

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Воронцов А. Г. Пользователь: vorontsovag Дата подписания: 05.07.2024	

А. Г. Воронцов

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.0.26 Наноэлектроника  
для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
уровень Бакалавриат  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Воронцов А. Г. Пользователь: vorontsovag Дата подписания: 05.07.2024	

А. Г. Воронцов

Разработчик программы,  
д.физ.-мат.н., проф., профессор

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Березин В. М. Пользователь: beresinpm Дата подписания: 26.06.2024	

В. М. Березин

Челябинск

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Отразить приемственность нано- и микроэлектроники. Изучить особенности наноэлектроники ( технологии, физической основы, конструкции и работы приборов) как принципиально нового направления техники и технологии в области электроники. Решаемые задачи : Изучить сущность новых технологий: нанолитографии, молекулярно- лучевой эпитаксии, зондовой микроскопии и т.п.. Научиться применять уравнения Шредингера для решения задач взаимодействия электронов с неоднородностями, потенциальными барьерами. Изучить варианты конструкций наноэлектронных транзисторов, диодов, конденсаторов, резисторов и других элементов ИМС.

## **Краткое содержание дисциплины**

Введение в предмет. Основные тенденции интегральной электроники и их реализация в области минимальных технологических размеров менее 100 нм. Технологические особенности обусловленные увеличением степени интеграции на чипе и уменьшением размеров элементов микросхем. Повышенные требования к качеству кристаллов полупроводниковой основы микросхем. Новые методы получения чипов и реализации литографии при формировании топологии ИМС. Достижения и проблемы, обусловленные новыми методами и технологиями. Туннелирование и интерференционные эффекты при электронном транспорте. Квантовая проводимость, эффект Холла, Аоронова-Бома. Применение стационарного одномерного уравнения Шредингера для решения задач электроники. Автоэлектронная эмиссия. Изучение конструктивных и технологических особенностей наноэлектронных транзисторов, диодов различного назначения, конденсаторов, химических источников тока, резисторов. Изучение электронных свойств наноструктур . Перспективы углеродной наноэлектроники.

## **2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	Знает: фундаментальные законы природы, определяющие функционирование объектов нанометровых размеров; отличительные особенности наноэлектронных систем Умеет: использовать законы физики для прогнозирования поведения наноэлектронных систем

## **3. Место дисциплины в структуре ОП ВО**

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Нет	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Нет

#### **4. Объём и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., 110,75 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
Общая трудоёмкость дисциплины	216	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>			
Лекции (Л)	64	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	16	8	8
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	105,25	53,75	51,5
Подготовка к выступлению с докладом	20	10	10
Подготовка к зачету.	20	20	0
Подготовка к лабораторным и контрольным работам	45,25	23.75	21.5
Подготовка к экзамену	20	0	20
Консультации и промежуточная аттестация	14,75	6,25	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

#### **5. Содержание дисциплины**

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в дисциплину	6	4	2	0
2	Технологии наноэлектроники.	12	8	4	0
3	Структуры пониженной размерности в наноэлектронике.	20	8	4	8
4	Наноэлектронные приборы.	30	24	6	0
5	Материалы наноэлектроники.	28	20	0	8

##### **5.1. Лекции**

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1,2	1	Наноэлектроника - как преемственность микроэлектроники. Тенденция на миниатюризацию и уменьшение потребления энергии при расширении функциональных возможностей.	4

