

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Микро- и наноэлектроника»

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФЭ

/ Н.М. Верещагин

«22» 06 20 20 г

Заведующий кафедрой МНЭЛ

/ В.Г. Литвинов

«22» 06 20 20 г



«СОГЛАСОВАНО»

Проректор РОПиМД

/ А.В. Корячко

20 20 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.04 «Методы исследования наноматериалов, микро- и наносистем»**

Направление подготовки

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) подготовки

Микро- и наноэлектроника

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

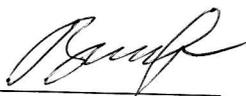
Рязань 2020 г

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»,

утвержденного 19.09.2017 № 927

Разработчики  
Зав. кафедрой МНЭЛ  
д.ф.-м.н., доцент



В.Г. Литвинов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МНЭЛ

« 19 » 06 2020 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой МНЭЛ

д.ф.-м.н., доцент



В.Г. Литвинов

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью освоения дисциплины является** приобретение базовых знаний и умений в области методов диагностики наноматериалов, микро- и наносистем в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом и формирование у студентов способности к логическому мышлению, анализу и восприятию информации посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

### **Задачи:**

- обучение физическим основам методов диагностики и исследования структуры, химического состава, топологических параметров поверхности, электрофизических и оптических свойств материалов, микро- и наносистем;
- развитие умений применения на практике методологии научных исследований, организации и проведения научно-исследовательской работы;
- развитие навыка самостоятельной учебной деятельности.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Методы исследования наноматериалов, микро- и наносистем (Б1.В.04)» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины(модули)» основных профессиональных образовательных программ (далее – образовательных программ) бакалавриата «Микро- и наноэлектроника» направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика Б1.О.02», «Статистическая физика электронных процессов Б1.О.16», «Физические основы электроники Б1.3.Б.08», «Физические основы микро- и наноэлектроники Б1.О.25».

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

**знать:** основные факты, базовые концепции и модели физики, квантовой физики, статистической физики, основные характеристики материалов, их применение в элементах электронной техники, основные виды элементов электронной техники, их параметры и характеристики;

**уметь:** применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных, применение которых возможно при изучении методов исследования наноматериалов, микро- и наносистем;

**владеть:** начальными навыками работы с программными средствами, применение которых возможно при изучении методов исследования наноматериалов, микро- и наносистем.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин: Б1.В.ДВ.02.01 «Оптоэлектроника и квантовая оптика» и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ПООП (при наличии) по данному направлению подготовки, а также компетенций (при наличии), установленных университетом.

### Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
Проектирование устройств, приборов и систем аналоговой электронной техники	ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1 ПК-2 Знать: методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков. ПК-2.2 ПК-2 Уметь: проводить исследования характеристик электронных приборов. ПК-2.3 ПК-2 Владеть: навыками проведения исследований параметров и характеристик элементов и структур нанoeлектроники

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Объем дисциплины по семестрам (курсам) и видам занятий в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость изучения дисциплины составляет 3 ЗЕ (108 часов).

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 учебного плана ОПОП. Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре.

Вид учебной работы	Всего часов
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	48,25
В том числе:	
Лекции	32
Лабораторные занятия (ЛЗ)	16
Иная контактная работа (ИКР)	0,25
<b>Самостоятельная работа (СР) (всего)</b>	51
<b>Контроль</b>	8,75
Вид промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	зачет
Общая трудоемкость час	108
Зачетные Единицы Трудоемкости	3
Контактная работа (по учебным занятиям)	48,25

#### 4.2 Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№	Раздел дисциплины	Общая трудоемкость, всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Контроль	СР
			всего	Лекции	ЛЗ	ИКР		
	<b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>48,25</b>	32	16	0,25	<b>8,75</b>	<b>51</b>
1	Введение	2	2	2	-			-
2	Методы измерения электрофизических параметров полупроводников	25	14	6	8			11
3	Методы исследования энергетического спектра электронных состояний в полупроводниковых микро- и наноструктурах	20	10	6	4			10
4	Прецизионная профилометрия поверхности и измерение геометрических размеров в структурах электроники	20	10	6	4			10
5	Методы измерения состава твердых тел и концентрационных профилей по основным и примесным компонентам	16	6	6	-			10
6	Дифракционные методы анализа кристаллической структуры	16	6	6	-			10
	ИКР	<b>0,25</b>	0,25			0,25		
	Зачет и консультации	<b>8,75</b>					8,75	

