравнения непрерывности для получения аналитических выражений, являющихся теоретической основой для методов измерения параметров неравновесных носителей заряда в полупроводнике: дрейфовой подвижности, длины диффузии, коэффициента диффузии, времени жизни ( $\tau$ ) и скорости поверхностной рекомбинации ( $S$ ).

8) Методика измерения и определения дрейфовой подвижности неравновесных неосновных носителей классическим способом Хайнса, Шокли и Пирсона. Определение диффузионной подвижности, коэффициента диффузии и диффузионной длины.

9) Методы измерения времени жизни неравновесных носителей заряда.

10) Определение величины скорости поверхностной рекомбинации  $S$  из измерений спектральной зависимости фоточувствительности полупроводника и фотогальваномагнитного эффекта.

11) Слойовой контроль полупроводниковых приборов и интегральных схем. Определение стрелы прогиба монокристаллической подложки полупроводника голографическим методом. Определение глубины залегания p-n перехода методом косого и сферического шлифа. Использование интерференции слабопоглощаемого света в полупроводнике для определения толщины слоев. Изучение топографии поверхностей методами силовой атомной и туннельной сканирующей микроскопии. Применение электронографии для определения кристаллографической структуры слоев. Оже-спектроскопия как способ определения химического состава слоев.

12) Применение метода сильносигнальной фотоэдс для определения параметров приборной гетероструктуры на основе слоев АЗВ5. Определение направления изгибов зон на границах раздела гетероструктуры по знаку фотоэдс, значений ширины запрещенной зоны по спектральной зависимости фотоэдс и абсолютных значений изгибов зон на границах раздела при достижении насыщения фотоэдс .

13) Определение параметров приборных структур металл – полупроводник с барьером Шоттки и p-n переходов из измерений вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарадных (ВФХ) характеристик. Определение длины диффузии или времени жизни по ВАХ, профиля или уровня легирования и параметров глубоких центров - по ВФХ.

14) Контроль основных параметров МДП-структуры из измерений высокочастотной ВФХ. Определение типа проводимости полупроводника, емкости слоя диэлектрика, диэлектрической проницаемости изолирующей пленки, заряда в диэлектрике и на границе раздела диэлектрик –

полупроводник, изгиба зон в полупроводнике, плотности поверхностных состояний и их энергетического распределения.

#### **4. Образовательные технологии**

В процессе изучения дисциплины «Экспериментальные методы исследования» используются следующие образовательные технологии: на лекциях – диалоговая форма проведения лекций и проблемный метод изложения материала.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение, формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа включает в себя теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы,

#### **Контрольные вопросы.**

1. Объекты контроля в производстве изделий микроэлектроники: окружающая среда, вспомогательные материалы, основные материалы (полупроводники, диэлектрики и металлы), приборы и интегральные схемы, корпуса.
2. Способы измерения удельного сопротивления  $\rho$  полупроводника. Метод амперметра и вольтметра. Четырехзондовый метод измерения  $\rho$  для образцов полубесконечных размеров.
3. Четырехзондовый метод измерения  $\rho$  для образцов ограниченных размеров.
4. Бесконтактные способы определения удельного сопротивления полупроводника.
5. Барьерно-ловушечная поверхностная фотоэдс (зависимость от уровня фото возбуждения).
6. Эффект Холла и его применение для определения типа проводимости полупроводника, подвижности и концентрации носителей заряда.
7. Применение температурных измерений эффекта Холла и удельного сопротивления для определения механизма рассеяния носителей заряда, ширины запрещенной зоны полупроводника, глубины залегания и концентрации примеси.
8. Эффект Холла в неоднородном полупроводнике и его использование для определения профиля легирования.
9. Бесконтактные способы измерения эффекта Холла (измерения на СВЧ-сигнале).
10. Использование измерений барьерной фотоэдс для определения энергетической структуры полупроводников.
11. Определение параметров приборных структур металл – полупроводник с барьером Шоттки и p-n переходов из измерений вольт-фарадных характеристик.
12. Применение метода сильносигнальной фотоэдс для определения параметров приборной гетероструктуры на основе слоев A3B5.
13. Методы измерения времени жизни неравновесных носителей заряда для полупроводников с малыми и большими временами жизни.
14. Методика измерения и определения дрейфовой подвижности неравновесных неосновных носителей классическим способом Хайнса, Шокли и Пирсона.
15. Уравнения непрерывности и Пуассона как теоретическая база для определения пространственного и временного распределения неравновесных носителей заряда в полупроводнике.
16. Определение диффузионной подвижности и коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда в полупроводнике.

