

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

---

---

Учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных технологий  
(ИРИТ)

*(Полное и сокращенное название института, реализующего данное направление)*

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института:

Мякиньков А.В.  
подпись  
ФИО  
“ 22 ” 06 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ОД.3 Основы нанотехники**

*(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)*

для подготовки магистров

Направление подготовки: 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

*(код и направление подготовки, специальности)*

Направленность: "Информационные технологии проектирования электронных  
устройств"

*(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)*

Форма обучения: очная  
*(очная, очно-заочная, заочная)*

Год начала подготовки 2021

Выпускающая кафедра КТПП  
аббревиатура кафедры

Кафедра-разработчик КТПП  
аббревиатура кафедры

Объем дисциплины 108/3  
часов/з.е

Промежуточная аттестация зачет 3 семестр  
экзамен, зачет с оценкой, зачет

Разработчик: Садков В.В., к.т.н., доцент  
*(ФИО, ученая степень, ученое звание)*

**Нижний Новгород 2021**

Рецензент: Рындык А.Г., д.т.н., профессор \_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание) \_\_\_\_\_  
(подпись)

«26\_» 05\_ 2021\_ г.

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ

от 19.09.2017 № 928 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ  
протокол от 03.12.2000 № 4

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 03.06.21 № 5  
Зав. кафедрой д.т.н, профессор, Моругин С.Л. \_\_\_\_\_  
подпись

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института \_\_\_\_\_, Протокол  
от 10.06.21 № 1 \_\_\_\_\_

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ \_\_\_\_\_ № 11.04.03-и-9  
Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ \_\_\_\_\_ Кабанина Н.И.  
(подпись)

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Цели и задачи освоения дисциплины .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины ....	4
4. Структура и содержание дисциплины .....	7
5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины .....	133
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	23
7. Информационное обеспечение дисциплины.....	23
8. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ .....	24
9. Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	25
10. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины .....	26
11. Оценочные средства для контроля Освоения дисциплины .....	288

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1. Целью (целями) освоения дисциплины является** получение основных знаний в области наноэлектроники.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины:**

- развитию компетенций в сфере физических и технологических процессов изготовления изделий микро и наноэлектроники;
- формированию знаний о современных достижениях в этой области, освоению технологического мышления изучение теории и получение практических навыков по использованию основных приемов обработки экспериментальных данных;
- изучению физических процессов и явлений, перспективных для построения устройств записи, хранения и обработки информации знакомство с тенденциями развития стандартизации и метрологического обеспечения производства;

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Учебная дисциплина "Основы наноэлектроники" относится к вариативной части обязательных дисциплин Б1.В.ОД.3 образовательной программы.

Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по направлению подготовки 11.04.03.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина "Основы наноэлектроники" являются "Физика", "Физико-химические основы конструирования электронных средств" "Материалы и компоненты электронной техники", "Электротехника" бакалавриата.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин "Схемотехническое проектирование электронных средств", "Автоматизированное проектирование микроэлектронных СВЧ устройств" и при выполнении выпускной квалификационной работы.

Рабочая программа дисциплины «Основы нанотехники» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВПО и ООП ВПО по данному направлению подготовки:

- ПКС-1 Способен определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ

В таблице 1 представлены дисциплины, участвующие в формировании данной компетенции.

Таблица 1- Формирование компетенций дисциплинам

<i>Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно</i>	<i>Семестры, формирования дисциплины Компетенции берутся из Учебного плана по направлению подготовки бакалавра /специалиста/магистра»</i>			
<i>Код компетенции ПКС-1</i>	1	2	3	4
<i>Информационные технологии проектирования ЭС</i>	✓	✓		
<i>Математический аппарат динамических систем</i>		✓		
<i>Производственная практика</i>		✓		
<i>Основы нанотехники</i>			✓	
<i>НИР</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Схемотехническое проектирование ЭС</i>			✓	
<i>Автоматизированное проектирование микроэлектронных СВЧ устройств</i>		✓	✓	
<i>Преддипломная практика</i>				✓
<i>ВКР</i>				✓

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся компетенций, представленных в таблице 2.

**ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП**

Таблица 2- Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b>			<b>Оценочные средства</b>	
		<b>Знать:</b>	<b>Уметь:</b>	<b>Владеть:</b>	<b>Текущего контроля</b>	<b>Промежуточной аттестации</b>
ПКС-1 Способен определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	ИПКС-1.2. Подготавливает технические задания на выполнение проектных работ	схемы и конструкции электронных средств различного функционального назначения.	подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	навыками разработки архитектуры электронных средств.	Вопросы для для сдачи допуска к лабораторным работам.	Тест перед зачетом Вопросы для зачета: билеты (87)