#### 4.3 Содержание дисциплины

##### 4.3.1 Лекционные занятия

№ п/п	Темы лекционных занятий	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1	Введение	2	ПК-2	зачет
2	Методы измерения электрофизических параметров полупроводников	6	ПК-2	зачет
3	Методы исследования энергетического спектра электронных состояний в полупроводниковых микро- и наноструктурах	6	ПК-2	зачет
4	Прецизионная профилометрия поверхности и измерение геометрических размеров в структурах электроники	6	ПК-2	зачет
5	Методы измерения состава твердых тел и	6	ПК-2	зачет

	концентрационных профилей по основным и примесным компонентам			
6	Дифракционные методы анализа кристаллической структуры	6	ПК-2	зачет

#### 4.3.2 Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование ЛЗ	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1	Определение холловской подвижности и концентрации основных носителей заряда в полупроводниках	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
2	Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
3	Исследование вольт-фарадных характеристик диодов Шоттки	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
4	Изучение оптического поглощения полупроводников	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
5	Исследование спектральной плотности мощности низкочастотного шума в диодах Шоттки	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
6	Определение параметров глубоких центров в полупроводниках	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
7	Получение изображения поверхности твердого тела на сканирующем зондовом микроскопе Nanoeducator в режиме атомно-силовой микроскопии	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет
8	Изучение эффекта туннелирования	2	ПК-2	Отчет по лабораторной работе, зачет

#### 4.3.3 Самостоятельная работа

№ п/п	Тематика самостоятельной работы	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1.	Методы измерения электрофизических параметров полупроводников	11	ПК-2	зачет
2.	Методы исследования энергетического спектра электронных состояний в полупроводниковых микро- и наноструктурах	10	ПК-2	зачет
3.	Прецизионная профилометрия поверхности и измерение геометрических размеров в структурах электроники	10	ПК-2	зачет
4.	Методы измерения состава твердых тел и концентрационных профилей по основным и примесным компонентам	10	ПК-2	зачет

5.	Дифракционные методы анализа кристаллической структуры	10	ПК-2	зачет
----	--	----	------	-------

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Методы исследования наноматериалов, микро- и наносистем»).

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Основная литература

1. Электрические методы исследования разрывов энергетических зон в полупроводниковых микро- и нано- гетероструктурах: учебное пособие / В.Г. Литвинов, О.А. Милованова, Н.Б. Рыбин. Рязан. гос. радиотехн. ун-т.-Рязань, 2009.-52 с.

2. Методы сканирующей туннельной микроскопии: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т.; сост.: В.Г. Литвинов, А.П. Авачев, С.И. Мальченко, К.В. Митрофанов, В.Г. Мишустин, В.Н. Тимофеев. Рязань, 2011. 64 с.

3. Зондовые методы исследования материалов и структур электроники: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т.; сост.: А.П. Авачев, В.Г. Литвинов, К.В. Митрофанов, В.Г. Мишустин. Рязань, 2011. 48 с.

4. Погосов В.В. Введение в физику зарядовых и размерных эффектов. Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы [Электронный ресурс]/ Погосов В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.— 328 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17195>.— ЭБС «IPRbooks»

5. Физические методы исследования и их практическое применение в химическом анализе [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Н.Г. Ярышев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский педагогический государственный университет, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18633>.— ЭБС «IPRbooks»

6. Каныгина О.Н. Физические методы исследования веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Каныгина О.Н., Четверикова А.Г., Бердинский В.Л.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 141 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33663>.— ЭБС «IPRbooks»

### 6.2 Дополнительная литература

1. Павлов Л.П., Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа. 1987. 240 с.

2. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир. 1989. 344 с.

3. Ч. Пул, Ф. Оуэнс, Нанотехнологии (2-е изд.), М., Техносфера, 2005, 334 с.

4. В. Миронов «Основы сканирующей зондовой микроскопии», М. Техносфера, 2005, 144 с.