17. Применение явления люминесценции для определения ряда параметров прямозонных полупроводниковых материалов. Определение энергетических параметров полупроводника и концентрации равновесных носителей.
18. Методы определения ширины запрещенной зоны полупроводника из температурных, оптических и фотоэлектрических измерений. Установление эмпирической зависимости ширины запрещенной зоны полупроводника от температуры.
19. Определение диффузионной длины неравновесных носителей в полупроводнике.
20. Слойовой контроль полупроводниковых приборов и интегральных схем.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

**6.1.** Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

<b>Формируемые компетенции</b> (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</b>
ОПК-3. Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	<ul style="list-style-type: none"> <li>– З1 (ОПК-3) Знание фундаментальных основ физических явлений и процессов, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов, схем и устройств электроники, нанoeлектроники, нано- и микросистемной техники</li> <li>– У1 (ОПК-3) Умение применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов, схем и устройств электроники, нанoeлектроники, нано- и микросистемной техники</li> <li>– В1 (ОПК-3) Владение опытом использования представлений о физических явлениях и процессах, лежащих в основе полупроводниковых приборов, схем и устройств электроники, нанoeлектроники, нано- и микросистемной техники, для достижения требуемых функциональных характеристик</li> </ul>
ПК-1. Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	<ul style="list-style-type: none"> <li>– З1 (ПК-1) Знание тенденций и перспектив развития физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности,</li> <li>– У1 (ПК-1) Умение использовать специализированные знания в области физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности для освоения дисциплин в данной области;</li> <li>– В1 (ПК-1) Владение опытом формулировки цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности.</li> </ul>
ПК-4.Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	<ul style="list-style-type: none"> <li>– З1 (ПК-4) Знание особенностей применения на практике профессиональных знаний и умений</li> <li>– У1 (ПК-4) Умение делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований;</li> <li>– В1 (ПК-4) Опыт применения профессиональных знаний и умений при исследовании электронных явлений в полупроводниках с областями пространственного заряда.</li> </ul>

## 6.2. Описание шкал оценивания.

- ОПК 3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
- ПК 1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
- ПК 4 способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин.

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
<b>Полнота знаний</b> Знать: методы исследования основных электрофизических характеристик, химического состава и кристаллографической структуре слоев полупроводниковых, диэлектрических и металлических материалов, способы послойного контроля и определения основных параметров приборных	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

структур, являющихся элементной базой микроэлектроник и наноэлектроники.							
<b>Наличие умений</b> Уметь: Использовать приобретенные знания при выполнении курсовых проектов, курсовых и дипломных работ и в последующей трудовой деятельности.	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<b>Характеристика сформированности компетенции</b>	Компетенция в не сформирована. отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических



			практических задач.	дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.			(профессиональных) задач.
<b>Уровень сформированности компетенций</b>	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий

**6.3.** Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия
- т.п.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются защиты индивидуальных или групповых проектов, оформление и защита отчетов по комплексным практическим работам, портфолио и т.п.

**6.4.** Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции. Студентам дается задание на написание рефератов. Рефераты пишутся как в соответствии с программными материалами, так и темами новейших методик исследований, реализуемых на кафедрах физфака и НИФТИ по темам грантов и других научно-исследовательских работ, по которым студенты выполняют курсовые работы. Примеры выполняемых рефератов приведены ниже.

**Примерный перечень таких тем рефератов по курсу**

1. Применение сканирующей зондовой микроскопии для контроля поверхности полупроводников и определения толщины тонких слоев различных материалов.
2. Методы измерения теплопроводности тонких слоев полупроводниковых материалов.