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. 108 часов, распределение часов по видам работ семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего	В т.ч. по семестрам
	час.	3
<b>Формат изучения дисциплины</b>	очный	
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>55</b>	<b>55</b>
<b>1.1.Аудиторная работа, в том числе:</b>	55	55
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (практ. занятия)	17	17
лабораторные работы (ЛР)	17	17
<b>1.2.Внеаудиторная, в том числе</b>	4	4
текущий контроль, консультации по дисциплине	2	2
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	2	2
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>53</b>	<b>53</b>
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	26	26
Подготовка к зачету (контроль)	<b>27</b>	<b>27</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС <sup>12</sup>	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>13</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>15</sup>				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час								
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час									
ПКС-1: ИПКС-1.2	<b>Раздел 1</b> Общие вопросы нанотехнологии												
	Тема 1.1 Наноиндустрия. Термины и определения. Естественные границы развития существующей микроэлектроники и переход кnanoэлектронике.	1				См. 6.1, 6.5	Презентация						
	<b>Тема 1.2</b> Низкоразмерные физические системы. Углеродные наноструктуры. Наноструктуры в живой природе.	1				См. 6.1, 6.5	Презентация						
	Самостоятельная работа над лекционным материалом				4	См. 6.1, 6.6							
	<b>Итого по 1 разделу</b>	<b>2</b>			<b>4</b>								
	<b>Раздел 2</b> Технологические процессы нанесения тонких пленок												
	Тема 2.1 Физические основы технологии вакуумного напыления тонких пленок. Термическое, электронно-лучевое и ионное испарение. Общие принципы термодинамического анализа процессов. Термодинамика и кинетика испарения сплавов.	1				См. 6.1, 6.5	Презентация						
	Тема 2.2 Взаимосвязь электрофизических, адсорбционных и адгезионных характеристик поверхностей с условиями их обработки. Термодинамический анализ гетерогенного зародышев-	2				См. 6.1, 6.5	Презентация						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС <sup>12</sup>	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>13</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>15</sup>				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час								
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час									
	образования.												
	<b>Практическое занятие № 1</b> Тонкоплёночная технология: физические основы, получение и измерение общего и парциальных давлений, толщин пленок, скорости напыления, параметров пленок			2	4	Подготовка к ПЗ [ 6.5]							
	<b>Тема 2.3</b> Контроль параметров пленок и технологических режимов их нанесения.	1				См. 6.1, 6.5	Презентация						
	<b>Лабораторная работа № 1</b> Исследование многослойных тонкопленочных контактных систем микроэлементов		3		4	Подготовка к лабораторной работе [6.7]							
	Самостоятельная работа над лекционным материалом				4	См. 6.4 – 6.6							
	<b>Итого по 2 разделу</b>	4	3	2	12								
	<b>Раздел 3</b> Технологические процессы получения толстых пленок												
	<b>Тема 3.1</b> Толстопленочная технология. Особенности, достоинства и недостатки. Виды паст, их структура и основные компоненты.	1				См. 6.1, 6.4	Презентация						
	<b>Практическое занятие № 2</b> Толстопленочная технология: физические основы, особенности технологии, конструктивно-технологические ограничения.			2	4	Подготовка к ПЗ [6.4]							
	<b>Лабораторная работа № 2</b> Исследование многослойных толстопленоч-		3		4	Подготовка к лабораторной работе [6.7]							

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС <sup>12</sup>	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>13</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>15</sup>				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час								
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час									
	ных контактных систем микроэлементов												
	<b>Тема 3.2</b> Трафареты. Технологический процесс получения толстопленочных пассивных компонентов ИС, основные ограничения.	1				См. 6.4 – 6.6	Презентация						
	<b>Тема 3.3</b> Микросхемы на основе низкотемпературной многослойной керамики. LTCC – технология. Перспективы развития	1				См. 6.4 – 6.6	Презентация						
	Самостоятельная работа над лекционным материалом				4	См. 6.1,6.5							
	<b>Итого по 3 разделу</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>12</b>								
	<b>Раздел 4</b> Технологические процессы создания рисунков микросхем												
	<b>Тема 4.1</b> Классификация литографии в зависимости от длины волны. Сущность фотолитографии и основные процессы. Фоторезисты. Основы формирования рельефного изображения. Фотолитография.	2				См. 6.4 – 6.6	Презентация						
	<b>Тема 4.2</b> Электронно-лучевая литография. Методы электронно-лучевого экспонирования.	1				См. 6.4 – 6.6	Презентация						
	<b>Практическое занятие № 3</b> Литография. Виды литографии. Основы формирования рельефного изображения. Принципы работы оборудования. Важнейшие параметры резистов.			3	4	Подготовка к ПЗ [6.4]							

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС <sup>12</sup>	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>13</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>15</sup>				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час								
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час									
	<b>Лабораторная работа № 3</b> Моделирование процесса фотолитографии		4			Подготовка к лабораторной работе [6.7]							
	<b>Практическое занятие № 4</b> Рентгеновская литография. Ионно-лучевая и голограммическая литография. Процессы травления в литографии. Современные нанолитографы			4		Подготовка к ПЗ [6.6]							
	Самостоятельная работа над лекционным материалом				8	См. 62, 6.3							
	<b>Итого по 4 разделу</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>								
	<b>Раздел 5</b> Технологические процессы полупроводникового производства												
	<b>Тема 5.1</b> Полупроводниковые наноструктуры. Основные этапы численного моделирования процесса окисления.	1				См. 6.1, 6.2	Презентация						
	<b>Тема 5.2.</b> Процессы травления. Термодинамика и кинетика травления	1				См.6.1, 6.4	Презентация						
	<b>Тема 5.3</b> Основные механизмы диффузии примесей в кристаллической решетке. Система моделирования диффузионных процессов методом конечных элементов.	1				См. 6.2, 6.5	Презентация						
	<b>Тема 5.4</b> Ионная имплантация. Особенности моделирования ионной имплантации в многослойных мишенях.	1				См. 6.6	Презентация						
	<b>Тема 5.5</b> Современные теории epitаксиальных процессов. Основы жидкофазной epitаксии. Теория и про-	1				См. 6.6	Презентация						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС <sup>12</sup>	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий <sup>13</sup>	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах) <sup>14</sup>	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах) <sup>15</sup>				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час								
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час									
	цессы газофазной эпитаксии.												
	<b>Практическое занятие № 5</b> Принципы моделирование и модели базовых технологических процессов полупроводниковой технологии.			3		Подготовка к ПЗ [6.6]							
	<b>Практическое занятие № 6</b> Математические модели процессов диффузии, окисления и эпитаксии.			2		Подготовка к ПЗ [6.6]							
	<b>Лабораторная работа № 4</b> Моделирование процесса окисления		3			Подготовка к лабораторной работе [6.7]							
	<b>Лабораторная работа № 5</b> Моделирование процесса диффузии		4			Подготовка к лабораторной работе [6.7]							
	Самостоятельная работа над лекционным материалом				13	См. 6.3, 6.4							
	<b>Итого по 5 разделу</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>									
	<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	17	17	17	53								
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	17	17	17	53								

<sup>14</sup> приводятся количество часов Практической подготовки (при наличии), которая производится на предприятиях, согласно договору НГТУ (берутся из ОП ВО, раздел \_\_\_\_\_)

<sup>15</sup> при наличии, приводятся наименование разработанного Электронного курса в рамках раздела (разделов), прошедшего экспертизу (трудоемкость в часах)

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Текущий контроль осуществляется на практических и лабораторных занятиях, промежуточный контроль осуществляется на экзамене в устной форме.