5. И.П. Суздаев, Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов, М., КомКнига, серия «Синергетика от прошлого к будущему», 2006, 592 с.

### **6.3 Нормативные правовые акты**

### **6.4 Периодические издания**

### **6.5 Методические указания к практическим занятиям/лабораторным занятиям**

1. Методы исследования материалов и структур электроники. Методические указания к лабораторным работам / Сост.: В.Г. Литвинов, С.И. Мальченко, Н.Б. Рыбин, А.В. Ермачихин. Рязан. гос. радиотехн. университет.- Рязань, 2012.- 40 с.

2. Квантовая Физика. Методические указания к лабораторным работам/ Сост.: В.Г. Литвинов, Н.Б. Рыбин, Н.В. Рыбина, А.В. Ермачихин. Рязан. гос. радиотехн. университет.- Рязань, 2014.- 24 с.

3. Зондовые методы исследования материалов и структур электроники. Методические указания к лабораторным работам / Сост.: А.П. Авачев, В.Г. Литвинов, К.В. Митрофанов, В.Г. Мишустин. Рязан. гос. радиотехн. университет.- Рязань, 2011.- 48 с.

4. Методические рекомендации по подготовке студентов к текущему и промежуточному контролю освоения компетенций; сост.: Т.А.Холомина, Е.Н.Евдокимова / Рязан. гос. радиотехн. ун-т.- Рязань, 2016. 16 с.

### **6.6 Методические указания к курсовому проектированию (курсовой работе) и другим видам самостоятельной работы**

Изучение дисциплины «Методы исследования наноматериалов, микро- и наносистем» проходит в 7 семестре. Основные темы дисциплины осваиваются в ходе аудиторных занятий, однако важная роль отводится и самостоятельной работе студентов. Самостоятельное изучение тем учебной дисциплины способствует: закреплению знаний, умений и навыков, полученных в ходе аудиторных занятий; углублению и расширению знаний по отдельным вопросам и темам дисциплины; освоению умений прикладного и практического использования полученных знаний; освоению умений по исследованию характеристик и параметров материалов электронной техники.

Самостоятельная работа включает в себя следующие этапы:

- изучение теоретического материала (работа над конспектом лекции);
- самостоятельное изучение дополнительных информационных ресурсов (доработка конспекта лекции);
- выполнение заданий текущего контроля успеваемости (подготовка к лабораторным занятиям);
- итоговая аттестация по дисциплине – текущий контроль (подготовка к зачету).

Работа над конспектом лекции: лекции – основной источник информации по предмету, позволяющий не только изучить материал, но и получить представление о наличии других источников, сопоставить особенности практического применения получаемых знаний. Лекции предоставляют возможность «интерактивного» обучения, когда есть возможность задавать преподавателю вопросы и получать на них ответы. Поэтому рекомендуется в день, предшествующий очередной лекции, прочитать конспекты двух предшествующих лекций, обратив особое внимание на содержимое последней лекции.

Доработка конспекта лекции с применением учебника, методической литературы, дополнительной литературы, интернет-ресурсов: позволяет самостоятельно изучить особенности свойств ряда материалов и применения их в электронной технике, которые не рассмотрены во время лекций и лабораторных занятий. Кроме того, рабочая программа предполагает рассмотрение некоторых относительно несложных тем только во время самостоятельных занятий, без чтения лектором.

Подготовка к лабораторному занятию: состоит в теоретической подготовке (изучение конспекта лекций и дополнительной литературы) и подготовке предварительного отчета, который должен быть завершен при ее выполнении в лаборатории.

Методические требования к оформлению отчетов о лабораторных работах:

Отчет о лабораторной работе должен содержать следующие элементы:

- номер, название и цель работы;
- чертеж функциональной схемы установки, выполненный карандашом по линейке либо при помощи соответствующей компьютерной программы, с соблюдением требований ЕСКД;
- основные расчетные соотношения;
- таблицы результатов экспериментов, выполненные карандашом по линейке либо при помощи соответствующей компьютерной программы;
- графики экспериментальных зависимостей, полученных при выполнении лабораторной работы;
- выводы, содержащие анализ экспериментальных зависимостей, сравнение результатов, полученных в работе, с данными справочной литературы.