3	2	Нанолитография. Экстремальный ультрафиолет. Эксимерные лазеры.	2
4	2	Электронолитография. Рентгенолитография. Принципы и особенности реализации.	2
5	2	Технология молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ).	2
6	2	Сканирующая и зондовая микроскопия.	2
7	3	Классификация структур и их электронные энергетические спектры.	2
8	3	Электронные размерные эффекты.	2
9	3	Классический и квантовый размерные эффекты электросопротивления тонких пленок.	2
10	3	Баллистический транспорт электронов в нанопроводниках.	2
11	4	КМОП-нанотранзисторы.	2
12	4	МНОП- и ЛИЗМОП транзисторы и их применение.	2
13	4	Нанодиоды различного назначения.	2
14	4	Наноконденсаторы и источники питания.	2
15	4	Оптоэлектронные наноприборы.	2
16	4	СВЧ нанотранзисторы.	2
17, 18.	4	Оптоэлектронные наноприборы. Приборы с внутренним усилением. Лавинные фотодиоды.	4
19, 20	4	Наноприборы функциональной электроники. Динамические неоднородности вnanoэлектронике. Фононы, магноны, поляроны, микродомены и др. Элементарные возбуждения как носители информации.	4
21	4	Одноэлектроника и перспективы ее практической реализации. Идея одноэлектронники. Кулоновская блокада и туннелирование электрона.	2
22	4	Спинtronика.	2
23, 24	5	Полупроводниковые nanoструктуры. Гетеропереходы. Сверхрешетки.	4
25, 26	5	Углеродные наноматериалы. Фуллерены. Нанотрубки. Графеноподобные материалы.	4
27, 28	5	Магнитные наноматериалы.	4
29, 30	5	Полимерные и органические материалы.	4
31	5	Пленки поверхностно-активных веществ.	2
32	5	Бионаноматериалы.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Введение в предмет.	2
2	2	Нанолитография.	2
3	2	Методы получения нанопленок.	2
4	3	2D-структура.	2
5	3	0D- и 1D-структуры.	2
6	4	Нанодиоды.	2
7	4	Нанотранзисторы.	2
8	4	УБИС, ГИС.	2

## 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов

1,2	3	Изучение вакуумной техники	4
3,4	3	Получение тонких пленок на стекле и измерение их электрических и оптических свойств.	4
5,6	5	Проверка закона Бугера -Ламберта на тонких пленках полуметаллов.	4
7,8	5	Изучение краевых и размерных эффектов электросопротивления тонких пленок полуметаллов.	4

#### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к выступлению с докладом	Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника, стр. 69-82 Щука, А. А. Электроника [Текст] учебное пособие для вузов по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника А. А. Щука. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с. ил., стр. 266-284	5	10
Подготовка к зачету.	Щука, А. А. Электроника [Текст] учебное пособие для вузов по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника А. А. Щука. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с. ил., стр. 301-365	5	20
Подготовка к лабораторным и контрольным работам	Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника, стр. 478-596 Гельман М.В., Хусаинов Р.З., Бычков А.Е. Основы цифровой техники, стр. 9-58	6	21,5
Подготовка к выступлению с докладом	Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника, стр. 372-392 Щука, А. А. Электроника [Текст] учебное пособие для вузов по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника А. А. Щука. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с. ил., стр. 301-364	6	10
Подготовка к лабораторным и контрольным работам	Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника, стр. 372-408 Гельман М.В., Хусаинов Р.З., Бычков А.Е. Основы цифровой техники, стр. 9-58	5	23,75
Подготовка к экзамену	Щука, А. А. Электроника [Текст] учебное пособие для вузов по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника А. А. Щука. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с. ил., стр. 429-446	6	20

#### 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

## 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се- мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи- тыва- ется в ПА
1	5	Текущий контроль	Контрольная работа 1	15	5	5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	зачет
2	5	Текущий контроль	Контрольная работа 2	15	5	5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	зачет
3	5	Текущий контроль	Контрольная работа 3	15	5	5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	зачет
4	5	Текущий контроль	Лабораторная работа 1	5	5	5 баллов - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, все вычисления выполнены верно, графики зависимостей построены в соответствии со стандартом ЮУрГУ; 4 балла - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, но в вычислениях присутствуют неточности/небольшие ошибки, графики зависимостей построены без указаний доверительных интервалов/без подписей и обозначений;	зачет