### 5.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

Таблица 5 Примеры тестов по дисциплине

№	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
1.	Каким давлением характеризуется средний технический вакуум? а) $10^3 \text{ Па} \leq P < 10^{-3} \text{ Па}$ б) $10^{-3} \text{ Па} \leq P < 10^{-6} \text{ Па}$ в) $10^{-6} \text{ Па} \leq P < 10^{-9} \text{ Па}$ г) $10^{-9} \text{ Па} \leq P < 10^{-12} \text{ Па}$		0,1
2.	Каким соотношением между длиной свободного пробега $\ell$ и характерным размером сосуда $d$ определяется вязкостное течение? а) $\ell / d > 1$ б) $\ell / d < 1$ в) $\ell / d = 1$		0,1
3.	Какими вакуумметрами измеряется сверхвысокий вакуум? а) гидростатическими б) деформационными в) емкостными г) электронными ионизационными		0,1
4.	Каково сопротивление последовательного соединения трубопроводов ( $Z_i$ – сопротивление $i$ -го участка трубопровода)? а) $1/Z = \sum 1/Z_i$ б) $Z = \sum Z_i$ в) $Z = Z_{\min}$ г) $Z = Z_{\max}$		0,1
5.	Какой тип насоса используют в вакуумной установке в качестве высоковакуумного? а) турбомолекулярный б) паромасляный в) криогенный г) пластинчато-роторный		0,2
6.	Как измеряется скорость распыления в вакуумной установке? а) кварцевым резонатором б) по изменению сопротивления «свидетеля» в) элипсометром г) механическим профилометром	<i>c</i>	0,1
7.	Чтобы увеличить размер «зародышей» в растущей пленке следует: а) улучшить вакуум в камере б) понизить температуру подложки в) повысить температуру подложки г) понизить скорость напыления		0,2
8.	Каким способом нельзя снизить неравномерность напыляемой пленки? а) увеличение расстояния от источника частиц до подложки б) вращение подложки в) увеличение скорости напыления г) придание подложке сферической формы		0,2
9.	Из какого материала рекомендуют изготавливать маски-трафареты? а) нержавеющая сталь		0,1

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
	б) олово в) свинец г) пластик д) никелевая фольга		
10.	Что не относится к преимуществам напыления пленок методом ионного распыления? а) большая площадь распыляемой мишени б) мишень представляет собой источник длительного действия частиц наносимого материала в) поток осаждаемых на поверхность подложки частиц является хаотическим г) большая энергия конденсирующихся атомов		0,2
11.	Какой способ применяется для распыления диэлектрических материалов? а) радиочастотный магнетрон б) диодная конструкция в) магнетрон		0,2
12.	Какой способ применяется для реактивного распыления? а) термический б) диодная конструкция в) магнетрон г) радиочастотный магнетрон		0,2
13.	Недостаток реактивного распыления? а) неравномерность наносимой пленки б) внутренние дефекты пленки в) низкая скорость распыления г) шероховатость полученной пленки		0,3
14.	В какой области магнетронного распылителя концентрация плазмы наибольшая? а) по всей поверхности катода б) возле анода в) во всем промежутке между подложкой и катодом г) в области максимальной концентрации электрического и магнитного поля		0,2
15.	При каком свете измерение толщины пленки методом многолучевой интерферометрии будет точнее? а) красный б) зеленый в) синий		0,1
16.	Для чего охлаждают кварцевый датчик? а) для увеличения адгезии пленки б) для исключения погрешности связанной с резонансной частотой кварцевого элемента в) для повышения равномерности пленки		0,2
17.	Какой толщиной будет пленка, если при использовании кварцевого датчика изменение резонансной частоты составило 9,2 кГц? Плотность пленки 2,7 г/м <sup>3</sup> , масса и резонансная частота кварцевого элемента до нанесения пленки 2 г и 6 МГц соответственно, диаметр кварцевого элемента 6 мм. а) 100 нм б) 1 мкм в) 10 мкм г) 100 мкм		0,3
18.	Какой из факторов не влияет на величину адгезии пленки к подложке? а) толщина полученной пленки б) материал пленки в) скорость напыления г) температура подложки		0,2

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
19.	Тонкая пленка это: а) одномерная наноструктура б) трехмерная наноструктура в) двухмерная наноструктура г) нульмерная наноструктура		0,1
20.	В тонкой пленке квантование электронного спектра наблюдается в а) одном направлении б) в трех направлениях в) в двух направлениях г) не наблюдается		0,3
21.	При увеличении ширины квантовой ямы в 2 раза, значение энергии квантового уровня: а) увеличится в 2 раза б) уменьшится в 2 раза в) увеличится в 4 раза г) уменьшится в 4 раза		0,3
22.	К разряду современных (2012 г.) наноэлектронных (наноразмерных) объектов относят транзисторы с размерами: а) 45-90 нм б) 32-90 нм в) 60-90 нм		0,1
23.	Полевой транзистор был изготовлен в: а) 1930 г б) 1947 г в) 1960 г		
24.	Повышение степени интеграции достигается: а) за счет уменьшения т.н. технологической нормы б) за счет роста площади чипа в) за счет уменьшения т.н. технологической нормы, и, в некоторой степени, за счет роста площади чипа		0,1
25.	Говоря о проектной норме, обычно имеют в виду: а) максимальный для данной технологии характеристический размер б) средний для данной технологии характеристический размер в) минимальный для данной технологии характеристический размер		0,1
26.	От чего зависит геометрический размер, и какой характер носит зависимость? а) от нормы, зависимость - «ступенька» б) от длины затвора, носит экспоненциальный характер в) от нормы, носит пропорциональный характер		
27.	Тактовая частота определяется: а) скоростью переключения отдельных цифровых элементов б) технологической нормой в) скоростью переключения и технологической нормой		0,1
28.	Проблемой при увеличении степени интеграции и уменьшении размеров активных областей приборов является: а) проблема увеличения токов утечек б) проблема тепловыделения в) увеличение токов утечек и проблема тепловыделения		0,2
29.	Меры для увеличения частоты полевого транзистора: а) уменьшение длины канала б) уменьшение порогового напряжения и уменьшение паразитных емкостей в) все вместе (а, б)		0,2
30.	Чтобы уменьшить время переключения необходимо: а) увеличить максимальные токи б) уменьшить энергопотребление в) увеличить частоту		0,2