3. Измерение квантового эффекта Холла в полупроводниках.
4. Методы определения времени жизни неравновесных носителей в полупроводниках.
5. Применение метода рамановской спектроскопии для определения химического состава твердых растворов полупроводников.
6. Эффект Холла в неоднородных полупроводниках.
7. Влияние лазерного отжига на параметры полупроводников.
8. Методы определения энергетических параметров и концентрации квантовых точек в полупроводниках.
9. Определение параметров диэлектрических материалов методом рамоновского рассеяния
10. Применение метода вольт-фарадных характеристик (ВФХ) для определения параметров структур металл-диэлектрик-полупроводник.
11. Методы определения эффекта дальнего действия в полупроводниках.
12. Использование метода электронного парамагнитного резонанса для определения дефектов в диэлектрических слоях.
13. Определение параметров полупроводника из измерений эффекта Холла.
14. Методы контроля морфологии поверхности полупроводников.
15. Определение параметров дефектов в диэлектрических пленках методом люминесценции.
16. Определение малых времен жизни неравновесных носителей в полупроводниках.

#### **Вопросы по темам рефератов:**

1. Принципиальная схема измерения сканирующей зондовой микроскопии полупроводника и ее разрешающая способность.
2. Понятие о теплопроводности и параметры ее характеризующие.
3. Чем квантовый эффект Холла отличается от классического эффекта Холла и как их различить.
4. Трудности измерения времени жизни в полупроводниках с малой длиной диффузии.
5. Экспериментальная схема реализации измерения рамоновского рассеяния и способы извлечения информации об объекте из этих измерений.
6. Какую информацию о полупроводнике можно получить из совместных температурных измерений электропроводности и эффекта Холла?
7. Механизм отжига структурных дефектов лазером. Какие структурные дефекты могут отжигаться.
8. Почему квантовые точки энергетически попадают в запрещенную зону полупроводника. Какие способы существуют для определения поверхностной концентрации квантовых точек.
9. Перечислить основные параметры диэлектрических материалов и как они зависят от методов получения диэлектрических слоев.
10. Принципиальная схема измерения ВФХ на частоте 1 мГц, ее достоинства и недостатки.
11. Что это за эффект дальнего действия в полупроводниках и в каких полупроводниках он обычно реализуется.
12. К каким слоям можно применять метод парамагнитного резонанса.
13. Как определить тип проводимости полупроводника из измерений эффекта Холла.
14. Что такое морфология поверхности и от чего она зависит.
15. Почему в ряде полупроводников и диэлектриков возможно свечение, обусловленное в них наличием дефектов.
16. Что такое малое время жизни и как оно соотносится с временем релаксации в полупроводниках.

Для выявления приобретенных компетенций проверка рефератов предусматривает и некоторые устные вопросы, которые задаются студентам после проверки реферата преподавателем, чтобы установить глубину проникновения студента в реферируемый материал, наличие плагиата и т.д. Примерные вопросы по приведенным выше темам рефератов представлены ниже в соответствии с их нумерацией.

Шкала оценок реферата – зачет и не зачет. Без зачета по реферату студент не допускается к зачету или экзамену по курсу. Экзамен подразумевает 7 бальную оценочную шкалу.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений, перечисленных в п. 2 настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

Предусматривается также проведение лабораторных работ “Температурные зависимости вольт-амперных характеристик диодов Шоттки и р-н переходов”, “Определение параметров МДП-структуры из измерений вольт-фарадной характеристики”, “Применение метода иммитанса для контроля свойств мемристоров”.

Проведение этих работ предусматривает текущий контроль. Без сдачи отчетов по лабораторным работам студент не допускается до зачета или экзамена.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Основы технологии материалов микроэлектроники/Каменская А.В. - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 96 с.: ISBN 978-5-7782-1420-0 <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546218>
2. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Часть 1/Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б. - Новосиб.: НГТУ, 2013. - 134 с.: ISBN 978-5-7782-2158-1 <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546601>
3. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Часть II/Величко А.А., Филимонова Н.И. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 227 с.: ISBN 978-5-7782-2534-3 <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546218>

б) дополнительная:

1. Л.П.Павлов. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. М. Высшая школа, 1987 г. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319686>
2. С.В.Тихов. Методы исследования полупроводниковых материалов, приборов и интегральных схем, ГГУ, 1990 г. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=25209>
3. Овсяк В.Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. 1984. Новосибирск, Издательство "Наука", Сибирское отделение, с. 252. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=77724&DB=1>
4. Л.С.Берман, А.А.Лебедев. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Ленинград, Наука, 1981 г. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=320955>
5. Вудраф Д., Делчар Т - Современные методы исследования поверхности. - М. : Мир, 1989. - 568 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78370>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы. Студенты имеют свободный доступ в Интернет при помощи кафедральных компьютеров.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При выполнении лабораторных работ используется лаборатория физики полупроводников, оснащенная стандартным оборудованием для электрофизических измерений: источниками питания, генераторами, вольтметрами, осциллографами, персональными компьютерами или межкафедральная установка для измерения параметров полупроводниковых приборов Agilent A1500B.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 – «Физика».

Автор (ы)	_____	к.ф.-м.н. доцент С.В. Тихов
Рецензент (ы)	_____	к.ф.-м.н., доцент кафедры электроники твердого тела
Зав. кафедрой ФПО	_____	Е.В. Курильчик д.ф.-м.н. профессор
	_____	Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета	
от « 30 » августа 2017 г.,	протокол № б/н

Председатель учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ	_____	Сдобняков В.В.
-----------------------------------------------------------------------------	-------	----------------

**Приложение 1. Форма экзаменационного билета**

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Объекты контроля в производстве изделий микроэлектроники: окружающая среда, вспомогательные материалы, основные материалы (полупроводники, диэлектрики и металлы), приборы и интегральные схемы, корпуса.
2. Определение параметров приборных структур металл – полупроводник с барьером Шоттки и р-п переходов из измерений вольт-фарадных характеристик.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2**

1. Способы измерения удельного сопротивления ( $\rho$ ) полупроводника. Метод амперметра и вольтметра. Четырехзондовый метод измерения  $\rho$  для образцов полубесконечных размеров.
2. Применение метода сильносигнальной фотоэдс для определения параметров приборной гетероструктуры на основе слоев АЗВ5.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

1. Четырехзондовый метод измерения  $\rho$  для образцов ограниченных размеров.
2. Методы измерения времени жизни неравновесных носителей заряда для полупроводников с малыми и большими временами жизни.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4**

1. Бесконтактные способы определения удельного сопротивления полупроводника.
2. Методика измерения и определения дрейфовой подвижности неравновесных неосновных носителей классическим способом Хайнса, Шокли и Пирсона.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_



**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5**

1. Барьерно-ловушечная поверхностная фотоэдс ( зависимость от уровня фото возбуждения ).
2. Уравнения непрерывности и Пуассона как теоретическая база для определения пространственного и временного распределения неравновесных носителей заряда в полупроводнике.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6**

1. Эффект Холла и его применение для определения типа проводимости полупроводника, подвижности и концентрации носителей заряда.
2. Определение диффузионной подвижности и коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда в полупроводнике.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7**

1. Применение температурных измерений эффекта Холла и удельного сопротивления для определения механизма рассеяния носителей заряда, ширины запрещенной зоны полупроводника, глубины залегания и концентрации примеси.
2. Применение явления люминесценции для определения ряда параметров прямозонных полупроводниковых материалов. Определение энергетических параметров полупроводника и концентрации равновесных носителей.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8**

1. Эффект Холла в неоднородном полупроводнике и его использование для определения профиля легирования.
2. Методы определения ширины запрещенной зоны полупроводника из температурных, оптических и фотоэлектрических измерений. Установление эмпирической зависимости ширины запрещенной зоны полупроводника от температуры.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9**

1. Бесконтактные способы измерения эффекта Холла (измерения на СВЧ-сигнале).
2. Определение диффузионной длины неравновесных носителей в полупроводнике.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

Кафедра ФПиО

Дисциплина методы исследования

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10**

1. Использование измерений барьерной фотоэдс для определения энергетической структуры полупроводников.
2. Слойовой контроль полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Зав кафедрой \_\_\_\_\_

Экзаменатор \_\_\_\_\_