						3 балла - студент выполнил лабораторную работу с ошибками в вычислениях, выводы по работе не показывают сути и результатов выполненной работы; 2 балла - выполнена экспериментальная часть работы, выполнена часть необходимых вычислений, отсутствуют выводы; 1 балл - выполнена только экспериментальная часть работы, отчет не оформлен; 0 баллов - работа не выполнена.	
5	5	Текущий контроль	Лабораторная работа 2	5	5	5 баллов - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, все вычисления выполнены верно, графики зависимостей построены в соответствии со стандартом ЮУрГУ; 4 балла - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, но в вычислениях присутствуют неточности/небольшие ошибки, графики зависимостей построены без указаний доверительных интервалов/без подписей и обозначений; 3 балла - студент выполнил лабораторную работу с ошибками в вычислениях, выводы по работе не показывают сути и результатов выполненной работы; 2 балла - выполнена экспериментальная часть работы, выполнена часть необходимых вычислений, отсутствуют выводы; 1 балл - выполнена только экспериментальная часть работы, отчет не оформлен; 0 баллов - работа не выполнена.	зачет
6	5	Текущий контроль	Выступление с докладом №1_5	5	5	5 баллов выставляется за выступление студента с докладом и презентацией; студент хорошо ориентируется в докладываемой теме и ответил на все дополнительные вопросы. 4 балла - студент качественно выступил с докладом, но допустил небольшие ошибки в ответах на вопросы, либо не ответил на один вопрос; 3 балла - студент выступил с докладом, но допустил грубые ошибки в докладе и неполно осветил тему; студент ответил не на все вопросы/ ответы студента неполные; 2 балла - тема доклада не раскрыта,	зачет

							докладчик плохо ориентируется в докладе; 1 балл - представлена информация несоответствующая теме доклада; 0 баллов - студент не подготовил доклад.	
7	5	Промежуточная аттестация	Зачет	-	5		5 баллов выставляется за полное и исчерпывающее ответы на все задания билета; 4 балла - выполнены все задания, ответы содержат непринципиальные ошибки и неточности; 3 балла - ответы даны с грубыми ошибками; 2 балла - ответы на задания даны неверно, студент не понимает сути вопросов заданий; 1 балл - частично выполнено одно задание из билета с грубыми ошибками; 0 баллов - задания не выполнены.	зачет
8	6	Текущий контроль	Контрольная работа 1_6	15	5		5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	экзамен
9	6	Текущий контроль	Контрольная работа 2_6	15	5		5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	экзамен
10	6	Текущий контроль	Контрольная работа 3_6	15	5		5 баллов - все задания выполнены верно; 4 балла - задания выполнены верно, но с некритическими ошибками; 3 балла - часть заданий выполнена с грубыми ошибками; 2 балла - все задания выполнены с грубыми ошибками; 1 балл - выполнено с грубыми ошибками одно задание; 0 баллов - задания полностью не выполнены.	экзамен
11	6	Текущий контроль	Выступление с докладом №1_6	5	5		5 баллов выставляется за выступление студента с докладом и презентацией; студент хорошо ориентируется в докладываемой теме и ответил на все дополнительные вопросы.	экзамен

						4 балла - студент качественно выступил с докладом, но допустил небольшие ошибки в ответах на вопросы, либо не ответил на один вопрос; 3 балла - студент выступил с докладом, но допустил грубые ошибки в докладе и неполно осветил тему; студент ответил не на все вопросы/ ответы студента неполные; 2 балла - тема доклада не раскрыта, докладчик плохо ориентируется в докладе; 1 балл - представлена информация несоответствующая теме доклада; 0 баллов - студент не подготовил доклад.	
12	6	Текущий контроль	Лабораторная работа 3	5	5	5 баллов - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, все вычисления выполнены верно, графики зависимостей построены в соответствии со стандартом ЮУрГУ; 4 балла - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, но в вычислениях присутствуют неточности/небольшие ошибки, графики зависимостей построены без указаний доверительных интервалов/без подписей и обозначений; 3 балла - студент выполнил лабораторную работу с ошибками в вычислениях, выводы по работе не показывают сути и результатов выполненной работы; 2 балла - выполнена экспериментальная часть работы, выполнена часть необходимых вычислений, отсутствуют выводы; 1 балл - выполнена только экспериментальная часть работы, отчет не оформлен; 0 баллов - работа не выполнена.	экзамен
13	6	Текущий контроль	Лабораторная работа 4	5	5	5 баллов - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, все вычисления выполнены верно, графики зависимостей построены в соответствии со стандартом ЮУрГУ; 4 балла - студент полностью выполнил лабораторную работу, сделал корректные выводы по работе, но в вычислениях присутствуют неточности/небольшие ошибки, графики зависимостей построены без	экзамен