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
31.	Что больше, работа выхода или сродство к электрону? а) работа выхода б) сродство к электрону в) это одно и то же		0,1
32.	Что означает приставка «нано-»? а) $10^{-6}$ б) $10^{-10}$ в) $10^{-9}$ г) $10^{-12}$		0,1
33.	Диспергирование – это способ получения наночастиц, относящийся к: а) механическим способам б) лазерной абляции в) химическим способам г) вакуумному осаждению		0,2
34.	Наиболее простой путь получения нанопорошков? а) механический б) вакуумное осаждение в) лазерная абляция г) плазмохимия		0,2
35.	Наиболее распространены нанопорошки? а) нитридов б) карбидов в) оксидов г) силицидов		0,1
36.	Для создания квантовой ямы требуется? а) один полупроводник б) два полупроводника в) три полупроводника г) четыре полупроводника		0,2
37.	Соединения $A^{III}B^V$ классифицируют по элементу? а) второй группы б) четвертой группы в) третьей группы г) пятой группы		0,1
38.	Процесс, при котором наблюдается ориентированный рост слоев, кристаллическая решетка которых повторяет структуру подложки – это: н) адсорбция б) испарение в) абсорбция г) эпитаксия		0,2
39.	Какой процесс отсутствует в ходе эпитаксиального роста? а) адсорбция атомов и молекул на нагретой поверхности подложки б) миграция атомов и молекул по поверхности и диссоциация адсорбированных молекул в) механическое диспергирование молекул на нагретой подложке г) встраивание атомов в наиболее энергетически выгодные места в кристаллической решетке подложки		0,3
40.	Преднамеренное легирование при молекулярно-лучевой эпитаксии проводится из? а) отдельного источника б) вакуума в) общего источника г) подложки		0,2
41.	Какое утверждение неверно по отношению к молекулярно-лучевой эпитаксии? а) испарение всех матричных элементов, а также легирующих примесей из индивидуальных молекулярных источников		0,2

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
	б) проведение эпитаксиального процесса при относительно низких температурах роста в) проведение эпитаксиального процесса в условиях низкого вакуума г) поддержание двумерного режима роста слоев, обеспечивающего получение атомарно-гладкой поверхности раздела выращиваемых гетероструктур		
42.	Самое высокое пространственное разрешение имеет? а) фотолитография б) электронолитография сканирующая в) электронолитография проекционная г) лазерная литография		0,1
43.	Слой светочувствительного материала - это? а) фоторезист б) подложка в) фотошаблон г) защитная пленка		0,1
44.	При позитивном изображении? а) после экспонирования растворимость резиста уменьшается б) экспонирование на резист не воздействует в) после экспонирования растворимость резиста не изменяется г) после экспонирования растворимость резиста увеличивается		0,2
45.	За счет чего снижается стоимость полупроводникового производства при использовании TCAD: а) за счет уменьшения числа экспериментов; б) за счет того, что отпадает необходимость ставить эксперименты в процессе разработки нового технологического процесса; в) за счет сокращения затраченного времени; г) за счет уменьшения стоимости обучения и подготовки персонала?		0,2
46.	Чем определяется выбор размеров элементов сетки в методе ко- нечных элементов: а) достижением приемлемой сходимости и точности расчета; б) затратами времени на вычисление; в) размерами и формой структуры, наличием и величиной градиен- тов физических параметров, наличием других неоднородностей структуры (напри- мер, интерфейсов); г) всеми перечисленными факторами в совокупности?		0,2
47.	Количество введенной в полупроводник примеси в процессах диффузии и ионной имплантации характеризуется: а) полным количеством атомов примеси; б) концентрацией примеси; в) дозой примеси; г) дозой активной примеси.		0,2
48.	При окислении кремния скорость протекания процесса определя- ется: а) скоростью поставки окислителя к поверхности кремния; б) скоростью диффузии окислителя в слое окисла по направлению к границе окисел-кремний; в) скоростью протекания химической реакции на поверхности окисла; г) скоростью протекания химической реакции на границе окисел- кремний.		0,3
49.	При моделировании процесса окисления кремния учитываются: а) зависимость скорости процесса от температуры; б) зависимость скорости процесса от парциального давления компонентов окисляющей среды; в) зависимость скорости процесса от ориентации подложки, меха-		0,3

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
	нических напряжений и уровня легирования; г) от всех перечисленных факторов.		
50.	<p>Сегрегация примеси - это:</p> <p>а) явление перераспределения примеси между окислом и полупроводником, происходящие при высокой температуре из-за различия растворимости и коэффициентов диффузии примеси в полупроводнике и окисле;</p> <p>б) встраивание атомов примеси в кристаллическую решетку полупроводника;</p> <p>в) обеднение примесью поверхности полупроводника, происходящие при его нагреве в инертной среде;</p> <p>г) перераспределение примеси в объеме полупроводника при высокой температуре.</p>		0,2
51.	<p>Толщина наносимого резиста должна быть?</p> <p>а) больше высоты рельефа подложки</p> <p>б) равна высоте рельефа подложки</p> <p>в) меньше высоты рельефа подложки</p> <p>г) несущественно</p>		0,1
52.	<p>Как зависит разрешение резиста от его толщины?</p> <p>а) выше при большей толщине</p> <p>б) не зависит от толщины</p> <p>в) выше при меньшей толщине</p> <p>г) максимально при толщине равной минимальному размеру структуры</p>		0,1
53.	<p>К какому поколению элементной базы ЭВС относится наноэлектроника?</p> <p>а) первое поколение</p> <p>б) второе поколение</p> <p>в) четвертое поколение</p> <p>г) пятое поколение</p>		0,1
54.	<p>Через какой период времени количество транзисторов в самой сложной ИС удваивается (согласно закону Мура)?</p> <p>а) 6 месяцев</p> <p>б) 12 месяцев</p> <p>в) 18 месяцев</p> <p>г) 24 месяца</p>		0,1
55.	<p>Какое свойство подложек наиболее значимо?</p> <p>а) тип электропроводности</p> <p>б) подвижность носителей</p> <p>в) концентрация носителей заряда</p> <p>г) все вышеперечисленные</p>		0,1
56.	<p>Наибольшее распространение в качестве полупроводникового материала получил</p> <p>а) германий</p> <p>б) кремний</p> <p>в) арсенид галлия</p> <p>г) олово</p>		0,1
57.	<p>Преимущества Si перед Ge, как полупроводникового материала:</p> <p>а) более широкая запрещенная зона</p> <p>б) меньшие токи утечки</p> <p>в) большие рабочие напряжения</p> <p>г) все вышеперечисленное</p>		0,1
58.	<p>Какой из процессов не является термическим?</p> <p>а) ионная имплантация</p> <p>б) эпитаксия</p> <p>в) осаждение</p> <p>г) окисление</p>		0,2
59.	<p>Эпитаксия – это:</p> <p>а) процесс осаждения атомарного кремния на монокристаллическом кремнии</p>		0,2