Перед выполнением лабораторной работы каждому студенту необходимо иметь полностью оформленный отчет о ранее выполненной работе и отчет о выполняемой работе, содержащий все перечисленные элементы (за исключением экспериментальных данных в таблице, графиков, выводов). При несоблюдении указанных требований студент к лабораторной работе не допускается.

Подготовка к зачету, экзамену. В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить его, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку надо заранее, не дожидаясь последней недели семестра, при этом основной вид подготовки – «свертывание» большого объема информации в компактный вид, а также тренировка в ее «развертывании» (примеры к теории, выведение одних закономерностей из других и т.д.). Надо также правильно распределить силы, не только готовясь к самому экзамену, но и позаботившись о допуске к нему (это добросовестное посещение занятий, выполнение в назначенный срок и активность на лабораторных занятиях). Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

## **7 ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Сайт кафедры микро- и наноэлектроники РГРТУ: <http://www.rsreu.ru/faculties/fe/kafedri/mnel>.
2. Система дистанционного обучения ФГБОУ ВО «РГРТУ», режим доступа. - <http://cdo.rsreu.ru/>
3. Единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>
4. Интернет Университет Информационных Технологий: <http://www.intuit.ru/>
5. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю. – URL: <https://iprbookshop.ru/>.

6. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю. – URL: <https://www.e.lanbook.com>

7. Электронная библиотека РГРТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: из корпоративной сети РГРТУ – по паролю. – URL: <http://elib.rsreu.ru/>

## **8 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. Операционная система Windows XP (Microsoft Imagine, номер подписки 700102019, бессрочно);

2. Операционная система Windows XP (Microsoft Imagine, номер подписки ID 700565239, бессрочно);

3. Kaspersky Endpoint Security (Коммерческая лицензия на 1000 компьютеров №2304-180222-115814-600-1595, срок действия с 25.02.2018 по 05.03.2019);

4. LibreOffice

5. Adobe acrobat reader

6. Среда инженерно-графического программирования LabView 9

7. Лицензионный пакет MathCAD

8. Справочная правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для освоения дисциплины необходимы следующие материально-технические ресурсы:

1) аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, оборудованная маркерной (меловой) доской;

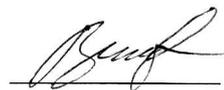
2) аудитория для самостоятельной работы, оснащенная индивидуальной компьютерной техникой с подключением к локальной вычислительной сети и сети Интернет;

3) лаборатория электрофизических исследований.

<b>№</b>	<b>Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень специализированного оборудования</b>
1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, № 267 главного учебного корпуса	Специализированная мебель (70 посадочных мест) ПК Intel Celeron 1,8 ГГц – 1 шт. Проектор Sanyo PLC-XP4 Экран Аудиторная доска Возможность подключения к сети «Интернет» проводным и беспроводным способом и обеспечением доступа в электронную

		информационно-образовательную среду РГРТУ.
2	Помещение для самостоятельной работы, лабораторного практикума № 203, главный корпус	Магнитно-маркерная доска; ПК Intel Celeron CPV J1800 – 25 шт; Возможность подключения к сети «Интернет» проводным и беспроводным способом и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ.
3	Учебная лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием, № 341 главного учебного корпуса	30 мест, доска магнитно-маркерная, экран настенный, 19 лабораторных стендов, в т.ч.3 виртуальных лабораторных стенда, вольтметры В7-21, В7-35, измерители Е4-7, Е9-4, осциллографы С1-64А, С1-75, ПЭВМ Е2200 ASUS, компьютер Celeron 2500, блоки питания ВИП-010, автотрансформатор лабораторный ПК Intel Celeron 1,8 ГГц – 1 шт. Проектор Sanyo PLC-XP4 Экран Аудиторная доска Возможность подключения к сети «Интернет» проводным и беспроводным способом и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ.
4	Аудитория для хранения и ремонта оборудования, № 343 главного учебного корпуса	2 компьютера: ПЭВМ на базе CPU E5300 Dual Core 2,6 GHz, ПЭВМ Е2200 ASUS, принтер hp 1010, копир. аппарат Canon 5 мест

Программу составил:  
д.ф.-м.н., доцент,  
зав. кафедрой МНЭЛ

 (Литвинов В.Г.)