						указаний доверительных интервалов/без подписей и обозначений; 3 балла - студент выполнил лабораторную работу с ошибками в вычислениях, выводы по работе не показывают сути и результатов выполненной работы; 2 балла - выполнена экспериментальная часть работы, выполнена часть необходимых вычислений, отсутствуют выводы; 1 балл - выполнена только экспериментальная часть работы, отчет не оформлен; 0 баллов - работа не выполнена.	
14	6	Промежуточная аттестация	Экзаменационная работа	-	5	5 баллов выставляется за полное и исчерпывающее ответы на все задания билета; 4 балла - выполнены все задания, ответы содержат непринципиальные ошибки и неточности; 3 балла - ответы даны с грубыми ошибками; 2 балла - ответы на задания даны неверно, студент не понимает сути вопросов заданий; 1 балл - частично выполнено одно задание из билета с грубыми ошибками; 0 баллов - задания не выполнены.	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Прохождение контрольного мероприятия промежуточной аттестации не является обязательным. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится в форме письменного экзамена. Студенты получают задания, представленные в билетах. Билет состоит из трех заданий. Максимальный балл за три задания равен 5 баллам. В течение полутора-двух часов студенты излагают ответы в письменном виде на выбранные билеты, после чего сдают их на проверку экзаменатору. После проверки, экзаменатор выставляет баллы за выполненную работу. Если студент не согласен с полученными баллами, ему предоставляется возможность ответить на дополнительные вопросы по всему материалу курса. В течение экзамена студентам запрещается пользоваться мобильными телефонами, другими средствами связи, вычислительной техники и другими средствами информации и материалами.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения
зачет	Прохождение контрольного мероприятия промежуточной аттестации не является обязательным. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится в форме	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	письменного зачета. Студенты на зачете получают 2 вопроса по пройденному курсу. Максимальный балл за два вопроса равен 5 баллам. В течение полутора-двух часов студенты излагают ответы в письменном виде на поставленные вопросы, после чего сдают их на проверку экзаменатору. После проверки, экзаменатор выставляет баллы за выполненную работу. Если студент не согласен с полученными баллами, ему предоставляется возможность ответить на дополнительные вопросы по всему материалу курса. В течение зачета студентам запрещается пользоваться мобильными телефонами, другими средствами связи, вычислительной техники и другими источниками информации, и материалами.	
--	--	--

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ОПК-1	Знает: фундаментальные законы природы, определяющие функционирование объектов нанометровых размеров; отличительные особенности наноэлектронных систем	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+
ОПК-1	Умеет: использовать законы физики для прогнозирования поведения наноэлектронных систем	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### a) основная литература:

- Щука, А. А. Электронника [Текст] учебное пособие для вузов по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника А. А. Щука. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

- Гельман М.В., Хусаинов Р.З., Бычков А.Е. Основы цифровой техники, Челябинск: ЮУрГУ, 2010

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

- Гельман М.В., Хусаинов Р.З., Бычков А.Е. Основы цифровой техники, Челябинск: ЮУрГУ, 2010

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в	Библиографическое описание
---	----------------	------------------------	----------------------------

		электронной форме	
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Классическая электроника и наноэлектроника : учебное пособие / А. Н. Игнатов, Н. Е. Фадеева, В. Л. Савиных [и др.]. — 3-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 728 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/106860">https://e.lanbook.com/book/106860</a>
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Игнатов, А. Н. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017 <a href="https://e.lanbook.com/book/106861">https://e.lanbook.com/book/106861</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНИТИ РАН(бессрочно)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лабораторные занятия	273 (3)	Напылительная система Torr. Цифровой четырёхзондовый тестер модели ST2258С. Фотометр фотоэлектрический КФК-3.