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
	скую кремниевую пластину б) нагревание поверхности кремниевой пластины в присутствии $O_2$ в) ионная имплантация ионов бора г) плазмохимическое осаждение слоев титана		
60.	Предельная толщина пленки $SiO_2$ при термическом окислении зависит от: а) свойств подложки б) парциального давления $O_2$ в) влажности среды г) всего вышеперечисленного		0,2
61.	Как влияет присутствие паров $H_2O$ на рост пленки окисла? а) существенно замедляет б) никак не влияет в) незначительно замедляет г) ускоряет		0,3
62.	Коэффициент сегregation – это: а) отношение растворимости примеси в Si к растворимости в $SiO_2$ б) отношение скорости диффузии, определяемой коэффициентами диффузии D в $SiO$ к скорости диффузии в Si в) отношение массы Si к массе $SiO_2$ г) отношение массы примеси к массе Si		0,3
63.	Органические материалы травятся в плазме, содержащей: а) кислород б) фтор в) хлор г) фосфор		0,2
64.	Для какого типа травления характерно боковое подтравливание? а) для изотропного б) ни для какого в) для анизотропного г) для обоих		0,2
65.	Диффузия из ограниченного источника также называется: а) возгонкой б) перегонкой в) загонкой г) разгонкой		0,1
66.	Напряженность электрического поля, необходимая для проникновения ионов вглубь кристаллической решетки: а) сотни вольт б) сотни киловольт в) десятки мегавольт г) несколько киловольт		0,1
67.	Недостатки ионной имплантации: а) необходим отжиг (до $800^\circ C$ ) пластин б) трудно формировать глубокие легированные области в) необходимо защищать персонал от рентгеновского излучения г) все вышеперечисленное		0,2
68.	Совокупная траектория атома примеси до полного торможения представляет собой: а) прямую линию б) параболу в) ломаную линию г) экспоненту		0,2
69.	Длина свободного пробега атома увеличивается при: а) увеличении массы иона б) увеличении начальной энергии иона в) в обоих случаях г) в обоих случаях не увеличивается		0,3
70.	Доза аморфизации зависит от:		0,2

№ №	Тестовые вопросы по основным разделам курса	Правильный ответ	Вес вопроса
	а) атомного номера легирующего элемента б) температуры мишени в) от обоих параметров г) не зависит от перечисленных параметров		

Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию (зачет).

1. Что такое вакуум?
2. Распределение молекул газа по абсолютным значениям скоростей?
3. Каким давлением и средней длиной пробега молекул газа характеризуются низкий, средний, высокий и сверхвысокий вакуум?
4. Какие существуют основные режимы течения газа по трубопроводу?
5. Что характеризуется числом Рейнольдса?
6. Каковы основные параметры вакуумных насосов?
7. Каковы принципы работы механического спирального насоса?
8. Каковы принципы работы турбомолекулярного насоса?
9. Какие вакуумметры применяют для измерения низкого вакуума? Каковы принципы их работы?
10. Какие вакуумметры применяют для измерения высокого вакуума? Каковы принципы работы магнитного электроразрядного вакуумметра?
11. Каков принцип действия установок для нанесения тонких пленок?
12. Как происходит рост тонкой пленки на подложке?
13. Как получают рисунки тонкопленочных слоев ИМС?
14. Каковы методы повышения равномерности распределения толщины пленки по подложке?
15. Что такое термоэмиссия?
16. Как происходит ускорение электронов?
17. Каковы устройства и принцип действия электронно-лучевого испарителя?
18. Как происходит ионизация и возникает тлеющий разряд?
19. Каков механизм ионного распыления веществ?
20. Каков принцип действия диодной распылительной системы?
21. Каковы особенности магнетронного распыления?
22. Как устроен и работает кольцевой планарный магнетрон?
23. Чем отличается овально-протяженный магнетрон от кольцевого?
24. Какими методами наносят диэлектрические пленки?
25. Как измеряют толщину наносимых пленок микровзвешиванием?
26. Каков принцип измерения толщины пленок методом лучевой интерферометрии?
28. Каковы особенности измерения сопротивления пленок с помощью резистивного датчика?
29. Как измеряют адгезию пленок?
30. На чем основано измерение скорости нанесения пленок с помощью кварцевого датчика?
31. Является ли объект с характерным размером 300 нм наноструктурой?
32. В каких областях могут применяться нанотехнологии?
33. Почему нанообъекты нельзя наблюдать в оптические микроскопы?
34. По каким параметрам классифицируются дисперсные (коллоидные) системы?
35. Дисперсные системы гомогенны или гетерогенны?
36. Что такое «наноструктурирование»?
37. Чем различаются подходы «сверху-вниз» и «снизу вверх»?
38. Объясните понятия «квантовая точка», «квантовая нить», «квантовая яма»?
39. Какой функцией описываются электронные состояния в яме?
40. Почему некоторые атомные кластеры относят как к нульмерным, так и к одномерным наноструктурам?
41. Существуют ли трехмерные наноструктуры?
42. Приведите примеры одномерных и двумерных наноструктур.
43. ....

## **5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания**

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине в ходе текущего контроля (лабораторные работы и практические занятия) применяется **балльно-рейтинговая** система контроля и оценки успеваемости студентов. Шкала оценок и критерии представлены в таблице 6

При оценивании результатов промежуточной аттестации используется традиционная система контроля и оценки успеваемости студентов. Шкала оценок и критерии представлены в таблице 7.

**Таблица 6 - Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания**

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-1 Способен определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	ИПКС-1.2. Подготавливает технические задания на выполнение проектных работ <b>Знать:</b> схемы и конструкции электронных средств различного функционального назначения <b>Уметь:</b> подготавливать технические задания на выполнение проектных работ <b>Владеть:</b> навыками разработки архитектуры электронных средств.	Изложение учебного материала бессистемное, неполное, неумение делать обобщения, выводы, что препятствует усвоению последующего материала. Демонстрирует частичные и слабые умения в определяет имеющихся ресурсов и ограничений	Фрагментарные, поверхностные знания лекционного курса; изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя; затруднения при формулировании результатов и их решений	Знает материал на достаточно хорошем уровне; представляет основные задачи в рамках постановки целей и выбора оптимальных способов их достижения. Допускает незначительные ошибки, которые сам исправляет; комментирует, выполняемые действия не всегда точны	Имеет глубокие знания всего материала структуры дисциплины; освоил новации лекционного курса по сравнению с учебной литературой; изложение полученных знаний полное, системное; допускаются единичные ошибки, самостоятельно исправляемые при собеседовании

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину.

- 1.1 Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники. – М.: Физматлит, 2011. -560 с
- 1.2 Марголин В.И. Физические основы микроэлектроники. М.: Академия, 2008.- 610 с
- 1.3 Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учеб. пособие. М.: Лань, 2011. 460 с
- 1.4 Воротынцев В.М, Перевощиков В.А. Скупов В.Д; Базовые технологии микро- и наноэлектроники: Учеб.пособие.- Н.Новгород, НГТУ, 2006, 356 с.
- 1.5 Белоус А.И., Емельянов В.А., Турцевич А.С. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб. – монография. –М.: Интеллект, 2011. – 620 с.
- 1.6 Садков В.Д. Физические основы микроэлектроники и наноэлектроники: методическое пособие. Электронный ресурс кафедры КТПП. НГТУ, 57 с
- 1.7 Садков В.Д. Методическое пособие по лабораторным работам по курсу «Основы нанотехники». . Электронный ресурс кафедры КТПП. НГТУ, 36 с.
- 1.8 Садков В.д. Тест по курсу «Основы нанотехники» в системе eLearning Server.

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

### 7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий по дисциплине (открытый доступ)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: Справочная правовая система. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
3. [Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса](http://elib.tolgas.ru/) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/>. - Загл. с экрана.
4. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
5. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/> . - Загл с экрана.
6. *Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам* Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.

## 7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

В таблице 7 приведен перечень доступных в сети университета библиотечных систем.

Таблица 7 - Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	2	3
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>

В таблице 8 указан перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

Таблица 8 - Перечень программного обеспечения

Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
1	2
Microsoft Windows XP, Prof, S/P3 (подписка DreamSpark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14)	Open Office 4.1.1 (лицензия Apache License 2.0)
Microsoft Windows 7 (подписка MSDN 4689, подписка DreamSparkPremium, договор № Tr113003 от 25.09.14)	Adobe Acrobat Reader (FreeWare)
Microsoft Office Professional Plus 2007 (лицензия № 42470655)	
Microsoft Office (лицензия № 43178972)	
Windows XP лиц. № 65609340	
Office 2007 лиц. № 43178971	
Microsoft Windows XP Professional (лицензия № 43178980)	
MicrosoftOffice 2007 (лицензия № 44804588)	
Dr.Web (договор № 31704840788 от 20.03.17)	
КонсультантПлюс (Договор № 28-13/16-313 от 27.12.16)	
Техэксперт (Договор №100/860 от 22.12.2016 )	

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ).

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Справочная правовая система «КонсультантПлюс»	доступ из локальной сети
3	Информационно-справочная система «Техэксперт»	доступ из локальной сети

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	2	3
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, состав которых определен в таблице 11.

Таблица 11 - Оснащенность аудиторий и помещений для проведения аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов по дисциплине

№	Наименование аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	1	2	3
1	<b>5315</b> учебная аудитория для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации; г. Нижний Новгород, ул. Минина, 28л	Комплект демонстрационного оборудования: <ul style="list-style-type: none"> <li>ПК, с выходом на внешний монитор, на базе AMD Athlon 2.8 ГГц, 4 Гб ОЗУ, 250 ГБ HDD, монитор 19" – 1шт.</li> <li>Телевизор LG 49" - 1 шт;</li> <li>ПК на базе IntelCoreDuo 2.93 ГГц, 4 Гб ОЗУ, 320 Гб HDD, монитор Samsung 19" – 6 шт.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microsoft Windows 10 (подписка ИВЦ)</li> <li>Open Office 4.1.1 (свободное ПО, лицензия Apache License 2.0)</li> <li>Adobe Acrobat Reader (FreeWare);</li> <li>7-zip для Windows (свободно распространяемое ПО, лицензия GNU LGPL);</li> <li>Dr.Web (Сертификат №EL69-RV63-YMBJ-N2G7 от 14.05.19).</li> <li>T-Flex Cad 3D 17 Университетская лицензия (Договор 136-ПР-ТЧН-8-2016 без ограничения времени)</li> </ul>
1	<b>5317</b> учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индиви-	Комплект демонстрационного оборудования: <ul style="list-style-type: none"> <li>ПК, с выходом на мультимедийный проектор, на базе AMD Athlon 2.8 ГГц, 4 Гб ОЗУ, 250 ГБ HDD, монитор</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microsoft Windows 10 (подписка ИВЦ)</li> <li>Microsoft Office Professional Plus 2007 (лицензия № 42470655);</li> <li>Open Office 4.1.1 (свободное ПО, лицензия Apache License 2.0)</li> <li>Adobe Acrobat Reader (FreeWare);</li> </ul>

	дуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации; г. Нижний Новгород, ул. Минина, 28л	19" – 1шт. • Мультимедийный проектор ViewSonic PJD6253 - 1 шт; • Экран – 1 шт.;	• 7-zip для Windows (свободно распространяемое ПО, лицензия GNU LGPL); • Dr.Web (Сертификат №EL69-RV63-YMBJ-N2G7 от 14.05.19).
	<b>5320</b> компьютерный класс - помещение для проведения лекционных, лабораторных и практических занятий, СРС, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), г. Нижний Новгород, ул. Минина, 28л)	• Проектор Accer – 1шт; • ПК на базе IntelCoreDuo 2.93 ГГц, 8 Гб ОЗУ, 320 Гб HDD, монитор Samsung 19` – 13 шт.. ПК подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета	• Microsoft Windows 10 (подписка ИВЦ) • Microsoft Windows 7 (подписка DreamSpark Premium, договор № Tr113003 от 25.09.14); • Microsoft Office (лицензия № 43178972); • Adobe Acrobat Reader (FreeWare); • 7-zip для Windows (свободнораспространяемое ПО, лицензия GNU LGPL); • Dr.Web (Сертификат №EL69-RV63-YMBJ-N2G7 от 14.05.19) • T-Flex Cad 3D 17 Университетская лицензия (Договор 136-ПР-ТЧН-8-2016 без ограничения времени) • Autodesk Inventor Pro 2019 (Лицензия № 564-65693746) • Inventor Nastran in Cad 2019 (Лицензия № 564-02998488) • Autodesk CFD Ultimate 2019 (Лицензия № 564-09028029) • NI AWR Design Environment 13 (Лицензия №476) • ELCUT 6.5 студенческий (свободно распространяемое ПО) • ТРиАНА 2.0 (Демо версия без ограничения времени)

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий (выбирается из приложения к РПД):

- балльно-рейтинговая технология оценивания (при наличии);
- отчеты по лабораторным работам.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценку успеваемости студентов.

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка по промежуточной аттестации в соответствии за набранными за семестр баллами. Студентам, набравшим в ходе текущего контроля успеваемости по дисциплине от 61 до 100 баллов и выполнившим все обязательные виды запланированных учебных занятий, по решению преподавателя без прохождения промежуточной аттестации выставляется оценка в соответствии со шкалой оценки результатов освоения дисциплины.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

### **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала.

### **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

### **10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы.

туры, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

## **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости**

### **11.1.1. Типовые задания к лабораторным и практическим (семинарским) занятиям**

1. Физические основы технологии вакуумного напыления тонких плёнок. Общие принципы термодинамического анализа процессов.
2. Взаимосвязь электрофизических, адсорбционных и адгезионных характеристик поверхностей с условиями их обработки. Термодинамический анализ гетерогенного зародышеобразования
3. Принципы получения и измерения глубокого вакуума
4. Классификация литографии в зависимости от длины волны. Сущность фотолитографии и основные процессы. Фоторезисты и их параметры. Основы формирования рельефного изображения.
5. Полупроводниковыеnanoструктуры. Основные этапы численного моделирования процесса окисления.
6. Основные механизмы диффузии примесей в кристаллической решетке. Система моделирования диффузионных процессов методом конечных элементов.
7. Ионная имплантация. Особенности моделирования ионной имплантации в многослойных мишениях.
8. Современные теории эпитаксиальных процессов. Основы жидкокристаллической эпитаксии. Теория и процессы газофазной эпитаксии.

### **11.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **Перечень вопросов и заданий для подготовки к зачету (ПКС-1: ИПКС-1.2):**

1. Что такое вакуум?
2. Распределение молекул газа по абсолютным значениям скоростей?
3. Каким давлением и средней длиной пробега молекул газа характеризуются низкий, средний, высокий и сверхвысокий вакуум?
4. Какие существуют основные режимы течения газа по трубопроводу?
5. Что характеризуется числом Рейнольдса?
6. Каковы основные параметры вакуумных насосов?
7. Каковы принципы работы механического спирального насоса?
8. Каковы принципы работы турбомолекулярного насоса?
9. Какие вакуумметры применяют для измерения низкого вакуума? Каковы принципы их работы?
10. Какие вакуумметры применяют для измерения высокого вакуума? Каковы принципы работы магнитного электроразрядного вакуумметра?

11. Каков принцип действия установок для нанесения тонких пленок?
12. Как происходит рост тонкой пленки на подложке?
13. Как получают рисунки тонкопленочных слоев ИМС?
14. Каковы методы повышения равномерности распределения толщины пленки по подложке?
15. Что такое термоэмиссия?
16. Как происходит ускорение электронов?
17. Каковы устройства и принцип действия электронно-лучевого испарителя?
18. Как происходит ионизация и возникает тлеющий разряд?
19. Каков механизм ионного распыления веществ?
20. Каков принцип действия диодной распылительной системы?
21. Каковы особенности магнетронного распыления?
22. Как устроен и работает кольцевой планарный магнетрон?
23. Чем отличается овально-протяженный магнетрон от кольцевого?
24. Какими методами наносят диэлектрические пленки?
25. Как измеряют толщину наносимых пленок микровзвешиванием?
26. Каков принцип измерения толщины пленок методом лучевой интерферометрии?
28. Каковы особенности измерения сопротивления пленок с помощью резистивного датчика?
29. Как измеряют адгезию пленок?
30. На чем основано измерение скорости нанесения пленок с помощью кварцевого датчика?
31. Является ли объект с характерным размером 300 нм наноструктурой?
32. В каких областях могут применяться нанотехнологии?
33. Почему нанообъекты нельзя наблюдать в оптические микроскопы?
34. По каким параметрам классифицируются дисперсные (коллоидные) системы?
35. Дисперсные системы гомогенны или гетерогенны?
36. Что такое «наноструктурирование»?
37. Чем различаются подходы «сверху-вниз» и «снизу вверх»?
38. Объясните понятия «квантовая точка», «квантовая нить», «квантовая яма»?
39. Какой функцией описываются электронные состояния в яме?
40. Почему некоторые атомные кластеры относят как к нульмерным, так и к одномерным наноструктурам?
41. Существуют ли трехмерные наноструктуры?
42. Приведите примеры одномерных и двумерных наноструктур.
43. Каков наиболее простой путь получения нанопорошков? На чем основан этот метод?
44. В чем недостаток механического метода?
45. В чем суть метода диспергирования расплавов потоком жидкости или газа?
46. Перечислите основные физико-химические методы получения нанопорошков.
47. Для синтеза каких нанопорошков наиболее подходит плазмохимический метод?
48. Приведите характерные примеры применения нанопорошков.
49. Каково характерное значение запрещенной зоны в полупроводниках?
50. В чем заключается идеология создания полупроводниковой квантовой ямы?
51. Можно ли менять ширину запрещенной зоны в одном полупроводнике?
52. Приведите примеры соединений-партнеров на основе нитридов, антимонидов, арсенидов?
53. Какие элементы являются донорами для арсенида галлия?
54. Приведите пример тройного соединения на основе антимонидов.
55. В чем суть дельта-легирования?
56. Какие признаки эпитаксиального роста пленочных структур?
57. На чем основан метод молекулярно-лучевой эпитаксии?
58. Перечислите элементарные процессы в зоне роста.
59. В чем физическая суть критической температуры эпитаксии.
60. Каковы особенности молекулярно-лучевой эпитаксии?
61. Типы литографии и пространственное разрешение.
62. Из каких основных этапов состоит литографический процесс?
63. Особенности электронно-лучевой, рентгеновской и ионной литографии.
34. Перечислить основные свойства резистов.
35. В чем особенности литографического метода наноимпринт?
1. Обозначьте фундаментальные ограничения при миниатюризации ИС. Чем они вызваны?

64. Что необходимо предпринять для уменьшения значения переходного сопротивления омического контакта металла к кремнию.
65. В чем заключаются основные преимущества диода на основе выпрямляющего контакта металл-кремний перед диодом на основе *p-n* перехода.
66. Какие виды омических контактов встречаются в конструкции БИС.
67. Степень легирования некоторой локальной области монокристаллического кремния составляет  $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Сколько атомов кремния приходится на один атом легирующей примеси?
68. С помощью какого из методов избирательного легирования можно получить максимальную концентрацию примеси на поверхности кристалла?
69. Что такое степень интеграции интегральной микросхемы?
70. В чем состоит разница между топологией и вертикальным профилем легирования микросхемы?
71. В чем состоят преимущества толстопленочной технологии производства интегральных микросхем?
72. Какие легирующие элементы используются для формирования в кремнии областей *n*-типа проводимости?
73. Какие легирующие элементы используются для формирования в кремнии областей *p*-типа проводимости?
74. Какие существуют механизмы диффузии атомов легирующей примеси?
75. Что такое позитивный, а что такое негативный процессы литографии? В чем их различия?
76. Чем отличаются между собой эталонный и рабочий фотошаблоны, используемые при контактной литографии?
77. Почему алюминий, хотя и находится в 3 группе элементов таблицы Менделеева и является акцепторной примесью, не используется в качестве диффузанта?
78. Почему в процессе резки слитков кремния на пластины используется инструмент с внутренней режущей кромкой?
79. Каковы правила образования названий полупроводниковых материалов состава  $A^{III}B^V$ ?
80. Какое условие необходимо соблюсти при проведении процесса ионной имплантации чтобы получить профиль легирования близкий к распределению Гаусса?
81. Что такое гетерогенная химическая реакция? В каком технологическом процессе наноинженерии ее наличие является необходимым условием его нормального течения?
82. В чем состоит разница между одностадийным и двухстадийным процессами диффузии?
83. Что такое отжиг? В каком случае он применяется в технологическом процессе производства интегральных микросхем?
84. Перечислите, какие способы герметизации кристаллов интегральных микросхем Вам известны? Дайте краткую характеристику области применения каждого из них.
85. От какого из примесных элементов наиболее тяжело освободиться при зонной очистке слитка кремния и почему?
86. Какой характер имеет в кремнии зависимость предельной растворимости легирующей примеси от температуры?
87. Какой из методов эпитаксии обеспечивает наиболее совершенную структуру растущей пленки?

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИРИТ:

Мякиньков А.В.

подпись

ФИО

“ \_\_\_\_ ”

2021 г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины<sup>22</sup>**

**«Б1.В.ОД.3\_Основы нанотехники»**

индекс по учебному плану, наименование

для подготовки магистров

Направление: 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

Направленность: Информационные технологии проектирования электронных устройств

Форма обучения \_\_ очная

Год начала подготовки: 2021

Курс 2

Семестр 3

<sup>23</sup> а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20\_\_ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1) .....;

2) .....;

3) .....

Разработчик (и): Садков В.В., к.т.н., доцент  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

«\_\_» 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры КТПП

протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» 2021 г.

Заведующий кафедрой КТПП С.Л. Моругин \_\_\_\_\_

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой КТПП \_\_\_\_\_ «\_\_» 2021 г.

Методический отдел УМУ: \_\_\_\_\_ «\_\_» 2021 г.

<sup>22</sup> Рабочая программа дисциплины актуализируется ежегодно перед началом нового учебного года.

<sup>23</sup> Разработчик выбирает один из представленных вариантов

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**на рабочую программу дисциплины**  
**Б1.В.ОД.3 «Основы нанотехники»**

**ОП ВО по направлению 11.04.03- Конструирование и технология электронных средств  
направленность «Информационные технологии проектирования электронных  
устройств»**

**квалификация выпускника – магистр**

Рындыка Александра Георгиевича, заведующего кафедрой Информационные радиосистемы, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Основы нанотехники» ОП ВО по направлению 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств, направленность: Информационные технологии проектирования электронных устройств (уровень обучения магистр) разработанной в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», на кафедре КТПП, разработчик – Садков В.Д., к.т.н., доцент.

Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

Программа соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств. Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОПОП ВО несомненно – дисциплина является обязательной в базовой части учебного цикла – Б1.В. ОД3.

Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств.

В соответствии с Программой за дисциплиной «Теоретические основы конструирования электронных средств» закреплена компетенция ПКС-1. Дисциплина и представленная Программа способны реализовать их в объявленных требованиях.

Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

Общая трудоёмкость дисциплины «Основы нанотехники» составляет 3 зачётные единицы (108 часов). Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Основы нанотехники» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств.

Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (опрос, как в форме обсуждения отдельных вопросов, так и выступления и участие в дискуссиях, работа над домашним заданием и аудиторных заданиях, защита отчетов по лабораторным работам), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма итогового промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена что соответствует статусу дисциплины, как обязательной дисциплины вариативной части учебного цикла – Б1.В.ОД. ФГОС ВО 3++ направления 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств.

Нормы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – источник (базовое учебное пособие), дополнительной литературой, источников со ссылкой на электронные ресурсы, Интернет-ресурсы и соответствует требованиям ФГОС ВО направления 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств.

Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Основы нанотехники» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Основы нанотехники».

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Основы нанотехники» ОПОП ВО по направлению 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств, направленность «Информационные технологии проектирования электронных устройств» (квалификация выпускника – магистр) соответствует требованиям ФГОС ВО 3++, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Рындык А.Г., зав. кафедрой «Информационные радиосистемы», НГТУ, д.т.н.

\_\_\_\_\_

(подпись)

« 26» мая 2021 г.